

输电阻塞下发电商竞价策略研究

武美娜 谭伦农 姜代鹏

(江苏大学,镇江 212013)

摘要 在电力市场环境下发电公司要竞价上网,其最关心的是如何构造最优的报价策略以获取最大利润。研究了联营体模式下输电阻塞对发电商竞价策略和竞价效益的影响,假设已估计出竞争对手的报价行为并以日前交易市场为基础采用节点电价法进行阻塞管理的情况下,建立了求解该问题的双层优化竞价策略模型,并采用遗传算法对其进行求解。最后用修改过的 IEEE14 节点系统为算例进行分析,结果表明提出的方法可用于指导发电商制定报价策略。

关键词 电力市场 竞价策略 阻塞管理 遗传算法

中图法分类号 F407. 61; **文献标志码** A

在实际的电力市场运作中,特别是在许多用电负荷高增长区经常出现严重的输电阻塞现象,而输电阻塞可能会明显改变发电商在电力市场中所处的竞争位置。阻塞区外的一些发电商会因为电力送不出去而减少利润,而阻塞区内的发电商则会因此而减少竞争对手,甚至会在某些子市场中处于垄断地位而获得超额利润。所以发电商的竞价策略中必须考虑预期的输电阻塞情况。

研究发电公司的最优报价策略或据此考察发电公司在电力市场中可能滥用市场势力的程度是近几年来国内外的研究热点之一^[1,2]。文献[3]用简单的例子分析了发电公司可以利用输电网络阻塞甚至利用其所拥有的发电厂所在的独特的地理位置而故意引起输电阻塞来获取超额利润;文献[4]研究了输电网络约束对发电商纯策略均衡解的影响;文献[5]针对输电网络的可能运行状态求取发电商报价策略的纳什均衡,但其计算量大并且纯策略纳什均衡可能不存在;文献[6]系统地构造解决输电阻塞的方法框架,但没有详细说明如何得到阻塞情况下发电商的最优报价系数;文献[7]在文

献[6]的基础上运用附加费用法构造了竞价策略模型并做了进一步的研究,但不同的阻塞管理方法对应的竞价策略模型也是不一样的。为此本文利用节点电价法构造了考虑输电阻塞影响的发电商最优报价策略的双层优化模型,并给出了相应的求解方法。

1 数学模型

1.1 发电商报价函数

为便于描述,假设某电力市场中有 N 个发电商,各发电商以 1 个等值机组进行报价,同时考虑自己的生产成本、预测的系统负荷、市场规则以及对其他发电商的报价估计对风险的偏好等因素找出自己的最优竞价策略。假设市场规则要求线性报价,则第 i 个发电商的报价函数为:

$$\mu_i(\alpha_i, \beta_i) = \alpha_i q_i + \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, N。$$

式中, q_i 为发电商 i 的出力,并且 $Q_{\min} \leq q_i \leq Q_{\max}$; $Q_{\max}$ 和 $Q_{\min}$ 分别是其有功出力的上下限值; $\mu_i(\alpha_i, \beta_i)$ 为发电商 i 出力为 q_i 时的报价, α_i 和 β_i 为报价系数。

1.2 阻塞管理及发电商竞价模型

目前联营体模式下实际运行的电力市场大体采用三种不同的方法进行阻塞管理,即:节点电价法、区域电价法和附加费法。其中,节点电价法的

一般做法就是将输电线路的潮流约束写入竞价的目标函数的约束条件中,当达到输电线路约束时,利用优化算法自动调整相关机组的交易电量以及所在节点的节点电价。

在电力联营体交易模式中,采用节点电价法进行输电阻塞管理仍可看作是一种基于集中调度的 OPF 问题。

交易中心接受报价后,在考虑线路输送容量约束以及线路断面传输容量约束的情况下,按照实现系统购电费用最小为目标,通过经济调度,确定各发电商的节点实时电价以及相应机组的发电出力。该 OPF 问题可表述如下:

$$\min \sum_{i=1}^N \hat{C}_i(q_i) \quad (1)$$

s. t

$$Q_{\min} \leq q_i \leq Q_{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i = Q \quad (3)$$

$$|F_l| \leq F_{l,\max}, \quad l = 1, \dots, L \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^{L_g} F_l \leq F_{gate,g}, \quad g = 1, \dots, N_{gate} \quad (5)$$

其中, $\hat{C}_i$ 为购电费用函数,式(2)为机组最大和最小出力约束,式(3)为系统有功平衡约束,式(4)为线路输送容量约束, $F_{l,\max}$ 为输电线路 l 的有功潮流输送极限,式(5)为线路断面传输容量约束, $F_{gate,g}$ 为断面的正向传输最大容量, N_{gate} 为系统断面的数量。

此时,系统经济调度问题的拉格朗日函数为:

$$\begin{aligned} \bar{L} = & \sum_{i=1}^N \hat{C}_i(q_i) - \lambda \left(\sum_{i=1}^N q_i - Q \right) - \sum_{l=1}^L \mu \times \\ & (F_l - F_{l,\max}) - \sum_{g=1}^{N_{gate}} \eta \left(\sum_{l=1}^{L_g} F_l - F_{gate,g} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)中, λ 、 μ 、 η 为拉格朗日乘子。

式(6)对 q_i 进行求导可得相应节点的节点电价为:

$$\zeta_i = \lambda + \sum_{l=1}^L \mu \frac{\partial F_l}{\partial q_i} + \sum_{g=1}^{N_{gate}} \eta \frac{\partial F_l}{\partial q_i} \quad (7)$$

式(7)中, ζ_i 表示发电商 i 所在节点的节点电价。

此时发电商的利润为

$$W_i(\zeta_i, q_i) = \zeta_i q_i - C_i(q_i) \quad (8)$$

式(8)中, C_i 为发电机组的生产成本函数,常用二次函数表示为:

$$C_i(q_i) = a_i + b_i q_i + c_i q_i^2 \quad (9)$$

式(9)中, a_i 、 b_i 、 c_i 为发电机组的生产成本系数。

发电商在竞价过程中追求利润最大化,因此其竞价模型可描述为:

$$\max W_i(\zeta_i, q_i) = \zeta_i q_i - C_i(q_i) \quad (10)$$

综上所述,当考虑输电网络阻塞时,发电商 i 的利润最大化问题可用双层数学模型来描述:第一层为发电商利润最大化模型即式(10);第二层为考虑输电阻塞的经济调度模型即式(1)一式(5),且第二层为第一层的约束条件,这样由这 6 个式子共同组成一个优化模型。

2 求解算法

本文以发电商 i 为研究对象,为简化描述假设已得到竞争对手报价系数的估计值。用遗传算法求解第 i 个发电公司的最优报价策略 ($i = 1, 2, \dots, N$),即最优报价系数 α_i 和 β_i ,以及相应的利润。算法流程如图 1 所示。

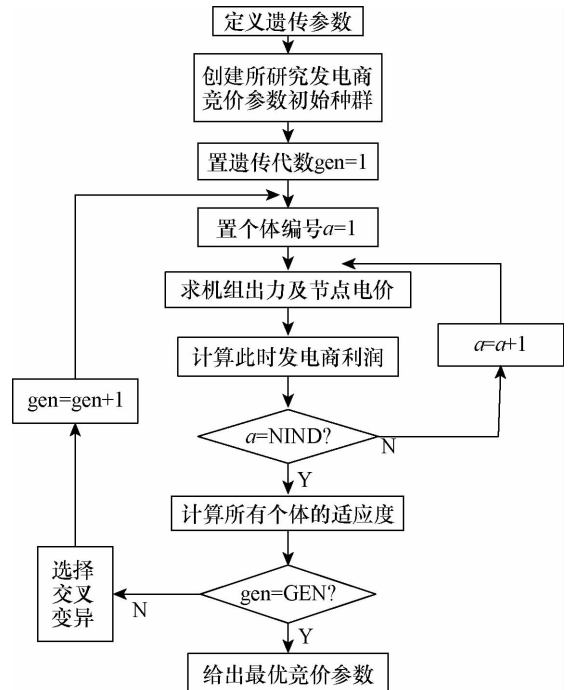


图 1 算法流程图

图 1 中:遗传参数包括种群个体数量 NIND,最

大遗传代数 GEN,变量范围 RANGE,交叉率 XOVR,变异率 MUTR。

3 算例分析

以 IEEE14 节点标准系统为例,应用本文所提出的方法进行仿真分析。图 2 为 IEEE14 节点系统接线图,为了便于分析,假设有 5 个发电商,各发电商以 1 台等值发电机组报价,发电机所在节点及其机组参数见表 1(在实际应用时需要根据历史数据采用统计方法确定各机组的参数)。

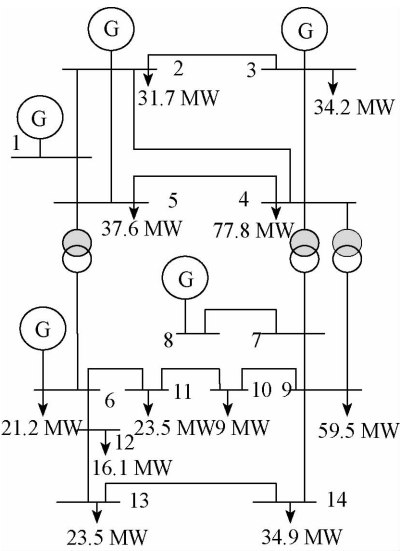


图2 IEEE14 节点系统

假设根据市场公布信息可知系统总负荷 $D = 369.0\text{ MW}$,各节点负荷如图 2 所示。设线路 3 和线路 15 的输电容量分别为 32 MW 和 19 MW ,而采用直流潮流模型计算线路潮流得支路 3 和支路 15 的线路潮流分别为 40.4 MW 和 21.23 MW ,可见出现了潮流越界,因此要考虑输电阻塞的影响。

表 1 发电公司的机组参数

发电商	a_i	b_i	c_i	出力下 限/MW	出力上 限/MW	所在节 点号
1	0	3.00	0.137 5	15	90	1
2	0	5.25	0.052 5	20	100	2
3	0	3.00	0.087 5	20	100	3
4	0	5.00	0.075 0	20	120	6
5	0	4.00	0.075 0	15	100	8

表 1 中, a_i 单位为 USD/h, b_i 单位为

(USD/MW · h), c_i 单位为(USD/MW² · h)。

以发电商 1 为研究对象,假定估计竞争对手的报价曲线系数为表 1 中的边际成本系数,采用遗传算法求解发电商 1 在考虑输电容量约束时的最大利润模型。在算法的实现过程中,采用英国设菲尔德大学推出的基于 MATLAB 遗传算法工具箱并采用实数编码。

令报价参数 α_1, β_1 分别在 $c_1 \sim 2c_1$ 和 $b_1 \sim 2b_1$ 内变化,种群规模为 20,最大迭代次数为 100,单点交叉概率取 0.8,变异概率取 0.1。求得发电商 1 的最优报价系数为 $\alpha_1 = 0.136\text{ USD}/(\text{MW} \cdot \text{h})$, $\beta_1 = 3.664\text{ USD/h}$,利润 $W_1 = 436.526\text{ USD}$ 。相应的市场出清结果如表 2 所示。

表 2 各发电商的出力

q_1/MW	q_2/MW	q_3/MW	q_4/MW	q_5/MW
78.34	62.21	68.48	116.12	43.85

若不考虑输电容量约束,即在竞价模型中去掉约束式(4)和式(5),同样按上述遗传算法可得发电商 1 的最优报价系数为 $\alpha_1 = 0.123\text{ USD}/(\text{MW} \cdot \text{h})$, $\beta_1 = 4.479\text{ USD/h}$,利润 $W_1' = 385.874\text{ USD}$ 。

可见, $W_1' < W_1$,即在预测到线路 3 和线路 15 发生输电阻塞时,发电商 1 采取本文方法得到的最优报价系数明显优于不考虑输电阻塞时的最优报价系数下的利润,说明本文提出的模型及算法有利于发电商达到利润最大化。

4 结论

本文研究了在输电容量不足、可能发生网络阻塞的情况下发电公司的报价策略问题,构造了计及输电容量约束的使发电商利润最大化的最优报价策略的双层优化模型,并运用遗传算法对该模型进行求解。在系统边际电价参数的 1 ~ 2 倍之间搜索最优报价参数。本文提出的模型合理且求解算法简单,算例分析表明,采用本文所提方法获取输电阻塞时发电商的最优报价系数可以使发电商利润达到最大化。此外由于输电阻塞将导致市场出清

电价上升,发电商一般都会采取策略性报价来获得更高利润,为抑制发电商利用输电阻塞蓄意抬高市场出清电价必须进行阻塞费用的合理分摊。因此,如何降低阻塞费用,防止投机行为以及由此带来的对发电商报价策略的影响是下一步的研究重点。

参 考 文 献

1 文福拴, David A K. 电力市场中的投标策略. 电力系统自动化, 2000;24(14):1—6
2 杨 根, 周杰娜, 胡志勇. 基于博弈论和概率论的发电商竞价策略研究. 继电器, 2006;34(10):41—44

3 Berry G A, Hobbs B F, Meroney W A, *et al.* Analyzing strategic bidding behavior in transmission networks. In: Singh Hed. IEEE Tutorial on Game Theory Applications in Electric Power Markets. IEEE Power Engineering Society, 1999. 7—32
4 袁智强, 侯志俭, 宋依群, 等. 考虑输电约束古诺模型的均衡分析. 中国电机工程学报, 2004;24(6):73—79
5 余贻鑫, 陈晓明. 考虑输电约束的古诺均衡求解方法. 中国电机工程学报, 2005;25(13):68—72
6 马 莉, 文福拴, 倪以信, 等. 计及网络阻塞影响的发电公司最优报价策略. 电力系统自动化, 2003;27(12):12—17
7 陶 芬, 张步涵, 杨 超. 考虑输电阻塞影响的发电商最优报价策略. 电网技术, 2007;31(16):12—16

The Study of Power Generation Company Bidding Strategy
Considering Transmission Congestion

WU Mei-na, TAN Lun-nong, JIANG Dai-peng
(Jiangsu University, Zhengjiang 212013, P. R. China)

[Abstract] In the electricity market environment, it has become a major concern for generation company of how to build optimal bidding strategies. The problem of developing optimal bidding strategies for generation companies in the electricity market environment with transmission network congestion take into account is systematically investigated, and a two layer optimal model is built under the bidding behaviors of rival generation companies is known, and this model is solved by genetic algorithm. The simulation results of applying the proposed method to IEEE 14-bus test system show that the proposed method can be adopted to guide the drafting of bidding strategy.

[Key words] electricity market bidding strategies congestion management genetic algorithm

(上接第 2262 页)

参 考 文 献

1 酆桂芬. 环境质量评价. 北京: 中国环境科学出版社, 1998
2 季 奎, 戴晓兰. 模糊数学在大气环境质量评价中的应用. 环境科学与管理, 2006; (6): 188—190
3 赵 萍, 胡友彪, 桂和荣. 基于 GIS 技术的城市大气环境质量评价——以淮南市为例. 环境科学与技术, 2002;25(4):24—26
4 徐卫国, 田伟利, 张清宇, 等. 灰色关联分析模型在环境空气质量

评价中的修正及应用研究. 中国环境监测, 2006;22(3):66—69
5 柴微涛, 宋述军, 宋学鸿. 成都市城区空气污染指数的时间序列分析. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007;34,(4):485—488
6 p. Box G E, Jenkins G M. Time Series Analysis, Forecasting and Control, San Francisco: Halden-Day, 1970
7 张晓峒. 计量经济分析. 北京: 经济科学出版社. 2005:59—60
8 易丹辉. 数据分析与 Eviews 应用. 北京: 中国统计出版社, 2002

Time Series Model and Prediction of PM₁₀ Concentration

CHENG Wen-na

(College of Architecture and Enviroment, Sichuan University, Chengdu 610065, P. R. China)

[Abstract] The PM₁₀ time-series datas of Yibin city, Sichuan Province from July 1, 2004 to October 31, using Eviews3.1 author analyzes. ARMA model is establised and PM₁₀ Concentration is predicted. The result shows that the model has a good prediction effect. Maximum residual is less than 10%. Predictions are consistent with the actual situation of the basic.

[Key words] ARMA model Eviews3.1 prediction PM₁₀