

10 kV电缆中间接头典型缺陷放电特征研究

10 kV电缆作为配电系统的主设备，中间接头故障占运行故障的70%以上。以一段135 m长的单芯电缆作为试验对象，在70 m处设置可拔插式中间接头，设计和模拟了八种典型缺陷模型，采用脉冲电流法对其放电信号进行检测，获取了其典型放电图谱，检测结果为今后10 kV电缆中间接头局部放电模式识别提供了数据支撑。

王俊波 詹清华 刘益军 欧晓妹 肖 微/广东电网有限责任公司佛山供电局

0 引言

10 kV交联聚乙烯电缆已大量应用于国内外配电网系统，但由于施工、安装质量参差不齐，运行维护粗糙，造成10 kV电缆故障问题比较突出。国内电力行业曾对电缆运行故障概率进行统计分析，数据表明：去除外力破坏的故障之后，对于10 kV电缆线路，70%以上的运行故障是由电缆附件故障引起的，即电缆终端缺陷和中间接头缺陷。10 kV电缆中间接头常见的故障原因包括：①制造质量的缺陷，如接头内部存在杂质、气泡等；②安装质量的缺陷，如未按规定的尺寸、工艺要求进行安装，安装过程中引入水气、杂质、金属或导电颗粒，外半导体层存在突起，主绝缘结构受到破损，电缆端头因未预热引起回缩过度，导体压接部位出现棱角或尖刺以及应力锥安装错位等；③绝缘与缆芯的界面缺陷，如冷缩头握紧力不足，形成气隙；④绝缘的老化，包括电-热多因

子老化、进潮和化学腐蚀等加速老化。以上各种原因引起的缺陷容易造成电缆中间接头形成局部场强过高而产生局部放电，加速绝缘老化，引起接头击穿事故；同时容易造成接头内部发生沿面闪络放电，形成沿电缆绝缘表面的碳化通道，引起接头击穿事故等。

随着用户对供电可靠性要求的提高，急需解决当前10 kV电缆状态检测问题。为了探索更多的10 kV电缆状态检测手段，并掌握电缆的放电特征，有必要针对10 kV电缆中间接头开展缺陷模拟试验，为电缆状态检测技术的应用提供试验室数据支撑。

1 试验系统介绍

试验中采用长度为135 m、截面积为300 mm²的单芯电缆作为试验对象，敷设时将电缆分成两段并分别安装于终端头，中间设置拔插式接头，主要用于接入各种典型缺陷中间接头试样，同时用于模拟和研究各种缺陷的放电特征。为实现局部放电信号的有效提取，单芯电缆不存在局部放电，试验电缆示意图如图1所示。

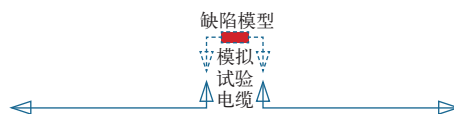


图1 试验电缆示意图

检测系统包括试验电源和局部放电采集系统两大部分，如图2所示。试验电源采用无局部放电变频电源装置，包括无局部放电变频控制柜、无局部放电励磁变压器、无局部放电电抗和无局部放



王俊波/工程师

关键词/Keywords

电缆 ·
中间接头 ·
典型缺陷 ·
放电特征 ·

广东电网有限责任公司佛山供电局科技项目“中高压电缆接头电热击穿机理及检测技术研究应用”（GDKJXM00000023）。

电电容分压杆。局部放电采集系统采用PDcheck局部放电检测系统,该系统测试原理采用高频脉冲电流,即检测因局部放电而产生的频率在20 MHz及以下的脉冲电流信号,检测系统包括信号采集、信号处理和信号显示三大部分。PDcheck局部放电测量系统集成局部放电检测与分析系统于一身,同时具备高性能示波器和频谱分析仪的功能。通过分析局部放电原始信号波形及频谱分布特征可判断局部放电模式。系统采样率为100 MHz,能够获取完整的信号波形,为试验人员提供丰富的原始数据,具有强大的抗干扰能力,能够对测试

结果进行智能分析,指导试验人员,提高局部放电识别效率和能力。

2 缺陷模型制作

检测过程中不可避免地会引入外界干扰,为了最大限度地排除不利因素的影响,实现典型缺陷的局部放电特征量的提取,获得单一缺陷的局部放电信号谱图特征,每个中间接头试样仅人工植入一种类型的典型缺陷。缺陷类型的设计根据事故统计结果、运行经验和工艺品控点来进行,保证每一种典型缺陷能够真实地反映10 kV电缆中间接头在制造、安装和运行过程中暴露出来的问题。试验中,人工制作了八种电缆中间接头缺陷类型:①主绝缘表面颗粒缺陷;②主绝缘划伤缺陷;③缆芯毛刺缺陷;④外半导体层毛刺缺陷;⑤压接处绕包绝缘胶带缺陷;⑥中间接头握紧力不足缺陷;⑦应力锥安装错位缺陷;⑧中间接头受潮缺陷。各种缺陷制作模型如下表所示。

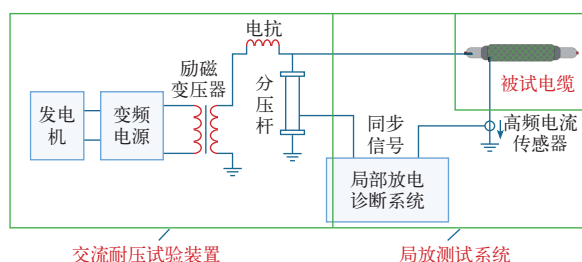


图2 检测系统

表 缺陷制作模型

缺陷类型	模型描述
主绝缘表面颗粒缺陷模型	若施工过程中附着在主绝缘表面的颗粒未有效清理,在高的电场作用下就会产生悬浮电位,引发局部放电,这是施工工艺粗糙造成的常见缺陷。制作过程中,在电缆本体主绝缘和接头绝缘的界面上放置少量金属铜颗粒即可
主绝缘划伤缺陷模型	在剥离外半导体层时,常常会因为用刀过深而在主绝缘表面留下潜在的气隙,这些气隙一般不易被肉眼发觉,在运行电压下,在刀痕处便会引起场强集中而导致局部放电产生,这是施工工艺不良造成的常见缺陷。制作过程中,在金属压接附近的主绝缘表面纵向划出长度为3 cm、深度约1 mm的肉眼可见的刀痕以增加放电概率
缆芯毛刺缺陷模型	接头安装中,若电缆导体线芯压接部位表面未处理光滑,也会存在金属毛刺、尖端甚至棱角,电缆运行时,这些不规则部位就会由于电场集中而产生尖端放电。制作过程中,电缆导体线芯压接部位不进行光滑处理,将压接面刻意留出棱角
外半导体层毛刺缺陷模型	在外半导体层断口处如果处理不当,可能会存在半导体突起,导致电场集中,在运行电压下就有可能产生从主绝缘表面向导体压接部位方向的爬电,这是施工工艺粗糙造成的常见缺陷。制作过程中,外半导体层断口处形成尖端形状
压接处绕包绝缘胶带缺陷模型	电缆中间接头制作过程中,缆芯压接后需使金具表面光滑,并清除污迹,然后按要求作内半导体屏蔽层处理,通常需绕包半导体橡胶带,以均匀缆芯压接部位的电场。运行经验发现,不少施工单位将绝缘胶带当作半导体橡胶带使用,这样就会在导体和附件之间产生金属悬浮电位,产生局放放电。制作过程中,使用绝缘胶带绕包缆芯压接部位
中间接头握紧力不足缺陷模型	中间接头握紧力不足是附件与本体尺寸不匹配造成的常见缺陷,界面存在气隙,在电场作用下,气隙会产生放电,类似绝缘内部缺陷。制作过程中,选用比电缆直径稍大的电缆中间接头预制件制作电缆中间接头
应力锥安装错位缺陷模型	中间接头安装时,应力锥端部应与电缆外半导体层断口紧密压接,如果安装错位,应力锥便失去均匀电场的作用。为了保证安装质量,生产厂家在应力锥相对位置都留有一定的余量,但若粗糙施工,造成安装错位超出最大允许量,就会使得电场集中,在界面处产生爬电,这是施工工艺不良造成的常见缺陷。制作过程中,在中间接头安装时有意使一端外半导体层断口伸出应力锥一定距离形成错位
中间接头受潮缺陷模型	由于10 kV电缆运行环境较为恶劣,电缆沟通常与下水道合二为一,因此中间接头可能长期的泡在水中运行,因此中间接头受潮是常见缺陷之一。制作过程中,在电缆外半导体层断口与缆芯压接口间埋入在浓度为5%的盐水中充分浸泡12 h的绵线,用于模拟严重受潮而形成水树枝的情况

3 试验结果及分析

对前文所述八种典型缺陷模型在试验室进行串联谐振耐压下的局部放电测量, 选用合适的电抗组合, 使谐振频率接近50 Hz, 以保证与实际运行工

况的等效性。根据标准, 在 $1.5 U_0$ (U_0 为10 kV电缆的最高运行相电压有效值, 取8.7 kV) 下进行局部放电测量, 其放电量-放电相位 (Amplitude-Phase) 图谱如图3所示, 放电量大小用伏特 (V) 衡量、相位用度 ($^{\circ}$) 衡量。

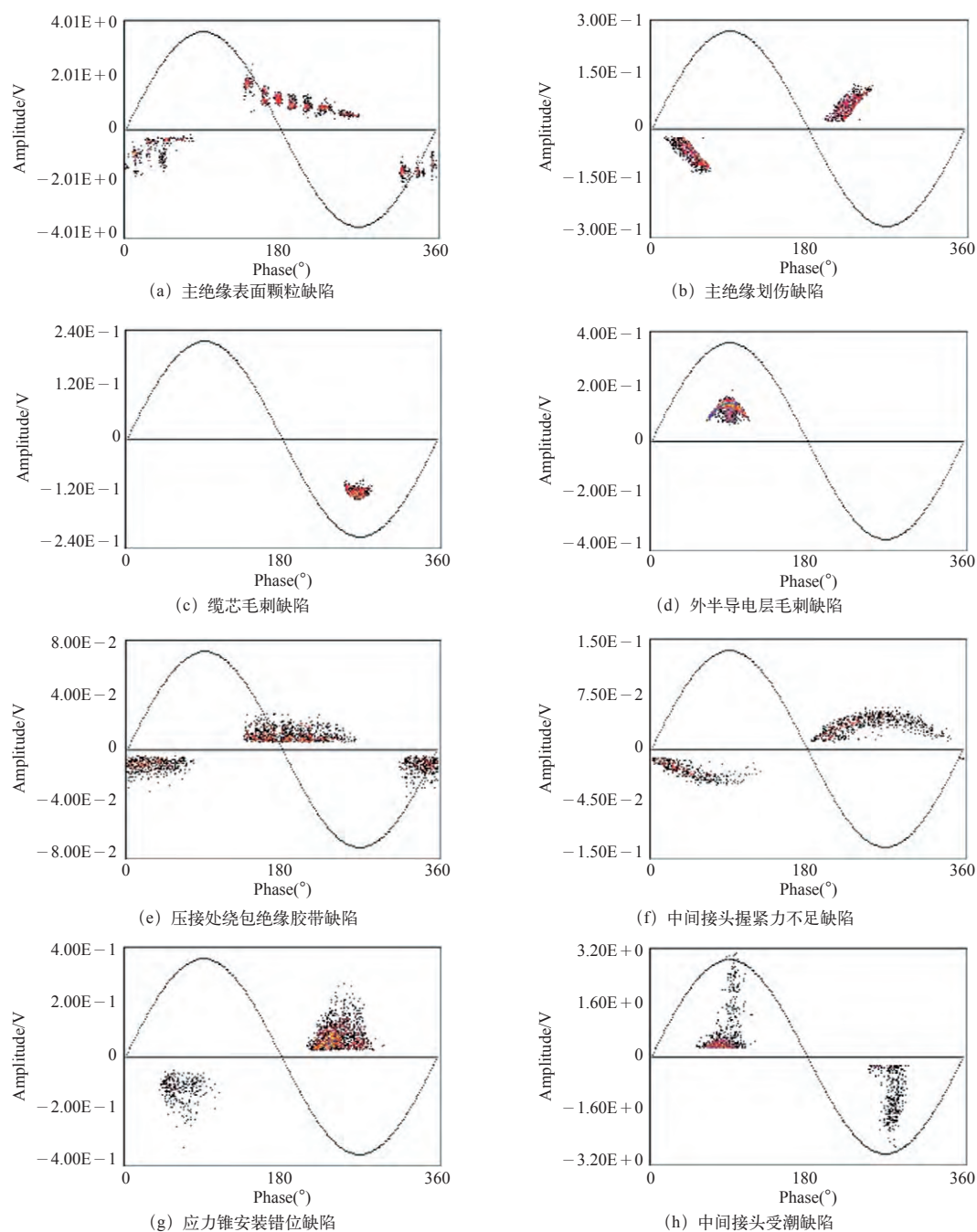


图3 各种缺陷下的Amplitude-Phase图谱

通过观察图3的八种典型缺陷的Amplitude-Phase图谱,可以根据图谱的分布特征将其分成三类:第一类包括主绝缘表面颗粒缺陷、压接处绕包绝缘胶带缺陷;第二类包括主绝缘划伤缺陷、中间接头握力不足缺陷、应力锥安装错位缺陷和中间接头受潮缺陷;第三类缺陷包括线芯毛刺缺陷、外半导体层缺陷。

第一类缺陷的缺陷图谱呈现“平台状”的分布特征,属于悬浮电位缺陷。其中绝缘表面颗粒缺陷属于非固定间隙的悬浮电位,压接处绕包绝缘胶带缺陷属于固定间隙的悬浮电位。对于尺寸的间隙,此类缺陷在起始放电电压之后击穿电压之前放电幅值均不会发生太大变化。因此绝缘表面颗粒缺陷放电随着不同颗粒间隙的不同呈现不规则的“平台状”特征;压接处绕包绝缘胶带缺陷间隙固定,图谱呈现规则的“平台状”特征。

第二类缺陷的缺陷图谱呈现双极性“馒头状”的分布特征,属于沿面放电缺陷。此类缺陷随着电压的升高,达到放电电压时出现放电,放电后电压界面电压下降继续充电再放电,如此反复,在电压峰值过后电压下降放电暂停,直到达到反相的放电电压值后又开始新一轮的放电,同时电压越高放电幅值越大,因此放电呈现出双极性的“馒头状”特征。

第三类缺陷的缺陷图谱呈现单极性的“馒头状”的分布特征,属于尖端放电缺陷。其中线芯毛刺缺陷属于高压端为尖端的缺陷,外半导体层缺陷属于低压端为尖端的缺陷。以高压端为尖端进行解释,负极性时电子容易发射,同时正离子撞击阴极发生二次电子发射,使放电总是在尖角为负极性时先出现,此时正离子很快移向尖角的尖端而复合,电子在平移电极过程中,附着于中性分子而成为负离子,负离子的迁移速度较为缓慢,众多的负离子远离尖角后,使尖角附近的电场又得到升高,于是出现第二次放电,因此放电脉冲出现在外加电压负半周的峰值附近。

4 结束语

将一段135 m长的单芯电缆作为试验对象,在70 m处设置可拔插式中间接头,设计和模拟了八种典型缺陷模型,采用脉冲电流法对其放电信号进行检测,并获取了其典型放电图谱。结果表明:对于10 kV电缆中间接头,不同典型缺陷下的局部放电Amplitude-Phase图谱差异性较大,即不同缺陷呈现出不同的放电特征,这为今后10 kV电缆中间接头局部放电模式识别提供了数据支撑。但同时要考虑到试验室环境背景干扰小,工程实际的现场测试可能会受到不同类型的外界干扰,同时工程实际一般情况下并非单一缺陷,因此在现场测试中要认真对比分析,提高诊断准确性。同时,需要进一步积累现场图谱,丰富数据库,为做放电类型指纹库夯实基础。

参考文献

- [1] 常文治,葛振东,时翔,等.振荡电压下电缆典型缺陷局部放电的统计特征及定位研究[J].电网技术,2013,37(10):1-7.
- [2] 周凤争,孟庆霖,朱晓辉,等.10 kV电缆附件典型缺陷仿真与绝缘故障分析[J].绝缘材料,2011,44(4):67-69.
- [3] 朱晓辉,杜伯学,周凤争,等.高压交联聚乙烯电缆在线监测及检测技术的研究现状[J].绝缘材料,2009,42(5):58-63.
- [4] 唐正森,李景禄,李志娟.10 kV交联电缆接头施工工艺分析及改进措施[J].绝缘材料,2009,42(2):71-74.
- [5] 邢益平,郑晓泉.XLPE电力电缆综合绝缘诊断策略研究[J].电线电缆,2006(5):9-11.
- [6] 姜芸,闽红,罗俊华,等.中压交联聚乙烯电缆接头人工缺陷局部放电特性[J].华东电力,2010,38(10):1627-1628.

(收稿日期:2015-09-26) EA