

一起因雷击导致变压器停运的分析

李 源,冯 藩

(四川省电力公司绵阳电力设备检修试验所,四川 绵阳 621000)

摘 要:介绍一起变压器遭受雷击后的常规试验,通过对变压器故障部位查找过程、指导检修工作方向的实例,给出以借鉴,以便提高检修的效率与质量。

关键词:变压器;绝缘缺陷;试验分析;故障位置;缺陷处理

Abstract: The routine tests are introduced after the transformer suffering the lightning stroke. Through the living examples for inspecting the fault position of transformer and providing guidance for the repair work, there will be a reference for improving the efficiency and quality of maintenance.

Key words: transformer; insulation defect; test analysis; fault position; defect treatment

中图分类号: TM864 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2012)04-0064-04

0 引 言

随着国网公司状态检修工作的开展,对设备的缺陷情况正确把握,有针对性的指导检修工作,这对试验数据的分析有着越来越高的要求,特别是对各类试验数据的综合分析,确定设备具体缺陷部位,以提高检修工作效率,减少停电时间,减小检修工作量有重大意义。本案例在变压器遭受雷击后,通过对数据对比分析确定故障部位,制定有针对性的检修方案,指导检修工作开展,最终圆满完成检修任务,希望通过此案例分析,能给以借鉴的经验。

1 故障实例

1.1 设备情况简介

某局某站 1 号主变压器,型号为 SFZ 7-40000/110,结线组别为 YNd11,1993 年投入运行,该变压

器投运以来运行状况良好,历年停电测试数据正常,直到 2010 年 8 月一次雷击造成对侧变电站线路保护距离 I 段经 20 ms 动作跳闸,该变压器重瓦斯在线路故障后 167 ms 动作,发生主变压器跳闸,当日该变压器处于中性点不接地运行状态,雷击后线路 C 相避雷器动作,中性点避雷器未动作,本体瓦斯继电器内无气体。

1.2 现场试验

2010 年 8 月在 1 号主变压器发生跳闸后对变压器进行了较全面的试验:变压器本体介损、本体绝缘电阻、铁心绝缘电阻、变压器高、低压侧绕组直流电阻、变压器变比、低压空载损耗、绕组变形试验、油色谱分析,同时对主变压器中性点避雷器也进行了测试。电气试验从数据上比较,未发现与历年数据有大的差别,均在规程规定范围内,油色谱分析发现该变压器在雷击后乙炔增长,说明其存在放电,具体缺陷在何部位,一时不清,相关测试数据见表 1 至表 8。

表 1 变压器介损、绝缘电阻两年测试数据对比

测试项目 及时间	本体介损				绝缘电阻及吸收比 (M)	
	电容量 /pF		tgδ /%		2009-07-05	2010-08-05
	2009-07-05	2010-08-05	2009-07-05	2010-08-05		
高对低地	10 200	10 210	0.27	0.28	6 200/4 200	5 950/4 280
低对高地	15 470	15 460	0.24	0.29	5 800/3 400	4 980/4 280
铁心	/				3 800	7 600

(注:该值在跳闸后夜间测试,湿度较大,绝缘电阻只做参考)

表2 变压器高压侧两年测试数据换算到20℃对比

档位	相别						相位 / %	
	A _H O		B _H O		C _H O			
	2009-07-05	2010-08-06	2009-07-05	2010-08-06	2009-07-05	2010-08-06	2009-07-05	2010-08-06
5	527.9	530.0	525.7	528.1	528.9	530.9	0.59	0.53
6	520.9	523.0	519.0	521.1	521.9	523.7	0.55	0.50
7	513.7	516.1	511.5	513.7	514.6	517.1	0.61	0.66

表3 变压器低压侧两年测试数据换算到20℃对比

相别	ab		bc		ca		%	
	2009-07-05	2010-08-06	2009-07-05	2010-08-06	2009-07-05	2010-08-06	2009-07-05	2010-08-06
	7.196	7.220	7.187	7.207	7.231	7.253	0.61%	0.64%

表4 变压器变比测试

档位	变比	电压比实测偏差值 / %		
		A _H B _H /AB	B _H C _H /BC	C _H A _H /CA
5	11.911	-0.18	-0.17	-0.17
6	11.774	-0.15	-0.13	-0.14
7	11.637	-0.12	-0.10	-0.11

表5 变压器低压空损测试

测试部位	电压 / V	功率 / W	仪表损耗 / W	折算功率 / kW	电流 / A
ab(短bc)	400	66	0.00	29.74	0.25
bc(短ca)	400	67.5	0.00	30.41	0.27
ca(短ab)	400	103.5	0.00	46.64	0.43
n =	1.87	折算额定功率 (kW)		53.39	

表6 1号主变压器相关系数分析结果

相关系数	低频段(1~100 kHz)	中频段(100~600 kHz)	高频段(600~1000 kHz)
高压绕组 R21	1.304	1.262	1.020
高压绕组 R31	1.421	1.225	0.973
高压绕组 R32	1.150	1.895	1.647
低压绕组 R21	1.662	2.023	1.184
低压绕组 R31	1.720	1.812	1.709
低压绕组 R32	2.971	1.440	1.260

表7 1号主变压器中性点避雷器测试数据

名称	测试数据	
	2009-07-05	2010-08-06
U _{1mA} / kV	68.1	68.9
I _{75%U_{1mA}} / A	23	15
本体绝缘电阻	10 ⁴⁺ M	14 500 M
底座绝缘电阻	2 500 M	3 000 M

注: 主变压器 2001 年 2 月出厂

表8 变压器历次色谱数据

试验日期	摘要	油中溶解气体组分及含量 / (μL · L ⁻¹)							总 烃
		H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	
2009-07-06	预试	26	412	4 080	4.81	6.04	1.8	2.34	14.99
2010-07-07	二次预试	35	692	5 402	6.49	9.41	1.96	1.74	19.6
2010-08-05	雷击跳闸后	113	800	6 049	16.43	21.9	2.68	41.72	82.73

1.3 数据判断

在表1至表6数据中可看到,历史数据与本次数据比较,变压器本体介损、本体绝缘电阻、铁心绝缘电阻、变压器高、低压侧绕组直流电阻无明显变化,变压器变比、低压空载损耗数据符合要求,绕组变形试验表明三相绕组间波形一致性较好,相关系数低频段大于1,表明无匝间、饼间异常,中、高频段无扭曲、鼓包、位移等变形特征。结合本体介损试验,应认为绕组无明显变形,说明变压器主绝缘、主绕组匝间、层间、铁芯片间等均正常。表7说明变压器中性点避雷器测试数据与历史无较大变化,该避雷器合格。从表8变压器本体油色谱分析来看,变压器内部应当出现过故障,由于之前色谱数据处于稳定状态,可以确认乙炔明显增长与该次跳闸有关,同时甲烷、乙烯、氢增长显著,乙烷、一氧化碳、二氧化碳略有增加,通过三比值计算,编码为102,如表9。

表9 变压器跳闸后本体色谱分析三比值编码

C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
1	0	2

根据编码查找《变压器油中溶解气体分析和判断导则》说明内部有低能量放电,导则指出可能存在如下情况。

- ①引线对电位未固定的部件之间连续火花放电;
- ②分接抽头引线和油隙闪络;
- ③不同电位之间的油中火花放电或悬浮电位之间的火花放电。

色谱导则只能说明变压器内部出现过放电情况,还需要通过对故障分析来查找放电部位。

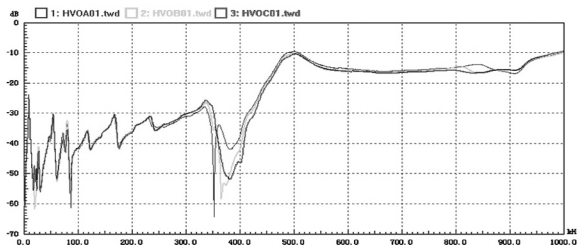


图1 1号主变压器高压绕组频率响应特征曲线

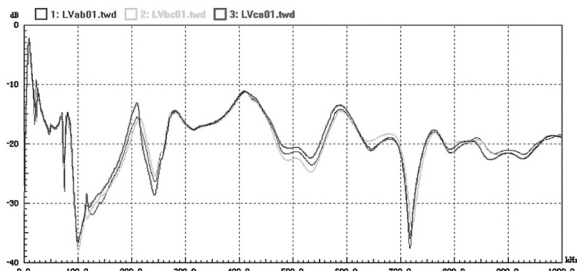


图2 1号主变压器低压绕组频率响应特征曲线

1.4 故障分析

由于2008年对变压器进行过吊罩检查,其内部结构良好,悬浮部件或间隙不足可能性较小,但也无法排除以上三疑点。

根据雷电波入侵变压器作用特点来看,变压器对于雷电波可以看成一组电容串并联回路,由于该变压器雷击时运行方式中性点不接地,当雷电波经线路避雷器消波,再从变压器110 kV C相进入后,此时中性点相当于开路,造成中性点部位电位升高,其值可达 $2U_0$ 以上,中性点避雷器当时未动作,而测试数据表明避雷器处于正常状态,若无其他因素影响,应当动作。因此应考虑变压器尾部承受较高雷电压时,由于内部结构原因,如有尖端部位、间隙小的地方会造成放电。

由于电气试验没有发现绝缘方面的缺陷,可以确定在雷击放电后,变压器绝缘破坏点出现自行恢复,其放电点与地之间有一定绝缘距离,且在工作中电压较低时,无足够能量实现持续放电,这从电气试验数据来看,造成变压器击穿后对主绝缘、绕组及引线无损坏的现象。

从上次检修资料看,变压器中性点引出线与铁轭距离较近,存在放电可能性,另外中性点引出线与大盖间可能存在距离较近的点,也存在放电可能性。

基于以上分析,该变压器在中性点尾部存在击穿可能性很大,该击穿点不能承受雷击时的过电压,因此检修工作重点应检查中性点引出线与铁轭部位以及中性点引出线与大盖之间部位。该变压器大盖在中性点有载开关部位有一人孔口,对以上提到的两检查部位从人孔进入后可以进行排查,于是制定对该变压器放油,从人孔口进入检查重点部位的方案,而将吊罩检查作为后选方案。

1.5 进入检查

当从人孔口进入变压器后,首先检查了中性点引出线与铁轭部位,未发现放电痕迹,当对更高位置的中性点引出线与大盖检查时发现引线弯曲处略微有点发黑,该位置位于中性点升高座内,中性点引线在此有较大的弯曲,使引线基本接触升高座内壁,于是立即从中性点套管处打开,顺利发现放电位置,并看到了放电情况,雷击造成中性点引线 with 升高座内壁放电,升高座内壁形成焊点状的放电痕迹,导线上也形成一个焊点,于是对被损坏处进行处理,重新包扎引线绝缘后,对该变压器进行油处理,经电气、色谱分析试验合格后,于2010年8月顺利投入运行,

经过一段时间本体油色谱跟踪,未发现变压器异常,证明处理位置正确,应视为缺陷已消除。

1.6 故障现象原因分析

从检查后情况可知,由于雷击放电发生在尾部,且由于引线靠壳过近,几乎碰在大盖上,造成中性点避雷器还未动作时,变压器尾部已发生放电,由于该点运行电压低,放电后绝缘油恢复绝缘强度,无法出现持续放电,造成变压器主绝缘恢复,又因为对引线损坏很小,所以直阻测试无法发现缺陷。

由于发生放电部位在中性点升高座内,其位置高于变压器大盖油箱,放电时在变压器内产生的气体上升至升高座高点,升高座内的油向变压器本体挤压,使变压器内部压力增大,压力经油传到瓦斯继电器,引起动作,从而发生跳闸。又因为放电能量未产生超过升高座容积的气量,所以产生的气体未能到达瓦斯继电器,而是停留在升高座内,这解释了瓦斯继电器无气体的原因。如果在最初分析时能从瓦斯继电器中无气体情况来分析,其判断缺陷位置的准确性将会更高些。

2 结 语

从本次故障的判断可以总结一些经验,以便提

供借鉴。

(1) 不论数据合格与否,应结合发现的所有信息从多个方面去分析,若停留在一个单一方面,将很难给出准确判断。

(2) 充分考虑出现的多种信息,就能较准确地判断缺陷位置,提出有针对性的方案,节约检修成本、检修时间,提高检修效率,保障供电。

因此,电力设备缺陷分析,应重视各种信息收集,从多方面联合考虑,这样才能为后期检修工作提供有针对性 and 有效性的方案,从而降低检修成本。

参考文献

- [1] GB/T 7252 - 2001, 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
- [2] 武汉水利电力学院. 过电压及保护[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1977.
- [3] DL/T 911 - 2004 电力变压器绕组变形的频率响应分析法[S].

(收稿日期: 2012 - 06 - 14)

(上接第34页)

- [6] Gozel T, Hocaoglu M. H. An Analytical Method for the Sizing and Siting of Distributed Generators in Radial Systems [J]. Electric Power Systems Research, 2009, 79 (6): 912 - 918.
- [7] Ioannis Hadjipaschalis, Andreas Poullikkas, Venizelos Efthimiou. Overview of Current and Future Energy Storage Technologies for Electric Power Applications [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2009, 13 (6): 1513 - 1522.
- [8] Peter Weigand. Smart Grid's Impact on Customer Adoption and Market Participants [J]. Utility Automation & Engineering T&D, 2009, 14(4): 12 - 14.
- [9] Joo Jhi - Young, Ahn Sang - Ho, Yoon Yong Tae. Enhancing Price - responsiveness of End - use Customers' Loads: Dynamically Administered Critical Peak Pricing [J]. European Transactions on Electrical Power, 2009, 19(1): 113 - 126.
- [10] Andrew L. Ott. Wholesale Markets Meet Demand Response [J]. Transmission & Distribution World, 2009, 61(2): 42 - 45.
- [11] Bompard E., Napoli R., Wan Bo. The Effect of the

Programs for Demand Response Incentives in Competitive Electricity Markets [J]. European Transactions on Electrical Power, 2009, 19(1): 127 - 139.

- [12] Peter Maltbaek. One Alternative to New Power Generation infrastructure: Demand Response [J]. Utility Automation & Engineering T&D, 2009, 14(4): 60.
- [13] Kurt Yeager. Striving for Power Perfection [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2008, 6(6): 28 - 35.
- [14] Robert Galvin, Kurt Yeager, Jay Stuller. Perfect Power: How the Micro - grid Revolution Will Unleash Cleaner, Abundant Energy [M]. McGraw - Hill Companies, Sep. 2008.
- [15] Alexander Flueck and Zuyi Li. Destination: Perfection [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2008, 6(6): 36 - 47.

作者简介:

武云霞(1981)女,工程师,从事调度自动化工作;
余 熙(1963)男,教授级高工,西南电力设计院副总工、系统规划中心主任,主要从事电力系统规划工作;
田 伟(1978)男,博士,目前正在美国伊利诺斯理工大学从事电网调度的博士后工作。

(收稿日期: 2012 - 04 - 18)