

一起500 kV变压器事故分析及修复措施

唐 武

(国网江西省电力有限公司物资供应分公司,江西 南昌 330077)

摘 要:文中介绍了一起500 kV变压器由于机械撞击引起的事故,通过生产车间解体检查,结合理论计算,分析了设备损坏状况,提供了有效的修复方案,更换了受损部位铁芯硅钢片修复变压器,详细阐述了整个修复过程和工艺要求。

关键词:变压器;铁芯;硅钢片

中图分类号:TM 407 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)05-0081-04

0 引言

500 kV主变现场运行多年后,为提高运行工况,返场维修是有效手段之一。文中介绍了某500 kV变压器在维修过程中,由于人员的误操作造成铁芯局部受损的情况,通过解体检查和理论分析确定铁芯受损范围,提出了有效的修复方案,阐述了修复的详细过程。

1 事故概述

某500 kV变电站主变型号为:ODFPS-250000/500,500 kV单相油浸自耦变压器,采取250 MVA,525/230/35 kV,一体式结构,具体参数如表1所示。制造出厂时间为2006年8月,现场投运时间达18年,2024年4月返原制造厂检修。

表1 主变具体参数

型号	额定容量/MVA	电压组合/kV	联结组标号	冷却方式
ODFPS-250000/500	250/250/80	525/ $\sqrt{3}/(230/\sqrt{3} \pm 2.5\%)/36$	单相 Ia010	ONAN/ ONAF/ODAF

2024年6月某日,该主变C相计划进行总装配,在器身下箱时,由于驾驶员吊起器身后操作行车方向错误,经提醒后立即按下停止按钮,但器身由于惯性仍在向前运动,低速撞上了旁边另一台变压器蝶阀螺栓,事故造成变压器C相受到螺栓撞伤,伤口贯穿纸板,引起铁芯凹陷,内部硅钢片变形,如图1所示。



图1 器身受损部位照片

2 铁芯解体分析

为准确了解变压器铁芯受损状况,在车间拆开铁芯围屏纸板,确定变压器铁芯受损位置及损坏程度。

2.1 解体检查情况

通过解体检查,找到铁芯硅钢片的四个撞击点。其中,有两处变形为此次需处理部位;另外两处撞击点在侧梁垫块及上方绝缘件上,通过外观检查以及绝缘检测,该处铁芯硅钢片未损坏,后期在铁芯修复时,将进一步对这两个撞击部位铁芯拆开检查和测试,进行评估,如硅钢片出现绝缘损坏、变形、毛刺,将对瑕疵硅钢片进行更换^[1]。解体照片如图2所示。

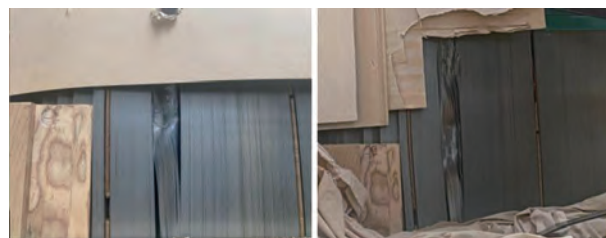


图2 器身围屏拆开后照片

收稿日期:2025-01-16

作者简介:唐武(1984),男,硕士,高级工程师,主要从事电网设备监造、质量监督工作。

2.2 破坏力分析

为模拟变压器器身吊装时冲撞的工况,将变压器器身起吊并进行急停,通过三维冲撞记录仪记录器身在急停工况下的冲撞加速度,确定最大冲撞加速度为0.1 g。如图3所示。



图3 器身起吊急停工况模拟

为充分论证本次冲撞对变压器线圈的影响,计算时考虑变压器器身受到3 g冲撞加速度下的稳定性。设变压器单个线圈质量为M,单个线圈预紧力为F_N,单个绕组受到上下端部的摩擦力,摩擦系数μ=0.3,考察加速度作用下单个线圈的幅向稳定性,当加速度作用力小于摩擦力时,线圈将安全可靠,单个线圈受力分析如图4所示,如M_a<f₁+f₂时,单个线圈幅向稳定性合格。

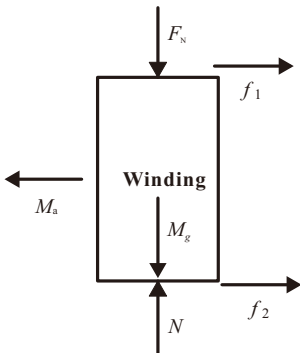


图4 线圈受力分析示意图

线圈稳定性校核基本参数见表2。

表2 计算基本参数

高压线圈质量		中压线圈质量	低压线圈质量	调压线圈质量	高压线圈压	中压线圈压
M ₁ /t	M ₂ /t	M ₃ /t	量 M ₄ /t	紧力 F ₁ /kN	紧力 F ₂ /kN	
9.244	7.734	2.496	1.490	1210	1140	
低压线圈压紧		调压线圈压紧	加速度系数	摩擦系数 u		
力 F ₃ /kN	力 F ₄ /kN	KL				
240	280	3	0.3			

线圈受力计算。高压、中压、低压、调压线圈在加速度作用下的作用力M_a与摩擦力f₁、f₂的计算如下：

1) 高压线圈受力计算：

$$f_1=\mu\times F_1$$
 (1)

$$f_2=\mu\times (M_1\times g+F_1)$$
 (2)

$$M_a=M_1\times KL\times g$$
 (3)

2) 中压线圈受力计算：

$$f_1=\mu\times F_2$$
 (4)

$$f_2=\mu\times (M_2\times g+F_2)$$
 (5)

$$M_a=M_2\times KL\times g$$
 (6)

3) 低压线圈受力计算：

$$f_1=\mu\times F_3$$
 (7)

$$f_2=\mu\times (M_3\times g+F_3)$$
 (8)

$$M_a=M_3\times KL\times g$$
 (9)

4) 调压线圈受力计算

$$f_1=\mu\times F_4$$
 (10)

$$f_2=\mu\times (M_4\times g+F_4)$$
 (11)

$$M_a=M_4\times KL\times g$$
 (12)

计算结果见表3。

表3 线圈绕组稳定性计算

绕组	加速度作用力 M _a /kN	摩擦力/kN	安全系数
高压	272.05	753.21	2.77
中压	227.61	706.76	3.11
低压	73.45	151.35	2.06
调压	43.85	172.39	3.93

2.3 短路强度计算结果

通过 Ansys Maxwell 软件进行计算分析,按 GB 1094.5—2003 标准规范与技术协议要求进行不同运行工况下的短路强度计算,包括调压分接位置在最大(MAX)、额定(NOM)和最小分接(MIN)时的短路工况,取安全系数最大值进行列表统计,结果如图5和表4所示。

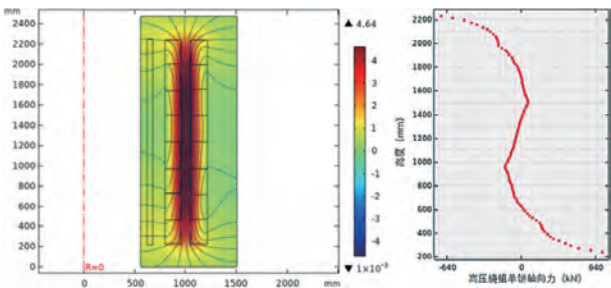


图5 高中短路漏磁云图

表4 短路电动力数据统计表

绕组	安全系数	短路幅向力/kN	短路轴向力/kN
高压	1.06	11 871	6 471
中压	1.58	7 878	75 79
低压	1.83	7 094	2 567

2.4 技术分析结论

计算结果表明,变压器线圈能够承受加速度3 g冲击产生的作用力,本次撞击该作用力远小于变压器短路时的电动力,撞击力对变压器绕组影响在安全范围内。

3 后续修复处理

3.1 修复准备

通过充分技术论证,在取得业主认可的前提下,决定对损坏的硅钢片做更换处理。更换前需完成新旧硅钢片取样测试,进行了硅钢片铁磁损耗及磁极化强度测试^[2-4],最终确定本次铁芯更换厚度范围为135 mm,如图6所示,在铁芯叠片完成后,进行半成品试验以检查更换效果。

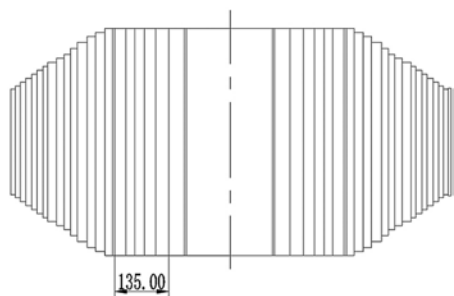


图6 硅钢片更换位置及范围

根据相关技术规范,硅钢片部分更换须满足以下条件:

- 1) 新旧硅钢片的厚度必须一致,本次更换的硅钢厚度均为0.3 mm;
- 2) 在通过相同磁密的情况下,硅钢片单位铁损必须相近(正负偏差10%);
- 3) 在通过相同磁密的情况下,硅钢片磁导率必须相近(正负偏差10%)。

此次更换的新硅钢片牌号B30P105,与原硅钢片材质进行对比检测,各项参数符合技术要求,可满足安全运行条件。铁芯叠装完成后,进行半成品试验,监测铁芯温度分布及空载损耗等项目,以验证修复效果。

3.2 铁芯修复过程

1) 拆除器身上的所有绝缘件露出铁芯,去除铁芯表面污渍^[5],夹件绝缘空档处用白布蘸酒精穿入擦拭,达到检查无颗粒及油污水平;

2) 整体起吊,将铁芯靠实到事先准备的90°翻转台上,注意不需更换铁芯片的一侧靠实翻转台,心柱对应贴实垫铁支撑件,铁芯上下夹件用千斤顶交错撑实;

3) 按翻转台放倒程序对铁芯进行放倒;

4) 在放倒的铁芯进行心柱及旁轭柱撑片,托实心柱每侧2道,旁轭每侧一道,防止铁芯后续整改过程当中塌片现象;

5) 剪掉铁芯柱表面打包带及无纬带,拆除铁芯垫脚、侧梁、上梁及铁芯上部上下夹件及绝缘件,对拆除的绝缘件进行更换,拆除的夹件及紧固件用白布蘸酒精擦拭干净,直到用白布擦拭检查,白布不变黑为止;

6) 再次用白布蘸酒精擦拭铁芯各可见表面,做到无尘无颗粒,用500 V摇表测铁芯油道间及铁芯对下部夹件的绝缘电阻,阻值应达10 MΩ及以上;

7) 拆除铁芯片直到心柱受损处,上下轭及心柱无损伤处按一个步进循环拆除,受损的心柱处逐片拆除;

8) 拆除处的铁芯油道撑条全部更换,同时将油道硅钢片表面擦拭干净;

9) 按拆片的顺序重新复装铁芯,注意针对铁芯片拆除时表面漆膜被损情况,复叠时需重新涂刷绝缘清漆,增加片间绝缘;

10) 损坏的铁芯级按单边进行更换,另一侧硅钢片保留;铁芯硅钢片补料按该级厚度大小片宽各一半下料,注意铁芯大小片宽叠片时需抽片、叠片;

11) 对重叠片的铁芯端面刷2遍双H胶,铁芯其它复装按厂内工艺执行。

更换铁芯硅钢片过程如图7所示。



图7 受损铁芯硅钢片更换

3.3 铁芯半成品试验

1) 通过线圈匝数电势,设计铁芯临时匝数。

2) 铁芯主柱用绝缘纸板包裹,要求纸板绝缘能够承受至少7 500 V电压,按能承受10 000 V绝缘设计。

3) 线匝按柱高平均分布缠绕在铁芯柱上,线

匝间避免交叉,用白纱带固定住线匝,防止线匝松散。

4) 临时线圈首端施加额定频率 50 Hz,单相电压 7 500 V,记录平均值电压和有效值电压、空载电流和空载损耗。

5) 记录铁芯温升分部、温度变化情况,尤其是受损区域。

6) 主变长时间空载试验:

(1) 对变压器施加 1.1 倍额定电压,开启正常运行时的全部油泵;

(2) 运行 12 h 后,测量 100% 和 110% 额定电压下的空载损耗;

(3) 实测值应与初试值基本相同。

7) 试验前后进行油中气体色谱分析,总烃含量应无明显变化并无乙炔。

半成品试验项目合格后,铁芯更换完成,后续进行器身装配,装配完成后移到干燥罐,汽相干燥,抽真空,真空注油,热油循环,静放,密封实验,出厂试验。之后,该变压器出厂试验项目一次通过率 100%,顺利完成了变压器铁芯修复,同时制造厂提供该主变的延期质保。

(上接第 62 页)

3.3 管理效率优化

通过 RPA 机器人流程自动化技术的基本原理和用途,分析电网企业线损管理的现状,对线损异常自动计算,实现基层减负增效^[5]。线损分析人员工作量减少 60%,台区线损核查覆盖率从 60% 提升至 100%。设备故障预警准确率达 89%,非计划停电时长同比减少 27%。

4 结语

江西电网的实践表明,数字化技术通过提升感知精度、优化决策效率、创新管理模式,显著提升了线损治理水平。未来需进一步突破三个方向:一是构建“源网荷储”协同的线损优化模型,适应高比例新能源接入;二是加强数据安全防护,完善电力数据脱敏与加密技术;三是培育复合型人才队伍,强化数字化工具应用能力。

4 结语

文中对一起 500 kV 变压器铁芯修复全过程进行了介绍,从解体检查到理论计算、软件仿真,详细分析了铁芯受损程度,制定了行之有效的修复方案。变压器铁芯得到有效修复,一次性通过了出厂试验,外形及性能参数均满足运行条件,顺利投运,该方案可为今后变压器铁芯损坏修复提供参考。

参考文献:

[1] 张植保.变压器原理与应用[M].北京:化学工业出版社,2009.
[2] 张艳丽,李强,王洋洋,等.谐波磁场下硅钢片磁致伸缩特性分析[J].电工技术学报.2015,30(14):545-550.
[3] 赵志刚,程志光,刘福贵,等.基于漏磁补偿的变压器结构件损耗与磁通分布研究[J].高电压技术.2014,40(06):1666-1674.
[4] 朱天佑,陈伟,王耀强,等.变压器铁心模态仿真分析及试验模态研究[J].变压器.2019,56(12):50-54.
[5] 傅志强,郭俊诚,赵江勇,等.冷轧硅钢片磁性能测量因素的分析[J].特殊钢.2011,32(01):64-66.

随着“双碳”目标推进,数字化降线损将成为新型电力系统高效运行的核心支撑,江西的经验可为全国电网转型提供重要参考。

参考文献:

[1] 刘智安,谢慧琳.供电公司线损管理中的智能化技术应用研究[J].电气技术与经济.2024(09):132-134.
[2] 姚维兵,吴锡杰,贺毅,等.高端装备中的毫秒级高实时控制系统 5G 通信网络拓扑研究与应用[J].自动化博览,2024,41(05):68-74.
[3] 王娅双.基于 LSTM 算法的配电网线损计算[J].电气开关,2022,60(01):35-37.
[4] 马新华,张翠,邹兆慧,等.强基础优协同提技能促进线损管理提升[J].大众用电,2025,40(02):68-69.
[5] 李斯泳.基于 RPA 技术的线损管理工具的研发[J].电工技术,2024(增刊 2):487-488,491.