

# 电网公司双边垄断最优拍卖模型与分析

胡恩同

(复旦大学中国经济研究中心, 上海 200433)

摘要: 我国实行“厂网分开、竞价上网”的电力改革中,形成了电网公司双边垄断模式。为与原有厂网合一、垂直一体化的完全垄断模式作效率比较,构造了国家电网公司双边垄断最优拍卖模型,深入分析了这种模式给电网公司、发电商和用电户带来的期望效用和社会福利水平及变化情况,结果证明改革后社会福利增加、效率提高,但仍未达到电力市场的社会最优。这表明应该坚持引入竞争的市场化改革方向,但需要打破电网公司双边垄断局面,进一步在发电、购电环节引入更充分的竞争。

关键词: 双边垄断; 拍卖; 电力市场; 优化

中图分类号: TM73; F123.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2005)19-0045-05

## 0 引言

随着世界各国电力市场化改革浪潮的掀起,我国也于 1998 年开始实行“厂网分开、竞价上网”的电力改革。国家电网公司作为垄断买方对参与竞价上网的发电商利用拍卖竞标方式进行电力采购,然后再以垄断卖方身份出售给用电户,这就形成了电网公司双边垄断的电力市场。这种双边垄断电力拍卖市场给电网公司、发电商和用电户带来的期望效用和社会福利情况如何,对我国现期电力改革模式具有重要的指导意义。

下面通过构造双边垄断最优拍卖模型对此进行详细分析。

## 1 模型基本结构与假设

假设作为垄断企业的电网公司,面对用电户的需求曲线,用逆需求函数  $p(q)$  表示。在厂网分离下电网公司本身不生产电力,或者他自己的生产成本比外部发电商的生产成本大得多,因此电网公司会向潜在的外部发电商采购电力,然后将采购的电力按一定的价格出售给用电户。在这个模型中,电网公司对用电户和发电商拥有完全的定价和设计机制的权利,如果他知道每个发电商生产成本,他就会向成本最低的发电商以最低的价格采购全部的电力(假设边际成本均为常数)。这里假设,每个发电商拥有关于自己的单位成本的私人信息,而用电户的需求函数对三方都是公开信息。

为了对逆需求曲线的性质施加合理的限制,首先分析一个更简单的类似问题<sup>[1]</sup>,其中只存在一个发电商,其单位生产成本是  $c$ ,而且电网公司知道  $c$ 。

毫无疑问电网公司会提出以  $p(q)$  的单价采购一定数量的电力,而且发电商也会同意。这样电网公司的利润最大化问题就简化成如下的经典问题:

$$\max_q [p(q)q - cq]$$

总收益表示为  $TR(q) = p(q)q$ , 边际收益为  $MR(q) = \frac{\partial TR}{\partial q} = p(q) + p'(q)q$ , 这样一阶必要条件为  $MR(q) = c$ , 存在唯一解的二阶充分条件为  $MR'(q) < 0$ 。

假设 A1: 二阶充分条件  $MR'(q) < 0$  满足, 而且  $\lim_{q \rightarrow 0} MR(q) = +\infty, \lim_{q \rightarrow +\infty} MR(q) < 0$

当 A1 满足时,最优的数量 (同时也是电网公司向发电商的最优采购量)为  $q^*(c) = MR^{-1}(c)$  (注意,这里  $q(\cdot)$  成了电网公司的采购需求函数,而不是逆需求函数  $P(\cdot)$  反函数),而且  $q^*(c) = MR^{-1}(c) < 0$ , 因此最优的销售数量是  $c$  的减函数。用  $\pi(c)$  来表示边际成本为  $c$  时的最优利润,则  $\pi(c) = TR(MR^{-1}(c)) - cMR^{-1}(c)$ , 而且,由包络引理有  $\frac{\partial \pi(c)}{\partial c} = -q^*(c) < 0$ , 则  $\frac{\partial^2 \pi(c)}{\partial c^2} = -q'(c) > 0$ , 即最优的垄断利润是  $c$  的单调下降的凸函数。由凸函数性质可知,对于电网公司垄断者来说,有两个发电商比只有一个发电商时,获取的最优垄断利润更大;发电商越多,电网公司能够获取的最优垄断利润越大,这也就是说竞标者越多,竞争越充分,电网公司最优垄断就利润越大。

考虑电网公司和发电商的关系,  $q^*(c) = MR^{-1}(c)$  可以看作当边际采购成本为  $c$  时,电网公司的需求曲线,这样  $q^*(c) = MR^{-1}(c)$  就是它的逆需求曲线。根据同样的理由,也应该对  $q^*(c)$  加以同样的

假设限制如下。

$$A2: 2q^{-1}(p) + q^{-1}(p)q < 0$$

假设有  $N$  个潜在的发电商 (竞标者), 每个发电商具有线性的生产成本  $q_i$  (这里假设线性生产函数, 可以把问题的分析集中在单个物品的拍卖模型中, 而不是多个物品的拍卖模型), 固定的边际成本  $c_i$  是私人信息。电网公司和其他的发电商关于发电商  $i$  的边际成本的信息知识可以用定义在有限区间上的连续的概率分布函数来刻画。特别的, 分别用  $a_i$  和  $b_i$  表示发电商  $i$  的可能的最低和最高的边际成本, 用  $f_i [a_i, b_i] \in \mathbf{R}^+$  表示  $c_i$  的概率密度函数, 用  $F_i [a_i, b_i] \in [0, 1]$  表示对应于密度函数  $f_i(\cdot)$  的累积分布函数。

A3: 发电商的边际成本的分布是独立的, 即  $f(\cdot) = \prod_{j \in N} f_j(\cdot)$

A4: 每个发电商的效用为  $u_i = t_i - q_i q_i$ ,  $q_i \in [0, +\infty)$  是电网公司向发电商  $i$  采购的电力数量,  $t_i$  是相应的电网公司向发电商  $i$  的转移支付。

## 2 双边垄断最优拍卖采购机制模型推导

### 2.1 直接显示机制

集中考虑一种特殊的机制: 直接显示机制<sup>[2]</sup>。Myerson (1979) 的直接显示原理表明, 对任何一种机制及其均衡, 总存在一种说真话的直接显示机制能够达到和原来的机制一样的配置。因此, 只考虑直接显示机制, 即每个竞标者向电网公司报告  $c_i$ , 而电网公司根据收到的信息决定采购数量和相应的支付向量组合  $(q(\cdot), t(\cdot))$ 。在采购完之后, 电网公司将制定销售某个单价来出售小于总采购量  $\sum q_i(\cdot)$  的数量  $\bar{q}(\cdot)$ 。这样市场价格将总是高于  $p(\bar{q}(\cdot))$ 。因此电网公司的利润最大化问题可以写成如下形式, 记为  $P(U)$ :

$$P(U) = \max_{q(\cdot), q_i(\cdot), t_i(\cdot)} [TR(\bar{q}(\cdot)) - \sum t_i(\cdot)] f(\cdot) d \quad (1)$$

必须满足如下的约束:

$$\text{可行性约束: } q_i \geq 0, \text{ 且 } \bar{q}(\cdot) = \sum_{i \in N} q_i(\cdot).$$

参与约束:

$$(t_i(\cdot) - q_i(\cdot)) f_i(\cdot) d_{-i} \geq 0, \text{ 对 } \forall i \in N, \forall c_i \in [a_i, b_i] \quad (2)$$

激励相容约束: 对  $\forall i \in N, \forall c_i \in [a_i, b_i], \forall z_i \in [a_i, b_i]$

$$(t_i(\cdot) - q_i(\cdot)) f_i(\cdot) d_{-i}$$

$$(t_i(\cdot, z_i) - q_i(\cdot, z_i)) f_i(\cdot) d_{-i} \quad (3)$$

假设电网公司不能阻止竞标者从谎报自己的边际成本中获利, 即采购机制必须保证对每个竞标者而言, 给定其他竞标者说真话的条件下, 真实地报告其边际成本能够给他带来最大的期望效用, 因此他没有理由隐瞒或扭曲自己的私人信息。因此每个竞标者真实的报告自己的边际成本的策略构成一个 Bayesian - Nash 均衡<sup>[3]</sup>。

### 2.2 求解最优化问题

为了简化激励相容约束, 定义  $Q_i(z_i) = \int_{a_i}^{z_i} q_i(\cdot, z_i) f_i(\cdot) d_{-i}$  为当其他人说真话, 而具有成本  $c_i$  的竞标者  $i$  报告自己的成本为  $z_i$  时的期望得到的采购量。  $T_i(z_i) = \int_{a_i}^{z_i} t_i(\cdot, z_i) f_i(\cdot) d_{-i}$  为相应的来自电网公司的转移支付。在同样的情形下, 竞标者  $i$  的期望效用是  $T_i(z_i) - Q_i(z_i)$ 。现在式 (3) 可以写为:

$$U_i(c_i) = T_i(c_i) - Q_i(c_i) \geq T_i(z_i) - Q_i(z_i) \quad (4)$$

$U_i(\cdot)$  被称为期望的利润函数。式 (4) 等价于

$$U_i(c_i) = \max_{z_i} \{T_i(z_i) - Q_i(z_i)\}, \text{ 解为 } z_i = c_i \quad (5)$$

根据式 (4) 还有:

$$U_i(z_i) = T_i(c_i) - Q_i(c_i) - z_i [T_i(c_i) - Q_i(c_i)] - Q_i(c_i) (z_i - c_i) = U_i(c_i) - Q_i(c_i) (z_i - c_i) \quad (6)$$

调换  $z_i$  和  $c_i$  的位置, 得到

$$U_i(c_i) = U_i(z_i) - Q_i(z_i) (c_i - z_i) \quad (7)$$

从式 (6)、(7),  $U_i(c_i) = U_i(c_i) - Q_i(c_i) (z_i - c_i) - Q_i(z_i) (c_i - z_i) \Leftrightarrow [Q_i(z_i) - Q_i(c_i)] (z_i - c_i) \geq 0$

这样  $Q_i(\cdot)$  是一个非增函数。根据式 (5) 和式 (6), 令  $c_i = z_i - \epsilon$ ,

有  $-Q_i(c_i) = U_i(c_i + \epsilon) - U_i(c_i) - Q_i(c_i + \epsilon)$  积分得到:

$$U_i(b_i) - U_i(c_i) = - \int_{c_i}^{b_i} Q_i(s_i) ds_i \Leftrightarrow U_i(c_i) = \int_{c_i}^{b_i} Q_i(s_i) ds_i + U_i(b_i) \quad (8)$$

通过式 (8), 可以发现在激励相容的直接显示机制<sup>[4]</sup>  $(q, t)$  中, 发电商的期望利润只依赖于采购分配规则  $Q$ , 再加上常数项  $U_i(b_i)$ 。

根据式 (4), 有

$$T_i(s_i) = U_i(s_i) + Q_i(s_i) \int_{a_i}^{b_i} Q_i(s_i) ds_i + Q_i(s_i) \int_{a_i}^{b_i} T_i(b_i) - Q_i(b_i) b_i$$

命题 1: 具有同样的采购分配规则的两个激励相容机制中, 给每个发电商中的期望转移支付只相差一个常数。

由于  $U_i(s_i)$  是非增函数, 个人理性约束就变为:

$$U_i(b_i) \geq 0, \text{ 即 } T_i(b_i) - Q_i(b_i) b_i \geq 0$$

根据

$$\int_{a_i}^{b_i} T_i(s_i) f(s_i) ds_i = \int_{a_i}^{b_i} Q_i(s_i) ds_i \int_{a_i}^{b_i} f_i(s_i) ds_i + \int_{a_i}^{b_i} Q_i(s_i) \int_{a_i}^{b_i} f_i(s_i) ds_i + U_i(b_i)$$

在第一项中改变积分的顺序就得到:

$$\int_{a_i}^{b_i} \int_{a_i}^{b_i} Q_i(s_i) ds_i f_i(s_i) ds_i = \int_{a_i}^{b_i} Q_i(s_i) F_i(s_i) ds_i$$

因此

$$\int_{a_i}^{b_i} T_i(s_i) f(s_i) ds_i = \int_{a_i}^{b_i} [s_i + \frac{F_i(s_i)}{f_i(s_i)} Q_i(s_i)] f_i(s_i) ds_i + U_i(b_i)$$

定义  $q_i(s_i) = s_i + \frac{F_i(s_i)}{f_i(s_i)}$

$$T_i(s_i) = q_i(s_i) f_i(s_i) + U_i(b_i)$$

这样, 垄断厂商目标函数就可以写成:

$$TR(\bar{q}(\cdot)) - \sum_{i \in N} q_i(\cdot) \int_{a_i}^{b_i} f_i(s_i) ds_i + \sum_{i \in N} U_i(b_i) \quad (9)$$

$$Q_i(s_i) \text{ 非增} \quad (C)$$

$$U_i(b_i) \geq 0 \quad (R)$$

$$q_i(s_i) \geq 0 \quad (10)$$

$$\bar{q}(\cdot) = \sum_{i \in N} q_i(\cdot) \quad (11)$$

$q_i(s_i)$  的经济含义, 可以称为具有  $s_i$  的边际成本的发电商的真实边际成本。显然,  $q_i(s_i)$  要比  $s_i$  大, 这是因为  $s_i$  是发电商  $i$  的私人信息, 因此要想对发电商实施经济激励来揭示这一私人信息, 垄断厂商就必须面临一个高于  $s_i$  的单位价格<sup>[5]</sup>。平均来看, 这个较高的价格等于边际成本的上限  $b_i$ ,

$$E_i[q_i(s_i)] = \int_{a_i}^{b_i} q_i(s_i) f_i(s_i) ds_i = \int_{a_i}^{b_i} [s_i + \frac{F_i(s_i)}{f_i(s_i)}] f_i(s_i) ds_i = \int_{a_i}^{b_i} s_i f_i(s_i) ds_i + \int_{a_i}^{b_i} F_i(s_i) f_i(s_i) ds_i = \int_{a_i}^{b_i} dF_i(s_i) = b_i$$

定义  $r_i(s_i) = \frac{f_i(s_i)}{F_i(s_i)} = -\frac{d}{dx} \ln F_i(s_i)$ , 这是分布

$F_i(\cdot)$  的逆风险率 (reverse hazard rate)。这样

$$q_i(s_i) = s_i + \frac{1}{r_i(s_i)}$$

A5 (正规条件):  $r_i(\cdot)$  是  $s_i$  的非减函数。

由于  $f_i(s_i) \geq 0$ , 电网公司的最优化问题等价于对每个  $s_i$ , 在约束  $q_i(s_i) \geq 0$  下, 最大化

$$TR(\bar{q}(\cdot)) - \sum_{i \in N} q_i(s_i) \int_{a_i}^{b_i} f_i(s_i) ds_i$$

定义 Lagrange 函数:

$$L(\bar{q}(\cdot), q_i(\cdot), \mu_i(\cdot)) = TR(\bar{q}(\cdot)) - \sum_{i \in N} q_i(\cdot) \int_{a_i}^{b_i} f_i(s_i) ds_i + \sum_{i \in N} \mu_i(\cdot) [q_i(\cdot) - \sum_{j \in N} q_j(\cdot)]$$

根据 Kuhn - Tucker 定理, 得到如下的一阶条件:

$$\frac{\partial L(\bar{q}, q_i, \mu_i)}{\partial \bar{q}} = 0 \Leftrightarrow MR(\bar{q}(\cdot)) + \mu = 0$$

$$\frac{\partial L(\bar{q}, q_i, \mu_i)}{\partial q_i} = 0 \Leftrightarrow -q_i(s_i) + q_i(s_i) - \mu = 0$$

$$q_i(s_i) \int_{a_i}^{b_i} f_i(s_i) ds_i = 0, \quad q_i(s_i) \geq 0 \text{ 和 } \int_{a_i}^{b_i} f_i(s_i) ds_i > 0$$

$$\mu(\bar{q}(\cdot) - \sum_{j \in N} q_j(\cdot)) = 0, \quad \mu \geq 0 \text{ 和 } \bar{q}(\cdot) = \sum_{j \in N} q_j(\cdot)$$

也就是说, 若  $q_i(s_i) > 0$ , 必须有  $q_i(s_i) = 0$ ; 若  $\mu > 0$ , 则  $\bar{q}(\cdot) = \sum_{j \in N} q_j(\cdot)$ 。

结合式 (11), 可以推出采购合同以严格正的概率分配给发电商  $i$  当且仅当  $q_i(s_i) = \min_{j \in N} q_j(s_j)$ , 即,

$$q_i(s_i) > 0 \Leftrightarrow q_i(s_i) = \min_{j \in N} q_j(s_j) \quad (12)$$

这样  $\mu = \min_{i \in N} q_i(s_i)$ , 毫无疑问大于零, 所以式 (11) 是紧的。

总的采购数量  $\bar{q}(\cdot)$  有如下方程决定

$$MR(\bar{q}(\cdot)) = \min_{i \in N} q_i(s_i) \text{ 即 } \bar{q}(\cdot) = MR^{-1}[\min_{i \in N} q_i(s_i)] \quad (13)$$

如果  $q_i(s_i)$  是唯一的最大值, 则毫无疑问发电商  $i$  以 1 的概率赢得采购契约, 而且采购数量由他的真实边际成本决定, 而其他发电商什么也得不到。

最优的转移支付规则  $t_i$  为:

$$t_i(s_i) = q_i(s_i) \int_{a_i}^{b_i} f_i(z_i) dz_i \quad (14)$$

命题 2: 方程 (12), (13) 和 (14) 定义了电网公司的一个最优的采购和分配规则<sup>[6]</sup>。

如果定义  $y_i(-i) = \sup \{ z_i \mid \forall j \neq i, q_j(z_j) \geq q_i(z_i) \}$  为发电商  $i$  能够面对  $-i$ , 可以赢得采购合同所必须具备的最大的边际成本。这样式 (12) 就可以写成:

$$q_i(z_i, -i) = \begin{cases} \bar{q}(z_i, -i) & \text{if } z_i < y_i(-i) \\ 0 & \text{if } z_i > y_i(-i) \end{cases}$$

进一步得到

$$\int_{y_i(-i)}^{b_i} q_i(z_i, -i) dz_i = \begin{cases} \int_{y_i(-i)}^{y_i(-i)} \bar{q}(z_i, -i) dz_i & \text{if } y_i(-i) < y_i(-i) \\ 0 & \text{if } y_i(-i) > y_i(-i) \end{cases}$$

运用中值定理, 存在一个  $\bar{q}_i(-i) \in (y_i(-i), y_i(-i))$ , 使得:

$$\int_{y_i(-i)}^{b_i} \bar{q}(z_i, -i) dz_i = [y_i(-i) - y_i(-i)] \bar{q}_i(-i)$$

根据式 (13),  $\bar{q}(\cdot)$  在  $i$  是中标的条件下, 随  $-i$  递减。

因此

$$\bar{q}(y_i(-i), -i) = \bar{q}_i(-i) = \bar{q}(\cdot) \quad (15)$$

因此最优的转移支付规则  $t_i$  就变为:

$$t_i(\cdot) = \begin{cases} [y_i(-i) - y_i(-i)] \bar{q}_i(-i) + \bar{q}(\cdot) & \text{if } q_i(\cdot) = \bar{q}(\cdot) \\ 0 & \text{if } q_i(\cdot) = 0 \end{cases}$$

这就是说, 竞标失败者什么都得不到, 而电网公司会支付给中标者一个介于  $y_i$  和  $y_i(-i)$  之间的单位价格, 即:

$$\frac{t_i(\cdot)}{q(\cdot)} = y_i(-i) \frac{\bar{q}(y_i(-i), -i)}{\bar{q}(\cdot)} + (1 - \frac{\bar{q}(y_i(-i), -i)}{\bar{q}(\cdot)}) \quad (16)$$

它是中标者的边际成本和需要赢得合同的最大边际成本值的加权平均。

### 2.3 对称的情形<sup>[7]</sup>

在对称的情形下, 发电商具有相同的边际成本的分布和  $y_i = y$ , 因此最优机制不再是歧视性的了。由于  $(\cdot)$  是  $y$  的非增函数, 最低的边际成本就意味着最低的真实边际成本。因此具有最低边际成本的发电商就会肯定赢得采购合同。用  $1$  和  $2$  表示最低和第二低的边际成本, 这样就有  $\bar{q}(\cdot) = MR^{-1}[i(-1)]$ 。因为现在  $y_i(-i) = \max_{j \neq i} y_j = y$ , 对中标者的单位采购价格就是:

$$\frac{t_i(\cdot)}{q(\cdot)} = y \frac{MR^{-1}(y)}{MR^{-1}(i(-1))} + (1 - \frac{MR^{-1}(y)}{MR^{-1}(i(-1))})$$

其中  $(1, 2)$  而且与  $(3, 4, \dots, N)$  无关。可以看到单位采购价格是最低的价格和第二低的边际成本之间, 而且仅仅由这两个成本决定, 而与其他的边际成本无关。

### 3 分析评论

如果电网公司知道每个发电商的边际成本, 他毫无疑问会从最低的边际成本的发电商那里以最低的价格采购电力, 从而获得所有的垄断利润, 这就意味着采购价格是最低的边际成本。事后的效率可以用事后的社会剩余  $TS(\cdot, q^w, w) = \int_0^{q^w} p(s) ds - q^w w$

来衡量<sup>[8]</sup>, 其中  $w$  是中标者的边际成本,  $q^w$  是实际的产量。事后的社会剩余由三部分组成: 电网公司的利润, 中标者的利润和用电户的剩余组成。因此, 事后最有效的结果就是由最低边际成本的发电商生产, 即  $w = y$ , 而采购数量由  $q^w = p^{-1}(y)$  决定。从这个意义上来讲, 最优的采购机制既不是事前有效的也不是事后有效的, 这是由于下面三个原因。第一, 发电商的不对称使得最优机制也是不对称的, 这就意味着具有最低边际成本的发电商不以 100% 的概率获得合同。第二, 最优的采购数量低于完全信息下的垄断产量  $MC^{-1}(y)$  对所有的  $y$ , 因为结合式

$$(13), \min_N i(-i) = \min_N [y_i + \frac{F_i(y_i)}{f_i(y_i)}] \text{ 肯定大于 } y$$

第三, 垄断地位能够把销售价格维持在  $P[MC^{-1}(y)]$ , 高于有效的边际成本价格  $y$ 。这样,  $p^{-1}(y) > MC^{-1}(y) > y$ 。

厂网分离、竞价上网作为我国电力市场化改革的第一步, 与原有厂网合一、高度垂直一体化的完全垄断模式相比, 能增加社会福利、提高效率, 但因其未达到社会福利最优仍然不是最佳模式。我国电力市场改革应朝着在发电、购电引入更充分的竞争, 打破电网公司双边垄断局面, 形成科学有效的电力价格形成机制。当然电力市场化改革是一个渐进过程, 需要具备相关内、外部必要条件, 同时仅靠市场竞争也不能解决电力市场所有问题, 需要一定科学有效的政府规制来保证电力市场的安全稳定运行和促进并确保更充分的竞争。

## 参考文献:

- [1] Bulow J, Roberts J. The Simple Economics of Optimal Auctions[J]. Journal of Political Economy, 1989, 97(5): 1060-1090.
- [2] Myerson R. Incentive Compatibility and the Bargaining Problem[J]. Econometrica, 1979, 47: 61-73.
- [3] Myerson R. Optimal Auction Design[J]. Mathematics of Operations Research, 1981, 6: 58-73.
- [4] Laffont J J, Tirole J. Auctioning Incentive Contracts[J]. Journal of Political Economics, 1987, 95: 921-937.
- [5] Maskin E, Riley J. A symmetric Auctions[J]. Review of Economic Studies, 2001, 67: 413-438.
- [6] Riley J G, Samuelson W F. Optimal Auctions[J]. American Economic Review, 1981, 71: 381-392.
- [7] Milgrom P R, Weber R J. A Theory of Auctions and Competitive Bidding[J]. Econometrica, 1981, 50: 1089-1122.
- [8] Hansen R. Auctions with Endogenous Quantity[J]. RAND Journal of Economics, 1988, 29: 44-58.

收稿日期: 2005-01-10; 修回日期: 2005-03-31

## 作者简介:

胡恩同(1974-),男,博士生,主要从事产业组织理论研究。E-mail: entongh@eyou.com

### An optimum auction model in the bilateral monopolized power markets

HU En-tong

(China Center for Economic Studies, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** As a result of the generation and the transmission of power is separated and the price is formed at a competitive market, a bilateral-monopolized market appears. To compare the efficiency with the totally monopolized original mode, this paper constructs a bilateral-monopoly auction model and analyzes the expected utility and social welfare level brought to the power transmission company, the power generator and the power consumer. It's proved that the social welfare and efficiency is improved, but is not optimum. It indicates that the market-based reform should be insisted on, but the bilateral monopoly at present is not still a optimum mode and needs to break the monopoly and strengthen the competition further in the power generating and purchasing.

**Key words:** bilateral-monopoly; auction; power markets; optimization

(上接第 22 页 continued from page 22)

## 作者简介:

郭健全(1980-),男,硕士,主要研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: just\_fine\_gjq@sina.com

郭建新(1976-),男,长期从事电网调度与故障检测工作,主要研究方向为电力系统调度自动化与故障检测;

胡志坚(1969-),男,博士,副教授,主要研究方向为电力系统稳定控制与自动化。

### Study and realization of zero-sequence distributed parameter live line measurement of transmission lines with mutual inductance

GUO Jian-quan<sup>1</sup>, GUO Jian-xin<sup>2</sup>, HU Zhi-jian<sup>3</sup>, ZHAN Feng<sup>3</sup>, HU Ning<sup>4</sup>

(1. Xingtai Power Company, Xingtai 054001, China; 2. Xingtai County Power Company, Xingtai 054001, China; 3. Department of Electrical Engineering, Wuhan 430072, China; 4. Yueyang Power Company, Yueyang 414001, China)

**Abstract:** Both the zero-sequence lumped parameters and the distributed parameters of the transmission line are needed for electrical engineering. Zero-sequence parameter measurement under operation can reduce the number of power cut and can meet the need of live line parameter measurement. Through synchronous measuring the voltage and current on the ends of the lines using GPS, this paper calculates the lumped parameters, then gets the distributed parameters considering the length of line and the length of the section with mutual inductance. The conversion formulae between the distributed parameter model and the lumped parameter model of transmission line are given, based on which, this paper brings forward a method of zero-sequence distributed parameters measurement under operation. And simulating tests are carried out to test this method.

**Key words:** GPS synchronous timing; transmission lines with mutual inductance; zero-sequence parameter; measurement under operation; distributed parameter