「变压器」

一起变压器故障及试验异常诊断分析

文/国网四川省电力公司德阳供电公司　杨大友　袁　蕾　袁　威　王　盼　张翠娟

通过对一起变压器常规试验数据的分析判断，结合变压器变压比测试时测试仪过电流保护及变压器接线方式分析判断变压器故障情况，并吊芯检查验证，检查结果与分析判断吻合，为变压器故障分析判断提供经验。

某局一台110 kV扩容变压器（变压器为1987年出厂产品，110 kV侧为有载调压、中压35 kV侧为无载调压，低压10 kV侧引出线接头为六个—即低压侧a、x、b、y、c、z六个点均直接引出，在投运前先返厂大修后再运输到变电站投入安装）在投入运行3 h后（投运后还未带任何负荷）发生重瓦斯保护动作，退出运行。

油色谱分析

主变故障后进行了一系列相关试验，由表1色谱分析数据可知，变压器故障后产生大量C_2H_2气体，同时各种组分气体也相应增加，根据油色谱分析可推断出变压器内部出现严重的电弧放电性故障，但具体故障部位需要进一步试验分析。

常规例行试验

在投入运行前对该变压器进行相关交接试验，试验数据与出厂试验数据相比较均在合格范围内。主变故障后再次进行相关试验，试验发现绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比和极化指数、绕组连同套管的介质损耗及电容量、有载调压切换过程录波、铁心绝缘等试验数据均在合格范围内，高、低压绕组的直流电阻均合格，中压35 kV侧绕组直流电阻异常，试验数据如表2所示，故障前交接试验时试验结果如表3所示（表2中故障后试验时变压器上层油温为33 ℃，表3中故障前交接时变压器上层油温为40 ℃，故将原始数据经绕组电阻温度修正公式$R_2=R_1[(T_k+t_2)/(T_k+t_1)]$修正），故障后OA和OC相试验数据与交接试验时比

表1　故障主变故障前和故障后油色谱分析数据

设备名称	110 kV主变				
分析日期及部位	2015/4/27 主变本体（高压试验后）	2015/5/5 主变瓦斯气体浓度值	2015/5/5 主变瓦斯气体油中值	2015/5/6 主变本体	2015/5/6 主变本体（上部）
气体组分	—	—	—	—	—
CH_4（μL/L）	3.08	2 432.64	948.73	42.91	504.20
C_2H_4（μL/L）	0.70	2 409.24	3 517.49	85.34	255.57
C_2H_6（μL/L）	2.80	43.36	99.96	7.36	11.74
C_2H_2（μL/L）	0.00	3 176.11	3 239.63	117.03	520.39
H_2（μL/L）	1.71	87 059.31	5 223.56	149.15	1 534.78
CO（μL/L）	1.37	18 763.01	2 251.56	84.59	960.83
CO_2（μL/L）	260.89	490.61	451.41	448.67	443.26
总烃（μL/L）	6.58	8 061.45	7 805.81	252.64	1 291.90

较均在合格范围内，但OB相三相绕组直流电阻均为34.92 mΩ，说明35 kV侧B相无载调压开关异常。

表2　故障后35 kV侧绕组直流电阻测试结果
（试验时变压器上层油温为33.0 ℃）

分接部位＼相别	OA/mΩ	OB/mΩ	OC/mΩ	相间偏差(%)
Ⅰ/mΩ	33.82	34.92	33.85	8.05
Ⅱ/mΩ	32.24	34.92	32.33	3.25
Ⅲ/mΩ	30.74	34.92	30.85	13.60

表3　故障前交接时35 kV侧绕组直流电阻测试结果
（换算为33.0 ℃后）

分接部位＼相别	OA/mΩ	OB/mΩ	OC/mΩ	相间偏差(%)
Ⅰ/mΩ	33.75	33.83	33.98	0.68
Ⅱ/mΩ	32.20	32.34	32.46	0.81
Ⅲ/mΩ	30.71	30.89	30.97	0.85

诊断性试验

为进一步分析判断变压器故障情况，故对其进行进一步的诊断性试验检查，试验项目包括短路阻抗、绕组频率响应分析和绕组各分接位置电压比测量。

1. 短路阻抗

短路阻抗试验结果如表4所示，由于变压器在投运前曾返厂大修，故初值直接使用交接试验时测量值，输变电设备状态检修试验规程要求短路阻抗测量值与初值差不超过±3%，而该变压器在故障后测量值与交接试验值比较偏差最大者仅0.70%，故短路阻抗试验结果符合规程要求，未发现任何异常。

表4　短路阻抗试验

试验项目＼相别	高对中	高对低	中对低
故障前短路阻抗/Ω	19.00	33.25	1.460
故障后短路阻抗/Ω	18.90	33.02	1.458
偏差（%）	0.53	0.70	0.14

2. 绕组频率响应

绕组频率响应对于绕组变形检测具有较高的检测灵敏度和判断准确性，故在交接试验时和故障后分别对110 kV高压侧、35 kV中压侧和10 kV低压侧进行绕组变形测试，交接时高、中、低压侧绕组频率响应曲线重合度较好，故障后，高压侧和低压侧中、高频段重合度依然较好，但中压侧波峰和波谷的分布位置及幅度均出现明显差异（如图1～图6所示）。

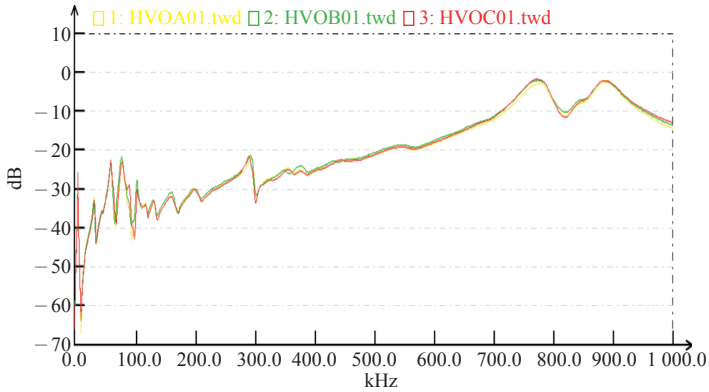

图1　故障前交接时高压侧绕组频率响应图

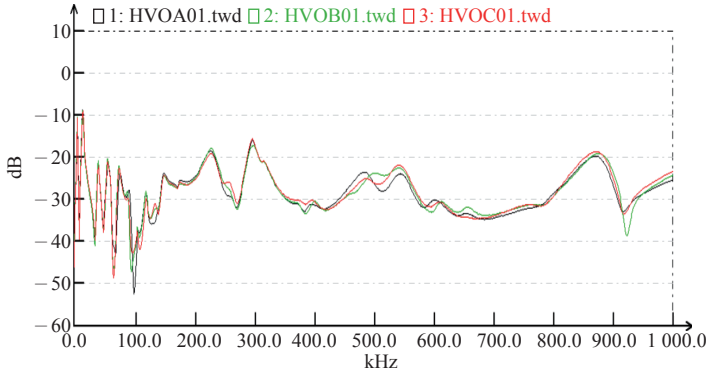

图2　故障前交接时35 kV中压侧绕组频率响应图

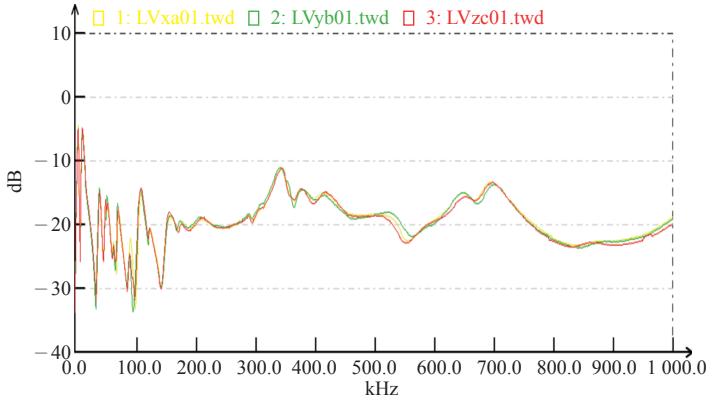

图3　故障前交接时低压10 kV侧绕组频率响应图

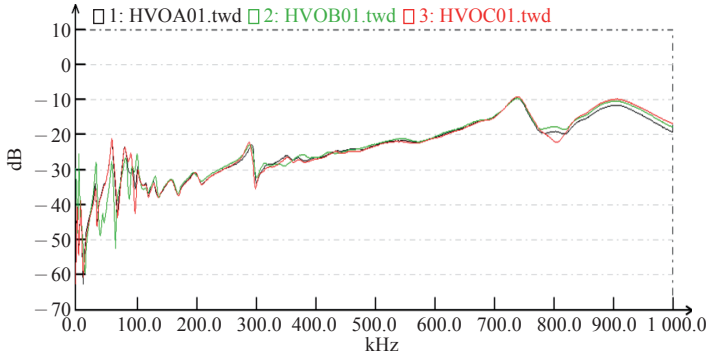

图4　故障后高压绕组频率响应图

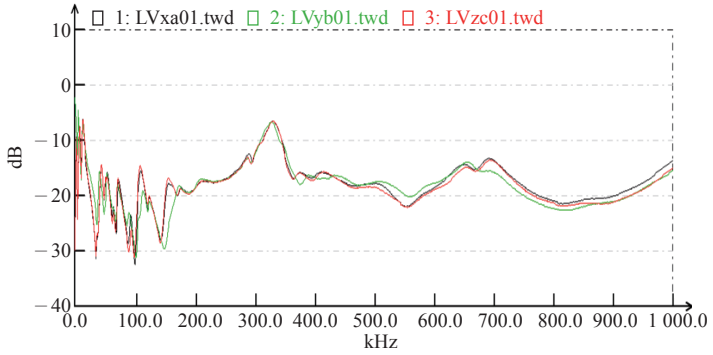

图5　故障后低压10 kV侧绕组频率响应图

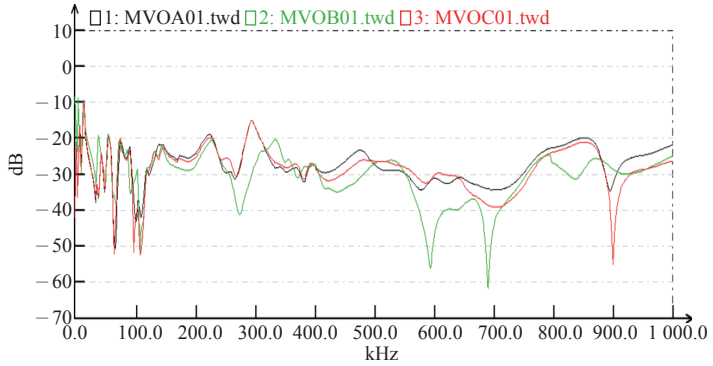

图6　故障后35 kV中压侧绕组频率响应图

3. 绕组电压比

因直流电阻和绕组变形结果均出现异常情况，故怀疑绕组存在缺陷，所以对该变压器各绕组变压比进行测试，变压比测试结果高压对低压变压比符合相关规程规定，测量中压对低压绕组变压比时变压比测量仪器显示过电流保护。为进一步检测分析，故对变压器各绕组变压比进行单独测试，测试结果为HA对MA、HA对LA、MA对LA、HB对LB、HC对MC、HC对LC、MC对LC变比正常（H代表高压、M代表中压、L代表低压，A、B、C分别代表A、B、C三相），而HB对MB及MB对LB测试时仪器均显示过电流保护。上面测试结果显示所有涉及中压侧B相的变压比测试均出现过电流保护，其他绕组变压比测试均正常，故推测为中压B相绕组故障。

变比异常诊断分析

变压器35 kV一次绕组接线及调压原理如图7所示，无载调压位置为Ⅰ档时，35 kV侧所有绕组均接入电路运行，其等效电路图如图8所示。正常情况下，h与d、c与g、b与f、a与e绕组匝数相等，每两段感应出的电压相等，即感应电压$E_d=E_h=4.44f_N\Phi$，故变压器正常运行。但当变压器内部产生过电压，若绕组纵绝缘耐受电压超过其绝缘强度时，绕组间将击穿，甚至产生大电弧，大电弧产生的高温将烧熔匝间绝缘甚至烧坏绕组并造成匝间短路。假定变压器绕组d和h均为N_1匝，变压器故障后，d中部分绕组发生匝间短路，则匝数由原N_1匝变为N_2匝，变压比试验时，$E_d=4.44f_{N2}\Phi$，$E_h=4.44f_{N2}\Phi$，绕组d与h间电势差为E_h-E_d，匝间短路故障后感应等效电路图9所示。分析电路图可知由于感应电势不平衡将在绕组中产生环流，该环流消耗的能量由绕组变压比仪器提供而使绕组变比仪过电流保护。

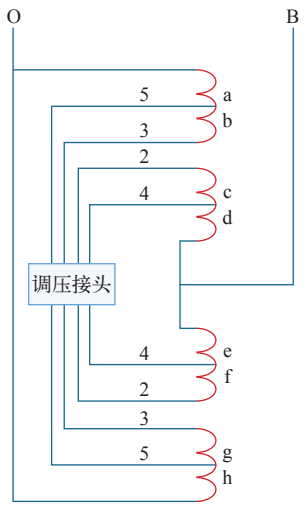

图7　35 kV无载调压原理图

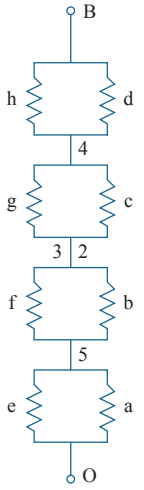

图8　无载调压等效电路图

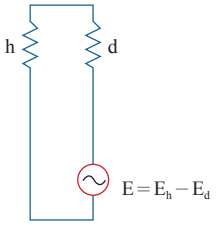

图9　故障后等电等效路图

根据油色谱分析试验结果可以推断出变压器内部发生了严重的电弧放电现象，同时电弧放电产生的大电流引起的电动力造成绕组变形，根据绕组变形和绕组电压比试验推断故障相为35 kV侧的B相绕组，B相绕组在电弧放电过程中造成匝间短路。35 kV侧B相绕组直阻在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ档时均为34.92 mΩ，故分析推断该相无载调压装置故障。同时由变压比试验推断出绕组电弧放电导致匝间短路。

吊芯检查验证

由于推断变压器存在严重的电弧放电造成绕组匝间短路，故将该变压器返厂维修，在变压器厂吊罩吊芯检查。

1. 无载调压装置

对变压器进行吊罩检查后发现35 kV侧B相无载调压故障，故障情况如图10所示，调压部分触指松动变形，造成调压器动静触头间接触不良，所以直阻偏大，同时无载调压上部连杆与调压装置连接不良，造成外部调压时内部调压装置未转动，所以三相绕组直阻在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ档均未有相应变化。吊罩后将无载调压装置检修正常后安装回变压器再进行直阻测试，试验数据如表5所示，由试验数据可知，Ⅰ、Ⅱ档绕组直阻已经恢复正常，但Ⅲ档直阻仍然偏差较大，还需进一步检查分析。

图10　无载调压故障相

图11　无载调压正常情况

表5　无载调压装修检修后35 kV侧绕组直流电阻测试结果（换算为33.0 ℃后）

相别 / 分接部位	OA/mΩ	OB/mΩ	OC/mΩ	相间偏差(%)
Ⅰ/mΩ	33.98	33.81	34.02	0.62
Ⅱ/mΩ	32.43	32.35	32.56	0.65
Ⅲ/mΩ	30.91	31.00	31.04	2.94

2. 吊芯检查

为进一步确认故障情况，直接对35 kV侧B相吊芯检查，检查发现绕组故障图如图12所示。由图可见，故障部分绝缘在电弧作用下破坏非常严重，同时绕组在电弧产生的高温作用下部分烧熔，导致绕组匝间短路。绕组短路时绕组中通过大电流，大电流在电磁场中产生较大的电动力，从而造成绕组严重变形（如图13所示）。

图12　绕组故障图

绕组变形部位　　(a)

(b)

图13　绕组变形情况

结束语

1）变压器内部发生电弧放电故障后，油中C_2H_2含量将急剧增加。

2）频率响应能灵敏地反映出变压器绕组是否变形。

3）变压器绕组发生匝间短路故障后绕组直流电阻会发生变化。

4）变压器绕组的特殊结构，若两并列运行的绕组匝数不等，在变压器变压比测试中会出现测量仪器过电流保护情况。**EA**

（收稿日期：2016.03.16）

（编辑：白文亭）