

一起 220 kV 变压器绕组变形缺陷的诊断及分析

刘胜军, 冯正军, 刘 钊, 郑献刚, 乔红军, 郭会永

(国网河北省电力有限公司保定供电分公司, 河北 保定 071000)

摘要: 介绍一起通过常规停电试验发现220 kV变压器中压绕组存在严重变形缺陷, 分析了该变压器中压绕组变形的原因, 提出了日常维护的建议, 并提出为了避免类似缺陷的发生, 设计大型变压器时, 应优化产品设计和制造工艺。同时, 改善变压器运行环境也是一项重要措施。

关键词: 变压器; 绕组变形; 抗短路能力; 短路故障

中图分类号: TM411

Diagnosis and Analysis of a 220 kV Transformer Winding Deformation Defect

LIU Shengjun, FENG Zhengjun, LIU Zhao, ZHENG Xiangang, QIAO Hongjun, GUO Huiyong

(Baoding Power Supply Company of State Grid Corporation of China, Hebei Baoding 071000, China)

Abstract: This article introduces a defect of severe deformation of the medium voltage winding of a 220 kV transformer discovered through routine tests. Analyzed the reasons for the deformation of the medium voltage winding of the transformer. Suggested daily maintenance. To avoid similar defects, product design and manufacturing processes should be optimized when designing large transformers. Meanwhile, improving the operating environment of transformers is also an important measure.

Keywords: transformer; winding deformation; short circuit resistance; short circuit fault

近年来, 为了满足社会和经济快速发展的需要, 电力系统容量越来越大, 导致中低压侧短路冲击尤其近区短路冲击对变压器所产生的后果越来越严重, 可能导致中低压绕组变形。绕组变形是大型变压器运行的重大隐患, 如不能及时发现, 将对电网安全稳定带来重大威胁^[1]。

1 基本情况

某 220 kV 变电站 2 号变压器设备信息为: 型号 SFSZ11-180000/220, 额定容量 180/180/60 MV·A, 额定电压比 $230 \pm 8 \times 1.25\%/121/38.5$ kV, 接线组别: Ynd11, 出厂及投运日期 2008 年 6 月。该变压器于 2015 年 9 月 7 日曾进行停电试验, 各试验项目试验数据均正常。

该变电站 220 kV 采用 3/2 接线方式, 110 kV 采用双母线带旁路接线, 正常运行方式为并列运行, 35 kV 采用单母线分段接线, 未装设母联开关, 正常运行方式为分列运行。该变电站 1 号变压器 220/110 kV 中性点接地刀闸在合位, 2 号变压器 220/110 kV 中性点接地刀闸在断位。

收稿日期: 2022-07-05; 修回日期: 2022-07-12

2 试验情况及分析

该 220 kV 变电站 2 号变压器停电试验时, 当地天气阴, 环境温度 19 ℃, 相对湿度 70%, 油温 15 ℃。该变压器开展了绕组电阻、绕组电压比、绕组介损电容量、低电压短路阻抗、绕组频率响应分析、油中溶解气体分析、套管试验、绕组绝缘电阻、铁芯及夹件绝缘电阻等试验项目, 其中绕组电阻、绕组电压比、油中溶解气体分析、套管试验、绕组绝缘电阻试验、铁芯及夹件绝缘电阻试验数据均符合标准要求。

2.1 绕组介损电容量试验

该变压器绕组介损和电容量试验结果如表 1 所示。由表 1 可以看出, 高压、中压、低压绕组对其他绕组及地的电容量增大分别为 -5.2%、14.2%、16.3%, 高压及中压绕组对低压绕组及地的电容量增大至 22.1%, 高压、中压、低压绕组对地的电容量增大 3.7%, 可见中压绕组对高压、低压绕组及地, 低压绕组对高压、中压绕组及地, 高压、中压绕组对低压绕组及地的电容量变化远超过规程要求。另外高压绕组对中压、低压绕组及地, 高压、中压、

表 1 绕组的介损值和电容量

测量端	2022/05/10		出厂值		电容量 初值差 /%
	C_x/pF	$\tan\delta$	C_x/pF	$\tan\delta$	
高压—中、低压 及地	15 520	0.002 34	16 370	0.002 68	-5.2
中压—高、低压 及地	27 880	0.003 01	24 420	0.002 40	14.2
低压—高、中压 及地	39 870	0.003 41	34 270	0.002 42	16.3
高、中压—低压 及地	25 030	0.003 11	20 500	0.002 56	22.1
高、中、低压 —地	33 410	0.003 21	32 220	0.002 68	3.7
高压—地(C_H)	6185	—	6225	—	-0.6
中压—地(C_M)	3100	—	3000	—	3.3
低压—地(C_L)	24 125	—	22 995	—	4.9
高压—中压(C_{H-M})	9035	—	10 145	—	-10.9
中压—低压(C_{M-L})	15 745	—	11 275	—	39.6

低压绕组对地的电容量变化也超过规程要求^[2]。试验人员利用图 1 所示的绕组电容量分解模型对电容量进行分解发现，高压绕组对中压绕组的电容量减小达到 10.9%，中压绕组对低压绕组的电容量增大达到 39.6%，低压绕组对铁芯的电容量增大 4.9%，高压绕组对地的电容量变化无明显异常。初步判断中压绕组变形严重，向内塌陷。

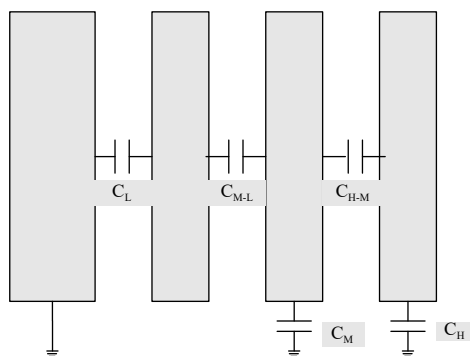


图 1 绕组电容量分解示意图

2.2 低电压短路阻抗试验

该变压器低电压短路阻抗试验结果如表 2 所示。由表 1 可以看出，在最大分接位置，A 相、B 相、C 相高压绕组对中压绕组初值差均超过“初值差不超过 $\pm 1.6\%$ ”的规程要求，其中 B 相、C 相分别达到 11.94% 和 11.08%。最大相对互差也超过不应大

于 2% 的规程要求。在最大分接位置，A、B、C 相高压绕组对低压绕组初值差同样均超过规程要求。另外，在额定分接位置，A、B、C 相中压绕组对低压绕组初值差同样均超过规程要求，其中 B、C 相分别达到 -13.37% 和 -12.22%。最大相对互差远超过规程要求^[3]，达到 11.78%。从低电压短路阻抗结果来看，初步判断 B 相、C 相中压绕组变形严重，A 相中压绕组也存在变形。

表 2 低电压短路阻抗 %

分接位置	测量值	A 相	B 相	C 相	最大相对互差
高压—中压 最大分接	试验值	13.37	14.161	14.051	5.92
	铭牌值	12.65	12.65	12.65	
	初值差	5.69	11.94	11.08	
高压—低压 最大分接	试验值	22.553	22.532	22.707	0.78
	铭牌值	23.29	23.29	23.29	
	初值差	-3.16	-3.25	-2.50	
中压—低压 额定分接	试验值	7.03	6.289	6.373	11.78
	铭牌值	7.26	7.26	7.26	
	初值差	-3.17	-13.37	-12.22	

2.3 绕组频率响应分析

图 2~4 分别为该变压器高压、中压、低压绕组的三相频率响应特性曲线。由图 2 所示高压绕组 A 相在低频段出现了谐振峰的位置及大小变化，在中频段 C 相出现了谐振峰的大小变化，高频段相关性基本良好^[4]。从图 3 可以看出，中压绕组低频段 C 相的谐振峰大小有变化，中频段 A 相出现了较明显的谐振峰位置和大小变化，高频段相关性基本良好。由图 4 所示低压绕组 A 相、C 两相绕组在低频段也出现了较明显的谐振峰的位置及大小变化，而中、

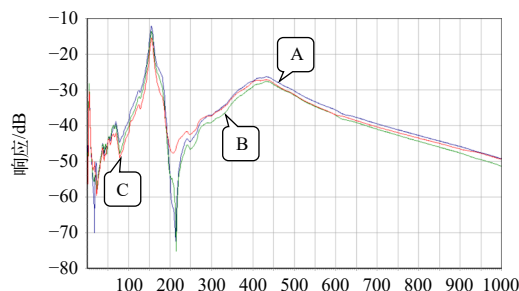


图 2 高压绕组频率响应特征曲线

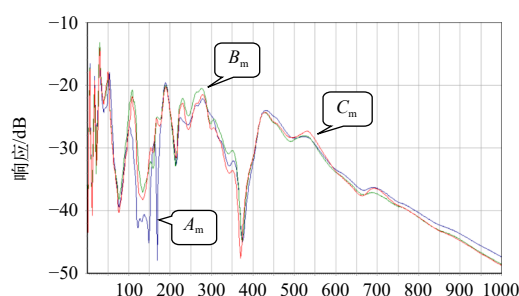


图3 中压绕组频率响应特征曲线

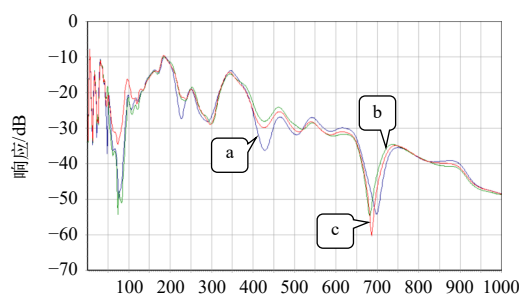


图4 低压绕组频率响应特征曲线

高频段相关性基本良好。初步判断该变压器三侧绕组均存在绕组变形情况，以中压绕组尤为严重，集中在中频段。

2.4 缺陷原因初步分析

当短路电流尤其出口短路电流通过变压器中压、低压绕组时，因绕组周围漏磁场的存在，且与通过绕组电流成线性关系，绕组会承受巨大电动力的作用。因为高压绕组对于电力系统为用电设备，中压、低压绕组对于电力系统为电源，所以流经变压器高压绕组的电流方向与中压、低压绕组相反，遭受短路故障时，短路电流在轴向漏磁场作用下，使处于最外层的高压绕组受到扩张径向力，使处于内部的中压、低压绕组受到压缩径向力，导线材质、结构等多种因素决定其抗弯强度远低于抗拉强度，所以极易发生绕组变形等机械失稳问题^[4]。另外，变压器遭受短路故障时，中压、低压绕组承受的短路电流远大于高压绕组承受的短路电流，在漏磁场作用下，受到的电动力更大，故短路电流更易造成中压、低压绕组变形^[5]。

该变压器已运行近 15 年，尽管抗短路能力校核结果中压绕组满足规程要求，但投运以来中压侧遭受多次短路故障，特别是 2022 年 5 月 2 日，线路侧断路器因机构问题，延时分闸，该变压器中后备保护动作跳闸，切除线路故障。此次短路故障对该变

压器中压侧造成较长时间的短路电流冲击。具体情况如下：

2022 年 5 月 2 日 13:10:24.872，某 110 kV 线路发生 B 相接地故障，该 220 kV 变电站 154 线路保护零序 I 段、距离 I 段动作，154 断路器未跳开，该 110 kV 线路故障电流未消除。随后，该 220 kV 变电站 2 号变压器中压侧过流保护 I 时限动作，跳开 101 断路器，过流保护 II 时限动作，跳开 112 断路器，故障电流切除，67 s 后 154 断路器跳开。

综合以上试验情况，初步判断 A 相、B 相、C 相中压绕组均变形，但绕组未出现匝间短路或断股情况，因此油色谱未见异常。变压器绕组变形缺陷有明显的积累效应，由于遭受了多次短路冲击，绕组机械强度受到破坏，该变压器以往试验数据未发现异常，直至遭受最近一次短路冲击，中压绕组受到压缩径向电动力的作用，自身固有应力失衡，中压绕组更靠近低压绕组，其对低压绕组电容量增大，对高压绕组电容量减小，故判断该变压器中压绕组已发生明显变形，具体情况须返厂吊罩解体检查。

3 解体检查情况

2022 年 5 月 25 日，对该变压器进行解体检查，情况如下。

调压绕组外观无异常。高压绕组受中压绕组变形挤压位置出现轻微变形，部分油隙垫块可见明显偏移，如图 5 所示。

A 相中压绕组在靠近旁柱的相间侧，上半段发生扭曲变形，其中 7-11 撑条间线饼变形尤其严重，如图 6 所示。内外径对应区域可见多处绝缘破损，其中外径侧在第 16、18、19、20 饼，9 撑条位置，各有 1 处露出铜线，如图 7 所示。上部右数第 3~15 根内径侧撑条出现分层，如图 8 所示。B 相、C 相中压绕组同样存在严重变形。

低压绕组外部围屏纸板发生严重变形，局部撕裂损伤，受中压绕组变形挤压位置出现变形，部分油隙垫块受挤压变形。

高压、中压、低压绕组均未使用自粘换位导线，不满足现行的抗短路能力设计要求。

该变压器下节油箱为适形结构，与常见的 U 形传统结构存在差异，存在油流循环不畅的问题。



图5 高压绕组垫块偏移情况



图6 A相中压绕组变形情况



图7 A相中压绕组绝缘损坏情况

解体检查结果表明，该变压器中压绕组多次遭受短路故障后，三相绕组已发生严重变形，部分绝缘已损坏，如未及时发现，运行中再次遭受短路故障，将造成严重设备及电网事故^[6]。



图8 A相中压绕组撑条分层情况

4 结束语

任何设备事故的发生都是由内部原因和外部原因共同作用引起的，对于变压器绕组变形故障产生的外部原因因为遭受短路电流冲击和运输、运行过程中遭受物理碰撞，对于本起缺陷而言是短路电流的冲击。而造成变压器绕组变形的内部原因因为本身抗短路能力不足。因此为防止大型变压器发生短路损坏事故，应在产品制造和运行管理 2 方面采取综合措施^[1]。在变压器遭受短路电流冲击后，应在油气监视的基础上，综合考虑变压器设计、工艺水平、材料质量、电气试验等多重因素，开展变压器诊断试验，判断变压器健康状况，防止变压器带病运行。

参考文献

- [1] 刘胜军，周永强，何燕. 突发短路造成220 kV变压器损坏原因分析及处理[J]. 电子世界，2013,(009): 79-80.
- [2] 中国电力企业联合会. 输变电设备状态检修试验规程: DL/T 393—2010[S]. 北京: 中国电力出版社，北京: 中国计划出版社，2010.7.
- [3] 刘胜军. 突发短路造成220 kV变压器损坏原因分析及处理[J]. 变压器，2013, (12).
- [4] 穆永保. 一起220 kV变压器绕组变形缺陷的诊断与原因分析[J]. 变压器，2014, (11).
- [5] 中国电力科学研究院. 电气装置安装工程电气设备交接试验标准: GB 50150—2016[S]. 北京: 中国计划出版社，2016.6.
- [6] 中国电力企业联合会. 电力变压器绕组变形的频率响应分析法: DL/T 911—2016[S]. 北京. 2016.7.

作者简介

刘胜军（1974—），男，高级工程师，从事技术监督专业管理工作。

（责任编辑：刘艳玲）