

变压器油化验在数据分析与诊断中的应用

Application of Transformer Oil Assay in Data Analysis and Diagnosis

柴金慧

Jinhui Chai

国网吉林省电力有限公司长春供电公司 中国·吉林 长春 130000

State Grid Jilin Electric Power Co., Ltd. Changchun Power Supply Company, Changchun, Jilin, 130000, China

摘要: 论文基于变压器油的性能指标及验收标准, 提出利用色谱分析故障的原理, 明确了变压器油化验在数据分析与诊断中的应用流程, 以在实际运用中发生的案例说明 500 kV 变压器油色谱分析数据异常的故障诊断与检查, 其过程可供参考。

Abstract: In this paper, based on the performance of the transformer oil and the acceptance standard, put forward by using the principle of chromatographic analysis fault, has been clear about the transformer oil test in the diagnosis of data analysis and process, in the practical application in case of 500 kv transformer oil chromatographic analysis showed abnormal data of fault diagnosis and inspection, the process for reference.

关键词: 变压器; 油化验; 故障诊断; 分析

Keywords: transformer; oil analysis; fault diagnosis; analysis

DOI: 10.12346/peti.v4i4.6996

1 引言

新变压器在投入试车时, 应特别注意油品中溶解气体的测定, 当出现异常时, 通常结合产气率测定来更好地判断装置的实际状况; 在取油样品时需注意, 必须将采样阀中的死油全部排出, 否则会影响样品测定数据的真实性。同时, 在发现油品中的特定气体含量不正常时, 如果设备需要继续运行(或者进行无负荷测试和负荷测试), 需要通过油品中的气体成分的改变趋势来进一步观察, 结合变压器油化验项目结果判断设备实际工作情况, 进而采取有效措施解决故障问题。

2 变压器油的性能指标及验收标准

2.1 物理性能

2.1.1 界面张力

界面张力是指在油品中, 存在与其他不相溶的相间的界面上形成的张力。界面张力测定反应油质变质情况, 对可溶性杂质非常敏感, 在老化早期, 界面张力老化速度较快, 至老化中期, 其转变速率也有所下降, 在油泥的形成上有显

著的提高。所以, 界面张力的大小, 可直接反映出新油纯度以及油品的老化状态, 变压器油与纯水的界面张力一般在 40~50 mN/m, 当通过测定界面张力下降到 19 mN/m 时, 油液淤渣就会沉淀下来。

2.1.2 闪点

在变压器油中, 闪点属于非常重要的安全指标, 可以识别出油品火险。闪点下降表明在油品中存在易燃气体的生成, 其是由易燃性气体在电气设备内部产生, 因局部温度过高, 电弧放电引起。一般来说, 其不会对其他的润滑油指标(黏度、密度)产生影响, 则闪点愈高愈好, 其超限温度在 130 °C 以下或低于上一次测试的 5 °C。超过限制的原因有两个: 设备局部过热的的问题; 加入错误机油。对于闪点超过限值, 可以采取以下措施: 找出问题的根源, 排除故障; 对真空过滤器进行脱气或更换适合的机油。

2.1.3 黏度

油品的黏度与变压器的冷却效果产生的关系较为明显, 其黏度越小, 流动性则越高, 冷却效果也会更好, 另外, 低黏度的变压器油可以通过狭窄的油路, 渗透到绝缘层中, 使

【作者简介】柴金慧(1988-), 女, 中国辽宁朝阳人, 硕士, 高级工程师, 从事电气试验研究。

其在线圈内完全流通,发挥绝缘和冷却作用。

2.1.4 凝点(倾点)

凝点、倾点是反映油品低温流动性的重要参数。凝点是指在特定的情况下,液态油品因失去了流动性而出现的最高温度,而倾点是指在某一特定情况下,油品流动所能达到的最低温度,变压器油的凝点和倾点是使用中的关键。若凝点(倾点)较低,且在低温条件下,则可维持低黏度,变压器油正常流动,确保发挥油品的散热作用,保证设备得以正常运转。随着温度的降低,其黏度逐渐增大,直至达到半固态。所以,在寒冷地区使用的变压器,其油的倾点一定要小。

2.1.5 密度

密度是指单位体积的油品质量,其单位是 g/cm^3 或 kg/m^3 ,密度测定结果与温度息息相关。中国对原油及其制品在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 下的密度进行了统一的规范。在低温环境中,为防止因变压器油中水分含量高而产生的浮水,其变压器油密度不得超过 0.895 g/cm^3 ,一般来说,变压器油密度可保持在 $0.8\text{--}0.9\text{ g/cm}^3$ 。

2.2 化学性能

2.2.1 水溶性酸

水溶性酸是指在水中溶解的各种无机酸、碱、小分子的有机酸、碱等,这些物质的形成,主要是外来物质的掺杂,以及自身的氧化作用。在外部环境(温度、氧)下,其会腐蚀固体绝缘和金属零件,从而影响润滑油的使用寿命,其超极限值为4.2。超过限制的原因有两个:机油质量的老化,机油被污染。对于超过限制的水溶性酸,可以采取以下措施:加大测试次数,对比酸值,找出问题的根源。对机油进行再生,如果经济允许可进行换油处理。

2.2.2 酸值

酸值是影响油品老化程度的重要因素,其酸值为有机酸与无机酸之和。一般情况下,新油中不含无机酸,测定的酸值以有机环烷酸为主。运行油受运行条件的影响,导致油液氧化生成小分子、大分子的有机酸。且由于变压器油中含有酸性物质,从而导致变压器的绝缘性能下降,内部容易出现受侵蚀情况,使设备寿命缩短。

其超限值在 0.1 mgKOH/g 以上。超过限制的原因有4个:过载、消耗抗氧化剂;机油不足;机油受到了污染。对于超过限值的酸值,可以采取以下措施,需查明问题根源,合理加大测试的次数,结合抗氧化剂的含量,抗氧化剂含量不足时进行补充操作。

2.3 电气性能

2.3.1 击穿电压

变压器油的击穿电压是检测其承受极限电应力的一种状态,对确保装置的安全运行发挥十分关键作用。一般来说,运行油出现击穿问题后会直接导致设备出现损坏,油的击穿电压取决于干燥及被污染的程度,水分与悬浮杂质对其电压的影响较大,其超限在 20 kV 以下。超过限制的原因为:油品含水量较高;油品内部杂质颗粒出现污染。对于超过限值

的击穿电压应采取以下措施:找出故障原因,采用真空滤油处理,在更换新变压器油前应对压力过滤器进行清洁,一般采用ZJB型真空滤油器进行处理后,油品验收时的击穿电压必须在 50 kV 以上^[1]。

2.3.2 介质损耗因数

介质损耗系数是指在油品中泄漏电流所造成的能量损耗,该介质对于判断其油品质量以及污染程度较为关键,其主要反映的是油品中是否含有污染物以及所包含的极性杂质等。当油质出现老化或混入有关的杂质后,其用化学手段无法被检测,可通过介质的损失系数将其区分开来,因此其对于判断新油的提纯、运行油的老化、污染状况等都具有一定的参考价值^[2]。

3 油色谱分析的原理

变压器的绝缘作用主要是通过变压器油和绝缘材料实现,变压器油与固体绝缘材料等,可在变压器正常运行时,对导体起到很好的保护作用,从而使变压器保持正常运行状态。

变压器油是一种从原油分离出的油,其含有一些化学有机物,如:烷烃、环烷族饱和烃。变压器在实际运行过程中,由于发热、击穿等情况发生,油品及固定绝缘材料等的成分会产生化学反应,裂变产生一些小分子气体,这些气体与变压器油溶解结合,以后会使油品色谱发生变化,出现不同的颜色,特别是变压器发生故障时,油的色泽变化最为强烈。当变压器内部发生机械故障时,变压器油与绝缘材料发生的化学反应会更加激烈,而且会产生大量的气体。因此,变压器油的层析结果差异明显。最后,由于变压器所造成的故障类型不同,油呈现的颜色也不同,正是因为变压器油和设备发生故障之间存在着内在的关系,所以,通过观察变压器油的层析可以大致判断出变压器出现故障的类型^[3]。

4 变压器油化验在数据分析与诊断中的应用

4.1 取出一定量的变压器油

用变压器油色谱法对变压器的故障类型进行判别,需要对其进行多道工序的操作。在此需准备一定量的变压器油,对其进行观察颜色、机械杂质等外观检查后,注入注射器中备用^[4]。

4.2 分离变压器油中气体

根据变压器油的色泽初步判断变压器的运行状态,随后对变压器油中溶解的气体进行分离,此步骤需要将变压器油样品转移至真空脱气设备,采用脱气设备进行气体和液体的分离操作,可将变压器油中所溶解的各种气体和油质液体分离开来,用于后续的检测工作。

4.3 通过检测仪测定

在进行气体检测时,利用脱气设备从变压器油品中分离气体,随后将这些气体注入检测器中。气体检测仪会根据气体的组成、化学成分进行分离,计算相应气体的数据,计算

机依据设备检测信号转化成波形进行显示,以便进行后续分析^[5]。

4.4 判断故障种类

通过对变压器油中溶解气体含量进行分析判别,可按照其分析结果合理判断出变压器内部所出现的故障类型,并针对该故障采取针对性修复措施予以解决,进而避免因故障导致变压器停运造成的经济损失。

5 500 kV 变压器油色谱分析数据异常的故障诊断与检查

5.1 变压器故障发现过程

某500 kV变电站于2021年5月17日正式投入运行,3号主变在5月19日进行了冲击试验。在进行了4次500 kV的冲击测试后,进行了负荷测试,5月21日主变开始试车。

5月21日第一次对原油样品进行了层析,结果显示B相的氢气浓度为119 uL/L。经过采样人员对其的采样和分析,将其故障定义为,样品中的氢气含量异常,可能是采样之前没有将采样阀门中的死油排出所致。因有些采样阀的阀体中含有某种催化脱氢反应,从而导致阀门中的油产生脱氢,存在大量的氢气,如果采样之前不彻底清除阀门中的死油,那么所得到的油样中的氢气就会增加。

5月22日,进行二次采样(将大部分的漏油排出后进行),结果显示B相碳氢化合物分析出现异常情况,而且氢气的浓度也明显降低。A、C相正常。

第三次采样结果发现B相碳氢化合物的含量有了显著的增加。随后的数日内,又进行了数项追踪实验。由于B相油层析分析在试验过程中发现了不正常的现象,经过研究,采取了如下的故障分析与处理:

规程中对于500 kV变压器的油中溶解气体浓度要求分别为 $H_2 \leq 150 \text{ uL/L}$, $C_2H_2 \leq 1 \text{ uL/L}$,总烃 $\leq 150 \text{ uL/L}$ 。由于变压器的工作周期较短,三类指标 H_2 , C_2H_2 与总烃都没有达到限值,故采用特征气体的方法并不适合于这种情况。而产气率则是指在一定时间内,根据500 kV变压器气体含量增长速度,其与装置内的工作时间无关。因此,在故障诊断与检查中,可采用特征气体含量法相比,按照产气率方法进行故障判定更为恰当。气体增长率可划分为绝对产气率和相对产气率,其计算公式如下:

$$ya = \frac{c_{i2} - c_{i1}}{\Delta t} \cdot \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

$$yr = \frac{c_{i2} - c_{i1}}{c_{i1}} \cdot \frac{1}{\Delta t} \cdot 100\% \quad (2)$$

在以上的公式中,ya是以mL/d表示的绝对产气率;yr是以%/月计的相对产气率; C_{i1} 和 C_{i2} 为前、后两次采样测量的油品中的某一种气体,以uL/L表示; Δt 为两个采样时段内的实际运行时间,在公式(1)中,以天(d)为单位,在公式(2)中以月表示;m是以重量吨t表示的装置的总

油重; ρ 是以 t/m^3 计的油的密度。

需要注意的是,用产气率方法进行新装置故障判定时,投运初期特征气体含量非常低,会有一个气体含量急剧增长的阶段,相对产气率的测定结果不具有可参考性。由公式(2)可知,若分母 C_{i1} 太小,则相对气体生成率会非常大,甚至在 C_{i2} 和 C_{i1} 之间的差异不大时气率也较大,而且分母 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,对于新设备宜采用绝对产气速率方法^[6]。

在标准中,对变压器绝对产气率的要求为, $H_2 \leq 10 \text{ mL/天}$, $C_2H_2 \leq 0.2 \text{ mL/天}$,总烃 $\leq 12 \text{ mL/天}$ 。一般来说, H_2 的含量变化较大,并无规律,这是由于采样阀门内的脱氢作用,所以在此条件下, H_2 的产气率不能很好地判断故障。

根据设备运行时间、油量、油密度和两次测定的气体浓度,对 C_2H_2 和总烃的产气率进行计算,获得15.5 mL/d的 C_2H_2 的绝对产气速率,为注意值的77.5倍;总烃产气率为1128 mL/d,比注意值高94.1倍;从这一点来看,500 kV变压器故障问题较为严重。故障气体以 C_2H_4 、 CH_4 、 H_2 为主,同时存在少量 C_2H_2 。这种装置的失效形式与高温过热特性相一致。如果采用改进的三比值方法进行判定,则所得到的编码组合为002,其故障类型也属于高温过热。

5.2 故障检查结果

因变压器返修后的诊断测试也没有发现问题,故决定将其吊芯进行进一步的检验。该检查主要针对变压器铁芯、夹件及油罐的磁屏蔽进行了检验,结果未见异常^[7]。

次日,开展分离的检验,拆卸上部的钢軛,将主柱器身从钢心柱中抽出,并对其内部和核心进行了细致检查,结果发现:第四级铁心板,在高压侧主柱芯最小段开始,其与铁窗下铁軛上表面大约450 mm的一根支撑杆的表面有黑色的痕迹,其中存在碳化部分的长度为100 mm,在支撑杆周围有一条大约700 mm的黑色痕迹,但没有碳化,这只是因为其下部碳化导致了上部的灰化,小孔内部存在污染,此外,芯板最里面的一层纸管和支撑杆的炭化部位有烧焦的迹象。检查支撑杆通过热源的芯部,芯部表面平滑,不存在因高温而产生的熔化现象,且芯部完整。同时,还仔细地检查了调整柱和旁柱,没有发现任何异常现象^[8]。经X光检查,没有发现任何金属异物。通过对支撑杆材料等因素的深入研究与分析,分析结果表明500 kV变压器故障是由于支撑杆被污染或者由于腐蚀而导致的发霉问题,当钢芯与铁芯接触时,会在铁芯表面形成局部的旋涡,造成局部过热。因为散热器的温度很低,所以支撑杆会因为过热而碳化,导致变压器油发生过热反应,使色谱分析结果显示为异常^[9]。

6 结语

综上所述,变压器油中溶解气体分析是当前电力系统和其他变压器应用领域广泛采用的一种检测手段,油中溶解气

体含量的变化是反映变压器工作状况的最为准确的指标，这对今后变压器的故障检测应用具有重要的指导作用。通过对变压器油中溶解气体含量进行识别和分析，可以发现设备运行的健康状况，通过进一步的故障检测与分析处理，达到设备健康稳定运行的目的。

参考文献

- [1] 耿珊.电力变压器油的化验技术分析[J].现代工业经济和信息化,2021,11(8):179-180+183.
- [2] 刘佳佳.电力变压器开展油化验工作的必要性分析[J].今日自动化,2020(8):102-104.
- [3] 吕爽,钱壮,黄露,等.变压器油色谱分析二次脱气法研究及应用[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2020,25(1):74-78.
- [4] 陈微,缙振华.绝缘油化验分析在大型变压器故障查处中的应用[J].百科论坛电子杂志,2020(19):3899.
- [5] 冯敬凌,唐倩.变压器油化验技术要点及影响探讨[J].建筑工程技术与设计,2020(33):2820.
- [6] 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.
- [7] 黄旭,王骏.变压器油中溶解气体分析和故障判断[J].石油化工设计,2021,38(2):39-41.
- [8] 张又文,冯斌,陈页,等.基于遗传算法优化XGBoost的油浸式变压器故障诊断方法[J].电力自动化设备,2021,41(2):200-206.
- [9] 杨祥,宗和刚.500kV变压器油色谱在线监测装置故障处理[J].云南水力发电,2021,37(3):148-151.