

# 区域电力市场中月度撮合交易竞价机制研究

## (二) 考虑输电价格、输电损耗折价和环保因素的类 PAB 结算机制

张森林

(中国南方电网电力交易中心, 广东 广州 510623)

**摘要:** 设计了考虑输电价格、输电损耗折价和环保因素, 并按类 PAB 结算的区域电力市场月度撮合交易竞价机制, 它主要解决了区域电力市场中省级电网间存在跨省输电价格情况下的竞争交易问题, 并考虑了机组环保属性对竞争交易的影响。对所提出竞价机制的具体交易流程进行了说明, 并给出了算例, 以期能够为我国区域电力市场竞价交易机制设计提供理论上的依据和参考。

**关键词:** 输电价格; 环保折价; 撮合交易; 竞价机制; 电力市场

**中图分类号:** TM73; F123.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)11-0066-05

### 0 引言

目前, 电力工业的改革席卷全球, 世界范围内的电力工业正经历着一场由传统集中管制的垄断经营走向市场竞争的变革, 其目的是通过引入公平竞争机制以打破垄断、提高效率, 最终实现社会资源的合理分配和社会效益最大化。

竞价交易机制设计是电力市场交易的核心问题, 合理的竞价交易机制设计对提高市场运营效率、维护市场主体利益、保证公平竞争、稳定市场运营都会产生直接的影响。目前世界各国电力市场实际采用的有两种基本的竞价交易机制, 即按系统边际电价 SMP (System Marginal Price) 出清的竞价交易机制和按报价支付 PAB (Pay As Bid) 的竞价交易机制。在此基础上, 学术界还提出了其他的竞价交易机制, 如 SMP 和 PAB 混合竞价机制<sup>[1]</sup>、当量电价竞争机制<sup>[2,3]</sup>等。

SMP 与 PAB 竞价机制孰优孰劣争议由来已久, 这两种竞价机制在电力系统市场化而产生的社会效益和市场化对电力资源的优化配置作用等方面产生的影响也不尽相同, 国内外的专家和学者对此进行了长时间的研究和探索, 至今仍无统一意见。

文献 [4] 设计了一种在实践中可操作的、考虑省间输电价格和输电损耗折价, 并按 MCP 模式结算的区域电力市场月度撮合交易竞价机制。作为文献 [4] 的姊妹篇, 本文进一步设计了一种具有良好实践可操作性、考虑省间输电价格、输电损耗折价和环保因素, 并按类 PAB 结算的区域电力市场月度撮合交易竞价机制, 以期能够为我国区域电力市场竞价交易机制设计提供理论上的依据和参考。

### 1 SMP 和 PAB 竞价机制

学术界早已从理论上完美证明了 SMP 竞价机制具有丰富的经济学基础, 能够体现电力资源作为一种商品“同网同质同价”的公平性原则, 可为市场提供有效的价格信号, 有利于电力资源实现最优化配置。这是 SMP 竞价机制最显著的优点, 也是世界上大多数电力市场采用 SMP 竞价机制最重要的原因。

另外, 在 SMP 竞价机制下市场出清价格为所有成交交易的发电机组申报最高价格, 因而与发电机组自身报价关系很小 (只有其是边际发电机组时才有直接关系)。在 SMP 竞价机制下发电商主要考虑的问题是如何能够竞价成功从而上网发电, 因而报低价是比较保险的竞价策略 (特别是在供过于求的情况下), 所以 SMP 竞价机制能够激励发电商 (少数具有市场力的发电商除外) 报低价, 这不仅有利于减少电网公司的购电成本, 而且也有利于中小规模发电商与大规模发电商之间的平等竞争 (因为中小发电商只要能上网发电就能够获得按照边际电价结算的收益)。

在 SMP 竞价机制下, 市场出清价格由边际发电机组的报价决定。当系统供应紧张时, 具有市场力的发电商可以通过持留发电容量来抬高市场出清价格。当高出清价格带来的利润大于因持留容量而少发电的损失时, 发电商就会采取持留容量策略从而获得超额利润。持留容量会人为造成电力供应紧张、电价飞升等诸多严重危害, 这是 SMP 竞价机制的致命缺陷。2001 年初美国加州电力市场危机有诸多的主客观原因, 其中很多学者认为危机在很大

程度上就是因为其采用了 SMP 竞价机制,发电商持留容量策略造成的<sup>[5]</sup>。

相比之下, PAB 竞价机制有较好的抑制发电商持留容量策略的特性。在 PAB 竞价机制下,发电商持留发电容量之后,对该发电商结算电价仍然是其报价。由于单位结算电价未变,而持留容量之后导致发电量减少,发电商的利润反而下降,故在 PAB 竞价机制下,发电商没有持留发电容量的利益驱动。

另外,部分学者认为 PAB 竞价机制缺乏经济学基础,不能体现电力资源作为一种商品“同网同质同价”的公平性原则,不能够有效引导电力投资。但也有学者认为既然峰谷电价有差别已被社会所公认,那就说明电力资源作为一种特殊商品具有其他一般商品所不具有的特性,不能简单套用一般商品的公平性原则,因此 PAB 竞价机制也有一定的合理性。

在 PAB 竞价机制下,发电商如果报高价成功,将直接获得超额利润,但同时报价失败的风险也将增加;反之,发电商如果报低价,则情况正好相反。因此发电商需要在竞价成功从而获取超额利润和因报高价而不能进入发电序列之间寻找一个平衡点。在 SMP 竞价机制下各发电商的报价并不直接与其结算电价有关,而在 PAB 竞价机制下,各发电商的结算电价直接取决于其报价,因而其报高价的倾向更加强烈,这是 PAB 竞价机制的致命缺陷。

## 2 交易流程

下面简要介绍本文所提出的具有良好实践可操作性,考虑输电价格、输电损耗折价和环保因素,并按类 PAB 结算的区域电力市场月度撮合交易竞价机制的交易流程:

2.1 电力调度交易机构按市场运营规则要求发布市场信息。

2.2 购电方和售电方通过技术支持系统申报电量(或电力)和对应电价。

2.1 和 2.2 具体内容参见文献[4]。

2.3 电力调度交易机构根据公布的输电损耗率对售电方报价折算,形成售电方折算后的排序价,并分别计算购电方报价和售电方折算排序价两两之间的价差。

价差计算公式为  $P_d = P_p - P_{be}$

其中:  $P_d$  为价差,  $P_p$  为购电方报价,  $P_{be}$  为售电方折算后的排序价。其中售电方折算排序价的计算是价

差计算的核心内容。

2.3.1 若售电方为环保电厂,且购电方与售电方同省,则  $P_{be} = P_b$ 。

2.3.2 若售电方为非环保电厂,且购电方与售电方同省,则  $P_{be} = P_b + P_h$ 。

国务院 2002 年 5 号文《电力体制改革方案》中明确指出“制定发电排放的环保折价标准,形成激励清洁能源发展的新机制”是我国电力体制改革的主要任务之一。因此在竞价机制设计上很有必要考虑环保折价因素,以鼓励在同等条件下环保机组优先中标。

$P_h$  为国家规定的环保折价标准。如国家发改委在核定新投机组上网电价时,装有脱硫设备的环保电厂比没有安装脱硫设备的非环保电厂上网电价要高 0.015 元 / kW h。

即购电方与售电方同省情况下售电方报价是否需要折算取决于售电方电厂的环保属性。若为环保电厂,则售电方折算排序价等于售电方报价;若为非环保电厂,则售电方折算排序价等于售电方报价加上环保折价。

2.3.3 若售电方为环保电厂,且购电方与售电方异省,则  $P_{be} = P_b + P_{li} + P_{lj} + P_l$ , 其中  $P_{li}$  为售电方省内输电价格,  $P_{lj}$  为购售双方省间输电价格,  $P_l$  为输电损耗折价。

2.3.4 若售电方为非环保电厂,且购电方与售电方异省,则  $P_{be} = P_b + P_{li} + P_{lj} + P_l + P_h$ 。

即购电方与售电方异省情况下先考虑售电方省内输电价格和购售双方省间输电价格,再对输电损耗折价,再考虑售电方电厂的环保属性(原则同上),最后将三项(或四项)叠加在售电方报价基础上,形成售电方折算后的排序价。

输电价格包括省内输电价格和省间输电价格。国家有权部门已经核定过的输电价格,执行核定标准;未核定过的输电价格,由区域电网公司提出建议方案,报国家有权部门批准后执行。

输电损耗包括省内输电损耗和省间输电损耗。国家有权部门已经核定过的输电损耗,执行核定标准;未核定过的输电损耗,由区域电网公司根据上一年度实际输电损耗提出建议方案,报国家有权部门批准后执行。

输电损耗折价的计算公式为  $P_l = P_b \cdot \frac{k\%}{1 - k\%}$

其中:  $k\%$  为综合输电损耗率,  $k\% = k_1\% + k_2\% - k_1\%k_2\%$ ,  $k_1\%$  为售电方省内输电损耗率,  $k_2\%$  为购

售双方省间输电损耗率。

需要特别说明的是综合输电损耗率的推导思路:

(1) 设电厂的出厂计量点电量为  $Q$  (发电量扣除厂用电后);

(2) 电量  $Q$  流到本省的出省关口计量点时要发生  $k_1\%$  的输电损耗, 到出省关口计量点的电量为  $Q(1 - k_1\%)$ ;

(3) 电厂的出省电量  $Q(1 - k_1\%)$  流过省间输电网时, 也要发生  $k_2\%$  的输电损耗, 则最后到达购电省电网关口计量点的电量为  $Q(1 - k_1\%)(1 - k_2\%)$ ;

(4) 显然综合输电损耗率为

$$k\% = \frac{Q - Q(1 - k_1\%)(1 - k_2\%)}{Q} = k_1\% + k_2\% - k_1\%k_2\%。$$

另外需要说明的是输电损耗折价的推导思路:

(1) 电厂的出厂计量点电量  $Q$  到购电省电网的关口计量点的损耗电量为  $Q \cdot k\%$ ;

(2) 损耗电量为  $Q \cdot k\%$  按电厂申报上网电价计算费用为  $P_b \cdot Q \cdot k\%$ ;

(3) 这部分费用由购电方电网公司在支付落地购电费时承担;

(4) 购电方电网公司在关口计量点购得的电量为  $Q \cdot (1 - k\%)$ , 上述费用分摊到每度电能便得到输电损耗折价公式

$$P_1 = \frac{P_b \cdot Q \cdot k\%}{Q \cdot (1 - k\%)} = P_b \cdot \frac{k\%}{(1 - k\%)}$$

目前南方电网西电东送的跨省网损电价即采用了这种计算方法。如云南电网送广东电网, 国家有权部门批复的云南侧上网电价为 0.28 元 /kWh, 省间网损率为 6.57% (由国家有权部门批复的天广输电损耗率 5.63%, 鲁天线输电损耗率 1% 计算出), 由此可计算出网损电价为 0.0197 元 /kWh, 广东电网按此网损电价和关口落地电量支付网损电费。

2.4 电力调度交易机构根据“报价最高的购电方优先与经折算后排序价最低的售电方交易匹配”为原则, 按照价差从高到低对购电方和售电方进行撮合交易, 直到“价差为正且最接近于零或为零”或“所有需求电量都已经平衡”或“没有剩余可售电量”为止。价差小于 0 的交易对不能成交。当由于受成交电量总量规模制约, 虽然价差相同但不能全部成交时, 应优先保证环保电厂成交; 如环保情况相

同, 则同省购售电方优先成交; 如环保情况相同且购售电方也同省, 则按申报电量比例分配最后一笔待成交电量。

2.5 购售双方每笔交易的成交电量和成交电价确定原则如下:

2.5.1 若为同省成交, 则购售电方的成交电量相同, 数值为两者待成交电量中的较小值。

2.5.2 若为异省成交, 且售电方的待成交电量为  $Q_1$ , 购电方的待成交电量为  $Q_2$ ,

(1) 若  $Q_1(1 - k\%) > Q_2$ , 则成交电量以  $Q_2$  为基准, 即售电方的成交电量为  $Q_2 / (1 - k\%)$ , 购电方的成交电量为  $Q_2$ ;

(2) 若  $Q_1(1 - k\%) < Q_2$ , 则成交电量以  $Q_1$  为基准, 即售电方的成交电量为  $Q_1$ , 购电方的成交电量为  $Q_1(1 - k\%)$ 。

2.5.3 定义成交电价为售电方折算排序价与购电方报价之和的均值

$$P_{co} = (P_p + P_{be}) / 2$$

其中:  $P_{co}$  为成交电价。

由于成交电价并不完全取决于售电方的折算排序价, 而是售电方折算排序价和购电方报价之和的均值, 因此称为类 PAB 结算模式。

2.5.4 购电方的结算价格

(1) 若与环保电厂成交, 则购电方的结算价格为

$$P_g = P_{co}$$

其中:  $P_g$  为购电方结算价格。

(2) 若与非环保电厂成交, 则购电方的结算价格为

$$P_g = P_{co} - P_h$$

2.5.5 售电方的结算价格

(1) 若售电方为环保电厂, 且与同省购电方成交, 则售电方的结算价格为

$$P_s = P_{co}$$

其中:  $P_s$  为售电方结算价格。

(2) 若售电方为非环保电厂, 且与同省购电方成交, 则售电方的结算价格为

$$P_s = P_{co} - P_h$$

(3) 若售电方为环保电厂, 且与异省购电方成交, 则售电方的结算价格为

$$P_s = (P_{co} - P_{u1} - P_{p2}) \cdot (1 - k\%)$$

(4) 若售电方为非环保电厂, 且与异省购电方成交, 则售电方的结算价格为

$$P_s = (P_{co} - P_{u1} - P_{p2} - P_h) \cdot (1 - k\%)$$

2.6 电力调度交易机构对撮合交易结果进行安全校核和阻塞管理,制定交易计划和调度计划,并向市场主体公布交易结果。具体内容参见文献[4]。

### 3 算例

表1和表2所示为某区域电力市场月度交易购电方和售电方报价表。为简单起见,假定购电方只有两个,分别为A、B两个电网公司;售电方也有两个,A省为AA电厂(环保电厂),B省为BB电厂(非环保电厂)。

假定国家规定的环保折价标准为0.015元/kWh,即同等条件下非环保电厂在计算折算排序价时要相比环保电厂多加0.015元/kWh。

假定购售双方报价都在合理范围内,即购电方报价没有超过最低限价,售电方报价没有超过最高限价。

表1 某区域电力市场月度竞争购电方报价表

Tab 1 Provincial grid bidding data in a regional electricity market

购电方名称	申报代码	购电量/万 kWh	购电价/元·(kWh) <sup>-1</sup>
A电网公司	A	7 000	0.52
B电网公司	B	2 000	0.32
购电量合计		9 000	

表2 某区域电力市场月度竞争售电方报价表

Tab 2 Generator offering data in a regional electricity market

售电方名称	申报代码	售电量/万 kWh	售电价/元·(kWh) <sup>-1</sup>
A省电厂	AA	5 000	0.46
B省电厂	BB	4 000	0.36
售电量合计		9 000	

表3 某区域电力市场输电价格和输电损耗率表

Tab 3 Transmission price and loss in a regional electricity market

区域	输电价格/元·(kWh) <sup>-1</sup>	输电损耗率
B省和A省之间	0.10	7.0%
A省内	0.04	3.0%
B省内	0.03	2.0%

表3所示为电力调度交易机构公布的输电价格和输电损耗率表,根据此数据可以计算出B省BB电厂送电到A省的综合损耗率为8.86%,A省AA电厂送电到B省的综合损耗率为9.79%。

表4所示为按照本文的撮合交易竞价机制得到的电量成交情况表,表5为结算电价情况表。B-AA交易对价差小于0不能成交。

表4 市场电量成交情况表

Tab 4 Market clearing results (quality)

购售电方	价差/元·(kWh) <sup>-1</sup>	万 kWh			
		机待成交电量	网待成交电量	机成交电量	网成交电量
A-AA	0.10	5 000	7 000	5 000	5 000
A-BB	0.09	4 000	2 000	2 194	2 000
B-BB	0.05	1 806	2 000	1 806	1 806
B-AA	-0.29		不成交		

表5 市场结算电价情况表

Tab 5 Market clearing results (price)

购售电方	元/kWh					
	机报价	机折算价	网报价	成交价	机结算价	网结算价
A-AA	0.42	0.42	0.52	0.47	0.47	0.47
A-BB	0.26	0.430	0.52	0.475	0.301	0.46
B-BB	0.26	0.275	0.32	0.2975	0.2825	0.2825
B-AA				不成交		

### 4 结语

电力市场竞价交易机制设计对于电力资源的有效分配和电力市场的健康稳定运营有着十分重要的决定性作用,因此竞价交易机制设计必须根据各个国家各个地区电力系统的实际情况以及相应的法规制度而定<sup>[6]</sup>。目前世界各国电力市场实际采用的有两种基本的竞价机制,即按系统边际电价(SMP)出清的竞价机制和按报价支付(PAB)的竞价机制。作为文献[4]的姊妹篇,本文设计了一种区域电力市场中考虑输电价格、输电损耗折价和环保因素,并按类PAB结算的月度撮合交易竞价机制。本文和文献[4]只是在区域电力市场竞价交易机制设计上做了一定创造性的探索,希望本文所提出的竞价交易机制能够在将来市场的实际运营中不断得到完善和发展,以期能够为我国区域电力市场建设提供有价值的参考。

### 参考文献:

- [1] 段刚,王心丰,白玮,等. 抑制电价飞升的系统边际价格与报价价格混合拍卖机制[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(9): 30-35.  
DUAN Gang, WANG Xin-feng, BA I Wei, et al. Suppress Price Spikes by Hybridizing System marginal price Auction and Pay-as-bid Auction[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(9): 30-35.
- [2] 言茂松. 当量电价体系及相关制度设计(一)管制竞争阶段的两大电力市场与当量电价理论[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(7): 1-6.  
YAN Mao-song. Electricity Value Equivalent (EVE) Pri-

- cing System and Relevant Systems Design, Part One: Two Electricity Markets and Electricity Value Equivalent (EVE) Pricing Theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(7): 1-6
- [3] 言茂松. 当量电价体系及相关制度设计(二)发电上网的实用当量电价法及其市场特性[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 1-9.  
YAN Mao-song Electricity Value Equivalent (EVE) Pricing System and Relevant Systems Design, Part Two: a Practical Electricity Value Equivalent (p - EVE) Pricing Theory for Pool Purchase and Its Market Characters[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(8): 1-9.
- [4] 张森林. 区域电力市场中月度撮合交易竞价机制研究(一):考虑输电损耗和输电价的 MCP 结算机制[J]. 继电器, 2006, 34(10): 50-54.  
ZHANG Sen-lin Research on Matchmaking Tradeoff Competition Mechanism in Regional Electricity Market, Part One: a MCP Competition Mechanism Based on Transmission Loss and Price[J]. Relay, 2006, 34(10): 50-54.
- [5] 刘亚安,管晓宏,孙婕,等. 电力市场电价飞升机理分析[J]. 中国电力, 2001, 34(8): 67-70.  
LIU Ya-an, GUAN Xiao-hong, SUN Jie, et al Mechanism of Price Spiking in Electric Power Market[J]. Electric Power, 2001, 34(8): 67-70.
- [6] 王雁凌,张粒子,杨以涵. 边际电价结算和发电方报价价格结算竞价机制的经济分析[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 14-17.  
WANG Yan-ling, ZHANG Li-zi, YANG Yi-han An Economic Analysis of Competition Mechanisms for System-margin pricing and Pay-as-bid [J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 14-17.

收稿日期: 2005-11-16

作者简介:

张森林(1978-),男,硕士,主要从事南方电网跨省区电力交易的管理工作和电力市场竞价交易机制理论、经济学及信息技术在电力系统自动化领域的应用等方面的研究工作。E-mail: zhangsl@csg.net.cn

## Research on matchmaking tradeoff competition mechanism in regional electricity market, part two——a PAB competition mechanism based on transmission price, loss and environmental expenditure

ZHANG Sen-lin

(China Southern Power Grid Co., Ltd, Electricity Trade Center, Guangzhou 510623, China)

**Abstract:** This paper presents a new matchmaking tradeoff competition mechanism. It solves the problems of transmission price between provincial networks in a regional electricity power market. Furthermore, the effects of environmental expenditure to competition results is also taken into account. Based on theoretical analysis, trade procedure and example are also established, which can give a theoretical reference for the competition mechanisms design in regional electricity power market.

**Key words:** transmission price; environmental expenditure; matchmaking tradeoff; competition mechanism; electricity market

(上接第 53 页 continued from page 53)

## Research on batch incident of diagram and database based on network topology

Q U Ji-fu, L U Guo-xian, WANG Jian-ming, SUN Feng

(School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Electric main wiring diagram is extensively used in the software of power system, the work to draw main wiring diagram contains two parts, including depiction and incident of the device information, the latter need to set the incident of diagram and database one by one in traditional method. This paper presents a clew of setting up the gap model through analyzing the character of electric main wiring diagram and summarizes the gap model oriented method about how to ascertain the serial number of primitive. By associating the device number and its information according to the primitive serial number and the device numbering rules, the action to set the incidence of all devices in the gap according to the gap model can be achieved.

**Key words:** batch incident of diagram and database; network topology; position oriented; gap model; code rules