

# 超声波与高频脉冲电流 相结合的变压器局部放电在线监测方法

肖勇 庞军 周波 罗涛  
(成都电业局,四川成都 610041)

**摘要:** 为了实现一种可靠的、有效的变压器局部放电在线监测方法,比较了目前各种监测手段的优劣,采用将超声波与高频脉冲电流相结合的局部放电监测方法,从而避免了单一监测手段的固有缺陷。将该方法投入实际使用,并与离线局部放电试验对比,结果表明该方法具有灵敏度高、抗干扰能力强、安全可靠、能够定位等优点。

**关键词:** 变压器;局部放电;超声波;高频脉冲电流

**Abstract:** In order to achieve a reliable, efficient on-line monitoring method of partial discharge for transformer, the merits and demerits of various monitoring methods are compared. The inherent defect of single monitoring method will be avoided based on the combination of ultrasonic and high-frequency pulse current. The method has been put into actual use, and it has been compared with off-line partial discharge test. The results show that the method has the advantages of high sensitivity and strong anti-interference ability, and it is safe and reliable, and has the function of location.

**Key words:** transformer; partial discharge; ultrasonic; high-frequency pulse current

中图分类号:TM835 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2011)06-0053-03

作为电网设备的枢纽,电力变压器的运行状况直接影响电网的可靠性。据运行经验,大部分变压器故障都是由于绝缘损伤引发的。变压器的结构相对于其他电力设备复杂很多,由于在设计制造上、运输安装过程中,或多或少会存在一些绝缘缺陷,这些缺陷在长期的运行中会产生局部放电并经过积累将造成严重的变压器故障。

局部放电试验已成为变压器出场试验和例行试验中衡量变压器绝缘状况的重要手段。然而,离线试验一般都是在故障出现后或定期进行,缺乏长期有效的跟踪监督;另外,离线试验的条件也与设备运行时的状况有较大的差异,不能准确反映运行状态。变压器局部放电的在线监测是在运行过程中对局部放电参数进行监测的一种手段,它能够实现长期跟踪监督,更能准确反映在变压器在运行过程中的实际状况。同时在线监测大大减少了停电带来的损失。因此,主变压器局部放电的在线监测具有重要的现实意义和经济价值。

目前,变压器局部放电在线监测方法主要有超声波法、高频脉冲电流法、超高频法、光检测法、红外成像法、气相色谱法等等<sup>[1]</sup>。这些方法各有优缺点。

## 1 变压器局放监测现状

变压器在局部放电过程中由于电荷的迁移,会产生电脉冲、电磁辐射、光辐射、超声波以及由于绝缘油和绝缘纸这些绝缘介质的分解会产生一些新的生成物,并引起局部过热。因此,通过对不同现象的监测来反映局部放电,相应产生了脉冲电流法、超高频检测法、超声波检测法、光测法、化学检测法以及红外检测法等多种检测方法<sup>[2]</sup>。

### 1.1 高频脉冲电流法

采用罗格夫斯基线圈高频电流传感器获取外壳接地线、铁心接地线、夹件接地线的高频脉冲接地电流<sup>[3,4]</sup>。通过对高频脉冲电流波形的相位、幅值、频谱等特征的分析来实现局部放电的检测。该方法的优点是灵敏度高,能反映运行状态下局部放电脉冲电流,但易受现场电磁环境的干扰,且不能实现定位。

### 1.2 超声波法

利用安装在变压器箱壁上的超声波传感器来检测局部放电发生时由电子间剧烈碰撞产生的超声波信号<sup>[5]</sup>。通过对超声波幅值大小、相位分布,以及频谱分析可实现对局部放电的检测。同时在箱壁上不同

位置安装多个超声波传感器,并比较分析各信号的时延可实现局部放电的定位。该方法的优点是与被测设备没有电气联系,不受现场电磁环境干扰,可实现定位及在线监测。由于局部放电发生时产生超声波的能量仅占总能量的1%,且超声波在变压器内部的传播路径复杂以及声波的折反射导致能量的损失,以及光信号与电信号的转换效率等问题,该方法的灵敏度较低,目前一般所能到达的精度为几百 pC。

### 1.3 超高频法

利用装设的高频传感器测量由局部放电脉冲激发的超高频电磁波来检测局部放电。由于超高频电磁波的频率成分高达 300 MHz ~ 3 GHz<sup>[6]</sup>,能有效避开现场干扰,且具有较高的灵敏度。然而,由于变压器箱体对电磁波的屏蔽作用,传感器的安装需要对变压器进行开窗或安装内置式传感器,因此方法在使用上受到一定的限制。

### 1.4 光检测法

通过荧光光纤检测局部放电所产生的荧光来检测局部放电。该方法的优点是测量时光信号不受电磁干扰,灵敏度高,可以方便地确定局部放电位置。缺点是光纤的埋法复杂,目前光纤传感器的分辨率尚不能满足工程需要,不能进行定量分析与局部放电的模式识别。

### 1.5 气相色谱法

通过检测变压器局部放电时气体生成物的组成和浓度,判断局部放电的状态。油气分离是一个长期的过程,存在很大的时延,对发现早期潜伏性故障较灵敏,不能反映突发性故障;且只能作定性的分析,无法进行定量判断;因此该方法只能作为一种辅助手段<sup>[7-9]</sup>。

### 1.5 红外成像法

基于变压器内部局部放电产生的电热能量引起局部区域的温度升高,通过红外探测器和热成像来实现局部放电检测。优点是使用方便,结果直观,对于变压器局部过热故障比较灵敏。缺点是当局部放电还没有产生明显局部过热时或故障点处于变压器深处时,该方法效果不理想。目前多用于套管的检测,仅仅是局部放电监测的一种辅助手段。

## 2 超声波与高频脉冲电流相结合

### 2.1 信号的选取

变压器局部放电的监测手段众多,但为了实现一种可靠的、有效的变压器局部放电在线监测方法,须

综合考虑安全、灵敏度、抗干扰能力。

通过对各种局部放电监测方法优缺点的比较分析,超声波法和高频脉冲电流法都是通过外部探测,无需改变变压器的运行方式和内部结构,便于安装使用,最适合用于变压器局部放电在线监测。

这两种方法又各有其固有缺陷和优势,因此,将两种方法结合可扬长避短,解决了超声波法灵敏度低、高频脉冲法抗干扰能力差的缺点。以两种信号都监测到局部放电信号作为判断,减少了单一信号的误判率。适用于长期在线监测。

### 2.2 监测原理

联合监测原理图如图1所示。

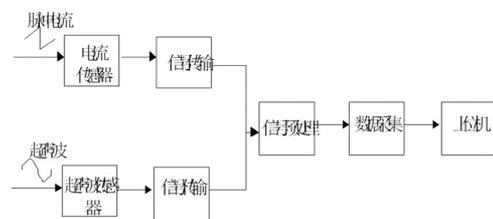


图1 联合监测原理图

监测的局部放电信号有高频脉冲电流和超声波信号。

高频脉冲电流信号用电流传感器从变压器铁心接地线处获取。电流传感器采用宽带型罗格夫斯基线圈做成钳形,可将高频电流信号转换成电压信号。宽带型电流传感器可以得到局部放电信号比较广泛的频率成分,便于后续的信号处理。

超声波信号通过超声波传感器从变压器的油箱壁获取。超声波传感器采用压电陶瓷安装在金属外壳上,可带动金属外壳一起振动,并在金属壳里填充树脂作为密封。由于超声波在空气中迅速衰减,因而介于传感器及其附着表面间的任何微小气隙也可能造成无法有效测量超声波信号。在传感器布置时应保证超声波传感器与变压器箱壁接触良好。

信号的传输采用波阻抗相匹配的同轴电缆,传输两种信号的信号电缆应分别满足相应的频率要求,衰减满足要求。信号预处理是对同轴电缆传输过来的电信号进行放大处理,使幅值满足数据采集卡的对信号输入的幅值要求。数据采集卡采用高速 A/D 转换,采集卡的采样率应满足所采集信号频率的两倍以上。上位机完成局部放电信号的分析处理,结果显示功能,同时还负责对系统硬件的控制功能。

### 2.3 联合监测成套装置

成套装置采用魏德曼公司生产的 Power PD。该

装置主要由传感器、主机、上位机 3 部分组成。

传感器分别由 4 个超声波传感器与一个高频电流传感器构成。超声波传感器分别布置于变压器箱壁各侧,使用时将甘油凝胶敷于安装表面并确保凝胶层内不含气泡,保证传感器与变压器油箱壁接触紧密。高频电流传感器通常卡在铁心接地线上,当位置固定后应将传感器固定以免在以后运行过程中发生移动。

主机包括 CPU、ADC 插板、信号处理插板、主板等部件。主要功能有:信号放大、信号处理。一个主机的多个采集通道对各传感器的信号同时进行采集、处理。上位机完成波形的显示、信号的分析、数据存储等功能。

### 3 实测分析

#### 3.1 在线监测

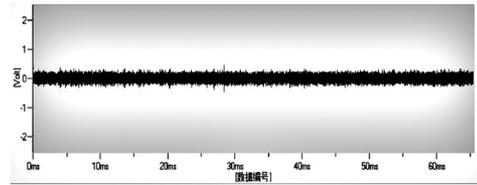
110 kV 某变电站变压器在运行过程中通过化学检测法发现乙炔及总烃超标。怀疑为内部放电引起。对该变压器进行了局部放电在线监测,测试方法为超声波与高频电流相结合的方法。超声波传感器安放位置为变压器高、低压套管对应油箱壁处及两侧油箱壁处,高频脉冲电流取自铁芯接地线。测试结果如图 2 所示。

图 2 中 (a)、(b)、(c) 分别为 U、V、W 相对应箱壁处超声波波形,(d) 为脉冲电流波形,该图形为滤波之后波形。根据波形分析,W 相超声波幅值较其他两相较大,约为 U 相的 2 倍,且具有局部放电的相位特征。脉冲电流波形也具有明显的局部放电相位特征。W 相超声波传感器和高频脉冲电流传感器均检测到放电信号,且具有一一对应关系,证明传感器接收到的信号时来自变压器的内部,非外界干扰。

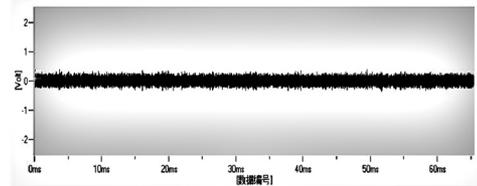
根据现场超声波传感器的检测位置,检测到局放信号的传感器位于变压器的 W 相处,且根据波形分析在变压器的 W 相位置检测到的超声波信号幅值最大,可以初步判断 W 相存在局部放电现象,W 相的出线部分发生局部放电的可能性最大。

#### 3.2 离线试验

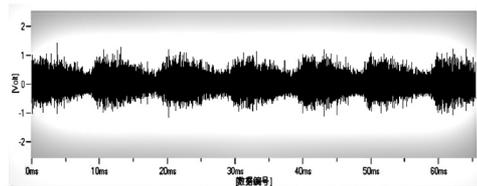
为了进一步验证,对该变压器进行离线局部放电测试,测试接线如图 3 所示。离线局部放电试验信号通过变压器套管电容耦合,加压方式为低压加压,高压感应。



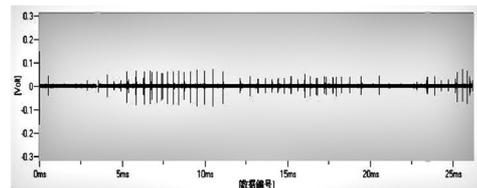
(a) A 相超声波波形



(b) B 相超声波波形



(c) C 相超声波波形



(d) 脉冲电流波形

图 2 局部放电监测波形

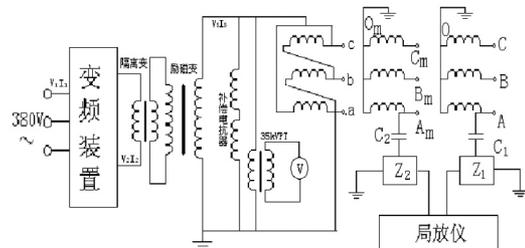


图 3 离线局放试验接线图

离线局放试验测试结果如表 1 所示

表 1 离线局放试验结果

频率/Hz	施加电压	局部放电量/pC		
		A	B	C
73.7	$1.1U_m\sqrt{3}$	30	60	513
73.7	$1.5U_m\sqrt{3}$	32	85	680

从表 1 的测试结果可以看出 W 相的局部放电量明显超过其他两相。

#### 3.3 对比分析

在线监测超声波传感器和高频脉冲电流传感器均检测到了局部放电信号,这比单一监测手段的结果更加可靠。与离线试验对比,均在 W 相检测到局部放电信号,表明该方法能够有效监测局部放电信号,

(下转第 84 页)

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)