

红外成像检漏技术在六氟化硫电气设备 检漏工作中的应用

杨博伦

国网陕西省电力有限公司延安供电公司

摘要:六氟化硫(六氟化硫)气体是一种无色无味的惰性气体,具有高真空、无毒性、绝缘性好等特性,广泛应用于电气设备中。随着电力网络建设规模逐渐扩大,采用六氟化硫气体作为绝缘材料的主要设备因其占地面积小、体积紧凑、安装简便以及运行和维护工作量少的优点,正在逐渐在电网系统中得到更广泛的应用。由于设备内部存在大量不同类型的缺陷,如果不能及时进行排查并处理,会造成大面积停运甚至引起安全事故,影响供电可靠性。因此,在过去的几年中,各个单位都在努力寻找主要设备的灭弧、绝缘介质的泄漏以及泄漏的具体位置。这样做的主要目的是为设备清除气体泄漏的缺陷提供明确的方向,并为设备缺陷的性质、状态评估以及停电时的消缺工作计划提供科学依据。

关键词:红外检漏技术; 电厂电气设备; 状态检修

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-627X.2023.08.092

引言

近几年,国内外广泛采用的六氟化硫气体泄漏检测方法主要包括局部包扎与定量检漏仪联合检漏法、定性检漏仪直接检漏法以及“卤素效应”检漏法。其中局部包扎结合定量检漏仪检漏法是目前使用最为普遍和广泛的一种。这些泄漏检测方法存在多个不足,包括容易受到环境因素的影响、包扎过程复杂且工作量巨大、需要与停电事件配合使用,以及无法精确地确定漏点位置。随着科学技术的发展,人们开始关注和研究新型的六氟化硫设备检测方法,即红外光源检漏法。相较于前述的检漏技术,红外成像检漏方法在远程、无须接触、电力不中断、高灵敏度、直观性和广泛的应用范围等方面具有明显优势,并已在六氟化硫电气设备的检漏任务中得到了成熟的应用,同时也发现了大量泄漏相关的故障。

一、电网设备检漏方法现状分析

在没有安装红外检漏成像仪之前, SF₆气体泄漏的检测一直是通过肥皂水气泡测试法和声光报警仪测试法来完成的。这两种方法都存在着操作复杂、效率低下等缺点,且对人员要求高、安全性差。实际上,这两种测试方法通常需要同时应用,首先利用声光报警仪测试法来确定一个大致的范围,然后再采用肥皂水气泡测试法进行精确的定位。由于肥皂水气泡测试是利用液体自身浮力产生压力作用,因此对操作人员要求高,且无法判断是否有空气进入。皂水气泡测试法虽然取材简便、直观且有效,但它需要对每个部位进行涂抹观察,这不仅工作量巨大,而且适用性也相对较差。声光报警法则利用便携式定性检漏仪在设备表面以缓慢且均匀的方式移动,并结合局部包扎法,从而实现了较好的检漏效

果。其操作简便,不影响生产,且对操作者要求不高。然而,它的工作环境受到外部环境的强烈影响,工作条件相当严格,必须在晴朗、无风的环境中进行,而且工作的工作量也是非常大的,通常需要半天或者一天的时间。

有很多时候检修人员都会选择带电作业来进行堵漏,即利用高压放电法、超声波法等物理手段来对泄漏部位进行探测,然后根据不同的情况采取相应的措施。这两种方法的最大不足在于它们不能进行带电检测,并可能导致设备断电。一旦出现误报、漏报就会引起大面积停电事故。在必要的情况下,还需要暂停母线或主变,这将给电网带来巨大的经济损失。

二、红外检漏成像仪的检测原理

红外检漏成像仪是一种尖端的技术设备,它在石油化工、电力和核能等多个行业的检漏任务中得到了广泛的应用。该检测方法依赖于红外辐射的属性,通过清晰度的图像清晰地展示隐藏的泄漏源,为我们提供了坚实的数据依据和判断标准。

首先,红外检漏成像仪通过其独特的红外探测器和光学系统,有能力感知并改变泄漏源附近环境中红外辐射的波动。在检测过程中,通过对不同温度下的辐射强度进行计算分析可以获得相应的漏率值。在存在泄漏源的情况下,这一区域的环境温度将会发生波动,进而导致与其周边环境不同的热辐射现象。

其次,红外检漏成像仪能够接受红外辐射,并将其转化为电信号,然后利用特定的软件对图像进行处理和分析。在此基础上可以利用红外热成像技术检测管道泄漏点。这批软件具备展示泄漏源区域内热量分布的图像

功能，并能通过多种颜色来标识不同的温度区域，进而清楚地展示泄漏源的具体位置和规模。

另外，红外检漏成像仪拥有迅速响应的优势，能够几乎实时地展示泄漏源的存在情况。因此，采用该设备对管道进行检测是一种非常有效和快速的方法。仪器在接收到红外辐射后，有能力迅速地将其转换为图像，并立即展示在显示屏上。同时通过对检测结果进行分析后得出气体泄漏点位置以及大小等信息，以便于现场技术人员及时做出准确判断和有效治理。这样的实时响应能力确保了工作人员能够迅速了解泄漏的状况，并迅速采纳必要的手段进行干预，从而减少事故的可能性。

除此之外，红外检漏成像仪还拥有高分辨率和远程检测的功能。在使用过程中，该设备可以对被检对象进行连续监控，并将现场数据实时传输给上位机，以便工作人员及时了解泄漏点情况，为后续维修提供依据。该红外探测器具有高分辨率，能有效地捕获微小泄漏源附近的温度波动，从而让操作人员有机会观察到微小的温度热点。另外，它具有很好的抗干扰性能，在外界环境干扰下也能正常工作，因此可用于对泄漏源附近区域内的液体或气体等介质的监测。最后，检漏成像仪具备远程检测的能力，避免了与泄漏源的直接接触，这极大地提高了其工作的安全与效率。

三、现场检漏工作中的应用

在过去的几年里，某个供电局采用红外成像漏检技术，对正在运行的各种六氟化硫电气设备进行了现场带电漏检，成功地确定了77个泄漏点。该系统采用了“高压带压堵漏”和“非接触式测量”两种方法，并结合了“漏风率-时间曲线”理论模型及相应的软件算法实现故障精确定位。经过实地应用的观察，与其他的检漏方法相比，六氟化硫红外检漏技术具有较低的盲目性，能够进行远程操作，不需要停电或包扎设备，也不需要特定的背景信息，就能准确地确定充气设备的泄漏点。同时由于采用了非接触式测量原理和先进的图像处理方法，使得该系统具有更高的可靠性及安全性，能及时发现设备存在的隐患。为了更有效地维护充气设备，我们根据电压级别、设备种类、现场安装方法以及设备漏气位置等多个方面，对红外检漏缺陷的数据进行了全面的综合分析。

（一）漏气原因分析

1. 法兰盘连接面漏气缺陷

在这一特定区域，共有20起泄漏事件发生，这些泄漏事件占据了缺陷总数的30%，并且都是户外的设备。这种方法对螺栓受力影响比较大，尤其对于大型部件更

明显。从法兰盘的现场结构来看，目前的现场安装方式是采用静态密封结构，而在安装过程中，密封胶的使用是为了帮助密封圈提高其密封效果。为了提高螺栓连接可靠性和密封性，需要对螺栓预紧量进行计算。当密封圈受到压缩时，会产生一定的接触力。如果螺栓的强度不足，就会导致密封圈变形伸长，从而降低密封圈的压缩率。如果强度过大，就会导致压缩率过高，密封圈产生的应力会较大，加速密封圈的劣化。当两颗螺栓的数量较少时，它们之间沿着密封圈的路径会变得更长，这会导致它们被压缩得不均匀，并增加局部泄漏点的风险。由于这些螺栓的数量是由制造商在设计时根据盆子的尺寸来确定的，因此经过分析，可能会出现如现场力矩不均、螺栓数量不足以及密封件存在如不平整、划痕等质量问题的情况。

根据现场设备的安装方法分析，目前主要是水平安装和垂直安装，而出现漏气缺陷的法兰盘通常是垂直安装的。当容器内充满液体或气体时，则需将容器倾斜一定角度，以消除因液体对容器内壁产生的应力。盆子的主要功能是为气体提供支撑和隔离。当它被垂直安装时，支撑的重量会增加。如果长时间受到较大的挤压力，当这种压力达到一定程度时，它会对盆子产生压迫，导致上面的边缘首先出现裂缝，从而使气体从这些裂缝中逸出。

从设备的安装环境来看，法兰盘的漏气问题主要发生在户外，长时间受到光线、雨水等外界因素的干扰。由于现场主要是垂直安装，法兰盘的上部和中部容易受到雨水和光线的侵蚀。另外，由于密封区域主要使用橡胶作为材料，这增加了上部密封老化的风险。

2. 压力表头的连接部位存在漏气的缺陷

在该区域，共有11起泄漏缺陷发生，这些缺陷占据了总缺陷的20%，包括户外的9起和户内的2起。观察压力表头的漏气位置，我们可以发现漏气点主要位于压力表与其主体的连接部位。从设备的运行年限来看，它已经基本运行了超过12年的时间，因此可以推断主要是由于内部密封胶垫的老化造成的。

根据现场的拆卸需求，所有设备在投产前都已按照交接规程的要求对所有连接部位进行了包扎和检漏（包括每一个压力表），因此基本上可以排除压力表漏气是由于安装时造成的。由于检修人员不熟悉仪表结构和操作方式，往往不能及时发现问题并及时解决，造成了一定的经济损失。在日常的运营维护中，由于现场需要定期进行气体检测（每3年进行一次）、校准表计和充气操作，但由于测试口没有安装三通阀，需要频繁地拆卸

压力表，因此分析可能会发现频繁拆卸会导致密封效果不佳。

3. 电压抽取装置的二次引线盒中存在漏气的问题

在该区域，共有7起泄漏缺陷发生，这些缺陷占到了总缺陷的13%，并且都是户外设备造成的。

这个缺陷相当难以察觉，需要打开其上方的封板才能进行检测。在现场对外部盖板进行检查后，发现其内部有锈迹。在检修过程中发现内盖板上有明显漏液现象。经过仔细分析，我们发现该部位的外盖板主要负责防水和密封，而与本体连接的内部密封则主要负责气密性的维护。通过查看发现，在外部有水渍时，内表面会被水润湿，造成密封性变差，从而发生漏水现象。在正常情况下，打开外部盖板时不应出现漏气现象，但如果确实有漏气，那就意味着内部的密封效果并不理想。在对内箱体进行检修时发现有部分区域漏雨。经过与制造商的深入沟通，我们认为是进水对内部密封面的侵蚀导致了气体泄漏。

为了彻底消除类似的漏气问题，我们对相似的设备进行了防水处理，这包括在电容和其他所有内部接线端子上涂抹防水胶；在上端盖的边缘设置一圈密封圈。确保密封垫和盖子之间紧密黏合，以避免在打开盖子时胶圈的掉落或位置偏移；将盖板连接螺栓的位置更改为防水垫圈；将原密封方式改为机械密封。电缆的保护套管经过了完善的防火泥封堵处理。

4. 沙眼造成的气体泄漏缺陷

这种类型的泄漏缺陷总共发生了6次，都是室内设备造成的。在6个沙眼漏气的缺陷案例中，有3个漏气发生在焊接点位置，因此可以断定这是由于虚焊造成的漏气。根据其特点可以认为这是一个典型的漏氢现象，但并非真正的漏氢量大引起的。另外，GIS主体罐上沙眼漏气的情况也比较常见。目前，无论是设备出厂前还是现场投运前，都普遍采用局部包扎法，这使得发现该缺陷变得相当困难。所以可以通过检查压力来判断是否有漏液现象。然而，沙眼的漏气速度相对较快，观察压力的变化是最直观的方式。当设备的压力迅速下降时，在确保连接面没有密封的前提下，建议采用红外成像技术来检测罐体的泄漏。

(二) 建议

(1) 强化对六氟化硫电气设备在出厂监控和现场验收阶段漏检工作的管理和控制。

(2) 在六氟化硫电气设备的技术条件手册中，明确规定了需要预先设置必要的测试接口。对于需要拆解的压力表，推荐安装三通阀，以方便现场测试和补充气

体。

(3) 在进行充气设备的现场安装过程中，必须确保法兰面没有任何划痕，同时密封槽和密封圈的表面也不能有灰尘或异物存在。在紧固螺栓的过程中，还需要对角进行对称的紧固，并均匀地压紧法兰面。

(4) 在日常的运营维护过程中，如果发现充气设备的压力有明显的波动或需要经常补充气体，那么应当立即进行红外泄漏检测和排查。

(5) 对于变高套管的外部法兰盘位置，建议进行力学测试。

(6) 确保对充气设备进行适当的维修和保养，及时替换那些可能因使用寿命结束、容易老化或损坏而导致气体泄漏的部件，例如密封垫，从而消除潜在的泄漏风险。

结语

六氟化硫的红外泄漏检测技术拥有多种优势，包括长距离、无须接触、电力不中断以及高度的灵敏性。它不仅能检测出电气设备内部缺陷及外部漏点的存在，而且还可以通过对泄漏源进行定位来实现快速排除故障或确定漏气原因。在电力生产的实际操作中，我们发现使用红外检漏技术可以显著减少设备的停电时长和工作人员的现场工作时间，从而节省因六氟化硫气体泄漏导致的大量人力、材料和设备成本。这为运维团队提供了宝贵的帮助，使他们能够及时并有效地确定充气设备的泄漏位置，制定合适的维修策略，并确保设备的安全运行。

参考文献

- [1]程伟, 苏镇西, 马凤翔, 等. 混合绝缘气体电气设备中气体泄漏检测技术研究[J]. 高压电器, 2016, 52(12): 146G 150.
- [2]李永祥, 王天正, 李艳鹏, 等. 基于红外成像检漏技术的设备气体泄漏异常分析[J]. 高压电器, 2016, 52(7): 185G191.
- [3]胡连清, 刘卫东, 李哲文, 等. SF₆气体红外成像检漏仪与定量检漏仪现场使用经验探讨[J]. 高压电器, 2014(10): 126G130.
- [4]武胜斌, 郑研, 陈志彬. 基于红外测温技术的GIS导体温度在线监测的方案[J]. 高压电器, 2009, 45(4): 100G 102.
- [5]胡伟涛, 隋少臣, 韩建波. 红外检漏成像仪在SF₆电气设备状态检修中的应用[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 91.