

考虑机组出力约束的发电商最优竞价策略研究

刘建良, 周杰娜, 杨 华

(贵州大学电气工程学院, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 电力市场环境下, 发电商之间的竞争是一个处于不完全竞争市场、非完全信息下的非合作博弈模型。在分析各种发电商策略性报价基础上, 在双人博弈理念下, 考虑到机组出力约束, 提出了发电商最优竞价策略的数学模型并给出了其求解方法, 从而得到了发电商的最优报价策略和在报价越界时优化调整策略。通过算例验证了该方法的有效性, 其结论是: 当发电商对系统负荷需求不同情况下采用相应的报价策略时, 即可实现企业利润的最大化。

关键词: 电力市场; 双人博弈; 竞价策略; 出力约束; 利润最大化

Research on power plants' optimal bidding strategies considering units' output limits

LIU Jian-liang, ZHOU Jie-na, YANG Hua

(Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: In the environment of electricity market, the competition among the power plants can be modeled as a non-cooperative game with incomplete information under the imperfect competition. Based on the analysis of power plants' bidding strategies and the game theory, considering the units limits, this paper presents an optimal bidding strategy, formulates a novel mathematic model and gives the right approach, thus obtains an optimization bidding strategy and an optimal adjusting method for power plant when the output exceeds its units limits. The efficiency of the proposed approach is illustrated by a numeral case. The conclusion is when the load is different in power system and the power plant alters its optimal bidding strategy correspondingly, it will gain the maximum profits.

This project is supported by a Key Industrial Project of Guizhou Department of Science and Technology of Guizhou Province (No. Qiankehe(2004)GGY030).

Key words: electricity market; double-person gaming; bidding strategy; units limits; maximum profits

中图分类号: TM73; F123.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2006)24-0041-06

0 引言

电力的市场化改革已成为全世界不可逆转的历史潮流, 其目的就是打破垄断, 引入公平竞争和改善经济效率, 其最终目标是实现社会资源的合理分配和社会效益最大化^[1]。我国近期电力工业的体制改革主要集中在发电方的市场化, 发电企业应当及时了解市场供求信息, 努力降低生产成本, 采用合理实用的竞价策略以实现企业效益的最大化。因此, 采用什么样的竞标策略以使收益最大已成为发电商的最关键因素。

对于发电商的策略性报价, 国内外各种研究成

果不断涌现, 归纳起来, 主要有以下 4 种方法: ①如基于发电商自身机组发电成本特性的报价方法^[2], 文献[2]通过对发电机组成本的分析, 阐述了边际发电成本等于边际发电收入的最优竞价策略; ②基于预测竞争对手报价行为的报价方法^[3-7], 通常采用概率论或模糊集的方法进行求解, 如文献[3]利用正态分布函数描述竞争对手竞标策略, 最后用蒙特卡罗方法求解, 文献[5]通过估计所有竞争对手的段容量和段价的概率分布, 将竞标问题描述成随机优化问题, 并用蒙特卡罗方法求解; ③基于预测市场出清价 (MCP) 的策略性报价方法^[8-10], 即通过事先预测 MCP, 采用比估计的 MCP 低一点的价格投标, 如文献[10]通过预测次日市场出清电价并假定其符合正态分布来确定本企业的竞标策略; ④基于

基金项目: 贵州省科技厅工业攻关项目(黔科合(2004)GGY030)

博弈论的策略性报价方法^[11-16]，其中文献[13]通过将所有竞争对手虚拟成一个等值竞争对手的方法简化为二人博弈问题来建造模型，文献[14~16]则在 N 人博弈模型下，用博弈论的方法提出了发电商的策略性报价策略。

在上述 4 种方法中，其中方法①需要处理大量的历史数据，而且计算量大，这对发电商而言是非常困难的；方法②由于需采集历史数据构建概率密度函数，通过随机模拟产生近似结果，因此难以系统地得到投标策略，而且其对历史数据的要求也较高；方法③由于系统负荷需求、系统可用容量、其他发电商的投标以及输电网拥塞情况对 MCP 的影响很大，所以准确预测 MCP 是很困难的；方法④通过估计其他发电商可能的投标行为，采用博弈论的思想，寻找市场均衡点和己方的最优竞价策略，因而采用博弈论的方法来进行策略性报价，其模拟结果更接近实际。但其应用主要有两个难点。其一是对完全信息和不完备信息的处理。由于在电力市场环境，各个竞争对手的报价历史数据以及费用函数都属于商业机密而不会公开，所以这种方法的参数预测准确度很难得到保障。其二是多人博弈问题。相比于双人博弈，多人博弈的理论和算法研究还不够成熟、完善，而且计算量也较大。

本文正是基于上述问题下，建立了基于双人博弈下的数学模型，给出了最优报价策略，同时也考虑到本身机组的出力的限制，给出了当出力越限时的发电商应采用的最优报价策略，最后用算例来说明本策略的有效性。

1 MCP 机制下发电商的竞价行为描述

统一市场出清价 (MCP) 方法即发电商在规定的时间内向交易中心提交次日某一交易时段的最大可发电量以及相应的发电报价，而交易中心则根据预测的负荷需求按发电商的报价从低到高将所报容量进行排序，直到与该时段的预测负荷平衡来确定该交易时段发电商的加载顺序，最后一位被选中的发电商即为该时段的边际机组，而其报价即为边际电价 (MCP)，申报上网电价高于该边际电价的发电商将不安排上网售电，所有投标获胜的发电商均按边际电价统一结算。本文只考虑其中一个时段的报价，对于其他时段的报价，本文所阐述的模型同样实用。

假设在统一市场出清价的市场模式下，有 N 个独立的发电商竞价上网，设每个发电商的报价曲线

为 $B_i = B_i(S_i, P_i)$ ，其中 P_i 为机组可发的有功功率， S_i 为该机组的报价策略向量，即报价曲线的参数，以上描述可用数学模型表示如下：

$$\begin{cases} B_i(S_i, P_i) = R \\ \sum_{i=1}^n P_i = Q & i=1,2,\dots,N \\ Q = Q_0 - k\lambda \end{cases} \quad (1)$$

式中： R 为市场出清价 (MCP)， Q 为市场需求， Q_0 为不考虑负荷弹性时的原始负荷， k 为负荷弹性系数；第 1 个方程表示系统边际电价；第 2 个方程表示系统的供需平衡。

2 发电商竞价曲线

假设参加竞标的发电商机组成本函数都是二次函数，为：

$$C_i = C_i(P_i) = a_i + b_i P_i + \frac{1}{2} c_i P_i^2 \quad i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

其中： a_i 、 b_i 和 c_i 为发电商机组成本系数， a_i 为机组固定成本系数，固定成本指机组折旧、还贷付息和固定工资等。 b_i 和 c_i 为机组可变成本系数，可变成本主要是指煤耗、水耗等； P_i (单位：MW) 为发电机组 i 的出力，且 $P_{i\min} \leq P_i \leq P_{i\max}$ ， $P_{i\min}$ 和 $P_{i\max}$ 分别为机组 i 的最小和最大出力； C_i (单位：\$) 是机组出力为 P_i 时的发电成本； N 为参加竞标的机组数目。

则各机组的可变成本函数为：

$$VC_i = VC_i(P_i) = b_i P_i + \frac{1}{2} c_i P_i^2 \quad i=1,2,\dots,N \quad (3)$$

各机组的边际成本函数为：

$$MC_i = \frac{dC_i}{dP_i} = b_i + c_i P_i \quad i=1,2,\dots,N \quad (4)$$

由上式可以看出：在边际成本曲线中含 P_i 乘积项的系数 c_i 权重最大，也就是说可以认为发电商的边际成本主要是 $c_i P_i$ ，所以可以对 b_i 作近似处理。认为 $b_i = \text{常数}$ 。

经济学研究表明，当发电商以边际成本报价时，其获得了边际收益，发电商得到了合理的利润，不过发电商在进行报价时不一定按边际成本来报价，发电商会根据博弈情况适当调整报价策略，这有可能使发电商的报价高于或低于边际成本，因此可以假设发电商的报价函数为：

$$B_i = MC_i + m_i P_i = b_i + c_i P_i + m_i P_i \quad i=1, 2, \dots, N \quad (5)$$

式中: B_i (单位: \$/MW) 为机组出力是 P_i 时的报价; m_i 为竞标曲线的系数。

将式 (5) 代入式 (1), 可得到市场出清价子 MCP 和各机组在市场中占有的份额为:

$$P_i = \frac{R - b_i}{c_i + m_i} \quad (6)$$

$$R = \frac{Q_0 + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{c_i + m_i}}{k + \sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i + m_i}} \quad (7)$$

将式 (7) 代入式 (6) 有:

$$P_i = \frac{\frac{Q_0 + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{c_i + m_i}}{k + \sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i + m_i}} - b_i}{c_i + m_i} \quad (8)$$

3 发电商的得益函数

当前, 国外很多企业用创利额来刻画盈利能力, 创利额等于销售收入扣除可变成本, 其优点是当固定成本不变时, 创利额和净利润的极大值点是一致的, 因此不必收集和处理固定成本方面的信息, 从而可以提高决策的效率。

所以用创利额来衡量发电商的得益函数为:

$$U_i = R \cdot P_i - VC_i = R \cdot P_i - b_i P_i - \frac{1}{2} c_i P_i^2 \quad (9)$$

在边际电价结算机制下, 有 $B_i = R$, 将式 (5) 代入式 (9) 得发电商的得益为:

$$U_i = (m_i + \frac{1}{2} c_i) P_i^2 \quad (10)$$

由公式 (5) 可知, 当 $m_2=0$ 时, 即发电商以边际成本报价, 其获得的收益为边际收益, 由公式 (10) 可知, 此时发电商获得边际收益:

$$U_i = \frac{1}{2} c_i P_i^2 \quad (11)$$

4 发电商间博弈行为分析

由于对于 n ($n>2$) 的多人博弈其解的求解较为困难, 所以本文将多人博弈用虚拟等值竞争对手的方法转化成双人博弈的问题来处理, 使研究的问题得到了简化, 其处理方法如下:

设市场中有 n 个发电商同时竞价上网, 将所研究的发电商设为博弈者 1, 则其余的 $n-1$ 个发电商虚拟等值成博弈者 2, 将多人博弈问题转化为双人博弈问题, 从而使得原来需要预测所有博弈对手的报价曲线和收益曲线的工作大大简化, 转化为只需预测这个虚拟对手的报价曲线和收益曲线, 因此只要对这个虚拟的竞争对手的报价策略进行估计就可以制定出己方的最佳对应策略, 这样做的优点如下:

1) 符合市场。因为电力市场中公布的数据只有 MCP 和成交数量, 而单独发电商具体的报价信息及其市场份额是不可知的。通过 MCP 和己方的市场份额可以推理出虚拟竞争对手的市场份额及其报价曲线。

2) 简化计算。双人博弈的理论和算法比较成熟, 并且双人博弈的计算量远小于多人博弈的计算量, 从而增加了决策的效率。

3) 提高精确度。对市场中的每个发电商均进行预测, 所估算的参数太多, 带来的误差将会在多人博弈中造成误差的累加, 从而降低了计算的精确度。若将对手虚拟成等值对手后, 所需进行的预测参数大大减少, 当然也提高了估算的精确度。

5 基于双人博弈下的最优竞价策略

由己方以及虚拟竞争对手构成的双人博弈, 假定策略空间为 $s = [m_1, m_2]$, 其中 m_1 为己方策略, m_2 为虚拟等值竞争对手策略, m_2 参数可以根据交易中心所提供的历史数据进行估算, 由报价曲线可知, 虚拟等值竞争对手的报价曲线一定通过 $(R, Q - P_1)$ 点, 回代入式 (5) 即可求出 m_2 参数来, 为了精确起见, 可以取多组相同条件下对方策略所对应的 m_2 参数再求其平均值作为其准确值, 则以后在相同的条件下就可以认为对方仍采用该策略, 基于此思想, 己方报价策略推导如下:

1) 根据式 (8) 求得己方所占有市场份额

$$P_1 = \frac{Q_0(c_2 + m_2) + b_2 - b_1 - b_1 k(c_2 + m_2)}{k(c_1 + m_1)(c_2 + m_2) + c_1 + m_1 + c_2 + m_2} \quad (12)$$

2) 将式 (12) 代入式 (10) 得己方得益函数

$$U_1 = (m_1 + \frac{1}{2}c_1) \left[\frac{Q_0(c_2 + m_2) + b_2 - b_1 - b_1 k(c_2 + m_2)}{k(c_1 + m_1)(c_2 + m_2) + c_1 + m_1 + c_2 + m_2} \right]^2 \quad (13)$$

3) 对收益函数求导 $\frac{\partial U_1}{\partial m_1} = 0$ ，得己方最佳

策略为

$$m_1^* = \frac{c_2 + m_2}{k(c_2 + m_2) + 1} \quad (14)$$

6 同时考虑机组出力越限时的最优竞价策略

在机组出力下限 P_{1min} 和上限 P_{1max} 的约束条件下，代入式 (1)，结合公式 (5)，先假设出力大于其上限值，则有：

$$\begin{cases} P_2 = Q_0 - k \cdot R - P_{1max} \\ R = b_1 + (c_1 + m_1)P_{1max} = b_2 + (c_2 + m_2)P_2 \end{cases} \quad (15)$$

解 (14) 方程得：

$$\begin{cases} P_2^* = \frac{Q_0 - k \cdot b_2 - P_{1max}}{1 + k(c_2 + m_2)} \\ m_1^* = \frac{b_2 - b_1 + \frac{(c_2 + m_2)(Q_0 - k \cdot b_2 - P_{1max})}{1 + k(c_2 + m_2)}}{P_{1max}} - c_1 \end{cases} \quad (16)$$

同理可解得在出力下限所对应的最优策略为：

$$\begin{cases} P_2^* = \frac{Q_0 - k \cdot b_2 - P_{1min}}{1 + k(c_2 + m_2)} \\ m_1^* = \frac{b_2 - b_1 + \frac{(c_2 + m_2)(Q_0 - k \cdot b_2 - P_{1min})}{1 + k(c_2 + m_2)}}{P_{1min}} - c_1 \end{cases} \quad (17)$$

因此机组对应的最优竞价策略空间为：

$$\begin{cases} m_1^* = \frac{c_2 + m_2}{k(c_2 + m_2) + 1}, P_{i\min} \leq P_i \leq P_{i\max} \\ m_1^* = \frac{b_2 - b_1 + \frac{(c_2 + m_2)(Q_0 - k \cdot b_2 - P_{1min})}{1 + k(c_2 + m_2)}}{P_{1min}} - c_1, P_i < P_{1min} \\ m_1^* = \frac{b_2 - b_1 + \frac{(c_2 + m_2)(Q_0 - k \cdot b_2 - P_{1max})}{1 + k(c_2 + m_2)}}{P_{1max}} - c_1, P_i > P_{1max} \end{cases}$$

7 算例分析

设有 6 个发电商进行竞价上网发电。将所研究的发电商编号为 1，设其出力范围为

$25\text{MW} \leq P_{1max} \leq 60\text{MW}$ ，其余虚拟等值成编号为 2，其最大出力合为 $100\text{MW} \leq P_{2max} \leq 300\text{MW}$ ，则根据成本特性，可以近似导出虚拟等值竞争对手的费用函数为： $b_2 \approx b_1, c_2 \approx c_1/5$ ，设发电商费用函数参数如表 1。

表 1 发电商的费用函数的参数

机组号	$b_i / \$$	$c_i / (\$.(\text{MW}\cdot\text{h})^{-1})$
1	1.5	0.40
2	1.5	0.08

假设所研究时段的负荷弹性系数为 $k = 0.1$ ，给定系统需求 $Q_0 = 200\text{MW}$ ，同时假定虚拟等值竞争对手采用的策略为 $m_2 = c_2 = 0.08$ （其含义是当系统负荷需求处于中等水平时，虚拟等值竞争对手以边际收益的 3 倍作为报价策略），在该情况下，己方采用的策略如表 2 第 2 行（最佳策略）所示。为了校验基于本文所提出的策略是否是最佳策略，同时也列出己方采用其他策略进行报价时的情况，例如，己方与对手方采用相同策略进行报价，即 $m_1 = c_1 = 0.4$ （其含义为己方也以边际收益的 3 倍进行报价），其结果如表 2 第 3 行所示的“其他策略”一行。

表 2 不同策略的计算结果

情况	m_1	P_1	P_2	U_1	U_2	R
最佳策略	0.1574	44.03	153.37	692.87	2822.68	26.04
其他策略	0.4000	32.87	164.35	648.26	3241.31	27.80

注：表中 m 单位为 $\$.(\text{MW}\cdot\text{h})^{-1}$ ， P 的单位为 MW ， U 的单位为 $\$,R$ 的单位为 $\$/\text{MW}$ 。

比较表 2 第 2、3 行结果可知，当发电商采用本文策略所提供的报价策略进行报价，其收益明显较其他策略时的收益高，这表明：用本文的方法进行策略性报价可以有效地提高己方的收益。

表 3 不同策略的计算结果

情况	m_1	P_1	P_2	U_1	U_2	R
最佳策略	0.2343	67.41	178.16	1973.69	6348.26	44.26
调整出力	0.2343	60.00	185.57	1563.48	6887.54	44.26
调整策略	0.3416	60.00	185.40	1949.76	6874.63	46.00

注：表中 m 单位为 $\$.(\text{MW}\cdot\text{h})^{-1}$ ， P 的单位为 MW ， U 的单位为 $\$,R$ 的单位为 $\$/\text{MW}$ 。

再假设所研究时段系统的负荷弹性系数仍为 $k = 0.1$ ，给定系统需求为 $Q_0 = 250\text{MW}$ ，同时假定虚拟等值竞争对手的策略为 $m_2 = 2c_2 = 0.16$

(其含义是当系统负荷需求较高时, 虚拟等值竞争对手以边际收益的 5 倍高价作为报价策略), 在虚拟等值竞争对手采用该策略下, 己方策略如表 3。

从表 3 第 2 行可以看出, 此时发电商机组出力已经越出其最大出力限度, 则其出力必须下调为 $P_1 = 60 \text{ MW}$, 若发电商仍以其初始申报电价 $B_1 = R = 44.26 (\$/\text{MW})$ 进行报价, 其结果如表 3 第 3 行所示。若用本文设计的针对机组出力越限的策略性报价方法对发电商进行调整报价, 其结果如表 3 第 4 行所示, 数据显示, 其获利增加到 $u_1 = 1949.76 > 1563.48 (\$)$, 增幅达 24.7%, 其增益的是可观的。如果一天中所有时段均采用本文所设计的报价策略, 企业的利润将会得到极大的提升。

同理, 设所研究的时段的负荷弹性系数还为 $k = 0.1$, 给定系统需求为 $Q_0 = 150 \text{ MW}$, 同时假定虚拟等值竞争对手的策略为 $m_2 = 0$ (其含义是当系统负荷需求很低时, 虚拟等值竞争对手以边际收益作为报价策略), 在虚拟等值竞争对手采用该策略下, 己方策略如表 4 所示。

表 4 不同策略的计算结果

Tab.4 Results of different strategies

情况	m_1	P_1	P_2	U_1	U_2	R
最佳策略	0.0793	21.29	127.54	126.60	650.66	11.70
调整策略	-0.004	25.00	123.86	125.00	613.65	11.41

注: 表中 m 单位为 $\$ \cdot (\text{MW} \cdot \text{h})^{-1}$, P 的单位为 MW , U 的单位为 $\$/\text{R}$ 的单位为 $\$/\text{MW}$ 。

比较表 4 第 2、3 行可以看出, 在系统负荷为 $Q_0 = 150 \text{ MW}$ 时, 此时机组出力已经越出其最小出力限度, 则其出力必须上调为 $P_1 = 25 \text{ MW}$, 否则机组将停机, 若根据本文所设计的针对机组出力越限所设计的报价策略对发电商进行调整报价, 其结果如表 4 第 3 行所示, 数据显示, 其获利虽然减少到 $u_1 = 125 < 126.6 (\$)$, 减幅仅为 1.3%, 相比机组停机所带来的损失来说, 微乎其微。这说明, 用本文所阐述的方法是切实可行的。

综上所述, 只要发电商针对系统负荷需求不同而采用相应的报价策略, 即可实现发电机组保持有出力, 同时也取得了最优效益, 为企业带来更多的利润。

8 结语

本文从博弈论理念出发, 将电力市场中的多人博弈问题通过虚拟等值竞争对手的方法简化为双人博弈问题, 给出了发电商在单个时段的最优报价策略, 同时也给出了当竞价超出其机组出力上下限

的情况下发电商应采用的最优报价策略, 最后用算例验证了该策略的有效性, 表明当发电商针对系统不同负荷情况下采用本文所提供的相应的报价策略进行报价时, 可以实现企业利润的最大化。

参考文献

- [1] 尚金成, 黄永皓, 夏清. 电力市场理论研究与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
SHANG Jin-cheng, HUANG Yong-hao, XIA Qing. Theoretical Research Its Application of Electricity Market[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [2] 丁军威, 康重庆, 沈瑜, 等. 基于企业经营决策的发电商最优竞价策略[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(16): 20-24
DING Jun-wei, KANG Chong-qing, SHEN Yu, et al. Generator's Optimal Bidding Strategies Based on Business Decision-making[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(16): 20-24.
- [3] Wen F S, David A K. Optimal Bidding Strategies and Modeling of Imperfect Information Among Competitive Generators[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, 16(1): 15-21.
- [4] Wen F S, David A K. Coordination of Bidding Strategies in Day-ahead Energy and Spinning Reserve Markets[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 24(4): 251-261.
- [5] 马莉, 文福拴, David A K. 采用分段报价规则的竞价策略初探[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(9): 16-19.
MA Li, WEN Fu-shuan, David A K. A Preliminary Investigation on Bidding Strategies Employing Step-wise Bidding Rules[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(9): 16-19.
- [6] 甘德强, 王健全, 胡朝阳. 联营电力市场的博弈分析: 单时段情形[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(6): 71-76.
GAN De-qiang, WANG Jian-quan, HU Zhao-yang. Auction Games in Pool-Based Electricity Markets: Single-period Case[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(6): 71-76.
- [7] 宋依群, 焦连伟, 倪以信, 等. 应用动态学习改进对竞争对手微增响应猜测的发电公司投标策略[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(12): 23-27.
SONG Yi-qun, JIAO Lian-wei, NI Yi-xin, et al. An Improvement of Generation Firm's Bidding Strategies Based on Conjectural Variation Regulation via Dynamic Learning[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(12): 23-27.
- [8] Nogales F J, Contreras J, Coejo A J. Forecasting Next-day Electricity Prices by Time Series Models[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2): 342-348
- [9] 杨莉, 黄明翔, 邱家驹, 等. 基于模块网络的市场清算价格预测模型[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(8): 44-48.
YANG Li, HUANG Ming-xiang, QIU Jia-ju, et al. A Market Clearing Price Predictor Based on Modular Networks[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(8): 44-48.
- [10] 尚金成, 黄永皓, 张维存, 等. 一种基于博弈论的发电商竞价策略模型与算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(9): 1-4
SHANG Jin-cheng, HUANG Yong-hao, ZHANG Wei-cun, et al. A Model and Algorithm of Game Theory Based Bidding Strategy for an Independent Power Provider[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(9): 1-4.
- [11] Ferrero R W, Rivera J F, Shahidepour S M. Application of Games with Incomplete Information for Pricing Electricity Markets[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, 16(4): 847-855.
- [12] Yu Z, Preckel P V, Nderitu G, et al. A Locational Gaming Model with CO₂ Emission Tax and Limits[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2001, 23(6): 451-457.

[13] 张宇波,罗先觉,薛军义.非完全信息下电力市场中电厂机组出力优化的改进古诺模型[J].中国电机工程学报,2003,23(6):7-12.
ZHNAG Yu-bo, LUO Xian-jue, XUE Jun-yi. Improved Cournot Model of Generation Unit Output of Generation Companies Under Incomplete Information in Electricity Market[J].Proceedings of the CSEE, 2003,23(6):7-12.

[14] 郭家春,何光宇,王稹,等.发电公司报价决策行为的分析[J].电力系统自动化,2002,26(5):5-8
GUO Jia-chun, HE Guang-yu, WANG Zhen,et al. Behavior Analysis on the Bidding Strategy of Generation Companies[J].Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(5):5- 8.

[15] 高鑫,王秀丽,雷兵,等.独立发电商的策略报价研究[J].中国电机工程学报,2004,24(7):41-46
GAO Xin, WANG Xiu-li, LEI Bing, et al. Research on Bidding Strategy for an Independent Power Plant[J]. Proceedings of the CSEE, 2004,24(7):41-46.

[16] 张晓东,高波,宋之平.发电企业竞标策略研究[J].中国电机工程学报,2004,24(9):153-157
ZHANG Xiao-dong, GAO Bo, SONG Zhi-ping. The Study of Bidding Strategies for a Power Supply[J]. Proceedings of the CSEE, 2004.24(9):153-157.

收稿日期:2006-08-24; 修回日期:2006-10-09

作者简介:

刘建良(1976-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力市场理论及发电厂报价决策支持系统;

E-mail:ljlhero@163.com

周杰娜(1958-),女,教授,主要从事电力市场理论、发电厂报价决策支持系统、电力系统运行与控制的研究工作;

杨华(1979-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力市场。

(上接第37页 continued from page 37)

WANG Zhi-qun, ZHU Shou-zhen, ZHOU Shuang-xi,et al.Study on Location and Penetration of Distributed Generation[J].Automation of Electric Power Systems,2005,17(1):53-58.

[5] 梁才浩,段献忠.分布式发电及其对电力系统的影响 [J].电力系统自动化,2001,25(12):53-56.
LI Cai-hao,DUAN Xian-zhong.Distributed Generation and Its Impaction on Power System[J].Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(12):53-56.

[6] Conti S,Raiti S,Tina G. Small-scale Embedded Generation Effect on Voltage Profile: an Analytical Method[J]. IEE Proceedings-Gener, Transm, and Distrib,2003,150(1):78-86.

[7] Caire R, Retiere N, Martino S. Impact Assessment of LV Distributed Generation on MV Distribution Network [A].Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Chicago:2002.1423-1428.

[8] Pecas Lopes J A. Integration of Dispersed Generation Distribution Networks-impact Studies [A].Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting.New York(USA):2002.323-328.

[9] Brown R E,Freeman L A. Analyzing the Reliability Impact of Distributed Generation[A]. Power Engineering Society Summer Meeting .Vancouver(Canada): 2001.1013-1018.

[10] Alvarado F L. Locational Aspects of Distributed Generation[A]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Ohio(USA):2001.

[11] Nara K, Hayashi Y, Ikeda K, et al. Application of Tabu Search to Optimal Placement of Distributed Generators[A]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Ohio(USA): 2001.918-923.

[12] Silvestri A, Berizzi A, Buonanno S. Distributed Generation Planning Using Genetic Algorithms[A]. International Conference on Electric Power Engineering. Budapest(Hungary):1999.

[13] El-Khattam W, Hegazy Y, Salama M. An Integrated Distributed Generation Optimization Model for Distribution System Planning[A]. Power Engineering Society General Meeting.2005.

[14] Celli G, Pilo F. Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Networks Power Industry Computer Applications[A]. 22nd IEEE Power Engineering Society International Conference on Innovative Computing for Power-electric Energy Meets the Market.2001.81-86.

收稿日期:2006-08-02; 修回日期:2006-09-14

作者简介:

李根富(1981-)男,硕士研究生,研究方向为配网无功优化及分布式发电;E-mail:ligengetx@sina.com

吕林(1963-)男,副教授,硕士生导师,主要从事

配网自动化及分布式发电方向的研究工作。

上接第40页 continued from page 40)

[2] 马玲,周家启.电站几种典型主接线的可靠性分析[A].全国高等学校电力系统及其自动化专业第十九届学术年会论文集,2003.93-97.
MA Ling, ZHOU Jia-qi. Reliability Analysis of the Typical Electric Connections in Substation[A].Proceedings of the EPSA, 2003. 93-97.

[3] 李光琦.电力系统暂态分析[M].北京:中国电力出版社,1995.
LI Guang-qi. Transient Analysis of Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press,1995.

[4] 吴天明,谢小竹,彭彬.MATLAB电力系统设计与分析[M].北京:国防工业出版社,2004.
WU Tian-ming, XIE Xiao-zhu, PENG Bin. Design and Analysis of Power System Based on MATLAB[M]. Beijing: National Defence Industry Press,2004.

[5] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理[M].北京:中国电力出版社,1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of Power System Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press,1994.

收稿日期:2006-07-31; 修回日期:2006-09-26

作者简介:

刘宝林(1980-),男,助理工程师,工学学士,主要从事变电运行工作;E-mail:l123b456_123@163.com

范磊(1981-),男,助理工程师,工学学士,主要从事变电运行工作;

杨毅(1982-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。