



尊敬的顾客：

感谢您使用本公司生产的YNDL-1006电缆故障测试仪。在初次使用该测试仪前，请您详细地阅读使用说明书，将可帮助您正确使用该测试仪。



我们的宗旨是不断地改进和完善公司的产品，因此您所使用的仪器可能与使用说明书有少许差别。若有改动，我们不一定能通知到您，敬请谅解！如有疑问，请与公司售后服务部联络，我们定会满足您的要求。



由于输入输出端子、测试接线柱等均有可能带电，您在插拔测试线、电源插座时，可能产生电火花，小心电击。为避免触电危险，务必遵照说明书操作！

◆ 安全要求

请阅读下列安全注意事项，以免人身伤害，并防止本产品或与其相连接的任何其它产品受到损坏。为了避免可能发生的危险，本产品只可在规定的范围内使用。

只有合格的技术人员才可执行维修。



—防止火灾或人身伤害

使用适当的电源线。只可使用本产品专用、并且符合本产品规格的电源线。

正确地连接和断开。当测试导线与带电端子连接时，请勿随意连接或断开测试导线。

产品接地。本产品除通过电源线接地导线接地外，产品外壳的接地柱必须接地。为了防止电击，接地导体必须与地面相连。在与本产品输入或输出终端连接前，应确保本产品已正确接地。

注意所有终端的额定值。为了防止火灾或电击危险，请注意本产品的所有额定值和标记。在对本产品进行连接之前，请阅读本产品使用说明书，以便进一步了解有关额定值的信息。

- 请勿在无仪器盖板时操作。如盖板或面板已卸下，请勿操作本产品。

使用适当的保险丝。只可使用符合本产品规定类型和额定值的保险丝。

避免接触裸露电路和带电金属。产品有电时，请勿触摸裸露的接点和部位。

在有可疑的故障时，请勿操作。如怀疑本产品有损坏，请本公司维修人员进行检查，切勿继续操作。

请勿在潮湿环境下操作。

请勿在易爆环境中操作。

保持产品表面清洁和干燥。



—安全术语

警告：警告字句指出可能造成人身伤亡的状况或做法。

小心：小心字句指出可能造成本产品或其它财产损坏的状况或做法。



目 录

敬 告.....	5
第一章 YNDL-1006 电缆故障测试仪.....	6
第二章 YNDL-1006-L 电缆路径信号发射器.....	36
第三章 YNDL-1006-D 声磁同步数显定点仪.....	40
第四章 YNDL-1006-Y 轻型高压信号产生电源.....	45



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 YNDL-1006 电缆故障测试仪

一、产品介绍

YNDL-1006 电缆故障测试仪是我公司在电力工业快速进步的契机下，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。

该产品采用了国际最高水平的时域反射（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

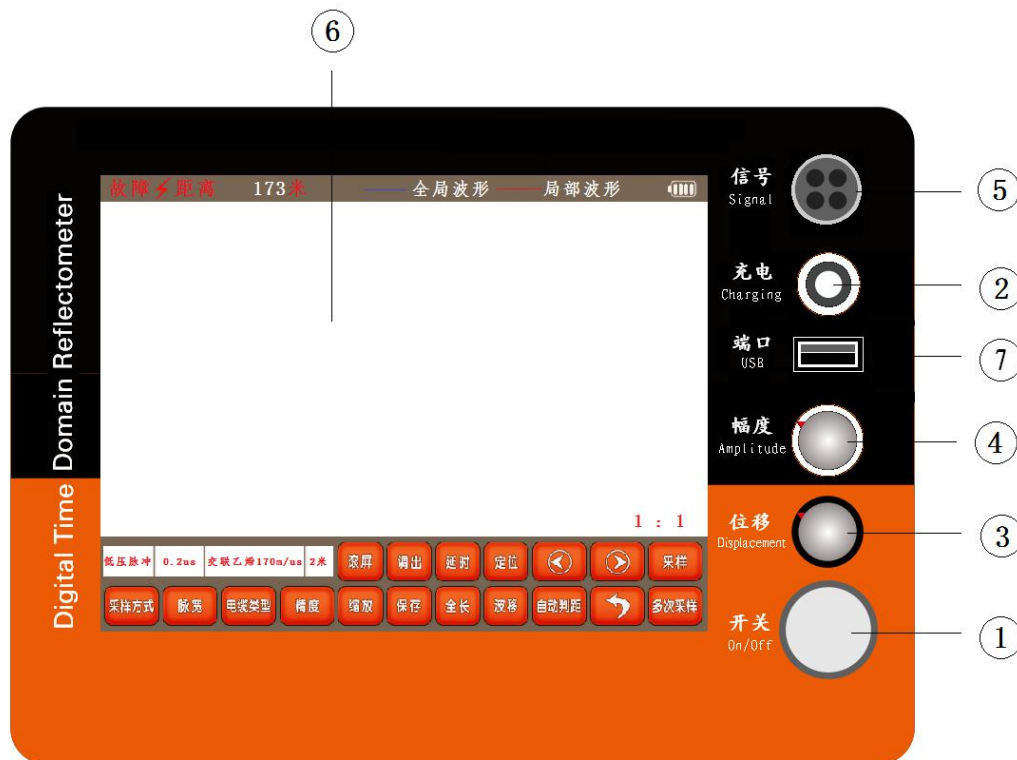
1. 采样方法：低压脉冲法、冲击闪络法、速度测量法（扩展有三次脉冲法、多次脉冲法）
2. 采样速率：200 MHz、100 MHz、80 MHz、40 MHz、20MHz、10 MHz
3. 脉冲宽度：0.05 μ s、0.1 μ s、0.2 μ s、0.5 μ s、1 μ s、2 μ s、8 μ s
4. 波速设置：交联乙烯、聚氯乙烯、油浸纸、不滴油和未知类型自设定
5. 冲击高压：40kV及以下
6. 测试距离：<60km
7. 分辨率：1m
8. 测试精度：1m
9. 显示方式：工业级 10.4 寸彩色触摸液晶屏
10. 操作方式：触摸屏操作、物理旋钮操作
11. 分析设置：滚屏、缩放、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

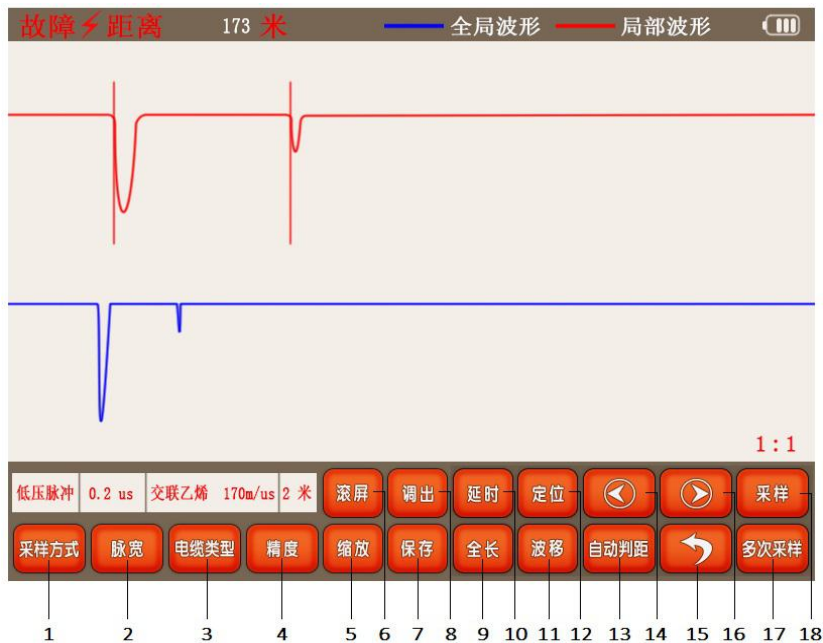
1. 操作面板介绍



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 位移旋钮：顺时针旋动位移向上走动；逆时针旋动位移向下走动。（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 信号端口：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”。
- ⑦ USB 通讯端口：主要用于与电脑通讯（此功能不常用）。

2. 工作界面介绍



① 采样方式

按“**采样方式**”键，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**”键，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**”键，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“**OK**”键，再按“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**”键，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“”键进入缩放功能，系统提供 3 种压缩比例，分别为“1:1”、“1:2”和“1:3”，通过左移“”键或右移“”键可对波形进行 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“”键，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“”键，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。

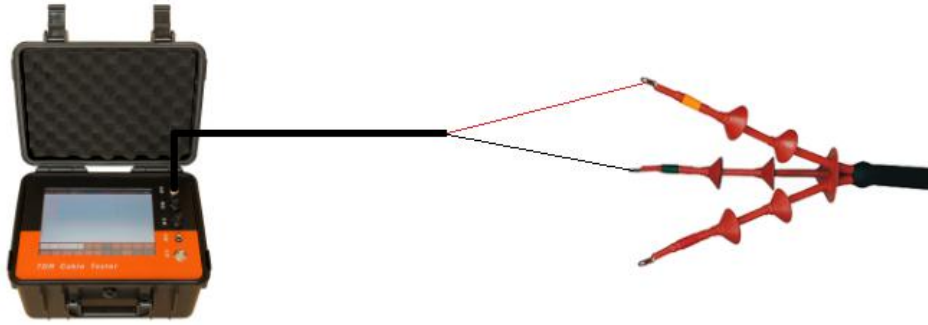
在三次脉冲/八次脉冲测量时，先按“  ”键一次，系统执行一次低压脉冲自动触发采样，调整幅度和位移等参数，再按“  ”键一次，此键反变色“  ”，仪器一直处于执行等待外部触发采样状态，当获得触发信号时，系统将采集到多次脉冲波形，并显示到屏幕上。注意：当无外部触发时，再按一次“  ”键，此键回复原色，系统解除采样。

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。



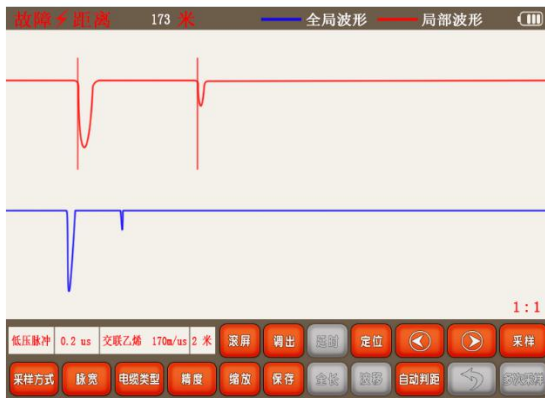
低压脉冲法连线示意图

2) 开机:

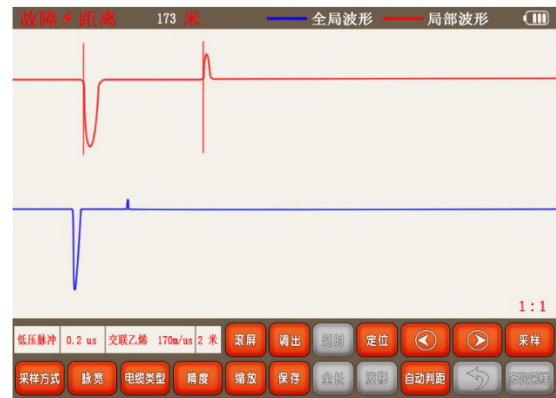
按下开关键，屏幕将显示开机界面；点触一下液晶屏进入测试界面。此时系统默认测试方式为“低压脉冲法”、脉宽“ $0.2\mu\text{s}$ ”、电缆类型为“交联乙烯”、精度“2m”。然后依据被测电缆绝缘材质、长度等因素再调整默认项目为适合本次测试的内容。

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所示。若波形的幅度、位置不合适，操作者可调节“位移”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。



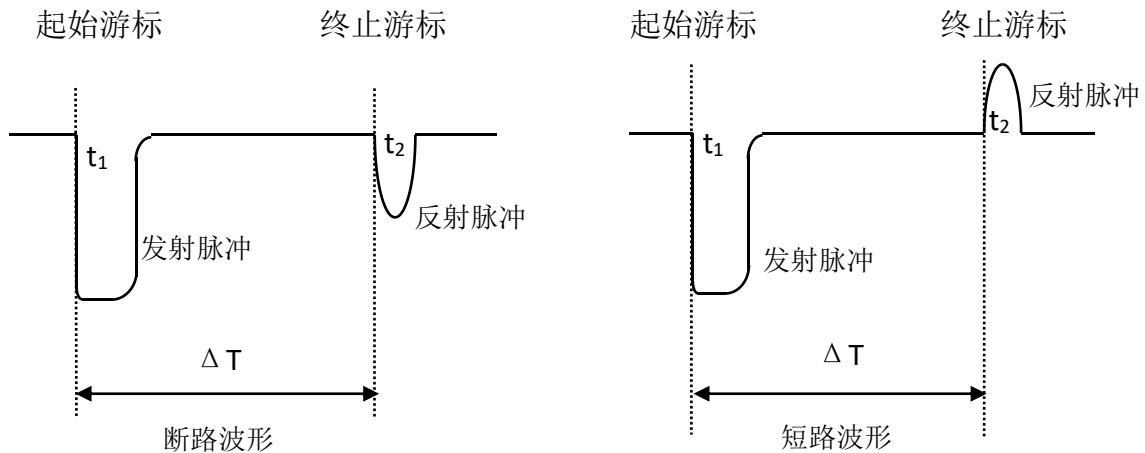
低压脉冲法测试的断线故障波形



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：

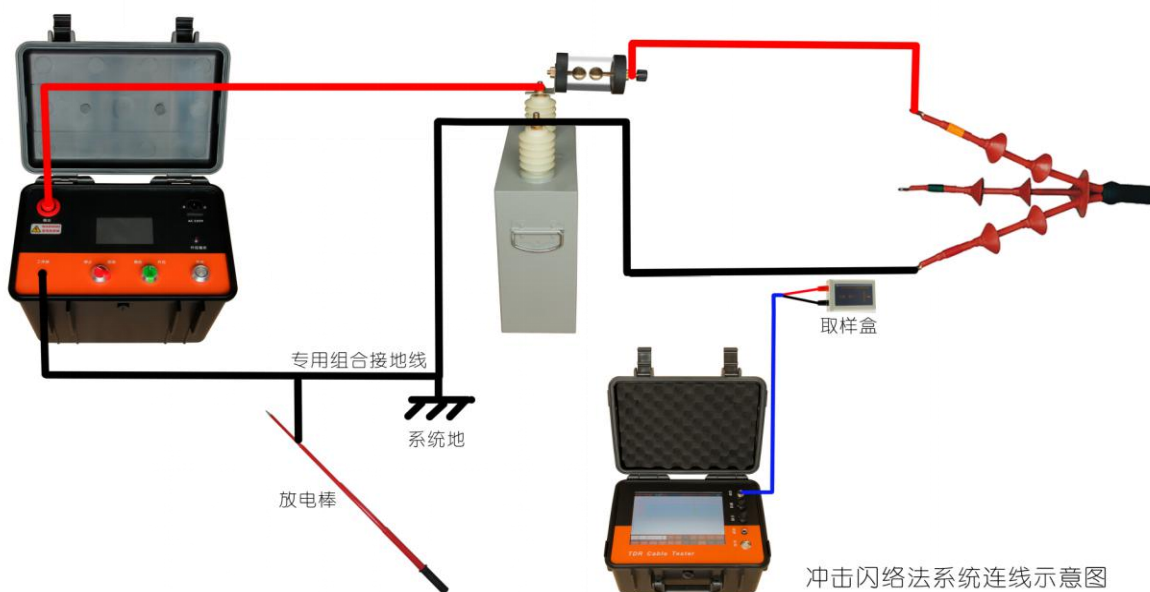
- ✓ 首先，使用组合接地线：以电容为出发点（大口径夹钳接电容器），分别接至仪器地端口①、放电棒②、系统地③、铠装④（相---地故障接铠装或系统地、相---相故障接另一相）。



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；
- ✓ 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**放置于上述 1) 中**组合接地线的④号接地线**旁边；
- ✓ 最后仔细检查连线是否有误，检查无误后插上电源线。



2) 开机：

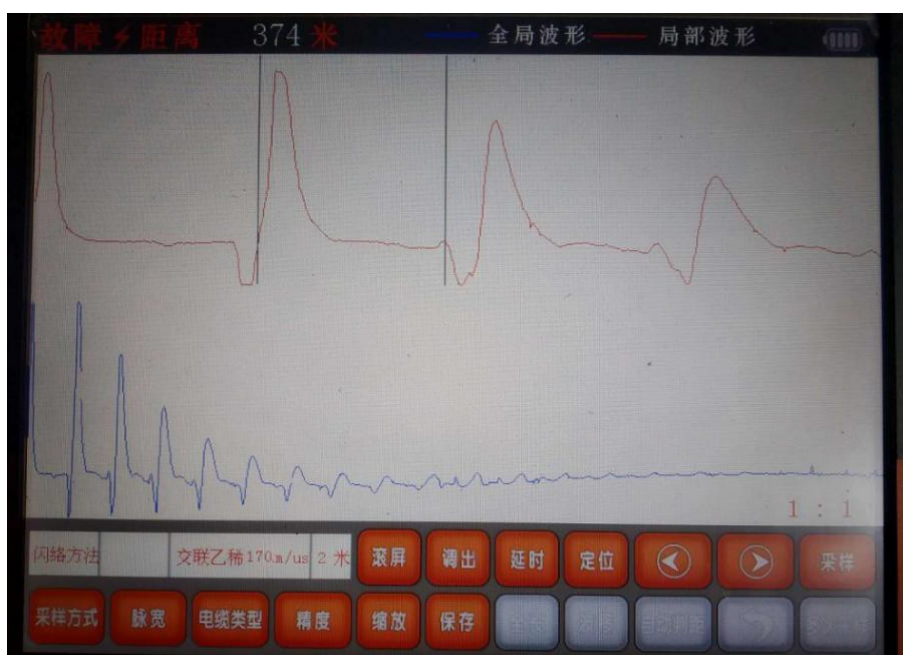
首先开启冲击闪络并保证故障点放电充分；按下测距主机开关键，屏幕将显示开机界面；点触一下液晶屏进入测试界面。采样方式选择“高压闪络”。

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，同时可调节位移、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。



冲击闪络法测试波形示例



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、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。

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

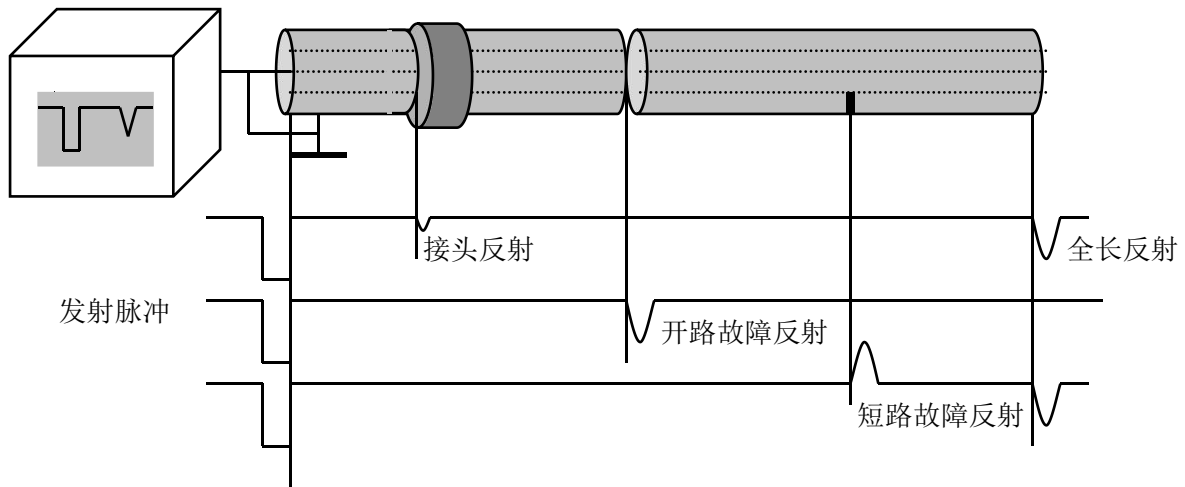


图 19 低压脉中测量时的具有代表性的波形

- 发射脉冲波形：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。

脉冲形成比较多，取应用比较多的，我们也是不用此刀式。

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。

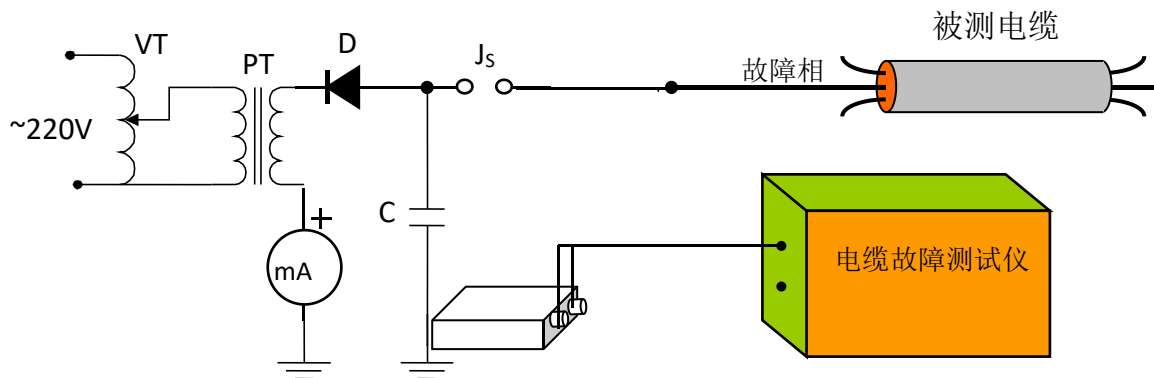


图 20 冲击高压闪络测试法线路原理图

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。

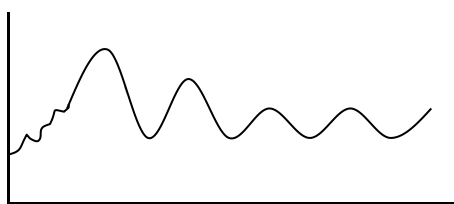


图 21 闪络测量法未扩展的波形

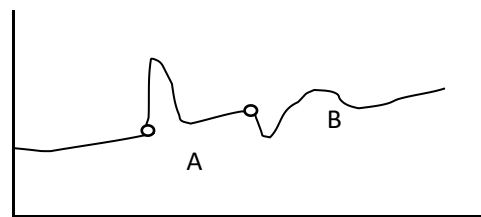


图 22 闪络测量法已扩展的波形

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。

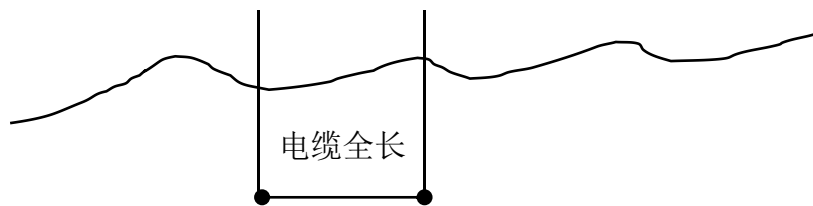


图 23 电缆故障点未放电波形

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 R1、R2 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。

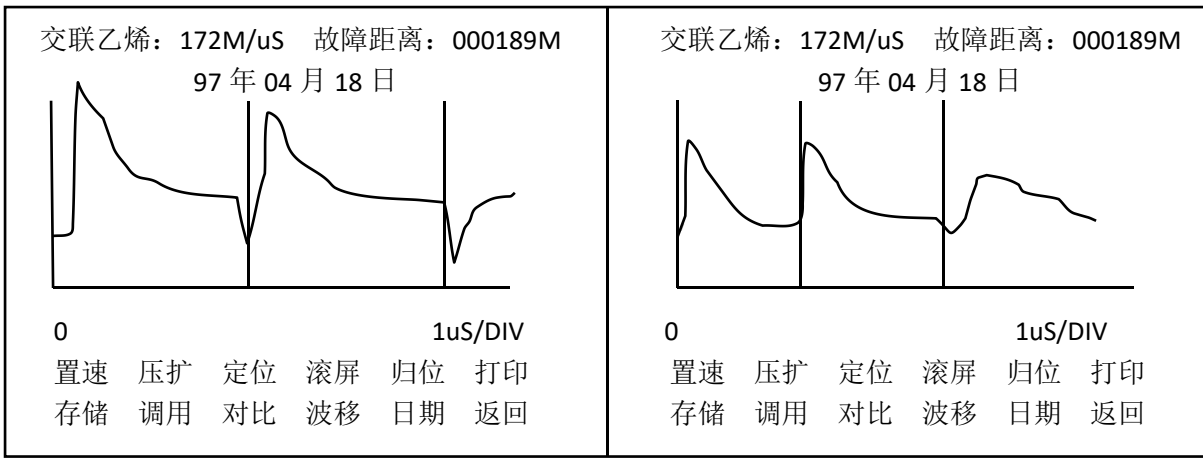
一旦在屏上出现图 23 的波形时，则表示电缆故障点未被击穿，所加冲击电压太低，需加大球间隙距离，增加冲击电压幅度，直至有大余弦振荡信号出现，便可扩展波形仔细分析，读出距离来。

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进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 5~10mA 范围时，表明电缆故障点未被击穿。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

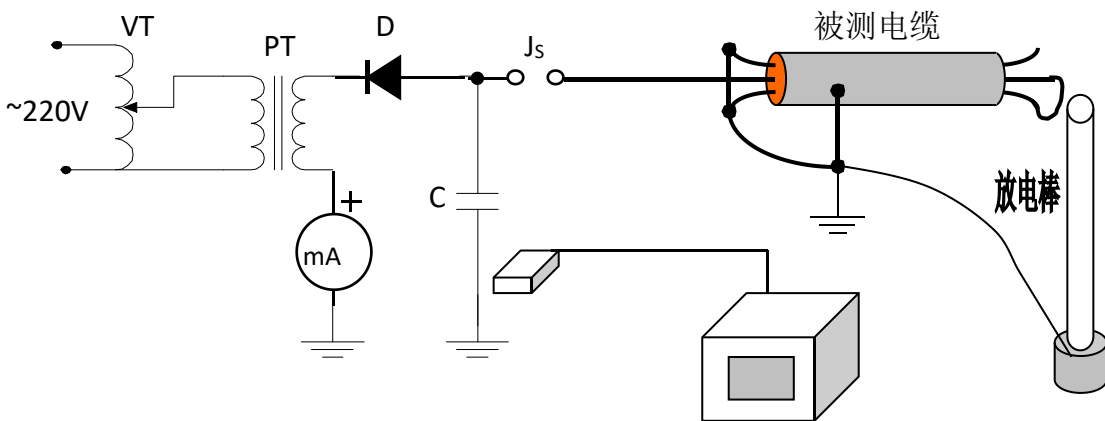


图 25 终端接跨线时的接线图

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。

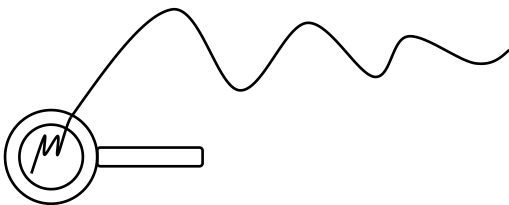


图 26 故障点在始端的震荡波

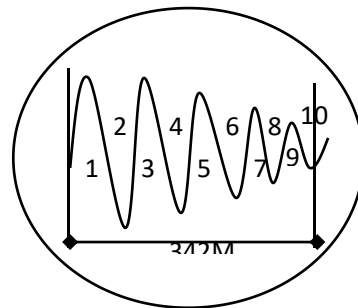


图 27 故障点在始端的波形放大

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。

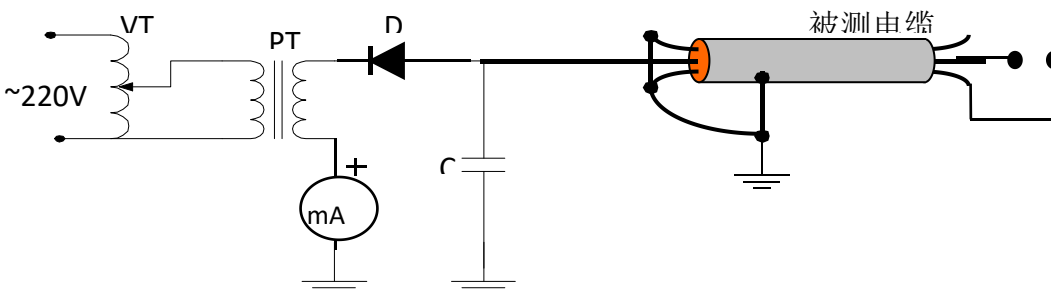
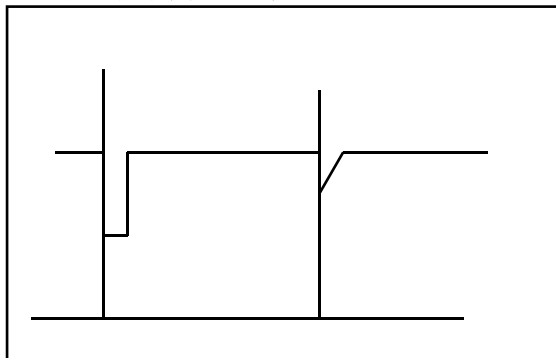


图 28 球间隙放在终端的接线图

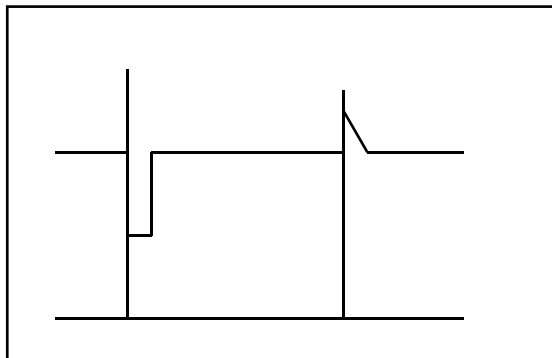
各种标准波形

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



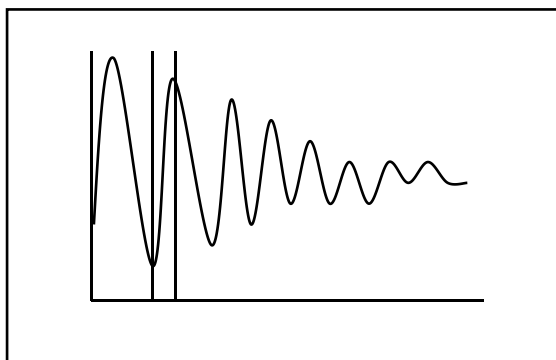
(a) 开路反射波形



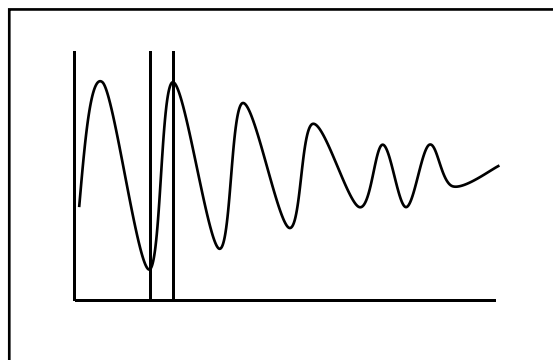
(b) 短路及低阻反射波形

➤ 高压闪络测试波形

● 故障在测试始端的波形

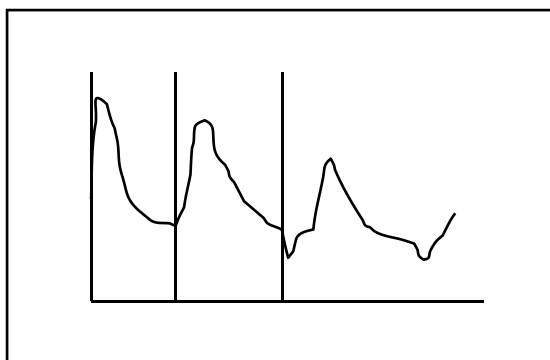


(a) 距离很近

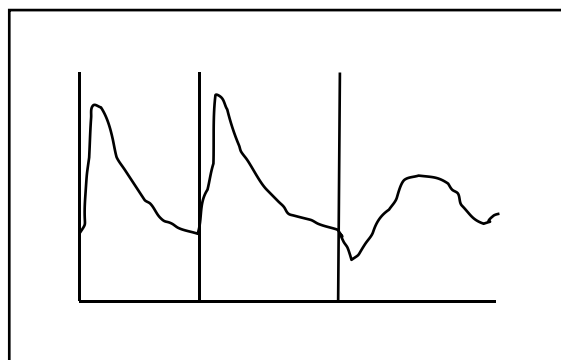


(b) 距离较近

● 故障在中间段的波形

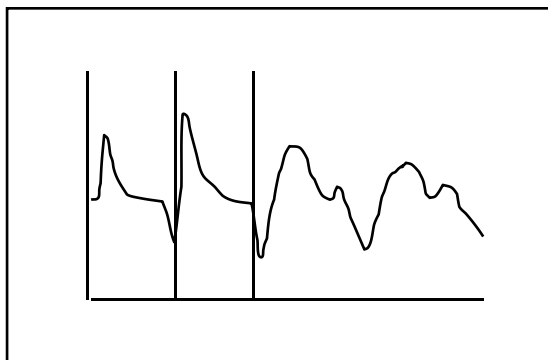


(a) 距离较近

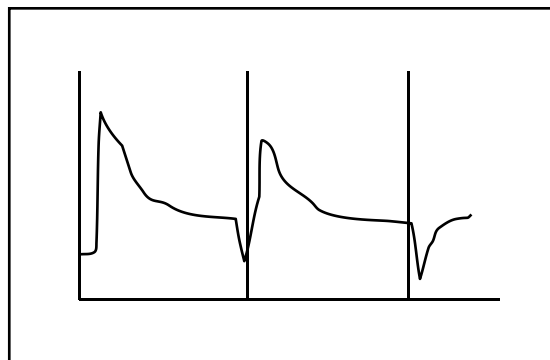


(b) 距离较远

● 故障在测试终端的波形

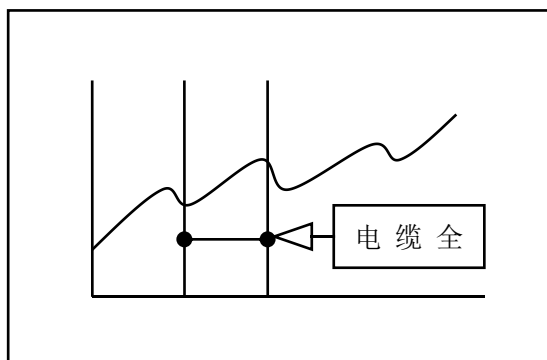


(a) 电缆较短时



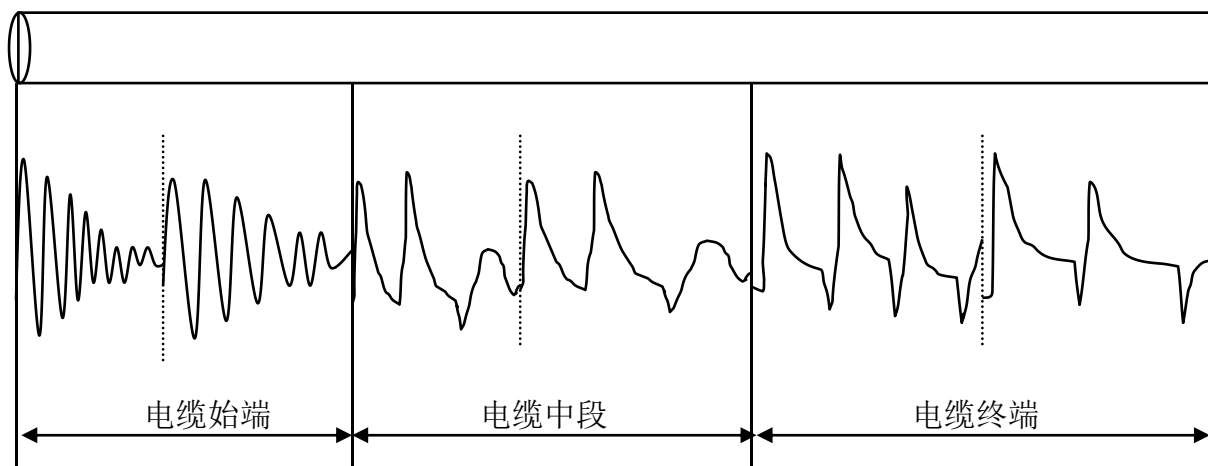
(b) 电缆较长时

● 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。

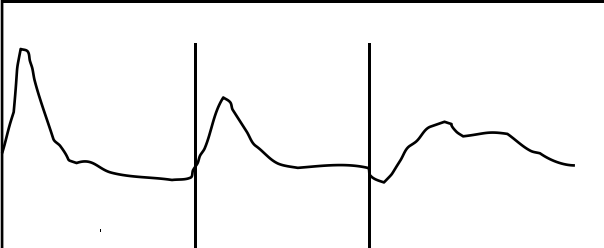




电缆实测波形

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。

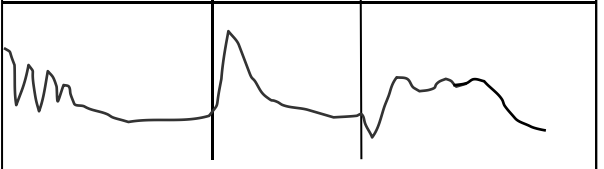
北京大学动力中心 测试报告

交联乙炔 172M/uS 故障距离: 00247M 20年05月18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: 247米 电缆全长: 468米 故障性质: 高阻对地 电缆名称: 4#/医院 测量方式: 高压闪络 工作电压: 6千伏		

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

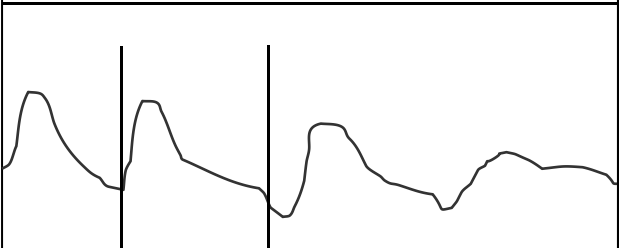
交联乙炔 172M/uS 故障距离: 00268M 20年05月18日		置数 压扩 定位 滚屏 归位 打印 存贮 调用
		
提示行 将波形压缩或扩展 测试方式 高压闪络		
测试结果 电缆介质: 交联乙炔 测试仪器: DZY—9 故障距离: 268米 电缆全长: 468米 故障性质: 高阻对地 电缆名称: 4#/陶粒 测量方式: 高压闪络		

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。



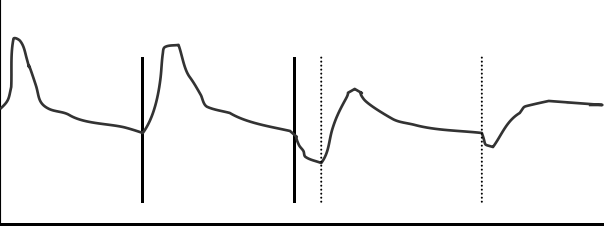
北京中科院北郊供电部 测试报告

交联乙烯: 172M/uS 故障距离: 00813M 19年06月02日		置数 <input checked="" type="checkbox"/> 压扩 定位 滚屏 归位 打印 存贮 调用 对比 波移 日期 返回
		
0 4us/DIV		
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: 交联乙烯 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

交联乙烯 172M/uS 故障距离: 00176M 18年03月09日		置数 <input checked="" type="checkbox"/> 压扩 定位 滚屏 归位 打印 存贮 调用 对比 波移 日期 返回
		
0 1uS/DIV		
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: 交联乙烯 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

自选速度 163M/uS 故障距离: 00286M 18年05月30日		置数
		压扩
		定位
0 1 us/DIV		滚屏
提示行 将波形压缩或扩展 测试方式 闪络方式		归位
		打印
		存贮
		调用
		对比
		波移
		日期
		返回
测试结果 电缆介质: 油浸纸型 测试仪器: DZY—8 故障距离: 286 米 电缆全长: 576 米 故障性质: 高阻 电缆名称: 水厂1 测量方式: 闪络方式 工作电压: 10 千伏		

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

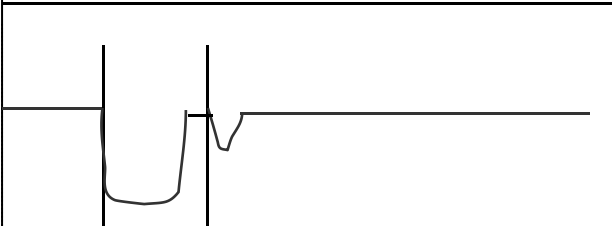
交联乙烯 172M/uS 故障距离: 00176M 18年03月09日		置数
		压扩
		定位
0 1 uS/DIV		滚屏
提示行 将波形压缩或扩展 测试方式 高压闪络		归位
		打印
		存贮
		调用
		对比
		波移
测试结果 电缆介质: 交联乙烯 测试仪器: DZY—9 故障距离: 176 米 电缆全长: 182 米 故障性质: 闪络 电缆名称: 配电/水泵 测量方式: 高压闪络 工作电压: 380 伏		

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。



郑州路灯所 测试报告

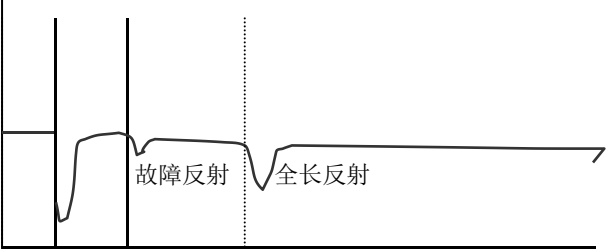
油浸纸型: 160M/uS 故障距离: 00385M 17年07月24日		置数 压扩 定位 滚屏 归位 打印 存贮 调用 对比 移期 日返 回
		
1	2uS/DIV	
提示行 低压脉冲 测试方式 将波形压缩或扩展		
测试结果 电缆介质: 油浸纸 测试仪器: DZY—8 故障距离: 385米 电缆全长: 512米 故障性质: 开路 电缆名称: 汉沽供电 测量方式: 低压脉冲 工作电压: 380伏		

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

交联乙烯: 172M/uS 故障距离: 00098M 18年10月14日		置数 压扩 定位 滚屏 归位 打印 存贮 调用 对比 移期 日返 回
		
1	1us/DIV	
提示行 低压脉冲 测试方式 将波形压缩或扩展		
测试结果 电缆介质: 交联乙烯 测试仪器: DZY—8 故障距离: 98米 电缆全长: 312米 故障性质: 低阻 电缆名称: 供电/供水 测量方式: 低压脉冲 工作电压: 380伏		

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。

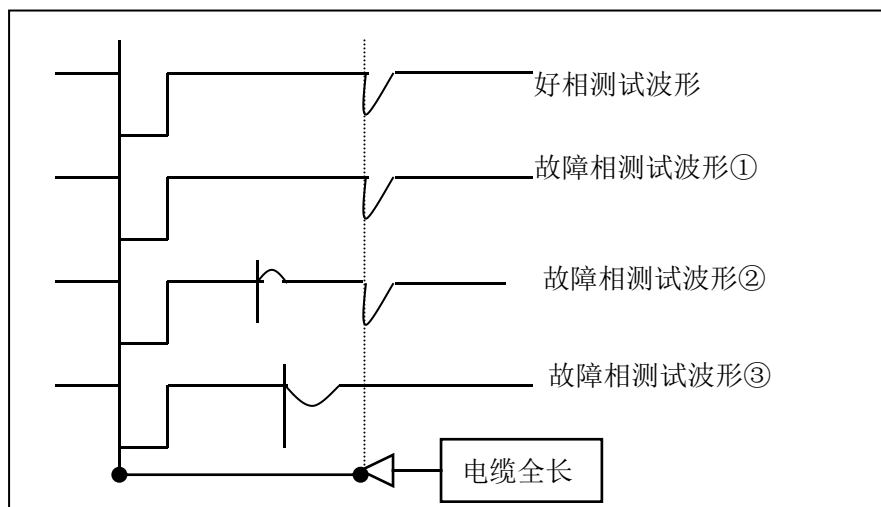
测试中的基本问题

➤ 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。

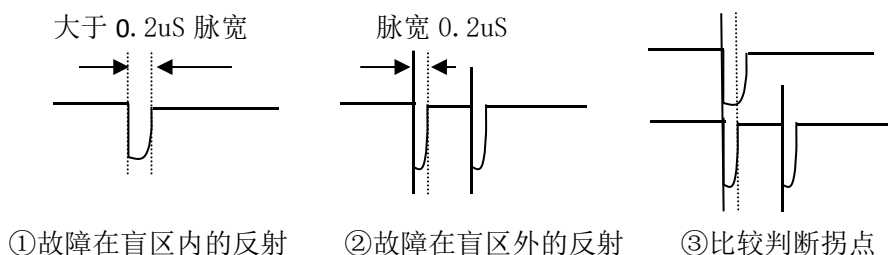
➤ 本套仪器的测试盲区为多少？如何消除盲区？

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2us 幅度 280V。近键：发射脉冲的宽度为 0.2uS 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波速度。

➤ **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。

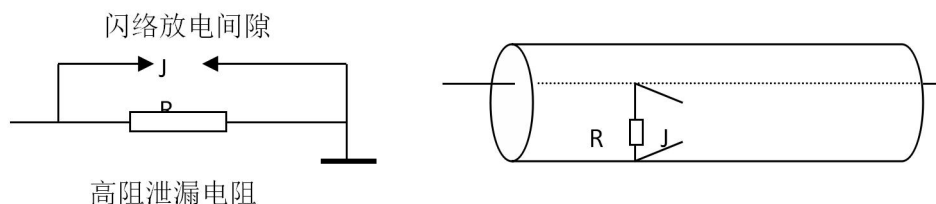


图 29 高阻故障等效电路图



➤ **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

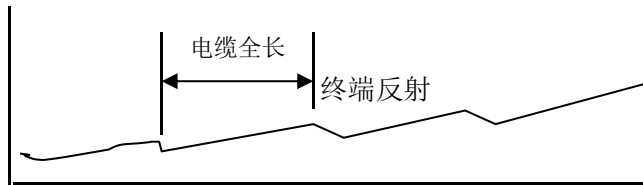
$$W=CV^2/2$$

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。

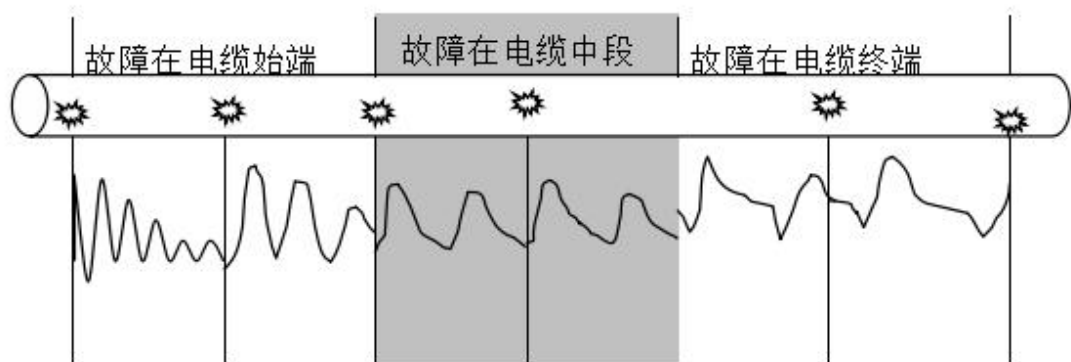
一般在测试时出现上述反常现象，则应考虑到故障点可能在接头处，应用特殊的方法来处理。如用高压冲击电流“烧穿”，或加大贮能电容的容量，提高冲击电压等等。

➤ 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？

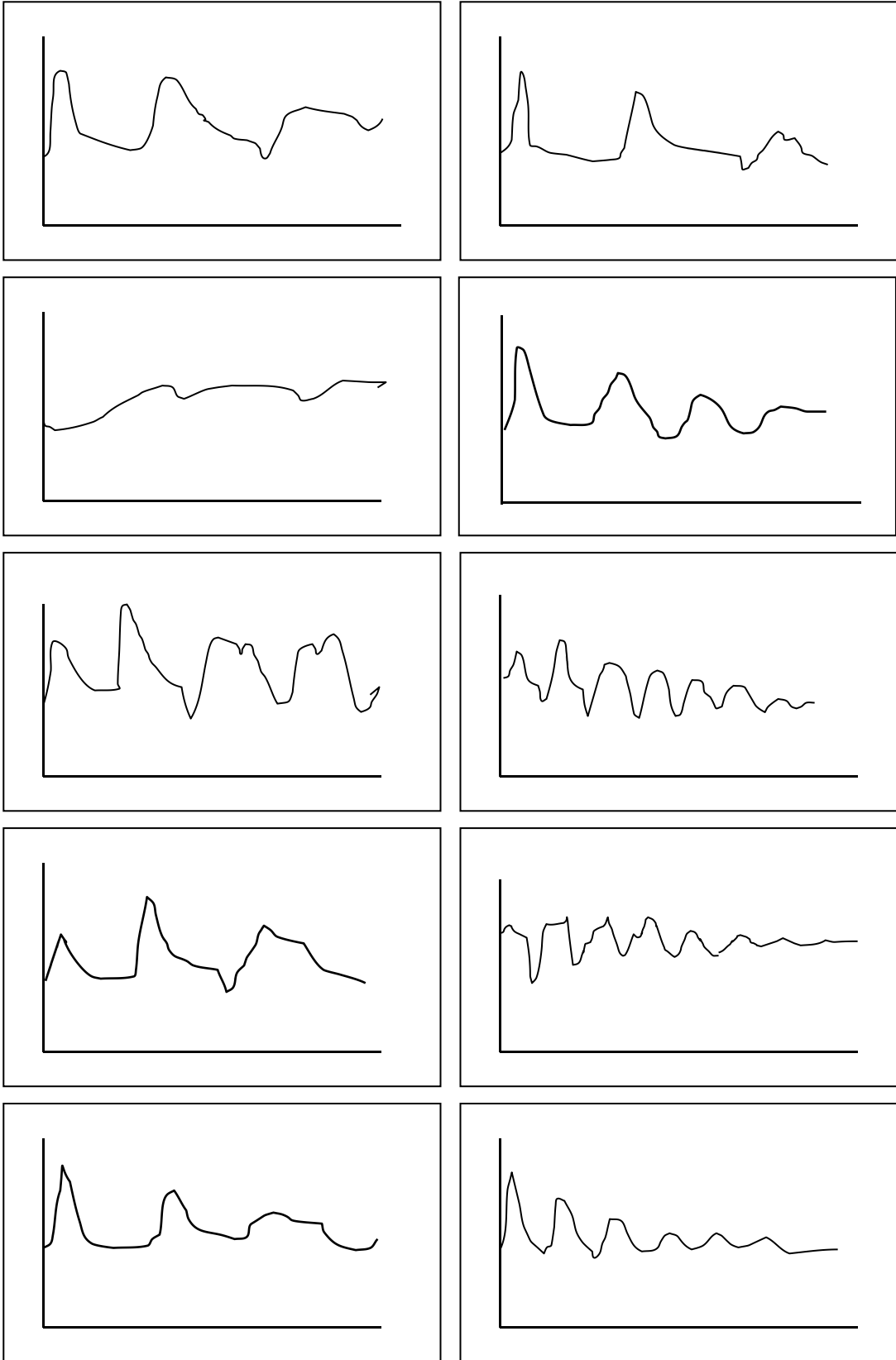
用闪络法测试时，波形变化是有一定规律的，下面我们用工图来说明这种变化规律。



闪络法测试波形的变化规律图



➤ 下列是一系列实际测试波形图，请判断起终点。



第二章 YNDL-1006-L 电缆路径信号发射器

一、简介

本产品配合路径探测接收机（即下节详述的“声磁数显同步定点仪”）能可靠地探测各类地埋电力线缆、金属管道的埋设路径及埋设深度。

二、功能特点

由于采用断续的幅度调制 15kHz 正弦信号，在探测埋地电缆的路径走向及埋设深度时，可有效地抑制工频干扰及电视机行频的同频干扰，提高了现场探测效率。

由于采用幅度调制技术，本发射器不仅适用于传统的差拍式接收机也适用于直放式倍压检波路径接收机。该设备信号输出功率大，可以使所探测的路径距离达 10km 以上，完全满足国内大多数企业的各类超长度敷设电缆的埋设路径查找工作。

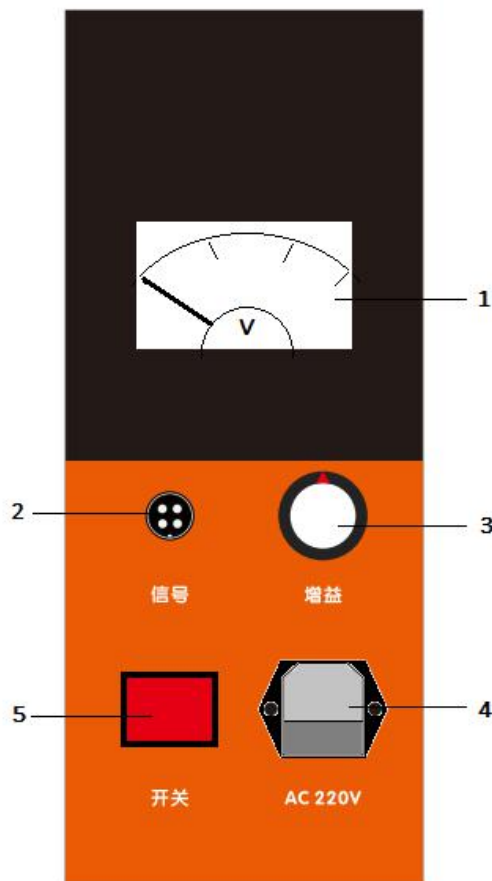


三、技术指标

- 1、输出功率：在负载电阻为 $10\ \Omega$ 时，输出功率大于 30W，并且连续可调。
- 2、工作频率：15kHz
- 3、工作方式：断续（重复周期 1Hz/秒），等幅，调幅（调制频率 400~1000Hz）等幅输出适合差拍式接收机，调幅输出适合直放式倍压检波接收机。
- 4、具有自动过热、过载保护功能，可连续工作 8 小时以上。
- 5、工作电源：AC 220V $\pm 10\%$, 50Hz
- 6、环境条件：温度 $-20\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，湿度小于 95%

四、路径信号发射器面板示意图

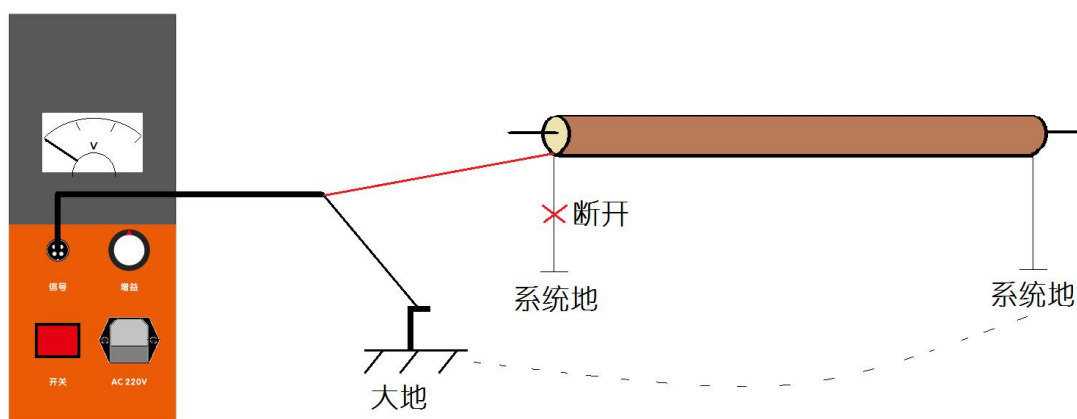
- 1、输出指示：用于指示输出功率大小，摆幅越大，表示输出功率大。



- 2、信号：路径查找发射信号输出端口。
- 3、增益：调节路径查找信号的大小，调节仪器与所接电缆阻抗匹配，使用时输出功率大小可根据表头摆动幅度和耳机声音大小确定。
- 4、电源插座：AC220V 交流电源输入端口。
- 5、开关：电源开关，打开后点亮红色，表示电源连接正常。

五、使用方法步骤

仪器连线如图所示：



说明：

接线时，必须将被测电缆始端头的接地线与系统地断开；

信号发射器的输出电缆中的红夹子接在被测电缆的始端头铠装上或接在被测电缆的芯线上；

输出电缆的黑夹子接在系统地上或接在接地电阻良好的地桩上，以保证被测电缆有较强的信号电磁场辐射。

- 1、将被测电缆始端头的接地线（铠装）与系统地断开。将信号发射器的输出电缆中的红夹子夹住被测电缆的始端头地线或任一芯线，黑夹子夹在系统地上（或夹在打入土地的地桩上）。
- 2、调节“幅度调节”电位器，使电表指针不超过满度的三分之二即可。
- 3、接收机置“路径”档。接通电源后，调节“音量”电位器。当接收机靠近输出电缆的红夹子时，耳机中应听到“嘟、嘟”的断续音频振荡声，此时即可携带接收机到电缆敷设现场寻测电缆的埋设路径及埋设深度（详见“**电缆路径探测原理及方法**”）。
- 4、路径寻测完毕，应及时关掉信号发射器及接收机电源。

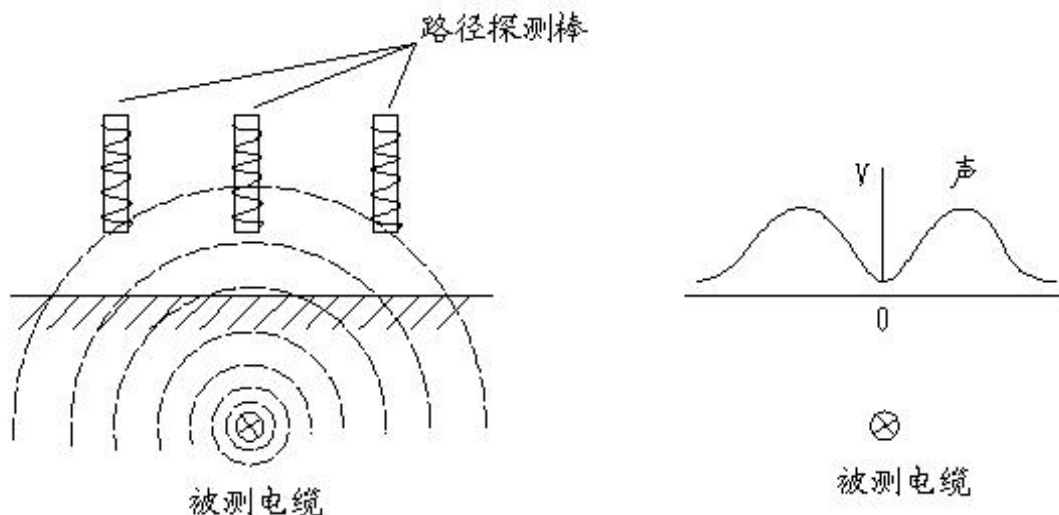
六、注意事项

每次使用时，应先接被测电缆，后开电源。平时检查仪器，输出电缆最好接一个 10 欧姆/10 瓦的假负载。如仪器发生故障，不要轻率拆卸，应请专业技人员维修或送厂家维修。

七、电缆路径探测原理及方法

1、电缆路径探测原理简介

首先给被测试电缆加一电磁波信号，通过定点仪磁信号接收通道接收路径信号寻测电缆路径。根据电缆正上方地面接收电磁信号最小的特点，可以准确地找到电缆埋设位置。路径探测原理如下图所示：



电缆路径探测原理图

2、用路径仪探测路径方法

用路径仪探测路径时，操作方法如下：

- ①用连接电缆将被测电缆芯线和地线与路径仪相应的输出接线柱相连。
- ②接好电源，调整阻抗匹配开关、功率调整旋钮至适当位置，输出转换按钮按到断续档，然后开机。
- ③将定点仪按键按到路径挡，即定点/路径按键按下，插入路径探棒，探棒垂直于地面，沿电缆线监听，寻找路径信号两个最大点中间的最小点，同时观看磁通道信号表头指示值来判断电缆埋设位置，即表头指示最大为电缆附近，指示最小或指示为零时为电缆正上方（接收天线垂于地面），两者最小时连成的线即为电缆埋设路径。

3、用路径仪探测电缆埋深方法

当测试到电缆的路径时，将探棒头垂直紧贴地面上的声音最小点使探棒沿电缆路径倾



武汉越能高测电力设备有限公司
Wuhan Yueneng High Test Power Equipment Co.,Ltd.

斜 45 度（此时声音变大），然后再沿电缆路径垂直方向平行移动探棒，同时用耳机监听声音，当再次听到最小的声音时，探棒在地面上移动的距离即为电缆的埋设深度。

第三章 YNDL-1006-D 声磁同步数显定点仪

一、简介

本产品用于埋地电绝缘故障点的快速、精确定位及电缆埋设路径和埋设深度的准确探测。

二、主要特点

1、用特殊结构的声波振动传感器及低噪声专用器件作前置放大，大大提高了仪器定点和路径探测的灵敏度。在信号处理技术上，用数字显示故障点与传感探头间的距离，极大地消除了定点时的盲目性。

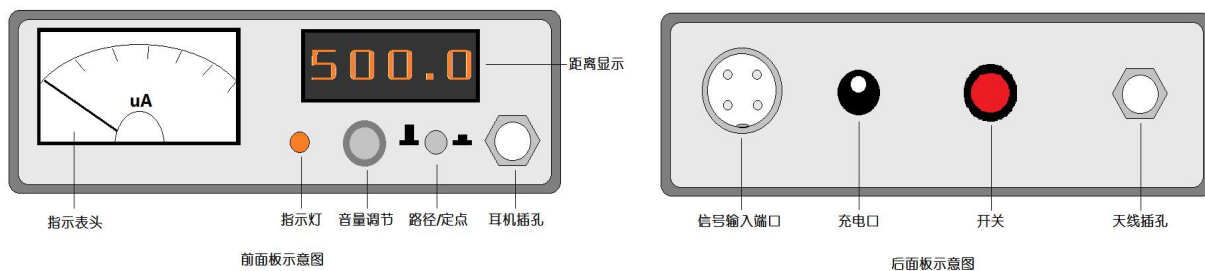
2、缆沟内架空的故障电缆，过去定点时，全电缆的振动声使任何定点仪束手无策，无法判定封闭性故障的具体位置。如今，只要将本仪器传感器探头接触故障电缆或近旁的电缆上，便可精确显示故障距离及方向，毫不费力地快速确定故障位置。

3、工频自适应对消理论及高工频陷波技术，大大加强了在强工频电场环境中对 50Hz 工频信号的抑制及抗干扰能力，缩小了定点盲区。在仪器功能上，利用声电同步接收显示技术，有效地克服了定点现场环境噪音干扰造成的定点困难问题。尤其是故障距离的数字显示省去了操作员对复杂波形的分析判断，在相当程度上替代了闪测仪的粗测距离功能。对于数百米长的故障电缆，一般不用粗测便可实施定点，真正实现了高效、快速、准确。利用 15kHz 幅度调制电磁波和幅度检波技术作路径探测和电缆埋设深度测定，避免了原等幅 15kHz 信号源时电视机行频对定点仪的干扰。

4、操作极其简便，打开电源开关即可，无须换挡和功能选择。结构紧凑、小巧、模块化，便于携带维修，功能强大。



三、面板示意图

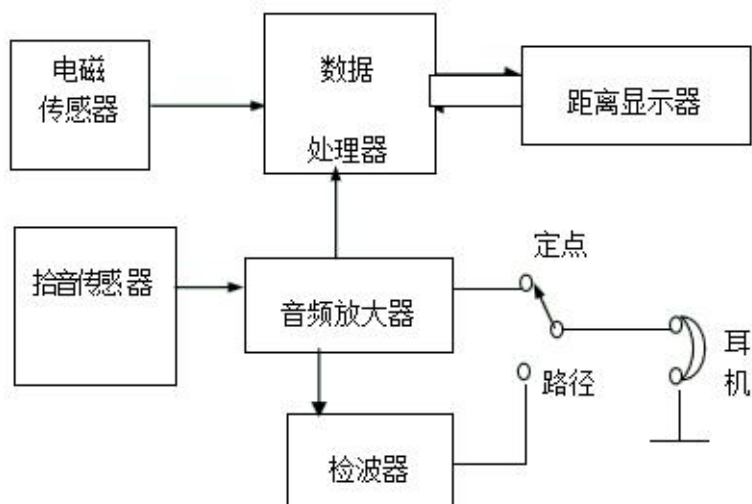


四、技术参数

- 1、数显距离：最大 500 米，最小 0.1 米。
- 2、粗测误差小于 10%，定点误差为零。
- 3、电磁通道增益 $\geq 110\text{dB}$ 。
- 4、电磁通道接收机灵敏度 $\leq 5\ \mu\text{V}$ 。
- 5、声音通道音频放大器增益 $\leq 120\text{dB}$ 。
- 6、工频抑制能力 $> 40\text{dB}$ 。
- 7、声电同步显示监听：即现场定点时，数字屏在冲击高压形成的冲击电磁波作用下，重复计数一次，并显示故障距离或满亮(500.0 米)。同时，由高阻耳机监听电缆故障点在冲击放电击穿时火花产生的地震波，以便排除环境杂波干扰。
- 8、声波传感器探头换成 15kHz 电磁传感探头时，可作电缆路径和电缆埋设深度的精确探测。
- 9、工作电源：内置可充电电池供电，连续工作时长 > 12 小时。
- 10、功耗： $\leq 0.7\text{W}$

五、原理简介

本仪器由电磁波传感器，声波振动传感器，数据处理器，LED 距离显示器及音频放大器五大部分组成。





在进行冲击高压放电定点时，电磁传感器接收到由电缆辐射传来的电磁波后，送至数据处理器，经放大整形处理，启动内部的距离换算电路工作。当拾音传感器接收到由地下传来的故障点地震波后也送至数据处理器放大整形，产生计数中断信号，让距离显示器显示最终处理结果（故障距离数）。并冻结显示数字，提供稳定观察。第二次冲击放电时重复上述过程并刷新上次显示数据。由于电磁波传播速度极快，远高于地表声波传播速度，根据电磁波与声波的传播时间差，利用公式 $I=TV$ （I：距离，单位米； T：时间差单位秒； V：声波在地表层或电缆中的传播速度，XXX 米/秒），由数据处理电路换算出故障距离来。

音频放大器可放大拾音传感器拾取的微弱地震波信号，由耳机监听其大小，配合显示屏数据精确定点。

如果地震波太弱，形不成计数中断信号，距离显示器将自动发出中断信号使其满亮显示 500.0 米。

六、仪器操作使用方法

1. 精确定点:

在冲击高压发射器对故障电缆作高压冲击时（冲击高压幅度要足够高，以保证故障点充分击穿放电），将拾音传感器探头放置在电缆路径（或故障电缆本体）上方，拨动电源开关，接通电源，定点仪置“定点”挡。一方面通过耳机监听地震波，另一方面观察距离显示屏，还可通过磁表头观察磁信号的强弱。在未听到地震波时（测听点距故障点太远），每冲击放电一次，距离显示屏计数并刷新一次，每次显示满量 500.0 米，在电缆上方沿路径不断移动传感探头，直至听到故障点的地震波声音（此时表明距故障点不远了）。当听到的地震波声音足够强时，距离显示屏将显示故障距离数。此时便可将传感器探头直接按数显距离数放在相应处。在该处前后移动探头，找到数显值最小处，此处即为故障精确位置。且此数显值也是电缆的当地大致埋设深度（此时耳机中声音应是最大，而且每次听到的声音均与数显的刷新显示同步）。

2. 寻测电缆路径:

此时在欲测电缆始端加入 15kHz 调幅路径信号源，在仪器后侧的输入端口插入 15kHz 探棒，并垂直于地面，定点仪置“路径”档，用耳机监听 15kHz 断续波的声音，且观察磁表头磁信号的强弱。当探棒移到电缆正上方时声音最小，磁表头摆动幅度最小，探棒下方即为埋设的电缆，当探棒偏离电缆正上方时声音最大，磁表头摆动幅度最大。沿埋设方向探出的每个最小声音点的连线即为该电缆的精确埋设路径。

3. 测试电缆埋设深度:

在测到电缆的路径时，将探棒头垂直紧贴地面上的声音最小点使探棒沿电缆路径倾斜 45 度（此时声音变大），然后再沿电缆路径垂直方向平行移动探棒，同时用耳机监听声音，当再次听到最小的声音时，探棒在地面上移动的距离即为电缆的埋设深度。



七、注意事项

- 1、在有条件的情况下，一般应用测距主机粗测出电缆故障距离，再精确测定电缆埋设路径方向，然后用此仪器实施精确定点。按此流程将确保快速准确故障定位，不可在路径不明的情况下实施定点。
- 2、在无测距主机粗测故障距离的情况下，应先用本仪器精确测定路径后再实施定点。
- 3、探头及主机属精密仪器，绝不可跌落和碰撞。
- 4、不要轻易拆卸探头及仪器，以防人为损坏。

八、数显同步定点仪的操作技巧

任何一种仪器设备，在充分了解性能、特点后，方能事半功倍地发挥其功能。该定点仪尽管操作极其简单方便，但在使用时也得根据现场特点，巧妙地使用，才能充分发挥其优势。

从使用说明书中介绍的原理知道，此定点仪靠仪器中的电磁传感器接收到故障电缆在冲击放电时产生的辐射电磁波后开始计数，而在拾音传感器接收到故障点放电时产生的地震波后停止计数。电磁波与声音震动波之间的时间差乘以地下声波传播的速度，便是探头至故障点的直线距离（即数字屏显示的数值）。也就是说，只有在冲击闪络之后，探头测听到故障点传来的地震波使计数器停止计数后，所显示的数值才是有效而可信赖的。

但是，在现场进行故障点定位时有可能出现两种情况：

第一种是探头距故障点太远，高压设备对电缆冲击放电时，定点仪只是由电磁传感器接收到辐射电磁波后计数器开始计数，而没有地震波来使计数器停止计数，耳机也听不到地震波。所以此时计数器将一直计到原设定数 500.0 米。而且每冲击放电一次，计数器将重新刷新一次，但仍显示 500.0 米，屏幕信息仅告诉操作者高压设备的冲击闪络功能正常，可放心沿电缆路径继续测听；

第二种情况是冲击闪络时，耳机已能听到足够强的地震波声，计数器不再显示满量程 500.0 米。而是显示某一固定数值（有可能末尾两位数有跳动），此固定数值重复显示的机率相当高。此时操作者可以断定：数显距离即为探头到故障点的直线距离。

当能确定故障距离后，下一步是沿电缆路径，任意移动探头一米左右，以判断方向。如果读数减小一米，证明移动方向正确。若读数增加一米，说明远离故障点。便可按屏显距离直接移动探头至故障点附近。此时，地震波强度加大，屏显数明显减小。只要在该处仔细缓慢地移动探头，总会发现某点的读数最小。无论探头往任何方向移动，读数将会增大。那么该点恰好是电缆故障点的正上方。此刻的屏显数即为该点的电缆埋设深度。而且此时用耳机监听的话，会发现此点正是地震波的最大点。

在实际的电缆故障定位现场，情况往往非常复杂。有以下几点应注意：

- 1、若现场环境噪声很大（如车辆流量大的公路旁、走的人多的街道或在工地附近等）。闪络冲击放电时，除故障点传来的振动波外，还有汽车引擎声、喇叭声、脚步声、说话声、



机器轰鸣声……。这些噪声将严重地影响定点仪计数屏的读数稳定性。使得读数似乎杂乱无章。其实，还是有其规律性的，仔细观察读数便可发现，计数屏的读数总有一个相对稳定的最大读数，无论噪声干扰如何变化，只要噪声不是连续的，此最大读数的出现率非常高。此读数即是故障点的距离。对计数屏上经常出现的无规律小读数，不必理会。随着探头接近故障点，其最大读数会逐渐减小。当稳定的最大读数变到最小时，此处即为故障点精确位置。

- 2、如果定点现场有连续的较大噪声，如电动机、鼓风机、排风扇、发电机、真空泵等发出的声音，将会导致数显失效，无论探头放置何处，数显屏总是出现零点几米（甚至0.1米）小数值。此时只能利用定点仪的声、电同步探测功能听测与数字屏刷新计数同步的地震波，用人的判断力去区分环境干扰噪声，以振动波的最大点去确定故障位置，不必去关心数显屏的读数。
- 3、定位现场的电缆故障点位于埋地穿管之中。冲击放电时，在穿管的两个端口处声音最大，而在管子中央部位可能听不到声音，便有可能出现两管口有固定读数，而在其余地方（如管子中央部位或远离管口）仅显示满亮500.0米，此时便可根据两个稳定读数的数值变化规律判断管中故障位置。只要挖出穿管，便可以用探头在管子上实施精确定位。此时的误差一般不会超过10 cm。
- 4、若故障电缆位于电缆沟的排架上，且是封闭性故障（即电缆外皮未破，冲击放电时，故障点的闪络仅在芯线与外皮之间，外面看不到火花）。冲击放电时，在电缆本体上有长距离的较强振动，用声测法和同步定点法都无法确定振动的最大位置。此时的常规定点仪将完全失效，而数显同步定点仪便可发挥其特长了。只要将探头放置在具有强烈振动电缆本体上，数显屏将会在冲击闪络的同时记录下探头距故障点的距离，操作者便可很快根据距离指示数，将探头放置在故障点附近，寻找数显屏最小读数所对应的位置，此位置便是精确的故障点。注意，有时会出现冲闪时电缆全线都有微小振动的现象，各处强度几乎一样，只是接头处可能声音稍大些。这是对电缆进行冲击放电时电缆出现的“电动机”效应，千万不要被此声音迷惑。故障点的振动声很大，与全线“电动机”效应振动的微小振动声音有明显差别。可以不必理会此种微小振动，径直去找明显的较大的振动波（故障点发出的）。



第四章 YNDL-1006-Y 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	2uF/30kV

冲击能量	1024J
放电频率	最小 3 秒/次
显示误差	≤±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 ±10%，50Hz，可外置移动电源工作
工作温度	-10℃~50℃
相对湿度	≤90%
输出功率	≤1.5kVA
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×W265mm×H290mm，重量≤14.7kg

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

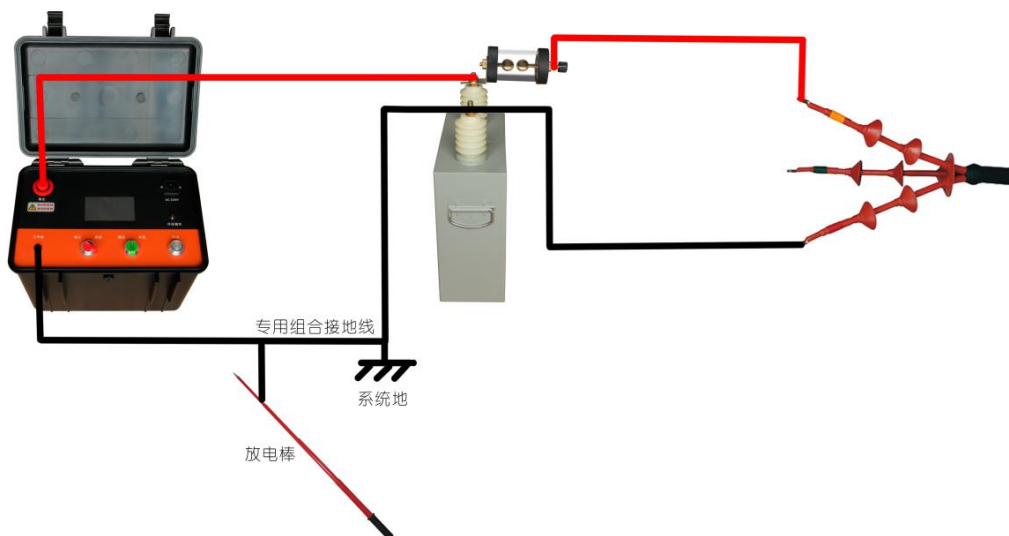
1、连线：

➤ 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；
- ✓ 然后，用双夹测试线将采样盒与测距主机相连接，再把采样盒放置于上述 1) 中组合接地线的④号接地线旁边；
- ✓ 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。