

# 一起换流变压器绝缘油氢气异常分析

谭华安, 刘春涛, 黄学民, 齐向东, 罗新

(中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510663)

**摘要:**通过对一台换流变压器“氢气异常”的原因进行查找分析,发现是由于在线油色谱监测装置的载气进入变压器内部所致,针对这一问题提出了在线油色谱监测装置的工艺改进建议。

**关键词:**换流变压器; 氢气异常; 在线油色谱检测装置; 氦气

中图分类号: TM75 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2020)02-0077-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.02.017

## Analysis on Abnormal Hydrogen of Insulating Oil in A Converter Transformer

Tan Huaan, Liu Chuntao, Huang Xueming, Qi Xiangdong, Luo Xin

(Guangzhou Bureau of CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510063, Guangdong, China)

**Abstract:** Based on the analysis on the causes of "hydrogen abnormality" in a converter transformer, it results from the carrier gas of the on-line monitoring device of oil chromatography entering into the transformer. In order to solve this problem, the process improvement suggestions for the on-line monitoring device of oil chromatography are put forward.

**Key words:** converter transformer; abnormal hydrogen; on-line monitoring device of oil chromatography; helium

## 0 引言

油浸式变压器内部绝缘通常采用油和纸作为绝缘材料,这些材料无论是热故障还是电故障的情况下,最终都将导致绝缘介质发生氧化、裂解与碳化等反应,产生氢气、甲烷、乙烯、乙炔、乙烷等各种特征气体,溶解在绝缘油中。由于碳氢键之间的极性比碳碳键强,更容易断裂,在绝缘油的裂解过程中一般总是先生成氢气,因此氢气是各种故障特征气体的主要成分之一<sup>[1]</sup>。油中溶解气体分析(dissolved gas analysis, DGA)技术可在设备不停电的情况下开展分析判断油浸式电气设备内部是否有隐患以及故障类别、变化趋势、故障点定位、严重程度等,能早期和实时地诊断识别设备内部潜伏性故障,已经成为最有效、应用最为广泛的油浸式电气设备状态诊断与评价的方法之一<sup>[2]</sup>。

## 1 主要缺陷情况

某换流站一台500 kV Y/Y A相换流变压器,型

号为西门子公司EFPH8557,额定容量282 MVA,冷却方式ODAF,绝缘油油重92 t。在一次年度检修期间更换了油枕胶囊和补充了约900 kg处理后的新油,没有对换流变压器本体进行任何检修。投运后油色谱跟踪分析结果表明氢气组分增长较快,而油中溶解气体中总烃值很小(具体数值见表1)。色谱特征气体单组分增长基本上可以排除变压器内部的缺陷,初步怀疑与更换胶囊有关。咨询厂家,厂家认为不排除胶囊安装时带有水分,在运行过程中受电场和热的作用分解产生氢气。对该台换流变压器进行了微水、含气量跟踪分析,含气量在3.0%、微水在8.0 mg/L附近波动,无异常。

通过查阅该台设备的绝缘油色谱分析谱图,发现该设备绝缘油分析谱图的氢气的保留时间与标准气体分析中氢气的保留时间存在不是很明显的差异。怀疑是其他保留时间与氢气比较接近且浓度比氢气大很多的气体,导致色谱仪工作站误将该峰识别为氢气峰。通过综合分析,怀疑是S公司在线油色谱装置的载气氦气进入了变压器本体绝缘油中。

表1 换流站极2 Y/YA 相油色谱分析结果

单位:  $\mu\text{L/L}$

时间	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>	CO	CO <sub>2</sub>	总烃	备注
11-05	13.32	4.58	2.82	1.78	0.45	388.82	1479.15	9.63	
12-18	1.32	0.57	0.46	0.37	0.17	53.38	405.50	1.57	滤油后
01-17	41.85	2.09	0.68	0.87	0.27	81.74	569.77	3.91	
01-29	83.35	0.84	1.54	0.49	0.20	83.67	582.91	3.07	
03-12	152.71	1.20	0.62	0.43	0.24	82.79	642.19	2.49	
04-01	185.86	1.16	0.86	0.87	0.39	101.97	797.77	3.29	
04-09	178.59	1.91	0.74	0.46	0.27	96.07	889.53	3.37	
04-23	207.85	1.92	0.77	0.56	0.29	100.77	894.95	3.55	
05-16	231.98	2.67	0.81	0.46	0.45	121.97	1 066.17	4.38	
05-28	221.99	2.16	0.91	0.84	0.43	137.93	1 209.12	4.33	

## 2 气体分析确认

为确定该气体是否是氦气,在气相色谱仪同一工作工况下,进行了以下试验工作:

### 1) 标准气体试验

用标准气体进行试验,得到的谱图如图1所示。正常情况下,氦气只有一个波峰,且从图中可以看出氦气的保留时间为0.29 min左右。

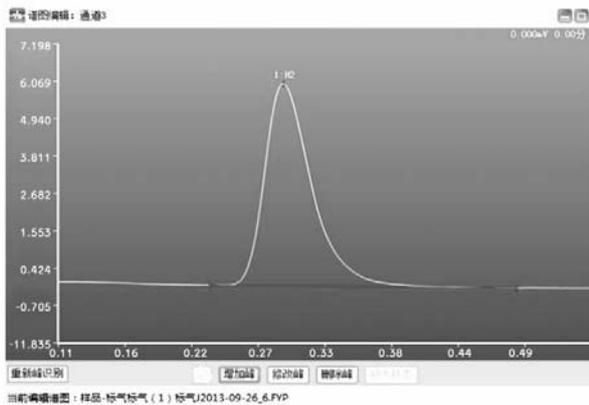


图1 标准气体中氦气出峰谱图

### 2) 纯氦气试验

用纯氦气作为样品气体进行了色谱试验,得到的分析谱图如图2所示。可以看出流出的基线从0.16 min开始出峰,到0.44 min出峰结束,纯氦气的保留时间为0.23 min左右。

### 3) 氦气与氢气1:1混合气体试验

对氦气与氢气按体积比1:1混合的气体作为样品气体进行色谱试验分析,得到的分析谱图如图3所示。流出的基线从0.16 min开始出峰,到0.44 min出峰结束,混合气体的保留时间为0.23 min左右,出峰情况与单一纯氦气基本无差异。

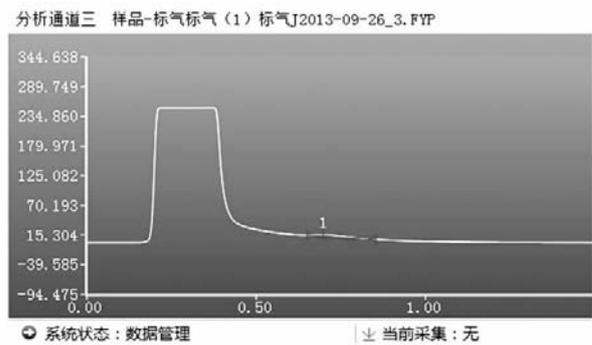


图2 纯氦气的谱图

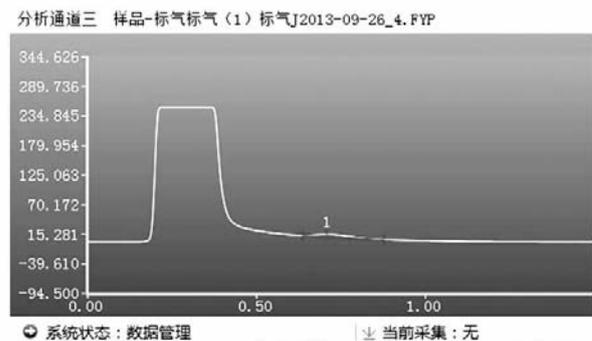


图3 实验室氦气和氢气混合后的谱图

### 4) 氦气稀释氦氢混合气体试验

用气相色谱仪所用载气氦气稀释氦氢混合气体约10倍后进行试验,得到的分析谱图如图4所示,氦气和氦气出峰可分离,两峰分离时间大约在0.26 min。

从前面4组对照试验可以得出:在浓度高的情况下,氦气和氦气的色谱峰无法有效分离,应该与两种气体的热导率有关。从表2中可以看出氦气和氦气的热导率相差不大,同属于常用气体里面热导率极高的气体。在低浓度的情况下,氦气和氦气可以分离,氦气和氦气的浓度比影响两者分离效果,氦气的保留时间为0.29 min左右,氦气的保留时间为0.23 min左右。

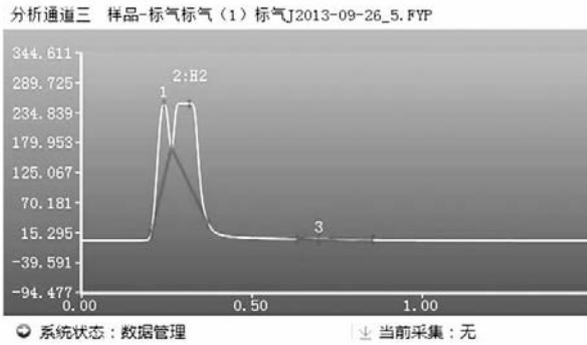


图 4 氢气和氦气混合气体氦气稀释后的谱图  
表 2 常用气体的热导率<sup>[3]</sup> (48.9℃)

气体	热导率 $\lambda / (10^{-2} \text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1})$
H <sub>2</sub>	19.71
He	15.74
Ar	1.90
N <sub>2</sub>	2.75
空气	2.80
CO <sub>2</sub>	1.83

### 3 气体来源分析

如在线油色谱油路(图 5)和在线油色谱装置工作原理(图 6)所示, S 公司的在线油色谱装置通过供油口 A 和回油 B 与变压器油箱相连, 变压器油在进入在线油色谱装置前经过油过滤器过滤, 泵入脱气装置进行油中溶解气体分离提取, 脱气装置采用半透膜脱气的方法。该半透膜是外包多层特氟纶材料、中空的结构, 利用其透气选择性, 即半透膜只允许油中溶解的某些特征气体渗透到集气室而阻止其他物质透过<sup>[5]</sup>。集气室中的气体通过控制旋转阀, 利用载气吹扫定量的样品气体到色谱柱进行分离后再进入热导检测器检测浓度。脱气室的变压器油则未经处理经过回油口 B 再回流到变压器本体内部。

分析在线色谱装置的整个油路工作流程, 变压器油与载气氦气有接触可能性的地方只有脱气装置。理论上半透分离膜应具备良好的单向透气性, 脱气时使用的载气不应透过半透分离膜进入到变压器油中。但实际在设备运行过程中, 由于膜老化、破裂或维护不当等原因, 载气通过半透膜溶入到脱气室的绝缘油中<sup>[4]</sup>, 而这部分绝缘油并没有经过脱气处理直接回流到本体, 造成氦气在设备内逐渐累积。

S 公司生产的油色谱在线监测装置用氦气作为载气, 采用半透膜的脱气方式, 但在设计上没有考虑防止载气进入一次设备本体的措施。而安装在换流变压器附近的在线油色谱装置由于运行环境较为恶

劣, 半透膜更容易老化和损坏。S 公司的油色谱在线监测装置允许少量氦气进入约 5  $\mu\text{L}/(\text{L} \cdot \text{年})$ 。目前, 已分析了 37 台安装有该公司在线监测装置的变压器的离线油色谱图谱, 发现其中 12 台变压器油中存在氦气, 氦气含量均超过 20  $\mu\text{L}/\text{L}$ , 其中氦气含量最高值达到 300  $\mu\text{L}/\text{L}$ , 远高于厂家允许值。

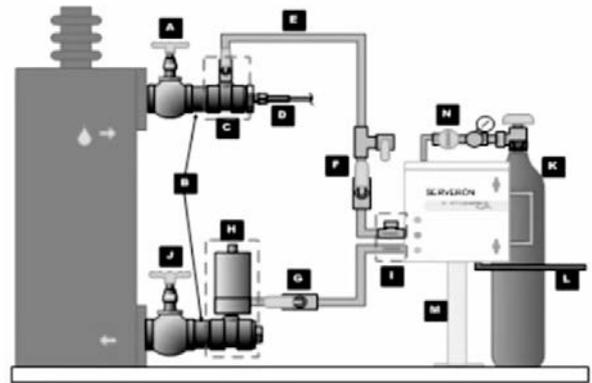


图 5 在线油色谱油路

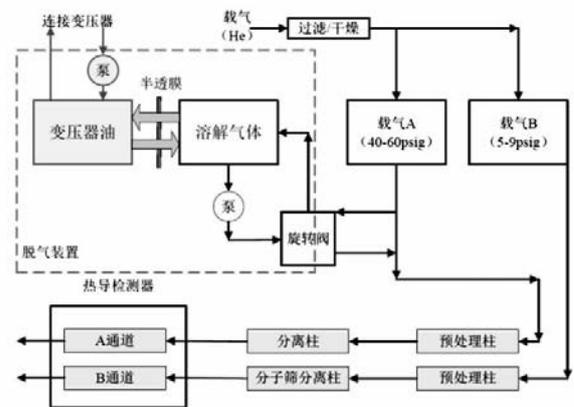


图 6 在线油色谱装置工作原理

### 4 结 语

- 1) 装有 S 公司在线油色谱装置的换流变压器氢气较高, 现场通过对谱图出峰的时间分析, 其原因是在线油色谱装置所用载气氦气引起的。在离线色谱仪的同一工况下, 氢气的保留时间为 0.29 min 左右, 氦气的保留时间为 0.23 min 左右。
- 2) 当油中氦气浓度远大于氢气浓度时, 色谱装置会把氦气的色谱峰误认为氢气的色谱峰, 从而造成误判氢气浓度较高现象。

3) 建议在线油色谱监测装置加装绝缘油脱气后回流变压器本体前的脱气模块, 防止载气等气体带入换流变压器本体内部, 影响设备状态评价。

- 4) 氦气进入换流变压器本体绝缘油中, 对换流

(下转第 83 页)

表2 GIS设备局部放电测试时间对比

气室名称	测试时间/min		时差 /min
	传统方式	所设计装置	
2275 某二线断路器气室	28	8	20
2275 某二线 电流互感器气室	27	8	21
22757 某二线 隔离开关气室	31	11	20
2250 母联断路器气室	29	8	21
22501 母联隔离开关气室	28	9	19
22502 母联隔离开关气室	27	9	18
110 kV 母线筒	26	8	18
1101 避雷器气室	28	9	19
1101 断路器气室	27	7	20
221Y 电压互感器气室	28	7	21

由表1、表2可知,检测的数据误差率均在±5%以内,但大大缩减了检测时间,既省时省力,又避免了人员登高作业的危险。

### 3 结 语

1) 提出了一种新型超声波局部放电检测辅助装置的设计思路,在不改变原有测试仪结构的基础上,增加可拆卸的伸缩绝缘杆、超声波传感器固定组件、传感器与绝缘杆连接部分组件、无线传输信号组件以及伸缩绝缘杆固定底座。

2) 现场测试数据表明,所设计装置不仅实现了原有测试仪的功能,而且避免了人员登高风险以及防止传感器表面与GIS外壳发生碰撞和摩擦,提高了工作效率,降低了劳动强度。

#### 参考文献

[1] 王迪. GIS局部放电检测技术研究及应用[D]. 秦皇岛:燕山大学,2016.

[2] 张洋. GIS局部放电带电检测技术研究与应用[D]. 北

(上接第79页)

变压器的安全运行是否存在危害,需要进一步研究。

#### 参考文献

[1] 王建中. 变压器油中氢气含量异常的分析与处理[J]. 农村电气化,2006(6):26-27.

[2] 朱文兵,陈玉峰. 电力变压器状态监测参量及监测方法综述[J]. 山东电力高等专科学校学报,2011,14(6):8-12.

[3] 李浩纯. 分析化学手册 第五分册:气相色谱分析[D]. 北京:化学工业出版社,1999.

京:华北电力大学,2018.

[3] 王峥,袁乐童,智李. 超声波检测技术在GIS中的应用[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2018,40(4):64-67.

[4] 王志强. GIS局部放电检测方法探讨[J]. 自动化应用,2018(11):51-52.

[5] 国家电网公司运维检修部. 电网设备带电检测技术[M]. 北京:中国电力出版社,2015.

[6] 王磊. GIS设备超声波局部放电带电测试方法及故障研究[J]. 电声技术,2018,42(9):35-37.

[7] 郭路遥. GIS设备局部放电带电检测技术有效性研究[D]. 北京:华北电力大学,2018.

[8] 董化新,孙大为. GIS设备局部放电检测装置的研制[J]. 黑龙江电力,2008,30(6):433-435.

[9] 杨坤. 变电设备局部放电带电检测技术研究[D]. 济南:山东大学,2014.

[10] 戴武昌,赵永财. 一种新型的GIS局部放电检测便携装置[J]. 东北电力学院学报,2004(6):88-91.

[11] 高超,刘航,舒鸿科,等. GIS设备超声波局部放电带电检测操作杆总成[P]. 北京:CN204731376U,2015-10-28.

[12] 王斌,李杰,郑建,等. 一种便携式多功能局部放电检测用探测杆[P]. 山东:CN205786694U,2016-12-07.

[13] 王伟,张弛,李松原,等. 用于GIS超声波巡检的传感器固定装置[P]. 天津:CN204613250U,2015-09-02.

#### 作者简介:

董小顺(1989),硕士,助理工程师,主要研究方向为高电压与绝缘技术;

刘 鹏(1987),硕士,工程师,主要研究方向为高电压绝缘技术;

王 喆(1990),工程师,主要研究方向为带电检测技术。

(收稿日期:2019-12-04)

[4] 谢超,郑望其,谭华安,等. 油色谱在线监测装置载气进入变压器本体情况分析[J]. 仪表技术,2014(8):35-37.

[5] 刘栋梁,王新彦. 浅谈变压器油中溶解气体在线监测系统的脱气技术[J]. 江苏电机工程,2009,28(3):72-73.

#### 作者简介:

谭华安(1980),高级工程师,主要从事高压直流输电系统运维技术研究工作;

刘春涛(1981),高级工程师,主要从事高压直流输电系统运维工作。

(收稿日期:2019-12-04)