

隐含波动率曲面模型梳理

——衍生品专题报告

分析师：祝涛

SAC NO: S1150516060002

2020 年 2 月 18 日

证券分析师

祝涛

022-28451653

zhutao@bhqz.com

核心观点：

● 隐含波动率曲面模型的缘起

自从 Black, Scholes (1973) 和 Merton (1973) 发表论文提出 BSM 模型之后，该模型就被公认为期权定价的基准。隐含波动率是将期权的成交价格带入到 BSM 公式中反推出来的波动率数值，常常呈现出“波动率微笑”或“波动率偏斜”的现象，因此，后续的期权定价研究主要围绕着波动率微笑或波动率曲面的刻画和建模发展。

● 随机波动率模型

在实际中波动率并非恒定不变且符合正态分布的，因此，BSM 模型下波动率是一个固定值的假设成为改进的重要方向。

随机波动率 (Stochastic Volatility) 模型是业界专家与学者在 BSM 模型框架下的进一步探索，将波动率看成一个随机过程，且与价格的随机过程存在一定的相关性。随机波动率定价公式是风险中性测度下基于无风险定价理论推出的，因此得到的隐含波动率曲面具有无套利的性质。

最常用的随机波动率模型有 Heston 模型和 SABR 模型等。

● 参数化模型

参数化模型是使用特定的参数化公式直接对隐含波动率曲面进行拟合，由于简单易行，算法复杂度低的特点，在业界得到广泛运用。

参数化模型主要包括以下几种：SVI 及其扩展模型；多项式模型；基于熵的参数化模型；基于加权位移对数正态分布的参数化模型。

其中以 SVI 及其扩展模型在实际中应用最广。

● 动态模型

还有一类波动率曲面模型是直接对隐含波动率的动态变化进行建模，这类模型通常假设波动率曲面的初始值已知，并随时间连续地变化。

Carr 和 Wu 提出的 Vega-Gamma-Vanna-Volga (VGVV) 方法是动态模型中的代表之一。将隐含方差的动态变化用不同的参数化模型进行表示，可以得到 SRV 和 LNV 两类模型。

● 风险提示

模型有诸多偏离实际的假设，存在模型失效的风险。

目 录

1. 隐含波动率曲面模型的缘起.....	4
2. 随机波动率模型	5
2.1 Heston 模型	6
2.2 SABR 模型	7
3. 参数化模型	9
3.1 SVI 模型	9
3.2 其他参数化模型	13
4. 动态模型	15
5. 总结与展望	16

用户647356142于2023-12-26日下载，仅供本人内部使用，不可传播与转载

图 目 录

图 1: 改变参数 α (alpha)对曲线的影响.....	8
图 2: 改变参数 β (beta)对曲线的影响.....	8
图 3: 改变参数 ρ (rho)对曲线的影响.....	8
图 4: 改变参数 ν 对曲线的影响.....	8
图 5: 改变参数a对曲线的影响.....	10
图 6: 改变参数b对曲线的影响.....	10
图 7: 改变参数 σ (sigma)对曲线的影响.....	10
图 8: 改变参数 ρ (rho)对曲线的影响.....	10
图 9: 改变参数m对曲线的影响.....	10

用户647356142于2023-12-26日下载，仅供本人内部使用，不可传播与转载

1. 隐含波动率曲面模型的缘起

从 BSM 模型谈起

自从 Black, Scholes (1973) 和 Merton (1973) 发表论文提出 BSM 模型之后, 该模型就被公认为期权定价的基准。

BSM 模型假设标的资产价格的动态变化符合以下随机过程:

$$dS_t = rS_t dt + \sigma S_t dW_t$$

其中无风险利率 r 和标的波动率 σ 为常数。在该模型的假设下, 可以得到欧式认购期权和认沽期权的价格公式:

$$C = S_t N(d_1) - e^{-r(T-t)} K N(d_2)$$

$$P = e^{-r(T-t)} K N(-d_2) - S_t N(-d_1)$$

$$\text{其中, } d_1 = \frac{\ln(S_t / K) + (r + 0.5\sigma^2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_t / K) + (r - 0.5\sigma^2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

该公式称为 BSM 公式。尽管 BSM 模型的假设与实际存在较大的差别, 但在业界中仍得到广泛的应用, 尤其是被用来计算隐含波动率, 从而更好地对不同期权合约进行估值的比较。

隐含波动率是将期权的成交价格带入到 BSM 公式中反推出来的波动率数值。在实际交易中, 不同行权价、不同到期日的期权反推出来隐含波动率却并不相同, 尤其是 1987 年“黑色星期一”之后, 常常在行权价的维度上呈现出“波动率微笑”或“波动率偏斜”的现象, 这显然与 BSM 模型中波动率是固定值的假设相悖。因此, 后续的期权定价研究主要围绕着波动率微笑或波动率曲面的刻画和建模发展。

在实际中需要更合理地构建隐含波动率曲面的原因主要有以下几点:

- 做市商需要为部分流动性差以及刚挂牌交易的期权合约进行合理报价;
- 为奇异期权进行定价, 如果基于 BSM 模型的假设可能得到错到离谱的价格;
- 在对冲交易以及风险管理的角度, 基于波动率曲面分析得到更合理的结果。

隐含波动率曲面模型的分类

隐含波动率曲面模型众多。Derman 等在“The Volatility Smile”一书中将波动率微笑模型分成了三类: 第一类策略放弃标的资产价格符合传统几何布朗运动的假设; 第二类策略直接对 BSM 模型的隐含波动率曲面进行建模; 第三类策略绕过上述两种建模过程, 从实务的角度出发, 利用对冲的理念解决定价的问题, 如 Vanna-Volga 模型。

Homescu (2011) 对于隐含波动率曲面模型进行了更细致的分类和总结, 其认为主要的建模方法可以分成如下几类:

- 随机波动率模型
- 参数化或半参数化模型
- 基于 Levy 过程的模型
- 对隐含波动率的动态变化进行建模
- 基于插值方法的模型

本文主要沿着这一思路进行波动率曲面模型的梳理。

2. 随机波动率模型

在实际中, 股票和股指的波动率并非恒定不变且符合正态分布的, 而是存在以下特征:

- 随时间变化, 表现为随机性、均值回复性以及波动率聚集;
- 与标的价格呈负相关的关系, 即杠杆效应;
- 隐含波动率随行权价的变化而变化, 表现为波动率微笑或波动率偏斜;
- 隐含波动率随到期日的变化而变化, 表现为波动率的期限结构。

因此, BSM 模型下波动率是一个固定值的假设成为改进的重要方向。

随机波动率 (Stochastic Volatility) 模型是业界专家与学者在 BSM 模型框架下的进一步探索, 将波动率看成一个随机过程, 且与价格的随机过程存在一定的相关性。随机波动率定价公式是风险中性测度下基于无风险定价理论推出的, 因此得

到的隐含波动率曲面具有无套利的性质。

最常用的随机波动率模型有 Heston 模型和 SABR 模型等。

2.1 Heston 模型

Heston 模型假设标的资产的价格符合几何布朗运动，方差服从 CIR（Cox-Ingersoll-Ross）过程，用以体现波动率的均值回复特性：

$$dS_t = rS_t dt + \sqrt{V_t} S_t dW_t^1$$

$$dV_t = a(\bar{V} - V_t)dt + \eta\sqrt{V_t}dW_t^2$$

$$dW_t^1 dW_t^2 = \rho dt$$

其中， V_t 为标的资产的方差， \bar{V} 为其方差的长期均值， a 为方差均值回复的速度， η 为方差的波动率， dW_t^1 ， dW_t^2 为两个相关的维纳过程， ρ 为二者之间的相关系数，体现价格与方差之间的相关性。

Heston(1993)通过对特征函数进行逆傅里叶变换得到欧式期权价格的半显式解：

$$\psi_{\ln(S_t)}^{Heston}(w) = e^{[C(t,w)\bar{V} + D(t,w)V_0 + iw \ln(S_0 e^{rt})]}$$

$$C(t,w) = a \left[r_- t - \frac{2}{\eta^2} \ln \left(\frac{1 - g e^{-ht}}{1 - g} \right) \right]$$

$$D(t,w) = r_- \frac{1 - e^{-ht}}{1 - g e^{-ht}}$$

$$r_{\pm} = \frac{\beta \pm h}{\eta^2}; h = \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}$$

$$g = \frac{r_-}{r_+}$$

$$\alpha = -\frac{w^2}{2} - \frac{iw}{2}; \beta = a - \rho\eta iw; \gamma = \frac{\eta^2}{2}$$

后续也有学者根据市场的其他特征改进随机波动率模型。如 Bates (1996) 在 Heston 假设的随机波动率的基础上加入了随机跳跃的成份, Bakshi 等 (1997) 在模型中更进一步加入了随机短期利率的假设, 考虑了利率的随机性、均值回复和期限结构。

Bakshi 等 (1997) 还用实证数据比较了不同模型的表现, 结果表明将随机波动率加入模型是改进 BS 公式的第一要务; 加入跳跃的随机波动率模型可以进一步改进模型的表现, 尤其是短期期权的定价, 加入随机利率可以改进长期期权定价的表现; 从对冲的角度来看, 随机波动率模型取得最好的对冲效果, 随机跳跃亦或是随机利率的加入并不会改进对冲效果。

2.2 SABR 模型

2002 年, Hagan 等在论文 "Managing smile risk" 中提出了 SABR (Stochastic Alpha Beta Rho) 模型, 其中 ABR 为模型中三个重要参数的缩写。SABR 在模型中将隐含波动率设定为几何布朗运动, 并引入波动率的波动率这一参数, 解决隐含波动率偏斜的问题, 使得隐含波动率同时具有随机性、时变性和与标的价格之间的相关性。

SABR 模型假设标的资产远期价格和波动的变化符合以下随机过程:

$$dF_t = \alpha_t F_t^\beta dW_t^1$$

$$d\alpha_t = \nu \alpha_t dW_t^2$$

$$dW_t^1 dW_t^2 = \rho dt$$

$$F_0 = F$$

$$\alpha_0 = \alpha$$

其中, F 为标的资产的远期价格, α 为目前的波动率, β 为杠杆系数, ν 为波动率的波动率, dW_t^1 , dW_t^2 为两个相关的维纳过程, ρ 为二者之间的相关系数。各参数对曲线的影响如下:

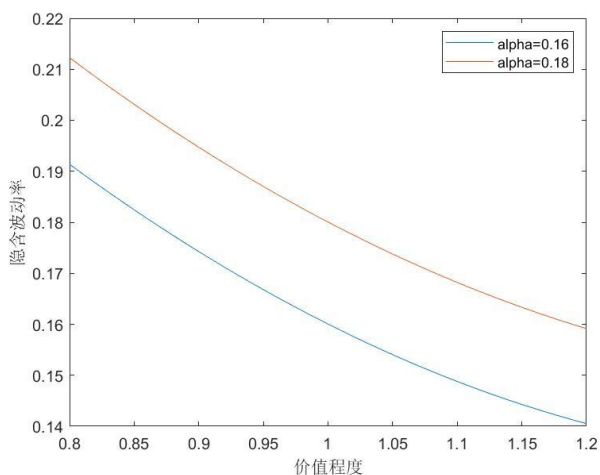
α 控制曲线的整体位置, α 增加曲线整体向右上方移动;

β 表示远期价格与 ATM 隐含波动率的关系，可以控制曲线的偏斜情况；

v 控制的是曲线的凸度；

ρ 与 β 的作用相似，控制的是曲线的偏斜程度。

图 1: 改变参数 α (alpha) 对曲线的影响



资料来源：渤海证券研究所

图 2: 改变参数 β (beta) 对曲线的影响

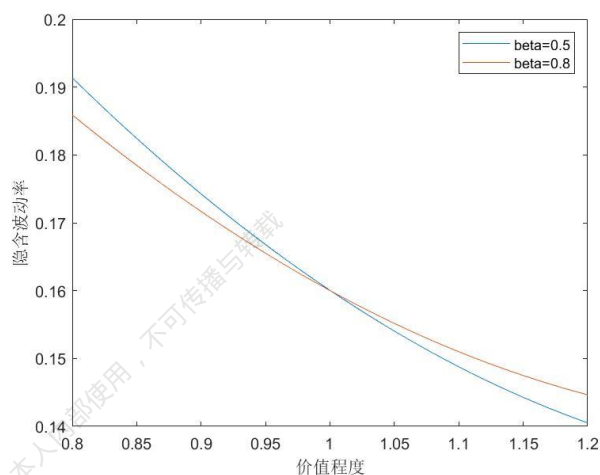
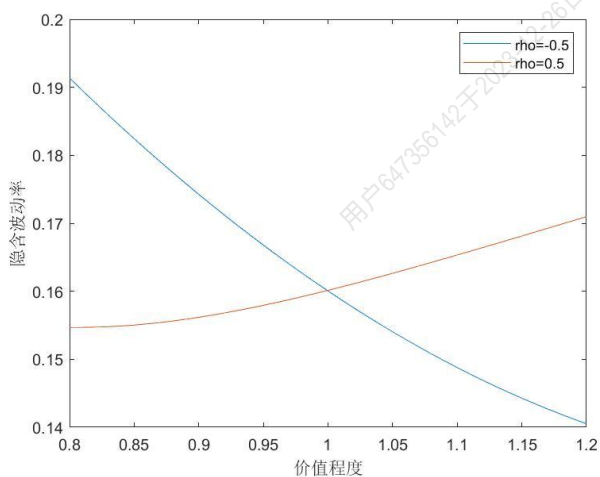
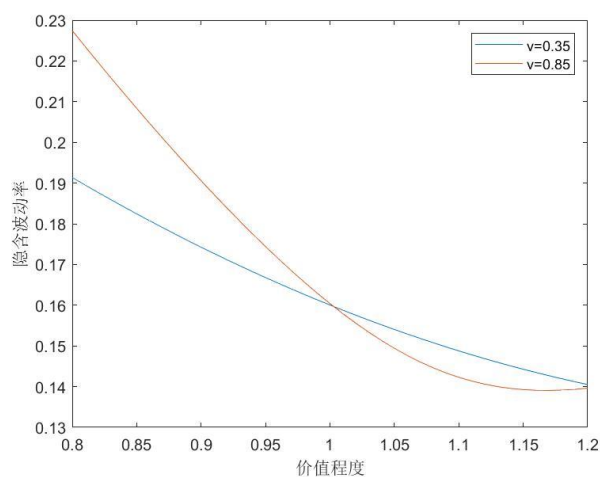


图 3: 改变参数 ρ (rho) 对曲线的影响



资料来源：渤海证券研究所

图 4: 改变参数 v 对曲线的影响



Hagan 等（2002）利用奇异摄动（Singular Perturbation）技术得到 SABR 模型下的期权价格，并给出了隐含波动率的表达式：

$$\sigma_B(F, K) = \frac{\alpha \left\{ 1 + \left[\frac{(1-\beta)^2}{24} \frac{\alpha^2}{(FK)^{1-\beta}} + \frac{1}{4} \frac{\rho\beta v\alpha}{(FK)^{(1-\beta)/2}} + \frac{2-3\rho^2}{24} v^2 \right] T + \dots \right\}}{(FK)^{(1-\beta)/2} \left\{ 1 + \frac{(1-\beta)^2}{24} \log^2(F/K) + \frac{(1-\beta)^4}{1920} \log^4(F/K) + \dots \right\}} \left(\frac{z}{x(z)} \right)$$

$$z = \frac{v}{\alpha} (FK)^{(1-\beta)/2} \log(F/K)$$

$$x(z) = \log \left\{ \frac{\sqrt{1 - 2\rho z + z^2} + z - \rho}{1 - \rho} \right\}$$

相对而言，Heston 模型比较复杂，更多运用于期权定价上，而 SABR 更多运用于隐含波动率曲面的构建。

3. 参数化模型

参数化模型是使用特定的参数化公式直接对隐含波动率曲面进行拟合，由于简单易行，算法复杂度低的特点，在业界得到广泛运用。

参数化模型主要包括以下几种：

- SVI 及其扩展模型；
- 多项式模型；
- 基于熵的参数化模型；
- 基于加权位移对数正态分布的参数化模型。

其中以 SVI 及其扩展模型在实际中应用最广。

3.1 SVI 模型

SVI (Stochastic Volatility Inspired) 模型是由美林证券 (Merrill Lynch) 1999 年设计使用，并于 2004 年由 Gatheral 在一次会议上公开展示的一种波动率模型。从名字也可以看出，该模型是受随机波动率模型的启发，然后对隐含波动率曲面进行参数化建模的模型。

SVI 模型假设隐含方差符合以下公式：

$$w(k; a, b, \sigma, \rho, m) = a + b \left(\rho(k - m) + \sqrt{(k - m)^2 + \sigma^2} \right)$$

其中 $k = \ln\left(\frac{K}{F}\right)$ 为期权的价值程度， $a \in \mathbb{R}, b \geq 0, |\rho| < 1, m \in \mathbb{R}, \sigma > 0$ ，因此

$a + b\sigma\sqrt{1 - \rho^2} \geq 0$ ，可以保证隐含方差非负。各参数对曲线的影响如下：

a 决定了方差的整体水平，可以使曲线上下移动；

b 决定了左右渐近线之间的张角， b 越大张角越小；

σ 决定了曲线顶点处的平滑程度， σ 越大越平滑；

ρ 决定了曲线的方向，减小 ρ 可以对曲线进行顺时针旋转调整；

m 决定了曲线的水平位置，可以对曲线进行左右平移。

图 5: 改变参数 a 对曲线的影响

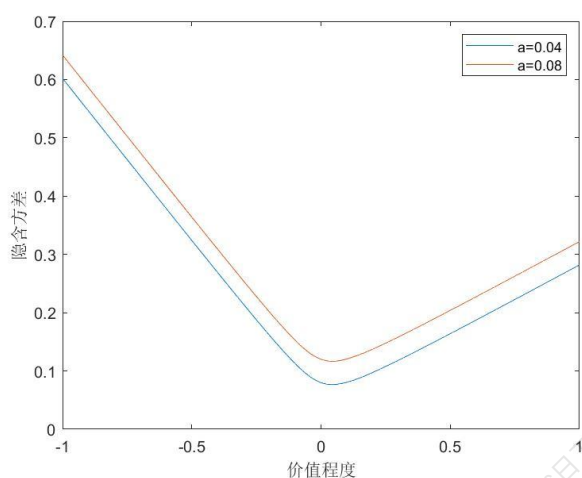
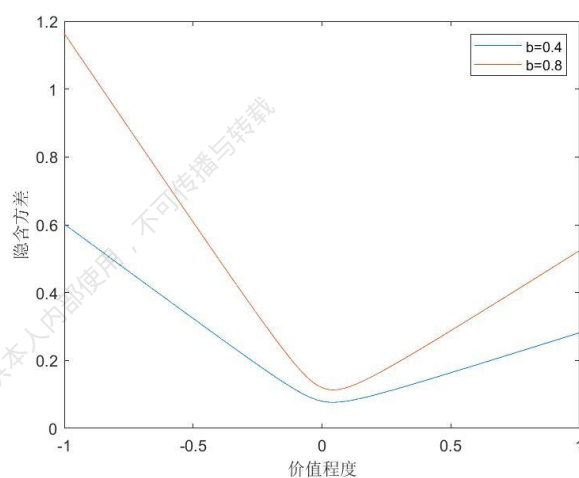


图 6: 改变参数 b 对曲线的影响



资料来源：渤海证券研究所

图 7: 改变参数 σ (sigma) 对曲线的影响

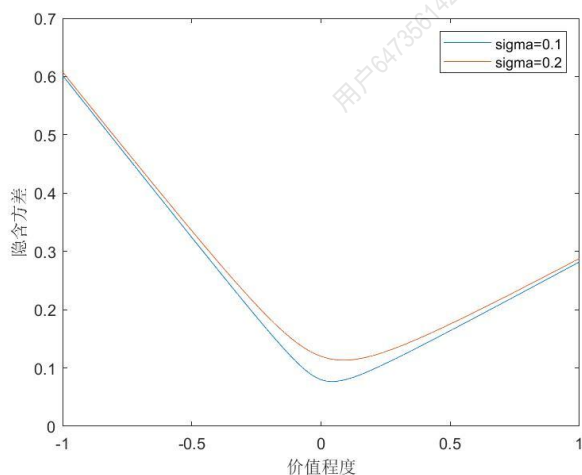
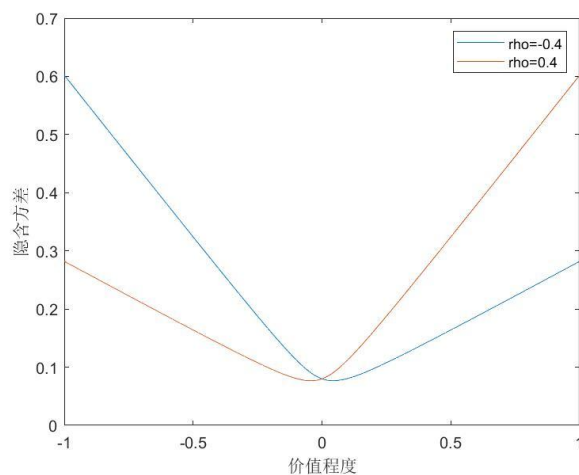
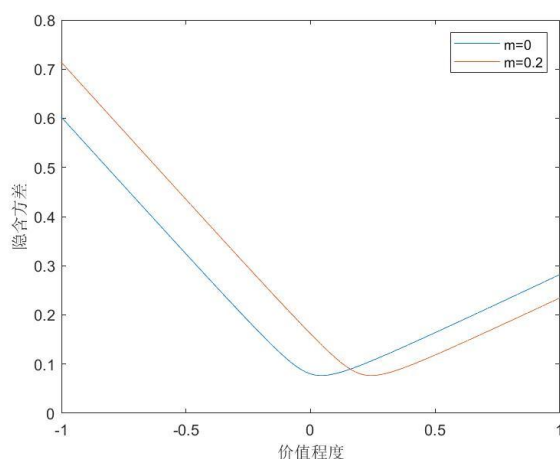


图 8: 改变参数 ρ (rho) 对曲线的影响



资料来源：渤海证券研究所

图 9: 改变参数 m 对曲线的影响



资料来源：渤海证券研究所

曲线左右两端的渐近线分别为：

$$w_L(k; a, b, \sigma, \rho, m) = a - b(1 - \rho)(k - m)$$

$$w_R(k; a, b, \sigma, \rho, m) = a + b(1 + \rho)(k - m)$$

这符合 Roger Lee 推出的动量公式，也即是说方差在价值程度极大或极小的时候呈现逼近线性的变化。

SVI 模型可以通过准显示校准（Quasi explicit calibration）方法求解，可以实现优化问题的降维，将 5 维转化为 2 维。

原优化问题是：

$$\arg \min_{\{a, b, \sigma, \rho, m\}} \sum_i^N \left(w(k; a, b, \sigma, \rho, m) - (\sigma_i^{MKT})^2 \right)^2$$

可以对变量进行一下改变，令：

$$y = \frac{k - m}{\sigma}$$

则总体方差：

$$\tilde{v}(y) = wT = aT + b\sigma T \left(\rho y + \sqrt{y^2 + 1} \right)$$

重新定义参数：

$$c = b\sigma T$$

$$d = \rho b\sigma T$$

$$\tilde{a} = aT$$

$$\text{则 } \tilde{v}(y) = \tilde{a} + dy + c\sqrt{y^2 + 1}。$$

这样，对于固定的 SVI 模型的参数转化为求解以下优化问题：

$$\arg \min_{\{\sigma, m\}} \sum_i^N \left(w(k; \sigma, m, a^*, b^*, \rho^*) - (\sigma_i^{MKT})^2 \right)^2$$

Gatheral 等（2011）证明了当剩余期限趋近于无穷时，Heston 模型收敛于 SVI 模型，二者之间建立的这种联系大大提升了 SVI 模型的理论意义。

SVI-JW 模型

SVI 模型的各个参数并没有明确直观的市场意义，Gatheral 受高盛 Tim Klassen 的启发，将 SVI 模型的参数进行等价变换，得到 SVI-Jump-Wings（SVI-JW）模型，SVI-JW 模型的参数更具实际意义。

变换过程如下：

$$v_t = \frac{h + l(-\rho m + \sqrt{m^2 + \sigma^2})}{t}$$

$$\psi_t = \frac{1}{\sqrt{w_t}} \frac{b}{2} \left(\frac{m}{\sqrt{m^2 + \sigma^2}} + \rho \right)$$

$$p_t = \frac{1}{\sqrt{w_t}} b(1 - \rho)$$

$$c_t = \frac{1}{\sqrt{w_t}} b(1 + \rho)$$

$$\tilde{v}_t = \frac{a + b\sigma\sqrt{1 - \rho^2}}{t}$$

$$w_t := v_t t$$

SVI-JW 模型中，各参数的解释如下：

v_i 为平值期权的方差；

w_i 为曲线在平值期权位置的偏斜程度；

p_i 为左翼（认沽）的斜率；

c_i 为右翼（认购）的斜率；

\tilde{v}_i 为隐含方差的最小值。

Arbitrage free SVI 模型

实际中使用 SVI 模型需要考虑构建的波动率曲面是否存在套利机会。学术上从理论上已证明 SVI 模型当且仅当满足无跨期套利（calendar arbitrage）和无蝶式套利（butterfly arbitrage）两个条件是不存在静态套利的机会。原始的 SVI 模型已被证明不存在跨期套利，即到期日不同，两条隐含方差曲线不会相交，Gatheral（2013）在 SVI 模型上进行扩展的 Surface SVI（SSVI）模型可以解决蝶式套利的问题，从而使得 SVI 模型不存在无风险套利。

3.2 其他参数化模型

多项式模型

Dumas 等（1996）提出了用多项式模型对隐含波动率曲面进行拟合，假设隐含波动率是价值程度 $M = \ln(F / K) / \sqrt{T}$ 的二次多项式：

$$\sigma(M, T) = b_1 + b_2 M + b_3 M^2 + b_4 T + b_5 M T$$

该模型最早用于石油市场中，但由于事先确定了隐含波动率的二次多项式形式，因此模型只能给出波动率的平均形态，提高多形式的阶数也不能解决该问题。

这种参数化方法还存在其他明显的缺陷，一是不能保证得到的波动率曲面是无套利的，二是不能有效刻画波动率曲面的动态变化过程。

基于熵的参数化模型

基于熵的参数化模型利用熵最大化构建标的资产最终价格在风险中性测度下的隐含概率密度函数。

给定执行价格为 $K_j, j = 1 \dots M$ 的期权的市场价格, 最大化基于 Renyi 熵的密度函数:

$$p(x) = \left(\lambda + \beta_0 x + \sum_{j=1}^M \beta_j (x - K_j)^+ \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}$$

$\alpha, \lambda, \beta_0, \dots, \beta_M$ 等参数可通过上述公式进行校准。

这种方法可以从衍生品价格中准确地提取出标的资产的尾部分布, 但缺点是要求输入的数据本身是无套利的, 否则算法就失效了。

基于加权位移对数正态分布的参数化模型

基于加权位移对数正态分布的参数化模型在尽可能贴合实际成交价格的基础上, 可以生成在时间和空间上无套利的波动率曲面。

该模型中 t_0 时刻行权价为 K 、存续期为 T 的期权价格可以通过 N 个函数的加权组合来估计:

$$\sum_{i=1}^N a_i(T) F_i(t_0, S_0, P(T); K, T)$$

其中 $a_i(T)$ 为加权重数, $P(T)$ 为零息债的价格。

用于加权的函数需要满足“没有免费午餐”的限制, 对数正态分布就是满足这种限制的分布族之一。模型中的函数可以使用 BSM 公式, BSM 公式中的行权价根据累计分红不断位移调整:

$$F_i(t_0, S_0, P(T); K, T) = Call_{BSM}(t_0, S_0, P(T); \hat{K}(1 + \mu_i(T)), T, \sigma_i)$$

其中 $\hat{K} = K + D(0, t)$, 为经分红调整后的行权价, $D(0, t)$ 为 0-t 时刻间的累计分红。

4. 动态模型

前文提到的隐含波动率曲面模型多是根据期权市场价格来校准参数，捕捉隐含波动率微笑和偏斜等特征。此外，还有一类波动率曲面模型是直接对隐含波动率的动态变化进行建模，这类模型通常假设波动率曲面的初始值已知，并随时间连续地变化。

Carr 和 Wu (2010) 提出的 Vega-Gamma-Vanna-Volga (VGVV) 方法是动态模型中的代表之一。顾名思义，VGVV 模型与期权的这 4 个希腊字母联系起来。该模型假设隐含波动率曲面和标的价格受两个存在一定相关性的布朗运动驱动，结合 BSM 模型下各希腊字母的解析解，可以得到刻画隐含波动率曲面的方程。

将隐含方差的动态变化用参数化模型进行表示，假设隐含方差的动态过程服从均值回复平方根过程，可以得到 SRV (square root variance) 模型，隐含波动率曲面可以简化为标准化价值程度和存续期的二次方程；假设动态过程服从那个均值回复对数正态过程，可以得到 LNV (lognormal variance) 模型，隐含波动率曲面可以简化为对数价值程度和存续期的二次方程。

SRV 模型

SRV 模型假设隐含方差的动态过程服从均值回复平方根过程：

$$dI^2(t) = \kappa(t)[\theta(t) - I^2(t)]dt + 2\omega(t)e^{-\eta(t)(T-t)}I(t)dZ(t)$$

$$\text{令存续期 } \tau = T - t, \text{ 标准化价值程度 } z(t) = \frac{\ln(K / S(t)) + 0.5I^2\tau}{I\sqrt{\tau}},$$

则隐含波动率服从以下方程：

$$(1 + \kappa(t))I^2(z, \tau) + (\omega^2(t)e^{-2\eta(t)\tau}\tau^{1.5}z)I(z, \tau) - [(\kappa(t)\theta(t) - \omega^2(t)e^{-2\eta(t)\tau})\tau + v(t) + 2\rho(t)\sqrt{v(t)}e^{-\eta(t)\tau}\sqrt{\tau}z + \omega^2(t)e^{-2\eta(t)\tau}\tau z^2] = 0$$

LNV 模型

LNV 模型假设隐含方差的动态过程服从均值回复对数正态过程：

$$dI^2(t) = \kappa(t)[\theta(t) - I^2(t)]dt + 2\omega(t)e^{-\eta(t)(T-t)}I(t)dZ(t)$$

令存续期 $\tau = T - t$ ，对数价值程度 $k(t) = \ln(K / S(t))$ ，

则隐含波动率服从以下方程：

$$\begin{aligned} & \frac{\omega^2(t)}{4} e^{-2\eta(t)\tau} \tau^2 I^4(k, \tau) + [1 + \kappa(t)\tau + \omega^2(t) e^{-2\eta(t)\tau} \tau - \rho(t) \sqrt{v(t)} \omega(t) e^{-\eta(t)\tau}] I^2(z, \tau) \\ & - [v(t) + \kappa\theta(t)\tau + 2\rho(t) \sqrt{v(t)} e^{-\eta(t)\tau} k + \omega^2(t) e^{-2\eta(t)\tau} k^2] = 0 \end{aligned}$$

SRV 和 LNV 模型均有 6 个时变的随机系数，整个波动率曲面的动态变化由这 6 个系数决定。

5. 总结与展望

隐含波动率曲面模型众多，本文对随机波动率模型、参数化模型和动态模型三个方向上的主要模型进行了理论上的简单梳理。未来我们将对部分在业界得到广泛应用的模型，如 SABR 模型、SVI 模型，在中国期权市场中的应用进行更深入的分析。

参考文献

- [1] Homescu C. Implied volatility surface: construction methodologies and characteristics [J]. SSRN, 2011.
- [2] Derman E. The Volatility Smile[M].
- [3] Crisóstomo R. An analysis of the heston stochastic volatility model: implementation and calibration using matlab[J]. SSRN, 2014.
- [4] Hagan P S, Lesniewski A S. Managing smile risk[J]. The Best of Wilmott, 2002: 249.
- [5] Gatheral J. A parsimonious arbitrage-free implied volatility parameterization with application to the valuation of volatility derivatives[J]. Presentation at Global Derivatives & Risk, 2004.
- [6] Gatheral J. The Volatility Surface: A practitioner's guide[M].
- [7] Gatheral J, Jacquier A. Arbitrage-free SVI volatility surfaces [J]. Quantitative Finance, 2014, 14(1):59-71.
- [8] Carr P, Wu L. A new simple approach for constructing implied volatility surfaces [J]. SSRN, 2010.

风险提示

模型有诸多偏离实际的假设，存在模型失效的风险。

用户647356142于2023-12-26日下载，仅供本人内部使用，不可传播与转载

投资评级说明

项目名称	投资评级	评级说明
公司评级标准	买入	未来 6 个月内相对沪深 300 指数涨幅超过 20%
	增持	未来 6 个月内相对沪深 300 指数涨幅介于 10%~20%之间
	中性	未来 6 个月内相对沪深 300 指数涨幅介于-10%~10%之间
	减持	未来 6 个月内相对沪深 300 指数跌幅超过 10%
行业评级标准	看好	未来 12 个月内相对于沪深 300 指数涨幅超过 10%
	中性	未来 12 个月内相对于沪深 300 指数涨幅介于-10%-10%之间
	看淡	未来 12 个月内相对于沪深 300 指数跌幅超过 10%

免责声明：本报告中的信息均来源于已公开的资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，不保证该信息未经任何更新，也不保证本公司做出的任何建议不会发生任何变更。在任何情况下，报告中的信息或所表达的意见并不构成所述证券买卖的出价或询价。在任何情况下，我公司不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的担保，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失书面或口头承诺均为无效。我公司及其关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行或财务顾问服务。我公司的关联机构或个人可能在本报告公开发表之前已经使用或了解其中的信息。本报告的版权归渤海证券股份有限公司所有，未获得渤海证券股份有限公司事先书面授权，任何人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。如引用、刊发，需注明出处为“渤海证券股份有限公司”，也不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。

渤海证券股份有限公司研究所

所长&金融行业研究

张继袖
+86 22 2845 1845

副所长&产品研发部经理

崔健
+86 22 2845 1618

计算机行业研究小组

徐中华
+86 10 6810 4898
张源
+86 22 2383 9067

汽车行业研究小组

郑连声
+86 22 2845 1904
陈兰芳
+86 22 2383 9069

餐饮旅游行业研究

杨旭
+86 22 2845 1879

食品饮料行业研究

刘瑀
+86 22 2386 1670

医药行业研究小组

徐勇
+86 10 6810 4602
甘英健
+86 22 2383 9063
陈晨
+86 22 2383 9062
张山峰
+86 22 2383 9136

电力设备与新能源行业研究

郑连声
+86 22 2845 1904
滕飞
+86 10 6810 4686

非银金融行业研究

张继袖
+86 22 2845 1845
王磊
+86 22 2845 1802

电子行业研究

徐勇
+86 10 6810 4602
邓果一
+86 22 2383 9154

通信行业研究

徐勇
+86 10 6810 4602

传媒行业研究

姚磊
+86 22 2383 9065

固定收益研究

崔健
+86 22 2845 1618
朱林宁
+86 22 2387 3123
张婧怡
+86 22 2383 9130

固定收益研究

崔健
+86 22 2845 1618
夏捷
+86 22 2386 1355
马丽娜
+86 22 2386 9129

金融工程研究

宋旻
+86 22 2845 1131
张世良
+86 22 2383 9061
陈菊
+86 22 2383 9135

金融工程研究

祝涛
+86 22 2845 1653
郝惊
+86 22 2386 1600

宏观、战略研究&部门经理

周喜
+86 22 2845 1972

策略研究

宋亦威
+86 22 2386 1608
严佩佩
+86 22 2383 9070

博士后工作站

张佳佳 资产配置
+86 22 2383 9072
张一帆 公用事业、信用评级
+86 22 2383 9073
苏菲 绿色债券
+86 22 2383 9026

综合管理

齐艳莉 (部门经理)
+86 22 2845 1625
李思琦
+86 22 2383 9132

机构销售•投资顾问

朱艳君
+86 22 2845 1995
王文君
+86 10 6810 4637

合规管理&部门经理

任宪功
+86 10 6810 4615

风控专员

张敬华
+86 10 6810 4651

渤海证券研究所

天津

天津市南开区水上公园东路宁汇大厦 A 座写字楼

邮政编码: 300381

电话: (022) 28451888

传真: (022) 28451615

北京

北京市西城区西直门外大街甲 143 号 凯旋大厦 A 座 2 层

邮政编码: 100086

电话: (010) 68104192

传真: (010) 68104192

渤海证券研究所网址: www.ewww.com.cn