

# 大型变压器中性点绝缘的现场考核

王 伟<sup>1,2</sup>, 梁贵书<sup>1</sup>, 韩金华<sup>2</sup>, 杨晓辉<sup>2</sup>, 王 吉<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学, 河北 保定 071003; 2. 河南电力试验研究院高压所, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 笔者通过对几例大型变压器中性点绝缘故障实例的分析, 说明了现场考核变压器中性点绝缘的必要性。文章还介绍了利用变压器中性点现场交流耐压试验以考核其绝缘的方法, 并提出对变压器中性点进行局部放电测量的建议。

**关键词:** 变压器; 中性点绝缘; 现场考核; 交流耐压试验; 局部放电测量

中图分类号: TM41

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)02-0114-03

## On-site Examination on Neutral-point Insulation of Large Transformer

WANG Wei<sup>1,2</sup>, LIANG Gui-shu<sup>1</sup>, HAN Jin-hua<sup>2</sup>, YANG Xiao-hui<sup>2</sup>, WANG Ji<sup>2</sup>

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Department of High Voltage, Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** Through the analysis of some neutral-point insulation faults of large transformers, the necessity of on-site examination on neutral-point insulation of large transformers is discussed. The method of assessing neutral-point insulation of a large transformer through on-site AC voltage-endurance test is presented. Moreover, partial discharge measurement of neutral point of transformer is suggested.

**Key words:** transformer; neutral-point insulation; on-site examination; AC voltage-endurance test; partial discharge measurement

## 0 引言

110 kV 及以上电压等级的电力变压器一般采取中性点有效接地的运行方式, 此时变压器中性点附近的绕组对地电压比较低, 不易发生绝缘故障, 因此变压器中性点的绝缘水平大都设计得比端部绝缘低一到两个等级, 现场试验中也很少对变压器中性点的绝缘进行考核。但如果因某种原因造成变压器中性点附近的主绝缘或纵绝缘降低, 也将会给变压器带来严重的故障。因此, 2006 年底实施的新版《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》(以下简称《交接标准》)增加了对 110 kV 及以上电压等级的电力变压器进行交流耐压的规定<sup>[1]</sup>。笔者结合以往变压器发生中性点绝缘故障的实例说明对变压器中性点绝缘进行现场考核的必要性, 同时介绍了变压器中性点进行现场交流耐压来考核其绝缘的方法, 并提出了对变压器中性点进行局部放电测量的建议。

## 1 考核变压器中性点绝缘的必要性

变压器内部的绝缘分为主绝缘和纵绝缘两类。主绝缘指绕组对地、相间及不同电压等级的绕组间的

绝缘, 而纵绝缘指绕组层间、匝间及段间的绝缘。对于变压器中性点附近的绕组, 同样存在这两类绝缘。

变压器运行时如果采取中性点接地的运行方式, 则变压器中性点附近绕组的对地电压很低, 此时对其主绝缘的要求不高。但根据系统需要, 变压器有时在中性点不接地的方式下运行, 如果这时三相不平衡或是系统出现故障, 变压器中性点的对地电压就会比较高, 这就要求变压器的中性点也具有一定的主绝缘水平。考虑到制造成本, 110 kV 及以上电压等级的电力变压器通常采用分级绝缘方式, 即中性点的绝缘水平低于线端绝缘水平, 如: 110 kV 级变压器中性点的绝缘水平为 35 kV 级; 220 kV、330 kV 级变压器中性点的绝缘水平为 35 kV 或 110 kV 级; 550 kV 级变压器中性点的绝缘水平为 35 kV 级或 66 kV 级等<sup>[2]</sup>。

变压器在运行中受到工频电压的作用, 其匝间的电压差按匝数分布, 因此中性点附近的绕组也承受和其它部位同样的匝电压, 这就要求其具有良好的纵绝缘。特别当变压器受到雷电冲击或操作冲击时, 中性点附近的绕组可能承受更高的冲击电压, 这对变压器中性点附近绕组的纵绝缘提出了更高的要求。

既然变压器中性点附近的绕组存在着绝缘, 并

收稿日期: 2008-09-01; 修回日期: 2008-12-13

作者简介: 王伟(1978-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事变压器类设备的试验研究工作。

且这些绝缘关系到变压器的安全稳定运行,那么,在对变压器进行试验时,就应该有针对性地对中性点附近绕组的绝缘进行考核,以确保这些绝缘在各类运行电压下不致损坏。但由于变压器中性点附近的电位一般较低,因此其绝缘的现场考核经常受到忽视。如《交接标准》和《电力设备预防性试验规程》(以下简称《预试规程》)虽然规定大型变压器在现场要进行局放试验,对中性点附近绕组的纵绝缘有所考核,但由于局放试验时变压器中性点接地,局放信号也仅在绕组端部测量,因此中性点附近绕组的局放信号很难被测量到,中性点附近绕组绝缘的微小缺陷也难以被发现。对变压器中性点的主绝缘来讲,《预试规程》虽然规定对变压器中性点进行交流耐压来考核其纵绝缘并给出了试验电压值,但对于大型变压器仅要求在更换绕组后进行该试验<sup>[3]</sup>,而91版的《交接标准》则干脆没有相关规定。这些忽视造成变压器中性点的绝缘没有受到应有的现场考核,从而给变压器的安全稳定运行带来了隐患。

## 2 变压器中性点绝缘故障举例

110 kV及以上电压等级的电力变压器在出厂时都进行整个绕组的交流耐压试验,对变压器中性点的绝缘性能也有所考核。但在现场运行中,由于中性点运行电压一般较低和试验设备等原因,常常忽视对变压器中性点绝缘的考核,结果造成了一些大型变压器中性点附近绕组绝缘的破坏。

### 2.1 中性点附近绕组主绝缘破坏

某变电站220 kV主变,型号为SFPSZ9-180/220,连接组别为YNyn0d11,2000年3月投运。2002年6月4日,在对该主变取油样作周期性色谱分析时发现乙炔体积分数超过注意值,达到11.1  $\mu\text{L/L}$ ,氢气为165  $\mu\text{L/L}$ 。于是缩短变压器油取样周期,每两天取一次油样进行色谱分析。在7月18日前,乙炔体积分数均在10  $\mu\text{L/L}$ 之内,7月19日,乙炔体积分数为15.94  $\mu\text{L/L}$ ,氢气为93.69  $\mu\text{L/L}$ 。此后乙炔体积分数快速增长,7月21日为21.69  $\mu\text{L/L}$ ,7月23日为30.64  $\mu\text{L/L}$ ,而其它气体体积分数未明显变化,总烃含量不高。初步判断为低能量放电,即不同电位不良连接点间或悬浮电位体的连续火花放电或者有载调压开关油箱密封不严。

该主变于7月24日停电进行处理。7月25日更换了有载调压开关的油并对有载调压开关进行了检查,还进行了各项常规试验及局放试验,均未发现异常,遂将该主变重新投入运行做进一步观察。有载调压开关放在合适档位,暂不调压。而运行30多个小时后,7月26日色谱分析结果乙炔值又升高了7  $\mu\text{L/L}$ 。7月30日该主变再次停运,进行放油彻底检查。在A相高压侧调压分接线导线夹上发现一手电筒,电

筒内电池已腐烂。手电筒玻璃朝外,挨着分接线,电筒后底触在支导线夹扇形垫块上,见图1。手电筒后底已被放电熏黑,扇形垫块上一片炭化,烧焦、炭化面积长约30 mm,宽约20 mm,深约8 mm。分接线上有一块炭灰,没有放电痕迹。从手电筒放的位置看,应该是遗留在上面而不是掉进去的。取出手电筒后,将扇形垫块炭化部分全部削去,分接线发黑处白布带削去,又包了一层新的白布带,故障点处理好后将变压器投运,此后乙炔含量不再增长。



图1 调压分接线导线夹上的手电筒

这台变压器的乙炔含量升高是由于高压侧中性点附近有异物悬浮放电所致,如果停电进行试验时增加中性点的交流耐压试验来考核中性点附近绕组对地绝缘的话,该缺陷应该会及时暴露,从而避免变压器的反复停电检查。

### 2.2 中性点附近匝间纵绝缘破坏

某电厂联络变,型号为SFPSB-240000/220,连接组别为YNyn0d11,1983年7月投运。该联络变于2004年3月26日停电检修,进行了常规清理检查,并更换了油枕、压力释放阀,常规试验和局部放电试验结果均正常。4月5日变压器准备恢复备用,当合上220 kV侧断路器对其进行充电时,出现220 kV断路器跳闸故障,同时收到“轻、重瓦斯动作”和“差动保护动作”信号。运行及检修人员到现场检查时发现变压器本体上节油箱底座螺栓有放电痕迹,测量变压器高压、中压、低压绕组和铁芯绝缘电阻合格,进行直流电阻测试时发现高压侧直流电阻互差达到25.5%,初步判断高压侧A相断股,取油样做色谱分析,总烃1824  $\mu\text{L/L}$ 、乙炔824  $\mu\text{L/L}$ 、氢气1399  $\mu\text{L/L}$ ,其它气体组分体积分数也都很高,变压器内部存在严重放电故障。

4月7日,联络变吊罩后现场检查发现A相底部有碎绝缘纸片,A相围屏下部“腰带”固定螺栓蹦断。打开围屏发现A相高压线圈中性点下部线圈五个饼绝缘损坏严重,最末一个饼绕组烧断一根(3根并绕),和故障后测的直阻相吻合,A、B两相低压绕组向上有轴向位移现象。具体情况见图2。

分析认为,从220 kV侧空投变压器属正常运行方式,若中性点附近绕组没有绝缘缺陷,不会出现绝缘损坏故障,因此A相中性点部位的绕组绝缘一定存在缺陷。该变压器投运已达22年,不可避免地存



图2 A相中性点附件烧毁情况

在一定程度上绝缘老化,同时,该变压器在历次检修后注油时均未抽真空,造成变压器内部绝缘存在受潮现象,特别A相绕组的中性点部位正对潜油泵的出油管,绝缘受潮更为严重。正常运行时,中性点附近绕组位于低电位,匝间绝缘的设计裕度也很大,所以运行正常。冲击合闸时,变压器励磁涌流很大,铁心严重饱和,绕组分布不均,中性点附近绕组的匝间电压比较高,而该处绝缘因受潮耐压强度下降,最终造成匝间绝缘破坏,绕组烧毁。

该变压器投运前曾做过常规试验和局部放电,但常规试验电压太低,而局放试验时中性点直接接地,即使中性点附近绕组产生局放信号,也无法通过高压绕组传到串接在高压套管末屏的局放检测单元,所以试验均未发现中性点附近绕组的绝缘缺陷,最终造成变压器烧毁。

### 3 变压器中性点绝缘的现场考核

由于变压器中性点附近绕组的绝缘问题引发了多起变压器故障和事故,造成了较大的损失,因此变压器中性点绝缘的现场考核受到越来越多的重视。《交接标准》在2006年进行修订时就增加了相关条款,其7.0.12款的第3条规定:“绕组额定电压为110kV及以上的变压器,其中性点应进行交流耐压试验,试验耐受电压标准为出厂试验电压值的80%”,同时在表7.0.13-2中对额定电压110kV及以上变压器的中性点在各种接地方式下进行交流耐压的试验电压进行了详细规定。

《交接标准》2006年11月实施以来,按照标准规定对现场新安装的绕组额定电压为110kV及以上的变压器进行了耐压试验。由于现场难以配备大容量、高电压的试验变压器,无法对被试变压器的中性点直接施加试验电压,因此试验时采用的是串联谐振的办法<sup>[4]</sup>。如对变压器高压侧的中性点进行耐压试验时,将被试变压器高压侧中性点与高压绕组端头短接,其它绕组接地,利用高压绕组对地和其它绕组的电容与电抗器串联,通过调节试验电源的频率使试验回路达到谐振状态,从而得到所需的试验电压,具体接线见图3。

按照上述试验方法对50多台新安装的变压器进行了现场中性点耐压试验。其中有一台型号为SSZ10-40000/110的变压器在按出厂试验值的80%

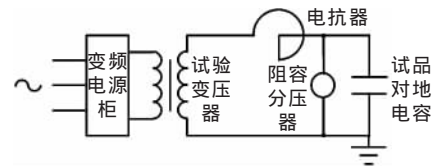


图3 变压器中性点耐压试验接线图

(112kV)进行耐压试验时内部出现放电,放油检查发现放电点在有载分接开关的绝缘杆上,见图4,若不是中性点耐压试验时及时发现该缺陷,则变压器在运行中很可能出现严重的事故。其余经过中性点绝缘现场考核的变压器投运以来运行状况良好,未发生一起因中性点附近绕组的绝缘缺陷引发的故障。不过这种耐压方法难以发现中性点附近绕组绝缘的微小缺陷,因此建议在进行变压器中性点耐压的同时测量中性点的局部放电量,方法类似于高压端头局部放电量的测量,也采用脉冲电流法,即在中性点套管末屏和地之间串接一个检测阻抗来获取变压器中性点处的局放信号。当然,对变压器中性点局部放电量允许值的大小还应结合厂家制造工艺和现场运行情况作进一步的探讨。

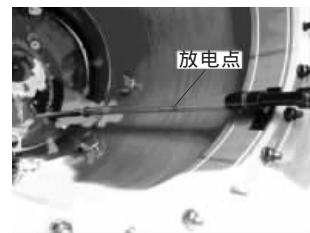


图4 变压器有载分接开关绝缘杆在中性点耐压试验时出现放电

### 4 结语

变压器中性点附近的绕组在运行中也会受到各种电压的作用,其绝缘的好坏直接关系到变压器的安全稳定运行,因此有必要在现场对变压器中性点进行绝缘考核。2006年修订的《交接标准》增加了对绕组额定电压110kV及以上变压器的中性点进行交流耐压试验的规定,建议《预试规程》也应考虑将变压器中性点耐压试验作为110kV及以上电压等级电力变压器的一项常规试验。同时为了发现变压器中性点附近绕组绝缘的微小缺陷,建议增加中性点的局部放电测量,以便对变压器中性点绝缘进行更有效的考核。

### 参考文献:

- [1] GB 50150-2006. 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].
- [2] GB 1094.3-2003. 电力变压器第3部分:绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙[S].
- [3] DL/T 596-1996. 电力设备预防性试验规程[S].
- [4] 李建明,朱康. 高压电气设备试验方法[M]. 北京:中国电力出版社,2001.