

# 变压器油中溶解气体的分析及故障判断措施

张增祥 宋志尚 王怡凡

天津平高智能电气有限公司 天津 300300

**摘要:** 随着工业化进程的加快, 变压器作为一种重要的电力设备已经广泛应用于电力系统中。在变压器的使用过程中, 由于各种因素的影响, 变压器油中溶解气体的含量会发生变化, 这些气体可能对变压器的绝缘性能造成损害, 进而导致变压器的故障。因此, 对变压器油中溶解气体的分析及故障判断措施的研究显得十分必要。本文就此展开了探讨。

**关键词:** 变压器; 溶解气体; 故障判断; 措施

## Analysis and fault judgment measures of dissolved gas in transformer oil

Zengxiang Zhang Zhishang Song Yifan Wang

Tianjin Pinggao Intelligent Electric Co., LTD. Tianjin 300300

**Abstract:** With the acceleration of the industrialization process, the transformer, as an important power equipment, has been widely used in the power system. In the use process of the transformer, due to the influence of various factors, the content of dissolved gas in the transformer oil will change, these gas may cause damage to the insulation performance of the transformer, and then lead to the failure of the transformer. Therefore, it is necessary to analyze the dissolved gas in transformer oil and determine the fault. This paper discusses at this point.

**Key words:** Transformer; Dissolved gas; Fault judgment; Measures

### 引言:

随着社会的快速发展, 电力系统对火力发电厂的要求越来越高, 为了保障火力发电厂的安全运行, 在控制成本和提高效益的同时, 变压器的安全运行显得尤为重要。当变压器油中出现故障时, 产生的气体成分复杂, 需要根据 DL/T 722—2014《变压器油中溶解气体分析和判断导则》的标准和分布情况, 科学评估变压器的运行状态和健康状况, 以确保设备的正常运行和性能状态。

### 一、气体产生的原理

变压器在实际运行中最常见的故障是由热和电引起的。其中, 由热引起的故障通常是因为感应电流或变压器金属构件的损耗致使导体、铁芯、构件和绝缘系统过热, 产生局部热点, 从而降低其周围的绝缘情况导致的。而由电引起的故障则通常是由两种因素导致的: 一是机械装置老化导致的油和纤维素退化, 进而致使的局部放电; 二是短路引起的大电流和高温电弧。这些故障需要及时发现并进行处理, 以确保变压器的正常运行和安全性能。

矿物绝缘油是一种碳氢化合物的混合物, 其中包含着许多分子量不同的 C-C 键。在变压器的实际运行过程中, 因热或电引起的故障, 某些 C-H 键和 C-C 键可能会断裂, 形成不稳定的碎片, 如 CH<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>、CH、C\*等。这些碎片会经过一系列复杂的化学反应和重组, 最终可能转化成为气体分子, 如氢气、甲烷、乙烷、乙烯或乙炔等, 也可能形成碳的固体颗粒和碳氢聚合物。这些反应和副产物的形成会对变压器的正常运行和安全性能产生影响, 因此需要对变压器进行定期检测和维护。

固体纤维绝缘材料通常由纸、木块或层压板等构成。其聚合物链含有大量脱水葡萄糖环、弱的 C-O 键和糖苷键, 在油中它们的热稳定性比碳氢 (C-H) 键差, 而且可以在较低的温度下分解。当温度高于 105℃时, 聚合物会发生明显裂解。当温度高于 300℃时, 聚合物会被完全裂解和碳化, 同时生成 CO、CO<sub>2</sub>、水、少量烃类气体和呋喃化合物等。这些反应可能会导致方案的纤维绝缘材料出现老化、开裂、变质等问题, 从而降低其绝缘性能, 对设备的安全性造成潜

在的威胁。因此，对于固体纤维绝缘材料的选择和使用应特别注意其对耐热性能和使用环境的要求。

在某些情况下，气体的产生并非由设备本身的故障引起，而是由于锈蚀、化学反应或其他因素导致的。例如，当矿物绝缘油中含有氧时，钢材或镀锌钢与水反应会产生氢气，这就是为什么在一些未通电的电力变压器中也能检测到氢气的原因。此外，在一些条件下，例如在高温和变压器油中含氧的情况下，某些充油电气设备中的油漆(如醇酸树脂)可能会在催化剂的作用下，产生大量的氢气。另外，氢气、乙炔和其他气体也会在新的不锈钢中形成，并随着加工和焊接的进行逐渐释放到变压器油中。需要注意的是变压器油在阳光直接照射下也可能产生某些气体。此外，在设备检修时，变压器油暴露在空气中会吸收空气中的 CO<sub>2</sub> 等气体。因此，我们需注意这些情况，以及应该如何进行控制，来保证电力设备的安全运行。

项目	强烈过热		局部放电		绝缘放电	
	绝缘油	绝缘材料	绝缘油	绝缘材料	绝缘油	绝缘材料
H <sub>2</sub>	-	-	▲	▲	▲	▲
CH <sub>4</sub>	▲	▲	-	-	-	▲
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-	-	▲	▲	-	-
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-	▲	-	-	-	-
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	▲	-	-	-	-	-
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	-	▲	-	-	-	-
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-	-	-	-	-	-
CO	-	▲	-	▲	-	-
CO <sub>2</sub>	-	▲	-	-	-	-

图 1 各种故障下油和绝缘材料产生的气体成分(表中“▲”表示为主要成分;“△”表示为次要成分。)

因此，无论是由于高温引起的故障还是由于电引起的故障，通常都会产生一些特征气体，例如甲烷、乙烷、乙烯、乙炔、一氧化碳、二氧化碳和氢气等。国内外的研究学者通常选择其中的若干种特征气体，作为故障诊断的依据。

## 二、变压器油中溶解气体的故障判断措施

### 1.油色谱分析法

油色谱分析法是目前广泛应用于变压器油中溶解气体分析的一种科学方法。该方法通过将变压器油样品注入色谱仪中，利用特定的色谱柱将油中溶解的气体分离出来，实现对各种特征气体快速、

准确的分析和定量。油色谱分析法分辨率高、灵敏度高，能够比较准确地分析出油样中微量的气体，如甲烷、乙烷、乙烯、乙炔、氢气、一氧化碳和二氧化碳等，从而明确变压器内部的故障类型和程度。油色谱分析法的主要优势在于快捷、准确、灵敏、全面等，不仅可以提高故障判断的准确性和灵敏度，而且样品处理时间较短，适用于多种不同类型的变压器油，但同时也存在着需要设备价格高、维护、操作等方面难度大的缺点，对于不具有专业知识和技术的人员来讲，操作可能会有一定的复杂性。总之，油色谱分析法作为一种重要的变压器油中溶解气体分析方法，在变压器的维护和保养方面具有非常重要的作用。结合其他方法，可以有效提高变压器维护的效率和准确性，从而更好的保障变压器的正常运行和寿命。

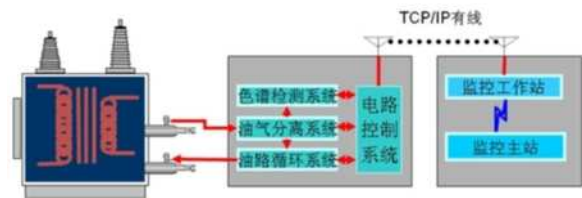


图 2 油色谱分析法的应用

### 2.气相色谱法

气相色谱法是一种利用气体作为移动相在柱内通过不同的固定相对样品进行分离、检测分子的科学方法。该方法是分析各种特征气体的重要手段之一，可以对分子的种类、数量和比例进行细致的分析和定量。其中包括变压器油中的特征气体，如乙烯、乙炔、氢气和一氧化碳等。相较于油色谱分析法，气相色谱法的分辨率更高、分析速度更快，能够将油中的气体分离得更加清晰和准确。但是，气相色谱法的设备和技术要求相对较高，需要专业的仪器设备和技术人员操作，成本也相对较高。气相色谱法的主要原理是根据分子的分子量、极性、亲水性和性质等差异性来进行分离，能够精确地定量分析样品中的各种特征气体，如乙烯、乙炔、氢气和一氧化碳等。此外，气相色谱法还可以结合质谱法来进行分析，提高样品分析的准确性和灵敏度。总之，气相色谱法是分析变压器油中溶解气体的重要手段之一，能够为变压器的维护和故障诊断提供重要的数据支持。但是，对于不具备相关专业知识和技术的人员来说，需要慎重选择合适的分析方法来保障实验的准确性和可靠性。

### 3.三比值法

三比值法是变压器油中溶解气体故障判断措施中的一种常用方法。该方法基于变压器油中溶解气体的比值关系，通过分析比值的

变化以及其与变压器故障类型的对应关系,进行故障诊断和预测。具体来说,三比值法是指比较  $H_2/CH_4$ 、 $H_2/C_2H_4$  和  $C_2H_4/C_2H_6$  的比值,来推断变压器中可能存在的故障类型。如果这三个比值都大于 1,说明变压器内存在局部过热故障;如果  $H_2/CH_4$  大于 1,而  $H_2/C_2H_4$  和  $C_2H_4/C_2H_6$  都小于 1,则说明变压器内可能存在放电故障;如果  $H_2/CH_4$  和  $H_2/C_2H_4$  都小于 1,而  $C_2H_4/C_2H_6$  大于 1,则说明变压器内可能存在绝缘老化故障。

实际应用中,三比值法需要结合其他检测方法,如气相色谱法、热分解法等,来进行分析判断。例如,一项对于变压器油的分析表明,该变压器油中  $H_2/CH_4$ 、 $H_2/C_2H_4$  和  $C_2H_4/C_2H_6$  的比值分别为 0.26、0.56 和 4.32,则根据三比值法可推断变压器内可能存在绝缘老化故障。同时结合气相色谱法的分析结果,发现变压器油中存在丙烯、丁烯等相关气体,也进一步支持了绝缘老化故障的诊断结论。综上所述,三比值法是变压器油中溶解气体故障判断措施中的重要方法之一,能够为变压器故障诊断和预测提供科学的支持,但需要结合其他分析手段,综合判断才能获得准确有效的结论。

**结束语:**

变压器油中溶解气体的分析及故障判断措施是非常重要的,它能够帮助我们及时发现变压器的潜在问题,避免出现更大的故障事故,保障设备及运行安全。因此,在变压器的日常维护和管理中,应积极运用各种分析工具和技术,采取有效的预防和处理措施,以确保变压器的安全稳定运行。

**参考文献:**

- [1]陈杨,戴景民,王振涛,等.基于近红外 TDLAS 变压器油中溶解气体在线检测装置[J].光谱学与光谱分析,2021,41(12):5.
- [2]黄旭,王骏.变压器油中溶解气体分析和故障判断[J].石油工程设计,2021.
- [3]范晶.变压器油中溶解气体的在线监测研究[J].轻松学电脑,2021,000(008):P.1-1.
- [4]王飞,张念春,宋怡臻.论变压器在电力系统中的常见故障和诊断技术[J].水电水利,2023,7(4):40-42.
- [5]郑权.电力变压器油中溶解气体分析与故障诊断方法构建[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2021(3):2.