

高压电力设备局部放电检测与定位方法

牛 君

国网陕西省电力有限公司延安供电公司 陕西 延安 716000

摘要：高压电力设备局部放电检测定位极为关键。本文讲述了它的概念，由绝缘缺陷与电场不均致，损绝缘致老化击穿。介绍脉冲电流、超声、电感耦合、电容等检测法，各有长短，对应多种定位法，适用不同设备。环境与设备自身因素影响检测定位准确性。提出优化检测设计，如屏蔽与提升传感器性能，采用信号处理技术，强化设备运维管理等举措，为电力设备安全运行保障提供参考。

关键词：高压电力设备；局部放电检测；定位方法

引言：在高压电力系统中，局部放电现象对电力设备绝缘性能危害严重。局部放电未形成贯穿性放电通道，但长期下可使绝缘材料性能下降，导致设备故障，影响电力供应稳定性与可靠性。对高压电力设备局部放电的检测与定位成为电力行业关注焦点。准确检测局部放电并精确定位其发生位置，有助于及时发现设备绝缘缺陷，采取有效措施预防故障发生，从而保障电力系统安全稳定运行。

1 局部放电的基本概念与危害

1.1 局部放电的概述

局部放电是指在电气设备的绝缘系统中，由于电场分布不均匀等原因，导致绝缘内部的局部区域发生放电现象，但这种放电尚未贯穿整个绝缘系统，即没有形成贯穿性的放电通道。

1.2 局部放电产生的原因

(1) 绝缘材料内部存在缺陷，在制造过程中，绝缘材料可能混入杂质、气泡等。在生产电缆绝缘层时，如果工艺控制不当，可能会在绝缘层内部形成微小的气泡，这些气泡在高压电场下容易引发局部放电。(2) 高压电力设备结构比较复杂，电极形状不规则等因素会导致电场分布不均匀。如变压器绕组的端部电场较为集中，在这个区域就更容易发生局部放电。

1.3 局部放电的危害

一是对绝缘材料的侵蚀，局部放电产生的电子、离子等带电粒子会不断撞击绝缘材料分子，破坏其分子结构，使绝缘性能逐渐下降。长期的局部放电会使绝缘材料出现碳化、老化等现象。二是随着局部放电的持续发展，绝缘性能的恶化可能会导致绝缘击穿，形成贯穿性的放电通道，从而使设备发生短路故障。

2 常见的局部放电检测方法

2.1 脉冲电流法

脉冲电流法是一种成熟被广泛应用的局部放电检测方法。它的原理基于局部放电时产生的电荷交换，会形成高频电流脉冲，该脉冲通过与试品连接的检测回路产生电压脉冲，经合适的带宽放大器放大后，由仪器测量或显示出来。该方法具有灵敏度高的优点，是目前国际电工委员会推荐进行局部放电测试的通用方法之一。其测试线路主要有并联法、串联法、平衡法等，不同的测试线路适用于不同的测试场景。在检测阻抗方面，常用的有RC型、RLC型等，其中RLC型检测阻抗对局部放电脉冲检测灵敏度高，对试品工频的充电电流呈现低阻抗，频带较窄，噪声水平较低，虽波形呈现震荡，但适当选择参数可使震荡阻尼抑制，故较为常用。

2.2 超声局部放电检测法

超声局部放电检测法是利用局部放电伴随产生的电流脉冲，使放电点周围空气迅速热胀冷缩形成超声波，该声波从放电区域向外传播，透过设备表面被外置的超声波传感器接收。传感器采集到超声波信号后，经过信号处理，可分析得到设备内部绝缘材料的状态。此方法的优点在于声波速度慢便于检测，不需要昂贵的传感器，且只对机械振动敏感，抗电磁干扰能力强。超声波在气体中衰减很快，若传感器距离局部放电点较远，可能采集不到放电信号，并且该方法易受机械振动干扰，进行放电类型识别难度大，检测范围小，难以定量分析，一般作为辅助测量手段。

2.3 电感耦合局部放电检测法

电感耦合局部放电检测法通过电感耦合技术获取设备周围的电磁波信号，进而判断设备有无局部放电现象。具体是在不影响设备运行的情况下，在设备外部安装检测系统，利用信号放大、滤波等技术提高检测灵敏度，从而实现了对设备放电状态的实时监测。该方法可用于配电设备和发电设备的局部放电检测，优点是不与设

备电气连接,对设备运行无干扰,也能够检测到设备周围微弱的电磁信号^[1]。不过检测精度会受到电感耦合系数、设备周围电磁场分布等因素的影响,对于复杂电磁环境下的局部放电检测,要进一步优化检测系统和算法以提高准确性和可靠性。

2.4 电容法局部放电检测法

电容法局部放电检测法需要在高压设备一侧接入独立的电容,通过变化的容性信号,分析电子注等放电现象,以此判断设备是否发生了局部放电现象。具体过程是先通过高频信号产生电子注,再通过电容检测放电现象,从而确定高压设备是否存在局部放电。该方法能够检测到设备内部的局部放电,且对放电类型的适应性较强,但也存在一些不足,比如电容的接入可能会对设备的电气性能产生一定影响,需要合理选择电容的参数和接入位置,以确保设备正常运行。

3 局部放电的定位方法

3.1 基于超声传感器的定位方法

(1) 基于超声传感器的定位原理:当采用超声局部放电检测法时,可以利用多个超声传感器进行定位。根据局部放电产生的超声波信号到达不同超声传感器的时间差,通过三角定位算法来确定局部放电的位置。假设在设备周围安装三个超声传感器,当局部放电发生时,超声波信号会同时向四周传播,由于三个传感器到局部放电点的距离不同,接收到信号的时间也会有差异,根据这个时间差和超声波在介质中的传播速度就可以计算出局部放电点的位置。

(2) 基于超声传感器的定位应用场景:适用于各种形状和结构的高压电力设备,尤其是在对开关柜、变压器等设备的局部放电定位方面应用较为广泛。比如在开关柜内部,通过在开关柜的不同侧面安装超声传感器,可以准确地定位局部放电发生的具体位置,为设备的维修和维护提供准确的信息。

3.2 基于脉冲电流信号的定位方法

(1) 基于脉冲电流信号的定位原理:对于脉冲电流法检测到的局部放电脉冲电流信号,可以通过分析脉冲电流在设备中的传播路径和时间特性来定位。当局部放电发生时,脉冲电流会沿着设备的接地线路或导体传播,通过在不同位置安装检测点,测量脉冲电流到达不同检测点的时间差,结合设备的电气结构和电路参数,利用电磁暂态分析方法计算出局部放电点的位置。

(2) 基于脉冲电流信号的定位应用场景:主要应用于大型变压器、GIS(气体绝缘全封闭组合电器)等设备。在大型变压器中,由于其绕组结构复杂,通过在变

压器的不同绕组引出线和接地端设置脉冲电流检测点,可以对变压器内部的局部放电进行定位,及时发现绕组绝缘的薄弱环节。

3.3 基于电磁波信号的定位方法

(1) 基于电磁波信号的定位原理:当采用电感耦合局部放电检测法等检测到局部放电产生的电磁波信号时,可以通过分析电磁波的传播方向和强度分布来定位。利用天线阵列接收局部放电产生的电磁波信号,根据不同天线接收到的信号强度和相位差等信息,通过电磁场理论和信号处理算法确定局部放电的位置。

(2) 基于电磁波信号的定位应用场景:在高压架空线路、变电站的电气设备群等场景下应用较多。如在变电站中,由于电气设备众多,电磁环境复杂,通过在变电站周围设置天线阵列,可以对变电站内的电气设备局部放电进行定位,及时发现潜在的绝缘故障隐患。

4 影响局部放电检测与定位准确性的因素

4.1 环境因素

(1) 电磁干扰:变电站及电力传输线路周边的电气设备在运行时会产生电磁场,像附近的电动机、通信设备等,这些电磁场会对局部放电检测装置的信号检测造成干扰。如在采用脉冲电流法检测时,外界的强电磁干扰可能使检测装置误将干扰信号当作局部放电信号,进而影响检测的准确性。电磁干扰还可能遮蔽真实的局部放电信号,导致局部放电量难以精确测量,甚至使检测仪器误判设备的绝缘状态。(2) 温度和湿度:温度与湿度的变化对绝缘材料的性能及局部放电特性影响显著^[2]。在高温高湿环境下,绝缘材料的绝缘电阻降低,局部放电更易发生,这种环境变化也会影响检测信号的传播特性。以超声局部放电检测法为例,潮湿环境中超声波在空气中的传播速度和衰减特性发生改变,从而影响检测的准确性。

4.2 设备自身因素

(1) 设备结构复杂性:高压电力设备如变压器、GIS等,其内部结构复杂,包含多个部件和不同的绝缘区域。这种复杂性使得局部放电信号的传播路径和特性发生变化,增加了检测和定位的难度。比如在变压器中,绕组的多层结构以及铁芯的存在,会使局部放电产生的电磁波、超声波等信号发生反射、折射,干扰检测装置对信号的接收和分析,导致难以准确判断局部放电的位置和强度。(2) 绝缘材料多样性:不同的绝缘材料对局部放电信号的传播和衰减特性存在差异。比如油纸绝缘和固体绝缘材料,在局部放电时产生的信号在强度、频率等方面各不相同,而且它们对外部检测信号的响应也

不一样。这就要求在检测过程中,要针对不同的绝缘材料选择合适的检测方法和参数,不然很难准确检测到局部放电信号及其位置,给局部放电的检测和定位带来诸多困难。

5 提高局部放电检测与定位准确性的措施

5.1 优化检测系统设计

(1) 采用屏蔽技术:针对如脉冲电流法等易受电磁干扰的检测方法,运用屏蔽技术可显著提升检测准确性。通过使用屏蔽电缆和屏蔽外壳,将检测装置及连接线路与外界电磁场有效隔离,防止干扰信号的混入。以脉冲电流检测装置为例,在其信号传输线上采用屏蔽电缆,并把电缆的屏蔽层接地,能够大幅减少外界电磁干扰对检测信号的影响,使检测装置能更精准地捕捉到局部放电信号,确保检测结果的可靠性。(2) 提高传感器性能:研发高灵敏度、高分辨率的传感器是优化检测系统的关键。对于超声传感器,采用新型压电材料以及优化其结构设计,可增强对超声波信号的接收灵敏度和拓宽频率响应范围,使其能更敏锐地捕捉到局部放电产生的微弱超声波信号,并更准确地反映信号的频率特性。而在电感耦合检测中的天线传感器方面,运用高性能的天线材料以及优化天线的形状、尺寸,能够提高对局部放电产生的电磁波信号的接收能力,进而提升局部放电检测的精度。

5.2 信号处理与分析技术

(1) 采用数字信号处理技术:数字信号处理技术在局部放电检测中具有重要作用。对检测到的局部放电信号进行数字滤波、频谱分析等处理,能够有效去除信号中的噪声成分,提高信号的信噪比。其中,数字滤波可依据信号频率特性分离噪声与局部放电信号,还原出更纯净的局部放电信号。频谱分析则有助于深入了解局部放电信号的频率特征,借此区分不同类型的局部放电,为故障诊断提供有力支撑。(2) 多信号融合分析:不同的局部放电检测方法各有优劣,所获信号包含不同信息。将不同检测方法得到的信号进行融合分析,能实现

信息互补。比如将脉冲电流法检测到的电信号与超声局部放电检测法检测到的超声波信号相融合,通过建立信号融合模型,综合分析两种信号的特征,既能从电信号中获取局部放电的电气特性,又能依据超声波信号确定局部放电的位置信息,从而更全面、准确地判断局部放电的发生情况和定位局部放点。

5.3 设备运行维护与管理

(1) 定期设备检查:定期巡检和维护高压电力设备,对于及时发现设备的绝缘缺陷和潜在的局部放电隐患至关重要。在变电站中,对变压器、开关柜等设备进行定期的外观检查、绝缘电阻测量等工作,能够在早期察觉设备可能存在的问题,为采取相应的维修措施争取时间,避免故障进一步恶化,保障电力系统的安全稳定运行。(2) 建立设备状态监测数据库:建立设备状态监测数据库有助于深入了解设备的运行状态变化趋势。通过长期记录和分析设备的运行参数、检测数据等信息,能够掌握设备在不同运行条件下局部放电的发生规律^[3]。基于对数据库中历史数据的挖掘和分析,可以为当前的检测和定位工作提供参考依据,同时借助大数据分析技术建立设备故障预测模型,提前预测设备可能出现的故障,为预防性维护提供有力支持。

结束语:本文通过对局部放电产生原因、危害的深入理解,以及多种检测方法、定位方法的运用,可有效监测设备绝缘状态。由于环境因素和设备自身因素会干扰检测与定位准确性。所以要采取优化检测系统设计、运用先进信号处理分析技术、加强设备运行维护管理等措施,能显著提升检测与定位精度。

参考文献

- [1]梁明星.高压设备强电局部放电在线检测技术研究[J].中国设备工程,2024(3):212-215.
- [2]邓波.电力系统高压设备局部放电诊断研究[J].中国设备工程,2024(9):188-189.
- [3]王连智.变电站高压电气设备局部放电检测方法解析[J].中国科技投资,2021(5):110-112.