

考虑实时平衡市场的合约交易模式研究

吴国玥,蒋金良,华 栋

(华南理工大学 电力学院,广东 广州 510640)

摘要: 针对我国电力市场的特点提出了一种合约交易模式,合约市场和实时平衡市场并存,考虑两种市场价格之间的关系以及历史数据的影响,并通过科学的方法确定了各参数以达到最优的目的。算法在保证参与者经济利益的同时考虑了国家的宏观调控作用,消除价格剧烈波动带来的风险。最后,通过算例验证了这种市场交易模式的有效性。

关键词: 电力市场; 交易模式; 合约市场; 实时市场

中图分类号: TM 73;F 123.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)02-0018-04

0 引言

目前,全国已分为若干个电网公司和发电公司,初步实现了厂网分开,但为了进一步引入竞争,必须建立科学的交易模式和定价方法,许多学者都对定价模式进行了深入的研究^[1-3]。

目前,大多数国家都按照实时电价进行实时竞标的现货交易。几年的实际运行表明,电力作为商品的特殊性,在电力市场运营过程中,单纯的现货交易会给予电力市场安全平稳运营带来隐患,使电价波动剧烈,加州电力市场的失败正说明了这一点^[3]。

而相对于实时市场的有合约市场和期货市场。其中期货市场具有发现竞争性价格,抵消商业价格风险,方便资金周转以及分配资源等特点,但由于期货市场存在着大量的套利者,套利过程的存在给电网的运营和调度带来极大的困难和风险,需要制定严格的 market 规则进行约束,但在市场初期不宜实行。合约市场使得交易电价和交易电量被提前一定时间确定,而且交易合同一旦制定合同双方就必须执行,不会出现期货市场上的套利行为。

合约市场虽然保证了电力供应的长期稳定,降低了交易商和电网的运营风险,但是电价较大程度上失去了它所包含的经济信息,不能够对电力生产进行有效地指导。

本文参照国内外学者研究的成果,并根据国外一些国家市场运营的实际经验,提出了一种电力市场竞标的新模式。这种模式具有较好的通用性,对于发电方和购电方同样适用,并充分考虑了我国尚处于市场改革初期的特点,综合利用实时市场和合约市场,在基于利润最大化确定竞标模型中各参数的具体值的同时也有效地确保了国家对电力这一特殊商品价格的宏观调控,使电价处于一个较为合理的范围内。

1 交易模式

建议在我国实行电力市场改革的初期,建立一个实时市场和合约市场并存的市场模式,如图 1 所示。配电公司和发电公司可以在合约市场通过签订合约直接交易,也可以分别在实时市场竞标交易,实时市场的作用主要是消除合约市场到期时市场交易的不平衡。

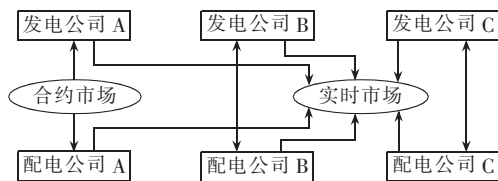


图 1 市场模式图

Fig.1 The market model

在实时平衡市场上,交易过程如下:

a. 交易双方分别提出接下来一日自己的竞标价格和电量,交与调度中心;

b. 由调度中心进行汇总(见图 2),将发电公司提供的竞标价格由低到高排列(A),而配电公司则按照由高到低排列(B),交点处对应的电量和价格即为市场交易价格和电量,竞标价格高于交易价格的发电公司和低于交易价格的配电公司将无权参加实时市场交易,然后根据参加交易的参与者和交易电量,制定调度计划并进行阻塞管理;

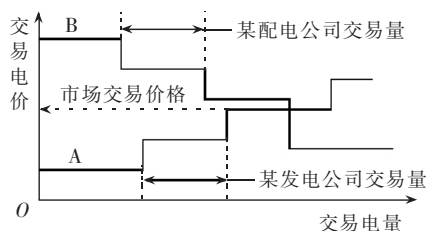


图 2 实时市场交易曲线

Fig.2 The trade curves of real-time market

c. 调度中心根据制定的交易计划计算出输电费用,并制定出各交易者的最终电价;

d. 调度中心将最终结果通知所有的市场参与者,使他们能够根据结果来调整合约市场上的竞标参数。

合约市场上的交易则由市场参与者直接进行交易,签订包括交易电价和交易电量的交易合同,而合同履行日期则根据实际情况而定。

实时市场的价格波动能为参与者带来相对于合约市场较大的收益,但合约市场则具有相对的稳定性,市场参与者在这两个市场上的交易电量就视参与者的个人考虑而定。

2 合约价格确定

2.1 价格函数

在所有的市场交易模式中,电价的科学制定都是极为重要的。本文提到的这种实时市场和合约市场并存的交易模式,使得它们的电价不可避免的互相影响,同时以前的结果对于市场参与者也有着不可避免的影响,所以采用公式(1)计算电价。

$$\begin{bmatrix} P_t \\ F_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P'_t \\ F'_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^M h(t,k) \\ \sum_{k=1}^N g(t,k) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} P'_t \\ F'_t \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \left\{ \begin{bmatrix} \alpha_p \\ \alpha_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1-\beta_p & \beta_p \\ \beta_f & 1-\beta_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{t-1} \\ F_{t-1} \end{bmatrix} \right\}$$

式中 P_t 是时间 t 时市场参与者在实时市场上的价格; F_t 是在合约市场上的价格; β_p, β_f 分别代表时间 $t-1$ 的价格对时间 t 时价格的影响,取值在 $0 \sim 1$ 之间; $h(t,k), g(t,k)$ 分别代表外部环境的第 k 个因素对 P_t 和 F_t 的影响; α_p, α_f 分别代表 P_t 和 F_t 的一种必然趋势。

模型考虑了对时间 t 的价格影响较大的历史同期的价格,而参数比 $\beta_p / (\beta_p + \beta_f)$ 则说明了合约市场和实时市场的相互影响和相互预测关系,其值位于 $0 \sim 1$ 之间,反映了两个市场成熟的调节和反馈结果。由于社会经济发展的相互关联性, $h(t,k)$ 和 $g(t,k)$ 则用来反映定价时第 k 个因素对电价的影响,该参数由调度部门制定,国家也主要通过它们对电价进行宏观调控,以使电价保持在一个正常范围内,比如三峡基金的筹集以及国家鼓励建厂的优惠政策等。

α_p 则代表 P_t 的必然趋势,它保留了实时电价的经济信号,由调度中心根据制定的调度计划进行计算,建议采用文献[4]中计算实时电价的方法。

$$\min \sum_{i=1}^m C_i(P_{Gi})$$

$$\sum_{i=1}^m P_{Gi} - \sum_{k=1}^n P_{Dk} - P_L = 0 \quad (2)$$

$$P_G^{\min} \leq P_G \leq P_G^{\max}$$

$$P_l \leq P_l^{\max}$$

式中 $C_i(P_{Gi}) = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i$ 为母线 i 处的发电机成本或者供电成本; P_{Dk} 是第 k 个网络用户的有功负荷; P_{Gi} 是母线处的有功输出; $P_{Gi}^{\min}, P_{Gi}^{\max}$ 分别是母线 i 处的最小、最大发电约束; P_l 是传输线 l 上的有功潮流; $P_L^{\max}$ 是传输线 l 上的最大传输功率约束; P_L 是系统的有功网损; m 和 n 分别是发电机组和系统母线的数目。

构造拉格朗日函数为

$$\mathcal{L}(P_G) = \sum_{i=1}^m C_i(P_{Gi}) - \lambda \left(\sum_{i=1}^m P_{Gi} - \sum_{k=1}^n P_{Dk} - P_L \right) + \sum_{l=1}^{N_L} \mu_l (P_l - P_l^{\max}) + \sum_{i=1}^{N_L} [\mu_i^{\min} (P_{Gi}^{\min} - P_{Gi}) + \mu_i^{\max} (P_{Gi} - P_{Gi}^{\max})] \quad (3)$$

式中 μ_l 是对应于线路 l 的有功传输限制的拉格朗日乘子, $\mu_l \leq 0$; $\mu_i^{\min}, \mu_i^{\max}$ 分别对应于母线 i 处的最小和最大发电量约束的拉格朗日乘子,它们都 < 0 ; λ 是对应于系统能量平衡约束的拉格朗日乘子; N_L 是传输线的数目; m, n 分别是发电机组和系统母线的数目。

方程(3)是考虑了发电和传输过程中运行限制和损耗的拉格朗日函数。由此母线 i 处的有功电价的边际成本 ρ_{pi} 如下:

$$\rho_{pi} = \frac{\partial \mathcal{L}(P_G)}{\partial P_i} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{N_L} \mu_l \frac{\partial P_l}{\partial P_i} + \lambda \left(1 + \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \right) \\ - \sum_{l=1}^{N_L} \mu_l \frac{\partial P_l}{\partial P_i} + \lambda \left(1 + \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \right) \\ \frac{\partial C_i(P_{Gi})}{\partial P_i} - \mu_i^{\min} + \mu_i^{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中的第 1 部分是对应于负载母线(供电公司)的电价;中间部分是对应于独立发电厂母线的电价;第 3 部分对应于公共发电母线处的电价。

而 α_f 则是代表合约市场上价格的一种长期趋势。根据合约市场的特点, α_f 利用成本函数进行确定。

$$\alpha_f = C / (1 - \gamma)$$

式中 C 代表发电公司和供电公司的单位平均生产成本,综合考虑了燃料成本、固定成本回收、劳动力成本等;而 γ 则是效益参数,对发电公司 $0 \leq \gamma < 1$, 对供电公司 $\gamma \leq 0$, 对于 γ 国家可以制定一个区间,使得市场参与者的利润保持在一定的区间内,保证用户的利益。

2.2 价格函数参数确定

在上面介绍的公式中 γ, β_p 和 β_f 是在一个取值范围内取值,可以利用 Roth-Erev 的改进算法确定它们的具体值[2]。假设价格参数存在可行的 K 种取值,定义效益函数 $q_k(t)$, 为时间 t 时与参与者选择第 k 种参数时的利润。

$$q_k(t) = (1 - \rho) q_k(t-1) + E(k, k', t-1, K, e) \quad (5)$$

式中 ρ 为趋势参数; e 为经验参数。

式(5)中 $E(k, k', t-1, K, e)$ 反应了上一轮所选择参数对本轮参数选择的影响,定义如下:

$$E(k,k',t-1,K,e)=\begin{cases} R(k',t-1)(1-e) & k=k' \\ q_k(t-1)e/K & k\neq k' \end{cases}$$

式中 $R(k',t-1)$ 为时间 $t-1$ 选择参数 k' 的合约价格所带来的收益,即交易时单位电量带来的收益,用单位交易价格减去单位成本。根据上面计算出来的结果定义概率函数 $p_k(t)$,表示时间 t 交易时应该选择参数 k 的概率为

$$p_k(t)=q_k(t)/\sum_{j=1}^K q_j(t) \tag{6}$$

根据计算出的概率函数选择其中最大的所对应的参数作为交易时应该使用的。在 $t=1$ 时, $q_k(1)=s(1)X/K, p_k(1)=1/K$ 。其中 $s(1)$ 为域度函数, X 为交易时单位电量的平均获益。 $\rho, s(1)$ 和 e 的具体意义和取值方法在文献[2]中有详细的介绍。第 1 次交易价格的确定带有较大的随机性,以后通过不断的积累,时间 $t-1$ 的价格对时间 t 时价格的影响基本反映了历史数据对现阶段取值的影响,可以得到较为科学的参数取值。

对于实时市场只用确定 β_F ; 对于合约市场则要决定 γ 和 β_p , 若 γ 有 Q 种取值, β_p 有 K 种取值,则此时概率函数变形为

$$q_{\theta,k}(t)=(1-\rho_{\theta})(1-\rho_k)q_{\theta,k}(t-1)+E(\theta,\theta',k,k',t-1,K_{\theta},K_k,e_{\theta},e_k) \tag{7}$$

$$E(\theta,\theta',k,k',t-1,K_{\theta},K_k,e_{\theta},e_k)=\begin{cases} R(\theta',k',t-1)(2-e_{\theta}-e_k)/2 & k=k' \text{ 且 } \theta=\theta' \\ q_{\theta,k}(t-1)(e_{\theta}/Q+e_k/K)/2 & \text{其他情况} \end{cases} \tag{8}$$

$$p_{\theta,k}(t)=q_{\theta,k}(t)/\sum_{i=1}^Q\sum_{j=1}^K q_{i,j}(t) \tag{9}$$

$q_{\theta,k}(t)$ 有 $Q\times K$ 种结果,取最大对应的 θ,k 值为最终 γ 和 β_p 的值。

3 算例

实时市场 P_t 的计算除了 α_p 与合约市场不同外,其他相对于 F_t 都较为简单,而 α_p 的计算在文献[4]中有详细的介绍, $g(t,k)$ 在计算中并不参加叠代,计算出最终结果后再考虑。因此,本文只详细分析合约市场 F_t' 的计算。

假设发电厂 A, 它的单位平均生产成本为 250 元/MW·h。在算例中, 取 $Q=31$, 即 γ 的取值在 $[0,0.30]$ 之间, $K=101$, 取值在 $[0,1.00]$ 之间, 且都精确到小数点后两位。 $e_{\theta}=0.97, \rho_{\theta}=0.04, e_k=0.99, \rho_k=0.02$ 。为了计算方便,算例编程中对于每次叠代所用到的 P_t 和 $q_{\theta,k}(t)$ 初值中的每个元素都用随机函数确定,在实际应用中则可以通过实时市场计算出来的结果和经验参数分别确定。假设 $\gamma(0)=0.15, \beta_p(0)=0.75, P_t'$ 在 250~350 元/MW·h 之间取值,而 $q_{\theta,k}(t)$ 初值中的每个元素则在 0~30 元/MW·h 之间取值,则根据式(7)~(9)叠代出来 30 个交易日的结果如表 1 所示(表中 t 代表竞标时刻,单位由市场交易机制确定,图 3 同)。

表 1 合约市场参数值及价格

Tab.1 The parameters and prices of contract market

t	γ	β_p	$F_t' / \text{元} \cdot (\text{MW} \cdot \text{h})^{-1}$
1	0.00	0.41	294.53
2	0.01	0.97	263.83
3	0.09	0.28	287.73
4	0.01	0.85	287.72
5	0.04	0.48	266.61
6	0.04	0.06	269.64
7	0.08	0.02	265.98
8	0.08	0.29	268.70
9	0.04	0.52	277.16
10	0.10	0.12	287.12
11	0.10	0.12	280.78
12	0.00	0.33	282.12
13	0.08	0.02	261.49
14	0.02	0.58	267.46
15	0.00	0.41	285.21
16	0.05	0.06	274.51
17	0.03	0.67	270.16
18	0.09	0.96	263.20
19	0.04	0.90	271.01
20	0.09	0.66	299.76
21	0.08	0.65	293.75
22	0.07	0.67	297.29
23	0.07	0.92	271.47
24	0.07	0.44	267.19
25	0.00	0.37	270.16
26	0.00	0.54	256.93
27	0.08	0.93	260.35
28	0.04	0.20	303.17
29	0.00	0.97	278.87
30	0.06	0.34	284.43

根据计算出来的结果画出价格波动曲线见图 3。

根据波动图可以看出合约市场的电价在确保了市场参与者有合理的收益前提下,波动范围较小,有利于市场运营的稳定。

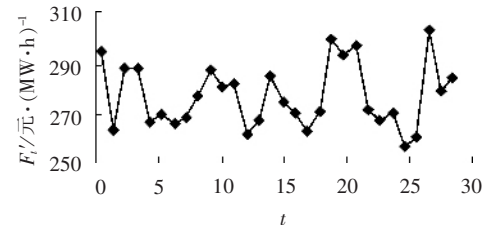


图 3 合约市场价格波动图

Fig.3 The price fluctuation of contract market

4 结语

本文根据我国电力工业的特殊特点,提出了一种实时市场和合约市场并存的交易模式,制定了相应的算法,并得出以下结论:

- a. 建立一个科学合理的市场交易模式以确保电力工业改革的继续深化;
- b. 我国电力市场的特点适合采用实时市场与合约市场并存的模式,以确保合理的竞争和市场运营的稳定;

c. 本文提出的算法在合约中确保参与者经济收益的同时有效避免价格过分波动给市场运营带来的风险,通过算例证明了它的有效性。

参考文献:

[1] 任玉珑,邹小燕,张新华. 发电公司的不完全信息竞价博弈模型[J]. 电力系统自动化,2003,27(9):14-18.
REN Yu-long,ZOU Xiao-yan,ZHANG Xin-hua. Bidding model of power plant company with incomplete information [J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2003,27(9):14-18.

[2] NICOLAISEN J,PETROV V,TESFATSION L. Market power and efficiency in a computational electricity market with discriminatory double-auction pricing[J].**IEEE Trans. on Evolutionary Computation**,2001,5(5):504-523.

[3] 赵 傲,康重庆,尚金城,等. 分组竞价的电力合约市场交易模式[J]. 电力系统自动化,2003,27(1):16-19,26.

ZHAO Jing,KANG Chong-qing,SHANG Jin-cheng,*et al.* Electricity trading model by group bidding [J]. **Automation of Electric Power Systems**,2003,27(1):16-19,26.

[4] 任 震,吴国玥,黄雯莹. 电力市场中计算输电电价的一种新方法[J]. 中国电机工程学报,2003,23(1):37-40.
REN Zhen,WU Guo-yue,HUANG Wen-ying. A new method to transmission pricing in electricity market [J]. **Proceedings of the CSEE**,2003,23(1):37-40.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

吴国玥(1980-),男,河南南阳人,硕士研究生,主要研究方向为电力市场(**E-mail**:scutwu@tom.com);
蒋金良(1953-),男,湖南邵阳人,副研究员,主要研究方向为电力市场和电力企业管理;
华 栋(1976-),女,江西南昌人,助教,主要研究方向为电力市场和电力企业管理。

Research on contract trade model considering real-time market

WU Guo-yue,JIANG Jin-liang,HUA Dong
(South China University of Technology,Guangzhou 510640,China)

Abstracts: A trade model suitable for the actual conditions of China is presented,where both real-time market and contract market exist.The pricing parameters are decided by scientific method for optimization with consideration of the relationship between two markets and the influence of historical parameters. The model ensures the income of bargainers and removes the risks caused by the acute fluctuation of price,which uses the government’s control to keep the market stability. An example verifies its effectiveness.

Key words: power market; trade model; contract market; real-time market

~~~~~