

# 基于振荡波技术的电缆带电局放定位方法

马超 卢刚 陈欣恺

国网新疆电力有限公司昌吉供电公司 新疆 昌吉 831100

**摘要:** 电缆作为现代电力系统的重要组成部分,其运行状态直接关系到整个电力系统的稳定性和安全性。局部放电是电缆绝缘老化的早期征兆,因此,及时、准确地定位局部放电位置对于预防潜在的电缆故障至关重要。本文深入探讨了基于振荡波技术的电缆带电局部放电(局放)定位方法,通过详细阐述其原理、实施步骤及优劣势,旨在为电缆运维提供更为精准、高效的技术支持。

**关键词:** 振荡波; 电缆; 局部放电; 定位技术; 带电检测

## 引言

随着电力需求的不断增长,电缆系统的复杂性和规模也在不断扩大。局部放电作为电缆绝缘劣化的重要指标,其准确检测与定位对于保障电力系统的持续稳定运行具有重要意义。振荡波技术,作为一种先进的带电检测方法,正逐渐成为电缆局放定位的主流技术之一。

### 1 振荡波技术原理及特性分析

振荡波技术是通过在电缆上施加一系列高频振荡电压波形,并检测这些波形在电缆中的传播和反射情况,从而实现对电缆状态的评估。该技术具有非侵入性、高分辨率和实时性等特点,特别适用于带电状态下的电缆局放检测。

### 2 基于振荡波技术的局放定位原理

在电缆中,局部放电会产生特定的电磁信号。当这些信号遇到电缆中的阻抗变化(如接头、终端或故障点)时,会发生反射。基于振荡波技术的局放定位方法正是利用这一原理,通过检测并分析反射波的特征,如幅值、时延等,从而精确确定局放点的位置。

### 3 基于振荡波技术的局放定位方法的具体实施

#### 3.1 信号采集

信号采集是基于振荡波技术的局放定位方法的首要步骤,其重要性不言而喻。在这一步骤中,高灵敏度传感器的安装与配置显得尤为关键,因为它们直接决定了所采集数据的准确性和完整性。首先,选择合适的传感器是确保数据采集质量的前提。这些传感器必须具备高灵敏度,以便能够捕捉到电缆中微弱的振荡波信号。同时,传感器还应具有良好的抗干扰能力,以减少外部环境对信号的干扰,确保数据的真实性。在安装传感器时,需要精心选择安装位置。一般来说,传感器应被放置在电缆的关键节点,如接头、终端以及可能的故障点附近。这样做的原因是,这些位置更容易产生信号的反

射和散射,从而更有可能捕捉到有价值的局放信号。此外,通过在多个关键节点布置传感器,还可以实现对电缆状态的全面监控,提高局放定位的精度<sup>[1]</sup>。传感器的安装过程也需要严格遵守操作规程。在安装前,应对传感器进行校准,确保其性能稳定、准确。安装时,应保证传感器与电缆表面的紧密贴合,以减少信号衰减。同时,还要做好防水、防尘等保护措施,以确保传感器在恶劣环境下也能正常工作。实时捕获振荡波信号是信号采集环节的核心任务。为了确保信号的实时性和连续性,需要采用高速数据采集系统,以高频率对信号进行采样和记录。这样做不仅可以捕捉到电缆中的瞬时变化,还可以为后续的信号分析和处理提供丰富的数据基础。

#### 3.2 信号预处理

在基于振荡波技术的局放定位方法中,信号预处理是一个不可或缺的环节。这一步骤涉及对原始信号的放大、滤波和降噪等操作,旨在提升信号质量,确保后续分析的准确性。首先,信号的放大是预处理的第一步。由于电缆中传播的振荡波信号往往比较微弱,直接进行分析可能难以捕捉到关键信息。因此,需要通过放大器来增强信号的幅度,使其达到分析设备可处理的范围。在放大过程中,需要选择合适的放大倍数,以保证信号不失真且能够凸显出局部放电的特征。接下来是滤波处理。在信号采集过程中,可能会混入各种频率的噪声和干扰信号。滤波的目的就是去除这些不需要的频率成分,突出局放信号的特征。根据局放信号的特点,可以选择带通滤波器或高通滤波器来滤除低频噪声和其他高频干扰。滤波器的设计需要综合考虑信号的带宽、滤波器的阶数和类型等因素,以达到最佳的滤波效果。降噪是信号预处理的另一个重要步骤。电缆中的局部放电信号往往伴随着各种噪声,如白噪声、脉冲噪声等。这些噪声会严重影响信号的信噪比和分辨率,进而影响局放

定位的准确性。为了降低噪声的影响,可以采用小波变换、自适应滤波等先进的降噪技术。这些技术能够根据信号和噪声的特性,有效地分离出有用的信号成分,提高信噪比。

### 3.3 特征提取与分析

特征提取与分析是基于振荡波技术的局放定位方法中的核心环节。在这一步骤中,借助先进的数字信号处理技术,研究人员能够从预处理后的信号中挖掘出与局部放电紧密相关的特征信息,为后续的定位工作提供关键线索。小波变换是这一过程中常用的技术之一。小波变换具有良好的时频分析能力,能够有效地捕捉到信号的局部特征。在局放信号分析中,小波变换可以帮助我们识别出信号中的突变点和奇异点,这些点往往与局部放电事件相对应。通过选择合适的小波基函数和分解层数,可以更加精确地提取出局放信号的特征。除了小波变换,傅里叶分析也是特征提取中不可或缺的工具。傅里叶分析能够将信号从时域转换到频域,从而揭示出信号的频谱特性。在局放信号的处理中,傅里叶分析有助于我们发现信号中的主要频率成分,这些频率成分可能与特定的局放模式相关联<sup>[2]</sup>。通过对频谱的细致分析,我们可以进一步了解局放信号的内在规律和特征。在特征提取过程中,还需要关注信号的时域波形。时域波形直观地展示了信号随时间的变化情况,其中蕴含着丰富的局放信息。例如,波形的峰值、谷值以及变化趋势等都可能与局放事件密切相关。因此,在特征提取时,对时域波形的详细分析也是必不可少的。

### 3.4 定位算法实现

在基于振荡波技术的局放定位方法中,定位算法的实现是至关重要的一步。这一步骤依赖于先前从信号中提取出的特征信息,并结合电缆的物理参数和波传播理论,以精确计算出局部放电点的位置。首先,定位算法需要整合从信号中提取的关键特征,如频谱特性、时域波形特征等。这些特征为算法提供了识别局部放电事件的依据。例如,特定的频谱峰值或时域波形的突变点都可能是局部放电的直接指示。接下来,算法会结合电缆的物理参数,如电缆的长度、直径、绝缘材料的介电常数等,来进行精确的定位计算。这些物理参数对波在电缆中的传播速度和衰减特性有着直接影响。因此,了解这些参数是确保定位准确性的关键。波传播理论在这一步骤中也发挥着重要作用。基于该理论,算法可以模拟振荡波在电缆中的传播和反射过程,从而更准确地估计局部放电点的位置。特别是当振荡波遇到阻抗变化(如接头、故障点等)时,会发生反射,这些反射波的特征

为定位提供了重要线索。为了实现高效的定位,可能会采用多种算法技术,如时间差定位法、双端行波定位法等。这些算法通过分析信号到达不同传感器的时间差,或者利用波在不同位置的反射特性,来精确计算出局部放电点的位置。值得注意的是,定位算法的准确性和效率不仅依赖于算法的设计,还与传感器的配置、信号的质量以及电缆参数的准确性密切相关。因此,在实际应用中,可能需要对算法进行不断的优化和调整,以适应各种复杂的现场环境。

### 3.5 系统构建与优化

系统构建与优化是基于振荡波技术的局放定位方法的最终环节,它涉及将前面各个步骤整合成一个完整、高效的自动化系统,以实现智能化、高精度的局部放电定位。在系统构建阶段,首要任务是将信号采集、预处理、特征提取、定位算法等模块有机地结合起来。这要求系统具备强大的数据处理能力和高效的算法实现,以确保从原始数据采集到最终定位结果的输出,整个流程能够顺畅、准确地执行。此外,系统的用户界面设计也至关重要,它需要简洁明了,便于运维人员操作和理解。为了实现系统的自动化和智能化,可以采用先进的机器学习和人工智能技术。通过对大量历史数据的训练和学习,系统可以自动识别并处理各种复杂的局放信号,提高定位的准确性和效率。同时,系统还应具备自我诊断和修复的能力,以便在出现异常情况时能够及时发现并处理,确保定位功能的稳定性和可靠性。在系统优化方面,重点是根据实际运行中的反馈和数据积累,对系统的性能和定位精度进行持续改进。这包括但不限于优化信号预处理算法以提高信噪比,改进定位算法以减少定位误差,以及调整系统参数以适应不同环境和电缆类型的变化。同时,还可以利用大数据分析技术,对系统运行过程中产生的海量数据进行深入挖掘和分析,以发现潜在的优化点和改进方向。除了技术层面的优化,系统的管理和维护也是不可忽视的一环。需要建立完善的系统管理制度和维护流程,确保系统的稳定运行和数据的完整性。此外,还应定期对系统进行性能测试和安全评估,及时发现并解决潜在的安全隐患和性能瓶颈。

## 4 方法的优势、挑战及解决方案

### 4.1 优势分析

基于振荡波技术的局放定位方法相较于传统的局放检测手段,展现出显著的优势。首先,其最为突出的特点在于能够在电缆带电状态下进行检测。这一点至关重要,因为在现实应用中,频繁的停电不仅会给企业和居民带来诸多不便,更可能造成重大的经济损失和社会影

响。而基于振荡波技术的局放定位方法则完全避免了这一问题,它允许在电缆正常运行、带电的状态下进行精确的局部放电检测,从而确保了电力系统的持续稳定运行。此外,该方法还具有高灵敏度和高分辨率的特性。这主要得益于先进的传感器技术和精确的信号处理算法。高灵敏度的传感器能够捕捉到电缆中极为微弱的局放信号,而高分辨率的信号处理技术则能够进一步从这些信号中提取出有价值的特征信息。两者的结合,使得基于振荡波技术的局放定位方法能够在复杂的电磁环境中准确识别并定位出微弱的局部放电事件<sup>[3]</sup>。最后,该方法的自动化实现也是其优势之一。通过集成化的系统设计和智能化的算法应用,该方法能够实现从信号采集到局放定位的全流程自动化处理。这不仅大大提高了检测效率,减少了人为操作的错误和不确定性,还通过实时反馈和数据分析,为运维人员提供了更为准确、全面的故障信息。这种自动化的处理方式,无疑为电力系统的故障预防和快速恢复提供了有力的技术支持。

#### 4.2 面临的挑战及解决方案

尽管基于振荡波技术的局放定位方法具有诸多优势,但在实际应用中,它仍然面临一些挑战。首先,现场环境的复杂性是一个不可忽视的问题。在电力系统中,各种电磁干扰源众多,如雷电、无线电通信、高频设备等,这些都可能对局放信号造成干扰。此外,电缆的走向、埋设深度以及周围的地质条件等因素也可能导致信号的衰减和失真。这些干扰和衰减现象会严重影响局放信号的检测和定位精度。为了应对这一挑战,可以采取优化传感器设计的措施。例如,通过改进传感器的结构和材料,提高其抗干扰能力,减少环境噪声对信号的影响。同时,还可以采用差分信号传输、滤波技术等手段进一步净化信号,提高信噪比。其次,电缆参数的不确定性也是影响定位精度的一个重要因素。电缆的长度、直径、介电常数等参数在实际应用中往往存在一定

的误差和变化,这些误差会直接影响到波在电缆中的传播速度和反射特性,从而导致定位偏差。为了解决这个问题,可以利用先进的算法和模型来校正电缆参数的不确定性<sup>[4]</sup>。例如,可以采用参数估计技术,通过对实际检测到的信号进行分析和处理,反推出电缆的实际参数值。同时,还可以结合机器学习等智能算法,建立电缆参数与定位结果之间的映射关系,从而在实际定位过程中进行自动校正和调整。此外,还可以通过加强现场勘测和数据采集工作来提高定位精度。通过详细记录电缆的走向、埋设深度等信息,以及定期采集和分析现场数据,可以更加准确地掌握电缆的实际状态和参数变化情况,从而为精确定位提供有力支持。

#### 结语

基于振荡波技术的电缆带电局放定位方法凭借其独特的优势和广阔的应用前景,正逐渐成为电缆故障检测领域的研究热点。随着相关技术的不断发展和完善,相信该方法将在未来发挥更加重要的作用。未来研究方向可以聚焦于进一步提高定位精度、降低系统成本以及实现实时监测与预警等方面的问题,以推动电缆运维技术的持续创新和发展。

#### 参考文献

- [1]李春艳.振荡波电压下10kV电缆局部放电定位方法与应用[D].湖北工业大学,2017,(10):44-45.
- [2]赵丁丁.一种应用于电缆局部放电检测的定位设备及定位方法[J].中国矿业大学,2022,(08):14-15.
- [3]伍弘,郝金鹏,王博,杨凯,房子祎,牛勃.串联谐振型交流激励式电缆振荡波局放检测系统研究[J].电工电气,2022(06):48-52.
- [4]粘凯昕,林小青,温晓强.10kV电力电缆振荡波局放和超低频介损检测消缺应用实例[C]//福建省电机工程学会2020年学术年会获奖论文集(上册),2021:370-376.