

政平换流站换流变故障分析及处理

陆云才

(国网江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京 211103)

摘要:通过对政平换流站换流变连续发生的几起故障解体检查分析,结合局部放电故障位置以及检查的绝缘污染点,得出换流变敞开式油枕结构是导致故障缺陷发生的主要原因。敞开式油枕在长期运行中绝缘油易氧化、受潮,形成杂质。在变压器运行中由于热胀冷缩交换以及油箱底部排油均有可能造成油中水分偏大以及杂质进入变压器,在正对储油柜下油口铁心表面产生锈迹,在上铁轭边缘区域形成污染,在绝缘纸板形成局部受潮,积累到一定程度引发局部放电,从而导致故障发生。

关键词:换流变;局部放电;直流输电;状态检修;故障

中图分类号:TM407

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2016)06-0085-03

自2003年以来,超高压、特高压直流输电系统在国家电网、南方电网主网架中具有重要的意义,从2000年±500 kV天广直流、2003年±500 kV三常直流投运到2010年±800 kV云广、2013年±800 kV向上、2014年±800 kV锦苏特高压直流工程正式投运,直流输电系统在主网架中的作用越来越大^[1]。但随着大量换流变的投入使用,近年来运行中期换流变故障频繁出现,国家电网及南方电网已投运换流变发生故障约30起,故障部位涉及绕组绝缘、套管、分接开关等多部位^[2,3]。其中,±500 kV三峡—常州直流工程政平换流站换流变共发生故障10起,2013年政平换流站连续出现2台换流变局放超标、内部放电性故障。可见随着换流变运行年限的增加,必然会有更多的绝缘缺陷暴露出来。

1 故障简述

2012年9月15日,政平换流站极1 011B A相换流变阀侧套管因电压测量异常退出运行,SF₆气体分解物检测发现SO₂含量较1月份有较大幅度上升,电容值较其他两相套管增大33.3%,分析认为该套管主屏电容发生局部击穿。2013年1月18日,对更换套管后的原011B A相换流变进行局放试验,在试验过程中检测出大量局放,同时油色谱分析检测发现乙炔含量从0增长到0.5 μL/L,该换流变已发生内部放电性故障,2013年5月11日对该故障换流变进行了返厂解体检查。

2013年5月23日15:06,极1 012B A相换流变非电量保护发轻瓦斯报警;16:00油化验发现换流变油中乙炔含量达到141.3 μL/L,氢气含量193 μL/L,总烃含量275.1 μL/L;16点58分,极1正常闭锁;18点再次对油样进行检测,乙炔含量达到1 342.4 μL/L,氢气含量1806 μL/L,总烃含量2 133.1 μL/L。同样该

换流变内部已发生严重放电性故障,2013年7月9日返厂解体。

2 解体分析

检查发现极1 011B A相换流变放电发生在局部,未形成线圈与地之间的贯穿通道。放电区域集中在柱2调压线圈上部,涉及最上面一个角环的上表面及相应的撑条、与角环连接的内纸筒及相应位置的旁轭纸筒,如图1所示。放电部位正处于上轭铁网侧出线侧边缘下方。



图1 调压线圈内部围屏外表面放电痕迹

同样,检查发现极1 012B A相换流变放电发生在局部,未形成线圈与地之间的贯穿通道,如图2所示。

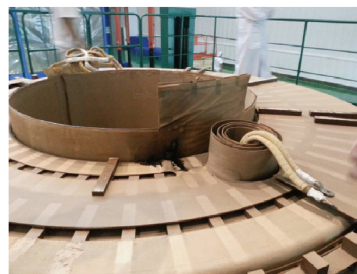


图2 铁心地屏顶部击穿部位

放电区域集中在柱2阀线圈上部出线位置上表面,涉及柱2阀线圈上部出线角环、上端部第一层角环,以及铁心地屏绝缘,在地屏烧穿位置,解开多层包裹纸,烧蚀痕迹一直延续到地屏铜带。放电部位处于阀侧出线侧上轭铁边缘下方。逐层解开阀侧绕组围屏,在

第4围屏纸板上发现大面积树枝状放电痕迹,如图3所示。



图3 阀侧绕组围屏纸板大面积树枝状放电痕迹

通过对2台故障换流变的解体检查发现故障部位均处于柱2线圈上铁轭边缘区域,涉及线圈上表面。上铁轭上方共有3处储油柜下油管口,储油柜的绝缘油通过该油管进入变压器后,部分绝缘油经铁轭流入线圈上表面,如图4所示。

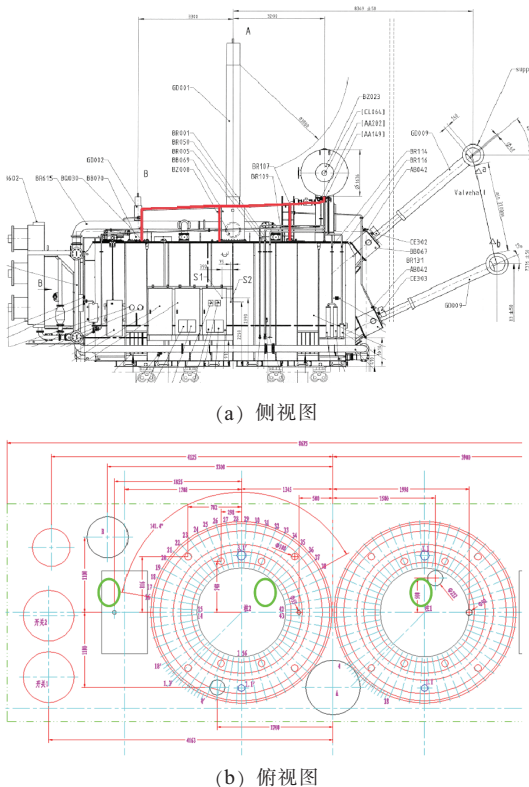


图4 储油柜管路油口与器身线圈及铁心的关系

该换流变为敞开式储油柜结构变压器,储油柜中无胶囊,变压器油直接暴露在空气中,在长期运行中变压器油易氧化、受潮,形成杂质;在变压器运行中由于热胀冷缩交换及油箱底部排油造成油中水分偏大以及杂质进入器身,在正对储油柜下油口铁心表面产生锈迹,在上铁轭边缘区域形成污染颗粒,在绝缘纸板形成局部受潮,积累到一定程度引发局部放电^[4]。因此故障起因可认为储油柜内的污染物颗粒和水分,通过位于

柱2线圈上方的最低储油柜下油管口流入线圈造成该区域的局部放电。该区域阀侧绕组端部角环绝缘,大量的多层绝缘纸板在交直流复合电压的作用下,电场分布介于交流与直流之间,油纸绝缘缺陷在复合电压下的局部放电产生机理与放电特性仍值得深入研究^[5,6]。同时,由于换流变所处的长时间高负荷等特殊运行工况,过电压与波形突变、高次谐波、温度、水分以及油中颗粒度等因素均会对油纸绝缘局部放电的产生与发展产生影响^[7]。

此外,针对解体检查过程中发现的异常污迹,将有关材料、污染物取样进行金属检测和碳含量检测。共有6个试样,分别为1号下节油箱不成形异物、2号下夹件支板表面不成形异物、3号油枕进油口铁心表面污迹、4号调压线圈静电板表面纸样、5号上夹件表面污迹、6号下铁轭焦黑成形异物。碳黑测试的结果表明,样品2(下夹件支板表面异物污迹)、样品3(铁心上扼油枕进油口表面污迹异物)、样品4(调压线圈静电板纸样)、样品5(上夹件表面异物污迹)中检出了碳黑;样品1(下节油箱异物)、样品6(下铁轭焦黑异物)未检出碳黑。

由此可见,该批次敞开式结构换流变产品存在影响安全运行的诸多质量缺陷,另外检查过程中发现的铁心上铁轭锈迹、油枕内腔锈迹等,与前期故障分析过程中提出的“污染或受潮”吻合。

3 检修及处理

该2台换流变经返厂检查、异物清理、修复绕组和绝缘干燥处理后,恢复了绕组绝缘性能。主要的检查内容为查找并清理污染物、器身清洗、干燥,其中包括拆除上铁轭,检查并清理绝缘端圈上表面的污染。对疑似受损部位,包括调压绕组上部角环、上部靠铁心角环等进行外观和内窥镜检查。若未发现明显污染或受潮痕迹,则直接进行恢复、清洗、干燥、试验;若发现有明显污染或受潮痕迹,对异常绝缘件进行更换后进行恢复、清洗、干燥。

基于该换流变经过了十多年运行,按标准规定,绝缘耐受试验按原出厂试验标准试验电压的75%执行。出厂试验增加了75%电压下的操作冲击电压试验,关于极性反转试验,按IEC 61378标准的75%折算后为431 kV,低于500 kV运行电压,且考核意义不大,则不进行。

4 整体评估

2014年1月,在政平换流站大修期间对在运换流变及平抗进行了全面拆引线的试验评估、储油柜内部检查等工作。色谱检测发现,4台换流变存在微量乙

炔,011B A相乙炔含量 $0.1 \mu\text{L/L}$,021B B相乙炔含量 $0.1 \mu\text{L/L}$,该2台换流变乙炔含量在 0.1 至 $0.2 \mu\text{L/L}$ 区间波动;另外2台022B A相、022B B相乙炔含量 $<0.1 \mu\text{L/L}$ 。储油柜检查发现极2 021A,021B,021C换流变绝缘油颜色较黄,酸值较高,绝缘油有所老化,而021PB平抗由于2008年绝缘油过滤后,较清澈,但在储油柜放油口(排污口)排油取样瓶内发现一块絮状物,十几粒黑色金属颗粒。政平换流站换流变、平抗本体绝缘油的油中颗粒数量总体符合标准,储油柜绝缘油的油中颗粒污染情况较严重,部分设备的测试值远高于标准要求。

根据色谱分析、油中颗粒度和电气试验结果等状态检测参数综合评估,在运换流变及平抗状态评价结果如表1所示,目前政平换流站已完成全站换流变及平抗的返厂检修工作。2014年至今,全部换流变及平抗运行状况正常。

表1 在运换流变及平抗状态评价结果

运行编号	储油柜颗粒度	本体颗粒度	水分/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	色谱乙炔 ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	电气试验	评价结果
011B A	1	1	9	0.1	正常	异常
011B B		已修复新换流变				正常
011B C	4	3	14	未检出	异常	注意
012B A	3	0	8.7	未检出	正常	正常
012B B	7	1	9.9	未检出	正常	注意
012B C	6	0	9.6	未检出	异常	注意
011P B	4	1	12.5	未检出	正常	正常
021B A	5	2	15.6	未检出	正常	注意
021B B	3	2	9	0.2	正常	注意
021B C	3	3	14.4	未检出	正常	正常
022B A	6	1	13.3	<0.1	正常	异常
022B B	7	2	11.8	0.1	正常	异常
022B C	8	1	9.8	未检出	正常	注意
021P B	4	1	14.6	未检出	正常	注意

5 结束语

从2台换流变返厂解体检查情况看,污染点位置均位于低电位区域的绝缘表面,从起始到形成贯穿性放电通道需要一定的发展时间,表明此类缺陷有一个发展过程,给缺陷处理留有一定的处置时间,及时处理可以避免故障扩大。2014年期间对该批次全部换流变及平抗进行了返厂检修,检修后的换流变及平抗运行状况正常。事实证明,通过开展换流变及平抗的状态评估及返厂检修,可大大提高运行中期换流变的安全性。

参考文献:

- [1] 刘建坤,胡亚山,赵静波,等.特高压接入对江苏电网的影响展望[J].江苏电机工程,2010,29(1):1-3.
- [2] 彭翔,陈禾,夏谷林,等.贵广直流输电工程换流变网侧高压套管事故分析及建议[J].变压器,2013,50(9):66-69.
- [3] BHUVANESWARI G, MAHANTA B C. Analysis of Converter Transformer Failure in HVDC Systems and Possible Solutions[J]. Power Delivery, IEEE Transactions on, 2009, 24(2): 814-821.
- [4] 周远翔,孙清华,李光范,等.空间电荷对油纸绝缘击穿和沿面闪络的影响[J].电工技术学报,2011,26(2):27-33.
- [5] 李博,程焕超,孙倩,等.交直流电压分量对变压器油中典型模型击穿特性影响[J].电工技术学报,2011,26(2):34-38.
- [6] 孙振权,赵学风,李继胜,等.直流电压下油纸绝缘结构气隙模型的局部放电特性[J].电工技术学报,2010,25(9):20-27.
- [7] SHA Y C, ZHOU Y X, LI J Z, et al. Partial Discharge Characteristics in Oil-paper Insulation Under Combined AC-DC Voltage. Dielectrics and Electrical Insulation [J]. IEEE Transactions on, 2014, 21(4): 1529-1539.

作者简介:

陆云才(1982),男,江苏如皋人,高级工程师,从事电力设备状态评估技术研究工作。

Failure Analysis and Solution of the Converter Transformers in Zhengping Converter Station

LU Yuncai

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Several converter-transformer failures occurred in succession in Zhengping converter station. Strip inspection analysis of these failures has been done considering the location of partial discharge and insulation pollution. The analysis show these failures mainly resulted from the open-type design of oil conservator for the converter transformer. During the long-term operation of the converter transformer, the insulating oil is easily oxidized and affected with damp, bringing in impurities. Besides, the design of thermal expansion and contraction alternating and oil drain at the bottom of the tank may get the oil extra water and the transformer impurities. The design defects can cause rust strains on the appearance of the iron core facing the oil filler of the conservator, partial damp of the insulating press board, as well as edge pollution of the upside iron yoke. Then Partial discharge will occur, followed by converter-transformer failures for qualitative change is caused by quantitative change.

Key words: converter transformer; partial discharge; HVDC; condition-based maintenance; accident