

220 kV 主变短路故障后的综合试验分析

柯于刚¹, 顾文雯²

(1.江苏省电力公司检修分公司无锡分部,江苏 无锡 214101;2.无锡供电公司,江苏 无锡 214061)

摘要:通过油色谱分析、直流电阻测试、绕组电容量测量、低电压短路阻抗试验以及变压器绕组变形试验,对1台220 kV主变发生近区短路故障后进行了综合试验分析,发现了该变压器低压侧C相绕组存在严重变形故障,这一分析结果得到了主变厂家吊罩检查的印证,该分析方法为变压器短路后试验检测和故障处理提供了有效参考。

关键词:变压器;短路故障;油色谱分析;直流电阻;绕组变形

中图分类号: TM41

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)02-0021-03

无锡地区220 kV某变电站2014年5月10日凌晨05:56,110 kV扬芦738开关零序I段、距离I段保护动作跳闸,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。2号主变“轻瓦斯动作”告警。随即对2号主变及110 kV扬芦738回路进行了检查,扬芦738保护装置及一次设备情况正常,2号主变瓦斯继电器内发现有瓦斯气体。经查阅资料,该站2号主变1993年5月生产,1993年9月投运,主变型号OSFPS7-180000/220,编号93023,电压组合220±2×2.5%/121/38.5 kV、连接组别YN₀yn₀+d,2009年进行过现场吊罩大修,最近一次修试日期为2013年11月20日。

1 变压器油色谱分析

主变故障后,第一时间对2号主变进行油色谱分析,发现油中乙炔含量从0增长至32.8 μL/L,如表1所示。

表1 2号主变故障前后变压器油色谱分析对比 μL/L

气体含量	采样日期			
	3月11日	5月10日	5月10日	5月10日
H ₂	14	62	93	7266
CH ₄	18.5	28.8	27.8	2755
C ₂ H ₆	4.1	5.0	3.7	0.5
C ₂ H ₄	26.8	42.8	41.9	33.5
C ₂ H ₂	0	32.8	32.2	258.5
ΣC	49.4	109.4	105.6	3047
CO	358	382	319	2076
CO ₂	2239	2985	2173	386
备注	正常	首次油样	复采油样	瓦斯气体

由表1可以看出,主变故障前后油中CO、CO₂含量基本没有变化,说明主变本体潜伏性故障或长期性过热并不存在,故障未对固体绝缘材料造成大量的热分解。故障后氢气含量为62 μL/L,总烃值为109.4 μL/L,乙炔值32.8 μL/L,根据IEC三比值法计算,特

征气体编码为102,由此可以判断2号主变内部有强烈的突发性电弧放电故障发生,高能量的故障电流促使绝缘油分解产生大量的烃类及氢气,特别是乙炔气体^[1]。2号主变短路故障后氢气含量由14 μL/L剧增至93 μL/L,虽未超出溶解气体浓度的注意150 μL/L,但从产气增量上可以判断主变本体存在突发性的放电故障,初步分析该主变可能出现内部绝缘缺陷。为防止变压器缺陷进一步扩大,向调度申请紧急停用该主变,下午13:03时,2号主变改为冷备用状态。

2 变压器绕组变形测试

考虑到其他试验后,剩磁会对绕组变形试验有影响,首先进行该项试验^[2]。变压器发生短路故障后,在短路冲击电流的作用下,变压器绕组和变压器机械结构会受到机械应力的冲击,往往会导致绕组一定程度的变形^[3]。虽然变压器设计时都要求具有一定的抗短路冲击能力,但是考虑到2号主变以往曾发生过数次短路故障,但并未导致绕组严重程度的变形。为了诊断此次短路故障给主变造成的损害程度以及确定该主变是否可继续运行,进行绕组变形测试^[4]。对主变高压侧、中压侧和低压侧绕组分别进行了测试,测试频谱图如图1—3所示。

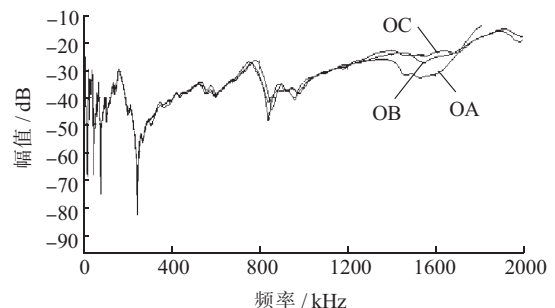


图1 2号主变高压侧绕组频响图谱

由图1可以看出,高压侧绕组三相曲线随频率变化一致性较好,可初步认为高压侧绕组未发生变形。由图2可以看出,中压绕组三相间频率响应曲线低频段相比高压绕组而言一致性相对较差,可认为有轻微变

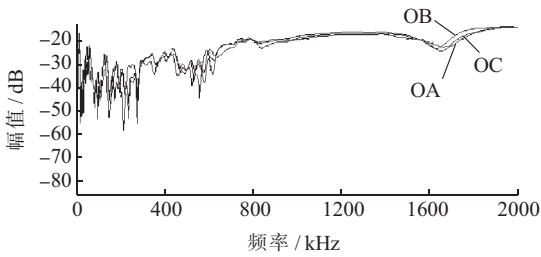


图2 2号主变中压侧绕组频响图谱

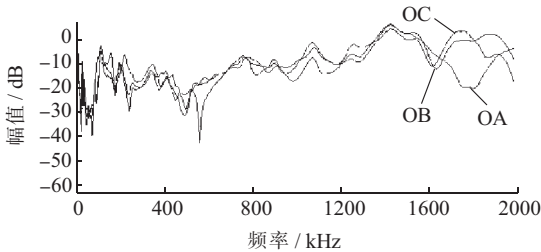


图3 2号主变低压侧绕组频响图谱

形,中频段和高频段三相一致性较好,由于高频段绕组的对地电容及匝间或饼间电容起主导作用,相对位移未发生变化。由图3可以看出,2号主变的低压侧绕组三相相似性比较差,相对于高压绕组和中压侧绕组而言变形明显,C相频响曲线相差最大,相对于A相、B相而言低频段波形的波峰、波谷发生偏移,整体波形也有明显变化,可认为主变低压绕组发生了明显变形。因频响测试目前仍停留在测试实践经验多的总结上^[5],需结合其他试验(低电压短路阻抗和电容量测量等)方法对故障情况做进一步的确定。

3 低电压短路阻抗测试

阻抗法是通过测量工频电压下变压器绕组的短路阻抗或漏抗来反映绕组的变形和移位及匝间开路和短路等缺陷。对变压器绕组的幅向变形、轴向扭曲、匝间开路、短路等影响整体电感的变形较为灵敏^[5]。现场进行低电压短路阻抗试验,试验数据如表2所示。

表2 2号主变故障前后低电压短路阻抗试验数据对比

短路阻抗		2013年		2014年		纵向偏差/%(以2013年为参考)
		11月短路阻抗/ Ω	横向偏差/%(A相为参考)	5月短路阻抗/ Ω	横向偏差/%(A相为参考)	
中压— 低压	A	17.14	—	16.8	—	-1.98
	B	17.2	0.35	16.8	0.00	-2.32
	C	17.2	0.35	14.2	-15.47	-17.44
高压— 中压	A	24	—	23.7	—	-1.25
	B	24	0.00	23.7	0.00	-1.25
	C	24	0.00	25.7	8.43	7.083
高压— 低压	A	86.96	—	85.54	—	-1.63
	B	86.96	0.00	85.84	0.35	-1.28
	C	86.96	0.00	79.05	-7.58	9.09

注:分接开关位置高压、中压均位于1档。

从表2所示数据可看出,中压对低压短路阻抗C相与A相、B相横向偏差达-15.47%,中压对低压短路

阻抗C相与历史数据比较差值为-17.44%,高压对中压短路阻抗C相与A相、B相横向偏差达8.43%,高压对中压短路阻抗C相与历史数据比较差值达7.083%。高压对低压短路阻抗C相与A相、B相横向偏差达-7.58%,高压对低压短路阻抗C相与历史数据比较差值为9.09%,均超过规程规定^[6](试验规程规定短路阻抗相间偏差注意值为2%,与初值差不超过3%)。根据短路阻抗试验数据,结合之前的绕组变形试验可以确定低压绕组C相发生变形。

4 变压器绕组的电容测量

变压器的绕组可以看成由电阻、电容、电感等构成的网络,而绕组的等值电容量直接反映出各绕组间、绕组对铁心、绕组对箱体及地的相对位置和绕组的自身结构等。变压器产品出厂后,其各绕组的电容量基本上是一定的,即使在有温度、湿度影响的情况下,其电容量变化应很小^[7]。但当变压器遭受短路冲击后,若某侧绕组变形严重,则其电容量变化相应也较大。因此可以通过电容量的变化来判断主变的内部变形情况,可以对主变内部绝缘的状况有一个初步的判断。2号主变绕组电容量测量数据如表3所示。

表3 2号主变故障后介质损耗及电容量测量

上层油温 30℃	被试绕组		
	高压 (高+中)	低压 (低压1)	稳定 (低压2)
介质损耗 $\text{tg}\delta$ /%	0.300	0.250	0.240
电容量 C_x /pF	16 360	24 360	24 120
电容量偏差 ΔC /%	10.900	7.590	0.710

将试验数据与最近一次预试数据进行比较,发现高(中)压绕组对低压、平衡绕组及地电容量与上次修试时比较电容量偏差10.99%;低压对高(中)压、平衡绕组及地电容量与上次修试时比较电容量偏差7.47%,均超过标准要求。

可见,高(中)压绕组与低压绕组、平衡绕组及油箱之间发生了相对位移,从而导致了绕组电容量的变化,该结果与绕组变形和短路阻抗的试验相一致,也相互印证。

5 变压器绕组的直流电阻测量

为确定变压器短路故障后,绕组由于短路电流的冲击,绕组产生严重变形造成匝、股间短路,同时由于大电流冲击,过电流薄弱环节,如分接开关、套管引线接头,将军帽与线圈引出线之间会造成接触不良。接触不良,匝间和股间短路可通过测量绕组直流电阻来发现。主变直流电阻测量数据如表4所示,与历史数据相比未见异常。

表 4 2 号主变绕组直流电阻测量

主变绕组		A/ Ω	B/ Ω	C/ Ω	偏差 $\Delta R/\%$
高压绕组	相间	0.536 5	0.536 3	0.535 9	0.013
中压绕组	相间	0.279 1	0.279 3	0.278 3	0.120
低压绕组	相间	0.023 640	0.023 600	0.023 690	0.130 00
稳定绕组	线间	0.043 51	—	—	—

注:绕组上层油温 30 $^{\circ}\text{C}$, 高压绕组与中压绕组分接位置均位于 1 档。

6 变压器吊芯检查

6 月 18 日, 2 号主变被运往常州西电变压器有限公司生产车间进行现场吊芯检查。检查结果发现, 低压侧 C 相绕组发生了严重的扭曲变形, 出现鼓包, 这一检查结果与绕组变形试验数据分析和低电压短路阻抗试验相一致。在发生短路故障后, 低压绕组受到径向力的挤压, 出现扭曲和鼓包, 导致低压与高压绕组距离变小, 电容量变大这与试验结果相符。同时在检查时发现 C 相上部铁轭硅钢片之间的短接线烧断, 由于受到挤压, 铁心硅钢片间的绝缘受损, 硅钢片间短接线流过大电流而烧毁, 这也解释了油色谱分析中出现乙炔气体并急剧增加的原因。

7 结束语

通过对一起 220 kV 主变短路故障后的综合试验分析, 介绍了油色谱分析、绕组变形测试、低电压短路阻抗试验、绕组电容量测量及直流电阻测量等试验方法在故障分析诊断中的运用, 对于发现变压器的受损和保障电网安全稳定具有重要意义。对于主变短路故障处理进行如下总结:

(1) 变压器的油色谱分析是监视充油电气设备安全运行和故障分析的最有效方法之一, 但需要结合电气试验对故障类型, 故障性质和原因做详细分析。

(2) 绕组频率响应试验和低电压短路阻抗试验, 是进行绕组变形分析的 2 种主要方法, 绕组频率响应试验方法比较灵敏, 所含信息量大, 易受干扰; 而低电压短路阻抗试验技术目前比较成熟, 已有相关标准。在分析判断时, 相互印证, 提高诊断的准确性。

(3) 变压器绕组的电容量测量由于受试验方法和接线的限制, 在诊断故障时虽不及绕组频率响应试验和低电压短路阻抗试验方面灵敏有效, 但也能发现绕组位移和较明显变形故障。

(4) 本例变压器短路故障铁心硅钢片短接片烧毁, 为进一步诊断铁心是否受损, 需进行空载试验。

参考文献:

- [1] DL/T 722—2000, 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2000: 15-18.
- [2] 毕建刚, 王献丽, 高克利. 变压器绕组变形现场测试中应注意的问题[J]. 变压器, 2009, 46(1): 29-31, 36.
- [3] 刘苍松, 吉亚民, 凌建. 一起 220 kV 变压器故障分析[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(2): 30-31.
- [4] 张琛. 变压器绕组变形测试方法及应用[J]. 变压器, 2007, 44(2): 35-37.
- [5] 黄华, 周建国, 姜益民, 等. 阻抗法和频响法诊断电力变压器绕组变形[J]. 高电压技术, 1999, 25(2): 70-73.
- [6] DL/T 596—96, 电力设备预防性试验规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 1997: 16-17.
- [7] 梁博渊, 刘宏亮. 变压器绕组变形的综合诊断分析[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(1): 16-19.

作者简介:

柯于刚(1980), 男, 湖北鄂州人, 工程师, 从事高压电气试验工作;
顾文雯(1985), 女, 江苏无锡人, 工程师, 从事电力自动化工作。

Analysis of 220 kV Main Transformer Short-Circuit Fault by Using Comprehensive Test Methods

KE Yugang, GU Wenwen

(1. Wuxi Division of Jiangsu Provincial Power Company Maintenance Branch, Wuxi 214101, China;

2. Wuxi Power Supply Company Dispatching Control Center, Wuxi 214061, China)

Abstract: A comprehensive testing analysis, including oil chromatographic analysis, DC resistance test, winding capacitance measurement, low voltage short-circuit impedance test and transformer winding deformation test, on a 220 kV transformer's nearby short-circuit fault is implemented. Through this analysis, a serious distortion winding fault is found on the low voltage side of the C-phase winding. The finding is proved by hanging hood check. The testing analysis supplies an effective reference to transformer short-circuit testing and troubleshooting.

Key words: transformer; short-circuit fault; oil chromatographic analysis; DC resistance; winding deformation