

多电压等级下地缆缺陷无损检测技术研究

潘强

西安航空职业技术学院 陕西西安 720000

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13228

[摘要] 随着电力系统规模不断扩大, 地下电缆在电力传输中的应用日益广泛。文章以多电压等级下地缆缺陷为研究对象, 深入分析了绝缘层老化、护套损伤及接头终端故障等典型缺陷类型, 探讨了运行环境、电缆选型及运维管理等影响因素, 提出了局部放电在线监测、超声波成像检测、时域反射及多频段测试等无损检测方法, 旨在提高地下电缆故障检测的准确性和可靠性, 为电网安全稳定运行提供技术支撑。

[关键词] 多电压等级; 地缆缺陷; 无损检测

引言:

电力系统中地下电缆承担着重要的输配电任务, 其运行状态直接关系到电网的安全稳定。随着城市化进程加快, 地下电缆使用规模不断扩大, 不同电压等级电缆面临的运行环境更加复杂, 各类缺陷频发, 给电网运维带来巨大挑战。为保障电力系统可靠运行, 迫切需要开展多电压等级下地缆缺陷无损检测技术研究, 建立科学有效的检测方法体系, 实现缺陷早期发现和准确诊断。

1 多电压等级下地缆缺陷的常见类型

1.1 绝缘层老化与破损

地下电缆长期处于复杂多变的运行环境中, 其绝缘层材料会受到电应力、热应力、机械应力以及环境因素的综合作用, 导致绝缘性能逐渐下降, 出现老化现象。绝缘层老化主要表现为材料硬化、脆化、开裂等, 严重时甚至出现绝缘击穿, 影响电缆的安全运行。另外, 在电缆敷设、维护过程中, 外力作用也可能对绝缘层造成机械损伤, 产生裂纹或破损, 降低绝缘强度。

1.2 电缆护套损伤

电缆护套是保护电缆免受外界环境影响的重要屏障, 但在实际运行中, 护套也容易受到各种因素的损坏。常见的护套损伤类型包括机械损伤、化学腐蚀以及生物侵蚀等。机械损伤主要由外力作用引起, 如挖掘施工、重物碾压等; 化学腐蚀则源于土壤、水分中的腐蚀性物质对护套材料的侵蚀; 而生物侵蚀则是由微生物、昆虫等对护套的啃咬或钻孔造成的。护套的破损会使电缆芯线暴露在恶劣环境中, 加速绝缘老化, 甚至引发严重事故^[1]。

1.3 接头和终端故障

电缆接头和终端是连接电缆与设备的关键部件, 其制作和安装质量直接影响着电缆线路的安全稳定运行。接头和终端故障通常由设计缺陷、制造工艺不良、安装不当以及运行环境恶化等因素引起。常见的故障类型有绝缘失效、过热、

放电等, 可能导致局部放电、闪络甚至爆炸等严重后果。为了避免接头和终端故障的发生, 需要严格控制其设计、制造和安装过程, 同时采用先进的检测技术对其状态进行实时监测和预警, 及时发现和处理潜在缺陷, 确保电缆系统的安全可靠运行。

2 多电压等级下地缆缺陷的影响因素

2.1 运行环境与工况

地下电缆的运行环境十分恶劣, 土壤温度、湿度、化学性质、机械应力等因素都会影响其绝缘性能和机械强度。当电缆长期处于高温环境时, 绝缘材料会加速老化, 机械强度下降; 而低温条件则容易导致护套和绝缘层开裂。潮湿的土壤会降低绝缘电阻, 促进水树发生, 腐蚀金属护套; 干燥的土壤则容易引起接头周围放电。含盐碱较多的土壤对金属护套的腐蚀尤为严重。电缆沟管路如果密封防水性能不佳, 雨水渗入也会加剧水树老化和腐蚀。此外, 电缆负荷影响导体温度, 间接影响绝缘老化速度, 过负荷运行易引发局部过热缺陷。综上所述, 运行环境与工况是影响地下电缆绝缘性能和机械强度的重要因素, 在缺陷产生和发展过程中起着不可忽视的作用。

2.2 电缆选型与敷设

电缆选型是影响其可靠运行的首要因素, 必须充分考虑电压等级、传输容量、路径长度、环境特点等因素, 选择合理的导体和绝缘材料。导体截面积不足会导致过负荷和发热故障; 绝缘厚度过小, 工频耐压和冲击耐压不足; 而选用不适宜的绝缘材料, 则难以适应恶劣环境。电缆敷设质量同样至关重要, 直接关系到初期缺陷和早期失效问题。敷设时如果电缆弯曲半径过小, 会使绝缘和护套受到机械损伤; 牵引力过大则易造成导体位移和松散。电缆沟沙土回填时若存在尖锐物体, 容易刺穿护套和绝缘层。头端和终端的连接处理不当, 是接头故障的主因。总的来说, 选型和敷设阶段的任何疏忽都可能埋下缺陷隐患, 而这些缺陷在运行初期就可能

引发故障,或者经过一段时间在应力作用下演变成严重故障。

2.3 运维管理水平

运维管理是保障电缆安全运行的重要手段,科学合理的策略能够避免缺陷发生、延缓故障进程,而粗放低效的方式则可能加剧缺陷发展。电缆运行后,必须定期开展巡视检查,对沟道进行维护,及时发现外破、沉陷、淹水等隐患。通过红外测温、局放检测等手段监测电缆状态,掌握绝缘老化趋势。针对高风险区段和重要线路,还应采用在线监测系统实现实时故障预警。缺陷信息的管理也不容忽视,应详细记录缺陷类型、程度、处置情况,建立完善的档案数据库,从海量历史数据中提炼故障征兆和发展规律,作为后续检修策略优化的依据。当发现严重缺陷时,必须及时制定检修方案,合理安排停电作业,规范检修行为,检修后应重新进行耐压试验和局放测试^[2]。

3 多电压等级下地缆缺陷无损检测技术的应用要点

3.1 局部放电在线监测技术应用

针对不同电压等级电缆,要选择合适的局放传感器,例如高频电流传感器适用于10kV及以下电缆,超高频传感器则适用于110kV及以上电缆。传感器布置需要综合考虑灵敏度和干扰抑制能力,例如可以采用分布式布置方式,在电缆沿线和接地线上多点安装,提高检测覆盖范围。获取数据后,还需要进行去噪和特征提取,实现局放类型识别和故障定位。例如采用小波变换等信号处理方法去除白噪声,提取放电波形上升沿、幅值、相位等特征量,再通过特征映射、模式识别等手段判断放电类型,同时利用定位算法估计放电源空间位置,为缺陷分级和检修决策提供依据。

3.2 超声波成像检测方法研究

超声波成像是一种先进的检测方法,通过接收缺陷反射回波,可以直观呈现缺陷的空间位置、形状和大小等信息。为获得高质量的成像结果,需要针对不同电压等级电缆优化换能器阵列设计,例如对于高压电缆,可采用环阵或螺旋阵换能器,实现360度全方位扫查,提高检测精度。同时还要建立合理的声速模型,精确描述超声在多层介质中的传播特性,为成像算法提供输入参数,例如采用分层递进建模方法,分别考虑导体、绝缘、半导电屏蔽和护套层的声速差异,提高声程计算准确性。在成像算法方面,需要针对电缆材料衰减大、噪声强等特点进行优化,抑制伪像和噪声,增强缺陷回波信号。例如引入自适应权重和零值加权等处理手段,削弱噪声干扰,还可以利用深度学习方法提取图像特征,实现缺陷自动分类识别。

3.3 时域反射法故障定位分析

电缆绝缘老化或局部放电等故障会引起阻抗不连续,当

脉冲信号遇到这些不连续点时,就会发生反射。通过分析反射信号的时间和幅值特征,可以估算故障点距离。对于不同电压等级电缆,脉冲信号的频率、幅度、宽度需要合理设置,例如对于35kV及以下的电缆,脉冲信号频率可选择在50MHz左右,而对于110kV及以上电缆,则需要选用纳秒量级的窄脉冲,以提高空间分辨率。同时还要针对不同故障类型优化测试参数,例如对于高阻故障,要适当增大脉冲幅度,而对于闪络性故障,则要连续发送多个脉冲,捕捉瞬态放电信号。数据处理是时域反射法的关键环节,需要采用去噪、特征提取、模式识别等算法,实现反射信号检测和故障类型判断。例如小波分析可用于剔除背景噪声提取反射峰,而神经网络等智能算法则可实现故障自动分类。

3.4 多频段电缆故障测试技术

多频段测试技术通过在不同频率下对故障电缆进行扫频分析,得到故障点阻抗或损耗随频率的变化曲线,再根据曲线形状判别故障类型,进而指导检修。频段的划分需要综合考虑电缆结构、故障谱、干扰源等因素,例如对于10kV电缆,可划分为低频(50Hz~1kHz)、中频(1kHz~100kHz)、高频(100kHz以上)三个频段,分别对应绝缘老化、局放、沿面放电等不同的主导缺陷。针对每个频段,要优选合适的测试信号形式,兼顾检测灵敏度和抗干扰能力,例如在中低频段可采用正弦扫频信号,而在高频段则宜采用宽带噪声或M序列信号,以适应故障频谱变化规律。在阻抗或损耗测量方面,需要采用精度高、频响宽的传感器,降低寄生参数影响,提高不确定度。

4 结束语

综上所述,多电压等级下地缆缺陷无损检测技术研究涉及多个专业领域,通过分析典型缺陷特征、影响因素及检测方法,构建了较为完整的地缆缺陷检测技术体系。未来研究中,需要进一步加强检测设备研发、算法优化及智能诊断等关键技术攻关,提升检测精度和效率,同时加强新型传感器、大数据分析等前沿技术的应用研究,推动地缆检测技术向智能化、系统化方向发展。

[参考文献]

- [1] 许新宇,宋鑫鹏. 电力电缆绝缘故障测寻方法探讨[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2022(7): 4.
- [2] 杨岸,许鹏坤. 基于时间线性拟合的地缆架空混合线路的行波故障定位[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2024, 41(03): 72-80.

作者简介:潘强(1974年5月-),男,民族:汉,籍贯:陕西临潼,单位:西安航空职业技术学院,职称:助理实验师,学历:本科,研究方向:电气自动化。