

# 联营-双边混合交易模式下的阻塞费用分摊

杨右虹<sup>1</sup>, 杨宗权<sup>2</sup>, 潘永贺<sup>2</sup>, 张义金<sup>3</sup>

(1 吉林电力公司, 吉林 长春 130021; 2 东北电力大学电气工程学院, 吉林 吉林 132012;

3 安徽省宿州市供电公司, 安徽 宿州 234000)

**摘要:** 针对联营-双边混合交易模式的特点, 基于“论责分摊”的思想, 提出了一种基于潮流追踪计算阻塞影响因子的方法。根据该方法可将阻塞线路上的阻塞费用根据交易参与者定量阻塞责任的大小进行分摊。即首先利用约束分配系数将系统阻塞费用分摊给阻塞所在线路, 然后利用潮流追踪法得出各个市场成员对阻塞线路的利用份额, 最后将线路阻塞费用分配给所有市场成员。该方法不产生销售盈余, 给市场参与者提供了准确的经济信息。IEEE-14 节点系统算例结果显示, 该方法能够正确有效地分摊市场成员的阻塞费用。

**关键词:** 联营交易; 双边交易; 阻塞费用分摊; 潮流追踪

## Congestion cost allocation under pool and bilateral transactions mode

YANG You-hong<sup>1</sup>, YANG Zong-quan<sup>2</sup>, PAN Yong-he<sup>2</sup>, ZHANG Yi-jin<sup>3</sup>

(1. Jilin Electric Power Company, Changchun 130021, China; 2. School of Electric Power Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China; 3. Anhui Suzhou Power Supply Comply, Suzhou 234000, China)

**Abstract:** In view of mixed pool and bilateral markets, a new method based on liability is proposed to allocate the congestion cost among consumers and providers by power flow tracing theory. Each marketing participator pays for the congestion costs in proportion to its liability. In this method, firstly according to constraint allocation factor the congestion cost of power system is allocated to congested lines. Then using power flow tracing, the each market participant's utilization degree of congested lines are calculated. Finally, the congestion is allocated to all market participants. The proposed method eliminates the merchandising surplus, it provides correct economic signals to all the partners of power system. Calculation result of a IEEE-14 test system show that proposed method can allocate congestion cost among market participants correctly and effectively.

**Key words:** pool transaction; bilateral transaction; congestion cost allocation; power flow tracing

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)11-0050-04

## 0 引言

联营交易模式是指一个区域只有一个强制市场成员参与的集中的竞争市场。阻塞管理是电力运行部门的重要职能之一。双边交易模式不再强制电力市场成员供需双方在联营体内交易。绝大部分的电力交易都是由供需双方独立完成。联营-双边混合交易模式结合了这两种特征, 在这种模式下, 市场的自由度和灵活度都大大增强, 因此该模式成为目前国际上比较推崇的电力市场交易模式<sup>[1]</sup>。市场环境下消除阻塞的方法主要有基于输电网运行参数的技术型和基于交易计划调整的经济型方法<sup>[2]</sup>。在电力市场环境下合理的阻塞管理方法应不仅能够消除阻塞, 而且需要进行合理分摊。

目前阻塞定价的方法有节点电价法、附加电价

法、费用分摊法。节点电价法具有丰富的经济学含义, 这种方法购电方需要按照本地节点电价支付购电费, 产生的购售差额即交易盈余, 但缺点是收回的阻塞费用超过了系统实际阻塞费用, 电力用户承担了过多的电费。附加电价法, 最简单的附加电价法就是平均分摊法, 即将阻塞成本按照发电或负荷功率大小分摊给市场成员, 而不考虑网络约束对市场成员的影响<sup>[3]</sup>。虽然这种方法简单但其忽略了发电出力及其在电网中的相对地理位置对阻塞的影响。在该方法中阻塞费用全部由电力用户承担, 这样不完全合理。费用分摊法根据市场成员, 对阻塞的贡献大小来分摊阻塞费用较为合理, 且不产生交易盈余。

过去阻塞费用的计算一般是基于直流潮流模型进行, 没有考虑 P-Q 之间的耦合, 忽略了网损和

无功功率的影响<sup>[4]</sup>。本文将阻塞问题简化为一个交流最优潮流问题。用内点法进行最优潮流问题的求解,通过求解线路阻塞影子价格来确定阻塞费用在阻塞线路之间的分摊份额,提出了一种同时面向发电侧和负荷侧进行阻塞成本分摊的新方法,使阻塞成本的分摊更趋于合理。

## 1 阻塞费用的计算

在混合交易模式中双边交易的发电方与用电方自行安排交易,并向 ISO 提交交易时段,合同功率及发电机再调度报价信息。ISO 结合这些信息进行系统安全约束检验。如没有阻塞,则执行发电计划;如出现阻塞,则采用最优潮流或经济调度进行发电机再调度计算,以消除阻塞,必要时也可考虑消减合同功率。本文采用阻塞成本最小的优化求解模型。

目标函数:

$$\min F = \sum_i \Delta C_{Gi}^+ \Delta P_{Gi}^+ - \sum_i \Delta C_{Gi}^- \Delta P_{Gi}^- \quad (1)$$

约束条件:

$$\begin{cases} P_{Gi} - P_{Di} - V_i \sum_{j \in \Omega} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \\ Q_{Gi} - Q_{Di} - V_i \sum_{j \in \Omega} V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (3)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \quad (4)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (5)$$

$$P_{ij}^{\min} \leq P_{ij} \leq P_{ij}^{\max} \quad (6)$$

式中:  $P_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) - V_i^2 G_{ij}$

模型中等式约束为节点功率平衡方程式,不等式约束分别为发电机有功、无功、节点电压、线路潮流上下限约束。

## 2 阻塞费用在阻塞线路上的分摊

计算阻塞线路上的阻塞成本时,采用边际成本计算:

$$C_i = \frac{\partial C_T}{\partial P_i} \Delta P_i = \mu_i \Delta P_i \quad (7)$$

式中:  $\frac{\partial C_T}{\partial P_i}$  表示线路 Li 上单位功率所引起的成本,也就是阻塞线路的边际成本,在优化计算中,就是阻塞线路的拉格朗日乘子,线路无阻塞时为 0,  $\Delta P_i$  为阻塞消除前后阻塞线路 Li 上功率变化量。

由于  $\mu_i$  是边际量,据此计算各阻塞线路成本和可能与实际全网阻塞成本之和不相等,存在一个不平衡项。计算中才用下式进行计算<sup>[5]</sup>。

$$C_{Ti} = \frac{\mu_i \Delta P_i}{\sum \mu_i \Delta P_i} C_T \quad (8)$$

$$\beta_i = \frac{\mu_i \Delta P_i}{\sum \mu_i \Delta P_i} \quad (9)$$

式中:  $\beta_i$  称为约束分配系数。

## 3 基于潮流追踪方法的阻塞影响因子的求解

### 3.1 潮流追踪原理

潮流追踪<sup>[6]</sup>就是在特定运行状态下,通过潮流分析和计算明确发电机功率或负荷功率在输电元件中的分布情况,并度量它们对输电网络的使用程度。功率追踪是一种比较重要的潮流追踪算法<sup>[7]</sup>,该方法就是明确线路潮流是由哪些发电机提供的或由哪些负荷引起的。文献[8]提出的电流分解公理是其中重要的原则和前提。认为电流分量沿支路不变,电源或负荷对支路首末端利用份额相同,注入电流在同一节点各出线的电流分量与相应出线的总电流成比例。

### 3.2 阻塞费用在市场成员间的分配

阻塞管理是发电机再调度的过程,同时也涉及到负荷、交易、备用、无功功率等多方面的调整,阻塞费用就是在重新再调度过程中使阻塞线路潮流从阻塞状态调整到线路容量允许之内产生的。联营和双边交易模式下的市场成员所引起阻塞线路的潮流变化能够准确反映是谁导致了阻塞。为体现各市场成员对阻塞的贡献,本文采用市场成员在消除阻塞过程中引起潮流的变化量在阻塞线路潮流占的比例来分配阻塞费用。

$$C_{i,m} = \frac{\Delta P_{ki,m}}{\Delta P_{ki}} C_{Ti} \quad (10)$$

令  $FG_{(i)m} = \frac{\Delta P_{ki,m}}{\Delta P_{ki}}$  是电源  $m$  对阻塞线路  $i$  的利

用份额(影响因子),  $C_{i,m}$  是阻塞线路  $i$  中过载潮流中第  $m$  个电源所应分摊的费用,  $\Delta P_{ki,m}$  是第  $m$  个电源在阻塞线路  $i$  中功率越限量。

由上式(10)中可知,在阻塞线路  $i$  中,若某市场成员在消除阻塞中引起潮流变化量与支路变化量相同,则该市场成员承担全部的阻塞费用;如果多个市场成员共同引起阻塞时,则阻塞费用由多个市场成员共同承担。且  $\sum \frac{\Delta P_{ki,m}}{\Delta P_{ki}} = 1$ , 阻塞费用在市场成员之间分摊不存在交易盈余,能够体现阻塞成本分摊的公平性。

发电厂和电力用户共同构成了电力市场的主体,它们共同按需求平等使用电力资源,因此本文将阻塞成本在发电侧和负荷侧平均分配。电源  $m$  所

分摊的费用为:

$$C_{Tm} = \sum_{i=1}^{kl} C_{i,m} * \frac{1}{2} \quad (11)$$

$$\Delta P_{ki,m} = P_{ki,m} - P_{ki,m}' \quad (12)$$

式中:  $P_{ki,m}$ ,  $P_{ki,m}'$  分别是阻塞消除前后线路  $i$  中电源  $m$  给线路  $i$  中提供的有功功率,  $kl$  是阻塞线路的总支路数,  $P_{ki,m}$ ,  $P_{ki,m}'$  可以通过潮流追踪获得。

$$P_G = AG * P_n \quad (13)$$

$$P_k = CG * P_n \quad (14)$$

式中:  $P_G$  为各节点电源功率矢量,  $P_n$  是各节点总输入功率矢量,  $P_k$  是支路功率矢量。结合 (13), (14) 得:

$$P_k = CG * AG^{-1} * P_G \quad (15)$$

令  $B_G = CG * AG^{-1}$ , 则第  $m$  个电源流过支路  $k$  的有功功率为:

$$P_{(i)m} = B_{G(i)m} * P_{Gm} \quad (16)$$

同理可获得阻塞费用在负荷侧的分摊。

## 4 算例分析

### 4.1 阻塞费用在线路上的分摊

以 IEEE-14 节点为仿真算例, 系统参数见文献[9], 其中包括 5 台发电机, 20 条线路, 14 个节点。系统的网络拓扑见图 1。

假设该系统电力市场交易模式是联营-双边混合交易模式, 存在两个双边交易  $T1 = \{1, 14, 100\}$ ,  $T2 = \{2, 10, 50\}$ 。

基态潮流计算得线路 1-5、5-4、7-9 发生了阻塞。以阻塞成本最小为目标函数进行优化潮流计算可得系统阻塞成本为 3 100.3, 采用边际成本计算得各阻塞线路所应分摊费用为: 2 478.290 9、477.606 8、144.402 3

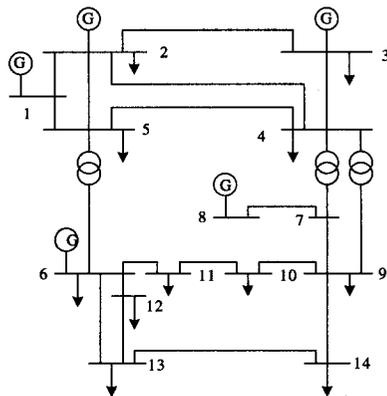


图 1 IEEE-14 节点系统图

Fig.1 IEEE-14 node power system example

### 4.2 阻塞费用在市场成员间的分摊

表 1、表 2 分别显示了阻塞费用在发电侧和负荷侧的影响因子, 表 3 显示了阻塞费用在市场成员之间的分摊。

表 1 发电机间的阻塞影响因子

Tab.1 Factors of liability among the generators

阻塞线路 \ 发电机	1-5	5-4	7-9
GEN1	1.000 0	0.639 9	0.390 0
GEN2	0	0.360 1	0.216 0
GEN5	0	0	0.393 9

表 2 负荷间的阻塞影响因子

Tab.2 Factors of liability among the loads

阻塞线路 \ 负荷	1-5	5-4	7-9
Load3	0.094 8	0.167 2	0
Load4	0.263 2	0.464 2	0
Load5	0.086 2	0	0
Load6	0.077 0	0	0
Load9	0.162 4	0.286 5	0.777 2
Load10	0.060 8	0.014 6	0.039 7
Load11	0.024 3	0	0
Load12	0.042 3	0	0
Load13	0.094 1	0	0
Load14	0.094 9	0.067 5	0.183 1

表 3 阻塞费用在市场成员之间的分摊

Tab.3 The allocation of congestion cost among the market members

阻塞线路 \ 市场成员	1-5	5-4	7-9	总分摊费用
GEN1	1 239.145 5	152.810 3	28.158 4	1420.1142
GEN2	0	85.993 1	15.595 4	101.588 5
GEN5	0	0	28.440 0	28.44
Load3	117.471 0	39.927 9	0	157.398 9
Load4	326.143 1	110.852 5	0	436.995 6
Load5	106.814 3	0	0	106.814 3
Load6	95.414 2	0	0	95.414 2
Load9	201.237 2	68.417 2	56.114 7	325.769 1
Load10	75.340 0	3.486 5	2.866 4	81.692 9
Load11	30.111 2	0	0	30.111 2
Load12	52.415 9	0	0	52.415 9
Load13	116.603 6	0	0	116.603 6
Load14	117.594 9	16.119 2	13.220 0	146.934 1

从表 1 和表 2 中可以看出阻塞费用在发电侧和负荷侧的影响因子之和为 1, 本文方法可以将阻塞

费用在发电侧分摊,也可以在负荷侧分摊,而且不存在交易盈余。

## 5 结语

本文针对联营-双边混合交易模式的特点,提出了一种阻塞费用的分摊方法,该方法根据市场成员对阻塞线路的利用份额进行分摊,体现了分摊费用的公平性和合理性。算例结果显示,本文提出的阻塞费用分摊方法是合理有效的。

## 参考文献

- [1] 刘路登,张粒子,杨静. 电力市场联营交易-双边交易模式下的阻塞费用分摊[J]. 电网技术, 2006, 30(15): 50-53.  
LIU Lu-deng, ZHANG Li-zi, YANG Jing. Congestion Cost Allocation Under Pool-bilateral Transaction Mode[J]. Power System Technology, 2006, 30(15): 50-53.
- [2] 汤奕,袁飞,周霞,等. 基于电气剖分方法的阻塞费用分摊[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 14-16.  
TANG Yi, YUAN Fei, ZHOU Xia, et al. An Allocation Method of Congestion Costs Based on Electrical Dissection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 14-16.
- [3] 王庆红,胡国根. 消除基于实时电价理论电力市场中交易盈余的一种新方法[J]. 电网技术, 2000, 24(12): 27-31  
WANG Qing-hong, HU Guo-gen. A New Approach of Sliminating Merchandise Surplus Due to Spot Pricing of Electricity[J]. Power System Technology, 2000, 24(12): 27-31.
- [4] 苏健,彭建春,江辉,等. 基于交流潮流的双边交易模式下阻塞费用分摊[J]. 继电器, 2007, 35(5): 41-44.  
SU Jian, PENG Jian-chun, JIANG Hui, et al. A New Method for Congestion Cost Allocation Considering AC Power Flow Under Bilateral Transaction[J]. Relay, 2007, 35(5): 41-44.
- [5] 肖宏飞,李卫东,等. 基于潮流变化量的解析阻塞成本分摊[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(4): 72-78.  
XIAO Hong-fei, LI Wei-dong. Fast Allocation Relief Cost Based on Flow Changes in Congested Branches[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(4): 72-78.
- [6] 刘娇,唐涛,李卫东,等. 考虑双边交易功率指向的潮流追踪算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 53-58.  
LIU Jiao, TANG Tao, LI Wei-dong, et al. Research on Power Flow Tracing Method Considering the Direction of Bilateral Contract Power Flows [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 53-58.
- [7] 彭建春,江辉,成连生. 复功率电源的支路功率分量理论[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(1): 1-5.  
PENG Jian-chun, JIANG Hui, CHENG Lian-sheng. Theory of Branch Complex Power Component Induced by Individual Generator[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(1): 1-5.
- [8] 王锡凡,王秀丽. 电力市场过网费的潮流分析基础—输电设备利用份额问题[J]. 中国电力, 1998, 31(7): 31-34.  
WANG Xi-fang, WANG Xiu-li. Fundamental Analysis on Wheeling Cost of Power Flow—a Problem of Sharing Cost of Transmission Facilities[J]. Electric Power, 1998, 31(7): 31-34.
- [9] 张伯明,陈寿孙. 高等电力网络分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

收稿日期: 2008-07-09; 修回日期: 2008-08-28

作者简介:

杨右虹(1962-),男,高级工程师,从事电力市场及电力系统运行方面的研究;

杨宗权(1983-),男,研究生,从事电力市场方面的研究;

E-mail: yzq688@yahoo.com.cn

潘永贺(1980-),男,研究生,从事电力市场方面的研究。

(上接第 44 页 continued from page 44)

ZHOU Zhi-hua, CAO Cun-gen. Artificial Neural Networks and Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.

[14] Mohamed E E. Electric Power Applications of Fuzzy Systems[M]. IEEE Press, 1998.

[15] 包黎昕,张步涵,段献忠. 电压稳定裕度指标分析方法综述[J]. 电力系统自动化, 2004, 23(7): 57-64.

BAO Li-xin, ZHANG Bu-han, DUAN Xian-zhong. A Summary of the State of the Art of Voltage Stability Margin Indices[J]. Automation of Electric Power Systems,

2004, 23(7): 57-64.

收稿日期: 2008-07-08; 修回日期: 2008-07-24

作者简介:

崔峰(1982-),男,硕士研究生,从事模糊神经网络控制及其电力系统电压稳定控制研究; E-mail: cuifeng304@163.com

齐占庆(1935-),男,教授,从事智能控制、电力拖动、计算机控制研究;

姜萌(1983-),男,工程师,从事工业用电安全保护、电压控制应用。