

电力电缆故障检测与定位技术在电力工程中的应用

蒋晓东

海宁市金能电力实业有限公司 浙江嘉兴 314000

DOI:10.12238/ems.v7i6.13768

[摘要] 随着电力系统的不断发展, 电力电缆作为电能传输的关键部件, 其运行可靠性至关重要。电力电缆故障会对电力供应的稳定性和安全性造成严重影响。本文详细阐述了电力电缆常见故障类型及原因, 深入探讨了多种故障检测与定位技术, 包括电桥法、低压脉冲法、脉冲电流法、跨步电压法等传统技术以及基于智能算法如神经网络、遗传算法等的现代检测定位技术, 并分析了这些技术在实际电力工程中的应用场景、优势与局限性。同时, 结合具体案例说明了故障检测与定位技术在保障电力系统可靠运行方面的重要作用, 最后对未来电力电缆故障检测与定位技术的发展趋势进行了展望, 旨在为电力工程中电缆故障的高效检测与精准定位提供理论支持和实践参考。

[关键词] 电力电缆; 故障检测; 定位技术; 电力工程; 应用

引言

电力电缆在现代电力系统中承担着输送和分配电能的重要任务, 广泛应用于城市电网、工业企业、矿山等各个领域。由于电缆长期运行在复杂的环境中, 受到机械损伤、绝缘老化、过电压等多种因素的影响, 不可避免地会出现各种故障。一旦电缆发生故障, 不仅会导致停电事故, 影响正常的生产生活, 还可能引发安全事故, 造成巨大的经济损失。因此, 准确、快速地检测和定位电力电缆故障, 对于缩短停电时间、提高供电可靠性具有重要意义。

一、电力电缆常见故障类型及原因

(一) 绝缘故障

绝缘故障是电力电缆最常见的故障类型之一。主要原因包括绝缘材料老化、受潮、电场分布不均匀等。随着电缆运行时间的增长, 绝缘材料会逐渐失去原有的性能, 绝缘电阻下降, 最终导致绝缘击穿。电缆敷设过程中如果密封不严, 水分容易侵入电缆内部, 破坏绝缘性能。此外, 电缆终端头和中间接头处电场分布复杂, 如果设计或施工不当, 容易产生局部电场集中, 加速绝缘老化。

(二) 导体故障

导体故障通常是由于电缆导体长期过载运行, 导致发热、氧化, 使导体截面积减小, 电阻增大, 最终引发导体断裂。另外, 外力破坏也可能直接导致导体受损, 如电缆在敷设过程中受到机械挤压、挖掘作业时被挖断等。

(三) 护层故障

电缆护层主要起到保护绝缘和导体的作用。护层故障可能是由于外力损伤、化学腐蚀等原因引起。例如, 电缆在地下敷设时, 可能会受到土壤中酸碱物质的侵蚀, 导致护层损坏, 进而影响电缆的整体性能。

二、电力电缆故障检测与定位传统技术

(一) 电桥法

电桥法是一种经典的电缆故障检测方法, 它基于电桥平衡原理来测量电缆导体的电阻, 从而判断电缆是否存在故障以及故障的大致位置。常用的电桥有惠斯通电桥和双臂电桥。对于低电阻接地故障和短路故障, 电桥法具有较高的测量精度。然而, 电桥法只适用于电缆导体连续性较好的情况, 对于高电阻故障和绝缘故障的检测效果不佳。

(二) 低压脉冲法

低压脉冲法是向电缆中注入一个低压脉冲信号, 当脉冲信号遇到电缆故障点时, 会产生反射波, 通过检测反射波的时间和波形来确定故障位置。该方法操作简单、速度快, 能够准确检测出电缆的开路、短路等低电阻故障。但对于高电阻故障, 由于反射信号较弱, 难以准确检测和定位。

(三) 脉冲电流法

脉冲电流法是在电缆故障相上施加一个高压脉冲, 使故障点发生闪络放电, 产生脉冲电流。通过在电缆首端或末端安装电流传感器, 检测脉冲电流信号, 根据信号传播的时间

和速度来计算故障位置。脉冲电流法适用于各种类型的电缆故障, 尤其是高电阻故障和闪络性故障, 具有较高的检测灵敏度和定位精度。不过, 该方法需要专门的高压试验设备, 操作相对复杂, 且对现场环境要求较高。

(四) 跨步电压法

跨步电压法主要用于检测电缆外皮破损、接地等故障。当电缆发生接地故障时, 电流会从故障点流入大地, 在地面上形成跨步电压。工作人员手持电位差计, 沿电缆路径行走, 测量地面上两点之间的电位差, 当电位差出现异常变化时, 即可判断故障点的大致位置。跨步电压法简单易行, 但只能确定故障的大致范围, 无法精确到具体位置。

三、基于智能算法的电力电缆故障检测与定位现代技术

(一) 神经网络算法

人工神经网络具有强大的非线性映射能力和自学习能力, 能够对电缆故障特征进行有效提取和分类。通过采集电缆在不同运行状态下的多种特征参数, 如电压、电流、温度等, 作为神经网络的输入, 经过训练后, 神经网络可以准确识别电缆是否存在故障以及故障类型。在故障定位方面, 可以利用神经网络建立故障位置与特征参数之间的映射关系, 实现对故障位置的快速准确预测。然而, 神经网络算法的训练需要大量的样本数据, 且网络结构的选择和训练参数的调整较为复杂。

(二) 遗传算法

遗传算法是一种基于自然选择和遗传变异的优化算法。在电缆故障检测与定位中, 遗传算法可以用于优化故障检测模型的参数, 提高检测精度。例如, 在脉冲电流法中, 利用遗传算法优化高压脉冲的幅值、频率等参数, 以增强故障点的闪络效果, 提高故障信号的检测灵敏度。同时, 遗传算法还可以与其他算法相结合, 如与神经网络算法结合, 优化神经网络的权值和阈值, 提高故障诊断和定位的准确性。但遗传算法收敛速度较慢, 容易陷入局部最优解。

(三) 小波分析法

小波分析是一种时频分析方法, 能够将信号在不同尺度下进行分解, 提取信号的局部特征。在电力电缆故障检测中, 小波分析法可以对电缆故障时产生的暂态信号进行分析, 准确捕捉信号的突变点, 从而判断故障的发生时刻和类型。通过对不同故障类型的暂态信号进行小波特征提取和分析, 可以建立故障特征数据库, 为故障诊断和定位提供依据。小波分析法具有良好的时频局部化特性, 但小波基函数的选择对分析结果有较大影响。

四、电力电缆故障检测与定位技术在电力工程中的应用场景

(一) 城市电网

在城市电网中, 电力电缆分布广泛且密集, 一旦发生故障, 会对居民生活和商业活动造成严重影响。电桥法、低压脉冲法等传统技术可用于日常电缆的定期巡检, 快速发现电

缆导体的低电阻故障。而对于复杂的绝缘故障和高电阻故障,则可采用脉冲电流法或基于智能算法的现代技术进行准确检测和定位。例如,利用神经网络算法对城市电网中大量电缆的运行数据进行实时监测和分析,及时发现潜在的故障隐患,提前采取维护措施,减少停电事故的发生。

(二) 工业企业

工业企业内部的电力电缆通常承担着为生产设备供电的重要任务。电缆故障可能导致生产线停产,造成巨大的经济损失。在工业企业中,可根据电缆的不同用途和运行环境,选择合适的故障检测与定位技术。对于一些对生产连续性要求较高的关键电缆线路,可以采用在线监测系统,结合多种检测技术,如脉冲电流法和小波分析法,实时监测电缆的运行状态,一旦发生故障,能够迅速准确地定位故障点,尽快恢复生产。

(三) 矿山

矿山环境恶劣,电缆容易受到机械损伤、潮湿等因素的影响,导致故障频发。在矿山电力电缆故障检测与定位中,跨步电压法可用于初步查找电缆外皮破损等接地故障的大致位置。然后,再结合脉冲电流法等技术进行精确故障定位。同时,利用遗传算法优化检测参数,提高在复杂矿山环境下的故障检测效率和准确性,保障矿山电力供应的稳定可靠。

五、案例分析

(一) 案例背景

某城市电网中的一条10kV电力电缆在运行过程中突然发生故障,导致该区域部分用户停电。

(二) 故障检测与定位过程

首先,维修人员采用电桥法对电缆导体进行测量,发现电缆导体电阻异常,初步判断存在短路故障。但由于电桥法无法准确确定故障位置,随后采用低压脉冲法进行进一步检测。通过向电缆注入低压脉冲信号,检测到反射波,但由于故障点电阻较高,反射信号较弱,仍无法精确确定故障位置。最后,采用脉冲电流法,在电缆首端施加高压脉冲,使故障点发生闪络放电,利用安装在电缆两端的电流传感器检测脉冲电流信号,结合GPS同步技术,准确计算出故障位置距离电缆首端约2.5km处。

(三) 处理结果

根据故障定位结果,维修人员迅速到达现场,开挖电缆沟,发现电缆因外力破坏导致绝缘层破损,导体短路。经过更换受损电缆段,重新进行绝缘处理和接头制作后,电缆恢复正常运行,停电区域恢复供电。

六、电力电缆故障检测与定位技术的发展趋势

(一) 智能化与自动化

在科技飞速发展的当下,电力作为现代社会运转的核心动力,其供应的稳定性至关重要。而电力电缆作为电力传输的关键基础设施,它的可靠运行直接关系到电力供应的质量。未来,电力电缆故障检测与定位技术无疑将朝着智能化和自动化方向大步迈进。

随着大数据、人工智能、物联网等前沿技术的蓬勃兴起,它们与电力电缆故障检测领域的深度融合成为必然趋势。借助物联网技术,可以在电缆的关键节点部署大量传感器,这些传感器如同敏锐的触角,实时收集电缆运行过程中的各类数据,包括温度、电压、电流、绝缘电阻等参数,并将这些数据源源不断地传输至后台系统。

大数据技术则发挥着强大的数据存储和管理功能,它能对海量的电缆运行数据进行高效整合与分析。通过挖掘数据背后隐藏的规律,为后续的故障判断提供坚实的数据支撑。

最为关键的是人工智能技术的应用。智能检测系统犹如一位经验丰富的“电力医生”,它运用先进的机器学习和深度学习算法,对电缆运行数据进行深度剖析。能够迅速且精准地识别出数据中的异常模式,从而快速准确地判断故障类型和具体位置。一旦发现潜在故障,系统会立即发出清晰明确

的报警信息,以最快的速度通知维修人员。

这种智能化与自动化的发展模式,不仅极大地提高了故障检测的效率和准确性,还能有效减少人工巡检的工作量和误差,降低因故障导致的停电时间和损失,确保电力系统始终稳定、可靠地运行,为社会经济的持续发展提供有力保障。

(二) 多技术融合

单一的故障检测与定位技术往往存在一定的局限性,未来将更加注重多种技术的融合应用。例如,将传统的检测技术与智能算法相结合,发挥各自的优势,提高故障检测的准确性和可靠性。同时,不同检测技术之间可以相互验证,减少误判的可能性。

(三) 在线监测与预警

在当今社会,电力供应的稳定性对于各行各业正常运转以及人们的日常生活至关重要。随着电力系统对供电可靠性要求的日益严苛,电力电缆的在线监测与预警技术迎来了更为广阔的发展空间。

电力电缆作为电力传输的关键环节,长期处于复杂的运行环境中,容易受到多种因素影响而出现故障。为了确保其稳定运行,在电缆的关键部位合理安装各类传感器成为了重要手段。这些传感器犹如敏锐的“触角”,能够实时精准地捕捉电缆的各项运行参数。

温度传感器可以密切监测电缆的温度变化。因为温度异常往往是电缆故障的早期信号之一,过高的温度可能预示着电缆内部存在过载、接触不良等问题。湿度传感器则能实时掌握电缆所处环境的湿度情况,湿度超标可能导致绝缘性能下降,进而引发电气事故。而局部放电传感器更是能够察觉电缆内部极其微弱的局部放电现象,这一现象一旦出现,表明电缆绝缘层已开始受损。

获取这些运行参数只是第一步,更为关键的是如何利用它们进行有效的分析和预测。借助先进的数据分析技术和预测模型,对大量的实时数据进行深度挖掘。通过建立历史数据与故障模式之间的关联,预测模型能够提前预判电缆可能出现的故障类型和时间节点。

实现故障的早期预警意义重大。运维人员在接收到预警信息后,可以及时制定并实施针对性的维护措施。例如,对存在隐患的电缆进行检修、更换部件等,从而有效避免故障的发生,保障电力系统的可靠运行,减少因电缆故障带来的停电损失和经济损失。

结语

电力电缆故障检测与定位技术在电力工程中具有重要的应用价值。传统的检测与定位技术如电桥法、低压脉冲法、脉冲电流法和跨步电压法等在实际工程中发挥了重要作用,但也存在一定的局限性。基于智能算法的现代技术,如神经网络算法、遗传算法和小波分析法等,为电缆故障检测与定位提供了新的思路和方法,具有更高的准确性和智能化水平。在实际电力工程应用中,应根据电缆的特点、运行环境和故障类型,合理选择和综合运用各种检测与定位技术,以实现快速准确检测和定位,保障电力系统的安全可靠运行。随着科技的不断进步,电力电缆故障检测与定位技术将不断发展创新,为电力行业的发展提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 高压直流输电线路行波色散及行波测距研究[J]. 陈玉林; 张杰; 黄涛; 张建锋. 电气技术, 2021 (12)
- [2] 基于分合闸线圈电流的断路器状态在线监测系统研究及应用[J]. 冯颖姣; 汪黎明; 张盛; 韩雪龙; 姜建. 电工技术, 2021 (22)
- [3] 卷积神经网络的正交性特征提取方法及其应用[J]. 李辰; 李建勋. 上海交通大学学报, 2021 (10)
- [4] 基于粒子群优化小波神经网络的光伏阵列故障检测[J]. 荆鹏辉; 韩朝阳; 艾永乐; 刘群峰; 丁剑英. 武汉大学学报(工学版), 2021 (09)