

基于效用的发电商最优风险报价策略

高春风, 彭建春, 江辉

(湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 电力市场中, 发电商的报价策略直接影响着其收益的大小, 如何选择兼顾收益和风险的报价策略对发电商来讲至关重要。提出了一种基于效用的发电商最优风险报价策略。这种方法基于机会约束规划估量报价风险, 并运用效用理论评估报价策略的优劣。为发电商合理选择报价策略提供了一种新的途径。算例证明了该模型的可行性和有效性。

关键词: 电力市场; 报价策略; 机会约束规划; 风险分析; 效用评估

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)10-0046-04

0 引言

在不完全竞争的电力市场, 发电商可以通过策略性报价来最大化收益。然而, 在不完全信息的条件下, 报价存在着一定的风险, 报价过高, 面临着不能上网或上网电量少的风险; 报价太低, 其收益又会受到影响。所以发电商的报价决定了机组能否上网发电及其在市场中可以占有的份额, 进而直接影响到自身的经济利益。

目前已有的风险评估的方法主要以方差为基础。文献 [1] 考虑了现货和备用市场的报价模型, 利用期望电价的均方差估量风险。文献 [2] 构建了基于期望收益和标准差衡量报价策略的随机优化模型; 文献 [3] 利用收益的标准差除以收益的期望值来计量风险程度。文献 [4] 使用期望值—标准差无差异曲线来描述决策者不同的风险态度, 根据各个方案的效益水平选择最优的策略。文献 [5] 研究了两市场的购电问题, 用总费用的标准方差来表示风险。

风险来源于收益低于预期目标时的情况, 当发电商的收益高于预期目标时并不形成风险。用方差度量风险时对收益高于和低于均值不加区分, 一律作风险因素处理, 而机会约束规划^[6]很好的解决了这一矛盾。本文利用机会约束规划来估量报价的风险, 并将风险管理学^[7]中的效用理论引入到报价策略的评估中, 建立了发电商的效用函数, 并给出了求解方法, 为发电商的风险报价策略问题提供了新的解决途径。

1 计及风险的风险策略模型

1.1 基于机会约束规划的风险评估

机会约束规划是在一定概率意义下达到最优的理论。机会约束规划允许在一定程度上不满足约束条件, 但决策使约束条件成立的概率不小于某一置信水平。在 PAB 模式的电力市场中, 发电商希望报价在中标概率不小于某一概率水平的情况下最高, 市场清除价 (MCP) 具有不确定性, 但可以根据历史数据对申报时段的 MCP 进行预测, 所以报价问题在数学上可以用机会约束规划来描述:

$$\begin{cases} \max P_i \\ \text{s t } \Pr\{R \geq P_i\} \\ P_{\min} \leq P_i \leq P_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_i 表示发电商在时段 i 市场清除价为 R , 保证置信水平至少是 $1 - \alpha$ 时, 可进行的报价; 即不中标概率最大为 α 。 α 值的大小客观的描述了报价的风险大小程度。 P_{\min} 和 P_{\max} 分别表示申报电价的上下限。

一般发电商在时段 i 的发电成本函数 $C_i(q_i)$ 表示为:

$$C_i(q_i) = 0.5a_i q_i^2 + b_i q_i + c_i \quad (2)$$

式中: a_i, b_i, c_i 为发电成本系数; q_i ($q_{\min} \leq q_i \leq q_{\max}$) 为发电商的出力, q_{\max} 和 P_{\min} 分别为有功出力的上下限。而报价的下限 $P_{\min} = \min\{c_i\}$ ^[8], 本文暂不考虑报价的上限。

根据 MCP 的预测曲线, 可以求出发电商在不同中标概率下的最高报价。

1.2 发电商的最优出力 - 利润

发电商在时段 i 的收益函数 E_i 为:

$$E_i = P_i q_i - C_i(q_i) \quad (3)$$

上式是单个时段发电商的收益函数。如果要考虑多

时段的收益累加即可。

在发电商最大收益时,出力和报价满足:

$$\frac{\partial E_i}{\partial q_i} = P_i - a q_i - b = 0 \quad (4)$$

可以求得发电商的出力为:

$$q_i = \begin{cases} 0, & q_i < q_{\min} \\ \frac{P_i - b}{a}, & q_{\min} \leq q_i \leq q_{\max} \\ q_{\max}, & q_i > q_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

将式(1)和(5)代入式(3)可求出发电商各个报价策略的最大收益值。

1.3 报价策略效用函数的建立

在1.1和1.2节中建立了发电商的报价模型,求出了其在不同中标概率(即不同风险)时的最高报价、最优出力及可获得的最大收益。从求解的过程中可以看到风险越高,收益也越大。但同时收益越大,效用越大;风险越高,效用将越小。也就是说收益效用函数和风险效用函数的变化方向相反。这给最优报价策略的选择带来了一定的困难。

不同的发电商,由于年龄、所处的经济地位、经验以及个性等等因素的不同,他们对待收益和风险的态度也有所差异,从而对报价策略的选择也会不同。本节将引入效用理论,论述发电商如何从1.2节求出的报价策略中,权衡收益和风险这对矛盾,选出自身认为的最优报价策略。

效用理论是结合经济学上的效用观念及心理学上的主观概率所形成的定性分析理论,更好的描述了发电商的状态。

发电商必然综合考虑收益和风险产生的效用,则报价策略 S 的效用 $U(S)$ 为:

$$U(S) = U(E) + (1 - \alpha)U(1 - \alpha) \quad (6)$$

式中: α 为收益效用函数 $U(E)$ 和风险效用函数 $U(1 - \alpha)$ 的加权系数。

α 值表明了发电商主观的风险偏好程度:

$$\begin{cases} > 0.5 & \text{风险爱好者} \\ = 0.5 & \text{风险中立者} \\ < 0.5 & \text{风险厌恶者} \end{cases}$$

Friedman与Savage早已证明,决策者的风险态度并不是一成不变的,实际中,决策者对待风险事件的态度是随着货币值的不同而表现出不同的类型。发电商作为发电公司的决策者对的选择也会随着其可获得的收益值的变化而变化。在既定目标未达到前,往往表现的颇具冒险性,以求目标尽快达到,这一阶段,他是一位风险爱好者;但当目标达到后,往往会趋于保守而成为一位风险厌恶者。

构造效用函数有各种方法,本文将采用“效用间距离对分法”,综合考虑收益和风险产生的效用。该方法以取各效用段的中点而得名,其相容性的校核比较容易。

(1) 收益效用函数

1) 将各个报价策略按可获得的最大收益从小到大进行排序 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_N\}$,各个收益所对应的报价策略为 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ 。假设发电商获得收益为 E_N 时,产生的效用为1;收益为0时,效用为0。

2) 通过询问寻求 E_j ,使 E_j 产生的效用 $U(E_j) = \frac{1}{2} = \frac{1}{2}U(0) + \frac{1}{2}U(E_N)$,即发电商认为获得收益 E_j 同以50%~50%的概率获得收益0和 E_N 是等效的。

3) 按相同的方法寻找 E_K 和 E_H ,使 $U(E_K) = \frac{1}{2}U(0) + \frac{1}{2}U(E_j) = \frac{1}{4}$, $U(E_H) = \frac{1}{2}U(E_j) + \frac{1}{2}U(E_N) = \frac{3}{4}$ 。

4) 可以看到通过上面的构造, $\frac{1}{2}U(E_K) + \frac{1}{2}U(E_H) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{1}{2} = U(E_j)$,提供了有效的校核。如果发电商认为50%~50%的概率获得收益0和 E_N 与50%~50%的概率获得收益 E_K 和 E_H 不等价,需再对步骤1~3重新赋值调整,以达到相容性。

5) 重复上述过程得到足够的效用点,直到做出效用函数 $U(E)$ 为止。

(2) 风险效用函数

内嵌于各报价策略的风险产生的效用函数 $U(1 - \alpha)$ 利用相同的原理进行确定。假设风险值 $1 - \alpha$ 值为1(不中标)时,效用值为0;风险为0(100%中标)时,效用值为1。

(3) 发电商的最优报价策略

同样通过对发电商探询、比较的方法,并根据发电商的历史报价数据确定 α 值^[7]。针对报价策略 S_j ($j=1, 2, \dots, N$),分别将该策略的收益效用 $U_j(E)$ 和风险效用 $U_j(1 - \alpha)$ 代入式(6),可求出各个可行报价策略的效用值。发电商选择的最优报价策略为 $\max\{U(S_j)\}$ 。

2 算例分析

假设每个发电商只有一个注册机组,机组参数

为: $a_i = 3.2$ 元 / (MWh)、 $b_i = 60.5$ 元 / (MW²h)、 $c_i = 9.5$ 元 / h, 出力上下限分别为 40 MW 和 160 MW。根据历史数据, 预测某时段 i 的 MCP 服从正态分布^[9], 其均值为 387.90 元 / MW, 方差为 45.24。

2.1 报价策略的风险及收益

利用式 (1) 可求得发电商在不同风险下的报价数据, 如图 1 所示。

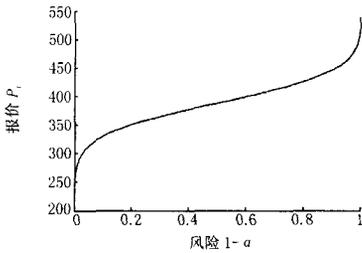


图 1 报价和 risk 的关系

Fig 1 Relationship of bidding price and risk

根据式 (3) 和式 (5) 可得发电商在不同的报价风险下的最优发电出力和可以获得的最大收益。表 1 列出了风险分别取 0、0.5、1 时该发电商的最高报价、最优出力和可以获得的最大收益值情况。

表 1 不同风险时的计算结果

Tab 1 Results of optimal bidding using alternative risk value

风险	报价 P_i (元 / MW)	出力 q_i MW	收益 E_i 元
0	226.16	51.77	4 258
0.5	388.11	102.38	16 740
1	542.29	150.56	36 239

2.2 报价策略的效用

(1) 收益效用函数的建立

1) 令 $U(E_{0.0}) = U(0) = 0$, $U(E_{1.0}) = U(36239) = 1$ 。

2) 寻求收益值 $E_{0.5}$, 经由与某发电商对话询问, 发电商认为获得收益 $E_{0.5} = 23 643$ 元同以 50% ~ 50% 的概率获得收益 $E_{0.0}$ 和 $E_{1.0}$ 是等效的, 即

$$U(E_{0.5}) = \frac{1}{2} = \frac{1}{2}U(E_{0.0}) + \frac{1}{2}U(E_{1.0})。$$

3) 确定收益 $E_{0.25}$, 经对话询问该发电商认为 50% ~ 50% 的概率获得收益 $E_{0.0}$ 和 $E_{0.5}$ 同获得收益 18 042 是等效的。即 $E_{0.25} = 18 042$ 元, $U(E_{0.25}) =$

$$\frac{1}{2}U(E_{0.0}) + \frac{1}{2}U(E_{0.5}) = \frac{1}{4};$$

$$\text{类似地, 可确定 } E_{0.75} = 25 564 \text{ 元, } U(E_{0.75}) = \frac{1}{2}U(E_{0.5}) + \frac{1}{2}U(E_{1.0}) =$$

$$\frac{3}{4}。$$

4) 校核相容性。因 $U(E_{0.5}) = \frac{1}{2}U(E_{0.25}) + \frac{1}{2}U(E_{0.75})$, 所以 50% ~ 50% 的概率获得收益 0 元和 36 239 元和 50% ~ 50% 的概率获得收益 18 042 元和 25 564 元应是等价的, 该发电商认为此等价式恰当, 所以相容性成立。

5) 重复上述过程寻找足够的效用点, 最终做出此发电商的效用函数 $U(E)$, 如图 2 所示:

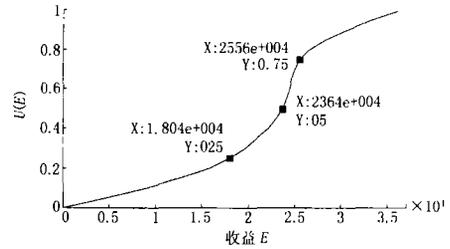


图 2 收益效用函数

Fig 2 Utility function of profit

(2) 风险效用函数的建立

利用 2.3 节所述方法建立发电商的风险效用函数 $U(1 - \alpha)$, 如图 3 所示:

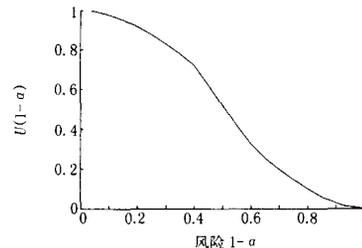


图 3 风险效用函数

Fig 3 Utility function of risk

(3) 最优报价策略的选择

本文假设 β 为常数, 通过第 2 节所述方法, 可得发电商未达到预期目标的报价策略 $\alpha = 0.7$, 达到目标的报价策略 $\alpha = 0.4$ 。如果该发电商的目标收益是 15 700 元, 则发电商将选择报价为 382.09 元 / MW、出力为 100.5 MW 的报价策略, 此时中标的概率为 0.56 (即该策略的风险为 0.44), 收益为 16 129 元。因该策略的收益值大于预期目标, 所以此时 $\alpha = 0.4$ 。

不同的发电商对报价策略的选择不同, 有时可能会相差很大。

3 结论

本文将机会约束规划引入到发电商报价的风险评估中, 克服了利用方差度量风险时对收益高于和

低于均值不加区分的弱点,为估量风险提供了一种新的途径。通过将各个可行的报价策略的收益和风险用统一的效用值量化,解决了其不可比的矛盾。利用一种全新的方法“效点间距离对分法”,建立了发电商的效用函数,该函数充分考虑了发电商自身的心理及价值取向,所选择的报价策略可以很好地满足发电商的要求。

参考文献:

- [1] Ni E, Luh P B, Rourke S. Optimal Integrated Generation Bidding and Scheduling with Risk Management Under a Deregulated Daily Power Market [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19(1): 600-609.
- [2] 马新顺,文福拴,倪以信,等. 计及风险的发电公司的最优报价策略 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20): 16-20.
MA Xin-shun, WEN Fu-shuan, NI Yi-xin, et al. Development of Optimal Bidding Strategies for Generation Companies with Risk Management [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(20): 16-20.
- [3] 马莉,文福拴,倪以信,等. 考虑风险约束的发电公司报价策略的研究 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(23): 6-11.
MA Li, WEN Fu-shuan, NI Yi-xin, et al. Risk-constrained Optimal Bidding Strategies for Generation Companies in Electricity Market Environment [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(23): 6-11.
- [4] 康重庆,白利超,夏清,等. 电力市场中发电商的风险决策 [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(8): 1-6.
KANG Chong-qing, BA LI Li-chao, XIA Qing, et al. Risk Decision-making of Generations in Electricity Market [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(8): 1-6.
- [5] 刘亚安,管晓宏. 考虑风险因素的两市场购电优化问题 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26(9): 41-44.
LIU Ya-an, GUAN Xiao-hong. Optimization of Purchase Allocation in Dual Electric Power Markets with Risk Management [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(9): 41-44.
- [6] 刘宝碇,赵瑞清. 随机规划与模糊规划 [M]. 北京:清华大学出版社, 1998.
LIU Bao-ding, ZHAO Rui-qing. Stochastic Programming and Fuzzy Programming [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998.
- [7] 胡宣达,沈厚才. 风险管理学基础——数理方法 [M]. 南京:东南大学出版社, 2001.
HU Xuan-da, SHEN Hou-cai. Risk Management——Mathematical Method [M]. Nanjing: Southeast University Press, 2001.
- [8] 张晓东,高波,宋之平. 发电企业竞标策略的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(8): 153-157.
ZHANG Xiao-dong, GAO Bo, SONG Zhi-ping. The Study of Bidding Strategies for Power Supplier [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(8): 153-157.
- [9] 葛朝强,李扬,唐国庆,等. 基于风险的火电厂报价策略评估 [J]. 电网技术, 2003, 27(11): 48-51.
GE Chao-qiang, LI Yang, TANG Guo-qing, et al. Risk Based Assessment for Strategies in Thermal Power Plant Bidding [J]. Power System Technology, 2003, 27(11): 48-51.

收稿日期: 2005-09-27; 修回日期: 2006-11-10

作者简介:

高春风 (1979 -),女,硕士研究生,主要从事电力市场及电力系统稳定性方向的研究; Email: gaokjhj1@163.com

彭建春 (1964 -),男,博士,教授,博士生导师,主要从事电力市场、电力系统优化运行、规划及其应用软件的开发等研究工作;

江辉 (1968 -),女,博士,副教授,硕士生导师,主要从事电力系统优化运行、电力经济和计算机应用等研究工作。

Optimal bidding strategies of power generation companies based on utility theory

GAO Chun-feng, PENG Jian-chun, JIANG Hui

(College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In electricity market, how to build optimal bidding strategy to maximize profit when risks are considered becomes the key point for generation companies. A new bidding strategy based on utility theory is proposed in this paper. It is carried out by evaluating prices risk of bidding using chance-constrained programming and is accessed using utility theory. It gives a new way of bidding building for generation companies. Simulation results show that the established model is effective.

Key words: electricity market; bidding strategy; chance-constrained programming; risk analysis; utility assessment