

[变压器]

1 000 kV变压器绝缘缺陷案例分析

文/安义岩 刘天奇 张星宇
国网内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院

对一起1 000 kV变压器主体变绝缘缺陷案例进行分析,利用超声局部放电定位方法在长时感应耐压带局部放电过程中对变压器放电位置进行定位,通过厂内解体检查发现了放电点,结合放电位置结构和解体检查情况分析了故障原因。

1 000 kV交流电力变压器是特高压交流输电工程中的核心设备,随着1 000 kV变压器投运数量和运行时长的增加,变压器内部缺陷也逐渐暴露。近年来,变压器内部异常产气、线圈股间或匝间短路、铁心夹件绝缘电阻降低等缺陷不断出现且呈上升趋势。本文以某特高压变电站1 000 kV变压器的一起绝缘缺陷为例,详细阐述了发现故障、现场和返厂定位、厂内解体的详细经过,结合出线装置结构和解体检查发现的情况分析了故障原因,提出针对性措施,为1 000 kV变压器的故障诊断定位和缺陷处理提供参考。

缺陷概述

某1 000 kV变电站在一次全站充油设备绝缘油色谱离线检测工作中,发现一台1 000 kV变压器主体变油色谱数据异常突变,乙炔含量由0 $\mu\text{L/L}$ 增加为0.19 $\mu\text{L/L}$ 。运维单位开展了跟踪测试,详细测试数据见表1。利用三比值法进行数据分析,判断为电弧放电。根据相关运维规程,运维单位申请停电。

表1 停电前油中溶解气体跟踪测试数据 (单位: $\mu\text{L/L}$)

时间	氢气	一氧化碳	二氧化碳	甲烷	乙烯	乙烷	乙炔	总烃
首次检测	20.23	214.92	376.88	2.51	0.40	0.54	0.19	3.64
复测	22.85	217.72	364.13	2.62	0.39	0.56	0.21	3.78
12 h	24.02	207.88	335.22	2.58	0.43	0.56	0.33	3.90
15 h	25.73	264.44	387.74	3.35	0.67	0.74	0.79	5.55

现场诊断试验

停电后,现场依据GB/T 24846—2018《1 000 kV交流电气设备预防性试验规程》对异常产气变压器开展了绕组连同套管的绝缘电阻等常规试验测试,各项测试结果均无异常。对异常产气变压器进行长时感应耐压带局部放电测量试验,方波校准后,高、中、低传递比为50:20:4。试验时同步利用超声局部放电定位系统进行故障定位,试验加压程序如图1所示,局部放电测量数据见表2。

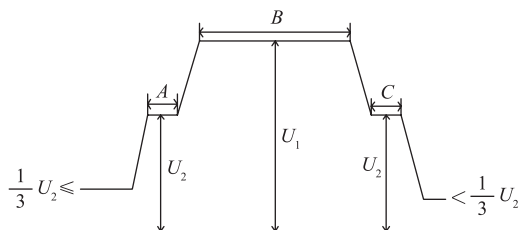


图1 长时感应耐压带局部放电加压程序示意图

$U_1=1.3U_m/\sqrt{3}=825.6\text{ kV}$; $U_2=1.1U_m/\sqrt{3}=698.6\text{ kV}$; $U_m=1\text{ 000 kV}$ (设备运行最高电压)。

表2 长时感应耐压带局部放电测量数据

序号	电压	时间/min	高压/pC	中压/pC	低压/pC
1	背景	-	21.6	10.5	34.7
2	开机后	-	29.7	65.9	338.2
3	$0.3U_m/\sqrt{3}$	5	1 618.7	189.3	346.5
4	$0.5U_m/\sqrt{3}$	5	6 422.5	450.7	349.4
5	$0.8U_m/\sqrt{3}$	5	8 478.7	405.6	362.2
6	$1.0U_m/\sqrt{3}$	30~40	11 056.2	395.7	358.5

升压过程中：升压至 $0.3U_m/\sqrt{3}$ 时高压侧局部放电量达到1 000~2 000 pC；升压至 $0.5U_m/\sqrt{3}$ 时局部放电量突增，高压侧出现5 000~8 000 pC的不稳定局部放电信号；升压至 $0.8U_m/\sqrt{3}$ 时局放量达到8 000~10 000 pC；升压至 $1.0U_m/\sqrt{3}$ 时局部放电量达到10 000~12 000 pC。局部放电仪出现局部放电信号的时，利用紫外测试仪对试验回路进行了检测，排除外部放电干扰，初步判定在变压器高压侧存在放电点，高、中、低压侧局部放电测试图谱如图2所示。

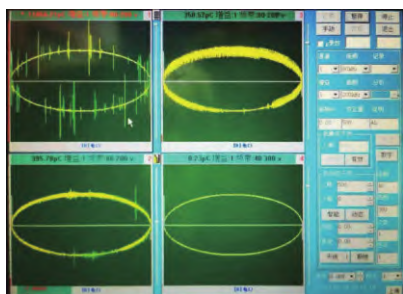


图2 $1.0U_m/\sqrt{3}$ 电压下高、中、低压侧局部放电图谱
(高、中、低压侧局部放电检测通道分别为通道1、通道2、通道3)

超声局部放电定位系统在脉冲局部放电信号产生的同时，在高压套管出线装置中下部检测出特征相似的超声局部放电信号，最大处超声传感器布置位置如图3所示，最大处局部放电图谱如图4所示，最终判定本台变压器高压套管出线装置中下部区域内存在疑似放电情况。

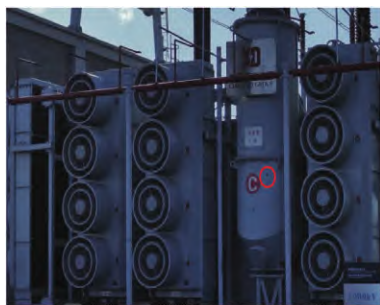


图3 超声局部放电信号最大处传感器布置位置

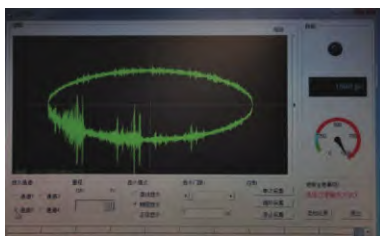


图4 超声局部放电信号最大处局部放电图谱

出线装置结构及现场检查

1 000 kV高压出线装置由均压球、均压管、波纹盘及多层绝缘成型件构成，绝缘成型件共5层，层间进行油隙分割。出线装置一端与器身配合，另一端与套管底部接线端子配合，如图5所示。

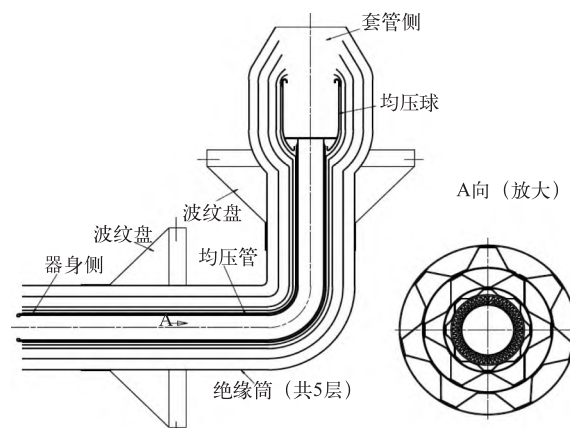


图5 高压出线装置结构图

对本台变压器进行现场排油内检，未发现异常。吊出线装置进行监测，未发现表面存在放电烧灼痕迹。出线装置外观如图6所示。



图6 出线装置外观

厂内局部放电定位

由于现场检查未发现变压器内部放电点，因此本台变压器高压侧出线装置返厂后再次进行了局部放电试验，并同步开展4个位置超声局部放电定位，其中1、4传感器布置在套管与均压球连接部位，2、3传感器布置在出线装置与试验装置连接部位和试验装置安装手孔位置。加压程序与现场一致，在高压侧监测脉冲局部放电信号，升压至 $0.7U_m/\sqrt{3}$ 时高压侧开始出现明显局部放电信号，图谱如图7所示，升压至 $1.5U_m/\sqrt{3}$ 时脉冲局部放电信号超量程。

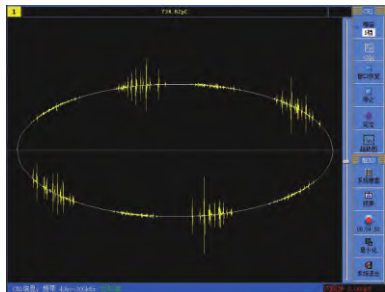


图7 脉冲局部放电图谱

超声定位发现在2、3通道（出线装置与试验装置连接部位）有明显放电信号，2通道信号最强，在1、4通道未监测到放电信号。2通道在电压为 $0.7U_m/\sqrt{3}$ 时局部放电图谱如图8所示，2通道传感器布置位置如图9所示。

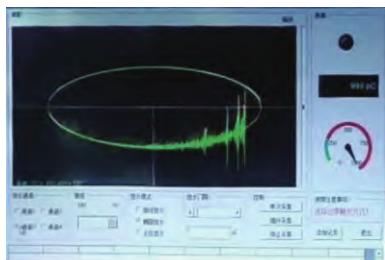


图8 2通道传感器局部放电图谱

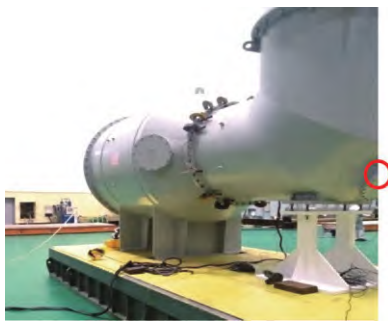


图9 2通道传感器布置位置

解体检查

拆除运输保护罩，将出线装置从L形外壳中退出，对出线装置由外向内逐层解体检查，发现出线装置表面最外层均压管端部距90°弯处约700 mm处有一黑色斑点，直径约3 mm，如图10所示。

检查发现均压管外第4层绝缘纸板的外表面距下部均压口约1 550 mm处存在点状放电痕迹，拆下该层纸板后发现内表面同部位有放电痕迹，用强光手电由内向外照射第4层纸板，发现放电部位纸板内

存在树枝状放电路径，放电痕迹如图11所示。



图10 绝缘纸筒拐角

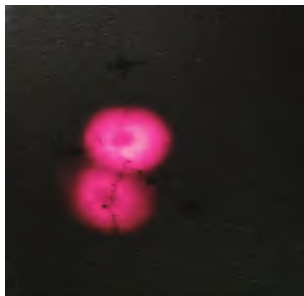


图11 第4层纸筒放电痕迹

缺陷原因分析及建议

根据解体检查情况和出线装置结构，判断第4层绝缘纸板（由内向外）存在原生缺陷。该缺陷在变压器长期运行中受高场强影响不断劣化，逐步发展成放电通道，最终导致油中乙炔含量增长。

考虑1 000 kV变压器具有电压等级高、额定容量大的特点，建议利用现有在线监测、智能巡检等技术手段合理优化现场巡视策略，强化油色谱、高频局部放电、超声局部放电等在线监测装置的运维管理，提升设备状态感知能力，及早发现潜在缺陷。

结束语

本文以某1 000 kV变压器主体变绝缘缺陷为例，阐述了变压器缺陷发现和处理的闭环过程，通过绝缘油色谱结果分析、长时感应耐压带局部放电测量、超声局部放电定位等手段判断了缺陷类型和位置，避免了缺陷进一步发展引发生产事故，为1 000 kV变压器缺陷诊断分析和处置提供了参考。EA

（收稿日期：2023-03-15）

参考文献

- [1] 刘希峰, 安滨, 陈彬彬, 等. 1 000 kV特高压泉城站主变压器特点解析[J]. 山东电力技术, 2017, 44(2): 37-42.
- [2] 余昌佳. 变压器局部放电超声波信号分析与定位研究[D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [3] 刘鹏华, 刘华臣, 崔家祥, 等. 特高压站换流变压器油色谱异常故障分析及处理[J]. 内蒙古电力技术, 2021, 39(5): 40-43.
- [4] 贾骏, 陶风波, 杨强, 等. 复杂多径传播条件下变压器局部放电定位方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(14): 5338-5348.
- [5] 张超, 刘国强, 芦竹茂, 等. 特高压交流变压器噪声干涉及衰减特性[J]. 高压电器, 2022, 58(10): 1-7.
- [6] 杨玥, 康琪. 变压器在线油色谱异常状态快速辨识边缘装置关键技术研究[J]. 内蒙古电力技术, 2022, 40(2): 50-56.
- [7] 杨玉新, 杨海超, 姚谦. 特高压变压器出线装置的结构及故障分析[J]. 变压器, 2020, 57(12): 32-35.
- [8] 刘泽洪, 卢理成, 周远翔, 等. 变压器升高座区域电弧故障与压力特性研究[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(13): 4688-4698.
- [9] 池明赫, 夏若淳, 罗青林, 等. 油纸绝缘典型缺陷局放特性及缺陷类型识别[J]. 电机与控制学报, 2022, 26(02): 121-130.
- [10] 谈翀, 杨在葆, 韩凯, 等. 一例1000 kV单相自耦变压器局部放电故障的诊断与分析[J]. 变压器, 2021, 58(7): 59-62.
- [11] 张翰林, 李祎春, 陈应龙, 等. 大型变压器绝缘件监造典型案例剖析[J]. 电气应用, 2021, 40(10): 66-69.

(上接第97页)

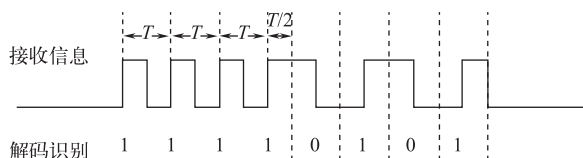


图5 识别信息11110101进行自同步解码图示

该装置可同时接入若干光纤, 进行多种光纤接口的转换, 适用于变电站内各种类型的光纤接口, 光源输出端和检测端无线通信进行对芯识别, 现场使用过程中只需一人即可完成对芯, 在一侧接好线后, 调试人员只需位于另一侧即可完成检测和查看多条光纤的对芯结果, 在提高工作效率的同时, 保证了现场光纤使用的准确性。

结束语

本文通过智能变电站的网络结构, 分析了因两侧光纤使用不一致造成的过程层网络交叉隐患, 提出了用光纤对芯装置进行验收的改进方案, 提高了光纤接线的准确性, 保证了网络结构的正确性, 避

免了因网络交叉、网络故障造成的断路器拒动作情况的发生, 保障了电力系统的安全稳定运行。EA

(收稿日期: 2023-08-10)

参考文献

- [1] 樊陈, 倪益民, 窦仁辉, 等. 智能变电站过程层组网方案分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 67-71.
- [2] 罗凌璐, 彭奇, 王德辉, 等. 智能变电站过程层网络监控方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(11): 151-156.
- [3] 李颖, 王维权, 张良, 等. 保测合智纵向集成的智能变电站过程网故障诊断与定位方法[J]. 机电工程技术, 2023, 52(5): 77-80, 127.
- [4] 牛亮, 王沙沙, 李满春, 等. 智能变电站二次回路故障智能诊断技术研究[J]. 电气应用, 2022, 41(3): 22-27.