

10kV 电力电缆局部放电检测技术在故障查找中的应用与优化

付兵¹ 张飞¹ 唐勇² 李斌⁴ 唐勇³ 刘泽金¹

1 国网成都供电公司, 四川 成都 610000; 2 金堂县供电公司, 四川 金堂 610400;

3 四川宏业电力集团有限公司, 四川 成都 610300; 4 国网成都供电公司青羊供电中心, 四川 成都 610000

摘要: 随着电力电缆在电力系统中的广泛应用, 其局部放电 (PD) 问题逐渐成为电缆故障的主要原因之一。局部放电的早期检测对于电力电缆的维护和故障预防至关重要。本论文聚焦于 10kV 电力电缆的局部放电检测技术, 研究其在故障查找中的应用及技术优化。通过分析振荡波电压法、脉冲电流法、超声波检测等技术的现状及其局限性, 提出了多技术融合、信号处理优化和带电检测技术的优化策略。此外, 论文还探讨了智能化系统在局部放电检测中的潜力, 展望了该技术未来的发展方向。通过对各项技术的综合分析, 本研究为提升电力电缆局部放电检测的准确性和实时性提供了理论依据和实践指导。

关键词: 局部放电检测; 电力电缆; 技术优化; 带电检测; 智能化系统

Application and Optimization of 10kV Power Cable Partial Discharge Detection Technology in Fault Finding

Fu,Bing¹ Zhang,Fei¹ Tang,Yong² Li,Bin⁴ Tang,Yong³ Liu,Zejin¹

1State Grid Chengdu Power Supply Company, Chengdu, Sichuan, 610000, China

2Jintang County Power Supply Company, Jintang, Sichuan, 610400, China

4Sichuan Hongye Electric Power Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610300, China

5Qingyang Power Supply Center, State Grid Chengdu Power Supply Company, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: With the widespread application of power cables in the power system, the problem of partial discharge (PD) has gradually become one of the main causes of cable faults. Early detection of partial discharge is crucial for the maintenance and fault prevention of power cables. This thesis focuses on the partial discharge detection technology of 10kV power cables, studying its application and technical optimization in fault finding. By analyzing the current situation and limitations of technologies such as the oscillating wave voltage method, pulse current method, and ultrasonic detection, optimization strategies for multi-technology integration, signal processing optimization, and live detection technology are proposed. In addition, the thesis also explores the potential of intelligent systems in partial discharge detection and looks forward to the future development direction of this technology. Through a comprehensive analysis of various technologies, this study provides a theoretical basis and practical guidance for improving the accuracy and real-time performance of partial discharge detection of power cables.

Keywords: Partial discharge detection; Power cable; Technical optimization; Live detection; Intelligent system

DOI: 10.62639/sspis23.20250204

引言

在现代电力系统中, 电力电缆作为重要的电力输送载体, 其运行的稳定性直接关系到电力系统的安全与可靠性。然而, 电力电缆在长期运行过程中, 因环境因素、施工质量、老化等原因, 局部放电现象时常发生, 进而可能导致电缆的绝缘失效, 最终引发电力事故。因此, 局部放电检测技术的研究与应用, 对于电力电缆的故障预防和维护管理具有重要意义。

局部放电 (PD) 作为电力电缆绝缘材料劣化的前兆, 其发生通常在电缆内部或接头处, 由于电场集中或局部工艺不良, 电缆的绝缘层可能在高电压下发生电气击穿。通过检测局部放电的信号, 能

够及时发现潜在的电缆故障隐患, 避免发生严重故障, 从而保证电力系统的安全运行。

尽管局部放电检测技术已取得显著进展, 但在实际应用中仍面临一定的挑战, 因此, 针对当前局部放电检测技术的应用现状与局限, 本论文旨在分析其在 10kV 电力电缆中的应用, 并提出相关优化策略。

一、电力电缆局部放电检测技术概述

电力电缆在电力系统中的广泛应用使其运行的稳定性至关重要。局部放电 (PD) 是电缆绝缘层逐渐劣化的早期信号, 及时检测局部放电对电力电缆的维护与故障预防至关重要。随着电力电缆故障

(稿件编号: IS-25-4-1026)

作者简介: 付兵 (1981-), 男, 汉族, 籍贯: 四川雅安, 本科, 高级技师, 研究方向: 电力电缆故障查找。

张飞 (1987-), 男, 汉族, 籍贯: 四川仁寿, 硕士, 工程师, 研究方向: 电力电缆故障查找。

唐勇 (1977-), 男, 汉族, 籍贯: 四川金堂, 本科, 高级技师, 研究方向: 电力电缆故障查找。

李斌 (1981-), 男, 汉族, 籍贯: 四川仪陇, 本科, 高级技师, 研究方向: 电力电缆故障查找。

唐勇 (1977-), 男, 汉族, 籍贯: 重庆奉节, 本科, 工程师, 研究方向: 电力电缆故障查找。

刘泽金 (1987-), 男, 汉族, 籍贯: 四川泸州, 本科, 技师, 研究方向: 电力电缆故障查找。

诊断技术的不断进步, 局部放电检测技术已逐渐从传统的离线检测发展到如今的在线实时监测, 成为保障电力电缆安全运行的重要手段。

目前常见的局部放电检测方法包括振荡波电压法、脉冲电流法、高频电流传感器(HFCT)法和超声波检测法等, 每种方法都有其特点和适用场景。

(一) 振荡波电压法

振荡波电压法通过施加振荡波电压模拟工频电压, 检测电缆中的局部放电信号, 主要应用于停电状态下的电缆检测。其优势在于高灵敏度, 特别适合检测电缆接头等高风险部位。然而, 该方法需停电操作, 且对某些类型的缺陷敏感度较低, 因此通常需要与其他检测方法结合使用。

(二) 脉冲电流法

脉冲电流法使用高频脉冲电流作为激励信号, 通过检测电缆中局部放电信号来判断绝缘状态。该方法能够实现带电检测, 无需停电即可进行局部放电监测, 具有较高的实时性和安全性, 尤其适用于电力系统运行中的在线监测。尽管如此, 脉冲电流法在复杂噪声环境下的信号识别仍面临一定挑战, 需要依赖精细的信号处理技术。

(三) 高频电流传感器(HFCT)法

HFCT技术通过检测电缆中的高频电流信号来实现局部放电检测, 特别适用于带电电缆的在线监测。HFCT能够实时捕捉到局部放电信号, 并对其进行分析 and 定位。该技术在高电压、大电流环境中具有较强的适应性。然而, 对于低电压电缆或复杂接头部位, HFCT的检测灵敏度可能不足, 通常需要与其他技术结合应用。

(四) 超声波检测法

超声波检测法通过超声波传感器检测由局部放电引起的声波信号, 能够有效定位电缆中的放电源。该方法特别适用于电缆接头和内部缺陷的检测, 能够提供精确的故障定位。然而, 超声波检测对环境要求较高, 且设备需要良好的接触条件。

尽管这些检测技术在应用中取得了显著成效, 但在复杂噪声环境下的信号识别、技术融合等问题仍需进一步优化。为解决这些问题, 当前的研究重点是提高检测灵敏度、优化信号处理技术, 并实现多种检测方法的有效结合。

二、电力电缆局部放电检测技术面临的问题

尽管局部放电检测技术在电力电缆故障诊断中得到了广泛应用, 但在实际应用过程中, 仍然面临着一系列问题, 特别是在高电压、复杂环境下的检测灵敏度、信号处理、技术融合和现场适应性等方面。以下是当前局部放电检测技术面临的主要挑战:

(一) 检测灵敏度与精度的不足

局部放电信号通常非常微弱, 尤其是在高电压和高噪声环境下, 信号的辨识变得更加困难。在理想的实验环境中, 现有的检测技术能够较好地识别局部放电信号, 但在复杂的实际应用环境中, 电磁干扰、背景噪声以及信号的衰减等因素会显著降低检测灵敏度和精度。因此, 如何提高局部放电检测技术在复杂环境中的灵敏度和精度, 是当前研究的重点。

(二) 信号处理技术的瓶颈

局部放电信号的微弱性质使得信号与噪声之间的区分变得异常困难。传统的信号处理技术, 如简单的滤波和去噪方法, 虽然能够在一定程度上改善信号质量, 但无法完全消除环境噪声的干扰, 导致信号识别准确性大大降低。特别是在电力电缆的在线监测中, 背景噪声往往无法避免, 信号与噪声的混合会严重影响检测结果, 可能导致故障的误诊或漏诊。为此, 需要开发更先进的信号处理算法, 利用小波变换、深度学习等技术, 提升信号处理的准确性和鲁棒性。

(三) 技术融合的不充分

不同的局部放电检测技术各有其优势和适用范围, 单一技术往往难以满足全面且精确的故障诊断需求。因此, 如何有效地将不同技术进行融合, 利用各自的优点实现综合检测, 是提高故障诊断能力的关键。通过多技术融合, 可以在不同工作状态下进行更全面的故障诊断, 提升检测的灵敏度和准确性。

(四) 现场应用中的技术适应性问题

在电力电缆的现场检测过程中, 如何提升检测技术的适应性也是一个重要问题。例如, 超声波检测法可以提供较为精准的故障定位, 但在大范围的电缆检测中, 其应用受限于传感器与电缆的接触质量。此外, 某些技术的设备设计和布置要求较高, 可能在复杂的电缆环境中难以实现理想的检测效果。因此, 如何优化设备设计, 使其能够在不同的现场环境中都能稳定、高效地运行, 提升设备的适应性和普遍性, 成为了提高现场检测效率和准确性的一个重要方向。

三、电力电缆局部放电检测技术优化策略

为了应对局部放电检测技术在实际应用中面临的种种挑战, 提升其检测效果和应用范围, 必须从多个维度对现有技术进行优化。以下是针对电力电缆局部放电检测技术的几项关键优化策略:

(一) 多技术融合

单一检测技术往往难以满足全面、精确的故障诊断需求。因此, 将多种检测技术进行有效融合, 可以实现优势互补, 提升整体检测的全面性和准确性。例如, 结合振荡波电压法和脉冲电流法, 能够在不同工作状态下进行更全面的检测, 两者结合可以弥补单一技术在不同状态下的局限性。

此外, 将高频电流传感器(HFCT)与超声波检测技术结合, 也能够显著增强故障定位的精度。HFCT可以精确捕捉到高频电流信号, 从而实时监测局部放电的发生, 而超声波技术则在故障定位方面具有较高的精度, 尤其在电缆接头和绝缘层的检测中具有独特优势。多技术融合不仅提高了检测的精度, 还能全面覆盖不同类型的故障检测需求。

(二) 先进的信号处理与算法优化

局部放电信号通常较为微弱, 并且容易受到噪声的干扰, 因此, 采用先进的信号处理方法至关重要。小波分析技术在信号去噪方面表现出色, 能够有效分离出局部放电信号与环境噪声, 提取出信号的特征信息, 从而提高信号的识别精度。在局部放

电信号中,小波变换能够处理非平稳信号,对于捕捉短时放电事件具有优势。

此外,随着人工智能技术的发展,神经网络(如深度学习)算法在模式识别中的应用也显示出了巨大的潜力。神经网络可以通过学习大量的局部放电信号特征,自动识别不同放电模式,进而提升局部放电的检测智能化水平。通过神经网络的优化,可以实现更准确的放电模式分类,有效减少人为干预,进一步提升检测的自动化与智能化水平。

(三) 带电检测技术的优化与推广

脉冲电流法作为一种有效的带电检测技术,其最大优势在于无需停电即可进行电缆局部放电的检测。该技术已被广泛应用于电力系统中的在线监测中,具有较高的实时性和安全性。然而,脉冲电流法的检测效果与数据处理能力密切相关,因此,结合在线监测系统实时数据采集与分析,能够进一步提升该技术在实际应用中的效果。

通过实时数据的动态分析,脉冲电流法可以实现对电缆故障的早期预警,及时发现电缆绝缘层中的潜在缺陷,避免电力系统发生突发性故障。这一优化策略不仅提高了检测的准确性,也大大降低了维护成本和停运时间。

(四) 抗干扰技术的应用

在复杂的电力电缆监测环境中,电磁干扰和外界噪声会对局部放电信号的采集和处理产生不利影响,严重时可能导致误检或漏检。因此,为提高检测灵敏度和精度,抗干扰技术的应用显得尤为重要。通过改进传感器设计,增强传感器的电磁屏蔽能力,可以有效减少外部电磁干扰的影响。此外,优化滤波器功能,采用多级滤波和自适应滤波技术,也能够进一步提升信号的质量,确保局部放电信号能够准确提取。

四、10kV 电力电缆局部放电检测技术的未来发展趋势

随着科技的不断进步,电力电缆局部放电检测技术将逐步朝着智能化、自动化方向发展。结合人工智能、物联网、大数据等先进技术,局部放电检测系统将变得更加精准、实时,能够实现电力系统的智能监控与故障预警。以下是局部放电检测技术未来发展的几个主要趋势:

(一) 智能化与自动化

智能化和自动化是未来电力电缆局部放电检测技术的核心发展方向。利用人工智能(AI)算法进行自动故障诊断和预警,能够大幅提高检测系统的效率与准确性。人工智能通过机器学习和深度学习技术,可以自动分析电缆放电信号,识别潜在故障,并进行模式识别。AI算法能够从大量历史数据中提取规律,帮助判断电缆的健康状态,及时发现隐患,降低人为误差。

随着自动化技术的发展,电力电缆的在线监测系统将能够实现24小时不间断监控,进一步提高电网的可靠性。通过实时数据采集与分析,系统可以自动识别和报告潜在的故障区域,提前发出预警,减少人工干预的需求,极大地提升检测效率与故障处理的响应速度。此外,自动化监控系统还将与电

力系统的其他智能化设备相互协作,形成统一的智能电网监控平台,为电力系统的稳定运行提供强有力的保障。

(二) 大数据与物联网技术的结合

大数据分析 and 物联网技术的发展,将为电力电缆局部放电检测技术提供新的动力。物联网技术通过传感器和智能设备的互联互通,实现电力电缆的实时数据采集与远程传输。局部放电检测系统可以通过物联网将采集到的数据实时传送到云平台进行存储和分析,从而实现数据的集中管理和高效处理。

在大数据和物联网的支持下,局部放电检测系统不仅能够实时监控电力电缆的健康状态,还能通过分析历史数据实现故障的提前预测和预警,为电力系统的可靠性与安全性提供更强的保障。

(三) 云计算与边缘计算的应用

随着云计算和边缘计算技术的成熟,未来局部放电检测技术将不仅仅局限于本地设备的处理能力。云计算能够提供强大的数据处理和存储能力,集中管理并分析来自全球各地电力电缆的检测数据。而边缘计算则将计算能力推向设备端,使数据能够在靠近源头的地方进行初步处理,减少数据传输的延迟,实时性更高。

这两种计算技术的结合,将使电力电缆局部放电检测系统能够更加高效、灵活地处理和分析数据,为电力公司提供更加精准和及时的故障诊断和处理方案。

(四) 多传感器融合与自适应检测技术

随着传感器技术的发展,未来的局部放电检测系统将采用多种传感器进行数据采集,包括高频电流传感器、声波传感器、温度传感器等。通过多传感器融合技术,系统可以从多个维度对电力电缆的状态进行全面监测,弥补单一传感器的局限性,进一步提高故障定位和模式识别的准确性。

自适应检测技术也将成为未来的发展趋势。该技术能够根据不同工作环境和电缆的实际状况,动态调整检测参数和算法,从而更精确地检测局部放电信号。通过这种灵活调整的方式,系统能够在不同的操作条件下保持较高的检测精度和稳定性。

五、结束语

局部放电检测技术在电力电缆故障诊断中的应用,已经从传统的离线检测发展到如今的在线实时监测。随着技术的不断优化与创新,特别是多技术融合与智能化系统的发展,未来的局部放电检测技术将更加高效、准确,能够更好地满足电力系统对安全与可靠性的需求。

参考文献:

- [1] 魏钢. 高压交联聚乙烯电力电缆接头绝缘缺陷检测及识别研究[D]. 重庆大学, 2013.
- [2] 陆国俊, 熊俊, 王勇等. 振荡波电压法检测 10kV 电缆局部放电试验[J]. 电力自动化设备, 2010.
- [3] 朱正国, 黄超, 毛骏等. 10kV 电缆脉冲电流法局部放电检测技术研究[J]. 华东电力, 2014.
- [4] 刘炳亮. 10kV 配电网电力电缆局部放电监测研究及应用[J]. 电气开关, 2011.