

TDR 导线断点测试仪的使用指南

一、背景

飞机的线路故障，是机务维修工作中的难点。难点在于断路或者短路位置的查找。传统的方法，是目视检查，结合三用表测量。为了接近，往往需要花费大量的时间和人力，排故的耗时长，投入大。

TDR 测试仪（PN:6021-5154），是一种专门针对导线损伤位置定位的工具。为了能熟悉 TDR 测试仪的性能和掌握其使用方法。我们使用两条长度约 10.3 米的导线，模拟各种情况，进行实验。研究这些情况下，TDR 测试仪波形显示的变化。



二、TDR 测试仪使用简介

1. 目标导线的等效模型

如图 1 所示，双绞导线、平行导线内的两导体，或者带屏蔽线的导线内的导体和屏蔽线，可被视作一个电容。平行板电容器的电容量 $C = \epsilon S/d$ 。（ ϵ 为极板间介质的介电常数， S 为极板面积， d 为极板间的距离。）所以面积越小，距离越大， C 越小。

电容的阻抗 $X_c = 1/2 * 3.14fC$ ，可见 C 越小，阻抗越大，所以双绞线中，如果有一条导线出现断点，相当于电容器的极板面积变小， C 会变小，阻抗会变大。

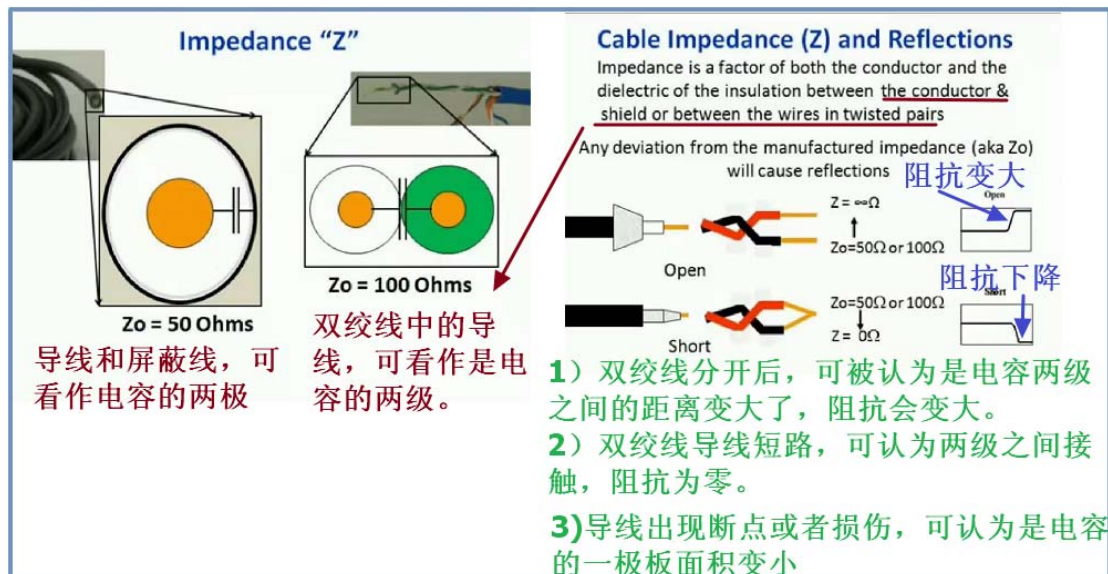


图 1 目标导线的等效模型

2. TDR 的探测原理

TDR 即（Time-Domain Reflectometry 时域反射技术）。此设备可准确测量出导线断点

和测试仪之间的距离。TDR

TDR 测试仪发出探测波，并接收反射波，遇到端点或者断点，反射波的强度会变大。这正是 TDR 测试仪的基本原理。

在设备显示屏上，波形会显示出阻抗的跳变点，如图 3 所示。

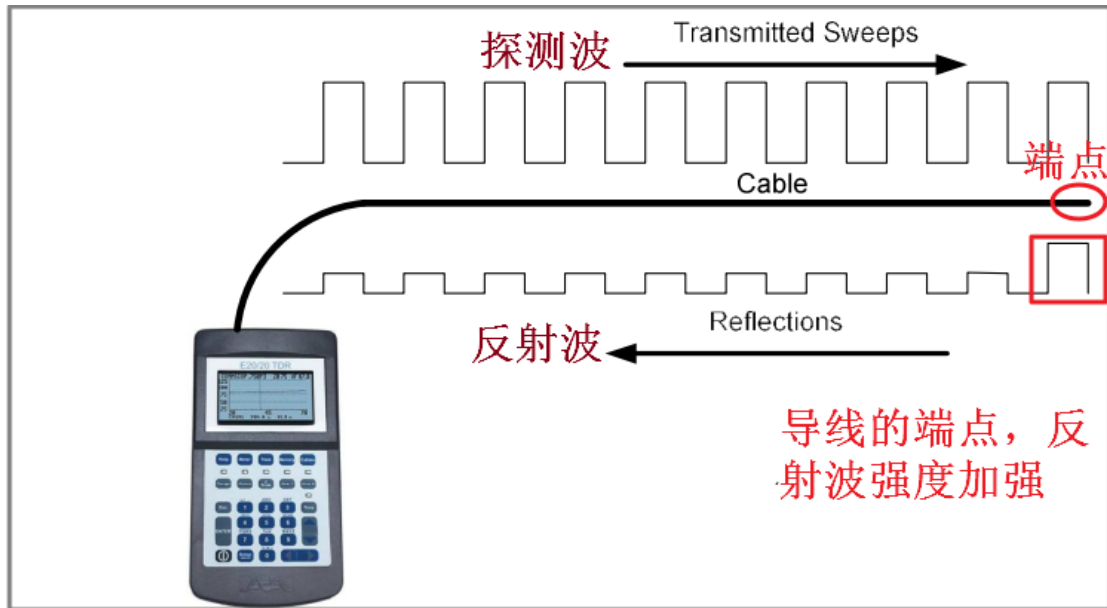


图 2 TDR 测试仪的工作原理

3. 导线的初始特性

在使用 TDR 测试仪对导线进行探测时，需要注意导线的两个初始特性参数，阻抗 Z_0 和速度因子 VF 。损伤位置对应的阻抗会偏离 Z_0 值很大，具体表现为波形的突增和突减。速度因子 VF ，决定了损伤位置的计算。在 TDR 的波形上，纵向坐标表示导导线阻抗的变化，横向坐标表示导线的位置，定位的准确取决于初始设置时，输入正确的速度因子。

1) 导线的初始阻抗 Z_0

TDR 测试仪可以测量的导线类型有：双绞导线、平行导线、带屏蔽的导线。状态良好的，一定长度的此类导线，有一个固定的阻抗值，定义为 Z_0 ，这是导线的初始属性。使用 TDR 测试仪对导线进行测试时，是本导线的实际阻抗值，定义为 Z 。

TDR 测试仪屏幕上显示的波形，纵轴是阻抗值，横轴是长度值。曲线的每一个点表示的是，导线上每一个点，对应的阻抗值。因此，当状态良好的那部分导线，对应的波形平缓，且对应的阻抗值，约等于 Z_0 。当导线出现以下状况时，波形都会出现相应的变化。这些变化，正是判断断点的依据。

- ① 导线拐弯，两导线间距较大（1MM），都会出现较小的波峰。
- ② 当某处出现断路时，波形会出现突增。
- ③ 当某处出现短路时，波形会出现波谷。



图3 断路和短路使导线的阻抗发生变化

2) 导线的速度因子

速度因子是表示波传输在导体内传播速度的参数。VF 越大，表示传播速度越快。导线装机后，受到其他导线束的影响，VF 值可能会出现变化。在飞机维护手册中，是无法查询到某一条导线的速度因子。但 TDR 具备检测目标导线速度因子的功能，后续有详述。

TDR 测量的是探测波来回的时间，速度是根据输入的 VF 值获得对应值。在时间、速度已知的情况下，距离就可以计算出来。假设，输入偏大的 VF 值，计算出的距离值将偏大，波形将顺着横轴，整体向右移动。可见 VF 的准确，对准确定位导线损伤位置，影响较大。

Time X Velocity = Distance
 2 VF影响导线内波形的传播速度

速度因子VF，需要在使用TDR测量之前，在初始化设置时，需输入准确的VF值。这样，对应的速度值也确定。只需再测量出探测波来回的时间，就可以计算出距离。

图4 速度因子决定导线传输速度



图5 Z0 和 VF 值的设置



图6 Z0 值不同设置下的波形

4. TDR 波形的显示

如图 5 所示，TDR 测试仪的显示波形：

① 断路对波形的改变：0-56 英尺之间的导线对应的波形，曲线平缓，阻抗值约等于 50-60 欧姆之间（导线的 Z0 值），视为正常。56 英尺，阻抗突增，波形也向上突变。

② 短路对波形的改变：在 56 英尺的位置，阻抗突减，波形也向下突变。

③ 两导线间距不同对波形的改变：0-30 英尺之间，两导线间距较小，曲线平缓，阻抗值约等于 75 欧姆，视为正常；30-60 英尺之间，两导线的间距扩大，曲线上移，但仍平缓，阻抗值约为 125 欧姆；60 英尺的位置，导线出现断点，阻抗突增，波形也向上突变。

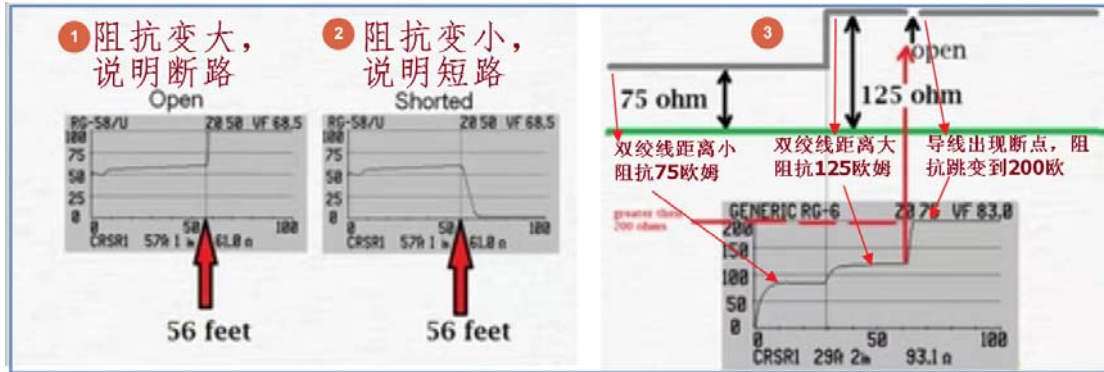


图 5 TDR 波形的解读示例

三、研究 TDR 测试仪的设备特性

1. 模拟两导线绝缘性差的实验

如果两导线之间存在磨损，导致绝缘性变差。经过上述的波形示例已知，如果两导线短路，波形会在短路位置出现波形突降。此实验的目的是想了解，TDR 能探测绝缘性故障的灵敏度。

1) 两导线的绝缘性较差

在两导线的 6.3 米位置，用 2.293K 欧姆的电阻将两导线连接。如图 6 所示，波形并没有变化，没有出现波形突降的现象。说明 TDR 测试仪无法探测出此种故障。



在 6.3 米处，用 2.293K 欧姆的阻值将两导线连接，模拟两条平行导线绝缘性差。

图 6 模拟两导线的绝缘性较差

2) 两导线的绝缘性很差

在两导线的 6.3 米位置，用 33 欧姆的电阻将两导线连接。如图 7 所示，波形出现变化，出现波形突降的现象。说明 TDR 测试仪能够探测出此故障。

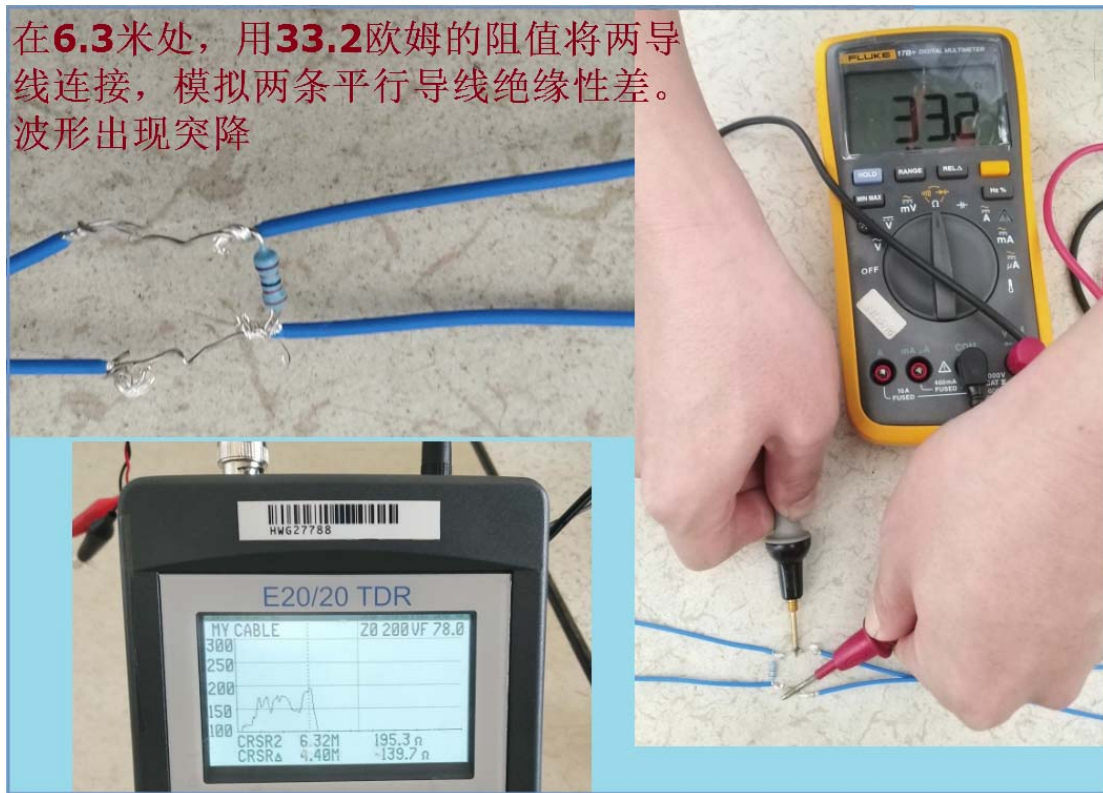


图 7 模拟两导线的绝缘性很差

2. 模拟导线断丝的实验

将某一导线剪断，仅用一小股导线连接。TDR 测试仪的波形没有改变，实验结果证明，此种缺陷，TDR 无法探测出。

3. 模拟导线完全断路的实验

在导线某处剪断，TDR 测试仪显示 6.3 米，出现波形突增。经过皮尺测量，发现实际距离 6.3 米左右，误差很小。测试实验证明了 TDR 对断点定位的精度。

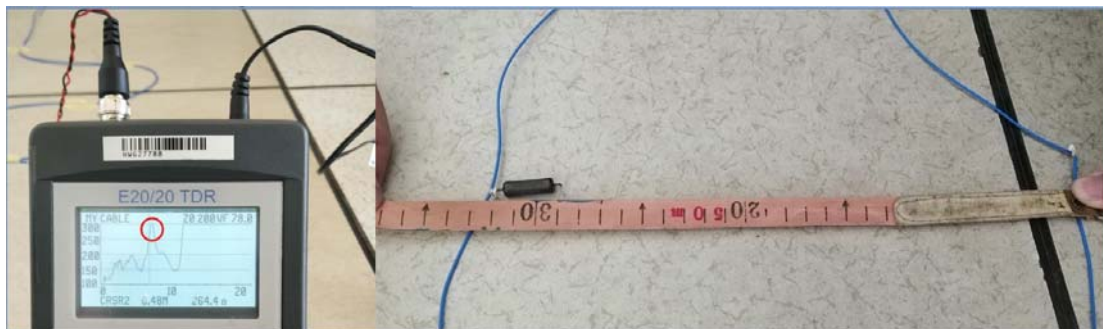
小结：通过上述两实验的证明，TDR 能精准的检测出完全断路和接近短路的导线故障。

4. 研究导线间距对波形的影响

此实验的目的是想了解导线间距的大小对测量导线断点的影响多大。

1) 两导线较大间距

在 6.4 米处，将两导线逐渐分开至 32CM，相应位置的波形的波峰逐渐变大，直至 300 欧姆。如果是断点，阻抗值将远大于 300 欧姆。可见，间距超过 32CM，不影响导线断点位置的测量。



研究两导线距离和阻抗的关系：在 6.4 米处，将两导线的距离分开 32CM，波形出现凸增，阻抗值为 300 欧姆

图 8 两导线较大间距

2) 两导线很大间距

在 7.84 米处，将两导线逐渐分开至 119CM，相应的阻抗等于 500 欧姆。同理，间距超过 119CM，不影响导线断点位置的测量。

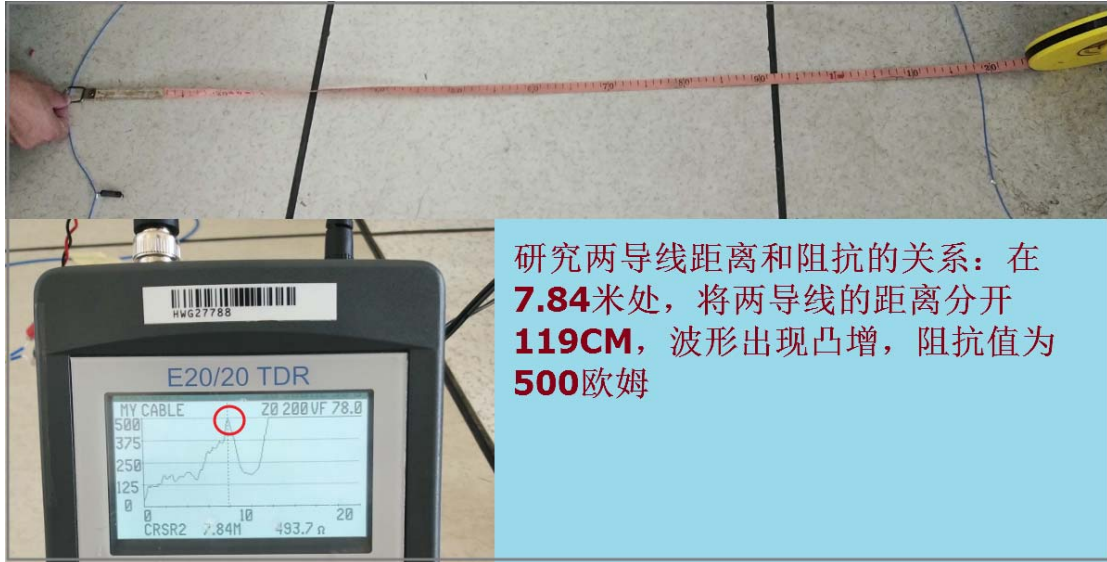


图 9 两导线很大间距

图 8、9 两实验的结果证明，导线的间距对阻抗有影响，但不影响断点的定位。在实际排应用时，可以忽略电插头，接线块处导线分开间距变大的影响。这有助于选择更容易接近的点，对线路进行测量，可以避免为了接近中间位置，客舱地板下的某处接线块，而做了大量的接近工作，选择上游，更容易接近的继电器，计算机基座来测量，将更为便捷。

5. 研究下游导线出现分支对测量结果的影响

此实验结果证明，TDR 测量的是 2 点的距离。利用 TDR 的这个特性，在排故过程中，有助于我们选择更容易接近的点。

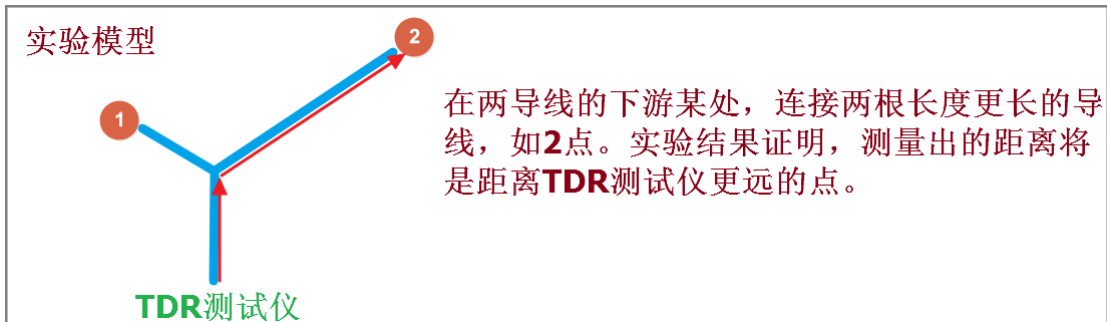


图 10 导线分支对测量结果的影响

6. 研究各种小波形的成因

实践证明，在下述情况下，会有小波峰的出现：

- 1) 两导线的间隔分开仅 1MM，在选择阻抗量程 200。
- 2) 导线拐弯处

此实验，可以利用小波峰出现的顺序，对应实际线路的拐弯点顺序，初步定位阻抗突变点的大概范围。

7. 研究环境对波形的干扰程度

将导线放进金属管内，模拟干扰的环境。实验证明，波形在金属管移动时，有微小的变化，

稳定后，波形几乎不变。此实验结果表明，环境的干扰对断点定位的影响，可以忽略。

四、TDR 测试仪的使用指南

(一) 初始化设置

1. METER 页面的设置

1. 将鳄鱼夹同轴电缆连上 TDR 测试仪
2. 按左下角的开机键
3. 按 METER 键进入菜单
4. 在 INPUT CHANNEL 选择 COAX INPUT

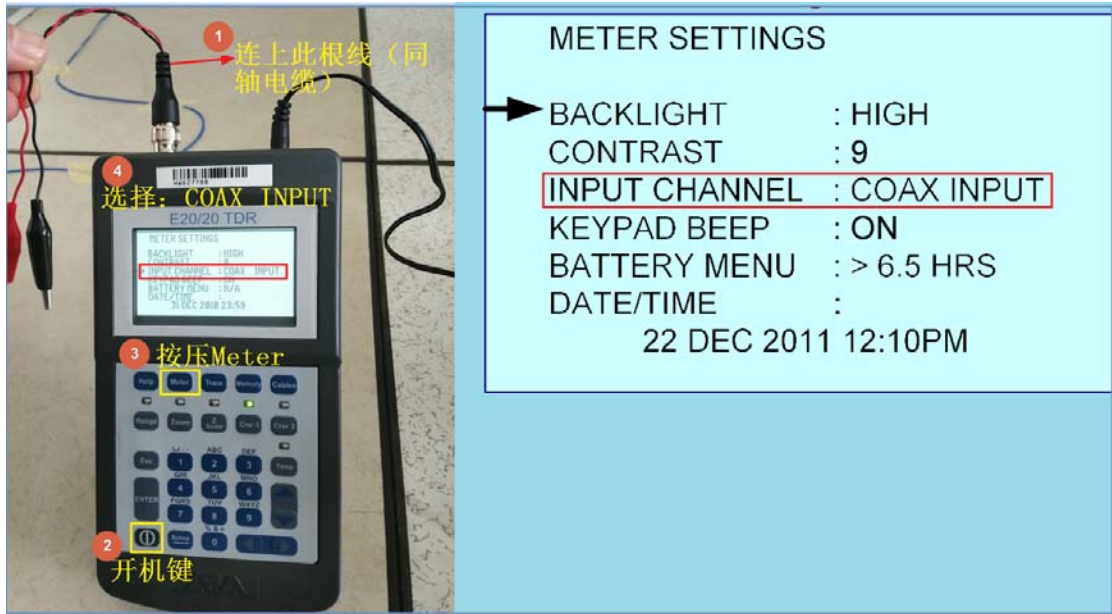


图 11 METER 页面的设置

2. CABLE 页面的初始化设置

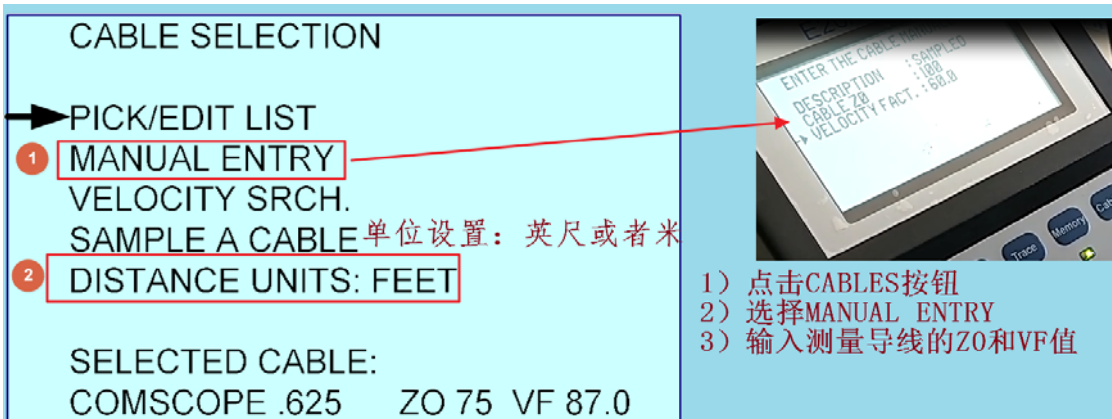


图 12 CABLE 页面的设置

导线的 Z0 和 VF 属于导线的特性参数。其中 VF 值最为重要，影响到导线损伤位置的定位精度。VF 值不能直接从手册获取，可用 TDR 测试仪测量获得，方法如下所述。

3. 测量速度因子的方法 1

- 1) 查询目标导线的实际长度：在 AWL 手册中查询导线的实际长度。比如 2781-4515 这根导线，可以查询实际的长度为 491CM。

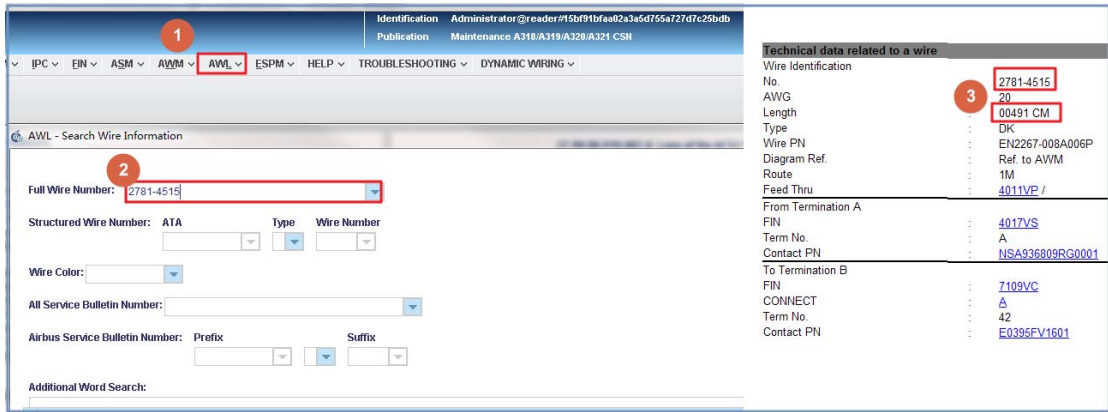


图 13 查询查询导线的实际长度 12

- 2) 需有两条与目标线一样长度的导线：断开两条好导线两端的插头。
- 3) 用 TDR 测试仪测量导线 VF 值步骤：
- ① 将鳄鱼夹同轴电缆与 TDR 测试仪连接，并开机。
 - ② 按压按钮 CABLES：显示出 CABLE SELECTION 页面
 - ③ 移动上、下键：选择 VELOCITY SRCH
 - ④ 按压按钮 CRSR1：显示出虚线
 - ⑤ 移动左、右键移动虚线的位置：使虚线的位置等于导线的实际长度（491CM）。
 - ⑥ 移动上、下键改变 VF 值：当虚线和实线（波形的跳变点）的位置重合时，VF 值是目标导线的测量值。

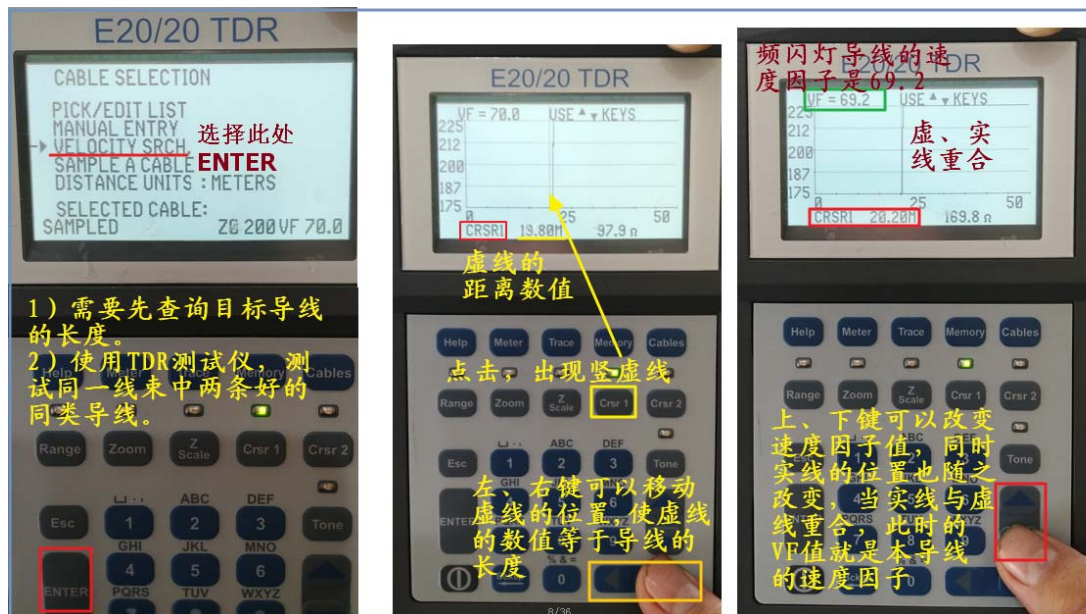


图 14 测量导线速度因子的方法 1

4. 测量速度因子的方法 2



选择**MANUAL ENTRY**，
按压**ENTER**

初设估算值**Z0**为**100.VF**
为**60**，然后按**ECS**

选择**SAMPLE A CABLE**，
然后按压**ENTER**键

图 15 检测导致 VF 值的步骤 1

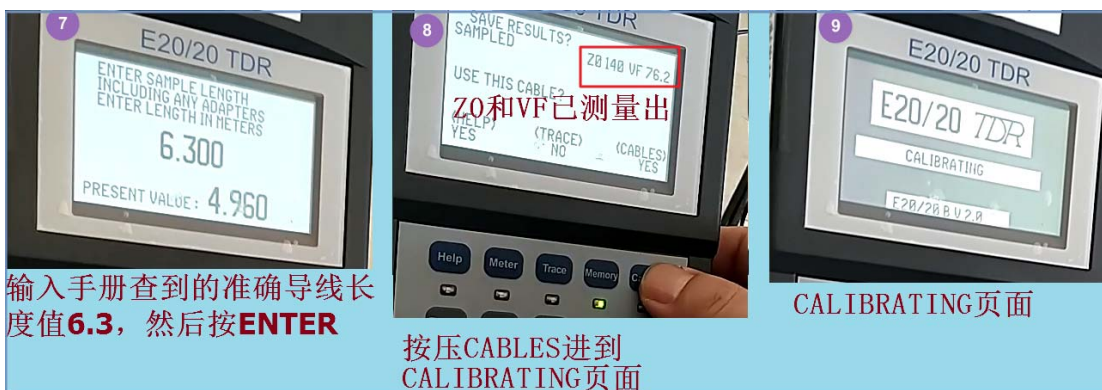


按压**ENTER**后，**TDR**
进入测量状态

移动左右键，使竖线对准波形跳
变线。纵轴的阻抗范围可以选择
大一点，方便虚线对准阶跃线，
即按压**Z SCALE**，按上键。

按**ENTER**键出现此页面

图 16 检测导致 VF 值的步骤 2



输入手册查到的准确导线长
度值**6.3**，然后按**ENTER**

按压**CABLES**进到
CALIBRATING页面

CALIBRATING页面

图 17 检测导致 VF 值的步骤 3



验证：按压左右键，
竖线与跳跃线重合，
距离显示**6.3**。与手册
值一致。

按压**CABLES**键，选择
MANUAL ENTRY键。

核查：此时**Z0**和**VF**已经
变成测量出来的真实值。
在初始化时输入此值后，
可对损伤导线进行测量，
得出准确的断点位置。

图 18 检测导致 VF 值的步骤 4

5. 无法获知 VF 值时的断点测量方法

测量导线速度因子 VF 需要两条已知准确长度的好导线。如果现场的实际情况，测量 VF 方便。可以参考，图 19 的方法，从分别目标导线的两头测量出断点的位置，原理如图 19 所示，按照比例关系，和导线的实际长度，可以算出断点的大致位置。

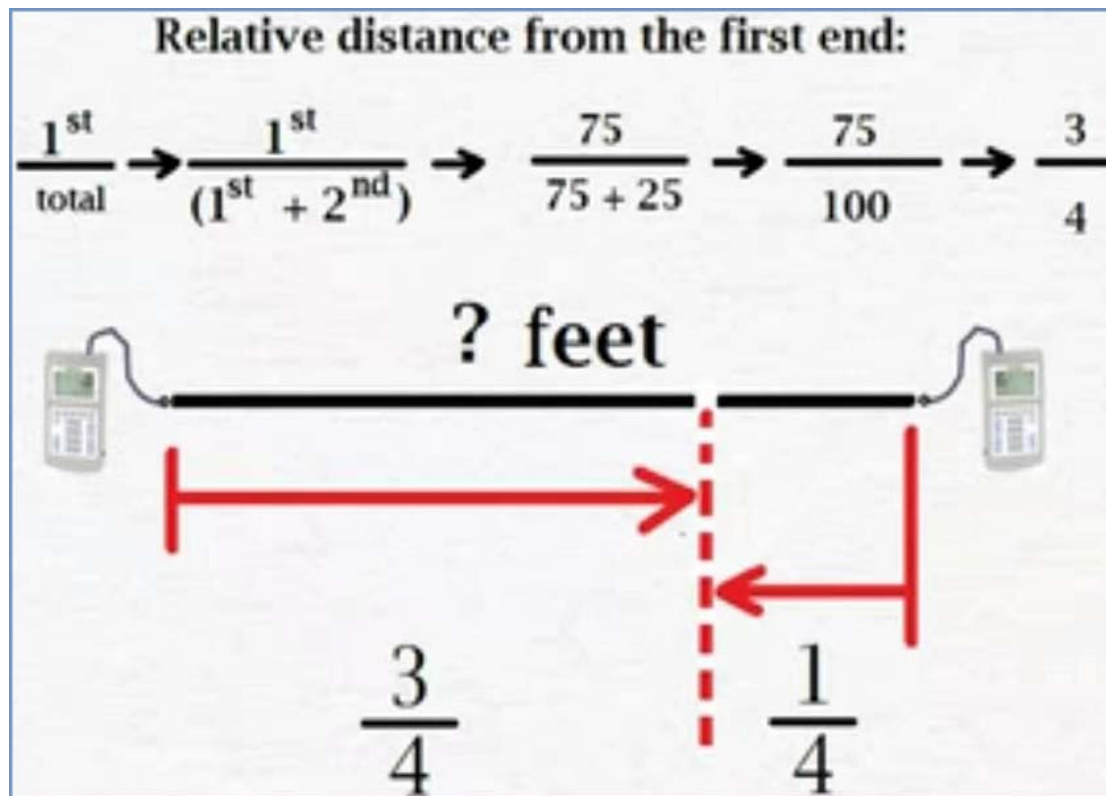


图 19 从导线的两端测量出断点的位置

5. TRACE 页面的设置

1) Z SCALE(OHMS)的设置

此项用于选择 TDR 显示波形纵轴量程的选择，可供选择的选项是 20, 50, 100, 200, 500, and 1K。当 MICRO FAULT 选择 OFF 时，可以选择最大量程 1000 欧姆。波形纵轴。当 MICRO FAULT 选择 KINKS ONLY 或 NO FAULT 时，最大只能选择 200 欧姆。

① 测量断路时：应选择 1000，大量程能更容易观察到突变的跳跃，阻值不大的小波峰显示平缓。

② 测量短路时：可以选择 200，小量程，阻值不大的波峰显示突兀，短路跳变点，幅度较大，容易观察。

TRACE OPTIONS		MICRO FAULT的三种选择
➔ Z SCALE (OHMS) : 200	纵轴的量程	1、OFF位: 阻抗范围能选择到 1000 欧姆（最大范围），波形中间值为 500 欧姆。适合测量大缺陷，小波平缓显示，便于观察突变跳跃点。 2、KINKS ONLY位: 阻抗范围能选择到 200 欧姆，能检测出小的波峰，波形中间值为 Z0 3、ALL FAULT:
TRACE RANGE : 50	横轴的量程	
START DISTANCE : 0	起始连接线的长度	
MICRO FAULT : OFF	三种选择	
TEST LEAD NULL : OFF		
NOISE FILTER : OFF		

图 20 TRACE 页面的设置

2) TRACE RANGE 的设置

此项用于选择 TDR 显示波形横轴量程的选择。通过 AWL 可以查询目标导线的长度，根据此长度设置合适的量程。比如：长度 15 米的导线，可以选择量程为 20。在 CABLE 页面的 DISTANCE UNITS 里可以更改量程的单位，选择米，或者英尺。



图 21 不同阻抗量程选择的波形显示变化

3) START DISTANCE 的设置

这是双鳄鱼夹同轴连接线的长度。如果设置成 0，TDR 屏幕上的距离读数=双鳄鱼夹同轴连接线长度+实际断点距离 TDR 的长度。所以设置成 0 时，测量断点的距离值应减去连接线长度，才等于断点与 TDR 之间的距离。

4) MICRO FAULT 的设置

三个选项：

① **OFF 位:** 阻抗范围能选择到 1000 欧姆（最大范围），波形中间值为 500 欧姆。适合测量大缺陷，小波平缓显示，便于观察突变跳跃点。测量导线断点时，应选择 OFF 位。

② **KINKS ONLY 位:**阻抗范围能选择到 200 欧姆，能检测出小的波峰，波形中间值为 Z0。由于导线的拐弯和分叉，都会导致阻抗达到 200，所以会出现较多的大波峰。实际的飞机线路断点查找中，这种选项并不适用。对于查找实际导线布线的拐弯点，有一定的作用。

③ **ALL FAULT:**

6. TDR 测试仪的其他功能

1) 修改波形显示的纵轴范围

在测量导线断点时，获得波形后，可以按压 Z SCALE 键，然后通过移动上、下键，

获得更好的波形显示。

Z Scale

Z Scale Key – When active, this key permits control of the Z (impedance) scale on the left side of the plot. Use the ▲▼ keys to increase or decrease the impedance scale as required. When the impedance is reduced, the TDR will keep the selected cable's impedance (Z_0) centered in the display.

Example: For a 75 Ohm coax cable if the impedance is reduced to 20 Ohms the display scale will read 65 Ohms to 85 Ohms.

图 22 修改波形显示的纵轴范围

2) ZOOM 按钮的作用

此按钮用于放大横轴的显示。此功能在定位断点时，能更精准的将虚线对准阻抗跳变点，测量位置的精度更高。

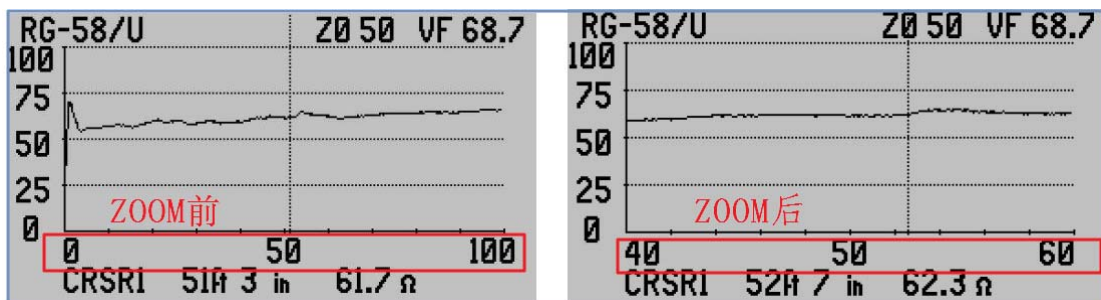


图 23 ZOOM 的功能