

目 录

第一章 概述.....	1
一、用途.....	1
二、功能特点.....	2
三、技术指标.....	3
四、基本测试步骤.....	4
第二章 仪器组成和简介.....	5
一、3M2273 电力电缆故障综合测试仪.....	5
二、3M2273-500 电缆路径探测信号发生器.....	9
第三章 低压脉冲法测距.....	11
一、适用范围.....	11
二、工作原理.....	11
三、测试步骤.....	12
第四章 脉冲电流法测距.....	17
一、适用范围.....	17
二、工作原理.....	17
三、测试步骤.....	19
第五章 声磁同步定点.....	23
一、工作原理.....	23
二、高压发生器的接线方法.....	24
三、定点步骤.....	25
第六章 路径探测.....	29
一、工作原理.....	29
二、信号发生器的接线和使用方法.....	29
三、路径探测步骤.....	31
第七章 仪器维护.....	35
一、充电.....	35

3M2273 低压电缆故障测试仪、低压电缆故障分析仪、通信型电缆故障测试仪、高压电缆故障测试仪、电力电缆故障测试仪、电缆故障仪、电缆故障查找定位仪、电缆故障定位仪

第一章 概述

一、用途

3M2273 系列电力电缆故障综合测试仪，用于电力电缆的故障测试，是一套集成化设备，包括两台仪器及相关附件：

1. 3M2273 电力电缆故障综合测试仪（以下简称主机）

主机有以下功能：

- ③ 低压脉冲测距
- ③ 脉冲电流测距
- ③ 声磁同步定点
- ③ 路径探测



2. 3M2273-500 电缆路径探测信号发生器（以下简称信号发生器）

信号发生器用于路径探测的信号发射。



3M2273 系列综合测试仪相对于传统的分体设备，其设备件数、体积、重量均大幅缩减，且功能强大、简单易用、小巧便携，是传统设备的换代产品。

二、功能特点

1. 功能全面：
 - ③ 低压脉冲故障测距
 - ③ 脉冲电流故障测距
 - ③ 声磁同步精确定点
 - ③ 电缆路径探测
2. 故障测距功能：
 - ③ 低压脉冲法：适用于低阻、短路、断线故障的精确测距。
 - ③ 脉冲电流法：适用于高阻、闪络型故障的测距，使用电流耦合器从地线上采集信号，与高压部分隔离，安全可靠。
3. 精确定点功能：
 - ③ 声磁同步接收，抗干扰能力强。
 - ③ 声磁信号波形显示，信号和噪声易于区分。
 - ③ 光标测量声磁延时，精确判断故障点的远近。
 - ③ 可根据磁场波形的初始极性，在定点的同时进行路径探测。
4. 路径探测功能：
 - ③ 信号发生器：
 - ★ 大容量锂离子电池供电，摆脱市电束缚。
 - ★ 全自动功率匹配和保护，无需人工调整。
 - ★ 较大功率输出。
 - ③ 音峰 / 音谷法路径探测。
 - ③ 信号幅值显示。
 - ③ 可进行 80%法或 45°法测深。
5. 大屏幕液晶显示，界面友好、简单易用。
6. SD 卡存储测试波形，存储容量大，可导入计算机进行存档、分析和打印。
7. 内置大容量锂离子电池供电，配快速充电器。
8. 电源管理：根据不同功能开启不同的电源通路，尽量减小功耗；若 15 分钟没有任何操作，仪器将自动关机；电池欠压时也将自动关机，以保护电池。

9. 集成化设备，小巧便携。

三、技术指标 (M 为主机，T 为信号发生器，M&T 为共同特性)

1. 测距功能 (M)：
 - (1) 测距模式：低压脉冲、脉冲电流。
 - (2) 采样频率：100MHz。
 - (3) 分辨率：低压脉冲模式 1m；脉冲电流模式 4m。
 - (4) 低压脉冲模式发射电压：30V。
 - (5) 测距范围：30km。
 - (6) 盲区：2m。
2. 声磁同步定点功能 (M)：
 - (1) 声音信号通频带：中心频率 400Hz，带宽 200Hz。
 - (2) 信号增益：80dB。
 - (3) 定点精度：0.1m。
3. 路径探测功能 (M)：
 - (1) 接收频率：1kHz。
 - (2) 增益：80dB。
4. 路径探测信号发生器 (T)：
 - (1) 发射频率：1kHz。
 - (2) 发射功率： $\geq 3.5W$ 。
 - (3) 输出特性：开路电压 $\geq 100V_{p-p}$ ；短路电流 $\geq 300mA$ ；
根据实际负载全自动匹配；自动短路保护。
5. 电源：
 - (1) 电池 (M&T)：内置锂离子电池组，标称电压 7.4V，容量 3000mAh。
 - (2) 功耗：主机 (M) 400mA，可连续使用时间 >6 小时；
信号发生器 (T) 500mA。可连续使用时间 >5 小时；
 - (3) 充电器 (M&T)：输入 AC220V $\pm 10\%$ ，50Hz；标称输出 8.4V，DC1A。
 - (4) 充电时间 (M&T)： <4 小时。
6. 显示方式：主机 (M) 320 \times 240 点阵大屏幕液晶；信号发生器 (T)：表头。
7. 体积 (M&T)：210mm \times 160mm \times 65mm。

8. 质量：主机（M）0.7kg；信号发生器（T）0.7kg。
9. 使用条件（M&T）：温度：-10℃—40℃，湿度 5-90%RH，海拔<4500m。

四、基本测试步骤

1、一般步骤：

- (1) 故障性质诊断
- (2) 故障测距
- (3) 路径探测
- (4) 精确定点

2、故障性质的诊断和测试方法的选择。

在电缆发生故障后，须首先判断电缆的故障性质。

首先用兆欧表在电缆的一端测量各相对地及相间的绝缘电阻。如果兆欧表的测量值为零，则可能还有零到上百 kΩ 的电阻，故还用用万用表测量电阻值；如各相对地及相间绝缘电阻很高，绝缘正常，则应测试导体是否断线：在电缆的一端将三相短接并对地短路，在另一端重复测量，判断是否断线。

明确故障性质后，需选择不同的测距和定点方法，见下表：

表 1-4-2: 故障性质和测试方法选择表

	故障性质	故障表现形式	测距方法	定点方法
1	低阻	兆欧表测量：0 万用表测量：< 200Ω	低压脉冲	音频法（备选）
				声磁同步
2	断线	导体不连续	脉冲电流	声磁同步
3	高阻	兆欧表测量：> 0 或： 兆欧表测量：0 万用表测量：≥ 200Ω		
4	闪络	兆欧表测量：绝缘正常 耐压试验：不通过		

备注：（1）表中阴影部分表示：脉冲电流测距和声磁同步定点需要配套使用高

压冲击信号发生器（该高压发生器不包含在本套设备中，需另配）。

（2）音频法定点低阻故障为备选方案，声磁同步不成功时选用，需配套使用路径探测信号发生器。

第二章 仪器组成和简介

本综合测试仪包括两台仪器及相关附件：

1.3M2273 电力电缆故障综合测试仪（简称主机）

主机有以下功能，并根据不同功能使用相应附件：

- ③ 低压脉冲测距，附件：低压脉冲测试线
- ③ 脉冲电流测距，附件：脉冲电流耦合器
- ③ 声磁同步定点，附件：定点传感器、耳机
- ③ 路径探测，附件：路径传感器、耳机

2. 3M2273-500 电缆路径探测信号发生器（简称信号发生器）

信号发生器用于路径探测的信号发射，附件：输出连接线、接地钎。

3. 通用附件：充电器。

一、3M2273 电力电缆故障综合测试仪（M：主机）

主机外观结构如图 2-1-1 所示：



图 2-1-1 主机外观和接口

主机面板如图 2-1-2 所示:

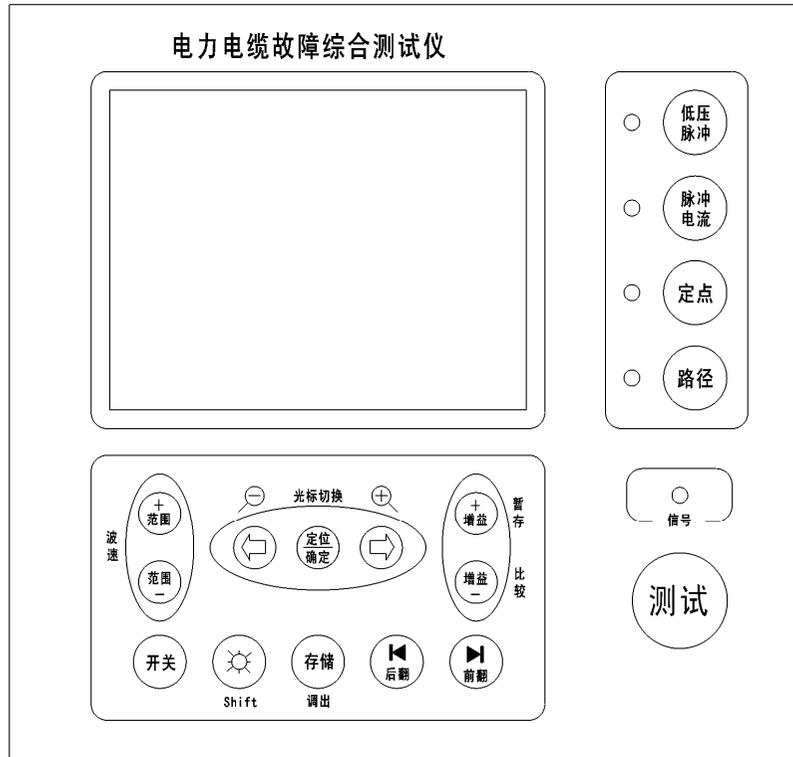


图 2-1-2 主机面板

主机面板上有以下内容:

1. 液晶屏幕:

显示各种信息, 显示的内容在以后章节中有详细介绍。

2. 模式选择键及相应指示灯:

面板右上角区域的按键用来选择仪器测试模式, 选中后按键旁边的指示灯亮。

- (1) **低压脉冲** 键: 进入低压脉冲测距模式 (开机默认)。

- (2) **脉冲电流** 键: 进入脉冲电流测距模式。

- (3) **定点** 键: 进入声磁同步精确定点模式。

- (4) **路径** 键: 进入路径探测接收模式。

3. 测试键和信号指示灯 (面板右下角区域):

- (1) **测试** 键: 低压脉冲模式: 按一下进行一次测试;
脉冲电流模式: 按一下进入等待触发状态;
定点、路径模式: 无效。

- (2) **信号** 指示灯: 低压脉冲模式: 进行测试时闪亮一次;
脉冲电流模式: 触发时闪亮一次;
定点模式: 磁场触发时闪亮一次;
路径模式: 无效。

4. 测距模式 (低压脉冲/脉冲电流) 相关按键的基本功能:

面板左下角区域的按键基本是为了测距功能服务。按键上直接标注的功能为其基本功能定义, 直接按键即执行基本功能:

- (1) **范围** +/- 键: 用来改变当前测试范围 (量程)。

- (2) **←** 和 **→** 键: 用来移动光标。

- (3) **定位/确定** 键: 定位功能: 自动移动光标, 定位故障点。

确定功能: 当某些操作需要时, 用来进行确认。

- (4) **增益** +/- 键: 用来调整信号增益。

- (5) **开关** 键: 长按 1 秒钟有效, 用来打开或关闭仪器电源。

- (6) **背光** 键: 背光键, 用来打开和关闭液晶屏背光。背光功能为按键抬起执行。

- (7) **存储** 键: 用来存储当前波形。

- (8) **后翻** 和 **前翻** 键: 当调出 SD 卡已存储的波形时, 用来选择需要查看的波形, 后翻选择上一个, 前翻选择下一个。

5. 测距模式相关按键的上档 (Shift) 功能:

按住 Shift 键 (基本功能的 **背光** 键) 不放, 再按其它键, 则执行键旁边标注的上档功能:

- (1) **波速** +/- 键: 用来调整电缆波速度。

- (2) **⊖** 和 **⊕** 键: 比例缩放键, 用于对波形的缩小 / 放大显示。

- (3) **光标切换** 键: 用来切换虚实光标。

- (4) **暂存** 键：在仪器内存中暂存当前波形，以备双波形比较。
- (5) **比较** 键：同时显示当前波形和暂存波形，以便比较两波形的异同。
- (6) **调出** 键：调出 SD 卡中存储的历史波形。

仪器顶部接口板见图 2-2-2 所示：

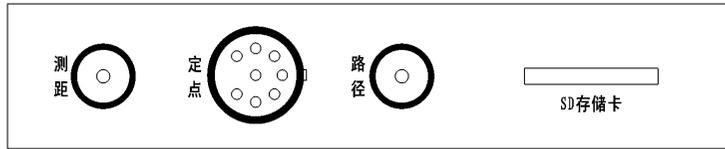


图 2-1-3 主机顶接口板

- 6. 测距插口：低压脉冲模式下，接低压脉冲测试线；脉冲电流模式下，接脉冲电流耦合器。
- 7. 定点插口：定点模式下，接定点传感器。
- 8. 路径插口：路径模式下，接路径传感器。
- 9. SD 存储卡插槽：SD 卡用来存储测距波形。需要将 SD 卡插入插槽，按压到底；需要取出时，按一下 SD 卡，将自动弹出。

主机侧面接口板见图 2-1-4 所示：

- 10. 耳机插口：用来在定点、路径模式下，接耳机监听声音。
- 11. 充电插口：用来接充电器，对仪器内置电池充电。
- 12. 声音增益：定点模式下，用来调整声音信号增益。
- 13. 磁场/路径增益：定点模式下，用来调整磁场信号增益。路径模式下，用来调整路径信号增益。

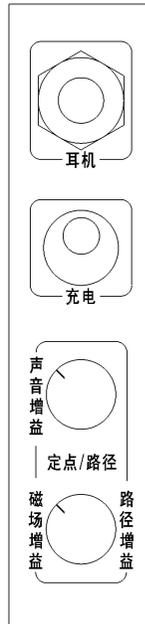


图 2-1-4 主机侧接口板

二、3M2273-500 电缆路径探测信号发生器（T：信号发生器）

信号发生器外观结构如图 2-2-1 所示：



图 2-2-1 信号发生器外观和接口

信号发生器面板如图 2-2-2 所示：

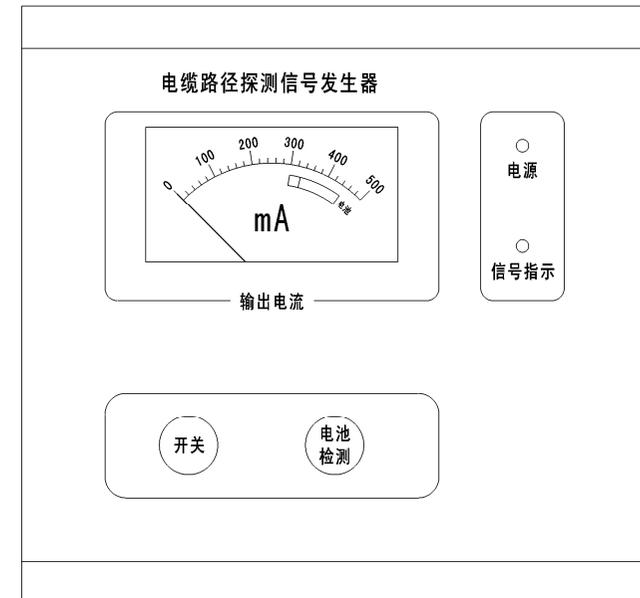


图 2-2-2 信号发生器面板

信号发生器面板上有以下内容：

1. 表头：正常情况下用来显示输出电流，其满幅值为 500mA；
按 **电池检测** 键则显示电池水平，指针位于绿色区域表示电池电量正常，若指针位于黄色区域，表示电池欠压，仍可工作一小段时间，建议充电；若指针低于黄色区域，表示电池电量不足，可能无法开机，需充电后再使用。
2. **开关** 键：长按 1 秒钟有效，用来打开或关闭仪器电源。
3. **电池检测** 键：用来检测电池电量水平，按下后观察表头显示可判断电池电量是否正常。本功能在开机和关机状态下均可使用，
4. “电源”指示灯：用来表示电源状态。开机后，本指示灯亮。若电池电量正常，则常亮；若电池欠压，则闪烁；若严重欠压，则自动关机，灯灭。
5. “信号”指示灯：用来表示信号输出状态。若选择“连续”输出模式，则常亮；若选择“断续”输出模式，则闪烁。



图 2-2-3 信号发生器侧接口板

主机侧面接口板见图 2-1-4 所示：

6. 输出模式选择开关：用来选择连续或断续输出。断续输出时以输出 0.5 秒，停止 0.5 秒的节奏发射信号。
7. 输出插口：用来接输出连接线，对目标电缆发射信号。
8. 充电插口：用来接充电器，对仪器内置电池充电。

第三章 低压脉冲法测距

一、适用范围

低压脉冲法用于电缆的低阻、短路及断线故障；还可用于测量电缆的长度、波速度；也可用于区分电缆的中间头、T 型接头和终端头。

二、工作原理

低压脉冲法使用时域反射法（TDR）原理，又叫脉冲反射法。测试时向电缆注入一低压脉冲，脉冲沿电缆传播到阻抗不匹配点，如短路点、故障点、中间接头等，脉冲产生反射，回送到测量点被仪器记录下来，如图 3-2-1 所示：

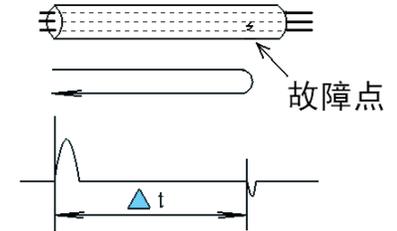


图 3-2-1 低压脉冲法原理图

从仪器发射脉冲开始计时，到接收到故障点的反射脉冲共需时 Δt ；脉冲行波传播速度为 V ，则故障点距离 L_x 为：
$$L_x = \frac{V \Delta t}{2} \tag{3-1}$$

$$\text{不匹配点的反射系数 } \rho \text{ 为：} \rho = \frac{Z_i - Z_c}{Z_i + Z_c} \tag{3-2}$$

其中 Z_i 为故障点的输入阻抗， Z_c 为线路的特性阻抗。从式 3-2 可得到：断线故障反射脉冲与发射脉冲极性相同；而短路（混线）故障的反射脉冲与发射脉冲极性相反。因此通过识别反射脉冲的极性，可以判定故障的性质。如图 3-2-1 和图 3-2-2 所示：

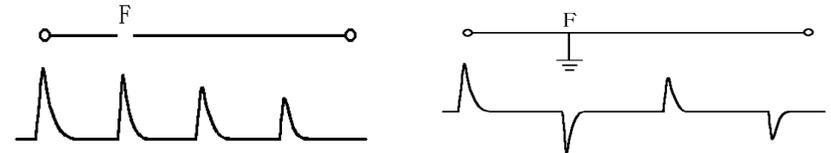


图 3-2-1 断线故障反射波形

图 3-2-2 低阻/短路故障反射波形

三、测试步骤

1、接线：

首先用放电棒将电缆各相线对地充分放电；将低压脉冲测试线的插头接主机顶接口板的 **测距** 信号插口，测试线的两个夹钳接故障相和地（或两故障相），如图 3-4-1 所示：

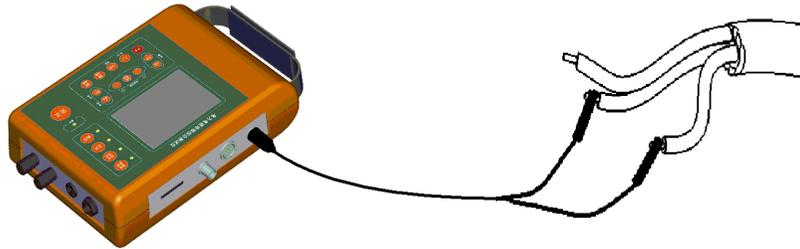


图 3-3-1 低压脉冲法接线图

2、选择工作模式：

长按 **开关** 键打开电源，按 **低压脉冲** 键，进入低压脉冲测距模式（开机默认），低压脉冲法的显示界面如图 3-3-2 所示：

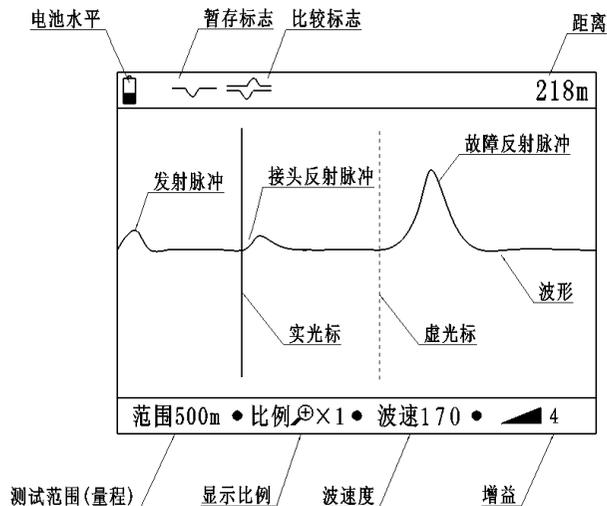


图 3-3-2 低压脉冲法显示界面

3、选择测试范围：

初始测试时选择的范围应大于电缆全长至少几百米，如：电缆全长为 800m，则应选择 2km 范围，而不应选择 1km。若发现可疑点较近，为了得到更高的测距分辨率，可以适当将范围缩小。每改变一次范围，仪器会自动进行一次测试。

4、设定波速：

根据电缆的类型设定合适的波速。

几种常用电力电缆的波速为：

- ③ 交联聚乙烯电缆：波速 170m/us
- ③ 油浸纸电缆：波速 160m/us
- ③ 聚乙烯全塑电缆：波速 201m/us
- ③ 橡胶电缆：波速 220m/us

不同生产厂家或不同批次的电缆，即使是相同型号，其波速也会有细微差别，当需要精确测距时，需根据已知的电缆全长校准波速度，参见本节第 11 条。

5、测试：

按一次 **测试** 键，即进行一次脉冲发射，“信号”指示灯闪烁，仪器接收和处理脉冲反射信号，并进行显示。

6、调整增益：

增益是指仪器对信号的放大倍数，调节增益可以改变的波形幅值，一般要调到需要的波形幅值足够大且不失真。

增益调整方法：按 **增益** +/- 键，可以调整信号增益。每改变一次增益，仪器自动进行一次测试。

6、光标定位:

反射脉冲波形的起始位置是故障位置。将光标移动到脉冲波形开始有明显变化的位置（如图 3.4.2 虚光标位置），屏幕右上角显示的距离就是故障距离。

注意：光标在其他位置时，显示的距离没有意义。

自动定位方法：按 **定位/确认** 键，仪器进行自动光标定位。如果自动定位没有得到正确结果，应进行人工定标。

手动光标定位方法：按 **←** 和 **→** 键，可以左右移动光标。图 3-3-3 为一个典型的混线故障波形，虚线光标位置即为故障点距离：320m。因为波形向下，故判断为混线故障；若波形向上，则为断线故障。

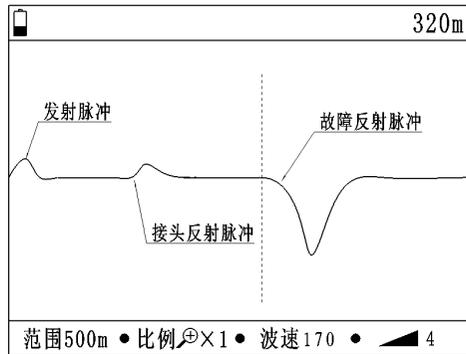


图 3-3-3 典型的混线故障波形定位

6、波形缩放:

如果需要精细观察，从而得到更高的测距分辨率，可以将波形进行水平缩放。

波形缩放方法：按 **+** 键将波形放大；按 **-** 键将波形缩小。

在波形放大状态，无法进行自动定位。

6、波形暂存和比较:

通过比较电缆故障线对和完好线对的波形，可以更容易识别故障点。

波形比较方法：首先测试得到故障线对波形，按 **暂存** 键，将当前波形在仪器内存中暂存，屏幕左上角显示暂存标志。然后在条件不变的情况下测试一条完好线

对的波形，按 **比较** 键，屏幕上将同时显示两条波形，屏幕上部显示双波形比较标志。通过比较两波形的异同，可以帮助寻找故障点。如图 3-3-4 所示：

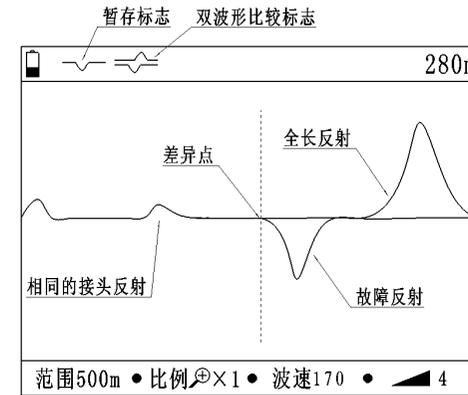


图 3-3-4 波形比较

7、相对距离测量:

若需得到故障点和参照点（如电缆接头）的相对距离，操作如下：

仪器开机后默认实光标在零距离位置；调整虚光标将其移动到参照点；按 **光标切换** 键，实光标和虚光标的位置互换，现在实光标位于参照点，虚光标位于零距离；调整虚光标移动到故障点，显示的距离值即为两者之间的相对距离，如图 3-3-5 所示。

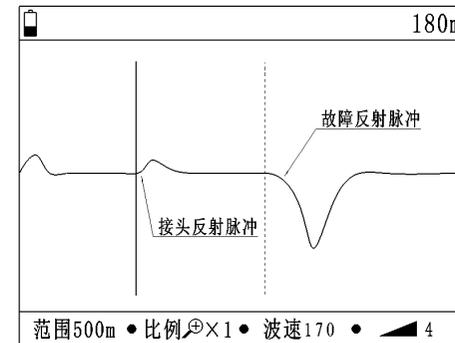


图 3-3-5 相对距离测量

7、波速度校准:

根据已知的电缆全长，可以精确校准波速度。

用一段已知长度的同类型电缆，测量其对端开路 and 短路波形并比较，将虚光标移动到波形明显分叉处，调整波速使得长度测量值和已知长度相同，则此时的波速为本条电缆的实际波速。

8、波形存储和查看:

按 **存储** 键将在 SD 卡中存储当前测试的波形，按 **调出** 键（即同时按 **Shift** 键和 **存储** 键）后，屏幕显示最后一次存储的波形，用 **后翻** 和 **前翻** 键可以选择显示其他波形。

若需要进行计算机存档管理，或需要进一步分析以及打印，需将 SD 卡取出，插入读卡器并和计算机连接，将 SD 卡中存储的波形数据导入计算机，在后台软件的支持下可以进行存档、分析和打印。

第四章 脉冲电流法测距

一、适用范围

脉冲电流法用于电缆的高阻和闪络性故障的测距，需要和高压冲击信号发生器配合使用。

二、工作原理

1、基本原理:

当电缆故障点绝缘电阻较大(大于 10 倍电缆特性阻抗, $R_f > 10Z_c \approx 200\Omega$)时，故障点的反射系数很小，造成反射脉冲无法分辨，因此低压脉冲法无法测距。

使用高压发生器向故障电缆施加高压，使得故障点击穿放电，放电脉冲在故障点和测试端之间来回反射，用仪器采样记录此信号并测量时间差，将得到故障点的距离。

有两种方法可以采集放电脉冲信号：电压取样和电流取样，采用电流取样即为脉冲电流法：电流耦合器采集测试地（电缆金属外皮）流回高压储能电容的电流，与高压部分完全隔离，安全可靠，波形较易识别。

2、直闪法:

直流高压闪络法（直闪法）用于测量闪络性故障，即故障点绝缘电阻极高，但在做耐压试验时电压上升到一定水平产生闪络击穿故障。

直闪法原理如图 4-2-1 所示，其中 T1 为调压器；T2 为高压变压器，容量应在 1KVA 左右；VD 为高压硅堆；C 为高压储能电容器，容量在 $2\mu\text{F}$ 以上；L 为电流耦合器。调节 T1 调压器，使得输出电压逐渐升高，直至故障点击穿。

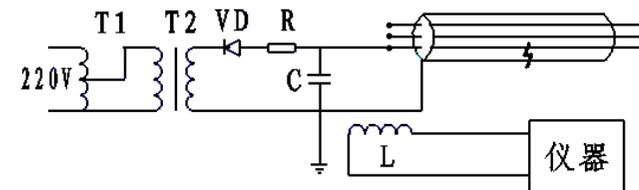


图 4-2-1 直闪法原理图

直闪法的波形如图 4-2-2 所示:

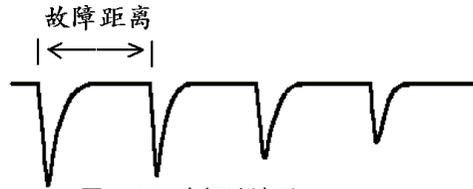


图 4-2-2 直闪法波形

3. 冲闪法:

当电缆故障点的电阻不是很高时, 故障点的泄漏电流较大, 如果使用直闪法, 因 T2 高压变压器的内阻很大, 输出电压将无法升高到闪络电压, 这时必须使用冲击高压闪络法 (冲闪法)。冲闪法也适用于大多数闪络型故障。

冲闪法原理如图 4-2-3 所示, 它与直闪法基本相同, 区别在于在储能电容 C 和电缆之间串入一球间隙 G。调节 T1 调压器对电容 C 充电, 当电容电压上升到一定程度时, 球间隙 G 击穿, 电容 C 对电缆放电, 由于电容的内阻极小, 输出电压将能足够高并使得故障点击穿。

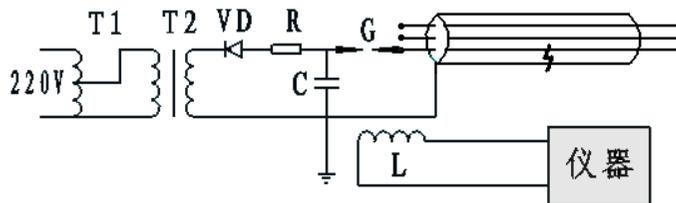


图 4-2-3 冲闪法原理图

冲闪法的波形如图 4-2-4 所示:

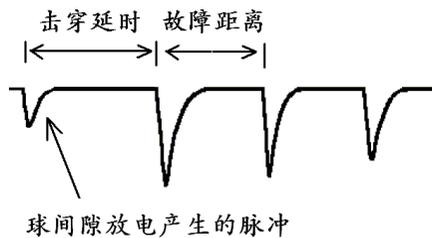


图 4-2-4 冲闪法波形

三、测试步骤

1、接线:

使用脉冲电流法必须配合使用高压冲击信号发生器, 推荐使用集成化的设备, 操作简单, 安全可靠; 也可以使用由分立器件组成的高压冲击放电装置。

测试接线如图 4-3-1 所示。

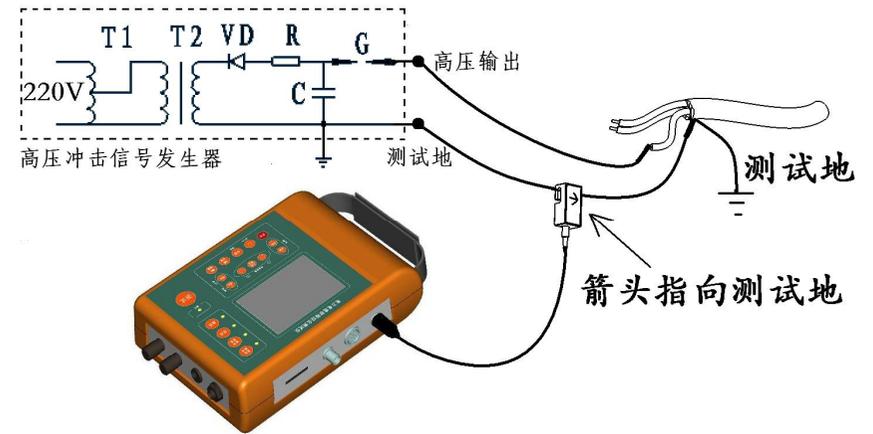


图 4-3-1 与其他高压设备配合使用

以电缆相对地故障为例, 将高压发生器的高压输出线连接电缆故障相, 测试地线连接电缆的金属护套; 将脉冲电流耦合器挂在测试地线上, 耦合器输出插头接主机 **测距** 信号插口。

若电缆是相间故障, 则需将高压发生器测试地线连接另一故障相, 并将其接地。

接线注意事项

- ③ 接线前须对电缆充分放电!
- ③ 高压发生器的保护地必须接好, 并不得直接接测试地!
- ③ 耦合器的箭头必须指向电缆地方向。
- ③ 耦合器挂接的测试地线越直越好 (尤其在耦合器附近)。

2、选择工作模式:

按 **脉冲电流** 键, 进入脉冲电流测距模式, 其显示界面和低压脉冲法基本相同。

3、选择测试范围:

初始测试时选择的范围应大于电缆全长至少几百米, 如: 电缆全长为 800m, 则应选择 2km 范围, 而不应选择 1km。

若发现可疑点较近, 为了得到更高的测距分辨率, 可以适当将范围缩小。

如果确信故障点已经放电 (观察高压发生器的高压表, 发现放电时电压跌落明显, 说明已放电), 但仍然没有得到放电波形, 说明故障点的击穿延时有可能较长, 可以适当将范围增大再测试。

4、设定波速:

根据电缆类型设定合适的波速。

5、测试并调整增益:

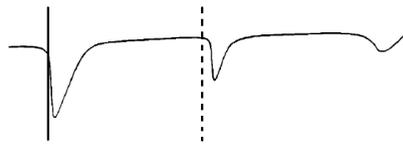
按 **测试** 键, 仪器进入等待触发状态, 当高压发生器对电缆放电后, 仪器触发、采集并显示波形。若波形过小须调高增益, 反之调低, 再重复测试, 直至获得满意的脉冲电流波形。

6、故障点定位:

采集到波形后, 按 **←** 和 **→** 键将虚光标定位在第一个放电脉冲起始点, 再按 **光标切换** 键, 将虚光标变为实光标, 再移动虚光标移动到第二个脉冲起始点, 其相对距离即为故障点。

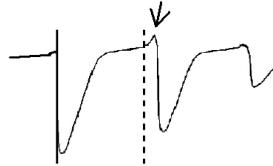
按 **定位/确定** 键, 仪器能自动进行计算和定标。

图 4-3-2 为一组典型的直闪法波形:



(a) 较理想的直闪法波形

电感影响, 造成反射波波头向上凸起
应定标于向上凸起的起始点



(b) 典型的直闪法波形



(c) 近距离故障直闪法波形

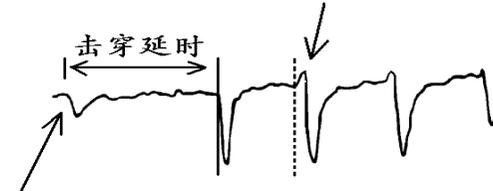


(d) 极近距离端头故障直闪法波形

图 4-3-2 典型的直闪法波形

图 4-3-3 为一组典型的冲闪法波形:

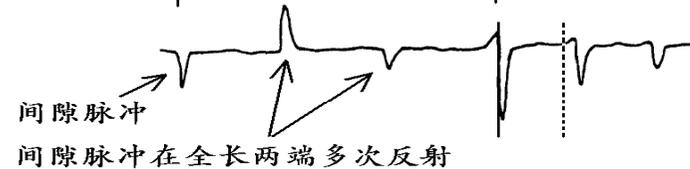
电感影响, 造成反射波波头向上凸起
应定标于向上凸起的起始点



球间隙放电产生的脉冲

(a) 典型的冲闪法波形

← 击穿延时较长 →



(b) 较长延时的冲闪法波形



(c) 近距离故障冲闪法波形



(d) 极近距离端头故障冲闪法波形

图 4-3-3 典型的冲闪法波形

6、定标时的注意事项:

- (1) 直闪法和冲闪法的区别在于冲闪波形往往有球间隙放电形成的脉冲,而且从球间隙放电到故障点击穿有一定延时;
- (2) 由于杂散电感的影响,往往在反射脉冲波头有向上凸起,应注意将虚光标定位于向上凸起的起始点;
- (3) 利用比例放大功能精确定标;
- (4) 反射波头的凸起起始点有时不易精确定位,往往造成测距值略大于实际故障距离;
- (5) 故障点必须击穿才能正确测距,判断故障点是否击穿的方法:
 - ①. 故障点击穿时,球间隙放电声清脆响亮,火花较大。而未击穿时,一般球间隙放电声嘶哑,不清脆,而且火花较弱。
 - ②. 电缆故障点击穿时,电压表指针摆动范围较大。而未击穿时,电压表摆动较小,
 - ③. 根据仪器记录波形判断。图 4-3-5 为电缆未击穿时的典型波形。

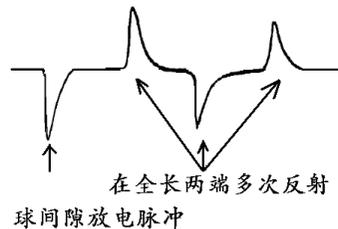


图 4-3-5 故障点未击穿时的典型波形

第五章 声磁同步定点

一、工作原理

本仪器采用波形显示的声磁同步法进行故障精确定点,是一种非常精确、且唯一性很好的定点方法,其原理基于传统的声测定点法,但有多项改进和提高。

当高压发生器对故障电缆进行直流高压冲击,使故障点击穿放电,放电产生的机械振动传到地面,振动信号被高灵敏度的传感器拾取,经放大后用耳机监听,便可以听到“啪、啪”的声音。这就是传统的声测法定点的基本原理。

传统的声测法定点仪一般仅使用耳机监听,或辅以表头指针摆动来分辨故障点放电声音。由于放电声一瞬即逝,而且和环境噪声区别不大,往往给经验不是十分丰富的操作者带来很大困难。

传统声测法经改进后即声磁同步法,利用高压冲击放电瞬间的强大电磁场信号,触发一个指示灯闪亮(或表针摆动),对声音进行同步。若听到“啪、啪”声的同时看到指示灯闪亮(或表针摆动),表明听到的声音是故障点放电声。声磁同步法对声测法改进很大,但仍然主要靠人耳对声音进行判断,仍然对操作者的经验有很高要求。

本仪器利用放电脉冲磁场作为同步信号,对声音进行数字化采样,将声音波形显示出来,波形可以持续保持,避免了声音转瞬即逝的缺点,而且故障点放电波形和噪声有明显的区别,更重要的是多次放电的声音波形均非常相似,当观察到多次放电的声音波形相同时,可以明确判断已经采集到了放电声音。

现场测试时,往往已经听到故障点放电声,但仅靠声音强弱仍很难精确判定故障点位置,特别是当电缆敷设在管道里面时,困难更大。通过检测电磁信号和声音信号之间的时间差,可以解决这个问题。由于电磁信号的传播速度是光速,从电缆传播到传感器的时间可以忽略不计;而声音传播速度相比起来慢的多,为每秒几百

米的量级；因此，通过检测电磁、声音信号之间的时间差，可以判断故障点的远近。当不断移动传感器，找到声磁时间差最小的点，则其下方就是故障点。应该指出，由于很难知道声音在电缆周围介质中的传播速度，也不知道电缆埋设的具体深度，所以不可能确切计算出传感器和故障点之间的水平距离。

二、高压发生器的接线方法

声磁同步定点需要配合使用高压冲击信号发生器，并工作在周期放电状态。

1、相线对铠装接法：

当发生相地故障、相间合并对地故障，或断线合并接地故障，总之只要存在相对地绝缘损坏，均优先采用相对铠接法，其优点为故障点放电声的传播衰减较小。

如图 5-2-1 所示，将高压发生器的高压输出连接电缆故障相，测试地连接电缆的金属铠装。

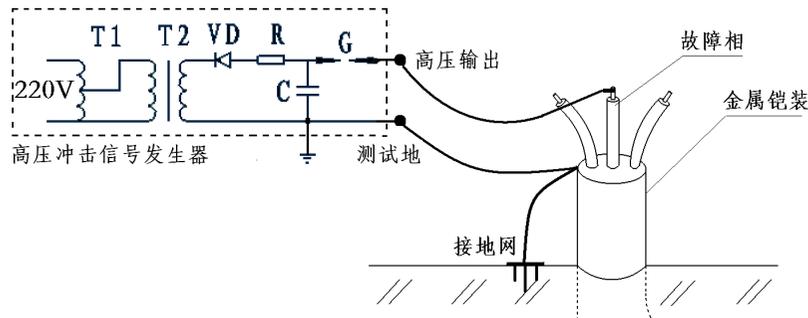
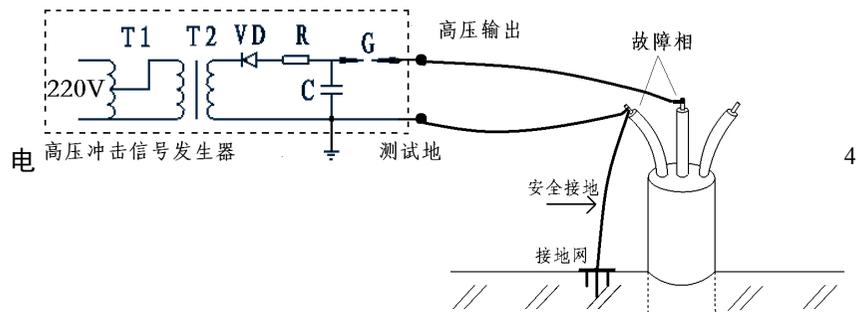


图 5-2-1 相对铠接法

2、相间接法：

当发生单纯相间故障（没有合并接地）时，使用相间接法。如图 5-2-2 所示，将高压发生器的高压输出和测试地连接两故障相，其中一故障相需进行安全接地。



4

图 5-2-2 相间接法

3、断线故障的接法：

对于单纯断线故障（没有发生合并接地），接线示意图如图 5-2-3 所示：

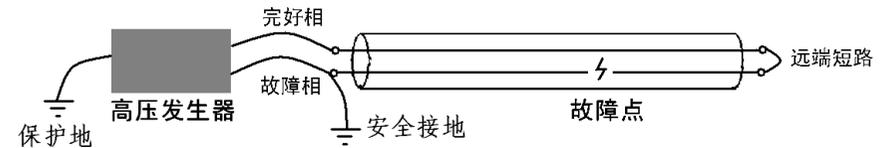


图 5-2-3 断线故障接线示意图

将高压发生器的高压输出线和测试地线分别接电缆的一完好相线和故障相线，在电缆的远端将两项短路。

三、定点步骤

1、连接传感器和耳机：

将定点传感器接主机 [定点] 信号插口，耳机接 [耳机] 插口。如图 5-3-1 所示：



2、选择工作模式:

按 **定点** 键，进入声磁同步定点模式，其显示界面如图 4-3-2 所示:

图 5-3-1 主机定点模式的配置

2、选择工作模式:

按 **定点** 键，进入声磁同步定点模式，其显示界面如图 5-3-2 所示:

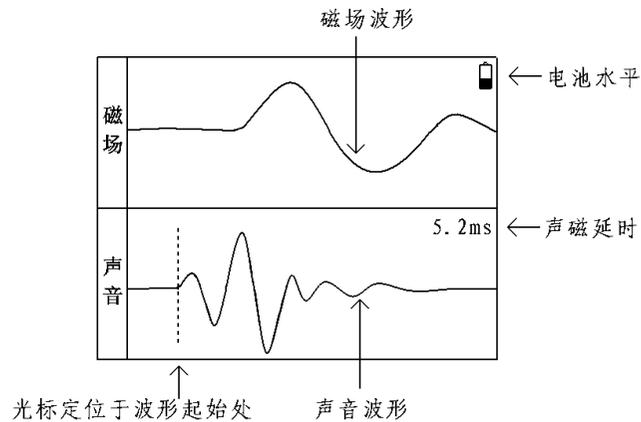


图 5-3-2 定点显示界面

3、选择定点区域:

在定点之前，首先应明确电缆路径。如果图纸资料不完整，应进行路径探测，并做好标志。

根据测距结果，考虑电缆头盘余量、地形因素，粗略确定故障点位置，由于不可避免的存在估算误差，一般应在（测距值 $\pm 50\text{m}$ ）之间定点。

注意：在脉冲电流测距时，由于放电波形的起始处一般都有向上的小幅凸起，造成不易精确定位，一般测距值均略大于实际故障距离，长约 10~20m。

在选定的区域，将传感器平放于电缆正上方的地面，观察波形并用耳机监听，开始定点。

4、调整磁场增益:

当高压发生器开始对故障电缆周期放电后，调整仪器主机的“磁场增益”旋钮，使“信号”指示灯的闪亮和高压发生器的放电形成同步，正常同步时的磁场波形和图 5-3-2 所示的非常相似。如果“信号”指示灯闪亮频率很快（如 1—2 秒闪亮一次），而且磁场波形尖细，毛刺较多，这是由于磁场增益过大，造成电磁噪声错误触发，此时需要将磁场增益适当调小。

5、调整声音增益:

当调整好磁场增益正常同步后，再调整“声音增益”旋钮。当“信号”指示灯闪亮时，声音信号同步采样一次，波形更新。调整“声音增益”旋钮，使声音波形足够大且不失真。

声音信号（包括噪声）在不断变化，要随时看到真实的聲音波形，需要不断地调整其增益，但根据经验，声音信号增益可以调的较大，只要不是每次都失真即可，不必随时调整。

6、寻找并逼近故障点:

以大约 0.5~2m 的间隔移动传感器，如果连续几次放电，均没有看到如图 5-3-2 所示的典型声音波形，则应继续向前移动，直至多次放电的声音波形都与典型波形非常相似，而且稳定（除非当时有很大的噪声出现），说明已经到了故障点的附近，采集到了真正的故障点放电声音信号。这时用耳机监听，会在“信号”指示灯闪亮的同时，听到较沉闷的一声“啪”。一般来说，靠观察声音波形得到的响应范围大于听声的响应范围，而且单纯听声较难分辨。

7、测量声磁延时，精确定位:

看到放电声音波形后，按 \leftarrow 和 \rightarrow 键移动光标，将其移动到声音波形的起始点上，在声音波形显示区的右上角显示声磁延时值，如图 5-3-2 所示。此延时值能代表故障点的远近，但由于很难确知声音在电缆周围复杂介质中的传播速度，也不知道电缆埋设的具体深度，所以不能计算出传感器和故障点之间的精确水平距离。

注意：光标在其它位置时，显示的声磁延时值没有意义。

以较小的间隔不断改变传感器的位置，并测量声磁延时，直至找到延时值最小的点，其正下方即是故障点，误差在 0.2m 之内。

8、利用磁场极性进行辅助路径探测：

在电缆的两侧，磁场波形的极性相反，可由此进行辅助路径探测。此功能在最终确定故障点精确位置时比较有用。

9、注意事项：

- (1) 尽量不要将传感器置于电缆本体上进行定点，否则会在电缆任何位置都能听到微弱的啪啪声，此为大电流瞬间放电形成的电应力造成的震动，整条电缆上均存在，不能利用此信号进行定点。
- (2) 有时电应力震动也能传到地面。在远离故障点时，如果非常仔细的监听，有时能够在电缆全长上都能听到很微弱的啪啪声，且不会随传感器位置的不同而发生变化，此即为电应力震动，其与真正的故障放电声差别很大，注意不要误判。

第六章 路径探测

一、工作原理

电缆路径探测的基本原理，是用探测线圈感知加载在待测电缆上的交变电流引起的电磁场。进行路径探测时，需要用信号发生器向电缆发射音频信号，用主机进行接收。

二、信号发生器的接线和使用方法

1、芯线-大地接法

芯线-大地接法是对离线电缆（退出运行的不带电电缆）进行路径探测和鉴别的基本接线方式，信号最强，并能最大程度地抗干扰。

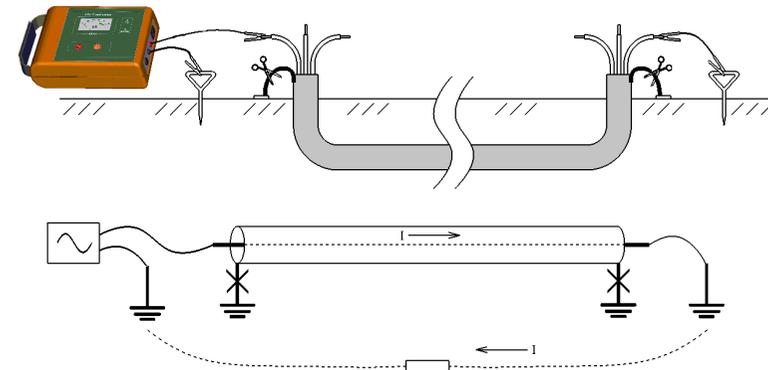


图 6-2-1 芯线—大地接线法

如图 6-2-1 所示，将电缆金属铠装（护层）两端的接地线均解开，低压电缆的

零线和地线的接地也应解开，将信号发生器输出线的红色鳄鱼夹夹一条完好芯线，黑色鳄鱼夹夹在打入地下的接地钎上。在电缆的对端，对应芯线接打入地下的接地钎。

注意，尽量使用接地钎，而不要直接用接地网！至少在电缆的对端必须用接地钎，接地钎还需要离开接地网一段距离，否则会在其他电缆上造成地线回流，影响探测效果。

2、相线—护层接法：

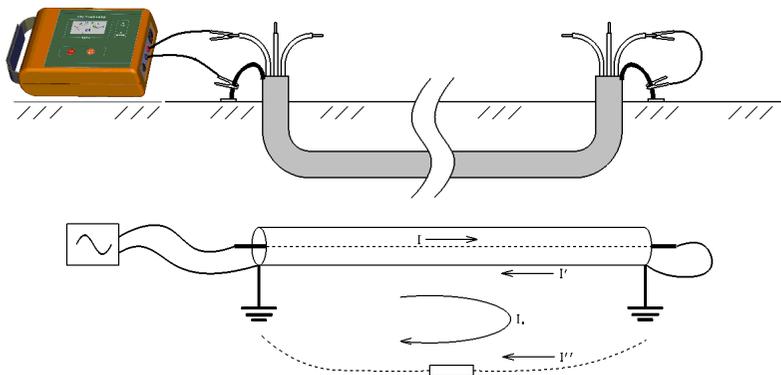


图 6-2-2 相线—护层接法

如图 6-2-2 所示，发射信号加在电缆一相和护层之间，对端相线和护层短路，护层两端保持接地。

这种接法比较简单，但辐射出的有效信号较小，如果是多条电缆并行敷设，信号也会传播到其他电缆上，造成干扰。故此方法适用于简单现场，若遇到多条电缆不易区分的问题，可换用芯线-大地接法。

3、连续 / 断续输出模式选择

使用连续输出模式能够满足绝大多数探测工作的需要；在干扰较大的场合可以考虑换用断续输出模式，有助于区分真实信号和背景噪声。

需要时，操作信号发生器侧接口板上的开关进行“连续”/“断续”模式切换。

4、信号发射

接好线后，长按 **开关** 键打开电源，仪器根据负载情况进行实时全自动阻抗匹配，表头显示输出电流的大小。

可以通过观察电流大小，来判断电缆电流回路的阻抗情况，电流大说明回路阻抗小，信号强，易于探测；反之说明阻抗大，信号弱，探测灵敏度降低；如果输出电流很小，可能是因接线错误造成回路阻抗过大，或回路不通，可能无法探测。

5、电池检测

需要检测电池电量时，按 **电池检测** 键，表头显示电池水平，指针位于绿色区域表示电池电量正常，若指针位于黄色区域，表示电池欠压，仍可工作一小段时间，建议充电；若指针低于黄色区域，表示电池电量不足，可能无法开机，需充电后再使用。

三、路径探测步骤

1、连接传感器和耳机：

将路径传感器接主机 **路径** 信号插口，耳机接 **耳机** 插口。如图 6-3-1 所示：

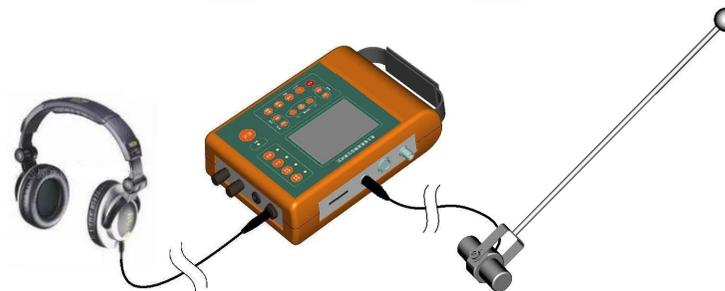


图 6-3-1 主机路径探测模式的配置

2、选择工作模式：

按 **路径** 键，进入路径探测模式，其显示界面如图 6-3-2 所示：

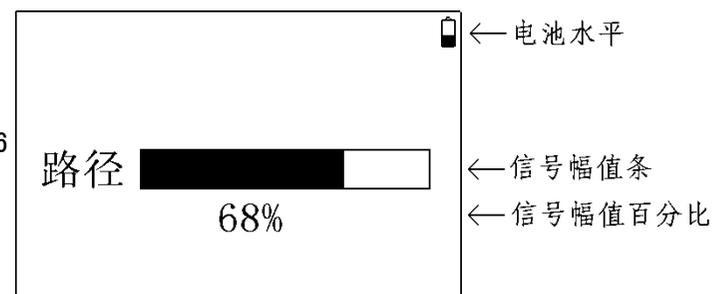


图 6-3-2 定点显示界面

3、音峰法探测：

旋转传感器，使其轴线与提杆垂直、与地面水平，手提传感器时，应尽量保持传感器轴线垂直于电缆，如图 6-3-3(a)所示。将传感器横切可能的电缆路径，观察信号幅值，越接近电缆，信号越强，耳机声音也越大，当位于电缆正上方时，信号最强，故为音峰法。信号的响应曲线图 6-3-3 (b) 所示。

为了正确观察信号幅值，应调整信号增益：当传感器位于电缆正上方信号最强时，信号幅值在 40~80%之间比较合适。如果信号幅值过大，应逆时针旋转“路径增益”旋钮以减小增益；反之应调大增益。

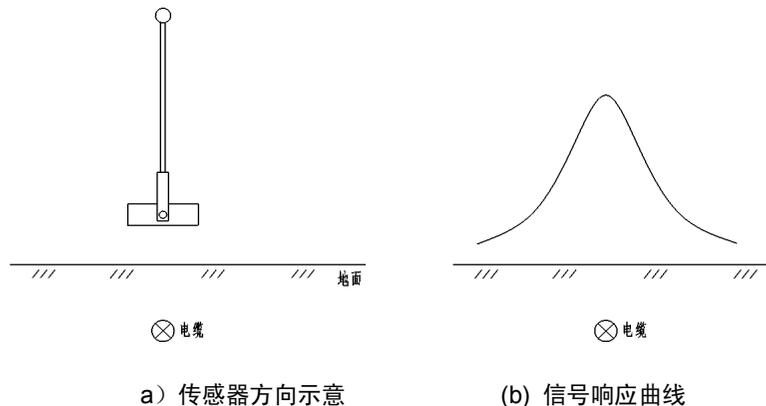


图 6-3-3 音峰法示意图

4、音谷法探测：

电话：021-56774665, 13801861238 传真：021-56774695

旋转传感器，使其轴线与提杆同向、与地面垂直，如图 6-3-4(a)所示。手提传感器横切可能的电缆路径，观察信号幅值，在电缆正上方时信号最弱，偏离电缆，信号会增强，越过某一点后信号再次减弱。信号的响应曲线图 6-3-4(b)所示，为一马鞍形曲线，因电缆正上方处于信号最弱的谷值，故称音谷法。

音谷法同样须调整路径信号增益，使得信号最强时，信号幅值在 40~80%之间。

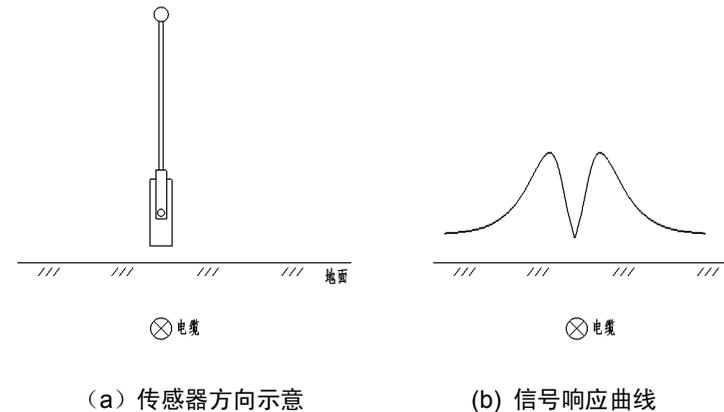
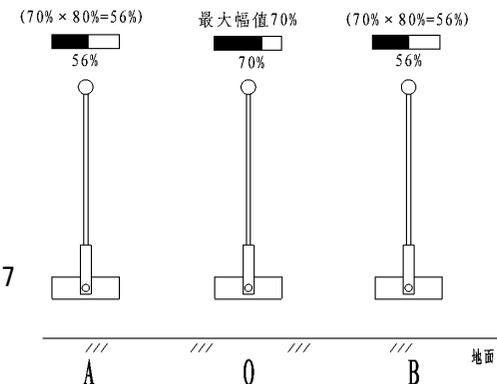


图 6-3-4 音谷法示意图

5、80%法深度测量：

首先用音峰法找到信号幅值最强的点，记下幅值数，然后左右水平移动传感器，找到左右两侧信号幅值减弱到最大幅值 80%的点，则两点之间的距离等于电缆深度，如图 6-3-5 所示。注意：如果存在邻近管线，由于其感应电流的影响，最大幅值点往往稍偏离待测电缆正上方，且两侧的最大值到 80%点的距离并不一定相等。



电话：021-5677

图 6-3-5 80%法深度测量

6、45° 法深度测量:

在电缆两侧，分别反方向调整提杆，使传感器轴线与地面成 45° 夹角，横切电缆路径，在两侧分别找到信号幅值最弱的点，则两点之间的距离为电缆深度的 2 倍，如图 6-3-6 所示。

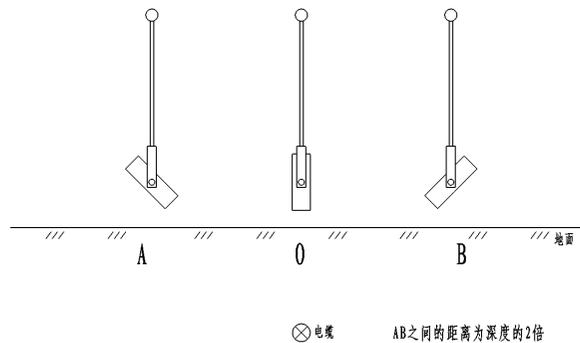


图 6-3-6 45°法深度测量

第七章 仪器维护

一、充电

当主机屏幕上显示的电池水平很低，或信号发生器“电源”指示灯闪烁时，需要对其充电，在继续使用一小段时间后，仪器将自动关机。

充电时，将充电器的输出插头插到仪器的 **充电** 插孔，充电器的电源插头插市电 220V 插座，仪器开始充电，充电器的指示灯指示充电状态，红灯表示正在充电，绿灯表示充电完成。将放完电的电池充满大约需要 4 小时，充不满也可以使用，超过 4 小时也不会损坏电池。

(版本 v2.0)