

一起 110 kV CVT 内部故障引起母线电压异常分析及处理

赵 森

(中国大唐集团科学技术研究院有限公司华东分公司, 安徽 合肥 230601)

摘要:针对某发电厂 110 kV I 段和 II 段母线电压偏差异常,通过分散控制系统(DCS)数据调阅、带电检查、理论计算和停电试验等方法综合分析,认为母线电容式电压互感器(CVT)内的部分电容单元存在击穿短路是引起该次母线电压显示异常的原因。返厂解体检查验证了前期分析结果,同时查明该批次电容单元介质薄膜存在绝缘薄弱点和浸油性不好等质量缺陷。据此,要求制造商对该型号批次的产品全部进行了更换,并提出了同类设备的预防措施及处理建议。

关键词:母线电压;电容式电压互感器;电容单元;击穿短路

中图分类号: TM451.2

文献标志码: B

文章编号: 2096-3203(2017)03-0110-06

0 引言

电容式电压互感器(CVT)相对于电磁式电压互感器具有结构简单、生产成本低、不与系统发生铁磁谐振、可兼作高频通信载波电容器和瞬变响应特性优良等优点,在电力系统中广泛应用于 110 kV 电压等级以上的线路和母线上。但受设计水平、生产工艺和制造材料等因素影响,近年来 CVT 运行异常和故障时有发生,故障率远高于电磁式电压互感器,严重影响了电能计量的准确性和电网的安全稳定运行^[1-6]。

本文分析了一起由于 CVT 内部故障引起的 110 kV 母线电压显示异常案例,通过前期数据分析、带电检测和理论分析等方法诊断出 CVT 本体内个别电容单元存在击穿短路故障,并由后期停电试验和解体检查得以验证,同时提出了整改措施,避免了一起由于 CVT 质量缺陷引发的发电厂母线接地短路事故,保障了电力系统的安全稳定运行。

1 情况概述

2016年1月8日4时00分,某发电厂1号机组分散控制系统(DCS)显示110 kV II段母线电压由119.32 kV突变为115.92 kV, I段母线电压维持在119.94 kV。2月15日,1号机组DCS显示I段和II段母线电压最大差值接近5 kV,2号机组I段和II段母线电压也存在不同程度的显示异常。

该厂110 kV升压站为室内敞开式布置, I段和II段母线各接一组CVT,两段母线为并运行方式,1号机组DCS I段母线电压取自I母CVT B相, II段母线电压取自II母CVT B相;2号机组DCS I段母

线电压取自I母CVT A相, II段母线电压取自II母CVT B相,110 kV升压站主接线如图1所示。出现DCS显示电压异常前后厂内无倒闸操作和检修维护作业。

2 现场检查分析

2.1 DCS 数据调阅

从DCS调阅了1号机和2号机母线电压历史数据,自1月12日至2月18日选取10组数据进行比对,如表1所示。

表1 DCS系统显示1号机和2号机母线电压数据

Table 1 DCS system shows bus voltage data for no.1 and no.2 Unit kV

序号	时间	1号机 DCS		2号机 DCS	
		I母电压	II母电压	I母电压	II母电压
1	01-12T12:00	119.55	116.07	119.51	115.74
2	01-17T12:00	119.14	116.75	118.36	116.50
3	01-20T12:00	114.52	112.67	115.36	112.74
4	01-27T12:00	118.30	115.96	115.66	115.78
5	01-31T02:09	118.45	116.07	—	—
6	01-31T02:10	118.72	113.24	—	—
7	02-02T12:00	118.19	112.86	115.32	112.74
8	02-09T12:00	118.91	114.37	115.54	114.29
9	02-15T12:00	118.80	114.60	116.15	114.30
10	02-18T10:00	118.19	113.73	115.36	113.24

由于母线电压随负荷波动,为进一步分析I母和II母电压之间的关系,选取DCS中1号机II母与I母电压的比值进行比对分析,两段母线电压及电压比值变化曲线见图2和图3。

从图3可看出,1号机II母和I母电压比值为明显的两个区间,从第1采样点至第5采样点为第一区间,比值维持在0.971~0.984,即电压比偏差

收稿日期:2017-02-03;修回日期:2017-03-18

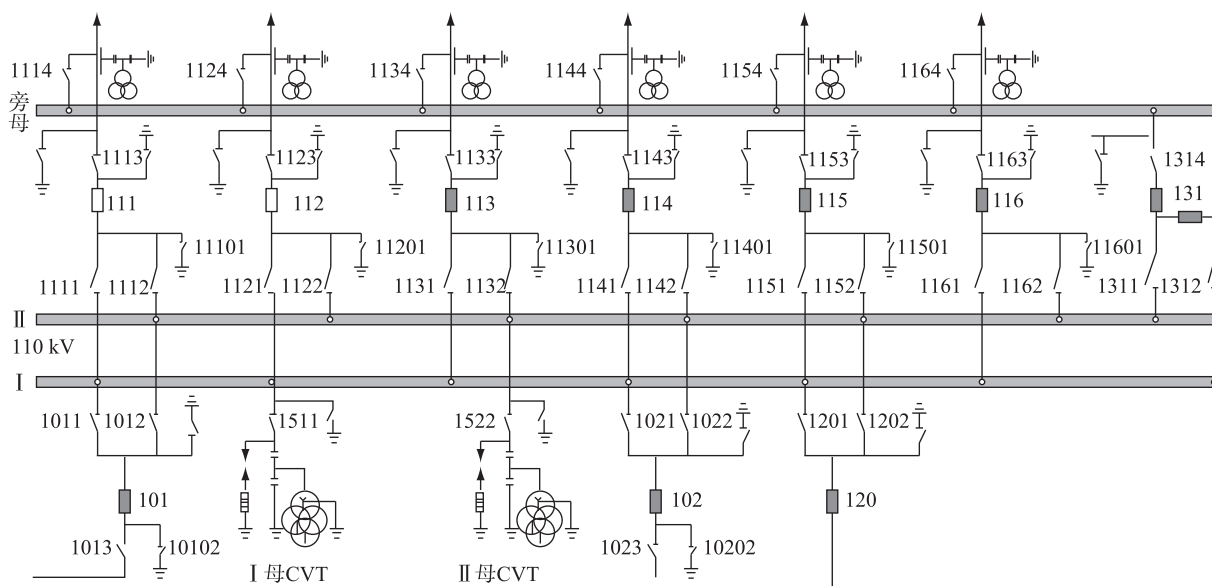


图 1 110 kV 升压站主接线

Fig.1 110 kV booster station main wiring diagram

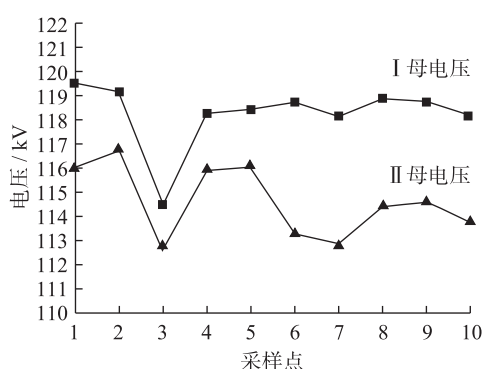


图 2 1 号机 DCS 显示 I 母和 II 母电压

Fig.2 No.1 unit DCS shows I bus and II bus voltage

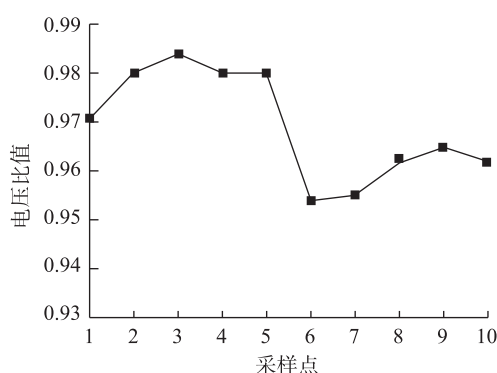


图 3 1 号机 DCS II 母电压与 I 母电压比值

Fig.3 The No.1 unit ratio of II bus and I bus voltage in DCS

范围为-1.6%~-2.9%;第6采样点至第10采样点为第二区间,比值维持在0.954~0.965,即电压比偏差范围为-3.5%~-4.6%;此外2号机DCS显示的I母和II母电压也存在较大差值,其II母和I母电压比偏差范围为-3.2%~0.1%。

2号机的第5和第6采样点实际为1月31日突变前后的两点,首先发现1月27日和2月2日电压比值变化较大,后由电压日曲线中查出。至此,共发现2号机II母B相电压相对I母B相电压发生了2次电压值突降,分别为2016年1月8日4时00分由119.32 kV突变为115.92 kV,2016年1月31日2时10分由116.07 kV突变为113.24 kV。

2.2 带电检查

对母联开关、2组母线CVT本体和各处引线接头等进行红外热成像检测未发现异常^[7],CVT间隔各接地点接地情况良好;在I母和II母CVT二次端子出线盒、端子箱、切换柜等处逐级测量保护绕组和计量绕组电压,二次回路电压及连接正常。2月18日在CVT端子箱测得II母CVT B相电压低于I母CVT B相约为2.6 V,偏差率为-4.17%,测得二次电压和二次电流数据如表2所示。

表 2 110 kV CVT 端子箱二次绕组测量数据

Table 2 The secondary winding data measured in the 110 kV CVT terminal box

CVT 被测绕组	二次侧电压/V			二次侧电流/A			
	A相	B相	C相	A相	B相	C相	
I 母	保护	60.6	62.3	60.6	0.11	0.18	0.16
	计量	60.4	62.1	60.2	0.10	0.18	0.12
II 母	保护	60.7	59.7	62.1	0.09	0.12	0.11
	计量	60.3	59.7	61.9	0.07	0.08	0.10

从表2可看出,二次侧负荷电流较小,且二次回路电压大小与二次侧电流无对应关系;II母CVT B相和I母CVT B相保护绕组电压比值为0.9583,测

量绕组为 0.961 4,与 DCS 系统数据中 1 号机 II 母和 I 母电压比值的第二个区间值相吻合(0.954~0.965);II 母 CVT B 相和 I 母 CVT A 相保护绕阻电压比值为 0.985 1,测量绕组为 0.988 4,DCS 系统数据中 2 号机 II 母和 I 母电压比值为 0.981 6。从表 1 和表 2 也可看出, I 母 A 相和 C 相 CVT、II 母 A 相 CVT 与 I 母 B 相 CVT 也存在较大差值,电压比偏差为-2.7%左右。

综上所述,DCS 系统显示的电压偏差与二次侧各绕组测得偏差的趋势一致,因二次绕组的三组线圈为独立绕制,多支互感器的三组线圈不可能同时出现故障导致电压偏低,结合 DCS 系统数据调阅和现场检查情况分析判定二次回路系统无异常。

3 理论计算分析

CVT 型号为 TYD110/ $\sqrt{3}$ -0.02H,主要由电容分压器和电磁单元组成,结构原理见图 4。由高压电容 C_1 和中压电容 C_2 构成的电容分压器将一次电压变换为 20 kV 左右的中间电压,再通过电磁单元的中间变压器 T 将中间电压变换为二次电压,由补偿电抗器补偿电容分压器等效阻抗,从而确保二次电压与一次电压之间获得正确的幅值与相位关系^[8-11],1a-1n 为保护绕组,2a-2n 为计量绕组,da-dn 为剩余绕组。

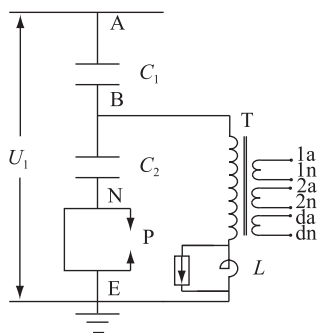


图 4 CVT 结构原理

Fig.4 CVT schematic diagram

因 I 段和 II 段母线为并列运行,II 段母线 B 相电压相对 I 段母线 B 相电压出现 2 次阶梯式突降,且就地实测对应的二次绕组与 DCS 系统显示一致,判断 II 母 CVT B 相本体内存在故障,因同一支 CVT 多个二次侧绕组测得电压的偏差一致,可首先排除电磁单元存在故障,根据电压下降的方式和二次侧测试结果分析,CVT 电压异常与其内部电容单元存在局部击穿故障相符。

DCS 中显示的母线电压在电容单元短路后与短路前的比值可表示如下:

$$\frac{U_{\text{labnor}}}{U_{\text{Inor}}} = \frac{K_{\text{set}} U'_2}{K_{\text{set}} U_2} = \frac{K_{\text{set}} k_1 k'_2 U_1}{K_{\text{set}} k_1 k_2 U_1} = \frac{k'_2}{k_2} \quad (1)$$

式中: U_{labnor} 为 DCS 在 CVT 发生部分电容单元短路后的一次电压显示值; U_{Inor} 为 DCS 在 CVT 正常时一次电压显示值; K_{set} 为 DCS 中设定的 CVT 一次电压与二次电压的比值; U'_2 为 CVT 发生部分电容单元短路后的二次输出电压; U_2 为在 CVT 正常时的二次输出电压; k_1 为 CVT 电磁单元的分压比; k'_2 为分压电容器在发生部分电容单元短路后的分压比; k_2 为分压电容器在正常时的分压比; U_1 为一次运行电压。

由式(1)可知,电容分压器在电容单元短路后与短路前的分压比即为 DCS 中母线电压在电容单元短路后和短路前的比值。本次所涉及 CVT 的电容分压器内部共封装 93 支电容单元, C_1 由 64 支组成, C_2 由 29 支组成。为便于计算分析,假设电容单元电容量无分散性(即电容量相等),此时 C_2 内电容单元的数量与电容分压器内总的电容单元数量比即为分压比, k'_2 和 k_2 见式(2)和式(3)。

$$k'_2 = n_{\text{abnor}}/N_{\text{abnor}} \quad (2)$$

$$k_2 = n_{\text{nor}}/N_{\text{nor}} \quad (3)$$

式中: n_{abnor} 为 CVT 发生部分电容单元短路后 C_2 内剩余正常电容单元的数量; N_{abnor} 为 CVT 发生部分电容单元短路后电容分压器内剩余正常电容单元的总数量; n_{nor} 为 C_2 内电容单元的设计数量,本文为 29; N_{nor} 为电容分压器内电容单元的设计数量,本文为 93。经计算, k_2 为 0.311 8。

当 C_2 内 1 支电容单元短路后,将式(2)和式(3)代入式(1),可得 DCS 中显示母线电压短路后与短路前电压比值为 0.976 1,即电压偏差理论计算值为-2.4%;同理,若 C_2 内 2 支电容单元击穿短路,电压比值为 0.951 6,短路后电压偏差理论计算值为-4.8%,若 C_2 内 2 支电容单元和 C_1 内 1 支电容单元击穿短路,电压比值为 0.962 2,短路后电压偏差理论计算值为-3.8%。此计算结果与 II 母电压和 I 母电压的二次比值波动曲线范围相吻合,B 相电容单元存在击穿短路得到进一步印证,且故障随运行时间呈发展趋势。

4 停电试验检查

4.1 停电试验

对 II 母 CVT 进行了绝缘电阻测试、介质损耗因数和电容量测量、计量绕组比差和角差测量等试验项目^[12,13]。绝缘电阻、介质损耗因数和电容量测试结果未见明显异常,但 3 支 CVT 中 A 相和 B 相比差

存在严重超差(规定值 $\leq 0.2\%$),测量数据见表 3(仅列出额定电压下数据)。

表 3 II 母 CVT 额定电压下比差与角差测量值
Table 3 The ratio error and phase displacement data under rated voltage of II bus CVT

相别	误差	本次	投产前	二次负荷/(V·A)		
				1a-1n	2a-2n	da-dn
A 相	比差/%	-2.570	-0.158	150	150	100
	角差/(')	4.00	6.54			
	比差/%	-2.500	0.083	2.5	0	0
	角差/(')	2.30	-0.83			
B 相	比差/%	-4.290	-0.160	150	150	100
	角差/(')	2.70	5.74			
	比差/%	-4.200	0.069	2.5	0	0
	角差/(')	1.40	-1.14			
C 相	比差/%	-0.160	-0.147	150	150	100
	角差/(')	5.07	8.42			
	比差/%	-0.010	0.089	2.5	0	0
	角差/(')	0.75	1.27			

表 3 中,B 相和 A 相的比差测量数据分别与中压电容存在 2 支和 1 支电容单元短路情况的理论计算值吻合^[14-16],试验结果表明 II 母 CVT 本体的确存在故障。通过表 2 中停电前二次端子箱测量数据对比可以判断 I 母 A 相和 C 相 CVT 的确存在问题。

I 母和 II 母 6 支 CVT 于 2015 年 11 月投运,短时间内出现多支电压显示异常,该型号批次产品质量存在安全隐患,且内部故障呈发展趋势,长期运行会引起较大的计量误差,造成售电量损失,一旦发展为整支 CVT 短路故障,会引起互感器爆炸起火,机组跳闸,严重危及电厂的安全稳定运行。充分技术讨论后,决定对 I 母 CVT 进行停电检查确认,同时要求制造厂家对该批次 6 支 110 kV 母线 CVT 进行更换。

4.2 返厂解体检查

在制造厂家进行 CVT 解体检查,发现 CVT 高压和中压电容器分别存在电容单元击穿短路现象,与前期分析诊断结果吻合。

具体解体检查方案为从 6 支 CVT 中选取比差数据较大的 2 支进行角差比差复测、电容器局部放电测量和介损及电容量测量等试验,然后将试品解体进行外观检查并逐支测量高压和中压电容器的电容单元的绝缘电阻,将绝缘电阻较低的电容单元分层展开查找故障点。

按上述方案选取了 I 母 A 相和 II 母 B 相 CVT 作为解体检查对象,复测结果表明,比差超差情况与前期测量结果一致,在二次负荷满载下 I 母 A 相

为 -5.39% ,II 母 B 相为 -4.42% ;局部放电测量未见异常;I 母 A 相和 II 母 B 相 CVT 电容单元的电容容量存在明显异常,数据见表 4。

表 4 电容单元电容量数据

Table 4 Capacitance data of capacitor unit

被测元件	出厂试验		返厂检查		偏差 / %
	电压/kV	电容/nF	电压/kV	电容/nF	
I 母 A 相 C_1	45	30.16	10	30.24	0.27
I 母 A 相 C_2	20	64.64	10	69.42	7.39
II 母 B 相 C_1	45	30.75	10	31.36	1.98
II 母 B 相 C_2	45	64.02	10	69.60	8.41

分析现场试验未发现电容量发生明显变化的原因,电容单元击穿点导电通道在被绝缘油渍情况下,故障初期仍具一定绝缘,现场试验采用自激法,在较低电压下未测出电容量异常,返厂后采用反接线,试验电压高于自激法;此外,经过返厂后多次局部放电测量和高压介损测量等高压试验,故障电容单元内的击穿点放电通道进一步发展比初期稳定,因此测出电容量发生了明显变化。

解体后外观检查未发现电容单元放电痕迹,随后进行单支电容单元绝缘电阻测量,结果为 I 母 A 相 CVT 的 C_2 自下而上第 1 个和第 5 个电容单元阻值为 0, C_1 无异常;II 母 B 相 CVT 的 C_2 自下而上第 3 个和第 5 个电容单元阻值为 0, C_1 自上而下第 1 个电容单元阻值为 0。随后对上述绝缘电阻为 0 的电容单元展开查找故障点,发现内部均存在多层击穿现象。

该型号 CVT 内部的电容单元为全膜介质结构,电容器单元由 2 层锡箔和 3 层绝缘薄膜介质卷绕而成。对多个故障点检查,未发现电容单元存在“S”形褶皱、层间杂质、锡箔机械裂纹等加工卷绕缺陷,电容单元击穿非设计和加工环节引起。分析为电容单元锡箔间绝缘薄膜介质的材质存在薄弱点,经受不住长期额定运行电压,导致击穿放电。

制造厂家告知,该批次产品临时更换了薄膜介质供应商,薄膜材料质量存在绝缘薄弱点和浸油性不好的缺点。查阅原材料记录,制造厂家使用该材料加工了 10 支电容分压器用于电容式电压互感器,本次供货的 110 kV 母线 CVT 占其中 6 支,其他 4 支作为库存,在检验中发现问题并未出厂,现已停用该供应商的绝缘材料。

5 结语

该次发电厂 DCS 110 kV I 段和 II 段母线电压显示异常现象由母线 CVT 内部电容单元存在局部

击穿短路引起。当 CVT 内部个别电容单元存在击穿故障时,会导致电容分压比变化,从而导致一次电压监测值变化。鉴于母线电压随负荷变化经常波动,采用分析不同母线间电压比值变化及查找电压跃变点的方法能更明显反映母线电压异常变化程度;CVT 比差和角差测量比例行试验中介质损耗因数和电容量测量更容易发现电容单元击穿短路缺陷。

制造厂家应加强 CVT 制造过程中电容单元的质量管控,当绝缘薄膜介质等材料批次或厂家变更后,要做好原材料质量检测等工作。电厂技术人员应加强对在运 CVT 的监测工作,一旦发现电压数值存在异常,应及时分析母线电压数据,并视情况开展二次绕组电压测量和停电试验检查。

参考文献:

- [1] 卢峰超,刘雪飞,白剑忠,等. 500 kV 电容式电压互感器电压异常分析及处理[J]. 河北电力技术,2012,31(1):28-45.
LU Fengchao, LIU Xuefei, BEI Jianzhong, et al. Analysis and treatment of voltage abnormality in 500 kV capacitor voltage transformer[J]. Hebei Electric Power, 2012, 31(1): 28-45.
- [2] 苏凤飞,高鹏,周浩. 几种电压互感器典型故障类型分析[J]. 陕西电力,2014,42(1):65-68.
SU Fengfei, GAO Peng, ZHOU Hao. Analysis on several fault type of potential transformer[J]. Shaanxi Electric Power, 2014, 42(1): 65-68.
- [3] 胡鹏,李成钢,陈大兵. 电缆 GIS 终端环氧套管开裂原因分析及对策研究[J]. 电力工程技术,2017,36(1):102-105.
HU Peng, LI Chenggang, CHEN Dabing. Cause analysis and countermeasure study of cracking accident of cable GIS terminal epoxy casing [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(1): 106-108.
- [4] 王黎明,方斌. 500 kV 电容式电压互感器暂态特性仿真[J]. 高电压技术,2012,38(9):2389-2396.
WANG Liming, FANG Bin. Simulations oil transient characteristics of 500 kV capacitor voltage transformer[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(9): 2389-2396.
- [5] 杨育霞,马朝华,许珉. 电容电压初值对 CVT 铁磁谐振影响的仿真研究[J]. 电力自动化设备,2007,27(4):10-13.
YANG Yuxia, MA Chaohua, XU Min. Simulation research on influence of initial capacitor voltage value on CVT ferroresonance [J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(4): 10-13.
- [6] 穆靖宇,华超. 一起 CVT 分压电容器击穿事故的处理与分析[J]. 电力电容器与无功补偿,2014,35(4):75-78.
MU Jingchao, HUA Chao. Treatment and analysis of a breakdown fault of CVT dividing capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2014, 35(4): 75-78.
- [7] DL/T 664—2008 带电设备红外诊断应用规范[S].
DL/T 664—2008 Application rules of infrared diagnosis for live electric equipment[S].
- [8] 乔立凤,高敬更,温定筠,等. 电容式电压互感器二次电压异常分析处理[J]. 电子测量技术,2013,36(2):116-118.
QIAO Lifeng, GAO Jinggeng, WEN Dingjun, et al. Analysis and treatment on abnormal secondary voltage of capacitor voltage transformer[J]. Electronic Measurement Technology, 2013, 36(2): 116-118.
- [9] 戴申华. 一起励磁系统通道异常导致的故障分析[J]. 电力工程技术,2017,36(1):106-108.
DAI Shenhua. Analysis of the trip caused by abnormal channel of excitation system [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(1): 106-108.
- [10] 罗辑. 浅析两起 110 kV 电容式电压互感器故障[J]. 高电压技术,2005,31(3):92-94.
LUO Ji. Analysis of two case of faults of 110kV capacitor voltage transformer [J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(3): 92-94.
- [11] 杨新春,李化,杨红权,等. 一起 110 kV 电容式电压互感器故障诊断与处理[J]. 电力电容器与无功补偿,2010,31(6):57-60.
YANG Xinchun, LI Hua, YANG Hongquan, et al. Fault diagnosis and treatment on a fault of 110 kV capacitor voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2010, 31(6): 57-60.
- [12] 李涛,杜晓平. 电容式电压互感器自激法的测试及误差分析[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(5):31-33.
LI Tao, DU Xiaoping. Discussion about self-excited method error on capacitor voltage transformer[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(5): 31-33.
- [13] 刘辉. 电容式电压互感器电容量和介损试验方法的探讨[J]. 变压器,2009,46(11):44-47.
LIU HUI. Discussion on capacitance and dielectric dissipation factor test method for capacitor voltage transformer[J]. Transformer, 2009, 46(11): 44-47.
- [14] 陈天翔,王寅仲. 电气试验[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
CHEN Tinxiang, WANG Yingzhong. Electrical test [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [15] Q/CDT 107 001—2005 电力设备交接和预防性试验规程[S].
Q/CDT 107 001—2005 Code for electrical equipment handover and preventive test[S].
- [16] Q/GDW 1168—2013 输变电设备状态检修试验规程[S].
Q/GDW 1168—2013 Test code for condition based maintenance of power transmission and transformation equipment[S].

作者简介:



赵森

赵森(1985—),男,黑龙江齐齐哈尔人,工程师,从事电气设备绝缘监督与故障诊断工作。

(下转第 119 页)

A Method for Energy-loss Analysis in Coal-quality Index for Coal-fired Boilers

FANG Chao

(Huaneng Nantong Power Plant, Nantong 226003, China)

Abstract: The relationship between the constituents and the heating value of the coal is complicated. Currently there is no unified method in the energy loss analysis in coal-quality index for coal-fired boilers. The generally adopted method, of which the limitations are apparent, is to analyze the individual index of the coal quality. Study shows that the converted moisture, converted ash and the converted hydrogen are at once the quality index of the coal and the quantitative index of the combustion products which are closely related to the heat loss of the boiler. Starting from a formula for boiler heat loss, this article proposes a method for energy-loss analysis using the converted constituents of the coal with examples of calculation and analysis. Simple and practical as it is, this method can be an alternative for colleagues of other power plants in energy-loss analysis.

Key words: boiler; coal quality; converted constituents; energy-loss analysis

(编辑 徐林菊)

(上接第 114 页)

Analysis and Treatment of Abnormal Bus Voltage Caused by Internal Fault of 110 kV Capacitor Voltage Transformer

ZHAO Miao

(China Datang Corporation Science and Technology Research Institute Co. Ltd. East China Branch, Hefei 230601, China)

Abstract: According to the abnormal voltage deviation of 110 kV section I and II bus in a power plant, the DCS system data, on-line examination, theoretical calculation and electrical test are comprehensive analyzed in this paper. Thinking that the 110 kV bus voltage anomaly is caused by some internal capacitor unit short circuit in the CVT. Then return the equipment to the factory, the result of the preliminary analysis is verified by the disassembly inspection, at the same time some capacitor unit quality defects are founded out, such as insulation material weakness and bad dipping property. Accordingly, require the manufacturer to replace all the products of this batch, then propose some treatment measures and suggestions for the same type equipment.

Key words: bus voltage; capacitor voltage transformer; capacitor unit; breakdown

(编辑 刘晓燕)