

发电商不正当竞标行为分析及综合评判

高晓虎, 张少敏, 邹粤, 李峰

(华北电力大学计算机科学与技术学院, 河北 保定 071003)

摘要: 分析了电力市场环境下发电商不正当竞标报价现象, 考虑了影响不正当竞标的竞争者数量、市场份额、负荷弹性等多种因素, 并对发电商的报价和容量进行了分析, 设计了发电商报高价的不正当合谋竞标行为识别的综合评判算法。分析过程中运用了关联性分析、市场集中度和量价指数等多种方法, 并加入隶属度函数衡量各影响因子代表的发电商合谋报价可能性的程度, 最后应用模糊加权平均模型进行了发电商合谋判定。通过算例求解证实了该算法的可行性。

关键词: 不正当竞标; 合谋; 竞争; 电力市场; 发电商; 判别算法

Analysis and comprehensive judgement of illegitimate bidding among power suppliers

GAO Xiao-hu, ZHANG Shao-min, ZOU Yue, LI Feng

(Department of Computer Science & Technology, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: This paper analyzes the phenomenon of illegitimate bidding among power suppliers. Taking various factors that influence bidding such as number of competitor, market share and load elasticity into consideration, the paper analyzes the quoted price and capacity of power suppliers, and proposes a comprehensive evaluation algorithm to recognize the illegitimate bidding behaviors where power suppliers act as conspirators and quote high prices. In the analysis, various methods such as correlation analysis, market's concentration degree and capacity price index are used, with membership function introduced to quantify the degree that each factor represents the possibility of power suppliers' conspiracy. Finally, fuzzy weighted average evaluation model is adopted to judge the conspiracy. Case study proves the feasibility of the proposed algorithm.

Key words: illegitimate bidding; collusion; competition; electricity market; power supplier; distinguishing algorithm

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)05-0056-04

0 引言

有些发电企业有可能不是采取改进生产技术手段、提高质量和改进服务等方式进行竞争, 而是通过不正当的方式进行合谋报价, 以达到上网发电、赚取不正当利润的目的。所谓合谋报价, 就是指在竞价上网中, 两个以上发电商相互共谋联合行动, 迫使购买者在其串通合谋的电价范围内购电, 从而获得非法利益, 破坏竞争的行为。为了保证竞争的有效性, 防止发电商之间合谋操纵电价是监管工作中十分重要的一个环节。

文献[1-4]采用博弈论、遗传算法、计量经济学的方法以及时变马尔科夫模型等多种方法对发电商的报价行为进行了理论分析和计算, 但这些方法侧重于对个体发电商报价分析, 而且只是单因素的分析。文献[5-6]指出对于合谋竞标的判定需要从以下几个方面进行: 发电商竞标价格关联性、市

场集中度、价格信息公开程度以及发电商报价行为是否合理, 但只是给出了相应的策略。文献[7]提出了基于模糊理论的关联度和合理性分析来判定合谋, 但是没有应用量价指数来对容量进行进一步分析。本文首先考虑了电力市场中影响合谋的因素, 然后根据价格卡特尔判定的几条原则^[5], 利用关联性、聚类分析及量价指数等多种方法, 设计了对发电商报高价的合谋竞标行为进行识别的综合判定算法, 以解决发电商合谋报价的识别困难问题, 并通过算例验证了该方法的正确性和可行性。

1 电力市场中合谋竞标分析

电力市场中合谋形成的条件众多, 其中发电商结成卡特尔联盟而合谋报价的主要因素有以下几点^[7-8]。

1.1 市场中竞争者的数量

市场中的竞争者数量越多, 合谋越难以形成。

一方面,市场中竞争者的数量越多,就越难形成共同的信仰和知识,各市场成员之间也就越难形成合谋。另一方面,竞争者数量的增多会使某个或某些成员偏离合谋所产生的收益增大,这也将不利于合谋的形成和维持。

1.2 竞争者的市场份额

竞争者的市场份额越大,合谋就越容易形成。当竞争者拥有较大的市场份额时,一方面,通过合谋所能获得的长期收益相对较多,另一方面,通过偏离合谋所能获得的额外收益相对较少。

1.3 负荷弹性不大

负荷的刚性是电力市场与其他市场显著不同的特性,由于电力商品的不可替代,用户的用电量在大多数情况下对电价并不敏感。在电力竞标中,若发电商合谋竞标,由于负荷的刚性一方面使得哄抬电价更为容易,另一方面发电商损失售电量的风险小了。

1.4 市场成员间成本结构与容量的不对称

市场成员之间的成本结构与容量的不对称给合谋的形成和维持增加了难度。

除了上面论述的一些因素以外,电力市场中影响合谋的形成和维持的因素还有很多,如市场透明度、多个市场间的相互影响等,但这些因素相对于上述因素而言,作用相对较小。

2 合谋竞标的判别算法设计

一般情况下,发电商之间合谋串通并不通过协议约束,而是基于行动默契,这就为其判定带来了难度。本文应用概率论和统计学知识对发电商合谋竞标行为进行了综合评定。首先,对发电商报价序列进行关联分析和聚类分析,找出报价序列关联度大且归为一类的发电商组,并给出隶属度函数,作为第一个判定因子。然后利用市场力和量价指数对其进行分析,分别找出市场力较大和量价指数比较高的发电商,作为第二和第三判定因子。最后进行合理性分析,找出符合合谋寻求最大利益规则的发电商,作为最后一个判定因子。综合上述判定因子,利用模糊综合判定法进行综合判定,确定合谋报价的发电商。

在电力市场中,为了更好地比较各机组报价数据,对80%的额定容量以上部分的报价进行电价差值积分^[9],可得出每个机组的报价,用同样方法处理每个时段的报价数据,形成机组的报价序列。

2.1 报价序列的关联度分析

对报价序列 X_i 和 X_j 计算其协方差,进而计算两序列的相关系数。从数据的相关性系数判断参与

竞标的发电商报价是否呈现出正相关,即相关系数数值为正且小于1。该值越大表示其相关性越强。如果发电商所报电价呈现正相关,则需对报价的相关系数进行显著性检验,并通过该检验以确定这一组数据之间正相关的密切程度。如果相关系数大于0.9且显著性检验值小于0.05,则表示这一组数据之间具有较为亲密的相关关系(相关性大于95%),可以认为这两个变量具有很强的相关性。接着利用聚类分析进行分类判别。

聚类分析的方法很多,文献[10]利用平均距离法对报价进行了分析,文献[9]证明了以离差平方和法对电力市场中报价聚类结果最好,与实际机组的报价情况比较吻合,在这里我们用离差平方和法进行分类计算。

2.2 HHI (Herfindal-Hirschman Index) 分析

对发电机组报价数据中竞标电量分析,计算各发电机组竞标电量在总竞标电量中的比例,求出动态集中度。根据此值判定发电机组的市场力水平,以此来作为推断发电商合谋竞标的辅助手段,断定发电商是否在操纵市场,即合谋竞标的可能性。HHI计算方法:

$$HHI = 100^2 \times \sum_{i=1}^n q_i^2 \quad (1)$$

2.3 量价指数 CPI (Capacity Price Index) 分析

定义1 令 $CPI_{k,i}$ 表示 k 机组在 i 时段的量价指数; $P_{k,i}$ 表示 k 机组在相应时段报价的第 i 段价格; $Cost$ 表示系统平均发电成本; $C_{k,i}$ 表示 k 机组在相应时段报价的第 i 段容量,与 $P_{k,i}$ 一一对应; $AvailC_k$ 表示 k 机组在相应时段的可用容量,则:

$$CPI_{k,i} = (P_{k,i}/Cost)^q (C_{k,i}/AvailC_k) \times 100 \quad (2)$$

量价指数 CPI 可以较好地反映电厂报价中的高报价行为^[11]。

定义2 令 CPI_k 表示 k 机组的整个报价段的量价指数, seg 表示所分的时段,则:

$$CPI_k = \sum_{i=1}^{seg} CPI_{k,i} \quad (3)$$

量价指数的物理含义为机组报价的段容量标么值的加权和,其中 $C_{k,i}/AvailC_k$ 表示 k 机组报价的各段段容量占其可用容量的份额,即段容量标么值; $P_{k,i}/Cost$ 作为权值,而 q 起到了放大权值的作用,通常取3。若机组报价集中在高价段,则其量价指数将比正常机组报价的量价指数高出许多,可以突出反映高价位的容量段。

在短期内,量价指数不仅可以有效灵敏地反映发电商报价行为的变化,更可以准确有效地发现发电商的异常报价,尤其是发电商的滞留行为,对发

电商报价进行实时监控具有较好的参考价值。如果量价指数过高，可以说明其报价比较高或者利用滞留行为来控制市场，以此作为合谋报高价行为判定的另一个因子。

2.4 报价合理性分析

由于机组报价符合正态分布，计算每一报价段报价机组的数学期望 μ 和方差 σ ，根据正态分布特性值落在 $[\mu-3\sigma, \mu+3\sigma]$ 范围内的概率为 99.73%，落在这个范围之外的概率为 0.27%，而落在 $\mu+3\sigma$ 或小于 $\mu-3\sigma$ 一侧之外的概率均为 $0.27\%/2=0.135\% \approx 0.1\%$ ，这是一个小概率事件。根据这一特性来判断报价数据是否超出 $\mu \pm 3\sigma$ 范围，报价数据是否合理，给出机组报价不合理的隶属度矩阵，以此作为合谋竞标判定的第四个判定因子。

3 算例分析

以某地区 10 个机组 $X_i (i=1,2,\dots,10)$ 为目标，每半小时为一个时段，取连续 24 个时段报价数据。已知此数据中 (X_1, X_6, X_7) 具有合谋报高价行为，利用上面提到的方法对合谋行为进行验证。

3.1 机组报价关联性分析

对机组报价进行关联性分析，求出皮尔逊相关矩阵如图 1 所示，并对此进行显著性检验。对报价机组报价进行离差平方和法聚类分析如图 2 所示，从图中可以看到，对报价相近的机组进行分为两类，机组 $(X_1, X_6, X_7, X_2, X_3)$ 作为一类，剩下的机组报价作为另一类。

发电商	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1									
X2	0.65	1								
X3	0.54	0.64	1							
X4	0.26	0.58	0.52	1						
X5	0.56	0.77	0.92	0.57	1					
X6	0.46	0.73	0.86	0.49	0.97	1				
X7	0.60	0.70	0.94	0.44	0.97	0.92	1			
X8	0.34	0.70	0.53	0.89	0.65	0.66	0.53	1		
X9	0.71	0.38	0.36	0.79	0.34	0.22	0.26	0.63	1	
X10	-0.23	-0.48	-0.15	-0.70	-0.28	-0.38	-0.23	-0.85	-0.18	1

图 1 皮尔逊相关系数矩阵
Fig.1 Pearson correlation matrix

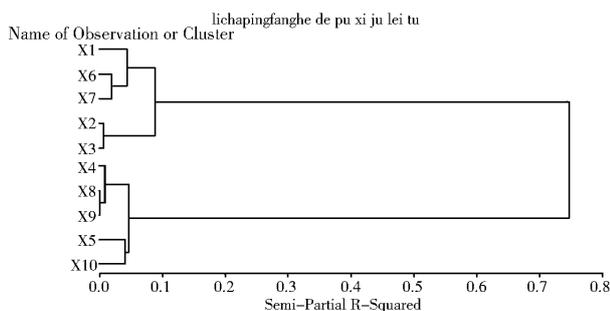


图 2 谱系聚类图
Fig.2 Hierarchical cluster graph

图 1 中关联度达到 1 的隶属度为 1，隶属度函数如下：

$$\mu_1 = \begin{cases} 0 & x < 0.8 \\ (\frac{x-0.8}{0.1})^2 & 0.8 \leq x < 0.9 \\ 1 - (\frac{x-1}{0.1})^2 & 0.9 \leq x < 1 \\ 1 & x = 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中： x 为各机组与其他机组中相关最强的关联度。

3.2 市场集中度分析

计算各时刻机组竞标电量的市场集中度和它们所占得比重进行关联性分析，从而可以得出动态集中度对合谋报价的影响程度。

根据其容量计算关联度， x 仍表示相关最强的关联度，则相应的隶属度函数为

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & x < 0.8 \\ (\frac{x-0.8}{0.1})^2 & 0.8 \leq x < 0.9 \\ 1 - (\frac{x-1}{0.1})^2 & 0.9 \leq x < 1 \\ 1 & x = 1 \end{cases} \quad (5)$$

3.3 报价量价指数分析

根据前面定义的量价指数，求出每一个发电机组的量价指数，进而求出整个时段的量价指数如图 3 所示，从图中可以看到，X1、X6、X7 其两家指数较高，报价行为较为异常，具有不正当的合谋报价竞标的倾向。

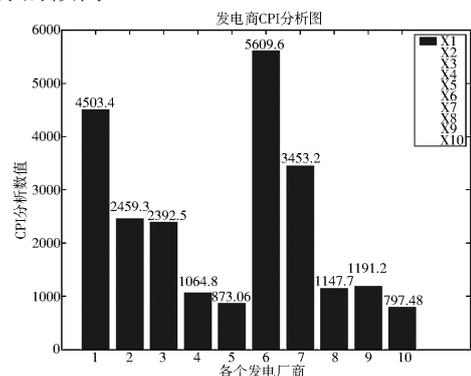


图 3 CPI 分析图

Fig.3 The analysis of CPI

计算机组 CPI 与平均 CPI 的偏移量，当机组 CPI 到其均值的绝对偏差的相对值大于 40% 时，认为其隶属度为 1。对应的隶属度函数为

$$\mu_3 = \begin{cases} 0 & x < 0.1 \\ (\frac{x-0.1}{0.15})^2 & 0.1 \leq x < 0.25 \\ 1 - (\frac{x-0.4}{0.15})^2 & 0.25 \leq x < 0.4 \\ 1 & 0.4 \leq x \end{cases} \quad (6)$$

3.4 合理性分析

根据统计学规则,把每一段报价去掉一个最高值,去掉一个最低值,然后求出每一段的均值和标准差。计算机组报价序列与平均报价的偏移量,当报价序列到其均值的绝对偏差的相对值大于40%时,其隶属度为1,隶属度函数为

$$\mu_4 = \begin{cases} 0 & x < 0.1 \\ \left(\frac{x-0.1}{0.15}\right)^2 & 0.1 \leq x < 0.25 \\ 1 - \left(\frac{x-0.4}{0.15}\right)^2 & 0.25 \leq x < 0.4 \\ 1 & 0.4 \leq x \end{cases} \quad (7)$$

3.5 模糊综合评判决策模型

根据几个因素各自的重要性可以进行权重的层次分析如下。各影响因素的重要程度和相应的取值分别是:重要为5,比较重要为3,相对重要为1,比较不重要为1/3,不重要为1/5。以第一个影响因子为参考因子,对影响因子相对于第1个影响因子的重要程度可用判别矩阵表示^[7]。

$$\text{判断矩阵如下: } \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 2 \\ 3 & 1 & 1/3 & 4 \\ 3 & 3 & 1 & 5 \\ 1/2 & 1/4 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

按特征值法求出最大特征值为 $\lambda_{\max}=4.1383$,对应的特征向量并归一化为 $W=(0.1325 \ 0.2780 \ 0.5135 \ 0.0760)$ 。为了使恶劣因素权重变大,突出薄弱环节,利用变权法,对隶属度进行变权:

$$W(X) = \frac{W_0 S(X)}{\sum_{j=1}^m w_j^{(0)} S_j(X)} \quad (8)$$

其中: W_0 为归一化特征向量; $S(X)$ 为对应的隶属度。

最后利用模糊综合评判决策模型—— $M(\cdot, +)$ 模型(加权平均模型),对其进行综合判定。

计算可得 $Result=(0.9774 \ 0.9447 \ 0.6381 \ 0.8100 \ 0.8703 \ 0.9529 \ 0.9684 \ 0.7041 \ 0.7699 \ 0.0410)$ 。

可以看出,(X1, X6, X7)合谋报价的可能性比较大,均超过0.95。

4 结论

分析了发电商不正当的合谋报高价现象,并运用关联性、聚类、市场集中度、量价指数和合理性分析等多种手段对发电商的报价和容量进行了分析,同时引入层次分析法和变权法来进行权重的设置,最后运用模糊加权平均模型对发电商不正当的合谋报价行为综合评判,并通过算例验证了该算法的可行性和高效性。同样我们可以利用这个思路对

不正当的合谋报低价行为进行分析判定。在我们的方法中竞价机组历史报价水平及平均报价水平等因素还没有考虑进去,这将是未来我们进一步的工作。

参考文献

- [1] Hos S. A Study of Basic Strategy in Clearing Pricing Auction [A]. in: Proceedings of the 1999 IEEE PES Power Industry Computer Applications Conference (PICA'99) [C]. Santa Clara (CA): 1999. 55-60.
- [2] 张宇波, 罗先觉, 薛钧义. 非完全信息下电力市场中电厂机组竞价上网的博弈解[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15 (1): 27-32.
- [3] ZHANG Yu-bo, LUO Xian-jue, XUE Jun-yi. Game Solution to Competitive Bidding of Generation Companies Under Incomplete Information[J]. Proceedings of the Chinese Society of Universities, 2003, 15 (1): 27-32.
- [4] Emmanuel R, Macatangay A. Tacit Collusion in the Frequently Repeated Multi-unit Uniform Price Auction for Wholesale Electricity in England and Wales[J]. European Journal of Law and Economics, 2002, 13 (3): 257-273.
- [5] Fabra N, Toro J. Price Wars and Collusion in the Spanish Electricity Market. in: Economic Working Papers at Centra[EB/OL]. <http://www2.fundacion-centra.org/pdfs/E200105.pdf>.
- [6] 游钰. 论价格卡特尔的界定[J]. 法学评论, 2001 (4): 43-50.
- [7] YOU Yu. Determinants of Price Cartel[J]. Law Review, 2001(4): 43-50.
- [8] 王珺珺, 谢贤亚, 李晓刚, 等. 简易当量电价法的解析表达及发电厂商古诺博弈行为初探[J]. 电力自动化设备, 2003, 23 (1): 61-64.
- [9] WANG Jun-jun, XIE Xian-ya, LI Xiao-gang, et al. Analytic Expression of Simple and Easy Electricity Value Equivalent Method and Primary Discussion of Cournot Duopoly in Generation Market[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23 (1): 61-64.
- [10] 任震, 朱然, 黄雯盈. 发电商之间的串通竞标分析及基于模糊理论判定[J]. 电力自动化设备, 2004, 24 (10): 7-10.
- [11] REN Zhen, ZHU Ran, HUANG Wen-ying. Collusion Bidding of Power Suppliers and Its Judgement Based on Fuzzy Theory[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24 (10): 7-10.
- [12] 徐楠, 文福拴. 电力市场中发电公司间心照不宣的勾结浅析[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(8):14-19.
- [13] XU Nan, WEN Fu-shuan. A preliminary Analysis of Tracit Collusion Among Generation Companies in Electricity Markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(8):14-19.

(下转第72页 continued on page 72)

45-61.
WANG Xue-jin, CAI Jian-hui, HUANG You-tao, et al. Analysis of Abnormal Dielectric Dissipation Factor of Capacitor Current Transformer[J]. Transformer, 2007, 44 (9): 45-61.

[2] 陈化钢. 电力设备预防性实验方法及诊断技术[M]. 北京: 中国科学出版社, 2000.

[3] 周泽存, 等. 高电压技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[4] DL/T 621-1997, 电力设备预防性实验规程[S].

[5] 凌子恕. 高压互感器手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

[6] 陈天翔, 王寅仲. 电气试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

[7] 刘洪鑫, 吴锦华. 电流互感器的现场高电压介损测量[J]. 高电压技术, 2001, 27(5): 78-80.
LIU Hong-xin, WU Jin-hua. Investigation on on-Site Measurement of Dielectric Loss Angle of HV Current Transformer[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27 (5): 78-80.

[8] 吴仲达. 110 kV 站用电互感器介损测量误差探讨[J]. 山西电力, 2007(5).

[9] 杜晓平, 刘洪鑫. 串级式电压互感器介损现场测试方法的改进[J]. 浙江电力, 2006(6).
DU Xiao-ping, LIU Hong-xin. An Improved Method of

Measuring Dielectric Loss Angle of Cascade Voltage Transformer[J]. Zhejiang Electric Power, 2006(6).

[10] 王学锦, 蔡建辉, 黄友滔, 等. 电容型电流互感器介损异常情况及分析[J]. 变压器, 2007(9): 45-46, 61.
WANG Xue-jin, CAI Jian-hui, HUANG You-tao, et al. Analysis of Abnormal Dielectric Dissipation Factor of Capacitor Current Transformer[J]. Transformer, 2007(9): 45-46, 61.

[11] 李大厚. 110kV 干式电流互感器介损超标的探讨[J]. 电力建设.

[12] 刘裔, 赵汝国, 张鑫. 接触不良对电容式电压互感器介损试验的影响[J]. 电力电容器, 2007(1): 47-49.
LIU Yu, ZHAO Ru-guo, ZHANG Xin. Influence of Poor Contact on Dielectric Loss Test of Capacitive Voltage Transformer[J]. Power Capacitors, 2007(1): 47-49.

收稿日期: 2009-03-27

作者简介:

王笑棠 (1972-), 男, 工程师, 研究方向为高电压与电磁兼容;

李笑倩 (1987-), 女, 学士, 研究方向为电气工程及其自动化; E-mail: lxqtgzy@126.com

金 贵 (1976-), 男, 技师, 研究方向为高电压与电磁兼容。

(上接第 59 页 continued from page 59)

[9] 陈建华. 电力市场中发电商报价行为分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
CHEN Jian-hua. Generator Bidding Behavior Analysis in Electricity Market[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.

[10] 肖兴辉. 电力市场发电商合谋竞标的判定与防范[M]. 北京: 华北电力大学, 2006.
XIAO Xing-hui. Determination and Defence of the Collusion Bidding of Power Producers on Electricity Market[M]. Beijing: North China Electric Power University, 2006.

[11] 陈建华, 周浩, 等. 应用量价指数进行发电商报价分析[J]. 浙江大学学报工学版, 2005, 39 (6): 915-920.

CHEN Jian-hua, ZHOU Hao, et al. Application of Capacity Price Index to Analyze Bidding from Electricity Generator[J]. Journal of Zhejiang University Engineering Science, 2005, 39 (6): 915-920.

收稿日期: 2009-03-23; 修回日期: 2009-06-14

作者简介:

高晓虎 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为合谋的识别和防范; E-mail: hbdbgxh@gmail.com

张少敏 (1965-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为电力市场技术, 网络信息安全;

邹 粤 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为网络信息安全。