

一起由于套管密封失效导致的 220 kV 变压器故障分析

施逸,周国梁

(国网四川省电力公司宜宾供电公司,四川 宜宾 644002)

摘要:油浸电容式高压套管在大型变压器上应用十分广泛,承担了载流、绝缘、密封等多项功能。针对一起频繁地震后发生的 220 kV 变压器匝间短路故障进行了试验检测、解体检查、套管结构分析等,结果表明,故障原因为套管密封结构不合理,在特殊工况下使密封失效。

关键词:套管;地震;密封失效;匝间短路

中图分类号:TM 855 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2021)05-0087-04

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20210517

Analysis on 220 kV Transformer Fault Caused by Sealing Failure of Bushing

Shi Yi, Zhou Guoliang

(State Grid Yibin Electric Power Supply Company, Yibin 644002, Sichuan, China)

Abstract: Oil-immersed capacitive high-voltage bushing is widely used in large transformers, which undertakes the functions of carrying current, insulation and sealing. Based on an inter-turns short-circuit fault of a 220 kV transformer, which happened after a series of earthquakes, the testing detection, disassembly inspection and bushing structure analysis are carried out. The results show that the fault comes from the unreasonable design of the sealing structure of bushing, which fails in special conditions.

Key words: bushing; earthquake; sealing failure; inter-turns short-circuit

0 引言

高压套管广泛应用于各类变压器设备中,对于变压器的绝缘、密封防潮十分重要。目前,66 kV 及以下的油浸式变压器套管主要使用油浸电容式、胶浸纤维复合电容式等类型,套管按照载流方式分为穿缆式和导杆式^[1-2]。

当套管的额定电流小于 630 A 时,套管的载流方式宜为穿缆式;当套管的额定电流不小于 630 A 或电压等级不小于 220 kV 时套管的载流方式宜为导杆式^[3]。因此穿缆式套管在 220 kV 及以下电力系统中应用十分普遍。但是多年来,穿缆式套管造成的事故时有发生,特别是密封不良导致渗漏、内部受潮等故障轻则迫使变压器停运,重则导致变压器本体故障,带来了大量的经济损失^[4-8]。

下面通过分析一起 220 kV 主变压器匝间短路故障,诊断了套管故障产生原因,给出了运行维护建议,对相同类型套管的运行维护具有一定的指导意义。

1 故障及检查情况

2019年7月20日,某 220 kV 主变压器在运行过程中双套保护差动动作,三侧断路器三相跳闸。该变压器型号为 SFPSZ9-120000/220;出厂日期为 2001 年 1 月;220 kV 侧油浸电容式高压套管型号为 BRDLW-220/630-3,安装形式为穿缆式,出厂日期为 2000 年 6 月。

1.1 试验检查

2019年7月20日,对该主变压器进行了检查试验。保护动作信号及波形图表明,A相存在差流,

折算高压一次侧的差流为 130 A;油色谱分析表明内部存在电弧放电现象;而电气试验中,绕组变形测试高压绕组 A 相严重变形,高压绕组吸收比和极化指数均小于 1,低电压空载试验涉及 A 相绕组时电流严重异常,因过载无法测试中对低压变比。综合保护动作情况、油色谱分析数据以及电气试验数据,初步判断该主变压器高压侧 A 相绕组存在匝间短路,且短路匝数相对较少。

另外,经现场检查,发现该变压器 220 kV 侧 A 相套管将军帽密封部位相较于其他相,有较明显的缝隙,如图 1 所示。同时,A 相套管引流线较短,套管受力较大。



图 1 高压 A 相套管密封部位有缝隙

1.2 运行环境

调查该变压器所在地区的环境情况,发现 6 月 17 日,该地区曾发生 6.0 级地震,震源深度 16 km。截止 7 月 20 日为止,累计发生 3 级及以上余震 64 余次,其中 3 级~4 级地震 54 次,4 级~5 级地震 6 次,5 级及以上地震 4 次。6·17 地震及各余震发生期间,该变电站所处地区震感明显。

另外,6 月以来,该地区连续多日降雨。据统计,6 月 17 日地震至 7 月 20 日期间,该地区降雨天气达 28 天,其中中雨 13 天,大雨到阵雨 6 天。19 日,该地区天气为中雨,20 日上午为小雨,气温为 24~34℃。

1.3 变压器内部检查

为验证初步判断,并进一步分析故障原因,在现场对该变压器开展了内检。检查方式为将变压器套管拔出,并将变压器油排空后,从 220 kV 套管孔进入变压器内部,对故障点进行查找及原因分析。

检查结果为:该变压器 220 kV 侧 A 相线圈出线铜屏蔽管内有明显的固体绝缘烧蚀形成的碳化物和金属铜颗粒,如图 2—图 4 所示。表明在该处附近有涉及固体绝缘及金属部件的电弧烧灼故障。结合

变压器内部结构分析,以上固定绝缘碳化物以及金属铜颗粒极有可能来自于高压绕组引流线附近的绕组匝间击穿短路故障。



图 2 A 相套管出线铜屏蔽管内有明显的电弧烧蚀产物

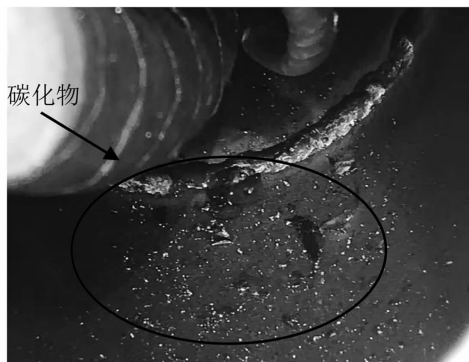


图 3 高压 A 相铜屏蔽管内有大量固体绝缘碳化物

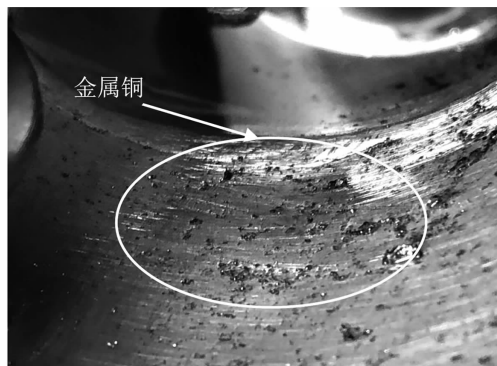


图 4 高压 A 相铜屏蔽管内有大量金属铜颗粒

1.4 返厂检查

将该变压器返厂后,对该变压器进行了拔圈检查,确认 A 相高压线圈为绕组匝间短路故障,故障部位正好位于绕组引流线下方,见图 5 所示,其他绕组均未见异常。

2 故障原因分析

2.1 套管密封结构

该套管密封结构如图 6 所示。



图 5 返厂检查确认高压 A 相绕组匝间短路

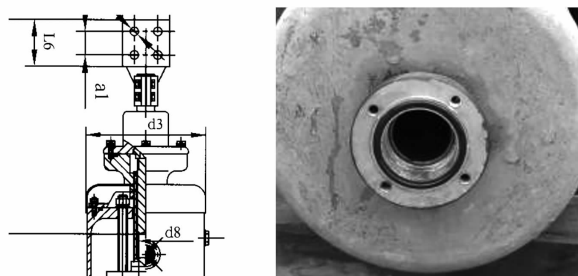


图 6 套管头部密封结构

该套管密封依靠 4 条紧固螺栓将导电头、胶垫及接线座紧固在一起,接线座内有空腔,安装固定主变压器引线导电棒的定位螺母和圆柱销。该结构由于接线座无防松动锁定装置,导线在受力摇摆后,紧固螺栓松动,会引起密封失效,雨水沿此进入变压器内部,如图 7 所示。

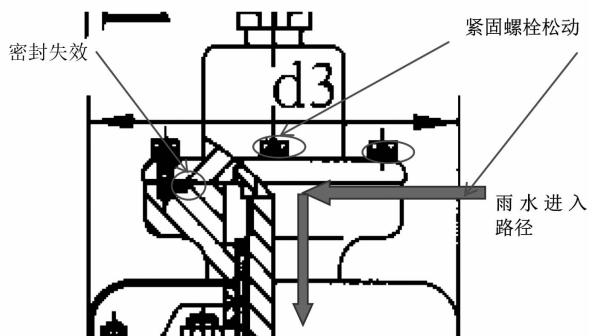


图 7 套管密封失效

2.2 主变压器套管安装结构

该套管为穿缆套管,从主变压器安装结构上可以看到,从套管顶部进入主变压器的雨水,将沿着高压套管、铜屏蔽管的通道,集中流入到了变压器高压绕组引流线部位,导致该处发生绕组匝间短路故障。如图 8 所示。

2.3 密封失效进水原因分析

该套管结构由于无防松动锁定装置,且主变压

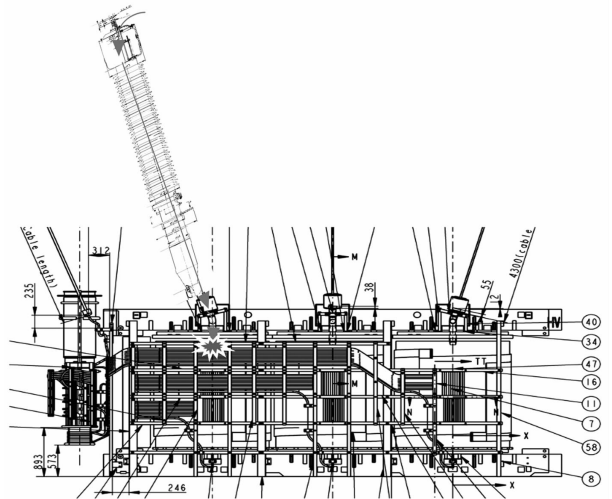


图 8 高压 A 相套管进水路径

器 220 kV 侧 A 相套管引流线较短,导致套管受力较大,由于该地区在故障发生前发生了多次地震及余震,引流线不断拉扯 A 相套管,导致套管将军帽处紧固螺栓不断松动,密封失效。同时,因该地区连续多日降雨,且温差较大,主变压器内部压力变化较大,因气压变化而引起的呼吸效应导致雨水从密封失效处渗入。另外,由于该台变压器的套管为穿缆式,高压绕组引流线穿过铜屏蔽管引出,套管末端直接对着高压绕组铜屏蔽管;从套管顶部进入内部的雨水,直接顺着高压套管、铜屏蔽管的通道,集中流入到了变压器高压绕组引流线部位,导致该处发生绕组匝间短路故障。

3 结论

1)穿缆式套管将军帽处密封不良将导致雨水沿套管通道进入变压器内部,从而引发内部绝缘击穿的严重故障。故应特别加强对穿缆式套管将军帽处密封的检查及维护。

2)该类型套管接线座、双封螺母 2 个部件与下端无紧固锁定装置,结构设计存在无防松动措施的设计缺陷,易于造成变压器进水,新安装套管不应再采用该结构。

3)对新安装的 220 kV 及以上等级变压器,应严格执行反事故措施关于“应核算引流线(含金具)对套管接线柱的作用力,确保不大于套管及接线端子弯曲负荷耐受值”的规定,防止套管受力过大而导致套管故障。

4)在遭受强震及连续较低强度地震后,应对在

运变电站的 220 kV 变压器套管受力及密封情况开展全面排查,特别是对引线较紧、套管接线柱受力过大的,应引起足够重视,必要时安排停电进一步检查处理,防止类似故障发生。

参考文献

[1] 交流电压高于 1000 V 的绝缘套管:GB/T 4109—2008 [S],2008.
 [2] 兰贞波,宋友,邓建钢,等.我国特高压交直流套管研究现状[J].电瓷避雷器,2021(2):1-6.
 [3] 电力变压器(电抗器)用高压套管选用导则:DL/T 1539—2016[S],2016.
 [4] 王梦云.110 kV 及以上变压器事故与缺陷统计分析[J].供用电,2007(1):1-5.
 [5] 吴鹏,薛娜,陆云才,等.220 kV 穿缆式套管典型故障

(上接第 20 页)

由于所加的噪声是随机数,因此通过 1000 次仿真,发现当加入大于 40 dB 的噪声时,故障识别准确率大于 97%;当加入小于 40 dB 的噪声时,故障识别准确率大于 95%。

4 结 论

基于换流母线电压基频负序分量与直流线路电压二次谐波分量的相关系数构建了基于站域信息的整流站故障区域识别方案,通过理论分析和仿真验证,得到以下结论:

- 1) 当整流站交流区域故障时,换流母线基频负序电压与直流线路电压二次谐波分量相关性高;而当整流站直流区域故障时,换流母线基频负序电压与直流线路电压二次谐波分量相关性低。
- 2) 提出了基于交流母线电压基频负序分量幅值与直流线路电压二次谐波分量幅值的相关系数 R 的故障区域识别方法。当 R 小于阈值 k_{set} 时,判断发生的故障为整流站交流区域故障,否则判断故障为整流站直流区域故障。故障识别时间小于 7 ms。
- 3) 所提故障区域判别方案不受故障类型、故障位置、过渡电阻、故障初始角以及噪声干扰的影响。

参考文献

[1] 庞晓艳,李建,张蓓,等.四川特高压交直流电网安全运行保障技术框架研究[J].四川电力技术,2013,36(3):11-14.
 [2] 董新洲,汤涌,卜广全,等.大型交直流混联电网安全

与头部结构分析[J].变压器,2015,52(11):71-76.
 [6] 赵春明,何秋月,杨代勇,等.66 kV 变压器套管故障分析[J].变压器,2018,55(10):74-78.
 [7] 黄明明,任桂良,黄全振,等.110 kV 变压器高压套管密封失效机理分析研究[J].变压器,2020,57(5):84-87.
 [8] 李丰,姒天军,何建明,等.一起 220 kV 变压器套管渗油故障原因分析及处理[J].电瓷避雷器,2021(2):90-94.
 作者简介:
 施 逸(1990),男,硕士,工程师,从事电气设备试验工作;
 周国梁(1984),男,高级工程师,从事变电检修、技术监督管理工作。

(收稿日期:2021-07-14)

运行面临的问题与挑战[J].中国电机工程学报,2019,39(11):3107-3119.
 [3] 哈丽曼,合孜尔,樊艳芳.特高压直流故障对交流系统稳定性的影响分析[J].四川电力技术,2017,40(2):11-15.
 [4] 朱韬析,武诚,王超.交流系统故障对直流输电系统的影响及改进建议[J].电力系统自动化,2009,33(1):93-98.
 [5] Li Zhikeng, Chen Zhigang, Wang Gang, et al. Study on the operation area of the 100 Hz protection in an HVDC System[C]//IEEE 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC),2011:1-4.
 [6] 史亚光.高压直流换流站关联区域继电保护研究[D].武汉:华中科技大学,2018.
 [7] 傅闯,饶宏,黎小林.交直流混合电网中直流 50 Hz 和 100 Hz 保护研究[J].电力系统自动化,2008,32(12):57-60.
 [8] 张保会,孔飞,张嵩,等.高压直流输电线路单端暂态量保护装置的技术开发[J].中国电机工程学报,2013,33(4):179-185.
 [9] 王维庆,刘俊勇,王海云,等.HVDC 换流阀故障特性分析及直流侧 100 Hz 谐波计算方法研究[J].高电压技术,2016,42(1):33-38.

作者简介:

许婷苇(1999),女,硕士研究生,研究方向为 HVDC 换流站保护与故障定位;
 赵丽平(1973),女,博士,副教授,研究方向为继电保护和综合自动化、电能质量监控;
 林 圣(1983),男,博士,教授,研究方向为电力系统继电保护与故障定位、牵引供电系统健康诊断与主动运维等。

(收稿日期:2021-06-03)