

[变压器]

一起变压器油色谱超标缺陷分析

文/国网廊坊供电公司 刘振华 王建新 赵志山

针对廊坊地区某110 kV变电站主变压器油色谱异常情况，进行了变压器内部故障分析确定，结合带电、停电试验数据分析故障的原因和位置，并对该主变压器进行了吊罩检修，确定了故障位置，并分析了故障发生的过程。

电力变压器承担着电压变换、电能分配和传输的重要任务，是电力系统中最关键的设备之一，其安全稳定运行是电力系统安全、可靠和经济运行的重要保证。分析和判断变压器油中溶解气体（以下简称油色谱分析）是一种确定和检测变压器内部潜伏性故障非常有效的手段，并且还可根据油中气体各种组分含量的多少判断故障的性质、部位及严重程度，对于检修工作的实施具有重要的指导意义。

故障概述

廊坊地区某站1号主变压器型号为SSZ10-50000/110，电压比为 $(110 \pm 8 \times 1.25\%) / (36.75 \pm 2 \times 2.5\%) / 10.5 \text{ kV}$ ，连接组别为YNyn0d11，于2005年9月投运。2016年3月进行正常色谱周期监测时，发现该主变压器油色谱数据出现异常，如表1所示。

由表1可见，油色谱中氢气、乙炔和总烃三项指标均超出规程的规定值，同时由于特征气体分析中有乙炔存在，故障可能伴随着电弧放电。

故障诊断

1. 初步分析

(1) 故障类型判断

对2016年3月11日异常数据采用三比值法进行分析如下。

$$\begin{cases} C_2H_2/C_2H_4 = 14.5/332.9 \approx 0.044 (<1) \\ CH_4/H_2 = 227.7/290.4 \approx 0.78 (>0.1, <1) \\ C_2H_4/C_2H_6 = 332.9/66.9 \approx 4.98 (>3) \end{cases}$$

经分析统计后得到编码组合为002，判断属于高于700℃的高温过热性故障。

(2) 热点温度估算

根据日本月冈、大江等人推算的热点经验公式 $t = 322 \lg(C_2H_4/C_2H_6) + 525$ 计算，热点温度约为748℃。

(3) 故障严重程度

下面根据2016年3月11日—2016年3月15日的

$$\gamma_\alpha = \frac{C_{i2} - C_{i1}}{\Delta t} \times \frac{m}{\rho} = \frac{663.57 - 642}{4} \times \frac{23.64}{0.85} \text{ mL/d} \approx 150 \text{ mL/d} > 12 \text{ mL/d} \quad (1)$$

表1 某站1号主变油色谱数据统计

检测日期	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	H ₂	CO	CO ₂	总烃
2012.08.15	1.3	0.3	0.9	0.42	21.81	56.5	441.4	2.9
2013.04.24	3.6	0.5	0.8	0.7	32.9	72.1	413.6	5.6
2014.04.21	3.04	1.4	0	4.37	75.94	102.6	407.01	8.81
2014.11.28	3.8	1.4	0.8	3.7	94.8	104.3	450.6	9.7
2015.01.07	4.04	1.7	11.9	3.65	94.23	77.6	660.6	21.3
2015.03.17	3.6	1.6	0.9	3.2	85.4	99.2	379.6	9.3
2016.03.11	227.7	332.9	66.9	14.5	290.4	106.6	426.2	642
2016.03.15	253	345.09	69.3	14.9	276.69	107.87	387.32	663.57

式中, γ_a 为绝对产气速率, mL/d; C_{i1} 、 C_{i2} 分别为第一次、第二次油中某气体浓度, $\mu\text{L/L}$; Δt 为两次取油时间间隔, d; m 为设备总油量, t; ρ 为油的密度, t/m^3 。

相对产气速率为

$$\gamma_r = \frac{C_{i2} - C_{i1}}{C_{i1}} \times \frac{1}{\Delta t} \times 100\% = \frac{663.57 - 642}{642} \times \frac{1}{4/30} \times 100\% \approx 25.2\% / \text{月} > 10\% / \text{月} \quad (2)$$

式中, γ_r 为相对产气速率; C_{i1} 、 C_{i2} 与公式(1)相同; Δt 为两次取油时间间隔, 月。

由以上分析判断该故障属于高于700℃的高温过热性故障, 热点温度约为748℃, 并且总烃增长率已经大大超出规程规定值。

2. 故障类型及位置分析

色谱数据显示CO、CO₂未发生明显增长, 判断该设备故障未涉及到固体绝缘。

运行中, 测量主变压器运行中铁心接地电流(夹件接地未引出)为9 mA, 在标准允许范围内(不大于100 mA), 判断该设备未发生铁心多点接地故障, 但不能排除铁心片间短路故障。

经过以上分析, 初步判断设备故障为以下几种可能。

- 1) 铁心片间短路故障。
- 2) 有载分接开关中选择开关接触不良、引线夹件螺丝松动或接头焊接不良。
- 3) 产生涡流、涡流引起铁心过热、铁心漏磁。

检查和处理

1. 方案

因为油中溶解气体中有乙炔, 且含量在增长, 说明内部有可能存在电弧放电。为尽快解决该缺陷, 决定对该变压器进行吊罩, 查找故障原因, 并尽快修复或更换发生故障的部件。吊罩前进行诊断性试验, 并验证有载调压开关油室和本体之间的气密性。

2. 检查和处理情况

2016年3月23日, 将该主变压器退出运行, 通过打压验证有载调压开关油室和本体之间的气密性良好, 无渗漏点, 排除有载调压开关油室渗漏的可能性。

2016年3月25日, 对该变压器进行停电诊断性试验, 通过进行绕组直流电阻、绝缘特性和绕组变形等试验, 发现高压C相绕组直流电阻偏大, 如

表2所示, 其他试验数据结果无异常。

表2 修前高压绕组直流电阻

分接	A/ Ω	B/ Ω	C/ Ω	不平衡率(%)
1	381.6	381.2	383.3	0.55
2	376.3	375.8	378.0	0.58
3	370.1	369.8	371.9	0.57
4	364.7	364.3	366.4	0.58
5	358.6	358.5	360.4	0.53
6	353.3	353.0	355.0	0.57
7	347.1	347.0	348.9	0.55
8	341.9	341.6	343.6	0.58
10	334.9	334.5	335.5	0.30
12	340.9	340.9	342.6	0.50
13	347.1	347.2	348.8	0.49
14	352.2	352.3	354.0	0.51
15	358.7	358.7	360.3	0.45
16	363.9	363.8	365.6	0.49
17	369.9	370.0	371.7	0.49
18	375.3	375.3	377.1	0.48
19	381.3	381.4	383.1	0.47

从表2中可以看出, 对高压绕组所有分接来说, C相的直流电阻相对A、B相明显偏大, 说明高压C相电气回路中有某部分的直流电阻要偏大, 具体部位需吊罩检查确定。

2016年3月26日, 吊罩后检查发现:

1) B、C相绕组之间固定A、C相低压绕组下侧引出铜排的绝缘支架存在一处开裂和两个绝缘紧固螺栓断裂的情况, 如图1所示。



图1 支架损坏照片

2) 经测量, 铁心片间绝缘电阻均合格, 不存在片间短路故障。检查铁心及夹件等磁路部件, 未发现高温过热故障痕迹。

3) 经过对内部导电回路检查发现, 高压有载调压开关C相选择开关的正极性触头有严重放电烧蚀痕迹(如图2中的圆圈标示处)。图2为有载调压开关原理图。图3为烧蚀触头照片, 可以看出, 正极性选择开关静触头已被严重烧蚀, 静触头的均压环上有喷溅的熔融金属痕迹, 其下部有触头上生成并脱落的黑色物质。

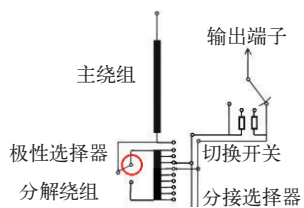


图2 有载调压开关原理图

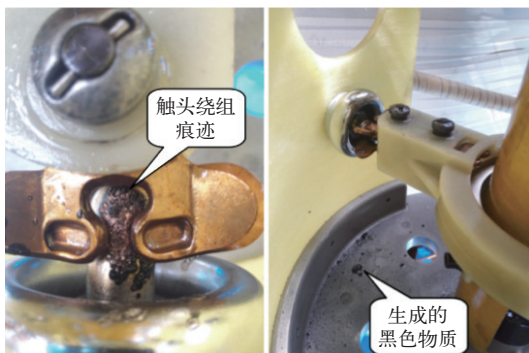


图3 选择开关触头烧蚀照片

3. 综合分析

此变压器绕组自2005年投运至今，运行情况良好，无产品缺陷。该站35 kV与10 kV分裂运行，1号变电所带10 kV负荷开关2015年3月—2016年3月故障跳闸9次，其中永久性故障跳闸4次。表3为该主变压器投运以来经历的严重故障跳闸情况统计。

表3 主变压器运行期间故障跳闸情况统计

时间	跳闸原因	备注
2010.06	施工中，非电量保护电缆被打穿，造成二次短路，跳开主变压器三侧开关	无故障短路电流
2013.11	24-91隔离开关穿柜套管炸裂，导致1号主变压器10 kV侧AB相间短路，跳开三侧开关	故障持续2 070 ms，故障电流约为10 800 A
2015.01	345开关本体爬上一只野猫，造成345开关相间短路，断路器三相严重烧损	故障短路电流为4 836 A

可见，该主变压器在运行过程中总共经历过三次较为严重的短路故障，尤其是2013年11月的10 kV侧AB相间短路电流达到10 800 A，也就是从这次故障之后，油中开始出现乙炔并不断增长。结合吊罩检查结果综合分析如下。

1) 因为该变压器多次短路电流冲击后，主变压器绕组和内部导电回路部件受到电动力的作用发生形变和位移，多次冲击使得主变压器内部结构部件强度降低。2013年11月发生10 kV侧AB相间发生短路时，由于该主变压器的连接组别为YNyn0d11，此时，B相低压绕组被短路，回路电压为相电压，A、C相低压绕组串联后被短路，回路电压为 倍相电压，且两个回路中阻抗基本相

等，主要为电弧短路阻抗。因此流过A、C相低压绕组回路的电流较大，A、C相低压绕组及其引出铜排受到的电动力也相对较大，固定A、C相低压绕组引出铜排的绝缘支架无法承受电动力的作用而开裂，两个绝缘紧固螺栓断裂。

2) 运行期间多次短路电流冲击也会使该变压器有载调压开关导电回路部件受到电动力的作用发生形变和位移，C相极性选择开关触头由于安装质量、操作频繁和弹簧疲劳等原因无法承受短路电流电动力，致使触头接触不实，接触电阻增大，导致接头温度升高。选择开关触头长期运行在高温下又会使选择开关动触头压紧弹簧的弹性下降，导致接触电阻进一步增大，温度继续升高，形成恶性循环。长此以往，触头之间的接触弹性越来越小，电阻越来越大，从修前诊断试验中C相高压绕组直流电阻值增大可以验证该推断。当该主变压器出现过负荷或者短路故障时，过负荷或故障电流在接触不实的触头间会严重放电，造成触头烧蚀和油色谱超标。

3) 转换开关及其操动机构是否存在转换不到位，造成触头接触不良的情况，需将开关返厂后进行进一步检查。

4. 缺陷处理

2016年3月26日，检查人员吊罩发现此故障点后，对有载分接开关进行了整体更换，将旧开关返厂检查；将开裂的绝缘支架进行修复，替换断裂的支架固定螺栓；将绝缘油经滤油处理并检测合格后充入主变压器。2016年3月31日处理完毕后进行修后试验，其中高压绕组C相的直流电阻值恢复正常，试验完毕顺利完成送电。送电完成之后的第1、4、10、30天对该主变变压器进行油色谱进行检测，试验数据合格。

结束语

通过对本次变压器油色谱超标问题的分析和处理，使得出以下结论

1) 通过变压器油色谱检测能够灵敏有效地检测出变压器内部潜伏性故障。

2) 对主变压器油色谱异常故障的诊断和定位应当结合设备的结构、运行工况、检修记录、带电和停电试验数据综合分析判断，得到最准确的结果，为停电吊罩检修提供指导和依据。EA

(收稿日期：2018.06.03)

(编辑：朱金凤)