

YC501A 电缆故障测试系统

使用说明书

保定源创电力科技有限公司

敬告



本套设备测试电缆高阻故障时，采用冲击闪络法，故障点须放电且有明火现象。

请注意严禁在高瓦斯、高浓度易燃气体环境中测试！

如遇此状况，请与厂家联系，采取其它测试方式。

因此发生的安全事故与设备生产商无关！

第一章 电缆故障测试仪

一、产品介绍

电缆故障测试仪是我公司在电力工业快速发展的契机下，根据行业发展和市场需求，研发生产的电力电缆故障测试专用系统设备。其主要用于电力电缆开路、短路、接地、低阻、高阻闪络性及高阻泄漏性故障的测试，以及同轴通信电缆和市话电缆的开路、短路故障的精确测试；还可以电波测速、测定线缆长度等，并可建立电缆档案以便日常维护管理。

该产品采用了时域反射（TDR）技术，故障波形自动判距、简单明了，使用方便愉快；整机采用工业级黑色安全防护箱设计，防护等级IP67，小巧精致，易携带；人机界面友好，即使非专业人员操作，依然可以很快熟悉并使用，高效、准确的完成电缆故障测试工作。



二、功能特点

1. 用于 35kV 及以下不同等级、不同截面、不同介质及各种材质的电力电缆的各类故障，包括：开路、短路、低阻、高阻泄漏、高阻闪络性故障。
2. 可配合高压设备实现传统电缆故障测试的低压脉冲法、冲击闪络法、三次脉冲法、多次脉冲法、速度测量法。
3. 全中文操作软件和使用界面，子菜单方式和文字提示实现人机互动。
4. 工业级 10.4 寸彩色触摸液晶屏显示，全中文操作软件和使用界面，子菜单方式和文字提示实现人机互动。
5. 全局波形和局部波形同步显示，便于整体分析和细节调整。
6. 任何高阻故障均呈现最简单的类似低压脉冲短路故障波形特征，极易判读。
7. 采用多次脉冲法测试时，界面同时采集 8 条真实波形，更便于判读和降低测试误差，提高测试精度。
8. 内置电源供电，在无电源环境中均可长时间使用。
9. 工业级黑色安全防护箱设计，防护等级 IP67，体积小、重量轻、使用方便，检测故障成功率和测试精度高。
10. 在任何环境下性能稳定，不死机，信号采集高压保护措施安全。

11. 内置存储/调出功能，可方便将数据及波形保存或调出重新分析。
12. 测试信号提供多种脉冲宽度，无测试盲区。

三、技术参数

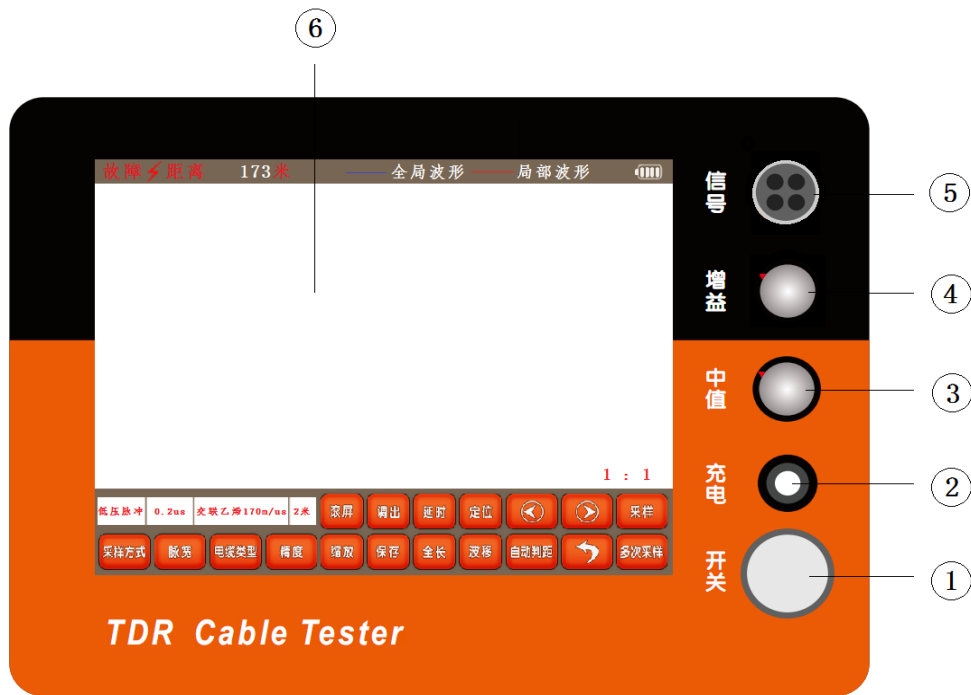
1. 采样方法：低压脉冲法、冲击闪络法、速度测量法
2. 采样速率：200 MHz、100 MHz、80 MHz、40 MHz、20MHz、10 MHz
3. 脉冲宽度：0.05 μ s、0.1 μ s、0.2 μ s、0.5 μ s、1 μ s、2 μ s、8 μ s
4. 波速设置：交联乙烯、聚氯乙烯、油浸纸、不滴油和未知类型自设定
5. 冲击高压：40kV及以下
6. 测试距离：<60km
7. 分辨率：1m
8. 测试精度：1m
9. 显示方式：工业级 10.4 寸彩色触摸液晶屏
10. 操作方式：触摸屏操作、物理旋钮操作
11. 分析设置：滚屏、缩放、保存、调出、波移等功能
12. 工作电源：内置电池供电，耦合单元无源工作
13. 连续工作：>4h（亦可使用外接电源使用）
14. 储存功能：具有数据存储功能，可存储大量现场波形及数据，并随时调出使用
15. 波形分析：所有的高阻故障波形仅表现为低压脉冲法的短路故障波形特征，便于分析卡位
16. 波形处理：能将测得的故障点波形与好相的全长开路波形同时显示在屏幕上进行同屏对比和叠加对比，可自动判断故障距离
17. 包装规格：采用工业级黑色安全防护箱，防护等级IP67
18. 外形尺寸：长 365mm×宽 269mm×高 169mm
19. 重量：3.8kg

四、工作原理

本产品采用的是时域反射（TDR）原理，即对电缆发射一电脉冲，电脉冲将在电缆中匀速传输，当遇到电缆阻抗发生变化的地方（故障点），电脉冲将产生反射。测距主机将电脉冲的发射和反射的变化以时域形式通过液晶屏显示出来，通过屏幕上的波形可直接判读故障距离。

五、仪器操作面板及界面说明

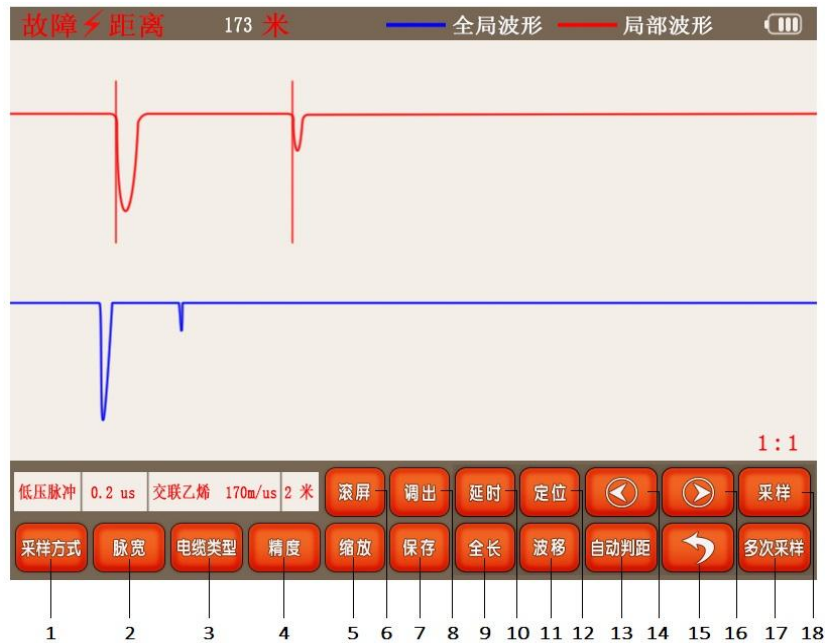
1. 操作面板介绍



操作面板示意图

- ① 开关按键：按下自锁接通电源，再按解锁断开电源。开机 2 分钟无任何操作时，屏幕将变暗进入屏保节能状态。
- ② 充电端口：用于连接充电器，给电池充电。
- ③ 中值旋钮：顺时针旋动中值向上走动；逆时针旋动中值向下走动。（需采样刷新才有变化）
- ④ 幅度旋钮：顺时针旋动幅度增大；逆时针旋动幅度减小。（需采样刷新才有变化）
- ⑤ 采样端口：四芯航空座，用于连接采样线。
- ⑥ 触摸式彩色液晶屏：详见“工作界面介绍”。

2. 工作界面介绍



① 采样方式

按“**采样方式**”弹出采样方式选择子菜单。子菜单中包括：“低压脉冲”、“闪络方法”和“速度测量”。仪器开机默认“低压脉冲”，根据测试需要，可选择相应的采样方式，再按“采样方式”键退出。

② 脉宽

按“**脉宽**”弹出脉冲宽度选择子菜单。子菜单中包括 7 个选项，分别为：0.05 μs 、0.1 μs 、0.2 μs 、0.5 μs 、1 μs 、2 μs 、8 μs 。根据测试距离选择合适的脉宽，按对应的子菜单键可以对脉冲宽度进行选择，仪器开机默认 0.2 μs ，再按“脉宽”键退出此项功能。**注意：在高压闪络法测试中此项不做选择。**

③ 电缆类型





按“**电缆类型**”弹出电缆类型选择子菜单，有“交联乙烯”、“聚氯乙烯”、“油浸纸型”、“不滴油型”和“未知类型”5 个选项，仪器开机默认为“交联乙烯”，可根据需要按对应的电缆类型键。若被测电缆不属于四种已知类型，则应按“未知类型”键，弹出计算器对话框，调整波速数值，达到选定值后按“”键，再按“**OK**”“电缆类型”键退出此项功能。**注意：波形速度最大 300m/ μs ，不同介质的电缆中电波传播速度不同，因此在测试故障之前必须选定介质类型，以确定电波传播速度。**

④ 精度




按“**精度**”弹出读数精度选择子菜单，共分为“1 米”、“2 米”、“4 米”和“8 米”4 种测量精度，仪器开机默认为“2 米”，再按“精度”键退出此项功能。**注意：当选中 0.05 μs 脉宽时，电脑自动锁定读数精度为 1 米；当选中 8 μs 时，电脑自动锁定**

读数精度为 8 米；选择其他脉宽时，可以按读数精度键任意调节，根据测量需要选取合适的档位。


⑤ 缩放

按“”进入缩放功能，系统提供 3 种压缩比例，分别为“1:1”、“1:2”和“1:3”，通过左移“”或右移“”键可对“”进行 3 种比例的循环压缩，在屏幕右下角可以观察到压缩比例，再按“缩放”键退出此功能。由于波形数据量很大，每次采样后屏幕上显示的是上半部红色波形为 1:1 放大的波形；下半部蓝色波形为 1:3 压缩的波形。有时为了观察波形细节，须进行波形缩放操作。




⑥ 滚屏

按“”键，通过左移“”键或右移“”键可对波形进行整屏移动，再按“滚屏”键退出此功能。缩放不能满足分析时可执行“滚屏”功能，将波形分段分屏显示，仪器默认显示第一段第 1 屏波形。



⑦ 保存

按“”弹出保存对话框，提示要保存的号段，此时按“是”，即屏中上半部显示的红色波形被保存在该号段，按“否”退出。

⑧ 调出

按“”键，弹出调出对话框，通过左移“”键或右移“”键选择需要调出波形的号段，再按“是”即调出所选号段的波形，以蓝色显示在屏幕下半部；此时屏幕上半部原有的红色波形不变，以便与调出的蓝色波形对比。


⑨ 全长

在“速度测量”方式下，按“”键，弹出“电缆长度”输入数字键盘，初始值为“0”米，输入电缆长度值后，按“”即完成电缆全长的输入。


⑩ 延时

设置脉冲触发时间，此功能一般不用。


⑪ 波移

按“”键后，当前进入波形上移对比，再次按下“波移”键退出此功能。且此功能在调出波形、多次波形等情况下有效。





⑫ 定位

按“”键后，当前游标的位置即被确定为测试起点，同时该游标移动的距离被清零。此键就是用于确定测量起始点。

⑬ 自动判距

按“”键，游标进行自动定位，显示屏上方自动显示故障距离。


⑭ ⑯ 左移或右移



移动游标定位时，每按左移“”键或右移“”一次，定位游标尺左/右移一个单位点（像素）；当按住不动时，游标以八个单位点的速度连续移动，松开左移“”键或右移“”游标即可停止移动，同时在距离显示处显示游标移动的距离。






⑮ 返回

返回上级步骤，此功能仅在八次脉冲测试时，用于波形分析的逻辑按键，一般不用。

⑰ ⑱ 采样和多次采样

在低压脉冲法测量时，按“”键一次，系统执行一次自动触发采样，屏幕的波形显示区能马上显示出发射脉冲和回波脉冲。上半部红色波形为局部放大波形，下半部蓝色波形为全局波形。

在闪络法测量时，按一次“”键，此键反变色“”，系统一直处于执行等待外部触发采样状态，当获得触发信号时，系统将采集到高压闪络波，并以红色波形为局部放大波形显示在屏幕上半部，以蓝色波形为全局波形显示在屏幕下半部。每获得一次触发信号，系统采样一次并刷新波形。注意：当无外部触发时，再按一次“”键，此键回复原色，系统解除采样。

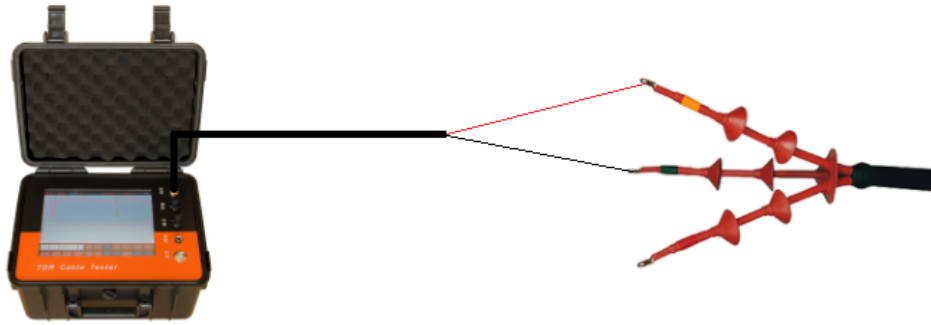
在三次脉冲/八次脉冲测量时，先按“”键一次，系统执行一次低压脉冲自动触发采样，调整幅度和中值等参数，再按“ ”键一次，此键反变色“”，仪器一直处于执行等待外部触发采样状态，当获得触发信号时，系统将采集到多次脉冲波形，并显示到屏幕上。注意：当无外部触发时，再按一次“”键，此键回复原色，系统解除采样。

六、测试方法的操作简介

1、低压脉冲法测试电缆的断线、短路故障距离

1) 接线：

先将双夹测试线接至“信号”端口，再将测试线的红夹子夹在故障电缆的一个故障相，黑夹子夹在故障电缆的另一个故障相。



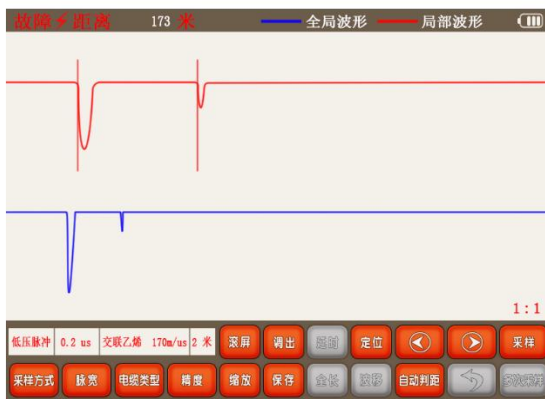
低压脉冲法连线示意图

2) 开机:

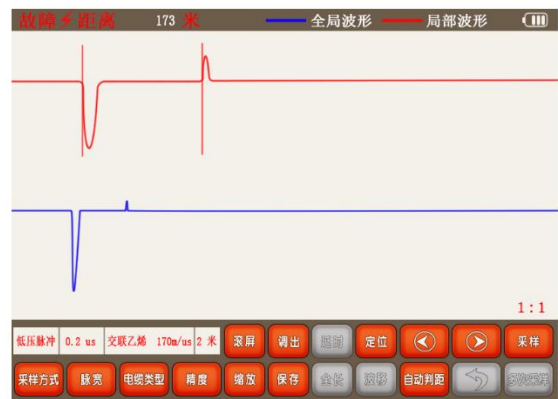
按下开关键，屏幕将显示开机界面；点触一下液晶屏进入测试界面。此时系统默认测试方式为“低压脉冲法”、脉宽“ $0.2\mu\text{s}$ ”、电缆类型为“交联乙烯”、精度“2m”。然后依据被测电缆绝缘材质、长度等因素再调整默认项目为适合本次测试的内容。

3) 采样:

点击“采样”键，仪器发出测试脉冲并自动触发捕捉到反射脉冲。此时界面将显示电缆的断线和短路波形如下图示。若波形的幅度、位置不合适，操作者可调节“中值”或“幅度”，再重新采样刷新，直到操作者认为回波的幅度和位置适合分析定位为止。



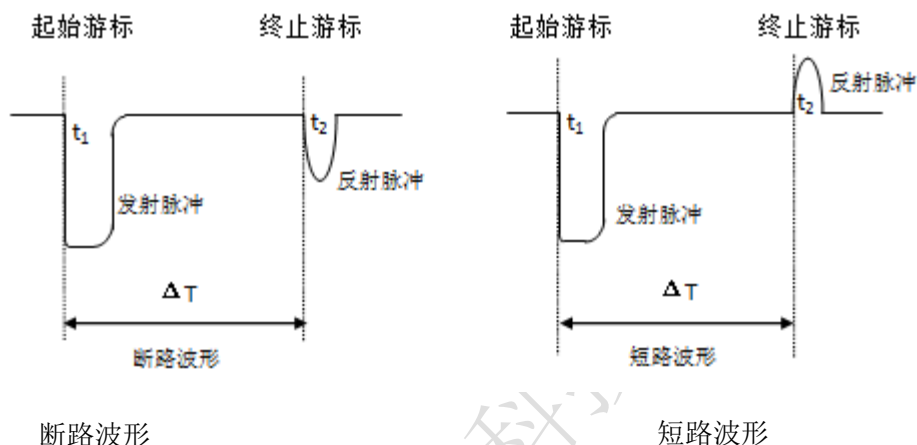
低压脉冲法测试的断线故障波形



低压脉冲法测试的短路故障波形

4) 判读:

低压脉冲波的判读比较容易，只要将游标分别定位到发射波及反射波的起点即可（详见波形分析基础理论），游标通过左移键或右移键操作。



2、低压脉冲法测试电缆长度（全长）

1) 接线：

先将双夹测试线接至“信号”端口，再将测试线的红夹子夹在电缆的一个好相，黑夹子夹在电缆的另一个好相。

2) 与上述“低压脉冲法测试电缆的断线、短路故障距离”中的 2)、3)、4) 相同。

3、波速测量

仪器直接给出了 4 种常用电缆的平均波速，有时也会碰到需要测试未知波速的电缆，此时就要用到波速测量功能。波速的测试方法如下：

1) 选一条已知长度的电缆，最好是 100 米以上，越长测量结果越准确。

2) 接线：与“低压脉冲法测试电缆长度”中的 1) 相同。

3) 开机：按下开关键，屏幕将显示开机界面；点触一下液晶屏进入测试界面。采样方式调整为“速度测量”；按“全长”键将电缆类型显示区调整为已知电缆的长度。

4) 与上述“低压脉冲法测试电缆的断线、短路故障距离”中的 2)、3)、4) 相同。

距离显示区显示的就是该电缆的波速。

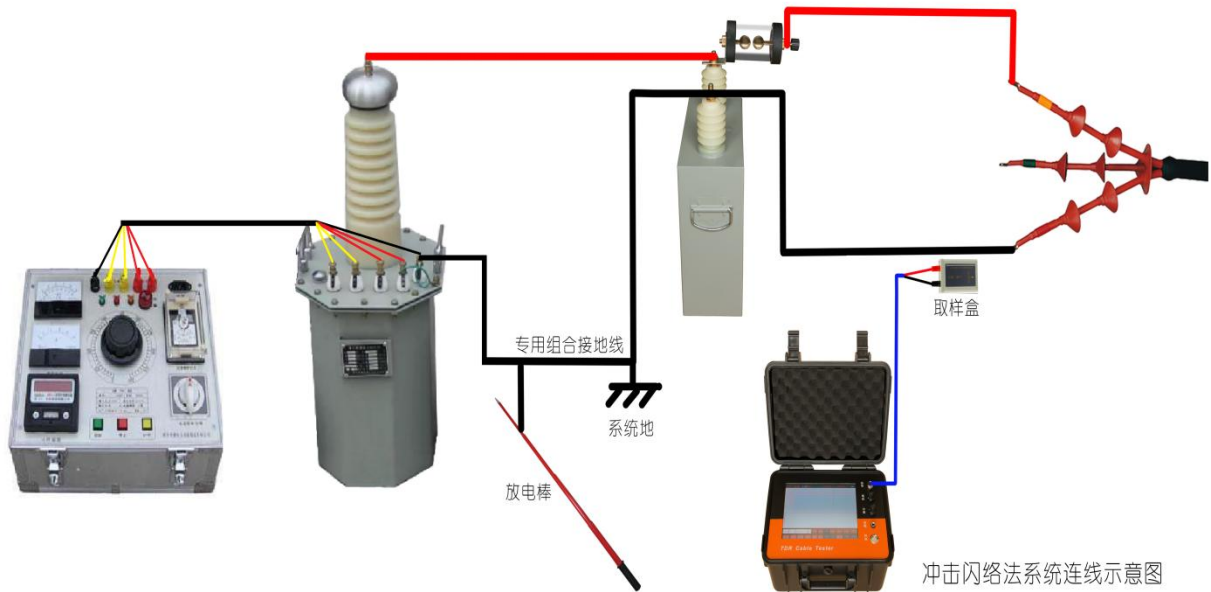
4、冲击闪络法测试电缆的高阻故障距离

1) 接线：

首先，按要求完成高压闪络的接线；

然后，用双夹测试线将采样盒与测距主机相连接，再把采样盒放置于高压电容器的接地线旁边。

如下图示：



2) 开机:

首先开启冲击闪络并保证故障点放电充分；按下测距主关键，屏幕将显示开机界面；点触一下液晶屏进入测试界面。采样方式选择“高压闪络”。

3) 采样:

点触一次采样键，此时采样键变色仪器处于采样等待中；故障点每放一次电，仪器采样刷新一次，同时可调节中值、幅度旋钮配合采样，直到波形适合分析为止。再次点触采样键，此时采样键回复原色仪器停止采样。

4) 判读:

按照闪络波的分析判读方法（详见波形分析基础理论）将起始游标和终止游标分别卡到一个周期的起点和终点。



七、波形分析基础理论

电缆故障波形分析原理

➤ 低压脉冲测试法：

● 应用范围

用低压脉冲法可以直观地看到低阻、短路故障及断路故障。据统计这类故障约占电缆故障的 10%。对于判断结构较为复杂的电缆线路往往具有相当重要的参考价值（如线路上有 T 接头，或中间有环型接头等）。

● 工作原理

测试时，在电缆故障相上加上低压脉冲，该脉冲沿电缆传播直到阻抗失配的地方，如中间接头、T 型接头、短路点、断路点和终端头等等，在这些点上都会引起电波的反射，反射脉冲回到电缆测试端时被电缆故障测试仪接收。电缆故障测试仪可以适时显示这一变化过程。

根据电缆的测试波形我们可以判断故障的性质，当发射脉冲与反射脉冲同相时，表示是断路故障或终端头开路。当发射脉冲与反射脉冲反相时，则是短路接地或低阻故障。

凡是电缆故障点绝缘电阻下降到该电缆的特性阻抗，甚至电流电阻为零的故障均称为低阻故障或短路故障（注：这个概念是从采用低压脉冲反射法的角度，考虑到阻抗不同对反射脉冲的极性变化的影响而定义的）。

下面给出一个电缆特性阻抗的参考值：铝芯 240 平方毫米截面积的电力电缆的特性阻抗约为 $10\ \Omega$ ；铝芯 35 平方毫米截面积的电力电缆的特性阻抗约为 $40\ \Omega$ 。其余截面的铝芯电力电缆的特性阻抗可据此估算。

凡是电缆绝缘电阻无穷大或虽与正常电缆的绝缘电阻值相同，但电压却不能馈至用户端的故障均称为开路（断路）故障。

故障距离是由发射脉冲与反射脉冲之间的时间差得来的，这就涉及到电波在电缆中的传播速度问题，从有关的理论和实验中得知，电波在电缆中的传播速度只与介质有关，而与其横截面积大小无关。因此只要知道电缆的介质传播速度和电缆故障测试仪接受到的发射脉冲到反射脉冲的时间差，就可利用下式计算出故障距离。

$$S = V \cdot \Delta t / 2$$

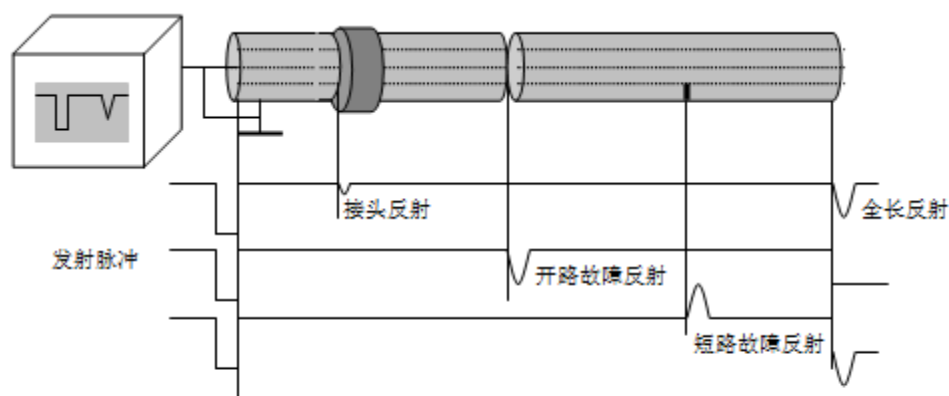


图 19 低压脉冲中测量时的具有代表性的波形

注：当接头做的比较好时接头无反射；当断路故障时全长无反射；对于高阻故障时，故障点无反射。

● 发射脉冲的选择

电缆故障测量仪器使用的电压脉冲一般有矩形、指数、钟形（升余弦）等。由于矩形脉冲形成比较容易，故应用比较多，我们也是采用此方式。

脉冲总有一定的时间宽度，假定为 τ ，则在 τ 时刻以内到来的反射脉冲与发射脉冲相重叠，无法区分开来，因此不能测出故障点的距离来，出现了盲区。假设发射脉冲宽度为 $0.2\mu\text{s}$ ，电缆电波速度是 $160\text{m}/\mu\text{s}$ ，其测量盲区就是 16M ，仪器发射脉冲越宽，测试盲区越大。从减小盲区的角度看，发射脉冲的宽度窄一些好，但脉宽越窄，它所包含的高频成分越丰富，而线路高频损耗大，使反射脉冲幅度过小，畸变严重，远距离的测试效果不佳。为了解决这个问题，脉冲反射仪器将脉冲宽度分为两个范围。既“远近”键，近键为脉宽 $0.2\mu\text{s}$ 、幅度 180V ；远键为脉宽 $2\mu\text{s}$ 、幅度 280V 。当故障距离比较大（ 400M ）时，选远键。反之选近键。

➤ 高压闪络测试法：

● 应用范围

电力电缆的高阻故障（高阻故障：故障点的直流电阻大于该电缆的特性阻抗的故障为高阻故障）几乎占全部故障率的90%以上。在未经“烧穿”处理之前，绝大部分故障都不适合直接采用低压脉冲法或电桥法测试，这往往给现场电气工程技术人员在故障处理方面带来很多困难。虽然有一部分高阻故障利用交流或直流“烧穿”设备可以使故障点因电流通过而发热碳化使电阻值变低，以适合低压脉冲或电桥法测量。然而大量的实践证明，并不是所有的高阻故障都能用“烧穿”法烧成低阻故障的。有的接头故障长期烧而不穿，有的阻值甚至越烧越高。为了解决这样的问题就必须采用高压闪络测量法。

● 工作原理

就大部分故障本质来说，基本都属于绝缘体的损坏。高阻故障是由于绝缘介质的抗电强度下降所致。因为故障点的阻值高，测量电流小，所以即使用足够灵敏的仪表也难以测量。对于脉冲法，由于故障点等效阻抗几乎等于电缆特性阻抗，所以反射系数几乎等于零，因得不到反射脉冲而无法测量。但从介质的电击穿现象出发，只要对电缆加足够高的电压（当然低于最高试验电压），故障点就会发生击穿现象。在击穿的瞬间，故障点被放电电弧短路，所以在故障点放电前后，就产生电压的跃变。由于介质击穿，其电离过程需要一定的时间，而弧光放电一般要持续数百微秒到几个毫秒，因此跃变电压在放电期间就以波的形式在故障点和电缆端头之间来回反射。如果在电缆的端头（始端或终端），把瞬间跃变电压及来回反射的波形记录下来，便可测量出电波来回反射的时间；再根据电波在电缆中的传播速度，就可以算出故障点到端头的距离。基于这个物理机理产生了闪络测试法。

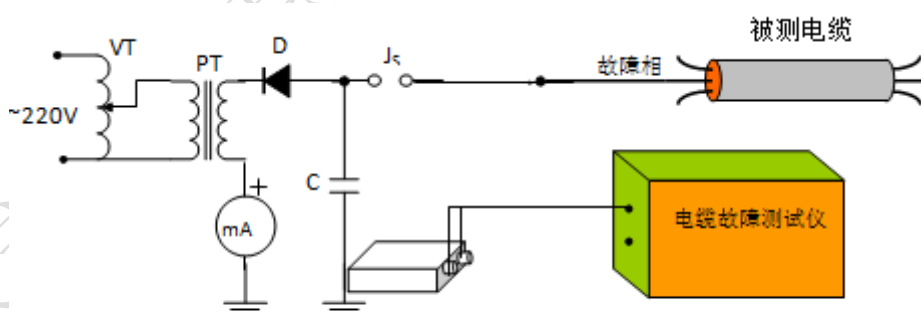


图 20 冲击高压闪络测试法线路原理图

按图 18 电源接上后, 实验变压器 PT 对电容器 C 充电。当电压高到一定数值时, 球间隙 J 被击穿, 电容器 C 上的电压通过球间隙的短路电弧直接加到电缆的测量端。这个冲击电波沿电缆向故障点传播。只要电压的峰值足够大, 故障点就会因电离而放电(注: 因为欲使故障点闪络放电, 不但需要足够高的电压, 还需要一定的电压持续时间)。故障点放电所产生的短路电弧使沿电缆送去的电压波反射回去。因此, 电压波就在电缆端头和故障点之间来回反射。借助于电缆故障测试仪主机观察到来回反射的电压波形。

图 21 是个实测波形。从波形中可以看出在电缆里衰减的余弦振荡及叠加在余弦振荡上的快变化脉冲。

对波形中的慢变化的衰减余弦振荡可以这样解释: 故障点放电所形成的短路电弧使电缆相当于一根短路线, 球间隙击穿瞬时就是充电电容器 C 对短路线放电的过程。由于短路

线可等效成一个电感, 因而它们相当于电感—电容充放电振荡回路。考虑到回路的损耗, 得到的就是一个衰减的余弦振荡, 如图 17 所示。



图 21 闪络测量法未扩展的波形

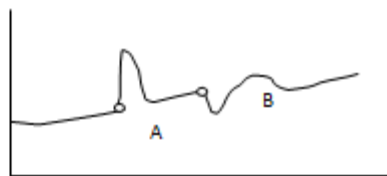


图 22 闪络测量法已扩展的波形

图 21 观察到的波形为闪络全过程, 图 22 观察到的波形为左图扩展后的波形。实际上, 我们用来测量故障点距离的不是这个衰减振荡的慢过程, 而是叠加在这个慢过程上的一些快速尖脉冲。把余弦振荡的前面一段加以扩展, 其波形如上右图所示。只要测试出波形的第一个上突跳的拐点 A 到第一个负脉冲下突跳拐点 B 间的时间间隔, 便可利用公式

$$S = V \cdot \Delta t / 2 \text{ (m)}$$

算出测试端到故障点的距离。

闪络测量法的巨大优点在于几乎能适应任何类型的故障。大量实践证明, 闪络测量法是对付那些被人们用别的方法测不出来而被称之为最顽固的故障的最强有力手段。所以目前在我国凡是具有电力电缆故障闪络测试仪的单位均无一例外地把闪络法作为最主要的测试方法。

● 故障点击穿的判别

在冲击高压闪络法测试中的一个关键的问题是判断故障点是否击穿放电。很多人由于缺乏实践经验, 往往以为球间隙放电就可以从屏面上看到正确波形了。其实这种想法是片面的。球间隙的击穿与否只与两球间的距离及所加电压幅度有关, 距离越大, 击穿所需的电压就越高, 通过球间隙加到电缆上的电压就越高。而电缆故障点能否被击穿仅取决于电缆上得到的冲击电压的高低。球间隙太小, 击穿时加到电缆上的电压可能低到无法电离击穿故障点, 这种情况下, 球间隙看来是被击穿了, 但是电缆故障点并没有被击穿, 因此就无阶跃电压反射回来。在屏幕上仅能看到负高压在传到电缆终端被反射的终端反射波, 无法测出故障距离。故障点未被击穿的典型波形如图 23 所示。

从图 23 中可以看出，电缆故障点未被击穿时，波形上的向下波动仅是终端反射波的作用，并且可以看出从波形起点（下突跳点）到第一反射波之间的时间间隔正好代表了电缆全长。

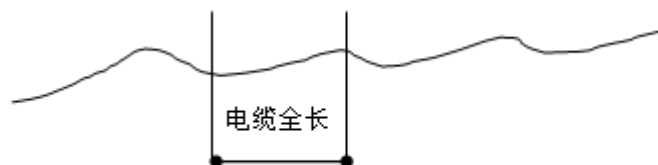


图 23 电缆故障点未放电波形

如果电缆没有故障或冲击电压过低或储能电容 C 过小，电缆就不会出现闪络现象。这时电缆相当于开路线，即可等效为电容，球间隙击穿瞬间，一方面储能电容 C 对电缆的等效电容充电，另一方面这个等效电容与储能电容 C 并联，并通过电阻分压器 R_1 、 R_2 放电。其过程呈指数衰减波形，如上图所示，仅能看到电缆终端反射波形。

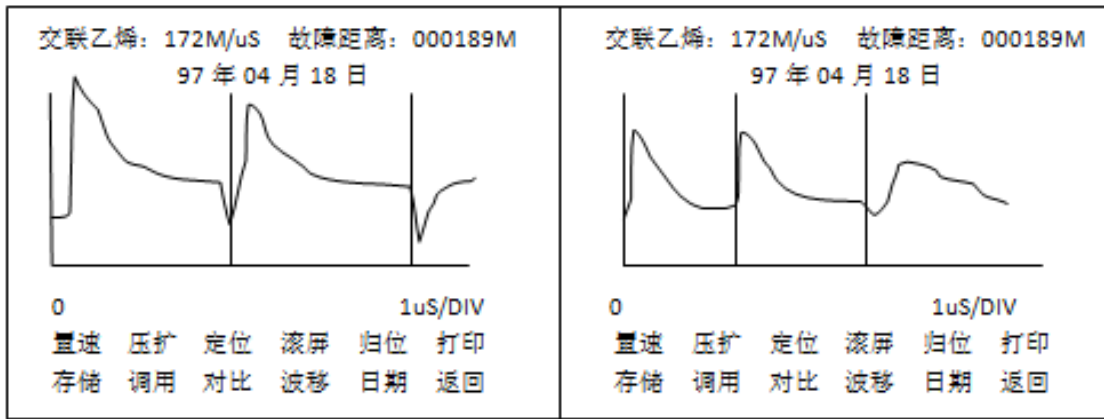
一旦在屏上出现图 23 的波形时，则表示电缆故障点未被击穿，所加冲击电压太低，需加大球间隙距离，增加冲击电压幅度，直至有大余弦振荡信号出现，便可扩展波形仔细分析，读出距离来。

从波形上可以准确地判定电缆故障点击穿与否。另外，还可以从球间隙放电的声音来判断，当球间隙放电声嘶哑、不清脆，而且火花较弱，放电时间较长，电缆故障点一般未被击穿。另外，从串入高压变压器 PT 次级上的电流表在球间隙击穿瞬间所摆动的幅度大小也可用来判别故障点放电与否，一般电流表摆动在 $5\sim 10\text{mA}$ 范围时，表明电缆故障点未被击穿。如果电流表指针在 $30\sim 80\text{mA}$ 范围内摆动，且球间隙放电声清脆响亮，一般可说明故障点被击穿（有时故障点电阻值较低，冲闪电流表指针摆动范围也大，球间隙放电声也大，但故障点却不一定被击穿，不过此种情况不多见）。此时可按测试步骤测试故障距离。

● 故障点靠近测试终端的波形

在用冲击电压闪络法测试时，在显示屏面上，对于故障点在电缆终端或接近终端端头的情况，显示的波形往往与基本波形有所不同，图 24 (a) 是实测波形。

从图 24 (a) 中的波形可以看出，第一个正脉冲前还有一个负尖峰，后面的波形也有相应的变化。这给缺乏实测经验的人往往造成判读上的困难，不知道从何处读起。前面已经说过，电缆在加冲击负高压时，故障点处负高压上升有一个过程，故障点的电离放电也有一段迟延时间，所以在故障点放电之前，冲击电压波已经在终端头被反射，并越过故障点传向测试端。在此之后故障点才被电离击穿，形成正向阶跃电压向测试端传输。因此在第一回波的正脉冲前出现了负尖峰。这一波形在故障点与测试端间来回反射，使以后的第二、第三、……回波也相应变化，增加了波形的复杂性。如果两个回波的时间差从第一回波正脉冲前的负尖峰下降拐点算起的话，将会造成相当大的测量误差。只能从第一回波的正突跳拐点算起直到第二回波的负突跳拐点这段时间才是正确的。



(a) 终端不接跨线时的实测波形

(b) 终端接跨线时的实测波形

图 24 故障点在终端或接近终端的测试波形

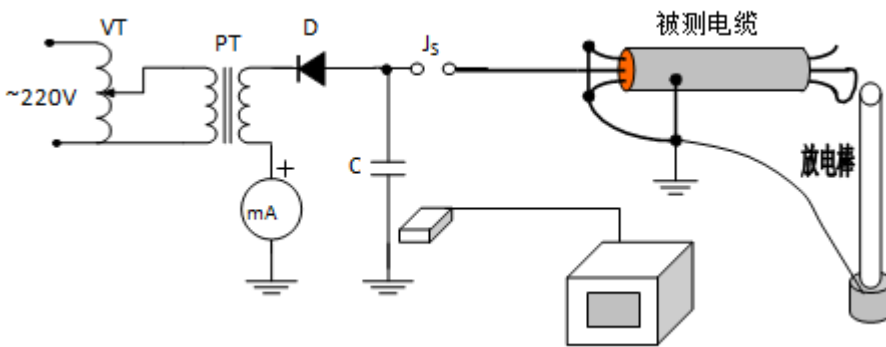


图 25 终端接跨线时的接线图

为了避免故障点放电前冲击电压波在终端头的反射，可象图 25 那样，在故障相终端头与任一无故障相连一跨接线。这样，冲击电压波到终端时将沿跨接线传至无故障相，不会有终端反射的情况，第一个回波前的负尖峰就消失了，如图 24 (b) 所示。

如果所加的电压不够高，即使故障点离终端还有相当一段距离，也可能会出现冲击电压波在终端头反射后到达故障点才放电的情况，这主要是故障点电离击穿延时太长的缘故。这时的波形和图 24 (a) 类似，所以当出现上述波形时，应当具体情况具体分析。如果是冲击电压不够高引起波形畸变，只要适当提高冲击电压即可得到正常的测试波形。

● 故障点靠近测试始端的波形

故障点就在测试端的电缆头或接近测试端(10~30m)时,要精确读数往往是很困难的,一般用平均值来估读故障点的距离。

对于冲击高压闪络法来说,除记录速度的限制外,还因为前面一个回波会影响后面一个回波的波形,使整个波形比较混乱。故障点越靠近测量端,波形中的快速振荡过程就越密集,如果故障点就在电缆端头上,波形中就再不会有快速尖脉冲存在,而几乎是一典型的光滑的大余弦振荡波形(由于引线的杂散电感分布,在大余弦振荡的前一部分也可能有十分模糊、无法辨清的毛刺),如图 26 所示。

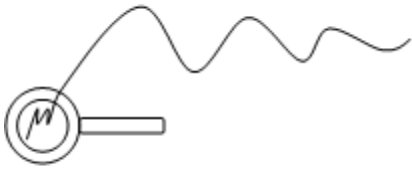


图 26 故障点在始端的震荡波

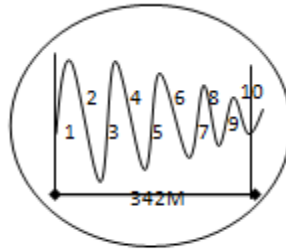


图 27 故障点在始端的波形放大

对于近距离故障，波形读数的精确与否是有技巧的。为了更精确些，可以读 2~5μs 时间内小振荡的周期数或反射波的次数，再简单换算一下便可以得到故障距离了。

例如图 27 所示的闪络故障波形，闪络产生的振荡在一定时间内振荡了 5 周，即波形在电缆中来回反射了 10 次，而这段时间内对应的距离为 342M，故实际故障点距离点距测试端的距离为

$$l_x = 342 / 10 = 34 \text{ (M)}$$

近距离测试时估出的相对误差可能会大一些，但由于故障点距离很近，绝对误差不大，不会给定点带来很大困难。只是在定点时，由于球间隙离定点位置较近，地震波的声音往往由于球间隙放电打火声而被淹没，无法判断地震波。此时可将球间隙（高压部件）移至故障电缆终端，高压设备仍留在始端，让高压经过一无故障相送至球间隙一端，再让球间隙的另一端与故障相连接。这样，当高压击穿球间隙产生冲击高压送至故障相时，测试端避免了球间隙打火声引起的干扰，便于判断故障点的地震波。具体接法见图 28 所示。

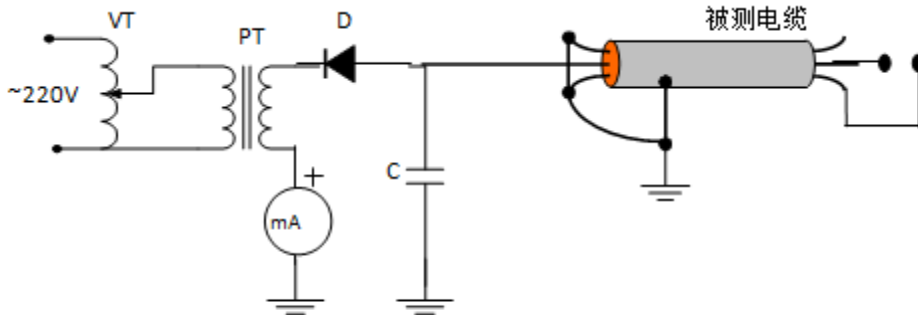
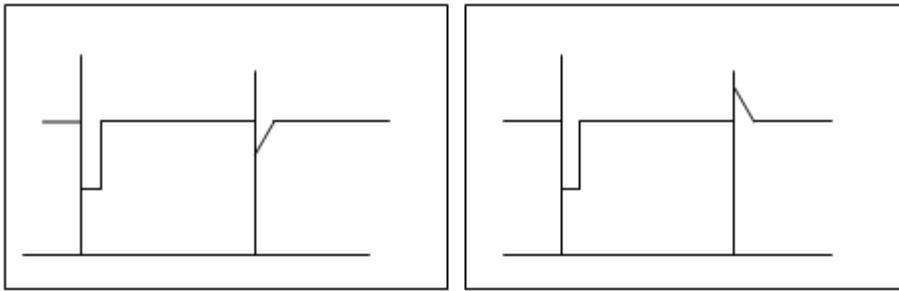


图 28 球间隙放在终端的接线图

各种标准波形

在实际测试中我们将遇到各种各样的波形，如何分析波形是很关键的，波形变化有一定的规律，只要我们多看多比较就会很快掌握，下面是我们由实际波形的变化得出的一组标准波形。

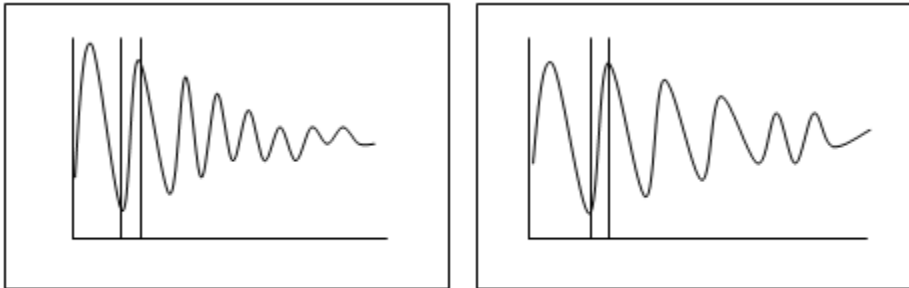
➤ 低压脉冲测试波形



(a) 开路反射波形 (b) 短路及低阻反射波形

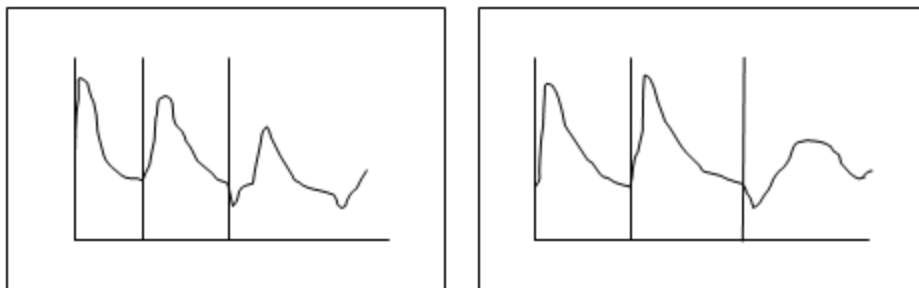
➤ 高压闪络测试波形

● 故障在测试始端的波形



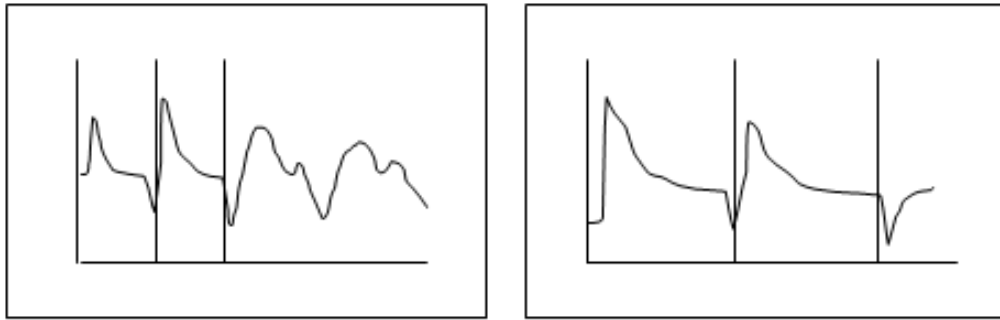
(a) 距离很近 (b) 距离较近

● 故障在中间段的波形



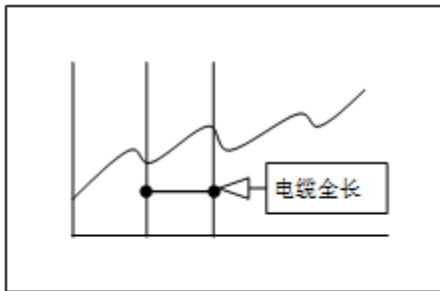
(a) 距离较近 (b) 距离较远

- 故障在测试终端的波形



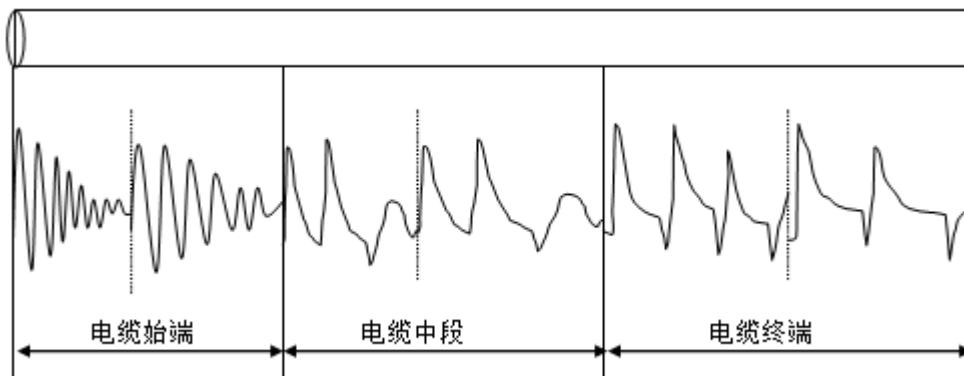
(a) 电缆较短时 (b) 电缆较长时

- 故障未放电时波形



- 闪络法测试波形的变化规律图

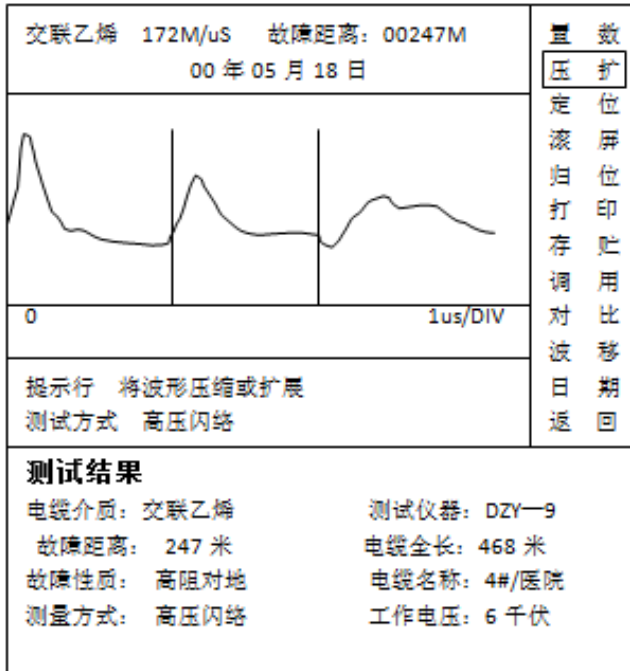
下图是我们根据闪络测试法的波形而绘制成的变化规律图，只要仔细观查分析就可看出它们中的变化规律。希望使用者一定要掌握标准波形以及它们在不同区间的变化规律。



电缆实测波形

下面所列的波形均为实际测试波形，希望广大用户在实际应用中，形深刻体会，最终作到熟练判断。

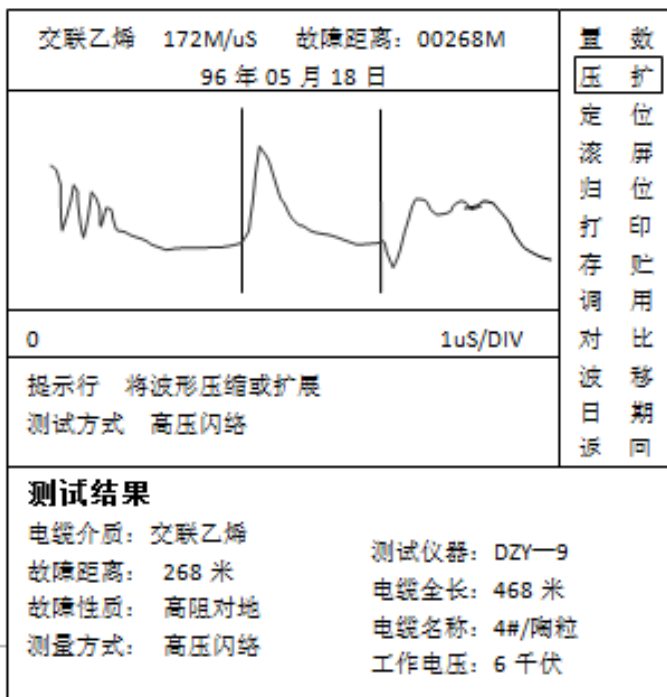
北京大学动力中心 测试报告



波形分析:

典型的闪络测试波形，故障在测试电缆中段，故障放电充分，上升沿下降沿明显判读容易。

广州钢铁有限公司动力厂 测试报告



分析:

该电缆测试波形为典型的中间段故障波形，由于电缆头受潮使得前端有一些杂波。测试时只须找准上升沿与下降沿即可。该波形的上升沿与下降沿都较容易判断。



北京中科院北郊供电部 测试报告

交联乙炔: 172M/uS 故障距离: 00813M 99年06月02日		置数 压扩 定位 滚屏 归位 打印 存贮 调用 对比 波移 日期 返回
测试方式 闪络方式 提示行 将波形压缩或扩展		
测试结果 电缆介质: 交联乙炔 测试仪器: DZY-2000 故障距离: 813米 电缆全长: 1220米 故障性质: 高阻 电缆名称: 变2/地球所 测量方式: 高压闪络 工作电压: 380伏		

分析:

该电缆测试波形为典型的故障点在中间段且距离较远的波形，中间延迟很长，从延迟可以看出距离很长，该类波形较易判断。

山东鲁抗制药动力车间 测试报告

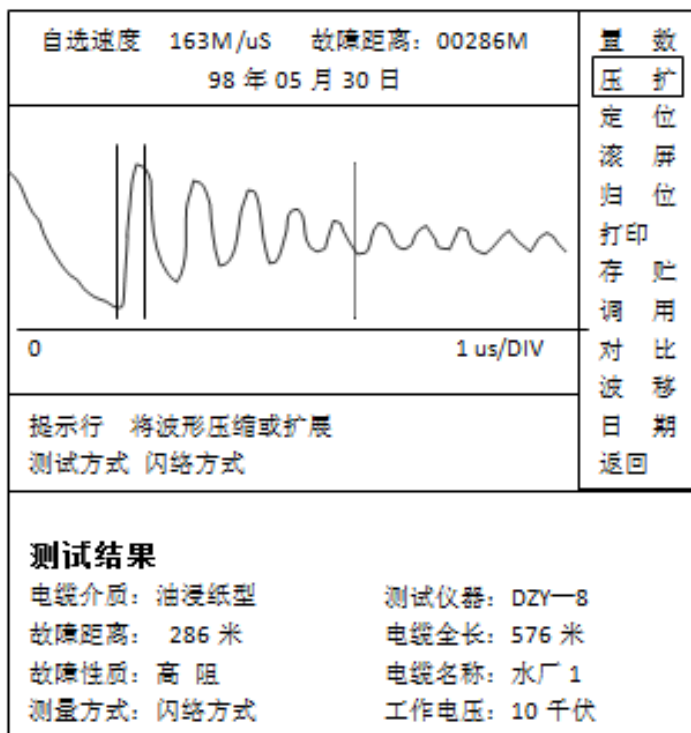
交联乙炔 172M/uS 故障距离: 00176M 98年03月09日		置数 压扩 定位 滚屏 归位 打印 存贮 调用 对比 波移 日期 返回
提示行 将波形压缩或扩展 测试方式 高压闪络		
测试结果 电缆介质: 交联乙炔 测试仪器: DZY-9 故障距离: 176米 电缆全长: 182米 故障性质: 闪络 电缆名称: 配电/水泵 测量方式: 高压闪络 工作电压: 380伏		

分析:

该电缆测试波形为故障点在中间段且故障点距离测试端较远的波形，中间延迟过程比较长，此波形始终点较明显，比较容易判读。

按虚线判读也可以。

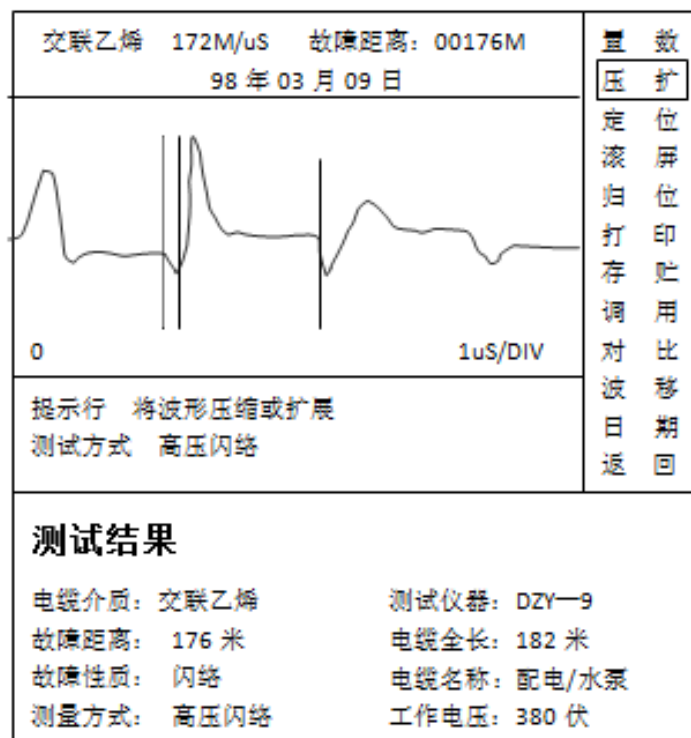
武汉铁路分局信阳水电段 测试报告



分析:

此波形为故障点距测试端很近的波形, 由于距离很近中间无延迟, 上升沿与下降沿已十分接近, 波形近似于衰减的正弦波, 此时可用单波或多波累加法来判断故障的位置, 单波定距为 26 米。多波判断时起点到虚线的距离为 $S_1=286$ 米, 中间有 10 (n) 个振荡次数, $S=S_1/n=286/10=28.6$ 米。实际故障距离为 28.6 米。

银光化工动力车间 测试报告

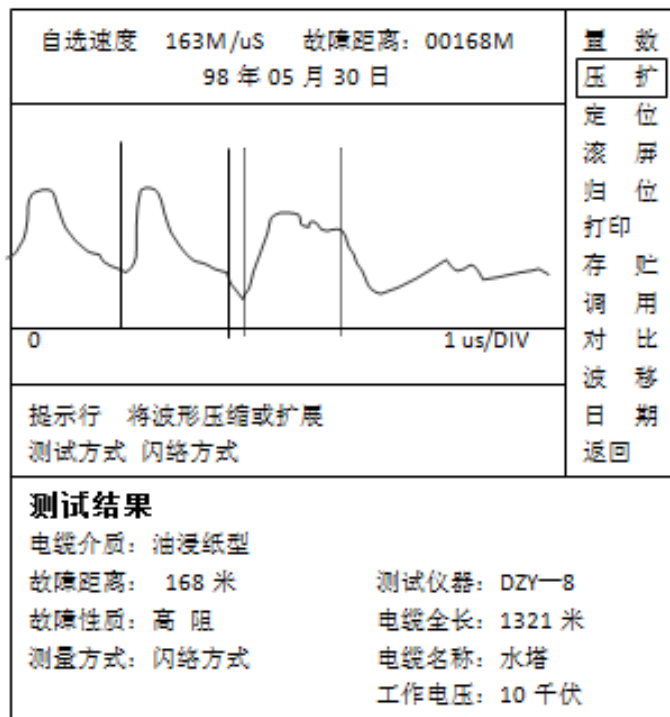


分析:

该电缆的测试波形为一典型的故障点在靠近电缆终端的波形, 在正脉冲前有个负尖峰(箭头指示), 量距时注意正脉冲的上升沿到第二个回波的下降沿为正确的始终点。见双实线, 而以虚线定位的起点为错误起点。



南通机场基建管理科 测试报告

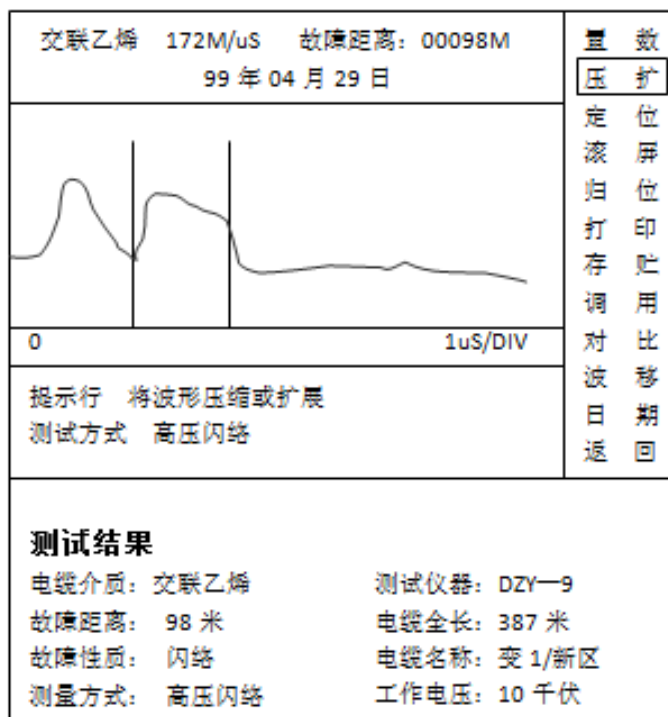


分析:

该电缆测试波形为典型的故障点在中间段波形, 中间延迟很短, 只需找准上升及下降沿即可。

按虚线量距也可以, 测量结果一样。

山东鲁西化工动力 测试报告

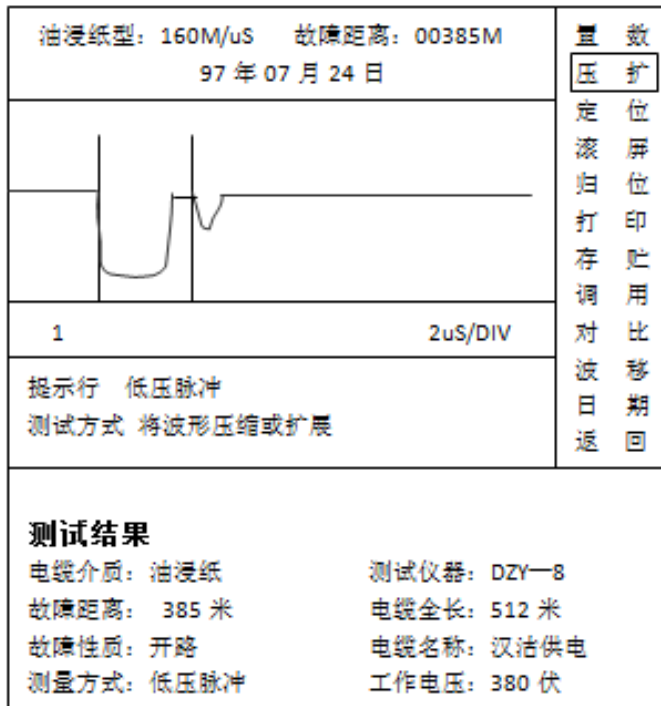


分析:

该电缆的测试波形为故障点在始端且距离始端较远的波形, 由于电缆回波只能看清一两个, 因此只能以单个波来分析, 寻找正确的上升沿和下降沿即可准确测试该故障。



郑州路灯所 测试报告

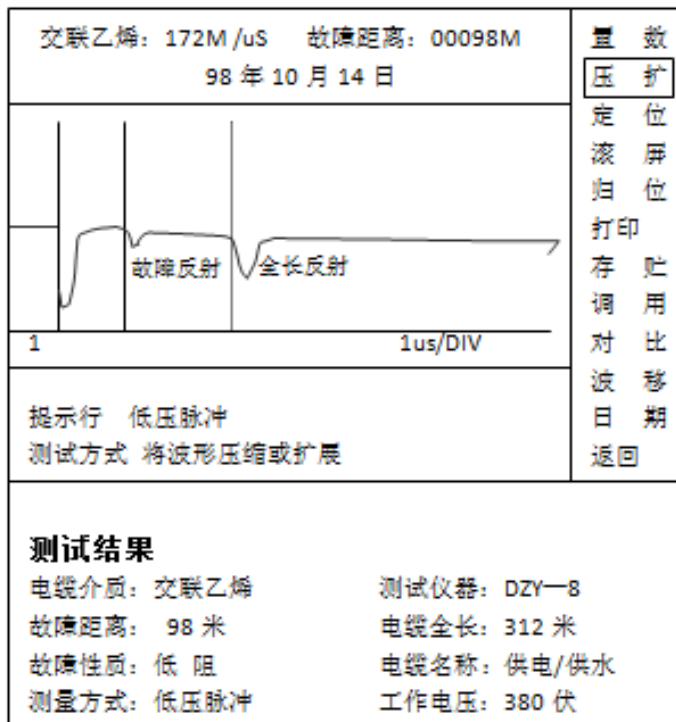


分析:

本电缆故障性质为运行故障，因故障时产生强大的冲击电流，使电缆完全烧断，形成开路故障。用低压脉冲方式测量，由于故障距离较远，选择宽脉冲。

从波形上可以看出反射脉冲与发射脉冲为同相。测试时应以发射脉冲的下降沿为起点，反射脉冲的下降沿为终点。

北京技术开发区 测试报告



分析:

该波形为低压脉冲低阻测试波形，由于故障点的故障电阻的存在，在故障点将有反射波形，因对地的电阻大于电缆本身的特性阻抗，所以反射波应与入射波同相。

从波形中我们可以看到故障点与全长均有反射，全长距离大于故障点距离。

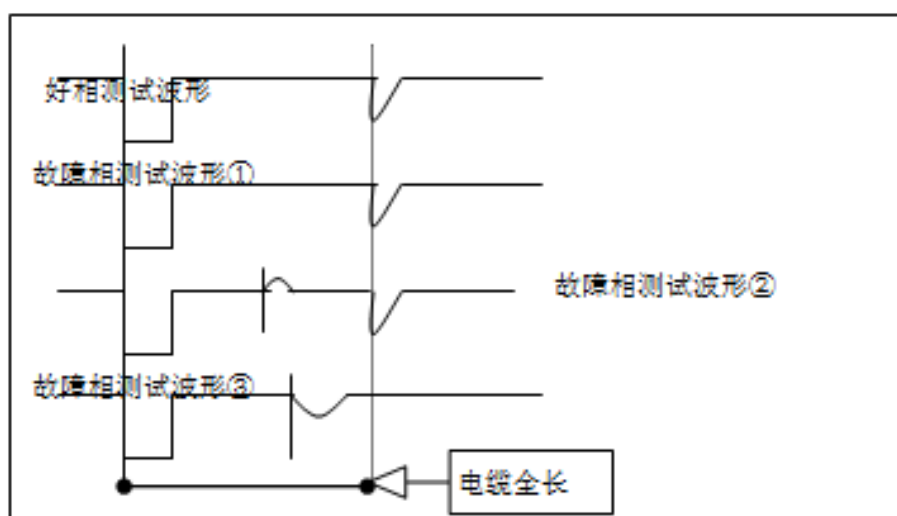
测试中的基本问题

➤ 如何判断高阻和低阻故障？

电缆故障点的绝缘电阻小于或等于该电缆的特性阻抗时称为低阻故障，反之称为高阻故障（此定义是从采用脉冲反射法的角度，考虑到阻抗不同对反射脉冲的极性变化的影响而下的）。

当用低压脉冲测试时故障点有反射(且发射波与反射波反向)此故障为低阻故障。反之，为高阻故障。

➤ 下图为用低压脉冲测试故障相的波形，请您判断故障为何种故障？



故障相测试波形①为高阻；②为低阻或短路；③为开路。

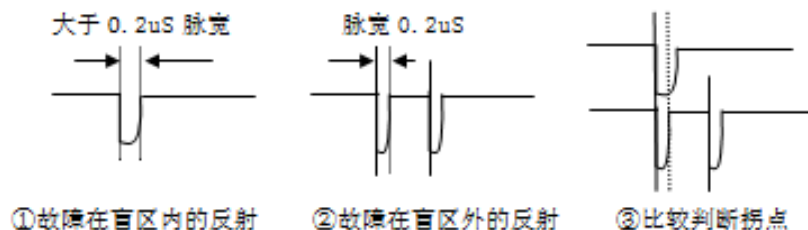
➤ 本套仪器的测试盲区为多少？如何消除盲区？

对于电缆故障测试仪主机来说，测试“盲区”为发射脉冲的宽度，因为当反射脉冲在发射脉冲宽度之内反射，两波形重叠判断起来比较困难。见下图所示：由左图可以看出由于反射波在“盲区”之内反射，两波形重叠到一块波形变宽，反射波拐点无法判断，产生了测试“盲区”。本套仪器的主机测试“盲区”大约为 20 米（根据发射脉宽和电波的传播速度得来的）。

消除“盲区”有两个基本方法：

(1)将测量终点改为测试点，这样就消除了故障点距离测试点很近的测试“盲区”。

(2)将故障在发射脉宽内反射的测试波形与正常的波形相比较，通过比较就可判断反射波的拐点（如下图）。



► 低压脉冲法测试时为什么要选择远近键？

我们知道电波在电缆中传输是有损耗的，而脉冲宽度越宽幅度越大损耗越小。主机的远近键选择实际上就是选择发射脉冲的脉宽及幅度的大小（远键：发射脉冲的脉宽为 2μs 幅度 280V。近键：发射脉冲的宽度为 0.2μs 幅度 180V）。

当故障点距离测试端较近时，若用宽脉冲（远键）测试，故障点就可能在“盲区”之内反射，给测试带来困难。

当故障点距离测试点较远时，若用窄脉冲（近键）测试，由于电缆比较长电波损耗比较大，故障点就可能无反射。

因此我们用低压脉冲测试时要选择远近键，一般故障距离小于 400 米时选择“近键”。大于 400 米时选择“远键”。

► 电缆的电波传播速度是由什么来决定的？

电缆的故障距离是由测量脉冲与回波脉冲之间的时间差推算出来的。

$$S = V \Delta \cdot t$$

时间差 Δt 可由机器接收并测量，而电缆的电波传播速度 V 与什么有关呢？从有关的理论和大量的实际测量中得知，电波在电缆中传播，其传播速度只与绝缘介质有关，而与其截面积大小和芯线的材料无关。

机器主机中已置入了一些常见电缆的电波传播速度，这些速度值是经过大量实践得来的，而对于一些特别电缆则必须重新测量电波在该电缆内的传播速度。

► 高阻故障主要分为哪两类？它们的特点是什么？

高阻故障分为高阻泄漏和闪络性故障。

泄漏性高阻故障：当电缆的泄漏电流值随所加的直流电压的升高而连续增大，并远远超过被测电缆本身所要求的规范值。即电缆绝缘介质损坏并形成固定的电阻通道，但阻值比较高。见图 29。

闪络性高阻故障：在电缆的预试电压范围内，当电缆的预试电压加到某一定数值时，电缆的泄漏电流值突然增大，其值远远超过被测电缆所要求的规范值。这种故障的绝缘介质虽然损坏，但却没有形成固定的电阻通道。

高阻故障的本质表现在图 29 等效电路中的“高阻泄漏电阻”上，“高阻泄漏电阻”的阻值直接决定了高阻故障的特性。

① 当 R 近似无穷大时，故障点 J 两端的直流电压可以增至相当高而泄漏电流还不至于超过额定值，完全可能在电压升至额定值前被击穿，并形成闪络性故障。

② 当 R 小于一定值时，此时作耐压试验，由于 R 的存在而产生较大的泄漏电流，泄漏电流将在高压电源的内阻上产生较大的压降，而使 J 两端的电压无法升高， J 可能无法被击穿。欲升高电压，泄漏电流势必增加，因此可能因泄漏电流大大超过允许值而使继电器保护动作， J 也就不会出现闪络现象。

③ 当 R 等于或小于被测电缆的特性阻抗时，故障性质便变成低阻故障了。

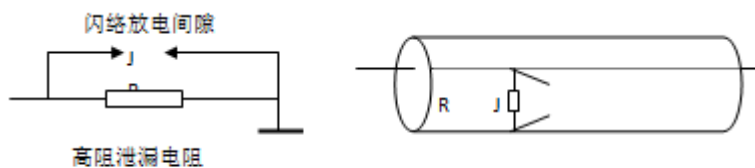


图 29 高阻故障等效电路图

➤ 电缆故障测试仪的测试误差都与什么有关？

追踪仪的主机是粗测设备，它的误差与下列因数有关：

① 仪器本身产生的测试误差。

本仪器的标准时基信号是由 25MHz 晶体振荡器产生的，它的误差反映在仪器上就是游标每走一格时的误差。当侧试图形放大到最大时，游标每移动一格就是 3.2 米。此误差很小一般可忽略不计。

② 电缆的电波传输速度 V 带来的误差。

电缆的测试距离与电波的传输速度有关，传输速度 V 一般最大可引起 2% 的相对误差，对于千米以下的中短距离故障，一般可满足粗测要求，但对于千米以上的远距离故障可能就会引起较大的误差。因此测故障前应校对一下被测电缆的长度和电波传输速度。

③ 测试波形定位时产生的误差。

当故障距离测试点很近时，测试波形反射比较密集，严重畸变产生较大相对误差，这时可以用多波累加法来判断。当故障距离测试点较远时，由于回波在电缆中来回反射可能产生波形衰减较大，而引起波形畸变幅度很小，给准确定位带来了困难。

放电不充分产生的离散误差。

在测试中常常出现离散现象，即每次冲击每次采样得到的读数都不大一致，这主要是由于故障点放电不稳定造成的，一般只要提高冲击电压就可改进。

地下电缆的实际距离与地面距离的误差。

用电缆故障测试仪主机测试电缆故障时，得到的距离数字是电缆故障点到测试端的实际电缆长度，而在地上丈量时对电缆的余留、弯曲等因素很难估算，因此产生很大误差。这类误差是整个测试过程中引起误差的主要因素。

➤ 测试中怎样选择测试方法？

测试中我们首先要分清故障是什么性质的故障，若是低阻或开路、短路故障则选择低压脉冲法，而高阻故障就必须用高压闪络法（当用低压脉冲测试时，电缆故障相有反射且反射距离小于电缆全长时应为低阻或短路开路故障。测试中无反射或反射与全长一致时，就可以判断此故障为高阻故障）。换句话说首先我们用低压脉冲法来测试，若低压脉冲法能解决的故障都用低压脉冲法，而低压脉冲法解决不了的故障才选择高压闪络法。

从一定意义上来说，高压闪络法可测试所有的故障，无论开路、短路、低阻还是高阻。因为施加高压只要故障点放电，电缆故障测试仪主机就可接收到放电过程并计算距离。但若低压脉冲法能解决的故障我们还是喜欢用低压脉冲法来解决。

➤ 用高压闪络法测试时应注意哪些问题？

过去测试都用电压电感取样法，接线复杂，尤其是地线必须分别连线，否则将打坏机器，现在使用电流取样，特别是主机用电池供电完全排除了干扰问题，但还有以下问题需解决。

1) 升压时必须从小到大升压，不可开始就将球隙离开过大。

2) 测试时必须连接放电棒，以备放掉电容中多余的电量。

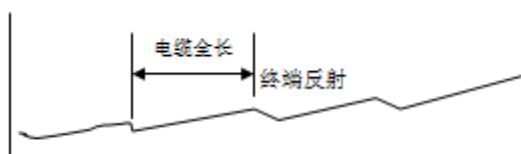
➤ 如何判断故障点是否击穿放电？若故障点未击穿能否长时间的带机测量？

故障点是否被击穿取决于冲击能量的大小，而冲击能量的大小取决于电压和脉冲电容

$$W=CV^2/2$$

当能量未达到一定值时，即使球隙放电，故障点也不一定放电。而有许多人由于缺乏经验往往以为球间隙放电就可以从屏幕上看到的波形上测距离了，其实不然。球间隙的击穿与否只与两球间的距离及所加电压幅度有关。距离越大，击穿所需的电压就越高，通过球间隙加到电缆上的电压就越高。而电缆故障点能否被击穿仅取决于电缆上得到的冲击电压的高低。球间隙太小，击穿时加到电缆上的电压就可能低到无法电离击穿故障点。在这种情况下，球间隙是被击穿了，但电缆故障点却未被击穿。判断故障点是否被击穿有以下方法：

①从波形上判断。



电缆故障点未被击穿时的测试波形

从上图中可以看出，波形没有正向阶跃电压，而且波形幅度很小，波形上的向下波动仅是终端反射波的作用，从波形起始点（下突跳点）到第一反射波之间的时间间隔正好代表了电缆全长。

②从球间隙的放电声音及放电间隔上判断。

当球间隙放电声音嘶哑，不清脆，火花较弱，并且放电间隔很长（有时达到6-7秒放一次电）。这时故障点一般未被击穿。

③通过串入高压变压器PT次级上的电流表来判断。

当球间隙放电时串接到PT上的电流表就摆动，我们可以根据电流表摆动的幅度的大小来判断是否放电。一般电流表摆动在5~10mA范围内时，表明故障点未被击穿。如果电流表指针在30~80mA范围内摆动，且球间隙放电声响亮清脆，一般可以说故障点被击穿了。

测试时，若故障点没有放电或放电不充分，切忌带机一直加高压冲击测量。因为当故障点没有放电或放电不充分时，冲击电压主要通过水电阻R1及电阻R2放电，时间稍长后R1发热，使得阻值下降，引起R2开路，导致仪器损坏

➤ 用低压脉冲法测试时，电缆接头是否一定会有反射？

很多人以为用低压脉冲测试时，电缆接头一定会有反射。其实不然，我们知道低压脉冲发射波能否被反射与电缆的绝缘阻抗有很大的关系，它还与测试仪器的灵敏度、测试仪器与被测电缆的匹配状况、被测电缆的衰减状况有关。当电缆接头处的绝缘电阻很高时，即使接头处有故障（此时接头故障我们可认为是高阻故障）也不一定反射。电缆接头故障有何特殊性？

故障点发生在电缆本体时，一般来说是容易判断的，只要用闪络法就可出现典型测试波形。但是如果故障点发生在电缆接头或终端头时，往往会发生判断困难，而且还会发生一些无法解释的反常现象。

接头故障在测试中有可能发生以下几种情况：

初测时，故障点电阻值较低，无法作耐压试验，而加上冲击高压后，绝缘电阻会越来越高，而且用主机观察时往往发现无故障点的反射回波，也就是故障点未被电离击穿。

②在作冲击高压闪络测量时，从球间隙的声音来判断，清脆响亮，似乎故障点是被击穿了，但从主机上观察不到故障点反射波（这往往是故障点击穿电弧爬距太大造成的）。

③作高压预试时泄漏电流很大，闪络电压加到预试最大值时还未出现故障回波，并且

随着冲击电流的加大，泄漏电流反而变小，绝缘电阻反而越高。

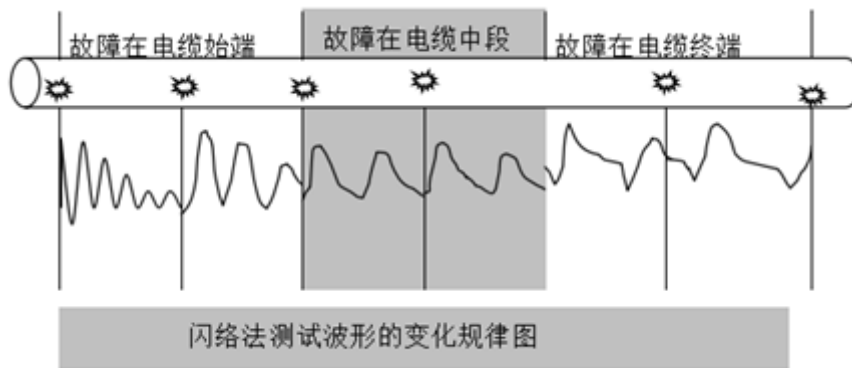
一般在测试时出现上述反常现象，则应考虑到故障点可能在接头处，应用特殊的方法来处理。如用高压冲击电流“烧穿”，或加大贮能电容的容量，提高冲击电压等等。

➤ 故障点有很大的放电声，但主机上看到的波形却是未击穿的波形。这是为什么？

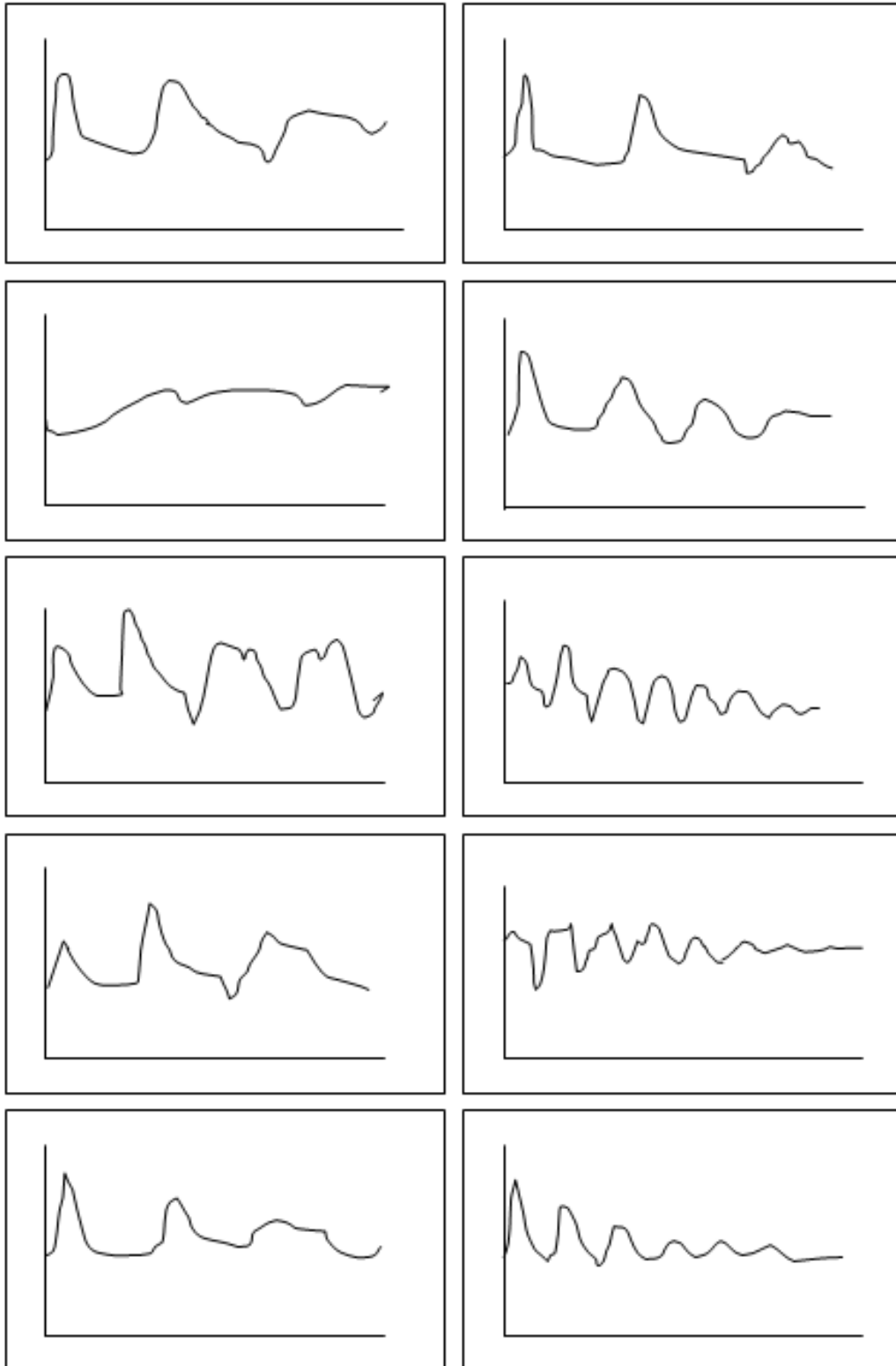
这有可能是由于故障电缆铠装及铅包破裂而未及时处理，时间一长潮气往往从破裂处渗透进去，形成大面积受潮。实践证明，在这种情况下，用高压闪络法测试时，从火花放电球间隙发出的声音及冲击电流数值来看，都可判断为故障点已被电离击穿，而实际没有观察到回波。屏幕上看到的测试波形近似未击穿的波形。但是在故障点处往往能听到相当大的放电声，并能看到故障点处的火花放电现象。在实测中这种情况虽然不多，但在似乎能够判断出故障点击穿放电，但又未观察到故障回波时，可考虑到电缆受潮这一因素。

➤ 用闪络法测试时，故障点在不同的地段波形有何变化？

用闪络法测试时，波形变化是有一定规律的，下面我们用工图来说明这种变化规律。



➤ 下列是一系列实际测试波形图，请判断起终点。



保定

第二章 地下管线综合探测仪

一、前言

1.1 研发意义

地下管线综合探测仪的研发生产在国内已有三十多年历史，我公司在研发生产地下管线综合探测仪的同时，长期致力于金属管线路由、故障测试技术的服务和研究，为客户解决了很多疑难问题，得到广大用户的信赖和支持，同时我们把现场的问题带了回来，有针对性研究，终于诞生了用户期望的、国内唯一的“金属管线综合探测仪”。该产品的研发成功，解决了多年来困扰供电部门带电寻径的问题；解决了故障管线准确路径寻测难的问题；开辟了金属管线寻径新领域，打破了国外产品在中国的垄断。

1.2 应用范围

自产品推向市场以来，因其功能强大、性能优越已广泛应用于城市供电局、县电力局、铁路供电段、大中型企业（石油、化工、煤矿、电厂、钢厂）、院校、物业小区、城市路灯、高速公路、通信维护等部门。在我们强有力的技术支持下，为供、用电部门快速抢修、快速查找地下管线发挥着应有的作用。

1.3 温馨提示

仪器虽功能强大、性能优越，但它总是一种工具，是辅助人来解决问题的一种工具，它不可能直接告诉人们线路的具体位置，但是，操作者可很容易根据仪器所反映的各种信息加以判断作出结论。

公司将在产品的改进、提高方面不懈努力不断推出技术更先进、性能更优越、功能

更完善的新产品，在金属管线监护、测试领域中为您提供坚实的物质基础和强有力的技术支持，同时希望用户给我们多提宝贵意见。

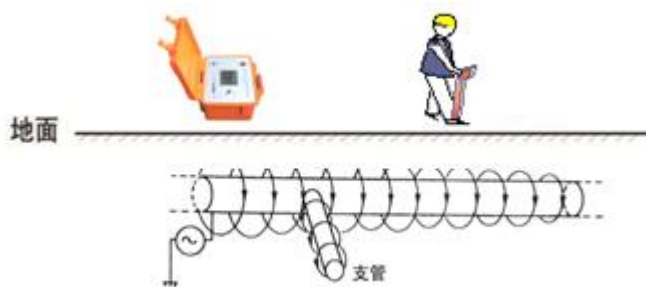
为了确保安全顺利使用本仪器，为了最大发挥仪器功能，请在使用仪器前仔细阅读用户手册。

二、仪器简介

2.1 工作原理

本仪器是以电磁波在传输过程中的反射原理和电磁感应原理为基础，结合数字滤波、无线接收、软件控制而设计的高科技产品。

电磁感应：其基本工作原理是：由发射机产生电、磁波并通过不同的发射连接方式将发送信号传送到地下被探测金属管线上，金属管线感应到电磁波后，在线缆表面产生感应电流，感应电流就会沿着金属线缆向远处传播，在电流的传播过程中，又会通过该线缆向地面辐射出电磁波，这样当地下金属管线测试仪接收机在地面探测时，就会在地下金属管线正上方的地面接收到电磁波信号，通过接收到的信号强弱变化就能判别地下金属管线的位置和走向。如下图所示：



此原理实现的条件：首先，要有能发出足够电能的信号源，在具备传输电能的线路中形成电流，电流在流动过程中又在该线周围产生磁场；其次，要有能接收这一特定磁场的电路，把磁场的变化过程以电信号形式显示出来。

2.2 仪器特点

2.2.1 发射机特点

- 1) 具有方便用户的软件 and 全中文菜单。按键定义简单明了。测量方法简单快速。
- 2) 恒功率输出、自动匹配，保证本机工作在最佳状态。内置绝缘回路电阻表功能，自动测量金属管线对地及相间的环路阻抗，可协助判断金属管线绝缘性质。
- 3) 查找金属管线路径成功率、测试精度及测试方便程度优于国内任何一种检测设备。
- 4) 仪器具有强大的数据处理能力和友好的显示界面
- 5) 内置锂电池供电，可在无电源环境测试金属管线的路由，保障日常工作。

2.2.2 接收机特点

- 1) 便携轻巧，使用方便，充电锂电池供电，一人即可操作，使用简单。
- 2) 数字化设计，软件控制，性能稳定、可靠。
- 3) 所测信息以数字大小、升降光栅长短、声音缓急三种方式提供给操作者，使测试过程轻松自如。
- 4) 接收机具有缺电报警和自动关机保护等功能。
- 5) 接收机可接 A 字或探损杆采用跨步电压法定点。
- 6) 接收机可配识别接收耦合钳用于管线鉴别。

2.3 产品配置

1	发射机	1 台	标配	7	接收耦合夹钳	1 把	选配
2	接收机	1 台	标配	8	A 字架	1 把	选配
3	充电电池	1 组	标配	9	听诊器	1 只	选配
4	充电器	1 只	标配	10	使用说明书	1 份	标配
5	发射耦合夹钳	1 把	标配	11	合格证	1 张	标配

6	测试线	1 套	标配	12	仪器包	1 只	标配
---	-----	-----	----	----	-----	-----	----

2.4 仪器参数

【发射机】

- ◇ 输出频率：低频、中频、高频、射频【491Hz,982Hz,8.44kHz,9.82kHz,35kHz,82kHz,83kHz；识别复合频率 2~4kHz】
- ◇ 输出模式：直连、感应、耦合
- ◇ 时钟精度：≤50ns
- ◇ 输出功率：随匹配负荷 1~10 W 自动调节，电阻为 5 - 25000 Ω
- ◇ 液晶显示：自动背光照明，图形显示输出能量、数字显示输出功率/电流/电压和回路电阻、运行模式、自检状态、负荷电阻、电压、SS 智能识别信号，四向导航键，菜单选择、电压警报、SS 智能识别信号、音量、外接电源/充电状态等
- ◇ 操作方式：软按键
- ◇ 输出功率：≥10W
- ◇ 电池型号及寿命：18650 锂电池充电组，最大功率连续输出时间 > 8h
- ◇ 过热过流：自动保护
- ◇ 电池状态：图形显示
- ◇ 卡钳直径：175mm
- ◇ 充电器：AC 100~240 V，50~60Hz
- ◇ 体积：277 mm × 227 mm × 153 mm
- ◇ 重量：2.8 kg

【接收机】

- ◇ 主动频率：低频、中频、高频、射频、工频

- 【491Hz,982Hz,8.44kHz,9.82kHz,35kHz,82kHz,83kHz ; 识别复合频率 2 ~ 4kHz】; 深度及带左/右方向指示
- ◇ 被动式频率：50/60Hz,100Hz,120Hz,RF14 ~ 21kHz ; 不带深度及左/右方向显示
 - ◇ 测试范围：0 ~ 10 m
 - ◇ 时钟精度：≤50ns
 - ◇ 深度范围：0 ~ 20m、45 度测深、80%测深
 - ◇ 测深精度：±2.5%+5 厘米 (0 ~ 2m) (与现场环境、非同心线的形状、邻近管线的分布等情况有关)
 - ◇ 声音指示：随信号强度变化的调频音调,分 4 阶大小
 - ◇ 信号强度指示：液晶显示 , 声音提示
 - ◇ 信号强度表示: 条形图、数字量程 0 ~ 999
 - ◇ 增益动态范围：100 dB , 自动和手动调节
 - ◇ 罗盘方向指示：左右自动指示目标管线位置
 - ◇ 液晶显示：VGA 高亮度 LED,支持强阳光下工作 , 背光照明,保证夜间正常工作
 - ◇ 操作方式：软按键
 - ◇ 显示内容：信号强度 , 深度 , 电流 , 频率 , 电池状态 , SS 智能信号识别指示 , GC 罗盘导向指示 , DA 信号畸变警示 , 左/右定位导向箭头 , 信号增益 , 音量
 - ◇ 带电识别：SS 智能信号识别指示 , GC 罗盘导向指示 , DA 信号畸变警示
 - ◇ 通讯方式：蓝牙无线通讯
 - ◇ 电池型号及工作时间：18650 锂电池充电组 , 连续工作 > 12h
 - ◇ 电池状态：连续电量图形显示
 - ◇ 体积：650mm × 32mm × 110 mm

◇ 重量：1.6 kg

2.5 发射机仪器面板及功能简介

发射机就是能发出足够电能的信号源，是本套仪器的核心之一。其功能齐全、智能化程度高、操作简单。

2.5.1 面板简介

①开关键 ②输出口 ③液晶显示区④频率键⑤功率键⑥充电口

见下图所示

2.5.2 功能简介

①开关键：此开关为自锁开关；按下接通电源，发射机处于工作状态；弹起断开电源，发射机处于关机状态。

②输出口：此接口为多芯专用航空插座；用于改变信号的输出模式。接入直连线为直连模式；接入耦合钳连线为耦合模式；不接线仪器没有任何信号输出。

③液晶显示区

频率：显示当前输出频率；可分别显示低频、中频、高频、射频、绝缘回路电阻测量。
在感应模式下只显示射频或高频。

功率：显示当前输出功率；可分别显示低档、中档、高档。

模式：显示当前工作模式；可分别显示直连、耦合、感应。

阻抗：显示当前环路阻抗值；有效显示为 1 欧姆——25000 欧姆。

电量：提示当前电池电量。

匹配提示：图标移动表示发射机已稳定工作。



④频率键：此键为点动开关；每按一次可改变一次输出信号的模式，由低频、中频、高频、射频循环选择；开机初始为低频。在感应模式下只能选择射频或高频。

⑤功率键：此键为点动开关；输出功率；可分别显示低档、中档、高档。每按一次可改变一次输出功率，循环选择；开机初始为低档。

⑥充电口：此接口为 $\Phi 2.5$ 充电座；用于连接专用充电器给电池充电。

2.5.3 操作界面简介

频率：显示当前的发射频率；分别显示低频、中频、高频、射频；开机初始为低频。

电量显示：显示当前电池电压。

外部阻抗：显示仪器测量外部金属管线的阻抗。

功率档位：显示低档、中档、高档，开机初始为低档。

输出方式显示：在仪器与外部阻抗匹配过程中，右下角的图标停止不转转，当仪器与外部阻抗匹配好以后，图标开始旋转。

电量：提示当前电池电量；以电池符号表示，全为满电量。

2.6 接收机面板及功能简介

1) 面板简介

① 液晶显示区

② 按键区：音量、背光、电流、深度、模式、频率、增益加/减

③ 电源开关

④ 数据通讯口

⑤ 充电口



2) 功能简介




① 液晶显示区

频率：显示当前的接收频率；分别显示低频、中频、高频、射频和 50Hz；开机初始为低频。

梯形光栅：表示接收到信号强弱的一种界面，以光栅长短表示信号强弱。

三位数字：表示接收到信号强弱的一种界面，以数字大小表示信号强弱，有效数位 000-999，当显示 999 时为信号过强、超范围显示。还可瞬间显示直测深度值，动态范围 000-999 cm；也可瞬间显示直测电流值，动态范围 000-999mA；

增益：表示接收机当前处理信号的放大倍数，动态范围 000-100db；开机初始为 060db。

模式：表示接收机接收信号的方式，分别显示波峰 、波谷 、外接设备 ；开机初始为波峰。

电量：提示当前电池电量；以电池符号表示，全为满电量

音量：表示蜂鸣器当前工作状态，以喇叭符号加线条表示，一条线为低响度、二条线为中响度、三条线为高响度、打叉为关闭蜂鸣。开机初始为中响度。

目标方位：在波谷模式下，偏离金属管线会自动出现左右箭头 (→) ⊙ (←) 指向此标识 (方位指示)；在金属管线上方箭头自动消失。

② 按键区

频率键：此键为点动软开关；每按一次可改变一次接收信号的频率，由低频、高频、工频（50Hz）、循环选择；开机初始为低频。

模式键：此键为点动软开关；每按一次可改变一次接收信号的方式，由波峰 \triangle 、波谷 ∇ 、外接设备数据通讯口 \square ；循环选择；开机初始为波峰。

增益键：此键为两个点动软开关，箭头向上表示可增加增益，箭头向下表示可降低增益；每按一次改变一个数量，按住不动连续改变；

电流键：此键为点动软开关，每按一次可直测一次电流值，瞬间显示在三位数字区。

深度键：此键为点动软开关，每按一次可直测一次深度值，瞬间显示在三位数字区。

背光键：此键为点动软开关，每按一次可开启、关闭之间切换，开机初始为关闭背光。

音量键：此键为点动软开关，每按一次可改变一次蜂鸣响度，由中响度、高响度、关闭蜂鸣、低响度、循环选择。开机初始为中响度。

③ **充电口**：此接口为 $\Phi 2.5 \times 5.1$ 充电座；用于连接专用充电器给电池充电。

④ **开关键**：此开关为自锁开关；按下接通电源，接收机处于工作状态；弹起断开电源，接收机处于关机状态，本仪器具有缺电自动关机。

⑤ **外接设备数据口**：此接口为多芯专用航空插座，用于外接 A 字架、探损杆、及识别接收大小耦合钳等外部设备。扩展接收机信号介入的方式。

3) 接收机外接设备的操作

1) A 字架跨步电压故障定位

接收机**外接设备**模式下直埋电缆故障定位，由发射机向不良电缆发送低频的测试信号，此信号在不良点流入土壤的电流呈漏斗状分布，跨步电压法正是通过 A 字架寻找土壤中电势最低点或跨步电压零点，精确定点。

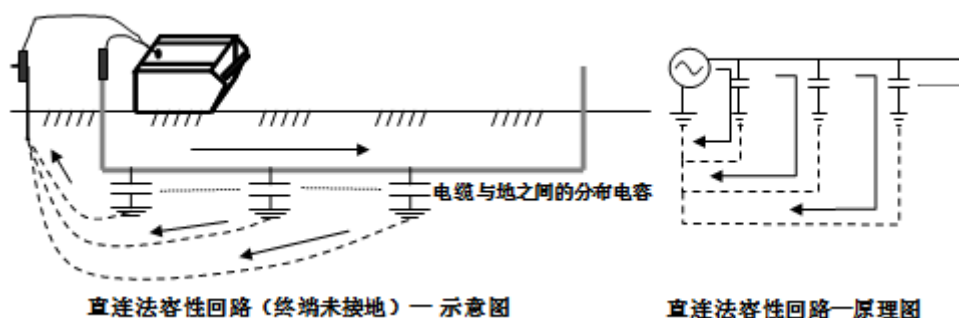
2) 识别接收耦合钳鉴别目标查找所需线缆。

3) 配合听诊器判别电缆运行状态。

2.7 发射机工作模式

发射机具有四种工作模式（直连法、夹钳耦合法、感应法和回路电阻测量），要保证信号在目标金属管线上可靠传输，线路中必须有可靠的回路。它可以是由大地构成的间接回路，可以由足够长的金属管线与大地间形成的分布电容构成的容性回路，也可以是由线间短路故障点构成的直接回路。不同的回路满足不同的测试，如：带电地下管线测试必须金属管线外铠直接大地回路。

发射机的信号用直连线直接施加到目标金属管线（停电金属管线）上即直连法。直连线分红、黑两线，红线接到金属管线的某一根线上，黑线是仪器工作地线，应单独可靠接地。为保证信号在线路中单向可靠传输，要求至少断开目标金属管线的一端地线，使信号以间接回路或容性回路的方式通过大地回流。如图利用金属管线



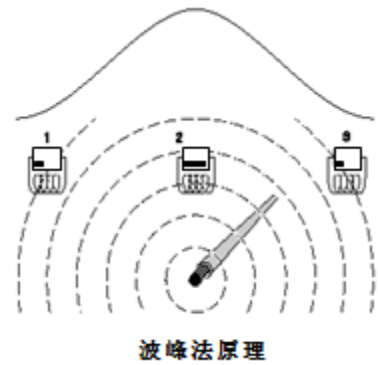
直接传输信号，传输过程衰减小、信号强、传输远，是信号施加的最佳方法，适用于任

何一种信号的传输，是测试的最佳方法。详细操作见第四章。

2.8 接收机工作模式

当金属管线被施加信号后，金属管线上就有了电流，同时电流又产生磁场辐射到金属管线周围。磁场的频率与被施加信号频率一致，强弱是以金属管线为圆心递减向外辐射，方向是辐射圆周上某点的切线方向。

接收机通过内部天线，分别接收金属管线辐射出来的磁场信号或泄漏的电场信号，可用五种不同的频率工作模式处理，把信号的强弱变化提示给操作者。



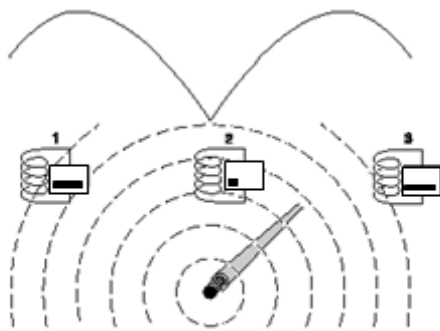
2.8.1 波峰法

在传输某一特定信号金属管线的正上方，接收机测得的信号最强；在同一平面上左右移动接收机测到的信号会随即衰减，故命名为波峰法。其实它是利用接收机内水平天线来感应磁场信号的。

当水平方向的磁场穿过水平天线时线圈中就产生了感应电流，感应电流的大小随穿过水平天线磁场的多少（磁通量）而变化，只有在金属管线正上方时穿过水平天线的磁场是最多（磁通量最大），既接收机测得的信号最强。如图所示：

波峰法适合路径探测、深度测试、故障预判、短路点定位等。

2.8.2 波谷法



波谷法原理图

在传输某一特定信号金属管线的正上方，接收机测得的信号最弱，在同一平面上左右移动接收机测到的信号会随即增强，与波峰相反，故命名为波谷法。其实它是利用接收机内垂直天线感应磁场信号的。

当垂直方向的磁场穿过垂直天线时线圈中就产生了感应电流,感应电流的大小随穿过垂直天线磁场的多少(磁通量)而变化,只有在金属管线正上方或远离金属管线时穿过垂直天线的磁场是最少(磁通量最小),既接收机测得的信号最弱。

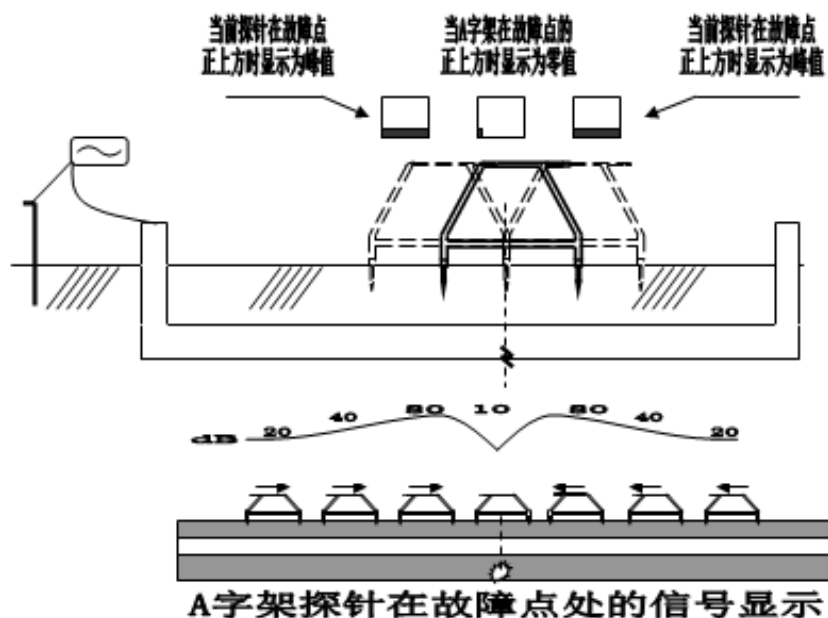
正因为是在金属管线上方和远离金属管线所测得的信号都是弱,所以波谷法在显示上设计了方位指示;适用于对路径的验证及45°法测深。

2.8.3 外接法

接收机可通过外接A字架、探损杆及接收耦合钳等采集信号扩展功能。

在此模式下外接A字架或探损杆,利用A字架或探损杆的两个地针测得对大地漏电缆的电势,并传输给接收机比较处理,以信号强弱的形式提供给操作者,再依据跨步电压理论作出判断,实现对大地泄漏故障的准确定位。

跨步电压法精确定点示意图。



从电缆不良点流入土壤的电流如上图所示,土壤表面电位呈漏斗状分布,跨步电压法正是通过A字架寻找土壤中电势最低点或跨步电压零点,精确定点。

发射机发送的低频信号在故障点周围产生一个泄露磁场即跨步电压,通过接收机接

A 字架沿电缆路径测量电位的变化情况。当靠近故障点时，电位差将迅速增加，相应接收机的信号强度增大，并在故障点前、后点测量时，电位差达到最大值；当两电极位于故障点正上方而且距故障点前后距离相等时，电位差为零，接收机信号接收最小；当两电极越过故障点后，测量电位由大逐步减小且极性相反。

故障寻测时，先沿电缆路径方向找出极性变化区域，再精确找到“零”电位点，即可精确地找到故障点。若遇多点故障，则可沿电缆路径测数处“极性变化点”，再分别找到数处地电位突变的“零”电位点，以确定各个故障点的精确位。

2.9 附件的操作

2.9.1 充电器：配备锂电池专用充电器为 DC8.4V、1A 智能充电器，具有限流充电、过流过热保护功能。充电器接 AC220V 市电，指示灯亮绿色，充电头插入主机充电座后，指示灯变红色，表明正在给电池充电；当指示灯再次变绿时，表明充电器进入小电流慢充电状态，一般要求充电时间应达到 8-12 小时。

2.9.2 直连线：将直连线的航空插头插入发射机的输出口，红黑两个夹子分别接金属管线和地。

2.9.3 地钎：直连线的黑夹子与地钎相连插入潮湿土壤，与大地构成回路。

2.9.4 发射耦合钳 (选配件)：宽频大开口 (125mm) 金属管线专用钳。钳体直接出线与发射机相连，用于地下管线信号输出。

2.9.5 接收耦合钳 (选配件)：宽频大开口 (125mm) 金属管线专用钳。钳体直接出线与接收机相连，用于判断地下管线信号识别。

2.9.6 A 字架 (选配件)：此件由架体、地针、连线组成

1) 架体：可折叠的钢制结构件，按下碰珠可方便打开、折叠；打开成 A 字型，方

便使用，折叠成一字型，方便存放。主侧梁上方装有四芯航空座，便于接线。主横梁下方两端装有 M10 螺母，便于连接地针。

2) 地针：与架体相连插入土壤或接触潮湿路面，采集土壤中或路面上的电势。

3) 连线：两头装有四芯航空头，便于 A 字架和接收机的连接。

2.9.7 听诊器(选配件):听诊器直接出线与接收机相连,用于判断电缆运行状态的识别。

三、使用指南

3.1 简言

前两章介绍了仪器及仪器的操作，达到了了解仪器功能和性能及掌握仪器各键作用和界面内容的目的。单独操作仪器是没有任何问题了。但是实际测试和单独操作仪器是两个不同的概念。实际测试是：操作者（人）在一定的环境（现场）下，把发射机、接收机、选配件及金属管线（被测目标）按一定的原理理论，用特定的方法结合起来从发送信号到检测信号再得出结论的系统测试过程。在这个过程中不论哪个环节使用配合不当，都可能造成测试的失败。也就是说（实际测试是）在人员+仪器+被测目标+所测现场因素的测试系统，操作仪器只是一个重要环节，对金属管线结构、供电方式、接线情况及敷设环境等因素的了解一样重要，了解的情况越多越有利于测试的结果。本章结和一般常规现场介绍本套仪器的各项测试过程。

3.2 路径的探测：

3.2.1 条件：

- 1) 必须是不带电的金属管线。
- 2) 至少知道金属管线的一个端头，并将已知端头与系统分离，包括零线和地线。

3.2.2 信号施加：(发射机)

- 1) 发射机的功率输出有三种，分别为：低档、中档、高档。

- 2) 发射机有 4 个发射频率输出，分别是：低频、中频、高频、射频。
- 3) 直连线多芯航空头与发射机多芯航空座（输出口）相连。
- 4) 红夹子接到被测金属管线某一相上；如果条件具备，可将此相的另一头接地。（形成间接回路）效果更好。
- 5) 黑夹子是发射机的工作地，接地点的选择原则是不能让回流信号从本金属管线中回流，尽量减少回流信号对测试的影响。一般要求单独作接地极，方法是把地钎远离金属管线插入潮湿的土壤中即可，当金属管线与系统完全分离后，接地点可选系统地。
- 6) 接好线后按下电源开关，发射机按下确定键开始工作，自动检测环路阻抗，保证工作在最佳匹配输出状态，当液晶右下角图标开始旋转标示发射机输出信号，表明发射机正稳定工作，此时观察环路阻抗值，一般在 1Ω - $3K\Omega$ 为合适，如果超过 $3K\Omega$ 以上，说明阻抗过大，线路中的信号很弱，应从以下三方面来调整改善。
 - 第一、改善接地极的接地条件，加湿或改接系统地。
 - 第二、把金属管线所施加信号的相在另一端接地。
 - 第三、调整频率，将开机时的低频改成高频（注：直连法测金属管线时高频足以满足测试）
- 6) 功率开机时为低档，直连探测低档功率完全满足。

3.2.3 信号搜寻及跟踪。（接收机）

- 1) 手握接收机提把，手腕手臂放松机体自然下垂，拇指操作按键，离开信号施加点一定距离，目的是避开接地极及地线，避开配电柜及建筑物等障碍。
- 2) 按下电源开关，模式选波峰（开机初始为波峰，可不用再选）频率与发射机对应，面向信号施加点，机头指向金属管线起端。并绕着起端搜寻信号。开机初始增益为

60db，在此增益下，如果搜寻到信号三位数字显示 999 光栅显示满，则降增益，使得数字显示在 800 左右。光栅不满幅，此时保持增益不变再继续搜寻，如果三位数字再显示 999 则说明此处的信号比上次搜寻到的要强，再次降增益使数字显示再次到 800 左右，如此搜寻一圈，最后确定最小的增益，最强的信号处下方就是该金属管线位置的一个点。这个过程是搜寻传输施加信号的金属管线所辐射出二次磁场，排除因地线串干扰非目标金属管线的二次磁场。

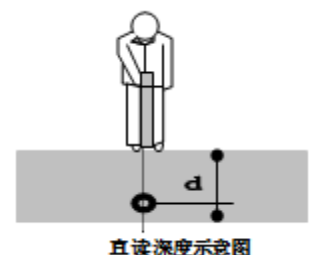
- 3) 保持当前增益不变，以当前接收到的信号强度为基准（三位数字值）以该点位轴心转动接收机，接收到的信号会随转动而减弱，当减到最弱时，机头的指向与金属管线在该点的走向成 90°角。继续转动接收机，接收到的信号有又会随转动而增强，当增强到与基准值相同时，机头的指向就是金属管线的路径方向，沿着机头指向跟踪着最强信号向前走，就探测出了金属管线的准确路径，这个过程就是信号的跟踪，同时也就探测出了路径。

3.3 深度测试

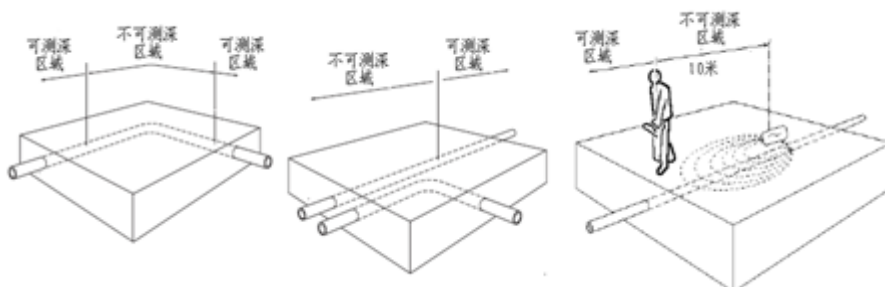
深度测试是在路径探测状态下同步完成的，具体操作如下：

3.3.1 直读深度（波峰法）

- 1) 接收机置于金属管线正上方，机头指向地下管线方向，保持机器稳定不动；
- 2) 调节增益，使三位数字值显示在 700—900 之间；
- 3) 按一次深度键，立即松开，过几秒钟后，在三位数字区显示出深度值单位cm，几秒钟后又回复到三位数值（表示信号强度）；
- 4) 如果没有看清深度值可以再次重复 3)；
- 5) 按一下深度键后，有时显示—cm，表示埋深超过 300 cm 超出直读范围，或者信号受到干扰，这是可以降低增益再次测试。



- 6) 测深时，不要在转弯，高低起伏和故障点处测试，这样会造成测深误差过大，或测试失败。
- 7) 直读测深的方法虽然简单，但要获取正确结果需要一定的条件，否则测量精度不高，甚至得到错误结果。应用直读测深的条件之一是此时的波峰值和波谷测得的路径要基本重合，否则误差会很大。其二是直读的深度受金属管线埋设土壤的湿度，以及检测信号的频率，一般土壤湿度越大、检测频率越高，误差就大。通常低频直读测深精度高。
- 8) 如果测试环境理想，深度测量的精度应为管线埋深的 $\pm 5\%$ 。然而，有时可能不知道现场条件是否适合深度测量，所以应该采用以下的方法来检查测试深度值：
- 8.1) 检查深度测量点两边金属管线的走向间至少有 10 米是直的。
- 8.2) 检查 10 米范围内信号是否相对稳定，并且在初始深度测量点的两边进行深度测量。
- 8.3) 检查目标金属管线附近 3 至 4 米范围之内是否有相邻的干扰管线。这是造成深度测量误差最常见的原因，邻近管线感应了很强的信号会造成深度测量误差。



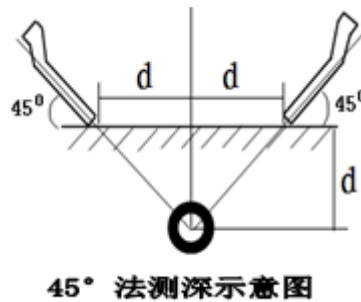
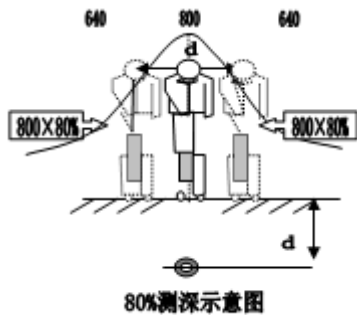
3.3.2 80%法测深 (波峰法)

- 1) 接收机置于金属管线正上方，机头指向地下管线一致，保持机器稳定不动；
- 2) 调节增益，使三位数字值显示在 700—900 之间比如当前显示为 800.
- 3) 以当前显示的值为基数，乘以 0.8 得出一个新值比如 $800 \times 0.8 = 640$ ，这个值并不在

液晶上显示，而是在测试者心中记住。

4) 此时接收机沿垂直于路径方向，保持同一水平位置，左右各移动一次，每移动到液晶三位数字值，心目中的值时，比如 640 即停止移动，并记下这两次移动的位置点。

4) 用尺子或目测这两点的距离，即为金属管线的埋设深度。



3.3.3 45°法测试（波谷法）

将接收机移到所需测试点，确定金属管线的正确路径，如上图 45 度法测深。用波谷法尽可能精确的标出线缆的路径。把接收机的底端放在地面上，使得接收机与地面成 45 度角。移动接收机离开管线路径，接收机移动的路径同管线路径保持垂直，当接收信号指示为最大时，接收机同地下管线的距离就是金属管线的深度。在管线的另一方重复上述步骤，测得的距离值应该相等。当金属管线两侧测得的深度值不相等时，表明有别的管线或金属物质。

3.3.4 50/60Hz 信号的测试（接收机）

接收机能探测运行金属管线的 50Hz 频率。这种工作方式对于区分地下主、次带电金属管线及不带电金属管线及金属管道探测有很实用的用处。将接收机的工作频率选择为 50Hz 频率，工作模式为波峰法或波谷法。由于这种工作方式快捷而有效，因而比较实用。在这种方式中，不需要使用发射机。

3.5 故障点的定位

电缆的敷设方式是多样的，有直埋土壤中的，有穿管的，有敷设在沟道中的，不论哪种敷设方式对测路径，侧埋深都不受影响，用同样的方式即可完成，但是对测故障和故障点定位就不同了，不但受埋设方式的影响，而且也受电缆电压等级的影响，一般情况下，10kv 及以上电压等级电缆不提倡用本仪器测试故障，而 500v 电压等级电缆应优先考虑本仪器测试故障。值得一提的是，利用本仪器解决 500v 电压等级的直埋电缆，地埋线及路灯线路故障是最佳选择。下面就介绍故障点定位的几种方法：

3.5.1 “A”字架定故障点

“A”字架定点是以跨步电压为理论根据的。也就是说不论电缆出现什么故障，只要对土壤有漏电就能用“A”字架准确定出故障点位置，具体操作是：

1) 发射机接直连线红夹子接有故障的相（线），黑夹子单独接地，并且接地极距测试点越远越好。

2) 打开发射机开关，选择定点模式，频率选低频、功率选高档，待发射机测阻抗稳定后，观察阻抗值，一般应小于 3000Ω,阻值越小越有利于测试。



3) 接收机频率选择与发射机对应（低频），模式先选波峰查找路径；调整增益，使读出的信号强度值在 900 左右，光栅结合部有开口为易；沿信号的最强点走下去就是电缆路径。需要测深时，将接收机稳定放置，按一下深度键，几秒钟后自动显示深度值，几秒钟后又回复显示信号强度值（测深时应远离拐弯点、故障点一米以上）；在测路径的同时观察信号有无突变，如果有则把突变点记下，作为可疑点，再用“A”字架测试，确认是否是故障点，如果没有突变点，就用“A”字架把这段（预判的区域）全线测一次。

4) “A”字架的使用：当故障点对土壤有泄漏时，泄漏区就形成了以故障点为圆心的等电势圆周围的梯度电场均匀分布，“A”字架就是要测到等电势圆周，当测到时两针的中心

就是等电势圆周的圆心即故障点。怎样算测到等电势圆周呢？它的过程是这样的：将“A”字架与接收机相连，接收机频率与发射机对应，模式选“A”字架模式，增益适当大些 50DB 左右，“A”字架沿电缆走向（在上方、左、右偏移均可）间隔 1 米扎一次，在没有泄漏的地方信号很小，只有几十到 100 左右，当进入泄漏区时，信号会突然增大，信号强度达到 999 以上，此时要降低增益，使信号强度显示在 900 左右，再向前移动“A”字架，信号继续增大，说明前针靠近故障点，再继续向前移动“A”字架，信号突然减小，说明故障点在两针之间，信号最小时，故障点在两针中心，再向前移动“A”字架，信号又突然增大，说明后针靠近故障点。如果再向前移动“A”字架信号会逐渐降低，直到稳定在几十到 100 左右，说明已过故障点，并走出泄漏区。此时可回头再测，直到测出信号有突然增大，突然变小，再突然增大的变化过程。那么突然变小处“A”字架的中心下就是故障点。



3.5.2 电磁信号比较法

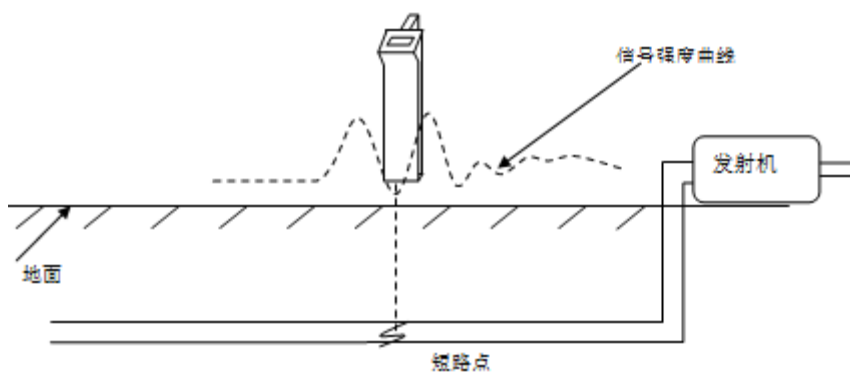
- 1) 这种方法主要是针对断线且对土壤没有泄漏的故障而特用的方法，它要求在测试前必须查明电缆是全断还是某相（线）断，而且要知道断的是哪一相，然后在区域判断准确的前提下，来完成准确定位的。
- 2) 如果是电缆全断，那么测试过程不受负载影响，只需在线路的起始端施加信号，到断线区域内看信号的衰减点即可。
- 3) 如果是某一相断线，那么测试时就要考虑负载和线路的因素了，一般是确定从某个灯杆以后断线，就从这个灯杆口或井处剪断这个断线的相，然后以此点为测试点向断线方向施加信号，到断线区域内看信号的衰减点即可。

3.5.3 线间短路法

这种方法是针对线间短路且对土壤没有泄漏的故障而特用的方法，它要求在测试前查出短路的两相线，然后在区域判断准确且该段路径准确已知的前提下，来完成准确定位的测试过程。

测试过程如下：

- 1) 发射机直连线红黑两夹分别夹到短路的两相线上，开机频率:低频；功率：低档。
- 2) 接收机频率选择与发射机对应，模式选波峰“—”增益适当高些，60DB 左右沿电缆路径上方，接收机的机头指向与电缆走向成 90 度角移动（横切法），当接收机移到短路点上方时，信号会突然增大，再向前移到一点，信号又会突然减小，再向前移动一点信号又会突然增大，再向前移信号又会突然降低，继续向前移动信号强度不会变化，很平稳，不会再有任何波动。这个突大突小再突大的点就是短路点，因为过了短路点信号就不会向前传输和返回即过了短路点线上就没有电流传输，所以接收机就接收不到信号，注意：有时会因为电缆线埋设，结构等因素的影响，在信号施加点和短路点之间会有忽大忽小的波动，但是过了短路点后，就不会有忽大突忽小的波动了，同时也就说明最后一个突变点就是短路点，认识到了这个问题，就不会受信号强度的波动影响定点了如图所示：



线间短路测试示意图

3.6 故障点的区域判断（路灯电缆专用内容）

是电缆识别的一个扩展应用，用于带有负载线路中判别故障点前后同一相线上信号的变化，主要在路灯线路中应用，以下介绍判别的具体方法：

1、断线

断线故障一般不用仪器，通过试送电观察灯亮和不亮或用测电笔测试有无电传导，就能判断出断点的区域在某两根灯杆之间，这种方法简单直观非常有效，也是路灯维护者多年来应用的一种传统的方法，但是在此还是有必要介绍一下。

仪器是怎样判断断点区域的，以单相线路为例加以说明如下图、是一个单相无补偿电容线路的等效图。

1) 从配电箱中断开开关并拆除零线接点。

2) 发射机的直连线分别接到断线相和零线上。

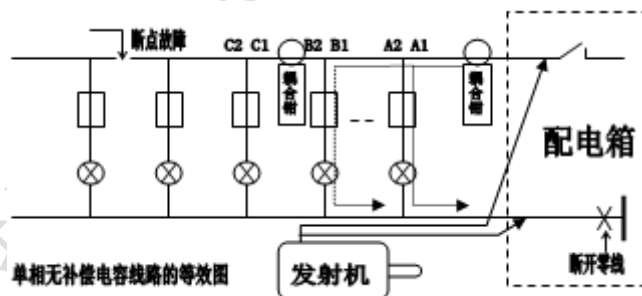
3) 开机、频率选低频，功率选高档。

4) 把小耦合钳接到接收机上，打开接收机。频率选择与发射机对应（低频）模式选“ ”A 字架模式(也叫外接设备模式)

5) 用小耦合夹钳先卡住发射机的输出

6) 线，调节增益取一个基准信号值，一般取 900 左右即可。

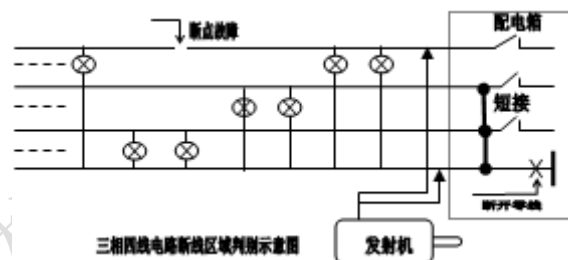
7) 到某个灯杆口出，打开检查口，分出主干线和上灯线，如图中 A 点，然后用小耦合夹钳卡 A1 点，(上灯线前) 读出信号值，再卡 A2 (上灯线后) 读取信号值，A1、A2 两点处读取信号是不一样的，应该是 $A1 > A2$ ，这是因为有部分信号通过负载



分流的结果。同样到 B 灯杆处测试， $B_1 > B_2$ 说明 B 以前是好的；然后到 C 灯杆处测试如果 C1 有信号，C2 无信号则说明 C 灯杆到下一灯杆之间有断线。

8) 如果是三相四线的电路，则需判明断线

是哪一相或哪几相，然后将发射机输出线红夹子接到断线上，其它所有线接到一起接黑夹子，实际上是把三相四线转换成单相线路测试（见右图）。



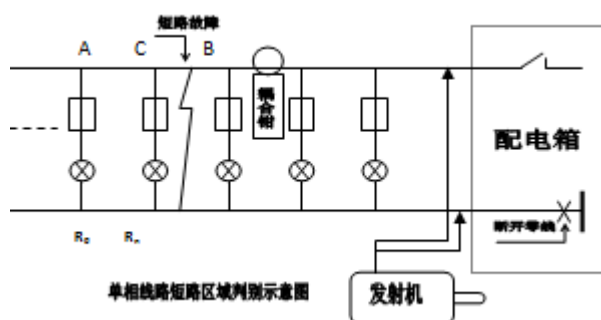
三相四线电路断线区域判断示意图

9) 测试过程与上述相同。

2、 短路：

线路中有短路故障，则送电是不可能的，如果用传统的电流分析法来判断故障区域是很困难的事，但是利用本仪器可以很方便的准确判断出短路点区域，以某相线与零线短路为例，如下图说明，具体判断过程：

- 1) 用万用表的通断挡测出短路的两线
- 2) 用发射机的输出线红、黑分别接到短路的两线上
- 3) 打开发射机，频率选低频，功率选低档。
- 4) 把小耦合钳与接收机相连，打开接收机，模式选“A”字架模式，频率选择与发射机对应。
- 5) 先在输出线上取基准信号，降增益，使信号值为 900 左右。



单相线路短路区域判断示意图

- 6) 到线路的某一灯杆处一般是线路的 $1/2$ 处，打开检查口，如 A 杆测不到信号则说明已过短路点，再回到 B 杆能测到信号而且与输出线上的基准信号差不多，则说明短路点在 B 以前。再到 C 杆测不出信号则说明短路点在 B、C 两杆之间，因为短路处电阻 $R_0 \ll R_N$ 灯具的阻抗，所以回路中的电流只能是从发射机发出通过短路点又回到发射机。
- 7) 线间短路的区域判断，不论线路是单相、三相四线，还是三相五线有补电容或没有补电容都可以，只要能确定出那两根线短路就能很方便快捷的判断出短路区域，这是本仪器具体的独特功能，是其它任何仪器无法相比的。

3、 泄漏（漏电）

泄漏（漏电）情况比较复杂，因线路的埋设方式不同，接头位置及处理方式不同。可发生线对土壤漏电，对灯杆漏电，线对潮气的漏电等等。现就所提到的这几种漏电形式逐一说明区域判断方法：

1) 线对土壤漏电漏电


一般是直埋电缆容易发生，穿管的线路在管子破损的情况下也会发生对土壤漏电，漏电点一般在直埋的接头及线路受损部位，漏电程度随土壤含水分的增大而加剧。这一点人人皆知，但漏电点的区域及准确位置就靠仪器测定。

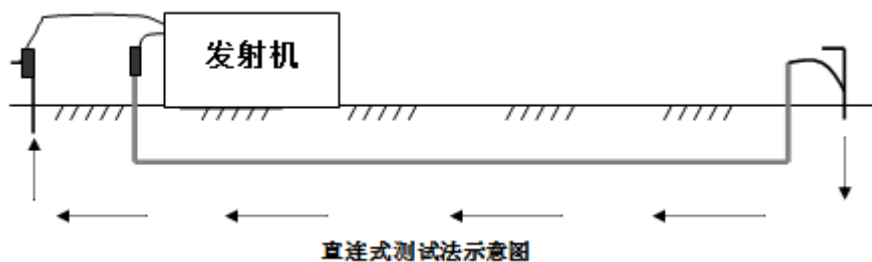
- ① 从配电箱中断开该线路的开关，并拆除该线路的零线，地线可以不拆。
- ② 发射机接上直连线，黑夹子单独接地或接系统地。红夹子分别接电路各相。看环路阻抗值，当某相对土壤有漏电时，阻抗一般在几十欧姆到一百欧姆之间如果阻抗大于一百欧姆以上，说明该相没有漏电。这个值仅作为参考，它随土壤含水量大小而有变化，这个过程是判断漏电的相线。
- ③ 打开发射机，频率选低频，功率选高档。

缆和金属管线的几种接线方法。

发射机的信号发送连接方式：**直连法**、**耦合法**、**感应法**。

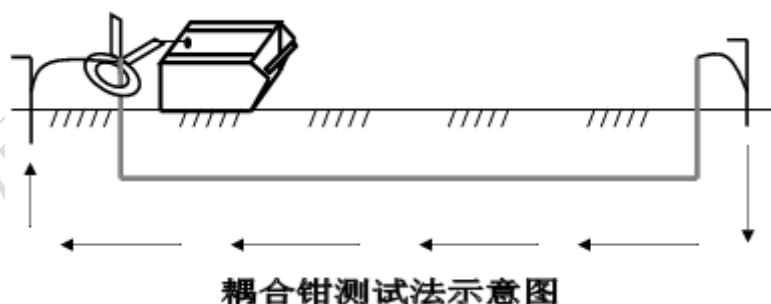
直连法——最佳方法

这是最佳的探测方法，发射机输出线红色端直接连接到管线的裸露金属部分（ 切勿将其接入带电运行线路中），另一端接地。此种方法产生的信号最强，传播距离最远，适用于全部频率工作状态，通常低频足以满足测试需求。



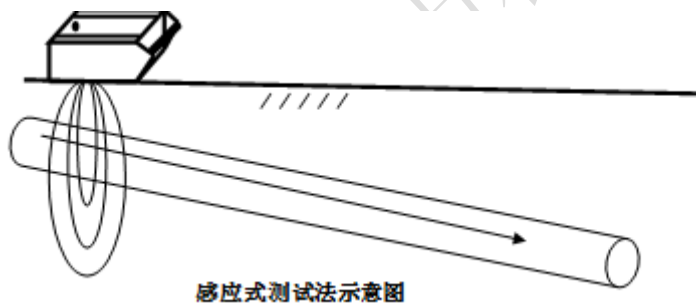
耦合法——较佳方法

当不能与待测管线直接相连时，可以采用耦合夹钳用耦合法探测。此种方法可以根据现场的实际情况来选择发射频率：低频、中频、高频、射频。当地下管线的近端和远端都接地良好并形成回路，这时就使用低频频率；如果两端接地不良，回路电阻过大，或者低频信号耦合不上，那就改用高频来测试。选择频率没有固定不变的原则，下面给出了频率选择的基本原则：对于高阻的管线（如：通信电缆，带防腐层的管道和铸铁管）使用高频和射频。要注意频率越高，信号越容易感应到其它管线上，而且信号的传播距离越短。对于一般的管道和电缆的探测，使用低频和中频。这些频率传播距离比较远，也不会感应太多的信号到其它管线上。低频适用于长距离追踪。低频信号传播距离长而且不会感应到其它管线上。低频率信号也适用于长距离而绝缘良好的输送管线。



感应法——可行方法

在某些情况下，操作者不可能接近电缆来进行直接连接或使用耦合夹钳施加信号，此时可使用发射机内置的感应天线来发射输出信号，将信号感应到被测地下电缆上进行定位探测。首先，将发射机放置于电缆的地面正上方，发射机放置方向应使发射机面板上的指示线与管线路径方向相一致。然后使用接收机在管线上方的地面上就能探测出地下管线位置。这种方法只能使用射频而不能使用低频，同时被测管线的两端都必须有良好的接地即被测管线要具有良好的回路。其使用示意图见下图。



4.1、简言

一般电缆由数根芯线和金属铠装构成，结构和用途的差异造成了探测时的信号施加方式的差异，不同的接法将会产生不同的电磁场，探测效果也有所区别，因此本章对电缆探测的信号发射方式进行单独描述。

4.2、非运行电缆的信号发射方法

4.2.1、基本接线方法：芯线-大地接法（建议使用低频低档）

芯线-大地接法是对离线电缆（退出运行的不带电电缆）进行路径探测的最佳接线方式，可以充分发挥本仪器的功能，并能最大程度地抗干扰。

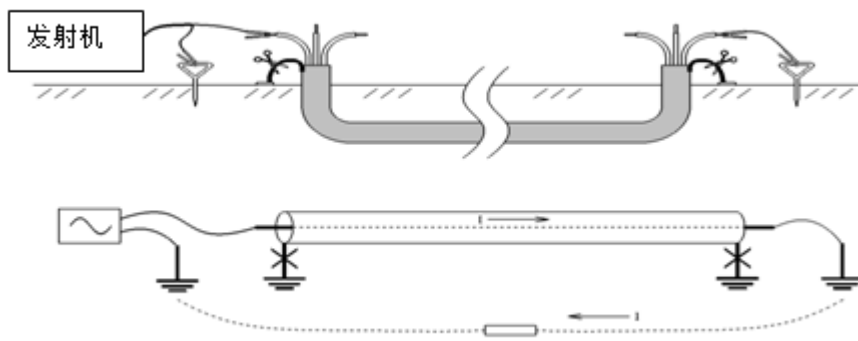


图 4.1 芯线 - 大地接线法

如图 4.1 所示，将电缆金属护层两端的接地线均解开，低电缆的零线和地线的接地也应解开，将发射机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。

电流自发射机流经芯线，在电缆对端进入大地，流回近端返回发射机。这种接法在地面探测时可以感应到很强的信号，而且在本条电缆上没有感应电流的影响，信号特性比较明确，可以充分利用仪器的电流方向测量功能；信号在绝缘良好的芯线上流过，不会流到邻近管线上，尤其不会流到交叉的金属管道上，最适于在复杂环境下进行路径查找。另外由于电缆接地，流经电缆的信号电压很低，不容易对邻线产生电容耦合，减少干扰。

由于存在芯线和大地之间的分布电容，随距离的增加，电流会逐渐减小。但若接地良好，电容电流即很小，可以不予考虑。这种方法的缺点是需要将电缆两端的接地线全部解开，略显繁琐。

4.2.2、护层 - 大地接法：(建议使用低频低档)

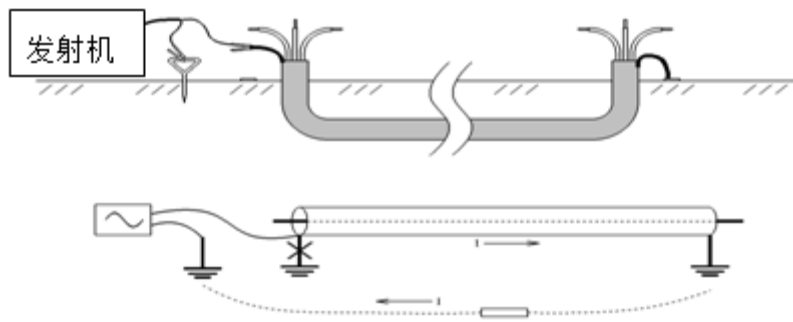


图 4.2 护层 - 大地接线法

如图 4.2 所示，将电缆近端的护层接地线解开，低压电缆的零线和地线的接地也应解开，对端的电缆护层保持接地，信号加在护层和接地钎之间（不可使用接地网），电缆相线保持悬空。电流自发射机流经护层，在电缆对端进入大地，流回近端返回发射机。这种接法不存在屏蔽，因而在地面上产生的信号最强，信号特性也比较明确。同样，由于护层 - 大地分布电容的存在，信号会自近向远逐渐衰减。

潜在的问题：护层外部的绝缘层若有破损，部分电流将由破损点流入大地，造成破损点后的电流突然减小，减小幅度与破损点的接地电阻有关。

4.2.3、相线 - 护层接法：

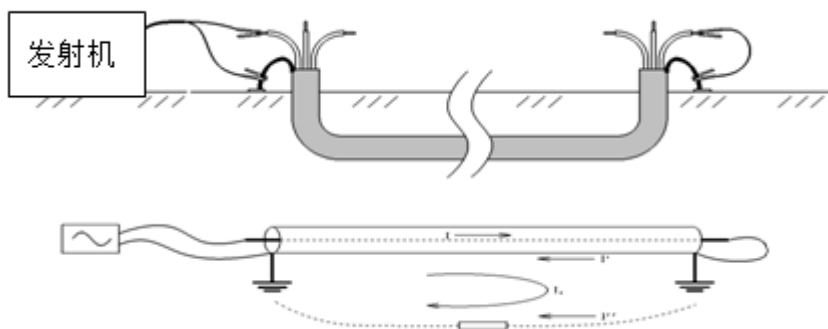


图 4.3 相线 - 护层接法

如图 4.3 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。

如果是单条电缆敷设，信号自发射机流经芯线，再经护层和大地两个回路返回。因为护层（铠装及铜屏蔽层）由连续金属组成，电阻很小；大地回路由于存在两端接地电阻，再加土壤电阻，总阻值较大，故大部分电流将通过护层返回，少部分电流通过大地返回。由于芯线电流和护层电流反向，能在外部一定距离产生磁场信号的有效电流为其差，数值等于通过大地返回的电阻电流。另外由于芯线 - 护层回路和护层 - 大地回路存在互感，通过电磁感应也能够在护层 - 大地回路产生感生电流。综合效果为有效电流等于大地回路的电阻电流和感应电流的矢量和（两者存在相位差）。根据现场情况的不同，有效电流可能会占总注入电流的百分之几到百分之十几。

如果存在同路径敷设（两端位置均相同）的其他电缆，则返回电流主要被几条电缆的护层分流，例如三条电缆同路径，则三条电缆的护层返回电流各占 $1/3$ 。有效电流正向，占注入值的 $2/3$ ，邻线电流反向，占 $1/3$ 。如图 4.4 所示。

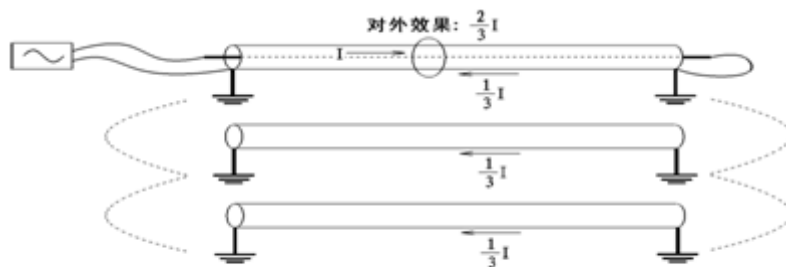


图4.4 并行电缆的分流效果

相线与护层法的优点在于接线简单，不需要解开接地线。缺点是当多条电缆同路径敷设时，各条电缆信号相差不大，仅靠信号幅值有时难以区分；当单线敷设时，有效电流大幅减少，信号较弱，而且有效电流中含有感应电流成分，目标电缆和邻近管线的感应信号相位相同，在使用时，有可能无法根据电流大小排除邻线干扰。

4.2.4、相间接法：(建议使用高频信号)

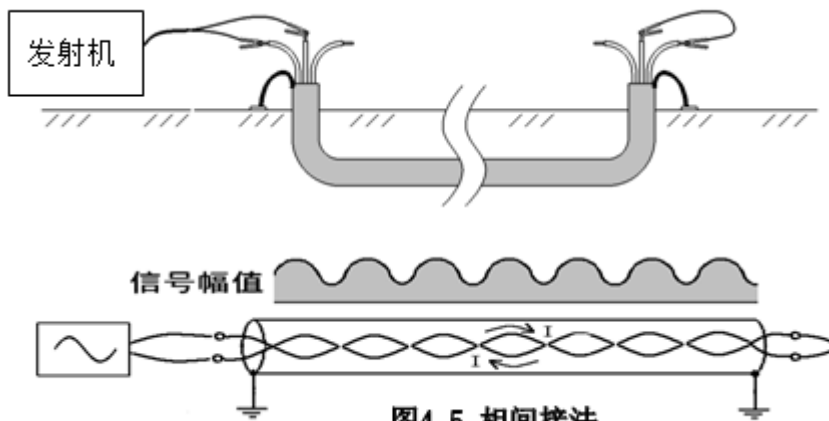


图4.5 相间接法

如图 4.5 所示，发射信号加在电缆两相之间，电缆的对端两相线短路。两相在电缆内部扭绞，其电流值相同且方向相反。由于两相线虽相距很近，但仍有一定间隔，故两相线和接收机线圈之间的距离会有微小差异，两相线在此处产生的磁场方向相反，但强度因距离的差异而不会完全相同，虽大部分相互抵消，但仍有小部分残余，金属护层的屏蔽作用会将其进一步削弱，最后的剩余信号方能被接收。因为扭绞的原因，信号会沿地下管线有周期性的幅值和方向的变化。

在一个扭绞周期内，对外辐射的磁通因方向连续变化 360° 而相互抵消，故不会在护层和大地回路产生感应电流。由于有效信号很小，使用高频信号将比低频信号更易于探测。一般不建议使用者操作此种接发。

4.3、运行电缆的信号发射方法

4.3.1、零线 / 地线 / 护层注入法：

这是一种对运行中的低压电缆进行探测的方法，因为许多低压电缆的护层不作接地，或护层不连续，或接地不够良好，无法测量。本方法不需要电缆作任何改动，而且注入的是高频信号，不会对运行线路产生不良影响。

在用户端，将发射机的红色鳄鱼夹接零线、地线或护层，黑色鳄鱼夹接打入地下的接

地钎。如图 4.6 所示。

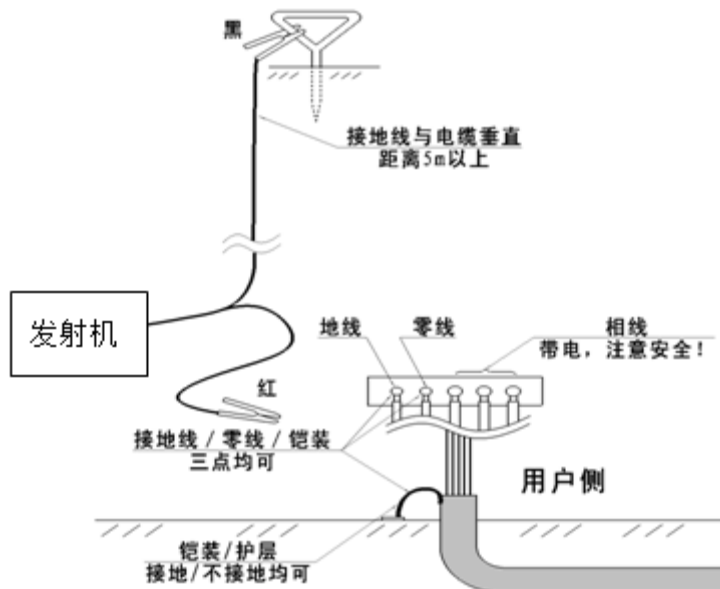


图 4.6 零线 / 地线 / 护层注入法

注意事项：

- 1) 必须在用户端发射信号，如果在变电室端发射信号，将在所有出线上均注入信号，造成无法区分目标电缆。
- 2) 电缆带电，接线必须由具有相关资质或资格的电力工作人员操作！
- 3) 接地钎位置的选择：为保证输出效果，应将接地钎打在距离管道 5m 之外，而且接地线应尽量和管道方向垂直。
- 4) 如果零线在用户端不接地，则优先使用零线注入信号。
- 5) 低压电缆的护层可能不连续，如果护层注入信号太弱，或探测过程中在地下管线某处

信号中断，可换用零线 / 地线进行注入。

- 6) 由于所有出线的零线 / 地线或护层在变电室并联，所以其他电缆出线上会有部分电流被分流，也能探测到信号，但强度较弱，实际测试中应注意区分。
- 7) 探测高压运行电缆时，如果收不到信号或信号很弱，说明电缆两端护层接地电阻过大，这时可以通过护层注入。
- 8) 探测单芯超高压运行电缆时，可使用护层注入法。

4.3.2 夹钳耦合法 (效果好，推荐带电运行电缆用此种方法)



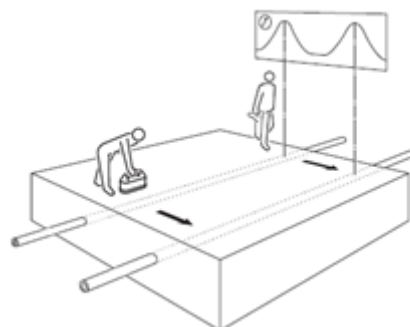
图4.7夹钳耦合法

当不能与待测运行电缆直接相连时，可以采用耦合夹钳进行耦合法探测。这时被测电缆的近端和远端都必须接地以形成回路。接线见图 4.7。

这是一种对运行中的电缆进行探测的方法，尤其是对高压运行电缆的路径查找极为方便。本方法不需要电缆作任何改动，而且可以注入的多种频率信号，不会对运行线路产生不良影响。

4.4 感应辐射法 (建议使用射频信号)

当不能接近电缆来进行直接连接或使用耦合夹钳，此时可使用发射机内置的感应天线来发射输出(射频)信号，将信号感应到被测地下线缆上来进行定位探测。首先，将发射机放置于电缆的地面正上方，发射机放置方向应使发



射机面板上的校准线与地下管线方向相一致。然后使用接收机在电缆地面上方就能探测出地下电缆位置，如图 4.8 所示。

如果是盲测，两个人分别持发射机和接收机，面对面相距 15 米左右，发射机用内置天线射频工作，接收机用波峰法接收方式，在待探测范围内移动，信号强的地方（两个测试者的连线）有埋设的线缆。

4.5 安全警告！

1)由于带电运行电缆查找涉及设施及人身安全，必须在仪器给出结果的基础上，先根据各种现场信息（如电缆直径等）进行排除，剩余的要充分分析各条并行电缆的电流强度，最后作出判断。

2)仪器的正确判断建立在正确的操作上，请务必保证接线方式以及测试操作的正确性。

3)如果两条或几条电缆均显示探测信号强弱一样，或者全部显示探测不到信号，且测试电流值不大，则必须引起特别注意，不要轻易下结论，出现这种情况很可能是发射机接线方法有误，以下几种错误应首先检查：

- a.地线连接不正确。
- b.频率选择错误。
- c.探测中没有找到目标电缆，而是只追踪到邻线。
- d.信号发射功率方法选用不当。
- e.如果还不能判断，请使用其它方法进一步探测！

五、使用技巧

本章节主要和使用者分享在现场测试过程中的一些使用经验。

5.1 扫测和盲测搜索 (感应法)

在一个区域内有很多未知金属管线，在开挖之前要探明这些线缆的位置，以免在开挖过程中损坏这些线缆。感应搜索是探测未知管线的最可靠技术。这种搜索方法需要发射机和接收机并有两个操作员。这种搜索方法被称为“两人搜索”。在开始搜索之前，确定要搜索的区域和管线通过该区域可能的方向。打开发射机，并把发射频率设定为射频。第一个人操作发射机，第二个人操作接收机。两人保持10米距离平行行走或画圆行走测试，当发射机经过线缆时将会有信号施加到地下线缆上，接收机就可以探测到该信号。发射机的方向与估计的管线的方向保持一致。接收机操作者要在搜索的区域的起始位置，接收机的天线的方向保持与可能的地下管线的方向垂直。将接收机调到不会接收到直接从空中传播过来的发射机信号的最高的灵敏度。当发射机与接收机的方向保持正确之后，两个操作人员平行地向前移动，如图6.1。提着接收机的操作人员在向前走动的过程中，前后移动接收机。发射机将信号施加到正下方的线缆，再由接收机探测到该信号。在接收机探测到的峰值的位置在地面上做好标志。在其它可能有缆线穿过的方向重复搜索。

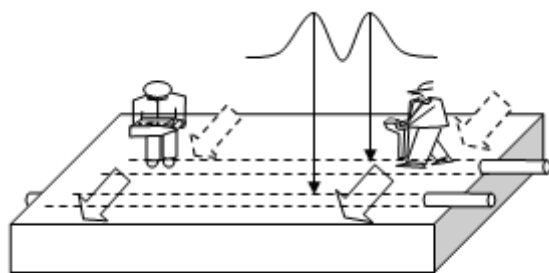


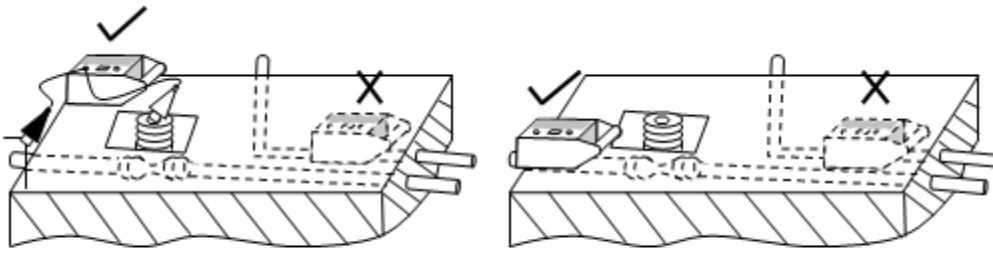
图6.1 扫测和搜索

5.1.1 感应技巧：

保持与发射机之间的距离在感应模式下，发射机除了给目标线缆发射信号，还会向空气中发射信号，这可能会给在发射机附近的探测工作造成干扰。要检查接收机探测到的是线缆的信号，而不是直接从发射机发射出来的信号，移动发射机一两米，如果接收机信号也随之移动的话，这表明接收机离发射机的距离太近。另一种检查接收机是否接收到发射机信号的方法是把接收机指向发射机，如果接收机的响应大小不变或增加，说明接收机接收到的是直接从空中传播过来的发射机信号。在这种情况下降低发射机输出功率并降低接收机的增益。接收机可能还要离开发射机几米。不要把发射机放在井盖上，因为这样会阻止信号到达线缆。从目标线缆感应到相邻线缆的不需要的感应信号是金属管线探测中最常见的问题。这可能会导致目标金属管线的位置或深度测量不准确或探测到错误的金属管线。在许多情况下一定程度的感应是不可避免的，但有经验的操作人员可以用一些方法减小感应的程度，从而提高探测的可靠性。尽量避免使用感应法施加信号。信号可能感应到下方的多根管线上。可能的话尽量使用耦合夹钳。

5.2 信号施加点的选择

1) 选择信号施加点，信号施加点应尽量远离其它管线，而不是在管线密集的区域。当使用单端连接施加信号时，接地点应尽量远离目标管线，并远离其它地下管线。不要使用现存的地下结构作为接地，可能会有其它管线与其相连。如果不需要长距离的追踪，仅



选择信号施加点

仅将地线与管线垂直放在地面上，可能会比良好的接地造成更少的感应。

2) 井盖作为接地

在探测的过程中，有时候无法将接地棒插入地下，例如：在硬地面（如：公路）上探测管线。在这种情况下可以把地线连接到人井的金属边框上作为接地回路。

3) 使用路灯柱

直接连接到金属的路灯柱几乎与直接连接金属管线护层具有相同的效果。通常金属管线的护层与金属灯柱是连通的，所以简单地连接到路灯柱，操作人员就可以安全地、迅速地探测路灯金属管线，而不需要找来路灯公司的技术人员。

如果路灯柱是混凝土的，将发射机连接到金属管线的护层。连接金属管线护层施加发射机信号到很远的距离，使接收机可以追踪到路灯和其它街道设施提供照明的金属管线。

5.3 金属管线拐弯和金属管线末段的定位

在跟踪金属管线时，可能碰到信号强度突然下降，当接收机左右移动时，读数信号没有明显变化。原地继续左右搜索，同时转动身体。如果转到某一位置时信号恢复，则表示金属管线转弯，可沿新的方向继续跟踪，如图6.2所示。如果转过一圈没有测得明显的信号强度，则表明到达金属管线的尽头，如图6.3所示。

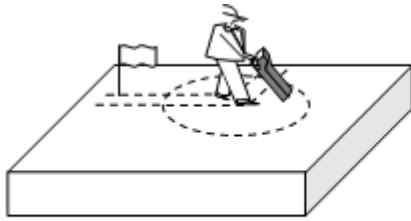


图6.2 电缆拐弯定位

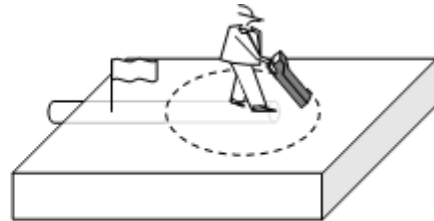


图6.3 电缆末端尽头定位

5.4 确认多根地下金属管线存在

如果地下存在多根导体，我们用感应法测试时发射机可能感应到最浅的或导电性好管线上，在这种情况下用直读法测量时，可能测得深度不可信。

此时我们用45°法测试可以进一步确定多个导体的存在，并可测得多个管线的深度，如图6.4所示。首先我们可以用45°法测到第一个管线的深度，然后继续移动接收

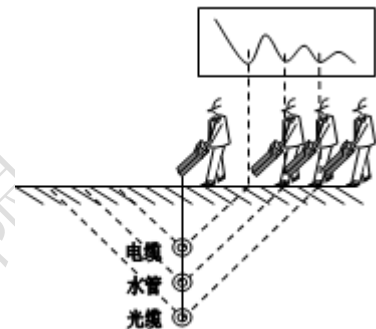
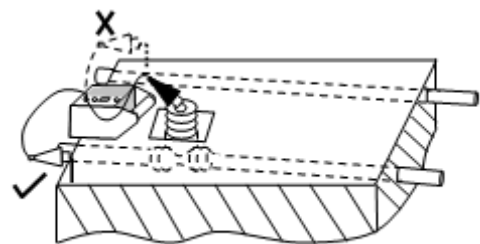


图6.4 多根管线的方

机找出多个管线的深度。将接收机移到另外一侧重复上述过程，分别测出各个管线的深度。

5.5 相邻导体

当信号强度在导体的一侧比另一侧下降若许多时，接收机可能接收到相邻或平行导体的干扰信号。大多数情况下，信号强的导体是目标导体。确定相邻导体的精确位置，然后调整地线位置，



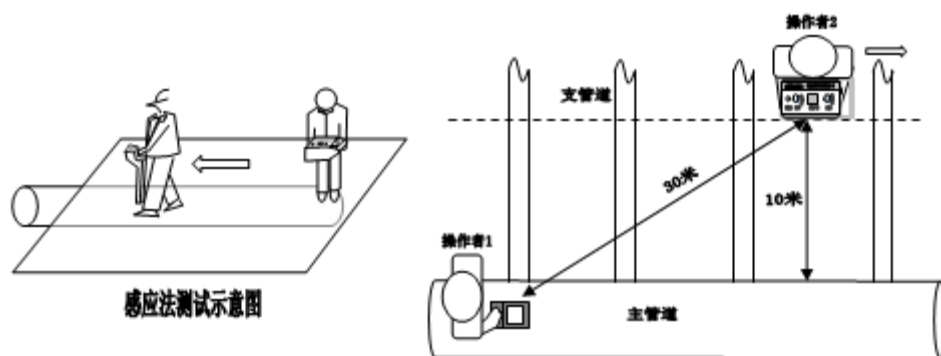
相邻导体的接地位置

使地线不跨越任何相邻导体，尽量远离目标导体且于目标导体垂直（见右图）。

5.6 管道的测试

接收机收到的信号随距发射机耦合点的距离增加而变弱，长金属管尤其明显（这是因为金属管不断有接地点并产生泄漏引起的）。为增强信号，移动发射机的耦合点，使其靠近接收机并不断调整接收机的增益。如果必须使用感应法，最好由两人操作，一人提发射机另一人提接收机，这样工作会很方便。

管道也许有许多分支，一般我们先测试主管道，测完主管道后，再定位各支管道。用感应法很容易定位各个支管。此项操作需两位操作人员，操作者1手持接收机站在主管道上，接收机与主管道垂直。操作者2手提发射机，发射机标识箭头与主管道平行，且保持与发射机相距10米以上，如下图所示，在准备探测供给分支一侧距主管道10米左右的平行管线上移动。当操作者2每通过一根分支时，接收机信号强度增加。每当接收机信号强度增加时，操作者1向着操作者2发信号，然后操作者2在地面上做出标记即可。此项操作接收机应选波峰法。



5.7 埋设比较深的金属管线导体

当金属管线埋设比较深时用感应法测试就会感到很困难，并可能感觉到接收机信号很弱，移动接收机时，信号强度变化很小，增加增益后信号很不稳定。这是由于金属管线比较深发射机感应到管道的信号比较弱，而接收机从金属管线接收的信号会更弱造成的。

如果目标金属管线埋在2米以下，用感应法测试就会产生很大误差。此时最好用直连法。

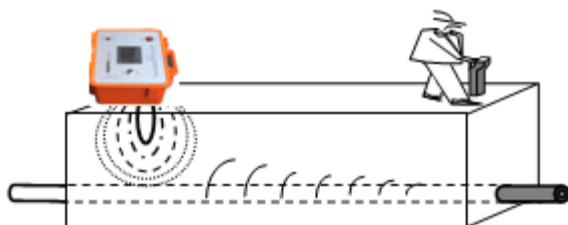


图6.5 埋设深度大于2米时信号衰减图示

5.8 电流测试

对于各种现场管线探测时，HSP-L 型接收机具有一个非常有用的功能——电流测试功能。测试步骤为：先测定正确的管线路径，移动接收机到目标电缆的正上方。接收机的位置尽可能精确地位于电缆正上方。垂直拿着接收机不要晃动，按动电流键。接收机将显示被测管线中的电流值，并显示在液晶显示器上。不要在管线的弯头或 T 接头附近进行电流测量。要获得高的精度，至少离开弯头 5 米处进行电流测量。由于磁场强度随管线深度变化，HSP-L 型的电流测量功能可以准确区分平行管线，即使管线的埋入深度不同，也能清楚的识别要探测的目标管线。在地下管线很多的情况下的目标电缆（同发射器相连的管线）通常会感应到其他相邻的管线。在目标管线埋深比相邻管线埋深深时，被感应的相邻管线中的信号传到地面时有可能比在目标管线中的信号还要强。操作者这时将发现两根或两根以上的管线，这时就需要用电流测试来判别出目标电缆和相邻的管线。用 HSP-L 型接收机测试电流的功能，操作者能读出电缆中低频或射频的电流值。电流值最高的通常就是要探测的目标电缆。在管线密集的区域，接收机可能会在旁边的干扰管线上探测到比目标电缆更强的磁场信号，因为相邻管线的深度比目标电缆浅。 电流测量值最大的（而



不是信号响应最强的) 管线才是施加了发射机信号的目标管线。

先寻找被测管线的路径。尽可能精确的标出这些管线的路径。在管线位置准确定位后，将接收机置于地面上，机身垂直指向电缆中心，且与管线的走向垂直。保持仪器稳定按动深度键，即会显示深度数值。把接收机放在已做标志的管线路径的正垂直的上面，放在地上。垂直的拿着接收机直到测试信号稳定。按电流测试键。电流数字读数将显示出电缆中电流信号的大小。接着，再次测试第二根电缆，电流数字读数将显示出电缆中电流信号的大小。观察梯形图和数字读数，两读数更高的意味着管线中的电流信号更大的也就是我们要寻找的目标电缆。

注意：HSP-L 型接收机会对错误的电流测试的操作报警。如果在电流测试期间显示电流读数为“000”，则表示接收机探测到错误的电流读数。

5.9 测试中常见问题

问：探测过程中干扰是如何产生的？

答：地下金属管线探测仪是探测目标金属线缆上的施加信号电流产生的电磁场。在理想情况下电磁场的形状应是标准的同心圆。干扰的产生最常见的原因是目标线缆上的信号耦合到邻近的线缆上。被干扰的电磁场是一个变形的电磁场，从而造成读数不准确。发射频

率越高相邻管线的干扰就越大。

问：测试时为什么在其它的金属管线上也能探测到信号？

答：这种情况是由于发射机施加的信号，通过公共接地点使信号分流到了其他金属管线上或互感耦合到了其它金属管线或金属管线上。这时最好使用直接连接法施加信号，或更换信号施加点，变换接地线，并使用较低的频率（低频）。

问：如何用谷值法验证峰值法定位的准确性？

答：对于理想的无干扰的被测目标金属管线，波峰/波谷法定位的位置是重合的。但对于有并行金属管线或有其它金属管线干扰时，波峰/波谷法定位的位置就会不重合。此时的金属管线真正位置在波峰值一侧。当干扰严重时可能找不到零值点，此时只能根据峰值位置大概给出管线的位置。最好采取改变施加信号的方法，重新进行金属管线定位。当波峰/波谷法所测位置不重合时，金属管线直读测深也会有较大偏差，甚至无法读出深度。

问：如何减小金属管线次生电磁场形态的变形？

答：首先，你可以试着降低发射机的输出功率。有时信号太强，探测的效果不一定最好，尤其是多根金属管线并行、非常接近的情况下。如果使用的是感应法，这时可以改用直接连接法或夹钳法施加信号。这样可以减小耦合到其它金属管线的信号，从而减小小线缆电磁场形态的变形。如果，发现谷值法和峰值法定位不一致，换一个一致的地方进行定位，如果找不到一致的地方，我们通常以峰值位置做为金属管线的位置，深度测量也在峰值模式下进行，当然也存在一定的误差，但比谷值法更接近真实值。

问：该设备是否可同时用来探测铜线金属管线和光缆？

答：目前的地下金属管线探测仪只能探测带有金属护套或芯线的金属管线。只有带有金属护套或中央金属加强芯的光缆才能用地下金属管线探测到。要探测金属管线必须给导体施加一个可以探测的信号（发射机低频信号）。

问：为什么测深不准确？

答：1. 检查选择了正确的模式。

2. 检查峰值法和谷值法定位的位置是否一致。直读测深的方法虽然简单，但读取正确结果需要一定的条件，否则测量精度不高，甚至得到错误结果。应用直读测深的条件之一是峰值法和谷值法测定的管线位置要基本重合，否则误差会很大。其二是直读的深度要经过校正才能达到较高的可靠性，校正的因素包含：管线埋设土壤的湿度，以及检测信号的频率，一般土壤湿度越大、检测频率越高，校正的系数就应越小，一般在0.8-0.95之间。简单的办法是找一个深度已知且无干扰的管段，测出直读深度，与实际埋深相比求的校正系数。

3. 测量埋深时要注意接收机的方向，尽量使接收机的线圈与管线走向垂直，这个要求可以通过轻微转动接收机，使面板上的显示读数达到最大值来达到。此外，还应注意：直读埋深值是接收机机身地面到管道中心的距离。

问：遇到信号强度突然减弱是何原因？

答：如果信号强度突然减小，有可能是经过了T型分叉或分支金属管线，也有可能是埋深出现变化。在区域内进行360度扫描，查找其他中心线，以确认导体是否有分支，核对埋设资料。

问：如果感应信号感应到其他金属管线上怎么办？

答：可以采用以下办法：

1. 调低频率，选用低频；
2. 调低功率，选用低档；
3. 如果可能使用直连法或夹钳耦合法；
4. 把接地插到远离目标金属管线和其他埋地金属管线的地方；
5. 在目标金属管线和其他管线相距最远的位置施加信号。

六、仪器常见问题分析和质保

4.1 日常保养

设备应保存于干燥常温的环境中，并定期充电，一般三个月充一次，充电时间 8-12 小时。

设备应避免长时间在阳光下暴晒，避免长时间在低温（-10℃以下）下使用。否则会损坏液晶，促使机壳老化。

尽量避免雨天使用，如果不能避免请做好防雨防潮准备，一旦仪器淋雨受潮应在最短时间内除水排潮，否则会造成仪器的损坏。

在使用过程中如果发现仪器异常请及时与厂家联系，避免影响使用耽误工作。

4.2 正确充电

充电器接入 AC 220 V 50HZ 市电，充电器指示灯亮（绿色），然后将充电头插入主机充电座（被充电主机在关机状态），此时充电器指示灯变红，表明系统充电正常，过一段时间后充电指示灯由红变绿，此刻并不表明电池已充满电量，只是说明充电器由大电流快充状态转为小电流慢充状态，只要保证充电时间达到 8-12 小时即可。

如果充电头插入主机充电座后（被充电主机在关机状态），充电器指示灯不变红，而开机又无显示，说明机内电池松动或接触不良，此时打开电池盖板将电池装好即可。

4.3 仪器自检

4.3.1 面板按键检查

1. 发射机：按 3.1.2 功能简介操作各键是否正常。
2. 接收机：按 3.2.2 功能简介操作各键是否正常。

4.3.2 工作状态检查

1) 信号输出与接收互检

直连线五芯航空头插入发射机五芯航空座，将线分开顺直并短接两夹子，按下发射机电源开关，阻抗显示小于 00005Ω 。右侧图标中不停地移动。

手持接收机位于直连线附近，按下接收机电源开关，几秒钟后接收机稳定工作接收到直连线上的信号并有显示，移动接收机信号显示会有变化。说明发射机、接收机工作正常。

发射机在感应状态下，打开发射机，将接收机的接收频率调至和发射机一致的频率，看接收机能否接收到信号，移动接收机，看接收机的数据有无变化；

2) 耦合钳的检查

把耦合钳与发射机相连，按下发射机电源开关，阻抗显示 10Ω 左右，同时听到耦合钳发出声响（低频）。说明耦合钳工作正常。

4.4 质保

1) 仪器主机及配件一年保修，电池半年保换。超过上述期限，维修时只收取更换的器件成本费。

2) 若因为使用不当造成损坏（包括保修期内），或超过保修期限发生产品质量问题，我公司负责维修，维修时只收取更换的器件成本费。

3) 仪器出现下列问题时，用户可以尝试自行解决：

不开机：可能是电池已耗光，请尝试先充电再使用。

仪器自动关机：可能是因为电池欠压自动关机，或长时间未进行任何操作自动关机，请尝试重新开机。

开机后立即关机：原因是电池欠压，请先对电池充电再使用。

4) 若出现其他问题，请不要试图自行维修，以免扩大故障，请与本公司联系，以便及时

维修和服务。

第三章 智能型电缆故障精确定点仪

一、简介

电力电缆敷设环境极其复杂，电缆故障的精确定点在整个故障测试过程中最为关键。在当今技术条件下，对电力电缆故障的测距已经有了较好的解决方案，但是再准确的测距，由于敷设的原因和环境影响，也只能测定一个大概范围，无法精确定点，导致劳动强度大，盲目性很大，效率低。

综上所述，我公司根据新研究成果而开发了集放电声波显示、故障距离数字显示、具有高抗干扰性、高灵敏度的故障精确定点产品——智能型电缆故障精确定点仪。本产品基于声磁信号传递时间差法，采用高性能的数字滤波电路和低噪声设计相结合，声测法、磁场巡测法、声磁同步法相互比较和验证，更能保证定点的精确性和高效性。同时可根据环境的限制，选择多途径进行测试；具有闭音功能和直观的人机界面；超高的抗干扰能力和多种滤波频带，对各类电缆故障可精确、迅速地进行定点。

二、功能特点

- ◇ 采用了高亮度的 4.3 寸 OLED 彩色液晶，不受强光环境影响，使得显示界面更加清晰
- ◇ 采用可编程的脉冲编码键盘，操作智能、便捷
- ◇ 采用 4 种滤波频带：低频带、中频带、高频带和全频带，适时选择
- ◇ 采用数字滤波技术处理音频信号，特征频带更明显、滤波性能更佳
- ◇ 故障距离采用数字方式显示，最大 25m 范围内可显示故障距离
- ◇ 音频信号波形显示，可通过观察重复性的波形特征及距离轴大致观察故障点距离，操作者观察波形不易疲劳，同时在单次模式下可对 15m 内音频波形进行细致分析，支持翻页显示
- ◇ 具有单次和连续模式，可根据实际情况选择，对波形进行仔细分析及整体上周期

分析

- ◇ 具有闭音功能，确保操作者在移动探头时较强噪音对人耳的伤害

三、技术参数

- ◇ 工作方法：声磁同步法、声测法、磁场巡测法
- ◇ 显示方式：4.3 寸高亮OLED显示器，分辨率为 480*272
- ◇ 故障距离：最大检测距离范围为 25m
- ◇ 操作方式：一键式可编程的脉冲编码按键操作
- ◇ 数据处理：音频波形显示、故障距离数字显示
- ◇ 频率范围：100Hz ~ 1500Hz
 - 低通：100 ~ 400Hz
 - 带通：150 ~ 600Hz
 - 高通：200 ~ 1500Hz
- ◇ 音频测试精度：10cm
- ◇ 音频波形显示：≤15m
- ◇ 电磁强度显示：矩形条显示，数字显示，最大值显示
- ◇ 信号增益：音频增益 > 110dB，电磁增益 > 104dB
- ◇ 隔离干扰：DC，50Hz
- ◇ 供电方式：内置电池供电
- ◇ 工作时长：> 7h
- ◇ 具有自动检测脉冲信号功能
- ◇ 84dB最大音量限制
- ◇ 具有闭音功能

四、使用注意事项

1. 操作仪器前请仔细阅读使用说明书。
2. 使用时应正确连接对应的探头，使用中如发现异常应及时停用。
3. 在使用过程中要保证仪器及探头部分干净及干燥。
4. 当仪器显示电量不足时，应及时给仪器充电。
5. 在仪器长时间不用时，每个季度或者半年对仪器进行一次充放电。

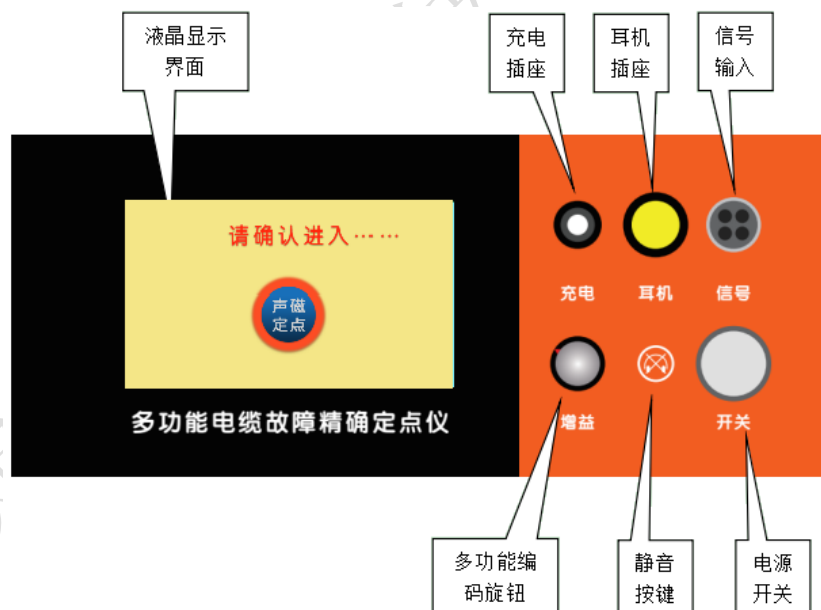
五、产品配置

配置清单如表 1:

表 1

1	电缆故障精确定点仪	1 台
2	探地传感器	1 套
3	耳机	1 副
4	信号线	1 根
5	专用充电器	1 只
6	背带	1 根
7	使用说明书	1 份
8	包装箱	1 只

六、面板介绍



液晶显示界面：4.3 寸高亮度OLED显示器，分辨率为 480*272。

充电插座：仪器内置电源在电量不足时，使用充电器充电的专用插座。

耳机插座：故障定点工作时，所配耳机专用插座。

信号输入：此接口使用转配四芯信号线，另一端可接探头，进行信号采集。

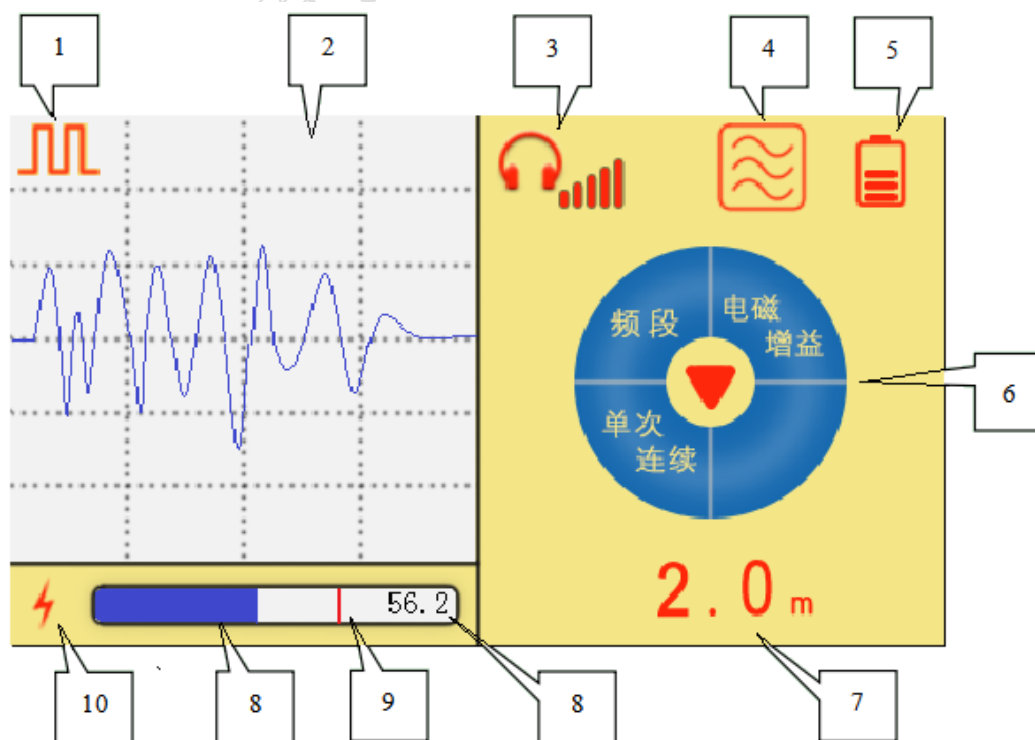
多功能编码旋钮：左右旋转可调节音频增益及子菜单中的选项，在单次模式下左右旋转可进行波形翻页操作。按下确认进入子菜单再次按下为确认选中。



闭音按键：按下之后，仪器进入静音状态，再次按下，恢复正常。

电源开关：按下之后打开仪器，再次按下之后关闭仪器。

七、使用及界面说明

(一) 打开电源开关，开机欢迎界面之后，将进入声磁同步定点模式确认界面，此时按下多功能旋钮则会进入其工作模式。



1、**模式指示：**显示仪器工作模式单次模式  及连续模式  。

2、**波形显示区域：**显示上次采集到的音频信号的波形。当长时间内没有收到电磁中断时，波形自动清零。在单次模式下，背景会自动添加距离轴，通过旋转多功能旋钮可进行翻页操作，方便查看大范围内的波形信息。

3、**音频增益：**在主界面状态下，可以通过旋转多功能旋钮来调节音频增益大小，顺

时针增大，逆时针减小。按下面板上的静音键之后仪器输出静音，再次按下或者改变音频增益时，仪器输出正常。

- 4、**频带显示**：显示目前仪器所处的频带，共四个频带，全频带、低频带、中频带和高频带。在主菜单频带栏中可以进行更改。



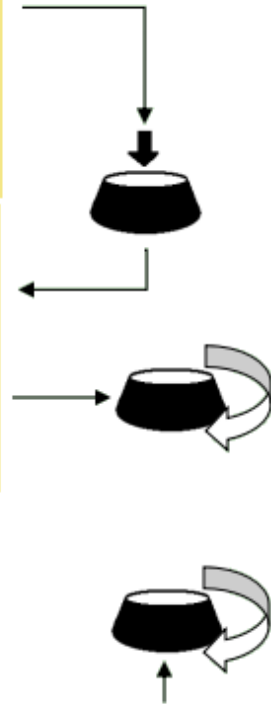
- 5、**电量显示**：实时显示仪器电池剩余电量。

- 6 和 7、**主菜单及子菜单显示**：显示主菜单，通过按下及旋转脉冲编码器进行主菜单选择切换及子菜单内部参数调整切换。

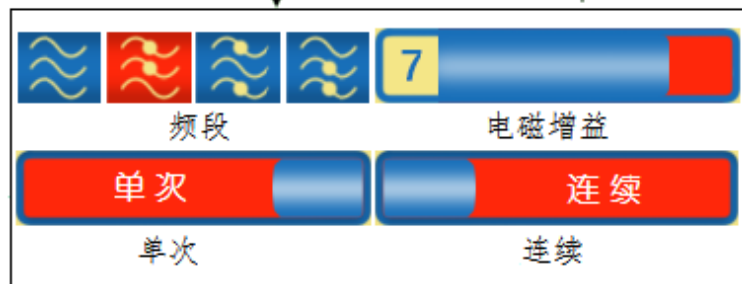
在主界面下脉冲编码旋钮未按下时主菜单圆盘显示为这样：



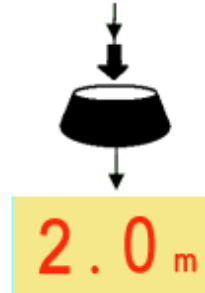
当按下一次脉冲编码旋钮时显示为这样：
(此时可以通过旋转脉冲编码旋钮进行菜单之间的相互切换。)



选择菜单再次按下脉冲编码键盘进入菜单，此时在距离显示区域会呼出相应菜单的频段电磁增益子菜单，对应频段，电磁增益，模式，单次连续。当调出子菜单之后，就可以通过单次连续模式旋转脉冲编码旋钮进行子菜单内容的调节，如图：



子菜单区域



再次按下脉冲编码旋钮便会确认退出，此时子菜单部分恢复到距离显示。

- 8、电磁信号强度：当收到电磁中断之后根据电磁强度自动填充，同时在电磁条右边显示当前采集到的电磁信号的强度 0--99.9，显示 3 秒左右之后自动清空。
- 9、电磁强度最大值标记：记录当前电磁增益下的最大电磁强度，当长时间没有收到电磁信号时自动清零，改变电磁增益时也自动清零。
- 10、电磁中断指示：当仪器收到电磁中断之后，标志自动点亮，点亮 3s左右只有自动清除。

八、模式说明

1、频段分为全频带、低频带、中频带、高频带。

- ◇ 全频带：此时仪器提供了最宽的工作频带，在刚开始定点及外界环境干扰比较小的情况下比较适用。
- ◇ 低频带：在此频带下，高频部分的噪声会被大大衰减。当离故障点比较远，或者电缆上方的土质或沙子比较松软时比较适用。还有打火的声音比较“闷”的情况下也是比较适用的。
- ◇ 高频带：在此频带下，低频部分的噪声会被大大衰减。而高频部分通过性比较好，在比较坚硬的路面，及靠近故障点时，打火声音比较响亮的时候比较适用的。
- ◇ 中频带：此频带是介于低频带及高频带之间的一个频带，这个频带用户可以根据此时放电声音在低频及高频部分的不同响应进行选择。

2、电磁增益

电磁增益共分 9 个档位，可以根据现场的不同情况进行调节，在每调节一次电磁增益时，电磁强度最大值距离显示电磁强度显示距离显示等将自动清零一次。

注：在使用的过程中，如果电磁部分不断的进行触发，那么就要适当的降低当前的电磁增益。

3、单次/连续

在主菜单下选择单次/连续，当选择单次模式并确认退出，此时波形显示区域背景便会显示出距离轴，仪器只响应一次打火模式，不会再次响应，通过旋转多功能旋钮便可切换观察波形信息，共 15m 可观察。（注：此时无法调节音频增益，多功能旋钮变为波形显示页面切换旋钮）。如果需要再次响应电磁中断，那么进入主菜单，选择单次连续，选择单次模式再次按下确认，便可再次响应一次电磁中断。

当选择连续模式时，此时仪器会自动响应电磁中断，每次自动刷新显示信息。此时的波形显示为 15m 的压缩波形，可以观察波形的大概信息，不需要太多的操作，此时在主界面状态下旋转多功能旋钮便可调节音频增益。如果要细致观察波形细节信息，那么进入单次模式进行观察。

九、声磁同步法介绍

- ◇ 打开仪器进入声磁定点模式，选择连续模式，定点时首先应确定故障点大致范围（用

主机测距), 然后在此范围内精确定点。定点时可先每隔 4—5 米定一下点, 当听到有规律的“啪啪···”振动声音(故障点放电声应与所收电磁波同步, 听声过程中应参考所接收的电磁波), 应放慢脚步(隔 1 米)定点。同时当听不到有规律的“啪啪···”振动声(与球隙放电打火声同步), 而距离显示为 25.0 米时, 则表明故障点距离探头太远或振动波太弱, 此时应继续往前寻找。将仪器的最大显示范围定为 25 米, 是因为当范围太大时, 干扰进入的频率将增大, 显示的错误数据也将增加, 使测试人员往往产生误判断。另外地下声波也不会传播的太远, 过大的显示范围已没有意义。

- ◇ 当接近打火点, 距离显示在 15 米内之后, 观察波形区域是否会重复出现波形特征相似的波形信息, 观察到之后可根据显示距离及特征波形移动探头, 若打火频率太快, 或无法看清波形信息, 可进入单次模式可对波形进行细致的分析, 翻页查看波形, 观看距离轴。
- ◇ 当拾音器放在故障点上方时, 定点仪显示的同步距离最小; 所听声音最大; 电磁波信号最强; 声波记录值最大。
- ◇ 有时探头放在同一点时, 仪器显数会不同, 如一会显 5 米, 一会显 3.6 米。其实这是正常现象。因为当电磁波将门打开后, 在收到放电打火声波前也许会收到别的声波, 仪器收到任何声波都会使记数截止。此时应在同一地点多测一会, 多取一些数据, 因为干扰声波不会每次都同一时差进来, 所以应取出现频率最高的数为正确数据。同时可以通过观察波形信息来排除干扰信号。
- ◇ 当在环境中连续有连续干扰时此时应该以听声为主。
- ◇ 当遇到比较松软的土地时, 此时应该将探针连接到探头下方, 在测试时将探头扎入土地时, 在垂直方向上稍微用力即可, 千万不能用力撬或旋转, 以免损坏探头。

十、常见问题及处理方法

- 1、液晶屏一亮一灭的不停的闪烁, 出现这个现象是电池电量不足, 关闭仪器对仪器进行充电即可, 当充电指示灯由绿色变为红色之后便可正常使用。
- 2、仪器无法开机, 但是插上充电器之后很快指示灯由红变绿, 则可能是电池亏损严重, 可通过联系我们更换电池。

第四章 轻型高压信号产生电源

一、产品介绍

本产品是我公司在长期从事电缆故障测试研究方面最新开发的创新型换代产品，采用大屏幕彩色液晶显示器、指示高压侧真实电压值、具有过压、过流保护，产品的各项性能指标均处于国内领先地位。该产品满足《中华人民共和国电力行业标准，高压试验装置通用技术条件》，主要用于对高、中低压电缆故障



测试时做冲击放电试验电源、也可用于电缆、电容器、电机、瓷瓶等的直流耐压试验，是工频高压电源的升级换代产品。

二、适用范围

适用于 35kV 及以下电缆故障测试，是电力电缆故障测试中各类高阻性、接地型和疑难电缆故障定位的必备高压信号发生装置，广泛适用于各种电力电缆、路灯电缆、铁路信号电缆、通信电缆的粗测和精确定点，电缆故障测试种类包括各种高阻故障、闪络性故障、低阻接地故障等。

三、功能特点

1. 设备采用工控防护机箱（非铝合金）、紧凑型设计，软件控制，具有自动升压、稳压功能。
2. 智能操作，实时高压动态显示，故障点放电自动指示。
3. 系统软件自动判断，具有过流自动保护功能，并及时进行液晶文字提示。
4. 工业级 4.3 寸彩色液晶显示，人机界面友好，数据显示非常直观。
5. 性能稳定，箱体采用工程塑料绝缘材料，操作安全，体积小、重量轻、接线简单。

6. 专用组合接地线设计，避免因人为接线原因引起的工作异常，性能稳定。

7. 可连续工作 8 小时以上。

四、技术参数

输出电压	负直流 0 ~ 32kV，连续可调
外接电容	2 μ F/30kV
冲击能量	1024J
放电频率	最小 3 秒/次
显示误差	$\leq \pm 2\%$
显示方式	工业级 4.3 寸彩色液晶屏
显示信息	模拟表盘式实时显示输出高压、柱形条显示预设电压、数字显示工作电流、动态图标指示放电
工作电源	AC220V $\pm 10\%$ ，50Hz，可外置移动电源工作
工作温度	-10 $^{\circ}$ C ~ 50 $^{\circ}$ C
相对湿度	$\leq 90\%$
输出功率	≤ 1.5 kVA
地线规格	专用组合接地线设计，采用一分四方式，完成系统接地
包装规格	采用工业级黑色安全防护箱，防护等级IP67
外形重量	L360mm \times W265mm \times H290mm，重量 ≤ 14.7 kg

五、操作面板



- (1) 电源插座：AC 220V±10%,50Hz 电源输入端口。
- (2) 开关：电源开关，按下灯亮，表示电源接通，液晶屏点亮。
- (3) 升压指示：升压过程中点亮，当电压达到预设电压值或放电时，此灯变暗。
- (4) 调压旋钮：调整预设电压，顺时针旋动升高预设电压，逆时针旋动降低预设电压，只有启动控制回路后才可以设定，调压步径 0.5kV。
- (5) 启/停旋钮：工作启动或停止旋钮，紧急情况下可以直接停机，即停止升压；启动后方可工作。
- (6) 系统地：仪器工作接地端口，使用组合接地线与电容、放电棒、大地连接起来。
- (7) 输出：高压输出端口，使用专用连接线缆接至电容。
- (8) 液晶界面：4.3 寸工业级彩色液晶，显示电压、电流、放电情况、预设电压等信息。

六、使用步骤

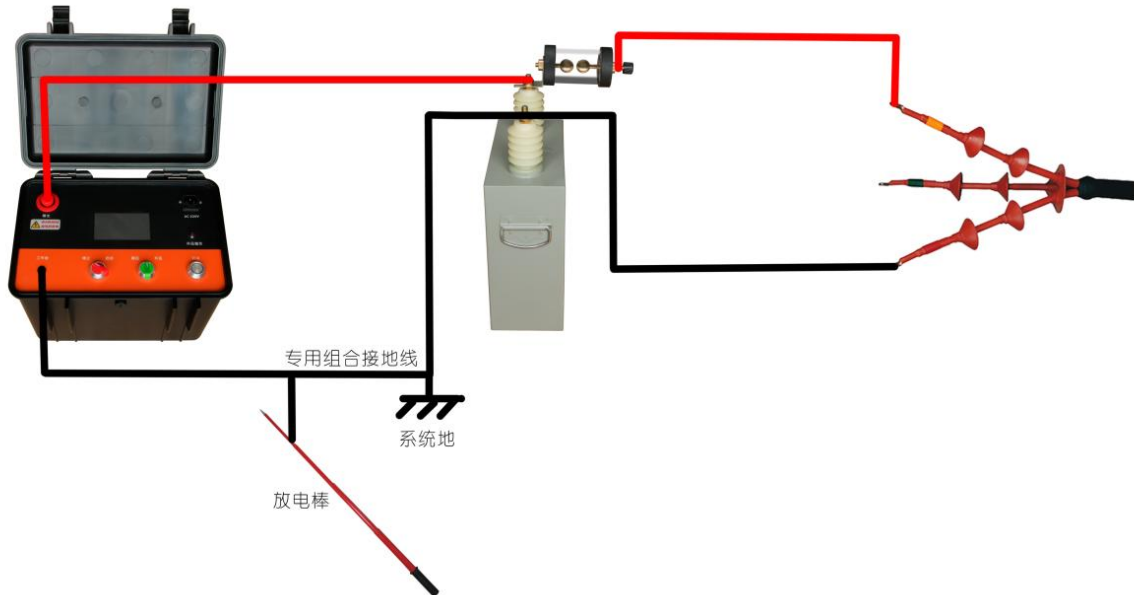
1、连线：

- 此方式为冲击闪络法测距或者故障精确定点时的连线方式，具体如下：

首先，使用组合接地线，以电容为出发点（大口径夹钳接



电容器), 分别接至仪器地端口①、放电棒②、系统地③、铠装④ (相—地故障接铠装或系统地、相—相故障接另一相), 注意: **必须使用专用组合接地线可靠连接, 否则影响设备稳定性能, 组合接地线不允许有悬空;**



接着连接高压线缆, 从设备高压端口至电容另一极、从球隙至故障电缆相端;

最后仔细检查连线是否有误, 检查无误后插上电源线。

2、操作:

根据实际情况, 调整放电球间隙, 按照“开机---启动---升压”的步骤操作。

先将“启/停旋钮”旋转至停止状态后开机, 液晶屏幕显示灰色工作界面 (此灰色界面状态下, 同样实时显示高压);

操作“启/停旋钮”至启动, 屏幕点亮至正常工作状态;

顺时针选装“调压旋钮”升压, 观察预设电压值, 当达到预期值时 (预期值是根据故障电缆特性和故障性质决定), 松开旋钮, 设备自动升压至预设值后停止, 若球间隙没有击穿, 可以再升高, 直到球隙击穿后正常工作。

3、停机:

测距或者定点结束后停机，操作“启/停旋钮”至停止，接着**必须使用放电棒泄放电容上的残存电量**，最后关机。



4、拆线：

确保电容和电缆上不再有残存电量后进行拆线！

依次拆除电源线、高压线，最后拆除组合接地线。

七、注意事项

- 1、本仪器为电缆故障专用测试设备，在测试、修复电缆过程中可临时使用做直流耐压试验，但不可用它频繁做直流耐压试验。并且输出功率降低 1kVA 使用。
- 2、本仪器属高电压设备，出现故障时，请速与我公司联系。用户不可擅自拆卸修理，以免对仪器造成进一步破坏，甚至威胁使用者的人身安全。