

基于节能减排的电量替换经济补偿分析

柳瑞禹¹, 陈 岸¹, 肖亚洲²

(1 武汉大学 经济与管理学院, 武汉 430072; 2 武汉理工大学 计算机学院, 武汉 430070)

摘 要:以节能减排为目的电量替换会引起电力市场中参与方的利益调整,因此需要设计合理的经济补偿机制。由于我国电力市场竞争机制正在逐步完善,因此本文结合行政手段与市场手段提出了对减发电量机组和关停机组分开进行电量替换及经济补偿的方式。通过强调企业社会责任改进发电权交易,在电量替换过程中充分利用剩余效用实现对前一类机组的补偿;并通过有剩余生产能力的发电机组之间的公平竞争来支付关停机组固定成本,实现对后一类机组的补偿。

关键词:电量替换;经济补偿;节能减排;发电权交易;剩余效用

中图分类号: TM 73; F123.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)07-0042-04

目前环境问题和能源问题已经越来越突出,受到各国的广泛关注。节能减排已经成为各国政府的基本环境能源政策。对于我国来说,电力工业是高耗能的产业,是节能减排的重中之重。我国经济处于稳步增长阶段,工业发展较快,用电量需求居高不下,电厂项目的建设自建国以来一直呈现上升趋势。十一五规划将电力工业划入节能减排的重点领域,新建电厂项目多数采用高效率的新型环保机组,其煤耗率、污染物排放量等各方面的指标值均优于旧型小火电机组。电力工业节能减排的重要手段是电力节能调度,电力节能调度的重点是电量替换,即“上大压小”和关停小火电机组。实施基于节能减排的电量置换,对中小火电机组冲击很大,有可能全年没有发电机会而关停,或者发电利用小时数少,难以获取机组正常生产运行的维护费用,影响连续可靠供电。为此,需要对减发电量机组和关停机组进行合理的经济补偿,现有的补偿方式有行政手段和经济手段^[1-2],行政手段补偿本质上是由政府确定替代发电经济补偿标准,而由市场手段确定的补偿电价,具有较高的竞争性和合理性,有利于促进节能调度中电量置换的进行。随着“厂网分开、竞价上网”以及电网公司的市场交易与调度职能的分开(国家电网电力交易中心正式投入运行),中国电力市场的竞争程度越来越高,运用市场手段进行经济补偿将占据主要地位。

本文考虑以市场手段进行经济补偿,并将补偿对象分为两种:一种针对减发电量但未关停的机组;

另一种针对关停机组,并据此设计出合理的电量替换经济补偿机制。

1 减发电量机组的经济补偿

我国电力市场发展不成熟,竞争机制不完善,竞争程度不高,已有的研究和实践表明,发电权交易可以作为对减发电量机组经济补偿的有效方式^[3-4]。

1.1 发电权交易及剩余价值利用

发电权是指发电公司在合同市场和日前市场中竞争得到或通过计划获得的发电许可份额^[5],其实质是一种以规定价格卖出电力商品的权利。发电权交易是指发电企业在电力市场平台上以自愿公平的方式,并遵照一定的市场规则,相互之间购买和出售发电许可份额,由购买方代替出售方生产该份额电量的行为。

目前利用高低匹配规则进行撮合是发电权交易中的主流模式。文献[6]为发电权交易竞价规则设计了申报、排序、撮合、重组 4 个步骤,并指出成交价格为买卖双方报价或报价均值。文献[7]设计了 10 种发电权交易模型,并提出了双边协商交易与集中撮合交易的协调方法。文献[8]设计了日间、月间、小时发电权交易置换模型,对发电权调节市场组织流程中撮合的双方、交易时段、成交电量和成交价格进行了确认。文献[9]研究了考虑交易成本的撮合方式,在高低匹配原则的基础上,确定了新的排序优先级。文献[10]基于能耗和效益最优的模型设计了加权的两两撮合算法。现有的撮合方法研究都是在

收稿日期: 2010-04-12

作者简介: 柳瑞禹(1957—),男,大连辽宁人,武汉大学经济与管理学院教授,博士生导师,研究方向:项目管理、技术经济;陈岸(1988—),女,湖北黄冈人,武汉大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:项目管理、技术经济;肖亚洲(1986—),男,湖北黄冈人,武汉理工大学计算机学院硕士研究生,研究方向:人工智能、知识工程。

两两机组之间的匹配上展开的。由于报价差的存在, 因此产生了剩余效益。

设买方报价为 P_b , 卖方报价为 P_s , 成交价格为 P_{deal} , 成交量为 Q_{deal} 。 P_{deal} 的取值必定位于 P_b 和 P_s 之间, 一般为两者的算术平均值。则:

$$\text{消费者剩余} = (P_b - P_{deal}) \times Q_{deal};$$

$$\text{生产者剩余} = (P_{deal} - P_s) \times Q_{deal};$$

$$\text{总剩余效用} = (P_b - P_s) \times Q_{deal}。$$

买卖双方比预期共多获得 $(P_b - P_s) \times Q_{deal}$ 的剩余效益。大多数的发电权交易以最大的总效用作为目标函数, 其结果导致参加发电权交易的企业获得的总剩余效用最大。剩余效用是一种社会效用, 对企业来说是交易中额外获得的经济效益。但是在提倡低碳经济的政策背景下, 企业应承担相应的社会责任, 在获得了份额内的经济利润之后, 理应将这部分额外的 $(P_b - P_s) \times Q_{deal}$ 剩余效用贡献出来, 作为节能减排的用途。这样, 总的社会效用不变, 而经济与环境却能更加和谐地共同发展。具体操作即打破两两撮合、高低匹配的交易方式, 由买方整体向卖方整体支付购买金额也即经济补偿, 这将使得原先一些因出让报价高于所有受让报价而不能进行交易的高能耗高污染的发电权出让企业也可以进行发电权交易, 从而促进节能减排的进行。

1.2 电量替换经济补偿模型

1.2.1 目标函数设计

对于发电企业, 煤耗率是衡量机组环保性能的重要指标, 且污染物排放量与煤耗成正相关。对于电网公司, 占市场总电量 80%~90% 的合约市场上的电价采用标杆电价, 即一个统一值, 因此在合约市场上开展的发电权交易对电网的购电成本的影响仅在于对网损成本的改变上。发电企业与电网之间的传输线路上的线损率的不同导致了网损成本的改变, 在进行了发电权交易之后, 网损成本的改变量有可能是负值, 也有可能是正值, 但由于线损率相差不大, 因此其绝对值并不会很大。从共同承担社会责任的角度来看, 如果网损成本改变量为正值, 电网公司也应视这部分成本为自己对节能减排所做出的应有贡献。

所以目标函数可以简化为煤耗的函数。设有台机组参加交易, 则:

$$B_{min} = \sum_{G \in \{E^+\}} b_i \Delta E_i^+ - \sum_{G \in \{E^-\}} b_i \Delta E_i^-。 \quad (1)$$

式(1)中, G 代表机组; ΔE_i^+ 为购买电量; ΔE_i^- 为出售电量; $\{E^+\}$ 为购买方集合; $\{E^-\}$ 为出售方集合; B 为交易后煤耗的改变量; b_i 为机组煤耗率, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

1.2.2 约束条件设计

1) 交易电量平衡。

$$\sum_{G \in \{E^-\}} \Delta E_i^- = \sum_{G \in \{E^+\}} \Delta E_i^+。 \quad (2)$$

出售方减少的发电量之和应等于购买方增加的发电量之和, 即总的发电量计划不变。

2) 合理补偿。

发电才能获得利润, 出售方由于发电量减少而损失利润, 因此损失的这部分利润应从发电权的出售收入中得到补偿, 购买方由于发电量增加而增加利润, 因此愿意向出售方支付一定的补偿, 该补偿体现为购买成本。只有购买成本不小于出售收入, 才能保证补偿的合理性, 要保证发电权交易的顺利进行, 即

$$\sum_{G \in \{E^-\}} \Delta E_i^- P_i^- \leq \sum_{G \in \{E^+\}} \Delta E_i^+ P_i^+。 \quad (3)$$

式(3)中, P_i^- 为出售价格, P_i^+ 为购买价格。

3) 发电量安全限制。

机组在正常运行时, 其功率大小有安全限制, 因此在此计划时段内, 发电量也有上下限安全限制:

$$E_i^{min} \leq E_i + \Delta E_i^+ \leq E_i^{max}; \quad (4)$$

$$E_i^{min} \leq E_i - \Delta E_i^- \leq E_i^{max}。 \quad (5)$$

式(4)和式(5)中, E_i^{max} 为各机组安全发电量上限, E_i^{min} 为各机组安全发电量下限。

4) 绝对值限制。

购买电量、出售电量均为非负值, 即

$$\Delta E_i^+, \Delta E_i^- \geq 0。 \quad (6)$$

式(1)~式(6)构成了综合考虑经济与环境效益的发电权交易模型。模型需要决策最优的 ΔE_i^+ 和 ΔE_i^- , 使目标函数值最小。

1.2.3 模型求解

1) 枚举算法的局限性。

由式(3)可知求解此模型需要确定出售方和购买方的集合, 但是本模型并未规定这两个集合的具体范围, 所以每个机组有两种情况: 购买方 $G \in \{E^+\}$ 、出售方 $G \in \{E^-\}$ (既不购买也不出售电量的情况可以由 $\Delta E_i = 0$ 归入到前面两种情况中)。由于每台机组有 2 种集合属性的可能, 因此如果电网中有 n 台机组, 则有 2^n 种情况, 需要采用枚举法求解这 2^n 种情况下的模型, 然后将这 2^n 个结果进行比较, 选出其中最小的结果, 对应的解即为最优解。枚举算法在理论上可以求出最优解, 但是其计算量巨大, 在 n 值较大时, 几乎不可能在合理时间内进行求解。

2) 撮合算法的局限性。

常用的两两撮合算法是将机组撮合对按照每台机组之间的购买价格与销售价格之差、煤耗率之差和排污率之差的加权值从大到小将机组进行排序, 优先撮合序列中的前列机组。每个撮合对都存

在着剩余效用, 所以积累了大量的剩余效用, 不利于节能减排即不利于目标函数的优化, 只能求出发电权交易模型的次优解。

3) 界限值算法的设计。

将购买价格看作单位电量上购买方支付给出售方的最高补偿限额, 它必定不能使购买方增加的发电利润全部支付给出售方; 将出售价格看作单位电量上出售方要求的最低补偿限额, 它必定要完全弥补出售方减少发电而造成的利润损失, 因此每台机组申报的出售价格必定高于其申报的购买价格。并且新型大火电机组煤耗率、排污率较小, 因此变动成本较小, 每增发一度电的利润较多。新型大火电机组倾向于购买电量, 其出售价格必定比小火电机组高。

在以上两个前提条件下, 对于目标函数 B_{min} , 其最优解必然满足如下状态:

将机组按照煤耗率从小到大排列, 存在一个煤耗率界限值 b , 对于出售方, 其 $b_i > b$, 对于购买方, 其 $b_i < b$ 。因为总目标值最小为最优, 则买方的煤耗率均应小于卖方的煤耗率。因此煤耗率小于煤耗率界限值的机组都进行了购买操作或者不买也不卖, 煤耗率大于煤耗率界限值的机组都进行了出售操作或者不买也不卖。如果有 n 台机组, 则有 $n-1$ 个煤耗率界限值, 所以只需 $n-1$ 枚举次即可求出最优解。

1.2.4 经济补偿的确定

两两撮合算法受制于每两台机组间的报价, 每两台机组之间购买价格不低于出售价格时才能进行交易, 这样每个撮合对都存在着一定的剩余效用。

界限值算法只要求总购买金额不低于总出售金额即可。机组之间不进行两两交易, 而是进行集中交易, 这样可以充分利用剩余价值以促进节能减排。本文采用界限值算法求解模型并确定经济补偿的金额。

在界限值算法中, 当总购买金额等于总出售金额时, 购买方按照各自的购买价格乘以实际的购买电量支付购买金额; 出售方按照各自的出售价格乘以实际的出售电量获取出售金额。此时剩余效用为零, 也即完全利用了剩余效用。

当总购买金额大于总出售金额时, 有两种结算方式:

①结算金额等于总购买金额, 购买方按照各自的购买价格乘以实际的购买电量支付购买金额; 出售方按照各自的出售价格乘以实际的出售电量再乘以一个统一的系数获取出售收入即获取经济补偿 (该系数令总购买金额等于总出售收入)。

②结算金额等于总出售金额, 购买方按照各自的购买价格乘以实际的购买电量再乘以一个统一的系数支付购买金额; 出售方按照各自的出售价格乘以实际的出售电量获取出售收入即获取经济补偿

(该系数令总购买价格等于总出售收入)。

此时剩余效用大于零, 但是小于两两撮合算法造成的剩余效用, 也即尽量利用了剩余效用。

由于机组只是受到集体总价的制约, 而不是单个机组报价的制约, 因此此算法可以最大程度地利用剩余效用, 其目标函数的取值必定优于两两撮合算法下目标函数的取值结果。

2 算例

为了证明模型和算法的可行性与最优性以及剩余效用的利用, 本文给出一个具体的算例加以说明。

设有 5 台机组参与发电权交易, 其数据如表 1 所示。

表 1 参与发电权交易的机组参数

G_i	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
b_i	235	250	265	275	290
P_{bi}	0.42	0.38	0.37	0.39	0.36
P_{si}	0.5	0.41	0.44	0.41	0.38
$Q_{bi\max}$	20	23	27	26	28
$Q_{si\max}$	25	22	28	27	24

注: P_{bi} 和 P_{si} 分别为购买价格和出售价格, $Q_{bi\max}$ 和 $Q_{si\max}$ 分别为最大购买量和最大出售量。 P_{bi} 和 P_{si} 单位均为元/度, b_i 单位为克/度, $Q_{bi\max}$ 和 $Q_{si\max}$ 单位均为度。

使用界限值算法的计算结果如表 2 所示。

表 2 利用界限值算法求解出的发电权交易结果

G_i	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
Q_{bi}	20	23	5.75	0	0
Q_{si}	0	0	0	24.75	24

注: Q_{bi} 和 Q_{si} 分别为购买量和出售量, 单位均为度。

目标函数值为 -1792.5, 即煤耗量减少 1792.5 克。其总购买金额等于总出售金额, 所以剩余效用为零。

使用两两撮合算法首先从高到低确定每两台机组买卖报价差序列, 报价差相同时, 按照煤耗率差从小到大排列 (报价差不得为负, 煤耗率之差不得为正), 即确定了机组交易总排序。然后从前向后依次撮合。结果如表 3 所示。

表 3 利用两两撮合算法求解出的发电权交易结果

G_i	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
Q_{bi}	20	0	4	0	0
Q_{si}	0	0	0	0	24

目标函数值为 -1200, 即煤耗量减少 1200 克。总购买金额大于总出售金额, 其剩余效用为 0.76 元。

3 关停机组的经济补偿

在电力系统中存在着设备陈旧、煤耗率大、排放量高的小火电机组, 其日常维护等固定成本较高, 燃煤费用、排污费用等变动成本也很高。并且其收益小于成本, 长期处于发电亏损状态。对于这一部分小火电机组, 在电量替换中应采取关停的措施手段。由于

关停的小火电机组原本发电也不能获得利润, 因此它们不能参加发电权交易, 否则会损害新型环保大机组的利益。在这部分机组计划发电量的置换中, 可在未关停并愿意购买发电量的机组范围内, 进行选择, 由被选中的机组支付购买金额来对关停机组进行补偿, 此补偿只需以关停机组的固定成本为准。

3.1 电量替换选择模型

3.1.1 目标函数设计

分析知, 电量替换对电网企业影响甚小, 其主要目的是减少煤耗, 故采用与第2节类似的目标函数。设 m 台关停机组, 有 n 台机组成功购买电量, 则:

$$B'_{\min} = \sum_{i=1}^n b_i E'_i. \quad (7)$$

式(7)中, B' 为电量替换后的总煤耗; b'_i 为成功购买电量的机组的煤耗率; E'_i 为各机组成功购买的电量, $i = 1, 2, \dots, n$ 。模型需要决策最优的 E'_i , 使得 B' 最小。

3.1.2 约束条件设计

1) 电量平衡。

$$\sum_{k=1}^m E_{\text{关}k} = \sum_{i=1}^n E'_i. \quad (8)$$

式(8)中, $E_{\text{关}k}$ 为关停机组的原计划发电量, $k = 1, 2, \dots, m$ 。

2) 合理补偿。前面已经分析了对关停机组的补偿只需补偿其固定成本, 为了公平起见, 获得新增电量的机组支付的单位补偿金额应该相同, 即有:

$$C_{\text{补}i} = E'_i \frac{\sum_{k=1}^m C_{\text{固}k}}{\sum_{k=1}^m E_{\text{关}k}}. \quad (9)$$

式(9)中, $C_{\text{补}i}$ 为获得新增电量的机组支付的补偿金额, $C_{\text{固}k}$ 为关停机组的固定成本。

3) 保证收益。机组的利润等于发电收入减去固定成本和变动成本, 其中, 变动成本主要为燃煤成本, 机组的单位发电量利润应大于支付的单位补偿金额, 即:

$$J_i E'_i - C_{\text{固}i} - c_{ri} b_i E'_i \geq E'_i \sum_{k=1}^m C_{\text{固}k} / \sum_{k=1}^m E_{\text{关}k}. \quad (10)$$

$C_{\text{固}i}$ 为获得新增电量的机组固定成本, c_{ri} 为获得新增电量的机组购买燃煤的单价。

4) 安全发电量限制。机组在正常运行时, 有功率的上下限安全限制, 因此在计划时段内, 发电量也有上下限安全限制:

$$E_i^{\min} \leq \bar{E}_i + E'_i \leq E_i^{\max}. \quad (11)$$

式(11)中, $E_i^{\max}$ 和 $E_i^{\min}$ 分别为获得新增电量的机组安全发电量上下限, $\bar{E}_i$ 为机组购买关停发电机组电量之前的计划发电量。

5) 绝对值限制。

$$E'_i \geq 0. \quad (12)$$

3.1.3 模型求解

此模型为关于 E'_i 的线性规划方程, 容易求解, 将其输入 LINGO 软件中即可求解。

3.2 经济补偿的确定

属于关停的这部分机组发电即亏损, 因此必须予以强制关停, 并且无权参与发电权交易, 其补偿金额只需要覆盖其固定成本即可, 否则会造成资源的浪费, 降低经济效益和环境效益。同时, 在竞争关停机组原计划发电量的过程中, 为保证公平性, 应制定统一的经济补偿价格, 该价格等于所有关停机组的固定成本之和除以关停机组原计划发电量之和, 获得新增电量的机组按照该价格乘以自己获得的新增电量来支付补偿金额。

4 结束语

电量替换的背景十分复杂, 它不是简单的转让和受让发电量, 涉及到电厂各自的经济利益和社会的环境效益以及电网的安全稳定运行。本文通过强调企业社会责任充分利用剩余效益在以市场手段为主的发电权交易中融入行政因素; 在用行政手段强制关停小火电机组之后, 运用市场竞争的手段将关停机组的电量出售给自愿竞争购买的机组。这种市场与行政相结合的方式, 有利于在节能减排的基础上顺利进行电量替换和经济补偿。既保证了社会总效用, 又平衡了经济与环境的发展, 对我国电力节能调度具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 尚金成. 节能发电调度的经济补偿机制研究(一) 基于行政手段的经济补偿机制设计与分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(2): 44-48
- [2] 尚金成. 节能发电调度的经济补偿机制研究(二) 基于市场机制的经济补偿机制设计与分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(3): 46-50
- [3] 国家电力监管会市场监管部调研组. 降耗、减排、增效在交易中实现[J]. 中国电业, 2007, 21(3): 32-34
- [4] 白建华, 张凤营, 郑海峰, 等. 发电调度: 电力降耗突破口[J]. 中国电力企业管理, 2007, 25(3): 22-23
- [5] 肖健, 文福拴. 发电权交易的阻塞调度[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(18): 24-29
- [6] 周详. 发电权交易的模式及运作的有关问题分析[J]. 市场周刊, 2008(1): 129-130
- [7] 尚金成, 何洋. 基于节能减排的发电权交易理论及应用[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(12): 46-52
- [8] 王雁凌, 张粒子, 杨以涵. 基于水火电置换的发电权调节市场[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(5): 131-136
- [9] 黎灿兵, 康重庆, 夏清, 等. 发电权交易及其机理分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(6): 13-18
- [10] 郑欣, 蒋传文, 李磊, 等. 基于能耗和效益最优的发电权节能降耗分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 39-42

(下转第 60 页)

- Transport Management, 1997, 3(1): 3-9
- [5] SUBRAMANIAN J, STIDHAM S, LAUTENBACHER C. J. Airline yield management with overbooking, cancellations, and no-shows[J]. Transportation Science, 1999, 33(2): 147-167.
- [6] FENG Y Y, GALLEGO G. Perishable asset revenue management with markovian time dependent demand intensities[J]. Management Science, 2000, 46(7): 941-956
- [7] ZHANG D, COOPER W L. Pricing substitutable flights in airline revenue management[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 197: 848-861.
- [8] 刘军, 邱苑华. 航空客运收益管理的结构模型[J]. 北京航空航天大学学报: 社会科学版, 2000, 13(4): 17-21.
- [9] 康锦江, 张玉庆, 陈静. 航空收益管理及对中国企业的启示[J]. 东北大学学报: 社会科学版, 2003, 5(6): 420-422
- [10] 周圣武, 张兴永. 航空公司超额订票的收益分析[J]. 数学数学, 2003, 19(3): 5-7.
- [11] 高强, 朱金福, 陈可嘉. 机票超售的动态模型[J]. 工业技术经济. 2006, 25(2): 73-75
- [12] 席卫东, 乔兵. 基于 K 线图的收益管理浮动价格博弈[J]. 商业研究, 2006, 340: 34-39
- [13] 曾宪聚, 邹志坚, 徐晓莉. 中国民航机票折扣定价策略研究[J]. 运筹与管理, 2007, 16(5): 131-136
- [14] 廖刚, 陈宏民, 潘小军. 基于产品差异化的航空联盟定价[J]. 系统管理学报. 2007, 16(4): 376-381.
- [15] 肖勇波, 陈剑, 刘晓玲. 基于乘客选择行为的双航班机票联合动态定价模型[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 1(1): 46-55
- [16] HUNTLEY I D, JAMES D J G. Mathematical Modeling, A Source Book of Case Studies[M]. Oxford University Press, 1990

Revenue Management Model of Pre sale Air Ticket Based on the Cross price Elasticity and Marginal Cost

Wang Yong, Song Guojun, Li Fuchang

(College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Revenue management is a kind of new management technology. And as one of the key technologies of revenue management, overbooking plays a significant role in improving airline revenue. Based on the flight overbooking, this article establishes a new model of pre sale air tickets, which considers cross price elasticity and marginal cost that the airline provides service to passengers. The new model not only emphasizes the importance of marginal cost to pre sale tickets, but also fully reflects that the airlines are facing fierce market competition. Through further analysis of the new model, optimal strategies for pre sale tickets in the presence of overbooking are obtained, which are of great instructive significance for the practical application.

Key words: revenue management; cross price elasticity; marginal cost; optimal discount; optimal revenue

(上接第 45 页)

Analysis on Electrical Energy Replacement and Economic Compensation Based on Energy Saving and Emission Reduction

Liu Ruiyu¹, Chen An¹, Xiao Yazhou²

(1 School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2 School of Computer Science and Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Electrical energy replacement based on energy saving and emission reduction can cause participants' profits adjustment in electric power market, thus it need rational economic compensation mechanism. Now that the competition mechanism of our national electric power market is being improved day by day, this paper combines administrative and marketing measures to design replace and subsidize the closed and unclosed units separately. It takes full use of surplus utility to subsidize unclosed units in the course of replacement by emphasizing public responsibility of companies and improving generation rights trade. It allows units which have surplus capacity to compete for electrical energy to pay for the fixed costs of closed units in order to subsidize closed units.

Key words: electrical energy replacement; economic compensation; energy saving and emission reduction; generation rights trade; surplus utility