

基于电路理论的发电权交易网损增量补偿解析

艾东平, 鲍海, 杨以涵

(华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要: 网损补偿原则的实质就是解决如何将因发电权交易引起的网损增量公平合理的分摊给各个交易的问题。现有网损分摊方法存在诸多缺点且不能兼顾发电权交易网损增量的特点, 无法直接解决该问题。基于电路基本定律分析了线路损耗的功率成分构成, 在此基础上推导得出发电权交易的网损增量表达式, 并根据网损分布特征定义了网损增量的交易归属, 体现了交易与潮流分布的一致性。分摊结果不但可以反映每个交易对电源承担的线路损耗的影响, 而且可以反映出每个交易对全网损耗的影响, 因此具有丰富的物理意义和经济意义。并以简单算例对所提出方法进行了仿真分析。

关键词: 电力市场; 发电权交易; 功率分量; 网损增量分摊

Analysis of incremental loss compensation on generation rights trade based on circuit theory

AI Dong-ping, BAO Hai, YANG Yi-han

(School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: The nature of incremental loss compensation principle is how to allocate the incremental loss caused by generation rights trade to each trade fairly and reasonably. The existed solutions have a lot of defects and they can't reflect the characteristic of generation rights trade, so they can not solve this problem perfectly. In order to solve this problem, the loss components are traced firstly, and the equations of incremental loss is derived based on the circuit theorems, then the incremental loss is allocated to various trades with showing the consistency of trades and load distribution. The allocation results reflect the influence of each trade on the line loss undertook by power, but also the influence on the whole net loss, so the physical and economic significance of them are obvious. Finally, an easy case is used to simulate and analyze the proposed method.

Key words: electricity market; generation rights trade; power components; incremental loss allocation

中图分类号: TM711; TM731 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)22-0135-06

0 引言

随着电力市场化改革的逐步深化, 发电权交易作为节能减排、规避市场风险的有效手段已经在部分省市的电力市场得到应用^[1-2]。发电权交易的进行会引起潮流的变化, 进而引起网损变化, 因此需要确定相关的网损补偿原则对这部分网损进行补偿^[3]。确定公平合理的网损补偿原则不但能够明确发电企业的责任, 而且可以规范和促进发电权交易市场的公平开展。

因为网损的增加是由交易引起的, 各个交易应对网损增量的相应部分承担补偿责任, 所以本文认为确定网损补偿原则所要解决的关键问题就是如何将因执行发电权交易而引起的网损变化公平合理地分摊给各个交易。分摊的原则是能够提供正确的经济信号, 能够促使交易向降低整个网络损耗的方向转移^[4]。

发电权交易涉及的网损增量有其自身特点: 首先, 发电权交易的交易主体是2个发电企业, 而非发电商和普通电力用户^[5-6]; 其次, 发电权交易一般发生在实物电力交易之后, 交易基于某一基态潮流之上^[5-8], 因此交易引起的网损变化也在原基态潮流的网损之上产生, 变化量不仅和网络拓扑结构、线路参数有关, 而且和基态潮流、发电权交易额有关; 再次, 发电权一般采用双边或者撮合方式进行交易^[5-9], 网损随着交易的加入而发生变化, 由于系统耦合、非线性的特点, 使得各个交易承担的网损分量同时受到基态潮流以及其他交易的影响, 这就为公平分摊增加了难度。

有关网损分摊的问题早有论述^[10-22]。基于电压电流正交空间的网损分摊^[10-19]最终都要求解2乘数占其积的比例这一无唯一解命题^[20], 分摊结果不唯一^[4]; 基于能量空间的网损分摊方法^[20-21]很好地回避了这一问题的, 为网损分摊提供了新的解决思路。上述

两类方法处理的都是普通电力交易的网损分摊,尚体现不出发电权交易网损增量的特点,因此并不能直接应用于解决发电权交易网损增量分摊的问题。

本文首先根据电路的基本定律,分析了网损功率的成分构成,在此基础上,推导出发电权交易的网损增量表达式,并根据网损分布特征定义了网损增量的交易归属,体现了交易与潮流分布的一致性。本文方法充分考虑了发电权交易网损增量的特点,分摊结果唯一,且反映了交易对网损变化的影响,具有一定的物理意义和经济意义。

1 线路损耗的功率成分构成分析

对于 n 个节点的电力网络,设网络中有 q 个电源,电源节点编号从 1 开始,依次到 q ,其后的节点编号次序任意,其中电源以电流源描述,记为 \dot{I}_{ks} ($k=1, \dots, q$)。潮流计算后将负荷化成等效阻抗接入网络,则电力网络的节点电压方程可表示为:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1q} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2q} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{q1} & Y_{q2} & \cdots & Y_{qq} & \cdots & Y_{qn} \\ Y_{(q+1)1} & Y_{(q+1)2} & \cdots & Y_{(q+1)q} & \cdots & Y_{(q+1)n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nq} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \vdots \\ \dot{U}_q \\ \dot{U}_{(q+1)} \\ \vdots \\ \dot{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{1s} \\ \dot{I}_{2s} \\ \vdots \\ \dot{I}_{qs} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

简化为:

$$\mathbf{Y}\dot{\mathbf{U}} = \dot{\mathbf{I}}_s \quad (1)$$

可以得出节点电压

$$\dot{U}_i = \begin{bmatrix} Z_{i1} & Z_{i2} & \cdots & Z_{iq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{1s} \\ \dot{I}_{2s} \\ \vdots \\ \dot{I}_{qs} \end{bmatrix} = \sum_{m=1}^q Z_{im} \dot{I}_{ms} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

其中, Z_{im} 是阻抗矩阵 $\mathbf{Z} = \mathbf{Y}^{-1}$ 中的元素。

将电流源内阻并入网络对地支路,此时电源为理想的恒流源,恒流源的特性保证了其端口的功率是由恒流源单独提供的,电源 k 的注入功率表达式为:

$$\dot{S}_{ks} = \dot{U}_k \dot{I}_{ks}^* = \begin{bmatrix} Z_{k1} & Z_{k2} & \cdots & Z_{kq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{1s} \\ \dot{I}_{2s} \\ \vdots \\ \dot{I}_{qs} \end{bmatrix} \dot{I}_{ks}^* =$$

$$Z_{k1} \dot{I}_{1s} \dot{I}_{ks}^* + Z_{k2} \dot{I}_{2s} \dot{I}_{ks}^* + \cdots + Z_{kq} \dot{I}_{qs} \dot{I}_{ks}^* \quad (3)$$

式(3)中等号左右两侧是电源 k 向网络注入功率的不同表现形式。右侧的 q 项因式和以电流源的形式给出,体现了电源间的耦合关系,其中,因式 $Z_{kk} \dot{I}_{ks} \dot{I}_{ks}^*$ 表示电源 k 向网络独立提供的能量形式;因式 $Z_{ki} \dot{I}_{is} \dot{I}_{ks}^*$ ($i \neq k$) 表示在电源 i 的影响下电源 k 向网络提供的能量形式,上述各项均以 \dot{I}_{ks}^* 为标记。由此推之,在以上述网络模型进行的潮流计算中,含有 $\dot{I}_{is} \dot{I}_{ks}^*$ ($i, k \leq q$) 形式的功率份额均是由电源 k 提供的^[20-21]。

上述定义体现了网络中功率成分的电源归属,据此可以考察网络中线路损耗的功率成分构成。设线路 l 上的损耗为 \dot{S}_{Lossl} , 线路两端节点编号为 i 和 j , 线路阻抗为 z_l 。根据线损定义式有

$$\begin{aligned} \dot{S}_{Lossl} &= (\dot{U}_i - \dot{U}_j) \dot{I}_{ij}^* = (\dot{U}_i - \dot{U}_j) \left(\frac{\dot{U}_i - \dot{U}_j}{z_l} \right)^* = \\ &= \frac{1}{z_l^*} [(Z_{i1} - Z_{j1}) \dot{I}_{1s} + (Z_{i2} - Z_{j2}) \dot{I}_{2s} + \cdots + \\ &\quad (Z_{iq} - Z_{jq}) \dot{I}_{qs}] \cdot [(Z_{i1} - Z_{j1}) \dot{I}_{1s} + \\ &\quad (Z_{i2} - Z_{j2}) \dot{I}_{2s} + \cdots + (Z_{iq} - Z_{jq}) \dot{I}_{qs}]^* = \\ &= \frac{1}{z_l^*} \sum_{k=1}^q \sum_{m=1}^q (Z_{ik} - Z_{jk})^* (Z_{im} - Z_{jm}) \dot{I}_{ms} \dot{I}_{ks}^* \quad (4) \end{aligned}$$

上式中,由电源 k 提供的功率损耗份额为

$$\dot{S}_{Lossl_ks} = \frac{1}{z_l^*} \sum_{m=1}^q (Z_{ik} - Z_{jk})^* (Z_{im} - Z_{jm}) \dot{I}_{ms} \dot{I}_{ks}^* \quad (5)$$

设 $\frac{1}{z_l^*} (Z_{ik} - Z_{jk})^* (Z_{im} - Z_{jm}) = \beta_{m|k}^l$, 则有

$$\dot{S}_{Lossl_ks} = \sum_{m=1}^q \beta_{m|k}^l (\dot{I}_{ms}) \dot{I}_{ks}^* \quad (6)$$

当网络中的电源出力改变时,可以根据式(6)分析和计算电源在线路 l 上提供的功率损耗份额。

2 面向交易的网损变化量分摊

参与发电权交易的发电机将在某一基态潮流下根据合同改变出力,由于电力系统耦合非线性特点,从式(6)可以看出,发电权交易不但影响交易双方机组对网损的贡献,同时也影响其他发电机组对网损的贡献,网损的变化是全网络发电机组出力变化共同作用的结果。

设系统中有 N 台发电机,全部参与发电权交易,发电权受让方机组集合为 $\{B|B \in N\}$, 发电权出让方

机组集合为 $\{D|D \in N\}$, 且有 $B + D = N$, 撮合交易结束后共有 T 笔交易成交。以交易电流表示的交易匹配可以表示成为 $T[(\Delta i_{ds}, \Delta i_{bs})|_t; d, b]$, $(\Delta i_{ds}, \Delta i_{bs})|_t$ 表示交易 t 中发电权出让方 d 和受让方 b 的交易电流对。发电权受让方机组初始出力为 $i_{bs0} (b \in B)$, 发电权出让方机组初始出力为 $i_{ds0} (d \in D)$ 。则交易后的发电权受让方机组出力为

$$i'_{bs} = i_{bs0} + \sum_{t \in T} \Delta i_{bs}|_t \quad (7)$$

发电权出让方机组出力为

$$i'_{ds} = i_{ds0} + \sum_{t \in T} \Delta i_{ds}|_t \quad (8)$$

式 (7)、(8) 将电源注入电流等效成电源初始电流与交易电流和的形式, 将其引入式 (6), 则式 (6) 可以体现交易对电源提供的网损分量的影响。

首先考察发电权交易对电源 k 在线路 l 上的网损贡献的影响, 设电源 k 参与 $r (r \in T)$ 笔交易。发电权交易完成后, 根据式 (6), 电源 k 在线路 l 上对网损的贡献可以表示为:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{\text{Loss}l_ks}^{\text{after}} &= \sum_{m=1}^N \beta_{m|k}^l (i'_{ms}) (i'_{ks})^* = \\ & \left[\sum_{b \in B} \beta_{b|k}^l (i_{bs0}) + \sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} \beta_{b|k}^l (\Delta i_{bs}|_t) + \right. \\ & \left. \sum_{d \in D} \beta_{d|k}^l (i_{ds0}) + \sum_{\substack{d \in D \\ t \in T}} \beta_{d|k}^l (\Delta i_{ds}|_t) \right] \cdot (i_{ks0}^* + \sum_{w \in r} \Delta i_{ks}^*|_w) = \\ & \left[\sum_{m=1}^N \beta_{m|k}^l (i_{ms0}) + \sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} + \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_t \right] \cdot \\ & (i_{ks0}^* + \sum_{w \in r} \Delta i_{ks}^*|_w) = \\ & \sum_{m=1}^N \beta_{m|k}^l (i_{ms0}) i_{ks0}^* + \left[\sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} + \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_t \right] \cdot i_{ks0}^* + \\ & \sum_{m=1}^N \beta_{m|k}^l (i_{ms0}) \cdot \sum_{w \in r} \Delta i_{ks}^*|_w + \\ & \left[\sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} + \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_t \right] \cdot \sum_{w \in r} \Delta i_{ks}^*|_w = \\ & \dot{S}_{\text{Loss}l_ks}^{\text{before}} + \left[\sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} + \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_t \right] \cdot i_{ks0}^* + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^N \beta_{m|k}^l (i_{ms0}) \cdot \sum_{w \in r} \Delta i_{ks}^*|_w + \\ & \left[\sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} + \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_t \right] \cdot \sum_{w \in r} \Delta i_{ks}^*|_w \quad (9) \end{aligned}$$

从式 (9) 可以看出, 由于发电权交易使得电源 k 提供给线路 l 的网损份额发生了变化, 变化量为 $\Delta \dot{S}_{\text{Loss}l_ks} = \dot{S}_{\text{Loss}l_ks}^{\text{after}} - \dot{S}_{\text{Loss}l_ks}^{\text{before}} =$

$$\begin{aligned} & \left[\sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} + \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_t \right] \cdot i_{ks0}^* + \\ & \sum_{m=1}^N \beta_{m|k}^l (i_{ms0}) \cdot \sum_{w \in r} \Delta i_{ks}^*|_w + \\ & \left[\sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} + \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_t \right] \cdot \sum_{w \in r} \Delta i_{ks}^*|_w \quad (10) \end{aligned}$$

将式 (10) 展开, 可见网损增量表达式中包含有 $\beta_{m|k}^l (\Delta i_{ms})|_w \cdot i_{ks0}^*$ 、 $\beta_{m|k}^l (i_{ms0}) \cdot \Delta i_{ks}^*|_w$ 和 $\beta_{m|k}^l (\Delta i_{ms})|_t \cdot \Delta i_{ks}^*|_w$ 三种形式的因式, 且每个因式都具有网损的单位, 鉴于第 1 节的论述, 将上述因式作如下定义:

1) 形如 $\beta_{m|k}^l (\Delta i_{ms})|_w \cdot i_{ks0}^*$ 的因式表示在电源 m 参与的交易 w 影响下, 电源 k 的原始出力对网损增量的贡献份额。

2) 形如 $\beta_{m|k}^l (\Delta i_{ms})|_t \cdot \Delta i_{ks}^*|_w$ 的因式表示在电源 m 参与的交易 t 影响下, 电源 k 参与的交易 w 对网损增量的贡献份额。

3) 形如 $\beta_{m|k}^l (i_{ms0}) \cdot \Delta i_{ks}^*|_w$ 的因式表示在电源 m 的初始出力影响下, 电源 k 参与的交易 w 对网损增量的贡献份额。

上述定义体现了交易与交易, 交易与电源初始出力间的相互影响, 也指明了网损增量的交易归属, 定义 2 和定义 3 涉及的网损增量的分量由交易 w 提供, 而定义 1 涉及的分量是由于交易 w 加入后引起的, 所以应由交易 w 承担。

综上所述, 线路 l 上归属于电源 k 提供的网损增量由交易 w 承担的份额为:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_{\text{Loss}l_ks}^{(w)} &= (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} - \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_w \cdot i_{ks0}^* + \\ & \sum_{m=1}^N \beta_{m|k}^l (i_{ms0}) \cdot \Delta i_{ks}^*|_w + \\ & \left[\sum_{\substack{b \in B \\ d \in D \\ t \in T}} (\beta_{b|k}^l \Delta i_{bs} + \beta_{d|k}^l \Delta i_{ds})|_t \right] \cdot \Delta i_{ks}^*|_w \quad (11) \end{aligned}$$

因此, 在线路 l 上由交易 w 承担的网损增量份额可表示为

$$\Delta \dot{S}_{Lossl}^{(w)} = \sum_{k=1}^N \Delta \dot{S}_{Lossl_ks}^{(w)} \quad (12)$$

交易 w 在其他线路上承担的网损增量皆可由上述方法求得。则交易 w 承担的全网网损增量份额可以表示为：

$$\Delta \dot{S}_{Loss}^{(w)} = \sum_{l=1}^L \Delta \dot{S}_{Lossl}^{(w)} \quad (13)$$

其中， L 为电网络中的线路数。

3 算例分析

当发电权交易确定后，发电权出让方和受让方的交易功率以及各自的发电出力即可确定，网络潮流此时可以通过潮流计算获得，电力网络可以等效为电路，因此具体的网损增量分摊可以用电路进行分析。

以简单的 3 节点电路为例验证本文提出的方法。系统结构如图 1 所示。

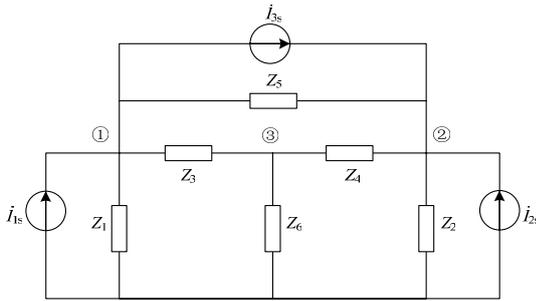


图 1 3 节点系统
Fig.1 3 nodes system

其中各个支路阻抗分别为：

$$z_1 = 1.15 + j0.4, \quad z_2 = 0.085 + j0.2,$$

$$z_3 = 0.02 + j0.06, \quad z_4 = 0.06 + j0.18,$$

$$z_5 = 0.08 + j0.24, \quad z_6 = 0.95 + j0.23.$$

为分析方便，电源以电流源表示，交易额以交易电流表示。其中电源 1、3 为发电权出让方，电源 2 为发电权受让方。交易前后具体数据如表 1~3 所示。

根据本文所提出的方法将网损增量分摊给各个交易，具体分摊结果如表 4 所示。

表 1 交易前后各个电源出力

	i_{1s}	i_{2s}	i_{3s}
交易前	4+j0.4	4+j0.6	4+j0.3
交易后	3+j0.2	6+j0.9	3+j0.2

表 2 交易电流

	交易 1	交易 2
Δi_{1s}	-1-j0.2	#
Δi_{2s}	1+j0.2	1+j0.1
Δi_{3s}	#	-1-j0.1

表 3 交易前后各条线路损耗及线损增量

线路编号	交易前损耗	交易后损耗	损耗增量
12	0.0069+j0.0210	0.0244+j0.0733	0.0175+j0.0523
13	0.0038+j0.0114	0.0018+j0.0055	-0.0020-j0.0059
23	0.0043+j0.0129	0.0411+j0.1234	0.0368+j0.1105
总计	0.0150+j0.0453	0.0673+j0.2022	0.0523+j0.1569

表 4 分摊给交易的网损增量

电源\线路 ij	交易 1			交易 2		
	12	13	23	12	13	23
1	-0.0160-j0.0794	-0.0148-j0.0691	-0.0053-j0.0293	-0.0299-j0.0772	0.0157+j0.0431	-0.0210-j0.0613
2	0.0428+j0.1581	-0.0011+j0.0012	0.0490+j0.1728	0.0410+j0.1227	0.0012-j0.0012	0.0647+j0.1984
3	-0.0120-j0.0501	0.0079+j0.0475	-0.0224-j0.0953	-0.0083-j0.0217	-0.0108-j0.0275	-0.0281-j0.0749
	0.0147+j0.0286	-0.0080-j0.0204	0.0212+j0.0482	0.0028+j0.0237	0.0060+j0.0144	0.0156+j0.0623
总计		0.0279+j0.0564			0.0244+j0.1005	
						0.0523+j0.1569

线路损耗的增量是由电源提供的，而这些增量是由于发电权交易的加入引起的，从表 4 所列分摊结果可以看出交易对电源贡献的网损分量的具体影响。例如线路 13 上，交易 1 使得电源 1 提供的损耗增量分量为 -0.0148-j0.0691，交易 2 使得电源 1 提

供的损耗增量分量为 0.0157+j0.0431，这说明交易 1 有减小电源 1 向线路 13 提供损耗功率的作用，交易 2 有增加电源 1 向线路 13 提供损耗功率的作用，其和则为两个交易加入系统后电源 1 提供给线路 13 的总损耗增量。

分摊给发电权交易的线路损耗的增量在数值上各有正负,例如交易 1 承担的线路 13 上的损耗增量为 $-0.0080-j0.0204$,而在线路 12 和 23 上承担的损耗增量分别为 $0.0147+j0.0286$ 和 $0.0212+j0.0482$ 。负的损耗增量表明该笔交易有减小这条线路损耗的作用,正的损耗增量则表明该笔交易增加了这条线路的损耗。从全网看,本文算例中的两个交易承担的全网网损增量分别为 $0.0279+j0.0564$ 和 $0.0244+j0.1005$,说明两个交易都增大了系统的网损。

综合表 3 和表 4 数据可以看出,线路上分配给交易的损耗增量之和等于该线路的总损耗增量,整个网络分配给各交易的损耗增量之和等于网络的总损耗增量。

4 结论

确定发电权交易网损补偿原则的实质就是解决如何将因为发电权交易而引起的网损增量公平合理地分摊给各个交易的问题。

本文充分考虑发电权交易中网损增量变化的特点,根据电路基本定律推导出发电权交易的网损增量表达式,根据网损分布特征定量地将交易前后网损的变化分摊给各个交易,分摊结果唯一,体现了交易与潮流分布的一致性。

分摊给发电权交易的网损增量有大小、正负之分。这说明各个交易对线路损耗乃至全网损耗变化的影响是不同的,有的交易会增加值网损,有的交易会减小网损,这对准确确定发电权交易成本,进一步撮合发电权交易向减小网络损耗、利于系统潮流的方向转移具有指导作用,因此本文提出的方法具有一定的经济意义。

参考文献

- [1] 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 Yan-ling, ZHANG Li-zi, YANG Yi-han. Adjusting market of generation rights based on hydro-thermal exchange[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (5): 131-136.
- [2] WANG Yan-ling, ZHANG Li-zi. Design trading market of generation rights[C]. //IPEC. Singapore: 2005.
- [3] 谢毅. 依法合规开展发电权交易[N]. 中国电力报, 2008.
- [4] 常乃超, 郭志忠. 网损分摊问题思考[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (4): 43-47.
CHANG Nai-chao, GUO Zhi-zhong. Pondering on the loss allocation problem[J]. Proceeding of the CSEE, 2003, 23 (4): 43-47.
- [5] 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): 13-17.
LI Can-bing, KANG Chong-qing, XIA Qing, et al. Generation rights trade and its mechanism[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (6): 13-17.
- [6] 尚金成. 基于节能减排的发电权交易理论及应用(一)发电权交易理论[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (12): 46-52.
SHANG Jin-cheng. Generation right exchange theory and its applications based on energy-saving and emission reducing(part one) generation right exchange theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (12): 46-52.
- [7] 肖建, 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.
XIAO Jian, WEN Fu-shuan. Congestion dispatch for generation rights trade[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (18): 24-29.
- [8] 陈启鑫, 康重庆, 程旭东, 等. 考虑阻塞管理的发电权交易模型及其网络流算法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (34): 106-111.
CHEN Qi-xin, KANG Chong-qing, CHENG Xu-dong, et al. Generation rights trade model and its network flow algorithm considering congestion management[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28 (34): 106-111.
- [9] 许荣, 赵岩, 李磊, 等. 基于节能降耗的发电权交易效益分析[J]. 水电能源科学, 2007, 25 (6): 150-153.
XU Rong, ZHAO Yan, LI Lei, et al. Profits analysis of generation right transaction based on energy consumption saving[J]. Water Resources and Power, 2007, 25 (6): 150-153.
- [10] 吴政球. 有功、无功功率分摊及网损分摊的研究(一)MVA损耗功率、充电功率的分解及MVA潮流分析基础[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12 (3): 9-13.
WU Zheng-qiu. Study on MVA power and loss allocation, Part I [J]. Proceedings of the EPSA, 2000, 12 (3): 9-13.
- [11] 吴政球. 有功、无功功率分摊及网损分摊的研究(二)有功无功联合贡献因子及其应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12 (4): 9-13, 22.
WU Zheng-qiu. Study on MVA power and loss allocation, part II[J]. Proceedings of the EPSA, 2000, 12 (4): 9-13, 22.
- [12] 吴政球, 姚建刚. 有功、无功功率分摊及网损分摊的研究(三)拓扑潮流分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12 (4): 14-17, 22.
WU Zheng-qiu, YAO Jian-gang. Study on MVA power and loss allocation, part III [J]. Proceedings of the EPSA, 2000, 12 (4): 14-17, 22.

[13] Rudnick H, Palma R, Fernandez J E. Marginal pricing and supplement cost allocation in transmission open access [J]. IEEE Tans PWRS, 1995, 10(2): 1125-1142.

[14] Conejo A J, Arroyo J M, Alguacil N. Transmission on loss allocation: a comparison of different practical algorithms[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17 (3) : 571-576.

[15] Multale J, Strbac G, Curcic S, et al. Allocation of losses in distribution systems with embedded generation[J]. IEE Proc-Gener, Transm & Distrib, 2000, 147 (1) : 7-14.

[16] 吴政球. 非线性函数值贡献因子理论及其应用[J]. 电力系统自动化, 2000, 25 (11) : 32-34.
WU Zheng-qiu. Contribution factor theory on variables to the non linear function value and its applications[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 25 (11) : 32-34.

[17] 荆朝霞, 段献忠, 何仰赞. 函数值分摊理论及其在电力市场中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(2): 9-14.
JING Zhao-xia, DUAN Xian-zhong, HE Yang-zan. Function value allocation theory and its applications to electricity market[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (2) : 9-14.

[18] 王锡凡, 王秀丽, 郑斌. 电力市场过网费的潮流分析基础—网损分摊问题[J]. 中国电力, 1998, 31 (6) : 6-9.
WANG Xi-fan, WANG Xiu-li, JIA Bin. Fundament of load flow analysis in wheeling costing-loss allocation

problem[J]. Electric Power, 1998, 31 (6) : 6-9.

[19] 王锡凡, 王秀丽. 电流追踪问题[J]. 中国科学: E辑, 2000, 30 (3) : 405-412.
WANG Xi-fan, WANG Xiu-li. Tracing the current[J]. China Science: Proceedings E, 2000, 30 (3) : 405-412.

[20] 鲍海, 马千. 电网线损的物理分布机理[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (21) : 82-86.
BAO Hai, MA Qian. Physical distribution mechanism of network loss for power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (21) : 82-86.

[21] 王小君, 鲍海. 电力系统节点输电网损成本分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (13) : 120-124.
WANG Xiao-jun, BAO Hai. Node network loss cost analysis method in transmission system[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28 (13) : 120-124.

收稿日期: 2010-01-22; 修回日期: 2010-04-19

作者简介:

艾东平 (1981-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: dongping19810127@126.com

鲍海 (1968-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为电力系统分析与控制;

杨以涵 (1927-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为光学技术及其在电力系统中的应用以及电力系统分析与控制。

(上接第 99 页 continued from page 99)

LIU Zi-fa, GE Shao-yun, YU Yi-xin. Optimal reactive power dispatch using chaotic partical optimization algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (7): 53-57.

[7] 赵涛, 熊信银, 吴耀武. 基于混沌优化算法的电力系统无功优化[J]. 继电器, 2003, 31 (3) : 20-22.
ZHAO Tao, XIONG Xin-yin, WU Yao-wu. Reactive power optimization of power system based on chaos optimization algorithm[J]. Relay, 2003, 31 (3) : 20-22.

[8] 陈敏, 李泽军, 黎昂. 基于混沌理论的城市用电量预测研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (16) : 41-45.
CHEN Min, LI Ze-jun, LI Ang. Forecast research of urban electricity consumption based on chaos theory [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (16) : 41-45.

[9] 刘宝英, 杨仁刚, 李慧, 等. 基于混沌遗传算法的电力系统无功优化[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18 (5): 49-52.

LIU Bao-ying, YANG Ren-gang, LI Hui, et al. Reactive power optimization based on chaos genetic algorithm in electric power systems[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2006, 18 (5): 49-52.

[10] LEE K Y, PARK Y M, ORTIZ J L. A united approach to optimal real and reactive power dispatch[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and System, 1985, 104 (5): 1147-1153.

[11] WU Q H, CAO J Y, WEN J Y. Optimal reactive power dispatch using an adaptive genetic algorithm[J]. Int J Electric Power & Energy System, 1998, 20 (8): 563-569.

收稿日期: 2009-11-12; 修回日期: 2010-01-17

作者简介:

陈勇 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与优化规划; E-mail: cylf123@163.com

吕树河 (1970-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统运行与规划管理方面的研究;

杨丽徙 (1956-), 女, 教授, 博士, 研究方向为电力系统运行与规划。