

GIS局部放电带电检测技术分析

白 鑫 田晓明

国网宁夏电力有限公司超高压公司 宁夏 银川 750000

摘 要: GIS局部放电带电检测技术对保障设备安全稳定运行意义重大。本文首先阐述了其原理,介绍脉冲电流、超声波、特高频、化学检测等常用技术及优缺点。接着说明了综合应用方式,包括多种技术联合、检测数据分析处理及人员培训。最后探讨了发展趋势,指出智能化检测可提升准确性与效率;多物理场融合检测能更全面掌握局部放电情况;在线监测与远程诊断借助传感器和物联网,可提高设备运行维护效率,保障电力系统稳定运行。

关键词: GIS;局部放电;带电检测技术;检测方法;发展趋势

引言:GIS设备在电力系统中占据关键地位,其安全稳定运行关乎电力供应可靠性。局部放电是GIS设备绝缘劣化的重要征兆,带电检测技术可在设备运行状态下捕捉局部放电信号,及时发现潜在故障。本文阐述GIS局部放电带电检测技术原理,介绍脉冲电流、超声波、特高频、化学检测等常用技术,说明多种检测技术综合应用方式,探讨智能化、多物理场融合、在线监测与远程诊断等发展趋势,为保障GIS设备安全运行提供参考。

1 GIS局部放电带电检测技术原理

当GIS设备内部绝缘有缺陷,电场作用下缺陷部位电场强度显著增强,达一定程度介质局部击穿产生局部放电。此过程复杂,涉及电子发射、碰撞、激发、电离等物理现象,会产生脉冲电流、电磁波、超声波、光、热等物理信号,这些信号含设备绝缘状态信息,检测它们可实现局部放电检测。GIS局部放电带电检测技术主要通过检测这些物理信号间接反映局部放电情况,不同检测技术依据不同物理原理^[1]。脉冲电流法检测局部放电产生的脉冲电流信号分析强度与特征;超声波法用超声波传感器接收局部放电产生的超声波信号,分析波形、频率等参数判断位置与程度;特高频法基于局部放电产生的特高频电磁波信号检测,特高频电磁波穿透力与抗干扰能力强,能更准确检测局部放电情况,通过综合运用这些方法可有效掌握GIS设备局部放电状况,为设备安全运行提供保障。

2 常用GIS局部放电带电检测技术

2.1 脉冲电流法

其原理为当GIS设备内部出现局部放电,会产生脉冲电流并在设备接地回路中流动,在接地回路中串联检测阻抗,能把脉冲电流信号转换为电压信号,再借助示波器等仪器采集分析该电压信号,进而获取局部放电相关信息,如放电次数、放电强度等。脉冲电流法有诸多优

点,检测灵敏度较高,可检测到微弱的局部放电信号,能捕捉到设备绝缘早期出现的细微缺陷,为设备维护提供早期预警;测量结果有较好的重复性和可比性,不同时间、不同检测人员对同一设备进行检测,所得结果相对稳定,便于对设备局部放电情况开展长期监测与趋势分析,通过分析数据变化规律,可提前预判设备绝缘性能的发展趋势,制定合理的维护计划。然而,脉冲电流法也存在缺点,在设备接地回路中接入检测阻抗,可能改变设备原有的电气连接和参数,对设备正常运行产生一定影响;该方法易受外界电磁干扰,现场环境中存在各种电磁信号,如无线电信号、电力电子设备产生的谐波等,这些干扰信号可能混入检测信号中,影响检测结果的准确性,所以在现场检测时需采取有效的抗干扰措施,如屏蔽检测设备、选择合适的检测时间等,以提高检测的可靠性。

2.2 超声波法

当GIS设备内部出现局部放电,放电瞬间会产生振动并激发出超声波,这些超声波在设备内部传播,遇到不同介质的界面时,会依据声学原理发生反射、折射等现象。通过在设备外壳合适位置安装超声波传感器,就能接收到传播过来的超声波信号,再借助专业设备对信号进行细致分析处理,依据信号特征确定局部放电的位置以及放电程度。它不受电磁干扰影响,在强电磁环境下,如变电站等场所,能排除其他电磁信号干扰,准确检测局部放电情况,保证检测结果可靠性^[2]。该方法可实现局部放电定位,能快速确定故障点位置,便于维修人员及时处理设备故障,减少停电时间和维修成本。而且超声波传感器安装在设备外壳上,无需对设备内部结构进行改造,安装过程简单便捷,不会影响设备正常运行。超声波在设备内部传播时会逐渐衰减,对于设备深处的局部放电信号,传播到传感器时强度大幅降低,导

致检测灵敏度下降,可能无法及时发现深处的放电隐患。超声波传播速度相对较慢,信号传播时间长,在需要快速获取检测结果的场景下,可能会影响检测的实时性,不能及时反映设备局部放电的动态变化。

2.3 特高频法

当GIS设备内部出现局部放电现象,会生成频率处于300MHz-3GHz区间的特高频电磁波。这些电磁波在设备内部传播,在设备不连续处,像盆式绝缘子、观察窗等位置,安装特高频传感器就能接收到电磁波信号,之后对信号展开分析处理,进而获取局部放电的特征信息,如放电模式、放电强度变化等。特高频法优势明显,特高频电磁波穿透力强,能穿过设备内部多种介质,且抗干扰能力强,可有效屏蔽外界低频电磁干扰,更精准地检测局部放电情况。该方法可实现局部放电在线监测与实时诊断,能持续跟踪设备运行状态,及时发现潜在故障,避免故障扩大影响设备正常运行。特高频传感器安装方便,只需安装在设备指定位置,不会改变设备原有结构和运行参数,对设备正常运行无影响。检测结果受设备内部结构影响较大,不同结构设备对特高频电磁波传播和衰减特性有差异,需针对不同设备结构进行专门分析和处理,增加了检测分析难度。特高频法检测设备相对复杂,涉及高精度传感器、专业信号处理系统等,导致设备成本较高,在一定程度上限制了其大规模推广应用。

2.4 化学检测法

在局部放电时, SF_6 气体及其分解产物会进行化学反应,生成 SO_2 、 H_2S 、 CO 等特征气体。通过采集设备内部气体样本,运用气相色谱仪等仪器对气体成分展开分析,依据特征气体的含量及变化情况,就能判断设备有无局部放电以及放电程度,如特征气体含量持续上升,可能意味着局部放电在加剧。它能直接体现设备内部绝缘材料的分解状况,对于判断设备绝缘劣化程度准确性较高,因为不同特征气体对应不同的绝缘分解反应,通过精确分析气体成分和含量,可清晰地了解绝缘材料的受损情况。并且该方法可在设备不停电时进行气体采样与分析,无需中断设备运行,不会影响正常供电,保障了生产的连续性。其检测周期较长,气体采样需特定装置,采样后送至实验室分析,整个过程要耗费一定时间,不能快速获取检测结果^[1]。该方法只能检测到已产生的特征气体,对于早期的局部放电,由于产生的特征气体量少或还未达到可检测水平,可能无法及时察觉,容易错过设备维护的最佳时机,导致故障进一步发展。

3 GIS局部放电带电检测技术的综合应用

3.1 多种检测技术的联合使用

每种GIS局部放电检测技术都存在自身优缺点,单一检测技术难以全面且精准地反映设备局部放电状况。脉冲电流法虽能检测微弱信号,但易受电磁干扰且需接入检测阻抗影响设备运行;超声波法不受电磁干扰、可定位且安装方便,但信号传播有衰减、实时性欠佳;特高频法抗干扰与穿透力强、能在线监测,可检测结果受设备结构影响且设备成本高;化学检测法可反映绝缘劣化程度且不停电检测,但检测周期长、对早期放电不敏感。实际检测中常联合使用多种技术,发挥各自优势提升检测准确性与可靠性。将脉冲电流法与特高频法结合,脉冲电流法提供局部放电基本参数,如放电次数、强度等,特高频法凭借其抗干扰和定位能力,确定放电位置并更精准检测;同时融入超声波法,利用其不受电磁干扰和定位特性,对特高频法定位结果辅助验证,还能发现一些特高频法可能遗漏的放电点,多技术协同为GIS设备安全稳定运行提供更可靠保障。

3.2 检测数据的分析与处理

不同检测技术获取的数据包含局部放电不同方面信息,需综合处理。先对检测数据进行特征提取,从脉冲电流法的电流幅值、放电次数,超声波法的波形、频率,特高频法的电磁波频谱,化学检测法的特征气体含量等数据里,找出能反映局部放电本质的特征参数。接着进行模式识别,基于大量已知局部放电类型的数据建立特征库,将实际检测数据与之对比,依据相似度判断设备有无局部放电、放电类型及程度,如区分电晕放电、沿面放电等。利用数据分析技术开展趋势分析,收集设备不同时期检测数据,分析局部放电特征参数随时间变化规律,如特征气体含量增长趋势、放电次数增多情况等,预测设备绝缘性能发展趋势。通过这些分析处理,能为设备状态检修提供科学依据,在设备故障发生前及时安排维修,保障GIS设备安全稳定运行。

3.3 检测人员的专业培训

GIS局部放电带电检测技术专业性强,检测人员专业水平与操作技能对检测结果准确性和可靠性影响重大。检测涉及脉冲电流、超声波、特高频、化学检测等多种技术,每种技术原理、操作及注意事项各异。若检测人员不熟悉,可能操作失误,如脉冲电流法检测阻抗接入不当、特高频法传感器安装位置错误,导致数据偏差。而且,检测后需对数据进行特征提取、模式识别等分析处理,若检测人员未掌握相关方法,难以准确判断设备有无局部放电、放电类型及程度。因此,加强专业培训十分必要,要让检测人员系统学习各检测技术原理,通过实践操作熟练方法,牢记注意事项。掌握数据分析处

理技能,能依据数据变化预测设备发展趋势^[4]。鼓励检测人员开展技术交流与经验分享活动,在交流中互相学习、共同进步,及时了解行业新技术、新方法,不断完善自身知识体系,提升解决实际问题的能力,进而提升检测团队整体水平,为GIS设备安全稳定运行提供有力保障。

4 GIS 局部放电带电检测技术的发展趋势

4.1 智能化检测技术

传统检测数据处理依赖人工,效率低且易受主观因素影响。而智能化检测引入机器学习、深度学习等算法后,可对检测数据进行自动分析与处理。机器学习算法能基于大量历史检测数据构建模型,自动学习局部放电特征规律,对新检测数据快速分类判断。深度学习算法在处理复杂信号方面优势明显,可对局部放电的超声波信号、特高频信号等多维度数据进行深度挖掘,自动提取关键特征并精准分类识别,准确判断局部放电类型是电晕放电、沿面放电还是内部放电,以及放电程度是轻微、中等还是严重。这不仅极大提高检测准确性,减少人为误差,还能大幅缩短检测时间,提升检测效率,为GIS设备安全稳定运行提供更及时、可靠的保障。

4.2 多物理场融合检测技术

当前检测多依赖电、声、光、化学等物理信号,但单一信号反映的设备状态有限。温度、压力等其他物理场信息与局部放电紧密相关,局部放电会产生热量使设备局部温度升高,还可能引发内部压力变化。多物理场融合检测技术能将这些不同类型物理场信息综合起来,利用先进算法和数据处理方法,挖掘各物理场信息间的内在联系。通过全面分析,不仅能更精准掌握局部放电发生位置、强度等关键信息,还能深入判断放电对设备绝缘性能的影响程度,有效区分是局部暂时性放电还是可能引发严重故障的持续性放电,从而更全面、准确了解设备局部放电情况,大幅提升故障诊断准确性与可靠性,为设备维护和安全运行提供更有有力支撑。

4.3 在线监测与远程诊断技术

在GIS设备上安装各类传感器,如特高频传感器、超声波传感器、温度传感器等,能实时采集设备运行数据,涵盖局部放电产生的电磁波、声波信号以及设备温度、压力等关键参数^[5]。借助物联网通信技术,这些数据可稳定、快速传输至远程监控中心。远程监控中心配备专业分析软件与经验丰富的专业人员,对海量数据进行深度分析处理,通过与正常数据模型对比、趋势分析等方法,及时精准判断设备运行状态。一旦发现潜在故障,专业人员能迅速提供远程诊断,给出针对性维护建议和技术支持,无需人员到现场排查,减少停机时间与运维成本,极大提高设备运行维护效率,保障电力系统安全稳定运行。

结束语

综上所述,多种检测技术各有优劣,综合应用能提升检测效果。检测人员专业培训不可或缺,是保障检测准确的关键。未来,智能化、多物理场融合以及在线监测与远程诊断等发展趋势,将进一步提升检测水平。持续推动该技术与应用,可及时发现设备隐患,降低故障风险,为电力系统的安全稳定运行筑牢坚实防线。

参考文献

- [1]李泽,钱勇,刘伟,臧奕茗,等.GIS局部放电光信号检测技术及光学图像诊断方法[J].电工技术学报,2025,40(1):253-263.
- [2]王昊天,王宇昂,颜林,韩旭涛,等.GIS暂态电压局部放电融合检测技术及其应用[J].电工技术学报,2025,40(19):6306-6316+6358.
- [3]张涵博,宋伟,董曼玲,王胜辉,等,律方成.GIS局部放电光学检测技术研究综述[J].广东电力,2025,38(8):131-142.
- [4]邱虎,杨旭,罗传仙,张静,等.GIS间歇性局部放电泄漏电磁波检测传感器设计研究[J].电测与仪表,2025,62(9):202-209.
- [5]郑杨,陈博栋,李瑞娟.750kVGIS设备局部放电异常检测与分析[J].机械研究与应用,2025,38(3):135-138.