

# 分解法在变压器绝缘故障诊断中的应用

徐伟<sup>1</sup>, 尧广<sup>1</sup>, 李利红<sup>2</sup>, 董文丽<sup>1</sup>, 李学忠<sup>1</sup>

(1. 泸州电业局, 四川 泸州 646000; 2. 500kV 泸州变电站, 四川 泸州 646000)

**摘要:**对泸州地区某110 kV变电站2号主变压器进行例行试验时发现该主变压器高压绕组对地绝缘电阻跟往年比有明显的下降,随后对该主变压器进行了诊断性试验,根据试验结果并结合泄漏电流曲线进行分析,认为其高压绕组对地绝缘存在集中性缺陷。为了确定故障部位,研究了高压绕组的内部结构,发现高压绕组可分解为U、V、W相套管(带主绕组)、分接开关、O相套管(带输出端子)等5个部分,随后采用分解法对各个部位进行单独诊断,最终诊断出了分接开关油箱进水导致V型分接开关上端转换选择器U、V相绝缘板严重受潮故障。进行处理后该主变压器顺利投运,规避了被烧毁的危险。采用分解法可以清晰有效地进行故障诊断。

**关键词:**绝缘电阻; 泄漏电流曲线; 集中性缺陷; 分接开关; 分解法

**Abstract:** The routine tests for No. 2 main transformer in a 110 kV substation of Luzhou area show that the insulation resistance of high-voltage windings decreases comparing to the data from the earlier years. Diagnostic tests are then carried out and the results are analyzed in conjunction with leakage current curves. It is believed that there is a concentrated defect in the insulation between winding and the earth. In order to find out the fault location, the inner structure of windings is studied, which shows that the windings can be decomposed into five parts, that is, phase A, phase B and phase C bushings (including main windings), tap changing switch and phase O bushing (with output terminals). Each part is diagnosed individually based on the decomposition method. The results show that the insulation boards of phase A and phase B of upper change-over selector of V-shape tap changing switch are seriously damped, which results from the water percolating to oil tank of tap changing switch. The main transformer is restored to operation after the fault has been removed, and the danger of being burned is avoided. So using the decomposition method can help achieve a clear and effective fault diagnosis.

**Key words:** insulation resistance; leakage current curve; concentrated defect; tap changing switch; decomposition method

中图分类号: TM855 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2011)06-0060-03

变压器作为变电站的核心电气设备,其稳定运行对保障电网稳定运行和可靠供电至关重要,因此变压器状态的准确测量对有效开展状态检修(CBM(condition based maintenance))具有重要的意义<sup>[1-7]</sup>。所谓分解法,从逻辑的角度讲就是对具体事物的分析,将事物的“一个整体分成它的各个组成部分”加以考察的方法,客观事物整体与部分的关系是分解法的客观基础。即整体到局部的分析方法,其关键就把握事物内部结构,将事物分接为多个有机组成部分,然后从各个部分进行研究,从而达到对事物整体的把握。在对电力设备进行故障诊断时,当发现设备可能存在故障,但不能确定设备的具体故障部位时,在把握设备“整体”与“局部”的关系后采用分解法对各个部分进行逐个诊断,可以迅速有效地诊断出设备故障,从而提高了诊断效率,节约了人力物力。这里采用分解法成功诊断出了某110 kV变压器高压绕组绝缘故障,

规避了该变压器被烧毁的风险,维护了电网安全稳定运行,同时为变压器及其它电力设备的故障诊断提供了思路。

## 1 发现故障

2010年11月13日,试验人员对某110 kV变电站2号主变压器(厂家:青岛青波变压器厂,型号:SF-SZ10-31500/110/38.5/10.5 kV,额定电流:165.3/472.4/1732 A,冷却方式:ONAN/ONAF,联接组别:YNyn0d11,出厂年月:2002年9月,空载损耗:26.70 kW,负载损耗:122.3 kW,空载电流:0.36%,短路阻抗:6.55%)开展例行试验,所有特性项目试验数据均正常,符合状态检修规程,随后进行绝缘项目试验,测得绕组绝缘电阻与上次例行试验数据对比(2006年12月5日)如表1所示(测试设备完好,已排除外

界环境因素干扰)。

表1 两次例行试验绕组绝缘电阻的对比(测试温度 20 ℃)

绝缘电阻测试	高-中低地		中-高低地		低-高中地	
	2006年	2010年	2006年	2010年	2006年	2010年
$R_{15s}/M\Omega$	23 000	253	18 000	19 100	15 000	15 300
$R_{60s}/M\Omega$	35 000	301	28 000	28 860	20 000	21 000
吸收比	1.52	1.24	1.55	1.51	1.33	1.37

说明:高-中低地:高压绕组接测量端,中、低压绕组和外壳接地;中-高低地:中压绕组接测量端,高、低压绕组和外壳接地;低-高中地:低压绕组接测量端,高、中压绕组和外壳接地。

从表1中可以看出,2006年测试结果显示:高-中低地绝缘电阻 > 中-高低地绝缘电阻 > 低-高中地绝缘电阻,且测量值  $R_{60s}$  均大于 20 GΩ,高、中、低压绕组绝缘电阻良好。在2010年进行测试时,中-高低地绝缘电阻和低-高中地绝缘电阻与上次试验相比基本没有变化,而高-中低地绝缘电阻测量值  $R_{15s}$  和  $R_{60s}$  与上次例行试验相比分别从 23 000 MΩ 和 35 000 MΩ 下降为 253 MΩ 和 301 MΩ,下降趋势非常明显;吸收比从 1.52 下降到 1.24,减小也相当明显。四川省电力公司《输变电设备状态检修试验规程实施细则》<sup>[8]</sup> 明确规定:变压器绕组绝缘电阻与往年相比,显著下降,且吸收比  $\geq 1.3$  或极化指数  $\geq 1.5$  或者绝缘电阻  $\geq 10\ 000\ M\Omega$  (注意值)。由于高压绕组绝缘电阻测量值和历史数据以及中压绕组、低压绕组绝缘电阻测量值相比均有了明显的降低,且远远低于注意值 10 000 MΩ,吸收比又小于 1.3,因此认为高-中低地绝缘电阻出现异常,然而中-高低地和低-高中地绝缘阻值正常,故可以进一步判断出高压绕组对地绝缘可能出现故障。

## 2 故障的分解诊断及处理

为了进一步验证试验,试验人员随后进行绕组介损测试,绕组介损测试测试结果如表2所示。

表2 绕组介损测试测试结果(测试时间:2010年,温度:20 ℃)

绕组介损	高-中低地	中-高低地	低-高中地
$\text{tg}\delta$	0.510	0.571	0.190
$C_x/nF$	15.74	25.13	18.33

表2显示:高压、中压和低压绕组介损耗值和电容量均保持稳定,属于正常水平,因此可以认为主变压器高压、中压和低压绕组均未出现整体受潮缺陷。随后将1分钟直流泄露电流测试结果与2006年数据进行比较如表3所示。

表3 两次例行试验直流泄露电流的对比(测试温度 20 ℃)

直流泄露电流电压等级/kV	高-中低地		中-高低地		低-高中地	
	2006	2010	2006	2010	2006	2010
40	3	235	3	3	2	4

发现高-中低地泄露电流从2006年的 3 μA 增加到 235 μA,与初值比已经出现了相当明显的变化,根据四川省电力公司《输变电设备状态检修试验规程实施细则》<sup>[8]</sup>,高压绕组应该存在故障,而中-高低地和低-高中地泄露电流与2006年例行试验相比基本没有变化。

为了进一步确定故障缺陷类型,测量了不同电压等级下高-中低地的泄露电流,数据如表4所示,并绘制了直流泄露电流曲线如图1所示。

表4 高-中低地绝缘在不同电压等级下的泄露电流

电压/kV	2	4	6	8	10	15	20	30	40
泄露电流/μA	8	13	23	32	41	66	90	145	235

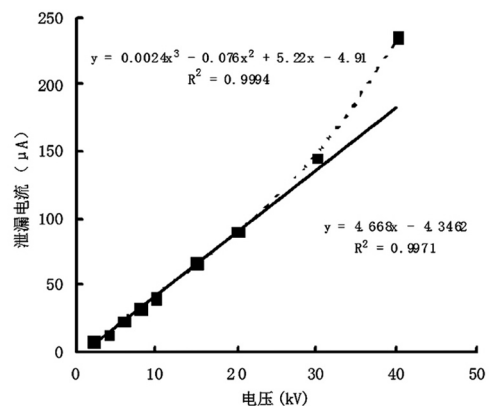


图1 高-中低地在不同电压下的泄露电流

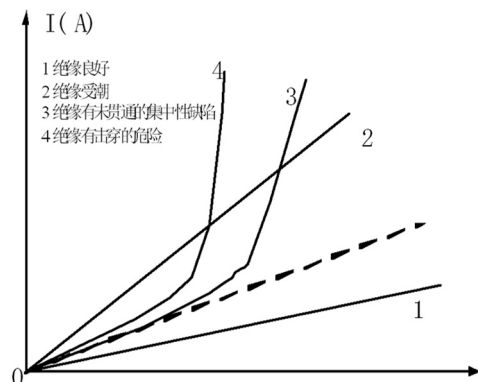


图2 绝缘体典型泄露电流曲线

图1是高-中低地不同电压等级下的泄露电流曲线,该曲线在电压为0-20 kV部分可以拟合一条直线:  $y = 4.668X - 4.346$ ,而随着电压的增加,泄露电流增长速度加快,在30 kV、40 kV时泄露电流分别达到了 145 μA 和 235 μA,拟合直线在30 kV、40

kV 的值分别为 135  $\mu$ A、182  $\mu$ A, 泄漏电流值均落在了所拟合直线的上方, 与图 2 中的曲线 3 非常相似, 是一条典型向上弯曲的绝缘体泄漏电流曲线, 绝缘体典型曲线表明该高压绕组对地绝缘中有集中性缺陷存在<sup>[9]</sup>。

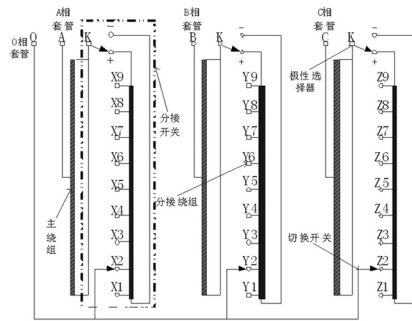


图3 变压器高压绕组的电气连接原理图

为了使得诊断性试验更有目的性, 找出集中性缺陷具体所在部位, 需要将高压绕组及其所连部件进行分解开来, 然后对各个部件进行单独诊断, 这就是分解法, 110 kV 主变压器高压绕组上连接的部件有套管、分接开关、绕组等多个组件<sup>[10]</sup>, 这需要对变压器绕组结构进行研究, 高压侧绕组连接方式为 YN, 其电气连接原理图如图 3 所示, 从图中可以看出, A、B、C 三相套管通过引线分别连接三相主绕组首端, 在主绕组末端与分接开关的极性选择器相连, 极性选择器与分接绕组连接后接上切换开关并在输出端子处汇集在一起, 并通过引线与零相套管连接。其中极性选择器、分接绕组、切换开关构成分接开关(如图 3 虚线部分)。通过对这个图的研究发现: 分接开关将整个高压侧绕组分解为 A 相套管及 A 相主绕组、B 相套管及 B 相主绕组、C 相套管及 C 相主绕组、零相套管与引线、分接开关共五个部分。其中的任何一个部分出现绝缘集中缺陷都会造成高压绕组对地绝缘电阻偏低, 根据分解法, 首先对高压侧 A、B、C 及 O 相套管进行了诊断性试验, 测得数据如表 5 所示。

表5 两次例行试验套管主介损及电容量对比(测试温度 20  $^{\circ}$ C)

套管介损测试	A		B		C		O	
测试时间/年	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010
$\tan\delta/\%$	0.51	0.414	0.57	0.401	0.54	0.438	0.36	0.333
$C_x/pF$	290	5292	8291	6294	0294	2276	3277	0
C 铭/pF	293	296	298	281				

从表 4 中将 2006 年和 2010 年两次例行试验数据进行了对比发现, A、B、C 及 O 相套管的主介损、电容量基本保持不变, 介损值均小于 0.7%, 电容量与上次测量值和铭牌值相比较均保持稳定, 初值差不超

过  $\pm 5\%$ , 随后对套管末屏绝缘电阻进行测试, 结果如表 6 所示。

表6 套管末屏绝缘电阻测试

套管	A	B	C	O
末屏绝缘电阻/G $\Omega$	195	180	188	95

结果显示, A、B、C 三相套管末屏套管绝缘电阻良好, 分别达到: 195 G $\Omega$ 、180 G $\Omega$ 、188 G $\Omega$  和 95 G $\Omega$ , 远远大于注意值 1 G $\Omega$ , 符合四川省电力公司《输变电设备状态检修试验规程实施细则》<sup>[8]</sup> 要求, 因此认为高压侧 A、B、C 三相套管及 O 相套管合格。同时, 试验人员对变压器本体油进行取样诊断分析, 色谱结果正常, 变压器油合格。根据分解诊断结果可以确定 A、B、C 及零相套管和变压器高压主绕组都不存在缺陷, 因此故障部位极有可能出现在分接开关油室内部, 由于分接开关将高压绕组分解为五个独立的部分, 吊出分接开关一方面可以检验试验人员的推论, 也便于对分解开的 5 个独立部分进行进一步诊断, 因此决定对分接开关进行吊芯处理。

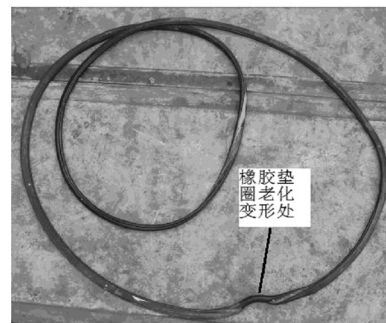


图4 老化变形的油枕密封垫圈

其实在例行试验之前油务人员已经对分接开关油室更换新油, 但是打开分接开关顶盖后却发现分接开关油箱中油的顶端和底部仍然存在大量的积水, 如此大量的积水显然不是在更换新油时才带进分接开关油室的, 油室肯定存在进水部位且此缺陷存在已久, 为了查找出进水部位, 试验人员对分接开关和与之相连的油枕进行了仔细检查, 发现正是油枕密封橡胶垫圈的老化和变形使得油枕密封不严而进水, 图 4 为取出的老化变形的密封橡胶垫圈。试验人员随后对分接开关油室进行了排油处理, 分别对高压侧 A、B、C、O 相套管及所连接的绕组进行对地绝缘电阻测试, 所测部位对地绝缘电阻均符合规程要求, 因此断定故障点只存在于分接开关油室内部。变压器长期运行过程中, 进入到分接开关油室中的水分会慢慢溶

(下转第 91 页)

的安全稳定经济运行提供可靠依据。

## 6 结论

(1) 风帽改造后,炉内流化明显好转,减轻了受热面磨损,锅炉运行可靠性提高。

(2) 风帽改造后,锅炉接带负荷能力增强,风机电耗降低。

(上接第62页)

解到油中,加上固体绝缘板对水的吸附作用,可能会使得分接开关内部绝缘固件吸潮而造成对地绝缘电阻严重下降。基于上述考虑,分别测量了V型分接开关(如图5所示)的转换选择器、主通断触头、主触头、过渡触头等部位对分接开关顶端金属件(运行时金属件接地)的绝缘电阻,发现转换选择器的A、B两相对地绝缘电阻分别为400 MΩ和700 MΩ,其它部位绝缘电阻值正常。随后试验人员取下受潮绝缘板,将其置于100℃恒温烘箱内进行烘干,烘干时间达12小时后,重新测量其绝缘电阻值,发现绝缘电阻有了明显提高,均达到8 GΩ左右,对分接开关油箱内壁进行干燥处理后,将分接开关组装后加注新油,再次进行诊断性试验,全部绝缘试验项目均合格,主变压器顺利投运。

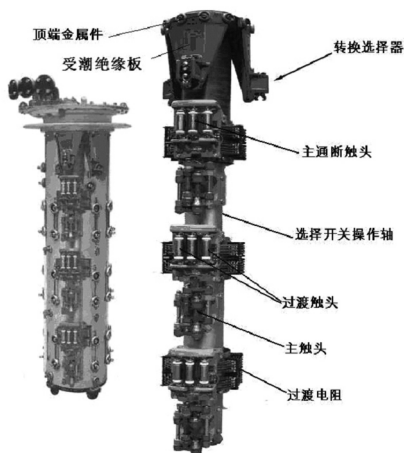


图5 V型分接开关本体

## 3 结论及思考

绝缘电阻试验和直流泄露电流试验对判断绝缘故障非常有效,而根据泄露电流曲线可以快速确定绝缘故障类型。将分解法应用于变压器故障诊断中,可

(3) 风帽改造后经过两年多的运行,多次停炉都会出现少量的风帽套管断裂的情况,因此建议厂家能对套管的材质进行改进。

(4) 改造后因使用的风帽头部形状为圆头,造成炉内检修时不方便,因此建议厂家能对风帽的头部形状进行改进。

(收稿日期:2011-09-16)

以清晰、准确、快速地诊断出故障部位和故障类型,大大地提高了检修效率。此次故障的发现过程以及使用分解法由整体到局部进行逐步诊断的方法,对变压器及其它电力设备的故障诊断,具有较好的参考价值。例行试验中油务人员在进行高压试验之前即对分接开关更换新油,不利于故障的诊断,而真当故障出现时,油样分析往往失去效用,这是今后工作应当注意的地方。

### 参考文献

- [1] 严璋. 状态监测方法及仪器的选择[J]. 电力仪器仪表选用年鉴, 2009-2010: 79-80.
- [2] 朱德恒, 严璋, 谈克雄. 电气设备状态监测与故障诊断技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 2-11.
- [3] 董明, 李元, 严璋. 主变电设备状态检修系统的开发与应用[J]. 华东电力, 2009, 37(7): 1070-1072.
- [4] 汤宇奇. 变电站一次设备的状态检修[J]. 湖北电力, 2010, 34(2): 46-47.
- [5] 徐敏, 刘井萍, 左重华. 变电设备状态检修中试验数据的处理方法探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(22): 91-92.
- [6] 程相杰, 高沁翔, 刘建芳. 变压器状态检修技术及其演技[J]. 四川电力技术, 2007, 30(5): 13-14.
- [7] 马辉. 实现变压器状态检修的方法[J]. 高电压技术, 2001, 27(104): 70-71.
- [8] 四川省电力公司输变电设备状态检修试验规程[S]. 2009.
- [9] 李建明, 朱康. 高压电器设备试验方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001: 21-22.
- [10] 张亚杰, 康爱花. SZ10-31500/35 电力变压器高压绕组直接抽分接头结构分析[J]. 变压器, 2010, 47(4): 13-14.

作者简介:

徐伟(1971)男,工程师,从事绝缘监督管理工作。

(收稿日期:2011-08-26)