

# 电力期货在水火电资源优化配置中的应用

邵宝珠<sup>1</sup>, 王优胤<sup>2</sup>, 宋丹<sup>3</sup>

(1. 东北电力科学研究院有限公司, 辽宁省 沈阳市 110006; 2. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北省 保定市 071003; 3. 东北电网有限公司, 辽宁省 沈阳市 110181)

## Application of Electricity Futures in Optimized Allocation of Thermal and Hydroelectric Power Resources

SHAO Baozhu<sup>1</sup>, WANG Youyin<sup>2</sup>, SONG Dan<sup>3</sup>

(1. Northeast Electric Power Research Institute Co. Ltd., Shenyang 110006, Liaoning Province, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, Hebei Province, China;

3. Northeast China Power Grid Co. Ltd., Shenyang 110181, Liaoning Province, China)

**ABSTRACT:** The application of electricity futures in optimized allocation of thermal and hydroelectric power resources is researched. The implementation of the transaction of electricity futures between two gencos in the same electricity market or in different regional electricity markets under different generation costs and benefits as well as corresponding computation model are given. Results of both theoretical analysis and concrete calculation example show that the transaction of electricity futures between thermal gencos and hydroelectric gencos not only can fully use the advantages of hydroelectric generation cost and environment protection during wet season can by substituting generation resources and promote optimized allocation of generation resources as well as reduce the global social generation cost, but also ensure abundant global social power supply during dry season. Besides, features transaction can bring additional income from difference in price and gencos can share such an additional income by drafting features price, and features transaction conforms with the genco's principle of maximizing generation benefit. Thus, electricity futures can be regarded as a very efficient manner for the optimized allocation of thermal and hydroelectric power resources.

**KEY WORDS:** electricity futures; complementation of hydroelectric and thermal power resources; optimized allocation; electricity market

**摘要:** 研究了电力期货在水火电发电资源优化配置中的应用。给出了考虑同一或不同区域电力市场时, 2 发电商之间在不同发电成本和发电收益下进行电力期货交易的实现方式和所得收益的计算模型。理论分析和具体算例都显示, 水火电发电商之间进行期货交易, 既可以通过置换发电资源来充分发挥丰水期水电的成本和环保优势, 促进发电资源的优化配置和社会整体发电成本的降低, 还可以在枯水期保障充

裕的社会整体电力供给。同时期货交易还会带来额外的价差收益, 发电商通过期货价格来分享这一额外收益, 也符合其发电效益最大化的原则。因此电力期货是一种非常有效的水火电资源优化配置手段。

**关键词:** 电力期货; 水火电互济; 优化配置; 电力市场

## 0 引言

水电作为一种清洁可再生能源, 国家已制定了大量相关政策以对其充分利用<sup>[1-2]</sup>。目前在我国大部分区域电力市场中水电还不能参与自由竞价, 只能根据交易中心制订的“以水定电”的运行计划配合火电竞价上网, 导致丰水地区出现了不同程度的“弃水”现象<sup>[3]</sup>。截至 2008 年 10 月, 全国总发电装机容量为 73 581 万 kW, 其中水电 13 849 万 kW, 占总容量的 18.82%; 而全国累计的总发电量是 28 704.74 亿 kW·h, 其中水电为 4 426.70 亿 kW·h, 仅占 15.42%<sup>[4]</sup>。水电机组出力的不足导致了大型电网水火互补、调峰错峰、互为备用等优势没有得到充分发挥。因此在我国电力市场改革不断深入过程中如何对水火电资源进行优化配置, 是一个非常具有实用性和经济性的课题。

国内外已有不少专家学者对此问题进行了研究。在竞价上网的电力市场中, 水火电的协调调度有新的内涵: 即如何在不弃水的前提下, 以水电调节性能好的优势降低火电机组的开停机次数并配合火电的竞价上网, 从而保证火电机组的高效安全运行并尽可能地降低火电系统的购电费用。其中在水电较少的电力市场, 一般不采用水电竞价上网的方式, 而采用租赁的办法, 由电网公司经营<sup>[5]</sup>; 或

先向交易中心申报发电量,然后水电在火电剩余的市场空间参与竞价,并最终按照火电的市场出清价格结算<sup>[6]</sup>。水电配合火电竞价上网的模型一般以购电费用最小化为目标并综合考虑水电机组运行的约束条件<sup>[7]</sup>,也可将水火协调和节能环保等多种因素统一折算为购电费用并通过将多目标优化问题转化为单目标优化的方法来解决<sup>[8]</sup>。而在水电较丰富的电网,水电已成为重要市场主体。因此不能只接受调度部门的调度命令而被动地配合火电发电,而需要主动地参与市场交易,利用自身的优势竞价上网,实现自身利益的最大化。显然这时水火电的市场交易机制在水火力发电资源的优化配置中已处于核心地位。目前国内外各电力市场的交易机制基本都以火电为标本进行设计的,而水火电在技术和经济特性上有明显的差异。因此要真正实现水火电优化配置,尚需在认真研究水火电特征的基础上对以火电为标本的市场规则进行修改完善<sup>[9]</sup>。文献[10]将水火电机组等同考虑,建立了水火混合电力系统的日有功经济调度模型;文献[11]研究了输电约束下的水火电系统短期经济调度;文献[12]基于不同传输系统提出了长期调度优化的思路与模型;文献[13]考虑到多种不确定因素,提出了以水火电系统中燃料成本最小化为目标的水火电系统优化模型,但具有一定的局限性;文献[14]针对水电比重较大的地区提出了通过水火电分离运作与整体优化来配置水火电资源的市场模式及实施方案;文献[15]在此基础上根据水火电的不同特点并结合微观经济学有关理论,以水火电资源在最经济利用条件下满足顾客需求为目标建立了其优化调度模型。此外,近年来也有文献研究以发电权进行“水火置换”。即发电商根据中标情况和发电能力利用发电权交易来调整机组出力,从而优化对发电资源和发电时间的配置。文献[16]借鉴合约市场和日前市场交易机制,提出了发电权交易的思想并建立了考虑交易成本的经纪人交易模式;文献[17]基于期权理论提出了另一种发电权交易模型并设立了系统和机组的约束以降低期权带来的投机性。相对于经纪人交易模式,该模式使发电商在失去发电权时可以得到一定的经济补偿,对发电商更加公平;文献[18]设计了月间、日间和小时3种发电权交易类型,建立了置换电量在发电权交易主体中的优化分配模型,并应用线性规划法进行了求解。但发电权交易并不是完整和成熟的交易模式,还没有

付诸实践,其对水火电资源优化配置的功效也有待进一步考证。但随着我国电力市场的日益完善,电力期货交易必将被引入我国电力市场<sup>[19-20]</sup>。发电商在面临不同发电成本和售电价格下,为追求利益最大化必然会进行电力期货交易。而发电商之间的期货交易最终以实物进行交割,则将促使发电资源在发电商之间置换并到达优化配置<sup>[21-23]</sup>。

本文首先介绍使用电力期货进行水火电发电资源配置的一般机制。然后给出考虑单一或不同发电及售电价格下,单方或双方发电厂商分别上网发电时2厂商之间电力期货交易方式和收益的计算模型及其对水火电资源配置的影响。通过具体算例说明在丰水期和枯水期水火电厂分别采用期货交易后对总收益和水火电资源配置情况的改善。

## 1 使用电力期货优化发电资源配置的机制

在同一或不同电网区域,发电类型和机组运行状态上的差异会使不同的发电商具有不同的发电成本,这在水火电发电商间尤为明显。同时销售能力和地域经济水平上的差异也会使各发电商面临不同的合同电价,且输电阻塞和供需情况的差异还会导致不同的远期现货电价预期。因此各发电商最终会面临完全不同的单位发电收益,单位发电收益可表示为上网或合同电价与发电成本之差。单位发电收益的上述差异为发电商提供了套利基础。在存在电力期货交易的情况下,发电商为追求发电收益最大化会在彼此间进行期货交易,即通过平仓或补仓来调节发电出力。若期货最终以实物交割,发电资源就会在正常和出力受阻的电厂之间,水火发电商之间或资源差异较大的水电商之间置换流动,以发挥不同类型发电机组的补偿效应并促进发电资源的优化配置和保障充裕的电力供给。而且由于置换了发电资源,期货交易还会带来额外的收益差额。发电商亦可通过期货价格来分享这一额外收益并提高发电收益。

本文仅研究在水火电发电商间进行期货交易对资源优化配置的具体过程。各发电商应首先在各自所属的电网区域竞标发电上网或签订远期合同。若各自的单位发电收益存在差异,则发电商之间可通过期货交易来调节发电出力或合同电量以及发电容量来实现对发电资源的优化配置。由于水电商的可变成本远远小于火电商,在丰水期水电厂便可做期货空头(卖出电力期货),而火电厂做期货多头

(买进电力期货)。并在期货交割日通过实物交割实现发电资源向水力发电转移,从而充分利用水电资源避免弃水,并降低了火力发电的资源消耗与环境污染。而且若期货价格高于自身的合同电价或远期现货电价预期,火力发电商即使没有发电也可通过期货价格与水力发电商分享期货交易带来的价差收益。而在枯水期,由于来水不足,水电厂可以买入电力期货而火电厂卖出电力期货,则到期通过实物交割来实现发电资源向火力发电商转移并保证充裕的电力供给;若期货价格小于自身的合同电价,水电商同样可通过期货价格与火力发电商分享期货交易带来的价差收益。这样即使期货价格大于水利发电商的合同电价,但只要小于合同电价与其违约成本之和,期货交易还是会减少其损失。

本文考虑2发电商面临单一或不同发电成本和售电价格时,分别讨论期货交易对发电资源优化配置的模型及2电厂收益的计算。为使模型具有一般性,这里并不人为指定2电厂是否为火电厂还是水电厂,而是假设它们都是具有一般特性的电厂。

## 2 基于电力期货的发电资源优化配置模型及分析

### 2.1 相同区域内

设发电商A、B处于同一区域市场,且都已在远期现货市场获得了一定额度的上网发电权或签订了远期售电合同(小于其最大发电容量)。它们的发电成本分别为 $C_A$ 和 $C_B$ ,而签订的远期合约价格都为 $P_0$ 。

1) 2发电商都上网发电。

若 $C_A > C_B$ ,在期货市场A做多头而B做空头,则将可获取成本差异产生的利差并促使发电资源向成本低的B转移。若到期对期货进行实物交割,则两者获取的总利差为

$$\Pi_1 = (P_0 - C_B)Q_1 - (P_0 - C_A)Q_1 = (C_A - C_B)Q_1 \quad (1)$$

式中 $Q_1$ 为A签订的合同电量及B签订的售电合同扣除其在远期现货市场上网发电后的剩余发电容量中的较小者。

仅当 $C_B < P_0 - (C_A - C_B) < P_F < P_0$ (其中 $P_F$ 为期货的交易价格)时,且自身发电能力充足时,A才会愿意和B进行期货交易。这时两者分获的利差为

$$\begin{cases} \Pi'_A = \frac{P_0 - P_F}{P_0 - P_0 + (C_A - C_B)} \Pi_1 = \frac{P_0 - P_F}{C_A - C_B} \Pi_1 \\ \Pi'_B = \frac{P_F - P_0 + (C_A - C_B)}{P_0 - P_0 + (C_A - C_B)} \Pi_1 = \frac{P_F - P_0 + (C_A - C_B)}{C_A - C_B} \Pi_1 \end{cases} \quad (2)$$

若 $C_A < C_B$ ,当A发电能力不足而不能履行合约电量或者上网发电电量时,但只要 $P_F < P_0 + C_A$ ,A仍然会与B进行期货交易。这时两者获得的总利差为

$$\Pi'_1 = (P_0 - C_B)Q'_1 \quad (3)$$

式中 $Q'_1$ 为A短缺的发电容量与B剩余发电容量中的较小者。此时两者分获的利差分别为

$$\begin{cases} \Pi'_A = \frac{P_0 - P_F}{P_0 - C_B} \Pi'_1 \\ \Pi'_B = \frac{P_F - C_B}{P_0 - C_B} \Pi'_1 \end{cases} \quad (4)$$

2) 只有单一发电商上网发电。

设只有A已通过竞标获得上网发电或已签订了远期售电合同, $P_0$ 仅为A签订的远期合约价格。

若 $C_A > C_D$ ,在期货市场A做多头而D做空头,将可获取成本差异产生的利差并促使发电资源向成本低的D转移。到期进行实物交割,两者通过期货交易获取的总利差为

$$\Pi_2 = (P_0 - C_D)Q_2 - (P_0 - C_A)Q_2 = (C_A - C_D)Q_2 \quad (5)$$

式中 $Q_2$ 为A远期上网发电量和售电合同签订发电量总和以及D的总发电容量中的较小者。

同样只有当 $C_D < P_0 - (C_A - C_D) < P_F < P_0$ 时,A、B才愿意参与期货交易,两者分获的利差为

$$\begin{cases} \Pi'_A = \frac{P_0 - P_F}{P_0 - P_0 + (C_A - C_D)} \Pi_2 = \frac{P_0 - P_F}{C_A - C_D} \Pi_2 \\ \Pi'_D = \frac{P_F - P_0 + (C_A - C_D)}{P_0 - P_0 + (C_A - C_D)} \Pi_2 = \frac{P_F - P_0 + (C_A - C_D)}{C_A - C_D} \Pi_2 \end{cases} \quad (6)$$

而若 $C_A < C_D$ ,A、D之间不存在通过期货交易套取利差的基础,因此不会发生期货交易。

### 2.2 不同区域内

假设发电商A、E分属不同的区域市场。 $C_A$ 和 $C_E$ 分别为其发电成本, $P_A$ 为A签订的合约电价而 $P_E$ 为E签订的合约电价。

1)  $C_A > C_E$ 且 $P_A < P_E$ 。

显然有

$$\begin{cases} P_E - C_A > P_A - C_A \\ P_E - C_E > P_E - C_A \end{cases} \quad (7)$$

若E能在其区域市场售完其全部发电容量,便不再与A进行期货交易;但若不能,且 $P_A > C_E$ ,E为了最大化发电利润,仍会与A进行期货交易。这时的具体分析过程类似于第2.1小节。

2)  $C_A > C_E$ 且 $P_A > P_E$ 。

显然有

$$\begin{cases} P_A - C_E > P_E - C_E \\ P_A - C_E > P_A - C_A \end{cases} \quad (8)$$

若存在相应的跨区域电力期货品种，为了最大化发电收益，A、E 便会进行期货交易。又因为  $C_A > C_E$ ，所以交易策略为：A 做期货多头而 E 做期货空头，则到期实物交割获取的总利差为

$$\Pi_3 = (P_A - C_E)Q_3 - (P_A - C_A)Q_3 = (C_A - C_E)Q_3 \quad (9)$$

式中  $Q_3$  与前面  $Q_1$  或  $Q_2$  的含义相同。

同样只有当  $C_E < P_E - (C_A - C_E) < P_F < P_A$  (其中  $P_F$  为跨区域电力期货价格) 时，A、E 才会愿意参与期货交易，两者分获的利差为

$$\begin{cases} \Pi_A = \frac{P_A - P_F}{P_A - P_E + (C_A - C_E)} \Pi_2 = \frac{P_A - P_F}{C_A - C_E} \Pi_2 \\ \Pi_E = \frac{P_F - P_E + (C_A - C_E)}{P_A - P_E + (C_A - C_E)} \Pi_2 = \frac{P_F - P_E + (C_A - C_E)}{C_A - C_E} \Pi_2 \end{cases} \quad (10)$$

3)  $C_A < C_E$  且  $P_A > P_E$  或  $C_A < C_E$  且  $P_A < P_E$  时。

这时讨论的情况类似 1) 或 2)，只不过需要改变交易双方的角色即可。此外，若 A、E 两者中有一个没有在自己的区域电力市场竞得上网发电权，则相关分析同 2.1 小节。

以上公式中涉及的总利差都可以看成是因为采用期货交易手段而使得发电成本极低的水电在丰水期尽量多地发电而取得的全社会整体经济效益。同时如果考虑到水电清洁无污染的特性，则因节能减排所带来的社会效益会进一步增大。

以上公式显示，发电商在面临发电或市场条件变化时，可采用期货交易的对冲规避风险，进行发电资源的合理调配并改善收益。而当参与市场的发电商数量增多时，期货交易对发电资源优化配置的效用将会更加明显。下面将通过一个算例来具体说明这一问题。

### 3 算例分析

#### 3.1 丰水期的电力期货交易

假定 A 为某一水电商而 B 为火电商，两者属于同一区域电力市场，即享受相同的现货交易电价。在丰水期，两者的发电容量、发电成本及期货市场交易价格分别如表 1、2 所示。

由于 B 的发电成本远大于 A，且丰水期前预定的丰水期交割的电力期货价格为 0.32 元/(kW·h)，大于 B 的合约电价，所以 B 可以通过提前买入丰水期到期的份额为 8 000 万 kW·h 的电力期货并将其签订的远期合约电量置换出去，而 A 则在丰水期前卖出相应的期货头寸并在丰水期到期时进行实物交割。

表 1 丰水期 2 发电商的预期发电量及签订的合约电量  
Tab. 1 Predicted generating and contract capacity of the two power providers in high-water period

发电商	预期发电容量/ (亿 kW·h)	合约电量/ (亿 kW·h)	剩余容量/ (亿 kW·h)
水电商 A	1.8	1.0	0.8
火电商 B	1.0	0.8	0.2

表 2 丰水期 2 发电商的发电成本及期货价格  
Tab. 2 Generation cost and forward price of the two power providers in high-water period

发电商	合约电价/ (元/(kW·h))	发电成本/ (元/(kW·h))	期货价格/ (元/(kW·h))
水电商 A	0.36	0.08	0.32
火电商 B	0.36	0.24	0.32

则按式(1)，2 发电商通过期货交易可获得的总利差为  $(0.24 - 0.08) \times 8\,000 = 1\,280$  万元。这个数值也可看成是因期货交易产生的水火互济效应而带来的全社会收益，即全社会发电成本的降低。

同时，在这一交易中 B 不但通过做期货多头履行了售电合同，还可按式(2)分得  $(0.36 - 0.32) / (0.24 - 0.08) \times 1\,280 = 320$  万元利差，而 A 分得剩余 960 万元的利差。可见水火发电商之间进行的期货交易不但可以实现水火发电资源的替换，减少水电商丰水期的弃水量，还改善了各发电商自身的收益，效果十分明显。

#### 3.2 枯水期的电力期货交易

同样还是上述 2 发电商。在枯水期时两者的发电容量、发电成本和期货交各分别如表 3、4 所示。

表 3 枯水期 2 发电商的预期发电量及签订的合约电量  
Tab. 3 Predicted generating and contract capacity of the two power providers in low-water period

发电商	预期发电容量/ (亿 kW·h)	合约电量/ (亿 kW·h)	剩余容量/ (亿 kW·h)
水电商 A	0.9	1.0	-0.1
火电商 B	1.0	0.8	0.2

表 4 枯水期 2 发电商的发电成本及期货价格  
Tab. 4 Generation cost and forward price of the two power providers in low-water period

发电商	合约电价/ (元/(kW·h))	发电成本/ (元/(kW·h))	期货价格/ (元/(kW·h))
水电商 A	0.36	0.08	0.32
火电商 B	0.36	0.24	0.32

对枯水期的分析与丰水期类似；但水火发电商的角色应该互换。显然由于来水不足，A 将无法履行签订丰水期的合约电量，因此需要在期货市场买入丰水期到期的份额为 1 000 万 kW·h 的电力期货。而 B 剩余 2 000 万 kW·h 的发电容量，若预期丰水期现货交易电价不会高于期货价格 0.32 元/(kW·h)，

那么 B 将做期货空头, 到期时 2 发电商间进行实物交割。相对于原来的发电容量, A、B 的总收益仍会增加, 根据式(3)增加的数额应为  $(0.36 - 0.24) \times 1000 = 120$  万元。同时因为期货价格小于其签订的合约电价, 根据式(4)A 通过期货交易可获得  $(0.36 - 0.32) / (0.36 - 0.24) \times 120 = 40$  万元的利差; 而期货价格也大于 B 的发电成本, 所以期货交易提高了 B 的火电机组的发电出力, 使得 B 也分得了剩余的 80 万元发电收益。可见在枯水期通过期货交易不但可以保证充裕的电力供给, 还使得水火发电企业都可以获得一定的额外收益, 效果也十分显著。同时若期货价格大于 0.36 元/(kW·h)但小于 0.36 元/(kW·h)与 A 的违约成本之和, 那么 A 同样会进行期货交易以保证电力供给并规避违约风险, 只不过不能再获取利差罢了。

以上算例虽仅针对同一区域市场内水火电交易的情况, 但对不同市场内发电商之间交易的计算也可由 2.2 小节内容做类似讨论。

## 4 结论

1) 从整体社会效益来看, 电力期货可以较好地消除水电资源季节性强的限制。在丰水期水电企业以按期货合同交割实物的方式进行满发, 可以最大限度地利用水电资源避免弃水, 不但清洁高效而且也可达到社会整体发电成本最低。而在枯水期水电企业则买入一定量的丰水期到期的电力期货来保证自身承诺的合约电量, 同时也保证了全社会充足的电力供给, 提高了供电可靠性, 具有很好的社会效益。

2) 从发电商个体来看, 采用期货交易后各发电商之间可以通过市场手段分配结论 1 所提的收益。因此期货交易不但可以对冲风险, 更可以带来利润, 这也符合其发电收益最大化的经营原则。

3) 本文没有考虑由于输电阻塞等技术原因带来的期货交割风险及各个发电商进行这种期货交易时的博弈现象, 同时仅针对 2 个发电商的讨论也过于简单, 有待进一步改进。另外, 本文方法也不只限于水火发电商之间。因此凡是出力受季节性限制较强的发电商, 如风电厂都可以考虑采用本文方法与火电或核电商之间签订相应的期货合同。这些将是未来的研究方向。

## 参考文献

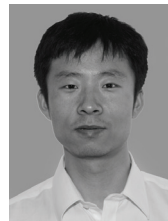
[1] 蔡邠. 我国水火电基地开发及电网建设[J]. 电网技术, 1994, 18(2):

44-48.

Cai Bin. The exploitation of the bases of energy source and their energy transmission in China[J]. Power System Technology, 1994, 18(2): 44-48(in Chinese).

- [2] 秦晓辉, 宋云亭, 赵良, 等. 大电源接入系统方式的比较[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 64-69.
- Qin Xiaohui, Song Yunting, Zhao Liang, et al. Comparative research on grid-connection modes for huge power supplies[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 64-69(in Chinese).
- [3] 尚金成, 张立庆. 电力节能减排与资源优化配置技术的研究与应用[J]. 电网技术, 2007, 31(22): 58-63.
- Shang Jincheng, Zhang Liqing. Research and application of technologies in energy-saving, emission-reducing and optimal resource allocation of electric power system[J]. Power System Technology, 2007, 31(22): 58-63(in Chinese).
- [4] 中国电力企业联合会统计信息部. 全国电力工业统计月报[R]. 北京: 中国电力企业联合会统计信息部, 2008.
- [5] 曾鸣, 程芸, 丁声高. 我国电力市场的实施方案和相关问题研究[J]. 电网技术, 2000, 24(2): 69-73.
- Zeng Ming, Cheng Yun, Ding Shenggao. Research on solutions of electricity market of China and interrelated problems[J]. Power System Technology, 2000, 24(2): 69-73(in Chinese).
- [6] Geng Jian, Chen Haoyong, Ding Xiaoping. New method to schedule and price hydro power in market environment[C]//The 7th International Power Engineering Conference, Singapore, 2005: 859-862.
- [7] 丁军威, 胡昉, 夏清, 等. 竞价上网中的水电优化运行[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(3): 19-23.
- Ding Junwei, Hu Yang, Xia Qing, et al. Hydro power optimization in competition with thermal generation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(3): 19-23(in Chinese).
- [8] 马瑞, 贺仁睦, 颜宏文, 等. 考虑水火协调的多目标优化分段竞标模型[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(11): 53-57.
- Ma Rui, He Renmu, Yan Hongwen, et al. A novel multi-objective optimal group and block bidding model for hydrothermal power market[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(11): 53-57(in Chinese).
- [9] 曾鸣, 吴至复. 水火电资源优化配置市场机制的框架设计与功能分析[J]. 水电能源科学, 2006, 24(6): 73-76.
- Zeng Ming, Wu Zhifu. Frame design and function analysis on hydrothermal resource optimizing scheme market mechanism[J]. Water Resources and Power, 2006, 24(6): 73-76(in Chinese).
- [10] 姚建刚, 刘涌, 吴政球, 等. 电力市场的日有功优化调度[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(1): 17-20.
- Yao Jiangan, Liu Yong, Wu Zhengqiu, et al. Daily optimal economic dispatch in electricity market[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(1): 17-20(in Chinese).
- [11] Iguchi M, Yamashiro S. An efficient scheduling method for weekly hydro-thermal unit commitment[C]//Proceeding of IEEE Tencon'02, China, 2002: 1772-1777.
- [12] Bart A, Benahmed M, Cherkaoui R, et al. Long-term energy management optimization according to different types of transactions[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(3): 804-809.
- [13] Valdama M, Keel M, Liik O, et al. Method for minimax optimization of power system operation[C]//Power Tech Conference Proceedings IEEE, Bologna, 2003.
- [14] 曾鸣, 赵永亮, 吴至复, 等. 市场环境下水火电优化配置方法及其实施方案研究[J]. 水电能源科学, 2004, 22(4): 67-70.
- Zeng Ming, Zhao Yongliang, Wu Zhifu, et al. Research on method

- and scheme of optimized configuration of hydropower and thermal power in electricity market[J]. *Water Resources and Power*, 2004, 22(4): 67-70(in Chinese).
- [15] 吴至复, 曾鸣, 刘宝华, 等. 电力市场中的水火电优化调度模型及其应用[J]. *电网技术*, 2006, 30(15): 45-49.  
Wu Zhifu, Zeng Ming, Liu Baohua, et al. An optimum dispatching model of hydro-thermal power system in market environment and its application[J]. *Power System Technology*, 2006, 30(15): 45-49(in Chinese).
- [16] 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.  
Li Canbing, Kang Chongqing, Xia Qing, et al. Generation rights trade and its mechanism[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2003, 27(6): 13-18(in Chinese).
- [17] 姚建刚, 周启亮, 张佳启, 等. 基于期权理论的发电权交易模型[J]. *中国电机工程学报*, 2005, 25(21): 76-81.  
Yao Jiangan, Zhou Qiliang, Zhang Jiaqi, et al. Generation rights trade mode based on option theory[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2005, 25(21): 76-81(in Chinese).
- [18] 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.  
Wang Yanling, Zhang Lizi, Yang Yihan. Adjusting market of generation rights based on hydro-thermal exchange[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2006, 26(5): 131-136(in Chinese).
- [19] 张显, 王锡凡. 电力金融市场综述[J]. *电力系统自动化*, 2005, 29(20): 1-9.  
Zhang Xian, Wang Xifan. Survey of financial markets for electricity [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2005, 29(20): 1-9(in Chinese).
- [20] 江健健, 夏清, 祁德才, 等. 基于期货的新型电力交易模式[J]. *中国电机工程学报*, 2003, 23(4): 31-37.  
Jiang Jianjian, Xia Qing, Qi Dacai, et al. New mechanism of electricity trade based on futures[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2003, 23(4): 31-37(in Chinese).
- [21] 周启亮, 姚建刚, 罗正军. 需求侧用电权交易及其模型的研究[J]. *电网技术*, 2005, 29(9): 77-82.  
Zhou Qiliang, Yao Jiangan, Luo Zhengjun. Research on demand side transaction of power consumption right and its model[J]. *Power System Technology*, 2005, 29(9): 77-82(in Chinese).
- [22] 姚建刚, 唐捷, 李西泉, 等. 发电侧电力市场竞价交易模式的研究[J]. *中国电机工程学报*, 2004, 24(5): 78-83.  
Yao Jiangan, Tang Jie, Li Xiquan, et al. Research on bidding mode in a generation-side power market[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2004, 24(5): 78-83(in Chinese).
- [23] 谭忠富, 陈广娟, 乞建勋, 等. 基于电力资源优化配置的发电侧峰谷分时电价研究[J]. *电网技术*, 2008, 32(7): 62-66.  
Tan Zhongfu, Chen Guangjuan, Qi Jianxun, et al. Research on time-of-use price at generation side based on optimal configuration of power resources[J]. *Power System Technology*, 2008, 32(7): 62-66(in Chinese).



邵宝珠

收稿日期: 2010-06-21。

作者简介:

邵宝珠(1980), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电网规划、电力系统分析、电力市场, E-mail: shaobaozhu@gmail.com。

(责任编辑 王晔)