

## 应用油色谱分析的油浸式高压设备故障诊断

安典强

国网三明供电公司, 福建 三明 365000

**[摘要]** 高压变压器、电抗器等油浸式电力设备广泛应用于电网中, 设备的故障诊断及状态判断至关重要。为了及时准确地诊断出油浸式电气设备的潜伏性故障。分析油浸式电力设备发生过热、放电等内部故障产生的气体成分, 找出不同故障类型的特征气体。提出设备故障警戒这一概念, 应用三比值法建立的特征气体与故障状态一一对应关系作为判据做出故障判断。给出了应用油色谱分析故障的案例。结果表明油色谱分析对油浸式电力设备的潜伏性故障诊断具有技术可行性和广阔的应用前景。

**[关键词]** 故障诊断; 特征气体; 潜伏性故障

DOI: 10.33142/sca.v2i2.332

中图分类号: TM411

文献标识码: A

## Fault Diagnosis of Oil Immersion Type High Voltage Equipment by Oil Chromatographic Analysis

AN Dianqiang

State Grid Sanming Power Supply Company, Fujian Sanming, China 365000

**Abstract:** High voltage transformer, reactor and oil-immersed power equipment are widely used in power grid, fault diagnosis and state judgment of the equipment is very important. In order to diagnosis latent failure of oil-immersed electrical equipment timely and accurately. Analysing gas composition generated by oil-immersed power equipment occurred overheat, discharge and so on internal fault, find out characteristic gas of the different fault types. Put forward the concept of equipment malfunction alert. Make fault judgment by establishing the characteristics of gas and fault state one-to-one correspondence relationship as a criterion with application of three ratio method. Given an application oil chromatographic analysis failure cases. The results show that oil chromatographic analysis of oil-immersed power equipment latent fault diagnosis has the technical feasibility and broad application prospect.

**Keywords:** Fault diagnosis; Characteristic gas; Latent failure

### 引言

随着我国超高压电网的发展, 油浸式高压电力设备在电网中的作用日益突出, 设备运行的可靠性对电网稳定运行起着至关重要的作用。通过对现场的调差发现, 对运行的高压油浸式电气设备进行油色谱分析, 不仅不会影响他们的正常运行, 而且还可以对他们的潜伏性故障做一个很好的预判。文献[2]通过案例说明了利用油色谱分析的特征气体法对变压器的故障诊断的正确性。指出油浸式变压器的状态检修完全能够以油色谱数据作为依据。文献[3]结合试验对气相色谱分析数据进行综合分析, 比较准确地判断出变压器的故障类型和故障部位。文献[4]利用色谱分析技术对变压器进行了一些故障诊断并对各种方法做了比较。文献[5]从变压器油中气体成分、分析气体含量超标原因入手, 结合实例对变压器内部存在的故障及其严重程度、发展趋势进行了诊断。大多文献的分析都是在变压器油中的特征气体含量超过注意值或它们的比值符合诊断判据就进行故障诊断, 然后进行吊罩检查。但有时候这种故障不足以对设备运行造成影响。不会引起继电器动作。若是因为环境等其他外部原因造成的话, 反复的进行测试和诊断, 增加了工作量甚至增多了停电次数。这样的诊断意义不大。本文针对这种现象考虑乙炔气体反映故障的危险性较大, 提出设备故障警戒这一概念。在油浸式电气设备的乙炔含量达到一千或几千  $\mu\text{L/L}$  时, 我们才进行吊罩检查或检修。减少了工作量, 又能及时排除隐患。然后结合新疆某 750kV 的高压并联电抗器进行了验证。

### 1 油色谱分析故障诊断

#### 1.1 油色谱分析的原理

变压器大多采用油纸复合绝缘, 当内部发生潜伏性故障时, 油纸会因受热分解产生烃类气体。含有不同化学结构的碳氢化合物有着不同的热稳定性, 绝缘油随着故障点的温度升高依次裂解产生烷烃、烯烃、和炔烃。[1]在正常情况下, 充油电气设备内的绝缘油及有机绝缘材料, 在过热或放电的作用下会逐渐老化和分解, 产生少量的低分子烃类气体和一氧化碳及二氧化碳气体, 这些气体大部分溶解于油中, 当充油电气设备内部存在潜伏性过热和放电性故障时,

就会加快这些气体的产生速度，随着故障的发展，分解出的气体形成气泡在油中对流、扩散，不断溶解在油中直至饱和或析出。因此，油中故障气体的含量及积累程度是诊断故障存在与发展的一个重要依据。

### 1.2 油浸式高压设备内部故障的特征气体

运行中的油浸式高压设备出现内部放电、异常发热等内部故障时绝缘油中会产生低分子烃类、氢气等。放电产生的气体由于能量不同而不同。当放电能量密度在 $10^9\text{C}$ 以下时，一般总烃不高，主要是氢气，其次是甲烷；当为电弧放电时，主要特征气体为乙炔和氢，其次是乙烯和甲烷，此时 $H_2$ 、 $C_2H_2$ 浓度常高达几千 $\mu\text{L/L}$ ；当火花放电时主要气体是乙炔和氢，其次是甲烷和乙烯，总烃一般不会太高；局部放电是氢最多，占氢烃总量的85%以上；过热产生的气体主要是低分子烃类，甲烷与乙烯是特征气体，一般两者之和在80%以上。当故障点温度较低时，甲烷占的比例大，随热点温度的升高（ $500^\circ\text{C}$ 以上），乙烯、烃组分急剧增加，比例增大。严重过热（ $800^\circ\text{C}$ ）时，也会产生少量乙炔，但其含量不超过乙烯量的10%<sup>[1]</sup>。

### 1.3 应用油色谱分析故障的方法

测定绝缘油中溶解气体各组分含量，可以对运行设备可能存在的故障进行分析和判断，并可监视故障的发展状况。我们在诊断时首先以油中溶解气体含量注意值或产气速率的注意值进行故障的识别，而后运用特征气体法、三比值法等方法进行故障类型和故障趋势的判断进行诊断。

#### 1.3.1 油中溶解气体含量注意值及设备的警戒状态

图1为电气设备运行中绝缘油中溶解气体的注意值。在对电气设备进行周期检测时要随时注意各设备的油中溶解气体的注意值。

		$\mu\text{L/L}$	
设备名称	气体组分	330kV及以上	220kV及以上
变压器、电抗器	总烃	150	150
	乙炔	1	5
	氢	150	150
套管	甲烷	100	100
	乙炔	1	2
	氢	500	500
互感器		220kV及以上	110kV及以上
电流互感器	总烃	100	100
	乙炔	1	2
	氢	500	150
电压互感器	总烃	100	100
	乙炔	2	3
	氢	150	150

图1 各电气设备绝缘油中溶解气体的注意值

Fig.1 attention value of the gas which is dissolved in insulating oil of some electrical equipment

规程中指出：注意值中提出的几项主要指标，其重要性有所不同。其中，乙炔反映故障的危险性较大，当乙炔增长较快时，应密切关注。<sup>[1]</sup>所以为了在没有引起继电器动作及引发事故的发生并且能够及时准确的做出故障诊断，我们在运用特征气体法时要特别注意设备故障警戒状态，它定义为在设备绝缘油溶解的乙炔气体含量达到上千 $\mu\text{L/L}$ 的状态。当电气设备达到警戒状态时及时作出诊断与检查。

#### 1.3.2 三比值法

当设备产生内部故障（过热、放电等）产气、产气速率与产生故障能量的大小、故障定位、故障点的温度等情况有直接联系，下面给出了各气体与温度之间的关系见图2：

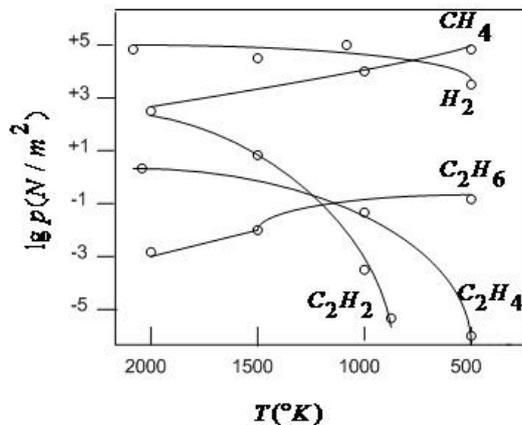


图2: 各气体与温度的关系

Fig.2 The relationship between the gas and the temperature

根据图2 我们采用五种气体的三比值作为判断油浸式电力设备故障的方法，其编码规则和故障类型判断见图3:

气体比值范围	比值范围编码		
	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
$\langle 0.1$	0	1	0
$\geq 0.1 \sim 1$	1	0	0
$\geq 1 \sim \langle 3$	1	2	1
$\geq 3$	2	2	2

编码组合			故障类型判断
$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	
0	0	1	低温过热 (低于 150°C)
	2	0	低温过热 (150°C ~ 300°C)
	2	1	中温过热 (300°C ~ 700°C)
	0 1 2	2	高温过热 (高于 700°C)
	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

图3 比值编码、故障类型图

Fig.3 Ratio coding, fault type map

应用油色谱分析在油浸式设备的前期研究成果，提出设备故障警戒状态及其参考指标和判据，指导油浸式设备的潜伏性故障及时准确的诊断。对油色谱分析判断油浸式设备的潜伏性故障做了更完善的理论指导。下面举例分析。

### 2 油色谱分析在油浸式高压设备故障诊断应用

对新疆某 750kV 高压并联电抗器油色谱数据 (见图4) 进行分析

取样日期	组分含量 ( $\mu L / L$ )				
	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>
2012-6-1	4529.45	678.49	699.49	74.44	2437.82
2012-6-2	7926.55	952.04	897.13	2437.82	4841.47

图4 新疆某 750kV 高压并联电抗器油色谱数据

Fig.4 xin jiang a 750 kV high voltage parallel reactor oil chromatographic data

由图 4 的数据看出, 乙炔含量在两千、四千多。达到我们提到的设备故障警戒状态, 那么我们就进行故障诊断。由第一组数据可见, 乙炔与乙烯比值约为 3.5, 甲烷与氢气比值约为 0.15, 乙烯与乙烷比值约为 9.4。第二数据比值与第一组数据相当。由判据可判定为电弧放电故障。经吊罩检查发现发现接地线从地屏根部焊接位置前端已断裂, 地屏断裂处绝缘已有炭化和放电烧蚀痕迹。见图 5:



图 5 地屏根部焊接位置前端断裂图

Fig.5 root of the screen welding position front fracture diagram

拆开地屏后, 地屏纸板绝缘表面有炭化且较为严重, 地屏连接铜带与接地线焊接接口处局部已烧熔, 残留有熔化缺口。见图 6



图 6 地屏纸板绝缘表面故障图

Fig.6 ground screen board insulation surface fault diagram

在上面的实例中我们可以知道。我们的诊断是正确的。首先考虑乙炔在是否在设备故障警戒状态, 由图 4、图 1 可知乙炔含量达到几千  $\mu\text{L/L}$  且已严重超过注意值, 然后利用三比值法对故障进行预判。由各气体组分的比值和图 3 可以判断出为电弧放电。经吊罩检修发现确实是电弧放电故障。在设备达到警戒状态作出油色谱分析能够对油浸式电气设备潜伏性故障做出准确判断。同时, 减少了不必要的工作。

### 3 讨论及建议

1) 近几年油色谱分析油浸式高压设备被广泛应用。并在油浸式电气设备的潜伏性故障预判中取得了良好效果。油色谱分析油浸式电气设备的潜伏性故障需要进一步规范和落实。本文提出在设备的警戒状态作出及时诊断, 减少了大量工作。现阶段在线监测系统还不能准确测定油中溶解气体含量需进一步研究在线监测技术, 进一步减小工作量。

2) 油浸式电气设备的油色谱分析要对设备充油中的溶气进行定性和定量分析。(文章提出的设备的警戒状态就是定量分析的很好例证。) 以它们及它们的关系作为判据。因此准确地分解充油中各气体组分至关重要。由于要进行人员操作, 可能存在误差。而且, 现有的判据指标还需进一步精确, 尤其是油色谱分析还不能做到故障的定位。还需进行

更深的研究。实现设备的状态评估和及时检修。

#### 4 结论

1) 充油式电气设备发生内部故障溶解在绝缘油中的特征气体主要有： $H_2$ 、 $CH_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_4$ 、 $C_2H_2$ 还有碳的氧化物  $CO$ 、 $CO_2$ 等。

2) 以检测乙炔含量为主。首先判断乙炔含量是否超过注意值达到设备警戒状态，之后在进行下一步的判断。由图二可以看出乙炔产生达到一定状态后才有可能产生故障。再辅以检测  $CH_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_4$ 的含量及计算它们的比值，可快速诊断出设备的潜伏性故障。

3) 利用油色谱分析油浸式电气设备的潜伏性故障主要是分析绝缘油中的特征气体是否超标和综合判据。现场应用表明，应用油色谱分析对油浸式电气设备的潜伏性故障进行诊断具有技术可行性和有效性。防止了故障的进一步加深与扩大，避免了大事故的发生。

基金项目：国家自然科学基金资助项目：(51010105064, 2011211A016, BS100122)

#### [参考文献]

- [1] 韩长利, 仇明, 李智. 用油色谱分析方法检测变压器故障[J]. 变压器, 2011, 48(8): 57-59.
- [2] 李振宇, 昌军胜, 李书卿. 气相色谱分析在变压器故障诊断中的成功应用[J]. 机械与电子, 2009, 2(17): 52-53.
- [3] 孙颖. 色谱分析法在变压器故障诊断中的应用[J]. 广州化工, 2010, 38(8): 89-90.
- [4] 赵玉国. 气相色谱分析法在判断变压器故障上的运用[J]. 工艺与技术, 2009, 3(3): 115-116.
- [5] 钟立新, 潘炜. 220kV 变压器色谱异常故障分析及处理[J]. 湖南电力, 2011, 31(3): 38-39.
- [6] 周礼, 沈群武, 孙林涛等. 500kV 变压器油色谱异常分析及处理[J]. 变压器, 2011, 48(8): 57-59.
- [7] 刘洪鑫, 劳利春. 一起变压器油色谱异常故障的分析处理[J]. 高电压技术, 2001, 27(6): 68-69.
- [8] 咸日常. 大型变压器故障的气相色谱综合分析[J]. 变压器, 2003, 40(4): 31-35.
- [9] 赵京武, 李红林. 500kV 并联电抗器色谱检测与故障诊断[J]. 变压器, 2002, 39(1): 39-40.
- [10] 胡劲松. 基于小波和模式匹配的变压器色谱倾斜峰辨识方法[J]. 计算机与应用化学, 2012, 29(2): 249-251.
- [11] 孔祥凤, 李进. 一台 220kV 主变色谱异常故障的分析及处理[J]. 变压器, 2012, 49(6): 61-64.

作者简介：安典强，(1986-)，男，山东泰安人，硕士研究生，从事工作：电力工程建设。