

封闭式电缆连接变压器不拆引线试验方法探究

陈小龙 赵亚鑫

内蒙古电力(集团)有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v2i6.10394

[摘要] 封闭式电缆连接变压器的套管与GIS密封相连,此类变压器在进行预防性试验时无法对其高、中压侧进行试验,不能获取变压器高、中压侧的状态量,这为系统评价设备运行状态、及时发现设备安全隐患带来一定的困难,不利于设备长期安全稳定运行。本文深入探索了封闭式电缆连接的变压器不拆引线进行预防性试验的新方法,并对试验结果进行综合分析,为以后获取封闭式电缆连接变压器预防性试验完整状态量提供了技术依据,对维护电网安全稳定运行有重要的参考意义。

[关键词] 封闭式电缆; 例行试验和诊断性试验; 不拆电缆引线

中图分类号: TM247 文献标识码: A

Study on the test method of closed cable connection transformer

Xiaolong Chen Yixin Zhao

Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., LTD.

[Abstract] enclosed cable connection transformer casing connected with GIS seal, such transformer in the preventive test to its high, medium voltage side, can not obtain the status of high transformer, medium voltage side, this for the system evaluation equipment running status, timely find equipment safety hazard bring certain difficulties, is not conducive to equipment safe and stable operation for a long time. This paper explores the new method of preventive test of the closed cable connection transformer, and makes the comprehensive analysis of the test results, which provides the technical basis for obtaining the complete amount of preventive test of the closed cable connection transformer in the future, and has important reference significance for maintaining the safe and stable operation of the power grid.

[Key words] closed cable; routine test and diagnostic test; no cable lead

引言

随着近年来电力系统的快速发展,电网架构规模不断扩大,占地空间不断增加。在有限的占地面积下,越来越多的新建变电站的高电压等级变压器采用“油-油套管-交联聚丙烯电缆-GIS”的连接形式和“油气套管-GIS”的直联方式,变电站的发展趋势逐步向着占地更小、集中化程度更高的方向发展^[1]。

封闭式电缆连接的变压器因为其采用特殊的出线构造,进行预防性试验时需要耗费大量的人力与机械工具进行配合^[2]。该类型变压器的高、中压侧均采用电缆出线,所以以往的试验中只对低压侧进行预防性试验,而高、中压侧不能进行试验,导致设备的运行状态无法进行科学准确的评价^[3]。在这种情况下对封闭电缆出线变压器不拆引线试验的方法进行了研究。

1 主变压器不同结构套管与GIS连接方法

1.1 油-油套管出线

这种类型套管采用主变电缆直连,如图1所示。这种类型套

管采用主变电缆直连,变压器的电容式套管整体浸于电缆仓的变压器油中,而高压侧绕组从套管中通过引出到变压器,电缆环氧套管终端均压环的接线板上与通过导线棒引出的电容式套管相连。

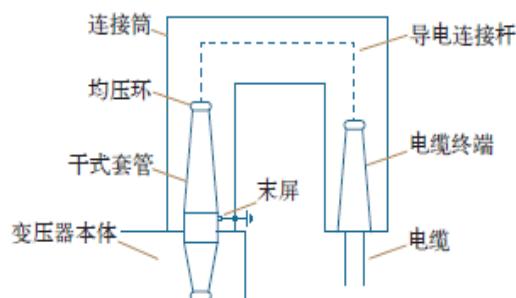


图1 油油套管变压器与GIS的连接方式

在拆除高压引线的条件下对此类套管进行预防性试验时,过程十分繁琐,试验前需要先将高压侧储存绝缘油的电缆仓放

空,然后将拆除与套管引线与电缆之间相联的连接杆,在试验后需还原设备的初始状态,在整个过程中对环境温湿度均有一定要求,且需要多人使用工具进行配合。

1.2 油-SF₆套管出线

油-SF₆套管采用绝缘油与SF₆气体连接的油纸电容型结构。安装时变压器绕组出线与套管相连,套管下部浸泡在变压器油中,上部与全封闭SF₆气室内的GIS装置相连。此类型套管采用变压器—GIS直连方式。

待试验完成后,此类结构的GIS需要重新进行组装,首先要对其进行抽真空处理,试验完成后需填充新气,并对新的气体进行试验。

1.3 SF₆-SF₆套管出线

SF₆绝缘主变压器的气气套管全封闭在密闭的SF₆气体中,在例行试验时需要打开套管引出端与全封闭SF₆气室相连的密闭装置,现场作业难度较大。同时还需对气室密封性,SF₆气体含水量,及气室分解物进行检测。此类型套管也采用变压器—GIS直连方式。

2 例行试验及诊断性试验方法及数据分析

本次以一台110kV变压器为例,该变压器110kV侧为油-油套管出线,变压器套管为垂直布置,出线方式为充油电缆仓。变压器采用三相共体结构,其110kV侧开关为GIS设备,型号为EXK-0。110kV侧采用双母线接线方式,变压器通过电缆接入GIS,110kV侧出线经隔离开关、断路器,后接入110kVI、II母。110kV侧选择离变压器最近的接地开关进行不拆引线试验,试验加压位置如图2所示。

本次试验包括变压器绝缘电阻及吸收比测试、绕组连同套管tan δ及电容量测试、绕组直流电阻试验、有载分接开关检查、绕组变形测试。

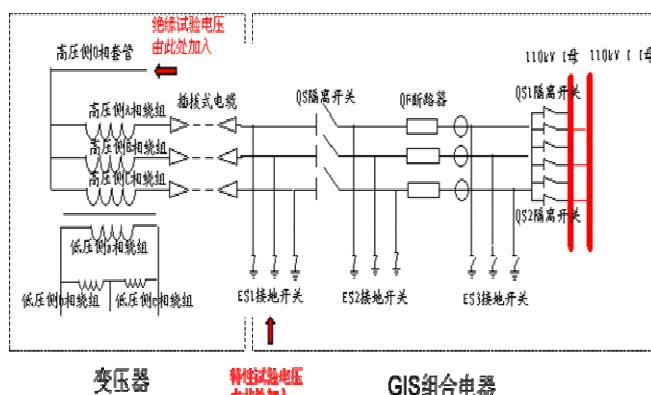


图2 变压器不拆引线试验加压位置

2.1 绕组连同套管绝缘电阻、吸收比测试

2.1.1 试验方法

在高压侧绕组进行试验时,需将断路器、隔离开关断开,将套管出线至GIS的第一个接地开关同时分开。同时需合上断路器母线侧接地开关,变压器侧接地开关以保护在试验过程中人员

及设备的安全。低压绕组出线一般为常规出线形式,引线易于拆除,后三相短路接地。由于电压等级较高,绝缘类加压试验在高压侧绕组外置0相套管接头进行。

低压侧绕组试验时断路器、隔离开关位置不变,合上变压器侧接地开关。此时高压绕组短路接地,低压绕组三相短接加试验电压。

2.1.2 试验结果分析

变压器的绝缘电阻测试是衡量其绝缘性能的重要指标,可发现变压器绝缘整体或者局部受潮缺陷,对构件的绝缘缺陷尤为灵敏。测试等效电路是将三相电缆的绝缘电阻和变压器本身绝缘电阻并联后进行等效。测试结果的理论值小于其中任意一个并联电阻值,如果测试结果合格,变压器高压绕组对地的绝缘电阻值、电缆对地的绝缘电阻值也都合格,测试结果如表1所示。

表1 绝缘电阻及吸收比试验测试结果

试验类型	测试位置	绝缘电阻 (GΩ)		吸收比 R60/R15
		R15	R60	
出厂试验	高压-低压及地	6.8	9.1	1.33
	低压-高压及地	6.4	9.0	1.41
例行试验	高压-低压及地	14.3	46.6	3.25
	低压-高压及地	12.6	38.6	3.06

本次测试绝缘电阻测试值相差较大,原因在于电缆的吸收过程较长,吸收比 $K = 1 + \frac{I_C}{I_R}$, 容性电流 I_C 较大所致。

2.2 介质损耗及电容量测试

2.2.1 试验方法

介质损耗因数与电容量测试的各电气连接与高压侧绕组绝缘测试时相同。对变压器本体介质损耗及电容量进行试验时可使用反接法,这种试验方式和拆除高压电缆出线接头时相比主要有以下差异:不拆除高压绕组电缆出线接头时,试验位置不能选择在绕组的顶部,而只能在绕组的中性点进行,同时高压绕组顶部受到引线阻挡,不能直接将各相进行短接。对套管进行试验时可采用正接法测量,试验位置选择变压器高压中性点输入电压,从高压各相和中性点的末屏输出信号,测量高压套管的介质损耗正切值与电容量。

2.2.2 试验结果分析

变压器本体介质损耗因数及电容量因并联电缆的缘故,式中 tan δ 为测得的介损角正切值, tan δ_t 和 tan δ₁ 分别为变压器和电缆的介损角正切值,试验结果如表2所示。

表2 变压器本体介质损耗因数及电容量测试结果

试验性质	测试位置	介质损耗tg δ (%)	电容量Cx (nF)
出厂试验	高压-低压及地	0.273	8.2
	低压-高压及地	0.222	11.6
例行试验	高压-低压及地	0.085	25.08
	低压-高压及地	0.22	11.72

$$\tan \delta = \frac{C_t \tan \delta_t + C_1 \tan \delta_1}{C_t + C_1} = \tan \delta_t - \frac{C_1 (\tan \delta_t - \tan \delta_1)}{C_t + C_1}$$

交联聚乙烯电缆的 $\tan \delta_1$ 值较小, 约为变压器 $\tan \delta_t$ 的

十分之一, 故为正, 所以, 由于电缆 $\tan \delta_1$ 的影响会使测量结果偏小, 且减小的程度与电缆的电容量有关, 而电缆的电容与其长度正相关, 所以试验得到的介损角正切值随着电缆的长度增加而减小。因为电缆与变压器为并联关系, 所以试验中的得到电容值为变压器与电缆电容值之和, 其值明显增大。反接法进行不拆引线介损和电容量试验测得的结果受到电缆影响较大。

变压器套管在不拆引线状态下, 虽引入了电缆等设备的并联回路, 但不影响电桥的平衡关系。因此, 不拆引线状态下, 从中性点注入信号, 从末屏抽取信号, 采用正接法测得的套管介损和电容量与拆头状态下的结果基本一致, 测试结果如表3所示。

表3 变压器套管介质损耗因数及电容量测试结果

型号	BROGL1-126/630		出厂试验		例行试验	
	相别	出厂编号	标称电容 (pF)	CX (pF)	tg δ (%)	CX (pF)
A	17107004	305	305.5	0.34	300.2	0.325
B	17107005	305	305.3	0.329	300.1	0.32
C	17107002	305	305.5	0.347	300.7	0.321
0	17T091309-1	363	361.9	0.32	361	0.304

2.3 绕组直流电阻测试

2.3.1 试验方法

高压侧绕组一般为YN接线方式。高压侧绕组试验时, 断开断路器, 隔离开关, 合上接地开关, 将该接地开关导电部位短连片及与地连接的短连片打开。将直流电阻测试仪ABC三相测试线夹连接于打开的导电端子, 0相接于GIS室内就近的接地排, 同时将高压侧0相套管接地, 以接地引下线形成测量回路。

进行各相电阻测试。也可采用线间法进行测试。两种方法相比, 线间法充电时间长, 推荐第一种方法。低压侧为D接法, 按常规试验方法进行。

2.3.2 试验结果分析

对比拆除高压侧电缆接线与不拆除接线的试验结果, 主要有四个影响因素, 分别为油-油套管出线至GIS的电缆电阻、导体间接触电阻、电缆头至测试接地开关的GIS回路电阻、测试接地开关的电阻等。测试结果如表4所示。可通过不平衡率判断三相间的变化关系。

表4 高压侧绕组直流电阻测试结果(试验结果折算到20℃)

	相别 分接位置	A0 (mΩ)	B0 (mΩ)	C0 (mΩ)	不平衡率≤2 (%)
	1	346.3	344.1	346.0	0.64
出厂试验	2	341.3	339.4	340.4	0.56
	3	336.2	334.5	335.4	0.51
	4	331.7	330.0	330.5	0.51
	5	327.2	324.9	325.6	0.71
	1	349.1	352.0	351.6	0.88
例行试验	2	344.2	347.7	346.9	1.01
	3	339.2	342.6	341.9	0.96
	4	334.5	338.3	337.1	1.09
	5	329.7	333.3	332.4	1.08

2.4 有载分接开关检查

有载分接开关检查时将ABC三相测试线夹接于打开的接地端, 通过接地开关加入电压, 低压绕组短接接地, 动作有载分接开关进行测试。过渡电阻值与电阻值的初值差不超过±10%, 切换时间三相同期性良好, 试验结果如表5所示。

表5 有载分接开关检查试验结果

切换位置	单-双			双-单			
	相别	A	B	C	A	B	C
过渡电阻 (Ω)	2.1	2	2	2	2	2	2
过渡时间 (ms)	35.4	34.3	34.5	41.8	40	40.2	

2.5 绕组变形试验

2.5.1 试验方法

低电压短路阻抗法进行试验需将ABC三相测试线夹接于打开的接地端, 通过接地开关加入电压, 低压绕组端部短接, 加压进行测试。

绕组变形频率响应法进行试验时, 通常的做法是将输入信号由0相套管引入, 测量信号自打开的接地端经接地开关引出, 绕组本体的频响图谱会受到电缆等效电容较强的干扰。经本文探索研究, 可将信号从高压侧ABC三相套管末屏中引出并测试, 试验数据具备较强的一致性和参考性。

2.5.2 试验结果分析

低电压短路阻抗法测试结果显示不同分接位置的变压器三相绕组参数相对变化率均不超过±2%，相间互差均小于2.5%。

绕组变形频率响应法实验中的电路回路和以往试验中拆除接头时的回路进行对比分析，不拆除接头试验的回路需要增加末屏电容值以及电缆对地电容值。因为电缆较大的对地电容是主要影响因素，所以不拆引线时的频响曲线与拆头的明显差异就在于波形图的中、高频部分，由于波形的高频甚至中频部分会受到电缆电容的影响，电感与电容之间的谐振变化会使其没有明显峰、谷的波形。因此当绕组发生轻度变形时，从套管引线端测试的频响图谱并不能作为可靠的判断依据，而从变压器套管末屏处取信号所测的频响图谱扰动较小，具有较强的稳定性和一致性。

3 结论与建议

高压侧不拆引线的情况下直流电阻测试、套管介质损耗正切值和电容量试验、低电压短路阻抗测试、电压比测试得出的结果与拆除接头后基本一致。变压器本体介质损耗和电容量测试和绕组变形频响分析结果受高压电缆影响很大，建议在新投变电站开展绝缘交接试验时分别带高压电缆与不带高压电缆进行各项交接试验，以便在带高压电缆不拆引线进行试验时对比试验数据，在开展绕组变形频响分析测试时可以采纳本文探究的自套管末屏取测试信号的方法，以减少电缆电容的影响，获取

更稳定、更具参考意义的设备状态初值。

变压器与GIS采用封闭式电缆进行连接的形式在广泛应用于变电站现场，但是对于该连接方式的变压器缺少统一的规程对试验进行指导，导致了现场交接试验流程不规范，某些不当的试验操作步骤甚至会对设备的安全运行造成影响。因此建议电力行业统一制定封闭式电缆进行连接变压器预防性试验的标准流程，为业内工作人员在作业现场对标准化开展封闭式电缆出线变压器预防性试验起到重要的技术指导依据。

[参考文献]

[1] 张光明.全户内变电站主变压器与GIS连接方法研究[J].山东电力技术,2017,44(9):39-42.

[2] 王楠,韩旭涛,刘泽辉,等.油油套管出线变压器不拆头试验理论与仿真分析[J].电气应用,2016,35(8):34-40.

[3] 邢继宏,徐鹏,周喜军.琅琊山电厂封闭式电缆连接的220kV变压器不拆头预防性试验研究与实施[J].华东电力,2010,38(10):1596-1598.

作者简介:

陈小龙(1987--),男,汉族,河南省内黄县人,硕士研究生,高级工程师,从事电气工程高电压与绝缘技术方向。

赵亚鑫(1990--),男,汉族,河南省睢县人,硕士研究生,高级工程师、注册安全工程师,从事电力安全监督管理领域。