

# 熵定价公式的套期保值参数研究及其在动态对冲中的应用

阮鑫丰, 朱文莉

(西南财经大学经济数学学院, 成都 610074)

**摘要:** 在不完全市场条件下, 对熵定价公式进行推导; 在此基础上, 推导出熵定价公式的套期保值参数的求解公式; 并利用套期保值参数, 对在熵定价模型下的动态对冲进行了研究。

**关键词:** 熵定价; 对冲; 套期保值参数; 风险管理; 不完全市场

**中图分类号:** F830.9; O211.6

**文献标志码:** A

现代金融学经历了两次革命, 分别是 1952 年 Markowitz 的证券组合选择理论和 1973 年 Black 和 Scholes 的 BS 期权定价公式的问世, 其中期权定价是现代金融学一个非常重要的研究方向。B-S 公式是建立在完全市场假设的基础上推导而来的, 但是实际中的金融市场是不完全的, 所以有必要找到一种可以在不完全市场中进行期权定价的方法。熵定价理论是一种可以适应于不完全市场下进行定价的非常完美的方法。

熵分析方法来源于 Shannon 发展的信息熵理论, 他采用了用熵来度量信息。后来由 Jaynes 进行了对熵函数的推广, Benchen、Kelly、Stuzer、Rubinstein、Jackwerth 和 Gulko 等人<sup>[1-10]</sup>进一步发展了熵理论在期权定价上的运用。在国内, 邱苑华、李兴斯和周荣喜等人<sup>[11-15]</sup>在积极推广熵理论在我国的应用。

本文通过对文献[11]的重新推导和论证, 发现文献[11]对套期保值参数的求解是错误的, 并且给出正确的结论。

## 1 熵定价理论

对变量假设如下:

(i) 当前时刻  $T = 0$ , 标的资产价格为  $S$ , 到期时刻

为  $T > 0$ , 敲定价格为  $K$ , 到期执行价格为  $S_T$ ,  $S_T \in F = [0, +\infty]$ , 其方差为  $\sigma^2$ , 折现因子为  $P$ , 利率为  $r$ 。

(ii) 标的资产的衍生期权在 0 时刻的价格  $O = PE_f[V(S_T)]$ ,  $E_f[\cdot]$  是关于风险中性下的密度函数  $f(S_T)$  的期望,  $V(S_T)$  是在  $T$  时刻的支付。

(iii) 给定信息集  $F = \{[0, +\infty], S, P, \sigma^2\}$ , 假设现在有一个恒定现金流  $x_t = x(t)$ , 且使得对  $S_T$  概率密度函数  $f(S_T)$  的求解化成对  $x_T$  概率密度函数  $f(x_T)$  的求解,  $f(x_T)$  表示  $x_T$  在  $F = [0, +\infty]$  下市场信念。

定义熵函数  $H(g) = -\int_F g \log(g) dx_T$  表示  $x_T = S_T$  的不确定市场指数, 引进 CIR 模型并进行适当修改, 使得某种标的资产的价格服从形式:

$$dx = (-bx + c)dt + \sqrt{2ax}d\omega$$

其中,  $d\omega$  是标准布朗运动,  $E(d\omega) = 0$ ,  $Var(d\omega) = dt$ , 常数  $a, b, c > 0$ 。若  $g(x_T, T | x_0, 0)$  表示  $x_T$  的条件密度函数, 满足倒向 Kolmogorov 方程, 即

$$axg_{xx} + (bx + c)g_x = g_t$$

因而要求使得满足熵函数  $H(g)$  最大化的  $f(x_T)$ , 只需对模型(1)进行求解。

$$\max_g - \int_F g \log(g) dx_T$$

收稿日期: 2012-06-23

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(JBK120213)

作者简介: 阮鑫丰(1988-), 男, 浙江绍兴人, 硕士, 主要从事金融数学与金融工程方面的研究, (E-mail) raunxinf@gmail.com

$$s. t. \begin{cases} \int_F g dx_T = 1 \\ \int_F g x_T dx_T = S/P \\ \int_F g x_T^2 dx_T = \sigma^2 + (S/P)^2 \\ axg_{xx} + (bx + c)g_x = g_t \\ g(x_T, T | x_0, 0) > 0 \\ F = [0, +\infty] \end{cases} \quad (1)$$

引理 1<sup>[2]</sup> 对模型(1)进行求解, 其解为 Gamma 密度函数, 记为

$$f(S_T) = \gamma(S_T | u, v) \equiv \frac{u^v}{\Gamma(v)} S_T^{v-1} e^{-uS_T} \quad (2)$$

其中,  $u = \frac{(S/P)}{\sigma^2}$ ,  $v = \frac{(S/P)^2}{\sigma^2}$ ,  $S_T = x_T$ 。则 Gamma 的分布函数记为  $G(y | u, v) = \int_0^y \gamma(z | u, v) dz$ , 并且  $\bar{G}(y | u, v) = 1 - G(y | u, v)$ 。

根据熵定价理论, 从标的资产价格服从 CIR 模型所推得的 Gamma 密度函数适用于许多相似价格过程的情况。更加深入的发现, Gamma 密度函数的参数只和  $P, S, \sigma$  有关, 与具体标的资产运动模型的参数无关, 这大大扩展了 Gamma 密度函数的使用范围, 也能更加准确地估计市场。

根据熵定价理论, 从标的资产价格服从 CIR 模型所推得的 Gamma 密度函数适用于许多相似价格过程的情况。更加深入的发现, Gamma 密度函数的参数只和  $P, S, \sigma$  有关, 与具体标的资产运动模型的参数无关, 这大大扩展了 Gamma 密度函数的使用范围, 也能更加准确地估计市场。

标的资产衍生出来的看涨欧式期权的到期的支付为  $\max\{0, S_T - K\}$ , 看跌欧式期权的支付为  $\max\{0, K - S_T\}$ 。

引理 2<sup>[2]</sup> 基于上述讨论, 给出欧式熵分析模型的定价公式:

$$Call = S \bar{G}(uK | 1, v + 1) - PK \bar{G}(uK | 1, v)$$

$$Put = PKG(uK | 1, v) - SG(uK | 1, v + 1)$$

## 2 套期保值参数

### 2.1 E-Delta

定义 1 在熵定价理论下, 期权价格对原生资产的变化率称为 E-Delta。

定理 1 在熵定价理论下, 欧式看涨期权和欧式看跌期权的 E-Delta 分别为

$$E-Delta_{Call} = 1 - G(uK | 1, v + 1) - 2vF(uK | 1, v + 1) + 2uKF(uK | 1, v)$$

$$E-Delta_{Put} = -G(uK | 1, v + 1) - 2vF(uK | 1, v + 1) + 2uKF(uK | 1, v)$$

且  $E-Delta_{Put} = E-Delta_{Call} - 1$ 。

其中

$$F(uK | 1, v) =$$

$$\int_0^{uK} \frac{x^{v-1} \ln x \Gamma(v) - x^{v-1} \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln y e^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} e^{-x} dx$$

证明  $E-Delta_{Call} = \frac{\partial Call}{\partial S} =$

$$\frac{\partial \left\{ S \left[ 1 - \int_0^{uK} \frac{1}{\Gamma(v+1)} x^v e^{-x} dx \right] - PK \left[ 1 - \int_0^{uK} \frac{1}{\Gamma(v)} x^{v-1} e^{-x} dx \right] \right\}}{\partial S} =$$

$$\left[ 1 - \int_0^{uK} \frac{1}{\Gamma(v+1)} x^v e^{-x} dx \right] + S \frac{\partial \left[ 1 - \int_0^{uK} \frac{1}{\Gamma(v+1)} x^v e^{-x} dx \right]}{\partial S} -$$

$$PK \frac{\partial \left[ 1 - \int_0^{uK} \frac{1}{\Gamma(v)} x^{v-1} e^{-x} dx \right]}{\partial S} =$$

$$\left[ 1 - \int_0^{uK} \frac{1}{\Gamma(v+1)} x^v e^{-x} dx \right] -$$

$$2v \left[ \int_0^{uK} \frac{x^v \ln x \Gamma(v+1) - x^v \int_0^{+\infty} y^v \ln y e^{-y} dy}{[\Gamma(v+1)]^2} e^{-x} dx \right] +$$

$$2uK \left[ \int_0^{uK} \frac{x^{v-1} \ln x \Gamma(v) - x^{v-1} \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln y e^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} e^{-x} dx \right]$$

记

$$F(uK | 1, v) = \int_0^{uK} \frac{x^{v-1} \ln x \Gamma(v) - x^{v-1} \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln y e^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} e^{-x} dx$$

从而

$$E-Delta_{Call} = 1 - G(uK | 1, v + 1) -$$

$$2vF(uK | 1, v + 1) + 2uKF(uK | 1, v)$$

同理可证

$$E-Delta_{Put} = -G(uK | 1, v + 1) -$$

$$2vF(uK | 1, v + 1) + 2uKF(uK | 1, v)$$

显然有  $E-Delta_{Put} = E-Delta_{Call} - 1$ 。

### 2.2 E-Gamma

定义 2 在熵定价理论下, E-Delta 对于原生资产的变化率称为 E-Gamma。

定理 2 在熵定价理论下, 欧式看涨期权和欧式看跌期权的 E-Gamma 相等且满足

$$E-Gamma_{Call} = E-Gamma_{Put} =$$

$$\left( \frac{2K}{P\sigma^2} + \frac{2uK}{S} \right) F(uK | 1, v) -$$

$$\left( \frac{4S}{P^2\sigma^2} + \frac{2v}{S} \right) F(uK | 1, v + 1) +$$

$$\frac{2K}{P\sigma^2} (uK)^v H(uK | 1, v) - \frac{2vK}{P\sigma^2} (uK)^v H(uK | 1, v + 1) +$$

$$2uK \frac{2S}{P^2\sigma^2}L(uK|1, v) - \frac{4uv}{P}L(uK|1, v+1)$$

其中,

$$H(uK|1, v) = e^{-uK} \frac{\ln(uK)\Gamma(v) - \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2}$$

$$L(uK|1, v) = \int_0^{uK} \left\{ \frac{\ln^2 x}{\Gamma(v)} - \frac{2\ln x \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} - \right.$$

$$\left. \frac{\int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln^2 ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} + \frac{2[\int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy]^2}{[\Gamma(v)]^3} \right\} x^{v-1} e^{-x} dx$$

证明  $E\text{-Gamma}_{Call} =$

$$- \frac{1}{P\sigma^2}F(uK|1, v+1) + \frac{2u}{S}KF(uK|1, v) +$$

$$\frac{2K}{P\sigma^2}F(uK|1, v) +$$

$$\frac{2K}{P\sigma^2}(uK)^v e^{-uK} \frac{\ln(uK)\Gamma(v) - \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} +$$

$$2uK \frac{2S}{P^2\sigma^2} \int_0^{uK} \left\{ \frac{\ln^2 x}{\Gamma(v)} - \frac{2\ln x \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} - \right.$$

$$\left. \frac{\int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln^2 ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} + \frac{2[\int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy]^2}{[\Gamma(v)]^3} \right\} x^{v-1} e^{-x} dx -$$

$$\frac{4S}{P^2\sigma^2}F(uK|1, v+1) -$$

$$e^{-uK} \frac{2vK}{P\sigma^2} \frac{(uK)^v \ln(uK)\Gamma(v+1) - (uK)^v \int_0^{+\infty} y^v \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v+1)]^2} =$$

$$\left( \frac{2K}{P\sigma^2} + \frac{2uK}{S} \right) F(uK|1, v) -$$

$$\left( \frac{4S}{P^2\sigma^2} + \frac{1}{P\sigma^2} \right) F(uK|1, v+1) +$$

$$\frac{2K}{P\sigma^2}(uK)^v e^{-uK} \frac{\ln(uK)\Gamma(v) - \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} -$$

$$\frac{2vK}{P\sigma^2}(uK)^v e^{-uK} \frac{\ln(uK)\Gamma(v+1) - \int_0^{+\infty} y^v \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v+1)]^2} +$$

$$2uK \frac{2S}{P^2\sigma^2} \int_0^{uK} \left\{ \frac{\ln^2 x}{\Gamma(v)} - \frac{2\ln x \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} - \right.$$

$$\left. \frac{\int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln^2 ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} + \frac{2[\int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy]^2}{[\Gamma(v)]^3} \right\} x^{v-1} e^{-x} dx -$$

$$\frac{4uv}{P} \int_0^{uK} \left\{ \frac{\ln^2 x}{\Gamma(v+1)} - \frac{2\ln x \int_0^{+\infty} y^v \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v+1)]^2} - \right.$$

$$\left. \frac{\int_0^{+\infty} y^v \ln^2 ye^{-y} dy}{[\Gamma(v+1)]^2} + \frac{2[\int_0^{+\infty} y^v \ln ye^{-y} dy]^2}{[\Gamma(v+1)]^3} \right\} x^v e^{-x} dx$$

记

$$H(uK|1, v) = e^{-uK} \frac{\ln(uK)\Gamma(v) - \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2}$$

$$L(uK|1, v) = \int_0^{uK} \left\{ \frac{\ln^2 x}{\Gamma(v)} - \frac{2\ln x \int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} - \right.$$

$$\left. \frac{\int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln^2 ye^{-y} dy}{[\Gamma(v)]^2} + \frac{2[\int_0^{+\infty} y^{v-1} \ln ye^{-y} dy]^2}{[\Gamma(v)]^3} \right\} x^{v-1} e^{-x} dx$$

从而

$$E\text{-Gamma}_{Call} = \left( \frac{2K}{P\sigma^2} + \frac{2uK}{S} \right) F(uK|1, v) -$$

$$\left( \frac{4S}{P^2\sigma^2} + \frac{2v}{S} \right) F(uK|1, v+1) +$$

$$\frac{2K}{P\sigma^2}(uK)^v H(uK|1, v) -$$

$$\frac{2vK}{P\sigma^2}(uK)^v H(uK|1, v+1) +$$

$$2uK \frac{2S}{P^2\sigma^2}L(uK|1, v) - \frac{4uv}{P}L(uK|1, v+1)$$

由于  $E\text{-Delta}_{Put} = E\text{-Delta}_{Call} - 1$ , 则  $E\text{-Gamma}_{Put} = E\text{-Gamma}_{Call} \circ$

### 2.3 E-Vega

定义3 在熵定价理论下, 期权价格对波动率的变化率称为  $E\text{-Vega}$ 。

定理3 在熵定价理论下, 欧式看涨期权和欧式看跌期权的  $E\text{-Vega}$  满足:

$$E\text{-Vega}_{Call} = E\text{-Vega}_{Put}$$

$$= \frac{2vS}{\sigma}F(uK|1, v+1) - \frac{2PvK}{\sigma}F(uK|1, v)$$

由此可知, 文献[11]中结果  $\frac{\partial Put}{\partial \sigma} = \frac{\partial Call}{\partial \sigma} = 0$  是错误的。因为如果波动率对期权价值没有影响的话, 那么期权就失去了它的价值, 而实际上我们知道波动率越大期权价值越大并且文献[2]中也给出了  $\frac{\partial Put}{\partial \sigma^2} = \frac{\partial Call}{\partial \sigma^2} >$

0 的结论。

当  $K = 3, T = 90/365, S = 2, r = 0.01$ ,  $\sigma$  从 0.1 变到 0.9, E-Call 的价格的变化如图 1 所示。由图 1 可知, 看涨期权的价格随着  $\sigma$  的增加也增加, 说明  $\frac{\partial Call}{\partial \sigma} = 0$  是错误的, 而应该是  $\frac{\partial Call}{\partial \sigma} > 0$ 。

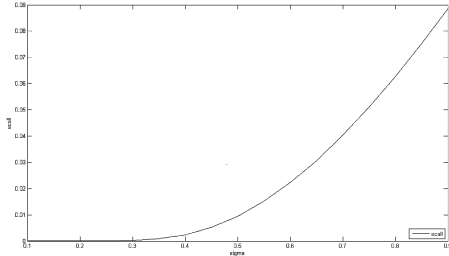


图 1 E-Call 的价格变化

### 2.4 E-Rho

**定义 4** 在熵定价理论下, 期权价格对利率的变化率称为 E-Rho。

**定理 4** 在熵定价理论下, 欧式看涨期权和欧式看跌期权的 E-Rho 分别为:

$$E-Rho_{Call} = te^{-rt}K[1 - G(uK | 1, v)] - 2tvSF(uK | 1, v + 1) + 2te^{-rt}vKF(uK | 1, v)$$

$$E-Rho_{Put} = -te^{-rt}KG(uK | 1, v) - 2tvSF(uK | 1, v) + 2te^{-rt}vKF(uK | 1, v + 1)$$

### 2.5 E-Theta

**定义 5** 在熵定价理论下, 期权费对时间的变化率称为 E-Theta。

**定理 5** 在熵定价理论下, 欧式看涨期权和欧式看跌期权的 E-Theta 分别为:

$$E-Theta_{Call} = re^{-rt}K[1 - G(uK | 1, v)] - 2rvSF(uK | 1, v + 1) + 2re^{-rt}vKF(uK | 1, v)$$

$$E-Theta_{Put} = -re^{-rt}KG(uK | 1, v) - 2rvSF(uK | 1, v) + 2re^{-rt}vKF(uK | 1, v + 1)$$

### 2.6 E-Zeta

**定义 6** 在熵定价理论下, 期权价格对折现因子的变化率称为 E-Zeta。

**定理 6** 在熵定价理论下, 欧式看涨期权和欧式看跌期权的 E-Zeta 分别为:

$$E-Zeta_{Call} = -K \bar{G}(uK | 1, v + 1) + \frac{2vS}{P}F(uK | 1, v + 1) - 2vKF(uK | 1, v)E-Zeta_{Put} = KG(uK | 1, v + 1) + \frac{2vS}{P}F(uK | 1, v + 1) - 2vKF(uK | 1, v)$$

定理 3、4、5、6 皆可仿照定理 1 证明给出。

## 3 基于 EPT 模型的动态对冲

BS 模型下的对冲是建立在完全市场假设前提下的, 而基于 EPT 模型的对冲适用于不完全市场的情况, 为了方便进行求解和实现对冲, 对 EPT 模型对冲作以下假设:

(i) 随机变量  $S, P, \sigma$  生成的标的资产价格服从 Gamma 分布。

(ii) 可以连续交易, 交易没有摩擦。

(iii) 标的资产允许卖空。

(iv) 标的资产可以任意分割。

由于 EPT 模型相对于 BS 模型有三个风险源  $S, P$  和  $\sigma$ , 所以应该使用四种证券进行对冲。在无风险利率下  $r$ , 在时间  $t \in [0, T]$  内, 四种证券分别为股票  $S$ , 债券  $P$ , 两种欧式股票期权  $A$  和  $B, x_1, x_2, x_3, x_4$  分别表示上述各证券的头寸, 其中  $A$  和  $B$  的价格由 EPT 模型决定, 则记投资组合  $W = Sx_1 + Px_2 + Ax_3 + Bx_4$ 。通过在  $t$  时间内不断调整头寸, 来进行对风险对冲。为了计算头寸, 现在分别求  $W$  对  $S, P, \sigma$  的偏导如下, 并用下标表示。

$$W_S = x_1 + A_S x_3 + B_S x_4 = 0$$

$$W_P = x_2 + A_P x_3 + B_P x_4 = 0$$

$$W_\sigma = A_\sigma x_3 + B_\sigma x_4 = 0$$

写成如下矩阵形式

$$\begin{bmatrix} W_S \\ W_P \\ W_\sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & A_S & B_S \\ 0 & 1 & A_P & B_P \\ 0 & 0 & A_\sigma & B_\sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

关于  $x_1, x_2, x_3, x_4$  的线性方程仅有三个方程, 所以要使解唯一, 那就必须增加一个约束条件, 比如令  $x_1 = 1$ , 则上述方程解唯一。满足上述方程的投资组合  $W$  是没有风险暴露的, 即投资组合在瞬时是无风险的。

股票  $S$ , 债券  $P$ , 两种欧式股票期权  $A$  和  $B$  这四种证券可以充分地动态复制具有  $S, P$  和  $\sigma$  三个随机变量的证券价格函数。比如复制一种  $T$  时刻到期的欧式股票期权, 在  $t$  时刻的价格为  $C$ , 那么在  $t$  时刻的复制满足以下方程:

$$[W \ W_S \ W_P \ W_\sigma] = [C \ C_S \ C_P \ C_\sigma]$$

因为它考虑到了意料之外的如  $P$  和  $\sigma$  的变动, 所以这种复制策略比基于 BS 模型的复制策略更加可靠和缜密。同理可以复制股票、无风险债券等。

**例 1** 用债券  $P, A, B, C$  三种欧式期权复制股票  $S$ , 则复制的组合  $V \equiv Px_1 + Ax_2 + Bx_3 + Cx_4, x_1, x_2, x_3, x_4$  为四种证券的头寸。则满足方程:

$$[V \ V_S \ V_P \ V_\sigma] = [S \ S_S \ S_P \ S_\sigma] =$$

$$[S \ 1 \ 0 \ 0]$$

例2 用股票  $S$  和  $A, B, C$  三种欧式期权复制无风险债券  $P$ , 则复制的组合  $U \equiv Sx_1 + Ax_2 + Bx_3 + Cx_4$ , 其中  $x_1, x_2, x_3, x_4$  分别为四种证券的头寸。则满足方程:

$$\begin{bmatrix} U & U_s & U_p & U_\sigma \\ P & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & P_s & P_p & P_\sigma \end{bmatrix} =$$

其中对  $S, \sigma, P$  的偏导由定理 1, 3, 6 给出。

#### 4 结束语

通过对熵定价理论的推导和证明, 本文首先得出了和 BS 公式类似的 EPT 定价公式, 熵定价理论可以用于不完全市场的环境下。在文中, 公式(2)的推导可以放宽到很多类似的标的资产的价格运动形式, 这便减少了对标的资产价格运动假设对求解带来的误差。

本文其次对熵定价公式的套期保值参数进行了推导, 发现了文献[11]的错误之处并进行了修正, 重新讨论了熵定价模型套期保值参数和 B-S 模型的异同。

本文最后讨论了 EPT 动态对冲, 由于模型由更多的风险源驱动, 所以需要更多的证券来进行复制, 这大大提高了其对冲的精确性。本文从熵定价模型的推导下定义了 EPT 动态对冲的思想和求解方法, 为有效实施 EPT 对冲提供了理论基础。

#### 参考文献:

- [1] Jaynes E T. Information theory and statistical mechanics [J]. The Physical Review, 1957, 106(4): 620-630.
- [2] Gulko L. The entropy theory of stock option pricing[J]. International Journal of Theoretical and Applied Finance, 1999, 2(3): 331-355.
- [3] Gulko L. The entropic market hypothesis[J]. International Journal of Theoretical and Applied Finance, 1999, 2(3): 293-329.

- [4] Gulko L. The entropy theory of bond option pricing[J]. International Journal of Theoretical and Applied Finance, 2002, 5(4): 355-383.
- [5] Stutzer M. A simple nonparametric approach to derivative security valuation[J]. Journal of Finance, 1996, 51(5): 1633-1652.
- [6] Stutzer M. Simple entropic derivation of a generalized Black-Scholes option pricing model[J]. Entropy, 2000, 2: 70-77.
- [7] Buchen P W, Kelly M. The maximum entropy distribution of an asset inferred from option prices[J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1996, 31(1): 143-159.
- [8] Breeden D, Litzenberger R H. Prices of state-contingent claims implicit in option prices [J]. Business, 1978, 51: 625.
- [9] Jackwerth J C, Rubinstein M. Recovering probability distributions from contemporaneous security prices[J]. Journal of Finance, 1996, 5: 1611-1631.
- [10] Rubinstein, Mark. Implied binomial trees[J]. Journal of Finance, 1994, 49: 771-818.
- [11] 周荣喜, 王秀国. 基于股票期权定价模型的套期保值参数研究[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2009, 36(2): 100-104.
- [12] 周荣喜, 孙军, 徐建荣. 非完全市场下基于熵定价方法的利率期权估值[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(1): 101-103.
- [13] 李英华, 李兴斯. 期权定价的熵方法[J]. 数学的实践与认识, 2010, 40(5): 30-36.
- [14] 卢立宇. 投资项目优选的多层次熵值评价方法[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2009, 28(4): 86-88.
- [15] 王帮容, 谭丽. 不同分子量阻燃剂迁移行为的数学模型[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2010, 23(5): 524-526.

## Hedging Parameters of the Entropy Pricing Formula and Application in the Dynamic Hedging

RUAN Xin-feng, ZHU Wen-li

(School of Economic Mathematics, South Western University of Finance and Economics, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** In the incomplete market condition, the entropy pricing formula is derived and the hedging parameters formula solution is obtained on this basis. Finally, dynamic hedging of the entropy pricing model is studied with hedging parameters.

**Key words:** entropy pricing; hedge; hedging parameters; risk management; incomplete market