

Research on Online Monitoring of Partial Discharge in Cables

Xiaoyong Chen

Huozhou Coal Power Group Co., Ltd. Power Supply Branch, Huozhou, Shanxi, 031400, China

Abstract

In order to solve the problems existing in the existing local discharge monitoring technology of the cable joint and promote the improvement of the accuracy of the insulation state diagnosis, an online monitoring system is designed to monitor the local discharge of the middle cable joint. This system can store the local electrical signals and continuously collect the local electrical signals, and extract the discharge feature parameters, so as to better control the storage interval and storage time, and solve the problem of insufficient memory in the collection and storage process. The study shows that this monitoring system can further improve the safety and reliability of cable operation. However, in practical application, the system needs to be optimized and adjusted according to the specific cable operating environment and monitoring requirements.

Keywords

cable; partial discharge; online monitoring system

电缆局部放电在线监测研究

陈晓勇

霍州煤电集团有限责任公司供电分公司, 中国 · 山西 霍州 031400

摘 要

为了解决现有电缆接头局部放电监测技术中存在的问题, 促进绝缘状态诊断准确性的提高, 设计一款在线监测系统, 为电缆中间接头局部放电的监测。此系统可以将局部放电信号存储和连续采集局部放电信号, 并提取放电特征参数, 以便更好地控制存储间隔与存储时间, 并解决采集与存储过程中内存不足的问题。研究表明, 此监测系统可进一步提高电缆运行的安全性和可靠性。但在实际应用中, 需要根据具体电缆的运行环境和监测需求进行系统优化和调整。

关键词

电缆; 局部放电; 在线监测系统

1 引言

电力电缆检测的传统方式一直依赖定期巡视的维修体系。然而, 这种做法常常导致资源的过度消耗和成本的增加。为了解决这一问题, 对电缆老化现象进行深入研究, 并分析其发展趋势显得尤为重要。电力电缆在线监测技术的出现为电网稳定运行提供了新的解决方案。该技术能够实时获取电缆的运行状态信息, 从而准确判断其绝缘状态。这不仅能避免事故发生后的进一步损失, 还能根据电缆的绝缘状态来调整维修计划, 提高工作效率。更重要的是, 它还能及时预测并分析电缆未来的运行状态。这种前瞻性的维护方式为电力网络提供了更加稳定、可靠的保障。

2 XLPE 电缆中间接头的绝缘结构

XLPE (高压交联聚乙烯) 电缆中间结构主要由以下部

分构成。

2.1 导体屏蔽

在电缆线芯上覆盖一层导体屏蔽, 通常由半导体材料制成。它的作用是防止线芯上的电流对外界产生干扰, 同时也防止外界的电压对线芯产生影响。

2.2 绝缘层

绝缘层是 XLPE 电缆中间接头最重要的部分之一, 它由 XLPE 材料制成, 具有优良的电气性能和耐热性能。在 XLPE 电缆中, 绝缘层的作用是保证电缆的电气绝缘性能, 同时防止外界环境对电缆的影响。

2.3 绝缘屏蔽

绝缘屏蔽通常由金属材料制成, 它覆盖在绝缘层的外表面, 可以防止电缆受到电磁干扰和机械损伤^[1]。

2.4 内衬层

内衬层通常由聚氯乙烯(PVC)或聚乙烯(PE)材料制成, 它包裹在电缆线芯和绝缘层的外表面, 可以保护电缆不受机械损伤和水分侵入。

【作者简介】陈晓勇(1984-), 男, 中国山西忻州人, 本科, 高级工程师, 从事煤矿电力研究。

2.5 金属护套

金属护套通常由铝或铅制成，它包裹在内衬层的外表面，可以保护电缆不受外界环境的影响，同时也可以防止电缆受到机械损伤。

2.6 外护套

外护套通常由聚氯乙烯(PVC)或聚乙烯(PE)材料制成，它包裹在金属护套的外表面，可以保护电缆不受机械损伤和环境因素的影响。

3 检查设备要点分析

在线监测系统释放局部放电信号的方式是高频电流传感器通过接地线的传播，所有数据装置均利用光纤进行纳秒级授时，以此来实现故障点与电缆局部放电在线监测的双重精确定位。

在某些情况下，研究人员会使用GIS设备进行电缆局部放电的监测。GIS设备是一种封闭的输变电设备，它采用SF₆气体作为绝缘介质，这种气体的绝缘性能和灭弧性能都非常稳定，甚至优于空气。由于GIS设备的先进性，它占地面积小，且环境影响小，运行中不受恶劣天气及其他环境因素的影响。

4 XLPE 电缆中间接头绝缘击穿原因及检测方法

4.1 击穿原因

电缆中间接头绝缘击穿的原因主要包括热击穿和电击穿两种。

4.1.1 热击穿

热击穿是由于电缆接头处产生的热量导致绝缘材料损坏。可能的原因包括电缆接头的接触电阻过大，导致电流通过时产生大量热量；或者电缆接头的散热性能不佳，导致热量无法及时散逸。热击穿通常发生在电缆长时间运行或过载时，因为此时电缆接头的温度会升高，从而加速了绝缘材料的损坏。

4.1.2 电击穿

电击穿是由于电缆接头处的电场分布不均匀，导致绝缘材料在某些区域承受的电场强度超过其耐电强度。可能的原因包括电缆接头的加工质量不佳，导致绝缘材料表面存在裂纹或杂质；或者电缆接头的结构不合理，导致电场分布不均匀。电击穿通常发生在电缆受到高电压冲击或机械振动时，因为此时电缆接头的电场强度会增大，从而加速了绝缘材料的损坏。

4.2 XLPE 电缆局部放电检测措施

导致电缆绝缘失效的主要原因是局部放电，截至目前，检测XLPE电缆局部放电的方法有多种，分别如下。

4.2.1 超声波检测法

通过在电缆周围布置超声波传感器，可以捕捉到局部放电产生的超声波信号，这些信号的传播速度接近于声速，

因此可以确定放电点的位置。此外，不同的放电类型产生的超声波信号的特性也有所不同，因此这种方法还可以用于识别放电的类型。然而，这种方法对于环境噪声比较敏感，需要采取适当的噪声抑制技术以提高检测精度^[2]。

4.2.2 脉冲电流法

通过在电缆上施加一定的电压，可以测量电缆绝缘层中产生的脉冲电流信号，这些信号的幅值和波形可以用于分析放电的类型和程度。然而，这种方法需要直接接触电缆，对于一些无法接触或者不易接近的电缆可能不太适用。

4.2.3 差分法

差分法主要优点是简单易用，对于多芯电缆或者长距离电缆的监测比较方便。通过测量两个电极之间的电位差来检测局部放电，可以判断出放电的存在和程度。然而，这种方法对于一些微弱的放电可能不太敏感，需要采取适当的放大和滤波技术以提高检测精度。

5 电缆局部放电在线监测系统

选用LabVIEW软件作为开发工具，设计局部放电在线监测系统的上位机界面。系统硬件方面主要是超声传感器、HFCT传感器，对电缆接地线内的工频相位信号、局部放电脉冲信号进行采集，实现信号的处理功能、采集功能、存储功能、显示功能。而且LabVIEW软件的优点是编程效率高、直观易用等，对本次研究的局部放电在线监测系统适用。

5.1 装置设计的检测

把HFCT传感器置于装有电缆中间接头的接地线上，其具有外屏蔽的作用，同时，把超声传感器粘贴到电缆中间接头绝缘部位的外侧。透过BNC接头、屏蔽线，把这两个传感器连接，至波器的两个通道。同时，给予上位机软件和示波器的连接，设置上位机软件的相关参数。在上位机软件被启动后，以此将示波器进行控制，电缆中间接头的工频相位信息与局部放电信息被进一步采集。得到的数据可利用数据传输功能存储到相应的位置。然后利用Matlab程序对局部放电的数据进行预处理，提取特征值。

5.2 传感器模块

5.2.1 高频电流传感器

为进行局部放电测量，采集高频脉冲信号，使用的仪器是高频电流传感器(HFCT)。此传感器的优势是结构简单、安装方便，可进一步抑制谐波与工频信号等低频信号的干扰。高频电流传感器(HFCT)的结构类似于罗氏线圈，这种结构使得传感器能够有效地测量高频电流脉冲信号。为传感器的灵敏度得到增强，将高磁导率的磁芯当作传感器的骨架，同时，使用的线圈结构是自积分式。这是因为测量的高频电流信号非常微弱。此外，通过回线法来绕制线圈，可以有效地抑制干扰的影响，从而提高测量精度^[3]。

5.2.2 超声传感器

为不让油杯终端影响电缆中间接头局放信号，采用的

系统硬件结构是超声波传感器。在油杯外侧贴附传感器，以此来验证油杯终端，其可否产生局部放电。此外，采集工频电压相位信息的也是超声传感器。在本次实验中，压力传感器参数见表1。

表1 压力传感器参数

参数	d33 (PC/N)	p ($\mu\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{k}$)	最高工 作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	相对介电 常数	厚度 (μm)
典型值	22	40	79	9.4±1.1	27

在本次设计电缆局部放电在线监测系统过程中，压力传感器厚度方向上的压电应变常数用 d33 表示；传感器压电常数用 g33 表示，见公式(1)：

$$g_{33} = \frac{d_{33}}{\epsilon_0 \epsilon_r} \quad (1)$$

PVDF 压电传感器表面产生的电荷计算方式见公式(2)：

$$q(t) = d_{33}P(t)S \quad (2)$$

在公式(2)中，压电传感器的面积与压力波分别为 m^2 和 N/m^2 。

选用多种不同的压电传感器进行本次实验。采用 PVDF 压电薄膜作为传感器的主要元件，为保证实验结果的准确性，在使用前去除其表面毛刺。接下来，对引出线进行焊接。同时，为确保传感器的稳定性们选择了自带铆接引出线的传感器，以避免震动对实验结果产生影响。

5.3 开发上位机程序

5.3.1 设计采集模块

超声传感器可转换电压信号，通过压力波信号与高频脉冲信号进行转换。以上信号被示波器显示或采集出来。上位机 LabVIEW 软件编写程序框图的使用，可实时存储、采集和显示示波器的数据。然后将采集结果存储至相应的位置。

5.3.2 设计存储模块

为进一步满足本次实验内示波器的实际要求，设置采样率，至 20M/s，方式为连续采集。但会显示出多量数据，所以，对存储模块进行设计，以此实现功能。具体如下：每 15min 采集一次数据，每次采集时间为 1s。为此项任务完成，编程的方式是多种结构相嵌套法。

通过以上编程结构，可满足示波器的要求。在程序运行开始过程中，While 循环结构也进一步运行，同时，在事件被时间源检测到时，事件结构会逐步进入程序，以此运行。而事件结构包括的运行状态有 3 个，并且在分支 0 内嵌套层叠顺序结构，定时循环结构被顺序结构内嵌。这种编程结构不仅可有效储存数据，还能确保系统安全稳定运行。

5.4 局部放电信号的特征值

局部放电信号的特征值是评估电缆绝缘状态的重要指标，

其中包括视在放电电荷、放电重复率等参数。这些特征值可以反映电缆绝缘的状况，并帮助判断是否存在潜在的故障。

5.4.1 视在放电电荷(Q)

视在放电电荷是指局部放电过程中释放的总电荷量。它可以通过对局部放电信号进行积分得到，反映了绝缘材料中的电荷分布和积累情况。视在放电电荷通常用于评估绝缘材料的电性能和老化程度。

5.4.2 放电重复率(N)

放电重复率是指局部放电发生的次数与时间的比值。它可以反映局部放电的活跃程度和发生频率，是评估电缆绝缘性能的重要参数之一。

5.4.3 提取放电次数与幅值

提取放电幅值，依据 HFCT 传感器的输出信号。若取得的幅值高于设定的放电值，可以说明，此位置存在局部放电。对此放电的幅值进行记录，并将 1s 内所有放电幅值最高值提取，以此作为这一时间段内的放电幅值最大值。同时，累加所有的放电次数，获得此时间段内的放电总次数。

5.4.4 初相角、放电相角的提取

通过傅里叶分解算法，工频相位信息和局部放电脉冲信号的对应关系以此建立。工频相位信号的采集起点可能不是工频正弦信号的上升沿起始点。傅里叶分解算法可得到初始相位角。通过实验可了解，400K 为采样深度，公式(3)的利用，可以将两点间的间隔计算出：

$$\Delta\varphi = \frac{360^{\circ}}{400K} \quad (3)$$

利用公式(4)，可计算出放电位置相位角：

$$\varphi = \varphi_0 + n \times \Delta\varphi \quad (4)$$

在公式(4)中，初始相位用表示；局部放电数据点所在位置用 n 表示；在 $0\sim 360^{\circ}$ 之外时，可求得放电相位角。

6 结语

总之，本研究通过对电缆局部放电的位置进行监测，发现新型在线监测系统，能够有效检测和定位电缆中的局部放电现象，并能够通过分析放电产生的信号，评估电缆的运行状态。这为电力系统的安全运行提供了新的监测手段，具有重要的实际应用价值。

参考文献

- [1] 刘世涛,徐兆国,杨凯,等.典型缺陷下电力电缆局部放电特征与识别[J].高电压技术,2023,49(S1):36-39.
- [2] 周志军,刘继承,杨俊杰.10kV 电缆中间接头局部放电状态监测系统[J].农村电工,2023,31(9):37-38.
- [3] 顾金,周明.开关柜电缆室气体分解产物在线监测系统研究[J].内江科技,2023,44(8):86-87.