

# LiDAR2000 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： V2.8.0

日 期： 2025-11-26

# 目录

1.LiDAR2000 简介 .....	1
2.数据准备 .....	2
2.1 流动站数据 .....	2
2.2 LiDAR 原始数据 .....	2
2.2.1 LVX 数据合并（可选） .....	3
2.3 载荷 IMU 文件 .....	4
3.点云轨迹解算 .....	4
3.1 机载 GNSS 数据格式转换 .....	4
3.2 基站数据格式转换 .....	6
3.2.1 飞马网络基站预处理 .....	6
3.2.2 实体基站数据格式转换 .....	7
3.3 文件存放整理 .....	8
3.4 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 .....	16
4.点云数据预处理 .....	19
4.1 新建项目 .....	19
4.2 点云解算 .....	24
4.3 质量检查 .....	27
4.4 优化平差 .....	29
图 是否将优化结果添加到当前功能示例 .....	31

4.5 去冗余 .....	32
4.6 去噪 .....	32
4.7 点云赋色 .....	36
4.7.1 基于原始影像进行点云赋色 .....	36
4.7.2 基于 DOM 实现点云赋色 .....	37
4.8 坐标转换 .....	38
4.8.1 标准坐标系输出 .....	39
4.8.2 独立坐标系输出 .....	41
4.9 精度检查 .....	44
4.10 点云纠正 .....	45
4.11 点云标准格式（LAS）导出 .....	49
4.12 多架次数据处理思路 .....	50
5.常见问题 .....	50

## 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。

A red watermark logo for FEIMA ROBOTICS, featuring a stylized red ribbon icon above the text "FEIMA ROBOTICS".A red watermark logo for FEIMA ROBOTICS, featuring a stylized red ribbon icon above the text "FEIMA ROBOTICS".A red watermark logo for FEIMA ROBOTICS, featuring a stylized red ribbon icon above the text "FEIMA ROBOTICS".A red watermark logo for FEIMA ROBOTICS, featuring a stylized red ribbon icon above the text "FEIMA ROBOTICS".

# 1.LiDAR2000 简介

为满足广大客户对 D2000 飞行平台挂载轻型机载激光雷达系统的需求，飞马机器人通过不断的市场调研和测试，现隆重推出 D-LiDAR2000 轻型机载激光雷达系统。该模块选用质量轻、测距长、精度高的激光传感器，搭配飞马自研高精度组合导航产品，可以达到 5cm（50m 航高）测量精度，实现地形测图、土方测量等测绘目的，其主要优势如下：

- 1、较长测距。在保证低噪点率的同时调节探测距离。高照度环境（如晴天）的测距能力可达 320m，低照度环境（如阴天、室内、夜晚等）的测距能力提升到 450m，可让飞机在更高的航行高度进行作业，提升作业率。
- 2、高精度。内置飞马自研 GNSS/IMU 惯导系统，可提供高精度的点云成果数据，且组合导航系统不依赖可见光，可实现全天候作业。
- 3、高密度。激光点频为每秒 24 万个点，100%的点频利用率，相比于 360° 扫描设备，点频利用率提升 4 倍，适用于高密度需求的作业场景。
- 4、三回波。对于植被覆盖的场景，三次波技术可以使激光相比于双回波有更多次穿透机会，可以进行林业树冠统计和林区地形测量。
- 5、可设扫描模式。针对精度及点云均匀度特殊要求的电力巡检、林业测绘等场景，选择线扫或面扫模式可显著提升数据效果。独特的光斑形态对细长物体（如电线）有更优分辨率。
- 6、多用途。该模块预留通讯接口，开发版可为客户提供更多的地面开发、应用可能。
- 7、高效率。该模块为高效作业而生，采用极简化设计，减少不必要的重量，为用户预留更多作业空间，实际飞行可达 50 分钟。当需要获取彩色纹理数据时，仅需快速更换相机载荷即可获取，保证大多数场景的点云高效获取。

表 D-LiDAR2000 作业效率表

航高	点密度	作业面积	一天作业	航程	备注
m	pts/m <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km	按照 30%旁向重叠,速度 13.5m/s, 一天 6 架次
70	259	2.32	13.93	40	
100	181	3.21	19.27		
150	121	4.61	27.64		
200	91	5.92	35.49		

## 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 流动站数据

LiDAR2000 获取的流动站数据如下:

 2020-11-23 11-20-42.bin	2020/11/27 9:47	BIN 文件	24,336 KB
 2020-11-23 11-20-42.fmcompb	2020/11/27 9:47	FMCOMPB 文件	29,542 KB
 2020-11-23 11-20-42.fmnnav	2020/11/27 9:47	FMNAV 文件	2,345 KB

图 LiDAR2000 流动站数据示例

具体用途参考下表:

表 流动站数据用途介绍

bin 文件	飞行日志
fmcompb 文件	机载 GNSS 观测数据
fmnnav 文件	RTK 轨迹

### 2.2 LiDAR 原始数据

LiDAR 原始数据格式为.lvx, 如下图所示:

Lidar2000_00014_20201123-032234_0001.lvx	2020/11/27 9:58	LVX 文件	876,227 KB
Lidar2000_00014_20201123-032412_0002.lvx	2020/11/27 9:58	LVX 文件	853,917 KB
Lidar2000_00014_20201123-032548_0003.lvx	2020/11/27 9:58	LVX 文件	866,040 KB
Lidar2000_00014_20201123-032725_0004.lvx	2020/11/27 9:58	LVX 文件	864,843 KB
Lidar2000_00014_20201123-032902_0005.lvx	2020/11/27 9:53	LVX 文件	872,561 KB
Lidar2000_00014_20201123-033040_0006.lvx	2020/11/27 9:53	LVX 文件	859,889 KB
Lidar2000_00014_20201123-033217_0007.lvx	2020/11/27 9:53	LVX 文件	868,367 KB
Lidar2000_00014_20201123-033354_0008.lvx	2020/11/27 9:53	LVX 文件	904,726 KB

图 LiDAR2000 原始数据示例

## 2.2.1 LVX 数据合并（可选）

若飞行时单条航线长度过长，可能存在单条航带记录多个文件的现象，在进行点云解算之前，需要使用合并工具将其合并为一个文件，合并工具存放在 C:\ProgramFiles\UAVManager\smart\_map\smart\_lidar\tools\feima\_merge.exe。

在进行合并时，首先打开合并工具、选择载荷类型，打开 LVX 文件存放的上一级目录，然后点击合并，软件将自动执行合并操作，合并完成后软件将自动关闭，并在 LVX 文件同级目录下生成名为“merge”的文件夹，里面存放合并后的 LVX 文件。

20211111-042819_00055_Lidar2000_0001.lvx	2021/11/22 11:27	LVX 文件	386,645 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0002.lvx	2021/11/22 11:23	LVX 文件	576,789 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0003.lvx	2021/11/22 11:27	LVX 文件	2,093,697 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0004.lvx	2021/11/22 11:26	LVX 文件	1,957,717 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0005.lvx	2021/11/22 11:26	LVX 文件	2,097,167 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0005_2.lvx	2021/11/22 11:02	LVX 文件	149,268 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0006.lvx	2021/11/22 11:25	LVX 文件	2,097,322 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0006_2.lvx	2021/11/22 11:00	LVX 文件	26,195 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0007.lvx	2021/11/22 11:16	LVX 文件	1,347,077 KB

图 原始 LVX 文件



图 合并工具

merge	2021/12/29 15:11	文件夹	
20211111-042819_00055_Lidar2000_0001.lvx	2021/11/22 11:27	LVX 文件	386,645 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0002.lvx	2021/11/22 11:23	LVX 文件	576,789 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0003.lvx	2021/11/22 11:27	LVX 文件	2,093,697 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0004.lvx	2021/11/22 11:26	LVX 文件	1,957,717 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0005.lvx	2021/11/22 11:26	LVX 文件	2,097,167 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0005_2.lvx	2021/11/22 11:02	LVX 文件	149,268 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0006.lvx	2021/11/22 11:25	LVX 文件	2,097,322 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0006_2.lvx	2021/11/22 11:00	LVX 文件	26,195 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0007.lvx	2021/11/22 11:16	LVX 文件	1,347,077 KB

图 合并文件夹

20211111-042819_00055_Lidar2000_0001.lvx	2021/12/29 15:10	LVX 文件	386,645 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0002.lvx	2021/12/29 15:10	LVX 文件	576,789 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0003.lvx	2021/12/29 15:10	LVX 文件	2,093,697 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0004.lvx	2021/12/29 15:10	LVX 文件	1,957,717 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0005.lvx	2021/12/29 15:11	LVX 文件	2,246,434 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0006.lvx	2021/12/29 15:11	LVX 文件	2,123,516 KB
20211111-042819_00055_Lidar2000_0007.lvx	2021/12/29 15:12	LVX 文件	1,347,077 KB

图 合并结果

注：智激光（Smart Lidar）0.9.9.6 版本及其后续版本，软件在点云解算时，将自动进行点云数据的合并，可不再单独进行原始 LVX 文件的合并。

## 2.3 载荷 IMU 文件

IMU_DATA_00014_20201123-031942_...	2020/11/27 9:47	Waypoint Raw l...	10,681 KB
------------------------------------	-----------------	-------------------	-----------

图 LiDAR2000 IMU 文件示例

## 3.点云轨迹解算

在 IE 中可以进行 LiDAR2000 的点云轨迹解算，后续管家也会支持对 LiDAR2000 的点云轨迹解算。

### 3.1 机载 GNSS 数据格式转换

GNSS 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】-【GNSS 处理】-【GNSS 格式转换】。

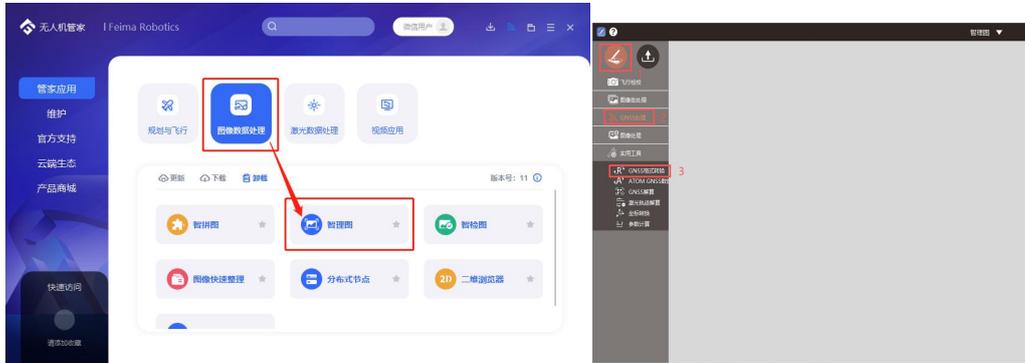


图 智理图 GNSS 格式转换入口

- 2) 在【GNSS 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 GNSS 文件同一路径下，按照默认路径输出即可。

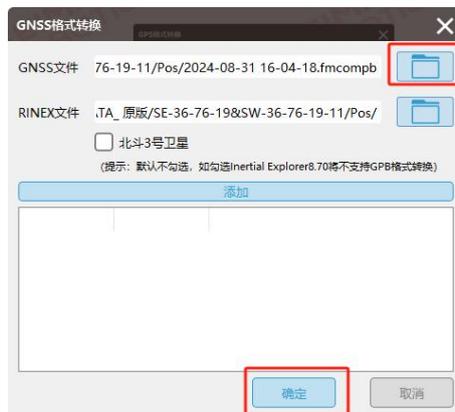


图 GNSS 格式转换



图 添加北斗 3 卫星

注：北斗 3 号卫星默认不勾选，如有需求可以勾选，勾选后转换的星历文件中包含北斗 3 卫星信息，**但不支持 ie8.7 中 GPB 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.P 文件（或其他格式的星历文件和导航文件）。

<input type="checkbox"/>	2024-08-31 16-04-18.24C	2024/9/13 18:43	24C 文件	10 KB
<input type="checkbox"/>	2024-08-31 16-04-18.24G	2024/9/13 18:43	24G 文件	9 KB
<input type="checkbox"/>	2024-08-31 16-04-18.24N	2024/9/13 18:43	24N 文件	19 KB
<input type="checkbox"/>	2024-08-31 16-04-18.24O	2024/9/13 18:43	24O 文件	120,628 KB
<input type="checkbox"/>	2024-08-31 16-04-18.24P	2024/9/13 18:43	24P 文件	55 KB

图 GNSS 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

D2000 系列机型开通了 PPK 网络差分解算服务，可进行飞马网络基站预处理。

在【智理图】-【GNSS 处理】-【GNSS 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】，选择手动下载，根据飞行端口进行选择（8002 对应 WGS84，8003 对应 CGCS2000），点击下载，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。（基站星座可选择单北斗和全星座的基站下载，可按照需求选择，自动为软件自动识别流动站文件星座根据流动站星座情况进行下载）

注：飞马网络基站下载周期为 6 个月，3 个月内的数据可正常下载，3-6 个月的数据提交后间隔 24 小时重新提交即可下载，超过 6 个月的基站数据无法下载，

如有长期作业需求请下载后备份保存。

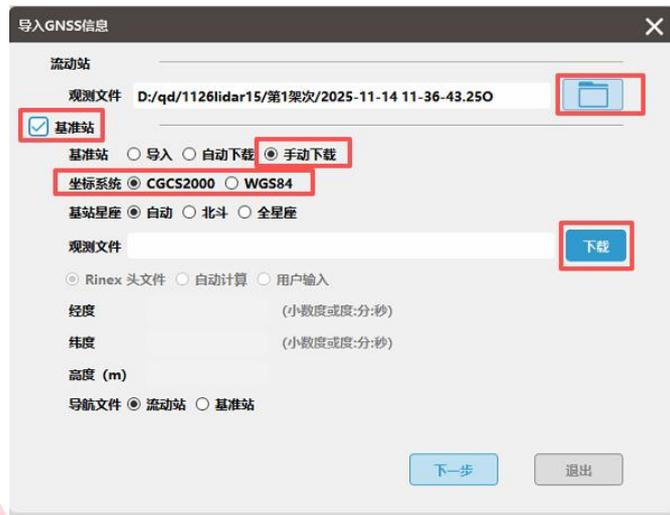


图 下载网络基站

### 3.2.2 实体基站数据格式转换

若飞行过程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】-【GNSS 处理】-【GNSS 格式转换】。

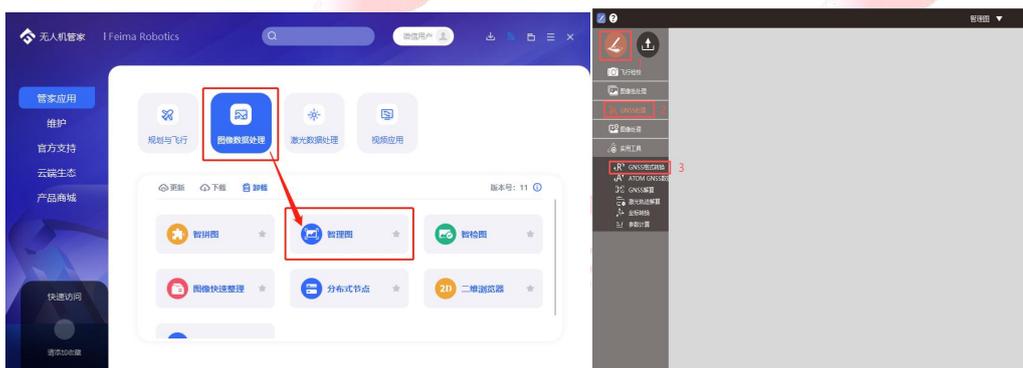


图 智理图 GNSS 格式转换入口

- 2) 在【GNSS 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 GNSS 文件同一路径下，按照默认路径输出即可。

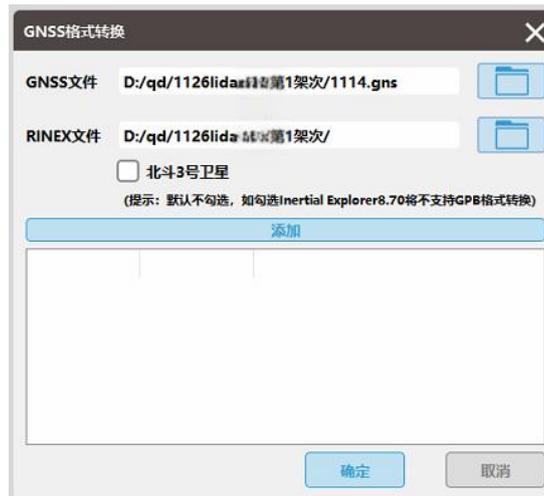


图 GNSS 格式转换

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	20O 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，将基站和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。

2025-11-14 11-36-43.25C	2025/11/26 16:00	25C 文件	9 KB
2025-11-14 11-36-43.25G	2025/11/26 16:00	25G 文件	3 KB
2025-11-14 11-36-43.25N	2025/11/26 16:00	25N 文件	8 KB
2025-11-14 11-36-43.25O	2025/11/26 16:00	25O 文件	76,885 KB
2025-11-14 11-36-43.25P	2025/11/26 16:00	25P 文件	28 KB
2025-11-14_11-36-43_base.o	2025/11/26 16:45	O 文件	3,711 KB
2025-11-14_11-36-43_base.p	2025/11/26 16:45	P 文件	4,870 KB
20251114-033234_00100_IMU_DATA_0001.imr	2025/11/26 15:14	Waypoint Raw I...	18,341 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 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。

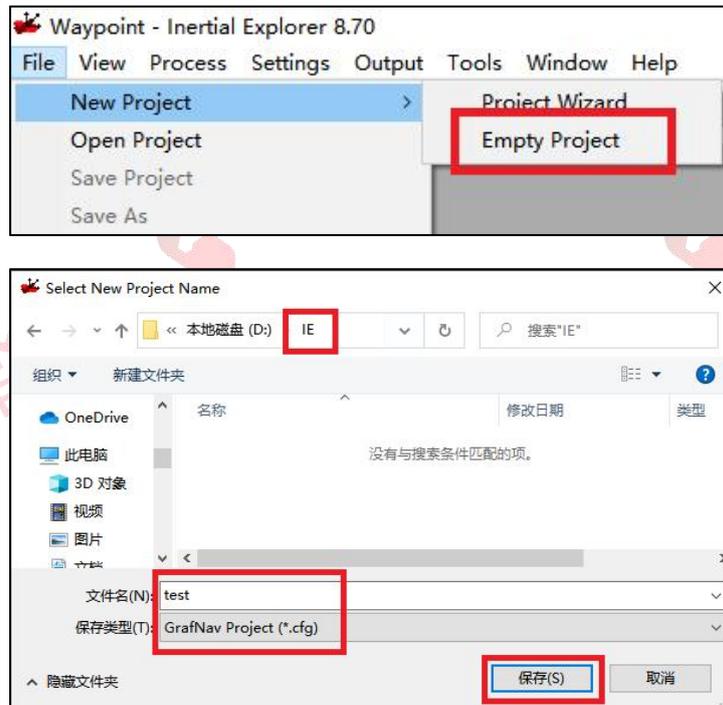


图 新建 IE 工程

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

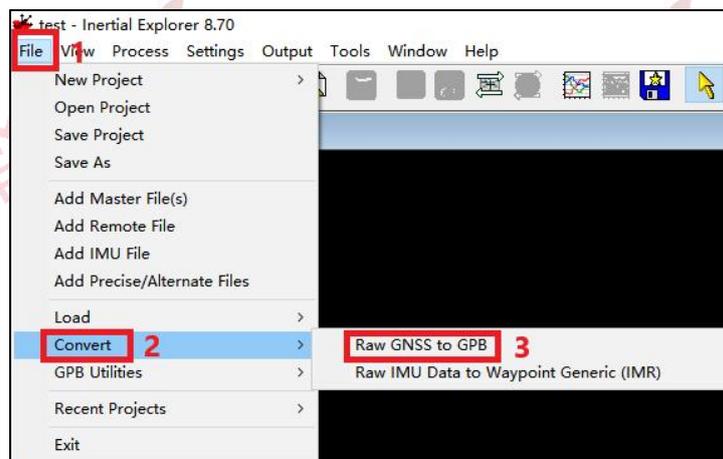


图 格式转换

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。

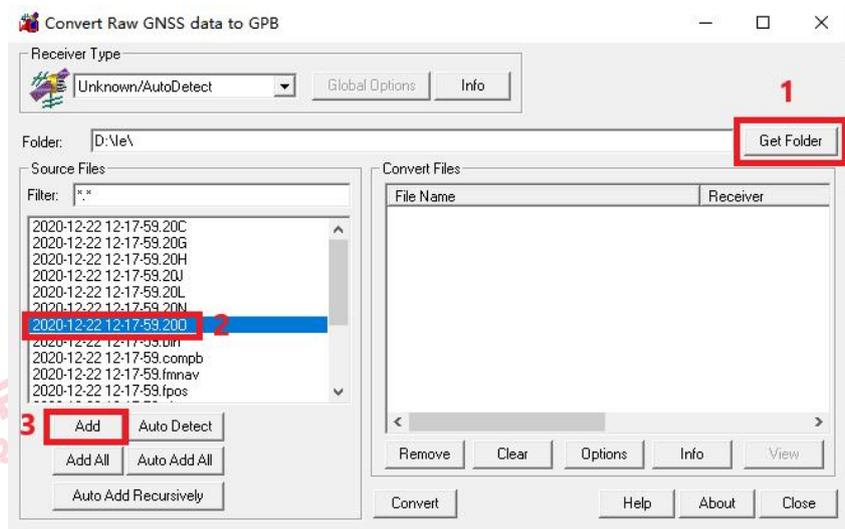


图 格式转换

首次添加会跳出对话框, 点击【是】。

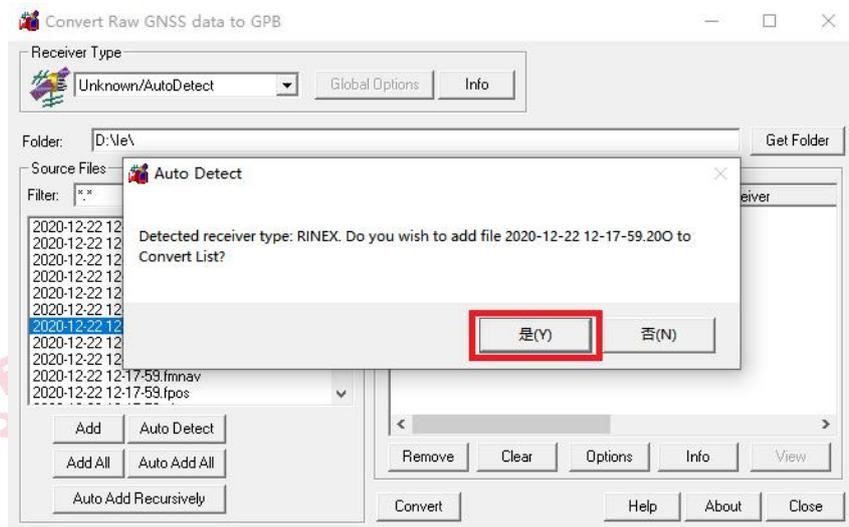


图 格式转换

4) 点击【Convert】, 将数据 O 文件转换为 GPB 格式。

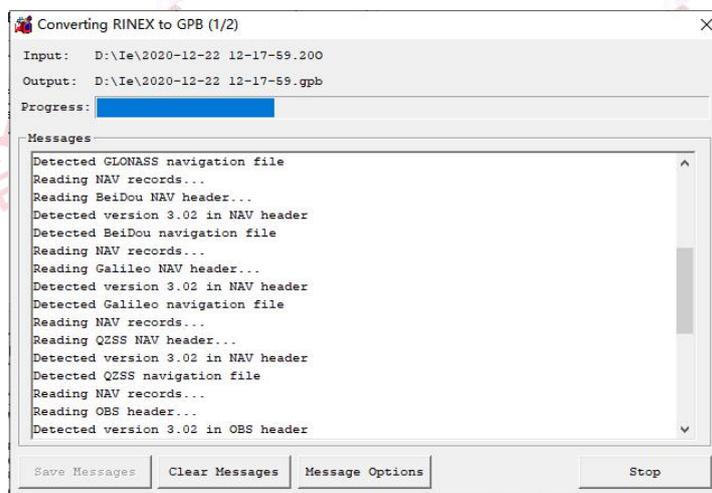
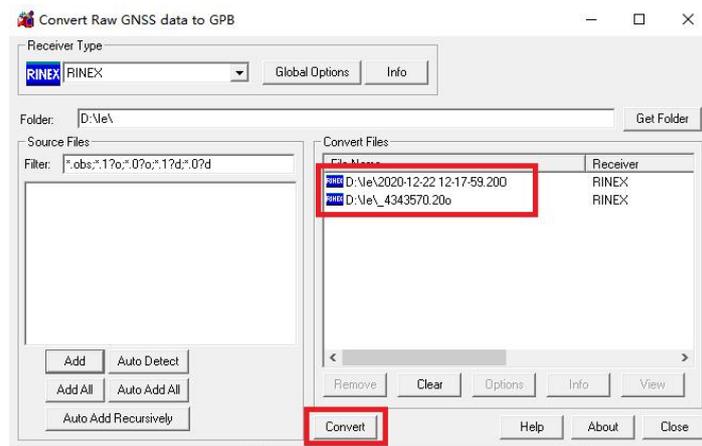


图 格式转换

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。

2021-12-29 09-03-13.epp	2021/12/29 11:43	Waypoint Ephe...	15 KB
2021-12-29 09-03-13.gpb	2021/12/29 11:59	Waypoint Raw G...	18,524 KB
2021-12-29 09-03-13.sta	2021/12/29 11:43	Waypoint Statio...	2 KB
2021-12-29_09-03-13_base.epp	2021/12/29 11:43	Waypoint Ephe...	424 KB
2021-12-29_09-03-13_base.gpb	2021/12/29 11:43	Waypoint Raw G...	4,044 KB
2021-12-29_09-03-13_base.sta	2021/12/29 11:43	Waypoint Statio...	2 KB

图 格式转换完成

### 3.5 数据添加

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

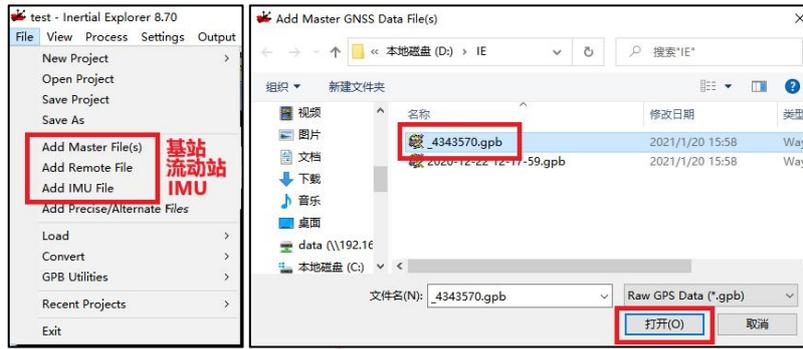


图 添加格式转换完的基站数据

2) 打开后跳出对话框，查看点号、基站坐标以及天线高，IE 8.7 版本需要手动将基准设置为 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 GNSS 转换后的 GPB 文件；

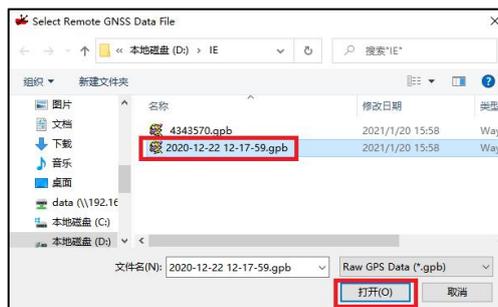


图 添加格式转换完的流动站数据

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。

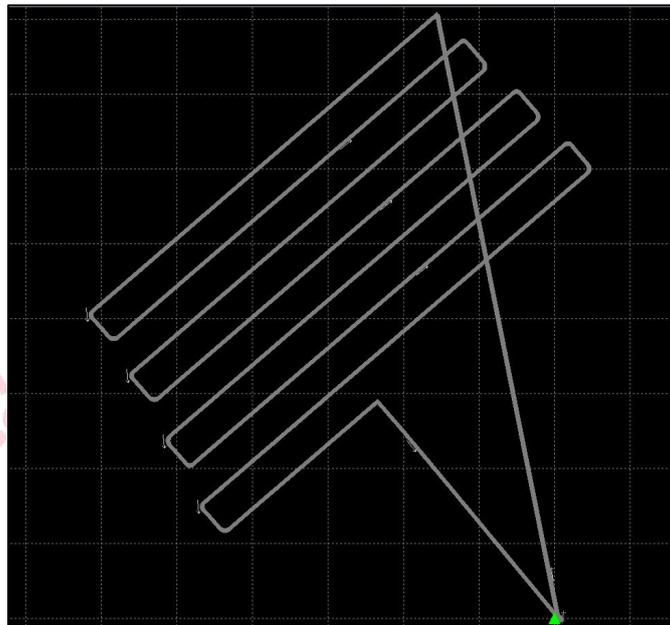
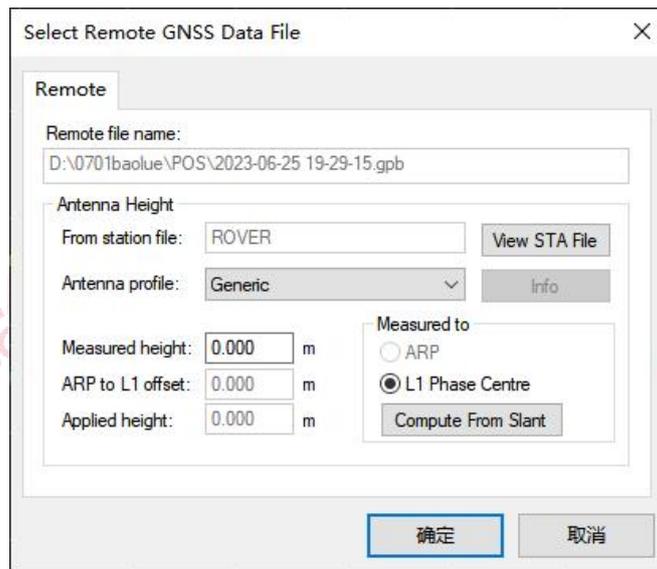


图 添加流动站数据

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

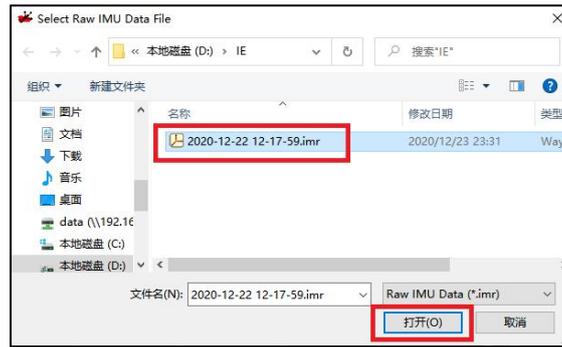


图 添加 IMU 文件

### 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。

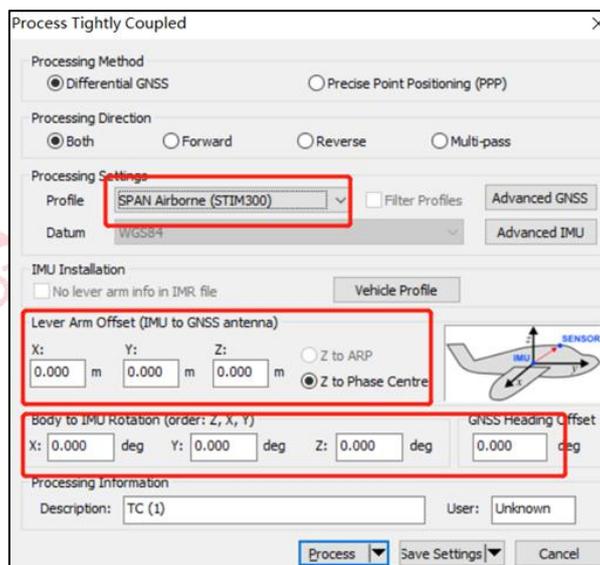


图 紧耦合解算设置

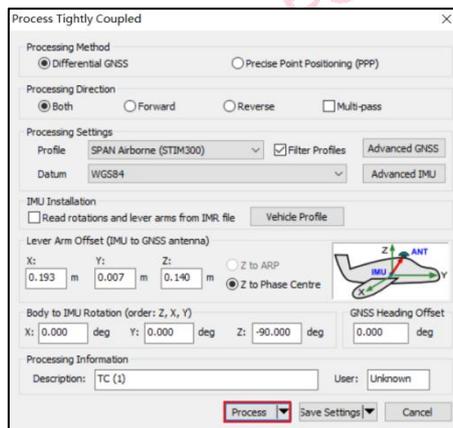
其中【Processing Settings】选择 SPAN Airborne (STIM300), Lever Arm 和 IMU

旋转参数可以直接输入，也可以点击【Vehicle Profile】按钮进行设置保存，下次直接点击该按钮读取即可，LiDAR2000 具体参数设置如下：

Name: <input type="text" value="LiDAR2000"/>		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.193"/> m	Y: <input type="text" value="0.007"/> m	Z: <input type="text" value="0.140"/> m
IMU to Secondary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" value="0.000"/> m	Z: <input type="text" value="0.000"/> m
Body Frame to IMU Frame Rotation		
X: <input type="text" value="0.000"/> deg	Y: <input type="text" value="0.000"/> deg	Z: <input type="text" value="-90.000"/> deg

图 LiDAR2000 解算参数

2) 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。至此，在 IE 中进行的差分 POS 数据解算已完成。



Process Tightly Coupled

Processing Method:  Differential GNSS  Precise Point Positioning (PPP)

Processing Direction:  Both  Forward  Reverse  Multi-pass

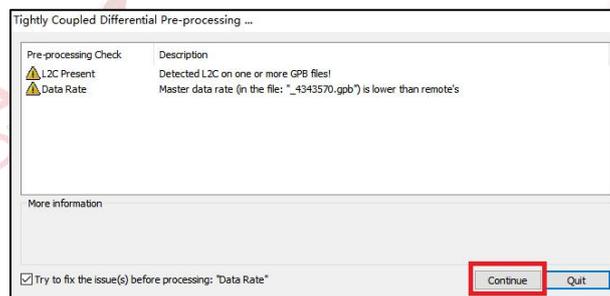
Processing Settings: Profile: SPAN Airborne (STIM300)  Filter Profiles Advanced GNSS  
Datum: WGS84 Advanced IMU

IMU Installation:  Read rotations and lever arms from IMR file

Lever Arm Offset (IMU to GNSS antenna): X: 0.193 m Y: 0.007 m Z: 0.140 m  Z to ARP  Z to Phase Centre

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

Processing Information: Description: TC (1) User: Unknown



Tightly Coupled Differential Pre-processing ...

Pre-processing Check: Description

L2C Present Detected L2C on one or more GPB files

Data Rate Master data rate (in the file: ".4343570.gpb") is lower than remote's

More information

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

注：该提示意为基准站采样频率低于流动站，继续即可。

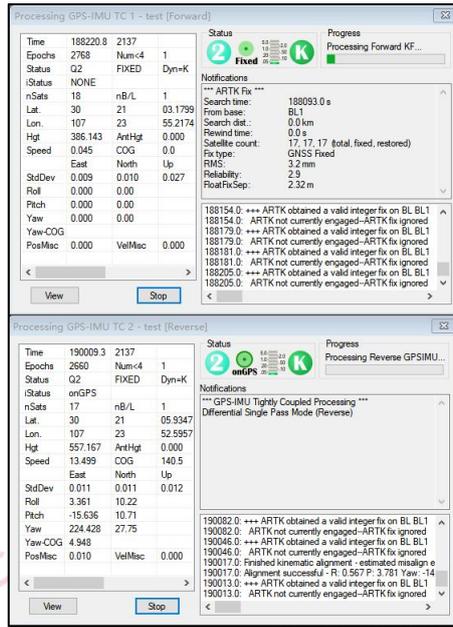


图 紧耦合解算

### 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  $0.01^\circ$ ，航向小于  $0.05^\circ$  为解算正常。



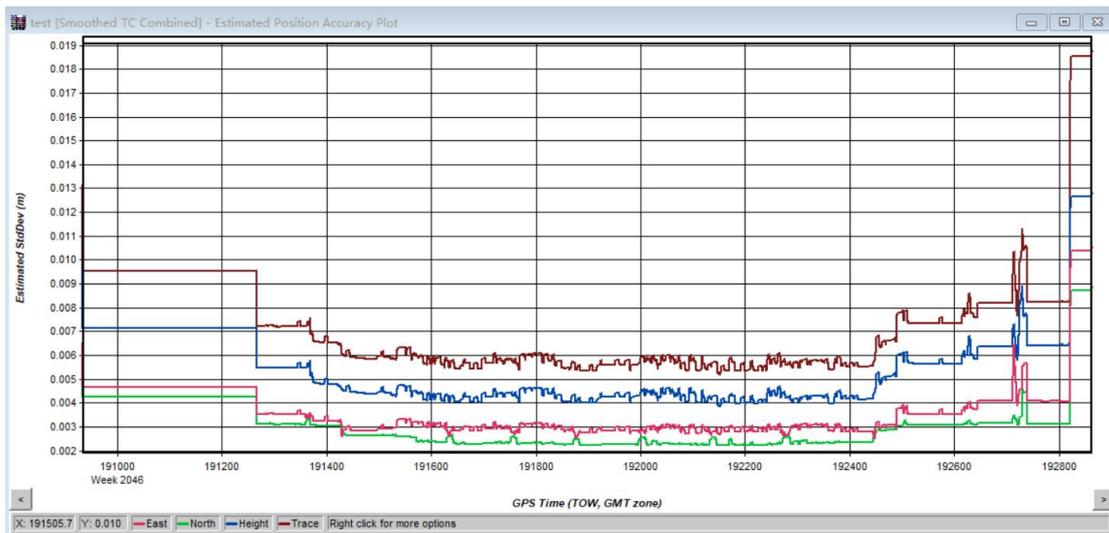
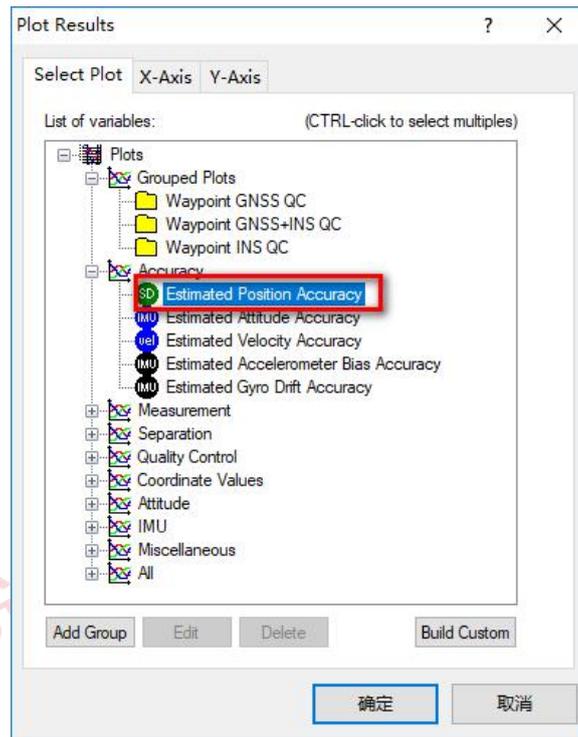


图 解算精度检查-位置

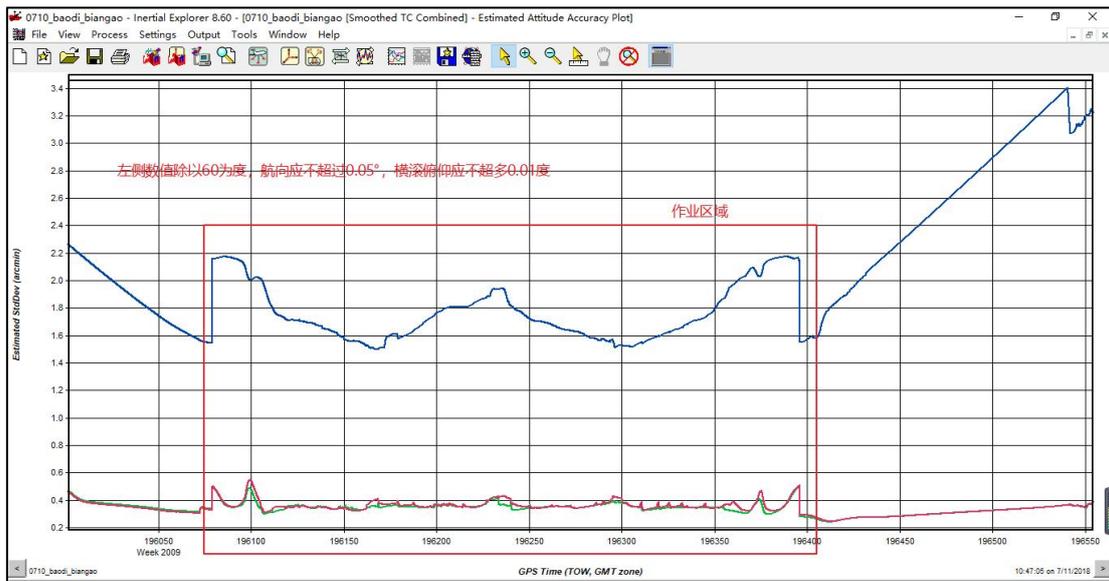


图 解算精度检查-姿态

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 GNSS 时间、点击【OK】 导出 SBET.OUT 文件。

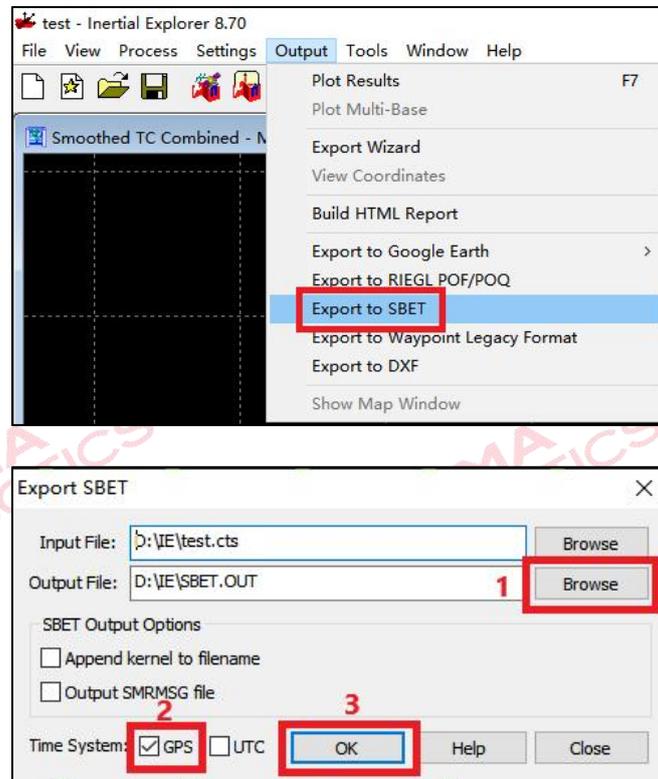


图 输出轨迹

## 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）、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。去噪、点云赋色等操作可根据实际情况有选择性的进行。

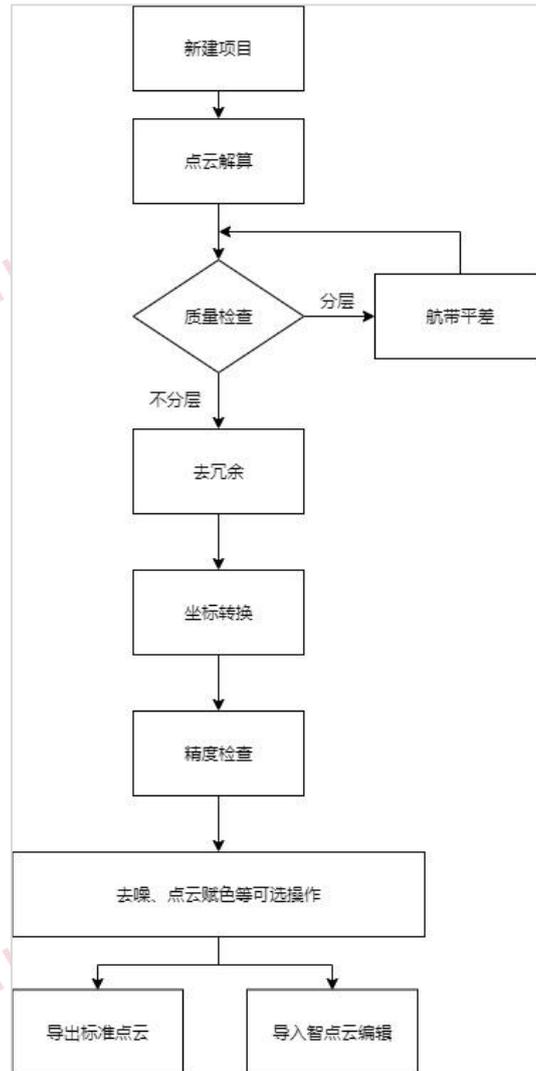


图 点云数据预处理流程图

### 4.1 新建项目

- 1) 打开无人机管家中的【智激光】模块。

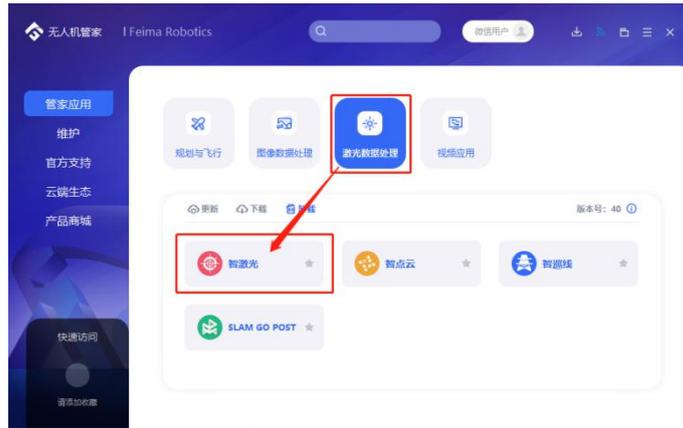


图 智激光入口

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】。

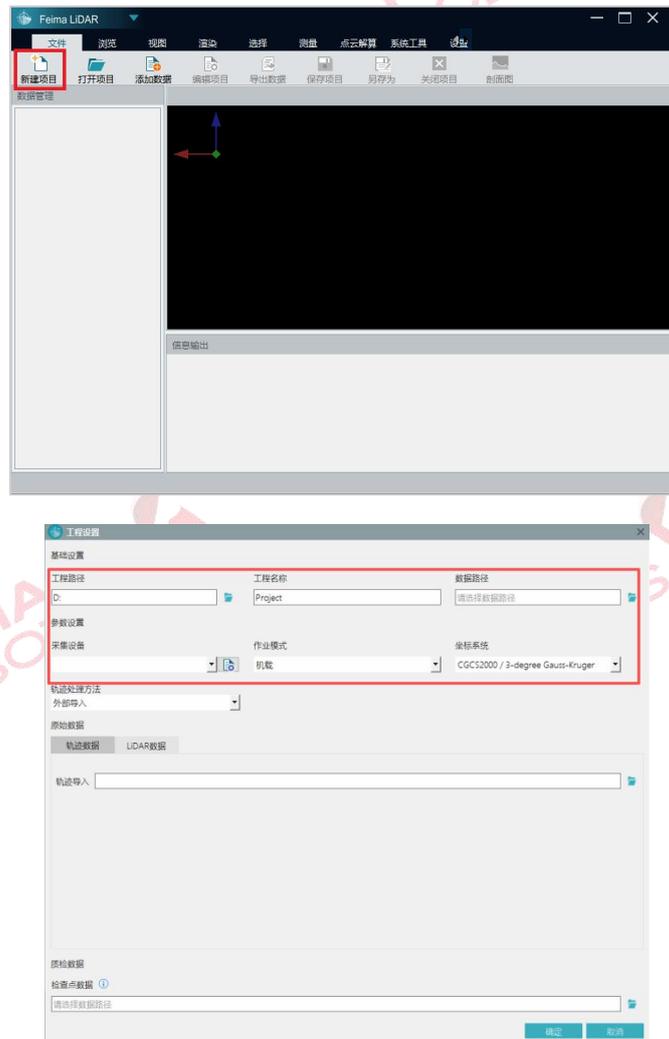


图 新建项目

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】。

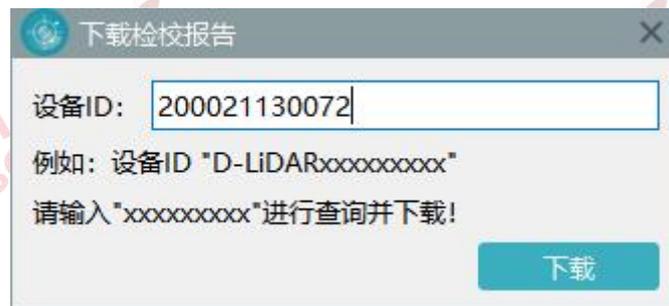
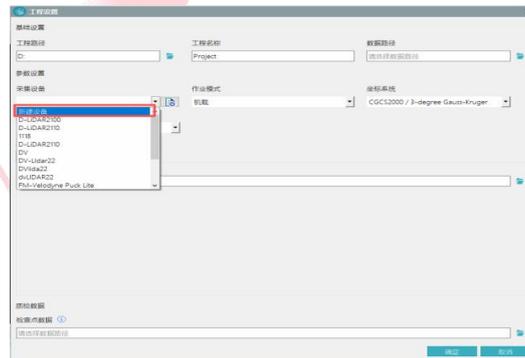


图 添加载荷

注：输入的载荷 ID 为 D-LIDAR 后的 12 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】。

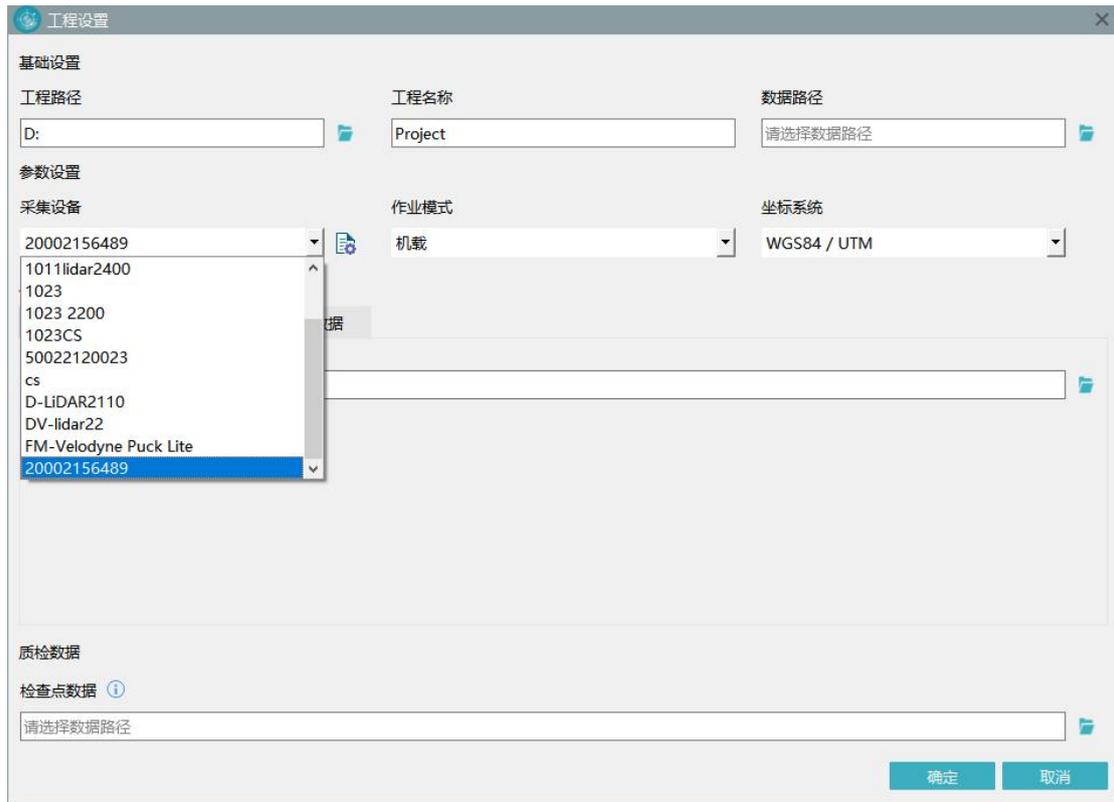


图 选择载荷

4) 添加 LiDAR 原始数据（数据格式.lvx）和 IE 软件输出的轨迹数据.out 文件，点击【完成】，完成新建项目。

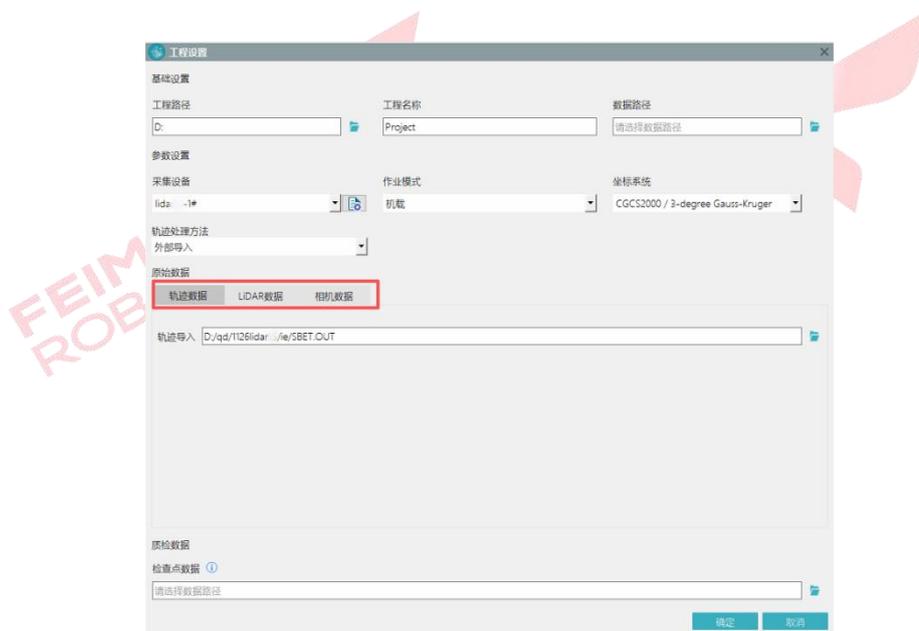
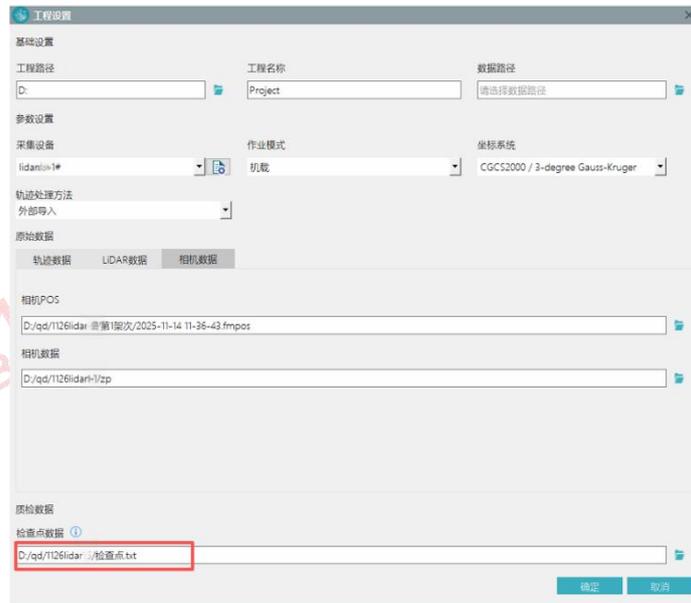


图 导入 LIDAR 原始数据及轨迹图 导入 LIDAR 原始数据及轨迹

检查点数据可按需求添加，添加后可在点云解算时勾选质量检查同步进行质检，生成质检报告。数据需按照要求整理，点击【检查点数据】后图标进行查看。点击【完成】，完成新建项目。



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【点云赋色】选项，可在点云解算后进行赋色操作。同理没有添加检查点数据，点云解算时不会触发【质量检查】选项，可后续手动添加控制点检查。

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。

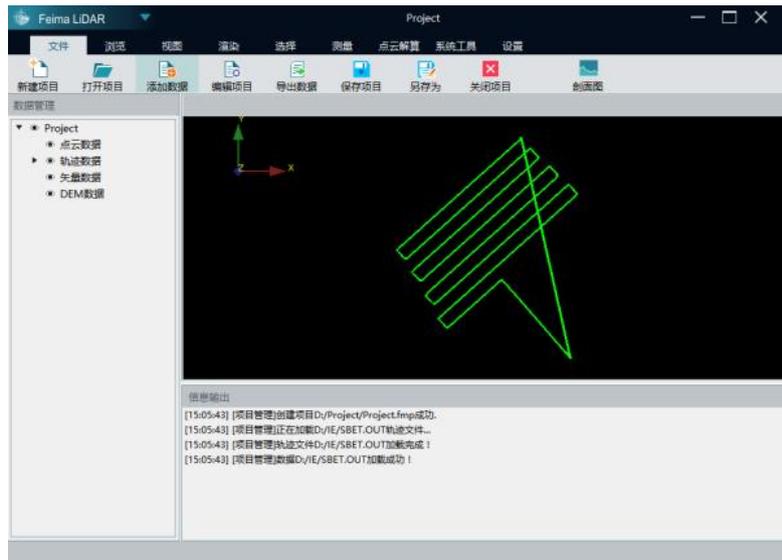


图 项目建立完成

## 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。



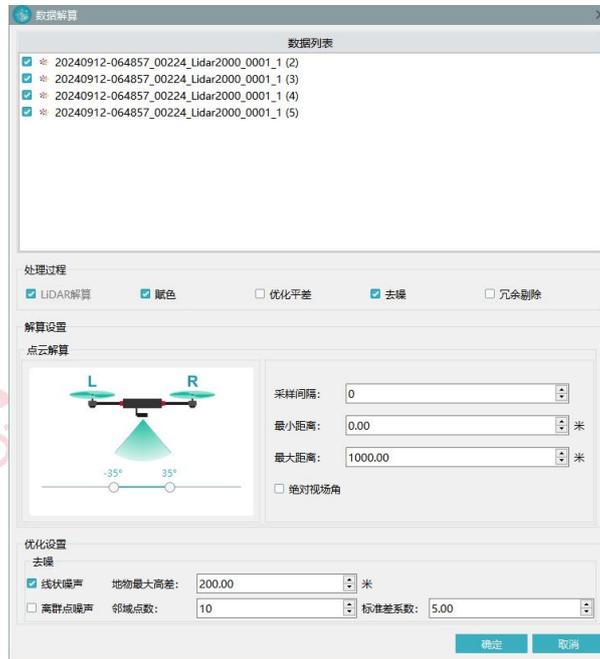
图 点云解算入口

2) 处理过程中包含 lidar 解算、赋色、优化平差、去噪、冗余剔除以及质量检查，默认只勾选点云解算处理，添加相机数据可进行赋色，如有其他需求可进行其他操作同步处理。

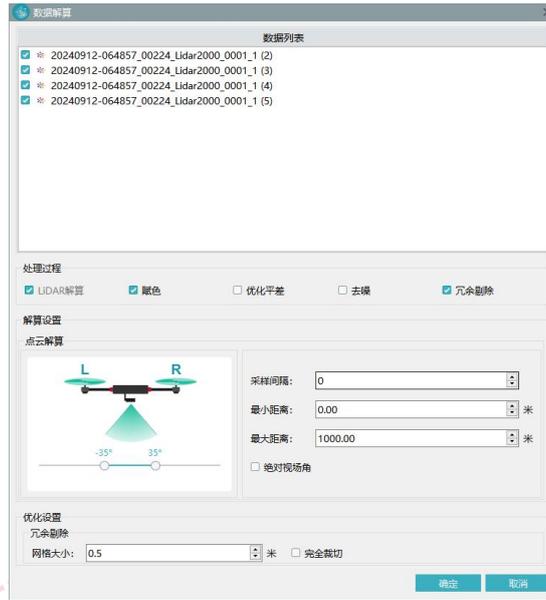


优化平差功能参考第 4.4 章

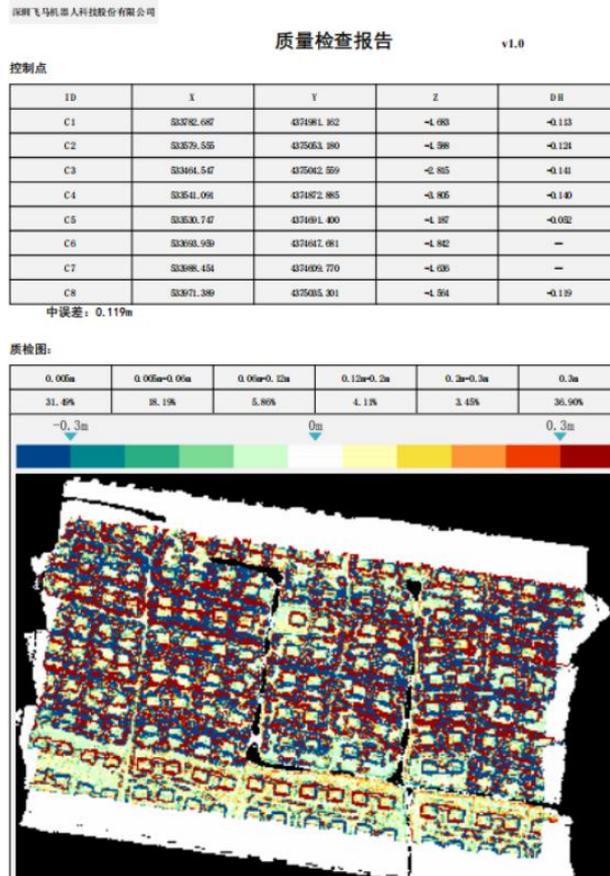
去噪功能参考第 4.6 章



冗余剔除功能参考第 4.5 章



质量检查功能, 在导入控制点后点云解算时选此功能解算后会在工程文件 Report 目录下生成点云质量图和控制点精度报告。



1) 视场角按照 $\pm 35^\circ$ 视场角进行解算, 不勾选使用绝对视场角, 点击【确

【定】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。

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）。



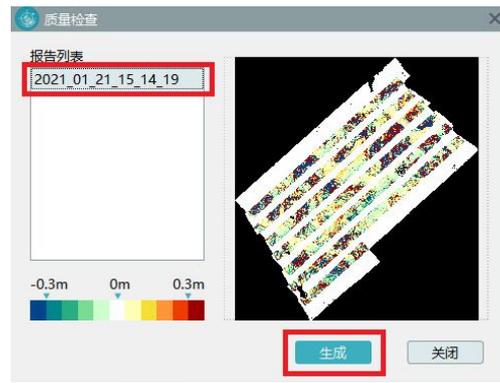


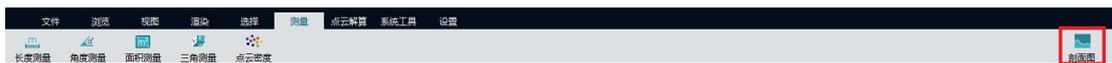
图 质量检查

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。



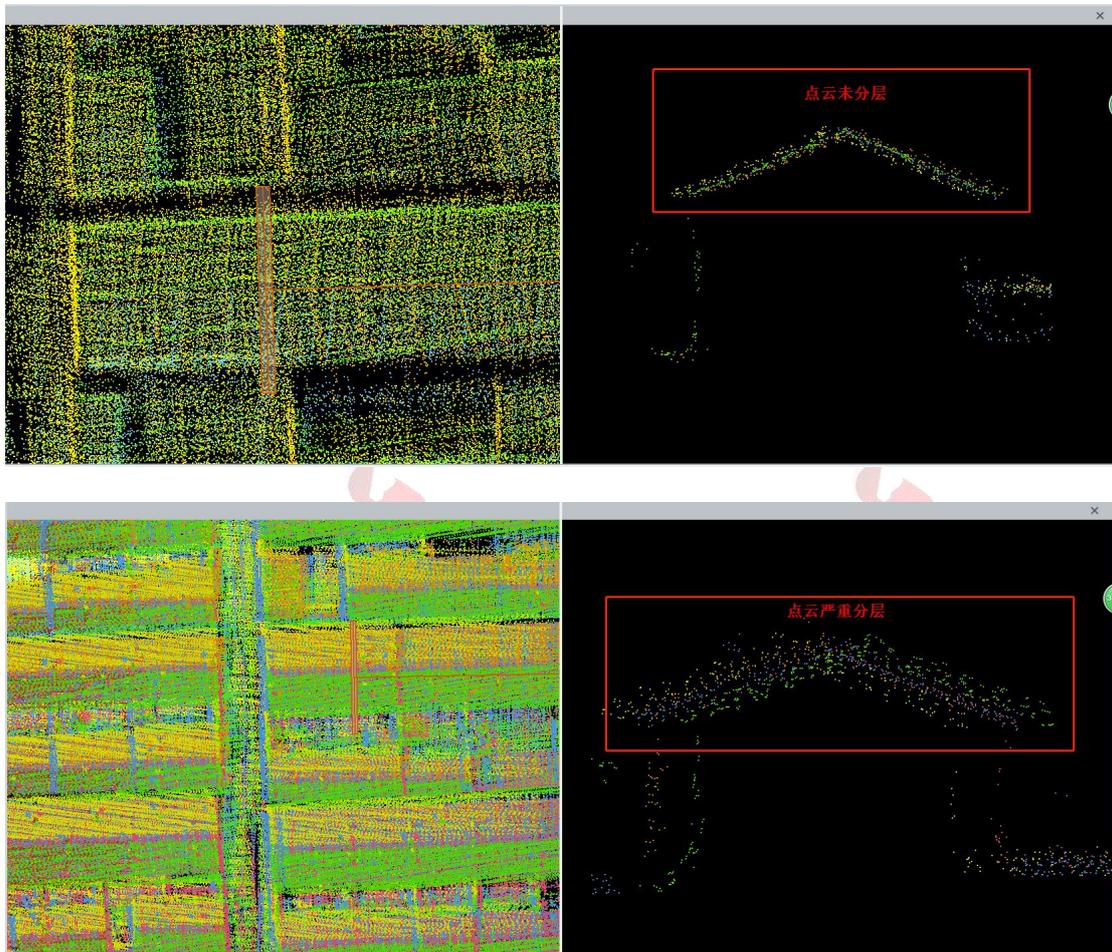


图 判断分层情况

4) 如果没有分层情况，跳过优化平差，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，则可以进行优化平差，改善分层情况。

#### 4.4 优化平差

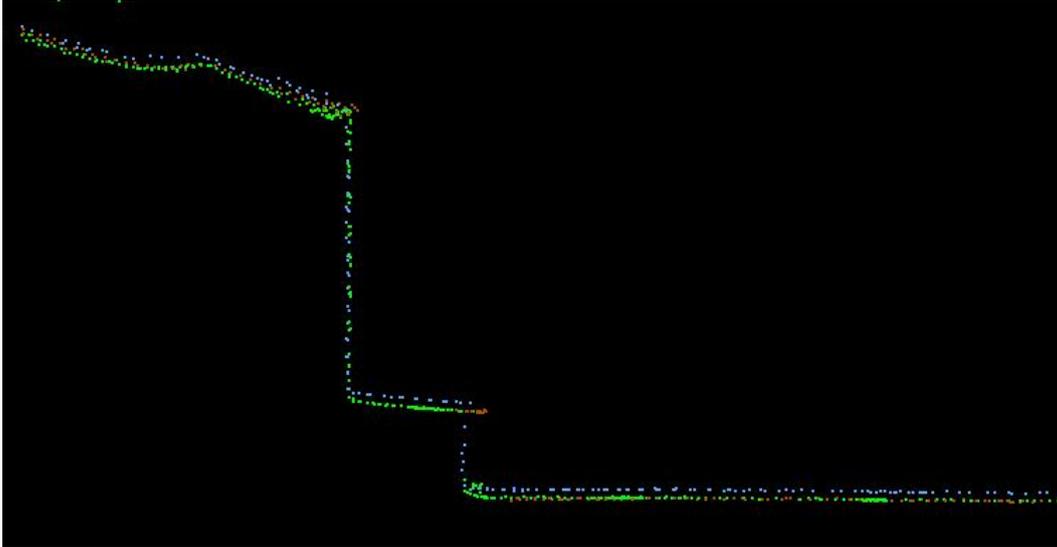
由于地形类别、地表覆盖的不同以及卫星信号、电磁辐射等各种的干扰，常常会导致解算后的点云出现航带间大分层、局部扭曲分层以及内部轻微分层情况。

针对上述分层情况，智激光新增了【优化平差】功能，这项功能的主要特点：

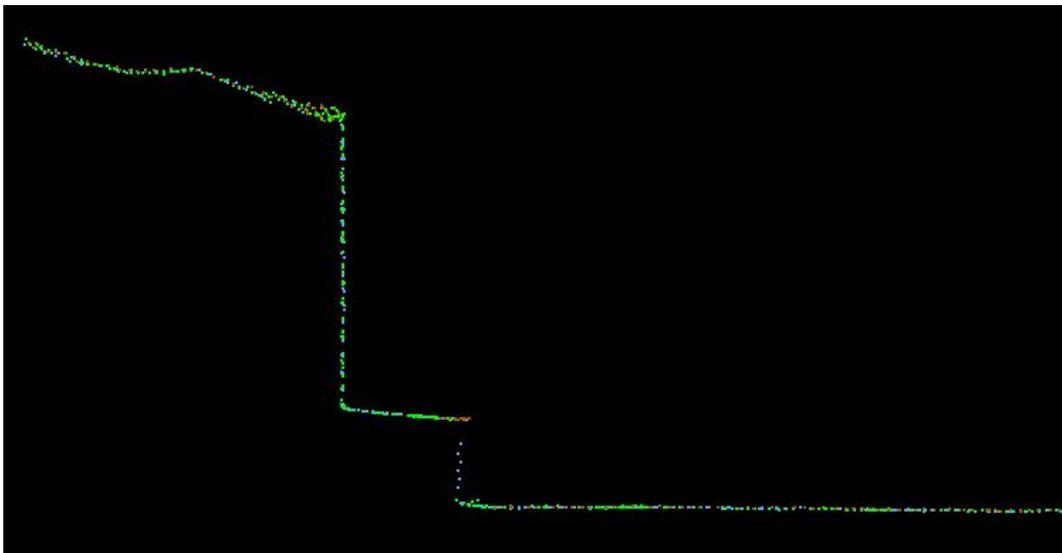
- 优化处理航带间整体分层，减少大分层现象；
- 优化处理航带间局部分层，解决局部扭曲问题；

- 优化处理航带内微分层，减小点云厚度。

优化平差效果展示图：



优化平差前效果示例图



优化平差后效果示例图

现已支持飞马全系列机载雷达产品的平差处理，同步支持多架次的联合平差。功能适应性良好，无论是多边形测区，或条带状测区，均能实现较好的数据优化，提高成果可靠性。

功能特点：

数据适应性更佳

处理效率更高

可解决架次间/架次内局部分层问题

算法自适应处理，无需人为干预

### 使用流程：

在正常解算数据后，点击智激光【点云解算】菜单栏下的【优化平差】功能按钮。点击后会在软件界面最下方出现进度条，处理成果存储在当前工程路径（...\ResultData\AdjustData\adjust）下，处理进程结束后会弹出是否将平差结果加入的选择框，选择“是”，成果数据建立索引文件并加入当前工程中，选择“否”，点云不建立索引文件，在工程路径以 las 的形式存储。



图 优化平差功能位置示例

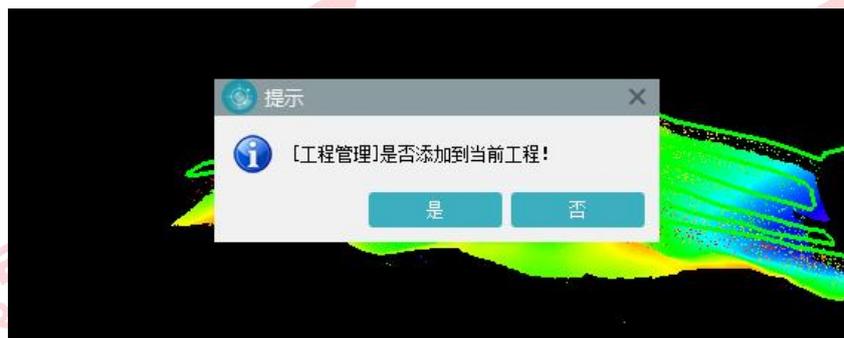


图 是否将优化结果添加到当前功能示例

## 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】，格网大小默认 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

去完冗余后可以在【系统工具】-【质量检查】中查看质量报告。

## 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。

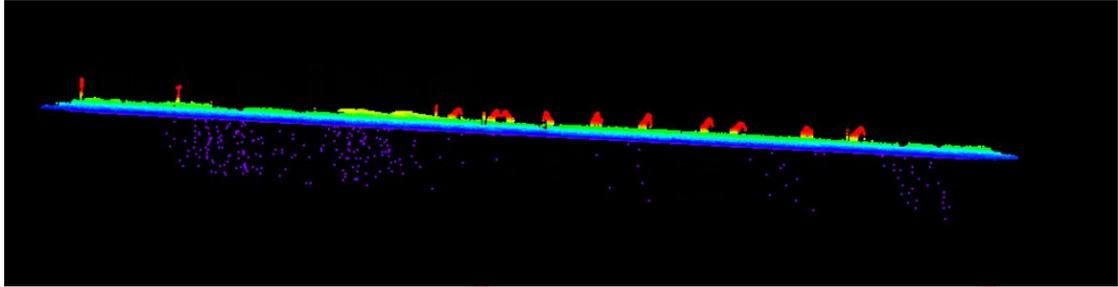


图 噪点

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

## 线噪声剔除（智点云）

当机载激光雷达设备进行测绘作业时，经常会遇到测区内存在水域、强反射的地物、太阳光直射窗口镜等情况，导致解算后的点云数据中出现类似“射线”

的噪点。这种线性噪点对于传统的噪点去除功能来说，是一种难以处理的特殊情况。传统的噪声去除方法无法有效识别这类线性噪点，只能通过人工手动过滤，耗费大量时间和精力，降低了数据处理效率。

智点云新增的“线状噪点”过滤功能，利用自研线状噪点识别算法，能够一键除去 99% 的线性噪点，可以大大减少人工过滤的工作量，同时保证数据的准确性和可靠性。

在智点云模块中选择“数据编辑”-“噪声”，可以看到新增的“线噪声”过滤选项，只需简单设置参数并点击确认，即可实现线状噪声的滤除功能。



### 参数设置说明：

航带分块数量：以航带为单位进行分块计算（默认推荐参数即可）

地物高度：测区范围内地物的最大高度（非高程）

拟合倾角：噪声所在直线与 Z 轴正方向的夹角（0-90 度）

拟合距离：噪声点到噪声所在直线的距离阈值

线上点数量：噪声所在直线在其拟合距离范围内点的数量

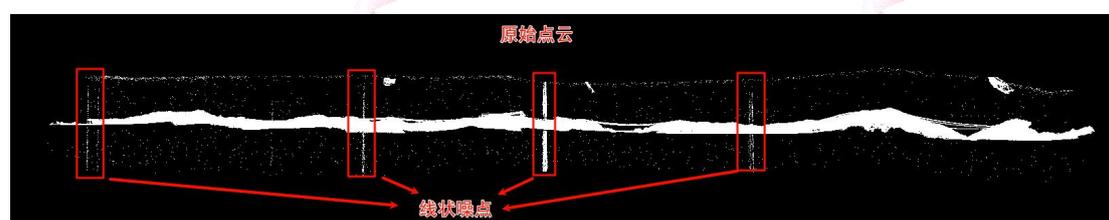
补充说明：

如单次线噪声功能滤除不完整或识别错误，可以进行重叠过滤或者搭配剖面框选的方式进行快速分类。

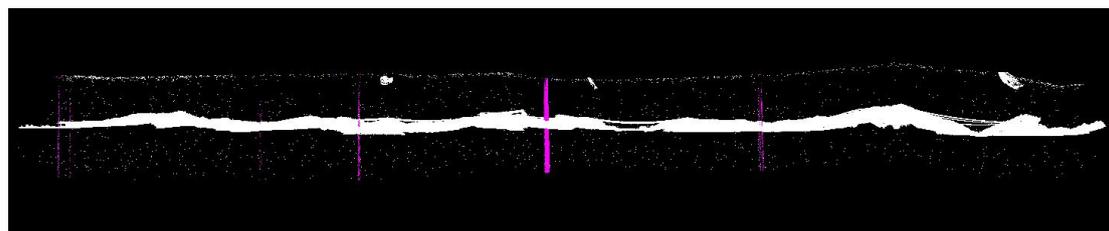
效果展示：

线状噪声过滤效果展示：白色点为未分类点，粉色为分类出的噪点。

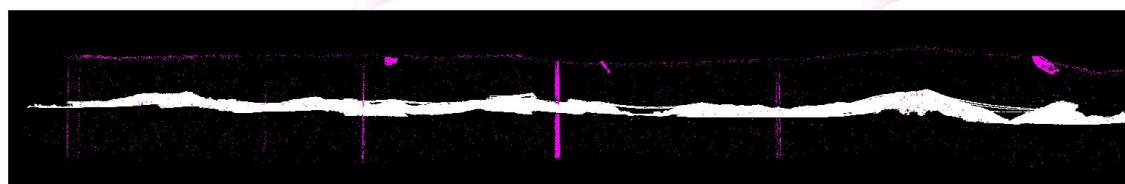
过滤前



线状噪声过滤后



线状噪声和离散噪点过滤后



## 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，主要有两种形式可以实现点云赋色：

- 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）。

### 4.7.1 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【原始影像】。



图 点云赋色

2) 在【照片路径】处选择原始照片所在的文件夹，此时可以先将试拍影像删除，也可在起始照片处设置，选择第一张空中拍摄的、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\_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，可以此来区分是否存在试拍 pos），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

## 4.7.2 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 正摄赋色

2) 导入与点云坐标系一致的快拼或真正射文件, 点击【确定】, 执行点云赋色。



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：

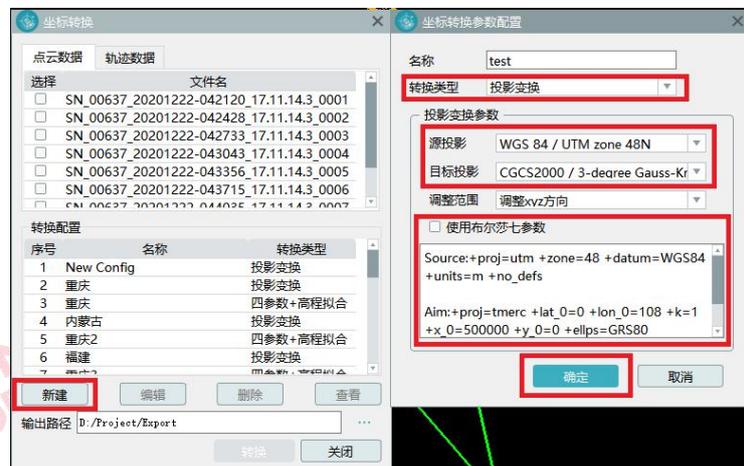


图 坐标转换设置

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。

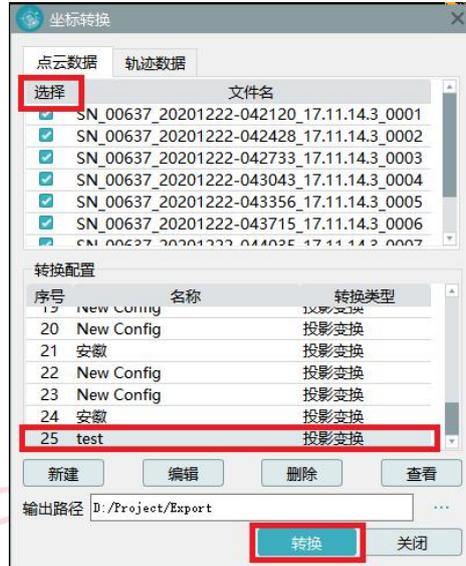


图 坐标转换

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° 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：

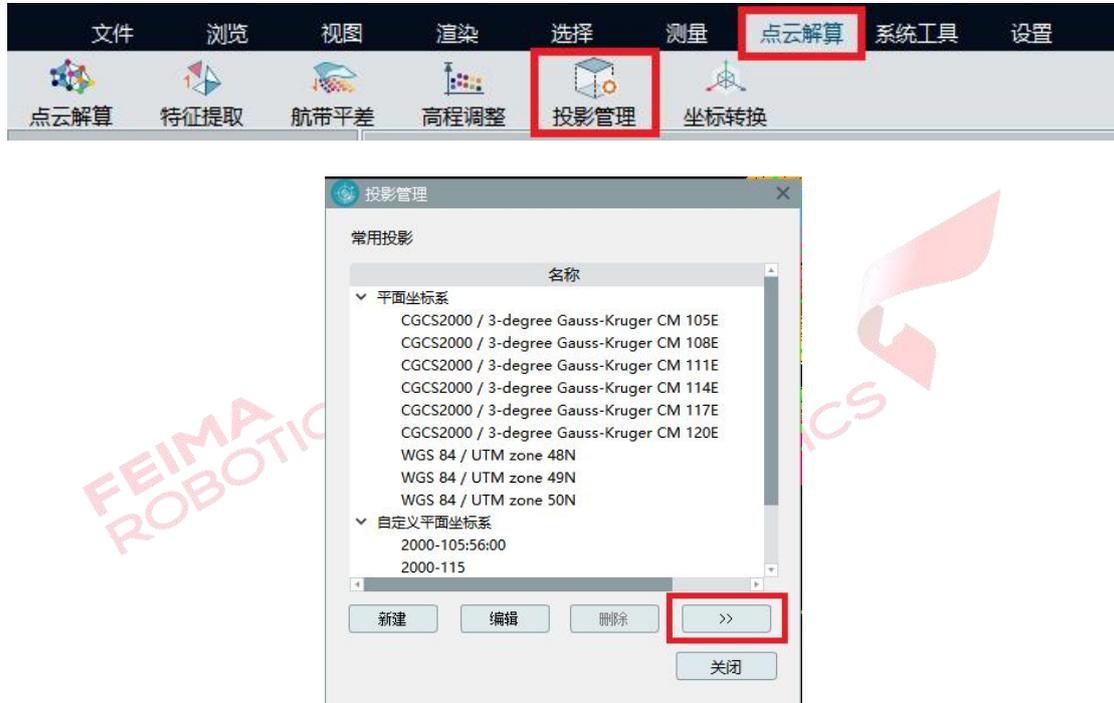


图 投影管理

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，指定椭圆参数、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。

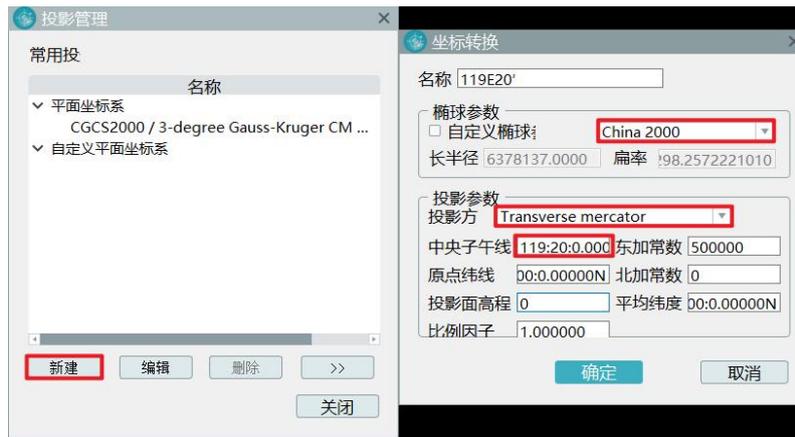


图 自定义平面坐标系

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：

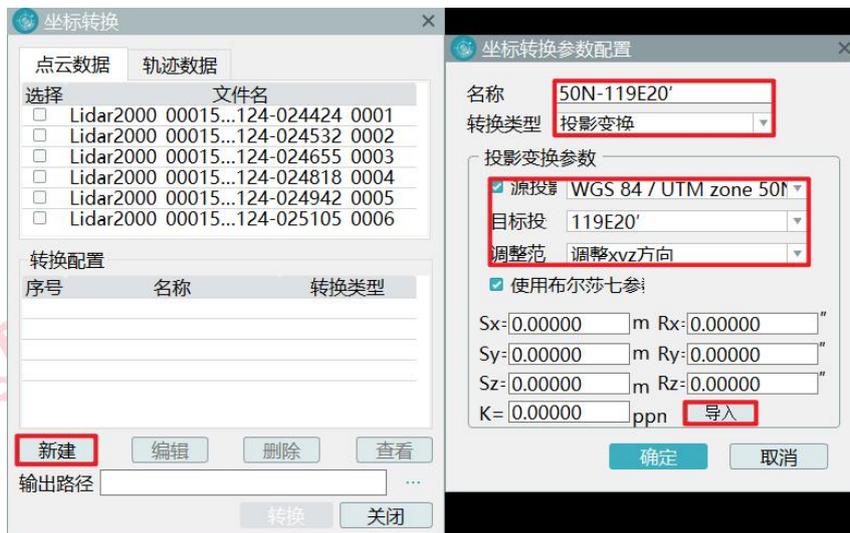


图 投影变换坐标转换设置

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。

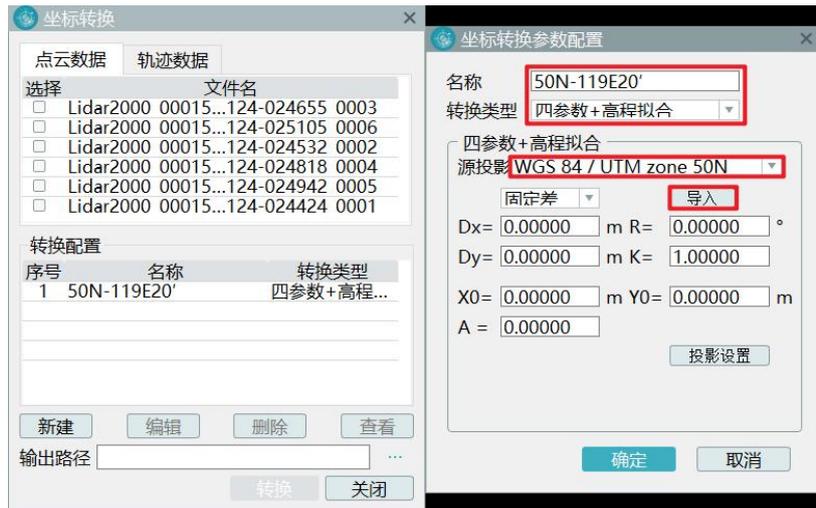


图 四参加拟合坐标转换设置

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。

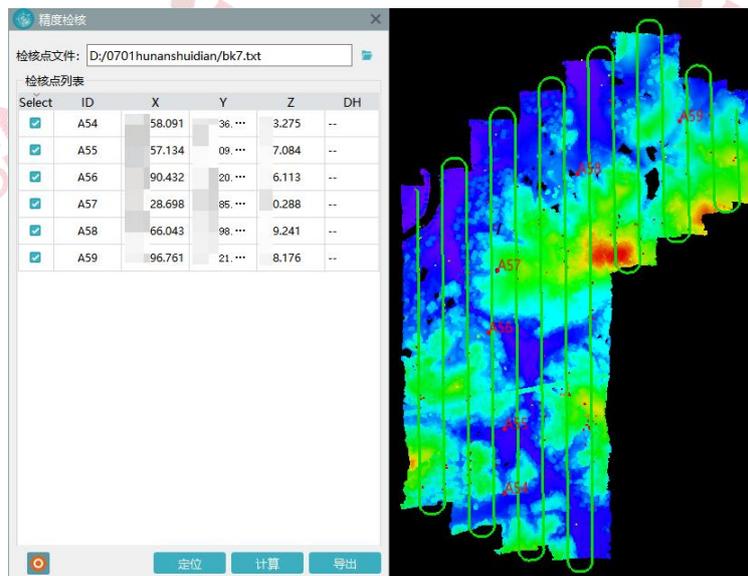


图 获取精度报告

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。

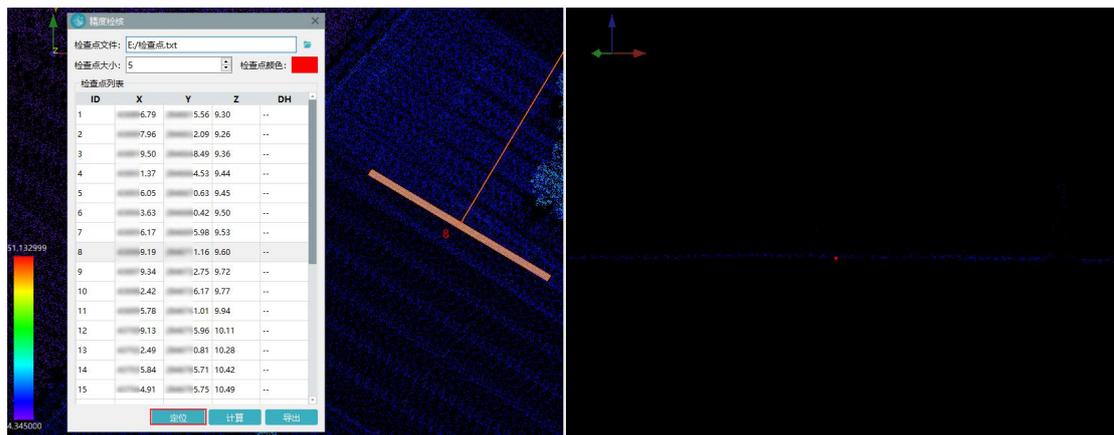


图 拉剖面检查

## 4.10 点云纠正

机载激光点云数据飞行时由于易受飞行姿态、速度、高度的变化以及激光发射器、接收器、惯导系统等的误差，使得点云的绝对精度往往无法满足一些如地形测绘、城市建模、铁路线路监测等高精度测量场景项目的要求。

为了解决这一问题，智激光新增了【点云纠正】功能，这一功能是利用高精度的控制点作为基准，同时对激光点云数据的平面和高程进行纠正，使其成果的绝对精度达到预期。

【点云纠正】功能主要包括“控制点输入”、“控制点匹配”、“纠正计算”三个模块，同时搭配了刚体变换、非刚体变换和多项式拟合三种纠正算法。【点云纠正】功能实现了对特定靶标控制点数据的自动识别和匹配，可适用于机载和车载数据。

### (1) 控制点输入：

控制点纠正功能的入口在数据管理模块下，如下图红框。



右击“控制点数据”弹出“控制点导入”对话框：

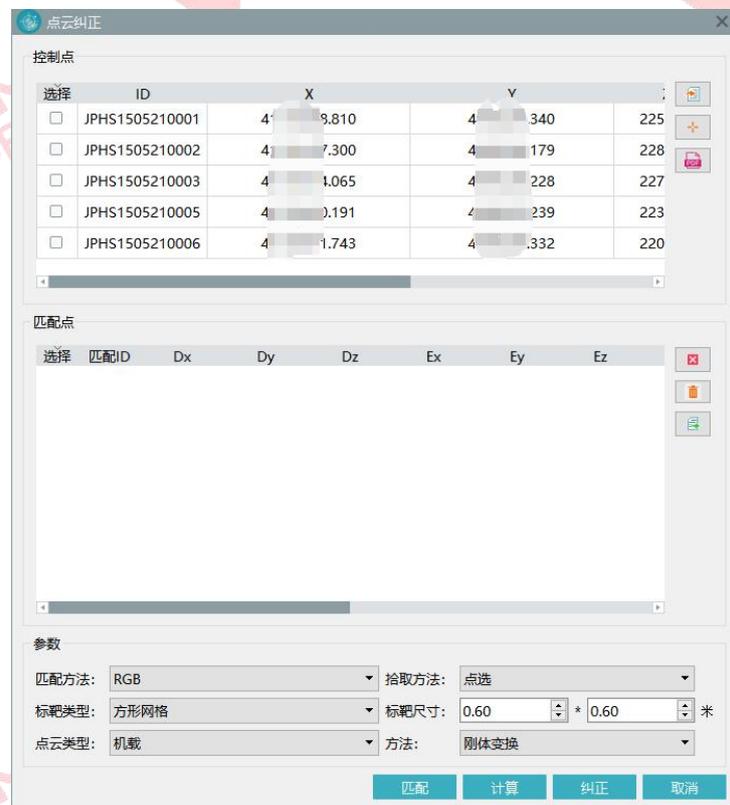
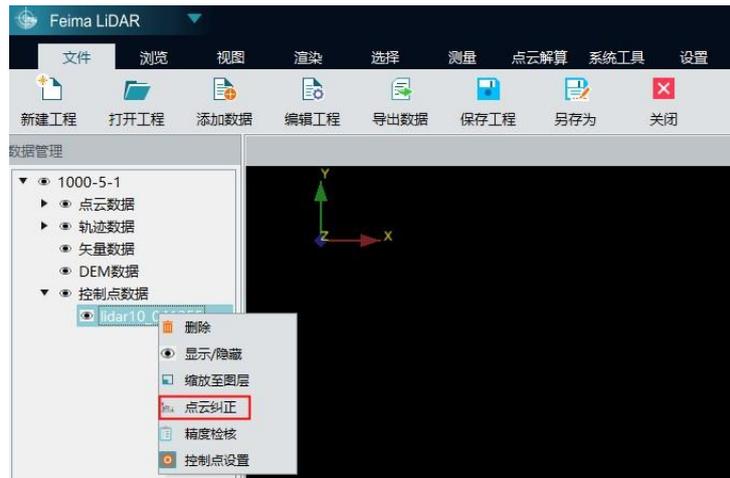


在控制点导入界面可以输入已知的控制点坐标，并可以按照控制点文件属性设置分隔符、坐标系统、坐标顺序等参数。其中的坐标系统支持投影坐标和地理坐标，地理坐标支持设置坐标系和坐标格式，如上图所示。

在数据管理栏右键导入的控制点，可以对控制点进行“删除”、“显示/隐藏”、“缩放至图层”、“点云纠正”、等操作。

## (2) 点云纠正：

右击已添加的控制点数据，选择【点云纠正】，弹出显示设置界面。包括控制点显示列表、参数设置、操作按钮、数据添加、删除、清空、数据导出和导入等功能，界面显示如下：



## 2.1 控制点列表功能

控制点列表导入后主要显示坐标的 ID 和 xyz 三个坐标值，点击“选择复选框”可以选择控制点是否参与计算。

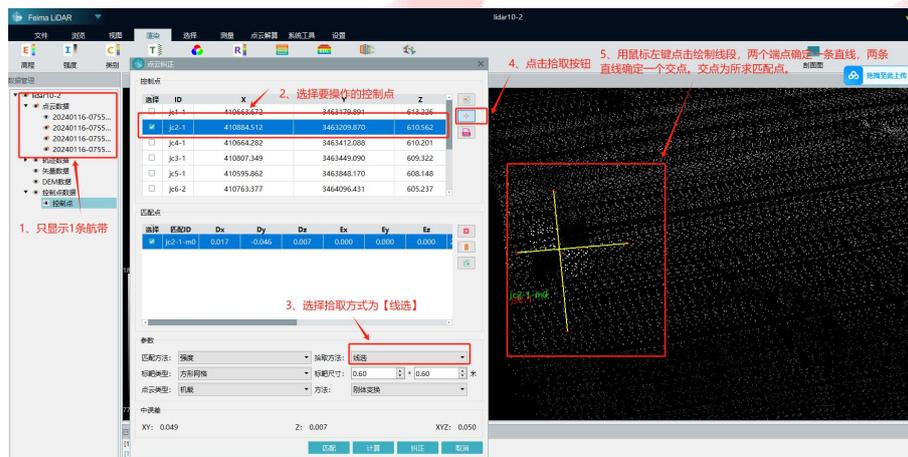
## 2.2 控制点工具栏

对话框右侧工具栏包括点选、移除、清空、导入、导出等功能，其中的添加功能用于手动添加自动匹配异常的控制点。

## 2.3 参数设置

参数设置包括靶标类型、靶标尺寸、点云类型及方法，其中匹配方法：可以选择 RGB 和强度；

拾取方式：可以选择点选和线选；【线选：使用人工交互的方式识别标靶的中心。使用画线模式时只能在一条航带上操作（需要移除或者隐藏不处理的点云）。具体步骤如下图所示。】



靶标类型：可以选择方型网格三角型网格；

点云类型：可以选择机载和车载；

标靶尺寸：设置空点标靶实际尺寸；

方法：选择控制点纠正的计算方法，包括刚体变换、非刚体变换和多项式拟合。

## 2.4 操作功能

选择“匹配”：可以显示匹配数据、匹配 ID 和  $D_x$ \  $D_y$ \  $D_z$  值；

选择“计算”：计算匹配后精度，以  $E_x$ \  $E_y$ \  $E_z$  值显示；

选择“校正”：根据计算的匹配数据，按照选择的方法进行点云校正。

选择“取消”：取消当前处理进程。

说明：

- 多项式至少要 5 个匹配点才能计算出来；

- 非刚性的误差值为 0：由于是根据连续 3 个点计算的旋转，然后在此基础上计算每个点的平移参数，因此每个点的误差为 0；
- Ex, Ey, Ez, 代表点云提取点 经过下面方法计算后与控制点的差；
- Dx, Dy, Dz 代表提取的点与控制点的差。

#### 数据获取及处理建议：

- 控制点要均匀的分布在测区，各个控制点之间的距离应大致相同；
- 以航带为单位进行多项式计算纠正时，要保证每条航带上的控制点要大于 5 个；
- 标靶控制点量测时应多次测量，对精度要求高时，建议按照快速静态的方式获取平面坐标，按照三等水准规范获取高程坐标；

若每条航带的控制点分布较少，无法满足纠正计算要求时，可以将点云合并以后再再进行点云纠正，合并前可以对数据进行必要预处理。

## 4.11 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，并单击【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。



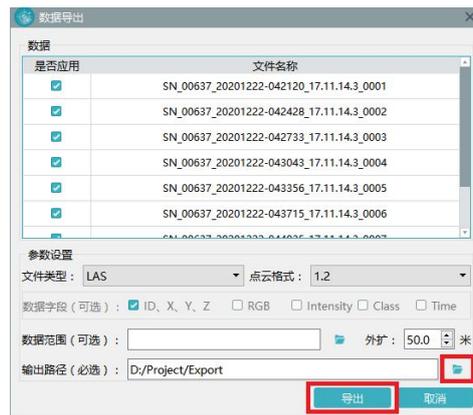


图 点云输出

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。

## 4.12 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。

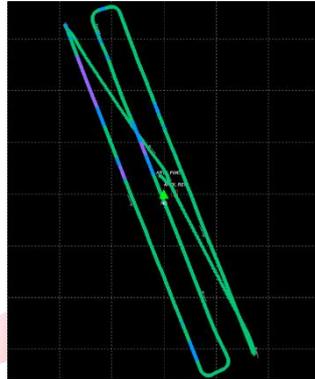
3、如果数据较多，涉及到分区的数据（多架次数据进行的分区）：加入区块接边处的点云.fmi 及轨迹文件进行质量检查，若分层则将区块接边架次进行航带平差，并检查平差后相邻区块质量，不分层则进行步骤 4 的操作。

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。

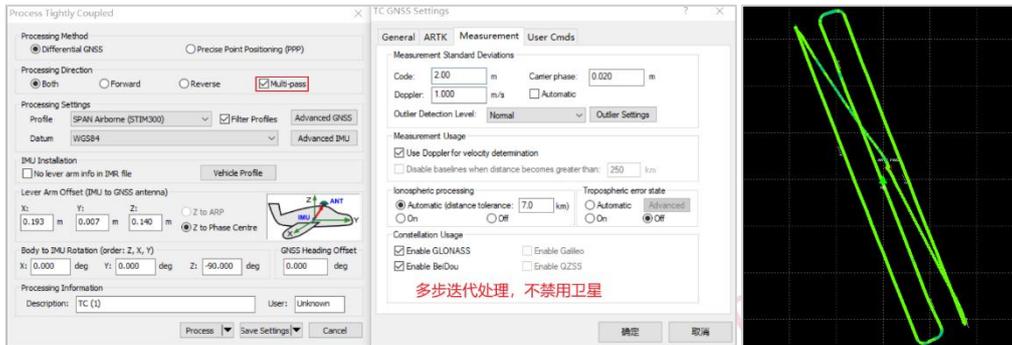
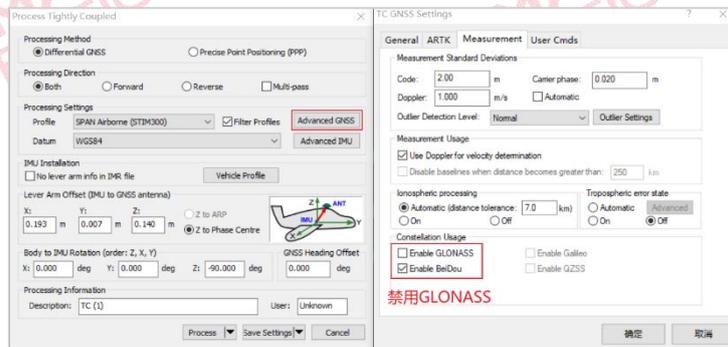
## 5.常见问题

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: 是否可以采用实体基站作业？

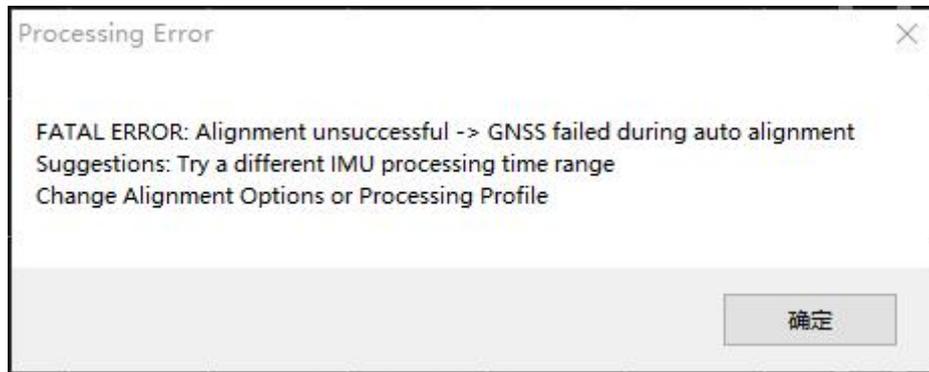
A: 可以，只需要将实体基站转为.O 文件即可

Q: 下载网络基站时出错？

A: 参考

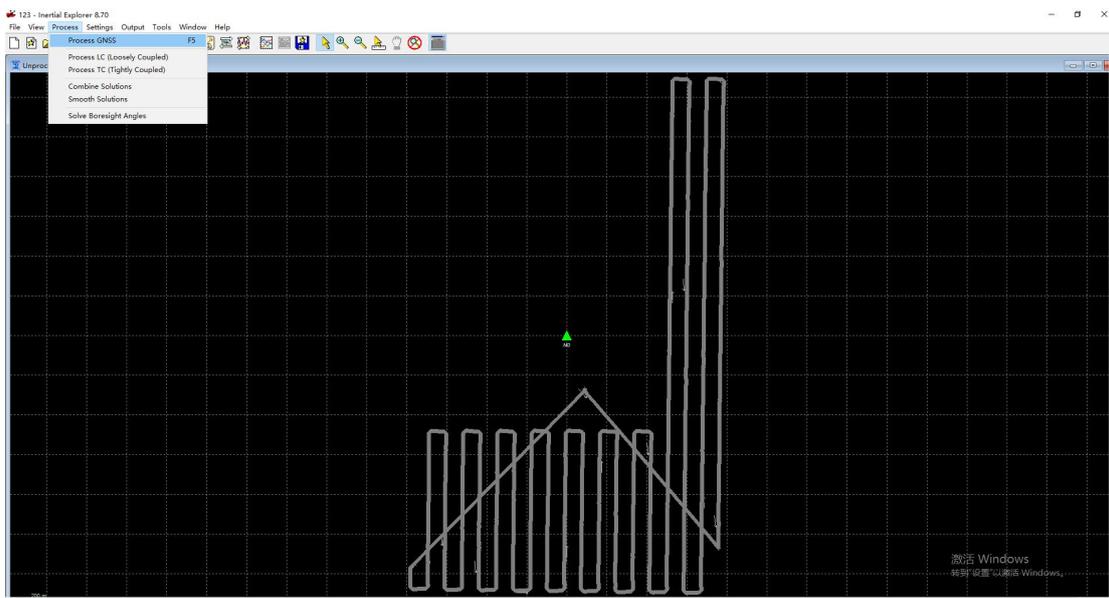
http://knowledge.cheesi.cn/2020/06/16/troubleshooting-virtual-base-station/

Q: IE 进行紧耦合差分解算时候出现如下提示，怎么办？

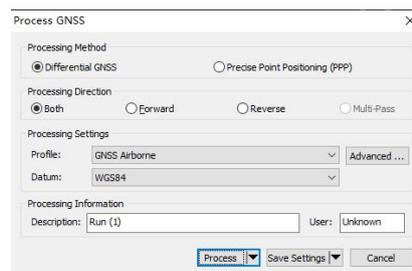


A: 出现此问题的原因可能是起飞降落后受到干扰，解决方法如下：

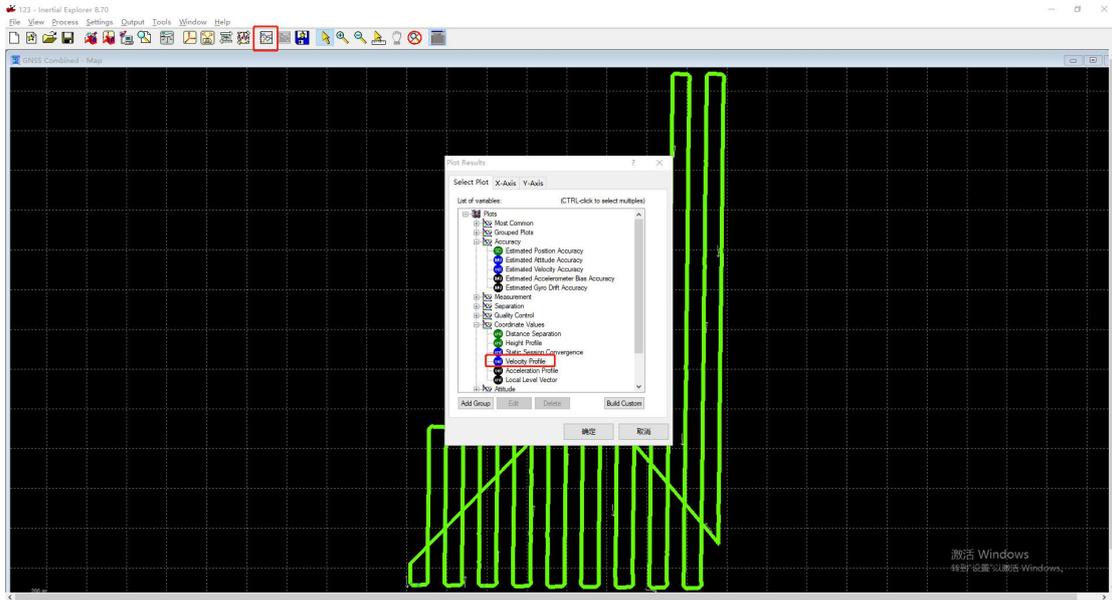
1) 添加完基站、流动站、imu 数据后选择【Process】 - 【Process GNSS】。



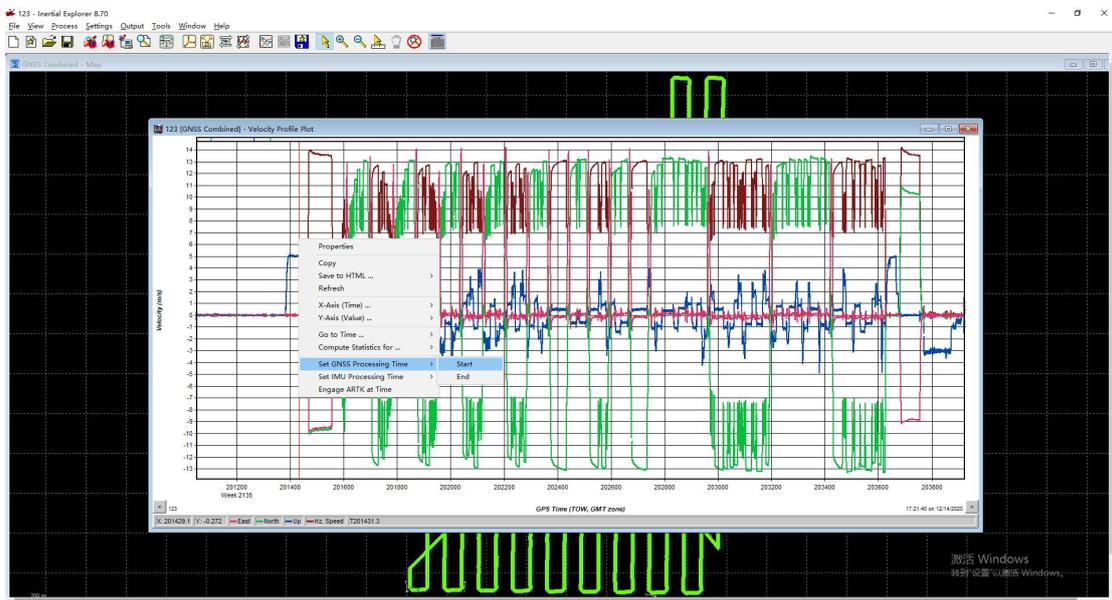
2) 按照默认设置点击【Process】开始处理，中途出现提示点击【Continue】。



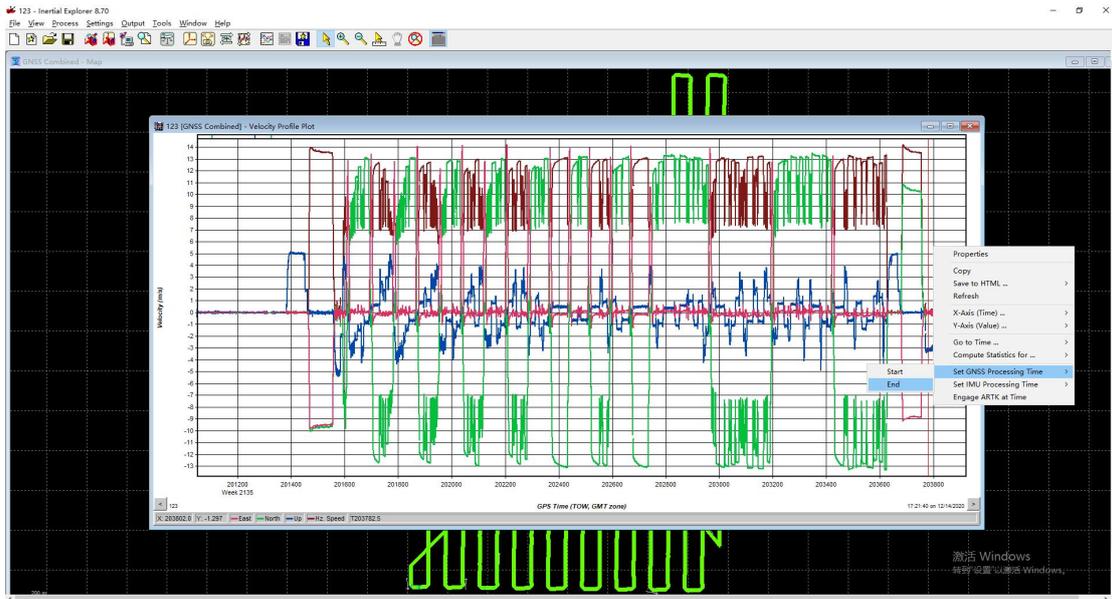
3) 处理完成后选择【Plot Results】 - 【Velocity Profile】。



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。



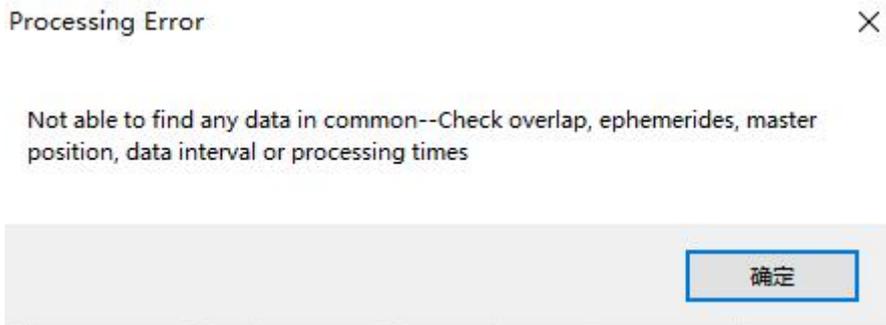
5) 鼠标右键点击降落时刻区域，出现红线，然后右键【Set GNSS Processing Time】 - 【End】，设为终点。



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？

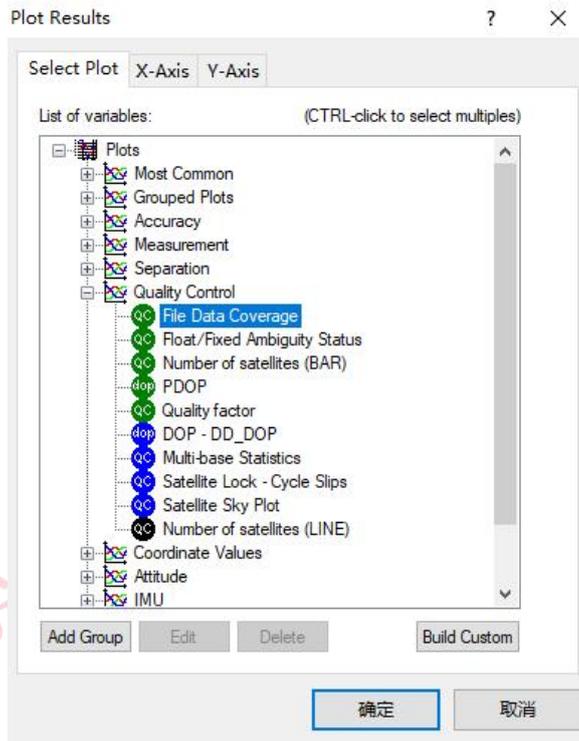


A: 出现此问题的原因可能是基站、流动站、IMU 时间不匹配，解决方法如下：

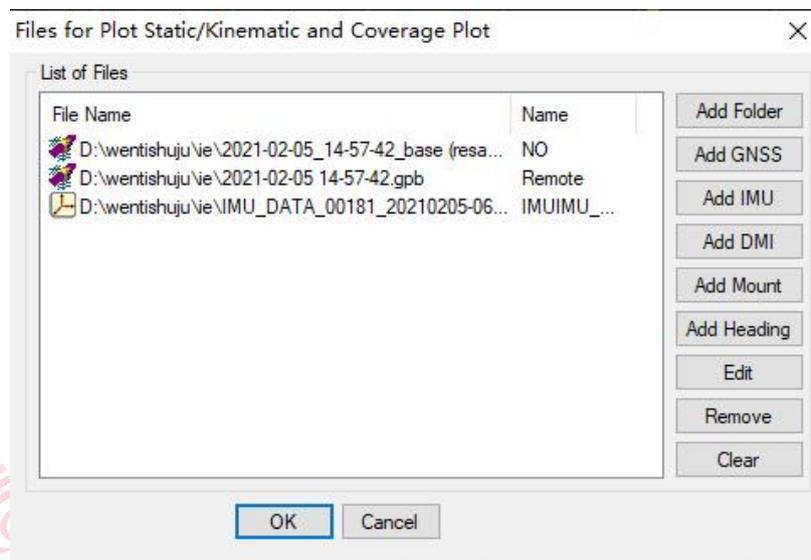
1) 添加完基站、流动站、imu 数据后，点击上方工具栏中的【Plot Results】



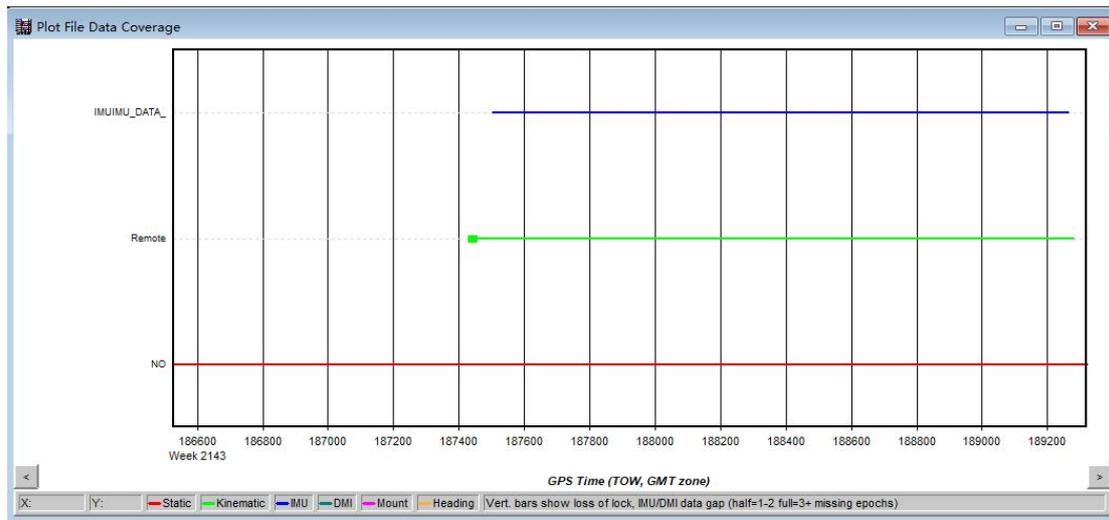
2) 打开【quality control】-【file data coverage】



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: 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。

由于现版本优化平差的处理效率以及效果均优于航带平差，所以处理数据分层时优先推荐优化平差处理，航带平差作为备选方案进行使用。

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。

注：点云未分层时候，无需进行特征提取及平差工作。

### 1) 特征提取

右键【数据管理】中的项目名称，点击特征提取，按照默认参数，点击【开

始】，软件会自动提取特征点，待底部工具条完成，且信息输出框提示提取特征点数据时，完成特征点提取。

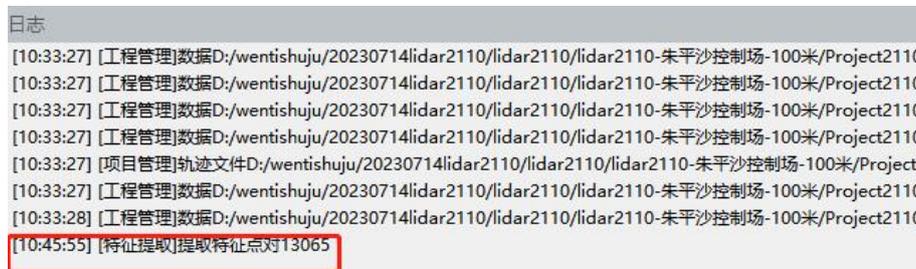
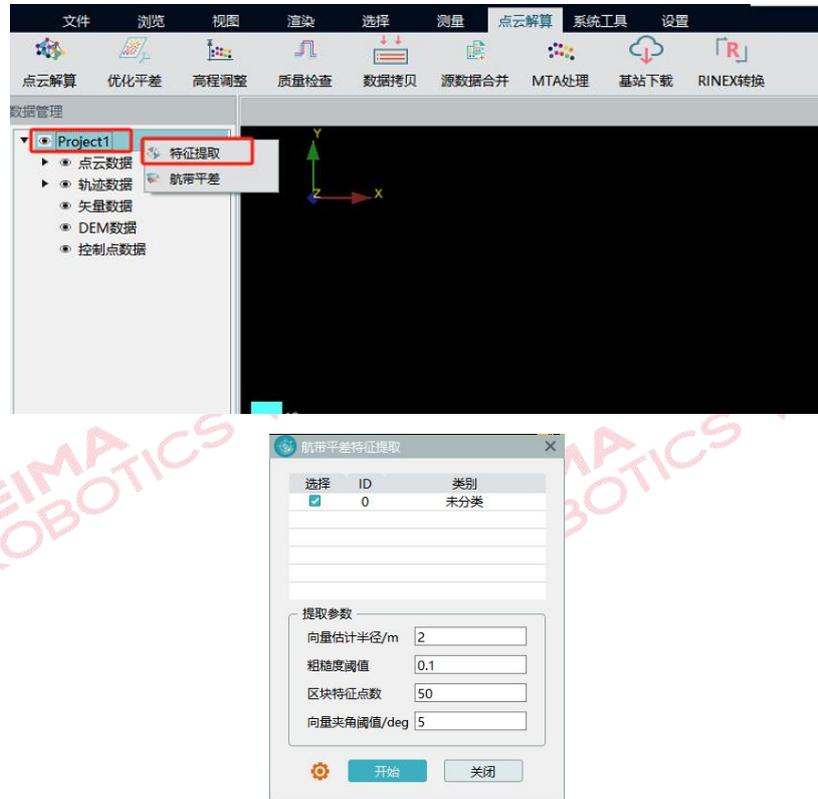


图 特征提取

## 2) 航带平差

完成特征提取，点击【点云解算】-【航带平差】，点击【计算】，对 3.4.1 节提取的特征点进行偏差计算；

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】；

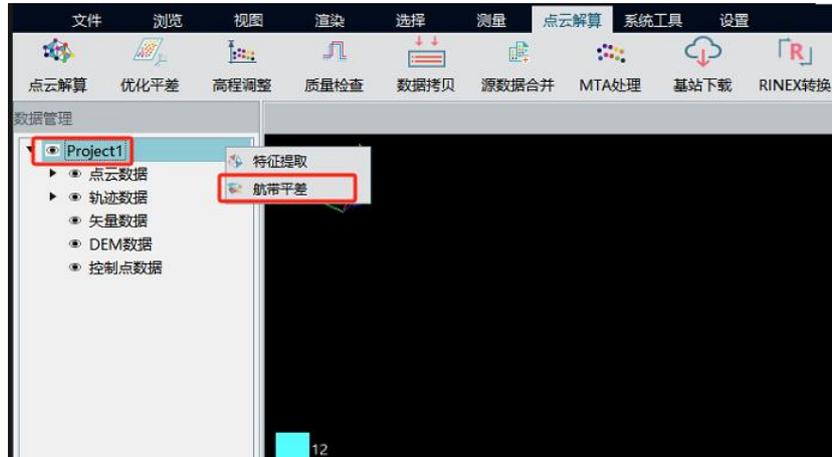




图 航带平差

应用后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 3.3 节操作进行质量检查。

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)。