

Exploration of Partial Discharge Detection Technology in High Voltage Electrical Testing

Peng Zhao

State Grid Lvliang Power Supply Company, Lvliang, Shanxi, 033000, China

Abstract

This paper discusses the partial discharge detection technology in high voltage electrical equipment. Partial discharge is one of the main factors causing insulation aging and damage of high-voltage equipment. Timely and accurate detection of partial discharge is of great significance for the safe operation of high-voltage equipment. We have reviewed and compared the formation mechanism, characteristics, and commonly used detection techniques of partial discharge. On the one hand, traditional pulse current methods such as level decay and broadband PD have certain advantages in portability and stability. On the other hand, new non electric detection technologies such as ultrasound, electrochemistry, and spectroscopy provide new possibilities in spatial positioning and sensitivity. The comprehensive application of multiple detection methods and dynamic optimization based on the actual operating status and environment of the equipment can help improve the safety and lifespan of high-voltage electrical equipment.

Keywords

high-voltage electrical equipment; partial discharge; detection technology; safe operation; life improvement

高压电气试验中的局部放电检测技术探讨

赵鹏

国网吕梁供电公司, 中国 · 山西 吕梁 033000

摘 要

论文对高压电气设备中局部放电检测技术进行了探讨。局部放电是导致高压设备绝缘老化、损坏的主要因素之一, 及时准确地检测到局部放电对高压设备的安全运行具有重要的意义。我们对于局部放电的形成机理、特点以及普遍应用的检测技术进行了梳理和比较, 一方面, 电平衰变法、宽带PD法等传统脉冲电流法的便携性和稳定性有一定优势, 另一方面, 新型的超声波、电化学和光谱法等非电检测技术则在空间定位和灵敏度上提供了新的可能。综合应用多种检测手段, 根据设备实际运行状态和环境进行动态优化, 有助于高压电气设备运行安全和寿命提升。

关键词

高压电气设备; 局部放电; 检测技术; 安全运行; 寿命提升

1 引言

高压电气设备的安全运行直接关联到电力系统的稳定和整体社会的正常运作。由于高压环境中的存在, 这类设备不可避免地会出现局部放电现象, 这是引发设备绝缘劣化甚至导致设备损坏的重要因素, 因此其检测技术的研究至关重要。局部放电的形成机理和特性决定了其检测方法的选择, 传统的脉冲电流法如电平衰变法和宽带 PD 法虽然便携稳定, 但在空间定位和灵敏度上却有所欠缺。而新型的非电检测技术比如超声波、电化学和光谱法等, 在某些方面则展现出了优越性。我们需要在理解各种检测技术的基础上, 根据设备的实际运行状态和环境, 动态调整检测方法, 只有这样, 才能更有效地监测局部放电, 从而保障设备的安全运行, 提

高电力系统的可靠性。

2 局部放电的形成机理和特点

2.1 局部放电的定义及成因

局部放电是指在高压电气设备中, 由于局部绝缘受到过高的电场强度而引发的非穿透性放电现象^[1]。其定义为在设备绝缘结构内部或界面处产生的部分放电, 其特性介于正常操作电压下的绝缘状态和绝缘发生击穿之间。局部放电的成因复杂, 通常与绝缘材料内部或表面的缺陷密切相关。这些缺陷可能是由于制造过程中的瑕疵、材料老化或操作环境的影响而产生。绝缘体内部的气隙、杂质、裂纹以及界面的不均匀性都是引发局部放电的潜在因素。在高压状态下, 这些不均匀区域会引起电场畸变, 从而促使局部放电的发生。尤其是在器件老化或者受到机械应力作用时, 更易引发局部放电。这不仅加速了绝缘材料的劣化, 也可能对电气设备的安全运行构成威胁。深入理解局部放电的定义及成因, 对于

【作者简介】赵鹏(1997-), 男, 中国山西孝义人, 硕士, 助理工程师, 从事电气试验(高压试验)研究。

设计出更有效的检测方法和采取适当的预防措施,以保障高压电气设备的长期稳定运行,具有重要意义。

2.2 局部放电的电气特性

局部放电是高压电气设备中一种复杂的电气现象,其电气特性在检测与分析中具有重要意义。局部放电的电流强度通常较小,但其所产生的电脉冲频率却可能达到极高的水平。由于局部放电仅发生在设备绝缘材料的局部区域,其放电电流波形多表现为脉冲性,且持续时间极短。这些短暂的放电脉冲会随时间积累引发设备材料的局部劣化。其电气特性通常受到外部条件如温度、湿度及电压应力的影响,导致放电幅值和频率的变化。局部放电往往伴随着电磁干扰信号,这些信号通过高压设备的电路传播,进而影响设备的正常运行。全面掌握局部放电的电气特性,有助于提高检测技术的准确性和高压设备的运行可靠性。

2.3 局部放电对高压电气设备的影响

局部放电对高压电气设备的影响主要体现在绝缘材料的老化和设备运行的可靠性下降。局部放电产生的瞬态高能量电流和强烈的局部电场,可以导致绝缘材料的热击穿和化学分解,从而加速绝缘老化过程。在长期的电场压力下,局部放电引发的小范围热损伤逐渐扩大,可能发展成绝缘层的破坏,最终形成贯穿性放电。局部放电会造成局部温度升高,进一步影响设备的稳定运行。如果不加以有效检测和控制,局部放电可能演变为更严重的电气故障,降低电力系统的整体可靠性,甚至引发重大安全事故。及时有效的局部放电检测对于保障高压电气设备的安全运行至关重要。

3 局部放电的传统检测技术

3.1 电平衰变法的检测原理与应用

电平衰变法是一种应用广泛的局部放电检测技术,其基本原理是通过测量电气设备中的脉冲电流信号来检测局部放电现象的发生^[2]。该方法依赖于局部放电产生的电流脉冲对外电路电平的影响,通过监测电流信号的衰变特征,获取局部放电的活动信息。电平衰变法在检测中时常利用高速示波器和信号分析设备对脉冲电流的幅度、持续时间和频率进行解析。这种方法的一个突出应用是其在辨识局部放电的模式和强度方面的能力,为设备的运行状况评估提供可靠数据支持。电平衰变法由于其检测设备相对简单,便携性和稳定性优越,广泛应用于高压电缆、电力变压器等设备的局部放电监测中。电平衰变法在高噪声环境中易受到干扰,可能导致信号识别的准确性下降,在应用时需结合其他分析手段,以提高检测精度。

3.2 宽带 PD 法的检测原理与应用

宽带 PD 法是局部放电检测中一种重要的传统技术,利用宽频带高灵敏度的检测设备记录并分析放电信号在高压电气设备中的表现。其检测原理基于局部放电产生的高频脉冲会在设备中以电磁波的形式传播,宽带 PD 法通过捕捉这

些信号来判断局部放电的发生及严重程度。此方法可以在不关闭设备的情况下进行检测,从而实现对设备运行状态的实时监测,降低带电检测带来的经济损失。宽带 PD 法的应用已在变压器、电缆和开关设备中广泛开展,通过分析放电信号的幅值、频率和相位等特征参数,能够提供对于设备内部缺陷的详细诊断信息,帮助制定后续的维护计划。由于外部噪声和干扰的存在,该方法在应用中需要结合先进的信号处理技术,以提高检测的准确性和可靠性。即使有其局限性,宽带 PD 法仍然为保障电力系统安全运行提供了有力支持。

3.3 传统检测技术的优势与局限

传统的局部放电检测技术在长期实践中积累了丰富的经验,并展现出一定的优势。电平衰变法和宽带 PD 法等技术,在便携性和稳定性上较为突出,适用于多种复杂工况,并形成标准化的方法体系。这些技术能快速识别放电现象,为工程技术人员提供及时的预警信息。这类技术也存在局限性,如难以精确定位故障源、对环境噪声敏感等,导致在某些精细化检测需求中力所不逮。传统方法的检测精度受限于仪器的灵敏度和信号处理能力,难以适应现代高压设备日益提高的检测要求。在新型检测手段不断发展的背景下,传统检测技术面临挑战,需要在应用中不断优化与创新。

4 新型局部放电检测技术及其分析

4.1 超声波检测法的原理及优势

超声波检测法在局部放电检测中利用了声波在绝缘介质中的传播特性。局部放电活动会产生超声波信号,当设备绝缘体内部或表面产生局部放电时,声信号会穿过介质被传输到外部,利用传感器捕获这些信号能够实现局部放电的检测。超声波检测法的主要优势在于其非侵入性和较高的空间定位精度。与传统的电学检测方法相比,超声波检测不依赖于电流和电压信号,对外部电磁干扰不敏感。超声波信号能够提供更加直观地放电源位置,尤其在复杂结构设备内部,具有显著的应用价值。该技术在检测中能够实现较高频率的信号捕获和分析,从而提高了对微小局部放电的灵敏度和测量精度^[3]。这一方法在不同介质中传播速率的变化以及信号衰减问题也需要进一步深入研究与优化。通过结合其他检测技术,超声波法能够在多方面提升局部放电检测的效率和准确性。

4.2 电化学和光谱法的原理及优势

电化学和光谱法作为新型局部放电检测技术,在局部放电研究中显示出显著优势。电化学法通过检测局部放电过程中产生的化学变化,尤其是电极附近介质的化学特性变化,从而进行局部放电的识别和监测。这种方法能够在一定程度上弥补传统电检测方法的不足,尤其在检测设备复杂环境中提供了新的思路。光谱法通过捕捉局部放电过程中产生的光谱信号,以非接触方式实现对放电现象的实时监测。其高灵敏度使得光谱法能够检测到微弱的局部放电信号,并

实现对其精确定位。这两种方法的结合,可以有效提高局部放电检测的全面性和准确性,不仅提供了更高水平的检测手段,也为高压电气设备的状态监测和故障预警提供了可靠保障,为设备的安全运行和寿命延长提供了支撑。

4.3 多种新型检测手段的综合应用与分析

新型检测技术通过结合超声波、电化学和光谱等多种方法,实现了局部放电的精确检测与分析。这些技术相辅相成,各自发挥其独特优势。在超声波检测中,借助声波的传播特性,能够快速定位局部放电的位置,而电化学方法则敏感识别电气设备内部材料的微观变化,光谱检测因其高灵敏度,对放电过程中产生的光信号进行深入解析。多种手段的综合应用能够弥补单一技术的不足,提供更全面、准确的诊断结果,进一步提升高压电气设备的检测效率与可靠性。

5 高压电气设备的安全运行和寿命提升路径

5.1 根据设备运行状态优化局部放电检测

在高压电气设备的运行中,局部放电的检测应根据设备的具体运行状态进行优化,以增强检测精度和有效性。不同的运行状态可能导致电气设备内局部放电产生的特性变化,需要动态调整检测策略。设备在高载荷运行时,放电活动可能增多,这时宜采用灵敏度高、抗干扰能力强的检测技术,如超声波检测法,以确保可靠捕捉到微弱的放电信号。在低载荷或空载状态下,传统的脉冲电流法可充分发挥其稳定性和简便性。为了获取精准的诊断结果,应结合设备的运行历史和当前表现进行检测数据分析,识别出可能的异常模式。实时监测设备运行状态也能为检测技术选择提供数据支持,从而实现更具针对性的局部放电监测,提高设备的故障预防和寿命管理能力。

5.2 根据设备环境优化局部放电检测

高压电气设备的运行环境对局部放电检测有着重要影响。优化检测手段需充分考虑设备所在环境的特定条件,如温度、湿度、气压和污染等因素。在高湿度环境中,绝缘材料的表面电导率可能增大,加速局部放电现象,此时应选择对湿度不敏感的检测技术,如超声波检测法,因其在潮湿环

境下仍能维持较高精度。在污染严重的工业区,光谱法因其能够识别特定污染物导致的放电特征而具有优势。设备安装在高海拔地区,气压降低可导致放电特性变化,应调节检测仪器的灵敏度以适应此类环境变化。在环境温度极端变化下,需要选用能适应温度波动的检测仪器以保证稳定性。结合环境因素优化局部放电检测技术的选择与应用,能够显著提高检测的可靠性和有效性,进而提升高压电气设备的安全运行及寿命。

5.3 局部放电检测对设备安全运行和寿命提升的贡献

局部放电检测在确保高压电气设备的安全运行和延长其使用寿命方面发挥着关键作用。通过及时监测和识别潜在的局部放电现象,可以避免设备突发故障,减少维护成本和停机时间,提高系统的整体可靠性。局部放电的早期检测能够有效指示绝缘老化问题,从而为寿命预测和维护决策提供科学依据。多种检测方法的综合应用更是能够优化检测精度,提高设备故障预判能力,这些措施均有助于实现设备的长期稳定运行,减少由局部放电引发的意外事故风险。

6 结语

论文对高压电气设备中的局部放电检测技术进行了深入研究。局部放电作为高压电气设备损坏的主要因素,我们不仅分析了它的形成机理、特点,而且对电平衰减法、宽带PD法等传统检测方法,以及超声波、电化学和光谱法等新型非电检测技术做了深入的研究和比较。然而,这些方法均具有其优势和局限性,如何结合设备实车运行情况和环境动态选择和优化检测方法,是我们进一步的研究方向。此外,阳朝轮的研究表明,局部放电检测技术在预防高压电气设备的故障和提高电力系统可靠性方面起到了重要作用。

参考文献

- [1] 张亚龙.变电站高压电气设备局部放电检测技术分析[J].机械设计与制造工程,2021,50(8):105-109.
- [2] 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):110-113.
- [3] 赵明,孙建华,张兰云,等.变电站高压电气设备局部放电检测方法研究[J].电力系统装备,2021(3):117-118.