



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109188214 B

(45)授权公告日 2019.11.29

(21)申请号 201810958192.5

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2018.08.22

G01R 31/12(2006.01)

G01R 31/08(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109188214 A

审查员 李晓

(43)申请公布日 2019.01.11

(73)专利权人 云南电网有限责任公司电力科学研究院

地址 650200 云南省昆明市经济技术开发区云大西路105号

专利权人 西南交通大学

(72)发明人 白龙雷 周利军 余洋 陈远虎

李丽妮 车雨轩 郭蕾 王伟敏

(74)专利代理机构 成都盈信专利代理事务所

(普通合伙) 51245

代理人 崔建中

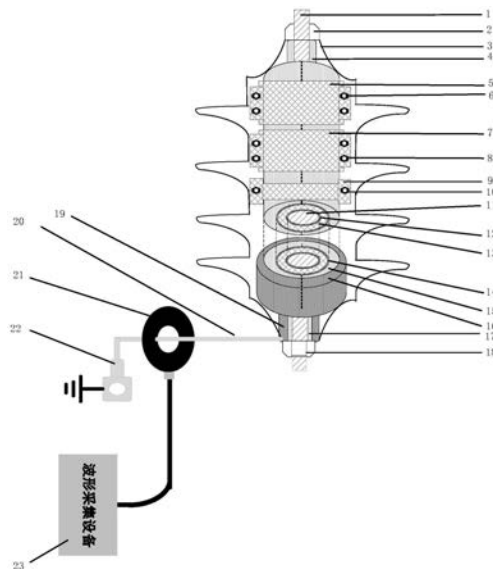
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种乙丙橡胶电缆终端绝缘层典型故障模拟和测试方法

(57)摘要

本发明公开了一种乙丙橡胶电缆终端绝缘层典型故障模拟和测试方法,模拟器的故障模拟终端封装在冷缩式外伞裙内,两端的缆芯插头的端部凸出于冷缩式外伞裙,铜制接地线一端连接到金属屏蔽套,另一端连接到铜质地线接口,波形采集设备连接到脉冲耦合器,脉冲耦合器套装在铜制接地线上。测评方法包括获取乙丙橡胶电缆终端的标准放电波形、计算拟合曲线模型、计算波形曲线偏移度判断因子后进行测评分析等步骤。本发明的有益效果为:可真实、有效和方便地模拟乙丙橡胶电缆终端绝缘的典型缺陷故障,并且可以实现多类故障的同时模拟,实现多维模拟;测评方法能够识别故障类型,对终端绝缘状态实现全面和准确的评估。



1. 一种乙丙橡胶电缆终端绝缘层典型故障模拟和测试方法,其特征在于,包括以下的模拟及测试步骤:

步骤1:乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟器的组装;

1.1该故障模拟器包括故障模拟终端;所述故障模拟终端包括从内到外呈同心圆结构的内部铜芯(11)、第一导电层(12)、乙丙橡胶绝缘层(13)、第二导电层(14)、紧固护套层(15);内部铜芯(11)的上、下两端还分别连接有缆芯插头(1),缆芯插头(1)包覆有端口绝缘套(4),其中下端的端口绝缘套外侧还包覆有金属屏蔽套(19);紧固护套层(15)的上部还设置有一套以上相互扣合的U型紧固件,紧固护套层(15)的下部还包覆有铜网层(16),铜网层(16)连接到金属屏蔽套(19);所述故障模拟终端封装在冷缩式外伞裙(3)内,两端的缆芯插头的端部凸出于冷缩式外伞裙(3),并分别套装紧固胶塞;

1.2该故障模拟器还包括铜制接地线(20),铜制接地线(20)一端连接到金属屏蔽套(19),另一端连接到铜质地线接口(22);

1.3该故障模拟器还包括波形采集设备(23),波形采集设备(23)连接到脉冲耦合器(21),脉冲耦合器(21)套装在铜制接地线(20)上;

步骤2:典型故障模拟器的故障模拟终端的处理;

2.1准备全新的乙丙橡胶电缆故障模拟终端,在其乙丙橡胶绝缘层(13)处做一条以上划伤痕迹,划痕深度为0.5mm~1.0mm,得到绝缘表面气隙缺陷故障的故障模拟终端;

2.2准备全新的乙丙橡胶电缆故障模拟终端,对其乙丙橡胶绝缘层(13)进行老化温度为120℃~150℃,老化时间为1.0h~10h的劣化处理,得到乙丙橡胶绝缘老化故障的故障模拟终端;

2.3准备全新的乙丙橡胶电缆故障模拟终端,在其乙丙橡胶绝缘层(13)与第二导电层(14),和第二导电层(14)与外部紧固护套层(15)之间分别添加导电铜质胶带块,得到内部悬浮电位故障的故障模拟终端;

2.4准备全新的乙丙橡胶电缆故障模拟终端,在其乙丙橡胶绝缘层(13)与第二导电层(14),和第二导电层(14)与外部紧固护套层(15)之间添加浸水棉线,得到内部层间受潮故障的故障模拟终端;

步骤3:不同乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟器的测试;

针对步骤2中所得到的典型故障模拟终端,依照步骤1分别进行组装,获得不同乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟器,对该故障模拟器进行测试,包括以下步骤:

3.1:将待测评的乙丙橡胶电缆终端的屏蔽层通过铜制接地线接地,波形采集设备连接到脉冲耦合器,脉冲耦合器套装在铜制接地线上;对乙丙橡胶电缆终端施加25kV电压,每隔2分钟测试并绘制一个正弦周期内的放电波形曲线;经多次测试后,选取出现频率最多的放电脉冲振荡波形作为标准放电波形 $f(t)$ ;

3.2:计算波形参数,包括:

3.2.1:利用波形采集设备(23),确定出标准放电波形 $f(t)$ 中波峰个数 $N$ ,根据波峰个数,在标准放电波形 $f(t)$ 中提取出 $N$ 个波峰点的坐标,分别记为 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、……、 $P_N$ ;

3.2.2:确定标准放电波形曲线模型 $F(t)$ ,首先,根据 $N$ 个峰值点进行参数计算, $N$ 个峰值点的坐标分别表示为 $P_1(t_{p1}, I_{p1})$ ,  $P_2(t_{p2}, I_{p2})$ , …… ,  $P_N(t_{pN}, I_{pN})$ ,得到表征放电波形曲线 $F(t)$ 的阻尼振荡参数 $\alpha$ ,和表征放电波形曲线 $F(t)$ 的形状参数 $\beta$ 如下:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N I_{P_i} = \frac{I_0 \cdot \beta}{\alpha + \beta} \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha + \beta}} \\ \sum_{i=1}^N \Delta t_{P_i} = \frac{\ln(\frac{\beta}{\alpha})}{\alpha + \beta} \end{cases},$$

式中,  $\Delta t_{P_i} = \frac{t_{P_i} - t_{P_{i-1}}}{4}$ , 表示各峰值的上升时间;  $I_0$  表示初始时刻放电波形的幅值, 即  $P_1$  的纵坐标值,  $I_0 = I_{P_1}$ ; 其中, 在对  $\alpha$  和  $\beta$  求解时, 由于关系式中存在指数型与对数型关系, 因此在确定数值时, 利用 MATLAB 软件中符号代数方程组求解方式, 并采取最小二乘法的原则, 对  $\alpha$  和  $\beta$  值进行近似求解; 然后, 得到标准放电波形的曲线模型方程  $F(t)$  为:

$$F(t) = \frac{I_0}{e^{\alpha(t-t_0)} + e^{-\beta(t-t_0)}},$$

式中,  $I_0$  表示初始时刻放电波形的幅值, 即  $P_1$  的纵坐标值,  $I_0 = I_{P_1}$ ;  $t_0$  表示初始时刻, 即  $P_1$  的横坐标值,  $t_0 = t_{P_1}$ ;  $\alpha$  和  $\beta$  分别为已求解的阻尼振荡参数与形状参数的近似值;

3.2.3: 计算波形曲线偏移度判断因子  $A_x$  的大小:

首先, 确定标准放电波形的曲线模型方程  $F(t)$  的最大值点  $P_{\max}(t_{p\max}, I_{p\max})$ , 确定原则如下: 当标准放电波形的曲线模型方程  $F(t)$  在坐标  $P_i(t_i, I_i)$  满足以下关系时,

$$\begin{cases} \frac{dF(t_{i-})}{dt} > 0 \\ \frac{dF(t_{i+})}{dt} < 0 \end{cases},$$

则有, 在式中, 存在  $t_{p\max} = t_i, I_{p\max} = I_i$ ;

然后, 对拟合得出的标准放电波形的曲线模型方程  $F(t)$  进行优化处理, 如下:

$$h^{\#}(t) = \frac{F(t)}{|I_{P_{\max}}|},$$

式中,  $h^{\#}(t)$  为优化后标准放电波形的曲线模型方程  $F(t)$ ,  $| \quad |$  表示取纵坐标  $I_{p\max}$  的绝对值;

利用优化后拟合式  $h^{\#}(t)$  进行初始判断因子  $A_p$  和  $A_t$  的计算, 以坐标  $P_{\max}(t_{p\max}, I_{p\max})$  作为分界点, 计算如下:

$$A_p = \int_0^{t_{p\max}} h^{\#}(t) dt$$

$$A_t = \int_{t_{p\max}}^{t_N} h^{\#}(t) dt$$

$$A_x = \frac{A_p}{A_t}$$

式中,  $A_p$ 和 $A_t$ 分别表征标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 在左侧和右侧的占据空间,  $A_x$ 表征标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 的偏移度;

步骤4: 比较曲线偏移度判断因子 $A_x$ 的大小, 若 $A_x=1.0$ , 则待测评电缆终端为正常状态, 否则继续判定步骤5;

步骤5: 根据标准放电波形 $f(t)$ 的能量分布进行波形主要能量分布区域的判断, 确定主频识别因子 $z_{fx}$ :

对 $f(t)$ 进行傅里叶分解, 获得对应的频域波形曲线如下:

$$F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

式中,  $F(f)$ 为经傅里叶分解之后, 所得到的频域范围内, 标准放电波形的分布曲线,  $f$ 为分解后的频率点,  $j$ 为分解过程中的虚数单位, 表示运算为频域变换方式; 在获得的频域波形曲线中, 选取频率范围100kHz~20MHz内曲线, 做频域范围内放电能量分布区域的分析, 如下:

$$z_{fx} = \frac{\int_{f_1}^{f_2} f \cdot F(f) df}{\int_{f_1}^{f_2} F(f) df}$$

式中,  $f_1$ 为100kHz,  $f_2$ 为20MHz,  $z_{fx}$ 表示放电能量最为集中的频率点, 即为主频识别因子;

步骤6: 判断主频识别因子 $z_{fx}$ 的大小:

在 $A_x < 1.0$ 情况下, 若 $z_{fx} \leq 5\text{MHz}$ , 则待测评电缆终端为绝缘层划伤缺陷故障, 若 $z_{fx} > 5\text{MHz}$ , 则待测评电缆终端为绝缘层老化故障;

在 $A_x > 1.0$ 情况下, 若 $z_{fx} \leq 5\text{MHz}$ , 则待测评电缆终端为悬浮电位故障, 若 $z_{fx} > 5\text{MHz}$ , 则待测评电缆终端为层间受潮故障。

## 一种乙丙橡胶电缆终端绝缘层典型故障模拟和测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于高速铁路动车电缆终端故障测评领域,具体涉及一种乙丙橡胶电缆终端绝缘层典型故障模拟和测试方法。

### 背景技术

[0002] 随着我国铁路电气化改造的不断进行,以及高速铁路的快速发展,电力机车以及动车组在铁路运输中所起到的作用越来越大,因此保证列车供电系统以及输电体系的安全可靠运行,成为保证铁路安全运行的重要方面。但是,由于列车运行过程中,会经常遭受到外界恶劣环境、冲击负荷过电压以及列车转弯半径小,机械应力较大等的影响,承担输电任务的列车乙丙橡胶电缆,特别是终端部位,会出现多种类型故障,再加上终端在制作过程,不可避免地有悬浮金属颗粒以及表面划伤出现,造成电缆终端的故障类型更加复杂,同时产生的局部放电也会大大削弱电缆的正常工作能力。因此,为了保证列车的安全运行,应及时且准确地判断电缆终端内部出现的典型故障类型。

[0003] 目前对于电缆终端典型缺陷故障的检测,很多都是根据摇表等较为简陋的方法进行,识别率低,识别效果有限,迫切需要一种可有效检测及识别终端内部典型故障的方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种乙丙橡胶电缆终端绝缘层典型故障模拟和测试方法。

[0005] 实现本发明目的的技术方案如下:

[0006] 一种乙丙橡胶电缆终端绝缘层典型故障模拟和测试方法,包括以下的模拟及测试步骤:

[0007] 步骤1:乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟器的组装;

[0008] 1.1该故障模拟器包括故障模拟终端;所述故障模拟终端包括从内到外呈同心圆结构的内部铜芯(11)、第一导电层(12)、乙丙橡胶绝缘层(13)、第二导电层(14)、紧固护套层(15);内部铜芯(11)的上、下两端还分别连接有缆芯插头(1),缆芯插头(1)包覆有端口绝缘套(4),其中下端的端口绝缘套外侧还包覆有金属屏蔽套(19);紧固护套层(15)的上部还设置有一套以上相互扣合的U型紧固件,紧固护套层(15)的下部还包覆有铜网层(16),铜网层(16)连接到金属屏蔽套(19);所述故障模拟终端封装在冷缩式外伞裙(3)内,两端的缆芯插头的端部凸出于冷缩式外伞裙(3),并分别套装紧固胶塞;

[0009] 1.2该故障模拟器还包括铜制接地线(20),铜制接地线(20)一端连接到金属屏蔽套(19),另一端连接到铜质地线接口(22);

[0010] 1.3该故障模拟器还包括波形采集设备(23),波形采集设备(23)连接到脉冲耦合器(21),脉冲耦合器(21)套装在铜制接地线(20)上;

[0011] 步骤2:典型故障模拟器的故障模拟终端的处理;

[0012] 2.1准备全新的乙丙橡胶电缆故障模拟终端,在其乙丙橡胶绝缘层(13)处做一条以上划伤痕迹,划痕深度为0.5mm~1.0mm,得到绝缘表面气隙缺陷故障的故障模拟终端;

[0013] 2.2准备全新的乙丙橡胶电缆故障模拟终端,对其乙丙橡胶绝缘层(13)进行老化温度为120℃~150℃,老化时间为1.0h~10h的劣化处理,得到乙丙橡胶绝缘老化故障的故障模拟终端;

[0014] 2.3准备全新的乙丙橡胶电缆故障模拟终端,在其乙丙橡胶绝缘层(13)与第二导电层(14),和第二导电层(14)与外部紧固护套层(15)之间分别添加导电铜质胶带块,得到内部悬浮电位故障的故障模拟终端;

[0015] 2.4准备全新的乙丙橡胶电缆故障模拟终端,在其乙丙橡胶绝缘层(13)与第二导电层(14),和第二导电层(14)与外部紧固护套层(15)之间添加浸水棉线,得到内部层间受潮故障的故障模拟终端;

[0016] 步骤3:不同乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟器的测试;

[0017] 针对步骤2中所得到的典型故障模拟终端,依照步骤1分别进行组装,获得不同乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟器,对该故障模拟器进行测试,包括以下步骤:

[0018] 3.1:将待测评的乙丙橡胶电缆终端的屏蔽层通过铜制接地线接地,波形采集设备连接到脉冲耦合器,脉冲耦合器套装在铜制接地线上;对乙丙橡胶电缆终端施加25kV电压,每隔2分钟测试并绘制一个正弦周期内的放电波形曲线;经多次测试后,选取出现频率最多的放电脉冲振荡波形作为标准放电波形 $f(t)$ ;

[0019] 3.2:计算波形参数,包括:

[0020] 3.2.1:利用波形采集设备(23),确定出标准放电波形 $f(t)$ 中波峰个数 $N$ ,根据波峰个数,在标准放电波形 $f(t)$ 中提取出该 $N$ 个波峰点的坐标,分别记为 $P_1、P_2、P_3、\dots、P_N$ ;

[0021] 3.2.2:确定标准放电波形曲线模型 $F(t)$ ,首先,根据 $N$ 个峰值点进行参数计算, $N$ 个峰值点的坐标分别表示为 $P_1(t_{p1}, I_{p1}), P_2(t_{p2}, I_{p2}), \dots, P_N(t_{pN}, I_{pN})$ ,得到表征放电波形曲线 $F(t)$ 的阻尼振荡参数 $\alpha$ ,和表征放电波形曲线 $F(t)$ 的形状参数 $\beta$ 如下:

$$[0022] \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^N I_{p_i} = \frac{I_0 \cdot \beta}{\alpha + \beta} \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha + \beta}} \\ \sum_{i=1}^N \Delta t_{p_i} = \frac{\ln(\frac{\beta}{\alpha})}{\alpha + \beta} \end{cases},$$

[0023] 式中,  $\Delta t_{p_i} = \frac{t_{p_i} - t_{p_{i-1}}}{4}$ , 表示各峰值的上升时间;  $I_0$ 表示初始时刻放电波形的幅

值,即 $P_1$ 的纵坐标值,  $I_0 = I_{p1}$ ; 其中,在对 $\alpha$ 和 $\beta$ 求解时,由于关系式中存在指数型与对数型关系,因此在确定该值时,利用MATLAB软件中符号代数方程组求解方式,并采取最小二乘法的原则,对 $\alpha$ 和 $\beta$ 值进行近似求解;

[0024] 然后,得到标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 为:

$$[0025] \quad F(t) = \frac{I_0}{e^{\alpha(t-t_0)} + e^{-\beta(t-t_0)}},$$

[0026] 式中,  $I_0$ 表示初始时刻放电波形的幅值,即 $P_1$ 的纵坐标值,  $I_0 = I_{p1}$ ;  $t_0$ 表示初始时刻,即 $P_1$ 的横坐标值,  $t_0 = t_{p1}$ ;  $\alpha$ 和 $\beta$ 分别为已求解的阻尼振荡参数与形状参数的近似值;

[0027] 3.2.3:计算波形曲线偏移度判断因子 $A_x$ 的大小:

[0028] 首先,确定标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 的最大值点 $P_{\max}(t_{p\max}, I_{p\max})$ ,确定原则如下:当标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 在坐标 $P_i(t_i, I_i)$ 满足以下关系时,

$$[0029] \quad \begin{cases} \frac{dF(t_{i-})}{dt} > 0 \\ \frac{dF(t_{i+})}{dt} < 0 \end{cases},$$

[0030] 则有,在式中,存在 $t_{p\max} = t_i, I_{p\max} = I_i$ ;

[0031] 然后,对上述拟合得出的标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 进行优化处理,如下:

$$[0032] \quad h^{\#}(t) = \frac{F(t)}{|I_{p\max}|},$$

[0033] 式中, $h^{\#}(t)$ 为优化后标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ ,表示取纵坐标 $I_{p\max}$ 的绝对值;

[0034] 利用优化后拟合式 $h^{\#}(t)$ 进行初始判断因子 $A_p$ 和 $A_t$ 的计算,以坐标 $P_{\max}(t_{p\max}, I_{p\max})$ 作为分界点,计算如下:

$$[0035] \quad A_p = \int_0^{t_{p\max}} h^{\#}(t) dt$$

$$[0036] \quad A_t = \int_{t_{p\max}}^{t_N} h^{\#}(t) dt$$

$$[0037] \quad A_x = \frac{A_p}{A_t}$$

[0038] 式中, $A_p$ 和 $A_t$ 分别表征标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 在左侧和右侧的占据空间, $A_x$ 表征拟合曲线 $F(t)$ 的偏移度;

[0039] 进一步地,还包括以下步骤:

[0040] 步骤4:比较曲线偏移度判断因子 $A_x$ 的大小,若 $A_x = 1.0$ ,则待测评电缆终端为正常状态,否则继续判定步骤2;

[0041] 步骤5:根据标准放电波形 $f(t)$ 的能量分布进行波形主要能量分布区域的判断,确定主频识别因子 $z_{fx}$ ;

[0042] 对 $f(t)$ 进行傅里叶分解,获得对应的频域波形曲线如下:

$$[0043] \quad F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{\frac{-j2\pi t}{f}} dt$$

[0044] 式中, $F(f)$ 为经傅里叶分解之后,所得到的频域范围内,标准放电波形的分布曲线, $f$ 为分解后的频率点, $j$ 为分解过程中的虚数单位,表示该运算为频

[0045] 域变换方式;在获得的频域波形曲线中,选取频率范围100kHz~20MHz内曲线,做频域范围内放电能量分布区域的分析,如下:

$$[0046] \quad zf_x = \frac{\int_{f_1}^{f_2} f \cdot F(f) df}{\int_{f_1}^{f_2} F(f) df}$$

[0047] 式中,  $f_1$  为 100kHz,  $f_2$  为 20MHz,  $zf_x$  表示放电能量最为集中的频率点, 即为主频识别因子;

[0048] 步骤 6: 判断主频识别因子  $zf_x$  的大小:

[0049] 在  $A_x < 1.0$  情况下, 若  $zf_x \leq 5\text{MHz}$ , 则待测评电缆终端为绝缘层划伤缺陷故障, 若  $zf_x > 5\text{MHz}$ , 则待测评电缆终端为绝缘层老化故障;

[0050] 在  $A_x > 1.0$  情况下, 若  $zf_x \leq 5\text{MHz}$ , 则待测评电缆终端为悬浮电位故障, 若  $zf_x > 5\text{MHz}$ , 则待测评电缆终端为层间受潮故障。

[0051] 本发明的有益效果为: 可真实、有效和方便地模拟乙丙橡胶电缆终端绝缘的典型缺陷故障, 并且可以实现多类故障的同时模拟, 实现多维模拟; 测评方法能够识别故障类型, 对终端绝缘状态实现全面和准确的评估。

## 附图说明

[0052] 图 1 为乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟器结构图。

[0053] 图 2 为乙丙橡胶电缆终端典型故障测评方法的流程图。

## 具体实施方式

[0054] 下面结合实施例对本发明作进一步的说明。

[0055] 图 1 为高铁列车用乙丙橡胶电缆终端故障模拟示意图, 包括缆芯插头 (1)、上侧紧固胶塞 (2)、冷缩式外伞裙 (3)、上侧端口绝缘套 (4)、第一 U 型紧固件 (5)、第一紧固螺栓 (6)、第二 U 型紧固件 (7)、第二紧固螺栓 (8)、第三 U 型紧固件 (9)、第三紧固螺栓 (10)、内部铜芯 (11)、第一半导体层 (12)、乙丙橡胶绝缘层 (13)、第二半导体层 (14)、外部紧固护套层 (15)、外部铜网层 (16)、下侧端口绝缘套 (17)、下侧紧固胶塞 (18)、金属屏蔽套 (19)、铜制接地线 (20)、脉冲耦合器 (21)、铜质地线接口 (22)、波形采集设备 (23); 内部铜芯 (11)、第一半导体层 (12)、乙丙橡胶绝缘层 (13)、第二半导体层 (14)、外部紧固护套层 (15) 组成故障模拟终端部分, 且各层经层压方式依次紧密接触, 紧密程度可通过第一 U 型紧固件 (5)、第一紧固螺栓 (6)、第二 U 型紧固件 (7)、第二紧固螺栓 (8)、第三 U 型紧固件 (9)、第三紧固螺栓 (10) 进行调节, 在各层之间可预先设定典型缺陷, 模拟电缆终端内不同故障类型; 所述外部铜网层 (16) 仅在下侧部位紧密敷设于下侧端口绝缘套 (17) 表面, 并与下侧端口金属屏蔽套 (19)、铜制接地线 (20)、铜质地线接口 (22) 相通; 所述故障模拟终端部分进行紧固调节时, 可同时操作第一紧固螺栓 (6)、第二紧固螺栓 (8)、第三紧固螺栓 (10), 使各层紧密贴合。

[0056] 在具体的试验中, 通过对故障模拟终端部分中乙丙橡胶绝缘层 (13)、第二半导体层 (14)、外部紧固护套层 (15) 各层或层与层之间进行典型缺陷的设置和处理, 改变内部铜芯层 (11) 与外部紧固护套层 (15) 之间的绝缘结构, 实现模拟乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟的功能; 当需要模拟电缆终端绝缘层缺陷时, 可通过在层压前在乙丙橡胶绝缘层 (13) 处



做划伤痕迹,划痕长度可根据具体要求确定,实现绝缘表面气隙缺陷故障的模拟;当需要模拟终端绝缘层整体老化故障时,通过对乙丙橡胶绝缘层(13)进行老化温度为120℃~150℃的劣化处理来实现,老化时间与温度可进行适当选择,实现乙丙橡胶绝缘老化故障的模拟;当需要进行终端内悬浮电位故障的模拟时,可通过对乙丙橡胶绝缘层(13)与第二半导体层(14)、外部紧固护套层(15)之间添加导电铜质胶带块进行实现,胶带块的位置、数量可根据具体要求确定,以实现悬浮电位故障的模拟;当需要模拟终端内层间受潮故障时,可通过在乙丙橡胶绝缘层(13)与第二半导体层(14)、外部紧固护套层(15)之间添加浸水棉线的方式进行实现,浸水棉线的位置、长度、数量可根据具体需求调整;在故障模拟过程中,未被破坏的层可重复使用,提高模拟平台利用率,并可实现五类典型故障的模拟,即绝缘层划伤、绝缘层老化、悬浮电位、层间受潮故障,依次为:故障1、故障2、故障3、故障4。

[0057] 图2为高铁列车乙丙橡胶电缆终端故障测评方法的流程图,测评方法可以对乙丙橡胶电缆终端典型故障模拟器模拟得到的电缆终端进行测评,包括电缆终端故障模拟平台搭建及测量、波形参数的计算、测评分析三个步骤:

[0058] 步骤一:将待测评的乙丙橡胶电缆终端的屏蔽层通过铜制接地线接地,波形采集设备连接到脉冲耦合器,脉冲耦合器套装在铜制接地线上;对乙丙橡胶电缆终端施加25kV电压,每隔2分钟测试并绘制一个正弦周期内的放电波形曲线;经多次测试后,选取出现频率最多的放电脉冲振荡波形作为标准放电波形 $f(t)$ ;步骤二:计算波形参数,包括

[0059] 2.1确定标准放电波形 $f(t)$ 中波峰个数 $N$ ,根据波峰个数,在标准放电波形 $f(t)$ 中提取出该 $N$ 个波峰点的坐标,分别记为 $P_1、P_2、P_3\cdots\cdots P_N$ ;

[0060] 2.2确定标准放电波形曲线模型 $F(t)$ ,首先,根据 $N$ 个峰值点进行参数计算, $N$ 个峰值点的坐标表示为 $P_1(t_{p1}, I_{p1}), P_2(t_{p2}, I_{p2}), \cdots, P_N(t_{pN}, I_{pN})$ ,得到表征放电波形曲线 $F(t)$ 的阻尼振荡参数 $\alpha$ ,和表征放电波形曲线 $F(t)$ 的形状参数 $\beta$ 如下:

$$[0061] \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^N I_{p_i} = \frac{I_0 \cdot \beta}{\alpha + \beta} \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha + \beta}} \\ \sum_{i=1}^N \Delta t_{p_i} = \frac{\ln\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)}{\alpha + \beta} \end{cases}$$

[0062] 式中,  $\Delta t_{p_i} = \frac{t_{p_i} - t_{p_{i-1}}}{4}$ , 表示各峰值的上升时间;  $I_0$ 表示初始时刻放电波形的幅

值,即 $P_1$ 的纵坐标值,  $I_0 = I_{p1}$ ;其中,在对 $\alpha$ 和 $\beta$ 求解时,由于关系式中存在指数型与对数型关系,因此在确定该值时,利用MATLAB软件中符号代数方程组求解方式,并采取最小二乘法的原则,对 $\alpha$ 和 $\beta$ 值进行近似求解;

[0063] 然后,得到标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 为:

$$[0064] \quad F(t) = \frac{I_0}{e^{\alpha(t-t_0)} + e^{-\beta(t-t_0)}}$$

[0065] 式中,  $I_0$ 表示初始时刻放电波形的幅值,即 $P_1$ 的纵坐标值,  $I_0 = I_{p1}$ ;  $t_0$ 表示初始时刻,即 $P_1$ 的横坐标值,  $t_0 = t_{p1}$ ;  $\alpha$ 和 $\beta$ 分别为已求解的阻尼振荡参数与形状参数的近似值;

[0066] 2.3计算波形曲线偏移度判断因子 $A_x$ 的大小:

[0067] 首先,确定标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 的最大值点 $P_{\max}(t_{p\max}, I_{p\max})$ ,确定原则如下:当标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 在坐标 $P_i(t_i, I_i)$ 满足以下关系时,

$$[0068] \begin{cases} \frac{dF(t_{i-})}{dt} > 0 \\ \frac{dF(t_{i+})}{dt} < 0 \end{cases}$$

[0069] 则有,在式中,存在 $t_{p\max} = t_i, I_{p\max} = I_i$ ;

[0070] 然后,对上述拟合得出的标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 进行优化处理,

$$[0071] h^{\#}(t) = \frac{F(t)}{|I_{p\max}|}$$

[0072] 式中, $h^{\#}(t)$ 为优化后标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ ,表示取纵坐标 $I_{p\max}$ 的绝对值;

[0073] 利用优化后拟合式 $h^{\#}(t)$ 进行初始判断因子 $A_p$ 和 $A_t$ 的计算,以坐标 $P_{\max}(t_{p\max}, I_{p\max})$ 作为分界点,计算如下:

$$[0074] A_p = \int_0^{t_{p\max}} h^{\#}(t) dt$$

$$[0075] A_t = \int_{t_{p\max}}^{t_N} h^{\#}(t) dt$$

$$[0076] A_x = \frac{A_p}{A_t}$$

[0077] 式中, $A_p$ 和 $A_t$ 分别表征标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 在左侧和右侧的占据空间, $A_x$ 表征标准放电波形的曲线模型方程 $F(t)$ 的偏移方向;

[0078] 第三步:测评分析

[0079] 3.1比较曲线偏移度判断因子 $A_x$ 的大小,若 $A_x = 1.0$ 则待测评电缆终端正常,否则继续判定步骤3.2;

[0080] 3.2根据标准放电波形 $f(t)$ 的能量分布进行波形主要能量分布区域的判断,确定主频识别因子 $z_{fx}$ :

[0081] 对 $f(t)$ 进行傅里叶分解,获得对应的频域波形曲线如下:

$$[0082] F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{\frac{-j2\pi t}{f}} dt$$

[0083] 式中, $F(f)$ 为经傅里叶分解之后,所得到的频域范围内,标准放电波形的分布曲线, $f$ 为分解后的频率点, $j$ 为分解过程中的虚数单位,表示该运算为频域变换方式;在获得的频域波形曲线中,选取频率范围100kHz~20MHz内曲线,做频域范围内放电能量分布区域的分析,如下:

$$[0084] \quad zf_x = \frac{\int_{f_1}^{f_2} f \cdot F(f) df}{\int_{f_1}^{f_2} F(f) df}$$

[0085] 式中,  $f_1$ 为100kHz,  $f_2$ 为20MHz,  $zf_x$ 表示放电能量最为集中的频率点,即为主频识别因子;

[0086] 3.3判断主频识别因子 $zf_x$ 的大小:

[0087] 在 $A_x < 1.0$ 情况下,若 $zf_x \leq 5\text{MHz}$ ,则待测评电缆终端为绝缘层划伤缺陷故障,若 $zf_x > 5\text{MHz}$ ,则待测评电缆终端为绝缘层老化故障;

[0088] 在 $A_x > 1.0$ 情况下,若 $zf_x \leq 5\text{MHz}$ ,则待测评电缆终端为悬浮电位故障,若 $zf_x > 5\text{MHz}$ ,则待测评电缆终端为层间受潮故障。

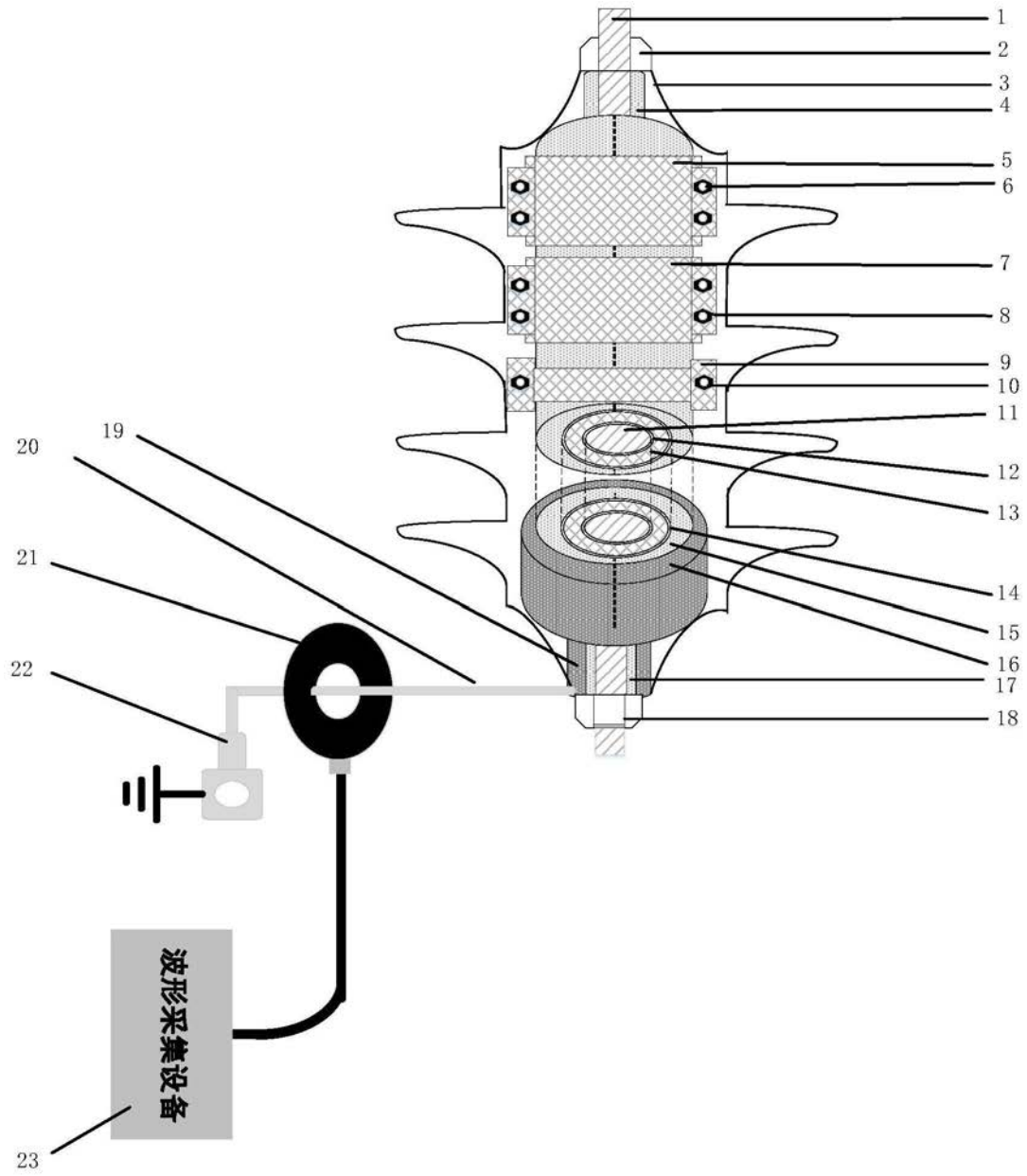


图1

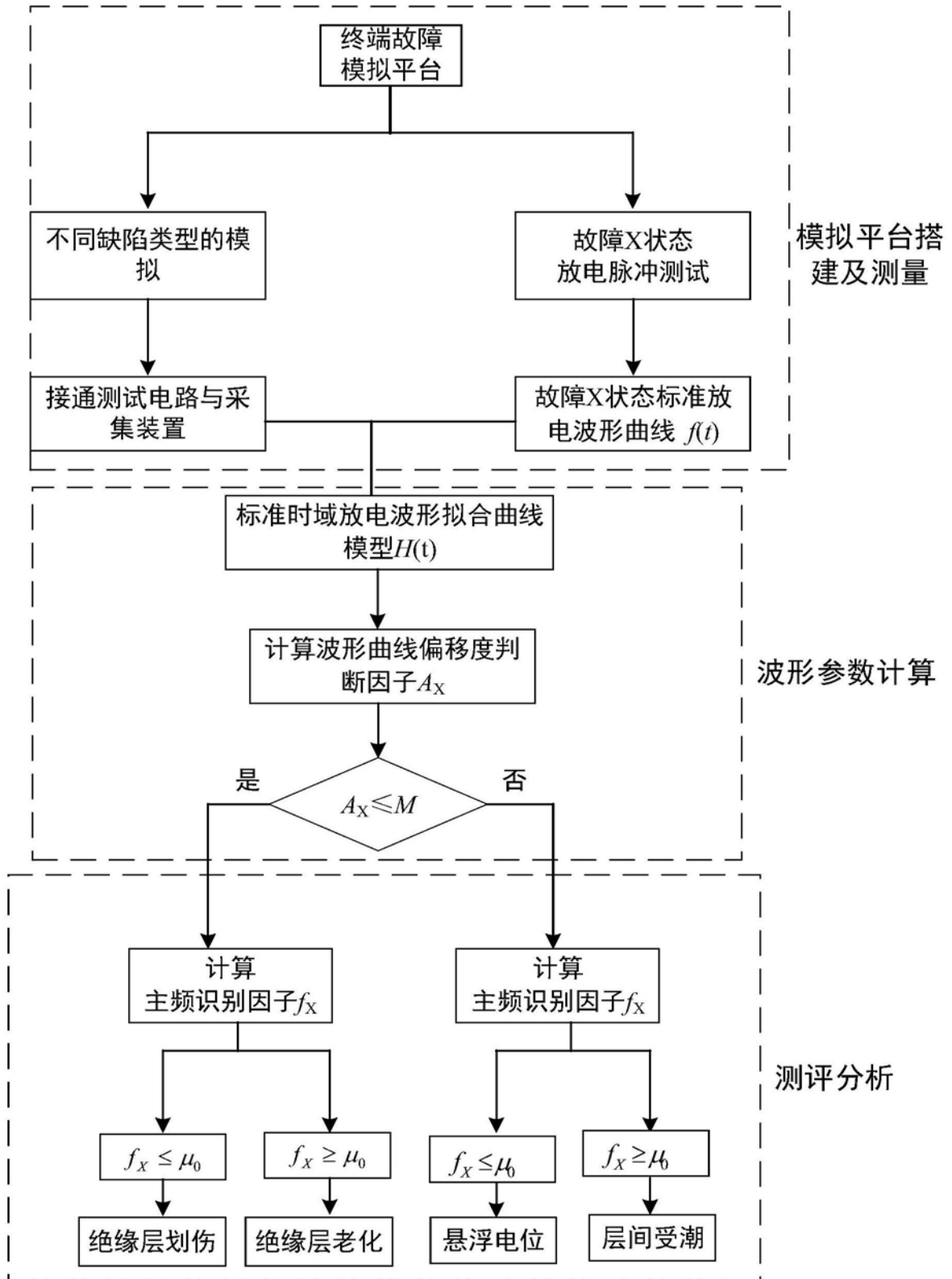


图2