

## 波动率研究

### 一、波动率的定义、分类、度量

#### 1、波动率的定义

波动率是用来描述标的资产价格变动的不确定性，是衡量标的资产价格变动快慢的尺度或者价格变动幅度的指标。通常用资产收益率的标准差来衡量，比如股票的波动率可以用股票的收益率标准差来度量。资产收益率分为百分比收益率和对数收益率。

理论上假设资产收益率服从正态分布，所以从统计学来讲，波动率是一个在理论上显示价格可能走势的钟形曲线的标准差。

#### 2、波动率的分类

波动率的类型主要有历史波动率、隐含波动率、预期波动率、未来波动率等。历史波动率和隐含波动率是在实际中运用最多的两种波动率。

##### (1)、历史波动率

历史波动率是基于过去的统计分析得出的，且假定未来是过去的延伸，通过计算标的资产在过去一段时间的标准差而来。通常是指标的资产的日收益率在过去一段时间内的年化标准差，过去一段时间可以是最近的 30 天、90 天或其他合适的天数。

##### (2)、隐含波动率

隐含波动率是根据期权的价格反推导出来的，是市场上交易的期权价格所隐含的波动率。标的资产价格、无风险利率、近期股息率、期权执行价格、期权到期日和波动率是影响期权价格的 6 个因素，可以利用期权定价模型，将期权市场价格以及除波动率外的其他参数代入期权定价公式后推导出波动率，由此得出隐含波动率。

##### (3)、预期波动率

预期波动率是指交易者根据市场情况与历史数据对未来价格波动率做出的一种预测，理论价格是运用预期波动率计算出来的。

##### (4)、未来波动率

未来波动率也即实际波动率，是指未来特定期间内的日收益率的年化标准差。利用模型计算期权的理论价格时，实际上需要的是未来的波动率，但由于该波动率无法获取，实际运用中通常用上述其他波动率来替代。

总的来说，历史波动率和隐含波动率对于期权来说比较重要，历史波动率是基于过去的统计分析得到的，计算相对简单；隐含波动率反映了期权市场参与者对于标的资产在期权有效期内预期，是众多投资者相互竞争的结果。

#### 3、波动率的度量

##### (1)、资产收益率度量方法

计算波动率是建立在资产价格收益率的基础上，所以首先确定资产收益率的计算方法是很重要的。根据价格变化假设的不同，可以分两种：百分比价格变动法、对数价格变动法。

①百分比价格变动法假设价格是固定的不连续的间隔变化：

$$R_i = \frac{S_{i+1} - S_i}{S_i}$$

其中 $R_i$ 是资产回报率， $S_{i+1}$ 是今天资产价格， $S_i$ 是昨天资产价格。

②对数价格变动法假设价格是连续的变化：

$$R_i = \ln\left(\frac{S_{i+1}}{S_i}\right)$$

其中 $R_i$ 是资产回报率， $S_{i+1}$ 是今天资产价格， $S_i$ 是昨天资产价格。

在经典的 B S 模型中，假设价格变动是连续的，因而对数收益法在确定波动率的公式中更为合适。

(2)、历史波动率的计算

波动率的标准定义是方差的平方根。方差的定义为：

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2$$

式中， $R_i$ 为对数收益率； $\bar{R}$ 为样本的平均收益率； $N$ 为样本规模。

从样本方差得到总体方差的估计，需要做一下转换，即：

$$\sigma^2 = \frac{N}{N-1} s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2$$

但由于 Jensen 不等式的影响，直接在方差上开平方所得到的波动率估计却是有偏的，即：

$$E(s) = E(\sqrt{s^2}) < \sqrt{E(s^2)} = \sqrt{\sigma^2} = \sigma$$

我们知道，随着样本容量的增大，总体标准差与样本标准差之间的偏差越小，偏差程度可以表示为：

$$s = b(N)\sigma$$

式中： $b(N) = \sqrt{\frac{2}{N} \frac{\Gamma(\frac{N}{2})}{\Gamma(\frac{N-1}{2})}}$ ；所以， $s/b$  就是总体标准差的无偏估计。

通常，为了得到更准确的结果，会使用更多的样本数据进行估计，以尽量减小抽样误差带来的影响。但是，样本量过多，样本中更可能掺杂与当前市场状态无关的数据。所以一般有两种方法解决抽样误差的问题，一是可以通过使用更高频率的估计量，二是使用没有完全剔除收盘价以外所有数据的估计量。上述的计算都是基于收盘价-收盘价的关系，为了得到更好的估计量，需要引入更多的数据信息，从而得到以下四种估计量：

①、Parkinson 估计量：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4N \ln 2} \sum_{i=1}^N (\ln \frac{h_i}{l_i})^2}$$

式中： $h_i$ 是交易时段的最高价； $l_i$ 是交易时段的最低价

②、Garman-Klass 估计量：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} (\ln \frac{h_i}{l_i})^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (2 \ln 2 - 1) (\ln \frac{c_i}{c_i - 1})^2}$$

③、Rogers-Satchell 估计量：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\ln \frac{h_i}{c_i})(\ln \frac{h_i}{o_i}) + (\ln \frac{l_i}{c_i})(\ln \frac{l_i}{o_i})}$$

④、Yang-Zhang 估计量:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_o^2 + k\sigma_c^2 + (1-k)\sigma_{rs}^2}$$

式中:  $\sigma_o^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \ln \left( \frac{o_i}{c_i-1} \right)^2$ ;

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \ln \left( \frac{c_i}{o_i-1} \right)^2$$

$$\sigma_{rs}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln \frac{h_i}{c_i})(\ln \frac{h_i}{o_i}) + (\ln \frac{l_i}{c_i})(\ln \frac{l_i}{o_i});$$

$$k = \frac{0.34}{1 + \frac{N+1}{N-1}}$$

现在，总结一下各估计量的优缺点，如下表所示:

估计量	优点	缺点
收盘价-收盘价估计量	1、抽样特性很容易理解 2、偏差容易纠正 3、可以简单转换成带有日回报项的公式形式	没有充分利用已有数据的信息，并且收敛速度很慢
Parkinson 估计量	使用日内极差构成波动率估计很有意义，而且相比基于时间的抽样方法，提供了更全面的额外信息	1、只适用于估计几何布朗运动过程中的波动率，尤其不能处理价格趋势和价格跳空 2、系统性地低估波动率
Garman-Klass 估计量	1、效率要比收盘价-收盘价估计量高 8 倍 2、充分利用常用的价格信息	比 Parkinson 估计量的偏差更大
Rogers-Satchell 估计量	允许价格趋势效应的存在	无法处理价格跳空
Yang-Zhang 估计量	1、它是具有最小估计误差的波动率估计 2、能够同时处理价格漂移和价格跳空 3、在可用数据的使用上最为有效	当价格过程有跳空主导时，其性能会较低到和收盘价-收盘价估计量差不多

综上所述，无法单从数学角度对各估计量进行好坏判断，没有任何一个估计量一定是更好的。我们更应该考虑这些不同的估计量到底传达了一些什么信息，以及如何根据这些标准做出决定。

前面讲过，使用更高频率的数据往往能改善估计的质量，不过一旦使用了高频数据，便会丧失解读真实价格的能力。比如，由于买卖价差的存在，会使波动率的估计出现偏差。并且，高频数据对存储空间、计算机性能提出了很高的要求。使用高频数据时另一个需要考虑的问题是周期性因素的影响，包括隔夜收益率、真实波动率在一天内的巨大变化。在较短时间周期上，波动率预测的不精准性几乎完全是由路径依赖效应主导的。所以，在使用高频

数据时，需要认真对待这些微观结构的问题。

历史波动率通常年化表示，即年波动率等于每交易日波动率与每年交易日天数平方根的乘积——年波动率 = 日波动率  $\times \sqrt{\text{交易日天数}}$

估计的历史波动率与实际波动率存在不一致，主要是由于：①选择的时间长度不是典型的波动率时间长度，可能比正常波动率更高或更低；②由于整个时期内的系列数据是非连续的和变化的，存在异方差性；③统计上的样本估计问题，即需要多少样本才能得出合理的估计是一门艺术。

### (3)、隐含波动率的计算

隐含波动率是利用期权价格从期权定价模型中推导出来的，是期权价格中隐含的波动率信息，也是衡量期权市场上关于标的资产不确定性的一个指标。由于期权价格的影响因素如下所示：

期权价格 =  $f(\text{标的资产价格、执行价格、到期日、利率、股息率、标的波动率})$

其中，标的资产价格、执行价格、到期日、利率、股息率都可以从市场上观察到，唯一未知的就是波动率。通过将期权价格和除波动率外的参数代入选用的期权定价模型，就可以求出隐含波动率的大小。

由于期权定价模型一般较为复杂，难以直接反推出隐含波动率的解析解，所以一般采用试错法进行计算。即引入样本波动率数值，通过不断代入波动率来计算期权价格，直至计算出的期权与市场期权价格一致。比如用二分法寻找隐含波动率的步骤如下：

①选择最高、最低的波动率  $\sigma_h$  和  $\sigma_l$ ，这可以从历史波动率中找到；

②用期权定价模型计算  $\sigma_h$  和  $\sigma_l$  对应的期权价格  $C_h$  和  $C_l$ ；

③代入公式  $\sigma = \sigma_l + (C_0 - C_l) \times (\sigma_h - \sigma_l) \div (C_h - C_l)$ ，计算新的波动率， $C_0$  为期权市场价格；

④用  $\sigma$  计算出理论期权价格  $C$ ：若  $|C - C_0| \leq \delta$ ，则  $\sigma$  就是要找的隐含波动率；否则，若  $C > C_0$ ，则令  $\sigma_h = \sigma$ ，若  $C < C_0$ ，则令  $\sigma_l = \sigma$ ，重复其次以后的步骤。

一个期权价格对应于一个隐含波动率，到期日相同、执行价格不同的期权，计算出来的隐含波动率不一样，为了对市场有统一的判断，可以用综合隐含波动率来替代。计算综合隐含波动率主要有：

①利用成交量数据进行加权，成交量越大的期权所占的权重越大，但在盘中可能无法准确得到成交量的详细数据，实时性较差；

②通过利用标的物价格与期权执行价的距离（虚值、实值的程度）来加权，主要是降低深度实值和深度虚值期权的数据影响，这些期权对波动率的敏感性较低；

③通过期权的波动率敏感指标 Vega 来加权

由于每日的行情会受到突发因素和随机因素的干扰，从而波动具有随机性，往往采用隐含波动率的平均值来平滑随机因素的干扰。

## 二、波动率的预测

波动率通常具有均值回复的特性，会在一定的范围内波动，所以，对波动率进行预测，相比对标的资产价格进行预测更简单可行。预测波动率的数学方法有很多，大致包括：

### 1、历史波动率估计法

这个方法假设未来  $N$  天的波动率水平和过去  $N$  天相同，有时称之为滑动窗口法 (moving window method)。也就是使用之前描述的各种波动率估计量，设定时间窗口后，进行计算得到预测值。此方法存在一个明显的问题，即标的资产价格的大幅变动会在波动率估计量的序列中保留  $N$  天后突然消失，造成对波动率预测产生较大的偏差。

为了解决滑动窗口法的缺点，标准方法是使用指数加权移动平均模型（EWMA），表达式如下：

$$\sigma_t^2 = \lambda \sigma_{t-1}^2 + (1 - \lambda) r_t^2$$

其中 $\lambda$  是介于 0 到 1 之间的参数，根据经验，通常 $\lambda$  取 0.9—0.99。

该模型是通过对近一期的收益率的平方与前一期的方差进行加权平均得到当前一期的方差。 $\lambda$  越小意味着越早期的波动率对当前波动率的影响越小，而越近期的波动对当前波动率的影响越大。这个方法的优点是简单易用，便于理解，缺点是不够灵敏。如果一件事情确实一个异常事件，比如业绩公告之类的，如果在未来预测期内确定没有类似的事情发生，那最好将它从数据集中剔除。该方法另一问题在于它并没有考虑最近的波动率估计量所处的市场环境，比如波动率的均值回复特性。

## 2、广义自回归条件异方差（GARCH）模型族

由于这类模型引入了预期回复的长期平均方差水平项，所以如果当前方差水平处于高位，我们会期待它在短期内维持高位，但最终还是会回归到正常水平。GARCH(1, 1) 模型表达式如下：

$$\sigma_t^2 = \gamma V + \beta \sigma_{t-1}^2 + \alpha r_{t-1}^2$$

式中， $V$  是长期方差水平项， $\gamma + \alpha + \beta = 1$ 。所以 GARCH(1, 1) 模型表达式一般可表示为：

$$\sigma_t^2 = \omega + \beta \sigma_{t-1}^2 + \alpha r_{t-1}^2$$

所以， $V = \frac{\omega}{1 - \alpha - \beta}$ 。于是便可得到 GARCH(p, q) 模型的表达式：

$$\sigma_t^2 = \omega + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \beta_q \sigma_{t-q}^2 + \alpha_1 r_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p r_{t-p}^2$$

通过迭代法可以得到：

$$\begin{aligned} E[\sigma_{t+\tau}^2 - V] &= (\alpha + \beta) E[\sigma_{t+\tau-1}^2 - V] \\ E[\sigma_{t+\tau}^2] &= V + (\alpha + \beta)^\tau (\sigma_t^2 - V) \end{aligned}$$

通过这个公式可以推出波动率预测的期限结构，但 GARCH 模型只能得到以指数形式收敛至长期均值的期限结构，但无法得到市场上常见的那种有峰的波动率期限结构。事实上，GARCH 发挥作用最好的领域是预测短期波动率，对于长期波动率的预测，该模型并不是很有用，而长期波动率的预测正是波动率交易者所感兴趣的。尽管如此，GARCH 模型族还是给投资者、交易员提供了波动率很好的参考和理解。

## 3、隐含波动率估计法

隐含波动率是期权市场对标的物在期权生存期内即将出现的统计波动率的猜测，也可以说是市场为交易者计算的波动率。这个概念的假设是：对执行价格接近目前标的资产价格的期权以及交易量相对较大的期权，市场的定价是合理的。每一种具体标的资产的每一个有成交的期权都可以通过迭代试算法计算出其对应的隐含波动率，那么，该标的资产对应了若干个不同的波动率。如果交易者根据交易量以及与实值或虚值的距离来加权（如下式所示），那么，就可以为标的资产得出单一的波动率。这个波动率是以标的资产在既定的一天中所考察期权的收盘价为基础的。

$$\text{隐含波动率} = \frac{\sum (\text{交易量加权系数} \times \text{距离加权系数} \times \text{对应隐含波动率})}{\sum (\text{交易量加权系数} \times \text{距离加权系数})}$$

交易量加权系数很容易计算。每个期权的系数只是期权的日交易量被所有该标的资产期权的总期权交易量所除。离执行价格的距离加权系数满足如下关系：

$$\text{距离加权系数} = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{a^2}, & \text{若 } x < a \\ 0, & \text{若 } x > a \end{cases}$$

其中  $x$  是标的资产价格与执行价格之间距离的百分率， $a$  是模型所使用的最大百分率距离（譬如， $a=0.25$ ），超过这个距离，使用模型的交易者就不再会给期权的隐含波动率加权。

这种计算波动率的方法相对准确，它对标的资产波动率的变化也很敏感。此外，在日间运动中，标的资产的价格波动可能会大于交易者想要看到的。通过计算最后 20 天或 30 天的隐含波动率移动平均值或几何移动平均值以达到平滑的效果。另一种不需要存储太多过去数据的方法是在隐含波动率的基础上进行动量计算。譬如，当天的最终波动率可以通过将当天隐含波动率的 5% 加上 95% 的前天最终波动率计算出来。这个方法虽然只需要存储一则信息，即前一天的最终波动率，但还是保留了一种“平滑”的效果。

#### 4、波动率分布的预测—波动率锥

除了 GARCH 模型族外，还有许多其他对时间序列进行预测的方法，其中常见的有神经网络、遗传算法这类人工智能算法以及诸如 ARMA 模型等经典的计量经济学方法。诸如人工智能算法较为专业，且没有足够的证据表明这些方法具有精准的预测性，最大的问题在于这类方法容易导致过度拟合问题，因此容易被误用。

上述方法都是对波动率的点估计，然而在现实中，我们真正需要的是对波动率分布的预测。举例来说，如果我们预测一个月波动率为 12%，那么以 20% 的水平卖出隐含波动率看似是个好主意；然而若我们了解到一个月波动率的范围大致在 11%—35% 之间，那这个策略就未必好了。波动率预测本身并不是那么必要，更重要的是得出波动率的变化区间（波动率的分布）。实现这一目的的简单方法就是波动率锥，波动率锥就是阐明在不同的交易区间内，波动率区间是如何变化的。通常而言，我们最好将波动率的预测放在波动率锥的背景下进行考察，比如将隐含波动率与波动率锥给出的历史波动率进行对比，如果发现一个月隐含波动率水平已经达到了过去 2 年中一个月波动率的 90 分位数，那么在 35% 的水平卖出一个隐含波动率，就可以构建比较明智的交易计划。如果 GARCH 模型预测出来的已实现波动率是 20%，而以 35% 卖出隐含波动率就显得欠考虑了。

#### 5、模型参数的估计—极大似然法

对于点估计预测方法的各种模型，参数设定是个让人头疼的问题。参数设定既可以利用人为经验，也可以利用历史数据进行估计。但无论如何，这其中都有艺术的成分，既要规避过度拟合的问题，又要面对参数合理性的问题。

极大似然估计 (MLE) 是用来对概率分布的参数进行估计的方法，这个方法是指：在参数可能取值的范围内，选取一个参数，使得最终观察到的样本所出现的概率最大。

GARCH(1, 1) 模型的似然函数如下：

$$\prod_{i=1}^t \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi \sigma_i^2}} \exp\left(\frac{-r_i^2}{2\sigma_i^2}\right) \right]$$

通常我们使用相应的对数似然形式：

$$\sum_{i=1}^t \left[ -\ln(\sigma_i^2) - \frac{r_i^2}{\sigma_i^2} \right]$$

通过对此式进行最大化,便可得到 GARCH 模型的参数。但这个方法的问题在于,当参数的变化范围比较大时,似然值可能仅仅发生很小的变化。这个问题可以通过方差定位 (variance targeting) 的方法来解决,其实就是把  $\omega$  表示成  $V(1 - \alpha - \beta)$ , 然后在拟合时仅仅估计  $\alpha$  和  $\beta$ 。

有很多原因都会使模型数据拟合的效果不太好,这些原因可能是:

- ①数据不足。通常需要至少 1000 个数据点;
- ②参数初始值设置的不好;
- ③数据有持续的季节性。在使用日内数据时,这是个较为常见的问题;
- ④模型的错误。数据和所选择的模型不匹配。

## 6、总结

在进行期权交易时,对波动率的估计和预测都是必不可少的。预测更像是一门艺术,而对估计量、采用频率和预测方法的选择往往都需要依靠经验。不同的方法均有各自适应的市场环境,在适应的市场环境中,一些方法的效果要好于其他方法。然而,以下几点是在实际中经常需要考虑的:

- ①用不同的方法估计波动率,记住每种方法的优劣;
- ②数据点太多会包含无关的时间段,而数据点太少则会使取样误差变大,样本区间的选择需要权衡这两方面的影响;
- ③将预测放在使用波动率锥的环境下使用;
- ④在判断隐含波动率是处于极端水平还是市场正常水平时,需要把整个市场的现状考虑进去;

## 三、隐含波动率的动态结构

通常,波动率是会随着行权价、到期时间的不同而变化的,所以,波动率存在着有规律的移动轨迹,从而形成了著名的波动率曲面。预测波动率、已实现波动率、隐含波动率等各种类型的波动率都具有动态结构。由于实际交易中,隐含波动率是最为一个波动率估计量,所以这里着重研究一下隐含波动率的动态结构。

在实际交易中,波动率形状的变化是最重要的,所以判定波动率的移动轨迹规律显得非常重要。判定不同的移动轨迹相对重要性的一种方法是主成分分析法 (PCA), PCA 是数学上处理降维的一种方法。经过研究,波动率整体方差中最重要的是隐含波动率微笑曲线的平行移动、倾斜度变化和曲率变化,分别占到了 65%—80%、5%—15%、5%。这个结论告诉我们,最重要的是了解波动率总体水平的变动,然后才是曲线的斜率变动。

### 1、波动率水平的动态结构

波动率水平动态结构即波动率值的变动轨迹及规律。通过对平价期权的已实现波动率、隐含波动率的研究发现,波动率运动在大致一个范围区间内、标的资产波动幅度与其值的大小呈正相关、向上的波动比向下波动出现得多、具有均值回复的特性。所以,波动率水平的运动轨迹最重要的特性就是均值回复,虽然针对不同的资产标的,表现方式不尽相同,但基本都遵守这样的特点。正基于此,使得交易波动率成为可能。

波动率均值回复是经常被提及但很少给出明确定义的一点。对此,大致有三种定义:

#### ①非正式定义

当一个时间序列在最高点后下降,在到达最低点后上升时,那么它就是均值回复的。

#### ②相对正式的定义

如果一个时间序列回归后的随机误差项间存在负自相关性,那么它就是均值回复的。自回归模型可表示为:

$$R_t = \rho (R_{t-1} - \mu) + \mu + \sigma Z_t$$

式中， $R$  为  $t$  时刻的回报； $\rho$  是自回归系数； $\mu$  是平均回报； $\sigma$  是回报的波动率； $Z$  服从标准正态分布。

### ③交易员的定义

如果时间序列是均值回复的，那么就可以假设其变化趋势会反转而不是持续。通过这个交易方法可以来获利。

这个定义的核心思想很重要，即隐含波动率的大幅变动往往会反转，在我们开仓进行期权交易时需要牢牢记住这一点。

## 2、波动率微笑的动态结构

波动率微笑就是波动率随行权价变化而变化的一种规律。在绝大多数标的的期权中，都可以观察到极度实值、极度虚值的隐含波动率大于平值期权的隐含波动率，从而形成一条微笑的曲线，由此得名“隐含波动率微笑”现象。具有波动率微笑的隐含分布相对于对数正态分布有更高的峰值、更肥的尾部，呈现“尖峰肥尾”现象。

理论上，波动率微笑形成的相关解释大致有如下三点：

①资产价格非正态分布说：标准 BS 模型假设标的资产价格服从对数正态分布，收益率服从正态分布。但实际上，金融标的资产的收益率呈尖峰肥尾特征，所以 BS 模型低估了期权转变成深度实值或深度虚值的概率，也就是低估了其价格。

②资产价格跳跃说：标准 BS 模型采用风险中性定价，且假设资产价格服从带漂移的布朗运动，但没有考虑到市场资产价格存在跳跃的现象，如果期权接近到期时标的资产价格发生跳跃，且空方根据变化后的价格调整标的资产头寸并持有至到期，到期时复制的组合与期权价值可能会存在较大偏离，此时期权空方将面临额外风险，且该风险无法分散化，因而空方将要求相应的补偿，从而造成期权市场价格对理论价格的溢价。

③gamma 风险和 vega 风险说：期权空方的 delta 套期保值在保持 delta 中性之外，还面临着 gamma 风险与 vega 风险，gamma 越大，delta 对标的资产变动越敏感，从而使得复制组合偏离理论期权价值越容易。期权空方因价格成本无法连续调整标的资产头寸时，此风险不可避免。vega 是期权价格对标的资产波动率的一阶导数，由于实际波动率并不是模型所假设的常数，而是一个变量，当其他条件不变时，vega 越大，期权价值越容易发生变化，复制组合的价值也越容易与之产生偏差，从而导致 vega 风险。由于空方存在额外风险，因而将要求相应的补偿，从而造成期权市场价格对理论价格的溢价。

针对不同的标的资产期权，波动率微笑表现形式及原因都不相同。

例如，外汇期权市场中由于央行的干预，汇率波动率并非常数，且具有跳跃性，这些特性使得汇率更为频繁地变化为极端情形，因而虚值或实值期权的价格比理论上的期权价格高。此外，随着时间的增长，非常数波动率对期权价格变化影响的程度越来越大，但对隐含波动率变化影响的程度越来越小。随着期限的增加，跳跃性对于期权价格变化以及隐含波动率变化的影响越来越小。股票期权存在波动率倾斜，即隐含波动率是关于执行价格的递减函数，也就是说，执行价格较低的期权对应的隐含波动率要远高于执行价格较高的期权。这表示与突发性的大幅上涨相比，市场对于价格大幅下跌更为敏感。一种解释是杠杆效应，股票价格下跌时，公司市值下降，而公司债务没有变化，从而导致公司杠杆增加，意味着股票风险增大。另一种解释是投资者对于股票市场暴跌的恐惧，因而希望对标的资产价格下降提供保护，也愿意付出较高的价格。

## 3、波动率期限结构

波动率期限结构描述的是隐含波动率会随期权剩余期限的不同有所变化。平价期权的波



动率与期权剩余期限之间的关系是：当短期波动率非常低时，波动率函数是期权剩余期限时间的增函数；当短期波动率较高时，波动率函数是期权剩余期限时间的减函数。这与波动率均值回复有关。从长期来看，波动率大多表现出均值回归，即到期日接近时，隐含波动率变化较剧烈，随着到期日的延长，隐含波动率将逐渐向历史波动率的均值靠近。

波动率微笑的形状也受到期权剩余期限的影响。通常来说，期权剩余期限越短，波动率微笑就越显著；期权剩余期限越长，不同执行价的期权的隐含波动率差异越小，越接近于常数。

波动率曲面是将波动率期限结构和波动率微笑结合在一起产生的结果，可用于对不同执行价格以及不同期限的期权进行定价。

波动率期限结构形成的解释大致有三种：

①价格运动过程并非平稳说：即有效期内基本面的变化会引起标的资产价格预期分布的永久性改变。倘若市场预期标的资产将在某一时期发生重大变化，那么事件发生后的期权隐含波动率将不一致。

②波动率非均匀说：实际波动率在不同日期内预期是不一样的，特别是重要事件发生日与其他日差异更为明显。因而波动率应当是期权有效期内发生的时间数量及其重要程度的函数。

③波动率均值回归说：在一个给定的市场，波动率不能长期保持在极端的水平，而是会回到其长期均衡的水平。也可以认为实际波动率从长期来看是一个相对稳定的水平。当波动率水平超过均衡水平时，波动率会回到正常水平，而不是持续维持这种差异。因此，当期权有效期限很长时，波动率不可能无限增加，就像枪有射程一样，只有在射程范围内才可能击中目标，如果靶子超过射程太多，射击水平再高也不可能击中目标。但标准的定价模型并没有反映这一点，所以模型推导出的隐含波动率随着时间增加而下降。