# 目　　录

实验一　流动重力测量..... 2
实验二　对称四极电测深法的野外工作..... 8
实验三　高密度电法测量的方法原理..... 12
实验四　地下已知模型的异常电场剖面测量..... 20
实验五　高密度电法测量数据的处理与解释..... 29
实验六　工程仪检测梁的厚度..... 422
实验七　质子旋进式磁力仪的使用和观测..... 466
实验八　探地雷达系统测量方法原理及数据采集..... 511
仪器一　ZS 型石英弹簧重力仪 ..... 766
仪器二　LZSD-C 型直流数字电测仪 ..... 79
仪器三　DUK-1 高密度电法测量系统 ..... 833
仪器四　GJY-1 工程检测仪 ..... 866
仪器五　CZM-2 型质子磁力仪 ..... 1000
仪器六　CR-20B 探地雷达测量系统 ..... 1122
探地雷达的使用操作..... 1200

# 实验一　流动重力测量

## （一）目的和要求：

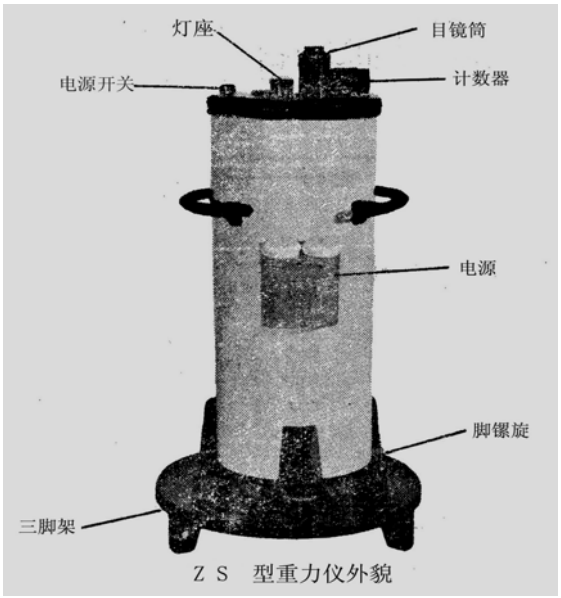
了解 **ZS** 型石英重力仪的原理和基本结构,学会重力仪的使用方法。测定重力仪的格值；并算出一未知点的重力值。

## （二）设备：

1．**ZS** 型石英弹簧重力仪
2．电池

## （三）原理及装置：

**ZS** 型石英弹簧重力仪是一种结构简单,使用方便,精度较高的相对重力测量仪器。 本仪器利用一种弹簧秤系统，使其敏感部分在重力（矩）和系统内力（矩）作用下处于平衡状态。当重力发生变化时，将改变其平衡状态，而后根据平衡状态的变化确定重力的变化量。

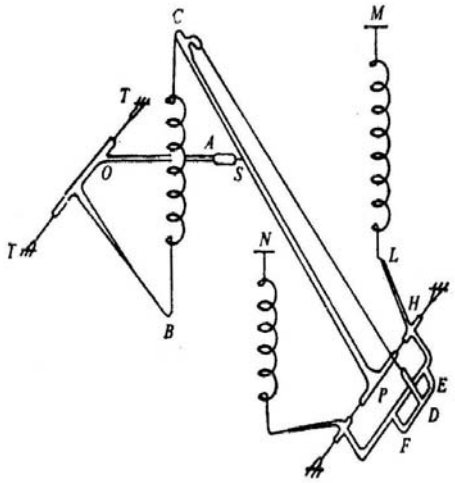



图一　**ZS** 型石英弹簧重力仪外型图

**ZS** 型石英弹簧重力仪的精度可达 0.01 - 0.05 × 103 **cm**/s2。

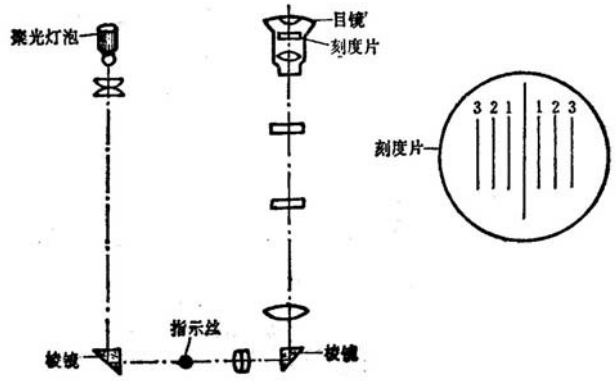
仪器的核心部分如图二所示，摆杆 **AO** 的一端为重荷 **A**，另一端焊接在与其垂直的石英丝 **TT** 上，**BC** 是主弹簧，测量系统包括图中的 **M**-**H**-**D**-**C**-**P**。当被测点的重力值发生变

化时，摆杆 **AO** 将绕扭丝 **TT** 旋转，改变连在重荷 **A** 端上指示丝 **S** 的位置，并使主簧 **BC** 发生型变，此时则可以旋转 **M** 使指示丝 **S** 回到原来的位置。测出 **M** 的位移量就可以算出重力变化的大小。




图二　　重力仪弹簧系统

仪器的指示装置由光学系统构成，其光路如图三所示：




图三　　**ZS** 型重力仪的光学系统

## （四）实验步骤及数据处理：

### 1．仪器的使用与观测

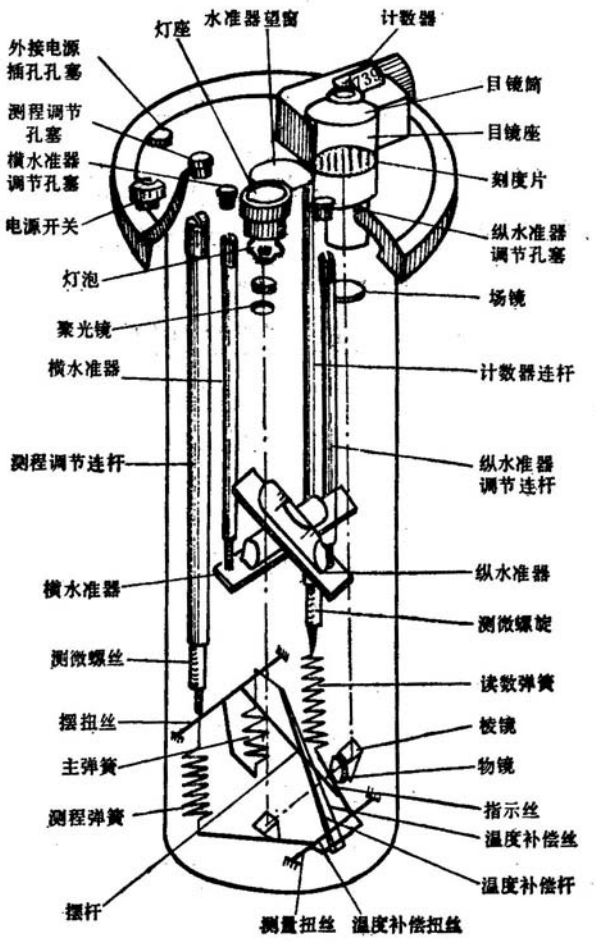
（1）选定 **A**、**B**、**C** 三个观测点，此三点应选在周围无振动的安静处，同时彼此应具有一定的高度差（在本实验中 **A** 点为十楼，**C** 点为五楼，**B** 点为一楼）。

（2）在观测点上将仪器底盘放在稳定的地方，并大致调平，然后平稳地取出仪器，置于底盘上。

（3）打开电源开关，从中间水准器望窗中观测，并调整仪器底脚罗丝，使纵、横水准器的水泡都居中。

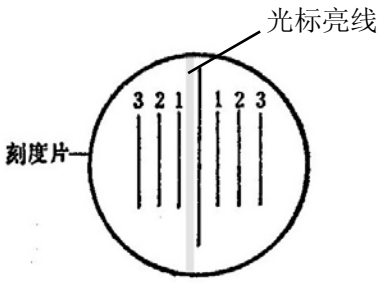
（4）观察目镜中亮线的位置，如图四所示，同时旋转计数器手柄，使光标亮线（确认其某一侧或中心）与刻度片上的中线（即零线）重合，此时记录下来计数器上的数值；旋转计数器手柄，使光标亮线将与中线分离，读数已改变，然后再继续调整计数器手柄，使光标亮线与中线重合，尽量要与第一次读数时在同一位置，并记取读数。如此进行三次重复读数，并记下读数时的时间。读数时应估计到小数点后第二位，三次读数间彼此之差不得大于 0.1。当读数合乎要求时，则关闭电源，轻轻地提起仪器，移往下一点观测。

读数应注意：为减小计数器机械间隙对读数产生的误差，应使亮线始终由中线的同一侧（左侧或右侧）向中线靠近。



ZS型重力仪的内部结构

（5）上述观测按 **A→B→A→A→C→A→**点位进行，直至完成所有点上观测工作为止，并把结果记入表 1 中。



图四　目镜中刻度线

**2．计算观测结果**

（1）固体潮改正

若在两点观测的时间内重力固体潮的变化值不超过 20 微伽，则可不必对观测值作固体潮改正。

（2）零漂改正

若在 **A** 点的观测值为 $N_{A1}$，**B** 点为 $N_{B1}$，再返回 **A** 点(第二次 **A** 点观测值)，其观测

值为 $\mathbf{N_{A2}}$，（**N** 是经固体潮改正后的数值）。则可用公式：

$$k=\frac{N_{A_1}-N_{A_2}}{t_{A_1}-t_{A_2}}$$

（式中 $t_{A1}$、$t_{A2}$ 分别为第一次 **A** 点的观测时间和第二次 **A** 点的观测时间）。求出每分钟零漂改正率。则由 **A** 点到 **B** 点这段时间间隔 $\left(t_{B_2}-t_{A_1}\right)$ 内的零漂改正值为：

$$k\Delta t_1=k\left(t_{B_1}-t_{A_1}\right)$$

这样，**B** 点经零漂改正后的数值为：

$$N'_{B1}=N_{B1}+k\Delta t_1$$

其中：$\Delta t_1=t_{B1}+t_{A1}$ 为由 **A** 点到 **B** 点的观测时间差。**A** 点第二次观测值经零漂改正后的值为：

$$N'_{A2}=N_{A2}+k\Delta t_2$$

其中：$\Delta t_2=t_{A2}-t_{A1}$ 为由 **A** 点到 **B** 点再反回 **A** 点的观测时间差。$N'_{A2}$ 应等于 $N_{A1}$（即：$N'_{A2}=N_{A1}$）。

（3）计算仪器格值:

由 $C=\Delta g_{AB}/\Delta N'$ 计算出格值 **C**，其中 $\Delta g_{AB}$ 为格值标定场的重力差（已知）。$\Delta N'$ 为 **A** 点和 **B** 点经零漂改正后的差值即 $\Delta N'=N'_{B1}-N'_{A2}$。

（4）计算 **C** 点零漂改正值：

按照第 **2** 步的方法算出 **C** 点零漂改正后的值即

$$N'_{C2}=N_{C2}+k\Delta t_3$$

其中 $N_{C2}$ 为 **C** 点未经零漂改正的观测值，$k\Delta t_3$ 为由 **A→B→A→A→C→A→**的观测时间差。

（5）计算未知点 **C** 的重力值：

$$g_C=g_A+\Delta g_{AC}=g_A+C\Delta N'_{AC}$$

其中 $g_A$ 为 **A** 点的重力值（已知），$CN'_{AC}$ 为经零漂改正后 **A** 点到 **C** 点的重力差。即：

$$\Delta N'_{AC}=N'_{C2}-N'_{A2}$$

（6）已知 **A**、**B** 两点的重力值和差值分别为：

$g_A$ = **979490.91 mgal**（十楼）　　**979493.54 mgal**（六楼）

$g_B$ = **979496.86 mgal**（一楼）　　**979494.20 mgal**（五楼）

$\Delta g_{AB}$ = **5950** $\mu gal$

**( 1gal = $10^3$ mgal = $10^6$** $\mu gal$ **)**

（7）将具体计算数值填入下表:

## 流动重力测量观测记录表

| 地点 | 观测时间 | | 读数 | 读数平均 | 零漂改正值 | 零漂改正值 | 差值 | C点重力值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T | Δt（分） | S | $S_0$ | kΔt | N′ | ΔN′ | $g_c=g_A+c\,\Delta N'$ |
| A (10) | | | | | | | | |
| B (1) | | | | | | | | |
| A (10) | | | | | | | | |
| C (5) | | | | | | | | |
| A (10) | | | | | | | | |

| 地点 | 观测时间 | | 读数 | 读数平均 | 零漂改正值 | 零漂改正值 | 差值 | C点重力值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T | Δt（分） | S | $S_0$ | kΔt | N′ | ΔN′ | $g_c=g_A+c\,\Delta N'$ |
| A (6) | 15:20 | 0 | 172.10<br>171.35<br>170.65 | 171.37 | | | | 979495.62 |
| B (1) | 15:30 | 10 | 228.76<br>227.55<br>226.35 | 227.55 | -1.54 | 226.01 | 54.04 | |
| A (6) | 15:35 | 15 | 173.70<br>173.68<br>173.67 | 173.68 | | | | |
| C (3) | 15:40 | 20 | 207.52<br>207.80<br>207.30 | 207.54 | 0.374 | 207.91 | 34.23 | |
| A (6) | 16:00 | 40 | 171.81<br>172.00<br>171.62 | 171.81 | | | | |

# 实验二　对称四极电测深法的野外工作

## （一）实验目的：

采用四极对称电测深法，了解地表至深部各地层的电阻率。

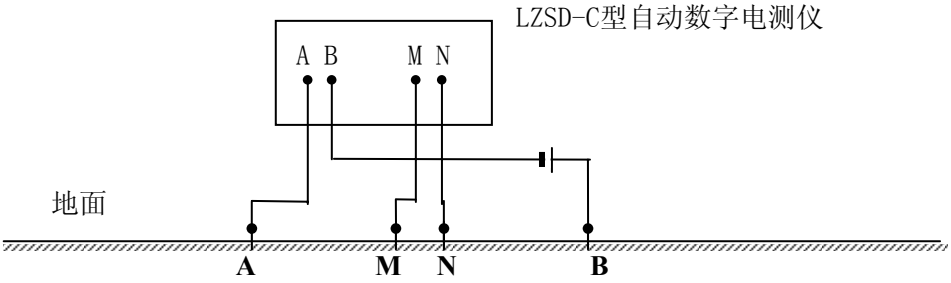
## （二）设备：

1. LZSD-C型自动数字电测仪
2. 不极化电极、电极
3. 导线、导线架
4. 铁锤
5. 皮尺
6. 电池1—2节或直流电源
7. 记录本
8. 计算器

## （三）原理及装置：

实验原理可参见实验二《高密度电法测量的方法原理》；本实验是采用一对供电极**A**及**B**，在其中点对称安排一组测量极**M**及**N**。观测**AB**距离逐段增大时的电位差，计算不同**AB**时的电阻率，根据小极距勘探浅，大极距勘探深的原理，可获得自浅至深的各种信息。

电极部分：供电电极用不锈钢管，测量极用铜电极或不极化电极。



## （四）实验步骤：

（1）调节仪器并连接导线，将**LZSD-C**型自动数字电测仪工作开关从“关”位置旋至“自电”挡位；

（2）用导线短路M、N插孔，旋动面板调零电位器旋钮至读数为零，然后除去短路线；

（3）将 **M**、**N** 插孔与不极化电极连接；

（4）从测△$\mathbf{U_{MN}}$的液晶数字电压表上读自然电位差值（以 **mv** 为单位）；

（5）工作完毕后将工作开关旋回“关”的位置；

（6）在测线的中心位置两侧钉入 **M**、**N** 极，相距 2 米，或挖两小坑，放置不极化电极；放线在中心点两侧 3 米处各打下测量电极 **A**、**B** 极；

（7）将 **A**、**B** 插孔与 **A**、**B** 供电电极及外电源串接；**M**、**N** 插孔与测量电极 **M**、**N** 相连；

（8）将工作开关从“关”旋至“自电”挡位：将倍率开关旋至 0.1**mA** 挡位；

（9）待△$\mathbf{U_{MN}}$表显示的极化电位基本稳定后，将工作开关旋至“电阻率”挡位；

（10）分别从左（**I**）、右（△$\mathbf{U_{MN}}$）两只数字表上读取电流与电位差值，读数记录无误后，将工作开关旋回“自电”挡，以待测下一点；

（11）质量检查 1：为保证测量资料的可靠性，要进行必要的质量检查，一是重复读数，在一个极距上重复二至三次读数△$\mathbf{U_{MN}}$及 **I** 的值，当数值（计算出的 $\rho_S$ 值）符合误差要求时（ < **1%**），才算完成测量，然后移向下一个极距；

计算：

$$K = \pi \frac{\overline{AM} \times \overline{AN}}{\overline{MN}}$$

$$\rho_S = k \frac{\Delta V}{I}$$

其中 $\overline{AM}$ 为 **A** 极至 **M** 极距离，$\overline{AN}$ 为 **A** 极至 **N** 极距离（也可用 $\overline{BM}$ 及 $\overline{BN}$ 代替，因为是对称四极），$\overline{MN}$ 为 **M** 极与 **N** 极间的距离，单位为米。

（12）按顺序分别在距中心点 **6**、**9**、**12**、**15**、**25**、**40** 米处逐点按（**8**）—（**10**）的步骤进行测量，读取该点的电流与电位差值；

（13）当倍率开关在 **0.1mA** 挡位，I 表读数小于 **10.00**（即 **1mA**）时，应将倍数开关旋至 **μA** 挡；若读数只显示最高位 1（或读数为零时），表示电流已大于测程范围（**200mA**），此时可将倍率开关旋至 **10mA** 挡位。

注：不管倍率开关在何挡位，当工作开关旋至“电阻率”挡位之初电流表有读数，但很快变为零（读数锁定后也为零），表示电流已超过挡位测程范围（**μA** 挡为 **2mA**；**0.1mA** 挡为 **200mA**；**10mA** 挡为 **5A**），仪器过流保护电路已自动关断供电电路。应将倍率开关旋至下一高测程挡位（**10mA** 挡超测程时，应降低电池电压）。

（14）质量检查 2：由最大极距向小极距方向收线，同时选择一些极距检查（一般可每间隔一个极距作检查测量），检查结果用平均相对误差表示：

$$\eta = \frac{2(\rho_S - \rho'_S)}{\rho_S + \rho'_S} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \sum_{1}^{\eta} \eta_i \Big/ \eta$$

$\eta$：为单个检查测量相对误差；$\varepsilon$：为平均相对误差；

$\rho_S$：为第一次的测量值；　　$\rho'_S$：为第二次的测量值。

单个测深的均方误差为：

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} \eta_i^2}{2n}}$$

式中 **n** 为检查电极距个数

（15）工作结束，应将仪器工作开关旋回“关”的位置

## （五）实验结果处理：

测试数据：

| 极距 (AB/2) 读　数 | 3M | 6M | 9M | 12M | 15M | 25M | 40M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\triangle U_{MN}$（mv） | | | | | | | |
| I（mA） | | | | | | | |
| K | | | | | | | |
| $\rho_S$ | | | | | | | |
| $\rho'_S$ | | | | | | | |

计算出 $\rho$ 值后绘于双对数坐标纸上，坐标的横轴为 $\frac{AB}{2}$ 距离，单位为米；纵坐标为 $\rho$ 值，单位为欧姆—米。

根据经验表明，探测的深度为 **AB** 极距的 **1/8～1/12**，据此可由要求的探测深度来确定最大极距。一般情况下，为解释需要，应在确定探测深度的极距后增加两个极距，即进入探测对象有三个极距。

在现场大极距的电测深时，由于供电电压高、电流大，安全工作十分重要，应看好电极及接头，以免触电伤害人身，影响健康。

## （六）思考题：

# 实验三　高密度电法测量的方法原理

## (一)实验目的

学习利用电法勘探了解地球内部电性及电场分布规律的某些方法及原理。

## (二)设备：

1．DUK 一 1 高密度电法测量系统：其包括：“DZD 一 4 多功能直流电法仪器”、“多路电极转换器《II》”及一套高密度测量专用电缆和电极。

2．供电用电池

3．皮尺

4．钉锤

## (三)原理及装置：

地电学是研究大气，海洋和固体地球内部的电性及电场分布规律的科学。我们利用电法勘探中的某些方法，来研究固体地球岗位介质及其周围的电性及其电场的分布。地电学在地震预报和地球物理研究中都占有十分重要地位。在地球表面存在头着天然的变化电场和稳定电场，其中天然的变化电场是由地球外部的各种电流系在地球内部感应产生的，分布于整个地表和广大地区，一般具有较小的梯度。而天然的稳定电场主要是由矿体，地下水和各种水系产生的，分布于局部地区，一般具有较大的梯度。电法工作主要研究对象就是这种稳定场。这种稳定场又和变化场交融在一起，我们则要在测量中去伪存真，找出真正反映地下物质结构的稳定电场。

建立地下直流电场，则要将电源两端分别经两个供电电极（A、B）接地，电流由 A 输入地下，通过 B 又从地中流出，构成闭合回路，因电极的尺寸与其到观测点的距离相比很小，可视为点电流源。如果把 B 极置于相距很远（可认为“无穷远”）的地方，那么 A 极附近的电场将不受 B 极电场的影响或甚微，可忽略不计，我们则获得一个点电流源的电场。这里地下任一点的电位为：

$$U = \frac{I\rho}{2\pi r}$$

（I：A 极处电流强度；ρ：地下介质的电阻率；r：该点距点电流源 A 的距离）

当供电电极 A、B 不远，且电流由 A 极输入地下而由 B 极自地中流出时，按场的迭加原理，该点的电场应是电流强度为 I 的 A 点电流源和电流强度为-I 的 B 点电流源分别在该点产生的电场的矢量和，该点的电位则是 A、B 两电流源分别在该点的电位之和。

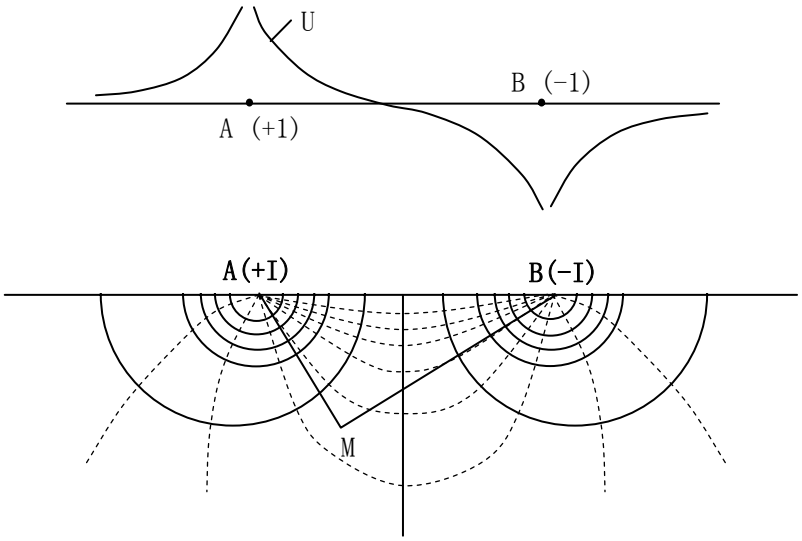
$$U_m^A = \frac{I\rho}{2\pi}\cdot\frac{1}{AM} \qquad U_M^B = -\frac{I\rho}{2\pi}\cdot\frac{1}{BM}$$

则，两个异性电流源在 M 点的电位为

$$U_M^{AB} = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}\right)$$

式中 AM、BM 分别为 A 到 M 和 B 到 M 的距离。

其电位及电场分布如图：




图一　均匀各向同性半空间中两个点电流源的电场（实线：等电位线；虚线：电流线）

可见，靠近电极处电位变化快。AB 中段 1/2～1/3AB 处电位变化较慢，中点电位为零。在电极附近电位梯度大的地方，电场强度的绝对值也大。AB 中部电位梯度变化不大，电场强度值也变化不大。电流线基本与地表平行，呈现均匀场的特点。

在电阻率法工作中，一般是在地面任意两点供电电极 A、B 供电，在另外两点用测量电极 M、N 测定电位差。

同理据上式，则有

$$U_N^{AB} = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{AN}-\frac{1}{BN}\right)$$

于是，A、B 在 M、N 之间产生的电位差为

$$\Delta U_{MN} = U_M^{AB} - U_N^{AB} = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{AM}-\frac{1}{AN}-\frac{1}{BM}+\frac{1}{BN}\right)$$

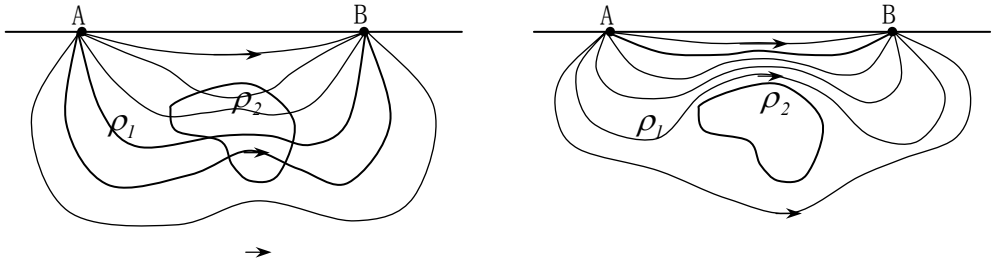
可得电阻率公式：

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \cdot \frac{\Delta U_{MN}}{I}$$

令 $K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$ 称为装置系数，则

$$\rho = K \frac{\Delta U_{MN}}{I}$$

在实际工作中，地下岩石电阻率的分布并不均匀。电法勘探中通常把按照电阻率的差异划分的地质断面称为地电断面，电阻率法研究的正是这种电阻率不均匀的地电断面。例如，在电阻率为 $\rho_1$ 的围岩中埋藏着电阻率为 $\rho_2$ 的地质体的断面，由具有不同电阻率的若干电性层组成的断面等，都是地电断面。介质电性不均匀可使稳定电流场的空间分布发生改变。其表现是：低阻体吸引电流线，致使大部分电流从它的内部流过；高阻体排斥电流线，致使电流几乎不能通过其内部而全部经围岩流过。




由于实际地质情况是复杂的，电阻率并不是均匀分布，地表也不水平，这时该式计算的电阻率值就不可能是某一地层的电阻率，而是在电场作用范围内，各种岩、矿石电阻率综合影响的结果，故称为视电阻率，以符号 $\rho_S$ 表示，即

$$\rho_S = K \frac{\Delta U_{MN}}{I}$$

其影响因素有电极装置的类型和电极距（即装置系数 K）；测点位置；电场有效作用范围内各种地质体的分布情况，包括他们的形状、规模、厚度、埋深及相互关系；地下地质体各自的电阻率。这些因素构成了电阻率法的应用基础。

为了便于定性分析，我们可将此式换为视电阻率与电流密度之间的关系公式：

$$\rho_S = \frac{J_{MN}}{J_0} \rho_{MN}$$

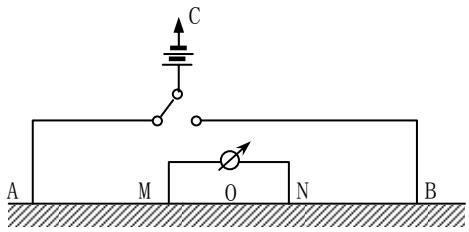
式中 $J_0$ 为地下介质均匀时的电流密度值（它只决定于装置的类型和大小），对于一定的装

置，它可以认为是已知的；$J_{MN}$ 为 M、N 两点间的电流密度；$\rho_{MN}$ 为介质的电阻率。

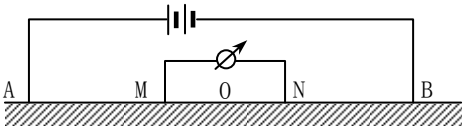
电流密度随深度的变化规律对于电阻率法很重要，因为只能根据地表电流密度的变化来判断地下地质体的存在。集中于地表的电流越多，流入深部的电流就越少，当埋于深部的岩石中电流密度很小时，岩石电阻率的变化对地表附近电流密度的影响不大，因而能够进行勘探的深度也就小了。对于有两个异性电流源 A 和 B 时，勘探深度与供电电极 A、B 间的距离有密切的关系，AB 越大，勘探深度也就越深。实际上电阻率法的勘探深度是一个比较复杂的问题，可以粗略地认为：能够在地表产生可靠电阻率异常的最大深度，既为所采用电极排列（或电极距）的勘探深度。同时地下介质电阻率的分布状况，也是影响电阻率法勘探深度的主要因素。若地下下层介质的电阻率大大的大于地下上层介质的电阻率时，电流线几乎不能进入下层介质，则不能发现异常的存在，明显影响了勘探的深度。

**电阻率剖面法：**

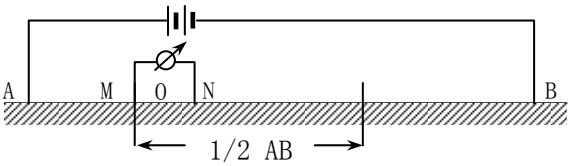
电阻率剖面法简称电剖面法。该方法采用不变的电极距，并使整个装置沿观测面移动，逐点观测视电阻率 $\rho_S$ 的变化。由于电极距固定不变，勘探深度就保持在同一个范围内。因而 $\rho_S$ 值沿剖面的变化可以把地下某一深度以上具有不同电阻率的地质体沿剖面方向的分布情况反映出来。根据电极的排列方式的不同，电剖面法又有许多变种，如联合剖面法、对称剖面法、中间梯度法和偶极剖面法等。下图为它们的电极排列方式：




联合剖面法




对称四极法




中间梯度法

由于电极排列方式的差异，其所解决的地质问题也就不同，但总的说来电剖面法适用于探测陡倾的层状或脉状金属矿体和高阻岩脉，也能为为寻找含水断裂破碎带等水文、工程地质服务。

以下列出这几种电剖面法的 K 值公式以及极距的选择。

| 方 法 名 称 | K 值 公 式 | 极 距 选 择 | 备　　注 |
|---|---|---|---|
| 联合剖面法 | $K=2\pi\dfrac{AM\cdot AN}{MN}$ | $AO=OB=\dfrac{AB}{2}$<br>$\dfrac{AB}{2}=(5-10)H$<br>$MN=\left(\dfrac{1}{3}-\dfrac{1}{10}\right)\dfrac{AB}{2}$<br>$CO\geq 5AO$ | ***H*** 为浮土厚度<br>***MN*** 一般等于点距或 ***2*** 倍点距<br>要设置无穷远极 ***C*** |
| 对称四极法 | $K=\pi\dfrac{AM\cdot AN}{MN}$ | $\dfrac{AB}{2}=(3-5)H$ | 若 ***AM=MN=NB=a*** 称为温纳装置<br>若 ***AB>>MN*** 称为施伦贝尔热装置 |
| 中间梯度法 | $K=\dfrac{2\pi}{\dfrac{1}{AM}-\dfrac{1}{AN}-\dfrac{1}{BM}+\dfrac{1}{BN}}$ | $\dfrac{AB}{2}=(35-40)H$<br>$MN<\left(\dfrac{1}{15}-\dfrac{1}{25}\right)\dfrac{AB}{2}$ | ***AB*** 固定，***MN*** 在 ***AB*** 中段 ***1/2-1/3*** 范围内逐点测量 |

沿测线逐点进行电阻率测量时，根据测出的供电回路中的电流强度 I 和相应的测量电极间的电位差$\Delta U_{MN}$，以及所采用的电极排列的装置系数 $K$，即可计算各点的 $\rho_S$ 值。对于一条测线来说，按工作比例尺以测点的位置为横坐标，$\rho_S$ 为纵坐标，可将各测点的 $\rho_S$ 值用圆滑曲线或折线连接起来，绘制成 $\rho_S$ 剖面图。在进行面积性 $\rho_S$ 测量工作后，还应将各测线的 $\rho_S$ 剖面曲线汇总在一张图纸上，成为该工区的 $\rho_S$ 剖面平面图。也可在图纸上标明全区各测点的位置及其 $\rho_S$ 值，并勾绘等值线，成为 $\rho_S$ 等值线平面图。

联合剖面法：是两个三极排列 AMN∞和∞MNB 联合进行探测的一种电剖面法。也就是指一个供电电极置于无穷远的排列，A、M、N、B 四个电极位于同一直线上，以 M、N 之间的中点为测点，且 AO=BO，MO=NO。电极 C 是两个三极排列共同的无穷远极，一般设在测线的中垂线上，与测线之间的距离大于 AO 的五倍（CO>5AO）。工作中将 A、M、N、B 四个电极沿测线一起移动，并保持各电极间的距离不变。在每个测点上分别测出 A、C 极供电时的电位差 $\Delta U_{MN}^{A}$ 和电流强度 I，B、C 极供电的电位差 $\Delta U_{MN}^{B}$ 和电流强度 I，然后求得两个视电阻率 $\rho_S^A$ 和 $\rho_S^B$。

对称四极剖面法：其特点是 A、M、N、B 四个电极沿测线对称于 M、N 的中点 O（测点）分布，一般 MN=(1/3-1/5)AO。该方法工作中始终保持四个电极间距离不变，同时沿测线向前移动，测得 $\rho_S^{AB}$ 值。

中间梯度法：该装置的供电电极距离 AB 很大，通常选取 AB 为覆盖层厚度的 70-80

倍。测量电极 MN 相对于 AB 小得多，一般选 MN=(1/30--1/50)AM，工作中保持 A 和 B 固定不动，M 和 N 在 A、B 之间的中部约(1/2—1/3)AB 的范围内同时移动，逐点进行测量。测点 O 为 MN 的中点。因为 AB 距离很大，在 AB 中部测量范围内的电场可认为是均匀电场，所以该装置能最大限度地克服其他电剖面法由于供电电极附近电性不均匀对视电阻率测量的影响，而且 $\rho_S$ 曲线反映的必然是 MN 电极附近地层电阻率的变化情况。这是该方法的优点。

**电阻率测深法**

电阻率测深法（简称电测深法）是探查电性不同的岩层沿垂向分布情况的电阻率法。为此，电测深法采用在同一测点上多次加大供电电极距离的工作方法，逐次观测视电阻率值。由于加大供电电极距可以增加勘探深度，因此，在同一测点不断加大供电电极距所测出的视电阻率值的变化，将反映测点下电阻率有差异的岩层和岩体在不同深度处的分布。

按电极的排列形式，可分为对称四极测深、三极测深、偶极测深等，常用的是对称四极测深法。

电测深法所观测的视电阻率表达式仍然是：

$$\rho_S = K\frac{\Delta U_{MN}}{I}$$

式中 K 的计算公式与对称四极剖面法一样，即：

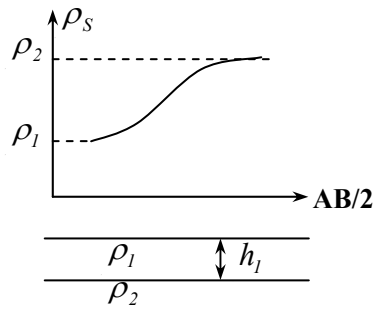
$$K = \pi\frac{AM \cdot AN}{MN}$$

但电测深法在同一测点上以改变电极距的方式观测若干次，因而 K 也就逐次不同。通常采用模数为 6.25 厘米的双对数坐标，以 AB/2 为横坐标，$\rho_S$ 为纵坐标，将同一测深点上所观测的全部视电阻率值绘成一条电测深 $\rho_S$ 曲线。在野外工作中，多用大或较大的比例尺，如：1:2000、1:5000、1:10000 等，最小的测深点距约为基底埋深的 0.5—1 倍。

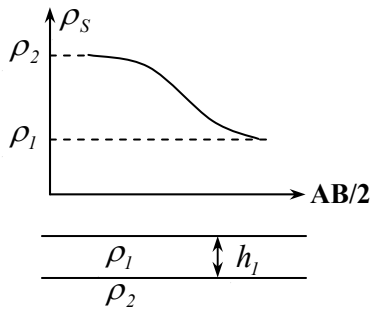
电测深曲线类型和特点：

均匀情况：当地层电阻率均匀不变、厚度大、分布广时，随供电极距 AB 加大而测得的视电阻率 $\rho_S$ 值不发生变化，测深曲线是一条与横轴平行的直线。

水平二层情况：当岩层按电阻率的大小可划分为 $\rho_1$ 和 $\rho_2$ 两层，且第一层厚度为 $h_1$，第二层厚度远远大于 $h_1$ 时，可认为是水平二层断面，相应的电测深二层曲线分为两种类型：一种是 $\rho_1 < \rho_2$ 时，称为“G”型；另一种是 $\rho_1 > \rho_2$ 的情况，称为“D”型。

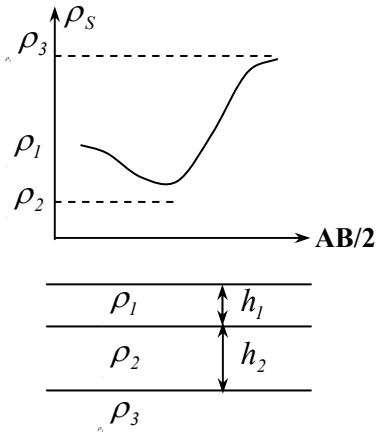



$\rho_1 < \rho_2$ （G）

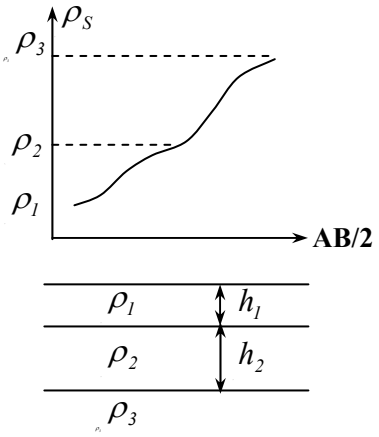



$\rho_1 > \rho_2$ (D)

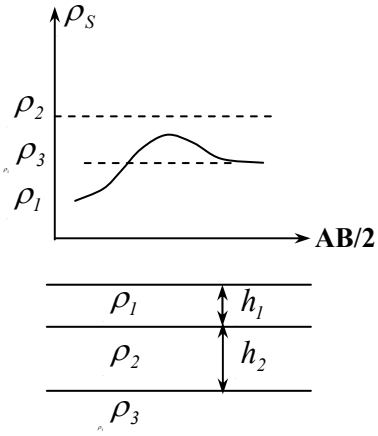
水平三层情况：当地电断面按电阻率自上而下划分为 $\rho_1$， $\rho_2$ 和 $\rho_3$ 三个水平的电性层时，根据三者的大小关系，相应的电深曲线有四种不同的类型。其中 $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ 一类命名为“H”型； $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ 一类为“A”型； $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ 一类为“K”型； $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ 一类为“Q”型。



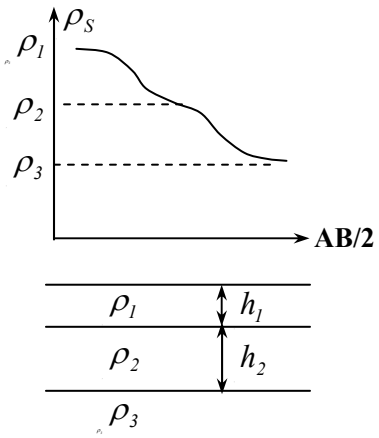

$\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ (H)




$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ (A)




$\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ (K)




$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ (Q)

实际工作中常遇到四层或更多层的断面，由于电阻率参数增加，曲线类型也就更多、更复杂了。对于水平四层情况而言，按$\rho_1$、$\rho_2$、$\rho_3$和$\rho_4$四者的大小可以构成八种曲线类型。每一类型用两个英文字母表示，前一个字母表示断面中前三层电阻率$\rho_1$、$\rho_2$和$\rho_3$之间的关系，与三层曲线的命名法相同；后一字母则表示除第一层外的$\rho_2$、$\rho_3$和$\rho_4$三个电性层之间的关系，命名法依然不变。因此，共有HA、HK、KH、KQ、AA、AK、QH及QQ等八种类型。

多层曲线命名法按同样原则，如有$\rho_1<\rho_2>\rho_3<\rho_4<\rho_5$的水平五层断面，其曲线类型为KHA型。

简单的说电测剖面法是反映地层的某一深度的地电变化情况，而电测深法则是研究指定地点的岩石层的电性参数随深度变化的方法。

# 实验四　地下已知模型的异常电场剖面测量

## (一)实验目的

了解高阻体和低阻体模型上的视电阻率剖面异常。

## (二)设备：

1．DUK 一 1 高密度电法测量系统：其包括：“DZD 一 4 多功能直流电法仪器”、“多路电极转换器《II》”及一套高密度测量专用电缆和电极。

2．供电用电池

3．皮尺

4．钉锤

## (三)原理及装置：

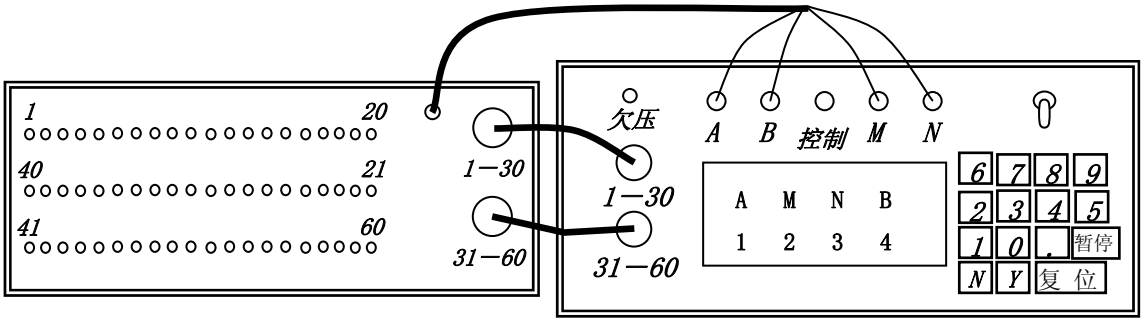
实验原理参见实验二《高密度电法测量的方法原理》，装置参见仪器二《**DUK-1** 高密度电法测量系统》。

## (四)实验步骤：

由于 DUK 一 1 系统分为主机和开关两个部分，具体操作时，对主机和开关必须统一兼顾。对主机和开关选取的模式和参数必须统一，方可以测量。

### 1．多路电极转换器系统检测

在实验之前，对多路电极转换器进行检测一次。首先把通道检测器电池盒盖打开，装入两节 1 号电池，把仪器配给 1 头与 4 头连接一起的那根线，分别接(多路转换器)A、B、M、N 上，另一端与通道检测器上的一个接线柱连接，再将通道检测器上 6 个 24 芯插头与多路开关上 6 个 24 芯插头对应连接，如下图所示，然后打开两个仪器的开关。



选取检测方式，分为自动和手动两种。

首先在主菜单选取 1：input 按 1 键进入参数设置，然后连续按 Y 键，直至出现右下框为止。

```
    MAIN        MENU
1.Input         2.Test
3.Work1         4.Load
5.Work2
```

```
1 Auto
2 Step
3 On-Line
Select(1-3)
```

选择 1(Auto)为自动步进；选择 2(Step)为手动步进，每按一次 Y 键开关就步进一次，3 为连接方式。例如选取自动，就按 1，再按 Y 键，显示：CHECK AGAIN Y(N)；不需要检查，则按 N 键返回主菜单，再按主菜单 2 键就进入系统检测，出现下框：

```
    TEST MENU
1. Poles ckeck
2. Switch check
     (1-2)
```

再按 2 键，选择开关检查，然后按 Y 键显示下框：

```
Switch Check
 A  M  N  B
 1  2  3  4
```

第三行的四个数字，分别指出每一步转换接通到 A、M、N、B 四总线的电极序号（继电器)。按 Y 键就开始进行系统检测，通道上的指示灯分别亮起。如发现 A 对应的道数灯不亮，则说明 A 对应道数的继电器有故障，可以对该继电器进行检查或更换；如果测量正常，则说明多路工作正常。

**2．选定测量方法**

我们在地下已埋设了预置目标（已知模型,见附图），其分别为高阻的石灰岩块和低阻的无缝钢管，大小尺寸及埋设地点见示意图。要求测量两个模型上的**温纳装置、偶极-偶极剖面装置、联合剖面装置及中间梯度装置**的视电阻率，获得高阻体和低阻体模型上的视电阻率异常。

**3．布置测线**

根据模型目标的大小及埋深，来确定测线的电极点距，本实验选取 0.2M，让测线穿过模型的上方，用铁锤将铜电极按点距沿测线钉入地下，同时沿测线放开电极大线电缆，并将电极的接头卡按顺序与均匀分布在电极大线电缆上的裸露金属抽头连接。将电极大线电缆的航空插头与多路转换器《II》上电极大线电缠插座（电极大线电缆插座是两个 32 芯插座，共联有两根 32 芯电缆，分别对应联接到测线上所布的(1#-30#)，(31#-60#)号电极上）连接。

**4．仪器连接**

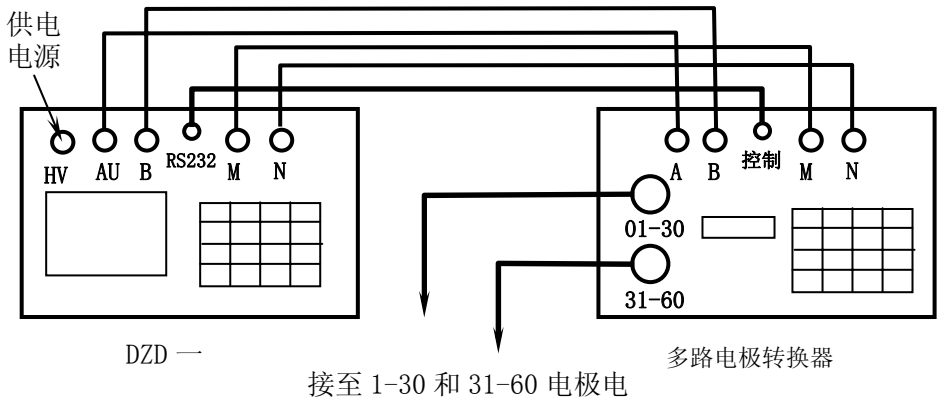
按以下 DUK-1 野外工作布线图所示，将 DZD-4 与多路电极转换器《II》相连接。

在上电测量之前，必须把输入高压接好，把 AB 供电电极、MN 接收电极和控制信号接好，要消除接触不良现象。

把仪器的电源开关置到 ON 的位置，显示器应显示出“DUK 一 1 高密度电阻率仪”；按下**电池**键，检查电池电压，应不低于 9.6v 否则更换电池。电池不需要经常检查。

**5．接地电阻的检测**

先打开主机开关，再打开多路电极转换器开关，如发现 MN 对应电极数字跳动时，分别再按一次主机**复位**键和多路电极转换器**复位**键即可消除。




**DUK-1 野外工作布线图**

然后选 1(Input)，按 **1** 键，进入参数设置，依次输入对应参数。首先显示：SW=XX，输入通道电极总数，如 60，再按 **Y** 键，显示 CHO=XX，输入起始电极数 1，再按 **Y** 键，显示 CH=XX，输入测线上电极总数，如 60，再按 **Y** 键，显示 n(MIN)=XX，最小间隔系数，如 1，再按 **Y** 键，显示 n(MAX)=XX，输入最大间隔系数，如测 16 层，就输入 16，再按 **Y** 键，显示 CS=XX(温施间隔层数)如输入 1，再按 **Y** 键，显示：（这里输入的参数值要与在主机中设置的参数值相同）

```
1 Auto
2 Step
3 On-Line
Select(1-3)
```

选取 3，按 **3** 键输入，再按 **Y** 键，即为连接方式，并显示：CHECK AGAIN Y(N)?，再按 **N** 键返回主菜单，如下：

```
     MAIN        MENU
1.Input          2.Test
3.Work1          4.Load
5.Work2
```

选择 2，出现下图：

```
   TEST   MENU
1.Poles   Check
2.Switck  Check
     (1-2)
```

选择 1 按 **1** 键，再按 **Y** 键选择接地电阻检查，出现下框：

```
  Poles   Check
    M       N
    1       2
```

第三行显示的数字是每一步接通到 M、N 总线所对应的电极号。同时按主机上的“**曲线/电阻**”键，就开始测量接地电阻，并在主机显示屏上依次显示出对应的电阻值。如出现大于 100K 时就说明该道不通，或有的电阻阻值太大，此时就应检查对应的电极是否接好，或者偏移一点位置，再重新把电极打入地下，再按“**曲线/电阻**”键并重新检测。

**6. 测量**

**注意:**在测量之前，首先要预置供电时间，按时间键输入时间值，推荐值为 0.5 秒。

a、首先操作主机，选择测量模式，如作温纳法，先按**模式**键，显示:

选择工作模式:
1 工作模式 1
2 工作模式 2

按数字键 **1**，进入模式 1 的表格，按数字键 **2**，进入模式 2 的表格，显示如下，

1：温纳装置 (WN)
2：施贝 1(SB1)
3：施贝 2(SB2)
4：偶极偶极 (DP)
5：微分装置 (DF)
6：温施 1 装置 WS1
7：温施 2 装置 WS2
请选择： 1 ？

1:联合剖面(CB)
2:单边三极(S3P)
3:滚动三极测深(3P1)
4:双边三极测深(3P2)
5:普通二极法(2P1)
6:平行四边形二极法(2P2)
7:环形二极法(2P3)
请选择： 1 ？

对于模式 1 表格再按 **1** 键，选择温纳方式，再按**回车**键则显示对应的参数表格，分别送入电极距、存储序号、出图比例、最小间隔系数、最大间隔系数、起始电极号、测线上电极总数等如下：按**光标**键移位。（这里输入的参数值要与在多路电极转换器中设置的参数值相同）

电极点距：5.00
存储序号：1
出图比例：10
最小间隙系数：1
最大间隙系数：16
起始电极号：1
测线上电极总数：60
温施间隔层数：5

**按回车键确认输入参数和保存参数** 。

b、选择多路开关参数：

在测量接地电阻时，参数已输入，这时要检查一下输入参数是否还在，或要修改，需重新输入，按复位键进入主菜单，选择 1（Input），按 **1** 键，步骤与 **5** 相同，直至显示：“CHECK AGAIN Y(N)?”，按 **N** 键，返回主菜单。

选择 3
(工作模式 1WORK1)
按 **3** 键显示：

| |
|---|
| 1 WN |
| 2 SB1 |
| 3 SB2 |
| 4 DP |
| 5 DF |
| 6 WS1 |
| 7 WS2 |

选择 5
(工作模式 2 WORK2)
按 **5** 键显示：

| |
|---|
| 1 CB |
| 2 S3P |
| 3 3P1 |
| 4 3P2 |
| 5 2P1 |
| 6 2P2 |
| 7 2P3 |

如在模式 1 状态按 **1** 键，再按 **Y** 键，进入温纳工作方式，**再按主机的测量键**，开始测量。主机屏幕上上面显示曲线图，下面显示**电压、电流、电阻率值**。

**(1)对称四极（温纳 WN）装置方式**

它的电极排列规律是：A、M、N、B（其中 A、B 是供电电极，M、N 是测量电极），AM=MN=NB 为一个电极间距，随着极距系数 n 由 n(MIN)逐渐增大到 n(MAX)，四个电极之间的间距也均匀拉开，该装置适用于固定断面扫描测量，设电极总数 60，n(NIN)=1，n(MAX)=16，每步电极转换的规律如下所述：

首先，n=n(MIN)=1，测量数据为 57 个；

第一步：A=1#，M=2#，N=3#，B=4#；

第二步：　A=2#，M=3#，N=4#，B=5#；

……

第五十七步：　A=57#，M=58#，N=59#，B=60#；

接着，n=n+1=2，测量数据为 54 个；

第一步：　A=1#，M=3#，N=5#，B=7#；

第二步，　A=2#，M=4#，N=6#，B=8#；

……

第五十四步:　A=54#，M=56#，N=58#，B=60#；

最后，n=n(MAX)=16，测量数据为 12 个，

第一步：A=1#，M=17#，N=33#，B=49#；

第二步：　A=2#，M=18#，N=34#，B=50#；

……

第十二步：　　A=12#，M=28#，n=34#，B=60#；

显然，对应每一层位（n）的测量数据个数=(60-n×3)，如果 n=1～16，16 个层位全部测量得到的完整的一个剖面，数据总数应该是 552 个。

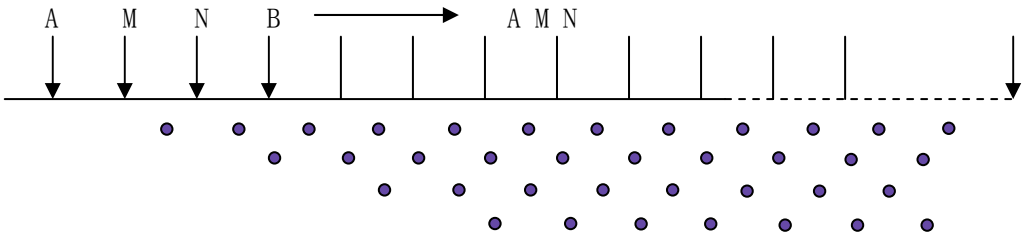
测量展开后，显示屏内容如下：

| WN　　Mode | | | |
|---|---|---|---|
| n=1 | | | |
| A | M | N | B |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

第二行显示隔离系数 n，第三行显示对称四极的电极排列规律，第四行显示每一步转换所接通的电极序号。

测量结束时，显示屏上给出整个剖面的数据总数，从测量总数的正确与否，可判断出测量是否正常结束。

示意图：

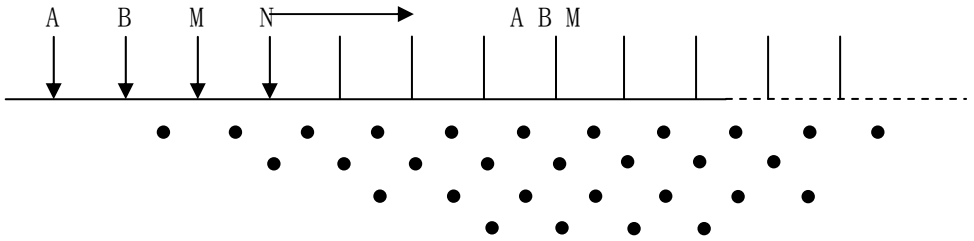



**(2)偶极偶极(DP)装置方式**

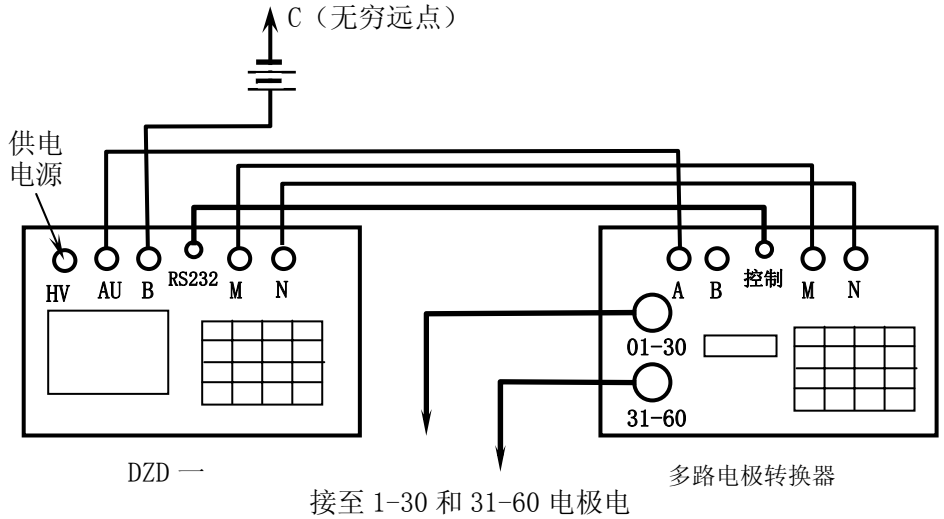
电极排列规律是：A、B、M、N，测量过程中，显示屏给出提示：

| DP　　Mode | | | |
|---|---|---|---|
| n=1 | | | |
| A | M | N | B |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

至于每步转换的过程等与温纳法类同，该装置适用于固定断面扫描测量，测量时，AB=BM=MN 为一个电极间距，A、B、M、N 逐点同时向右移动，得到第一条剖面线；接着 AB、BM、MN 增大一个电极间距，A、B、M、N 逐点同时向右移动，得到另一条剖面线；这样不断扫描测量下去，得到倒梯形断面。至于每步转换的过程等与温纳法类同，不再赘述。示意图：




**(3)联合剖面(CB)装置测量方式**




接至 1-30 和 31-60 电极电

它的特点是由 ρ sa， ρ sb 两组剖面数据所组成，首先是 ρ sa 装置，电极排列规律是 A、M、N，而将供电电极 B 固定在无穷远点（最少大于 10 倍点距），所以在测量展开之前，就必须将 MIS-5 与 DZD-4 之间联接的 B 电缆断开，而将 DZD-4 面板上的 B 电缆联接到无穷远点 B 供电极上。测量时，显示屏给出如下提示信息:

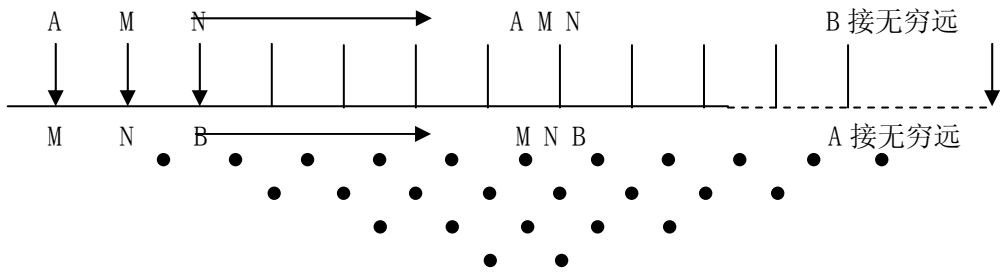
```
        CB      Mode
          n=1
   A     M     N     B
   1     2     3
```

该装置适用于固定断面扫描测量，测量时，AM=MN 为一个电极间距，A、M、N 逐点同时向右移动，得到第一条剖面线；接着 AM、MN 增大一个电极间距，A、M、N 逐点同时向右移动，得到另一条剖面线；这样不断扫描测量下去，得到倒梯形断面。ρsa 测量完毕，系统自动暂停，下面要进行的ρsb 测量模式，其电极持列特点是：M、N、B，供电电极 A 要固定到无穷远处，所以在这暂停的间歇时间里，要恢复多路转换器《**II**》与 DZD-4 之间的 B 电缆联接，断开它们之间的 A 电缆联接，并把 DZD-4 面板的 A 电缆联接到无穷远处的供电电极 A 上。测量时，MN=NB 为一个电极间距，M、N、B 逐点同时向右移动，得到第一条剖面线；接着 NM、NB 增大一个电极间距，M、N、B 逐点同时向右移动，得到另一条剖面线；这样不断扫描测量下去，得到倒梯形断面。一切就绪后，在 DZD-4 键入[**回车**]键，ρsb 的测量立即进行，显示屏上的提示信息如下：

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | CB | | Mode | |
| | | n=1 | | |
| A | M | | N | B |
| | 2 | | 3 | 4 |

ρsb 装置也测量完毕之后，联剖装置测量结束。显示出的测量总数应该是上述ρsa 和ρsb 两组数据之和，即：如果在电极总数为 60、n(MIN)=1、n(MAX)=16 的情况下，联剖的测量数据应该有 552×2=1104 个。

示意图：



# 实验五　高密度电法测量数据的处理与解释

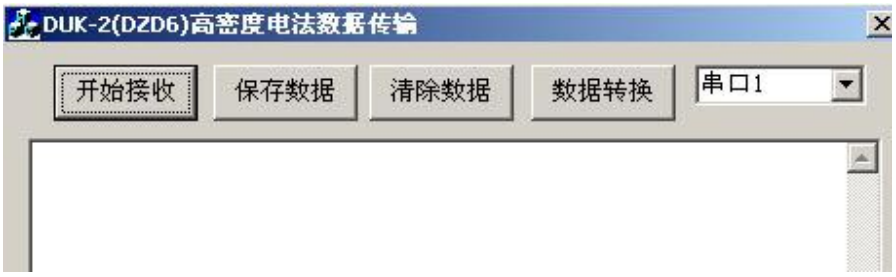
## 处理方法一 ：

### 1. 数据传输

（1）仪器与计算机之间用传输线连接好。

（2）打开测量仪器和计算机。

A. 在 WINDOWS 下运行 DUKCOMUS.EXE；这时有传输程序的界面




在传输程序的界面上选择所连接的串行口；一般选串口 1；

B. 单击“**开始接收**”按钮，然后在仪器（DZD-4）上按**通讯**键，然后输入开始的数据存储序号和结束的数据存储序号，并按下仪器的**回车**键，计算机上便显示所需的数据。

C. 当传数结束时，单击传输程序界面上“**停止接收**”按钮，并单击“**保存数据**”按钮，计算机显示保存对话框，选取要保存数据文件的目录并键入要保存数据的文件名，扩展名为 .dat ；

D. 如果想转换数据格式，单击传输程序界面上“**数据转换**”按钮，这时有界面

选取要转换格式的数据文件打开，则有数据格式转换设置对话框，选择所想使用的处理软件和此数据文件所对应的测量装置模式，并把此装置模式设置成在野外实测所使用的参数输入对话框中；

我们再选取要转换的格式（瑞典 ABEM 公司），确定即可。

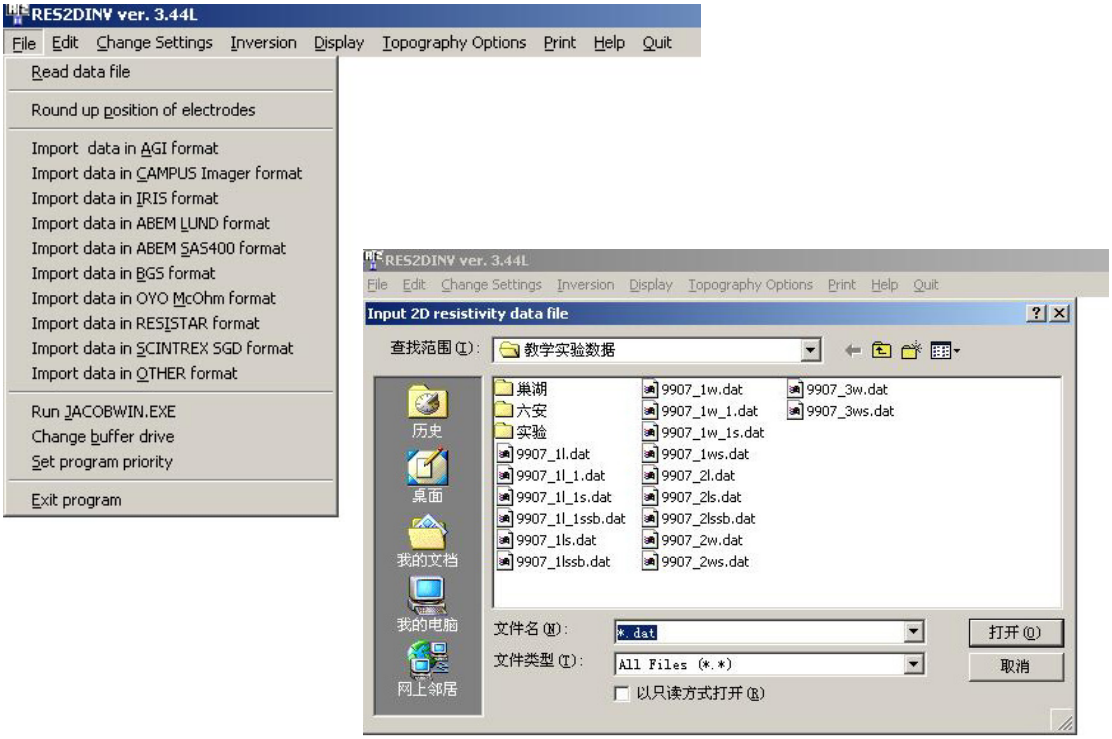
然后在弹出的对话框中输入一个数据转换后的文件名（不同名于原文件名）。

**2．计算机数据处理成像**

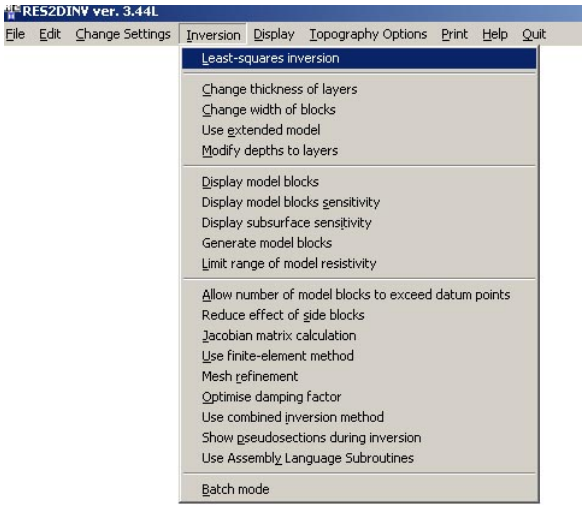
运行电法处理软件，运行 Res2dinv 文件即电阻率层析成像系统，进入主菜单状态。

① 调入数据：选取[File]菜单下的[Read data file]，屏幕提示输入数据文件（Res2dinv 格式）名，把在 DUKCOMUS 程序中转换为“瑞典 ABEM 公司”的数据文件找到，打开它，该

文件即被调入；

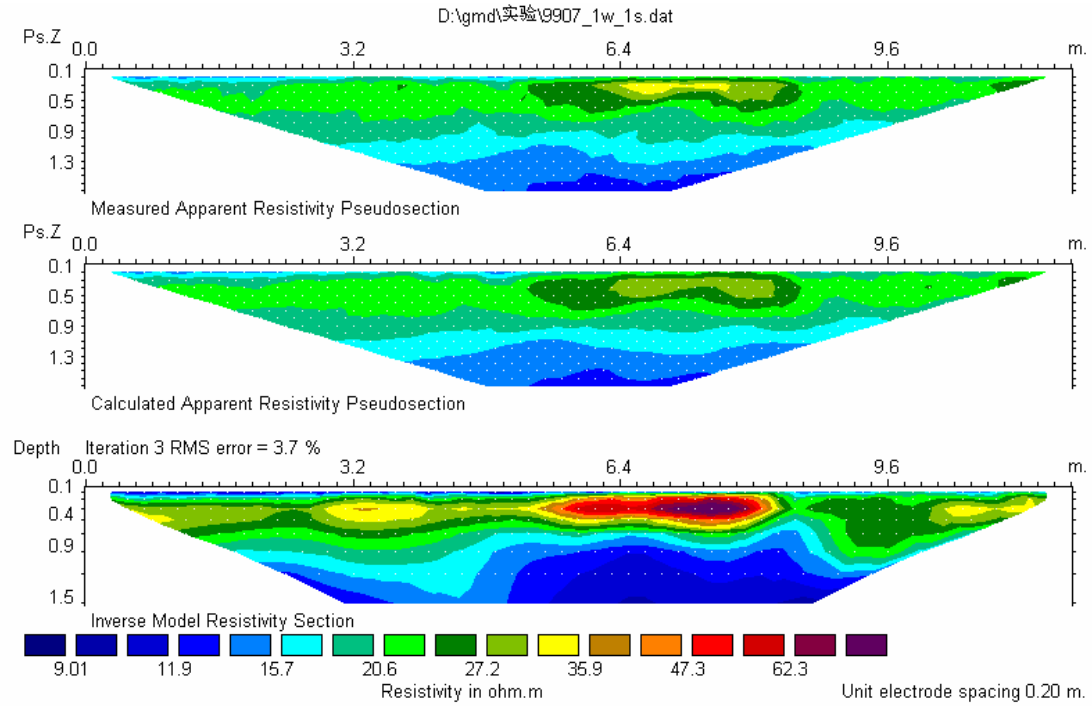



② 反演：选取[Inversion]菜单下的[Least-squares inversion]（最小二乘法反演），Res2dinv 软件即开始用默认反演数的对调入的高密度视电阻率数据进行反演，屏幕显示出反演过程，反演过程依据数据量



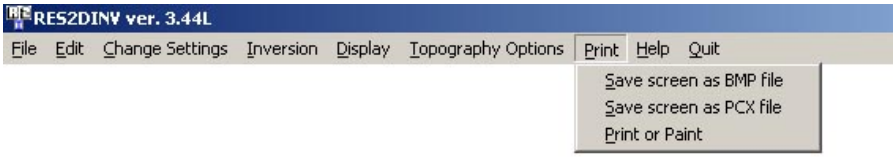

的大小将要化几分钟到十几分钟的时间，直到屏幕底行出现“Inversion Completed”，表

明反演过程结束。屏幕上显示出反演结果图件；

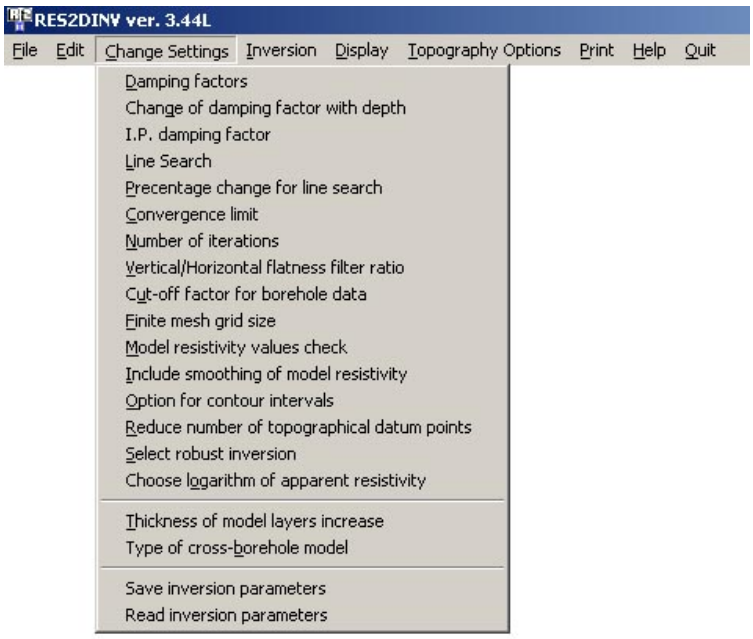



最上方为测量的视电阻率，中间为计算的视电阻率，最下方为反演的电阻率剖面；

③ 保存反演图件：单击[Print]菜单下的[Save Screen as PCX file]，屏幕提示输入要保存的.PCX 文件的路径及文件名，输入后点击“保存”按钮，即完成了反演图件的保存；



④ 反演参数设置：在主菜单中点击反演参设置菜单[Change setting]，然后用鼠标点击子菜单相应参数设置项。(如无特殊情况一般不用另行设置)




其包括有压制系数 [Damping factors]
压制系数随深度改变 [Change of damping factor with depth]
收敛限制 [Covergence limit]
迭代次数 [Number of iterations]
平面滤波纵横比率 [Vertical/Horizontal flatness filter ration]
限制网格大小 [Finite mesh grid size]
模型电阻率检查 [Model resistivity values check]
包含电阻率模型平滑 [Include smoothing of model resistivity]
等值线间隔选项 [Option for contour intervals]
选择 ROBUST 反演 [Select robust inversion]
选择视电阻率对数 [Choose logarithm of apparent resistivity]
模型层的厚度增量 [Thickness of model layers increase]
保存反演参数 [Saving inversion parameters]
从磁盘读入反演参数 [Read inversion parameters]

## 处理方法二 ：

### 1．数据传输

（1）用传输线把测量仪与计算机连接上。

（2）先打开测量仪，然后再打开计算机。

A. 使计算机进入 DOS 操作系统下，然后进入 DZD 子目录下，键入 GWS，计算机显示一菜单，把光标移到 DAT—INP 上，按回车键，显示子菜单，选择 FROM INSTRUMENT，按回车键。按 F3，键入 HDCOMUS，按回车键；

B. 按 F2 键，显示 WANT TO RECEIVE NO.：输入想要接收的仪器存储点总数（注：为了对应数据转换格式，请键入单个剖面的数据总个数）；

C. 按 ENTER 键，显示 PLEASE TURN ON YOUR DZD-4，按 ENTER 键；

D. 显示 BAUTE RATE [0/1：0—2400（DZD-2），1-4800（DZD-3&4）]，键入 1，按回车键；

E. 显示 SERIAL NO [0/1：0-COM1，1-COM2]，如果传输线的串行口接计算机的 COM1，选择 0，如果传输线的串行口接计算机的 COM2，则为 1。例：输入 0 后，按回车键；

F. 显示 DO YOU WANT TO SAVE? （Y/N）：（一般键入 Y）；键入（Y）后，按 ENTER 键；

G. 显示 PLEASE INPUT SOURCE DATA FILE NAME：输入文件名后，按 ENTER 键（注：文件名的后缀为 .DAT）；

H. 显示 SINGE SIDE 3 PILE（Y/N）？（问你是不是单边三极装置，不是，键入 N，并回车；是单边三极装置，键入 Y 并回车，计算机要问你最小隔离系数和最大隔离系数分别是多少，请输入实测中设置的值）例：输入 N，并回车；

I．显示 SB1（Y/N）？（问你是不是施伦贝尔 1 装置，不是，键入 N，并回车；是，键入 Y，并回车，计算机要问你最小隔离系数和最大隔离系数分别是多少，请输入实测中设置的值）例：输入 N，并回车；

J．显示 PRESS REMOTE KEY ON YOUR DZD-4；

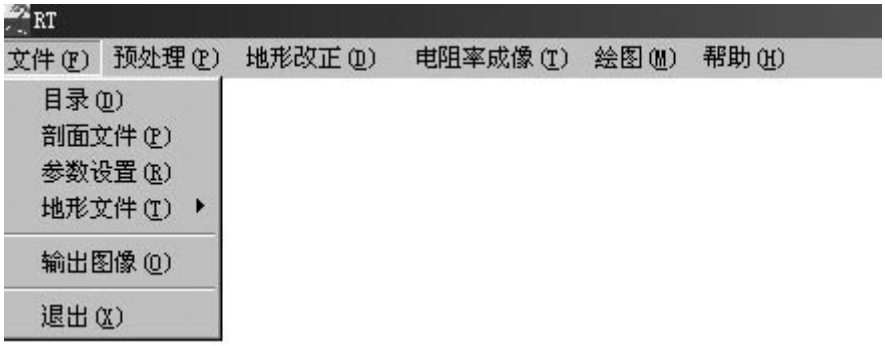
此时按下测量仪器的通迅键，并输入一个排列的开始存贮序号和结束存贮序号，按下测量仪器的回车键 ，计算机便开始接收，直到出现 CONTINUE RECEIVE ？（Y/N）（注：当按下测量仪的回车键时，如果计算机的显示屏上出现错误信息，请重复 B—I 的操作，但测量仪不需再次打开；如果不出现任何信息，按 CTRL+BREAK 退出，请换一下计算机的串行接口）。

数据传输结束后，即可利用计算机进行数据处理。

### 2．计算机数据处理成像

运行电法处理软件，运行 CRT 文件即电阻率层析成像系统，进入主菜单状态。

① 选取“文件”菜单下的“目录”子菜单，进行打开或创建数据文件目录，这时出现




“打开或创建数据目录”对话框，在此对话框中选取我们所存数据文件的地址目录（或创建

一个新的目录，在“新建目录”框中键入欲建目录名，再按“创建”按钮，即在当前目录下新增一子目录，再按“添加文件”按钮，将我们所要的数据文件从其他目录中拷贝到新建的子目录中，可用鼠标直接拖曳。复制的文件只可是后缀为 dat 的原始数据文件。）然后确定；

② 返回主菜单，再选取“文件”菜单下的“剖面文件”子菜单，则会出现“打开数据文件”对话框，在此选定我们要打开的数据文件；

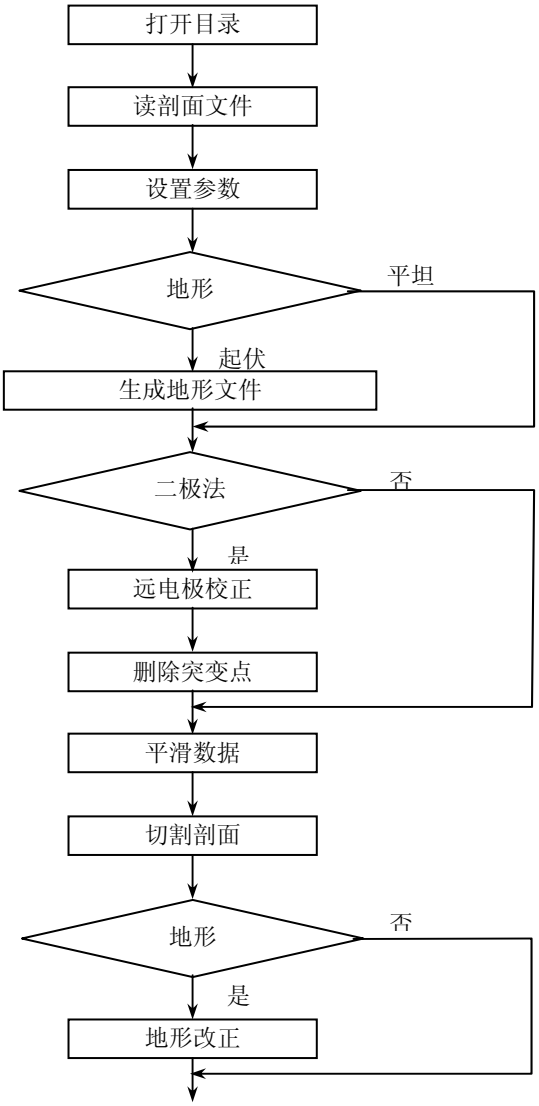
③ 再在“文件”菜单下选取“参数设置”子菜单，则出现“剖面参数”对话框。在这里根据我们在测量时所采取的测量方式，所设定的测量参数，在此对话框中予以相同的设定，再保存之；可生成参数文件（后缀是 par），以后可直接调用，每一剖面文件有唯一的参数文件；

④ 返回主菜单，选取“预处理”菜单下的“数据类型”子菜单，出现“数据类型”对话框，在该对话框中可选定“原始”或“预处理”，然后确定；这样可重新生成扩展名为 org 的原始文件，扩展名为的 tmp 预处理文件；可以避免破坏原始的测量文件；

⑤ 这时在主菜单下选取“电阻率成像”子菜单，则有“电阻率成像”对话框，在其中“数据类型”栏中选定我们所确定的数据类型，并选定保存或不保存以及反演的次数，再确
定。这时则绘出我们所须的高密度电阻率断面成像图，完成数据的处理。在屏幕的上部为实

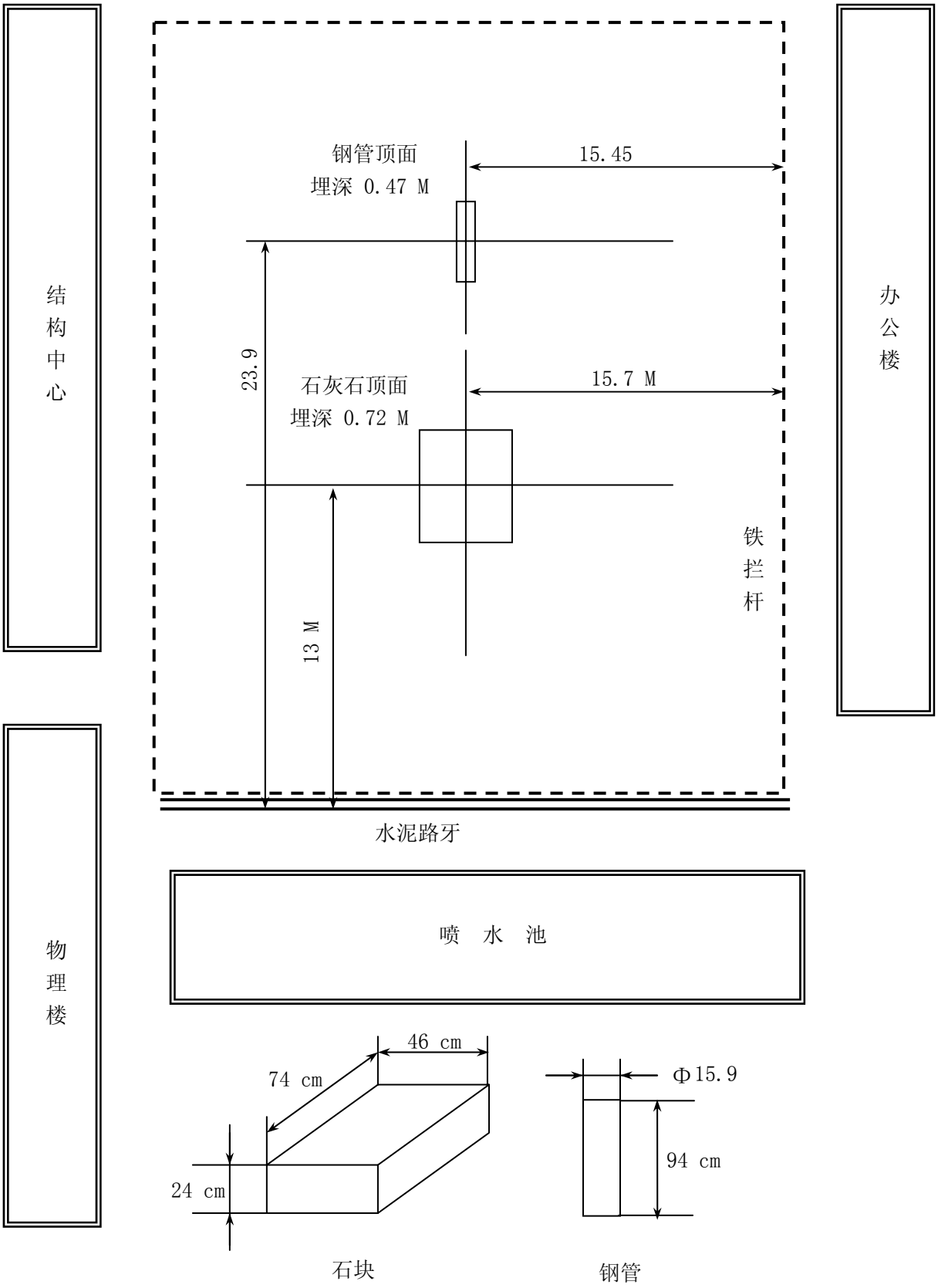
测的电阻率图象，下部为反演后的电阻率图象。

**整个过程流程：**

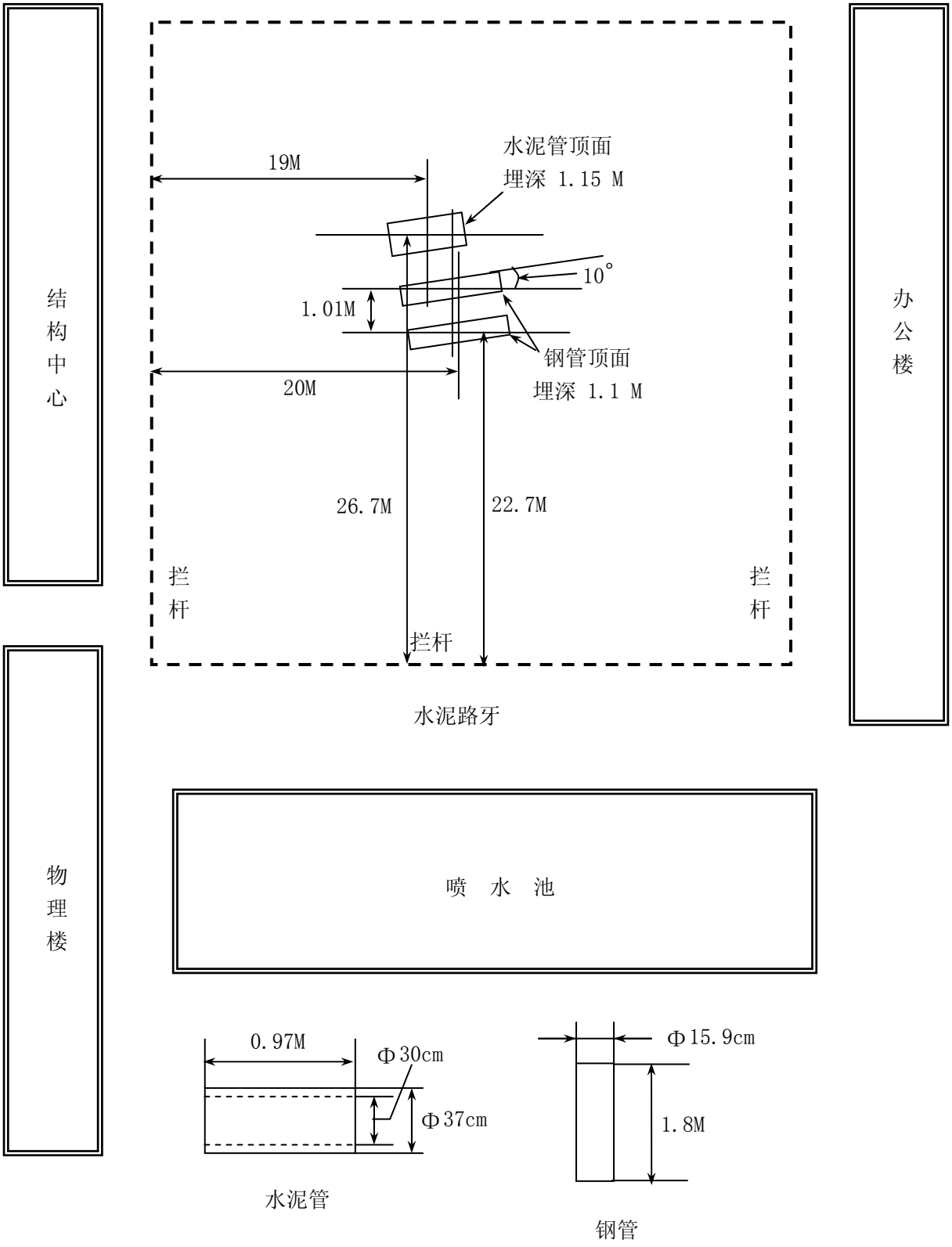

打开目录
读剖面文件
设置参数
地形
平坦
起伏
生成地形文件
二极法
否
是
远电极校正
删除突变点
平滑数据
切割剖面
地形
否
是
地形改正

## (六)思考题：

**附图：**预设模型位置图 1


结构中心
办公楼
物理楼
钢管顶面
埋深 0.47 M
15.45
23.9
石灰石顶面
埋深 0.72 M
15.7 M
铁拦杆
13 M
水泥路牙
喷 水 池
46 cm
74 cm
24 cm
石块
Φ15.9
94 cm
钢管

**附图：**预设模型位置图 2


结构中心
办公楼
物理楼
19M
水泥管顶面
埋深 1.15 M
10°
1.01M
钢管顶面
埋深 1.1 M
20M
26.7M
22.7M
拦杆
拦杆
拦杆
水泥路牙
喷 水 池
0.97M
Φ30cm
Φ37cm
水泥管
Φ15.9cm
1.8M
钢管

# 实验六　工程仪检测梁的厚度

## （一）实验目的：

初步了解和掌握工程检测仪的原理和使用方法，初步认识工程检测的工作过程。

## （二）设备：

1．GJY—1 工程检测仪仪及配套检波器、锤子
2．皮尺
3．耦合剂
4．直流电源

## （三）原理及装置：

人工在地面激发的地震波向地下传播，遇到弹性不同的介质分界面，会发生波的折射或反射，记录折射波或反射波的到时，研究该到时及接收点与震源距离的关系（时距曲线），就可获得与地下介质的性质及分界面的空间分布有关的资料，将其与地层层位相联系，即可确定地层的深度、分布及构造形态等。本实验利用反射波的同相轴解析，进行（二元）回归计算，得出反射层的深度。

设在地面下 **H** 深度处有一水平反射界面，上部介质波阻抗为$V_1\rho_1$；下部介质波阻抗为$V_2\rho_2$，且两者不相等。梁即属于这种情况上部介质为混凝土，而下部则为空气。

设震源于地面 **O** 点，接收点在距 **O** 点 **x** 处，地震波从震源开始向地下传播，经界面反射至接收点的传播途径表示为 **L**，则

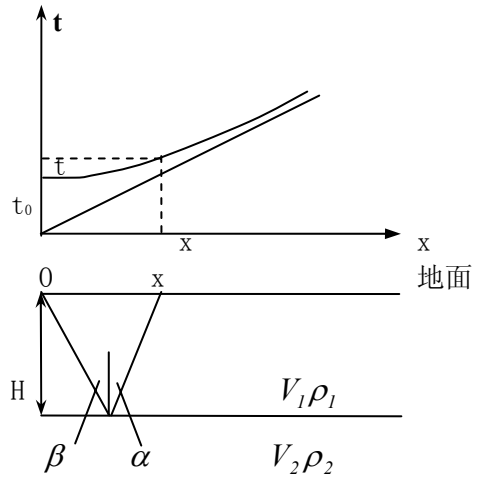
$$L=\sqrt{x^2+4H^2}=V_1t$$

由此可求得波的传播时间 **t** 为：

$$t=\frac{1}{V_1}\sqrt{x^2+4H^2}$$

该式即为反射波时距曲线方程式，它是一条对称于 x=0 直线的双曲线，它以斜率为$\frac{1}{V_1}$的直达波时距曲线为渐进线。当 x=0 时，得双曲线与 t 轴的交点时间 $t_0$:

$$t_0=\frac{2H}{V_1}$$

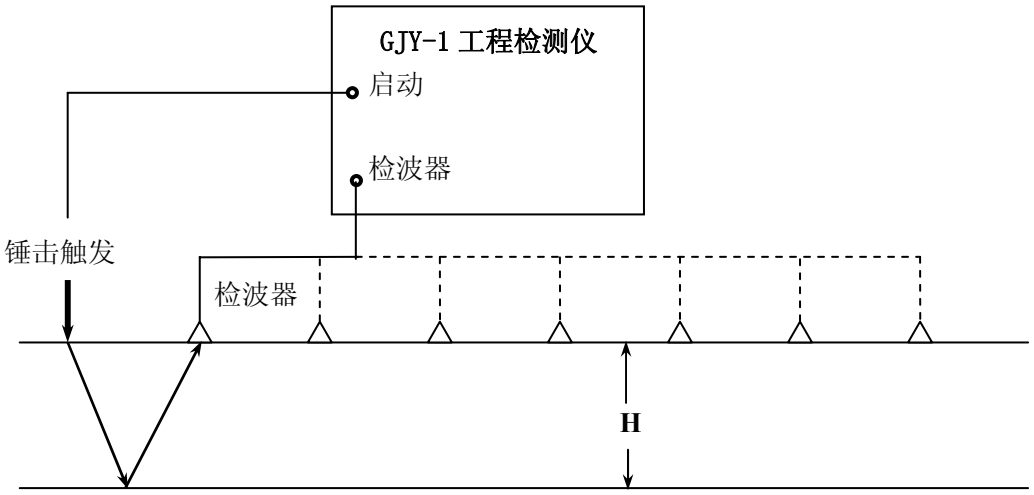



这样可得计算界面深度 **H** 的实用公式

$$H = \frac{t_0 V_1}{2}$$

一般求深度的公式由反射波时距曲线方程可得

$$\boldsymbol{H = \frac{\sqrt{V_1^2 t^2 - x^2}}{2}}$$




## （四）实验步骤及数据处理：

1. 用皮尺拉一测线，每隔一米为一测点，皮尺的起点为锤击启动点；

2. 将锤子的启动线连接在仪器的启动插座上，检波器连线连接与仪器的检波器插座相连。在本实验只使用一个检波器，所以将检波器连接在检波器连线的第一个插头；

3. 将检波器用耦合剂粘接在选定的第一个测点处；

4. 检查所有的连线是否正确，然后打开电源；

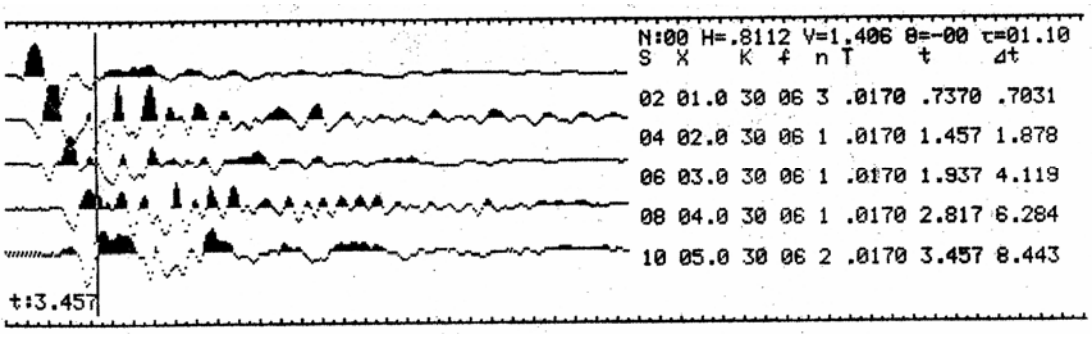
5. 设置参数，按两次菜单键，在显示的菜单中再按 2 键（置参），设置我们测量的参数，参照**仪器使用方法**，通道数因我们只用一个检波器，所以选择一个通道 **M**=1；采样间隔键入 2 或 3，一般采样间隔根据接收波形的主频来确定，我们可以锤击采集一波形，然后进行频谱分析，求出其主频，再反过来确定我们的采样频率；通带选择也可根据谱的带宽来确定，这里键入**[1]**和**[6]**（**50HZ—4K**）；增益可根据实际情况进行调整。按**[采样]**即等待采样；

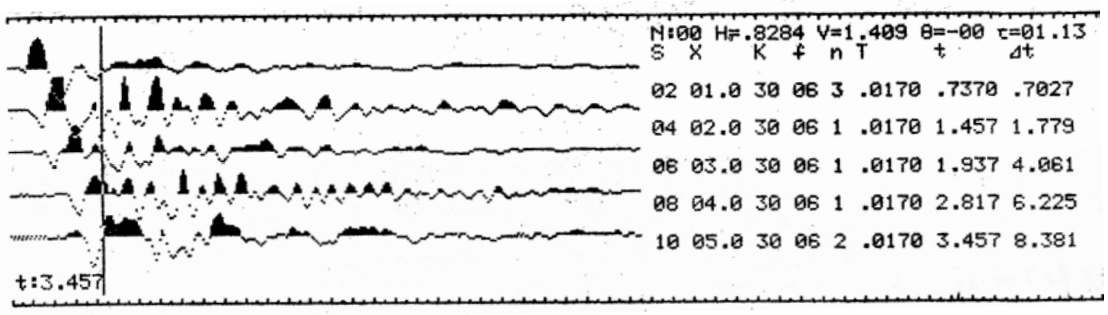
6. 锤击采样，这时在液晶屏上即有采得的波形，如果波形不满意，可按复位按钮重新锤击采样，若满意则按**[增强]**键，将波形放入增强区；

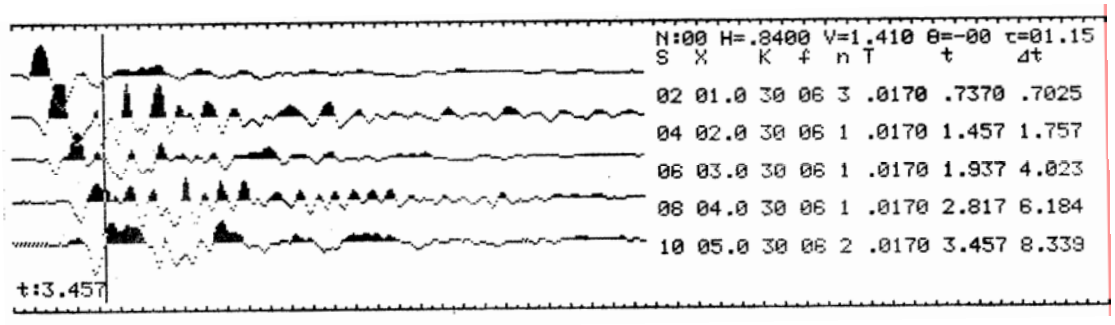
7. 按**[置入]**键将波形送往置入区，这时在屏的左上角键入置入到置入区的第几道，这里即是我们采样点的顺序（第一个点 S=1,然后是 S=2 S=3**...**，其可以置入 12 道，因我们只有 6 个测点，为了使波形清楚便于处理，我们可隔道输入，即 S=1 S=3 S=5**...**），然后再键入该道的激发接收间距 **X**（以 **m** 为单位，可为小数）；

8. 将检波器移至两米处的第二个测点，然后按**[菜单]**键，在菜单中选择**清数据**（按[3]键，这时屏上显示 1 清增强 2 清置入 3 清迭加），再选择**清增强**（按[1]键）将原来增强区内的波形清除，即进入下一次采样的状态，再重复 6—8 的各步；

9. 在置入区内存够波形后，进行解析操作，按**[菜单]**键，选择**解析**（按[2]键）项，屏幕显示询问相位校正量（以ms为单位，即 τ 值，一般我们键入1.1—1.13），屏幕又有反






（不同的τ值，所求得的H有所差别，实际的H为 0.8420M ）

射、折射选项，选择反射，按[1]键，屏幕上即出现置入区的波形图，屏左下角显示出光标所在处的时刻。按照**仪器使用方法**中16介绍的方法进行操作（对于反射波解析即反射波同相轴解析，辩认反射波的同相轴后，移动光标到某道波形反射波同相轴的特征点处，然后按[**入点**]键，则该点被记入，光标自动移到下一道波形上，操作者可以对所有能识别的反射波同相轴特征点进行上述操作，点数至少要有三个，多则不限，最后一个点用[**置入**]键送入表示送完，则自动开始对所有指定点进行（二元）回归计算，这样反射层深度H、波速V和底界面倾角θ，显示在参数窗口的上方，有特征点的t值和计算出来的动校正量Δt也显示在参数窗内。）即可求出梁的厚度H 。

10．按打印键将采集的测量波形及计算的结果打印出来。

11．关闭电源，完成实验。

# 实验七　质子旋进式磁力仪的使用和观测

## （一）实验目的：

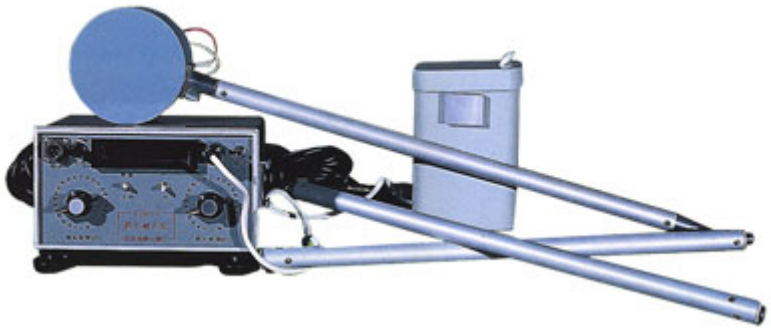
1．掌握仪器的工作原理及特点，学会仪器的使用方法。
2．学会一条剖面的磁测方法。

## （二）设备：

1. CZM-2 型质子旋进式磁力仪
2. 罗盘
3. 皮尺
4. 坐标纸

## （三）原理及装置：

**CZM-2** 型质子旋进式磁力仪是利用氢原子在磁场中的旋进现象来测量地磁场的。由于氢原子只有一个质子，带正电的质子在不停的“自旋”而产生质子磁矩。含氢液体中有大量氢质子，这些“质子磁矩”的方向在没有外界磁场作用时呈无规则指向，故不形成一定方向的质子合成磁矩，当含氢液体处在地磁场中时，经一段时间，质子磁矩的方向转到趋

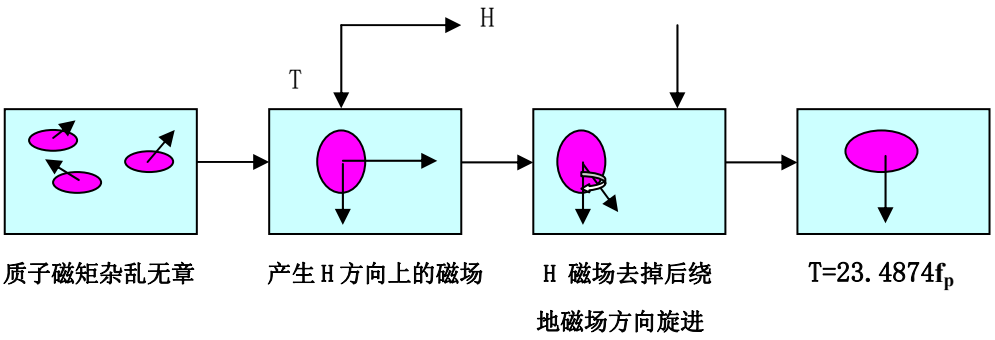


于地磁场 **T** 的方向，这时若再加一个垂直于地磁场 **T** 方向的人工“磁化”磁场 $\mathbf{H_0}$，当 $\mathbf{H_0}>>\mathbf{T}$ 时,质子磁矩将被迫趋向 $\mathbf{H_0}$ 方向，当突然去掉 $\mathbf{H_0}$ 时，质子磁矩因受地磁场 **T** 的作用，将逐渐回到 **T** 的方向去，在这个过程中质子磁矩将绕地磁场 **T** 做自由旋进运动。质子旋进切割探头线圈，因而在线圈中感应出随时间按指数衰减的旋进迅号，幅度为数微伏，衰减时间为两秒。旋进信号的频率 $\mathbf{f_p}$ 与地磁场总强度 **T** 成正比关系：

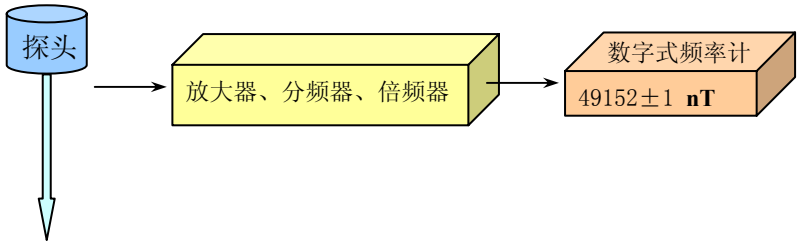
$$T = 23.4874 f_p nt$$

如果 **T** 的强度改变，则 $\mathbf{f_p}$ 也随着改变，这样将 $\mathbf{f_p}$ 送入频率计数器，便可记录到地磁场 **T**

的大小。所以就将地磁场大小的测量转化为频率的测量。如图所示：




仪器基本上分为三大部分：探头；放大器；数字式频率计。




**探头：**

探头由两个参数相同的长形管状多层线圈反向绕成，它具有抗干扰能力，线圈中用无磁性容器盛有水或煤油。其功能有二：一是使水中氢质子“极化”；二是作为感应线圈接收质子旋进迅号，然后送入放大器。

**放大器：**

它将探头感应到的约 **0.5 μv** 左右的电动势放大为 **500 mv** 以上输送给数字式频率计。

**数字式频率计：**

它收到放大器放大以后的迅号经分频，倍频，闸门控制器等等一系列处理以后，在不到一秒的时间里将这个旋进的迅号频率转换为磁场值（**nT**）由显示器显示出来。这样在显示器上可以直接读出地磁场总强度 T 的数值来。

## （四）实验步骤：

**1.** 野外工作需 2-3 人，一人拿探头，一人操作，一人记录。 持探头人员需去掉身上所有铁磁性物体。探头与仪器应相距 **＞4m** 。

**2.** 测区要求

⑴. 高精度磁测梯度应 **＜10 nT/m** 。

⑵. 测区的垂直梯度应 ≤**200 nT/m**，水平梯度应 ≤**150 nT/m**

⑶. 梯度较大的测区注意探头的定位准确度和探头的高度。要求探头的轴向应垂直与地磁场（探头的平面保持为东西向）。

**3.** 仪器操作

⑴. 接通电源，打开电源开关(工作完毕应立即关闭电源。)；

⑵. 先不接探头线，将自校与测量开关打到“自校”，按一下工作微动开关，待 **3** 秒钟以后显示器显示 **49152±1** 的数字时，表示仪器自校正常；

⑶. 适当选择测区的配谐档（本实验中使用档），然后接通探头线，按一下微动开关，待 **3** 秒钟以后显示出测点的磁场读数，连续读数，若读数重复，即可开始工作，若读数重复性不好，则应适当变换探头及放大器的配谐档，直至读数的重复性好才能工作；

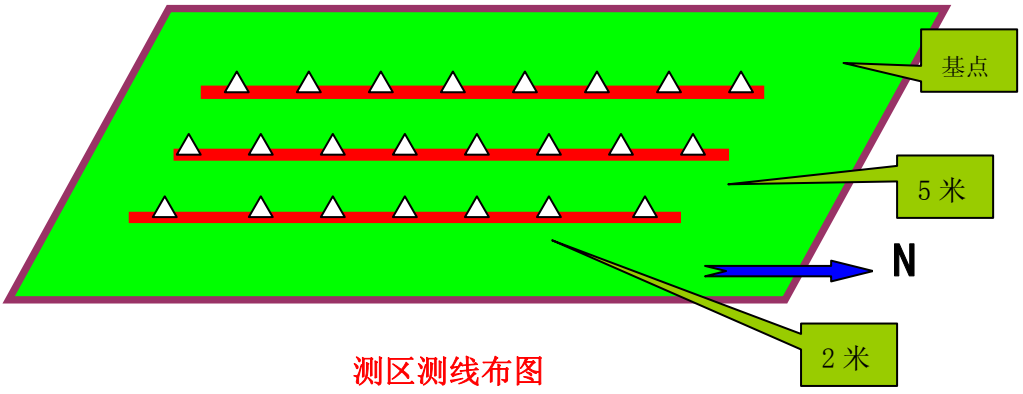
⑷. 每一观测点应连续读数 **3** 次，若两次读数重复则不读第三次，然后将读数取均值。

**4.** 数据测量

⑴ 先测一个基点（找一个数据较稳定的点）读数，三条剖面 **45** 个点都测完后，再测一次基点读数，然后用其平均值。

⑵以同样的方法测量三条剖面。比例尺为 **1:500** ，点距 **2** 米，线距 **5** 米，共测 **45** 个点。

⑶**测区布设**：



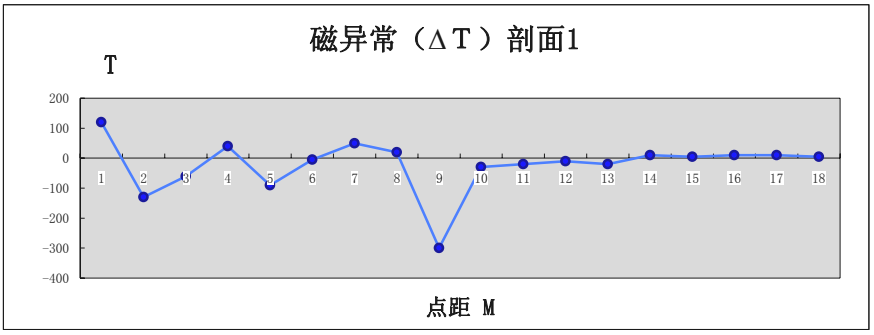

测区测线布图

**5. 数据处理**

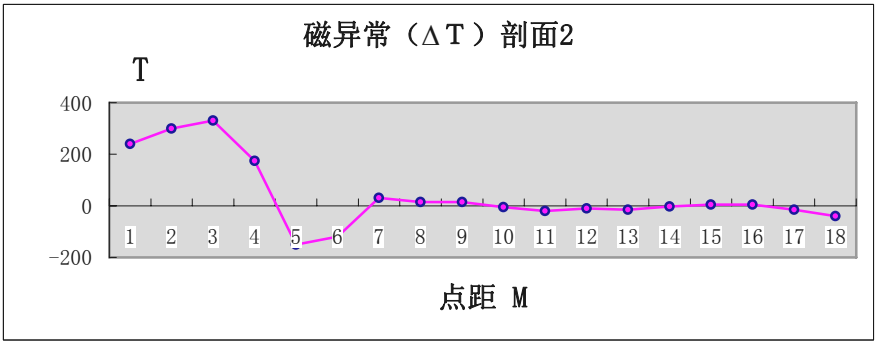
1．将所测剖面的数据用测点值减去基点值，（须加入各项改正），画出三剖面图来。（剖面图的横坐标为点距，纵坐标为磁异常值，比例尺为 1:500 。图中标上剖面的走向和剖面下的地质情况）。

2．再画出一剖面平面图来

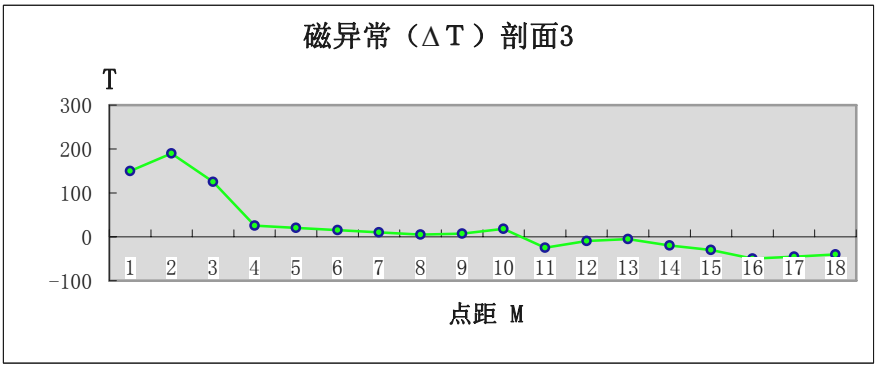
如下图所示：



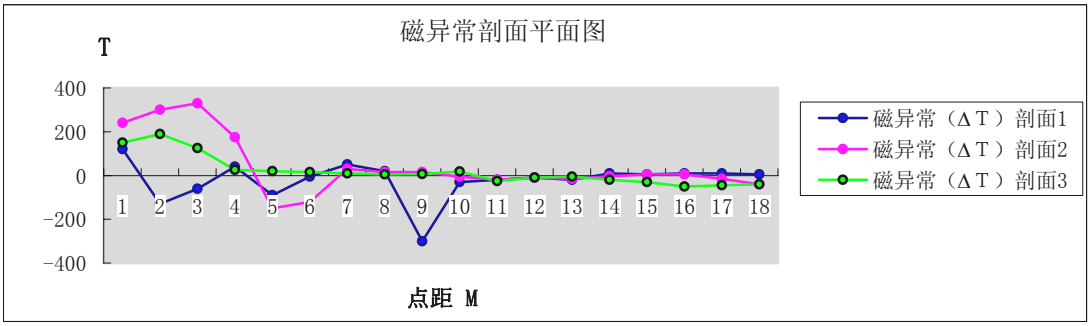

剖面 1（剖面图）




剖面 2（剖面图）




剖面 3（剖面图）




磁异常剖面平面图

3．计算剖面的测量均方差：公式为：

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x)^2}{n-1}}$$

其中：$x_i$ 为各测点的均值，i = 1、2、3、4 ..... n

x 为 n 个测点的平均值

η ≤ 1.5 nT 才符合要求。

八．思考题

1. 怎样解释一条剖面的磁异常？
2. 为什么要画剖面平面图，它有什么作用，怎样解释平面上的磁异常？

# 实验八　探地雷达系统测量方法原理及数据采集

## (一)实验目的:

了解 CR-20B 探地雷达系统的性能、操作方法及其在地球物理探测和地质工程中的应用。使学生能亲自动手操作探地雷达，增强学生对地震学和地震勘探的实际动手能力。通过实验使学生了解探地雷达野外数据采集的过程和方法。增强学生的感性知识及其对该方法原理的理解，同时初步掌握数据处理的原理、方法和步骤。

## (二)设备：

1. CR-20B 雷达主机
2. 收发天线：50MHz、100MHz、300MHz、750MHz、1000MHz 手持天线
3. 供电系统：12V 蓄电池（24Ah 以上）或专用室内开关电源

## (三)原理及试验装置：

探地雷达利用主频为数十兆赫至千兆赫波段的电磁波，以宽频带短脉冲的形式，由地面通过天线发射器发送至地下，经地下目的体或地层的界面反射后返回地面，为雷达天线接受器所接受，通过对所接受的雷达信号进行处理和图像解译，达到探测前方目的体的目的。由于雷达探测速度快、精度高，以及对原物体无破坏作用，所以在工程领域中有广泛的应用。正是由于探地雷达有着很好的应用效果，从八十年代起，世界上许多国家都对它进行了不断的研究与开发。随着电子技术和计算机技术的发展，这种研究开发仍在继续。

### 1. 雷达探测的基本原理

探地雷达是一种电磁探测技术。静止的电荷分布或电流分布，激发稳定场。稳定场是不随时间变化，不向外辐射能量。如果场源的电荷分布和电流分布随时间变化，就激发变化的电磁场，变化的电场在其周围激起变化的磁场，变化的磁场又要激起变化的电场，变化的电磁场由近及远地传播出去，形成电磁场。在无源空间中，电磁场的发射、传播、反射、折射及绕射满足如下的麦克斯韦尔方程：

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (2)$$

$$\nabla \bullet \vec{B} = 0 \tag{3}$$

$$\nabla \bullet \vec{D} = 0 \tag{4}$$

其中： $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$ $\vec{B} = \varepsilon \vec{H}$

通过对式（1）和式（4）求解，可得：

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial E^2}{\partial t^2} \tag{5}$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial H^2}{\partial t^2} \tag{6}$$

其中： $V = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}}$

从上两式中可以看出，该方程组具有波动方程的形式。这充分表明电磁场矢量和在自由 $\vec{H}$空 $\overline{\mathbf{E}}$ 间中有一定速度，以波的形式传播。

**⑴ 平面电磁波在均匀导电媒介中的传播**

电磁波在均匀导电介质中传播，即要考虑传导电流的影响，也要考虑位移电流的影响。假设平面电磁波沿 Z 的正方向，亥姆霍斯方程为：

$$\frac{d^2 \bar{E}(z)}{dz^2} + k' \bar{E}(z) = 0 \tag{7}$$

$$\frac{d^2 \bar{H}(z)}{dz^2} + k' \bar{H}(z) = 0 \tag{8}$$

通过求解上式并乘上时间因子 $e^{i\omega t}$，得场矢量

$$\bar{E}(z,t) = \bar{E}_0 e^{-bz} e^{i(\omega t - az)} \tag{9}$$

$$\bar{H}(z,t) = \bar{H}_0 e^{-bz} e^{i(\omega t - az)} \tag{10}$$

其中：

$$a=\omega\sqrt{\varepsilon\mu}\left[\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+\left(\frac{\gamma}{\omega\varepsilon}\right)^2}\right)+1\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (11)$$

$$\mathbf{b}=\omega\sqrt{\varepsilon\mu}\left[\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+\left(\frac{\gamma}{\omega\varepsilon}\right)^2}\right)-1\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (12)$$

由此可见，在导电介质中传播的平面电磁波，在传播方向上波的振幅按指数规律衰减，b 表示每单位距离衰减程度的常数，称衰减常数。a 表示每单位距离落后的相位，称为位相常数。知道了常数 a，就可由

$$v=\frac{\omega}{a}$$

求出电磁波在导电媒介中的传播速度。a、b 的值完全由导电介质的性质和电磁波的角频率决定。

**⑵ 平面电磁波在良导电均匀媒介中的传播**

对于铜、铁等良导电媒介质，其电导率很大，即$\gamma$很大，由式（12）看到衰减常数 b 也很大，因此，电磁波在良导电媒质中传播时，场矢量的衰减很快，电磁波只能透入良导体表面的薄层内（电磁波只能在导体以外的空间或电介质中传播）。这种现象称为趋肤效应。在 z=1/b 处，振幅为 $E_0/e$，即场矢量的振幅在导体内的 1/b 处，已衰减到表面处的 1/e，这时，电磁波透入导体内的深度称为穿透深度，或趋肤深度，用$\delta$表示：$\delta$ =1/b，把 b 代入上式，经过简化可得：

$$\delta=\frac{1}{\mathbf{b}}=\frac{\lambda}{2\pi} \qquad (13)$$

这表明电磁波进入良导体的深度是其波长的$\frac{1}{2\pi}$倍，高频电磁波透入良导体的深度很小。

当频率是 100Mhz 时，$\delta=0.67\times10^{-3}cm$。可见，高频电磁波的电磁场，集中在良导体表面的薄层内，相应的高频电流也集中在该薄层内流动。

**⑶ 电磁波的反射**

波动方程和有关的传播与衰减常数描述了电磁波的运动。其中，引起电磁波衰减和传播的两个主要电性是电导率和介电常数。而对于应用高频电磁波的地质雷达来说，其发射电磁波的频率范围、被探测目的体的电导率和介电常数均影响着电磁波的传播。

探地雷达利用高频电磁脉冲波的反射原理来实现探测目的，其反射脉冲信号的强度不仅与传播介质的波吸收程度有关，而且也与被穿透介质界面的波反射系数有关。垂直界面

入射的反射系数 R 的模值和幅角，可表示如下：

$$|R| = \sqrt{(a^2 - b^2)^2 + (2ab\sin\phi)^2} / (a^2 + b^2 + 2ab\cos\phi) \qquad (14)$$

$$ArgR = \phi = tan^{-1}(\sigma_2 / \omega\varepsilon_2) - tan^{-1}(-\sigma_1 / \omega\varepsilon_1) \qquad (15)$$

式中：

$$a = \mu_2 / \mu_1 \qquad (16)$$

$$b = \sqrt{\mu_2\varepsilon_2\sqrt{1 + (\sigma_2 / \omega\varepsilon_2)^2}} / \sqrt{\mu_1\varepsilon_1\sqrt{1 + (\sigma_1 / \omega\varepsilon_1)^2}} \qquad (17)$$

μ、ε和σ分别表示介质的导磁系数、相对介电常数和电导率。角标 1 和 2 分别代表入射介质和透射介质。上式可以看出，反射系数与界面两边介质的电磁性质和频率有关。两边介质的电磁参数差别越大，反射系数也大，同样反射波的能量亦大。

**2．探地雷达野外工作方式**

探地雷达利用主频为数十兆赫至千兆赫波段的电磁波，以宽频带短脉冲的形式，由地面通过天线发射器（T）发送至地下，经地下目的体或地层的界面反射后返回地面，为雷达天线接受器（R）接受，其工作原理如图 1：

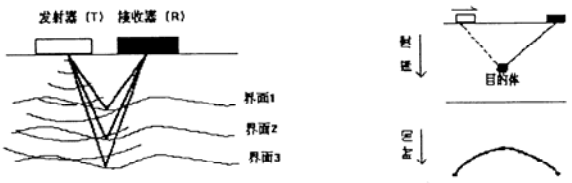



图 1　地面探地雷达工作原理示意图

脉冲波的行程为：

$$t = \sqrt{4z^2 + x^2} / v \qquad (18)$$

式中：

t：脉冲波走时（ns，1ns=$10^{-9}$s）

z：反射体深度（m）

x：T 与 R 的距离（m）

v：雷达脉冲波速（m/s）

探地雷达的天线发射及接受器有单置式和双置式之分，单置式为发射与接受器同置一体，双置式为反射与接受分体。

使用单置式天线计算探测目的层深度的计算式为：

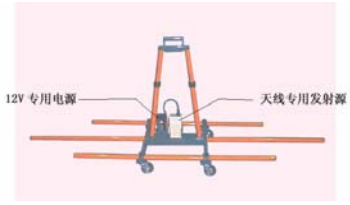
$$z=\frac{|x|}{\sqrt{(\frac{t}{t_0})^2-1}} \qquad (19)$$

使用双置式天线计算探测目的层深度的计算式为：

$$z=\sqrt{\frac{t_2^2x_1^2-t_1^2x_2^2}{4(t_1^2-t_2^2)}} \qquad (20)$$

### 3．CR-20B 探地雷达系统

该系统包括 CR-20B 雷达主机；50MHz、100MHz、300MHz、750MHz、1000MHz 收发天线；及供电用 12V 蓄电池（24Ah 以上）或专用室内开关电源。

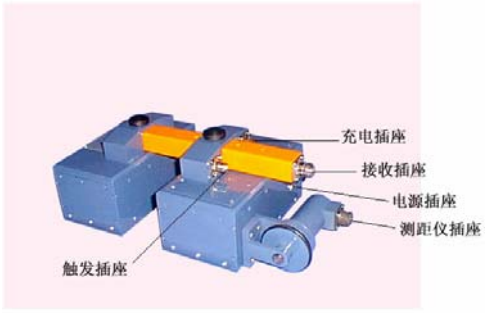



50MHz

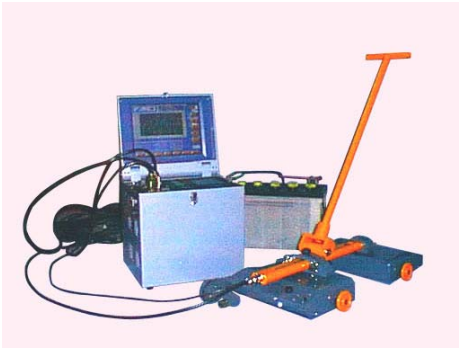
100MHz

300MHz

750MHz

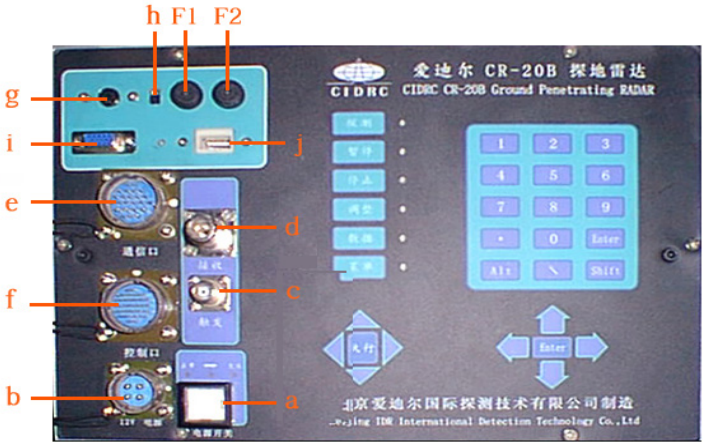



1000MHz



系统全貌

CR-20B 主机面板




a. 电源开关——按下此键，启动 CR-20B 雷达主机，该键显示为红色。如果欠压灯亮起，请尽快将图像数据文件存盘，并给电池充电。

b. 电源插座（4 芯）——12V 输入，可接蓄电池或室内专用开关电源。

c. 触发插座——与发射天线联接。

d. 接收插座——与接收天线联接。

e. 通讯插座（24 芯）——用于与计算机进行数据传输。

f. 控制插座（32 芯）——用于联接天线上测距轮或联接天线配用探测控制盒。

g. 键盘插座——用于外接键盘。

h. 键盘开关——向上拨，外接键盘控制操作；向下拨，主机面板右区功能键控制操作。

i. CRT 插座——用于外接显示器。

j. USB 插座——符合 USB1.0 标准。

F1——5A 保险丝。

F2——3A 保险丝。

功能键在面板的右半部，共 31 个键。其中一列由上至下的 6 个键（面板中部）是主要操作键，其名称：

“**探测**”在调整好参数以后，按此键开始探测；

“**暂停**”在探测过程中，按此键可暂停探测，再按此键继续；

“**停止**”探测完毕，按此键结束；

“**调整**”设置调整各探测参数；

“**数据**”用于与计算机相连后，传输数据；

“**菜单**”切换界面中的各个菜单。

这 6 个键具有探测采集数据和调整波形等功能。在采集数据储存文件命名时，除“**停止**”键（A 字符）外，都可以用作字符输入。面板右侧的 20 个键为数字、方向、ALT 和 Enter 等键，分别用于数字输入、移动光标、构成组合键和确认等功能。

面板中部最下面有“**执行**”键，它的周围有上、下、左、右 4 个方向键。“**执行**”键用于触摸菜单选定后的执行操作，4 个方向键用于移动选择软菜单。

这 5 个键的如下：

“**执行**”，在选定功能键后，按此键确认；

“▲”用于选定屏幕右侧菜单的各功能键（上移）；

“▼”用于选定屏幕右侧菜单的各功能键（下移）；

“◄” 用于选定屏幕下侧菜单的各功能键或其他组合键（左移）；

“►”. 用于选定屏幕下侧菜单的各功能键或其他组合键（右移）。

在菜单功能键选定后，使用“**执行**”键执行操作。在连续探测过程中也可用“**执行**”键进行打标定位。储存数据文件时可使用上述键所代表的字符命名（“**停止**”键除外）。

## (四)实验步骤：

### 一、仪器的联结

#### 1. 线缆的联接

a. 电源线：专用 12V 电源线（IDR-321），一端 4 芯插头接在 CR-20B 主机的电源插座上，红、黑（绿）夹子分别夹在蓄电池的正负极上，注意不要夹反。如在室内操作，可使用专用室内开关电源（IDR-411），该开关电源输入 AC220V，输出 DC12V。电源供电线与主机连接好之后另一端才夹上电池或插进电源插座，检查无误后再开启雷达主机电源开关。

图 1　12V 专用电源线

图 2　专用室内开关电源

b. 发射/接收信号线：两根 15 米长的专用电缆（IDR-312、IDR-313）用于主机与天线的联接，使用时将线缆两端的插头分别接在 CR-20B 主机与天线的相应插座上，注意线缆尽量不要绕结。该信号线拧接过程中，只能拧接接头上的可拧动部分(图 3)。

c. 测距仪线（IDR-341）：300MHz 天线、750 MHz 天线、1000 MHz 手持天线上均装有测距仪，使用 15 米长测距仪线可完成测距仪与 CR-20B 主机的联接。联接方法：将测距仪线的 32 芯插头接在主机控制插座上，5 芯插头接在天线测距仪插座上(图 4)。

图 3

图 4

d. 探测控制线（IDR-331）：使用 50MHz 天线或 100MHz 天线探测时，如进行单点采集和打标记，需联接探测控制盒（IDR-412），将 15 米探测控制线一端（32 芯插头）接在 CR-20B 主机的控制插座上，一端（4 芯插头）接在探测控制盒上(图 5)。

e. 数据通讯线（IDR-351）：将数据通讯线一端（24 芯插头）接在 CR-20B 主机的通讯插座上，另一端与计算机并口相接，可进行雷达主机与计算机之间的数据传输(图 6)。

图 5

图 6

**2. 主机加电**

室外测试时一般使用 12V 蓄电池（应采用 24Ah 以上的蓄电池，约可工作 4 小时左右）给主机加电，将专用电源线（IDR-321）与蓄电池相接，按下雷达主机电源开关即可启动，进入探测程序。

室内使用雷达时可接专用开关电源（IDR-411）,将开关电源的一端（4 芯插头）与主机相接，另一端接 AC220V。注意：先打开开关电源，开关电源上指示灯亮后，再开雷达主机；关机时先关雷达主机，再关开关电源，指示灯灭后，再拔下插头。

**3. 天线加电**

50MHz 天线、100MHz 天线加电：将天线所用发射/接收信号线、探测控制线与主机联接，将天线上专用 12V 电池（IDR-413）的 3 芯插头与专用发射源相接，打开发射源开关

（“I”为打开，“0”为关上），天线即可正常工作。

300 MHz 天线、750 MHz 天线、900 MHz 天线、1000 MHz 手持天线加电：将天线所用发射/接收信号线、测距仪线与主机联接，打开天线上开关，指示灯亮，天线即可正常工作。

**4. 开机预热**

雷达主机开机后，需预热 30 分钟，系统工作状态稳定后再进行探测。

**5. 特别注意事项**

**a. 严禁在开机状态下更换蓄电池。**

**b. 关机后，再次开机需等待半分钟后。**

**c. 使用 50MHz 天线、100 MHz 天线探测时，需先设置雷达主机的触发频率（各个发射源盒上均有提示），以免损坏发射源。**

**d. 发射/接收线为高频电缆，连接时尽量舒展，避免硬折。**

**e. 当雷达主机欠压指示灯亮时，需尽快将数据存盘，并将蓄电池换下充电。**

**f. 雷达主机的液晶屏装在上盖内，长期使用后如出现上盖松动，可用一字螺丝刀顺时针拧紧上盖转轴两侧螺钉。**

## 二、仪器操作

将探测天线置于要探测的目标区域，然后开机。

### 1. 开机

开机之后屏幕进入主菜单，见下图。

位于外接电缆插座的右下角，安装有电源开关。按下此键，键上红灯亮，表示电源接通。电源开关上面有 3 个指示灯，显示供电状态，注记有正常和欠压字样，电压正常时显

示绿灯亮，电压不足时显示红灯亮。

屏幕右侧显示菜单**【数据分析】**、**【浏览数据文件】**、**【选择路径】**、**【中辨图】**和**【清理硬盘】**。

屏幕下方显示菜单**【调时间】**、**【设参数】**、**【存数据】**和**【传数据】**和【WIN】。

- **【数据分析】** 用于从雷达探测工作界面转换到雷达数据处理分析界面，按“ALT”+**【数据分析】**键，由雷达探测 RT7 版界面转入雷达数据处理版界面。
- **【浏览数据文件】**—查阅现行路径上的数据文件目录。
- **【选择路径】**—用于确定文件所在的目录，在菜单 1 中，按“执行”的上下方向键“▲”和“▼”，“**选择路径**”键后按“**执行**”键，出现选择路径窗口，输入新路径后确认。
- **【中辨图】**—用于原始探测数据的显示。
- **【清理硬盘】**按【清理硬盘】键，使用系统软件对硬盘进行扫描清理空间。
- **【调时间】**—设置主机的日期和时间。
- **【设参数】**—一般用户不使用。重新设置硬件参数时使用，按**【设参数】**键输入参数。
- **【存数据】**—键入文件名存储数据文件。
- **【传数据】**—用于主机向另一台电脑传输数据，按**【传数据】**键，进行雷达主机至计算机之间的数据传输。
- 【WIN】按此键，返回 windows98。

## 2．调整波形和输入探测参数

按“**调整**”键，屏幕上显示出一个带有回波波形的窗口，同时在屏幕下方出现一参数窗口，显示调整时的各种预置参数和回波参数。在屏幕的底部有一套功能键菜单见图 3。

**注意：** 对任何一个输入参数窗口，进行输入时绝对不能输入 A 字符（“**停止**”键），否则，将取消对该窗口功能的使用。

同样，在设置文件名称时也不能使用 A 字符（“**停止**”键），否则，将终止现行状态，并转回到主菜单。

### 2.1 调整波形

a. 按**【调整】**键后，屏幕出现回波窗口和回波曲线，根据设备所配置的天线类型不同，选择触发率，按“ALT”+**【采集率】**组合键，输入触发率。使用不同的天线输入不同的采集率值，见附表 16。

b. 根据不同探测深度的要求，输入探测时间窗口（参照表 14 根据介质的相对介电常数和目标最小深度估计探测时间窗口）。

按“← →”键可以改变时间分率数由 1 至 8，一般要按“→”键使时间分率数为 8。

同时按下**“ALT”+ 1** 至 **8** 中任何一个“数字”键，可以设置 8 个最大时间窗口：**10ns**、**20ns**、**50ns**、**100ns**、**200ns**、**500ns**、**1000ns** 和 **2000ns**。如果在已选好的最大窗口内，细调

**图 3**

缩小时间窗口，按“←”方向键，时间分率在缩小。

c. 调整好延时时间项使该项等于零值，如果该项是一个很大的数值时（5000），回波波形会有畸变。按“ALT”+“→”组合键，调整延时时间项为零。

d. 自动寻找接收波形

使用数控水平电位器进行波形寻找，首先将幅度档调到最大值±**1000mv**，然后按【**放大数**】键，调整到一个合适的数值，使回波波峰超过幅度档 **2** 个格。自动寻找波形时，先按“**0**”键使可调时间回到零点，再按功能键【**寻波形**】，雷达将自动搜索波形并停留。

e. 微调波形的位置

找到波形之后，要求波形在窗口内处于合适的位置；即波形曲线第一个波峰前部的平直段处在从零点起约占一格半左右（见图 3）。当波形首峰位置不合适时，使用数字键对波形位置进行微调，方法如下：按“1”或“2”键（调整 1K 电位器）波形向右或向左“小间隔”移动；按“3”或“4”（调整 10 K 电位器）波形向右或向左中间格移动；按“8”或“9”键（调整 50K 电位器）波形向右或向左“大间隔”移动。

在波形图底部排列有：L= 、m= 、 h= 、t= ，4 项表示 3 个电位器调整间隔和调整窗口的最大时间位置。1K、10K 和 50K 电位器，每个都有设置 1—100 档，L、m 和 h 表示 3 个电位器分别调整的档数，（L、m、h 最大值为 100，t 最大值可达 5800ns）。

f. 波形线条颜色显示

按数字“6”键，波形曲线呈绿色停留显示；连续按“7”键可选用不同颜色停留显示波形曲线；按数字键“5”清除不同颜色停留显示波形曲线。

g. 调整波形曲线的“零基线”。使用面板上“ALT”+“执行”键的上、下键（“▲”或“▼”）进行调整，使波形曲线第一个波峰前平直部分与纵坐标中央零水平线重合。

h. 按【**放大数**】键，屏幕上显示出一条黄色水平线，表示窗口内各时间坐标点上波形振幅增益的情况。按“↑↓”键，将波形幅度调整适中，使最大正、负峰与纵坐标顶、底线(1000mv、-1000mv)之间留有 1 至 2 个空格的间距。为了使波形曲线后半部弱小回波信号增大，可以按“←”键使黄线的后半部上翘，这时后半部波形随之增大；连续按“→”键，黄线后半部逐渐拉平，使后半部波形放大逐渐减小。使用低频天线进行深层探测时，通常要把波形后半部分进行指数放大，便于分析弱小回波。

当波形放大调好后，再按【**停止**】键恢复原状，结束调整。

i. 若波形变化不稳定，按【**平均次**】键，输入平均次数，（通常选 2 或 4）。平均次数越多，波形越光滑，但图象显示速度减慢。

j. 标准点的使用

用于把当前正在进行调整的波形与以前探测文件中的波形进行对比。首先按【**浏览数据文件**】键，查看目录，用绿标选定要做对比的探测文件名，按【**取数据**】键将文件读取进入现行工作区，然后进入波形“调整”状态，按【**标准点**】键，屏幕左上角出现输入窗，输入现行工作区文件中对比回波的测点号，波形显示窗内出现一条黄色对比波形，与当前调整的波形进行对比，根据探测要求调整当前波形的一些参数。

k.“**放大器参数存储**”，使用该功能可以将已调整好的波形参数存储起来。

l.“**放大器参数选择**”使用该功能将已保存的波形参数提取出来。

**2.2 测线定位参数的输入**

a、输入桩号

首先按“**调整**”键进入波形调整状态。按【**桩号**】键，左上角出现窗口，输入公里数和米数，如果沿探测方向桩号递增时，输入一个非零数字，递减时输入“0”。 注意当输入桩号为零公里零米时，探测方向数不能输入零值。

b、输入步长

按【**设步长**】键，左上角出现窗口，以毫米为单位输入测点间距数值，在屏幕下方参数显示窗中“测点间距”项将显示输入测点间距的数值。

**2.3 测距轮的校正**

使用手持天线测距轮，一般不需要校对，测距轮由硬塑料制做，直径是固定的，要求用卡尺量准直径数值，探测前输入脉冲数/圈和测距轮直径数值即可。

在使用 100 脉冲/圈测距器时（手持天线测距轮），测距参数只有脉冲总数一项，没有车轮圈数、前进脉冲和后退脉冲参数显示，需要注意手持天线上的测距轮不管是向前或向后，脉冲总数始终向正方向增加。

**2.4 设置自动形成文件名的后缀和文件的大小**

在波形“**调整**”状态下进行此项工作。

a、设置文件名

雷达探测操作软件按‘日－时－分－秒’八位数字的顺序自动设置好文件名，不包括文件名的后缀。探测前，按**【首存号数据文件】**键，在窗口内输入 1～999 内的任意数，该数将成为自动形成文件名的后缀。当探测完毕，按**“停止”**键退出，再次进行探测时，文件名的后缀号将自动递增加 1。

b、设置探测文件的大小

按**【自动存探测点数】**键，输入数值 500—4000 内的任一数值。在探测过程中，雷达主机将按所设探测点数存储探测数据，并自动产生文件名。对于同一条测线来讲，设置的探测点数少，生成的文件个数就多；设置的探测点数多，在连续探测时生成的文件个数少。在两个相邻的文件间由于数据进行存贮时需要一定时间因此在文件之间容易丢失测点数据。如果一个文件探测的点数小于设置的点数，或超过设置测点数有了零头数，在测距轮控制的探测中或单点采集探测中主机都会自动生成一个文件，不会丢失数据，而在连续探测中需要使用**【存数据】**键对数据另外命名存储。

在调整和设定各项参数结束后，按 **“停止”**键，恢复到起始状态，这时探测可以开始进行。

**注意**：当输入的测点数小于 500 或者大于 4000 时，输入窗口不接受输入数值，并再次出现输入窗口，提示操作员再输入点数。

### 2.5 电源电压提示

在主机电源开关按钮上方，由左至右排列三个电压状态提示灯：左侧灯显示绿色表示电压在 10.9V 以上，电压正常；中间灯显示为黄色时，表示电压在 10.8V，临界欠压边缘，此刻应尽快将探测数据存盘，以免丢失数据；右侧灯显示红色表示电压 10.7V 欠压，主机不能继续正常工作。

## 3．探测

### 3.1 进入探测界面

探测数据的采集方式分单点探测（主要用于中、深层探测）、连续探测和测距轮控制探测（主要用于浅层探测）方式。不论采用哪种探测方式，都是用宽幅进行实时显示探测数据图像 。

**主菜单 1** 状态下按**“探测”**键，出现宽幅全屏的图像，屏幕底部显示有测点、丢点、文件名、桩号等参数以及一套 A 菜单（见图 4）。子菜单 A 中的 5 个功能键：

**【起始采】** 由测距轮转动控制采集探测数据；

**【打标记】** 探测过程中遇到明显的结构物标志，根据需要打标记帮助定位；

**【里程表】** 可以随时显示探测过程中的桩号；

**【显参数】** 可以显示探测中设置的全部参数；

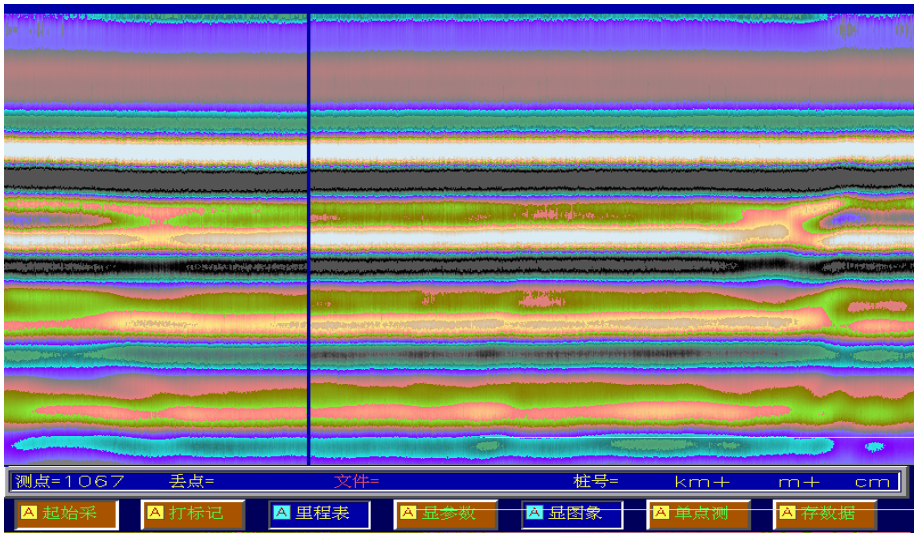



图 4

**【显图像】** 可以控制探测图像的显示与否；

**【单点测】** 选用单点探测方式。

### 3.2 单点探测

a、按“**探测**”键后探测开始，再按“ALT”+**【单点测】**组合键后，自动清屏后，可以开始进行单点探测，每按一次“**探测**”键，采集一个测点数据，屏幕上增加一条彩色图像，底部窗口中显示探测点数，直至探测完毕按“**停止**”键。

b、回到菜单 1，数据可以自动存入预设的文件名中，也可按**【存数据】**键，输入文件名（用英文字母或数字表示，最多不超过 8 个字符，例如 F1010 注意一定不要有 A 字符）存储数据，按二次“Enter”键完成输入和退出。

c、探测中， 按**【打标记】**键，在图像上打出 T1、T2、… 等标记。

d、使用深层天线探测时，使主机处于探测状态，按“ALT”+**【单点测】**组合键进行单点探测，或者是在主机处于探测状态下，使用天线上探测控制盒的单采集键和打标键进行单点采集和打标记的操作。使用探测控制盒时耳机的音响长短可以调整，首先使屏幕进入菜单“2”，按“遥控器设置音长”键，分别输入“探测音响时间”和“打标音响时间”，输入数值一般选 50 至 200。

e、在使用过程中如果控制盒的供电电池电压低于 5.5V 时，则应更换电池。

### 3.3 连续探测

a、按“**探测**”键，主机开始按等时间间隔采集数据，屏幕上显示连续图像。

屏幕底部的菜单 A 中【显图像】和【里程表】两个功能键自动工作，窗口内的测点剖面随探测时间在屏幕上由左向右移动。

如果不需要显示探测的图象可按【显图像】键，在探测中不显示图像，提高探测采集速率。在连续探测过程中可使用【打标记】键或【执行】键进行打标记。

b、若探测中途需暂停，按“暂停”键，探测暂时停止，再次按该键，探测继续进行，直至探测完毕。按“停止”键，探测结束，对少于自动存探测点数的数据，需要按菜单 1 的【存数据】键，输入文件名，按二次“Enter”键完成输入文件名和退出。

c、为确定地表零线，在使用 1000MHz 天线朝向天空探测采集数据时，应采用连续探测方式，一般采集点数在 200-400 点左右，使用【存数据】键进行存数据。

### 3.4 测距轮控制连续探测

a、按【起始采】键，测点数自动归零，随着测距轮转动进行采集数据，显示测点数和丢点数，显示桩号。屏幕上显示实时探测图像，屏幕下方实时显示测点数和水平距离的变化情况。

b、探测时，可按【打标记】键或【执行】键进行打标，在图像上显示打标记点“T1、T2、T3……”。

c、若探测中途停止，按“暂停”键，需继续探测时，再按“暂停”键，直至完毕，按“停止”键，探测结束。

d、探测中，按设置的探测点数自动生成文件名并存储。探测结束时，最后的剩余探测点数不足设置点数的数据，也会自动生成一个文件保存下来。也可以在主菜单 1 中按【存数据】键，输入文件名，储存数据。

## 4. 数据文件的准备

### 4.1 确定探测文件所在路径

在主菜单 1 状态，按 ALT+“选择路径”键，屏幕左上角出现输入窗口。键入文件所在的路径，如 C：\D\确定使用文件所在路径。

### 4.2 读取数据

a、在主菜单 1，按【浏览数据文件】键，屏幕出现指定路径下的所有文件目录，屏幕底部出现一套子菜单：取数据、续数据和插入点。（见图 5）棕色显示为当前可使用功能。按方向键↑ ↓← →移动绿色光标选取文件，选定后按下【取数据】键，屏幕左上角的窗口内显示文件名称、路径、文件大小和采集点数，并出现‘读取数据成功’字样，表示

该文件被调出。

图 5

## 4.3 数据文件的联接

当一条测线由几个文件联接组成时，在处理之前需要将这些文件按顺序联接成一个文件进行处理。

a、**【取数据】**用绿色光标覆盖第一个文件名，按**【取数据】**键，回车后出现‘读取数据成功’字样。

b、**【续数据】**当一条测线由几个文件联结组成时，第一个文件读取之后，要按顺序联接每一个文件，最后形成一个测线文件，用光标顺序覆盖被联接文件，按**【续数据】**键，每联接一次显示“读取数据成功”字样表示联结完成，一般联结总长度可超过 9000 点，当联结数据太长时，会提示“数据超长不能联接”。

## 4.4 数据文件的插入

在已经调出的数据文件中，需要插入另外一个数据文件时，在文件目录中找到需要插入的文件名，用绿色光标覆盖，按【插入点】键，屏幕左上角窗口指示需要插入位置的点数，输入后确认，这时出现显示窗，显示插入文件名、路径、文件大小和点数等，并显示**“读取数据成功”**字样，这表示该文件已插入到第一次调出文件的指定位置。

## 5. 探测软件主要操作步骤简要说明框图

### 5.1 探测前波形的调整和参数输入操作

a. 按主机开关

b. 进入波形调整屏幕

c. 振幅极值的调整

d. 根据天线类型选择触发率

e. 根据探测深度确定时间窗口

f. 自动寻找波形

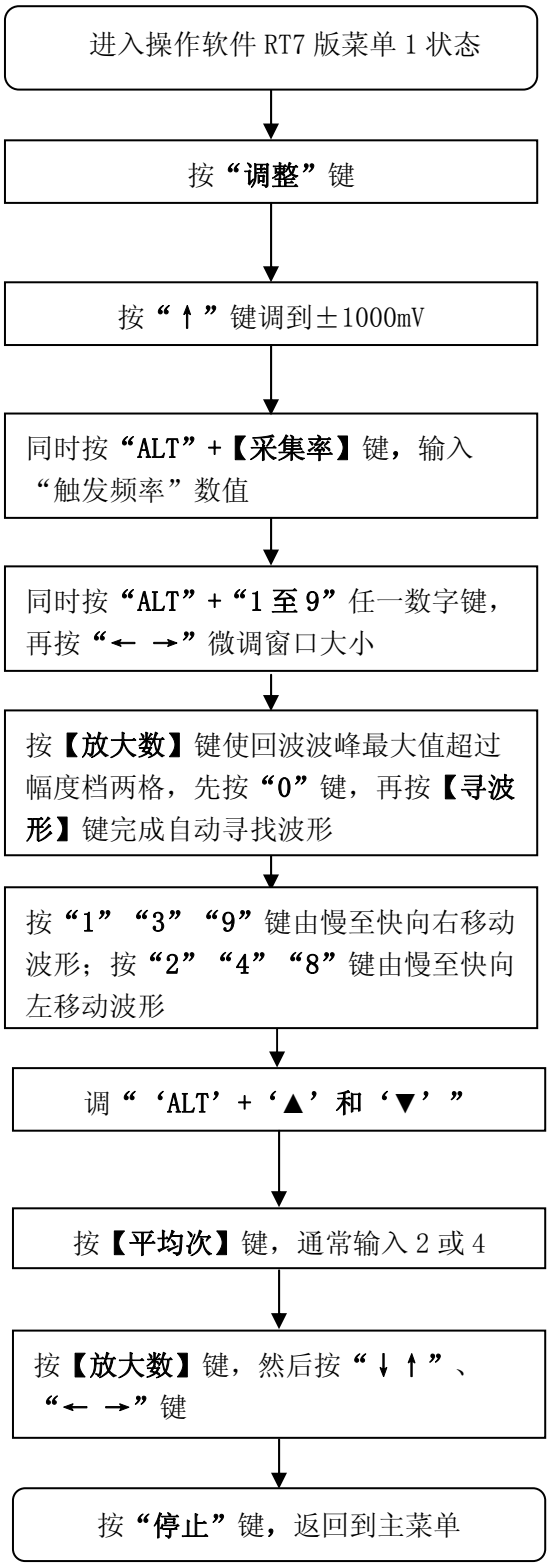
g. 在窗口内调整好波形的位置

h. 使波形零线与纵座标零线重合

i. 波形不稳定时进行平均处理

j. 使波形幅度适中

k. 调整结束



## 5.2 输入文件大小和定位参数（在“调整”状态下）

a. 进入波形调整屏幕

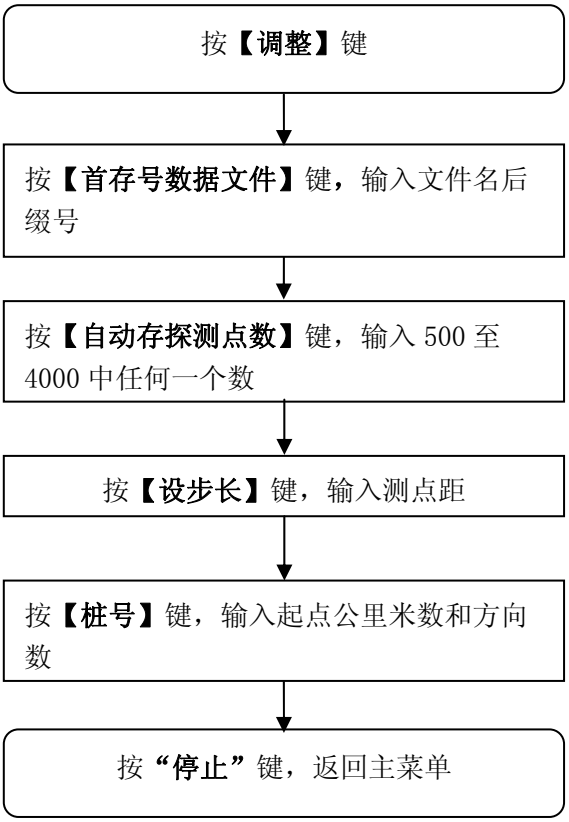
b. 设置文件名后缀

c. 设置文件的大小

d. 选择测点间距

e. 输入起始点桩号

f. 结束




## 5.3 测距轮的校正

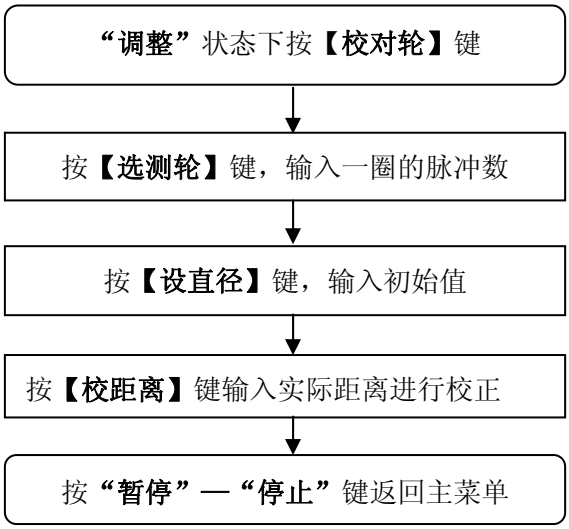
a. 进入测距轮校正屏幕

b. 设置测距轮脉冲数

c. 设置测距轮直径初始值

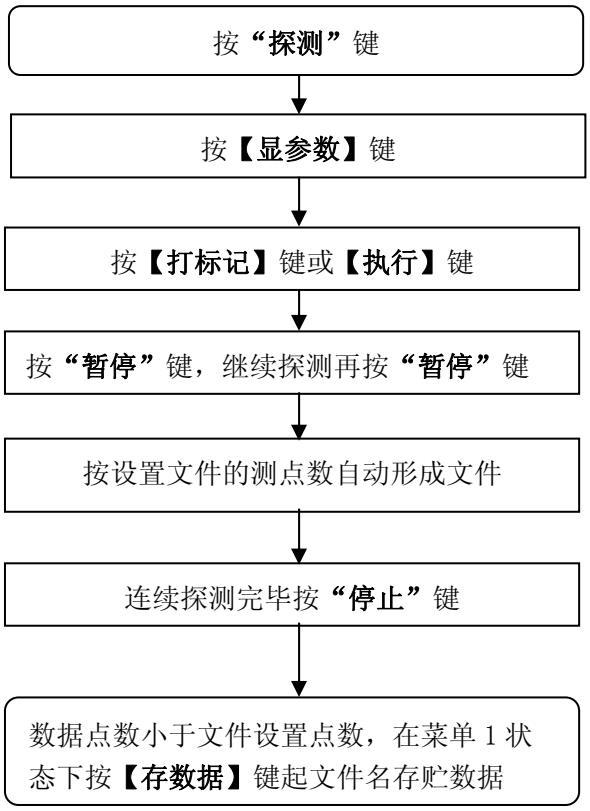
d. 校测距轮

e. 结束测距轮校正



## 5.4 连续探测

进入连续探测状态




a. 显示或不显示探测设置的参数

b. 探测过程中需打标定位

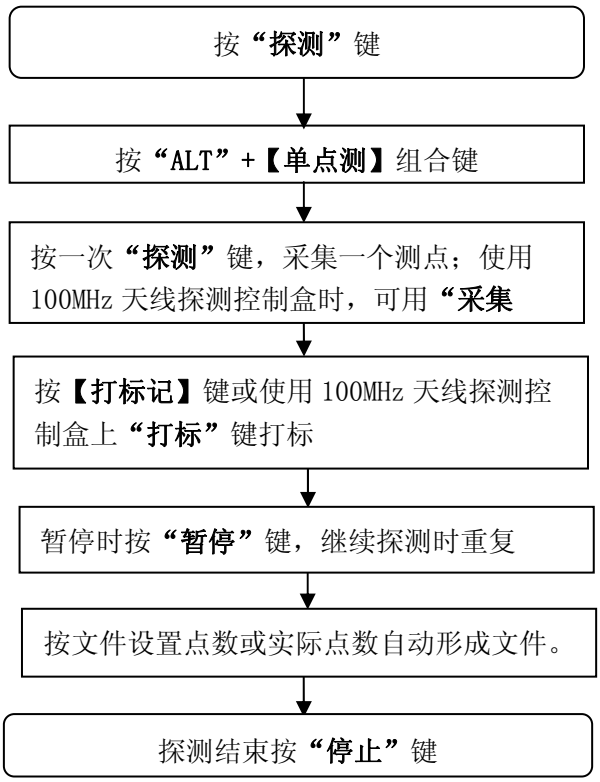
c. 探测中途需要暂时停止

d. 探测时数据自动形成文件存贮

e. 探测完毕

f. 探测数据点数小于设置文件点数时需要存贮数据

## 5.5 单点探测




a. 进入探测状态

b. 进入单点探测

c. 逐点探测采集

d. 探测中需要打标定位

e. 若探测中途需要暂停

f. 探测数据自动形成文件

g. 结束探测

### 5.6 测距轮控制连续探测

a. 首先进入探测状态

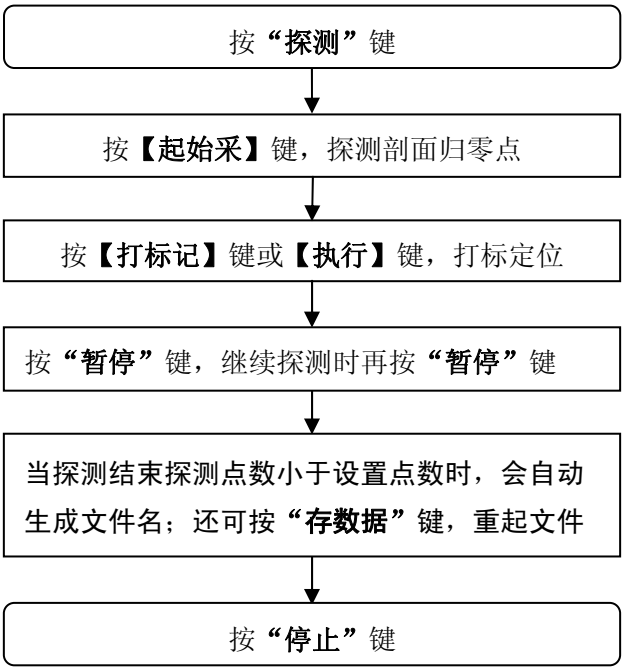
b. 进入测距轮控制采集数据

c. 探测时标记地物打标

d. 若探测中途停止

e. 探测数据自动形成文件

f. 探测结束




## 6. 探测数据的处理

在**菜单 1** 状态下按【**中辨图**】键进入中辨图分析处理（见图 6），连续按【**菜单**】键可循环变换菜单 A，A 菜单共有三组 A1、A2 和 A3，如下示意图。

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | | | | | 归一化 | 参考点 |
| A2 | 去直流 | 校对波 | 放大波 | 介电数 | 色比度 | |
| A3 | 移波形 | 压缩时 | | | 取图像 | 波平滑 |

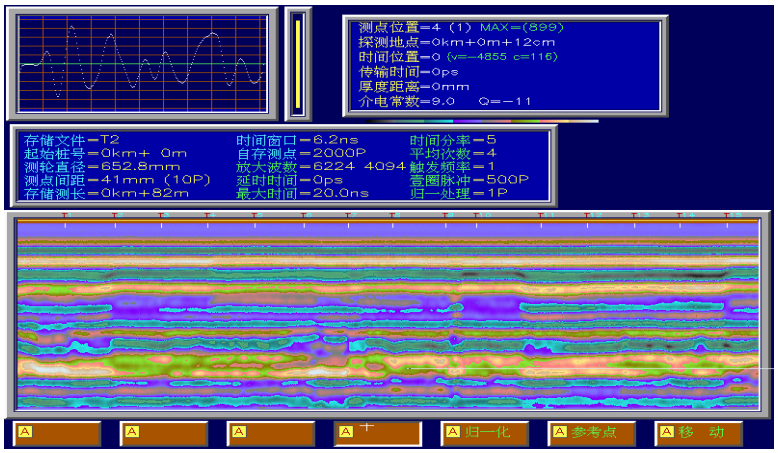



图 6

### 6.1 归一化处理

使用较长剖面上数据均值的波形曲线作为背景值，对整条测线上的回波背景值进行消除，突出界面特征或局部异常的变化。在主菜单 1 子菜单 A1 中，使用【**归一化**】，输入要处理剖面的始点和末点数，对剖面数据进行归一化处理。例如对图 7 数据剖面进行“归一化”处理，在菜单 1 中辨图中子菜单 A1 状态下，按【**归一化**】键，出现输入窗口，输入始点和末点数（1，899）。呈现归一化处理的剖面图像见图 7。

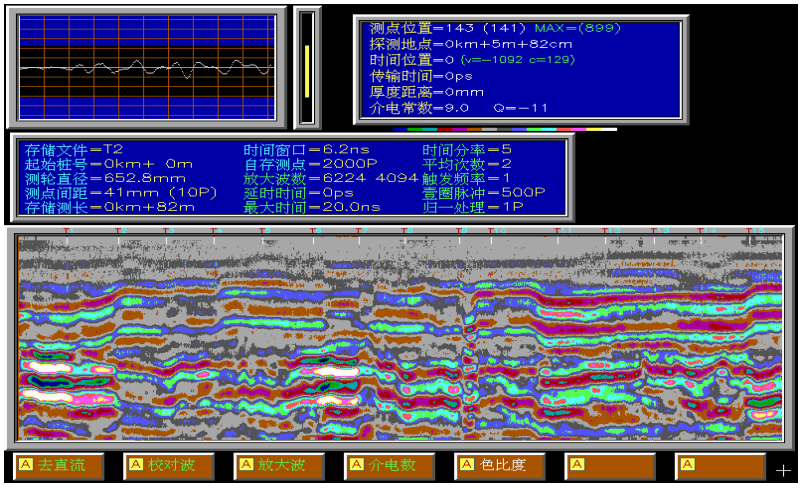



图 7

### 6.2 参考点处理

选择剖面上某一点的回波做为参考背景值，消除整条测线上各点回波的背景，突出回波异常，在菜单 1，子菜单 A1 中，按“← →”键，移动光标，选择参考背景波形。分析回波图像的目的不同可按需要选择：需要突出局部异常时，移动光标把参考点选择在整条剖面反映正常的平缓背景值点上；要进行面层厚度测定时，光标移到面层厚度变化极值点处（通常是极大值处）。参考点选定后按【**参考点**】功能键，即完成整条剖面的参考点处理。如果要恢复原始数据（去掉“参考点”或“归一化”处理），可按“ALT”+【**参考点**】组合键，恢复原始数据剖面。

### 6.3 移动

使用 ALT+【**执行**】方向键（“◄”或“►”）可使剖面图像一幅幅向前后（右左）移动。按“← →”键图像中垂直光标线左、右移动，指出不同探测地点。按“↑ ↓”键水平光标线上、下移动，指出不同的时间位置。如果使用“**数据**” +“**方向**”组合键，会加快光标线移动的速度。

## 6.4 去直流

在**主菜单 1【中辨图】**的子菜单 A2 中使用**【去直流】**键，可以校正剖面上波形曲线突然下落或抬高一个常数值（称为掉格）的数据。按**【去直流】**键，输入始点、末点号及“去直流”的毫伏数。输入负值时回波曲线向上移一个常数（正方向），输入正值时回波曲线向下移动一个常数（负方向）。

## 6.5 校对波

在子菜单 A2 中按**【校对波】**键，输入‘选校对幅度值’后，按 Enter 键确认，对整条剖面进行校对处理。校对（基准波）幅值的选择，选取剖面开始段内某一测点回波中第一个正峰的左翼 1/2 至 2/3 幅值，见图 8，选择点所在的曲线段要求光滑，曲线抖动时应做‘波率滑’处理，该幅值是在竖光标对准选择点时，屏幕右上角参数窗口内“时间位置”的 V=3400 数值。

## 6.6 放大波

用放大波功能可以把整条剖面上每个点的回波波形放大，也可以指定剖面上一段数据点的波形放大。按**【放大波】**键输入放大数，将波形幅值放大或缩小，输入 100 值，不放不缩保持原状；输入大于 100 的值则进行放大；输入小于 100 的数值则进行波形幅值缩小。使用**【放大波】**F8 键是对屏幕显示的波形幅值放大或缩小。使用“ALT”+**【放大波】**组合键，窗口提示输入需要放大数据点的起始点和终止点数，以及放大数，执行该功能之后对指定段内的各点数据的波形进行了放大或缩小。

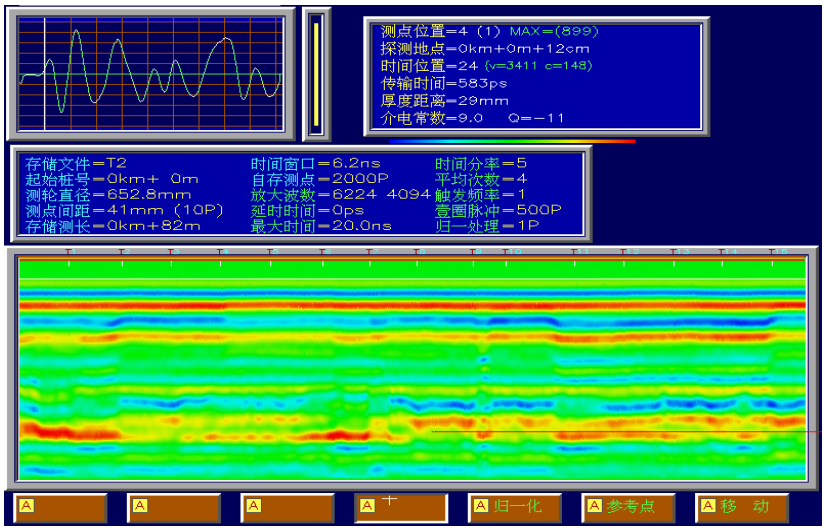



图 8

## 6.7 介电数

在子菜单 A2 中按【**介电数**】键，在屏幕左侧出现相对介电常数、回波时间和行程表，按“↑ ↓”方向键可以改变表中 $E_r$ 相对介电常数值，同时可从表中查到不同回波时间所对应电磁波在介质中单、双程旅行的距离。按“**停止**”键可将选择的相对介电常数 $E_r$ 输入到剖面的参数表中（见图 9）

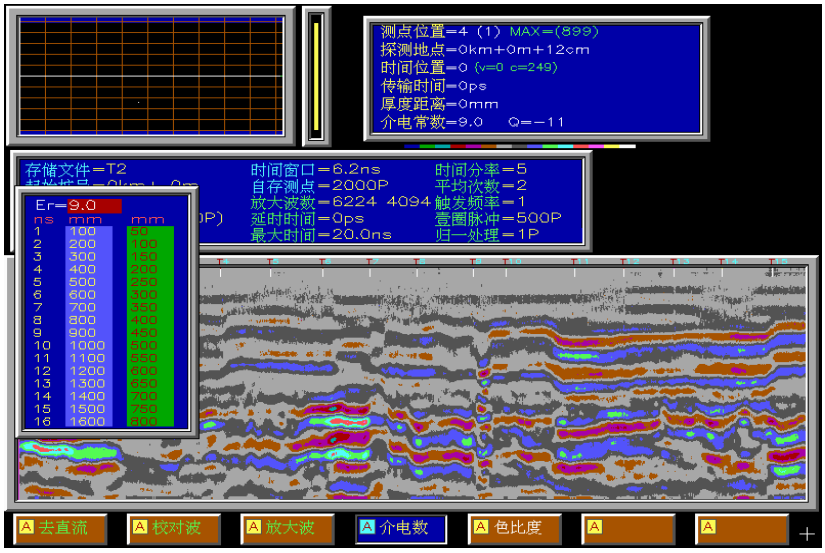



图 9

## 6.8 色比度

进入主菜单 1 后，按【**中辨图**】键，屏幕出现黑白回波剖面图像，图像上端有二个参数窗口和一测点回波曲线。按“ALT”和数字“1”、“2”、“3”、“4”、“5”、“6”、“7”、“8”、“9”中任一组合键，随着数字改变，将改变回波剖面图像不同的颜色。为调整剖面图的彩色对比和调和度使剖面显示更清楚，找到子菜单 A2【**色比度**】。按【**色比度**】键，功能键变成蓝色后，按“↓”和“ALT”+“↑”，或者按“↑”和“ALT”+“↓”组合键，调整屏幕左上角波形图右侧黄色标尺变小或变大，使标尺高低与波形振幅正、负极值相当。然后再按 【**数据**】键恢复原状，完成色比度的调整。

## 6.9 移波形

在中辨图中对探测剖面中的一段数据不想使用，可以将正常段的数据移到此段覆盖原来数据。在子菜单 A3，按【**移波形**】键，出现输入窗口，输入要移动到剖面上某位置的点数以及被移剖面某段数据的起点和终点数，确认后，该移动段数据会移动到指定点位置的后面，移动数据把指定点位置后面数据覆盖。

### 6.10 压缩时

对于用宽幅（512 点）探测方式采集的数据进行图像显示分析时，必须先进行时间窗的压缩，在中辨图子菜单 A3，按【**压缩时**】，该功能键由棕色变成蓝色再恢复原来状态时，表示已经完成。

### 6.11 取图像

对处理中有些典型图像剖面，需要截取作为资料，在屏幕显示状态下，按下【**取图像**】键，输入文件名，将屏幕上的图像存入该文件名中。另一种方式是按“执行”键左右的方向键（“►”或“◄”）选择“**取图像**”软功能键，再按“ALT”+“**执行**”组合键，出现输入文件名窗口，输入文件名将屏幕上的图像存入该文件中。

### 6.12 波平滑

如果回波曲线有抖动，直接影响下一步处理与显示波形质量，按一次【波平滑】键将对图像数据进行一次圆滑处理。

## 7. 探测数据的传输

在野外探测作业完成之后，需要将探测数据传送到室内计算机上进行处理。数据的的传输按以下步骤进行。

a、启动雷达主机进入 RT7 版探测软件的主菜单 1，按【**传数据**】键或按“**数据**”键，这时主机屏幕进入 Intersvr 界面，屏幕显示：

| Microsoft Interlnk Server Version 1.0 | | | |
|---|---|---|---|
| This computer (server) | | Other computer (client) | |
| * C: (543MB)<br>D: (303KB)<br>Lpt1: | | equals E:<br>equals F: | |
| Transfer= | Port= | Speed= | Alt+数据=Exit |

**注意： 屏幕必须出现“LPT1：”的字样,才能进行联接。**

b、在雷达主机的通讯口与微机的数据传输口之间使用数据传输电缆直接联接。

c、重新启动被联接的微机或笔记本电脑。雷达主机将显示联接后相应的驱动器名称，出现如"equals E:"和"equals F:"字样可以进行数据传输操作。

**注意：在被联接的微机或笔记本电脑的 config.sys 文件中必须设置有这样一条指令：**

**device=c:\path\interlnk.exe/auto**

## 8．CR-20B 主机与鼠标联接使用

需要在 CR-20B 主机进行数据处理时，将雷达鼠标外接插头与 CR-20B 面板上探测插座联接好，使雷达主机进入 Windows 操作环境。

## 9．探测软件（RT7 版）与雷达数据处理软件的转换

a、按【**数据分析**】键后，屏幕上 **RT7** 界面消失，雷达主机会自动转换到数据处理软件。

b、在操作界面的菜单 1 中，按“**ALT**”+【**数据**】组合键，屏幕上界面消失，雷达主机会自动切回到 **RT7** 探测操作界面。

## 10．关机

为了防止探测主机在随机过程中产生废文件占据有限存储空间。在关闭主机时，请按以下步骤进行：在 **RT7** 或数据处理版界面状态下，当“**停止**”键出现红灯显示，按“ALT”+“**停止**”键，屏幕出现“**关闭 CR-20 探地雷达，按‘停止’键**”字样**见图 10**。再次按“**停止**”键，屏幕出现“**请关闭 CR-20 探地雷达**”字样，按下主机电源开关，将主机关闭。

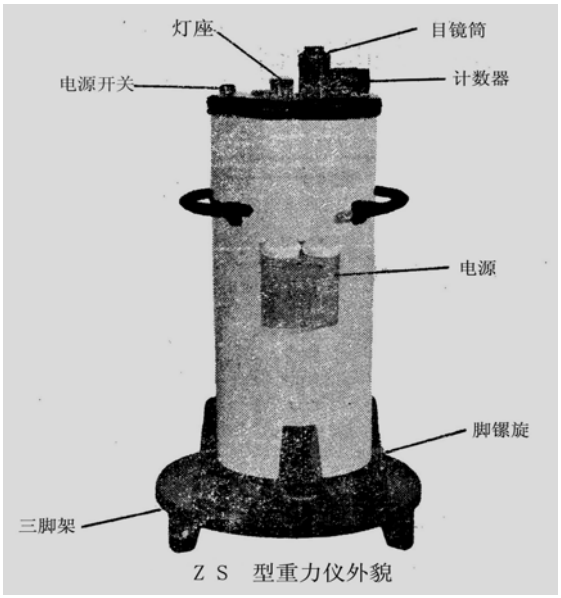
图 10

图 11

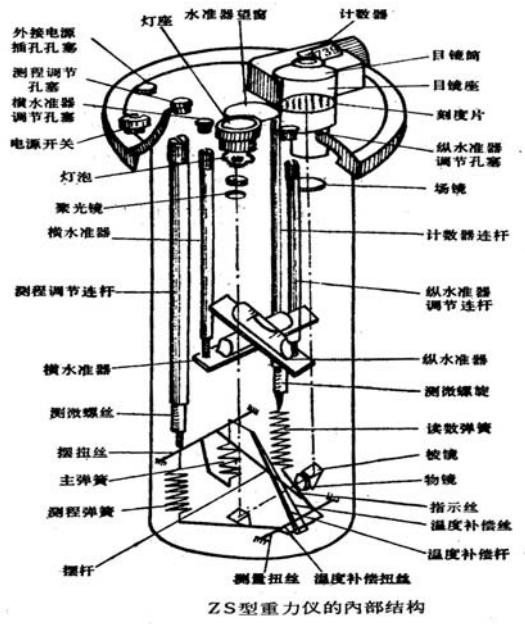
## (六)思考题：

# 仪器一　ZS型石英弹簧重力仪

**ZS** 型石英弹簧重力仪是一种结构简单, 使用方便, 精度较高的相对重力测量仪器。 本仪器利用一种弹簧秤系统，使其敏感部分在重力（矩）和系统内力（矩）作用下处于平衡状态。当重力发生变化时，将改变其平衡状态，而后根据平衡状态的变化确定重力的变化量。



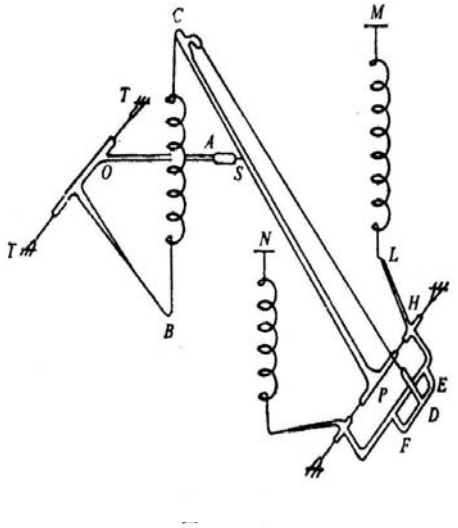

图一　**ZS** 型石英弹簧重力仪外型图



ZS型重力仪的内部结构

**ZS** 型石英弹簧重力仪的精度可达 0.01 - 0.05 × 103 **cm**/s2。

仪器的核心部分如图二所示，摆杆 **AO** 的一端为重荷 **A**，另一端焊接在与其垂直的石英丝 **TT** 上，此石英丝的两端固定在石英底架上。**BC** 是主弹簧，下端与斜杆 **BO** 连结，上端与斜杆 **PC** 端点 **C** 连结。测量系统包括图中的 **M**-**H**-**D**-**C**-**P**，**CD** 是温度补偿用钨丝。旋转测微螺丝 **M** 可以通过测量弹簧 **ML** 使石英架绕着通过 **P** 点的石英丝旋转，牵动斜臂 **CP** 的上端点 **C** 作上下移动。当被测点的重力值发生变化时，摆杆 **AO** 将绕扭丝 **TT** 旋转，改变连在重荷 **A** 端上指示丝 **S** 的位置，并使主簧 **BC** 发生型变，此时则可以旋转 **M** 使指示丝 **S** 回到原来的位置。测出 **M** 的位移量就可以算出重力变化的大小。当重力变化量超出 **M** 的调节范围时，则可通过调节 **N** 来补偿测量弹簧的不足，扩大量程。




图二　　重力仪弹簧系统

由上面可知，作用在敏感系统上的力矩共有三个，即重力矩 **Mg**，主弹簧 **BC** 的弹力矩 **Mk** 和扭丝 **TT** 的扭力矩 **Mτ**，它们分别为：

$$M_g = mgl\cos(\alpha+\beta)$$

$$M_k = f\,\delta\,d$$

$$M_\tau = \tau(\alpha_0+\alpha)$$

当灵敏系统处于平衡状态时，则

$$mgl\cos(\alpha+\beta) - f\,\delta\,d - \tau(\alpha_0+\alpha) = 0$$

式中：$m$ 为摆杆 **AO** 的质量；$l$ 为摆杆 **AO** 的质量中心到旋转轴的距离；

$\beta$ 为 **AO** 初始位置与水平面的夹角；$\alpha$ 为 **AO** 在重力作用下对初始位置的倾角；

$\alpha_0$ 为石英丝 **TT** 的预扭角（即当摆不受外力作用时的初始扭角）；

$\tau$ 为石英丝 **TT** 的扭力常数；

$f$ 为主弹簧 **BC** 的弹性常数；

δ 为主弹簧 **BC** 的伸常量，由于本仪器采用零长弹簧（即弹簧的底长为零），所以 δ 就是主弹簧 **BC** 的长度 **L**；

$d$ 为摆的旋转轴 **O** 到主弹簧 **BC** 的轴线的垂直距离。

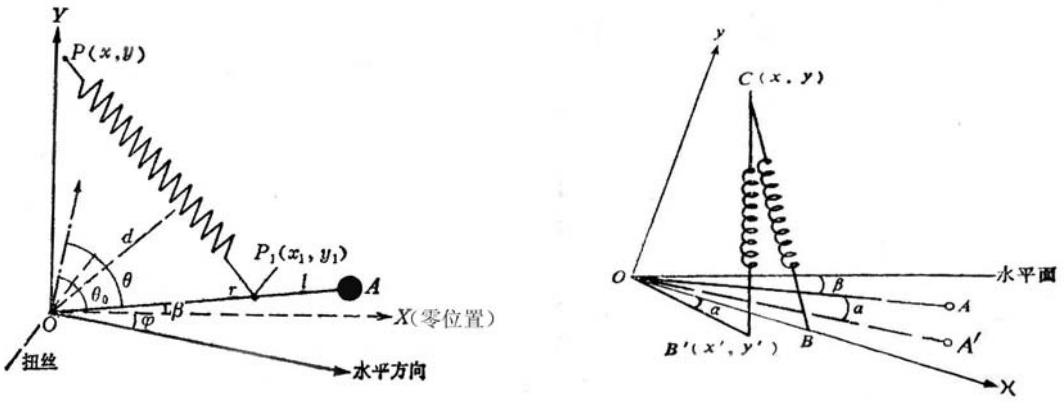
由于仪器采用零点读数法（即在进行观测时，把摆杆 **AO** 调到初始位置读数，故 $\alpha = 0$，此时仪器的灵敏度为

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta g} = \frac{ml\cos\beta}{frx + \tau - mgl\sin\beta}$$

若摆杆 **AO** 的初始位置是 $\beta = 0$，则其灵敏度是常数，即：

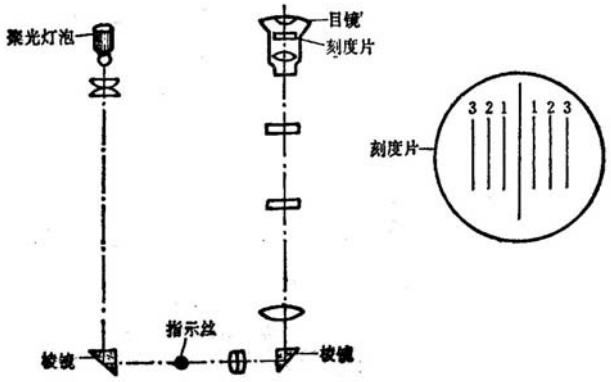
$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta g} = \frac{ml}{frx + \tau}$$

式中 **x** 和 **r** 分别为如图 2 所示直角坐标下 **c** 点的横坐标和 **OB′** 的长度。该坐标系的原点为横摆 **AO** 的旋转轴 **O**，**XOY** 平面在斜杆 **BO** 的摆动平面内，且 **X** 轴通过 **BO**。




图三　　ZS 型弹簧重力仪弹性系统原理

仪器的指示装置由光学系统构成，其光路如图四所示：




图四　　ZS 型重力仪光学系统

# 仪器二　LZSD-C型直流数字电测仪

## （一）构造原理及特点：

LZSD-C 型自动数字电测仪有供电电流及电位差两个测量道。电流的测量是通过测量标准电阻上转换为电位差信号而达到目的。故这两道的核心电路均是高性能的$4\frac{1}{2}$位数字电压表构成。其中 A/D 转换器具有测程转换、读数锁存控制，过量程及欠量程信号输出，电压欠压指示、译码及多重扫描驱动 LCD 显示器等多种功能。

1. 自动转换量程

利用$4\frac{1}{2}$位 A/D 的过量程、欠量程信号以及测程转换控制功能，仪器有 200mv 与 2000mv 两个量程。在 200mv 量程的读数大于 199.99mv 时，自动转换到 2000mv 量程；在 2000mv 量程的读数小于 100.00mv 时自动转换到 200mv 量程。

2. 测量电流有六个测程

标准电阻为 0.1Ω、10Ω及 1kΩ，精度分别为$5\times10^{-4}$，$2\times10^{-4}$及$2\times10^{-4}$，与$4\frac{1}{2}$位数字表的 200mv、2000mv 自动量程转换相结合，使仪器有六个量程，其最高分辨率达到 0.01μA/字，最大供电电流为 5 安，使仪器既能满足低阻区大极距的测量工作，又能满足包括小距及标本的物性测定等不同的要求。

3. 有自动极化补偿的功能

仪器工作开关在“自电”位置时。能自动记忆自然电位差和极化电位差，当转换到“电阻率”位置时，即将自动减去上述直流干扰信号，实现自动极化补偿。

4. 抗交流干扰能力强

仪器采用多重滤波电路，加上 A/D 转换器的时钟电路采用 100HZ 微型石英晶体稳频，保证积分采样时间为 50HZ 周期（20ms）的整倍数对交流信号的压制作用，保证了仪器能在很强的交流干扰条件下也能正常工作。

5. 电流与电位差同步测量与锁存，测量精度高，且减少供电能耗

在电阻率测量中，每供电一次（2～4 秒）就能将电流与电位差值同步地用数字信号锁存下来，免除了两次分别测量电流与电位差时电流不一致引起的测量误差，避免了视差和读错测程产生的重大误差，且减少了供电的能耗。

6. 有极高的输入阻抗，适用范围宽

仪器设有阻抗变换器，当输入阻抗达 30MΩ时电位差读数减小低于 0.05%，在干旱沙漠，水泥路面等接地条件很差的情况下对测量信号的影响甚微。又因具有精确测量微小电流的功能，使对高阻岩石露头测量，隧道施工质量检测，石刻文物风化程度检测的特种工

程测量中能胜任工作。

7. 自动化程度高，操作简单

在电阻率测量中，仅需要将工作开关由“自电”旋到“电阻率”位置，以定时电路为基础的自动控制电路即完成以下一系列自动操作。（1）极化补偿（2）接通$I_{AB}$测量道电源（3）接通供电开关（4）自动选定电流及电位差的测程，建立读数（5）发出锁存信号、锁定两个数字表的数字（6）切断供电开关（7）切断各通道模拟电路的工作电源。

8. 具有供电电流过流保护功能

当供电电流超过相应测量的最大值时，过流保护电路将自动关断供电电路。

9. 具有过压保护功能

当供电插孔 A 与过压保护插孔用导线连接时，大功率的压敏电阻（620v）并联于仪器供电输入端，用于吸收断电瞬间供电回路产生的高压脉冲。

10. 设有测量时间“快”、“慢”选择开关

快挡读数建立时间短，送电两秒后读数锁定，在极化稳定、交流干扰小时采用，可提高工作效率；慢挡抗交流干扰能力强，但读数时间长，送电约 4 秒后读数锁存，宜于在强交流干扰与大极距工作时采用。

11. 具有被测电位差$\triangle U_{MN}$正负极性指示功能

当 M 电位低于 N 时，读数前自动显示“—”号。

## （二）仪器技术指标

1. 读数显示范围：0～19999

   200mv 挡：分辨率 0.01mv / 字，读数范围 0.00～199.99mv

   2v 挡：分辨率 0.1mv / 字，读数范围 100.0～1999.9mv（注：读数小于 100.0mv 则自动转换为 200mv 挡）

2. 电流测程：共分六个测程：

   0.2mA 挡：分辨率 0.01μA / 字，读数范围 0.00～199.99μA

   2mA 挡：分辨率 0.1μA / 字，读数范围 100.0～1999.9μA

   20mA 挡：分辨率 1μA / 字，读数范围（0.00～199.99）×0.1mA

   200mA 挡：分辨率 10μA / 字，读数范围（100.0～1999.9）×0.1mA

   2A 挡：分辨率 0.1mA / 字，读数范围（0.00～199.99）×10mA

   5A 挡：分辨率 1mA / 字，读数范围（100.0～500.0）×10mA（注：电流大于 5A 将自动停止供电）

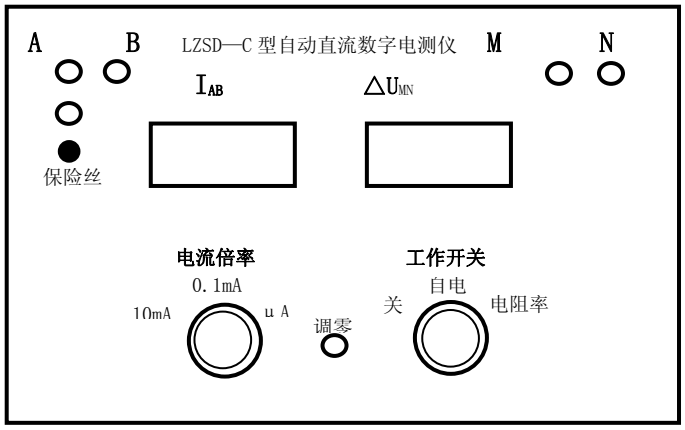
3. 输入阻抗：大于 1000MΩ

4. 对 50Hz 工频（及其高次谐波）干扰信号衰减量大于 95 分贝

5. 自动极化补偿精度：极化电位差值（包括自然电位与仪器零点）的 0.02%±2 个字

6. 测量精度：优于电位差与电流测量值的 0.2%
7. 电子开关控制最大功率 2.5KW（5A500V）（注：大功率电子开关极限参数为 8A1000V）
8. 内部电源平均功耗小于 50mW
9. 仪器供电接线端 A、B 与测量接线端 M、N 之间，以及它们与仪器外壳间的绝缘电阻大于 1000MΩ
10. 仪器能在-10℃到 40℃的温度范围及相对湿度小于 98%的条件下正常工作

**仪器面板：**




# （三）操作说明

## 一、测自然电位

1. 将工作开关从“关”位置旋至“自电”挡位
2. 用导线短路 M、N 插孔
3. 旋动面板调零电位器旋钮至读数为零，然后除去短路线
4. 将 M、N 插孔与不极化电极连接
5. 从测$\triangle U_{MN}$的液晶数字电压表上读自然电位差值（以 mv 为单位）
6. 工作完毕后将工作开关旋回“关”的位置

## 二、电阻率与充电法

1. 将 A、B 插孔与 A、B 供电电极及外电源串接；M、N 插孔与测量电极 M、N 相连
2. 将工作开关从“关”旋至“自电”挡位：将倍率开关旋至 0.1mA 挡位
3. 待$\triangle U_{MN}$表显示的极化电位基本稳定后，将工作开关旋至“电阻率”挡位
4. 分别从左（I）、右（$\triangle U_{MN}$）两只数字表上读取电流与电位差值，读数记录无误后，将工作开关旋回“自电”挡，以待测下一点

5. 当倍率开关在 0.1mA 挡位，I 表读数小于 10.00（即 1mA）时，应将倍数开关旋至μA 挡；若读数只显示最高位 1（或读数为零时），表示电流已大于测程范围（200mA），此时可将倍率开关旋至 10mA 挡位

注：不管倍率开关在何挡位，当工作开关旋至“电阻率”挡位之初电流表有读数，但很快变为零（读数锁定后也为零），表示电流已超过挡位测程范围（μA 挡为 2mA；0.1mA 挡为 200mA；10mA 挡为 5A），仪器过流保护电路已自动关断供电电路。应将倍率开关旋至下一高测程挡位。（10mA 挡超测程时，应降低电池电压）

6. 工作结束，应将仪器工作开关旋回“关”的位置

7. 工作时若发现液晶数字表左上角出现 Low Bat 字样，则表明仪器内部 5 号电池电压过低，应旋下仪器底部盖板，更换 5 号电池（5 号电池左、右各 4 只串联为一组，那边数字表显示 Low Bat，换那边的 4 只电池）

## 三、使用注意事项

1. A、B 供电电源的电压不能大于 550V，否则将烧毁过压保护电敏电阻

2. 一般工作中，电流倍率多使用 0.1mA 与 10mA 两挡位，为实现过压保护，应将插孔“A”与“过压保护”插孔用导线连接。因为压敏电阻有数微安漏电电流，在使用μA 倍率挡用于高阻小极距或测物性标本时，为提高测量精度，应取下 A 与过压保护插孔间的连接片

3. 因为 A、B 供电插孔输入端加有全波整流桥，故可以不考虑 A、B 插孔的电压极性，供电插头正反向插入皆可，但切不可将供电插头插入 A 与过压保护插孔间，以免造成输入短路

4. 仪器的接线柱，开关等器件皆固定在具有绝缘与防潮性能的有机玻璃板上，并与金属面板隔离，因而仪器接线端 A、B 与 M、N 之间及它们与仪器外壳的绝缘电阻大于 1000MΩ 的指标，若需测试按以下步骤进行：

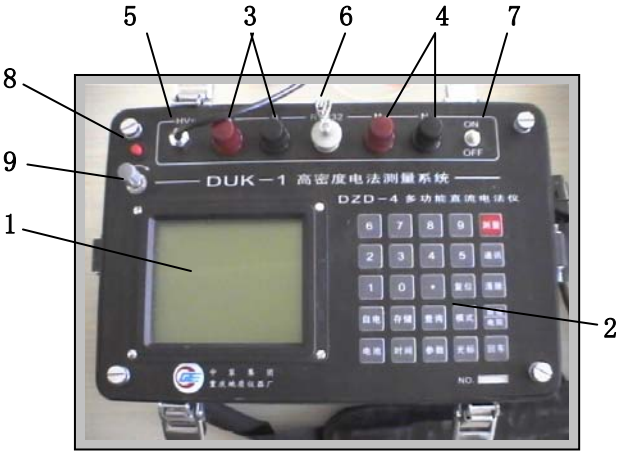
① 将仪器工作开关置于“关”的位置

② 将 A 与 B 及 M 与 N 分别用导线短路

③ 用 500V 摇表测试接线端间与接线端与外壳间的绝缘电阻值

# 仪器三　DUK-1高密度电法测量系统

“DUK 一 1 高密度电法测量系统”是新型高密度电阻率探测系统，是进行高密度电阻率勘探及电阻率成像技术研究和各种高密电极电法测量的专用装置，DUK—1 探测系统把**电测剖面法和电测深法两者合二为一**，并通过电算处理软件，形成二维 CT 断面，使以前的点线数据变成剖面图像，使探测资料的分析判断变得更加简单明了，减少了探测资料反演推断过程中的部分多解性。全系统包括：“DZD 一 4 多功能直流电法仪”，“多路电极转换器《II》”及一套高密度测量专用电缆和电极。该仪器是新一代直流电法仪器，可直接用于电阻率法和激发激化法的测量。可直接显示所测得的参数值：如视电阻率 $R_S$ 值；视激化率 $M_{S1}$-$M_{S6}$ 六个值；半衰时 $T_H$ 值；衰减度 D 值；偏离度 $\gamma$ 值及综合参数 $Z_P$ 值以及电流 I 和电压 V 的平均值。电阻率的测量采用了补偿测量的办法。当待测电位差 $\triangle U_{MN}$ 与已知的电位差 $\triangle U_R$ 数值相等方向相反时，则回路中的电流等于零，这时 $\triangle U_R = \triangle U_{MN}$ 只要知道补偿回路中的电压 E，电流 I 和电阻 R，便可以确定 $\triangle U_R$ 的值，从而求得 $\triangle U_{MN}$。电子自动补补偿的过程，就是把待测的电位差($\triangle U_{MN}$)自动转换成与其数值相等，方向相反补偿电位差 $\triangle U_R$ 的过程。




DZD 一 4 型仪器的所有操作部分均位于面板上，**面板**由下列部分组成:

(1)显示器为大屏幕图形点阵液晶显示模块；

(2)25 个键的键盘(其中自电键，时间键，存储键用于常规电法测量)，允许进行各种操作和参数输入；

(3)供电接线柱 AB；

(4)测量电位接线柱 MN；

(5)高压电缆用于接高压供电电源，红夹子接“+”，黑夹子接“-”；

(6)RS 一 232 串行接口和与 MIS 一 5-2 多路电极转换器进行同步控制的控制口，两口共用一个插座；

(7)仪器电源开关；

(8)用于接通背景光电源的自锁开关。

(9)用于调屏幕对比度的电位器。

**键**的功能

(1)0-9 为数字键，用于输入数据；

(2）小数点键，用于输入小数点；

(3)清除键，为双功能键，第一功能用来清除输入的数　　据；第二功能用来清除内存。其操作步骤为，首先按下清除键，同时接通电源开关，这时屏幕上显示“清除内存数据?”如再按下回车键，既可清除内存，屏幕显示“OK”，如不想清除内存，可按其他功能键，继续工作。

(4)电池键，检查电池电压。按下该键，显示“电池电压=XX.XXV，XX.XX 代表电池电压，不得低于9.6v”，电池可连续工作十小时以上。

(5)曲线/电阻键，上电后，即可按下该键检查电极接地情况。当接地电阻>>100KΩ 就停止测量，应立即查看原因并改善接地情况。

(6)模式键，用于选择装置模式，按下该键，在屏幕上显示出二种模式，根据序号可任选其中一种。

(7)参数键，按下该键，显示出应设置的参数项，在光标键的配合下，可完成对应的参数输入，送完后按回车键表示确认。

(8)光标键，移动光标，可完成对各参数的预置功能。

(9)回车键，确认输入参数和保存参数。

(10)测量键，用于仪器测量。按下此键，仪器开始逐点测量，并在屏幕上显示每点的数据并画出曲线来。

(11)查询键，查询某一测点的数据，按下此键，并输入查询的测点号按回车键，即可在屏幕上显示电阻率值。

(12)通讯键，通过 RS 一 232C 接口来传输测量数据。

(13)复位键，硬件复位。在每层的测量过程中，要中断测量，可先按多路转换器上的暂停键。再可按此键。切忌在测量过程中按此键。

图为**多路转换器《II》面板**图。主要部件有十一项，见图一中的标号 1-11。下面按标号逐项介绍其作用和操作方法。

**1.** 电源开关：本机为工作电源开关，多路转换器《II》和 120 道电极转换器电源开启，显示屏出现主菜单。

**2.** 保险丝座：整机电源过流保护。

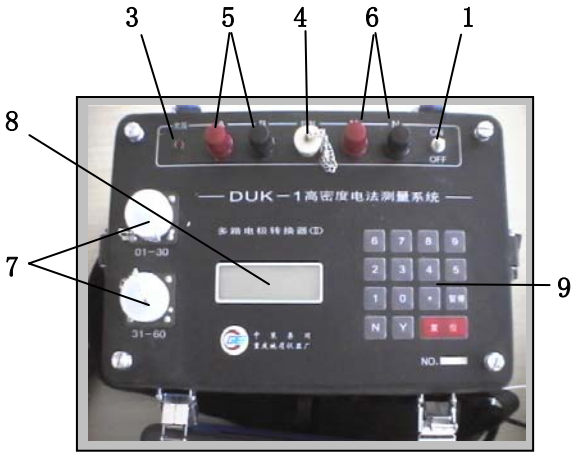
**3.** 欠压指示灯：机内电池电压低于 7V 时，欠压灯亮，提示立即充电。

**4.** 控制插座：联接本转换器与电测主机之间的同步电缆。

5. 供电电缆接线柱：是供电电流(A、B)电缆接线柱，它与 DZD-4 电测主机的(A、B)供电电缆相联接。

6. 测量电缆接线柱：是测量信号(M、N)电缆接线柱，它与 DZD-4 电测主机的(M、N)输入信号电缆相联接。

7. 电极大线电缠插座 （60 道)：电极大线电缆插座是两个 32 芯插座，共联有两根 32 芯电缆，分别对应联接到测线上所布的(1#-30#)，(31#-60#)号电极上。




8. 显示器：本机使用的是一个 80 字符(20 字符×4 行)的液晶显示器，其作用是显示功能选择菜单、操作提示信息、工作状态信息等。

9. 键盘：这是一个 16 键小键盘，包含有：

(1)十个数字键[0]-[9]。用于菜单选项及辅助参数输入。

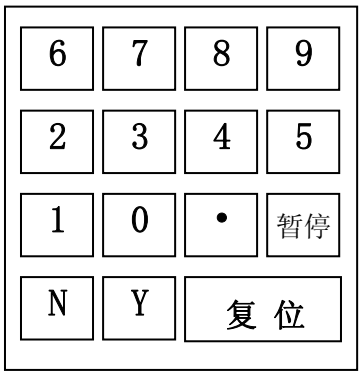
(2)[Y]键，是参数输入结束键，相当于计算机的<RETIRN>，回车键。

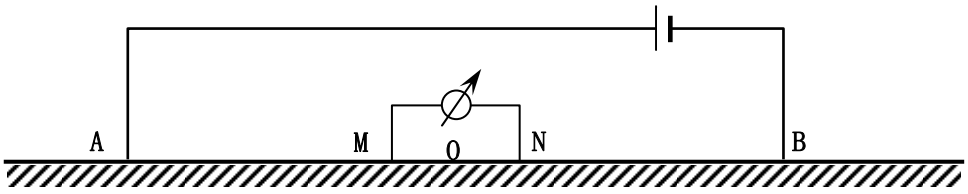
(3)[N]键，是删除键，在参数输入过程申，发觉有错，按(N)键将其抹去，再重新输入。

(4)[暂停]键，暂停作用，在联机工作时按此键，中断系统的工作，进入悬挂（HALT）状态。

(5)[·]键，是继续键，在系统被悬挂之后，按此键则立即继续工作。

(6)[复位]键，是整机总复零功能键，切忌在连机工作正在进行时使用，其余时刻使用，将使多路转换器《II》和 120 道电极转换器立即停止动作，并返回主菜单，等待新指令的输入。




图二　对称四极剖面法测电阻率（A B 为供电极　M　N 为测量极）

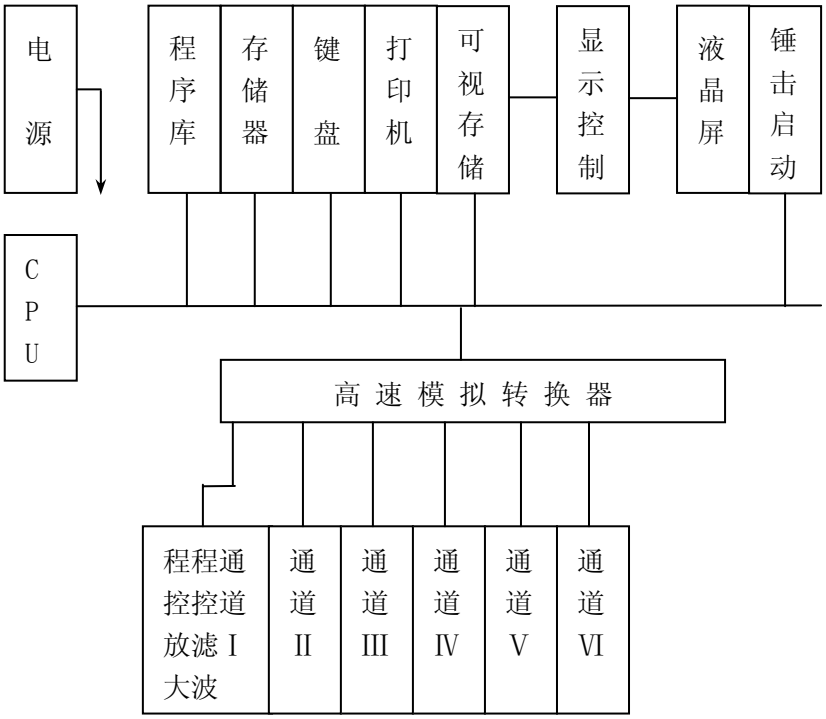
# 仪器四　GJY-1工程检测仪

GJY-1 工程检测仪是一种便携式多功能声波工程检测仪器，主要用于探测煤矿的残煤厚度，地面工程测定覆盖层的厚度，混凝土施工质量，结构无损检测等。

由人工激发产生的声频（包括超声）应力波，经由被检测介质传播后，携带介质内部的结构信息，被传感器所接收。传感器将被测振动信号转换为电信号，经放大、带通滤波与 A/D 转换后，进行数据处理，最后由显示器与打印机显示打印测试结果。

## （一）工作原理

电原理框图：




采样时，CPU 检测到锤击信号后，便对各通道输入的波形进行定时取样和模—数转换，所得数据送往随机存储器（RAM）存放。CPU 可根据命令对 RAM 里的数据进行各种处理，然后变换为显示格式送到可视存储器（VRAM）里，显示控制电路把 VRAM 的数据送往液晶屏，显示处理结果。打印命令将 VRAM 的数据送到打印机上打印出来。

## （二）主要技术指标

1. 声波输入通道（模拟放大滤波）

总数：3—6（1、2、3、6 可选）

增益：6—96dB（以 6 dB 为增量可选）

滤波：10—8000Hz 高低通滤波分 8 挡可选

2. 采样

总数：512 点 / 道

间隔：声波采样：10.5μs—1.28ms

精度：8 位 2 进制

3. 数字滤波

递归滤波：四阶切比雪夫低通和高通滤波（频带任选、可选自动增益）

截窗滤波：矩形窗（频带任选）

4. 频谱分析

显示指定信号的对数功率谱

功率到频谱（时谱）

自相关函数

两道信号的互功率谱

互相关函数

5. 工程参数计算

（1） 动测法测定：单桩自振频率、抗压刚度、临界载荷、允许承载力

（2） 声波检测：动弹模、单轴抗压强度

6. 解析处理

一次处理道容量：12 道

处理方式：反射波同相轴解析

折射解析（单一和两个界面）

对多点进行回归解出各物理参数：第一层介质速度、厚度、低界面倾角，第二层介质速度、厚度，第三层介质速度

7. 动校正

反射自动动校正、直接动校正、相对动校正、手动动校正

8. 迭加

对 2 至 12 道经过动校正后的波形进行迭加，迭加容量 12 道

9. 显示

128*512 点液晶屏显示，显示具有如下选择功能：

显示波可调整幅度，可进行反相

可选择波形变面积或不变面积记录

“置入区”和“迭加区”各道可选择正相或反相排列

“置入区” 各道可选择均匀等间距排列或按距离排列

可选择时间坐标网格显示

可选择开启或关闭参数显示窗口

10. 打印

所有显示信息均可打印与显示一一对应

11. 其他功能

信号零电平自动校正

背景噪声检测

单次采样信号多种频带滤波处理

“置入区”信息多次提取使用处理

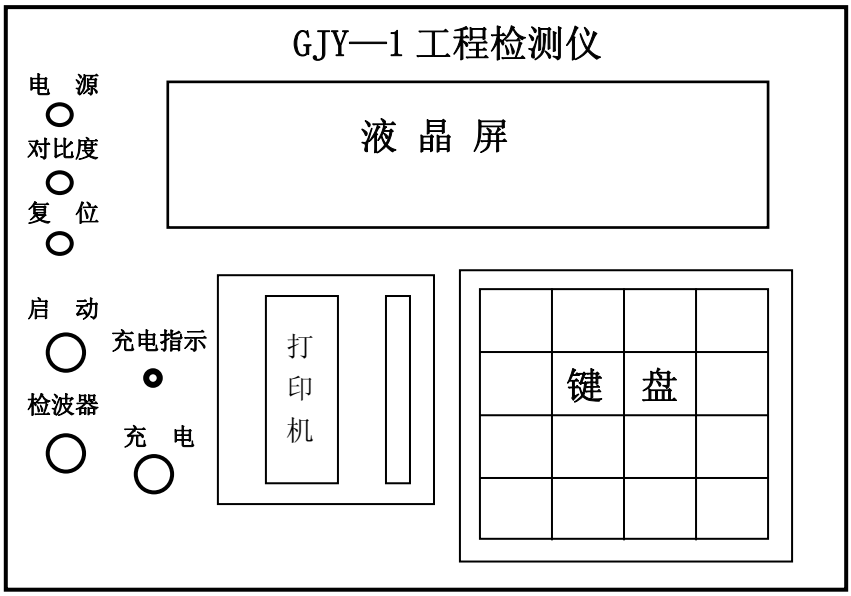
12. 电源特性

9.6—10V 直流，40—80mA

平均工作电流小于 1.2 安

## (三)键盘和菜单操作

**（1）工程仪面板图：**



**（2）键盘**

键盘布置图：

| | | | |
|---|---|---|---|
| **左移**<br>7 | **↑**<br>8 | **右移**<br>9 | **采样**<br>**退格** |
| **←**<br>4 | **反相**<br>5 | **→**<br>6 | **打印** |
| **缩小**<br>1 | **↓**<br>2 | **放大**<br>3 | **快速**<br>**清区** |
| **增强**<br>0 | **入点**<br>• | **置入**<br>**输入** | **菜单** |

其中许多键为一键两用或多用，键上下有两排字，一般来说，在屏上显示菜单供操作者选择项目项目或等待操作者输入参数时，键的功能按下排字来理解。屏上显示曲线波形且有光标闪动时，键的功能按上排字来理解。

1. 在屏上显示菜单或等待输入参数时：

   **[0]—[9]** 为十个数字键，表示所选的菜单项号码或输入的数字

   **[•]** 为小数点，供参数小数部分使用

   **[输入]** 当输入多位数时，键入数字和小数点后按此键则参数被接收。如对所需的参数屏上有数值（一般为前次输入时数值）时，如果不想更改，可不键入数字键而直接按[输入]键

   **[退格]** 输入参数若有错误。按此键则光标退回原处，可重新输入参数，不输入多位参数或显示波形时该键为**[采样]**

   **[采样]** 对声波检测，按下此键后仪器等待锤击。锤击后开始采样并将采样波形（或经过指定频带数字滤波后的波形）送到屏上显示

   **[打印]** 将当时显示屏上的信息输出到打印纸上

   **[菜单]** 提供进一步选择的功能。详见下述

   **[清区]** 用于清除“增强区”的数据，以便开始对新点采样

2. 当在屏上显示曲线波形并有闪动光标时

   **[↑] [↓] [←] [→]** 为光标移动键。其中**[←]**和**[→]**控制光标在本道信号上左右移动，而**[↑]**和**[↓]**用于多通道信号显示时使光标移到前一道或后一道去

   **[缩小]**和**[放大]** 控制显示波形的幅度，注意它只影响显示图形，而并不修改内部的数

据

[**反相**] 使指定的波形反相，内部数据也被相应修改

[**左移**]和[**右移**] 在“置入区”显示时对指定的波形进行移动，移进的新数据为 0，用于手动动矫正

[**增强**] 用于把采样滤波后的数据迭加到“增强区”原数据上，并显示增强区数据波形

[**入点**] 用于在解析时输入反射波、折射波同相位点的走时与激发接收间距（末点除外），使用光标移位键把光标移到待回归分析的曲线同相位点处，然后按下此键，该点位数据便被记录下来

[**置入**] 非解析时，用于把“增强区”的信号记入“置入区”的某一道位内。解析时，用于输入某一回归曲线上的最末一个回归点并启动回归分析计算，显示解析参数

[**快速**] 使[←]和[→]键的作用加快，按此键后光标左右移动每次 16 点位，再次按此键则取消快速状态，快速状态时光标处有一横线为标志，快速状态维持十次移动后自行撤消

**（3）主要菜单项目**

[**菜单**] **分**有两页，首次按 [**菜单**] 键在屏上显示工作菜单（菜单 1），再次按该键则显示修改菜单（菜单 2）。

工作菜单（菜单 1）包括 8 项

**1、显示　2、解析　3、动矫正　4、迭加　5、前清　6、谱分析　7、滤波　8、计算**

**1、显示** 此项下面有 5 个子项供显示选择，即选择显示**采样图、滤波图、增强图、置入图**或**迭加图**

**2、解析** 此项先输入相位校正时间 τ，然后有两个子项，即选择**反射解析**或**折射解析**，无论哪一种解析方法，均在置入图上进行，移动光标到选定的回归点后按[**入点**]键，则该点被记入，光标移动到下一道。最末一个回归点按[**置入**]键记入后进行解析运算并将参数显示在屏右方数据窗内

**3、动矫正** 此项有 3 个子项，即**反射自动动校正、相对动校正**和**直接动校正**，首项选择在反射解析后进行。后两项则提示输入有关参数后计算并进行动校正

**4、迭加** 此项命令将置入区的 12 道数据取算术平均（未置入数据的通道均为零），所得数据送到迭加区的指定道位去

**5、前清** 对光标所在道的光标前数据均清零，用于人工将采样数据的前一段的噪声清除

**6、谱分析** 此命令将光标所在道进行频谱分析

显示出对数功率谱后，可以对该道进行窗式滤波，即移动光标后用[1]或[3]键将频率的低端或高端截除，然后用[2]键进行逆变换。原波形显示在屏下侧。再按[**输入**]键则用滤

波所得的数据取代原数据

对数功率谱即自动功率谱。[7]键可以得到自相关函数，原波形显示在屏下侧

对数功率谱的傅立叶变换为功率倒频谱（时谱）。用[8]键可以得到功率倒频谱。原波形显示在屏下侧。

[9]键用来求得互功率谱。按后屏上显示各道波形，移动光标到选定道后用[输入]键指定第二道信号，则互功率谱显示在屏上侧，二信号波形显示在屏下侧，再按[输入]键屏上侧显示互相关函数

**7、滤波** 此项下有四个子项，即**现行道滤波、置常驻滤波、清常驻滤波**及**开关自动增益**

首项是对光标所在道进行滤波，待输入通带范围后，即进行数字滤波并将原波形和滤波后波形同时显示在屏上。按[输入]键则用滤波后数据取代原数据。

常驻滤波是对每次采样所得的数据均进行数字滤波后再放入滤波区内，各道的滤波参数互相独立，置定的常驻滤波可以用“清常驻滤波”项来清除，此时每次采样所得的数据直接放入滤波区。

自动增益功能是对每次数字滤波后所得的数据进行幅度的线性变换，使得显示出的波形不会因“饱和”而失真或幅度过小而难于分辨，该功能可以选择打开或关闭

**8、计算** 此项下有三个子项，即计算**载荷**、计算**弹性模量**和**求速度**，前两项对增强图进行处理。先由操作者移动光标到判定的点位，按下[输入]键来记$t_1$(tp)和$t_2$(ts)，然后屏幕上提示操作者输入有关的参数，每个参数均显示出已记入仪器内的缺省值(即上次的输入)。如果该值不需要修改，则直接按[输入]键转到下一个参数，如果要换为新值，则用数字键输入整个新值（整数部分不超过4位，小数部分不超过2位）。然后按[输入]键则记入了这个参数，所有参数输入完毕后进行计算处理，在屏上显示出计算的结果（如果由于输入参数不合理而使计算结果过大，超过4位整数，则屏上显示9999），求速度可对任何数据道进行，将光标先置到波形起跳点，然后选择此项，屏提示输入激发与接受间距离值，即计算出速度并显示出来。

修改菜单（菜单2）包括7项。这一菜单主要选择一些辅助性的工作项目。

**1、校零　2、置参　3、清数据　4、背检　5、开窗　6、开座标　7、恢复**

**1、校零** 用于辅助性校准采样数据的零点，模拟电路的零点由于各种原因可能有所漂移。此时将输入端短路，然后选择此项，仪器自动校正A／D转换的零点，然后转入背景噪声检测，但这一校正量关电源后便丢失。下次开机仍需重新校正，如果发现零点有较大的固定偏移，则需进行硬件电路的调校。

**2、置参** 每次开机后或转换新的测量项目时要选择此项，以便输入基本的测量参数，选择这一项目后屏上逐项提示待输入和修改约有关参数及选择的缺省值（先前输入的值），不

须修改的参数或选择项可直接按[**输入**]键跳到下一项，否则就用数字键输入完整的新参数后再按 [输入]键。

**3、清数据** 此项下有3个子项。即清除增强区、置入区或迭加区的数据。

**4、背检** 这一项目用于实时背景噪声检测。仪器不断采样波形（或经常驻滤波后的波形）反复显示在屏上。以供检查场地环境噪声而用。

**5、开(关)窗** 此项用于开(关)显示图上的数据窗口，数据窗口设置在显示图形的右侧。开窗有利于观察波形的参数，但开窗会使某些操作速度（例如光标移动）变慢。解析时会自动开窗显示时标和解析计算的结果。

**6、开(关)座标** 用于显示衬底时间座标网格即时标线。每十个采样点一格，并在右下角显示每格所代表的时间（开窗则盖住该单位显示）。

**7、恢复** 此项包括两个子项。**恢复增强图**和**恢复置入图**，每次进行信号增强时，原来增强区的数据被保存在备份工作区。如果该次增强的效果不理想（例如信号幅度过大产生“饱和”状态），则可通过恢复增强图来取消当次的增强，每次将增强区的数据送入置入区后，置入区的新数据产生备份。对置入区数据进行某种解析或动校正后原数据被修改了。如果还想对原来的数据作另外的处理。则可用“恢复置入区”项目来恢复原来的数据形式。

## （四）仪器使用方法

一般根据测试目标与测试任务，首先进行合理的施工设计，然后使用仪器完成测试工作。本仪器属人工智能仪器，采用硬件与软件相结合的方法，完成仪器所具有的测试功能。

使用操作的主流程图如图。

现将使用操作步骤分述如下：

1. 根据施工设计将震源启动线与按一定规律排列的探头通过大线接到仪器上；
2. 打开电源开关，屏上显示出仪器型号和名称；
3. 按两次[**菜单**]键，显示修改菜单；
4. 按[2]，开始设置各工作参数。

（1）**测点编号** 为操作者对该测量点所编的识别号码，以便打印后整理资料。对测量过程无

影响。

（2）**通道数** 对锤击测量可选择一、二、三或六个通道（选择的道数不能多于安装的探头数）。

（3）**采样间隔** 对于声频测试采样周期从10.5μs到1.28μs按1:2倍增方式分八档可选。（如果不止一通道，则最高采样周期为通道数×10.5μs，档次也有所减少。）

（4）**道间隔选择** 指在屏上显示置入区波形时各道是按等间距排列还是按激发与接收间非等距排列的选择。

（5）**变面积选择** 指对屏上显示波形的正半周是否填充涂黑的选择。

（6）**道序** 指在屏上显示置入区和迭加区波形时各道是从上向下排列还是从下向上排列的选择。

（7）**延时** 从锤击到开始采样的时间延迟。以ms为单位设定。

（8）**系统延迟** 指从激发产生震动到仪器收到启动信号后开始采样（或开始计算延时）的时间间隔，这是仪器系统的误差。然后在设置工作参数时置入，此后仪器在进行数据处理时自动将此延迟计算在内，该项延迟以μs为单位设定。

（9）**速度** 震动在测量介质中的传播速度，此项参数若未知可不置入，在进行求速运算或对采样波形进行解析时可自动求得该速度并置定此项参数。

（10）**通带选择** 它设定硬件可程控通带滤波器的通带范围，通带下限和上限分别为8档可选，每档所代表的频率在屏上显示出来，例如要接收100Hz—1KHz的信号波形，则按下[2][4]两键便完成了设定。

（11）**增益** 它设定硬件程控放大器的增益，由6dB到96dB按6dB增量16档可调，打入所需的增益分贝数，则仪器自动按相近的档位设定。

（12）若工作多通道状态，则(10)和(11)两项需依次对每道分别设定，设完后屏上显示开机状态（仪器型号和名称），表示完成了工作参数的设置。

附注：对每项参数，屏幕上均显示出该项参数的初值或上次置入的设定值，若不需修改，则直接按[输入]键便可，需修改时要用数字键按入完整的参数再按[输入]键。

**5.** 按两次[**菜单**]键进入修改菜单

按[4]进入背景检查状态，仪器不断进行采样和显示，检查现场有无显著的震动干扰存在，正常时应为水平横线零电平，如果有显著波形。应设法消除干扰或调整仪器某些功能压制干扰再进行检测。

如果零电平有明显偏移，则可将各探头（传感器）短路，然后在修改菜单中选[1]进行零点校正，硬件零点偏移不大时则可依此进行校准。如硬件零点偏移过大，应进行硬件调整。

按[**菜单**]键可退出背景检查状态。

**6.** 此时便可开始进行采样了

按[**采样**]键，然后进行锤击或其它方式激发。本仪器便按设定的工作参数进行一次采样，所得的波形显示在屏幕上。

如果该波形受到干扰，明显失真，则可再重复上述操作，原来的采样数据自动消除。

7. 采样数据如果有效，可按[增强]键。

则该数据与增强区的原数据相加（开机时增强区全部清零），并在屏上显示增强区数据波形。

8. 由于多次采样信号的迭加可以压制随机干扰，提高信噪比，所以上述6和7项操作可反复进行，以突出有效波。

但增强次数过多有时会使数据“越限”，波形出现“限福”即削平顶部或底部的现象，如果某次按[增强]键后发现有信号“限幅”。可按两次[菜单]键后进入修改菜单，再按[7]，选择恢复增强图子项（即按[1]键），则增强图恢复到本次增强之前的状态（只能恢复一次）。

9. 充分增强后认为图形满意可按[置入]键送往置入区。

置入时，屏上角询问将某道波形置入到置入区的第几道（1—12），然后询问该道的激发接收间距 X（以 M 为单位，可有小数），所采样的各道参数均送完后，各道数据送入置入区，并显示置入区内已送入各道的波形。

10. 如果还需采集另外一些点的波形，可将探头（传感器）移到所需的位置，然后在菜单状态下按[清区]键清除原来增强区内的波形，再重复上述6—9的各步。

直到在置入区内采集到足够道数的波形为止（最多12道）。

11. 当波形显示在屏上时，有闪动光标指明某一道波形数据正被选定，按[↑]或[↓]键可使光标移到其它道的信号波形上。

对选定的某道波形，按[放大]或[缩小]键可使显示波形幅度变大或变小。使其便于观看或进行处理，但这种波形并没有修改原来的数据，只是改变了显示的尺度。

按[反相]键使该道数据全部改变符号，显示出的波形也就被反转了相位。

按[←]或[→]键使光标左移或右移。这在数据处理中用来指定相位点的位置，如果移动距离较大，可先按[快速]键，则左移或右移 16 个点位。

12. 如果希望观察信号随时间变化的情况，可在修改莱单中选择[6]打开座标显示

则在显示波形时背景上衬有每10点一列的竖点线即时标线，屏右下角显示两线间的时间间隔，在修改菜单中再按[6]键则关闭座标显示。

13. 如果希望观察信号波形的有关参数，可在修改菜单中选择[5]打开参数窗□。

则在显示波形时屏右侧开辟一个参数窗口来显示各道数据的参数，窗口格式依显示波形所在的区而有所不同。

（1）对采样、滤波和增强区显示，窗门参数为:

N：测点编号

K：各通道增益

F：各通道频带

T：延时

t：光标处时刻

V：速度

H：深度，它等于

n：增强次数

（2）对置入区显示，未经解析处理时，窗口参数为

N：测点编号

S：通道序号

X：源检距

K：该道增益

f：该道频带

n：增强次数

T：延时

t：解析时指定点的时刻（未解析时为0）

Δt：解析时计算的动校正量（未解析时为0）

（3）对迭加区显示，窗口参数为

S：道序

N：迭加道数

X：最小源检距

在修改菜单中再次按[5]则关闭参数窗口

14. 在菜单状态下，要观察某区信号波形。可在主菜单状态按[1]键。

则屏上出现五个数据区的提示，按下相应的数字键则显示出该区波形来。

15. 如果在某道显示波形上，发现有效波到达之前有干扰信号存在，则可以用菜单命令清除这些干抗。

先将光标移到有效的起跳点处，然后按[菜单]键再按[5]，则光标以前的数据全部清零

16. 按6—10的步骤在置入区内存放了足够的波形之后，便可以进行解析操作，在主菜单状态下按[2]键进入解析。

屏幕上先询问相位校正量（以ms为单位），打入后屏幕上出现进行反射或折射解析的选择项目，选定后屏幕上出现置入区波形图，屏左下角显示出光标所在处的时刻。

（1）对于反射波解析即反射波同相轴解析，辩认反射波的同相轴后，移动光标到某道波形反射波同相轴的特征点处，然后按[入点]键，则该点被记入，光标自动移到下一道波形上，操作者可以对所有能识别的反射波同相轴特征点进行上述操作，点数至少要有三个，多则不限，最后一个点用[置入]键送入表示送完，则自动开始对所有指定点进行（二元）回归计算，这样反射层深度H、波速V和底界面倾角θ，显示在参数窗口的上方，有特征点的t值和计算出来的动校正量Δt也显示在参数窗内。

（2）对于折射解析，程序可进行二层折射界面的回归自动解析。首先将光标移到直达波的初点或同相位某点后按[入点]或[置入]键计算直达波速度$V_1$，然后依次将光标移到各道来自第一折射界面的折射波的初至点或同相位点处按[入点]键（最末一点按[置入]键），回归解析后计算出第1层厚$H_1$、第二层速度$V_2$和第一折射界面的折射波截距时间t，并显示在参数窗口上，如果存在来自第二层折射界面的折射波，则可继续把光标移到各道对应的折射波初至点或同相位点，依上述方式处理，末次按下[置入]键后，进行二次回归解析，计算出第二层厚$H_2$、第三层速度$V_3$和第二层折射界面的折射波的截距时间$t_{02}$等。

17. 置入区的波形可以进行动校正，在主菜单下按[3]键则屏幕上出现三种动校正进择

（1）反射动校正。须在反射解析后进行，根据解析结果计算出校正量，并对各道进行动校正。

（2）相对动校正。要求操作者输入厚度H、速度V和最小激发接收间距(源检距)$X_1$后，计算校正量进行移动校正，以便进行偏移距的共深度点迭加。

（3）直接动校正，要求操作者输入厚度H、速度V和侧角θ后，计算校正量，进行移动校正。

18. 置入区的波形可以手动校正。

将光标移到要校正的波形上，然后按[左移]或[右移]键便可以使该道波形左右移动。

19. 进行校正后的波形可以迭加。

即将置入区的数据道对应点相加并除以12，结果进入迭加区的指定道内，在主菜单状态下按[4]键，屏幕上询间将迭加结果送入哪一道位，然后显示迭加区波形。

20. 对任何一道波形可以进行数字滤波。

数字滤波采用四阶切比雪夫低通和高通递归滤波算法。

将光标移到待滤波的波形上，然后进入主菜单，按[7]键后选择对现行道进行滤波（按[1]键），然后按屏幕提示输入通带范围。(最多4位整数，锤击采样时Hz为单位)

仪器开始进行滤波计算。算完后在屏上显示出原波形（屏上部）和滤波后所得的波形(屏下部)。如果要用滤波后的结果取代原波形，则需按[置入]键，采样区的数据送入滤波区，如果原波形在采样区，则滤波结果并不取代采样波形，而是放到滤波区的对应道位内。这样一次采样的结果可以采用不同的频带进行多次滤波，以便充分利用单次采样的信息。

21. 上述滤波计算可以“常驻”在仪器内。

即每次采样的结果经切比雪夫滤波计算后送入滤波区内，在主菜单状态下按[7]键后选择第二项“置常驻”，屏幕提示输入通带范围和通道序号，则该项滤波便常驻在仪器内，每次采样后均发挥作用。

滤波计算较费时间，非必要时不应该设置常驻滤波，设置后又可用“清常驻”菜单命令清除该项常驻滤波，则采样结果不经处理直接送入滤波区内。

22. 滤波后波形有幅度上的变化，可能会变得幅度太大或太小不便观察，因而设置一项“自动增益”算法。

使滤波后的波形保持适当的幅度范围，选用这项功能需在主菜单状态下按[7]键再按[4]键，再一次做同一操作则关闭了自动增益功能。

23. 可以对任何一道信号波形进行谱分析。

将光标移到指定波形上，然后进入主菜单按[6]键，经计算之后在屏的左上侧显示该道波形的对数功率谱，下侧显示原波形，右上侧显示出对数功率谱的座标尺度和光标所在处的频率值。

如果打开座标显示，则在功率谱处显示每10点一横行的对数座标背景。

24. 在功率谱分析显示的基础上，可进行窗式滤波。

将光标移到通带下限处，按[1]键截去低频段，将光标移到通带上限处，按[3]键截去高频段，然后按[2]键进入滤波计算，在屏下方并列出原波形和滤波后的波形，如果要用结果取代原波形，则按[置入]键，与20节中所述相似，对采样区信号滤波的结果被送到滤波区去。

25. 在功率谱分析的基础上，可以计算自相关函数、功率倒频谱、互功率谱和互相关函数。

（1）显示对数功率谱时，按[7]键经计算后得到该信号的自相关函数，显示在屏上方，原波形显示在屏下方，屏右上角显示光标所在处的时刻。

（2）显示对数功率谱时，按[8]键则计算功率倒频谱(功时谱)，即对数功率谱的傅立叶变换，它以对数纵座标格式显示在屏上方，原波形显示在屏下方，横坐标为时间尺度，光标所在处的时刻显示在屏右上角。

（3）显示对数功率谱时。按[9]键则显示原波形所在的区位图。移动光标到选定的另一道波形处按[置入]键。则计算两道波形的互功率谱，以对数座标尺度显示在屏左上侧，两道波形显示在屏下侧，如按[置入]键，则计算出互相关函数显示在屏上侧。

26. 仪器还有一些物理参数的计算功能。

列在主菜单的第八项选择之下:

（1）选择1为动测法测定单桩纵向自振频率、单桩抗压刚度、单桩临界载荷和单桩允许承载力。

该项计算在对桩进行检测并增强信号后在增强区波形上进行，在主菜单状态下按[8]键和[1]键后屏上显示出增强区信号波形，移动光标到桩体谐振波形的某一显著相位点按下[置入]键，然后移动光标至下一个同相位点上，按下[置入]键，屏幕上开始逐项提示操作者输入参数。

n=上述两次移动光标之间的周期个数

d=桩径　　X，XX　　m

L=桩长　　XXX，XX　　m

I=桩头出土高度　　X、XX　　m

$\rho_1$=桩体容重　　X、XX　　$t/m^3$

$\rho_2$=参振土容重　　X、XX　　$t/m^3$

Φ=内磨擦角　　$XX^0$

K=安全系数　　X.X

输入完毕上述参数后，经计算自动显示出上列参数来。

f=单桩自振频率　　HZ

A=桩横截面积　　$m^2$

D=参振土体扩散半径　　m

$Q_1$=折算桩重　　t

$Q_2$=参振土重　　t

Kz=单桩抗压刚度　　t/m

$P_K$=单桩临界载荷　　t

P=单桩允许承载力　　t

（2）选择2为声波检测动弹模和单轴抗压强度。

在主菜单状态下按[8]和[2]键，则显示出增强区波形，将光标移到纵波起跳点Tp处，按[置入]键，将光标移到横波起跳点$T_S$，再按[置入]键，屏幕上开始逐项提示输入参数：

L=试件穿透长度　　XXX、XX　　m

ρ=试件容量　　X、XX　　$t/m_g$

a=修正系数　　XX、X

输入完毕上述参数后，经计算自动显示下列参数来：

$V_S$=横波速度　　m/ms

$V_P$=纵波速度　　m/ms

σ=泊松比

G=切变模量 $t/cm^2$

E=杨氏模量 $t/c\ m^2$

K=体变模量 $t/cm^2$

$R_1$、$R_2$= =两次相关的抗压强度 $t/cm^2$

（3）选择3为求声波传播速度。

先将光标移到直达波前起跳点处，在主菜单状态下按[8]和[3]键，屏幕提示输入激发点到接收探头的距离X，然后计算出波速V并自动置入该参数。

27. 置入区的波形经各种动校正处理后，如果还想恢复原波形，用另外的方法再做处理。

只要没有对采样、滤波和增强区进行操作，就可以在修改菜单状态下按[7]和[2]键来实现。

28. 修改菜单中第三项用来清除各数据区的数据。

在某一测点完成检测后可用该项命令清除已用过的数据。

29. 所有屏幕上显示的信息均可用[打印]键复制成硬拷贝。

供其保存资料和室内的分析处理用。

30. 如果由干某种原因，仪器未能对键盘或锤击输入做出正确反应，则可按[复位]按钮使仪器回到正常状态。

一般来说，复位操作不会使用户的信息受到破坏。

31. 系统延迟的测量

（1）取已知声波在其中传播速度(V)的构件(例如钢轨，经检定的混凝土梁等)，将本仪器的探头安置在构件上，在适当距离（在X处锤击并进行测量），增强适当的次数使直达波的初至点显示得清晰无误，读出该点的时刻$t_0$，则本仪器系统延迟为，

$$DT=X/V-t_0$$

（2）取质地均匀的构件，按上述方法，在$X_1$处测得直达波到达时间为$t_1$、在$X_2$处测直达波到达时为$t_2$则本仪器延迟为:

$$DT=(X_1\times t_2-X_2\times t_1)/(X_2-X_1)$$

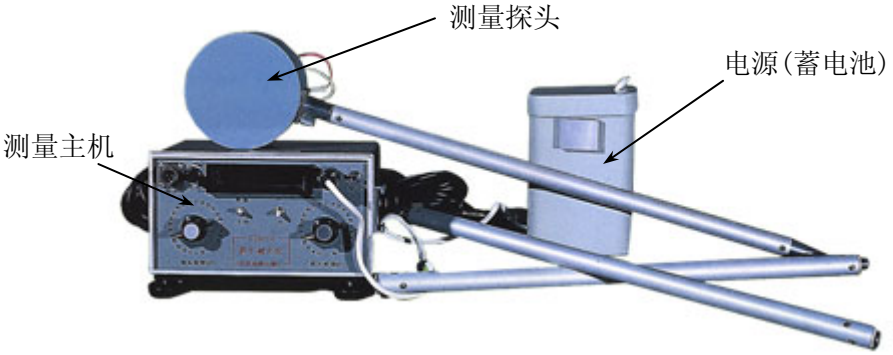
为了测量准确起见，上述方法均应对不同的X进行多次测量，所计算的DT进行统计处理后作为系统延迟值输入本仪器中。

# 仪器五　CZM-2型质子磁力仪

**CZM-2** 型质子磁力仪是利用氢质子磁距在一定的条件下，在地磁场中自由旋进的原理制作的，用来测量地球总磁场强度绝对值的高精度磁测仪器。该仪器主要用于地面磁法勘探，金属矿床的普查、详查、地质填图，航空海洋磁测的地面日变，地震预报中的磁变观测及流动磁测。该仪器特别适用于弱磁区的工作。

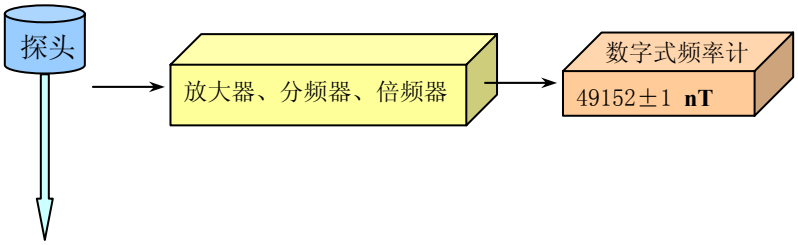
## （一）构造原理及特点：

**CZM-2** 型质子磁力仪，采用集成电路，程序控制，体积小、重量轻、数字显示、精度高、测程范围宽、抗干扰能力强、耗电量小、操作方便、结构坚固、工作性能稳定可靠等优点。与光学机械式磁力仪、地面磁通门磁力仪相比．具有灵敏度高，工作效率高、操作简便，直读地磁场 **nT** 值，是测量地磁场总向量绝对值无零点漂移和温度系数等优点。




**CZM-2** 型质子磁力仪外型图

仪器基本上分为三大部分：探头；放大器；数字式频率计。




**探头：**

探头由两个参数相同的长形管状多层线圈反向绕成，它具有抗干扰能力，线圈中用无磁性容器盛有水或煤油。其功能有二：一是使水中氢质子“极化”；二是作为感应线圈接收质子旋进迅号，然后送入放大器。

**放大器：**

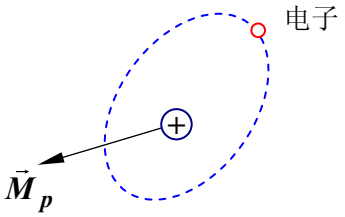
它将探头感应到的约 0.5μv 左右的电动势放大为 500mv 以上输送给数字式频率计。

**数字式频率计：**

它收到放大器放大以后的迅号经分频，倍频，闸门控制器等等一系列处理以后，在不到一秒的时间里将这个旋进的迅号频率转换为磁场值（nT）由显示器显示出来。这样在显示器上可以直接读出地磁场总强度 T 的数值来。

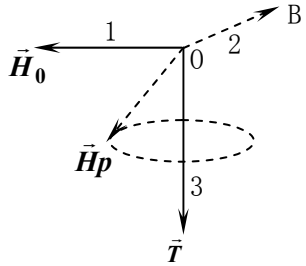
**1、氢质子磁矩在地磁场中的旋进：**

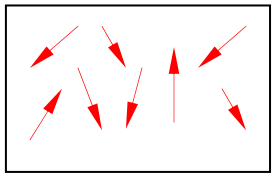
**CZM—2** 型质子磁力仪是利用氢质子在磁场中的旋进现象来测量地磁场的，由原子物理学我们知道，构成各种物质的原子都是由带正电的原子核与绕核外带负电电子所组成。而原子核是由带正电的质子和不带电的中子所组成。氢原子核最简单，它只有一个质子，带正电的质子在不停的“自旋”，产生自旋磁矩，这就是质子磁矩 $\vec{M}_p$ （如图一），含氢液体(如煤油、水、酒精等)中有大量的氢质子，这些“质子磁矩”的方向在没有外界磁场作



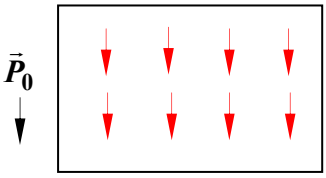

图一　氢的质子磁距

用时呈无规则的指向，因而不形成按一定方向取向的质子合成磁矩。当含氢液体处在地磁场中时，经过一段时间，质子磁矩的方向将转到趋于地磁场的方向，如果我们设法再加一个垂直于地磁场 $\vec{T}$ 方向的人工“磁化”磁场 $\vec{H}_0$，当 $\vec{H}_0 >> T$ 时，$\vec{H}_0$ 将迫使质于磁矩趋向 $\vec{H}_0$ 方向，我们称这个过程为“磁化”过程。经过一段时间质子磁矩取向 $\vec{H}_0$ 方向，当突然去掉 $\vec{H}_0$，这时质子磁矩因受到地磁场的作用。将逐渐回到 $\vec{T}$ 的方向去，由于质子存在着自旋所以此质子磁矩将绕地磁场 $\vec{T}$ 做自由旋进运动，即“质子旋进”又称拉莫尔旋进。

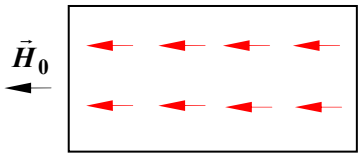


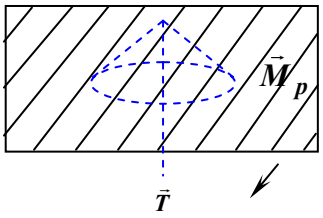
无磁场作用时，取向无规则的氢质于磁矩




地磁场作用下的氢质子磁矩取向



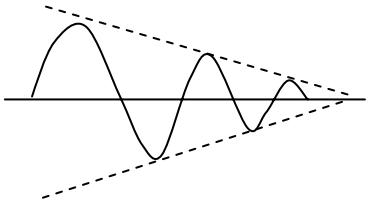

人工磁场作用下的氢质子磁矩取向




在探头中氢质子磁矩合成 $\vec{M}_p$ 在人工磁场 $\vec{H}_0$ 去掉后绕地磁场 $\vec{T}$ 旋进在探头中感应出“旋进讯号”

本仪器灵敏元件探头的基本结构是一个充满了煤油的螺线管形线圈，使线圈轴线垂直于地磁场，磁化时线圈中通以直流电流产生磁化磁场 $\vec{H}_0$ 使质子磁矩的合成向量 $\vec{M}_p$ 沿 $\vec{H}_0$ 取向，经过一段时间，断开磁化电流，去掉 $\vec{H}_0$ 后，质子合成磁矩 $\vec{M}_p$ 绕 $\vec{T}$ 旋进。质子旋进切割线圈，在线圈中感应出随时间按指数衰减的旋进信号来，其幅度为数微伏，衰减时间约2秒。

质子旋进信号波形：



旋进信号的频率：$f_p$ 与地磁场总向量绝对值 $T$ 有如下关系：

$$T = \frac{2\pi}{\nu_p} \cdot f_p$$

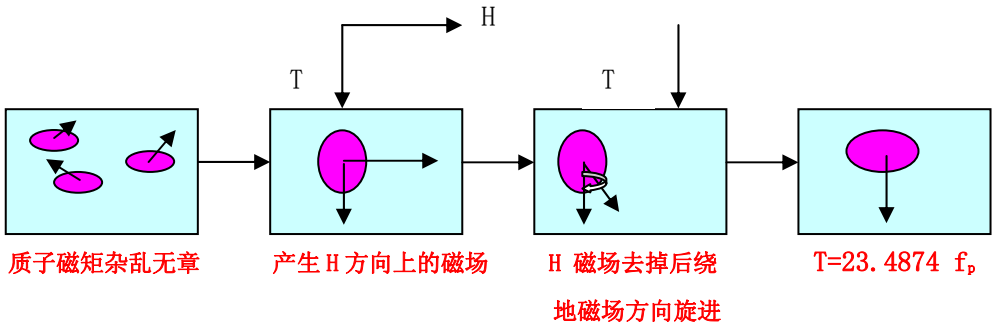
质子旋磁比 $\nu_p = (2.67513 \pm 0.00002)/10^4$ 弧度 / 高斯・秒

则 $$T = 23.4874 f_p (nT)$$

因此 $$1nT = 0.042576Hz$$

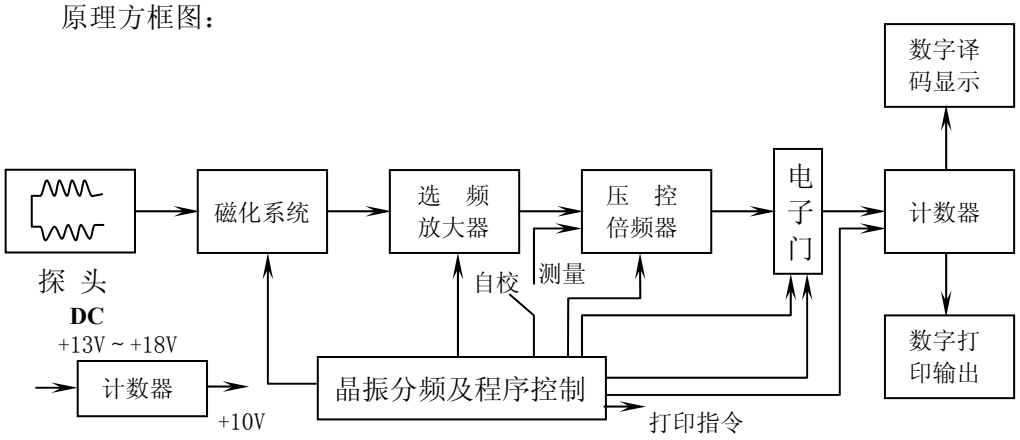
$$1Hz = 23.4874nT$$

由此可见，地磁场与旋进频率成正比关系，因而地磁场的测量便转化为频率测量。




**2、质子旋进频率的测量**

原理方框图：




仪器测量部分主要是一个能以 $2\times10^5$ 的精度测量频率为 $1360Hz\sim3040Hz$ （对应地磁场**31942nT～71401nT**）质子旋进信号的数字式频率计。

通过适当选择电路参数，可使仪器直接显示地磁场强度值。

当按动一次工作微动开关，在程序控制器的控制下磁化系统开始工作，即有磁化电流流经探头，探头线圈中产生数十奥斯特的磁化磁场经4秒左右，磁化系统关闭，人工磁化场消失。由于质子旋进，切割线圈在探头中感应出旋进讯号 $f_p$ 来，适当选择探头配谐电容$C_0$使其和探头线圈电感$L_0$谐振在 $f_p$ 上，使选频放大器的输入端获得最大的信号。经选频放大器进行选频放大，进入倍频器。倍频器将 $f_p$ 倍频128倍，经电子门送入计数器。由显示器显示地磁场总向量的磁场值。

**3、怎样直读地磁场**

**CZM一2**型质子磁力仪实际上是一个特殊的数字式频率计，适当选择倍频数及门时间，可以实现直读地磁场，以减少计算工作量，数字频率计的工作原理是计数器在单位时间内所记下的脉冲数目。

在本仪器中．若电子门开启时间为t，倍频器输出频率为 $fP_M$，则显示器的读数**N**。

$$N = fP_M t = kf_p t$$

式中: $fP_M$ : 倍频后的旋进讯号频率

**K**: 倍频器的倍频系数

$\mathbf{f_p}$: 质子旋进信号频率

由于地磁场 $T = 23.4874 f_p$，如果要显示器的读数直接显示地磁场值则需 $T = N$；

即 $$T = N = 23.4874 f_p = Kf_p t$$

式中K、t是待选定的常数，上式可写成

$$Kt = 23.4874$$

当选择倍频器的倍频系数 $K = 64$，则电子门开启时间 $t = \frac{23.4874}{64} = 0.36699$ 秒

实际电路中取 $K = 128$，因此在计数器前面增加一级二分频。

计数器输入信号频率的实际值为 $fP_M / 2$，相当于 $K = 64$，因而显示值仍然是地磁场值。

**各部件工作原理：**

**一、探头**

本仪器的探头由两个参数相同的长形管状多层线圈反向串联而成。由于两个线圈反向串联，其磁通方向相反，当外来干扰场同时作用于两个线圈时，干扰感应电动势在总输出端刚好抵消，从而高了探头的抗干扰能力。

为了提高旋进信号幅度在探头两端并联了可以换档(24档)的调谐电容，调谐范围对应于 $32000nT - 70000nT$ 。

设探头线圈总电感量为 $L_0$，调谐电器为 $C_0$

则谐振频率 $$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}$$

本仪器靠改变配谐电容来实现调谐提高信号幅度的目的。

**二、磁化开关电路**

当磁化脉冲高电平时，其导通电流流过探头，即是磁化电流。

当磁化脉冲由高变低时，磁化电流断开，在探头上感应出质子旋进信号。

**三、前置放大器**

前置放大器采用变压器及场效应管做前级放大，以提高输入阻抗便于信号的较好传输，再经低噪音放大器放大由场效应管源跟随器输出给选频放大器。为了提高放大器的低频幅度，以便使测程加大，在前放中加有频率提升网络，实现展宽仪器测程的

目的。

主要性能

1、增益：　　≥500倍

2、带宽:　　1300HZ—3100HZ

3、选择性:　　$\Delta f = 150 \pm 50Hz$

**四、选频放大器**

选放由配谐电路及两级放大器组成：

配谐电路由跨接于第一级放大据输出和输入两端的**L**与**C**组成,通过改变**C**(由波段开关控制共分24档)来改变谐振频率。

计算公式：　$f_p = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

主要性能：

1、增益：≥1500

2、带宽：1360±40HZ-2960±100HZ

3、选择性：△f=25(底端)- 90HZ(高端)

4、输出不失真幅度≥2.4V

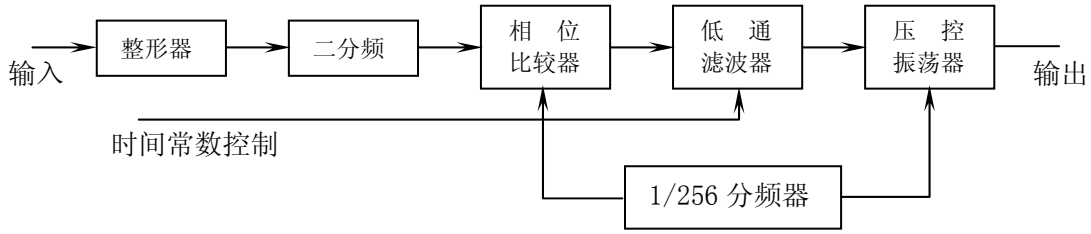
**五、倍频器**

组成：整形器、相位比较器、低通滤波器、倍频时间变换、压控振荡器及分频器等。

用途：提高测量精度和直读地磁场。

倍频器工作原理方框图：

经放大后的旋进信号进入倍频器整形级，变成频率仍为$\mathbf{f_p}$而具有固定幅度的脉冲，经二分频变成$\mathbf{f_p/2}$的固定幅度的方波，进入相位比较器，与压控振荡器输出经256次分




频后的方波进行相位比较，并输出一个频率为$\mathbf{f_p}$，宽度随两者的相位差而改变的方波，该脉冲经低通滤波后，输出一个与脉冲宽度对应的直流电压**V**,此直流电压与旋进信号频率成比例关系，由随旋进信号频率不同而变化的直流电压击控制“压控振荡器”的振荡频率$f_{pm}$，此直流电压与$f_{pm}$助成线性关系。由于锁相环路的控制作用使$f_{pm}$为旋

进信号$f_p$的**K**倍，从而可靠的实现**K**倍频。

**单元电路工作原理：**

1、整形器：将选放输出的旋进信号整形为具有固定幅度的矩形脉冲，频率与旋进讯号相同。

2、二分频：由于整形器输出的脉冲宽度随旋进信号的大小不同有差异，这将影响倍频器的精度，为此使整形后的信号变为对称方波其频率为$f_p/2$，使进入相位比较器的方波宽度只与频率有关而与信号大小无关，以提高倍频精度。

3、相位比较器：将二分频送来的信号**A**与“压控振荡器”输出经256分频后的信号**B**进行比较。

异或门逻辑函数式为：

真值表

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 0 | 1 | 0 |
| B | 0 | 1 | 1 | 0 |
| C | 1 | 1 | 0 | 0 |

$$C = \overline{A}B + A\overline{B}$$

相位比较器输出一脉冲宽度随相差而不同的脉冲。

4、低通滤波器，相位比较器输出的脉冲经滤波(积分)使之成为三角波，再加到比例积分滤波器进行低通滤波，再经送入“压控振荡器”。

低通滤波器是将脉冲信号变为直流输出，在整机工作中。滤波的时间常数的大小与压控锁相环的跟踪转换速度及输出直流分量的纹波直接相关，当小时间常数时跟踪速度快，但纹波大，倍频精度差，而大时间常数的跟踪速度慢，但输出纹波小，为了使倍频器跟踪速度快，而纹波又小，本仪器采用了由小时间常数向大时间常数变换的控制机构。当时间常数控制为低电平时$\mathbf{MD_{12}}$导通即将$R_{46}$短路，此时为小时间常数，在信号到达以后锁相环快速进行跟踪转换，经约**60mS**时间常数控制发出高电平$\mathbf{MD_{12}}$截止，开始大时间常数，此时倍频器已实现**K**倍频，且压控电压纹波小，$\mathbf{f_{pm}}$较为精确，此时计数器的电子门才开启计数。

5、压控振荡器：是一个多谐振荡器，当旋进信号由**1300**—**3100Hz**变化时压控输出为其128倍，即输出一个频率范围**166.4KHz**～**393.8KHz**的方波，并保证“压控振荡器”输出的方波随压控电压线性变化。

6、1／256分频器由两个四位二进制加法计数器组成，实现256次分频。

倍频器主要性能：

(1) 倍频器倍率:128倍

(2) 输入讯号频率：1300Hz—3100Hz

(3) 输入信号幅度：0.3V－3V

**六、晶体振荡器及分频器**

主要技术指标：

（1）输出频率：f=1071456Hz

（2）准确度：$1\times10^{-5}$

（3）稳定度：$\pm1.5\times10^{-5}$／8小时

（4）温度漂移：$<\pm3\times10^{-7}$／℃(晶体)

本仪器采用中精度JA16型石英晶体振荡器，以获得精确的门时间。

石英晶体振荡器也是**LC**型振荡器，本仪器采用频率变化率小的一级门方式用一级反相器**CMOS**门电路组成。用一级反相器作输出。

**七、程序控制器：**

程序控制器主要是发出按一定程序排列的指令信号，使系统具有能够自动磁化，及按照一定时间顺序自动完成，切断磁化电流，控制选放继电器的通断，分频电路复位，时间常数转换，控制门时间通断，计数器复位，计数，显示亮灭等。

当按动一下工作开关(微动开关)给出一个正脉冲，触发器翻转，给出一小高电平，发出使前放入口继电器吸合的指令，使探头与前放输入端断开，此时可以进行磁化。发出磁化指令，便磁化系统工作，探头开始磁化。

与此同时约4秒后即发出使磁化系统停止工作(断开)的指令，磁化终止。使所有这些分频器及触发器处于工作状态。

由晶振经10级二分频后的脉冲延时约6.69ms，加至触发器，此指令控制前放入口继电器，使继电器由磁化时的吸合状态变为释放状态，探头接入前放入口端，旋进信号进入放大器，即在磁化断开6.69ms后，信号进入放大器。

再经三级二分频延时约54ms，给出脉冲加至触发器翻转由原来的0变I,时间常数转换控制由原来的0(小时间常数)变为I(大时间常数)即是在信号在经放大，倍频后约54ms发出时间常数转换指令。

经分频后延时61.16ms，由输出脉冲加至触发器翻转,其输出端由0变到I，从而使计数器电子门开启，计数器开始计数。

继续分频经延时0.36699秒,给出的脉冲使原来的I变为0，使计数器电子门关闭，停止计数。

**八、自校信号的工作原理：**

由晶振经9级二分频获得频率为2.0926875KHz的自校信号，当自较与测量开关掷自校挡时，自校信号进行二分频，再经相位比较器及低通压控等进行倍频。

因为自校频率为2.0926875KHZ，所以本仪器自校读数为49152。

**九、计数器及显示器**

本仪器选择CMOS—LED光电组合件CL102型十进计数显示器做计数显示。

LED具有小型、耐用、省电以及发光色彩鲜艳等基本特征，是一种新型的固体显示器件，并具有低电压、小电流发光响应速度快，性能稳定寿命长、可靠性高、小型、防震、抗冲击、驱动显示电路简单等优点。

CL102型是完成一位数字显示的十进计数显示器，它以小型固体块的形式可完成计数—寄存—译码驱动—LED七段数字显示等多种功能。对数输入脉冲信号显示红色数字。

本仪器用CMOS—LED光电组合件使得整机耗电量小数字显示结构简单、方便可靠，也给维修带采方便，且有数字输出，使得本仪器可以用打印机和其它数字记录装置自动记录磁场数据。用户可以根据使用需要适当选择记录形式。

**十、稳压器：**

稳压器供给放大器，倍频器和程序控制器各电路一个+10V的稳定电压，该稳压器采用稳压管稳压，使用电压取自调整管输出端，当输出端被短路时，则因稳压管$D_9$上无电压便稳压器无输出从而起到保护作用。

## （二）主要技术指标

本仪器磁场单位采用**TESLA**(特斯拉),**1μT** 相当 **1000** 伽码，**lnT** 相当**l**伽码。

1、测程：32000～70000nT　分 24 档

2、灵敏度：lnT / 字

3、测量精度：

定点重复测量误差≤2nT

测量均方误差≤1.5nT

4、自校读数：49152±l

5、工作环境条件：

(1)测区地磁场梯度要求：

＊ 垂直梯度≤200 nT / 米　　＊ 水平梯度≤150 nT / 米

(2)环境温度范围：-5℃ ～ +45℃

(3)环境湿度≤85%(+30℃)

6、电源：标称电压：+14伏允许使用范围 +13V～+18V，

计数显示部分工作电压：+9～12V　工作电流≤200毫安

当工作电压为**14V**时，不磁化时整机工作电流≤80mA

当工作电压为**+14V**时，磁化时整机工作电流为1A左右

## （三）使用要求：

**一、对操作人员的要求：**

CZM-2型质子磁力仪操作员应按常规磁法仪器操作规范要求在用于地震予报的台站观测及航空海洋磁测地面日变站时，可以单台仪器进行工作,在进行高精度磁测，在地质勘探方面使用，则需用一台仪器在测区附近做日变观测，做日变规测的仪器跟据磁场日变量的大小及要求测量的精确情况来选择日变读数的时间，做日变观测可以将仪器探头置于室外，由一人操作兼记录。

野外工作时通常需2～3人，由一人拿探头，一人操作兼记录，或单独由一人记录。

操作人员应熟悉仪器的工作原理、性能、使用要求、操作、读数等，并能做一般的维修工作。

持探头的操作员，应去掉身上的所有铁磁性物体，如领勾、裤勾、小刀、铁质发卡、铁架眶境架、腰带卡子、铁质扣子、钢笔等。实际操作之前应检查持探头人员身上的铁器是否去除干净，检查的方法是让持探头人员靠近探头，用仪器读数测量，再让其远离。读数测量，没有影响读数时，则认为铁器已清除，可以开始工作。由于本仪器所采用的电池含有铁磁物质，因此要求探头与主体操作之间的距离要大于4米。

**二、测区的要求：**

对于高精度测量的测区应是电池干扰小，磁场梯度较小，一般高精度磁测梯度应小于10nT / 米，对梯度较大的测区应十分注意探头的定位准确度，否则测量均方差将比较大。在梯度较大的地区由于探头的定位，高度等因素难以保，一般不做测量均方差考核。

测区的垂直梯度应≤200nT / 米、水平梯度应≤150nT/米。

**三、电源：**

CZM—2型质子磁力仪要求整机工作直流电源为+13－18V，而计数器和显示器电源需要9－12V，千万不能接错，如计数显示部分电源高于12伏将使计数显示部分损坏。

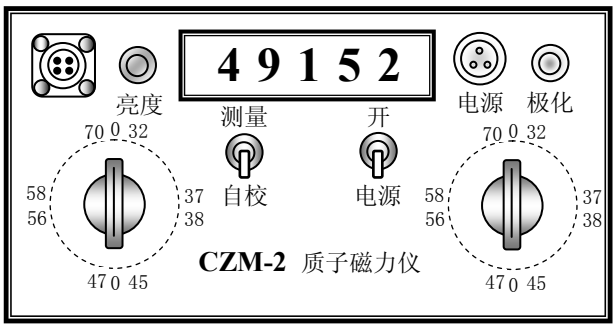
(注意：本仪器所备电池盒，为12节电池，共15V－18V，其中12V电源自中间抽头引出)。

CZM-2型质子磁力仪野外测量电源可采用普通1号电池12节或镉镍电池12节装于仪举所备电池盒内。如室内应用甲电池或两组输出电流大于2A的稳压电源。

## （四）操作说明

本仪器装有电源开关，当电池盒的连线与主体电源插座接通后，开启电源开关，电源接通，待工作完后应立即关掉电源并拔下电源插头。

仪器面板图：




仪器面板上装有自校与测量开关，接通电源后，先不要接探头线。即可进行自校检查，当开关掷向“自校”位置时按动一下工作
微动开关，待经4秒左右的时间后，显示器就显示出49152±1的数字，即表示自校正常。

在自校正常后，参照说明书中测程分布表来选择测区的配谐档选好后接通探头线．按动一下工作微动开关，经4秒左右的时间后
显示器应显示出所测点的磁场数字，连续工作几次如测量数字读数重复即开始测区的工作，如读数重复性较差则应适当变换探头及放
大器的配谐档，选择读数重复性最好的档位进行工作。

每一观测点应连续读2～3次，如两次读数重复则可不必读第三次，将两次或三次读数的算术平均值为该点的读数数据。

测程分布表：

| 测程档 | 谐振中心频率(Hz) | Δf(Hz) | 对应地磁场nT |
|---|---|---|---|
| 1 | 1360 | 40 | 31942 |
| 2 | 1400 | 40 | 32882 |
| 3 | 1440 | 40 | 33821 |
| 4 | 1480 | 40 | 34761 |
| 5 | 1530 | 50 | 35935 |
| 6 | 1580 | 50 | 37110 |

**注意：**

因本仪器全都采用集成电路，CMOS器件在检修测试时全部测试仪器应有良好接地。焊接时电路铁外壳应良好接地，或采用电烙铁与电源线断开。以免器件发生损杯。

1．野外工作需 2-3 人，一人拿探头，一人操作，一人记录。 持探头人员需去掉身上所有铁磁性物体。探头与仪器应相距 〉4m 。

2. 测区要求

⑴. 高精度磁测梯度应〈 10 nT/m .

⑵. 测区的垂直梯度应 ≤ 200 nT/m ,水平梯度应 ≤ 150 nT/m

⑶. 梯度较大的测区注意探头的定位准确度和探头的高度。要求探头的轴向应垂直与地磁场。

3. 仪器的操作步骤

⑴. 接通电源，打开电源开关。(工作完毕应立即关闭电源。)

⑵. 先不接探头线，将自校与测量开关打到“自校”，按一下工作微动开关，待 3 秒钟以后显示器显示 49152 ± 1 的数字时，表示仪器自校正常。

⑶. 适当选择测区的配谐档，然后接通探头线，按一下微动开关，待 3 秒钟以后显示出测点的磁场读数，连续读数，若读数重复，即可开始工作，若读数重复性不好，则应适当变换探头及放大器的配谐档，直至读数的重复性好才能工作。

⑷. 每一观测点应连续读数 3 次，若两次读数重复则不读第三次， 然后将读数取均值。

# 仪器六 CR-20B探地雷达测量系统

探地雷达利用主频为数十兆赫至千兆赫波段的电磁波，以宽频带短脉冲的形式，由地面通过天线发射器发送至地下，经地下目的体或地层的界面反射后返回地面，为雷达天线接受器所接受，通过对所接受的雷达信号进行处理和图像解译，达到探测前方目的体的目的。由于雷达探测速度快、精度高，以及对原物体无破坏作用，所以在工程领域中有广泛的应用。

探地雷达目前已经广泛应用于如下方面：

- 探测松散堆积层与基岩界面
- 探测地下水的水位线
- 探测软弱破碎带(断层)的位置及规模
- 对规模较大的裂隙及洞穴的位置和规模的确定
- 坑道开挖掌子面前 50 米范围内的地质构造和地质灾害预测
- 公路路基场坪地基混凝土结构质量检测
- 各类地下管线探测
- 地下埋设物探测
- 防空洞位置探测
- 超浅层地基探测
- 隧道砼厚度与钢支撑密度施工质量检测
- 地基注浆质量检测
- 飞机场跑道、滑行道、停机坪病害及施工质量检测
- 铁路路基与高速公路路基病害及施工质量检测
- 地下及隐蔽工程水渗漏检测
- 圈定人工填土范围与掩埋沟渠
- 地基土壤污染圈定

正是由于探地雷达有着很好的应用效果，从八十年代起，世界上许多国家都对它进行了不断的研究与开发。随着电子技术和计算机技术的发展，这种研究开发仍在继续。

## 一、CR-20B 雷达系统

1. CR-20B 雷达主机
2. 收发天线：50MHz、100MHz、300MHz、750MHz、1000MHz 手持天线
3. 供电系统：12V 蓄电池（24Ah 以上）或专用室内开关电源

## 二、CR-20B 主机硬件配置

1. 工控级 CPU 主板、Windows98 系统

2．20G 硬盘

3．10.4 英寸高分辨液晶屏

4．触摸屏

5．12V 供电

6．标准 USB 口（符合 1.0 标准）、CRT 口、键盘口

7．具有与计算机并口传输数据能力

图 1

## 三、CR-20B 雷达系统的联接

### 1．天线的安装

a. 50MHz、100MHz 天线的安装

将收发天线的把手与天线主体联接，将 4 根短金属杆与 4 根中长金属杆一一相接，并分别接在收发天线主体的中心孔上；再把 4 根长金属杆固定在收发天线主体的外侧孔上；将 8 根短金属杆分别接在长金属杆两端。将 12V 专用电池（IDR-413）和 50MHz 天线专用发射源之两根输出插针对正天线上面两个输入插孔插接在发射天线的相应位置。将电池上三芯插头接在发射源上，50MHz 天线安装完毕。100MHz 天线安装即拆除 8 根短金属杆即可。

注：使用专用天线固定杆可将 50MHz、100MHz 收发天线的间距进行调整与固定。天线固定 杆均可通过螺栓联结成一体固定杆。

如图 2 为 50MHz 天线，图 3 为 100MHz 天线，图 4 为专用天线固定杆。

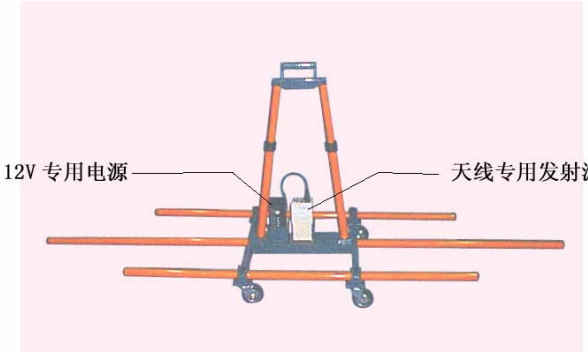



图 2

图 3

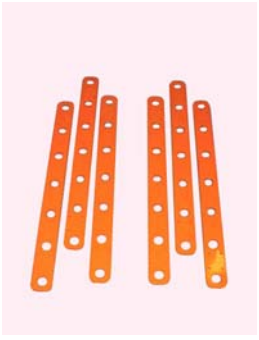


图 4

b. 300MHz、750MHz 天线及 1000MHz 手持天线的安装

将天线推拉杆与 300MHz 或 750 MHz 天线以螺栓联接，通过调节天线联接杆的固定位置，可改变收发天线的间距。如图 5（300MHz 天线）、图 6（750MHz 天线）和图 7（1000MHz 天线）。

图 5

图 6

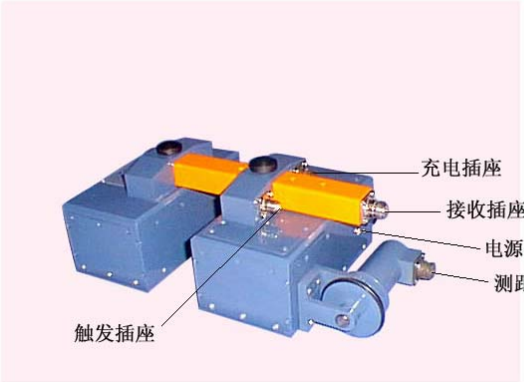



图 7

## 2．CR-20B 雷达系统的联接

CR-20B 主机面板

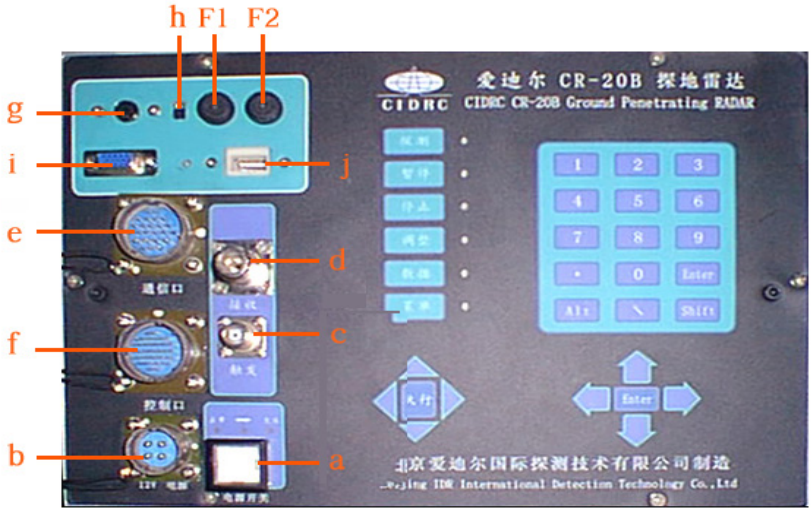



图 8

a. 电源开关——按下此键，启动 CR-20B 雷达主机，该键显示为红色。如果欠压灯亮起，请尽快将图像数据文件存盘，并给电池充电。

b. 电源插座（4 芯）——12V 输入，可接蓄电池或室内专用开关电源。

c. 触发插座——与发射天线联接。

d. 接收插座——与接收天线联接。

e. 通讯插座（24 芯）——用于与计算机进行数据传输。

f. 控制插座（32 芯）——用于联接天线上测距轮或联接天线配用探测控制盒。

g. 键盘插座——用于外接键盘。

h. 键盘开关——向上拨，外接键盘控制操作；向下拨，主机面板右区功能键控制操作。

i. CRT 插座——用于外接显示器。

j. USB 插座——符合 USB1.0 标准。

F1——5A 保险丝。

F2——3A 保险丝。

**3. 线缆的联接**

a. 电源线：专用 12V 电源线（IDR-321），一端 4 芯插头接在 CR-20B 主机的电源插座上，红、黑（绿）夹子分别夹在蓄电池的正负极上，注意不要夹反。如在室内操作，可使用专用室内开关电源（IDR-411），该开关电源输入 AC220V，输出 DC12V。电源供电线与主机连接好之后另一端才夹上电池或插进电源插座，检查无误后再开启雷达主机电源开关。

图 9　12V 专用电源线

图 10　专用室内开关电源

b. 发射/接收信号线：两根 15 米长的专用电缆（IDR-312、IDR-313）用于主机与天线的联接，使用时将线缆两端的插头分别接在 CR-20B 主机与天线的相应插座上，注意线缆尽量不要绕结。该信号线拧接过程中，只能拧接接头上的可拧动部分(图 11)。

c. 测距仪线（IDR-341）：300MHz 天线、750 MHz 天线、1000 MHz 手持天线上均装有测距仪，使用 15 米长测距仪线可完成测距仪与 CR-20B 主机的联接。联接方法：将测距仪线的 32 芯插头接在主机控制插座上，5 芯插头接在天线测距仪插座上(图 12)。

图 11

图 12

d. 探测控制线（IDR-331）：使用 50MHz 天线或 100MHz 天线探测时，如进行单点采集和打标记，需联接探测控制盒（IDR-412），将 15 米探测控制线一端（32 芯插头）接在 CR-20B 主机的控制插座上，一端（4 芯插头）接在探测控制盒上(图 13)。

e. 数据通讯线（IDR-351）：将数据通讯线一端（24 芯插头）接在 CR-20B 主机的通讯插座上，另一端与计算机并口相接，可进行雷达主机与计算机之间的数据传输(图 14)。

图 13

图 14

## 四、CR-20B 雷达系统的加电与开机

### 1. 主机加电

室外测试时一般使用 12V 蓄电池（应采用 24Ah 以上的蓄电池，约可工作 4 小时左右）给主机加电，将专用电源线（IDR-321）与蓄电池相接，按下雷达主机电源开关即可启动，进入探测程序。

室内使用雷达时可接专用开关电源（IDR-411）,将开关电源的一端（4 芯插头）与主机相接，另一端接 AC220V。注意：先打开开关电源，开关电源上指示灯亮后，再开雷达主机；关机时先关雷达主机，再关开关电源，指示灯灭后，再拔下插头。

### 2. 天线加电

50MHz 天线、100 MHz 天线加电：将天线所用发射/接收信号线、探测控制线与主机联接，将天线上专用 12V 电池（IDR-413）的 3 芯插头与专用发射源相接，打开发射源开关（“I”为打开，“O”为关上），天线即可正常工作。

300 MHz 天线、750 MHz 天线、900 MHz 天线、1000 MHz 手持天线加电：将天线所用发射/接收信号线、测距仪线与主机联接，打开天线上开关，指示灯亮，天线即可正常工作。

### 3. 开机预热

雷达主机开机后，需预热 30 分钟，系统工作状态稳定后再进行探测。

### 4. 蓄电池与天线专用电池的充电

a. 主机用蓄电池（12V，24Ah 以上）充电：

当主机欠压指示红灯亮时，蓄电池电压小于 10.75V，应使用大于 40A 的充电器对其进行充电。

b. 天线用专用电池充电：

50MHz 天线、100 MHz 天线上使用 12V 专用电池，当电压小于 10.8V 时，应对其进行充电。具体方法：将充电器接入市电，绿灯亮表示等待充电，将充电器线（IDR-360）的 3 芯插座接在电池上，将红、黑小夹子分别与充电器的红、黑夹子相接（图 15），充电器红灯亮表示正在充电，绿灯亮充电完成。

300 MHz 天线、750 MHz 天线、900 MHz 天线、1000 MHz 手持天线的电池装在天线内部，当电压小于 10.8V 时，应对其进行充电。具体方法：将充电器接入市电，绿灯亮表示等待充电，将充电器线（IDR-361）的 3 芯插头接在天线的相应插座上，将红、黑小夹子分别与充电器的红、黑夹子相接（图 16），充电器红灯亮表示正在充电，绿灯亮充电完成。

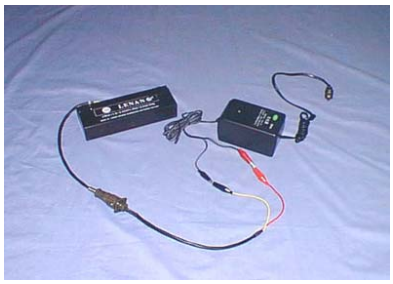


图 15

图 16

**五、特别注意事项**

**1. 严禁在开机状态下更换蓄电池。**

**2. 关机后，再次开机需等待半分钟后。**

**3. 使用 50MHz 天线、100 MHz 天线探测时，需先设置雷达主机的触发频率（各个发射源盒上均有提示），以免损坏发射源。**

**4. 发射/接收线为高频电缆，连接时尽量舒展，避免硬折。**

**5. 具有航空插头的电缆在与主机或天线插座相接时，注意对准相应的凸凹槽，务必注意只旋拧插头可转动部分，以免损坏电缆插头。**

**6. 当雷达主机欠压指示灯亮时，需尽快将探测数据存盘，并将蓄电池换下充电。**

**7. 雷达主机的液晶屏装在上盖内，长期使用后如出现上盖松动，可用一字螺丝刀顺时针拧紧上盖转轴两侧螺钉。**

## 六、CR-20B 雷达的故障检查与排除

| 故 障 现 象 | 检 查 与 排 除 |
|---|---|
| 电源指示灯不亮、显示器不亮 | 1． 检查电源线是否接好。<br>2． 检查蓄电池是否有电。<br>3． 检查保险丝 F2（5A）是否损坏。 |
| 在波形调整状态下，波形图上无基线 | 1．检查保险丝 F1（3A）是否损坏。 |
| 波形图上有基线无波形 | 1． 检查触发/接收信号线是否接好。<br>2． 天线上电源开关是否打开。<br>3． 波形可能不在时间窗内，请按“寻波形”功能键寻波形。<br>4． 检查天线电池是否需要充电。 |
| 波形图上波形较小，不能停在时间窗内 | 1． 检查触发/接收信号线是否接好。<br>2． 请增大波形放大倍数。<br>3． 检查天线电池是否需要充电。 |
| 测距仪工作不正常 | 1．检查测距仪线是否接好 |
| 探测控制盒工作不正常 | 1． 检查探测控制线是否接好。<br>2． 检查耳机是否正常。<br>3． 检查电池是否需要充电。 |
| 其它故障及不能通过上述手段排除的故障 | 请与制造商联系。 |

**附：探测控制盒的使用**

探测控制盒用于使用 50MHz 天线或 100MHz 天线探测时单点采集与打标记。使用方法：

（1）用两根 15 米长的发射/接收信号线将天线与雷达主机连接，用 15 米长的探测控制线一端（32 芯插头）接在雷达主机的控制插座上，一端（4 芯插头）接在探测控制盒上。

（2）将耳机插在探测控制盒的耳机插孔上。

（3）打开探测控制盒开关，指示灯亮。

（4）雷达主机处于探测状态，进行逐点采集探测时，按一下探测控制盒上的“单采”键，听到耳机“嘟”声，完成一次单采集。

（5）雷达主机处于探测状态，进行连续或逐点采集探测时，按一下探测控制盒上的“打标”键，听到耳机“嘟”声，完成一次打标。

（6）探测控制盒使用 6V 电池，当电压低于 5.6V 时，需将盒盖打开更换电池。

# 探地雷达的使用操作

## 一、探地雷达主机面板功能键的组成

CR-20B 雷达主机操作面板是由液晶显示屏、操作键以及外接电缆插座组成。显示屏安装在机壳上翻盖内，显示屏上有触摸键。在机盒面板上安装有功能键、外接电缆插座板、键盘、显示器插座、USB 接口和电源开关等，见图 1。

图 1

### 1.1 固定功能键

功能键在面板的右半部，共 31 个键。其中一列由上至下的 6 个键（面板中部）是主要操作键，其名称：

“**探测**”在调整好参数以后，按此键开始探测；

“**暂停**”在探测过程中，按此键可暂停探测，再按此键继续；

“**停止**”探测完毕，按此键结束；

“**调整**”设置调整各探测参数；

“**数据**”用于与计算机相连后，传输数据；

“**菜单**”切换界面中的各个菜单。

这 6 个键具有探测采集数据和调整波形等功能。在采集数据储存文件命名时，除“**停止**”键（A 字符）外，都可以用作字符输入。面板右侧的 20 个键为数字、方向、ALT 和 Enter 等键，分别用于数字输入、移动光标、构成组合键和确认等功能。

面板中部最下面有“**执行**”键，它的周围有上、下、左、右 4 个方向键。“**执行**”键用于触摸菜单选定后的执行操作，4 个方向键用于移动选择软菜单。

这 5 个键的如下：

**“执行”**，在选定功能键后，按此键确认；

“▲”用于选定屏幕右侧菜单的各功能键（上移）；

“▼”用于选定屏幕右侧菜单的各功能键（下移）；

“◄” 用于选定屏幕下侧菜单的各功能键或其他组合键（左移）；

“►”. 用于选定屏幕下侧菜单的各功能键或其他组合键（右移）。

在菜单功能键选定后，使用**“执行”**键执行操作。在连续探测过程中也可使用**“执行”**键进行打标定位。在储存数据文件时可以使用上述键所代表的字符命名（**“停止”**键除外）（其对应关系见附表 17）。

**开机之后屏幕进入主菜单，** 见图 2。

**图 2**

1.2 外接电缆插座

在操作面板的左侧下部（见图 1）有 5 个外接电缆插座，左侧由下至上：**“12V 电源”**插座用于联接直流 12V 供电电源；**“控制口”**控制插座用于与测距轮相联接；**“通信口”**通讯插座用于与计算机相联接传送探测数据。

紧靠这 3 个插座的右侧由下至上：**“触发”**插座用于与发射天线相联接；**“接收”**插座用于与接收天线相联接。

1.3 电源开关

位于外接电缆插座的右下角，安装有电源开关。按下此键，键上红灯亮，表示电源接

通。电源开关上面有 3 个指示灯，显示供电状态，注记有正常和欠压字样，电压正常时显示绿灯亮，电压不足时显示红灯亮。

1.4 键盘、显示器插座和 USB 接口

在操作面板的左上角“A 接口”（见图 1）为与键盘联接接口，用于外接键盘控制操作，一般在数据处理时使用，使用时将右边的拨动开关拨至上方。 “B 接口”为显示器插座接口，在没有主机显示屏配置的情况下使用，用于与便携机显示屏连接。“C1”和“C2”为保险丝。“D 接口”为 USB 接口，用于外接打印机、外接硬盘等即插即用设备。

## 二、探测软件主要操作步骤简要说明框图

### 2.1 探测前波形的调整和参数输入操作流程

a. 按主机开关

进入操作软件 RT7 版菜单 1 状态

b. 进入波形调整屏幕

按**“调整”**键

c. 振幅极值的调整

按**“↑”**键调到±1000mV

d. 根据天线类型选择触发率

同时按**“ALT”+【采集率】**键，输入“触发频率”数值

e. 根据探测深度确定时间窗口

同时按**“ALT”+“1 至 9”**任一数字键，再按**“← →”**微调窗口大小

f. 自动寻找波形

按**【放大数】**键使回波波峰最大值超过幅度档两格，先按**“0”**键，再按**【寻波形】**键完成自动寻找波形

g. 在窗口内调整好波形的位置

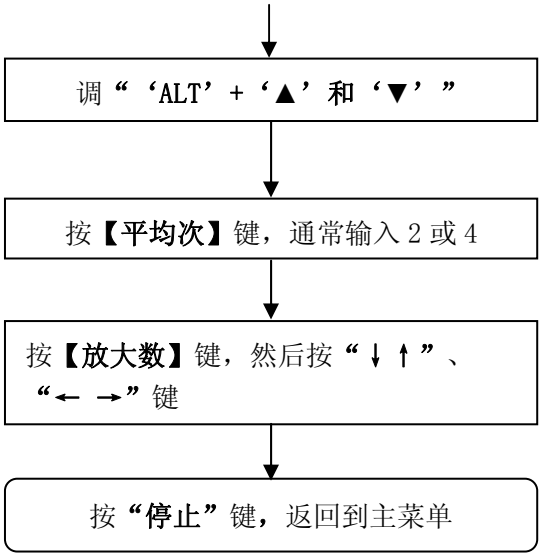
按**“1”“3”“9”**键由慢至快向右移动波形；按**“2”“4”“8”**键由慢至快向左移动波形

h. 使波形零线与纵座标零线重合

i. 波形不稳定时进行平均处理

j. 使波形幅度适中

k. 调整结束




## 2.2 输入文件大小和定位参数（在“调整”状态下）

a. 进入波形调整屏幕

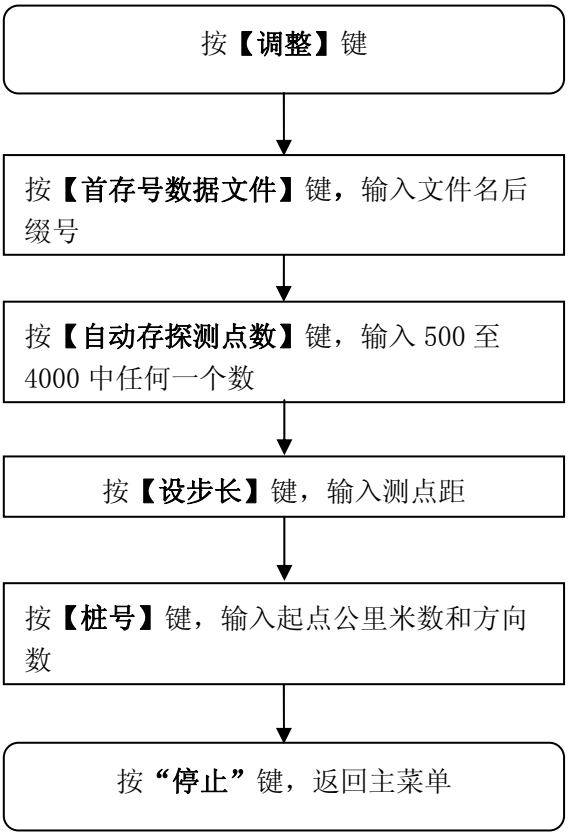
b. 设置文件名后缀

c. 设置文件的大小

d. 选择测点间距

e. 输入起始点桩号

f. 结束



## 2.3 测距轮的校正

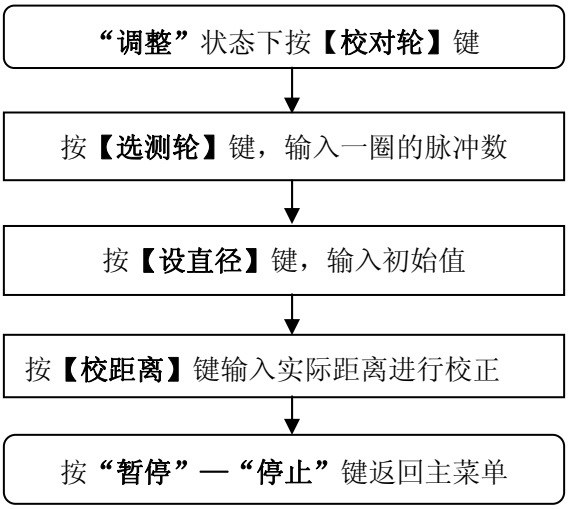
a. 进入测距轮校正屏幕

b. 设置测距轮脉冲数

c. 设置测距轮直径初始值

d. 校测距轮

e. 结束测距轮校正




## 2.4 连续探测

进入连续探测状态

a. 显示或不显示探测设置的参数

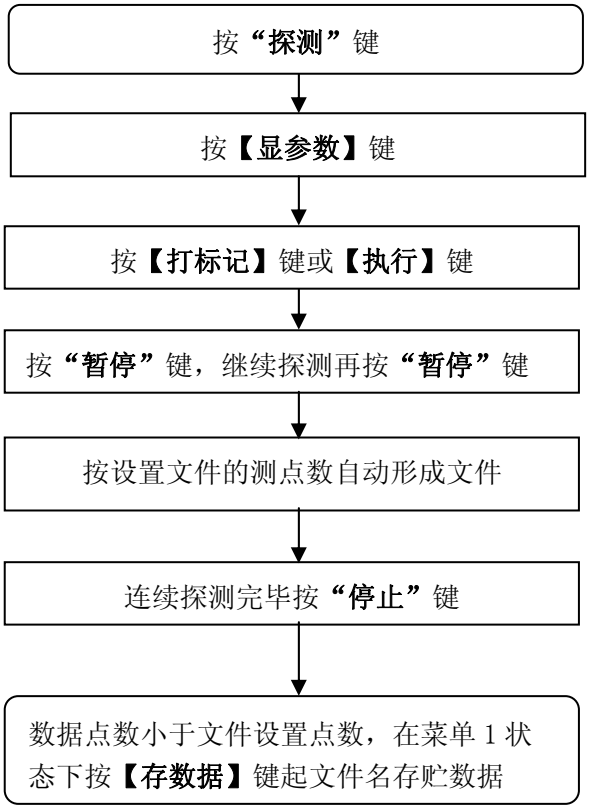
b. 探测过程中需打标定位

c. 探测中途需要暂时停止

d. 探测时数据自动形成文件存贮

e. 探测完毕

f. 探测数据点数小于设置文件点数时需要存贮数据



## 2.5 单点探测

a. 进入探测状态

b. 进入单点探测

c. 逐点探测采集

d. 探测中需要打标定位

e. 若探测中途需要暂停

f. 探测数据自动形成文件

g. 结束探测

## 2.6 测距轮控制连续探测

a. 首先进入探测状态

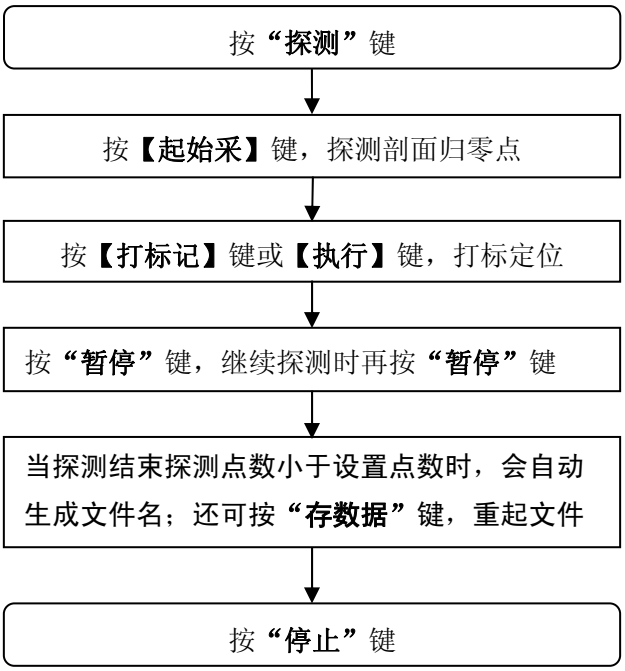
b. 进入测距轮控制采集数据

c. 探测时标记地物打标

d. 若探测中途停止

e. 探测数据自动形成文件

f. 探测结束



## 三、开机

按下电源开关红灯亮，主机接通电源，进入雷达探测软件工作界面菜单 1，见图 2。

屏幕右侧显示菜单**【数据分析】**、**【浏览数据文件】**、**【选择路径】**、**【中辨图】**和**【清理硬盘】**。

屏幕下方显示菜单**【调时间】**、**【设参数】**、**【存数据】**和**【传数据】**和**【WIN】**。

- **【数据分析】** 用于从雷达探测工作界面转换到雷达数据处理分析界面，按“ALT”+**【数据分析】**键，由雷达探测 RT7 版界面转入雷达数据处理版界面。
- **【浏览数据文件】**—查阅现行路径上的数据文件目录。
- **【选择路径】**—用于确定文件所在的目录，在菜单 1 中，按“执行”的上下方向键“▲”和“▼”，“**选择路径**”键后按“**执行**”键，出现选择路径窗口，输入新路径后确认。
- **【中辨图】**—用于原始探测数据的显示。
- **【清理硬盘】**按【清理硬盘】键，使用系统软件对硬盘进行扫描清理空间。
- **【调时间】**—设置主机的日期和时间。
- **【设参数】**—一般用户不使用。重新设置硬件参数时使用，按**【设参数】**键输入参数。
- **【存数据】**—键入文件名存储数据文件。
- **【传数据】**—用于主机向另一台电脑传输数据，按**【传数据】**键，进行雷达主机至计算机之间的数据传输。
- **【WIN】**按此键，返回 windows98。

## 四、调整波形和输入探测参数

按“**调整**”键，屏幕上显示出一个带有回波波形的窗口，同时在屏幕下方出现一个参数窗口，显示调整时的各种预置参数和回波参数。在屏幕底部有一套功能键菜单见图 3。

**注意：** 对任何一个输入参数窗口，进行输入时绝对不能输入 A 字符（“**停止**”键），否则，将取消对该窗口功能的使用。

同样，在设置文件名称时也不能使用 A 字符（“**停止**”键），否则，将终止现行状态，并转回到主菜单。

### 4.1 调整波形

a. 按**【调整】**键后，屏幕出现回波窗口和回波曲线，根据设备所配置的天线类型不同，选择触发率，按“ALT”+**【采集率】**组合键，输入触发率。使用不同的天线输入不同的采集率值，见附表 16。

b. 根据不同探测深度的要求，输入探测时间窗口（参照表 14 根据介质的相对介电常数和目标最小深度估计探测时间窗口）。

图 3

按“← →”键可以改变时间分率数由 1 至 8，一般要按“→”键使时间分率数为 8。

同时按下“ALT”+ 1 至 8 中任何一个“数字”键，可以设置 8 个最大时间窗口：10ns、20ns、50ns、100ns、200ns、500ns、1000ns 和 2000ns。如果在已选好的最大窗口内，细调缩小时间窗口，按“←”方向键，时间分率在缩小。

c. 调整好延时时间项使该项等于零值，如果该项是一个很大的数值时（5000），回波波形会有畸变。按“ALT”+“→”组合键，调整延时时间项为零。

d. 自动寻找接收波形

使用数控水平电位器进行波形寻找，首先将幅度档调到最大值±1000mv，然后按**【放大数】**键，调整到一个合适的数值，使回波波峰超过幅度档 2 个格。自动寻找波形时，先按“0”键使可调时间回到零点，再按功能键**【寻波形】**，雷达主机将自动搜索波形并停留。

e. 微调波形的位置

找到波形之后，要求波形在窗口内处于合适的位置；即波形曲线第一个波峰前部的平直段处在从零点起约占一格半左右（见图 3）。当波形首峰位置不合适时，使用数字键对波形位置进行微调，方法如下：按“1”或“2”键（调整 1K 电位器）波形向右或向左“小间隔”移动；按“3”或“4”（调整 10 K 电位器）波形向右或向左中间格移动；按“8”或“9”键（调整 50K 电位器）波形向右或向左“大间隔”移动。

在波形图底部排列有：**L=** 、**m=** 、 **h=** 、**t=**，4 项表示 3 个电位器调整间隔和调整窗口的最大时间位置。**1K**、**10K** 和 **50K** 电位器，每个都有设置 **1—100** 档，**L**、**m** 和 **h** 表示 **3**

个电位器分别调整的档数，（L、m、h 最大值为 100，t 最大值可达 5800ns）。

f. 波形线条颜色显示

按数字“6”键，波形曲线呈绿色停留显示；连续按“7”键可选用不同颜色停留显示波形曲线；按数字键“5”清除不同颜色停留显示波形曲线。

g. 调整波形曲线的“零基线”。使用面板上“ALT”+“执行”键的上、下键（“▲”或“▼”）进行调整，使波形曲线第一个波峰前平直部分与纵坐标中央零水平线重合。

h. 按【**放大数**】键，屏幕上显示出一条黄色水平线，表示窗口内各时间坐标点上波形振幅增益的情况。按“↑↓”键，将波形幅度调整适中，使最大正、负峰与纵坐标顶、底线(1000mv、-1000mv)之间留有 1 至 2 个空格的间距。为了使波形曲线后半部弱小回波信号增大，可以按“←”键使黄线的后半部上翘，这时后半部波形随之增大；连续按“→”键，黄线后半部逐渐拉平，使后半部波形放大逐渐减小。使用低频天线进行深层探测时，通常要把波形后半部分进行指数放大，便于分析弱小回波。

当波形放大调好后，再按【**停止**】键恢复原状，结束调整。

i. 若波形变化不稳定，按【**平均次**】键，输入平均次数，（通常选 2 或 4）。平均次数越多，波形越光滑，但图象显示速度减慢。

j. 标准点的使用

用于把当前正在进行调整的波形与以前探测文件中的波形进行对比。首先按【**浏览数据文件**】键，查看目录，用绿标选定要做对比的探测文件名，按【**取数据**】键将文件读取进入现行工作区，然后进入波形“调整”状态，按【**标准点**】键，屏幕左上角出现输入窗，输入现行工作区文件中对比回波的测点号，波形显示窗内出现一条黄色对比波形，与当前调整的波形进行对比，根据探测要求调整当前波形的一些参数。

k. “ **放大器参数存储**”，使用该功能可以将已调整好的波形参数存储起来。

l. “**放大器参数选择**”使用该功能将已保存的波形参数提取出来。

## 4.2 测线定位参数的输入

a、输入桩号

首先按“**调整**”键进入波形调整状态。按【**桩号**】键，左上角出现窗口，输入公里数和米数，如果沿探测方向桩号递增时，输入一个非零数字，递减时输入“**0**”。 注意当输入桩号为零公里零米时，探测方向数不能输入零值。

b、输入步长

按【**设步长**】键，左上角出现窗口，以毫米为单位输入测点间距数值，在屏幕下方参数显示窗中“测点间距”项将显示输入测点间距的数值。

### 4.3 测距轮的校正

使用手持天线测距轮，一般不需要校对，测距轮由硬塑料制做，直径是固定的，要求用卡尺量准直径数值，探测前输入脉冲数/圈和测距轮直径数值即可。

在使用 100 脉冲/圈测距器时（手持天线测距轮），测距参数只有脉冲总数一项，没有车轮圈数、前进脉冲和后退脉冲参数显示，需要注意手持天线上的测距轮不管是向前或向后，脉冲总数始终向正方向增加。

### 4.4 设置自动形成文件名的后缀和文件的大小

在波形“**调整**”状态下进行此项工作。

a、设置文件名

雷达探测操作软件按‘日－时－分－秒’八位数字的顺序自动设置好文件名，不包括文件名的后缀。探测前，按**【首存号数据文件】**键，在窗口内输入 1～999 内的任意数，该数将成为自动形成文件名的后缀。当探测完毕，按“**停止**”键退出，再次进行探测时，文件名的后缀号将自动递增加 1。

b、设置探测文件的大小

按**【自动存探测点数】**键，输入数值 500—4000 内的任一数值。在探测过程中，雷达主机将按所设探测点数存储探测数据，并自动产生文件名。对于同一条测线来讲，设置的探测点数少，生成的文件个数就多；设置的探测点数多，在连续探测时生成的文件个数少。在两个相邻的文件间由于数据进行存贮时需要一定时间因此在文件之间容易丢失测点数据。如果一个文件探测的点数小于设置的点数，或超过设置测点数有了零头数，在测距轮控制的探测中或单点采集探测中主机都会自动生成一个文件，不会丢失数据，而在连续探测中需要使用**【存数据】**键对数据另外命名存储。

在调整和设定各项参数结束后，按 “**停止**”键，恢复到起始状态，这时探测可以开始进行。

**注意**：当输入的测点数小于 500 或者大于 4000 时，输入窗口不接受输入数值，并再次出现输入窗口，提示操作员再输入点数。

### 4.5 电源电压提示

在主机电源开关按钮上方，由左至右排列三个电压状态提示灯：在侧灯显示绿色表示电压在 10.9V 以上，电压正常；中间灯显示为黄色时，表示电压在 10.8V，临界欠压边缘，此刻应尽快将探测数据存盘，以免丢失数据；右侧灯显示红色表示电压 10.7V 欠压，主机不能继续正常工作。

# 五、探测

## 5.1 进入探测界面

探测数据的采集方式分单点探测（主要用于中、深层探测）、连续探测和测距轮控制探测（主要用于浅层探测）方式。不论采用哪种探测方式，都是用宽幅进行实时显示探测数据图像 。

**主菜单 1** 状态下按“**探测**”键，出现宽幅全屏的图像，屏幕底部显示有测点、丢点、文件名、桩号等参数以及一套 A 菜单（见图 4）。子菜单 A 中的 5 个功能键：

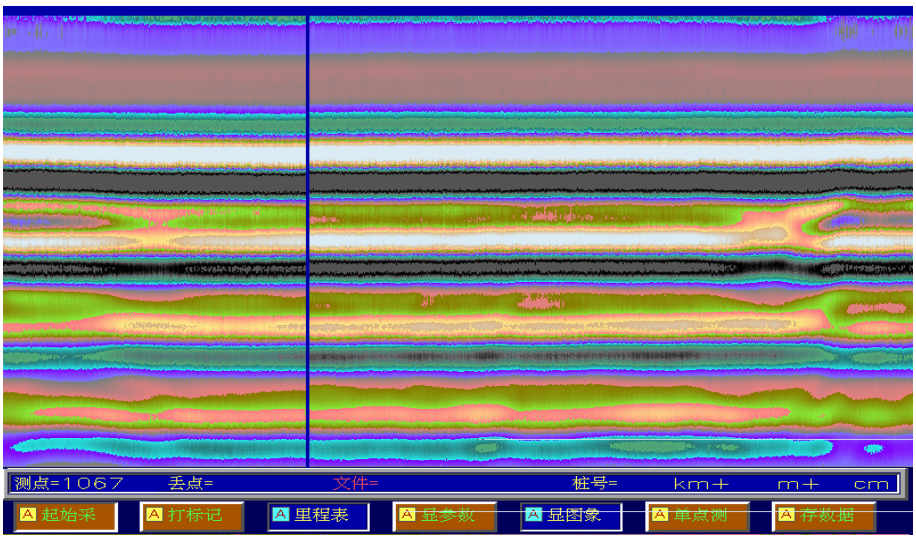



图 4

**【起始采】** 由测距轮转动控制采集探测数据；

**【打标记】** 探测过程中遇到明显的结构物标志，根据需要打标记帮助定位；

**【里程表】** 可以随时显示探测过程中的桩号；

**【显参数】** 可以显示探测中设置的全部参数；

**【显图像】** 可以控制探测图像的显示与否；

**【单点测】** 选用单点探测方式。

## 5.2 单点探测

a、按“**探测**”键后探测开始，再按“ALT”+**【单点测】**组合键后，自动清屏后，可以开始进行单点探测，每按一次“**探测**”键，采集一个测点数据，屏幕上增加一条彩色图像，底部窗口中显示探测点数，直至探测完毕按“**停止**”键。

b、回到菜单 1，数据可以自动存入预设的文件名中，也可按**【存数据】**键，输入文件名（用英文字母或数字表示，最多不超过 8 个字符，例如 F1010 注意一定不要有 A 字符）

存储数据，按二次“Enter”键完成输入和退出。

c、探测中， 按**【打标记】**键，在图像上打出 T1、T2、… 等标记。

d、使用深层天线探测时，使主机处于探测状态，按“ALT”+**【单点测】**组合键进行单点探测，或者是在主机处于探测状态下，使用天线上探测控制盒的单采集键和打标键进行单点采集和打标记的操作。使用探测控制盒时耳机的音响长短可以调整，首先使屏幕进入菜单“2”，按“遥控器设置音长”键，分别输入“探测音响时间”和“打标音响时间”，输入数值一般选 50 至 200。

e、在使用过程中如果控制盒的供电电池电压低于 5.5V 时，则应更换电池。

## 5.3 连续探测

a、按“**探测**”键，主机开始按等时间间隔采集数据，屏幕上显示连续图像。

屏幕底部的菜单 A 中**【显图像】**和**【里程表】**两个功能键自动工作，窗口内的测点剖面随探测时间在屏幕上由左向右移动。

如果不需要显示探测的图象可按**【显图像】**键，在探测中不显示图像，提高探测采集速率。在连续探测过程中可使用**【打标记】**键或**【执行】**键进行打标记。

b、若探测中途需暂停，按“**暂停**”键，探测暂时停止，再次按该键，探测继续进行，直至探测完毕。按“**停止**”键，探测结束，对少于自动存探测点数的数据，需要按菜单 1 的**【存数据】**键，输入文件名，按二次“Enter”键完成输入文件名和退出。

c、为确定地表零线，在使用 1000MHz 天线朝向天空探测采集数据时，应采用连续探测方式，一般采集点数在 200-400 点左右，使用**【存数据】**键进行存数据。

## 5.4 测距轮控制连续探测

a、按**【起始采】**键，测点数自动归零，随着测距轮转动进行采集数据，显示测点数和丢点数，显示桩号。屏幕上显示实时探测图像，屏幕下方实时显示测点数和水平距离的变化情况。

b、探测时，可按**【打标记】**键或**【执行】**键进行打标，在图像上显示打标记点“T1、T2、T3……”。

c、若探测中途停止，按“**暂停**”键，需继续探测时，再按“**暂停**”键，直至完毕，按“**停止**”键，探测结束。

d、探测中，按设置的探测点数自动生成文件名并存储。探测结束时，最后的剩余探测点数不足设置点数的数据，也会自动生成一个文件保存下来。也可以在主菜单 1 中按**【存数据】**键，输入文件名，储存数据。

# 六、数据文件的准备

## 6.1 确定探测文件所在路径

在**主菜单 1** 状态，按 **ALT+“选择路径”**键，屏幕左上角出现输入窗口。键入文件所在的路径，如 C：\D\确定使用文件所在路径。

## 6.2 读取数据

a、在主菜单 1，按【**浏览数据文件**】键，屏幕出现指定路径下的所有文件目录，屏幕

图 5

底部出现一套子菜单：**取数据**、**续数据**和**插入点**。（见图 5）棕色显示为当前可使用功能。按方向键↑ ↓ ← →移动绿色光标选取文件，选定后按下【取数据】键，屏幕左上角的窗口内显示文件名称、路径、文件大小和采集点数，并出现‘读取数据成功’字样，表示该文件被调出。

## 6.3 数据文件的联接

当一条测线由几个文件联接组成时，在处理之前需要将这些文件按顺序联接成一个文件进行处理。

a、**【取数据】**用绿色光标覆盖第一个文件名，按**【取数据】**键，回车后出现‘读取数据成功’字样。

b、**【续数据】**当一条测线由几个文件联结组成时，第一个文件读取之后，要按顺序联

接每一个文件，最后形成一个测线文件，用光标顺序覆盖被联接文件，按【**续数据**】键，每联接一次显示“读取数据成功”字样表示联结完成，一般联结总长度可超过 9000 点，当联结数据太长时，会提示“数据超长不能联接”。

### 6.4 数据文件的插入

在已经调出的数据文件中，需要插入另外一个数据文件时，在文件目录中找到需要插入的文件名，用绿色光标覆盖，按【插入点】键，屏幕左上角窗口指示需要插入位置的点数，输入后确认，这时出现显示窗，显示插入文件名、路径、文件大小和点数等，并显示“**读取数据成功**”字样，这表示该文件已插入到第一次调出文件的指定位置。

## 七、数据处理

在**菜单 1** 状态下按【**中辨图**】键进入中辨图分析处理（见图 6），连续按【**菜单**】键可循环变换菜单 A，A 菜单共有三组 A1、A2 和 A3，如下示意图。

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | | | | | 归一化 | 参考点 |
| A2 | 去直流 | 校对波 | 放大波 | 介电数 | 色比度 | |
| A3 | 移波形 | 压缩时 | | | 取图像 | 波平滑 |

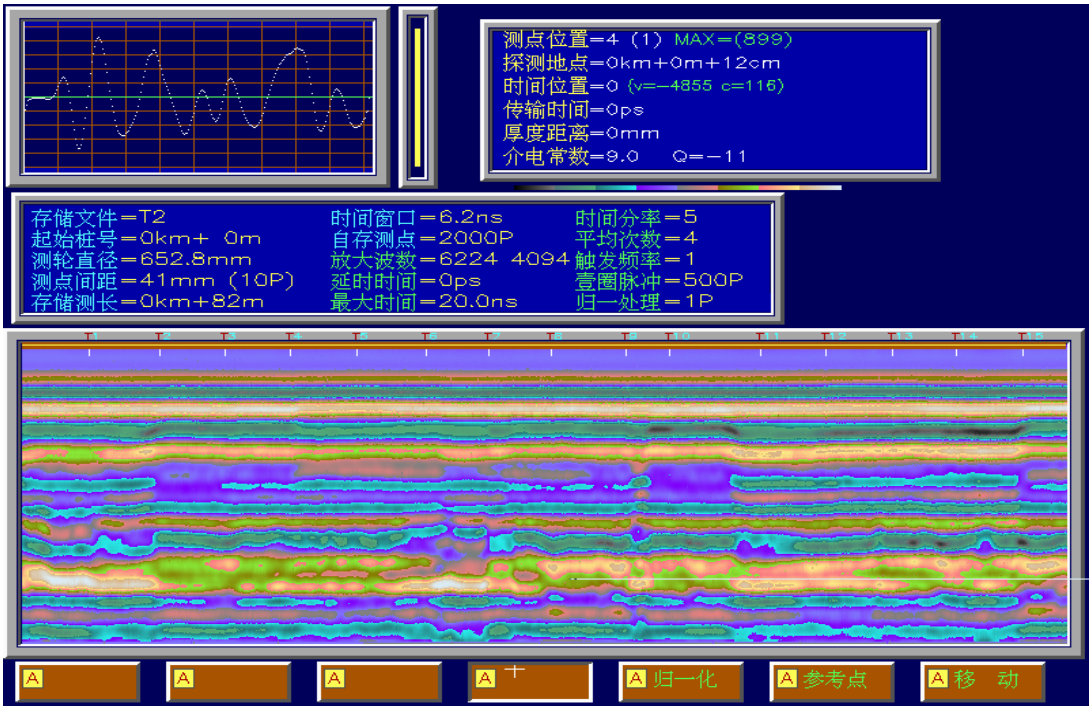



图 6

## 7.1 归一化处理

使用较长剖面上数据均值的波形曲线作为背景值，对整条测线上的回波背景值进行消除，突出界面特征或局部异常的变化。在主菜单 1 子菜单 A1 中，使用【**归一化**】，输入要处理剖面的始点和末点数，对剖面数据进行归一化处理。例如对图 7 数据剖面进行“归一化”处理，在菜单 1 中辨图中子菜单 A1 状态下，按【**归一化**】键，出现输入窗口，输入始点和末点数（1，899）。呈现归一化处理的剖面图像见图 7。

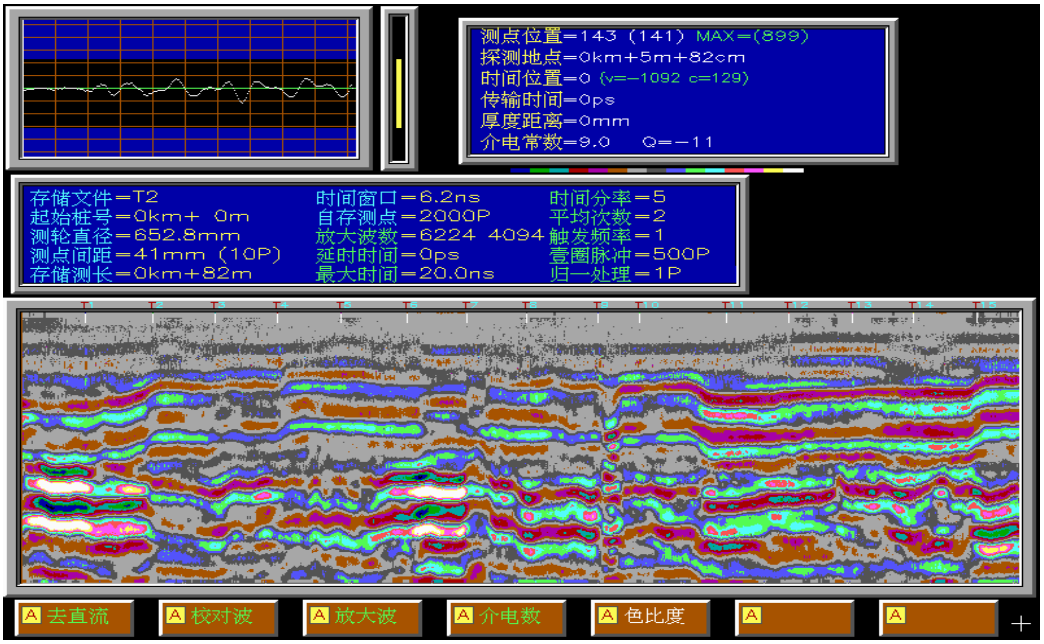



图 7

## 7.2 参考点处理

选择剖面上某一点的回波做为参考背景值，消除整条测线上各点回波的背景，突出回波异常，在菜单 1，子菜单 A1 中，按“← →”键，移动光标，选择参考背景波形。分析回波图像的目的不同可按需要选择：需要突出局部异常时，移动光标把参考点选择在整条剖面反映正常的平缓背景值点上；要进行面层厚度测定时，光标移到面层厚度变化极值点处（通常是极大值处）。参考点选定后按【**参考点**】功能键，即完成整条剖面的参考点处理。如果要恢复原始数据（去掉“参考点”或“归一化”处理），可按“ALT”+【**参考点**】组合键，恢复原始数据剖面。

## 7.3 移动

使用 ALT+【**执行**】方向键（“◄”或“►”）可使剖面图像一幅幅向前后（右左）移

动。按“← →”键图像中垂直光标线左、右移动，指出不同探测地点。按“↑ ↓”键水平光标线上、下移动，指出不同的时间位置。如果使用“**数据**” +“**方向**”组合键，会加快光标线移动的速度。

### 7.4 去直流

在**主菜单 1【中辨图】**的子菜单 A2 中使用**【去直流】**键，可以校正剖面上波形曲线突然下落或抬高一个常数值（称为掉格）的数据。按**【去直流】**键，输入始点、末点号及“去直流”的毫伏数。输入负值时回波曲线向上移一个常数（正方向），输入正值时回波曲线向下移动一个常数（负方向）。

### 7.5 校对波

在子菜单 A2 中按**【校对波】**键，输入‘选校对幅度值’后，按 Enter 键确认，对整条剖面进行校对处理。校对（基准波）幅值的选择，选取剖面开始段内某一测点回波中第一个正峰的左翼 1/2 至 2/3 幅值，见图 8，选择点所在的曲线段要求光滑，曲线抖动时应做‘波率滑’处理，该幅值是在竖光标对准选择点时，屏幕右上角参数窗口内“时间位置”的 V=3400 数值。

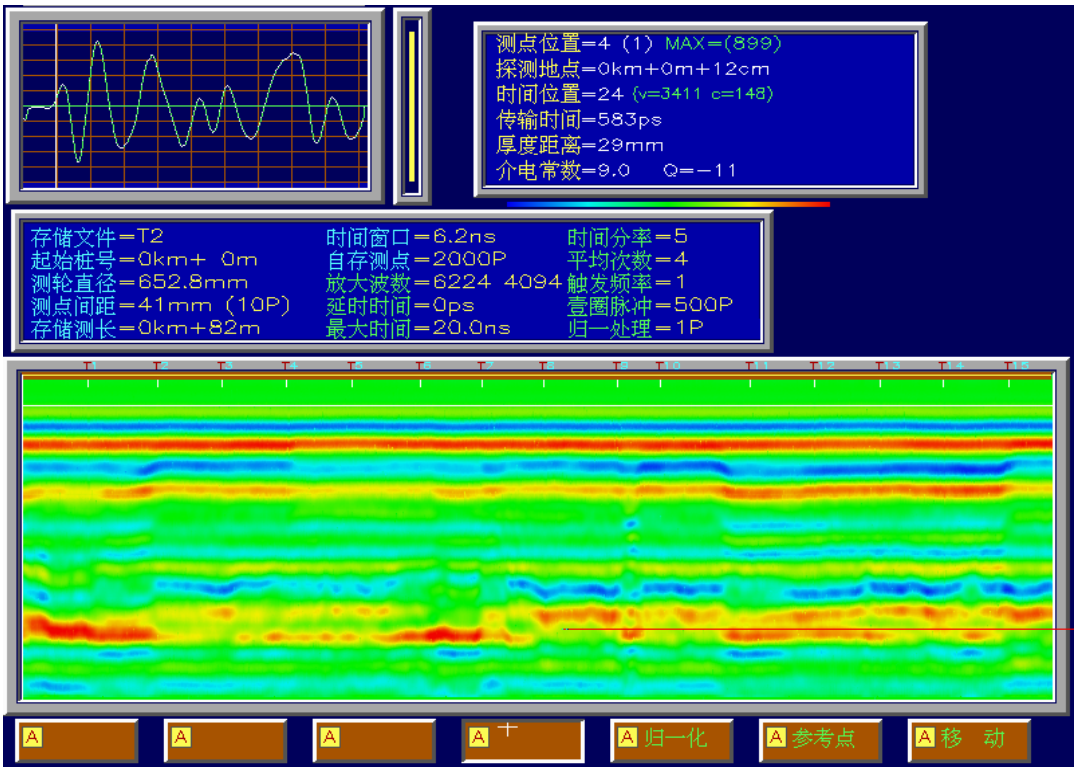



图 9

## 7.6 放大波

用放大波功能可以把整条剖面上每个点的回波波形放大，也可以指定剖面上一段数据点的波形放大。按【**放大波**】键输入放大数，将波形幅值放大或缩小，输入 100 值，不放不缩保持原状；输入大于 100 的值则进行放大；输入小于 100 的数值则进行波形幅值缩小。使用【**放大波**】F8 键是对屏幕显示的波形幅值放大或缩小。使用“ALT”+【**放大波**】组合键，窗口提示输入需要放大数据点的起始点和终止点数，以及放大数，执行该功能之后对指定段内的各点数据的波形进行了放大或缩小。

## 7.7 介电数

在子菜单 A2 中按【**介电数**】键，在屏幕左侧出现相对介电常数、回波时间和行程表，按“↑↓”方向键可以改变表中 $E_r$ 相对介电常数值，同时可从表中查到不同回波时间所对应电磁波在介质中单、双程旅行的距离。按“**停止**”键可将选择的相对介电常数 $E_r$ 输入到剖面的参数表中（见图 9）

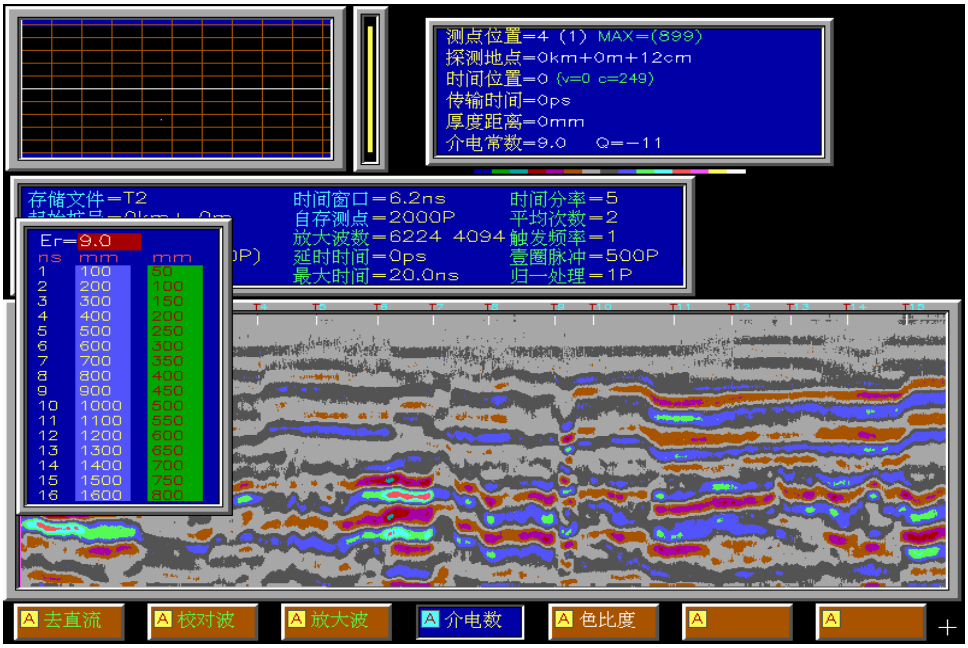



图 9

## 7.8 色比度

进入主菜单 1 后，按【**中辨图**】键，屏幕出现黑白回波剖面图像，图像上端有二个参数窗口和一测点回波曲线。按“ALT”和数字“1”、“2”、“3”、“4”、“5”、“6”、“7”、“8”、“9”中任一组合键，随着数字改变，将改变回波剖面图像不同的颜色。为调整剖面图的彩色对比和调和度使剖面显示更清楚，找到子菜单 A2【**色比度**】。

按【**色比度**】键，功能键变成蓝色后，按“↓”和“ALT”+“↑”，或者按“↑”和“ALT”+“↓”组合键，调整屏幕左上角波形图右侧黄色标尺变小或变大，使标尺高低与波形振幅正、负极值相当。然后再按 【**数据**】键恢复原状，完成色比度的调整。

### 7.9 移波形

在中辨图中对探测剖面中的一段数据不想使用，可以将正常段的数据移到此段覆盖原来数据。在子菜单 A3，按【**移波形**】键，出现输入窗口，输入要移动到剖面上某位置的点数以及被移剖面某段数据的起点和终点数，确认后，该移动段数据会移动到指定点位置的后面，移动数据把指定点位置后面数据覆盖。

### 7.10 压缩时

对于用宽幅（512 点）探测方式采集的数据进行图像显示分析时，必须先进行时间窗的压缩，在中辨图子菜单 A3，按【**压缩时**】，该功能键由棕色变成蓝色再恢复原来状态时，表示已经完成。

### 7.11 取图像

对处理中有些典型图像剖面，需要截取作为资料，在屏幕显示状态下，按下【**取图像**】键，输入文件名，将屏幕上的图像存入该文件名中。另一种方式是按“执行”键左右的方向键（“►”或“◄”）选择“**取图像**”软功能键，再按“ALT”+“**执行**”组合键，出现输入文件名窗口，输入文件名将屏幕上的图像存入该文件中。

### 7.12 波平滑

如果回波曲线有抖动，直接影响下一步处理与显示波形质量，按一次【波平滑】键将对图像数据进行一次圆滑处理。

## 八、探测数据的传输

在野外探测作业完成之后，需要将探测数据传送到室内计算机上进行处理。数据的的传输按以下步骤进行。

a、启动雷达主机进入 RT7 版探测软件的主菜单 1，按【**传数据**】键或按“**数据**”键，这时主机屏幕进入 Intersvr 界面，屏幕显示：

| Microsoft Interlnk Server Version 1.0 | | | |
|---|---|---|---|
| This computer (server) | | Other computer (client) | |
| * C: (543MB)<br>D: (303KB)<br>Lpt1: | | equals E:<br>equals F: | |
| Transfer= | Port= | Speed= | Alt+数据=Exit |

**注意： 屏幕必须出现“LPT1：”的字样,才能进行联接。**

b、在雷达主机的通讯口与微机的数据传输口之间使用数据传输电缆直接联接。

c、重新启动被联接的微机或笔记本电脑。雷达主机将显示联接后相应的驱动器名称，出现如"equals E:"和"equals F:"字样可以进行数据传输操作。

**注意：在被联接的微机或笔记本电脑的 config.sys 文件中必须设置有这样一条指令：**

device=c:\path\interlnk.exe/auto

## 九、CR-20B 主机与鼠标联接使用

需要在 CR-20B 主机进行数据处理时，将雷达鼠标外接插头与 CR-20B 面板上探测插座联接好，使雷达主机进入 Windows 操作环境。

## 十、探测软件（RT7 版）与雷达数据处理软件的转换

a、按【**数据分析**】键后，屏幕上 RT7 界面消失，雷达主机会自动转换到数据处理软件。

b、在操作界面的菜单 1 中，按“ALT”+【**数据**】组合键，屏幕上界面消失，雷达主机会自动切回到 RT7 探测操作界面。

## 十一、关机

为了防止探测主机在随机过程中产生废文件占据有限存储空间。在关闭主机时，请按

以下步骤进行：在 **RT7** 或数据处理版界面状态下，当“**停止**”键出现红灯显示，按“**ALT**”+“**停止**”键，屏幕出现“**关闭 CR-20 探地雷达，按‘停止’键**”字样**见图 10**。再次按“**停止**”键，屏幕出现“**请关闭 CR-20 探地雷达**”字样，按下主机电源开关，将主机关闭。

图 10

图 11

# 十二、CR-20B 携带式探地雷达功能键索引

| 菜 单 | | | 功能键名称 | 功 能 说 明 |
|---|---|---|---|---|
| 菜单 1 | | | 数据分析 | 按【**数据分析**】键，由探测软件 **RT7** 版界面转入探测数据处理界面。 |
| | | | 浏览数据文件 | 按【**浏览数据文件**】键,屏幕出现指定路径下所有的文件名，按方向键“↑”、“↓”、“←”、“→”移动绿色光标选取文件。 |
| | | | **WIN** | 按【**WIN**】键，进入 **Windows** 界面。 |
| | | | 传数据 | 按【传数据】键或按“**数据**”键，用于雷达主机与微机联接传输数据。 |
| | | | 清理硬盘 | 按【清理硬盘】键，使用系统软件对硬盘进行扫描清理空间。 |
| | | | 中辨图 | 在读取文件之后，按此键进行图像数据的显示和分析。 |
| | | | 选择路径 | 用“执行”键周围的方向键（“▲”或“▼”）在屏幕上选择“选择路径”键，再按“执行”键出现路径输入窗口，输入文件所在路径。 |
| | | | 调时间 | 按此键输入年、月、日、小时和分钟用于自动形成时间数字的文件命名。 |
| | | | 设参数 | 一般情况下，用户不要使用。只有在特殊情况下使用，按【设参数】键设置时间窗口和口地址。 |
| | | | 存数据 | 按此键输入文件名存贮数据。 |
| 菜单 2 | | | 遥控器设置音长 | 设置探测时耳机的音响时间长短和打标响时间的长短。 |
| 菜单 1 | 浏览数据文件 | A1 | 取数据 | 移动绿色光标选取数据文件名，按【取数据】键读取数据。 |
| | | | 续数据 | 在已经取出的文件后面连接另一个文件，移动绿色光标选取数据文件名，按【续数据】键读取数据。 |
| | | | 插入点 | 在已调出的数据文件中间需要插入另一个文件时，光标覆盖另一个文件，按此键输入插入位置的点数，就可以将另一个文件插入到输入点的位置。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **菜单1** | **中辨图** | **A1** | 归一化 | 选用较长剖面数据均值的回波曲线做为背景值，消除背景值，突出底界面的变化或是局部异常变化。 |
| | | | 参考点 | 选择反射界面最深的一测点的波形作为参照背景，对整条线进行背景消除，突出界面的变化。 |
| | | | **“ALT”+0～+9** 组合键 | 按**“ALT”+0**、**“ALT”+1…“ALT”+9** 组合键改变图像显示不同的颜色。 |
| | | | ← →键 | 按“← →”键，移动垂直光标线，显示不同测点。 |
| | | | ↑ ↓键 | 按“↑ ↓”键，移动水平光标线，显示剖面不同深度。 |
| | | | **“ALT”+**“方向”键 | **“ALT”+**“方向”键，加快水平或垂直光标线移动速度。 |
| | | **A2** | 去直流 | 在指定范围内对剖面上每个测点的波幅值加或减一个常数值。输入正值时振幅值减小；输入负值时振幅增加。 |
| | | | 校对波 | 回波出现相位漂移时，按首波选一幅值为基准，对各测点的相位漂移进行校正。 |
| | | | 放大波 | 用于对整条测线上全部测点的回波振幅进行线性放大或缩小。按此键输入 **100** 为正常值，不放不缩保持原始数据振幅。输入值大于 **100** 振幅放大；输入值小于 **100** 振幅减小。 |
| | | | 放大波 | 在测线上指定范围内测点回波振幅的线性放大。按组合键后，除输入放大数值外，必须输入测点的范围。 |
| | | | 介电数 | 查阅回波时间、单、双程距离与相对介电常数对应表。 |
| | | | 色比度 | 按此键，再按“↓”和“**ALT+**↑”或“**ALT+**↓”和“↑”键可以改变回波曲线图右侧的黄色标尺的长短，使黄色标尺长短与波幅极值相当，增加图像显示层次和色彩。 |
| | | | 改变色调 | 按组合键可以改变图像显示色调。 |
| | | **A3** | 移波形 | 将测线上指定范围内的测点数据拷贝到指定测点之后，并将该点后面的剖面数据覆盖。 |
| | | | 取图像 | 存储屏幕上当前显示的剖面图像，按“执行”键的左右键（“◄”或“►”）选择【取图像】软功能键,再按“**ALT**” +“执行”组 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 合键，输入存图像文件名。 |
| | | | 波平滑 | 在原始数据的回波曲线不光滑出现波动时，按【波平滑】键进行数据平滑。 |
| | | | 压缩时 | 用于宽幅探测采集数据的显示，在显示前，进行时间窗口的压缩。 |
| | | | **“6”**<br>**“5”**<br>**“7”** | 按“**6**”键，波形曲线为绿色，并停留显示。<br>按“**5**”键，删掉带有颜色波形曲线的停留显示。<br>按“**7**”键，改变波形曲线为不同颜色，并停留显示。 |
| **波形调整菜单【调整】** | | | 首存号数据文件 | 按此键输入 **1** 至 **999** 之间任意一个整数，该数将形成探测文件名的后缀。一条测线探测完毕再次进行探测时，后缀号自动递增**(+1)**。 |
| | | | 自动存探测点 | 按此键输入测点数 **500** 至 **4000** 之间的任意数值。主机按所设测点数存储数据，并自动生成文件名。 |
| | | | 设步长 | 以毫米为单位设置测点的间距。 |
| | | | 桩号 | 设定起始桩号（公里和米数）和探测方向数。 |
| | | | 放大数 | 按此键后，再用方向键，放大回波幅值，可进行线性或非线性放大。按“**ALT**”+“方向”组合键可加快执行速度。 |
| | | | 采集率 | 按 **ALT+【采集率】**组合键，输入与天线相对应的触发频率。 |
| | | | 寻波形 | 当波峰最大值超过幅度档两格，先按“**0**”键再按**【寻波形】**键自动搜索波形，找到后停留。 |
| | | | **“1”**和**“2”** | 按“**1**”或“**2**”键（调整 **1K** 电位器）波形向右或向左小间隔移动。 |
| | | | **“3”**和**“4”** | 按“**3**”或“**4**”键按（调整 **10K** 电位器）波形向右或向左中间隔移动。 |
| | | | **“8”**和**“9”** | 按“**8**”或“**9**”键按（调整 **50K** 电位器）波形向右或向左大间隔移动。 |
| | | | 标准点 | 选择现行内存文件中的某一测点的波<br>形与正在调整的波形进行对比。 |

| | | |
|---|---|---|
| | 校对轮 | 按【校对轮】，进入测距校对状态。 |
| | 放大器参数选择 | 按【放大器参数选择】键，屏幕出现放大器参数文件目录，用光标选定后，按“**Enter**”键，屏幕显示文件内的一些参数。 |
| | 放大器参数存储 | 按【放大器参数存储】键，出现输入文件提示，输入当前屏幕上放大器的参数和图形。 |
| | 平均次 | 对波形进行平滑，平均次数越多，波形就越稳定。 |
| **校对测距轮** | 校距离 | 用此键输入实际距离校正。 |
| | 选测轮 | 按【选测轮】输入测距轮一圈的脉冲数。 |
| | 设直径 | 按【设直径】键,输入装有测距器后轮的直径数值（以 **0.1mm** 为单位）。 |

## 十三、探测执行模块的安装和运行环境设置

a、Vcbs.EXE 探测执行软件(RT7 版)安装在雷达主机根目录上。

b、主程序在执行过程中需要调用字库和数字图像。在 FON 子目录中包括有：

CR—基本数字图像；

wheel —测距数字图像；

close —关机数字图像；

Clib24k—24 汉字库；

Cclib.dat—16 汉字库；

modern.fon—英文字库。

FON 子目录雷达主机根目录上。

c、完成初始化参数、路径设置和运行批处理，有如下四个文件：

Autoexec.bat　　引导运行批处理；

Cbsio.ini　　雷达硬件参数；

Cbs.ini　　当前工作参数(I/O 口地址)；

Cbsa.ini　　当前文件路径。

这四个文件要安装到主机根目录上。

上述探测主程序执行模块和运行环境设置必须按要求逐项安装。缺少某一项时，将会在某项上出现软件故障，使主程序无法续继正常运行。

# 十四、 根据介质的相对介电常数和目标体最小深度估计雷达探测时间窗口

| 介电常数 / 探测深度(m) | $\varepsilon_r$ =3 | $\varepsilon_r$ =4 | $\varepsilon_r$ =5 | $\varepsilon_r$ =6 | $\varepsilon_r$ =7 | $\varepsilon_r$ =8 | $\varepsilon_r$ =9 | $\varepsilon_r$ =10 | $\varepsilon_r$ =11 | $\varepsilon_r$ =12 | $\varepsilon_r$ =13 | $\varepsilon_r$ =14 | $\varepsilon_r$ =15 | $\varepsilon_r$ =20 | $\varepsilon_r$ =30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 最小雷达探测的时间窗口(ns) | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 13 | 15 | 18 |
| 1.0 | 12 | 13 | 15 | 16 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 30 | 37 |
| 1.5 | 17 | 20 | 22 | 25 | 27 | 28 | 30 | 32 | 33 | 35 | 36 | 37 | 39 | 45 | 55 |
| 2.0 | 23 | 27 | 30 | 33 | 35 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 60 | 73 |
| 2.5 | 29 | 33 | 37 | 41 | 44 | 47 | 50 | 53 | 55 | 58 | 60 | 62 | 65 | 75 | 91 |
| 3.0 | 35 | 40 | 45 | 49 | 53 | 57 | 60 | 63 | 66 | 69 | 72 | 75 | 78 | 89 | 110 |
| 3.5 | 40 | 47 | 52 | 57 | 62 | 66 | 70 | 74 | 77 | 81 | 84 | 87 | 90 | 104 | 128 |
| 4.0 | 46 | 53 | 60 | 65 | 71 | 75 | 80 | 84 | 88 | 92 | 96 | 100 | 103 | 119 | 146 |
| 4.5 | 52 | 60 | 67 | 74 | 79 | 85 | 90 | 95 | 100 | 104 | 108 | 112 | 116 | 134 | 164 |
| 5.0 | 58 | 67 | 75 | 82 | 88 | 94 | 100 | 105 | 111 | 116 | 120 | 125 | 129 | 149 | 183 |
| 6.0 | 69 | 80 | 89 | 98 | 106 | 113 | 120 | 127 | 133 | 139 | 144 | 150 | 155 | 179 | 219 |
| 7.0 | 81 | 93 | 104 | 114 | 124 | 132 | 140 | 148 | 155 | 162 | 168 | 175 | 181 | 209 | 256 |
| 8.0 | 92 | 107 | 119 | 131 | 141 | 151 | 160 | 169 | 177 | 185 | 192 | 200 | 207 | 239 | 292 |
| 9.0 | 104 | 120 | 134 | 147 | 159 | 170 | 180 | 190 | 199 | 208 | 216 | 225 | 232 | 268 | 329 |
| 10.0 | 116 | 133 | 149 | 163 | 176 | 189 | 200 | 211 | 221 | 231 | 240 | 149 | 258 | 298 | 365 |
| 11.0 | 127 | 147 | 164 | 180 | 194 | 207 | 220 | 232 | 243 | 254 | 264 | 274 | 284 | 328 | 402 |
| 12.0 | 139 | 160 | 179 | 196 | 212 | 226 | 240 | 253 | 265 | 277 | 288 | 299 | 310 | 358 | 438 |
| 13.0 | 150 | 173 | 194 | 212 | 229 | 245 | 260 | 274 | 287 | 300 | 313 | 324 | 336 | 388 | 475 |
| 14.0 | 162 | 187 | 209 | 229 | 247 | 264 | 280 | 295 | 310 | 323 | 337 | 349 | 362 | 417 | 511 |
| 15.0 | 173 | 200 | 224 | 245 | 265 | 283 | 300 | 316 | 332 | 346 | 361 | 374 | 387 | 447 | 548 |
| | 沥青混凝土 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 水泥混凝土 | | | | | | | | | | | |
| | | 花岗岩 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 灰岩 | | | | | | | | | | | | | |
| | 土壤（干） | | | 土壤（湿） | | | | | | | | | | | |
| | 砂（干） | | | | 砂（湿） | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 粘土 | | | | | | | | | |
| 空气 $\varepsilon_r$ =1，纯水 $\varepsilon_r$=81。在选择时间窗口时参考此表，适当增大时间窗口数值。 | | | | | | | | | | | | | | | |

# 十五、常见介质的电性参数和矿物相对介电常数参考表

## 15.1 常见介质的电性参数（表 1）

| 介　质 | 电 导 率 (S/m) | 相对介电常数 ($\varepsilon_r$) | 速　度 (m/ns) | 衰 减 系 数 (dB/m) |
|---|---|---|---|---|
| 空气 | 0 | 1 | 0.3 | 0 |
| 纯水 | $10^{-4}$~$3\times10^{-2}$ | 81 | 0.033 | 0.1 |
| 海水 | 4 | 81 | 0.01 | $10^3$ |
| 冰 | | 3.2 | 0.17 | 0.01 |
| 花岗岩(干) | $10^{-8}$ | 5 | 0.15 | 0.01~1 |
| 花岗岩(湿) | $10^{-3}$ | 7 | 0.1 | 0.01~1 |
| 玄武岩(湿) | $10^{-2}$ | 8 | 0.15(干) | |
| 灰岩(干) | $10^{-9}$ | 7 | 0.11 | 0.4~1 |
| 灰岩(湿) | $2.5\times10^{-2}$ | 8 | | 0.4~1 |
| 砂(干) | $10^{-7}$~$10^{-3}$ | 4~6 | 0.15 | 0.01 |
| 砂(湿) | $10^{-4}$~$10^{-2}$ | 30 | 0.06 | 0.03~0.3 |
| 粘土(湿) | $10^{-1}$~1 | 8~12 | 0.06 | 1~300 |
| 页岩(湿) | $10^{-1}$ | 7 | 0.09 | 1~100 |
| 砂岩(湿) | $4\times10^{-2}$ | 6 | | |
| 土壤 | $1.4\times10^{-4}$ ~$5.0\times10^{-2}$ | 2.6~15 ~40 | 0.13~0.17 ($\varepsilon_r$=3~5) 0.095 ($\varepsilon_r$=10) 0.15 ($\varepsilon_r$=40) | 20~30 |
| 肥土 | | 15 | 0.078 | |
| 混凝土 | | 6.4 | 0.12 | |
| 沥青 | | 3~5 | 0.12~0.18 | |

## 15.2　常见介质的电性参数（表 2）

| 介　质 | 相对介电常数 ($\varepsilon_r$) | 速　度 v(m/ns) | 介　质 | 相对介电常数 ($\varepsilon_r$) | 速　度 v(m/ns) |
|---|---|---|---|---|---|
| 花岗岩 | 4 (9) | 0.15 (0.1) | 土壤(含水20%) | 10 (4~40) | 0.095 (0.05~0.15) |
| 安山岩 | 2 | 0.21 | 土壤(干) | 4 (3~5) | 0.15 (0.13~0.17) |
| 玄武岩 | 4 | 0.15 | 沼泽肥土 | 12 | 0.087 |
| 凝灰岩 | 6 | 0.12 | 肥土 | 15 | 0.078 |
| 石灰岩 | 7 (6) | 0.11 (0.12) | 混凝土 | 6.4 | 0.12 |
| 大理岩 | 6 | 0.12 | 沥青 | 3~5 | 0.12~0.18 |
| 砂 岩 | (4) | (0.15) | 冰 | 3.2 | 0.17 |
| 煤 | 4.5 | 0.14~0.15 | 聚氯乙烯 | 3 | 0.15 |

15.3 常见介质的电性参数(在 100MHz 条件下)（表 3）

| 介 质 | 电导率(ms/m) | 相对介电常数（$\varepsilon_r$） | 速 度(m/ns) | 衰减系数(dB/m) |
|---|---|---|---|---|
| 空气 | 0 | 1 | 0.30 | 0 |
| 纯水 | 0.05 | 81 | 0.033 | 0.1 |
| 海水 | $3\times10^4$ | 80 | 0.015 | $10^3$ |
| 干砂 | 0.01 | 3~5 | 0.15 | 0.01 |
| 湿砂 | 0.1~1.0 | 20~30 | 0.06 | 0.03~0.3 |
| 淤泥 | 1~100 | 5~30 | 0.07 | 1~100 |
| 粘土(泥土) | 2~1000 | 5~40 | 0.06 | 1~300 |
| 石灰岩 | 0.5~2 | 4~8 | 1.12 | 0.4~1 |
| 花岗岩 | 0.01~1 | 4~6 | 0.13 | 0.01~1 |
| 沥青混凝土 | 0.5~1.5 | 3~6 | 0.12 | 0.05~0.5 |
| 水泥混凝土 | 1~3 | 6~11 | 0.10 | 0.5~1.5 |

15.4 矿物的相对介电常数（表 4）

| 介 质 | 相对介电常数（$\varepsilon_r$） | 介 质 | 相对介电常数（$\varepsilon_r$） |
|---|---|---|---|
| 石 英 | 4.0~5.0 | 硬石膏 | 5.7~6.3 |
| 钾长石 | 4.5.~6.0 | 岩 盐 | 5.6~6.4 |
| 白云母 | 6.2~8.0 | 钾 盐 | 4.7~4.8 |
| 黑云母 | 4.8~6.0 | 褐铁矿 | 10.0~11.0 |
| 滑 石 | 4.5~6.0 | 磷灰矿 | 7.4~10.5 |
| 方解石 | 7.5~8.0 | 方铅矿 | 18 |
| 白云石 | 6.8~10.0 | 闪锌矿 | 7.8~5.3 |
| 菱铁矿 | 7.6~7.5 | 金红石 | 90~170.0 |
| 石 膏 | 4.2 | 石 油 | 2.0~3.0 |

## 十六、CR-20B 探地雷达不同频率天线与触发频率之间的关系对照表

| 天 线（MHz） | 1000 | 900 | 750 | 300 | 100 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 触发频率（KHz） | 50 | | | 28 | 8 | 3 |

# 十七、CR-20B 功能键与键盘各键的对应表（便于检验和维修）

**“探测”**（相当于键盘字符 G）；　　**“暂停”**（相当于键盘字符 S）；
**“停止”**（相当于键盘字符 A）；　　**“调整”**（相当于键盘字符 F）；
**“记忆”**（相当于键盘字符 D）；　　**“数据”**（相当于键盘上的 F4 键）；
**“菜单”**（相当于键盘字符“V”）。　**“执行”**—相当于键盘字符 C；
“▲”—相当于键盘字符 E；　　“▼”—相当于键盘字符 T；
“◄”—相当于键盘字符 W；　　“►”—相当于键盘字符 R.。

| 键 盘 | F5 | F3 | F8 | F11 | F4 | F9 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 菜单 | 调时间 | 设参数 | 存数据 | | 传数据 | WIN |
| 中辨图<br>【F1】 | | | | | 归一化 | 参考点 |
| | 去直流 | 校对波 | 放大波 | 介电数 | 色比度 | |
| | 移波形 | 压缩时 | | | 取图像 | 波平滑 |

| 键 盘 | F2 | F7 | ALT+F10 | F1 | F6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 菜单 | 数据分析 | 浏览数据文件 | 选择路径 | 中辨图 | 清理硬盘 |
| 2 菜单 | | | | | 遥控器设置音长 |