

文章编号:1000-582X(2007)03-0039-03

# 基于潮流输电权的阻塞管理分析\*

史江凌,俞集辉,张 谦,彭光金

(重庆大学 电气工程学院高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆 400030)

**摘 要:**在电力市场竞争环境下,为了经济有效地消除输电网络阻塞,将物理输电权(FGR)引入实用的阻塞管理.通过求线路利用份额来确定发电商对阻塞的影响,再按比例分配原则进行节点电价计算,基于此进行相应的FGR费用结算.独立的系统操作员(ISO)将以保证FGR持有者传输计划的原则进行调度.这种方法在经济有效地消除阻塞的同时,充分调动了发电商参与市场调节的积极性,提高了发电商主动规避阻塞的能力,有效地稳定了电价.通过实例证明了这种引入FGR的阻塞管理的可实时性.

**关键词:**电力市场;阻塞管理;潮流输电权

**中图分类号:**TM731

**文献标识码:**A

电力市场中网络的潮流分布不仅决定于网络结构,而且还取决于各市场参与者的电力交易.电力交易中独立经济实体的市场参与者都是以利润最大化为目标,所以交易过程中会出现由于输电线路传输能力的限制而不能满足交易需求的情况,即输电线路阻塞.传统的电力系统的垂直一体化调度已经不能适应电力市场的运营需要,所以经济有效的阻塞管理变得至关重要.

以文献[1]为代表的直接采用最优潮流方法消除阻塞,其算法精简,缓解阻塞效果明显.这种方法主要是以技术指标为依据,所以造成调度实施的经济清晰性欠佳,无法向用户解释清楚各节点电价差异的原因,不能有效激励市场成员事前规避阻塞.引入市场机制,就要使市场参与者有选择性地参与竞争.

输电权的引入被认为是运用市场机制、建立产权机制的较好的方法.以Hogan为代表的学者提出了金融输电权的概念<sup>[2]</sup>,这种金融输电权只是一种赔偿性的金融工具,其对阻塞预先不能进行预警,而且这种点对点输电权的市场流通性欠佳.对于市场参与者来说,阻塞费用是事后确定的<sup>[3]</sup>.

Chao H等提出了物理输电权的定义<sup>[4]</sup>.这种物理输电权是发电商通过市场竞争,获得使用传输线路而不会因阻塞使交易受到被动调整的权利.

笔者将物理输电权的思想引入一种实用的阻塞管理方法,使得调度过程简单有效.在提高发电商参与市

场竞争积极性的同时,避免了阻塞给发电商带来的费用不确定.

## 1 潮流的输电权与线路的利用额

1) 基于潮流的输电权 FGR 实际地定义和分配了使用输电端口的输电容量的权利. ISO 预测或根据运行情况确定容易出现阻塞的线路(即 Flow Gate, 缩写为 FG), 它可以是某条线路, 也可以是网络的一个割集<sup>[5]</sup>. 定义之后向各发电商拍卖输电权. 在阻塞发生的情况下, 如果想要避免阻塞对其交易计划的影响, 发电商就需要获得与其交易相关 FG 的 FGR.

在市场结算时, 对于 FGR 完全覆盖(即购买了所有必需的 FGR)的交易, 发电商不必支付任何阻塞费用. 由于这种特性, 使得其对于阻塞的影响是事前确定的. FGR 具有如下的功能<sup>[4]</sup>: 有权使用其获得输电容量; 有权排斥他人对其输电容量的使用.

2) 按使用比例分配原则确定阻塞的责任, 是目前一种比较合理的方式. 笔者采用求线路利用份额<sup>[6-7]</sup>的方法来确定发电商对输电线路 FG 的利用额.

对于一般  $n$  个节点和  $b$  条支路的系统潮流分布, 有

$$P_g = AP_n, \quad (1)$$

其中:  $P_g$  和  $P_n$  分别为节点电源功率矢量及节点的总输入功率矢量;  $A$  为  $N \times N$  阶方阵.

\* 收稿日期:2006-11-14

作者简介:史江凌(1981-),男,重庆大学硕士研究生,主要从事电力市场阻塞管理研究.俞集辉,男,教授,博士生导师,电话(Tel.):023-65112230;E-mail:yujihui@cqu.edu.cn.

$$a_{ji} = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ P_{ji}/P_i & [ji \in \Gamma_-(i)] \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases}, \quad (2)$$

其中:  $ji \in \Gamma_-(i)$  表示支路  $ji$  为节点  $i$  的进线;  $P_{ji}$  为线路  $ji$  上的潮流;  $P_i$  为  $i$  节点的总输入功率.

$$P_b = CP_n, \quad (3)$$

$P_b$  为支路功率矢量, 将式(1)代入式(3)有

$$P_b = CA^{-1}P_g = BP_g, \quad (4)$$

$B = CA^{-1}$  即为节点电源对系统支路的有功潮流贡献因子矩阵. 则节点  $i$  的电源对支路  $k$  的贡献为:

$$P_{(k)i} = b_{(k)i}P_{gi}. \quad (5)$$

## 2 潮流输电权的阻塞管理

传统的阻塞调度多是以技术调度为主, 这种方法使得发电商在阻塞发生后处于被动的地位, 市场参与者不能自由地进出市场. 基于潮流的可交易输电权 FGR 为市场参与者提供了规避阻塞风险的工具, 同时也提供了一种主动参与阻塞管理的权利.

1) 市场报价. 各发电机组同时就电力进行报价, 通过竞价产生交易. 竞价失败的发电商保留其报价作为阻塞调度容量报价参考.

ISO 对发电商提出的计划进行可行性测试: 如果没有阻塞出现, 则全网电价一致. 如果预测到线路  $k$  (如图 1) 有阻塞出现: 节点  $i$  的上网电价为  $p_i$ , 由线路  $k$  注入节点  $j$  的电量为  $P_i$ ; 节点  $j$  的参考电价为  $p_{j,0}$ , 其节点上发电商承担的电量为  $P_j - P_i$ .

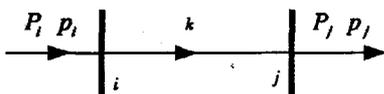


图 1 线路  $k$  的 FGR <sub>$k$</sub>  的计价

采用按比例原则计算边际节点电价, 这种计算方式可以保证阻塞情况下节点电价的合理上浮, 并且有效地避免交易盈利的产生<sup>[8]</sup>.

$$p_j = p_i \times \frac{P_i}{P_j} + p_{j,0} \times \frac{P_j - P_i}{P_j}. \quad (6)$$

在预调度后 ISO 负责向各发电商拍卖与其相关的 FGR. FGR 底价是根据 ISO 针对不同发电商购买 FGR 进行比较取最小值得到. 则从节点  $i$  到节点  $j$  的 FGR 底价为:

$$P_{FC,k0} = p_j - p_i, \quad (7)$$

其中  $p_j$  为节点  $j$  的电价;  $p_i$  为节点  $i$  的电价. 发电商对  $FC_k$  的利用额  $P_{FC,k}$  定义为:

$$P_{FC,k} = b_{(k)} \times P_g, \quad (8)$$

其中  $b_{(k)}$  为发电商注入功率在线路  $k$  上的利用份额. 购买线路  $k$  的 FGR 成本为:

$$C_{FGR,k} = p_{FC,k} \times P_{FC,k} \times \alpha_k, \quad (9)$$

其中  $p_{FC,k}$  为竞价后线路  $k$  的 FGR 的价格;  $\alpha_k$  ( $0 \leq \alpha_k \leq 1$ ) 为发电商对于线路  $k$  所愿意覆盖阻塞费用的百分比.

2) 有 FGR 的阻塞调度过程. 在实时市场电力交割过程中, 如果阻塞发生且发电商已通过竞价购买了相应的线路 FGR, 则 ISO 将通过调整其他发电商的交易量来保证 FGR 持有者权利得以实施.

3) 阻塞费用定义为用户侧购电费用增加.

$$F = \sum_i (p \times P_i) + \sum_u (p' \times P_u) - \sum_{i+u} p \times (P_i + P_u), \quad (10)$$

其中:  $\sum_{i+u} (P_i + P_u)$  为系统总的交易量;  $P_i$  和  $p$  分别为阻塞调度后仍由原来发电商承担的发电量和电价;  $P_u$  和  $p'$  分别为处于“负荷口袋”中, 电量竞价上网失败, 但后来被调度出力的发电商承担的发电量和电价.

4) 阻塞费用的分摊. 购买了输电权的发电商按其购买的 FGR 范围覆盖其阻塞成本. 由于网络约束产生偏差部分仍旧正常收费.

笔者认为发电商为了避免阻塞导致的计划合同被破坏, 将以购买相应 FGR 的成本为代价, 即购买 FGR 所得到的是 FGR 的权利, 只要 FGR 权利得到保证, 就不应得到额外的经济收益. 而阻塞线路上没有购买 FGR 的发电商在阻塞调度时计划合同已经受到了破坏, 所以不应另收取其阻塞费用.

## 3 实例分析

文中以 3 节点系统为例 (如图 2), 不计网损.

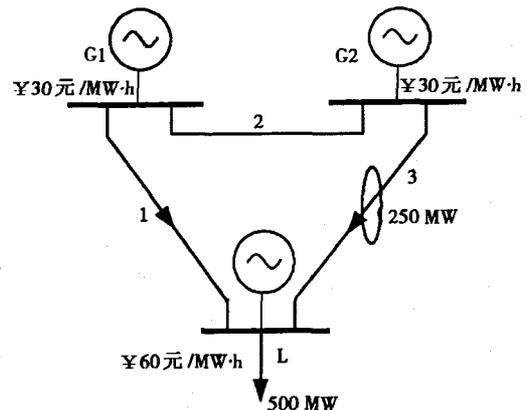


图 2 3 节点系统图

假设市场参与者同时就电力报价, 以市场出清价 30 元/MW·h 产生交易: G1 向 L 提供 300 MW 电量,

G2 向 L 提供 200 MW 电量. G3 由于成本较高竞价失败,保留其报价 60 元/MW·h 作为阻塞备用容量参考价格(表 1).

表 1 发电商报价产生交易计划

参与者	上网电价/元·MW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>	计划电量/MW
G1	30	300
G2	30	200
G3	60	0

说明:发电商成本 ISO 是未知的.

线路 3 的传输极限为 250 MW,在实时市场开始前,ISO 通过检测得到线路潮流和线路利用额(表 2 和表 3). 定义线路 3 为 FG.

表 2 计划交易的机组出力与潮流 MW

参与者	计划交易	线路名称	线路潮流
G1	300	线路 1	220
G2	200	线路 2	80
G3	0	线路 3	280

表 3 计划交易中机组与负荷对线路的利用额 MW

线路名称	G1	G2	L
线路 1	220	0	220
线路 2	80	0	80
线路 3	80	200	280

ISO 在预调度后根据线路潮流和线路利用额(表 4 和表 5)由式(6)计算得到节点 3 的电价为:

$$P_3 = 30 \times \frac{250}{287.5} + 60 \times \frac{37.5}{287.5} = 33.9(\text{元}).$$

ISO 组织发电商就 FG(线路 3)的 FGR 进行竞价,竞价底价由式(7)得 3.9 元/MW·h. 现假设 G1 通过竞价以 5 元/MW·h 的报价购买 80 MW 的 FGR 覆盖其计划交易;ISO 将调度“负荷口袋”中的 G3 以其阻塞备用容量发电.

表 4 调整交易后的机组出力与潮流 MW

参与者	计划交易	线路名称	线路潮流
G1	300.0	线路 1	212.5
G2	162.5	线路 2	87.5
G3	37.5	线路 3	250.0

表 5 调整交易后机组与负荷对线路的利用额 MW

线路名称	G1	G2	L
线路 1	212.5	0	212.5
线路 2	87.5	0	87.5
线路 3	87.5	162.5	250.0

由式(10)得总的阻塞费用为:

$$F = 30 \times (300 + 162.5) +$$

$$33.9 \times 37.5 - 30 \times 500 = 146.25(\text{元}).$$

由于网络约束使得 G1 对线路 3 的利用额超过 FGR 的覆盖范围 7.5 MW(表 5),ISO 对其收费为:

$$C_{G1} = 146.25 \times \frac{7.5}{162.5 + 7.5} = 6.45(\text{元}), \text{并注入阻塞管}$$

理基金池.

最终 ISO 向用户结算时,收取 146.25 元作为阻塞管理费用. 其中 139.8 元用于支付给“负荷口袋”中参与阻塞调度的发电商; 6.45 元的费用偏差最终将分摊在用户上,其费用已先由 G1 支付,所以将返还给 G1.

## 4 结论

1) 采用 FGR 进行阻塞管理,使得各发电商在阻塞发生时不是被动地接受调度,而是积极主动地选择 FGR 来规避阻塞. 有利于市场参与者充分竞争的原则.

2) 利用输电线路利用额来确定各发电商对 FG 的使用程度,也即其对阻塞的责任,基于此确定 FGR 权利覆盖范围,其方法简单、透明,符合电力市场公平、公开、公正的要求,而且易于市场参与者所接受.

## 参考文献:

- [1] SINGH H, HAO S. Transmission congestion management in competitive electricity markets [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, 13(2): 672-680.
- [2] HOGAN W W. Financial transmission right formulations [M]. Harvard: Harvard University, 2002.
- [3] 张永平,倪以信. 输电阻塞管理的新方法评述(二): 金融性输电权及与 FGR 之比较[J]. 电网技术, 2001, 25(9): 16-20.
- [4] CHAO H, STRPHEN C P, SHMUEL O, et al. Flow-based transmission rights and congestion management [J]. Electricity Journal, 2000, 13(8): 1-38.
- [5] 方军,张永平. 输电阻塞管理的新方法评述(一): 基于潮流的可交易输电权[J]. 电网技术, 2001, 25(7): 4-8.
- [6] BIALEK J W. Tracing the flow of electricity [J]. IEE Proceeding, Generation Transmission Distribution, 1996, 143(4): 313-320.
- [7] 王锡凡,陕斌,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.
- [8] BIALEK J W. Elimination of merchandise surplus due to spot pricing of electricity [J]. IEE Proceeding, Generation Transmission Distribution, 1997, 144(5): 399-405.

(下转第 46 页)

- [11] 丁国良, 张春路. 基于模型的制冷系统智能化仿真研究[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(5): 552-554.
- [12] CHAKRABOTTY D, PAL N R. Integrated feature analysis and fuzzy rule-based system identification in a neuro-fuzzy paradigm systems [J]. IEEE Trans Syst, Man, Cybern, Part B, 2001, 31(3): 391-400.
- [13] 刘福才, 关新平, 裴润. 一种基于模糊规则的非线性系统快速模糊辨识方法[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(5): 547-550.
- [14] TAKAGI T, SUGENO M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control [J]. IEEE Trans Syst, Man, Cybern, 1985, 15(1): 116-130.
- [15] NIE J H, LEE T H. Rule-Based Modeling: Fast Construction and Optimal Manipulation [J]. Part A, IEEE Trans, Syst, Man, Cybern, 1996, 26(6): 728-738.
- [16] 黄艳新, 等. 基于熵聚类模糊神经网络味觉信号识别系统的研究[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(3): 414-419.
- [17] YAO J, DASH M, TAN S T, et al. Entropy-based fuzzy clustering and modeling [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 113(3): 381-388.

## Fuzzy Identification on Mathematical Model of Dynamic Process of Evaporator in Refrigeration System

CHEN Hong, DENG Liang-cai, LV Fan

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Founding the mathematic model of refrigeration system's dynamic process is the basis of realizing the optimal control of refrigeration machines. Refrigeration evaporator is a kind of two-phase flow and heat exchange with complex process. For its obvious nonlinearity and uncertainty, it is difficult to describe by accurate theoretical model. This paper partitions the input data into some clusters by entropy method and competitive learning algorithm, then the on-line fuzzy identification of dynamic process mathematical model of evaporator is achieved by utilizing ultimate parameter which is ascertained by the recursive least-square (RLS). The simulation results show that fuzzy identification method is effective for on-line model process of evaporator in refrigeration system. The model has not only superior identification precise, but also quite perfect generalizable performance and traceable ability.

**Key words:** refrigeration system; evaporator; fuzzy rules; on-line identification

(编辑 陈移峰)

(上接第41页)

## Congestion Management Analysis Based on Flow Gate Rights

SHI Jiang-ling, YU Ji-hui, ZHANG Qian, PENG Guang-jin

(Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Electrical Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** In order to alleviate the congestion economically and effectually under the competitive circumstance of electricity market, an applied method of congestion management, which based on FGR (Flow Gate Rights), has been proposed. The share of line has been used to define the power plant's influence on congestion. The proportional principle has been used to compute local marginal price. Then they are both used to balance the charge of FGR. The ISO (Independent System Operator) will dispatch the system to meet the FGR holders' rights. This method is used to alleviate congestion effectually, activate power plants to take part in scheduling positively, and level off the price. An instance is used to illustrate the feasibility of this method with FGR.

**Key words:** electricity market; congestion management; flow gate rights

(编辑 李胜春)