

# 电气设备 SF<sub>6</sub> 气体泄漏的红外检测技术

王俊波,徐 鑫,刘志陆,张伟忠,谭劲章

(广东电网有限责任公司佛山供电局,佛山 528000)

**摘要:**分析了电力系统六氟化硫(SF<sub>6</sub>)气体绝缘的电气设备的常用检漏方法的技术现状;针对电气设备 SF<sub>6</sub> 气体泄漏检测的红外检测,介绍了该检测技术的原理和方法。采用红外检测法进行了现场检测,检测结果表明:红外检测法能够快速准确地找出 SF<sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备的漏气点,值得在电力系统中推广应用。

**关键词:**SF<sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备;气体泄漏;红外检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号:1000-6656(2017)08-0043-04

## Infrared Detection Technology of SF<sub>6</sub> Gas Leakage of Electrical Equipment

WANG Junbo, XU Xin, LIU Zhilu, ZHANG Weizhong, TAN Jinzhang

(Guangdong Power Grid Co., Ltd., Foshan Power Bureau, Foshan 528000, China)

**Abstract:**The paper is to analyze the technology status of leak detection used in SF<sub>6</sub> electric equipment power system. Aiming at the infrared detection of SF<sub>6</sub> gas leakage in electrical equipment, the principle and method of infrared detection technology are introduced. According to the field test results, it can be concluded that the infrared imaging method can quickly and accurately find out the leakage point of SF<sub>6</sub> electrical equipment, which is worthy of popularization and application in electric power system.

**Key words:**SF<sub>6</sub> electrical equipment; gas leakage; infrared detection

随着 SF<sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备数量的日趋增多以及提高其运行可靠性专项工作在电力系统中的深入开展,缺陷和隐患基本在生产制造、出厂试验、交接及运行维护等各环节中就被发现和消除,从而极大程度避免了事故的重复发生,但是 SF<sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备漏气现象仍是难以避免和彻底杜绝的常见问题。以广东电网公司的统计数据为例,2015 年 SF<sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备涉及气体的缺陷共 180 起,其中密封不良导致 SF<sub>6</sub> 气体压力低引起闭锁或报警的缺陷为 63 起。SF<sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备发生泄漏的主要原因包括:生产工艺不良,外壳上有砂眼,密封材料质量欠佳;现场安装质量不高,密封面处理不到位;设备运行中发生振动,如开关分合、变压器运行中的振动,密封材料老化等原因。受目前检漏技术的限制,SF<sub>6</sub> 气

体泄漏点的查找与定位难度比较大。

笔者分析了电力系统六氟化硫(SF<sub>6</sub>)气体绝缘的电气设备的常用检漏方法的技术现状,针对电气设备 SF<sub>6</sub> 气体泄漏检测的红外检测,介绍了该技术的检测原理和方法;并采用红外检测法进行了现场检测应用,取得了较好的效果。

## 1 SF<sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备检漏的必要性

SF<sub>6</sub> 气体作为电气设备的重要组成部分,发生泄漏后会带来多方面的困扰。第一,从设备运行维护的角度来讲:① SF<sub>6</sub> 气体起着绝缘和灭弧的重要作用,一旦发生泄漏必然导致电气设备内部 SF<sub>6</sub> 压力降低,绝缘及灭弧性能会大幅下降,严重时会导致电气设备发生绝缘击穿故障。② 气体微水含量是评价 SF<sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备绝缘状况的另一重要技术指标,存在泄漏点时空气中的水蒸气很容易进入设备内部,引起 SF<sub>6</sub> 气体微水超标,SF<sub>6</sub> 气体和水份发生化学反应生成的氢氟酸(HF)具有很强的腐蚀性,生成的二氧

收稿日期:2017-02-22

作者简介:王俊波(1986—),男,工学硕士,高级工程师,主要从事高压试验工作

通信作者:王俊波,honeymoon651@126.com

化硫(SO<sub>2</sub>)遇水生成的硫酸也具有腐蚀性;同时,水份的凝结对沿面绝缘也是有害的,通常气体中混杂的水份在温度降低时可能凝结成露水附着在零件表面而产生沿面放电,甚至引起事故。③ SF<sub>6</sub>气体价格昂贵,泄漏将使得运行维护成本大大增加。第二,从环境保护和职业健康角度来讲:① SF<sub>6</sub>属于温室气体,对温室效应的影响是同等比重二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的23 900倍,是京都议定书禁止排放的。② 虽然SF<sub>6</sub>气体不会自行分解,但当电气设备内部出现局部放电、电弧或是过热现象时,会产生分解并与设备内的空气发生化学反应,产生二氟化硫(SF<sub>2</sub>)、四氟化硫

(SF<sub>4</sub>)、氟化亚硫酰(SOF<sub>2</sub>)、氟化硫酰(SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)等强毒性和腐蚀性的气体;一旦SF<sub>6</sub>气体的分解物发生泄漏,将对运行维护人员的安全构成严重威胁<sup>[1]</sup>。

## 2 电气设备SF<sub>6</sub>气体泄漏检测技术现状

对于SF<sub>6</sub>气体绝缘的电气设备气体泄漏的检测方法比较多,主要包括:肥皂泡法、包扎法、真空法、卤化物检测法、声波法、超声波法、气敏半导体法、湿敏传感器法、电化学法、紫外线电离法、热导检测器法、示踪法、激光成像法等<sup>[2-3]</sup>。以上各种检测方法的实现方法和优缺点如表1所示。

表1 常见电气设备SF<sub>6</sub>气体泄漏检测方法对比

检测方法	实现方法	优缺点
肥皂泡法	在疑似点涂抹肥皂水,观察是否产生气泡,据此判断是否存在SF <sub>6</sub> 气体泄漏	检测方法简单,无需贵重仪器,但检测精度差,检测具有盲目性,检测周期长不适合普测
包扎法	在疑似点包扎塑料袋,静置规定的时间后采用定量检测仪检测包扎部位的SF <sub>6</sub> 气体浓度来判断是否漏气	可以实现定量检测,但容易受到环境温度、气压、包扎塑料袋体积、检测仪器等的影响
真空法	对于尚未充气的SF <sub>6</sub> 气体绝缘的电气设备,将设备各部分抽真空至约133 Pa,并静置4 h及以上,通过检测真空度下降与否判别是否漏气	适用于出厂检测,不能实现带电测试,应用的局限性较大
卤化物检测法	利用金属铂的“卤素效应”判别检测点是否漏气	可以定量计算出泄漏点的泄漏速度、气体浓度等具体参数,测量精度不高
超声波法	在温度、压强相同的条件下,求待测气体浓度便可转化为求混合气体平均声速的问题,采用相位差法测声速,即在发射超声波的同时开始脉冲计数,直到检测到回波信号的幅值超过一定阈值后停止计数,再与计数周期相乘便得到超声传播时间,固定的传播距离除以该时间即为声速 <sup>[4]</sup>	测量精度受振动、噪声干扰以及超声波在气体介质中衰减的影响较大
声波法	利用声音在SF <sub>6</sub> 气体中的传播速度小于在大气中的传播速度的特点进行检测	检测方法简单,但灵敏度很低,受限于环境中SF <sub>6</sub> 气体的所占比例
气敏半导体法	利用气敏半导体吸附气体后阻值的变化来判定所吸附气体的种类和浓度,从而判别是否发生泄漏	使用历史比较久,技术相对比较成熟,检测灵敏度尚可
电化学法	利用电化学气体传感器测量电流值,通过间接计算SF <sub>6</sub> 气体在被检部位附近环境中的浓度实现	测量精度高,但是传感器容易发生饱和,而且零点漂移会随着测量精度的提高而增大
热导检测器法	通过不同气体后,热敏元件的阻值变化不同,检测电路中电流也随之变化,根据电流变化值和气体的热导系数可以计算出SF <sub>6</sub> 气体浓度	检测结果受气流稳定性的影响较大,检测结果不直观,需要计算分析,不便于现场应用
示踪法	利用SF <sub>6</sub> 气体的吸附特性,加入可被SF <sub>6</sub> 分子吸附的物质进行标记,间接测量SF <sub>6</sub> 气体浓度	检测精度高,需要使用辅助气体,仅限于实验室研究,在现场难以操作
湿敏传感器法	利用漏点处会发生温度与湿度变化以及变化与泄漏速度呈正相关的特征来确定漏点以及泄漏速度和严重程度	对温度、湿度传感器的灵敏度要求高,且无典型应用案例,仅处于理论研究阶段
紫外线电离法	通过对比检测仪器的输入与输出波形来判断是否发生泄漏,输出波形的滞后时间代表泄漏的SF <sub>6</sub> 量	SF <sub>6</sub> 泄漏程度可以通过波形直观反应,测量精度尚待提高
激光成像法	对被检部位发射激光,反向散射激光进入激光摄影机成像系统,SF <sub>6</sub> 气体会吸收激光能量,利用反向散射激光差异引起的成像差异来判定是否存在泄漏。	属于间接目视检测,检测结果精度高,但激光器成本高且体积庞大,不便于现场检测

### 3 SF<sub>6</sub>气体红外成像原理及检测仪器

#### 3.1 SF<sub>6</sub>气体红外成像原理

SF<sub>6</sub>气体是目前最稳定的绝缘气体,与空气相比其红外吸收特性极强。由SF<sub>6</sub>透过率曲线可知,SF<sub>6</sub>气体从波长10.4 μm开始显现红外吸收特性,在10.6 μm时SF<sub>6</sub>吸收性最强,随后逐步衰减,在10.7 μm出现一点反弹,至10.9 μm红外吸收特性消失。使用波长在10.3~10.7 μm间的红外热像仪就可以使肉眼原本无法观察到的SF<sub>6</sub>气体的泄漏变得可视化。气体泄漏红外检测技术就是利用SF<sub>6</sub>气体比空气对特定波段红外线有更强的吸收能力这一特性,采用后向散光成像技术进行成像的。当被检测区域存在SF<sub>6</sub>气体时,由于SF<sub>6</sub>气体对10.3~10.7 μm波段的红外光线具有强烈的吸收作用<sup>[5-6]</sup>,所以此时反射到检测设备的红外线能量因吸收作用而急剧地减弱,SF<sub>6</sub>气体在检测仪器的显示屏上显示为黑色的烟雾状。此时,检测人员便可以方便直观地定位SF<sub>6</sub>气体泄漏源。

#### 3.2 检测仪器

检测仪器采用美国FLIR公司的GF306型红外气体检漏测温成像仪,如图1所示。该仪器采用被动式红外检测技术,可以远距离检测SF<sub>6</sub>气体泄漏点并成像,采用制冷型量子陷阱探测器,具有0.025 °C的热灵敏度,可将图像及视频直接存储在SD卡内,具有可旋转的大屏幕显示屏,体积小、质量仅为2.4 kg,锂电池可以持续工作4 h以上,方便现场使用。



图1 GF306型红外气体检漏测温成像仪外观

通常情况下,SF<sub>6</sub>气体绝缘的电气设备的气体泄漏是非常微弱的,为了将这个微弱的渐变现象可视化,仪器会对采集到的图像或视频进行处理后再展示给检测人员,GF306型红外气体检漏测温成像仪采用帧间差分法对原始视频进行处理进而实现漏气点的精确定位<sup>[7-8]</sup>。帧间差分法可以提取视频中运动的部分,将所拍摄的若干帧图像校正在同一坐标系下,然后将同一背景不同时刻两帧图像进行差分运算,灰度不发生变化的部分不会出现在差分图

像中,而运动变化的部分会被凸显出来。在测试过程中,将拍摄到的第一帧图像作为背景图像,将其标记为第K帧图像,那么第K+1帧图像就是当前图像,通过第K+1帧图像与第K帧图像的帧间差分来发现是否存在气体泄漏点;无论是否发现气体泄漏点,均将第K+1帧图像替换第K帧图像作为最新背景图像,若未发现气体泄漏点则舍弃第K帧图像不保存,若发现气体泄漏点则保存第K帧图像;如此反复地做帧间差分运算,最终通过保存下来的所有图像精确定位气体泄漏点。

#### 3.3 典型案例应用

##### (1) 案例一

2015年5月13日,佛山供电局某110 kV变电站#2主变变高102开关出现气压低告警信号。对该110 kV变电站#2主变变高102开关进行巡视的过程中,发现102开关压力已降至0.475 MPa。其在不到两天的时间内,102开关压力值由0.53 MPa降至0.475 MPa,降幅为0.055 MPa,初步怀疑为102开关出现SF<sub>6</sub>泄漏现象。利用红外检漏仪对102开关进行检漏,检漏结果显示102开关B相灭弧室与支撑瓷瓶间的法兰出现漏气现象,泄漏点如图2所示。对其进行解体检查,发现支撑瓷瓶上法兰面上有大量氧化物。

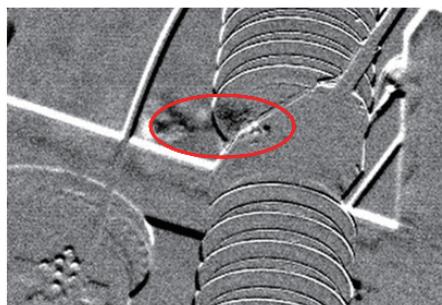


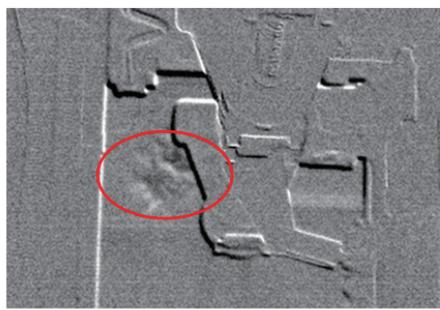
图2 102开关B相SF<sub>6</sub>泄漏点

##### (2) 案例二

2016年9月27日,佛山供电局某220 kV变电站220 kV气体绝缘组合电器(GIS设备)母联2012开关C相出现气压低告警信号。初步怀疑为2012开关出现SF<sub>6</sub>泄漏现象,利用红外检漏仪对2012开关进行检漏。检漏结果显示补气阀与断路器本体焊接处存在漏气点,泄漏点如图3所示。

### 4 结论与展望

SF<sub>6</sub>气体绝缘的电气设备的多种检漏技术手段均有其适用范围和局限性,除激光成像法之外均属于非目视检测法,最大的弊端在于监测结果不直观。

图3 某2012开关C相SF<sub>6</sub>泄漏点

红外成像应用于SF<sub>6</sub>气体绝缘的电气设备的无损检测属于新兴的检漏技术,可以实现非接触式带电测试,对于微量SF<sub>6</sub>气体泄漏能够实时捕捉、清晰成像、准确定位,在一定程度上克服了目前现有检测手段的不足,丰富了检测手段。今后,红外成像应用于SF<sub>6</sub>气体绝缘的电气设备的检漏的发展趋势将会是图像特征提取、视频图像再处理等<sup>[9-10]</sup>,诸如采用图像增强、小波阈值去噪、帧间差分法、局部熵差法等方法或者是多种算法的优势互补,对原始图片、视频进行数字化图像处理,突显SF<sub>6</sub>气体的泄漏轨迹和位置,为检测人员提供更为直观的图像判据<sup>[11-12]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 朱栋.SF<sub>6</sub>电气设备检漏检测方法的探讨[J].宁夏电力,2008(S1):94-97.
- [2] 曾令甫,张良伟,马进明,等.高压电气设备SF<sub>6</sub>检漏方法比较和应用[J].山东电力技术,2016,43(6):37-42.
- [3] 袁世奇,代洲,陈芳.高压电气设备SF<sub>6</sub>气体泄漏检测方法比较[J].南方电网技术,2013,7(2):54-58.
- [4] 陈长江,阳小明,李天倩,等.相对时差超声法检测微量SF<sub>6</sub>浓度及FPGA实现[J].西华大学学报(自然科学版),2014,33(3):54-56.
- [5] 葛楠,彭光正,纪春华,等.红外图像融合在气体泄漏定位中的应用[J].光电工程,2009,36(8):33-39.
- [6] YONAK S H, DOWLING D R. Parametric dependencies for photoacoustic leak localization[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2002, 112(1):145-155.
- [7] 毕国玲,赵建,隋龙,等.基于红外图像的SF<sub>6</sub>检漏定位系统[J].光电工程,2011,38(3):76-80.
- [8] 张辉,张淑仪,列剑平,等.增强型六氟化硫激光检漏成像仪的研制与应用[J].无损检测,2009, 31(4): 943-945.
- [9] 耿江海,王平,郝飞.SF<sub>6</sub>气体泄漏光学成像检测视频的图像再处理技术[J].高压电器,2014,50(6):45-49.
- [10] 耿江海,王平,田姗.SF<sub>6</sub>气体泄漏光学检测图像特征提取方法研究[J].中国电力,2014,47(1):8-12.
- [11] 孙朝明.数字射线成像中原始图像数据的定义与保存[J].无损检测,2014, 36(2):56-59.
- [12] 蔡兰,陈祯,梅林.图像增强技术在X射线探伤中的应用[J].无损检测,2005, 27(5):256-258.

(上接第42页)

根据钢材相应的轧制方向,选用相应的DAC曲线对两个试验件分别进行检测。检测结果如表1所示。从表1可看出,深度最大偏差为0.2 mm。检测结果与实际深度相同,说明该方法能够对缺陷进行准确定位。

表1 试验件缺陷的实际深度和检测

项目	缺陷编号	深度的偏差		mm
		实际深度	检测深度	
L方向试验件	1	8	8.0	0
	2	20	20.2	0.2
	3	36	35.8	0.2
T方向试验件	1	10	10.1	0.1
	2	18	18.1	0.1
	3	36	35.8	0.2

#### 4 结语

由于TMCP钢各向异性的声学特征,针对钢材不同的轧制方向,制作相对应的TMCP对比试块,用TMCP对比试块结合标准试块进行仪器的校准和DAC曲线的制作。由于TMCP对比试块和现场待检工件是一致的,所以,校准后的超声波仪器相关参数和现场待检工件的相关参数是一致的。表明该超声波仪器校准方法,能准确可靠地对缺陷进行定位定量,对确保TMCP钢焊缝的质量有着重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 尹润朋,王贺.TMCP钢中声速与折射角的修正[J].无损检测,2012,34(8):48-50.

欢迎网上投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告