

# 电力市场监管中发电商投机行为存在性排序

赵彩虹, 唐小波, 李天然, 吴薛红

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 电力市场监管的一项重要任务,就是对参与电力市场的发电商投机行为的存在性进行判断,进而防止市场成员滥用市场力,操纵电力市场、危害其他市场成员的利益,维护市场竞争的有效性.以市场力相对大小、发电商报价与市场结清价格的接近度、对调度机构的指令执行情况作为电力市场中发电商投机行为存在性判断准则,并在此准则下采用层次分析法的改进算法广义最小偏差排序方法,对参与电力市场的发电商投机行为的存在性进行排序,使发电商存在投机行为的可能性得到综合评判和量化.

[关键词] 电力市场监管, 市场力, 投机行为, 排序

[中图分类号] TM 73 F123.9 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2005)02-0001-04

## Ranking the Possibilities of Speculations of Power-Generating Merchants in Power Market Monitoring

ZHAO Cahong TANG Xiaobo LI Tianran WU Xuehong

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China)

**Abstract** An important task of power market monitoring is to detect and evaluate speculations of power-generating merchants and prevent market members from abusing market power to manipulate the power market and to do harm to other market members and to maintain the validity of the market competitiveness. In this paper, the relative degree of market power, the extent of approach between bid price and market clearing price and the fulfillment of the instructions of the dispatch center are the criteria to judge whether speculations exist. The possibilities of speculations are synthetically evaluated and quantitatively analyzed to give monitor reference to speculations by using the generalized lowest deviation method to rank them.

**Key words** power market monitoring, market power, speculation, ranking

## 0 引言

从 20 世纪 80 年代开始,世界上许多国家将电力工业纳入了市场经济的框架.电力工业通过市场竞争,优化资源配置、降低发电成本、提供优质服务、促进电力企业持续发展.同时电力市场的开放性、竞争性决定了一些市场参与者出于对自身利益的考虑,为追求利益最大化而利用市场力(Market Power)来垄断或操控电价,或利用电力系统的阻塞谋取不当利润.如美国加州的电力危机事件,虽然产生这次电力危机的原因很多,但主要原因是发电商利用加州电力市场结构、政策中存在的缺陷来实施市场力,联合投机,哄抬电价造成的.同时市场监管的力度不够,没有及时发现和限制发电商的违规

投机行为,结果导致输电公司接近破产,而发电商不当利润巨大<sup>[1~3]</sup>.为防止过分的投机行为,电力市场监管的一项重要任务,就是对参与电力市场的发电商投机行为的存在性进行监管.

本文分析了国内外电力市场对发电商投机行为的定义及判断方法,提出以市场力相对大小、发电商报价与市场结清价格的接近度、对调度机构的指令执行情况作为电力市场中发电商投机行为存在性判断准则,并在此准则下采用层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)的改进算法广义最小偏差排序方法(Generalized Lowest Deviation Method, GLDM),对参与电力市场的发电商投机行为的存在性进行排序.

收稿日期: 2004-09-03

作者简介: 赵彩虹(1956-),女,教授,主要从事电力市场与电力系统及其自动化的教学与研究. E-mail: zhaoaihong@njnu.edu.cn

# 1 投机行为的存在性判断准则

电力市场监管中的市场力比较、分析电力市场各成员的行为及进行电力市场仿真,以分析电力市场各成员的行为最为首要.对电力市场中各成员尤其是发电商的投机行为存在性进行排序,对排序在前的发电商进行不同环境下的行为分析、进行完全竞争情况下及投机方式下的电力市场仿真,将为客观、公正的界定发电商的投机行为提供科学、量化的依据.

对于重点监管的发电商投机行为,美国纽约电力市场中 NY ISO (New York ISO) 定义了 4 种重点监管的投机行为:发电商(输电商)有意不向电力市场提供其可以提供的发电容量或输电服务;申报过高价格,从而不参加交易或导致市场电价过高;不经济地、过度地增加机组的发电功率,从而导致或加重电网阻塞;对市场电价有重大影响的行为<sup>[2]</sup>.文献[3]从使用的角度和具体可操作性出发,指出分析市场参与者在不同环境下的行为要从如下几个方面进行分析、比较:重点分析在多次报价中经常投标接近市场结清价的参与者报价策略;比较同一发电单元在期货、现货、实时电能市场中的报价策略之间的关系;比较同一发电单元在进入能量市场和辅助服务市场报价策略之间的比较;比较同一发电单元在系统有、无拥挤时的报价策略之间的关系;比较同一发电单元在系统接近拥挤与系统远离拥挤时的报价策略之间的关系;比较同一发电单元在有强制运行机组(must run generator)被召唤与没有强制机组被召唤时的报价策略之间的关系;具有相同或相似运行特性的发电单元之间的报价策略的比较;比较分析市场参与者的报价策略和其市场占有率的关系.

很显然,要搜集上述全部信息和数据是困难的,而且对所有发电商(发电单元)均进行如上方面的逐一分析,其工作量也会很大.本文分析了我国电力市场现状,认为发电商投机行为的存在性所涉及的主要问题是:(1)发电商的市场力大小.发电商普遍具有市场力,只是各自的相对大小有别.市场力的大小决定发电商做出投机行为后所获不当利益的多寡.(2)发电商是否利用了市场力.发电商利用市场力做出的投机行为主要有:利用自己在市场中的主导地位(must-run)明显地抬高市场电价;制造或利用网络阻塞,使其他发电商无法向某些用户供电,而自己则高价向这些用户供电;利用自己在调峰和调频方面的优势,从辅助电力市场

和实时电力市场中获得高额电价.即发电商利用市场力使其在不同情况下的报价都几乎决定市场的结清价格.(3)对实时调度的指令是否迅速、准确的执行.发电商存在投机行为时会利用各种借口对实时调度的指令拖延执行、折扣执行甚至不执行,故意少发电或多发电,造成网络阻塞甚至威胁系统安全.上述 3 方面问题对电力市场监管专家来讲,给出一般的判断是可能而容易的.因此本文提出以市场力相对大小、发电商报价与市场结清价格的接近度、对调度机构的指令执行情况作为电力市场中发电商投机行为存在性判断准则.

# 2 发电商投机行为的存在性排序

## 2.1 基于层次分析法的排序

根据层次分析法原理<sup>[4,5]</sup>,以  $n$  个发电商投机行为的存在性进行排序为目标;以市场力相对大小、发电商报价与市场结清价格的接近度、对调度机构的指令执行情况为准则;以参与电力市场的发电商为排序对象,建立递接层次模型如图 1

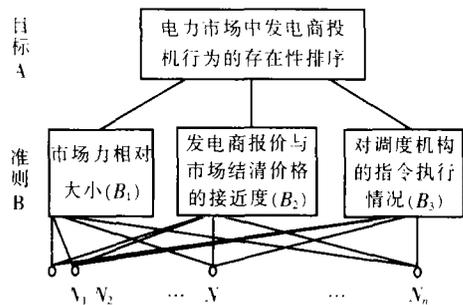


图 1 确定发电商投机行为存在性排序的递接层次模型

对目标  $A$  来说,准则  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  的相对重要程度,是构成  $A - B$  间判断矩阵  $A$  的信息基础.然而这种相对重要程度本身具有一定的模糊性,很难准确度量.层次分析法中两两比较的 1~9 比例标度法可较好地解决这个问题.分析 3 项准则本文认为  $B_2$  与  $B_3$  具有相同的重要程度,  $B_1$  与  $B_2$ 、 $B_3$  相比,  $B_2$ 、 $B_3$  为明显重要.以比例标度法建立判断矩阵  $A$  如下:

$$A = [a_{ij}]_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} \\ 5 & 1 & 1 \\ 5 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其排序向量为:  $W_A = [w_1, w_2, w_3]^T$  (2)

同样对准则层中的任意准则  $B_i$  来说,排序对象  $C$  既参与电力市场的  $n$  个发电商的相对表现,同样用两两比较的 1~9 比例标度法建立  $B_i - C$  ( $i = 1 \sim 3$ ) 间判断矩阵  $B_i$ .只要大致给出各发电商在

准则  $B_i$  下的相对表现,判断矩阵  $B_i (i = 1 \sim 3)$  是很容易建立的.其排序向量为:

$$W_{B_i} = [w_{1b}, w_{2b}, \dots, w_{nb}]^T \quad (3)$$

判断矩阵排序采用广义最小偏差方法,此方法在判断矩阵排序过程中无需求解最大特征根,而是直接求解判断矩阵的最佳排序向量,且一致性检验效果好.

总排序向量为:

$$W = [W_{B_1}, W_{B_2}, W_{B_3}] W_A \quad (4)$$

## 2.2 广义最小偏差排序方法及其一致性检验

我们把递接层次模型中的目标、准则和排序对象统称为系统要素<sup>[4]</sup>.设某层  $n$  个要素的  $n \times n$  阶判断矩阵为  $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ ,其排序向量为:  $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ ,且满足归一化约束条件

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \text{ 记向量空间: } D = \{W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T \mid w_i > 0, i = 1, 2, \dots, n; \sum_{i=1}^n w_i = 1\} \text{ 集合 } \Omega =$$

$\{1, 2, \dots, n\}$ ,当  $A$  满足完全一致性条件:  $a_{ij} = \frac{a_{ik}}{a_{jk}}$ ,  $i, j, k \in \Omega$  时  $A$  为一一致性判断矩阵.由一致性判断

矩阵的特点则有:  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} (i, j \in \Omega)$ .一致性判断

矩阵的各要素相互关系是可以定量传递的.由于实际系统的复杂性和人们认识上的多样性、主观上的片面性和不稳定性,系统要素的重要性度量没有统一和确切的标尺,决策者不可能精确度量  $\frac{w_i}{w_j}$ ,只能

对它们进行估计判断.判断矩阵  $A$  的一致性程度主要取决于判断者对系统各要素的把握程度.对各要素优劣认识的越清楚一致性程度就越高,排序结果的准确度就越高.但在实际应用中判断矩阵  $A$  的一致性条件不满足是客观存在、无法完全消除的.基于这种情况文献[6]引入广义偏差项:

$$g_{ij} = \left( a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \right)^\alpha + \left( a_{ji} \frac{w_i}{w_j} \right)^\alpha - 2 \quad i, j \in \Omega \quad \alpha \neq 0 \quad (5)$$

同时构造广义偏差函数:

$$G(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n g_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[ \left( a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \right)^\alpha + \left( a_{ji} \frac{w_i}{w_j} \right)^\alpha - 2 \right] \quad (6)$$

显然,从判断矩阵拟合角度考虑,  $G(w)$  总是愈小愈好.因此合理的排序向量  $W^*$  应使  $G(w^*)$  最小.由此导出的排序方法称为广义最小偏差排序

方法.

广义最小偏差排序方法无需求解判断矩阵的最大特征根,而是直接求解判断矩阵的最佳排序向量.因此传统的以判断矩阵最大特征根为已知条件的一致性检验公式不再适用,经变换<sup>[5]</sup>得如下以排序向量进行的一致性检验公式为:

$$CI = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq 3} \left[ a_{ij} \frac{w_j^*}{w_i^*} + a_{ji} \frac{w_i^*}{w_j^*} - 2 \right] \quad (7)$$

式中,  $w_i^*, w_j^*$  为判断矩阵最佳排序向量中的元素.由此式进行一致性检验具有更广阔的适用范围,适用于判断矩阵的所有排序方法<sup>[4]</sup>.

## 2.3 排序步骤

(1) 以发电商投机行为的存在性排序为目标;以市场力相对大小、发电商报价与市场结清价格的接近度、对调度机构的指令执行情况为准则;以参与电力市场的  $n$  个发电商为排序对象,建立递接层次模型如图1所示.

(2) 以1~9比例标度法建立准则层对目标层的判断矩阵  $A - B$ ;应用广义最小偏差排序方法对准则层进行排序.判断矩阵为:  $A = [a_{ij}]_{3 \times 3}$ ;其排序向量为:  $W_A = [w_1, w_2, w_3]^T$ ;构造广义偏差函数为:  $G(W) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \left[ \left( a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \right)^\alpha + \left( a_{ji} \frac{w_i}{w_j} \right)^\alpha - 2 \right]$   $\alpha \neq 0$  当  $G(W) \leq \varepsilon$  时,  $W_A = W_A^* = [w_1^*, w_2^*, w_3^*]^T$  为判断矩阵  $A$  的最佳排序向量.同时由(7)式对其进行一致性检验,计算  $CI$  并判断(8)式是否成立:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.10 \quad (8)$$

$RI$ 为平均随机一致性指标,对于三阶判断矩阵  $RI = 0.58$   $RI$ 的数值是用随机模拟方法分别对1~ $n$ 阶各构造500个随机判断矩阵,它们满足判断矩阵的单位性和倒数性,但不保证判断矩阵满足一致性条件.计算这些矩阵的一致性指标并取平均值得  $RI$

(3) 以1~9比例标度法建立对象层对准则层的判断矩阵  $B_i - C$ ;重复(2)步骤的排序及一致性检验,得排序向量:

$$W_{B_i}^* = [w_{1i}^*, w_{2i}^*, \dots, w_{ni}^*]^T; \quad i = 1, 2, 3$$

(4) 计算总排序及其一致性检验.被排序对象的总排序向量为:

$$W^* = [W_{B_1}^*, W_{B_2}^*, W_{B_3}^*] W_A^* \quad (9)$$

总一致性检验由下式来计算:

$$CI_{总} = CI_A + [CI_{B_1}, CI_{B_2}, CI_{B_3}] W_A^* \quad (10)$$

$$RI_{总} = RI_A + [RI_{B_1}, RI_{B_2}, RI_{B_3}] W_A^* \quad (11)$$

$$CR_{总} = \frac{CI_{总}}{RI_{总}} < 0.10 \quad (12)$$

当上述条件得以满足则得出的总排序向量是可以接受的, 否则就需要调整有关判断矩阵, 直到具有满意的一致性为止。

### 3 算例

设某区域电力市场有  $C_1, C_2, C_3, C_4$  4 家规模不等的发电商, 以其投机行为的存在性排序 ( $A$ ) 为目标; 以市场力相对大小 ( $B_1$ )、发电商报价与市场结清价格的接近度 ( $B_2$ )、对调度机构的指令执行情况 ( $B_3$ ) 为准则; 以参与电力市场的 4 家发电商为排序对象, 建立递接层次模型 (类似图 1)。对于目标  $A$ : 3 项准则的相对重要程度如前所述。假设 4 家发电商在上述 3 个准则下的情况分析结果为: 对于准则  $B_1$ :  $C_1$  较大、 $C_2$  较小、 $C_3$  明显大、 $C_4$  明显小; 对于准则  $B_2$ :  $C_1$  小、 $C_2$  较大、 $C_3$  大、 $C_4$  明显大; 对于准则  $B_3$ :  $C_1, C_2, C_3, C_4$  均为满意。对各层次分别建立判断矩阵及采用广义最小偏差排序方法得出的排序结果如表 1 ~ 表 5

表 1 判断矩阵  $A - B$  及其排序

$A_1$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$W (\alpha = \pm 1)$
$B_1$	1	0.20	0.20	0.088 6
$B_2$	5	1	1	0.455 8
$B_3$	5	1	1	0.455 6
$CI = 0.000 3$				$RI = 0.58$
$CR = 0.000 5 < 0.10$				

表 2 判断矩阵  $B_1 - C$  及其排序

$B_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$W (\alpha = \pm 1)$
$C_1$	1	5	0.33	5	0.272 2
$C_2$	0.20	1	0.14	2	0.078 1
$C_3$	3	7	1	9	0.597 8
$C_4$	0.20	0.50	0.11	1	0.051 9
$CI = 0.028 4$				$RI = 0.90$	$CR = 0.031 6 < 0.10$

表 3 判断矩阵  $B_2 - C$  及其排序

$B_2$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$W (\alpha = \pm 1)$
$C_1$	1	0.25	0.20	0.17	0.062 5
$C_2$	4	1	0.50	1	0.245 4
$C_3$	5	2	1	0.50	0.308 6
$C_4$	6	1	2	1	0.383 5
$CI = 0.056 2$				$RI = 0.90$	$CR = 0.062 4 < 0.10$

表 4 判断矩阵  $B_3 - C$  及其排序

$B_3$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$W (\alpha = \pm 1)$
$C_1$	1	1	1	1	0.25
$C_2$	1	1	1	1	0.25
$C_3$	1	1	1	1	0.25
$C_4$	1	1	1	1	0.25
$CI = 0.000 0$				$RI = 0.90$	$CR = 0.000 0 < 0.10$

表 5 总排序结果为

	$W (\alpha = \pm 1)$
$C_1$	0.166 5
$C_2$	0.232 7
$C_3$	0.307 6
$C_4$	0.293 8
$CI = 0.031 1$	
$RI = 1.479 6$	
$CR = 0.021 0 < 0.10$	

即: 投机行为存在性大小排序依次为  $C_3, C_4, C_2, C_1$ 。

由排序结果可以看出, 在服从调度方面 4 家发电商是一致的, 在市场力方面  $C_3$  明显大, 同时其报价与市场结清价的接近度也大, 所以  $C_3$  的排序权值最大是合理的。虽然  $C_4$  的市场力明显小, 但它的报价与市场结清价的接近度明显大, 所以它的排序权值大于  $C_1, C_2$  也是合理的。再分析  $C_1$  和  $C_2, C_2$  的报价与市场结清价的接近度大于  $C_1$ , 虽然其市场力小于  $C_1$  但其投机的可能性要比  $C_1$  为大。以上分析表明本排序方法能够反映一定的市场真实, 而且快速、有效。

### 4 结论

以市场力相对大小、发电商报价与市场结清价格的接近度、对调度机构的指令执行情况为准则, 用改进算法广义最小偏差排序方法, 在发电商市场行为的全部信息和数据搜集困难的情况下, 利用有限信息对参与电力市场的发电商投机行为的存在性进行排序, 使发电商存在投机行为的可能性得到综合评判和量化。为电力市场监管机构对参与电力市场的发电商投机行为的存在性进行监管提供依据。

#### [参考文献]

- [1] 文福拴, David A K. 加州电力市场失败的教训 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(5): 1-5.
- [2] 夏清, 黎灿兵, 江健健, 等. 国外电力市场的监管方法、指标与手段 [J]. 电网技术, 2003, 27(3): 1-4.
- [3] 林济铿, 祁达才, 倪以信. 电力市场监管辅助系统之研究 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(14): 7-10.
- [4] 赵彩虹, 李秀卿, 姜克志. 基于层次分析的局部电压紧急分域新方法 [J]. 继电器, 2000, 2(2): 12-14.

[责任编辑: 严海琳]