

# 一台 600 MW 发电机组厂用电率异常的分析与思考

赵玉富<sup>1</sup> 李 静<sup>2</sup> 赵玉才<sup>3</sup> 杨乃贵<sup>1</sup>

(1. 河南省电力公司计量中心, 河南 郑州 450046; 2. 河南焦作供电公司市场营销部, 河南 焦作 454100;  
3. 河南恩湃电力技术有限公司, 河南 郑州 450016)

**摘要:**某火力发电厂的一台 600 MW 发电机组运行三个月后发现其厂用电率和同厂另一台 600 MW 发电机组相比偏高,通过分析该发电机组厂用电率所涉及到的各个电能计量装置计量电能的综合误差和机组出力情况以及厂用电运行方式,提出了可能导致该发电机组厂用电率偏高的原因和今后运行中的对策。

**关键词:**发电机组;厂用电率;分析;思考

**Abstract:** The auxiliary power rate of a 600 MW generating unit is higher than that of another 600 MW generating unit after its operation for three months in a coal-fired power plant. By analyzing the integrated errors of every electric energy metering device, the output of the unit and the operating mode of auxiliary power, the reasons to cause the higher auxiliary power rate of the generating unit are put forward, and the countermeasures for the future operation are given.

**Key words:** generating unit; auxiliary power rate; analysis; consideration

中图分类号:TM621.7, TM933.4 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0081-04

## 0 引言

厂用电率是火力发电厂的最重要的技术指标之一,它与电厂运行经济效益直接相关,而 600 MW 发电机组厂用电率的高低又是判别火电厂是否具有先进性的一项重要指标。厂用电率是指厂用电源的消耗量占同一时期对应机组全部发电量的百分数,而这部分厂用电源的消耗量要除去非生产用电(如宿舍、办公室、食堂、道路照明、辅助公司用电等)<sup>[1-4]</sup>。

该火力发电厂 2 号机组投运三个月之后,实测厂用电率比 1 号机组偏高了 0.5% 达到了 5.8%,在国内同类型的机组中也是偏高的。厂用电率是考核火力发电厂是否先进性的重要指标,而且与电厂的运行经济效益直接相关。因此首先对该机组厂用电率涉及到的发电机出口电能计量装置和该机组厂用变压器高压侧电能计量装置实际运行的电能计量综合误差进行分析;又对厂用电主要辅机设备如送风机、吸风机、磨煤机、排粉机、凝结水泵、循环水泵等运行情况 and 运行方式以及发电机出力情况进行了分析。这些因素和机组的厂用电率密切相关,合理地调整和控制这些因素能有效地控制机组厂用电率至合理的范围之内。

## 1 电能计量综合误差分析

该机组实际运行中厂用电配电段中带有非生产用电的备用变压器,这部分备用变压器并未投入运行,因此该机组的厂用电率可以用厂用变压器高压侧计量的电量除以该机组发电机出口同时期计量的电量。那么厂用变压器高压侧电能计量装置和发电厂出口电能计量装置实际运行的综合误差对厂用电率有重要的影响。

综合误差是考核电能计量装置综合计量性能的重要指标,实际运行中的综合误差是对电量计量准确性的一个重要技术参数。电能计量装置的综合误差是下述几项误差的代数和:电流互感器的合成误差、电压互感器的合成误差、电压互感器二次压降引起的计量误差以及电能表的误差<sup>[5-7]</sup>。用式(1)表示为

$$\gamma_a = \gamma_{ca} + \gamma_{pa} + \gamma_{da} + \gamma_{ba} (\%) \quad (1)$$

式中  $\gamma_a$  为电能计量装置计量电能的综合误差(%) ;  $\gamma_{ca}$  为电流互感器的合成误差(%) ;  $\gamma_{pa}$  为电压互感器的合成误差(%) ;  $\gamma_{da}$  为电压互感器二次压降引起的计量误差(%) ;  $\gamma_{ba}$  为电能表的误差(%) 。

式(1)中电能表的误差和电压互感器二次回路压降引起的计量误差都可以用校验仪实测出来,电流

互感器和电压互感器实际运行的综合误差是无法用仪器测出来的,只能根据投运之前测试的误差数据和运行中实际二次负荷参数推算。

发电机出口和厂用变压器高压侧的电能计量方式都是采用三相三线,首先得根据相电压互感器误差由式(2)~式(5)算出线电压误差,由线电压误差根据式(6)算出电压互感器综合误差 $\gamma_{pa}$ 。电流互感器的综合误差由式(7)算出<sup>[6]</sup>。

$$f_{uv} = \frac{f_u + f_v}{2} + 0.0084(\delta_u - \delta_v) (\%) \quad (2)$$

$$f_{vw} = \frac{f_w + f_v}{2} + 0.0084(\delta_v - \delta_w) (\%) \quad (3)$$

$$\delta_{uv} = \frac{\delta_v + \delta_u}{2} + 9.924(f_v - f_u) (') \quad (4)$$

$$\delta_{vw} = \frac{\delta_v + \delta_w}{2} + 9.924(f_v - f_w) (') \quad (5)$$

$$\gamma_{pa} = \frac{f_{uv} + f_{vw}}{2} + \frac{\delta_{uv} - \delta_{vw}}{119} + \left( \frac{f_{uv} - f_{vw}}{3.46} - \frac{\delta_{uv} + \delta_{vw}}{68.8} \right) \times \tan\varphi (\%) \quad (6)$$

$$\gamma_{ca} = \frac{f_u + f_v}{2} - \frac{\delta_v - \delta_w}{119} + \left( \frac{f_v - f_w}{3.46} + \frac{\delta_w + \delta_v}{68.8} \right) \times \tan\varphi (\%) \quad (7)$$

式中的 $\tan\varphi$ 是系统功率因数角的正切值。由系统当时的运行情况决定,由于电流互感器和电压互感器的误差值都是在互感器停运情况下测得的基本误差值,电流互感器实际运行中误差值跟其二次负荷和一次电流大小有关,而电压互感器实际二次负荷和实际二次电流有关,其二次负荷功率因数对其误差的影响不大,因此电流互感器实际运行误差可根据一次电流大小来确定。电压互感器实际运行误差根据测得二次负荷参数由式(8)和式(9)计算出来。

$$f = \left\{ \left( \frac{4}{3}f_{\frac{1}{4}} - \frac{1}{3}f_N \right) - \frac{4}{3} \frac{I_X}{I_N} [(f_{\frac{1}{4}} - f_N) \cdot \cos(\varphi - \varphi_N) + 0.0291(\delta_{\frac{1}{4}} - \delta_N) \cdot \sin(\varphi - \varphi_N)] \right\} (\%) \quad (8)$$

$$\delta = \left\{ \left( \frac{4}{3}\delta_{\frac{1}{4}} - \frac{1}{3}\delta_N \right) + \frac{4}{3} \frac{I_X}{I_N} \times [34.38(f_{\frac{1}{4}} - f_N) \cdot \sin(\varphi - \varphi_N) - (\delta_{\frac{1}{4}} - \delta_N) \cdot \cos(\varphi - \varphi_N)] \right\} (') \quad (9)$$

式中 $f_{\frac{1}{4}}、\delta_{\frac{1}{4}}$ 是电压互感器在1/4额定二次负荷的比值差和相位差; $f_N、\delta_N$ 是电压互感器在额定二次负荷的比值差和相位差; $I_X、\varphi$ 是实际二次负荷的电流和功率因数角; $I_N、\varphi_N$ 是额定二次负荷的电流和功率因数角。

### 1.1 发电机出口电能计量综合误差

发电机出口电压互感器和电流互感器在投运之前按照国家检定规程作了检定,额定一次电压或额定一次电流下的误差数据如表1、表2,实际运行中测得的电压互感器二次回路实际负荷和电流互感器二次回路实际负荷如表3、表4所示。

表1 发电机出口电压互感器误差

相别	误差	100% $U_N$	二次负荷 /VA $\cos\varphi = 0.8$
U	$f 1\%$	-0.061	50
	$\delta 1 (')$	-2.9	
	$f 1\%$	0.077	12.5
V	$\delta 1 (')$	-0.2	
	$f 1\%$	-0.055	50
	$\delta 1 (')$	-3.1	
W	$f 1\%$	0.069	12.5
	$\delta 1 (')$	-0.2	
	$f 1\%$	-0.061	50
W	$\delta 1 (')$	-2.8	
	$f 1\%$	0.071	12.5
	$\delta 1 (')$	-0.2	

表2 发电厂出口电流互感器误差

相别	误差	100% $U_N$	二次负荷 /VA $\cos\varphi = 0.8$
U	$f 1\%$	-0.086	50
	$\delta 1 (')$	-0.28	
	$f 1\%$	-0.031	12.5
V	$\delta 1 (')$	2.44	
	$f 1\%$	-0.079	50
	$\delta 1 (')$	-0.304	
W	$f 1\%$	-0.033	12.5
	$\delta 1 (')$	0.25	
	$f 1\%$	-0.090	50
W	$\delta 1 (')$	-0.47	
	$f 1\%$	-0.045	12.5
	$\delta 1 (')$	-0.04	

表3 发电厂出口电压互感器二次回路负荷

相	G /mS	B /mS	S /VA	$\cos\varphi /%$
U	0.54	-0.21	1.92	0.93
V	0.64	-0.17	2.19	0.97
W	0.55	-0.30	2.09	0.88

表4 发电厂出口电流互感器二次回路负荷

相别	电阻 $R$ / $\Omega$	电抗 $X$ / $\Omega$	$S$ /VA	$\cos\varphi$ /%
U	0.992	0.528	27.97	0.88
V	0.672	0.008	16.69	1.00
W	0.668	0.058	16.73	1.00

用校验仪实测的发电厂出口电能表的误差  $\gamma_{ba} = -0.088\%$  ,电压互感器二次回路压降引起的电能计量综合误差  $\gamma_{da} = -0.064\%$  。由表1和表3中的参数根据式(8)和式(9)计算电压互感器实际二次负荷下各相的比值差和相位差,由得到的相电压比值差和相位差根据式(2)、(3)、(4)、(5)计算出线电压的比值差和相位差,再由式(6)算出电压互感器实际综合误差  $\gamma_{pa} = 0.034\%$  。该机组运行3个月的平均负荷接近500 MW 和该电厂1号机组出力差不多,一次电流平均为额定一次电流的84%,根据表4的数据,基本可以采用表2中下限负荷的误差值作为电流互感器实际运行误差,由式(7)算出电流互感器的综合误差  $\gamma_{ca} = -0.057\%$  。因此发电机出口电能计量综合误差由式(1)得到  $\gamma_f = -0.209\%$  。

### 1.2 变压器高压侧电能计量综合误差分析

厂用变压器高压侧电压互感器和电流互感器误差检定试验数据如表5、表6所示,电压互感器和电流互感器二次回路实际负荷数据如表7、表8所示。

用校验仪实测厂用变压器高压侧的电能表误差  $\gamma_{ba} = 0.066\%$  ,电压互感器二次回路压降引起的电能计量综合误差  $\gamma_{da} = -0.036\%$  。按照发电机出口电压互感器和电流互感器综合误差分析的方法得到  $\gamma_{pa} = 0.104\%$  ,  $\gamma_{ca} = -0.046\%$  。因此厂用变压器高压侧电能计量综合误差  $\gamma_c = 0.098\%$  。

表5 电压互感器误差

相别	误差	$100\% U_N$	二次负荷 /VA $\cos\varphi = 0.8$
U	$f$ /%	-0.033	30
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	2.1	
	$f$ /%	0.122	7.5
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	-0.4	
V	$f$ /%	-0.025	30
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	3.1	
	$f$ /%	0.124	7.5
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	-0.5	
W	$f$ /%	-0.031	30
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	-2.8	
	$f$ /%	0.116	7.5
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	-0.4	

表6 电流互感器误差

相别	误差	$50\% I_N$	二次负荷 /VA $\cos\varphi = 0.8$
U	$f$ /%	-0.086	40
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	0.8	
	$f$ /%	-0.001	10
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	2.8	
V	$f$ /%	-0.079	40
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	0.4	
	$f$ /%	-0.003	10
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	2.5	
W	$f$ /%	0.090	40
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	0.7	
	$f$ /%	-0.026	10
	$\delta$ /( $^{\circ}$ )	2.9	

表7 电压互感器二次回路负荷

相	$G$ /mS	$B$ /mS	$S$ /VA	$\cos\varphi$ /%
U	2.54	-1.16	9.33	0.91
V	3.41	-2.21	13.57	0.84
W	2.01	-2.22	9.92	0.67

表8 电流互感器二次回路负荷

相别	电阻 $R$ / $\Omega$	电抗 $X$ / $\Omega$	$S$ /VA	$\cos\varphi$ /%
U	1.030	0.040	27.39	1.00
V	1.069	0.055	26.54	1.00
W	1.050	0.060	25.52	1.00

从上面发电厂出口电能计量综合误差和厂用变压器高压侧电能计量综合误差分析可看出,由于二者实际运行的综合误差导致厂用电率偏高了0.307%,所以该厂2号机组比较真实的厂用电率在5.493%左右。

## 2 厂用辅机运行分析<sup>[2,4]</sup>

考虑厂用电率所涉及到的发电厂出口电能计量综合误差和厂用变压器高压侧电能计量综合误差因素之外,该机组比1号机组的厂用电率还高0.193%,这对电厂的运行经济效益有着直观的影响。

锅炉制粉系统及设备的运行效率对机组的厂用电率有较大的影响,该机组采用的中速磨煤机两侧布置,单侧三台磨煤机,能满足锅炉负荷的情况下尽量少运行制粉系统电机设备。烟风系统的风机流量裕量及压头裕量的选择和调节对烟风系统厂用电有一定的影响。煤质中的发热值、水分及其他元素对机组的厂用电率也有一定的影响,因此,尽可能地选择适

合机组锅炉的煤质对降低厂用电率有一定促进作用。

循环水系统尽量选用共用系统,这样能用尽可能少的循环水泵来满足机组运行时循环水系统需要。把一些电动泵改成汽动泵或者把电动机采用变频节能技术,这样能进一步降低厂用电量从而提高发电机组效率。

### 3 结 语

600 MW 火力发电机组是目前发电行业的主力机组,其运行性能的先进与否关系到整个发电行业的经济性,也影响到国民经济的节能减排工作。科学合理地设计厂用辅机的容量和布置方式,推广应用变频节能技术,尽量选购适合锅炉的煤质,降低厂用电率从而提高发电机组的运行经济性。

#### 参考文献

[1] 龙辉. 影响 600 MW 机组厂用电率主要因素分析 [C]. 2005 年吉林省电机工程学会学术年会.

[2] 吴文杰, 孙术文, 郑兵. 国产 600 MW 超临界机组厂用电

(上接第 55 页)

且能实现粗略定位功能。对多台变压器不同局部放电量下在线和离线对比分析表明该方法具有较高的灵敏度。对比分析如表 2 所示。

表 2 不同局部放电量下监测结果

离线局部放电量/pC	1 000	500	100	50
在线结果	明显	明显	较明显	不明显

### 4 结 论

超声波法和高频脉冲电流法是实现变压器局部放电在线监测两种最佳手段。基于两种方法的联合监测法能有效避免单一监测手段的固有缺陷。实际应用结果表明联合监测能够可靠、有效实现变压器局部放电在线监测,具有灵敏度高、抗干扰能力强、安全可靠、能够定位的优点。局部放电的定量问题尚待经验的积累及进一步研究。

#### 参考文献

[1] 王国利, 赫艳捧, 李彦明. 电力变压器局部放电监测技术的现状和发展 [J]. 电工电能新技术, 2001(2): 52 - 57.

率、煤耗、水耗指标测算模型 [C]. 2007 清洁化石能源技术研讨会.

[3] 李会东, 沧东. 600 MW 机组厂用电系统电源配置优化 [C]. 2008 年可靠性、城市供电专委会学术年会.

[4] 龙辉, 董银柱. 煤质和锅炉辅助系统对 600 MW 机组厂用电率的影响 [J]. 吉林电力, 2003, 169(6): 39 - 41.

[5] 杨世海, 徐晴, 卢树峰. 电网关口互感器对结算电量经济影响实测分析 [J]. 电测与仪表, 2009, 525(9): 35 - 39.

[6] 彭时雄. 交流电能(电功率)测量综合误差的测试计算及改进技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

[7] 耿建坡, 王洪杰, 陶鹏, 等. 发电厂关口电能计量装置故障时差错电量的计算 [J]. 河北电力技术, 2009, 28(3): 1 - 4.

作者简介:

赵玉富(1976)男,硕士研究生,高级工程师,长期从事电能计量技术和电磁测量方面的研究工作;

赵玉才(1984)男,大学本科,助理工程师,从事电能计量远方校验系统的研发和应用工作;

杨乃贵(1967)男,硕士研究生,教授级高工,长期从事电能计量技术管理工作。

(收稿日期:2011-07-15)

[2] IJ Kemp. Partial Discharge Plant - monitoring Technology: Present and Future Developments [J]. IEEE Proc. Sci. Meas. Technol, 1995(1): 85 - 90.

[3] 高胜友, 朱德恒, 谭克雄, 等. 变压器局部放电在线监测信号处理技术的研究 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(9): 1181 - 1183.

[4] 罗日成, 李卫国, 熊浩, 等. 电力变压器局部放电在线监测系统的研制 [J]. 电网技术, 2004, 28(16): 56 - 59, 85.

[5] F. Gutfleish, L. Niemeyer, Measurement and Simulation of PD in Epoxy Voids [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1995(5): 729 - 743.

[6] 黄家旗. GIS 在线监测系统的研究 [D]. 北京: 清华大学, 2001.

[7] 孙才新, 冯道寻. 变压器油中溶解气体在线监测研究 [J]. 电工技术学报, 1996, 11(2): 11 - 15.

[8] Barry H. Ward. A Survey of New Techniques in Insulation Monitoring of Power Transformer [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2001, 17(3): 16 - 23.

[9] 王昌长, 李福祺, 高胜友. 电力设备的在线检测与故障诊断 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

(收稿日期:2011-10-12)