

# 目 录

应用重力学野外教学实习指导.....	2
前 言 .....	1
一 重力实习工区概况.....	2
二 重力测量野外施工技术设计.....	2
三 施工前的准备.....	3
四 重力测量工作方法.....	8
五 重力异常的计算和施工报告的编写.....	9
应用地磁学野外教学实习指导.....	12
前 言 .....	13
一 磁测区概况 .....	14
二 仪器使用说明及测试.....	15
三 磁测精度选择、异常踏勘和测网敷设.....	17
四 野外磁测 .....	18
五 室内计算整理和图示.....	20
六 磁参数测定及计算.....	22
七 磁异常解释 .....	24
八 实习报告 .....	24
电法勘探实习指导 .....	25
一 实习大纲 .....	26
二 电法勘探的工作设计.....	27
三 电阻率法 .....	28
四 激发极化法的工作设计.....	45
五 高密度电阻率法.....	47
六 电磁法 .....	68
核地球物理野外实习指导.....	86
前 言 .....	87
一 测区概况 .....	87
二 仪器设备 .....	88
三 剖面设计及测网敷设.....	90
四 仪器性能检查.....	91
五 野外测量 .....	94
六 资料整理与图示.....	99
七 综合地质解释.....	102
八 实习报告 .....	102
附录一：FD-3022 操作规程.....	103
附录二：FD-3017 操作规程.....	104
附录三：X- $\gamma$ 剂量率仪操作规程.....	106
地震勘探野外教学实习指导.....	108
一 前 言 .....	109
二 野外地震勘探数据采集方法和处理方法实习.....	110
三 反射波法地震勘探资料解释教学实习.....	130
四 地震折射波层析成像法教学实习.....	134

# 应用重力学野外教学实习指导

孟小红 郭良辉

中国地质大学（北京）  
地球物理与信息技术学院

## 前言

野外教学实习是应用重力学课程的一个不可缺少的重要教学环节，可以巩固和加深对课堂理论教学内容的认识和理解，进行重力勘探方法和技术的基本训练，培养学生实际操作和资料处理、解释能力以及综合分析问题、解决问题的能力。

教学实习基地及工区的选择是非常重要的，既要考虑教学效果，又要服从客观条件，这需要下一番工夫。由于各方面条件的限制，本次教学实习分两个阶段进行，第一阶段为野外部分，在北戴河塔山教学基地进行重力仪实际操作和野外数据采集实习，第二阶段为资料处理、解释和编写报告阶段，利用在北戴河塔山重力实习工区测得的实际重力资料进行资料处理、解释和编写报告。

教学实习的内容和方式应该是“真刀真枪”的，但又区别于生产性重力测量工作，由于时间短，任务重，因此，我们选择了野外生产中最重要、最常用的环节让每一位同学亲手操作，这对于培养学生的动手能力，更好的与野外实际生产相结合具有积极的促进作用。

让我们共同努力，顺利完成这次教学实习。

## 一 重力实习工区概况

本次教学实习实际资料采自北戴河塔山重力实习工区。塔山实习工区属于河北省秦皇岛市，位于中国地质大学实习基地所在的山东堡西北约 1.5 公里。交通方便，乘北戴河——秦皇岛市之间的公共汽车可达。

工区以塔山为中心（塔山重力工区图），北界偏坡村（P）村，南抵大庆石油学院（Y 校），面积约 1.5 平方公里，工区内地形起伏不大，最高点（塔山）海拔高 54.3 米，最低处约 20.0 米，相对高差约 34.0 米，除 A-B，B-C 土路可通小型拖拉机及自行车外，其余地方只能步行。

本区处于华北地台东步边缘，属于山海关隆起的东部。基底地层是太古代的混合花岗岩。在吕梁运动时期，地壳开始上升，地层受到剥蚀，致使元古代以后的地层大量缺失，仅在某些局部地区见到侏罗系地层，组成近南北向的向斜。在燕山运动时期，工区发育了南北—东西向两组共轭断裂及 NEE—SWW 向断裂。由于岩浆上涌，沿早期断裂形成了各种岩性的岩脉，主要是：辉绿岩脉、花岗斑岩岩脉以及伟晶岩脉等。

塔山山体由一个沿 NE 向断裂发育形成的中生代辉绿岩脉组成，东西延伸 800 米，山体高约 20 米。辉绿岩脉密度  $2.8-3.0\text{g/cm}^3$ ，其围岩（太古代混合花岗岩）密度为  $2.4-2.5\text{g/cm}^3$ ，密度差约为  $0.5\text{g/cm}^3$ 。重力实习的目的是圈定岩脉的大致位置并估计其产状。

根据前人介绍，工区内重力异常变化约有  $10\text{g.u.}$ ，由岩脉引起的重力异常约有  $3\text{g.u.}$ 。

## 二 重力测量野外施工技术设计

### 1. 测区范围（塔山重力工区图）

测区以塔山为中心，Y 校以北，P 村以南地区。

### 2. 工作比例尺及测网

工作比例尺：1:5000

测网由三条测线构成：I 线沿 A-B 路；III 线沿 C-E 路；II 线在 I、III 线之间。

点距：一般在 50 米，在异常区加密至 25 米。

### 3. 异常精度的确定及误差分配

辉绿岩脉引起的异常约有 3g.u.，于是异常总精度  $\varepsilon_{\text{异}} = 1\text{g.u.}$ ，由下式：

$$\varepsilon_{\text{异}} = \sqrt{\varepsilon_s^2 + \varepsilon_b^2 + \varepsilon_d^2 + \varepsilon_\varphi^2}$$

可以把各项误差分配为：

$$\varepsilon_s \leq \pm 0.5, \quad \varepsilon_b \leq \pm 0.5, \quad \varepsilon_d \leq \pm 0.5, \quad \varepsilon_\varphi \leq \pm 0.2, \quad \varepsilon_{\text{异}} \approx 0.89$$

### 4. 基点网设计

#### (1) 基点网布置

工区布置 4 个基点：G1、G2、G3、G5，基点位置见图。

#### (2) 基点精度

$$\varepsilon_{\text{基}} = \frac{1}{2} \varepsilon_{\text{异}} = 0.25\text{g.u.}$$

## 三 施工前的准备

### (一) 重力仪的准备

本次实习使用三台重力仪：LaCoste & Romberg G 型，No: 1131、No: 1139 和 No: 1206。重力仪的准备工作包括以下内容：

- (1) 横水准器检查、调节，在实习基地进行。
- (2) 灵敏度检查调节，在实习基地进行。
- (3) 读数线检查调节，在实习基地进行。
- (4) 静态及动态实验，在实习基地进行。
- (5) 一致性试验。

#### 1、重力仪的基本操作步骤

- (1) 将仪器小心从箱中取出，轻轻放在铝盘上。
- (2) 将电池与仪器接上，打开温度显示，对仪器内部进行电恒温处理，直到达到仪器指定的恒温温度（大约需要 2-5 小时）。
- (3) 将仪器纵、横水泡调节居中。
- (4) 打开读数灯泡，从目镜中观察摆丝位置，这时摆丝停靠在左侧终止线上。
- (5) 打开摆丝锁定开关，调节刻度盘，使摆丝可以自由摆动。

(6) 进一步调节刻度盘，使摆丝与仪器指定的读数线重合。

(7) 记录计数器上的读数。

## 2、重力仪读数器位置初步估计

G 型重力仪是全球型重力仪，读数器范围 0-7000，为了使仪器在新的工作区尽快进入工作状态，可根据下表估计计数器的大致位置。

纬度	近似重力值	近似读数值
0	978.046	1430
10	978.203	1600
20	978.652	2050
30	979.337	2750
40	980.178	3600
50	981.078	4530
60	981.930	5400
70	982.623	6100
80	983.073	6560
90	983.223	6700

## 3、横水准器检查与调节方法

(1) 利用纵、横水泡调节装置，将纵、横水泡调节居中。

(2) 利用刻度盘，将摆丝与仪器的读数线对齐，读出计数器上的读数。

(3) 保持纵水泡居中，调节横水泡位置，使其向某一方向偏离中心位置 1-2 格。

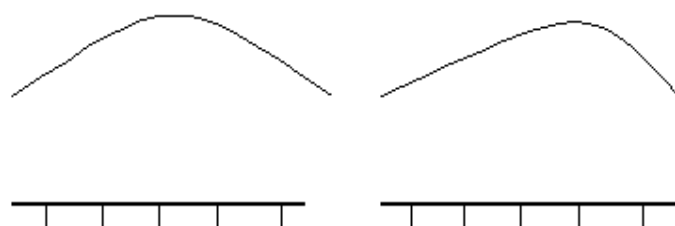
(4) 利用刻度盘，将摆丝与仪器的读数线对齐，读出计数器上的读数。

(5) 保持纵水泡居中，调节横水泡位置，使其继续沿某一方向再偏离 1-2 格。

(6) 利用刻度盘，将摆丝与仪器的读数线对齐，读出计数器上的读数。

(7) 向另一方向重复 3-5 步过程。

(8) 以水泡位置为横坐标，以计数器上的读数为纵坐标，画水泡曲线。



(9) 如果横水泡居中时读数最大(左图), 则横水泡位于正确的位置。否则(右图), 将仪器调到读数最大的位置(这时水泡不居中), 保持仪器不动, 利用横水泡调节螺丝将横水泡调节居中。

(10) 重新检查水泡位置。

#### 4、灵敏度的检查与调节方法

仪器的纵水泡与摆丝平行, 用来确定仪器的灵敏度。

(1) 在仪器恒温状态下, 将纵、横水泡调平, 打开摆丝开关。

(2) 利用刻度盘将摆丝调到左侧终止线, 然后再向右调, 距离左侧终止线 1-2 个光线格。

(3) 记下刻度盘位置, 再顺时针旋转一圈(1 毫伽)。

(4) 从目镜中观察摆丝的移动。

(5) 如果摆丝的移动在 9-11 个光线格之间, 灵敏度合适, 不需要调节。

(6) 如果摆丝移动小于 9 个光线格, 灵敏度低, 需用如下方法将灵敏度调高: 将纵水泡向远离目镜方向移动一点(向左移动), 使仪器右侧降低, 检查灵敏度, 如果在允许的范围内, 则小心保持仪器不动, 调节纵水泡螺丝使纵水泡居中。

(7) 如果摆丝移动大于 11 个光线格, 灵敏度过高, 这时要抬高仪器的右侧(纵水泡向右移动一点), 方法同上。

#### 5、读数线的检查与调节

(1) 在仪器恒温状态下, 将纵、横水泡调平, 打开摆丝开关。

(2) 调节刻度盘, 使摆丝与读数线重合, 如果读数线不知到的话, 将读数线选在两端终止线的中间。

(3) 保持横水泡水平, 使纵水泡向某一方向倾斜 1 个光线格, 记录目镜中摆丝的位置。

(4) 将纵水泡向另一方向倾斜 1 个光线格, 记录目镜中摆丝的位置。

(5) 如果摆丝向大刻度方向移动, 而且纵水泡向两边倾斜时, 移动量近似相等, 则读数线位置正确。

(6) 如果仪器右侧低时(纵水泡向左偏), 摆丝向小刻度移动, 则读数线位置偏低。

(7) 如果仪器右侧低时(纵水泡向左偏), 摆丝向大刻度移动的量大于仪器

右侧高时（纵水泡向右偏）摆丝向大刻度移动的量，则读数线位置偏高。

（8）如果通过上述检验发现读数线位置不正确，重新调平仪器，设置新的读数线。重复上述检验过程。

## 6、将记数器读数转换成毫伽

每一台重力仪都有一个标定表，重力仪在零点时记数器上的读数通过标定表转换成毫伽，具体作法如下：

设 G-1131 号重力仪记数器上的读数为 3654.32，看如下标定表

**G-1131 号重力仪标定表**

记数器读数	毫伽值	间隔因子
3000	3071.87	1.02465
3100	3174.33	1.02473
3200	3276.80	1.02481
3300	3379.29	1.02489
3400	3481.77	1.02496
3500	3584.27	1.02503
3600	3686.77	1.02510
3700	3789.28	1.02516
3800	3891.80	1.02522
3900	3994.32	1.02528
4000	4096.85	1.02533

**G-1139 重力仪标定表**

记数器读数	毫伽值	间隔因子
3000	3092.48	1.03148
3100	3195.63	1.03156
3200	3298.78	1.03165
3300	3401.95	1.03174
3400	3505.12	1.03182
3500	3608.31	1.03191



3600	3711.50	1.03200
3700	3814.70	1.03208
3800	3917.90	1.03217
3900	4021.12	1.03225
4000	4124.35	1.03233

**G-1206 重力仪标定表**

计数器读数	毫伽值	间隔因子
3000	3041.88	1.01452
3100	3143.33	1.01459
3200	3244.79	1.01465
3300	3346.26	1.01471
3400	3447.73	1.01477
3500	3549.20	1.01482
3600	3650.69	1.01487
3700	3752.17	1.01492
3800	3853.67	1.01496
3900	3955.16	1.01500
4000	4056.66	1.01503

则重力值读数为：

$$3686.77 + 54.32 \times 1.02510 = 3742.45 \text{mGal}$$

## （二）其它准备工作

包括：收集资料、测量仪器及器材、记录本、计算表、计算与绘图用品等。

特别强调，重力仪是精密、贵重仪器，必须引起高度重视，在使用中严格遵守下列规定：

1. 实习小组长和操作员要对仪器安全负责，除操作员外，其余人员不得随意动用仪器。
2. 操作员在观测时，不得与他人说笑、打闹和擅自离开仪器。

3. 仪器要轻拿、轻放，在测点间最好装箱搬运。
4. 不得日晒、雨淋。
5. 发现故障不得私自处理，及时报告指导老师。

## 四 重力测量工作方法

### （一）重力仪的使用

#### 1. 横水准器位置的检查

每天早上出工以前，要对横水准器位置进行检查，检查方法同上。为了避免延误出工时间，这项工作也可以在头一天晚上进行，不过在检查后移动仪器要小心。

#### 2. 灵敏度检查

每日早上出工前及收工后，均检查一下灵敏度并记录下来。

#### 3. 重力仪进入工作状态判断

重力仪是否进入工作状态，可以在每日开工的第一个基点处，采用基点—辅助点—基点的观测方式进行检查，即首先在基点读数  $S_1$ ，然后选择一个与基点有一定重力差的辅助点观测，再回到原来基点读数  $S_2$ ， $|S_2 - S_1| < \varepsilon$ ，认为仪器已经进入工作状态，否则重复基点—辅助点—基点观测，直到满足要求为止。

#### 4. 读数及记录

在基点读三个数，在测点读两个数，记录一律用铅笔，字迹工整，不准涂改，记录出错时，用铅笔画斜杠，在其上半部记下正确数据。

当操作员报数时，记录员需回报以核对。

### （二）基点网联测

采用三重小循环方法进行基点联测，观测路线为：

$G1 \rightarrow G2 \rightarrow G1 \rightarrow G2 \rightarrow G3 \rightarrow G2 \rightarrow G3 \rightarrow G5 \rightarrow G3 \rightarrow G5 \rightarrow G1 \rightarrow G5 \rightarrow G1$

几台仪器同时观测，一个边取得多个独立重力增量。

### （三）测点观测及检查点观测

测点观测用单次观测法。取测点数的 5% 作检查观测，检查观测与测点观测要求不同仪器、不同操作员、不同时间。

一个测点上的记录包括：重力仪读数，读数时间，仪器底盘与木桩顶部的高差

(cm)，以测点为圆心，半径 50 米圆周上八方位上高程与测点高程的高差(m)。

#### (四) 测地工作

定点位：根据设计用测绳，每 50 米定一个点，打下木桩，用红漆在木桩上写上点线号。

水准测量：测出每一测点的高程，以 G1 为总基点，计算出每一测点相对于总基点的高差。

### 五 重力异常的计算和施工报告的编写

#### (一) 重力异常计算

##### 1、布格改正及精度计算

平缓地区布格改正采用下式：

$$\Delta g_b = (0.3086 - 0.0419\sigma)h$$

式中： $\Delta g_b$ —布格改正值， $10^{-5}\text{m/s}^2$ ；

$h$ —测点海拔高程或测点与基准点的高差，m；

$\sigma$ —中间层平均密度， $\text{g/cm}^3$ 。

当测区面积较大、地形高度变化也较大且  $R \gg h$  时，布格改正用下式：

$$\Delta g_b = [0.3086(1+0.0007\cos 2\varphi) - 0.72 \times 10^{-7}h - 0.0419\sigma + 0.02095\sigma h/R]h$$

式中： $R$ —圆域地形改正最大半径，m。

$\varphi$ —测点纬度。

布格改正误差由下列衡量：

$$\varepsilon_b = \pm \sqrt{(0.3086 - 0.0419\sigma)^2 \varepsilon_h^2 + (0.0419h\varepsilon_\sigma)^2}$$

式中： $\varepsilon_b$ —布格改正误差， $10^{-5}\text{m/s}^2$ ；

$\varepsilon_h$ —高程测定均方误差，m；

$\varepsilon_\sigma$ —密度测定均方误差， $\text{g/cm}^3$ 。

一个地区必须采用统一的中间层密度和布格改正系数，以海平面为基准面计算布格改正。布格改正精度计算要求高于设计要求。

## 2、地形改正及精度计算

根据地形变化的特点，可采用圆域改正和方域改正。地形改正又分为近区、中区和远区地形改正。具体改正及精度计算方法参阅有关规程。

## 3、正常场改正用精度计算

在大面积重力测量中，正常场改正统一采用 1901~1909 年赫尔默特公式：

$$r_0 = 978030(1 + 0.005302\sin^2\varphi - 0.000007\sin^2 2\varphi)$$

式中：  $r_0$  — 正常场改正值，  $10^{-5}\text{m/s}^2$ ；

$\varphi$  — 测点纬度。

在小面积重力测量中，正常场改正采用下式：

$$r_0 = -0.814\sin 2\varphi \cdot D$$

式中：  $r_0$  — 正常场改正值，  $10^{-5}\text{m/s}^2$ ；

$\varphi$  — 基点纬度或测区平均纬度；

$D$  — 测点到基点间纬向（南北向）距离， km。

正常场改正误差由下列衡量：

$$\varepsilon_r = \pm 0.814\sin^2\varphi \varepsilon_x$$

式中：  $\varepsilon_r$  — 正常场改正误差，  $10^{-5}\text{m/s}^2$ ；

$\varepsilon_x$  — 测点纵坐标均方误差， km。

注意各参数是否设置正确。

## 4、重力异常计算

重力异常值由下式计算：  $\Delta g = g + \Delta g_b + \Delta g_t - r_0$

其中：  $\Delta g$  — 布格重力异常值，  $10^{-5}\text{m/s}^2$ ；

$g$  — 测点重力绝对值，  $10^{-5}\text{m/s}^2$ ；

$\Delta g_t$  — 地形改正值，  $10^{-5}\text{m/s}^2$ 。

### （二）绘制各种图件和图表

重力工作结束后，应编制下列图件：

- 1、仪器性能试验的记录用分析曲线；
- 2、带数据点位的重力布格异常图；

### （三）施工报告的编写

施工报告必须包含以下内容：

#### 1、序言

简要说明担负的地质任务，队伍组织，任务完成情况及所获得的主要成果。

#### 2、地质及地球物理概况

简要说明工区及周围的地理情况，地质特征及油气显示情况；地球物理特征及引起异常因素分析。

#### 3、野外工作方法与技术

说明野外施工采用的主要工作方法与技术；坐标高程的起算系统；野外工作质量及仪器性能。

#### 4、资料整理方法

资料整理的具体方法用采用公式和参数，误差衡量及结果，异常数据处理方法及结果分析。

#### 5、异常的解释推断

根据地质任务要求，对异常进行初步分析和解释。

#### 6、结论和建议

扼要总结野外工作成果，对今后工作提出建议。

**所使用的计量单位一律采用国家法定计量单位。**

# 应用地磁学野外教学实习指导

姚长利 李淑玲

中国地质大学（北京）  
地球物理与信息技术学院

## 前 言

磁法勘探本身是一门实践性很强的学科，通过课堂学习，大家已初步掌握了其基本理论，但学习磁测工作方法技术及仪器操作等尚需通过教学实习来完成。

通过教学实习应达到以下目的：

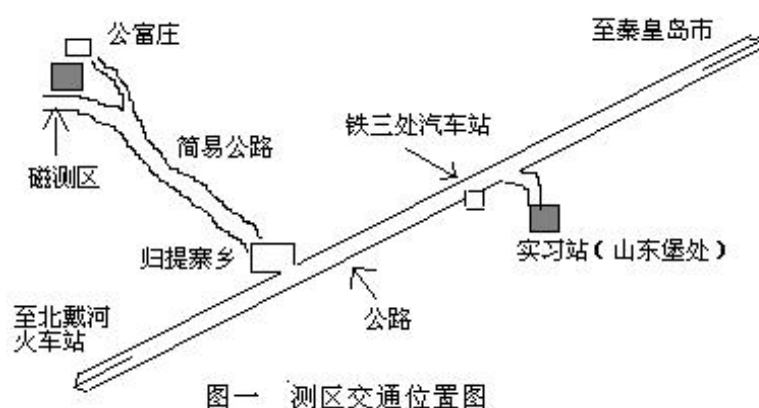
- 1、巩固和加深对课堂理论教学的认识；
- 2、初步进行野外工作方法技术的基本训练，了解和熟悉磁法野外工作的全过程，掌握磁异常资料的采集、整理及解释的基本技能；
- 3、培养实事求是的科学态度和严肃认真的工作作风。

希望师生共同努力，圆满、顺利地通过这次教学实习任务。

## 一 磁测区概况

### 1、交通位置

中国地质大学（北京）实习站、磁测区位置等示意图如下图所示：



由图可见，交通很方便。由实习站至测区约 4Km，步行约 50 分钟。

### 2、地貌地质

测区位于公富庄南边的小荒山丘上。山丘南坡缓，与农田相连；北坡陡，山角有小学与农舍；坡西北有小水库；最大相对高度差约 20m；坡上有小树、矮草，通视条件较好。坡的大部分为坡积物覆盖，有几处露头可见混合花岗岩、辉绿岩脉等。岩脉呈东西向顺山脊分布。山顶有废弃的采石坑。

### 3、物性与异常

岩石的密度和磁参数见表 1—1。由表可见，岩石磁性差异明显，异常源为辉绿岩。



表 1—1

岩石名称	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	$\kappa$ (SI)	Mr (A/m)
辉绿岩	2.9–3.0	$835 \times 10^{-5}$	2.17
混合花岗岩	2.4	微弱	微弱

过去测量结果表明，该区磁异常可分为区域异常和局部异常。区域异常特征为西南、南边异常高；北边、东北异常低。局部异常特征为：位于测区中部，呈东西走向，最大值最小值之间相差近 600nT。这说明，此磁测区异常明显、类型齐全、具有良好的实习条件。

## 二 仪器使用说明及测试

### 1、仪器的使用要求

#### (1) 对操作人员的要求：

质子磁力仪操作员应按常规磁法仪器操作规范要求，在用于地震预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。做日变观测的仪器，根据测量精度要求情况，来选择日变读数的时间间隔，日变观测由一人操作兼记录（使用仪器自动记录功能时，操作员不需要记录）。

野外测线测量时通常需 2-3 人一组，由一人拿探头，一人兼做记录，或单独由一人记录。

仪器操作员，应去处掉身上的所有铁磁性物体，实际操作之前应检查操作员（特别是持探头的操作员）身上的铁器是否去处干净，检查的方法是让持探头人员靠近探头，用仪器读数测量，没有影响读数时，则认为铁器已清除，可以开始工作。

#### (2) 测区要求：

对于高精度测量的测区应是电磁干扰小，磁场梯度较小，一般高精度磁测梯度应小于 10nT/米，对磁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。在磁梯度较大的地区由于探头的定位、高度等因素难以保证，一般不做均方差考核。

测区的垂直梯度应 $<200\text{nT/米}$ ，水平梯度应 $<150\text{nT/米}$ 。

## 2、仪器的测试

### (1) 仪器一致性检查：

相对一个标准点，多台仪器在其它多点上的磁场差应该近似相等，即符合对仪器一致性的要求。性能不一致的仪器不能在同一测区工作。仪器的一致性均方差越小越好。这是一项保证磁测质量的重要技术指标。

一致性检查方法如下：在一条磁场变化明显但变化平稳的测线上选 50—100 个点，多台仪器依次观测。仪器均方差按下式计算：

$$M_{\text{一致性}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k V_{ji}^2}{m-k}} \quad (1)$$

式中，n 为测点数，m 为多台仪器观测总数 ( $n \times k$ ，k 为仪器数)， $V_{ji}$  为 i 点 j 号仪器观测值与该点 k 台仪器观测平均值之差，要求  $M_{\text{一致性}} \leq 0.5 M_{\text{总}}$ ， $M_{\text{总}}$  为工区测量的总精度标准。

结果分析及处理：

将各台仪器所得的经过整理计算后各点的场值，以不同的线条点在同一剖面上（见图 2）。这样就可以分析仪器的一致性状况：

### 〈1〉系统差

这是一个常差，是仪器的性能不同而引起的，并非某台仪器质量不好，在工作中可选定一台仪器为标准来进行校正，当仪器较多时，可以平均值作为标准进行校正。

$$\varepsilon_{\text{某仪器}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i) \quad (2)$$

其中， $V_i$  为  $i$  点仪器观测值， $\bar{V}_i$  为该点  $k$  台仪器观测平均值。

### 〈2〉波动差

这是一无规律的变差，反映仪器噪声大小。在排除了人为的读数误差外，若超出规定要求，就需要重新检修再次调节仪器了。以各台仪器与标准之间的均方误差衡量。

#### (2) 噪声水平的标定：

噪声水平的标定方法是在工区内选一个磁场平稳、不受人文干扰的地方，将待定的仪器相距 20m 放置，采用记日变的方式同步（误差 $<2s$ ）观测，将地磁场日变作为外场变化，读取 100 个左右观测值进行计算。

$$M_{\text{噪声}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2}{n-1}} \quad (3)$$

一般情况下如果校验结果不理想，除仪器接口不妥外，则主要是仪器本身噪声干扰所引起的，仪器噪声过大则不能使用。

## 三 磁测精度选择、异常踏勘和测网敷设

### 1、磁测精度选择：

本次教学实习中选取磁测总精度 $\leq 15nT$ 。原因如下：

〈1〉教学实习的目的是让学生在较短的时间内熟悉磁法勘探工作主要环节，不以获得高精度测量结果为重点。

〈2〉本区磁测幅值差异较大，选 $\leq 15nT$  的精度，不影响对异常的圈定和解释。

为达到总精度，要求仪器一致性对比精度 $\leq 7.5\text{nT}$ ，相应地，对测网敷设、基点观测、测点观测、室内计算等也有具体规定。

## 2、异常踏勘

异常踏勘主要是为了了解测区交通位置、地形地貌、地质及地球物理特征，以便写好设计书，为野外做好充分准备。本次异常踏勘主要确定测区局部高值异常走向、中心位置，为实地敷设测网做准备。

## 3、测区、测网和基点敷设

### (1) 测区：

测区要大于所要研究的异常范围，我们要研究的异常以区内局部异常为主，兼顾其周围区域异常，故选取的测区，其面积为  $200\text{m} \times 160\text{m}$ 。

### (2) 测网：

测网尺度（即点线距大小）通常以较精细地反映出要研究的主要异常形态为原则，一般应有 5 条以上测线和沿测线 5 个以上测点落在有意义的最小异常上。测网的基线应平行于主异常走向，测线与基线垂直，异常中心与测网中心重合。为此，我们选：线距 20m，点距 10m；在局部异常上加密，线距为 10m，点距为 5m。总点数约为 270 个。基线东西、中心点在 50/20 点；测线南北。

敷设测网时，采取罗盘定向、测绳量距。基线点位误差 $<0.5\text{m}$ ，测线点位误差 $<2\text{m}$ 。

### (3) 总基点

由于测区范围小，仅设一个总磁测基点，位于异常平稳处，用木桩做固定标志。

## 四 野外磁测

野外磁测包括基点联测、面积区测量和精测剖面观测。本次实习中，因测区面积很小，仅设一个总基点，故无需进行基点联测。下面简述各观测环

节的实测方法及要求。

### 1、一般要求

(1) 操作人员身上一定要清理掉一切铁磁性物体，观测时罗盘应远离仪器 5m 以上，要远离汽车 30m 以上，其它人员也要与仪器保持距离。

(2) 每个闭合单元的观测要起始于基点（校正点），结束于基点（校正点）。对基点时，仪器（探头）要位于标志桩的正上方，并保持高度一致；

(3) 要注意地质现象，当两点场值变化较大时，要考虑加点（线）测量；

(4) 遇到强磁性干扰时（铁路、高压线等），须合理移动点位，并记录在案；

(5) 要注意仪器安全，防止碰撞；当仪器受震后，要返回前几个测点重复观测或返回基点重测，以确定仪器性能是否变化。

### 2、测量要求

对核旋仪器来说，测量时探头方位需按规定朝向，不要晃动、转动；每天核对早、晚校正点的场值，经日变校正后，两值之差若超过差限（高精度级为 5nT，特高精度级为 2nT），则全天工作量应报废，并查明导致报废的主要原因。

### 3、日变观测

日变观测应选在避风雨、避阳光、温度变化小的磁场平稳处。选用性能好的仪器，读数间隔可根据工作任务、磁测精度和观测仪器选定，使用核旋仪器时可加密到 1~5 分钟。这次取 5 分钟，每次读数时同时记下时间。

### 4、基点观测（在不设日变观测站时）

本测区的总基点，即作为磁场的起算点，又作为日变改正的控制点，因此，磁测开始必须进行基点观测；而磁测进行中，每隔 0.5 小时要对一次基点；磁测结束后也要对一次基点。记录好日期、时间。

### 5、测点观测

测线号为 10, 12, 14, ..., 30, 测点号为 34, 36, 38, ..., 66。加点加线

号均为单号，按总顺序排。要求：

- (1) 2（或3）次读数；
- (2) 记录时间；
- (3) 仪器读数反常时，要进行检查，必要时返回至少两个点进行重复观测；
- (4) 每隔 0.5 小时对一次基点；
- (5) 在地形条件差地测点，点位移一般 $<1\text{m}$ ，最大位移 $<2\text{m}$ 。

## 6、精测剖面观测

精测剖面穿过局部异常中心，点距一般为 5m，两端可放宽为 10m，总长为 200m，点号 30~70。要求：

- (1) 2（或3）次读数；
- (2) 记录时间；
- (3) 每隔 15 分钟对一次基点；
- (4) 点位移最大值 $<1.5\text{m}$ ；
- (5) 采集物性标本，可能时绘地质剖面图。

## 7、检查观测

平稳点检查 20—30 个，异常点检查 5—10 个。要求：同测点观测要求。

## 8、记录要求

点线记录格式：点号/线号；每线始、末点，每点始、末点均应记下线号，其余多点仅记点号；检查观测原则上均记点线号。时间记录格式：××时：××分；时按 24 小时记；线始末、点始末均记下××时：××分，其余点除小时变化外均记××分。线始末、点始末点均记录。

# 五 室内计算整理和图示

## 1、场值计算

场值计算主要在野外记录本上进行。计算中要进行日变改正（消除日变变化）。由于测区范围小，高差亦不大，故不进行纬度改正和高度改正。各项计算

结果要取小数点后 1 位，最终结果取整（值为 nT）。

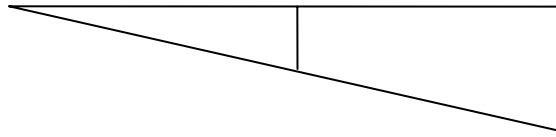
#### (1) 日变改正

##### <1> 基点观测的日变改正

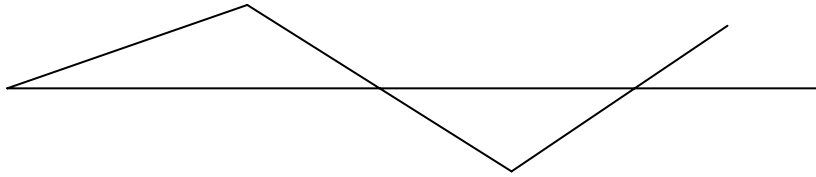
日变改正方法如下：设最早的一次基点读数为  $T_0$ ，以后基点读数为  $T_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ )，对应的时间为  $t_0, t_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ )。i 次基点变化场值  $\Delta T_{0i}$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) 可以求出。若无日变， $\Delta T_{0i}=0$ ，显然， $(\Delta T_{0i} - \Delta T_{0i-1})$  是  $(t_i - t_{i-1})$  时间内日变值，而  $C = (\Delta T_{0i} - \Delta T_{0i-1}) / (t_i - t_{i-1})$  为该时间线性日变系数。在  $(t_i - t_{i-1})$  时间内测点日变值为：

$$\Delta T_{\text{日}}(t) = C_{\text{日}} \cdot (t - t_{i-1}) \quad (4)$$

实际作日变改正时常以作图法进行：



也可采用如下作图日变改正方法：



##### <2> 设日变观测站的日变改正

对于设立了日变站，记录下了日变数据，则可按以下方法进行日变改正。

首先把观测的日变数据减去正常场（例如该地区取 55000nT 左右），得到日变改正值。通过插值（与基点观测相同），计算出观测值的相应日变改正值，实测值减去日变改正值，即达到日变改正的目的。通常对实测值先减去正常场，否则数值太大，不便绘图。

## 2、磁场图示

对面积磁测来说，要绘制：

- (1) 平面剖面图；
- (2) 平面等值线图。

对精测剖面来说，应绘制精测剖面图，可能的话应配以地形和地质剖面图。  
绘图比例尺 1:1000。

## 3、仪器一致性对比剖面图和均方差值

均方差公式见 (1)。

## 4、仪器噪声水平测定剖面图

## 5、质量检查平均误差、均方差

$$\left\{ \begin{array}{l} e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta V_i \\ m = \sqrt{\sum_{i=1}^N \Delta V_i^2 / 2N} \end{array} \right. \quad (5)$$

其中， $e, m$  为平均误差及均方差； $\Delta V_i$  为第  $i$  点原始观测值与检查观测值之差； $N$  为检查点数。

# 六 磁参数测定及计算

由于测区内磁性岩露头不佳，特别是辉绿岩只见无根巨岩。故只能采集少量标本，作示意性的测定和计算，不能进行统计。

采用质子磁力仪测定标本的磁性，同样可用高斯第一位置或高斯第二位置法。我们采用高斯第一位置法。

探头与标本的位置如图 5 所示。探头轴线方向指向磁北，标本放在探头的北侧，标本与探头的连线与水平线的夹角等于地磁场地倾角  $I_0$ ，标本在磁场  $T_0$  磁



化下，相当于一个感应偶极子，其方向与地磁场  $T_0$  方向一致。另外，剩磁也相当于一个偶极子，这个偶极子可以分解成三个相互垂直地分量偶极子，一个与地磁场  $T_0$  方向一致，其剩磁强度记为  $M_{r0}$ ，另外两个都垂直于  $T_0$ ，其剩磁为  $M_{r1}$ ， $M_{r2}$ 。

为了测量出  $M_{r0}$ ，需消除  $M_{r1}$ 、 $M_{r2}$  的影响，我们采用  $180^\circ$  两次读数法消除这个影响，即读一次数  $T_{11}$ ，然后标本以地磁场  $T_0$  为转轴翻转  $180^\circ$ ，再读一次  $T_{12}$ ，即  $T_1 = (T_{11} + T_{12}) / 2$ ，作为标本的第一次读数（或称为正向读数）；再将面朝探头的标本面翻转  $180^\circ$  成背向探头，同以上读数方法得到第二次读数（或称为反向读数）， $T_2 = (T_{21} + T_{22}) / 2$ 。以此类推可以得到标准的六次读数。

则由：

$$\begin{aligned} T_1 - T_0 &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2(M_{i0} + M_{r0}) \bullet V}{R^3} \\ T_2 - T_0 &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2(M_{i0} - M_{r0}) \bullet V}{R^3} \end{aligned}$$

得：

$$\kappa'_{i0} = \mu_0 \bullet M_{i0} / T_0 = \frac{4\pi R^3}{T_0 \bullet V} \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right)$$

$$M_{r0} = \frac{4\pi}{\mu_0} \bullet \frac{R^3}{2 \bullet V} (T_1 - T_2)$$

由此得到磁化率  $\kappa'$  和剩磁  $M_r$ ：

$$\kappa' = 4\pi \frac{R^3}{T_0 V} \left( \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_6}{6} - T_0 \right) \quad (6)$$

$$M_r = \frac{4\pi}{\mu_0} \bullet \frac{R^3}{2V} [(T_1 - T_2)^2 + (T_3 - T_4)^2 + (T_5 - T_6)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

取  $T_0 = 55000 \text{ nT}$ （或实测值）。

其中， $T_1, T_2, \dots, T_6$  为仪器读数， $R$  为标本到仪器探头的距离， $V$  为标本体积。

## 七 磁异常解释

磁异常解释是磁法勘探最重要的环节。它分为定性解释和定量解释两部分。

### 1、定性解释

(1) 异常分类：根据异常形态、走向、幅值大小、分布范围、所处部位等，将磁异常分为几类，以便分别作出解释。

(2) 分析引起多类异常的地质原因，判断异常体形态和赋存的位置，确定异常含矿前景。

(3) 构造分析：某些异常是由构造走向活动引起，有利于对研究区进行构造分析，故对这类异常也要十分注意。

### 2、定量解释

定量解释的目的是定量地揭示异常的形状、大小、埋深、倾斜、磁参数等。定量解释进程有如下几步：

- (1) 曲化平和延拓；
- (2) 圆滑和滤波；
- (3) 化极和分量转换；
- (4) 异常分解；
- (5) 定量反演。

## 八 实习报告

实习报告每人一份，内容如下：

1、实习日期、地点、交通、地质与地球物理特征。

2、野外工作方法、质量评价：二、三、四、五、六内容。

3、磁异常解释：定性、定量、构造分析、地质结论。

所有绘制的图件均作为附图上交，每人 1 份。

# 电法勘探实习指导

金胜

中国地质大学（北京）

地球物理与信息技术学院

# 一 实习大纲

## 一、目的及要求

### （一）实习目的

教学实习是重要的实践性教学环节。通过教学实习将理论联系实际，巩固校内课堂理论知识；熟悉、掌握各种电法仪器的使用和维护；培养学生树立实事求是的科学态度和不畏艰苦、勇于探索的工作作风；培养学生的动手能力和处理野外实际问题的能力，为进一步学习电法勘探专业理论和实际工作打下初步基础。

### （二）基本要求

学会熟练地使用和维护电法仪器和设备。学习和掌握多种电法勘探分支方法的野外基本工作方法和技能,并能处理野外出现的一般故障问题；以实习小组为单位，完成工区内一部分测点的数据采集工作，较准确地获得每个测点的观测数据，培养学生的实际操作技能。

结合实际工区资料,初步了解电法工作设计的原则和方法。

学习并掌握野外资料的一般处理、反演、图示方法。

根据工区实际地质条件和实测的物探资料，编写实习报告，初掌握物探资料解释方法和电法成果报告编写方法，培养学生综合分析和表达能力。

## 二、实习内容

学习电法工作设计书的编写原则，并编写实习工区的工作设计书。

熟悉电法勘探仪器和装备的工作原理、性能，掌握实习中所用仪器的操作步骤和维护方法，学会具体操作电法勘探仪器，如高密度电法仪、EH4 连续电导率剖面仪、MT24 大地电磁测深仪等。

掌握野外施工中电法各分支方法的工作方法和技能问题，如测站布置、导线敷设、电极埋置、实际观测等。

掌握观测数据的整理、反演和图示方法，对实习中的实测数据进行资料处理、反演和结果成图等工作。

熟悉异常的解释推断原则及其解释方法，对结果图件进行解释。

掌握编写电法成果报告的原则和方法，并编写电法勘探成果报告。

### 三、考核办法

根据教学管理相关规定，实习成绩按优秀、良好、中等、及格和不及格五级分评定成绩。实习成绩由三部分组成：实习中工作态度、表现与工作能力 10%；实习报告 50%；实习基本知识测验 40%。

在实习中学生要勤于动手动脑，理论联系实际。注意积累资料，最后每位参加实习的学生独立提交一份实习报告。对实习报告的总体要求是图文并茂。即报告内容丰富、重点突出、章节安排合理；立论有据、概念清楚；结论和建议正确；书写工整、文字简洁；图件完整、清晰、美观。

## 二 电法勘探的工作设计

电法勘探在解决具体地质问题工作过程中，大体上分为工作设计、野外数据采集、资料处理、反演、结果成图、解释及成果报告编写等阶段。为了保证数据采集、资料处理等工作的顺利进行，必须对各阶段的工作部署有明确的要求及规定，这些规定的有机汇总就是通常所说的电法勘探工作设计书。

设计书是根据工作任务，在充分调查研究的基础上，根据现行规范（或规定）编写而成的。编写设计书是要根据工作地区的地质、地球物理、地球化学条件以及交通、人文等条件，选择有效的工作方法、布置合理的测网、配备适用的仪器设备、制定野外施工方案及室内资料整理方法等。因此，设计书既是指导野外施工的“法规”，也是检查工作、评审工作成果的重要依据。没有设计就不能很好地完成勘探任务。

在编写设计之前，要广泛收集工区的地质、地球物理资料、进行实地踏勘、方法有效性试验和生产前的技术试验等工作。设计书要简明扼要、结构严谨。

设计书应包括以下内容：

#### （一）概况

说明施工区的交通位置、范围、面积、经济、气象等情况（附小比例尺交通位置图）；工作任务及其在国民经济中的作用；前人工作程度及质量；本次工作目的、地质任务、设计总工作量、工作期限、提交成果报告的时间等。

#### （二）地质、地球物理和地球化学特点

阐述施工区的地层、构造、岩浆活动情况和地球物理、地球化学场特征，作为分析提出物探工作方法的依据。若施工工区资料不足，可引用邻区的有关资料。

### （三）工作方法与技术

本部分是设计书的核心内容，除正常的施工方法与技术外，还包括必要的异常检查研究工作。工作方法与技术大体包括以下工作内容：采用的工作及依据（含必要的试验工作）、使用的仪器装备、具体的技术指标、测网布置及依据、工作量及工作质量要求、定点、定线测量工作等。

### （四）资料整理、解释及成果报告的要求

说明资料整理、解释方法、技术要求；提交成果图件和提交报告的预计时间等。

### （五）设计书附图

它给出直观的概念，是设计书的重要部分。

1. 小比例尺交通位置图；
2. 地形、地质及电法工作布置图；
3. 本区或区域性地质、物性综合柱状图；
4. 具有代表性的本区以往所做的物探、钻探、化探成果图件。

## 三 电阻率法

### 一、电阻率法工作的地球物理前提

探测对象与围岩或其他地质体之间应存在明显的电阻率差异；探测对象相对其埋深具有一定的规模、适当的形态和埋藏条件，其异常具有一定强度和范围，能用现有仪器、技术发现和研究探测对象的电阻率异常，能从背景干扰中清晰分辨探测对象引起的异常。

## 二、视电阻率参数的观测精度

### 视电阻率总精度确定的原则

视电阻率的观测总精度应根据地质目的、探测对象的赋存情况和干扰因素的干扰水平以及仪器装备等客观条件进行设计。

首先应考虑野外需要分辨的最弱异常和实测能够达到的最小观测误差。误差理论指出，只有大于三倍实达误差的异常才能认为是可靠的异常。其次应考虑干扰水平不应大于设计精度的一倍。这样，电阻率法视参数的观测精度至少应为保证测准最弱相对异常的三分之一，即误差应为 3%~6%，现行直流电法规范取 5% 为 A 级精度的指示值，10% 为 B 级精度的指标值。

### 视电阻率观测精度的影响因素

视电阻率观测精度以确均方相误差来衡量。

视电阻率观测精度主要受电测自身观测误差和测地工作精度影响。电测自身观测误差应

包括 $\Delta V$ 、 $I$ 的观测误差和“其它”误差。“其它”误差一般包括布极不准引起的误差、电极极差变化、自然电位变化、仪器本身性能变化等引起的误差，这些误差叠加成所谓的“无位误差”。

测地误差、电极位置布设不准以及电极不满足理想的点电源而引入的微小的微小  $K$  值

变化称为“装置误差”，它与点位密切相关。“装置误差”和“无位误差”叠加，即构成所谓的“有位误差”。

视电阻率总精度分级以及各种因素引起的误差分配值见表 2.1。

表 2.1 中规定的指标原则上适用于所有种类的电阻率法工作，但应分别不同的工作地区、工作目的以及测区的干扰水平来选择合适的精度级别。在有充分依据的前提下，设计者可以适当调整表 2.1 中的总精度，但必须满足工作任务要求且不影响地质效果。

## 三、测区范围与测网布置

## 1. 确定测区范围的原则

(1) 测区范围应包括整个被探测地质体可能赋存的地段，并应向外扩延有足够的背景场。

(2) 在下列情况确定测区时，要充分利用已知资料，以便资料联系对比。

①电剖面法确定追索性的测区时应包括全部或部分已知地质体，以便能运用已知地段资料来对比未知区；②在其它物化探成果基础上布置更大比例尺工作时，尽可能包括某些地质情况比较清楚的地段，特别是与研究目的有关系的开然露头或探矿工程分布地段，当上述地段远离测区时，应通过电剖面或电测深剖面联系对比；③在前人工作的基础上扩大测区范围时，应在测区边缘重复部分测线，以便于成果的联系与利用；④当拟设计测区及其附近曾进行过电测深，而且采用过的最大供电电极距与拟设计最大供电电极距相近时，应尽可能使一部分拟设计电测深点与以往测深点相重合，以便于资料的联系对比与利用。

(3) 确定测区范围时还要考虑地形、地貌，并兼顾施工方便，力求资料完整和测区大体规则。

## 2. 测网布置

(1) 设计电阻率法工作测线（或剖面）方向的原则

①测线（或剖面）应尽量垂直于探测对象走向，并尽可能避免或减小地形影响和其它干扰因素的影响；②当测区内已有或设计有探矿工程或典型地质剖面时，应尽可能将测线设计在地质勘探线或典型地质剖面上；③当探测对象的走向变化复杂以至于测线方向无法简单确定时，测线应垂直它们的平均走向或主要走向布置，或者根据需要在不同地段采用不同方向测线分段控制，必要时可设计正方形测网；④对于某些特定情况，还应设计纵剖面测量。

电剖面法工作的测网

电剖面法工作测网形式取决于探测对象的分布范围和平面分布状态。测网密度则应该根据地质目的、工作性质、探测对象的空间位置以及采用的装置形式等因素确定。通常可按表 2.2 中的规定执行。

(2) 电测深工作的比例尺和测网密度

①电测深工作的比例尺和测网密度应根据地质任务、测区地电断面的复杂程度等具体条件综合考虑。如电测深工作是为了寻找某些地质体或地质构造，则所



设计的测网密度应能保证平面分布最小的探测对象至少在两个相邻测深点上有清晰的反映；必须考虑探测对象埋深对探测结果详细程度的限制，相邻电测深点的最小距离不得小于主要探测对象埋深的一半或所设计的最大电极距的一半。当为了探测较深的对象，但又要详细了解其它浅部探测对象时，只允许按上述原则在较疏的大电极距电测深测网中用小电极距电测深点加密。

②电测深工作的比例尺和测网密度的关系，应视工作地区地质和地球物理条件的复杂程度决定。

面积电测深工作常用比例尺和测网密度列于表 2.3。

## 四、确定电极及电极排列方向的原则

### 1. 电剖面法装置电极距选择原则

选择装置的电极距应遵循的总原则是：

- ① 一般要考虑被探测对象顶部埋深。
- ② 覆盖层的电阻率；探测低阻覆盖层下的地质体要选用较大的供电电极距。
- ③ 表层土壤电性的不均匀程度。当 AB、MN 大小选择的比例合适时，可以降低表层土壤电性不均匀的影响。
- ④ 为了获得探测的多种信息，可选用多组电极距观测。
- ⑤ 为了工作方便，MN 通常取点距的整数倍。
- ⑥ 选择电极距应在已知地质剖面上进行必要的试验工作。

常用的电剖面法电极选择的具体原则如下：

#### (1) 三极、联合剖面装置

① 在寻找良导的陡倾薄脉时，供电电极距 AO 应选为  $AO=L_1+L_2$  ( $L_1$ 、 $L_2$  分别为脉状体的走向长度和下延长度的一半)；当欲分辨相邻地质体时，应使 AO 不大于地质体间距的二分之一；在进行地质填图或追踪异常时，一般要求 AO 至少应为被探测地质体顶埋深的三倍。测量电极

$$MN = (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5})AO$$

② 当探测对象的规模与埋深不清楚或变化范围较大时，应尽可能设计多种电极中进行观测，其极距变失比值不小于 2 为宜；

③ “无穷远”电极一般应垂直测线方向布设，要求它与最近测线的距离为 AO 的 5~10 倍；当需要沿测线或斜交测线方向布设“无穷远”电极时，一般应

超过 AO 的 10 倍。

## (2) 对称四极或复合对称四极剖面装置

该装置供电电极距主要根据工区基岩顶面（或探测对象顶部）的平均埋藏深度或疏松层的平均厚度  $H$  来确定。

① 供电电极距  $AB$  至少应为探测对象顶部埋深的 4~6 倍；测量电极距  $MN$  应不小于探测对象顶部埋深，但也不宜超过  $AB/3$ 。

② 在复合对称四极剖面装置中，电极距与  $H$  满足如下关系

$$A_1B_1 = (2 \sim 4)H, A_2B_2 = (6 \sim 10)H$$

$A_2B_2; A_1B_1$  应大于 2，其最佳比值应根据地质目的、测区地性质，由野外试验角定。此外，也应取  $MN$  的整数倍。

## (3) 偶极剖面装置

偶极剖面装置的电极距  $OO'$  与联剖装置的电极距  $AO$  是相当的，可参照联剖装置电极距的确定原则选择  $OO'$  的大小。通常使  $AB=MN=a$ ， $OO' = (n+1)a$ ， $n$  为整数， $a$  的大小应为  $a=(1/6 \sim 1/4)OO'$ 。

## (4) 中间梯度装置

①  $AB$  的选择应考虑装置为某一极距时的有效勘探深度，通常可根据覆盖层厚度及其地电性质，并结合电源功率和施工方便等因素设计。考虑到大极距的对称四极装置异常与相同条件下的中梯装置异常是相似的，因此，在选择中梯装置的供电电极距时，可以参考对称剖面装置的理论计算或模型实验结果。

② 测量电极距  $MN$  既不能太大也不能太小，通常取  $MN=(1/50 \sim 1/30) AB$ 。

③ 当必须移动两次或多次装置来完成整条测线的观测时，在相邻装置的接合部位应有 2~3 个重复观测点。

# 2. 确定电测深电极距系列及电极排列方向的原则

每个测深点观测所用的自小而大的一系列电极距，称为电测深工作的电极距系列。电极距系列、最大供电电极距以及电极排列方向，应根据工作任务、测区地质、地球物理条件及施工条件等设计。

## (1) 确定电极距系列的原则

① 在设计供电电极距系列时，应使各极距在双对数坐标系上沿  $AB/2$  轴有大

致均匀的分布，相邻电极距的比值通常选择为 1.5，这种系列间距在坐标轴上的分布大约为 1cm。

②应以获得完整的电测深曲线、满足解释推断的需要为原则。设计的最小供电电极距应该保证电测深曲线有明显的近于水平的线段（即保证电测深曲线的首支能够反映背景电阻率）；设计的最大供电电极距应满足勘探深度的需要。具体要求是：当以“无穷大”电阻率值电性层作为电性标志层时，在反映该电性标志层呈  $45^\circ$  上升的曲线尾支渐近线上至少应有三个电极距读数；当以有限电阻率值电性层为底部电性标志层时，测深曲线的尾支应获得明显的渐近线（应有三个或以上电极距读数）；对于新区，应根据需要设计若干个均匀分布、电极距较普通测深点大的“控制测深点”，以把握测区中电测深曲线的尾支渐近线特点，了解最下部电性标志层的电阻率情况。

③测量电极距系列应根据所设计的供电电极距系列、测区岩石电阻率及电位差观测条件等设计。为了保证观测精度和工作效率，通常测量电极距与相应供电电极距的比值保持在  $1/3 \sim 1/30$  的范围内，即  $AB/30 \leq MN \leq AB/3$  表 2.4 为电极距的一种选择方案。

④“无穷远”极 C 的方位和距离，应根据最大供电电极 AO（或 BO）、测区地电断面特点及其他工作条件来合理设计，应尽可能使“无穷远”极 C 位于 MN 的中垂线上，将 OC 与 MN 中垂线的方向控制在误差范围之内，并使 OC 不小于 5 倍 AO（或 BO），若不能满足上述要求，可使 OC 长度增大至 10AO，使之由于 C 极影响在视电阻率观测中引起的误差不超过 2%。表 2.4

## （2）确定电极排列方向的原则

在设计电极的排列方向时，应使各种电性不均匀（如地形、构造、地表局部电性不均匀等）的畸变影响降低到最低限度，同时了应适当照顾通行、接地和施

工方便。

电极排方向一般应满足如下要求：

①同一测区的电测深的电极排列方向应大体相同，因客观条件限必须改变方向时，应布置足够数量的十字电测深点。

②应尽可能使电极排列方向和剖面方向一致以便节约测地工作和便于收、放线连续作业。

③当地形坡度大时，应尽可能使电极排列方向与地形等高线平行。

④必须设计一定数量（不少于测点总数 3%）、在测区均匀分布的十字电测深点，以便把握地电断面在水平方向变化对电测深曲线的影响。

## 五、电阻率法的野外作业技术

### （一）测站布置

#### 1、仪器设备的检查与维护。

保证仪器设备完好，应系统检测其各项技术指标达到要求方能投入使用。对用于实习的导线，特别是用过的旧导线要认真检查导线有无破损点或断点。通常用浸水法检查导线（如图 3.1 所示，缺图）。即把导线逐段浸入盛满水的盆（最好是塑料盆）中，并用手压住导线使之缓慢通过水盆；用万用表的  $1k\Omega$  档测量电阻，一根表针连导线一端，另一根表针插入水盆，若导线未破损且绝缘良好，则万用表指针指向  $\infty$ ，当导线破损时，可发现指针指向某一值。

发现漏电点，擦干导线，先用高压绝缘胶布逐层紧密缠绕，再用半宽的黑胶布缠好，力求所缠绝缘层平整、光滑。

#### 2、对电极的处理

对杆状、钢制电极要进行除锈处理，使电极表面光亮。减小电极的接地电阻。使用不极化电极时要注意保养，通常要求配对使用的两个电极间极差小于  $0.1mV$ 。

#### 3、明确工作职责，团结协作

组长、仪器操作员、记录员、跑极员等要明确工作职责，保证野外工作顺利进行。

### （二）导线敷设

1. 为了防止导线敷设不当而引起电磁耦合、电磁感应或导线漏电，供电、测量导线不允许相互交错敷设，应尽可能分列于测线两边，并保持一定距离。
2. 测量导线一般应避免悬空架设，当导线穿越河道、池塘必须架空时，应注意将导线拉紧，以避免读数不稳定。
3. 测量导线应尽可能远离高压输电线。当必须通过时，应使那段测量导线与高压线方向垂直。电线接头处应确保接头牢固和外皮绝缘好。
4. 为避免导线损伤，放线时应边走边放。收线时应边走边绕动线架收线，不许拖曳收放线。

### （三）电极接地

正确布设电极也是提高观测精度的重要技术措施之一。杆状电极接地通常遵循以下原则：

1. 电极应尽量靠近预定接地点标志垂直地表打入地下，并与土层密实接触，以减小电极的接地电阻。
2. 电极入土深度一般应小于电极到 MN 中点距离长度的  $1/20$ ，当电极距很小时，也应不超过  $1/10$ 。
3. 当单个电极接地不能满足野外作业要求时，应采用多根电极并联成电极组。电极组要求：
  - （1）电极组任意电极间的距离应大于 2 倍电极入土深度。
  - （2）电极组通常应垂直测线打成一排或几排，只有受客观条件限制进才可以绕接地点环形分布或沿测线排列。
4. 供电电极的数目应根据供电电流和接地条件而定。单根电极通过的电流强度以不超过  $0.2A$  为宜，以减少电流不稳现象。
5. 当进行剖面测量时，单根电极因客观条件限制只能向接地点某一侧偏离时，其垂直测线方向的位移应小于至 MN 中点距离的  $1/14$ 。沿测线方向的位移，对供电电极应小于其至 MN 中点距离的  $1/220$ ，对测量电极应小于其至 MN 中点距离的  $1/120$ 。当不能满足上述要求时，应重新计算 K 值。

电测深法的电极接地除应遵守上述原则外,为选择优越的供电接地点或避开障碍物,可以垂直 AB 排列方向移动接地点。供电电极接地点垂直拉线方向称动的距离应不超过 AO 的 1%,这时可不必另外计算 K 值。当接地点附近存在较大面积的障碍物或者接地困难时,必须在观测现场改变电极距观测,这时应重新计算 K 值。移动一端或两端电极后的四极测深装置,仍应设法使装置保持对称;若 AO 与 BO 不等,则在绘图时将两者极距取平均值。布置测量电极 M、N 时,允许与 AB 的方向有一定的偏离,但偏离角度不得大于 5%。

不极化电极接地的技术要求:

1. 应在接地点挖电极坑,坑内不得留有碎石和杂草;地表干燥时,应提前半小时在坑内浇水,当测点岩石裸露时,应在岩石上垫以湿土。总之,应确保不极化电极接地电阻较小,要求接地电阻  $R_{MN} < 5K \Omega$ 。

2. 不极化电极不可埋设在流水、污水或废石堆中。布极时,还应尽量减小两极温差,所有电极应避免日晒

3. 当接地点受自然条件限制要移动电极布设位置时,其移动方向应垂直测线,其移动距离不应大于观测点点距的 1/5。

#### (四) 测站观测

野外观测方法分为基本观测、重复观测、检查观测和系统检查观测。

##### 1. 电阻率法基本观测的技术要求

- (1) 供电电压不宜低于 15V,以免因低压供电电极极化缓慢致使供电电流不稳;同时供电电压低将造成极化电压所占比例增大,影响观测精度。

- (2) 在观测过程中,应将供电电流的变化控制在  $\pm 2\%$  以内。

- (3) 对于单个测回(指对测点完成一次  $\Delta V$  和  $I$  的连续测定过程),应采用短暂而相同的观测时间,以避免观测过程中电极极化引起电流变化以及某些地质体的激电效应给观测结果带来影响。

- (4) 应选择合适的测程来度量输入讯号,一般以指针偏转不小于表头刻度的 1/3 为宜。在指针稳定的情况,其最小读数不应低于满度读数的 1/4。指针不稳定时,最小读数应加倍。

(5) 供电电流和总场电位差应尽量估读至三位有效数字；视电阻率值应算至三位有效数字

(6) 电测深野外基本观测的技术要求除上述 5 点外，还应注意下列三点：

①当变换测量极距观测时，应当在测量极距被改变的两相邻供电电极距上同时获得两组测量电极距的观测值。

②进行大极距观测时，必须每次观测的供电时间不少于电场的建立时间。电场建立所需的时间  $t$  可按以下经验公式求得

$$\{t\}_s = \frac{2\pi \{L\}_{km}^2}{10\{\rho_s\}\Omega \bullet m}, \text{ 式中 } L \text{ 为供电电极距 } AO, \rho_s \text{ 为相应供电电极距的视电阻率的}$$

观测值。当极距较大时，要注意因供电时间过长可能引起的测量电极的极差变化、大地电场的变化以及电池组的电源不稳定等情况。

③供电电极距  $AO$  大于  $1000m$  时的所有读书应进行重复观测，并以其平均值作为最终的基本观测值。

## 2. 重复观测

不改变操作者和观测条件而对该测点进行再次测量的观测叫重复观测，即指在读数条件比较困难、单次观测难以保证精度的情况下，操作者通过增加观测次数，以使最终观测结果符合精度指标的一种技术措施。

(1) 电阻率法在下列情况下需要重复观测：

①当读数小于  $0.3mV$  或  $0.3mA$  时。

②电测曲线的突变点、与相邻测线对比显得无规律的测段。

③电测深作业，当供电电极距超过  $500m$  时，应进行重复观测。

重复观测仍属原始观测之列。

对视电阻率进行重复观测的要求：

①在参加统计的一组  $\rho_s$  观测结果中，最大值和最小值之差相对二者的算术平均值应不超过  $\sqrt{2n} \cdot M$ 。其判别式为

$$\frac{2(\rho_{s\max} - \rho_{s\min})}{\rho_{s\max} + \rho_{s\min}} \cdot 100\% \leq \sqrt{2n} \cdot M$$

式中  $n$  为参加平均的  $\rho_s$  值的个数（即一组重复观测数据的个数与被舍弃的观测数据的个数之差）； $M$  为设计的无位均方相对误差。

②在一组重复观测数据中，误差过大的观测数据可以舍弃，但必须少于总观测次数的  $1/3$ ，如观测 4~6 次时，可舍弃其中的 1 次；7~9 次时，可舍弃其中的 2 次。若超限的观测数据过多，说明可能不具备观测所需的基本条件，或者操作者本人的观测技术尚存在问题。

③重复观测应改变电流（改变量不限制），但应不改变接地位置及条件。

④对一组重复观测的有效数据取其算术平均值作为该测点最终的基本观测数据。一组重复观测数据中的有效值和舍弃值都应在相应备注栏中注记。

## （五）检查观测和系统检查观测

### 1. 检查观测

检查观测是改变工作条件的重复观测，即操作者本人对已完成的原始观测点或极距进行的抽样检查或对质量有疑义地段或极距的检查。它也是保证野外观测质量的一种技术措施。

检查观测与原始观测数据之间计算统计的误差，不作为衡量测区观测质量的一项指标，但可以作为分析工作质量情况的一种参考量。

### 2. 系统检查观测

系统检查观测是指对于基本观测所进行的全区（或分区）性同精度系统性检验，是改变操作者和观测条件的独立的检查观测。

系统检查观测与基本观测结果的统计计算误差，作为评价野外工作质量的主要依据。

#### （1）布置系统检查观测的原则

①严格做到“一同三不同”，即同一点位、不同仪器（应测定仪器之间的一致性并应合乎规定要求）、不同操作者、不同观测时间。



②系统检查观测应安排在野外工作基本完成或部分完成时进行。其工作量一般应为测区总工作量的 3%~5%。

③系统检查观测在时间、地段上都要有代表性，即应考虑在不同时间过程中的基本观测，必须使系统检查观测工作量均匀分布于不同的测区或区段。

④如果不重新布置独立的测地工作并按原测点位置接地，则应按无位误差精度要求来衡量观测质量，否则应按有位误差情况处理。

⑤系统检查观测结果应编列专门的统计表，必要时应绘制质量检查对比曲线和误差分布曲线。

#### （六）岩、矿石电性参数的测定

不同岩、矿石电性参数的差异是布置电测工作的前提，也是解释电测资料的重要依据，因此，测定和掌握不同岩、矿石电性参数是电测工作中不可缺少的部分，这项工作应贯穿于整个电测工作过程中。

### 六、电阻率法资料处理与成果图示

#### （一）资料处理与反演

原始资料是否正确直接关系到成果资料的准确性及物探工作的效果，因此，确保原始资料的正确性是提高物探工作质量的关键。必须采取一些严格的措施对原始资料进行检查与验收，野外记录、计算时所用的常数及全部计算必须进行 100% 的复算，其中  $K$  值、 $\rho_s$  值计算准确到三位有效数字（其后数字四舍五入处理）。复算结果的错误率不得超过 1%，异常地段的计算必须全部正确。野外工作的各种记录本、记录表格、仪器性能检查标定记录、采样记录等原始资料要保存完整。

在原始资料检查和验收的基础上，对所获资料进行全面整理的目的是压制干扰、突出有用异常，使工区内的全部资料统一，完整且便于对比分析和充分利用。

观测结果的整理工作主要包括：

（1）坚持做到对原始资料的复核检查和验收工作，把好原始资料的质量关。

(2) 根据需要对有关资料进行必要的处理和改正工作。

①地形改正，压制或削弱地形异常对观测结果的影响。

②对表层局部电性不均匀体的处理。

③仪器的一致性校正，将同一工区内多台仪器观测结果换算到同一台仪器的观测标准上，便于资料对比分析。

根据野外观测的数据计算出视电阻率以后，可以直接绘制各种图件进行定性或半定量解释。也可以利用各种电阻率法的反演软件对视电阻率或者其它参数（如转换函数等）进行反演处理，得到地下电阻率分布的真实模型，进行定量解释。具体反演方法和软件请查阅相关资料或由指导教师提供。

## （二）电阻率法的成果图示

电阻率方法的成果图件主要有以下几种：

### 1. 辅助图件：

#### （1）测区位置图

通常作为设计书或成果报告的插图或其它图件的角图。它是专门表示物化探测区的地理位置以及测区与外界交通联系情况的图件。一般采用较小比例尺绘制。图的范围至少包括一个县级以上的居民地，图中应绘出铁路、公路等交通干线、重要居民地、水系、境界位置，测区轮廓和地理坐标等。

#### （2）工作布置图

它是物化探工作设计书的主要附图，是专门表示物化探工作计划、设计内容的图件。

#### （3）实际材料图

它是物化探测地工作的基本成果图件，也是物化探工作成果的主要基础图件，应按实际工作比例尺绘制。其内容包括测区的地理位置；测网和工作比例尺、三角点（或物控点）及其与基线联测关系、基线的闭合或附合关系及基闭合关；各咱固定标志埋设位置及各种异常查证工程位置、剖面及其编号、方法或装置代号、各种性质的测深点位置编号和拉线方向、总基点、供电极或“无穷远”极接

地点等特殊点位置；重要的电性标本或地质标本采集点位置及编号；经系统检查观测的测线或测线段。

## 2. 参数图类及推断成果图类

### （1）参数剖面图

参数剖面图是反映沿测线方向、同一探测深度内地电参数变化特征的图件。当在同一张剖面图上表示不同方法或同一方法多种参数，以及相应地形、地质内容时，称为综合剖面图。

参数剖面图的内容应包括：剖面线位置坐标及其点号和方位，参数坐标轴及其分划，参数名称、代号及单位，参数量值曲线或矢量符号，相应的观测技术条件（如装置大小及形式）。

①剖面图的位置坐标轴一般作为横坐标轴，参数坐标轴为纵坐标。

②剖面图的比例尺选择：横坐标（测点位置）比例尺原则上与工区内工作比例尺相同；纵坐标的参数比例尺一般用算术比例尺，其大小应根据参数的精度高低、异常背景地段的干扰水平及异常的特点选择。

③参数坐标轴的大值或正值恒在上方，测点号大值恒在右方。

④参数量值曲线的连接方式是在相邻量值点之间用直线连接，两头适当留空。

### （2）平面剖面图

面积性测量工作均绘制平面剖面图。它是专门表示测区内所有剖面线的平面分布及其用量值曲线表示物探参数沿各剖面变化特征的图件。其主要用于研究电场的平面分布特征和各测线间的异常对比。

①平面剖面图应包括物探测网的全部基线和测线，基线每 5 或 10 点处标注一个点线号，测线应在每 5 或 10 条线的端点及线上每 10 或 20 个测点处标注一个点线号。

②平面上二维比例尺应一致，一般按实际工作比例尺绘制，保持相邻基本点距在 0.2~1cm 范围内，线距在 1~4cm 范围内。

③参数比例尺一般采用算术比例尺。

④平面剖面图测线号大值恒在上方，测点号大值恒在右方。

### （3）等值线平面图

电法面积性的剖面工作，通常都要绘制有关参数的等值线平面图。它常以同比例尺简化地质图为底图，能较直观地反映出异常与地质构造的相互关系。

等值线平面图的构制方法。准备一个 3 列的文本文件，第 1 列为测点的 x 坐标，第 2 列为测点的 y 坐标，第 3 列为测点异常值；然后利用 Surfer、Matlab 等软件绘制等值线平面图。

### （4）电测深曲线图

电测深曲线是电测深工作的基本图件，要求逐点绘制，并装订成册。绘制注意事项是：

①在电测深曲线上方应标明测深点的点线号、高程、电极排列方向、最大、最小供电电极距、工作日期。曲线首尾应注明实测视参数值。定量计算后，应将视参数曲线的类型、量板的编号和理论曲线参数、特征点及解释过程使用的辅助线等注在图上。

②经过定量解释的电测深曲线，应沿 AB/2 轴以相同比例尺绘出由解释推断所得的电性柱状图及进行井旁测深时所对应的钻孔柱状图。

③不同测点的电测深曲线不应绘在同一图中的同一坐标系内，但十字测深的两条曲线及测深曲线对比图不受此限。

### （5）电测深曲线类型分布图

电测深曲线类型分布图是定性解释用的图件之一。此图可定性反映出测区内地下电性层分布及其变化情况，结合测区岩石物性资料，用以说明引起曲线类型变化的地质原因。电测深曲线类型图的制作方法是：按相应的工作比例尺在图纸上绘出各测深点的位置，并把各测点电测深曲线类型符号或经过缩小的电测深曲线标注在测点上方，这样，即得曲线类型图。

### （6）等视参数断面图

等视参数（ $\rho_s$  或  $\eta_s$  等）断面图是电测深剖面或面积测量工作时常绘的一种图件。它可以明显地反映出沿某测线的垂直断面上视参数的分布情况，进而可以了解垂直断面上基岩起伏、构造情况、电性层分布等。

等值断面图的作法是：以测点为横坐标，以  $AB/2$  为纵坐标，把每个测点上各极距观测的视参数值标在相应位置上，然后勾绘等值线（可参考平面等值线的绘制方法）。另外，当为了突出浅部电性不均匀体的分布时，纵坐标可取对数比例尺（见图 4.5a）；当为了突出深部电性不均匀体时，纵坐标也可以取算术比例尺（见图 4.5b）。在实际工作中可根据地质解释的需要选取合适的纵坐标比例尺。

#### （7）相同极距的视参数剖面图和平面等值线图

在进行电测深工作时，为了探查某一深度上岩石电性参数沿水平方向的变化情况，常选择各测深点某一固定的  $AB/2$  极距所对应的视参数值，作出剖面图或平面等值线图。

选择该固定极距的方法和原则是：首先绘制并分析等视参数断面图，观察和比较不同供电电极距对探测对象的反映能力，选出反映视参数曲线特征最明显的供电电极距。

#### （8）地电断面图

地电断面的作图方法：准备一个 3 列文件，第 1 列为各测点的坐标，第 2 列为定量解释出的各层埋深，第 3 列为各测点下各层电阻率（或极化率）值，然后用 Surfer、Matlab 等软件成图，这就是地电断面图。

地电断面图通常是在电测深定量、定性解释的基础上绘制的推断成果图。在应用此图解释时应注意地电断面与地质断面的关系，当地电断面与地质断面有对应关系时，或已确定与某一地层有对应关系的电性层，则对之还应标注出地层符号。

#### （9）推断成果图

推断成果图是表示物探工作解释推断成果和结论建议的图件，可分为推断平面图、推断剖面图、推断立体图等。它们的编制方法是在参数平面图和参数剖面图的基础上加绘有关地质内容以及解释推断结果（地质体的分布、走向、形态、

产状等) 建议进一步工作的地段、工作方法、使用工程手段及位置等。

#### (10) 图形整饰

一个正式的物化探图件应有图框、图名、图幅号、接图表、比例尺、图例、技术说明、责任表和密级等内容。这些内容在标准分幅的图件中, 必须全部安排在图外, 所以上述内容称为图外要素。

图框: 图框起着压边和衬托图面内容的作用, 其宽度应与图面大小相适应。图框一般由几个线条组成。

图名: 图名由工作地区名称、测区名称或编号、物探方法及参数名称、图的类别四部分顺序排列组成。除测区编号和物探参数用代号外, 其余均用汉字。例如: xx 省 xx 县 xx 区  $\rho_s$  平面等值线图。位置图类和解释推断成果图类的图名中可省略方法和参数名称, 必要时刻代之以方法的大类名称。

比例尺: 自由分幅的图件可只写数字比例尺(空间坐标比例尺), 且比例尺位于图件上方正中的图名与上图框之间。国际分幅的图件还必须有直线比例尺, 且比例尺位于图件下方正中。

图例: 凡是图中所绘出的各种图形符号、文字符号、线条和物探参数的比例尺等, 均必须列入图例, 并确切说明其代表的内容。图例由左向右或从上到下排列, 其顺序为: 地质符号、物探符号、物探干扰物等特殊地理符号。地质符号的顺序为: 地层(由新到老)、火成岩(由新到老、由花岗岩类到超镁铁质岩)、岩相、构造、矿产、探矿工程、其它。物探符号的排列顺序为: 工作坐标、实测资料、推断结果。

技术说明: 写明使用图件时必须了解的某些数据和方法技术情况。具体包括: 坐标系统的说明; 测网敷设方法及精度; 取得物探成果时的方法技术条件; 制图说明; 中间梯度装置的供电点, 联合剖面法的无穷远极位置, 充电法的充电点, 自然电位法的总基点, 电测深的布极方向等无法在图上标出, 也应在技术说明中说明。

责任表: 所有工作设计或成果报告的附图, 除交通位置图外, 都必须有责任表。

密级：应按地质资料保密范围而定，标明图的秘密等级。

### 3、说明工作质量的图件

这类图件通常包括仪器性能标定的图件、资料整理中各项改正的曲线、质量检查对比图和误差分布图等。上述图件一般以报告插图形式绘出。

## 四 激发极化法的工作设计

激发极化采用的装置形式基本上与电阻率法相同，不再述，在此仅将激发极化法设计中的某些特殊问题作简单介绍。

### 一、激发极化法的工作方式

1. 时间域激发极化法按供电方式分为单向脉冲和双向脉冲。而按供电脉冲持续时间长短产生了长脉宽和短脉宽工作方式。两种工作方式用途不同：在普查和大面积详查地区，应采用短脉宽工作方式；仅在个别详查区和进行激电测深、研异常、解决某些特定问题时采用长脉宽工作方式。两种方式的优、缺点见表2.5。

2. 根据仪器性能的特点上，其工作方式又可以分为短测量导线和长测量导线两种。其区别在于短导线测量中测量仪器不与控制系统连接，利用远点启动方式，实现二次场电位差测量，短导线测量的特点是不设固定测站，测量与控制间无连接导线；连接测量极的测量导线很短，减轻了测量电极员的劳动强度，减少测量导线漏电机机会；几台测量仪器可以同时工作，效率高，适于快速普查；操作员在每一测点观测，有利于及时发现和处理问题；操作员与测量电极相距近，二者无需通讯联络。

### 二、踏勘和技术试验工作

激发极化法的踏勘和技术试验工作原则与电阻率法相同，可参阅电阻率法有关规定。激发极化法本身在设计工作中的技术试验还有如下内容：

1. 选择工作方法的试验是在一定数量的典型剖面上，以拟采用的一、两种装置按不同的观测方式进行测量。测量的目的是了解二次场电位差的大小和干扰强度以及能达到的观测精度，同时了解各种岩、矿石激发极化特性，从而为选择

合适的工作方法和制定有关的技术要求提供依据。

2. 确定电极距大小。根据在典型剖面上的试验结果，在视极化率的异常段及背景段选择若干地质上有代表性的点上进行激电测深，了解各点激发极化特性沿垂向的变化情况，以结合电源、设备条件，选择合适的电极距。

3. 供、放电试验。供、放电试验工作包括确定表征二次场衰减特性的衰减系数  $\lambda$  的常见值  $\lambda_0$  和比值参数  $a$  的常见值  $a_0$  以及供、放电时间。

(1) 确定  $h_0$  的方法。二次场电位差  $\Delta V_2$  的衰减系数系数是断电后二次场衰减至  $t$  时刻的电位差  $\Delta V_2'$  与断电后某一瞬间的二次场电位差  $\Delta V_2$  之比值，即

$$\lambda = \frac{\Delta V_2'}{\Delta V_2} \times 100\%$$

而  $\lambda_0$  是  $\lambda$  的常见值。

为确定  $h_0$ ，通常在选定的地质上有代表性地段的若干点上，多次观测二次场电位差 ( $\Delta V_2$ ) 随供电时间的变化及断电后的衰减情况，以选择合适的供电时间，并确定不同地质条件及供、放电条件征二次场电位差衰减系数  $h$  的常见值  $h_0$ 。即在地质情况相同的几个点上多次观测得到的  $h$  的算术平均值作为该类地质条件下的  $h_0$  值。

直流激发极化法工作规范规定，以  $h$  偏离其相应地质条件下的  $h_0$  的大小  $h - h_0 > 10\%$  时，为非正常偏离，必须进行重复观测，并以各次合格观测结果的算术平均值作为最终观测结果。

(2) 确定  $a_0$  的方法。比值参数  $a$  是采双向短脉冲工作方式直读视极化率值时，，正向供电测得的视极化率  $\eta_s^+$  与  $\eta_s$  的比值，即

$$a = \frac{\eta_s^+}{\eta_s} \times 100\% (\text{式中 } \eta_s = \eta_s^+ + \eta_s^-)$$

$a_0$  是  $a$  的常见值。

确定  $a_0$  的方法与确定  $h_0$  类似，即在选定的地质上有代表性的点上进行多次观测，用统计方法确定不同地质条件下、不同供、放电时间的常见值  $a_0$ 。同样



规定 $|a - a_0| \geq 10\%$ 时为非正常偏离，必须进行重复观测。

(3) 供、放电时间的确定。采用长脉宽方式工作时，一般取 $\Delta V_2$ 达极限值的90%以上的时间为供电时间。在双极性短脉宽方式工作时，一般取 $\Delta V_2$ 达极限值50%左右所需的时间为供电时间，放电时间与之相同。

### 三、视参数的观测精度

激发极化法可以测得视极化率，同时了可以获得视电阻率，下面简述 $\eta_s$ 、 $\rho_s$ 观测精度指标。

#### 视极化率的观测精度

视极化率的观测精度由点位误差和电测本身两部分因素决定。由于点位误差对视极化率的精度影响甚小，故视极化率 $\eta_s > 3\%$ 的地段，用总均方相对误差M来评价，在视极化率 $\eta_s \leq 3\%$ 的地段，规定使用总均方误差 $\varepsilon$ 来评价观测精度。

由于仪器类型不同，其所能达到的精度各异，还由于各地区条件、干扰强度差异很大所要解决的地质问题各不相同，因此，直流激发极化法规范定了A、B两级精度（见表达式2.6）。

### 四、激发极化法的成果图件

激发极化法的成果图件与电阻率法成果图的绘制方法类似，只是参数为视极化率。

## 五 高密度电阻率法

### 一、概述

高密度电阻率法是传统电阻率法的变种方法。它可以同时完成电剖面 and 电测深两种形式的测量。由于高密度电阻率法可以实现数据的快速采集和微机处理，并能有效地进行多种电极排列方式的参数测定，改变了传统电阻率法的工作模式，提高了工作效率，获得较丰富的地电断面信息，使电阻率法的自动化和智能化程度大大向前迈进了一步，从而更适于场地环境调查的需求。

近年来，该方法先后在重大场地的工程地质调查、坝基及桥墩选址、垃圾填埋场选址和渗漏液渗漏探测以及采空区、地裂缝探测等众多环境和工程勘察领域

取得了明显的地质效果和显著的社会经济效益。

从 20 世纪 80 年代起国内外相继研制和开发了高密度电法系统。高密度电法的基本原理与传统的电阻率法完全相同，所不同的是在观测中设置了较高密度的测点，即点距比较小。例如，在研究山体滑坡和地裂缝时，现场测量的点距密到 0.5~1m。在测量方法和仪器上采取了一些有效设计，使得数据采集系统有较高的精度和较强的抗干扰能力，从而获得较为丰富的地质信息。它可以同时完成纵、横二维的勘察工作。在资料解释过程中，可采用多参数综合解释。因此，该方法汇集了常规电阻率法的优点，弥补了常规电阻率法观测和解释中之不足。因此，相对于常规电阻率法而言，它具有以下特点：

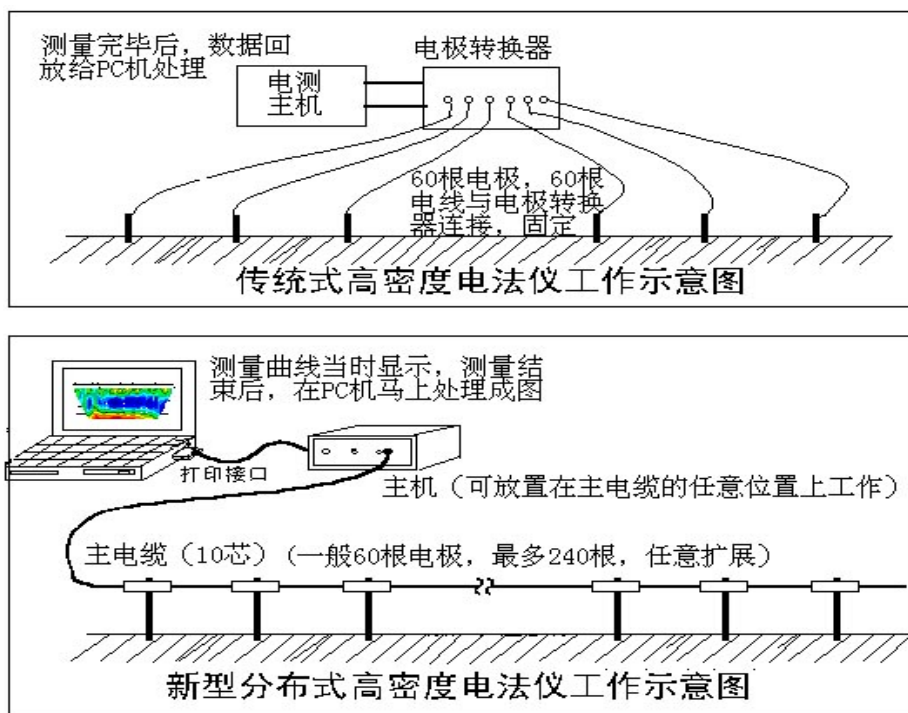
- a. 电极布设（一个排列）是一次完成的，这不仅减少了因电极设置而引起的故障和干扰，而且为野外数据的快速和自动采集奠定了基础。
- b. 电极布置较密，能有效地进行多种电极排列和多个电极距的扫描测量，同时具有剖面测量和测深两种性质，因而可以获得较丰富的关于地电断面结构特征的地质信息。
- c. 野外数据采集实现了自动化或半自动化，不仅采集速度快（大约每一测点需 2~5s），而且避免了手工操作容易产生的错误。
- d. 对资料进行预处理并显示剖面曲线，脱机处理后还可以自动绘制和打印各种成果图件。

与传统的电阻率法相比，高密度电阻率法成本低、效率高，信息丰富，解释方便，因而勘探能力显著提高。

## 二、高密度电阻率法的原理及勘探系统

高密度电阻率法的基本原理与传统的电阻率法完全相同，它是在人工电流场的作用下，通过观测和研究视电阻率及其比值参数的变化规律，进而解决地质和环境问题的一种电法勘探方法。

高密度电阻率法勘探系统包括数据采集和资料处理两部分，测量系统如图所示 4.1 所示。



高密度电阻率法进行现场测量时，一次将全部电极设置在一定间隔的测点上，然后用多芯将各个电极连接到程控式电极转换开关上。该开关是一种由单片机控制的电极自动转换装置，它可以根据需要自动进行电极装置形式、极距及测点的转换，测量信号送入微机工程电测仪，并将测量结果依次存入随机存储器。将数据回放并送入计算机便可按给定程序对原始资料进行处理。

### 三、高密度电阻率法的仪器设备

目前，国内外已推出多种高密度电测系统，如日本的 OYO 公司最先研制的 MCOHM-21 型电阻率测量系统。它通过三个电极电缆系统，可控制 750 个电极的排列。加拿大 Scintrex 公司、瑞典 ABEM 公司分别推出了 MRT/Geopulse、MULTIMAC 系统。

20 世纪 80 年代后期，我国开展了高密度电阻率法及其应用技术研究，研制成了几种类型仪器。例如，原长春地质学院研制成功电极—连接导线或多芯电缆—机械式电极转换开关（由步进电机控制）—工程电测仪。北京地质仪器厂和黄河水利委员会物探队等单位研制的高密度电法仪也采用机械式电极转换开关。原地矿部机电研究所推出的 MIR-IC/MIS 微机控制多电极电阻率探测系统，由单片机控制电子开关；重庆地质仪器厂生产的高密度电法仪引用了该技术。重庆奔腾数控技术研究所生产的高密度电法仪也采用类似技术。中国地质大学（武汉）董

浩斌教授研制成功 GMD-2 型分布式智能化仪器系统。国内高密度电法仪的研制分 3 类：机械式电极转换开关、电子式电极转换开关和分布式智能化仪器系统(图 4.1)。

#### 四、DUK-1 型高密度电法仪介绍

本次实习所用高密度电法仪为重庆地质仪器厂生产的 DUK-1 型高密度电法仪。其特点是：

①仪器将发送机与接收机组装在一个箱体內，体积小，重量轻,结构紧凑，美观大方，坚固耐用。

②操作方法更加灵活、方便、快速。该仪器采用全数字化自动测量，可对自然电位漂移及电极极化进行自动补偿。测量、计算、显示、存储整个过程自动化；采用大屏幕液晶汉字显示，可直接选择七种模式装置；键盘可直接输入所需的参数等。

③采用了模拟与数字二重滤波技术，多次信号迭加增强技术以及超程显示等措施，提高了系统的抗干扰能力和数据的准确性。

④可直接检查电池电压高低，电极接地电阻大小，机内存储单元是否损坏。

⑤设有 RS—232C 串行通讯口与计算机通讯，用于数据传输。

⑥整机采用 CMOS 高品质器件，功耗底，寿命长，可靠性高。

⑦仪器设有故障诊断程序，可实时显示常见故障。

⑧仪器采用薄膜全密封触摸多层面板，仪器内部供电部份设有多重过压过流自动保护。

##### (一) 仪器结构

DUK-1 型高密度直流电法仪全系统包括：“DZD—4 多功能直流电法仪”，“多路电极转换器<II>和 120 道电极转换器”，以及一套高密度测量专用电缆和电极。

#### 1. DZD—4 多功能直流电法仪

##### (1) 面板构成

DZD—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；

②25 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“-”；

⑥RS—232 串行接口和与 MIS—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。

## (2) 键的功能

①0~9 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= $\times\times.\times\times\text{V}$ ， $\times\times.\times\times$ 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 $>100\text{K}\Omega$ 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—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。

## 2. 多路电极转换器<II>和 120 道电极转换器

多路电极转换器<II>和 120 道电极转换器是由单片微机控制开关阵列进行供电电极与测量电极自动转换的智能化转换器。用于多路电极的供电/测量电极的自动转换；是进行高密度电阻率勘探方法及电阻率成像（CT）技术研究和各种密电极电法测量的专用装置。

### （1）面板构成

图一为多路转换器<II>和 120 道电极转换器面板示意图。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 and 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电极大线电缆插座（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。

### （2）键的功能

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<RETURN>，回车键。

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

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。

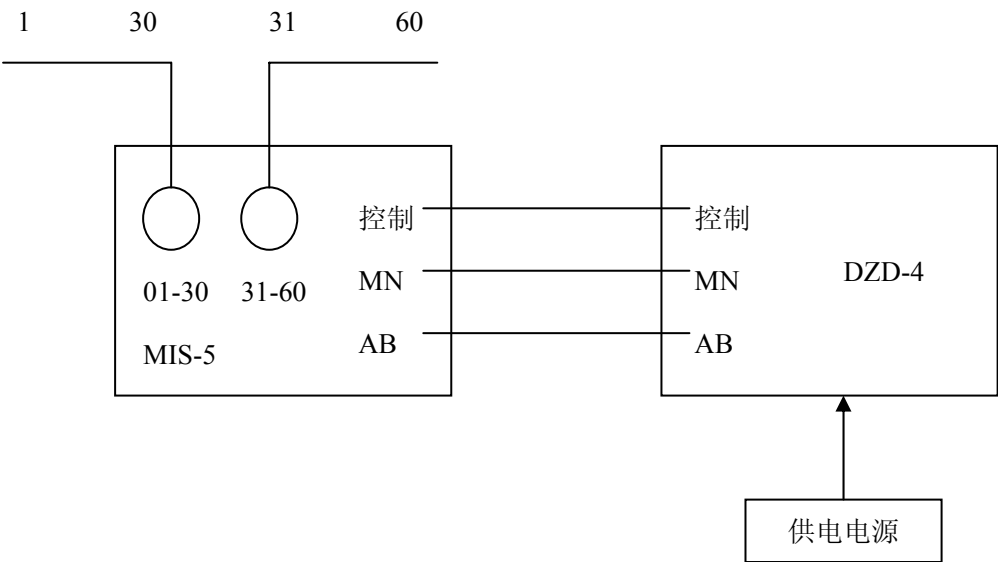
⑤[·]键，是继续键，在系统被悬挂之后，按此键则立即继续工作。

⑥[复位]键，是整机总复零功能键，切忌在联机工作正在进行时使用之，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。

3. 高密度测量专用电缆和电极

电极联接电缆有二条，每条电缆上等间距地分布有 30 个抽头，每个抽头处都有裸露金属物。

确定测线之后，按确定的点距布设电极，然后把电极接头接到抽头处的裸露金属物上，一排电极一次布设完毕（几十根以上，有时多达几百根）。原则上是每条测线用一“排”电极。若仪器容量小，也可以用几排测完。排与排之间，必须重叠一部分，以保证资料的一致性与完备性。



DUK-1 野外布线图

（二）仪器操作步骤：

（1）开机

打开多路转换器<Ⅱ>和 120 道电极转换器的【电源】开关，显示屏上将出现主菜单：

<b>MAIN</b>	<b>MENU</b>
<b>1. Input</b>	<b>2. Test</b>
<b>3. Work1</b>	<b>4. Load</b>
<b>5. Work2</b>	

菜单将多路转换器<II>和 120 道电极转换器的全部功能划分成 5 大类选择项，第一项是参数输入（Input），第二项是系统自检测（Test），第三项是高密度测量（Work1），第四项是参数默认值装载（Load），第五项是传统电阻率法测量（Work2）。

## （2）参数输入

在正式测量之前，首先要做的是设置有关的辅助参数，具体操作是：在主菜单显示的情况下，按数字键[1]，即进入参数输入程序。

①待输入的第一个参数是设置本机的总开关数目（SW），即 MIS—5 的通道总数，默认值是 60，显示屏上给出的提问信息是：

<b>Total</b>	<b>Switch</b>	<b>in</b>
<b>MIS—5</b>	<b>SW=</b>	<b>××</b>

此时，可键入 $\leq 60$ 的任一数，输入完毕后，按[Y]键，显示信息将换屏，提示下一个参数的输入。如果输入的数字有错，在按[Y]键之前，按[N]键，可删除原数，重新输入。

②第二项参数是对应测量起始点的开关序号（CHO），默认值是 1：

<b>Start</b>	<b>Point</b>	<b>NO.</b>
<b>CHO=</b>	<b>×</b>	<b>×</b>

这个参数的含义是，指定测量从某个电极开始。一般情况下，都是从第 1 个电极开始的，系统默认值 CHO=1；但在做三极连续滚动测量或单边三极连续滚动测量或二极 CT 测量时，有时需要测线中的某一点开始，就必须修改 CHO 的设置。

③第三项参数是测线上的电极总数目（CH），默认值是 60。



**Arranged Poles**

**CH=**×××

该参数的含义是系统所能控制的电极总数，对于四极装置而言，CH 不能超过 60；而三极连续滚动装置和单边三极连续滚动装置可做长剖面，CH 的最大值是 255。

④第四项参数是最小隔离系数 n (MIN)，默认值为 1。

**MIN Pole's Interval:**

**n (MIN) =**×

⑤第五项参数是最大隔离系数：n(MAX)，默认值为 16。

**MAX Pole's Interval:**

**n (MAX) =**××

需要说明的是，在做温纳、偶极、微分、联剖四种常规电剖面测量过程中，MIS—5 自动地将极距系数由 n(MIN)递增到 n(MAX)，一般情况下，都是从 n(MIN)=1，直至 n(MAX)=16，完成一个完整的电剖面数据采集。如果只需要做局部的某一层数据重测，可通过调整 n(MIN)和 n(MAX)来实现。比如，将 n(MIN)=10、n(MAX)=10，其结果只做极距系数 n=10 的那一层。

⑥第六项是温湿间隔系数 CS (间隔层数)。

⑦第七项是多路转换器<II>和 120 道电极转换器步进方式的设定，屏幕上出现三个选择项：

多路转换器<II>和 120 道电极转换器既可与 DZD-4 电测主机联机工作，又可脱机独立工作。选择 1 (Auto)，为自动步进，由软件延时确定节拍快慢，是脱机方式之一；选择 2 (Step)，是手动步进，每按 Y 或 N 键一次，MIS-5 就步进一次，也是脱机方式。选择 3 (On-Line)，是联机方式，MIS-5 通过面板上的控制电缆与 DZD-4 相连，协调双方的动作同步；但在联机工作时，一旦按下[暂停]键，系统立即中断，处于悬挂状态，再按[•]键，又可继续工作。

<b>1.</b>	<b>Auto</b>
<b>2.</b>	<b>Step</b>
<b>3.</b>	<b>On-Line</b>
<b>Select (1-3):</b>	

上述参数全部设置之后，显示屏上出现提示：

<b>CHECK AGAIN Y (N) ?</b>
----------------------------

如果要重新核对输入的参数是否正确，按[Y] 键；不需检查的话，则按[N]键返回到主菜单。

### (3) 系统检测

参数设置完毕，可以进行 MIS-5 的自检，或是检查测线上的电极是否都接地良好，电缆联接是否正确牢靠等。可选主菜单的第二项（TEST），则进入检测功能子菜单。

<b>TEST</b>	<b>MENU</b>
<b>1. Poles</b>	<b>Check</b>
<b>2. Switch</b>	<b>Check</b>

检测子菜单的第一项（Poles Check）是检查测线上所布设电极的接地电阻，需与电测主机 DZD-4 联机工作（DZD-4 要进入<高密接地电阻检查>功能项），双方取得同步之后，MIS-5 即将测线上的电极依次两个一组地与 DZD-4 面板上的 M、N 测量输入端接通，每步的电极转换规律如下：

第一步： M=1#， N=2#

第二步： M=2#， N=3#

.....

第五十九步： M=59#， N=60#

工作过程中，多路转换器<II>和 120 道电极转换器显示屏给出的信息是：

<b>Poles</b>	<b>Check</b>
<b>M</b>	<b>N</b>
<b>1</b>	<b>2</b>

第四行上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 DZD-4 则测出这两个电极间的接地电阻值（R）。随着每一同步节拍，直到完成测线上全部电极的接地测量，测量结束后，多路转换器<II>和 120 道电极转换器屏幕

上显示出步进总计数应该是 59。

检测子菜单的第二项（Switch Check）是多路转换器<II>和 120 道电极转换器的自检项目，其作用是逐个检查多路转换器<II>和 120 道电极转换器中各通道的通断状态是否能正常受控，一般为脱机（Auto 或 Step 方式）工作。显示屏给出的信息是：

Switch		Check	
A	M	N	B
1	2	3	4

第四行的四个数字，分别指出每一步转换接通到 A、M、N、B 四总线的电极序号。多路转换器<II>和 120 道电极转换器逐步转接，直到全部通道都检查完毕。

（4）测量

在上述检测都正常通过之后，可开始正式测量，由主菜单第三项（WORK1）和第五项（WORK2）进入电测装置模式：

Work1

1. WN	2. SP1	3. SP2	
4. DP	5. DF	6. WS1	7. WS2

Work2

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

多路转换器<II>和 120 道电极转换器设有十四种较常用的高密度电测装置模式，在工作模式子菜单显示状态下，键入[1]~[7]之间的任一数字键，则可展开相应模式的测量程序。

下面逐项说明其操作要点：

**I 工作模式 1 第一种排列（WN）是对称四极装置方式。**

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），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，设电极总数 60， $n$ （MIN）=1， $n$ （MAX）=16，每步电极转换的规律如下所述：

首先,  $n=n(\text{MIN})=1$ , 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,  $n=n(\text{MAX})=16$ , 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:  $A=12\#, M=28\#, N=44\#, B=60\#;$

显然, 对应每一层位 ( $n$ ) 的测量数据个数 =  $(60-n \times 3)$ , 如果  $n=1 \sim 16$ , 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。

## II 工作模式 1 第二种排列 (SB1) 是施伦贝尔 1

电极排列规律是: A, M, N, B 测量过程中, 显示屏给出提示:

SB1		MODE	
I=**			
A	M	N	B

MN 固定不动，AB 按隔离系数由小到大的顺序逐次移动，然后将 MN 向前移动一个点距，再重复上述过程。

数据按隔离系数由小到大的顺序分层存储，结果为矩形区域。

例如测定 16 层时，第一测深点 M=17#，N=18#，A=16#—1#移动，B=19#—34#移动；第二测深点，M=18#，N=19#，A=17#—2#移动，B=20#—35#移动；之后，以此类推。

这种方法分辨率高，效率高，劳动力低。

### III 工作模式 1 第三种排列（SB2）是施伦贝尔 2

SB2		MODE	
A	M	N	B

测量过程类似于温纳装置，但在整个测量过程中 MN 固定为一个点距，AM 和 NB 的距离随隔离系数逐次由小到大变化。

数据按隔离系数由小到大的顺序分层存储，结果为梯形区域。

### IV 工作模式 1 第四种排列（DP）是偶极装置测量模式。

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	B	M	N
1	2	3	4

至于每步转换的过程等与温纳法类同，不再赘述。

### V 工作模式 1 第五种排列（DF）是微分装置模式。

电极排列规律是：A，M，B，N，测量过程中，显示屏的提示信息是：

DF		Mode	
n=1			
A	M	B	N
1	2	3	4

至于每步转换的过程等与温纳法类同，不再赘述。

## VI 工作模式 1 第六种排列 (WS1) 是温施 1 装置模式

WS1		Mode	
n=1			
A	M	N	B
1	2	3	4

假设温施间隔层数为 3，在 1~3 层和施贝法跑极类似，4~6 层 MN 间隔变为 3，7~9 层变为 5，依此类推。

## VII 工作模式 1 第七种排列 (WS2) 是温施 2 装置模式

WS2		Mode	
n=1			
A	M	N	B
1	2	3	4

假设温施间隔层数为 3，在 1~3 层和施贝法跑极类似，4~6 层 MN 间隔变为 3，7~9 层变为 5，依此类推。

## VIII 工作模式 2 第一种排列 (CB) 是联剖装置测量模式。

它的特点是由  $\rho_{sa}$ ， $\rho_{sb}$  两组剖面数据所组成，首先是  $\rho_{sa}$  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，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	

$\rho_{sa}$  测量完毕，系统自动暂停，下面要进行的  $\rho_{sb}$  测量模式，其电极排列特点是：M，N，B，而供电电极 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>和 120 道电极转换器与 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。一切就绪后，在 MIS-4 键入[回车]键， $\rho_{sb}$  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

$\rho_{sb}$  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  $\rho_{sa}$  和  $\rho_{sb}$  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  $552 \times 2 = 1104$  个。

### IX 工作模式 2 第二种排列 (S3P) 是单边三极连续滚动式测深装置

供电电极 B 置于无穷远处，参与测线上电极转换的是 A，M，N。

A 电极转换规律描述：假如测量定位从 #1 电极开始，最小极距系数 n(MIN)=1，最大极距系数 n(MAX)=20。

首先，N= #1，M= #2，A= #3→#22 测得第一组  $\rho_{sa}$  的数据 20 个；

然后，定位电极往前移一个，接着，N= #2，M= #3，A= #4→#23, 测得第二组  $\rho_{sa}$  的数据 20 个；

.....

每测得一组  $\rho_{sa}$  之后，定位电极就往前移一个，当移出 30 个电极之后，第一根电缆就已空出，可把它移接到 #61→#90 电极上；就这样不断往前移动测量，电缆依次腾出，可不断往前接续电极，实现了长测线的滚动测量。

设测线上的电极总数为 60，n (MIN)=1, n (MAX)=20, 则测量数据总数等于：(60—20—1) × 20=780，可见这种模式的数据采集量也是较大的，它的特点是能得到一个矩形的测深剖面，而且深部的分辨率也较高。

### X 工作模式 2 第三种排列 (3P1) 是三极连续滚动式测深法。

供电电极 B 置于无穷远处，参与测线上电极转换的是 A，M，N。

a. 电极转换规律描述：

假若测量定位从 #1 电极开始，最小极距系数 n (MIN) =1，最大极距系数 n (MAX) =20。

首先，N=#1，M=#2，A=#3→#22，测得第一组  $\rho_{sa}$  的数据 20 个；

接着，M=#22，N=#21，A=#20→#1，测得第一组  $\rho_{sb}$  的数据 20 个；

然后，定位电极往前移一个，

$N=\#2$ ， $M=\#3$ ， $A=\#4\rightarrow\#23$ ，测得第二组  $\rho_{sa}$  的数据 20 个；

$M=\#23$ ， $N=\#22$ ， $A=\#21\rightarrow\#2$ ，测得第二组  $\rho_{sa}$  的数据 20 个；

.....

每测得一组  $\rho_{sa}$  和  $\rho_{sb}$  之后，定位电极就往前移一个，当移出 30 个电极之后，第一根电缆就已空出，可把它移接到  $\#61\rightarrow\#90$  电极上；就这样不断往前移动测量，电缆依次腾出，可不断往前接续电极，实现了长测线的滚动测量。

设测线上的电极总数为 60， $n(\text{MIN})=1$ ， $n(\text{MAX})=20$ ，则测量数据总数等于： $(60-20-1) \times (20 \times 2) = 1560$ ，可见这种模式的数据采集量也是较大的，它的特点是能得到一个矩形的测深剖面，而且深部的分辨率也较高。

b. 多路转换器<II>和 120 道电极转换器的操作。

由“Input”进入，按提示逐项输入有关参数，尤其要注意“起始电极号 CHO”，以及  $n(\text{MIN})$ ， $n(\text{MAX})$  三个参数的输入。

进入“Work”，选第六项“3P”。等待主机启动测量。测量展开后，显示信息如下：

3P 1      Sounding		
I = 1		
A	M	N
1	2	3

屏幕上第二行显示的是供电电极 A 的定位所在。该装置可做长剖面，如前所述，通过灵活设置起始电极号（CHO），可使测量灵活多变；需特别提出的是，由于该三极装置的电极总数不受多路转换器<II>和 120 道电极转换器的通道数所限测量深度可做得较大，对于 60 通道的多路转换器<II>和 120 道电极转换器多路开关转换器来说，三极测深  $n(\text{MAX})$  可选 58，这是任一种四极装置无法做到的。但随着深度增大， $V1(M, N)$  信号也就越微弱，要求提高供电电压，才能保证测量精度。一般情况下，做三极时，可取  $n(\text{MAX})=20$ 。

## **XI 工作模式 2 第四种排列(3P2)是双边三极测深**

供电电极 B 置于无穷远处，参与测线上的电极转换的是 A, M, N。

a. 电极转换规律描述：

加入测量定位从一号电极开始，最小极距系数  $n(\text{MIN})=1$ ，



最大极系数  $n(\text{MAX})=20$

首先  $A=\#1, M=\#2, N=\#3$

A 固定不动，然后移动 MN， $N=\#3\text{—}\#22, M=\#2\text{—}\#21$  移动测得第一组  $\rho_{sa}$  的数据。

接着定位电极 A 往前移一个， $A=\#2, M=\#3, n=\#4, M=\#3\text{—}\#22, N=\#4\text{—}\#23$  测得第二组  $\rho_{sa}$  的数据。

然后定位电极  $A=\#22, N=\#21, M=\#20, N=\#21\text{—}\#2, M=\#20\text{—}\#1$  测得第一组  $\rho_{sb}$  数据

.....

每测得一组  $\rho_{sb}$  和  $\rho_{sa}$  之后，定位电极就往前移一位，当移出 20 个电极后，第一根电缆就已空出，可把它移到  $\#121\text{—}\#140$  电极上；就这样不断往前测量，电缆依次腾出，可不断往前接续电极，实现了长测线得滚动测量。这种模式的数据采集量大，它的特点是能得到一个平行四边形的测深剖面，而且密度大，深部的分辨率较高。

3p2 Sounding		
I=1		
A	M	N
1	2	3

## XII 工作模式 2 第五种排列(2p1)普通二极法

2P1 Sounding			
I=1			
A	M	N	B
1	2		

布线特点是：供电电极 A 和测量电极 M 在测线上移动，而供电电极 B 和测量电极 N 布置在无穷远处并与测线垂直。

测量时电极转换规律为：

首先：  $A=\#1, M=\#2, \rightarrow A=\#2, M=\#3, 60 \text{ 或 } 120$

然后：  $A=\#1, M=\#3, \rightarrow A=\#2, M=\#4, 60 \text{ 或 } 120$

## XIII 工作模式 2 第六种排列（2P2）平行四边形二极法

<b>2P2</b>		<b>Sounding</b>	
<b>I=1</b>			
<b>A</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>B</b>
<b>1</b>	<b>2</b>		

布线特点是：供电电极 A 和测量电极 M 在测线上移动，而供电电极 B 和测量电极 N 布置在无穷远处并与测线垂直。

测量时电极转换规律为：

首先：A=#1, M=#2, →M=#3 ..... 直到最大层数

然后：A=#2, M=#3, →M=#4, ..... 直到最大层数

.....

#### **XIV 工作模式 2 第七种排列（2P3）是环形二极法。**

布极特点：电极排列可以是直线，也可以是圆形或方形的封闭曲线状，参与电极转换的只有一个供电电极 A 和一个测量电极 M，而另一个供电电极 B 和测量电极 N 都固定在无穷远处。所以要断开多路转换器<II>和 120 道电极转换器与 DZD-4 之间的 B 电缆联接，而将 DZD-4 面板上 B 电缆和 N 电缆分别联接到布于无穷远处的 B 电极和 N 电极。

测量时的电极转换规律是：

首先，A=1#电极，M=2#，→3#，→.....→60#；

然后，A=2#电极，M=3#，→4#，→.....60#，→1#；

.....

最后, A=60#电极，M=1#，→2#，→.....59#；

可见，测量数据总数为 60×59=3540，数据量是比较可观的，测量时间也是比较长的。在测量过程中因故中断的现象难以避免，中断后再启动测量，就可通过设置起始电极号（CHO）的办法，使之从中断处继续测量。

需要说明的一点是：该装置模式下，没有极距间隔系数的限定，因此 n(MIN)、n (MAX) 没有意义，无须设置。

测量时，显示屏的提示信息如下：

<b>2P3</b>		<b>Mode</b>	
<b>1 — 60</b>			
<b>A</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>B</b>
<b>1</b>	<b>2</b>		

第二行显示的是测量从电极 1#直至电极 60#。

## 五、野外施工方法

由于 DUK—1 系统分为主机和多路电极转换器两个部分，具体操作时，对主机和转换器必须统一兼顾。对主机和转换器选取的模式和参数必须统一，方可以测量。

### (一) 多路电极转换器系统检测

在出野外之前，可对多路电极转换器进行检测一次。

具体操作：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，打开两个仪器开关。

选取检测方式：分为自动和手动两种。

在主机上首先按 1 键选取“1: input”，然后连续按 Y 键，直到出现下框为止。

```
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。例如选取自动，就按 1，再按 Y 键，屏幕显示：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. Switchk check
```

再按 2 键，选择开关选择，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，则说明多路开关是好的。

(二) 野外工作操作时的具体操作步骤如下：

在野外操作时分为两步走：布好大线，并接上电极和仪器上的对应连线，然后先测接地电阻，再开始正式测量。

1. 接地电阻的检测

先打开主机开关，再打开多路检测器开关，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开关复位键即可消除。

下面操作多路开关。按 1 (Input)，再按 Y 键，依次输入对应参数。首先显示：SW=XX，输入通道电极总数，如 60 或 120，再按 Y 键，显示 CH0=XX，输入起始电极数如 1，再按 Y 键，显示 CH=XX，输入测线上电极总数，如 60 或 120，再按 Y 键，显示 n (Min) =XX，最小间隔系数，如 1 再 Y 键，显示 n (Max) =XX，输入最大间隔系数，如测 15 层，就输入 15，再按 Y 键，显示：CS=XX （温湿间隔层数） 如输入 1，再按 Y 键，显示：

1 auto  
2 step  
3 on-line  
Select (1-3)

选取 1，再按 Y 键，即连接方式为自动，并显示：CKECK AGAIN Y (N) ? 再按 N 键返回主菜单，如下：

MAIN

1. Input  
3. Work1  
5. Work2

MENU

2. Test  
4. Load

选择 2，出现下图：

TEST MENU

1.Poles ckeck  
2.Switck check

按下主机上的“曲线”键，然后在多路开关中选择 1，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，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，或者偏移一个位置，再重新把电极打入地下，并重新检测。

## 2. 测量

首先操作主机，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，选择工作模式 1，再回车，进入模式 1 菜单，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

再按 1，选择温纳装置，并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：

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: 10
温施间隔层数: 5

按回车键确认输入参数和保存参数。

操作多路开关。输入参数与主机一致，具体操作同上，并选择联机方式为“1 auto”。选择 3（工作模式键），显示：

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

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。

## 五、数据整理与反演

DUK-1 型高密度电法仪只记录视电阻率值，因此是按顺序存储的。运行 gmd.exe 可以把数据整理成反演所需要的输入文件格式。本次高密度数据将采用 RES2DINV 反演软件进行反演，指导老师讲解。

## 六 电磁法

电磁法（或叫电磁感应法）是电法勘探的重要分支。该方法主要利用岩矿石的导电性、导磁性和介电性的差异，应用电磁感应原理，观测和研究人工或天然形成的电磁场的分布规律（频率特性和时间特性），进而解决有关的各类地质问题。电磁感应法多利用  $n \times 10^{-4} \sim n \times 10^6$  Hz 的谐变电磁场（频率域）或不同形式的周期性电磁场（时间域），分别称为频率域电磁法和时间域电磁法。。对电磁法的分类有很多种方法，按场源形式分为人工场源（主动源）和天然场源（被动源），按电磁场性质可以分为频率域电磁法和时间域电磁法，按观测方式可以分为电磁剖面法和电磁测深法，按工作场所可以分为地面、航空、井中和海洋电磁法等。

这里我们只介绍频率测深的两种大地电磁法，即大地电磁法（MT）和可控源音频大地电磁法。

由于电磁法的数据处理和反演比较繁琐，实习时间有限，所以本实习的具体要求和方法是：

（1）学生在教师指导下独自进行测站布置和数据采集，并获得可靠的电磁场数据

（2）学生完成数据处理工作，得到视电阻率和相位资料

- (3) 学生完成一维反演计算
- (4) 指导教师完成二维反演，并将反演结果提供给学生进行解释
- (5) 学生独立完成解释工作
- (6) 学生独自绘制以下图件：单点视电阻率和相位曲线、拟断面图、一维反演拟合图、一维反演的地电断面图。

## 一 大地电磁法

### 一、基本原理

大地电磁法是一种天然源频率域电磁法。它以自然界的平面电磁波为场源，通过在地表观测两组相互正交的电磁场分量来获取地下介质地电构造信息。由于天然场中含有从高频到低频丰富的频率成分，而不同频率成分的电磁波具有不同的穿透（趋肤）深度，因而大地电磁法能达到测深的目的。

### 二、大地电磁的野外工作方法

大地电磁野外测线的布置一般垂直于地质构造的走向，测线上测点的距离根据探测对象的不同而异。测点应设置在外界电磁干扰小，地表浅部介质电阻率比较均匀的地区。要求测量电场电极之间的高差与距离之比小于 10%。在每一个测点上，必须测量彼此正交的电场和磁场，除了要求测量轴 x-y 正交外，原则上可以随意选取测量轴。如果已知测区的地质构造走向，最好分别取走向和倾向方向为测量轴方向。当地质构造走向未知时，通常取正北为 x 轴，正东为 y 轴。电场的布极方式有十字型、T 型和 L 型。电极距一般取几百米。电极距越大，信号越强，表层不均匀性就越小。大地电磁的电极一般使用不极化电极，要求埋入地下 30-40 厘米，电极引线必须密封。野外要选择合适的电缆，铺设电缆时不能悬空。测水平分量的磁传感器要求水平放置，测垂直分量的磁传感器要求垂直放置。水平磁传感器要求埋入地下 30 厘米，垂直磁传感器要求埋入地下 2/3 以上。测点要远离高压线、公路等强干扰源。

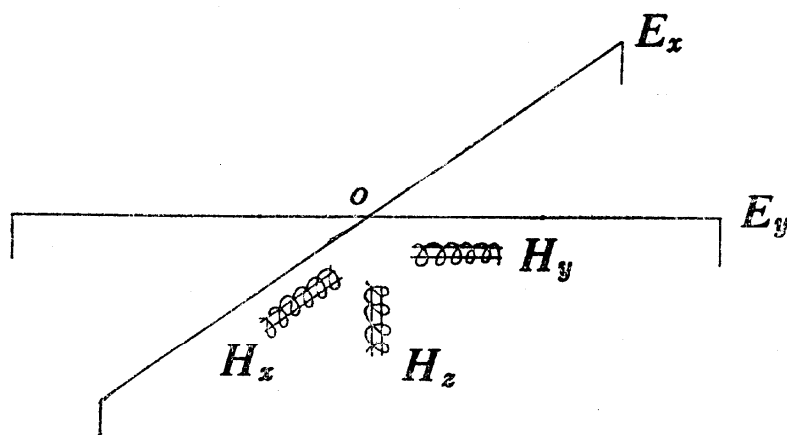


图 6-1 大地电磁测站布置图

观测的时候，每一个测点上的记录资料都应包含足够的频谱成分和足够长的记录长度。大地电磁法的勘探深度和信号的频率、地下的电阻率有关系，一般获得最大周期  $T$  可以由经验公式  $T \geq 40D^2/\rho$ ，其中  $D$  为勘探深度， $\rho$  为平均电阻率或等效电阻率。为了得到周期为  $T$  的振幅谱，必须克服截断效应，这样采集时间必须为最大周期  $T$  的 8-10 倍，一般要求记录时间： $T_c \geq 400 D^2/\rho$ ，而且记录时间越长越好。

为了压制噪声，目前普遍采用远参考测量技术。即两个测点同时采集，在资料处理时进行远参考处理，消除不相关噪声。进行远参考数据采集时，必须使用 GPS 卫星对时，保证两个测点同步采集。

野外数据采集要严格执行中华人民共和国地质矿产行业标准的“大地电磁测深法技术规程”（DZ/T0173-1997）。

### 三、仪器设备

大地电磁仪器是采集天然微弱的电磁场信号的仪器设备，要求具有超低频、宽频带的特点，同时要求分辨率高、动态范围宽、零点飘移小、增益稳定等特点。一套仪器系统通常包括电磁场接收器、放大器、滤波器和记录器等等。

目前常用的大地电磁仪器设备主要有加拿大凤凰公司生产的 MTU 和 V 系列，比如 V-4, V5, V5-2000, V6, V8 等等；美国的 EMI 公司生产的 MT 系列，如 Mt-1, MT-24 等；德国生产的 GMS 系列仪器。大地电磁的测量仪器分为宽频和长周期两种。宽频仪器的采集频段范围一般从几百赫兹到几千秒。而长周期



的大地电磁仪器能采集 2~3 万秒的低频信号，如 LIMS，NIMS，V8 等长周期大地电磁仪器。

本次实习使用美国 EMI 公司的 MT-24 智能大地电磁采集系统。它包括电道采集箱（FAM-2）、磁道采集箱（FAM-3）、带 GPS 的控制存储单元（CSU-GPS），磁传感器（BF-7、BF-4）和不极化电极等等。仪器具有低噪声、大动态范围、多道多功能的特点；配置的磁传感器频带为 0.0001~1000Hz，灵敏度为 0.3V/nT。仪器的具体操作方法参见仪器使用说明书或由指导教师讲解。

#### 四、数据采集

1. 按要求正确选择好测点，布设磁传感器、电极，并记录下测点坐标、电极距以及磁传感器编号等信息；连接好传输线、传感器线和电极线等，并接通电源。这一步操作在实习指导老师的指导下完成。
2. 运行采集软件 Acq24。如果仪器正常、连接正确，则能启动采集软件，出现如下界面：

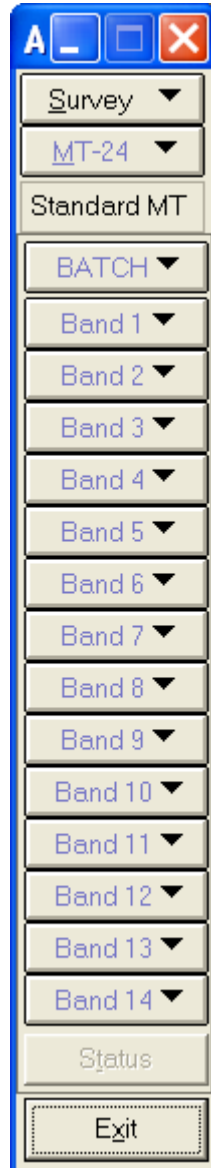


图 6-2 Acq24 采集软件主界面

3. 新建工程。MT-24 以工程的形式来管理测点，因此，在某一地区开始施工时，必须先建立一个工程。具体做法是在上面主界面上点击“Survey”，然后在弹出菜单上选择“new”，这时，会弹出一个新建工程窗口，如图 6-3 所示。改变目录到 c 盘根目录，然后在“File name”一栏中输入工程名称（这里输入了 test），点击“Open”，出现“Set Survey Header Information”界面，输入一些与工程相关的信息后，点击“OK”；出现如图 6-4 所示的“Set Setup Header Information”界面，在这个界面上可以设定测点信息如描述、测点位置、远参考、操作员、天气等，设定完这些参数后，改变“Setup ID”后的编辑框中的测点名（默认为“setup00”），测点名可以由数字或字母构成，但长度不能超过 6 个字符，而默

认的测点名称有 7 个字符，所以这里一定要改变测点名称（这里输入了 01），然后点击“OK”。这时可以看到在 c 盘根目录下会出现一个 test 文件夹，文件夹下有一个名为 test.srv 的工程文件以及一个名为 01 的文件夹。

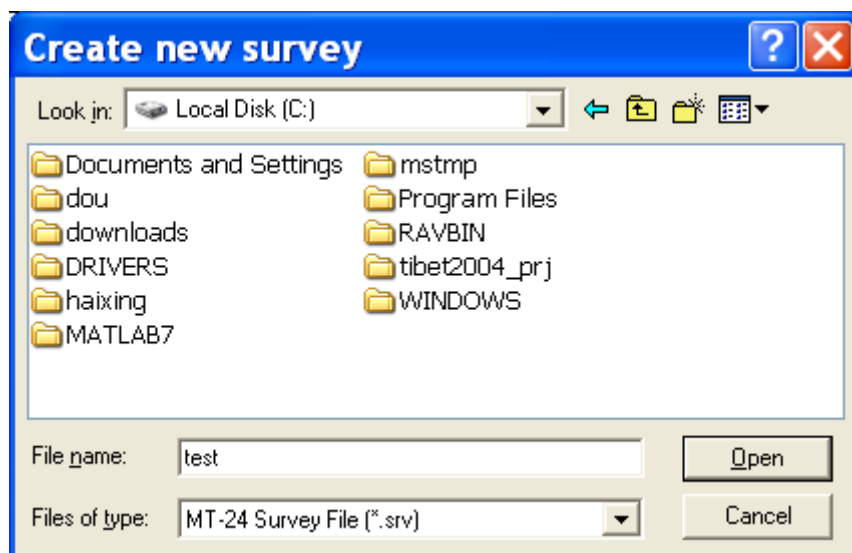


图 6-3 新建工程窗口

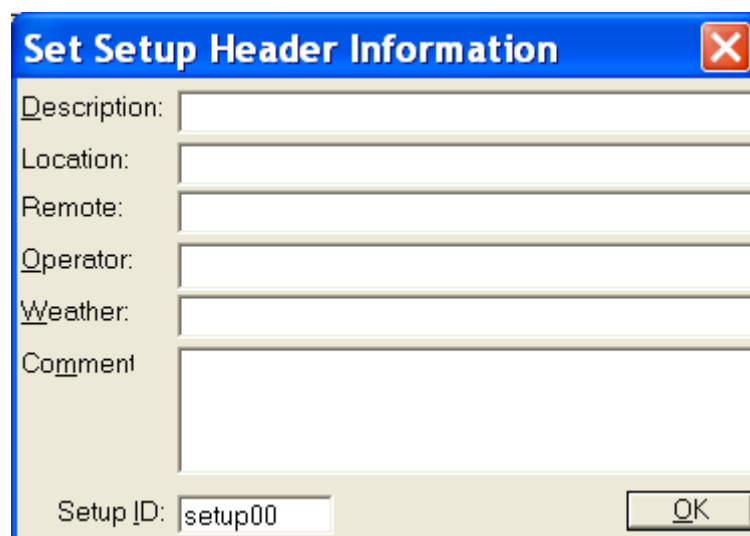


图 6-4 设置测点头信息窗口

4. 新建测点。一般而言，勘探工作是由很多个测点组成一个工程的，这样，建立了一个工程之后，就需要有新建测点的功能，当然 Acq24 具备这种功能。具体的做法是“survey”→“setup”→“new”，就会出现图 6-4 所示的设置测点头信息窗口，设定完测点头信息后点击“OK”，新建测点完成。
5. 设定采集参数。指导教师讲解。
6. 数据采集。

## 五、资料处理

大地电磁数据处理包括对时间域的电场和磁场进行频谱分析, 求出相应得频谱信息, 计算测量方位所对应得张量阻抗元素, 寻找地下介质电性主轴, 计算主轴方向上的阻抗张量元素和视电阻率等。处理中还要注意对噪声的分析, 选择最佳计算方案, 压制干扰噪声。大地电磁的数据处理方法大致可以分为以下几个步骤:

### 1. 频谱分析

资料整理时, 先对时间序列信号进行预白处理, 再把预白后的离散数值序列乘以汉宁时窗函数。经过上述预处理后的数值序列, 再做有限长离散傅氏变换。得到电磁场的傅氏谱 (傅立叶系数)。利用求得的傅氏谱, 可以计算各中心频率的自功率谱和互功率谱的统计平均值。

### 2. 计算测量轴所对应得张量阻抗元素

大地电磁场中水平电场和水平磁场分量的振幅谱满足如下张量阻抗关系:

$$E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y$$

$$E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y$$

理论上只要有两组非线性相关的振幅谱观测值, 通过联立方程即可求得张量阻抗元素。但由于噪声存在, 实测的电磁场信号并不满足上述关系, 所以在实际工作中, 为了尽量压制噪声干扰, 只能利用多组观测资料估算张量阻抗。估算张量阻抗的方法主要有两种: 最小二乘法和 Robust 估计。

### 3. 计算主轴方位

野外测量时, 测量轴与电性主轴往往是不重合的。根据大地电磁方法的原理, 要分解成两组独立的偏振波, 确定 TE 和 TM 模式, 必须将坐标系旋转到电性主轴方位上。寻找二维介质的电性主轴的方法有试探法和解析法。所谓试探法是将测量坐标逐次旋转一个角度, 计算相应得阻抗张量元素, 直到满足

$Z_{xx}(\theta) = Z_{yy}(\theta) = 0$ , 此时的  $\theta$  就是主轴相对于测量轴的方位角。实际工作中存在测量误差, 不为零, 但是极小值。解析法是利用利用最小二乘原理求极值得方法求主轴方位角。但我们知道, 二维介质的电性主轴有两个: 走向和倾向。用上述方法只能求得两个主轴的方位, 但不能确定走向和倾向。此时可以利用倾

子来确定走向和倾向。

#### 4. 计算主轴方位的阻抗张量元素

求出主轴方位角后，可以进行坐标旋转，计算主轴方位的阻抗张量元素。

#### 5. 计算主轴方位上的视电阻率和相位值。

得到主轴方位上的阻抗张量元素后，就可以根据公式计算出两种模式的视电阻率和相位的值，为反演做好了准备。

完成了上述的数据处理以后，就得到了每个测点不同频率的视电阻率和相位值，可以绘制单点的视电阻率和相位曲线。视电阻率曲线以频率（或周期）的对数为横坐标，以视电阻率的对数值为纵坐标，相位曲线以频率（或周期）的对数为横坐标，以角度值为纵坐标。如果是剖面测量，还可以绘制视电阻率拟断面图。拟断面图以测点位置为横坐标，以频率的对数值为纵坐标，根据各个测点不同频率的视电阻率值勾画等值线，即可得到视电阻率拟断面图。根据单点视电阻率曲线图和拟断面图可以进行定性解释。

本次实习资料处理将采用 Gary Egbert 的 EMTF 资料处理软件包进行资料处理。指导教师讲解资料处理的流程。

## 二 可控源音频大地电磁法

可控源音频大地电磁法（CSAMT）是在大地电磁法（MT）和音频大地电磁法（AMT）的基础上发展起来的一种人工源频率测深方法。我们知道，大地电磁法（MT）的观测频率很低（ $n \times 10^{-4}$  -  $n \times 10^4$  Hz）所以勘探深度很大，可达一百公里以上。但由于频率偏低，所以对浅层的分辨率较差，而且生产效率也比较低。为了更好地研究几十米到几千米深度范围内的地电结构，在 MT 方法的基础上，形成了音频大地电磁法（AMT）。音频大地电磁法的工作方法、观测参数与 MT 方法相同。不过该方法主要观测由于雷电作用产生的音频（ $n \times 10^0 \sim n \times 10^4$  Hz）大地电磁场。但由于音频大地电磁法的观测频段内，天然大地电磁场的强度较弱，人文干扰大，所以信噪比很低，野外数据采集十分困难，需要长时间采集并采用多次叠加技术。为了克服上述困难，70 年代初，加拿大多伦多大学的 D.W.Strangway 教授和他的学生提出沿用 AMT 的观测方式，观测人工供电产生的音频电磁场。由于所观测电磁场的频率、强度和方向可以由人工

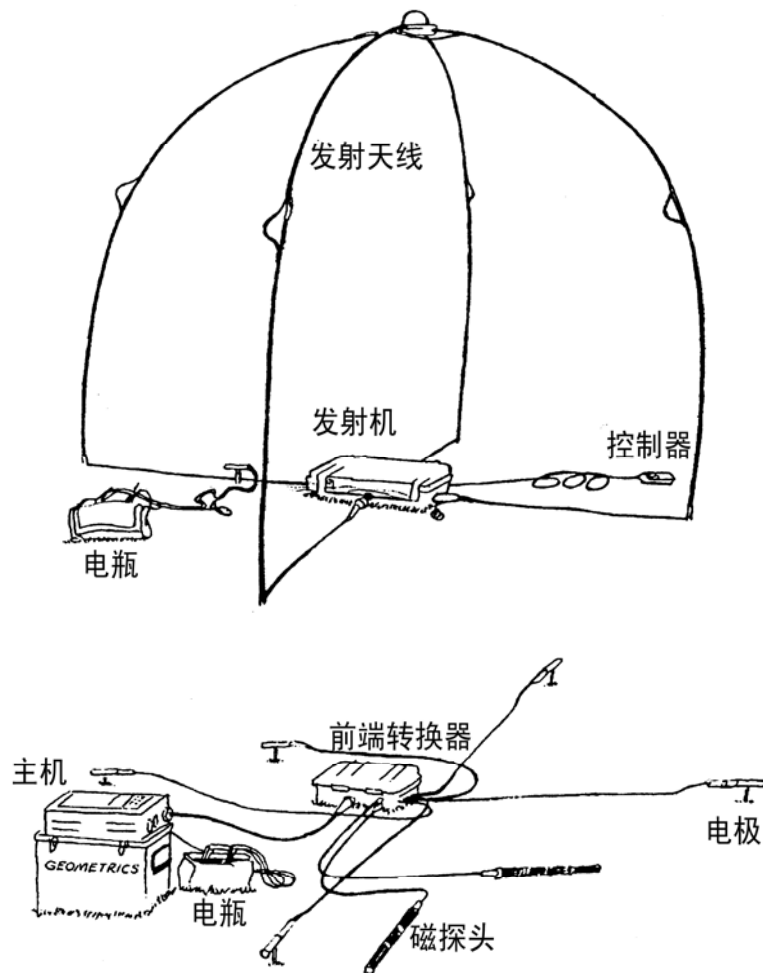
控制，而其观测方式又与 AMT 法相同，所以叫可控源音频大地电磁法。

CSAMT 采用的人工场源有磁性源和电性源两种。磁性源是在不接地的回线或线框中供以音频电流，产生相应频率的电磁场。磁性源产生的电磁场随距离衰减较快，为保持较强的观测信号，场源到观测点的距离（收发距） $r$  一般较小（ $n \times 10^2$  米），所以其探测深度较小（ $< 1/3r$ ），主要用于解决水文、工程或环境等浅层地质问题。电性源是在有限长（1-3KM）的接地导线中供音频电流，产生相应频率的电磁场，通常称其为电偶极或双极源。根据供电电源功率（发送功率）的不同，电性源 CSAMT 的收发距可以达到几到几十公里，因而探测深度较大（可以达到 2KM），主要用于地热、油气、煤田以及固体矿产的勘探中。

### 一、仪器设备

本次实习使用 EH-4 系统。EH4 连续电导剖面仪是由美国 EMI 公司生产的电磁法仪器系统，属于混合源方法的仪器。它利用的场源可以是天然场，也可以是人工场。数据采集方式和 AMT 法相同；在频率（10—1000）Hz 范围内，采集天然电磁场信号；在频率（750—92K）Hz 范围内，天然场高频成分信号比较弱，使用人工源信号，这时满足波区条件的收发距较小，容易实现；并且，发送信号的时间短，功率小，装备和电源轻便。配备高频磁探头，观测的电磁信号频率范围为（92K—10）Hz。可用于测量地下几米至 1 公里范围内介质电阻率的连续分布。若配备低频磁探头，可用于探测深部地质构造。

EH4 连续电导剖面仪包括两部分，发射装置和接受装置（见附图）。接收装置包括不锈钢电极、接地电缆、前置转换器（AFE）、磁探头、主机、传输电缆、12 伏蓄电池。发射装置包括发射天线、发射机、控制器、12 伏蓄电池。

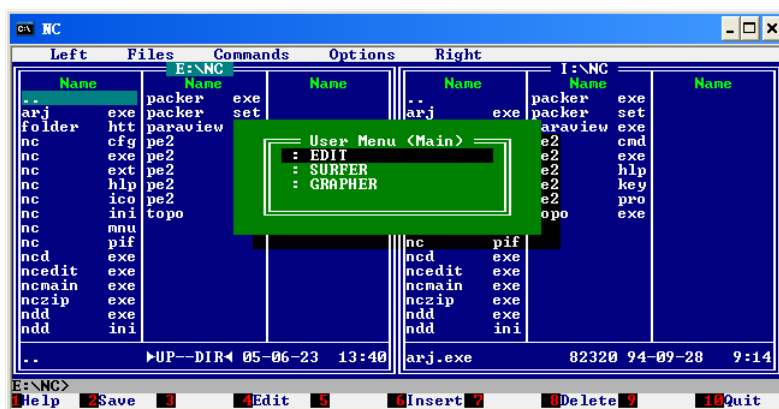


## 二、数据采集

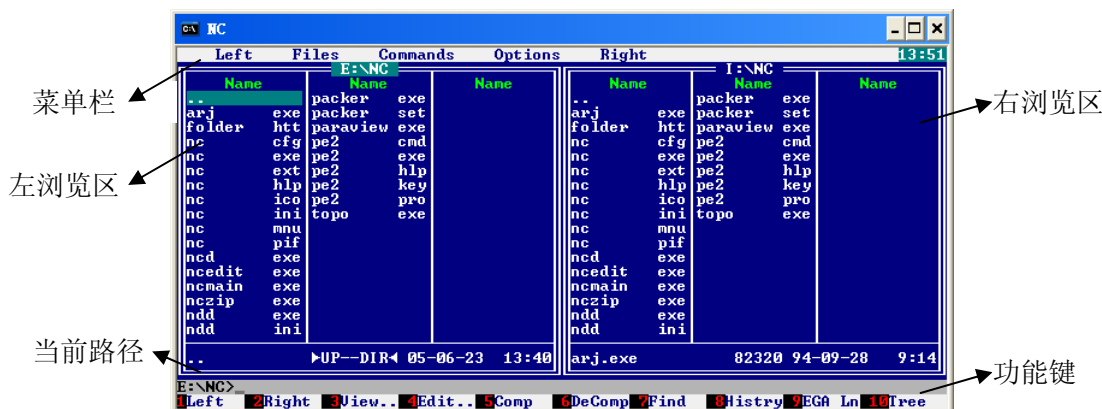
EH-4 系统的野外测站布置方式与 MT 方法类似。但 EH-4 系统的电极距较小，一般为几十米。使用的电极为金属杆状电极。只观测水平方向的磁场，磁传感器同样要求水平放置并埋入地下。

### 1. NC 简介

NC 的全称为 The Norton Commander，是 Symantec 公司推出的一个小工具软件，除了集成了 dos 命令外，其主要功能是连接两台电脑进行通讯，主要为 DOS、Windows98（及更早期版本 Windows）等早期操作系统之间的数据传输而设计。运行 NC 之后，屏幕上出现如下界面：



这时，按一下键盘上的“Esc”键，就能进入NC的主界面：



上图中 NC 主界面可以分为 5 个部分：菜单栏、左浏览区、右浏览区、当前路径和功能键。菜单栏中“Left”主菜单下的所有菜单项都用于控制左浏览区，同样“Right”主菜单下的所有菜单项都用于控制右浏览区；“Files”主菜单下都是一些与文件操作相关的菜单项；“Commands”主菜单下都是一些命令项；而“Options”主菜单下都是一些设定菜单项，用以设定显示等。NC 的功能键除了“功能键”一栏中 F1~F10 各键外，主要功能键还包括“Tab”键，以及“上、下、左、右”键；F1~F10 各键的功能在主界面上“功能键”区有详细显示，不再重复，“Tab”键用于在“左浏览区”和“右浏览区”之间切换焦点，可以看出在上面主界面中，焦点在“左浏览区”，这时候单击“Tab”键就能把焦点切换到“右浏览区”；而“上、下、左、右”键的作用在于可以在获得焦点的浏览区内通过移动光标选择文件或文件夹，可以看出当前获得焦点的浏览区是“左浏览区”，左浏览区内显示的是 E:\NC 目录下的所有文件和文件夹，当前光标位于“..”上，可以通过“上、下、左、右”键改变光标位置；如果光标位于“..”上时按下键盘上的“Enter”键，则能返回上一级目录，这时浏览区会显示上一级文件夹内的文件和文件夹。



但是，上述方法只能切换目录，不能切换盘符；也就是说，在上面界面中，“左浏览区”只能回到 E 盘，而不能进入其他盘符。改变盘符的方法如下：按下“Alt”+“F1”，会出现一个盘符选择表，可以选择盘符；如果想改变“右浏览区”的盘符，则按下“Alt”+“F1”。

此外，除了这些 DOS 兼容命令外，NC 最大的用途在于微机间的通讯。用一条并口线连接两台微机的并口，然后在两台微机上运行 NC，选择“Right”或“Left”菜单中的“Link”菜单项，出现如下界面：



这个界面上需要设定两个参数：连接端口和通讯模式。本次实习我们选用计算机并口通讯，故两台微机连接端口都选“LPT1”，操作性好的电脑（便携机或台式微机）把通讯模式设为“Master”（主控机），把 EH-4 的通讯模式设为“Slave”（从属机），然后把两台机器的光标都移动到“Link”上，尽可能的同时按下“Enter”，如果机器端口完好，并口线完好，这时主控机上的“左浏览区”或“右浏览区”就能显示从属机上的内容。通过 F1~F10 功能键，可以在主控机上操作从属机上的内容进行编辑、拷贝、删除等，也可以把从属机上的内容拷贝到主控机上，反之亦然。

## 2. EH-4 操作

- 1) 正确接好电极、磁传感器、传输线、电源线，并接上键盘。这部分内容由指导老师讲解。
- 2) 开机，机器启动后会自动进入数据采集界面，这时光标位于采集界面的“Option”上。通过键盘上的“上、下键”或仪器操作面板（以下简称面板）

上的“▲、▼”键移动光标到“exit”上，按下键盘或面板上的“Enter”键，退出采集界面。

- 3) 退出采集界面后，主机的操作界面自动成为 DOS 界面，通过 DOS 命令运行 C:\nc 目录下的可执行文件 NC。用 NC 的功能键在 D 盘根目录下新建一个目录（这里假设目录名为 line1）。具体步骤：

- a. 改变“左浏览区”的盘符到 D 盘。
- b. 按下 F7 功能键，在出现的“create the directory”对话框中输入目录名 line1。

- 4) 设定采集目录。EH-4 的采集是通过一个名为 XQImagem.bat 的批处理文件来控制的。编辑该文件可以设置采集目录。具体步骤：

- a. 改变“右浏览区”的盘符到 C 盘，光标定位到 C:\Imagem\XQImagem.bat。
- b. 按下 F4 功能键，编辑 XQImagem.bat 文件，把各行改为：

```
d:
cd d:\line1
c:\imagem\imagem.exe
```

第一行表明工作盘符，第二行表明采集目录，第三行表明采集软件位置。

- c. 编辑完成后按 F2 保存，然后按 F10 退出，回到 NC 主界面，这时光标仍在 XQImagem.bat 文件上。
  - d. 按“Enter”键，直接运行 XQImagem.bat。
- 5) 采集参数设定。运行 XQImagem.bat 文件后，需要设定一些采集参数。具体参数设定及作用如下：
- a. 电力线频率。输入“50”即可，这个参数用来设定带阻滤波。
  - b. 文件起始编号。可以输入 1~999 之间的任何数字，一般输入 1 即可。
  - c. 测线名称。输入一个长度小于 6 的字符串即可。
  - d. x 方向和 y 方向的电极距，中间用空格隔开，单位为 m，如：20 20。
  - e. 是否需要采集低频信号。本次实习不采集低频信号，直接输入“n”，回车。

这里，测线，名称和文件起始编号功能构成保存的数据文件名。比如，设定的文件起始编号为 1，测线名称为 hh，则在第一个测点上观测完毕并存

盘后，会自动生成 Xhh.001、Yhh.001、Zhh.001 三个文件，文件将被保存在 d:\line1 目录中。如果在该测点上再观测一次并存盘，则生成后缀为 002 的三个文件。到下一测点观测并存盘时会生成后缀为 003 的三个文件。也就是说测点和记录号并不对应，在野外记录本中应记录每个测点的一个或多个记录号。

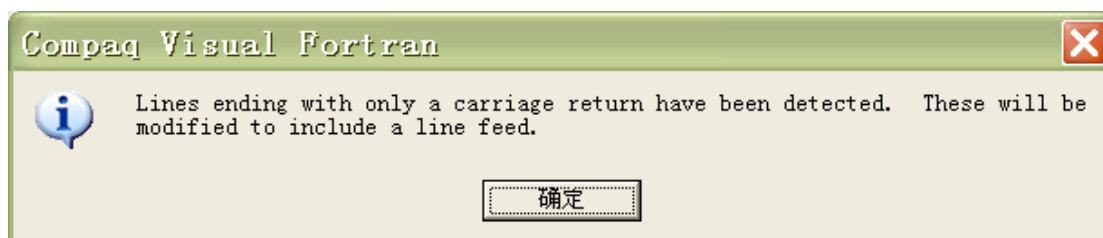
- 6) 上述工作对于一个工区而言只要进行一次即可，只要不改变 XQImagem.bat 文件内容，以后每次开机会自动采用其设置，并自动进入采集界面。仪器采集控制的所有操作都可以由仪器操作面板完成，即设定好 XQImagem.bat 文件后可以不再使用外接键盘。
- 7) 设置完参数后，系统自动进入采集界面。在采集界面上，通过仪器控制面板上的上下键移动光标到“Gain Setting”上，按“Enter”键，这时会出现一个界面，问用户是否需要仪器自动设定增益，默认值是“n”，即不自动设定增益。由于人工设定增益需要知道工区的信号强度，而且选取什么样的增益还和电极距有关，所以我们一般都用自动增益设置。这时只需要按“\*”键，取消默认设置“n”，然后用面板上的数字键键入“1”，按“Enter”键，仪器就会开始自动设置增益，由于我们选取了 3 个测量频段，故会自动设 3 个频段的增益，每设完一个频段的增益，都会出现一个界面告诉用户当前的增益设定情况，并问用户是否接受这个增益，这时默认的设定为“y”，所以只要按“Enter”键即可，由于有 3 个频段，故要按 3 次“Enter”键才能完成增益设置。
- 8) 自动增益设置的增益最小值为 1（即对信号不做放大），实际上有时由于干扰很大，即便增益为 1 信号也会超出所允许的最大值。这时候的办法是人工设定增益，如果增益为 1 时，磁道信号溢出，则把磁道增益设定为-1，如果电道信号溢出，则把电道增益设定为-1，如果两道的信号都溢出，则两道的增益都设为-1。这里要指出的是，仪器只支持两个增益值，即电道增益和磁道增益，也就是说 Ex、Ey 的增益是相同的，Hx、Hy 的增益是相同的。
- 9) 设定完增益之后，移动光标到下一项“Acquisition”，按“Enter”键，之后会出现一个界面让用户设定测点坐标，可以输入测点的 x、y 坐标，两个坐标值之间用空格隔开，空格可以用仪器面板上的“▷”键输入；输入完 x、y

坐标之后，按“Enter”键，会出现一个界面，让用户输入电极距，这里需要输入两个电极距值，中间用空格隔开，输入方式与前相同，输入完成后，按“Enter”键，这里测点坐标和电极距的单位都是米。

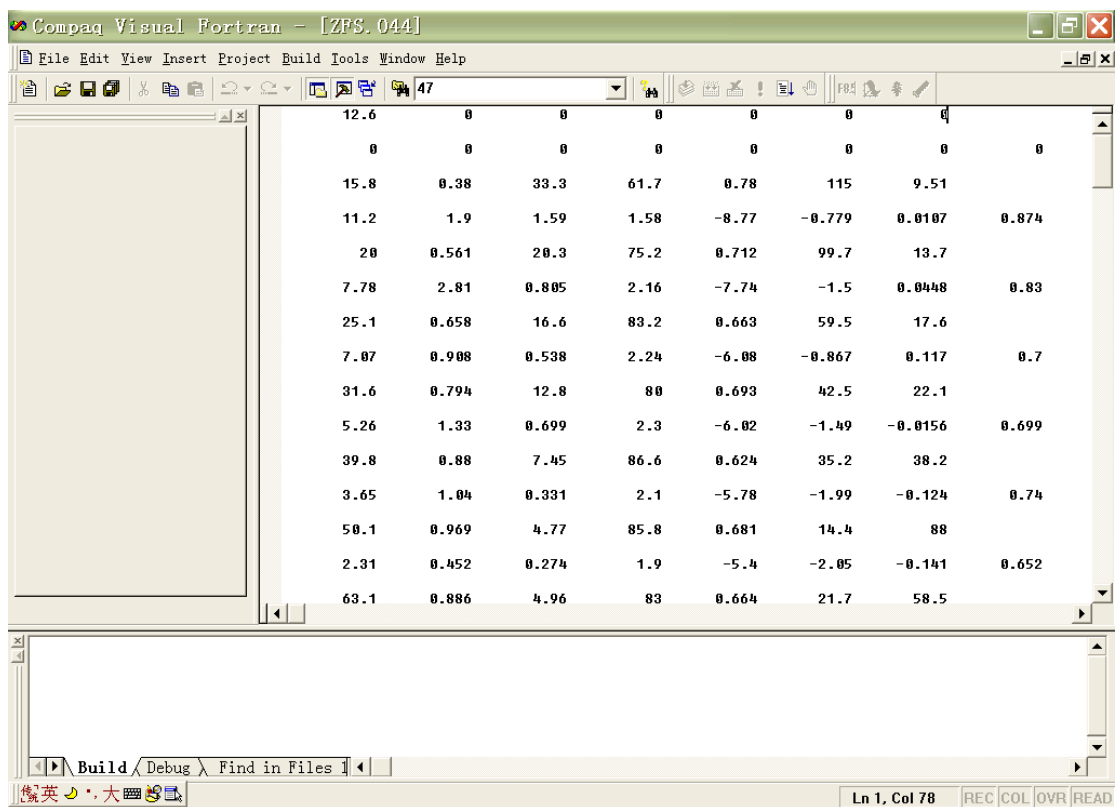
- 10) 完成上一步后会进入采集界面，这时可以看到有 1、4、7 三个频段可供选择，我们一般采集 1、7 两个频段的信号，因为这两个频段可以覆盖所有频点。输入采集参数就可以进行采集，采集参数其实是两个整数，前一个是频段号，即 1 或 7，后一个是叠加次数，一般 14~20 次较为合理，两个整数之间用空格隔开，输入完成后，按“Enter”键，采集开始。采集完一个频段后采集另一个频段。如果想要终止采集，可以在完成一次叠加的间隔时间按“CLR”键，取消采集。
- 11) 采集完两个频段的信号后，按“\*”键，取消所有采集参数，键入“0”，按“Enter”键，即能保存数据，**千万注意若不做这一步，数据将丢失**。记录下文件的编号，如数据质量差，可以再采集一次。
- 12) 关机，挪点。
- 13) 注意，每存盘一次，将会保存三个文件：X 文件，Y 文件和 Z 文件。如果设定的测线名为 yy，上一次保存序号为 002，那么这一次存盘会生成 3 个文件：Xyy.003、Yyy.003、Zyy.003。其中 X 文件保存的是时间序列，Y 文件保存的是功率谱，Z 文件保存的是视电阻率和相位。使用 NC 在笔记本电脑和 EH-4（必需接键盘）之间实现通讯，把 Z 文件传输到笔记本电脑中。

### 三、资料处理

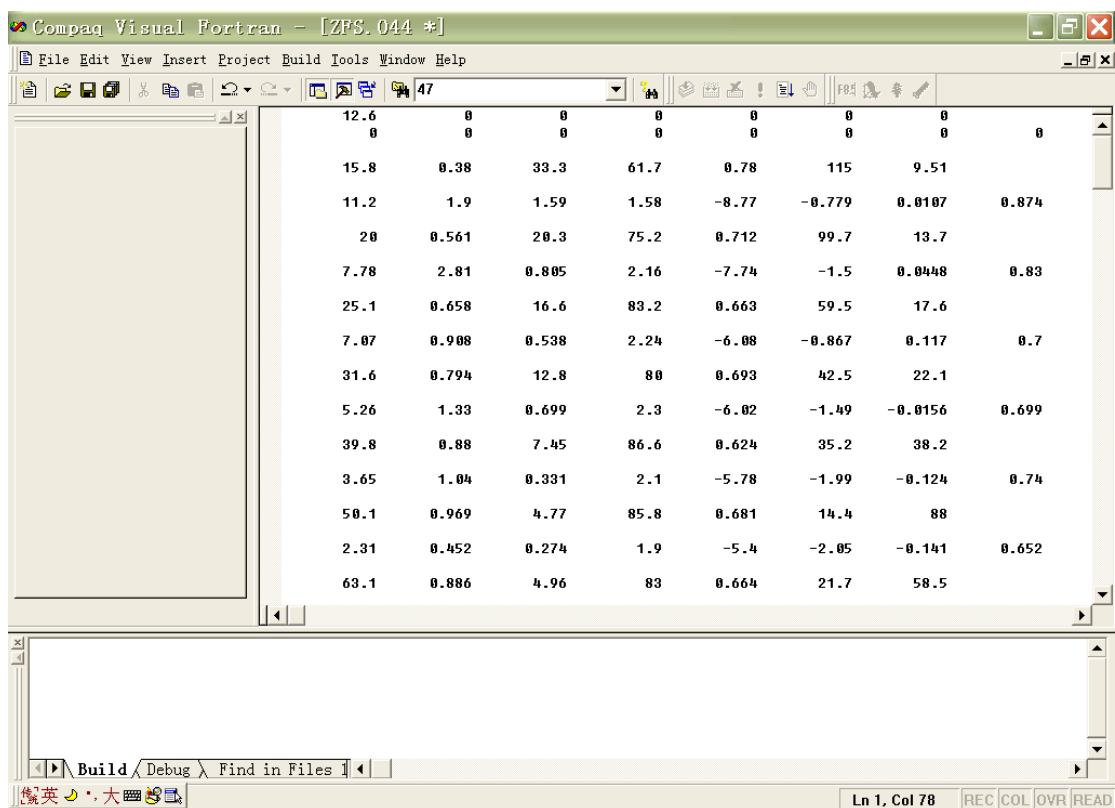
1. 拷贝完数据之后，需要用 Z2mtd.f 程序把 Z 文件转换成 MTD 文件，第一步需要用 Visual fortran 编译器把 Z 文件打开，由于格式的问题，在数据文件打开之前会弹出如下对话框：



点击“确定”，打开数据文件之后，把光标定位到第一行的末尾，如下图所示：



按“Delete”键，去掉下一个空行：



然后按“Enter”键，使得空行复原：

Compaq Visual Fortran - [ZFS.044 \*]

File Edit View Insert Project Build Tools Window Help

12.6	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
15.8	0.38	33.3	61.7	0.78	115	9.51	
11.2	1.9	1.59	1.58	-8.77	-0.779	0.0107	0.874
20	0.561	20.3	75.2	0.712	99.7	13.7	
7.78	2.81	0.805	2.16	-7.74	-1.5	0.0448	0.83
25.1	0.658	16.6	83.2	0.663	59.5	17.6	
7.07	0.908	0.538	2.24	-6.08	-0.867	0.117	0.7
31.6	0.794	12.8	80	0.693	42.5	22.1	
5.26	1.33	0.699	2.3	-6.02	-1.49	-0.0156	0.699
39.8	0.88	7.45	86.6	0.624	35.2	38.2	
3.65	1.04	0.331	2.1	-5.78	-1.99	-0.124	0.74
50.1	0.969	4.77	85.8	0.681	14.4	88	
2.31	0.452	0.274	1.9	-5.4	-2.05	-0.141	0.652
63.1	0.886	4.96	83	0.664	21.7	58.5	

Build Debug Find in Files

Ln 2, Col 8 REC COL OVR READ

保存完后关闭数据文件，这时数据文件的格式已经正常。对于所有的 Z 文件作这一步操作。

2. 把与这个文档在同一目录的 Z2mtd.f 文件拷贝到数据文件所在的目录，编译并运行该文件，会出现如下界面：

I:\科研\EH4仪器操作、反演说明\Debug\Z2mtd.exe

Please input the Z-file name you want to convert to mtd-file:

在这里输入 Z 文件名就能把 Z 文件转换成 2 个 mtd 文件，即 xy 模式的视电阻率和相位文件以及 yx 模式的视电阻率和相位文件。

### 三 反演解释

大地电磁的反演分为一维二维和三维反演，目前生产中主要以二维反演为

主，三维反演也取得了显著成果。当测点较少或剖面较短时，一般进行一维反演。有关大地电磁反演的理论和方法，请参阅相关文献资料。

本实习中的大地电磁数据由学生进行一维反演，指导教师进行二维反演并把结果提供给学生进行解释。一维反演采用 Bostick 反演和 Alexei Bobatchev 开发的 IPI2WIN 一维反演软件。软件的使用方法参阅说明或由指导教师讲解。

做完一维反演以后，可以得到每个测点地下电阻率值随深度的变化情况，也可以绘制曲线拟合图和柱状图。曲线拟合图是实测的视电阻率曲线与模型响应的拟合情况，柱状图是反应测点下不同深度（分层）的电阻率值。如果多个测点构成剖面，可以绘制地电断面图。断面图的横坐标为测点位置，纵坐标为深度。

# 核地球物理野外实习指导

王南萍

中国地质大学（北京）  
地球物理与信息技术学院



## 前 言

核地球物理方法，或称为放射性地球物理，是地球物理方法之一。该方法主要应用于放射性及其他矿产资源勘查、地球科学研究、寻找断层等，也广泛应用于环境电离辐射水平评价。在较系统地学习了有关核地球物理方法理论后，野外实习将为同学们提供一次全面学习野外测量方法技术、仪器设备使用、以及实测资料分析整理的机会，对提高同学们的实际工作能力有重要意义。

实习涉及的方法有：

- 1、地面  $\gamma$  能谱测量
- 2、土壤氡浓度测量
- 3、原野（室外）空气吸收剂量率测量

通过本次野外教学实习，让同学们掌握常用的核地球物理野外工作方法、仪器设备检查及使用，以及数据处理与图示。

本实习指导书第一稿写于 2003 年，2005 年重新修订。

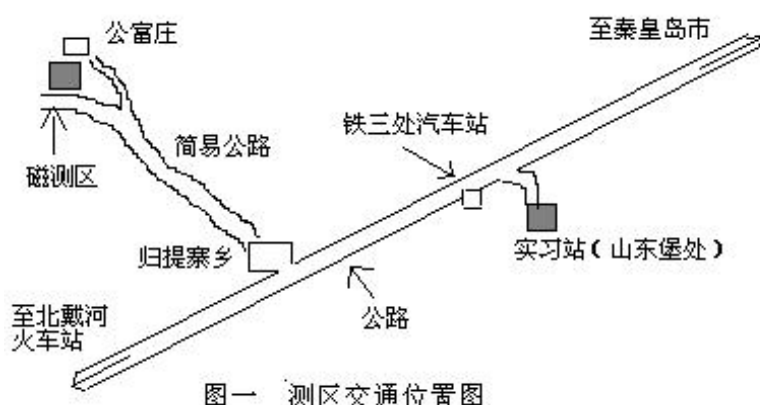
## 一 测区概况

### 1.1 地理位置

中国地质大学（北京）秦皇岛实习站位于秦皇岛市南西山东堡立交桥附近，野外测区位于公富庄，从实习站至测区约 4Km，步行约 50 分钟。测区交通位置示意图如图 1 所示，交通便利。

### 1.2 地质地貌概况

测区位于公富庄南边的一座荒丘上。山丘南坡缓，与农田相连；北坡陡，山脚有小学与农舍；坡西北有小水库；最大相对高度差约 20m。山坡上有小树、矮草，通视条件较好。山坡大部分面积为坡积物覆盖，山顶露头可见混合花岗岩、辉绿岩脉等。岩脉呈东西向顺山脊分布，山顶可见废弃的采石坑。



### 1.3 放射性背景值

测区地表主要为黄色粘土或亚粘土。据 2004 年野外教学实习实测结果，测区粘土中平均 U 含量为  $20.06 \text{ Bq kg}^{-1}$ ，Th 为  $33.92 \text{ Bq kg}^{-1}$ ，K 为  $631.85 \text{ Bq kg}^{-1}$ （地面伽玛能谱（FD-3022）测量结果）。据岩石样品室内伽玛谱分析结果，辉绿岩中和围岩中钾、铀、钍含量有很大差异，详见表 1。因此，该区地表介质中放射性水平有较明显的差异。

表 1 岩石样品室内  $\gamma$  谱分析结果 ( $\text{Bqkg}^{-1}$ )

岩性	$^{238}\text{U}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
辉绿岩 1#	17.91	3.27	2.72	188.89
辉绿岩 2#	19.93	1.70	2.88	231.09
混合花岗岩	61.74	33.47	51.69	1289.51
混合花岗岩 1#	101.93	34.38	64.72	1502.75
混合花岗岩 2#	70.78	28.14	33.72	1390.68

## 二 仪器设备

### 2.1 微机四道 $\gamma$ 能谱仪（FD-3022）

FD-3022 微机四道  $\gamma$  能谱仪（简称 FD-3022，下同）是目前国内进行地面  $\gamma$  能谱测量的常用仪器，由 NaI(Tl)探测器（ $\Phi 75 \times 75$  晶体，GDB-76 F）与主机组成，能量分辨率约 7.8%（对  $^{137}\text{Cs}$  的 662 keV 伽玛射线），具有实时自动稳谱装置（用  $^{137}\text{Cs}$  稳谱）。该仪器钾、铀、钍能量窗选择见表 2：

**表 2            FD-3022 能量窗选择**

能量窗	核素能量 (MeV)	能量范围 (MeV)	备注
钾窗	<sup>40</sup> K (1.46)	1.38-1.56	
铀窗	<sup>214</sup> Bi (1.76)	1.66-1.90	
钍窗	<sup>208</sup> Tl (2.62)	2.44-2.77	
总道(Tc)		0.85-3.00	
铯窗	<sup>137</sup> Cs		稳谱用

野外工作中，采用地面测量方式（将仪器探头直接置于地面测量），应根据被测介质的放射性水平，选择适当的测量时间（以保证测量精度），用“计数”挡测量。测量结果经数据处理后，以钾（%）、铀（ $\times 10^{-6}$ ）和钍（ $\times 10^{-6}$ ）含量表示。

**注意事项：**

- （1）仪器不能在欠电压下工作（会损坏仪器），应经常检查仪器电压，将“工作方式”开关置于“电池”档，表头指针应在绿色区域，否则应更换电池。
- （2）在每个测点上，检查仪器稳谱状态，稳谱表头应在红色区域。一般不用调节稳谱功能，如果确实发生严重漂移，必须在老师指导下进行调节。
- （3）仪器校准后，不可调节增益，以保证测量结果的准确性。
- （4）关机后才能拔出主机与探头的连接电缆。

具体操作规程见附录 1。

## 2.2 镭 A 测氡仪（FD-3017）

FD-3017RaA 测氡仪是目前国内应用最多的一种土壤氡测量仪，探测器为金硅面垒型半导体探测器，采用静电吸附法收集 <sup>218</sup>Po 粒子，通过测得 <sup>218</sup>Po 活度计算土壤氡浓度，换算系数在氡室或用液体镭源校准后给出。操作规程见附录 2。

**注意事项：**

- （1）加高压时左下角有“HV”和右上角有“↓”符号同时显示，当高压值低于 2450-2500v 时，左上角符号消失。检查仪器是否正常。
- （2）加高压或测量过程中不可碰到高压线或有振动，否则会出现假脉冲，产生假异常。
- （3）电池电压低于 3.3v 时，右下角有“LB”显示，立即更换电池。

(4) 密切注意取样器密封状态, 如果地下土壤致密或充满水时, 抽气异常困难, 请不要继续抽气, 否则会将细小土壤或水吸入过滤器或抽筒, 造成探测系统污染。

(5) 野外发现异常应进行重复测量, 及时加密测点, 对异常进行追索和圈定。

## 2.3 X- $\gamma$ 剂量率仪 (CKL-3120)

X- $\gamma$  剂量率仪 (CKL3902) 的探测器为圆柱形塑料闪烁体 ( $\Phi 75\text{mm} \times 75\text{mm}$ ), 其表面涂以 ZnS (Ag) 薄层, 能够补偿塑料闪烁体对低能光子响应的降低。光电倍增管采用高增益低噪声的 GDB 52LD 型, 以获得好的信噪比。仪器由单片机控制, 可依据测量精度的选择设置采样时间、采样次数、循环次数等参数。数据可以 RS-232 接口传输到计算机。测量高度一般选择使晶体的等效几何中心距离地面 1m 高处。

仪器直接显示空气吸收剂量率, 单位为  $\times 10^{-8}\text{Gy/h}$  和该点的变异系数 ( $\sigma / X$ )。

### 注意事项:

(1) 仪器探头内有光电倍增管, 是玻璃器件。仪器支架不够稳定, 测量过程中必须十分小心, 不得碰倒探头。

(2) 周围散射体对测量结果有一定影响。测点应选择在地形平坦、满足  $2\pi$  的测量条件的地点。

## 三 剖面设计及测网敷设

### 3.1 工作任务

本次野外教学实习的工作的任务是: 熟练掌握各种仪器的操作方法, 掌握核地球物理方法野外工作基本流程, 高质量获取野外测量数据, 学习数据处理及解释方法。

### 3.2 野外踏勘

地球物理工作中, 野外现场踏勘是为了了解测区交通位置、地形地貌、地质概况、地表植被及地球物理基本特征, 为编制工作设计书提供依据或参考资料。在全面分析收集到资料的基础上, 确定测区范围。选择有代表性的地质物探剖面进行踏勘测量, 了解下述内容:

- (1) 主要地层、岩体和构造的规模及其分布；
- (2) 有代表性的矿床、矿点、矿化点及异常点(带、晕)；
- (3) 地形、地貌、基岩、浮土、植被及水系分布；
- (4) 初步测量不同地质体中钾、铀、钍元素含量及其总道计数率，了解区内各种岩石和土壤的放射性背景值；
- (5) 经济地理、交通条件、居民点分布等。

### 3.3 测网设计

在选定的工作区内，依据所解决的工作目的（解决的地质问题），选择合适的工作比例尺，面积性测量选用规则测网，线距和点距详见表 3。本次实习采用详查工作比例尺 **1: 1000**，测线方位尽可能垂直于岩体、构造及被勘查对象的总体走向，在公富庄测区为正北方向。

表 3 工作比例尺及测网密度

矿产勘查及地质填图	工作比例尺	测网密度(m)
区域地质调查	<b>1: 100000</b>	<b>1000×(50~200)</b>
	<b>1: 50000</b>	<b>500×(50~100)</b>
普查	<b>1: 25000</b> <b>1: 10000</b>	<b>100×(20~50)</b>
详查	<b>1: 2000</b>	<b>50×(10~20)</b>
	<b>1: 5000</b>	<b>20×(5~10)</b>
	<b>1: 1000</b>	<b>10×(2~5)</b>

### 3.4 测网敷设

按设计的测网范围和测线方位，区域地质调查和普查可采用高精度 GPS 定位。详查比例尺用罗盘定向，测绳量距，测线两端控制点可用 GPS 定位。控制点（20m）应做标记。

## 四 仪器性能检查

放射性测量的基本特征是测量结果服从统计规律，野外测量仪器的性能检查至关重要。在仪器投入使用之前、每天测量工作过程中必须对仪器的准确性、稳定性进行检查。准确性应在放射性计量站用标准模型（适用于能谱仪）、氡室或液体镭源（适用于测氡仪或测氡装置）测定。稳定性检查贯穿每天工作的始末。

## 4.1 微机四道 $\gamma$ 能谱仪性能检查方法

### 放射性衰变统计涨落规律检查

新用仪器或更换探测器后必须进行，一般可用  $^{137}\text{Cs}$  源检查总道计数率，测量时间不少于 120s，测量数据不少于 30 个，但最好在标准模型上进行，测量时间不少于 300s。

将实测数据进行统计，计算平均值的标准偏差，按统计分布进行检验，并做出统计图。

### 稳定性检查

仪器的稳定性检查包括短期稳定性和长期稳定性检查。

#### 短期稳定性检查：

让仪器在有源或无源情况下连续工作 8 小时，先读取 30 个数，求其平均值为相对参考值；然后每隔 1 小时读取一组数（3—5 个数），统计并计算各组平均值与参考值的相对误差，相对误差小于等于  $\pm 10\%$  为合格。

#### 长期稳定性检查：

在每天开始工作之前、结束工作之后，在选定的参考点检查仪器的读数，记录 5—10 个数，求其平均值与相对参考值的相对误差，相对误差小于等于  $\pm 10\%$  为合格。具体方法是：在实习基地设置一个相对参考基点（最好选择放射性水平比较高的地点），用记号笔做好标记（FD-3022 的探头直径），每天开始工作前、结束工作后都在该点进行测量（分别称为早基和晚基检查）。

- （1）首次选定相对参考点后，用 300s 测量时间，测量 10 组数据；
- （2）每次开机后检查电池，并预热 15min. 以上；
- （3）测量时间不少 300s；
- （4）每天测量不少于 5 组数据，并做好记录；
- （5）分别计算每次测量的钾、铀、钍能量窗计数率平均值，计算与首次测量的平均值进行比较，相对误差小于  $\pm 10\%$  表明仪器稳定可靠。否则，仪器不能用于测量或测量数据作废。

## 4.2 镭 A 测氦仪长期稳定性及抽气系统漏气检查

### 长期稳定性检查

FD-3017 的长期稳定性检查用  $\alpha$  源进行。每天开始工作前、结束工作后用  $\alpha$

源进行稳定性检查，具体方法如下：

- (1) 每天开机后检查电池，并预热 15min. 以上；
- (2) 将探测器中的托盘取出；
- (3) 将  $\alpha$  源放入，并将标记对准；
- (4) 选择测量时间 1min；
- (5) 测量 10 个数据；
- (6) 计算计数率平均值，并计算与首次测量平均值的相对误差，相对误差小于  $\pm 10\%$  表明仪器稳定可靠。否则，仪器不能用于测量或测量数据作废。

### 抽气系统漏气检查

抽气系统是否密闭直接影响测量结果，应经常对整个抽气系统进行漏气检查。

抽气筒漏气检查。将抽筒上的球形阀门置于“吸”的位置，提升抽筒吸入空气，再将阀门转向“断”，握住抽筒手柄向下压，如果不能压下，表明抽气筒密闭性能良好。否则应解决漏气问题。

#### 4.3 X- $\gamma$ 剂量率仪准确性和稳定性检查

用仪器自带  $^{137}\text{Cs}$  源进行准确性和稳定性检查。具体方法如下：

- (1) 选定一个相对参考点，每天开始工作前和工作结束后进行检查；
- (2) 将仪器探头置于 1m 处；
- (3) 测量场地本底值，不少于 10 个数；
- (4) 将参考源按规定的位置放在探头上；
- (5) 再采集 10 个加参考源的数据；
- (6) 准确性评价方法。用每次加参考源后测量平均值（净源实测值）与该仪器在中国计量科学院检定时净源计数相比较，相对误差在  $\pm 15\%$  以内合格。仪器可正常使用。
- (7) 长期稳定性评价。每天早基和晚基检查的平均值（净源实测值）在  $\pm 15\%$  以内合格。

五 野外测量

5.1 地面  $\gamma$  能谱测量

地面  $\gamma$  能谱测量的目的是测定地表岩石或土壤钾、铀、钍的含量，采用的仪器型号为  $\gamma$  能谱仪 FD-3022。

5.1.1 野外观测

观测方式选择

根据工作任务和工作精度选择观测方式，本次教学实习采用定点测量，测量高度 0m（贴地测量），采样时间 120s 以上。

测量几何条件选择 尽可能保证半空间( $2\pi$ )几何条件。

5.1.2 现场记录

现场记录要求：

- (1)、详细记录测量时间、地点、记录人、操作人、天气参数、仪器型号、观测精度等相关表头信息；
- (2)、测量结果记录要注意测点的描述和有关地质概况，如矿化、蚀变、构造以及岩性、植被和土壤湿度等等，详见下表 4。

( ) 测区

表 4 FD-3022 微机四道谱仪野外记录表

原始记录 第 页 共 页						
日期	增益			操作人		
仪器型号					记录人	
天气参数					采样时间	
点号	U 窗	Th 窗	K 窗	Tc	测点描述	备注

5.1.3 高精度观测

对重要的地质-物探综合剖面，应做高精度测量。要求在每个测点的采样时间不低于 300s，测点基本满足  $2\pi$  几何条件。

5.1.4 异常点带处理

在野外观测中发现  $\gamma$  能谱异常点(带)时，应做如下工作：



- (1) 重复测量，以确定异常的存在；
- (2) 追索异常。采用“十”字剖面法或加密测网的办法，圈定异常范围，点线距视具体情况而定；
- (3) 观察地质现象，描述异常位置及赋存的地质体、岩性、构造、围岩蚀变、矿化特征；
- (4) 在异常极大值部位或异常有利部位(矿化、蚀变等)采集岩石或土壤样品，供室内研究之用；
- (5) 异常点(带)应及时登记造册，进行初步评价，并提出进一步处理意见。

#### 5.1.5 $\gamma$ 能谱精测剖面

在工作区内典型地段至少布置一条地质— $\gamma$  能谱精测剖面。

- (1) 穿过区内主要地层、岩体和构造，尽可能穿过主要岩石类型分布区；
- (2) 基岩出露好；
- (3) 最好通过主体异常中心部位，并兼顾已知异常覆盖区；
- (4) 明显反映异常特征，便于定量计算的地段；
- (5) 测量精度不低于面积性测量,测量点距适当加密，最小地质单元内不少于 3 个测点。

#### 5.1.6 采样

野外采样是核地球物理工作中必不可少的一项重要工作。在测区范围内，根据具体的工作任务，按岩性、矿化、蚀变、构造等特征采集一定数量的岩石(或土壤)样品，供室内测定钾、铀、钍元素及找矿目标元素(共生或伴生)的含量，研究钾、铀、钍与目标元素的相关关系及成矿规律。

注意：采样过程中注意记录采样点（采样点编号等），以便与现场测量结果对比。

#### 5.1.7 异常点检查

异常点检查是指对发现了有找矿意义的异常点带进行检查。由不同的人员，最好是另一台仪器对该点进行检查测量，并登记异常卡片。

#### 5.1.8 质量检查

检查点布置原则

- (1) 检查测量工作量不得少于总工作量的 10%；

(2) 对有矿化及有地质意义的异常点(带)100%要进行检查, 一般异常点(带)做 50%的检查, 并追索到背景场 3~5 个测点;

(3) 检查线应布置在地质上有意义或工作质量有疑问的剖面, 以互检或自检方式进行。

方法及相对误差要求

要求剖面检查测量与基本测量的曲线形态应基本相似, 检查测量与基本测量相对误差满足以下要求: 当量铀、当量钍含量大于  $10 \times 10^{-6}$  时定量计算相对误差不大于  $\pm 15\%$ , 当量铀、当量钍含量小于  $10 \times 10^{-6}$  时定量计算相对误差不大于  $\pm 20\%$ ; 钾含量大于 5%时为  $\pm 10\%$ , 小于 5%时不大于  $\pm 20\%$ 。

检查测量合格率不小于 80% (按总检查点数计算)。

$$\eta = \frac{m}{n} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $\eta$  为合格率,  $m$  为合格点数,  $n$  为检查总点数。

检查测量不符合要求者应查明原因, 必要时可再次进行检查。再次检查不合格的测线资料作废, 重新观测。

## 5.2 土壤氡浓度测量

土壤氡浓度测量方法主要用于寻找深部铀矿床、确定断层位置及走向、寻找地下空洞等地质构造。矿产资源勘查主要采用规则测网, 测网布置与地面  $\gamma$  能谱方法一致。确定断层主要采用剖面测量, 点线距按实际工作任务而定。野外数据采集仪器为镭 A 测氡仪 (FD-3017), 方法简述见 5.2.1。

### 5.2.1 观测与记录

#### 观测

- (1) 在每个测点上用钢钎打一个孔, 深度为 60cm, 覆盖浅时记录实际孔深;
- (2) 将取样器插入孔中, 周围用细土封好, 防止漏气, 采样体积 1.5L;
- (3) 选择采样程序, 一般选用 2 min-15s-2 min 程序, 也可采用 3 min-15s-3min 程序;
- (4) 将采样铝片放入抽筒内;
- (5) 打开抽气筒均匀抽气, 将第一筒气排出, 采集第二筒气, 将阀门转向“断”, 将抽气筒与外部断开;

(6) 启动主机上的高压，等候；

(7) 听到读数报警声后，将铝片正确放入探测器（吸附件面朝上），等候。

## 记录

测量时间到后记录仪器示值，并详细记录土壤类型、土壤湿度、地表植被等信息，必要时采集土样，以便室内进行铀、镭含量测定。记录格式如下（表 5）：

（        ）测区

表 5    土壤氡测量记录表格（FD-3017）

日期					操作者		记录者	
天气参数					换算系数		参考源	
仪器编号					工作源检查			
序号	点线号	读 数				氡浓度 (Bq/L)	测点描述	备注
		1	2	3	平均			

### 5.2.2 异常处理

野外发现异常时应及时检查仪器的工作状态，并进行下述工作：

- (1) 在原孔附近重新打孔进行第二次测量，确定氡气来源是否充足，同时进行氡、钍射气定性测量；
- (2) 加密测点、测线，圈定异常范围，绘制加密后的草图；
- (3) 观察地质，地貌情况并记录；
- (4) 采集标本或样品，设立临时异常标志；
- (5) 填写异常登记。

若条件允许，应详细研究氡浓度随取气深度变化关系。

### 5.2.3 质量检查

#### 质量检查工作量

质量检查测量是随野外工作进展按计划进行。检查线应均匀分布于测区内，重点放在异常地段和对工作质量有怀疑的地段。检查测量工作量不得少于基本测量的 5%。

#### 质量检查内容

质量检查由负责人指定专人执行。检查内容包括对基本测量技术条件的执行情况，如取样孔、坑的规格，主要操作环节，记录内容等，并尽量在不同日期，使用同类型性能良好仪器在原测点附近检查测量。

若异常重现性差，需查明不符合原因，重作检查测量，直至合格。基本测量

和检查测量均应避开雨天，尽量在同等气候条件集中野外观测，以减少气象对测量结果的影响。

### 质量检查要求

基本测量与检查测量的相对误差计算公式如下：

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n y_i}{\frac{\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n y_i}{2}} \times 100\% \quad (2)$$

式中： $\delta$ —相对误差；

$\sum_{i=1}^n x_i$ —基本测量各测点氡浓度的和；

$\sum_{i=1}^n y_i$ —检查测量各测点氡浓度的和。

基本测量和检查测量整条测线的相对误差不得大于 30%，曲线形态基本符合。

## 5.3 室外空气 $\gamma$ 吸收剂量率测量

室外空气  $\gamma$  吸收剂量率是公众接受的外照射吸收剂量估算的重要参数，测量仪器有高压电离室和便携式闪烁吸收剂量率仪等。本次教学实习使用仪器型号为(CKL-3120)。

### 5.3.1 现场测量方法

(1)测点选择：在道路和原野测量时，测点距附近高大建筑物的距离应大于 30m，并在道路和广场中央地面 1m 高处（探头等效几何中心位置）。

(2) 采样时间不少于 20s，循环次数不少于 3 次，每个测点上至少测三个数得到示值及变异系数；

(3) 环境地表  $\gamma$  辐射剂量率水平与地下水位、土壤中水分、降雨的影响、冰雪的覆盖、放射性物质的地面沉降、射气的析出和扩散与植被的关系等环境因素有关，测量时应注意其影响。

(4) 在野外测量期间遇到仪器示值大于 3 倍标准方差时，应检查仪器进行重复测量，观测是否由不同的地质体引起的异常，并详细做好记录。

### 5.3.2 记录

环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定数据必须详细记录，记录表格式见表 6，主要内容包  
括：

- (1) 测量日期（年、月、日、时、分）；
  - (2) 测量者，数据处理者（本人签名）；
  - (3) 测量仪的名称、型号和编号等；
  - (4) 固定测点编号，非固定测点的点位名称及地理特征描述，以及地质特征。
- ( )测区

**表 6      x- $\gamma$  剂量率仪原始记录表**

原始记录 第    页    共    页

日 期				天气参数				
仪器型号及编号				数据处理				
测 量 者				净源读数				
采样时间、循环次数				校准因子				
线号	点号	仪器示值 ( $10^{-8}\text{Gy/h}$ )	变异系数 (%)	仪器示值 ( $10^{-8}\text{Gy/h}$ )	变异系数 (%)	实测结果 ( $10^{-8}\text{Gy/h}$ )	测点描述	备注

### 5.3.3 质量检查

质量检查点不少于总测点数的 10%，对异常点进行 100% 的检查测量。由不同  
的人进行检查测量。基本测量与检查测量的相对误差小于  $\pm 20\%$ 。

### 5.4 宇宙射线测量

宇宙射线的次级粒子会产生电离。宇宙射线可用水面法测定，可到海面上  
测定 **FD-3022** 和 **CKL-3120** 对宇宙射线的响应。具体方法如下：

到水深大于 2 米，水域面积大于 50 平方米的海域，最好在木船上进行测量。

**FD-3022** 最好采用 300 秒的测量时间，记录 20 组以上数据。由于 **FD-3022** 有内  
置  $^{137}\text{Cs}$  源，应与 x- $\gamma$  剂量率仪分次测量。

**CKL-3120** 设置 30s 采样时间，循环 5 次，不少于 30 个数据。

## 六 资料整理与图示

### 6.1 仪器稳定性检查图示

将每天稳定性检查结果的平均值做散点图，横坐标为时间，纵坐标为早基和

晚基平均值，标出第一次测量平均值的 $\pm 10\%$ 。

## 6.2 铀、钍、钾含量计算

利用 FD-3022 测量数据，根据给定的换算系数计算每个测点处的铀、钍、钾含量，具体方法如下：

(1) 求出各能量窗的净计数率（扣除宇宙射线），仪器示值的铀、钍、钾窗以 100s 归一，总道以 10s 归一。

(2) 根据公式 3 和给定的换算系数计算含量。

$$\begin{aligned} eU(\times 10^{-6}) &= A_{u1} * N_u + A_{t1} * N_t + A_{k1} * N_k \\ eTh(\times 10^{-6}) &= A_{u2} * N_u + A_{t2} * N_t + A_{k2} * N_k \\ K(\%) &= A_{u3} * N_u + A_{t3} * N_t + A_{k3} * N_k \end{aligned} \quad (3)$$

式中： $A_{ui}$ ， $A_{ti}$ ， $A_{ki}$  为换算系数， $i=1, 2, 3$

$N_u$ 、 $N_t$ 、 $N_k$  分别为各能量窗的净计数率，cps。

## 6.3 土壤氡浓度计算

RaA 法测得的土壤氡浓度计算公式如下：

$$Q_{Rn} = K \cdot N \quad (4)$$

式中： $K$ ——仪器常数， $(Bq / m^3) / cp2m$ （注：指 2min 的计数）

$Q_{Rn}$ ——测点的氡浓度， $Bq / m^3$ ；

$N$ ——仪器示值，脉冲 / 2min。

## 6.4 环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率

每个测点上的实测数据做如下处理：

- (1) 求每个测点上的仪器示值—吸收剂量率平均值；
- (2) 将实测仪器示值平均值扣除宇宙射线对吸收剂量的贡献；

$$\dot{D}_\gamma = \dot{D}_{\text{实测}} - \dot{D}_{\text{宇宙}} \quad (5)$$

- (3) 将计算结果换算为实际空气吸收剂量率；

$$\dot{D}_{\gamma i} = \dot{D}_i \times N_c \quad (6)$$

式中： $\dot{D}_{\gamma i}$ ——地表伽玛吸收剂量率值，nGy/h；

$\dot{D}_i$ ——各测点扣除宇宙射线后的仪器示值，nGy/h；

$N_c$ —仪器校准因子。

## 6.5 计算平均值及标准偏差

放射性测量结果的基本统计量是算术平均值及标准偏差。因此，应对各种方法的测量结果按不同的地质单元或地表岩性分别统计其平均值及标准偏差。

平均值计算公式(7)：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (7)$$

标准偏差计算公式：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (8)$$

变异系数计算公式：

$$v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (9)$$

其中， $X_i$  是每次的测量结果， $n$  为样本数。统计完毕，应对各种参数做统计表。

统计表的基本格式见表 7：

表 7 测量数据统计表

测点位置	样本数	平均值	范围	标准差	地表岩性
塔山					
山东堡					
....					

## 6.6 异常下限的确定

背景值和异常值是相对而言的，异常可以是正异常(高于背景平均值)或负异常(低于背景平均值)。通常异常下限按下列公式计算：

$$T = X \pm kS \quad (10)$$

式中， $T$  为异常下限， $X$ 、 $S$  分别为背景平均值和标准偏差， $k$  为经验系数，根据测区具体情况而定。

## 6.7 剖面平面图

以测点为横座标，以测量结果为纵座标作剖面图，图上应有剖面线位置座标、点号、剖面线方位及编号、参数名称和数据单位等。将测区全部剖面绘制在一张图上就是剖面平面图。

作图比例尺一般应与工作比例尺相同。

参数曲线的高度不宜超过两条测线距离，对超过部分可采用波折线并加注数值

的方法表示。对有意义的异常地段，可缩小或放大参数比例尺专门绘制，对其范围在图框中加框标明。

## 6.8 平面等值线图

以各测点的经纬度或方里网坐标按一定的比例尺作图，Z 值为实测的各种参数的最终结果（剂量率， $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、K 含量，土壤氡浓度）。

平面等值线图的异常下限由公式(10)求出，等值线间距视图面大小及异常幅值等情况而定，一般是等间距的。

若各地质单元的背景平均值差异很大时，用公式  $(X_i - \bar{X}) / S$  将数据转化，然后编制等值线图。

平面等值线图一般用彩色图，从低到高分别为蓝色、橙黄和红色。

## 6.9 综合地质剖面图

将多种核地球物理或其他方法的测量结果绘制在一张图上，并附有地质剖面图。测点高程可从地形图上获得。

## 6.10 质量保证

为了保证辐射监测结果达到适当置信度而采取的有计划有系统的行动称之为质量保证。质量保证应包括以下内容：

- (1) 仪器和设备质量，包括稳定性检查的评述；
- (2) 仪器检定结果溯源到国家基准；
- (3) 野外工作质量结果；
- (4) 现场测量与室内样品分析结果的对比。

# 七 综合地质解释

在全面收集测区地质、地球物理资料的基础上，系统整理、统计和分析核地球物理各种方法实测参数，结合实际记录的地质、地表土壤或岩石出露情况，以及地形特征，对各种参数的分布特征、分布规律、各种参数异常之间的关系做出合理的、客观的地质解释。

# 八 实习报告

实习报告的要求：

- (1) 每人独立完成实习报告；
- (2) 每个人对测量数据进行统计、分析、整理，并对测量结果进行解释；



一定要有自己的认识；

(3) 报告的图表可以手绘，也可以用计算机作图。

(4) 注意图表和单位（SI）规范；

(5) 希望写下自己的体会和对野外实习的建议。

## 附录一：FD-3022 操作规程

### FD-3022 操作规程

FD-3022 微机四道  $\gamma$  能谱仪（简称 FD-3022）是目前国内进行地面  $\gamma$  能谱测量的常用仪器，由 NaI(Tl)探测器（ $\Phi 75 \times 75$  晶体，GDB-76 F）与主机组成，能量分辨率约 7.8%（对  $^{137}\text{Cs}$  的 662 keV 伽玛射线），具有实时自动稳谱装置（用  $^{137}\text{Cs}$  稳谱）。野外测量操作规程如下：

1. 将主机与探头连接好，注意电缆缺口位置对齐，直接往下按，听到响声后表示接上。电缆连接好才可开启电源。主机开机预热 15-20 分钟。

2. 连接好仪器后，将“工作方式”开关扳到“电池”档，电池开关扳到“开”的位置，检查电池电压，表头指针应在绿色区。液晶显示“3022”数字，如果 4 秒钟后显示仪器自身编号，同时出现报警声，应该检查电缆连接等故障；

3. 到基点处检查检查仪器的稳定性；

4. 稳定性检查完毕后关机。

5. 到野外测点上后，重复步骤 1、2；

6. 准备开始测量，将探头放在地面的测点上（注意尽量找地形平坦处），观察稳谱表头指针是否在红色区域内。如在红色区域内，表明稳谱功能正常，可以开始测量。如果不在红色区域内，等待稳谱调节（自动进行），当指针回到红色区域内继续测量，否则要查找原因。

7. 选择测量时间，一般选择 300s，数据采集时测量时间最低不可小于 120s；将“工作方式”开关扳到“计数档”，按“测量”键开始测量。

8. 听到读数报警声开始记录测量结果，显示按 U 窗、Th 窗、K 窗和总道 Tc 顺序依次显示，如表板相应显示符号为：R 122；T 221；K 857； $\Sigma$  1200；测量结果暂时存放在寄存器中，直到下一次测量结束。如果要确认该点的测量结果，可再次按下“显示”按钮，可再次循环显示测量数据。

9. 记录该点测量数据，并在现场核对；详细记录该点岩性、土壤类型（粘土、砂土...）、植被和土壤湿度，以及有关地质现象，如矿化、蚀变、构造等。

10. 移到下一个测点，重复步骤 6、7、8、9，则完成了该测点的数据采集。

11. 经常检查电源是否要绿色区域。

12. 测量过程中注意保护探头，避免摔碰。

13. 该仪器用  $^{137}\text{Cs}$  源稳谱，所以测量过程中，尽量与  $x-\gamma$  剂量率仪隔点测量，以免对测量结果造成影响。

### 注意事项：

（1）仪器**不能在欠电压下工作**（会损坏仪器），应经常检查仪器电压，将“工作方式”开关置于“电池”档，表头指针应在绿色区域，否则应更换电池。

（2）在每个测点上，检查仪器稳谱状态，稳谱表头应在红色区域。一般不用调节稳谱功能，如果确实发生严重漂移，必须在老师指导下进行调节。

（3）仪器校准后，不可调节增益，以保证测量结果的准确性。

（4）测量过程中注意保护探头，避免摔碰。

（5）关机后才能拔出主机与探头的连接电缆。

## 附录二：FD-3017 操作规程

### 镭 A 测氡仪（FD-3017）操作规程

FD-3017RaA 测氡仪是目前国内应用最多的一种土壤氡测量仪，探测器为金硅面垒型半导体探测器，采用静电吸附法收集  $^{218}\text{Po}$  粒子，通过测得的  $^{218}\text{Po}$  活度计算土壤氡浓度，换算系数在氡室或用液体镭源校准后给出。

操作规程如下：

1. 到达野外工作地点，将主机与抽筒连接好，开机预热 15-20 分钟。

2. 用细钢钎打一个导向眼，插个取样器，用脚踩实上部松土，防止大气渗入。

3. 放片：将抽筒的样片盒向外拉开，放入“新”的收集片，有符号的向上，光面朝下。

4. 抽气：将阀门置于“抽”的位置，提拉抽筒至第二个定位槽（0.5 升）处，把橡皮管内及取样器内的残留气体抽入筒内，然后将阀门置于“排”，压下抽泵，

将气体排出，接着便可正式开始抽取地下土壤气体，当抽筒提升至最上端“1.5升”位置时，即向右方向旋转一个角度使之固定，此时被抽入的气体的体积为1.5升，马上关闭阀门，使筒内气体与外界空气隔绝。

5. 启动高压收集  $^{218}\text{Po}$ ：按下高压启动按钮，使收集片加上高压，开始收集累积  $^{218}\text{Po}$  粒子，收集时间为 3min(或 2min)。

6. 移点：在启动高压后，即可拔出取样器，将仪器移至下一个测点，等待至收集时间结束。

7. 取片：当高压报警讯号发出后，马上取出收集片，将其光面朝上放到操作台右面的测量盒内。取片过程应控制在 15 秒内完成，因高压报警讯号发出后，电路内部将自动延时 15 秒，并启动计数电路，经 3min 测量后，自动发出第二次报警讯号，同时仪器显示读数，记录下实测结果。

8. 排气、放片、抽气、启动高压：当收集片放入测量盒内后，在等待测量报警讯号期间，即可把筒内气体排出，然后重复上述（3）（4）（5）的操作，完成第二个测点上的放片、抽气，加高压收集操作。

9. 移点：在第二个测点上按下高压启动按钮后，又可把仪器移至第三点，并等待 1 号测点的收集片测量报警讯号，读取脉冲计数 (Na)，并把已测过的收集片从测量盒内取出，放入到专门的贮片筒内，待次日使用。除此之外，在此测点上还将待 2 号测点取样的高压报警讯号，然后重复上述（7）（8）（9）操作程序：取片-排气-放片、抽气-启动高压-移点-读数-取片依此类推。

#### 注意事项：

（1）加过高压的铝片放入探测器中时切莫放反。

（2）加高压时左下角有“HV”和右上角有“↓”符号同时显示，当高压值低于 2450-2500v 时，左上角符号消失。检查仪器是否正常。

（2）加高压或测量过程中不可碰到高压线或有振动，否则会出现假脉冲，产生假异常。

（3）电池电压低于 3.3v 时，右下角有“LB”显示，立即更换电池。

（4）密切注意取样器密封状态，**如果地下土壤致密或充满水时，抽气异常困难，请不要继续抽气**，否则会将细小土壤或水吸入过滤器或抽筒，造成探测系统污染。

(5) 野外发现异常应进行重复测量，及时加密测点，对异常进行追索和圈定。

## 附录三：X- $\gamma$ 剂量率仪操作规程

### CKL-3120 X- $\gamma$ 剂量率仪操作规程

CKL-3120 X- $\gamma$  剂量率仪主要由主机、探头、脚架以及打印机组成，其操作步骤如下：

#### 1. 仪器的连接和预热

将探头通过一条五芯电缆和主机相连，然后再开启电源，在测量前需要预热 15min 以上。

#### 2. 参数设定

根据工作任务的测量精度，合理设置各项参数。主机开启电源后，进入主画面，首先按 **FUNC** 进入主菜单，有三个操作选项 samp(采样)、para(设置参数)、other(其它)。先选择 **PARA** 进行参数设定，设置的参数有采样时间(time)、采样次数(times)、循环次数(cycle)、校正因子、报警阈、测量日期以及测量时间。通常情况下，将采样时间设为 20m，采样次数设为 5 次，循环次数 3 次（表示自动测量 3 个数后结束测量）。

#### 3. 现场测量

(1) 将仪器探头架到三角架上，使探头等效几何中心距地面 1m。

(2) 主菜单选项当中的 **SAMP** 表示取样测量，将光标移动到 **SAMP** 上，按 **ENTER** 进入取样测量，这时显示窗会提示是否将测量结果通过打印机打印出，在现场测量当中无需打印，则按 **ESC**，此时提示是否将测量结果传输到计算机，如果不和计算机相连，按 **ESC**，采样正式开始，仪器将在设置好的测量条件下进行测量，给出每个循环的测量数据（这里包括平均值  $M$  和变异系数  $V$ ，以及日期时间），同时测量结果将自动存入主机内存。如果需要在固定场合边测量边记录或传送，则需要连接好相应的外围设备（打印机或计算机），在前面的提示时按 **ENTER**。

测量结果的显示如下：

M: 0000.000

V: 000.000% (1)

M 表示多次采样后的平均值，以吸收剂量率表示，单位为  $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ；V 表示多次测量变异系数（标准偏差/平均值），以百分数表示，(1) 表示第 1 个循环测量结果。

#### 4. 数据打印和传输

如果需要将主机内存中的数据打印出来或者传输到计算机当中，首先应当连接好打印机或计算机(RS-232 接口)，然后在主菜单的 OTHER 选项当中选择相应的选项，完成打印或传输。

##### 注意事项：

(1) 仪器探头内有光电倍增管，是玻璃器件。仪器支架不够稳定，测量过程中必须十分小心，不得碰倒探头。

(2) 周围散射体对测量结果有一定影响。测点应选择在地形平坦、满足  $2\pi$  的测量条件的地点。

# 地震勘探野外教学实习指导

钱荣毅 段云卿

中国地质大学（北京）  
地球物理与信息技术学院

# 1 前言

## 1.1 教学对象

本指导书适用于地震勘探方法原理校内课堂教学已完成的地球物理专业或地球物理探测技术专业本科三年级或四年级的学生。

## 1.2 实习目的和要求

本次实习是学生在在校期间唯一的一次地震勘探教学实习，机会难得，意义重大。老师和学生均应按此指导书要求，认真对待、努力完成，以便通过此次实习，达到巩固和加深对校内课堂理论教学内容的理解和认识，提高分析和解决实际生产问题的能力；培养学生严肃认真的学习态度，理论联系实际，实事求是的科研作风；克服困难，艰苦奋斗，团结协作的精神。具体要求如下：

- 1、初步实践野外地震勘探各种技术工作；
- 2、基本掌握野外数据采集方法技术和地震仪器装备的使用和操作；
- 3、学习地震记录的分析与评价；
- 4、实习地震资料几种常规处理方法；
- 5、学习反射波地震勘探资料的构造解释。

## 1.3 教学实习内容

本次实习主要内容为：地震勘探野外数据采集方法作业，简单的数据处理和室内反射资料的解释成图，具体包括如下内容：

### 1、野外数据采集

工区地质、地球物理概况及地震地质条件的了解；

测线布置依据和观测系统设计；

排列的布设；

仪器的学习及操作；

仪器参数和观测系统参数的试验及正确设置；

野外数据采集施工技术；

简单的资料处理；

资料的分析与评价。

## 室内资料整理、解释和成图

### 1.4 时间安排

- 1、实习安排在第六学期课堂教学结束后的 6~8 月份；
- 2、野外实习时间为 3~4 天；
- 3、室内解释时间为 4 天；
- 4、报告编写时间为 2 天。

## 2 野外地震勘探数据采集方法和处理方法实习

### 2.1 浅层地震勘探野外数据采集（以反射波法为主）

数据采集工作是地震勘探的关键环节，为取得最佳勘探资料，必须重视测线的布置，激发和接收条件的选择，观测系统的设置以及仪器参数的选取，上述内容和参数一般都要经过现场试验确定后方可投入生产。

#### 2.1.1 测线的布置

测线布置取决于勘探任务，探测对象，前期地震和其它前期物探工作的程度，测区地下地质结构和地表地形、地物，表层地震地质条件，以及人文、交通、气候等因素，要因地制宜地以最少的工作，最佳的效益，完成勘探任务的要求。学生通过实习应掌握测线布置的原则。

主测线的方向，应尽可能地垂直地层或构造走向，并与设有地质钻井以及其他物探测线的方向重合，以利于各种勘探资料的对比分析和相互补充验证，主测线之间还应布置联络测线，以控制勘探精度。测线应避开地下水管、电缆线路，也不宜将测线布设在江河、公路、铁路沿线和陡坎边。

在进行面积勘探时，不论测网密度和比例尺的大小如何，都应该保证按比例尺将测线绘制在测线布置平面图上，最好为大比例尺地形图，图上线距为 1~4cm。

#### 2.1.2 观测系统设计

观测系统对地震数据野外采集及室内处理是十分重要的，它直接影响现场排列的布放、滚动以及室内处理参数的确定和处理结果，应加以重视，认真设计。

要根据勘探任务和目的的要求进行多点现场采集试验，以便为正式采集确定最佳仪器和采集参数，这是观测系统设计的基础和依据。

观测系统设计采用时距平面法和综合平面法两种方法，一般采用综合平面法，要求每个学生独立完成各自不同的观测系统设计，并以综合平面图的形式将观测系统绘于坐标纸上（具体作图方法见教材）。图中要表示出共炮点线（含道号），共接收点线，共偏移距线，共 CDP 点线，并标出炮号、桩号、道号、道间距、覆盖次数和比例尺。

反射波勘探一般采用多次覆盖系统、折射波法勘探宜采用相遇时距曲线或追逐时距曲线观测系统，排列长度应保证相遇时距曲线段至少有 4 个接收（检波）点以上出现目的层的初至折射波。

#### 2.1.3 激发

本次实习采用锤击震源，根据勘探深度，排列长度和激发条件的不同采用 15~



25 磅的铁锤以及 15~25cm 见方、重 10~20kg 的合金钢垫板作为锤击激发震源。激发点应平整、坚实、表层浮土应予清除，垫板要摆放平实。激发时，扬锤要高直，落锤要有力、干脆，当锤回弹时，将其移开垫板，不要拖泥带水，以免引起多次激发，落锤最好击打垫板中心，炮线要绕过肩部，防止锤断炮线。

#### 2.1.4 接收

##### (1) 检波器的选择和埋置

检波器主频选择：根据勘探目的和勘探深度来定，浅层反射波勘探检波器主频宜在 40Hz 到 100Hz 之间，浅层折射和深层反射宜选主频 10Hz 到 40Hz 的检波器。

##### (2) 检波器埋置

检波器要平稳（严禁重击！）、垂直（倾斜度应小于  $10^\circ$ ）、埋实在接收点位置上，也可挖坑插入检波器后，再用土盖上，埋前应清除浮土和周围的杂草，松土须先踩实。检波器与电缆连接应正确，防止漏水造成的漏电和地面渍水造成的短路，也要防止极性接反和接触不良。待整个排列周围环境安静后，再激发和接收。

#### 2.1.5 ARAM ARIES 地震采集系统简介

##### 2.1.5.1 简介

ARAM ARIES 仪器是加拿大 GEO- X 公司生产的地震数据采集系统。

它具有数据传输快、界面友好、操作简单等特点。其操作以 WINDOWS 为基础，数据存储于 Ultra 160 SCSI 硬盘，有效地解决了系统瓶颈，并且因为采用了 RAID 1 磁盘冗余阵列，确保了数据安全存储。ARIES 不仅提供易于操作的数据采集软件，还随机带有完整的三维控制模块、项目规划、QC 处理系统及其它应用软件，并具有备用排列检测、电源电压指示及排列背景监视等功能。对于特殊地形也有相应的采样率范围，加上系统的自动数据排序功能，进行三分量或四分量施工和二维施工一样简单。主机硬盘为大容量双镜面结构，可以存储大量的地震数据及进行现场处理。

##### 2.1.5.2 ARIES 中央记录系统

ARIES 中央记录系统拥有强大的 QC 处理功能，见图 2-1。其中应用了 Geo - X 公司最新开发的当今最先进的“地球物理数据特征(GDC)”技术。ARIES 随机带有一套完整的数据库应用软件，可以广泛地应用

于所有从测量到钻井及从采集到输出的各种数据的记录、存储和整理。还提供了一套仿真软件监视整个野外排列。ARIES 适用于可控震源的施工，其中包括滑动扫描技术、高保真可控震源技术、零时等待、软件相关以及多种噪音编辑技术、GPS 和实际地形的地图显示技术等，具有可靠性高和野外适用性强的优势。



图 2-1 ARIES 地震仪主机

#### 采集站特点



图 2-2 Aries 采集站

采集站 Remote Acquisition Module (RAM)的基本功能是把由检波器接收到的模拟信号数字化后传给中央控制单元，采集站由电缆连接起

来，完成数据的传递，见图 2-2，2-3。

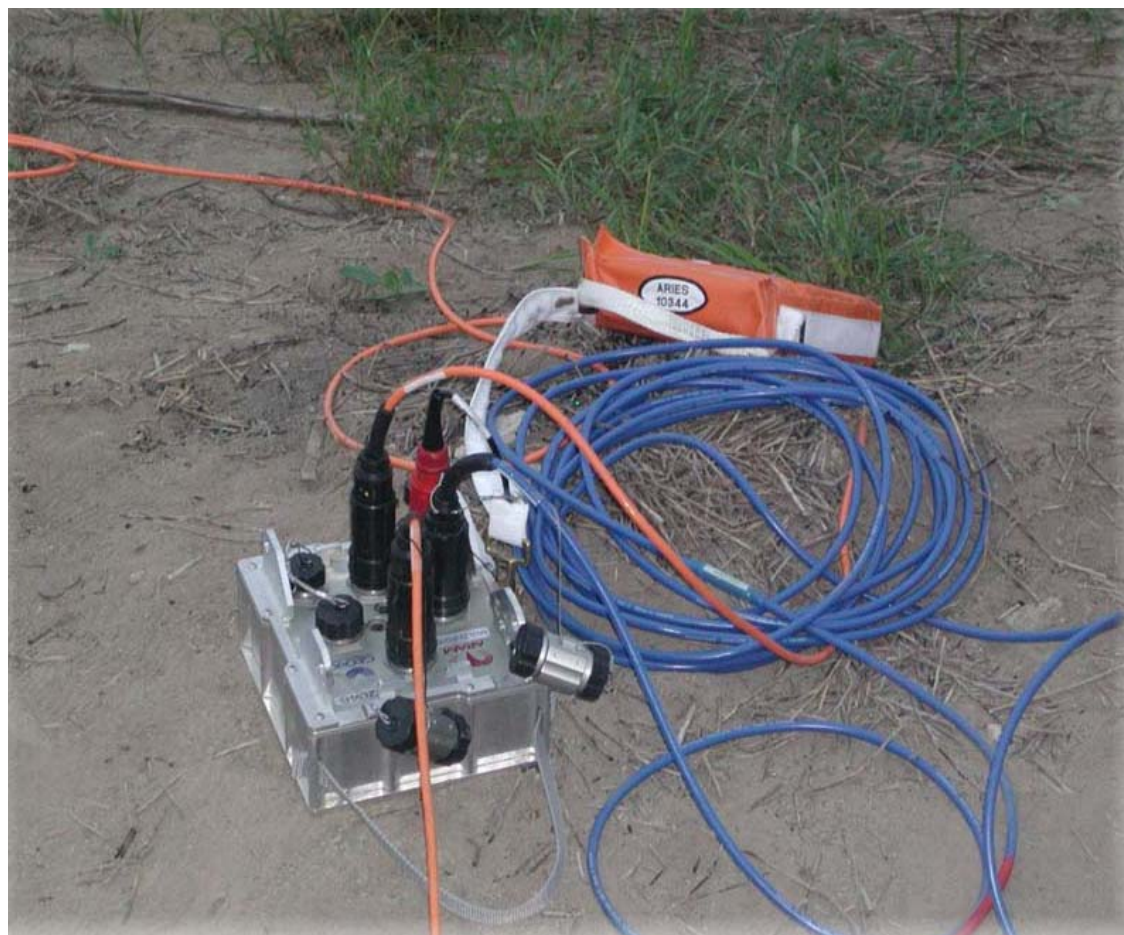


图 2-3 采集站的连接方式

与 ARIES 系统相配套的采集站的外壳由铝合金压模而成，连接头由不锈钢制成，为了防止连接头的损伤，配装了轻型保护架，ARIES 采集站延续了 ARAM24 有灯光指示的特点，并在此基础上增加了更多的信息反馈功能。用户可以根据野外因素来优化系统的配置。通过 RS232 接口可以对 ARIES 采集站进行编程，设置包括总道数、单站的道数、采样率、道间距、线间距等野外生产中所有的施工参数。当野外接收的道数超过实际道容量时，系统便由实时传输转为准实时传输接收数据。另外该系统还具有有线放炮的功能。ARIES 的每个采集站都装有存储炮点数据的闪烁内存，从而可根据不同的道间距采用不同的传输

速率，并将每炮的地震数据都保存在存储器中。

#### 2.1.5.4 地震电缆

Geo - X 的野外设备具有体积小、寿命长、质量轻的电缆、电源、卸载电路部分。更加方便于 ARIES 在 50 m 水下或高原施工时的电缆以及电瓶的更换。

#### 2.1.5.5 电瓶

最轻便的电缆、最简单的电压传输技术和中央记录系统中最实用的电瓶电压显示技术使 AREIS 具备了最轻的单道质量以及最强的野外适用性。在电瓶的配置上，ARIES 利用最新的锂电池技术，不但使质量降低了  $2/3$ ，而且还可以在搬家时及时充电。电池的使用寿命延长至原来的 4 倍多。

#### 2.1.6 采集系统和参数设置

##### 2.1.6.1 采集系统

本次实习使用的地震仪器为加拿大生产的 Aries 地震仪，参数设置在 Aries vib 软件平台，通过主机键盘采用人机对话方式进行，每个同学操作仪器前必须将英文菜单翻译成中文后再操作仪器。

地震仪主机的主要功能：控制野外全部记录过程，调整和监视野外操作，同时可对地震记录作初步处理。Aries vib 软件以工程形式建立数据库。



图 2-2 Aries vib 软件平台的菜单

文件操作设置菜单	File
视图菜单	View
仪器参数菜单	Parameters
调整菜单	Zoom
观测系统参数菜单	Acq
工具菜单	Tooths
范围菜单	Scope
帮助菜单	Help

Aries vib 软件平台各菜单界面设置如下：

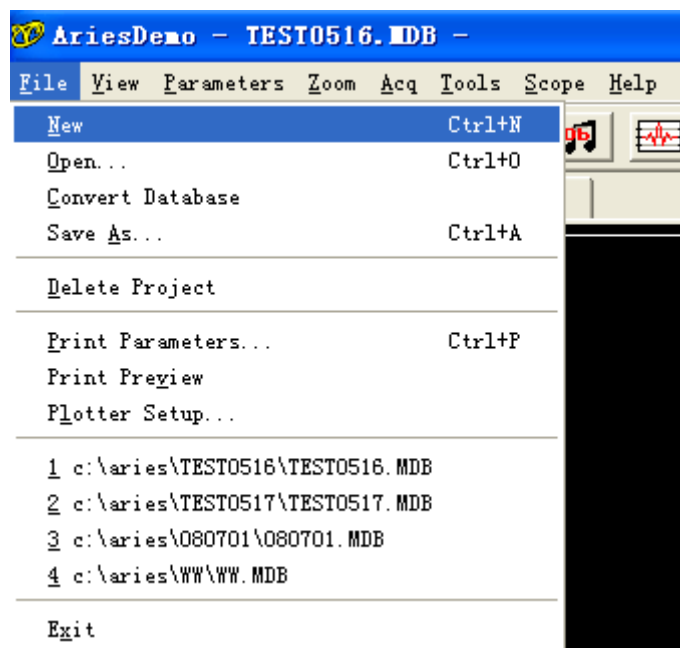


图 2-3 File 操作菜单设置界面



图 2-4 View 操作菜单设置界面

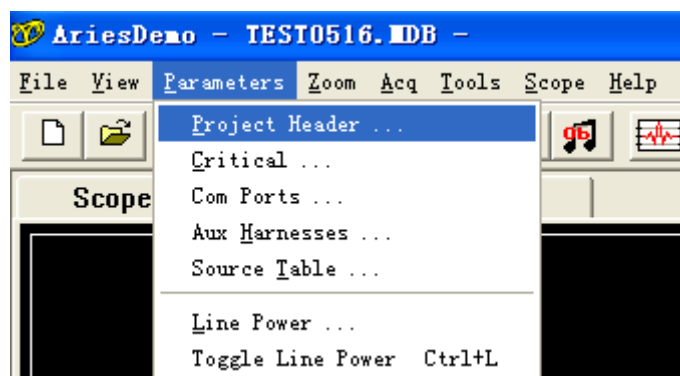


图 2-5 Parameters 操作菜单设置界面

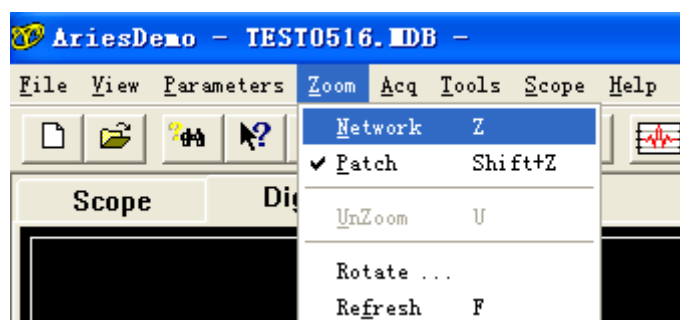


图 2-6 Zoom 操作菜单设置界面



图 2-7 Acq 操作菜单设置界面



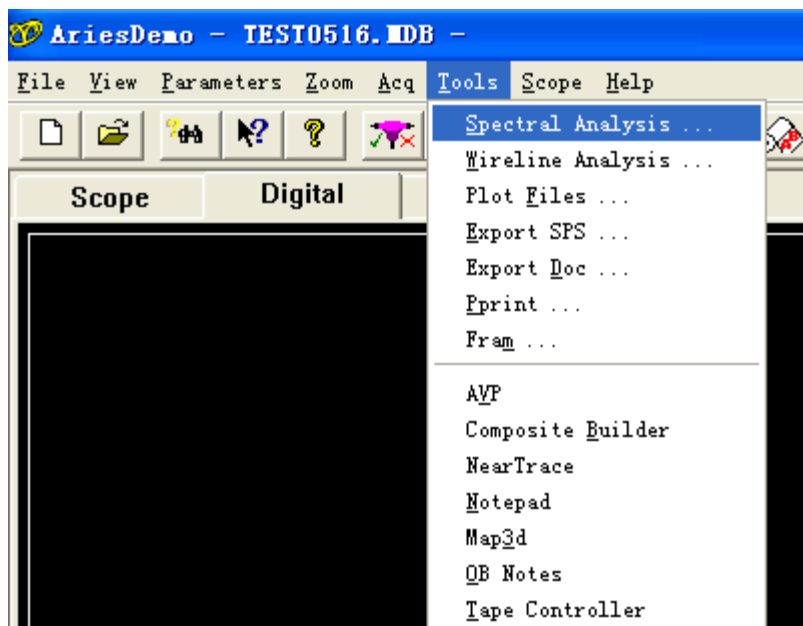


图 2-8 Tools 操作菜单设置界面



图 2-9 Scope 操作菜单设置界面

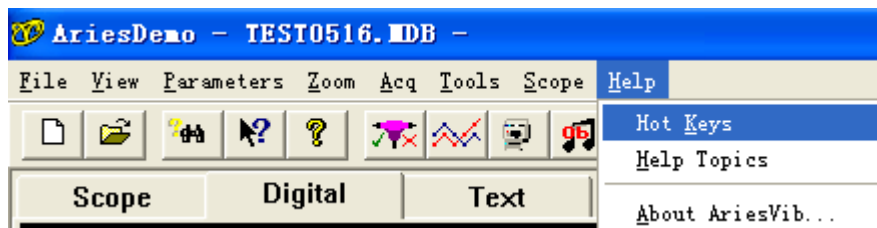


图 2-10 Help 操作菜单设置界面

新建一个项目，操作流程如下：

#### 1、New Project General

file 选项，新建项目文件——project name（最多 17 个字符，不含特殊字符）。H404tape type 选择为 SEG Y 格式（其它选项忽略）。完成当前设置，点击 Next。

#### 2、New Project Survey 1

① H20 Description of Grid Unit 选项，选择 meters。

② H02 Data of survey (from/Time)选项，设置时间与地震仪同步。

### 3、New Project Critical

在 critical 选项，通常设置如下：

设置 data path，而不设置 Alt paths，因为数据存在硬盘内，安全系数高，设置 Alt paths，会占用系统资源。

设置 Tape format（数据格式），选择 seg-y；设置 Cable Polarity（大线极性），选择：Normal。

设置 data file（放炮数据文件），根据需要输入文件号；设置 test file（测试文件），测试文件名为 1000001 或者点击 Interlear，文件号顺延，但是测试文件号前会有标识。

设置 cable length between devices，为采集站之间大线的长度。

设置 command lines（命令行），command line 选择 2（爆炸机）。

command lines per（每个爆炸机所放的线数），输入正确的数字。

设置 critical battery voltage for acquisition warning（采集站报警电压）。该电源电压小于 19V 时，采集站停止工作；电源充满电，电压为 24V。通常设置为 23V，如果设置过低，对机器含有隐患。

设置 Fire By Wire & Communications，选择 Disabled。

**New Project (HAN) Critical**

Data Path: D:\DATA\

Alt Paths:

Tape Format: ☒ Seg-Y ☐ Seg-D

Cable Polarity: ☒ Normal ☐ Reverse

Next File Number:

Data File: 1

Test File: 1000001 ☐ Interlear

Auto Recovery On Error Count:

Drop Out: 1

Insert: 1

Check Sum: 1

☐ Print Redundant Banner

☐ Eliminate Dummy Traces From Output

☐ Lock Print Even

Edito: Notepad

Cable Length Between Devices: 240

Command Lines:

Command Line: 2

Lock All Groups: ☒

Command Lines per: 8

Lock Lines in Group: ☒

Command Line Zero: ☐

Lock Retrieval Rate: ☒

Use Command Line Table: ☐

Critical Battery Voltage For Acquisition Warning: 23.0 V

Fire By Wire & Communications: ☒ Disabled ☐ Enable All ☐ Enable Current Shot Po: ☐ Enable By Stat: ☐ Enable By Serial Numt

Previous Next

图 2-11 新项目设置界面



3、New Project Line Power

设置 Line Power(线路供电通道), 选择 All on; Low Power 选项, 不用设置。

4、New Project Com ports

点击 Enable Com ports (激活通信端), 选择 1。

Device (装置), 选择 (Pelton A2) (炸药震源)。

Wait for (等待时间), 根据实际需要选择, 1000 或者 3000ms。

Baud (波特), 选择 19200。

5、New Project Aux Harnesses (辅助设备连接)

Harness: 选择 SEISMIC SOURCE (地震源)

Type: 选择 BoomBox (爆炸机)

Revision: 选择 (版本 1.00R)

三个辅助道如下:

A/B PTB

C/D ENCO

I/M DECO

其它选项为默认设置。

6、New Project Source Type (震源类型)

① 选择震源类型, 界面底部, 有 5 个选项: Exp (炸药震源); Vib (震源车); Air (气枪); Water (水上震源); Other (其它)。

New Project (TEST0516) Source Type: 1

Mode: Normal Sub-Project: Label:

Headers Aux Src Ctrl Com Ports Record Spectrum Plots

☒ Aux Present Liu 8 ☐ Dual Aux Tx2

Harness: SEISMICSOU Type: BoomBox Revision: 1.00 R

Aux	Trace	Title	Delay (ms)	Correla	Stack
1 <input checked="" type="checkbox"/>	1	PTB	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 <input checked="" type="checkbox"/>	2	ENCO	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 <input checked="" type="checkbox"/>	3	DECO	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vib Exp Air Water Other

Types: Contro Force/Driv Polari N/A

Sweep: Type Length 0 ms Star 0 Hz End 0 Hz

Taper: Type Star 0 ms End 0 ms

Previous Next Finish

图 2-12 震源类型设置界面

② Headers (表头): 仅设置 Polarity, 选择 SEG。其它选项可不填写。  
③ Aux (设置辅助道): 点击 Aux Present, liu 选项, 输入 8 (要求选择第 8 道为辅助道); Harness 选项, 选择 Seismicsource; Type 选项, 选择 BoomBox;  
Revision 选项: 选择 1.00R; Aux 选项, 依次点击 1, 2, 3。  
需要注意: Correlate Stack (相关叠加) 选项, 不能选择。  
Src Ctrl: 需要选择固定时间延迟和主放炮方式。  
Internal Star: 选择 500027/500030。  
AX: 重设爆炸延时。

⑤ Comports: 所有选项默认。

⑥ Record: (参数重要, 设置时要小心)

Retrieval Rate (回传速率): 根据实际需要设置, 要求小于等于 1000Hz;

High—Cut (input) (高切): 依据检波器主频设置。

Output (Hz.ms) (采样率): 设置高切参数后, 会产生两个采样率选项。

PreamplGain (前方增益): 18dB、36 dB, by effect, 根据技术要求确定。

Length (ms): Record (记录长度), 根据技术要求确定。

⑦ Spectrum (频谱): 选项默认。

⑧ Plot (绘图): 设置打印参数, 依据技术要求确定。

设置完成后, 点击 Finish, 进入 Map 窗口, 建立子目录, 定义野外观测系统。

## 6、设置观测系统

① RXY (检波点定义): 点击 Build 2D, 依据野外观测系统, 选择 Line (线号)、First station (检波点首道桩号) 和 Last station (末道桩号)、Receiver Flag Spacing (道间距)。Not Point Between Flag (炮点与检波点不重合), 根据实际情况点击或不点击。

② Patch (接收排列): 点击 Patch, 再点击 optimize, 再点击 swath, 输入参数: Near (偏移距), Far (Low) (接收排列起始桩号), Far (High) (接收排列终止桩号)。

Layout (野外布设): 选择 Layout, 再点击子选项, layout 点击 ok。可以通过点击 Shift, 移动整个排列, 使其与实际布设一致。

连接交叉站: 点击 Net, 再点击 tep, 选择仪器车, 依次选择各线与交叉站的位置, 要求与实际布线一致。

保存项目。

测试: 点击 Test, 再点击 net, 进行全局测试, 检测排列设置情况。

如果检测到交叉站、采集站、检波器问题, 需要排除存在的问题, 再重新检测。

⑦ 在主界面, 可以修改炮点位置。

注意: 交叉站上 A 边要接小号, B 边接大号, 不能接反。

### 2.1.6.2 参数设置

参数设置包括观测系统参数和仪器参数的设置, 观测系统参数主要包括: 最小偏移距、道距、排列长度和覆盖次数。道距主要由横向分辨率决定, 最小偏移距要根据现场噪音通过试验确定, 排列长度主要取决于勘探深度, 也和仪器道数及道距有关, 炮点距取决于资料的信噪比, 无疑与覆盖次数直接相关。

仪器参数主要有三个: 采样率、记录长度或每道采样点数、滤 (陷) 波频率。

其中记录长度要根据勘探深度和地层中波的传播速度来定, 以能接收到最深的层

信号并留有一定的余地为准。采样间隔和高截滤波频率，首先要符合采样定理，其次要看勘探深度和精度要求。低截频率滤波主要依据勘探方式、工区面波发育情况以及有效波频带范围来定。

此外还包括延迟、叠加方式、存储方式以及显示记录剖面所用的一些参数。

根据勘探规范要求，仪器应进行月检、季检和年检，每天施工前要进行日检，否则记录视为无效。

#### 2.1.6 野外工作注意事项

(1) 注意仪器安全，保持仪器清洁，避免受到剧烈撞击，未经允许不得动用仪器。**切记：仪器开机前务必认真地检查电源极性是否正确。**

(2) 检波器应轻拿轻放，避免剧烈震动。

(3) 注意人身安全、锤击激发时 2 米范围内他人不得靠近，以免伤人。

(4) 每个同学必须参加测量，大线电缆的布放，检波器的接插和埋置，并两两互相合作担任仪器操作员和炮工，合作完成自己的地震勘探记录。

(5) 当记录参数设计有误时，改正后重做。

(6) 认真正确地填写地震班报中的各项内容，班报表见附表。

(7) 收工前，将检波器和清理打捆，连同仪器工具等一并安全运回驻地。



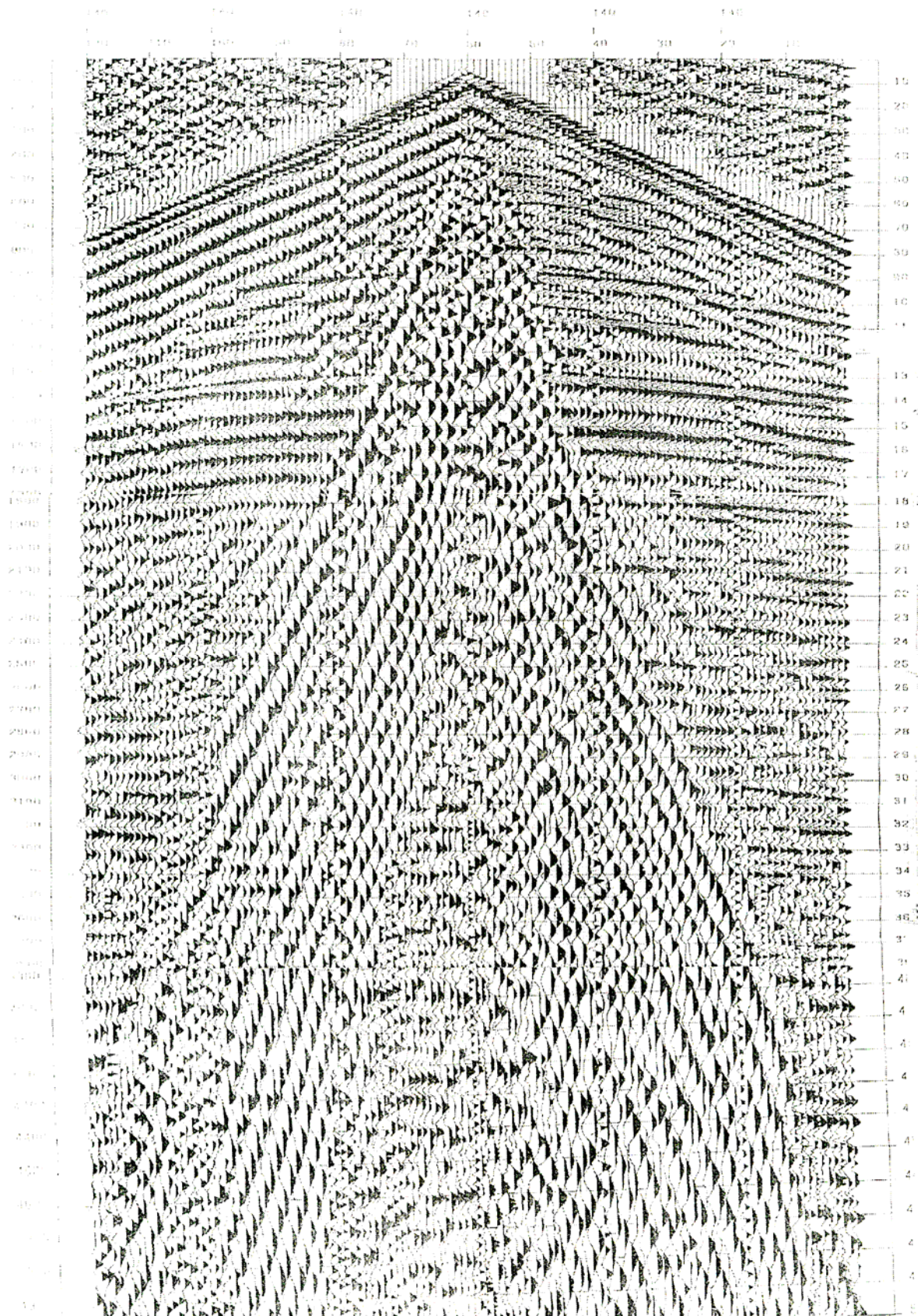


图 2-13 新疆油气地震勘探原始炮集剖面图

### 2.1.7 地震记录的分析 and 评价

主要通过分析和识别各种地震波的特征,评价和判断共炮点记录质量以及参数设置正确与否。学生可先分析典型的地震剖面(见图 2-13)。

(1) 对照班报阅读文件头参数,判断该记录的观测系统参数和仪器参数是否正确?要分析原因。

(2) 从记录面貌和各接收道相互关系,分析参数设置正确与否以及出现问题的可能原因。

(3) 根据波的运动学特征和动力学特征识别所记录的各种波(含直达波、折射波、声波、面波、反射波、50 周及相关干扰波),对比它们之间的差异。

(4) 找出坏道和严重干扰道及原因。

(5) 记录中有折射波,给出盲区值以及折射波和直达波交点(折点)。

(6) 观察近炮点与远炮点,深层和浅层各地震波的特征差异,并得出合理的认识。

(7) 根据对记录质量的评价,提出采集参数(含观测系统、仪器及显示参数)的改进意见。

#### 2.1.8 干扰波的类型和特点

根据干扰波在记录上出现的形式和规律,可分为无规则干扰波和规则干扰波两大类。

##### (1) 无规则干扰波

无规则干扰波主要是指没有一定规律,也没有一定传播方向和视速度的波。造成无规则干扰波的因素很多,既有自然条件,又有激发和接收条件以及人为因素等。从来源上大致分为三类:第一类是地面微震引起的随机干扰,如风吹、草动、人走、车行等各种自然条件和人为

因素所造成的地面的无规则震动；第二类是仪器本身噪音所引起的干扰波；第三类是激发过程产生的随机干扰。无规则扰波频率范围很宽，相对于有效波而言，无规则干扰波中低频、中频、高频都有。

## （2）规则干扰波

所谓规则干扰是指有一定主频率和一定视速度的干扰波。例如面波、声波、浅层折射波、侧面波等，它们的特点如下：

①面波。在地震勘探中常遇到的面波的特点是频率低，一般是几赫兹到三十赫兹；速度低，一般为 100 米/秒~1000 米/秒，而以 200/秒~500 秒最为常见；面波的时距曲线是直线，因此在小排列（100~150 米）的波形记录上同相轴是直的；面波随着传播距离的增大，振动的延续时间也越长，形成“扫帚状”，即发生频散。随着远离爆炸点，面波的强相位逐渐向后或者向前转换，强相位追踪不远，一般只有几十米。在远排列的记录上追踪面波，就可发现时距曲线的延长线不通过原点，说明相位发生转换。在野外施工时，妥善选择激发条件以及震源组合、组合检波是克服面波的主要手段。

②声波。利用炸药激发地震波时，在坑中、浅水中和井中爆炸，都可以观测到强烈的声波干扰。声波是在空气中传播的弹性波。其特点是速度比较稳定，约为 340 米/秒，频率很高，延续时间短，在记录上呈窄带状出现。

③浅层折射波。当工区内表层附近存在高速层时，或第四系下面的老地层埋藏较浅，可能会浅层折射波。其在记录上的明显特点是同相轴为直线，以中频为特征，与有效波的频率差不多。

④侧面波。地表条件比较复杂的地区在地震记录上还会出现侧面波的干扰。例如陡峻的岩体与空气的接触面是一个较强的波阻抗分界面，当地震波传到该面上时，就会反射回去，因而在记录上可能会出现来自不同方向具有不同视速度的干扰波，这种从侧面反射回来的波就叫侧面波。当地下存在着大倾角界面时，在记录上也可能产生侧面波，不过这种侧面波包含了地下有用的地质信息。

⑤50 周交流电感应。在野外生产，当检波器附近有高压线时，在记录上会出现标准的 50 周波形干扰，严重时，在记录上无法辨认有效波。适当采用屏蔽检波器，可以消弱这种干扰。

### （3）次生波干扰

次生干扰波分为低速和高速两种，它既不同于随机干扰，又比规则干扰波复杂，所以单独列为一类。它的频率和视速度范围比较大，很难与有效波分开，在记录上任意位置都可能出现。次生干扰是由于地表附近各种障碍物（沟、坝、公路、树木、电杆、建筑物及小山包等）以及地表岩性不均一所造成的，是由反射波、面波、或各种折射波所激发，因此叫次生干扰波。当它沿测线传播时，速度很低，而垂直于测线方向传播时，测线方向的视速度无穷大。

如何区分次生干扰波与有效波比较困难，但掌握着一个重要原则即次生干扰波是沿地面附近传播的，有效波是从地下近于垂直入射到地面上的，因此前者的真速度和后者的视速度有明显的差异，只要认真分析研究，还是有可能区分它们的。

## 2.2 地球物理求解———简单的资料处理

地震数据处理主要包括预处理和常规处理，预处理是把野外采集数据



转换成适合计算机处理的格式，常规处理是对地震数据做基本处理运算，把单炮记录处理成叠加剖面，对于复杂的地震数据，往往采取一些特殊的处理手段。

## 1、预处理

预处理是把野外数据格式转换成适合计算机处理的格式并对数据做相应编辑和校正，它包括数据解编，格式转换，道编辑、几何扩散校正、建立野外观测系统和静校正。

### （1）数据解编

把按时分到的数据纪录方式变换成按道分时的数据纪录方式，即共炮点纪录。一般情况下，数据到转换到通用格式(SEG-Y)。

### （2）道编辑

噪声道、带有瞬变噪音的道或单频信号道都要删除。极性反转的道要改正。

### （3）振幅补偿（几何扩散校正）

通过给数据加一增益恢复函数，以校正波前（球面）扩散对振幅的影响。

### （4）建立观测系统

把所有道的炮点和接收点位置坐标、高程等测量信息储存于道头中，以保证各道的正确叠加。

### （5）野外静校正

把所有炮点和接收点位置均校正到一个公共基准面上，以消除高程、地降速带和井深对旅行时的影响



## 2、常规处理

常规处理是对预处理后的地震数据做必要的基本处理运算，把单炮地震数据处理为地震叠加剖面。它包括道振幅均衡（自动增益）、滤波、反褶积、抽取共中心点道集、速度分析、剩余静校正、切除、动校正和叠加、偏移等。

### (1) 滤波

干扰波和有效波在频谱上存在差异，一般反射波有效频段在10-100HZ，其面波表现为低频，随机噪声一般集中在高频段，可以用带通或高通滤波来消除噪声，增加有效波的信噪比。

### (2) 道振幅均衡

由于震源及检波器的差异，地震数据每道的能量差别较大，沿水平时窗对各道进行增益对比计算，使相邻道振幅水平一致。

### (3) 反褶积

反褶积可在叠前做也可叠后做，反褶积的目的是把地震子波压缩成尖脉冲，来改进时间上的分辨率。

### (4) 抽取共中心点道集

把属于同一中心点的所有道按偏移距从小到大的顺序依次排列起来组成共中心点道集，为 CMP 道集速度分析和 CMP 叠加做准备。

### (5) 速度分析

按一定速度间隔给出一组速度，针对每一速度得出的双曲时差对 CMP 道集做相干分析，最后得到以零偏移距双程旅行时为参数、速度为自变量的相关函数或能量函数，每一组最大值对应的速度就是对应

该零偏移距双程旅行时的最佳速度。

#### (6) 动校正和叠加

按速度分析得到的最佳速度对 CMP 道集做正常时差校正(NMO)，对 NMO 后的各偏移距数据求和就得到了 CMP 叠加剖面。

#### (7) 切除

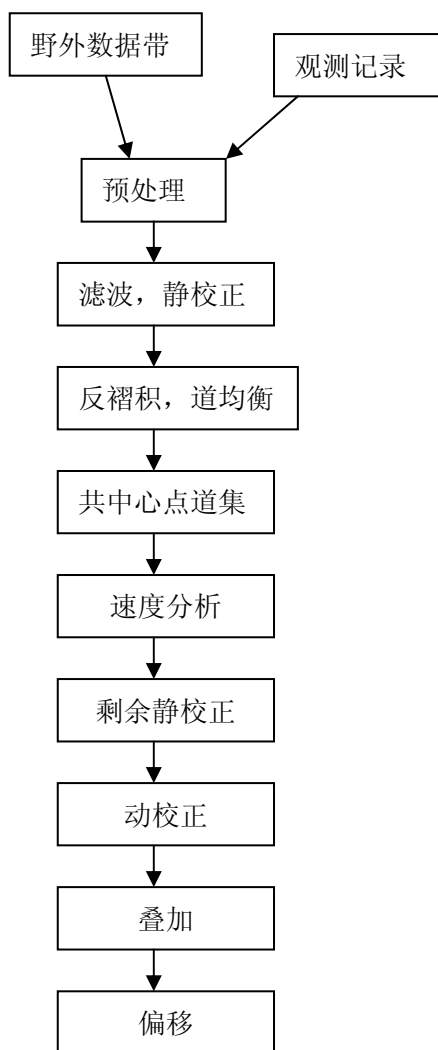
地震单炮数据中不仅有反射波，还有直达波和折射波，在反射波资料处理时需把折射波切除，以消除其对剖面叠加的影响。NMO 时浅层远道拉伸畸变大，在叠加前将畸变切除。

#### (8) 剩余静校正

因近地表速度的不规则，产生静校正和动校正畸变，需要用剩余静校正消除这种畸变，即将剩余静校正量加到未经动校正的原始 CMP 道集上，再进行叠加，使反射波同相轴的连续性得到了改善。

#### (9) 偏移

对叠加剖面偏移，可将倾斜同相轴归位到产生它们的地下真实位置，并将绕射波收敛。



## Cgg 软件地震资料处理流程

### 2.3 野外采集实习具体时间安排

本安排以实习小组为单位，以每天 2 个时间单元（即上午和下午各 1 个单元）计算，晚上是否安排由指导老师视实习进行的具体情况酌情考虑。

出野外之前，首先在室内熟悉实验区地质特征和地震地质条件，了解整体工作思路，熟悉地震仪操作。

到实习区后，根据现场条件，布置地震测线，进行测线和测点布设，设计观测系统和实验方案。

在老师指导下分组进行地震采集实验，熟悉采集的各个环节及其关键

因素，对主要参数分别实验，如：道间距、跑间距、偏移距、排列长度、记录长度、采样间隔、滤波参数、激发能量、激发条件、垂直叠加次数、检波器组合、检波器埋置等。

对实验获取的记录进行分析，初步掌握地震记录分析方法。

按各自设计的观测系统布设排列，进行采集试验——锤激发，操作仪器并打印自己的采集记录（一般每位同学采集两个文件）。

教师组织小组开会，分析交流上一单元采集以及记录中的情况和结果，会后，各自修改自己观测系统参数和仪器参数。

按修改后的观测系统参数和仪器参数进行现场数据采集，采用不同的参数（如最小偏移距、炮点位置及排列方式）等，每人至少完成两个记录，并打印出剖面。

集体演示三维地震的采集方法。

小组开会交流采集的心得体会，总结采集实习成果、整理好仪器设备。

机动单元：将资料处理安排在晚上，由每个学生对自己前两次所采集的文件进行处理。

### **3 反射波法地震勘探资料解释教学实习**

#### **3.1 实习目的和内容**

油气和煤田反射波地震勘探是地震勘探中最重要的方法，但是由于它的装备庞大和工作方法复杂，在目前的条件下无法对它的野外采集和施工进行现场实习，为此主要对已获取并经过处理的资料进行解释实习。当前国内外多数油气田勘探中常规的地震勘探已经由二维勘探转入三维勘探，因此本次实习我们选择三维地震物理模型反射资料解释

作为主要内容。一旦条件成熟，最好采用实际生产中的油气和煤田地震勘探资料，由学生进行处理和解释实习。

### 3.2 三维地震反射资料简介

1、本次实习用三维地震解释资料，是模拟北海油田某工区地质构造的物理模拟采集记录，资料信噪比高且进行了三维偏移处理（由地质大学（武汉）物探系地震教研室提供）。

2、测区布置了东西向的七条测线（测线编号自南向北为 45E、60E、75E、90E、105E、120E、135E）；南北向七条测线（测线编号自西向东为 45N、60N、75N、90N、105N、120N、135N），共计十四条地震测线（见图 1）。测线 60E 和 90N 的交点处已钻有一口生产井 W<sub>1</sub>。

3、由井 W<sub>1</sub> 揭示，工区沉积了一套中、新生代的沉积（三叠纪至第三纪），共有 T<sub>1</sub>~T<sub>7</sub> 七个反射界面，共中白垩纪和侏罗纪之间为底层不整合。各模拟层的物质，速度、密度以及反射波双程走时的 T<sub>0</sub> 时间列于表 3.1。

时代		模拟物质	速度 V(m/s)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	地层层位	t <sub>0</sub> (s)
上第三纪		水	3584	1.0		
下第三纪		3120 <sup>#</sup> 硅橡胶	2190	1.44	T <sub>1</sub>	0.80
白垩纪		184 <sup>#</sup> 硅橡胶	2496	1.41	T <sub>2</sub>	0.90
侏罗纪	A 层	3110 <sup>#</sup> 硅橡胶	2400	1.22	T <sub>3</sub>	1.04
	B 层	3120 <sup>#</sup> 硅橡胶	2190	1.44	T <sub>4</sub>	1.11
	C 层	3110 <sup>#</sup> 硅橡胶	2400	1.22	T <sub>5</sub>	1.18
	D 层	3120 <sup>#</sup> 硅橡胶	2190	1.44	T <sub>6</sub>	1.30
三叠纪		3110 <sup>#</sup> 硅橡胶	2400	1.22	T <sub>7</sub>	1.48

4、在该区共获得十四条地震纵剖面图（东西、南北各七条）；二十二条水平时间切片图（从 1100ms 起至 1520ms 止，时间切片之间的间隔为 20ms）。这些地震资料反映了地下的复杂地质结构和构造，也是本次实习解释的基础资料。

### 3.3 实习要求

1、由井 W<sub>1</sub> 为已知点，通过十四条地震模拟剖面，每位同学独立地连续追踪白垩纪和侏罗纪的不整合面（即 T<sub>3</sub> 波）和侏罗纪 D 层的顶，底层（即 T<sub>6</sub> 波和 T<sub>7</sub> 波）。

2、应用十六条（1220ms~1520ms）水平时间切片，绘制上述三个地质层位的等 t<sub>0</sub> 构造图。

3、三条等 t<sub>0</sub> 构造图做出地质解释。

### 3.4 实习步骤

1、对十四条地震纵剖面图作初步整理：内容包括各测线的交点桩号及已知井位都相应地投到各个剖面的正确位置。

2、已知井 W<sub>1</sub> 的资料（见表 1）为依据，再通过井的两条剖面（60E 和 90N）上按 t<sub>0</sub> 时间确定欲追踪的三个反射层位（T<sub>3</sub>，T<sub>6</sub> 和 T<sub>7</sub>），并分别向其它各测线追踪。各层位的同相轴主要追踪波谷（时间剖面上为白色），亦可追踪波峰（黑色）。被追踪的三个层位分别用三个不同颜色的彩色铅笔标志，白垩纪和侏罗纪的不整合面 T<sub>3</sub> 用黄色表示，侏罗纪 D 层顶板 T<sub>6</sub> 层用绿色；底板 T<sub>7</sub> 层用桔红色。各剖面上的断层用深红色表示。

3、检查各层位对比的可靠性，主要依据是它们在测线的交点上的时间应该闭合，误差不能超过 10ms。

4、将各追踪的层位投影到水平时间切片上去。例如对 1220ms 水平切片，则将十四条纵剖面都以 1220ms 线为准折叠起来，并将每条剖面按水平切片上的测线位置同水平切片重合进行对比，并将已追踪到在该时刻（1220ms）的地层层位标到水平切片上，待十四条剖面在同一水平切片上都标明后，则在水平切片上联接同一层的相位并按相位追踪至水平切片的相位终止时间为止，此时在水平切片上的同相轴即为该层的等时同相轴。水平切片上的各层同相轴所用的显示颜色应同上述纵剖面表示的一致。其他十六条水平切片上按上述方法同样地追踪各层的同相轴。

5、等  $t_0$  构造图的绘制。例如欲绘制 T7 层  $t_0$  构造层，用透明纸一张按图 1 的测线用铅笔在透明纸上绘好测线网框图。将透明纸分别蒙在各时间的水平切片上，同一 T7 层的同相轴线分别绘在同一透明图上，这就是 T7 层  $T_0$  构造图，其它层位亦同样绘制。绘制某层  $T_0$  等值线时，由于同一个反射界面在波形图上是由许多相位构成的，且由于地下构造的陡缓不同，在水平时间切片上同相轴的投影宽狭不一，陡地层投影狭而缓地层投影宽，而等值线只能绘一条线，为此规定等值线按第一相位（波峰）绘制，例如当地层向东倾斜时，则在水平切片上等值线应沿追踪层位的左边绘，如果是等轴体构造（如背斜、向斜），背斜的等时间线应沿同相轴的外沿绘，向斜则应沿轴的内测绘等时线，错断处应绘断层线。

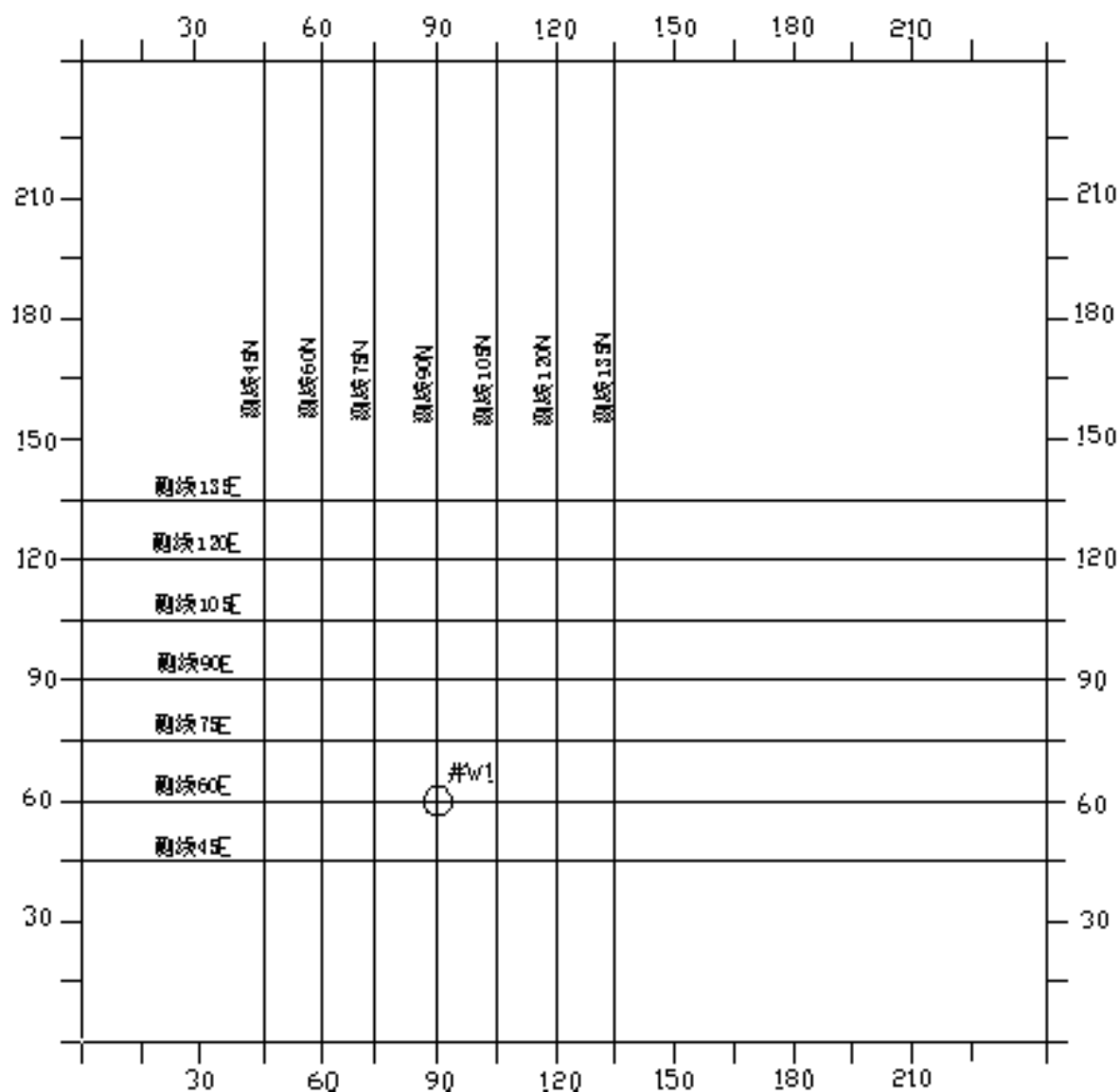


图 3.1 三维地震测网布置图

6、对不同层的  $T_0$  构造图进行对比并做出合理的地质解释，包括各个反射层的构造走向和倾向；断层的走向和性质；各断块的接触关系；三个反射层的相互关系等。

## 4 地震折射波层析成像法教学实习

### 4.1 实习目的

在工程地震勘探中，地震折射波法是一种简便经济的勘探方法，在精



度要求不高的情况下，它可为工程地质提供浅层地层起伏变化和速度横向变化资料以及潜水面的变化资料等，还可为反射波法勘探提供用于静校正的表层速度和低速带起伏变化资料。<sup>[1]，[125]</sup>

在本实习指导书中，主要讲述地震折射波法中的折射波层析成像法。折射波层析成像法可以解决的地质问题：利用岩体的弹性波速度，进行分层。

本次实习目的

- 1、掌握地震折射波法野外采集技术；
- 2、学习使用折射波层析成像软件；
- 3、针对折射波层析成像图，进行地质解释。

#### 4.2 实习步骤

- 1、设计折射波观测系统。
- 2、进行折射波数据采集。

## 5 成果报告要求

1、对解释的 14 条地震纵剖面 and 16 条水平时间切片以及等  $t_0$  构造图要求绘图美观整洁，装订整齐。

2、对地质解释和分析写出文字报告（即实习报告的主体），随上述解释成果一并装订成册后上交。

3、实习报告除正文外，还应有封面、目录和附图。

封面主要包括题目（可以有副标题）、所在单位（院系、班级）、指导教师、报告编写人和编写时间。

正文书写要工整，可包括如下章节：前言、资料介绍、资料解释、构造图的绘制和地质解释以及结束语。

附表 浅层地震勘探野外工作班报

班报编号\_\_\_\_\_工区名称\_\_\_\_\_工作方式\_\_\_\_\_观测系统\_\_\_\_\_  
仪器型号\_\_\_\_\_日期\_\_\_\_\_天气\_\_\_\_\_激发方式\_\_\_\_\_

文件号	炮点桩号	检波点起止号	锤击次数	道间距(m)	记录长度(ms)	低切(Hz)	高切(Hz)	采样间隔(us)	最小偏移距(m)	覆盖开关位置	备注



