

# 一起 500 kV 变压器油色谱数据异常的分析

应高亮

(金华电业局, 浙江 金华 321017)

**摘要:** 某 500 kV 变电站 3 号主变在投产试运行期间, 发现 B 相变压器油中溶解气体的色谱试验结果出现异常, 经过分析后判断设备内部发生过热故障, 在试运行期间及时退出运行, 进行缺陷分析和故障点的查找, 最终找到了故障点, 避免了变压器故障的进一步发展和事故的发生, 为今后新设备投运后的技术监督积累了经验。

**关键词:** 主变; 试运行; 溶解气体; 产气速率; 高温过热

**中图分类号:** TM407

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1007-1881(2010)08-0015-03

## Abnormal Data Analysis for Oil Chromatography of a 500 kV Transformer YING Gao-liang

(Jinhua Electric Power Bureau, Jinhua Zhejiang 321017, China)

**Abstract:** Chromatography test result of dissolved gas in Phase B transformer is found abnormal during the trial-run period of #3 main transformer in a 500 kV substation. The analysis shows that the fault is caused by overheating inside the device. The fault point is found eventually by fault analysis and fault point detection after timely withdrawal from trial run so that it prevents worsening of transformer fault and accidents and provides experiences for technical supervision of new equipment operation in future.

**Key words:** main transformer; trial run; dissolved gas; gas generation rate; high temperature overheating

分析变压器油中溶解气体的组分和含量是监视变压器安全运行的最有效的措施之一。大量的研究及实践经验表明, 变压器内部发生放电故障或局部过热时, 变压器油会分解出不同的特征气体。任何一种特征气体的产生速度都取决于故障热点温度, 热点温度或故障类型不同, 所产生气体组分的比例也不同。因此, 根据这些特点, 通过检测变压器油中溶解气体含量, 就能够及时发现设备内部的潜伏性故障。

### 1 故障概况

该 500 kV 变电站 3 号主变型号 ODFS-334000/500, 于 2009 年 7 月 7 日开始启动试验, 先后进行 220 kV 冲击 2 次、500 kV 冲击 6 次, 带负荷试验之后, 主变正式转入试运行。

500 kV 冲击试验后, 首次抽取主变油样进行色谱分析, 发现 B 相氢含量异常 (119  $\mu\text{L/L}$ ), 并有微量乙炔。初步分析认为, 氢含量异常是由

于取样前未将取样阀内的油全部放完造成的, 这种情况以前曾多次发生, 原因是某些取样阀内的油在催化剂作用下发生了脱氢反应, 使得阀内油中氢含量很高, 如果取样前未将阀内的油放干净, 就会使所取的油样中出现氢含量升高。

7 月 12 日上午, 带负荷试运行 11 h 后再次取样(先放掉取样阀内的油), 结果发现 B 相变压器油中烃类气体分析数据异常, 而氢含量则比前次大幅下降; A、C 相正常。当晚 8 时 20 分第二次取样, 试验结果显示 B 相烃类气体含量增长明显。此后又进行了几次跟踪试验, 试验结果见表 1。

鉴于试运行期间油色谱分析结果出现异常, 经研究决定, 该主变于 7 月 15 日 10 时 36 分退出运行。

### 2 故障判断

根据 GB/T 7252-2001 变压器油中溶解气体分析和判断导则规定, 500 kV 变压器油中溶解

气体含量的注意值如下： $H_2=150 \mu\text{L/L}$ ， $C_2H_2=1 \mu\text{L/L}$ ，总烃= $150 \mu\text{L/L}$ 。由于该变压器运行时间很短，虽然油中  $H_2$ 、 $C_2H_2$  和总烃这 3 项指标均未达到注意值，但仅仅根据这 3 项指标的绝对值来判断故障是不够的<sup>[1]</sup>。所以，针对本案，应采用产气速率的分析方法，因为产气速率与设备运行时间长短无关。产气速率分为绝对产气速率  $\gamma_a$  和相对产气速率  $\gamma_r$ ，计算公式分别为：

$$\gamma_a = \frac{C_{i2} - C_{i1}}{\Delta t} \times \frac{G}{\rho} \quad (1)$$

$$\gamma_r = \frac{C_{i2} - C_{i1}}{C_{i1}} \times \frac{1}{\Delta t} \times 100\% \quad (2)$$

式中： $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$  为前后两次取样测得的油中某气体含量， $\mu\text{L/L}$ ； $\Delta t$  为两次取样间隔时间，在式(1)中为日，式(2)中为月； $G$  为设备总油量， $t$ ； $\rho$  为油的密度， $t/m^3$ 。

新设备特征气体起始含量很低，从式(2)可看出，如果  $C_{i1}$  过小，即使  $C_{i2}$  与  $C_{i1}$  的差值不大也会使相对产气速率变得很大，而且  $C_{i1}$  的试验误差还会加大对相对产气速率计算值的影响。由此可见，对于本文案例宜采用绝对产气速率。

标准中对变压器绝对产气速率注意值的规定是： $H_2=10 \text{ mL/d}$ ， $C_2H_2=0.2 \text{ mL/d}$ ，总烃= $12 \text{ mL/d}$ 。从表 1 可知， $H_2$  含量波动较大且无规律。如前所述，这是受取样阀中存在脱氢反应的影响，显然在这种情况下计算  $H_2$  的产气速率对故障判断没有多大意义。

在该主变 B 相试运行期间，用式(1)计算  $C_2H_2$  和总烃的产气速率（运行时间 3.5 天，油重 70 t，油密度  $0.89 \text{ t/m}^3$ ），得到  $C_2H_2$  的绝对产气速率为  $15.5 \text{ mL/d}$ ，是注意值的 77.5 倍；总烃的绝

对产气速率为  $1128 \text{ mL/d}$ ，是注意值的 94.1 倍。据此判定该设备内部存在较严重故障。

该变压器油中主要故障气体组分为  $C_2H_4$  和  $CH_4$ ，次要组分为  $H_2$  和  $C_2H_6$ ，而且还出现微量  $C_2H_2$ 。根据改良三比值法判断，对应的故障类型是高温过热，故障点的温度高于  $700^\circ\text{C}$ 。若用特征气体法判断，故障类型符合油中过热特征，由于有  $C_2H_2$  的产生，故障点的温度在  $800^\circ\text{C}$  以上<sup>[1]</sup>。综上所述，该变压器内部肯定存在局部过热故障，且故障点的温度在  $800^\circ\text{C}$  以上。

### 3 返厂后的诊断性试验

变压器停役后，于 2009 年 8 月 3 日进入油箱查找故障，发现高压侧、中压侧下部人孔位置油箱底有苍蝇，其中高压侧人孔位置处苍蝇数量较多，其中 1 只苍蝇与其他相比，颜色发黄且硬度较大，此外未发现其它异常。制造商技术人员认为油色谱异常的原因是苍蝇，当苍蝇悬浮在高电场区域时，使电场畸变发生击穿，导致油中出现微量乙炔。但这个解释并不充分，真正的原因还有待进一步查找确认。由于现场条件有限，B 相变压器必须返厂作进一步检查。

变压器返厂后，进行了电压比测量及联结组标号检定、绕组电阻测量、绝缘电阻及介损测量、长时感应电压试验等项目的检查，结果均未见异常。在对油进行脱气处理后，又进行了变压器长期空载和负载试验（先空载后负载，时间均为 36 h），试验期间每隔 2 h 取一次油样进行色谱分析，部分分析数据见表 2。

从表 2 可知，变压器长期空载试验时，总烃含量有增长趋势，但在负载试验时增长速度反而

表 1 3 号主变 B 相油色谱分析数据

取样日期	$H_2$	$CH_4$	$C_2H_4$	$C_2H_6$	$C_2H_2$	总烃	CO	$CO_2$	备注
2009-6-17	3.60	0.54	0	0	0	0.54	3.33	53.2	投运前
2009-7-11	119	0	0.53	0.21	0.03	0.77	25.5	139	
2009-7-12	27.3	8.03	12.1	2.34	0.43	22.9	24.3	103	
2009-7-12	39.7	15.9	21.7	3.04	0.58	41.2	23.2	92.9	
2009-7-13	33.6	18.4	25.4	3.95	0.54	48.3	26.1	139	
2009-7-13	43.1	20.4	27.1	4.08	0.57	52.2	27.6	129	
2009-7-13	41.7	20.2	27.4	4.19	0.56	52.3	27.5	129	
2009-7-14	28.1	17.2	26.3	4.24	0.54	48.3	22.3	177	
2009-7-20	47.6	19.1	27.0	4.21	0.72	51.0	34.0	203	停运后

表2 变压器长期空载和负载试验时的油色谱分析数据  
μL/L

气体组分	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	总烃	CO	CO <sub>2</sub>
试验前	0	0.17	0	0	0	0.17	2	123
空载 8 h	2	0.99	2.10	0.25	0.04	3.29	5	191
空载 24 h	3	3.06	6.06	0.88	0.04	10.04	8	104
空载 36 h	3	3.71	7.08	1.16	0.04	11.99	6	120
负载 8 h	4	5.66	9.46	1.78	0.05	16.95	6	212
负载 24 h	5	5.61	10.52	1.77	0.05	17.95	9	185
负载 36 h	6	5.66	9.98	1.82	0.05	17.51	12	254

变慢，其它气体也有类似情况。由于吸附在变压器内部固体材料中的气体在油脱气处理后会有一个向油中转移的平衡过程，使油中的气体组分含量出现增长，因此，脱气后油中气体含量的增长是由故障引起还是由原来的残余气体引起很难区别，从而很难对这次长期空载和负载试验期间的色谱分析结果作出正确判断。

#### 4 解体检查结果

由于变压器返厂后的诊断性试验也未能找出原因，决定吊出器身作进一步检查。2009年10月17日对铁心、夹件、油箱磁屏蔽等部位检查，结果未见异常。10月22日进行分体检查，结果发现：高压侧主柱铁心表面从最小级算起的第4级铁心片，距铁窗下铁轭上表面约450 mm处与之接触的一根撑棒表面有发黑痕迹，其中部分已碳化，长度约100 mm。紧邻该撑棒碳化点还有一段（约700 mm）熏染发黑痕迹，但没有碳化。这支撑棒上有1个直径约2 mm的小孔，小孔内有污染。另外铁心接地屏最内层纸筒与该支撑棒碳化处接触部分有熏染发黑痕迹。检查撑棒过热点对应的铁心部分，未见毛刺或形成片间短路，铁心端面光滑，没有过热形成的烧熔，铁心完好无损。同时对调柱及旁柱也进行了认真细致的检查，检查结果未见异常。

在对问题撑棒进行X光透视后，未发现金属异物。对撑棒材质进行分析后，认为这次变压器故障的原因是该支撑棒受到了污染或存在腐蚀发生霉变，绝缘性能下降，与铁心片接触后在铁心端面形成局部涡流产生局部过热。由于撑棒与铁心紧密接触，散热条件很差，使支撑棒局部过热而发生碳化，造成了变压器油色谱数据异常。

确认故障性质后，将铁心主柱第四级与撑棒

接触的表面用酒精彻底清洗，去除撑棒碳化遗留物，清洗完毕后涂绝缘清漆予以保护并恢复片间绝缘，更换故障和有拆损的撑棒，严格按工艺要求进行修复和试验。变压器修复后于2010年1月20日投入运行，投运后油色谱数据正常。

#### 5 总结

通过本次变压器油色谱分析数据的研判，总结注意事项如下：

(1)要高度重视新变压器投产前后和试运行期间的油色谱分析。当主要特征气体有明显增长，特别是有微量C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>出现时更应高度重视。

(2)当新投产变压器的油中特征气体没有超注意值，但发现异常需进行故障判断时，应首先采用产气速率法判断故障性质和发展的速度，然后采用改良三比值法和特征气体法综合分析判断故障点的具体温度，确定故障的严重程度。

(3)取油样前一定要先将取样阀内的油放干净，以免所取的油样失去真实性。

(4)当发现油中特征气体含量异常，在故障未查明之前，若需设备继续运行（或进行空载和负载试验）并根据油中气体含量的变化作进一步观察时，宜暂缓对油进行脱气处理，以利于故障的诊断。

(5)制造厂商要严格把好材料关，严格控制制造工艺，严格遵守存储和运输的要求，防止变压器质量事故的发生。

(6)现场安装过程中，特别是铁心内部检验时要采取有效措施，防止苍蝇等昆虫飞进变压器铁心，以确保变压器内部的绝缘良好。

#### 参考文献：

- [1] GB/T 7252-2001 变压器油中溶解气体分析和判断导则 [S]. 北京：中国电力出版社，2001.

收稿日期：2010-06-08

作者简介：应高亮(1958-)，男，浙江永康人，高级工程师，长期从事电力系统过电压保护、技术监督与变电运行检修技术管理工作。

(本文编辑：龚皓)