

技术理论

电缆中间接头非电量传感技术研究与应用

赵法强¹ 黄梁英² 杜文宏³ 李珪³ 欧阳峰⁴

(1. 深圳供电局有限公司 广东深圳 518000; 2. 广西电友科技发展有限公司 广西南宁 530000; 3. 广西壮族自治区产业技术研究院 广西南宁 530000; 深圳昱拓智能有限公司 广东深圳 518110)

摘要: 目前 10kV 电缆的绝缘材料为交联聚乙烯电缆, 电缆线路运行时的中间接头在故障前一个阶段会产生局部放电, 从而解释放出一些特殊气体, 为了监测电缆中间接头内部局部放电所产生的特殊气体的浓度, 研发了配电电缆中间接头局部放电在线检测仪器, 提出一种基于光谱强度和调制波形的气体检测技术, 发现电缆中间接头产生局部放电的时间越长内部气体的浓度随着时间增加。这时采用使用配电电缆中间接头局部放电在线检测仪器进行检测时, 发现光谱强度减弱或者调制波形发生改变, 因此确定局部放电的存在及其强度。

关键词: 交联聚乙烯电缆; 电缆中间接头; 局部放电; 气体光纤传感器

引言

交联聚乙烯电缆因其卓越的电气性能和成本效益, 在我国的电力系统中得到了广泛的应用, 使用率高达 99%。交联聚乙烯电缆具有高绝缘性能、优异的机械强度和较长的使用寿命。然而, 尽管 XLPE 电缆的可靠性较高, 但一旦发生故障, 如不及时处理, 就可能导致大面积停电事件, 不仅给电力供应公司造成巨大的经济损失, 而且会对社会经济活动和居民生活产生严重影响。在配电网中, 电缆线路是电力传输的关键部分。由于现有电力电缆缺少有效的实时监测手段, 电缆中间头的故障检测成为国内外研究的重点。电力电缆故障的发生的原因包括因制造质量不佳、安装不当、材料老化或外部因素导致的绝缘层损坏等。当电缆中间头出现故障的前期会出现一系列的局部放电现象, 这会逐渐侵蚀绝缘材料, 最终导致绝缘失效时电缆击穿引发故障。为了提高供电的稳定性和安全性, 研究用于在线监测 XLPE 电缆局部放电产生的特征气体的技术及相关装置成为国内外研究的热点。局部放电在线监测技术通过分析局部放电的特征, 可以提前识别潜在的电缆中间接头内部的缺陷点, 从而采取预防性维护措施以避免故障的发生。特别是对于 XLPE 电缆中间接头的监测, 当 XLPE 电缆中间头发生局部放电时, 会产生一些特定的气体, 如氢气、甲烷、乙炔等。通过采集和分析这些气体的存在与浓度, 可以对

电缆中间头内部的绝缘破坏程度进行评估, 并预测出可能发生的故障, 通过采用先进的在线监测技术和设备, 可以显著提高电缆的健康水平, 减少意外停电事件, 保障电力供应的连续性和可靠性。

1 电缆中间接头局部放电在线检测仪器技术简介

目前常用的电力电缆故障检测方法有: 局部放电检测法、电磁波探测法、声学检测法、红外热成像在线检测法、化学分析法。目前大多数对电缆中间接头破坏程度和局部放电程度的检测还是基于电量参数的变化。为了更准确地判断 XLPE 电缆中间接头的健康状况, 我们研发了一种先进的配网电缆中间接头气体采样传感装置。这种装置专门用于检测因局部放电在电缆连接头产生的特殊气体。该气体采样传感装置的核心技术在于利用特殊气体对特定波长光的吸收特性和对调制波形的影响来进行检测。当电缆中间接头内部产生局部放电时, 它会导致主绝缘局部损坏产生气体, 如氢气、甲烷等。这些气体的存在可以通过光谱分析来检测, 通过不同气体分子在特定波长处吸收光, 导致光谱强度的变化或调制波形的改变。

为了实现对 XLPE 电缆中间接头局部放电产生的特殊气体进行检测, 研制的配网电缆中间接头气体采样传感装置由两部分组成: 气体光纤传感器和气体分析检测仪。气体光纤传感器采用具有极强绝缘性能的聚甲醛塑

料制成，以确保在高压环境中安全可靠地工作。整个仪器结构设计简单、安装方便，能够对所有XLPE电缆中间接头处的局部放电产生的气体进行实时在线检测。通过这种方式，可以持续监测电缆中间接头的状况，实现对绝缘主体破坏程度的定量评估。这不仅有助于提前发现潜在的电缆故障，还有助于安排及时的维护和修复工作，从而保障电网的运行安全并提高供电的可靠性。

2 配电电缆中间接头气体检测装置的组成及工作原理

电缆中间接头气体检测装置分为两部分，其中气体

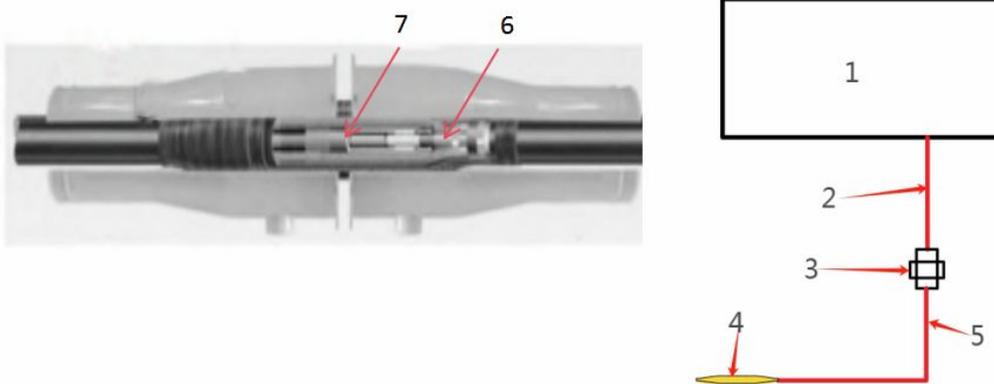


图 1. 电缆中间接头气体检测装置

如图 1, 电缆接头 7 由交联聚乙烯材料实现保护绝缘, 当出现局部放电时, 交联聚乙烯电缆中间接头发生发热现象, 从而导致其绝缘层被破坏, 释放出特征气体, 特征气体会渗透到气体收集舱 4 中, 由于电缆中间头的故障并非突发的, 从产生局放到故障击穿是有一个过程, 例如运行一个月或者几个月不等。气体收集舱 4 设置于交联聚乙烯电缆中间接头旁边, 位于待测电缆中间接头所在电缆的保护层 6 内部, 电缆的保护层 6 可以形成一个相对密闭的空间, 可以聚集挥发处的所述特征气体, 从而使气体收集舱 4 中收集的特征气体的浓度升高, 气体收集舱 4 与检测光纤光缆 5 相连, 检测光纤光缆 5 通过连接器与设备自带可延长检测光纤光缆 2 相连, 检测光纤光缆 5 对光源发出的特定波长的光线进行传输, 光源发出的特定波长的光受到特征气体的吸收或者共振影响, 会导致光谱强度减弱或者调制波形发生改变。

其中, 检测光纤光缆 5 主要起传光的作用, 可以采用传光光纤或者传光光纤束。其一端连接光纤连接器,

检测模块 1, 设备自带可延长检测光纤光缆 2, 连接器 3 组成了气体检测装置部分, 用以对光源发出的光线进行传输的检测光纤光缆 5 和装设在电缆中间头本体内部的用以对电缆内部的湿度、温度及局放气体环境数据信号进行收集的气体收集舱 4 组成了气体探测部分。气体收集舱 4 与检测光纤光缆 5 的一端连接, 气体收集舱 4 安置在电缆接头 7 的电缆的保护层 6 中, 能够采集电缆中间头内部的环境数据信号, 为电缆中间头内部故障的分析提供依据; 结构精简, 易于控制成本。实现电缆中间接头局部放电产生气体的检测。如图 1 所示

另一端连接气体收集舱组件 4, 气体收集舱组件 4 的材质为工程塑料, 即聚甲醛塑料, 其余各部分材料均为绝缘性能极强的材料, 对电缆中间接头 7 不产生影响, 而且信号载体为光, 抗干扰能力强, 对电磁干扰不敏感。

3 与光纤荧光检测法的相比的优点

在XLPE电缆中间接头局部放电强度的检测方法中, 存在多种技术手段, 它们各自基于不同的检测原理。其中, 光纤荧光检测法是我们过去研究出的一种诊断局部放电方法, 和光纤气体采样检测法相比, 它们虽然都用于诊断局部放电现象, 但在实施过程中有着明显的技术差异。

光纤荧光检测法是一种间接检测手段, 它依赖于有机荧光材料与局部放电产生的特殊气体相互作用的原理。在这种方法中, 当局部放电发生时产生的特殊气体, 如氢气、甲烷等会被有机荧光材料吸收。这一过程会引起荧光材料发生特定的化学变化, 进而影响其荧光特性, 包括荧光强度和峰值波长的改变, 通过监测这些变化,

可以推断出局部放电的强度。

光纤气体采样检测法则是一种更为直接的方法，这种技术不依赖于任何中间媒介，而是直接通过特殊气体对特定波长光的吸收来进行检测。在局部放电过程中产生的气体分子会吸收特定波长的光，导致光谱强度减弱或调制波形发生改变，通过测量在不同波长下的光谱变化，确定局部放电的存在及其强度。



4 装置检验的方法

在实验室中，我们通过将新制作好的电缆头置于不导电的塑料管中，两边密封，只留出一个可以供收集管进出的封口，并从电缆的一侧为其施加 15kV 的电压，通过透明的塑料管可以看到，当中间接头发生局部放电的时候，会产生黑色的烟，在通电 20 分钟以后，停止供电，然后使用带有收集管的大号针筒从内部抽气，并将气体导入具有单向阀的收集袋中，从收集袋膨胀到最大开始算起，然后继续打气 5-10 次后，开启装置进行检验确定配电电缆中间接头气体检测装置检测结果的准确性。

泡水试验

为了验证安装在电缆中间接头内部的光纤传感器在实际应用中，不会出现水分沿着光纤光缆与绝缘胶带的缝隙浸入中间接头内部及运行时局部放电检测的可行性，我们采用对比实验的方法。在试验的准备工作中，采用特种设计 1.7 米深的试验池。将一根内部安装光纤传感器的电缆中间接头，另一根无光纤传感器的电缆中接

头，将两根全新电缆中间接头直接放进试验池置于 1.6 米的水深底部，其每根的两端导体外露在试验池的外面，按照国标的要求，浸泡 72h 后，将电缆中间接头的导体连接耐压设备进行做耐压试验检测，同时另一端通过采用电缆中间接头气体检测装置进行电缆局放气体特性检测，在两项目检测的同时在光纤的连接端进行验电，确认了在试验时光纤外露部分无电压，说明电缆在运行时采用电缆中间接头气体检测装置检测安全性。电缆试验检测后，将电缆从试验池取出，进行对电缆中间接头解剖，确定在置于 1.6 米的水深浸泡 72h 后无进行的现象，说明将光纤传感器安装在电缆中间接头的内部对其防水不受影响。通过一系列的试验检测，确定了电缆中间接头气体检测装置推广应采用的可行及安全性。

5 结语

本文采用特征气体对特定波长的光的吸收或共振影响，而导致光谱强度减弱实现对配电电缆中间接头气体的检测，通过测量光谱强度减弱或者调制波形发生改变，能检测出电缆中间接头局部放电的强度以及绝缘的破坏程度。各部分材料均为绝缘性能极强的材料，而光纤传感器安装对原有电缆中间接头安装质量及安全运行不受影响，且信号的载体为光，抗干扰能力强，对电磁干扰不敏感，实现了采用在线监测与检测，有着显著提高电缆的健康水平，减少意外停电事件，保障电力供应的连续性和可靠性。

参考文献：

- [1] 岑杰. 电缆中间接头局部放电研究[D]. 西华大学, 2019.
- [2] 刘顺满, 王健, 程皓, 等. 高压 XLPE 电缆缓冲层烧蚀缺陷特征气体分析[J]. 广东电力, 2022
- [3] 赵法强, 肖艳霞, 陆林. XLPE 电缆中间接头局部放电特征气体及光特性检测技术研究[J]. 广东电力, 2019