

基于网损微增的发电量 偏离经济补偿研究

朱 晟,侯志俭

(上海交通大学 电气工程系,上海 200030)

摘要:随着电力体制改革和电力市场的不断完善,发电量偏离补偿成为电力市场电能质量考核的一个重要指标,建立一套对发、供双方均合理有效的补偿规则是目前我国电力市场十分重要的任务。从网损的角度分析发电量偏离对系统经济运行的影响,建立网损微增模型,并提出综合补偿电价的经济补偿方案。最后,通过对上海电网进行仿真计算,结果表明该方法具有一定的实用价值,可对电力市场电能考核提供理论依据。

关键词:发电量偏离;经济补偿;网损微增;电力市场

中图分类号: TM 714.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)01-0082-03

0 引言

在电力市场环境下,若在某个交易点上,某发电厂的实际发电出力与日计划曲线不符,则出力偏差的部分称为交易点发电偏离电力,而发电偏离电力乘以该交易点对应的时段称为发电偏离电量。由于电力运行中需保持供需实时平衡,某个电厂多发必将导致其他电厂少发。随着单机容量的不断增大,发电偏离电量对电网稳定性以及经济性的影响也越来越大。

目前,我国大部分电网并没有一套有效合理的奖惩手段,在一些模拟电力市场中,结合电网高、平、谷时段的系统频率,分别对各电厂的偏离电量进行奖惩,如在高峰时段当系统频率低于 49.9 Hz 时,对多发电量进行奖励^[1],少发电量进行惩罚,而当系统频率高于 50.1 Hz 时,对多发电量进行惩罚,少发电量进行奖励。上述措施虽在一定程度上提高了电网的运行管理水平,具有一定的实用价值,但缺乏严格的理论依据,难以让各电厂信服。因此,建立一套公平、合理、可行的发电偏移电量的经济补偿方法具有重要的理论和现实应用意义。

本文结合上海电网着重研究了在多种情况下电量偏离对网损的影响,建立发电量偏移与网损分配的数学模型,分析电量偏离对于电力市场经济运行的影响。在此基础上,提出了综合补偿电价,作为经济补偿方案。最后,通过仿真计算,证明此方案的可行性。

1 发电量偏离网损分配模型

1.1 几种电量偏离

由于负荷波动、机组及辅机设备运行状况,系统

运行时不可避免地会出现发电出力偏离计划曲线的情况。按照其程度以及对电网的影响大致可以分为 3 种情况。

a. 当交易点出力偏离为几兆瓦至十几兆瓦时,其偏离原因大多数是由负荷波动引起的,其影响程度可涉及自动发电控制 AGC(Automatic Generation Control)、热旋转备用以及再调度控制,一般可以忽略其影响。

b. 当交易点出力偏离增加到数十兆瓦,但小于一台发电机的容量时,其偏离原因可能是由于机组设备故障、负荷剧烈变化、管理不当或人为因素造成的,这时电网除了动用上述调控手段外,还会动用非旋转备用。

c. 当交易点出力偏离达到数百兆瓦或更大时,一般是发生了强迫停运事故。这时对电网的影响程度可能会非常严重,调度会动用一切手段,除上述调控措施外,还涉及替代备用,省际紧急功率支援乃至切除负荷等。

由于 **c** 涉及到机组强迫停运^[2]问题,为简化模型,暂且只考虑 **a**、**b** 两种情况。

1.2 发电量偏离网损模型

网损^[1]是各节点注入功率的隐函数,各节点注入功率大小的变化对网损的影响就是网损对 P_i, Q_i 求偏导。边际网损系数 MLCs(Marginal Loss Coefficients)法^[3~6]可用于描述电力系统总有功及无功损耗与节点边际功率变化之间的关系。本文采用此方法进行研究。

假定在电网稳定运行时,负荷基本保持不变,当离负荷中心最远的电厂超发时,即产生正电量偏移,相应地,其他电厂就必须少发以保持供需平衡。然而该电厂离负荷中心较远,这样相当于延长了总的传输路线,势必会使总的网损增加。相反,离负荷中

心最近的电厂多发,其他电厂少发后,相当于总的传输路线缩短了,总的网损将会减少。对于一般情况,某一节点发生电量偏离,两种情况都有可能。

把电网所有的节点分为偏离节点和应偏离节点,偏离节点发生电量偏离,应偏离节点由调度要求被迫改变出力。电网网损应等于偏离节点和应偏离节点原出力的所有支路损耗、发生的偏离量和被迫发生的偏离量所引起的所有支路损耗之和,如式(1)所示。

$$\begin{aligned} \sum P_1 + \sum \Delta P_1 &\Rightarrow \sum L_1 + A \\ \sum P_2 - \sum \Delta P_2 &\Rightarrow \sum L_2 - B \\ \Delta L &= A - B \end{aligned} \tag{1}$$

式中 下标 1 表示偏离节点,下标 2 表示应偏离节点; $\sum P$, $\sum \Delta P$ 和 $\sum L$ 分别表示原有功出力、有功偏离量和原网损; A , B 分别表示发生偏离后偏离节点和应偏离节点引起的网损变化量; ΔL 表示总网损变化量。

1.3 网损微增曲线

把网损微增曲线定义为电网中某一电厂发电量偏离时,其他电厂同时参与电量平衡调节时系统的总网损与未发生电量偏离时系统的总网损之差。由于各个电厂的电量偏离所引起的网损微增效果各不相同,在进行经济补偿研究时需要将其拟合为一条综合曲线。本文采用基于最小二乘原理的差方拟合公式^[3]:

$$\begin{aligned} \Delta P_i &= \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \pm \Delta P_{ki}^2} \\ \Delta Q_i &= \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \pm \Delta Q_{ki}^2} \end{aligned} \tag{2}$$

式中 $\Delta P_i, \Delta Q_i$ 分别是当电量偏离为 $i\%$ 时的有功和无功的网损微增量; k 是电厂的序号; P_k, Q_k 是 k 电厂的有功和无功额定功率。

由于在电量偏离时造成的网损中有功和无功网损是相互关联的,因此有必要将其综合考虑。在本次研究中引入无功影响因子 λ ,则等值网损微增为

$$\Delta W_i = \Delta P_i + \lambda \Delta Q_i \tag{3}$$

2 发电量偏离补偿方法

首先作以下假设:

- a. 发电偏移已偏离一定范围,小偏离引起网损变化很小,可以忽略,不进行补偿;
- b. 偏移量可通过电网自我调节恢复,不必向口子外购电;
- c. 若某时刻发电偏移,则认为该时刻内均发生偏离。

即发生中电量偏移后,对偏离电厂进行的经济补偿。从有功电量偏离程度、无功电量偏离程度、有功网损增量和无功网损增量 4 个方面进行补偿,并相应地引入有功补偿电价 μ 、无功影响因子 λ 、有功网损增量电价 α 和无功网损增量电价 β 。

综合考虑以上因素,提出电量偏离的综合补偿电价 C_p 为

$$C_p = \mu(\Delta P_d + \lambda \Delta Q_d) + \alpha \Delta P_1 + \beta \Delta Q_1 \tag{4}$$

式中 $\Delta P_d, \Delta Q_d$ 为有功和无功偏移; $\Delta P_1, \Delta Q_1$ 为有功和无功网损增量。

有功补偿电价 μ 按备用容量充裕程度选择而定。取电网中最大一台机组的等同容量并考虑适当余量。当电网热备用容量 η_r 不足 10% 时, μ 可定为现货边际电价 P_s 甚至更高一些;在电网热备用容量比较充裕时, μ 可定为现货边际电价 P_s 与有功电量偏离电厂的期货电价 P_f 之差。若 $P_s < P_f$ 则不予补偿,即

$$\begin{aligned} \mu &= P_s & \eta_r \leq 10\% \\ \mu &= P_s - P_f & \eta_r > 10\% \end{aligned} \tag{5}$$

无功影响因子 λ 将无功功率偏离折算为有功功率对其进行补偿。

有功网损增量电价 α 取系统的平均上网电价加适当的电网建设及运营维护费,无功网损增量电价 β 主要由电网的无功设备投资和运营维护费组成。

补偿电费由综合补偿电价乘偏离时间,以 15 min 为一个时段。

3 算例分析

对上海电网进行仿真计算,首先在负荷水平为 10 000 MW 的情况下,拟合综合网损微增曲线,如图 1 所示(ε 为偏离度)。

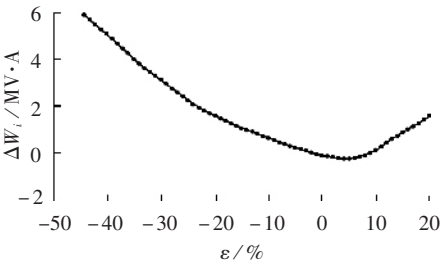


图 1 综合网损微增曲线

Fig.1 The curve of integrated incremental transmission losses

由图可见,发电量偏离引起的有功及无功网损的等值拟合曲线是向上凹的,因此存在最小网损。正常情况下,平衡工作点往往在最小网损点的附近;在工作点的 $-2\% \sim +4\%$ 左右曲线比较平坦,其偏差引起的网损较小,这时的电量偏离可视为小电量偏离,可以忽略;超出此范围后,网损增加很快。

设某电厂发生发电量偏移,偏移量 $\pm(1\% \sim 10\%)$,有功补偿电价 μ 为 397 元/MW·h、无功影响因子 λ 为 0.50、有功网损增量电价 α 为 296 元/MW·h 和无功网损增量电价 β 为 150 元/MW·h。结果如表 1 所示。

在 100% 的负荷水平下,大致每偏离 1%,其等效网损增加 100 kW·A,根据表 1 中电量偏离补偿的计算,在电网的热备用容量不足时,其综合补偿费用为每偏离 1%,补偿约 4 000 元。

表 1 电量补偿计算结果

Tab.1 The results of power deviation compensation

$\varepsilon/\%$	$\Delta P/\text{kW}$	$\Delta Q/\text{kvar}$	$C_p/\text{元}$
10	215.876	740.480	40 579.46
9	200.114	724.918	36 532.00
8	184.908	702.146	32 483.62
7	170.261	673.739	28 434.61
6	156.158	635.326	24 384.21
5	142.584	586.381	20 332.38
4	129.499	524.850	16 278.86
3	116.846	470.572	12 226.51
2	104.531	417.814	8 174.49
1	92.401	389.899	4 126.30
-1	68.858	329.065	4 110.18
-2	59.969	336.904	8 149.19
-3	54.492	358.609	12 191.26
-4	53.204	392.247	16 236.37
-5	56.128	435.313	20 284.16
-6	62.443	485.467	24 333.99
-7	71.050	541.155	28 385.33
-8	81.044	600.902	31 437.71
-9	91.822	663.850	36 490.78
-10	103.000	109.390	40 544.34

4 结论

发电量偏离对系统稳定、经济运行具有一定的影响,本文从网损变化方面进行研究,建立电量偏离网损微增模型,提出一种综合补偿电费。通过上海电网仿真计算,证明此方法具有科学性、可行性,为电力市场下的经济补偿结算提出了技术依据。由于本文仅研究了中电量偏离,未涉及较大的偏离量,今后可结合机组的强迫停运进行研究。

参考文献:

[1] 赵遵廉. 电力市场运营系统[M]. 北京:中国电力出版社, 2001.
ZHAO Zun-lian. The operation system of a power market [M]. Beijing:China Electric Power Press,2001.

[2] 朱天游,郑亚军. 我国发电系统强迫停运率的测算与分析[J]. 中国电力,2000,33(6):33-35,101.
ZHU Tian-you,ZHENG Ya-jun. Calculation and analysis

on generating system forced outage rates in China[J]. **Electric Power**,2000,33(6):33-35,101.

[3] 徐 蓓,张晓军. 应用边际网损系数法分摊网损[J]. 华东电力,2001,(1):15-16,17.
XU Bei,ZHANG Xiao-jun. The application of marginal loss coefficient to loss allocation [J]. **East China Electric Power**,2001,(1):15-16,17.

[4] 刘梓洪,程浩忠,刘晓东,等. 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):29-32.
LIU Zi-hong,CHENG Hao-zhong,LIU Xiao-dong,*et al.* Review of overseas typical loss allocation methods [J]. **Automation of Electric Power Systems**,2003,27(4):29-32.

[5] California Independent System Operator. Report to the federal energy regulatory commission:Studies conducted pursuant to the October 30 1997 Order [EB/OL]. <http://www.caiso.com/docs/2000/09/26/2000092615290315273.pdf>,2004-10-26.

[6] National Electricity Market Management Company Limited. Treatment of loss factors in the national electricity market [EB/OL]. <http://www.nemmco.com.au/operation/transmission/pl-ml1254v001.pdf>,2004-10-26.

[7] 侯志俭,吴际舜. 电力系统潮流计算的计算机方法[M]. 上海:上海交通大学出版社,2001.
HOU Zhi-jian,WU Ji-shun. The compute based power flow calculation in power system[M]. Shanghai:Shanghai Jiaotong University Press,2001.

[8] 曾 鸣. 电力市场理论及应用 [M]. 北京:中国电力出版社,2000.
ZENG Ming. Power market theory and application[M]. Beijing:China Electric Power Press,2000.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

朱 晟(1979-),男,上海人,硕士研究生,从事电力市场的研究工作(E-mail:zhusheng@sjtu.edu.cn);
侯志俭(1942-),男,浙江宁波人,教授,博士研究生导师,主要从事电力市场,电力系统的安全经济运行、控制、规划等的教学和研究工作。

Research on financial compensation for generation deviation based on incremental transmission losses

ZHU Sheng,HOU Zhi-jian

(Shanghai Jiaotong University,Shanghai 200030,China)

Abstract: With the further construction of power market,compensation for voltage deviation becomes an important factor in power quality assessing. It is important to establish a set of compensation rules,which is rational and effective for both generation and supply sides. Based on the incremental transmission losses,an electricity price compensation model is provided. A numerical simulation on Shanghai grids is performed. The results show that the proposed model provides theoretical reference to the power quality accessing in electricity market.

Key words: generation deviation; financial compensation; incremental transmission losses; electricity market