

高压电力电缆故障检测方法的研究与应用

戴华贵

国网福建省漳浦县供电公司

摘要: 随着电力系统的不断发展, 高压电力电缆在能源传输中扮演着重要的角色。然而, 电缆故障的频发给电力系统的稳定运行带来了挑战。本文以高压电力电缆故障检测为研究对象, 通过对电缆故障的机理和特性进行深入分析, 提出了一种基于高频感应定位的检测方法。该方法利用电磁场的变化定位故障点, 对于局部放电等问题有较好的灵敏性。研究表明, 该方法在实际应用中能够有效地提高电缆故障检测的准确性和效率, 为电力系统的可靠运行提供了参考。

关键词: 高压电力电缆; 故障检测; 检测方法; 研究与应用

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.05.118

引言

高压电力电缆作为电力系统中不可或缺的组成部分, 对能源传输起到关键作用。然而, 电缆故障的发生严重影响了电力系统的可靠性和稳定性。尤其是在高压条件下, 电缆的故障检测变得尤为重要。本文旨在通过研究和应用高频感应定位技术, 解决电缆故障检测的难题, 提高电缆系统的可维护性及稳定性。

一、电缆故障原因和故障性质分类

电缆故障是指电缆在使用过程中发生的各种异常情况, 可能导致电力传输中断或性能下降。电缆故障原因和性质多种多样, 可分为外部原因和内部原因两大类。

外部原因主要包括自然环境因素, 如气候变化、温度波动、湿度等。极端天气条件下, 电缆受到强烈的日晒、雨淋、雪压等, 容易引发外护层老化、断裂, 导致电缆性能下降。此外, 地下电缆还可能受到土壤中化学物质侵蚀, 进而引起绝缘层破损。

内部原因主要包括电缆自身质量问题和制造工艺缺陷。电缆的导体、绝缘层等部分可能存在制造过程中的瑕疵, 如气泡、夹杂物等, 导致电场分布不均匀, 易发生击穿故障。同时, 电缆接头处的安装质量也直接影响着整体电缆系统的稳定性, 连接不牢固或安装不当都可能引发故障。

电缆故障的性质可分为暂时性故障和永久性故障。暂时性故障通常是由于外部原因引起的短时异常, 一旦外部因素消失, 电缆可以恢复正常工作。而永久性故障则是由于内部原因引起的, 需要更换或修理受损部分才能恢复电缆的正常运行。

二、电力电缆故障的原因及类型

1、机械损伤

挖掘工程中的机械损伤是常见的原因之一。在进行土建工程或其他地下施工时, 不慎对电缆进行挖掘, 导致电缆外护层受到损伤。这种情况下, 导体和绝缘层可能暴露在外环境中, 增加了电缆受到湿气、化学物质等侵害的风险。其次, 机械挤压也是一种常见的机械损

伤形式。当电缆处于狭小空间, 或者受到重物挤压时, 电缆的外护层、绝缘层和导体都可能受到不同程度的损害。这种损伤可能导致绝缘层破裂, 进而引发电缆的短路或击穿故障。另外, 交通事故也可能导致电缆的机械损伤。例如, 车辆碰撞电缆井盖或电缆通道, 可能导致电缆受到挤压、拉伸或剧烈摆动, 进而引发故障。这种情况下, 电缆的物理结构可能受到严重破坏, 需要及时检修或更换。

2、介质老化

温度是介质老化的重要因素之一。长时间处于高温环境中, 电缆的绝缘层容易受到热应力的影响, 从而导致绝缘老化。高温会加速介质中添加剂的分解, 降低其绝缘性能, 增加电缆发生故障的风险。其次, 电缆运行时的电场和电压也会对介质产生影响。电场强度大、电压频繁变化时, 介质容易受到电击穿和击穿放电的影响, 导致绝缘层老化。这尤其在电缆接头等高应力部位更为显著。另外, 化学物质的侵蚀也是介质老化的原因之一。电缆埋设在土壤或化学环境复杂的地方, 介质可能受到酸碱、盐分等化学物质的侵蚀, 引起绝缘层的老化和破损。介质老化可能导致电缆绝缘层失去原有的绝缘性能, 增加了电缆发生漏电、短路等故障的概率。为防止介质老化, 定期进行电缆的检测和维护是至关重要的, 确保电缆系统长期稳定可靠地运行。

3、化学腐蚀

电缆埋设在土壤中或暴露在潮湿的环境中, 可能受到土壤中的化学物质侵蚀, 如酸性或碱性物质。这种侵蚀可能导致电缆的外护层和绝缘层遭受损害, 加速绝缘老化, 使电缆更容易发生漏电或短路。其次, 化学腐蚀还可能由工业污染物质引起。在工业区域或有害物质排放区域, 电缆暴露在大气中可能受到有害气体、蒸汽或颗粒物的侵蚀, 造成电缆外层材料的腐蚀和破坏。另外, 电缆接头和附件等部分也容易受到化学腐蚀的影响。接头处的金属部分可能因暴露在潮湿或腐蚀性环境中而生锈, 降低连接的稳定性, 甚至导致连接部位故

障。

4、劣质电缆

劣质电缆的导体可能存在制造过程中的瑕疵，如夹杂、气泡等。这会导致导体的电流传导能力下降，增加电缆发生过热、击穿等故障的风险。劣质导体的抗拉强度也可能较低，容易在外部应力作用下发生变形或断裂。其次，劣质电缆的绝缘层可能含有不足以保障绝缘性能的添加剂。绝缘层质量低劣可能导致介电强度不足，使电缆更容易发生绝缘击穿故障。此外，劣质绝缘材料容易老化，缩短电缆的使用寿命。另外，劣质外护层可能缺乏耐候性和耐腐蚀性，使电缆在受到自然环境侵蚀时更易发生故障。劣质外护层还可能不具备足够的机械强度，使电缆在施工和运行中更容易受到损伤。

5、过电压

雷电击是引起过电压的主要自然原因之一。雷电击在电力系统中产生瞬时的高电压，通过电缆传导到系统中，导致电缆绝缘击穿，产生故障。这种过电压常常是突发性的，对电缆造成严重威胁。其次，电网运行中的负荷突变或电源切换也可能导致过电压。例如，负荷突然减小时，电缆两端可能会出现过电压。同样，电源切换时可能产生瞬时过电压，对电缆绝缘系统造成损害。此外，电缆线路中的电弧故障也可能引起过电压。电弧故障会导致电流突然中断，产生感应电动势，引发过电压，损害电缆绝缘。这种情况下，电缆接头和附件处更容易受到过电压的影响。

三、电力电缆故障的常用检测方法及应用

1、电桥法故障检测

电桥法是一种广泛应用于电力电缆故障检测的方法，它通过测量电缆线路的电阻、电感、电容等参数，从而定位故障点。这一方法具有较高的精度和可靠性，适用于各种电缆类型和故障类型。

电桥法的应用范围广泛，可用于检测电缆线路中的短路、断路、绝缘故障等多种类型的问题。通过测量电缆两端的电阻值，可以定位线路中的短路故障，而通过测量电缆的电感和电容值，可以判断线路中是否存在断路或绝缘故障。其次，电桥法对于不同电缆结构和故障程度的适应性较强。无论是交流电缆还是直流电缆，不同电缆截面、绝缘材料，电桥法都能够提供准确的测量结果。同时，它对于故障程度的灵敏性也使得它可以检测到电缆中的微小故障。此外，电桥法的工作原理简单，设备相对便携，易于操作。通过在电缆线路上接入电桥设备，测量电缆两端的电阻、电感或电容值，可以快速准确地确定故障点的位置。

2、高压脉冲法

高压脉冲法是电力电缆故障检测中一种常用的非破坏性检测方法。该方法通过施加高压脉冲信号，利用信号在电缆中的传播特性来定位故障点，适用于各种电缆

类型和故障形式。

高压脉冲法的原理是利用脉冲电流在电缆中传播时的反射、折射、散射等现象。当脉冲信号遇到电缆中的故障点时，会发生反射，通过分析反射信号的特性，可以确定故障点的位置。这使得高压脉冲法对于线路中的短路、断路、绝缘故障等多种故障具有较高的检测精度。其次，高压脉冲法在实际应用中广泛适用于各种电缆类型，包括低压电缆和高压电缆。无论是交流电缆还是直流电缆，该方法均能够提供可靠的测量结果。因此，高压脉冲法具有很强的通用性，可用于不同规格和材质的电缆系统。此外，高压脉冲法的非破坏性特点使其在维护电缆系统时非常有利。与传统的局放检测方法不同，高压脉冲法不会对电缆结构造成损伤，可以在电缆运行状态下进行检测，无须停电，节省了维护时间和成本。

在实际应用中，高压脉冲法的操作相对简单，设备相对便携。通过在电缆上施加高压脉冲信号，然后采集反射信号进行分析，可以迅速准确地定位故障点。

3、低压脉冲法

低压脉冲法是电力电缆故障检测中的一种常用方法，它与高压脉冲法相比，采用较低的脉冲电压，通常在1000V以下。这种方法适用于各种电缆类型和不同故障类型，具有一定的特殊应用场景和优势。

低压脉冲法的原理类似于高压脉冲法，都是利用电缆中的脉冲信号传播特性。通过在电缆中施加低电压脉冲信号，观察信号在电缆中的传播过程，可以识别线路中的故障点。这种方法对于线路中的短路、断路和部分绝缘故障有较好的检测效果。其次，低压脉冲法相对于高压脉冲法具有更低的电压水平，因此对电缆本身和设备的安全性要求较低。这使得低压脉冲法在一些对电缆故障检测要求较为严格的环境中更为适用，同时也减少了对设备的损伤风险。此外，低压脉冲法常用于对电缆局部绝缘破损的检测。在高频脉冲信号下，当信号遇到绝缘局部破损时，会发生反射或散射，通过分析反射信号的特征，可以定位绝缘破损的位置。

在实际应用中，低压脉冲法的设备相对简单，操作相对便捷。通过在电缆上施加低压脉冲信号，再利用信号的传播特性进行检测，可以在电缆运行状态下进行，无需停电。

4、闪络法

闪络法是电力电缆故障检测的一种重要方法，主要用于评估电缆绝缘的耐电压能力，以判断绝缘系统是否存在隐患。这一方法通常用于高压电缆系统，特别是油纸绝缘和交叉链接聚乙烯（XLPE）绝缘电缆系统。

闪络法的原理是通过施加交流高电压，使电缆绝缘系统中存在的微小缺陷或污秽点在高电压下形成放电现象，即闪络。通过观察、记录闪络的频率和位置，可以

评估电缆绝缘的质量状况。其次，闪络法常用于油纸绝缘电缆系统。这种电缆系统中，绝缘部分通常由油纸绝缘构成。通过闪络法可以检测到油纸绝缘中的微小缺陷、气泡、异物等，提前发现潜在的故障点，有助于及时维护和保养。此外，闪络法也适用于XLPE绝缘电缆。在这种绝缘系统中，闪络法可以用于评估绝缘材料的老化情况，检测电缆中的异物或损伤，为维护工作提供数据支持。

在实际应用中，闪络法的操作相对简单，适用于实地检测和实验室检测。通过设备施加高电压，观察闪络现象，可以非常直观地了解电缆绝缘的状态。

5、跨步电压检测方式

跨步电压检测方式是一种常用于电力电缆故障检测的方法，特别适用于对电缆中的接地故障进行定位。该方法通过施加交流电压，利用电流在接地故障点处的分布情况，来定位故障点。

跨步电压检测方式的原理是基于电流在接地故障点的分布规律。当电缆中存在接地故障时，电流会沿着电缆的导体流向接地故障点，形成一种特定的电流分布。通过在电缆两端施加交流电压，观察电流在电缆中的分布情况，可以确定接地故障点的位置。其次，跨步电压检测方式对于接地故障的定位效果较好。接地故障是电力电缆系统中常见的一种故障类型，通过跨步电压检测，可以迅速准确地定位故障点，为后续的维修提供有效的指导。此外，跨步电压检测方式适用于不同类型的电缆，包括交流电缆和直流电缆。这种方法的实施相对简单，无须特殊的设备，通过在电缆两端施加不同频率的电压，就可以实现对接地故障的定位。

在实际应用中，跨步电压检测方式通常用于对电缆线路的巡检和故障定位。

6、声测定点检测方式

声测定点检测方式是电力电缆故障检测中一种基于声学原理的有效方法。通过检测电缆系统中的声音信号，可以定位电缆故障点，尤其适用于检测局部放电、电弧放电等问题。

声测定点检测方式的原理是电缆在发生局部放电或电弧放电时会产生声音信号。通过在电缆系统中设置合适的传感器或麦克风，可以捕捉到这些声音信号，并通过分析声音的特征来确定故障点的位置。这种方法通常用于检测电缆绝缘中的局部缺陷或损伤。其次，声测定点检测方式对于不同类型的电缆和不同故障模式都具有适用性。无论是油浸电缆、交叉链接聚乙烯（XLPE）电缆还是其他类型的电缆，声测定点检测方式都能够提供有效的故障检测手段。同时，它对于局部放电、电弧放电等故障形式有较好的灵敏性。此外，声测定点检测方式的操作相对简单，不需要对电缆进行断电或剥离外护层。这种非破坏性的检测方式对于电缆维护和故障排查

非常有利，能够减少对电力系统的影响。

在实际应用中，声测定点检测方式常用于电缆的巡检和故障诊断。通过在电缆系统中布置声音传感器，可以实时监测电缆的工作状态，及时发现潜在的故障点。这有助于提高电缆系统的可靠性，减少电缆故障对系统运行的影响。

7、高频感应定位检测方式

高频感应定位检测方式是电力电缆故障检测中一种基于高频电磁场原理的先进方法。该方法通过感应高频电磁场的变化，对电缆中的故障点进行定位，尤其适用于检测电缆中的局部放电、接地故障等问题。

高频感应定位检测方式的原理是在电缆系统中施加高频电磁场，当电缆中存在故障点时，会产生电磁场的扰动。通过在电缆两端或多个测点上布置感应设备，可以检测到电磁场的变化，并通过分析变化的特征来确定故障点的位置。这种方法通常用于检测电缆绝缘中的局部缺陷、接地故障等。其次，高频感应定位检测方式对于不同类型的电缆和不同故障模式都具有适用性。无论是油浸电缆、交叉链接聚乙烯（XLPE）电缆还是其他类型的电缆，高频感应定位检测方式都能够提供有效的故障检测手段。同时，它对于局部放电等故障形式有较好的灵敏性。此外，高频感应定位检测方式的操作相对简单，无需对电缆进行断电或剥离外护层。这种非破坏性的检测方式对于电缆维护和故障排查非常有利，能够减少对电力系统的影响。

在实际应用中，高频感应定位检测方式常用于电缆的巡检和故障诊断。通过在电缆系统中布置感应设备，可以实时监测电磁场的变化，及时发现潜在的故障点。

结语

随着高频感应定位技术的推出和应用，电缆故障检测迎来了新的发展机遇。人们需要不断创新和优化检测方法，构建更为智能、高效的电力系统。积极探索高频感应定位技术的应用途径，加强相关设备和系统的研发，提高电缆系统的抗干扰能力，进一步推动电力系统的全面发展。同时，加强人才培养和技术培训，为电力领域的人才储备奠定基础。

参考文献

- [1] 林睿. 探索220kV高压电力电缆故障检测技术的应用[J]. 冶金管理, 2019(19): 78-79.
- [2] 何建益. 220kV高压电力电缆故障检测技术的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2018(23): 226.
- [3] 程嫣妍. 电力电缆故障检测方法与应用[J]. 中国高新区, 2018(10): 158.
- [4] 粘凯昕. 电力电缆故障检测方法及应用探究[J]. 计算机产品与流通, 2017(09): 80+85.