



赫兹电力
HERTZ POWER

产品宗旨：技术领先，质量可靠，轻便易用
服务宗旨：快速响应，达到满意，超过期望

HZGZ-1400

电缆故障综合测试仪

使用说明书

武汉赫兹电力设备有限公司

地址：武汉市东西湖区吴北路 225 号孚特工业园

全国统一服务热线：027-83267669

网址：www.whhezi.com

1

邮箱：whhezi@163.com

尊敬的顾客：

感谢您购买本公司 HZ-1400 电缆故障综合测试仪。在您初次使用该仪器前，请您详细地阅读本使用说明书，将可帮助您熟练地使用本仪器。

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的差别。如果有改动的话，我们会用附页方式告知，敬请谅解！您有不清楚之处，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、测试柱等均有可能带电压，您在插拔测试线、电源插座时，会产生电火花，小心电击，避免触电危险，注意人身安全！

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。

为了防止火灾或人身伤害，只有合格的技术人员才可执行维修。

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

HZ-1400	1
电缆故障综合测试仪	1
第一部分 电缆故障闪测仪	5
第一章 警告	5
第二章 概述	6
2.1、电力电缆的分类	7
2.2、电力电缆故障类型及故障性质分析	7
第三章 产品特点	10
第四章 技术参数	10
第五章 工作原理	11
5.1、低压脉冲法测试原理	11
5.2、高压闪络法测试原理	11
第六章 仪器布局与说明	12
6.1、仪器的组成	12
6.2、操作界面介绍	13
6.3、软件操作界面与说明	14
6.3.1、系统运行环境	14
6.3.2、启动系统	14
6.4、系统概要流程	15
6.5、功能介绍	15
6.6、关于波形	31
第七章 使用示例	35
7.1、常规开/关机与充电操作说明	35
7.2、低压脉冲法测试说明	35
7.3、高压闪络法测试说明	36
第八章 仪器使用注意事项及常见故障	40
第九章 电力电缆故障实测举例	43
第二部分 电缆故障定点仪	56
第一章 定点仪的主要性能	57
第二章 面板示意图	57
第三章 定点仪的故障定位原理和电路工作原理	58
第四章 现场示意	59
第五章 操作步骤	59



第六章 注意事项	60
第三部分 电缆路径仪	61
第一章 概述	61
第二章 路径探测的主要组成	61
2.1、路径信号发生器	61
2.2、路径接收机（电缆故障定点仪）	63
第三章 路径仪的操作使用	63
3.1、路径仪的操作使用	63
3.2、接收器、探棒和耳机的操作使用	64
第四章 现场探测注意事项	65
第四部分 脉冲储能电容器	66



第一部分 电缆故障闪测仪

第一章 警告



注意：感谢您订购电缆故障闪测仪
为了安全使用，提示如下：

- 1、请仔细阅读本手册，遵守相关注意事项。
- 2、严禁剧烈撞击仪器。
- 3、严禁非法关机。
- 4、请正确连接测试线，特别是接地线 and 高压线。
- 5、高压闪络连线时，严禁仪器软件选用低压脉冲法。
- 6、仪器充电状态严禁实施高压闪络采样工作。
- 7、电量不足时，请充电后使用。

第二章 概述

电缆故障闪测仪（以下简称电缆仪）采用工业级 12.1 寸触摸一体电脑，简单的操作软件界面，实现人机交互测试。采用工业级集成电路与器件，内置大容量锂离子电池，稳定可靠，使用便捷。

本电缆仪是测量、分析电力电缆状态与故障距离的专用仪器，本电缆仪采用现代电子技术和计算机技术结合，实现信号滤波、采集、数据处理、图形显示、图形分析、报告生成，来完成电缆速度测量、电缆长度测试、电缆故障距离的测试。

本电缆仪适用不同截面、不同介质的各种材料的电力电缆、高频同轴电缆、路灯电缆、地理电线的低阻、短路、开路断线故障, 以及高阻泄漏和高阻闪络性故障。技术参数符合《GB/T 18268.1 工业场所用试验设备的抗干扰度要求》、《DL/T 849.1-2019 电力设备专用测试仪通用技术条件第 1 部分：电缆故障闪测仪》、《JJF1042-2020 电缆故障闪测仪校准规范》标准要求。



2.1、电力电缆的分类

2.1.1、按电力电缆的耐压等级分：

低压电缆：6kV 及以下电压等级的电缆

中高压电缆：6kV 及以上、35kV 及以下等级的电缆

高压电缆：66kV 及以上电压等级的电缆

2.1.2、按电力电缆的绝缘介质分类：

油浸纸介质电缆：多为中高压等级的电缆

不滴流纸介质电缆：多为中高压等级的电缆

交联聚乙烯 (XLPE) 介质电缆：多为中高压及高压等级的电缆

其它橡塑介质电缆：多为中高压及低压等级的电缆

充油电缆：多为高压等级的电缆

2.1.3、按结构型式分类：

无外金属屏蔽层电缆：多为低压电缆

有外金属屏蔽层电缆：多为中高及以上电压等级的电缆

有金属性内护套电缆：多为高压等级的电缆

2.2、电力电缆故障类型及故障性质分析

2.2.1、电力电缆故障分类：

按故障发生的部位分类：

接头故障；本体故障。



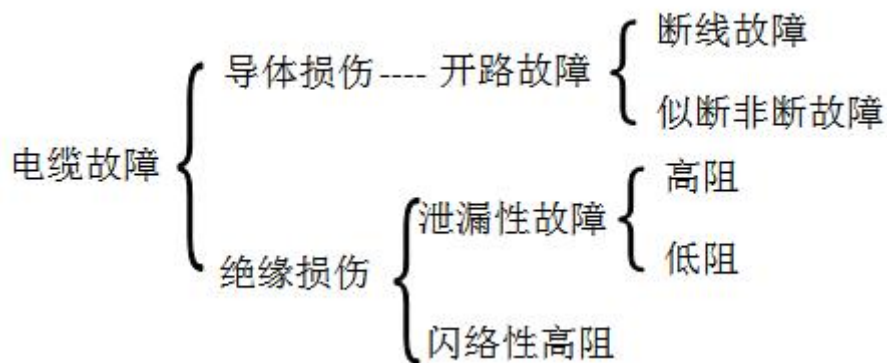
按故障的表现形式分类：

封闭性故障；外露性故障。

按电缆的结构型式分类：

主绝缘故障；内、外护套故障。

按行波测量原理分类：



2.2.2、电缆故障性质分析

开路故障：若电缆绝缘正常，但因导体原因不能正常输送电压的一类故障可认为是开路故障，如芯线或地线似断非断、芯线某一处存在较大的线电阻及断芯等情况。一般单纯性开路故障很少见到，多数表现为与低阻或高阻故障并存。

低阻故障：若电缆的绝缘介质损伤，能直接用“低压脉冲法”测试的一类相间或相对地故障，称之为泄漏性低阻故障。通常叫做低阻故障。一般电阻值在数百欧姆以下。若电阻值为“零”，则称为短路故障，它是低阻故障的特例。

泄漏性高阻故障：若电缆的绝缘介质已损坏，并形成固定的电阻通道，但不能直接用电缆故障闪测仪器的“低压脉冲法”测量的一类故障，称为泄漏性高阻故障，阻值通常在数百欧姆以上。在现场当给电缆做直流泄漏耐压试验时，其泄漏电流值随着所加的直流电压的升高而连续增大，并远远超过电缆本身所要求的规范值。泄漏性高阻故障与低阻故障是相对的，无严格区别。



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数值时，电缆的泄漏电流值突然增大，其值大大超过被试电缆所要求的规范值，这种类型的故障称为闪络性高阻故障。这种故障点其电缆绝缘虽然损坏，但却没有形成固定的电阻通道。

2.2.3、电力电缆故障性质的判别方法

判断电缆故障性质一般有三种手段：

- (1) 通过绝缘电阻表判断、万用表判断；
- (2) 通过电缆预试结果判断；
- (3) 通过“电缆仪”判断；

一般情况下，低阻、开路故障(高阻)可通过万用表或“电缆仪”的“低压脉冲法”测试波形直接进行判断。

2.2.4、电力电缆故障的测试程序

电缆仪查找地埋电力电缆故障一般要经过以下几个步骤：

- (1) 分析电缆故障性质并了解故障电缆的耐压等级及绝缘介质情况。
- (2) 用电缆仪之“低压脉冲”测试故障电缆的所有相线的长度并校准故障电缆的电波传输速度。
- (3) 选择合适的测试方法，用电缆仪进行电缆故障粗测。
- (4) 对电缆故障点进行精测，包括对地埋电缆的走向及深度的查找和故障点的精确定位。
- (5) 对电缆故障测试结果进行误差分析(丈量误差、传输速度误差、判读误差、仪器误差)。

第三章 产品特点

- 3.1、12.1寸工业级计算机控制、触摸式操作方式；
- 3.2、XP操作系统，超强的电缆管理系统，自动生成测试报告；
- 3.3、具备测波速，测长度，测故障距离功能；
- 3.4、具备低压脉冲取样法，闪络取样法；
- 3.5、20个波形叠加分析，可选择在线专家指导；
- 3.6、全自动连续采样，波形捕捉及时、准确；
- 3.7、内置大容量电池组，使用便捷。

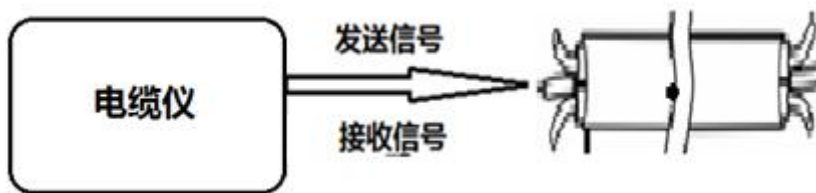
第四章 技术参数

- 4.1、采样频率：400MHz；
- 4.2、低压脉冲宽度：脉冲1和脉冲2；
- 4.3、最小分辨率：0.5m(100m/us)；
- 4.4、测试盲区： $\leq 20\text{m}$ ；
- 4.5、测距范围： $\leq 60\text{km}$ ；
- 4.6、测量误差： $\leq \pm (0.5\% \times L + 1\text{m})$ ，L为电缆长度；
- 4.7、供电方式：充电220VAC $\pm 10\%$ ，50Hz/60Hz；内置10000mAH锂电供电；
- 4.8、工作条件：环境温度： $-25 \sim 65^\circ\text{C}$ ；相对湿度： $\leq 90\%$ ；
- 4.9、体 积：428L \times 350W \times 230H；
- 4.10、重 量：10kg。

第五章 工作原理

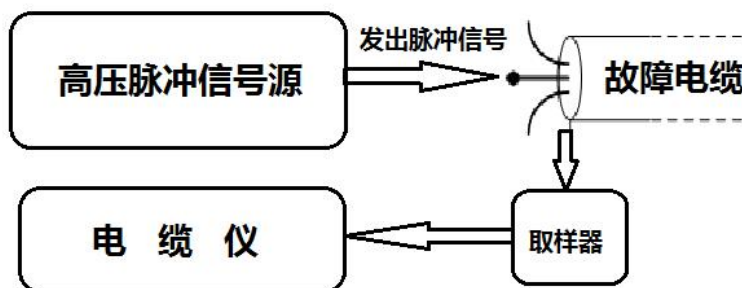
5.1、低压脉冲法测试原理

电缆仪对被测电缆通过施加脉冲信号，脉冲信号通过电缆的故障点，信号进行反射，电缆仪对反射信号进行处理，图形呈现，通过对反射波形的分析，来判断被测电缆的故障距离。如下图：



5.2、高压闪络法测试原理

高压脉冲信号源对被测故障电缆施加脉冲信号，脉冲信号通过电缆的故障点，信号进行反射，通过专用取样器对反射信号进行接收并传递给电缆仪，电缆仪对反射信号进行处理，图形呈现。通过对反射波形的分析，来判断被测电缆的故障距离。如下图：



第六章 仪器布局与说明

6.1、仪器的组成

6.1.1 电缆仪：使用低压脉冲法和高压闪络法对电缆进行测试与分析的单元；

6.1.2 触控笔：便于操作触摸一体屏幕，对显示区域精确定位与选定；

6.1.3 输出线（单 Q 线）：低压脉冲测试法时连接电缆仪与被测电缆；

6.1.4 输入线（双 Q 线）：高压闪络测试法时连接电缆仪与取样器；

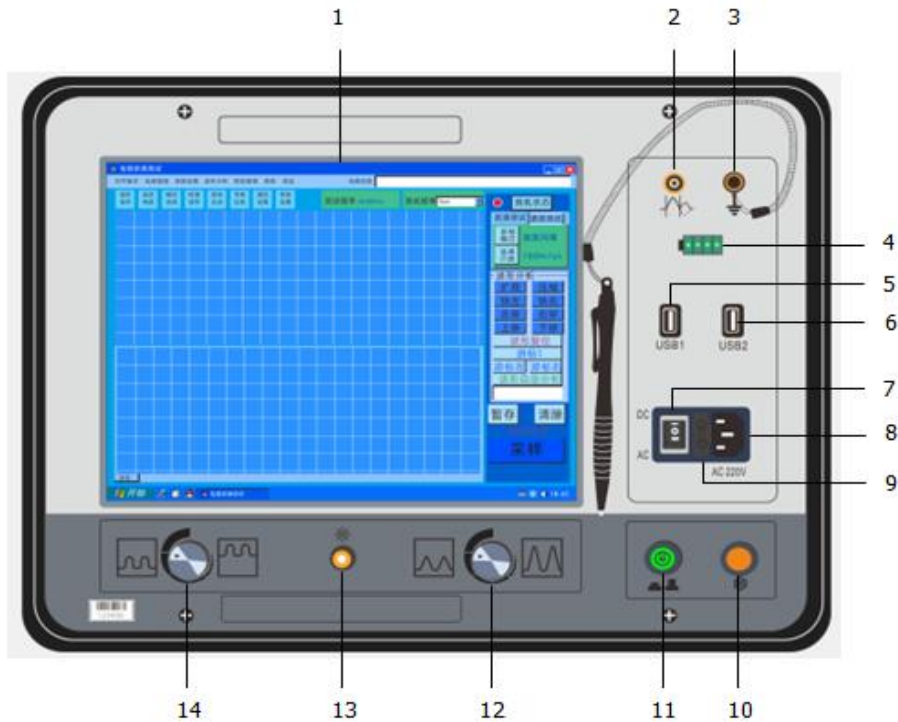
6.1.5 取样器：高压闪络法时，接收高压信号反射到取样地上的信号；

6.1.6 电源线：电缆仪充电连接线。

仪器组成清单与图

名称	数量	图形	名称	数量	图形
电缆仪	1		双 Q 线	1	
触控笔	1		取样器	1	
单 Q 线	1		电源线	1	

6.2、操作界面介绍



6.2.1、显示：12.1寸工业级触摸显示屏；

6.2.2、通信：低压脉冲法脉冲信号输出接口，高压闪络法取样器接收信号输入接口；

6.2.3、接地：安全接地端子；

6.2.4、电量指示：指示内部电池电量，4格显示；

6.2.5、USB-1：外接无线网卡及USB通信设备；

6.2.6、USB-2：外接无线网卡及USB通信设备；

6.2.7、电源开关：“I”档位，使用AC220V电源为系统供电；

“II”档位，使用内部电池为系统供电；当第“8”连接AC220V电源时，同时也给电池充电；

“0”档位，关闭系统电源；

6.2.8、电源插座：仪器工作电源，220VAC连接口；

6.2.9、保险管座：220VAC供电系统保险管安装处；

6.2.10、自检：按此下位机复位重置；

6.2.11、开/关：打开与关闭工控机工作电源；

6.2.12、振幅：当采集波形时调节振幅旋钮，改变所采集到波形的幅值大小；

6.2.13、工作：反映下位机工作状态指示灯；

地址：武汉市东西湖区吴北路225号孚特工业园

全国统一服务热线：027-83267669

网址：www.whhezi.com

13

邮箱：whhezi@163.com



6.2.14、位 移：当采集波形时调节位移旋钮，改变所采集到波形的基线高低；

6.3、软件操作界面与说明

6.3.1、系统运行环境

3.1.1 系统运行最低配置

Windows 系统 512 内存 10G 硬盘。

3.1.2 支撑软件

1>net framework4.0 (dotNetFx40_Client_x86_x64.exe)

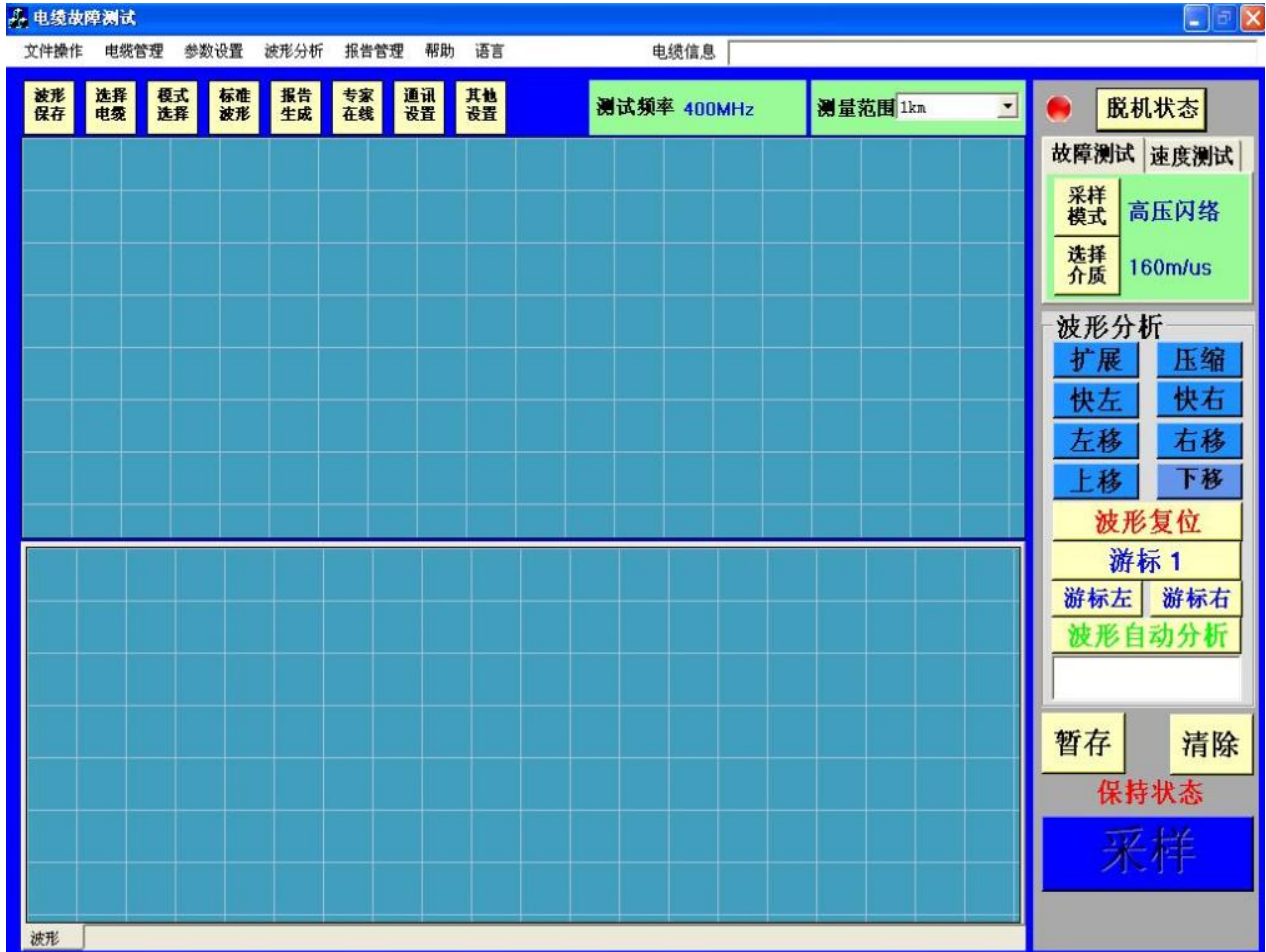
2>office 2003/2007

3>pdf 阅读器

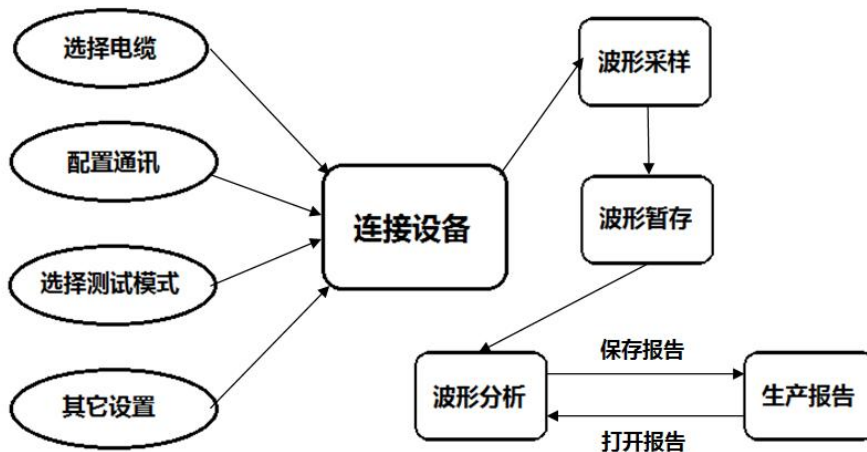
4>QQ 通信软件

6.3.2、启动系统

3.1 双击桌面上的“电缆故障闪测仪”快捷键，启动程序。



6.4、系统概要流程



6.5、功能介绍

6.5.1 文件操作

6.5.1.1 导入文件：

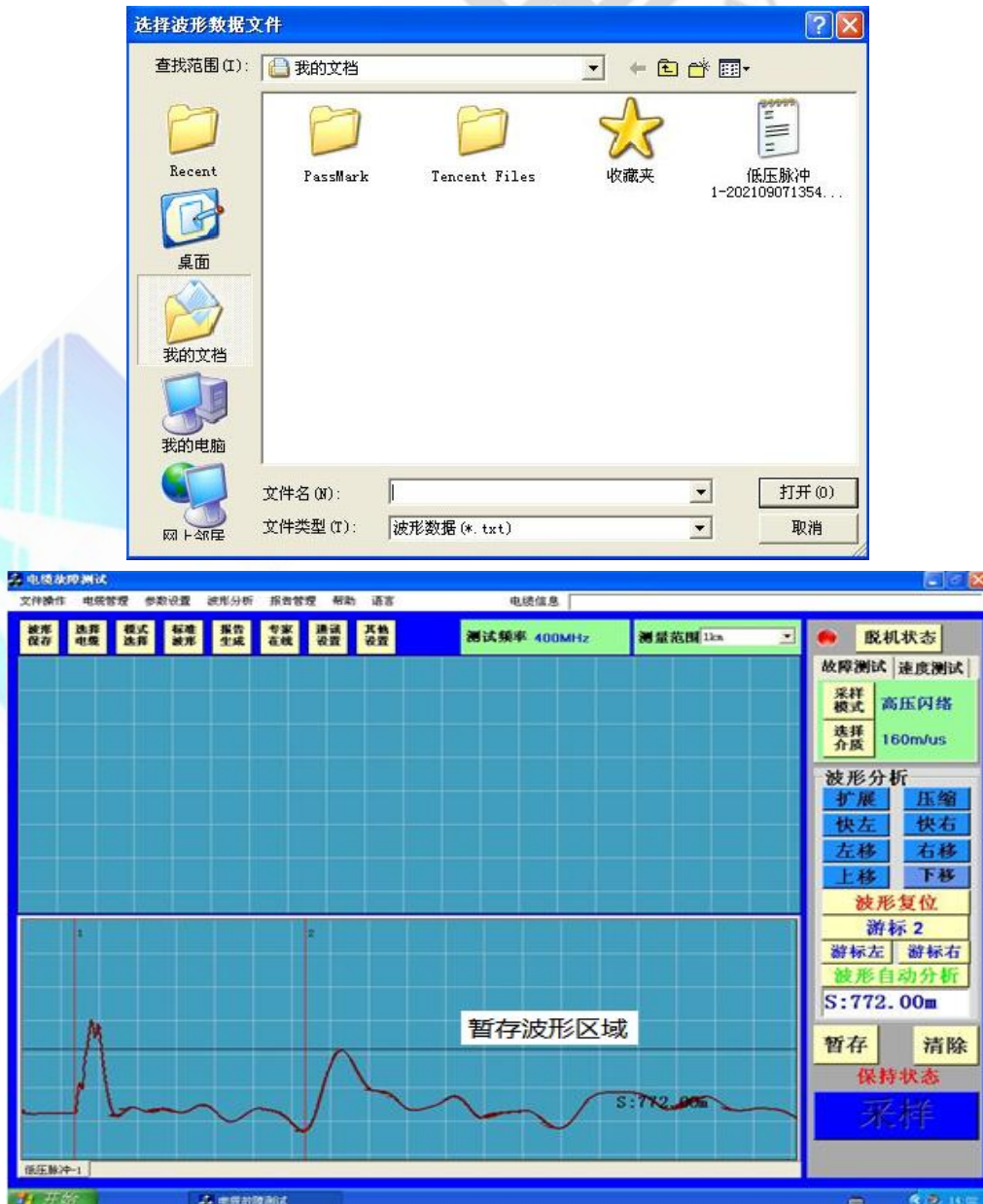
将其他数据库文件导入至现有的系统数据库中，导入的数据库文件须和当前数据库数据结构相同才能正常导入。

6.5.1.2 导出文件：

将系统数据库文件导出到指定目录。

6.5.1.3 打开波形

系统可以打开以文件形式存在的波形图，选择文件操作→打开波形，波形显示至“波形暂存”区域。如图：



- a、数据文件已 txt 存放；
- b、单个文件只能存放一个波形图数据；
- c、打开的波形图，在“暂存波形”区域分析波形数据。

6.5.1.4 退出：退出当前系统。

6.5.2 电缆管理

6.5.2.1. 添加电缆。

菜单“电缆管理”中点击“添加电缆”按钮，电缆新增界面填写完成信息后，点击“保存”。电缆信息包括变电站名称、线路名称、电缆型号、电缆介质、线路电压、电缆接头、电缆故障；接头和故障点可以添加多处。如下图：



6.5.2.2 电缆列表

菜单“电缆管理”中点击“电缆列表”，可以根据线路名称、电缆接头、电缆故障查询电缆信息。



6.5.2.3 修改电缆

打开“电缆列表”，对选定的一条电缆信息进行修改；如选择多个，系统提示“请选择一条电缆修改”。



6.5.2.4 删除电缆

打开“电缆列表”，选择一条或者多个电缆信息进行删除，删除操作将删



除关于电缆的所有信息，包括测试报告。



6.5.3 参数设置

6.5.3.1 通讯设置

选择当前通讯串口，设置串口参数，如波特率、校验位、数据位、停止位，默认串口 COM1。如图：



注意：如果在连接状态下设置，将在下次重新连接时生效。

6.5.3.2 模式选择

A、电缆仪测试模式选择。

a、故障测试参数设置

采样模式可以选择：高压闪络、低压脉冲 1、低压脉冲 2。

介质可以选择：160, 156, 170, 172m/us。也可以自定义介质（单位为 m/us）



注意：在连接状态下，故障测试和速度测试不能相互切换，故障测试下闪络和脉冲采样模式禁止切换。

B、速度测试

采样模式可以选择：低压脉冲一、低压脉冲二。

电缆全长可以自定义（单位为 m）。



C、通过主界面直接选择测试模式、电缆介质、电缆全长，电缆介质也可以自定义。



6.5.3.3 数据库选择

- 1、系统提供了一个首次使用的默认数据库。
- 2、选择其他数据库文件，如查看或将此次测试结果保存到其他数据库文件中，点击选择其他数据库文件。



选择其他数据库文件的表结构必须和系统默认的数据库表结构完全相同，否则无法操作。

6.5.3.4 其他设置

在电缆测试的时候，可以设置当前测试人员、监控人员、温度、湿度以及天气状况，这些信息将在你保存报告的时候保存到数据中，以便于以后的历史查询。



6.5.4 波形采样与分析

6.5.4.1 选择电缆

a、点击“选择电缆”，弹出电缆列表，选择一条电缆信息，点击确定选择。

如图：



b. 确认后，将在系统主界面“电缆信息”处显示，如图：



6.5.4.2 选择通讯串口

见 6.5.3.1

6.5.4.3 其他设置

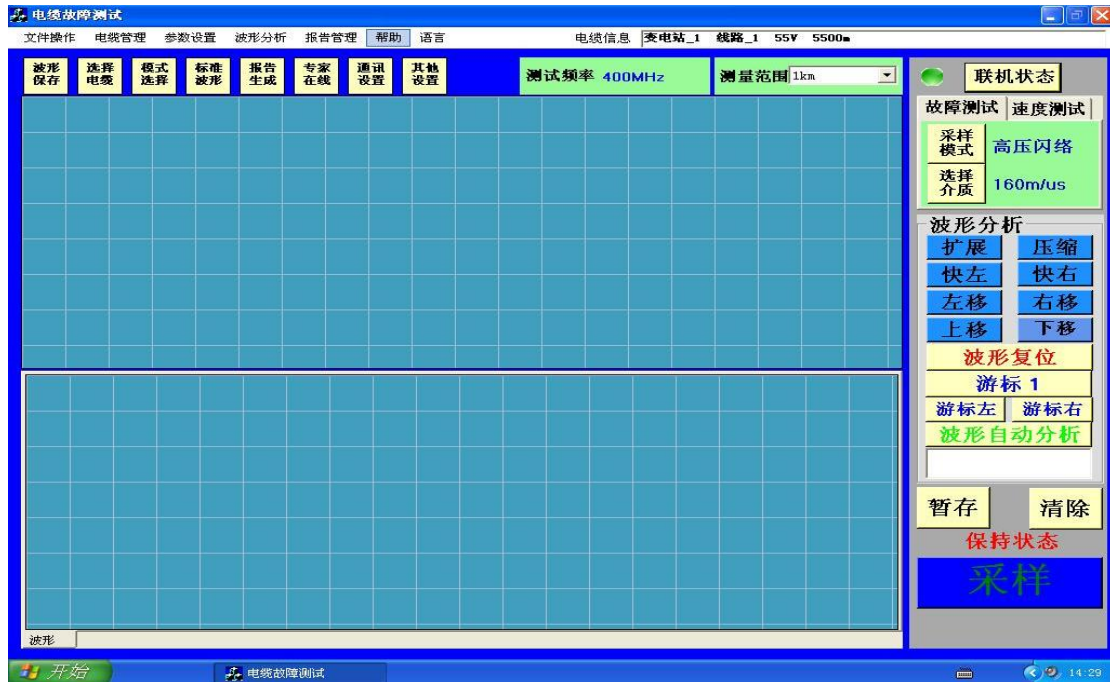
见 6.5.3.4

6.5.4.4 模式选择

见 6.5.3.2

6.5.4.5 联机测试

设置完成后，点击主界面“脱机状态”，若未选择电缆或者串口信息，会窗口提示。连接成功后会显示“联机状态”图标呈绿色，并且“采样”按钮变为可用状态。如图：



6.5.4.6 数据采样

点击主界面“采样”按钮，系统根据当前选中的采样模式，给下位机发送采样命令。此时“采样”按钮更改为“保持”，提示为采样模式，并且采样区域出现波形图案。如图：



6.5.4.7 切换采样模式

- a、在选择“高压闪络”采样模式运行时，禁止切换到“低压脉冲 1”或“低压脉冲 2”，须先停止采样后才能切换至“低压脉冲 1”或“低压脉冲 2”。
- b、在选择“低压脉冲 1”或者“低压脉冲 2”时，可切换“低压脉冲 1”和“低压脉冲 2”的测试方法。

6.5.4.8 暂存波形

- a、根据采样区域的波形图案，点击“暂存”按钮，将波形存放到暂存区域进行分析对比，如果当前是高压闪络模式，暂存区域波形的标签为“闪络_1”、“闪络_2”……以此类推。
- b、每种类型的波形(高压闪络和低压脉冲)最多可以暂存 10 个波形来对比分析，如果当前采样模式已经达到 10 个波形，会替换当前波形图。
- c、在当前采样模式下，可以右键右击“暂存区域”任意一点，可以打开或者关闭波形，打开的波形后，标签下会显示和当前波形的对比分析。

6.5.4.9 清除波形

在“暂存区域”内点击主界面“清除”按钮清空当前波形，如当前采样是



“闪络模式”；区域内的波形非“闪络波形”，则提示“当前闪络采样模式下不能清除波形”。

6.5.4.10 波形分析

- a、波形图上右侧，用“游标 1”和“游标 2”来计算它们之间的距离或者速度。
- b、波形图上右下角可以实时观察“游标 1”和“游标 2”它们之间的变化距离或者速度。
- c、可以通过鼠标滚轮放大缩小波形图，以鼠标当前位置为中心，两侧同时放大缩小。
- d、通过右键点击可关闭波形。
- e、通过右键点击可清除波形，继续“暂存”下一个波形。
- f、通过右键可以打开或者关闭闪络和脉冲波形。
- g、通过“扩展”和“压缩”按钮对当前波形放大缩小。以波形第一点开始，向右放大波形，向左缩小波形。
- h、通过“快左”、“快右”、“左移”、“右移”按钮对当前波形左右移动。
- i、通过“上移”、“下移”按钮对当前波形上下移动。
- j、通过“复位波形”查看当前“暂存”时的波形图。
- k、通过“游标 1”或“游标 2”切换操作，“游标左微”、“游标右微”按钮对当前游标左右微调。
- l、通过“自动分析”按钮，先将一个游标定位到当前有效区域内最低波谷，再将另一个游标定位到自波谷向上与基线相交的一个点。

6.5.4.11 保存波形

- a、数据文件存放格式为“.txt”；
- b、一个文件只存放一个波形图数据；
- c、保存波形有两种方式：

右键“暂存波形”区域任意一点，点击“保存波形”。



点击快捷键“波形保存”。



6.5.4.12 保存测试报告

测试完成，点击“报告生成”按钮，打开保存界面，系统默认将测试时间、测试环境、电缆基本信息已显示在界面中，其他信息可自定义编辑填写数据。



报告列表

电力电缆故障测试报告

保存 生成Word

测试时间: 2021-09-07 14:44:06 测试环境: 晴 60h% 50°C

电缆信息: 变电站_1 线路_1 55V 5500m

故障现象

故障类型: 开路 故障性质: 相对地 测试位置: 本体 故障阻值: 9999999 MΩ

测试过程

1. 用兆欧表判断为无穷大
2. 用低压脉冲法测出760米开路

脉冲故障波形

波形: 低压脉冲-1

闪络故障波形

波形:

故障分析

测试设备

主机: 定义: R2.23 V

确定 取消



注意：1. 脉冲故障波形和闪络故障波形，根据当前分析的结果选择波形图，选择的波形图以图片的形式保存至 word 文档。
2. 报告保存成功，故障分析在报告信息和电缆信息中都查看。

6.5.5 报告管理

6.5.5.1 报告列表

根据测试时间范围、线路名称、测试人员、电缆接头、历史故障查询。报告列表可以查看当前测试报告总的记录数，每页 15 条记录，点击“首页”、“上一页”、“下一页”、“末页”查看分页报告。



6.5.5.2 删除报告

选择一条或者多条记录删除报告。

6.5.5.3 查看历史报告

a、打开报告列表，选择相应报告开启。

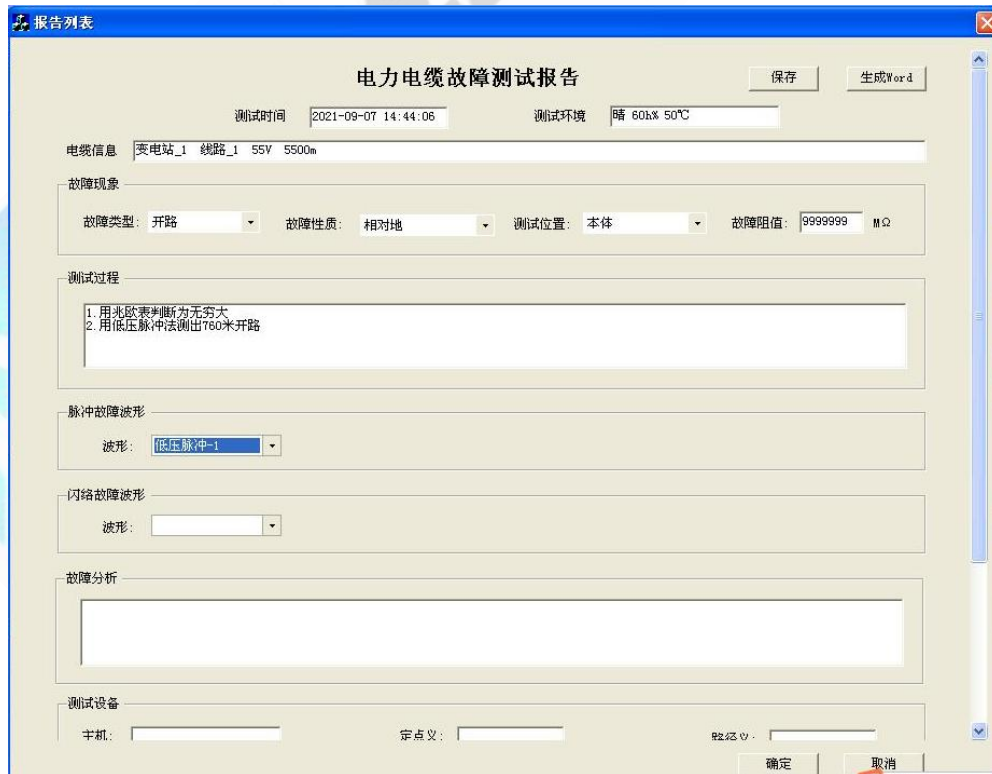


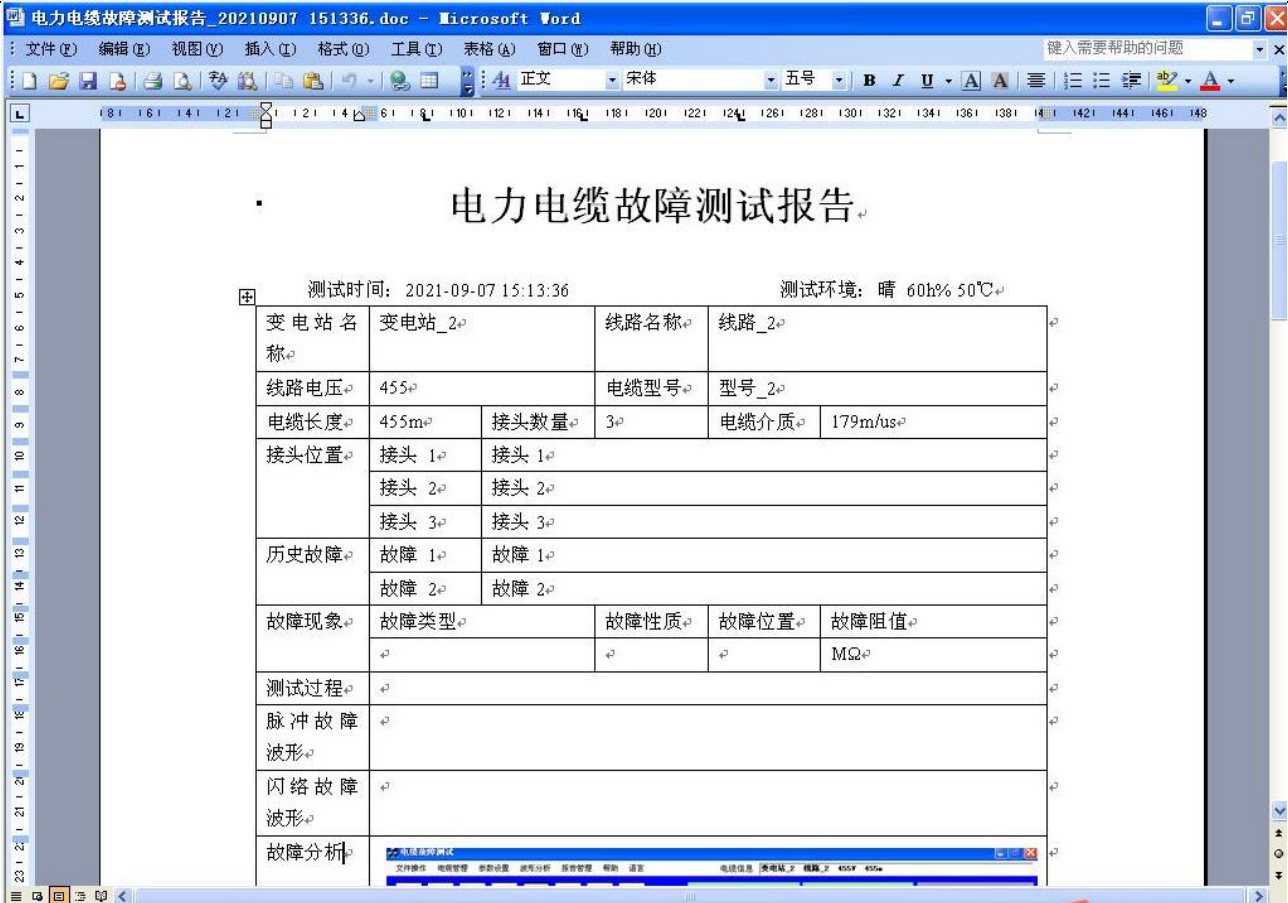
注意：打开报告时，只能在脱机状态下方可打开。且一次打开一份。

b、选择一条报告、打开，“波形暂存”区域显示关于该报告所有的波形，默认全部打开，报告波形状态为保存之前的状态。如没有波形图，提示“没有可用的波形图”。



c、分析完成后，点击“保存报告”进行修改或者生成 word 文档报告。





Word 文档示例图

6.5.6 专家在线

可选

6.5.7 波形案例和标准波形

在测试过程中，测试人员可以打开波形案例或者标准波形与当前采样的波形进行对比分析，快速定位故障所在位置。

6.5.8 关于电缆

在菜单“帮助”中查看关于电缆的信息。

6.5.9 说明书

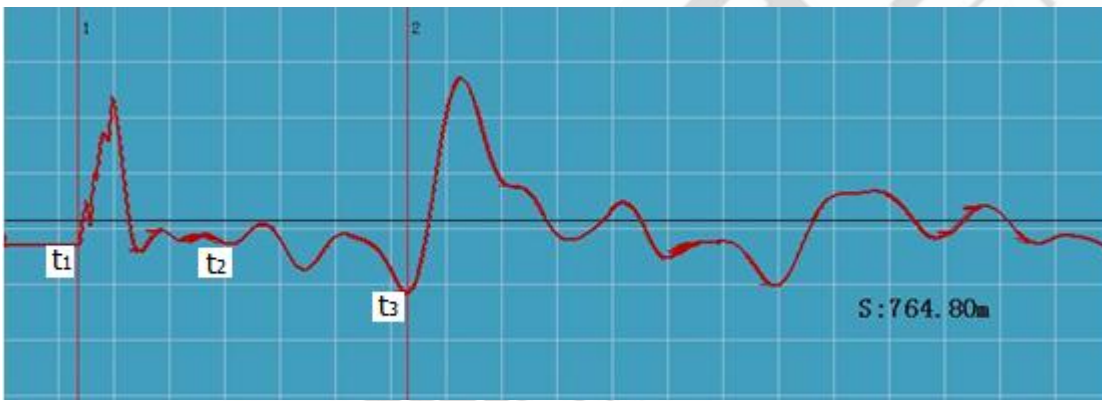
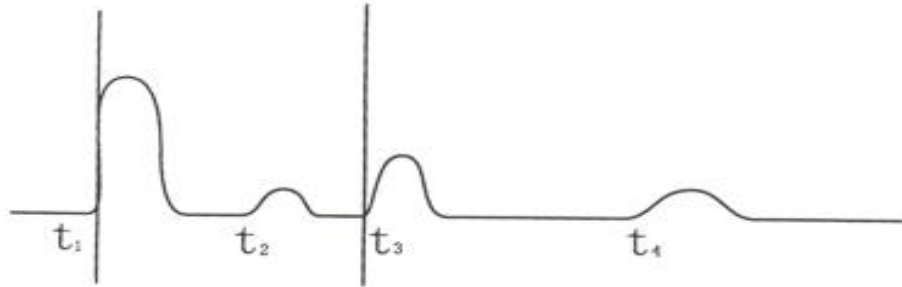
使用该软件过程中，如果遇到问题请查看说明书指导您解决问题。

6.5.10 关于我们

公司信息介绍。

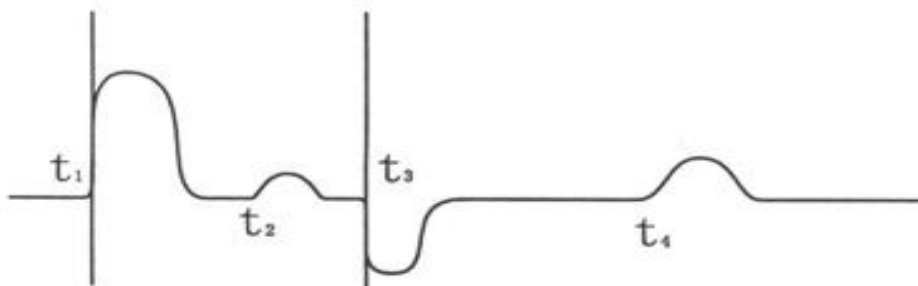
6.6、关于波形

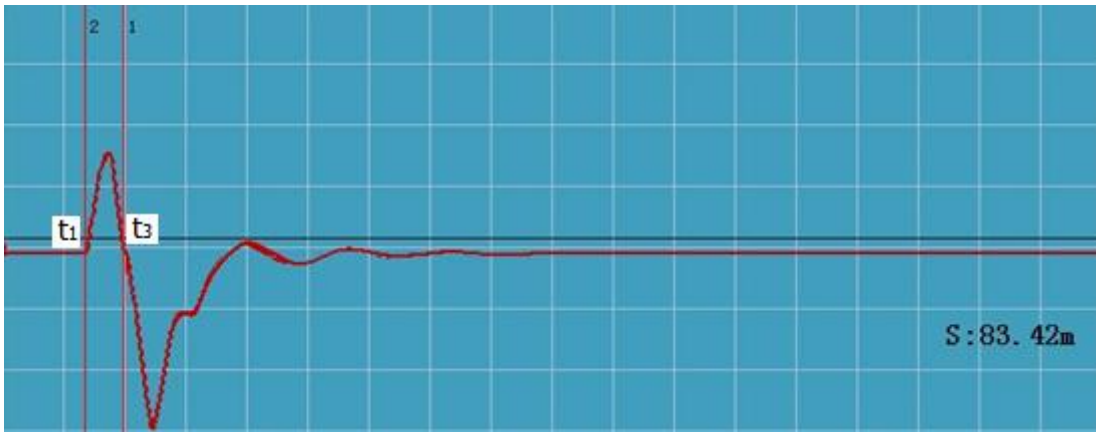
6.6.1、开路故障标准波形



分析： t_1 时刻为闪测仪产生的脉冲波形，极性为正（也可为负）； t_2 时刻为电缆中的中间对接头反射脉冲波形（接头的反射波一般为同极性，但这与接头结构性质有关）； t_3 时刻为开路故障反射脉冲波形，极性为正，为同极性的反射，（故障波形极性与仪器产生的脉冲波极性相同）； t_4 时刻为开路故障二次反射脉冲波形。由于脉冲波的衰减， t_4 时刻的二次反射波比 t_3 时刻的一次反射波幅度要小一些。故障点到测量端的距离 $S = |t_1 - t_3| = |t_3 - t_4|$ 。实际操作时，通过移动游标，仪器将自动显示计算故障点的距离。

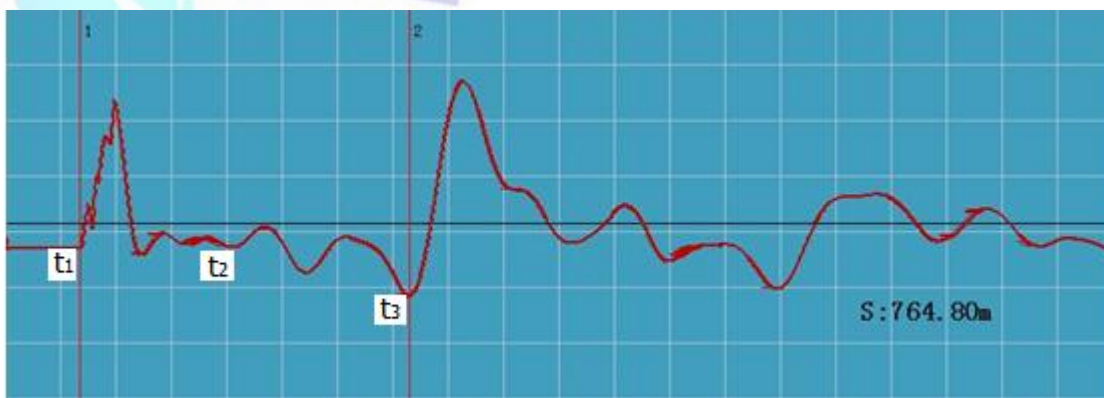
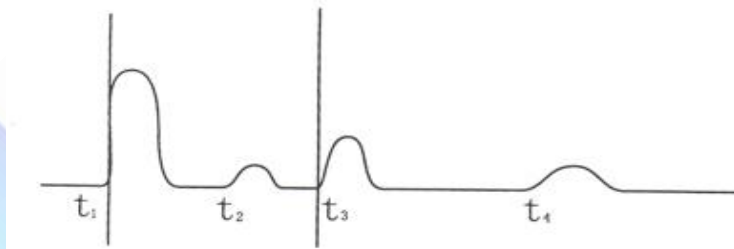
6.6.2、低阻故障标准波形





分析： t_1 时刻为闪测仪产生的脉冲波形，极性为正(也可为负)； t_2 时刻为电缆中的中间对接头反射波形； t_3 时刻为低阻故障点反射波形，极性为负，为反极性的反射(与仪器产生的脉冲波极性相反)； t_4 时刻为电缆终端反射波形。故障点到测量端的距离 $S = |t_1 - t_3| = |t_3 - t_4|$ 。

6.6.3、全长及中间对接头标准波形

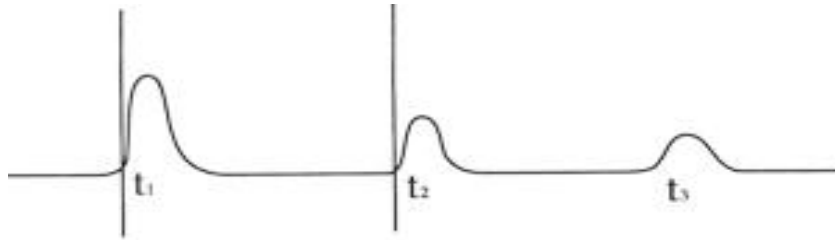


分析： t_1 时刻为闪测仪产生的脉冲波形，极性为正(也可为负)； t_2 时刻为电缆中的中间对接头反冲波形； t_3 时刻为全长(终端)反射脉冲波形，极性为正，为同极性的反射，(类似于开路断线故障)； t_4 时刻为全长(终端)二次反射波形。由于脉冲波的衰减， t_4 时刻的二次反射脉冲波比 t_3 时刻的一次反射脉



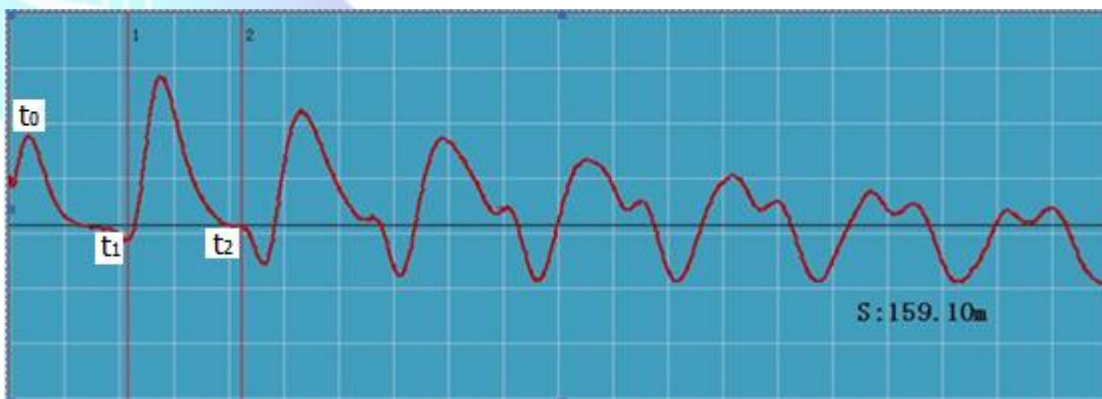
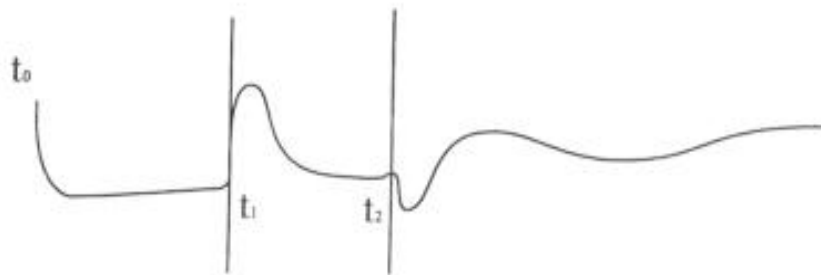
冲波幅度要小一些。电缆全长 $S_{全} = |t_1 - t_3| = |t_3 - t_4|$ 和中间对接头的距离 $S_{头} = |t_1 - t_2|$ 。

6.6.4、电波传输速度标准波形



分析： t_1 时刻为闪测仪产生的脉冲波形，极性为正（也可为负）； t_2 时刻为电缆全长反射脉冲波形，极性为正，为同极性的反射； t_3 时刻为电缆全长二次反射波形。电波在电缆中的传输速度 $v = \frac{2S}{|t_1 - t_2|}$ 。

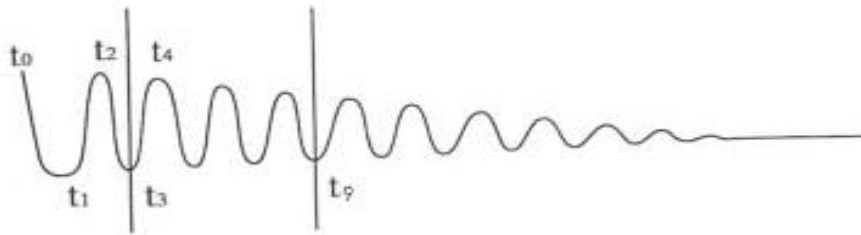
6.6.5、标准的冲闪波形全貌



分析： t_0 时刻为球隙放电波形； t_1 时刻为电缆故障点一次反射波形， t_2 时刻为电缆故障点二次反射波形。测试端到故障点的距离 $S = |t_1 - t_2|$ 。注意：一般情况下 $|t_0 - t_1| > |t_1 - t_2|$ 。



6.6.6、靠近测试端的标准波形



分析： t_0 时刻为球隙放电波形； t_1 时刻以后为故障点形成的多次反射波，波形整体为一个衰减的余弦振荡。这样的波形就和前面的波形分析不一样了，我们应该多取几个反射波，然后取它们的平均值。先计算出 t_3 时刻到 t_9 时刻的距离 S ，然后除以 t_3 时刻到 t_9 时刻之间上升沿和下降沿个数 n ($n=6$) (两倍的余弦波周期)，即是测试端到故障点的距离。也可以利用下列公式进行计算：

$$S = \frac{t_n - t_3}{n - 3} \cdot \frac{v}{2} = \frac{S_n}{n - 3}$$

第七章 使用示例

7.1、常规开/关机与充电操作说明

7.1.1 电缆仪内置电池的充电：“电源插座”连接 220VAC，电源开关选至“II”档，开始充电。

7.1.2 电缆仪内置电池开机：电源开关选至“II”档，启动“开/关”按钮，工控机系统启动。XP 操作系统启动后，运行电脑桌面电缆仪软件，进行电缆故障闪测仪的全面测试。

7.1.3 220VAC 市电供电时电缆仪开机：“电源插座”连接 220VAC，电源开关选至“I”档，启动“开/关”按钮，工控机系统启动。XP 操作系统启动后，运行电脑桌面电缆仪软件。



注意：严禁 220VAC 供电时进行高压闪络取样测试。

7.1.4 电缆仪关机：XP 操作系统运行“开始”菜单，关闭计算机，等待电脑正常关机。启动“开/关”按钮关闭计算机供电，电源开关选至“0”，关闭系统供电。

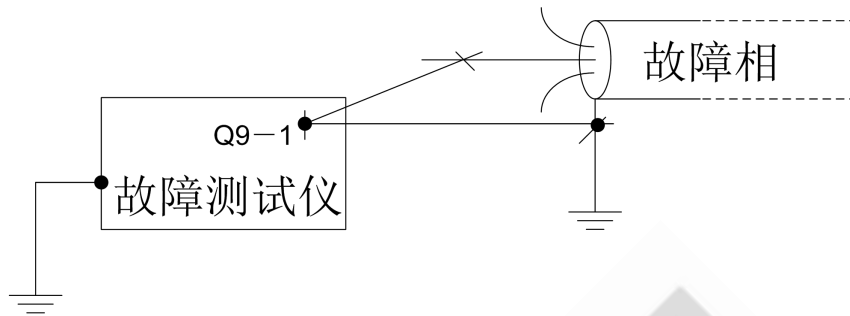


注意：严禁计算机未安全关机前直接启动“开/关”按钮或断开

电源供电进行关机。

7.2、低压脉冲法测试说明

7.2.1 接线方式如下图：用单 Q 线连接电缆仪“通信接口”与故障相线和电缆屏蔽层。



低压脉冲接线图

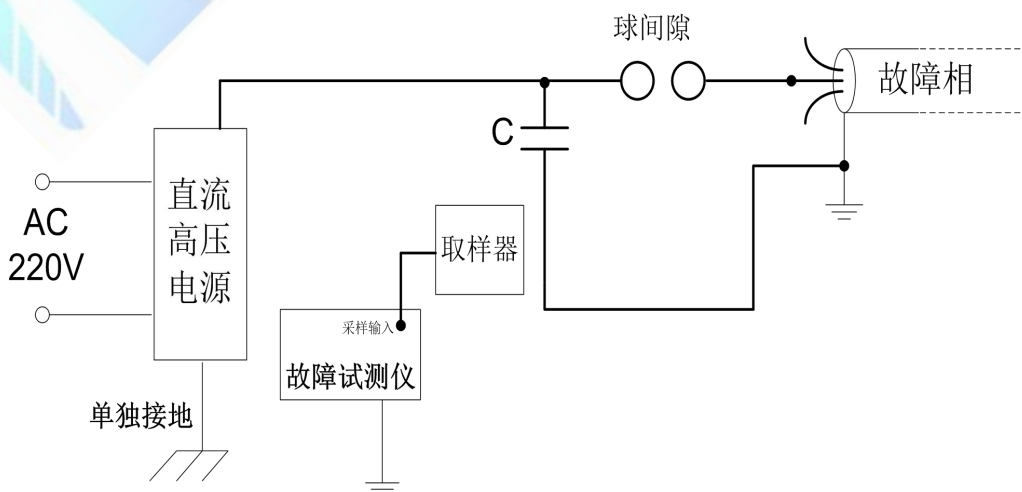


注意：在测试时必须确认电缆本体无存电。

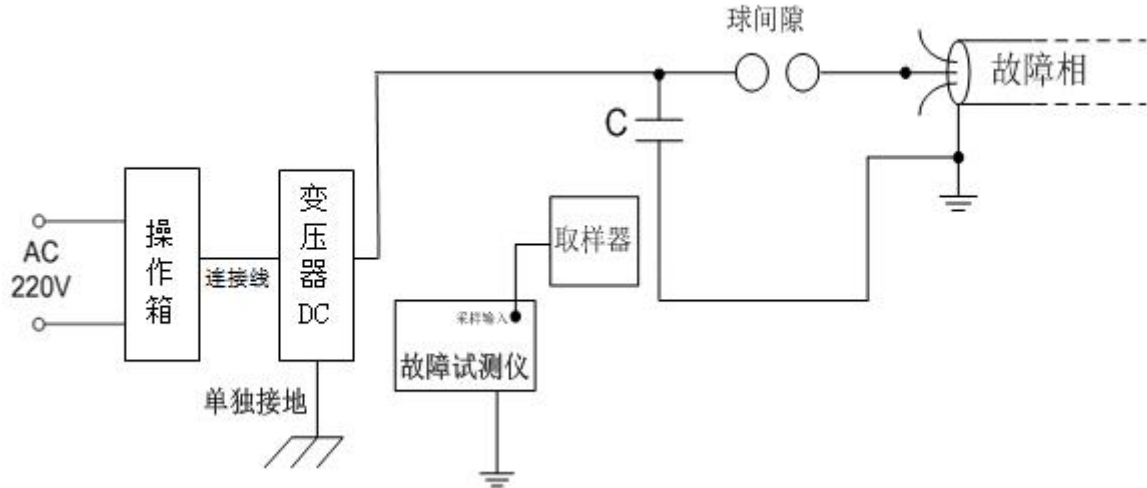
7.2.2 运行电缆仪软件，进行基本参数设置“通讯、联机、采样模式-低压脉冲 1、选择介质波速-172m/us”等。点击采样按钮，开始采样。调整振幅与位移，使得采样波形全面、完整呈现于波形显示区域，“暂存波形”参照《第六章第 6 项-关于波形》分析波形。

7.3、高压闪络法测试说明

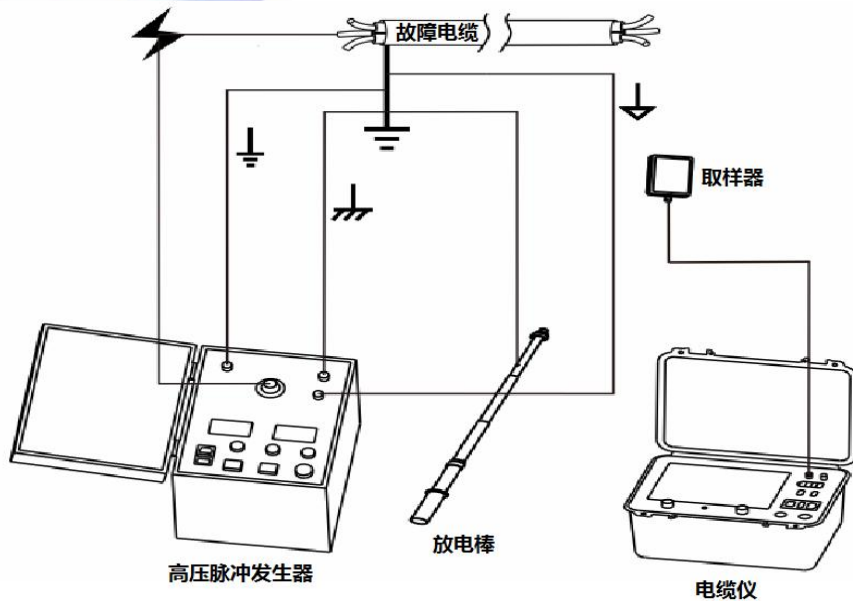
7.3.1 接线方式如下图：分体式与一体式两大类。



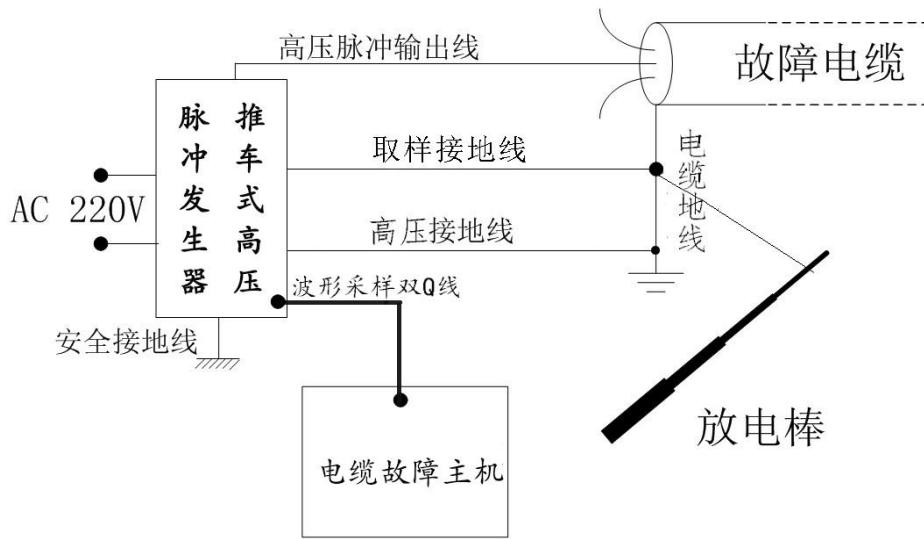
分体式（直流高压电源+高压电容+球间隙+电缆仪）



分体式（操作箱+试验变压器+高压电容+球间隙+电缆仪）



一体式（高压脉冲发生器+电缆仪）



一 体 式（推车式高压脉冲发生器+电缆仪）

7.3.2 调整高压源的冲击放电电压的伏值，使冲击电压对故障电缆的故障薄弱位置形成高压击穿放电。

分体式：调整球间隙距离，高压电源升电压，使得冲击电压能击穿故障电缆的故障薄弱位置。（约 3mm 对应 1kV）；

一体式球间隙型高压脉冲发生器：同上；

一体式时间控制放电型：直接升高电压，冲击电压击穿故障电缆故障薄弱位置；

7.3.3 当冲击高压通过故障点完全放电：（电压指示归零和电流指示瞬间



放大)；

- 7.3.4 运行电缆仪软件，进行采样模式设定-选择“高压闪络法”，点击采样，等待取样器采样反馈。
- 7.3.5 用取样器连接专用双 Q 线与电缆仪主机，并将取样器缓慢平行靠近取样地线。（通常距离 10cm 以内时，取样器能捕捉到反射信号）。
- 7.3.6 调整振幅与位移，使得采样波形全面、完整呈现于波形显示区域，“暂存波形”。参照《第六章第 6 项-关于波形》分析波形。
- 7.3.7 分析完成，“停止采样”，保存波形。
- 7.3.8 撤离取样器，关闭电缆仪主机 XP 系统，关闭“开/关”，关闭系统电源至“0”位，撤离电缆仪主机。
- 7.3.9 使用声磁定点仪至故障点区域精确定点。
- 7.4.0 停止高压源升压，使用放电棒对电容与电缆进行充分放电。

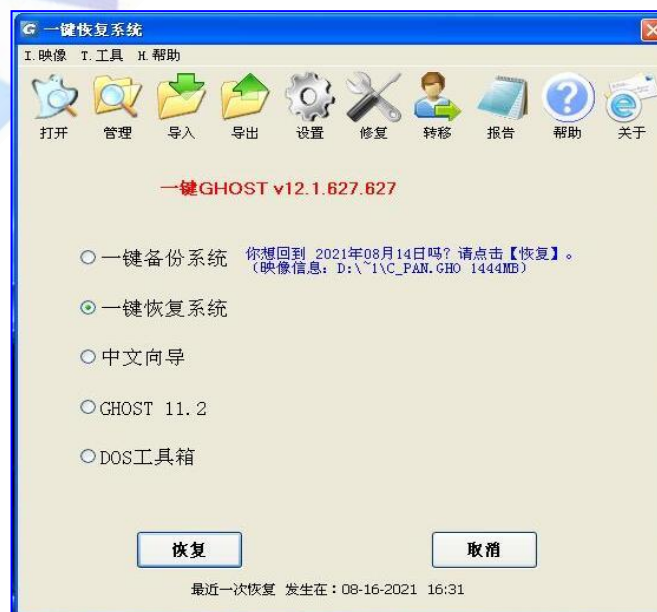


注意：1、严禁使用 220VAC 电源供电状态下，进行高压闪络取样测试。

2、严禁电缆仪软件选择“低压脉冲 1”或“低压脉冲 2”时连接取样器进行高压取样。

第八章 仪器使用注意事项及常见故障

- 8.1、在使用电缆仪时应仔细阅读仪器使用说明书，掌握好操作步骤、仪器的接线方式和注意事项。
- 8.2、仪器在使用前应先检查电量是否充足，防止电量不足导致工控机非法关机/反复重启，至系统文件损坏。充电 1 小时，待机 2 小时；充电 4 小时，电量从零充满。
- 8.3、仪器仅用低压脉冲法测试时，可接 220VAC 进行供电使用。**严禁接 220VAC 进行高压闪络取样。**
- 8.4、仪器属高度精密的电子设备，非专业人员不得拆卸，搬运与运输途中轻拿轻放，严禁野蛮操作或撞击。
- 8.5、仪器出现异常，请及时与经销商或本公司联系。如人为因素造成仪器损坏，将使你失去仪器保修的权利。
- 8.6、若系统出现异常或崩溃无法正常运行时，操作以下方法进行出厂恢复，切勿自行随意更换操作系统。
 - 8.6.1 打开桌面上的『一键恢复系统』软件，下图所示：





8.6.2 选择第二项《一键恢复系统》，单击恢复按钮，再单击确认。

8.6.3 系统会自动重启，开始执行恢复程序，恢复程序为全自动运行方式，期间自动运行，所以请勿操作仪器或断开电源。下图所示：





待上图界面，程序运行完成后系统即恢复，若系统崩溃无法进入桌面时，请及时联系厂家。





第九章 电力电缆故障实测举例

例 1 海口供电局电力电缆故障实测

测试时间：1995 年 8 月 27 日。

电缆型号：交联聚乙烯电缆。

故障性质：用 2500V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 $28\text{M}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 1179m，测试长度为 1176m。

测试方法：冲闪法。

测试波形：如图 1 所示。

波形分析：采用冲闪法对电缆进行故障测试，当电压升到 20kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 1 (a) 所示波形。从图中波形分析得知， t_1 时刻为电缆全长反射波， t_2 时刻为故障反射波， t_3 时刻为电缆第一个故障点反射波， t_4 时刻为第二个故障点反射波，同时显示两个故障点。出现这种情况主要是冲击电压太高造成的。当降低冲击电压为 10kV 时，出现如图 1 (b) 所示波形，第一个故障点消失，只显示第二个故障点的反射脉冲，故障距离为 911m。

说明：通过本次故障的测试，说明在电缆的故障测试当中，在进行冲闪时，所加冲击电压不能太高，否则会出现几个故障点的反射，使得测试波形变的很复杂，不易判读。

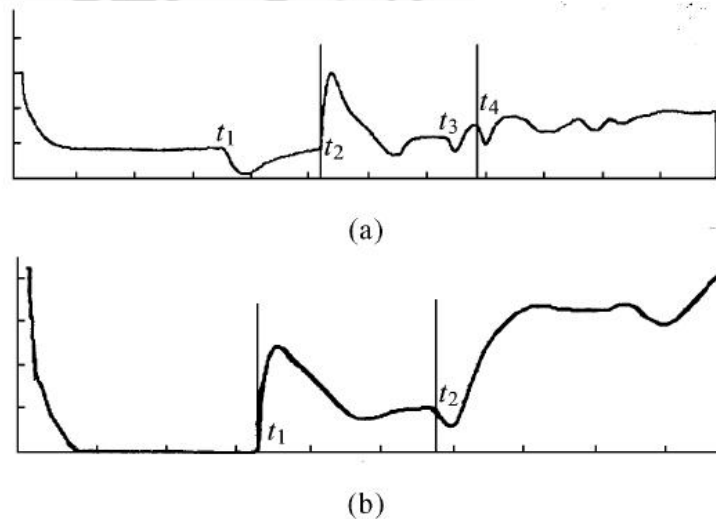


图 1 海口供电局电力电缆故障实测波形

例 2 西安惠安化工厂电力电缆故障实测

测试时间：2005 年 8 月 29 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

故障性质：用 2500V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 $56\text{M}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 2320m，测试长度为 2300m。

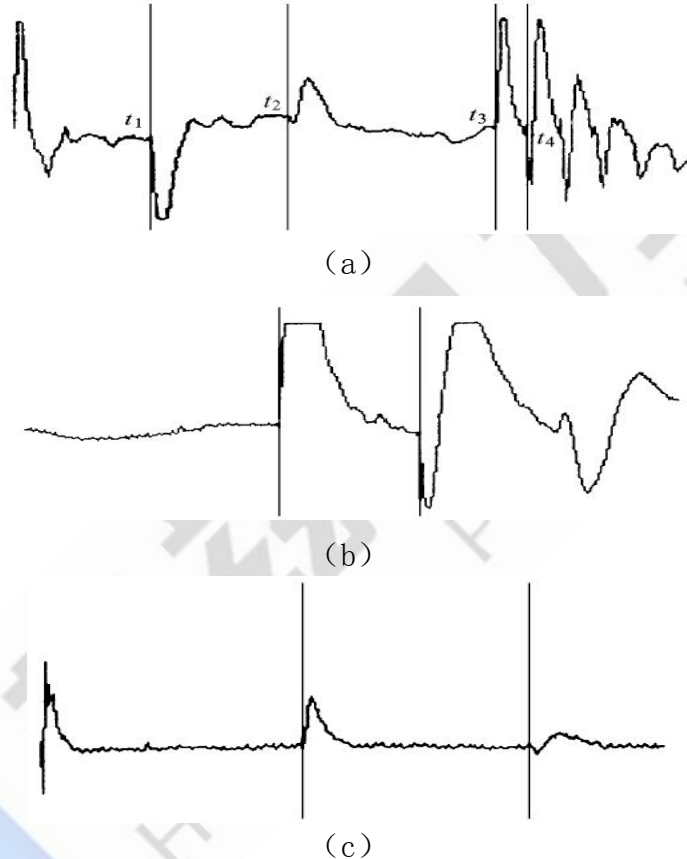
测试方法：冲闪法。

测试波形：如图 2 所示。

波形分析：采用冲闪法对电缆进行故障测试，当电压升到 15kV 时，球隙出现连续小声“啪，啪，啪”的打火声，且球隙放电很不规律，这说明故障点没有放电。加大冲击电压为 25kV，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 2 (a) 所示波形，图中 t_1 时刻为电缆全长反射波， t_2 时刻为



电缆全长的第二次反射波， t_3 时刻到 t_4 时刻为故障波形，故障距离为523m。将图2(a)波形进行扩展处理，出现图2(b)所示波形。可以清楚的看到故障点的反射脉冲波形，图2(c)是在电缆的另一端所测波形，故障距离为1774.8m，两端所测距离相加刚好与电缆全长吻合。最后通过同步接收定点仪精确定位，确定故障点为电缆中间接头。图2(a)中出现全长的一次和二次反射脉冲属于电缆故障闪络放电延时，提高冲击电压会消失。



(a) 25kV 实测波形； (b) 25kV 扩展波形； (c) 25kV 另一端实测波形

图2 西安惠安化工厂电力电缆实测波形

例3 宁波供电局电力电缆故障实测

测试时间：2001年12月30日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

故障性质：用2500V兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 $15M\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：电缆标注长度为430m，测试长度为423m。

测试方法：冲闪法。

测试波形：如图3所示。

波形分析：采用CVF方法对电缆进行故障测试，当电压升到12kV时，闪测仪出现如图3(a)所示波形，为故障点不放电波形，提高冲击电压为25kV，闪测仪出现如图3(b)所示波形，波形反射密集且规律，故障点是靠近测试端，采用平均值的办法得出 t_1 时刻到 t_2 时刻距离为70m，此距离除以两游标之间的拐点数，得出故障距离为8.7m。

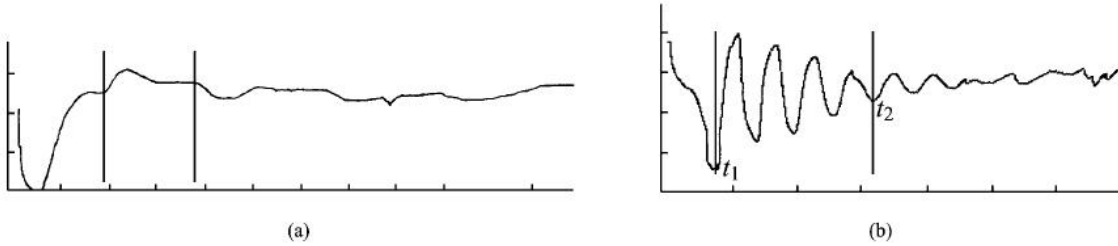


图 3 宁波供电局电力电缆故障实测波形

例 4 福州电业局电力电缆故障实测

测试时间：1997 年 11 月 3 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

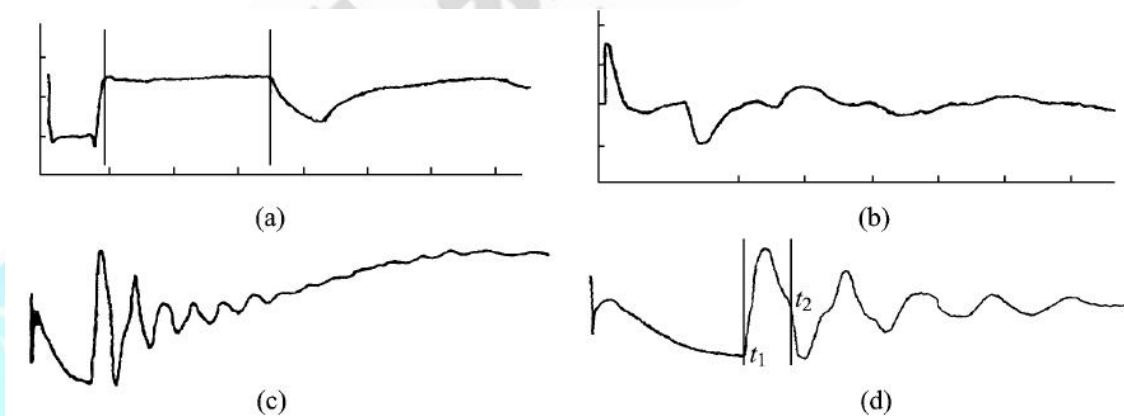
故障性质：用 2500V 兆欧表测的 A 相对地绝缘电阻为 $28\text{M}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 1330m，测试长度为 1325m。

测试方法：采用低压脉冲法和冲闪方法。

测试波形：如图 4 所示。

波形分析：首先采用低压脉冲法测的电缆全长为 1325m，如图 4 (a) 所示波形。再采用冲闪法对电缆进行故障测试，当电压升到 12kV 时，闪测仪出现如图 4 (b) 所示波形，此反射波为故障点未放电波形。当电压升到 20kV 时，形成闪络放电，如图 4 (c) 所示波形，将此波形扩展开就出现如图 4 (d) 所示波形，故障反射拐点清晰可见，故障距离为 112m。



(a) 脉冲法实测波形；(b) 冲击电压为 12kV 实测波形；
(c) 冲击电压为 20kV 实测波形；(d) 扩展波形

图 4 福州电业局电力电缆实测波形

例 5 北京朝方电力安装公司电力电缆故障实测

测试时间：2005 年 6 月 12 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

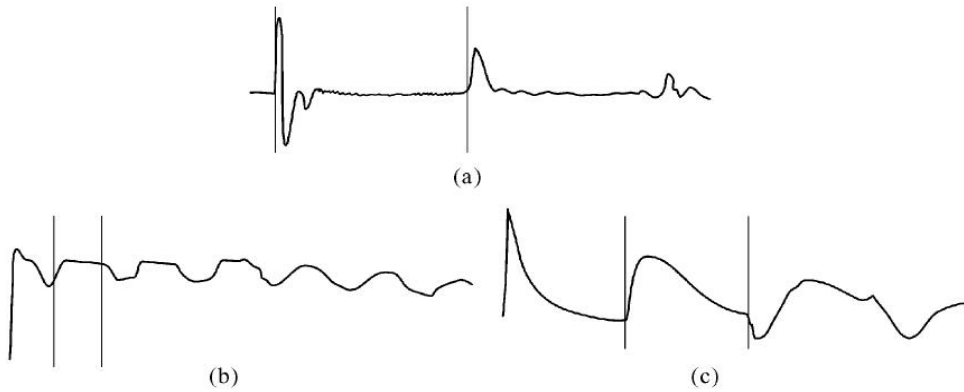
故障性质：用 1000V 兆欧表测得故障相对地绝缘电阻为 $25\text{M}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 734m，测试长度为 730m。

测试方法：采用冲闪方法。

测试波形：如图 5 所示。

波形分析：首先采用低压脉冲法测试电缆全长，如图 5 (a) 所示波形，全长距离为 730m，与电缆的标注长度基本吻合。再采用冲闪法对电缆进行故障测试，当电压升到 12kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 5 (b) 所示波形。从图中可以看到故障点已闪络放电，但因波形幅度调整太小，使得故障点反射脉冲拐点不清楚，重新调整波形幅度，提高冲击电压为 18kV，显示如图 5 (c) 所示波形，故障点的反射脉冲清晰，反射拐点明了，故障距离为 365m。



(a) 脉冲法实测波形；(b) 冲击电压为 12kV 实测波形；(c) 冲击电压为 18kV 实测波形

图 5 北京朝方电力安装公司电力电缆实测波形

例 6 三亚供电局电力电缆故障实测

测试时间：2003 年 2 月 13 日。

电缆型号：10kV 油浸纸介质电缆。

故障性质：用 2500V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 85MΩ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 800m，测试长度为 790m。

测试方法：采用冲闪法。

测试波形：如图 6 所示。

波形分析：采用冲闪法，当冲击电压为 20kV 时，闪测仪出现图 6 (a) 所示波形，此反射波为故障点不放电波形。当把冲击电压升至 25kV 时，闪测仪出现图 6 (b) 所示波形，此反射波为故障点放电波形，图中 t1 时刻到 t2 时刻为故障点距离，故障距离为 660m。



(a) (b)

(a) 冲击电压为 20kV 实测波形；(b) 冲击电压为 25kV 实测波形

图 6 三亚供电局电力电缆实测波形

例 7 福州自来水公司电力电缆故障实测

测试时间：1996 年 3 月 16 日。

电缆型号：6kV 油浸纸介质电缆。

故障性质：用 1000V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 15MΩ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 960m，测试长度为 953m。

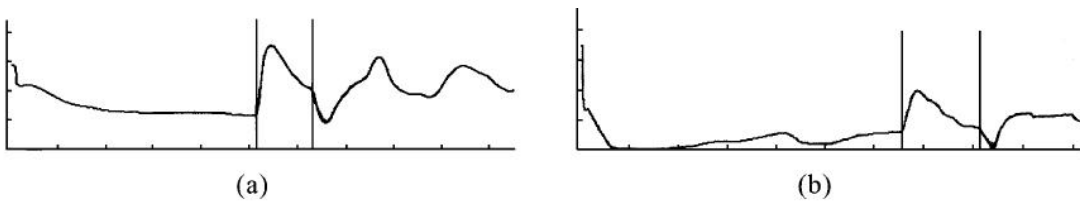
测试方法：采用冲闪法。

测试波形：如图 7 所示。

波形分析：采用冲闪法，图 7 (a) 所示波形是在用户端测试波形，冲击高压为 21kV，测试距离为 198.2m。在此距离附近通过同步接收定点仪进行精确定位，因现场电缆埋设深度达 4m 多深，用声测法很难准确听到故障点的放电声音。为了更准确的丈量故障距离，于是在电缆的另一侧同样用冲闪测得图 7 (b) 所示波形，故障距离为 758.4m，两端所测距离相加刚好与电缆全长距离相吻合。以此确认故障点为一处，且从两端分别丈量故障距离汇聚一处，开挖后发现故障为中间接头。说明：通过本例电力电缆的故障测试而知，在进行电缆故障测试时，当电缆埋设过深



或故障声音很小时，可通过从两端进行测试，然后再从两端丈量得出准确的故障距离。



(a) 冲击电压为 21kV 实测波形；(b) 冲击电压为 21kV 电缆另一端实测波形

图 7 福州自来水公司电力电缆实测波形

例 8 西安供电局电力电缆故障实测

测试时间：1998 年 8 月 26 日。

电缆型号：35kV 油浸纸介质电缆。

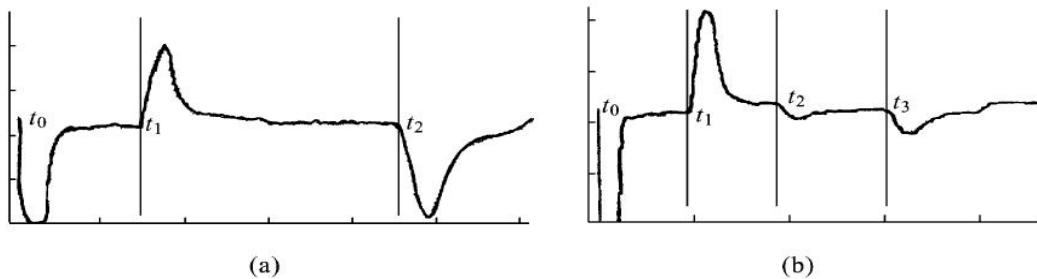
故障性质：用万用表测 A 相对地绝缘电阻为 $15\ \Omega$ ，B 相对地绝缘电阻为 $50\ \Omega$ ，属于低阻接地故障。

电缆长度：标注长度为 2886m，测试长度为 2889m。

测试方法：采用低压脉冲法

测试波形：如图 8 所示。

波形分析：采用低压脉冲法，A 相对地波形见图 8 (a)， t_0 时刻到 t_1 时刻为故障距离，距离为 930m， t_0 时刻到 t_2 时刻为电缆的全长反射，距离为 2889m，B 相对地波形见图 8 (b)， t_0 时刻到 t_1 时刻为故障距离，距离为 930m， t_2 为故障点的二次反射， t_0 时刻到 t_3 时刻为电缆的全长反射，距离为 2889m。



(a) A 相对地脉冲法实测波形；(b) B 相对地脉冲法实测波形；

图 8 西安供电局电力电缆实测波形

例 9 石家庄电业局电力电缆故障实测

测试时间：2004 年 3 月 23 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

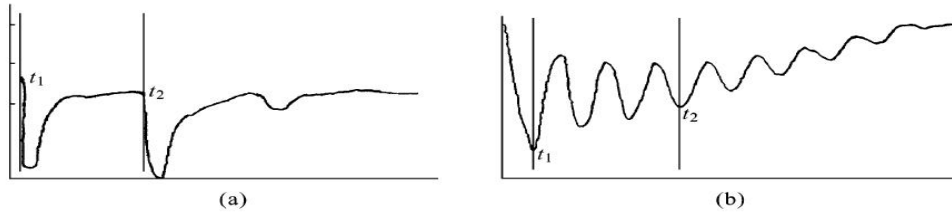
故障性质：用 2500V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 $25\text{M}\ \Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 330m，测试长度为 325m。

测试方法：采用低压脉冲法和冲闪方法。

测试波形：如图 9 所示。

波形分析：采用脉冲法测得全长为 325m，如图 9 (a) 所示波形。再采用 CVF 方法对电缆进行故障测试，当电压升到 20kV 时，故障点形成闪络放电，如图 9 (b) 所示波形。从图形可知，波形反射比较密集，故障点靠近测试端附近，采用平均值的办法，得出两游标之间距离为 110m，此距离再除以两游标之间反射波拐点个数，得出故障距离为 18m，最后通过同步接受定点仪精确定位，确定故障点距离靠近始端头 15m 处。



(a) 脉冲法实测；(b) 冲击电压为 20kV 实测波形

图 9 石家庄电业局电力电缆实测波形

例 10 天津电业局电力电缆故障实测

测试时间：1999 年 8 月 20 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

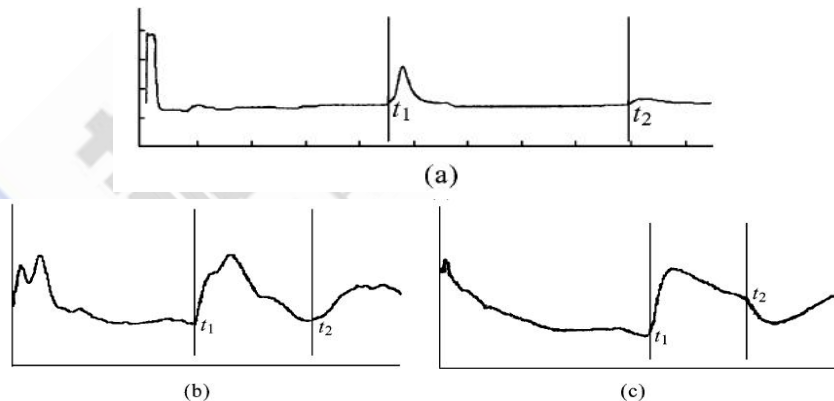
故障性质：用 5000V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 $65\text{M}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 400m，测试长度为 380m。

测试方法：采用低压脉冲法和冲闪方法。

测试波形：如图 10 所示。

波形分析：首先采用脉冲法测得电缆的全长为 380m，如图 10 (a) 所示波形。再采用冲闪电压法对电缆进行故障测试，当电压升到 21kV 时，故障点形成闪络放电，如图 10 (b) 所示波形，故障距离为 271m。然后采用冲闪电压法，在同等电压下出现如图 10(c) 所示波形，故障距离为 265m。



(a) 脉冲法实测波形；(b) 冲闪电流冲击电压为 21kV 实测波形；

(c) 冲闪电压法冲击电压为 21kV 实测波形

图 10 天津电业局电力电缆实测波形

例 11 湖南湘潭钢厂电力电缆故障实测

测试时间：2004 年 12 月 27 日。

电缆型号：1kV 橡塑电缆。

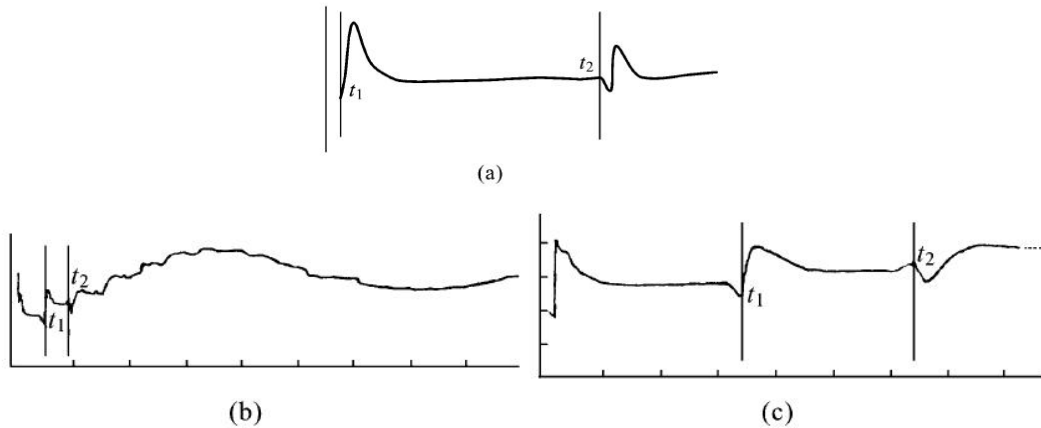
故障性质：万用表测故障相对地绝缘电阻为 $650\text{k}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 330m，测试长度为 325m。

测试方法：采用低压脉冲法和冲闪法。

测试波形：如图 11 所示。

波形分析：首先采用低压脉冲法测的电缆全长为 330m，如图 11 (a) 所示。再采用冲闪方法对电缆进行故障测试，当电压升到 5kV 时，故障点形成闪络放电，如图 11 (b) 所示。此波形为压缩波形，能清楚看到故障波形的反射全貌，但因反射幅度较小，不易判读故障距离。将图 11 (b) 进行扩展，得到图 11 (c) 所示波形，故障距离为 287m。



(a) 脉冲法实测波形；(b) 冲击电压为 5kV 实测波形；(c) 冲击电压为 5kV 实测扩展波形
图 11 湘潭钢厂电力电缆实测波形

例 12 西宁供电局电力电缆故障实测

测试时间：2004 年 1 月 9 日。
 电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。
 故障性质：2500V 兆欧表测故障相对地绝缘为 $20M\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。
 电缆长度：标注长度为 550m，测试长度为 538m。
 测试方法：采用冲闪方法。
 测试波形：如图 12 所示。

波形分析：采用冲闪方法对电缆进行故障测试，当电压升到 22kV 时，故障点形成闪络放电。如图 12 所示波形，故障波形反射密集且规律，可以用平均值的办法进行故障距离分析，得出故障距离为 108m。

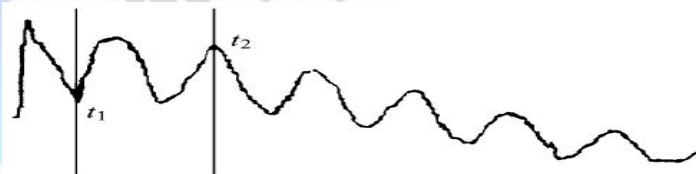
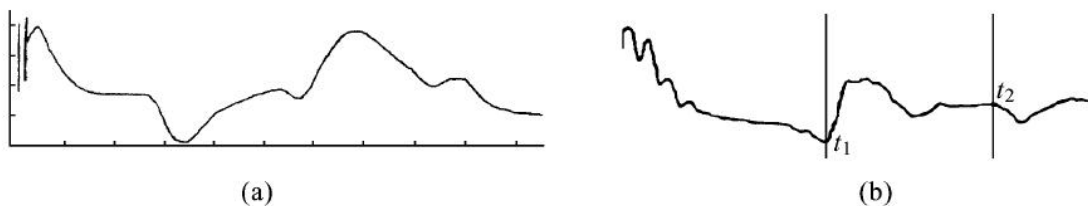


图 12 西宁供电局电力电缆实测波形
例 13 重庆南岸局电力电缆故障实测

局电力电缆实测波形
供电局电力电缆故障实测

测试时间：2000 年 10 月 30 日。
 电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。
 故障性质：2500V 兆欧表测故障相对地绝缘为 $65M\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。
 电缆长度：标注长度为 465m，测试长度为 450m。
 测试方法：采用冲闪法。
 测试波形：如图 13 所示。

波形分析：采用 CVF 方法对电缆进行故障测试，当电压升到 20kV 时，闪测仪出现如图 13 (a) 所示波形。从图形而知，故障点放电不充分，且初步判断故障点为电缆中间接头，提高冲击电压为 30kV 时，闪测仪出现如图 13 (b) 所示波形，分析波形故障距离为 392m，经定点测试，故障点离终端头 50m 处的中间接头。



(a) CVF 法冲击电压为 20kV 实测波形；(b) CVF 法冲击电压为 30kV 实测波形；



图 13 重庆南岸供电局电力电缆实测波形

例 14 山东聊城热电厂电力电缆故障实测

测试时间：2006 年 10 月 2 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

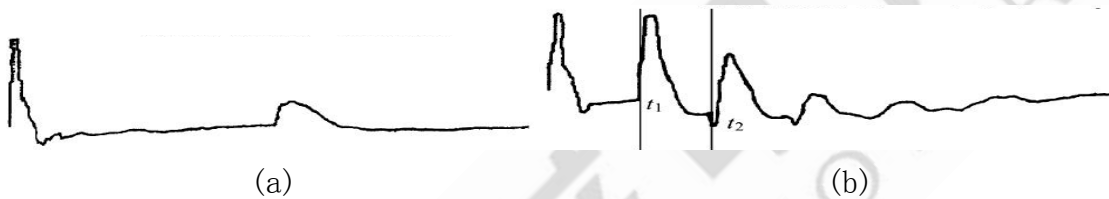
故障性质：2500V 兆欧表测故障相对地绝缘为 $15M\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 3100m，测试长度为 3085m。

测试方法：采用低压脉冲法和冲闪方法。

测试波形：如图 14 所示。

波形分析：采样冲闪法进行测试，当冲击电压为 25kV 时，闪测仪出现如图 14 (a) 所示波形。故障点已闪络放电，但故障点二次反射脉冲未在显示屏出现，是因为所测波形距离已超出显示屏显示距离范围，不能确认故障点距离，通过调整预选范围和波形压缩，出现如图 14 (b) 所示波形，可以清楚的看到故障的发射脉冲波形，故障距离为 1224m。



(a) 冲击电压为 25kV 实测波形；(b) 冲击电压为 25kV 压缩波形

图 14 聊城热电厂电力电缆实测波形

例 15 吉林延吉卷烟厂电力电缆故障实测

测试时间：2003 年 12 月 22 日。

电缆型号：10kV 油浸纸介质电缆。

故障性质：用 2500V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 $250M\Omega$ ，属于闪络性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 1550m，测试长度为 1535m。

测试方法：采用 ZVGF 方法。

测试波形：如图 15 所示。

波形分析：首先采用 ZVGF 方法对电缆进行故障测试，当电压升到 20kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 15 (a) 所示波形，出现此类波形，是因为输入幅度调节过大造成，减小振幅电位器，出现图 15 (b) 所示波形，故障波形反射清晰明了，故障距离为 768m。所以在测试当中，一定要注意设备的调整。



(a) 冲击电压为 20kV 实测波形；(b) 减小输入幅度后的波形

图 15 延吉卷烟厂电力电缆实测波形

例 16 兰州供电局电力电缆故障实测

测试时间：1998 年 10 月 11 日。

电缆型号：10kV 油浸纸介质电缆。

故障性质：用 2500V 兆欧表测得故障相对地绝缘电阻为 $45M\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

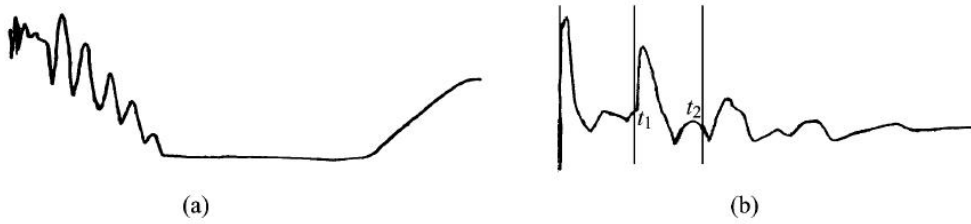
电缆长度：标注长度为 850m，测试长度为 843m。

测试方法：采用冲闪方法。

测试波形：如图 16 所示。



波形分析：采用冲闪法得到如图 16 (a) 所示波形。从图中能看到故障点已放电，但因距离太近，于是采用冲闪法到电缆的另一端测得如图 16 (b) 所示波形，得到故障距离为 729m。



(a) CVF 法实测波形；(b) CVF 法电缆另一端实测波形

图 16 兰州供电局电力电缆实测波形

例 17 长春电业局电力电缆故障实测

测试时间：1997 年 8 月 13 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

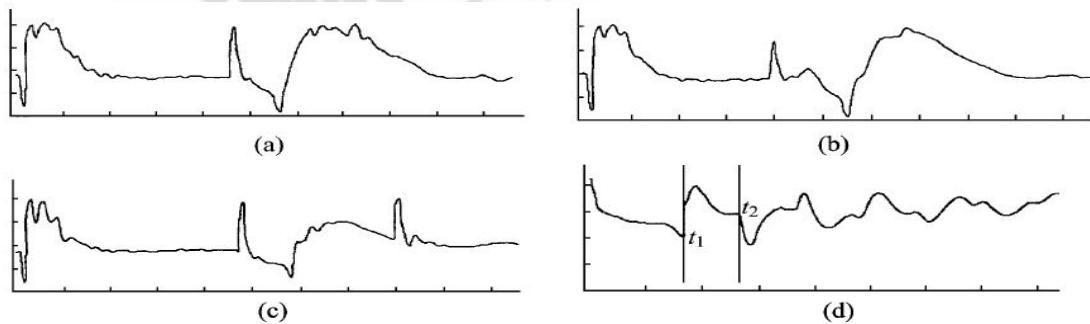
故障性质：2500V 兆欧表测故障相对地绝缘为 $15M\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 650m，测试长度为 648m。

测试方法：采用冲闪方法。

测试波形：如图 17 所示。

波形分析：采用冲闪方法对电缆进行故障测试，将冲击电压升到 30kV 时，故障点形成闪络放电，在连续放电时，闪测仪出现如图 17 (a)、(b)、(c) 所示波形，且每个波形差异都很大。从波形图看出，电缆有多点故障。出现这种波形主要原因是冲击电压过高，每个故障点都有闪络放电，使故障波形变得复杂，难以判断。当把冲击电压降到 15kV 时，出现如图 17 (d) 所示波形，可以清楚的判断出故障距离为 620m。说明：切记冲击电压不要过高。



(a、b、c) 冲击电压为 30kV 实测波形；d) 冲击电压为 15kV 实测波形

图 17 长春电业局电力电缆实测波形

例 18 郑州电业局电力电缆故障实测

测试时间：2001 年 3 月 26 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

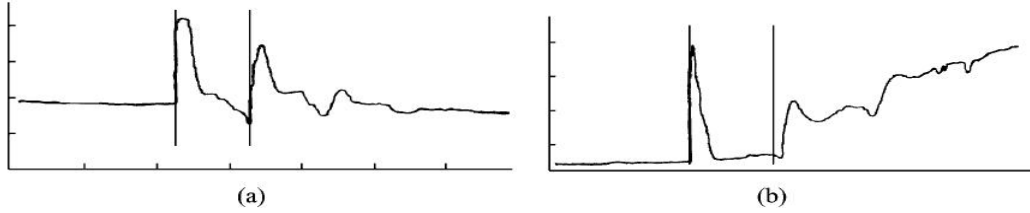
故障性质：2500V 兆欧表测故障相对地绝缘为 $55M\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 3500m，测试长度为 3515m。

测试方法：同时采用电流方法和电压方法。

测试波形：如图 18 所示。

波形分析：采用电流方法对电缆进行故障测试，当电压升到 15kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 18 (a) 所示波形，得出故障距离为 1225m。再采用电压方法，在同样的冲击电压下，闪测仪出现如图 18 (b) 所示波形，得出故障距离为 1200m。最后通过精确定点，故障点靠近 1200m 处。说明：同一故障点采用电压方法和电流方法时，从波形看电压方法测试距离更准确，且抗干扰性能更好。此波形如果把冲击电压升高到 20kV 左右，则测试波形会更加理想。



(a) 电流法实测波形；(b) 电压法实测波形

图 18 郑州电业局电力电缆实测波形

例 19 甘肃金川电缆厂控制电缆实测

测试时间：2003 年 4 月 3 日。

电缆型号：信号控制电缆。

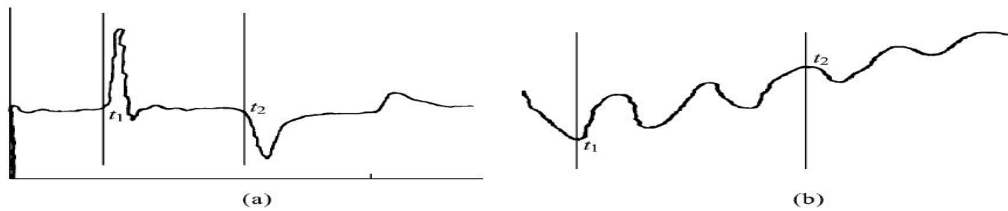
故障性质：用万用表测得故障相对地绝缘电阻为 $120\ \Omega$ ，属于低阻接地故障。

电缆长度：标注长度为 1600m，测试长度为 1580m。

测试方法：同时采用低压脉冲法和冲闪方法。

测试波形：如图 19 所示。

波形分析：采用低压脉冲法对电缆进行故障测试，闪测仪出现如图 19 (a) 所示波形。波形中出现反极性反射脉冲，且幅度很大，没有全长反射脉冲，分析波形得知故障距离为 150m。再采用冲闪方法，当电压升到 3kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 19 (b) 所示波形。通过分析波形知故障点距离为 145m。此例说明采用冲闪方法同样也可以测试低阻接地性质的故障。



(a) 脉冲法实测波形；(b) 冲击电压 3kV 实测波形

图 19 金川电缆厂电力电缆实测波形

例 20 洛阳铁路水电段电力电缆实测

测试时间：2001 年 12 月 7 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

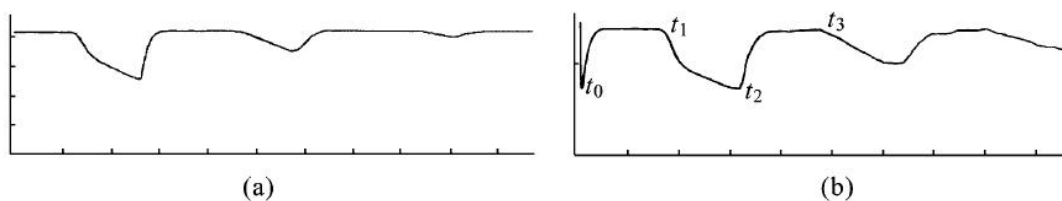
故障性质：2500V 兆欧表测故障相对地绝缘为 $400M\ \Omega$ ，属于闪络性高阻。

电缆长度：标注长度为 1560m，测试长度为 1550m。

测试方法：采用直闪方法。

测试波形：如图 20 所示。

波形分析：采用 ZVF 方法对电缆进行故障测试，当电压升到 23kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 20 (a) 所示波形。从这个波形来看，反射脉冲的拐点很不清楚，主要原因是因为冲击电压太低，提高冲击电压波形会更好。当电压升到 32kV 时得到图 20 (b) 所示波形，从而得出从 t_0 时刻到 t_1 时刻故障距离为 560m，且 $|t_1 - t_0| = |t_2 - t_1| = |t_3 - t_2|$ 。



(a) 直闪法冲击电压为 23kV 实测波形；(b) 直闪冲击电压为 32kV 实测波形

图 20 洛阳铁路水电段电力电缆实测波形



例 21 银川国际机场电力电缆故障实测

测试时间：1999 年 11 月 3 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

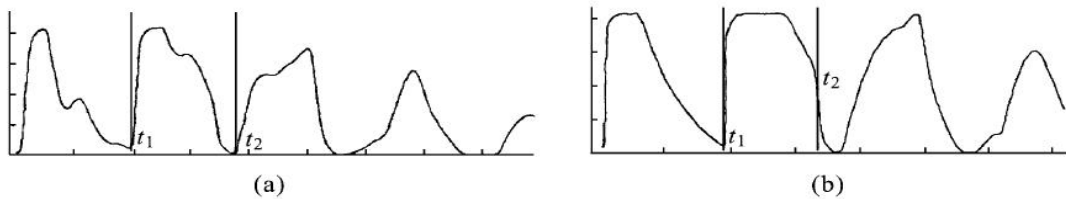
故障性质：用 2500V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 $18\text{M}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 1200m，测试长度为 1187m。

测试方法：同时采用电流法和电压方法。

测试波形：如图 21 所示。

波形分析：采用电流方法对电缆进行故障测试，当电压升到 12kV 时，闪测仪出现如图 21 (a) 所示波形，故障距离为 456m。再采用电压方法进行故障测试，在同等电压下，出现如图 21 (b) 所示波形，通过分析波形知，故障点距离为 445m。



(a) 电流法冲击电压为 12kV 实测波形；(b) 电压法冲击电压为 12kV 实测波形；

图 21 银川机场电力电缆实测波形

例 22 广州车辆厂电力电缆故障实测

测试时间：2004 年 10 月 3 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

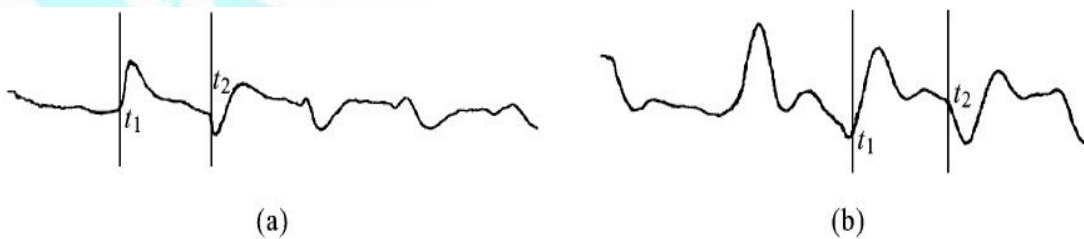
故障性质：用万用表测故障相对地绝缘电阻为 $65\text{k}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 435m，测试长度为 428m。

测试方法：采用冲闪方法。

测试波形：如图 22 所示。

波形分析：采用 CVF 方法对电缆进行故障测试，当电压升到 8kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 22 (a) 所示波形。从图中可以看到故障点已闪络放电，但因冲击电压比较低，故障点反射脉冲拐点不清楚，当把冲击电压升到 15kV 时，闪测仪出现如图 22 (b) 所示波形。很明显此反射脉冲波形拐点很清楚。



(a) 冲击电压为 8kV 实测波形；(b) 冲击电压为 15kV 实测波形

图 22 广州车辆厂电力电缆实测波形

例 23 长沙电缆管理所电力电缆故障实测

测试时间：2003 年 9 月 29 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

故障性质：用 5000V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 $65\text{M}\Omega$ ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 2520m，测试长度为 2512m。

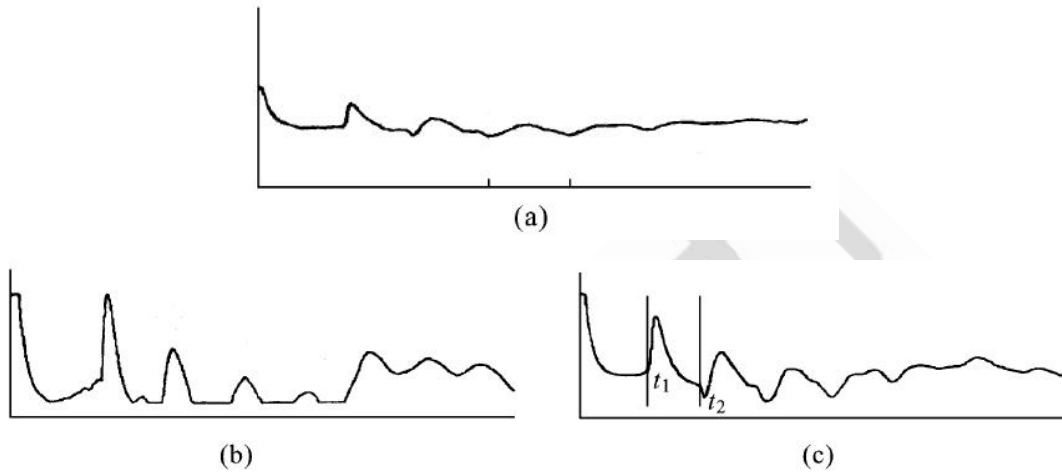
测试方法：采用冲闪方法。

测试波形：如图 23 所示。

波形分析：采样冲闪方法进行测试，当冲击电压为 15kV 时，闪测仪出现如图 23 (a) 所示波



形。故障点已闪络放电，但因脉冲幅度太小，故障波形反射不明显，在同等电压下增大输出幅度出现如图 23 (b) 所示波形，但又因幅度太大，且垂直位移偏低，使得波形靠下而限幅，再重新调整仪器得到如图 23 (c) 反射波形，故障波形清晰可见，故障距离为 120m。所以在现场测试中对于仪器的调整显得很重要。



(a) 冲击电压为 15kV 实测波形； (b) 增大输出幅度
(c) 提高垂直位移实测波形

图 23 长沙电缆管理所电力电缆实测波形

例 24 武昌供电局电力电缆实测

测试时间：2004 年 7 月 9 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

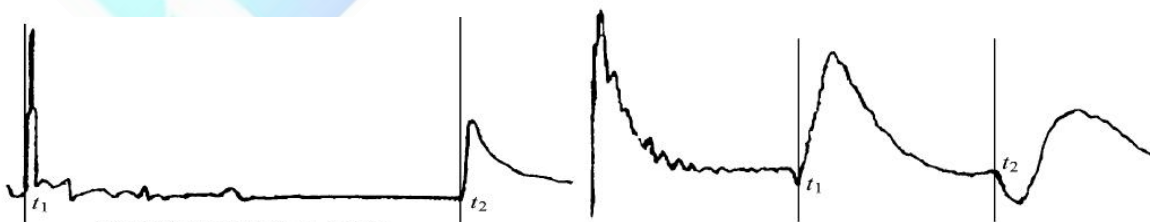
故障性质：用 2500V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 38MΩ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 2480m，测试长度为 2475m。

测试方法：采用低压脉冲法和冲闪法。

测试波形：如图 24 所示。

波形分析：采用脉冲法测得电缆全长为 2475m，如图 24 (a) 所示波形。再采用冲闪方法对电缆进行故障测试，当电压升到 25kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 24 (b) 所示波形。故障点距离为 550m，通过同步接受定点仪精确定位，最后确定故障为电缆本体主绝缘损伤，为封闭性故障。



(a) 脉冲法实测波形； (b) 冲击电压为 25kV 实测波形

图 24 武昌供电局电力电缆实测波形

例 25 广东肇庆供电局电力电缆故障实测

测试时间：2003 年 9 月 20 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

故障性质：用 2500V 兆欧表测的故障相对地绝缘电阻为 450MΩ，属于闪络性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 1250m，测试长度为 1237m。

测试方法：采用直闪法。

测试波形：如图 25 所示。



波形分析：采用直闪方法对电缆进行故障测试，当电压升到 30kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 25 所示波形，故障点距离为 510m。

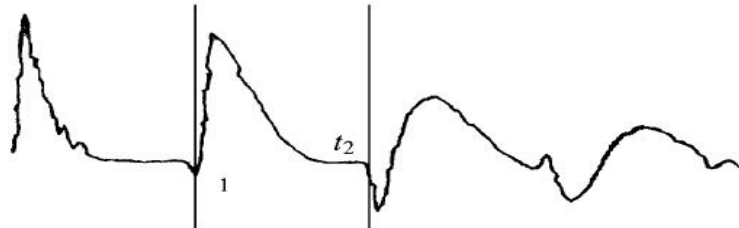


图 25 广东肇庆供电局电力电缆实测波形

例 26 广西北海供电局电力电缆实测

测试时间：2006 年 11 月 29 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

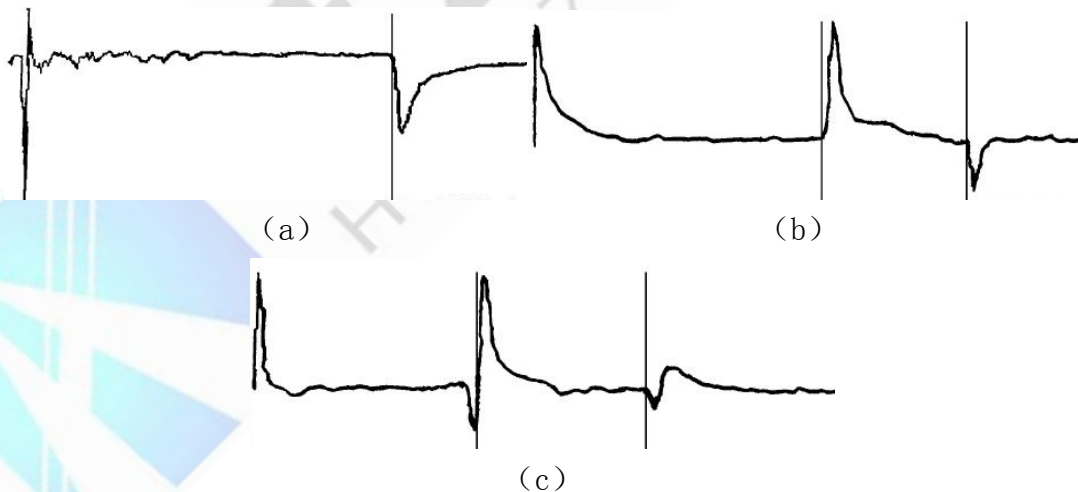
故障性质：2500V 兆欧表测故障相对地绝缘为 120MΩ，属于泄漏性高阻故障。

电缆长度：标注长度为 2310m，测试长度为 2300m。

测试方法：采用低压脉冲法和冲闪方法。

测试波形：如图 26 所示。

波形分析：采用低压脉冲法测的电缆全长为 2300m，如图 26 (a) 所示波形。再采用冲闪方法对电缆进行故障测试，当电压升到 25kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 26 (b) 所示波形，故障点距离为 420m，在电缆的另一端采用同样的方法得到如图 26 (c) 所示波形，故障距离为 1876m。



(a) 脉冲法实测波形；(b) 冲击电压为 25kV 实测波形；
(c) 冲击电压为 25kV 电缆另一端实测波形

图 26 北海供电局电力电缆实测波形

例 27 沈阳电业局电力电缆故障实测图

测试时间：1997 年 8 月 13 日。

电缆型号：10kV 交联聚乙烯电缆。

故障性质：万用表测故障相对地绝缘电阻为 350kΩ，属于泄漏性高阻故障。

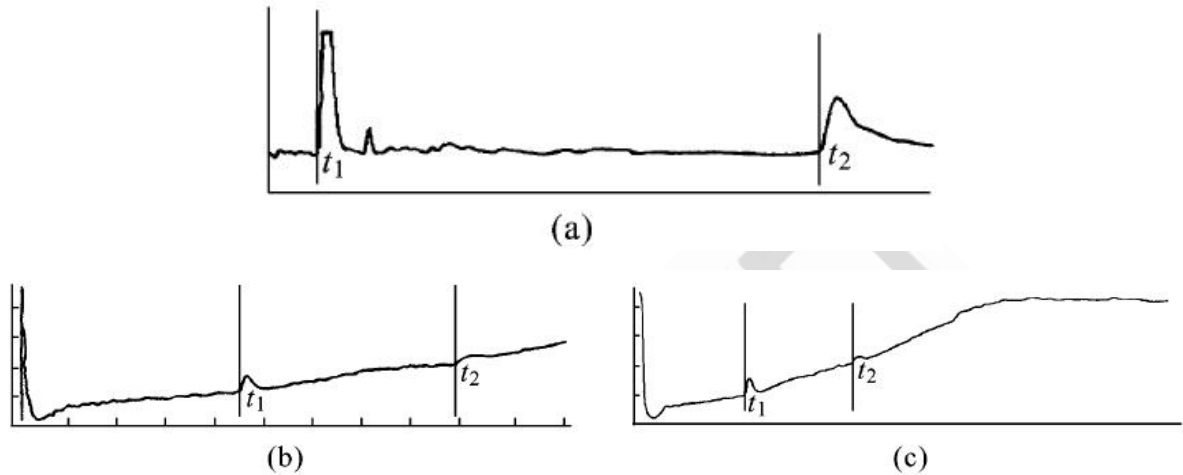
电缆长度：标注长度为 1560m，测试长度为 1554m。

测试方法：采用低压脉冲法和冲闪法

波形分析：采用低压脉冲法测的电缆长度为 1554m，如图 27 (a) 所示波形。再采用冲闪法对电缆进行故障测试，当冲击电压升到 12kV 时，故障点形成闪络放电，闪测仪出现如图 27 (b) 所示波形。很明显故障波形已经形成，但因其幅度过小，看不清故障点的反射拐点，当把冲击电



压升到 25kV，仪器的振幅旋钮调到最大，出现如图 27（c）所示波形，故障距离为 1350m，但效果也不理想，这就是冲闪法的缺陷所在。当故障绝缘阻值较低，电缆故障距离偏大时，通过水电阻来进行分压的取样方式，往往会出现这一类型的波形。



(a) 脉冲法实测波形； (b) 冲击电压为 12kV

图 27 沈阳电业局电力电缆实测波形

第二部分 电缆故障定点仪

电缆故障定点仪是利用声学的方法确定动力电缆故障点。借助于冲击放电发生器产生电子闪络。该电子闪络波的声磁信号经相应探头拾取并放大，由听觉和视觉



判断。来确定故障点的精确位置，即完成电缆故障点粗测范围内的精确定位任务。

第一章 定点仪的主要性能

- (1) 可同步接收故障点放电时产生的声波和电磁波，用于确定电缆故障点位置。
- (2) 放大倍数，50 万倍。
- (3) 工作电压： $\pm 9V \pm 20\%$
- (4) 静态电流： $< 10mA$
- (5) 接收信号：故障点放电时的振动和磁场信号
- (6) 输出阻抗： 350Ω
- (7) 定位精度： $0.2m$

第二章 面板示意图



电缆故障定点仪面板图

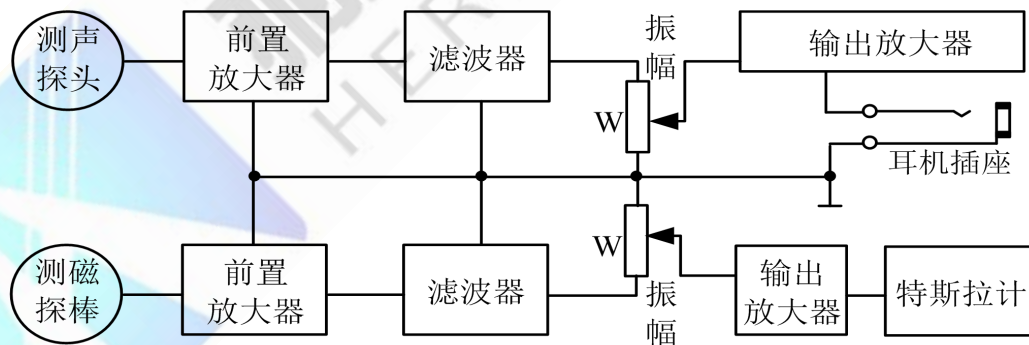
- 1、指针表头：指示磁场强度；
- 2、电平调节：调节磁场强度的基准，使指针表头能有效在摆动；



- 3、频率调节：在路径探测的过程中调节接收频率，使我们耳朵听到比较容易识别的路径信号；
- 4、音量调节：在定点和路径时调节，使我们耳朵听到比较适当的声音信号；
- 5、输入通道：精确定点时接探头传感器，路径探测时接探棒传感器；
- 6、工作方式：选择工作方式；
- 7、输出通道：接专用耳机。

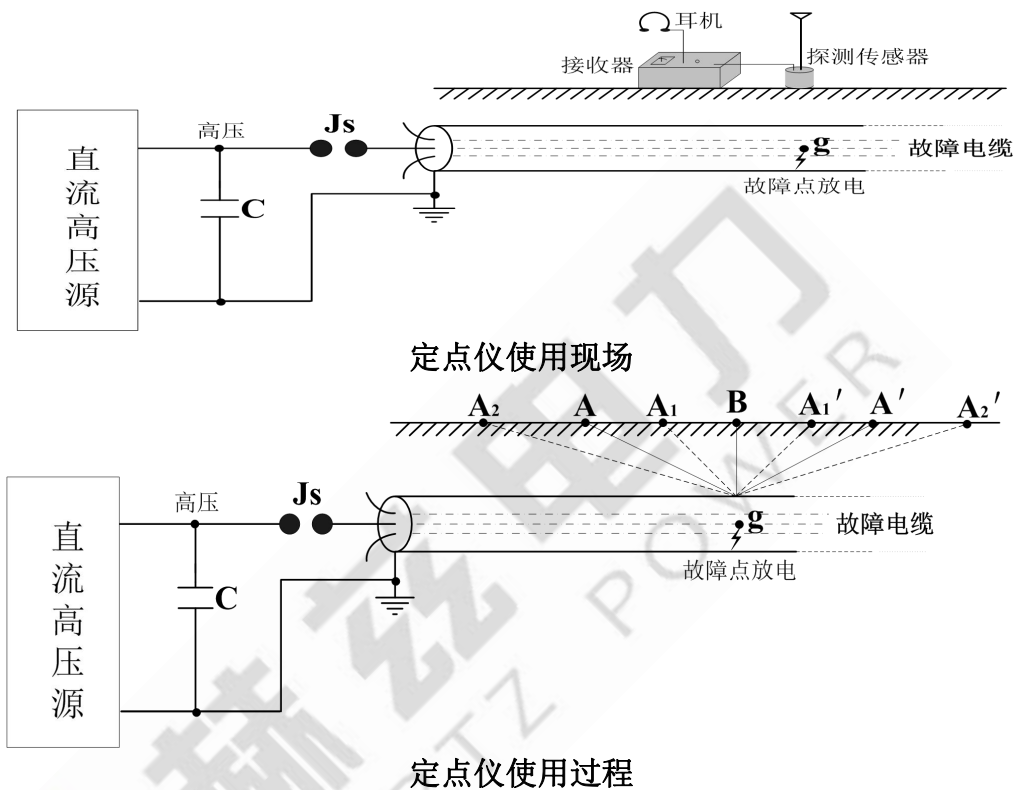
第三章 定点仪的故障定位原理和电路工作原理

电缆故障点在高电压作用下产生闪络放电时，同时存在四种物理现象：回波、声波、电磁波、红外波，电缆故障闪测仪检测故障点闪络放电产生的回波，完成故障点的粗测，电缆故障定点仪则利用故障点闪络放电产生的声波及电磁波完成故障点的精确定位。



定点仪工作原理框图

第四章 现场示意



第五章 操作步骤

- 1、接线：先将耳机插头插入输出通道；再根据需要接入不同的传感器。如定点时：将探头接入输入通道；如路径时：将探棒接入输入通道；
- 2、调节“工作方式”旋钮到所需的位置，如“定点”位置；
- 3、调整“电平调节”按钮，使得“特斯拉计”的表针有效地摆动；
- 4、调整“音量调节”按钮，使得耳机的声音适合使用者；
- 5、使用者带上耳机，一手拿定点仪主机，另一手握拿探头；
- 6、整个使用过程，一定要确保探头在电缆的正上方，粗测的范围内进行。当其在故障点的正上方时，耳机声音最大，特斯拉计表针摆动最强，且与声音同步，该点即为故障点。如上图 B 点为故障点。

第六章 注意事项

- 1、仪器长期不用时，应将电池取下，避免漏电损坏仪器。
- 2、电池电压不足时，仪器灵敏度下降，应即时更换电池。
- 3、仪器出现故障时应送原厂维修，切不可随意拆卸，以防不测。

第三部分 电缆路径仪

第一章 概述

电缆路径仪是用于在一定范围内准确探测地埋电缆走向位置及埋设深度的专用仪器；

路径探测由路径信号发生器和路径信号接收器（电缆故障定点仪）配合测试完成；通过它们之间的配合使用操作，在大概的电缆埋设范围内，对电缆路径精确定位。

第二章 路径探测的主要组成

路径探测主要由路径信号发生器和接收器组成

2.1、路径信号发生器

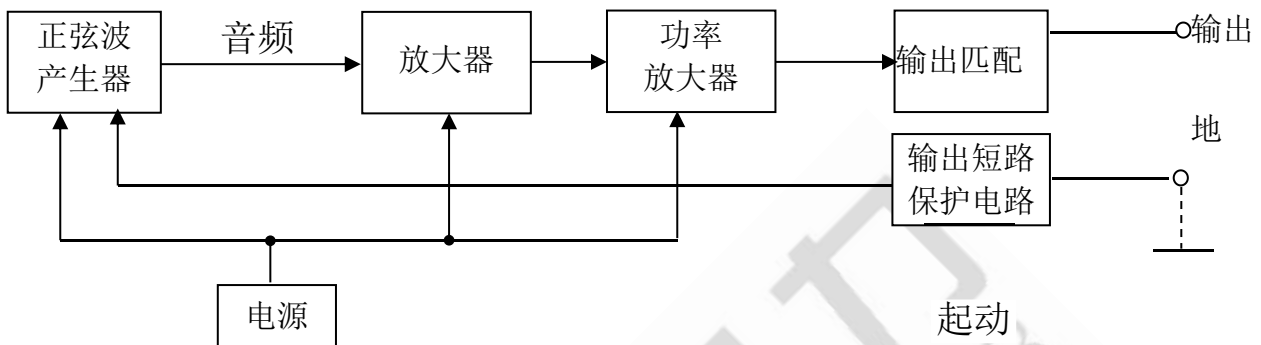
路径仪是探测地埋电缆路径时所需的大功率路径信号产生器。

2.1.1 主要技术指标参数

- a) 输出功率大，抗振、抗干扰能力强，稳定可靠；
- b) 具有可靠的过流、开路、短路保护功能；
- c) 输出频率：音频；
- d) 输出信号：断续，0~50Vpp
- e) 工作电源：220V（1±10%） 50Hz（1±5%）；
- f) 输出功率：100W；
- g) 输出电流：0~2A；

2.1.2 工作原理

工作原理框图如图所示。

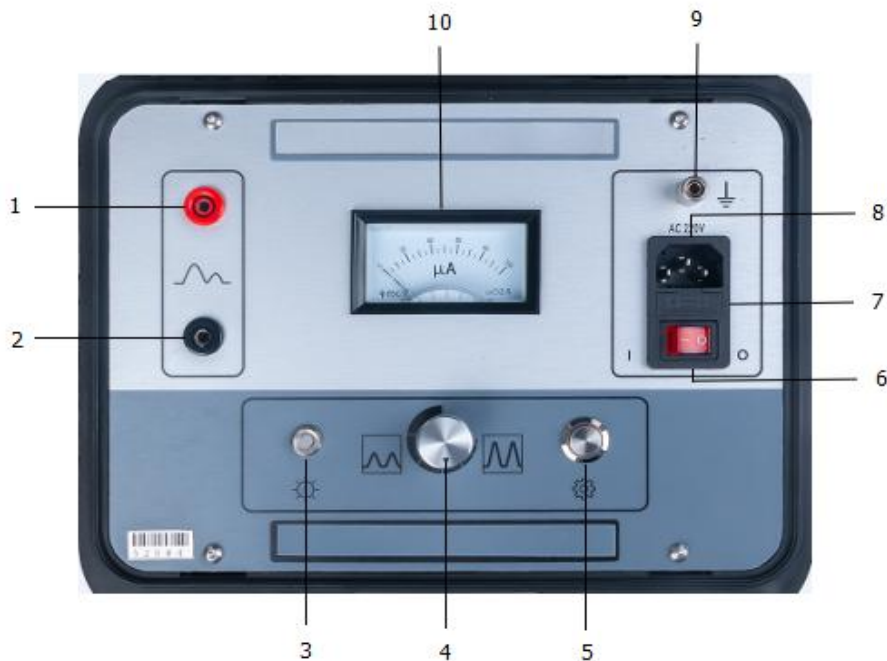


路径仪工作原理框图

正弦波产生器输出音频正弦波信号，通过控制电路加到功率放大器，再经“功率输出”进行阻抗匹配输出，如果“输出”端负载短路（ $<2\Omega$ ），信号源会立即保护，一旦负载短路状况排除，再按“起动”键，信号源恢复正常工作。

2.1.3 路径仪（路径信号发生器）面板的布置图

路径信号发生器面板布置如图所示。



电缆路径仪面板图

- 1、输出正极：信号源输出正，接电缆的相线；
- 2、输出负极：信号源输出负，接电线的地线；
- 3、过载指示：过载指示灯，当输出短路时或信号过大时该灯亮；

- 4、输出调节：输出幅度调节旋钮，它可以改变输出幅度的大小；
- 5、启动按钮：当过载灯亮时，减小输出幅度后，接此键可以重新启动信号发生器，使路径信号重新输出；
- 6、电源开关：“I档”打开市电 AC 220V 供电开关，“0档”关闭系统电源；
- 7、保险管座：220VAC 供电系统保险管安装处；
- 8、电源插座：仪器工作电源，220VAC 连接口；
- 9、接 地 柱：安全接地端子；
- 10、输出表头：当表头指针有摆动时，说明有输出信号；当指针不动时说明没有输出信号；指针摆动的幅度表示输出信号的幅度（即输出变大或变小的趋向性数值，不代表具体的单位值大小）；

2.2、路径接收机（电缆故障定点仪）

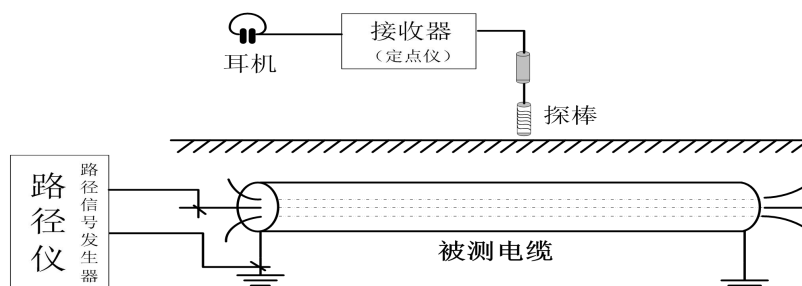
接收电缆路径仪发出的路径信号，从而对电缆的埋设深度及其走向进行精确探测。（详细介绍见定点仪说明部分）

第三章 路径仪的操作使用

3.1、路径仪的操作使用

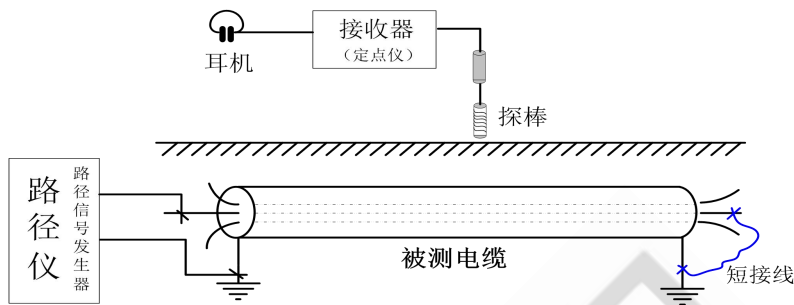
3.1.1 探测接线

- a) 接好电源用线；
- b) 把红接线柱（输出正）接到故障电缆（或正常电缆）的“好”相上，“地”黑接线柱（输出负）接地，而电缆的另一端三相应对地开路。如果出现输出信号很弱，可将电缆的另一端对地短路。如下图所示。

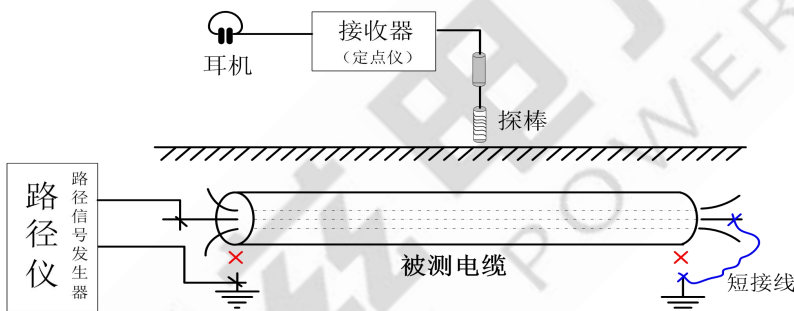




一般路径探测连线示意图



超长电缆或断线电缆路径探测接线示意图



特殊路径探测接线示意图

3.1.2 输出信号初调整

将“输出调节”旋钮逆时针(左旋)旋之最小。

3.1.3 接通电源后的预调整

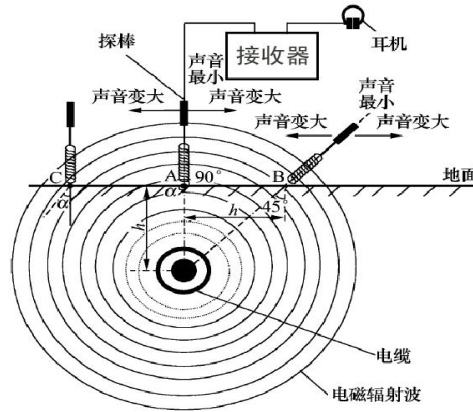
按下“电源”开关，电源指示灯亮；调“输出调节”使“输出表头”指示在适当范围。若被测电缆超过数公里以外，可使预调输出电压趋向加大；若“过载”灯亮，减少输出幅度后，按“启动”按钮重新启动信号。

3.2、接收器、探棒和耳机的操作使用

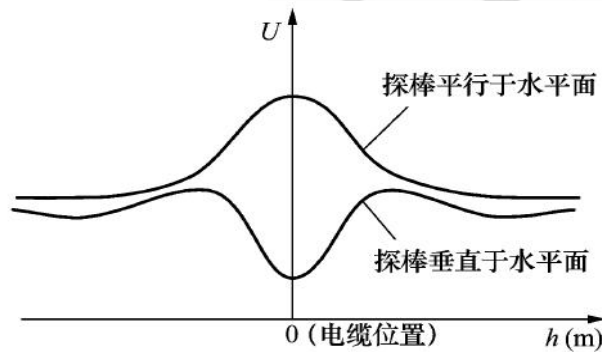
a) 探棒接输入通道、耳机接输出通道；

b) 接收器（定点仪）“工作选择”放“路径”位，此时接收器应接收到音频路径信号。“音量调节”置合适位置，调“频率微调”电位器，使耳机能差拍输出悦耳的断续声。探棒垂直地面所听到的最小点连成的线，即为所埋电缆的埋设路径。

c) 若欲判断电缆埋设深度，可在已测准的电缆位置上面，将探棒与地面成 45° 夹角，垂直于该路径走向向外移动，当耳机中信号声音最小时，探棒所平移的距离即电缆的埋设深度。上述操作要领可参照图 4 探棒放置示意图。



探棒放置示意图



路径探测接收幅值与位置关系图

即在探测电缆路径走向位置时，要使探棒与水平面始终保持垂直状态，当探棒在电缆走向位置正上方时，接收的“耳机声”相对最小，即“相对指示最小”的地面位置连线就是被测电缆路径的走向位置。

另外在探测电缆路径埋设深度时，应使探棒与电缆走向垂直并与水平面夹角成 45° ；向一边移动探棒时，“耳机声”存在一个由大变小、又由小变大的过程，那末“相对指示”最小的地面上那一点到电缆地面走向的垂直距离即是电缆在该处的埋设深度。

第四章 现场探测注意事项

a) 若信号的“输出”过载或被测电缆有短路现象，路径仪的“过载”指示灯亮，信号源无输出信号；此时应减少信号源的“输出调节”或排除被测电缆短路（最好使用“好”相）现象，再按“启动”按钮即可恢复信号源的正常工作。

b) 探测前操作人员应详细阅读使用说明书，做到仪器操作应用自如；在正式探测过程中，应保持“调节旋钮”的稳定状态，这样才能使“相对耳机声指示”的大、小区别可靠、可信，那么被测电缆路径也就能准确测定；因此，操作者操作经验熟练程度的高低和经验积累是电缆路径成功探测的必要前提之一。

- c) 时时刻刻做好探测标志，标志清晰可信，以免发生不必要的返工重测现象。
- d) 当接入电源打开开关，指示灯不亮时就检查保险管。
- e) 严格按照电力电气行业操作程序、规范进行安全操作，确保人身安全和设备完好，从而使探测试验顺利进行。

第四部分 脉冲储能电容器

- 1、主要用于各种电缆的所有高阻故障的粗测。
- 2、主要用于各种电缆所有类型故障的精确定位。
- 3、脉冲储能电容采用特殊高压工艺，体积小，安全可靠。
- 4、容量电压： $2\mu\text{F}$ ($1\pm 10\%$)/35kV
- 5、损耗质：不大于 0.006 (1kHz)
- 6、绝缘电阻： RC 大于 $7500\text{M}\Omega \cdot \mu\text{F}$
- 7、极间耐压： $1.1-1.5U_n \cdot 2s$ 极对壳： $2U_n \cdot 2s$
- 8、环境温度： $-25-40^\circ\text{C}$ 海拔：1000m





售后服务和质量承诺书

为了更好的服务用户，做好及时的使用指导和售后服务，武汉赫兹电力设备有限公司以“技术领先、质量可靠、轻便易用”为产品宗旨和“快速响应、达到满意、超过期望”为服务宗旨，保证用户在购买、使用、维护产品的每一个过程中都有非常完美的客户体验。

一、产品质量承诺：

- 1、产品的制造和检测均符合国家标准及行业标准。
- 2、我公司所提供的产品在质保期内如果存在质量问题，我公司保证全力解决，达到用户满意。

二、产品的质保：

自整机收到货后提供壹年免费维修，终身维护服务。在仪器的使用年限内，本公司将长期提供仪器的维护、使用培训、软件升级、配件供应等相关服务。

三、售后服务能力：

1. 在设备的设计使用寿命期内，我公司承诺保证设备的正常使用。壹年内出现故障免费保修，超过壹年或因用户使用不当造成损坏，仍免费提供技术服务，如需更换零部件，仅收取材料成本费。
2. 仪器在质保期内如出现故障，请及时与本公司联系，我们将根据情况采取下列措施之一为您服务：返厂维修 上门维修 更换新仪器 提供应急备品

四、服务管理制度及体系：

- 1、**售前服务：** 免费向用户提供技术资料，安排客户对我公司进行考察。
- 2、**售中服务：** 为防止用户选型不当而造成不必要的损失，我公司为用户提供专业的技术选型和指导。在发货前公司会拍摄专业的产品操作视频进行指导，确保正确使用该产品，同时也可以通过电话、视频进行技术交流，让用户用得安心。
- 3、**售后服务：** 我公司在 2 小时内响应维护服务，24 小时技术支持，可以通过电话、视频进行指导，为更好的做产品售后服务工作，及时接收用户反馈的问题，公司设有专门的售后服务电话：**027-83267669**，有专业人员接听并及时做好反馈记录，并提供解决问题的办法。如有需要到现场指导的，公司会根据客户实际情况（本省之内）24 小时内到达现场处理，外地（外省）48 小时到达现场处理，安排相关专业人员到指定地点进行及时指导。除此之外，我公司将定期回访客户的使用情况，提供专业的技术支持，做好回访记录。
- 4、**售后服务申明：** 本公司所提供的技术支持服务均为免费服务。