

GKD800-R8G 型 GNSS 接收机

产品手册

北京国科导通科技有限公司

二〇一七年九月

目 录

第一章 前言	4
第二章 设备概述	5
2.1 总体功能	5
2.2 总体组成	5
2.2.1 设备外观	6
2.3 接口	8
2.3.1 数据	8
2.3.2 开关	8
2.3.3 指示灯	8
2.4 天线口	8
2.5 操作步骤及说明	8
第三章 记录器	9
3.1 功能及技术指标	9
3.2 数据下载	9
3.3 注意事项:	11
第四章 GNSS 接收机	12
4.1 功能及技术指标	12
4.1.1 接收机常规指标	12
4.1.2 通讯特性	12
4.2 GNSS 接收机与计算机连接	12
4.3 命令设置模式	14
4.4 注意事项	15
第五章 数据差分处理	16
5.1 GPB 数据转换	16
5.2 静态数据及动态数据转换	18
5.3 创建一个工程文件	20
5.4 GPS 数据进行差分处理	26
5.5 差分数据输出	29
第六章 接线表	38
第七章 技术方案	39
7.1 接收机设计	39
7.2 内置电池	43
7.3 GK-AIRANT8 型 GNSS 多频航空型天线	43
7.4 数据记录器设计	43
第八章 主要关键技术	45
8.1 定位与测速关键技术	45
8.2 失锁重定位技术分析	50

第九章 技术方案先进性分析	53
---------------------	----

第一章 前言

本手册为 GKD800-R8G 机载 GNSS 接收机配套，包含设备构成、接口定义、技术条件、技术方案和操作说明。

使用原则：

- (1) 必须采用设备配套电缆和工具，不得使用非配套电缆。
- (2) 设备使用前首先接好线缆后，才能加电工作。
- (3) 设备状态不能随意更改；如需变动应当通知研制单位；
- (4) 设备出现故障时应按照该手册进行维修。

第二章 设备概述

2.1 总体功能

GKD800-R8G 型 GNSS 接收机由基准测量站（以下简称基准站）、差分移动站（以下简称移动站）和事后差分解算软件组成，基准站和移动站设备可互换。

设备工作前，将基准站放置已知坐标点（该位置点坐标也可通过接收机的长时间静态测试得到），在系统工作时，基准站和移动站中的 GNSS 接收机分别接收 GPS、GLONASS、BD2 卫星的测量数据，并保存在记录器中。在测量工作完成后，将记录器中保存的基准站原始测量数据和移动站原始测量数据下载到计算机中，用事后差分解算软件进行差分解算，得到移动站精准测量结果（GDOP<4，1 σ 定位精度水平<5cm，速度<0.1 米/秒，基线小于 50Km）。

基准站和移动站体积小、重量轻、功耗小，满足各种使用环境，便于携带和安装。其核心组成的 GPS 接收机采用组合定位模式，即当接收机接收到的 GPS 卫星低于四颗无法正常定位或 PDOP 值过大时，接收机可自动切换到 GPS/GLONASS/BD2 组合定位，接收机的多模组合定位模式可提高接收机可靠性，并为系统的事后差分提供更多的原始测量数据，提高差分解算测量精度。

2.2 总体组成

GKD800-R8G 型 GNSS 接收机由基准站、移动站和事后差分解算软件组成，基准站、移动站均由 GPS 接收机、GPS 天线、锂电池组和数据记录器组成，其中基准站的接收机和天线可接收 GPS L1、L2、L2C、L5, GLONASS L1、L2, BD2 B1、B2 频点卫星信号。移动站的天线可接收 GPS L1、L2、L2C、L5，GLONASS L1 L2, BD2 B1、B2 频点卫星信号。基准站、移动站设备组成如图 1 所示：

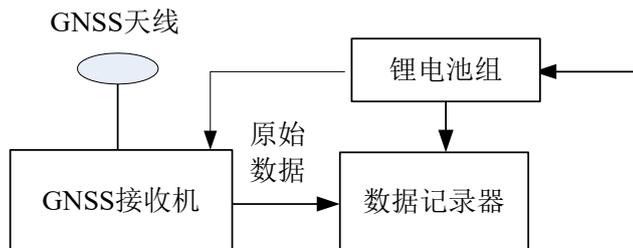
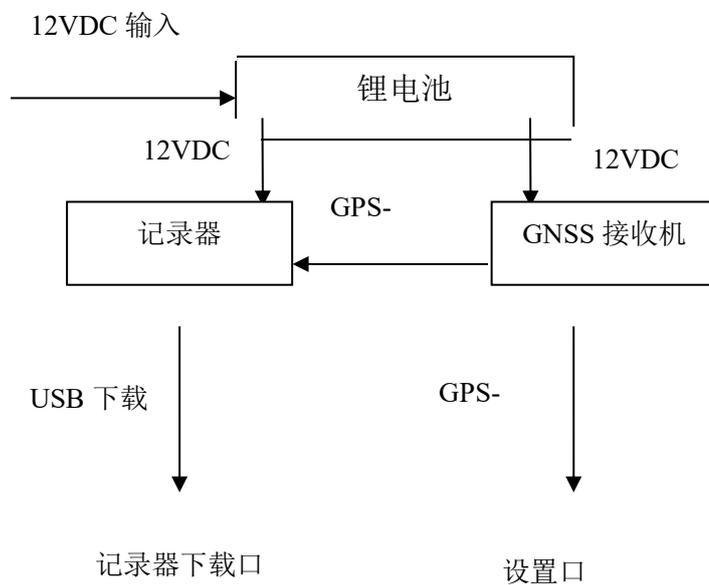


图 1 基准测量站、差分移动站设备的组成+

系统工作时，数据记录器接收 GNSS 接收机的原始数据并记录，该记录数据可事后通过 USB 接口下载到计算机中，使用事后差分解算软件进行差分解算。

电气连接图如下：

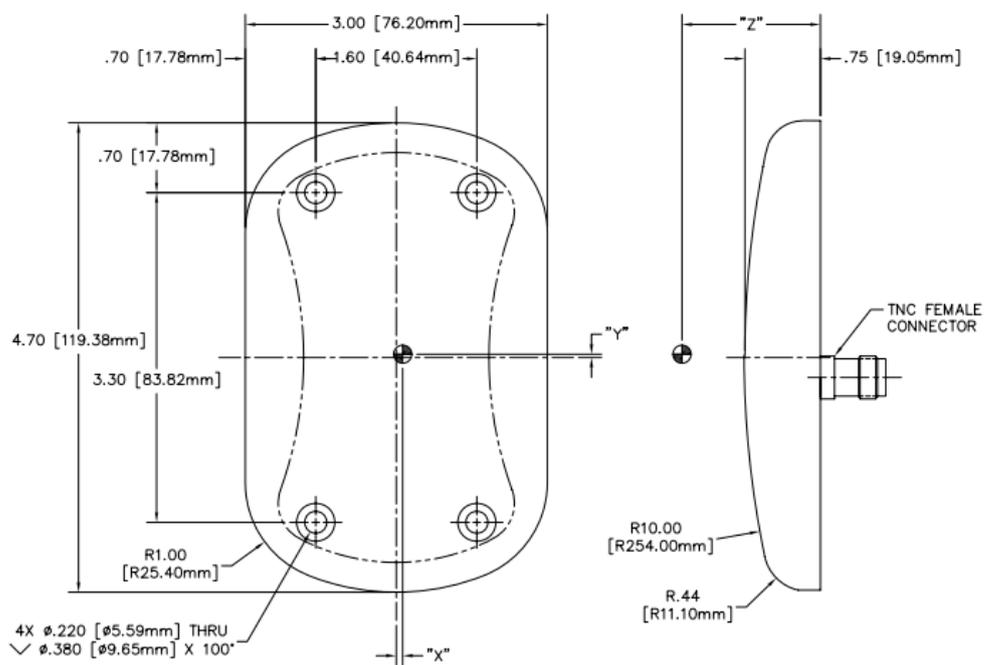


2.2.1 设备外观

设备如下图所示：



接收天线尺寸



天线外型图如下：



2.3 接口

2.3.1 数据

接口形式 J14A-15ZK，包括接收机设置接口、充电口、数据下载接口，详细接口定义请参考第六章接线表。

2.3.2 开关

隐藏开关，防止误操作改变开关状态，使用时必须向下按进去。

2.3.3 指示灯

1、记录器灯：

记录器正常记录时，绿灯闪烁。当绿灯常亮或常灭都表示没有记录数据。

2、GPS 定位灯：

电源开关打开后，当 GNSS 接收到卫星信号定位时绿灯亮，如果一直灭表示没有定位。

2.4 天线口

天线接口为 SMA-K，向天线馈电 5VDC。

2.5 操作步骤及说明

- a. 连接好 GNSS 接收机天线，打开电源开关；
将电源开关往下按，可观察到定位指示变亮，表示接收机已收到卫星并正常定位。
- b. 如果对 GNSS 接收机进行设置，用串口助手连接，波特率为 115200bps，详细操作命令参见手册；
- c. 将设置线连接计算机，设置 GNSS 接收机的 comB 口输出原始数据。
- d. 如果记录器绿灯在闪烁，说明接收机数据输出正常，记录器正常记录。

第三章 记录器

3.1 功能及技术指标

数据记录器用于记录 GPS 接收机测量输出的数据，记录内容可通过设置 GPS 接收机进行调整。

容量：8G 字节

记录接口：RS232C

下载接口：USB2.0

下载速率：100Mbit/s

3.2 数据下载

下载线如下图：



关闭 GPS 接收机的电源，将下载线连接到 GPS 接收机上，另一端连接到计算

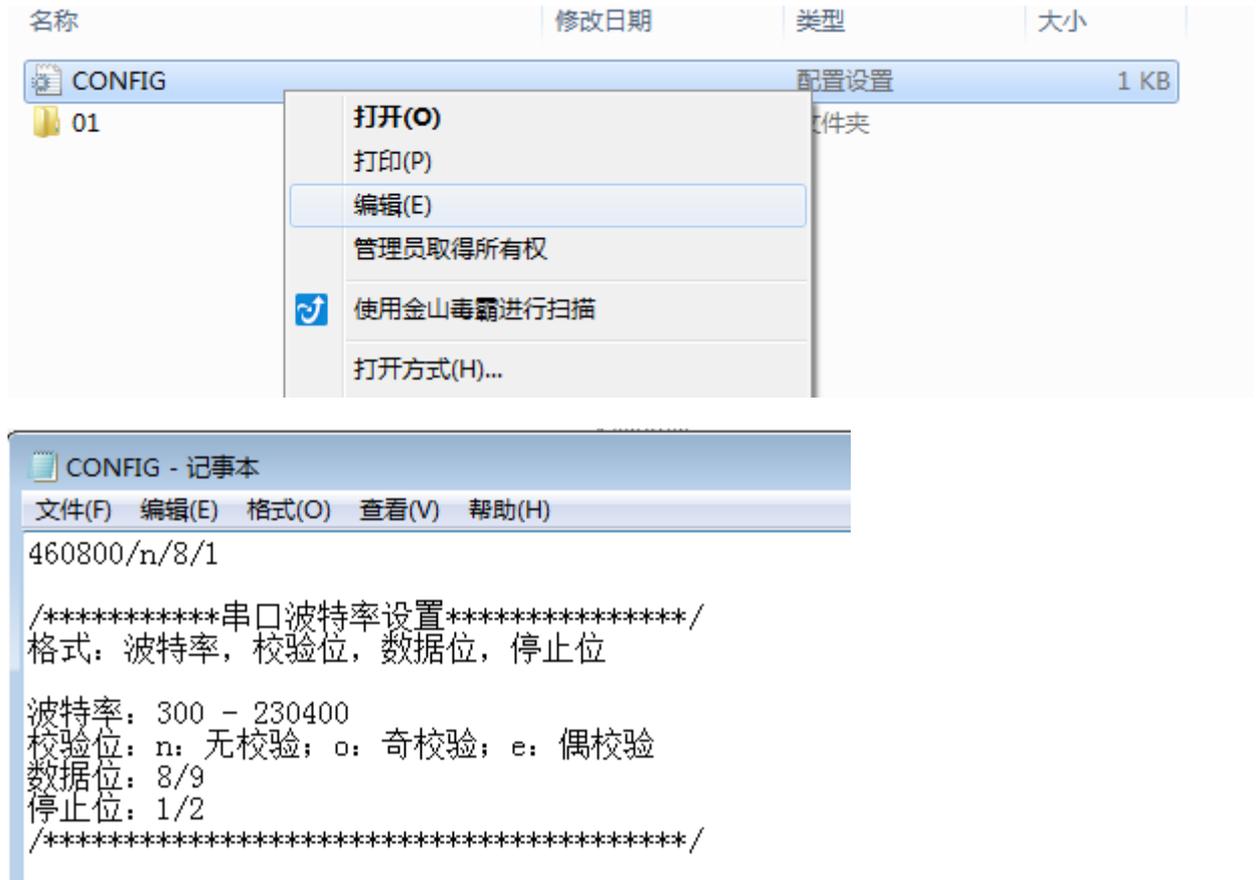
机的 USB 接口上。连接好线后 GPS 的记录器指示灯会常亮红灯。

打开计算机的“我的计算机”能看到多了一个盘符，如下图：



最后一个 H 盘为记录器，打开后盘符后里面有一个 01 的文件夹，打开后就是记录器数据文件。每次设备加电会生成一个数据文件，文件编号依次往下排。将文件拷贝到计算机的硬盘里即可。如果要清除记录器中的数据，把里面的文件夹都删除即可。

记录器波特率设置：编辑 config 文件，如下图：



左上角的 460800 就是当前波特率，如果要改成 230400 等别的波特率就修改这个参数。正常情况下不要修改此值，如果 GPS 接收机输出的波特率与记录器输入的波特率不一致将无法正确记录数据。

3.3 注意事项:

执行任务前需要清除记录器的数据，把电源开关打到关的状态，接上数据下载线，清除记录器中的数据，否则记录器记满后将无法记录。

如果接收机定位正常，记录器绿灯不闪烁，表示记录器没有正常记录数据。需重新设置 GNSS 接收机 comB 的速率（460800bps）及原始数据输出。可以用设置口（comA）对 GNSS 接收机进行设置, 命令如下：

```
com com2 460800
log com2 rangecmpb ontime 0.05
log com2 ionutcb ontime 200
log com2 rawephemb ontime 210
log com2 bdsephemerisb ontime 220
log com2 gloephemerisb ontime 230
saveconfig
```

第四章GNSS 接收机

4.1 功能及技术指标

4.1.1接收机常规指标

跟踪性能： 通道，GPSL1L2L2CL5、GLONASSL1L2、BD2 B1B2

接收信号：GPSL1L2L2CL5、GLONASSL1L2、BD2 B1B2

动态性能：

加速度 6g

最大速度 515m/s

最大高度 18000m

4.1.2通讯特性

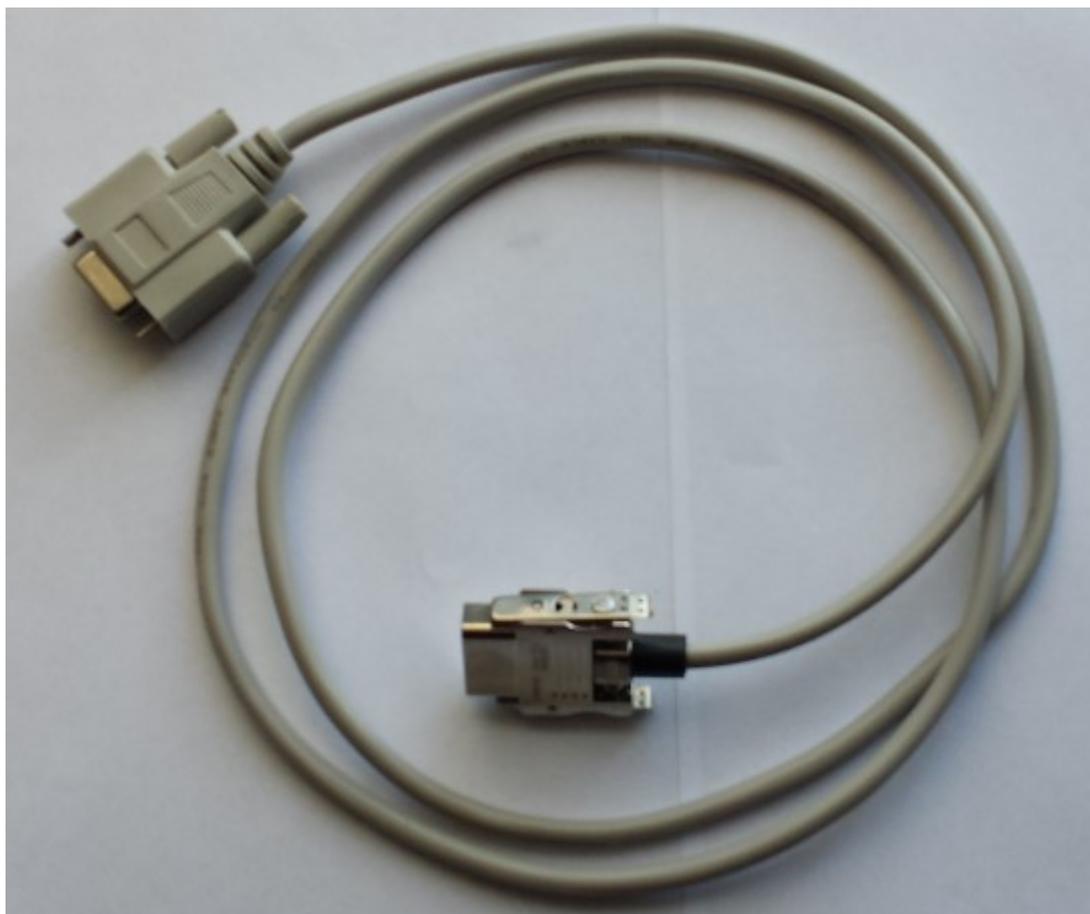
接口：2 个串口（RS232）

速率：最高 460800 BPS（缺省 115200BPS）

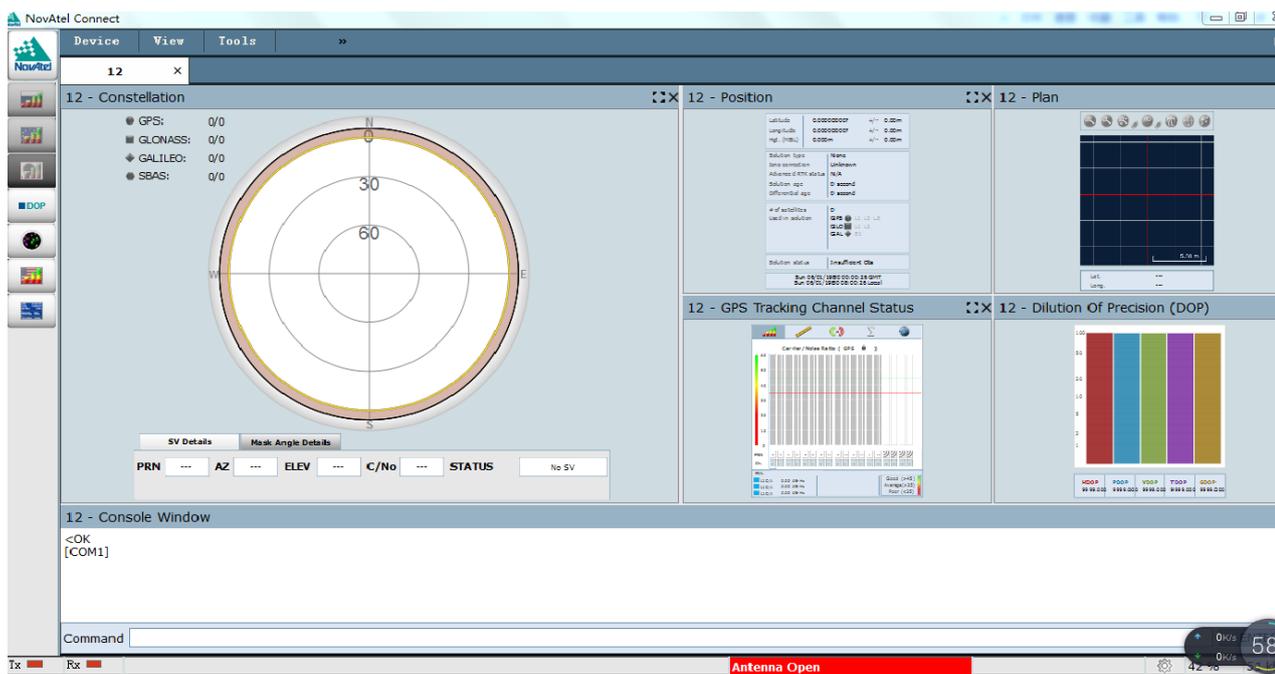
数据更新率：1 Hz 、5 Hz 、10 Hz 、20Hz 可选

4.2 GNSS 接收机与计算机连接

数据线如下图：



用数据线连接好设备与计算机，接好天线，打开设备的电源开关，使用 NovAtel 的 NovAtel Connect 专用软件；连接方式：“connect”，选择好串口，连接速度：“115200BPS”点 open 连接接收机。



连接成功后如上图：可以看到收星情况 Num 卫星号、EL 卫星仰角、AZ 卫星方位角、CA 信噪比；

4.3 命令设置模式

打开串口助手



如设置 B 口输出原始数据给记录器：

```
com com2 460800
log com2 rangecmpb ontime 0.05
log com2 ionutcb ontime 200
log com2 rawephemb ontime 210
log com2 bdsephemerisb ontime 220
log com2 gloephemerisb ontime 230
saveconfig
```

也可以用串口助手发送命令文件，先打开串口助手，用 115200 连接串口，

把命令做成一个文本文件，“.txt”扩展名即可，点发送文件就设置成功了。

制作文本文件时，每一条命令后面要加一个回车换行，最后一条也要加一个回车换行。

4.4 注意事项

GNSS 接收机在下载记录器数据时，要关闭开关电源。如果记录器灯常亮或常灭请检查记录器是否记满，下载完数据后请及时清理记录器中数据。

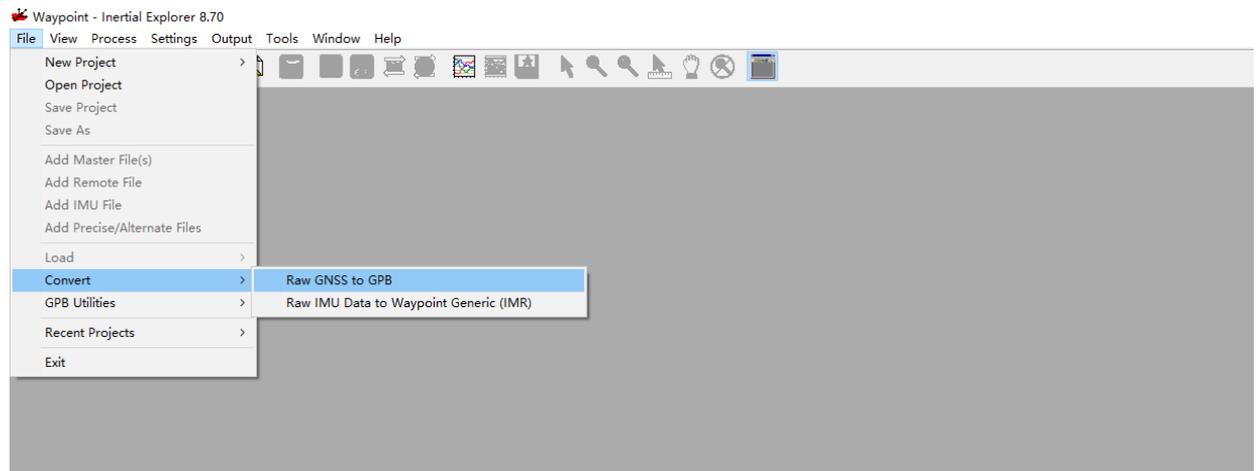
第五章数据差分处理

5.1 GPB 数据转换

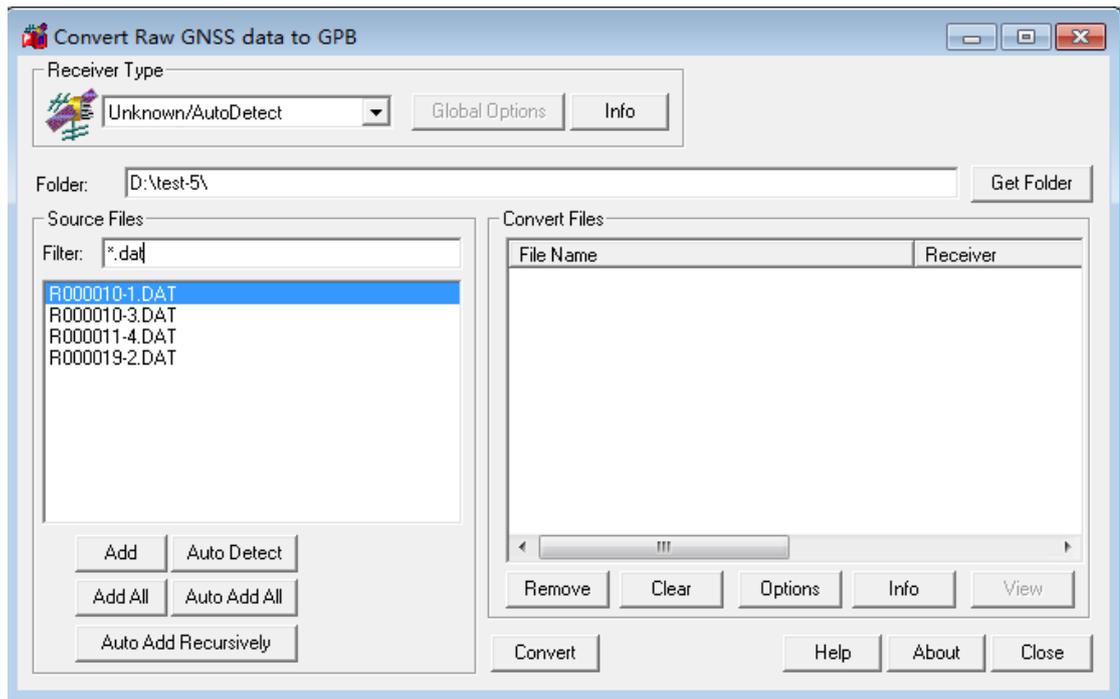
将下载下来的数据拷贝到装有 GrafNav 8.70 软件的计算机中，以其中一台 GPS 接收机的数据为基准站，其它四台 GNSS 接收机的数据为移动站进行差分处理。

步骤如下

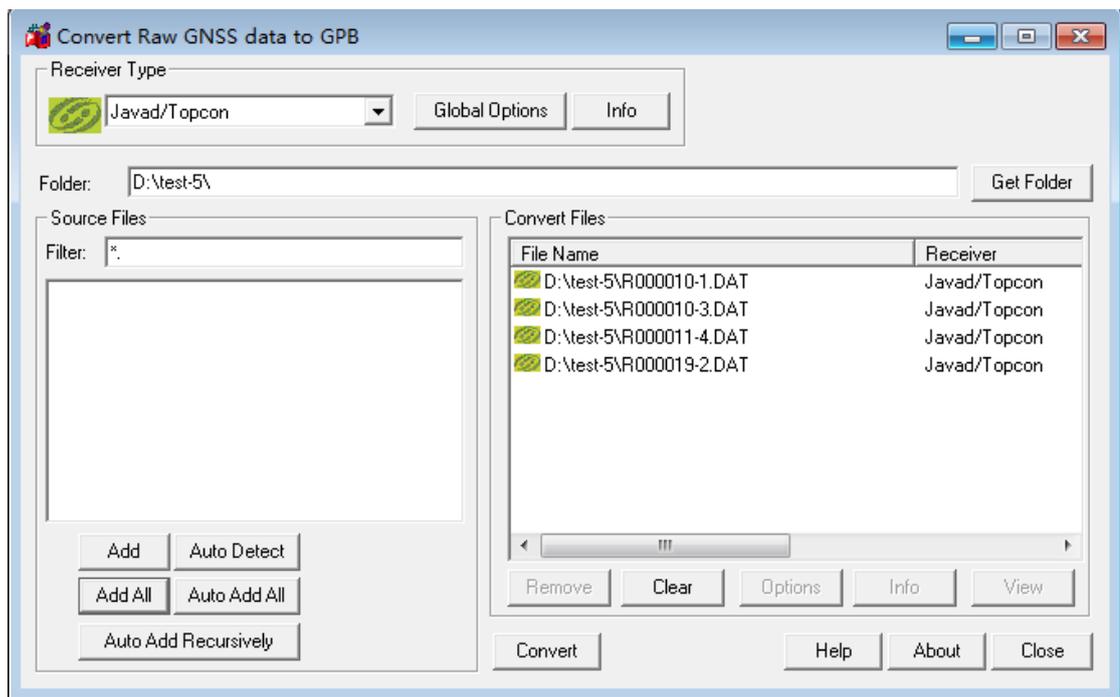
插上软件锁，打开 GrafNav 8.70 软件，先进行数据转换。将四台接收机的数据分别转换成 GPB 格式数据。转换操作如下图：

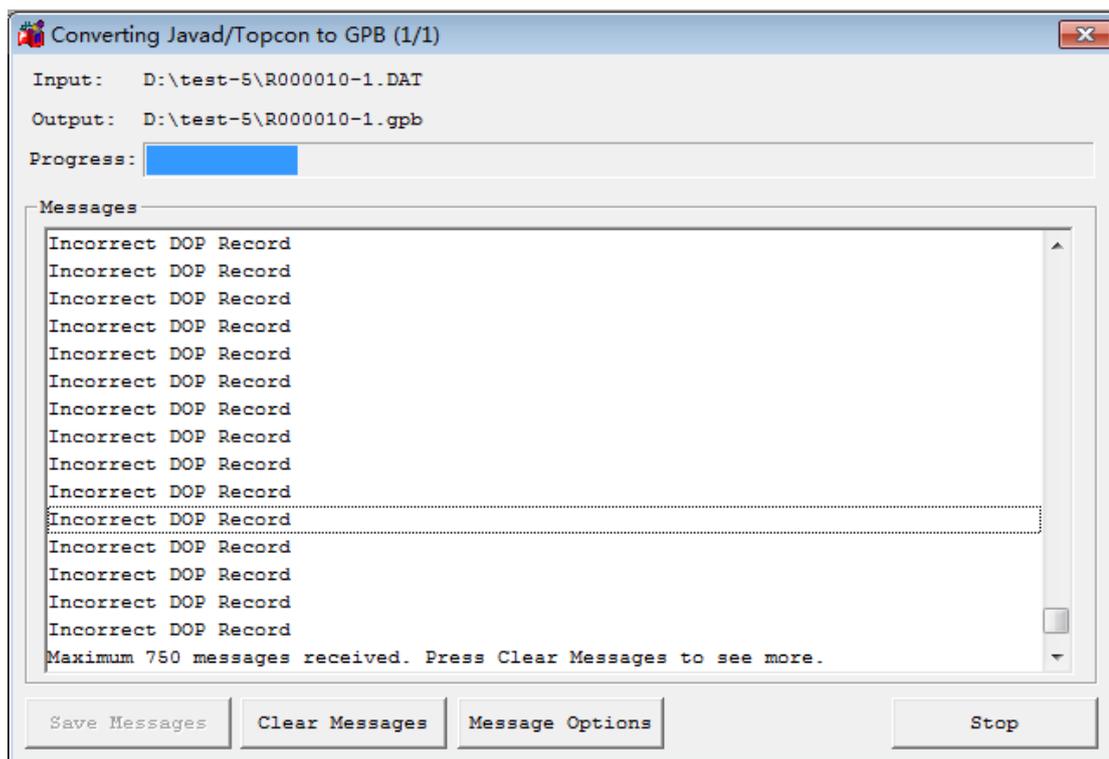


在 file 下的 convert 中选上 raw GNSS to GPB，打开如下图



找到数据存放文件夹，在左对话框中能看到下载的 GPS 数据，点 Add All 添加数据到右对话框，再点 Convert 对数据进行转换，如下图：

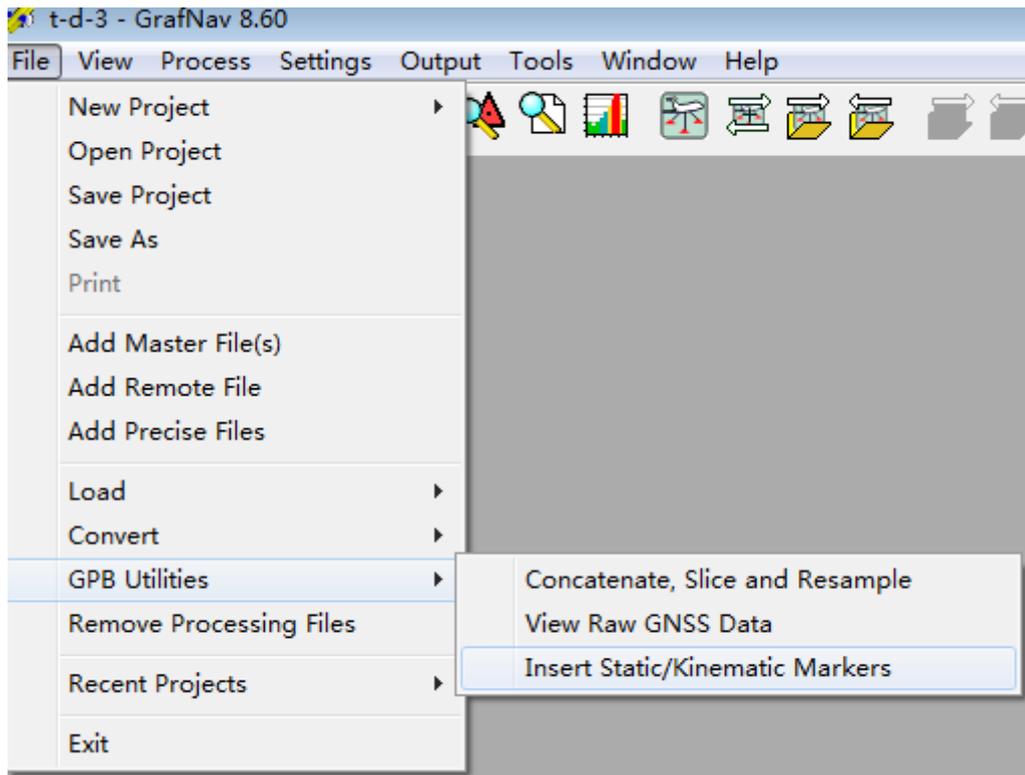




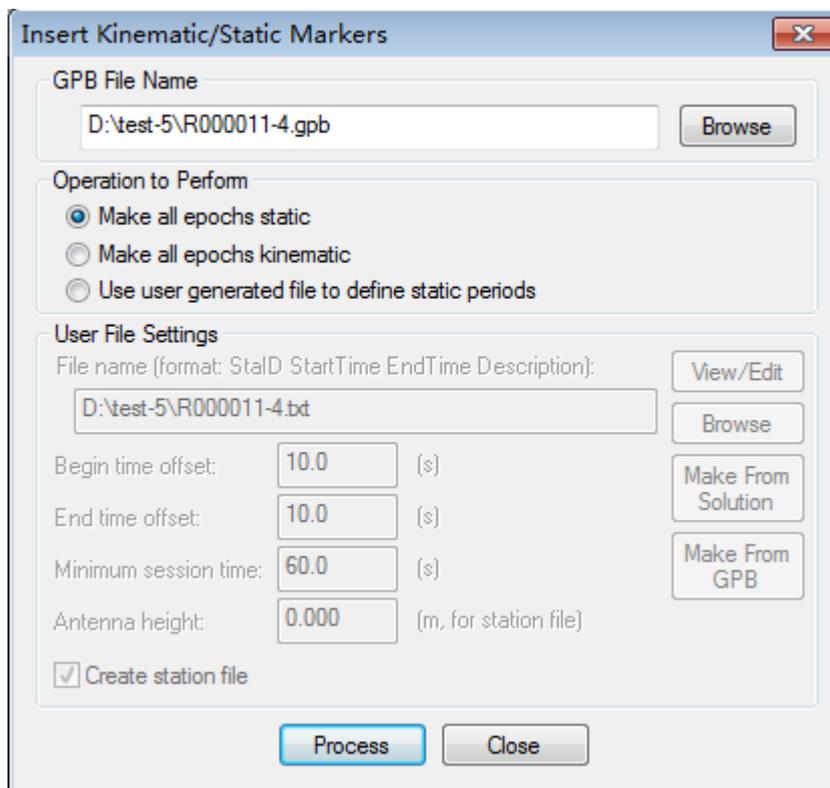
转换过程需要一定的时间，转换完成后右下角的 stop 变成 close，点 close 关闭就行。

5.2 静态数据及动态数据转换

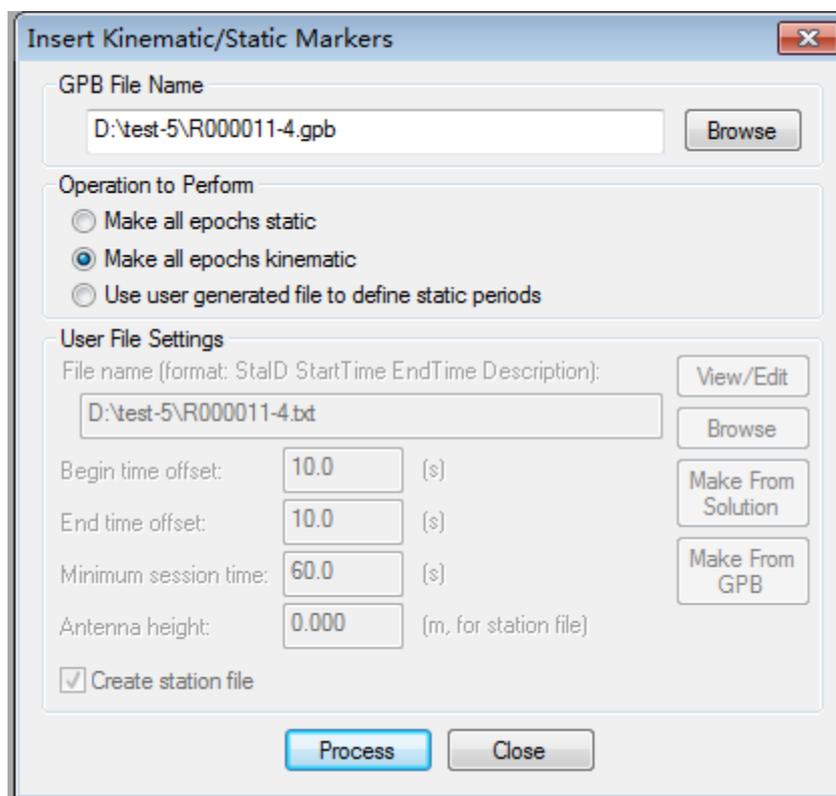
用其中一个 GPS 接收机做基准站，将数据转换成静态数据。如下图：



在 file 下的 GPB Utilities 菜单中选 Insert static/kinematic markers，打开选项，找到转换成 GPB 数据的文件夹，选一个做基准站的 GPS 数据转换成静态数据，点 process 进行处理，如下图：

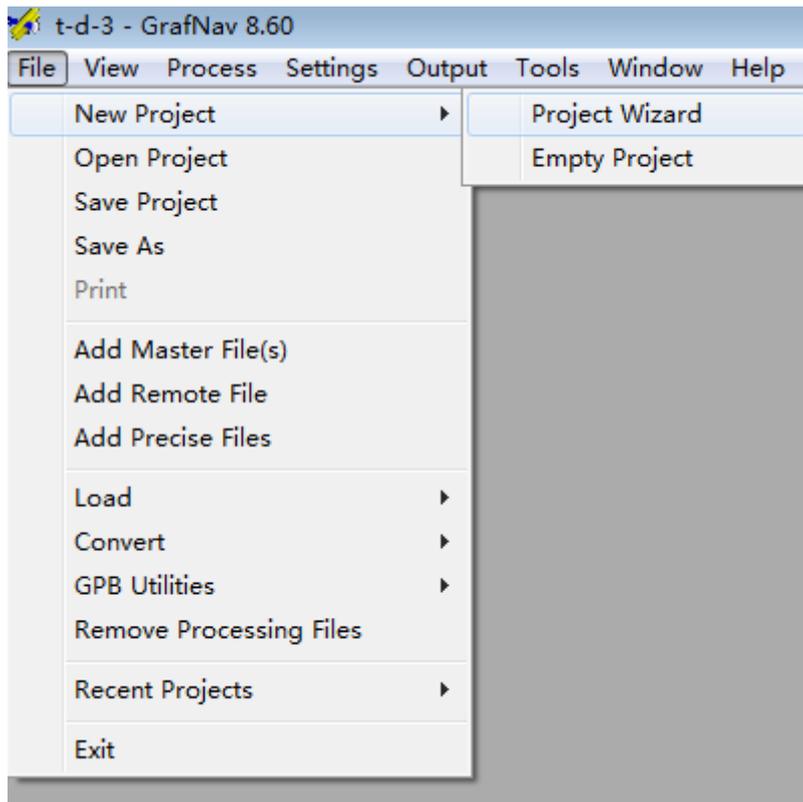


选其它三个做移动站的 GPS 数据转换成动态数据，点 process 进行处理，如下图所示：

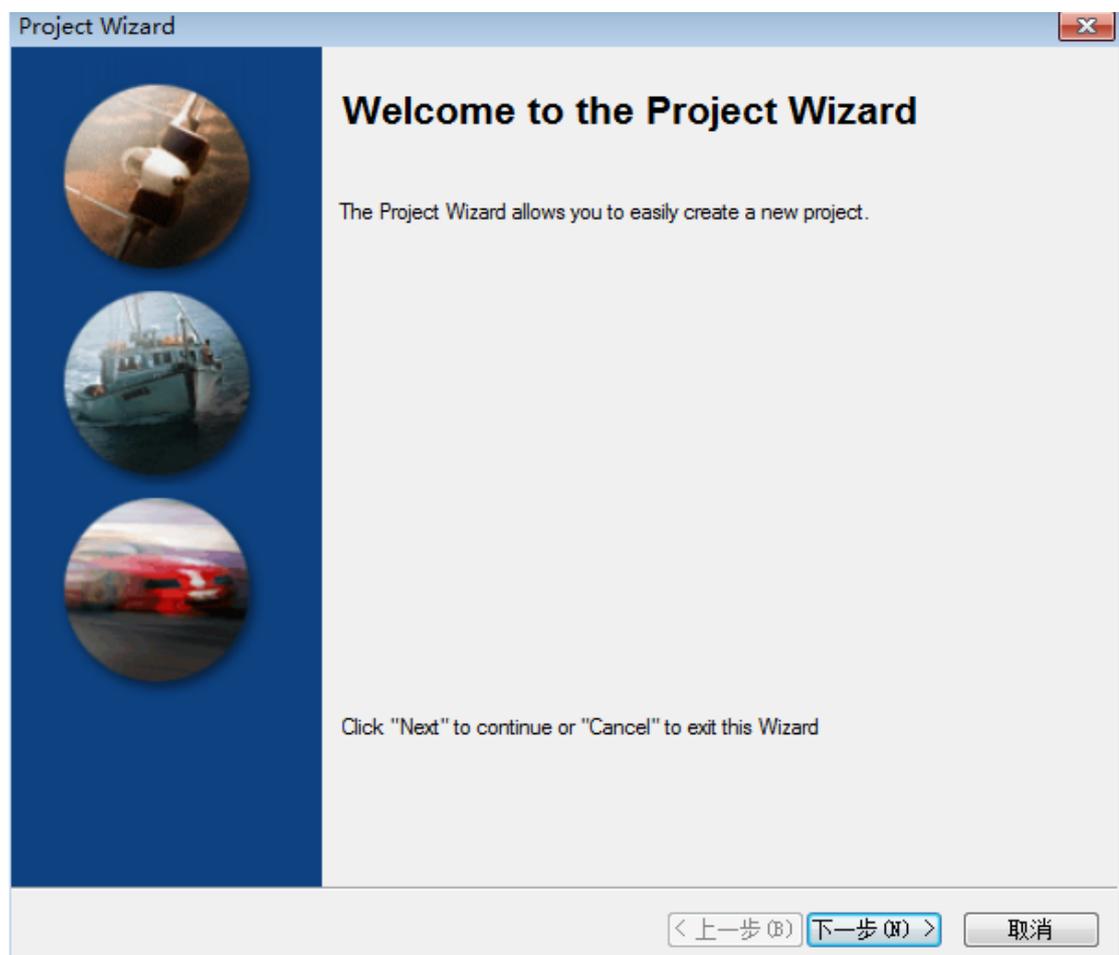


5.3 创建一个工程文件

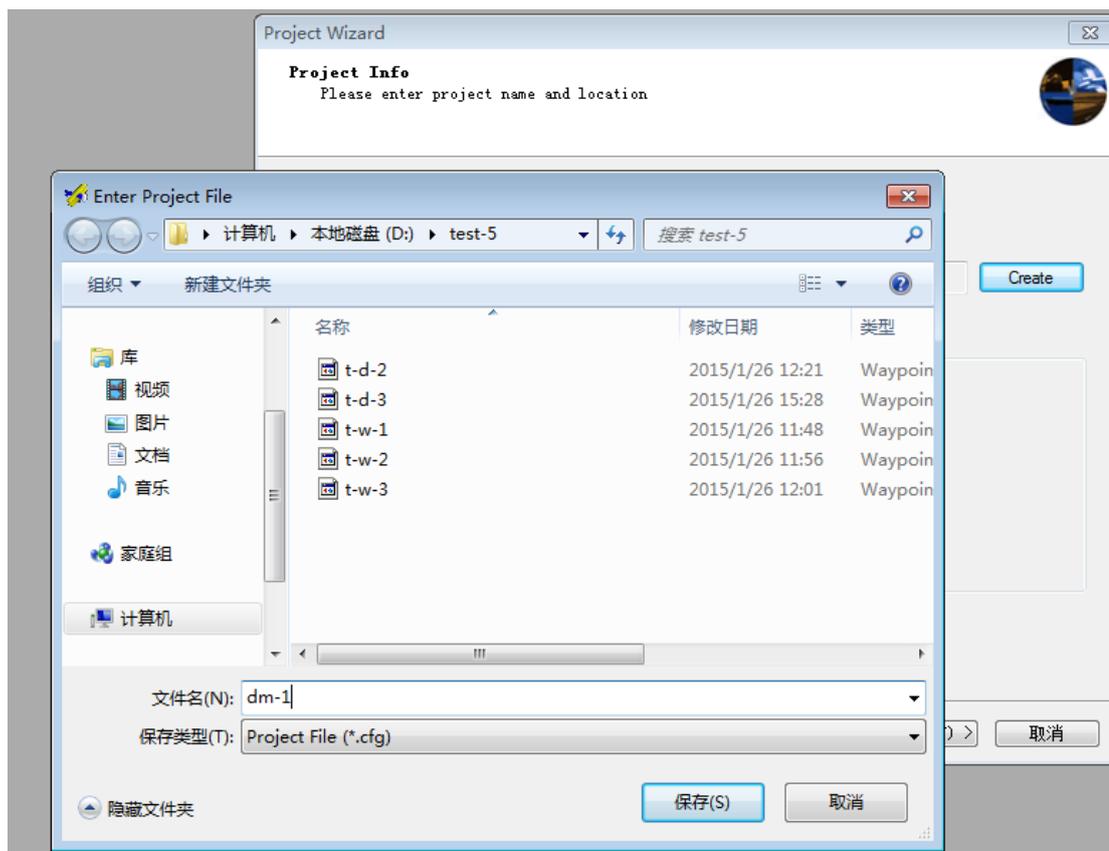
转换完成后创建一个工程文件，创建过程如下：



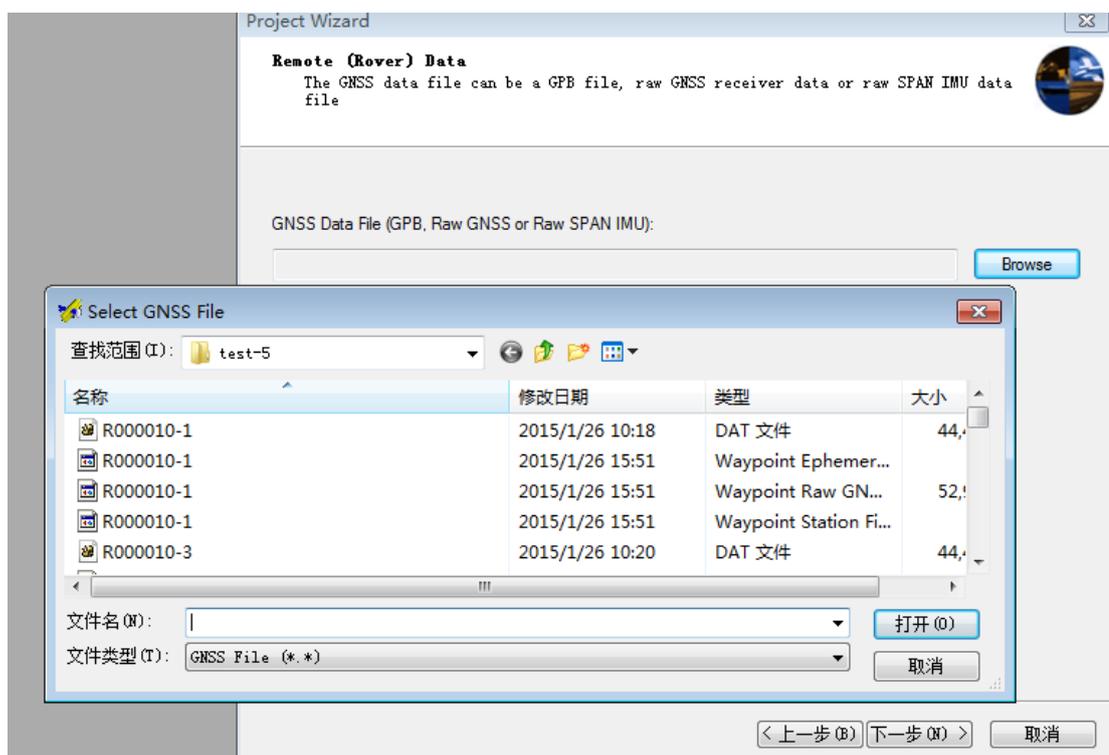
在 file 下的 New Project 菜单中选 Project Wizard 选项打开如下图：



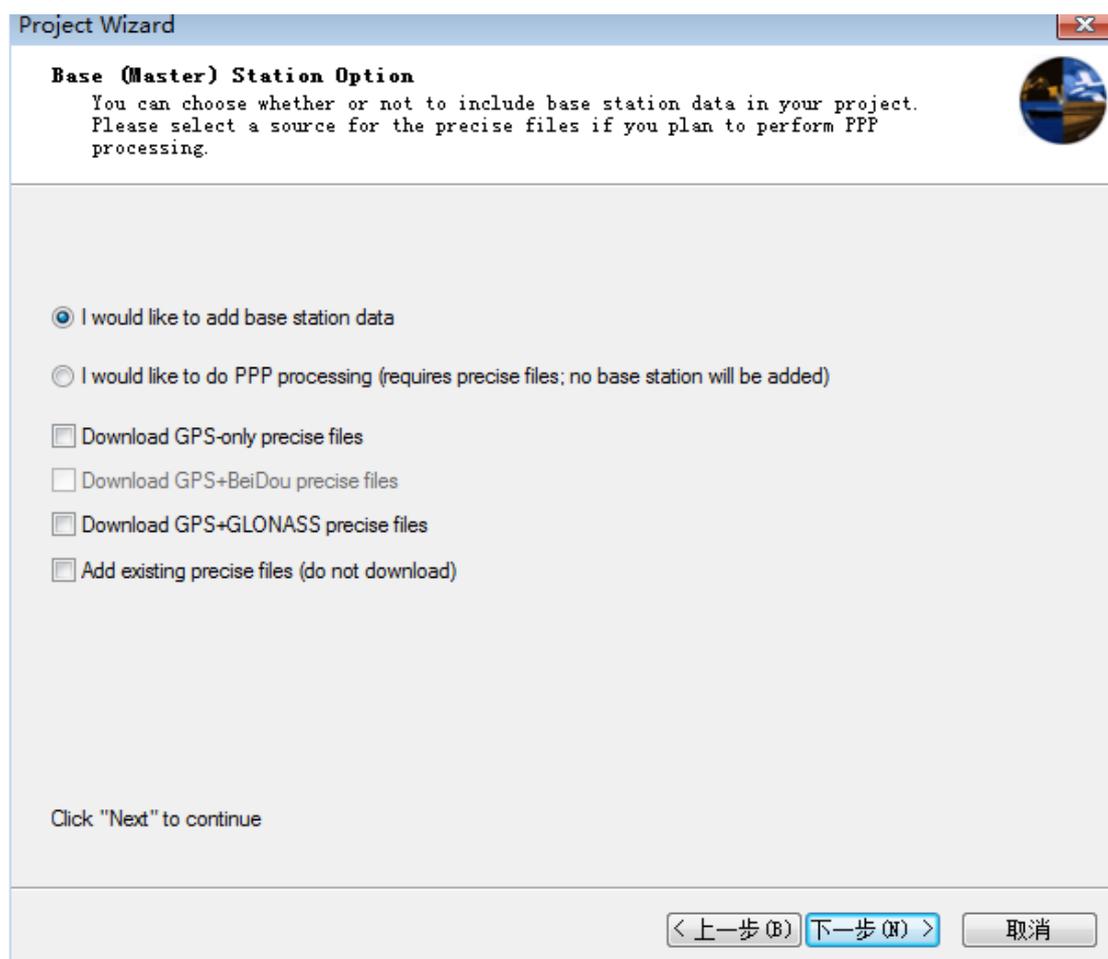
点下一步，再点 Create 创建一个工程文件，如下图：



点保存，再点下一步，然后导入移动站数据（即其中一个动态数据），如下图：



点下一步，再点下一步，选添加基准站数据，如下图：



点下一步，再点下一步，导入基准站数据（即静态数据），如下图：

Base (Master) Station Data From a File

The GNSS data file can be a GPB file or a raw GNSS receiver data file



GNSS Data File (GPB or Raw GNSS):

< 上一步 (B) 下一步 (N) >

点下一步，如下图：

Project Wizard

Base (Master) Station Information
Please enter base station coordinates and antenna details. Click "Next" to continue

Base Station
1: R000010- Name: R000010- Disabled
File: D:\test-5\R000010-1.gpb

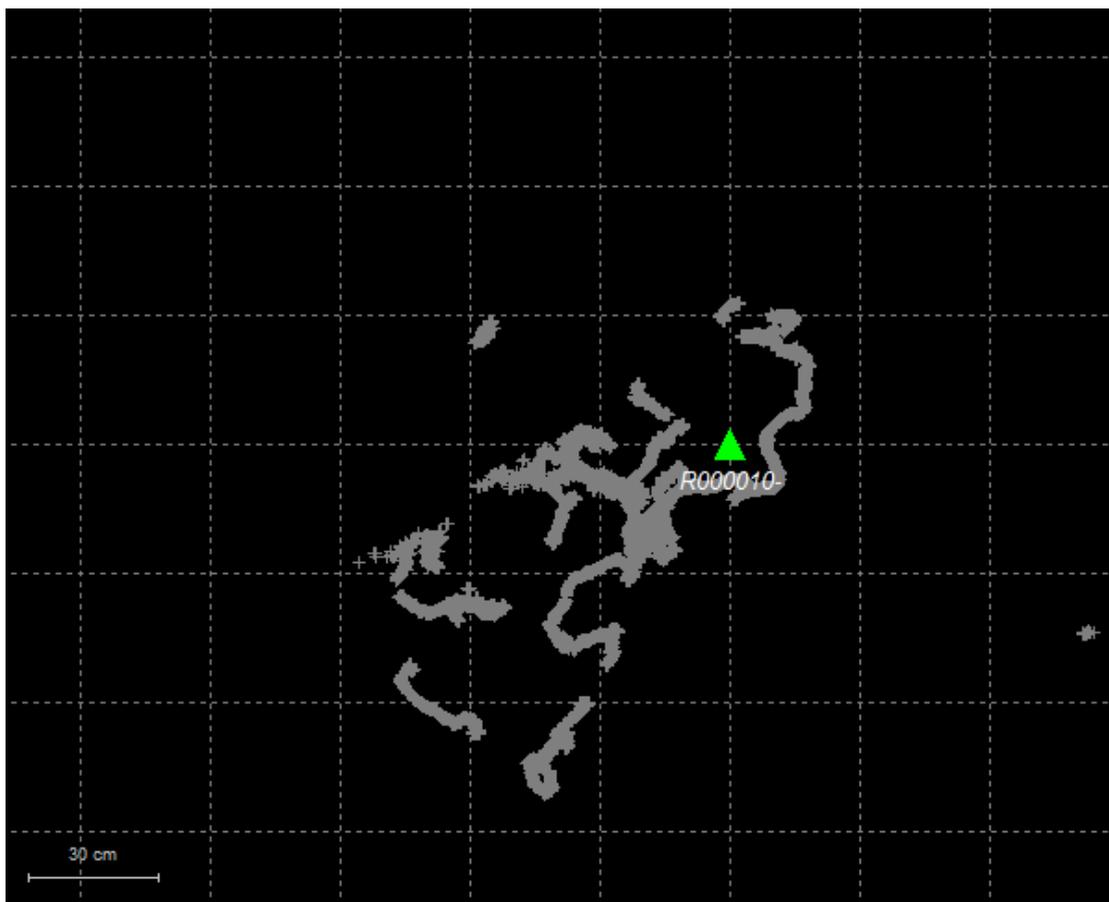
Coordinates
Latitude: North 40 03 35.68565 Compute from PPP
Longitude: East 116 17 51.67964 Enter Grid Values
Ellipsoidal height: 36.405 m Enter MSL Height
Datum: WGS84 Datum Options
Select From Favorites Add To Favorites Use Average Position

Antenna Height
From station file: N/A View STA File
Antenna profile: Generic Info
Measured height: 0.000 m
ARP to L1 offset: 0.000 m
Applied height: 0.000 m
Measured to
 ARP
 L1 Phase Centre
Compute From Slant

< 上一步 (B) 下一步 (N) > 取消

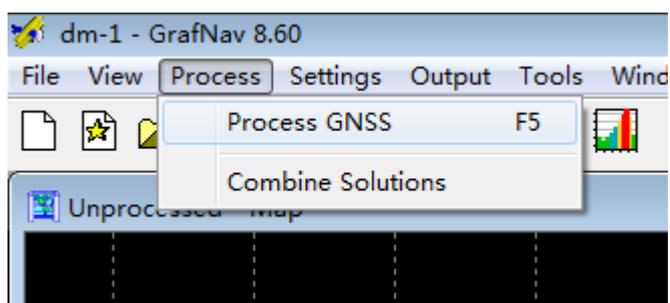
如果基准站的坐标点已知，就填入已知坐标点，选下一步。如果没有已知坐标点就选 Use Average Position，这是根据基准站数据算出一个平均值做为基准站坐标点。这样求出的坐标点会有一些的误差（基准站有误差解算出来的移动站坐标也会有一些的误差）。点下一步，再点完成。

从下图可以看到差分前的移动站数据（即单机定位数据）。

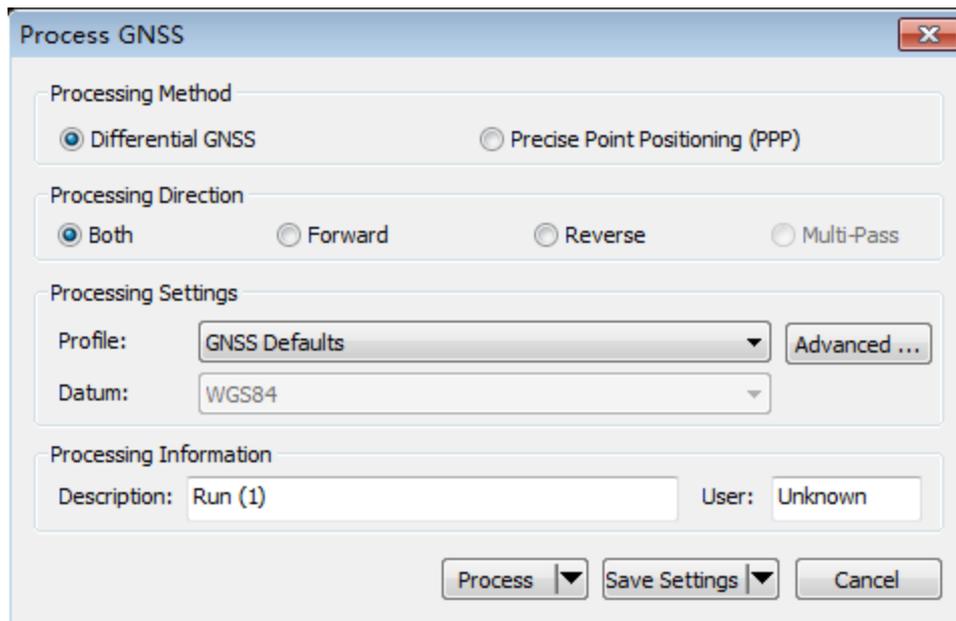


5.4 GPS 数据进行差分处理

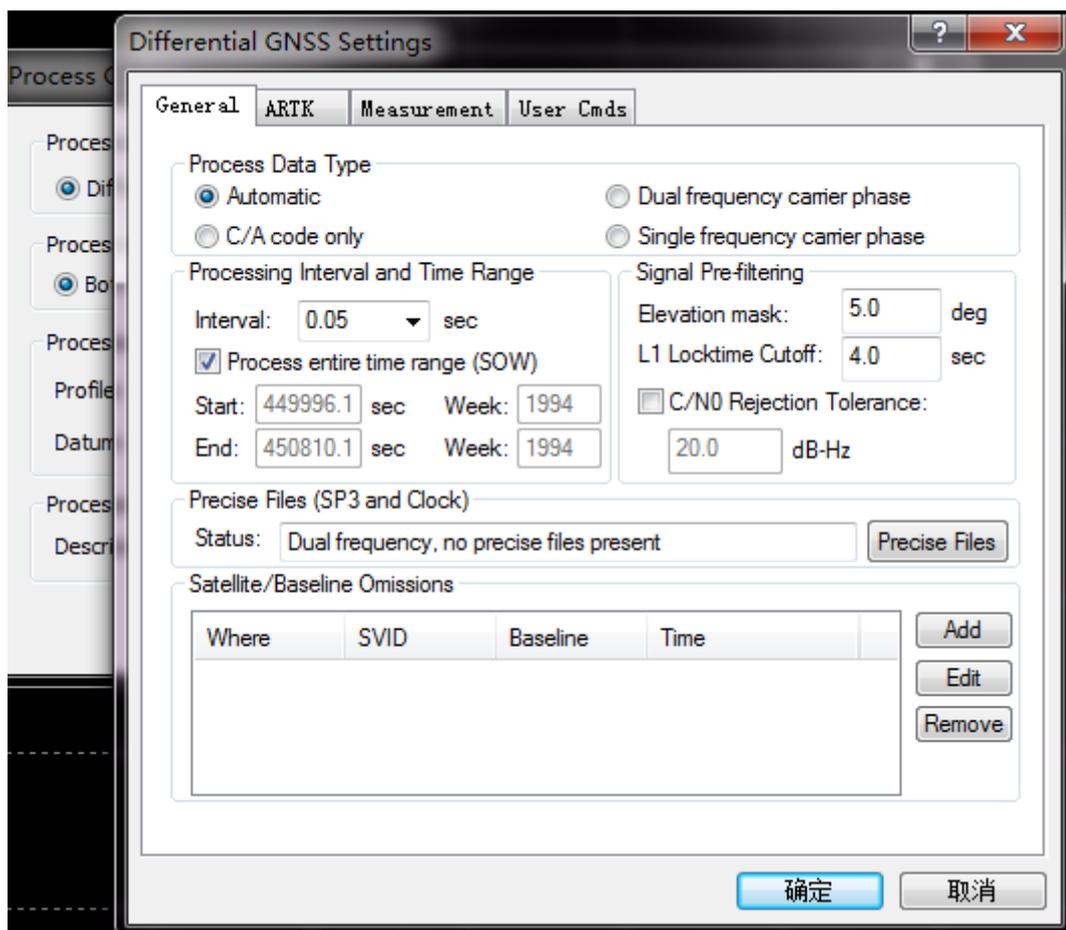
对数据进行差分处理，如下图：



点 process 中的 process GNSS，如下图设置选项：



点 advanced 修改一下最低参与解算的卫星仰角为 5 度



点 process 进行处理如下图：

Processing Differential GPS 1 - dm-1 [Forward]

Time	90704.5	1829	
Epochs	2567	Num<4	2
Status	Q2	FLOAT	Dyn=K
nSats	13	nB/L	1
Lat.	40	03	35.6810
Lon.	116	17	51.6705
Hgt	36.075	AntHgt	0.000
	East	North	Up
StdDev	0.067	0.030	0.066

Status

2

K

Progress

Processing Forward KF...

Notifications

: Waiting for window dm-1 [Reverse] to complete Sta

Processing Differential GPS 2 - dm-1 [Reverse]

Time	92123.3	1829	
Epochs	1099	Num<4	1
Status	Q1	FIXED	Dyn=K
nSats	15	nB/L	1
Lat.	40	03	35.6848
Lon.	116	17	51.6758
Hgt	36.413	AntHgt	0.000
	East	North	Up
StdDev	0.009	0.009	0.017

Status

1

K

Progress

Processing Reverse KF...

Notifications

*** ARTK Fix ***

Search time: 92178.2 s

From base: BL1

Search dist.: 0.0 km

Rewind time: -0.0 s

Satellite count: 15, 10, 10 (total, fixed, restored)

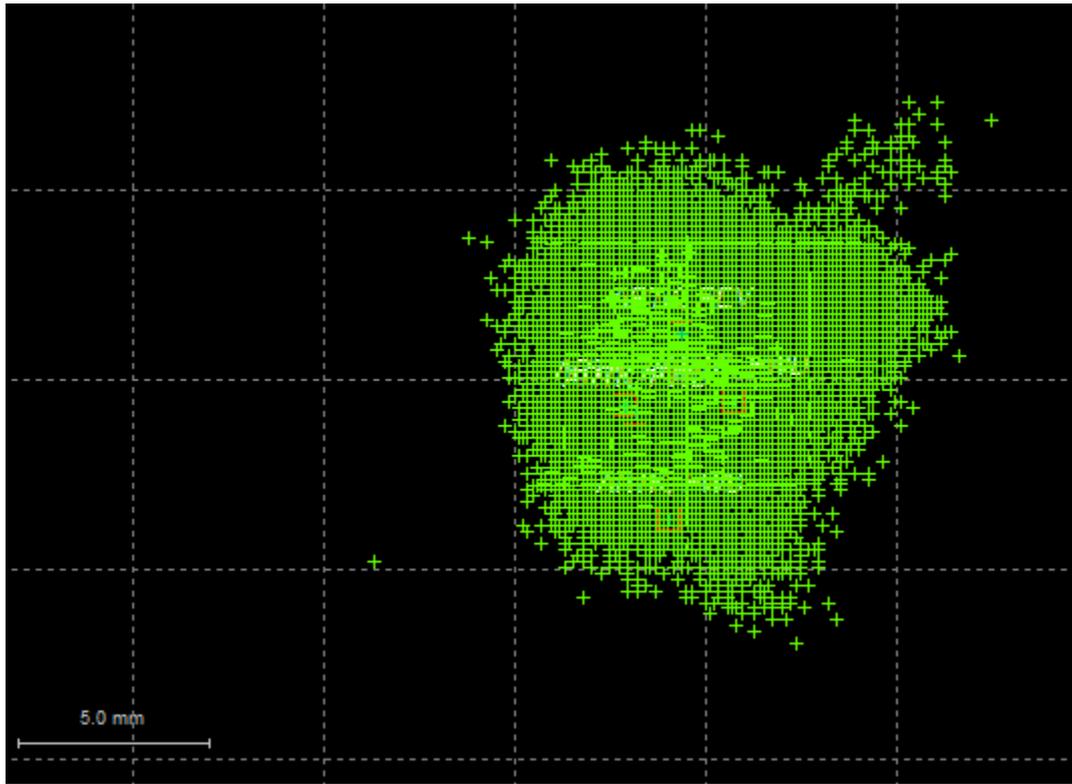
Fix type: GPS Fixed

RMS: 0.0 mm

Reliability: 2.3

FloatFixSep: 1.09 m

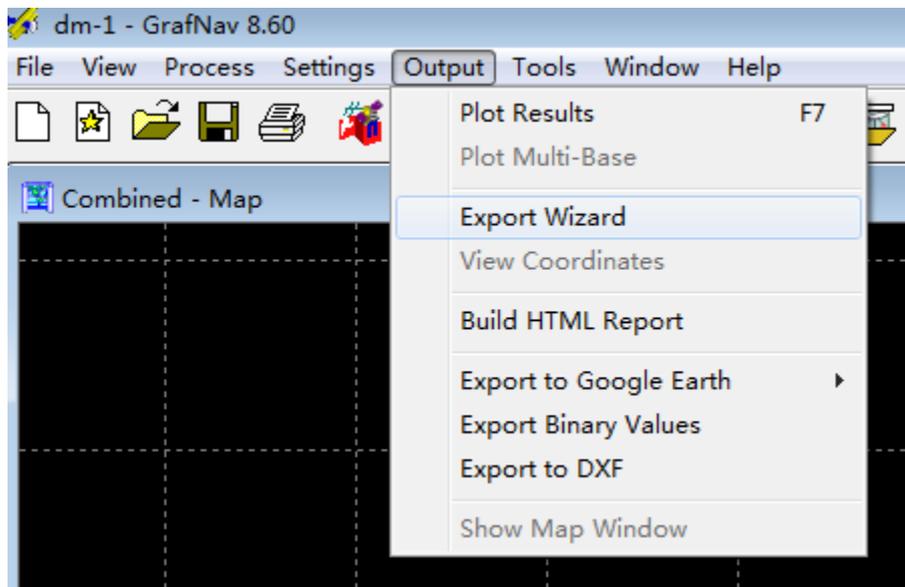
: Waiting for window dm-1 [Forward] to complete Sta

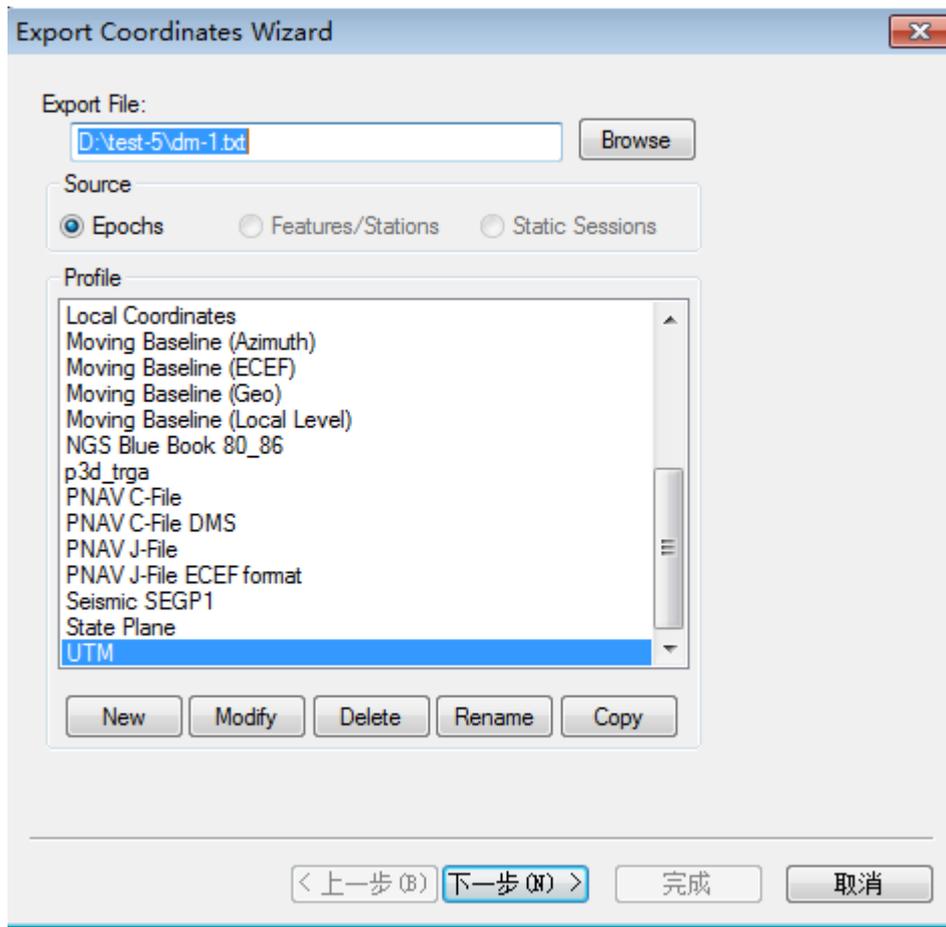


这是差分后的数据。

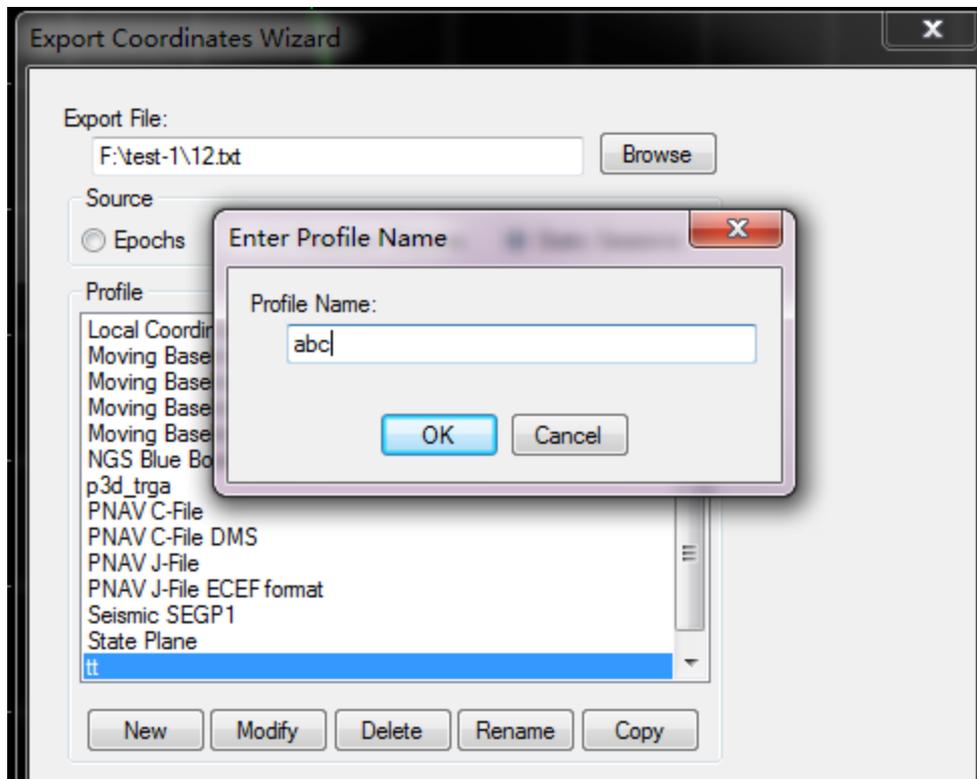
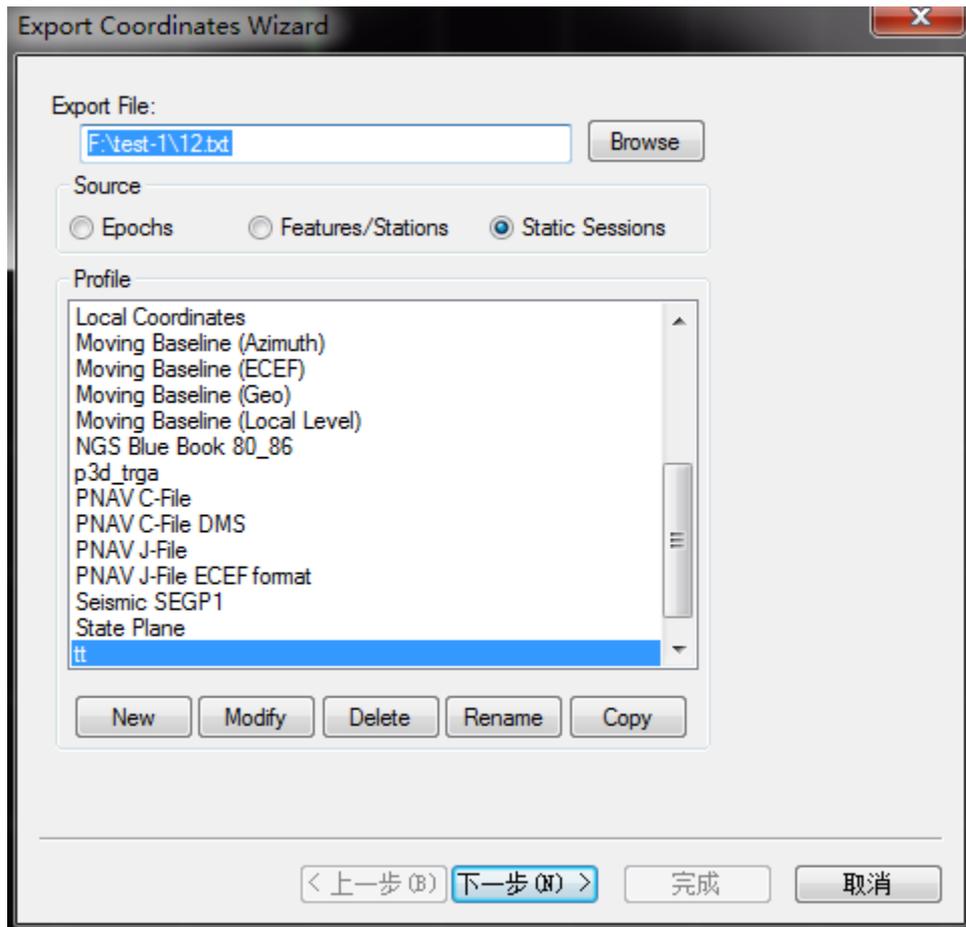
5.5 差分数据输出

解算完后输出差分定位数据，在 output 菜单中选 Export wizard，如下图：



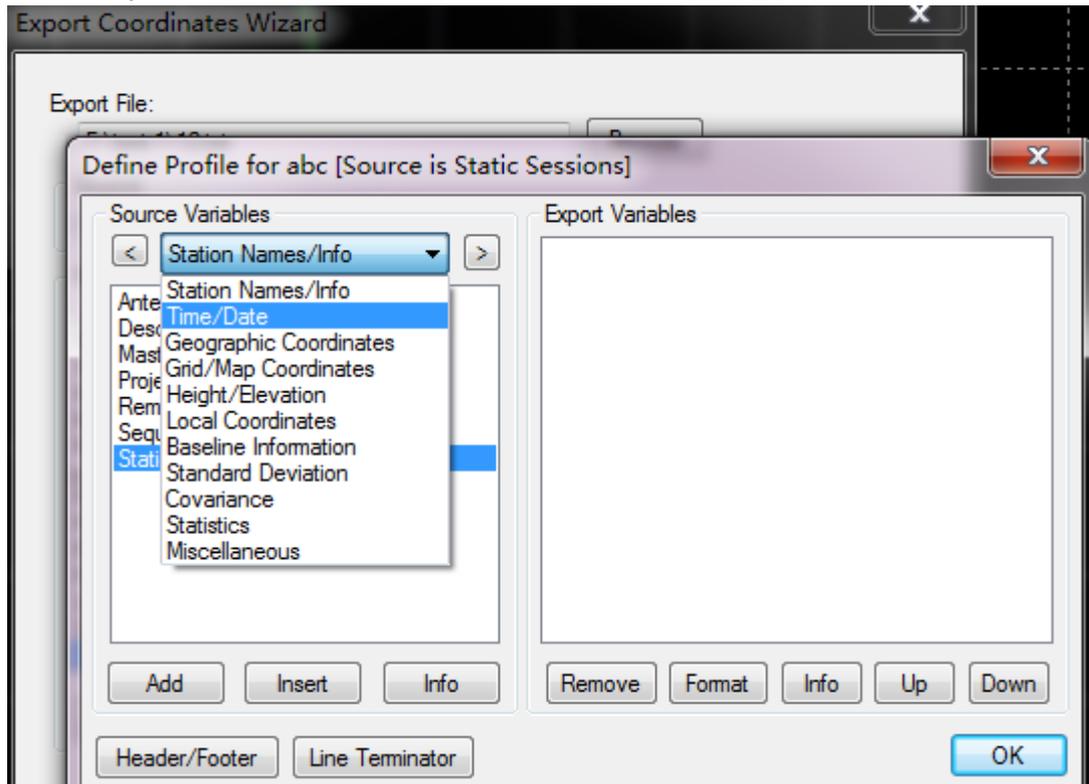


如图：点 new

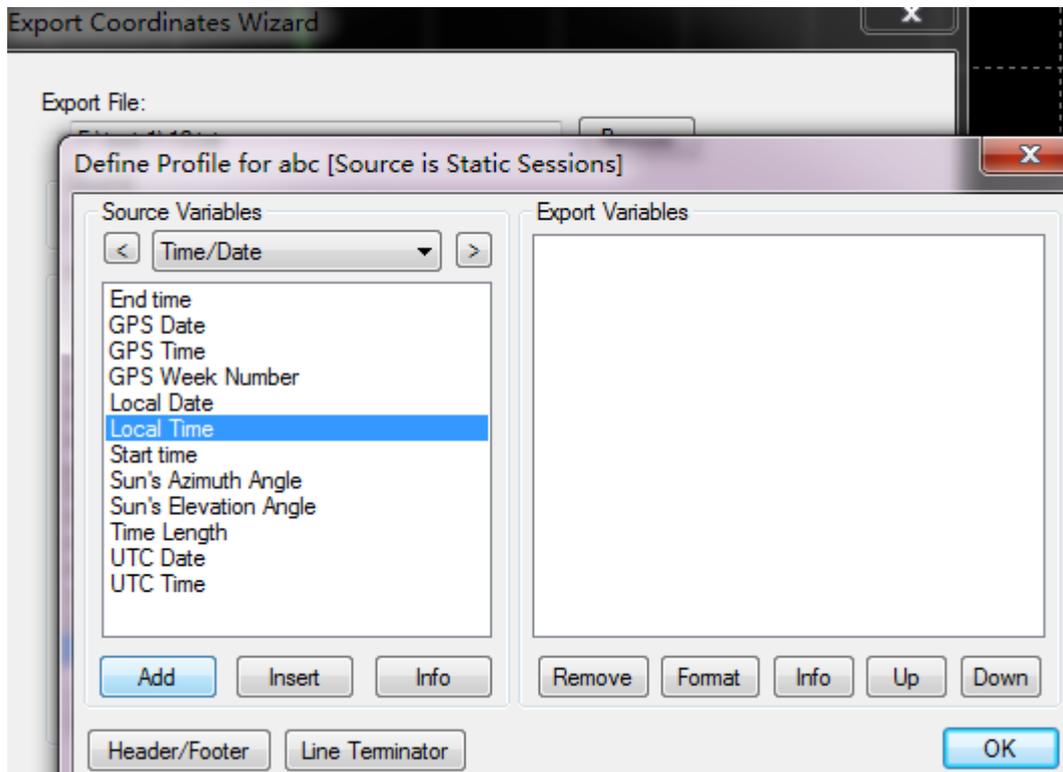


点 OK

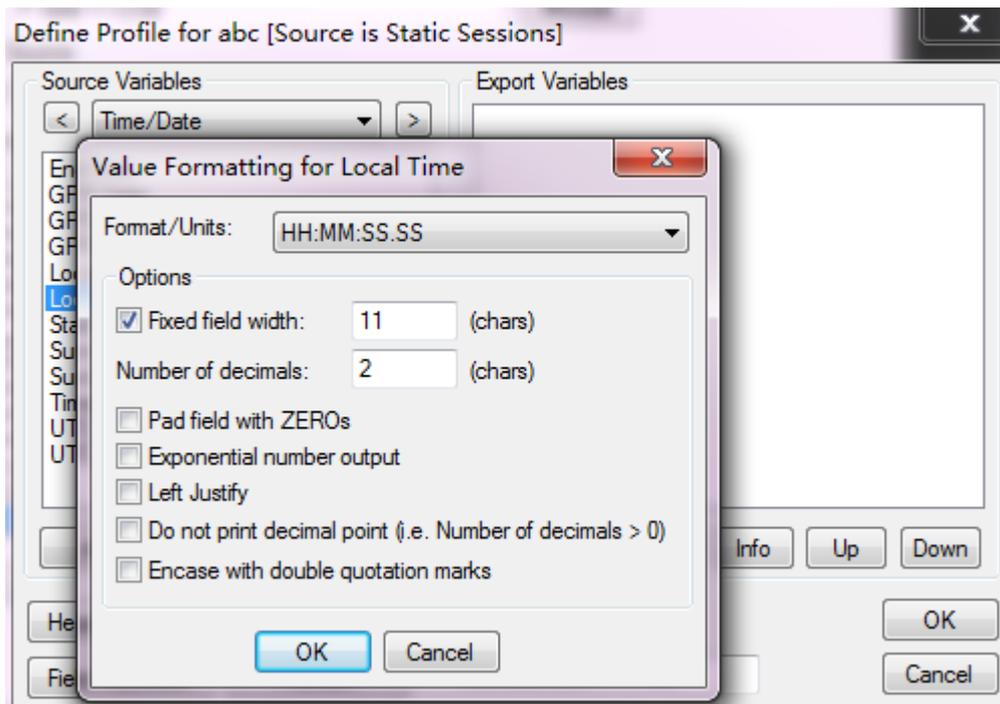
点 Modify



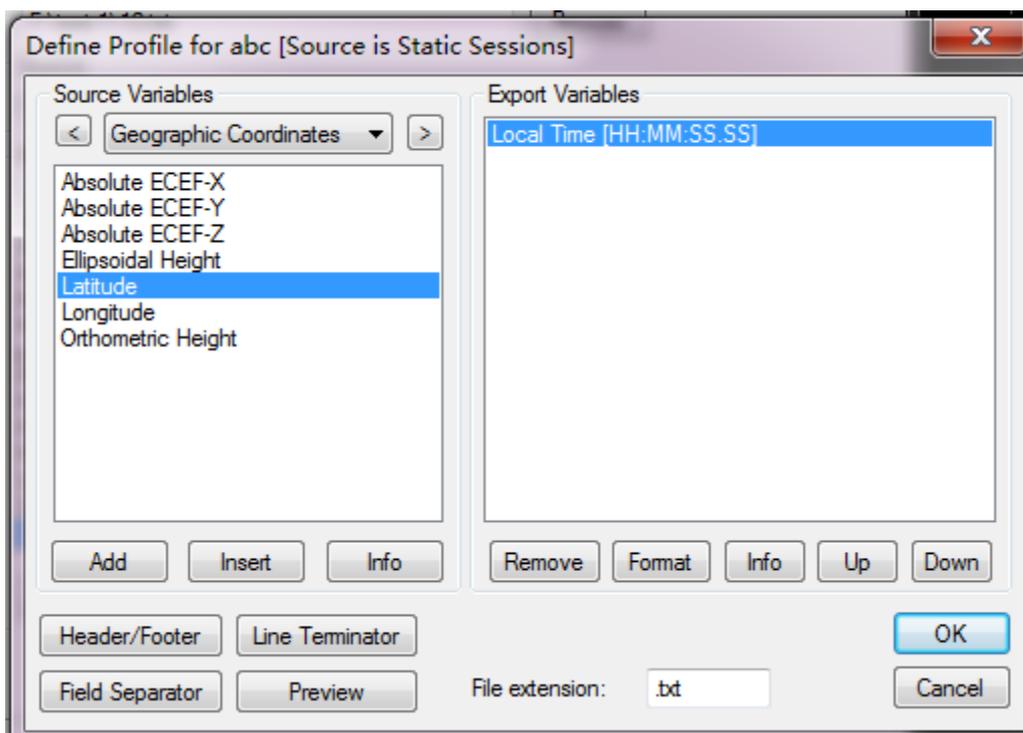
选 time/date 添加时间，选 Local Time 本地时间



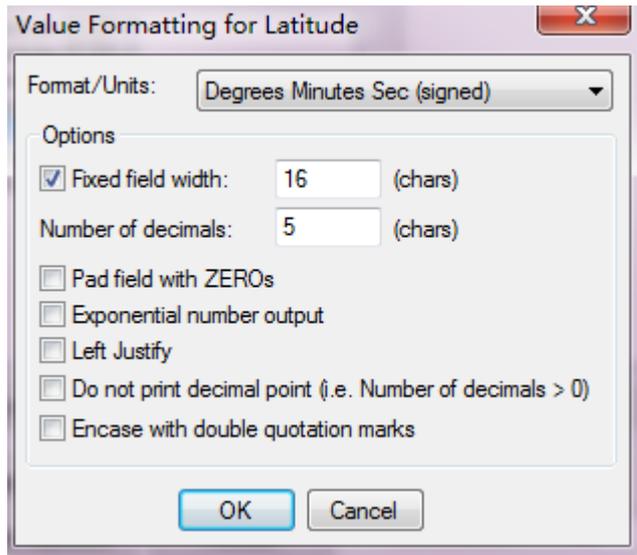
点 add 添加，选 时：分：秒 格式，点 OK



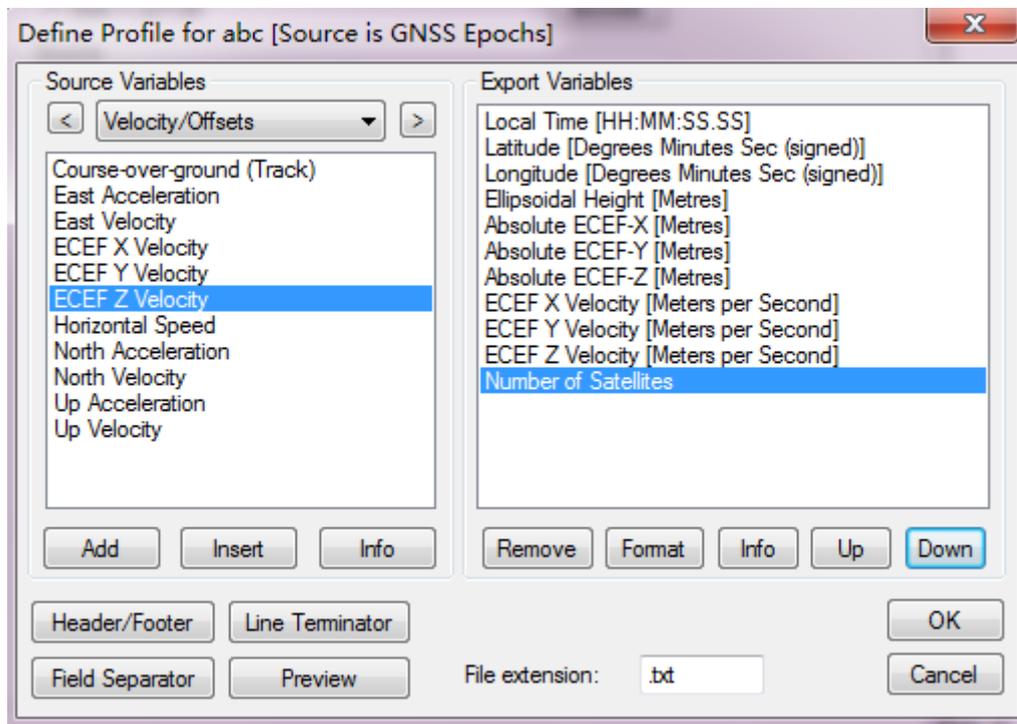
选添加位置坐标 Latitude、longitude、ellipsoidal height 如果有 X、Y、Z 也可以选进去



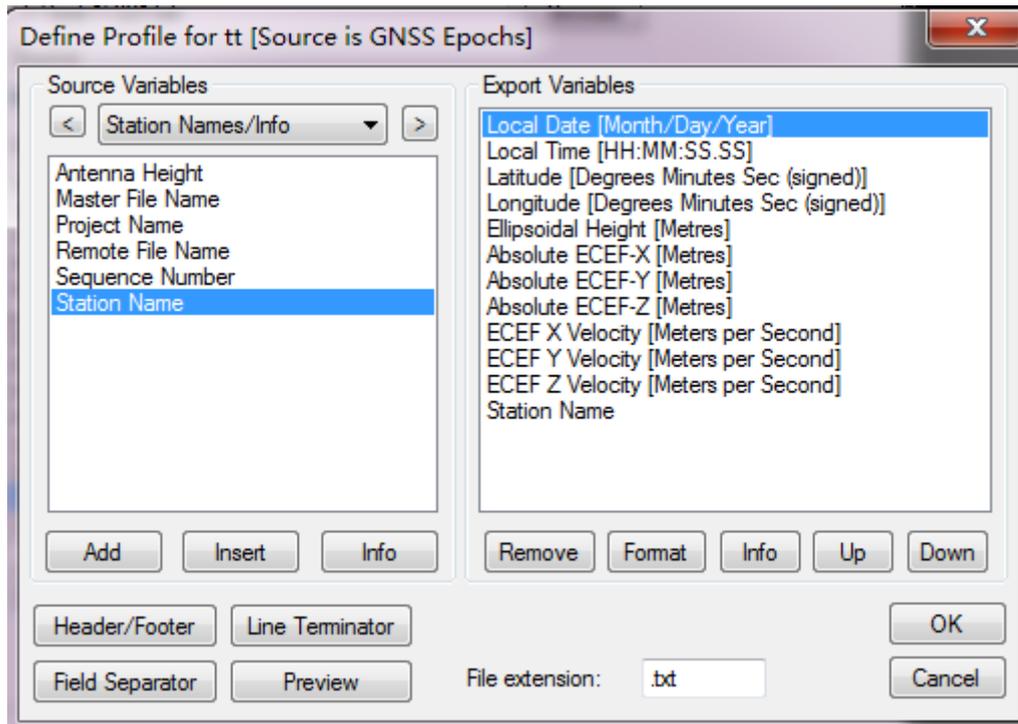
选度、分、秒格式



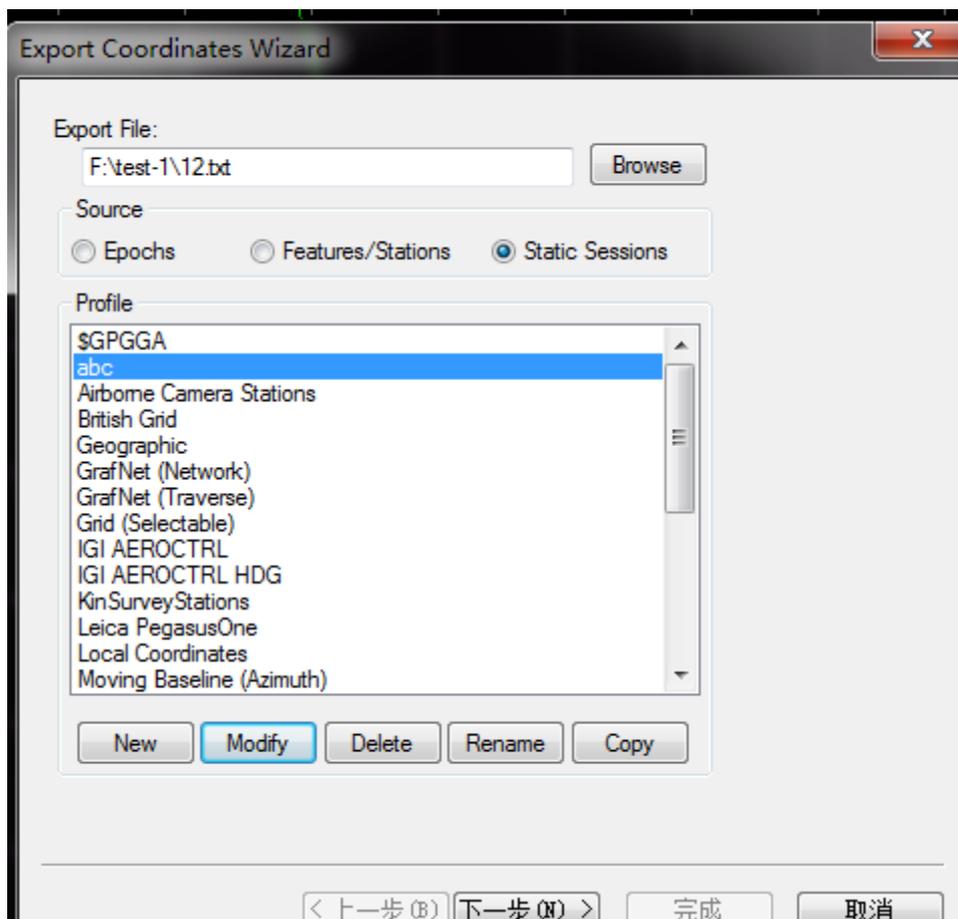
这是添加速度，选 ECEF X Velocity、ECEF Y Velocity、ECEF Z Velocity 添加



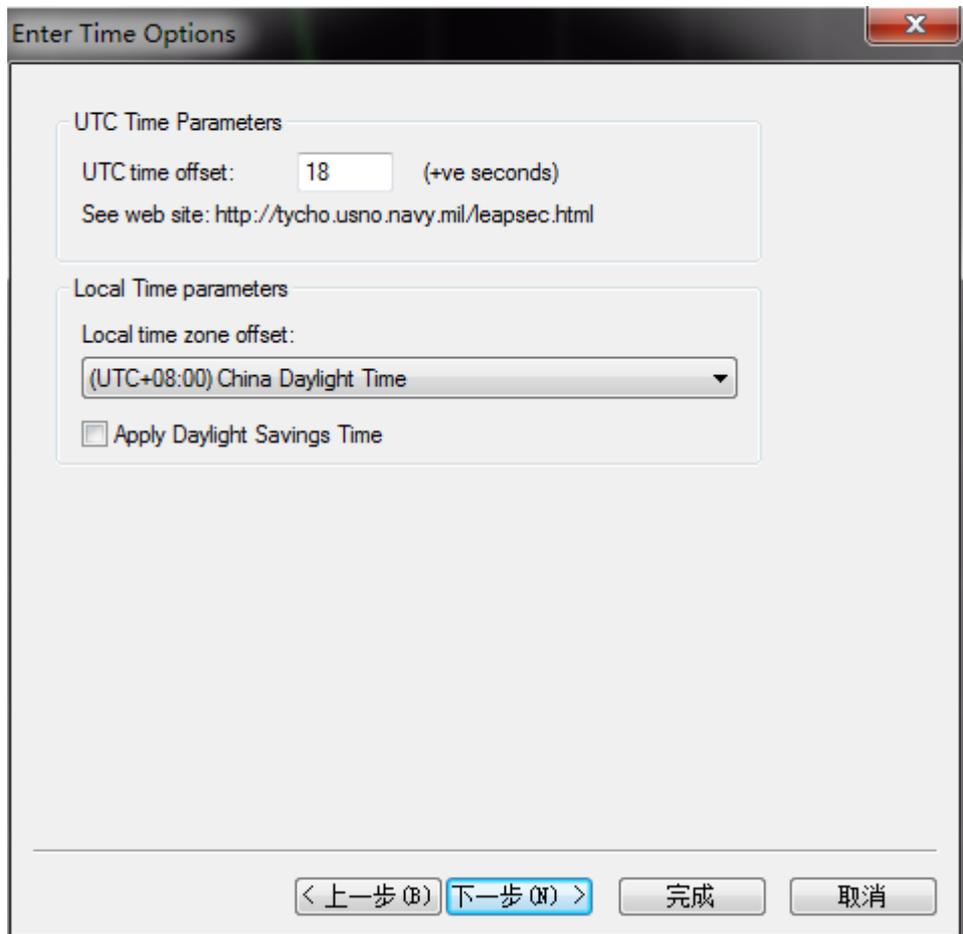
添加卫星数，



建好了 abc，选上 abc 点下一步



UTC time offset 改成 18，这是 GPS 闰秒现在闰 18 秒
Local time zone offset 改成 UTC+8



完成就可以了。

可以选择数据输出格式。也可以点 modify 修改输出格式。点下一步，点完成，生成一个数据文件，输出数据如下图：



Project: dm-1
 Program: GrafNav Version 8.60.3209
 Profile: UTM
 Source: GNSS Epochs(Combined)
 ProcessInfo: Run (1) by Unknown on 01/26/2015 at 18:03:17

Datum: WGS84, (processing datum)
 Master 1: Name R000010-, Status ENABLED
 Antenna height 0.000 m, to L1PC [Generic(NONE)]
 Position 40 03 35.68565, 116 17 51.67964, 36.405 m (WGS84, Ellipsoidal hgt)
 Remote: Antenna height 0.000 m, to L1PC [Generic(NONE)]

GPSTime (HMS)	H-Ell (m)	Latitude (+/-D M S)	Longitude (+/-D M S)	X-ECEF (m)	Y-ECEF (m)	Z-ECEF (m)	HzSpeed (m/s)	VX-ECEF (m/s)	VY-ECEF (m/s)	VZ-ECEF (m/s)
1:09:36.10	35.842	40 03 35.40259	116 17 51.17960	-2165749.228	4382532.372	4083095.768	0.007	-0.016	0.017	0.019
1:09:36.15	35.833	40 03 35.40196	116 17 51.17921	-2165749.222	4382532.382	4083095.747	0.005	0.010	-0.023	-0.014
1:09:36.20	35.835	40 03 35.40171	116 17 51.17904	-2165749.221	4382532.389	4083095.742	0.011	0.005	0.014	0.005
1:09:36.25	35.829	40 03 35.40150	116 17 51.17891	-2165749.218	4382532.390	4083095.734	0.016	0.007	-0.018	-0.037
1:09:36.30	35.835	40 03 35.40119	116 17 51.17871	-2165749.219	4382532.402	4083095.730	0.014	-0.009	0.041	0.021
1:09:36.35	35.836	40 03 35.40093	116 17 51.17858	-2165749.219	4382532.409	4083095.725	0.008	-0.008	0.013	0.002
1:09:36.40	35.834	40 03 35.40061	116 17 51.17850	-2165749.219	4382532.414	4083095.716	0.007	0.001	-0.014	-0.017
1:09:36.45	35.835	40 03 35.40026	116 17 51.17845	-2165749.222	4382532.421	4083095.708	0.023	-0.016	-0.019	-0.011
1:09:36.50	35.833	40 03 35.40006	116 17 51.17820	-2165749.217	4382532.426	4083095.702	0.019	0.017	0.007	0.006
1:09:36.55	35.827	40 03 35.39971	116 17 51.17801	-2165749.214	4382532.430	4083095.690	0.012	-0.015	0.007	0.002
1:09:36.60	35.828	40 03 35.39936	116 17 51.17782	-2165749.213	4382532.439	4083095.682	0.016	0.014	-0.007	-0.027

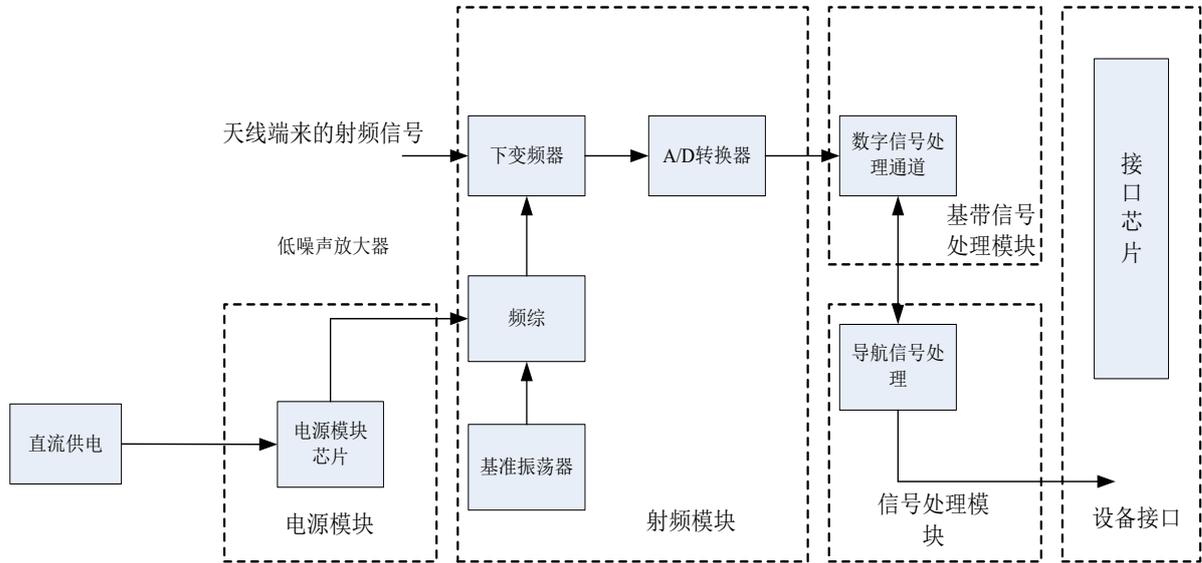
第六章接线表

编号	接口	说明
数据接口		
1	J14A-15ZK-1	12V+
2	-2	电源地
3	-3	记录器+5V
4	-4	GND
5	-5	USB+
6	-6	USB-
7	-7	NC
8	-8	NC
9	-9	NC
10	-10	NC
11	-11	GPS com1-TX
12	-12	GPS com1-RX
13	-13	GPS com1-GND
14	-14	NC
15	-15	1PPS

第七章 技术方案

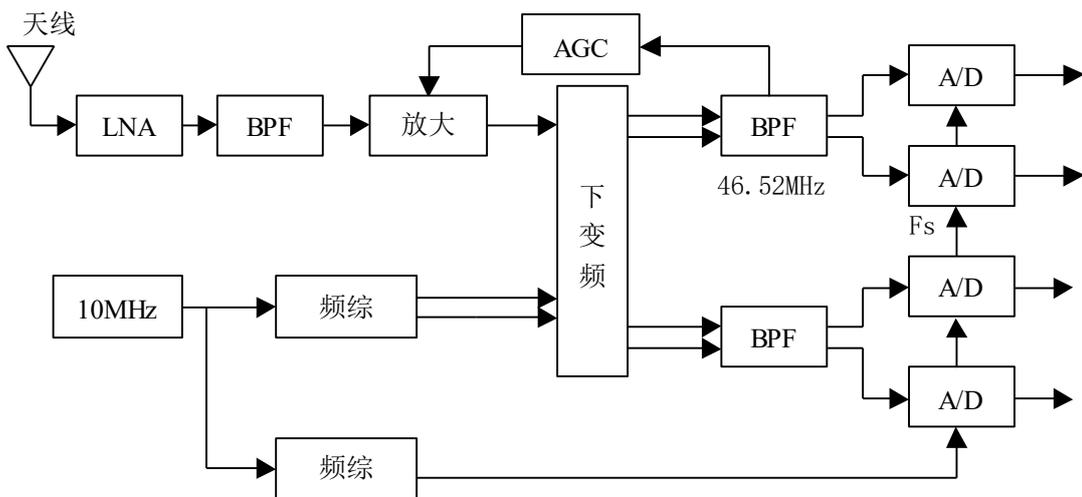
7.1 接收机设计

7.1.1 接收机组成和工作原理



1) 射频模块

射频模块完成接收卫星信号的放大、变频和 AGC 功能。卫星信号由天线送入低噪声放大器放大，带通滤波后，和本地的本振信号进行混频，将接收信号载波频率下变频为中频频率，再经过 AGC 电路送入 AD 转换器。射频模块的基本组成逻辑电路框架可以描述成下图：

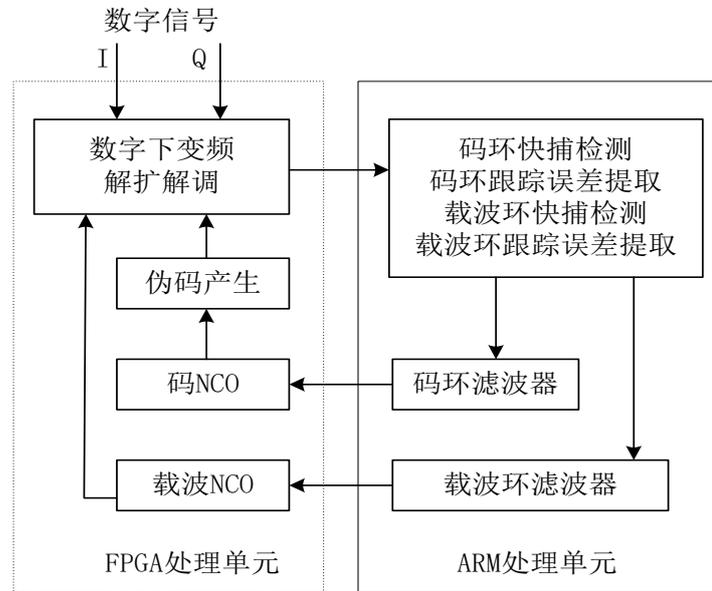


由图中可见，天线接收的微弱卫星信号经低噪声放大器放大后再送入对应的射频模块，信号在射频模块内经混频、AGC 放大、基带滤波并放大到 4dBm 电平

后输出给基带信号处理模块。

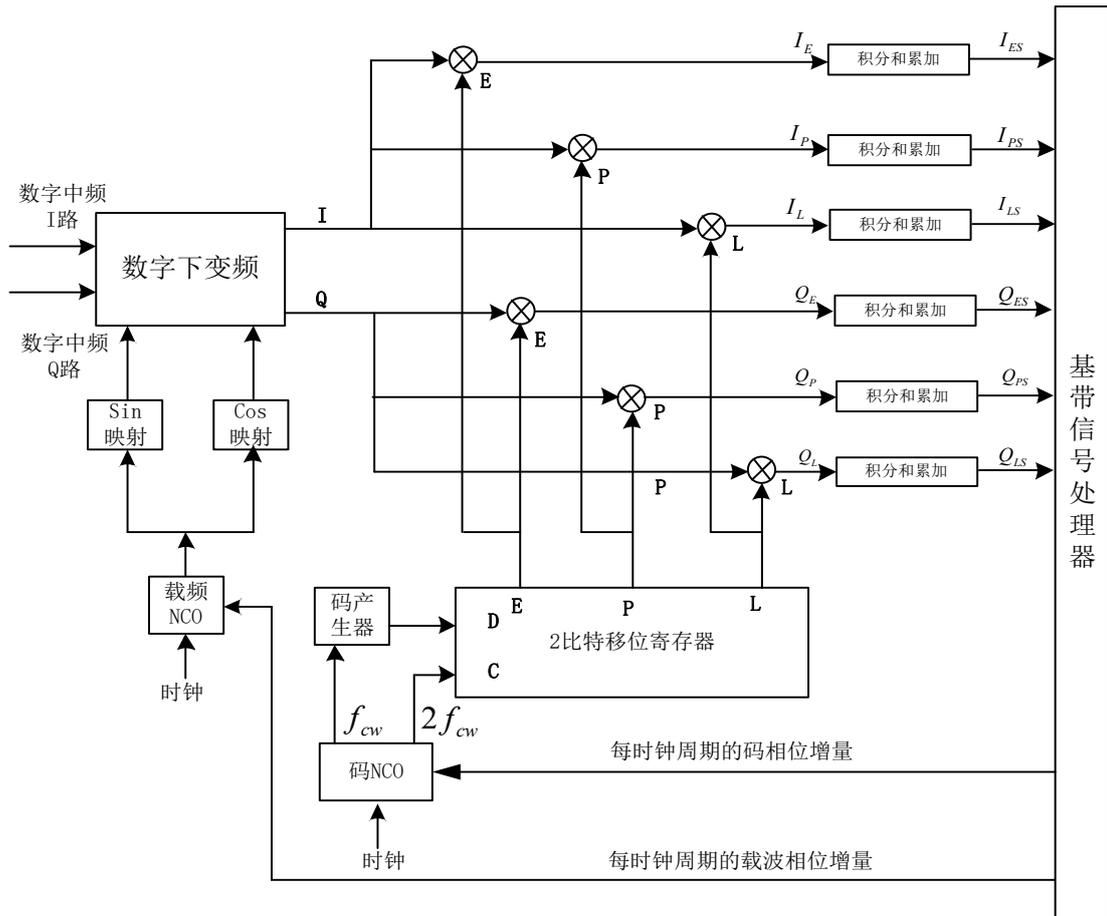
2) 基带信号处理模块

基带信号处理模块是整个 GPS 接收机的核心，实现全数字式的信号信息处理，其结构框图如下图所示。

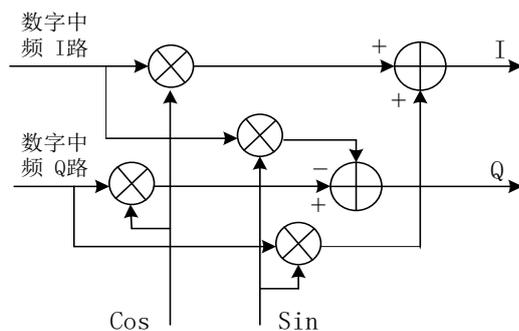


基带信号处理模块主要功能是解扩卫星导航信号；在恢复信噪比的基础上解调载波，消除频率偏移的影响，恢复基带信号；最后将相关解扩、解调处理的历元时刻所对应的码状态，载波相位状态等原始观测量数据，与导航电文一起传给应用处理模块，用于导航解算。基带信号处理模块具体实现的功能包括：数字下变频、基带滤波和基带重采样、卫星星座通道配置、码捕获、多通道卫星信号跟踪、观测向量测量和卫星信号解调。

基带信号处理模块有 240 个独立的数字信号处理通道，能保证同时跟踪多颗 GPS、GLONASS 和 BD-2 卫星。每个数字通道都能完成 PN 码的捕获与跟踪、载波的跟踪、导航信号的解扩与解调以及原始观测量（如伪距、载波相位）的提取等功能。图 4 给出了数字接收处通道的高层方框图。

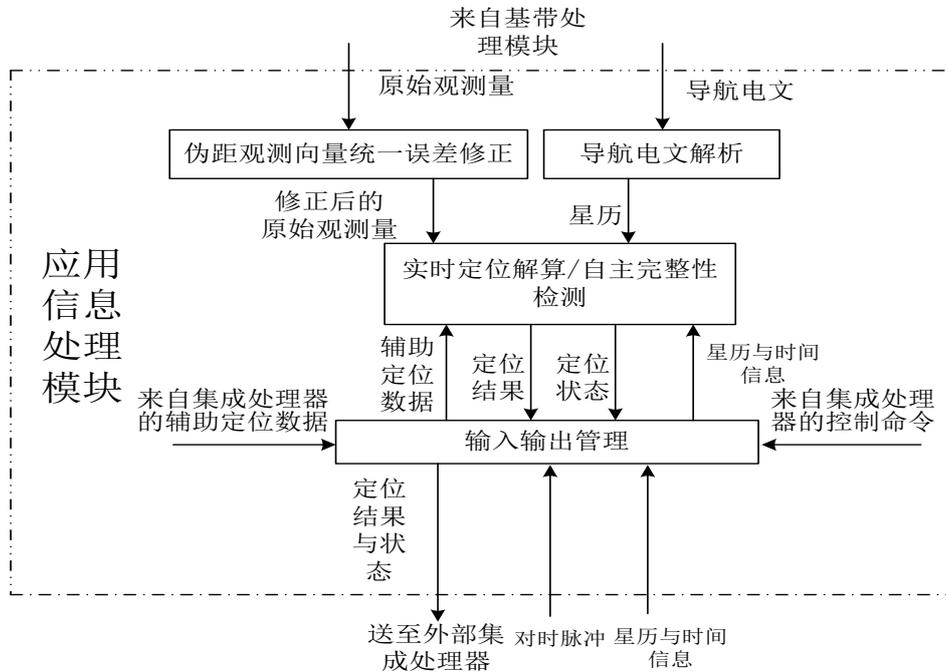


复现的载波（包括载波多普勒）信号由载波数控振荡器（NCO）以及离散的正弦和余弦映射函数合成而来。数字下变频器完成数字中频 IQ 两路信号的载波剥离，其逻辑电路结构如图 5 所示。数字下变频器输出的新的两路 IQ 信号与超前、即时与滞后的复现码（加了码多普勒）发生相关，实现码剥离。至此，数字中频信号变为了数字基带信号。复现码由码发生器、2 比特的移位寄存器及码 NCO 组合产生。在闭环工作的时，码 NCO 由接收机处理器中的码跟踪环控制，载波 NCO 由载波跟踪环控制。三组同相正交支路序列（IE, QE），（IP, QP）和（IL, QL）中的（IP, QP）用于码捕获和信号解调，其它两组用于码跟踪。



3) 信息处理模块

信息处理模块完成导航数据的实时解算（即导航电文和实时观测信息的处理，导航定位、测速、守时解算、坐标转换和时统转换）和与外部的接口数据双向传输。



4) 电源模块

提供对整个接收机的供电。

7.1.2 软件功能

软件采取模块化设计，不仅可提高 OEM 板可靠稳定性，支持在线快捷升级，为后续满足客户的升级需求带来极大的便利。

采用流行的 RTK 技术，提高一体机的测量精度。

7.1.3 特点

采用北斗双频、GPS 四频、GLONASS 双频、三系统进行联合定位，具有超远距离的 RTK 解算引擎，适应更加恶劣、更远距离的定位环境，让您在超远距离或遮挡严重的地区，感受一样的 RTK 定位效果。

支持短、中、长基线，RTK 作业距离最长可达 500km

支持单系统独立定位和多系统联合定位

支持动态基站，可以用于二维定向

高可靠的载波跟踪技术，大大提高了载波精度，为用户提供高质量的原始观

测数据

智能动态高灵敏度信号跟踪技术，适应各种弱信号环境，部分天线遮挡环境也能正常收星定位。

7.2 内置电池

设备的内置电池采用军品锂离子电池。具有以下优点：

(1) 耐高温和低温，在+55℃~-40℃均能正常工作，在-40℃时能输出 1A 以上的电流，放电量超过 60%；

(2) 具有抗振动，防爆裂设计；

(3) 内部具有过压、过载、过充保护电路。

(4) 使用寿命长，500 次充放电后，电池容量不低于 80%。

7.3 GK-AirAnt8 型 GNSS 多频航空型天线

GK-AirAnt8 型 GNSS 多频航空型天线被设计为支持空中，陆地和海洋应用，坚固的外壳和安装固定设计允许天线在航空环境中使用。

该天线可接收北斗二代 B1、B2 频点，GPS L1、L2、L2C、L5 频点，GLONASS L1、L2 频点信号。这确保了天线全面支持目前和未来的全球导航卫星的信号，包括 GPS、GLONASS 和北斗的支持。能支持现在和未来最有可能的差分 GPS 接收机。

该天线经由空军多家单位安装飞行，具备高性能的航空测绘的全球导航卫星系统的支持。

7.4 数据记录器设计

数据记录器是我公司独立研发，具有自主知识产权的专用存储板卡。flash 存储芯片直接焊接在电路板上，有独立的 ARM 处理器，抗振动和可靠性非常高，可保证数据记录器的环境适应性。数据记录器的数据存储容量为 8G，可保证长时间（大于 50 小时）卫星原始测量数据的保存。

数据记录器与接收机的数据接口为 RS232，速率为 9600 bps ~460800bps 可设置，可保证与接收机数据传输的匹配性。数据记录器与接收机的数据接口采用点对点焊接的方式连接，连接方式牢靠。

数据记录器提供 USB2.0 下载接口，下载速率能达到 100Mbit/s，无需安装

驱动程序和下载软件，兼容 windows 2000、win XP、win7、win 8、win 10 等操作系统。

第八章 主要关键技术

公司经过多年为载体研制配套卫星导航产品，相关卫星导航技术已经成熟，如高动态卫星信号快速接收捕获跟踪、导航定位高精度滤波算法、卫星信号双分集接收等，针对本项目，主要从定位与测速关键技术、失锁重定位关键技术、弱信号跟踪捕获关键技术、小型化设计关键技术、事后差分的深度融合关键技术、双分集算法融合关键技术和功耗控制技术几个方面进行阐述。

8.1 定位与测速关键技术

卫星导航定位及测速关键技术，公司多个武器型号产品中经过飞行试验验证，其产品技术指标及成熟度均能够满足要求。以下重点对高动态环境适应性技术分析、定位技术精度分析、测速技术精度分析、高动态条件下失锁重定位技术进行阐述。

(1) 动态环境适应性设计分析

根据测量设备接收环路理论，当采用一阶环路滤波器时，环路对速度应力敏感，即有速度时会造成失锁；当采用二阶环路滤波器时，环路对速度不敏感，对加速度应力敏感，即速度变化会造成环路失锁；当采用三阶环路滤波器时，环路对速度、加速度均不敏感，而是对加加速度敏感，即加速度的剧烈变化会造成环路失锁。

测量设备设计时，在没有惯导辅助情况下，载波跟踪环采用三阶环路滤波器，码跟踪环采用二阶环路滤波器，同时载波跟踪环辅助码跟踪环，理论上对速度、加速度不敏感，对加加速度敏感。经过公司以前多个型号卫星接收机产品实际飞行试验验证，产品在飞行试验高动态环境下，工作正常，产品未出现在动态环境下收星定位不正常的现象。

公司已有成熟产品，通过卫星信号模拟器测试，产品动态性能最高能够满足速度：515m/s；加速度：6g；加加速度：5g/s 的要求。

(2) 定位技术精度设计分析

卫星伪距和载波相位测量值影响定位精度，其中包含着各种误差。测量误差根据来源不同可分为以下三个方面：

①与卫星相关的误差：这部分误差主要包括卫星时钟误差和卫星星历误差，它们是由于 BD2/GLONASS/GPS 地面监控部分无法对卫星的运行轨道和卫星时钟的频漂做出绝对准确的测量和预测引起的。

②与信号传播有关的误差：由于 BD2/GLONASS/GPS 卫星信号需要穿越大气层，而大气层对信号传播的影响表现为大气延时。大气延时主要包括电离层延时和对流层延时两部分。

③与接收机有关的误差：这部分误差主要由多路径效应和接收机噪声引入。

下文将分析测量设备测量中的各误差项，由此得出伪距误差预算，并根据它来分析测量设备的定位误差。

测量误差分析

①卫星时钟误差

卫星上作为时间和频率信号来源的原子钟存在着必然的时间偏差和频率偏移，因此测量设备会采用如下的二阶时钟修正模型来对各颗卫星的时间参数进行修正。

$$\Delta t^{(s)} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2$$

但是由于该模型不可能与卫星的真实运行情况完全吻合，因此根据该模型校正后卫星时钟值与 BD2/GLONASS/GPS 时间之间依然存在着一定的误差。在数据龄期为零时，一颗典型卫星的时钟误差在 0.8m 左右，然后随着时间延长慢慢增大。根据参考文献，随着装备性能更好的时钟的新卫星的发射升空，以及控制段所作的不断改进，残留时钟误差预期正在减小，现阶段星座的 1σ 时钟误差已降低至到 0.6 m。

②卫星星历误差

BD2/GLONASS/GPS 卫星系统采用星历中的轨道参数来描述、预测卫星的运行轨道。这些轨道参数是控制段关于每颗卫星位置的最佳估计值进行曲线拟合产生的。这一轨道模型与卫星的真实运行轨道将存在着必然差异，其幅度的典型值在 $1\sim 6\text{m}$ 等范围内。星历误差在切向和横向的分量要大很多，因此该误差对伪距的影响相对较小，其误差在 0.8m (1σ) 左右。另外，随着新卫星的发射升空，以及控制段所作的不断改进，残留卫星星历误差对伪距的影响已减小到 0.4m (1σ)。

③对流层延迟误差

对流层是大气层中较低的部分，对于低于 15GHz 频率来说它是非色散的。在这种介质中，与 BD2/GLONASS/GPS 载波和信号信息相关联的相速和群速相对于自由空间传播被等地延迟了。若不补偿，这种延迟的等效距离的变化范围可达 $2.4\text{m}\sim 25\text{m}$ 。

在没有实时气象资料的情况下，采用较为通用的对流层模型进行校正后，对流层的误差一般在 $0.1\sim 1\text{m}$ 左右，其 1σ 的典型值为 0.2m 。

④电离层延时误差

电离层是一种色散介质，当 BD2/GLONASS/GPS 卫星信号经过电离层时，会产生延时。因此要用电离层模型来校正电离层延时。通过在导航电文中包含的一系列参数，该模型平均能消除约 50% 的电离层延时，在天顶方向上误差大约为 $1\sim 5\text{m}$ 。电离层延时残差 1σ 典型值（对全球和仰角求平均后）是 7m 。但是，残留电离层误差在各个卫星之间是高度相关的。当电离层模型估算出的垂向电离层延迟的太高（低）时，对每颗可见卫星的斜向延迟估计值就会太高（低），这样残留电离层延时误差的主要分量对于每颗卫星是共有的，从而可消解到用户时钟项中。即电离层误差对最终定位结果的影响由于残留电离层误差在各个卫星之间的高度相关性而显著降低，其影响主要由电离层各个方向上电子总数密度的差异性决定的， 1σ 的典型值为 1.2m 。

⑤多路径误差

多路径现象指的是接收机天线除了接受到一个从卫星发射后经直线传播的电磁波信号外，还可以接收到一个或多个由该电磁波经周围物体反射后的信号，而每个反射信号又可能经过一次或多次反射后到达天线。这种多路径效应会对接收机的信号测量值产生误差。对于一个宽带接收机的伪距而言，在一个相对良好的环境下（四周空旷且天线高度较高）的多路径误差的典型 1σ 值为 0.2m，而在高空飞行中，由于不存在多路径效应，因此此时多路径的误差值为 0m。

⑥接收机噪声误差

接收机跟踪环路会产生测量误差，主要的伪距测量误差源是热噪声颤动和干扰的影响。接收机噪声误差的 1σ 典型值为 0.1m。

伪距误差预算

系统总伪距误差 (UERE) 由来自各个系统区域 (空间段、控制段和用户段) 分量组成。对这些误差分量取平方和的平方根 (RSS) 以形成系统总 UERE，假定其呈高斯分布。在下面的假设之下使用 UERE 分量的 RSS 和是正确的：即各误差可以视为独立的随即变量，其方差可求和，或者说等效的 1σ 总误差就是单个 1σ 值的 RSS。

当前 UERE 预算所作的估计值如下表所示。

表 1 伪距误差估计值

区域段	误差源	1σ 误差 (m)
空间/控制	广播时钟	0.6
	广播星历	0.4
用户	电离层延时	1.2 ^{注1}
	对流层延时	0.2
	接收机噪声和分辨率	0.1
	多径	0.0 ^{注2}
σ UERE	总计 (RSS)	1.42 ^{注3}

注 1：电离层误差对最终定位结果的影响

注 2：在高空环境下，无遮挡，多路径误差基本为 0

注：系统 UERE 误差均方差平方和再开根号即

$$\sqrt{0.6^2 + 0.4^2 + 1.2^2 + 0.2^2 + 0.1^2} = 1.42\text{m}$$

定位误差分析

如果伪距误差是高斯分布的，则垂向和水平位置误差也服从高斯分布。定位精度的一种常用的度量就是误差幅度，68%的测量值落在这个范围内，即大约等于高斯随机变量的 1σ ，因此

$$68\% \text{垂向定位精度} = 1 * \text{VDOP} * \sigma_{\text{UERE}}$$

$$68\% \text{水平定位精度} = 1 * \text{HDOP} * \sigma_{\text{UERE}}$$

假设伪距误差也是零均值，且在每颗卫星之间是相互独立的。对于 BD2/GPS 卫星星座，VDOP 的全球平均值为 1.6，HDOP 的全球平均值为 1。在 PDOP 值为 4 的情况下，按照全球平均值等比放大，VDOP 取值 2.76，HDOP 取值 1.73， σ_{UERE} 取上文计算出的 1.42，计算得出接收机的 68%的垂向定位精度为 3.91，68%水平定位精度为 2.45。

根据定位误差理论分析，测量设备满足技术指标提出的 PDOP<4 时，水平定位精度<3m，垂向定位精度<5m 的要求。

根据公司成熟卫星导航产品实测，水平定位精度<2.8m，垂向定位精度<4.5m。

测速技术精度设计分析

测量设备通过设计保证能够在 515m/s 的速度下正常捕获跟踪卫星。通过使用三阶载波环设计方式，使测量设备对加速度不敏感，在有加速度的情况下载波相位观察值无偏。

根据载波热噪声公式：

$$\sigma_{\text{PLL}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{1}{C/N_0} + 2T_{\text{coh}} * C/N_0}$$

根据典型场景有

BL =40 (Hz)

C/No = 36dbHz = 3981 Hz

Tcoh = 0.001 s

可以求出 $\sigma_{\tau\text{PLL}}=6.1$ 度

由晶体引起的相位噪声为 $\sigma_A = 360 \text{ 度} * F * T_{\text{coh}} * \sigma_{\tau}$

F= 1.6e9 Hz (取 GPS 频率, B2 频率比这小很多)

Tcoh = 0.001

$\sigma_{\tau}=1e-9$ 晶振的阿伦方差为 10 的-9 次方

则 $\sigma_A= 0.576$ 度

假定机械颤动引起的测量设备基准震荡频率抖动相位方差为 2 度, 则总的相位方差为

$$\sigma = \sqrt{6.1^2 + 2^2 + 0.576^2} = 6.44 \text{ 度}$$

按照 b2 波长 0.236 米计算, 6.44 度对应 $7.1/360*0.236 = 0.00422\text{m}$, 前后两次载波相位相减, 可以得到载波间距测量精度为 $0.00465*1.414 = 0.006\text{m}$, 在 1s 的时间间隔上, 可以得出多普勒的精度为 0.006m/s。考虑 pdop =4, 则速度精度为 0.024m/s。

这里求出的是 1s 的平均速度, 在仅有加速度的情况下, 这相当于 0.5s 之前的速度, 也就是输出滞后 0.5s, 如果要将速度推到当前时间, 可以向前多考察几秒, 使用速度与加速度的关系求出加速度, 从而将速度推到当前时间, 取时间为 4s, 则不会造成求解精度损失。

根据上述方案, 可以在匀加速下保证测速精度为 0.024m/s。

使用卫星信号模拟器对公司已有成熟产品速度精度实测结果为:

515m/s, 6g 加速度, 测速精度为 0.024m/s, 满足指标要求。

8.2 失锁重定位技术分析

为提高测量设备失锁重定位的速度, 应从三个方面进行考虑:

提高信号搜索速度；

缩小信号搜索范围；

减少重捕完成后收集星历时间。

航向测量设备采用以下技术对这三个方面进行有效改进：

并行码相位搜索技术

码捕获过程为在特定的搜索时间内用本地的码序列和输入信号码序列进行相关运算。码捕获过程为在特定的搜索时间内用本地的码序列和输入信号码序列进行相关运算。为提高捕获速度，对于短码的捕获采用无源相关器捕获技术，它是一种采用匹配滤波器快速捕获技术，利用匹配滤波器可以实现接收信号与本地码序列连续相关运算。输入的同相和正交两路基带信号样本序列与本地 PN 码序列在数字匹配滤波器中进行相关运算，同相和正交两个相关值经平方相加后消除非相干载波相位的影响，再和设置的门限比较，得到同步指示。

测量设备通过 FPGA 实现了 GPS L1L2L2CL5、GLONASS L1L2、BD2 B1B2 的匹配滤波器模块。利用该匹配滤波器模块可一次性完成某颗卫星某一频点上所有码相位的搜索，从而将卫星信号的搜索从二维搜索（频率和码相位）降低到一维搜索（频率）。利用 FPGA 的并行运算特点，可有效加快码相位的搜索速度。按照目前的实现，GPS L1L2L2CL5 完成一频点的搜索所需时间仅为 4ms 左右，BD2 B1B2 完成一个频点的搜索所需时间仅为 17ms 左右。另外，通过在 FPGA 中增加匹配滤波器模块的数量可进一步提高搜索速度。例如，若将 BD2 B1B2 匹配滤波器增加到两个，则在 17ms 的时间内可完成 2kHz 的搜索，即完成 2kHz 的搜索所需时间为 9ms（17/2）左右。

速度辅助捕获技术

测量设备在确定卫星失锁重捕时频率的搜索范围时以失锁时刻卫星的频率为中心向两边扩展。在卫星失锁后，由于航向测量设备与卫星在两者连线方向上的相对速度发生变化，导致实际卫星信号的频率与失锁时刻卫星的频率出现差

异。速度变化与频率变化的对应关系如下：

$$\Delta f = \frac{\Delta v}{c} f_1$$

其中 c 为光速， f_1 为卫星信号的载波频率， Δv 为速度变化量， Δf 为频率变化量。根据 B2 载波进行计算，515m/s 的速度，6g 的加速度，5g 的加加速度下，失锁 5s 后速度的变化量为 360m/s，此相对速度变化量将产生最大 4kHz 的频率变化量。若以 1kHz 的步进进行正负 4kHz 搜索，则需进行 4 个频点的搜索。在没有外部辅助的情况下，一颗卫星需要 0.099s 的重捕时间，重捕 5 颗卫星完成定位需要 0.5s 的时间。

快速帧同步技术

普通的帧同步通常需要消耗一个子帧周期的时间，因此定位时间较长。为解决这一问题，测量设备采用了快速帧同步技术。测量设备在卫星失锁时刻记录该卫星的导航电文帧接收情况，并在重捕成功后，利用该数据和测量设备内部时钟数据对帧同步进行修复，从而快速进入帧同步状态。而且 B1B2 状态下，卫星捕获即确定时间。

测量设备采用该技术后，可保证失锁卫星在进入位同步后在立即进入帧同步状态，从而有效缩减失锁后重定位的时间。

第九章 技术方案先进性分析

针对本技术方案先进性，从技术先进性、原创性、在国内领先程度等方面进行分析，主要体现在以下几个方面：

（1）定位与测速技术

公司在为多个武器装备型号研制差分 GPS 接收机，其定位和测速技术成熟，并经过歼击机和无人机多次飞行试验验证，产品的动态环境适应性、定位精度、测速精度、高动态条件下失锁重定位时间等指标均能够满足要求，产品定位和测速技术水平和成熟度处于国内领先水平。

（2）小型化设计

公司结合多年的卫星导航接收机设计，积累了小型化设计技术基础，如射频电路线路设计、基带电路设计、低功耗、小型化器件选型以及固态存储技术，相关技术已在技术方案中阐述。以上技术，已应用在小型化机载差分 GPS 接收机中，并完成上千次飞行试验，在国内属首次，处于领先水平。

（3）功耗控制技术

测量设备射频通道多，相应会带来功耗大，再加上产品的小型化要求，会带来设备局部发热大。针对该问题，进行了详细的热设计，在此基础上，首次增加了功耗控制技术，降低了设备功耗，使设备的散热能够满足设备安装及使用要求。该技术在国内外未见其他同类产品使用。

综上所述，测量设备技术方案在已有产品基础上，采用了成熟先进技术，其中功耗控制技术等为公司独有原创性设计，多项技术水平国内领先。