

# 35 kV 小型农村变电站主变压器防止过电压研究

曾家斌,李 昂

(自贡电业局,四川 自贡 643000)

**摘要:** 针对发生的一起主变压器高压绕组短路事故,结合事故变压器解体及相关检查、试验情况,对导致事故发生的原因进行分析,并提出因事故发生而暴露出来的问题以及应采取的相关对策措施。

**关键词:** 变压器; 雷击; 匝间短路; 感应过电压

**Abstract:** Aiming at the short-circuit fault of high-voltage winding of main transformer, the causes leading to the fault are analyzed combining with the disassembly of faulty transformer and the related inspections and tests. The weak points reflected by the accident and the corresponding countermeasures are proposed

**Key words:** transformer; lightning stroke; interturn short circuit; induced overvoltage

中图分类号: TM86 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)03-0080-03

## 0 引言

近年来,自贡电业局发生数起 35 kV 主变压器因雷击过电压造成绝缘损坏故障,经试验及吊芯检查发现,发生故障的主要原因是由于绕组、主绝缘和引线等部位的绝缘问题引起的,薄弱的绝缘在系统短路时由于短路电流耐受能力不够导致发生故障以及雷电过电压引起的主变压器绝缘损坏事故。下面对一起 35 kV 小型农村变电站主变压器因雷击造成绝缘损坏事故进行分析,制定改进主变压器防雷技术方案。

## 1 事故概况

### 1.1 事故发生经过

某 35 kV 小型农村变电站,有 1 回 35 kV 进线,4 条 10 kV 馈线,由单台主变压器供电。该主变压器容量 6 300 kVA,于 2008 年 12 月出厂,2011 年 6 月投运。2011 年 7 月 23 日 03 时 30 分,该站附近电闪雷鸣,风雨大作。当天 13 时 01 分,该站 1 号主变压器重瓦斯、轻瓦斯保护及差动保护动作,主变压器高、低压侧开关跳闸,10 kV 母线失压,4 条 10 kV 馈线速断保护动作跳闸,全站失压。经现场外观检查,发现瓦斯继电器内积聚了 500 mL 气体,初步判断变压器内部经受了严重的故障。事故时,该站为

单线单变压器结构,主变压器负荷为 2 300 kVA,35 kV 进线侧装有一组 YH5WZ-51 型复合式绝缘氧化锌避雷器,主变压器低压侧母线桥处装有一组 YH5WZ-17/45 型复合式绝缘氧化锌避雷器。变电站由两支与主网相连的针式避雷针构成防直击雷保护,其与主网接地电阻为 0.38  $\mu\Omega$ 。

### 1.2 事故后试验检查情况

#### 1.2.1 雷电情况

通过该局建立的雷电定位系统终端,查询到如下数据:23 日 03 时 30 分至 04 时 00 分,半小时内该片区有 6 次不同程度的雷电,最强一次落雷位置的纬度为 104.814 3,经度为 29.389 0,雷电流幅值为 -47.6 kA。使用全球定位系统 GPS 测量得到变电站内主变压器处坐标位置为纬度 104.812 9,经度 29.393 8。考虑 GPS 的测量误差,可以认为雷击于变电站附近。但未查询到雷击于站内或站外附近电力设备使外绝缘闪络的任何迹象,因而落雷应直击于变电站附近。但是在发生雷击时,并没有立即引

表 1 主变压器高压绕组直流电阻值

试验项目 试验 相别	高压直流电阻 /m $\Omega$			相间最大 差值于三相 平均值之比	最小相
	AO	BO	CO		
交接值	685.5	690.0	688.8	0.66	AO
事故后	677.5	681.7	681.8	0.632	AO
与初始 值比较	1.167	1.203	1.016	—	—

表2 35 kV 1号主变压器色谱分析报告

试验日期	氢气	一氧化碳	二氧化碳	甲烷	乙烯	乙烷	乙炔	总烃
2011.07.02	4.7	14.7	737.3	1.2	0.4	0.2	0.0	1.8
2011.07.23	44.4	316.7	2 443.4	20.2	35.6	2.8	56.7	115.3

起主变压器保护动作,说明在发生雷击时,传到主变压器内部的雷击电压强度不足以完全破坏绕组绝缘;故障延迟了9个多小时之后在13时01分才发生,表明还有其他因素导致了事故的发生。

### 1.2.2 电气试验

事故后,测试主变压器高低压侧绕组绝缘电阻、介质损耗因数合格。高压绕组直流电阻线间最大差别值(0.632%)不大于三相平均值的2%;与交接相同部位测得值比较,其变化不大于2%(见表1),低压电阻无明显变化。通过常规高压试验数据判断:该主变压器35 kV高低压绕组线圈没有发生严重的贯穿性集中故障、整体受潮或贯通性受潮,有可能产生过局部匝间短路故障。

### 1.2.3 油色谱分析

事故后,分别取气样和主变压器本体油样作色谱分析,结果如表1所示。该主变压器色谱数据中,乙炔含量超出注意值5 μL/L,总烃含量接近注意值150 μL/L(见表2)。经三比值法计算得出该组数据的三比值为102,故障类型判断为高能量电弧放电。另外,色谱中含有大量二氧化碳及一氧化碳,尤其以二氧化碳为主,说明变压器内部曾经发生过强烈过热,导致纸或某些绝缘材料过热分解产生。

### 1.2.4 主变压器吊罩检查情况



图1 A相绕组放电部位

24日,现场对该主变压器进行了吊心检查。解开35 kV绕组的外围屏,发现高压绕组存在多处明

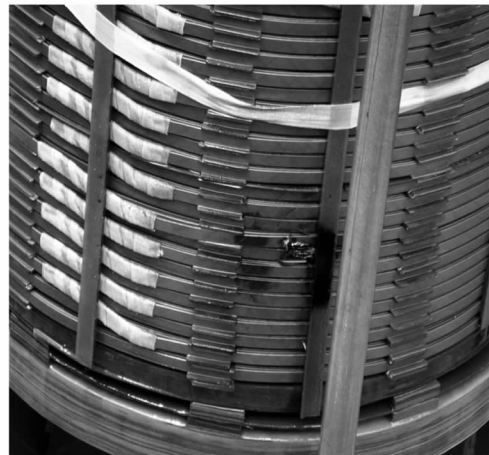


图2 C相绕组放电部位

显放电痕迹。第一,C相高压线圈自下往上第9饼与第10饼之间严重烧损,第10饼绕组最外一根铜线纠结处明显变形,线圈上所包绝缘纸成散花状掉落于线圈底部,电气故障点位于第9饼与第10饼之间,有明显的放电痕迹,铜线裸露并有部分烧熔,但放电容量不大。第二,A相高压线圈自下往上第3饼与第4饼之间轻度烧损,最外层铜线外绝缘纸脱落,线圈底部绝缘纸板上留有少量铜屑,铜线裸露并有部分烧熔。第三,在B、C相引线上有多个放电电弧在绝缘纸上留下的黑色痕迹。

## 2 分析总结

在2011年7月23日03时左右,该主变压器周围6次不同程度的感应雷电作用于进线及主变压器高压侧,造成进线避雷器计数器共动作计7次(其中A相1次,B相2次,C相4次)。由于某次直击于变电站附近幅值比较大的落雷,在主变压器35 kV侧过渡引线上形成渡头较缓的雷电感过电压。此时雷电波沿导线两端行进,一侧经主变压器开关至35 kV进线,由线路氧化锌避雷器动作放电;另一侧雷电波直接侵入变压器35 kV绕组。在雷电波入侵的作用下,由于变压器绕组各匝间对地电容的分流影响,绕组中各部分的初始电压分布是不均匀的,愈靠近首端,匝间电位差愈大,电位梯度愈高。也就

是说,当超过变压器全波冲击耐压水平的雷电波入侵主变压器时,首先损坏的应该是高压绕组的主绝缘或首端几饼线圈,而从故障部位来判断,却发生在线圈的接近尾端部,主绝缘没有放电痕迹,匝间短路时放电容量很小。这就足以说明,事故时并没有超过变压器全波冲击耐压水平的雷电波入侵到变压器的35 kV线圈绕组,且主变压器原来存在局部绝缘薄弱点。在这些雷电冲击作用下,这些绝缘薄弱点产生局部放电并且自熄,使得放电处绝缘降低并在其外部绝缘纸上留下黑色的放电痕迹。由于上午该片区负荷比较低,该主变压器继续带病运行。到中午用电高峰到来时,该负荷高峰逐渐加剧了主变压器高压绕组绝缘薄弱点的恶化。13:17,由于电流超过受损绝缘耐受临界值,主变压器内部高温过热,产生大量一氧化碳和二氧化碳,发生匝间电弧放电,致使线饼绝缘受到严重破坏,导致主变压器重瓦斯及差动保护动作造成事故发生。

### 3 35 kV 小型变电站主变压器防雷措施改进

针对事故的发生,提出技术反措并实施验证,才是进行故障分析、总结经验教训的目的。通过分析总结,提出如下几方面的防雷改进措施。

(1) 为了避免主变压器高压侧过渡引线上雷电感应过电压对高压绕组主绝缘及匝间绝缘的影响,在雷击多发片区,应尽量在主变压器高压侧安装一组避雷器,充分保障主变压器在雷击情况下的安全运行。

(2) 从主变压器事故吊芯情况看,高压绕组线圈有不同程度的变形及多处放电现象。对于这种SZ9型产品,近年来因雷击而导致主变压器绕组变形匝间短路损坏的数量明显上升,应引起制造厂家的足够重视。除了从设计和制造工艺上严格把好质量关外,如有条件,35 kV电力变压器应通过突发短

路试验以考核产品的动稳定能力,提高运行的可靠性。

(3) 结合大修应加强35 kV电力变压器纵绝缘。SZ9型高压绕组应加强其层间绝缘,经过加强绝缘的变压器在冲击试验及运行中均未发生雷击损坏事故。

(4) 应严格执行电力系统运行规程和调度规程,提高运行人员的技术素质,逐步使运行管理规范。采取有效措施,减少近区短路的发生次数,加强配电线路及变电设备运行维护。运行中若发生变压器主保护动作或10 kV母线出口短路,必须进行全面的检查,尤其当查不到主变压器外部设备故障时,应对变压器进行电气试验及油分析化验,判断无问题后方可投运。严禁只根据外部迹象盲目将已存在故障的变压器再次投运。

## 4 结 语

重点分析一起由于雷电感应过电压诱发35 kV主变压器高压绕组绝缘降低,最终因当地用电负荷高峰到来而导致主变压器绕组匝间短路故障的原因。有针对地找出了事故所暴露的问题,并提出相应的改进措施,对35 kV小型农村变电站主变压器防止过电压事故发生有一定实用价值。

#### 参考文献

- [1] DL/T 596-1996 电力设备预防性试验规程[S].
- [2] GB 7252-87,变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
- [3] 操敦奎. 变压器油色谱分析与故障诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [4] 李健明, 朱康. 高压电气设备试验方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

(收稿日期: 2013-02-13)

## 电科院完成锦屏换流站带电检测

按照国网公司运检部统一部署,四川电科院技术人员5月中旬赴锦屏换流站开展带电检测工作。技术人员对全站设备带电运行状态进行普查,经过3天努力,完成了各检测项目,包括:全站GIS和罐式断路器的局部放电在线检测、气体分解产物检测、换流变压器与站用变压器的绝缘油试验、全站避雷器泄漏电流检测、全站一次设备红外测温、换流变压器铁心接地电流测量等。此外,还对油中氢气含量超标的极Ⅱ高端YY-A相换流变压器进行了超声局部放电检测。本次带电检测为锦屏换流站设备带电运行状态进行了全面把脉,为±800 kV特高压锦苏直流输电工程迎峰度夏提供了有力保障。