

发电侧市场竞争策略的风险分析及决策模型

马磊, 房鑫焱, 侯志俭

(上海交通大学电力学院, 上海 200030)

摘要: 在发电侧电力市场中, 电价由市场的供求关系决定, 发电厂商实行竞价上网。他们根据自己盈利的期望报价, 既要保证上网运行成为可能, 又要保证收入及利润最大, 因此报价高低都存在着影响收益与否和收益大小的风险, 如何在竞争中获胜, 就要求发电厂商进行一定的风险分析, 作出合理的决策。通过对发电厂商进行的经济风险辨识和分析, 提出了基于期望损益值准则的风险性决策模型, 同时通过实际算例予以证明。

关键词: 电力市场; 风险辨识; 竞价方案; 概率分布; 标准离差

中图分类号: TM715

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2001)12-0021-04

1 引言

我国将在本世纪初建立并完善发电侧电力市场运营机制, 实行网厂分开, 竞价上网。发电厂与调度中心的功能和职能将发生根本性的变化, 电厂既要产电又要向由各省、区域的电力调度中心将转化为的交易机构售电。目前发电厂商竞价上网的模式已被越来越多人士所认同。在电力市场中电能成为一种有价商品, 它的价格由市场的供求关系决定, 当供电量大于需求, 即市场处于完全竞争时, 竞价上网有了实现的可能, 这时电能买卖采用招投标的方式进行。各发电厂商竞价上网的方式和竞价策略有很强的随机性和实时性, 不仅与电力市场的经济效益相关, 而且与系统实时负荷相关, 另外还直接影响电力系统的安全和可靠性, 简单地说就是其报价高低与上网运行、收益多少的风险有着密切的关系。发电厂商根据自己盈利的期望报价, 必须对自己的报价方案进行合理的风险分析, 而后作出决策, 保证自己可以在上网发电同时获得合理的收益。

2 发电厂商竞争策略的风险分析

2.1 发电侧电力市场电能交易原理

作为商品的电能, 其价格由市场的供求关系决定, 当供电量少而需求多即处于不完全竞争市场时, 发电厂商对制定电价有较大的发言权, 在这种情况下, 作为购电商的联营交易中心必须根据“天花板”界限原则, 制定统一的电价, 以防止发电厂商形成联盟, 从中牟取暴利; 而当供电量大于需求, 即处于完全竞争时, 竞价上网成为可能, 这时在联营交易中心内, 电能交易采用招投标的方式进行。其交易机理是交易前联营中心向各发电厂商发出购电计划, 发

电厂商向联营交易中心提交指定时段的供电竞标数据, 联营中心在得到所有竞标者的竞标数据后, 对买卖双方的竞标数据进行汇总, 找出同时满足各竞标者要求的价格和电量, 这个价格即市场清价 MCP, 电量为市场需求电量 MCQ。设电力市场中有 N 个发电厂商和购电方, 他们提交给 PX 某一指定时段的竞标和需求曲线分别为:

$$P_i = S_i(\lambda) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$P_b = F(\lambda) \quad (2)$$

其中 λ —竞标电价

P_i —第 i 个发电厂商在价格为 λ 时申报的竞标供应电量;

P_b —购电方在价格为 λ 时的买入电量。

则 PX 汇总所有的发电厂商的供电竞标曲线和购电方需求曲线:

$$P = S(\lambda) = \sum_{i=1}^N S_i(\lambda) \quad (3)$$

$$P = P_b = F(\lambda) \quad (4)$$

绘出曲线如图 1 所示:

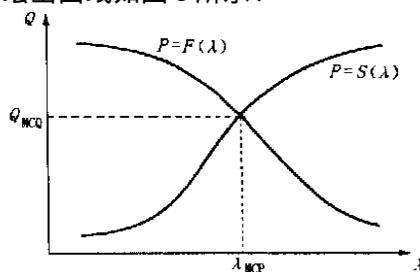


图 1 发电市场交易机理曲线

图 1 中交点的横坐标即为市场电价, 纵坐标即为市场电量。由此可知联营中心在满足电量需求的情况下, 以购电支出最小为原则, 确定供电的发电厂商及购电量, 同时公布统一的发电价格。这时的发

电价格和各种备用价格为排入购电计划中所有发电厂商的最高报价。

2.2 发电厂商的经济风险辨识

发电厂商希望通过向联营交易中心售电赢得利润,但他们报价的高低直接关系到是否能上网运行和收益多少。报价高可能因为过高不能上网运行,但也有可能与联营中心确定的价格吻合,获得最大利润;报价低虽然上网运行的概率提高,但可能会导致收益低甚至亏损。为此要通过风险分析和风险估计的方法,来算出每种报价方案中各项相关指标的概率分布和风险度,来确定最终的报价。简单来讲即在不清楚联营交易中心确定的电价和其他参加竞价厂商报价的情况下,发电厂商要估算出每种报价方案所带来的收益如何、与联营中心价格基本吻合的概率分布等指标来确定最后的报价方案。为此需要对发电厂商进行经济风险辨识。

发电厂商的经济风险主要有以下几个方面:自身的竞争能力,其他竞争厂商的情况和市场需求状况。其他还可以将地区、时间和社会条件等因素考虑进去。

发电厂商自身的竞争能力,主要是指其电能质量和生产成本。竞价上网虽然以电能价格高低作为标准,但同时电能质量也是一个重要的考虑因素,联营中心希望从发电厂商处购买到质高价优的电能。电能质量的高低无疑与生产成本的高低构成一对互相牵制的矛盾,生产成本会因为发电厂商为保证达到联营中心上网运行所规定某一时段的电能质量标准而变化,从而会影响到该时段的价格,我们把完全按照生产成本报价确定为基价(发电厂商的利润为零),发电厂商必须报出比基价高的价格,才能赢得利润,可知发电厂商自身的竞争能力直接关系到其收益的多少。

其他竞争厂商的情况是指,与自己同时参与竞价上网的发电厂商的报价情况。这是一个不确定的因素,在向联营交易中心报价时,每一个竞价者都是相对独立互不交流的,不同发电厂商的基价是不同的,这影响到他们的报价高低,最终也会影响到联营中心的定价,为此就必须考虑在该时段其他竞争厂商报价情况的概率分布,来估算出自己的报价被联营中心采用的概率分布。

市场需求情况主要指,联营交易中心为满足用户侧的需要同时保证电力系统安全稳定的运行,根据其购电支出费用最低原则,确定的购电计划。

3 基于期望损益值准则的风险性决策模型

3.1 风险决策与期望损益值准则

一项决策所产生的后果,取决于两个方面的因素,即除了取决于决策者所选择的行动方案,还取决于决策者所无法控制的客观因素,前者称为决策变量,后者称为自然状态。风险性决策是决策者根据几种不同自然状态可能发生的概率所进行的决策;决策者所采用的任何一个行动方案都会遇到一个以上自然状态所引起的不同结果,这些结果出现的机会是用各种自然状态出现的概率来表示的;无论决策者采用何种方案,都要承担一定的风险。

一个决策变量 d 的期望值,就是它在不同自然状态下的损益值乘上相对应发生概率之和,即:

$$\bar{E}(d_i) = \sum_{j=1}^n P(j) \cdot E_{ij} \quad (5)$$

式中: $\bar{E}(d_i)$ 表示变量 d_j 的期望值; E_{ij} 表示变量 d_i 在自然状态 j 下的损益值; $P(j)$ 表示自然状态 j 发生的概率。决策变量的期望值可以是收益期望值、损失期望值或机会期望值。每一个行动方案即为一个决策变量,其取值就是每个方案在不同自然状态下的损益值。把每个方案的各损益值和对应的自然状态概率相乘再加和,得到各方案的期望损益值,然后根据收益期望值最大或损失期望值最小为最优方案。

3.2 竞价方案风险决策模型

发电厂商对于未来收益具有不确定性,其风险收益和风险大小用数理统计的方法来估量。假设 $d = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ 为可供决策者选择的报价方案,如果将它看作一个向量, $d_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 为它的分量,则称 $d = (d_1, d_2, \dots, d_m)$ 为方案向量;假设根据一定的调查分析得某一时段系统定价的 n 种可能为 $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, 如果也将它看作一个向量, $s_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 为它的分量,则称 $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 为状态向量;若把状态 s_j 发生的概率记作 $X(s_j) = X_j$, 则 $X = [X(s_1), X(s_2), \dots, X(s_n)]$ 称为状态概率向量,并有:

$$\sum_{j=1}^n X(s_j) = \sum_{j=1}^n X_j = 1 \quad (6)$$

当状态为 s_j , 采取方案为 d_i , 其相应的损益值为 $E(d_i, s_j) = E_{ij}$, 各方案 d_i 的期望损益值为:

$$\bar{E}(d_i) (i = 1, 2, \dots, m), \text{ 有 } \bar{E}(d_i) = \sum_{j=1}^n X_j E_{ij}$$

将以上各量用矩阵表示,其中损益矩阵、状态概

率矩阵及各方案对应的期望损益矩阵分别为:

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \dots & E_{1n} \\ E_{21} & E_{22} & \dots & E_{2n} \\ M & M & O & M \\ E_{m1} & E_{m2} & \dots & E_{mn} \end{bmatrix} \quad X^T = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ M \\ X_n \end{bmatrix}$$

$$\bar{E}(d_i) = \begin{bmatrix} E(d_1) \\ E(d_2) \\ M \\ E(d_n) \end{bmatrix} = EX^T = \begin{bmatrix} X_1 E_{1j} \\ X_2 E_{2j} \\ M \\ X_n E_{nj} \end{bmatrix} \quad (7)$$

发电厂商根据计算的 $\bar{E}(d_i)$ 来决策:

(1) 当各方案存在相同的 $\bar{E}(d_i)$ 时, 竞价的风险程度取决于收益的概率分布。概率分布越集中实际收益就会越接近期望值, 风险的程度也就越小; 反之, 概率分布越分散, 竞价的风险程度就越大。因此可用反映概率分布离散程度的标准离差度量竞价风险的大小, 各方案的标准离差的计算公式如下:

$$s_i = \sqrt{(E_{ij} - \bar{E}(d_i))^2 \times X_j} \quad (8)$$

(2) 当各方案的 $\bar{E}(d_i)$ 不同时, 应采用其标准离差与预期收益的比值标准离差率来决策, 即:

$$V_i = \frac{s_i}{\bar{E}(d_i)} \quad (9)$$

来比较各方案的风险程度, 标准离差率的值越大, 其方案的风险程度越高。

3.3 考虑风险收益率的决策

额外风险收益是发电厂商在竞价中所希望获得的, 根据资本资产定价原理, 不考虑其他因素, 将收益率作为决策量, 发电厂商竞价的收益率应该包括两部分, 即:

$$\text{竞价收益率} = \text{无风险收益率 } R_F + \text{风险报价收} \\ \text{益率 } R_R \quad (10)$$

R_F 可认为是与发电厂本身状况相关, 指仅收回生产成本的收益率; 风险报价收益率 R_R 取决于竞价方案本身风险和报价者对风险的主观态度, 一般认为风险收益率与反应风险程度的标准离差率 V 成正比, 即: $R_R = b \cdot V$ (11), 式中: b 为风险价值系数, 主要由报价者主观确定: 敢于冒险的 b 定的低, 比较保守的 b 定的高, 可在无风险收益率上下浮动 2% ~ 4%。

设发电厂商本身收益率的预测值为:

$$R_p = \frac{\bar{E}(d)}{P}$$

其中 $\bar{E}(d)$ 为期望损益值, P 为生产成本, 则发电厂商所选择的报价方案应满足:

$$R_F + R_R \leq R_p \quad (12)$$

$$\text{即 } R_F + R_R \leq \bar{E}(d) / P \quad (13)$$

将(9)、(11)式代入得 $R_F + b \cdot V \leq \bar{E} / P$

$$(\bar{E} / P - R_F) \cdot \bar{E} / b \quad (14)$$

定义:

$$= (\bar{E}(d) / P - R_F) \cdot \bar{E}(d) / b$$

因此如果报价要保证一定的风险收益率, 那么标准离差必须满足式(14), 即 $V < \dots$, 同时在各种可行的方案中, 又要保证以最小风险获得预期收益, 则必须选择标准离差率 V 最低的方案作为最优方案。

4 算例及分析

以南方某省电力公司提供的一台燃煤 600MW 机组的典型报价为例: 规定发电市场运作按交易日进行, 每个交易日分为 48 个交易时段, 每个交易时段为 30min。发电厂商提前一天按照时段申报交易时段的段价及段容量。设该电厂某时段所能提供上网电量为 200MW, 其中: 表 1 为该机组某一时段的 12 种报价方案, 表 2 列出从历史数据分析得出该时段系统用电需求的可能状态(本文以 3 种状态为例), 通过计算得出最佳报价方案。

表 1 南方某燃煤机组的典型报价方案

d_j (报价方案)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Price /MW	-15	150	160	200	210	220	230	250	280	350	380	400

表 2 该时段系统用电的三种可能状态(以三种为例)

j	1	2	3
Quantity(MW) (系统用电的可能需求)	1580	1185	790
P_S (/MW) 可能上网电价	350	250	190
Pr (/MW) 生产成本	70	40	60
X_j	0.1	0.2	0.7

表 3 计算结果

V_i	-0.070	0.2432	0.1914	1.307	1.301	1.297	1.294	1.290	2.846	2.846		
d_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
报价	-15	150	160	200	210	220	230	250	280	350	380	400
$\bar{E}(d_i)$	-25600	7400	9400	5640	6240	6840	7440	8640	3080	4480	0	0
i	1800	1800	1800	7372	8123	8877	9633	11150	8765	12750	0	0
j	14628.5	15256	24992	9582	11923	14567	17530	24478	3285	7996	0	0

根据以上算式计算 E_{ij} 、 $\bar{E}(d)$ 、标准离差、标准离差率 V_i 以及 \dots : 其中

$$E_{ij} = \begin{bmatrix} -28200 & 4800 & 6800 & 14800 & 16800 & 18800 & 20800 & 24800 & 30800 & 44800 & 50800 & 54800 \\ -22200 & 10800 & 12800 & 20800 & 22800 & 24800 & 26800 & 30800 & 36800 & 50800 & 56800 & 60800 \\ -26200 & 6800 & 8800 & 16800 & 18800 & 20800 & 22800 & 26800 & 32800 & 46800 & 52800 & 56800 \end{bmatrix}$$

从表 3 的数据中可以分析得出以下结论:

1) 方案 1 的报价风险程度最低,但同时收益也是最低的;方案 11、12 的报价远远超出上网定价的最高限度,未来收益虽然最高,但标准离差率为无穷大,风险程度最高,上网运行的可能几乎为零,收益期望值为零,所以不应采用;

2) 据式 (7),可知方案 2 至方案 8 都是可行方案,其中 V_3 最小,其风险程度最低,收益期望值较为理想,为最优方案;

3) 经过计算机演算,本算法当机组能够提供的上网电量不同以及系统上网电价的概率发生变化时仍然适用,因此具有一定的普遍适用性。

参考文献:

[1] 于尔铿,韩放,谢开,等. 电力市场. 北京:中国电力出版

社,1998.

[2] 言茂松,李晓刚. 发电竞价上网的简易当量电价法. 电力系统自动化,1999,23(2).

[3] 仲建忠,侯志俭,黄家裕. 发电市场中的实荷电价与竞标上网模式. 电网技术,1999,23(6).

[4] 郭仲伟. 风险分析与决策. 北京:机械工业出版社,1987.

[5] 严武,程振源,李海东. 风险统计与决策分析. 北京:经济管理出版社,1999,6.

收稿日期: 2001-05-21; 改回日期: 2001-07-23

作者简介: 马磊(1974-),男,硕士研究生,主要从事电力市场上网竞价策略及定价理论研究; 房鑫焱(1963-),男,副教授,主要从事继电保护及系统恢复理论的研究; 侯志俭(1942-),男,教授,博士生导师,主要研究领域为电力市场,电力系统安全分析,配电系统重构等。

The risk analysis and decision model of competition strategy for pool purchase price

MA Lei, FANG Xin-yan, HOU Zhi-jian

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: In the electricity market, the relation between the supply and demand decides the price of the electricity. The competitive market exposes the power producers to new uncertainties. The power plants want to quote the high price to earn the high profit, but sometimes they lose the chance of acceding the net and should face the high risk. The risk affects the producers to get the profit or not and the amount of the profit. The producers should do some analysis of the risk before they quote in order to succeed in the competition. The algorithm this paper provided can be used to analyze the risk and found the decision model of competition strategy for pool purchase price.

Keywords: electricity market; risk analysis; competitive price plan; probability; standard deviation

电网技术杂志社

电网技术

中国优秀科技期刊 电力部优秀科技期刊 全国中文核心期刊

主管单位: 国家电力公司

主办单位: 中国电力科学研究院 国家电力高度通信中心 国家电力公司电网建设分公司

主 编: 周孝信(院士)

专业范围: 电力系统、电力系统自动化、电厂自动化、电力通信、供配电、高电压技术、输变电、农村电气化、电气测量、电力市场和电力技术经济等。

邮发代号: 国内 82-604 国外: 1474M 定价: 8元/期 全年 96元

地址: 100085 北京清河小营中国电力科学研究院内 电话: 010-62916910, 62913201-2911

传真: 010-62916910 E-mail: pst@dwjs.com.cn http: www.dwjs.com.cn

中国电机工程学报

国家一级学术期刊 EI 和 SA 收录期刊 中国科学论文统计与分析 期刊、电工技术类和动力工程类核心期刊 全国中文核心期刊、国家教委核心期刊

主管单位: 中国科学技术协会

主办单位: 中国电机工程学会

主 编: 郑健超(院士)

专业范围: 电工理论、电力系统、自动化、动力工程、电机、高压电器及输、变、配电、通信、电力市场

邮发代号: 82-327 定价: 30元/期 全年 360元

地址: 100085 北京清河小营中国电力科学研究院内

电话: 86-10-62913201-2908/62916910 传真: 86-10-62916910 E-mail: csee@dwjs.com.cn