

文章编号:1673-5005(2009)06-0157-04

带有随机汇率因素的三因子期货价格的研究

闫伟¹, 李树荣¹, 郭永恒²

(1. 中国石油大学 信息与控制工程学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石油长城钻探测井公司, 北京 100101)

摘要:引入随机跳跃的汇率因素,首次建立了跳跃扩散过程的标的资产、便利收益和汇率的三因子期货模型,然后推导出期货价格走势满足的偏微分方程,并求出该偏微分方程的解析解,应用加权最小二乘法,给出辨识该解析解参数的方法,最后针对中国上海期货市场,选取燃料油期货的实际例子,求出了具体的参数并预测了未来的走势。预测结果与真实价格的比较证实了三因子期货模型是精确的,最大相对误差仅为3.772%。

关键词:汇率; 期货; 跳跃扩散过程; 偏微分方程

中图分类号:F 830 **文献标识码:**A

Research on futures price with stochastic exchange rate based on three factors

YAN Wei¹, LI Shu-rong¹, GUO Yong-heng²

(1. College of Information and Control Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;
2. Great Wall Drilling Corporation, Beijing 100101, China)

Abstract: Considering stochastic exchange rate, a three-factor futures price model was developed with underlying asset, convenience yield and exchange rate. These factors follow jump-diffusion processes. The corresponding partial differential equation (PDE) of the futures price was derived, and its analytical solution was presented. A weight least squares approach was applied to obtain the parameters of the analytical solution. A fuel futures case in Shanghai exchange market was selected to illustrate the above model and method. The comparison between real-time price and forecasting results show that the three-factor futures price model is accurate, and the maximum relative error is 3.772%.

Key words: exchange rate; futures; jump-diffusion process; partial differential equation

期货作为一种衍生证券越来越得到人们的关注,衍生证券^[1-3]的价格走势起到越来越重要的作用,人们开始重视对它的研究,如 Brennan 等^[4], Schwartz^[5]和 Laughton 等^[6]建立了单因子模型, Gibson 等^[11]、Cortazar 等^[2]和 Schwartz 等^[7]建立了双因子模型。这些模型均是以美元作为基础货币,针对我国国情,必须充分考虑汇率波动的影响。Merton 等^[8,9]曾指出,受外部信息的影响,期货的实际过程不是恒连续的,实证结果^[10]也如此,即模型中的随机过程包含 Brown 运动和 Poisson 跳跃过程。笔者在原有的模型之上加入汇率因素,首次提出更符合市场规律的带有汇率因子的期货模型,并推

导相应的偏微分方程,利用构造性的方法求出解析解,然后采用加权最小二乘法,使得较近的数据更大程度地影响辨识的效果。

1 带有汇率因素的三因子期货模型

在 Cortazar^[2]和 Schwartz^[5]双因子模型的基础上,考虑随机汇率,建立三因子模型。期货的即时价格 S 、便利收益 δ 以及汇率 r 这三个因子满足如下的随机微分方程:

$$\begin{cases} dS = (\mu - \delta + fr)Sdt + \sigma_1 SdW + \varphi_1 SdN, \\ d\delta = \kappa(\alpha - \delta)dt + \sigma_2 dW + \varphi_2 dN, \\ dr = a(m - r)dt + \sigma_3 dW + \varphi_3 dN. \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期:2007-10-12

基金项目:国家“973”项目(2004CB318000)

作者简介:闫伟(1980-),男(汉族),山东东营人,博士研究生,研究方向为最优化、最优控制理论及应用。

式中, μ, κ, a 为调整系数; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ 为波动率; $W = W(t)$ 为完备的概率空间 (Ω^W, L^W, P^W) 上一维标准 Weiner 过程 (L_t^W 为其自然滤波); $N = N(t)$ 为完备的概率空间 (Ω^N, L^N, P^N) 上强度函数为 $v(v \geq 0)$ 的一维 Poisson (泊松) 过程 (L_t^N 为其自然滤波)。标的资产的升值率主要考虑三部分的影响, 即便利收益 δ 、汇率 r (加入调整系数 f 后影响标的资产) 及其他可能因素 μ 。

定义 $M = M(t) = N(t) - vt$ 为 $N(t)$ 的补偿过程, 并且它是一个鞅^[11]; 再定义 $(\Omega, L, P) = (\Omega^W \times \Omega^N, L^W \otimes L^N, P^W \otimes P^N)$, 其自然滤波为 $L_t, W(t)$ 与 $N(t)$ 相互独立。

考虑期货价格为 $F(S, \delta, T)$, 由 Ito 微分法则^[11-13] 可得

$$\begin{aligned} dF = & \left[-F_T + F_S(\mu - \delta + fr)S + F_\delta \kappa(\alpha - \delta) + F_r a(m - r) + \frac{1}{2} F_{SS} \sigma_1^2 S^2 + \frac{1}{2} F_{\delta\delta} \sigma_2^2 + \frac{1}{2} F_{rr} \sigma_3^2 \right. \\ & \left. + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_2 S + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_3 + F_{\delta\delta} \sigma_2 \sigma_3 \right] dt + (\sigma_1 S F_S + \sigma_2 F_\delta + \sigma_3 F_r) dW + [F(S + S\varphi_1, \delta + \varphi_2, r + \varphi_3) - F] dN = \\ & \left\{ -F_T + F_S(\mu - \delta + fr)S + F_\delta \kappa(\alpha - \delta) + F_r a(m - r) + \frac{1}{2} F_{SS} \sigma_1^2 S^2 + \frac{1}{2} F_{\delta\delta} \sigma_2^2 + \frac{1}{2} F_{rr} \sigma_3^2 + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_2 S + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_3 + F_{\delta\delta} \sigma_2 \sigma_3 + v[F(S + S\varphi_1, \delta + \varphi_2, r + \varphi_3) - F] \right\} dt + (\sigma_1 S F_S + \sigma_2 F_\delta + \sigma_3 F_r) dW + [F(S + S\varphi_1, \delta + \varphi_2, r + \varphi_3) - F] dM. \end{aligned} \quad (2)$$

其中

$$T = \tau - t.$$

式中, T 为交割时间; τ 为具体到期时间; F_S 为 F 对 S 的一阶偏导数; F_{SS} 为 F 对 S 的二阶偏导数; $F_{S\delta}$ 为 F 对 S 和 δ 的混合偏导数; 其余的偏导数意义相同。

引入市场风险价格^[1]

$$\mu - \delta + fr + v\varphi_1 + \delta - r_1 = \bar{\lambda}\sigma_1 + \lambda\varphi_1. \quad (3)$$

式中, $\bar{\lambda}$ 为每单位 W 的市场风险价格; λ 为每单位 M 的市场风险价格; r_1 为无风险利率。

在无套利的条件下, 期货的全部期望收益率 μ_F 和所有风险之间的关系^[1] 为

$$\begin{aligned} \mu_F = & \bar{\lambda} \frac{\sigma_1 S F_S + \sigma_2 F_\delta + \sigma_3 F_r}{F} + \\ & \lambda \frac{F(S + S\varphi_1, \delta + \varphi_2, r + \varphi_3) - F}{F}. \end{aligned} \quad (4)$$

μ_F 又可表示为

$$\begin{aligned} \mu_F = & \left\{ -F_T + F_S(\mu - \delta + fr)S + F_\delta \kappa(\alpha - \delta) + F_r a(m - r) + \frac{1}{2} F_{SS} \sigma_1^2 S^2 + \frac{1}{2} F_{\delta\delta} \sigma_2^2 + \frac{1}{2} F_{rr} \sigma_3^2 + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_2 S + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_3 + F_{\delta\delta} \sigma_2 \sigma_3 + v[F(S + S\varphi_1, \delta + \varphi_2, r + \varphi_3) - F] \right\} / F. \end{aligned} \quad (5)$$

联立式(3) ~ (5), 可以得到

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} F_{SS} \sigma_1^2 S^2 + \frac{1}{2} F_{\delta\delta} \sigma_2^2 + \frac{1}{2} F_{rr} \sigma_3^2 + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_2 S + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_3 + F_{\delta\delta} \sigma_2 \sigma_3 + F_S(r_1 - \delta - v\varphi_1 + \lambda\varphi_1)S + F_\delta[\kappa(\alpha - \delta) - \frac{\sigma_2}{\sigma_1}(\mu + fr + v\varphi_1 - r_1 - \lambda\varphi_1)] + \\ & F_r[a(m - r) - \frac{\sigma_3}{\sigma_1}(\mu + fr + v\varphi_1 - r_1 - \lambda\varphi_1)] + (v - \lambda)[F(S + S\varphi_1, \delta + \varphi_2, r + \varphi_3) - F] = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

且有

$$F(S, \delta, r, 0) = S.$$

2 模型的求解

对模型(6) 先做如下变换: 令 $R = r_1 - v\varphi_1 +$

$\lambda\varphi_1, \hat{\alpha} = \alpha - \frac{\sigma_2}{\kappa\sigma_1}(\mu + v\varphi_1 - r_1 - \lambda\varphi_1), m^* = m - \frac{\sigma_3}{a\sigma_1}(\mu + v\varphi_1 - r_1 - \lambda\varphi_1), C_2 = \frac{f\sigma_2}{\kappa\sigma_1}, C_3 = \frac{f\sigma_3}{a\sigma_1}$, 则模型(6) 转化为

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} F_{SS} \sigma_1^2 S^2 + \frac{1}{2} F_{\delta\delta} \sigma_2^2 + \frac{1}{2} F_{rr} \sigma_3^2 + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_2 S + F_{S\delta} \sigma_1 \sigma_3 + F_{\delta\delta} \sigma_2 \sigma_3 + F_S(R - \delta)S + F_\delta(\hat{\alpha} - \delta - C_2r) + F_r a(m^* - r - C_3r) + (v - \lambda)[F(S + S\varphi_1, \delta + \varphi_2, r + \varphi_3) - F] = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

参照 Schwartz^[5] 的一个结果, 假设上述 PDE 问题的解具有如下的形式:

$$\begin{aligned} F(S, \delta, r, T) = & \text{Sexp} \left[-\delta \frac{1 - e^{-\kappa T}}{\kappa} + A(T) + B(T)r + \left(R - \hat{\alpha} + \frac{\sigma_2^2}{2\kappa^2} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\kappa} \right) T + \frac{\sigma_2^2}{4} \frac{1 - e^{-2\kappa T}}{\kappa^3} + \left(\hat{\alpha} \kappa + \sigma_1 \sigma_2 - \frac{\sigma_2^2}{\kappa} \right) \frac{1 - e^{-\kappa T}}{\kappa^2} \right], \end{aligned} \quad (8)$$

将式(8) 代入(7) 可得

$$\begin{aligned} A(T) = & \frac{1 - e^{-2\kappa T}}{2\kappa} H_1 + \frac{1 - e^{-\kappa T}}{\kappa} H_2 + \frac{1 - e^{-2a(1+C_3)T}}{2a(1+C_3)} H_3 \\ & + \frac{1 - e^{-a(1+C_3)T}}{a(1+C_3)} H_4 + \frac{1 - e^{-[a(1+C_3)+\kappa]T}}{a(1+C_3) + \kappa} H_5 + H_6 T + (v - \end{aligned}$$

$$\lambda) \left[\int_0^T (1 + \varphi_1) \exp \left(-\varphi_2 \frac{1 - e^{-\kappa T}}{\kappa} + \varphi_3 B(T) \right) ds - T \right],$$

$$B(T) = g_1 e^{-\kappa T} + g_2 e^{-a(1+C_3)T} + g_3.$$

其中

$$g_1 = -\frac{C_2}{a(1+C_3) - \kappa},$$

$$g_2 = \frac{C_2}{a(1+C_3) - \kappa} - \frac{C_2}{a(1+C_3)},$$

$$g_3 = \frac{C_2}{a(1+C_3)},$$

$$H_1 = \frac{g_1 \sigma_2 \sigma_3}{\kappa} + \frac{g_1^2 \sigma_3^2}{2},$$

$$H_2 = \frac{g_3 \sigma_2 \sigma_3}{\kappa} + g_1 g_3 \sigma_3^2 + g_1 \sigma_1 \sigma_3 - \frac{g_1 \sigma_2 \sigma_3}{\kappa} + g_1 a m^*,$$

$$H_3 = \frac{g_2^2 \sigma_3^2}{2},$$

$$H_4 = g_2 g_3 \sigma_3^2 + g_2 \sigma_1 \sigma_3 - \frac{g_2 \sigma_2 \sigma_3}{\kappa} + g_2 a m^*,$$

$$H_5 = \frac{g_2 \sigma_2 \sigma_3}{\kappa} + g_1 g_2 \sigma_3^2,$$

$$H_6 = \frac{g_3^2 \sigma_3^2}{2} + g_3 \sigma_1 \sigma_3 - \frac{g_3 \sigma_2 \sigma_3}{\kappa} + g_3 a m^* + (v - \lambda) \times$$

$$\left[\int_0^T (1 + \varphi_1) \exp \left(-\varphi_2 \frac{1 - e^{-\kappa T}}{\kappa} + \varphi_3 B(T) \right) ds - T \right].$$

3 模型的参数辨识

在辨识上述参数的过程中,与文献[2]不完全相同的是,这里采用加权的最小二乘法。

式(1)中的 S 用Ito微分法则^[11-13]可得

$$d(\ln S) = \left(\mu - \delta + fr - \frac{1}{2} \sigma_1^2 \right) dt + \sigma_1 dW + \ln(1 +$$

$$\varphi_1) dN = \left[\mu - \delta + fr - \frac{1}{2} \sigma_1^2 + v \ln(1 + \varphi_1) \right] dt + \sigma_1 dW + \ln(1 + \varphi_1) dM.$$

然后将 $\ln S$ 和 δ 离散化为

$$\begin{cases} \ln S_i = \ln S_{i-1} + \left[\mu - \delta + fr - \frac{1}{2} \sigma_1^2 + v \ln(1 + \varphi_1) \right] \Delta t + e_1(t) + m_1(t), \\ \delta_i = (1 - \kappa \Delta t) \delta_{i-1} + (\kappa \alpha + v \varphi_2) \Delta t + e_2(t) + m_2(t), \\ r_i = (1 - a \Delta t) r_{i-1} + (am + v \varphi_3) \Delta t + e_3(t) + m_3(t), \end{cases}$$

(9)

式中, $e_1(t), e_2(t), e_3(t)$ 为均值都为0,方差分别为 $\sigma_1^2 \Delta t, \sigma_2^2 \Delta t, \sigma_3^2 \Delta t$ 的高斯白噪声; $m_1(t), m_2(t), m_3(t)$ 为均值都为0,方差分别为 $[\ln(1 + \varphi_1)]^2 v \Delta t, \varphi_2^2 v \Delta t, \varphi_3^2 v \Delta t$ 的Poisson白噪声; Δt 为时间间隔。

具体计算方法如下(为了减少辨识参数,假定 $v = 1$):

(1) 给定初始 $\Omega = \{\mu, \kappa, \alpha, a, m, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \lambda, f\}$ 和 r_1 ;

(2) 求解如下最优化问题得出 N 个时刻的即时价格 S 和便利收益 δ :

$$\min_{S, \delta} \sum_{j=1}^{M_i} [\ln \hat{F}_{ij}(S, \delta, r, \tau_i - t_j) - \ln F_{ij}]^2, \quad i = 1, \dots, N.$$

式中, N 为观测时间的次数; M_i 为每个观测时间观测的交易期货合约数; $\hat{F}_{ij}$ 为模型的解; F_{ij} 为观测值;

(3) 根据(2)中的 Ω 和式(9),求出

$$\begin{cases} \mu - \frac{1}{2} \sigma_1^2 + v \ln(1 + \varphi_1) = b_1, \\ \sigma_1^2 + [\ln(1 + \varphi_1)]^2 = b_2, 1 - \kappa \Delta t = b_3, \\ \kappa \alpha + v \varphi_2 = b_4, \sigma_2^2 + \varphi_2^2 = b_5, \\ 1 - a \Delta t = b_6, am + v \varphi_3 = b_7, \\ \sigma_3^2 + \varphi_3^2 = b_8; \end{cases} \quad (10)$$

(4) 在上述 S 和 δ 以及已知的汇率下,求解如下最优化问题得出 Ω :

$$\min_{\Omega} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \omega_i [\ln \hat{F}_{ij}(S, \delta, r, \tau_i - t_j) - \ln F_{ij}]^2,$$

式中, ω_i 为第 i 个观测数据所占的比重,如果所观测数据的时间越靠近现在则它的比重就越大。

(5) 直到 Ω 收敛,否则转(2)。

4 实例计算

利用中国上海期货市场的燃料油期货从2007年2月12日至2007年3月30日的日历史数据,挑选了2007年5~12月到期的燃料油期货交易合约。所采用汇率的数据是美元兑人民币的在这段时间的历史数据,而无风险资产采用银行半年期存款利率。

按第3部分的算法求得的参数为 $\mu = 0.3137, \kappa = 89.4573, \alpha = 0.0495, a = 112.9608, m = 0.1292, \sigma_1 = 0.0432, \sigma_2 = 0.2369, \sigma_3 = 0.0007, \varphi_1 = 0.3616, \varphi_2 = 0.0043, \varphi_3 = -0.0013, \lambda = 0.2985, f = 0.3169$ 。图1为5~12月的8种期货合约的模型计算值和真实值的拟合效果图。表1是根据上述参数预测的4月2~10日的5~12月到期的期货合约值和相对误差。

由表 1 看出,预测值与实际值最大相对误差仅为 3.772%,说明所建模型精度较高。

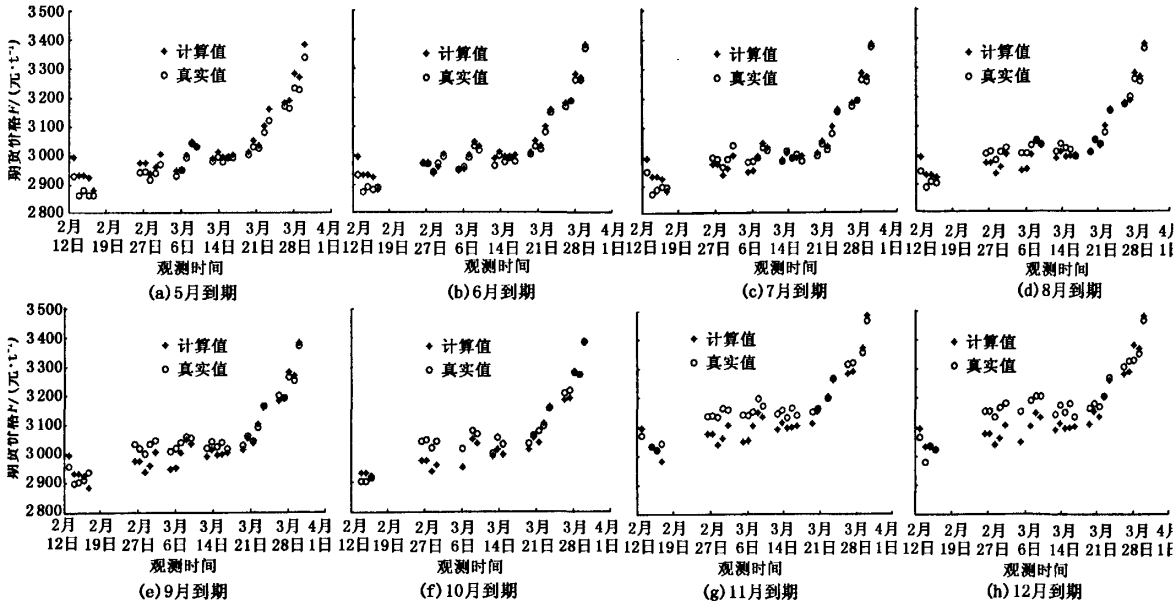


图 1 不同时间到期的期货合约

Fig.1 Futures contract with different maturities

表 1 5 ~ 12 月到期合约 4 月 2 ~ 10 日的预测值及其与真值的相对误差

Table 1 Forecasting futures prices (from April 2nd to 10 th) of different maturities (from May to December) and their relative errors

到期	预测值 $F/(\text{元} \cdot \text{t}^{-1})$								相对误差 /%							
合约	2 日	3 日	4 日	5 日	6 日	9 日	10 日	2 日	3 日	4 日	5 日	6 日	9 日	10 日		
5 月	3396.3341	3402.9180	3409.5049	3416.0970	3422.6964	3429.1130	3435.7313	1.8086	2.1897	2.5107	0.9485	1.1136	-0.6054	1.4987		
6 月	3399.3207	3405.9100	3412.5022	3419.0995	3425.7040	3432.1221	3438.7442	1.7761	2.1875	2.6316	0.7395	1.4723	0.1202	2.4961		
7 月	3402.2152	3408.8101	3415.4079	3422.0109	3428.6210	3435.0446	3441.6722	1.8322	2.3667	3.0911	0.9145	1.6189	0.2347	2.8286		
8 月	3405.2088	3411.8096	3418.4132	3425.0220	3431.6378	3438.0671	3444.7006	2.0440	2.4260	3.0885	0.8843	1.8592	0.6165	3.1347		
9 月	3408.2052	3414.8117	3421.4211	3428.0357	3434.6574	3441.0923	3447.7317	1.9505	2.3011	3.2103	0.9731	2.0701	0.7641	3.2255		
10 月	3411.1074	3417.7196	3424.3346	3430.9549	3437.5822	3444.0226	3450.6676	1.6421	2.3882	3.1737	1.0591	3.0759	0.4088	2.7596		
11 月	3414.1091	3420.7271	3427.3479	3433.9740	3440.6072	3447.0532	3453.7040	2.2188	2.4170	3.3267	1.2972	2.0346	0.7910	3.5283		
12 月	3417.0165	3423.6401	3430.2666	3436.8983	3443.5371	3449.9886	3456.6451	2.6439	2.6271	3.3836	1.6834	1.8798	1.2915	3.7720		

5 结束语

考虑实际情况下的市场合理性要求建立了更加符合市场规律的带有随机汇率因素的三因子期货模型,而且提出的期货价格的随机过程不仅包含 Brown 运动的驱动因素,还包括 Poisson 过程描述的跳跃过程。模型的最大相对误差不超过 3.772%。

参考文献:

[1] GIBSON R, SCHWARTZ E S. Stochastic Convenience Yield and the Pricing of Oil Contingent Claims[J]. Journal of Finance, 1990, XLV(3):959-976.
[2] CORTAZAR G, SCHWARTZ E S. Implementing a sto-

chastic model for oil futures prices[J]. Energy Economics, 2003,25(1):215-238.
[3] 张永峰,贾承造,杨树峰,等. 石油勘探项目放弃期权计算模型研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2006,30(6):137-140.
ZHANG Yong-feng, JIA Cheng-zao, YANG Shu-feng, et al. Abandonment option model for petroleum exploration and development projects[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006,30(6): 137-140.
[4] BRENNAN M J, SCHWARTZ E S. Evaluating natural resources investment [J]. The Journal of Business, 1985,58(1):135-157.

(下转第 166 页)

京)工商管理学院王震教授、吕鹏博士及苏斌同学。

参考文献:

- [1] LENOS T. Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation [M]. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1996:2-9.
- [2] CHORN L G, SHOKHOR S. Real options for risk management in petroleum development investments[J]. Energy Economics, 2006, 28:489-505.
- [3] 徐枫. 风险投资决策评价中的实物期权理论方法研究[D]. 广州:暨南大学经济学院, 2003:59-61.
- [4] 罗东坤, 汪华. 石油开发项目实物期权评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4):493-496.
LUO Dong-kun, WANG Hua. Real option valuation model for petroleum development projects[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4):493-496.
- [5] 张永峰, 杨树锋, 贾承造, 等. 石油勘探开发项目实物期权特性分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1):115-118.
ZHANG Yong-feng, YANG Shu-feng, JIA Cheng-zao, et al. Real option characters of petroleum exploration and development projects[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1):115-118.
- [6] ANTONIO M, DIAS G. Valuation of exploration and production assets: an overview of real options models[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2004, 44(1/2):93-114.
- [7] LAINE J P. Option valuation of field development project [R]. SPE 37965, 1997.
- [8] HULL J C. Options, futures, and other derivatives[M]. 5th ed. Beijing: Pearson Education Asia Limited and Tsinghua University Press, 2007:244-246.
- [9] BARRAQUAND J, MARTINEAU D. Numerical valuation of high dimensional multivariate American securities [J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1995, 30(3):383-405.
- [10] RAYMAR S, ZWECHER M. Monte Carlo estimation of American call options on the maximum of several stocks [J]. The Journal of Derivatives, 1997, 5(1):7-23.
- [11] DAVIS G A. Estimating volatility and dividend yield when valuing option to invest or abandon [J]. The Quarterly Review of Economics and Finance, 1998, 38(3):725-754.
- [12] 中华人民共和国人民银行. 中国外汇交易中心受权公布人民币汇率中间价公告[EB/OL]. (2008-03-18) [2008-03-25]. <http://www.pbc.gov.cn/detail.asp?col=483&ID=2027>.
- [13] Energy Information Agency. Spot price for crude oil and petroleum products [DB/OL]. [2008-03-25]. http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm.
- [14] CORTAZAR C, SCHWARTZ E S. Monte Carlo evaluation model of an undeveloped oil field [J]. Journal of Energy Finance & Development, 1998, 3(1):73-84.
- [15] BP. Statistical review of world energy 2007 [DB/OL]. [2008-03-25]. http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/lobalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2007/STAGING/local_assets/downloads/spreadsheets/statistical_review_full_report_workbook_2007.xls.
- [16] 中华人民共和国财政部. 中华人民共和国财政部公告 2008 年第 3 号 [EB/OL]. (2008-02-01) [2008-03-25]. http://www.mof.gov.cn/news/20080201_1720_30732.htm.
- [17] BRENNAN M J, SCHARTZ E S. Evaluating natural resource investments [J]. Journal of Business, 1985, 58(2):135-157.

(编辑 修荣荣)

(上接第 160 页)

- [5] SCHWARTZ E S. The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging[J]. The Journal of Finance, 1997, LII(3):923-973.
- [6] LAUGHTON D G, JACOBY H D. Reversion, timing options, and long-term decision-making [J]. Financial Management, 1993, 22(1):225-240.
- [7] SCHWARTZ E S, SMITH J E. Short-term variations and long-term dynamics in commodity prices [J]. Management Science, 2000, 46(7):893-911.
- [8] MERTON R C. Continuous-time finance [M]. Cambridge, MA: Basil Blackwell, 1990:70-123.
- [9] JARROW R A, RUDD A. Option pricing [M]. Homewood: Dow Jones-Irwin, 1983:112-232.
- [10] COX J C, ROSS S A. The valuation of options for alteration stochastic process [J]. Journal of Financial Economics, 1985, 3(4):145-166.
- [11] 龚光鲁. 随机微分方程引论 [M]. 北京:北京大学出版社, 1987:399-402.
- [12] IKEDA N, WATANABE S. Stochastic differential equations and diffusion processes [M]. North-Holland: Amsterdam, 1981:66-96.
- [13] GUO W J, XU C M. Optimal portfolio selection when stock prices follow a jump-diffusion process [J]. Mathematical Methods of Operations Research, 2004, 60(3):485-496.

(编辑 韩国良)