

Pool 模式下基于报价的传输阻塞管理

汤玉东^{1,2}, 郝君², 吴军基³, 邹云¹

(1. 南京理工大学自动化系, 江苏 南京 210094; 2. 华东交通大学, 江西 南昌 330013;

3. 南京理工大学动力学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 对 pool 模式下的传输阻塞管理进行了研究。首先分析了社会福利最大化的传输阻塞管理方法的不足之处: 报价曲线和成本曲线的差别使得模型中的优化目标难以实现, 产生阻塞盈余。在此基础上, 提出了基于报价的传输阻塞管理模型, 算例分析表明, 和最大化社会福利的阻塞管理方法相比, 新方法能产生较多的市场交易量, 且能消除阻塞盈余的产生, 为电力市场下的阻塞管理提供了一条新思路。

关键词: 电力市场; 阻塞管理; 边际成本

中图分类号: TM73, F123.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2004)09-0012-04

0 引言

随着电力工业改革的深入, 开放的电力市场逐步建立起来, 为了创造一个公平的市场竞争环境, 输电网络的开放成为一个必然结果。输电网络的有限传输容量和传输损失是输电网络的两大基本特征, 输电网络的有限传输容量就有可能导致传输阻塞。在自由竞争的电力市场下, 如何公平的进行阻塞管理成为输电网络开放必须解决的问题之一, 这方面有许多的研究工作^[1-5]。

大体来说, 现有的传输阻塞管理可以归为两大类: 直接法和间接法。

直接法是电力传输调度机构针对发生阻塞的线路, 直接调整交易达到消除阻塞现象。灵敏度法和基于报价的再调度法都属于此类方法。该方法不考虑调整功率的经济性, 仅仅考虑系统的安全稳定运行, 即不超越线路的传输极限。而市场经济中最重要的一条原则是公平性, 因此该方法只适用于实时平衡市场的线路阻塞管理或者紧急情况下(某条支路发生故障, 导致线路发生阻塞)的阻塞管理。

间接法就是根据“实时电价”原理, 利用最优潮流计算程序计算出各节点的电价, 并确定阻塞成本(阻塞电价), 使利益冲突双方都能得到经济激励来间接地消除阻塞。THOMAS W. GEDRA 提出了出现传输阻塞时阻塞成本和节点电价的计算方法, 并探讨了采用传输阻塞合同(TCC)来消除阻塞对交易双方收益的影响^[1]; R. S. FANG和 A. K. DAVID 针对电力库和双边/多边交易同时存在的市场环境,

提出了几种削减策略, 并引入了附加费(willingness-to-pay)的概念^[2]; 任震老师等讨论了在发生阻塞时的节点定价问题, 并提出了在不同交易下解决传输阻塞的措施^[4]。上述研究工作的基本模型中的优化目标都是最大化社会福利(最小化系统运行成本)。文献[5]在分析上述阻塞管理模型缺陷的基础上建立了以最大化交易量为优化目标的阻塞管理模型, 但是该模型的运用前提是需要知道各市场参与者的运行成本, 而在电力市场的运营过程中, 往往不知道各市场参与者的成本情况, 只能根据各自的报价进行调度、管理, 因此需要结合电力市场的运营实际作进一步的研究工作。

本文首先分析了社会福利最大化的传输阻塞管理方法的不足之处, 然后在文献[5]研究工作的基础上, 提出了基于报价的传输阻塞管理模型。算例分析表明, 和最大化社会福利的阻塞管理方法相比, 新方法能产生较多的市场交易量, 且能消除阻塞盈余的产生, 为电力市场下的阻塞管理提供了一条新思路。

1 最大化社会福利的传输阻塞管理机理模型及其分析

在只考虑调整节点有功功率的情况下, Pool 模式下最大化社会福利的阻塞管理调度的机理模型为:

$$\min z = \sum_i c_i(P_{g,i}) - \sum_j j(P_{l,j}) \quad (1)$$

$$s. t. \begin{cases} G(P_{g,i}, P_{l,j}) = 0 \\ |L_k| \leq L_k \\ P_{g,i} \leq \underline{P}_{g,i} \leq \overline{P}_{g,i} \\ P_{l,j} \leq \underline{P}_{l,j} \leq \overline{P}_{l,j} \\ \underline{V}_i \leq V_i \leq \overline{V}_i \end{cases}$$

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60074007)

式中: $c_i(P_{g,i})$ 是节点 i 发电机的成本函数; $j(P_{l,j})$ 是节点 j 负荷的效用函数; L_k 为支路 k 的有功功率; \bar{L}_k 为支路 k 的最大传输容量; $\underline{P}_{g,i}$ 是节点 i 发电机的最小出力限额; $\bar{P}_{g,i}$ 为节点 i 发电机的最大出力限额; $\underline{P}_{l,j}$ 为节点 j 的最小负荷限额; $\bar{P}_{l,j}$ 为节点 j 的最大负荷限额; \underline{V}_i 为节点 i 电压的最小限额; \bar{V}_i 为节点 i 电压的最大限额。

第一个约束条件是保证系统在调整后满足潮流方程,既可用直流潮流也可用交流潮流模型来校验;第二、三、四个约束条件分别为保证调整后的各线路功率、各节点出力和各节点负荷在允许的范围内;最后一个约束条件为节点电压约束,只在采用交流潮流模型时起作用。

在无传输损失的情况下,按上述模型调度一定满足:

1) 在发电功率限额内的任意两个节点电厂的边际成本之差是此节点间线路的单位阻塞成本。

2) 在节点负荷限额内的任意两个节点负荷的边际效用之差是此节点间线路的单位阻塞成本。

3) 在 2) 中任意一个节点负荷的边际效用与 1) 中任意一个节点电厂的边际成本之差是此节点间线路的单位阻塞成本。

从上可以看出,在不考虑各发电机功率和用户负荷的上下限制的前提下,且不存在阻塞的情况下,系统中任意一个电厂的边际成本和任意一个节点负荷的边际效用相等,按最大化社会福利进行阻塞管理确实可以获得社会资源的最优配置。然而,在开放的电力市场环境下,上述模型存在以下不足:

电力工业打破垄断,发、输、配分开,各自成为独立的法人实体,发电厂和负荷竞价上网,采用各种报价策略来获取自身的最大利润,因而,各方的报价曲线和成本曲线必然存在着很大的区别,因此,上述阻塞管理模型优化系统资源配置、取得最大社会效益的优化目标无法实现。

传输调度机构是一个非盈利性的调度组织,因此,在电力市场的传输调度模型中应着重考虑的是如何公平地调度且最大程度地满足用户的需求。

发电机功率和用户负荷的上下限制往往使得系统的资源没有得到最优配置(因为受到上限限制的机组的边际成本要小于市场价格,故市场价格要大于社会必要劳动时间产生的价格,因此此时系统的资源没有得到充分的利用)。

按上述模型进行阻塞管理,会产生由阻塞引

起的交易盈余。

因此,需要对 Pool 模式下的阻塞管理进行进一步的研究。

2 基于报价的传输阻塞管理模型

基于报价的传输阻塞管理模型以市场交易量为优化目标、以电力库交易收入非负来保证调度的公平性,可用下面的数学模型来表示:

$$\max P = \sum_i P_{g,i} \quad (2)$$

$$s. t. \begin{cases} G(P_{g,i}, \underline{P}_{l,j}) = 0 \\ |L_k| \leq \bar{L}_k \\ \underline{P}_{g,i} \leq P_{g,i} \leq \bar{P}_{g,i} \\ \underline{P}_{l,j} \leq P_{l,j} \leq \bar{P}_{l,j} \\ \underline{V}_i \leq V_i \leq \bar{V}_i \\ \sum_j (K_{l,j} \cdot P_{l,j} + b_{l,j}) \cdot P_{l,j} - \sum_i (K_{g,i} \cdot P_{g,i} + b_{g,i}) \cdot P_{g,i} = 0 \end{cases}$$

其中: $l_j = K_{l,j} \cdot P_{l,j} + b_{l,j}$ 为节点 j 的需求报价函数; $g_i = K_{g,i} \cdot P_{g,i} + b_{g,i}$ 为节点 i 的供给报价函数。

在无传输损失的情况下,按上述模型进行调度一定满足:

在发电功率限额内的任意两个节点电厂的成本(按报价得到的成本)之差是此节点间线路的单位阻塞成本。

在节点负荷限额内的任意两个节点负荷的效用(按报价得到的效用)之差是此节点间线路的单位阻塞成本。

体现了公平调度的原则。模型(2)中最后一个约束方程能保证调度遵循最低竞价优先发电的原则和电力库交易的顺利进行。在公平且充分竞争的市场机制下,市场参与者自身都会采用各种策略来最大化自身的利益,从而使得整个系统资源尽可能的合理配置。

3 算例分析

一个三节点电力系统模型^[1]如图 1 所示。

此三节点电力系统的参数如下:

节点 3 的需求函数为: $P_3(\cdot) = 0.2 \cdot \cdot - 80$; 节点 1 的成本特性为: $F_1(P_i) = (P_i)^2 + 100 \cdot P_i + 1000, P_i > 0$; 节点 2 的成本特性为: $F_2(P_i) = (3/4) \cdot (P_i)^2 + 100 \cdot P_i + 1000, P_i > 0$; 为了方便讨论,我们假设用户负荷和电厂功率没有上下限制。

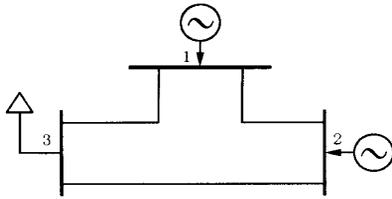


图 1 一个三节点的电力系统
Fig. 1 Three-bus power system

线路特性为：

$$b_{12} = - 0.5 \text{ pu}; b_{13} = - 0.5 \text{ pu}; b_{23} = - 3 \text{ pu}$$

$$P_{12\max} = 8; P_{13\max} = ; P_{23\max} =$$

在这个算例中,忽略功率损失,电压角的差异很小,各节点的电压大小都近似认为是 1.0 pu。在这样的假设下,每一条线路的无功为零。从而线路的有功可用下式表示：

$$P_{i,j} = - b_{i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)$$

令 θ_1 为参考电压角,且令 $\theta_1 = 0$,则：

$$P_{12} = - 1 \cdot \theta_2, P_{23} = 3 \cdot (\theta_2 - \theta_3),$$

$$P_{13} = - (1/2) \cdot \theta_3$$

每一个节点的流出功率为 P_i ：

$$P_i = \sum_j P_{i,j}$$

因此可得：

$$P_1 = - 1 \cdot \theta_2 - (1/2) \cdot \theta_3, P_2 = 4 \cdot \theta_2 - 3 \cdot \theta_3$$

$$P_3 = - 3 \cdot \theta_2 + (7/2) \cdot \theta_3$$

则可分别建立阻塞管理模型如下：

最大化社会福利阻塞管理模型(最小化系统运行成本)：

$$\min z = (F_1(P_1) + F_2(P_2) - F_3(P_3)) \quad (3)$$

$$s. t. \begin{cases} P_1 = - \theta_2 - (1/2) \theta_3 \\ P_2 = 4 \theta_2 - 3 \theta_3 \\ P_3 = - 3 \theta_2 + (7/2) \theta_3 \\ |P_{12}| \leq P_{12\max} \\ |P_{23}| \leq P_{23\max} \\ |P_{13}| \leq P_{13\max} \end{cases}$$

基于报价的传输阻塞管理模型(最大化电力交易)：

$$\min p_3 \quad (4)$$

$$s. t. \begin{cases} P_1 = - \theta_2 - 0.5 \theta_3 \\ P_2 = 4 \theta_2 - 3 \theta_3 \\ P_3 = - 3 \theta_2 + 3.5 \theta_3 \\ |P_{12}| \leq P_{12\max} \\ |P_{23}| \leq P_{23\max} \\ |P_{13}| \leq P_{13\max} \end{cases}$$

$$(K_3 \cdot P_3 + b_3) \cdot (-P_3) - (K_2 \cdot P_2 + b_2) \cdot P_2 - (K_1 \cdot P_1 + b_1) \cdot P_1 = 0$$

式中： $K_1 = 2, b_1 = 100; K_2 = 3/2, b_2 = 100$ (按边际成本报价)。

采用上述两种模型计算的结果如表 1、2 和图 2、3 所示。

表 1 最大化社会福利阻塞管理模型计算结果

Tab. 1 Results of congestion management model on maximizing the social welfare

阻塞	1		2		3		交易价格/(万元·h ⁻¹)			交易盈余 /(万元·h ⁻¹)
	P_1 /MW	边际成本 /(元/(MW·h) ⁻¹)	P_2 /MW	边际成本 /(元/(MW·h) ⁻¹)	P_3 /MW	边际效用 /(元/(MW·h) ⁻¹)	1	2	3	
无	21.951	143.902	29.268	143.902	- 51.219	143.902	143.902	143.902	143.902	0
有	18.671	137.342	32.226	148.339	- 50.697	146.511	137.342	148.039	146.511	121.953

表 2 基于报价的阻塞管理模型计算结果(边际成本)

Tab. 2 Results of congestion management model based on the bidding(marginal cost)

阻塞	1		2		3		交易价格/(万元·h ⁻¹)			交易盈余 /(万元·h ⁻¹)
	P_1 /MW	边际成本 /(元/(MW·h) ⁻¹)	P_2 /MW	边际成本 /(元/(MW·h) ⁻¹)	P_3 /MW	边际效用 /(元/(MW·h) ⁻¹)	1	2	3	
无	21.951	143.902	29.268	143.902	- 51.219	143.902	143.902	143.902	143.902	0
有	18.729	137.458	32.373	148.560	- 51.102	144.490	137.458	148.569	144.490	0

从表 1、表 2 可以看出：

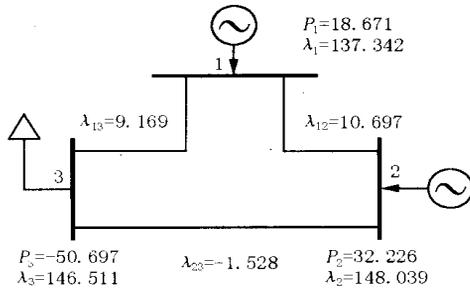
新模型在没有阻塞的时候,如果各发电厂按边际成本报价,得到的结果和最大化社会福利阻塞管理模型的结果完全一致；

新模型在发生阻塞时,整个系统的发电功率(用户负荷)大于最大化社会福利的阻塞管理模型，

因此新模型能优化系统资源配置；

按新模型调度后,各发电厂的报价成本相等(无阻塞)或各发电厂的报价成本之差等于其间的单位阻塞成本,这也体现了公平调度的原则；

本文的模型可以消除阻塞引起的交易盈余。



其中: λ_{ij} 表示从节点*i*到节点*j*的阻塞成本(下同)
图2 最大化社会福利阻塞管理模型计算结果

Fig. 2 Results of congestion management model on maximizing the social welfare

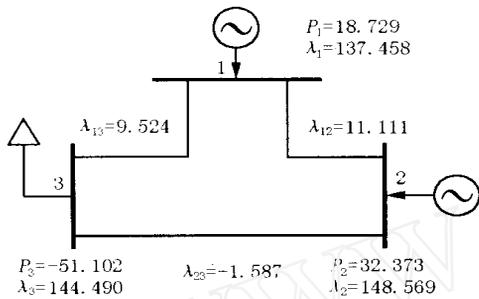


图3 基于报价的阻塞管理模型计算结果(边际成本)
Fig. 3 Results of congestion management model based on the bidding(marginal cost)

4 结论

文中提出的基于报价的阻塞管理模型可体现市场竞争的公平性(调度的公平性)。相对于最大化社会福利阻塞管理模型,基于报价的阻塞管理模型会得到较多的市场交易量,能防止阻塞盈余的产生,

为 Pool 模式下的传输阻塞管理提供了一条新思路,但双边/多边交易模式以及 Pool 和双边/多边交易并存的交易模式下的阻塞管理尚需进一步的研究。

参考文献:

- [1] Gedra T W. On Transaction Congestion and Pricing [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(1): 241-248.
- [2] Fang R S, David A K. Transmission Congestion Management in a Electricity Market [J]. IEEE Trans on PAS, 1999, 14(3): 877-883.
- [3] Herry S, Shangyou H, Alex P. Transmission Congestion Management in Competitive Electricity Markets [J]. IEEE Trans on PS, 1998, 13(2): 672-679.
- [4] 任震,吴杰康,吴重民 (REN Zhen, WU Jie-kang, WU Zhong-min). 在竞争的电力市场下的传输阻塞管理与定价 (Congestion Management and Pricing in Competitive Power Market) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(2): 19-22.
- [5] 汤玉东,吴军基,邹云 (TANG Yr-dong, WU Jur-ji, ZOU Yun). 电力市场下的传输阻塞管理 (Transmission Congestion Management in Electricity Market) [J]. 电力自动化设备 (Electric Power Automation Equipment), 2002, 22(3): 23-25.

收稿日期: 2003-01-27; 修回日期: 2004-01-19

作者简介:

汤玉东(1975-),男,博士,主要研究方向为电力市场;

郝君(1977-),女,硕士研究生,主要研究方向为电力市场;

吴军基(1955-),男,教授,近年主要从事电力规划、电力市场以及非电量检测技术等方面的研究工作。

Transmission congestion management in power Pool based on bidding

TANG Yr-dong^{1,2}, HAO Jun², WU Jur-ji³, ZOU Yun¹

(1. Department of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 3. School of Power Engineering and Dynamics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: On the condition of the unbundled electric power market, the transmission management is studied in this paper. The transmission management model whose objective is maximizing the social welfare is analyzed firstly. Some unreasonable things are pointed out: the optimal objective couldn't be realized because of the difference between the bidding price and the cost; it couldn't do the market function of the transmission scheduling operator; it will produce the surplus problem. On the basis of the above analysis, a new transmission management model based on the bidding is proposed. The result of a calculation case indicates that the new model could resolve the surplus problem by the congestion.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No. 60074007).

Key words: electric power market; congestion management; marginal cost