

## 非潜伏性故障的几类特征气体异常情况分析

郭超

(嘉兴市电力局, 浙江 嘉兴 314001)

## Analysis of Abnormal Conditions of Several Categories of Gas in Non-deliquescent Malfunction

GUO Chao

(Jiaxing Electric Power, Jiaxing 314001, China)

**摘要:** 通过几起特征气体值异常的实例分析,说明充油设备在绝缘油气相色谱分析数据出现异常时并不一定存在内部潜伏性故障,必须结合现场实际、设备运行状况及相关设备情况进行分析,才能得出准确的判断。

**关键词:** 色谱分析; 非潜伏性故障; 绝缘油

**中图分类号:** TM407

**文献标志码:** B

**Abstract:** Based on the analysis of several cases of abnormal condition of characterized gas, this article illustrated that there were not always inner deliquescent malfunction when the analytical data of insulated oil and gas chromatogram seemed abnormal, and correct judgment could only be made when analysis was made after combining on-spot practical situation, equipment operation condition and relevant equipment conditions.

**Key words:** chromatogram analysis;

non-deliquescent malfunction; insulated oil

## 0 引言

利用气相色谱法分析溶解气体是监视充油电气设备安全运行最有效的措施之一,通过色谱分析可以得到  $H_2$ 、 $CH_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_4$ 、 $C_2H_2$ 、 $CO$  和  $CO_2$  7种特征气体在变压器油中的体积分数,然后利用故障下产气的累计性、速率和特征性对潜伏性故障进行分析判断。但是一些非故障原因同样可能导致试验数据出现异常。下面对某电力局近几年出现的几起非潜伏性故障特征气体超标实例进行了分析。

1  $C_2H_2$  异常实例分析1.1 有载开关室中含  $C_2H_2$  的绝缘油流入变压器本体

2002年11月20日王江泾变2号主变压器色谱分析显示存在  $C_2H_2$ ,其体积分数为  $2.9 \mu L/L$ 。GB/T 7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》规定运行中110 kV主变压器  $C_2H_2$  体积分数不得超过  $5 \mu L/L$ ,当时虽未超标,但  $C_2H_2$  的出现经常

预示着变压器存在高能量放电、低能量放电或严重过热故障。于是从11月22日开始连续3天跟踪取样,试验数据显示  $C_2H_2$  体积分数有所增大,分别为  $3.1$ 、 $3.2$ 、 $3.2 \mu L/L$ ,具体数据见表1。

表1 王江泾变2号主变本体色谱分析数据  $\mu L/L$ 

试验日期	$H_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_2H_4$	$C_2H_2$	$\Sigma C$	$CO$	$CO_2$
2002-11-20	13	14.5	8.8	7.9	2.9	34.2	583	8 222
2002-11-22	13	13.8	7.9	7.1	3.1	31.9	594	9 655
2002-11-23	16	13.6	7.3	6.8	3.2	30.9	619	9 557
2002-11-24	16	16.3	8.5	6.9	3.2	34.9	688	10 900

当时采用IEC三比值法判断故障: $C_2H_2/C_2H_4=2.9/7.9=0.37$ , $CH_4/H_2=14.5/13=1.1$ , $C_2H_4/C_2H_6=7.9/8.8=0.90$ (试验数据比较接近,不妨以2002年11月20日数据为例),编码为120,改良IEC三比值法显示故障类型为低能放电兼过热,产生的主要气体成分是  $C_2H_2$  和  $H_2$ ,其次是  $CH_4$  和  $C_2H_4$ ,而这台已运行了8年的变压器其它特征气体体积分数均显正常,20日进行的各项电气试验数据也都正常,所以可能存在非故障缺陷。

分析认为可能是有载调压变压器灭弧开关室和变压器本体密封受损,导致有载调压变压器灭弧开关室中的油流入本体,从而造成变压器本体油中出现  $C_2H_2$ 。因此在11月22日对有载调压变压器灭弧开关室取油样进行色谱分析,试验数据见表2。

表2 王江泾变2号主变有载调压变压器灭弧开关室色谱分析数据  $\mu L/L$ 

试验日期	$H_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_2H_4$	$C_2H_2$	$\Sigma C$	$CO$	$CO_2$
2002-11-22	19.4	6.2	0	8.4	61.3	75.9	106	1 079

几天后对有载调压变压器灭弧开关室进行检查,排尽里面的绝缘油后擦干内壁,一段时间后内壁又有油痕迹,证明有载调压变压器灭弧开关室和变

收稿日期:2006-12-19; 修回日期:2007-03-23

作者简介:郭超(1978-),男,浙江平湖人,助理工程师,从事电力油化工作。

压器本体之间密封出现破损,两室绝缘油发生对流,有载调压变压器灭弧开关室中含  $C_2H_2$  的绝缘油流入变压器本体,从而造成后者油中出现  $C_2H_2$ 。

### 1.2 主绝缘工频耐压试验产生 $C_2H_2$

跃新变 2 号主变压器大修后于 2006 年 4 月 24 日取油样进行色谱分析时未发现含有  $C_2H_2$ , 同一天进行主绝缘工频耐压试验时却屡次不能升压至试验电压最高点,经检查发现高压端尾端离变压器外壳太近导致高压放电。第 2 天再次取油样进行色谱分析时发现存在  $C_2H_2$ , 体积分数为  $1.35 \mu\text{L/L}$ , 显然高压放电导致变压器本体绝缘油裂化产生  $C_2H_2$ , 试验数据见表 3。

表 3 跃新变 2 号主变压器本体色谱分析数据  $\mu\text{L/L}$

试验日期	$H_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_2H_4$	$C_2H_2$	$\Sigma C$	CO	$CO_2$
2006-04-24	1	2.7	1.3	0.7	0	4.70	87	1137
2006-04-25	1	2.3	1.5	0.9	1.35	6.05	29	644

### 1.3 新投设备出现微量 $C_2H_2$

2006 年 7 月 15 日永秀变 2 号主变压器投产后取油样色谱分析发现含有  $0.08 \mu\text{L/L}$   $C_2H_2$ , 而 GB/T 7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》规定新投运主变压器的  $C_2H_2$  体积分数为 0, 但是确保新油中绝对不含有  $C_2H_2$  可能性不大, 而在实际情况中一般小于  $0.1 \mu\text{L/L}$ , 由于近几年气相色谱仪性能有所提高, 对  $C_2H_2$  最小检测浓度到达  $0.1 \mu\text{L/L}$  以下, 因此针对老式色谱仪所作的标准往往不能符合实际情况。7 月 18 日又取油样进行色谱分析, 数据显示  $C_2H_2$  体积分数为  $0.08 \mu\text{L/L}$ , 试验数据见表 4。

表 4 永秀变 2 号主变压器本体色谱分析数据  $\mu\text{L/L}$

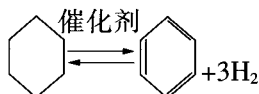
试验日期	$H_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_2H_4$	$C_2H_2$	$\Sigma C$	CO	$CO_2$
2006-07-15	14	1.3	0.3	0.2	0.08	1.88	47	381
2006-07-18	21	1.1	0.2	0.1	0.07	1.47	55	404

## 2 $H_2$ 异常实例分析

### 2.1 改造后的取样阀促使油裂化产生 $H_2$

虹霓变 1 号主变压器以前运行过, 再次投运前对底部取样阀外罩进行过改造, 将一段新外罩焊接至取样阀, 4 月 22 日从底部取油样进行色谱分析发现,  $H_2$  体积分数达到  $1282 \mu\text{L/L}$ , 而 GB/T 7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》规定运行中  $110\text{kV}$  主变压器  $H_2$  体积分数不得超过  $150 \mu\text{L/L}$ 。

除了存在潜伏性故障, 氢气超标也有可能是改造过的取样阀因为所用材料不合格而导致氢气迅速增长。绝缘油中的环己烷在催化剂、温度、电场的作用下会发生脱氢反应, 金属 Ni 是一种较常见的加氢、脱氢催化剂, 发生的脱氢反应如下<sup>[1]</sup>。



虹霓变 1 号主变压器底部取样阀由一段金属细管、取样阀外罩、放油口构成, 投运前对取样阀外罩进行改造时将新外罩焊接至取样阀。若产气点在取样阀内, 由于阀内油不参与主变压器本体油循环, 产生的  $H_2$  仅通过分子运动缓慢向主变压器扩散, 绝大部分留在取样阀中, 从而使阀内油  $H_2$  体积分数达到很高值。无论是投产前的高压油化试验, 还是之前的运行状况都表明设备良好, 在虹霓变仅投产一天  $H_2$  体积分数就从  $18 \mu\text{L/L}$  升至  $1304 \mu\text{L/L}$ , 分析认为取样阀所用材料不合格导致  $H_2$  迅速增长的可能性较大。

当天再次对变压器从中部、底部进行取样, 底部取样时尽量放尽了取样阀中的残油。色谱分析显示  $H_2$  体积分数并未超标: 底部  $30 \mu\text{L/L}$ , 中部  $4 \mu\text{L/L}$ 。

4 月 25 日对底部分 3 次取样: 打开取样阀不放油即取得第 1 份油样, 阀中残油放一段时间再取得第 2 份油样, 基本放尽残油后取第 3 份油样, 中部仍然取一份油样作对比试验。色谱分析数据分别为  $2068, 76.5, 7 \mu\text{L/L}$ 。试验数据展示了  $H_2$  体积分数的变化, 一开始由于聚集在取样阀中所以第 1 份油样中  $H_2$  体积分数非常大, 放掉部分阀中残油后  $H_2$  体积分数明显减小, 而基本放尽后和中部(即本体)油样  $H_2$  体积分数大致相同, 可以解释之前取样阀为  $H_2$  来源这一推测。

4 月 30 日又同样取 4 份油样, 试验结果分别为:  $2772, 110, 10, 6 \mu\text{L/L}$ , 25, 30 日取样时, 中间分别间隔了 3, 5 天, 时间越长取样阀中聚集的  $H_2$  越多, 故 30 日  $H_2$  体积分数为  $2772 \mu\text{L/L}$ , 大于 25 日的  $2068 \mu\text{L/L}$ , 也符合取样阀为  $H_2$  来源这种推测, 具体数据见表 5。

表 5 虹霓变 1 号主变压器本体色谱分析数据  $\mu\text{L/L}$

试验日期	取样部位	$H_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_2H_4$	$C_2H_2$	$\Sigma C$	CO	$CO_2$
2004-04-20	底部	18	0.5	0	0	0	0.5	14	93
2004-04-22	底部	1282	1.3	0	0	0	1.3	18	82
2004-04-22	底部	30	0.6	0	0	0	0.6	11	0
2004-04-22	中部	4	0.7	0	0	0	0.7	0	82
2004-04-25 (第 1 份)	底部	2068	0.8	0	0	0	0.8	22	109
2004-04-25 (第 2 份)	底部	76	0.6	0	0	0	0.6	19	120
2004-04-25 (第 3 份)	底部	5	0.5	0	0	0	0.5	16	102
2004-04-25	中部	7	0.4	0	0	0	0.4	17	89
2004-04-30 (第 1 份)	底部	2772	1.0	0	0	0	1.0	28	126
2004-04-30 (第 2 份)	底部	110	1.0	0	0	0	1.0	18	126
2004-04-30 (第 3 份)	底部	10	0.9	0	0	0	0.9	12	109
2004-04-30	中部	6	0.6	0	0	0	0.6	15	131

改造取样阀的工作人员后来回忆, 焊接取样阀和变压器本体时存在死角, 残留焊渣沉积于此, 另外取样阀所用的材料未曾作过用以排除金属 Ni 存在的光谱分析。

### 2.2 加装的互感器膨胀器促使油裂化产生 $H_2$

东栅变一组 CT 已运行多年, 于 1998 年 9 月加

装了金属膨胀器,1999年4月色谱分析发现油中H<sub>2</sub>增长率很大,而其它特征气体则变化不大,之后又跟踪取油样进行色谱分析,试验数据见表6。

表6 东棚变电压互感器色谱分析数据  $\mu\text{L/L}$ 

试验日期	相位	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	$\Sigma C$	CO	CO <sub>2</sub>
1998-05-17	A	59.4	16.7	4.6	0	0	21.3	234	397
1998-05-17	B	74.8	6.4	3.2	0	0	9.6	179	439
1998-05-17	C	71.8	10.4	3.2	0	0	13.6	167	341
1999-04-23	A	264.3	18.4	5.1	0	0	23.5	314	451
1999-04-23	B	298.4	7.6	3.4	0	0	11.0	231	411
1999-04-23	C	289.7	21.3	2.8	0	0	24.1	198	321
1999-05-11	A	273.5	17.6	4.7	0	0	22.3	305	467
1999-05-11	B	312.0	8.1	3.7	0	0	11.8	234	434
1999-05-11	C	286.1	20.4	2.5	0	0	22.9	211	354

其他加装了金属膨胀器的CT也出现了同样的情况,经分析认为很可能是金属膨胀器所用的不锈钢材料中含有Ni之类的脱氢催化剂,绝缘油中的环乙烷或其同系物在Ni和电场的共同作用下发生脱氢反应,由于该反应可逆,因此在内、外部环境大致不变的情况下可达到平衡,H<sub>2</sub>体积分数趋于稳定<sup>[2]</sup>。

### 3 新投互感器总烃超标

2003年8月20日对乌镇变准备投产的一组电压互感器取油样进行色谱分析,发现A、B、C三相全部总烃超标,分别为102.6、122.3、130.6  $\mu\text{L/L}$ 。经过充N<sub>2</sub>抽真空处理后,9月18日试验数据分别为:1.1、1.3、5.4  $\mu\text{L/L}$ ,2004年6月和2005年5月取油样色谱分析数据也正常,试验数据见表7。

互感器出厂前充入的新油一定是经厂方试验合格的,CH<sub>4</sub>的体积分数基本在10  $\mu\text{L/L}$ 以下,因此可以判断油中的大量CH<sub>4</sub>产生于设备充油后运至现场安装这段时间内。绝缘油是由许多不同分子量的碳氢化合物分子组成的混合物,一般高温环境会裂解出CH<sub>4</sub>,但在催化剂存在时原本需在高温、高压条件下才能进行的化学反应在常温、常压下也能缓慢进行,互感器内部的固体材料中可能就含有某种催

(上接第223页)

### 参考文献:

- [1] 尹承尚. 运行中真空灭弧室寿命分析 [J]. 山东电力技术, 1996, 90(4): 76-77.
- [2] 钱家骊. 高压断路器的更换技术和日本的更换量化准则[J]. 高压电器, 2003, 39(4): 53-55.
- [3] GB 1984-2003. 高压交流断路器[S].
- [4] DL/T 402-1999. 交流高压断路器订货技术条件[S].
- [5] 曹荣江, 顾霓虹. 高压交流断路器的运行条件 [M]. 北京工业大学出版社, 1999.
- [6] 王季梅, 苑舜. 大容量真空开关理论及其产品开发 [M]. 西安交通大学出版社, 2001.
- [7] 刘全志, 师明义. 高压断路器在线状态检测与诊断技术[J]. 高电压技术, 2001, 27(5): 29-31.
- [8] 郭贤珊, 王章启. 高压断路器触头电寿命预测的研究 [J]. 高

表7 乌镇变电压互感器色谱分析数据  $\mu\text{L/L}$ 

试验日期	相位	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	$\Sigma C$	CO	CO <sub>2</sub>
2003-08-20	A	33	102.0	0.6	0	0	102.6	104	257
2003-08-20	B	60	122.3	0	0	0	122.3	106	393
2003-08-20	C	36	130.6	0	0	0	130.6	128	142
2003-09-18	A	0	1.1	0	0	0	1.1	21	859
2003-09-18	B	0	1.3	0	0	0	1.3	20	1106
2003-09-18	C	0	5.4	0	0	0	5.4	20	524
2004-06-02	A	129	7.7	0	0	0	7.7	136	882
2004-06-02	B	93	11.2	0	0	0	11.2	93	1267
2004-06-02	C	146	17.8	0	0	0	17.8	140	738
2005-05-13	A	128	16.9	0	0	0	16.9	116	912
2005-05-13	B	92	19.7	0	0	0	19.7	100	1268
2005-05-13	C	117	25.4	0	0	0	25.4	103	784

化剂,另外运输过程中的振动以及途中如果没有遮蔽而夏季太阳直射导致油温过高的情况也都有存在的可能,这些都会造成油裂解产生大量CH<sub>4</sub>从而导致总烃超标<sup>[2]</sup>。经过充N<sub>2</sub>抽真空处理后这组互感器运行两年中各项试验数据均正常,可以判断并未存在潜伏性故障。

### 4 结语

以上几个实例说明气相色谱分析法虽然是发现潜伏性故障的一种较为完善的手段,但是当特征气体值出现异常时,不可根据三比值法草率作出判断,必须结合现场实际、设备运行状况及相关设备情况进行分析,还需持续跟踪、研究试验数据变化趋势,以便找出数据异常的真正原因。同时,对设备进行改装时必须注意选择材料,在条件许可的情况下作光谱分析以避免使用镍一类对环己烷等烃类脱氢反应具有催化作用的金属。

### 参考文献:

- [1] 冯海巖, 徐述华. 有机化学 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1978.
- [2] 徐康健. 论新设备投运前对油中溶解气体含量的要求-对行标DL/T 722-2000的讨论[J]. 电力标准化与计量, 2004, 13(2): 33-35.
- [9] 孙福杰, 王章启. 高压断路器触头电寿命诊断技术 [J]. 电网技术, 1999, 23(3): 59-61.
- [10] 王季梅, 钱忠厚. 真空断路器电寿命试验采用降低电压试验方法的分析[J]. 高压电器, 1990, 26(1): 37-39.
- [11] 王季梅, 张伟. 真空断路器在额定电流下开断的电寿命试验研究[J]. 电工技术学报, 1993(2): 56-60.
- [12] 王阳, 朴在林. 断路器电寿命在线监测的几种计算方法[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(1): 250-252.
- [13] 胡文平, 尹相根. 基于MATLAB的高压断路器触头电寿命仿真研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(6): 9-12.
- [14] 曹荣江, 顾霓虹. 表征真空断路器电寿命的若干判据 [J]. 电网技术, 1997, 21(11): 26-32.
- [15] 高文胜. 基于绝缘诊断的期望寿命预测 [J]. 高电压技术, 1997, 23(1): 57-58.