

一起 110 kV 主变压器异响缺陷分析

刘康康,周 皓,秦 刚

(国网江西省电力有限公司九江供电分公司,江西 九江 332000)

摘要:某 110 kV 变电站 1 号主变在正常运行过程中,靠近分接开关部位存在类似低温油爆声响,结合带电检测及停电后检查试验、油化试验确定该变压器内部存在严重缺陷故障,且该变压器存在显示档位与实际档位不匹配问题。据此,检修人员及厂家对该变压器进行抽油内检,最终确定为分接开关接触部分存在裸金属放电故障并进行处理,消除了这一隐患。

关键词:分接开关;裸金属放电;主变内检;传动轴;切换开关

中图分类号:TM 407 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2026)01-0075-04

0 引言

主变压器(简称主变),是变电站主要用于输变电的总降压变压器,也是变电站的核心部分。主变对可靠性要求较高,一旦出现故障,轻则造成变电站设备故障、负荷损失,重则引起火灾、爆炸^[1-2]。因此,保障主变正常运行及采取相应防范措施具有重要意义。有载分接开关是变压器用于调节输出电压的调压装置,可在不中断负载电流的情况下切换绕组分接头位置,其核心原理是在切换过程中串入过渡电阻限制环流,其主要结构由切换开关、分接选择器和操作机构组成,开关本体包括切换开关与选择开关^[3]。

1 故障概况

运行人员发现某 110 kV 变电站 1 号主变存在类似低温油爆声响,异响位置位于分接开关附近(围绕分接开关部位一圈均异响明显)。此外,有载分接开关调档失效,远方状态进行机构升降档,机械指示档位改变而实际电压值不变,传动连杆正常传动,疑似开关大盖处齿轮盒处存在脱销,存在主变实际运行档位与显示档位不符故障(机械位置显示档位为 5 档,实际位置为 9b 档)。试验人员对该变压器铁芯、夹件入地电流进行带电测试,显示其电流值在正常范围,

排除该主变存在铁芯、夹件多点接地故障。

随后,试验人员对该主变进行油样分析,显示主变本体乙炔超标,有载分接开关油样正常,随即对该主变申请停电进行检修。

2 设备信息

该 110 kV 变电站 1 号变压器型号为 SSZ 11-50000/110,2018 年 5 月出厂,额定电压为 115/38.5/10.5 kV;分接开关型号为 ZVMDIII 600Y-72.5/B-10 193 W,2018 年 3 月出厂。

该主变高压侧配置有载调压机构,通过有载分接开关进行在线调压,开关本体安装于变压器油箱内^[4-5]。开关本体在切换负荷电流时,产生电弧,会使油质劣化,因此必须浸置在单独绝缘油桶内,使其与变压器油箱隔离开;选择开关的分接顺序依次相连,分接头预先接通并承担连续负载调压功能^[6]。分接开关机构通过极性选择器 K 触头使变压器在额定档位进行极性变更,该极性选择器与主变共油室^[7]运行。

3 检修试验

《电力变压器分接开关运行维修导则》(DL/T 574—2021)第 7.2.1.9 条款规定:“分接开关正常使用

收稿日期:2025-09-18

作者简介:刘康康(1994),男,硕士,工程师,从事电力系统高压试验工作。

故障分析 FAULT ANALYSIS

过程中检修周期应符合制造厂规定。运行正常及周期油试验合格的油浸式分接开关每10万次操作应进行1次吊芯检查。”通过查阅该变压器自投运以来每年的运行、检修、试验记录,发现该分接开关调挡操作次数远远小于标准要求10万次操作大修的要求,且各项试验数据均满足标准规定^[8-9]。

试验人员对该主变进行全方位停电检查,发现主变及分接开关试验各项数据均合格,未发现异常。同时,试验人员发现该主变分接开关传动轴与分接开关大盖处连接轴销脱落,分接开关大盖处齿轮盒与传动轴存在偏移,未在同一水平直线上,传动轴与齿轮盒传动臂接触位置偏移,无法带轴传动,如图1所示。



图1 分接开关传动轴销脱落位置

该异响部位位于分接开关附近,离主变内检检修口较近,对该主变进行排油内检,从而找到确切的故障位置及其原因,有载分接开关切换示意图如图2所示。

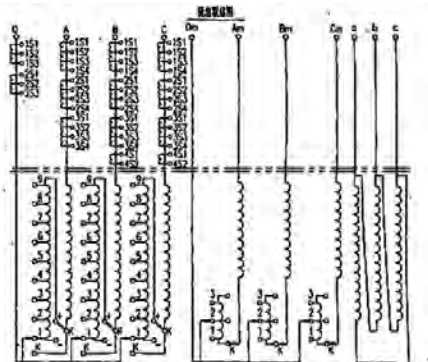


图2 分接开关切换原理示意图

对该主变进行内检时,发现在分接开关选择器K+触头出现严重放电痕迹,三相K+触头均出现明显烧蚀(选择开关的极性选择器右侧为K+触头,左侧为K-触头),且发现在额定档位附近进行切换时存在K+触头接触不到位现象,具体如图3所示。



图3 分接开关选择器K+触头烧损痕迹

4 缺陷分析

内检分析认为,由于分接开关大盖处齿轮盒与传动轴之间轴销在运行至额定档位时发生脱落,齿轮盒与传动轴未在同一水平直线,无法带轴传动。故出现分接开关机构调档时,分接开关选择器及切换开关未动作现象。

判定轴销脱落原因为:因齿轮盒在升降档过程中受传动轴巨大扭力,而安装齿轮盒时未紧固到位,使齿轮盒长期运行后,在调档过程中受到扭力而渐渐产生偏移,当偏移达到一定程度时,轴销脱落。

故障发生在主变升档过程中(9b升10档),当主变进行升档时,分接开关机构动作,切换开关随传动轴储能,选择开关随传动轴进行极性选择(K+往K-)。此时,轴销脱落,选择开关的极性选择器刚从K+触头准备脱离,但未完全脱离,切换开关也未完成储能,极性选择器弧触头未完全释放K+触头,导致K+触头存在接触不良故障。运行时,接触部位高温烧蚀后产生间隙,形成裸金属放电,具体如图4所示。



图4 分接开关选择器K+接触不良

此外,现场人员对该缺陷未导致检查试验不合

格的原因进行探讨分析,判断为因故障档位正好处于分接选择器的K+至K-的阶段(9b档位往9c档位),且K+刚脱离位置;分接开关测试主变本体档位在9b位置时仍通过K主触头导通,因此直阻试验未能发现K+触头出现接触问题(K+触头接触问题可通过1-8档位发现,K-触头接触问题可通过10-17档位发现)。分接开关极性选择电气及机械原理^[8-9]如图5所示。

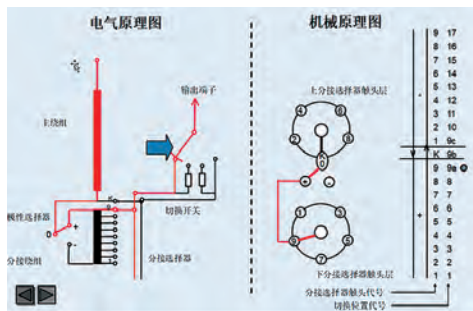


图5 分接开关极性选择原理图

5 故障仿真

有载分接开关动静触头间的接触面在微观尺度上,是由多个小面积的接触点组成,电流也是从这些接触点簇中流过。在动静触头闭合形成电弧的过程里,这些接触点处在极不均匀电场中,只要两档位间的电压差大于间隙这个极不均匀电场的击穿场强,或者说该电压差的击穿距离大于此时触头间的间隙距离,那么必然会击穿间隙形成电弧^[10]。文中借鉴基于液体流注理论的分接开关内部触头诊断技术,对该故障分接开关进行仿真;基于目前的流注理论,电压幅值对流注的发展和形成影响十分明显,电压幅值越高,流注产生速度越快,贯穿间隙时间越短^[10];而针对于同类型、同型号正常运行与存在放电故障的分接开关进行对比,正常运行的分接开关在击穿场强均远高于故障分接开关。文中列取了25 kV电压幅值下,正常分接开关与故障分接开关轴向空间电荷密度分布,如图6—7所示。正常分接开关流柱仅仅发展流注至头部,空间电荷密度相对较低;而同等电压下,故障分接开关流注在到达阴极时,流注头部大量的正离子在阴极处被中和,在阴极附近处的负电荷甚至比正电荷多,表明该故障分接开关更易形成电弧放电通道。

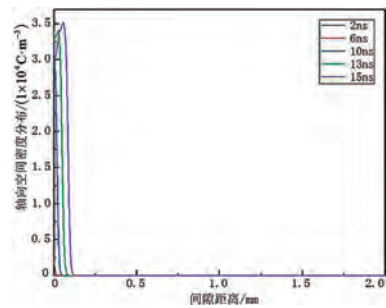


图6 正常分接开关空间电荷密度分布

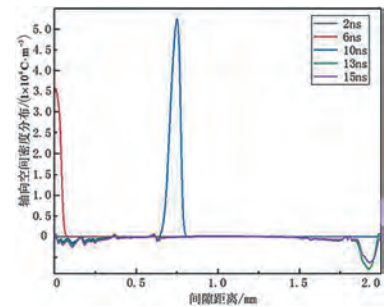


图7 故障分接开关空间电荷密度分布

此外,在同等电压下,从温度场的角度看,故障分接开关流注头部和阳极处的温度也越高,放热现象明显,如图8—9所示。在25 kV电压幅值下,正常分接开关最高温度仅323 K,故障分接开关最高温度已达1 100 K。

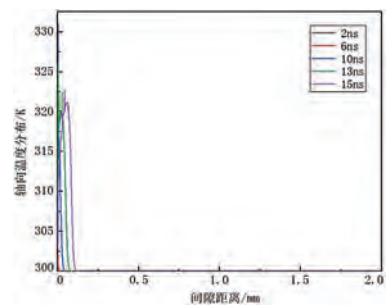


图8 正常分接开关温度场变化曲线

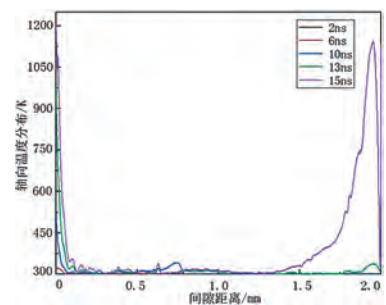


图9 故障分接开关温度场变化曲线

由此可见,通过基于流注理论的分析手段对分接开关是否存在异常放电进行仿真分析,可以对有载分接开关故障进行有效辅助判断,尤其对于内检未发现

故障分析 FAULT ANALYSIS

明显故障点的异常运行工况,对空间电荷密度分布及温度场变化曲线对比分析,可以对分接开关潜在故障的判断起到较好的借鉴参考作用。

6 结语

诊断分析后,检修人员对该分接开关极性选择触头进行了更换,将变压器油进行过滤及热油循环后注入主变,静置 24 h 后,进行主变检查试验及局放试验,结果均合格;试验前后油样检测均合格;主变投运后异响消失,主变恢复正常运行。经过此次故障分析,对后续变压器及分接开关运行维护,提出以下几方面反措建议:

1) 变压器分接开关的动作正确及绝缘性能良好对其运行工况的评价至关重要。应加强验收关,着重机构传动轴方面的检查,加强设备导电接触部位验收。

2) 日常维护检修中,应严格遵从状态检修导则要求,着重加强维护和校验机构传动轴,避免产生偏移,导致设备失去机械动力故障;加强设备二次元器件维护和检查,避免因二次元器件锈蚀、接触不良等原因造成设备故障。

3) 加强变电一次设备专业化巡视及维护,及时发现缺陷问题。此外,通过此次故障处理,验证了设

备试验诊断应注重停电、带电、油化综合预防性诊断等措施,仅通过单一环节进行故障排除,无法发现所有故障问题。

参考文献:

- [1] 陈天翔. 电气试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [2] 冯顺晨, 宋文晔, 卢伟. 带电检测技术在变电运维中的应用[J]. 科技与创新, 2025(22): 201-203, 210.
- [3] 王新宪, 汪明, 陈锦涛, 等. 高压穿墙套管放电的原因及处理[J]. 农村电气化, 2019(09): 53.
- [4] 刘守坤. 35 kV 穿墙套管放电故障分析及解决措施[J]. 石油石化节能. 2020, 10(03): 30-32, 10.
- [5] 陈润颖, 毛学峰. 变电设备故障诊断与分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [6] 赵建利, 候宇嘉. 由悬浮放电引发的绝缘放电缺陷带电检测及局放源定位分析[J]. 内蒙古电力技术, 2018, 36(06): 33-37.
- [7] 马海伟, 魏凯, 王超峰, 等. 红外检测技术在电力系统变压器套管绝缘故障检测中的应用[J]. 电气技术与经济, 2024(11): 151-153, 158.
- [8] 张向伍, 朱亚丽, 石玲玲, 等. 有载分接开关故障引起 110 kV 变电站主变跳闸的原因分析[J]. 电世界, 2025, 66(02): 32-37.
- [9] 赵桂娟, 耿东勇. 一起 35 kV 变压器有载调压分接开关故障处理[J]. 农村电工, 2025, 33(06): 46-47.
- [10] 李翔. 基于油中特征离子检测的有载分接开关内部触头诊断技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2022.

(上接第 74 页)

参考文献:

- [1] 潘尔生, 乐波, 梅念, 等. ± 420 kV 中国渝鄂直流背靠背联网工程系统设计[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(05): 175-183.
- [2] 杨柳, 朱喆, 侯婷, 等. 背靠背直流输电技术及其在鲁西异步联网工程中的应用[J]. 南方电网技术, 2018, 12(04): 1-6.
- [3] 蔡德福, 周鲲鹏, 董航, 等. 渝鄂柔性直流背靠背联网工程对湖北电网运行特性的影响[J]. 湖北电力, 2017, 41(01): 9-13.
- [4] 刘涛, 李婧靓, 李明, 等. 南方电网鲁西背靠背直流异步联网工程控制保护系统设计方案[J]. 南方电网技术, 2014, 8(06): 18-22.

- [5] 管敏渊, 徐政. 模块化多电平换流器型直流输电的建模与控制[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(19): 64-68.
- [6] 杨晓峰, 郑琼林, 薛尧, 等. 模块化多电平换流器的拓扑和工业应用综述[J]. 电网技术, 2016, 40(01): 1-10.
- [7] 汤广福, 贺之渊, 庞辉. 柔性直流输电工程技术研究、应用及发展[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(15): 3-14.
- [8] 韦延方, 卫志农, 孙国强, 等. 适用于电压源换流器型高压直流输电的模块化多电平换流器最新研究进展[J]. 高电压技术, 2012, 38(05): 1243-1252.
- [9] 管敏渊, 徐政. 模块化多电平换流器子模块故障特性和冗余保护[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(16): 94-98, 104.
- [10] 王姗姗, 周孝信, 汤广福, 等. 模块化多电平电压源换流器的数学模型[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(24): 1-8.