

团体标准

T/CES XXX-XXX

66kV~220kV 电缆交流激励式振荡波 局部放电现场测试导则

The guideline for on-site partial discharge testing of 66kV~220kV
power cables based on damped AC voltage excited by AC source

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

20xx-01-01 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 交流激励式振荡波系统及辅助设备	1
4.1 测试系统	2
4.2 辅助设备	2
5 测试要求	3
5.1 测试环境	3
5.2 测试对象要求	3
5.3 测试电压要求	3
6 测试步骤	3
6.1 现场准备	3
6.2 绝缘电阻测量	3
6.3 电缆长度及接头位置确认	3
6.4 现场局部放电量校准	4
6.5 测试电压选择	4
6.6 局部放电的测试	4
7 测试结果处理方法	4
7.1 测试结果	4
7.2 处理方法	5
附录 A (资料性附录) 交流激励式振荡波系统工作原理	6
附录 B (资料性附录) 时域反射法计算电缆中接头位置	7
附录 C (规范性附录) 局部放电信号校准方法及流程	8
附录 D (资料性附录) 分布式局部放电测量方法的时钟同步技术	9
附录 E (资料性附录) 高压电缆交流激励式振荡波局部放电试验决策流程	10
附录 F (资料性附录) 交流激励式振荡波电压下局部放电典型案例分析	12
参考文献	14

前 言

本标准依据 GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》制定。

本标准由中国电工技术学会提出。

本标准起草单位：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司贵阳局、国网青海省电力公司、国网江苏省电力有限公司泰州供电分公司、国网陕西省电力有限公司、西安交通大学、国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、国网青海省电力公司电力科学研究院、西安舜越电气科技有限公司、西安和润电力科技有限公司。

本标准主要起草人：吕刚、李洪杰、刘文泉、徐世山、王晓峰、姚建光、张仲秋、杨明彬、马煜、林涛、郑健康、蒲路、赵学风、张永胜、孙德志、田君杰、陈俊德、马育林、严文、展飞、窦巍、谈生磊、马玺尧、卢雨欣、何维晟、颜源、韩强。

66kV~220kV 电缆交流激励式振荡波局部放电现场测试导则

1 范围

本标准规定了 66kV~220kV 高压电缆交流激励式振荡波局部放电检测技术的测试系统组成、现场操作步骤以及结果处理方法等内容。

本标准适用于 66kV~220kV 高压电缆交流激励式振荡波局部放电现场测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的,凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件,凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第 1 部分:一般定义及试验要求

GB/T 16927.2—2013 高电压试验技术 第 2 部分:测量系统

GB/T 16927.3—2010 高电压试验技术 第 3 部分:现场试验的定义及要求

GB/T 7354—2003 局部放电测量

GB/T 3048—2007 电线电缆电性能试验方法

GB 26861—2011 电力安全工作规程 高压实验室部分

DL/T 849.5—2004 电力设备专用测试仪器通用技术条件 第 5 部分:振荡波高压发生器

DL/T 1576—2016 6kV~35kV 电缆振荡波局部放电测试方法

T/CSEE 0007—2016 66kV~220kV 电缆振荡波局部放电现场测试方法

IEEE Std 400.4—2015 5kV 及以上电压等级屏蔽电缆系统振荡电压法现场测试导则 (IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Rated 5kV and Above with DAC)

3 术语和定义

GB/T 7354—2003 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

交流激励式振荡波电压 damped AC voltage excited by AC source

由频率在 20Hz~500Hz 范围内的交流电压波激励产生,频率在 20Hz~500Hz 范围内且波幅按指数衰减的交流电压波。

3.2

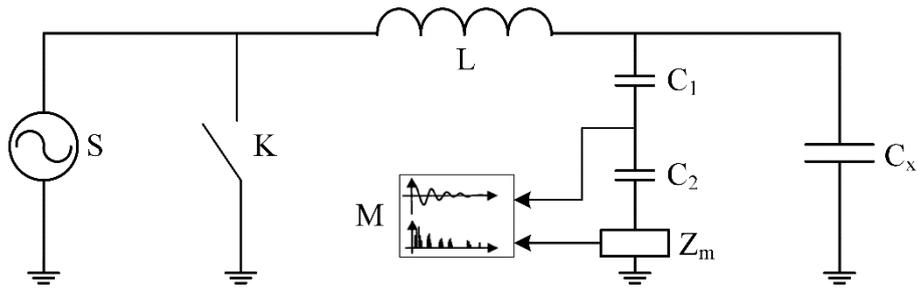
电缆额定电压 U_0/U rated voltage of power cable U_0/U

城市市容绿色管理是将以人为本原则、生态文明要求和可持续发展理念运用到城市市容管理活动中,促进人与自然、经济、社会协调可持续发展的城市市容管理活动的总称。

4 交流激励式振荡波系统及辅助设备

4.1 测试系统

66kV~220kV 高压电缆交流激励式振荡波局部放电检测系统有多种实现方式,系统利用交流激励对被测电缆充电并产生欠阻尼振荡波电压,其典型实现电路和典型测试波形分别如图 1、图 2 所示,其工作原理和主要单元参数请参见附录 A。



S—变频交流电源；K—固体开关；L—谐振电感；C₁—分压器高压臂；
C₂—分压器低压臂；Z_m—检测阻抗；C_x—被测电缆等效电容；M—数据处理与采集单元

图1 典型交流激励式振荡波局部放电检测系统的结构示意图

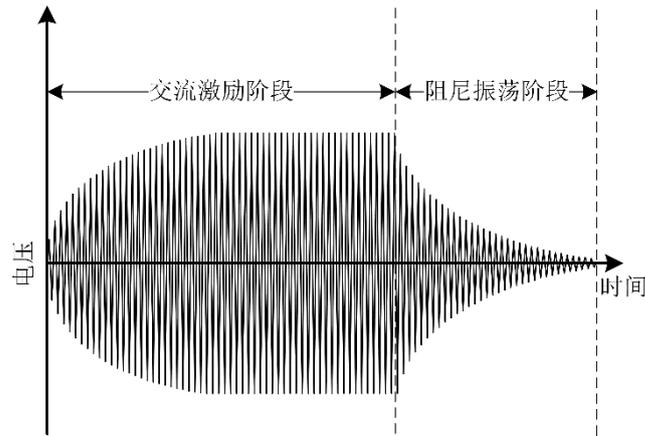


图2 交流激励式振荡波电压波形示意图

4.2 辅助设备

4.2.1 校准器

校准器应能够在 20pC~100nC 范围内产生逐级或连续可调的电荷量，以便对不同水平的局部放电进行校准，其具体参数应符合 GB/T 7354-2003 的有关规定。

4.2.2 低压时域反射仪

局部放电测试前，应采用低压时域反射仪（参见附录 B）测量电缆的波速度及长度，确认电缆接头位置，以提高局部放电定位准确确定。定位误差应小于电缆总长度的 0.2%与光标移动步长之和。

4.2.3 补偿电容器

对于短电缆试品（谐振频率大于 500Hz 时），应使用补偿电容器，降低振荡波频率。补偿电容器的最小电容量 C_b (F) 可按公式 (1) 估算

$$C_b = \frac{1}{4\pi^2 f_{\max}^2 L} \quad (1)$$

式中：

f_{\max} ——局部放电测量系统运行的最高振荡频率，为 500Hz；

L ——谐振电感的电感值，单位为亨（H）。

5 测试要求

5.1 测试环境

对检测环境的要求包括：

- a) 温度：-10℃~+40℃；
- b) 相对湿度：不大于 85%（25℃），无凝露。

5.2 测试对象要求

对测试对象的要求包括：

- a) 被测电缆应与其他设备断开，电缆被测相终端应有足够绝缘距离，其他相应可靠接地；
- b) 试验前应解开电缆交叉互联系统并改为同相屏蔽层直连；
- c) 被测电缆线路绝缘电阻应不低于 30MΩ。

5.3 测试电压要求

对测试电压的要求包括：

- a) 衰减要求：测试电压第一与第二峰值电压之差与第一峰值电压比值不不大于 15%；
- b) 频率范围：测试电压频率为 20Hz~500Hz；
- c) 容许偏差：在整个测试过程中，测试电压值应保持在规定电压值的±3%之内。

6 测试步骤

6.1 现场准备

6.1.1 状态确认

确认待测电缆已断电，使用放电棒充分放电并保持接地，拆除电缆终端一次引下线，电缆端部悬空，非试验相保持接地。

6.1.2 电缆线路终端为较高终端塔

当电缆线路终端为较高终端塔时，若为测试端，可以采用延长高压试验引线方式进行测试，但应对延长连接线造成的干扰增大、检测灵敏度下降等因素对测试结果的影响进行评估。若为非测试端，则应拆除与其他设备的连接并保持足够的安全试验距离。

6.1.3 电缆线路终端为气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）终端

当电缆线路终端为 GIS 终端时，若为测试端，试验前拆除电压互感器、避雷器并安装试验套管；若为非测试端，则应拆除 GIS 电缆筒导体。

6.1.4 接地及防电晕

试验应尽可能采用单点接地，采用专用高压屏蔽线，且高压端采用防晕连接措施。

6.2 绝缘电阻测量

使用绝缘电阻表在 2500V 或 5000V 量程测量电缆绝缘电阻，阻值小于 30MΩ 或三相绝缘电阻之比超过 1.5 倍时，不宜开展振荡波测试。

6.3 电缆长度及接头位置确认

在设备台账中读取电缆长度和接头位置，并使用低压时域反射仪确认。

6.4 现场局部放电量校准

局部放电量校准的具体方法请参见附录 C 的要求。

6.5 测试电压选择

根据电缆类型选择施加试验电压。若被测电缆为新敷设或投运 1 年以内的电缆，按照表 1 内容施加测试电压。

若被测电缆运行年限较久（如 5 年以上）的电缆，应考虑到运行年份、环境条件、击穿经历以及试验目的，协商确定试验电压和次数，但对于 66kV、110kV 以及 220kV 的电缆最高试验电压分别不得超过 $1.6U_0$ 、 $1.6U_0$ 以及 $1.1U_0$ 。

若测试过程中发现放电量急剧增加，应停止升压测试，尝试定位排查潜在缺陷。

表 1 新敷设或投运 1 年内电缆振荡波局部放电试验中各测试电压及次数

电压等级	试验电压与次数											
	电压/ U_0	0	0.3	0.5	0.7	1	1.2	1.5	1.8	2.0	1.5	0
66kV	电压/ U_0	0	0.3	0.5	0.7	1	1.2	1.5	1.8	2.0	1.5	0
	次数	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	1
110kV	电压/ U_0	0	0.3	0.5	0.7	1	1.2	1.5	1.7	1.5	0	-
	次数	1	1	1	1	5	5	5	5	5	1	-
220kV	电压/ U_0	0	0.3	0.5	0.7	1	1.2	1.4	1.2	0	-	-
	次数	1	1	1	1	5	5	5	5	1	-	-

6.6 局部放电的测量

根据不同的电缆类型、电缆长度以及现场实际状况，可以采用以下两种方式进行局部放电的测量：

- 对于长度小于 2km 的电缆线路，可以直接在电缆测试端采用局部放电检测阻抗进行测量；
- 对于长度大于 2km 电缆线路或对局部放电灵敏度要求较高的情况下，采用基于双端时钟同步的分布式局部放电测量：每个分布式测量区间两端的局部放电检测传感器可以通过光纤通讯、GPS 授时或脉冲耦合方式实现。

7 测试结果处理方法

7.1 测试结果

7.1.1 波速与中间接头位置

由低压时域反射仪测量并与台账信息对比确认。

7.1.2 局部放电起始电压

记录局部放电量首次超过 50pC（或试验现场背景噪声）的施加试验电压水平。

7.1.3 局部放电量

多次施加某电压下振荡波测试系统统计分析所得的局部放电量最大值。

7.1.4 局部放电位置

- 采用测试端局部放电检测阻抗进行测量

局部放电源位置与测试端的距离 x 为

$$x = L_c - \frac{v\Delta t}{2} \quad (2)$$

式中：

L_c ——被测电缆全长，单位为米(m)；

v ——电缆中的波速，单位为米/秒(m/s)；

Δt ——放电点处产生的局部放电信号分成两个相等的脉冲信号并沿相反方向传播，两个脉冲到达测量端的时间差，单位秒(s)。

b) 采用基于双端时钟同步的分布式局部放电测量

确定局部放电位置两侧的局部放电检测传感器 H_1 和 H_2 ，判定依据为传感器 H_1 及其左侧传感器信号幅值依次递减，传感器 H_2 及其右侧传感器信号幅值依次递减。

在实现局部放电检测数据的时钟同步后（时钟同步技术请参见附录 D），根据局部放电信号到达局部放电传感器 H_1 和 H_2 的时间差 Δt ，计算出局部放电源位置距传感器 H_1 的距离 x 为

$$x = \frac{L_H - v\Delta t}{2} \quad (3)$$

式中：

L_H ——传感器 H_1 和 H_2 之间的距离，单位为米(m)；

v ——电缆中的波速，单位为米/秒(m/s)；

Δt ——为放电点处产生的局部放电信号分成两个相等的脉冲信号并沿相反方向传播，两个脉冲到达 H_1 和 H_2 的时间差，单位秒(s)。

7.2 处理方法

对于新敷设或投运 1 年以内的电缆，局部放电起始电压限值见表 2。对于运行年限较久（如 5 年以上）的电缆线路，可适当降低局部放电起始电压限值。

对于不满足局部放电起始电压限值要求的电缆线路，可参见附录 C 的决策流程进行处理，但还应考虑运行年份、环境条件、击穿经历以及试验目的等因素，综合决策处理。

表 2 电缆及其附件参考临界局部放电量

电压等级	电缆及其附件类型	局部放电起始电压
66kV	本体	高于 2.0U ₀
	接头/终端	高于 1.5U ₀
110kV	本体	高于 1.7U ₀
	接头/终端	高于 1.5U ₀
220kV	本体	高于 1.4U ₀
	接头/终端	高于 1.2U ₀

附录A
(资料性附录)
交流激励式振荡波系统工作原理

1. 概述

本附录给出了交流激励式振荡波系统的特点和工作原理。

2. 交流激励式振荡波系统的特点

交流激励式振荡波局部放电测试是近年来应用较多的一种用于电力电缆局部放电现场测量的方法。该方法具有作用时间短，操作简单，便于搬运，且不会对电缆造成损害等特点。测试过程中施加在被测电缆上的电压与电缆实际工况、串联谐振试验下的电压较为接近，能有效激发电缆中缺陷产生局部放电信号，实现对缺陷的分析和定位，

3. 交流激励式振荡波系统的工作原理

交流激励式振荡波系统基本结构如图 1 所示，其基本工作原理为：在固体开关闭合前，调节变频交流电源频率，变频交流电源的输出频率与谐振电感、被测电缆谐振频率相同时，在被测电缆上产生谐振电压。调节交流电源的输出电压，被测电缆上的电压达到设定值时，固体开关迅速闭合，在被测电缆上产生阻尼振荡电压，激发电缆缺陷产生局部放电，并通过分压器和检测阻抗测量电压波形和局部放电信号。

4. 交流激励式振荡波系统的基本参数

4.1 变频交流电源

变频交流电源输出电压频率应在 20Hz~500Hz 范围内连续可调，输出功率应不小于 10kW。

4.2 固体开关

固体开关额定电流应不小于 300A，导通时间应不大于 5 μ s。

4.3 谐振电感

谐振电感品质因素应不小于 12，额定电流应不小于 5A。

附录B
(资料性附录)
时域反射法计算电缆中间接头位置

1. 概述

本附录给出了时域采用时域反射法计算电缆中间接头位置的基本原理和方法。

2. 时域脉冲发射法

电缆线路中的故障、中间接头、开路、被腐蚀的中性线等都会引起电缆阻抗的变化，而这些阻抗变化点都可由低压时域反射仪(TDR)来定位和表征。电缆沿线中任意的阻抗变化都会使得入射脉冲发生部分反射，通过对反射波进行处理可确定这些阻抗变化点相对于端部的位置，同时 TDR 中的反射脉冲波形可以帮助操作者确定反射点的类型。反射点的波形反射幅值可以使用反射系数 (ρ) 进行计算：

$$\rho = \frac{Z_d - Z_0}{Z_d + Z_0} \quad (\text{B.1})$$

式中：

ρ ——反射系数；

Z_d ——反射点的阻抗；

Z_0 ——电缆的特性阻抗。

反射系数 ρ 的范围为 1（开路情况）~ -1（短路情况），反射系数为 0 表明该处未发生发射。若电缆的全长已知，则可以通过入射和反射脉冲的时间差求取电缆中的传播速度。各个接头的位置则通过接头处的反射波与入射波的时间差结合电缆全长进行计算。若电缆全长未知，则可设定波速为一经验值（例如其他同类型尺寸电缆的测试值等），从而由时间差求出电缆全长及各接头的位置。

附录C
(规范性附录)
局部放电信号校准方法及流程

1 概述

本附录给出了交流激励式振荡波局部放电信号校准方法及注意事项。

2 校准方法及目的

采用注入不同幅值的标准模拟信号，观测器在被试品中经末端反射后注入端所检测到的信号，然后通过计算获得不同幅值的标准模拟信号在该试品中的衰减系数。

3 校准流程

校准的流程和注意事项如下：

- a) 确认试品符合 5.2 及 6.1 的要求；
- b) 校准器连接到测量回路中，应依次按照 100nC、50nC、20nC、10nC、5nC、2nC、1nC、500pC、200pC、100pC、50pC、20pC 进行校准，同时在交流激励式振荡波局部放电测试系统柜软件中选择对应的校准档位。如校准至某一量程时，反射波已衰减至无法观测，应结束校准。校准接线见图 C.1；

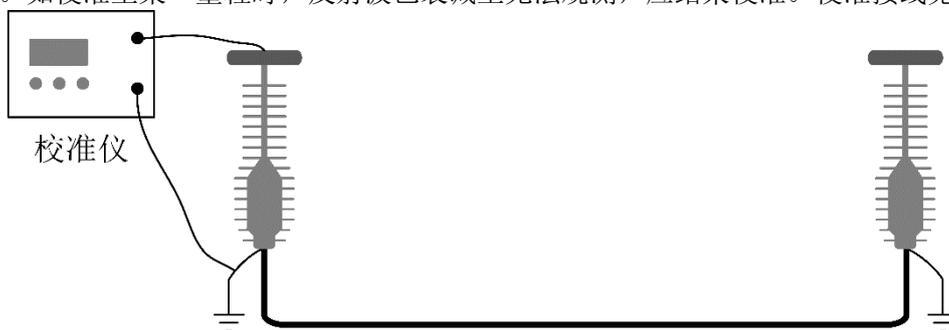


图 C.1 校准接线图

- c) 各档位校准时，应调节交流激励式振荡波局部放电测试系统的量程和增益使得所采集的信号幅值在合理的量程范围之内，待信号稳定后选取反射波。如根据反射波计算的波速超出了参考范围（160m/μs~180m/μs），则应检测当前所选择反射波是否为接头或干扰信号，或电缆长度输入错误；
- d) 各档位校准时，根据校准波形中入射波与反射波的时间差与幅值差计算当前局部放电信号在电缆中传播的衰减系数；
- e) 校准完成后移除校准器。

附录D
(资料性附录)
分布式局部放电测量方法的时钟同步技术

1. 概述

本附录给出了分布式局部放电测量方法的典型时钟同步技术及其参数要求。

2. 时钟同步技术

对于局部放电信号测量点分布在高压电缆沿线的分布式局部放电测量方法，需要采用时钟同步技术实现所有测量点测量数据的时间零点同步。常见的时钟同步技术包括但不限于光纤通讯、GPS 授时或脉冲耦合技术。

3. 时钟同步技术的基本参数

时钟同步的误差应不大于 100ns。

附录E
(资料性附录)

高压电缆交流激励式振荡波局部放电试验决策流程

1 概述

本附录给出了 110kV 高压电缆本体、接头及终端的交流激励式振荡波局部放电决策及判断流程。

2 电缆本体交流激励式振荡波局部放电检测决策流程

图 E.1 为 110kV 电缆本体交流激励式振荡波局部放电检测的决策流程图。



图 E.1 110kV 电缆本体交流激励式振荡波局部放电检测的决策流程图

3 电缆中间接头交流激励式振荡波局部放电检测的决策流程

图 E.2 为 110kV 电缆中间接头交流激励式振荡波局部放电检测的决策流程图。

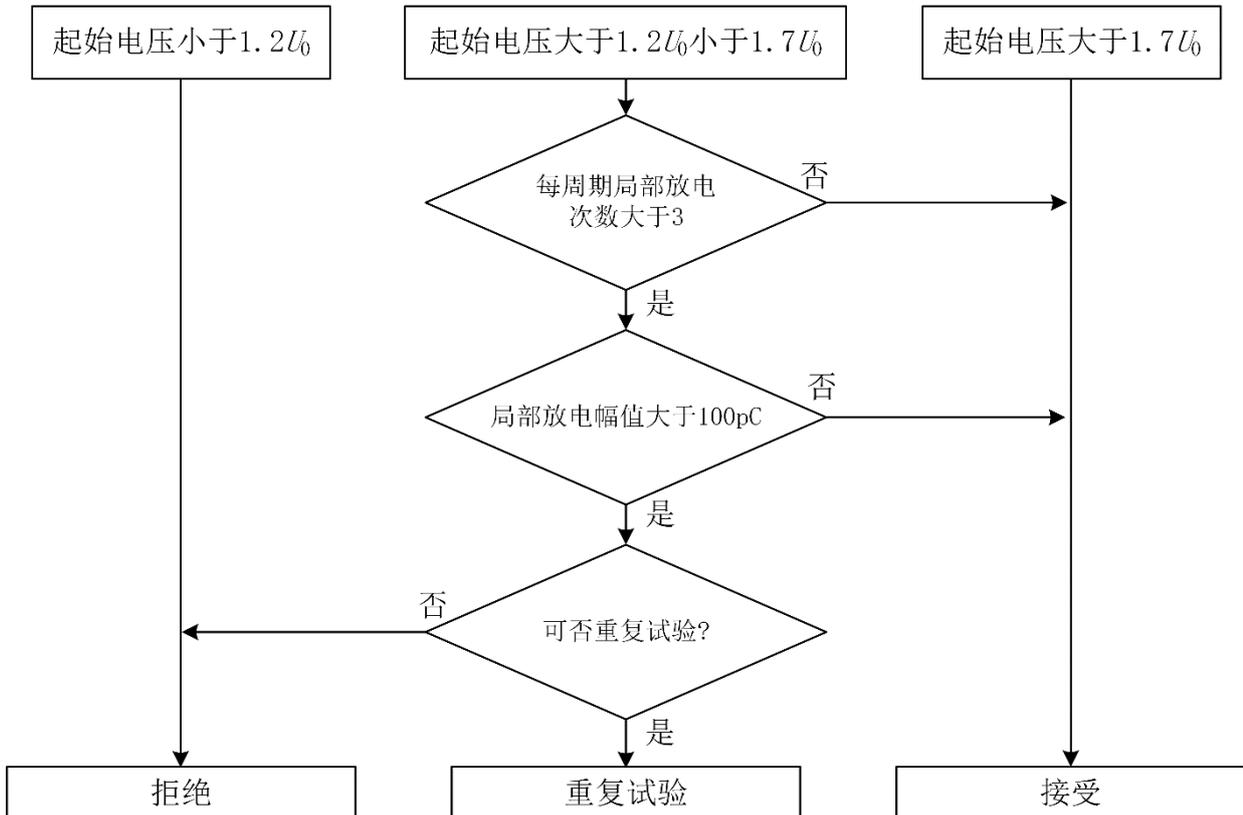


图 E.2 110kV 电缆中间接头交流激励式振荡波局部放电检测的决策流程图

4 电缆终端交流激励式振荡波局部放电检测的决策流程

图 E.3 为 110kV 电缆终端交流激励式振荡波局部放电检测的决策流程图。

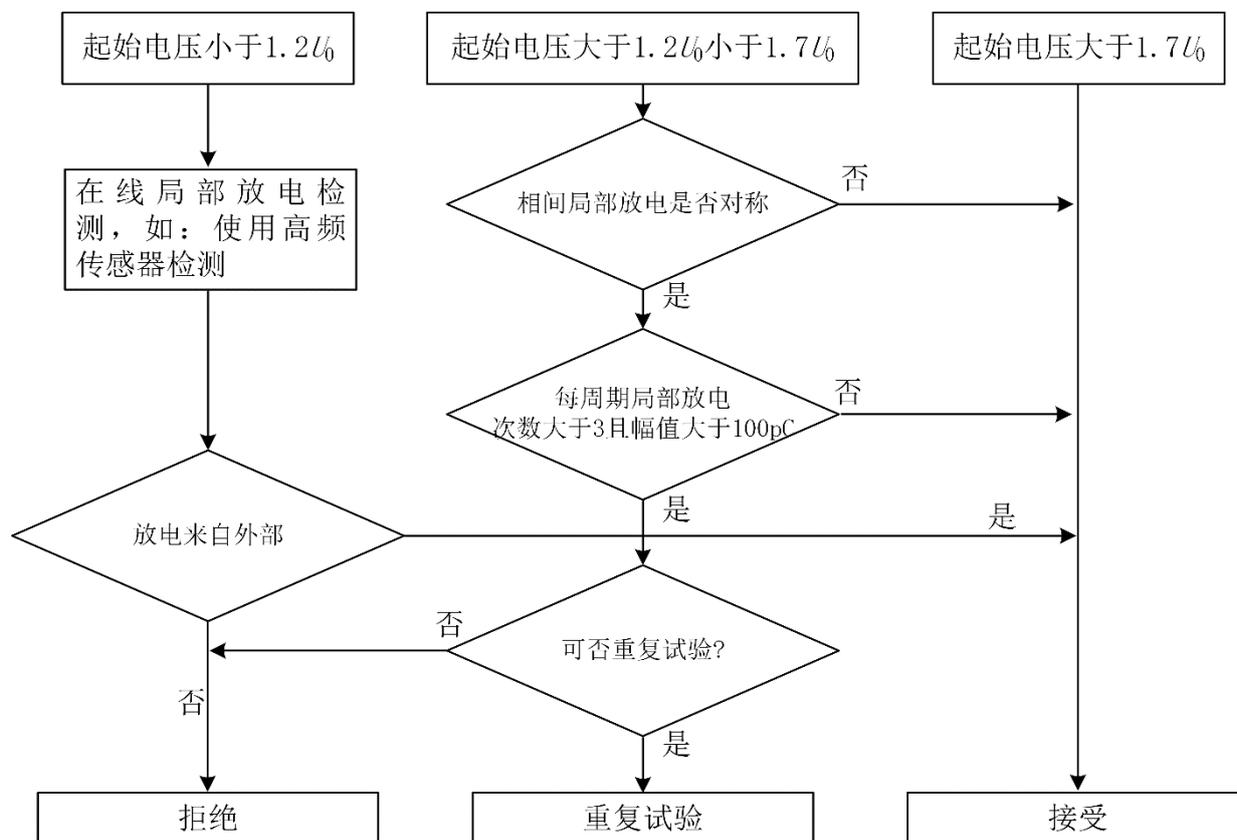


图 E.3 110kV 电缆终端交流激励式振荡波局部放电检测的决策流程图

附录F
(资料性附录)

交流激励式振荡波电压下局部放电典型案例

1 概述

本附录给出利用交流激励式振荡波对高压电缆进行局部放电测试的典型案例

2 案例1

2.1 测试电缆信息

电缆长度：4480m

额定电压：64kV/110kV

电缆型号：YJLV22-64/110kV-1*630mm²

中间接头数：9 个

2.2 测试数据

2.2.1 测试波形

峰值为 180kV 的交流激励式振荡波电压作用下的实测波形和放电相位图谱分别如图 F.1、图 F.2 所示。

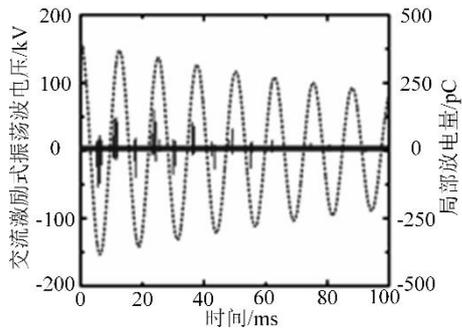


图 F.1 交流激励式振荡波电压下时域波形图

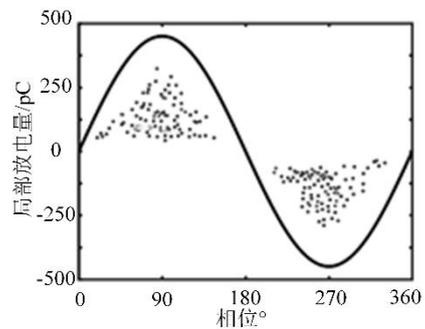


图 F.2 交流激励式振荡波电压下放电相位图谱

2.2.2 定位结果

局部放电源位于 3160m 处的中接头位置，局部放电定位图谱如图 F.3 所示。

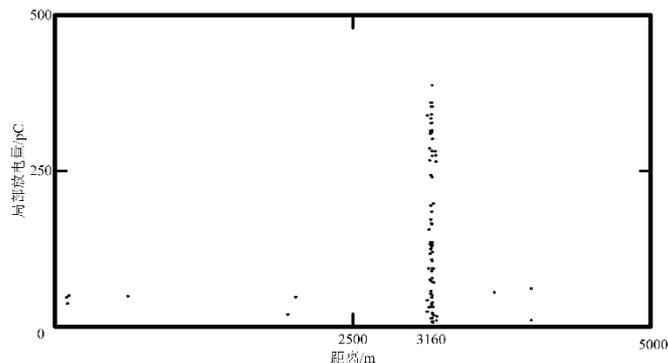


图 F.3 局部放电定位图

3 案例2

3.1 测试电缆信息

电缆长度：5600m

额定电压：64kV/110kV

电缆型号：YJLV22-64/110kV-1*800mm²

中间接头数：11 个

3.2 测试数据

3.2.1 测试波形

峰值为 150kV 的交流激励式振荡波电压作用下的实测波形和分布式局部放电检测传感器 H₁、H₂ 检测波形分别如图 F.4、图 F.5 所示。

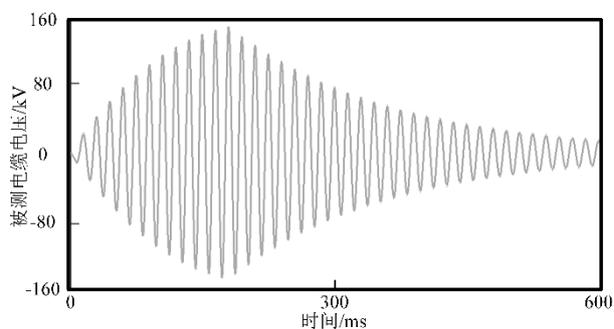


图 F.4 被测电缆电压波形图

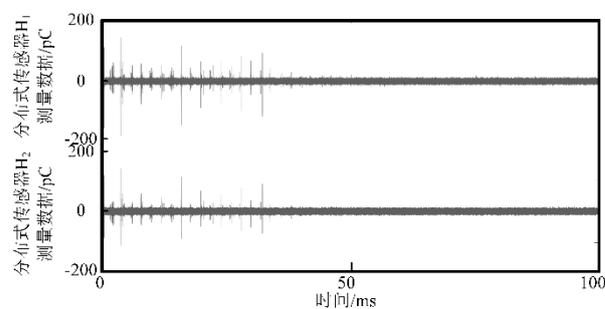


图 F.5 传感器 H₁、H₂ 测量数据

3.2.2 定位结果

局部放位于距离电缆测试端 4280m 处位置，局部放电定位图谱如图 F.6 所示。

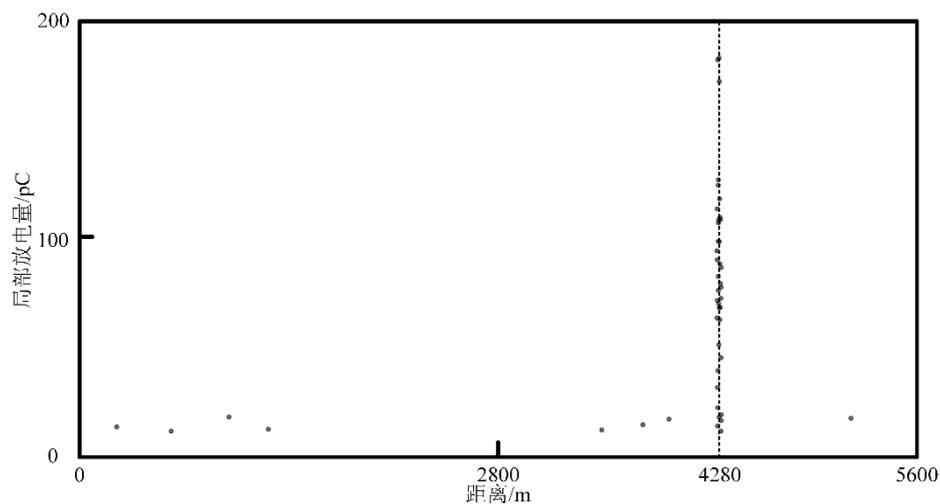


图 F.6 局部放电定位图

参 考 文 献

- [1] GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术
 - [2] GB/T 16927.2—2013 高电压试验技术
 - [3] GB/T 16927.3—2010 高电压试验技术
 - [4] GB/T 7354—2003 局部放电测量
 - [5] GB/T 3048—2007 电线电缆电性能试验方法
 - [6] GB 26861—2011 电力安全工作规程 高压实验室部分
 - [7] DL/T 849.5—2004 电力设备专用测试仪器通用技术条件
 - [8] DL/T 1576—2016 6kV~35kV 电缆振荡波局部放电测试方法
 - [9] T/CSEE 0007-2016 66kV~220kV 电缆振荡波局部放电现场测试方法
 - [10] IEEE Std 400.4-2015 IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems
Rated 5kV and Above with DAC
-