高压电缆带电检测有效性评估系统研究

高压电缆作为当今主网架城市供电的重要部分，在国际电网中有着重要的地位。为确保电缆设备的安全、稳定，高压电缆的状态检测成为国内外研究的重点。目前我国对电缆的缺陷类型程度与信号特征的关系研究方面不够深入，无法提供确凿的数据去验证两者之间的对应关系。为此，亟需一套能够模拟电缆不同缺陷类型，实现缺陷类型和局部放电检测技术有效性之间一一对应的局部放电检测方法和模拟检测平台。基于此，搭建了电缆高频局部放电带电检测的有效性评估系统平台，通过对带电检测及停电试验数据的比对、分析，研究缺陷类型及程度与信号特征的关系，并形成了典型图谱库，对实际的应用有一定指导作用。

李学斌　康激扬　鲁旭臣　隋东硼　韩洪刚／国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院

李学斌／工程师

关键词/Keywords
高压电缆·
局部放电·
模拟检测平台·
有效性评估·

0　引言

随着世界城市化的迅猛发展，电力电缆在城市配电网中得到了广泛的应用[1]。随着电缆线路的日益增多，近年来，很多人身伤亡都是由于电缆的故障引起的，因此电力电缆故障的寻测技术有待于发展和进步[2]。由于很多的电线电缆处于隐蔽地带，因此这给故障的发现与排查带来了较大的困难，电缆工程的质量是电网安全稳定运行的必要条件[3]。电力电缆的附件为多层固体复合介质绝缘结构，因质量（安装、制造）问题造成的故障约占故障总数的1/4[4-5]。电力电缆线路中，电缆终端的绝缘是线路中的薄弱环节，容易产生局部放电现象。目前，国内外对电缆的局部放电特性试验作了一些研究[6-10]。由于目前电缆带电检测的研究还不够，很多时候检测结果不能够反映出缺陷的性质。为了克服现有的研究障碍，本文搭建了电缆高频局部放电带电检测有效性评估系统平台，建立了5种电力电缆缺陷的实体模型，在设备模型内部设置不同型式的人工缺陷。采用国际公认的脉冲电流法对局部放电信号进行量值标定，通过对带电检测及停电试验数据比对、分析，研究缺陷类型及程度与信号特征的关系，并形成典型图谱库，进而对实际测试进行指导。

1　电缆的局部放电及其原理

局部放电是指当外加电压在电气设备中产生的场强足以使绝缘部分区域发生放电，但在放电区域内未形成固定放电通道的一种放电现象，高压电缆的绝缘劣化主要就是由于这个原因。电缆的绝缘性能决定着其局部放电量，而电缆能否安全、无缺陷地运行一定程度上也正是由其局部放电量的变化决定的[11]。

这种电气设备绝缘内部存在缺陷的局部放电现象放电能量虽然并不大，短时间内不会引起整个绝缘的击穿，但是在长期工作电压的作用下，局部放电会使绝缘缺陷变大，进而会使整个绝缘都发生击穿。局部放电主要有表面放电、内部放电和尖端放电等。

电缆系统局部放电的基本原理大体相同：当电缆的绝缘本体、电缆接头存在一定缺陷时（如微孔、杂质及半导电电极表面突起或凹陷），有可能会发生局部放电现象，产生脉冲电流信号。这种信号由于绝缘介质不同特性的原因，所表现的频率大小也各不相同，一般产生高频脉冲信号，其频率在300 kHz以上，会在电缆线路的回路中传播，可以沿

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

着电缆的屏蔽层传播，这样就可以在电缆外层屏蔽的接地线上，通过高频电流互感器来耦合这类高频电流信号。引起电缆局部放电的原因主要包括：微空穴或不同介质交界面接触不良而产生局部放电、径向不对称而产生局部放电、热效应产生脱层、接头处半导体均压层处理不良、处理半导体均压层时对绝缘产生损伤及外皮接地不良等。

2　高压电缆局部放电试验评估系统

为得到真实有效的试验数据，需要在屏蔽环境下搭建一套高压电缆局部放电试验评估系统平台。包括为试验模型提供电源的高压试验升压装置、高压电缆缺陷实体模型、基于脉冲电流法的局部放电检测系统、示波器、上位机及打印输出仪器。

2.1　高压试验升压装置

主要包括推挽放大式无局部放电变频电源、无局部放电励磁变压器、保护用避雷器、谐振电抗器和电容分压器。

2.2　电缆缺陷实体模型

敷设后的XLPE电力电缆可能存在多种缺陷，这些缺陷主要是制造及施工过程中造成的气泡、金属残留物及刀痕等等。为了集中反映XLPE电缆内部缺陷，便于进行耐压试验及局部放电试验分析，试验模型的建立是必要的。虽然电缆内部的缺陷结构复杂，但可以近似看作是各种单一缺陷的组合。

为了使试验更接近于实际情况，可选用较短（约3～5 m）的XLPE电缆建立试验模型，具体缺陷类型及制备方法如下表所示。

表　电缆缺陷实体模型的类型及制备方法

编号	模拟缺陷制备方法
S1	3 m长的10 kV XLPE电缆中间接头制作针尖缺陷，针尖曲率半径10 μm，预留绝缘厚度1 mm
S2	3 m长的10 kV XLPE电缆中间接头制作气隙缺陷，预留绝缘厚度1 mm
S3	3 m长的10 kV XLPE电缆绝缘层低电位制作刀痕缺陷，预留绝缘厚度1 mm
S4	3 m长的10 kV XLPE电缆终端接头电位制作针尖缺陷，预留绝缘厚度1 mm

（续）

编号	模拟缺陷制备方法
S5	3 m长的10 kV XLPE电缆终端接头电位制作气隙缺陷，预留绝缘厚度1 mm

2.3　电缆高频局部放电带电检测仪器

主要包括符合IEC 60270国际标准的局部放电检测系统、局部放电校准器、信号频谱分析仪以及高性能示波器等。

局部放电检测系统的组成包括局部放电检测系统主机、高频电流互感器、UHF传感器、磁性耦合传感器和局部放电检测系统软件等。

本文所搭建的局部放电试验接线模型如图1所示。

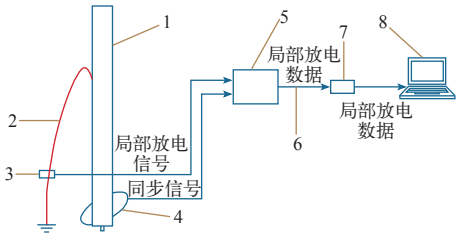


图1　局部放电试验接线示意图

1—高压电缆　2—接地线　3—高频电流传感器　4—低频电流传感器　5—局部放电测量仪　6—光纤　7—光电转换器　8—笔记本电脑

其中，现场中的电力电缆的局部放电信号和同步信号分别通过高频电流传感器和低频电流传感器来完成对信号的传输，所得到的信号进入到局部放电测量仪，然后通过光纤传输至光电转换器中，最后将数据显示在计算机中进行分析与比对，即可完成高压电缆的局部放电试验。

2.4　电缆的检测局部放电原理

本文所建立的高压电缆带电检测评估系统的脉冲信号采集系统的波形图如图2所示。

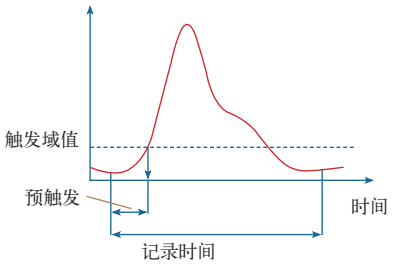


图2　脉冲信号采集系统波形图

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

具体的电缆局部放电波形数据图（相位谱图）可以视为几个特征谱图叠加而来的，因此本系统可以通过将波形数据的特征提取出来进行分类，得到具体单一模式的放电谱图，这样就能完成对局部放电种类的识别，可以归纳为以下步骤：

1）首先通过试验得到常规的局部放电相位谱图。

2）对每一个放电波形进行特征提取，包括等效时长，等效频宽等。

3）将每个波形特征映射到特征谱图，从图上可以轻易分离出不同的放电或干扰。

4）在原相位谱图中分离出每一类放电对应的图谱。

5）对每一个干净的谱图进行识别。

2.5 模拟高压电缆的耐压局部放电试验

如图3所示，本文模拟选取了5根交联聚乙烯绝缘电缆，并对电缆的3种缺陷进行了典型谱图的分析。

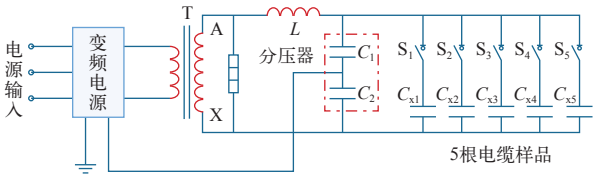


图3 电缆耐压局部放电试验原理图

如图3所示，左侧输入为交流220 V或380 V电源，通过变频电源变频输出至励磁变压器T，B为避雷器，变频输出的信号经谐波电抗器输送至5根电缆试品中，其中C_1和C_2为分压器，变频电源与分压器通过采样信号线相连接。

具体的高压电缆局部放电试验过程应满足GB/T 3948.12 电线电缆电性能试验方法—第12部分：局部放电试验中所规定的标准。

根据结果给出了3种高压电缆局部放电的典型谱图，如图4～图6所示。

3 典型谱图的应用

2010年12月，某电厂电缆户外终端C相在运行中发生击穿，事故分析判断是终端在制作过程中

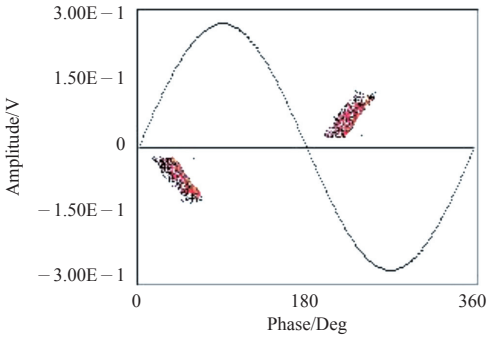


图4 尖端放电

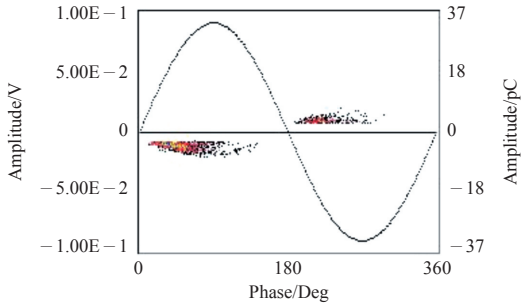


图5 气隙放电

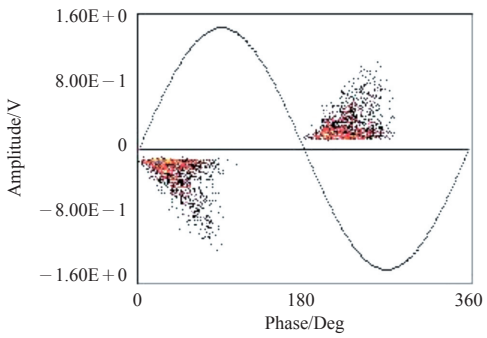


图6 电缆表面放电

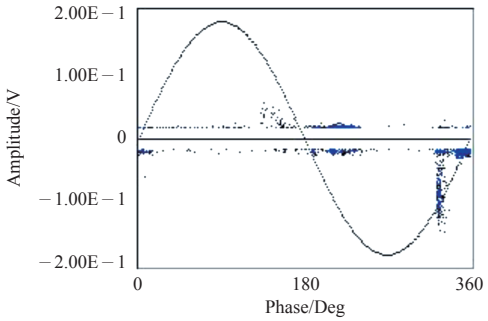
可能存在质量问题。经试验，在其电缆终端C相中检测到局部放电的信号，图7为该电厂击穿线路户外终端的波形。

根据本文所建立的高压电缆带电检测有效性普通系统的典型谱图，对于测试结果根据特征图谱进行分析和比较后，可以判断其电缆终端C相为尖端放电。

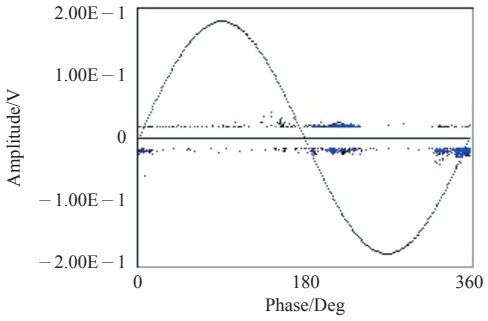
4 结束语

本文着眼于克服现有的技术缺陷，提出了一种模拟交联聚乙烯绝缘电缆局部放电的方法和模拟检测平台，能够提高XLPE电缆局部放电故障识别能力。

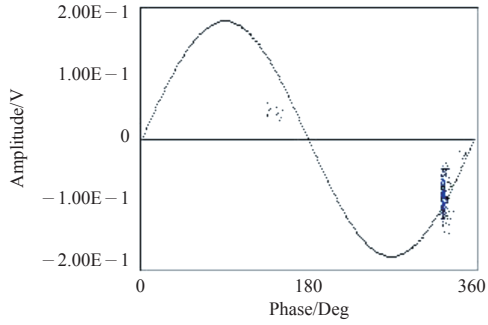
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



（a）完整图谱



（b）黑簇信号



（c）红簇信号

图7　某电厂户外电缆终端C相波形图

本文通过研究电缆设备缺陷实体模型局部放电信号的时域和频域波形，建立科学有效的频谱数据库，进而找出缺陷类型和频谱图之间的关系。

高压电缆高频局部放电测试系统模拟检测平台具有安全性好、准确度高和可靠性强等优点。

经过现场实际应用，成功判断所建立的高压电缆带电检测有效性评估系统能够正确识别电缆的局部放电能力。

参考文献

[1] 石峰．交联聚乙烯电缆耐压试验方法 [J]．东北电力技术，2010 (1)：47-49．

[2] 张名军．单芯电力电缆外套故障寻测方法 [J]．东北电力技术，2006 (9)：28-30．

[3] 廖华年．提高电力电缆工程质量的措施 [J]．东北电力技术，2004 (10)：16-19．

[4] 罗俊华，邱毓昌，杨黎明．10 kV及以上电力电缆运行故障统计分析 [J]．高电压技术，2003，29(6)：14-16．

[5] 李华春，周作春，陈平．110 kV以上高电压交联电缆系统故障分析 [J]．电力设备，2004，5 (8)：9-13．

[6] Gargari S M，Wouters P A A F,van der Wielen P C J M et al．Statistical approach to identify the discharge source in MV．Cables and Accessories [C]．2008 International Conferece on Condition Monitoring and Diagnosis，April 21-24，2008，Beijing，China，IEEE，2008：1203-1206．

[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] 廖瑞金，周天春，刘玲，等．交联聚乙烯电力电缆的电树枝化试验及其局部放电特征 [J]．中国电机工程学报，2011，31 (28)：136-143．

[9] 陈显富，苏毅，兰国良，等．一起典型振荡波诊断电缆放电故障实例分析 [J]．电气应用，2014，33 (14)：89-92，108．

[10] 唐炬，李伟，杨浩．高压电缆附件局部放电超高频检测与分析 [J]．高电压技术，2009 (7)．

[11] 姜芸，闵红，罗俊华，等．220 kV电缆接头半导电剪短缺陷的局部放电试验 [J]．高电压技术，2010，36 (11)：2657-2661．

（收稿日期：2015－01－15）EA

欢迎订阅　欢迎投稿　欢迎刊登广告

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net