**摘要：**变压器油中溶解气体分析法(GDA)，是判断变压器内部故障有效方法之一，该检测项目在变压器预防性试验中的重要性毋庸置疑，已成为变压器等充油电气设备故障诊断的重要方法。本文简单的介绍基于油中溶解气体的变压器故障分析方法。

**关键词：**变压器；油中溶解气体；故障诊断；

**1 变压器油产气机理**

电力变压器的绝缘主要是由矿物绝缘油和浸在油中的有机绝缘材料(如电缆纸、绝缘纸板等)所组成。其中矿物绝缘油即变压器油，是石油的一种分馏产物，其主要成分是环烷烃(50%以上)、烷烃(10%～40%)和芳香烃(5%～15%)等化合物。有机绝缘材料主要是由纤维素(C5H10O5)n构成。在正常运行状态下，由于油和固体绝缘会逐渐老化、变质，会分解出极少量的气体(主要是H2、CH4、C2H6、C2H4、C2H2、CO和CO2等)。当电力变压器发生过热故障、放电性故障或受潮情况时，这些气体的产量会迅速增加。表1列出气体的种类和外施能量的关系。

表1 气体种类与外施能量的关系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 气体 | CO | CO2 | H2 | CH4 | C2H6 | C2H4 | C2H2 |
| 能量/*J* | 53.87 | 89.49 | 17.5 | 14.66 | 14.70 | 40.78 | 60.7 |

这些气体大部分溶解在绝缘油中，少部分上升在绝缘油的上层表面，例如变压器有一部分气体从油中逸出进入气体继电器(瓦斯继电器)。经验证明，通过油中溶解气体的含量和成分可以判定变压器内部有无故障和故障的类型，因此在设备运行过程中，定期测量溶解于油中的气体组成成分和含量，对于及早发现充油电力设备内部存在的潜伏性故障具有非常重要的意义。

**2 故障诊断方法**

**2.1 确定有无故障的两种方法**

**2.1.1 根据油中溶解气体浓度判定**

若气体浓度达到注意值，其中总烃、氢注意值均为150μL/L，乙炔的注意值为5μL/L(330kV及以上变压器)或1μL/L(220kV及以下变压器)，就应引起注意，加强跟踪分析，查明原因。

**2.1.2 根据总烃产气速率判定**

虽然注意值在反映故障的概率上有一定的可参考性，但由于受到油中气体含量、变压器容量、运行方式、运行年限等相关因素的影响，仅仅根据注意值的分析结果还难以正确诊断变压器故障的严重性，决不能作为划分设备有无故障的唯一标准。在此基础上，还应充分考虑产气速率等方面的影响。

变压器各种气体绝对产气速率的注意值（以密封变压器为例）如表2所示。

表2 变压器绝对产气速率注意值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 特征气体 | 总烃 | C2H2 | H2 | CO | CO2 |
| 注意值/*μL/d* | 12 | 0.2 | 10 | 100 | 200 |

**2.2 判断故障类型的几种方法**

当用上述两种方法确认到变压器存在故障时，可以用如下几种方法分析判断变压器故障类型和严重程度[3]。

**2.2.1 三比值法**

该方法原理是根据故障样本提供的故障现象(H2、CH4、C2H6、C2H4、C2H2五种气体成分的含量)，计算出C2H2/C2H4、CH4/H2与C2H4/C2H6的比值。比值的结果根据表3得出编码组，再根据表4找出与其对应的故障类型。

**2.2.2 无编码的比值法**

三比值方法存在着找不到对应故障类型的情况，而且判断方法相对复杂。学者杜杨在10年中通过对国内外大量变压器故障实例的分析和研究，提出了一种“无编码比值法”，该方法在一定程度上解决了三比值法故障编码缺少，有的故障用三比值法无法诊断的问题。具体分析判断如图1所示。

表3 IEC三比值编码表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 气体比值范围 | 比值范围的编码 | | |
| C2H2/C2H4 | CH4/H2 | C2H4/C2H6 |
| <0.1 | 0 | 1 | 0 |
| ≥0.1~ <1 | 1 | 0 | 0 |
| ≥1~ <3 | 1 | 2 | 1 |
| ≥3 | 2 | 2 | 2 |

表4改良三比值法对应故障类型表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C2H2/C2H4 | CH4/H2 | C2H4/C2H6 | 故障类型判断 |
| 0 | 0 | 1 | 低温过热(<150℃) |
| 2 | 0 | 低温过热(150~300)℃ |
| 2 | 1 | 中温过热(300~700)℃ |
| 0，1，2 | 2 | 高温过热(>700℃) |
| 1 | 0 | 局部放电 |
| 1 | 0，1 | 0，1，2 | 低能放电 |
| 2 | 0，1，2 | 低能放电兼过热 |
| 2 | 0，1 | 0，1，2 | 电弧放电 |
| 2 | 0，1，2 | 电弧放电兼过热 |

**3.2.3 其它的各种辅助判断方法**

上述方法仅考虑到发生的故障是由变压器内部缺陷产生的，没有考虑到变压器进水、进气等其它因素，没有给出变压器故障是否涉及到固

体绝缘，所以在实际情况中还应该考虑到以下一些辅助因素。

① 比值CO2/CO

当变压器涉及到固体绝缘时会引起CO和CO2的明显增长，但是固体绝缘的老化与故障情况下的分解产气并没有明显的界限，其主要原因是从空气中吸收的CO2及固体绝缘和油长期老化形成的CO和CO2过高导致的。但是老化产生的CO2与CO的比值与故障涉及固体绝缘时CO2与CO的比值是不同的，根据它们的比值可以判断变压器是否涉及固体绝缘。

② 比值O2/N2

由于变压器油中O2和N2相对溶解度的不同，一般O2/N2接近于0.5。当变压器发生故障时氧气的含量就会下降，当O2/N2＜0.3时，一般认为是出现了氧被极度消耗的迹象。

③ 比值C2H2/H2

在充油电力变压器中，有载调压操作产生的气体与低能放电的情况相似，当有载调压油箱中的油渗漏到主油箱时可能会导致误判。当主油箱中C2H2/H2＞2时认为是有载调压污染的迹象，此时可以通过比较主油箱和储油罐的油中溶解气体浓度确定油箱中溶解气体异常的真正原因。