

# MAPROS

(版本 0.867b)

Bernhard Friedrichs

2002.7.11

## 1 简介

常识：对原始数据进行备份，备份安装目录下的 Mapros 目录，同时经常对 Survey 目录下的 Measdb 文件夹进行备份。

Mapros 代表大地电磁资料处理，事实上它是一个大型的数据库，存储了对测深工作的成功完成的所有信息，也包括了测点的质量控制及室内的解译过程。

Mapros 并不仅仅为您提供一个连接 ADU 的界面，在您经历了起步的困难后，将会享受到 Mapros 的巨大功能并发挥该数据库的真正力量。

## 2 快速入门

### 2.1 准备阶段

哪些是必要的准备步骤？

最重要的是在室内而不是在测量的时候准备好您的数据库。

### 2.2 测量目录

首先，创建一个测量（Survey）目录，它将用来您在资源管理器中手动地存放数据（事实上启动屏幕（图 1）这时是空的）。

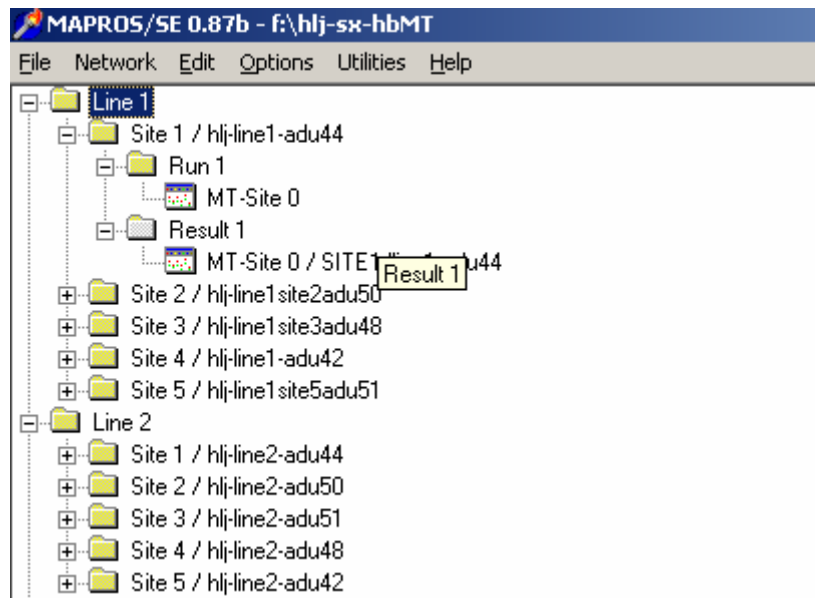


图 1 Mapros 的启动画面

然后启动 Mapros，选择 file 菜单下 open survey 来打开前面创建的 Survey 目录。

### 2.3 测量信息

启动 Mapros 程序，配置测量（Survey）信息：选择 Edit 菜单—>survey，创建测量名及操作者名（如图 2 示）：

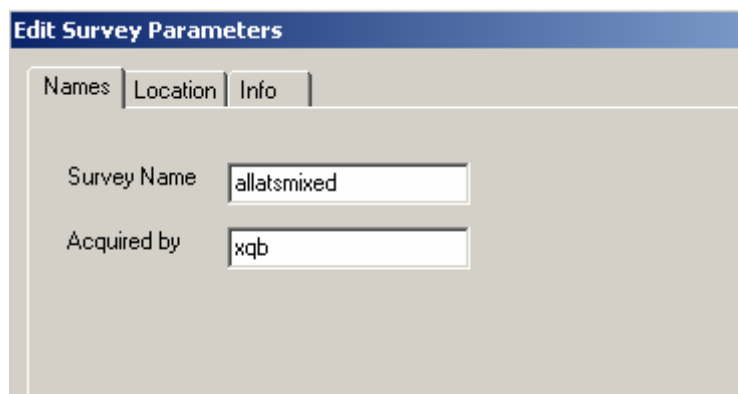


图 2 编辑测量 (Survey) 名

并给出相应的所在地 (location)信息 (如图 3 示):

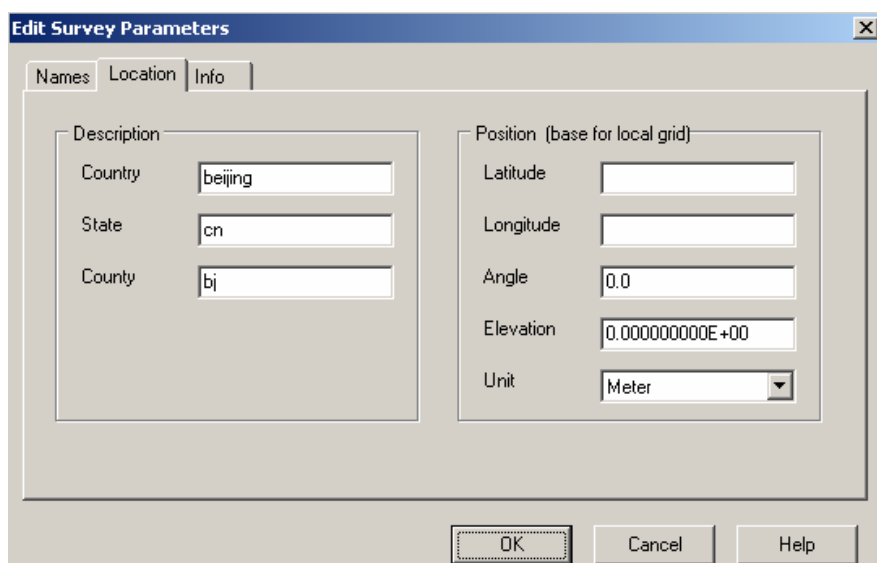


图 3 测量地点的编辑

## 2.4 系统及传感器

下一步是告诉 Mapros 有关所选用的设备及传感器的信息。选择 Edit—>configuration (配置) (如图 4 示), 进行系统的配置 (如图 4 示):

选择 Add 按钮, 加入一个 Adu06 系统 (如图 4 示); 系统名可以自己任意给定, 重复此操作将所有选用的 Adu 系统加入。

接下来是配置系统所用的传感器的信息, 选择 Edit—>Configuration—>Sensors (传感器): 选择 Add 往数据库中加入相应的传感器 (如图 5 示)。

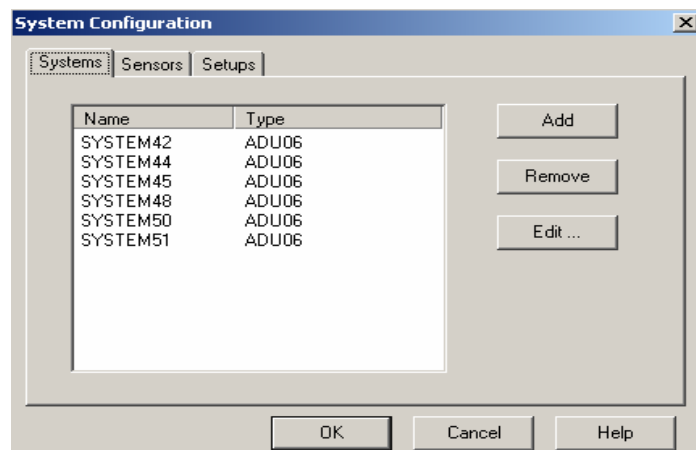


图 4 edit->configuration->systems

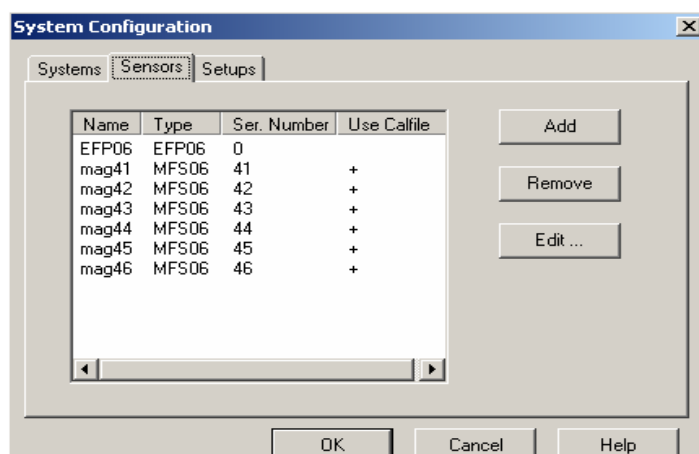


图 5 edit->configuration->sensors

选择传感器的类型并分别予以命名，对于磁传感器您必须给出相应的序列号，因为每个传感线圈都有自己专用的转换方程；对于电传感器，由于它没有转换方程，所以您只需提供传感器类型（如 EFP-06）而无需序列号。

如果您有相应的转换方程式（由 Metronix 公司提供），那么激活“Use Cal File”。

重复以上步骤，加入所有采用的传感线圈。

如果 Mapros 没有装载额外的标定文件，那么“use cal file”选项将呈现灰色。

有些系统如 GMS-05 等包含了系统及传感线圈的所有转换程式，这时激活“Cal file with system transfer function”选项。

## 2.5 为传感器配置外部标定文件

在 File 目录下选择“Import cal File”，在弹出窗口中给出传感器的类型及序列号（最大四位数）。

# 3 转换方程式

## 3.1 线圈

MFS-06 线圈的理论转换程式如下图 6 示：

即 MFS05 和 MFS06 的理论转换程式在 512Hz 范围内能给出好的结果，对于高于 512Hz 频率的情况下，您必须提供线圈的转换程式以得到振幅和相位的正确结果。

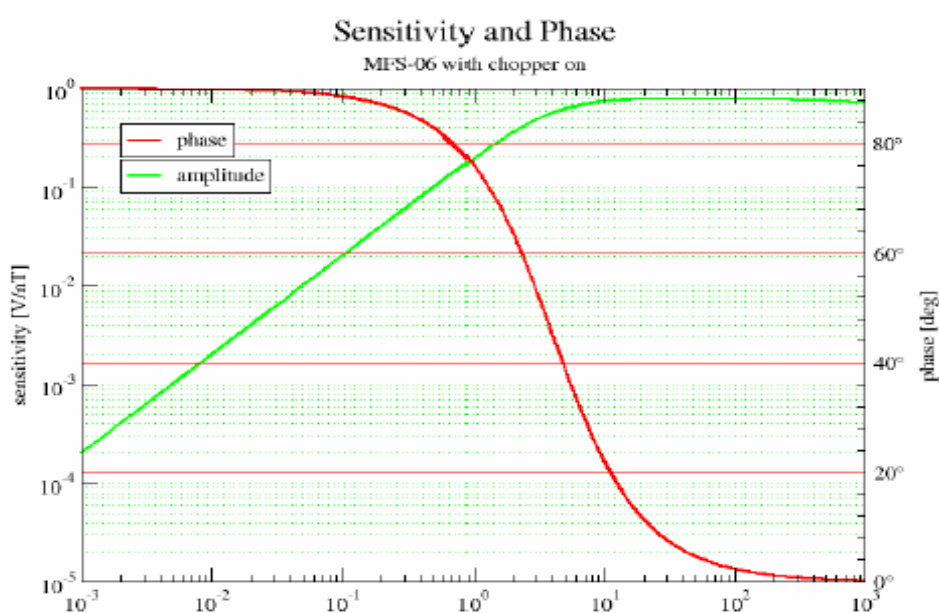


图 6 Mfs06 传感线圈的理论转换程式

3.2 ADU-06

Adu-06 的每一通道都有自己的转换程式，在启动时系统自检、标定，这时检测的值将在.ats 文件中使用。

3.3 GMS-05 和 MMS03e

这类 Metronix 系统的理论转换程式是内置的，使用传感器的标准转换程式，这时只需选择“System Type”，不要激活“cal file includes system”，如果没有选择系统标定文件，那么这些系统的理论转换程式将发挥作用。

这也使得在 Utility 菜单下，将“rts”及“03e”时序曲线转换成“ats”格式时，所有的锯齿能得到校准。

这样 GMS05 在所谓的分段时间模式下在频段 1 下的记录即为一个 1024 点的逐段采样。为了对频段 1 进行解译，窗口长度必须设定在 1024 或更低。确保在您去除部分时序曲线后，Mapros 不会超越 1024 点的边界（最好用“X”键选择或取消选择一个完整窗口，窗口长度（FFT）应设为 1024）。

3.4 GMS05 在线标定

如果您想让 GMS05 实施在线标定，在您引入了标定文件的前提下，选择“cal file includes system”，同时选择正确的系统类型。

4 系统装配

4.1 测点联合

系统“装配”（Setup）对应实际工作中一个或多个物理系统及传感器的联合。图 7 显示了一个包含 3 个两通道 Adu（只有电道）及一个五通道 Adu（电道和磁道），要配置系统“装配”，选择菜单 Edit—>Configuration—>setups，在弹出的窗口中选择 Add，加入一个“装配”（Setup），

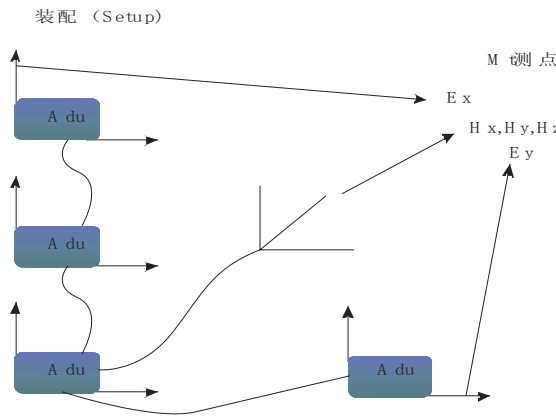


图 7 系统装配构成图

这时弹出一个对“装配”进行编辑的窗口，如图 8 示：

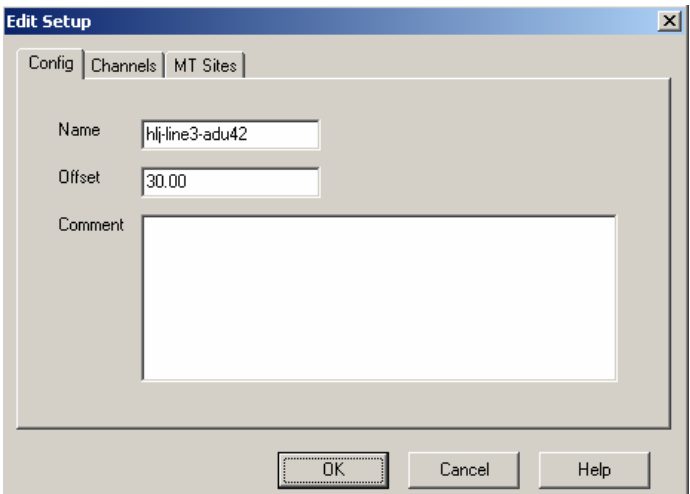


图 8 装配（Setup）编辑窗口 Config 子菜单

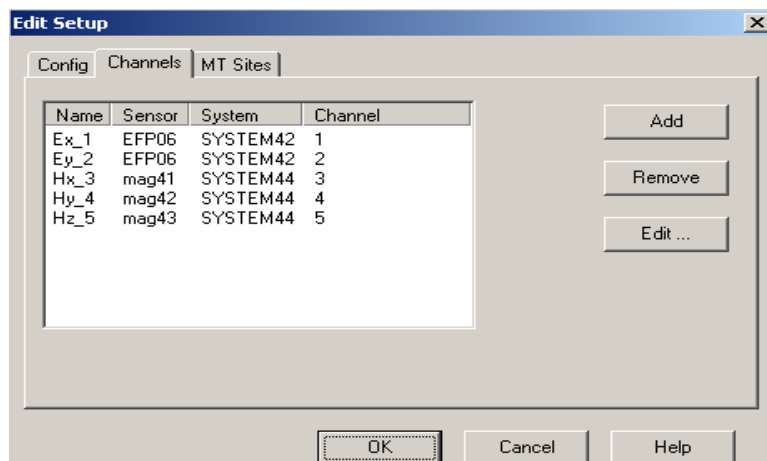


图 9 装配编辑窗口下的 Channels 子菜单

其中 Config 子菜单下可对 Setup 命名；Channels 子菜单（图 9）下用来编辑所选用的通道类型，类型（Type）包括 Hx, Hy, Hz, Ex, Ey, 传感器（Sensor）即您提供给系统数据库的传感器，由于一个 Adu 可以有八个通道，所以通道（Channel）号可以是 1 到 8，假如您有一个五通道 Adu，这时您必须在 1 到 5 间进行选择，尽管可供选择的通道数达 8；编辑完所有通道后，您就将传感器和您的数据库中 Adu 系统联结起来了。理论上，您可以提供比在测量过程中更多的通道，但当 Mapros 与具体的 Adu 相连时，会提示“您正在使用不兼容的装配”的出错信息。

通常将通道（Channel）1 设为 Ex, 2 为 Ey, 3 为 Hx, 4 为 Hy, 5 为 Hz，这也是 Adu 内部的默认联结。电极的方位角的计算如图 10 所示：

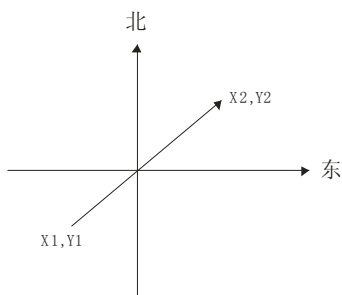


图 10 电极方位角的计算

在具体的工作中，应尽量避免“L”型布置，因为这会提高噪声水平，而且在电台干扰区，接收到的场是波动的。另外，千万不要将 Adu 的地线接到任何一个电极上。

## 4.2 如何产生 MT 测点

这是关键的一步：在添加传感器及装配后，您还必须告诉 Mapros 如何将不同通道联合成一个 MT 测点。这对于单点测量来说可能不存在问题，但如前面图中所示，您也可以将来自不同 Adu 的通道联合成一个 MT 测点，在 Mapros 中，一个 MT 测点正如一个指挥系统，调配在一个或多个装配（Setup）中如何运用转换程式。

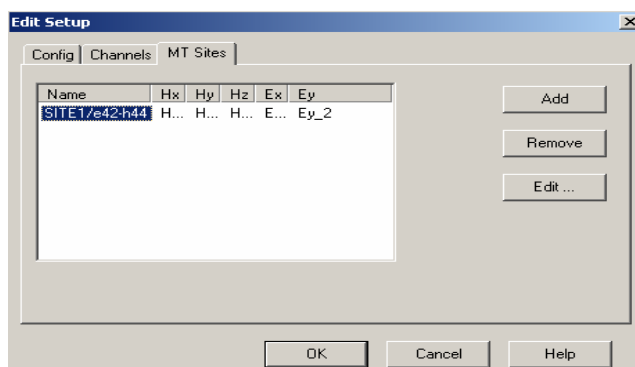


图 11 在装配编辑窗口下加入一个 MT 测点

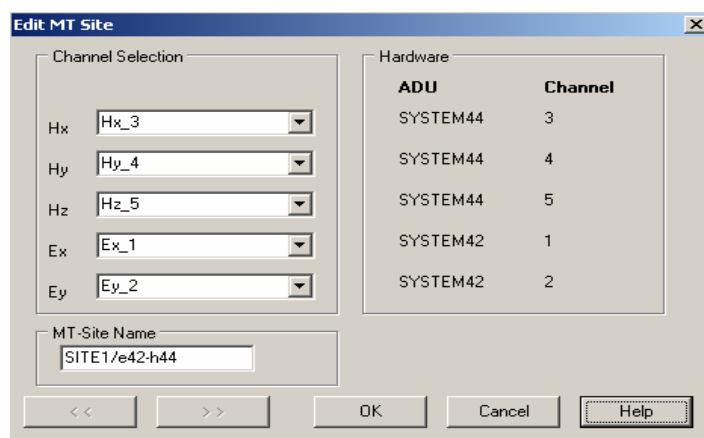


图 12 编辑 MT 测点

如图 11 示，选择 MTsites，点击 Add 加入一个测点，选择测点，点选 edit 对其进行编辑，如图 12 示，左边为标准的大地电磁测深要素 (Hx,Hy,HZ,Ex,Ey)，您可为每一个要素指定通道，这时在右边会显示所用的 Adu 系统名及相应通道。

在记录完时间序列并作相应处理后，您可以发现  $\rho_{xy}$  曲线是如何计算出来的：在本例中  $\rho_{xy}$  通过 Ex (system42 的通道 1) 和 Hy (system44 的通道 4) 计算而来。

### 4.3 小结

一个装配 (setup) 可以包含多个系统，如果您创建一个含 4 个系统的 EMap，如图 7 所示，并希望 Mapros 能与 4 个系统相连，在图 7 的装配示例图中共有 11 个通道，接下来是如何创建 MT 测点，即如何组合这些电道和磁道，这取决于您想获取的  $\rho_{xy}$  的转换程式。

## 5 概念

前面的 System44 是一个具有序列号的系统 (Adu)，在您构造装配时，您可以用这些系统，尽管您不知道在测量时具体会用到哪一个 Adu，但在您开始测量工作之前是可以构造装配的。

这也同样适合于线圈，所有的 Metronix 线圈都是黑色的，但每个线圈都有自己的编号和独有的转换程式，所以不要随意修改传感线圈的配置及序列号。

## 6 创建运行、测点及测线

Mapros 是一个线型程序，它总是按测线来组织测点，所以在开始时您得至少先创建一条测线，选择 edit—>Create line 如图 13 示，在弹出的窗口中输入测线编号 (1...n)。

这样您的数据库中就产生了第一条测线，接下来是创建测点，如图 14 示，右击 Line1—>Create site。

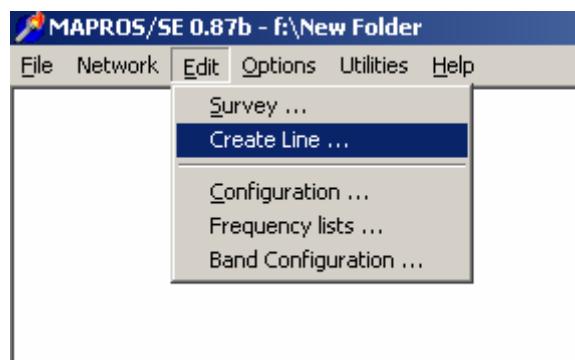


图 13 创建测线

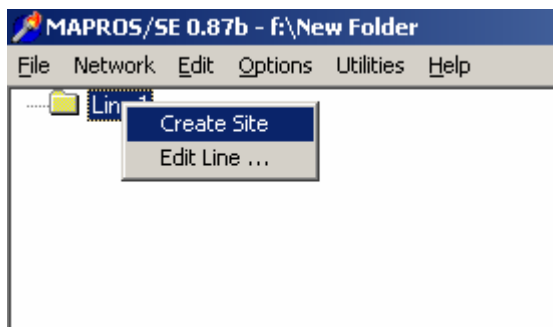


图 14 创建测点

弹出一个对话框，您在这可以给测点命名（例，以工作地点）；同时您必须选择一个装配（Setup），最后还要给出 Adu 的序列号，即单击序列号栏的对应 Adu 的星号部分，使其变成可编辑状态。完成后，单击 OK！

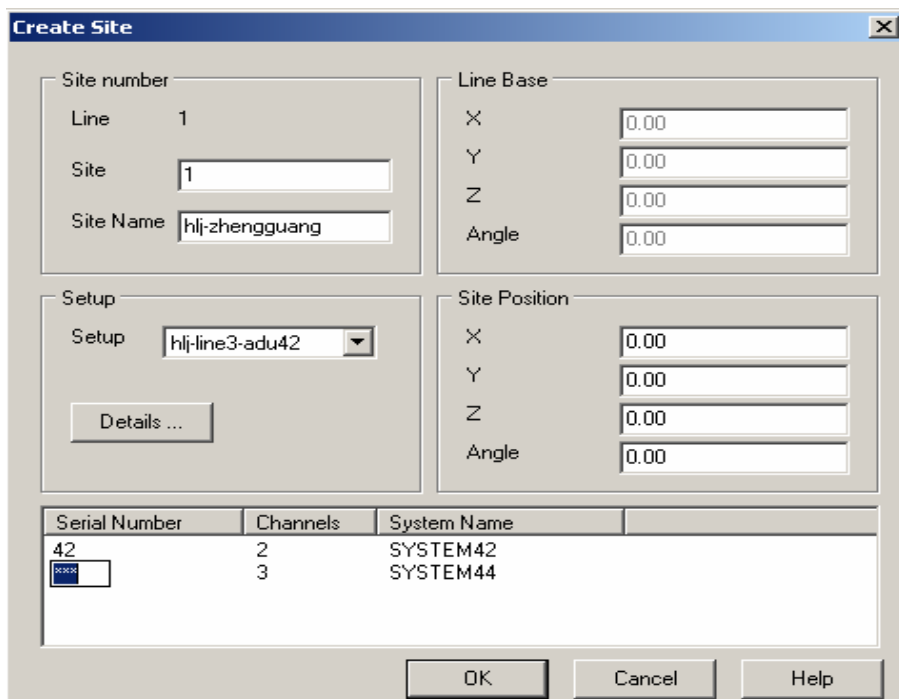


图 15 创建测点对话框

这时连同测点创建发运行（Run1），当然在必要的时候，您也可以右击测点创建一个新的运行。

## 7 导入数据

### 7.1 简单 Ats 导入

将数据（时间序列）导入到您的数据库中的最简单方法是：选择菜单 File—>Easy Ats Import。在弹出窗口中选择您需要的存放时序数据的测点目录，点击 OK！（如图 16）

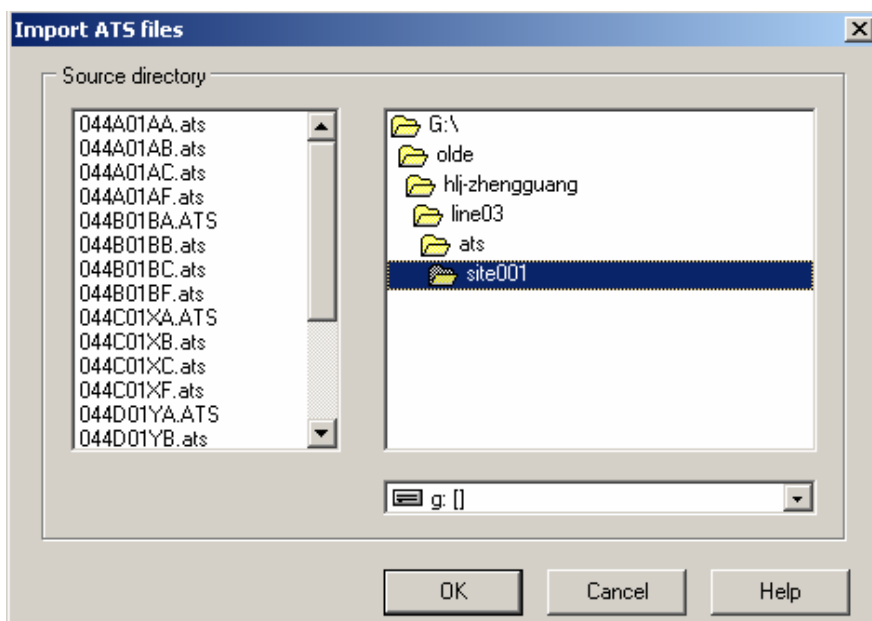


图 16 简间 Ats 导入窗口

这时会弹出另一个对话窗口，如图 17 示：

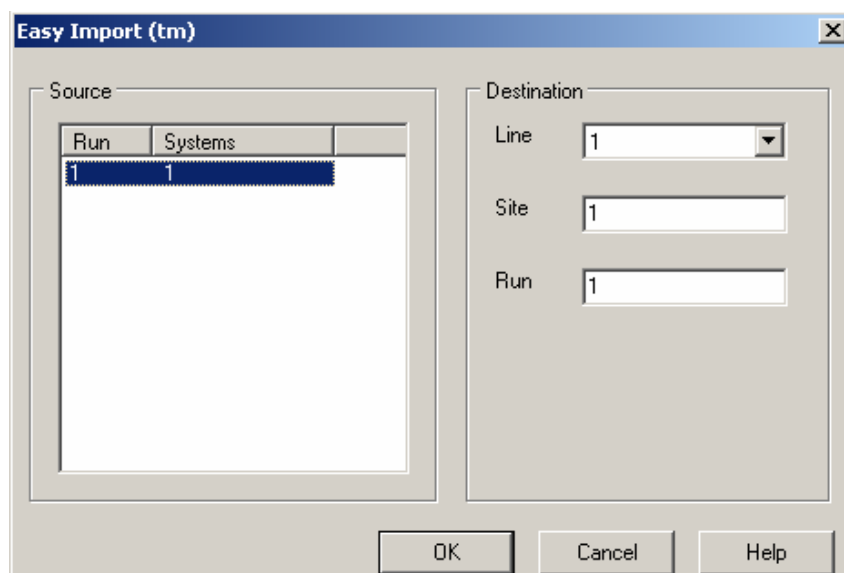


图 17 简单引入的第二步

在源区 (source)选择想要的运行号，在目的区 (destination)选择想要的测线、测点及运行号，因为您不可以覆盖数据，所以在目的区您应选择一个新的运行号或一个新的测点号。

在简单 Ats 导入中，Mapros 通过文件名尽可能找到相应的配置信息，如果您手动地将所有文件混合，Mapros 可能会拒绝导入，这时应检查一下是否在同一运行 (Run) 下混合了来自不同 Adu 的两个文件。

在简单 Ats 导入的同时，传感器的序列号也将被引入到 Mapros 的数据库中。

## 7.2 Ats 导入

这是数据导入的高级应用，其操作方法也不同，首先如前所示，创建一个测点、一个运行；然后右击运行 (Run) —>选择 Ats Import，这时系统不会出现简单导入时的对话窗口。Ats 导入要求您已经配备好了相同的运行号 (测点号可以不同，因为它们在文件中没有标记)；同时引入的文件结构的装配 (Setup) 中应当具备相同的通道号及类型 (E,H)。

另外检查一下电场的长度，Mapros 采用预先定义的装配，所以应及时校正。

与简单导入的一个主要区别是：传感器的序列号取自于您所创建的数据库中，而不是从 Ats 头文件中读出。这样就可以校正野外测量时没有正确配置的转换程式。



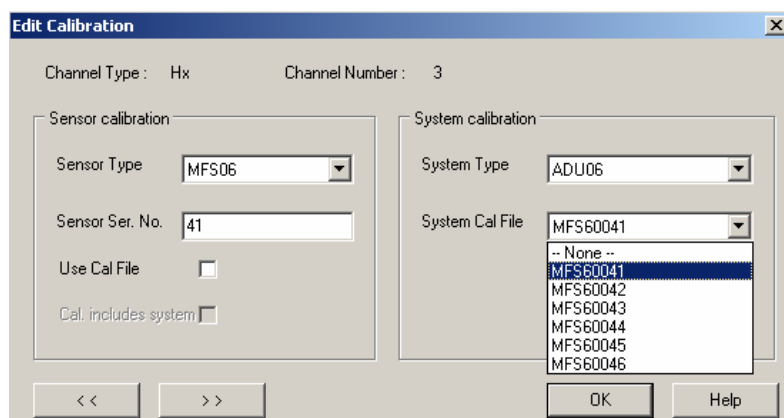


图 18 标定设置窗口

### 7.3 校正序列号及标定

传感器的序列号及标定是可以校正和改动的，例如您在查看简单导入的数据后，想更改某些细节，步骤如下：

右击运行（Run），选择 Edit Calibration，弹出修改标定的对话框，如图 18 示。在您作相应修改后，系统将使用这里显示的序列号及文件，而不是 Ats 头文件中显示的序列号及文件。即 Mapros 数据库中的值具有最高的优先权，其次是 Ats 头文件。

### 7.4 校正装配（Setup）

同样对于装配，比如电极分布，也可以随时改变，右击运行（Run）—>Change configuration，弹出下面的对话框（图 19）：

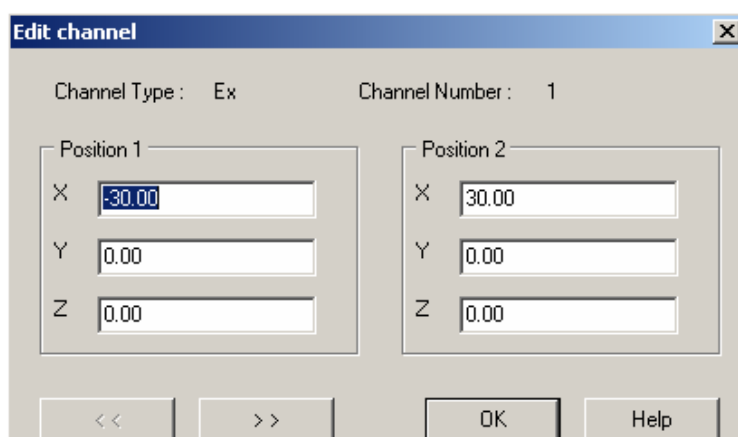


图 19 校正装配（Setup）窗口

这时您可以通过修改坐标值来改变传感器的方位。

## 8 记录

### 8.1 存贮空间

在 Adu 闪存上存放的文件不会被覆盖。

下载完之后，所有的文件是否还留在 Adu 的闪存上呢？如果您重启系统，系统会自动将尽可能多的文件移动到备份文件夹中，但这个量限制在约 20MB，此外运行软件尚需 8MB，所经您的闪存上此时的可用空间为闪存大小减去 28MB。

如果您想获得最大的闪存空间，您还须同时下载备份文件夹，但这也有一定的风险，即当您的计算机硬盘出现错误时，您也许不再有任何备份了。

### 8.2 频段

Adu 根据采样频率提供了不同的频段，如表 1 示：

表 1 Adu 的频段

频段	Ats 头文件中的编号	采样频率 (Hz)	数字滤波	用于解译的最高频率	用于解译的最低频率
HF	a	40960	通过硬件	20000	500
LF1	b	4096	通过硬件	800	DC
LF2	c	64	通过硬件	1 / 2 采样频率	DC
LF3	d	2	通过软件 (在线或离线)	1 / 2 采样频率	DC
LF4	e	0.0625(16s)	通过软件 (离线)	1 / 2 采样频率	DC
LF5	f	0.001953125(512s)	通过软件 (离线)		DC
FREE	g	128,256,512,1024,2048	通过硬件	1 / 2 采样频率	DC

时间序列的文件名及其意义如下例:

012c05xc.ats 表示 Adu 号为 12, 3 个通道, 5 个运行, 本文件为第 3 通道 Hx, LF2 频段。

### 8.3 记录时间

要想获取有意义的记录结果需多长的记录时间, 以下是以时间 1024s(17 分钟)为例进行的计算:

假设我们用的是 LF3 频段 (2Hz 数字滤波), 17 分钟后将采样 2048 次, 为了便于解译, 对其进行 32x 滤波, 得到 LF4 频段, 这时采样为 64 次, 采样频率为 16s, 但这对于 FFT 是不够的, 假如一个标准的 FFT 有 1024 点, 那么我们尚需该数据的 16 倍:  $16 \times 17 \text{ 分钟} = 4:30 \text{ 小时}$  记录时间, 考虑到这还只是一次简单叠加, 所以我们需要  $21 / 2$  天时间来得到 12 次叠加, 这也只是在无干扰区的最小记录。

表 2 不同间段及采样数

采样频率	采样间段	每间段样品数
40960		
4096	4s	16k
2048	8s	16k
1024	4s	4k
512	8s	4k
256	4s	1k
128	8s	1k
64(<1h rec)	64s	4k
64(>1h rec)	1024s	16k
2	1024s(17:04)	

表 3 频段文件表示意义

sss	Adu 序列号 001...999
c	通道号 A=1, ...H=8
rr	运行号 01...99
t	通道类型 a=Ex,b=Ey,x=Hx,y=Hy,z=Hz
b	频 段 指 示 a=HF,b=LF1,c=LF2,d=LF3,e=LF4,f=Free band

表 4 记录时间表

采样频率	FFT	最大采样周期	实际所需时间	叠加数	总时间
LF4 16s	4096	18h(小时)	65536s=18h	30	22d(天)
	1024	4.5h(小时)	16384s=4:30h	30	5.5d
	512	8192s (秒)	8192s=2:30h	30	3d
	256	4096s	4096s=1:15h	30	1.5d
LF3 2Hz	4096	2048s	2048s=34min	50	28h
	1024	512s	512s=9min	50	7h
	512	256s	256s=4:30min	50	4h
LF2 64Hz	4096	64s	1min	100	1.5h
	4096	64s	1min	200	3h
	1024	16s	16sec	100	30min
自由段 512Hz	4096	8s	8sec	100	13min
	1024	2s	2sec	100	3min
LF1	4096	1s	1sec	300	5min
	16k	4s	4sec	300	20min

因为 LF2 与 LF1 频段受人为噪声影响严重, 所以叠加数在 100 或更高是有利的, 最大采样周期一栏表示用于解译时的最大周期 (用 Parzen 半径除它并乘上系数 2-4)

例如：用 MT 进行浅部 1Km 的测深，假设电阻率为  $1 \Omega m$ ，那么趋肤深度：

$$\text{趋肤深度} = \sqrt{\frac{\text{阻抗}}{\text{频率} \times \mu_0}}$$

得到在 10s 采样周期时的趋肤深度为 1500m。考虑到我们选用的是对数坐标，所以取周期为 100s，查看表 4 发现需记录 3-4 小时。这时我们也利用数字滤波：假如在 64Hz 采样频率下对 LF2 记录 3 个小时，采用 4x 滤波后获得 16Hz 采样频率的 LF3 频段，对于一个 2048 点的 FFT 窗口需时 128 秒，并获得最大叠加数为 80。考虑到 Parzen 半径，还得增大 FFT 窗口以达到 100 秒，这样会使叠加数降到 40。

## 8.4 增益

Mapros 和 Gms 允许您在数字化之前设置增益来放大低信号（增益系数为 30）。

Mapros 显示的是真实信号，图 20 中 Ey 显示的真实振幅为  $\pm 8mv$ ，将增益设为 30 后，ADC 中的信号为  $\pm 0.24v$ ，在设置增益时还要考虑到 H 的最大信号水平为  $\pm 10v$ ，E 的最大信号水平为  $\pm 5v$ 。这对于低频部分也适用，取低频部分采样为 64Hz，用一定的数学法则进行数字滤波，虽然您在低频段获得低的振幅，但仍得到在采样频率下的关键的信号振幅。

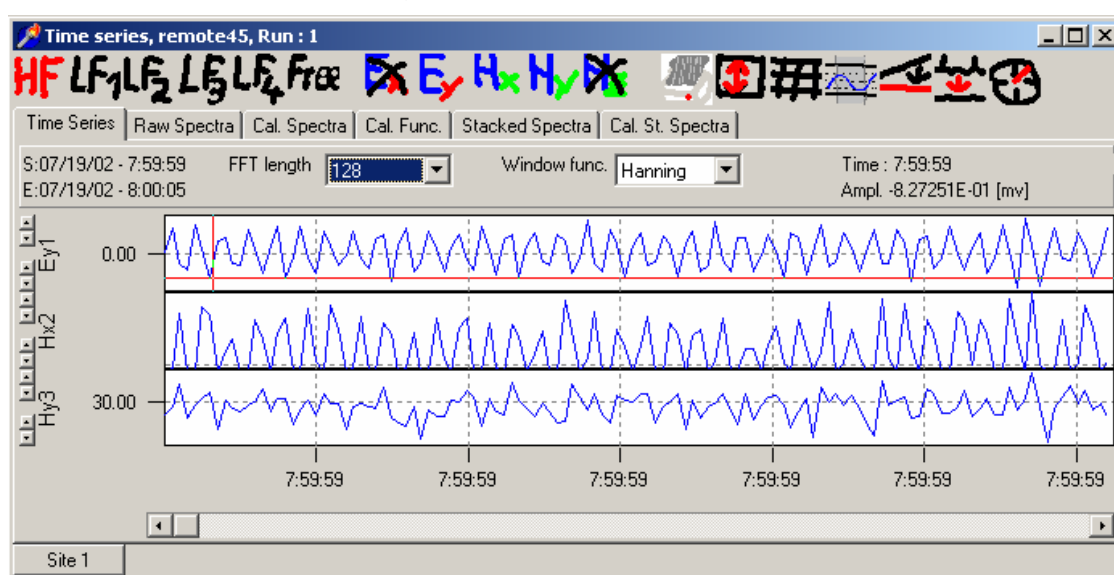


图 20 对图中 Ey 进行增益

进行一下测试，取 4096Hz 的采样频率来检查最强信号，例 50Hz 及其谐波，同时打开自检文件，会发现警告信息：“Signal too high for gain amplification”。

对于电场信号，如果尖峰信号小于 150mv，可以打开增益，但您要注意在记录时信号不会太高。

对于磁线圈，在设定增益时要慎重。

增益放大在时序文件的头文件中标示出来；LSB（least significant bit）也包含有增益放大：用 LSB 乘以时间序列的长整型数得到单位为 mV 的真实信号。

## 8.5 开始和结束时间

在计划记录时间时尽量采用易读易记的时间段，如 6:15 而不用 6:07:02。

## 8.6 时间序列

对于高频段，记录是不连续的，填满缓冲区（每通道约 1MB）需 7s，然后从缓冲区向闪存写入，这需 30s 时间。

如要连续记录，您可选用 LF1，采样每秒 4096 次。


## 8.7 滤波的注意环节

高频部分具备有高的过滤器，即 813Hz 的截断频率，对于高频段的记录，解译的程度不能低于 500Hz，因为在此低频时，ADC 的噪声水平高于 800Hz，在该频率段上的结果是无法被解释的。

9 时间序列的处理

9.1 选择数据

对原始波谱数据，您可以选择或取消选择某些数据：

单击图标工具样的，激活选择特性，将光标移动到数据窗口，即可进行选择工作（如图 21）。您也可以利用“x”键对整个窗口进行选择或取消选择。在进行选择工作时，选择 16384FFT 长度显示数据有利于视野，在选择模式下的窗口长度并不影响到 FFT 的窗口长度。

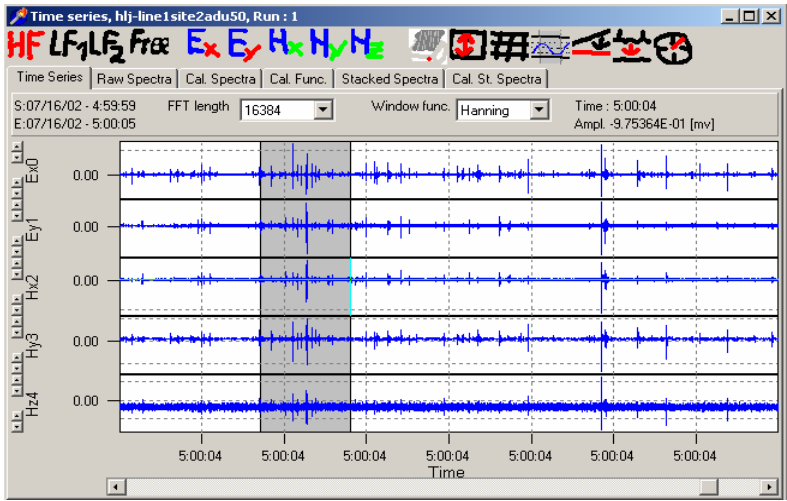


图 21 Mapros 的数据选择窗口

9.1.1 取消所有选择

要同时移除所有的选择，您可在相应数据目录中将相应的 atm 文件移走即可，当然这是相当危险的！（如图 22）












Address SITE0103				
 SITE0103				
Select an item to view its description.				
See also:				
<a href="#">My Documents</a>				
<a href="#">My Network Places</a>				
...				
Name	Size	Type	Modified	
 044A01XA.atm	33 KB	ATM File	2002-8-16 22:22	
 048A01AA.atm	33 KB	ATM File	2002-8-16 23:11	
 048A01AC.atm	49 KB	ATM File	2002-8-19 17:38	
 044C01XA.ats	1,025 KB	ATS File	2002-8-19 23:00	
 044C01XB.ats	7,601 KB	ATS File	2002-8-19 23:00	
 044C01XC.ats	1,537 KB	ATS File	2002-8-19 23:00	
 044C01XD.ats	385 KB	ATS File	2002-8-16 23:12	
 044C01XE.ats	97 KB	ATS File	2002-8-16 23:12	
 044C01XF.ats	14,381 KB	ATS File	2002-8-19 23:00	
 044D01YA.ats	1,025 KB	ATS File	2002-8-19 23:00	

图 22 atm 文件位置

9.2 数据处理参数

右击“运行”—>选择“Start Processing”，弹出外理选项窗口，如图 23 示：

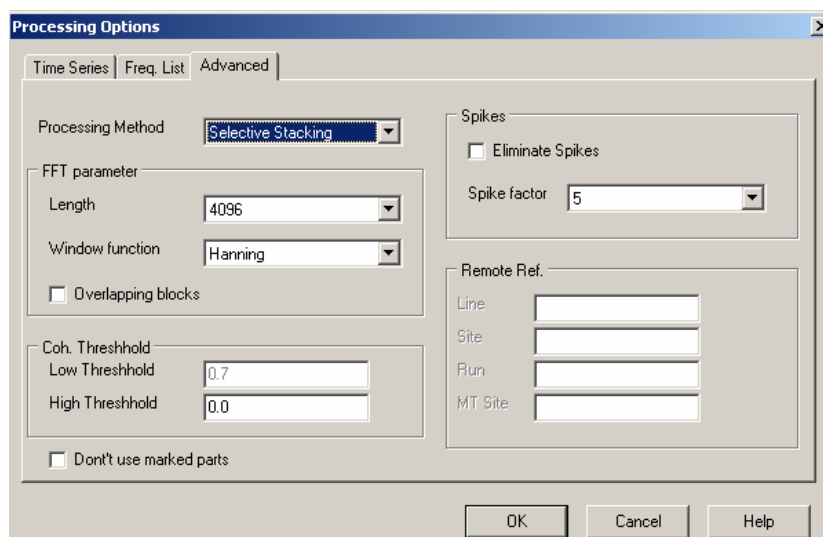


图 23 数据处理选项窗口

这里您可以选择的处理方法有：选择叠加、一致性门槛、全部叠加及远参考。窗口长度也是可选的，您也可以使用块叠加（overlapping blocks），排除标记部分等。

从总体上看，选择叠加效果最好。

在一致性门槛处理时，您选用的参数迁涉到多少窗口将会利用。例 0.2 的低门槛值会排除所有窗口的 80%；您也可以视 E 和 H 的相关效果将门槛值提高，而不会将误差效果当作好的信息。

FFT 窗口长度是一个重要的处理参数，短的窗口长度使您的目标频率分辨率下降，但相邻频率段是光滑的；对于低能量的谱线，短的窗口长度及大的 Parzen 半径是有利的；同时如果时间序列非常短，短的窗口长度会导致一个容许的统计错误。相么，对于干扰的时序曲线，您可增大窗口长度，降低 Parzen 半径。这时存在的尖峰（如图 24 示）对目标频率的影响就会变小。

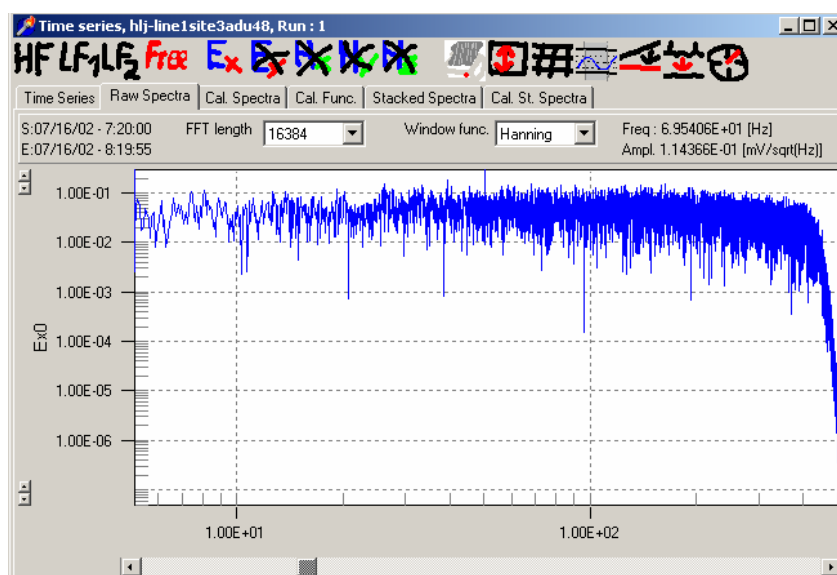


图 24 时序曲线中的干扰尖峰

另一方面，如果您增加窗口长度，您同时也降低了给定时间序列的可能的叠加数，这样统计错误就会增加。所以，要善于找出哪些参数的组合能得到理想的结果。

## 9.3 处理结果

### 9.3.1 谱线

谱线的分辨率取决于处理参数，谱线数量 AVGF 用于估计目标频率  $f_i$ ：

$$AVGF = 2Nf_iC_r/f_s$$

这里  $f_s$  采样频率，N 为 FFT 选用的点数， $C_r < 1$  为 Parzen 半径。如果采用 1024 点的 FFT，Parzen 半径为 0.25，在 512Hz 的自由频段，128Hz 的目标频率下，得到 128 点用于估算目标频率。

$$2Nf_cC_r/f_s = 2 * 1024 * 128 * 0.25 / 512 = 128$$

在谱线中每一点代表  $f_s/NH_z$ , 这里  $512\text{Hz} / 1024 = 0.5\text{Hz}$ , 这样目标频率  $128\text{Hz}$  就被平均到总长为  $64\text{Hz}$  的范围上 (采用窗口长度为 4096 点, 则产生 512 条线段用于估算, 每一条线表示  $0.125\text{Hz}$ , 同样会产生  $64\text{Hz}$  的总长! )。

频段宽度为:

$$2f_cC_r/\pi = 2 * 128 * 0.25 / \pi \approx 20\text{Hz}$$

如果在数据采集时受到了 50、150Hz 的电源线的干扰, 那么在  $128\text{Hz}$  的目标频率也会受到这些频率的干扰, 这时将 Parzen 半径降到 0.125 会使结果更好一些。即使频段宽度不受 FFT 长度影响, 您也需增加 N。

512pts 谱线的轮廓      在低分辨率的 FFT      目标频率及其 Parzen 半径      16kptsr 谱线  
下频率的影响

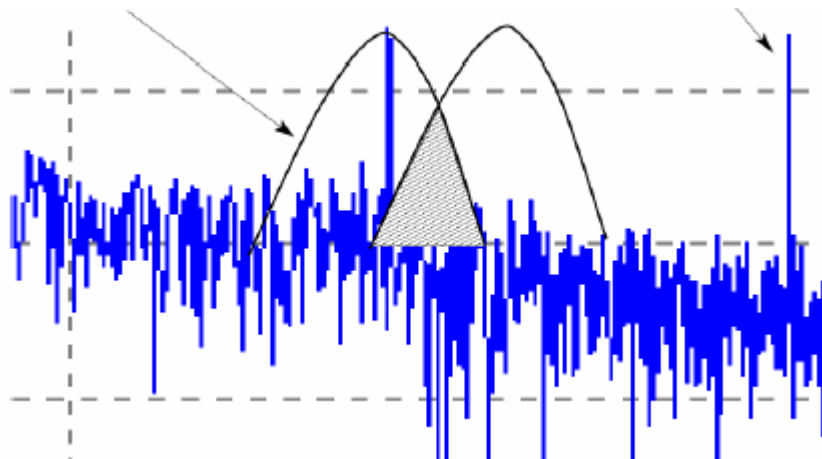


图 25 Parzen 半径和谱分辨率的影响

### 9.3.2 单位

使用单位有:

$\frac{mV}{\sqrt{Hz}}$ : Mapros 显示的原始或叠加谱线的振幅;

$\frac{nT}{\sqrt{Hz}}$ : Mapros 显示的经标定或叠加标定的磁场谱线的振幅;

在 EDI 文件中:

$\frac{nT^2}{Hz}$  和  $\frac{(\frac{mV}{km})^2}{Hz}$ : H 和 E 的功率谱;

$\frac{nT(\frac{mV}{km})}{Hz}$ : 混合通道的交叉功率谱。

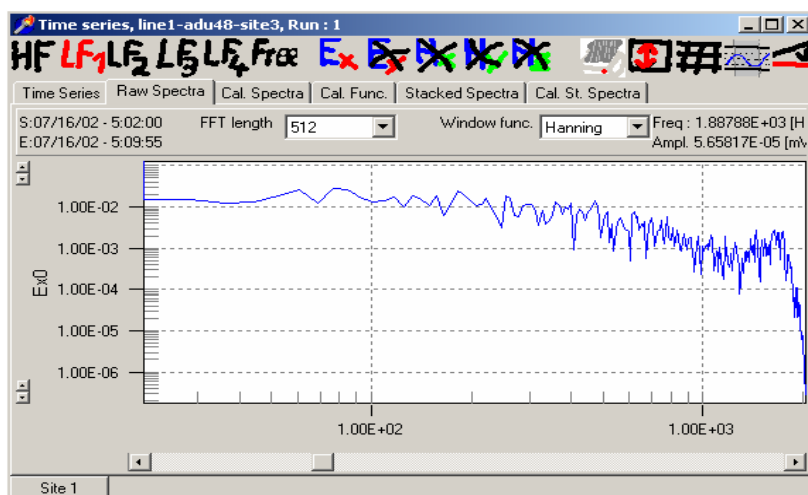


图 26 512 点的谱线

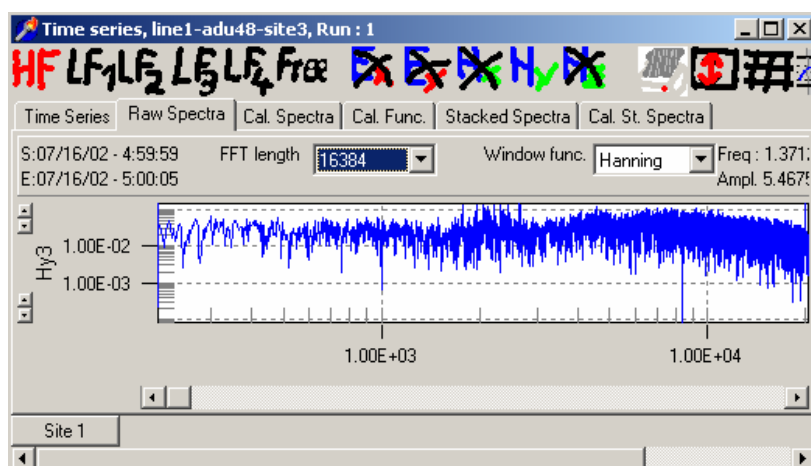


图 27 16384 点的谱线

从图 26 中看到，频率在 150Hz 的谱线在 FFT 长度为 512 点时分辨不出，因为尖峰对其相邻频段影响很大。如果将 FFT 长度增到 16384 点，则可看到干扰频率的显著尖峰，如图 27。有时只增加了窗口长度而不去改变 Parzen 半径，如果想增加分辨率，在增加 N 的同时也要降低 Parzen 半径。

Mapros 通常采用最少 4 条谱线： $AVGF_{min}=4$ 。图 28 为一次测量结果：转换方程式采用标准参数，FFT 为 1024pts, Parzen 半径为 0.13；图 29 中 FFT 变为 16384，Parzen 半径为 0.13 不变，发现相位和视电阻率曲线都明显改观；图 30 中 FFT 保持 16384，将 Parzen 半径降为 0.02（或更小），这时得到的效果比以前又进一步。

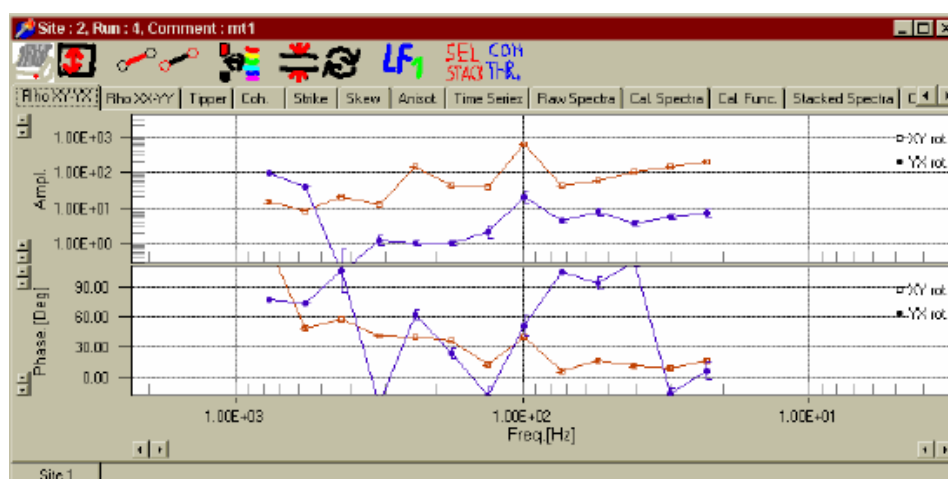


图 28 FFT 为 1024pts, Parzen 半径为 0.13

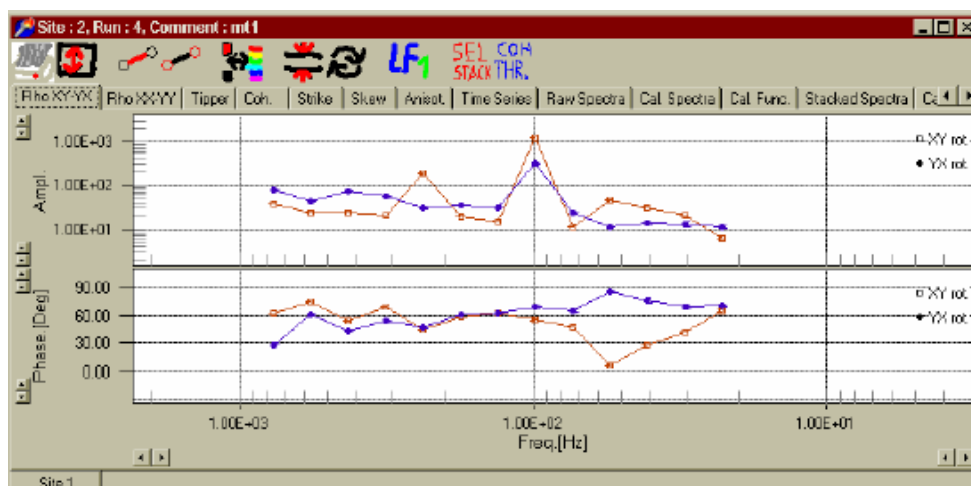


图 29 FFT 16384, Parzen 半径为 0.13

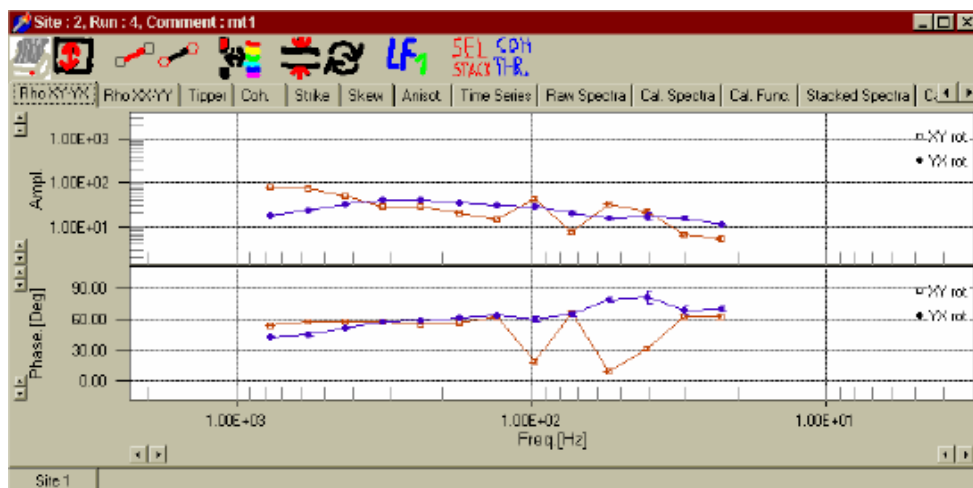


图 30 FFT16384, Parzen 半径为 0.02 (或更小)

所以, 记住一点, 降低 Parzen 半径可提高清晰度, FFT 长度与 Parzen 半径是紧密相连的。

### 9.3.3 视电阻率与相位

您最后的数据处理结果可能如下图 31 所示: 在该窗口中, 按住鼠标左键拖动可选择处理的结果, 右击鼠标弹出一对话框, 如图 32 所示, 点击 info, 弹出窗口 (如图 33) 中给出了所选部分采用的处理参数。

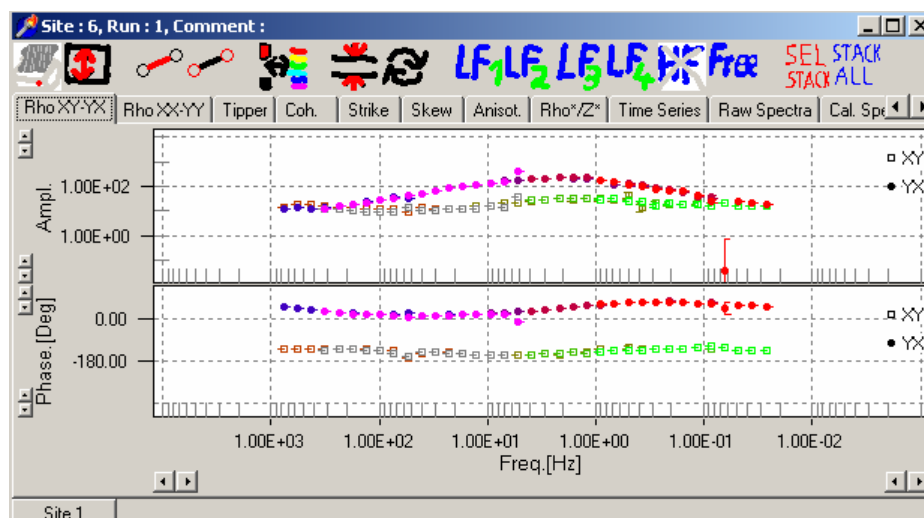


图 31 视电阻率与相位

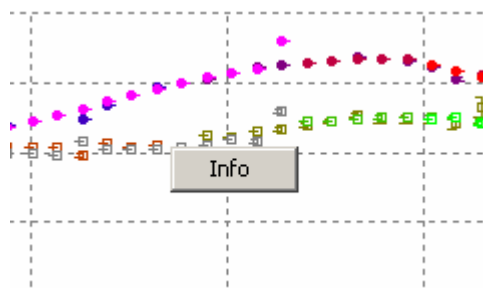


图 32 信息 (info)



Cross Spectra Info							
Band	Frequency	FFT Length	Sample Freq.	Parzen R...	AVGF	AVGT	Bar
Low Freq. 1	22.67 Hz	4096	4096 Hz	0.13	8	23	2.5
Low Freq. 2	12.61 Hz	4096	64.00 Hz	0.13	208	23	1.0
Low Freq. 2	9.405 Hz	4096	64.00 Hz	0.13	156	23	0.7
Low Freq. 2	7.014 Hz	4096	64.00 Hz	0.13	116	23	0.5
Low Freq. 2	5.231 Hz	4096	64.00 Hz	0.13	86	23	0.4
Free	22.67 Hz	4096	1280 Hz	0.13	18	23	1.7
Free	16.90 Hz	4096	1280 Hz	0.13	12	23	1.1
Free	12.61 Hz	4096	1280 Hz	0.13	10	23	0.9
Free	9.405 Hz	4096	1280 Hz	0.13	8	23	0.7
Free	7.014 Hz	4096	1280 Hz	0.13	8	23	0.7
Free	5.231 Hz	4096	1024 Hz	0.13	8	23	0.6

图 33 交叉频谱信息

### 9.3.4 倾子 (Tipper)

倾子窗口显示的是 Hx,Hy 及 Hz 之间的水平磁场转换程式的相位和振幅的信息。

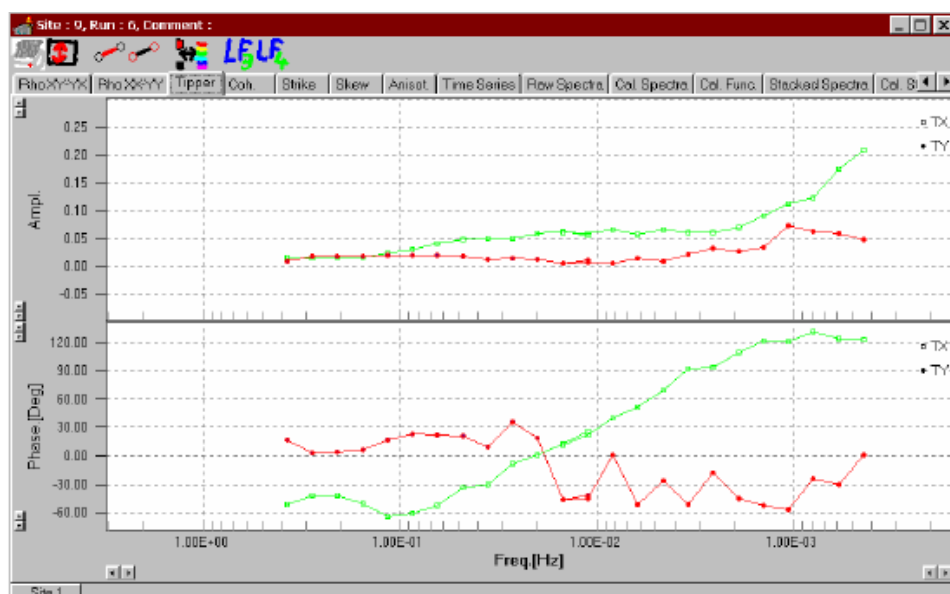


图 34 倾子 (tipper)

如果振幅低，则表明地下构造接近一维 (1D)。

理想情况下，Tx 和 Ty 的相位差为  $0^\circ$  或  $180^\circ$  (箭头同向或反向)；如果箭头是平行的，构造接近二维 (2D)，而且虚拟部分 (imaginary part) 变为零，并切换到反方向。

因为磁场比电场受干扰要小，所以感应箭头能指示二维构造的好的信息。

### 9.3.5 一致性

一致性达到 1 表明 E 和 H 的完全相关，但这是不可能达到的。典型的情形是这样：一致性随频率而变化，尤其在 10Hz-4s 范围，一致性极差，视电阻率和相位的结果与一致性相关联，在一致性达 0.6-0.7 以上时，可能获得好的结果。

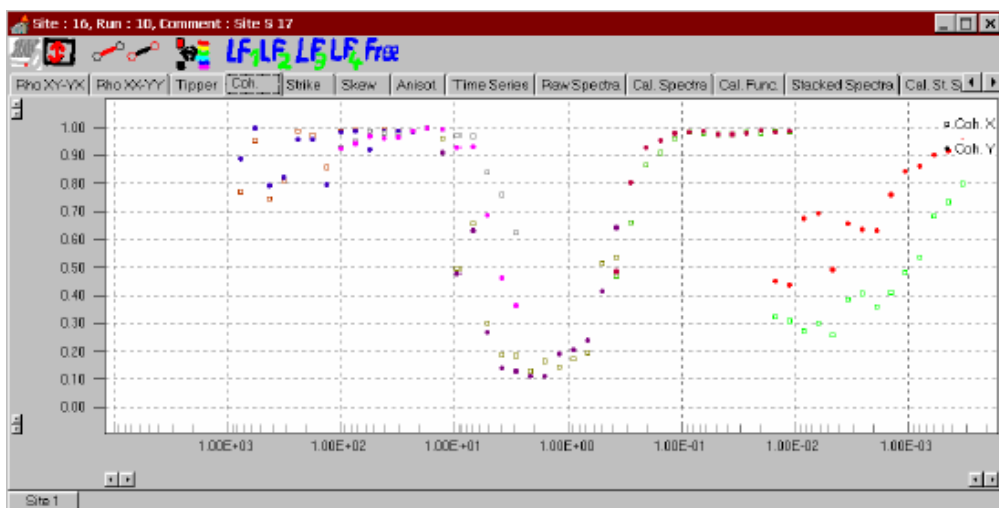


图 35 一致性 (coherency)

### 9.3.6 走向 (Strike)

走向窗口显示的是 Swift 角及感应方向 (arrow) 的实部的角度。这样，走向方位只有在各向异性不为 1 时才有意义。

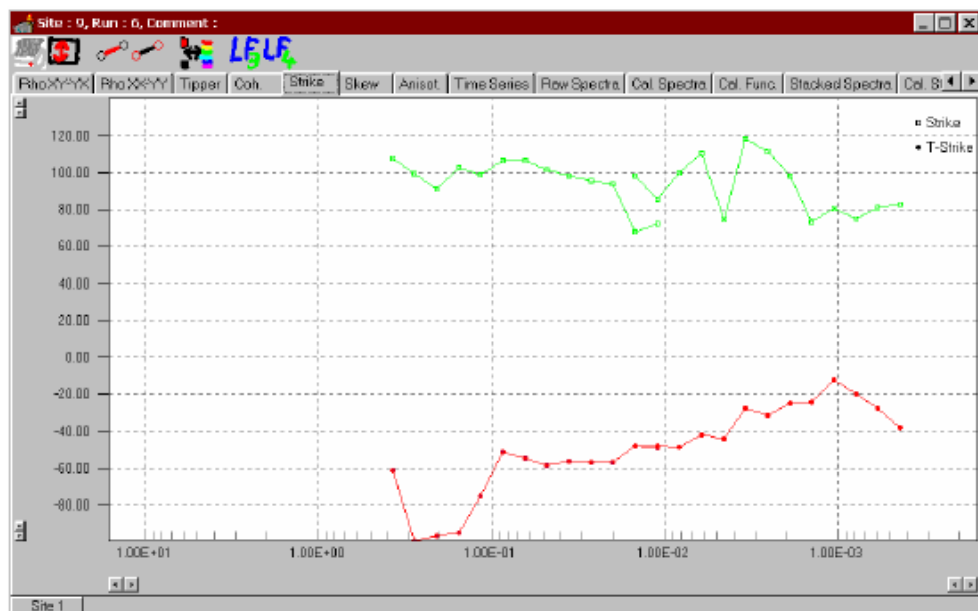


图 36 走向 (strike)

### 9.3.7 二维偏离度 (Skewness)

### 9.3.8 各向异性 (Anisotropy)

## 9.4 结果 (Results)

右击测点 (Site)，选择 “create result” (如图 37 示)，这时就会在所选测点 (Site) 下创建一个与运行同级的结果，该结果包含一个空的 MT 测点 (MT-site)，在查看数据 (view data) 窗口下，您可以利用鼠标的拖放，将其它运行 (Runs) 的数据有选择地拖到结果 (Result) 中，如图 38 示：

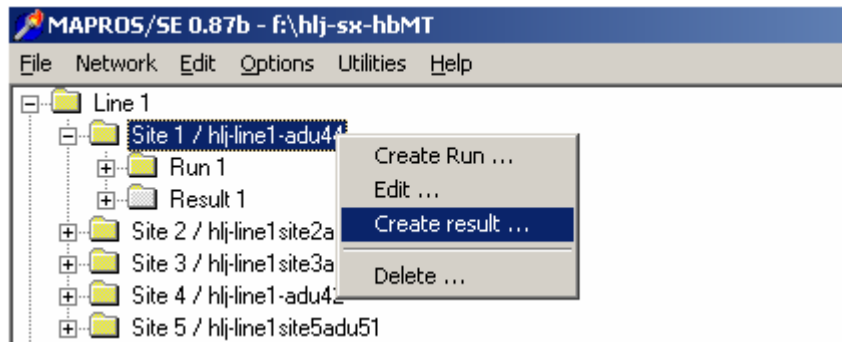


图 37 创建结果（result）

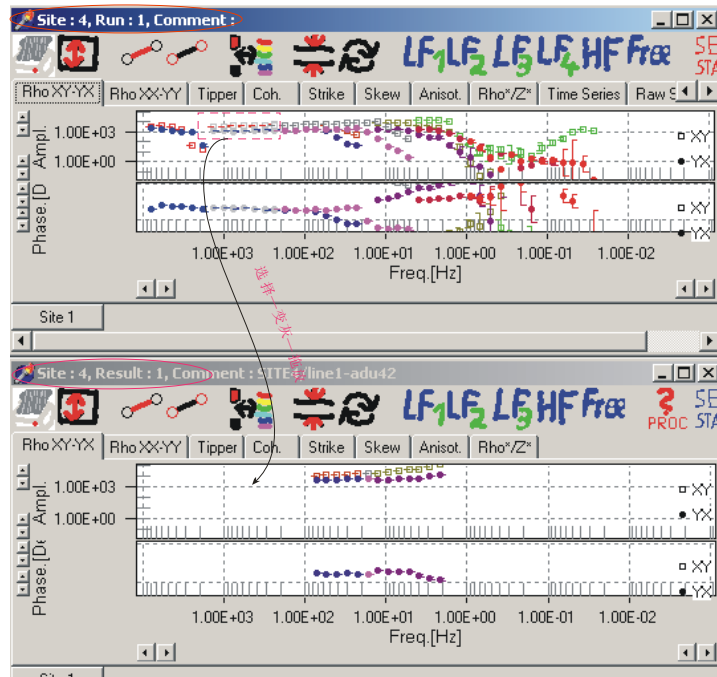


图 38 利用拖放构建 Result 数据

在一个结果运行中可以包含多种处理方法，它是原始运行中不同处理过程的混合结果。

在结果运行中，您可以对选择的数据查看信息（Info），但同时也可删除它，这一点不同于在运行的数据窗口中（右击只出现 info 选项），如图 39 示：

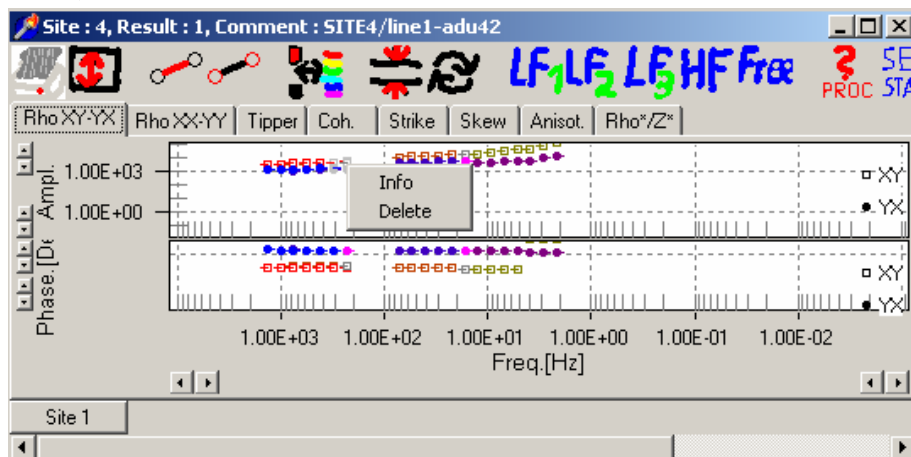


图 39 结果（Result）窗口中的操作

## 9.5 数字滤波

Mapros 提供了 4x 和 32x 的数字滤波：下为原始 64Hz 的时序曲线：（图 40）

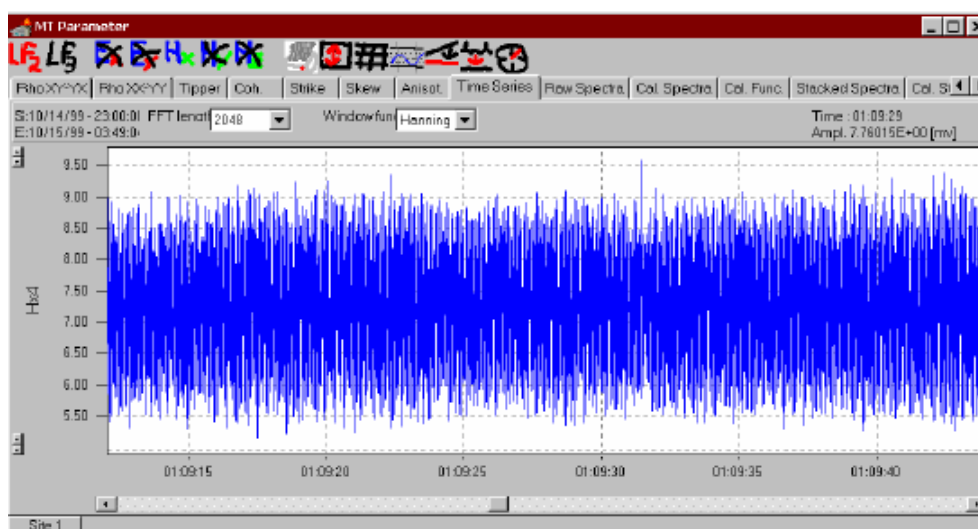


图 40 初始 64Hz 的时序曲线

4x 滤波后的时序曲线：（图 41）



图 41 16Hz 的时序曲线（四倍滤波后）

对原始数据进行 32x 滤波后，曲线如下（图 42）：

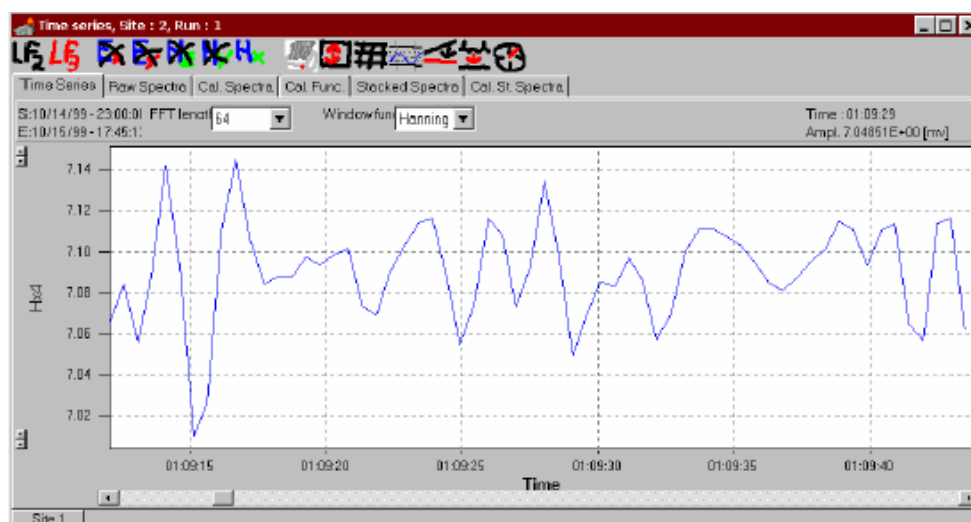


图 42 2Hz 的时序曲线（32 倍滤波）

这些图形的时间轴长度相同，在滤波处理中振幅是降低的，在本例中，振幅的降低系数为 30。

四倍滤波的滤波长度为 70 点，对 LF3 频段进行滤波会产生 35 点左右的偏移，这意味着开始时间向后

$35 * 2\text{Hz} = 17\text{s}$ 。32 倍滤波的长度为 470 点，对 LF3 频段滤波会导致  $235 * 2\text{Hz} = 1 \text{ 分 } 17 \text{ 秒}$  的延迟。  
如果对自由频段进行滤波，会引起数据覆盖。

## 9.6 出错信息

在处理时您可能会碰到如下图 43 所示的错误信息：

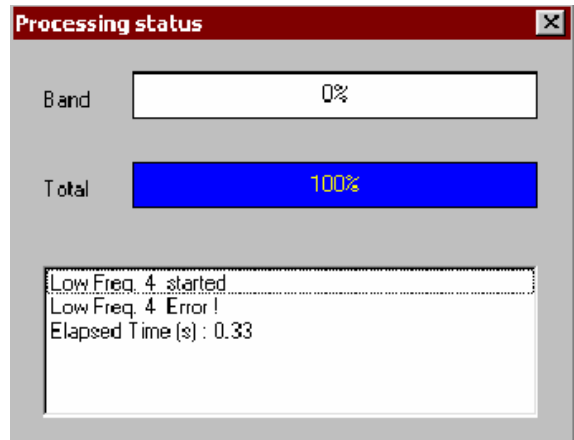


图 43 处理时出现的出错信息

这种情况可能是由于待处理的时序曲线过短，此时在数据处理选项的“Advanced”栏中可将 FFT 长度改小一点。

## 10 时间序列的信息

在运行（Run）上右击，在弹出菜单中点选“View Ats Header”，即弹出如图 44 所示的信息窗口：

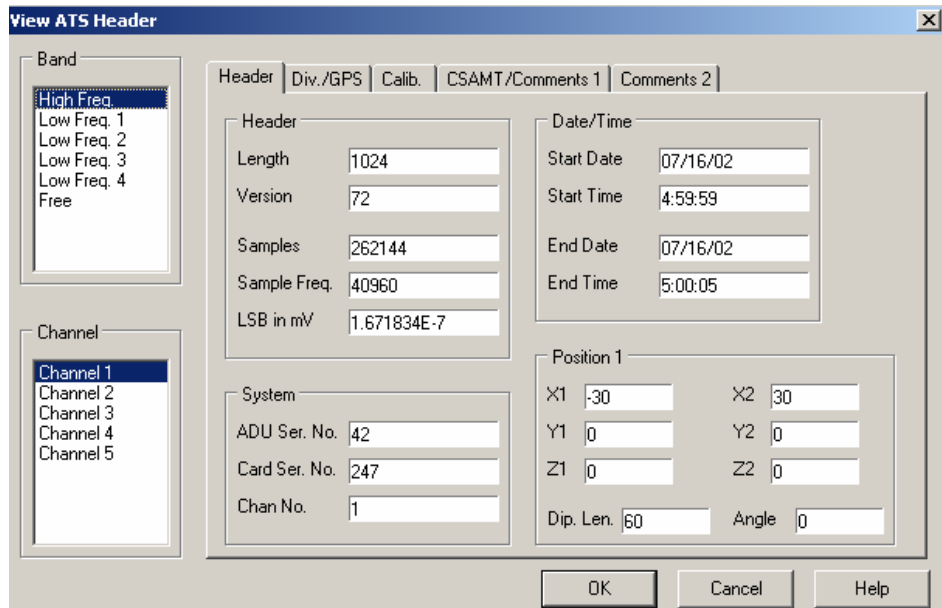


图 44 “查看头文件”窗口的“Header”部分

在该窗口中您唯一可以作改动的是“comments 2”项，对其中一些描述性内容进行补充或改进。

## 11 输出

### 11.1 将单个测点输出为 EDI 文件

EDI 文件是国际通用的文件格式，建议采用。

找到测点，展开并选择目标运行号，可击该运行，在弹出菜单中选择“export edi...”，如图 45 示：

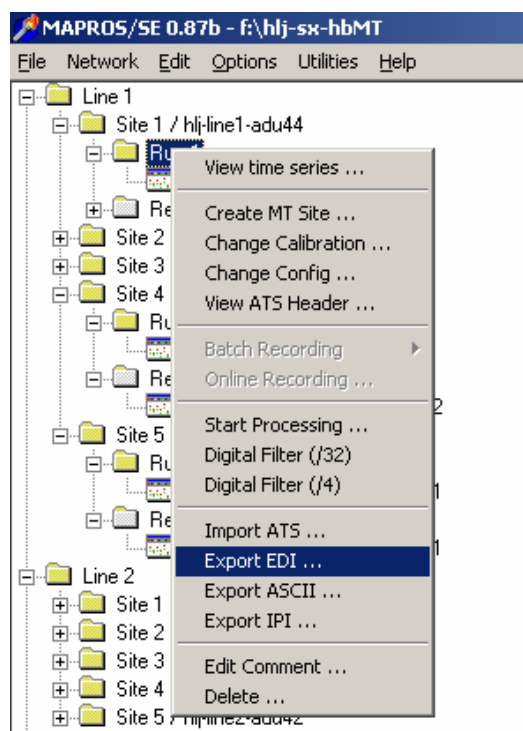


图 45 输出 EDI 文件

此时弹出一个输出选项的对话框，该对话框中有三个选项，如图 46 示：

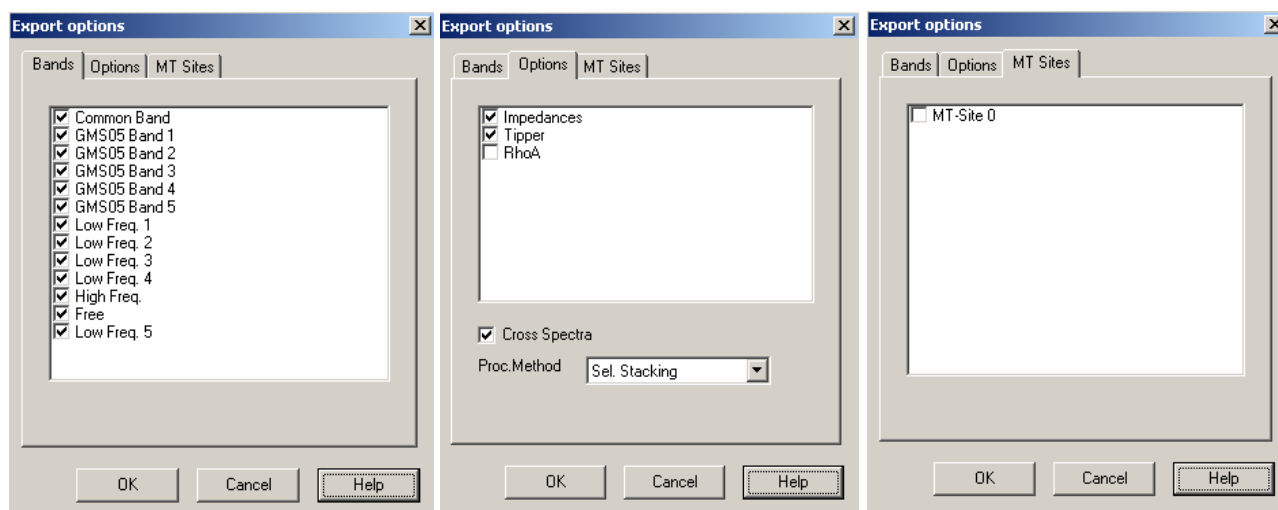


图 46 EDI 文件的输出选项

在“Bands”菜单下，是一系列可供输出的频率的子集，如果您选择所有的频率段，Mapros 就会从高频至低频段输出，如果频段发生重叠，低频段就会覆盖较高频段；“Options”菜单下，您可以将不同数据类型输出到 EDI 文件中：阻抗、倾子、视电阻率及交叉频谱，您同时也可以对处理方法选择；最后您就可以进行 Mt 测点的输出，在“MT site”菜单下，有供您选择的测点，本例中仅有一个 Mt 测点供选择。如果您在相应的装配（Setup）中加入了多个测点，这时可供选择的测点就会有多个。

## 11.2 输出 Ascii 码

您可以将数据输出成 Ascii 码的格式，步骤同上，Ascii 输出的各项如下表 5：

表 5 Ascii 码输出各项简述

列编号	项目名	说明
1	MT 测点	Mapros 中所用的 Mt 测点号
2	频段	频段指示 (Index)
3	频率	频率 (Hz)
4	Zxx.re	阻抗张量实部
5	Zxx.im	阻抗张量虚部
6	Zxx.var	估计方差
7	Zxy.re	
8	Zxy.im	
9	Zxy.var	
10	Zyx.re	
11	Zyx.im	
12	Zyx.var	
13	Zyy.re	
14	Zyy.im	
15	Zyy.var	
16	Tx.re	倾子 (实部)
17	Tx.im	倾子 (虚部)
18	Ty.re	
19	Ty.im	
20	Rhoa_xy	视电阻率
21	Phi_xy	相位
22	Rhoa_xy.var	估计方差
23	Phi_xy.var	
24	Rhoa_yx	
25	Phi_yx	
26	Rhoa_yx.var	
27	Phi_yx.var	

### 11.3 对 IPI\_MT 的一维输出

IPI\_MT 是由 Alexei Bobatchev 编写的一个一维反演软件, Mapros 也试图输出能满足该软件要求的\*.dat 及\*.bar 文件。由于 IPI\_MT 对数据要求严格, 所以在结果运行 (result run) 中对相位及阻抗曲线仔细编辑, 并检查  $\rho^*-z^*$ 。

## 12 用 Mapros 进行记录

### 12.1 在线

在线记录

该模式用于在野外检测记录情况或作静态记录。如何建立数据库在前面已经提过, 假设我们要用两个在线系统 (Adu) 创建一相应的测点, 选择 Edit—>Configuration—>Setups—>Add, 在 “Config” 下将 Setup 命名为 “INFN”, 在 Channels 下加入两个系统的 10 个通道。如图 47 示:

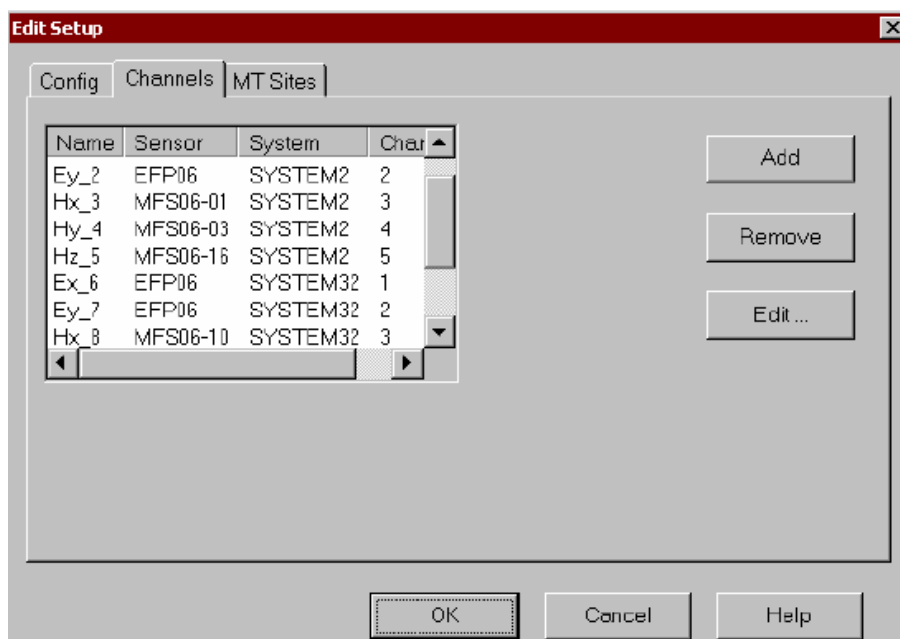


图 47 混合通道配置

依次编辑不同通道后，转向 MT Sites 菜单下，如图 48 示：

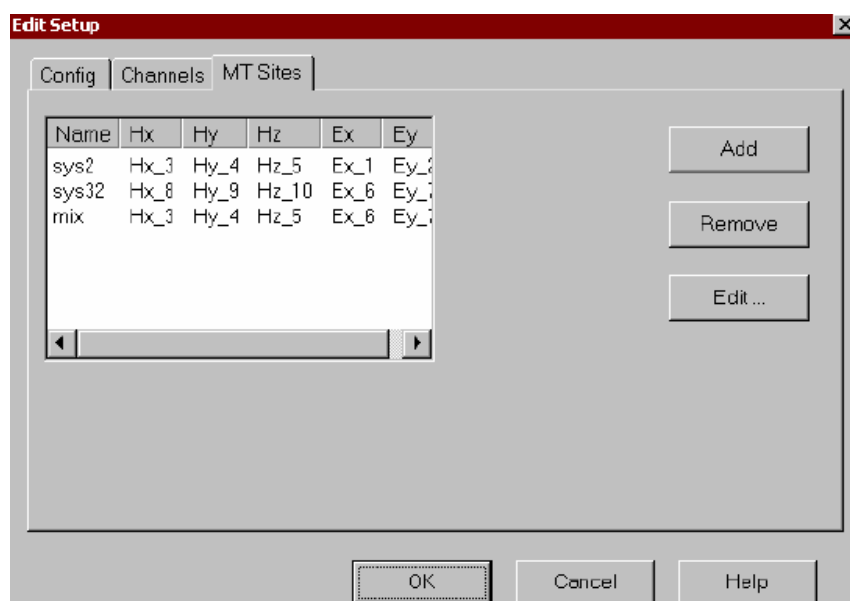


图 48 具 10 通道、3 测点的配置

加入 3 个测点，对测点编辑时您可以混合来自不同 Adu 系统的通道，如下图 49 示，测点“mix”包含系统 32 的电道及系统 2 的磁道。



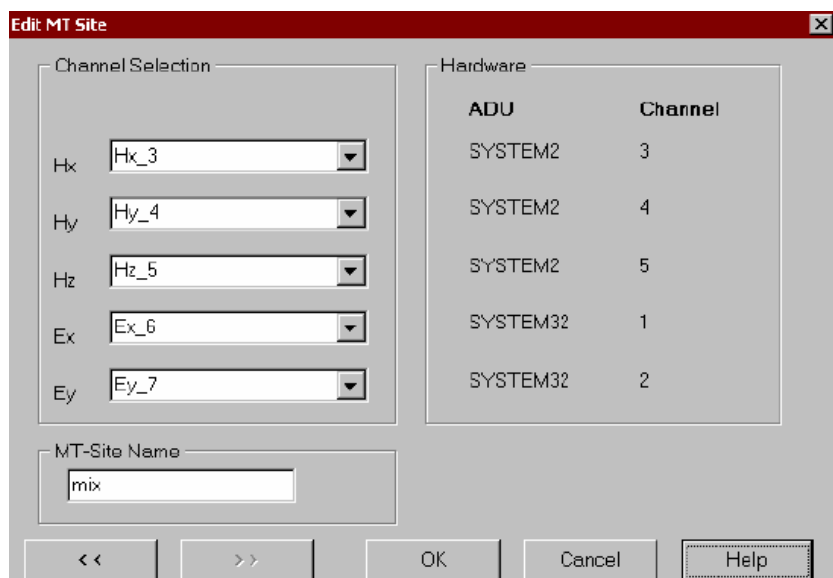


图 49 混合通道

这样，当您在主级菜单测线上创建一个新的测点，并选择 INFN 配置时，您会看到图 50 的弹出窗口：

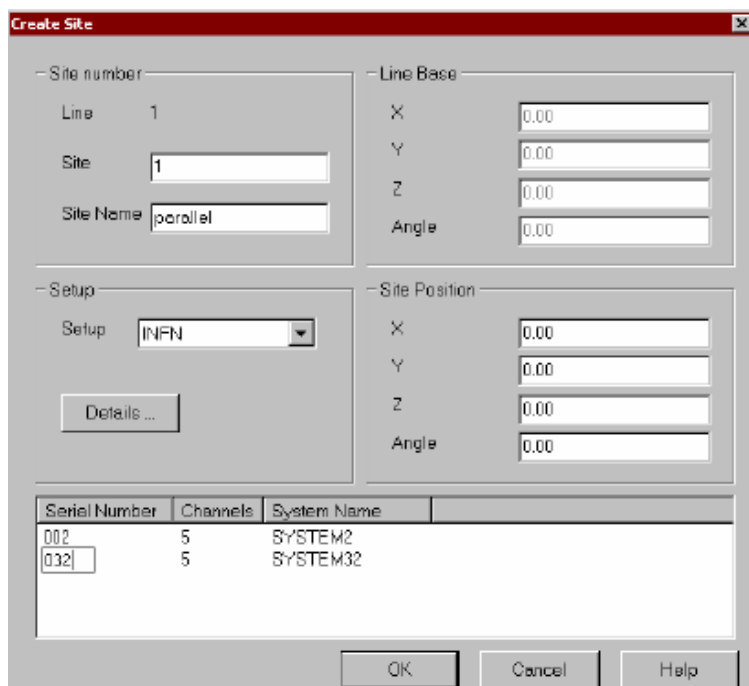


图 50 创建多点窗口

Mapros 自动与此配置的两个 Adus 相关联，并自动在主级菜单下创建出 3 个 MT-Sites。如图 51 示：

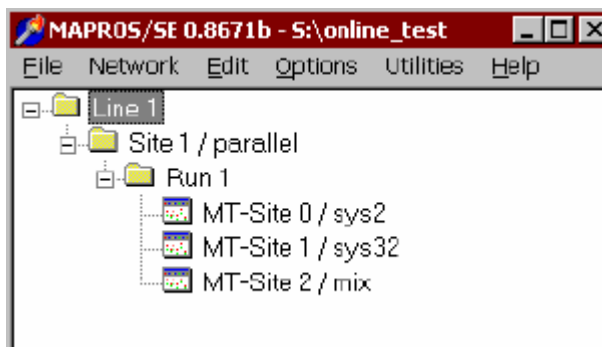


图 51 主级联菜单

要将 Mapros 与 Adu 相连，选择主菜单 Network—>connect...，如图 52 示：

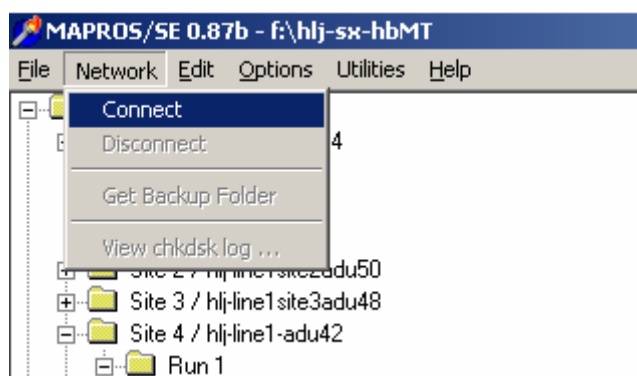


图 52 网络联结

这时 Mapros 会弹出与 Adu 联结的信息窗口，如图 53 示：

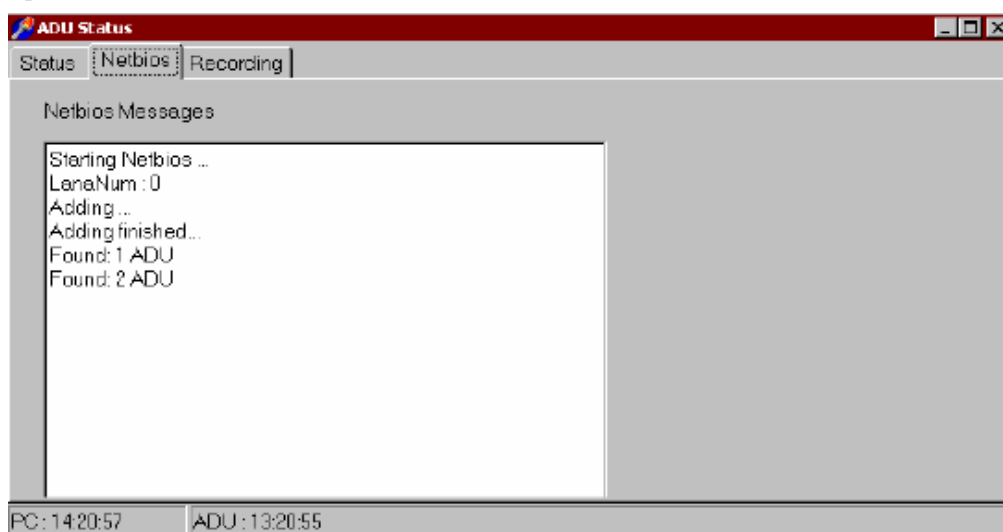


图 53 网络联结时的状态

这时右击 Run，弹出菜单与图 45 所见有所不同，如“Batch Recording”及“Online Recording”为活动状态。如图 54：

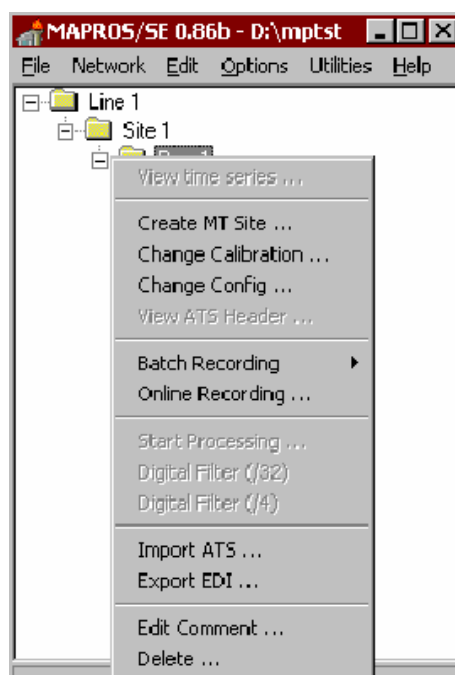


图 54 在线记录时右击 Run 的弹出菜单

选择在线记录（online recording...），弹出选项窗口，选择“start/stop modus”，分配缓冲区时间大小，

在这种模式下，缓冲区在数据通过网络线送出之前，会一直填冲到分配时间。（如图 55，56）

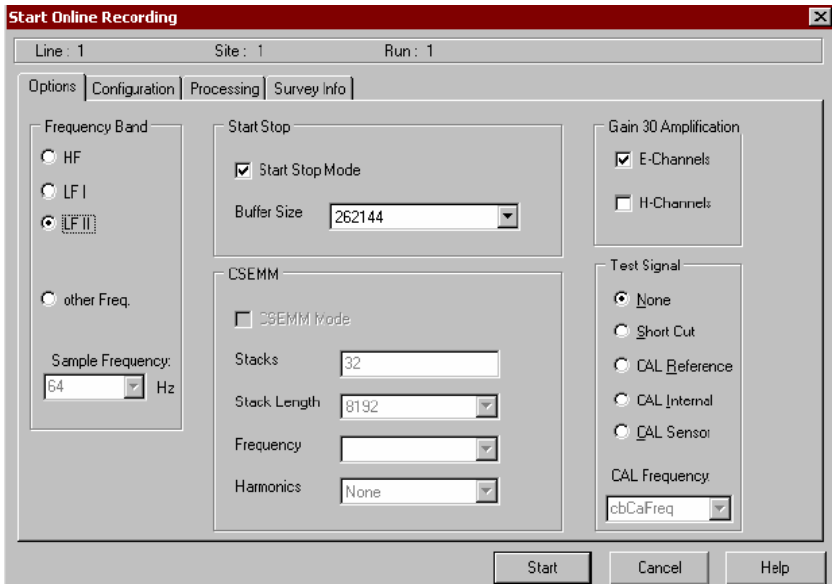


图 55 在线记录选项

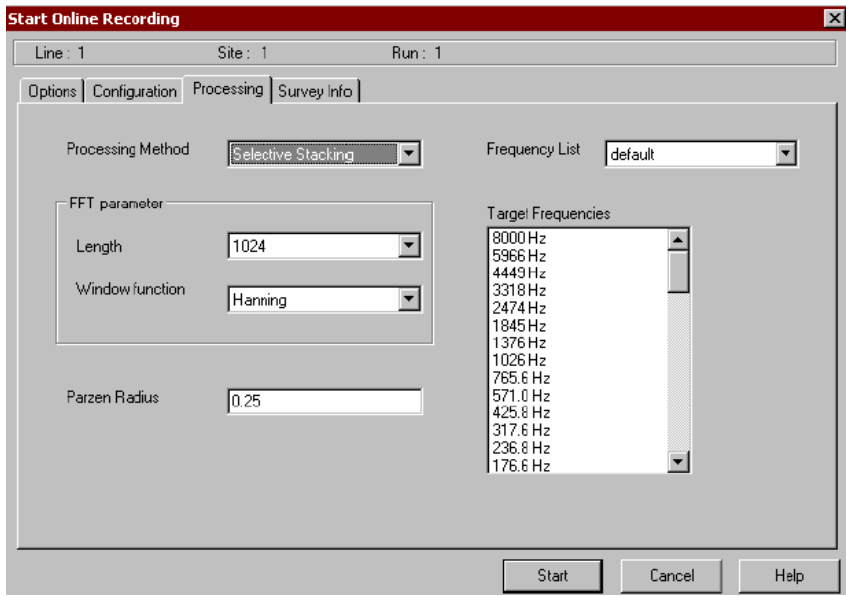


图 56 在线记录的处理

所有这些选项都是依照离线程序 gmsxxx.exe 的选项而定的，是自解释的。

## 12.2 批处理（Batch Processing）

批处理技术（图 57，58，59）在 Mapros 中开发的尚不太好，请用 GMS。

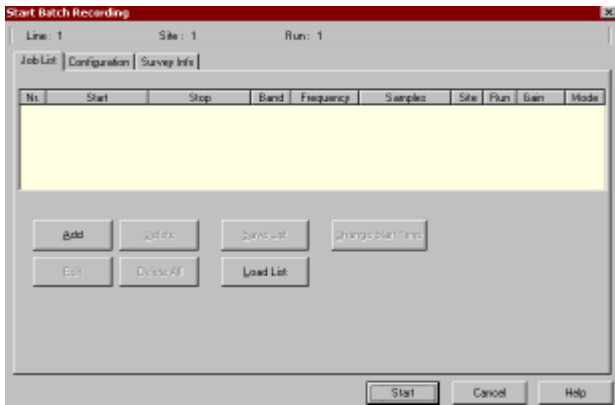


图 57 Mapros 中的批处理

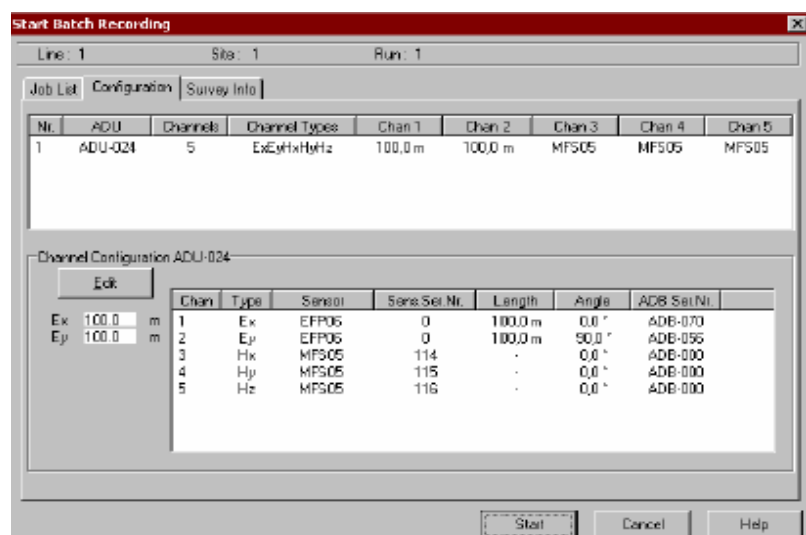


图 58 批处理中的“Configuration”

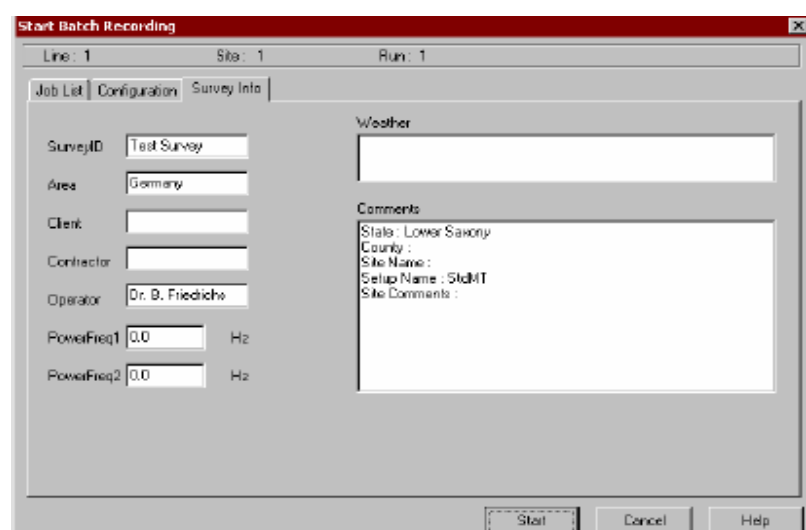


图 59 批处理中的测量信息（Survey info）

在记录时，您在 Mapros 中可观察到在线记录的时序曲线，如图 60 示：您也可以在多点之间切换。

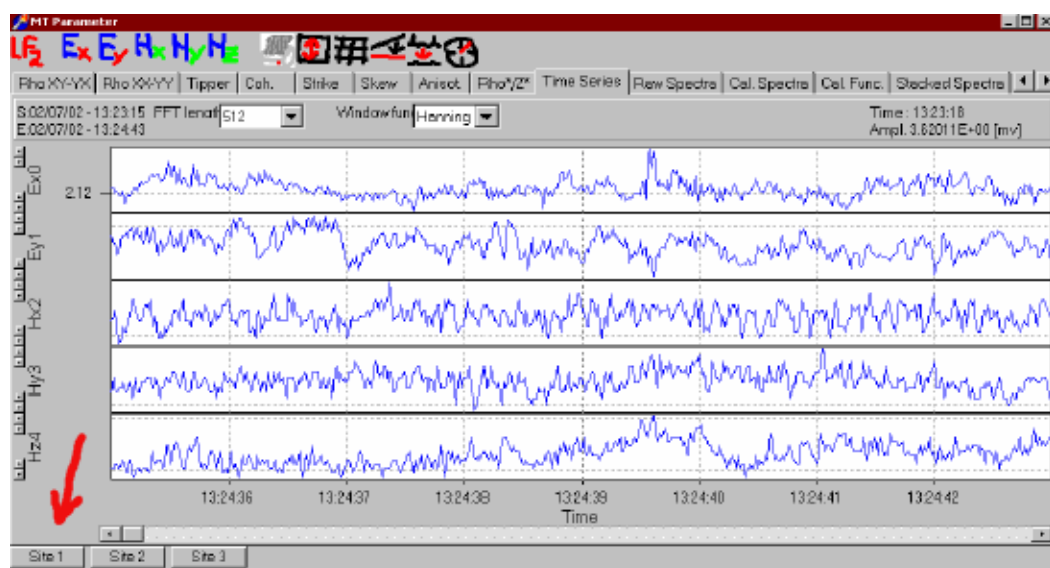


图 60 多通道配置的在线记录

## 13 关于 ADU-06 中工作和时间的基本常识

如果记录停止时间不是所设置的缓冲区长度的整数倍，那么最后一个缓冲区（最长时间 17 分钟）将丢失。工作长度超过 1 小时会按指定模式进行处理，这时 Adu 将每个缓冲区完成之后，将数据每隔 17 分钟写闪存，若 Adu 提前 1 秒工作，那么最优的使用时间将为  $(n \times 1024) - 1$ ；例：30\*17:04 分-1 秒=8 小时 31 分 59 秒。

## 14 小缺陷（Bug）

Mapros 将有关测量的所有信息及其它参数存放在 C:\Mapros 目录下，这些信息在重新配置时会被改写，所以对此文件夹要经常备份。在更换计算机时，将整个 C:\Mapros 目录拷入，继续前面工作。

## 第二部分

# GMS

## 15 关于 gmsxxx.exe 的常识

### 15.1 重要常识

在软件安装之后，应重新启动 ADU 以释放闪存空间，如果不这样，记录工作可能不完全。一个 100MB 的闪存有 8MB 分给了系统软件，87MB 用于存放数据，这 87MB 中有 25MB 用于存放 Backup 文件夹。

如果您确实需要最大闪存空间，您还得用“Get Ats Backups”取出所有备份文件。

### 15.2 离线记录

gmsxxx.exe 为一离线记录系统。将电脑与正在工作的 Adu 连好后，启动 gmsxxx，您可以查看所有与电脑相连的 Adus 的状态，所有相关的信息也都显示在屏幕上，如 GPS 信息有经度、纬度、高程、时间及卫星数，注意，正确定时或定位需至少 4 颗卫星。

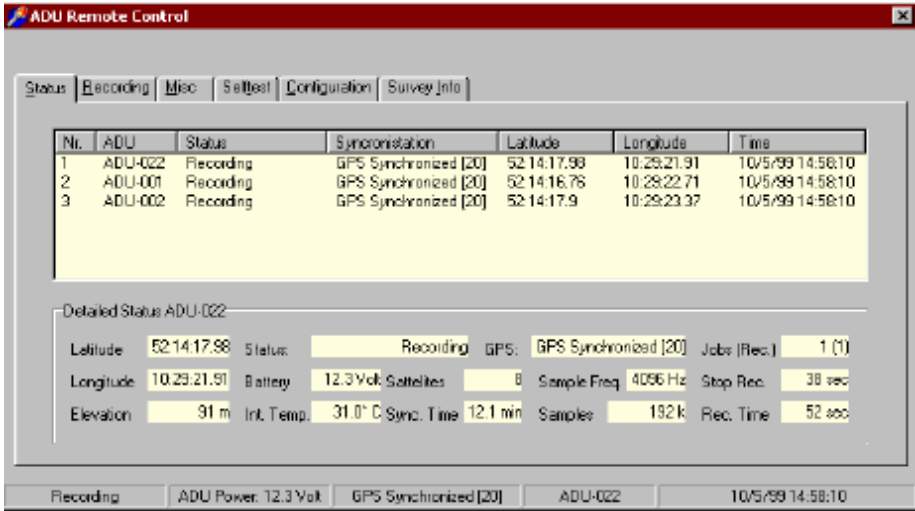


图 61 GMS 的状态窗口

在记录（Recording）选项下，如图 62，您也可以查看到工作的起止时间，并将一定的工作程式传输给 Adu，“Add”按钮加入一项工作，“Edit”编辑一项工作，“Save”按钮保存一项工作或工作列表，保存文件的扩展名为.rec，在电脑与 Adu 相连时，不要重新提交（Resubmit）该工作列表，而可采用先保存后载入（Load）的方式。

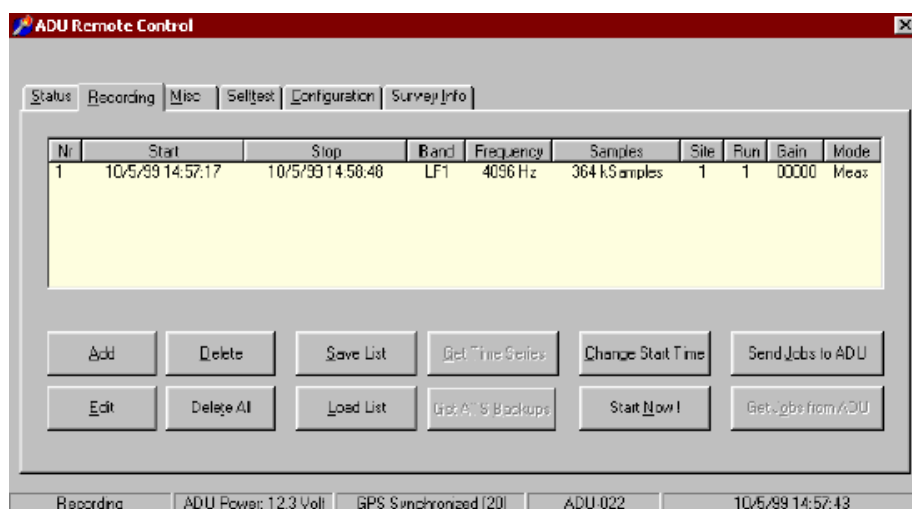


图 62 GMS 的记录信息窗口

当载入一项工作（或工作列表）后，您可选择“Edit”对其中的频段进行编辑，而只有 LF2 是可以进行在线数字滤波的，如图 63，对于时间长的运行，您可以将 LF2 的时间设置稍短一些，但将滤波的停止时间延迟一点，这样数字滤波工作就不会作为一个额外工作在 Gms 状态栏显示。

在“Edit”下，您也可以为每个通道设置增益，具体设置前面已谈及，在按下“OK”钮之前，检查一下测点号及运行号，确信不会覆盖以前所记录的时间序列。

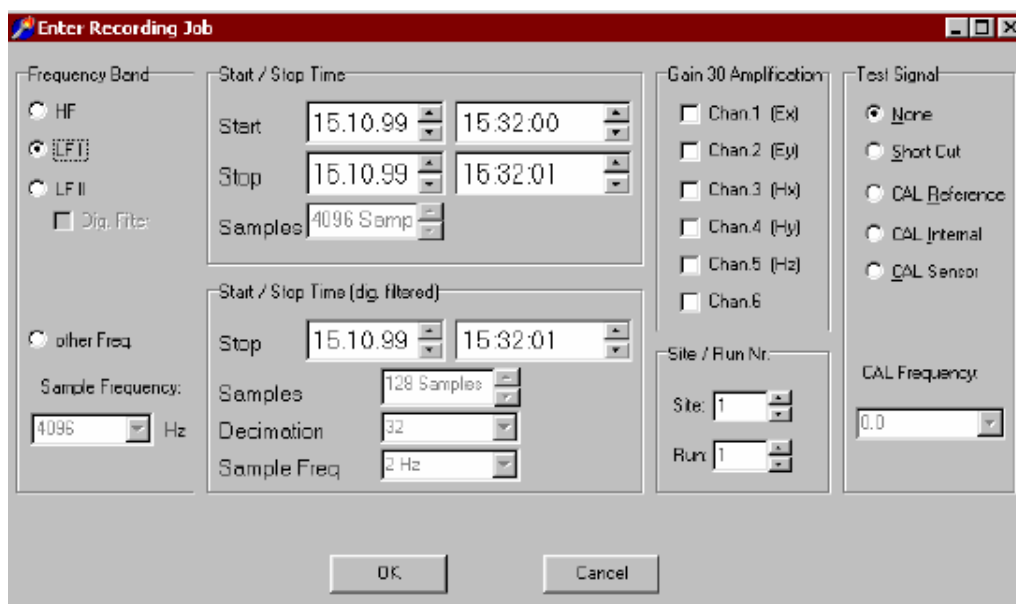


图 63 Gms 引入的.rec 工作

“Misc”选项（图 64），用于在线观察时间序列，按下“Connect Adu”，显示所连接 Adu 的时间序列曲线。“Update Configuration”并不需要，因为如果您改变输入（例电场长度和序列号），这些输入会自动在系统内更新。“Stop”钮可以停止一项工作，这样您就可以下载时间序列了。

“Reset GPS”钮重置 GPS 的时钟，当按下此钮后，GPS 不得不读入“Almanac”，这将花 13-20 分钟，而且引起计时的不稳定，只到 Adu 完全同步后才正常，所以除非遇到无法解决的问题，一般不重置 GPS 时钟。

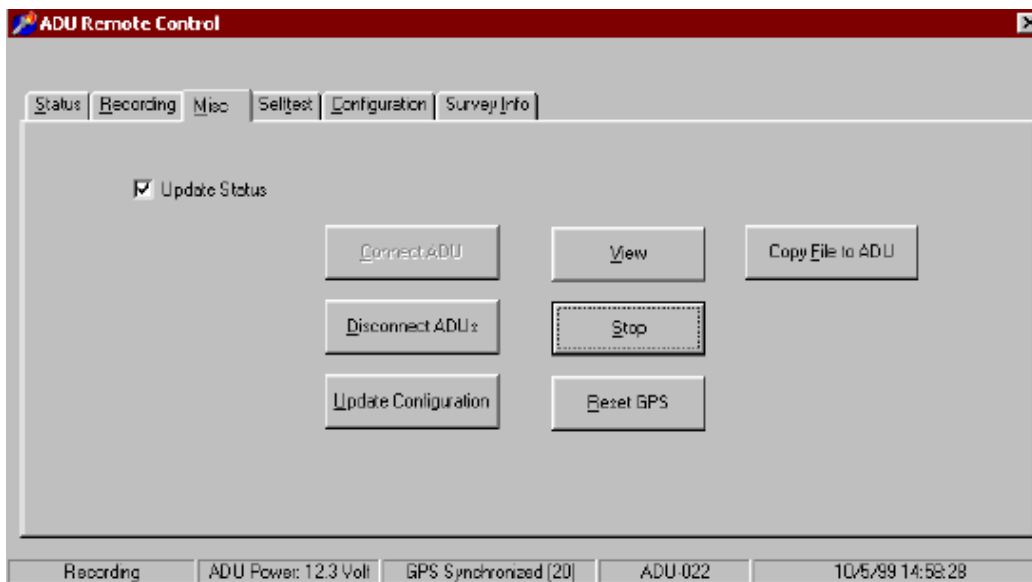


图 64 Gms 杂类窗口

要保证 Adu 正常工作，还得查看“Configuration”选项（图 65）：选择目标 Adu，查看线缆长度及传感器是否与实际配置的要求相符。配置信息从 Adu 时钟板中读取，选择“Edit”，就可修改配置了，所有修改会被发送至 Adu 并存贮在那里。如图 66：

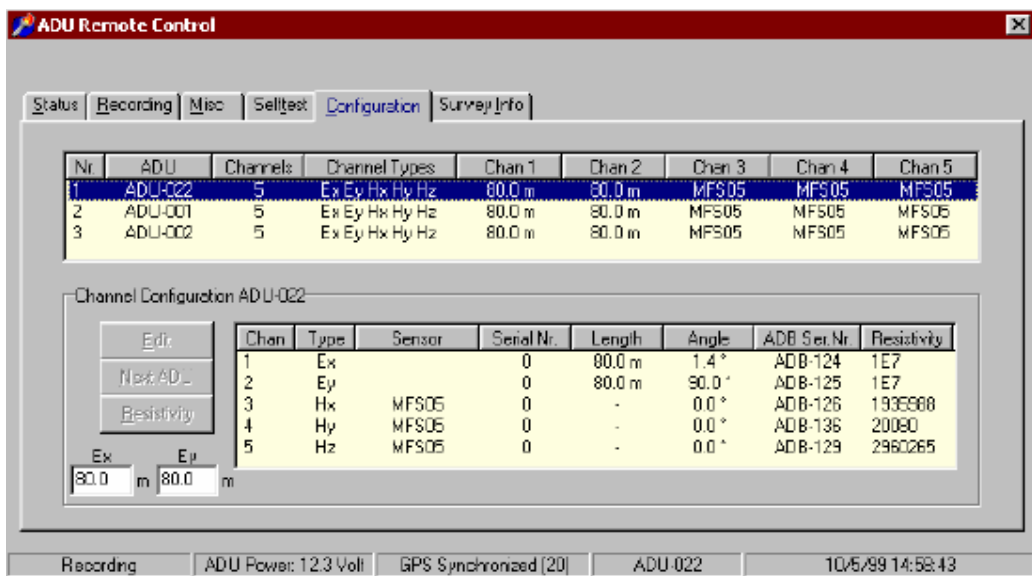


图 65 Gms 的配置“Configuration”窗口

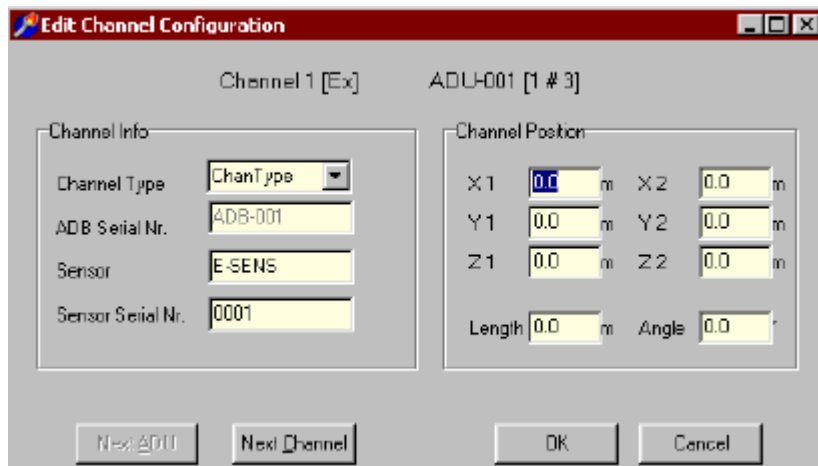


图 66 Gms 配置窗口下的 Edit 选项

“Survey Info” 选项，允许您在 ats 文件头中加入一些标注。如图 67：

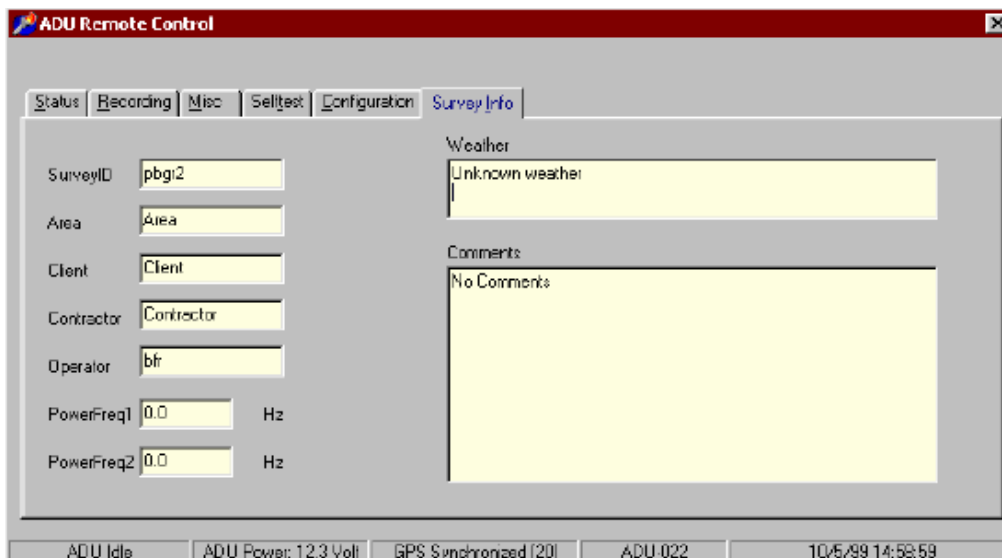


图 67 Gms 的测量信息 (Survey Info)

### 15.3 下载

在图 62 的画面中选择“Get Time Series”钮即可下载时间序列。

例如有一个五分量的 Adu 及两项工作，下载后将得到 11 个文件：10 个数据文件及一个自检文件，如果下载时在 7 号文件处停止，它会在 7 号文件处重新开始，而 1-6 号文件此时就存在于备份文件夹了。在自检文件传输完成之后，下载工作就结束了。

如果您继续测量，Adu 一边的自检文件的头部就会丢失，但如果您再次下载，自检文件会与电脑中的自检文件相连。

### 15.4 电脑、Gps 与 UTC 的日期与时间

电脑显示的是地方时，同时您的工作也是以地方时规划的，Gps 时钟总是获取 GPS 时间，并将其转为 UTC 时间，在启动 GMS 后，电脑将与 GPS 时钟同步，并落后于 UTC 时间 30 分钟，GPS 是一个连续时间记录，而 UTC 显示的是“真实”时间，在 2000 年，它们之间的差别是 13 秒（GPS 快）。

“冷启动”需 13 分钟，因为所谓的“Almanac”每 13 分钟传输一次，“Almanac”包含 13 秒的延迟。当您仪器移到另一个遥远的地方或者对 13 秒存在疑问时，“冷启动”这时是必要的。

例：您的电脑显示 11: 18 时的当地时间，GPS 时钟显示为 5: 21 时 UTC，这时您的电脑时钟应设为 11: 21 时；如果您的电脑显示 11: 05 时的当地时间，则应将其设为 10: 51 时（电脑早于 5: 21 时 16 分钟，而晚于 10: 51 时 14 分钟，时间间隔接近半小时）为避免负面影响，电脑时钟在中途应校准。

当您提交一项计划在 11: 30 时的工作时，该时间在 Adu 上会自动转换成 UTC 时间，并且在 ats 头文件中显示为 5: 30 时。

在您以后下载 ats 文件时，ats 头文件被修改，起止时间显示为地方时，UTC 时间的延迟及从 UTC 到 GPS 的延迟都会被存贮起来。

## 16 问题

### 16.1 斩波放大器被关

在记录时您或许得到如图 68 示的开口曲线：



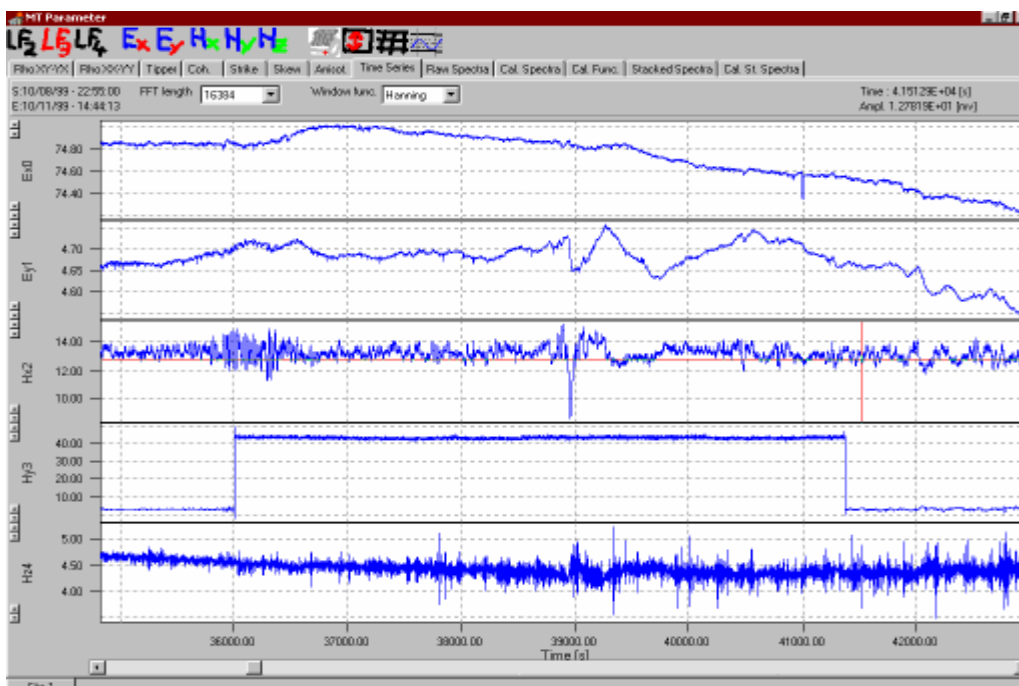


图 68 时序曲线中的开口 (Gaps)

将 FFT 降低，可以进一步观察开口内的时序曲线，如图 69，可以看出，Hy 磁力计的基本水平比 Hx 高许多，而且很明显在低频部分不像 Hx 那样存在信号，仅有噪音。这就可能是斩波放大器没有激活而引起的，没有此放大器，磁力计对低频部分不敏感。

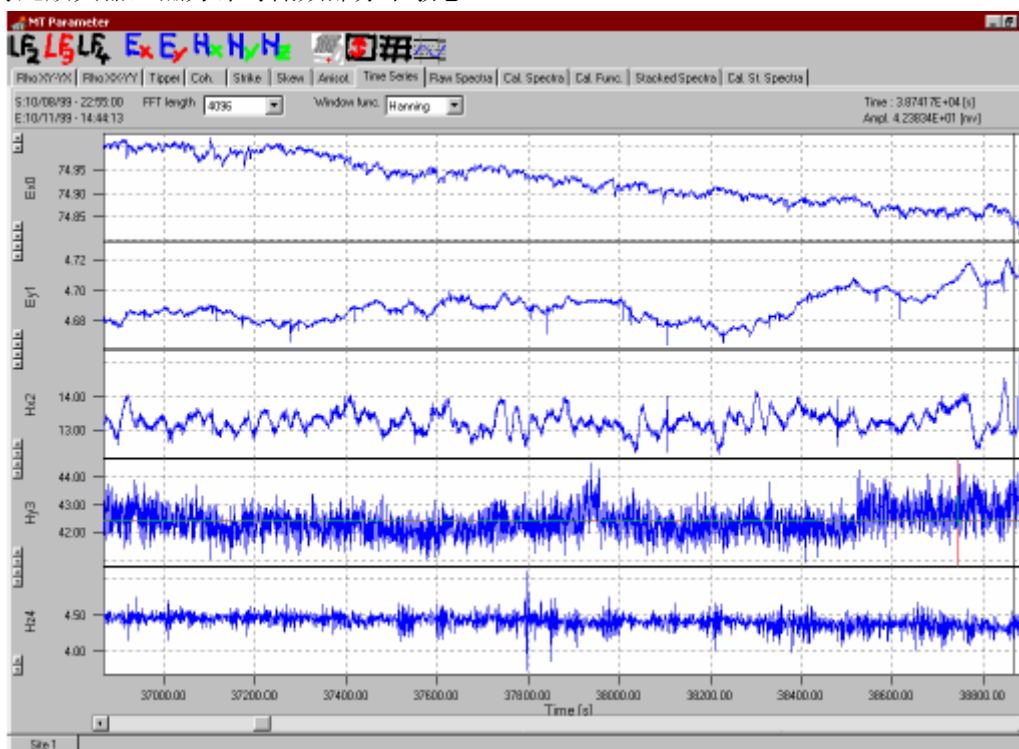


图 69 开口内的时序曲线

在开口外的曲线如图 70，表明线圈是工作正常的。

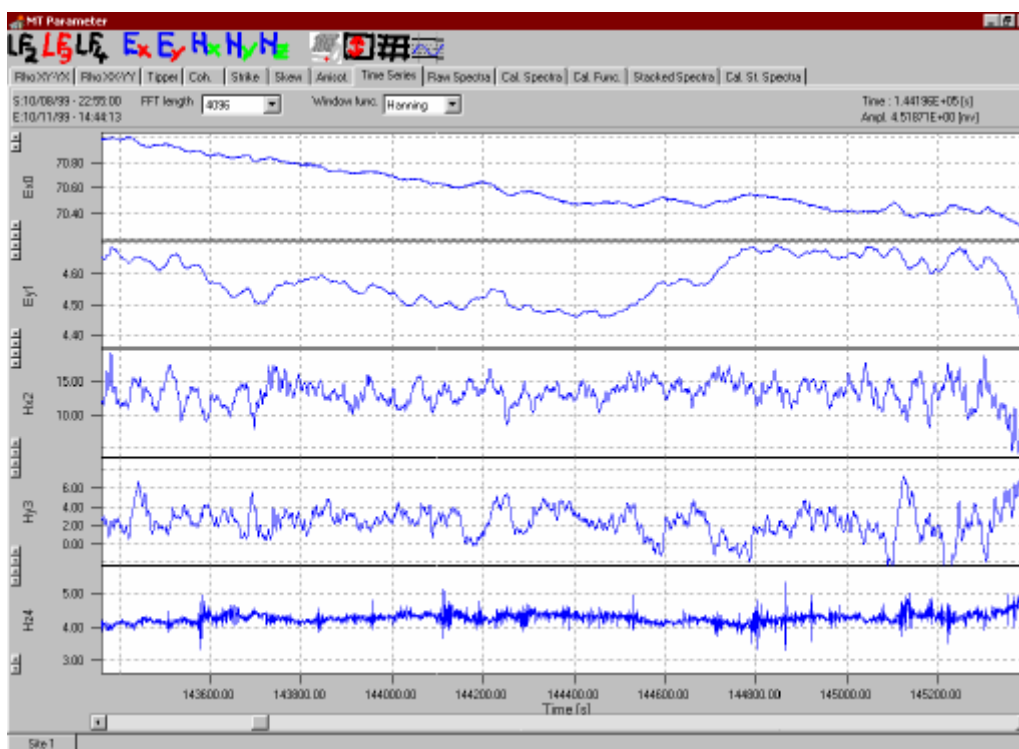


图 70 开口外的时序曲线

如果您的信号总是像开口内的曲线那样，那么斩波放大器没有打开，如果只是临时出现图 69 中的情况，则可能是由于工作电压偏低所致，斩波信号应该是 5V，低于 3V，斩波器变得不稳定，进而关闭。

## 17 附带的 Windows 软件

### 17.1 BDE

Mapros 用的是 Borland 数据库引擎，由于没有兼容版本，在您安装一个新的 BDE 及 Borland C++ 和其它软件后，Mapros 运行就会出问题。

对此没有任何解决办法，只得重装 Mapros，这会给您前在贩 BDE 安装带来负面影响。

### 17.2 IPX/SPX

要与 ADu 相连，您需安装微软的 IPX/SPX 协议，并在其属性中，激活 NETBIOS，同时选择帧类型为 802.2。

## 18 其它

### 18.1 测量所需的闪存空间

闪存空间计算如下：

$4 \text{ 字节} \times \text{采样频率} \times \text{通道数} = \text{字节} / \text{秒}$

假设您的采样频率为 64Hz，一个标准 MT 配置（5 通道），那么您的一个记录长度为  $4 \times 64 \times 5 = 1280$ （字节 / 秒）= 75KB / 分 = 4.4MB / 小时。具体可参见表 6：

表 6 闪存空间计算表

采样频率	记录时间	闪存空间	样品数
2Hz	4 天	13.5MB	675k
64Hz	12 时	54MB	2700k
64Hz	8 时	36MB	1800k
4096Hz	5 分	24MB	1248k
40960Hz	约 7 秒	5MB	256k

## 18.2 Ats 文件中的二进制数据

Ats 头部为 1024 字节，随后的数据部分为 32 位的整数值，在得到十进制值，可按如下步骤：

例当您看到的是 FEAF2EFC，删掉其后两位（FC），得到 FEAF2E 为 24 位，如果首位数为 8...F，则表明是一个负数，这时计算 FEAF2EFFFF1 得到的结果是：-86226，如果首位数为 0...7，则可直接计算出十进制值。

## 18.3 时间的准确性

Adu 是通过 GPS 时钟来进行同步的，准确度在 130ns，如果 Adu 有一小段延迟，则所记录的时间序列相应变化 1 秒。

## 18.4 有效范围

电通道的有效范围是  $\pm 5V$ ，磁通道为  $\pm 10V$ 。

## 18.5 斩波

对于 MMS03e，斩波总是开着。

对于 Adu-06，斩波在采样频率  $\geq 1024Hz$  时关闭，其它时候是打开的 ( $\leq 512Hz$ )，用 512Hz 采样频率的自由频段是斩波打开状态的最高频率。

对于 MFS-05，斩波开关频率为 370Hz；对于 MFS-06 则为 2048Hz。

负反馈频率为 4Hz。

KIM879 没有斩波。

HF 有一高通滤波为 @800Hz；LF 有一低通过滤波为 @800Hz。

## 18.6 停止记录

如果无法停止记录或与 Adu 连接，您可以随时切断电源，这时只有缓冲区的数据丢失。

## 18.7 仪器的自检

在您埋感应线圈前，最好进行一次平行测试，如果您得到三个相等的时序曲线 Hx,Hy,H<sub>z</sub>（如图 71），您可以断定线圈是工作的。确保在线圈附近没有金属（如铁锹），也没有风将线圈吹动。

一次记录测试需持续 1 分钟，如果您在 64Hz 下进行测试，时间应长于 64 秒，最好是 3 分钟。

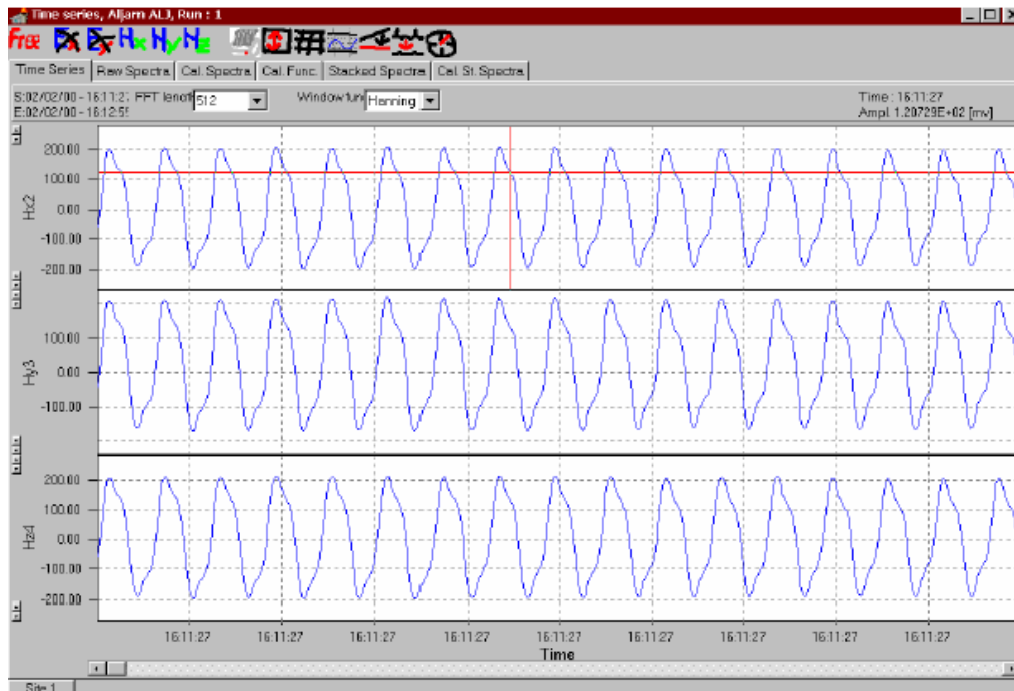


图 71 平行测试

## 18.8 Parzen

Parzen 不用于原始的及标定谱线。

## 18.9 开始时间

第一区块不可用，滤波的 64Hz 区块、235 点产生 3.67s 的延迟。

## 18.10 噪音水平

如果您作 Adu 的内部噪音测量，请参考硬件手册，E 和 H 具不同的噪音水平（30nV 和 60nV），是因为它们具不同的 ADC 范围（±5V 和 ±10V）。

请采用 2048 作为最小分辨率（FFT）。

在 LF1 中高于 630Hz 时振幅显著增加，对于低频谱线振幅的增加，是由于晶体管的  $1/\sqrt{f}$  程式的影响。在您观察时序曲线时，要考虑到振幅的刻度，如果振幅接近于 0 刻度，您会看到开始段有较大的噪音，这对于所有 ADCs 都是正常的。

## 第三部分

# 基本 MT 方程

## 19 简介

本章只列举一些基本的 MT 方程和参数，因为只需少量的 MT 理论即可理解 Mapros 中的参数。

### 19.1 基本方程

大地电磁测深理论的基础是 Maxwell 方程，以下是构成大地电磁测深理论的基础：

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_r \mu_0 \sigma \mathbf{E} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -i\omega \mathbf{B} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \epsilon \epsilon_0 \mathbf{E} = \rho_{el} = 0 \quad (4)$$

再加上  $\mathbf{E}(t) = \mathbf{E}_0 e^{i\omega t}$ （正指数，谐波）。

电场是由电荷及时变磁场产生的；磁场是由电流及时变电场产生的。基本前提是：物质是均质的并可正常极化，同时没有外来电流流过（没未知源），岩石的反应方程不随压力和温度的影响。

这就得到了频率域的 Helmholtz 方程：

$$\Delta \mathbf{F} = i\omega \mu \sigma \mathbf{F} \text{ with } \mathbf{F} = \mathbf{E}, \mathbf{B} \quad (5)$$

于是在波数域内的转换方程为：

$$\mathbf{F}(z, k, \omega) = \int \mathbf{F}(z, \mathbf{R}, \omega) e^{-i\mathbf{k}\mathbf{R}} d\mathbf{R} \quad (6)$$

这里  $d\mathbf{R} = dx dy$ ， $d\mathbf{k} = dk_x dk_y$ ；拉普拉斯算子成了一个系数：

$$\Delta = \frac{d^2}{dz^2} - k^2 \quad (7)$$

$$\Delta \mathbf{F} = (i\omega \mu \sigma + k^2) \mathbf{F} \quad (8)$$

由此得到复合体的垂直波数及复合体的趋肤深度：

$$C^{-1} = K = \sqrt{i\omega \mu \sigma + k^2} \quad (9)$$

在  $k \approx 0$  时的实际趋肤深度：

$$p = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (10)$$

### 19.2 总结

简言之：大地电磁测深场源是磁层和电离层，被不导电的大气层隔开，场的变化是缓慢的，因而“Wave

Terms”可以忽略，扩散方程有效。感应场是平面波，在 500-1000km 范围内不发生变化，转换方程的不同是由于地下的场引起的，而不是上部不同的感应场。岩石的导电性与频率无关，在某一频率导电性的变化是由于不同岩石中各异的导电性引起的。

### 19.3 阻抗张量

阻抗张量反映的是电场和磁场之间的关系：

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \end{pmatrix} \quad (11)$$

在一维情况下（均匀半空间或平面、层状地球）， $Z_{xy} = -Z_{yx}$ 。

视电阻率定义如下：

$$\rho_{axy} = \frac{\mu_0}{\omega} |Z_{xy}|^2 = \frac{\mu_0}{\omega} \left| \frac{E_x}{B_y} \right|^2 = \omega \mu_0 |C_{xy}|^2 \approx \omega \mu_0 \frac{p^2}{2} \quad (12)$$

误差为：

$$\Delta \rho_{axy} = 2 \rho_{axy} \frac{\Delta Z_{xy}}{|Z_{xy}|} = \frac{2 \mu_0}{\omega} |Z_{xy}| \Delta Z_{xy} \quad (13)$$

相位定义：

$$\varphi_{xy} = \arg(Z_{xy}) = \arctan \left( \frac{\text{Im}(Z_{xy})}{\text{Re}(Z_{xy})} \right) \quad (14)$$

误差为：

$$\Delta \varphi_{xy} = \frac{\Delta Z_{xy}}{|Z_{xy}|} \quad (15)$$

这样相位  $\varphi_{xy}$  的范围应为  $0-90^\circ$ ， $\varphi_{yx}$  的范围在  $-90-180^\circ$ ；因为  $Z$  为复数，所以需考虑到复平面内的象限：

$$\varphi = \begin{cases} \arctan \left( \frac{\text{Im}}{\text{Re}} \right) & \text{if } \text{Re} > 0 \text{ and } \text{Im} \geq 0 \\ \arctan \left( \frac{\text{Im}}{\text{Re}} \right) + \pi & \text{if } \text{Re} < 0 \text{ and } \text{Im} \geq 0 \\ \arctan \left( \frac{\text{Im}}{\text{Re}} \right) - \pi & \text{if } \text{Re} < 0 \text{ and } \text{Im} < 0 \end{cases}$$

$C$  的误差为：

$$\Delta C_{xy} = \frac{\Delta Z_{xy}}{\omega}$$

### 19.4 二维或多维

在一维情况下  $Z_{xy} = -Z_{yx}$ ， $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$ 。在二维及多维情况下，阻抗张量的所有元素都有值， $Z_{xy} \neq Z_{yx}$ 。

### 19.5 Swift 角及旋转

张量可以利用下面矩阵进行旋转：

$$D = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

（在 MT 坐标系里， $x$  轴向北， $y$  轴向东， $z$  轴正方向向下。）

利用 Swift 公式使张量发生旋转，并使  $|Z_{xx}|^2$  和  $|Z_{yy}|^2$  最小化：

$$\alpha = \frac{1}{4} \arctan \frac{2 \text{Re}(Z_{xy} + Z_{yx}) \overline{(Z_{xx} - Z_{yy})}}{(|Z_{xx} - Z_{yy}|^2 - |Z_{xy} + Z_{yx}|^2)} \quad (16)$$

误差为：

$$\Delta \alpha = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{|Z_{xx} - Z_{yy}|^2 (\Delta Z_{xy} + \Delta Z_{yx})^2 + |Z_{xy} - Z_{yx}|^2 (\Delta Z_{xx} + \Delta Z_{yy})^2}{(|Z_{xx} - Z_{yy}| - |Z_{xy} - Z_{yx}|)^2 (2 \text{Re}((Z_{xx} - Z_{yy})(Z_{xy} + Z_{yx})))}} \quad (17)$$

因为有“arctan(反正切)”方程，Swift 角具有  $\pi/4$  的周期，如果您测试其二阶导数：

$$2\operatorname{Re}(Z_{xy} + Z_{yx})\overline{(Z_{xx} - Z_{yy})}\sin 4\alpha + (|Z_{xx} - Z_{yy}|^2 - |Z_{xy} + Z_{yx}|^2)\cos 4\alpha > 0$$

您可得到正确的角度，通常  $Z_{xy} \leq Z_{yx}$ 。如果地下没有任何二维构造占主导地位，那么 Swift 角对每个频率段是不同的。如果各向异性程度低，该角度是不确定的。当您在评价一整条 MT 剖面时，最好是设定一下各向异性的限度；如果旋转后的各向异性低于此限度（如 1.2），您可以忽略旋转而将角度定为 0。在交叉图（cross section）中显示的是 Swift 角，您可容易地找到主角。

## 19.6 各向异性及偏离度（Skewness）

各向异性定义如下：

$$A = \frac{|Z_{yx}|}{|Z_{xy}|}$$

误差：

$$\Delta A = A \sqrt{\frac{\Delta Z_{xy}^2}{|Z_{xy}|^2} + \frac{\Delta Z_{yx}^2}{|Z_{yx}|^2}}$$

如前面所提到的，各向异性与阻抗张量的旋转角有关。

偏离度是一个反映阻抗张量维数的参数，定义为：

$$S = \left| \frac{Z_{xx} + Z_{yy}}{Z_{xy} - Z_{yx}} \right|$$

误差：

$$\Delta S = \sqrt{\frac{|Z_{xx} - \Delta Z_{xx}|^2 |Z_{yy} - \Delta Z_{yy}|^2}{|Z_{xx} - Z_{yy}|^4} + \frac{|Z_{xy} - \Delta Z_{xy}|^2 |Z_{yx} - \Delta Z_{yx}|^2}{|Z_{xy} - Z_{yx}|^4}} \quad (21)$$

偏离度应该小于 0.3 才能将构造解释为二维，可是即使在三维构造中，您会发现点位上的偏斜度几乎为 0。

## 19.7 感应方向（Induction arrow），倾子(tipper)

感应方向描述磁场的水平组份与垂直组份间的转换方程：

$$B_z = \begin{pmatrix} z_H & z_D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \end{pmatrix}$$

用下面的长度有助于画出箭头：

$$Z_{real\ length} = |\operatorname{Re}(Z_H)| + |\operatorname{Re}(Z_D)|$$

及方向：

$$Z_{real\ ang} = \arctan \frac{\operatorname{Re}(Z_D)}{\operatorname{Re}(Z_H)}$$

一个真实的感应箭头的头部是背离导体的。

长度及角度的误差如下：

$$\Delta Z_{real\ length} = \sqrt{\left( \frac{2\operatorname{Re}(Z_H) \Delta Z_H}{\sqrt{(\operatorname{Re}(Z_H)^2 + \operatorname{Re}(Z_D)^2)}} \right)^2 + \left( \frac{2\operatorname{Re}(Z_D) \Delta Z_D}{\sqrt{(\operatorname{Re}(Z_H)^2 + \operatorname{Re}(Z_D)^2)}} \right)^2} \quad (25)$$

$$\Delta Z_{real\ ang} = \sqrt{\left( \frac{\operatorname{Re}(Z_H) \Delta Z_H}{(\operatorname{Re}(Z_H)^2 + \operatorname{Re}(Z_D)^2)} \right)^2 + \left( \frac{\operatorname{Re}(Z_D) \Delta Z_D}{(\operatorname{Re}(Z_H)^2 + \operatorname{Re}(Z_D)^2)} \right)^2} \quad (26)$$

## 19.8 $\rho^* - z^*$

Schmucker 和  $\rho^* - z^*$  转换方程是对所得数据的最初解释:

$$\rho_{xy}^* = \begin{cases} \rho_{axy} 2 \cos^2 \varphi \text{ or } 2\omega\mu_0\mu_r \text{Im}(C_{xy}) & \text{if } \varphi_{xy} \geq 45^\circ \\ \rho_{axy} \frac{1}{2 \sin^2 \varphi_{xy}} \text{ or } \frac{\mu_0\mu_r}{2\omega \text{Im}(1/i\omega C_{xy})^2} & \text{if } \varphi_{xy} < 45^\circ \end{cases}$$

$$z_{xy}^* = \text{Re}(Z_{xy})$$

误差:

$$\Delta \rho_{xy}^* = \begin{cases} 2\rho_{xy}^* \frac{\Delta Z_{xy}}{|\text{Re}(Z_{xy})|} & \text{if } \varphi_{xy} \geq 45^\circ \\ 2\rho_{xy}^* \frac{\Delta Z_{xy}}{|\text{Im}(Z_{xy})|} & \text{if } \varphi_{xy} < 45^\circ \end{cases}$$

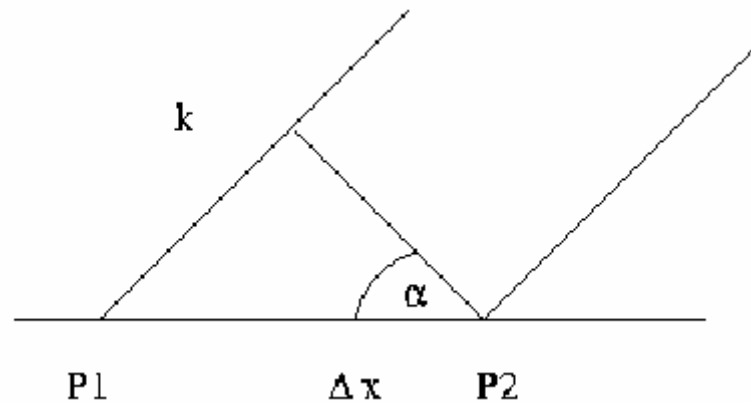
$$\Delta z_{xy}^* = \text{Re} \left( \frac{C \Delta Z_{xy}}{\text{Re}(C_{xy})} \right)$$

## 20 远参考

假定平面波满足下面的方程:

$$\Delta \omega t = \frac{\omega \Delta x}{c} \cos \alpha$$

那么两点间的相位差是可以估计的, 如图示在 1000km 距离内, 误差约 0.02@1Hz.



尤其在高频段, 相位  $i$  变得至关重要。

## 第四部分

# 时序处理中的基本方程

## 21 FFT

在计算机处理中一个时序是一具体的间断 ( $T_0$ ), 它是一特定频率 ( $f_s$ ) 下  $N$  个采样点。

### 21.1 Parzen

目标频率  $f_t$ ;

半径频率 $f_r$ ;

$$u=\pi|f_t-f|/f_r$$

$$parzen(f)=\left\{\begin{array}{ll}1&\\sin(u)/u^4& if\quad 0<\\0& \end{array}\right.\begin{array}{l} |f_t-f|=0\\ |f_t-f|\geq f_r\\ |f_t-f|\geq f_r \end{array}$$

$$f_r=f_zc_r$$

其中 C<sub>r</sub>=0.125, 0.25, 0.50, 0.75。