

[故障检测]

紫外成像检测技术在高压电气设备故障诊断中的应用

文/中电华创电力技术研究有限公司 王晓剑 何天磊 陈 聪 徐俊元 胡 磊

介绍了紫外成像检测技术的工作原理与诊断方法，分析了影响检测结果的几种因素以及紫外成像的技术特点。并结合案例，阐述了紫外成像检测技术在高压电气设备故障诊断中的应用。

随着我国电网规模和装机容量的不断扩大，电力系统对高压电气设备可靠性的要求越来越高，这就要求设备管理单位要不断提高预防性维护水平。近年来，随着电气设备运行状态的在线检测和故障诊断技术快速发展，对提高设备运行的可靠性、经济性和降低维修成本都具有重要意义。

绝缘劣化是引起电气设备故障损坏的主要原因之一。设备绝缘劣化一般会伴随着产生电晕放电和表面局部放电现象。因此，进行电晕放电检测，能够及时掌握绝缘可能出现的劣化迹象，在严重事故发生之前就可以确定绝缘劣化的严重程度，从而避免事故的发生。紫外成像检测技术正是基于此，在电力系统中得到了越来越广泛地应用。与传统检测方法相比，紫外成像检测技术可以在设备不停电的情况下，更加灵敏、直接地检测设备的放电强度，使绝缘劣化在设备缺陷的早期就能及时被检测出，保证了电力系统的安全稳定运行。

紫外成像检测技术

1. 检测原理

高压设备由于绝缘劣化、受潮等原因会发生电离放电，根据电场强度的不同，可分为电晕放电、间歇性电弧放电和持续性电弧放电3个等级。电离放电的本质是电子释放能量的过程，同时会辐射出紫外线（UV）、可见光和声波等。

紫外线的波长范围是40~400 nm，太阳光中部分波长的紫外线被地球上的臭氧层吸收，实际辐射到地面上的太阳紫外波长大多在300 nm以上，低于300 nm的波长区间称为太阳盲区，因此，紫外成像仪在白天也可以进行检测。电晕放电辐射出的紫外光波长范围为230~405 nm，紫外光滤波器的工作范围为240~280 nm，将该波段比较微弱的紫外光信号经过影像放大器变成可视的影像。紫外成像仪的工作原理如图1所示。光源经过光束分离器，分别送给紫外光和可见光检测通道。紫外光通道用于电晕成像，可见光通道用于被测设备及环境成像。采用图像融合技术将两个影像叠加在一起，就可以确定电晕的放电量，并能够精确地定位放电区域。

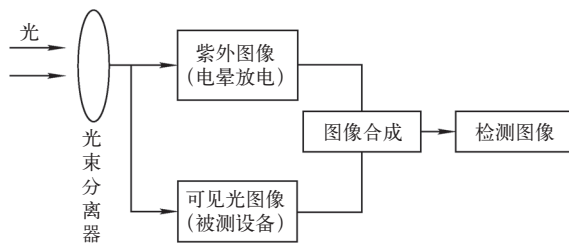


图1 紫外成像原理框图

2. 诊断方法

紫外成像检测技术检测的直接参数是光子数，由于该参数受到检测距离、环境（如湿度、

温度等)以及设备参数(如增益)等很多因素的影响,如何量化这些指标与光子数之间的关系,仍处于研究阶段,目前国内外尚未形成统一的标准。美国EPRI的一份导则中规定了一个比较简单的分级,如下表所示。需要说明的是,该分级判定方法比较粗略,仅供参考。

表 紫外光子分级判定

放电强度	1 min光子数	结果判断	处理方案
高度	> 5 000	可以快速形成腐蚀或部件已严重损毁	马上维修或更换有缺陷的部件
中度	1 000~5 000	有可能形成腐蚀或部件已有一定损毁	制定维修或更换时间
轻度	< 1 000	有可能缩短部件寿命或部件可能有轻微损毁	继续留意电晕发展

注:测试条件为环境温度约20℃,相对湿度60%,测试距离30 m,增益设定为100。

我国DL/T 345—2010《带电设备紫外诊断技术应用导则》中规定的检测及诊断方法有图像观察法和同类比较法。图像观察法主要根据带电设备电晕状态,对异常电晕的属性、发生部位和严重程度进行判断和缺陷定级。同类比较法是通过同类型带电设备对应部位电晕放电的紫外图像或紫外计数进行横向比较,对带电设备电晕放电状态进行评估。除了上述两种诊断方法,建议在日常检测中,对同一设备在不同时期的紫外图谱进行分析,根据电晕的强度,判断设备是否正常。由于紫外成像的结果容易受到多种因素的影响,因此尽量选择相同的条件下进行检测。

紫外成像的技术特点

与目前采用的电气检测方法相比,紫外成像技术具有如下特点:①可在设备带电状态时开展,是一种无损检测技术,不会对系统运行和设备本身造成任何影响;②可以发现设备早期的缺陷,灵敏度比较高;③可以定量显示放电强度,精确定位放电部位,并且以图像形式显示出来,比较直观;④有利于提升电厂的状态检修与运行管理水平。根据检测结果,评估设备的状态,执行相应等级的维修策略,进一步提高了设备的运行可靠性。

影响检测结果的因素

1. 检测距离的影响

随着观测距离的增加,检测到的光子数呈现

减小的趋势。针对该情况,开展了很多研究,并形成了标准。在实际检测中,最好先把光子数的检测结果折算到相同距离条件,再进行分析比较。

2. 环境的影响

环境中的温度、湿度、气压和风力都会影响检测结果。在高温、低气压的环境中比在低温、高气压环境中更容易发生放电。风力对检测结果的影响一般可忽略,但是仍然建议在无风或微风条件下进行检测。湿度对检测结果的影响比较复杂,湿度有时会使电晕强度降低,有时又会使电晕强度增大。比如,当绝缘子比较干净时,表面湿润会使电压分布比较均匀,放电强度降低;当绝缘子表面污秽比较严重时,污秽容易溶解到水中,导致泄漏电流增大,容易形成局部干区和局部沿面放电,放电光子数是干燥情况下的数倍,使电晕强度增加。因此,需要根据现场情况进行具体分析。

3. 参数设置的影响

由于放电光谱在传输过程中会发生损耗,最终到达检测传感器的光子数比较少,为了提高检测的准确性,需要对进入光学系统的紫外光子进行放大。检测设备不同,增益设置也不相同。建议进行检测时,先将增益设置为最大,再根据实际情况进行调节,以获得比较稳定的光谱。

应用领域

紫外成像检测技术作为一种无损在线检测技术,在高压电气设备放电与故障诊断领域得到了越来越广泛的应用,主要有以下几个方面的应用。

1. 运行中绝缘子的劣化检测

绝缘子的劣化会导致表面局部结构缺陷,成为低值或零值绝缘子,在一定的条件下会产生放电。当绝缘子表面形成导电的碳化通道或者侵蚀裂纹时,可能会在短期内发展成绝缘子击穿事故。笔者采用南非CSIR公司生产的CoroCAM504对某厂升压站内的绝缘子串进行检测,发现某绝缘子串与高压导线相连的第一片绝缘子底部的光子数比较大,并且放电比较稳定,光子数一直大于10 000,属于持续电弧放电,如图2所示。同时检测了其余两相的放电情况,放电并不明显,如图3所示。采用同类比较法综合分析判断认为该片绝缘子已经出现劣化,需要电厂及时制定检修计划、尽快处理。

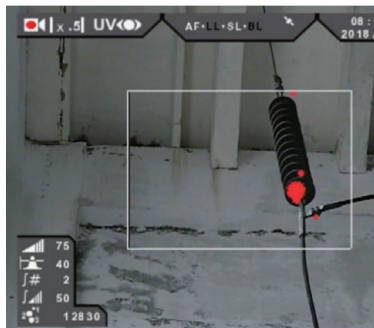


图2 劣化绝缘子的紫外图像

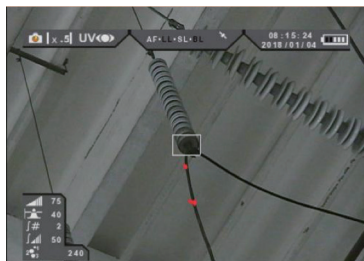
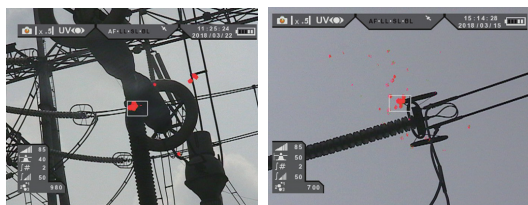


图3 正常绝缘子的紫外图像

2. 高压设备污染程度的检测

污染物积聚会导致高压设备表面凹凸不平,电场分布不均匀,在一定电压条件下会产生放电。导线的污染程度、绝缘子上污染物的分布情况等,都可利用该技术有效地进行分析。如果结合高倍望远镜的观察结果,可为制定科学的检修计划,防止污闪和爬电的发生提供有力的参考依据。如图4所示。

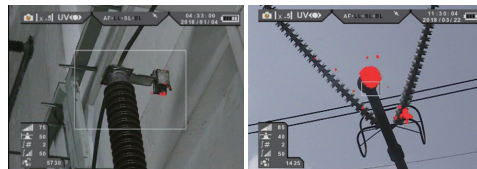


(a) 断路器外绝缘放电 (b) 均压环放电

图4 高压设备放电的紫外图像

3. 变电站电气设备的运行维护

传统的异常放电判别方法有听声音和夜间观察放电等。由于很多设备的放电并不影响其正常运行,所以听声音的方法难以排除干扰,完全依赖检修人员的主观判断。如果夜间能够观察到绝缘设备发出可见光,说明放电已经十分严重了。很多事故正是在绝缘设备未见可见光放电的情况下突然闪络击穿引起的。而利用紫外成像检测技术可以及时发现设备的早期缺陷,及时制订相应的维修策略,提升了变电站的运行维护水平。如图5所示。



(a) 金具放电 (b) 母线端部放电

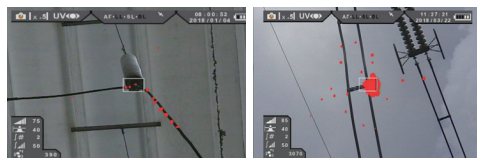
图5 设备放电的紫外成像

4. 发电机(电动机)定子绕组的耐压检测

发电机定子绕组端部绝缘出现老化和劣化时,在耐压试验中一般会产生放电现象,电晕放电又会对绝缘造成进一步的损伤。传统的试验方法为了避免外界环境条件的影响,只能采取暗室目测法,难以准确标识放电的部位和判断放电的强度,给缺陷部位的处理带来不便。而紫外成像检测技术不受外界环境的影响,可以全天候开展试验,还可以定量评估缺陷的严重程度。

5. 导体损伤检测

导线表面或内部损伤、跨线支撑线棒出现松动以及连接不牢固等都可能使其附近电场强度变强,在一定条件下会产生电晕。这种电晕用人工方式难以判断,但用紫外成像技术可轻松检测到,这对于日常巡查和检验工程质量具有重要的意义。如图6所示。



(a) 导线表面放电 (b) 跨线支撑线棒放电

图6 导线放电的紫外成像

结束语

紫外成像技术在变电站高压电气设备多种缺陷和故障的检测中具有简单高效、直观形象且不影响设备运行、安全方便等优点,值得推广研究和深入研究。

紫外成像的检测结果受很多因素的影响,目前尚未形成统一的评定标准,因此,电晕的光子数只能起到一个定性分析的作用,标定紫外光技术还需要大量的研究工作。

紫外成像检测技术目前均是采用紫外光子数这一个表征参数,随着数据与图像处理技术、模式识别技术的迅速发展,建议引入新的表征参数,如光斑面积等,通过大量地试验与现场经验积累,利用这些新技术准确地评估设备的状态,是今后重要的研究内容和发展方向。EA

(收稿日期:2018.08.17)

(编辑:朱金凤)