

ICS 17.040.30

N 20

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

**DL/T 849.1 — 2019**

代替 DL/T 849.1 — 2004

## 电力设备专用测试仪器通用技术条件

### 第 1 部分：电缆故障闪测仪

General technical specification of special test instruments used for power equipments

— Part 1: Fault flashover test instrument for power cable

2019-11-04 发布

2020-05-01 实施

国家能源局 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 概述                           | 2  |
| 5 技术要求                         | 2  |
| 6 试验方法                         | 4  |
| 7 检验规则                         | 8  |
| 8 标识和随行文件                      | 9  |
| 9 包装、运输和贮存                     | 9  |
| 附录 A (资料性附录) 电缆故障模拟装置制作方法      | 10 |
| 附录 B (资料性附录) 电缆故障粗测常见的几种行波测试方法 | 12 |

## 前 言

DL/T 849《电力设备专用测试仪器通用技术条件》分为6个部分：

- 第1部分：电缆故障闪测仪；
- 第2部分：电缆故障定点仪；
- 第3部分：电线路径仪；
- 第4部分：超低频高压发生器；
- 第5部分：振荡波高压发生器；
- 第6部分：高压谐振试验装置。

本部分是DL/T 849的第1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本部分代替DL/T 849.1—2004《电力设备专用测试仪器通用技术条件 第1部分：电缆故障闪测仪》。与DL/T 849.1—2004相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改并增加了规范性引用文件，见第2章；
- 修改并增加了术语和定义，见第3章；
- 删除了“产品命名”，增加了概述，见第4章；
- 将第5章与第6章合并，重新修改排列，见第5章；
- 将“测量参数”修改为“测量性能”，对各指标参数进行了修改，见第5章；
- 增加了“主要试验设备”，修改了“试验方法”，见第6章；
- 修改了环境适应性要求和试验方法，增加了电磁兼容试验，见第6章。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国电力企业联合会提出。

本部分由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会高电压试验技术标准化分技术委员会（SAC/TC 163/SC 1）归口。

本部分起草单位：国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、国网上海市电力公司电力科学研究院、国网天津市电力公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、国网冀北电力有限公司电力科学研究院、国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、广州供电局有限公司电力试验研究院、威亨国际（杭州）电气制造有限公司、西安华谱电力设备制造有限公司、杭州柯林电气股份有限公司。

本部分主要起草人：龚金龙、胡文堂、王斯琪、李红雷、满玉岩、朱振华、李大卫、周恒逸、廖文龙、黄友聪、王一帆、杜钢、李文国、米建伟、谢炜。

本部分为首次修订，本部分所代替标准的历次版本发布情况为：DL/T 849.1—2004。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 电力设备专用测试仪器通用技术条件

## 第 1 部分：电缆故障闪测仪

### 1 范围

本部分规定了电缆故障闪测仪（简称闪测仪）的技术要求、试验方法、检验规则、标识、随行文件、包装、运输和贮存的要求。

本部分适用于闪测仪的生产和检验。

### 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 191 包装储运图示标志

GB/T 6587—2012 电子测量仪器通用规范

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

GB/T 18268.1 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第 1 部分：通用要求

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

#### 3.1

**粗测 rough measurement**

根据电缆及故障点的性质，初步确定电缆故障点的范围。

#### 3.2

**精测 precision measurement**

在故障粗测结果的基础上，精确测量与定位电缆故障点。

#### 3.3

**开路故障 open-circuit fault**

电缆有一芯或数芯导体开路或金属护层断裂的故障。

#### 3.4

**低阻故障 low-resistance fault**

电缆相间或相对地的绝缘受损，绝缘电阻小于 100  $\Omega$  的故障。

#### 3.5

**高阻故障 high-resistance fault**

电缆相间或相对地的绝缘受损，电缆相间或相对地的绝缘电阻不小于 100  $\Omega$  的故障。

3.6

**短路故障 short-circuit fault**

电缆相间或相对地直接短接，是低阻故障的特殊形式。

3.7

**低压脉冲法 low voltage pulse method**

在电缆一端注入低压脉冲信号，通过检测该入射信号和反射信号的时间差计算出故障距离的一种方法，又称雷达法。

3.8

**脉冲电流法 pulse current method**

向电缆施加直流高压使故障点击穿，通过接收并测量故障点放电产生的电流行波信号计算出故障距离的一种方法。

3.9

**脉冲电压法 pulse voltage method**

向电缆施加直流高压使故障点击穿，通过接收并测量故障点放电产生的电压行波信号计算出故障距离的一种方法。

3.10

**弧反射法 arc reflection method**

向电缆施加直流高压，使故障点出现弧光接地，在燃弧时和电弧熄灭后，分别注入低压脉冲信号，通过比较测试波形得出故障距离的一种方法，又称二次脉冲法或多次脉冲法。

3.11

**电缆故障模拟装置 cable fault simulation set**

依据实物电缆的分布参数，利用一系列电容、电感、电阻等电子元器件制作而成，具有模拟开路、低阻、高阻、短路等常见电缆故障的装置，其制作方法参见附录 A。

4 概述

闪测仪基于行波测距原理，主要用于电缆故障的粗测定位，由低压脉冲输出单元、脉冲采样单元及数据处理单元组成，一般具有低压脉冲法、脉冲电流法和弧反射法三种测量模式。

低压脉冲法测量模式下，闪测仪可实现对开路、低阻、短路故障距离的探测；脉冲电流法和弧反射法测量模式下，闪测仪借助直流高压电源，可实现对高阻故障距离的探测。

电缆故障粗测常见的几种行波测试方法参见附录 B。

5 技术要求

5.1 工作条件

5.1.1 环境条件

闪测仪的工作环境条件应满足：

——环境温度：(−25~+50)℃；

——环境相对湿度：不大于 90%。

在高寒、湿热地区或特殊气候条件下使用时，由用户与厂家协商。

5.1.2 供电电源

闪测仪的供电电源应满足以下要求：

- a) 采用工频电源供电的闪测仪，在如下供电电源条件下能正常工作：
- 1) 电源频率：50 Hz ( $1 \pm 1\%$ )；
  - 2) 电源电压：220 V ( $1 \pm 10\%$ )。
- b) 采用直流电源供电的闪测仪，电池应便于更换，持续工作时间不小于 4 h。

## 5.2 外观

闪测仪外观应满足以下要求：

- 外观完好，表面光洁平整，无凹、凸痕，无明显的变形和损伤；
- 各按键及开关操作灵活，无卡涩现象；
- 显示器显示清晰，无缺陷；
- 金属件外露表面具有良好的防腐蚀层；
- 产品端子标志正确、齐全，并符合图样要求；
- 仪器有明显的铜质接地端子；
- 外壳上安装金属质铭牌，铭牌至少包含产品名称、型号、编号、出厂日期、制造厂名、测量误差等信息。

## 5.3 电气安全要求

### 5.3.1 绝缘电阻

工频电源供电的闪测仪，电源输入端与外壳及地之间的绝缘电阻不应小于 20 M $\Omega$ 。

### 5.3.2 介电强度

工频电源供电的闪测仪，电源输入端与外壳及地之间施加 2 kV 工频电压，持续时间 1 min，无击穿和飞弧现象。

## 5.4 性能要求

### 5.4.1 基本功能

#### 5.4.1.1 测距

闪测仪应具备低压脉冲法、脉冲电流法和弧反射法的测距功能。

#### 5.4.1.2 测速

在已知电缆全长的条件下，闪测仪应具备测量该电缆电波传输速度的功能。

#### 5.4.1.3 存储

闪测仪应具备存储图像和数据功能，存储的历史波形数据不少于 100 条，并能进行选择回放，可设置并存储三种以上绝缘介质中的电波传输速度。

#### 5.4.1.4 显示

闪测仪应具备如下显示功能：

- a) 能清晰、完整地记录并显示原始测试波形，不应由于仪器设置原因造成测试波形的削除、变形、漏缺，并具备图像缩放功能；

- b) 具备光标功能, 针对具体的测试波形, 能通过光标实现故障距离的测算和数值同步显示;
- c) 由直流电源供电的闪测仪, 能实时显示电池电量状态。

#### 5.4.1.5 通信

闪测仪应具备 USB 数据通信接口, 外部存储设备可通过此接口实现波形数据的导出分析。

#### 5.4.1.6 打印

闪测仪宜具备波形数据打印功能。

#### 5.4.2 测量性能

##### 5.4.2.1 故障测试距离

闪测仪单端故障测试距离不应小于 20 km。

##### 5.4.2.2 测试盲区

闪测仪测试盲区不应大于 20 m。

##### 5.4.2.3 最大允许误差

故障距离测量最大允许误差不应超过  $\pm (0.5\% \times L + 1 \text{ m})$ , 其中:  $L$  为电缆故障点距离测试端的距离,  $L \geq 20 \text{ m}$ 。

##### 5.4.2.4 光标移动步长

距离测量光标最小移动步长不应大于最大允许误差的 1/5。

#### 5.5 环境适应性

闪测仪的环境影响因素包含温度、湿度、振动、冲击、包装运输和电源适应性六个方面, 试验结果应满足 GB/T 6587—2012 中 5.9.1.4、5.9.2.4、5.9.3.4、5.9.4.4、5.10.3、5.12.3 的要求。

#### 5.6 电磁兼容性

闪测仪的电磁兼容性能包括静电放电抗扰度、射频电磁场辐射抗扰度、电快速瞬变脉冲群抗扰度、浪涌(冲击)抗扰度、射频场感应的传导骚扰抗扰度、工频磁场抗扰度、电压暂降和短时中断抗扰度试验, 应满足 GB/T 18268.1 工业场所用设备的抗扰度试验的要求。

### 6 试验方法

#### 6.1 试验条件

除环境试验外, 闪测仪的试验条件还应满足以下要求:

- 环境温度:  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ;
- 环境相对湿度: 30%~80%;
- 电源频率: 50 Hz ( $1 \pm 1\%$ );
- 电源电压: 220 V ( $1 \pm 5\%$ );
- 电源电压波形畸变率: 不大于 5%。



## 6.2 主要试验设备

主要试验设备应分别满足表 1 的要求。

表 1 主要试验设备

| 序号 | 设备名称    | 性能要求                                                                                                       |
|----|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 数字示波器   | 采样频率不小于 $5 \times 10^8$ 次/s                                                                                |
| 2  | 函数信号发生器 | 具备连续脉冲方波输出功能, 极性正、负可选, 幅值不小于 10 V, 最小脉冲宽度不大于 10 ns, 频率调节范围不小于 5 MHz, 周期时间最大允许误差不超过 $\pm 0.005 \mu\text{s}$ |
| 3  | 电力电缆    | 电压等级 10 kV, 长度 20 m                                                                                        |
| 4  | 绝缘电阻测试仪 | 具有 500 V 电压测量挡, 准确度等级不低于 10 级                                                                              |
| 5  | 耐电压测试仪  | 最高输出电压不低于 2 kV, 准确度等级不低于 5 级                                                                               |

## 6.3 外观检查

目测和手感方法检查, 应满足本标准 5.2 的要求。

## 6.4 电气安全试验

### 6.4.1 绝缘电阻试验

闪测仪处于非工作状态, 电源开关置于接通位置, 用绝缘电阻表 500 V 电压挡测量闪测仪电源输入端对机壳及地的绝缘电阻, 结果应满足本部分 5.3.1 的要求。

### 6.4.2 介电强度试验

闪测仪处于非工作状态, 电源开关置于接通位置, 在闪测仪电源输入端对机壳及地施加 2 kV 工频电压, 保持 1 min, 然后平稳降至零, 结果应满足本部分 5.3.2 的要求。

## 6.5 性能试验

### 6.5.1 基本功能检查

在闪测仪开机工作状态下, 逐项检查各项功能, 结果应满足本部分 5.4.1.1~5.4.1.6 的要求。

### 6.5.2 测量性能试验

#### 6.5.2.1 故障测试距离

采用电缆故障模拟装置开展试验, 原理如图 1 所示。在模拟装置模拟故障点 20 km 处, 分别设置开路和短路故障, 用闪测仪低压脉冲法进行测试, 闪测仪应能正确记录波形并进行故障距离的测量显示。试验结果应满足本部分 5.4.2.1 的要求。

#### 6.5.2.2 测试盲区试验

测试盲区试验可采用实物电缆、函数信号发生器、电缆故障模拟装置三种方式。

利用实物电缆进行测试盲区试验原理如图 2 所示。准备 20 m 长实物电缆一根, 分别在其终端设置短路和开路故障, 用闪测仪低压脉冲法进行测试, 闪测仪应能正确记录波形并进行故障距离的测量显示。



示。试验结果应满足本部分 5.4.2.2 的要求。

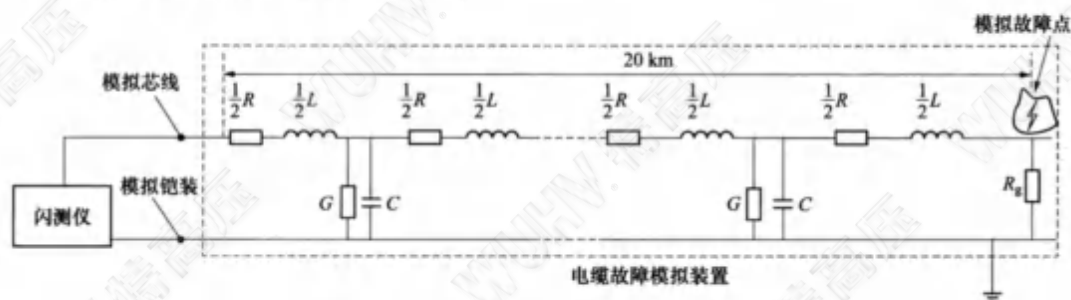


图1 故障测试距离试验原理图

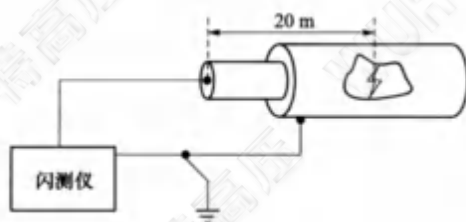


图2 采用实物电缆进行测试盲区试验原理图

利用函数信号发生器进行测试盲区试验原理如图3所示。试验方法如下：

- 将闪测仪置于脉冲电流法测量模式；
- 按照模拟电缆故障测量点 20 m，结合设定的电波传输速度  $v$ ，按式（1）计算并设置函数信号发生器脉冲周期  $T$ ，输出一定幅值的连续脉冲信号于闪测仪，试验结果应满足本部分 5.4.2.2 要求。

$$T = L_s \cdot 2/v \quad (1)$$

式中：

$T$  ——函数信号发生器周期设置值；

$L_s$  ——模拟故障测量点距离；

$v$  ——电波传输速度。

改变输出脉冲的极性，重复上述步骤，闪测仪也应满足要求。

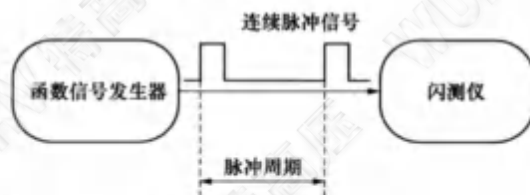


图3 利用函数信号发生器进行测试盲区试验原理图

利用电缆故障模拟装置进行测试盲区试验原理如图4所示。在模拟装置模拟故障点 20 m 处，分别设置开路故障和短路故障，用闪测仪低压脉冲法进行测试。试验结果应满足本部分 5.4.2.2 要求。

### 6.5.2.3 最大允许误差试验

试验原理如图3所示。

闪测仪置于脉冲电流法测量模式，在闪测仪标称的最大故障探测距离  $L_{\max}$  范围内，设置 20 m、 $10\%L_{\max}$ 、 $50\%L_{\max}$ 、 $100\%L_{\max}$  四个模拟故障测量点，结合设定的介质传输速度  $v$ ，按式（1）计算并设

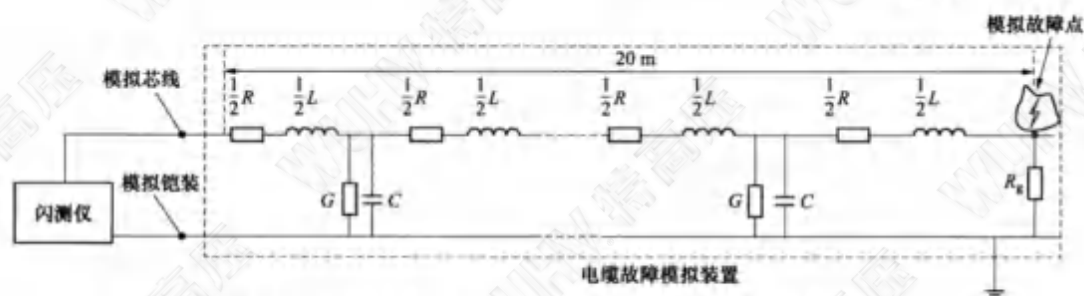


图4 利用电缆故障模拟装置进行测试盲区试验原理图

置函数信号发生器脉冲周期  $T$ ，输出一定幅值的连续脉冲信号于闪测仪，闪测仪应能正确记录波形并进行故障距离测量显示，误差按式（2）计算。改变输出脉冲的极性，重复上述步骤，试验结果均应满足本部分 5.4.2.3 要求。

$$\Delta L = L_x - L_s \quad (2)$$

式中：

$\Delta L$ ——闪测仪距离测量示值误差；

$L_x$ ——闪测仪距离测量显示值；

$L_s$ ——模拟故障测量点距离。

#### 6.5.2.4 光标移动步长试验

试验原理如图3所示。

闪测仪置于脉冲电流法工作模式，依据闪测仪标称的最大故障探测距离  $L_{\max}$ ，在  $20\text{ m}$ 、 $10\%L_{\max}$ 、 $50\%L_{\max}$ 、 $100\%L_{\max}$  四个模拟故障测量点，结合设定的介质传输速度  $v$ ，按式（1）计算并设置函数信号发生器脉冲周期  $T$ ，输出一定幅值的连续脉冲信号于闪测仪，闪测仪应能正确记录波形并进行故障距离测量显示。将测试波形放大至最大状态，此时光标的最小移动步长应满足本部分 5.4.2.4 要求。

### 6.6 环境适应性试验

闪测仪的环境适应性试验按以下方法进行，结果应满足本部分 5.5 的要求：

- 温度试验按 GB/T 6587—2012 中 5.9.1.3 规定的试验方法进行；
- 湿度试验按 GB/T 6587—2012 中 5.9.2.3 规定的试验方法进行；
- 振动试验按 GB/T 6587—2012 中 5.9.3.3 规定的试验方法进行；
- 冲击试验按 GB/T 6587—2012 中 5.9.4.3 规定的试验方法进行；
- 包装运输试验按 GB/T 6587—2012 中 5.10.2 规定的试验方法进行；
- 电源适应性试验按 GB/T 6587—2012 中 5.12.2 规定的试验方法进行。

### 6.7 电磁兼容试验

#### 6.7.1 静电放电抗扰度试验

闪测仪按 GB/T 17626.2 的规定和方法进行；试验等级：2 级；试验对象：闪测仪外壳；试验结果应满足本部分 5.6 的要求。

#### 6.7.2 射频电磁场辐射抗扰度试验

闪测仪按 GB/T 17626.3 的规定和方法进行；试验等级：2 级；试验对象：整台闪测仪；试验结果应满足本部分 5.6 的要求。

#### 6.7.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

对采用工频电源供电的闪测仪按 GB/T 17626.4 的规定和方法进行；试验等级：2 级；试验对象：

整台闪测仪；试验结果应满足本部分 5.6 的要求。

#### 6.7.4 浪涌（冲击）抗扰度试验

对采用工频电源供电的闪测仪按 GB/T 17626.5 的规定和方法进行；试验等级：2 级；试验对象：闪测仪的交流电源端口；试验结果应满足本部分 5.6 的要求。

#### 6.7.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验

闪测仪按 GB/T 17626.6 的规定和方法进行；试验等级：2 级；试验对象：整台闪测仪；试验结果应满足本部分 5.6 的要求。

#### 6.7.6 工频磁场抗扰度试验

闪测仪按 GB/T 17626.8 的规定和方法进行；试验等级：4 级；试验对象：整台闪测仪；试验结果应满足本部分 5.6 的要求。

#### 6.7.7 电压暂降和短时中断抗扰度试验短时中断

对采用工频电源供电的闪测仪按 GB/T 17626.11 的规定和方法进行；电压暂降依次进行：0%额定电压  $U_N$ ，持续时间 0.5 个周期；0%额定电压  $U_N$ ，持续时间 1 个周期；70%额定电压  $U_N$ ，持续时间 25 个周期；短时中断：0%额定电压  $U_N$ ，持续时间 25 个周期；试验对象：闪测仪的交流电源端口；试验结果应满足本部分 5.6 的要求。

### 7 检验规则

#### 7.1 一般要求

闪测仪的检验分为型式试验和出厂试验，试验项目见表 2。

表 2 试验项目

| 序号                        | 试验项目    | 本部分条款 |      | 型式试验 | 出厂试验 |
|---------------------------|---------|-------|------|------|------|
|                           |         | 技术要求  | 检测方法 |      |      |
| 1                         | 外观检查    | 5.2   | 6.3  | ●    | ●    |
| 2                         | 电气安全试验  | 5.3   | 6.4  | ●    | ●    |
| 3                         | 性能试验    | 5.4   | 6.5  | ●    | ●    |
| 4                         | 环境适应性试验 | 5.5   | 6.6  | ●    | ○    |
| 5                         | 电磁兼容试验  | 5.6   | 6.7  | ●    | ○    |
| 注：“●”为必须做试验项目，“○”为不做试验项目。 |         |       |      |      |      |

#### 7.2 型式试验

下列情况之一的，闪测仪应进行型式试验：

- 新产品鉴定投产前；
- 在生产中当设计、材料、工艺或结构等改变，且其改变可能影响产品的性能时，亦应进行型式试验，此时的型式试验可以只进行与各项改变有关的试验项目；
- 国家质量监督机构要求进行质量一致性检验时。

### 7.3 出厂试验

由制造厂对生产的每一台产品进行的检验。

## 8 标识和随行文件

### 8.1 标识

闪测仪铭牌应标识以下信息：

- 产品名称；
- 产品型号；
- 出厂编号；
- 出厂年月；
- 制造厂名；
- 测量误差。

### 8.2 随行文件

闪测仪应提供随行文件，主要包括：

- 产品检验合格证；
- 产品说明书；
- 装箱单；
- 随机备附件清单；
- 试验报告；
- 搬运说明；
- 其他有关资料。

## 9 包装、运输和贮存

### 9.1 包装

闪测仪的包装应满足 GB/T 191 的有关标志的规定，并标明“小心轻放”“向上”“防雨”等标志。

### 9.2 运输

闪测仪应适于陆运、空运、水运（海运），运输装卸按包装箱上的标志进行操作。

### 9.3 贮存

包装完好的闪测仪应满足 GB/T 191 中的条款规定的贮存运输要求，长期不用的装置/测试仪应保留原包装，在相对湿度不大于 80% 的库房内贮存，室内无酸、碱、盐，无腐蚀性或爆炸性气体和灰尘，以及不受雨、雪的侵害。

## 附录 A

(资料性附录)

## 电缆故障模拟装置制作方法

电力电缆是传输线的一种，其在电气模型上可看成由许许多多的电阻、电导、电容与电感等元件连接而成，这些元件称为电缆的分布参数。一小段电缆的等效电路（T 型电路）如图 A.1 所示。

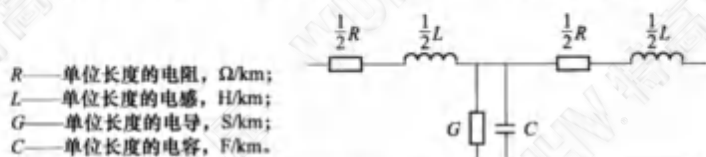


图 A.1 一小段电缆的等效电路

图 A.1 中，电导可忽略，其余分布参数可查阅电缆制造厂提供的电气参数资料，得到特定规格电缆每千米长度上的电阻、电感及电容。为实现对长距离电缆结构的模拟，可首先搭建上述单元电路，而后进行多个串接。电缆高阻、低阻、短路故障设置可参照示意图 A.2。

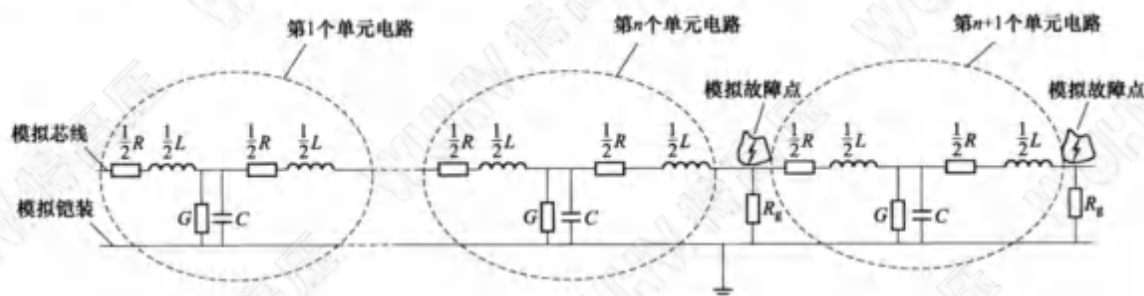


图 A.2 模拟高阻、低阻、短路故障设置示意图

故障设置在单元电路的连接处，在模拟芯线与模拟铠装间架设一电阻元件（对于高阻故障，阻值  $R_g \geq 100 \Omega$ ；低阻和短路故障，阻值  $R_g < 100 \Omega$  或直接短接）。

断线故障设置可参照示意图 A.3，在单元电路连接的某处直接断开。

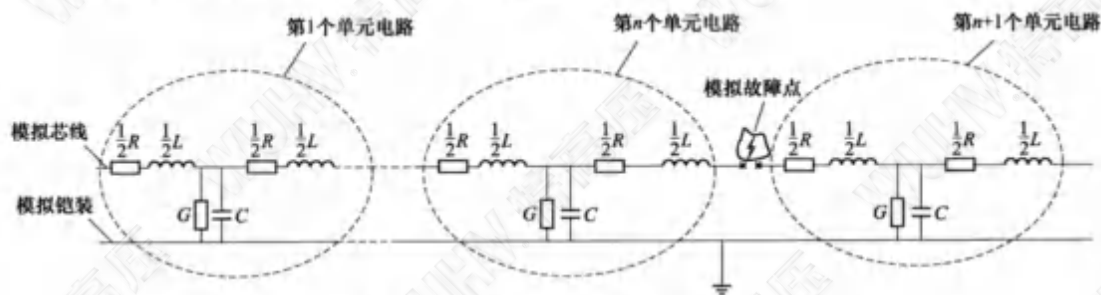


图 A.3 模拟断线故障设置示意图

电缆故障模拟装置制作完成后，需利用闪测仪、示波器对其全长、各故障点精确距离进行标定。

试验接线如图 A.4 所示。标定时，将闪测仪置于低压脉冲法测量模式，示波器对其入、反射波形进行采集，而后结合设定的电波传播速度，计算出模拟装置上述参数。

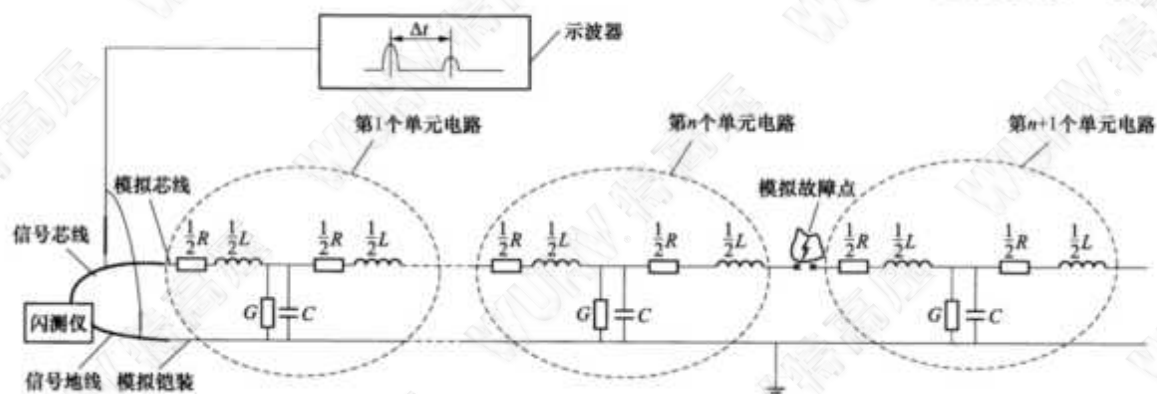


图 A.4 模拟电缆全长及模拟故障点距离测试示意图

## 附录 B

(资料性附录)

## 电缆故障粗测常见的几种行波测试方法

## B.1 概述

电缆故障的探测工作分粗测和精测两个步骤，闪测仪主要用于电缆故障的粗测，而精测则借助于电缆路径仪和电缆故障定点仪。电缆故障粗测常见的几种行波测试方法有低压脉冲法、脉冲电压法、脉冲电流法、弧反射法。低压脉冲法用于测量电缆的低阻、短路与开路故障，后三种方法则主要用于测量电缆的高阻故障。

## B.2 低压脉冲法

测试时，仪器向待测电缆注入一低压脉冲，该脉冲沿电缆传播至阻抗不匹配点，如短路点、开路点、中间接头、电缆破损处等，脉冲将产生反射。通过采集入射脉冲和反射脉冲的波形，计算两者间的传输时间差，同时结合脉冲在待测电缆中的传输波速度，按式 (B.1) 可得出故障点与测试端的距离。

$$L = v \cdot \Delta t / 2 \quad (\text{B.1})$$

式中：

$L$  ——故障点与测试端的距离；

$v$  ——脉冲传输波速度；

$\Delta t$  ——入射脉冲与反射脉冲的传输时间差。

通过识别反射脉冲的极性，可以判定故障的性质。低阻、短路故障的反射脉冲与入射脉冲极性相反，而开路故障反射脉冲与入射脉冲极性相同，图 B.1 为典型低阻、短路故障测试原理图，图 B.2 为典型开路故障测试原理图。

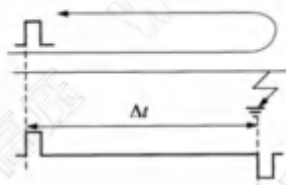


图 B.1 低阻、短路故障测试原理图

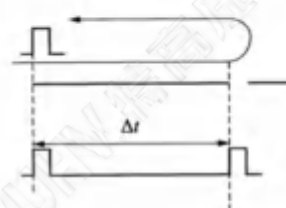


图 B.2 开路故障测试原理图

由公式 (B.1) 可知，在电缆中的脉冲传输波速度对准确地计算故障距离很关键。在不清楚电缆的脉冲传输波速度的情况下，可依据电缆全长及入射脉冲与反射脉冲的传输时间差，按公式 (B.2) 计算得到脉冲传输波速度  $v$ 。



$$v = 2 \cdot L / \Delta t \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

- $v$  —— 脉冲传输波速度；
- $L$  —— 已知电缆的全长；
- $\Delta t$  —— 入射脉冲与反射脉冲的传输时间差。

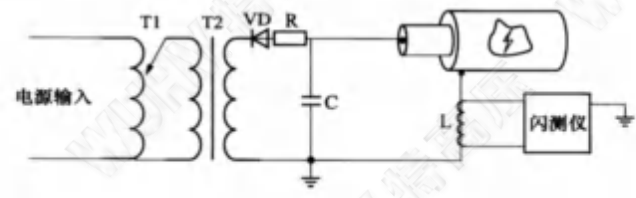
### B.3 脉冲电压法

通过直流高压源向故障电缆施加直流高压，使故障点击穿放电，故障点击穿放电后产生一电压行波信号，该信号在测量端和故障点之间往返传播，在直流高压源的高压端，通过仪器接收并测量出该电压行波信号往返一次的时间差，从而计算出故障距离的一种方法。该方法由于仪器侧与高压电源部分有直接电气连接，存在安全隐患，目前已逐步淘汰。

### B.4 脉冲电流法

该方法分直流高压闪络测试法和冲击高压闪络测试法两种，分别简称为直闪法和冲闪法。

直闪法测试原理图如图 B.3 所示。测试时，调节调压器使储能电容器电压持续升高至一定数值，此时故障点击穿放电，闪测仪通过电流耦合器采集电缆故障击穿时产生的电流行波信号进行故障距离的测量。



说明：

- T1 —— 调压器；
- T2 —— 高压试验变压器；
- VD —— 整流二极管；
- R —— 限流电阻；
- C —— 储能电容器；
- L —— 电流耦合器。

图 B.3 直闪法测试原理图

直闪法脉冲电流行波网格图如图 B.4 所示。假定行波信号从测量端流向电缆故障点为正方向，待测电缆波阻抗为  $Z_0$ 。时间  $t=0$  时，电缆故障点在外加电压  $-U$  作用下击穿形成短路电弧，故障点电压

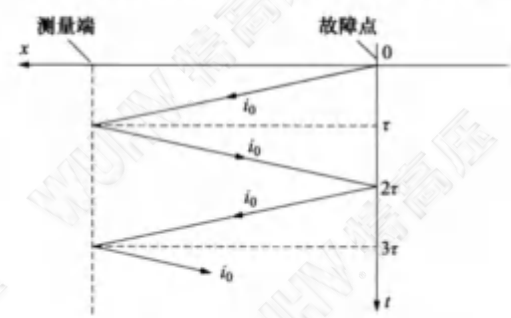


图 B.4 直闪法电流行波网格图

突跳为零,此时故障点处产生一个与 $-U$ 相反的正突跳电压 $U$ ,由于突跳电压 $U$ 产生的电流行波是从故障点流向测量端,故其对应的电流 $i_0=-U/Z_0$ ;  $t=\tau$ 时,电流行波 $i_0$ 到达测量端,而储能电容器 $C$ 对高频电流行波信号呈短路状态,电流在测量端被全反射;  $t=2\tau$ 时,电流行波 $i_0$ 又重新到达故障点,此时故障点被电弧短路,电流又被全反射回测量端;  $t=3\tau$ 时,到达测量端并产生第二次反射。如此反复,直至整个瞬态过程结束。

由于测量端的电流是所有电流行波的和,在不考虑能量衰减的前提下,将图 B.4 时间轴上的电流行波逐点相加,可得到图 B.5 所示的幅值图形。

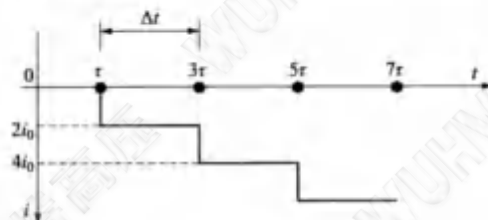


图 B.5 测量端电流幅值图

测量端电流初始值为  $2i_0$ ,即电流入射波 $i_0$ 到达测量端后,产生电流加倍,而电流耦合器的输出则只反映电流的突变成分,其波形如图 B.6 所示。

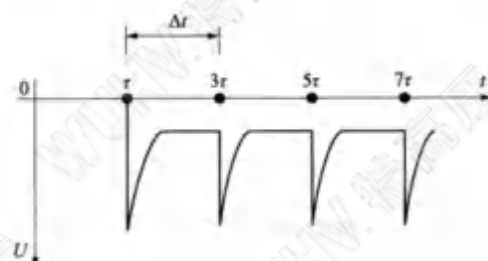


图 B.6 电流耦合器输出波形

由图 B.6 可见,  $t_1=\tau$  与  $t_2=3\tau$  时分别出现两个负脉冲,第一个负脉冲是故障点放电电流到达测量端引起;第二个负脉冲则是电流行波在故障点反射回到测量端引起。后续脉冲则是电流行波在故障点与测量端来回反射造成。图上任意相邻两个负脉冲间的时间差  $\Delta t$  即电流行波在故障点与测量端之间往返一次所需的时间,因而其故障距离计算公式为:

$$L=v \cdot \Delta t/2 \quad (\text{B.3})$$

式中:

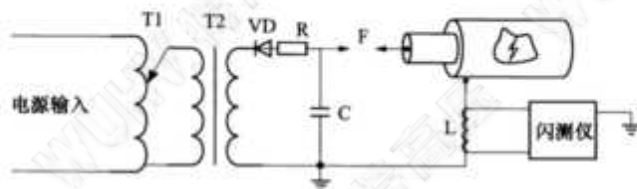
$L$  ——故障点与测量端的距离;

$v$  ——脉冲传输波速度;

$\Delta t$  ——放电电流往返测量端与故障点的时间差。

冲闪法测试原理图如图 B.7 所示,与直闪法接线基本相同,不同在于储能电容器与待测电缆之间串接有一放电间隙。测量时,通过调节调压升压器对储能电容器充电,当电容器电压足够高时,球形间隙击穿,从而瞬间将直流高压施加于待测电缆。

冲闪法脉冲电流行波网格图如图 B.8 所示。假定行波信号从测量点流向电缆故障点为正方向,待测电缆波阻抗为  $Z_0$ 。球形间隙击穿后,电压行波 $-U$ 沿电缆向故障点运动,相应的电流行波 $i_0=-U/Z_0$ 。经时间 $\tau$ 后到达故障点,经放电延时 $t_d$ 后,故障点开始击穿放电。故障点电压从 $-U$ 突跳为零,产生如直闪法类似的行波过程,相应的测量端电流幅值图与线性耦合器输出波形分别见图 B.9 与图 B.10。



说明:

- T1 —— 调压器;
- T2 —— 高压试验变压器;
- VD —— 整流二极管;
- R —— 限流电阻;
- C —— 储能电容器;
- L —— 电流耦合器。

图 B.7 冲闪法测试原理图

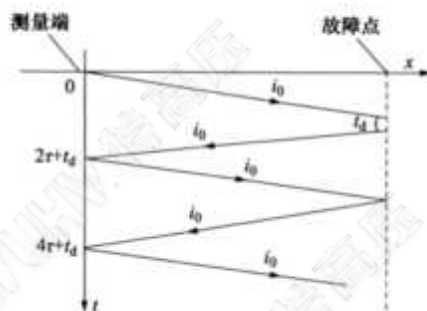


图 B.8 冲闪法电流行波网格图

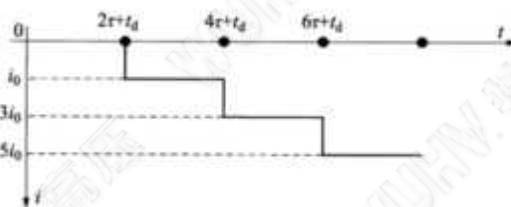


图 B.9 测量端电流幅值图

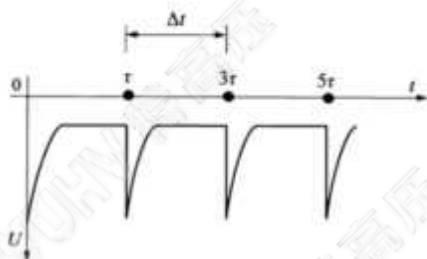


图 B.10 电流耦合器输出波形

图 B.10 中, 线性电流耦合器输出波形的第一个脉冲是球间隙击穿时储能电容器对待测电缆放电引起; 第二个脉冲则是由故障点放电电流行波在测量端全反射叠加引起, 幅值是故障点放电电流幅值的两倍。后续脉冲则是电流行波在故障点与测量端来回反射造成。图上任意相邻两个负脉冲之间的时间

差  $\Delta t$  即电流行波在故障点与测量端之间往返一次所需的时间，可用公式 (B.3) 来计算故障点与测量端的距离。

### B.5 弧反射法

在电缆故障测试中，故障点被高压脉冲击穿时，一般都会产生电弧。由于电弧的电阻很小，因此可认为在电弧存在期间，故障性质转变为低阻甚至短路状态。弧反射法的工作原理等同于低压脉冲比较法。

弧反射法原理如图 B.11 所示。测试时先用闪测仪向电缆发射一低压脉冲信号。对低压脉冲而言，电缆高阻故障呈现为无故障波形；再用高压信号发生器来击穿故障点，在起弧期间，闪测仪发射一低压脉冲信号。由于此时的故障性质实际上转变成了短路故障，因此可得到同低压脉冲法测短路故障相同的波形。具体而言，即用高压信号发生器使电缆的高阻故障击穿放电，在高压电弧产生的同时，用延弧装置向待测电缆中注入一持续较大的能量来延长电弧维持的时间。在电弧持续时，通过滤波器向电缆发射一低压脉冲信号，记录下此时入射脉冲与反射脉冲波形，此波形可称为带电弧脉冲反射波形。由于电弧电阻很小，可认为是短路故障，因而记录下的带电弧脉冲反射波形极性与入射脉冲波形极性相反。

将上述两波形同时显示在仪器屏幕上，在故障点处将出现明显差异点，该差异点即为故障点，因而可以很容易地判断出故障点的位置，如图 B.12 所示。

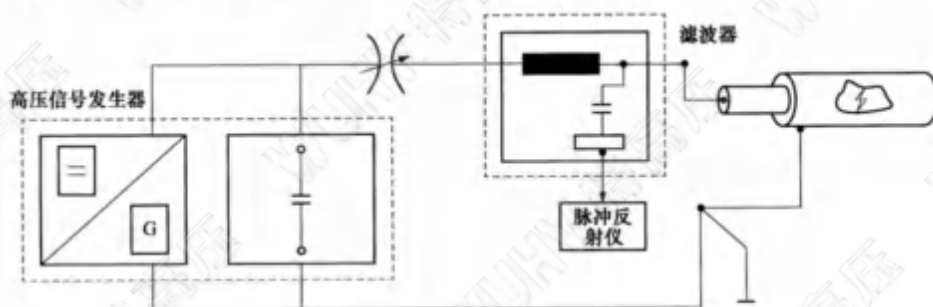


图 B.11 弧反射法原理图

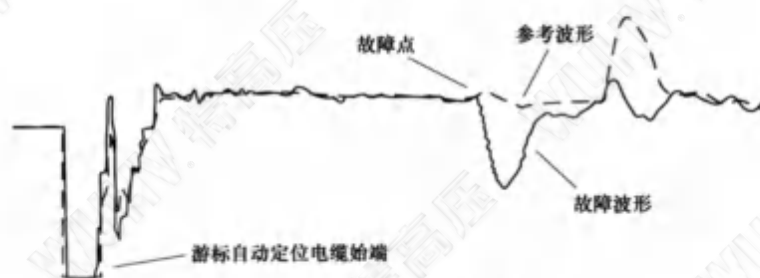


图 B.12 弧反射法故障波形