



易达®——多面手

电缆测试技术

陕西易达电气有限公司

2013-1-25

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

电话：029-82253065 82253128 转

服务热线：13709207268（何先生）

网址：www.sxyida.cn

传真：029-82218311

电邮：393776469@qq.com



第一章 概述

一、电缆故障发生的原因

致使电缆发生故障的原因是多方面的，现将常见的几种主要原因归纳如下。

- (1)、**机械损伤**。很多故障是由于电缆安装时不小心造成的机械损伤或安装后靠近电缆路径作业造成的机械损伤而直接引起的。有时如果损伤轻微，在几个月甚至几年后损伤部位的破坏才发展到铠装铅皮穿孔，潮气侵入而导致损伤部位彻底崩溃形成故障。
- (2)、**电缆外皮的电腐蚀**。如果电力电缆埋设在附近有强力地下电场的地面下（如大型行车、电力机车轨道附近），往往出现电缆外皮铅包腐蚀致穿的现象，导致潮气侵入，绝缘破坏。
- (3)、**化学腐蚀**。电缆路径在有酸碱作业的地区通过或煤气站的苯蒸气往往造成电缆铠装和铅包大面积长距离被腐蚀。
- (4)、**地面下沉**。此现象往往发生电缆穿越公路、铁路及高大建筑物时，由于地面的下沉而使电缆垂直受力变形，导致电缆铠装、铅包破裂甚至折断而造成各种类型的故障。
- (5)、**电缆绝缘物的流失**。电缆敷设时地沟凸凹不平，或处在电杆上的户外头，由于电缆的起伏、高低落差悬殊，高处的电缆绝缘油流向低处而使高处电缆绝缘性能下降，导致故障发生。
- (6)、**长期过荷运行**。由于过荷运行，电缆的温度会随之升高，尤其在炎热的夏季，电缆的温升常常导致电缆的较薄弱处和对接头处首先被击穿。在夏季，电缆故障率高的原因正在于此。
- (7)、**震动破坏**。铁路轨道下运行的电缆，由于剧烈的震动导致电缆外皮产生弹性疲劳而破裂形成故障。
- (8)、**拙劣的技工、拙劣的接头与不按技术安全要求敷设电缆**往往都是形成电缆故障的重要原因。
- (9)、**在潮湿的气候条件下作接头，使接头封装物内混入水蒸气而耐不住试验电压，往往形成闪络性故障。**

在对电缆故障发生原因的分析中，极重要的是要特别注意了解高压电缆敷设中的情况。若电缆外表观察到可疑之点。则应查阅电缆安装敷设工作完成后的正确记录。这些记录应包括这样的细节：铜芯或铝芯导线的截面积；绝缘方式；各个对接头的精确位置：三通接头的精确位置；电缆路径的走向；在地下关系中，某一电缆到别的电缆或接头的情况（这一点，特别要注意）以及两种不同截面积的电缆对接头的精确位置；有无反常的敷设深度或者有特别的保护措施，如钢板、穿管和排管等；电缆敷设中的技工和技术员



的姓名（这也常常是提讯供重要线索的来源之一）；历次发生故障的地点及排除经过。

当欲快速定位故障时，所有这些资料是非常有价值的。由于制造缺陷而造成的电缆故障是不多的，因而，对于事故的其它原因分析，如果充分考虑到上述细节，将使电缆维修技术人员得到巨大的好处。

二、 电缆故障性质的分析

电力电缆故障是由于故障点的绝缘损坏而引起的。一般故障的类型大体上分为**低阻（短路）故障**和**断路故障**，**高阻泄漏故障**和**闪络性故障**两大类。

（一）、低阻故障（小于 100 欧姆）和开路故障

要了解它，我们必须先知道什么叫**特性阻抗**。

假设一根均匀电缆无限延伸，在发射端的在某一频率下的阻抗称为“**特性阻抗**”。

测量特性阻抗时，可在电缆的另一端用特性阻抗的等值电阻终接，其测量结果会跟输入信号的频率有关。

特性阻抗的测量单位为欧姆。在高频段频率不断提高时，特性阻抗会渐近于固定值。例如同轴线将会是 50 或 75 欧姆；而双绞线(用于电话及网络通讯)将会是 100 欧姆(在高于 1MHz 时)。

这里给出一个电缆特性阻抗的参考值：

铝芯 240mm² 截面积的电力电缆的特性阻抗约为 10 Ω；

铝芯 35mm² 截面积的电力电缆的特性阻抗约为 40 Ω。

其余截面积的铝芯电力电缆的特性阻抗可据此估算。

凡是电缆故障点绝缘电阻下降至 100 欧姆以下，甚至直流电阻为零的故障均称为低阻故障或短路故障

（注：这个定义是从采用脉冲反射法的角度，考虑到波阻抗不同对反射脉冲的极性变化的影响而下的。对于电桥法，低阻故障的定义不受特性阻抗概念的限制）。

凡是电缆芯线或屏蔽在中间断开，电压不能馈至用户端的故障均称为开路（断路）故障。

此类故障对于 1KV 以下的低压电缆约占 50%左右；6KV 以下的高压电缆约占 10%左右。

（二）、高阻故障(包括高阻泄漏故障和闪络性故障)

电缆故障点的直流电阻大于 100 欧姆以上的故障均称为高阻故障。

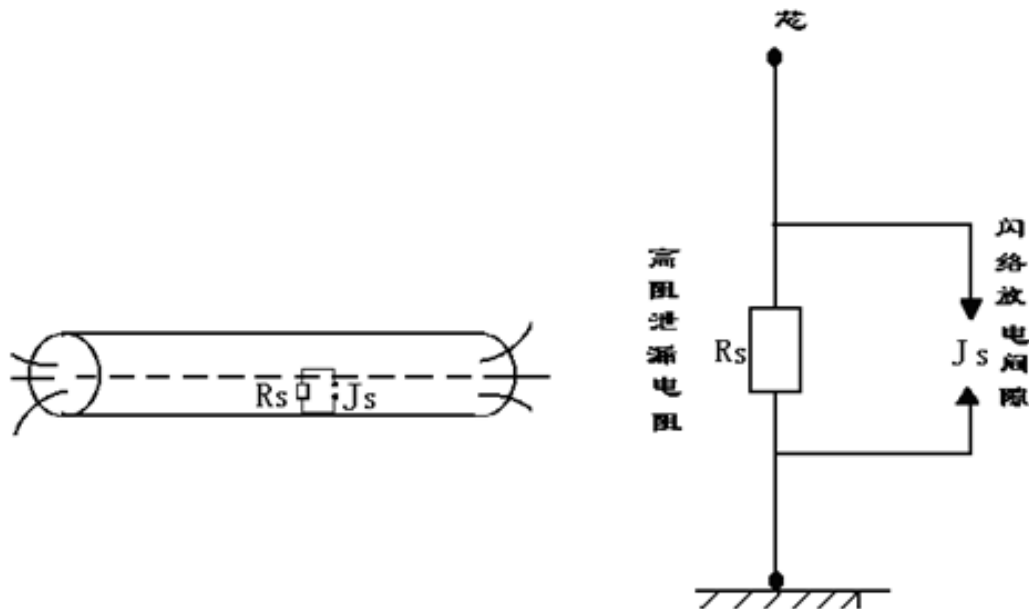
(1)、高阻泄漏：在做电缆高压绝缘试验时，泄漏电流随试验电压的增加而线形增加。在试验电压升高到额定值时（有时还远远达不到额定值），泄漏电流超过允许值，称为高阻泄漏故障。

(2)、闪络性故障：试验电压升至某值时，监视泄漏电流的电表指值突然升高，表针且呈闪络性摆动；电



压稍下降时，此现象消失，但电缆绝缘仍有极高的阻值，这表明电缆存在有故障。而这种故障点没有形成电阻通道，只有放电间隙或闪络表面的故障便称为闪络性故障。

一般的高阻故障点的性质，可用下图等效电路表示。



高阻故障等效电路

高阻故障的表现形式尽管多种多样，但其本质均表现在上图等效电路中的“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。它们可以或者是“高阻泄漏故障”，或者是“高阻闪络性故障”，或者是二者兼有之的故障。

例如：当 R_s 近似无穷大时，故障点 J_s 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 J_s 被击穿，从而形成闪络性故障。

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

当 R_s 等于零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。

此类故障对于 1KV 以下的低压电缆约占 50%左右；6KV 以下的高压电缆约占 90%左右



三、测试步骤

电缆故障的测试是一个科学、严谨的过程，一般应遵循以下步骤：

- 1、确定故障电缆类型、电压等级、标长等参数，资料越清楚越有利于电缆故障的测试。
- 2、故障电缆相相间及相地间用摇表确定阻值，如摇表测量为零再用指针式万用表进行测量。

测试故障之前要确定：故障电阻是低阻还是高阻；是闪络性还是泄漏型故障；是接地、短路、断线还是它们的混合；是单相、两相还是三相故障。

3、测距：

用低压脉冲法进行测量，确定全长及可能的中间接头。如为低阻、短路故障可直接测试出短路点故障距离；如为断路故障也可直接测试断路点距离（此时此相全长就无法测出）。

对于高阻故障，可用高压电桥，高压闪络法（电流取样法、电压取样法、多次脉冲法）测出故障点距测试端的距离。之所以称为粗测，是因为无论何种方法测出的数值仅表示被测电缆（故障）的地下长度，由于地下的预留长度不能精确估计，此长度不能代表地面的距离。只能算是故障点的大致范围。

故障距离的测试最好用两种以上方法互相进行验证。

- 4、如电缆路径（走向）不完全肯定，可进行电缆路径的测量。电缆路径（走向）必须完全确定。
- 5、在电缆路径（走向）完全肯定的基础上进行定点（精测）。对电缆施加冲击高压（或脉动高压），利用故障点的放电声波，在粗测故障距离范围内，用声测法（声磁同步法）或跨步电压法进行精确故障点定位。

第二章 粗测方法的分类与选择

一、电桥法

电桥法是一种传统的对低阻故障行之有效的一种方法。操作相对简单，精度也较高。但由于电桥电

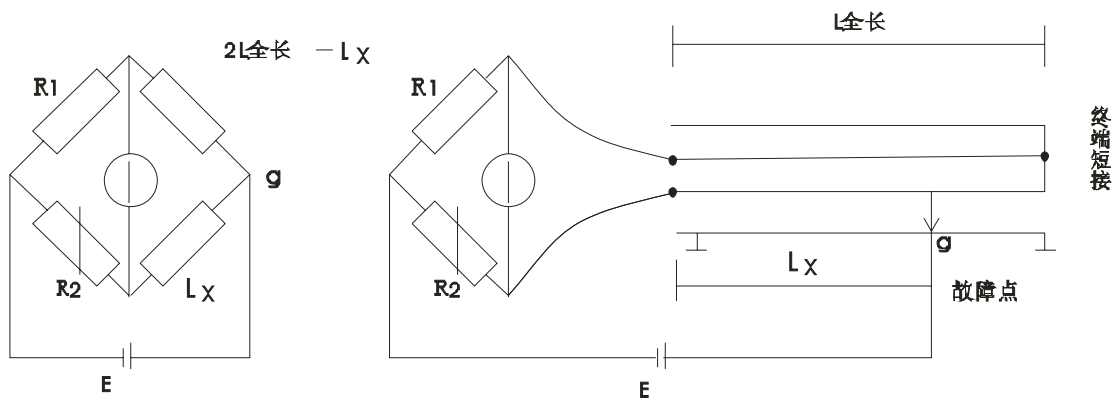


压和检流计灵敏度的限制，此法仅适用于直流电阻小于 100K 欧姆的低阻泄漏故障，而且要求电缆必须有一根以上的好相才行。对高阻故障，断路故障和三相均有泄漏的故障电缆则无能为力。

测试电路和故障距离表达公式等效电路和线路连接如下：

$$LX = \frac{2L_{\text{全长}}}{K+1}$$

式中 $K = \frac{R_1}{R_2}$



由

上述电桥测试原理可知，要精确测定故障距离，需人工调节 R2（精密电阻箱）的阻值，在电桥平衡时算出比例系数 K，并将已知电缆全长数的阻值，在电桥平衡时算出比例系数 K，并将比例系数 K 代入公式便能求得故障距离。

二、低压脉冲法

1. 脉冲法也叫时域反射法。

脉冲法反射特性的基本原理：

电力电缆特性阻抗 Z （10Ω—40Ω）

- 当电缆故障的阻值 < 电缆特性阻抗 时。会产生反向反射
- 当电缆故障的阻值 > 电缆特性阻抗 时。会产生同向反射
- 当电缆故障的阻值 = 电缆特性阻抗 时。会无反射

对于此类故障，用主机就可进行故障的测距（低压脉冲法）。

利用这种方法，可以直观地从显示屏中观察出故障点是开路还是短路性质的故障，并且还可以直接算出故障点距测试的距离。对于低阻、短路故障及断路故障，最简便直观的测试方法莫过于脉冲测量法了。



所提供的波形，对于判断较为复杂的线路结构上的故障往往具有相当重要的参考价值。用电桥法无法解决的问题（如线路上有 T 型接头，或中间有  形状的并行电缆等），它都可以提供相当多的分析资料。当然，要解释所观察到的各种复杂现象，是需要技术人员有起码的测试训练和大量实践经验与技巧的。

工作原理：

测试时，在故障相上注入低压发送脉冲，该脉冲沿电缆传播直到阻抗失配的地方，如象中间接头、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波的反射，反射脉冲回到电缆测试端时被试验设备接收。

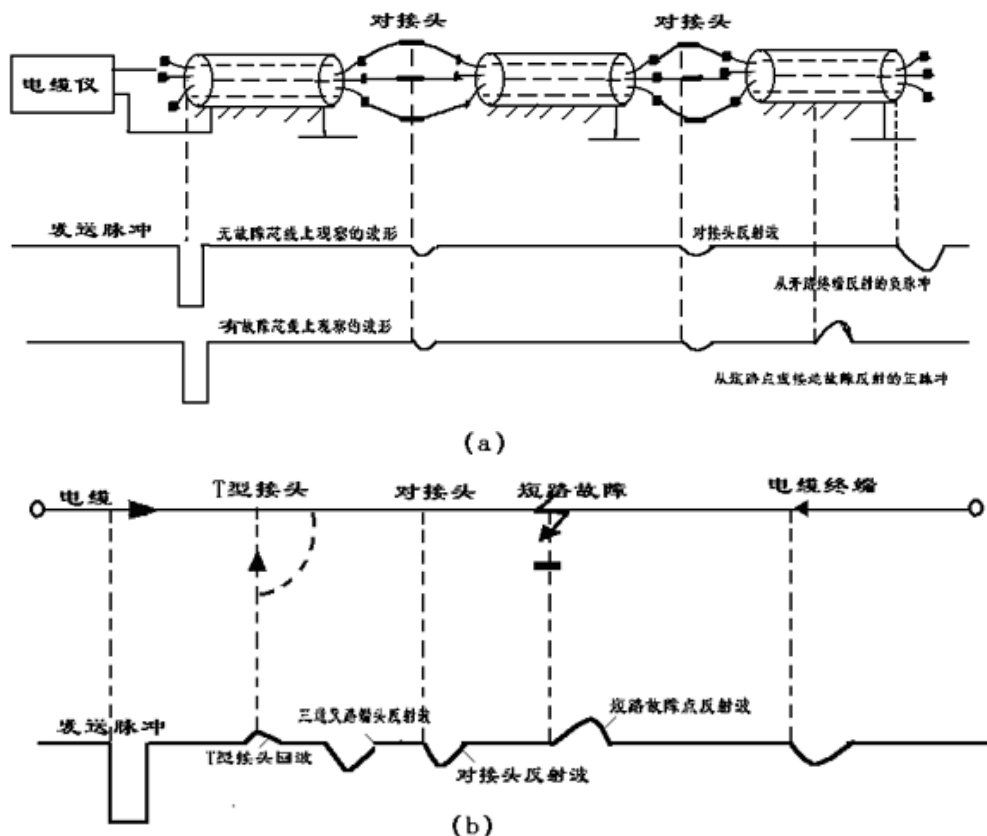
故障的性质类型，由反射脉冲极性决定。如果我们发送的测量脉冲是负极性的，反射脉冲是负极性，表示是断路故障或终端头开路；回波是正脉冲，则是短路接地故障。

脉冲测距法原理还可由下图直观地表示出来。

高压电力电缆系统对于脉冲测量法的具有代表性的波形显示

(a) 无故障相和故障相的实测波形比较

(b) 具有 T 型馈电结构的故障电缆实测波形



陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话：029-82253065 82253128 转
服务热线：13709207268（何先生）
网址：www.sxyida.cn

传真：029-82218311
电邮：393776469@qq.com



三、冲击高压闪络法

在故障电缆的始端施加一个冲击高压，将故障点电弧击穿。利用故障点击穿瞬间的电压或电流穿跳作为测试信号，观察此信号在故障点和电缆始端之间往返一次的时间；或故障点击穿瞬间耦合入低压脉冲信号进行测距。

冲击高压闪络法的信号取样方法有多种，常用的方法有冲击电压取样法（冲 L 法）、直闪电压取样法、电流取样法、多次脉冲法等。

1、电感冲闪法（冲 L 法）测试

对于“高阻泄漏故障”，在直接加高压的同时，整流器要输出一定的电流，由于设备功率的限制，整流器（包括测试变压器）的内阻通常是很大的，不大的电流就会在内阻上有相当大的压降，从而使故障点上的电压高不上去，故障点形不成闪络过程，这时就只有用加冲击高压的办法。用冲击高压，其电源就是储能电容，可近似认为是一个内阻为零的恒压源。

下面介绍在测试时加冲击高压取样闪络 waveform 的方法：电感冲闪法。

电感冲闪法的接线如图 5 所示。

工作原理：

电源接上后，整流器对电容器 C 充电，当充电电压高到一定数值时，球间隙被击穿，电容器 C 的电压通过球间隙的短路电弧和一小电感 L 直接加到电缆的测量端。这个冲击电压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。为了使反射波不至于被测试端并联的大电容 C 短路，在电缆和球间隙之间串接一电感线圈 L（几微亨到几十微亨）组成电感微分电路。因为电感对突跳电压有较大的阻抗，有了它，就可以借助于闪测仪观察到来回反射的电压波形。图 6 中的图（a）和图（b）是两个实测波形。从波形中可以看出电缆里衰减的余弦振荡及叠加在余弦振荡上的快变化尖脉冲。

电感冲闪法接线图

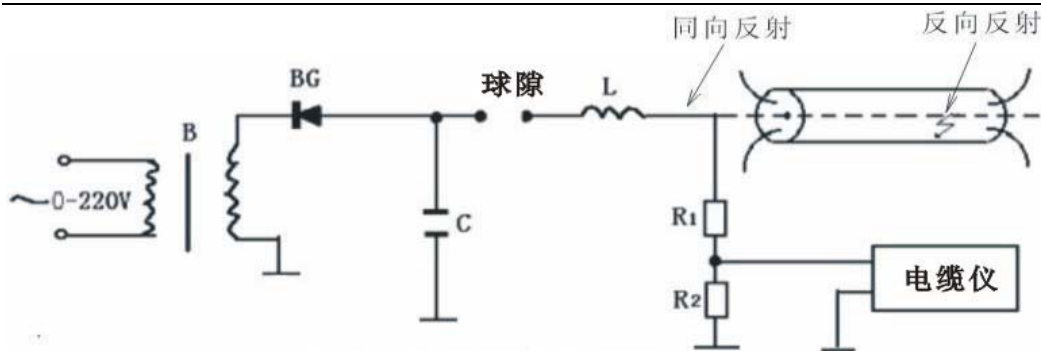


图5 电感冲闪法

高压电感冲闪法电压取样要点：

●球隙起着个简易的高速高压开关的作用，和电容配合产生一个前沿陡峭的负高压脉冲，突然加到电缆始端，同时触发电缆仪开始记录。

●负高压脉冲传播到故障点后，有一个电荷的积累过程（几个微秒—几百微秒），经过这段延时后，故障点才被击穿，在这期间，负高压脉冲继续向前传播。

●故障点的弧光放电将持续几百微秒—几个毫秒。在这段时间里，故障点阻抗低于电缆的特性阻抗（高压冲闪法的本质就是将高阻故障在这一时刻变成了低阻故障），负高压脉冲在此产生**反向反射**，变成一个正跳变的脉冲（第一反射波）被反射回电缆始端，其中一部分能量也向终端反射传播。

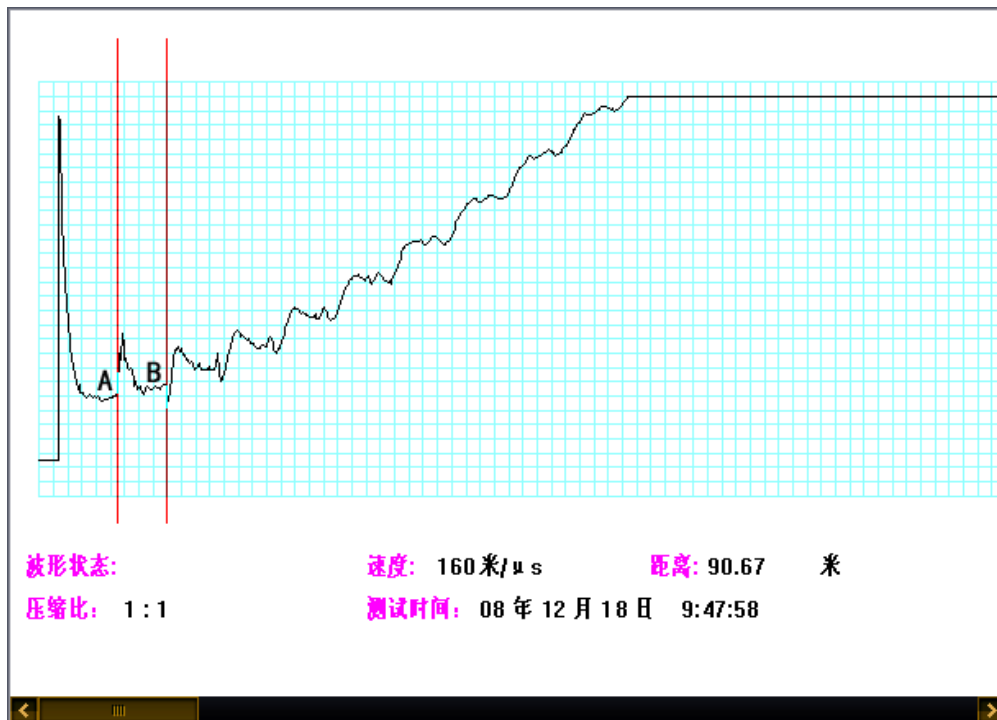
●电感的阻抗大于电缆的特性阻抗，使从故障点反射回的电波在此被同相反射回去。

●余弦大振荡是电容和电缆谐振的结果。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。它的出现是波形可读与否的标志。

●高压脉冲从球隙过来，经过电感，向电缆中传播，到达故障点后，经过一段时间，才将电缆击穿；产生向上的跳变，即第一回波；因此高压脉冲的起点到第一回波的时间折算出的距离比故障距离偏长。

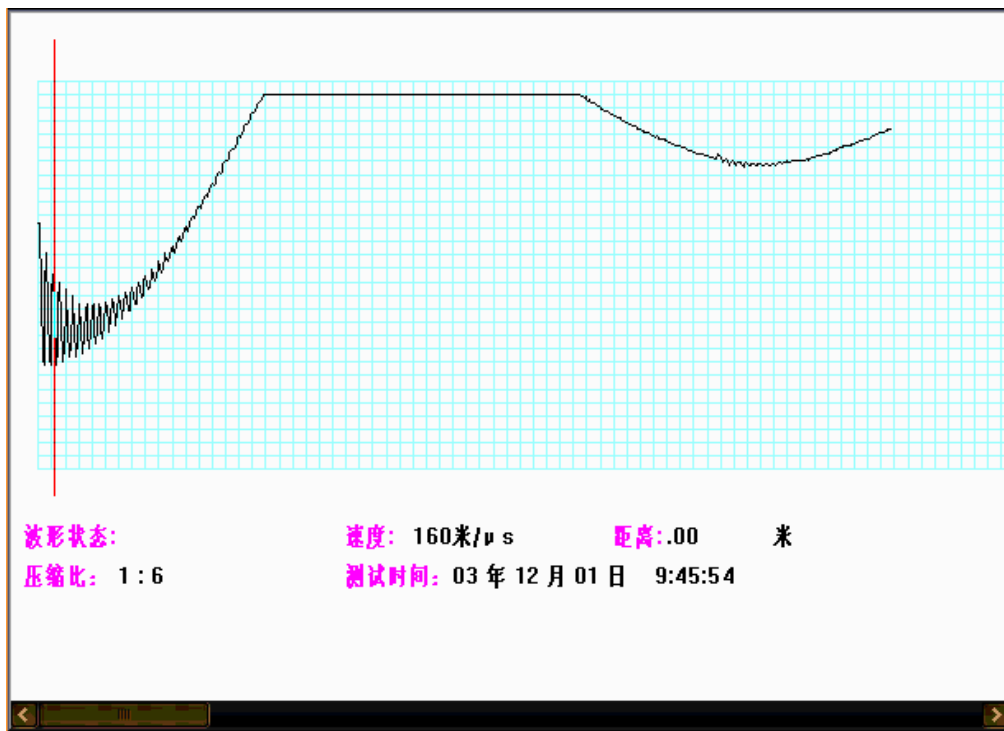
下图为电感冲闪法（冲 L 法）波形全貌

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，其波形如下图所示。



只要测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，便可算出故障点距测试端的距离。

波形全貌



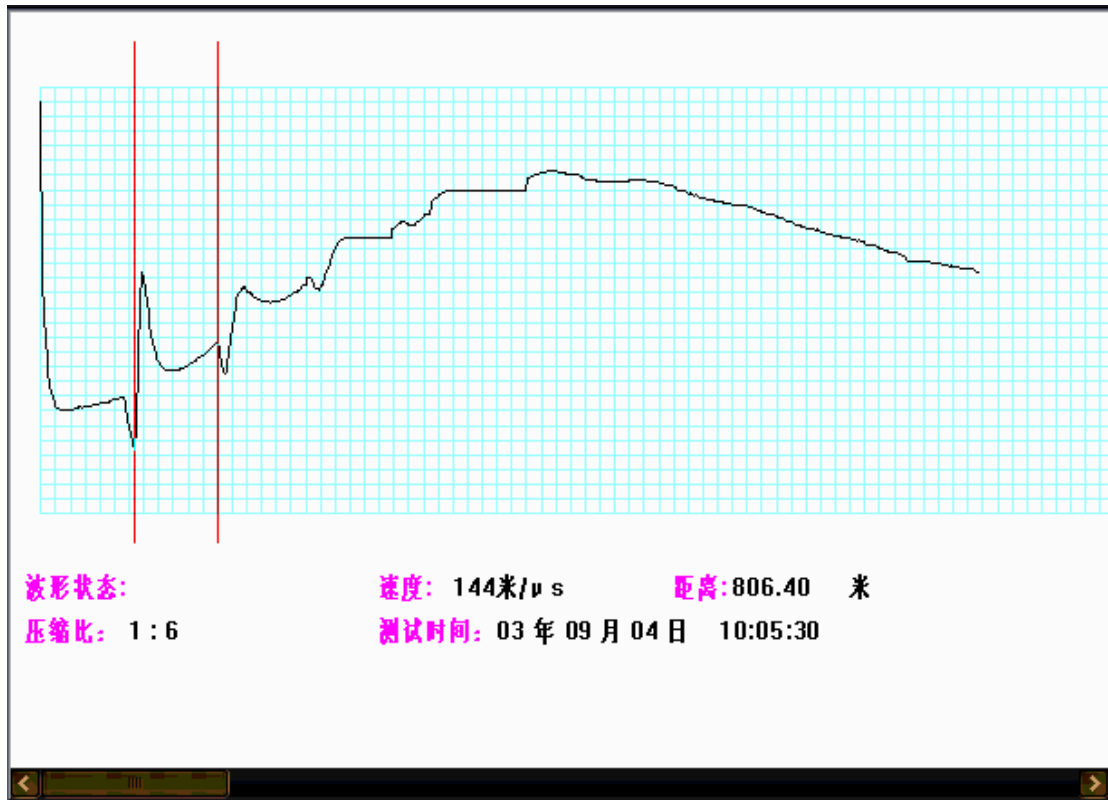
陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



中距离故障波形



从以上例子可以看出，虽然故障距离不同时，故障波形差异很大，但是，原理是一样的，只不过当故障距离较近时，第一回波还没有上升到最大，第二回波已经到了，第二回波还没有下降到最大，第三回波已经到了……因此故障距离较近时，波形幅度小。

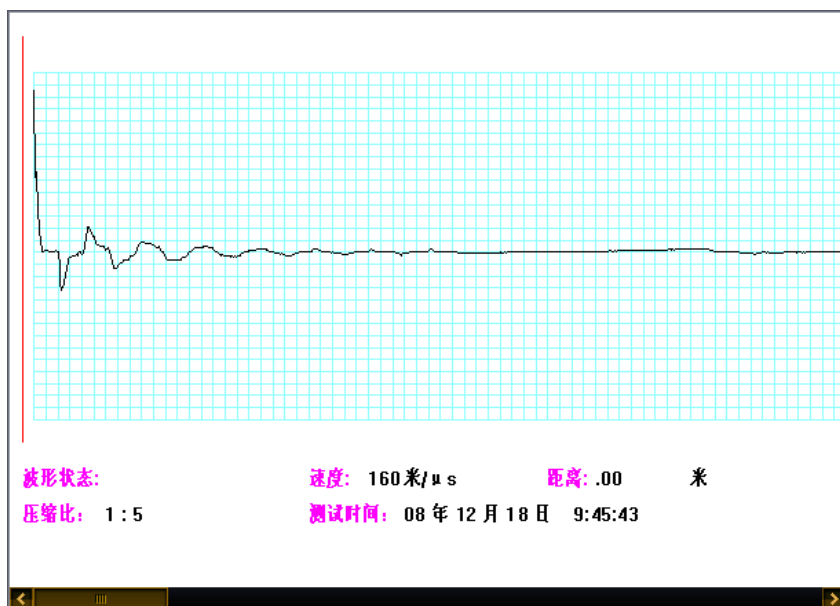
顺便提一下，如果电缆没有故障或冲击电压过低或储能电容 C 过小，电缆就不会出现闪络现象。这时电缆相当于开路线，即可等效为电容，这个等效电容与储能电容 C 并联，并通过电阻分压器 R1、R2 放电。其过程呈指数衰减波形，如下图所示，仅能看到电缆终端反射波形。

故障点不放电时的冲击电压波形

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

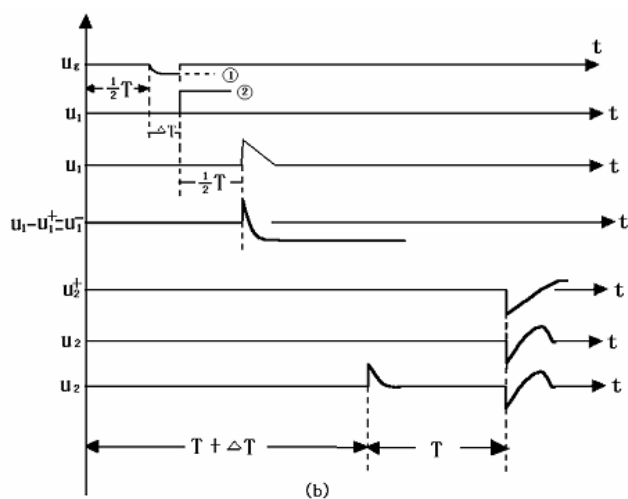
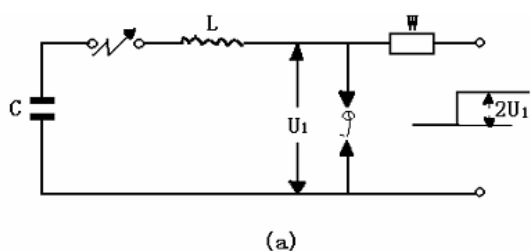
传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



为加深对回波脉冲形成及测量原理的理解，下面我们较详细地讨论一下上面提到的快速尖脉冲形成过程，参看下图。

回波快速尖脉冲形成过程图

(a)求 u_1 的等效电路； (b)波形图





球间隙放电后形成的短路电弧将电容器上的电压通过电感 L 加到电缆测量端,这是一个负的冲击高压。由于电感 L 和传播过程中电压积累时间的影响,加到故障点的电压有一个渐变过程,如图(b)中的虚线①所示。因为故障点放电要有一定的高压,而且故障点电离还要有一定的迟延时间,所以冲击电压的前一段将越过故障点而向终端传播过去。当电压积累到一定时间,故障点放电,放电形成的短路电弧将冲击电压的后面部分反射回测试端,其反射波形如图(b)中的阶跃曲线②所示(为了分析方便起见,近似为正向阶跃电压)。

这个反射的正向阶跃电压 u_1 向电缆测量端传播,称为第一入射波。当它传到测量端时,将在测量端产生电压 u_1 。根据传输线理论,电压 u_1 可由图(a)的等效电路求得。为了便于分析,先暂不考虑电缆损耗,图中 W 是电缆的特性阻抗。由于电容器 C 的容量较大,在研究测量端的反射时可暂且近似为短路。这样,图(a)就成了一个时常数 $\tau = L / W$ 的微分电路。因此 u_1 在测量端得到的电压 u_1 是一个尖项的微分脉冲。

u_1 的起点较 u_2 开始闪络的时间滞后了电波从故障点到测量端传播所需的时间 $T / 2$ 。

u_1 在测量端还会被反射。反射波电压 u_1 等于 u_1 和 u_1 之差。 u_1 到达故障点后又会被故障点的短路电弧反射。然后又传到测量端,成为第二入射波,以 u_2 表示。 u_2 较 u_1 滞后了电波在测量端到故障点之前往返所需的时间 T ,而极性相反。同理,用图(a)的等效电路可以得到测量 u_2 在端所产生的电压 u_2 。我们实际观察到的是 $u_1+u_2+\dots$ 。

由于电容器 C 上的电压不能保持不变,随着电容器 C 上负压的减小,波形应向上升。此外,传播损耗和电弧反射的不完全也会使波形的突变部分变得比较圆滑。考虑到上述因素,

实测波形为如图 6(a)、(b)所示的余弦衰减振荡波形。

因为故障点的延迟放电时间 ΔT 随具体条件的变化而变化,是随机量,所以测量故障点的位置只能用 u_1 和 u_2 两个波形的起点的时间差,而不能用 u_1 滞后于开始加冲击电压的时间差 $T+\Delta T$ 。

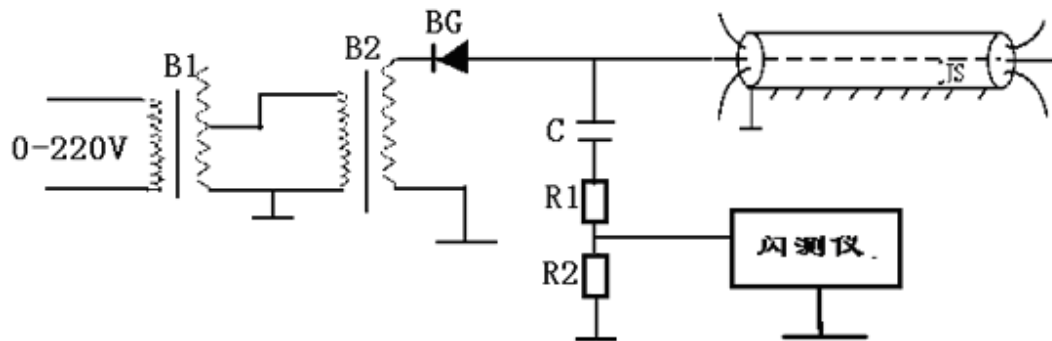
电感冲闪法是对付那些被人们用别的方法测不出来而被称之为最顽固的故障的最强有力手段。所以目前在我国凡是配有我公司的电缆故障智能测试仪的单位均无一例外地把电感冲闪法作为最主要的测试方法之一。

2、高压直闪测试（直流高压闪络法）



直流高压闪络法适用于闪络性故障，即故障点没有形成电阻通道（或电阻值极高），但电压升高到一定值时（通常是几万伏）就会产生闪络现象。

下图，直流高压闪络法接线图

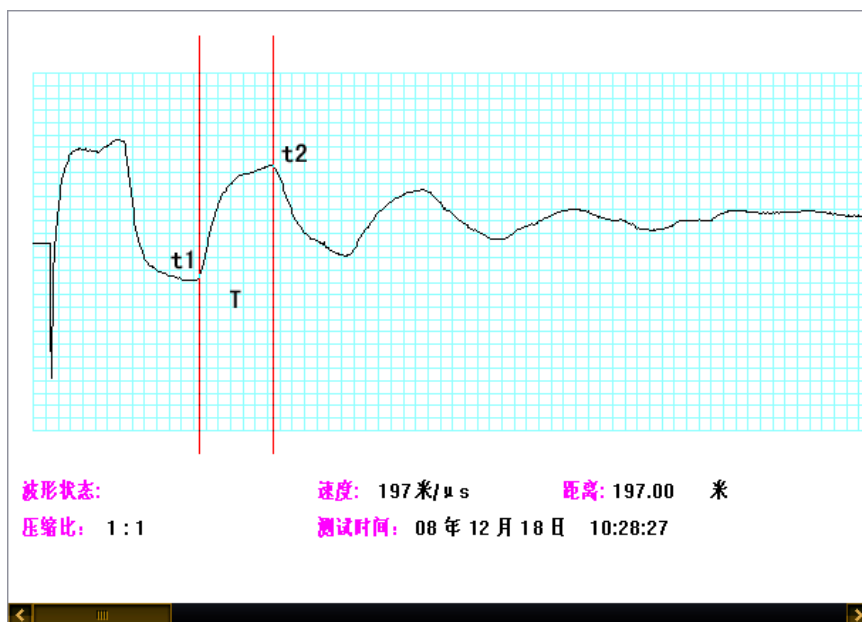


工作原理：

测试电路按图接好以后，调节调压器，逐渐升高测试电压，此时闪测仪处于待测状态。当电压升高到一定值时，故障点产生闪络，闪测仪立即显示出测量端的波形，如下图所示。读下图波形的起始到下降处拐点间的实际间隔可知实测故障距离。

下图，闪测仪直流闪络实测波形

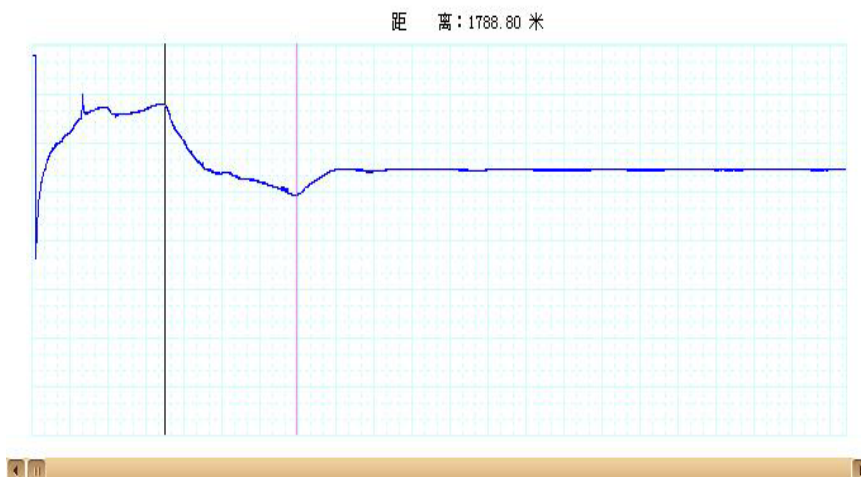
为闪络过程波形。



陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话：029-82253065 82253128 转
服务热线：13709207268（何先生）
网址：www.sxyida.cn

传真：029-82218311
电邮：393776469@qq.com



电缆测试端点的波形是这样形成的:

故障点被击穿而形成的短路电弧使故障点电压瞬时突变到接近于零,即产生一个与所加直流负高压极性相反的正突跳电压。这个正突跳电压沿电缆向测试端传播,并于时间 t_1 到达测试端(见上图)。这个正突跳电压波在测量端产生正反射(因测量端电阻远大于电缆特性阻抗,相当于开路反射)。这个反射波又沿电缆向故障点传播,在到达故障点时又会被短路电弧反射而产生一个负向突跳电压波(因故障点短路电弧的等效电阻远小于电缆的特性阻抗,相当于短路反射),并在时间 t_2 到达测量端。上述的反射过程将在测量端和故障点之间持续下去。不过振荡的幅度越来越小,边沿越来越圆滑,这主要是电波在电缆中传输损耗和失真所致。

为了观察,在测量端通过隔直流电容器 C 和电阻分压器 R_1 、 R_2 隔直流与衰减后输入闪测仪记录。

在实际情况下,电缆的闪络性故障是极普遍的。凡预试击穿的故障几乎都有闪络过程,运行击穿的故障,约半数也有闪络过程。当然闪络过程存在的时间长短是很不一致的,有的故障直至“粗测”、“定点”完成,闪络过程仍然存在;而有些故障,只闪络几次就形成稳定的电阻通道,不再闪络。由于直流高压闪络法比后面介绍的几种冲击闪络法精度高,故应尽可能地用直流高压闪络法测量。一旦发现故障电缆上有闪络过程,应抓紧时机,珍惜这样的现象,设法延长闪络过程存在的时间。

3、电流取样法

电流取样法利用电磁感应原理,用电流互感器拾取地线上的电流信号来获得电缆中的电波电流反射信号。与高压发生器、市电没有电气上的关系,所以特别安全。电流取样法所得波形周期多,反射波形特征拐点清晰,特别有利于故障距离分析和定位。

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com

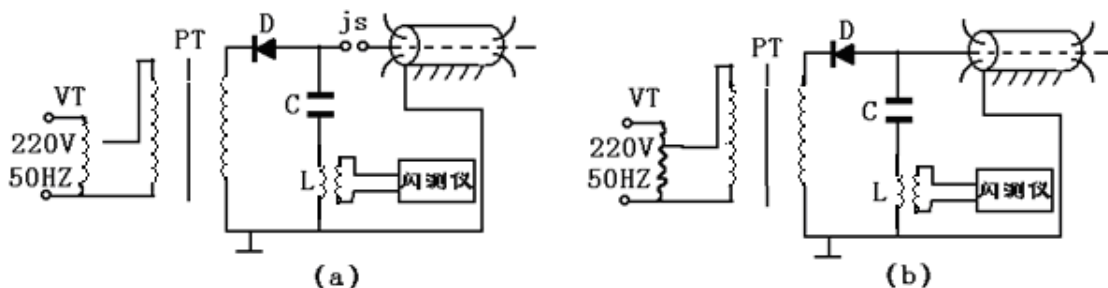


电流取样测试法就是根据电磁感应原理产生的。即交变电流产生交变的磁场，交变的磁场切割线圈时，在线圈中就要产生感应电动势。

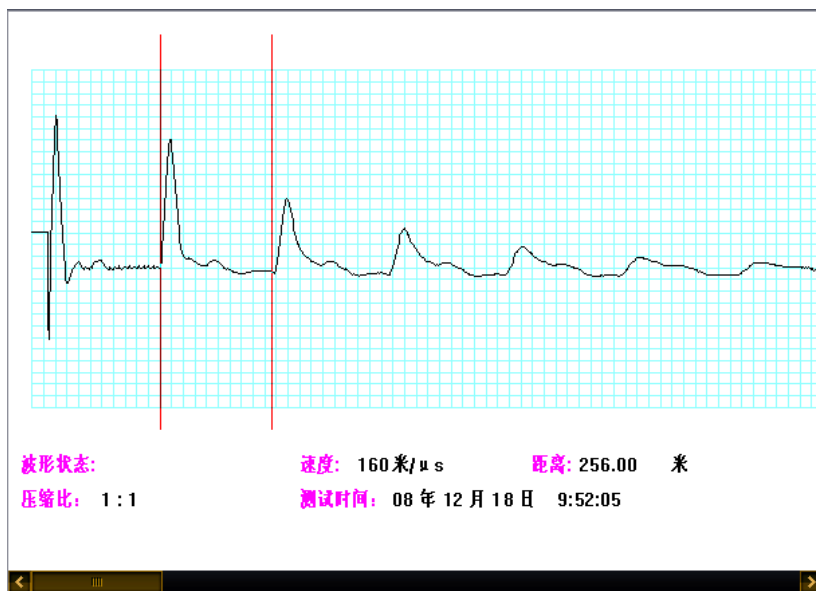
在下图 (a)为冲闪时的电流取样测试法，图 (b)为直闪时的电流取样测试法。VT 为调压器； PT 为高压变压器； C 为储能电容； L 为线性耦合电感； Js 为放电球间隙， D 为高压整流硅堆。直闪法和冲闪法，原理一样，只是直闪法比冲闪法少了一个放电球间隙，将直流高压直接加到故障相的电缆上；而冲闪法是在负直流高压与故障相电缆之间加了一个放电球间隙。两种测试方法波形几乎相似，我们以冲闪法电流取样测试为例加以说明。

图__电流取样法接线图

(a)_冲闪时电流取样测试法接线图_ (b)_直闪时电流取样测试法接线图



图__电流取样冲闪法波形



在图(a)中调节输入变压器 VT 的输出电压，并加于高压变压 PT，经 D 整流为负高压使储能电容 C 充电。该充电电压升上到足以使球间隙 Js 在 t_0 瞬间击穿传到被测电缆故障相。在 t_0 时刻的负突变，通过耦



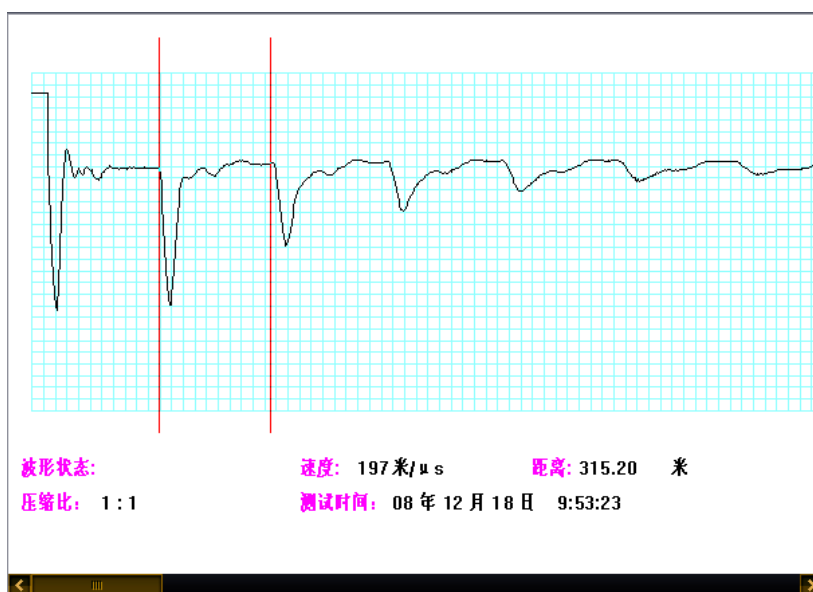
合线圈 L 产生的感应电动势触发了闪测仪主机中的高速 A / D 转换器开始工作，闪测仪就开始记录被测电缆线上的波形变化信息。在 t_0 开始这负高压脉冲沿电缆线向故障点传播，当其达到故障点时只要能量足够大，将故障点击穿放电，该放电脉冲就折回头来朝着测试电缆始端反射回来在 t_1 瞬间达到测试点。该折回的放电脉冲到测试点后又被反射，朝着故障点方向传播。这种来回不断反射的过程，直至能量逐渐减小到结束。闪测仪通过耦合线圈将这 $t_0 \sim t_1 \sim t_2 \sim t_3 \dots t_n$ 的全过程记录下来。知道了电波在电缆中传播的速度 v ，闪测仪显示器显示出放电脉冲在电缆线上来回反射的时间 $t_1 \sim t_2$ ；或者 $t_1 \sim t_3$ ；故障点的距离 S 就等于：

$$S = 1/2 v t \quad (t = t_1 \sim t_2 \text{ 之间延续时间})$$

上图的波形，是当其耦合线圈 L 的上端(朝电容 C 方向)的引线 with 闪测仪输入的负端相接，而耦合线圈 L 的下端(朝着地线方向的引线)与闪测仪的输入正端相接时闪测仪记录下的波形。如果将耦合线圈的两条引出线，倒个方向与闪测仪输入端相接的话，所采集到的波形如下图所示：

其原理和前面相同，由于线圈 L 的引出线，对闪测仪内部的输入端参考地电位不同，记录的波形方向就变成为负极性的波形。

图__电流取样冲闪法波形



4、二次脉冲法/多次脉冲法/双冲击延弧法/弧反射法

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

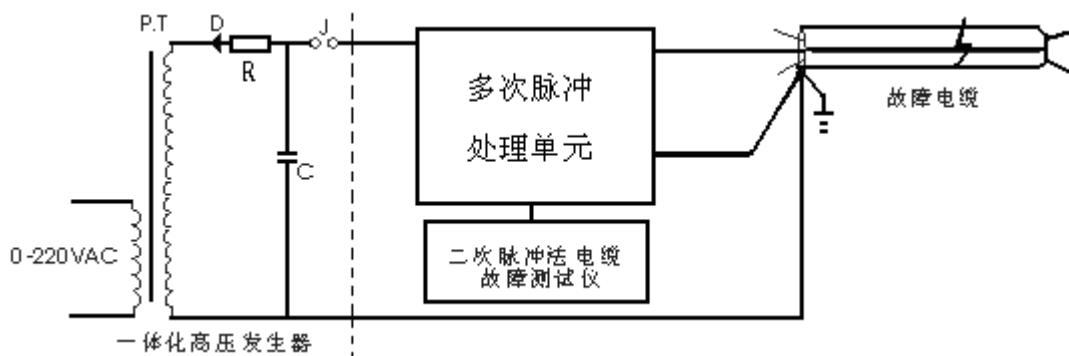
传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



由于电压、电流取样法的测试波形较为复杂，不同类型、不同长度、不同故障距离、不同的冲击高压所得的波形千变万化，往往与标准波形相差甚远。很多人掌握不了波形规律，常常发生误判错判。

二次脉冲法（多次脉冲法）的先进之处，在于将冲击高压闪络法中的复杂波形变成极其简单最易掌握的低压脉冲法短路故障测试波形。可以说任何人稍加培训就能识别回波的拐点，达到快速准确测得故障距离的目的。

二次脉冲测试系统接线图如下：



二次脉冲法（包括多次脉冲法）的基本测试原理：

二次脉冲法实际上也应该归纳在冲击高压闪络法的范畴之中。都是利用故障点在冲击高压作用下电弧将故障相与电缆地短路的特性来完成测试的。二次脉冲法只是将低压脉冲巧妙地应用在冲击高压闪络法之中，利用冲击闪络时故障点被电弧短路的物理特性而获得发射脉冲与反射脉冲极相反的波形。这种波形，应该说任何稍加培训的人都会判读的。

根据行波法测试原理，电波在电缆中传输时，路径上如果遇到阻抗不匹配点，就会产生波的反射。在短路点，回波的极性与发射脉冲的极性相反。而断路点（包括电缆终端）回波的极性与发射脉冲的极性相同。一般的电缆故障测试利用低压脉冲法，就可以根据回波的极性非常容易地判断出故障点距点测试端的距离来。但是，对于高阻泄漏故障，故障点的等效阻抗几乎与电缆的特性阻抗相等，也就是说故障点的等效阻抗与电缆的特性是基本匹配的。一般情况下，使用脉冲法时，故障点的回波极弱，甚至没有回波。所以低压脉冲法是无法测试电缆的高阻故障的（无故障回波）。

然而，如果在足够高的冲击电压作用下，故障点被电弧击穿短路的同时，能发送一个低压测试脉冲，即可在短路点得到一个短路反射的回波。即反射回波的极性与发射脉冲的极性相反。当故障点短路电弧熄灭后，再发射一个低压测试脉冲（二次脉冲），可测得电缆的开路全长波形。前后两次采集到的波形同时



显示在一个屏面上。开路全长波形与发射脉冲同极性，故障反射波形的极性与发射脉冲极性相反，且一定在全长距离以内。两相对比，故障波形极好区别判断。如果将两个波形靠拢叠加，故障点以前的两个测试波形，在规律上重合得很好，一旦越过故障点，两个波形就产生明显离散，不再重合。两条曲线的离散点就是故障点距测试端的距离。

所谓“二次脉冲法”，是在足够高的冲击高压将故障点电弧击穿短路的同时，二次脉冲电缆故障仪在冲击高压的作用下，先后发射两个测试脉冲。一个发射脉冲是在电缆被冲击高压击穿短路时测试故障点距测试端的距离，第二个发射脉冲是在冲击高压结束，电弧熄灭时测试电缆的开路全长。

二次脉冲法也有一定的局限性。主要表现在两个方面：

1、因为有“二次脉冲（多次脉冲）处理单元”串接在冲击高压发生器与故障电缆之间，电缆上得到冲击高压实际上要比真正产生的冲击高压低一些。为使故障点充分击穿，所加的冲击高压会比常规的电压、电流取样法更高。

如果使用本公司最新型仪器就无此情况，新型仪器采用双冲击延弧方式，用大功率电容直接冲击电缆（冲击回路无任何电阻性消耗能量元件），冲击时加到故障点的电流达到上千安，使顽固性故障点也可很容易击穿；用延弧电路小电流使故障点闪络击穿时间延长，并加载测试脉冲测试故障距离。

使用双冲击延弧方式，就可将电压取样法、电流取样法彻底取代，同时兼顾波形易读性。该测试方法目前处于国内外电缆故障测试方法的最高水平。

2、由于故障电缆的故障点被电弧短路后，储能电容与放电回路中分布电感形成 LC 振荡回路，使芯线上存在幅度很大的衰减余弦振荡波和故障点击穿时在故障点和测试端来回反射的脉冲波。在余弦振荡期间所有的脉冲波形均为干扰信号，无法实施低压脉冲法测试。只有在余弦振荡结束后芯线上电压趋于平稳，而且在故障点电弧仍然存在期间才能进行低压脉冲测量。也就是说要避开大振荡周期。现场测试时要通过多次实测波形的观察，选择合适的迟延时间，选出最适合判读的测试波形。这在现场测试时增加了一定的难度。

最新型仪器采用智能型自动判别技术，自动躲过余弦振荡期及干扰信号，自动发射测试脉冲，自动判别故障点，做到故障测距的自动化。

作为采用二次脉冲（多次脉冲）法的电缆故障测试系统测距部分，全套仪器包括可以产生单次冲击高压的“一体化高压发生器”、“二次脉冲（多次脉冲）处理单元”和测试波形分析处理的“二次脉冲（多次脉冲）电缆故障测试仪”。



二次脉冲（多次脉冲）法的电缆故障测试系统简单工作原理：

“二次脉冲（多次脉冲）处理单元”的作用是将“一体化高压发生器”产生的瞬时冲击高压脉冲引导到故障电缆的故障相上，保证故障点能充分击穿，并能延长故障点击穿后的电弧持续时间。同时，产生一个触发脉冲同时启动“二次脉冲自动触发装置”和“二次脉冲电缆故障测试仪”。“二次脉冲自动触发装置”立即先后发出两个测试低压脉冲，经“高频高压数据处理器”传送到被测故障电缆上，利用电缆击穿后的电流电压波形特征和电弧熄灭后的全长反射回波，将形成两个完全不同的反射脉冲记录在显示屏上。一个脉冲波形反映电缆的全长，另一个脉冲波形反映电缆的高阻（高压击穿后短路）故障距离。

后面部分现场故障测试波形。人们可以从波形图上看，二次脉冲法的波形与电压取样和电流取样法波形相比，是再简单不过的了。任何人都会判读。

第三章 波形分析系统

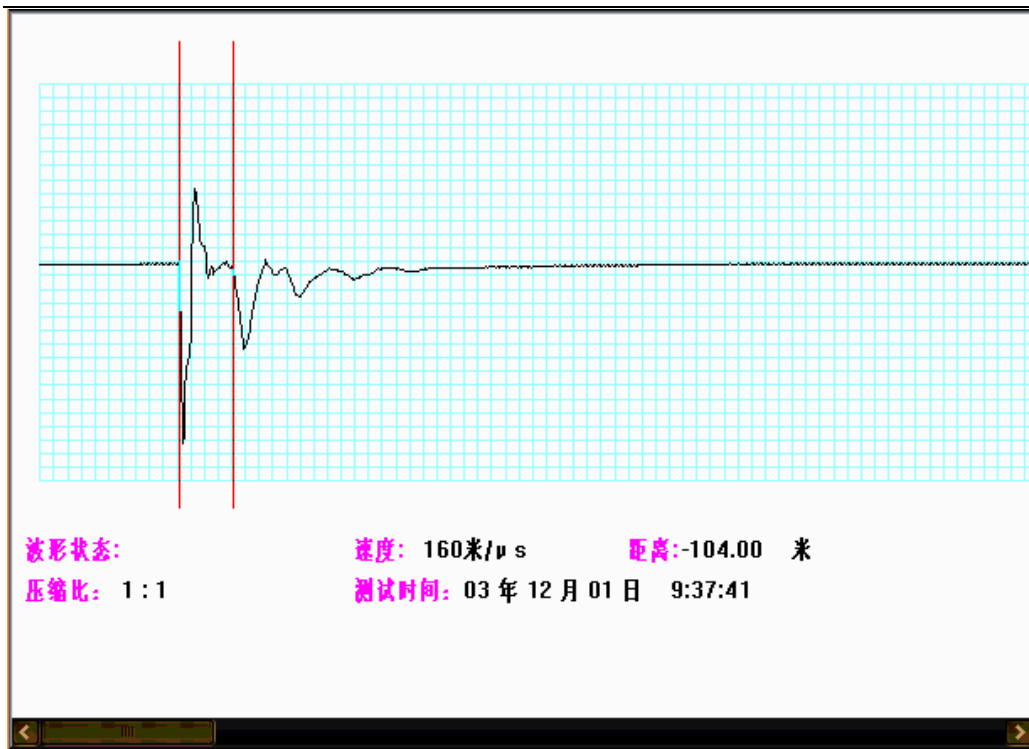
一、波形判别概述

低压或高压波形显示后，先不要急于进行距离的判别，应先将波形进行高比例压缩，对波形的整体趋势进行分析，对整体趋势有一定了解后，再将波形的压缩比调低，进行距离的判断，这就是所谓的从“宏观到微观”的判别方法。这就避免了干扰（如引线太长、阻抗不匹配、电缆使用年限太长、接头工艺不规范等）、高压法时故障点没有形成短路电弧等造成的原则性的误判断，不会造成大的误差。

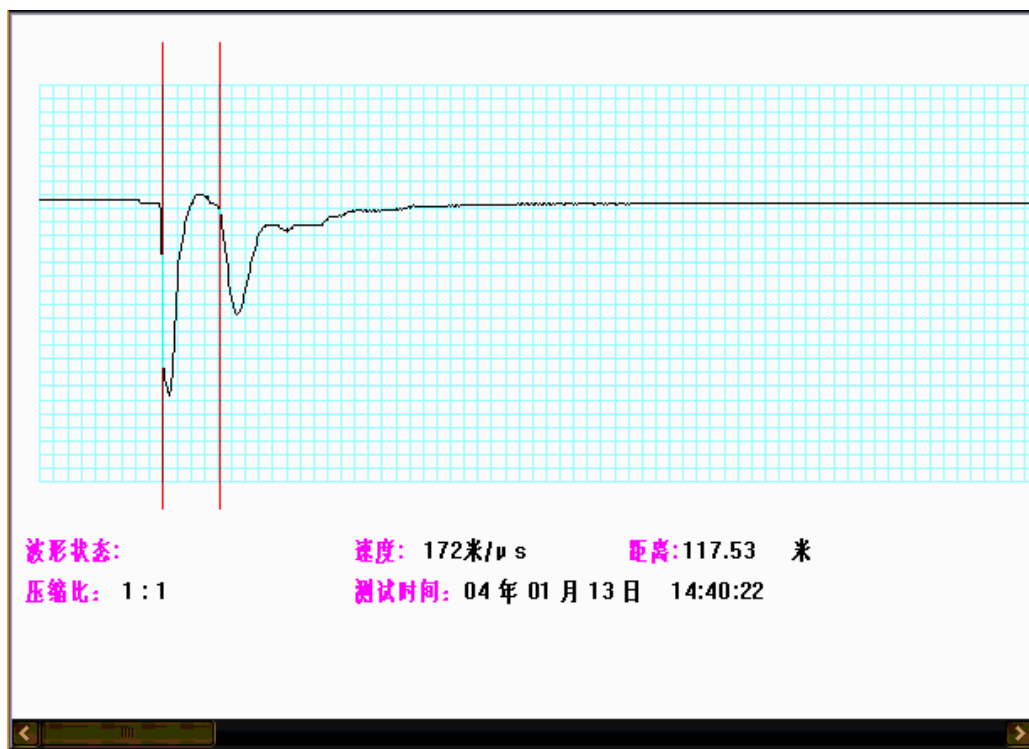
二、低压脉冲测试电缆全长

对于 50 米以内距离电缆建议用 $2\mu\text{s}$ 低压脉冲进行测试；50~1000 米建议用 $0.2\mu\text{s}$ 低压脉冲进行测试；对于 1000 米以上电缆建议用 $2\mu\text{s}$ 低压脉冲进行测试。

如图所示：



波形点评: 反射脉冲的二、三、四次反射波较明显，幅度逐渐衰减，且每两拐点间距离基本相等。

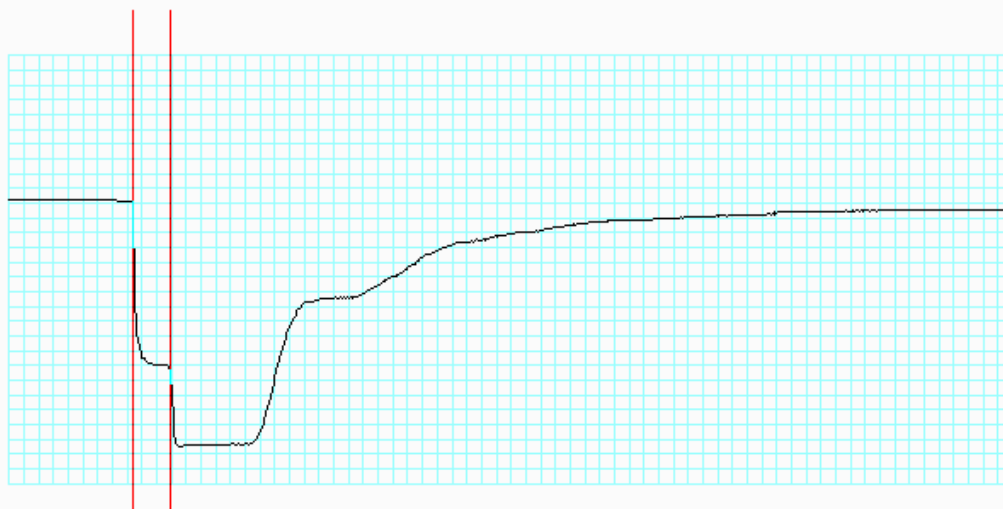


波形点评: 反射波的多次反射不明显。

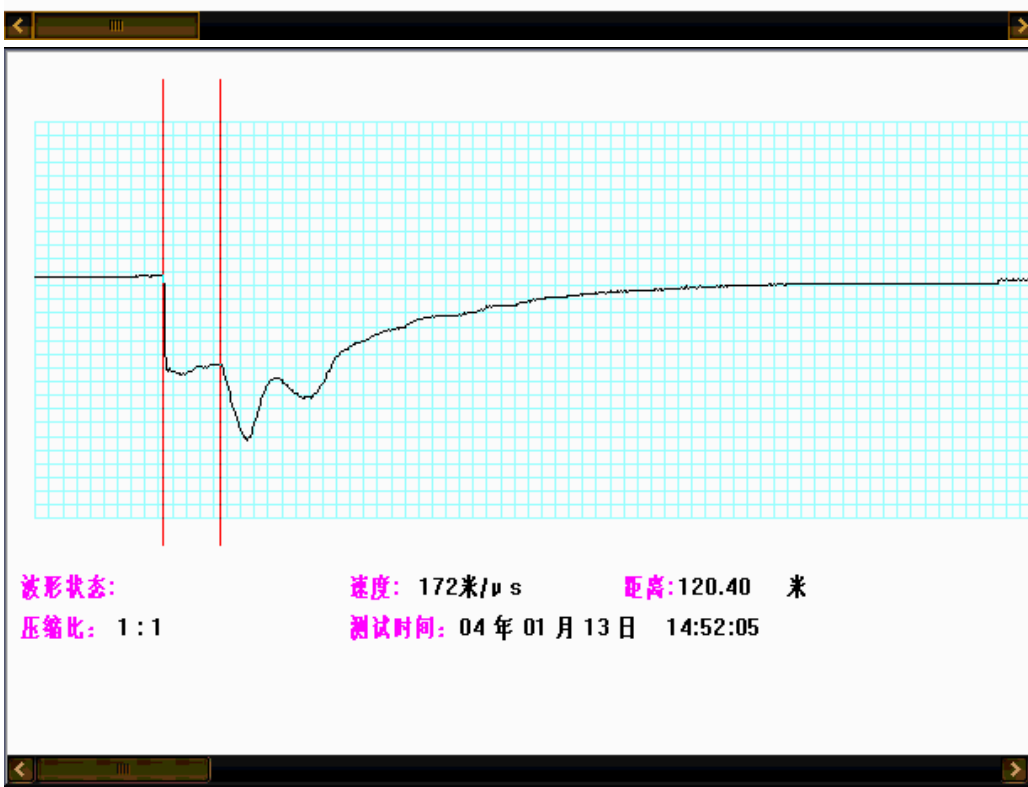
陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



波形状态: 速度: 172米/ μ s 距离: 71.67 米
压缩比: 1:1 测试时间: 04年08月15日 11:26:49



波形状态: 速度: 172米/ μ s 距离: 120.40 米
压缩比: 1:1 测试时间: 04年01月13日 14:52:05

波形点评: 对于明显小于 2μ s 脉冲宽度 (200 米左右) 的电缆测试全长, 也可用 2μ s 低压脉冲进行测试, 反射波的方向与发射波同向。

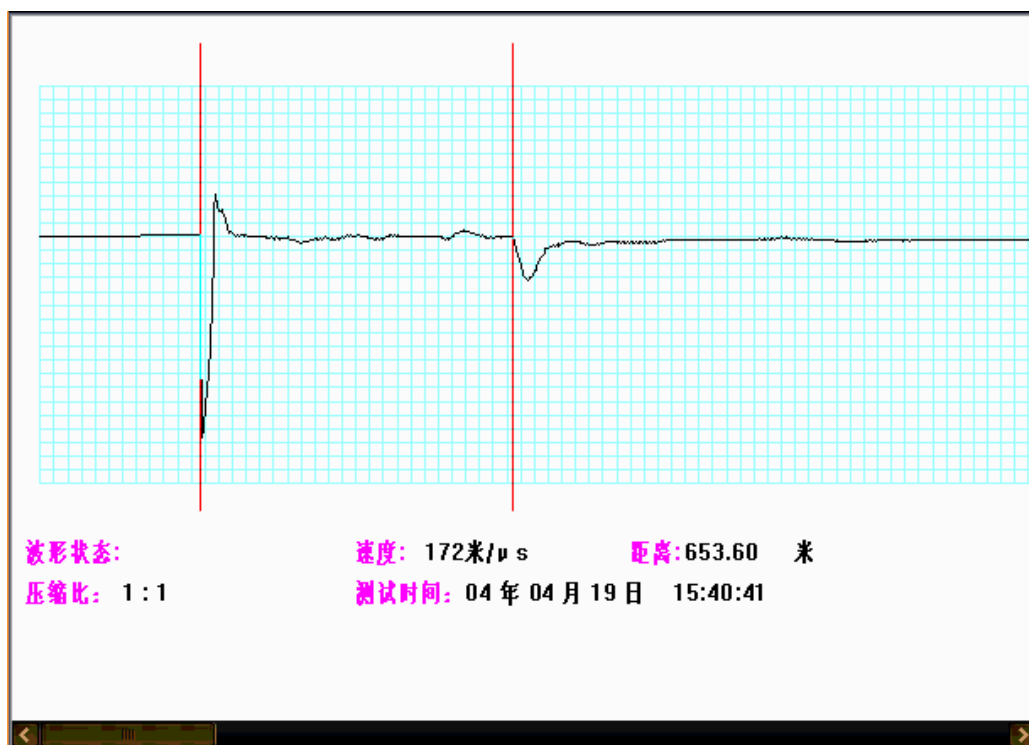
陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



波形点评: 反射脉冲的二、三次反射波较明显，幅度逐渐衰减，且每两拐点间距离基本相等。

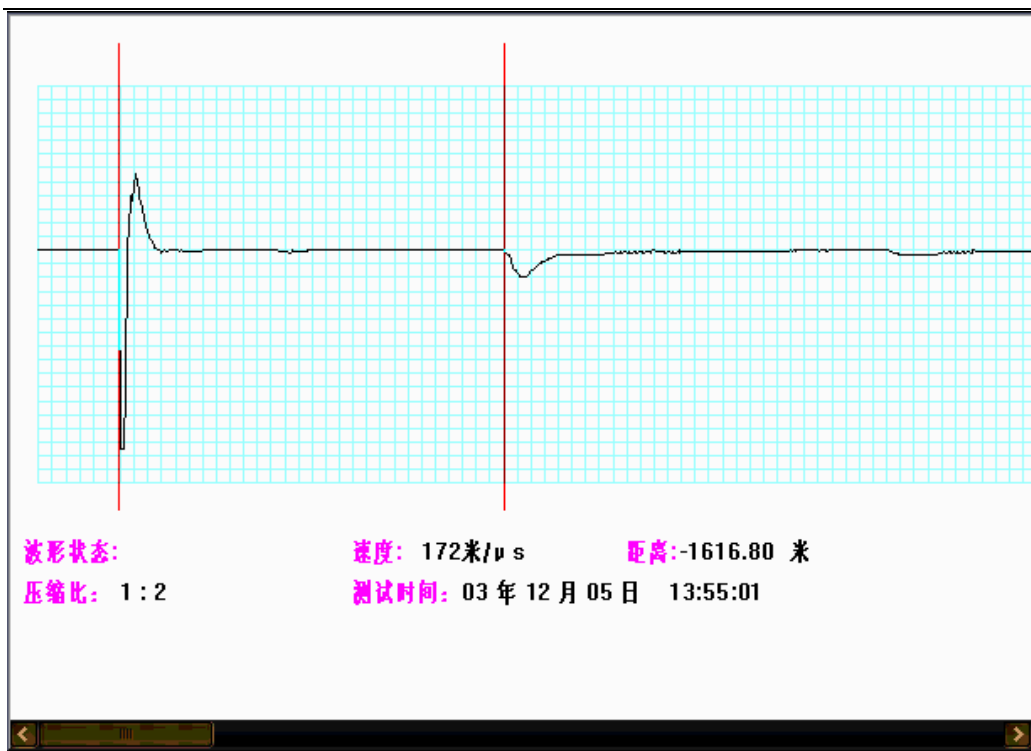


波形点评: 反射波的多次反射不明显。

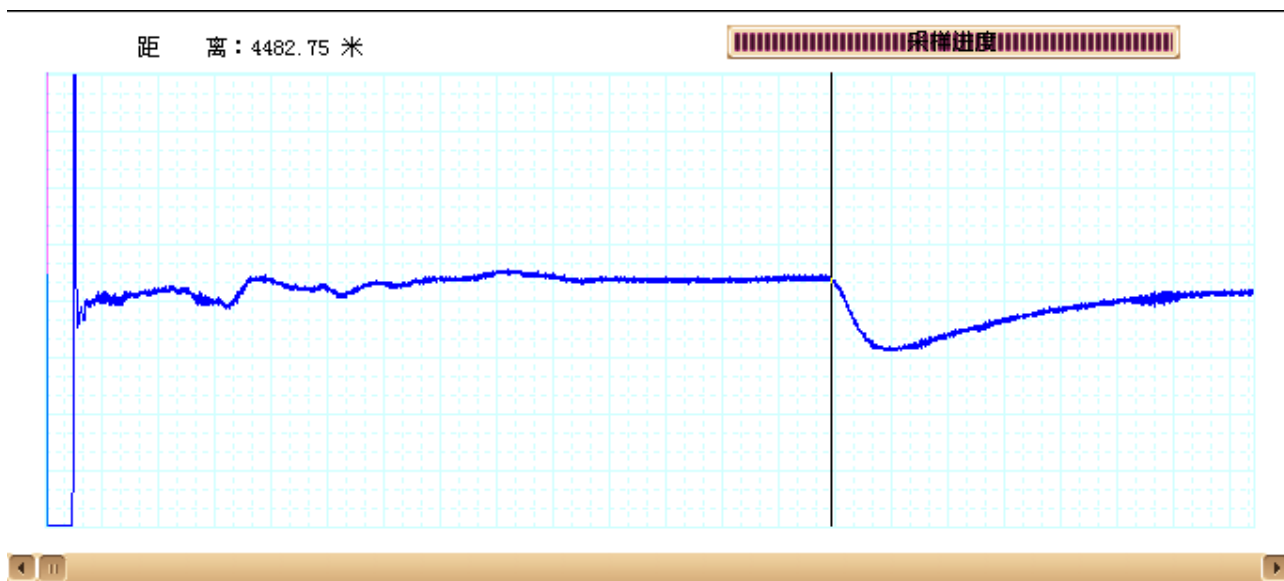
陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



波形点评: 反射脉冲的二次反射波较明显，幅度逐渐衰减，且每两拐点间距离基本相等。



三、低压脉冲测试短路、低阻故障

测试短路、低阻故障，故障波形的反射波与发射波方向相反。对于 50 米以内距离故障建议用 $2\mu\text{s}$ 左右低压脉冲进行测试；50~1000 米的故障建议用 $0.2\mu\text{s}$ 低压脉冲进行测试；对于 1000 米以上电缆故障建议用

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

电话: 029-82253065 82253128 转

服务热线: 13709207268 (何先生)

网址: www.sxyida.cn

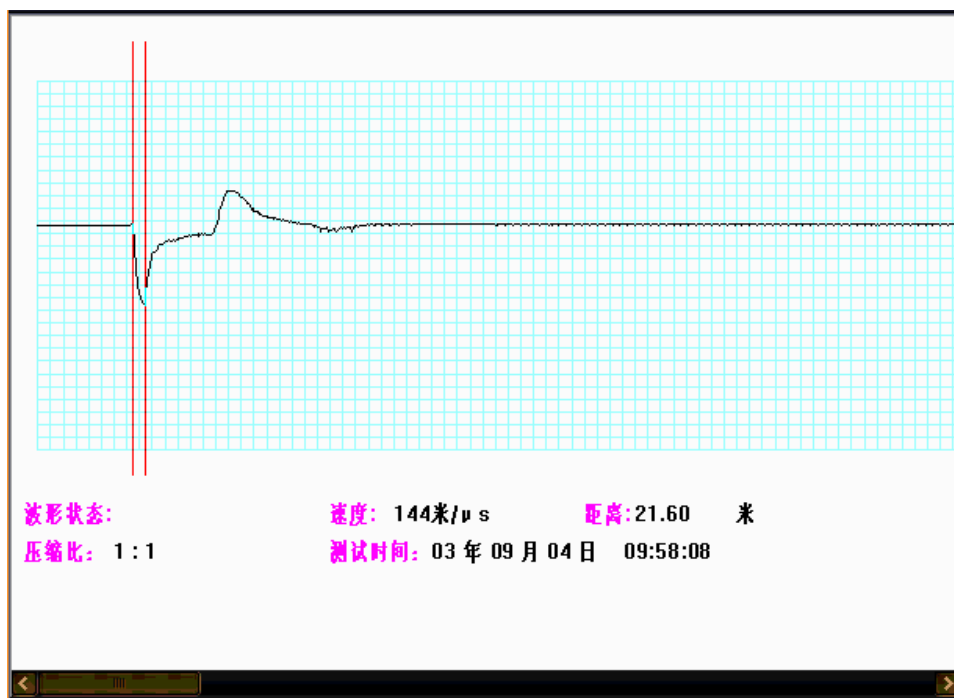
传真: 029-82218311

电邮: 393776469@qq.com

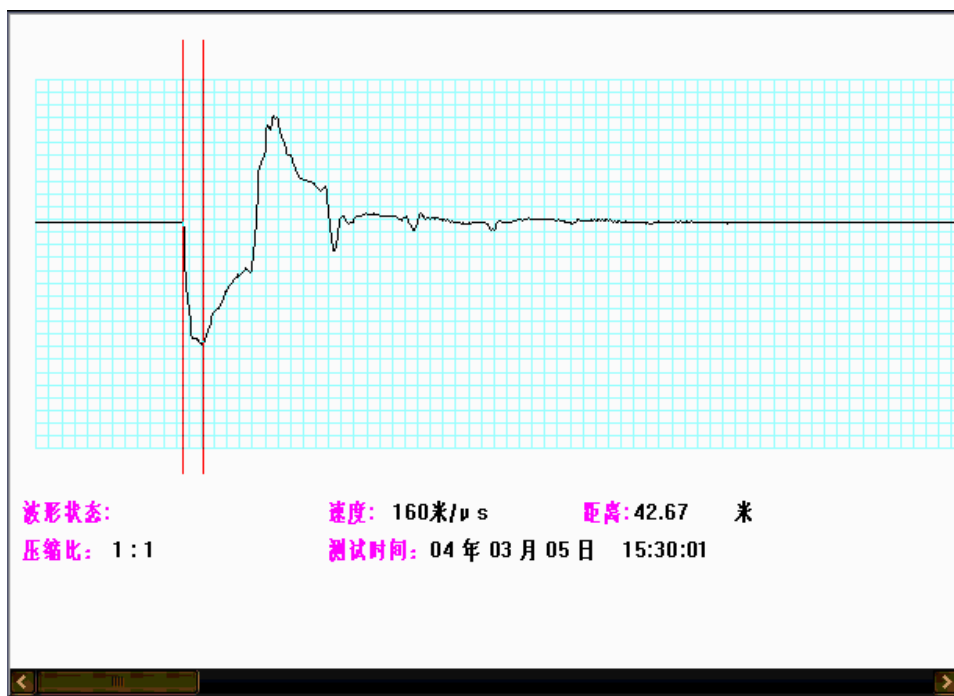


2 μ s 左右低压脉冲进行测试。

如图所示



波形点评：对于明显小于 2 μ s 脉冲宽度（200 米左右）的电缆测试低阻（短路），可选用 2 μ s 低压脉冲进行测试，反射波的方向与发射波相反。如此电缆有好相可进行波形对比，就更易判断。



陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

电话：029-82253065 82253128 转

服务热线：13709207268（何先生）

网址：www.sxyida.cn

传真：029-82218311

电邮：393776469@qq.com



波形点评：对于明显小于 $2\mu s$ 脉冲宽度（200 米左右）的电缆测试低阻（短路），可选用 $2\mu s$ 低压脉冲进行测试，反射波的方向与发射波相反。如此电缆有好相可进行波形对比，就更易判断。



波形点评：从趋势上可看出反射波的方向与发射波相反。如此电缆有好相可进行波形对比，就更易判断。



波形点评：对于明显小于 $2\mu s$ 脉冲宽度（200 米左右）的电缆测试低阻（短路），也可选用 $2\mu s$ 低压脉冲

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com

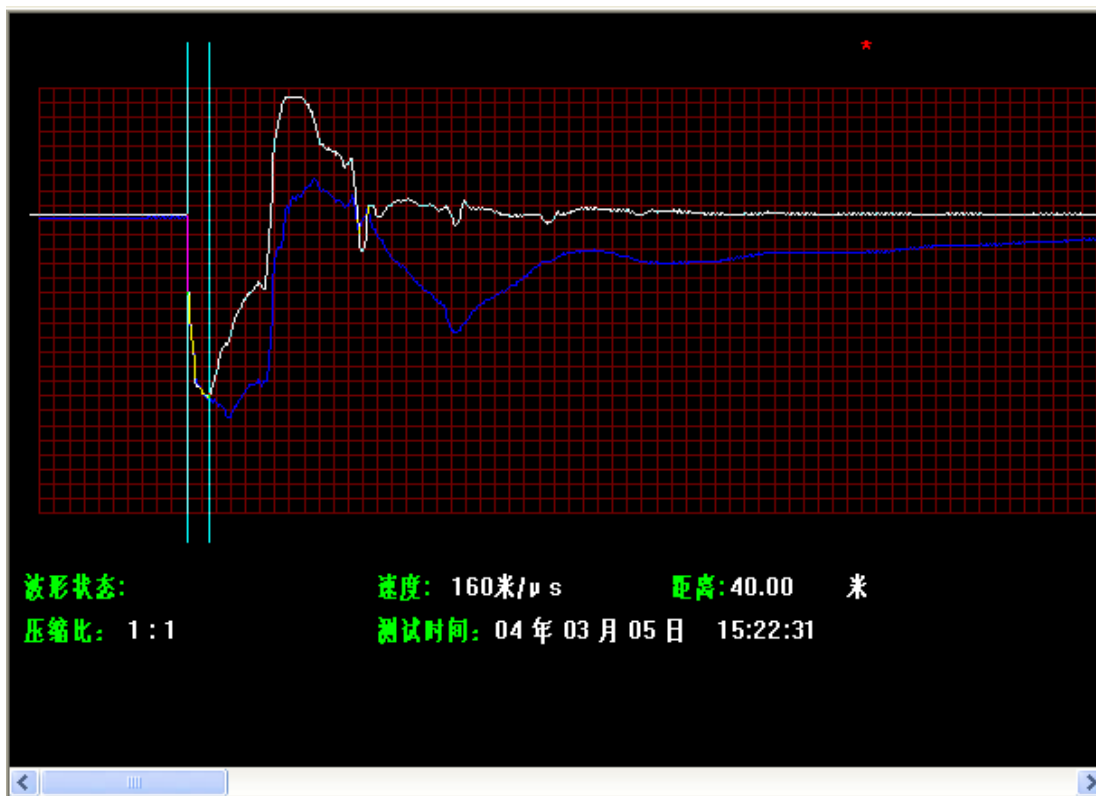


进行测试，反射波的方向与发射波相反。如此电缆有好相可进行波形对比，就更易判断。

同时将好、坏相波形放入同一屏幕中，并将起点的位置对齐，在电缆故障的测试中是一个非常好的快速判断故障点距离的办法。尤其低压脉冲的波形对比更具有直观性。

游标从起点开始到两波形变化趋势不一致的拐点即故障点距离。

如图所示



波形点评：此电缆为低压 380V 电缆，单相芯线对电缆铠装低阻，蓝色波形为好相，白色波形为坏相。40 米处开始波形趋势不一样。定点后判断正确。

四、低压脉冲测试开路故障

实际上测试开路故障与测试电缆全长类似。对于 50 米以内距离故障建议用 $2\mu\text{s}$ 低压脉冲进行测试；50～1000 米的故障建议用 $0.2\mu\text{s}$ 低压脉冲进行测试；对于 1000 米以上电缆故障建议用 $2\mu\text{s}$ 低压脉冲进行测试。

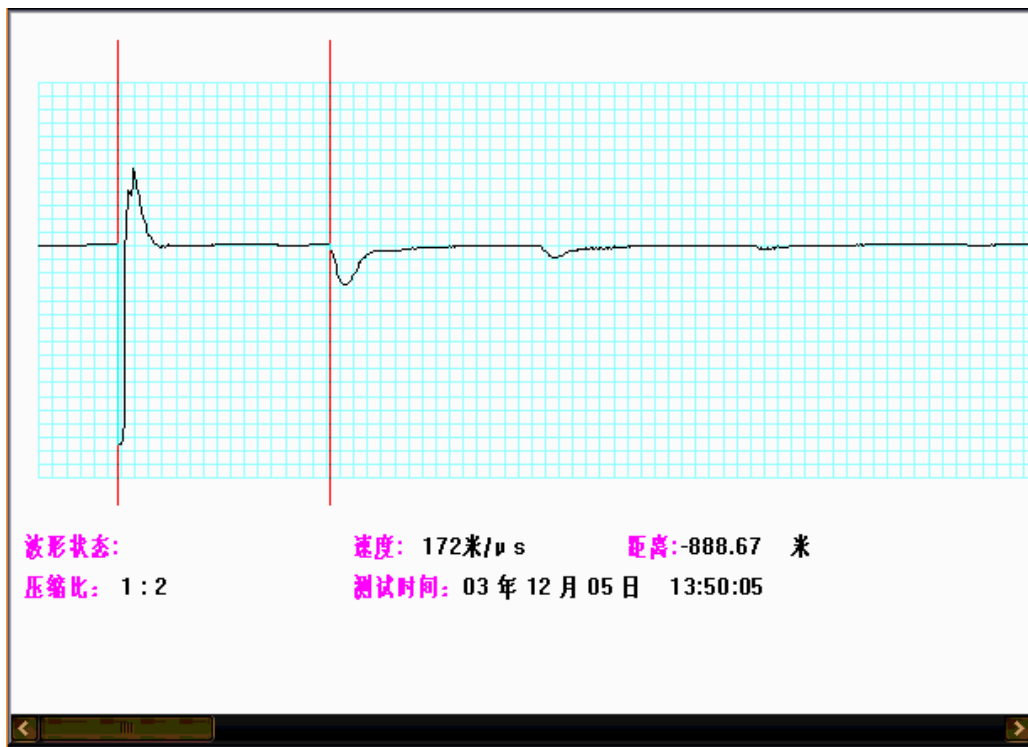
陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话：029-82253065 82253128 转
服务热线：13709207268（何先生）
网址：www.sxyida.cn

传真：029-82218311
电邮：393776469@qq.com



如图所示



波形点评: 类似于测试全长 (0.2 μ s 低压脉冲), 脉冲的多次反射较明显, 幅度逐渐衰减。



波形点评: 类似于测试全长 (2 μ s 低压脉冲), 脉冲的多次反射较明显, 幅度逐渐衰减。

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

电话: 029-82253065 82253128 转

服务热线: 13709207268 (何先生)

网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311

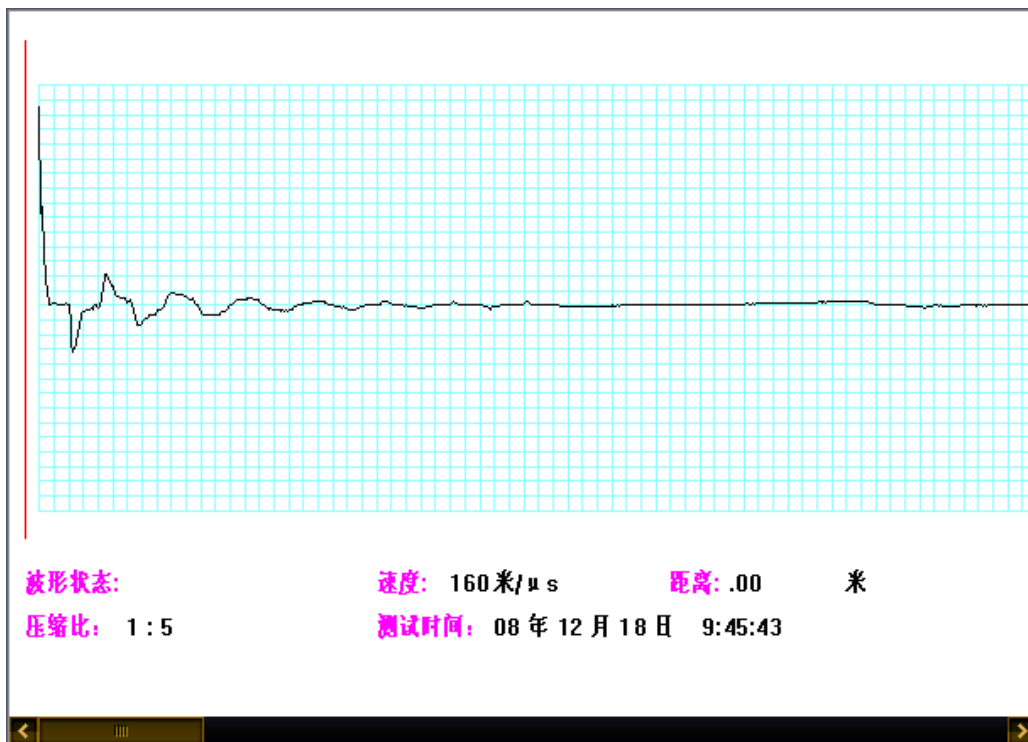
电邮: 393776469@qq.com

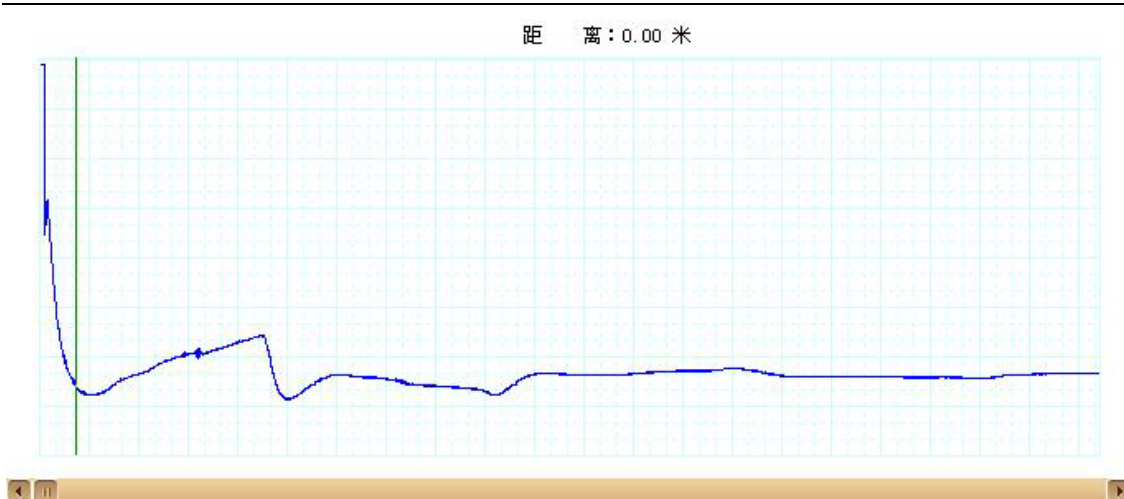


五、高压闪络电压取样故障波形的可读性分析

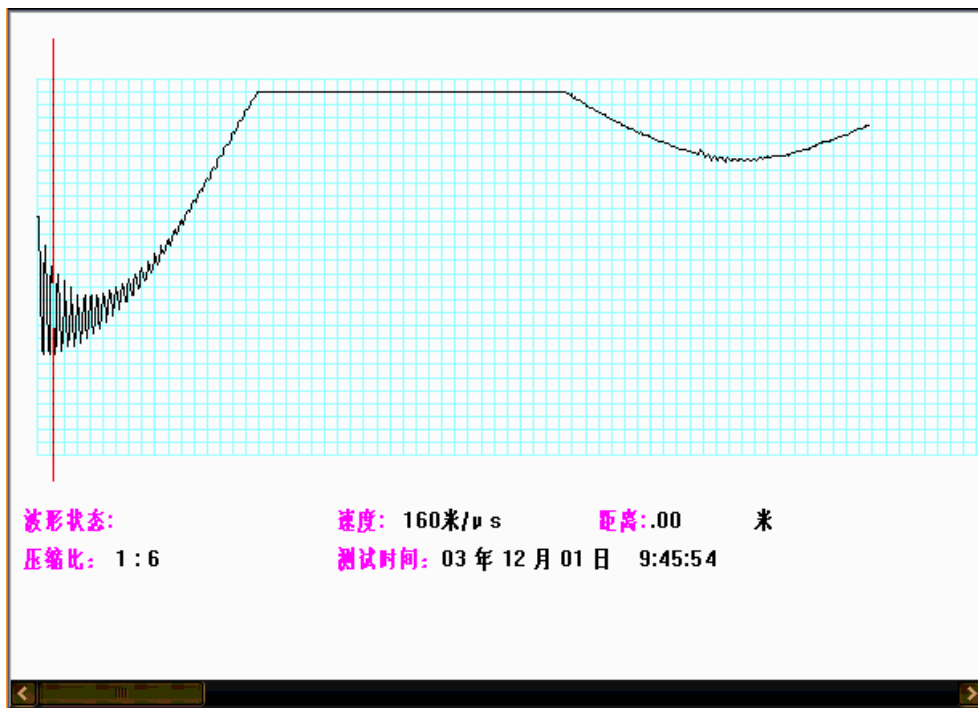
仪器采集到波形后，先不必急于判断故障距离，应首先进行整体压缩，进行波形的可读性判别。如整体趋势为一直线，则说明故障点处未形成闪络电弧，仪器采集到的波形进行故障距离判断无任何意义；如整体趋势为一余弦振荡，说明故障点处已形成闪络电弧，可将波形展开，并进行故障距离判断。

故障点处未形成闪络电弧波形压缩如图所示

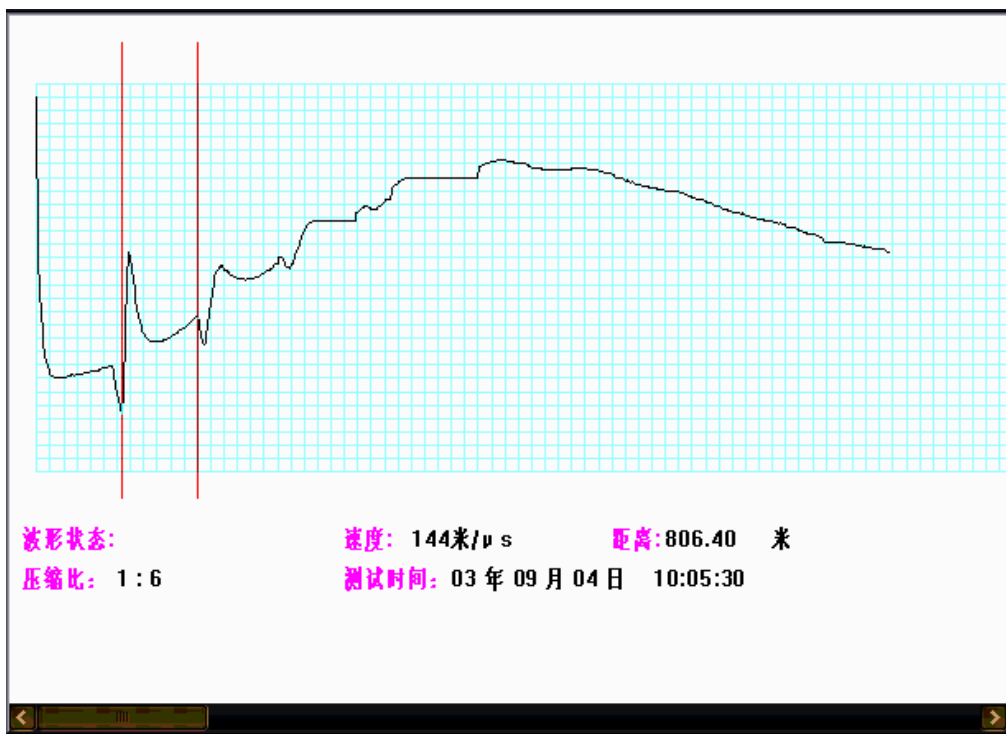




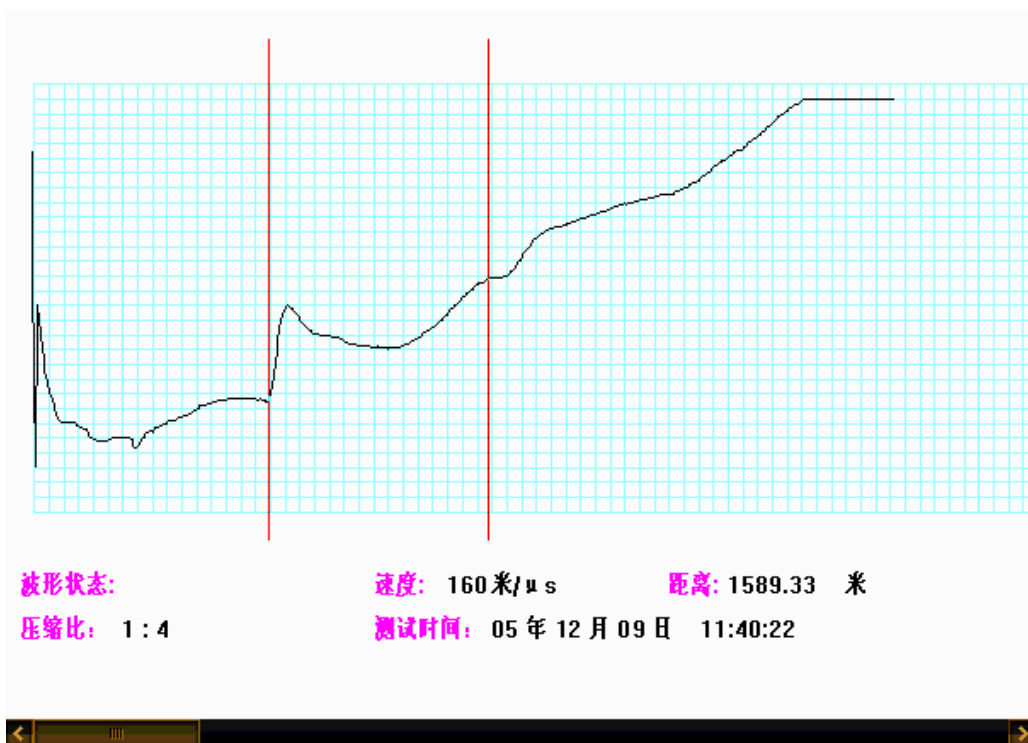
故障点处已形成闪络电弧波形压缩如图所示



波形点评: 整体趋势为一余弦振荡, 且非常明显, 上面平线为仪器限幅所致。



波形点评: 整体趋势为一余弦振荡。



波形点评: 整体趋势为一余弦振荡，因振荡周期较长，仪器存储数据有限，所以只能看到振荡周期的一部分。

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

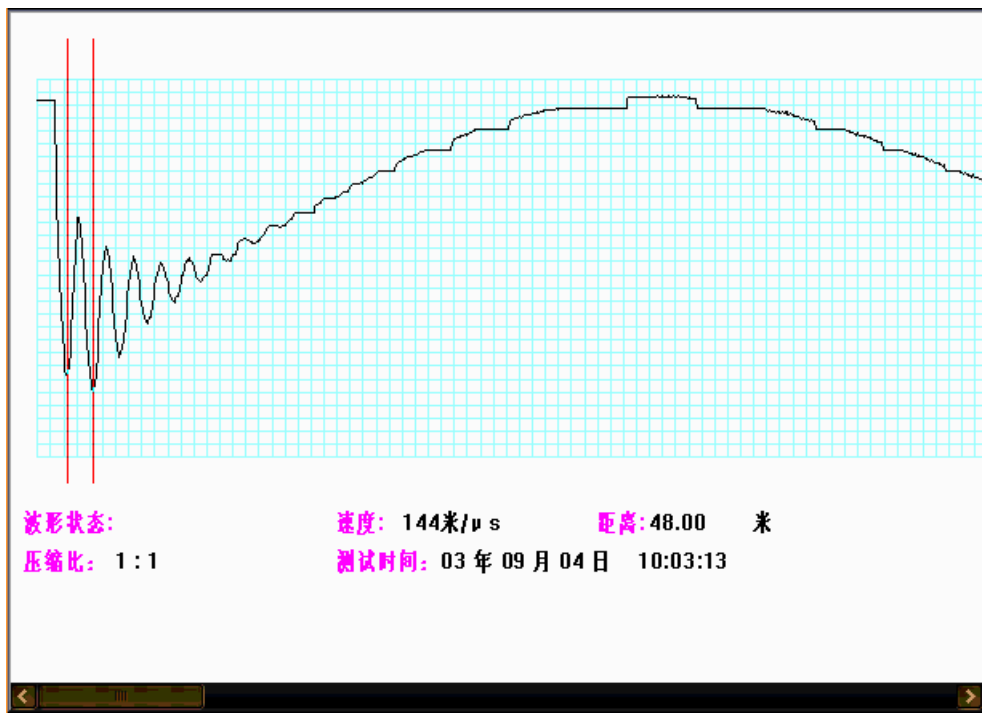
传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



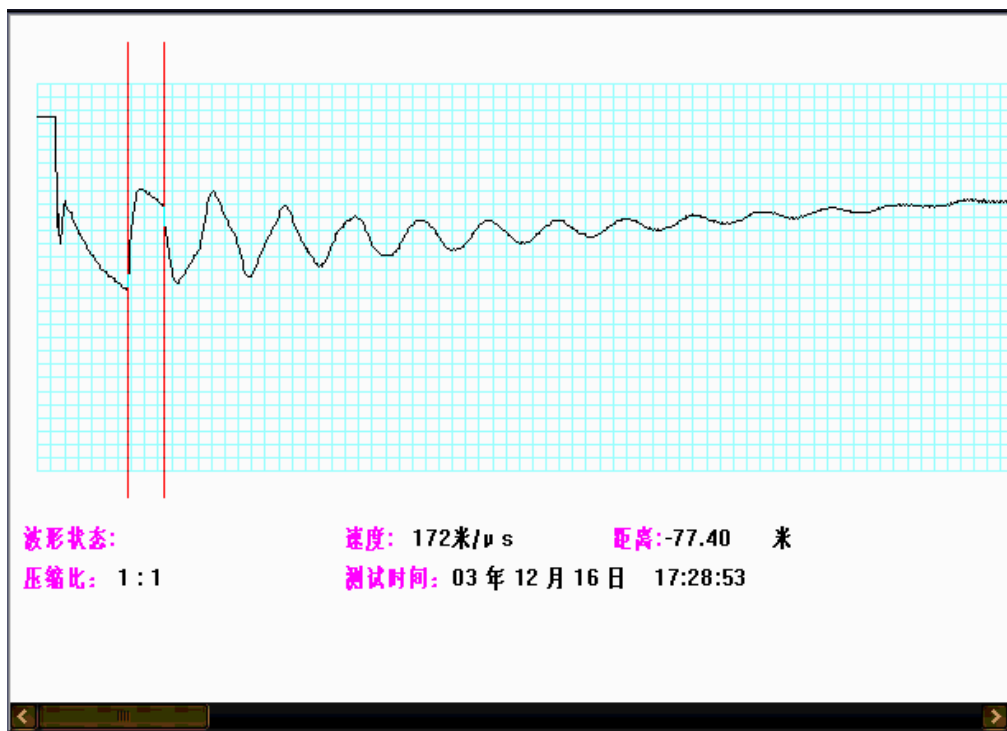
六、高压闪络电压取样（冲 L 法）故障点在不同距离的故障波形分析

2、故障点在 100 米以内的波形如图所示

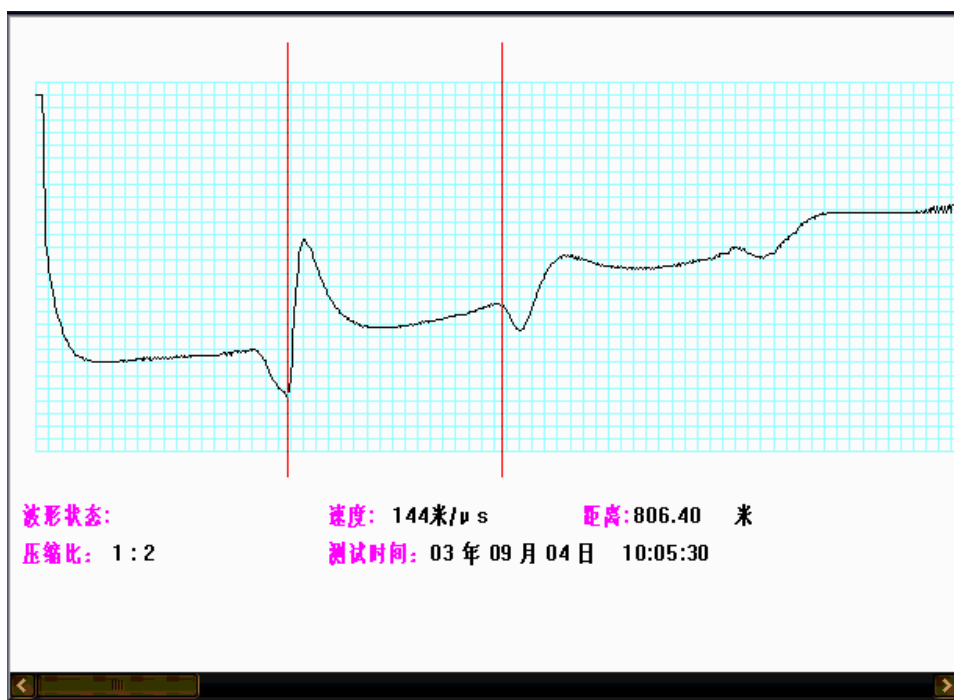
起点离终点两拐点距离特别近，请注意判别后拐点，否则易造成错误判断。



波形点评：因故障距离较近，所以读两个周波，读出距离后除以 2 即故障点距离，可用回路法或在另一端测试进行验证。



波形点评: 波形较标准。



波形点评: 波形较标准。起点、终点两拐点都较易判别。

4、故障点在 1000 米以上的波形如图所示

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

电话: 029-82253065 82253128 转

服务热线: 13709207268 (何先生)

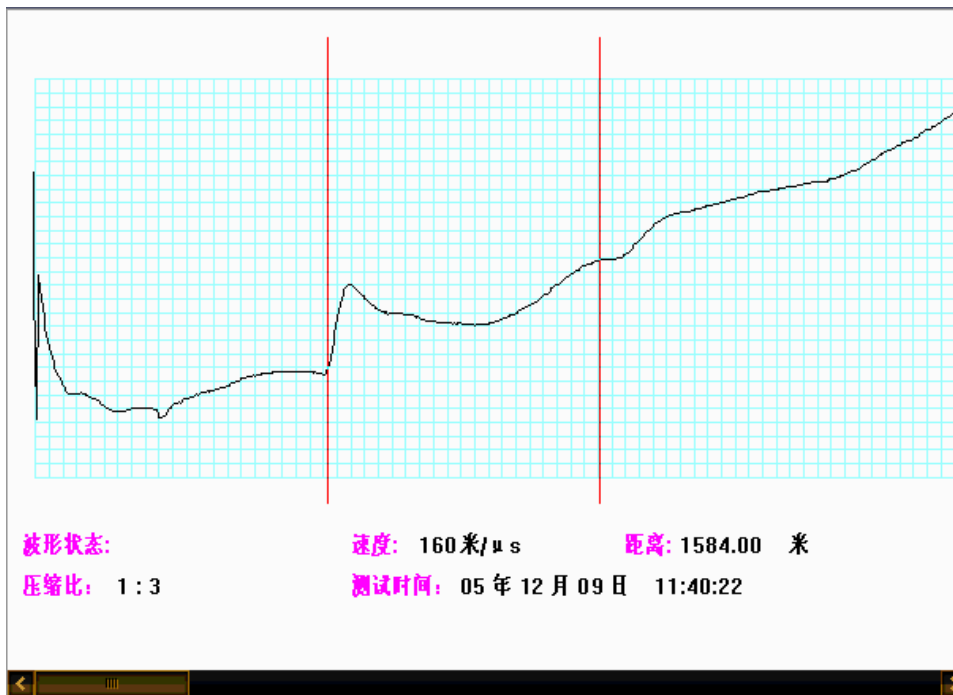
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311

电邮: 393776469@qq.com



终点拐点有的较易判别，但有的因电缆损耗较大，所以终点拐点精确判断不易，只能大体判断。



波形点评：还算标准。

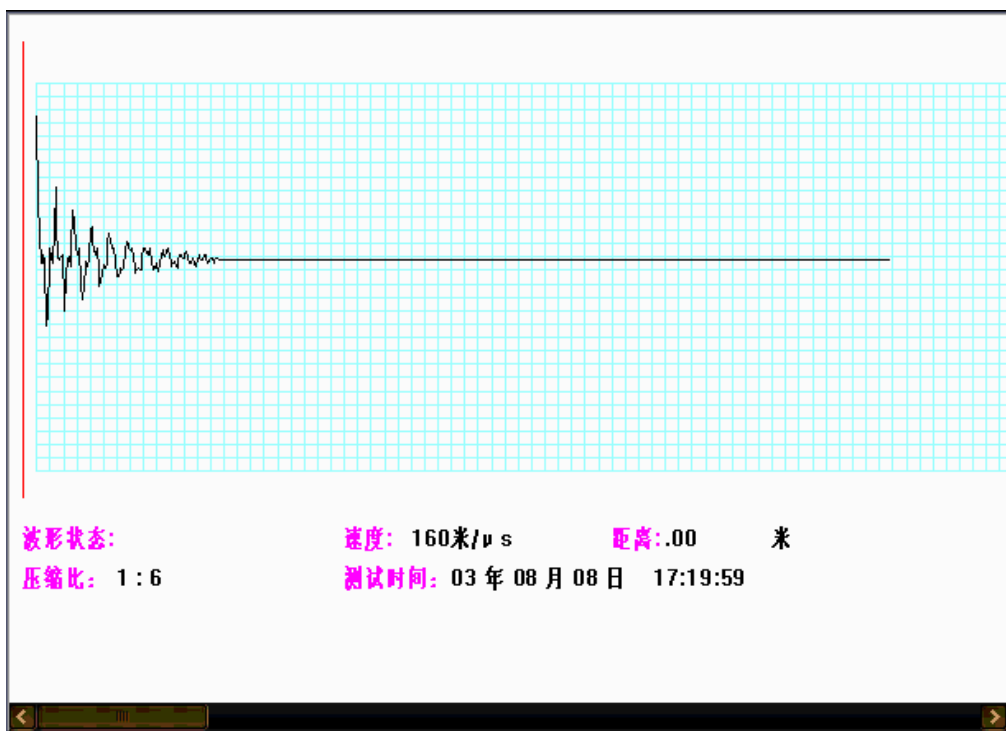
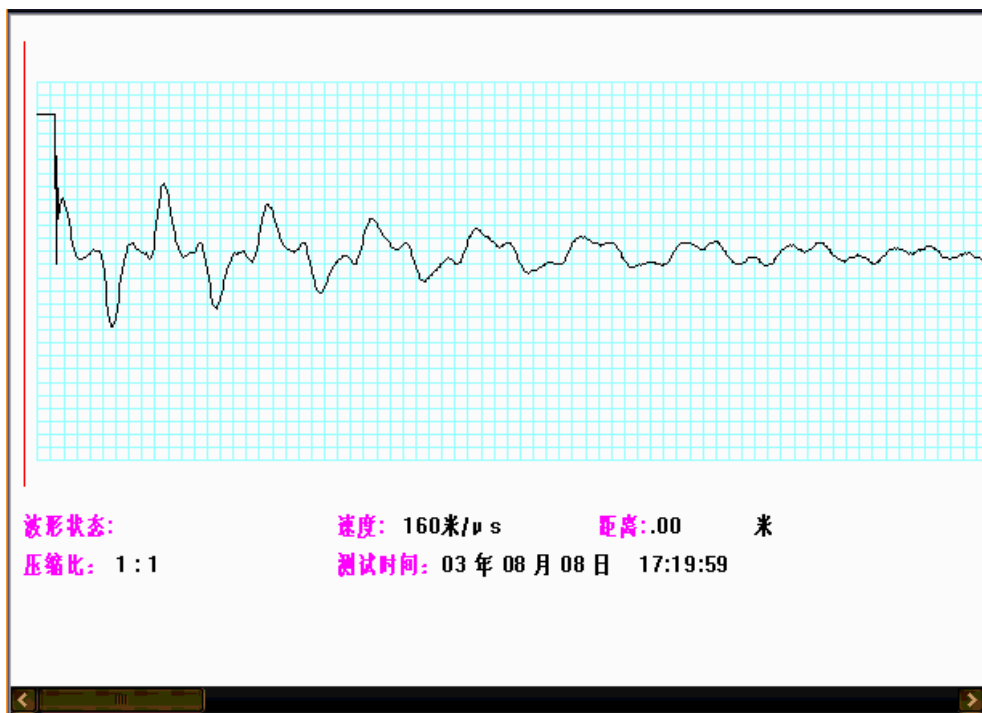
八、高压闪络电流取样波形

高压闪络波形的电流取样是这几年从国外引进的方法，因取样信号与高压无直接电的联系，所以，此法有对仪器的安全有很大保障。不象电压取样对测试的地线接法有严格要求。

但经多次现场测试，此法距离的准确性上与电压取样相比，不如电压取样。

如图所示

未放电波形



已放电波形，波形正

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

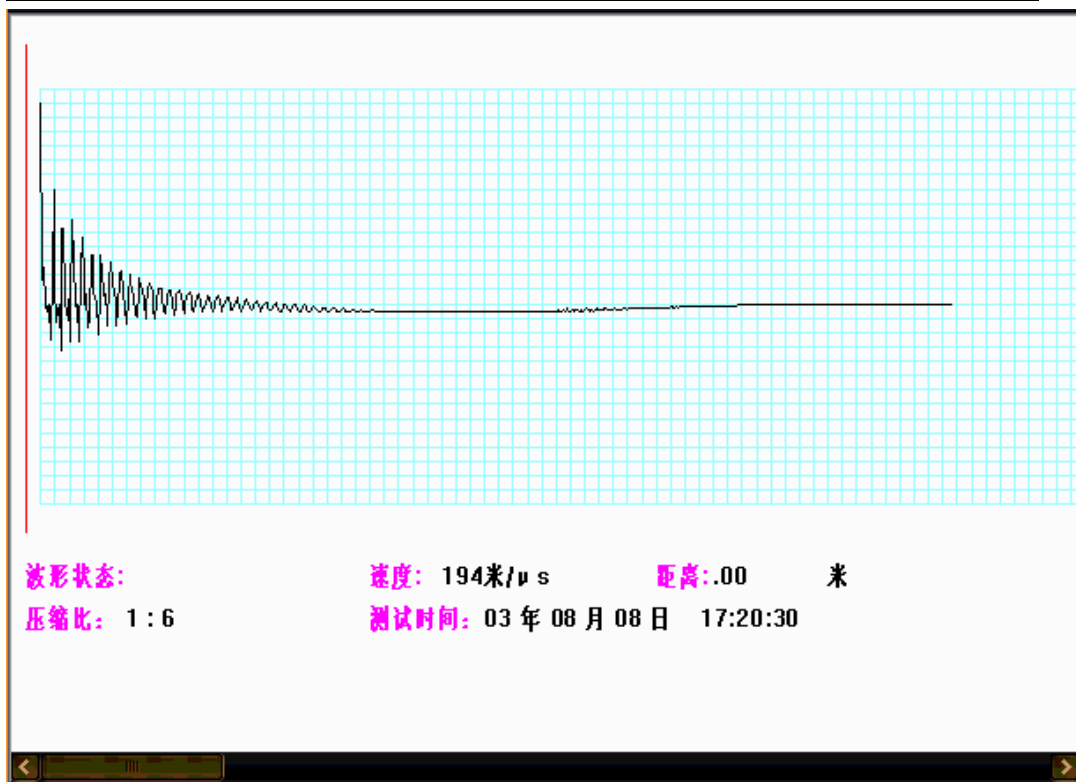
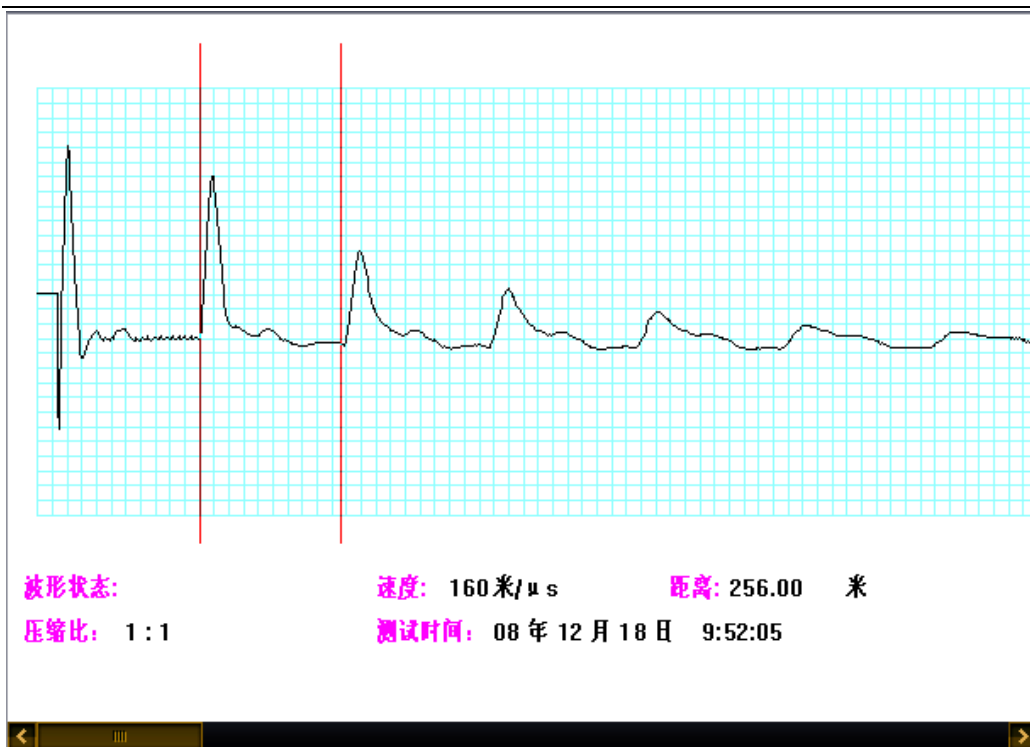
电话: 029-82253065 82253128 转

服务热线: 13709207268 (何先生)

网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311

电邮: 393776469@qq.com

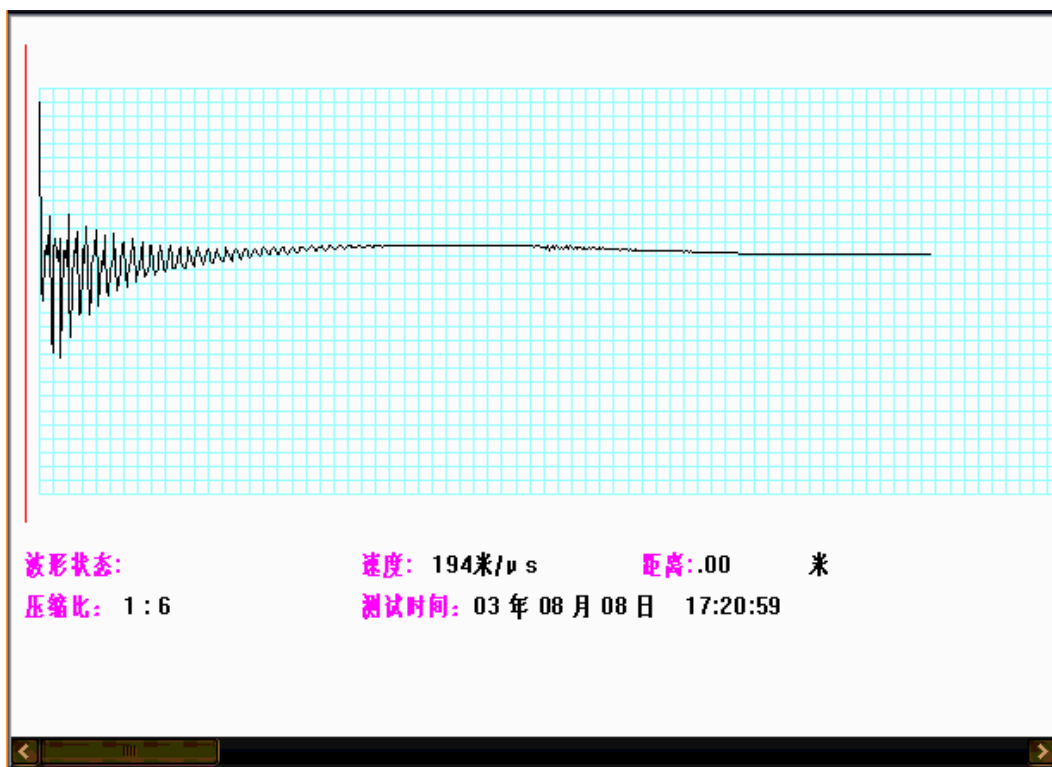
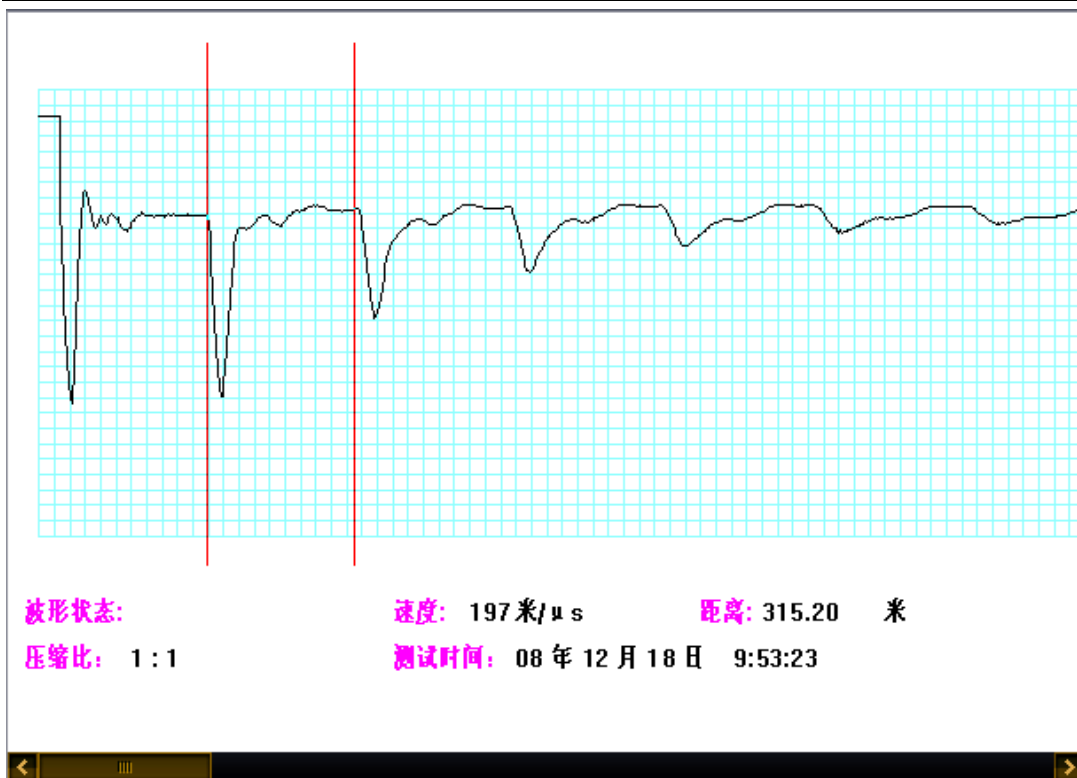


已放电波形，波形反

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



九、二次脉冲（多次脉冲）波形

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

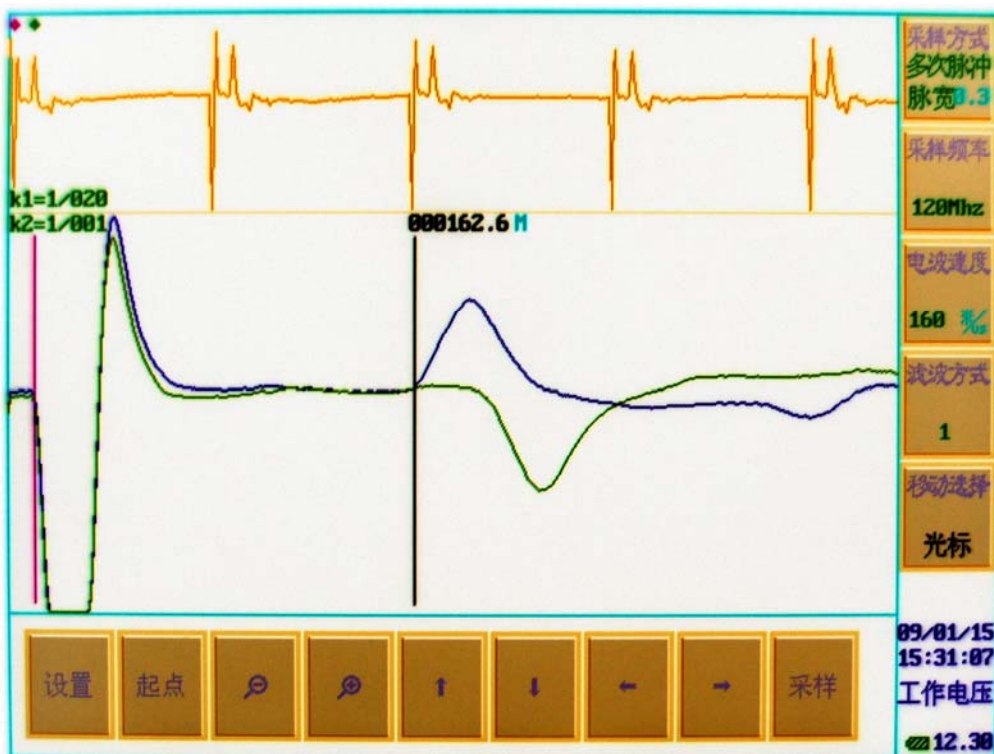
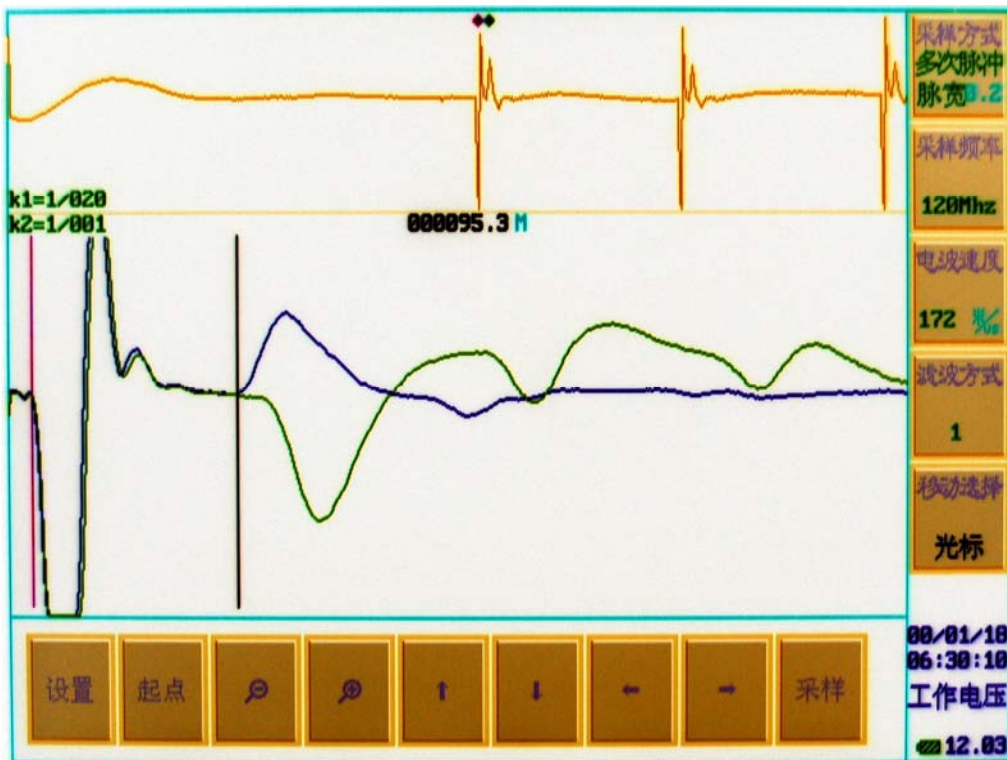
电话: 029-82253065 82253128 转

服务热线: 13709207268 (何先生)

网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311

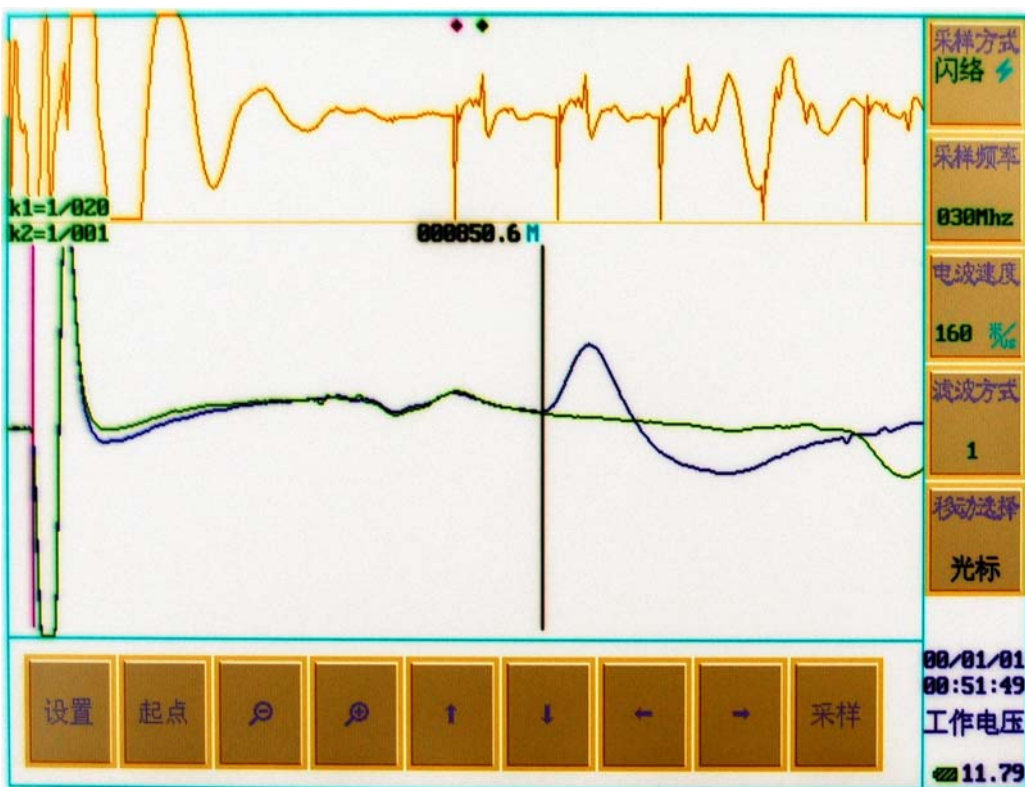
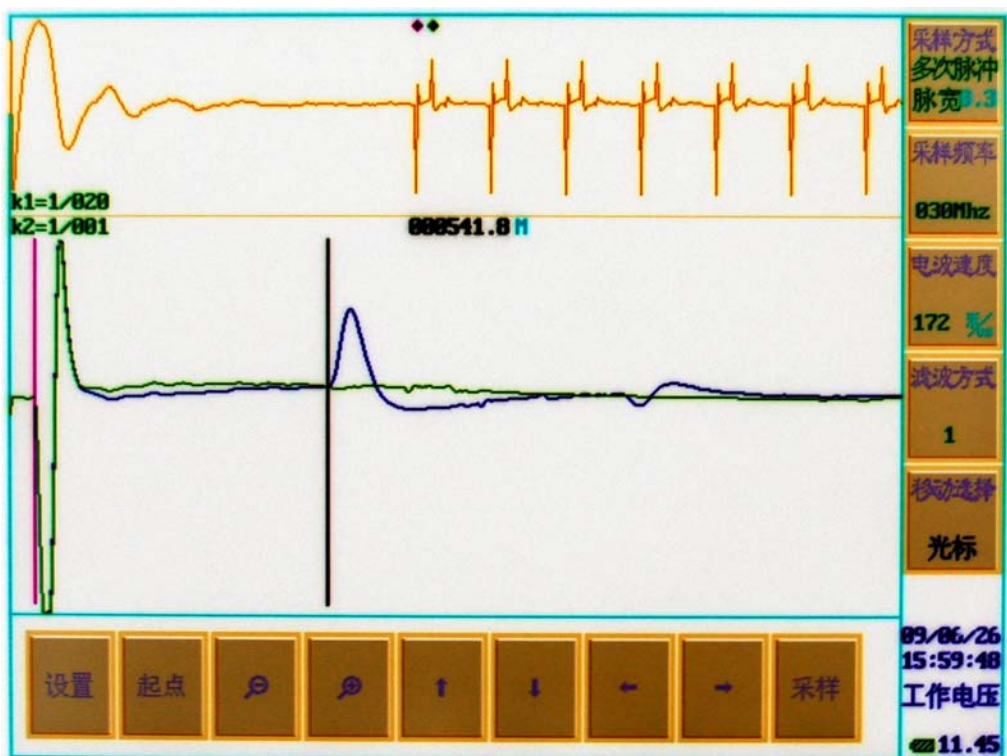
电邮: 393776469@qq.com



陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

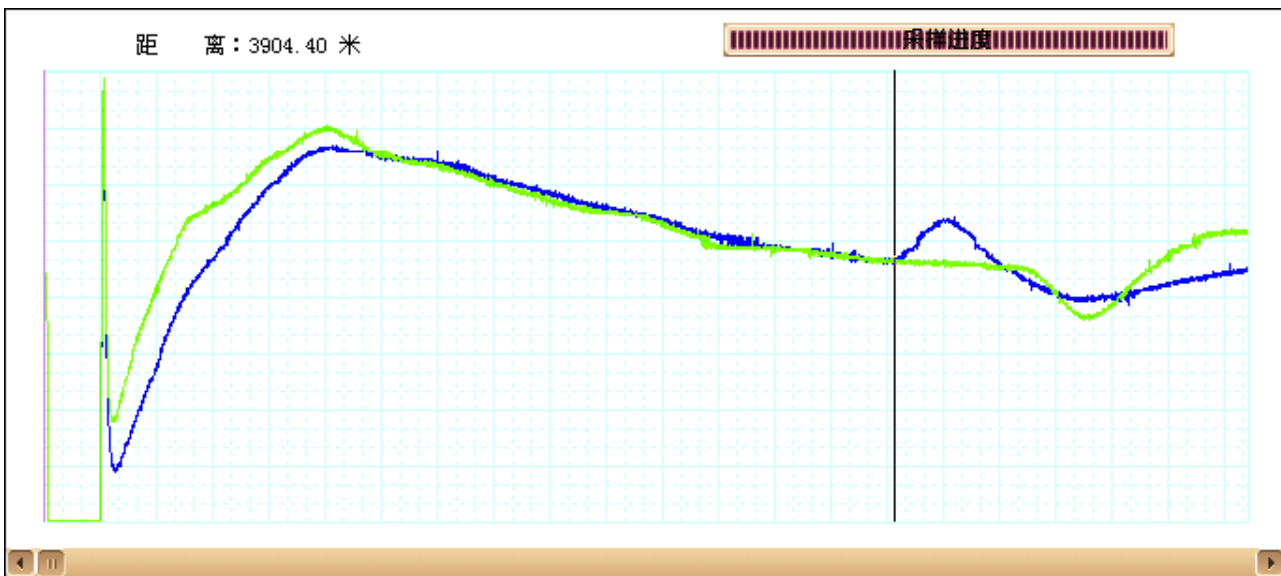
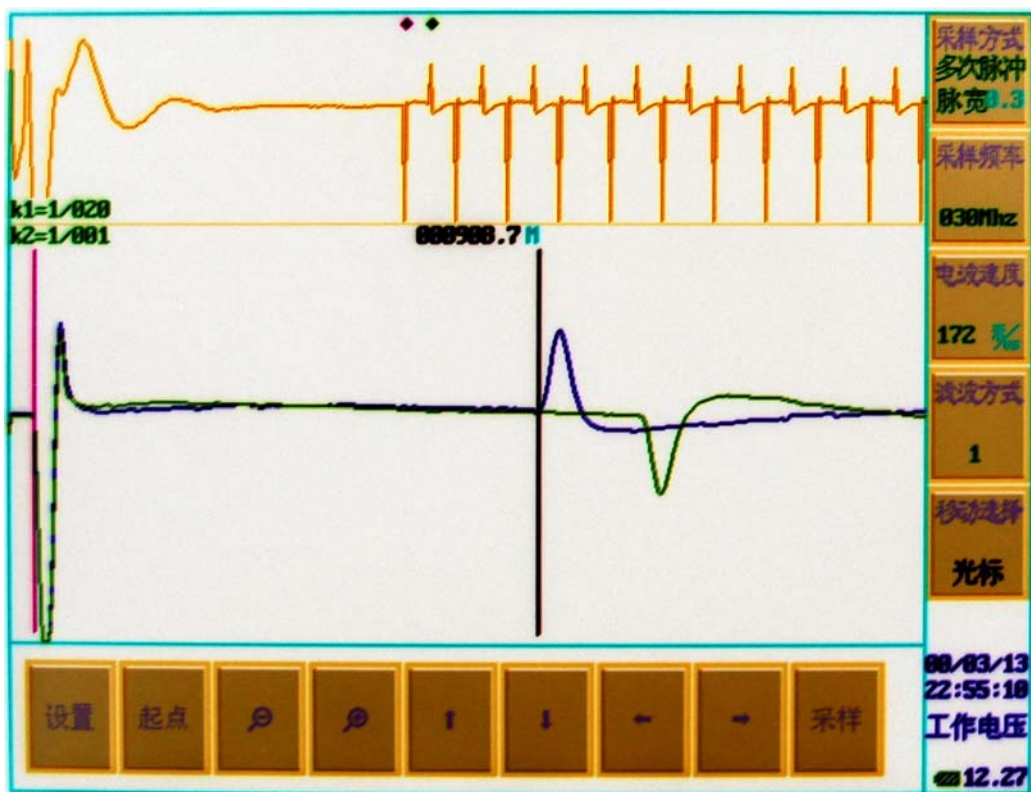
传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话: 029-82253065 82253128 转
服务热线: 13709207268 (何先生)
网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311
电邮: 393776469@qq.com



因二次脉冲（多次脉冲）波形较简单，此处不再多述。

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

电话: 029-82253065 82253128 转

服务热线: 13709207268 (何先生)

网址: www.sxyida.cn

传真: 029-82218311

电邮: 393776469@qq.com



第四章 电缆埋设路径的寻测

在对电缆故障进行初步测距之后，要根据电缆的路径走向，找出故障点的大体方位来。只有在故障电缆的正上方定点，才有可能定出故障点的具体位置。由于有些电缆是直埋式或埋设在沟道里，而图纸资料又不齐全，不能明确判断电缆路径。这就需要专用仪器测量电缆路径。在地下管道中，往往是多条电缆并行排列，还需要从多条电线中找出故障电缆。

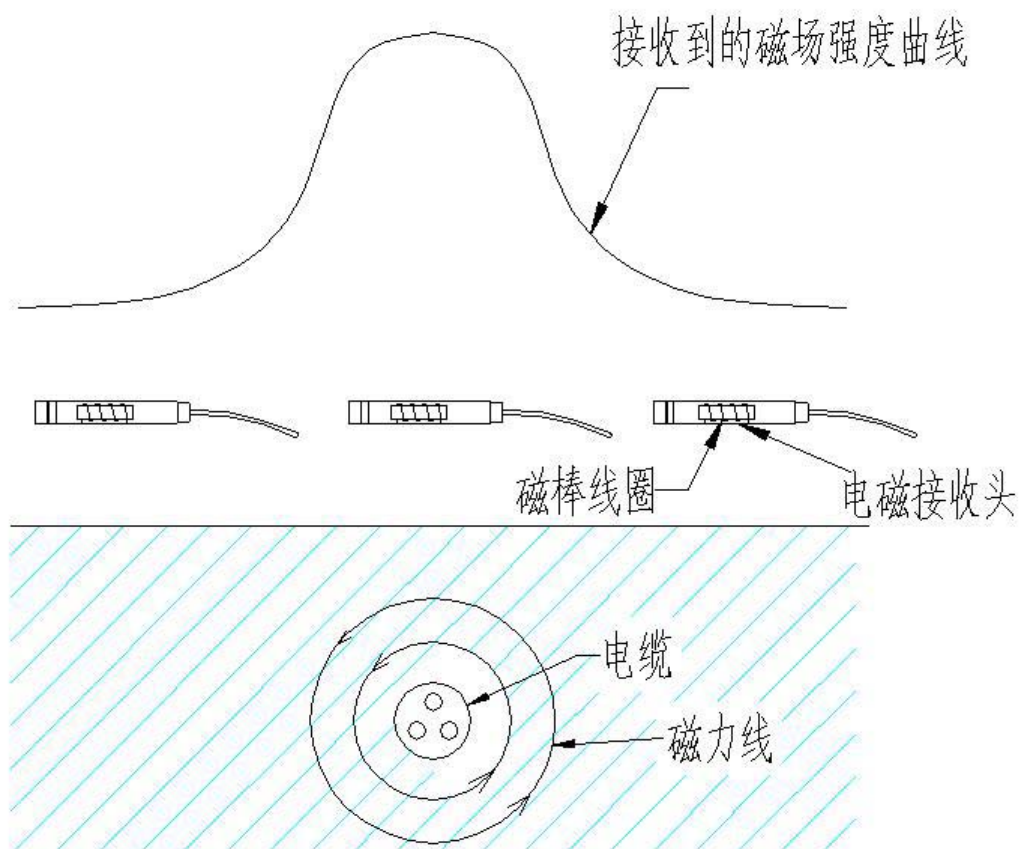
电缆路径的音频感应探测法：

一、路径测量原理：

用信号发生器在电缆始端向被测电缆输入音频信号电流，利用磁性天线接收线在地面上接收磁场信号，在线圈中产生出感应电动势。经放大后，通过耳机、电表指针或其他方式进行监视。随着接收线圈的移动，信号的大小会发生变化。路径探测仪一般都是使用耳机监听信号的幅值，根据探测时音响曲线的不同，可判断出电缆路径。探测方法主要为波谷法和波峰法。

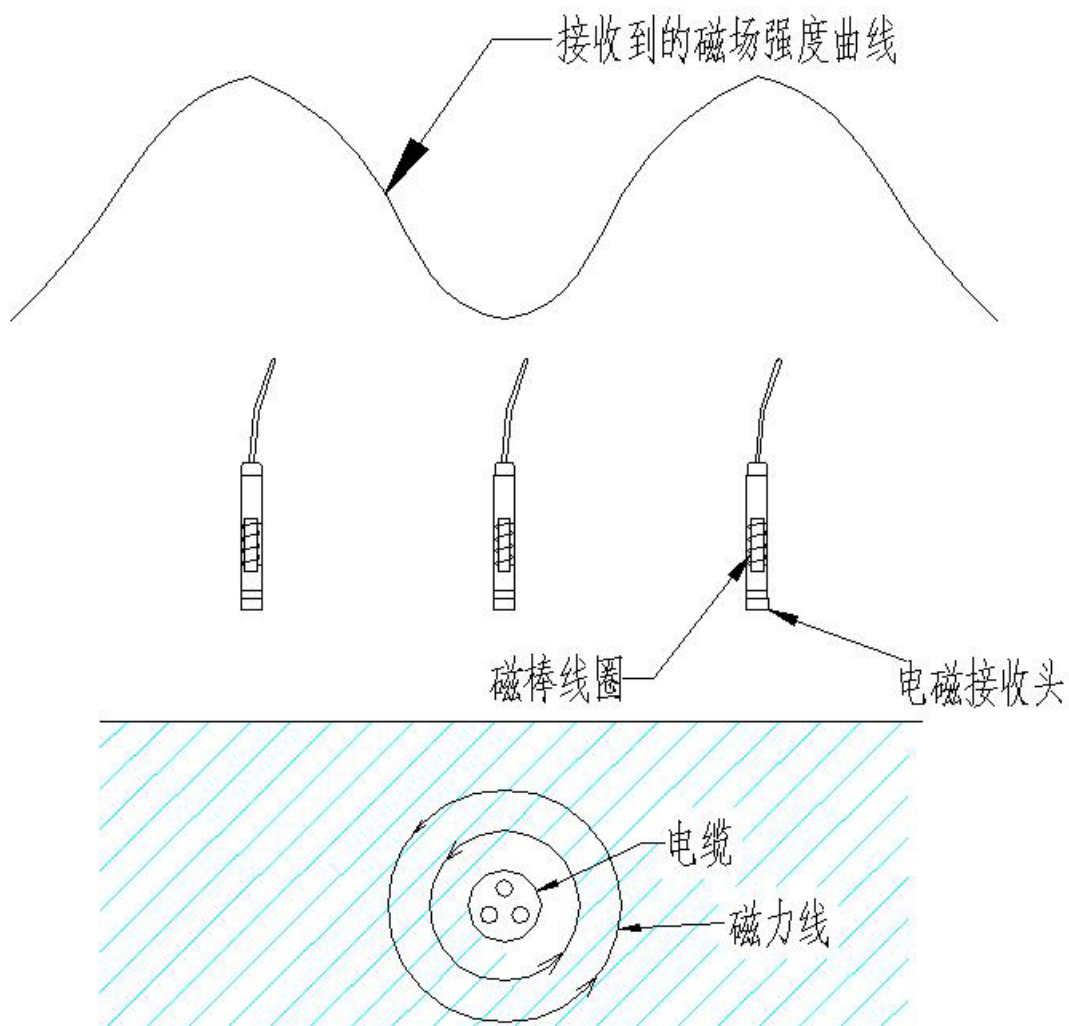
1. 波峰法测试原理如图所示。

在进行路径探测时，使磁棒线圈轴线水平于地面，慢慢移动，在线圈位于电线正上方且平行于电缆时，磁力线与线圈平面垂直，磁力线最大耦合的穿过线圈，线圈内感应电动势生最大，耳机中听到声音最大。然后将磁棒天线先后向两侧移动，在两侧就会只有部分磁力线穿过线圈，产生感应电动势，耳机中开始听到音频响声，随着磁性天线缓慢移动，声响逐步变小。在电缆附近，声响与其位置关系形成一单峰曲线，曲线峰点所对应的测试位置即电缆埋设的具体位置。在地面上将所有的峰点（声音最大点）连接起来就是电缆所埋设的路径。



2. 波谷法测试原理如图所示。

在进行路径探测时，使磁棒线圈轴线垂直于地面，慢慢移动，在线圈位于电线正上方且垂直于电缆时，磁力线与线圈平面平行，没有磁力线穿过线圈，线圈内无感应电动势生，耳机中听不到声响或声音最小。然后将磁棒天线先后向两侧移动，在两侧就会有一部分磁力线穿过线圈，产生感应电动势，耳机中开始听到音频响声。随着磁性天线缓慢移动，声响逐步变大。当移动到某一距离时，响声最大，再往远处移动，响声又逐步减弱。在电缆附近，声响与其位置关系形成一马鞍形曲线，曲线谷点所对应的测试位置即电缆埋设的具体位置。在地面上将所有的谷点（声音最小点）连接起来就是电缆所埋设的路径。

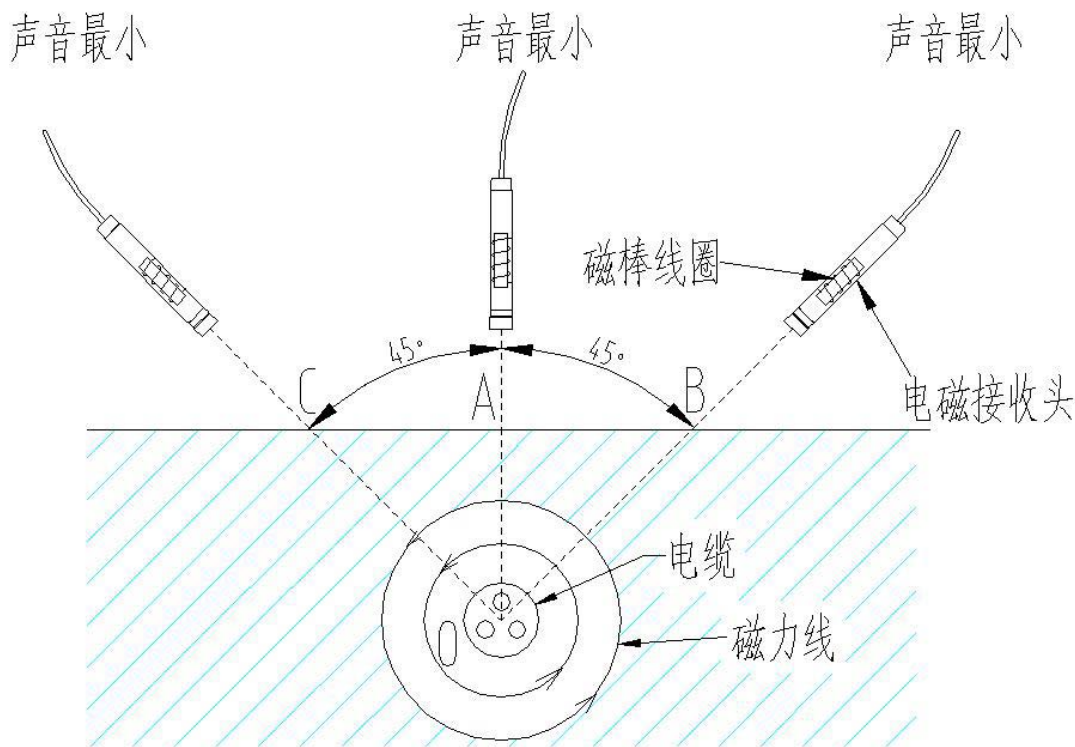


一般来讲，波峰法信号强且峰点宽，不宜受到相邻电缆的干扰，即便受到干扰，也容易区分。所以波峰法适用于刚开始发现电缆。

而波谷法谷点信号弱且谷点窄，易于精确定位，但容易受到相邻电缆的串扰，适用于最后的精确定位。

二、电缆埋设深度的测试

测试原理如图所示：



在电缆的导体与地之间通入音频电流信号。使电感线圈子磁棒垂直于地面，并放在被测电缆的正上方，找出耳机中声响最小（音谷）时线圈所处的位置，记下其所对应的地面位置 A ，然后将磁性天线靠近地面并使之与地面倾斜，成对 45° 度角（垂直于电缆的走向）并沿电缆向左或向右移动，找到音谷点 B 和 C 。在这两个位置上，线圈的轴线与磁力线垂直，穿过线圈的磁力线最少，耳机中听到的声音最小。两个音谷点 B 或 C 与电缆所在点 O 之间的连线 BO 和 CO 与直线 AO 之间的夹角为 45° 度，三角形 AOB 和 AOC 为直角等腰三角形， $AB=AC=AO$ 。因此，电缆正上方音谷点 A 与另外两个谷点 B 或 C 之间的距离即等于电缆的埋设深度。

三、路径寻测时的技巧

由于一般的电缆都有屏蔽层。如果将路径信号加在电缆的芯线和外皮之间，因电缆外皮的屏蔽作用，地面的电磁信号很弱，将大大影响路径探测距离。要探测长距离路径，势必加大路径信号产生器的输出功率，效果还不一定好。在信号源输出功率一定的情况下，应将电缆两端的接地线与系统地断开，信号源的输出电缆芯线接电缆外皮，输出电缆地线接系统地。相当于把整条电缆当做辐射天线，这就大大增强了电缆的地面辐射，可以探测到很远的电缆路径。



值得注意的是，电缆辐射增强了，附近的电缆也会感应到路径信号。有可能寻到别的电缆路径上去。解决的方法是：1、适当减小路径信号的输出功率；2、从被测电缆的终端往回找路径。3、用波峰法（注意观察表头幅值摆幅大小），使磁棒线圈轴线平行于地面并垂直于电缆，慢慢两侧移动，在线圈位于电缆正上方且垂直于电缆时，磁力线与线圈平面垂直，磁力线全部穿过线圈，线圈内有感应电动势生，耳机中听到声响或声音最大。然后将磁棒天线先后向两侧移动，在两侧就会有少部分磁力线穿过线圈，产生很少感应电动势，耳机中开始听到很少音频响声，随着磁性天线缓慢移动，声响逐步变小。这样就有效地避免了其余电缆感应辐射信号的干扰。不会走错路径。

第五章 定点（精确定点法）

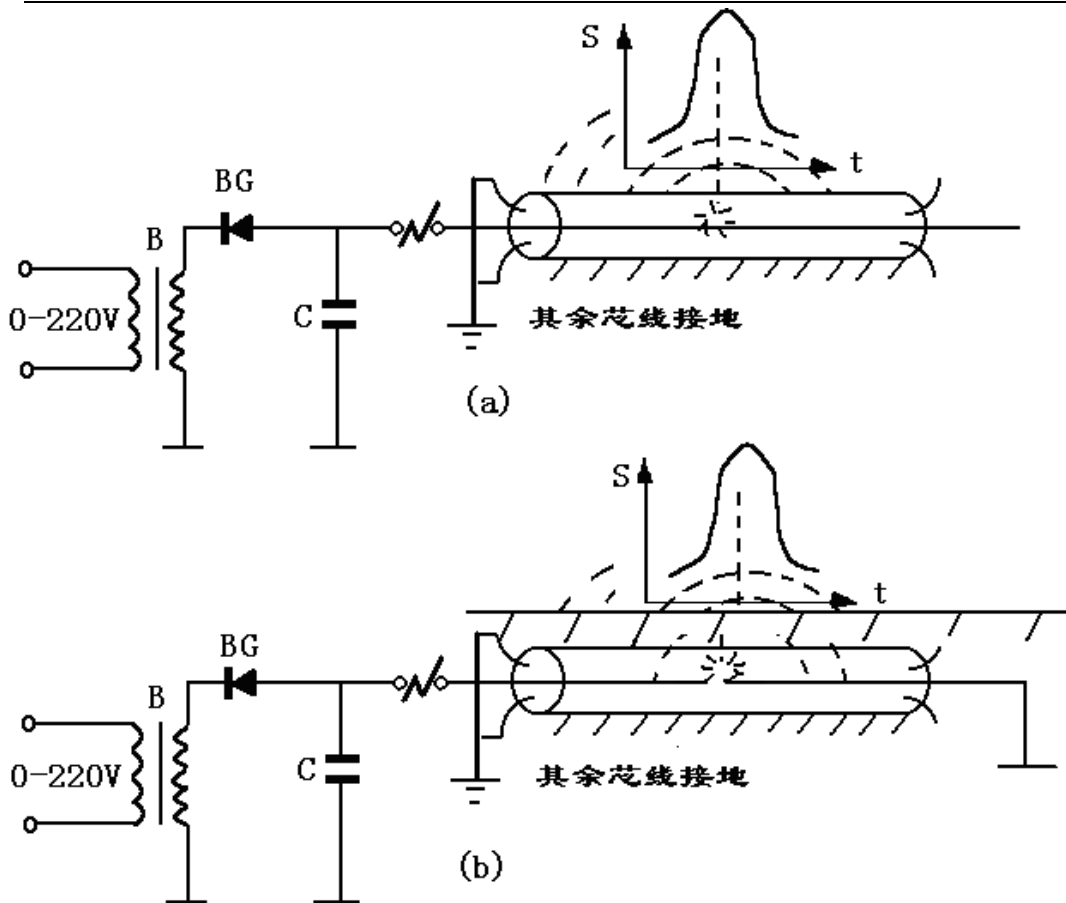
在长期的实践中人们发现，给故障电缆加上一个幅度足够高的冲击电压，故障点发生闪络放电的同时，还会产生相当大的“啪、啪”放电声，这种声音可传至地表面。利用这种现象来定点就可以十分准确地将故障点寻测出来而没有任何误差。

冲击电压产生的方法与冲击闪络法产生冲击电压的方法基本一样，只是除去距离测试设备，别的故障相同时接地。

冲击放声测法的接线原理如下图所示。

下图冲击放电声测法接线原理图

(a)相-地故障连线示意图； (b)断路故障连线示意图



利用定点仪寻测故障点，一般是在闪测仪粗测后，已确定大概的距离，并且电缆路径已探测完毕的基础上进行的。一方面在电缆上加冲击高压使其闪络放电，另一方面用定点仪的探头在概略估计的故障位置上沿电缆路径测听。在听到故障点放电声后还要沿电缆路径寻测最大发声处。只要找到最响点，土层挖开即是，一般是不会错的，除非声音是从电缆穿管、排管中传出造成误差。

在冲击放电声测法的实际测试中，往往由于环境噪声的干扰而增加辨别的困难。这就要求电容放电设备能产生周期稳定、功率强大的放电脉冲，使定点的人能据此区别环境噪声脉冲干扰。

在实际定点中，由于人们远离电容放电设备，往往听不见球间隙放电时从空气中直接传来的声波。当尚未听到由故障点放电传出的地震波时，心情往往会急躁起来，甚至会怀疑放电设备没有工作。有时在有脉冲声源的干扰背景中往往需要知道自己听到的声波是否与放电设备的放电周期同步，否则就无法作出最后的判断。在这样的情况下就需要进行同步定点。

采用冲击放电法时，除在故障点产生放电声外，还会产生高频电磁波向地面辐射。这一个电磁波在地面可用磁性天线接收到。可将其转换成电压信号加以放大，再用一显示元件表示出来。这就给定点仪的同步接



收法创造了条件。

利用同步接收法定点时，如听到地震波的同时，又显示出故障点放电电磁波的存在，证明放电设备正在工作。只要地震波信号和电磁波信号能同步起来，则说明听到的地震波是可信的，故障点就在附近。

第六章 在实际测试中遇到的各种具体问题

一、两个或两个以上的故障点

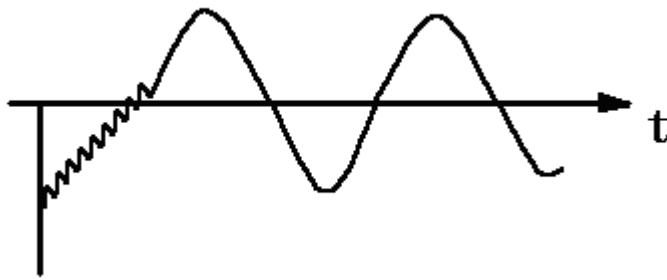
高压电缆同时出现两个或两个以上故障的机会很少。一般情况下只有在处理完第一个故障后，进行预防性试验时才会发现第二个故障。对于低压电缆或长距离电缆，出现两个或两个以上的故障的机会就比较多。但往往也首先发现一个故障。在做高压冲击闪络测试时，测试电压从低到高，首先击穿的是抗电强度最弱的故障点，处理完第一个后再处理第二个，依此类推。

二、故障点近始端的故障和长电缆故障点在远端的波形判别

如果故障点十分靠近测试端，波形较复杂，难于判断距离，且读数误差较大。或电缆较长而故障点又在远端，回波拐点十分圆滑，难于精确判断故障距离，可将冲击高压设备移至终端，即可使波形更便于分析，较为精确读出故障距离。如果故障点十分靠近测试端，定点时，由于球间隙的放电声会干扰故障点的震动声，也可将冲击高压设备移至终端，或将放电球放在终端的好相和故障相之间，直流高压经好相回在放电球隙上，进行冲击闪络，在测试端进行精确定点。

故障点就在测试端电缆头或接近测试端(10~30m)时，要精确读数往往是很困难的。

下图故障点在测试端头的大余弦振荡测试波形

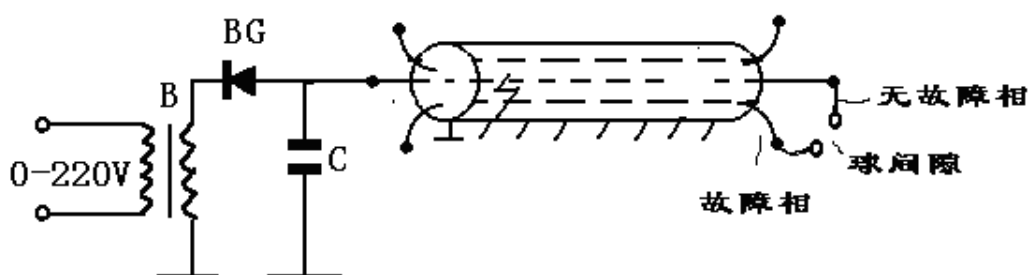


因为前面一个回波会影响后面一个回波的波形，使整个波形比较混乱。故障点越靠近测量端，波形中的快速过程振荡就越密集，如果故障点就在电缆端头上，波形中就再不会有快速尖脉冲存在，而几乎是一典型的光滑的大余弦振荡波形（由于引线的杂散电感分布，在大余弦振荡的前一部分也可能有十分模糊、无法辨清的毛刺），如上图所示。

对于近距离故障，波形的读数精确与否是有相当技巧的。为了更精确些，可以读小振荡的周期数或反射波的次数，再简单换算一下便可求出故障距离了。

近距离测试时估计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。此时应将球间隙移至故障电缆终端，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发声引起的干扰，便于判断故障点的地震波。具体接法见下图所示。

下图球间隙放在终端产生冲击高压的接线图



四、高压闪络时高压设备供给的能量计算



由高压设备供给的能量可由下式计算：

$$W=1/2 \cdot C \cdot U^2$$

由上式看出，高压设备供给的能量 W 与贮能电容量成正比，与所加电压的平方成正比。

所以当遇到故障点较难击穿故障，而且测试困难时，加大贮能电容器容量 C 或提高冲击电压 U ，往往很快便获得成功。

一般冲击高压发生器所配的储能电容仅有 1 微法，基本够用。但是有时现场定点时，故障点的放电声特别小，加高冲击电压在地面也无法听到地震波。此时应考虑加大储能电容的容量。按照能量公式，电容量加大一倍，冲击能量将加大一倍。容量加得越大，冲击能量越大。地面能测听到的地震波越强。越有利于现场快速准确定点。在有条件的情况下尽量加大储能电容。最为理想的容量为 2~5 微法。

五、电缆波速的设定

不同介质种类的电缆，其中的电波传播速度是不一样的。虽然一般的电缆故障测试仪都已经预设了常见电缆的波速，这只是该种电缆的平均波速。各厂家生产的同种电缆波速各异，而各种电缆的波速相差比较大（100 米/微秒到 200 米/微秒之间）。如要求较为精确的读数，往往要进行现场重测波速。而且一些特殊电缆（如橡套电缆、控制电缆、通信电缆等）的故障测试必须在现场首先测定波速后再输入电缆仪，才能保证测试的准确性。

如要精确测定某电缆的故障距离，在有条件的情况下应该首先找一根已知精确长度的同种电缆，按说明书要求测出该电缆的电波传播速度，并输入电缆仪，就可以较精确定位故障距离了。千万不能用一种电缆波速测试其他种类的电缆，否则测试误差太大，定点困难。

六、故障点发生在电缆本体或接头处的判断

故障点发生在电缆本体，一般来说是容易判断的，无论用直闪法或冲闪法，都会出现较典型的测试波形。但是如果故障点发生在电缆的中间接头或终端头时，往往会发生判断困难，而且还可能出现一些难于见到的怪现象一时无从解释。所以有必要把接头、端头处故障中易发生的问题简略谈一下。



常见的电缆接头有四种：环氧树脂接头、沥清接头、充油接头和热缩接头。往往由于做接头时的拙劣工艺而使接头内部存在空气泡、电裂纹及有害杂质，造成事故隐患，在环境温度、湿度、负荷超载及加 5 倍正常工作电压作预防性试验时形成故障。电缆头（对接头、终端头）出现了故障，在测试时有可能发生如下几种情况：

- (1)粗测时，开始故障点电阻值较低，无法作耐压试验，而加上冲击高压后，绝缘电阻会越来越高，而且用闪测仪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，但是闪测仪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，泄流特大，冲闪电压加到 3 5 k V 还未出现故障回波。

一般在测试时如出现如上反常现象，则均应考虑到故障点可能发生在接头处，应用特殊的方法来处理。如用高压冲击电流“烧穿”，或加大储能电容的容量，提高冲击电压，采用终端测试法等等。

七、电缆故障点受潮对观测波形的影响

由于故障点外皮破损（电缆放炮或外力破坏）未及时处理，而故障点又处在水位较高地段，会使电缆故障点进潮气或水汽。此时电缆的绝缘电阻较低，往往只有数百千欧～数十兆欧。是高阻故障但又无法被冲高压充分击穿，故障点只有泄漏而无电闪络现象。因此，无论冲闪法或二次脉冲法均无法观测到故障点回波。此时应考虑到电缆受潮的可能。解决方法是尽可能提高冲击高压幅度，实在不行，可改用高压电桥进行粗测。由于冲闪时受潮故障点有放电声。如果电缆不长，可直接沿线用声测法定点。

八、两种不同导体截面（不同介质）连接的电缆对波形的影响

由于接头处的阻抗不匹配，用脉冲法或闪络法测试时，会在接头处产生波的反射，导体截面积相差越大，反射越强。细电缆向粗电缆过渡，回波的极性与发射脉冲的极性相反，类似断路故障波形。粗电缆向细电缆过渡，回波的极性与发射脉冲的极性相同，类似短路故障波形。值得注意的是，有上述波形的电缆，故障点不一定在接头处。可将接头反射波视为一种固定干扰波，要与故障回波仔细加以区别。



九、粗测故障距离与地面距离的差异

电缆仪初步测出的故障距离仅代表电缆在地下的长度。由于一般电缆的埋设时在电缆的端头和中间接头处都有预留长度，且无法确切知道预留长度的精确值。所以，决不可以按粗测距离在地面度量后定位。地面距离一定小于仪器读数距离。此误差不可避免。

有的单位把地面距离和粗测距离相比较，两数不能吻合就认为仪器误差大，这个概念是不对的。

在现场定点时，一般应在粗测故障距离读数的基础上，以地面度量距离处为准，向测试端返回数十米，在 20~30 米的范围内仔细测听定点。

十、在作冲击高压闪络测试时冲击电压的选择

在使用冲击放电声测法时（包括冲击闪络测距），应注意电缆电压等级。一般情况下，冲击电压的幅度不应超过正常运行电压的 3.5 倍。即 10 kV 电缆所加的冲击电压不应超过 35 kV，6 kV 电缆不应超过 21 kV。

十一、定点时容易误判的几种情况

1、交联和塑料电缆高压打火时有时会出现全线都有微弱的响声（油浸纸电缆无此现象），此问题是由于交联和塑料电缆外绝缘较好，钢铠与大地有电位差造成的。出现此现象时，用户应注意，不要把此现象误判为故障点的响声。一般，故障点的响声应比全线都响的声音大一些。

有些接头由于电动势的作用下也易产生一些声响，还有些接头的地线也有打火现象。用户应以测试出的距离为依据，不要被这些假象所迷惑。

2、当故障点在钢管（铁管）内时，由于钢管（铁管）的传声作用，故障点不易判断，用户应加以注意。



十二、金属性短路（接地）故障的定点

此类故障距离容易确定，但一般无法在现场利用声测法直接定点。解决的办法是，利用电焊机低压大电流特点，在故障相和地线间施加低压大电流，点击几下便可将故障点由短路烧成开路，把短路故障转化成高阻故障，就可以精确定点了。

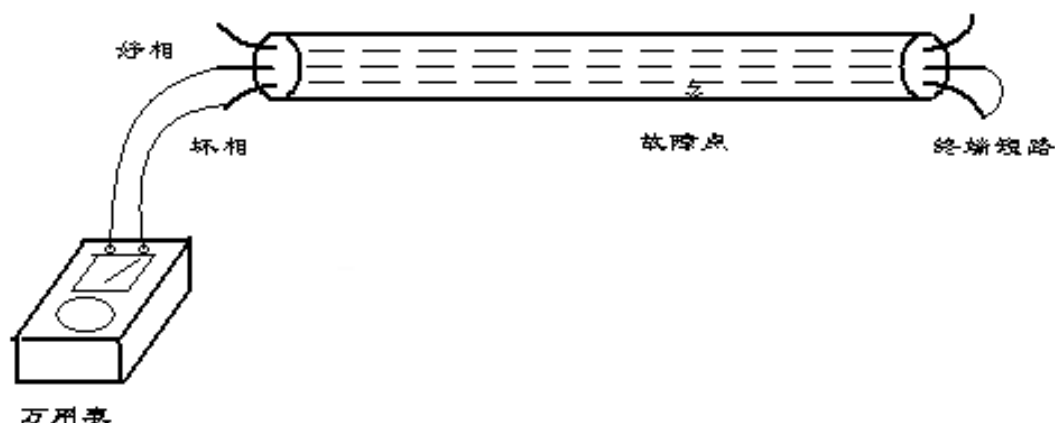
十三、故障测试接线

在做电缆故障距离测试时，如电缆多相都有故障，应在一故障相对地，或两相之间形成回路，别的不用相架空不连接；不要在多相间形成放电回路。这样，就不会有多点放电现象，波形就较易判断。而在做电缆故障定点时，如电缆多相都有故障，应在多相间及地间形成放电回路。这样，声音就比较大，容易定点。

十四、电缆断路的验证

当低压脉冲测试出的距离与电缆标长相差较大时，则此相可能断路，可作如下验证：

- 1、将另外两相也用相同的脉冲宽度进行低压脉冲测试，与原先所测波形进行“波形对比”，如对比后全长距离相差较大，则很可能此相故障点此芯线已断。
- 2、用指针式万用表做下图测试：



如测量为阻值很小，说明未断路，否则就为断路。

第七章 安全及注意事项

在任何电气系统的运行中，安全是极重要的方面。工程技术人员进行电缆故障寻测时必须遵守有关安全规则。

在利用“烧穿”设备和电容放电设备时，了解和掌握故障电缆路径上的情况是很重要的。如电缆故障暴露在化学物品、油类、燃气或类似易燃的大气中（如煤矿瓦斯）的话，应用这样的设备是极危险的，应有保安措施。

在作直流高压或冲击高压的试验中，一切设备都应有良好的接地线，即使这样，高压产生设备的接地线与测试仪器的接地线的连接也要十分考究，否则可能会击坏仪器和测试设备。**具体讲：就是把试验变压器和电容的地接在一起，叫大电流地，最后接到接地母排；把仪器地、组件箱地、多次脉冲箱地接在一起，叫小电流地，最后接到接地母排上，千万不要和大电流地拧在一起，小电流地、大电流地要分别接到接地母排的不同位置。这是因为，当电容放电时，电容地线上的电流可能达到十万安以上，现场除非用螺母压接上紧，否者，在这么大的电流下，地线上的接触点（一般都是手拧上去的）很难保证通流能力，经常看到电容地线接头冒火花就是这个道理，电容地线上一旦冒火花，其电位就不是地电位了。因此一定要把仪器等小电流地线和大电流地线分开。采用百川（各个地线）归大海（接地母排）式的接线方式。测试时，在可能的条件下应尽可能使高压发生器用的市电与测试仪器所用的市电分开，最好不要用同一相电源。**

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.
电话：029-82253065 82253128 转
服务热线：13709207268（何先生）
网址：www.sxyida.cn

传真：029-82218311
电邮：393776469@qq.com



第八章 技术支持

1、电缆故障测试：请联系本公司。

2、测试波形判别：请将测试波形发邮件至：pingping1@263.net 或 yangheng161@263.net。主题著明：电缆测试波形；并将电缆情况（电缆介质、大概长度、电压等级、各相的绝缘情况等）说明。用户所发过来波形本公司将进行分类整理，并将整理后软件回传给用户。

陕西易达电气有限公司

地址：西安市碑林区乐居南路 47 号

电话：029-82253128，82253065

传真：029-82218311

邮编：710048

陕西易达电气有限公司

Shanxi Yida Electricity Co., Ltd.

电话：029-82253065 82253128 转

服务热线：13709207268（何先生）

网址：www.sxyida.cn

传真：029-82218311

电邮：393776469@qq.com