

[电缆]

10 kV交联聚乙烯电缆的振荡波局部放电检测分析

文/洗 冀 黄法森

广东电网有限责任公司茂名高州供电局

阐述振荡波局部放电检测原理，研究了10 kV交联聚乙烯电缆各种类型缺陷的振荡波局部放电情况，提出了局部放电的运维检修措施。以ADOWS-10振荡波系统为例，验证了10 kV交联聚乙烯电缆局部放电特性分析及措施的有效性，对提高振荡波检测的精度、准确排查10 kV交联聚乙烯电缆的故障隐患及提升线路的可靠运行有参考价值。

10 kV交联聚乙烯电缆（XLPE）因结构合理、电气性能优良而广泛应用于城市配电网系统。但由于安装施工工艺的不规范和受运行环境的影响，10 kV交联聚乙烯电缆极易发生局部放电，损伤绝缘结构，引发故障。因振荡波耐压作用时间短，试验对10 kV交联聚乙烯电缆不造成损伤，局部放电检测效果比直流耐压、交流耐压及超低频试验好，在欧洲、东南亚及中东等地区，以及我国北京、深圳和广州等重要城市逐渐应用。因此，有效提高振荡波检测的精度，准确排查10 kV交联聚乙烯电缆的故障隐患，已成为研究热点。目前不少学者专家在提高振荡波检测精度方面开展了研究，如振荡波电压下XLPE电缆4种典型缺陷的局部放电模式识别，不同缺陷类型的振荡波局部放电定位图谱特征，以及仿真分析不同缺陷的局部放电的特征参量，但均未对10 kV交联聚乙烯电缆实际缺陷利用振荡波局部放电检测进行针对性分析。本文根据振荡波局部放电检测原理，分析10 kV交联聚乙烯电缆的局部放电特性，以局部放电起始电压（Partial Discharge Inception Voltage, PDIV）、放电量为特征量研究10 kV交联聚乙烯电缆各种类型缺陷的振荡波局部放电情况，提出10 kV交联聚乙烯电缆局部放电的运维检修措施，以ADOWS-10振荡波系统为例，验证了10 kV交

联聚乙烯电缆局部放电特性分析及措施的有效性。

振荡波局放检测原理

振荡波系统组成和原理如图1、图2所示。

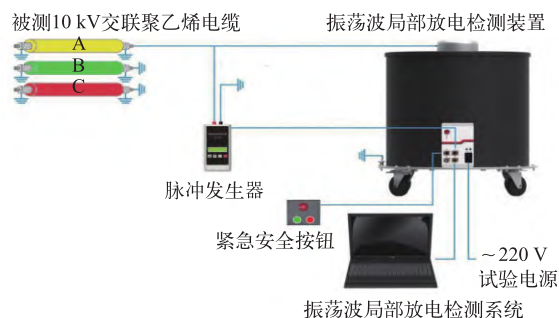


图1 振荡波系统组成

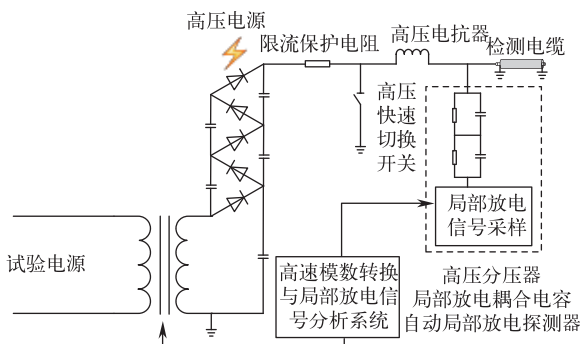


图2 振荡波系统原理

振荡波系统由振荡波局部放电检测装置、振荡波局部放电检测系统、脉冲发生器、紧急安全按钮装置及被测10 kV交联聚乙烯电缆接线组成。向被测10 kV交联聚乙烯电缆施加高压，致使其缺陷处产生比临界电场强的电场畸变，激发局部放电，局部放电信号以脉冲电流向10 kV交联聚乙烯电缆缺陷处两侧同时传播，并通过检测端的耦合器接收信号、实现缺陷处的定位。基本原理为：高压电源按设定电压值向被检测电缆加压，当加压至设定的电压值时，高压快速切换开关直接闭合，高压电抗器与被检测电缆的电容谐振产生阻尼振荡波电压 U_c ，激发被检测电缆缺陷处局部放电，并利用局部放电信号采样回路采集局部放电信号，通过数模转换和脉冲反射法进行被检测电缆缺陷处定位。 U_c 计算式为

$$U_c = \frac{\omega_0 U_0}{\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}} e^{-\alpha t} \cos(\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} t - \theta) \quad (1)$$

其中，需要满足 $\alpha < \omega_0$ 欠阻尼状态，即满足

$$R_{in} < 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{R_{in}}{2L} \quad (3)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4)$$

式中， α 为阻尼系数； ω 为振荡波谐振角频率； L 为高压电抗器电感； R_{in} 为电感电阻； C 为被检测电缆等效电容； θ 为振荡波初始相位角。

阻尼振荡波电压的频率 f 计算式为

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

被检测电缆缺陷处距测试端距离 x 为

$$x = l - \frac{1}{2}v\Delta t \quad (6)$$

式中， l 为被检测电缆长度； v 为被检测电缆中的波速； Δt 为反射脉冲沿被检测电缆向两个相反方向传播回测试端的时间差。

振荡波系统局部放电检测特征量分析

振荡波系统局部放电检测特征量主要有被检测的10 kV交联聚乙烯电缆的绝缘状态、局部放电起始电压和放电量，通过对上述特征量进行分析，判定被测10 kV交联聚乙烯电缆的缺陷状态。

1. 主要检测步骤

振荡波系统局部放电检测步骤如图3所示。首

先，对被测的电缆进行验电、放电，在确保人身安全的前提下，对被测10 kV交联聚乙烯电缆进行绝缘测试，判断振荡波检测前的绝缘状态，若绝缘不合格，则按故障定位流程进行；若绝缘合格，则利用行波法对被检测电缆的长度和中间头进行测距。其次，通过脉冲发生器对被测10 kV交联聚乙烯电缆衰减特性进行校准，并操作紧急安全按钮装置使振荡波系统起动至高压状态。然后，振荡波系统逐级加压进行局部放电测试，其中，开始的 $0U_0$ 是测试背景噪声； U_0 是额定电压检测； $1.5U_0$ 是IEC60502规定的局部放电检测电压值； $1.7U_0$ 是线电压局部放电检测电压值；最后的 $0U_0$ 是电缆放电。最后，对10 kV交联聚乙烯电缆进行绝缘电阻复测，确认被测电缆绝缘水平未受影响。

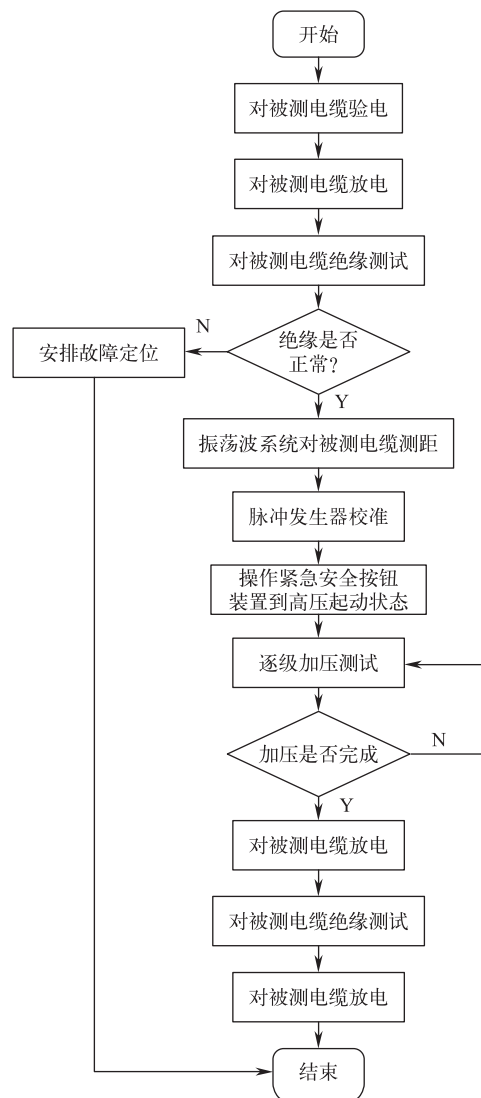


图3 振荡波系统局部放电检测步骤

2. 局部放电判定依据

振荡波局部放电测试以检测局部放电的集中程度、放电量大小评估判定缺陷状态。

若10 kV交联聚乙烯电缆中间头或终端头是绝缘本体划伤,则振荡波局部放电量集中在500~700 pC,如图4所示,起始电压一般不超过12 kV;若是尖端放电,则局部放电量集中在800~1 200 pC,如图5所示,其中压管尖端放电的起始电压一般不大于5 kV,半导体及绝缘本体尖端放电的起始电压一般大于12 kV;若是错用绝缘胶带,则局部放电量集中在4 000~12 000 pC;若是老化或受潮,如图6所示,局部放电量沿10 kV交联聚乙烯电缆各处不同程度分散放电的起始电压通常在10 kV左右。

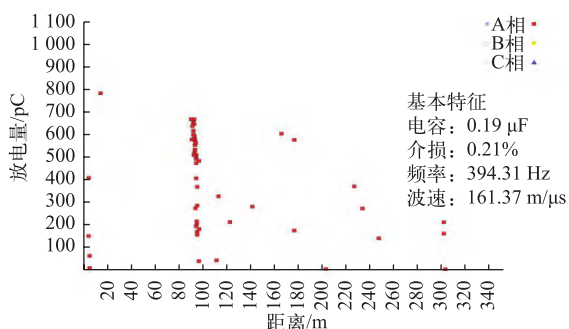


图4 电缆本体绝缘划伤局部放电量

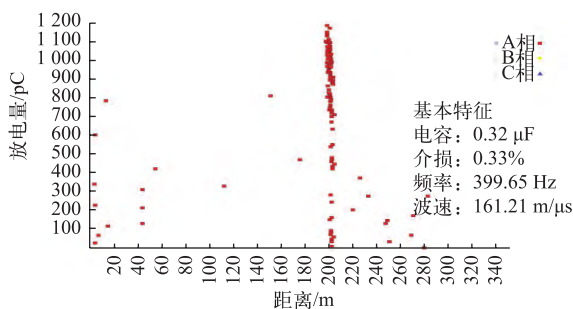


图5 电缆尖端局部放电量

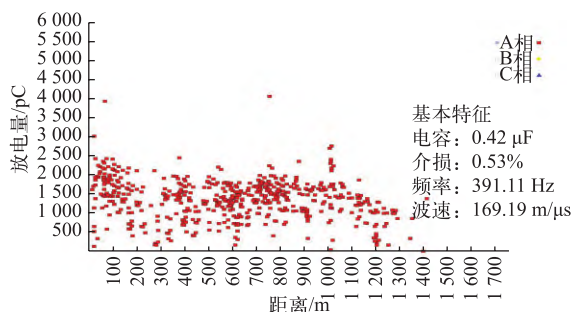


图6 电缆本体受潮局部放电量

根据振荡波局部放电状态检修导则,一般线路的10 kV交联聚乙烯电缆中间头或终端头振荡波集中性局部放电量超过300 pC,且起始电压在 $1.0U_0$ 及以下;或振荡波集中性局部放电量超过500 pC、且起始电压在 $1.2U_0$ 及以下;或振荡波集中性局部放电量超过2 000 pC,且起始电压在 $1.7U_0$ 及以下,均需要进行检修。重要或特殊线路的10 kV交联聚乙烯电缆中间头或终端头振荡波集中性局部放电量超过1 000 pC,且起始电压在 $1.7U_0$ 及以下,也需要进行检修。其他情况,存在集中性局部放电,但放电量未达到上述条件,需要每年定期检测局部放电的发展趋势,见表1。

表1 振荡波局部放电特征量检修标准

线路重要程度	局放特征量	运维措施
一般线路	放电量>300 pC, PDIV $\leq U_0$	检修
	放电量>500 pC, PDIV $\leq 1.2U_0$	
	放电量>2 000 pC, PDIV $\leq 1.7U_0$	
重要或特殊线路	放电量>1 000 pC, PDIV $\leq 1.7U_0$	检修
其他情况	放电量及PDIV未达到上述条件	定检

实例检测应用分析

新建的10 kV交联聚乙烯电缆线路的线路长度为744.68 m,额定电压等级为8.5 kV/10 kV,有一个冷缩电缆中间头。投运前对其开展振荡波局部放电测试,避免线路带缺陷投运。以ADOWS-10振荡波系统进行局部放电检测。

检测当天天气晴朗,温度为27℃,湿度为58%。检测前10 kV交联聚乙烯电缆A、B、C三相绝缘电阻分别为2.56 G Ω 、2.83 G Ω 和2.49 G Ω ,检测后分别为2.58 G Ω 、2.87 G Ω 和2.51 G Ω 。振荡局部放电测试结果表明,在距离测试端244 m位置存在集中放电现象。通过对被测10 kV交联聚乙烯电缆的中间头进行解剖,发现电缆A相中间头安装时发生错误:电缆上包半导体带再装中间头,如图7所示。正确装法是装好接头后,用半导体带搭接中间头的屏蔽层与电缆的半导体屏蔽层,如图8所示,再绕包防水密封胶带。



图7 电缆中间头错误包半导体带

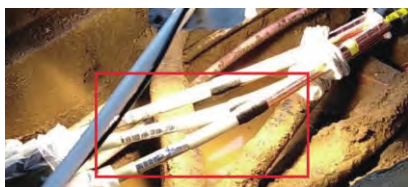


图8 电缆中间接头正确包半导电带

结束语

本文结合振荡波局部放电检测原理,分析了10 kV交联聚乙烯电缆的局部放电特性,以局部放电起始电压、放电量为特征量,研究了10 kV交联聚乙烯电缆各种类型缺陷的振荡波局部放电情况,提出10 kV交联聚乙烯电缆的局部放电运维检修措施。以ADOWS-10振荡波系统为例,验证了10 kV交联聚乙烯电缆局部放电特性分析及措施的有效性,对提高振荡波检测的精度、准确排查10 kV交联聚乙烯电缆的故障隐患及提升10 kV交联聚乙烯电缆线路的可靠运行有参考价值。EA

(收稿日期: 2023-03-23)

参考文献

- [1] 单秉亮,李舒宁,杨霄,等. XLPE配电网电缆缺陷诊断与定位技术面临的关键问题[J]. 电工技术学报, 2021, 36(22): 4809-4819.
- [2] 王昊月,李成榕,王伟,等. 高压频域介电谱

诊断XLPE电缆局部绝缘老化缺陷的研究[J]. 电工技术学报, 2022, 37(6): 1542-1553.

- [3] 彭发东,刘斌,庞小峰,等. 阻尼振荡波下检测XLPE电缆局部放电和耐压与工频的等效性综述[J]. 高压电器, 2013, 44(7): 116-120.
- [4] 李宗辉,陈林艳,陈艺伟. 10 kV交联聚乙烯电缆绝缘老化超低频介损试验的研究[J]. 电气技术, 2020(10): 83-87.
- [5] 孙广慧,庄小亮,牛海清,等. 珠三角地区10 kV配电网电缆故障统计分析[J]. 电气应用, 2013, 32(11): 83-85.
- [6] 陆国俊,熊俊,李光茂,等. 振荡波电压下XLPE电缆局部放电模式识别研究[J]. 高压电器, 2017, 53(2): 95-100.
- [7] 余英,薛荣,黄荣辉,等. 10 kV电缆振荡波局放测试的理论分析与试验研究[J]. 高压电器, 2014, 50(7): 88-93, 99.
- [8] 张龙,黄晨曦,张伟,等. 交流和振荡波电压下XLPE电缆典型局部放电特性研究[J]. 高压电器, 2015, 51(8): 43-48, 53.
- [9] 刘鸿. 基于振荡波的电缆多源局放检测及定位方法[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [10] 时振堂,孙进,颜廷纯,等. 交联聚乙烯电缆故障行波测距新方法研究[J]. 电气技术, 2019(4): 56-60.

(上接第69页)

破坏行为影响配电网的正常运行。此外,某些特殊环境(如工业区、高温区等)对配电网设备产生额外的压力和损害,影响配电网的健康度。

结束语

配电网作为电力系统中的重要组成部分,承担着将高压电能转变为低压电能并分配给用户的重要任务。由于受电力设备老化、负荷增加、外部环境因素的影响,配电网在运行过程中面临着各种故障和风险。本文综合CBRM和Q/GDW645—2011电力设备健康度评价标准的特点,对配电网健康度进行了重新划分,并给出了相关的维护建议。EA

(收稿日期: 2023-08-23)

参考文献

- [1] 杨剑文. 基于健康度和重要度指标的配网风险评估与预警研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2022.
- [2] 冯诺皎. 配电网典型设备健康度评价模型及差异化运维策略研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2021.
- [3] 崔毅,汪鹏君,王晶晶,等. 基于状态评估的配网巡检与故障定位[J]. 电气自动化, 2021, 43(1): 31-33, 115.
- [4] 唐娴,尚明远,林茵茵,等. 基于配电网灵活性需求评估的投资方法研究[J]. 电气应用, 2021, 40(12): 37-42.