

一台 110kV 变压器出口三相短路电气试验分析

王志飞

(淮安供电公司盱眙县检修公司, 淮安 盱眙 211700)

摘 要: 本文对一台低压侧出口三相短路的 110kV 变压器进行了绝缘电阻、介质损耗试验, 考察变压器的绝缘性能, 并进行了直流电阻、变比、低电压空载、小电流短路试验, 考察了变压器的电气性能, 通过电容量分析、绕组变形数据分析判断了变压器有无变形, 通过油色谱分析判断变压器内部有无存在放电的可能, 通过此一系列的试验来综合判断出变压器低压短路可能对变压器造成绝缘以及电气性能的损坏, 推断出故障情况, 分析出了故障点。

关键词: 变压器; 出口短路; 电气试验; 色谱分析; 绕组变形

0 引言

变压器出口短路, 绕组内部遭受巨大的、不均匀的电动力冲击, 如果绕组内部的机械结构有薄弱点, 就会使绕组产生扭曲、鼓包、匝间短路或位移等变形。较长时间的短路冲击往往造成变压器绕组发热, 金属导体机械强度下降, 使之更易发生变形。严重的绕组变形可能改变绝缘距离, 最终造成绝缘击穿等损坏事故。因此, 变压器出口短路后, 应当进行一系列的试验工作, 以判断变压器有无绝缘损坏、绕组变形等问题, 最终给出变压器是否可以继续运行的结论。

1 事故经过

2012 年 7 月 2 日, 某变电站 2 号主变 10kV 侧母线失电, 10kV 侧 102 开关柜烧毁, 2 号主变跳闸。试验班到达现场后, 根据保护报告, 判断为三相接地短路故障, 导致开关柜烧毁, 按照出口短路试验的要求对 2 号主变进行了电气试验。

2 号主变基本参数为:

型号: SSZ11—50000/110

额定电压: $(110 \pm 8 \times 1.25\%)$ kV/10.5kV

接线组别: YN/YN₀d11

2 现场试验情况如下

2.1 油色谱分析

发生事故以后马上取变压器油样进行分析, 得出表 1 数据。表 2 列出的是 2011 年 9 月 9 日的历史数据。

表 1 油色谱分析数据

ul/L

甲烷	乙烯	乙烷	乙炔	氢气	一氧化碳	二氧化碳	总烃
8.94	2.43	1.29	1.81	40.74	717.14	1245.27	14.4

表 2 2011.9.9 数据

甲烷	乙烯	乙烷	乙炔	氢气	一氧化碳	二氧化碳	总烃
6.69	1.08	0.95	0.00	42.72	603.9	1075.21	10.2

根据《输变电设备交接和状态检修试验规程》变压器油中溶解气体含量的注意值为 C_2H_2 含量为 $5\mu\text{L/L}^{[2]}$ 、从表 4 色谱分析数据可知该主变油中溶解气体中 C_2H_2 虽然未超过注意值, 但是与历史数据比较, 有了显著增长, 怀疑故障类型为电弧放电。

2.2 绝缘试验

绝缘试验主要进行了绕组连同套管的绝缘电阻测试和铁心以及夹件的绝缘电阻测试, 具体测试结果见表 3。

表 3 绝缘试验测试数据

相别	1s5	60s	吸收比	备注
高/低压及对接地	18000	25000	1.38	/
中/高、低压接地	15000	20000	1.33	/
低/高中压及对接地	0	0	/	加压 500V 仍为 0
铁芯对地/MΩ			289	
夹件对地/MΩ			305	

从绝缘上来看, 该变压器高压侧以及中压侧、铁芯、夹件的绝缘电阻均无异常, 而低压侧绝缘到 0, 即使使用 500V 摇表测量依然到 0, 由此可见, 低压绕组存在绝缘问题, 但是具体是在哪里, 现在并不能得出结论, 要结合接下来的数据继续分析。

2.3 绕组连同套管的直流电阻测试

变压器发生出口短路故障后, 短路电流可能引起变压器绕组及引线上的薄弱环节 (内部导线的焊接位置、引线与绕组的焊接位置、分接开关的触头

及引线接头等)发热,导致薄弱环节的烧损甚至烧断。这种情况将引起绕组连同套管直流电阻值的增大和三相不平衡。而绕组出现金属性匝间短路后,直流电阻会减小。表 4 给出了高压绕组第六档(由于绕组直阻并无明显误差及变化,这里不一一列举)和中压侧(中压列出 4 档)、低压绕组直流电阻的测试结果。

表 4 直流电阻测试数据

相别	A0	B0	C0	误差值/%
6 档	0.3363	0.3376	0.3384	0.62
中压	Am0	Bm0	Cm0	误差值/%
4 档	0.04715	0.04657	0.04631	1.81
低压	ab	bc	ca	误差值/%
	0.004700	0.00469	0.004711	0.42

从表 4 中可以看出,中压绕组直流电阻 4 档误差达到了 1.81%,已经接近 2%的警示值^[2],应给予注意。低压绕组直流电阻误差在警示值范围内,从直流电阻来看,应该没有绕组短路或者断线的情况。

2.4 变比试验

变压器发生出口短路故障后,短路电流如果造成引线烧损或者烧断,必然会导致变比的变化,因此测量变比也可以辅助我们判断绕组有无短路、断路等情况的发生。

表 5 变比测试数据

高对 低变 比	档位	相别(实测变比)		
		△AB/ab (%)	△BC/bc (%)	△CA/ca (%)
	4	0.02	0.02	0.05
	9	0.05	0.05	0.08
	14	0.10	0.10	0.13
中对 低变 比	档位	相别(实测变比)		
		△AmBm/ab (%)	△BmCm/bc (%)	△CmAm/ca (%)
	3	0.14	0.13	0.14

从表 5 变比数据来看,变比没有明显变化。

从上面四个试验结论看来,变压器低压侧存在接地或者绝缘损坏的情况并放电。判断绕组与铁芯下部接触,或者是绕组变形之后与外壳有接触等原因,在这种情况下,介质损耗试验、短路阻抗试验以及绕组变形数据应该可以体现出来,因此我们又进行了这些试验。

2.5 介质损耗试验

测试变压器介质损主要检查变压器整体是否受潮、绝缘油及纸是否劣化、绕组上是否附着油泥及存在严重局部缺陷等,通过介质损及电容量变化分析也是绕组变形判断的辅助手段。

表 6 现场试验介质损耗试验数据

相别	Tgδ / %	Cx / pF	标准值
高压	0.202	15270	tgδ>0.8%
中压	0.211	23620	tgδ>1.5%
低压	Rx=986.3Ω	Lx=0.026	1000V 试验,没有介损值
	Rx=5.968kΩ	16330	500V 试验,没有介损值

表 7 交接试验低压侧介质损耗数据

相别	Tgδ / %	Cx / pF	标准值
低压	0.378	22260	tgδ>1.5%

高压及中压侧数据与交接试验比较,并无明显差异,这里仅呈现低压侧交接试验数据。见表 6。

低压侧无法进行介质损试验,即使加 1000V 电压,仍然没有电容值,仅有阻抗显示。介质损数据进一步验证了低压侧绝缘损坏的推论。见表 7。

2.6 空载试验及短路试验

变压器空载试验的主要目的是通过测量空载电流和载损耗,分析他们的变化规律,发现磁路中的硅钢片的局部绝缘不良和绕组匝间短路等缺陷。变压器短路阻抗试验可以发现变压器内部几何尺寸的改变^[1]。

表 8 列出了采用小电流测得的短路试验数据,低电压测得的空载试验数据,并与交接试验数据进行了比较,见表 9。

表 8 现场试验空负载试验数据

短路试验					
1 档	A0	(短接 abc)	I (A)	U (V)	W (瓦)
			2	103.5	11.2
	B0	(短接 abc)	I (A)	U (V)	W (瓦)
			2	101.7	10.8
	C0	(短接 abc)	I (A)	U (V)	W (瓦)
			2	102.2	10.8
1 档	Am0	(短接 abc)	I (A)	U (V)	W (瓦)
			5	17.5	15.4
	Bm0	(短接 abc)	I (A)	U (V)	W (瓦)
			5	18.4	15.8
	Cm0	(短接 abc)	I (A)	U (V)	W (瓦)
			5	18.1	15.6
空载试验					
			I (A)	U (V)	W (瓦)
	ab 加压—bc 短		0.255	200	27.2
	bc 加压—ac 短		0.245	200	26.1
	ca 加压—ab 短		0.39	200	50.4

表 9 交接试验空载试验数据

	I (A)	U (V)	W (瓦)
ab 加压—bc 短	0.271	200	27.5
bc 加压—ac 短	0.254	200	22.4
ca 加压—ab 短	0.358	200	36.4

从短路阻抗试验上来看无明显变化;低电压空

载试验时, **ac** 相损耗过大, 达到其他相的 1.8 倍, 从这里判断故障点应该就在低压 **a** 或者 **c** 相。

2.7 绕组变形试验

变压器绕组在电动力和机械力的作用下, 绕组的尺寸或形状发生不可逆的变化。它包括轴向和径向尺寸的变化、器身位移、绕组扭曲、鼓包和匝间短路等。

频响法由绕组一端对地注入扫描信号源, 测量绕组两端口特性参数的频域函数。通过分析端口参数的频域图谱特性, 判断绕组的结构特性, 从而实现诊断绕组变形情况的目的^[1]。见图 1、2、3。

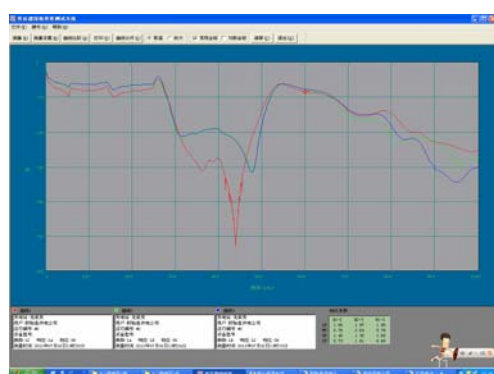


图 1 现场试验绕组变形数据: 低压 ab、bc、ca

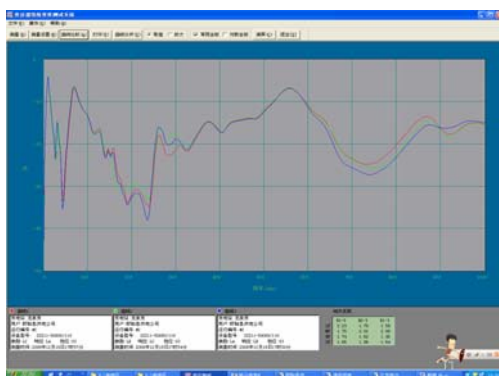


图 2 交接试验绕组变形数据: 低压 ab、bc、ca

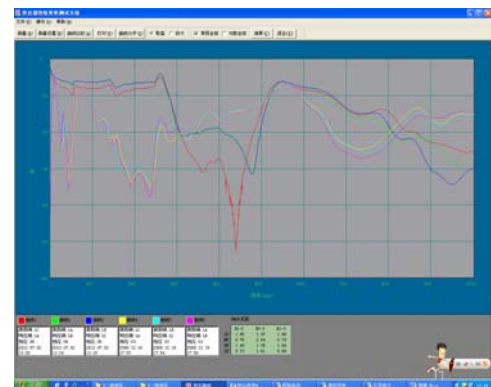


图 3 低压侧现场试验与交接试验数据比较
从绕组变形试验上来看, 高压以及中压侧和原

始数据以及相间比较来看, 均无明显变形, 而低压侧不论是相间还是与交接试验相比较均有明显变形。

a 相频响曲线中频段 (100–600kHz) 的波谷位置发生明显变化, 绕组应该发生了扭曲和鼓包等局部变形现象。据此, 判断低压侧 **a** 相绕组与铁芯下部接触或者是 **a** 相绕组变形后与外壳接触后放电。

3 解体检查情况

运回厂家吊罩后发现在低压绕组 **a** 相下引出线与下铁轭之间存在放电痕迹, 用手触摸此放电痕迹, 可以明显摸到有金属屑存在, 绕组轻微变形。如图 4 所示:



图 4 解体后发现放电痕迹

4 结论

从本次事故中可以看出, 通过试验结果可以准确的判断出电力设备故障原因。变压器发热故障最终会导致内部短路故障, 对电力系统造成严重的影响, 所以平时在运行和检修试验过程中要注意观察, 及时分析主变的异常变化, 从而有效避免重大事故的发生。

参考文献:

- [1] 张晓惠. 国家电网公司生产技能人员能力培训专业教材 电气试验[M].北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 江苏省电力公司. Q/GDW-10-J206-2010 输变电设备交接和状态检修试验规程[Z].江苏省电力公司,2010.

作者简介:

王志飞(1985—), 男, 江苏盱眙人, 助理工程师, 从事 110kV 及以下电气设备试验工作。