

一起 220 kV 变压器绕组变形故障分析

华德峰, 卞超, 甘强, 吉亚民

(江苏省电力公司检修分公司, 江苏南京 211102)

摘要:绕组变形是变压器发生近区短路时损坏的主要原因。江苏电网 220 kV 变压器多采用自耦结构, 早期的变压器阻抗值选择较低, 抗短路能力较差, 在近区短路时容易发生绕组变形故障, 造成变压器突发故障。文中对一起 220 kV 自耦变压器绕组变形故障进行分析, 提出变压器发生绕组变形的判据; 通过解体分析验证了低电压短路阻抗测试、电容量及介损等测试方法对于判断变压器绕组变形判断的有效性; 对发生近区短路后的变压器提出诊断的方法, 确保变压器安全运行。

关键词:自耦变压器; 近区短路; 绕组变形

中图分类号: TM407

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)02-00015-03

截止 2014 年 7 月, 江苏电网正在运行的 220 kV 变压器 830 台, 其中自耦变压器 696 台, 占总数的 83.9%。2013 至 2014 年期间, 江苏电网共发生变压器损坏案例 8 起, 其中绕组变形 3 起, 自耦变压器 6 台。因自耦变压器自身结构的特殊性, 在发生近区短路时损坏的几率较三绕组变压器高, 因此研究自耦变压器发生绕组变形的判据对于确保江苏电网正在运行的变压器安全具有现实的意义。相关工程实践表明, 采用低电压短路阻抗测试结合变压器电容量测试等试验方法可以有效地对变压器的绕组变形情况进行评估。

1 变压器故障简述

2014 年 5 月 10 日 05:56 时, 某 220 kV 变电站 110 kV 出线零序 I 段、距离 I 段保护动作跳开开关, 重合不成。保护装置显示 C 相故障, 故障电流 7.83 kA, 故障测距 1.6 km。随后, 2 号主变“轻瓦斯动作”告警。

变压器主要参数为: 产品型号 OSFPS7-180000/220, 电压组合 $220 \pm 2 \times 2.5\% / 121 / 38.5$ kV, 连接组别 YNa0yn0+d, 生产日期 1993 年 5 月 31 日。

对 2 号主变及故障线路二次回路进行检查未见异常, 检查 2 号主变瓦斯继电器内发现有气体。对 2 号主变进行油色谱分析, 发现油中乙炔含量从 0 增长至 32 $\mu\text{L/L}$, 试验数据如表 1 所示。该变压器于 2014 年 4 月例行试验数据如表 2 所示。

表 1 故障变压器绝缘油色谱分析数据 $\mu\text{L/L}$

组分	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	ΣC	CO	CO ₂
含量	93	27.8	3.7	41.9	32.2	105.6	319	2173

表 2 故障变压器绝缘油色谱上次例行试验数据 $\mu\text{L/L}$

组分	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	ΣC	CO	CO ₂
含量	14	18.5	4.1	26.8	0	49.4	358	2239

根据表 1、表 2 数据, 初步判断变压器内部出现绝缘缺陷; 为防止变压器缺陷进一步发展, 向调度申请紧急停用该变压器。

2 电气试验检查情况

2.1 低电压短路阻抗测试情况

因变压器投运时间较早, 未开展频率响应法绕组变形测试, 因此采用单相低电压短路法进行绕组变形测试, 测试数据如表 3 所示。

表 3 故障变压器单相低电压阻抗试验数据

加压绕组	短路绕组	电压 /V	电流 /A	短路阻抗 / Ω	短路阻抗初值 / Ω	纵向偏差
A-O	a-b- c-o	200.0	2.338	85.56	86.96	1.27
B-O		200.0	2.325	86.02	86.96	1.27
C-O		200.0	2.525	79.21	86.96	-9.79
A-O	Am-	118.5	5	23.7	24.0	1.63
B-O	Bm-	118.5	5	23.7	24.0	1.09
C-O	Cm-	128.5	5	25.7	24.0	6.61
Am-O	O	84	5	16.8	17.14	2.02
Bm-O	a-b- c-o	84	5	16.8	17.20	2.38
Cm-O		71	5	14.2	17.20	-21.13

取历次例行试验值为纵向比较初值, 高一中短路阻抗 C 相与历史数据比较差值为 6.61%, 高一低短路阻抗 C 相与历史数据比较差值为 -9.79%, 中—低短路阻抗 C 相与历史数据比较差值为 -21.13%, 均超过规程要求。对变压器三相之间进行横向比较, 高一中短路阻抗三相互差 8.20%, 高一低短路阻抗三相互差 8.15%, 中—低短路三相互差阻抗 -16.32%。

2.2 绕组连同套管电容量测试情况

故障变压器的电容量及介损试验数据如表 4 所示。其试验方法均为反接法, 取历次例行试验值为纵向比较初值。

表 4 中, 分析电容量及介损测试结果: 平衡绕组对其他绕组及地的电容量未见明显变化; 高压—中压绕组对其他绕组及地电容量与历史值比较相差 1620 pF;

表4 故障变压器的电容量及介损试验数据

测试部位	测试电压/kV	电容量/pF	介质损耗/%	电容量初值/pF	纵向差值/%
HV-MV~ LV-PV-E	10	16 360	0.240	14 740	10.99
LV~ HV-MV- PV-E	10	24 360	0.220	22 666	7.47
PV~ HV-MV- LV-E	10	24 120	0.220	23 949	0.71

低压绕组对其他绕组及地电容量与历史值比较相差1694 pF;2者变化绝对值基本相等,可以判断为电容量的变化主要是由于2个绕组之间的相对位置发生变化,而绕组对铁心及上下轭铁之间的位置没有明显变化。故障变压器直流电阻和绝缘电阻测试均无异常。

3 故障变压器绕组变形分析

变压器短路强度问题一直是国内、外变压器制造业十分关注的科研课题。变压器在短路状态下,将产生强大的漏磁场,漏磁场与短路冲击电流的相互作用,使绕组受到很大的冲击电动力。轴向冲击电动力使绕组产生轴向振动、扭转和弯曲;辐向冲击电动力使外绕组受到沿径向的张力,而内绕组受到沿径向的压力。大量短路事故分析表明,大容量变压器发生绕组变形时,内绕组辐向失稳问题最为严重^[1,2]。

变压器同心布置的每2个绕组之间都存在一定的漏电感 L_k ,分别与这2个绕组相对距离 ΔR 和这2个绕组的高度的算术平均值 H 有关, L_k 与 ΔR 是增函数; L_k 与 H 近似成反比。显然,这对绕组中任何一个绕组的变形、位移必定会引起 L_k 的变化。变压器在设计过程中,三参的参数基本平衡,其中一相绕组出现变形,将导致三相之间出现偏差;变压器一旦制造成型,固有参数 L_k 不会发生变化,一旦某一绕组出现变形,将会导致与历史测试值出现偏差^[3,4]。漏磁通回路中非铁磁性材料(油、纸、铜等)占磁路长度的多半以上,其磁导率仅为硅片的万分之五左右,且磁阻是线性的,因此磁压的99.9%以上降在非磁性材料上。因此可以认为 L_k 在电流从0到短路电流的范围内都可以认为是线性的。采用低电压短路阻抗测试与短路电流测试的结果是等效的。

故障变压器铁心结构为三相三柱式,绕组由内及外排列顺序为平衡绕组—低压绕组—中压绕组—高压绕组。根据电容量测试的结果分析:中压绕组与低压绕组之间几何尺寸发生改变;低压绕组和平衡绕组之间几何尺寸未发生改变;平衡绕组与低压绕组和铁心之间几何尺寸未发生改变。初步判断变压器低压绕组及平衡绕组未发生明显绕组变形,中压绕组发生绕组变

形,高压绕组是否发生变形有待进一步确认。

低电压短路阻抗的测试结果表明,A相、B相3种绕组对组合形成的阻抗对无明显差异;C相3种绕组对组合形成的阻抗均存在明显差异。由此判断,绕组变形发生在C相,A相、B相无明显变形。三组绕组对组合中,C相中压—低压阻抗变化最为明显为负偏差,表明C相中压线圈与低压线圈之间的几何距离减小;C相高压—中压阻抗变化为增大,表明C相高压线圈和中压线圈之间的距离增大;由于变压器结构为自耦变,高压绕组与中压绕组之间不但有磁的联系,同时也存在电的联系,C相高压—低压阻抗变化为负偏差,也反映了C相中压线圈与低压线圈之间的几何距离增大。C相绕组直流电阻测试无异常,表明C相绕组未发生明显匝间短路、线圈断股脱焊等故障。

绝缘油色谱分析,特征气体中包含乙炔,表明变压器内部出现电弧性放电, CO 、 CO_2 含量与历次试验无明显差异,表明电弧放电对纸绝缘的损伤不重。介质损耗角测试数值和绝缘电阻测试数值与历史数值无明显差异,表明变压器中发生的电弧放电未导致绝缘油整体裂化,放电未在油中产生大量游离碳。

综合以上分析,故障变压器C相发生绕组变形,C相低压线圈未发生明显变形;C相中压线圈发生辐向变形,线圈向内紧缩,导致中低压线圈之间距离缩小,高中压线圈之间距离增大。

4 故障变压器解体分析

对故障变压器进行返厂解体分析,吊罩检查,变压器整体外观良好,C相线圈底部绑扎带在连接处松脱。如图1所示。



图1 故障变压器C相线圈底部绑扎带脱落

在C相线圈上部的上铁轭处,有一段间等电位连接片烧断,相应的上铁轭表面受到了电弧灼伤。如图2所示。

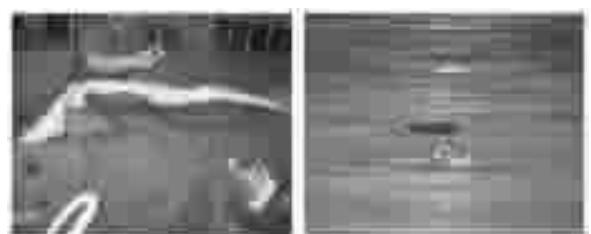


图2 故障变压器上铁轭表明电弧灼伤

拔出高压线圈后,看到 C 相中压线圈在对应高压线圈分接引出线位置,从上到下出现宽 15 cm 的鼓出变形,其外部围屏受力撑裂。如图 3 所示。

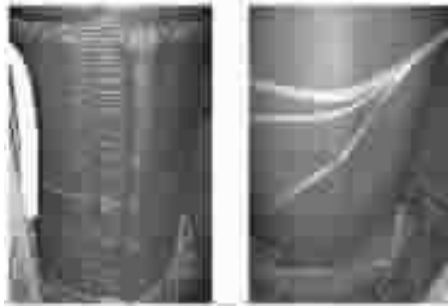


图 3 故障变压器 C 相中压线圈变形情况

C 相中压线圈的另一侧有一处轻微凹陷,线圈内侧严重变形。如图 4 所示。

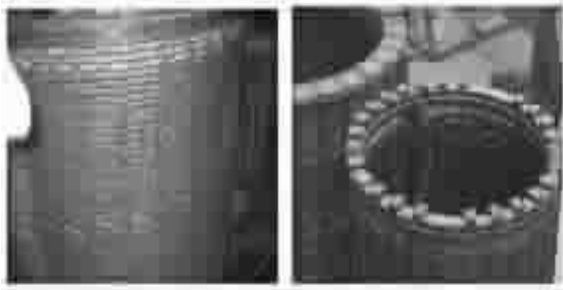


图 4 故障变压器 C 相中压线圈变形情况

C 相低压线圈在变形对应处有明显受挤压痕迹,该处垫块受压后与低压绕组表面平齐,低压绕组表面有轻微内凹痕迹。如图 5 所示。



图 5 故障变压器 C 相低压线圈轻微变形

综合解体分析情况,变压器内部解体分析结果与电气试验测试结果基本一致,故障变压器高压线圈、低压线圈未见明显变形;中压线圈辐向变形严重,匝间未形成明显短路;绝缘油中出现乙炔的原因为,变压器发生短路时,漏磁严重,铁心片、段之间出现电位差,等电位连片中通过电流,导致连接片烧毁,高温引发油中出现乙炔等特征气体。

5 结束语

(1) 变压器在安装完成后,应开展低电压短路阻抗和频率响应法绕组变形测试,为变压器运行中是否发生绕组变形提供“指纹”。

(2) 变压器低电压短路阻抗测试能够有效地判别变压器是否出现绕组变形,测试方法的应用应结合绝缘油色谱分析、电容量及介损测试、直流电阻测试、绝缘电阻测试、频率响应法绕组变形测试开展,对变压器的状况进行综合判断。

参考文献:

- [1] 孟庆民,陈玉红,珞君婷,等. 大容量变压器内绕组辐向失稳特性的模拟研究[J]. 变压器,2010,47(4):32-39.
- [2] 辛朝辉,钟俊涛,傅铁军,等. 大容量变压器内绕组短路强度研究[J]. 变压器,2009,46(8):39-42.
- [3] 中华人民共和国电力企业联合会. DL/T 1093—2008 电力变压器绕组变形的电抗法检测判断导则[S]. 北京:中华人民共和国国家发展和改革委员会,2008:4-5.
- [4] 王峰,王春宁. 基于辨识模型的变压器故障诊断方法研究[J]. 江苏电机工程,2010,33(1):26-29.

作者简介:

- 华德峰(1976),男,江苏无锡人,工程师,从事高电压与绝缘技术研究工作;
- 卞超(1978),男,江苏南京人,高级工程师,从事高电压与绝缘技术研究工作;
- 甘强(1978),男,重庆人,高级工程师,从事电气试验及高电压与绝缘技术研究工作;
- 吉亚民(1972),男,江苏盐城人,高级工程师,从事高电压与绝缘技术研究工作。

Analysis of 220 kV Transformer Winding Deformation

HUA Defeng, BIAN Chao, GAN Qiang, JI Yamin

(Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: Winding deformation is the main reason of transformer short circuit which results in damage. In Jiangsu province, the 220 kV auto-transformers are commonly used in the 220 kV power grid. The low impedance value and poor anti-short circuit ability of earlier transformers may result in winding deformation fault and unexpected accident. This paper analyzes a fault of 220 kV autotransformer winding deformation and thus proposes a criterion for judging transformer winding deformation. The disintegration analysis of transformer winding proves that the comprehensive analysis method that combing the low-voltage short-circuit impedance test and the capacity and dielectric loss test is effective. A new way to diagnose transformer winding deformation is proposed to ensure safe and stable operation of transformers.

Key words: autotransformer; short circuit of district nearby; winding deformation