

文章编号: 1006-4710(2013)04-0460-04

基于边际网损系数法的发电权交易网损分析

姚李孝, 薛美娟, 赵东森

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对边际网损系数法受平衡节点制约和网损系数负值的缺点进行修正, 基于此法对发电权交易引起的网损变化进行分析, 得到交易网损矩阵, 对由于发电权交易所产生的网损计算具有实际指导意义。以 IEEE14 节点系统和陕西电网为算例, 验证了该方法的正确性和通用性。

关键词: 边际网损系数法; 发电权交易; 网损; 平衡节点

中图分类号: TM727 **文献标志码:** A

Generation Rights Trade Loss Analysis Based on Marginal Loss Coefficient Method

YAO Lixiao, XUE Meijuan, ZHAO Dongsen

(Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The marginal loss coefficient method subject to the balance node constraint and the defect of network loss coefficient negative values are modified in this paper, on the basis of this method the network loss changes caused by the generation right trades are analyzed so as to obtain the trade network loss matrix, being of the practical guidance significance for network loss calculation produced by the generation right trade IEEE14 bus system and Shaanxi power grid examples are used to test the correctness and universality of this method.

Key words: marginal loss coefficient method; generation rights trade; network loss; slack bus

发电权交易在发展电力市场、节能减排、优化资源配置和加快小火电关停方面具有巨大的优势和非常重要的意义^[1]。但是, 对电力系统而言发电权又不同于一般商品, 它交易的是发电权利。实施交易会改变系统潮流分布, 造成对系统网损的影响。在电力市场交易过程中, 网络损耗虽只占全部成本很小的一部分, 但对具体的每笔交易和电网用户却有很大的影响。输电系统同时完成多笔交易所造成的网损一般占总发电量的 5% ~ 10%^[2-7]。因此, 深入了解和分析代发交易电量对电网网损的影响, 可以为电网购电计划提供依据, 为电网网损管理提供参考, 具有重要的研究意义。

本研究采用边际网损系数法对发电权交易引起的系统网损变化进行研究, 对边际网损系数法受平衡节点制约及网损系数为负值的问题进行修正, 最终形成交易网损矩阵。以 IEEE14 节点为算例验证本研究的正确性, 并以陕西电网冬大运行方式下的发电权交易为例验证了本方法的通用性。

1 边际网损系数法

边际网损系数法是一种灵敏度方法, 即根据节点注入功率的单位变化引起全网网损变化量的大小来对各节点负荷或发电机进行网损的分摊。这种分摊方法能反映各节点造成全网网损的微增成本信息, 从而能够提供很好的经济信号。通过市场的手段促使潮流向网损减少的方向流动, 达到优化潮流, 提高经济效益及指导用户投资决策的目的。

目前国外区域电力市场的网损分摊方案大多基于边际网损系数法, 如美国加利福尼亚电力市场采用的 GMM 方法和澳大利亚国家电力 (NEM) 实行的节点和区域边际网损系数分摊方法^[8]。

1.1 边际网损系数法

在交流潮流中系统总网损可表示为:

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N G_{ij} [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos\theta_{ij}] \quad (1)$$

其中, V_i 表示节点 i 的电压、 V_j 表示节点 j 的电压、 G_{ij} 、 θ_{ij} 分别表示节点导纳矩阵第 i 行第 j 列元素 Y_{ij} 的

实部和角度。

由式(1)可进一步求出 $\frac{\partial L}{\partial V_i}$, $\frac{\partial L}{\partial \theta_i}$, 即:

$$\frac{\partial L}{\partial V_i} = \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial L}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial V_i} + \frac{\partial L}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial V_i} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_i} = \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial L}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial \theta_i} + \frac{\partial L}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial \theta_i} \right) \quad (3)$$

写成矩阵形式, 即:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial L}{\partial P_m} \\ \frac{\partial L}{\partial Q_k} \end{bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial L}{\partial V_m} \\ \frac{\partial L}{\partial \theta_k} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, \mathbf{J} 即为潮流计算雅克比矩阵, m 代表除平衡节点外所有节点, k 代表所有的负荷节点。

1.2 平衡节点对边际法的制约

边际网损法受平衡节点制约表现在两方面, 即:

1) 雅克比矩阵 \mathbf{J} 是除去了平衡节点的, 故平衡节点的网损系数不能直接计算^[9]。目前计算中常将平衡节点的有功网损系数视为 0。但这就意味着平衡节点对系统造成的网损需要其他发电机节点进行补贴。另外, 平衡节点作为发电机节点也可以参与发电权交易, 如果将其网损系数视为 0, 不符合市场交易的公平性原则。

2) 边际网损系数法反映的是某节点向系统注入功率微增, 平衡节点功率相应微减的情况下对系统损耗的影响, 故其计算结果因平衡节点选取的不同而不同, 受平衡节点选取制约。由文献[10]可知平衡节点选取对网损系数造成的误差发电机节点达 6%, 负荷节点达到 0.6%。

对于上述两个问题, 必须对各个发电机节点的有功网损系数加以修正, 消除其他发电机节点对平衡节点的补贴, 并对平衡节点的有功网损系数加以合理定义和修正。本研究针对上述情况, 采取两种修正方法, 即:

1) 平均法。系统中平衡节点并非一成不变, 当节点 i 为平衡节点时, 其他发电机节点对节点 i 进行补贴; 当平衡节点变为节点 j 时, 包括节点 i 在内的其他节点又对节点 j 加以补贴。因此, 计算出每一个发电机节点做平衡节点时各个节点的边际网损系数, 然后对取平均值作为各节点修正后的网损系数, 即:

$$K'_{PGi} = \frac{1}{N_G} \sum_{i=1}^{N_G} K_{PGi,j} \quad (5)$$

式中, N_G 是系统中发电机节点总数, $K_{PGi,j}$ 是以节点 j 为平衡节点时节点 i 的有功网损系数, $j \in NG$ 且 $j \neq i$ 。此修正方法的缺点是当系统中发电机较多时计

算量太大。

2) 加权法。系统中发电机组类型不同, 在进行补贴时因能力不同补贴程度不同。因此, 在消除补贴时可按照各机组出力权重修正网损系数, 并将补贴量定义为平衡节点的网损系数, 即:

$$K_{PS} = \frac{1}{G_T} \cdot K_{PG} \cdot P_g \quad (6)$$

其中, G_T 是系统总发电量, P_g 是各节点发电量。

对发电机节点的网损系数加以修正, 即:

$$K'_{PG,i} = K_{PG,i} - K_{PS,i} \quad (7)$$

1.3 边际网损系数负值问题

式(4)计算的网损系数常出现负值, 表示该节点的网损分摊量为负值。意味着发电机节点出力增加时不但不分摊系统网损反需要电网公司对其进行补偿, 这将影响到市场交易的公平性。

对于网损系数产生负值的情况进行分析, 假设电力系统中某个节点存在负荷需求, 表现在潮流上必然有功率输送到了该节点^[11], 系统中功率缺额最大的节点为节点 m , 平衡节点为节点 s , i 为任一发电机节点。

当节点 i 的注入功率增加时, 平衡节点则需要相应的减少出力以保持发电与负荷及所引起的网损之间的平衡。即:

$$dLoss = dP_i - dP_s \quad (9)$$

则进一步可得节点 i 的网损系数为:

$$\frac{dLoss}{dP_i} = 1 - \frac{dP_s}{dP_i} \quad (10)$$

分析(10)式可得, 若节点 i 距离节点 m 的电气距离比节点 s 距离节点 m 的电气距离近, 则节点 i 向节点 m 传输一定功率时, 输电距离变短网损减小, $dLoss < 0$ 。节点 i 出力仍增加 $dP_i > 0$, 因而出现节点网损系数为负值的情况。也就是说, 如果某一个节点距离功率最大缺额点 m 距离越近, 则其网损系数越小, 因此在系统中功率网损系数最小的节点即为最接近节点 m 的点。

通过以上分析可知在系统中网损系数越小的节点, 从电气距离上看越接近功率最大缺额点。因此可将系统中网损系数最小负荷节点视为最大功率缺额点, 并依次修正各发电机节点网损系数, 如式(11)所示, 得到的网损系数全为正值。

$$K'_{PGi,m} = \frac{K_{PGi,s} - K_{PGm,s}}{1 - K_{PGm,s}} \quad (11)$$

其中, $K'_{PGi,m}$ 是 m 为平衡节点时节点 i 的网损系数; $K_{PGi,s}$, $K_{PGm,s}$ 是以 s 为平衡节点时, 节点 i 、节点 m 的网损系数。

经过修正的网损系数虽然发生了变化但各节点

网损系数的大小关系不变,修正过程可以理解为整体平移。

$$L_{ij} = \frac{\frac{\partial L}{\partial P_i} - \frac{\partial L}{\partial P_j}}{2 - \frac{\partial L}{\partial P_i} + \frac{\partial L}{\partial P_s}} t_{ij} \quad (16)$$

2 边际网损法分析发电权交易网损

将边际网损系数法引入到发电权交易中可计算节点*j*将交易电量 t_{ij} 出售给节点*i*时引起的网损 L_{ij} 。在发生交易前,交易电量由节点*j*发出,即 $t_{ij} = \Delta P_j$,此时对系统造成的网损变化为:

$$\Delta L = \frac{\partial L}{\partial P_j} \cdot \Delta P_j \quad (12)$$

在潮流计算中,该节点发电量的变化和引起的网损增量都由系统的平衡节点进行补偿,即:

$$\Delta L_{s,j} = -\Delta P_j + \frac{\partial L}{\partial P_j} \cdot \Delta P_j - \frac{\partial L}{\partial P_s} \Delta P_j \quad (13)$$

平衡节点补偿量由三部分组成,第一部分为节点*j*多发 ΔP_j 平衡节点减少的功率;第二部分为节点*j*多发 ΔP_j 造成的网损增量;第三部分为平衡节点的网损系数为零时,平衡节点发出 $-\Delta P_j$ 时的网损微增量。

当发电权交易后,节点*i*增量为 ΔP_i ,平衡节点对其进行补充为:

$$\Delta L_{s,i} = -\Delta P_i + \frac{\partial L}{\partial P_i} \cdot \Delta P_i - \frac{\partial L}{\partial P_s} \Delta P_i \quad (14)$$

由交易引起的网损应为交易后网损变化减去交易前网损的变化,即:

$$L_{ij} = (-1 + \frac{\partial L}{\partial P_i} - \frac{\partial L}{\partial P_s}) \Delta P_i - (-1 + \frac{\partial L}{\partial P_j} - \frac{\partial L}{\partial P_s}) \Delta P_j \quad (15)$$

实际交易中出售方将发电权转移给购入方后不再参与实际发电,按照谁损耗谁负责的原则,由交易产生的网损应由购入方节点*i*承担,即: $\Delta P_i = t_{ij} + L_{ij}$ 。因此可得交易引起的网损为:

若 $t_{ii} = 0, t_{ij} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j)$,即发电机节点*i*和节点*j*交易单位电量。则由此形成的交易网损矩阵表征了节点*i*和节点*j*交易单位电量所造成的网损,此矩阵具有很好的经济信号,能够达到指导交易和投资决策的目的。

3 应用算例

算例采用 IEEE14 节点系统,如图 1 所示。

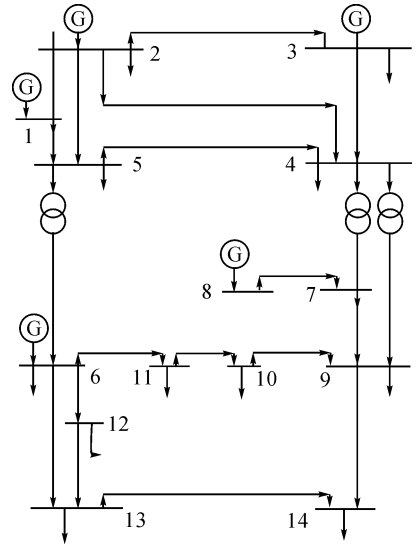


图1 IEEE14 节点系统

Fig. 1 IEEE 14 buses system

利用式(4)计算各节点网损系数,计算结果见表1。表1中节点1为平衡节点,网损系数为0。为了消除平衡节点的制约,利用平均法和加权法对其进行修正,得到修正后各发电机节点的网损分摊量,见表2。

表1 IEEE14 节点系统各节点网损系数

Tab. 1 Active loss coefficient of IEEE 14 buses system

节点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
网损系数	0.000	-0.054	-0.133	-0.109	-0.093	-0.093	-0.108	-0.108	-0.107	-0.111	-0.106	-0.111	-0.116	-0.135

表2 IEEE14 节点系统修正前后网损分摊量

Tab. 2 The loss allocation of IEEE 14 buses system before and after revised

节点号	网损分摊量/MW		
	修正前	平均法修正后	加权法修正后
1	0	8.761	8.803
2	-0.49	0.413	0.486
3	6.223	-0.041	-0.056
6	0.517	-0.13	-0.14
8	0	0	0

由表2中的数据可以看出,修正后平衡节点的网损分摊量不再为零,同时节点2、节点3的网损分摊量有所减少。说明通过修正消除了其他发电机节点对平衡节点的补贴,验证了修正方法的正确性。

对网损系数负值进行修正得到的结果如表3。计算交易单位电量对网损影响,形成交易网损矩阵如表4。该矩阵表征了各发电机节点之间交易单位电量引起的网损微增率,具有很好的经济信号。

表3 修正后各发电机节点网损系数

Tab.3 The revised network loss coefficient of generator node

发电机节点号	1	2	3	6	8
修正后的网损系数	0.111 6	0.078 1	0.001 3	0.036 6	0.023 7

表4 IEEE14 节点系统交易网损系数

Tab.4 The trades loss matrix of IEEE14 bus system

买方编号	各卖方网损系数				
	1	2	3	6	8
1	0	0.019 1	0.062 6	0.050 6	0.042 3
2	-0.018 7	0	0.042 7	0.030 9	0.022 8
3	-0.058 9	-0.041	0	-0.011 3	-0.019 1
6	-0.048 1	-0.03	0.011 4	0	-0.007 8
8	-0.040 6	-0.022 3	0.019 4	0.007 9	0

以陕西电网冬大运行方式下的发电权交易情况为例,以 PSASP 软件为平台利用边际网损系数法计算交易的网损分摊量如表 5 所示。

表5 冬大运行方式下发电权交易表

Tab.5 The GRT trading power on winter operating modes

购买方	出售方	交易量/MWh	网损分摊量/MW
宝鸡二	宝鸡热	7 200	-18.08
彬长	灞桥热	5 000	43.16
彬长	韩城发电厂 3#机组	21 811	-92.63
彬长	渭热关停 1#、2#机组	1 400	29.97

4 结 论

1) 将边际网损系数法引入到发电权交易中,针对边际网损系数法受平衡节点制约及网损系数负值问题加以修正。

2) 以 IEEE14 节点为算例验证本研究的正确性,并以陕西电网冬大运行方式下的发电权交易为例验证了本研究方法的通用性。

3) 基于边际网损系数法对发电权交易引起的网损变化进行分析,得到交易网损矩阵。

参考文献:

- [1] 韩正华,赵文良.发电权交易电量对公司利润的影响分析[J].华北电力大学学报,2008,4(1):6-8.
Han Zhenghua, Zhao Wenliang. Analysis of the influence on profits by generation rights trade power[J]. Journal of North China Electric Power University, 2008, 4(1): 6-8.

- [2] 杜正春,夏道止.输电系统网损的合理分摊[J].电力系统自动化,2002,26(4):18-22.
Du Zhengchun, Xia Daozhi. A novel method for allocation of transmission losses[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(4): 18-22.
- [3] 周明,赵颖,李庚银.发电权交易对电网输电服务成本的影响[J].电网技术,2010,34(1):134-138.
Zhou Ming, Zhao Ying, Li Gengyin. Impacts of generation rights transaction on transmission service cost[J]. Power System Technology, 2010, 34(1): 134-138.
- [4] Judith B C. Marginal loss pricing for hours with transmission congestion[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(4): 1466-1474.
- [5] Ansyari F, Ozveren C S, King D. Allocation of transmission losses using three different proportional sharing methods[J]. UPEC, 2007, 15: 1234-1238.
- [6] 赵娜,别朝红,宋永华.改进的 Z-BUS 网损分摊方法[J].电力自动化设备,2005,25(10):7-12.
Zhao Na, Bie Zhaohong, Song Yonghua. Improved Z-BUS loss allocation method[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(10): 7-12.
- [7] 艾东平,鲍海,杨以涵.基于电路理论的发电权交易网损增量补偿解析[J].电力系统保护与控制,2010,38(22):135-140.
Ai Dongping, Bao Hai, Yang Yihan. Analysis of incremental loss compensation on generation rights trade based on circuit theory[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 135-140.
- [8] 刘梓洪,程浩忠,刘晓冬.国外典型区域电力市场网损分摊方法[J].电力系统自动化,2003,27(4):1-3.
Liu Zihong, Cheng Haozhong, Liu Xiaodong. Review of overseas typical loss allocation methods[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(4): 1-3.
- [9] Lee Sangjoong. Calculation of optimal generation for system loss minimization using loss sensitivities derived by angle reference transposition[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18(3): 1216-1217.
- [10] Taciana V M, Luiz C P, Silva da. A method for transmission loss allocation based on sensitivity theory[J]. International Conference on Power System Technology, 2006, 22(2): 17-19.
- [11] 王海霞,刘尧,李卫东,等.边际损耗分摊方法的负数问题研究[J].电力自动化设备,2009,29(4):54-57.
Wang Haixia, Liu Rao, Li Weidong, et al. Negative loss allocation of marginal methods[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(4): 54-57.