**天马65米天线标校系统关键设备和软件使用方法V1.0**

[1 设备说明 2](#_Toc479151098)

[2.1 双通道基带转换器 3](#_Toc479151099)

[2.2 宽带功率计 7](#_Toc479151100)

[2.3 实时相关机 9](#_Toc479151101)

[2.4 卫星微波全息测量设备 11](#_Toc479151102)

[2.5 Ku波段LNB 13](#_Toc479151103)

[2.6 参考天线 14](#_Toc479151104)

[2.7 频标缓冲放大器 15](#_Toc479151105)

[2 模型选择与使用（软件使用方面） 16](#_Toc479151106)

[2.1 指向模拟选择 16](#_Toc479151107)

[2.2 指向快视 17](#_Toc479151108)

[2.3 副面模型选择 19](#_Toc479151109)

[2.4 SEFD快视测量 20](#_Toc479151110)

[2.5 卫星全息法测量 23](#_Toc479151111)

[3 后处理 24](#_Toc479151112)

[3.1 指向数据处理 24](#_Toc479151113)

[3.2 副面位置解算 28](#_Toc479151114)

# 设备说明

天线标校系统主要有如下设备组成，各设备连接见。

天线标校计算机1台（包括主机、显示器、键盘等）；

双通实时相关机1套（插于标校计算机PCI插槽上）；

宽带模拟功率计1个；

双通道基带转换器1台；

1.8 米参考天线1台；

Ku波段低噪声放大变频模块(LNB)2个；

100MHz频率分配器1台。



图1天线指向测量设备组成图

## 双通道基带转换器

设备用于实现中频信号800MHz～1700MHz到0～20MHz的频段选取和搬移，然后把0～20MHz信号输出给数字功率计采集（插于标校计算机的DSP板卡），连接线缆为两根MCX-BNC信号电缆，见下。基带转换器的前后面板，见。在前面板上有电源开关，液晶显示屏，本振频率和衰减设置按钮，通过方向箭头很方便实现本地控制；设置还可以通过天线控制软件的“基带”页实现软件设置，但必须先用串口电缆把基带转换器与计算机连接（见图4中红色圈），并点击串口1设置中的“打开”（连通后，频率控制和衰减控制框内会有数字显示），然后可以设置接收频率或本振，衰减等信息，见下。

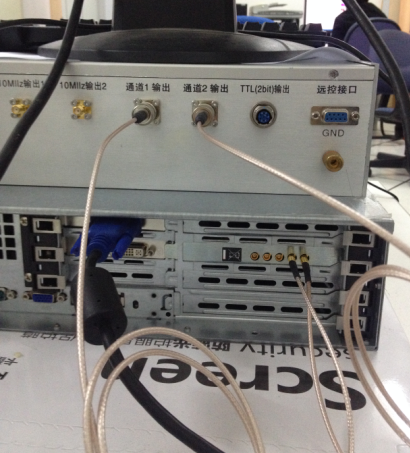


图2 基带转换器与相关机的信号连接





图3 基带转换器前后面板



图4 串口连接

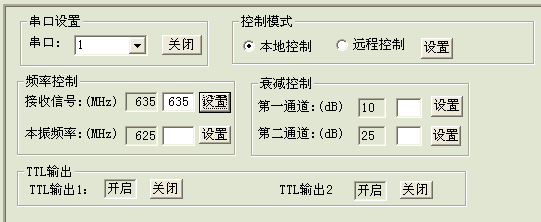


图5 基带转换器软件控制

双通道基带转化器的关键指标如下：

1. RF输入频率：800MHz— 1700MHz，双通道，功率大于-40dBm
2. 输入阻抗：50欧姆
3. 输出频率：100KHz～20MHz
4. 中频输出平坦度：≤1dB
5. 通道间隔离度：≥30dB
6. 单通道变频增益：30dB
7. 单通道衰减控制范围：0--30dB
8. 衰减步进：1dB
9. 后面板TTL编码输出控制（2bit），用于选择射频本振，建议采用四芯航插，具体线序和编码后面协商,航插具有一路输出+12V/0.5A
10. 参考频率输入：10MHz，0dBm+/-3dBm,SMA（K）接头，设备内部具有10MHz晶振，在外部输入10MHz时采用外部10MHz同步工作
11. 设备RF输入接口：N（K）型
12. 设备输出接口：上边带BNC（K）输出，双通道共计2路输出，
13. RF和本振监视接口：SMA-F
14. 双路10MHz输出：13dBm，SMA（K）接头
15. 远程控制接口：DB9(孔)

设备前面板：具有液晶显示屏、键盘操作，可本控接收频率、衰减器的幅值。

## 宽带功率计

功率计是用于测量功率的设备，主要用于天线指向的标校。由于功率计属于市场成熟产品，建议采购德国施瓦茨公司生产的相应产品，其产品信息如表6-1所示。

表6-1功率计选型参考

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Name | NRP-Z21 | NRP-Z51 |
| Type | Universal power sensor | Thermal power sensors |
| Frequency range | 10 MHz to 8 GHz | DC to 18 GHz |
| Power range,  max. average power  peak envelope power | 200 pW to 200 mW (–67 dBm to +23 dBm)  max. 400 mW (AVG) / 1 W (PK, 10 μs) | 1 μW to 100 mW (–30 dBm to +20 dBm)  max. 300 mW (AVG) / 10 W (PK, 1 μs) |
| Connector type | N | N |
| Impedance matching (SWR) | 10 MHz to 2.4 GHz: < 1.13  > 2.4 GHz to 8.0 GHz: < 1.20  > 8.0 GHz to 18.0 GHz: < 1.25 | DC to 2.4 GHz: < 1.10  > 2.4 GHz to 12.4 GHz: < 1.15  > 12.4 GHz to 18.0 GHz: < 1.20 |
| Rise time  Video BW | < 8 μs  > 50 kHz | – |
| Zero offset(typical) | 64 pW | 33 nW |
| Noise(typical) | 40 pW | 20 nW |
| Uncertainty for power measurements  at +20 °C to +25 °C | Absolute0.047 dB to 0.128 dB  Relative0.022 dB to 0.110 dB | Absolute0.052 dB to 0.100 dB  Relative0.032 dB |
| Power measurement range | Continuous Average200 pW to 200 mW (–67 dBm to +23 dBm)  Burst Average200 nW to 200 mW (–37 dBm to +23 dBm)  Timeslot/Gate Average600 pW to 200 mW (–62 dBm to +23 dBm)  Trace10 nW to 200 mW (–50 dBm to +23 dBm) | Continuous Average  1 μW to 100 mW (–30 dBm to +20 dBm),  continuous, in a single range |
| Measurement subranges | path 1 –67 dBm to –14 dBm  path 2 –47 dBm to +6 dBm  path 3 –27 dBm to +23 dBm | – |
| Transition regions | with automatic path selection  (–19 ± 1) dBm to (–13 ± 1) dBm  (+1 ± 1) dBm to (+7 ± 1) dBm | – |
| Acquisition | sample rate (continuous)  133.358 kHz (default) or 119.467 kHz | sample rate  20.833 kHz (sigma-delta) |
| Zero offset | initial, without zeroing  path 1 < 470 [500] (100) pW  path 2 < 47 [50] (10) nW  path 3 < 4.7 [5] (1) μW  after external zeroing  path 1 < 104 [110] (64) pW  path 2 < 10 [11] (6) nW  path 3 < 1.0 [1.1] (0.6) μW | after external zeroing  < 50 nW (33 nW, typical) |
| Zero drift | path 1 < 35 [37] (0) pW  path 2 < 3.0 [3.2] (0) nW  path 3 < 0.30 [0.32] (0) μW | < 20 nW |
| Measurement noise | path 1 < 65 [69] (40) pW  path 2 < 6.3 [6.6] (4.0) nW  path 3 < 0.63 [0.66] (0.4) μW | < 30 nW (20 nW, typical) |



图6宽带功率计

## 实时相关机

实时相关机由一块插于PCI总线上的板卡实现，对基带转换器输出的20MHz两个基带信号进行实时自相关和互相关处理，输出频谱和功率数据。点击“显示频谱”按钮可以打开两个通道的自相关、互相关频谱，可以通过鼠标拖拉来实现放大，双击后恢复，见图9，工作中确认带内没有无线电干扰，这可以通过选择频率通道来实现,见图8中“频率抽取”，设置起始和结束频率通道，以避开干扰频带，默认为10和2000。相关机的关键工作指标如下：

1. 输入功率范围：-30dBm~5dBm
2. 输入频率范围：0~20MHz
3. 采样速率：40MHz
4. 采样位数：14bit
5. 积分时间：1 second
6. FFT点数：4096
7. 频率分辨率：0.6KHz~10KHz



图7实时相关机板卡

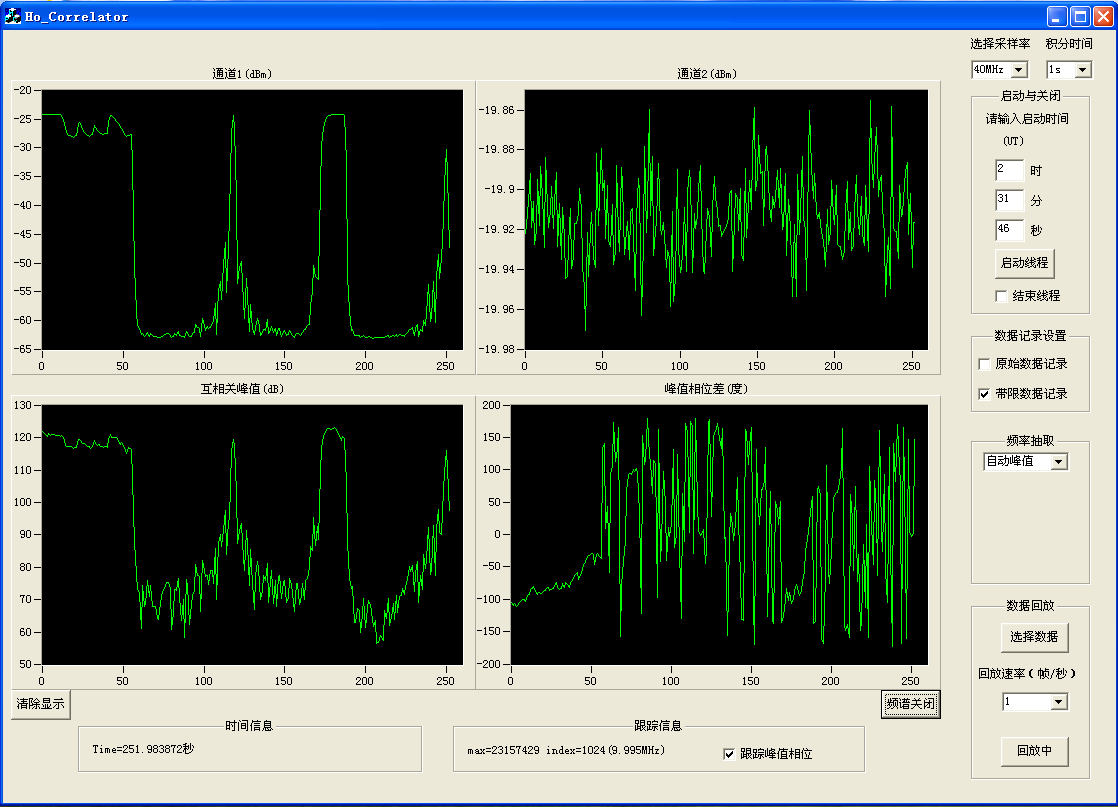


图8实时相关机软件界面

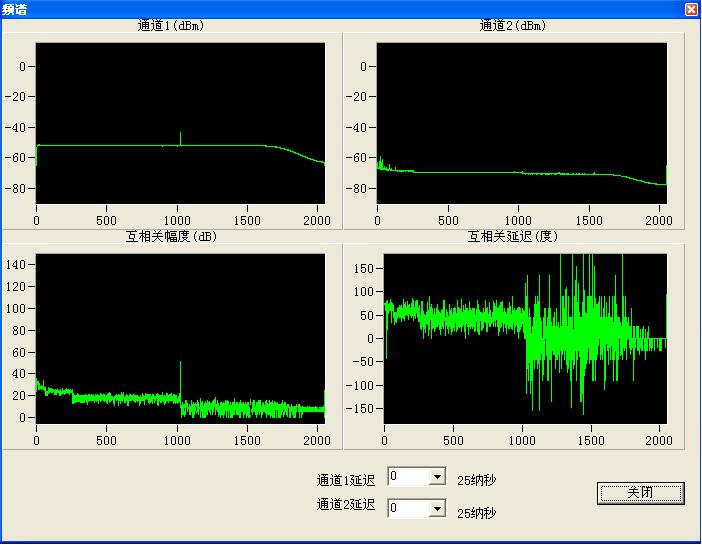


图9实时相关机频谱

## 卫星微波全息测量设备

全息测量用到的硬件系统，这包括被测量的天马65米天线（Test Antenna），Ku频段接收机，氢原子钟，基带转换器，频率分配器，用于天线控制和数据记录的通用计算机，此外配置的设备有口径1.8米参考天线以及硬件实时相关机，关键设备照片见采用同步卫星亚洲四号的12.26GHz的信标信号，作为测量用的信号.

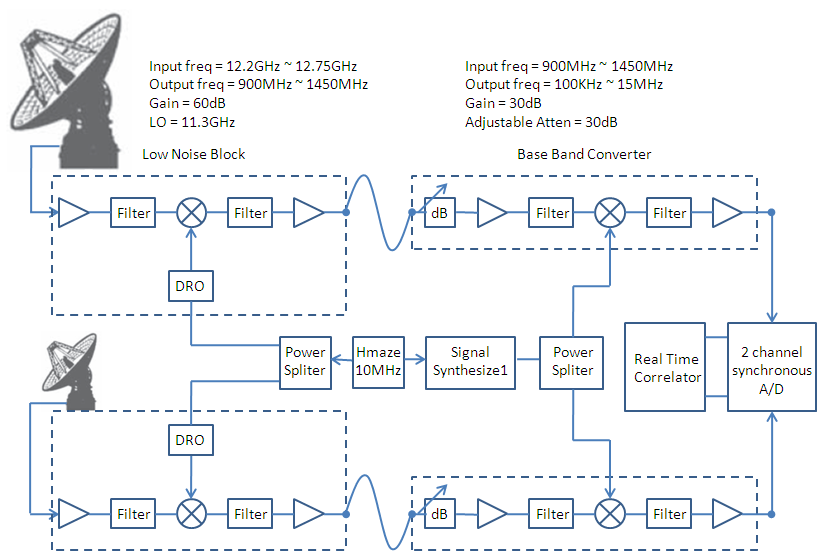
****

图10全息测量设备连接框图



图11全息测量设备

## Ku波段LNB

Ku波段LNB 主要实现Ku波段信号的低噪声放大，以及到L波段信号的频率变换，其主要指标如下表。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 品名及型号规格 | 标准或技术要求 | 备注 |
| 1 | JW-KU-LNB-107128  KU波段低噪声放大变频器，  输入频率：  RF: 12.10～12.90GHz；  输出频率:  IF:800MHz～1600MHz | 射频输入：波导口BJ120 | 4孔安装定位 |
| 2 | 射频输出：同轴N-K |  |
| 3 | 增益：60～65dB |  |
| 4 | 频率稳定度：≤10-11 | 与外部参考源相同 |
| 5 | 噪声温度：≤ 75K | 环境温度25°测试 |
| 6 | 带内增益平坦度：±1dB |  |
| 7 | 输出1dB压缩点：≥10dBm |  |
| 8 | 端口驻波系数：≤1.35 |  |
| 9 | 外部参考 | 100MHz | N型-K接口 |
| 10 | DRO的输出幅度 | 10±2dBm | 两个本振的输出幅度相同 |
| 11 | DRO本振输出频率 | 11.30GHz |  |
| 12 | 杂散抑制 | ≤-45dBc（带内），带外≤-60dBc |  |
| 13 | 环境温度 | 工作温度：-40℃～+55℃  储存温度：-50℃～+70℃  储存温度：-50℃～+60℃ |  |
| 14 | 供电 | （+12V）航空接头 |  |
| 15 | 尺寸 | 160X115X55（mm） | 参考尺寸 |



图12Ku波段LNB

## 参考天线

Ku频段参考天线用于微波全息测量时，接收卫星信号。

参考天线指标如下

1. 工作频率： 10.95~12.75GHz
2. 天线增益 (dBi)： 45.3 + 20Log(F/12.5)
3. 3dB波束宽度（半功率波束角）：0.95°
4. 驻波比：1.30:1
5. 天线G/T值：>22.8+20lg(f/12.5) dB/K（仰角>10°, LNA噪声温度70K）
6. 噪声温度（温度@俯仰）：59K@10°；48K@20°；42K@40°；
7. 馈源插入损耗：0.25dB
8. 交叉极化隔离度>30 dB（偏离轴向1dB范围内）
9. 旁瓣特性：

第一旁瓣：≤-14dB

副瓣电平：地球站旁瓣峰的总数的90%不超过如下公式表示的包络值，同时超过包络线的旁瓣峰值不超出包络线3dB。

G=29-25logφ dBi (100λ/D≤φ≤20°)

G为在静止卫星轨道南北3°以内的任何偏轴方向上，相对于全向辐射天线的旁瓣包络增益，φ为远离主瓣的角度。

1. 极化形式：两端口线极化
2. 接口形式：接收WR75F
3. 天线口径：1.8米
4. 方位转动范围：±180°连续
5. 俯仰转动范围：0°~ 90°连续
6. 驱动方式：手动
7. 极化驱动：手动
8. 面板精度：<0.5 mm (R.M.S)
9. 天线重量：85Kg（毛重170Kg）

## 频标缓冲放大器

频标缓冲放大器主要用于对站内频率标准提供的频标进行缓冲放大，供标校系统中其他设备使用。频标缓冲放大器主要技术指标如下：

1. 频率：100MHz
2. 输入: 1路
3. 输出: 5路
4. 增益:0±1dB；
5. 输入/输出阻抗：50欧
6. 输出之间的隔离度：好于80dB
7. 反向隔离度：好于80dB
8. 谐波失真：-40dBc

# 模型选择与使用（软件使用方面）

天线模型包括指向模型、副面模型和主面模型，指向和副面模型必须根据观测波段对应选择；主面模型根据观测波段是否高于K波段决定是否开启主动面随动模型。

## 指向模拟选择

指向模型跟需要根据观测波段切换：

1）选择波段

2）勾选SetEnable，确认后点击Set

3）dX实时显示倾斜仪与晚上的差异，Enable用于实时补偿

4）dAZ&dEL实时补偿量显示



图13天线指向模型选择面板

## 指向快视

指向快视前，需要把信号正确连接如下图，在AIOS下启动pointing.py脚本，按F5启动，并开启快视程序QuickLook，切换到pointing 页，程序位于路径/home/shao65m/QuickLook，同时请确认/home/shao65m/pointinglog/目录下PointingSweepLogPnt.py已启动，扫描结束时，自动解算指向偏差。如果是建模观测，需要长时间观测指向，则可以无需实时进行快视，后台需要开启/home/shao65m/pointinglog/目录下PointingSweepOneFile.py,存盘后再进行后处理解算，数据存储路径为：/home/shao65m/pointinglog/。

图14天线指向测量流程

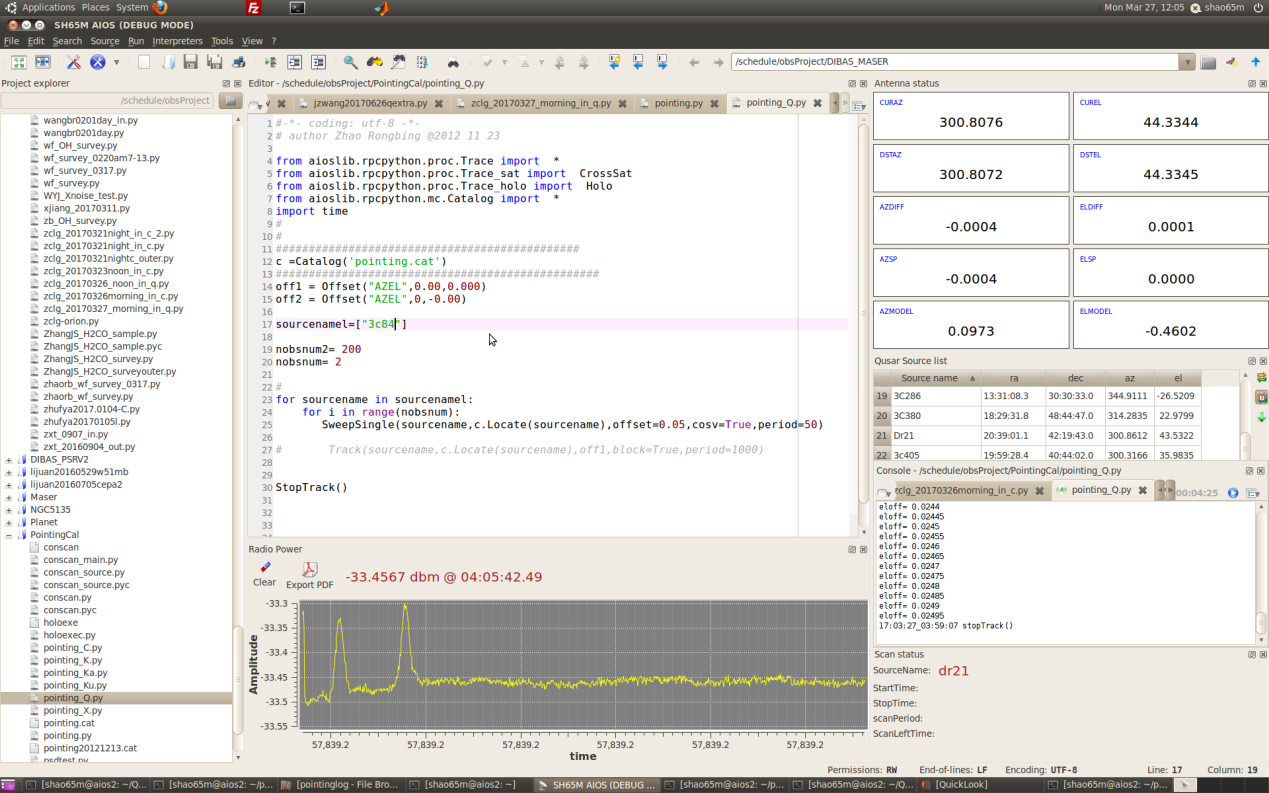
****

图15天线指向测量脚本

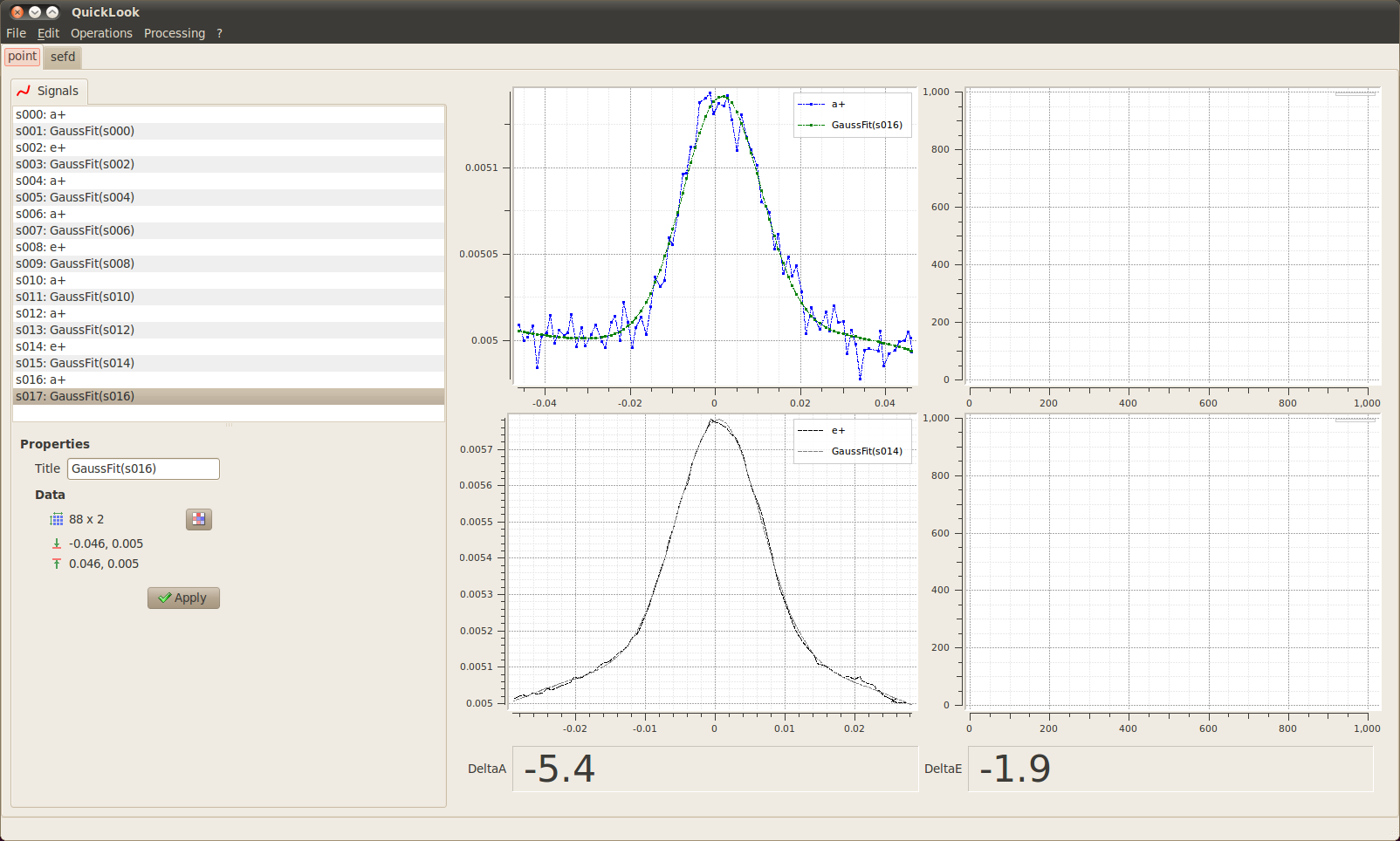
****

图16天线指向快视解算

## 副面模型选择

**副面模型跟需要根据观测波段切换：**

1）选择波段

2）设置主动面是否开启

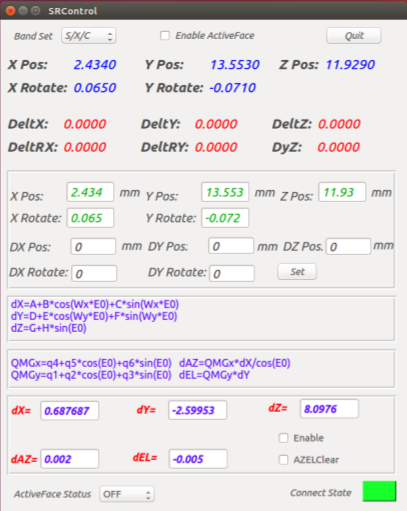
****

图17副面模型选择界面

## SEFD快视测量

连接信号，如下图，SEFD， AIOS下启动SEFD.py测量用脚本，并且启动快视解算解算程序QuickLook，切换到SEFD页。天线扫描结束后，会自动解算结果输出系统噪声温度，效率，SEFD和DPFU等参数。如果是长时间全俯仰角SEFD观测，则可以不进行快视，而只需要把相关机和天线日志文件存盘，以便于后处理解算，相关机数据文件路径为：E:/Ho\_Correlator\_synth/Critical/bandata.dat；天线日志数据路径为：/fitslog/antenna/Antennalog/。

图18SEFD快视测量流程

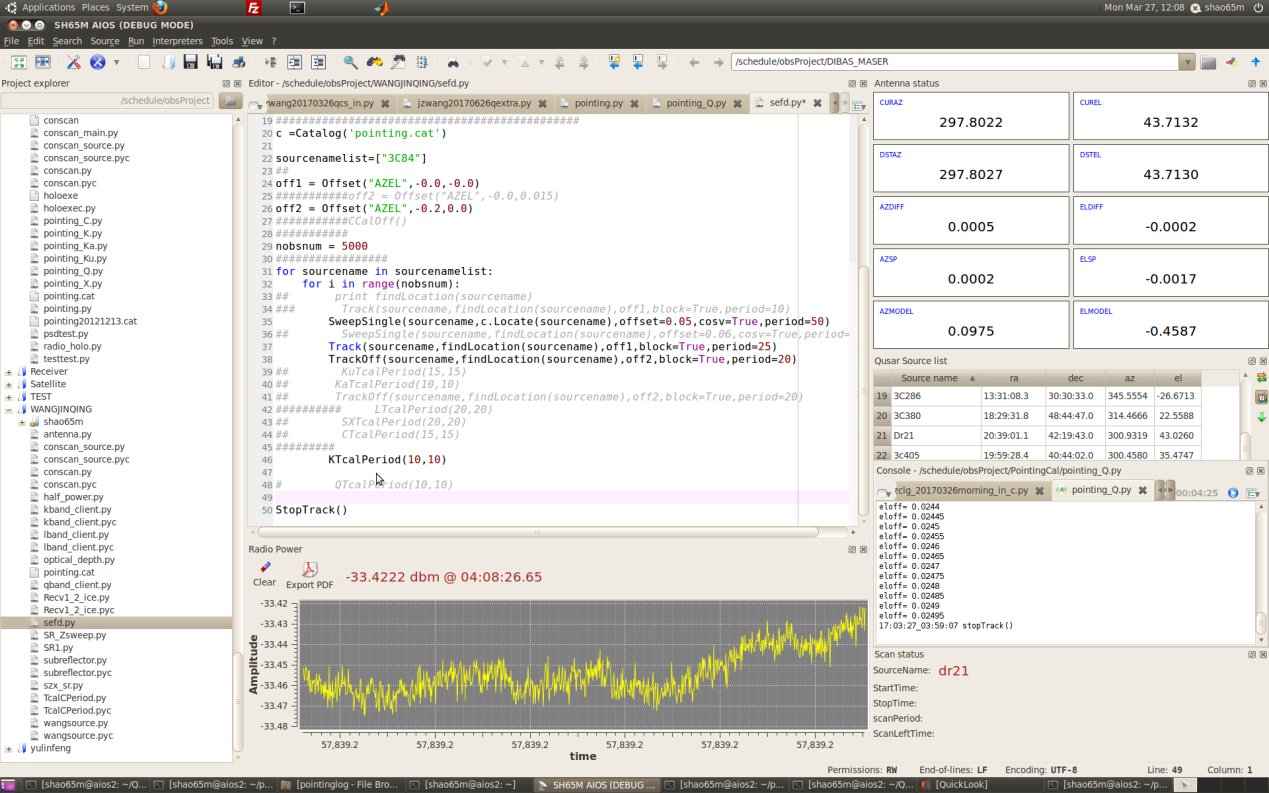
****

图19SEFD测量脚本

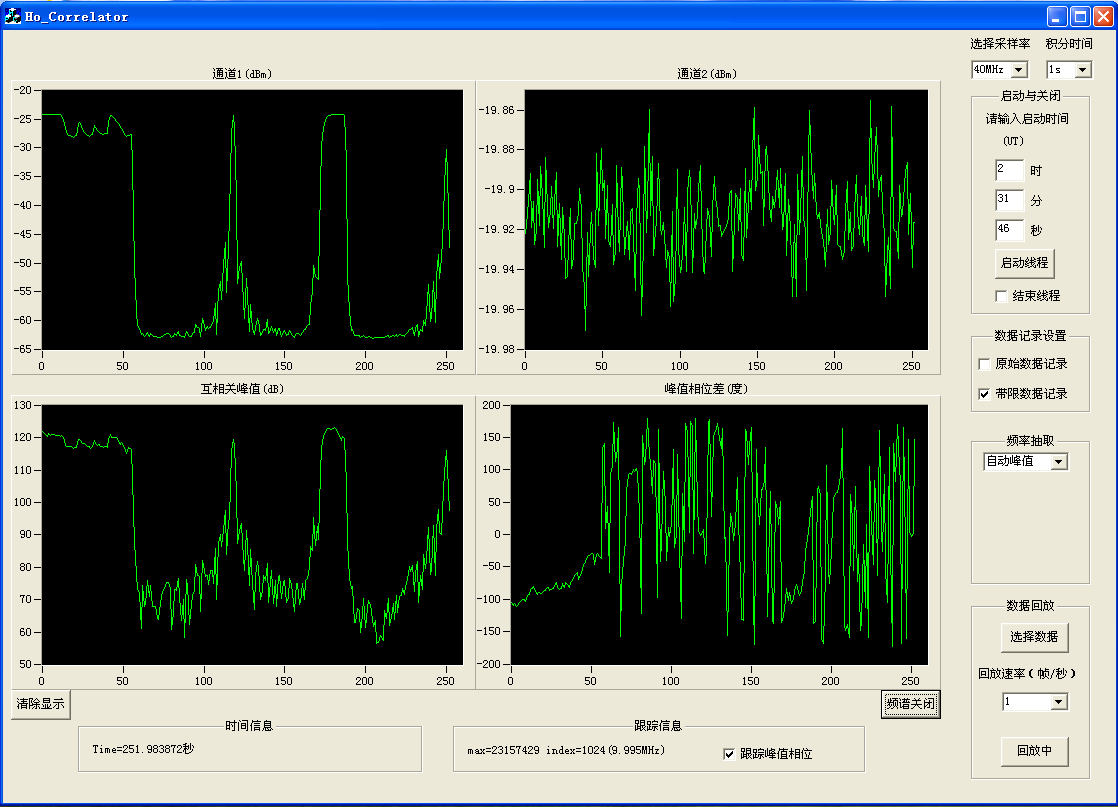
****

图20实时相关机功率输出图

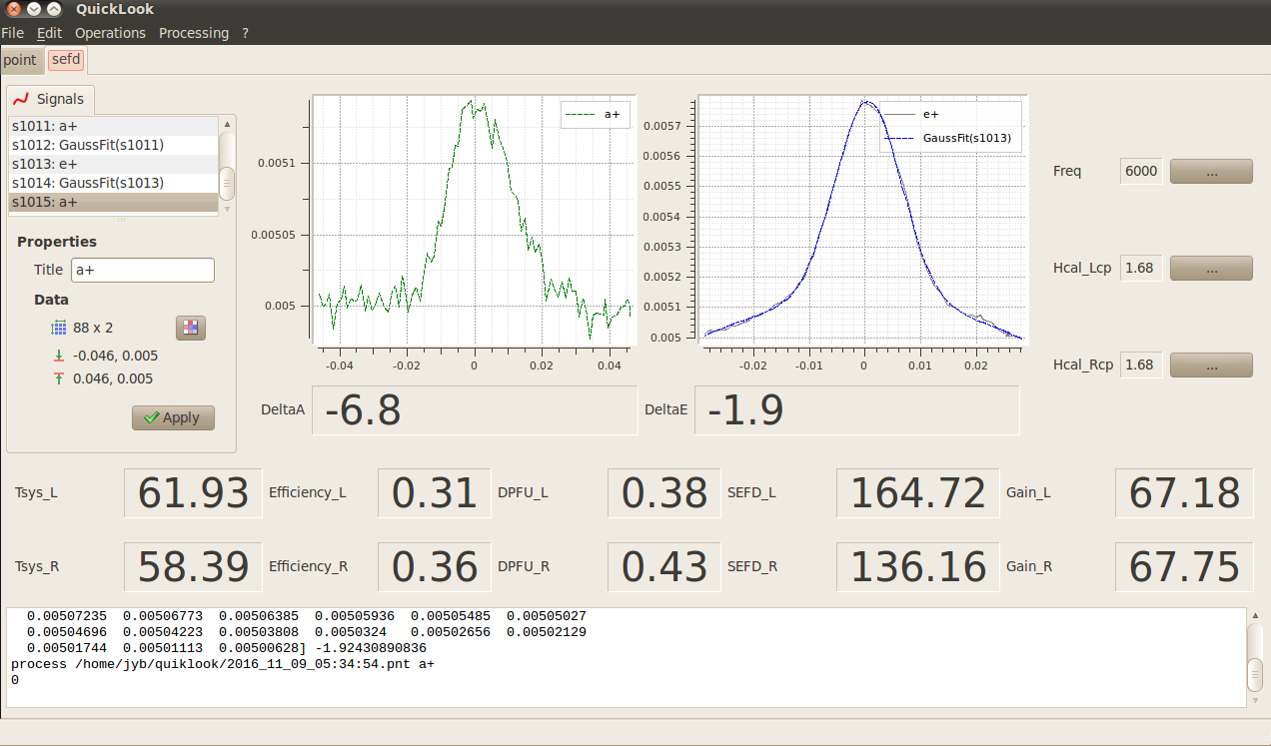


图21SEFD快视测量

## 卫星全息法测量

全息测量用到的硬件系统见前面图.启动天线扫描程序，位于CLEO机器的HoloMesure程序，路径/home/quanxi/ HoloMeasure/HoloMea

1）程序起来默认参数

2）Cross和FivePoint用于指向检验，Butterfly用于面形测量扫描

3）可以修改EL\_Space，scan\_Number，其余参数默认即可

4）程序支持轨道文件，也可以采用某个点位

5）天线日志数据位于/home/quanxi/HoloMeasure/HoloMea路径下，互相关数据位于相关机计算机Holo\_correlator/holodata下。

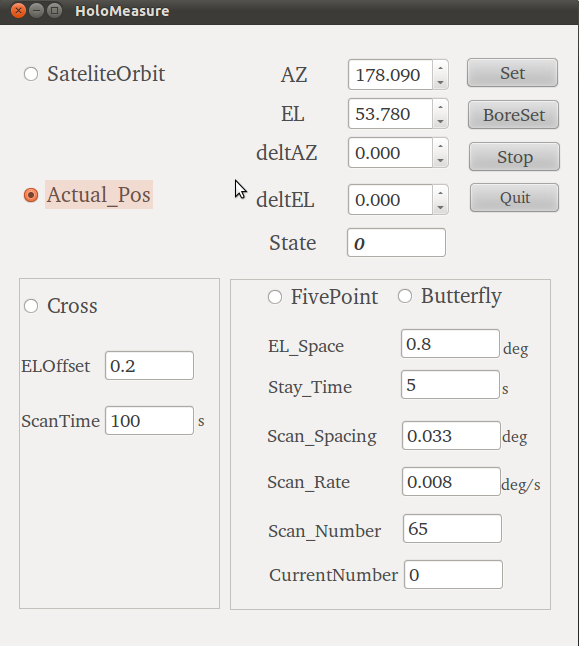
****

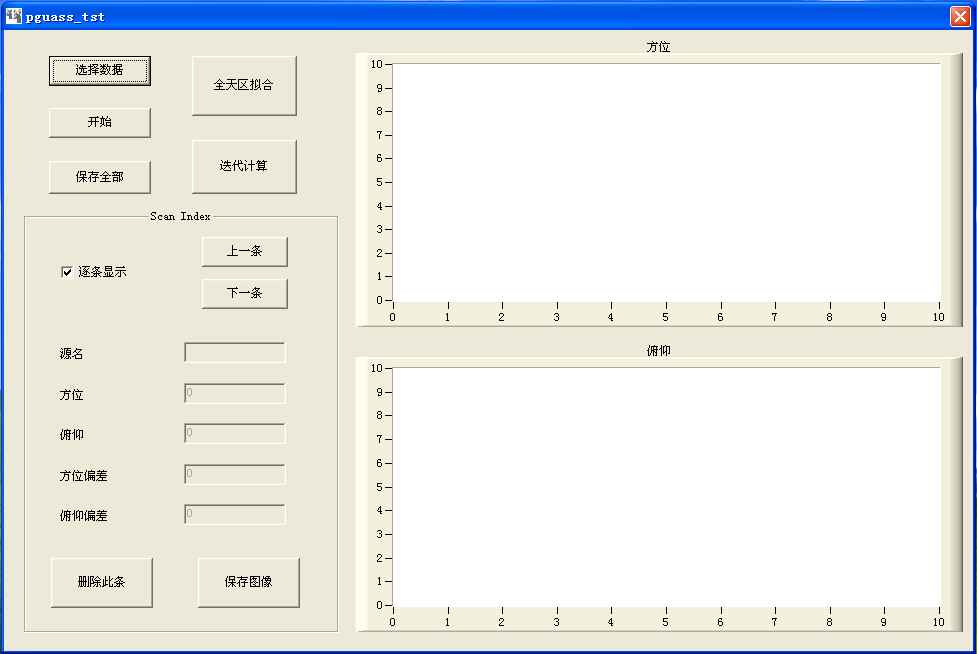
图22全息法测量面形扫描控制界面

# 后处理

### 指向数据处理

这节主要介绍如何使用数据处理程序处理上述扫描数据，然后得到单点扫描偏差和天线指向拟合模型。

1. 在图23中，点击“数据处理”按钮，启动界面如下。

图23 指向数据处理界面

1. 点击“选择数据”，在弹出的对话框中选择需要处理的数据文件，通常为后缀为pnt的文件。如：

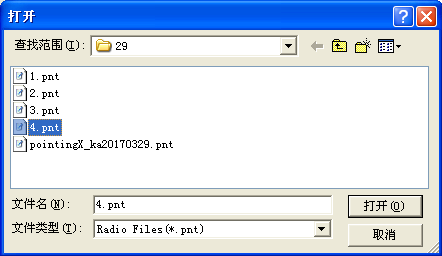


图24 数据选择

1. 然后点击“开始”。在“Scan Index”的位置会出现N/M，其中N表示当前的Scan序号，M表示总的Scan数。如显示，图中红点为实测数据，蓝色线为拟合曲线，横坐标为天线扫描时偏开角度，纵坐标为功率幅度值。上方的图为方位扫描，下方的图为俯仰扫描。在“逐条显示”选中状态下，可以人为点击“下一条”或者“上一条”来进行数据筛选，如遇到数据质量不好，方位俯仰不成对出现，拟合结果不好的Scan。可以点击“删除此条”按钮将本条Scan删除。删除成功后将弹出如下窗口，见，并且除最后一条Scan被删除后将显示前一条Scan外，其余情况下删除动作后，均会显示下一条Scan的信息。如果“逐条显示”未被选中，程序将一次将文件中所有数据进行处理，此时不能保证最后记录的每个Scan的数据质量。

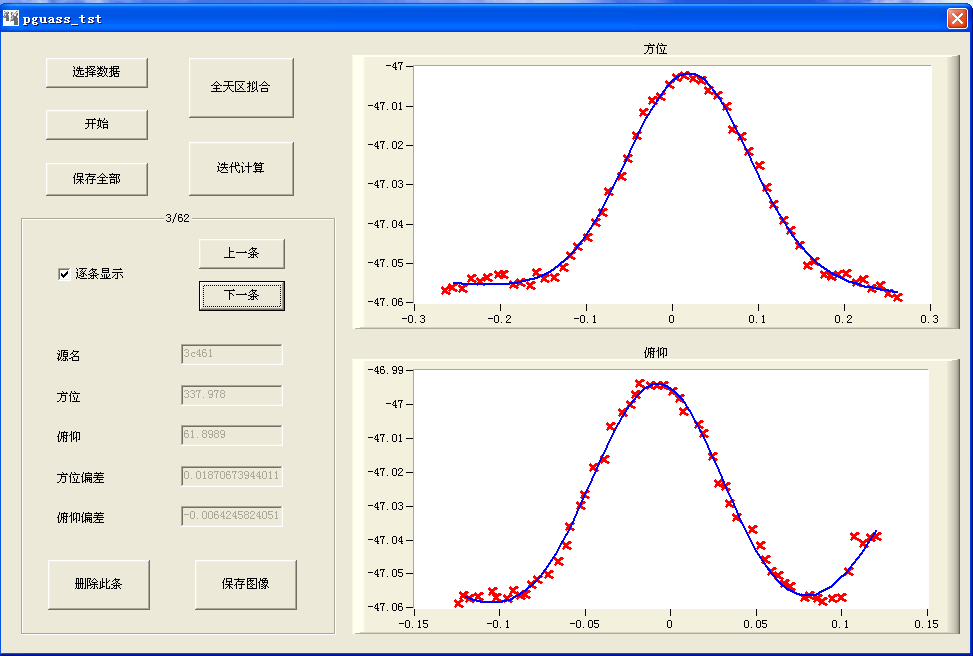
图25 单点拟合显示



图26 删除提示框

所有Scan筛选完后，可以点击“保存全部”按钮，程序将把界面所显示的解算结果信息逐条保存到目录“E://antenna\_cal/Point/”文件名为point.dat的文件中去。保存完后弹出如下窗口，见：



图27 保存提示框

**注意**：保存将从第一个Scan开始到当前Scan结束，所以点击“保存全部”按钮时请务必将程序走到最后一条Scan。

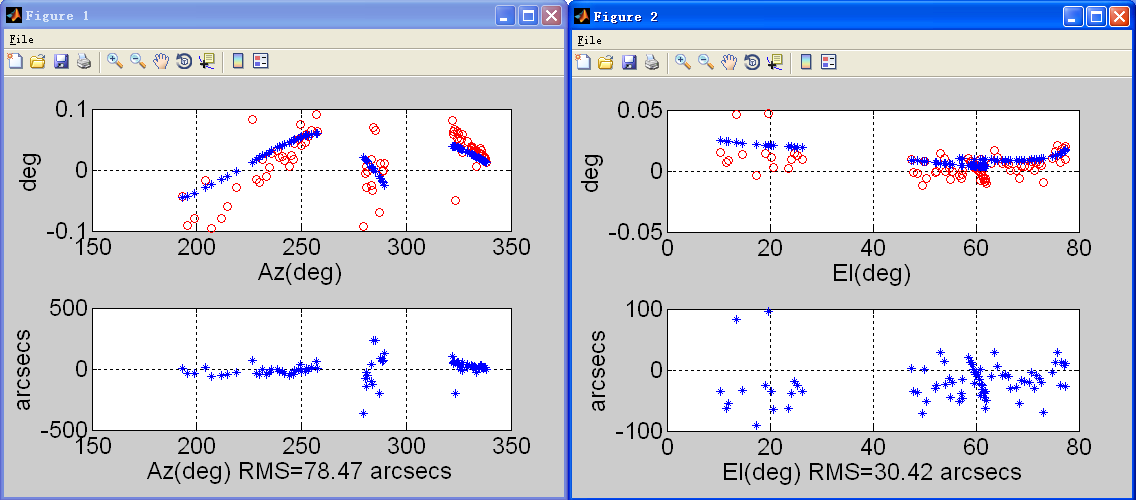
1. “保存图像”按钮将对程序当前界面进行截屏，并将其保存为以当前时间命名的bmp文件，在目录“E://antenna\_cal/point/”下，完成后弹出如下窗口，见：

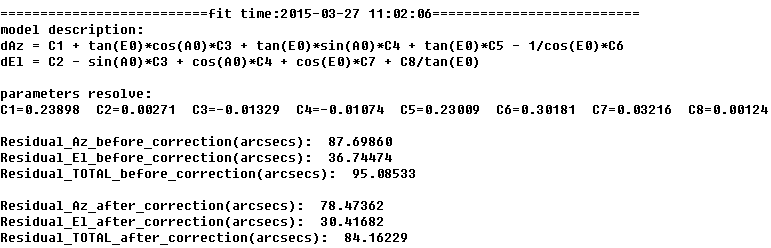


图28 图像保存提示框

1. 点击“全天区拟合”按钮，将提示加载数据文件，选择前面生成的数据文件point.dat，拟合程序会把方位、俯仰的拟合结果弹出，显示如下，拟合后的参数文件保存到如下目录：

E://antenna\_cal/point/fit/model\_fit.mod，打开后可以看到类似的文件内容，如图30。

图29 全天区方位、俯仰拟合结果

图30 全天区模型拟合结果

### 副面位置解算

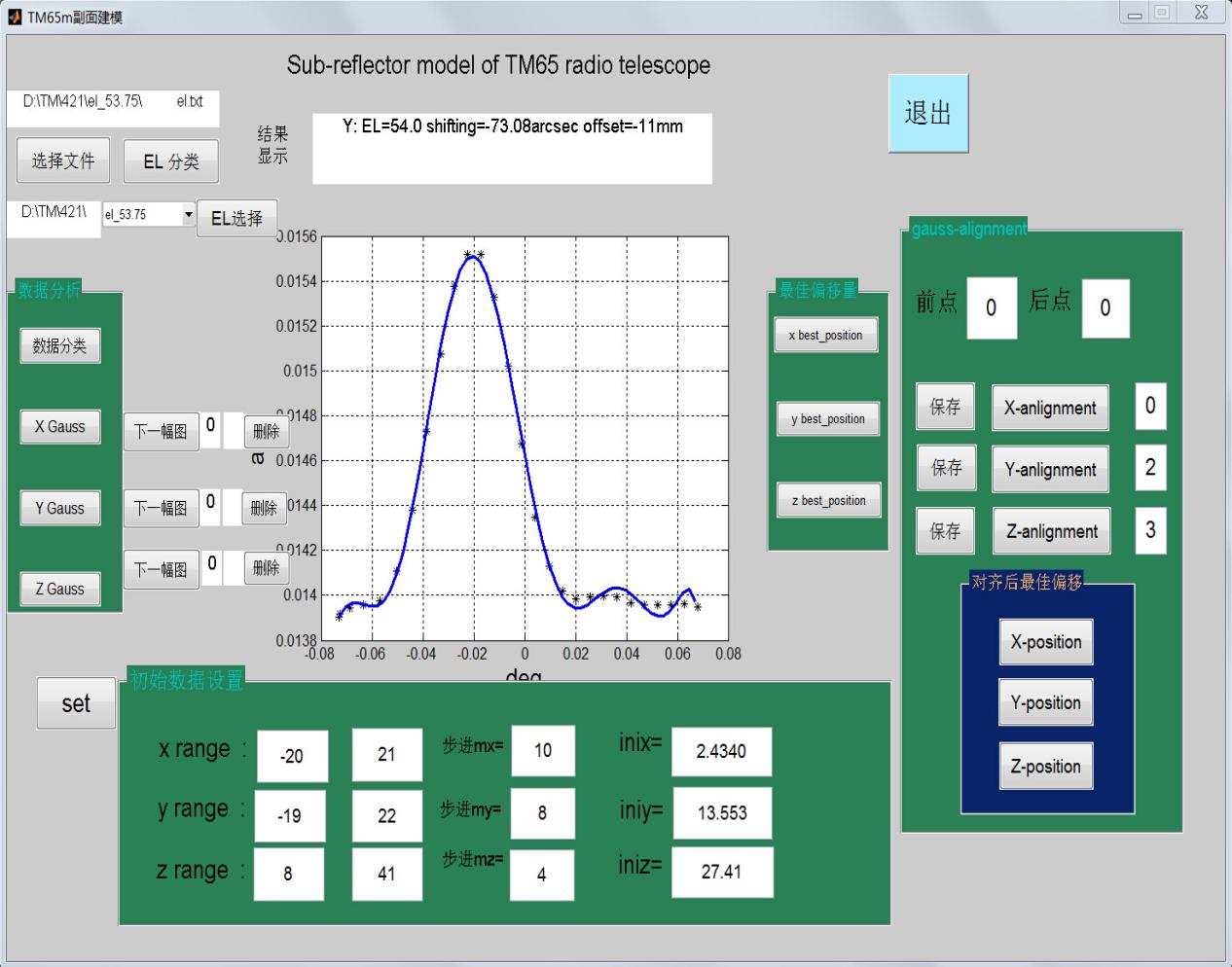


图31副面位置解算程序界面

首先把log文件后缀名改为.txt。例如2015-09-07Antenna\_sr.log --->150907.txt。建立一个新文件夹（例如名字为TM97），把150907.txt 放入新文件夹。

1. 点击“选择文件”，选中TM0907文件夹下的150907.txt。
2. 点击“EL分类”，结果在TM0907文件夹下生成很多新的文件夹，名字分别为各个俯仰角的度数（el\_38.9,el\_41.9……）。每个文件夹下有一个el.txt的文档。文档中的数据为各个俯仰角下X、Y、Z三个方向多个位移扫描的俯仰数据。
3. 点击“EL选择”，选择现在要处理那个俯仰角的数据。例如el\_38.9。
4. 点击“set”，此时读取该俯仰角时副面的初始数据，为下面的操作做准备。
5. 点击“数据分类”，此时在el\_38.9文件夹下得到x.txt y.txt z.txt 分别为副面在三个方向移动扫面的数据。x-6.txt x-3.txt x0.txt x3.txt x6.txt 等等。这些文档分别为副面偏移-6mm,-3mm,0mm,3mm,6mm时俯仰扫面的数据。y向和z向的文档和x向的命名方式一样。
6. 点击“X Gauss”,此时分别高斯拟合X方向的各个偏移俯仰扫面得到的数据，得到每个偏移量的高斯拟合，高斯波的最大值等一些数据存储在data\_x.txt中。每行的数据表示副面偏移一个位移的值。偏移多少个位移，就有多少行数据。

7.点击“下一幅图”，查看每个偏移量俯仰扫面的高斯拟合图像，如果图像不好，可以点击“删除”可以删除该偏移量的拟合数据。

1. 点击“Y Gauss”，同6。命名规则和产生的文档和X方向一样。

9.点击“下一幅图”，同7。

1. 点击“Z Gauss”，同6。命名规则和产生的文档和X方向一样。
2. 点击“下一幅图”，同7。
3. 点击“x best\_position”,得到俯仰角在38.9时副面在X 方向上最佳偏移量。

13.点击“y best\_position”,得到俯仰角在38.9时副面在y 方向上最佳偏移量。

14.点击“z best\_position”,得到俯仰角在38.9时副面在z 方向上最佳偏移量。

对需要裁底对齐的俯仰角扫面的数据可操作如下：（列举x方向的，y和z向的同理）

步骤1,2,3,4,5同上。

点击“x-anlignment”(后面的输入方框是表示裁底第几幅图自己输入，若要裁底，同一俯仰角下的每幅图都要裁底)

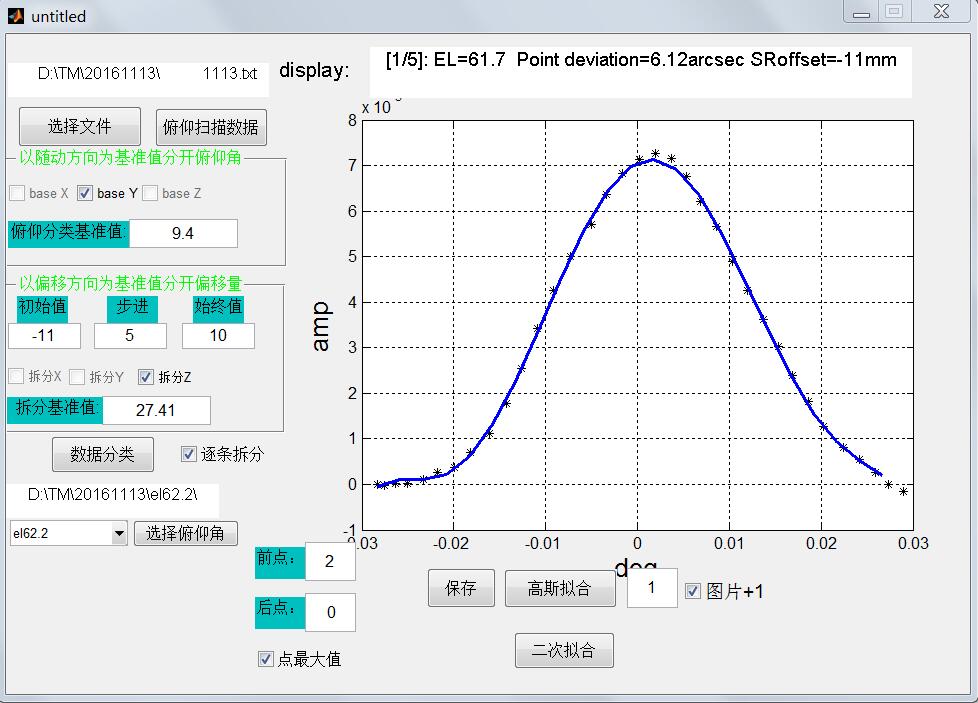
“前点”和“后点”后面的输入框表示取高斯波前面和后面扫面数据的平均值对齐（前点>=2或后点>=2）。

如果裁底后的高斯拟合满足要求，就点击“保存”数据保存在align\_x.txt中。

点击“X-position”，得到该俯仰角的副面在X 方向上最佳偏移量。

上图中结果显示栏中表示：在俯仰45.0°，Y方向偏移-11mm 拟合高斯波偏移-73.08角秒。

此界面是一次做一个方向的副面建模。



此界面是和上幅图的功能一样，是用Python编写的。

