

# 基于 Delta 模型的水电厂短期金融风险评估

李明, 张强, 司杨

(青海大学, 青海 西宁 810016)

**摘要:** 评估因径流和电价的不确定性带来的风险, 是水电厂在参与电力市场竞争必须考虑的一个重要问题。考虑影响水电厂收益的各种风险, 主要包括水电厂参与竞价的电价风险和由于季节等因素引起的电量不确定性风险及它们之间的相关性, 提出了计算电力市场 VaR 的方差-协方差参数法模型并结合具体实例对水电厂的收益进行了短期金融风险评估。分析结果表明, 方差-协方差参数法能较好预测第二天竞价机组的清除电价, 为水电厂更准确地降低收益风险值打好基础。

**关键词:** 电力市场; 水电厂; 电价风险; 电量不确定性风险; 风险价值; 方差-协方差参数法

## Evaluating short-term financial risk based on Delta model for hydropower plants

LI Ming, ZHANG Qiang, SI Yang

(Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** It is important for hydropower plants to assess the risk from the uncertainty of inflow and power price in the electricity market. Considering electricity price risk caused by bidding price and energy-uncertainty risk caused by season factors that influence the profit of hydropower plants and their pertinence, this paper puts forward variance-covariance parameter approach of value at risk (VaR) combining the concrete example to assess the short-term financial risk for income of the certain hydropower plants. The analysis shows that variance-covariance parameter approach can forecast precisely clearing price of bidding units the day after to lay a good foundation for decline return risk of hydropower plants.

**Key words:** electricity market; hydropower plants; electricity price risk; energy-uncertainty risk; value at risk; variance-covariance parameter approach

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)14-0012-04

## 0 引言

在水电参与电力市场初期, 市场风险规避机制很不完善。对于水电厂来讲不仅要承担电力市场中的电价波动带来的风险, 而且由于存在径流的不确定性, 使得水电厂相对于火电而言面临更大的金融风险。因此水电厂依据其偏好制定了具体的交易计划后, 就要对其进行风险评估, 确定所制定的风险策略是否可行, 就需要一个量化的风险指标来帮助水电厂判断该风险控制策略的可行性。

VaR 方法是当前流行的风险管理技术, 在金融市场风险的预测和控制方面已得到十分成功的应用<sup>[1]</sup>。文献[2]首先将 VaR 技术应用于电力市场风险评估。文献[3]分别用 VaR 和 CVaR 计量收益风险, 构建了发电企业长期电能分配模型。文献[4-7]对电力市场金融风险的分析计算和防范进行了初步探讨, 其重点主要是讨论如何采用电力期货来规避电力市场价格风险。而这些方法仍然主要是沿用原来

金融领域中的方法, 实际上还是无法对实际电力市场进行金融风险的定量分析计算。文献[8-9]将 VaR 方法应用于电力市场金融风险的实际计算分析, 并得到了电力市场金融风险的初步计算结果。

事实上, 对水电厂进行电力市场金融风险评估时, 与纯火电的电力市场风险评估相比, 最主要的不同点在于水电厂中各风险因子之间具有较大的相关性, 并且必须考虑水电厂的技术风险对金融风险的影响。本文中所指的技术风险主要是指反映水电厂径流不确定性的入库流量预测即电量预测。由于水电厂会随着季节、气候等多种条件的限制而发生电量不确定性的问题, 因此, 在分析计算水电厂金融风险时, 必须综合考虑风险因子之间的相关性和技术风险对金融风险的影响。

## 1 VaR 测算方法

### 1.1 VaR 概念

VaR 是一种利用统计技术来度量有价证券金融

风险的方法, 是在金融领域中评价金融风险比较成功的一种方法。

风险价值 VaR 是指在正常的市场条件和给定的置信度水平 (Confidence Interval, 通常是 95% 或 99%) 上, 某种资产在未来一段时间内可能发生的最大损失<sup>[10-11]</sup>。其数学定义为

$$Pr ob(\Delta P > P_{VaR}) = 1 - \delta \quad (1)$$

其中:  $\Delta P$  为金融资产或证券组合在持有期  $\Delta t$  内的损失;  $P_{VaR}$  为置信水平  $\delta$  下处于风险中的价值。

式中对某资产或资产组合在市场条件下对给定的时间区间和置信水平, VaR 给出了其最大可能的预期损失。目前常用的 VaR 计算方法有: 历史模拟法、方差-协方差参数法和蒙特卡洛模拟法。

历史数据模拟法假设未来市场因子完全依赖于历史数据, 因此使该方法的使用受到较大限制。蒙特卡洛模拟方法计算量巨大, 容易出现很大的模型误差而影响分析准确度。方差-协方差法利用市场因子的方差来估计资产的潜在损失简化了 VaR 计算, 因此在实践中得到了广泛应用。本文拟采用 VaR 计算方法中的方差-协方差参数法, 利用 Delta 模型, 对电力市场中水电厂的短期(下一天)金融风险进行分析计算。

## 1.2 方差-协方差参数法

### 1.2.1 Delta 模型

假设某一资产的价值为  $S$ , 该价值受  $n$  个风险因子  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$  的影响, 即可把这个资产划分成  $n$  个部分, 每一部分的价值为

$$S_i = Y_i(x_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

假设某一时间点  $t = t_0$  各市场因子初始值为

$$x_i|_{t=t_0} = x_i(0) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

相应  $t = t_0$  时该资产的价值为  $S_0$ , 即

$$S|_{t=t_0} = S_0 = Y_1(x_1(0)) + Y_2(x_2(0)) + \dots + Y_n(x_n(0)) \quad (4)$$

现在要求下一时间点  $t$  的资产价值  $S$  的 VaR 值, 将  $S$  在  $t = t_0$  处微分, 可得价值  $S$  的增量  $\Delta S$  与各市场因子增量  $\Delta x_i (i = 1, 2, \dots, n)$  的关系

$$\begin{aligned} \Delta S = & \frac{\partial Y_1}{\partial x_1} \Big|_{t=t_0} \times \Delta x_1 + \frac{\partial Y_2}{\partial x_2} \Big|_{t=t_0} \times \Delta x_2 + \\ & \dots + \frac{\partial Y_n}{\partial x_n} \Big|_{t=t_0} \times \Delta x_n \end{aligned} \quad (5)$$

将方程两边同除以  $S_0$  可得

$$\frac{\Delta S}{S_0} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y_i(x_i(0)) + \partial Y_2(x_2(0)) + \dots + \partial Y_n(x_n(0))}{\partial x_i} \times$$

$$\frac{x_i(0)}{S_0} \times \frac{\Delta x_i}{x_i(0)} \quad (6)$$

或

$$\Delta S(\%) = \sum_{i=1}^n \sigma_i \times \Delta x_i(\%) \quad (7)$$

其中:  $\Delta S(\%)$  表示  $\Delta S$  相对于  $S_0$  变化的百分比;  $\Delta x_i(\%) (i = 1, 2, \dots, n)$  表示  $\Delta x_i$  相对于  $x_i(0)$  变化的百分比;  $\sigma_i$  为某一常数。它们分别为:

$$\Delta S(\%) = \frac{\Delta S}{S_0} \quad (8)$$

$$\Delta x_i(\%) = \frac{\Delta x_i}{x_i(0)} \quad (9)$$

$$\sigma_i(\%) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y_1(x_1(0)) + \partial Y_2(x_2(0)) + \dots + \partial Y_n(x_n(0))}{\partial x_i} \times \frac{x_i(0)}{S_0} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

式(7)反映了风险因子的变化对资产价值变化的影响, 由于风险因子相互之间存在相关性, 因此, 在利用式(7)考虑资产价值  $S$  的变化时, 应该采用协方差描述风险因子之间的相关程度。

### 1.2.2 $\Delta S(\%)$ 的方差和标准差的计算

假设  $\Delta x_i(\%)$  的方差为  $D(\Delta x_i(\%))$ ,  $\Delta x_i(\%)$  和  $\Delta x_j(\%)$  之间的协方差为  $Cov(\Delta x_i(\%), \Delta x_j(\%))$ , 则  $\Delta S(\%)$  的方差为

$$\begin{aligned} D[\Delta S(\%)] &= D[\sigma_1 \Delta x_1(\%) + \sigma_2 \Delta x_2(\%) + \dots + \sigma_n \Delta x_n(\%)] = \\ & D\left[\sum_{i=1}^n \sigma_i \Delta x_i(\%)\right] = \\ & E\left\{\left[\sum_{i=1}^n \sigma_i \Delta x_i(\%) - E\left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \Delta x_i(\%)\right)\right]^2\right\} = \\ & E\left\{\left[\sum_{i=1}^n \sigma_i \Delta x_i(\%) - E(\sigma_i \Delta x_i(\%))\right]^2\right\} = \\ & \sum_{i=1}^n (\sigma_i^2 D(\Delta x_i(\%))) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sigma_i \sigma_j \times \\ & Cov(\Delta x_i(\%), \Delta x_j(\%)) \end{aligned}$$

即

$$D[\Delta S(\%)] = \sum_{i=1}^n (\sigma_i^2 D(\Delta x_i(\%))) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sigma_i \sigma_j \times Cov(\Delta x_i(\%), \Delta x_j(\%)) \quad (11)$$

假如资产价值  $S$  只受三个市场因子的影响, 即  $S = Y_1(x_1) + Y_2(x_2) + Y_3(x_3)$ , 则价值  $S$  的增量  $\Delta S(\%) = \sigma_1 \Delta x_1(\%) + \sigma_2 \Delta x_2(\%) + \sigma_3 \Delta x_3(\%)$

则有

$$D[\Delta S(\%)] = \sigma_1^2 D(\Delta x_1(\%)) + \sigma_2^2 D(\Delta x_2(\%)) + \sigma_3^2 D(\Delta x_3(\%)) + 2\sigma_1\sigma_2 \times Cov(\Delta x_1(\%), \Delta x_2(\%)) + 2\sigma_2\sigma_3 \times Cov(\Delta x_2(\%), \Delta x_3(\%)) + 2\sigma_1\sigma_3 \times Cov(\Delta x_1(\%), \Delta x_3(\%)) \quad (12)$$

$\Delta S(\%)$  的标准差为

$$\sigma_p [\Delta S(\%)] = \sqrt{D[\Delta S(\%)]} \quad (13)$$

### 1.2.3 用方差-协方差参数法计算 VaR

方差-协方差参数法通过历史数据分析和估计该分析因子收益分布的参数值, 如方差、相关系数等, 从而根据式 (14) 得出整个投资组合收益分布的特征值。

$$VaR_u = K(\alpha)\sigma_p = K(\alpha)\sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j} \quad (14)$$

其中,  $K(\alpha)$  为相应置信水平对应的分位数;  $\sigma_p$  为整个投资组合收益的标准差;  $\sigma_i, \sigma_j$  为风险因子  $i$  和  $j$  的标准差;  $\rho_{ij}$  为风险因子  $i$  和  $j$  的相关系数。

由式 (13) 得到的是 VaR 的百分值, 要算得 VaR 的实际值, 还需要再乘以资产的初始价值  $S_0$

$$VaR = VaR(\%) \times S_0 \quad (15)$$

## 2 Delta 模型在水电企业短期金融风险评价中的应用

### 2.1 水电企业收益模型

水电厂由于受到季节变化的影响会导致在丰水季节水电大发的时候电价下降收益无明显增加, 而在枯水季节电价上涨时又无水可发。因此为了规避水电厂的发电风险, 水电厂首先会与电力公司签订差价合约, 作为一项固定收益, 而让部分机组参加竞价获取竞价收益。因此水电厂的收益可分为两部分: 一部分是市场外的不参与竞价的电量即固定合约电量所得的收益; 另一部分是市场内参与竞价的机组发电即竞价电量所得的收益。合约电量和合约电价是由电力公司和水电厂商定后, 以合同形式按某一确定的电量  $Q_c$  和价格  $P_c$  决定; 竞价电量的电价由市场出清电价  $P_k$  决定。由此, 水电厂的收益

为

$$V = P_c Q_c + P_k Q_k \quad (16)$$

其中:  $Q_c$  为合约电量;  $Q_k$  为竞价电量, 且

$$Q_G = Q_c + Q_k \quad (17)$$

由于目前水电厂短期水量预测即电量预测的精度较高, 式中的总用电量  $Q$  可以通过电量预测得到。由于该预测值与次日的实际发电量不会相差太大, 故公式中的总用电量可以用预测值  $Q_0$  来表示。故式 (17) 也可表达为

$$Q_{G0} = Q_c + Q_k \quad (18)$$

合约电量价格  $P_c$  由不同电力市场中的电力公司和水电厂决定, 因为在预测收益波动时其值为不变值, 不会影响预测结果, 因此依照浙江等地电力市场制定合约电价的情况, 假设合约电量价格  $P_c$  取 400 元/(MW·h), 因此式中水电厂的收益又可表示为

$$V = 400Q_c + P_k Q_k = 400(Q_{G0} - Q_k) + P_k Q_k = 400Q_{G0} - 400Q_k + P_k Q_k \quad (19)$$

### 2.2 算例

#### 2.2.1 确定电价及总发电量的历史样本空间

取加州 1999 年 3 月 1 日~6 月 9 日共 101 个交易日为电力市场出清电价的日历史样本空间, 取 6 月 9 日为考察日期, 6 月 10 日为下一个考察日期。为了与国内电价水平一致, 将电价数据换算成人民币; 另取某水电厂 1999 年 3 月 1 日~6 月 9 日的入库水量作为总发电量的历史样本空间, 用方差-协方差参数法对 6 月 10 日某水电厂的收益的风险值进行计算。

这里,  $Q_{G0}$  是次日的预测电量,  $P_k$ 、 $Q_k$  是当天的实际值。

$$V_0 = 400Q_{G0} - 400Q_k + P_k Q_k$$

$$\Delta V_0 = 400\Delta Q_{G0} - 400\Delta Q_k + \Delta P_k Q_k + P_k \Delta Q_k = 400\Delta Q_{G0} - (400 - P_k)\Delta Q_k + \Delta P_k Q_k$$

$$\frac{\Delta V_0}{V} = \frac{1}{V_0} \left[ 400 \times Q_{G0} \times \frac{\Delta Q_{G0}}{Q_{G0}} - (400 - P_k) \times \right.$$

$$\left. Q_k \times \frac{\Delta Q_k}{Q_k} + P_k \times Q_k \times \frac{\Delta P_k}{P_k} \right]$$

$$\Delta V_0(\%) = \frac{1}{V_0} \left[ 400 \times Q_{G0} \times \Delta Q_{G0}(\%) - (400 - P_k) \times Q_k \times \Delta Q_k(\%) + P_k \times Q_k \times \Delta P_k(\%) \right]$$

即

$$\Delta V_0(\%) = \sigma_1 \Delta Q_{G0}(\%) + \sigma_2 \Delta Q_k(\%) + \sigma_3 \Delta P_k(\%)$$

$$\text{其中: } \sigma_1 = \frac{400Q_{G0}}{V_0}, \quad \sigma_2 = \frac{(P_k - 400)Q_k}{V_0},$$

$$\sigma_3 = \frac{P_k Q_k}{V_0}, \quad \Delta Q_{G0}(\%) = \frac{Q_{G(t+1)} - Q_{G0(t+1)}}{Q_{G0(t+1)}},$$

$$\Delta P_k(\%) = \frac{P_{k(t+1)} - P_{kt}}{P_{kt}}, \quad \Delta Q_k(\%) = \frac{Q_{k(t+1)} - Q_{kt}}{Q_{kt}}$$

### 2.2.2 电价和收益的日 VaR 值计算

选取的 101 个交易日可以得到 100 个日平均电价波动值(相邻两个交易日的日平均电价之差值), 竞价电量的波动值, 总电量的波动值。由以上的波动值可以得到电价、竞价电量及总电量的方差。另外的三个协方差也可以得到, 即电价、竞价电量和总电量两两之间的协方差。由历史样本可知 1999 年 6 月 9 日的竞价电量的日出清电价  $P_k = 237.76$  元/(MW·h), 当日竞价电量  $Q_k = 2800.96$  MW·h, 预测 6 月 10 日总发电量  $Q_{G0} = 14044.8$  MW·h。

由此, 由 6 月 9 日预测 6 月 10 日水电厂的收益为

$$V_0 = 400Q_{G0} - 400Q_k + P_k Q_k = 400 \times 14044.8 - 400 \times 2800.96 + 237.76 \times 2800.96 = 5163492.25 \text{ 元}$$

由 1999 年 3 月 1 日~6 月 9 日的资料可以算得

$$D[\Delta V_0(\%)] \text{ 的参数值 } \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, D[\Delta Q_{G0}(\%)],$$

$$D[\Delta Q_k(\%)], D[\Delta P_k(\%)], Cov[\Delta Q_{G0}(\%), \Delta Q_k(\%)],$$

$$Cov[\Delta Q_{G0}(\%), \Delta P_k(\%)], Cov[\Delta P_k(\%), \Delta Q_k(\%)],$$

由这些参数根据式(11)就可以计算 6 月 10 日的风险百分值及均方差为

$$D[\Delta V_0(\%)] = 0.024947, \quad \sigma_p[\Delta V_0(\%)] = 0.157946$$

95% 的置信度下的风险  $VaR(\%) = 1.65 \times \sigma_p[\Delta V_0(\%)] = 1.65 \times 0.157946 = 0.260611$ , 则风险的实际值  $VaR = VaR(\%) \times V_0 = 0.260611 \times 5163492.25 = 1345662.879$  元。所以在 95% 的置信度下, 6 月 10 日该水电厂的收益的上下限分别为:

上限 5% 的  $V = V_0 + VaR = 5163492.25 + 1345662.879 = 6509155.129$  元

下限 95% 的  $V = V_0 - VaR = 5163492.25 - 1345662.879 = 3817829.371$  元, 利用式(14)及(15)可以计算不同置信度下的 VaR 风险值, 如表 1 所示。

表 1 不同置信度下的 VaR 百分值及实际值

Tab.1 Percent value and actual value of VaR at different probability

置信度/%	99	95	80	70
VaR/%	0.368	0.261	0.133	0.050
VaR/万元	190.02	134.57	68.51	25.69

因此, 该水电厂在 6 月 10 日卖给电力公司所实现的收益(置信度为 95%) 应不低于下限 3817829.371 元, 而且应不高于 6509155.129 元, 取 6 月 10 日的真实数据验证得实际值  $V = 5433888.768$  元, 刚好落在预测值的上下限之间, 这在一定程度上表明本文所利用的方差-协方差参数法预测发电企业的短期金融风险比较准确。

### 3 结语

本文从风险评估的角度出发, 制定了更清晰的风险测度指标 VaR 的方差-协方差参数法, 并对水电厂在电力市场中的收益风险进行了研究。针对水电厂由于季节等因素造成的电量不确定性和参与竞价时所面临的电价波动风险, 对电价和径流的不确定性带来的风险进行了联合评估。由于计算中考虑了电价和电量不确定性风险对发电厂金融风险的影响, 因此基于 VaR 风险计量指标的风险评估结果, 能较真实地反映水电厂所面临的市场风险, 而且次日收益风险值的准确预测为水电厂选择风险因子(权重因子)提供参考, 从而对完善发电计划的制定过程提供有利的帮助。

### 参考文献

- [1] 王春峰. 金融市场风险管理[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.  
WANG Chun-feng. Risk management of financial market[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2001.
- [2] Dahlgren R, Liu C C, Lawarree J. Risk assessment in energy trading[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(5): 503-511.
- [3] 张显, 王锡凡, 王建学, 等. 发电商长期电能分配策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(1): 6-12.  
ZHANG Xian, WANG Xi-fan, WANG Jian-xue, et al. A long-term allocation strategy of power generators[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(1): 6-12.

(下转第 27 页 continued on page 27)

- [4] 周双喜,朱凌志,郭锡玖,等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京:中国电力出版社,2003.  
ZHOU Shuang-xi, ZHU Ling-zhi, GUO Xi-jiu, et al. Power system voltage stability and control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.
- [5] 包黎昕,张步涵,段献忠,等. 电压稳定裕度指标分析方法综述[J]. 电力系统自动化,1999,23(8):52-55.  
BAO Li-xin, ZHANG Bu-han, DUAN Xian-zhong, et al. A summary of the art of voltage stability margin indices[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(8): 52-55.
- [6] Venkataramana Ajarapu, Colin Christy. The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(1): 416-423.
- [7] 赵晋泉,江晓东,张伯明. 一种用于静态稳定分析的故障参数化连续潮流模型[J]. 电力系统自动化,2004,28(14):45-49.  
ZHAO Jin-quan, JIANG Xiao-dong, ZHANG Bo-ming. A new contingency parameter continuation power flow model for steady stability analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(14): 45-49.
- [8] 曾江,韩桢祥. 电压稳定临界点的直接算法[J]. 清华大学学报:自然科学版,1997,37(S1):91-94.
- [9] 吴浩,方鹤飞. 电压稳定临界点的实用直接法[J]. 电力系统自动化,1999,11(5-6):18-24.  
WU Hao, FANG Ge-fei. A practical direct method for voltage collapse point[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 11(5-6): 18-24.
- [10] 赵柯宇,吴政球,刘杨华. N-1故障静态电压稳定极限的快速计算[J]. 电网技术,2008,32(17):62-67.  
ZHAO Ke-yu, WU Zheng-qiu, LIU Yang-hua. Rapid calculation of static voltage stability on the power system under N-1 topology[J]. Power System Technology, 2008,32(17): 62-67.
- [11] Alvarado F L, Jung T H. Direct detection of voltage collapse conditions[R]. Proceedings Bulk Power System Voltage Phenomena-Voltage Stability and Security, EPRI EL-6183, Project 2473-21Proceedings.1989: 23-38.
- [12] 邱晓燕,李兴源,林伟. 在线电压稳定性评估中事故筛选和排序方法的研究[J]. 中国电机工程学报,2004,24(9):50-55.  
QIU Xiao-yan, LI Xing-yuan, LIN Wei. Methods for contingency screening and ranking for on-line voltage stability assessment[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 50-55.
- [13] Flueck A J, Gonella R, Dondeti J R. A new power sensitivity method of ranking branch outage contingencies for voltage collapse[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17(2): 265-270.
- [14] 江伟,王成山,余贻鑫,等. 电压稳定裕度对参数灵敏度求解的新方法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(2):13-18.  
JIANG Wei, WANG Cheng-shan, YU Yi-xin, et al. A new method to compute the sensitivity of loading margin to voltage collapse with respect to parameters[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(2): 13-18.

收稿日期:2009-08-08; 修回日期:2009-09-21

作者简介:

张小兵(1984-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定性分析; E-mail: zhangxiaobing4401@163.com

吴政球(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统分析、电力市场与分布式发电的研究;

李连伟(1984-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定性分析。

(上接第15页 continued from page 15)

- [4] Bjorgan R, Liu C, Lawarree J. Financial risk management in a competitive electricity market[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, (14): 1285-1291.
- [5] Ardrews C. Evaluating risk management strategies in resource planning making[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, (10): 420-426.
- [6] Song H. Optimal strategies for electric energy contract decision making, doctoral dissertation[D]. Seattle: Univ of Washington, 2000.
- [7] Oren S S. Integrating real and financial options in demand-side electricity contracts[J]. Decision Support System, 2001(30): 279-288.
- [8] Michael Denton, Adrian Palmer, Ralph Masiello, et al. Managing market risk in energy[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2): 494-502.
- [9] Dahlgren Robert, Liu Chen-Ching, Lawarree Jacq-ues. Risk assessment in energy trading[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2): 503-511.
- [10] Jorion P. Value at risk: the benchmark for controlling market risk[M]. New York: Mc Graw-Hill, 2005.
- [11] Morgan J P. Risk metrics-technical document[M]. Fourth edition. New York: Morgan Guaranty Trust Company, 1996.

收稿日期:2009-09-01; 修回日期:2009-12-06

作者简介:

李明(1977-),女,讲师,硕士,主要从事电力市场方向的研究; E-mail: kemaoli@163.com

张强(1978-),女,副教授,硕士,主要从事电力市场方向的研究;

司杨(1982-),男,讲师,硕士,主要从事信号检测与处理方向的研究。