

区域电力市场环境下的省电力公司报价策略研究

谭忠富¹, 王绵斌¹, 尚金成², 乞建勋¹

(1. 华北电力大学电力经济研究所, 北京 102206; 2. 河南省电力公司, 河南 郑州 450052)

摘要: 在区域电力市场环境下, 如何利用有效信息, 获得最优报价策略是省电力公司急待解决的问题。针对存在多个发电商和多个省电力公司报价的区域电力市场, 采用线性报价规则和统一边际电价结算方法对市场出清价的解析式进行推导; 在不完全信息条件下, 对各发电商和省电力公司的报价策略进行估计, 并采用概率统计理论, 假设其服从一定的分布; 根据其分布参数进一步推导市场出清价的分布。在此基础上, 对省电力公司报价成功与不成功的概率进行计算, 并采用博弈论构建省电力公司的期望收益优化模型, 通过求解得出报价的贝叶斯均衡, 即省电力公司的最优报价策略。算例表明, 本文提出的报价策略模型是可行的, 对省电力公司有一定的指导作用。

关键词: 区域电力市场; 省电力公司; 报价策略; 概率统计; 贝叶斯均衡

Study on the bidding strategies for provincial electricity power company under regional electricity power market

TAN Zhong-fu¹, WANG Mian-bin¹, SHANG Jin-cheng², QI Jian-xun¹

(1. Institute of Electric Power Economics, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: It is an urgent problem to solve for provincial power grid company that how to get an optimal bidding strategies using the effective information. For there were many energy purchasers' and many generations' bidding in the regional electricity power markets, the formula of market clear price is derivate under linear bidding rule and marginal electric price clearing. Under the incomplete information, the bidding strategies of the generations and the provincial power grid companies are estimated. And supposed they obeyed certain distributions with probability statistical theory. According to their distributing parameters, the distribution of market clear price is derivate. On this basis, the probability of bidding success and unsuccess for provincial power Grid Company are calculated and the expectation income-function model is constructed with game theory. Through solving the model, the bidding bays equilibrium is gotten, which is the optimal bidding strategies for provincial power Grid Company. The example shows that the presented bidding strategies model is feasible and helpful to the provincial power grid company.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(NSFC)(No.70373017 and No.70571023).

Key words: regional electricity power markets; provincial power grid company; bidding strategies; probability statistic; Bayes equilibrium

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)22-0008-07

0 引言

随着我国电力改革的进一步深化, 区域电力市场将逐渐构建, 不仅存在多个发电商售电, 且存在多个省级电力公司购电, 形成多买多卖的局面。目前我国华东、南网区域电力市场已经进行了试点。由于在区域电力市场内实行竞价机制, 因此各发电

商需要竞价卖电, 各省电力公司需要竞价购电。而不同的报价策略, 省电力公司所获得的经营收益也不同。因此, 研究区域电力市场环境下省电力公司的报价理论具有非常重要的实际意义。

关于电力市场报价理论的研究, 目前已经有大量的文献涉及到这个领域。从报价主体上看, 主要可以分为两类: 一是从发电商的角度考虑, 采用概率论和博弈论方法分析其在竞争环境下的最优报价策略^[1-4]; 一是从供电公司的角度考虑, 在单一卖方

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70373017)、(70571023)

市场^[5-7]或多卖多买市场^[8-10]的情况下, 采用概率论或估计竞争对手竞价参数的方法对其最优报价策略进行研究。而从省电力公司的角度考虑还较为鲜见。从报价的规则上看, 可以分为分段报价^[5,6,10,11]和线性报价^[1,7,8]两类, 报价规则的不同将会导致报价主体的最优报价策略不同。从信息的公开与否来看, 又可以分为完全信息下和不完全信息下的最优报价策略, 针对实际情况来看, 一般报价主体不可能知道其它报价主体的报价, 因此不完全信息下的研究更符合实际情况。以上大量文献的研究都很好地扩充了我国电力市场理论内容, 为建立公平、公正、健康发展的电力市场奠定了良好的基础。但也存在一些问题值得继续研究。首先对区域电力市场环境下, 省电力公司的报价策略的研究还较为少见; 其次, 不完全信息下, 市场出清价与参与主体的报价之间的关系的研究也较为少见, 一般都先假设参与主体的报价参数服从一定分布, 然后再假设市场出清价服从另一个分布, 这样就忽略它们之间的关系, 形成了双重假设。最后, 发电商和省电力公司的报价是不完全信息下的博弈, 它们的最优报价策略可以采用贝叶斯均衡理论对其进行求解。

本文正是针对上面这些问题进一步深入研究的。假设在暗标拍卖、线性报价且不完全信息下的区域电力市场中, 先对市场出清价的表达式进行推导, 然后假设各参与主体的报价系数服从一定分布, 并采用概率统计理论, 推导市场出清价的概率分布。在此基础上, 对省电力公司竞价成功与失败的概率进行分析, 并构建其贝叶斯购电优化模型, 通过模型的求解可为省电力公司的报价提供一定的参考。

1 区域电力市场规则概述

针对我国目前的实际情况, 区域电力市场模型(区域统一市场、区域共同市场)可采取“批发竞争、输电网开放、多个购买者”模型, 即多个卖方(主要是区域内各发电厂及具备条件的其它区域的卖电者)与多买方(主要是区域内省级电网公司、大用户及具备条件的其他区域的购电者)的竞价模型^[12]。作为初步的研究, 只考虑省电力公司在日前市场的全电量竞争, 不考虑他们在中长期合约市场的交易。假定交易中心采用暗标拍卖和 MCP 结算的方式进行现货市场的交易, 市场规约要求发电商向区域电力市场申报单调递增的线性竞价函数以及最大、最小发电功率; 省电力公司向区域电力市场申报单调递减的线性竞价函数以及最大供电功率^[9]。对于某个时段来说, 交易中心根据省电力公司和发电商上报的价格进行撮合: 把各个发电商上报

的报价曲线累加成总的供给曲线; 把各个省电力公司上报的报价曲线累加成总的需求曲线, 供给曲线与需求曲线的交点就是成交的电量和市场出清价。如果总供给曲线和总需求曲线没有交点, 那么此次交易撮合失败, 区域交易中心要求各市场参与者重新进行竞价, 直到交易撮合成功。

2 市场出清价概率分布模型

2.1 完全信息下市场出清价模型

假设在一个区域电力市场中, 有 N 个发电商参与竞价上网, 有 M 个省电力公司参与竞价购电, 对一个省级电力公司来说, 它有 $M+N-1$ 个竞争对手。

以发电商 j ($j=1, 2, 3, \dots, N$) 为研究对象, 假设其成本函数为:

$$f_j(p_j) = b_j p_j + a_j p_j^2 \quad (1)$$

机组的约束条件为:

$$p_j^{\min} \leq p_j \leq p_j^{\max} \quad (2)$$

那么发电商的边际成本为:

$$\frac{\partial f_j(p_j)}{\partial p_j} = b_j + 2a_j p_j \quad (3)$$

由于市场规约要求采用线性报价, 因此其报价曲线为:

$$b_j + k_j p_j = R_j \quad (4)$$

其中: a_j, b_j 为发电商的发电成本系数, 可以根据历史数据进行拟合; p_j 为发电商的发电功率; k_j 为发电商的报价策略系数; R 为市场出清价。

以省电力公司 i ($i=1, 2, \dots, M$) 为研究对象, 假设其运营成本函数为:

$$C_i(w_i) = d_i w_i + c_i w_i^2 \quad (5)$$

其购买约束条件为:

$$0 \leq w_i \leq w_i^{\max} \quad (6)$$

其边际成本为:

$$\frac{\partial C_i(w_i)}{\partial w_i} = d_i + 2c_i w_i \quad (7)$$

由于市场规约要求采用单调递减线性报价, 那么省电力公司的报价曲线为:

$$d_i - h_i w_i = R_i \quad (8)$$

其中: c_i, d_i 为第 i 个省电力公司的运行成本系数, 可以根据历史数据进行拟合; w_i 为第 i 个省电力公司的售电功率; h_i 为第 i 个省电力公司的报价策略系数。

在先不考虑约束的情况下, 根据式 (4)、(8)

和负荷供需平衡, 可以得出市场出清价为^[8]:

$$MCP = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{k_j} + \sum_{i=1}^m \frac{d_i}{h_i}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{k_j} + \sum_{i=1}^m \frac{1}{h_i}} \quad (9)$$

在交易撮合的过程中, 对违反约束式(2)(6)时处理如下: 若 $p_j > p_j^{\max}$, 置 $p_j = p_j^{\max}$; 若 $w_i > w_i^{\max}$, 置 $w_i = w_i^{\max}$; 若 $p_j < p_j^{\min}$, 置 $p_j = 0$; 然后采用式(9)重新计算市场出清价, 再推导出发电商与省电力公司的功率大小, 直到全部约束条件都符合。

2.2 不完全信息下市场出清价概率分布模型

在市场环境下, 发电商只知道自己的报价系数, 而不知道其它发电商的报价系数, 只能通过历史数据的统计进行估计。假设 $\frac{1}{k_j}$ 服从 $[\mu_{1,j}, \delta_{1,j}^2]$ 的正态分布, 其密度函数为:

$$f_{s,j}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_{1,j}} e^{-\frac{(x-\mu_{1,j})^2}{2\delta_{1,j}^2}} \quad (10)$$

同理, 省电力公司也不知道其它公司的报价系数, 但可以通过历史数据对其它报价策略进行预测和估计, 假设 $\frac{1}{h_i}$ 服从 $[\mu_{2,i}, \delta_{2,i}^2]$ 的正态分布, 其概率密度如下:

$$f_{s,i}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_{2,i}} e^{-\frac{(x-\mu_{2,i})^2}{2\delta_{2,i}^2}} \quad (11)$$

由于 $\frac{1}{k_j}$ 和 $\frac{1}{h_i}$ 都服从正态分布, 且各发电商和省电力公司之间的报价是相互独立的, 因此,

$\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{k_j}$ 服从均值为 $\sum_{j=1}^n (b_j \mu_{1,j})$, 方差为 $\sum_{j=1}^n (b_j^2 \delta_{1,j}^2)$ 的正态分布; $\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{h_i}$ 服从均值为 $\sum_{i=1}^m (d_i \mu_{2,i})$, 方差为 $\sum_{i=1}^m (d_i^2 \delta_{2,i}^2)$ 的正态分布。由于 $\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{k_j}$ 和 $\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{h_i}$ 也相互独立, 因此可以推出 $\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{k_j} + \sum_{i=1}^m \frac{d_i}{h_i}$ 服从均值

为 $\sum_{j=1}^n (b_j \mu_{1,j}) + \sum_{i=1}^m (d_i \mu_{2,i})$, 方差为 $\sum_{j=1}^n (b_j^2 \delta_{1,j}^2) + \sum_{i=1}^m (d_i^2 \delta_{2,i}^2)$ 的正态分布, 其概率密度函数如下:

$$f_{1,j}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi[\sum_{j=1}^n (b_j^2 \delta_{1,j}^2) + \sum_{i=1}^m (d_i^2 \delta_{2,i}^2)]}} \exp\left\{-\frac{[x - \sum_{j=1}^n (b_j \mu_{1,j}) - \sum_{i=1}^m (d_i \mu_{2,i})]^2}{2[\sum_{j=1}^n (b_j^2 \delta_{1,j}^2) + \sum_{i=1}^m (d_i^2 \delta_{2,i}^2)]}\right\} \quad (12)$$

同理 $\sum_{j=1}^n \frac{1}{k_j} + \sum_{i=1}^m \frac{1}{h_i}$ 也服从均值为

$\sum_{j=1}^n \mu_{1,j} + \sum_{i=1}^m \mu_{2,i}$, 方差为 $\sum_{j=1}^n \delta_{1,j}^2 + \sum_{i=1}^m \delta_{2,i}^2$ 的正态分布, 它的概率密度函数如下:

$$f_{2,j}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sum_{j=1}^n \delta_{1,j}^2 + \sum_{i=1}^m \delta_{2,i}^2)}} \exp\left\{-\frac{(x - \sum_{j=1}^n \mu_{1,j} - \sum_{i=1}^m \mu_{2,i})^2}{2(\sum_{j=1}^n \delta_{1,j}^2 + \sum_{i=1}^m \delta_{2,i}^2)}\right\} \quad (13)$$

设 $X = \sum_{j=1}^n \frac{b_j}{k_j} + \sum_{i=1}^m \frac{d_i}{h_i}$ 和 $Y = \sum_{j=1}^n \frac{1}{k_j} + \sum_{i=1}^m \frac{1}{h_i}$ 的

相关系数为 ρ ; $A = [\sum_{j=1}^n (b_j^2 \delta_{1,j}^2) + \sum_{i=1}^m (d_i^2 \delta_{2,i}^2)]$;

$B = \sum_{j=1}^n (b_j \mu_{1,j}) + \sum_{i=1}^m (d_i \mu_{2,i})$; $C = (\sum_{j=1}^n \delta_{1,j}^2 + \sum_{i=1}^m \delta_{2,i}^2)$;

$D = \sum_{j=1}^n \mu_{1,j} + \sum_{i=1}^m \mu_{2,i}$, 那么它们的联合概率密度函数为:

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sqrt{AC(1-\rho^2)}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(x-B)^2}{A} - 2\rho \frac{(x-B)(y-D)}{\sqrt{AC}} + \frac{(y-D)^2}{C} \right]\right\} \quad (14)$$

$-\infty < x < +\infty, -\infty < y < +\infty$

由于市场出清价 $MCP = \frac{X}{Y}$, 因此可以得出它的概率密度函数为:

$$f_z(z) = \int_0^{\infty} yf(yz, y)dy - \int_0^{\infty} yf(yz, y)dy = \int_0^{\infty} \frac{y}{2\pi\sqrt{AC(1-\rho^2)}} \exp\left\{\frac{-1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(yz-B)^2}{A} - 2\rho \frac{(yz-B)(y-D)}{\sqrt{AC}} + \frac{(y-D)^2}{C} \right]\right\} dy - \int_0^0 \frac{y}{2\pi\sqrt{AC(1-\rho^2)}} \exp\left\{\frac{-1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(yz-B)^2}{A} - 2\rho \frac{(yz-B)(y-D)}{\sqrt{AC}} + \frac{(y-D)^2}{C} \right]\right\} dy \quad (15)$$

如果将上式直接积分, 计算难度较大, 因此本文采用 Matlab 中的 R=ins (S) 命令进行求解, 那么上式可转换为:

$$f_z(z) = \frac{-0.5(2-2*\rho^2)}{2\pi\sqrt{AC(1-\rho^2)}(-2\rho z/\sqrt{AC} + z^2/A + 1/C)} \times \exp(\dots) + \dots + \frac{[-2Bz/A - 2(-\rho B - \rho z D)/\sqrt{AC} - 2D/C]}{2(2-2\rho^2)\sqrt{1/(2-2\rho^2)}(-2\rho z/\sqrt{AC} + z^2/A + 1/C)} \quad (16)$$

3 省电力公司的报价策略模型

省电力公司作为市场中的一个参与主体, 其报价策略主要是在满足合理收益和安全约束的条件下, 尽可能多的获取上网电量和获得最大利润。但是省电力公司报价存在成功和失败两种情况, 因此具有一定的风险。根据前面推出市场出清价的概率密度, 可计算出省电力公司*i*报价成功($R_i \leq MCP$)的概率为:

$$P(R_i \leq MCP) = \int_{R_i}^{\infty} f_z(z) dz \quad (17)$$

省电力公司报价失败($R_i > MCP$)的概率为:

$$P(R_i > MCP) = \int_0^{R_i} f_z(z) dz \quad (18)$$

由于省电力公司售电收益函数是售电量的函数, 为售出电量收益与中断电所赔偿费用和供电成本的差, 因此省电力公司单位时间报价成功的收益函数为:

$$\pi_{1,i} = P_s w_i - C_i(w_i) - w_i MCP \quad (19)$$

其中: P_s 为第*i*个省电力公司对其终端用户的售电电价; $C_i(w_i)$ 为第*i*个省电力公司在供电功率为 w_i 时的单位时间运营成本。

省电力公司在竞价失败时, 不仅没有收益, 而且还可能要向用户支付可中断负荷费用, 因此其的损失函数为:

$$\pi_{2,i} = -\eta\theta w_i \quad (20)$$

其中: θ 是需要向用户支付赔偿的电量在全部购电

量中所占的比例, 满足 $0 \leq \theta \leq 1$; η 是停电时给用户赔偿的可中断电价赔偿费, $\eta > 0$ 。

因此, 省电力公司的收益期望值为:

$$E(\pi_i) = [P_s w_i - C_i(w_i) - w_i R_i] \int_{R_i}^{\infty} f_z(z) dz + (-\eta\theta w_i) \int_0^{R_i} f_z(z) dz \quad (21)$$

结合贝叶斯博弈均衡理论, 利用概率论中数学期望值的求解方法, 建立满足省电力公司期望利益最大化的最优报价策略模型, 如下所示:

$$\begin{cases} \max E(\pi_i) = [P_s w_i - C_i(w_i) - w_i R_i] \times \int_{R_i}^{\infty} f_z(z) dz + (-\eta\theta w_i) \int_0^{R_i} f_z(z) dz \\ d_i - h_i w_i = R_i \\ R_{i,\min} \leq R_i \leq R_{i,\max} \\ 0 \leq w_i \leq w_{i,\max} \\ h_{i,\min} \leq h_i \leq h_{i,\max} \end{cases} \quad (22)$$

以上模型的求解可以先对省电力公司的期望收益进行一阶求导, 可得:

$$\begin{cases} \frac{\partial E(\pi_i)}{\partial R_i} = [-\frac{P_s \partial w_i}{\partial R_i} - d_i - 2c_i w_i - (w_i + R_i) \frac{\partial w_i}{\partial R_i}] \int_{R_i}^{\infty} f_z(z) dz + [P_s w_i - C_i(w_i) - w_i R_i] f_z(R_i) + \frac{\partial(-\eta\theta w_i)}{\partial R_i} \int_0^{R_i} f_z(z) dz + (-\eta\theta w_i) f_z(R_i) = 0 \\ \frac{\partial E(\pi_i)}{\partial w_i} = [P_s - \frac{\partial C_i(w_i)}{\partial w_i} - (R_i + w_i) \frac{\partial R_i}{\partial w_i}] \int_{R_i}^{\infty} f_z(z) dz + [P_s w_i - C_i(w_i) - w_i R_i] f_z(R_i) \frac{\partial R_i}{\partial w_i} + (-\eta\theta) \int_0^{R_i} f_z(z) dz + (-\eta\theta w_i) f_z(R_i) \frac{\partial R_i}{\partial w_i} = 0 \\ d_i - h_i w_i = R_i \\ R_{i,\min} \leq R_i \leq R_{i,\max} \\ 0 \leq w_i \leq w_{i,\max} \\ h_{i,\min} \leq h_i \leq h_{i,\max} \end{cases} \quad (23)$$

式(23)即为省电力公司的最优报价策略, 求出 R_i 和 w_i 即为省电力公司所获得边际电价和中标负荷, 然后根据式(8)得出最优的报价策略。由于 $\int_{R_i}^{\infty} f_z(z) dz$ 和 $\int_0^{R_i} f_z(z) dz$ 概率密度函数 $f_z(z)$ 比较复杂, 很难直接对其解析解。因此, 本文将采用迭代算法对其进行间接求解。式(23)将含有 R_i 和 w_i , h_i 三个变量, 假如边际价格处在一个区间, 即 $R_{\min} \leq R_i \leq R_{\max}$, 由于 $\int_{R_i}^{\infty} f_z(z) dz$ 和 $\int_0^{R_i} f_z(z) dz$ 都是不减函数, 所以上式都是 R_i 的不减函数, 即单调的。因此可设计出这样的算法, 进行分步求解。先不考虑不等式约束, 把初始值 $R_i = R_{\min}$ 代入式(23)中的(1)(2)等式, 通过式(3)进行检验; 设定一定的步长 μ , 直到误差小于一定值 ϵ , 即可得出符合条件的 R_i 。然后把它代入式(22)中, 得

出最优的报价策略。算法流程图如图 1。

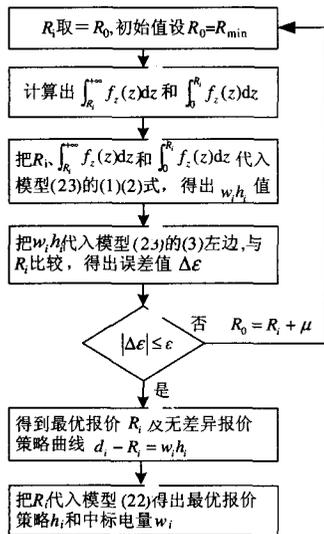


图 1 最优报价算法流程图

Fig.1 Flow chart for optimal bidding arithmetic

4 算例分析

假设区域电力市场中有 4 家发电商和 4 家省电力公司参与现货市场竞争，它们的成本参数和报价策略的均值和方差如表 1 和表 2 所示。以省电力公司 1 为例， c_1 为 0.0225；售电价为 98 $\$/\text{MW}^2\cdot\text{h}$ ， $\eta = 13.75 \$/\text{MWh}$ ， $\theta = 0.45$ ，预测电价在 50~70 $\$/\text{MWh}$ ；根据上面的参数和以往的历史数据可以设报价系数 $h_1 = [-0.294, -0.182]$ ；计算时段为 1 小时，所有出力和电量的单位均用 MW 表示。

表 1 发电商的生产系数及报价策略

Tab.1 Bidding strategies and productive coefficient for generating companies

序号	b_j	μ_{li}	δ_{li}	P_{jmax}	P_{jmin}
1	6.421	2.680	0.25	120	50
2	16.6677	1.288	0.10	50	20
3	12.4406	1.604	0.12	80	30
4	3.47	4.00	0.35	160	50

b_j 和 μ_{li} 的单位为 $\$/\text{W}\cdot\text{h}$ ， δ_{li} 单位为 $\$/\text{MW}^2\cdot\text{h}$ ， P_{jmax} 和 P_{jmin} 单位为 MW

表 2 省电力公司的运营参数及报价策略

Tab.2 Biding strategies operated coefficient and for provincial power grid companies

序号	d_i ($\$/\text{MW}\cdot\text{h}$)	$1/h_i$ 的均值 / ($\$/\text{MWh}$)	$1/h_i$ 的方差 / ($\$/\text{MWh}$)	w_i/MW
1	2.9	-4.45	0.35	230
2	3.8	-2.73	0.28	400
3	3.6	-0.7	0.20	120
4	6.4	-1.5	0.30	150

根据表 1 和表 2 的数据，可以计算出正态分布 X 的方差为 $A=82.74$ ，均值为 $B=37.11$ ；正态分布 Y

的方差为 $C=1.95$ ，均值为 $D=0.192$ 。由于 X 和 Y 不是独立的随机变量，因此采用 Matlab 中 Randn 命令对两个随机变量进行随机模拟 1000 个变量，其模拟图如下：

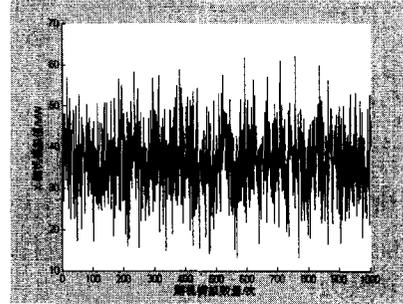


图 2 X 随机变量模拟图

Fig.2 Simulative chart of X random variable

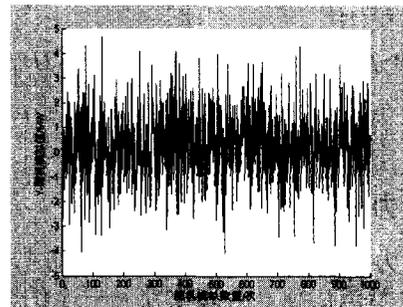


图 3 Y 随机变量模拟图

Fig.3 Simulative chart of Y random variable

通过上面的模拟数据，调用 Matlab 中的 corrcoef (X,Y) 命令，可以得到 X 与 Y 之间的相关系数 $\rho = -0.054$ ，因此可以得出它们联合概率密度为：

$$f(x,y) = \frac{1}{18.17\pi} \exp \left\{ -0.501 \times \left[\frac{(x-37.11)^2}{82.74} + \frac{(x-37.11)(y-0.192)}{117.61} + \frac{(y-0.192)^2}{1.95} \right] \right\}$$

根据常用的“ 3σ ”准则，z 取正负 500，采用 Matlab 中的 R=ins (S) 命令进行求取，那么上面的式子转换为：

$$f(z) = \frac{0.055}{\pi} \left[\frac{1}{2(-0.0043z - 0.0061z^2 - 0.2569)} \exp(\dots) + \dots - \frac{1}{\sqrt{0.017z + 0.024z^2 + 1.028}} \right]$$

由于计算过程较为复杂，为了说明问题，本文对算例进行简化，即不考虑可中断负荷的赔偿情况并且设供电成本 10 $\$/\text{MW}$ ，但这样并不影响算例的检验。根据式 (23) 可以得出：

$$\begin{cases} [-\frac{98}{h_1} + \frac{10}{h_1} - (w_1 - \frac{R_1}{h_1})] \int_{R_1}^{500} f(z)dz + \\ (98w_1 - 10w_1 - w_1R_1)f(R_1) = 0 \\ [98 - 10 - (R_1 - w_1h_1)] \int_{R_1}^{500} f(z)dz + \\ (88w_1 - wR_1)f(R_1) \times (-h_1) = 0 \\ 2.9 - w_1h_1 = R_1 \\ 50 \leq R_1 \leq 70 \\ -0.294 \leq h_1 \leq -0.182 \\ 0 \leq w_1 \leq w_{i,max} \end{cases}$$

以省电力公司 1 为例,先取 $R_1=50 \text{ \$/MWh}$, 设步长为 0.001, $\varepsilon = 0.5$, 根据算法进行迭代, 最终的边际电价在 $R_1=57.974 \text{ \$/MWh}$ 符合约束条件, 此时 $w_1h_1 = -56.7944$, 其上报价格与误差值关系图如下:

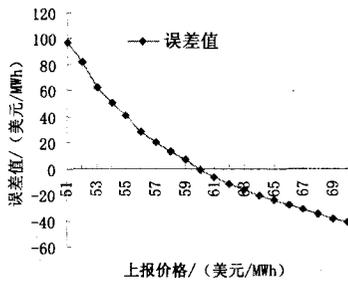


图 4 上报价格与误差值关系图

Fig.4 Relation between bidding price and error

在不考虑不等式约束的情况下, 模型 (23) 中只能求得 w_ih_i 的值, 而不能求出单独 w_i 和 h_i 的值, 这是合理的, 因为报价 h_i 与 w_i 之间是互为反相关, 只要市场边际电价确定, 那么报价策略越高, 所得电量就越少, 报价策略低, 所得的电量就越多, 它们的关系图如图 5。

最后, 把 $R_1=59.974 \text{ \$/MWh}$ 代入模型 (22) 中, 可以得出最优报价策略 $h_1=-0.2469$ 和中标电力 $w_1=230 \text{ MWh}$, 此时省电力公司的收益为 1265.99 \$。

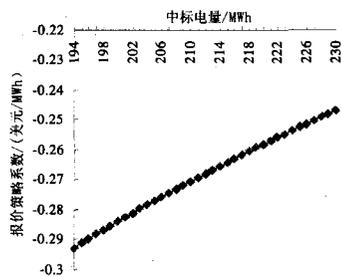


图 5 无差异报价策略曲线

Fig.5 No difference bidding strategies curve

5 结论

区域电力市场是我国未来电力体制改革的趋

势, 因此研究省电力公司的报价策略具有重要的实际意义。市场出清价与发电商和省电力公司的报价策略有关, 而以往的研究都假设各市场主体的报价系数服从一定的分布, 然后又假设市场出清价服从一定的分布, 忽略它们之间存在的关系, 存在双重假设情况。本文根据各报价主体的报价策略, 推导出市场出清价的概率分布函数, 理顺了报价策略与市场出清价之间的关系, 并采用贝叶斯均衡理论构建省电力公司的报价策略模型, 根据模型实际情况给出具体的算法, 因此它更符合实际情况, 对未来省电力公司的报价具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 宋宏坤, 汤玉东, 唐国庆, 等. 考虑需求侧竞价的发电公司[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (6): 43-47. SONG Hong-kun, TANG Yu-dong, TANG Guo-qing, et al. Analysis of Power Generation Enterprise Bidding Strategies[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27 (6): 43-47.
- [2] 李聪. 关于远期合同市场发电商的竞价策略研究[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2007, 6(2): 92-95. LI Cong. A Study on Bidding Strategy of Power Generator with Forward Contract Market[J]. Journal of Taiyuan Normal University (Natural Science Edition), 2007, 6(2): 92-95.
- [3] 张新华, 叶泽. 基于次序统计量的发电公司竞价策略研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(12): 120-126. ZHANG Xin-hua, YE Ze. Study on Bidding Strategy of Generation Company based on Order Statistic[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2006, 26(12): 120-126.
- [4] 刘建良, 周杰娜, 杨华. 考虑机组出力约束的发电商最优竞价策略研究[J]. 继电器, 2006, 34 (24): 41-46. LIU Jian-liang, ZHOU Jie-na, YANG Hua. Research on Power Plants' Optimal Bidding Strategies Considering Units' Output Limits[J]. Relay, 2006, 34 (24): 41-46.
- [5] 谢俊, 陈星莺. 采用分段报价规则并考虑风险管理的供电公司最优报价策略[J]. 现代电力, 2007, 24 (1): 72-77. XIE Jun, CHEN Xing-ying. Optimal Bidding Strategies for Distribution Companies in Transmission and Distribution Separated Electricity Markets with Step-wise Bidding Protocol and Risk Management[J]. Modern Electric Power, 2007, 24 (1): 72-77.
- [6] 黄志伟, 陈允平, 严正, 等. 单一卖方电力市场及购电商竞价策略研究[J]. 电工技术学报, 2004, 19 (4): 101-106. HUANG Zhi-wei, CHEN Yun-ping, YAN Zheng, et al. Study of the Single-bargainer Electricity Market and Energy Purchase's Biding Strategy[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19 (4): 101-106.

[7] 陈星莺, 李华昌, 廖迎春, 等. 不完全信息下的供电公司最优竞价策略[J]. 电力需求侧管理, 2006, 8(4): 12-15.
CHEN Xing-ying, LI Hua-chang, LIAO Ying-chen, et al. Optimal Bidding Strategies for Distribution Companies with Incomplete Information[J]. Power DSM, 2006, 8(4): 12-15.

[8] 王秀丽, 周鹏, 王锡凡. 发/供电公司市场均衡及竞价策略[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(6): 6-10.
WANG Xiu-li, ZHOU Peng, WANG Xi-fan. Market Equilibrium and Bidding Strategies of Generation/distribution Companies[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(6): 6-10.

[9] 陈星莺, 谢俊. 计及风险的输配电分离电力市场供电公司最优竞价策略[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(1): 13-17.
CHEN Xing-ying, XIE Jun. Risk-constrained Optimal Bidding Strategies for Distribution Companies in Transmission and Distribution Separated Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(1): 13-17.

[10] 段登伟, 刘俊勇. 基于不完全信息静态博弈论的购电商竞价策略研究[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(7): 10-14.
DUAN Deng-wei, LIU Jun-yong. Buyer's Bidding Strategies Based on the Static Game Theory with Incomplete Information[J]. Electric Power Automation

Equipment, 2003, 23(7): 10-14.

[11] 谢俊, 陈星莺. 单一卖方电力市场供电公司最优报价策略[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(16): 68-73.
XIE Jun, CHEN Xing-ying. Optimal Bidding Strategies for Distribution Companies in Single-seller Electricity Markets[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(16): 68-73.

[12] 尚金成, 张兆峰, 韩刚. 区域供电电力市场交易机理与交易模型的研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(4): 6-14.
SHANG Jin-cheng, ZHANG Zhao-feng, HAN Gang. Study on Transaction Mechanism and Model of Regional Layered Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(4): 6-14.

收稿日期: 2008-01-25; 修回日期: 2008-05-17

作者简介:

谭忠富(1964-), 男, 教授, 博士后, 博士生导师, 电力经济研究所所长, 主要从事电力经济、风险管理理论的研究; E-mail: tanzhongfu@sina.com

王锦斌(1979-), 男, 博士研究生, 主要从事电力经济的研究;

尚金成(1966-), 男, 博士, 主要从事电力系统(电网)优化调度、电力市场竞价交易理论及风险管理、发电厂电度管理与竞价上网辅助决策研究。

(上接第7页 continued from page 7)

FU Xu, WANG Xi-fan. An Equivalent Two Source Phase Domain of Interline Fault Analysis for the Double Circuit Line on the Same Pole[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7).

[12] 郭润生, 何彩虹, 邴建杰. 相邻线路零序互感对线路零序保护零序纵联方向保护的影响[J]. 继电器, 2004, 32(9).
GUO Run-sheng, HE Cai-hong, ZHI Jian-jie. Influence of Zero-sequence Mutual Inductance to Pilot Protection in Parallel Lines[J]. Relay, 2004, 32(9).

[13] 中国电力科学研究院. 电力系统分析综合程序—基础数据库, 用户手册[M]. 北京: 中国电力科学研究院, 2001.
Electric Power Research Institute, China. Power System Analysis Software Package-Common Database, User's Manual[M]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2001.

[14] 中国电力科学研究院. 电力系统分析综合程序—短路计算, 用户手册[M]. 北京: 中国电力科学研究院, 2001.
Electric Power Research Institute, China. Power System Analysis Software Package-Short Circuit Calculation, User's Manual[M]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2001.

收稿日期: 2008-01-14; 修回日期: 2008-04-23

作者简介:

陈少华(1954-), 女, 教授, 长期从事电力系统继电保护与自动装置的教学与研究工作;

梁志雄(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统安全运行与控制、继电保护与整定计算; E-mail: gduitzx1982@126.com

孙何洪(1972-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统安全运行与控制。