

计及网络约束的激励性电力市场竞价机制设计

杨光, 俞集辉, 张谦, 杨越, 何健

(输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室(重庆大学), 重庆市 沙坪坝区 400030)

Design of Incentive Bidding Mechanism on Electricity Market With Network Constraints Considered

YANG Guang, YU Ji-hui, ZHANG Qian, YANG Yue, HE Jian

(State Key Laboratory of Power Transmission & System Security and New Technology (Chongqing University),
Shapingba District, Chongqing 400030, China)

ABSTRACT: According to mechanism design theory, a power bidding mechanism existing incentive and compatibility features is designed. The designed mechanism considers the influence of network constraints, solves the problems which are hard to be calculated in practical application, and can motivate the power plants reporting their true costs to upper department to realize reasonable allocation of social resources. Taking IEEE 14-bus system for calculation example, the designed bidding mechanism is simulated. Simulation results show that the designed bidding mechanism can suppress market power, save electricity purchase cost, stabilize electricity price, so it is favorable to optimal allocation of social resources.

KEY WORDS: mechanism design theory; revelation principle; incentive compatibility; information compensation

摘要: 根据机制设计理论, 设计了一种具有激励相容特性的电力竞价机制。该机制考虑了网络约束的影响, 解决了在实际应用时难以计算的问题, 并能有效地激励发电商上报真实成本, 实现社会资源的合理配置。文章以 IEEE-14 节点网络为算例进行仿真分析, 结果表明该机制可抑制发电商的市场力, 节约购电成本, 稳定电价, 有利于实现社会资源的优化配置。

关键词: 机制设计理论; 显示原理; 激励相容; 信息补偿

0 引言

20 世纪后期以来电力市场改革在全球范围内风起云涌。电力市场实际上更接近于寡头垄断市场。在市场中拥有较大份额的发电商往往拥有较大的操控市场价格的能力, 再加上电力难以大规模储存、需求弹性很小、要求实时平衡以及存在输电网约束等特点, 导致了市场力的普遍存在并被频繁使

用^[1]。由此造成了市场价格总体水平提升、电价尖峰甚至电力危机出现, 损害了用户和投资人的利益, 降低了电力市场的效率和社会效益。市场力的滥用已严重威胁电力市场的健康发展^[2]。

市场力主要表现在发电商竞价过程中。目前投入运行的竞价结算机制主要有市场出清价(market clearing price, MCP)和按报价支付(pay as bid, PAB)机制。研究及实践表明, 两种机制均无法有效地抑制市场力^[3-6]。在 MCP 机制下, 发电商有严重的报高价倾向, 并通过默契共谋等手段实施市场力, 攫取高额利润^[7-10]; 在 PAB 机制下, 研究表明发电商甚至具有更高的报高价倾向^[11], 加州电力市场的实践经验也证明了这一点。此外, 其他一些措施如信息披露、诉讼等, 也都无法很好地抑制市场力^[12]。因此, 设计一个可以有效抑制市场力的竞价机制对电力市场的健康发展至关重要^[13]。

通过机制设计理论设计具有激励相容性的竞价机制来引导发电商披露真实信息, 可以实现社会资源的合理配置^[14]。文献[15]提出了激励相容性的电力定价公式, 文献[16]在其基础上引入了发电商的个人理性条件, 文献[17]又扩展了一种考虑电力合约交易的激励性电力竞价机制。上述文献提出的算法由于某些量难以获得在实际计算中面临很大困难, 本文在其基础上引入了发电商期望发电量与报价的函数, 较好地解决了计算困难的问题, 同时考虑了网络约束对机制的影响, 并用算例证明了其可行性和有效性。

1 机制设计理论

机制设计理论是现代经济学的核心理论, 被广

泛应用于拍卖、垄断性商品定价、最优税收等多个领域。

机制设计中通常有一个委托人和一个或多个代理人。代理人拥有的自有经济特征,称为私人信息,其他信息为共同知识。委托人设计机制的目标是使每个代理人在追求个人目标的同时,客观上达到委托人所要实现的目标,而两者的目标通常是有冲突的,因此除非委托人能对代理人提供足够的激励,否则代理人不会按照委托人的希望动作。由此在进行机制设计时,就要考虑3种约束条件^[18]:首先是个人理性约束,即要使一个理性的代理人接受委托人设计的机制,则代理人在该机制下得到的期望净效益必须不小于其机会成本;其次是激励相容约束,即当代理人选择委托人希望的行为时,其期望净效益最大;第三是可行性约束。

在实际应用中,典型的机制设计问题是一个三阶段的不完全信息博弈过程^[19],其求解非常困难。后来 Myerson 等人提出了显示原理,使得机制设计问题的求解大大简化,机制设计理论也得到了迅速发展。

2 电力市场激励性竞价机制设计

在电力市场中,委托人是电网公司(即购电商),代理人是各发电商。委托人的支付函数、负荷预报及输电网络约束等信息是共同知识,而发电商的边际成本则是代理人的私人信息。各代理人向交易中心提交自己的报价和所能发出的电量信息,由交易中心根据购电费用最小化的原则确定购买方案,并向中标的发电商支付相应中标电量的购电费用。

如果参与者都上报边际成本,就能通过经济调度计算确定最优购电方案,从而实现社会资源的最优分配。然而实际上,发电商往往采用策略性报价,以期牟取暴利。因此,本文在竞价机制中引入激励相容约束,以引导参与者自觉上报边际成本,从而削弱发电商市场力的影响。

激励相容的机制要求参与者报价为其边际成本时获得的利润最大。根据 Myerson 的显示原理:假定以 M_i 为信号空间和以 $y_m(\bullet)$ 为配置函数的机制的贝叶斯均衡为 $\mu^*(\bullet) \equiv \{\mu_1^*(\theta_1), \dots, \mu_n^*(\theta_n)\}$, $\mu_i^* \in M_i$, $\theta_i \in \Theta_i$ 。那么,存在一个以 $M_i = \Theta_i$ 为信号空间的直接显示机制 $\bar{y}(\tilde{\theta}) = y_m(\mu_i^*(\tilde{\theta}))$, 该机制的贝叶斯均衡是所有代理人接受机制并报告自己的真实类型 $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$, 直接机制的均衡配置结

果与原机制的均衡配置结果相同。简单的讲即任何一个机制所能达到的配置结果都能通过一个(说真话的)直接机制实现。据此,本文的机制设计可以不求解复杂的不完全信息博弈问题,而是通过寻找代理人上报边际成本时使其利润最大的支付函数得到。

假设市场中有 n 个独立发电商,发电商 $i (1 \leq i \leq n)$ 的边际成本为 C_i , 提交的报价为 \hat{C}_i , 其获得的上网电量为 $q_i(\hat{C}_i)$, 根据 Mirrlees 的经济激励理论,在不对称信息条件下,要使每个代理人都讲真话,那么有信息优势的代理人应得到更多补偿,因此购电商对发电商的支付应包括成本补偿和信息补偿两部分。

假设支付给发电商 i 的成本补偿为 $\hat{C}_i q_i(\hat{C}_i)$, 信息补偿为 $\tau(\hat{C}_i)$, 成本为 $C_i q_i(\hat{C}_i)$, 发电商的期望利润定义为其期望收益与期望成本之差,而期望收益为其获得的成本补偿与信息补偿之和。

发电商 i 的期望利润是发电商的边际成本 C_i 和报价 \hat{C}_i 的函数,可表示为

$$\pi_i(\hat{C}_i, C_i) = (\hat{C}_i - C_i) \cdot \bar{q}_i(\hat{C}_i) + \tau(\hat{C}_i) \quad (1)$$

式中 $\bar{q}_i(\hat{C}_i)$ 为发电商 i 的期望发电量。

定义函数 $S(\bullet)$ 为发电商报价与其边际成本的关系,则

$$\hat{C}_i = S(C_i) \quad (2)$$

将式(2)代入式(1),有

$$\pi_i(S(C_i), C_i) = [S(C_i) - C_i] \cdot \bar{q}_i(S(C_i)) + \tau(S(C_i)) \quad (3)$$

对 C_i 求导可得

$$\frac{d\pi_i(S(C_i), C_i)}{dC_i} = D_1 \pi_i(S(C_i), C_i) \frac{dS(C_i)}{dC_i} + D_2 \pi_i(S(C_i), C_i) \quad (4)$$

由于发电商的最优报价是函数 $S(C_i)$ 的极值点,所以有 $\left. \frac{dS(C_i)}{dC_i} \right|_{\hat{C}_i} = 0$, 因此上式可写为

$$\frac{d\pi_i(S(C_i), C_i)}{dC_i} = D_2 \pi_i(S(C_i), C_i) = -\bar{q}_i(S(C_i)) \quad (5)$$

根据激励相容的要求,发电商的最优报价应当等于其边际成本,即

$$\hat{C}_i^* = S(C_i) = C_i \quad (6)$$

将式(6)代入式(5),有

$$\frac{d\pi_i(C_i, C_i)}{dC_i} = -\bar{q}_i(S(C_i)) \quad (7)$$

对式(7)积分,可得

$$\int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} \frac{d\pi_i(C_i', C_i)}{dC_i'} \cdot dC_i' = \pi_i(C_{i\max}, C_{i\max}) - \pi_i(\hat{C}_i, \hat{C}_i) = -\int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} \bar{q}_i(C_i') \cdot dC_i' \quad (8)$$

式中 $C_{i\max}$ 为发电商报价时的最高限价。

将式(1)代入式(8)，得

$$(C_{i\max} - C_{i\max})\bar{q}_i(C_i) + \tau_i(C_{i\max}) - (\hat{C}_i - \hat{C}_i)\bar{q}_i(\hat{C}_i) - \tau_i(\hat{C}_i) = -\int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} \bar{q}_i(C_i') \cdot dC_i' \quad (9)$$

消去零项，即

$$\tau_i(C_{i\max}) - \tau_i(\hat{C}_i) = -\int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} \bar{q}_i(C_i') \cdot dC_i' \quad (10)$$

令 $K_i = \tau_i(C_{i\max})$, $x \in [\hat{C}_i, C_{i\max}]$ ，则发电商 i 的报价为 \hat{C}_i 时，信息补偿为

$$\tau_i(\hat{C}_i) = \int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} \bar{q}_i(x) \cdot dx + K_i \quad (11)$$

为证明式(11)的激励相容性，可将发电商策略性报价时的利润与申报边际成本时的利润相减。

$$\begin{aligned} \pi_i(\hat{C}_i, C_i) - \pi_i(C_i, C_i) &= (\hat{C}_i - C_i)\bar{q}_i(\hat{C}_i) + \\ &\int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} \bar{q}_i(C_i') \cdot dC_i' + K_i - \int_{C_i}^{C_{i\max}} \bar{q}_i(C_i') \cdot dC_i' - K_i = \\ &(\hat{C}_i - C_i)\bar{q}_i(\hat{C}_i) + \int_{\hat{C}_i}^{C_i} \bar{q}_i(C_i') \cdot dC_i' \quad (12) \end{aligned}$$

根据中值定理 $\int_{\hat{C}_i}^{C_i} \bar{q}_i(C_i') \cdot dC_i' = (C_i - \hat{C}_i)\bar{q}_i(\xi)$ ，

$\xi \in [C_i, \hat{C}_i]$ ，有

$$\pi_i(\hat{C}_i, C_i) - \pi_i(C_i, C_i) = (\hat{C}_i - C_i)[\bar{q}_i(\hat{C}_i) - \bar{q}_i(\xi)] \quad (13)$$

由于函数 $\bar{q}_i(\hat{C}_i)$ 是一个递减函数，因此对式(13)的结果是否小于 0 进行分类讨论：

1) $\hat{C}_i > C_i$ 时，有 $\hat{C}_i > \xi$ ，所以 $\bar{q}_i(\hat{C}_i) - \bar{q}_i(\xi) < 0$ ，则 $\pi_i(\hat{C}_i, C_i) - \pi_i(C_i, C_i) = (\hat{C}_i - C_i)[\bar{q}_i(\hat{C}_i) - \bar{q}_i(\xi)] < 0$ 。

2) $\hat{C}_i < C_i$ 时，有 $\hat{C}_i < \xi$ ，所以 $\bar{q}_i(\hat{C}_i) - \bar{q}_i(\xi) > 0$ ，则 $\pi_i(\hat{C}_i, C_i) - \pi_i(C_i, C_i) = (\hat{C}_i - C_i)[\bar{q}_i(\hat{C}_i) - \bar{q}_i(\xi)] < 0$ 。

可见，式(13)的结果恒为负值，说明发电商申报边际成本时获得的效用最大，即证明了本文支付机制的激励相容性。

发电商 i 的期望收益为

$$F = \hat{C}_i \bar{q}_i(\hat{C}_i) + \tau_i(\hat{C}_i) = \hat{C}_i \bar{q}_i(\hat{C}_i) + \int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} \bar{q}_i(x) \cdot dx + K_i \quad (14)$$

式(14)保证了发电商申报边际成本时获利最大，但在实际求解中却存在一些困难。发电商的期望发电量 \bar{q}_i 是其报价 \hat{C}_i 的函数，但由于不知道其函数关系，式(14)中的积分难以准确计算，更难以得到对

发电商的信息补偿，从而很大程度上限制了该方法在实际中的应用价值。本文设发电商 i 的期望发电量 $\bar{q}_i(\hat{C}_i)$ 近似为其报价 \hat{C}_i 的线性函数，则有

$$\bar{q}_i(\hat{C}_i) = a_i \hat{C}_i + b_i, \quad a_i < 0 \quad (15)$$

对于确定的发电商 i ，当其报价 $\hat{C}_i = 0$ 时，其获得的上网电量应当为其最大可发容量，即参数 b_i 等于其最大可发容量；而当其报价为最高限价 $C_{i\max}$ 时，发电商的上网电量则由其市场份额及系统负荷等因素共同决定。

由式(15)可得，发电商 i 的期望信息补偿为

$$\begin{aligned} \tau_i(\hat{C}_i) &= \int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} \bar{q}_i(x) \cdot dx + K_i = \int_{\hat{C}_i}^{C_{i\max}} (a_i x + b_i) \cdot dx + K_i = \\ &-\frac{a_i}{2} \hat{C}_i^2 - b_i \hat{C}_i + \frac{a_i}{2} C_{i\max}^2 + b_i C_{i\max} + K_i \quad (16) \end{aligned}$$

显然，其信息补偿为其报价的函数，且受其市场份额及系统负荷等因素制约。在兼顾市场公平性与透明性的前提下，电网公司以发电商报价为依据确定信息补偿，该式经数学推导所得，并经证明符合激励相容性，即可引导发电商自觉上报边际成本。式(16)中 $K_i = \tau_i(C_{i\max})$ 为常量，由积分所得，对信息补偿仅起辅助调节作用，为系统对发电商报最高限价时的调节项，可根据系统情况任设其值，亦可为 0。

将式(16)代入式(14)，则发电商 i 的期望收益为

$$F = a_i \hat{C}_i^2 + b_i \hat{C}_i + \frac{a_i}{2} C_{i\max}^2 + b_i C_{i\max} - \frac{a_i}{2} \hat{C}_i^2 - b_i \hat{C}_i + k_i = \frac{a_i}{2} \hat{C}_i^2 + \frac{a_i}{2} C_{i\max}^2 + b_i C_{i\max} + k_i \quad (17)$$

同时有发电商 i 的期望利润为

$$\begin{aligned} \pi_i(\hat{C}_i, C_i) &= (\hat{C}_i - C_i) \cdot \bar{q}_i(\hat{C}_i) + \tau(\hat{C}_i) = \frac{a_i}{2} \hat{C}_i^2 - \\ &a_i C_i \hat{C}_i + \frac{a_i}{2} C_{i\max}^2 + b_i C_{i\max} - b_i C_i + k_i \quad (18) \end{aligned}$$

在本文机制下，对发电商的支付加入信息补偿使得各发电商上报边际成本时获利最大，这样虽然对各发电商的支付项目有所增加，但由于其报价大为下降，在总体购电费用上较之以前的竞价机制有了很大节约。

3 阻塞问题的处理

由于网络约束的限制，交易中心根据各发电商报价确定的最优购电方案可能会引起线路阻塞，因此需要根据线路潮流情况，对交易方案进行一定的调整。

本文在只考虑调整节点有功功率的情况下，以

发电商出力调整量最少为目标函数:

$$\min \Delta P = \sum_{i=1}^n |\Delta P_{gi}| \quad (19)$$

式中 ΔP_{gi} 为发电机节点 i 的出力调整量。

约束条件包括

$$g(x) = 0 \quad (20)$$

$$|L_k| \leq L_{k \max} \quad (21)$$

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad (22)$$

$$P_{Li \min} \leq P_{Li} \leq P_{Li \max} \quad (23)$$

$$V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max} \quad (24)$$

式中: L_k 为支路 k 的有功功率传输容量; $L_{k \max}$ 为其传输容量限额; $P_{Gi \min}$ 和 $P_{Gi \max}$ 分别为机组有功功率下限和上限; $P_{Li \min}$ 和 $P_{Li \max}$ 分别为节点 i 的最小和最大负荷限额; $V_{i \min}$ 和 $V_{i \max}$ 分别为节点 i 的最小和最大电压限额。

式(20)为系统潮流约束, 式(21)~(24)分别为线路容量、机组出力、节点负荷和节点电压约束。

此模型可采用启发式算法求解^[20], 在线路发生阻塞时, 根据注入功率与支路潮流的灵敏度来消减对阻塞影响最大的发电商出力, 同时兼顾交易中心购电费用最小的原则增加其他发电商出力, 最终消除阻塞。

算法具体流程为: 1) 进行线路潮流计算, 确定阻塞线路, 如果存在多条线路阻塞, 则选择过载最严重的线路开始消除; 2) 根据阻塞线路选择需要计算的灵敏度元素, 如式(25)所示; 3) 根据灵敏度系数及潮流过载方向, 选择最适合调整的发电机节点; 4) 由式(26)确定调整量, 并判断阻塞是否已经消除, 若尚未消除则重复上述步骤直至阻塞完全消除。

灵敏度系数为

$$S_{ki} = \frac{dL_k}{dP_i} = \frac{\frac{d\theta_p}{dP_i} - \frac{d\theta_q}{dP_i}}{x_k} = \frac{X_{pi} - X_{qi}}{x_k} \quad (25)$$

式中: θ_p 和 θ_q 分别为线路 k 始、末端的电压相角; X_{pi} 和 X_{qi} 为阻抗矩阵中相应的阻抗值。

机组出力调整量为

$$\Delta P_{Gi} = \frac{\Delta P_k}{S_{ki}} \quad (26)$$

式中 ΔP_k 为线路 k 的越限量。

算法的具体推导过程可见文献[20-21]。

4 算例分析

4.1 系统描述

以 IEEE-14 节点网络为例, 在考虑网络约束的

情况下, 对比分析本文机制与 PAB 机制下的发电商报价与总购电费用等结果, 验证本文所提方法的可行性和有效性。

IEEE-14 节点网络包含 5 台发电机和 21 条传输线, 如图 1 所示。

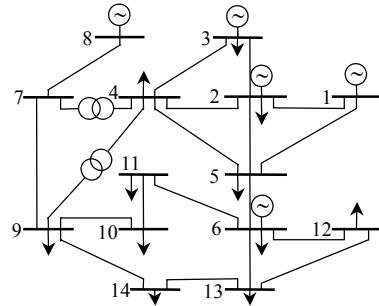


图 1 IEEE-14 节点网络接线图

Fig. 1 IEEE 14-bus network connection scheme

假设 5 台发电机分别隶属于 5 个不同的发电商, 系统中各台发电机的数据如表 1 所示。

表 1 IEEE-14 节点网络发电机数据

Tab. 1 Generator data in the IEEE 14-bus network

| 发电机 | 边际成本/ (USD/MWh) | 最大出力/ MW | 边际成本下限/ (USD/MWh) | 边际成本上限/ (USD/MWh) |
|-----|--------------------|-------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 19.39 | 332 | 17.75 | 23.44 |
| 2 | 27.22 | 140 | 22.36 | 30.12 |
| 3 | 17.81 | 100 | 14.65 | 19.77 |
| 6 | 23.23 | 100 | 21.53 | 27.20 |
| 8 | 21.75 | 100 | 18.28 | 23.01 |

整个系统的发电容量为 772 MW。假设各线路容量限额均为 200 MW, 各节点处负荷服从正态分布, 发电商报价的最高限价为 100 USD/MWh。本文以一个典型日为例进行分析, 一天中各时段峰负荷与系统最大容量的比值见表 2 所示。

以第 24 时段为例, 此时系统共有负荷 550 MW, 系统中除 1 号发电商外其他发电商发电能力的总和为 440 MW, 因此 1 号发电商至少拥有 110 MW 的必发容量。根据本文模型计算其期望电量曲线, 得 $\bar{q}_1(\hat{C}_1) = -2.22\hat{C}_1 + 332$ 。

表 2 典型日各时段峰负荷与系统最大容量比值

Tab. 2 Hourly peak load in percent of the system capacity

| 时段 | 负荷比值/% | 时段 | 负荷比值/% | 时段 | 负荷比值/% | 时段 | 负荷比值/% |
|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 67 | 7 | 57 | 13 | 88 | 19 | 83 |
| 2 | 56 | 8 | 65 | 14 | 86 | 20 | 89 |
| 3 | 53 | 9 | 71 | 15 | 86 | 21 | 93 |
| 4 | 48 | 10 | 78 | 16 | 83 | 22 | 90 |
| 5 | 48 | 11 | 82 | 17 | 81 | 23 | 83 |
| 6 | 51 | 12 | 89 | 18 | 79 | 24 | 71 |

4.2 按报价支付机制

PAB 机制下, 发电商的报价直接决定了其成交

价。以 1 号发电商为例，其期望利润为

$$\pi_1(\hat{C}_1, C_1) = (\hat{C}_1 - C_1) \cdot \bar{q}_1(\hat{C}_1) = (\hat{C}_1 - C_1) \cdot (-2.22\hat{C}_1 + 332) = -2.22(\hat{C}_1 - 84.47)^2 + 9\,402.61$$

显然当其报价为 84.47 USD/MWh 时，将获得最大利润。同理，可计算其他发电商的最优报价及中标电量，如表 3 所示。潮流计算结果显示没有线路发生越限，因此无需进行调整。

表 3 PAB 机制下第 24 时段发电商报价及中标电量

Tab. 3 Generations' bid and quantity of the 24th period in the PAB mechanism

| 发电商 | 报价/(USD/MWh) | 中标电量/MW |
|-----|--------------|---------|
| 1 | 84.47 | 110 |
| 2 | 63.61 | 140 |
| 3 | 58.91 | 100 |
| 6 | 61.62 | 100 |
| 8 | 60.88 | 100 |

由表 3 可见，发电商的中标电量与其期望电量有一定的出入。根据各发电商的报价及其中标电量，计算 PAB 机制下的总购电费用为 $84.47 \times 110 + 63.61 \times 140 + 58.91 \times 100 + 61.62 \times 100 + 60.88 \times 100 = 36\,338.1$ USD。

4.3 本文设计的机制

在本文机制下，1 号发电商的期望利润为

$$\pi_1(\hat{C}_1, C_1) = (\hat{C}_1 - C_1) \cdot \bar{q}_1(\hat{C}_1) + \tau(\hat{C}_1) = \frac{a_i}{2} \hat{C}_1^2 - a_1 C_1 \hat{C}_1 + \frac{a_1}{2} C_{1\max}^2 + b_1 C_{1\max} - b_1 C_1 + k_1 = -1.11(\hat{C}_1 - 19.39)^2 + 15\,791.27 + k_1$$

显然当其报价为 19.39 USD/MWh(即其边际成本)时，将获得最大利润。 k_1 的确定由系统设计者根据其对于系统中发电商成本分布范围的估计，通常在不使发电商亏损的情况下，对其报最高限价进行一些必要的惩罚，本文取 $k_1 = -30q_i(\hat{C}_1)$ 。计算各发电商的报价、中标电量及信息补偿，如表 4 所示。潮流计算结果显示线路 1-2 发生越限，不计损耗，有功越限量为 5.46 MW。按本文算法消除阻塞，对该线路阻塞影响最大的是 1 号发电商，经计算应消减出力 7.62 MW，同时 6 号发电商需增发出力 7.62 MW。

表 4 新机制下第 24 时段发电商报价、信息补偿及中标电量

Tab. 4 Generation's bid, information compensation and quantity of the 24th period in the new mechanism

| 发电商 | 报价/(USD/MWh) | 信息补偿/USD | 中标电量/MW | 调整后出力/MW |
|-----|--------------|----------|---------|----------|
| 1 | 19.39 | 6 119.85 | 332 | 324.38 |
| 2 | 27.22 | 3 707.85 | 0 | 0 |
| 3 | 17.81 | 377.60 | 100 | 100 |
| 6 | 23.23 | 2 406.82 | 18 | 25.62 |
| 8 | 21.75 | 61.53 | 100 | 100 |

根据文章模型，各发电商的成本补偿按其报价支付。系统的总购电费用包括成本补偿和信息补偿，分别为 10 840.88 USD 和 12 673.65 USD，共 23 514.53 USD。

4.4 两种机制对比分析

结果显示，本文机制下的总购电费用比 PAB 机制在节约了近 40%，有效遏制了发电商市场力的作用。

以 1 号发电机为例，图 2 显示了在两种机制下，该发电商的报价-利润曲线对比及其信息补偿曲线。

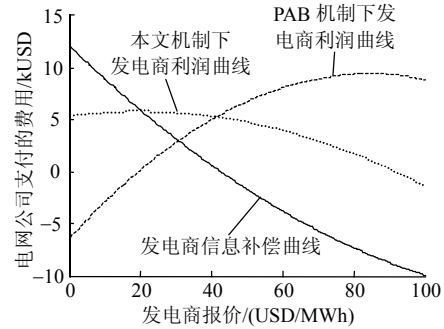


图 2 1 号发电商在两种机制下的报价-利润曲线及信息补偿曲线

Fig. 2 Bid-revenue curve and information compensation curve of generator 1 in the two mechanisms

可见，PAB 机制下，发电商报价在最高限价附近时将获得最大利润，而在本文机制下发电商报价接近边际成本时利润最大。由此也验证了本文模型的激励相容性。

4.5 多时段情形

4.2 和 4.3 节讨论的是单时段的情形，同理可计算典型日各时段的整体情况。图 3 为典型日 PAB 及本文机制下各时段发电商的最高入网电价及日负荷曲线。

可见，PAB 机制下，由于受到发电商市场力的影响，上网电价波动剧烈，且接近最高限价；而本

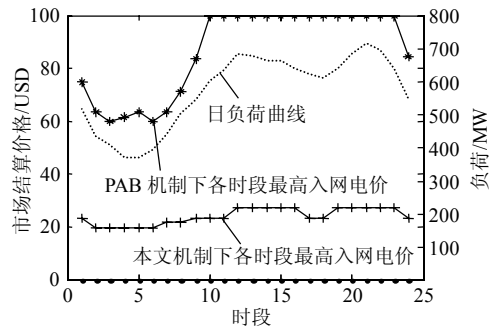


图 3 日负荷曲线和 PAB 及本文机制下各时段的最高入网电价

Fig. 3 Daily load curve and the final price in the two mechanisms

文机制下,发电商的最高入网电价始终保持在其边际成本附近,远低于PAB机制下的情况。

两机制各时段总购电费用的对比如图4所示。

可见,本文机制下的总购电费用在大多数情况下都远小于PAB机制下的总费用。由此验证了本文模型的可行性和有效性。

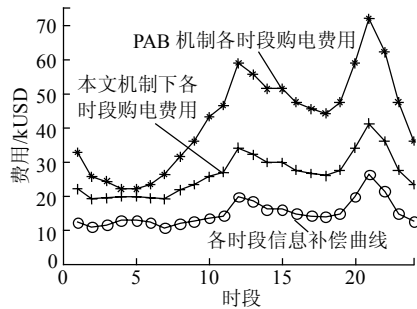


图4 两种机制下各时段总购电费用及信息补偿曲线
Fig. 4 Total cost and information compensation curve

5 结论

本文利用机制设计理论设计了一种激励相容的电力市场竞争机制,并考虑了网络约束的影响,经分析表明该机制能够显著降低发电商市场力的作用,有效节约购电费用、稳定电价,有利于实现社会总成本最小化,促进社会资源配置的最优化。通过IEEE-14节点的算例进行仿真分析,其结果验证了本文模型的可行性和有效性。

参考文献

- [1] 林济铿,倪以信,吴复立. 电力市场中的市场力评述[J]. 电网技术, 2002, 26(11): 70-76.
Lin Jikeng, Ni Yixin, Wu Fuli. The survey of market power in relation with electricity market structure[J]. Power System Technology, 2002, 26(11): 70-76(in Chinese).
- [2] 曾鸣,童明光,张艳馥,等. 我国未来电力市场中的经济风险—市场力风险及其防范问题[J]. 电网技术, 2004, 28(9): 44-49.
Zeng Ming, Chong Mingguang, Zhang Yanfu, et al. Economic risk in future domestic electricity market: market power risk and its prevention[J]. Power System Technology, 2004, 28(9): 44-49(in Chinese).
- [3] 陈皓勇,付超. 统一价格和PAB竞价的实验分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(4): 12-17.
Chen Haoyong, Fu Chao. Experimental analysis of uniform price and PAB auctions in electricity markets[J]. Automation of Electric Power System, 2007, 31(4): 12-17(in Chinese).
- [4] Vazquez C, Rivier M, Perez-Arriaga I J. If pay-as bid auctions are not a solution for California, then why not a reliability market?[J]. The Electricity Journal, 2001, 14(4): 41-48.
- [5] 言茂松,李玉平,辛洁晴,等. 从加州电力危机看稳健的当量电价体系[J]. 电网技术, 2001, 25(6): 8-17.
Yan Maosong, Li Yuping, Xin Jieqing, et al. From California power crisis to review robust electricity value equivalent systems for restructuring and pricing[J]. Power System Technology, 2001, 25(6): 8-17(in Chinese).
- [6] Kahn A E, Cramton P C, Porter R H. Uniform pricing or pay-as-bid pricing: a dilemma for California and beyond[J]. The Electricity Journal, 2001, 14(6): 70-79.
- [7] 李玉平,谢贤亚,言茂松. 统一出清定价体制助长发电商默契串谋的机理分析[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(22): 19-27.
Li Yuping, Xie Xianya, Yan Maosong. Currently used uniform clearing pricing auction facilitates the generators' tacit collusion: mechanism analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(22): 19-27(in Chinese).
- [8] 王蓓蓓,李扬,万秋兰. 需求弹性对统一出清电价下发容量滞留的影响[J]. 电网技术, 2005, 29(14): 10-14.
Wang Beibei, Li Yang, Wan Qiulan. Influence of demand elasticity on withholding generation capacity under uniform clearing pricing [J]. Power System Technology, 2005, 29(14): 10-14(in Chinese).
- [9] 李晓刚,言茂松,谢贤亚. 当量电价自动抑制厂商不良滞留行为的自律新机制[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 1-6.
Li Xiaogang, Yan Maosong, Xie Xianya. Electricity value equivalent pricing method's internal autonomy mechanism to restrain market power[J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 1-6(in Chinese).
- [10] 周浩,张富强,韩祯祥. 电力市场中经济滞留的研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(8): 16-20.
Zhou Hao, Zhang Fuqiang, Han Zhenxiang. Study on economic withholding in electricity market[J]. Automation of Electric Power System, 2005, 29(8): 16-20(in Chinese).
- [11] Bower J, Bunn D. Experimental analysis of the efficiency of uniform-price versus discriminatory auctions in the England and Wales electricity market[J]. Journal of Economic Dynamics & Control, 2001, 25(3-4): 561-592.
- [12] 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.
Xia Qing, Li Canbing, Jiang Jianjian, et al. Electricity market surveillance summary[J]. Power System Technology, 2003, 27(3): 1-4(in Chinese).
- [13] 黄继明,薛年华,张维. 电力市场中输电定价问题的探讨[J]. 电网技术, 2000, 24(11): 49-52.
Huang Jiming, Xue Nianhua, Zhang Wei. A preliminary study on electricity transmission pricing[J]. Power System Technology, 2000, 24(11): 49-52(in Chinese).
- [14] Laffont J J, Martimort D. The theory of incentives I: the principal-agent model[M]. Princeton: Princeton University Press, 2002: 20-39.
- [15] Silva C, Wollenberg B F, Zheng C Z. Application of mechanism design to electric power markets[J]. IEEE Transactions on Power System, 2001, 16(4): 862-869.
- [16] 蒋东荣,李群湛,刘学军. 考虑电力合约的激励性市场机制设计[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(18): 57-63.
Jiang Dongrong, Li Qunzhan, Liu Xuejun. The mechanism design to electricity markets considering contract[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(18): 57-63(in Chinese).
- [17] 方勇,李渝曾. 合理回收容量成本的激励性电力竞价机制的建模

- 研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(1): 18-23.
Fang Yong, Li Yuzeng. A research on modeling the incentive electricity bidding mechanism of reasonable capacity cost recovery [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(1): 18-23(in Chinese).
- [18] 张少华, 方勇, 李渝曾. 电力市场中的激励性机制设计[J]. 电网技术, 2003, 27(1): 52-56.
Zhang Shaohua, Fang Yong, Li Yuzeng. Incentive mechanism design in electricity markets[J]. Power System Technology, 2003, 27(1): 52-56(in Chinese).
- [19] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996: 243-288.
- [20] 王秀丽, 甘志, 雷兵, 等. 输电阻塞管理的灵敏度分析模型及算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(4): 10-13.
Wang Xiuli, Gan Zhi, Lei Bing, et al. Sensitivity analysis approach to transmission congestion management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(4): 10-13(in Chinese).
- [21] 李春燕, 俞集辉, 张谦. 基于潮流影响系数的输电阻塞管理[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2007, 30(3): 31-35.
Li Chunyan, Yu Jihui, Zhang Qian. Transmission congestion management based on power influence coefficient[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2007, 30(3): 31-35(in Chinese).



杨光

收稿日期: 2008-08-29.

作者简介:

杨光(1984—), 男, 硕士研究生, 主要从事电力市场及优化技术在电力工程管理中的应用等研究, E-mail: yangguang3514@yahoo.com.cn;

俞集辉(1944—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力市场、电磁场理论及应用等研究。

(编辑 张玉荣)

(上接第 83 页 continued from page 83)

- [15] IEEE 421.5-1992, IEEE recommended practice for excitation system modeled for power system stability[S].
- [16] Xiong X, Liang H. Research on multiple boost converter based on MW level wind energy conversion system[C]. 2005 IEEE the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems, Nanjing, China, 2005.
- [17] Esmaili R, Xu L, Nichols K D. A new control method of permanent magnet generator for maximum power tracking in wind turbine application[C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting, San Francisco, USA, 2005.
- [18] IEEE Std 1547-2003, IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems[S].
- [19] 申洪, 梁军, 戴慧珠. 基于电力系统暂态稳定分析的风电场穿透功率极限计算[J]. 电网技术, 2002, 26(8): 8-11.
Shen Hong, Liang Jun, Dai Huizhu. Calculation of wind farm penetration based on power system transient stability analysis [J]. Power System Technology, 2002, 26(8): 8-11(in Chinese).



胡东

收稿日期: 2008-09-15.

作者简介:

胡东(1970—), 男, 博士, 主要研究方向为风力发电、新能源, E-mail: dhu@sjtu.edu.cn;

施刚(1984—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为兆瓦级风力发电机的研究;

蔡旭(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事配电网安全与电力电子、电能质量控制与用户电力、配电自动化与保护方面的研究开发工作;

王建丰(1964—), 男, 高级工程师, 主要研究方向油田平台电网的设计与维护。

(责任编辑 杜宁)

国家电网公司在国内率先发布年度信息化报告

2009年3月31日,《国家电网公司2008年度信息化报告》(以下简称《报告》)在北京正式发布,这是国内首次发布的年度信息化报告。《报告》采用信息化能力模型和信息化价值模型,全面分析和展示了国家电网公司信息化核心理念和价值,诠释了国家电网公司在信息化与工业化融合思想的指导下,信息化工作对公司履行社会责任,服务党和国家工作大局、服务电力客户、服务发电企业、服务经济社会发展提供的重要保障作用,以及信息化对建设“电网坚强、资产优良、服务优质、业绩优秀”现代公司的重要支撑作用。《报告》总结了2008年国家电网公司信息化建设与应用情况,展示了国家电网公司在信息化领导力、基础设施建设、服务与管理等6个方面取得的成绩,分析了信息化在企业管理等方面产生的价值。

目前,国际上信息化优秀的现代企业都发布年度信息化报告,作为展现企业信息化价值、提升企业治理水平的重要途径之一。国家电网公司发布《报告》,也是主动与国际接轨,提高国家电网公司透明度,履行社会责任的重大举措。国家电网公司编制《报告》,有利于全面展现信息化服务国家电网公司的能力和价值;有利于提高公司国际化水平,加快建设国际一流企业的步伐;有利于促进公司更加深入理解信息化工作价值,推动信息化与公司业务融合,形成公司全员参与信息化机制;有利于提升企业科学决策能力和执行力,提高企业全面风险管理能力;有利于明确信息化面临的机遇和挑战,更紧密地服务公司发展战略。