

LiDAR10 数据预处理流程

编 制： 深圳飞马机器人科技有限公司

版本号： V1.3.4

日 期： 2023-08-23

目录

1. LiDAR10 简介	1
2. 数据准备	1
2.1 机载 GPS 文件	1
2.2 载荷 DATA 文件	1
2.3 载荷 IMU 文件	2
3. 点云轨迹解算	2
3.1 机载 GPS 数据格式转换	2
3.2 基站数据格式转换	4
3.2.1 飞马网络基站预处理	4
3.2.2 实体基站数据格式转换	4
3.3 文件存放整理	5
3.4 GPB 格式转换	6
3.4.1 常规 GPB 格式转换	6
3.4.2 多基站 GPB 格式转换	9
3.5 数据添加	11
3.6 紧耦合差分解算	14
3.7 质量检查与轨迹导出	17
4. 点云数据预处理	18
4.1 新建项目	19
4.2 点云解算	23
4.3 质量检查	25
4.4 航带平差	27

4.4.1 特征提取	27
4.4.2 航带平差	28
4.5 去冗余	30
4.6 去噪	31
4.7 点云赋色	32
4.7.1 基于载荷相机进行点云赋色	32
4.7.2 基于原始影像进行点云赋色	33
4.7.3 基于 DOM 实现点云赋色	35
4.8 坐标转换	36
4.8.1 标准坐标系输出	36
4.8.2 独立坐标系输出	38
4.9 精度检查	41
4.10 点云标准格式（LAS）导出	42
4.11 多架次数据处理思路	43
5.常见问题	44

版权声明

本文档版权由深圳飞马机器人科技有限公司所有。任何形式的拷贝或部分拷贝都是不允许的，除非是出于有保护的评价目的。

本文档由深圳飞马机器人科技有限公司提供。此信息只用于数据处理与应用部门的成员或咨询专家。特别指出的是，本文档的内容在没有得到深圳飞马机器人科技有限公司书面允许的情况下，不能把全部或部分内容泄露给任何其它单位。

FEIMA
ROBOTICS

FEIMA
ROBOTICS

FEIMA
ROBOTICS

FEIMA
ROBOTICS

1.LiDAR10 简介

DV-LiDAR10 集成了国产长距高精度激光雷达，该款雷达具备最远测距 1500m，最高点频 1000kHz 的长测距、高点频特点，典型测距精度 $\pm 5\text{mm}$ 。搭配全画幅航测相机，可以满足大面积地形测绘、电力巡线等应用场景。

2.数据准备

完成飞行任务后，在飞机及雷达上下载的数据包括流动站数据、LiDAR 原始数据以及载荷 IMU 文件。

2.1 机载 GPS 文件

LiDAR10 获取的流动站数据如下：

2022-02-17 19-44-09.bin	2022/3/7 17:11	UltraEdit Docum...	48,889 KB
2022-02-17 19-44-09.fmcompb	2022/3/7 17:10	FMCOMPB 文件	31,396 KB
2022-02-17 19-44-09.fmnnav	2022/3/7 17:10	FMNAV 文件	2,357 KB
2022-02-17 19-44-09.pos	2022/3/7 17:10	POS 文件	2 KB

图 LiDAR10 流动站数据示例

具体用途参考下表：

bin 文件	飞行日志
fmcompb 文件	机载 GPS 观测数据
fmnav 文件	RTK 轨迹
pos 文件	机载 POS 文件

表 流动站数据用途介绍

2.2 载荷 DATA 文件

LiDAR 原始数据格式为.imp，如下图所示：

20220217-115923_00433_Lidar10_0001.imp	2022/3/7 17:08	IMP 文件	62,465 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0002.imp	2022/3/7 17:08	IMP 文件	58,379 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0003.imp	2022/3/7 17:08	IMP 文件	55,326 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0004.imp	2022/3/7 17:09	IMP 文件	58,958 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0005.imp	2022/3/7 17:09	IMP 文件	73,071 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0006.imp	2022/3/7 17:09	IMP 文件	58,852 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0007.imp	2022/3/7 17:10	IMP 文件	57,963 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0008.imp	2022/3/7 17:10	IMP 文件	54,278 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0009.imp	2022/3/7 17:10	IMP 文件	55,377 KB
20220217-115923_00433_Lidar10_0010.imp	2022/3/7 17:11	IMP 文件	68,404 KB

图 LiDAR10 原始数据示例

2.3 载荷 IMU 文件

20220315-031435_00016_IMU_DATA_0001.imr	2022/3/16 18:17	Waypoint Raw I...	44,307 KB
---	-----------------	-------------------	-----------

图 LiDAR10 IMU 文件示例

3.点云轨迹解算

在 IE 中可以进行 LiDAR10 的点云轨迹解算,后续管家也会支持对 LiDAR10 的点云轨迹解算。

3.1 机载 GPS 数据格式转换

GPS 数据格式转换的目的是将原始观测数据转为 RINEX 格式数据,后续使用 RINEX 格式数据下载网络基站,并在 IE 中转为.gpb 格式数据进行轨迹解算,具体操作流程如下:

- 1) 选择无人机管家主界面下的【智理图】-【GPS 处理】-【GPS 格式转换】。



图 智理图 GPS 格式转换入口

2) 在【GPS 文件】中选择流动站的.fmcompb 文件，点击确定，转换后的 RINEX 文件默认储存到和原始 GPS 文件同一路径下，按照默认路径输出即可。

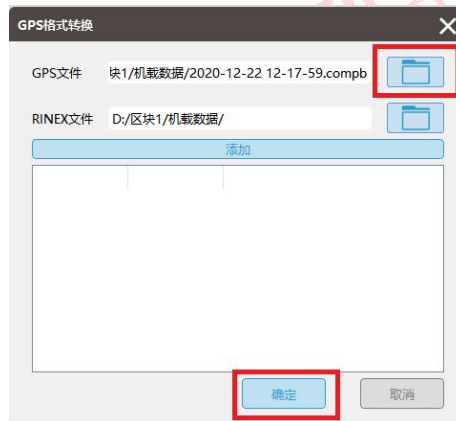


图 GPS 格式转换

3) 单击【确定】后在指定 RINEX 文件目录下会生成.O 文件以及其他格式的星历文件和导航文件。

2022-02-17 20-04-42.22C	2022/3/8 11:15	22C 文件	21 KB
2022-02-17 20-04-42.22G	2022/3/8 11:15	22G 文件	4 KB
2022-02-17 20-04-42.22N	2022/3/8 11:15	22N 文件	19 KB
2022-02-17 20-04-42.22O	2022/3/8 11:15	22O 文件	75,450 KB

图 GPS 格式转换

3.2 基站数据格式转换

3.2.1 飞马网络基站预处理

当外业飞行所用机型同步开通了飞马-千寻后差分服务时，可进行网络基站获取。

在【智理图】-【GPS 处理】-【GPS 解算】观测文件中导入 3.1 节流动站格式转换后生成的.O 文件，勾选【基准站】，点击下载，根据飞行端口进行选择（8002 对应 WGS84，8003 对应 CGCS2000），下载对应的基准站文件，下载目录会自动生成 4 个文件夹，其中 upload 为机载上传数据，download 为网络基站数据包，log 为基站下载日志，base 为基站解压后数据，后续轨迹解算需要用到的网络基站为 base 文件夹里的.O 文件以及星历文件.P 文件。

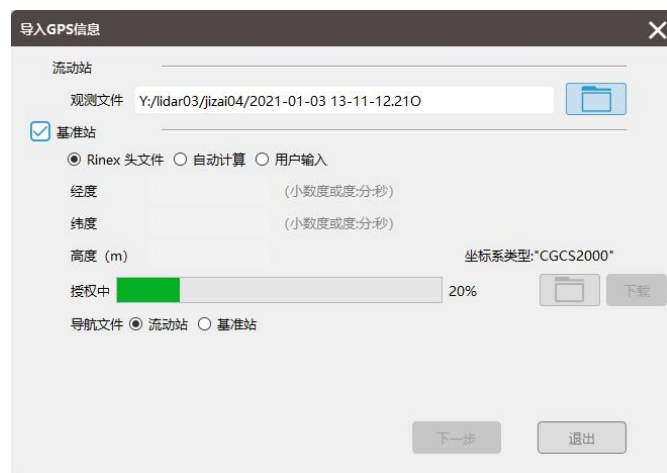


图 下载网络基站

3.2.2 实体基站数据格式转换

若飞行中采用了架设实体基站的作业方式，则基站的观测文件使用相关厂家的转换软件去进行标准 RINEX 数据格式的转换，管家支持转换.compb、.fmcompb 以及.gns 这三种格式的基站数据，转换步骤如下：

- 1) 选择无人机管家主界面下的【智理图】-【GPS 处理】-【GPS 格式转换】。



图 智理图 GPS 格式转换入口

2) 在【GPS 文件】中选择基站的.GNS 文件，点击确定，转换后的 RINEX 文件默认储存到和原始 GPS 文件同一路径下，按照默认路径输出即可。

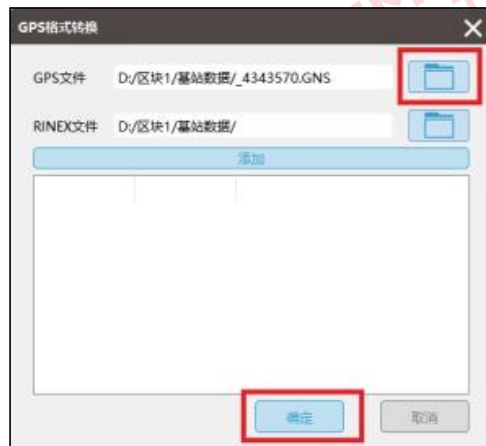


图 GPS 格式转换

3) 单击【确定】后在指定 RINEX 文件目录下会生成.o 文件和其他格式的星历文件和导航文件。

	_4343570.20o	2021/1/20 14:56	200 文件	11,028 KB
	_4343570.20p	2021/1/20 14:56	20P 文件	347 KB

图 基站转换示例

3.3 文件存放整理

建立文件夹，将网络基站(或实体基站)、机载原始观测数据转换后的 RINEX 格式文件和 imr 文件拷贝到新建的文件夹下。

2022-02-17 20-04-42.22C	2022/3/8 11:15	22C 文件	21 KB
2022-02-17 20-04-42.22G	2022/3/8 11:15	22G 文件	4 KB
2022-02-17 20-04-42.22N	2022/3/8 11:15	22N 文件	19 KB
2022-02-17 20-04-42.22O	2022/3/8 11:15	22O 文件	75,450 KB
2022-02-17_19-44-09_base.o	2022/3/8 12:10	O 文件	4,282 KB
2022-02-17_19-44-09_base.p	2022/3/8 12:10	P 文件	4,587 KB
20220217-113849_00432_IMU_DATA_0001.imr	2022/3/7 17:04	Waypoint...	17,033 KB

图 文件存放整理

注：IE 不支持中文路径，请确保文件存放位置为全英文路径。

3.4 GPB 格式转换

3.4.1 常规 GPB 格式转换

1) 打开 IE，点击【File】-【New Project】-【Empty Project】，选择 3.3 节新建的文件夹，输入文件名，保存。

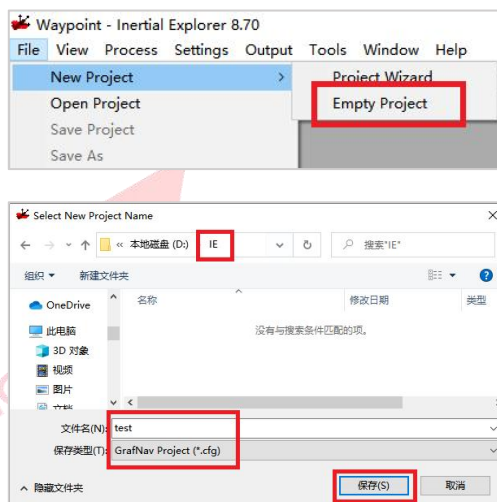


图 新建 IE 工程

2) 点击【File】-【Convert】-【Raw GNSS to GPB】，出现转换界面如下：

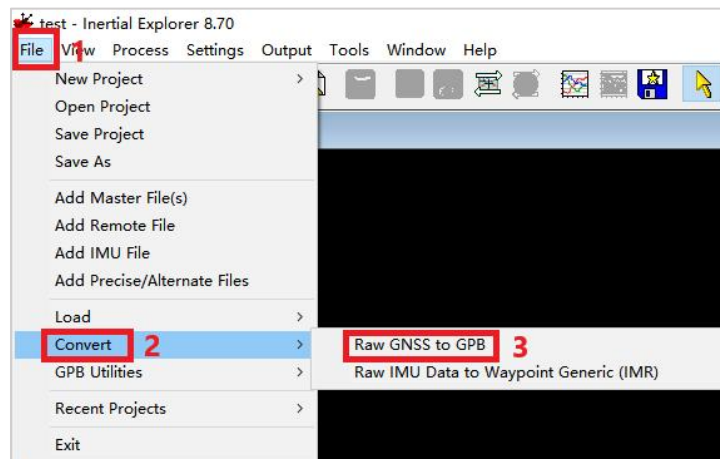


图 格式转换

3) 点击【Get Folder】,找到在 IE 文件夹下存放的基站.O 文件和机载.O 文件,选择文件,点击【Add】,两个文件就会添加到右侧的列表中。当单独添加了机载文件基站文件后,如果在【Source Files】中未识别到剩余的.o 文件,可以在【Receiver Type】中选择 Unknown/AutoDetect。

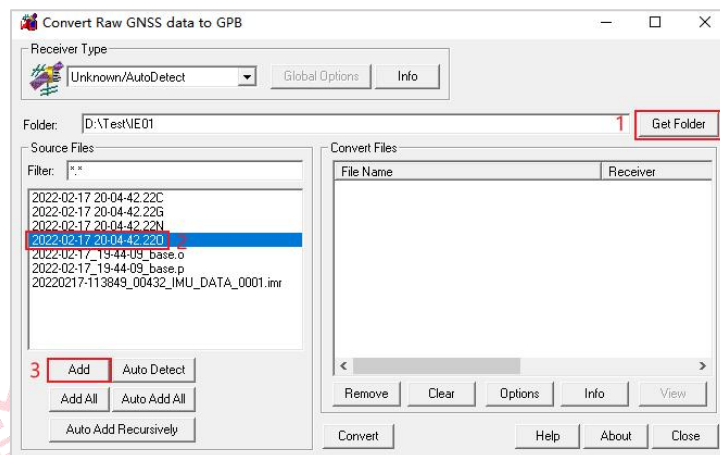


图 格式转换

首次添加会跳出对话框, 点击【是】。

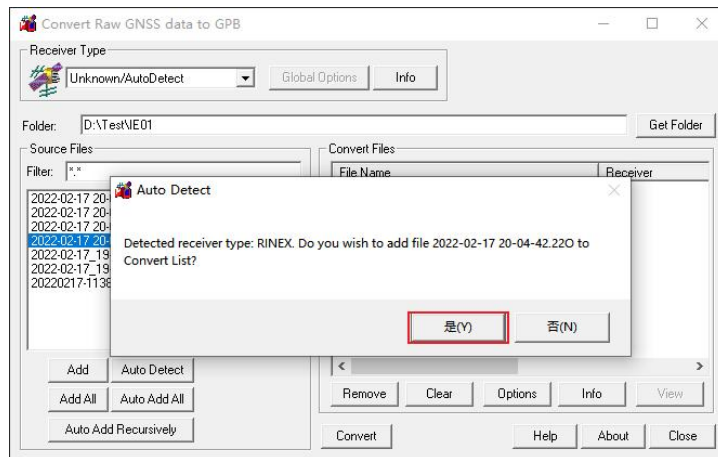


图 格式转换

4) 点击【Convert】，将数据 O 文件转换为 GPB 格式。

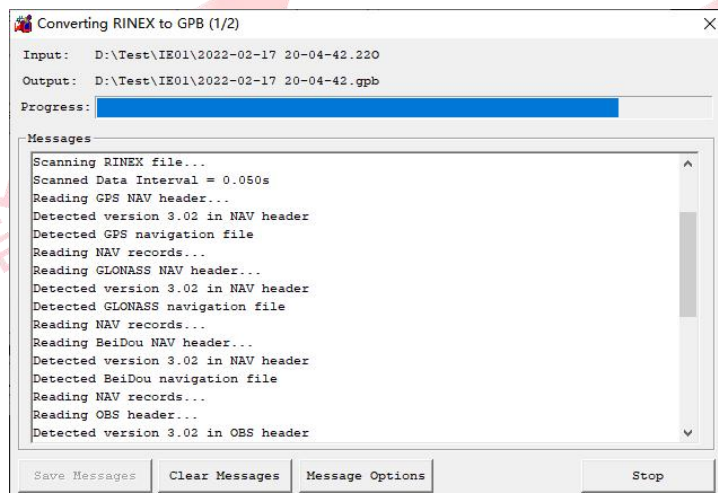
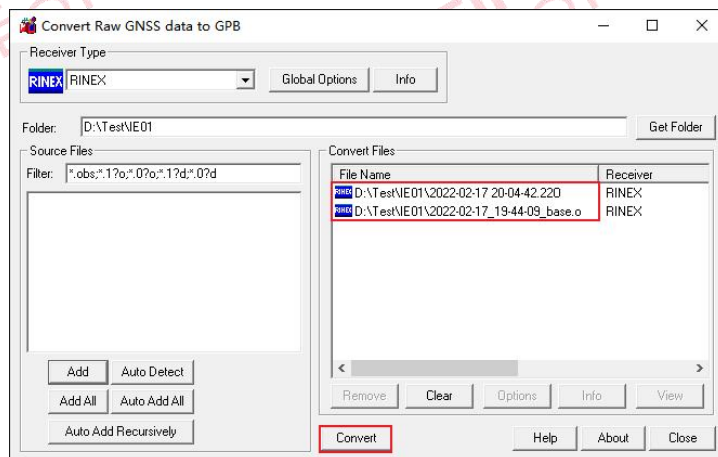


图 格式转换

5) 转换完成后关闭窗口，在 IE 文件夹下会生成对应的 GPB、EPP、STA 格式数据。

	2022-02-17 20-04-42.epp	2022/3/11 16:08	Waypoint Ephe...	32 KB
	2022-02-17 20-04-42.gpb	2022/3/11 16:08	Waypoint Raw G...	56,104 KB
	2022-02-17 20-04-42.sta	2022/3/11 16:08	Waypoint Statio...	3 KB
	2022-02-17_19-44-09_base.epp	2022/3/11 16:08	Waypoint Ephe...	2,570 KB
	2022-02-17_19-44-09_base.gpb	2022/3/11 16:08	Waypoint Raw G...	6,478 KB
	2022-02-17_19-44-09_base.sta	2022/3/11 16:08	Waypoint Statio...	2 KB

图 格式转换完成

3.4.2 多基站 GPB 格式转换

在使用 V10 进行大面积作业时，在进行网络 RTK/PPK 预处理（3.2.1 飞马网络基站预处理）时，下载的基准站文件可能会存在多个观测文件（.O）对应一个星历文件（.P）的现象。其他机型在进行跨度较长的带状作业时，也可能存在该现象。

	2022-04-05 14-04-45-vrs	2022/4/14 10:02	文件夹	
	2022-04-05_14-04-45_base.p	2022/4/14 10:02	P 文件	4,732 KB

	2022-04-05 14-04-45_ref_obs_20220405055919-20220405061616.o	2022/4/14 10:02	O 文件	4,484 KB
	2022-04-05 14-04-45_ref_obs_20220405061616-20220405063442.o	2022/4/14 10:02	O 文件	4,621 KB
	2022-04-05 14-04-45_ref_obs_20220405063442-20220405064648.o	2022/4/14 10:02	O 文件	3,657 KB

图 多基站数据

➤ 方式 1 直接进行 GPB 格式操作

1) 添加所有的基站观测文件（.O）文件，点击转换；

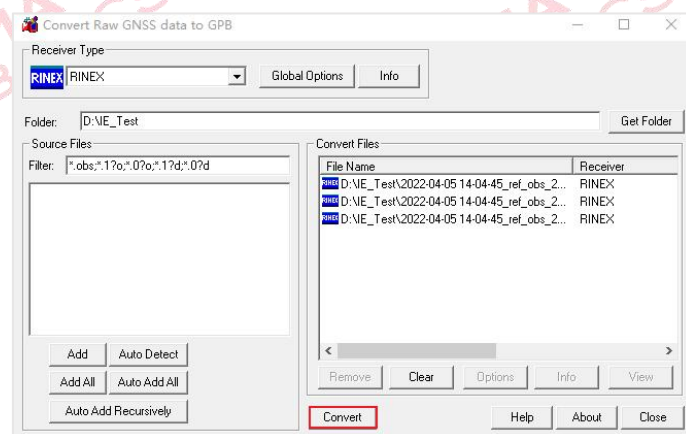


图 GPB 转换

2) 转换过程中手动选择星历文件 (.P) 文件，多个基站选择同一文件；

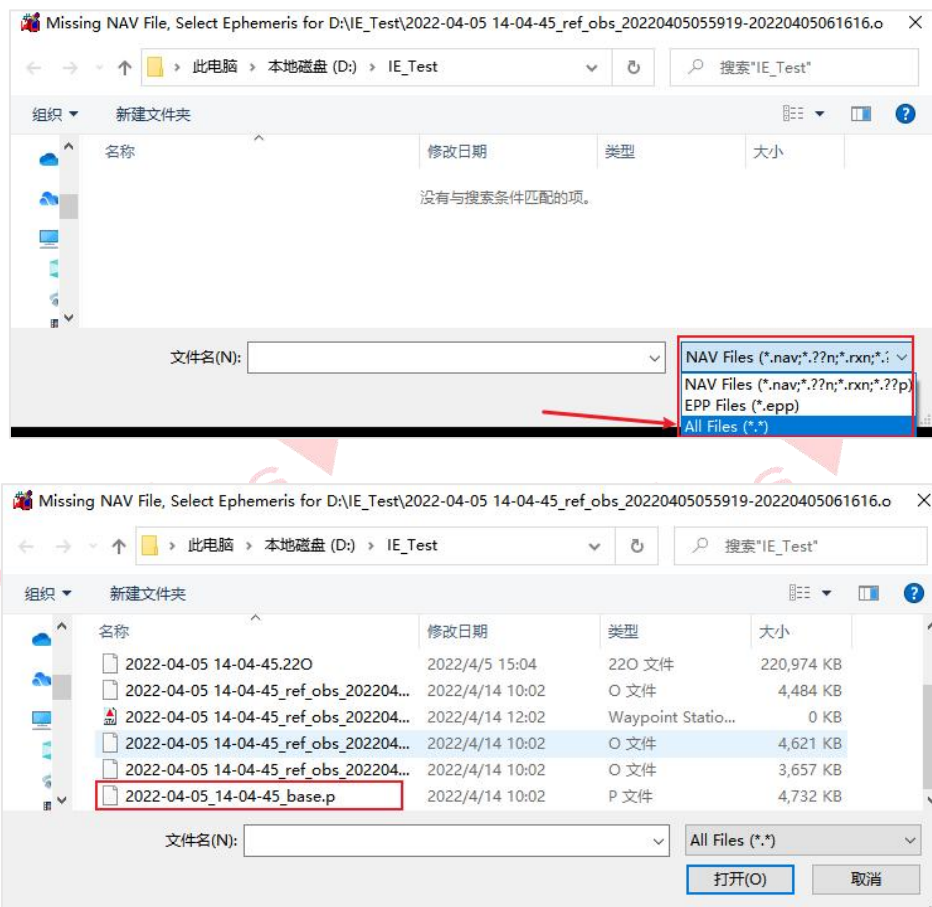


图 选择.P 文件

3) 依次进行选择，直至 GPB 转换完成，使用转换后的文件进行后续操作。

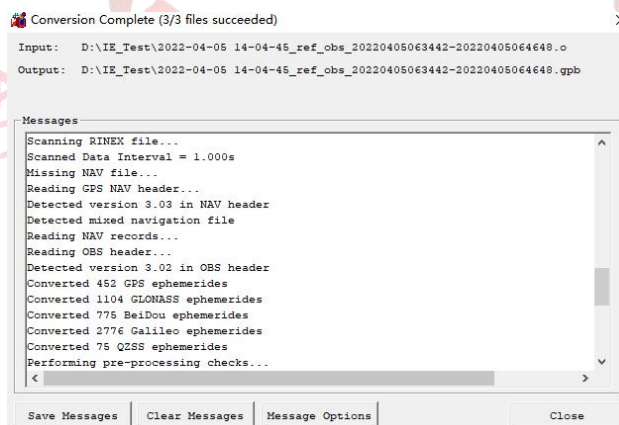


图 GPB 转换

➤ 方式 2 手动复制星历文件

1) 重复复制星历文件，保证观测文件与星历文件数量一一对应，手动进行重命名，保证名称一致；

1.o	2022/4/14 10:02	O 文件	4,484 KB
1.p	2022/4/14 10:02	P 文件	4,732 KB
2.o	2022/4/14 10:02	O 文件	4,621 KB
2.p	2022/4/14 10:02	P 文件	4,732 KB
3.o	2022/4/14 10:02	O 文件	3,657 KB
3.p	2022/4/14 10:02	P 文件	4,732 KB

图 复制结果

2) 参考 3.4.1 小节进行格式转换。

注意：方式 2 中可以按基站默认名称进行命名，但在进行 RAW 转 GPB 操作，添加原始观测文件时，可能会产生误添加的可能，建议用数字进行重命名。格式转换完成后，在添加基站数据时，基站名称按添加顺序进行重命名。

3.5 数据添加

1) 点击【File】→【Add Master File(s)】，选择基站 GPS 转换后的 GPB 文件。

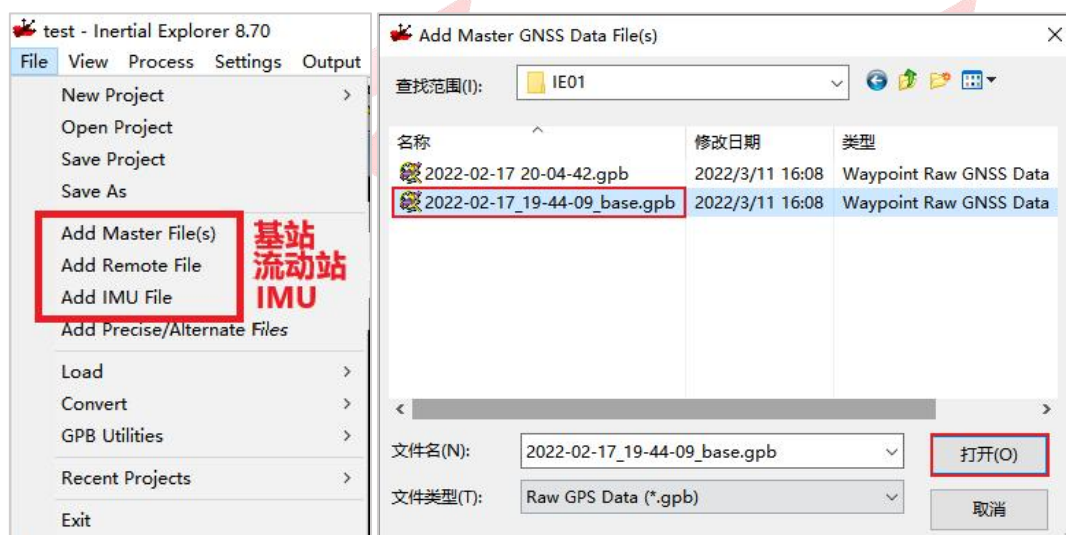


图 添加格式转换完的基站数据

2) 打开后跳出对话框，查看点号、基站坐标以及天线高，将基准设置为 WGS 84，无误后点击确定。



图 添加基站数据的设置

注：若使用网络基站，则天线高设为 0；若使用实体基站，并且使用 CORS 采集的已知点，此时识别到的基站点坐标已经为仪器相位中心位置，则天线高设为 0；若采用地面控制点，请输入基站坐标和天线高。软件支持添加多个基站文件进行单架次轨迹解算，为避免解算异常，请勿重复添加基站文件。

3) 点击【File】→【Add Remote File】，选择机载 GPS 转换后的 GPB 文件；

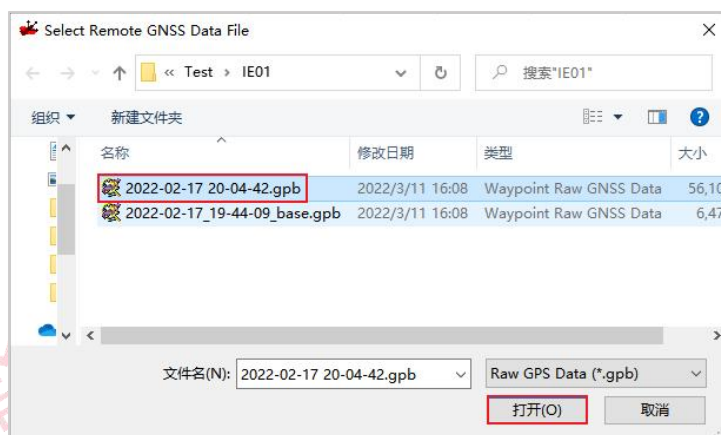


图 添加格式转换完的流动站数据

添加流动站.gpb 文件可能会有以下提示，该提示意为流动站文件中记录的文件类型无法识别，将为其分配一个默认类型，不影响处理，点击【确定】即可。

4) 流动站文件导入无需任何参数修改，点击【确定】添加即可。

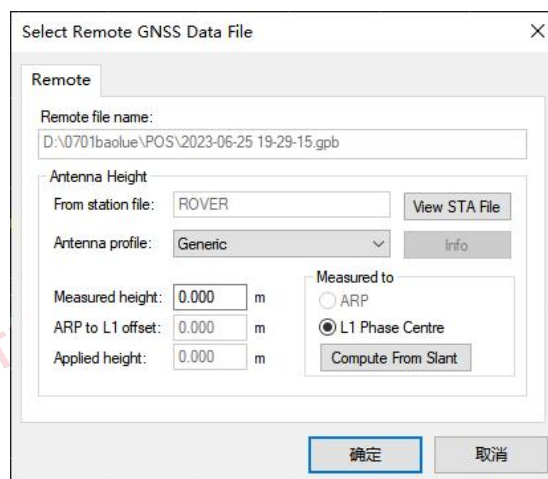
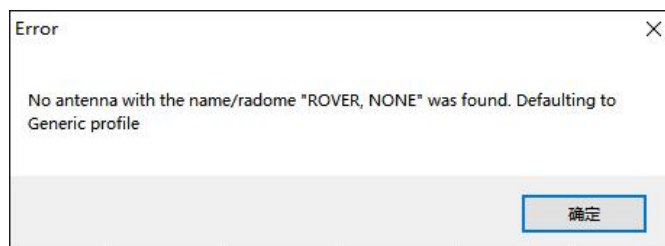


图 添加流动站数据的设置。

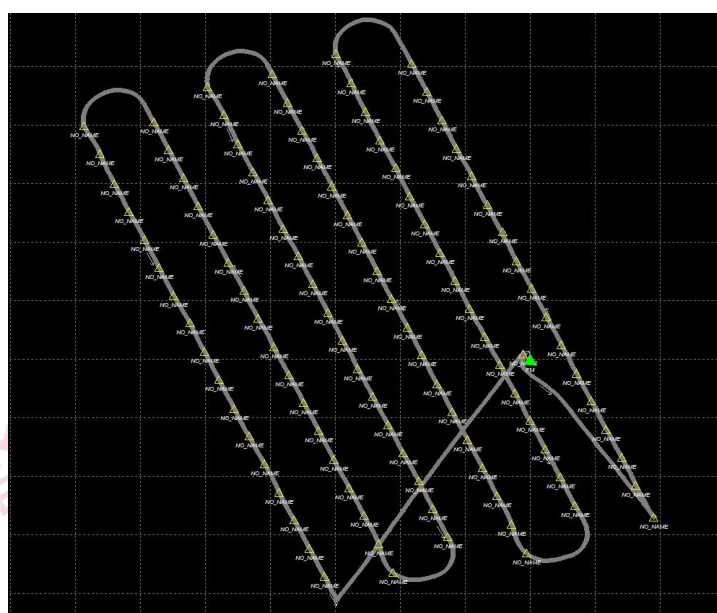


图 添加数据

5) 添加 IMU 文件，点击【File】→【Add IMU File】，选择 IE 文件夹下的 imr 文件。

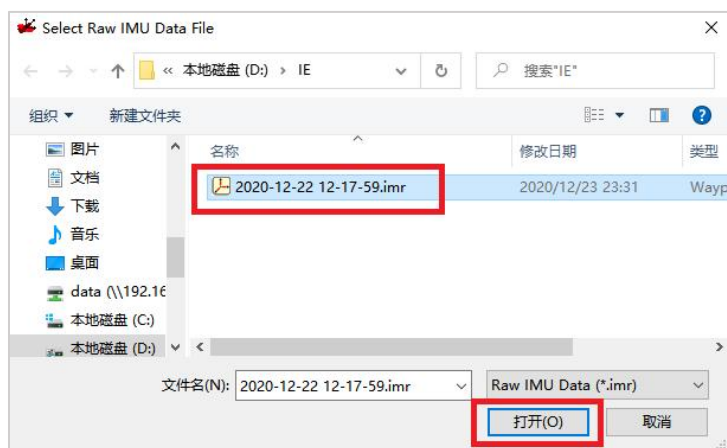


图 添加 IMU 文件

3.6 紧耦合差分解算

1) 点击【Process】→【Process TC(Tightly Coupled)】运行紧耦合解算功能。Lidar10 载荷可挂载于 D20 与 V10 飞机，载荷类型和挂载飞机机型不同，紧耦合解算参数不同。

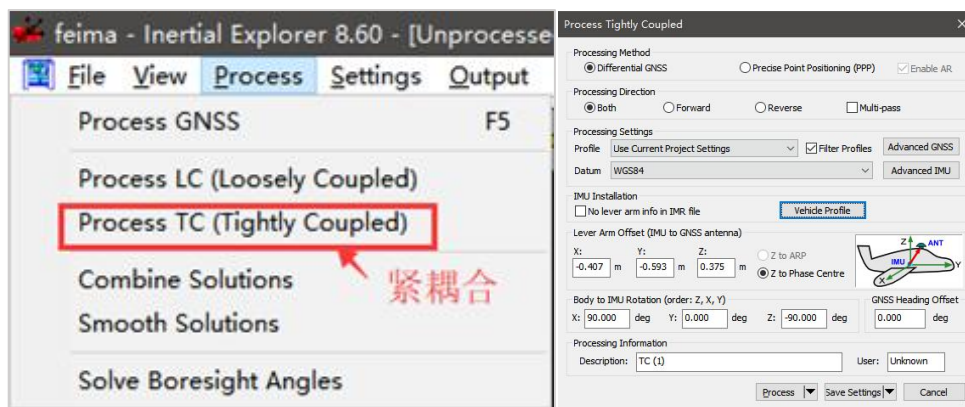


图 紧耦合解算设置

➤ D20- Lidar10

其中【Processing Settings】选择 SPAN Airborne (CPT7-HG4930), 点击【Vehicle Profile】按钮进行解算参数设置, 并保存设置, 下次直接点击该按钮读取即可, D20-Lidar10 具体参数设置如下:

Profile Values

Name: D20_DV_LIDAR10_HG4930

IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm

X: -0.407 m Y: -0.593 m Z: 0.357 m

IMU to Secondary GNSS Antenna Lever Arm

X: 0.000 m Y: 0.000 m Z: 0.000 m

Body Frame to IMU Frame Rotation

X: 90.000 deg Y: 0.000 deg Z: -90.000 deg

IMU to Gimbal Lever Arm

X: 0.000 m Y: 0.000 m Z: 0.000 m

IMU to DMI Lever Arm

X: 0.000 m Y: 0.000 m Z: 0.000 m

GNSS Heading Offset: 0.000 deg

Save Profile

图 D20-Lidar10 解算参数

➤ V10-Lidar10

其中【Processing Settings】选择 SPAN Airborne (CPT7-HG4930), 点击【Vehicle Profile】按钮进行解算参数设置, 并保存设置, V10-Lidar10 具体参数设置如下:

Profile Values

Name: V10_DV_LIDAR10_HG4930

IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm

X: 0.000 m Y: 0.342 m Z: 0.129 m

IMU to Secondary GNSS Antenna Lever Arm

X: 0.000 m Y: 0.000 m Z: 0.000 m

Body Frame to IMU Frame Rotation

X: 90.000 deg Y: 0.000 deg Z: -90.000 deg

IMU to Gimbal Lever Arm

X: 0.000 m Y: 0.000 m Z: 0.000 m

IMU to DMI Lever Arm

X: 0.000 m Y: 0.000 m Z: 0.000 m

GNSS Heading Offset: 0.000 deg

Save Profile

图 V10-Lidar10 解算参数

3) 选择准确参数以后点击【Process】进行解算, 点击后会有警告信息, 若没有错误信息, 可点击【Continue】进行解算。

Process Tightly Coupled

Processing Method
☒ Differential GNSS ☐ Precise Point Positioning (PPP)

Processing Direction
☒ Both ☐ Forward ☐ Reverse ☐ Multi-pass

Processing Settings
 Profile: SPAN Airborne (CPT7-HG4930) ☒ Filter Profiles Advanced GNSS
 Datum: WGS84 Advanced IMU

IMU Installation
☐ Read rotations and lever arms from IMR file

Lever Arm Offset (IMU to GNSS antenna)
 X: -0.407 m Y: -0.593 m Z: 0.357 m ☐ Z to ARP ☒ Z to Phase Centre

Body to IMU Rotation (order: Z, X, Y)
 X: 90.000 deg Y: 0.000 deg Z: -90.000 deg

GNSS Heading Offset
 0.000 deg

Processing Information
 Description: TC (1) User: Unknown

图 紧耦合解算

Tightly Coupled Differential Pre-processing ...

Pre-processing Check: Data Rate
 Description: Master data rate (in the file: "2021-09-07_15-45-12_base.gdb") is lower than remote's

More information

☒ Try to fix the issue(s) before processing: "Data Rate"

图 检查提示

注：该提示意为基准站采样频率低于流动站，继续即可。

Processing GPS-IMU TC 1 - test [Forward]

Status: Fixed Progress: Processing Forward KF...

Time: 188220.8 2137 Epochs: 2768 Num<4: 1 Status: Q2 FIXED Dyn=K

nSats: 18 nB/L: 1 Lat: 30 21 03.1799 Lon: 107 23 55.2174 Hgt: 386.143 AntHgt: 0.000 Speed: 0.045 COG: 0.0 StdDev: 0.009 0.010 0.027 Roll: 0.000 0.00 Pitch: 0.000 0.00 Yaw: 0.000 0.00 Yaw-COG: PosMisc: 0.000 VelMisc: 0.000

Notifications
 *** ARTK Fix ***
 Search time: 188093.0 s
 From base: BL1
 Search dist.: 0.0 km
 Rewind time: 0.0 s
 Satellite count: 17, 17, 17 (total, fixed, restored)
 Fix type: GNSS Fixed
 RMS: 3.2 mm
 Reliability: 2.9
 FloatFixSep: 2.32 m

188154.0: *** ARTK obtained a valid integer fix on BL BL1
 188154.0: ARTK not currently engaged-ARTK fix ignored
 188179.0: *** ARTK obtained a valid integer fix on BL BL1
 188179.0: ARTK not currently engaged-ARTK fix ignored
 188181.0: *** ARTK obtained a valid integer fix on BL BL1
 188181.0: ARTK not currently engaged-ARTK fix ignored
 188205.0: *** ARTK obtained a valid integer fix on BL BL1
 188205.0: ARTK not currently engaged-ARTK fix ignored

Processing GPS-IMU TC 2 - test [Reverse]

Status: MultiPS Progress: Processing Reverse GPSIMU...

Time: 190009.3 2137 Epochs: 2660 Num<4: 1 Status: Q2 FIXED Dyn=K

nSats: 17 nB/L: 1 Lat: 30 21 05.9347 Lon: 107 23 52.5957 Hgt: 557.167 AntHgt: 0.000 Speed: 13.499 COG: 140.5 StdDev: 0.011 0.011 0.012 Roll: 3.361 10.22 Pitch: -15.636 10.71 Yaw: 224.428 27.75 Yaw-COG: 4.948 PosMisc: 0.010 VelMisc: 0.000

Notifications
 *** GPS-IMU Tightly Coupled Processing ***
 Differential Single Pass Mode (Reverse)

190082.0: *** ARTK obtained a valid integer fix on BL BL1
 190082.0: ARTK not currently engaged-ARTK fix ignored
 190046.0: *** ARTK obtained a valid integer fix on BL BL1
 190046.0: ARTK not currently engaged-ARTK fix ignored
 190017.0: Finished kinematic alignment - estimated misalign e
 190017.0: Alignment successful - R: 0.567 P: 3.781 Yaw: -14
 190013.0: *** ARTK obtained a valid integer fix on BL BL1
 190013.0: ARTK not currently engaged-ARTK fix ignored

图 紧耦合解算

3.7 质量检查与轨迹导出

为了检查点云轨迹解算的精度，在导出前需要进行质量检查。

- 1) 点击下图红色框按钮，查看 POS 数据解算精度，一般位置精度小于 2cm，姿态精度横滚及俯仰小于 0.01° ，航向小于 0.05° 为解算正常。

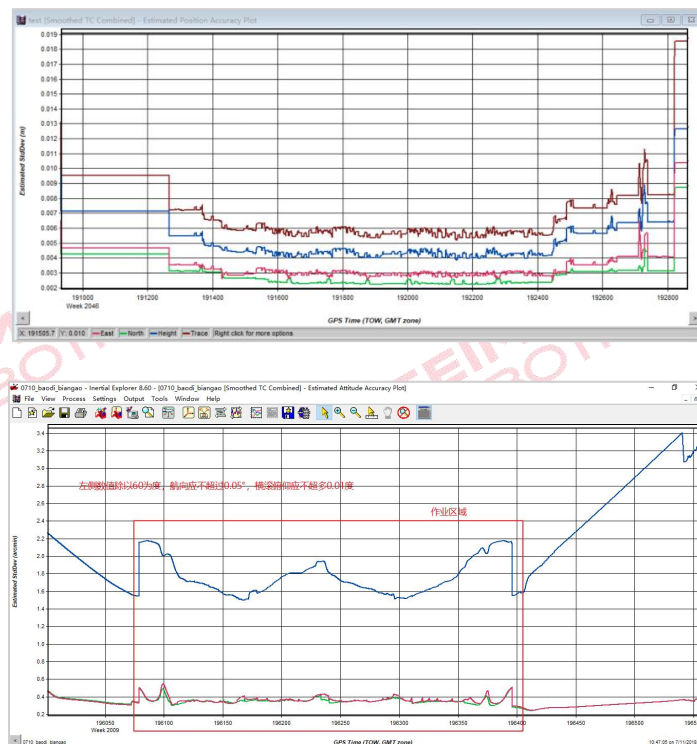
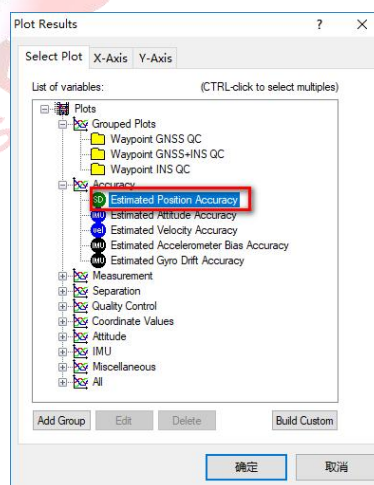
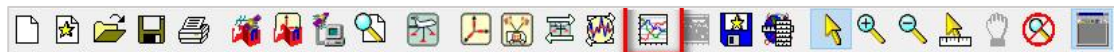


图 解算精度检查

2) 点击【Output】-【Export to SBET】导出解算结果。选择输出位置（默认 IE 工程目录下）、检查 GPS 时间、点击【OK】导出 SBET.OUT 文件。

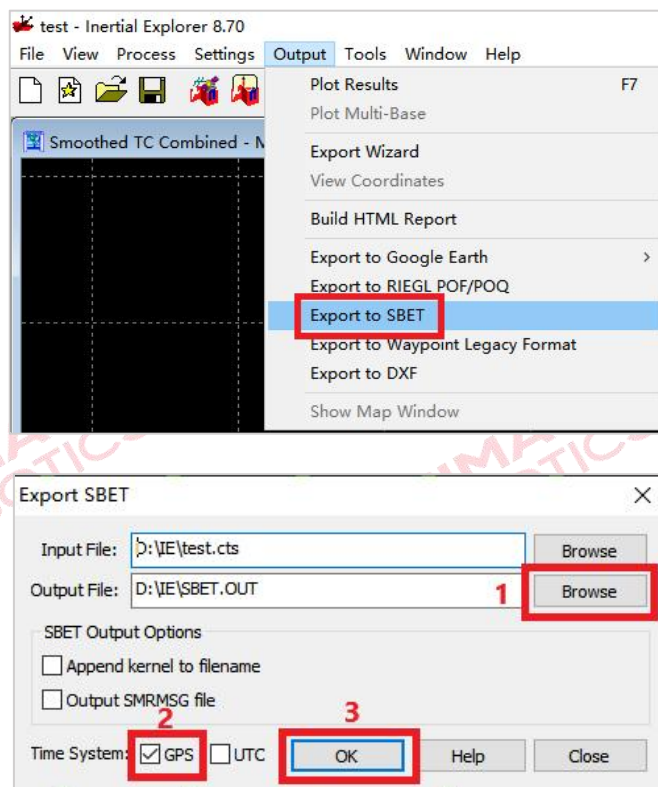


图 输出轨迹

4.点云数据预处理

点云数据预处理流程包括新建项目、点云解算、质量检查（如分层，需要进行航带平差）、坐标转换、精度检查、导出标准点云等步骤。去冗余、去噪、点云赋色等操作可根据实际情况有选择性的进行。

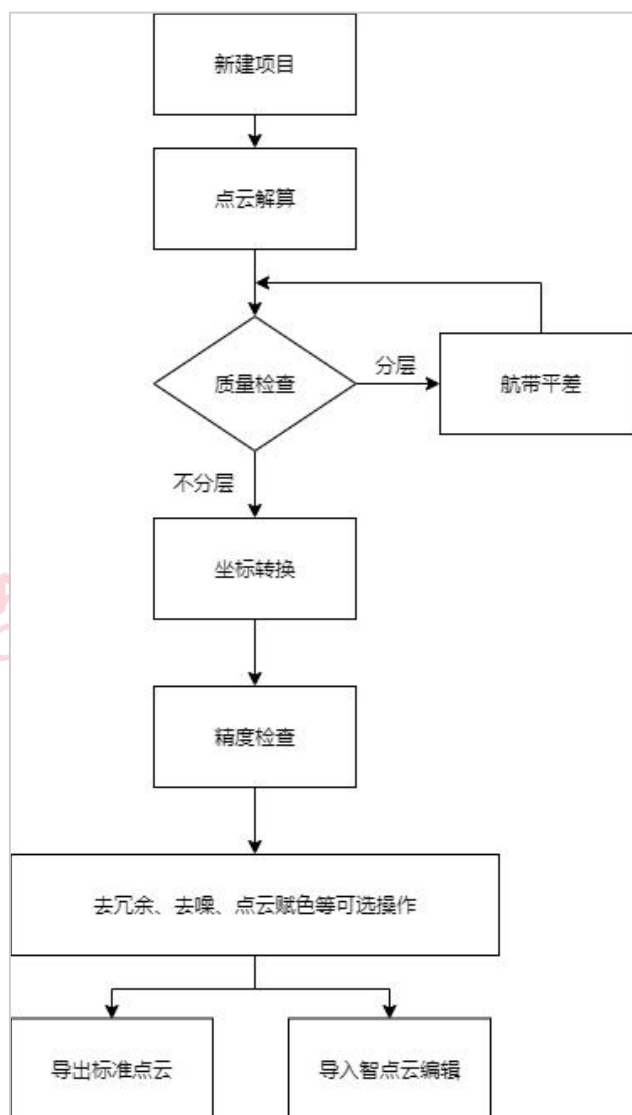


图 点云数据预处理流程图

4.1 新建项目

- 1) 打开无人机管家中的【智激光】模块。

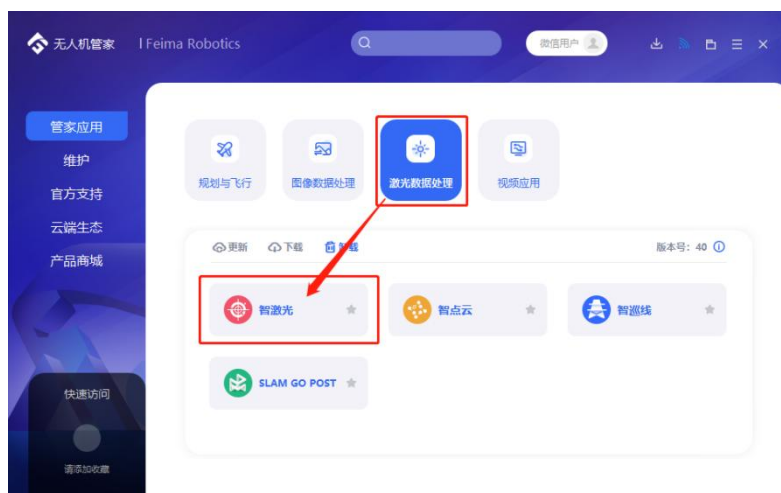


图 智激光入口

2) 点击【文件】-【新建项目】，在弹出的创建工程向导中设置“工程名称、工程路径、坐标系统”点击【下一步】。

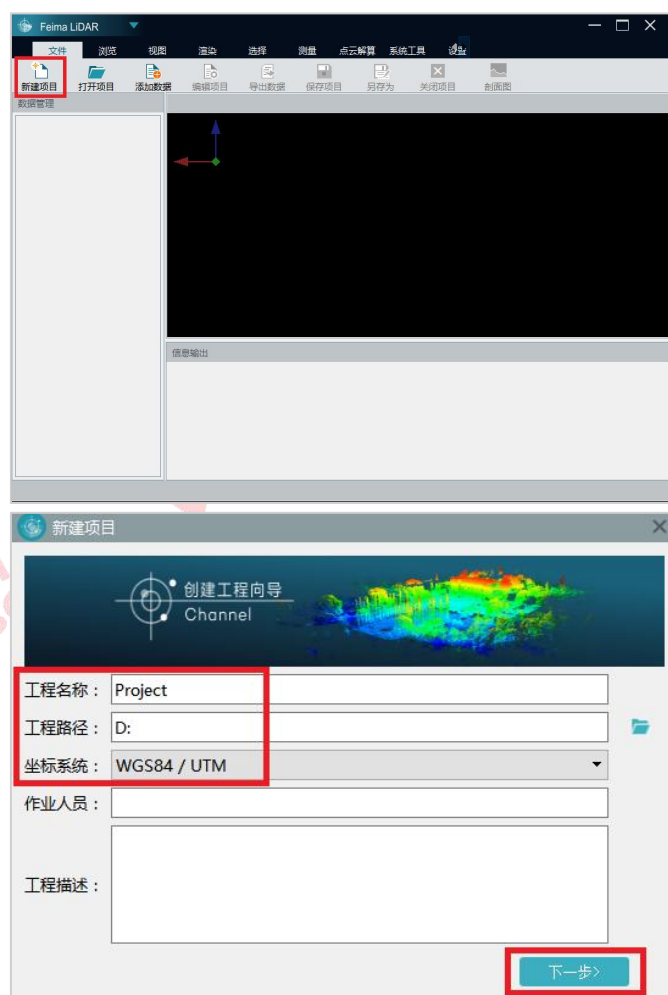


图 新建项目

注：坐标系统是指点云解算的默认投影坐标系统，支持 WGS84/UTM 和 CGCS2000/3-degree Gauss-Kruger。

3) 设置作业系统和激光载荷，第一次使用新设备需要添加载荷参数，再次使用相同编号载荷时可直接进行选择。

第一次使用新设备时，单击【新加载荷】，在激光参数对话框内选择【下载】，输入设备 ID 号直接下载激光校正文件，点击【下一步】。赋色需要用到相机载荷参数，其会和激光校正文件同时下载。



图 添加载荷

注：输入的载荷 ID 为 D-LIDAR 后的 10 位纯数字。

若之前添加过该设备，则可以直接在激光载荷中进行选择后，直接点击【下

一步】。



图 选择载荷

4) 添加 LiDAR 原始数据和 IE 软件输出的轨迹数据.out 文件，可选择性添加相机数据和机载 pos 数据，以在点云解算的同时进行赋色。点击【完成】，完成新建项目。

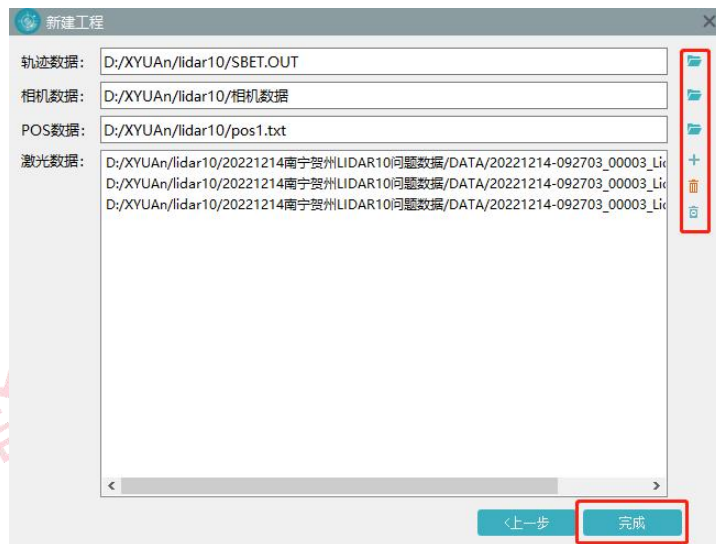


图 导入 LIDAR 原始数据及轨迹

注：若未指定相机数据和 pos 数据完成新建项目，默认为不需要赋色，点云解算界面不会触发【pos 和相机】选项，可在点云解算后进行赋色操作。

5) 在主界面的信息输出窗口会提示成功加载信息，并完成了新建项目，新建项目格式为.fmp。同时主界面会显示飞行任务的轨迹。

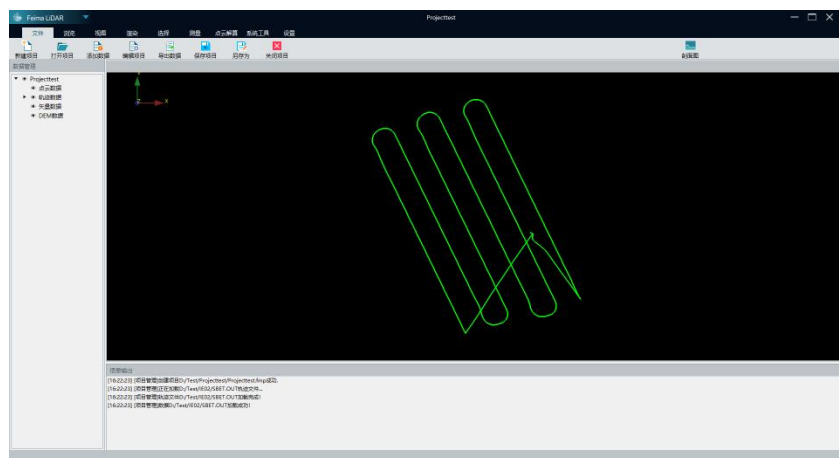


图 项目建立完成

4.2 点云解算

完成新建项目后，开始进行点云的解算，解算步骤如下：

1) 点击【点云解算】-【点云解算】，打开点云解算功能对话框。



图 点云解算入口

2) 按照 $\pm 35^\circ$ 视场角进行解算，不勾选使用绝对视场角，点击【开始】按钮，软件进行解算并自动显示解算后点云数据。如航带边缘分层可尝试继续减小视场角重新解算。

若添加数据时同时添加了相机和机载 pos 文件，则对话框中 POS 相机设置参数，需将航高修改为实际飞行高度，以保证赋色效果正常。此时勾选赋色点云，则可在解算点云的同时进行赋色处理。

点击【详情】，可以通过删除废片的方式对齐照片；同时要注意，【航高】数值要与获取数据的实际航高一致，避免赋色异常。

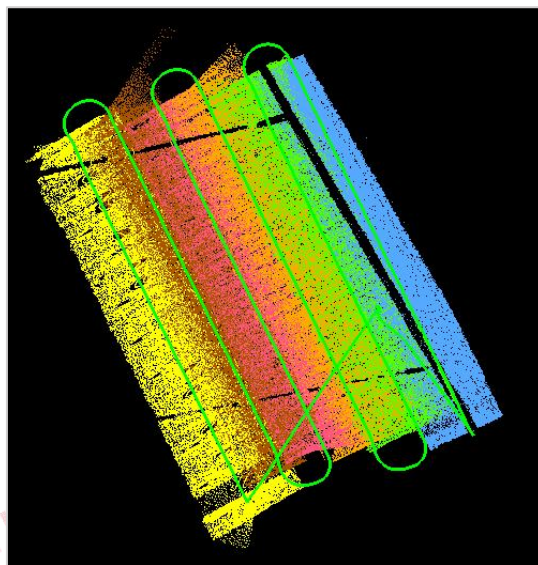
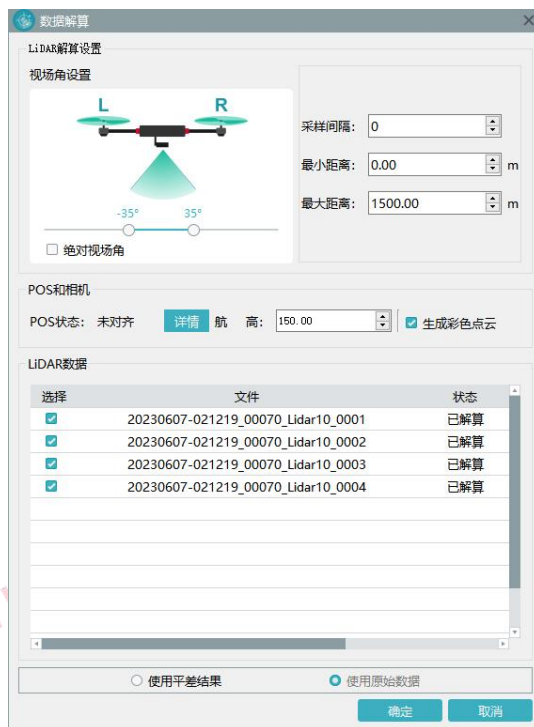


图 点云解算设置

参数注释：

【采样间隔】设定“采样间隔”，点云将按照设置的点云抽稀间隔进行取点，该设置为点云解算过程中的抽稀设置，默认 0 为不做抽稀，若设置数值，如设置为 5，则意味着点云被抽稀 5 倍可以减小点云数据量；

【最小距离】该功能为在解算的过程中过滤由于天气产生的空中噪点。起始

位置在轨迹处，若设置为 50 米，则意味着轨迹下方 50 米以内的点云数据不做解算；

【最大距离】该功能为在解算的过程中过滤由于测区环境产生的地下噪点。起始位置在轨迹处，若设置为 350 米，则意味着轨迹下方 350 米以下的点云数据不做解算；一般建议不低于 1.5 倍行高。

4.3 质量检查

点云解算完成后，通过【质量检查】工具生成质量报告图作为参考，并利用智激光的剖面功能，检查数据质量。具体操作步骤如下。

- 1) 点击【系统工具】-【质量检查】，生成质量报告图，颜色越深误差越大（仅在平整路面及裸露地表处存在参考意义）。

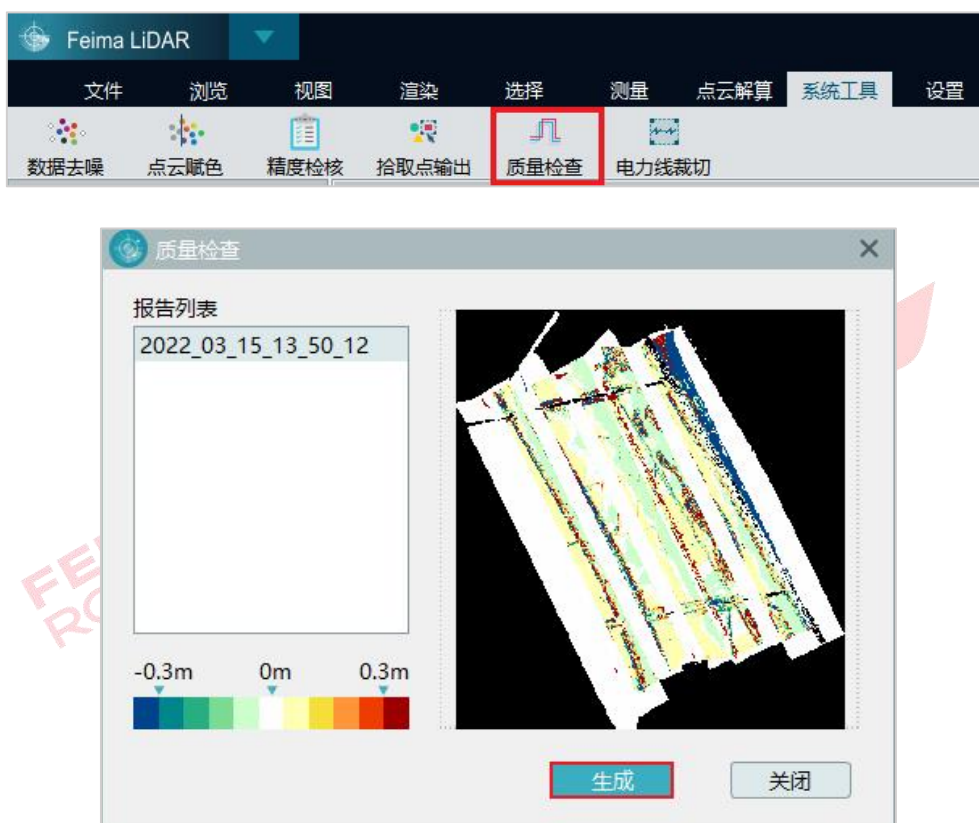


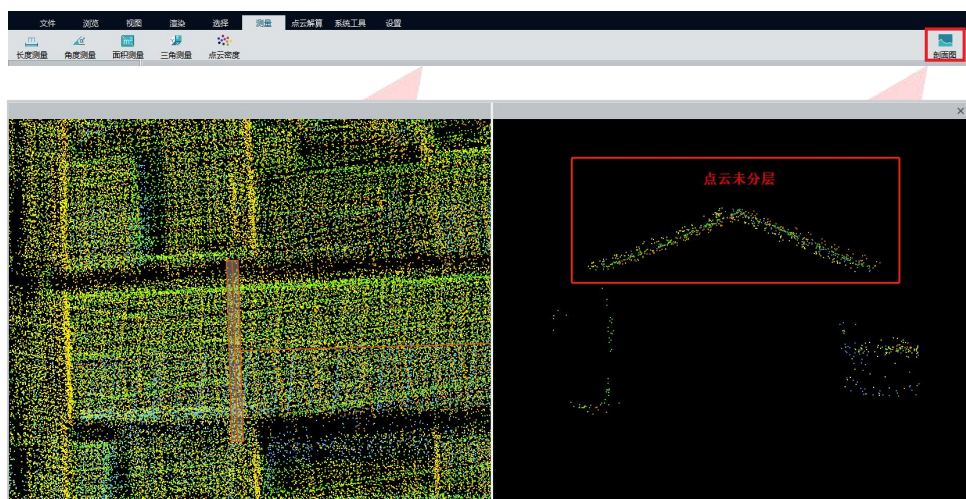
图 质量检查

- 2) 点击【渲染】-【航带】，这时软件会根据航带把点云渲染成不同颜色。



图 航带渲染

3) 点击软件界面右上方【剖面】按钮，在主界面两条航带重叠区域和质量报告图误差较大的区域做剖面，观察剖面视图，是否存在明显的分层情况，下图为分层和未分层的截图。



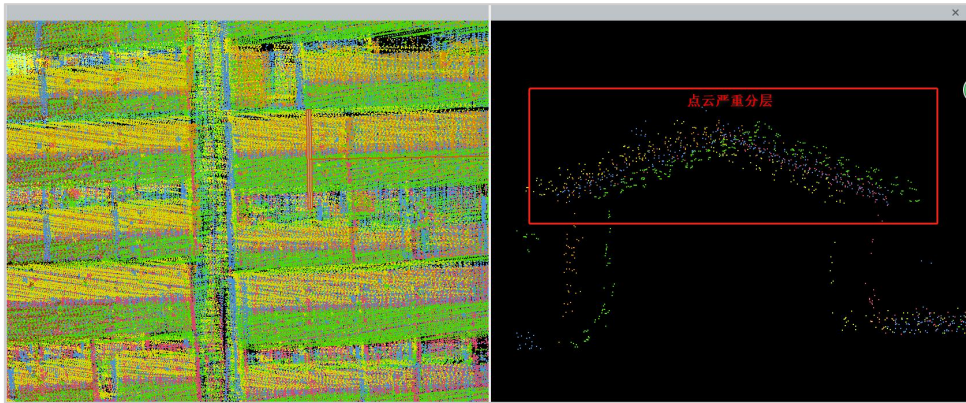


图 判断分层情况

4) 如果没有分层情况, 跳过航带平差, 直接进行去冗余、去噪、点云赋色、坐标转换等其他可选项操作, 如果有分层情况, 则可以进行航带平差, 改善分层情况。

4.4 航带平差

航带平差算法目的是基于采集到的地面数据, 对组合导航位置和姿态数据进行改正, 从而实现数据的优化。

4.4.1 特征提取

1) 点击【点云解算】-【特征提取】, 按照默认参数, 点击【开始】, 软件会自动提取特征点, 待底部进度条完成, 且信息输出框提示提取特征点对数量时, 完成特征点提取。





图 特征提取

4.4.2 航带平差

1) 完成特征提取，点击【点云解算】-【航带平差】，点击【计算】，对 4.4.1 节提取的特征点进行偏差计算；

2) 计算结束后，为保证更好的平差效果，需要对偏差较大的特征对进行删除。按【SHIFT+鼠标左键】选中特征对信息中偏差跳变较大的特征对（一般指相邻偏差值大于 0.1m 的特征对），鼠标右键点击【删除】，重新计算残差，若标准差在 0.1 以内，且无残差过大的点对，即可完成平差计算，若仍有较大偏差的特征对再次选中删除后计算即可，最后点击【应用】：





图 航带平差

2) 软件提示是否重新解算点云，点击【是】，再点击【开始】，即可按照航

带平差结果优化点云，消除点云分层，重新进行点云的解算。航带平差后可重复4.3节操作进行质量检查。



图 重新解算点云

3) 若想要对平差后的数据再次进行平差优化，需要基于此时的点云数据重新进行特征提取，再重复步骤1)及步骤2)。

4.5 去冗余

为了去除数据冗余，减少数据量，剔除点云航带边缘误差较大的数据，可以进行去冗余操作，此为可选项操作。

点击【系统工具】-【冗余剔除】，网格大小默认0.5米，勾选【完全裁切】则严格按照航带重叠区域的中线进行裁切，如不勾选则按照中线裁切后进行漏洞补充。



图 去冗余

4.6 去噪

噪声点主要包括明显低于地面的点（极低点）或点群、明显高于地物的点（极高点）或点群，以及其他一定空间范围内分布异常的点或点群。

为了减少噪声点对后期数据处理的影响，可以利用自动算法或者人工编辑方法将噪声点从点云中滤除，对于极低点或点群、极高点或点群，可在大范围内进行集中滤除，对于其他分布异常的点或点群，在噪声点滤除的时候应重点与植被点进行区分，去噪为可选项操作。

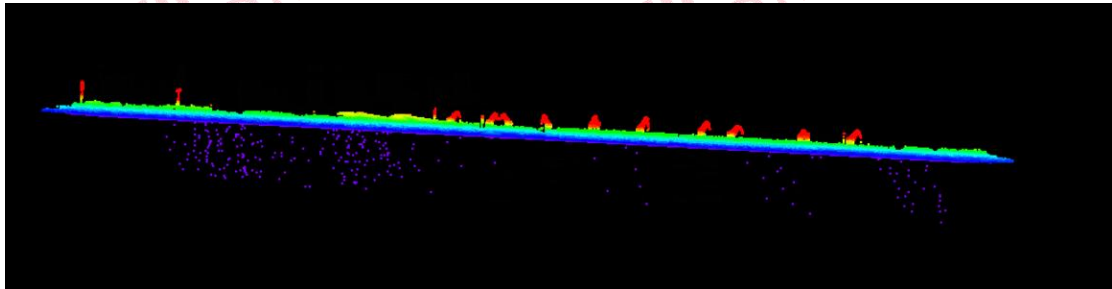


图 噪点示意

点击【智激光】-【系统工具】-【数据去噪】，若噪点较为离散，且距离原始地面点云较远，可使用默认参数（10 80）进行去噪；若噪点离散程度较低，且距离原始地面点云较近，可以适当降低标准差倍数，例如（10 12）进行噪点去除。





图 数据去噪

4.7 点云赋色

点云赋色是将原始采集的点云数据，赋予真实的纹理颜色，使点云数据更加直观的展示测区的地物信息，点云赋色为可选项操作，主要有三种形式可以实现点云赋色：

基于载荷相机——需要同时获取雷达和相机数据；

基于原始影像——需要提供原始影像、相机检校文件、空三后的 POS 文件以及搜索范围（系统会根据 POS 文件计算默认值，可以调增，不建议调小）；

基于正射影像——需要提供 DOM 或者快拼图（可选但不建议）。

注意：

点云赋色建议使用点云解算时的【生成彩色点云】功能，详情参见第 4.1、4.2 节。

4.7.1 基于载荷相机进行点云赋色

1) 点击【智激光】-【系统工具】-【点云赋色】，弹出【点云赋色】对话框，【颜色来源】选择【载荷相机】。



图 点云赋色

2) 加载影像数据所在的目录和 IE 输出的 FeimaPOS_HPR 格式的 pos 文件 (FeimaPOS HPR 文件可联系飞马售后提供, 需要将文件放到 IE 指定的安装目录下), 注意需要将试拍位置的 pos 删掉 (试拍 pos 与其他 pos 高程有明显差异, 可以以此来区分是否存在试拍 pos); 设置起始照片时也要忽略试拍照片, 选择第一张空中拍摄照片, 最大航高 (建议为 1.2 倍航高) 若设置错误, 会影响赋色效果, 甚至产生赋色空洞, 点击确定执行赋色。



图 使用载荷相机赋色

4.7.2 基于原始影像进行点云赋色

1) 点击【智激光】-【系统工具】-【点云赋色】, 弹出【点云赋色】对话框, 【颜色来源】选择【原始照片】。



图 点云赋色

2) 在【照片路径】处选择原始照片所在文件夹，此时可先将试拍影像删除，也可在起始照片处设置，选择第一张空中拍摄照片编号即可；

3) 在【相机文件】处导入下载后的 xml 格式相机报告，也可在界面右下角【下载】按钮处依据载荷编号进行相机参数下载；

4) 在【空三POS】处导入 ie 导出的 FeimaPOS 格式的 pos 文件 (FeimaPOS 格式可联系飞马售后提供，需要将文件放到 E 指定的安装目录下，输出 POS 文件时需要输入相机到 IMU 的偏心距参数，参数详见检校报告)，注意需要将 pos 中的试拍删掉，以保证可以与照片按顺序对应；此时【转角系统】应修改为国外；【搜索半径】软件会根据导入的 pos 数据自动计算；点击【确定】执行赋色。



图 基于原始影像进行点云赋色

4.7.3 基于 DOM 实现点云赋色

1) 点击【智激光】-【系统工具】-【点云赋色】，弹出【点云赋色】对话框，【颜色来源】选择【正摄影像】。



图 正射赋色

2) 导入与点云坐标系一致的快拼或真正射文件，点击【确定】，执行赋色。



图 点云赋色

注：赋色后需在【渲染】-【纹理】中进行纹理渲染，才可浏览赋色效果。

4.8 坐标转换

坐标转换可以将点云从默认的坐标系转换到需要的成果坐标系，坐标转换是可选项操作，涉及投影管理和坐标转换两个主要的步骤，下面分别以标准坐标系以及独立坐标系输出为例进行介绍，高程系转换隐含在参数计算里，此处不做说明。

4.8.1 标准坐标系输出

以 WGS84/UTM zone 48N 坐标系统的点云按照 CGCS2000 坐标系统，高斯三度带投影，中央子午线 108° 输出为例，介绍详细步骤如下：

1) 点击【点云解算】-【投影管理】图标进入投影管理对话框，如下图所示：

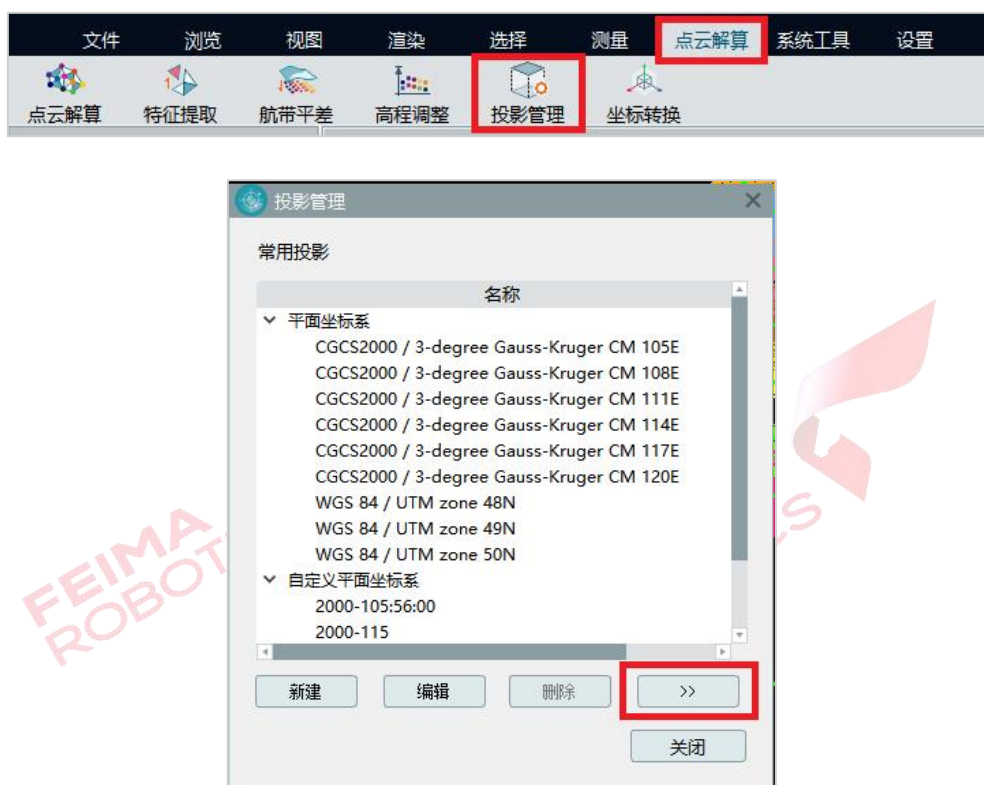


图 投影管理

2) 点击上图中的【>>】按钮，弹出数据库，从数据库中【添加】源坐标系（WGS84 UTM Zone 48N）与目标坐标系（CGCS2000/3-degree-Gauss-Kruger CM 108E）到常用投影中。

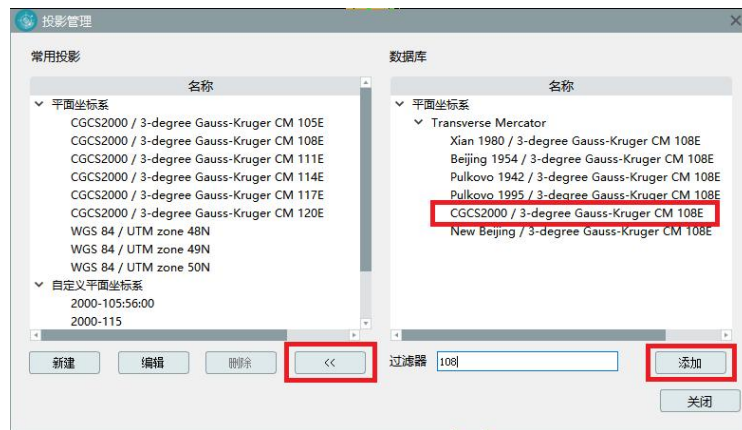


图 添加需使用到的投影系统

3) 点击菜单栏【点云解算】-【坐标转换】，弹出坐标转换对话框，单击【新建】进行测区的坐标转换参数配置，然后单击【确定】，完成转换参数配置，如下图所示：

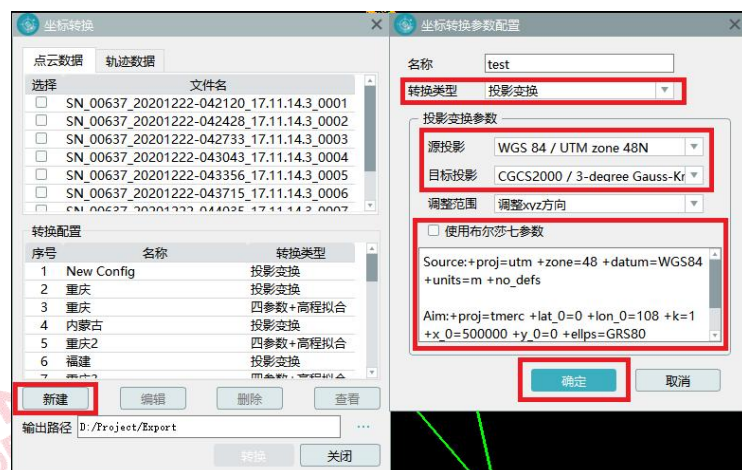


图 坐标转换设置

注：如果转换过程需要七参数或者四参数可以在【转换类型】中选择【投影变换】或【四参数+高程拟合】填入参数，或导入在【智理图】中计算好的.config参数文件。

4) 然后双击【选择】全选转换数据，选择上步新建的转换配置，然后单击【转换】完成坐标系统转换。

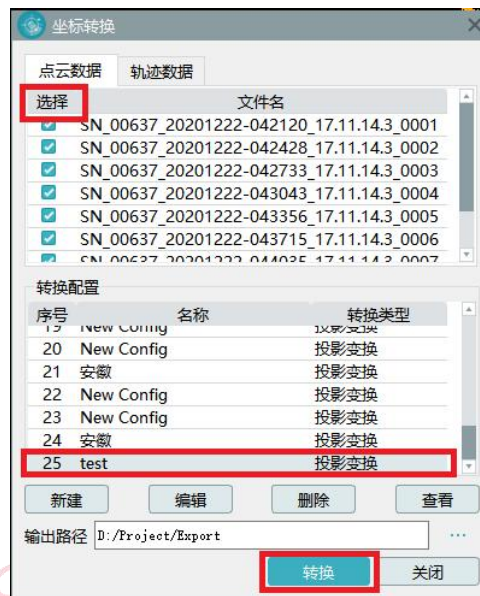


图 坐标转换

5) 如果需要进行 SBET 轨迹转换, 点击【轨迹数据】, 选择需要转换的轨迹和转换配置, 单击【转换】完成 SBET 轨迹转换。

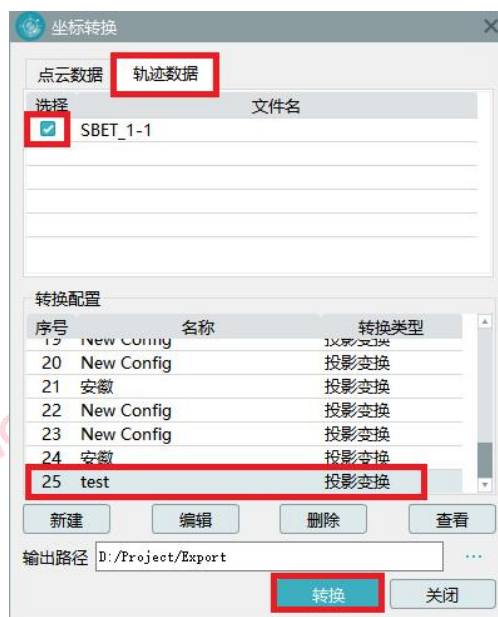


图 轨迹坐标转换

4.8.2 独立坐标系输出

以 WGS84/UTM zone 50N 坐标系统的点云按照 CGCS2000 坐标系统, 高斯

三度带投影，中央子午线 $119^{\circ} 20'$ 输出为例，介绍详细步骤如下：

1) 点击【点云解算】-【投影管理】图标进入投影管理对话框，如下图所示：

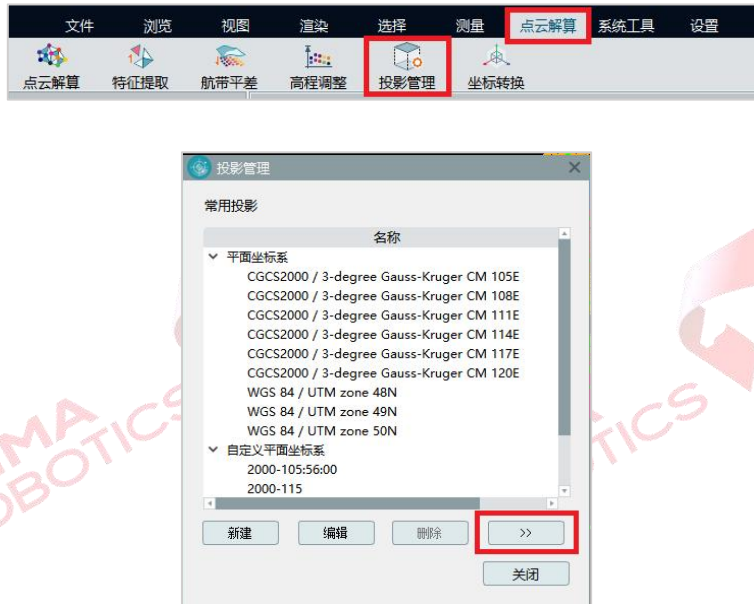


图 投影管理

2) 点击上图中的【>>】按钮，弹出数据库，从数据库中【添加】源坐标系（WGS84 UTM Zone 50N）常用投影中。

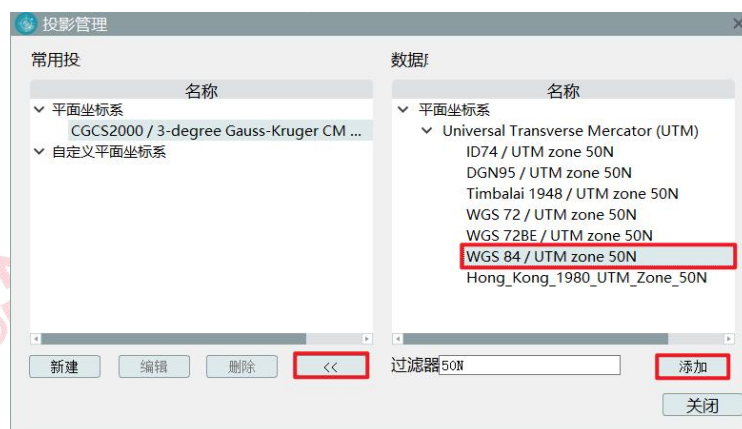


图 添加源投影系统

3) 点击上图中的【新建】按钮，弹出新建自定义平面坐标系窗口，指定椭球参数、投影参数以及中央子午线，添加自定义平面坐标系（CGCS2000/3-degree-Gauss-Kruger CM 119E20'）到常用投影中。

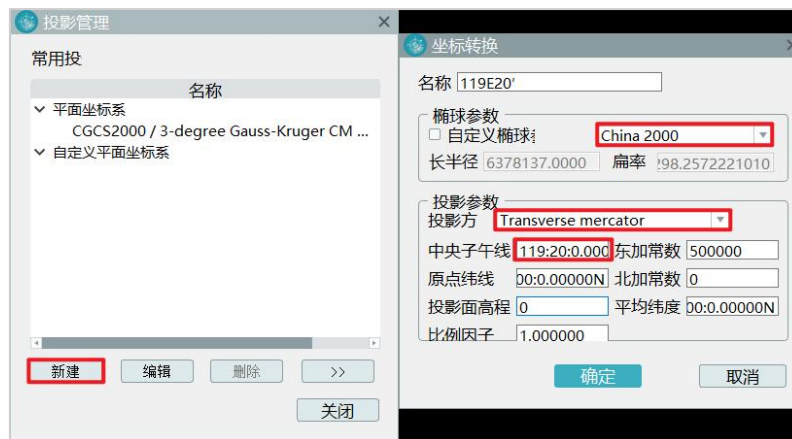


图 自定义平面坐标系

4) 点击菜单栏【点云解算】-【坐标转换】，弹出坐标转换对话框，单击【新建】进行测区的坐标转换参数配置，输入转换配置名称、选择转换类型、指定投影参数以及导入求取的参数，然后单击【确定】，完成转换参数配置，如下图所示：



图 投影变换坐标转换设置

注：转换过程需要的七参数或者四参数+高程拟合参数（.config 参数文件），可以通过【智理图】中【参数计算】获得。

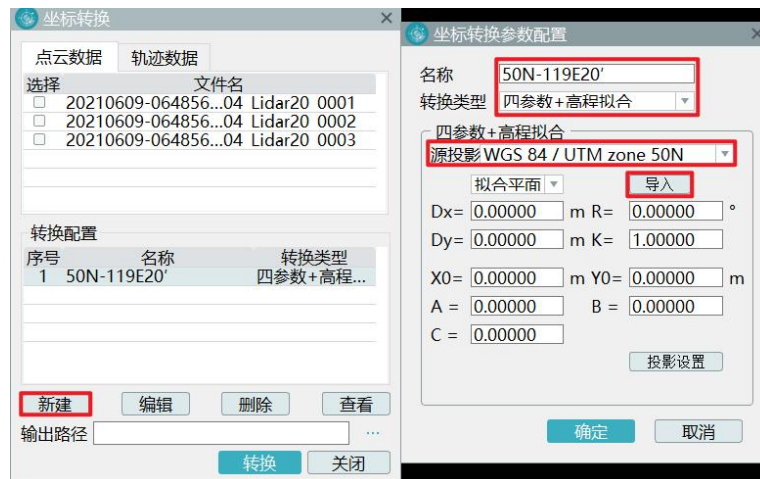


图 四参数拟合坐标转换设置

5) 点云及轨迹文件转换参照 4.8.1 节步骤 4 及步骤 5。

4.9 精度检查

在完成前序步骤后，可以对点云的精度进行检核。具体操作步骤如下：

点击【系统工具】-【精度检核】，计算报告查看误差值。

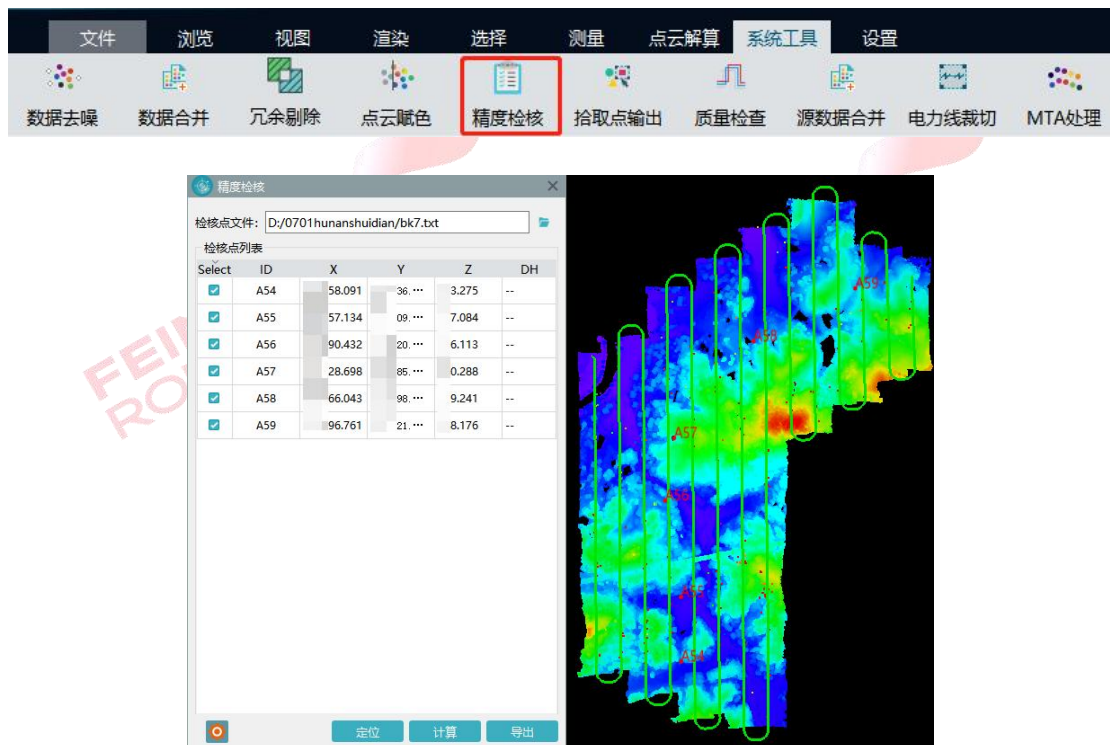


图 获取精度报告

对于检查精度超限的点，可以通过该工具快速定位超限点，拉剖面检查，判断超限的原因，判断是由于点云密度不够造成的精度超限或者是解算过程有误的原因造成的精度超限。

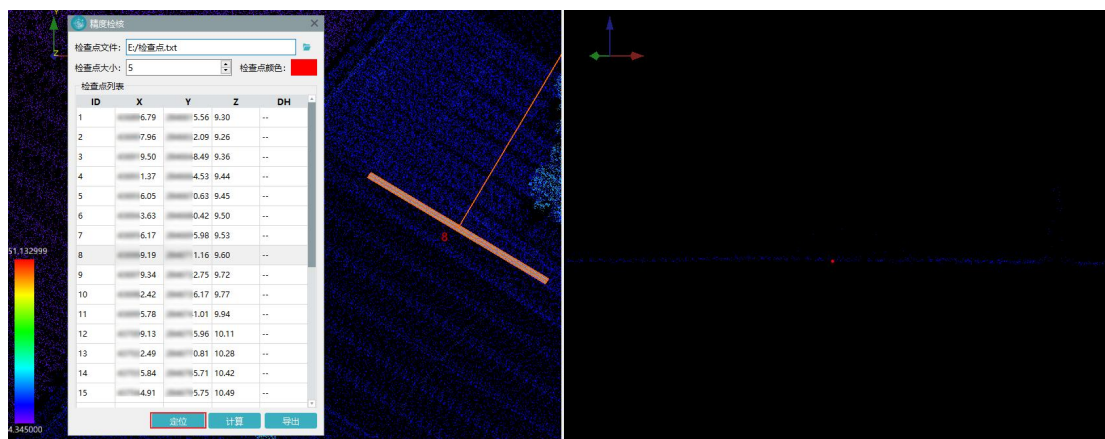


图 拉剖面检查

4.10 点云标准格式（LAS）导出

完成上述步骤中所需操作之后，单击【文件】-【导出数据】，文件类型和点云格式一般按照默认设置，设置导出路径，并点击【导出】即可完成标准 LAS 格式的点云成果导出。

注：如果需要按照范围导出，在【数据范围】导入 kml 格式范围文件，并设置【外扩】距离。



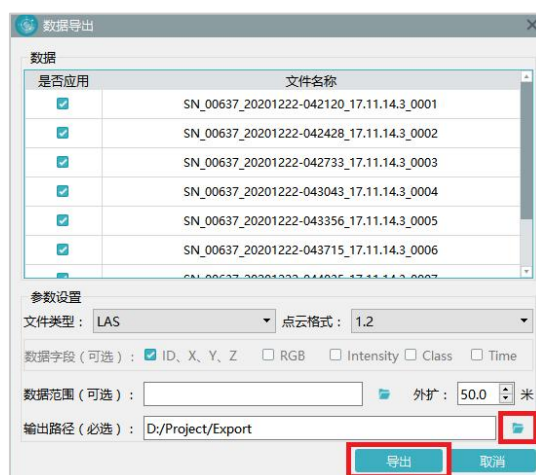


图 点云输出

如果有后续编辑需求，可以不输出 LAS 数据，在【智点云】中打开工程文件（.fmp）进行点云编辑操作。

4.11 多架次数据处理思路

1、首先对单架次数据进行处理：新建工程，点云解算，质量检查，若分层则进行航带平差直到航带间无分层。

2、对多架次数据进行处理：新建工程，导入步骤 1 生成的多个架次点云.fmi（.fmi 文件在工程文件夹中 ResultData\FmiData 中）及轨迹文件进行质量检查，若分层则进行多架次航带平差，不分层则进行步骤 4 的操作。

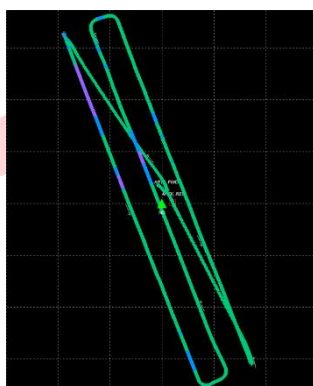
注：数据量大会造成卡顿，推荐加入 4 个架次以下的点云进行多架次平差。

3、如果数据较多，涉及到分区的数据（多架次数据进行的分区）：加入区块接边处的点云.fmi 及轨迹文件进行质量检查，若分层则将区块接边架次进行航带平差，并检查平差后相邻区块质量，不分层则进行步骤 4 的操作。

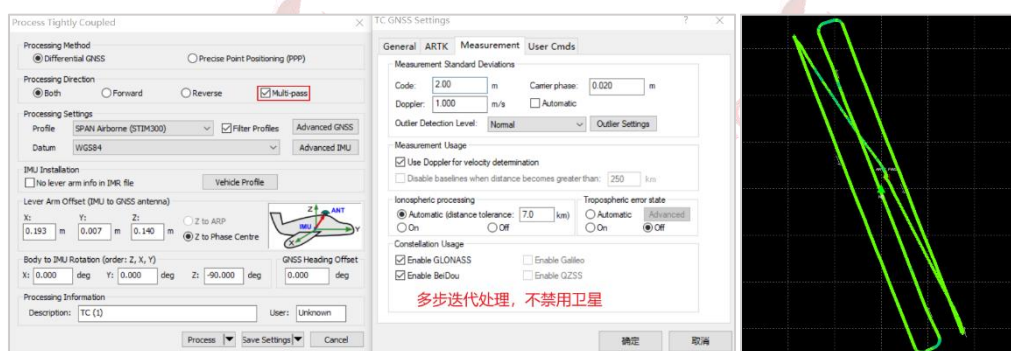
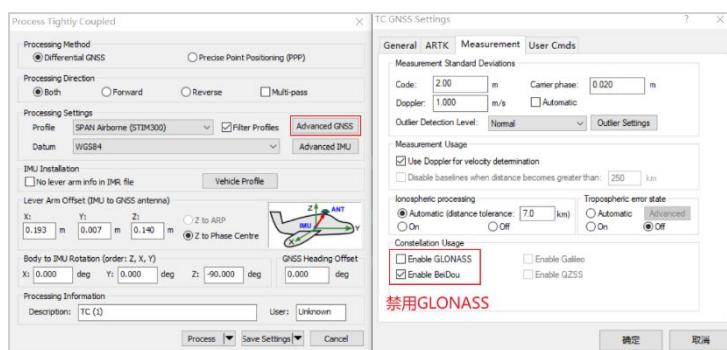
4、以多架次/区块为单元进行后续的去冗余、坐标转换、精度检查、导出标准点云或点云编辑等步骤。

5.常见问题

Q: 若轨迹质量不好, 有较多质量数值为 2 及其以上的情况, 在颜色表现上为青色或者蓝色等其他除绿色以外的情况, 该如何处理?



A: 可以按下图所示方式, 调整 IE 紧耦合的参数, 重新进行轨迹解算。



Q: 下载网络基站时出错?

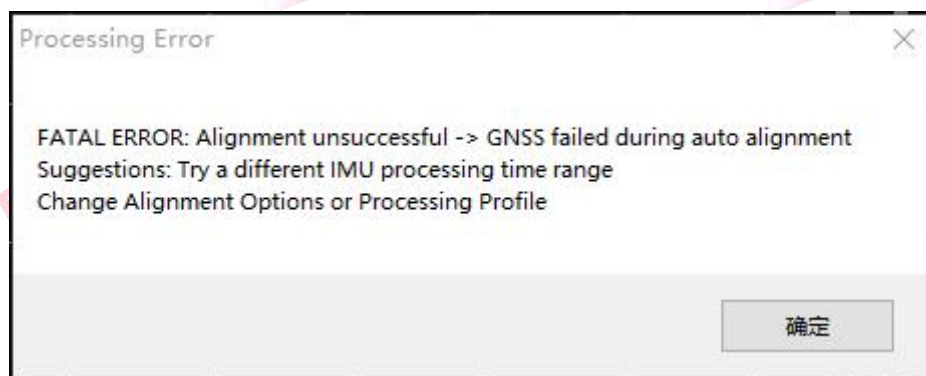
A: 参 考

<http://knowledge.cheesi.cn/2020/06/16/troubleshooting-virtual-base-station/>

Q: 是否可以采用网络基站作业?

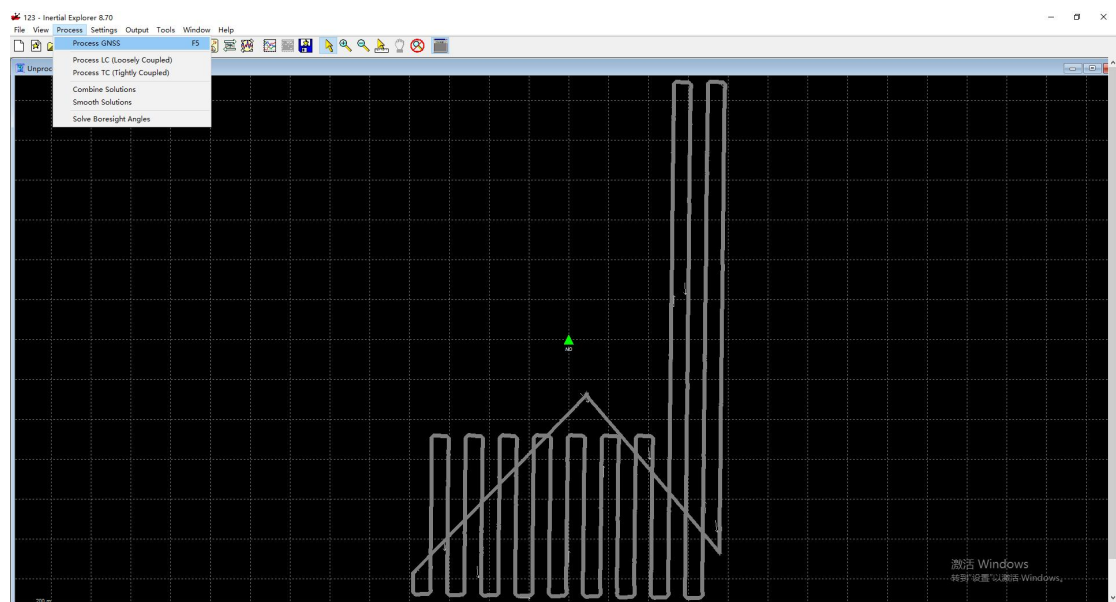
A: 可以, 只需要开通飞马网络基站服务, 收费标准咨询售后。

Q: IE 进行紧耦合差分解算时候出现如下提示, 怎么办?

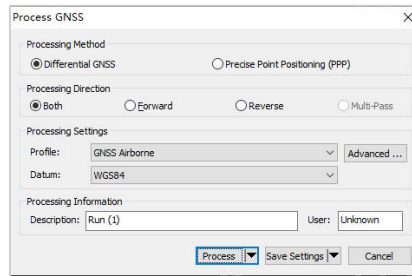


A: 出现此问题的原因可能是起飞降落后受到干扰, 解决方法如下:

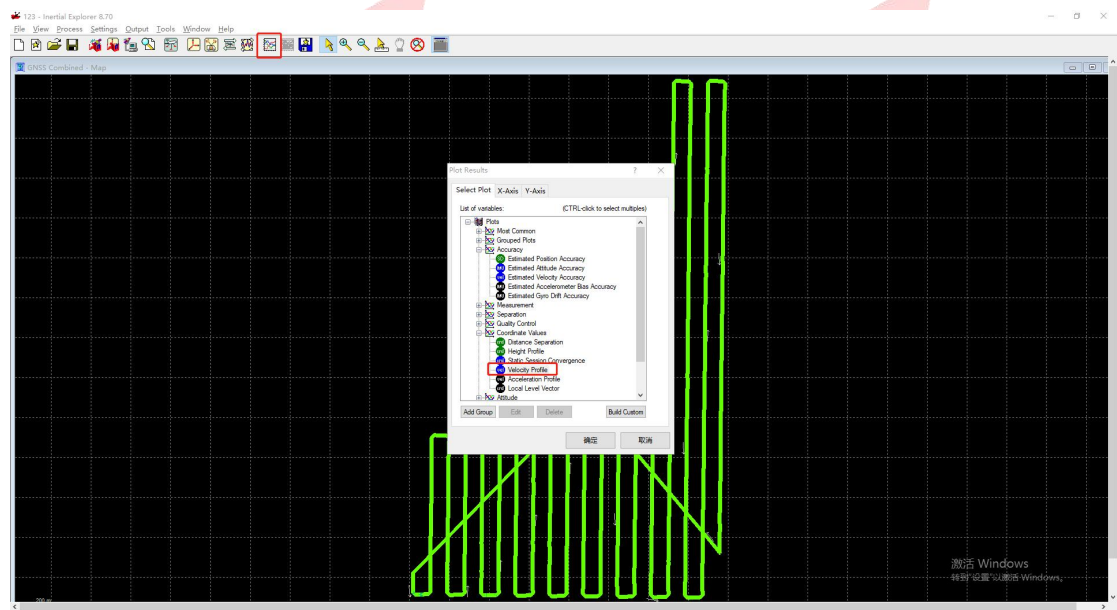
1) 添加完基站、流动站、imu 数据后选择【Process】-【Process GNSS】。



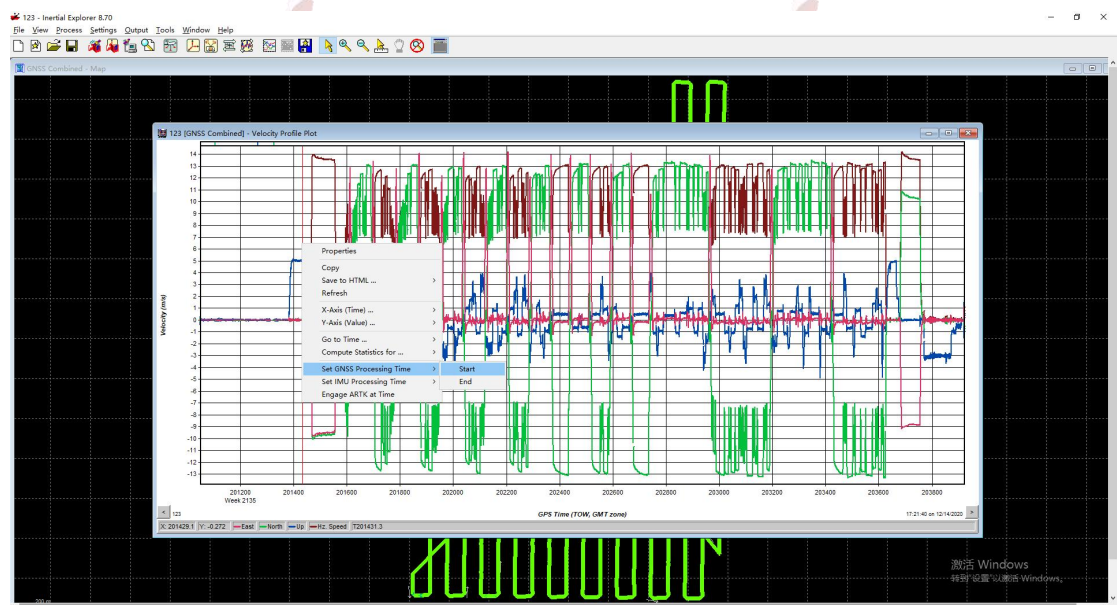
2) 按照默认设置点击【Process】开始处理, 中途出现提示点击【Continue】。



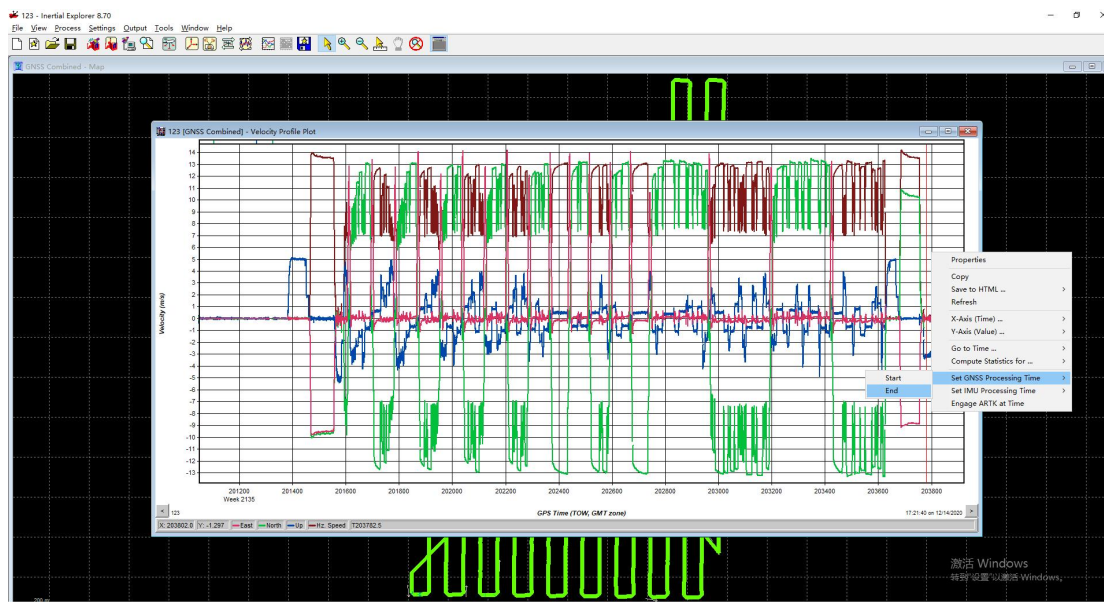
3) 处理完成后选择【Plot Results】-【Velocity Profile】。



4) 鼠标左键点击起飞时刻区域，出现红线，然后右键【Set GNSS Processing Time】-【Start】，设为起点。



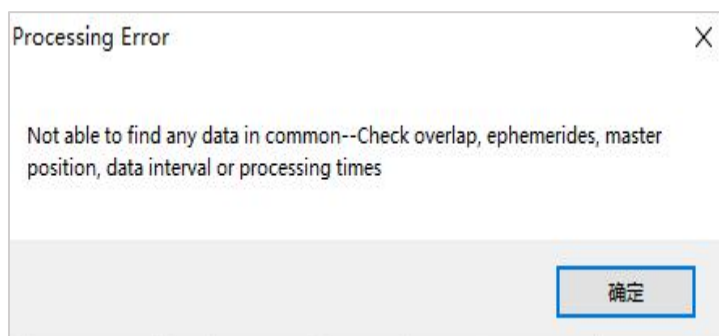
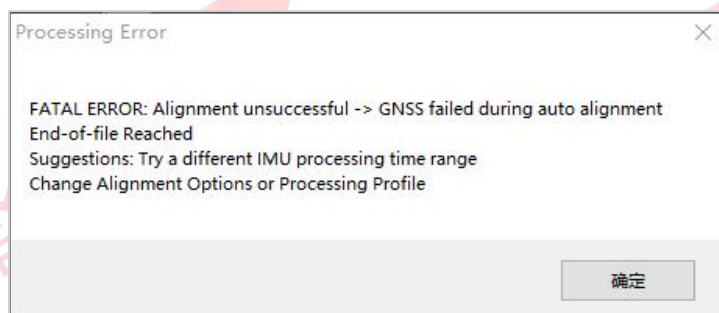
5) 鼠标右键点击降落时刻区域, 出现红线, 然后右键【Set GNSS Processing Time】- 【End】, 设为终点。



一般依据蓝线进行判断, 不要求太精确, 只要不多去即可。

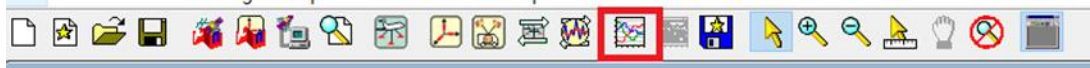
6) 点击【Process】- 【Process Tightly Coupled】, 开始正常解算。

Q: IE 进行紧耦合差分解算时候出现如下提示, 怎么办?

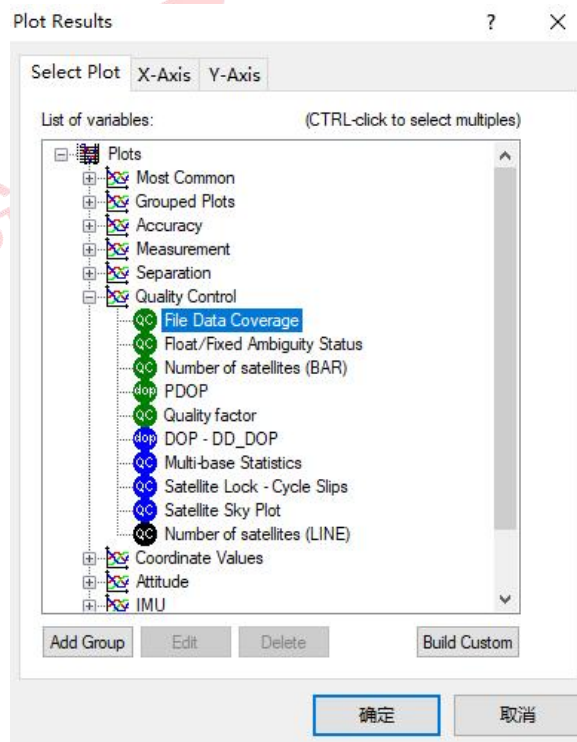


A: 出现此问题的原因可能是基站、流动站、IMU 时间不匹配，解决方法如下：

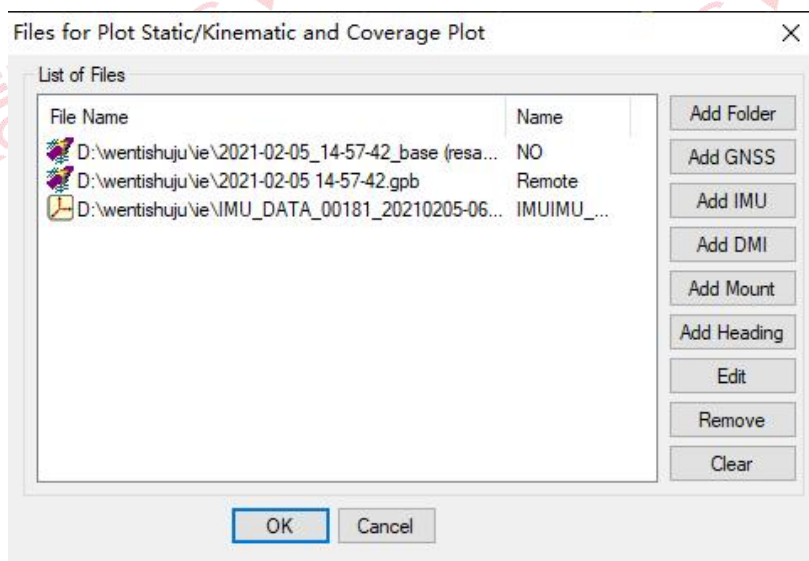
1) 添加完基站、流动站、imu 数据后，点击上方工具栏中的【Plot Results】



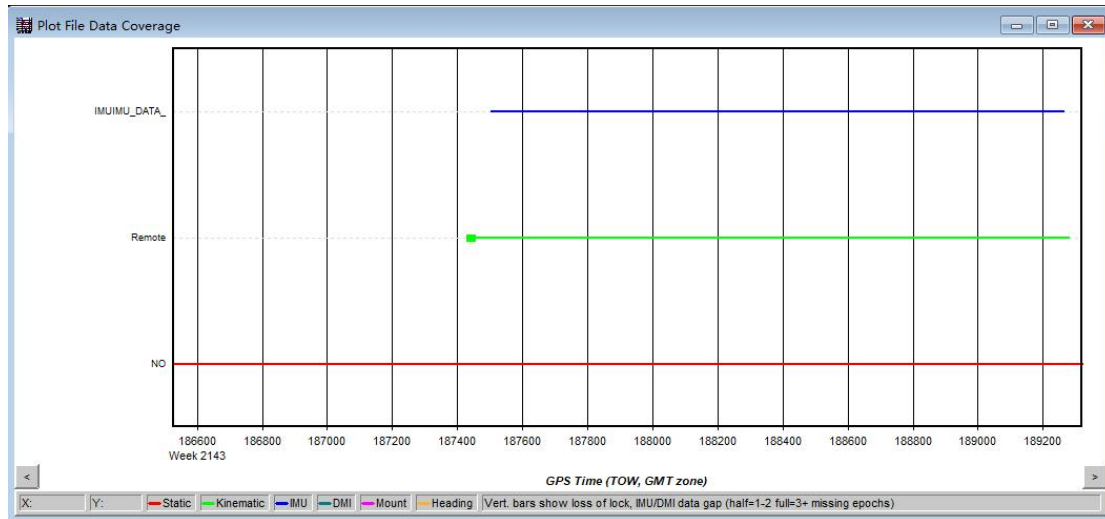
2) 打开【quality control】-【file data coverage】



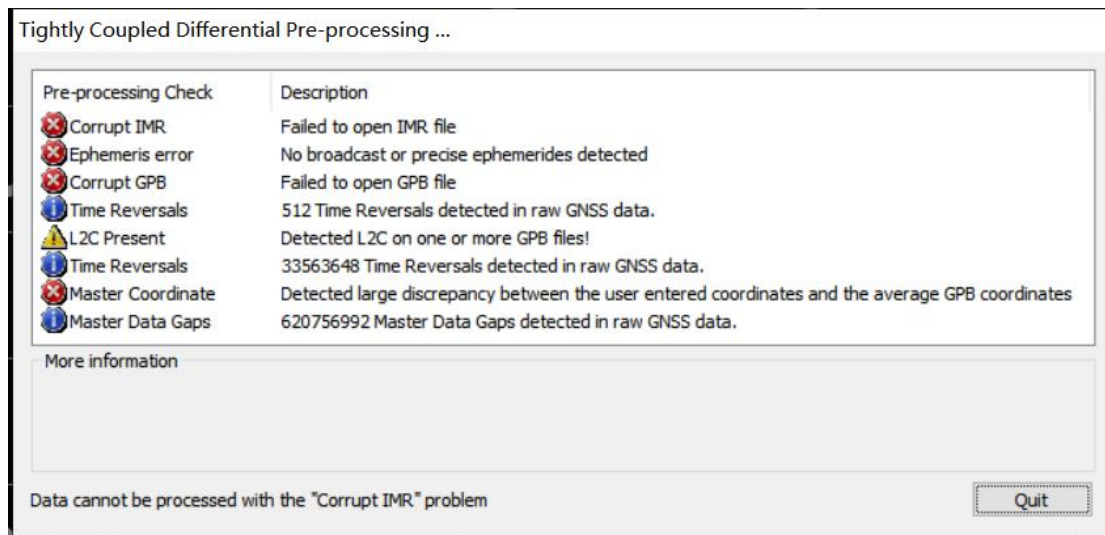
3) 点击【OK】，查看基站、流动站和 IMU 时间范围



4) 图中红线为基站数据，绿线为流动站数据，蓝线为 IMU 数据。正常情况下三者具有重叠时段，流动站和 IMU 数据时间近似，基站数据时间较长。如果三者不存在重叠时段，请检查导入数据是否为同一架次；如果确定是同一架次但数据记录不全，请反馈售后。



Q: IE 进行紧耦合差分解算时候出现如下提示怎么办？



A: 关闭 IE，右键 IE 以管理员权限打开软件。

Q:做完航带平差后，依旧存在分层的情况怎么办？

A: 可以进行去冗余操作，去冗余可以减少数据量，提高整体精度。

Q: 我有控制点能否对点云进行纠正？

A: 不行。

Q: 点云精度误差比较大是什么原因？

A: 点云的精度是否存在系统性误差，如果是，请确定检查点和点云的是否是同一套高程基准，如果不是，可以拉剖面查看具体点位误差情况判断。