

一种激励相容的发电市场竞价机制

张少华, 方 勇, 李渝曾
(上海大学自动化系, 上海市 200072)

摘要:寡头竞争的电力市场存在信息不对称性。在按统一市场出清价支付或按报价支付的发电竞价机制环境下,发电商会操纵报价以追求最大收益,这会危及系统的安全经济运行。基于机制设计理论和边际成本定价理论,发展了一种具有激励相容特性的发电市场竞价机制。该机制能引导理性发电商披露其真实运行成本,并能实现发电商固定容量成本的合理回收,特别是给予边际发电商相对较大的固定成本补偿,有助于那些风险回避的峰机组投资商的投资激励。基于 Monte Carlo 模拟方法的算例仿真表明了该机制的特性。

关键词:发电市场;竞价机制;激励相容;固定成本回收;Monte Carlo 模拟

中图分类号: TM73; F123.9

0 引言

在电力市场环境下,市场参与者之间存在信息不对称性,如发电商成本和用户用电价值将成为私人信息。拍卖是在信息不对称情况下基于公平竞争来分配稀有物品的方法,可高效地确定基于市场的价格。公开拍卖费时费力,而且在参与者相互熟知的情况下很容易发生默契勾结行为,因而在电力市场中普遍采用暗标拍卖(sealed-bid auction)的定价方法。由于电力难以大规模存储、需求弹性较低、要求实时平衡且存在输电网络约束等原因,电力市场的参与者拥有较大的市场力(market power)^[1]。电力拍卖竞价机制的设计直接关系到参与者利用市场力操纵市场的程度,并影响电力资源的最经济调度和有效分配。

在拍卖理论中^[2],标准的暗标拍卖方法主要分为两种:①第一价格暗标拍卖(first-price sealed-bid auction),是指所有竞标者(bidder)密封其报价,统一交给拍卖人(auctioneer),出价最高者获胜,交易价格为获胜者的报价。在多单位物品拍卖(multiple-units auction)时,可能存在多个获胜者,其报价即交易价格可能很不相同,因此第一价格暗标拍卖又称按报价支付拍卖(pay-as-bid auction)或歧视价格拍卖(discriminatory price auction)。②第二价格暗标拍卖(second-price sealed-bid auction),也称为 Vickrey 拍卖,与第一价格暗标拍卖类似,报价最高者获胜,但交易价格为第二高的报价,而且在

拍卖多单位物品时,所有获胜者的交易价格相同,均为第二高的报价,因此第二价格暗标拍卖又称统一第二价格拍卖(uniform second-price auction)。由于交易价格一般与获胜者的报价无关,因而与第一价格暗标拍卖相比,第二价格暗标拍卖更能引导竞标者真实信息的披露,即具有激励相容特性(incentive compatibility)^[3]。

发电市场的上网竞价拍卖与标准的拍卖意义相反,因为拍卖人(市场定价者)将从竞标者(发电商)那里购入(而不是卖出)一定数量的电力。目前,统一市场出清价拍卖机制(market-clearing price auction)或称 uniform first-price auction)得到广泛的采用。在该机制中,对于边际发电商,由于其报价就是交易价格,因此边际发电商的竞价机制类似于第一价格暗标拍卖;对于边际以下的发电商,由于其报价低于交易价格,因而其竞价机制类似于第二价格暗标拍卖。虽然第二价格拍卖能引导竞标者披露真实信息,但在密封投标的情况下,由于每个发电商在准备报价时都认为他有可能成为边际发电商,因而为保证获利,其报价可能都会高于真实成本^[4]。因此,统一市场出清价格拍卖机制存在发电商操纵报价、哄抬电价的可能,这是美国加州电价飞升的原因之一^[5],英国和澳大利亚等国家也曾有过发电商操纵报价而导致电价飞升的经历^[6,7]。

美国联邦能源管理委员会(FERC)曾建议加州采用按报价支付的竞价机制^[8,9],英国新的电力交易规约(NETA)中也提出在平衡市场中采用类似的竞价机制^[10]。但由于按报价支付拍卖机制缺乏真实信息披露的激励相容特性,从而会导致更大的市场风险和低效调度,以及投资基载发电厂的激励机制丧

失^[8,9],而且可能会出现比统一市场出清价拍卖机制更高的平均价格^[11]。

电力市场的竞价拍卖机制已成为当今的一个研究热点,文献[12,13]从有效抑制市场力滥用行为角度出发,提出的拍卖机制中均引入了必要的人为控制措施。文献[14]设计了一种迭代竞价机制,但一般认为迭代竞价更易导致发电商的默契勾结行为^[15]。文献[16]给出的多时段拍卖机制中考虑了发电商拥有多种机组时的阶梯形报价曲线。文献[17]提出了具有更高经济效率及符合电力生产特性的分段竞价新机制。文献[18]指出,在统一出清价拍卖机制下难以实现最优发电投资的重要原因之一是投资者特别是调峰机组投资商的风险回避特性,并提出一种利用期权思想通过可靠性合同拍卖来保证长期发电容量充裕度的方法。从发电经济调度的角度考虑,文献[10]指出满足激励相容特性的 Vickrey 拍卖机制可能更具潜在优势,而机制设计理论^[19]由于能解决市场参与者显露真实信息的问题,因而在电力市场竞价机制研究中具有重要的应用价值。文献[20]着重研究了独立发电商(IPP)上网竞价拍卖中真实运行成本信息的披露问题,但其设计的拍卖机制中并未处理发电商的固定成本回收。文献[21]考虑了发电成本非凸特性和用电效益非凹特性,给出了一个能满足激励相容特性的双边拍卖模型,但其支付原则可能导致入不敷出,而且模型的解可能不是惟一的。文献[22,23]研究了发电备用容量的拍卖机制设计问题,其中在文献[22]给出的拍卖机制中,发电商对其备用容量和电量分别报价,容量报价用于确定拍卖的获胜者,容量支付采用 Vickrey 机制,电量报价只用于确定实时调度次序,电量按现货价支付。文献[23]进一步把备用市场的拍卖看成是多级产品的同时拍卖,研究了在不同设计目标下不同拍卖机制的特性。文献[24]研究了电力市场需求管理中能引导用户披露真实用电价值信息的激励相容合同的设计方法。文献[25]介绍了电力市场中输电阻塞问题的机制设计理论处理方法,该方法无法保证所有发电商固定投资成本的回收。

本文从有利于发电经济调度和发电商固定成本合理回收的角度,应用机制设计理论,在文献[25]的基础上研究能引导理性发电商真实运行成本披露的发电竞价机制,其中进一步考虑发电商固定投资成本的合理回收要求,特别是考虑调峰发电机组投资商的风险回避特性,并给出基于 Monte Carlo 模拟的算例。

1 发电竞价机制设计

机制设计理论是在自由选择、信息不完全及决

策分散化的环境下,研究满足激励相容条件和参与者个人理性约束的机制理论。机制设计中一般考虑 1 个委托人(principal)和 1 个或多个代理人(agents),委托人与代理人之间存在信息不对称性。如在电力市场中,市场定价者是委托人,发电商是代理人。假定代理人是理性的,委托人所设计机制的目标是使每个代理人在追求个人目标的同时,在客观效果上达到委托人所希望实现的目标。在发电竞价机制设计中,市场定价者所希望实现的目标是所有参与该竞价机制的发电商都能按其真实的发电成本投标。机制设计一般要考虑如下约束条件:个人理性条件(individual rationality constraint),要求代理人在委托人设计的机制下得到的期望净效益必须不小于该代理人的机会成本(即在不参与该机制情况下所能得到的最大期望净效益);激励相容条件(incentive compatibility constraint),要求当代理人选择委托人所希望实现的目标时其期望净效益最大。另外,在电力市场机制设计时还需考虑一些可行性约束,如实时供需平衡、输电潮流、发电机组的启停、出力限制、爬坡速度等限制。

假设具有 n 个发电商的发电市场,在每个投标时段(设为 1 h)内每个发电商具有线性的发电成本。在某一投标时段内,发电商 i 的真实边际发电成本为 c_i ,为其私人信息。市场定价者根据有关历史数据认为发电商的真实边际成本服从某一具有下限 $\underline{c}_i$ 、上限 $\bar{c}_i$ 的已知概率分布,且 $c_i \in [\underline{c}_i, \bar{c}_i]$,并事先向所有发电商公布这种估计信息。系统负荷、每个发电商的出力限制等信息假设为公共信息。

与统一的市场出清价拍卖机制和按报价支付拍卖机制相比,本文给出的竞价机制对于上网发电商的支付形式是不同的。Mirrlees 的经济激励理论表明,在不对称信息条件下,如要求每个代理人都披露真实信息,那么有信息优势的代理人应得到更多信息补偿^[26]。基于该理论,并考虑发电商运行成本补偿与投资成本回收的要求,市场定价者制定的每个上网发电商在该投标时段内最终获得的支付 Γ_i 为:

$$\Gamma_i(\hat{c}_i) = \hat{c}_i q_i(\hat{c}_i) + \tau_i(\hat{c}_i) + K_i \quad (1)$$

式中: $q_i(\hat{c}_i)$ 是在该投标时段内发电商 i 报价为 $\hat{c}_i$ 时的发电量,它是按每个发电商的实际报价由经济调度确定的; $\tau_i(\hat{c}_i)$ 是发电商 i 报价为 $\hat{c}_i$ 时获得的信息补偿; K_i 是为了发电商 i 获得合理固定成本补偿的一个调整项,它是市场定价者事先根据有关估计信息确定的与其报价无关的固定量; $\tau_i(\hat{c}_i) + K_i$ 为在该投标时段内发电商 i 获得的固定成本补偿。

1.1 激励相容条件的考虑

发电商 i 在确定报价 $\hat{c}_i$ 时追求在该投标时段内

其期望净收益 π_i 最大,即

$$\max_{\hat{c}_i} \pi_i(\hat{c}_i, c_i) = (\hat{c}_i - c_i) \bar{q}_i(\hat{c}_i) + \tau_i(\hat{c}_i) + K_i \quad (2)$$

式中: $\bar{q}_i(\hat{c}_i)$ 表示在该投标时段内发电商 i 报价为 $\hat{c}_i$ 而其他发电商的报价取各自成本范围内的每一个可能值时的期望平均发电量。

激励相容条件要求发电商 i 以真实成本报价时期望收益最大,即当 $\hat{c}_i = c_i$ 时, $\partial \pi_i(\hat{c}_i, c_i) / \partial \hat{c}_i = 0$ 。可得:

$$[\bar{q}_i(\hat{c}_i) + (\hat{c}_i - c_i) \bar{q}_i'(\hat{c}_i) + \tau_i'(\hat{c}_i)]|_{\hat{c}_i=c_i} = 0 \quad (3)$$

即上式两边取从 c_i 到其上限 $\bar{c}_i$ 的积分,则

$$\tau_i(\bar{c}_i) - \tau_i(c_i) = - \int_{c_i}^{\bar{c}_i} \bar{q}_i(x) dx$$

取积分常数 $\tau_i(\bar{c}_i)$ 为 0,则

$$\tau_i(c_i) = \int_{c_i}^{\bar{c}_i} \bar{q}_i(x) dx \quad (4)$$

由于 $\bar{q}_i(\cdot)$ 为递减函数,因此,由微分中值定理可以证明^[25], $\hat{c}_i = c_i$ 为惟一极大值点。式(4)给出了满足激励相容条件时的发电商 i 应获得的信息补偿项,该补偿项与市场定价者对于发电商 i 边际成本的概率分布估计信息密切相关,这种估计信息越偏离其真实成本,则信息补偿项会越大。即如果某发电商的真实成本信息越不透明(即所谓该发电商具有信息优势),则理应付出较大的代价才能使得这个发电商披露真实信息。如果某发电商的真实成本信息为共同知识,则信息补偿项为 0。

1.2 发电商固定投资成本合理回收要求的考虑

个人理性条件要求发电商参与该竞价机制的期望收益不小于他的机会成本,这反映了理性发电商的自愿参与条件。虽然存在多种竞价机制可供选择,但在目前的实际电力市场中,一旦确定了某一区域的竞价上网机制,则该区域发电商的上网竞价一般均带有强制参与的性质,因而发电商个人理性条件无须严格考虑。但是,如果发电商在该竞价机制下得到的支付难以回收其投资成本,则不但使现有发电商难以生存,而且会丧失新的发电容量投资的激励,从而会引起一系列的短期和长期问题。

理论研究表明,在系统最优发电容量投资水平下,假如发电商都按其真实成本参与发电竞争(即类似于完全竞争市场),不存在价格上限管制及市场进入壁垒,则统一市场出清价拍卖机制(类似于边际成本定价机制)下所有发电商得到的利润在平均意义上正好能回收其投资成本,而且能获得最大的社会福利^[27,28]。假如每个发电商都按其真实成本报价,

而且不考虑发电商的最小技术出力限制以及开停机的影响和输电约束,则市场出清价格可以由以下经济调度模型求得:

$$\min_{q_i} \sum_{i=1}^n c_i q_i \quad (5)$$

$$\text{s. t. } q_i \leq q_{i,\max} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i = d \quad (7)$$

式中: d 为该投标时段的负荷需求; $q_{i,\max}$ 为发电商 i 的最大出力; $i=1, 2, \dots, n$ 。

拉格朗日函数为:

$$L = \sum_{i=1}^n c_i q_i - \sum_{i=1}^n \lambda_i (q_{i,\max} - q_i) + \mu (d - \sum_{i=1}^n q_i)$$

式中: λ_i 为约束条件式(6)的拉格朗日乘子,即发电商 i 的影子容量成本; μ 为约束条件式(7)的拉格朗日乘子,即统一市场出清价格。

由一阶最优条件可得:

$$\frac{\partial L}{\partial q_i} = c_i + \lambda_i - \mu = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\mu = \lambda_i + c_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

由式(8)可知,在负荷需求较低时,边际发电商的影子容量成本将为 0,市场出清价格为边际发电商的边际发电成本;而当在负荷需求足够高,或存在较多的发电容量停运,使得所有上网发电商的最大出力刚好满足或不足以满足这个负荷时,则市场出清价格有可能升得很高,所有上网发电商都能获得可观的影子容量成本(即稀缺租金)补偿,并提供足够的发电容量投资激励信号。

基于以上分析,在本文给出的竞价机制中,从发电商合理回收其固定投资成本的角度出发,市场定价者对于调整项 K_i 的事先确定可考虑以下方法。市场定价者事先根据有关信息对每个发电商的边际发电成本均值进行估计,并按每个发电商的成本均值进行经济调度,获得相应的解。若估计的每个发电商的边际成本均值正好反映了其真实成本,则当

$$c_i q_i + \tau_i(c_i) + K_i = \mu q_i$$

$$\text{即 } c_i q_i + \int_{c_i}^{\bar{c}_i} \bar{q}_i(x) dx + K_i = (c_i + \lambda_i) q_i$$

$$K_i = \lambda_i q_i - \int_{c_i}^{\bar{c}_i} \bar{q}_i(x) dx \quad (9)$$

时,本文给出的竞价机制中发电商获得的支付与所有发电商按真实成本报价时统一市场出清价机制下获得的支付一致。即在市场定价者对每个发电商的边际成本估计较正确的条件下,而且考虑发电商强制参与的情况,若采用式(9),则本文给出的竞价机制在激励发电商按真实成本报价的同时,可实现其固定容量投资成本的回收,有利于实现电力的经济

调度和社会福利的最大化。

考虑到实际投资者特别是边际机组投资者的风险回避特性,本文取以下形式的固定成本调整项:

$$K_i = \begin{cases} 0 & \Phi_i(c_i) \leq 0 \\ \Phi_i(c_i) & \Phi_i(c_i) > 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\Phi_i(c_i) = \lambda_i q_i(c_i) - \int_{c_i}^{\hat{c}_i} q_i(x) dx$$

对于基载发电商,一般 $\Phi_i(c_i) > 0$;而对于边际发电商,一般 $\Phi_i(c_i) < 0$ 。与式(9)相比,采用式(10)时对于基载发电商的支付不变,而对于边际发电商的支付会相对增加。另外,当市场定价者确切知道各个发电商的真实成本信息时,以上支付机制也与理想市场的统一市场出清价机制完全一致。

2 算例分析

采用 IEEE RTS96^[29]的发电商出力数据,其真实实际发电成本假设如表 1 所示。假设市场定价者和所有其他发电商 $j(j \neq i)$ 估计发电商 $i(i = 1, 2, \dots, 9)$ 的真实边际成本服从均匀分布,表 1 给出了估计的各发电商边际成本的上下限及其均值。本文采用 Monte Carlo 模拟方法来求解 $\bar{q}_i(\hat{c}_i)$,并采用式(10)来事先确定调整项 K_i 。

表 1 发电商最大出力、真实成本和估计的成本概率分布数据

Table 1 Generators' maximum output, true cost and the estimated probability distribution of cost

发电商	真实成本/ (元·(kW·h) ⁻¹)	成本下限/ (元·(kW·h) ⁻¹)	成本上限/ (元·(kW·h) ⁻¹)	成本均值/ (元·(kW·h) ⁻¹)	最大出力/ MW
1	0.39	0.36	0.46	0.410	12
2	0.36	0.34	0.42	0.380	20
3	0.30	0.25	0.40	0.325	50
4	0.28	0.24	0.32	0.280	76
5	0.24	0.20	0.28	0.240	100
6	0.22	0.16	0.27	0.215	155
7	0.20	0.16	0.25	0.205	197
8	0.15	0.10	0.20	0.150	350
9	0.12	0.08	0.16	0.120	400

文献[25]引入了竞标成功率 $\Psi_i(\hat{c}_i)$ 来近似考虑发电商的固定成本补偿,其实际使用的支付公式为:

$$\Gamma_i(\hat{c}_i) = \hat{c}_i q_i(\hat{c}_i) + \frac{1}{\Psi_i(\hat{c}_i)} \int_{\hat{c}_i}^{\hat{c}_i} q_i(x) dx \quad (11)$$

$\Psi_i(\hat{c}_i)$ 表示发电商 i 报价为 $\hat{c}_i$ 而其他发电商的报价取各自成本范围内的每一个可能值时的竞标成功(即能参与上网发电)的概率。此时发电商的最优报价决策可能会偏离其真实成本,而且式(11)右边第 2 项的固定成本补偿不能保证所有发电商投资固定成本的回收。

图 1 给出了竞标时段负荷为 832 MW 时,对于发电商支付引入竞标成功率(即类似于式(11))和不引入竞标成功率(即类似于本文给出的机制)两种情况下发电商 7 的报价收益曲线。显然,引入竞标成功率使得发电商 7 的最优报价偏离了其真实成本 0.20 元/(kW·h)。而本文给出的机制从理论上严格保证了激励相容条件的满足。

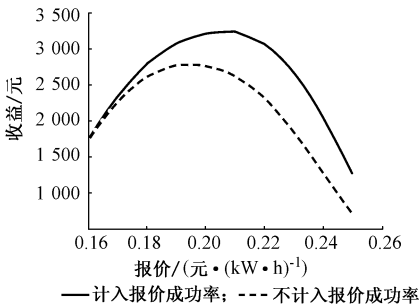


图 1 竞标时段负荷为 832 MW 时发电商 7 的报价收益曲线

Fig. 1 Generator 7's expected profit vs bid price for a load demand of 832 MW

表 2 给出了当竞标时段负荷为 1 287 MW 且所有发电商按真实成本报价时统一出清价机制下获得的单位影子容量成本支付,及文献[25]机制与本文给出的机制中的单位固定成本补偿。该时段发电商 3 为边际发电商。在统一市场出清价机制下,边际发电商的影子容量成本支付为 0,而文献[25]机制和本文的机制中对边际发电商的固定成本补偿大于 0,可缓解边际发电商的操纵报价行为并鼓励峰机组的投建。对边际以下发电商特别是基载发电商的固定成本补偿,文献[25]机制比统一市场出清价机制少很多,有可能使基载发电商无法回收固定容量成本。而本文给出的机制给予边际以下发电商的固定成本补偿与统一市场出清电价机制较接近(其误差取决于市场定价者对每个发电商的边际发电成本估计的精确程度)。

表 2 竞标时段负荷为 1 287 MW 时 3 种竞价机制下固定成本补偿比较

Table 2 Comparison of the fixed cost remuneration under three bidding systems for a load demand of 1 287 MW

发电商	元/(kW·h)		
	统一出清价机制下 影子容量成本支付	文献[25]机制下 固定成本补偿	本文机制下 固定成本补偿
3	0	0.100	0.091
4	0.020	0.041	0.045
5	0.060	0.049	0.085
6	0.080	0.060	0.110
7	0.100	0.060	0.120
8	0.150	0.060	0.175
9	0.180	0.050	0.205

3 结语

在电力市场发电竞价机制中,统一市场出清价机制或按报价支付的竞价机制都存在发电商操纵报价以追求最大收益的可能,这不利于系统的安全经济运行。本文基于机制设计理论和边际成本定价理论,发展了一种具有激励相容特性的发电市场竞价机制。基于 Monte Carlo 模拟的算例仿真表明,该机制在激励理性发电商真实成本披露的同时,能实现各个发电商固定容量成本的合理回收,特别是能给予边际发电商相对较大的固定成本补偿,从而有助于那些风险回避的峰机组投资商的投资激励。

本文设计的机制其社会福利最优化目标的实现程度依赖于市场定价者对每个发电商边际发电成本估计的正确程度(即发电商成本信息的透明程度),因此,如何利用历史数据来估计或调整每个竞价时段中的发电商边际成本信息,以及考虑长期后果时发电商可能的非理性行为分析和考虑不同形式的投标曲线等问题,还有待深入研究。

参考文献

- McAfee R P, McMillan J. Auctions and Bidding. *Journal of Economic Literature*, 1987, 25(2): 699~738
- David A K, Wen F. Market Power in Electricity Supply. *IEEE Trans on Energy Conversion*, 2001, 16(4): 352~360
- Vickrey W. Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders. *Journal of Finance*, 1961, 16(1): 8~37
- Hao S. A Study of Basic Bidding Strategy in Clearing Pricing Auctions. *IEEE Trans on Power Systems*, 2000, 15(3): 975~980
- Guan X, Ho Y C, Pepyne D L. Gaming and Price Spikes in Electricity Power Markets. *IEEE Trans on Power Systems*, 2001, 16(3): 402~408
- Graves F C, Read E G, Hanser P Q, et al. One-part Markets for Electric Power: Ensuring the Benefits of Competition. In: Illic M, Galiana F, Fink L, eds. *Power Systems Restructuring: Engineering and Economics*. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 1998. 243~280
- Mielczarski W, Michalik G. Open Electricity Markets in Australia: Contract and Spot Prices. *IEEE Power Engineering Review*, 1999, 19(2): 49~51
- 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? *The Electricity Journal*, 2001, 14(4): 41~48
- Kahn A E, Cramton P C, Porter R H, et al. Uniform Pricing or Pay-as-bid Pricing: A Dilemma for California and Beyond. *The Electricity Journal*, 2001, 14(6): 70~79
- Fabra N, von der Fehr N, Harbord D. Modeling Electricity Auctions. *The Electricity Journal*, 2002, 15(7): 72~81
- Bower J, Bunn D. Experimental Analysis of the Efficiency of Uniform-price Versus Discriminatory Auctions in the England and Wales Electricity Market. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 2001, 25(3): 561~592
- Rothkopf M H. Control of Market Power in Electricity Auctions. *The Electricity Journal*, 2002, 15(8): 15~24
- 段刚,王心丰,白玮,等(Duan Gang, Wang Xinfeng, Bai Wei, et al). 抑制电价飞升的系统边际价格与报价价格混合拍卖机制(Suppress Price Spikes by Hybridizing System-marginal-price Auction and Pay-as-bid Auction). *电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems)*, 2002, 26(9): 30~35
- 耿建,王锡凡,陈皓勇,等(Geng Jian, Wang Xifan, Chen Haoyong, et al). 发电市场的迭代竞价机制(Iterative Competitive Bidding Mechanism in Generation Market). *电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems)*, 2002, 26(9): 1~6
- Rothkopf M H. Daily Repetition: A Neglected Factor in the Analysis of Electricity Auction. *The Electricity Journal*, 1999, 12(3): 60~70
- Brunekeereft G. A Multiple-unit, Multiple-period Auction in the British Electricity Spot Market. *Energy Economics*, 2001, 23(1): 99~118
- 王锡凡(Wang Xifan). 分段竞价的电力市场(Block Bidding Model Based Power Market). *中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE)*, 2001, 21(12): 1~6
- Vazquez C, Rivier M, Perez-Arriaga I J. A Market Approach to Long-term Security of Supply. *IEEE Trans on Power Systems*, 2002, 17(2): 349~357
- 张维迎(Zhang Weiyong). *博弈论与信息经济学(Game Theory and Information Economics)*. 上海:上海人民出版社(Shanghai: Shanghai People's Publisher), 1996
- Bushnell J, Oren S S. Bidder Cost Revelation in Electric Power Auction. *Journal of Regulatory Economics*, 1994, 6(1): 1~22
- Hobbs B F, Rothkopf M H, Hyde L C, et al. Evaluation of a Truthful Revelation Auction in the Context of Energy Markets with Nonconcave Benefits. *Journal of Regulatory Economics*, 2000, 18(1): 5~32
- Chao H P, Wilson R. Multi-dimensional Procurement Auctions for Power Reserves: Robust Incentive-compatible Scoring and Settlement Rules. *Journal of Regulatory Economics*, 2002, 22(2): 161~183
- Kamat R, Oren S S. Rational Buyer Meets Rational Seller: Reserves Market Equilibria Under Alternative Auction Designs. *Journal of Regulatory Economics*, 2002, 21(3): 247~288
- Fahrioglu M, Alvarado F L. Designing Incentive Compatible Contracts for Effective Demand Management. *IEEE Trans on Power Systems*, 2000, 15(4): 1255~1260
- Silva C, Wollenberg B F, Zheng C Z. Application of Mechanism Design to Electric Power Markets. *IEEE Trans on Power Systems*, 2001, 16(4): 862~869
- Mirrlees J. An Exploration in the Theory of Optimum Income Taxation. *Review of Economic Studies*, 1971, 38(3): 334~368
- Caramanis M C. Investment Decisions and Long-term Planning Under Electricity Spot Pricing. *IEEE Trans on Power Apparatus and Systems*, 1982, 101(12): 4640~4648

(上接第 31 页 continued from page 31)

- 28 Perez-Arriaga I J, Meseguer C. Wholesale Marginal Prices in
Competitive Generation Markets. IEEE Trans on Power
Systems, 1997, 12(2): 710~717
- 29 The IEEE Reliability Test System-1996. A Report Prepared by
the Reliability Test System Task Force of the Application of
Probability Methods Subcommittee. IEEE Trans on Power
Systems, 1999, 14(3): 1010~1020

张少华(1966—),男,博士,副教授,主要从事电力市场

远期合同建模、博弈分析等研究。E-mail: shaohuazhang486@hotmail.com

方 勇(1976—),男,博士研究生,主要从事电力市场机制设计、远期合同建模研究。E-mail: fangyong@xgb.shu.edu.cn

李渝曾(1947—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事电力市场输电定价、博弈分析等研究。

AN INCENTIVE COMPATIBLE BIDDING MECHANISM IN POWER GENERATION MARKETS

Zhang Shaohua, Fang Yong, Li Yuzeng

(Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Informational asymmetry has been accompanied with the emergence of oligopolistic electricity markets. Under the market-clearing pricing auction or pay-as-bid auction, generators have every motivation to depart from bidding their marginal costs so as to maximize the profits they can earn. This will introduce unmeasurable inefficiencies in the dispatch of power generation. Using mechanism design theory and marginal cost pricing theory, an incentive compatible bidding mechanism is introduced for power generation competition in electricity markets. The bidding system embodies the incentives to bid true marginal costs for rational generators and the requirements of generators' fixed cost recovery. Especially, marginal generators can receive relatively large fixed cost remuneration, which will be helpful to give enough incentives to the risk-averse investors in peaking generators. Numerical simulations using Monte Carlo method are carried out to reveal the effectiveness of the proposed bidding mechanism.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50107006).

Key words: power generation market; bidding mechanism; incentive compatibility; fixed cost recovery; Monte Carlo simulation