

气体分析技术在 GIS 故障定位和故障类型判断中的应用

刘 永, 印 华, 姚 强, 邱 妮

(重庆电力科学试验研究院, 重庆 401123)

摘要: 笔者采用气体分析技术对一起 GIS 事故进行了分析、判断, 通过检测管技术确定了故障气室; 应用离子色谱法、GC-FTIR 联用法、气相色谱法对相关气室的气体进行了分析。通过该事例研究了故障下 GIS 中气体成分的变化情况, 探讨了故障下 GIS 中气体成分变化与故障性质的关系。

关键词: 气体绝缘金属封闭开关设备; 故障; 气体分析技术

中图分类号: TM595

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)03-0132-03

The Application of Gas Analysis Technology to Fault Location and Fault Diagnosis of GIS

LIU Yong, YIN Hua, YAO Qiang, QIU Ni

(Chongqing Electric Power Test and Research Institute, Chongqing 401123, China)

Abstract: A GIS incident is analyzed with gas analysis technology, and the fault chamber is determined by using detecting tube technique. The gas in the gas chambers concerned are analyzed by ion chromatography, GC-FTIR method, and gas chromatography. This case study also probes into the variation of the gas in a damaged GIS and the relation between the gas variation and failure causes.

Key words: GIS; fault; gas analysis technology

0 引言

气体绝缘全封闭组合电器(GIS)由于占地面积小、可靠性高,在电力系统中得到了广泛应用。如何对这种可靠性高、免维护设备进行有效的检测,避免事故的发生一直是国内外学者研究的热点^[1]。随着对 SF₆ 气体分解机理的深入研究以及检测技术和仪器的发展,气体分析技术已成为诊断 SF₆ 电气设备内部状况的有力工具。用该技术作为诊断工具的主要特点是不需对 SF₆ 电气设备作任何改动,不需要停电,不影响设备的正常运行。

1 气体分析技术简介

在以 SF₆ 气体作为绝缘介质的电气设备中发生放电性和过热性故障时,会导致 SF₆ 气体分解,并同时和有关杂质气体发生化学反应,产生一系列新的杂质气体。气体分析技术就是通过对这些杂质气体的检测来了解和判断设备中内部故障性质的分析技术。

促使 SF₆ 气体分解的放电形式以放电过程中耗

能的大小分为电弧放电、火花放电和电晕放电(或局部放电)3种。电弧放电主要是由于设备发生短路故障引起的,火花放电是一种气隙间极短时间的电容性放电,能量较低,产生的分解产物与电弧放电产生的分解产物有明显的差异;另外一种放电形式是电晕放电或局部放电,长时间的电晕放电或局部放电会导致分解产物的积累。除了上述3种能够引起 SF₆ 气体分解的主要放电过程外,过热作用也会促使 SF₆ 气体分解^[2]。SF₆ 气体在 GIS 不同的故障下会分解出 SF₄、C₃F₈、SOF₂、SO₂F₂、SOF₄、HF、SO₂、CO、CO₂、CF₄ 等中的一种或多种杂质气体。

2 GIS 故障实例分析

2008年1月15日重庆水碾变电站 220 kV GIS 母差保护动作,263号间隔发生故障,但当时故障具体部位及原因不明。在进一步的分析中,首先用检测管技术对故障进行了定位,然后用钢瓶采集了正常运行设备和故障设备的气体带回实验室进行分析。

2.1 利用检测管在现场对故障定位

检测管是根据要测定的样品气与检测管内填充的化学物质发生反应生成特定的化合物,生成的化合物与检测管内的指示剂作用发生颜色的变化,由

收稿日期:2008-10-27; 修回日期:2009-01-23

作者简介:刘 永(1977),男,工程师,从事绝缘化学工作。

颜色变化的深浅、长短检出样品中待测组分的体积分数,检测管可以用来测定 SF_6 气体中的某一种杂质组分,该方法可以快速地判断设备内部是否存在较严重的故障^[3,4]。

现场用取样袋采集了 263 号间隔各气室及母线气室的气体,用 HF 检测管和 H_2S 检测管对样品进行了检测,经检测除了在 2631 号气室中 HF 的体积分数超过 $30 \mu\text{L/L}$ (检测管的最大检测限),其他所有样品中都没有 HF 和 H_2S 。低硫氟化物在有水分存在的情况下会产生 HF,一旦检出,可以判断设备内部存在潜伏性故障。由此判断该 GIS 故障发生在 2631 号气室。

2.2 实验室的进一步分析

2.2.1 采用离子色谱法的分析

检测管分析方法只能快速地判断设备内部是否存在较严重的故障,其精度不理想,仅能作为半定量测量。在 SF_6 分解产生的低氟化物中有的极易水解和碱解,通过测定可水解氟化物的体积分数可以在一定程度上反映出 SF_6 气体中低硫氟化物杂质的体积分数^[2]。

传统的氟离子选择电极法测定可水解氟化物操作复杂,缺乏选择性,受干扰大,灵敏度低。采用快速、准确、灵敏度高的离子色谱法替代传统方法对样品中的可水解氟化物进行检测,具有更强的可操作性。我国实行的六氟化硫气体质量标准中规定可水解氟化物(HF 表示)的体积分数小于 $1.0 \mu\text{L/L}$,这主要是针对 SF_6 新气的标准,虽然国内目前还没有颁布运行设备中 SF_6 气体可水解氟化物标准,但从国内外的研究资料和经验来看,当运行设备中 SF_6 气体可水解氟化物的体积分数超过 $1 \mu\text{L/L}$ 时,要引起注意,当超过 $10 \mu\text{L/L}$ 时,则认为该设备存在异常。图 1 为故障设备离子色谱图,表 1 为故障样品可水解氟化物的测试结果。从表 1 中可以看出被测的正常运行设备 2632 号中可水解氟化物的体积分数只有 $0.05 \mu\text{L/L}$,而故障设备 2361 号中 SF_6 气体可水解氟化物的体积分数达到 $317.79 \mu\text{L/L}$,远远超过了 $10 \mu\text{L/L}$,表明该设备内发生了严重的故障。

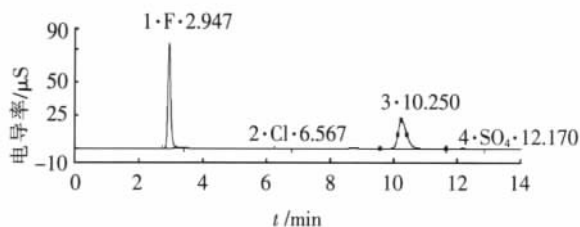


图 1 故障设备离子色谱图

表 1 样品可水解氟化物测试结果

	样品吸收液中 氟离子/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	可水解氟化物 (用 HF 表示)/($\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$)
正常设备 2632 号	0.002 9	0.05
故障设备 2631 号	18.597 0	317.79

2.2.2 运用 GC-FTIR 联用法进行定性分析

要判断设备的故障类型就必须对故障产生的杂质进行准确定性和定量分析。由于 SF_6 气体杂质的组分比较复杂,有些物质的保留时间十分接近,在某些条件变化后,其保留时间也会发生变化,这就给采用气相色谱进行定性带来很大困难,而 GC-FTIR(气相色谱——傅里叶变换红外光谱)联用技术可以解决这一难题,通过 GC-FTIR 联用,即能很好地利用了色谱优良的分选性能,又能发挥了红外光谱能够准确定性的特点。GC-FTIR 联用仪是由一台气相色谱仪通过光管接口与一台傅里叶变换红外光谱仪连接而成。样品经气相色谱分离后各组分按分离顺序通过接口后由红外系统进行扫描,可以得到样品的红外色谱图及红外光谱图,从红外色谱图的不同时间提取各组分的红外光谱图,用计算机进行处理后将其同各组分的标准红外图进行对比分析。如图 2 所示,从样品 2631 号的红外色谱图 2.68 min 处提取红外光谱图(a),该吸收谱图比较复杂,对其进行多次差谱处理得到谱图(b),将其同 SO_2F_2 的标准谱图(c)进行比较,能够很清楚地看出二者有相同地吸收峰,同时用计算机进行检索,可以确定该样品中存在 SO_2F_2 杂质,通过同样的分析方法在样品中发现了 CF_4 、 C_3F_8 等物质的吸收峰,表明故障样品中存在这些杂质。

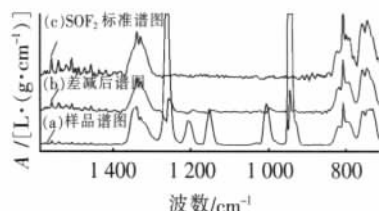


图 2 故障设备的红外谱图

2.2.3 用气相色谱法进行定量分析

气相色谱法是目前实验室分析 SF_6 气体杂质最普遍的方法。由于热导检测器还不具备直接测定 $\mu\text{L/L}$ 级低氟化物的灵敏度,因此采用热导(TCD)及火焰光度(FPD)双检测器串联气相色谱法对样品中的痕量杂质进行分离测定^[3],TCD 检测器检测空气、 CO_2 、 CO 、 CF_4 、 C_3F_8 等,FPD 检测器对于含硫化合物有特殊的选择性及灵敏度,在切除 SF_6 主峰后可检测位于 SF_6 主峰后的含硫氟化物杂质。分别对样品在取回的当天、一天后及一周后进行了色谱分析,气相色谱图见图 3、4,分析数据见表 2

在分析 SF_6 设备故障类型时,以目前的研究成果和资料表明^[3,4],实际能够用于判定故障类型的杂质成分主要包括: CO_2 、 CO 、 CF_4 、 C_3F_8 、 SO_2F_2 、 SO_2 和 SO_2 。根据国内外的研究资料和经验,如果检测出 SO_2 的体积分数高于 SO_2F_2 或 SO_2F_2 ,其故障类型以过热性故障为主。而通过比较 SO_2F_2 和 SO_2F_2 的体积

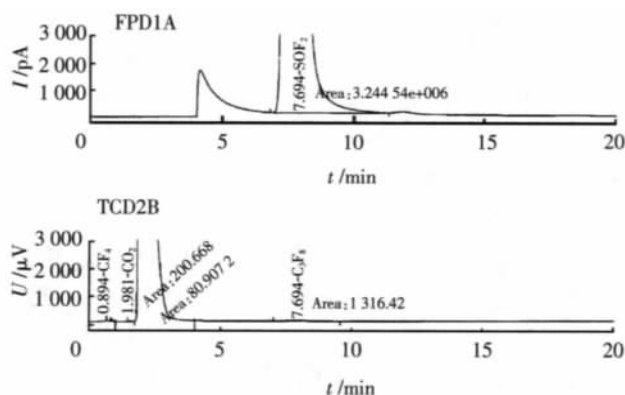


图3 故障样品当天色谱图

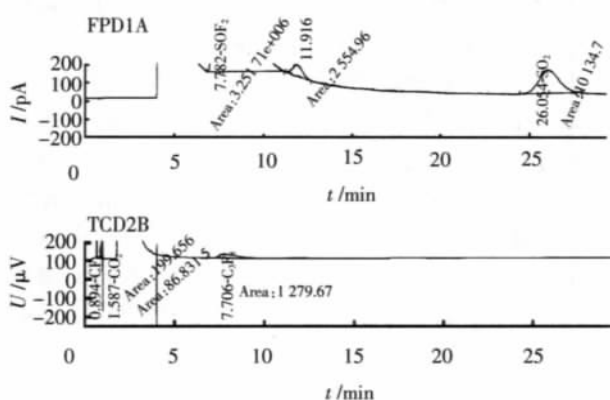


图4 故障样品一周后色谱图

表2 气相色谱测试数据

	杂质体积分数/($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)						
	CF ₄	CO	CO ₂	C ₃ F ₈	SOF ₂	SO ₂ F ₂	SO ₂
正常设备 2632号	6.0	0	10.0	188.5	0	0	0
故障设备 2631号当天	591.8	65.4	234.4	1 237.4	3 774.2	0	0
故障设备 2631号一天后	614.8	58.6	249.4	1 228.7	4 056.6	0	46.8
故障设备 2631一周后	588.8	62.3	251.6	1 202.9	3 781.9	0	256.0

分数,可以判断内部故障的放电性质。虽然电弧、火花和电晕放电都能产生 SOF_2 和 SO_2F_2 ,但是在电弧放电中, $\text{SOF}_2/\text{SO}_2\text{F}_2$ 比率较高,火花和电晕放电较电弧放电更容易产生 SO_2F_2 , SOF_2 产生量的多少直接取决于影响 SF_6 的电弧能量的大小。

从样品的气相色谱图和表2中可以看出故障发生的当天对样品测试中,2631号中不含有 SO_2 ,而一天后及一周后的样品测试中, SO_2 的体积分数呈明显的增长趋势,说明在故障发生时,并没有 SO_2 产生,它的增加量是在样品放置过程中由其他低硫氟化物水解生成,因此排除了设备过热性故障的可能。

在设备2632号中不含有 SOF_2 和 SO_2F_2 ,说明正常运行设备中是不含 SOF_2 和 SO_2F_2 的,而在故障设备2631号中 SOF_2 的体积分数突然增加到

3 774.2 $\mu\text{L/L}$, SO_2F_2 的体积分数没有变化, SOF_2 的体积分数远远超过 SO_2F_2 ,因此判断2631号气室发生了严重的电弧放电故障。

在正常运行的设备中,一般都会有不同程度的 CO_2 、 CO 、 CF_4 、 C_3F_8 等杂质存在,如果检测到 CO_2 、 CO 、 CF_4 、 C_3F_8 的体积分数较原始值有较大增加时则内部的故障可能涉及到固体绝缘材料。从表2中可以看到,正常运行的设备中 CO_2 、 CO 、 CF_4 、 C_3F_8 的体积分数都比很小,但是发生故障后这几种杂质的体积分数都有明显的大幅增加,并且比较稳定,因此最终判断在263号开关间隔2631号气室发生了严重的涉及固体绝缘材料的电弧放电故障。

通过对故障设备的解体,发现故障气室内发生了严重电弧放电故障,盆式绝缘子严重烧毁(如下图),最后认定是263号间隔内置式CT气室低位A相静触头插座上的屏蔽罩对地击穿放电,与用气体分析技术作出的故障性质判断是相符的。解体的故障气室见图5。



图5 解体的故障气室

3 结语

SF_6 气体分析技术可以在不影响设备运行的情况下,快速、准确的对设备异常或故障进行定位和判断,是保障 SF_6 气体绝缘设备安全运行的有效监督手段。 SF_6 气体绝缘设备故障的多样性和 SF_6 气体杂质的复杂性决定了在分析故障时不能靠其中单一的方法来实现,必须根据现场情况和自身条件选取合适的分析方法来进行综合判断。目前运行中故障样品数据量较少,同时相关的测试及监督标准欠缺,如何解决这一问题下一步研究的主要方向。

参考文献:

- [1] 仲伟涛,张健,申强. 高压 SF_6 封闭组合电器的发展及故障诊断[J]. 黑龙江电力, 2003, 25(6): 485-488.
- [2] 朱芳菲,孟玉蝉,郑铨. 六氟化硫气体分析技术[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1998.
- [3] 罗运柏,何志. SF_6 气体分解产物的现场检测与实验室分析技术[J]. 高压电器, 1990, 26(3): 40-45.
- [4] 黄云光,朱立平,王琪. 气体分析在GIS网络定位中的应用[J]. 广西电力(增刊), 2003: 85-87.