

# 油色谱分析法在变压器油油质监督中的应用

贾喜龙 白旭 王清泉

北京惠通盛电力工程有限责任公司房山分公司 北京 102488

**摘要:** 通过实际案例分析, 阐述电网运行中最常见的一次设备变压器设备的运行、维护经验, 对变压器油油质监督中油色谱分析方法, 通过采用油色谱分析及统计数据, 切实保障油质的合格性, 及时辨别出变压器内部所存在的潜伏性故障和故障的性质, 提出防范措施, 实现变压器的不停电检测, 进而提高变压器整体的运行质量。

**关键词:** 电网运行; 变压器油; 油色谱分析; 油质监督

## Application of oil chromatogram analysis in transformer oil quality supervision

Jia Xilong, Bai Xu, Wang Qingquan

Fangshan Branch of Beijing huitongsheng Power Engineering Co., Ltd., 102488, Beijing

**Abstract:** Through the analysis of practical cases, this paper expounds the operation and maintenance experience of transformer equipment, the most common primary equipment in power grid operation. For the oil chromatographic analysis method in transformer oil quality supervision, through the analysis of oil chromatogram analysis technology and statistical data, effectively ensure the qualification of oil quality, timely identify the latent faults and the nature of faults in the transformer, put forward preventive measures, realize the uninterrupted detection of transformer, and then improve the overall operation quality of transformer.

**Key words:** Power grid operation; Transformer oil; Oil chromatogram analysis; Oil quality supervision

引言: 变压器是通过电磁感应原理改变交流电压, 可以实现电压、电流、阻抗的变换, 是发电站、变电所的关键设备。如果变压器出现故障, 则可能出现过电压、过电流, 造成变压器温度快速升高, 破坏变压器的绝缘体, 甚至引起火灾, 造成大范围的停电。因此, 需要定期对变压器的故障进行诊断分析, 找到变压器故障的原因。油色谱分析是根据电气设备的内部故障, 用气相色谱法测定绝缘油中氢气、氧气、乙炔等溶解气体的组分含量, 从而判断出绝缘油是够存在过热、局部放电、变质等现象, 确保电气设备的运行安全。受到一些客观因素的影响, 设备长时期使用会导致变压器出现故障。这就要求技术人员要合理应用变压器油色谱对其中的故障进行判断。

### 油色谱分析方法

油色谱分析方法是根据变压器绝缘油中特定的烃类气体产生的速率与变压器温度有关, 在一定的温度条件下, 绝缘油的某一种气体产生的速率出现最大值。变压器在正常情况下, 绝缘油中包括2.7%的氧气, 69%的氮气和0.3%的二氧化碳, 变压器的绝缘油和绝缘固体缓慢变质、老化, 并分解出少量的甲烷、乙烷、乙炔、一氧化碳气体。当变压器的温度升高, 则变压器的产气率按照大小依次是甲烷、乙烷、乙烯、乙炔等气体, 说明变压器的温度与溶解气体的含量存在一定的线性关系。如果压器出现局部过热、局部放电等异常情况。

表1 为变压器不同故障产生气体的原因。

序号	气体名称	气体产生的主要原因
1	氢气	局部放电、绝缘油、固体绝缘热分解水分
2	一氧化碳	固体绝缘受热分解
3	二氧化碳	固体绝缘受热分解
4	甲烷	绝缘油和固体绝缘热分解、放电
5	乙烷	固体绝缘热分解、放电
6	乙烯	高温热点下油和固体绝缘热分解、放电
7	乙炔	弧光放电、绝缘油和固体绝缘高温过热分解

根据变压器不同故障产生气体的原因, 变压器故障气体大部分溶解在绝缘油中, 只有少量析出的气体漂浮在绝缘油表面并进入到继电器。说明绝缘油气体的成分含量与变压器故障性质相关。因此, 需要定期检测变压器溶解在绝缘油中的气体成分含量, 从而及时发现绝缘油内部潜在故障。

在对变压器油色谱分析的作用机制进行研究的过程中, 发现变压器油是石油内部中的矿物油, 在其中包含比较多的绝缘成分, 这些物质能够对变压器故障问题进行快速地诊断。部分研究人员对矿物绝缘油的组成进行了研究, 发现其中主要包含了烷烃和芳香族等饱和烃。其固体的有机绝缘物质的, 还包含了纤维素, 所以加强变压器油色谱分析在故障检测中的有效应用, 可以及时发现其中的问题。此外, 在应

用这种方式进行故障诊断的时候, 会伴有氢气、甲烷和乙烯等少量气体排出, 如果在此过程中一旦变压器内部出现了故障, 这类气体的释放量就会快速增长。如变压器的故障点所处的温度比较低范的时候, 甲烷就会在气体释放中的比例不断增长。当其中的温度提高时, 乙烯和氢气的比例会增长, 工作人员可以通过对 $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{CO}$ 和 $\text{CO}_2$ 等特征气体的判断, 对变压器进行检修。此外, 人为, 或者是机械设备故障也会引起变压器油色谱出现异常, 因此在对变压器, 从而更快速地发现和准确地发现导致变压器故障的原因。

## 1 变压器油类型及基本功能

### 1.1 变压器油类型

变压器油是指适用于电抗器、变压器、套管、互感器等充油电气设备中, 起冷却和绝缘作用的一种绝缘油品, 属于从天然石油中提炼出来的一种分馏产物; 它的油号主要有10号、25号、45号。

### 1.2 变压器油的基本功能

变压器油的基本功能主要包含以下4个方面: ①绝缘功能, 绝缘油的绝缘强度比空气高很多, 当油浸变压器充有绝缘油时, 可以通过提高纤维绝缘和油隙的绝缘强度, 进而提高设备的绝缘性能; ②散热功能, 充油变压器有风冷和水冷两种冷却方式, 变压器运行所产生的热量传递给油, 然后又通过油的对流或者强迫油循环作用, 将热量通过冷却器和油箱壁散出, 从而完成热量传递; ③信息载体的功能, 当变压器的运行状态不正常时, 就会通过其特征气体的含量变化体现出来, 具有信息载体功能, 运维人员从中获取信息, 进而判断其内部存在的潜伏性故障; ④保护的功能, 变压器油能隔离空气、水分与内部的相关器件相接触, 诸如铁芯、线圈, 从而避免受潮。

## 2 变压器油色谱分析方法

气相色谱法: 利用被测样品中不同组分在流动的气相中具有不同的分配系数, 而将其进行分离, 并在检测器中进行识别的分析方法, 称为气相色谱法。

### 2.1 绝缘油取样

为了能够得知绝缘油的相关监督项目数据, 就需要通过油化试验来完成, 绝缘油取样就显得至关重要, 绝缘油取样的成功与否, 一方面为保证油化结果的准确性打下一定的基础, 减小误差; 另一方面避免试验失败, 工作人员再次对其取样。色谱试验所需的油样, 用100ml注射器来进行取样。取样前的准备工作: 注射器用洗涤剂、自来水、蒸馏水依次对其清洗, 放在鼓风干燥箱(温度设置 $105^\circ\text{C}$ )里进行干燥, 待冷却后, 检查气密性完好与否, 注射器芯塞有无卡塞现象(针筒套与针筒是否匹配), 之后用注射器胶帽盖住头部, 并粘帖相应标签放于取样箱待用。取样时的注意事项: 变压器油的取样一般有3个部位, 变压器本体侧面的上、中、下位置各配置1个取样阀, 日常监督过程的取样通常在下部位置进行(此处位置的油样具有代表性)。取样前, 先用纱布/无尘纸擦净取样阀, 接上取样用的管子, 转动三通阀、变压器本体, 取样阀对管路之前的废油进行冲洗, 结束后, 在三通阀位置处接上注射器开始

油样取样(先用油对注射器冲洗3次, 可避免注射器卡塞, 同时保证注射器的密封性)。当变压器油充至 $40\sim 50\text{ml}$ 时, 开始对其进行排气(原因为减小测量误差), 为了能得到较为准确的 $40\text{ml}$ 油样, 在排气时, 将注射器竖直放置, 平视读取数据, 在排尽气体且刻度线位于 $40\text{ml}$ 时, 将充满油的注射器胶帽盖住其针筒头部, 完成取样。

### 2.2 离线分析

为了能够得到氢气( $\text{H}_2$ )、甲烷( $\text{CH}_4$ )、乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )、乙烯( $\text{C}_2\text{H}_4$ )、乙炔( $\text{C}_2\text{H}_2$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )的含量, 通常采用安捷伦7890A/7890B仪器进行分析, 试验所需设备主要由色谱仪(使用FID检测器和TCD检测器实现对组分的检测)、色谱分析工作站、多功能全自动振荡仪、全自动空气发生器、氢气发生器、标气瓶、氮气瓶组成。试验前准备工作: 仪器开机, 先开三路气源: 氮气、氢气、空气, 然后开主机电源, 等待显示自检正常后, 调用开机程序, 按面板上的LOAD+METHOD键+1(或2)+ON, 仪器自动调用开机程序, 待温度达到设定值并稳定一段时间, 观察A、B通道基线平稳情况。A、B通道的基线走向应该是1条平稳的直线(以保证正常出峰), 一般将纵坐标量程限值设置在 $\pm 1\text{mv}$ 以内, 便于人工识别各组分的图形。在进行样本气体检测前, 需进行标样校正(每次开机均需做此项工作): 先将标气瓶左右摇晃几下, 以保证瓶内的气体混合均匀, 后用双针头将取样口至减压阀管道内的残存气体排出, 用注射器抽取 $1\text{ml}$ 气体。

反标: 反标的意思是将 $1\text{ml}$ 标气当做样气, 注入设备内, 将检测结果与标气组分含量进行对比, 一般要求误差在 $\pm 5\%$ 范围内, 说明之前注射标气的准确性。紧接着可以开展样本气体含量检测。根据检测结果可知,  $\text{CO}:991.6\text{ppm}$ ,  $\text{CH}_4:103.6\text{ppm}$ ,  $\text{CO}_2:2\ 988.3\text{ppm}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4:98.9\text{ppm}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6:99.2\text{ppm}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2:50.1\text{ppm}$ ,  $\text{H}_2:1\ 051.7\text{ppm}$ , 各含量分别与标气含量 $\text{CO}:1\ 006\text{ppm}$ ,  $\text{CH}_4:100.5\text{ppm}$ ,  $\text{CO}_2:3\ 039\text{ppm}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4:100.2\text{ppm}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6:101\text{ppm}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2:50.49\text{ppm}$ ,  $\text{H}_2:1\ 005\text{ppm}$ 对比, 误差范围均在 $\pm 5\%$ 以内, 标气校正正确, 可以进行样品测试。

### 2.3 故障识别

通过油中溶解气体色谱分析, 一般可以判断出故障性质。变压器油中溶解的特征气体可以反映故障点引起的周围油、纸绝缘的热分解本质。气体组分特征随着故障类型、故障能量及其涉及的绝缘材料的不同而不同, 一般有过热、局部放电、火花放电、电弧放电、过热兼电弧放电等故障。特征气体判断故障的方法, 比较直观, 也有较强的针对性, 但是没有明确量的概念, 因此, 引用改良“三比值”法来判断变压器所存在的故障(瓦斯继电器中的气体和正常变压器油不适用于“三比值”法)。当油中溶解气体含量超过注意值(氢气组分注意值:  $150\text{ppm}$ , 乙炔组分注意值:  $1\text{ppm}$ , 总烃组分注意值:  $150\text{ppm}$ )或出现乙炔时, 应缩短检测周期, 并且结合产气速率来判断故障性质。

### 3 多样化数据分析

在设备运行过程中,可以借助以下辅助手段,对变压器运行状况进行实时监督。

#### 3.1 油色谱在线监测系统

通过该系统,可以及时查看相关色谱数据,也可以查看相应数据列表、趋势变化图、大卫三角形、三比值立方图等综合判断变压器存在的潜伏性故障,某主变某一次色谱数据的大卫三角形图形,见图1。

#### 3.2 工业互联网系统

在运行监盘时,有周期性的通过工业互联网系统,及时查看变压器油温、油位、负荷所对应的曲线趋势关系,综合判断变压器的运行状态是否正常。

### 4 油质监督周期

变压器油的监督项目很多,主要包括外观、密度、运动黏度、倾点、凝点、酸值、闪点、腐蚀性硫、氧化安定性、水溶性酸、击穿电压、介质损耗因数、界面张力,水分,含气量等,每种项目的检测周期不一样。运行油的质量随所含杂质、老化程度的不同而产生很大变化,不能单凭任何一种试验项目,就作为评价油质状态好坏的依据,而应综合多种相关联的主要特性指标进行分析(油中溶解气体色谱分析除外)。油中溶解气体色谱检测周期在设备投运后1d、4d、10d、30d各做1次检测,正常运行后,则每隔3个月检测1次(离线检测)。对于油色谱在线监测系统的检测周期可根据设备维护单位的需要而自由设定,可以1d检测1次或1个月检测1次。

### 5 实例分析

#### 5.1 实例1

某电厂3号主变压器冷却方式为强迫油循环风冷,额定容量为370MVA。该电厂运维人员在例行的绝缘油色谱分析气体中,发现相关数据异常,乙炔:1.85ppm,总烃:343ppm,可燃气体含量升高,明显大于相应的注意值,且异常数据有增大的趋势,根据三比值法进行相关计算,编码组合为022,属于高温过热故障。通过外部排查、相关电气预防性试验、内部检查发现,在进行无载分接开关动触头切换时,发现高压侧A相分接开关的3档位动、静触头处均有放电点。经相关处理后,设备恢复正常运行。

#### 5.2 实例2

某电厂500kV主变压器的额定电压是525/18kV,额定容量是340MVA。在对其中的1台变压器进行油色谱跟踪分析时,发现总烃含量出现3次突增,通过改良三比值法,计算得到其编码为021,属于中温过热故障,通过内部检查,发现低压侧线圈的出线头处有明显的过热痕迹,经过对油质过滤、热油循环及相关试验合格后,设备运行正常。

### 6 变压器油色谱异常的解决方法

由于技术水平等因素的影响,变压器油色谱在实际的应用过程中会出现问题。相关的实践经验发现,变压器油色谱出现异常与一些微量的金属元素含量有关,当这些元素含量不同的时候,就会导致变压器的内部出现铁芯短路等问题,

如果这种情况得不到及时解决,就会在一定程度上对变压器的正常运行带来影响,如果出现了上述问题,工作人员要及时与生产厂家联系,同时还要掌握变压器油色谱异常的处理方式。(1)技术人员在对变压器有无故障进行判断时,要按照变压器油的总烃含量和产气速率,对色谱进行分析,合理应用变压器油色谱分析方法对其故障类型和位置进行有效判断。在过程中,要依据色谱分析的总烃绝对值,或者是产气速率对其中的“注意值”进行整合,保证变压器运行的稳定性。其中的“注意值”指的是变压器在正常运行状态下,油内部中的各种气体类型和所占比例。(2)如果在诊断中,发现总烃绝对值高于“注意值”,但是低于此数值的3倍,并且其中的总烃气体释放速率要比“注意值”低,这个时候我们就可以判断变压器内部存在故障,要对其进行检修。此外,如果总烃比“注意值”高,但是却低于“注意值”的3倍,并且在此过程中,总烃气体的释放速率会维持在“注意值”1~2倍的区间,这就说明在变压器的内部存在故障,工作人员要缩短试运行周期,然后对故障的发展趋势进行检测,为变压器的安全运行提供保障。

结语:油色谱分析方法是油质监督中的一种类型,重要性不言而喻。结合运行、维护经验,对油色谱分析做重点阐述,旨在说明其对变压器油质监督的重要作用,通过离线分析与在线分析综合诊断,及时发现变压器内部潜伏性故障及故障类型,运维人员根据分析结果,制定可行的解决方案,为变压器的安全、稳定运行提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]白登文.变压器油色谱分析及故障判断[J].化学工程与装备,2019(06):287-288.DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2019.06.115.
- [2]张文峰,李英,周丹,林春耀,陆旭甲,胡伟,姚森敬.变压器绝缘击穿试验的油色谱分析[J].广东电力,2018,31(08):69-74.
- [3]尹河.变压器油色谱分析及故障诊断[D].河北科技大学,2018.
- [4]李恩文,王力农,宋斌,方雅琪.基于改进模糊聚类算法的变压器油色谱分析[J].电工技术学报,2018,33(19):4594-4602.DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.171393.
- [5]林丽兰.变压器油色谱分析与故障诊断[J].无线互联科技,2017(17):118-119.
- [6]谢荣斌,薛静,张霖,申峻,李琪茜,雷勇,赵莉华.基于油色谱分析的变压器故障诊断与应用[J].广东电力,2017,30(08):117-121.
- [7]申奥.变压器油色谱分析诊断技术[J].中国新通信,2017,19(13):101.
- [8]蒋勤稷.用于变压器油色谱分析的气敏传感器特性研究[D].湖南大学,2017.

作者简介:贾喜龙(1986.8.25——),男,汉族,内蒙古呼和浩特市,本科,油务员技师。