

LiDAR110\150\210\300 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.数据准备	1
1.1 基站数据	1
1.2 流动站数据	1
1.3 LiDAR 原始数据	2
1.4 载荷 IMU 文件	2
2.点云轨迹解算	2
2.1 GNSS 数据格式转换	3
2.1.1 机载 GNSS 数据转换	3
2.1.2 实体基站数据格式转换	4
2.1.3 飞马网络基站预处理	6
2.2 文件存放整理	7
2.3 IE 轨迹解算	7
2.3.1 格式转换	7
2.3.2 数据添加	11
2.3.3 紧耦合差分解算	14
2.3.4 质量检查与轨迹导出	17
2.4 无人机管家轨迹解算	20
3.点云数据预处理	25
3.1 新建项目	25
3.2 点云解算	31
3.3 质量检查	35
3.4 优化平差	37
3.5 去冗余	39
3.6 去噪	40
3.7 点云赋色	43
3.7.1 基于原始影像进行点云赋色	43
3.7.2 基于 DOM 实现点云赋色	44
3.8 坐标转换	45

3.8.1 标准坐标系输出	46
3.8.2 独立坐标系输出	48
3.9 精度检查	50
3.10 点云纠正	51
3.11 点云标准格式 (LAS) 导出	55
3.12 多架次数据处理思路	56
4.常见问题	56

FEIMA
ROBOTICS

FEIMA
ROBOTICS

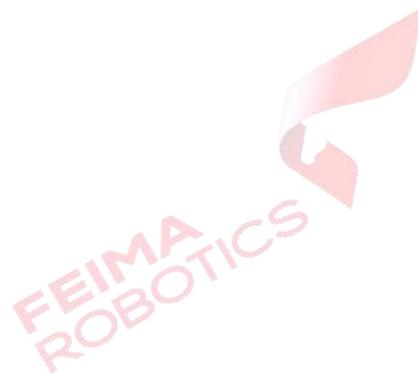
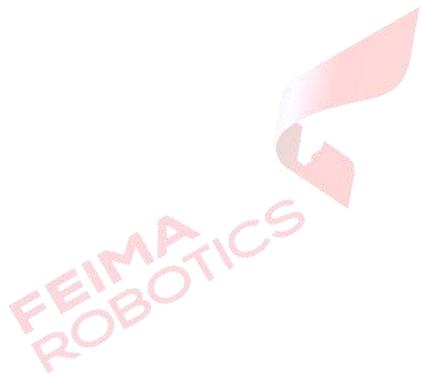
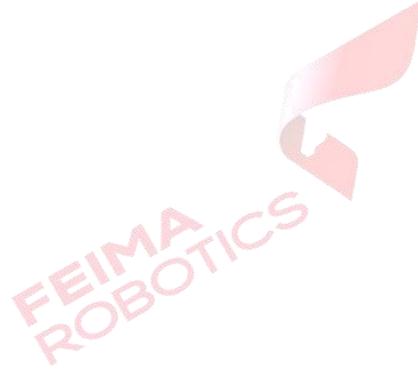
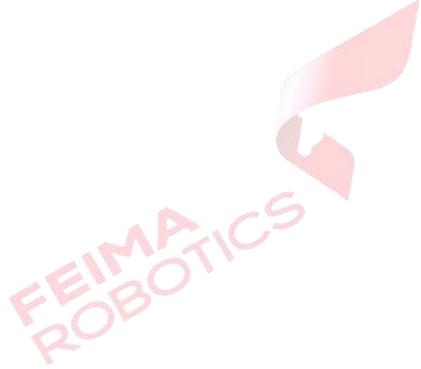
FEIMA
ROBOTICS

FEIMA
ROBOTICS

版权声明

本档由深圳飞马机器人科技有限公司所有。任何形式的复制或部分复制都是不允许的，除非是出于有保护的评价目的。

本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。



1.数据准备

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

D200/D200S、D300、D300L 平台可以搭载 LiDAR 110、150、210、300 载荷,原始数据格式不同,但操作流程相同,本文将 LiDAR 210 数据为例进行说明。

原始数据格式参考下表:

表 原始数据格式介绍

型号	基站数据格式	机载数据格式	Lidar 原始数据格式
LiDAR110	.GNS	.rt27	.pcap
LiDAR150	.compb	.compb	
LiDAR210	.fmcompb	.fmcompb	.rxp
LiDAR300			

1.1 基站数据

根据不同的基站品牌,获取不同格式的基站文件。

 _4343570.GNS	2020/12/23 23:30	GNS 文件	6,341 KB
--	------------------	--------	----------

图 LiDAR 210 基站数据示例

1.2 流动站数据

LiDAR 210 获取的流动站数据如下:

 2020-12-22 12-17-59.bin	2020/12/23 23:32	BIN 文件	86,400 KB
 2020-12-22 12-17-59.compb	2020/12/23 23:32	COMPB 文件	52,851 KB
 2020-12-22 12-17-59.fmnav	2020/12/23 23:31	FMNAV 文件	13,521 KB
 2020-12-22 12-17-59.fpos	2020/12/23 23:31	FPOS 文件	0 KB
 2020-12-22 12-17-59.gim	2020/12/23 23:31	GIM 文件	0 KB
 2020-12-22 12-17-59.pos	2020/12/23 23:30	POS 文件	0 KB
 2020-12-22 12-17-59.txt	2020/12/23 23:30	文本文档	53 KB

图 LiDAR 210 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
compb 文件	机载 GNSS 观测数据
fimnav 文件	RTK 轨迹
fpos 文件	机载 pos 文件：针对新五相机载荷，其余载荷该文件为空
gim 文件	云台数据：新五相机及 LiDAR 模块该文件为空（无云台）
pos 数据	机载 pos 文件：新五相机及 LiDAR 模块该文件为空
txt 数据	飞控日志

1.3 LiDAR 原始数据

LiDAR 210\300 原始数据格式为.rxp、LiDAR 110\150 原始数据格式为.pcap:

 SN_00637_20201222-042120_17.11.14.3_0001.rxp	2020/12/23 23:33	RXP 文件	146,042 KB
 SN_00637_20201222-042428_17.11.14.3_0002.rxp	2020/12/23 23:33	RXP 文件	144,822 KB
 SN_00637_20201222-042733_17.11.14.3_0003.rxp	2020/12/23 23:33	RXP 文件	147,516 KB
 SN_00637_20201222-043043_17.11.14.3_0004.rxp	2020/12/23 23:34	RXP 文件	150,670 KB
 SN_00637_20201222-043356_17.11.14.3_0005.rxp	2020/12/23 23:32	RXP 文件	155,662 KB
 SN_00637_20201222-043715_17.11.14.3_0006.rxp	2020/12/23 23:32	RXP 文件	160,902 KB
 SN_00637_20201222-044035_17.11.14.3_0007.rxp	2020/12/23 23:32	RXP 文件	161,061 KB
 SN_00637_20201222-044400_17.11.14.3_0008.rxp	2020/12/23 23:32	RXP 文件	62,109 KB

图 LiDAR210 原始数据示例

1.4 载荷 IMU 文件

 2020-12-22 12-17-59.imr	2020/12/23 23:31	Waypoint Raw I...	15,739 KB
---	------------------	-------------------	-----------

图 LiDAR210 IMU 文件示例

2.点云轨迹解算

在 IE 中可以进行 LiDAR 110\150\210\300 的点云轨迹解算，管家也支持对 Lidar 110\150\210\300 的点云轨迹解算。

2.1 GNSS 数据格式转换

GNSS 数据格式转换包括机载 GNSS 数据和基站数据格式转换两个环节，其中基站数据根据实际采用的作业模式进行操作。

2.1.1 机载 GNSS 数据转换

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

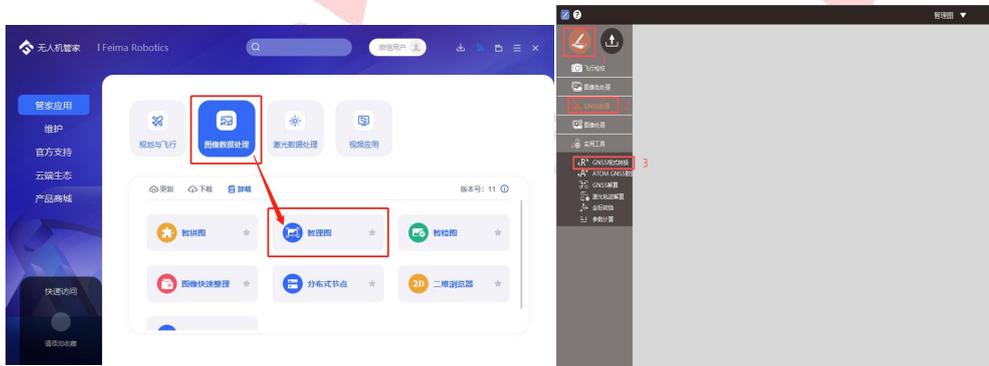


图 智理图 GNSS 格式转换入口

2) 在【GNSS 文件】中选择流动站的 .compb 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。

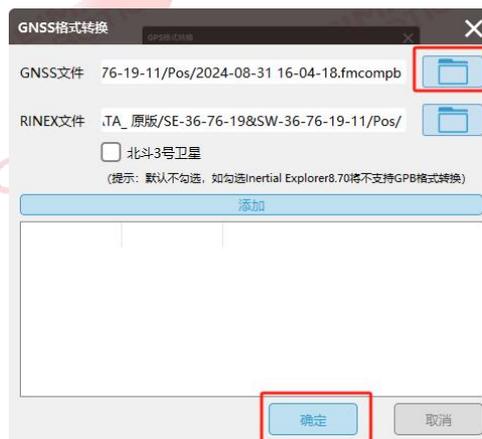


图 GNSS 格式转换



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）。

2020-12-22 12-17-59.20C	2021/1/20 15:21	20C 文件	19 KB
2020-12-22 12-17-59.20G	2021/1/20 15:21	20G 文件	28 KB
2020-12-22 12-17-59.20H	2021/1/20 15:21	20H 文件	1 KB
2020-12-22 12-17-59.20J	2021/1/20 15:21	20J 文件	1 KB
2020-12-22 12-17-59.20L	2021/1/20 15:21	20L 文件	1 KB
2020-12-22 12-17-59.20N	2021/1/20 15:21	20N 文件	23 KB
2020-12-22 12-17-59.20O	2021/1/20 15:21	20O 文件	156,072 KB

图 机载 GNSS 数据示例

2.1.2 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，管家见 compb、fimcompb 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】。

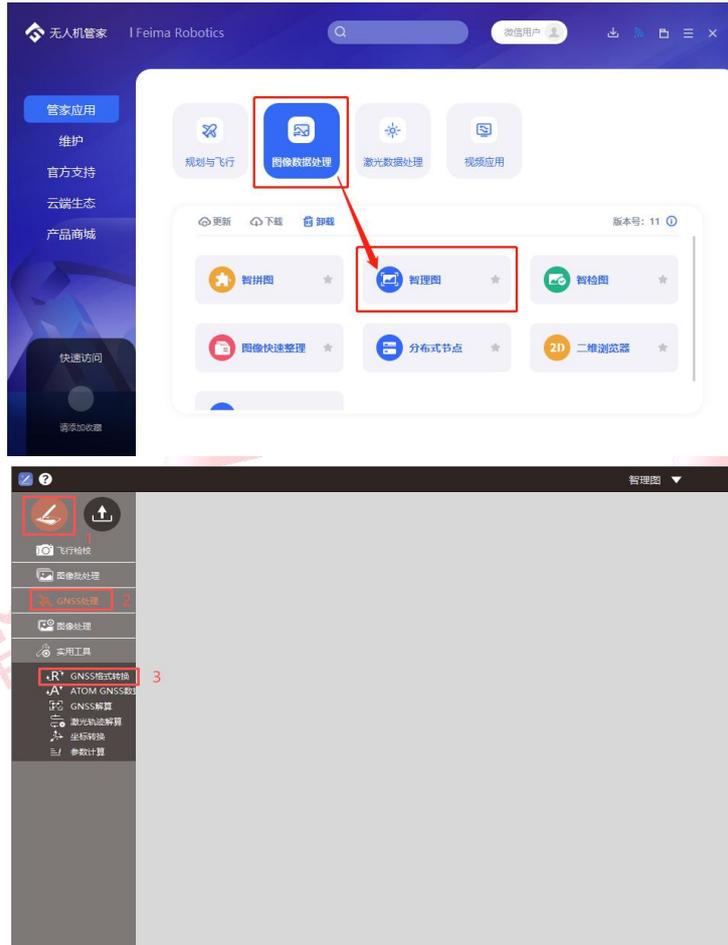


图 智理图 GNSS 格式转换入口

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。

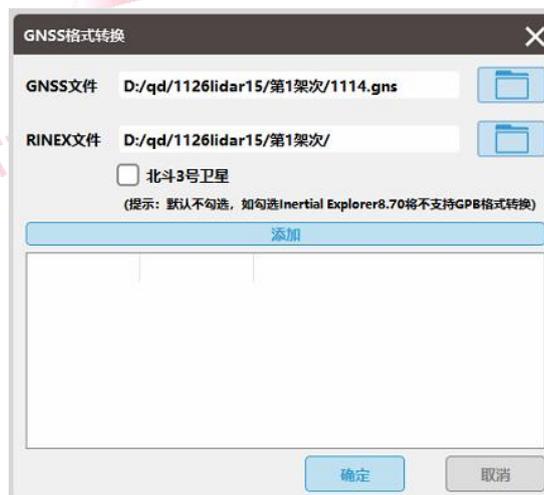


图 GNSS 格式转换

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

2.1.3 飞马网络基站预处理

D200/D200S、D300、D300L 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

2.2 文件存放整理

新建文件夹，将基站、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。

名称	修改日期	类型	大小
_4673550.17o	2022/6/2 15:09	17O 文件	9,876 KB
_4673550.17p	2022/6/2 15:09	17P 文件	201 KB
2021-03-19 12-38-17.21C	2022/6/2 15:10	21C 文件	33 KB
2021-03-19 12-38-17.21G	2022/6/2 15:10	21G 文件	9 KB
2021-03-19 12-38-17.21H	2022/6/2 15:10	21H 文件	1 KB
2021-03-19 12-38-17.21J	2022/6/2 15:10	21J 文件	1 KB
2021-03-19 12-38-17.21L	2022/6/2 15:10	21L 文件	1 KB
2021-03-19 12-38-17.21N	2022/6/2 15:10	21N 文件	23 KB
2021-03-19 12-38-17.21O	2022/6/2 15:11	21O 文件	178,969 KB
2021-03-19 12-38-17.imr	2021/3/19 13:43	Waypoint Raw IMU Data	15,513 KB

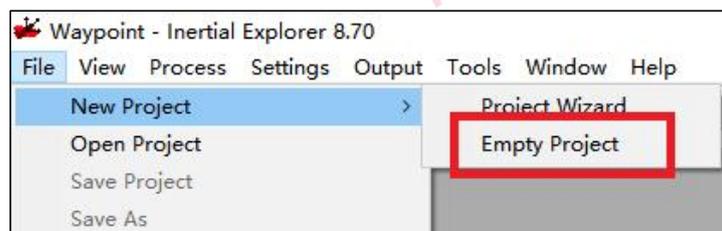
图 文件存放整理

注：IE 不支持中文路径，请确保文件存放位置为全英文路径。

2.3 IE 轨迹解算

2.3.1 格式转换

1) 打开 IE，点击【File】-【New Project】-【Empty Project】，选择 2.2 节新建的文件夹，输入文件名，保存。



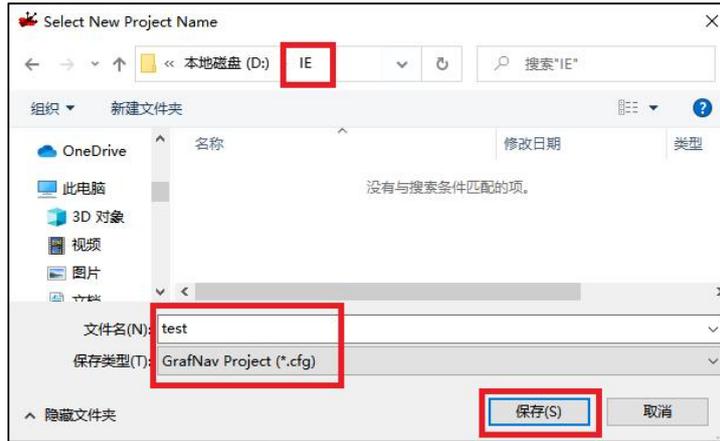


图 新建 IE 工程

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

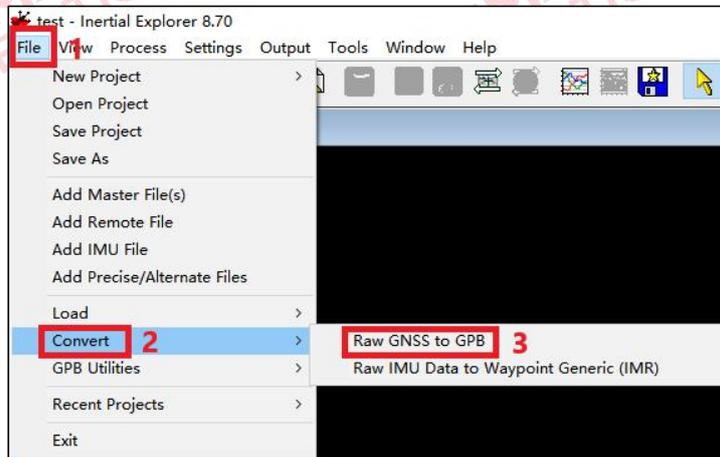


图 格式转换

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。

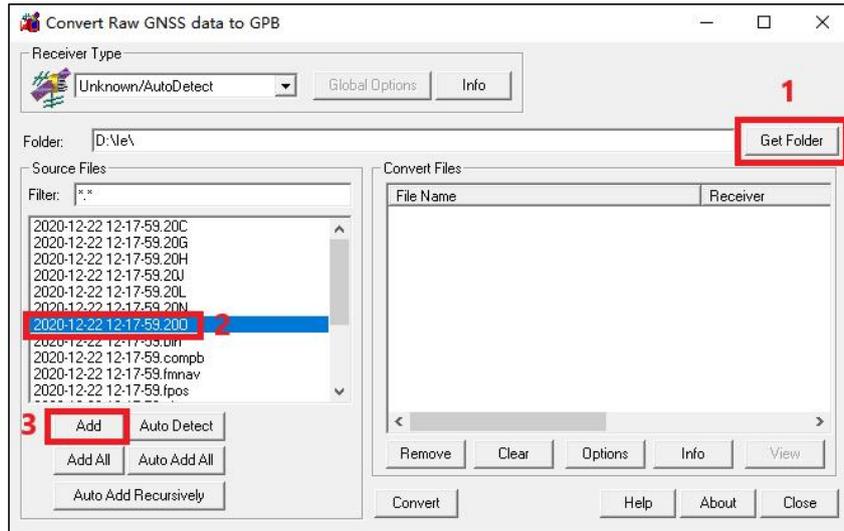


图 格式转换

首次添加会跳出对话框，点击【是】。

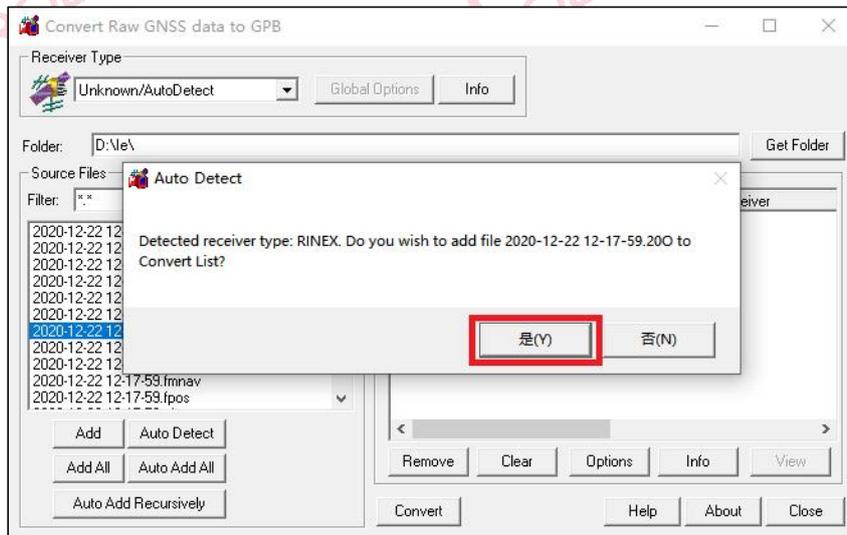


图 格式转换

4) 点击【Convert】，将数据 O 文件转换为 GPB 格式。

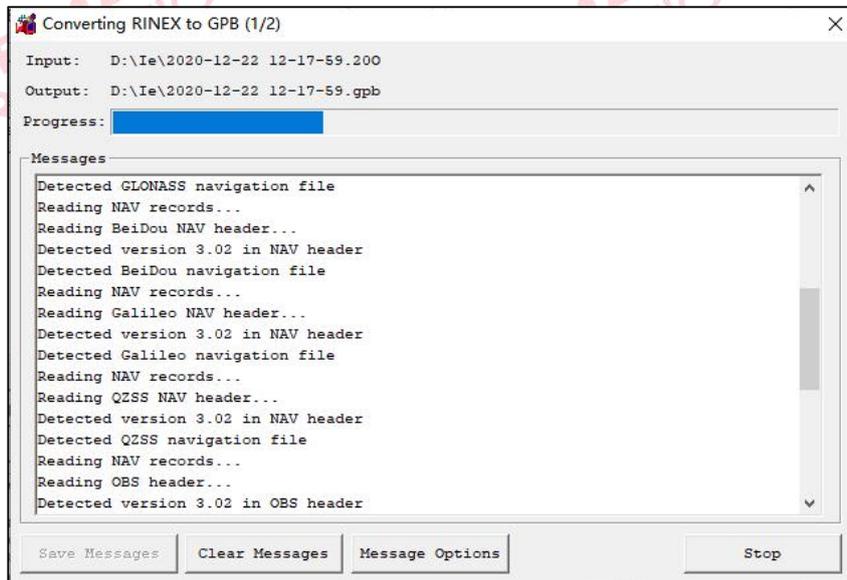
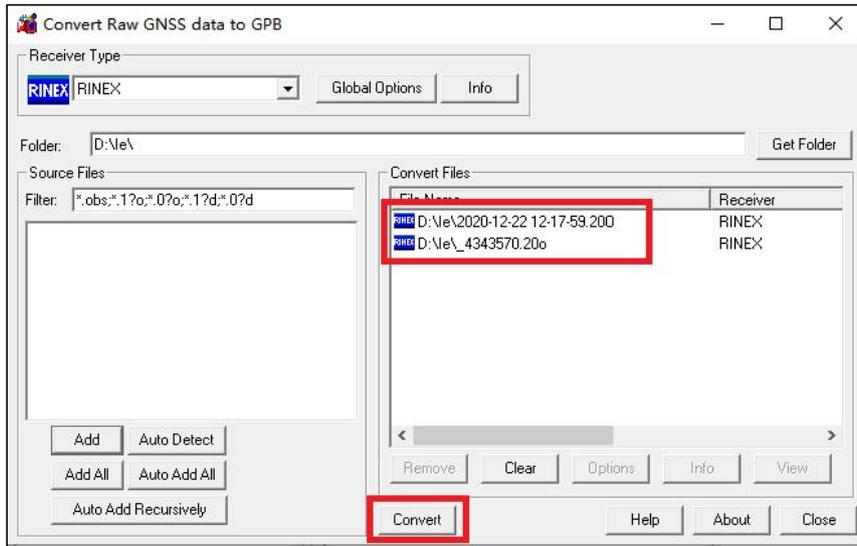


图 格式转换

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
	raw-fm_362-1.epp	2021/12/29 18:40	Waypoint Ephe...	44 KB
	raw-fm_362-1.gpb	2021/12/29 18:40	Waypoint Raw G...	10,419 KB
	raw-fm_362-1.sta	2021/12/29 18:40	Waypoint Statio...	3 KB

图 格式转换完成

2.3.2 数据添加

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

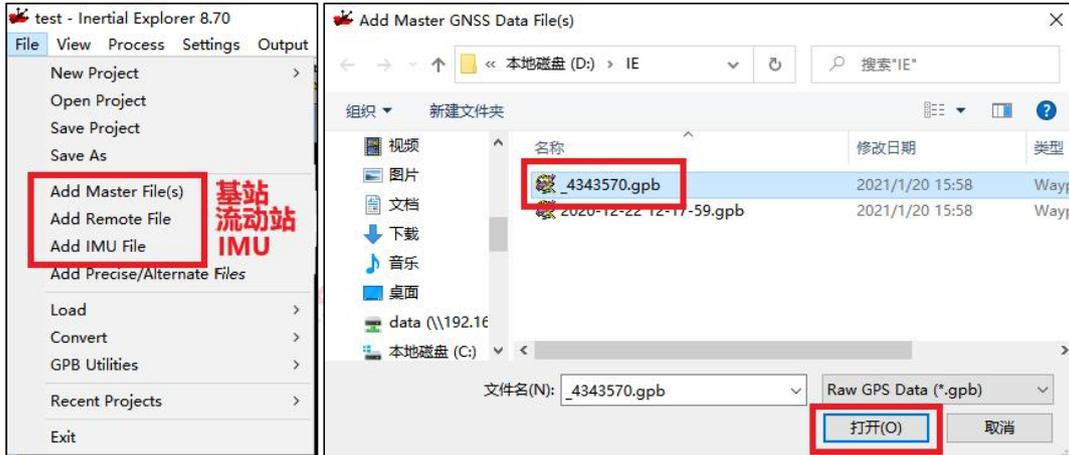


图 添加格式转换后的基站数据

2) 打开后跳出对话框，查看点号、基站坐标，天线高，将基准设置为 WGS84，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，为避免解算报错，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；

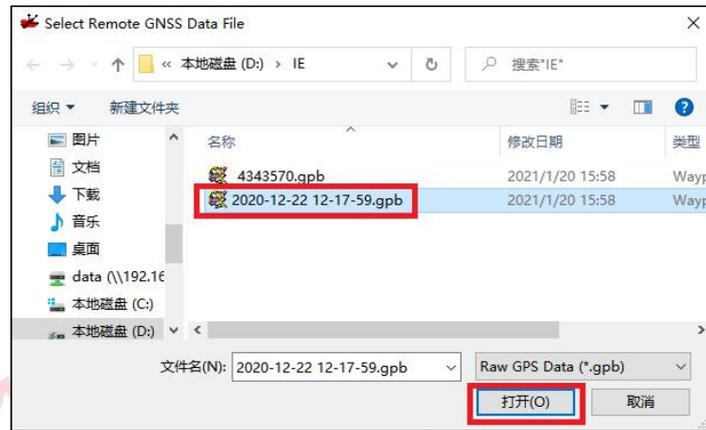


图 添加格式转换后的流动站数据

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。

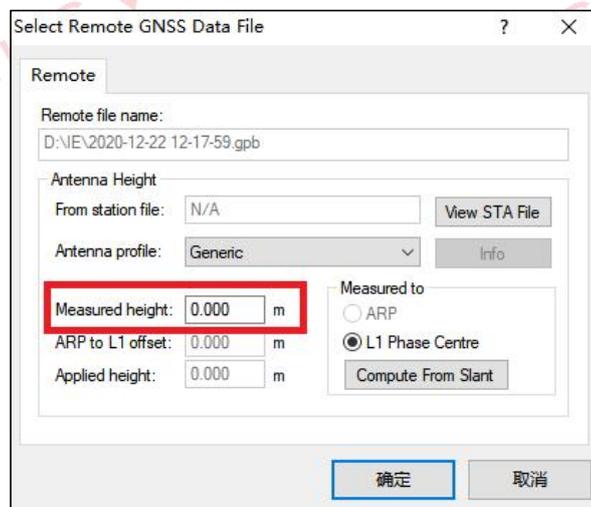


图 添加流动站数据的设置

提示:

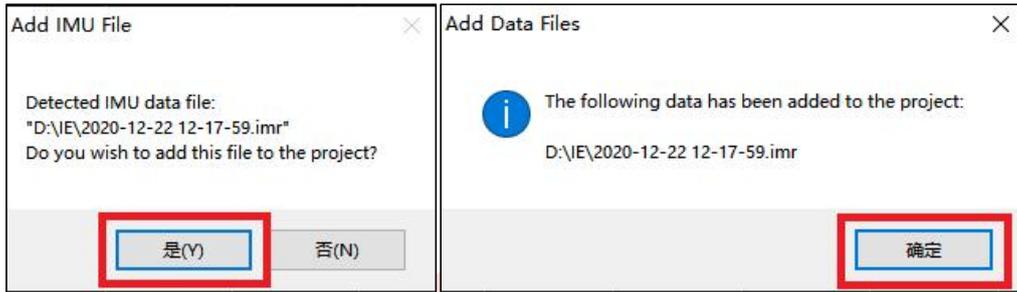


图 IMU 文件导入提示

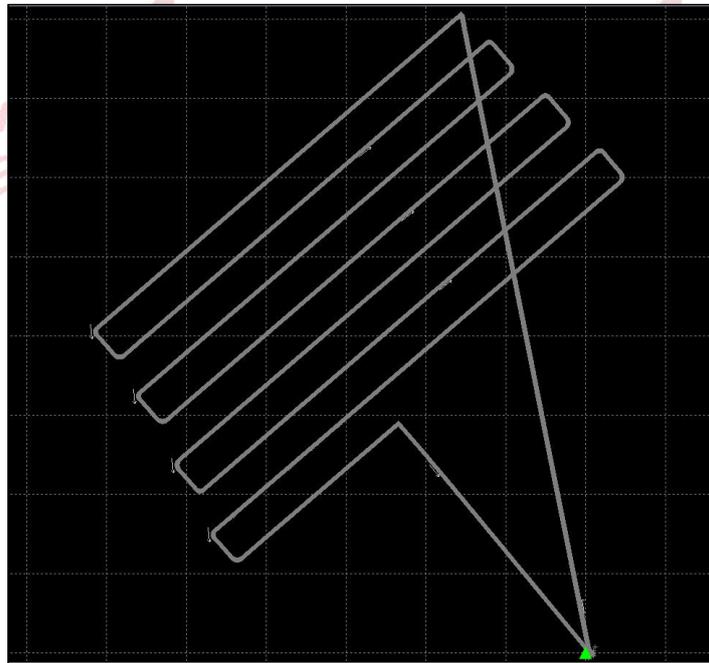


图 添加数据

5) 若未提示添加 imr 文件, 则需手动添加, 点击【File】-【Add IMU File】, 选择 IE 文件夹下的 imr 文件。

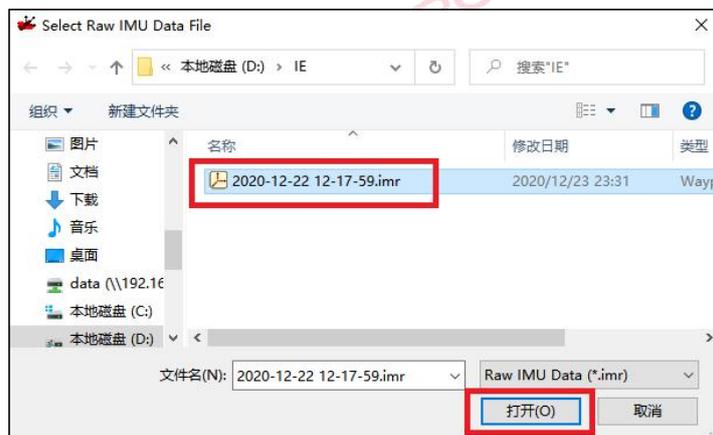


图 添加 IMU 文件

2.3.3 紧耦合差分解算

1) 点击【Process】-【Process TC(Tightly Coupled)】运行紧耦合解算功能。

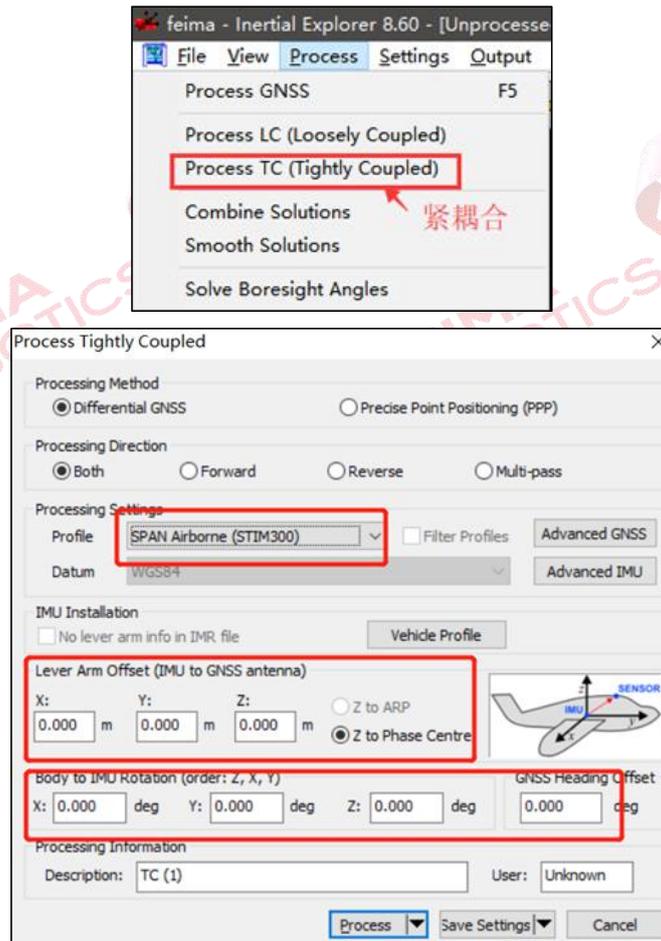


图 紧耦合解算设置

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, LIDAR110、150、210、300 具体参数设置如下:

Name:	LIDAR110		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm			
X:	0.000 m	Y: -0.164 m	Z: 0.338 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:	0.000 deg	Y: 90.000 deg	Z: -90.000 deg

图 LiDAR110 解算参数

Name: <input type="text" value="LIDAR150"/>		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" value="-0.135"/> m	Z: <input type="text" value="0.343"/> 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="90.000"/> deg	Z: <input type="text" value="-90.000"/> deg

图 LiDAR150 解算参数

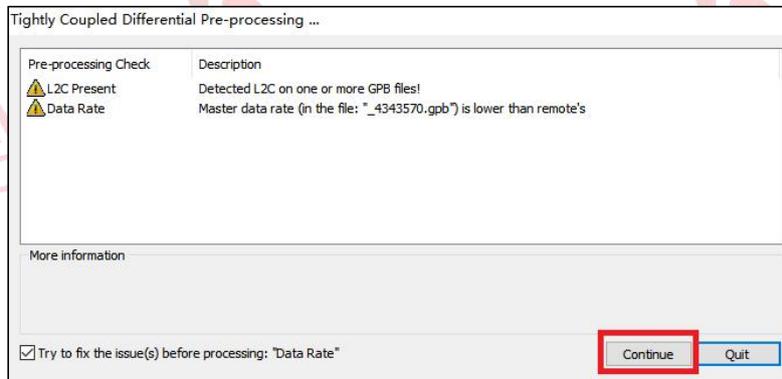
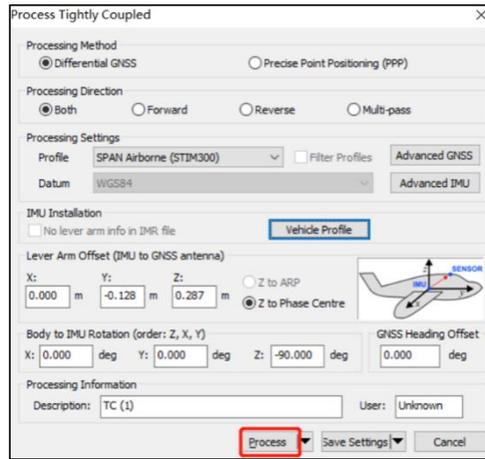
Name: <input type="text" value="LIDAR210"/>		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" value="-0.133"/> m	Z: <input type="text" value="0.299"/> m
IMU to Secondary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" 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 LiDAR210 解算参数

Name: <input type="text" value="lidar300"/>		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" value="-0.133"/> m	Z: <input type="text" value="0.299"/> 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 LiDAR300 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。



注：该提示在初次执行计算时，必然提示，提示意为基站文件采样频率低于流动站。

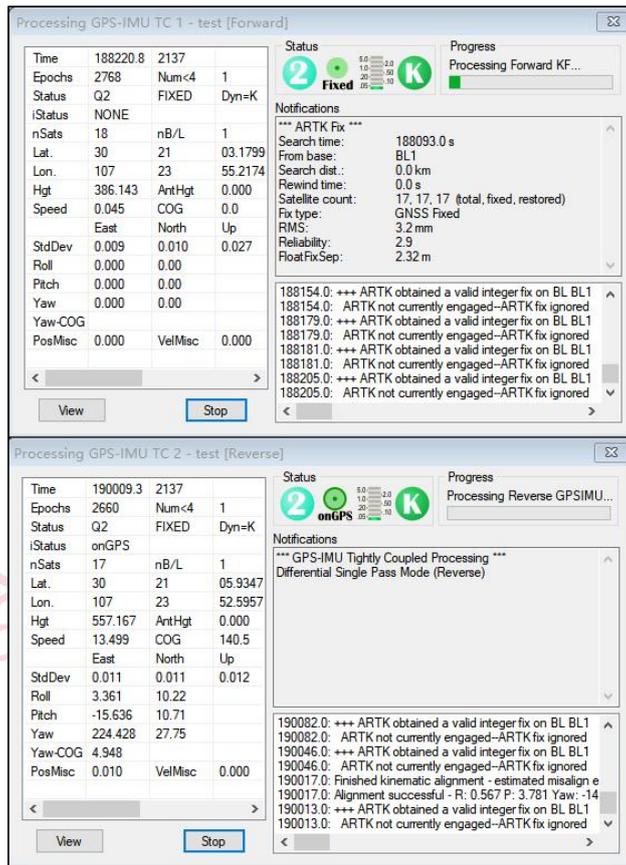
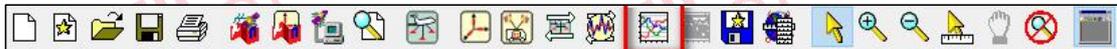


图 紧耦合解算

2.3.4 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。

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。



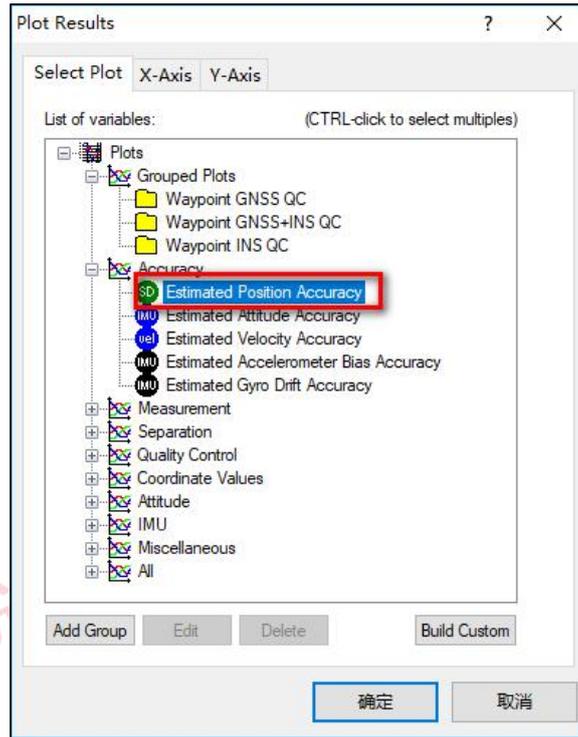


图 轨迹检查

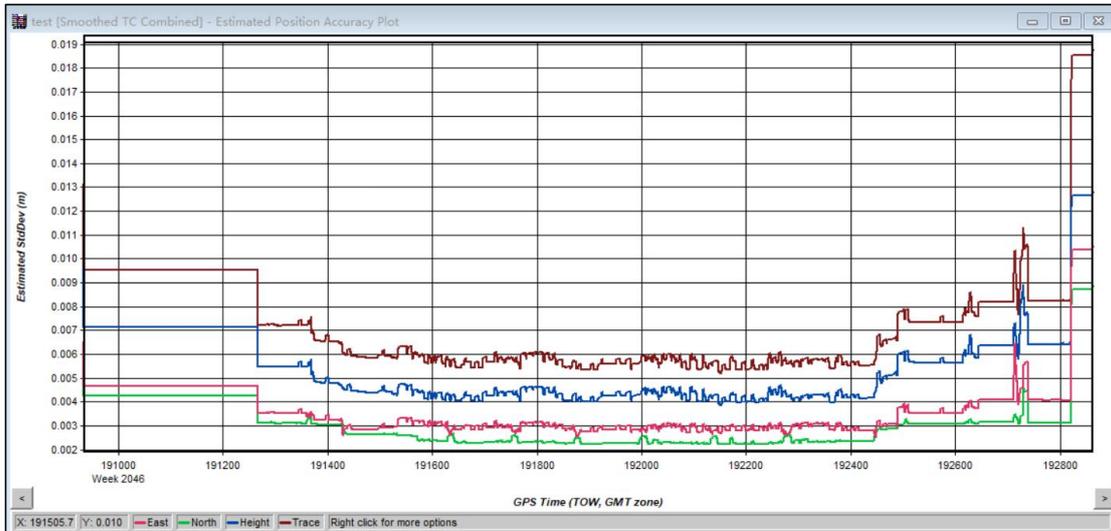


图 位置精度检查

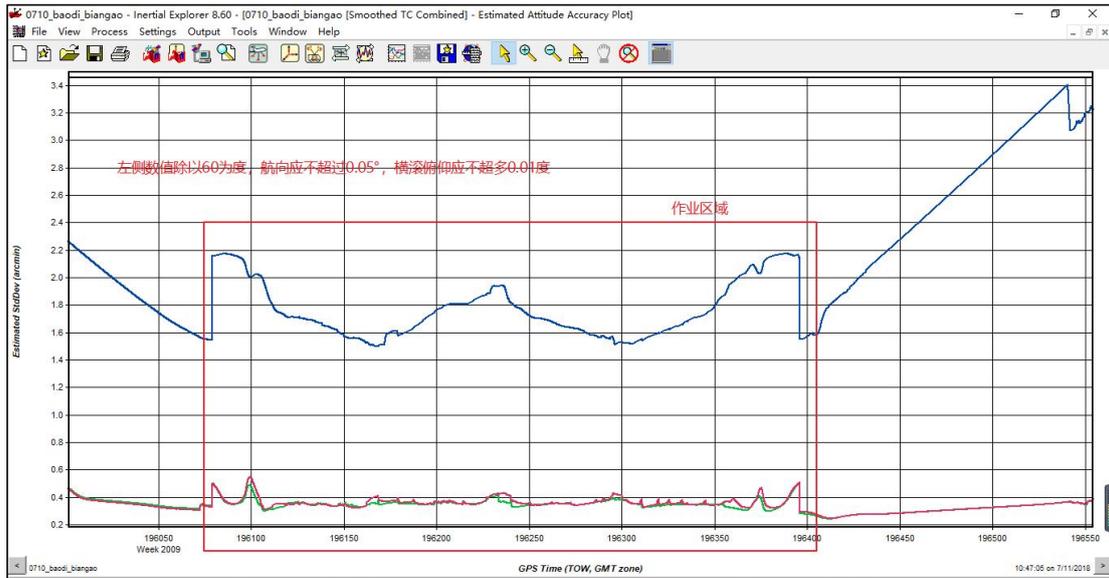


图 解算精度检查

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 GNSS 时间、点击【OK】，导出 SBET.OUT 文件。

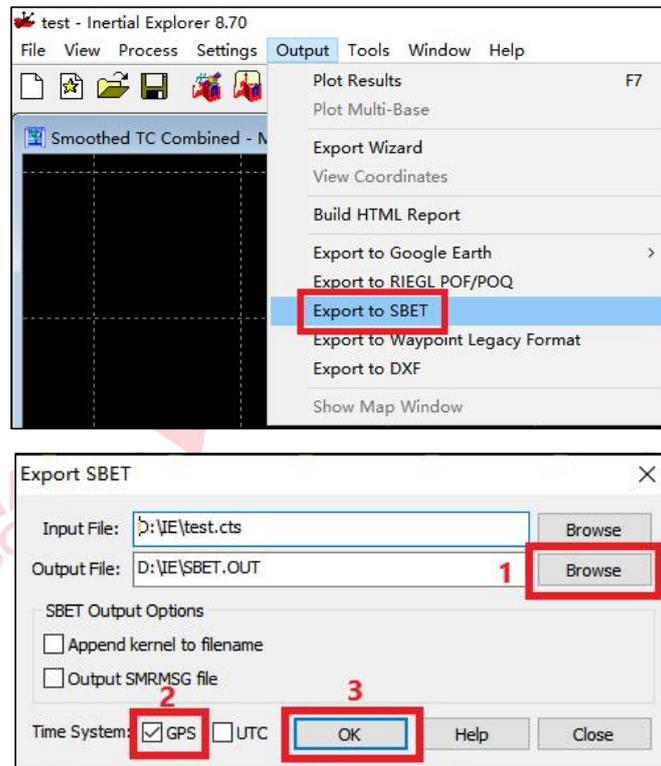


图 输出轨迹

2.4 无人机管家轨迹解算

如果没有 IE 软件，可以采用无人机管家进行轨迹解算，具体操作过程如下：

1) 选择无人机管家主界面下的【智理图模块】-【GNSS 处理】-【激光轨迹解算】。

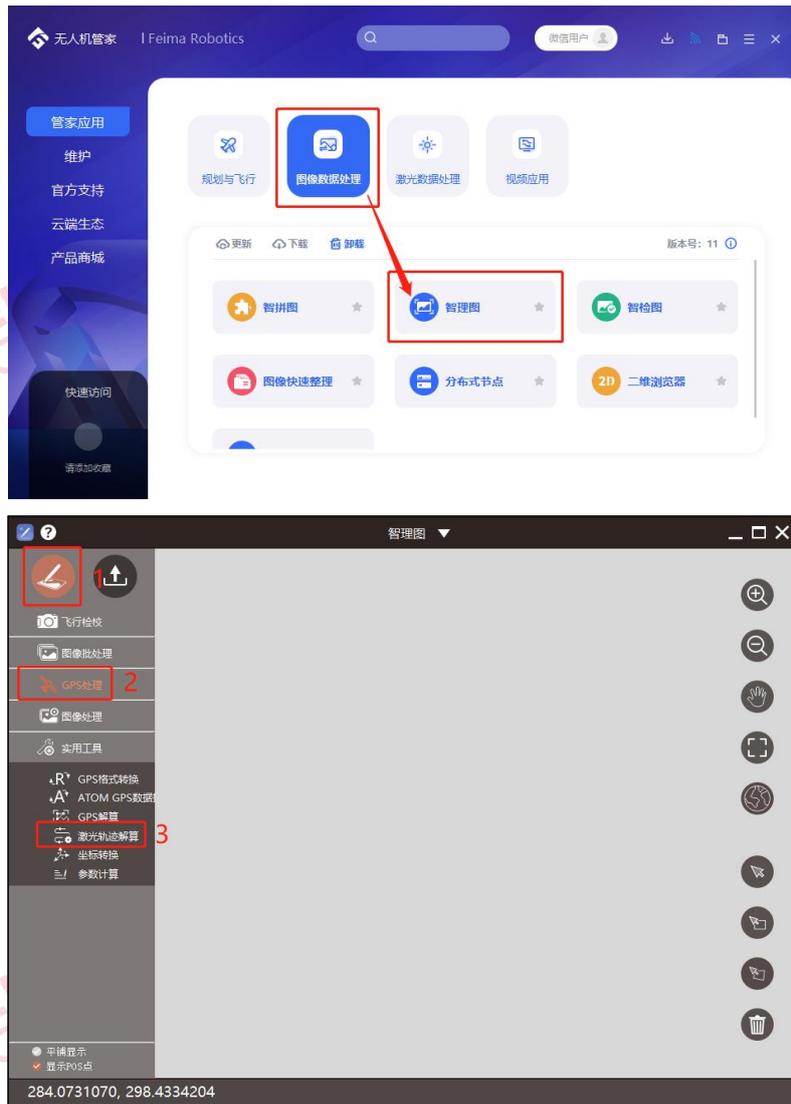


图 激光轨迹解算入口

2) 打开观测文件.21o，软件自动读取同名 IMU 文件.imr。

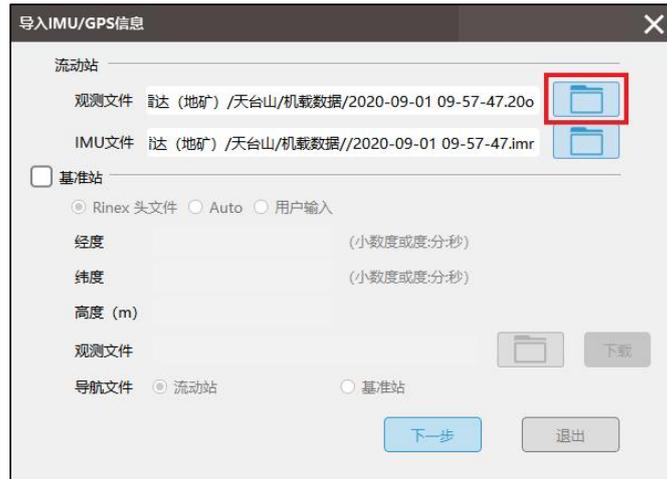


图 导入流动站及 IMU 数据

3) 进行基站的输入，软件支持实体基站和虚拟基站的输入。

A. 实体基站设置

勾选【基准站】，首先选择基站观测文件。其坐标读取方式有三种：

a. RINEX 头文件

适用于基站记录的坐标和实际基站架设的坐标一致。

默认勾选 RINEX 头文件，即可直接读取观测数据*.O 头文件记录的 WGS84/2000 经纬度、椭球高坐标。

导航文件一般默认读取流动站的星历导航文件，若流动站的导航文件不存在，软件也支持基准站的导航文件使用。

b. 自动计算

该模式为根据观测值自动计算的相近坐标，非准确位置，仅适用于对精度要求不高的应用场景，一般不建议使用。

c. 用户输入

当基站头文件记录的非实际架设坐标时，则应用用户输入模式，输入已知点经纬度、高程坐标，一般应为 WGS84/CGCS2000 经纬度坐标和椭球高坐标。若客户最终成果需要其他坐标系水准高数据，则后续通过坐标系转换实现，不建议此处输入其他坐标系、高程系统的数据。

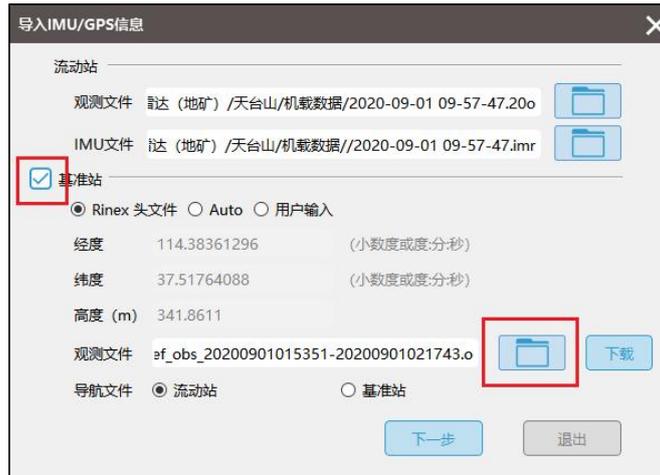


图 导入基准站文件

B. 虚拟基站设置

若飞机开通了网络 PPK 差分解算服务，则可联网进行飞马虚拟基站下载。

首先指定流动站观测文件，勾选基准站，并设置选择“RINEX 头文件”，点击下载，根据飞行端口（目标坐标系）下载对应的基准站文件（8002 对应 WGS84，8003 对应 CGCS2000）。下载目录下会自动生成 4 个文件夹，其中 upload 为机载上传数据，download 为虚拟基站数据包，log 为基站下载日志，base 为基站解压后数据，且 base 文件夹中的*.O 文件中已经记录天线相位中心坐标；选择【RINEX 头文件】会自动读取天线相位中心坐标。

确认导入的 IMU/GNSS 信息无误后点击下一步。

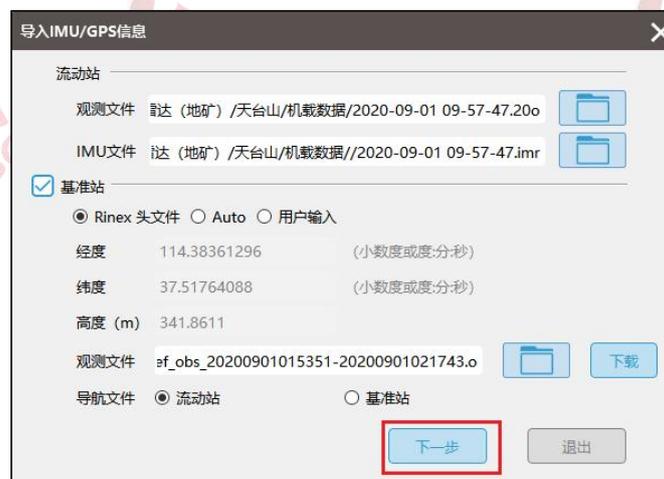


图 导入流动站、基站文件

4) 解算方式默认为差分，选择【设备类型】读取相应的杆臂偏心距和 IMU

安装角，填写 GNSS 天线垂高，指定保存路径，LiDAR 110\150\210\300 具体参数设置如下：

Name: <input type="text" value="LIDAR110"/>		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" value="-0.164"/> m	Z: <input type="text" value="0.338"/> 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="90.000"/> deg	Z: <input type="text" value="-90.000"/> deg

图 LiDAR110 解算参数

Name: <input type="text" value="LIDAR150"/>		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" value="-0.135"/> m	Z: <input type="text" value="0.343"/> 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="90.000"/> deg	Z: <input type="text" value="-90.000"/> deg

图 LiDAR150 解算参数

Name: <input type="text" value="LIDAR210"/>		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" value="-0.133"/> m	Z: <input type="text" value="0.299"/> 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 LiDAR210 解算参数

Name: <input type="text" value="lidar300"/>		
IMU to Primary GNSS Antenna Lever Arm		
X: <input type="text" value="0.000"/> m	Y: <input type="text" value="-0.133"/> m	Z: <input type="text" value="0.299"/> 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 LiDAR300 解算参数

如果使用实体基站，并且按照飞马基站标准作业流程方式，其基站 RINEX

文件已记录为 GNSS 相位中心坐标，其垂高默认设置为 0 即可。如果使用虚拟基站，基站 RINEX 文件也已记录为 GNSS 相位中心坐标，垂高也默认设置为 0 即可，其他情况下需要按照实际作业情况填写垂高，点击确定，解算出点云轨迹文件。

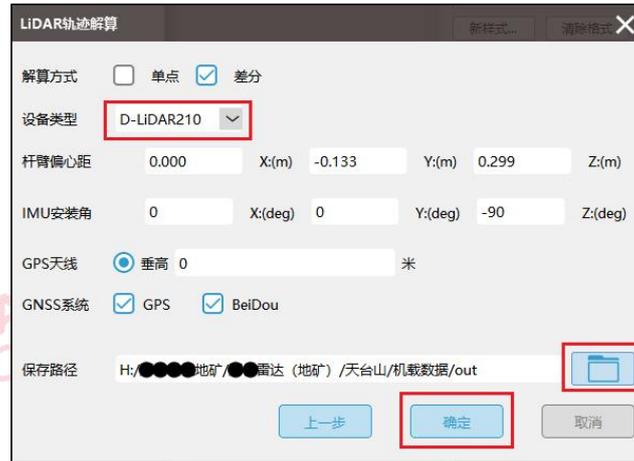


图 轨迹解算设置

注：单点解算适用于无基站，仅需提取粗略飞行 POS 的作业场景，其只需输入流动站文件，无须设置基站文件，即可解算获取单点定位的轨迹文件。但精度低不推荐使用。

3.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、导出标准点云或点云编辑等步骤。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。

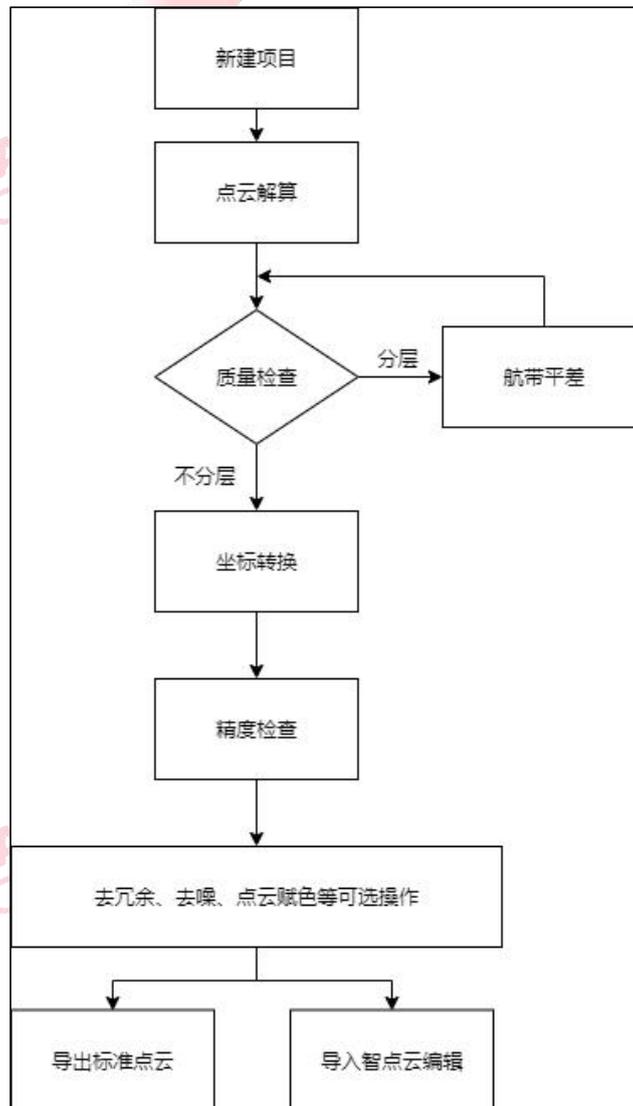


图 点云数据预处理流程图

3.1 新建项目

- 1) 打开无人机管家中的【智激光】模块。

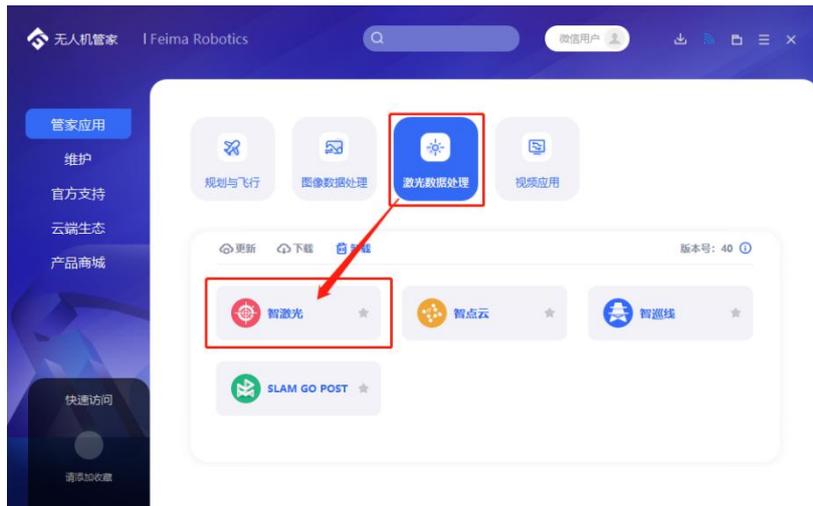


图 智激光入口

2) 点击【文件】-【新建项目】，在弹出的创建工程向导中设置进行基础设置“工程路径、工程名称、采集设备、作业模式以及坐标系统”。

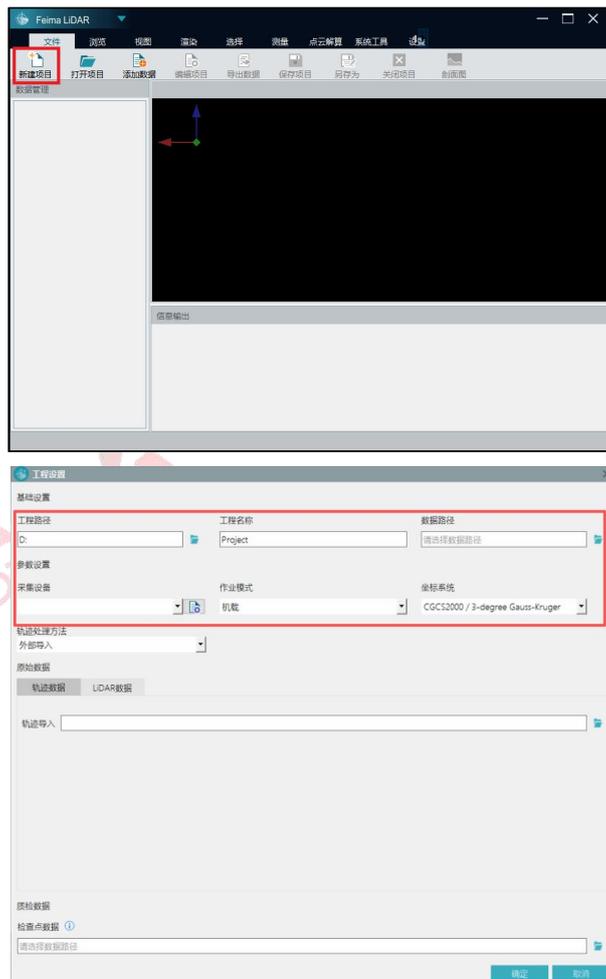


图 新建项目

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。

数据路径功能即导入数据存放文件夹后软件会自动识别到文件夹内机载数据以及雷达数据进行添加。该功能由于固件暂不支持暂时无法使用，后续会随飞机固件更新后陆续开放。

3) 设置作业模式与采集设备时，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，点击采集设备下拉框，单击【新建设备】，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。

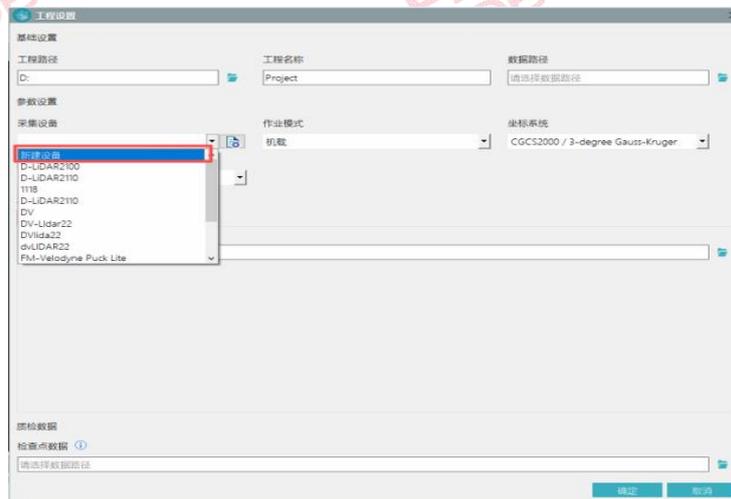




图 添加载荷

注：输入的载荷 ID 为 D-LIDAR 后的 11 位数字或字母。

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】。

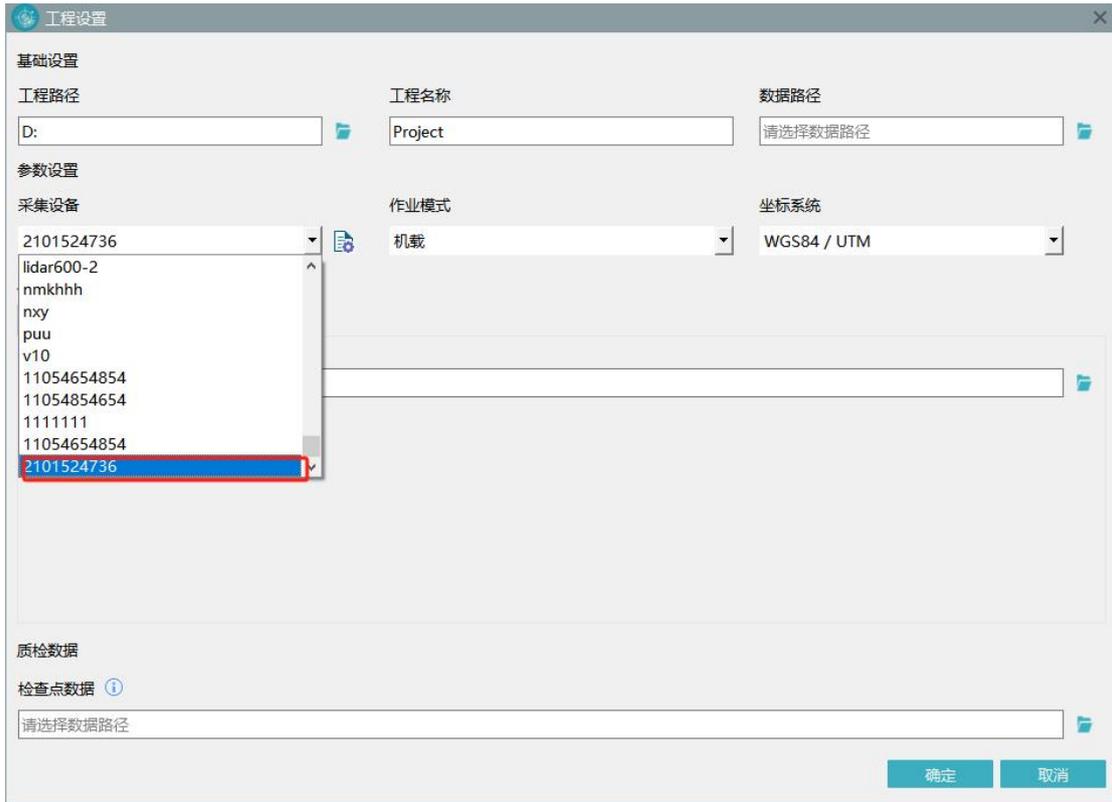


图 选择载荷

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。

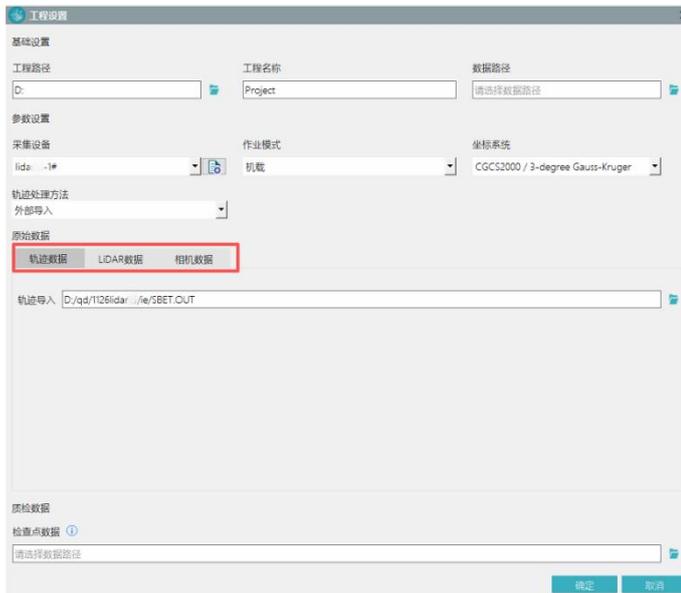


图 导入 LIDAR 原始数据及轨迹

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。

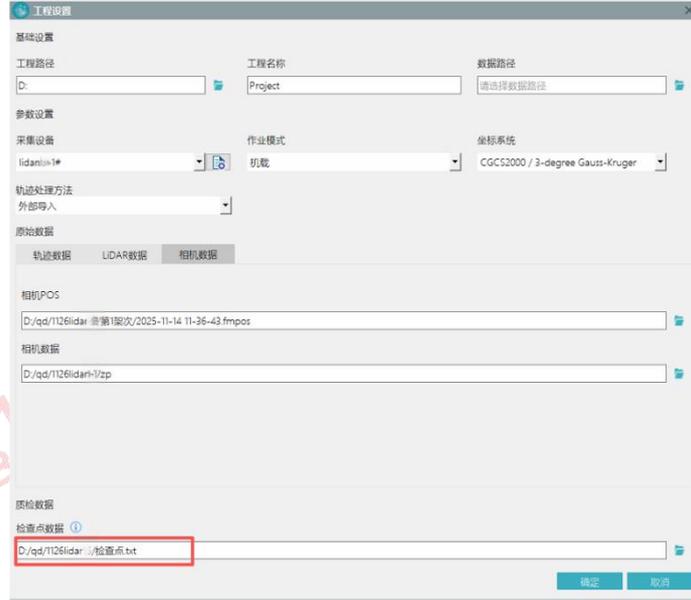


图 导入 LIDAR 原始数据及轨迹

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【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。

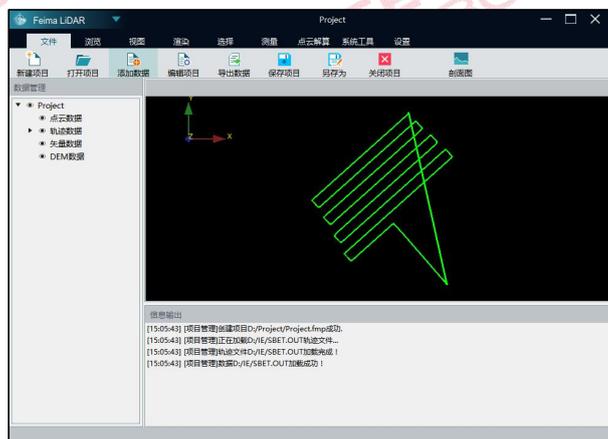


图 项目建立完成

3.2 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、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。

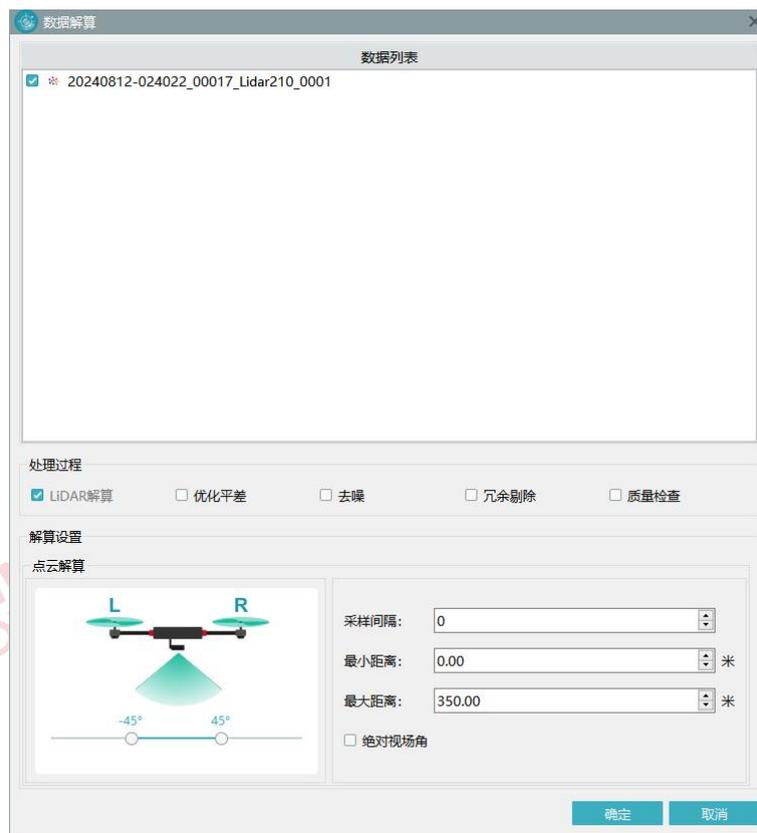


图 点云解算设置

优化平差功能参考第 3.4 章

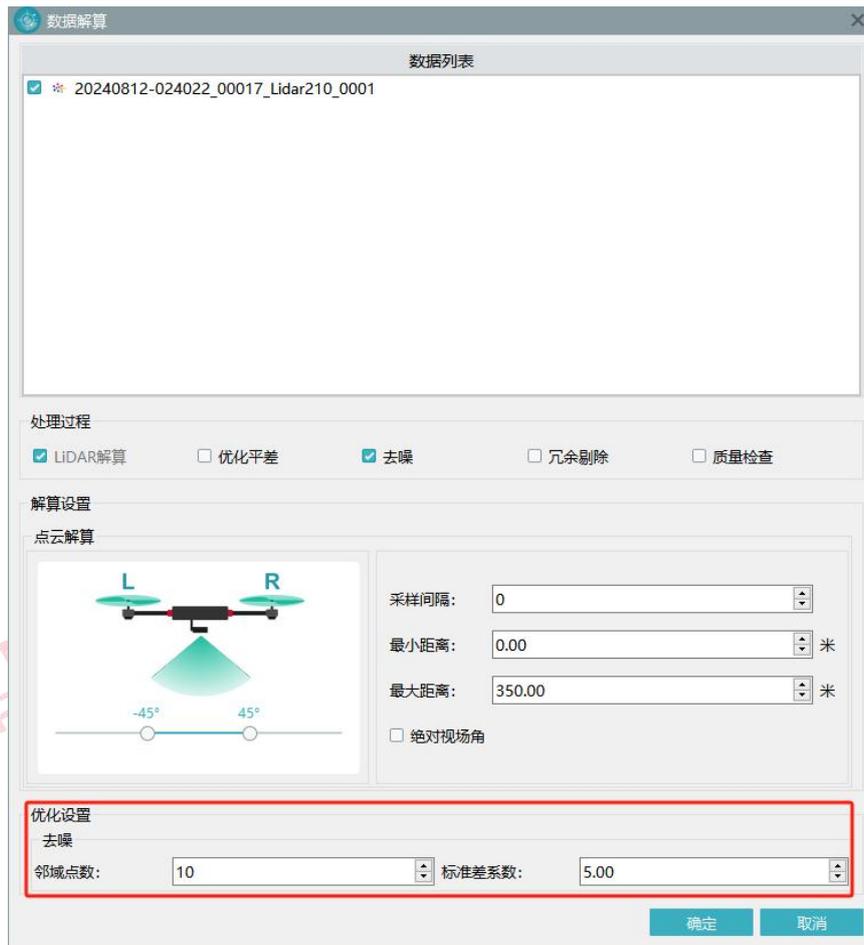


图 去噪功能

去噪功能参考第 4.6 章

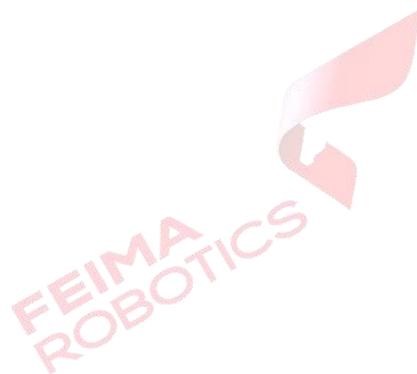




图 冗余剔除功能

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。

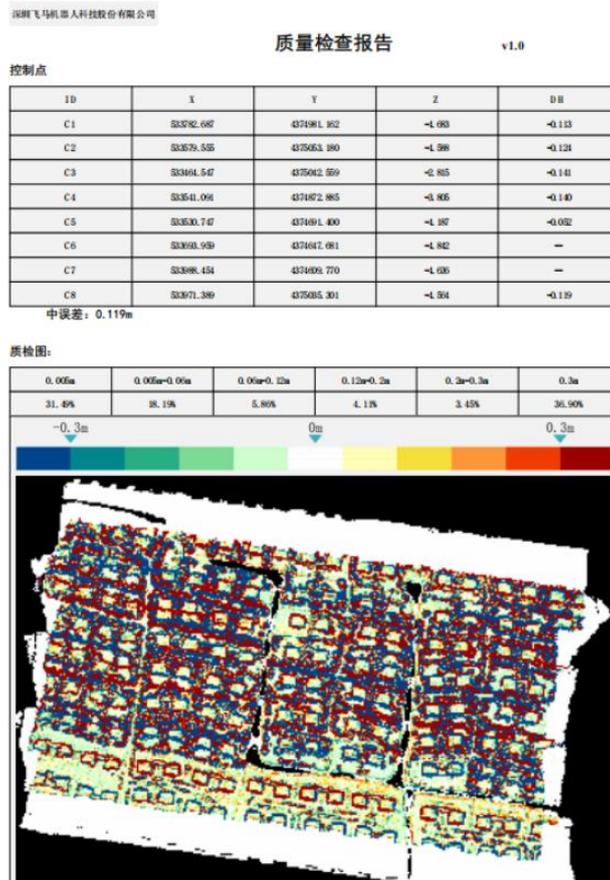


图 质量检查

3)视场角按照 $\pm 45^\circ$ 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。

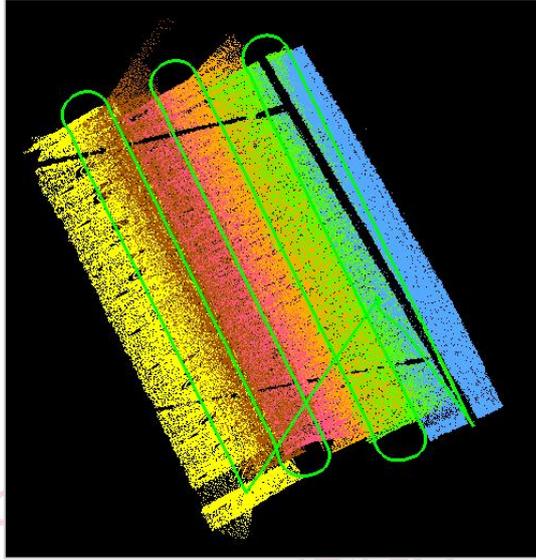


图 点云解算设置

3.3 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 质量检查工具

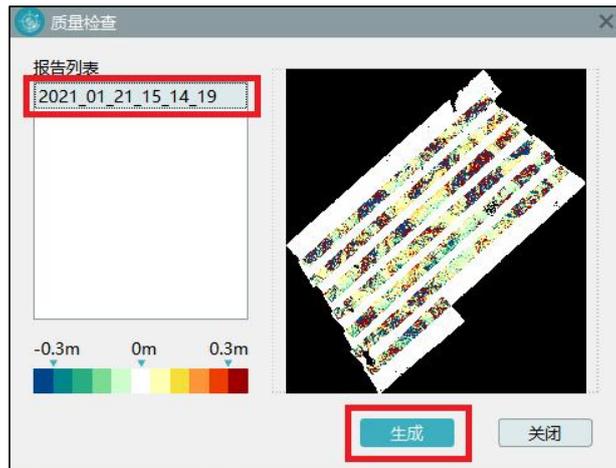


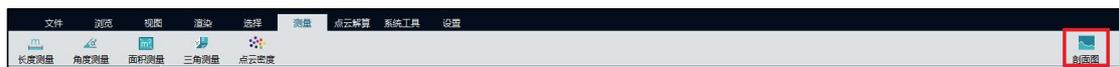
图 质量检查

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。



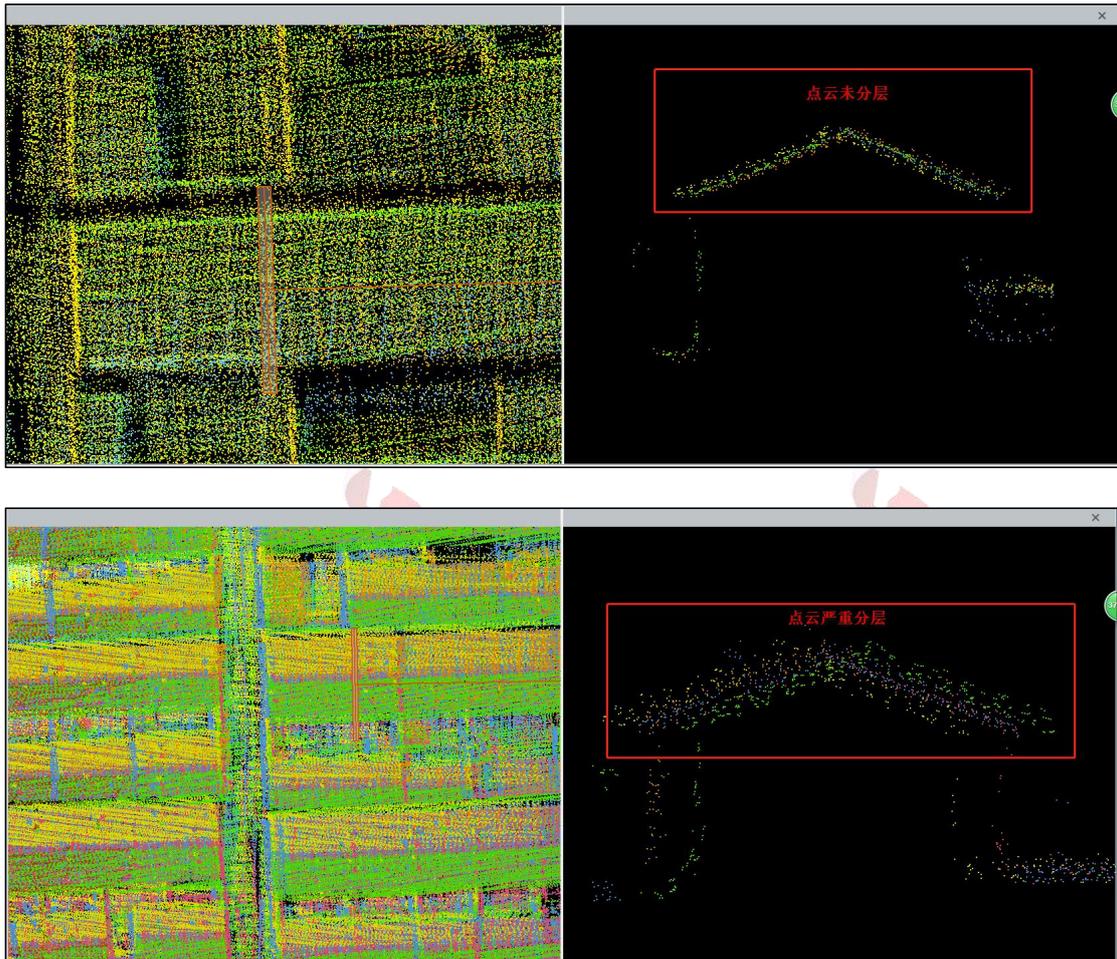


图 判断分层情况

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。

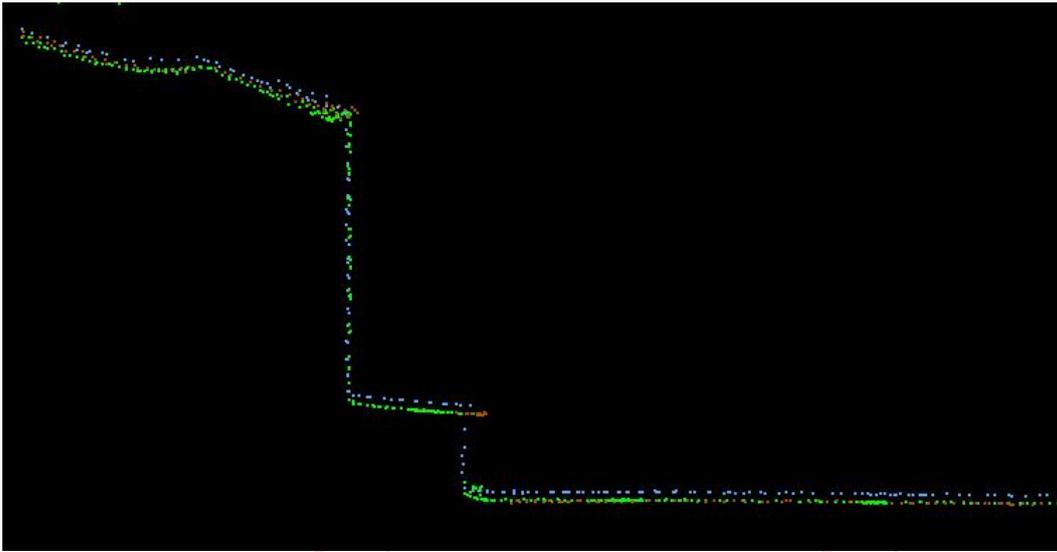
3.4 优化平差

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。

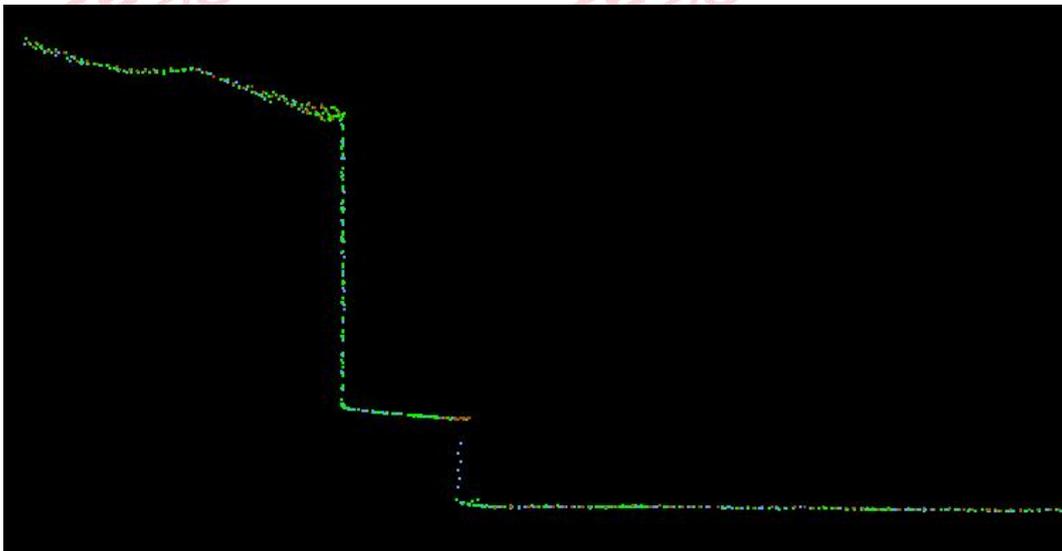
针对上述分层情况，智激光新增了【优化平差】功能，这项功能的主要特点：

- 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

3.5 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。



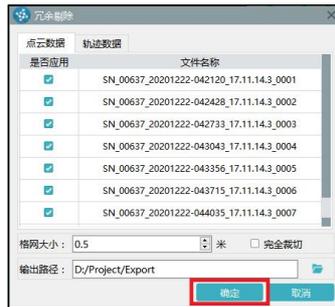


图 去冗余

3.6 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。

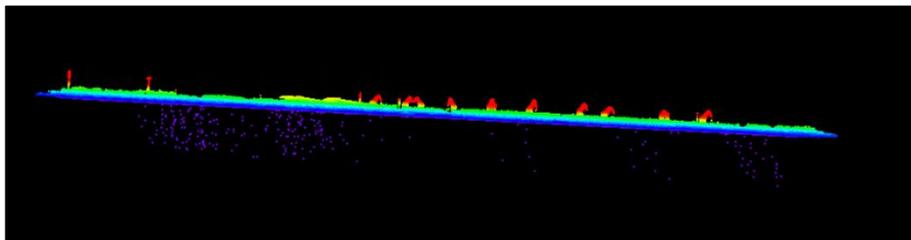


图 噪声点

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，降低了数据处理的效率。

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

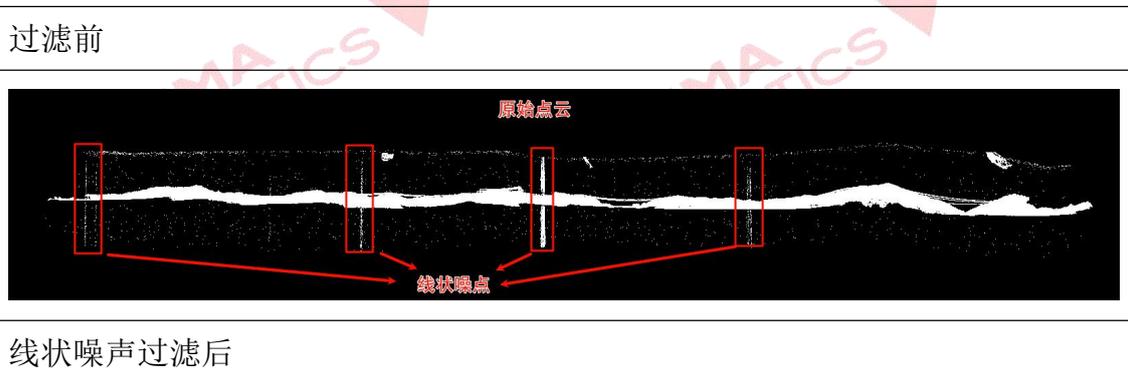
线上点数量: 噪声所在直线在其拟合距离范围内点的数量

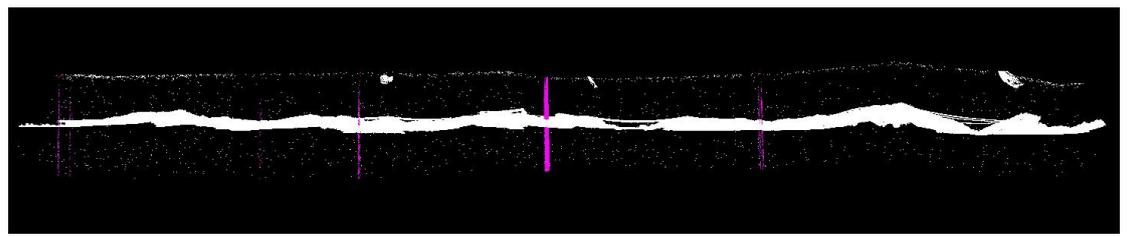
补充说明:

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。

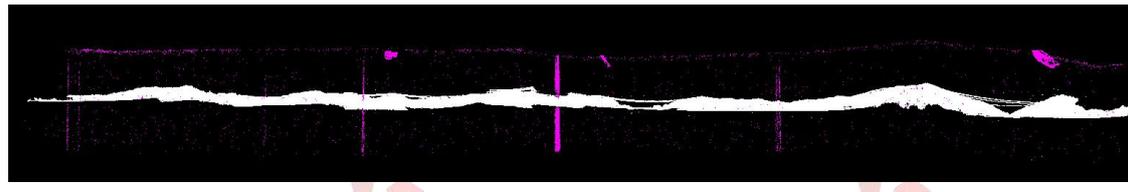
效果展示:

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。





线状噪声和离散噪点过滤后



3.7 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）。

3.7.1 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【原始照片】。



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 格式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，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

3.7.2 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】。

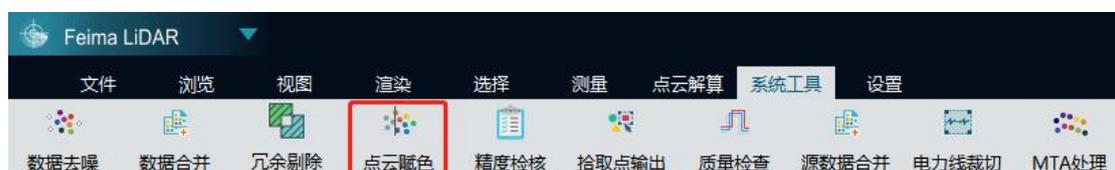




图 正射赋色

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。

3.8 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。

3.8.1 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：

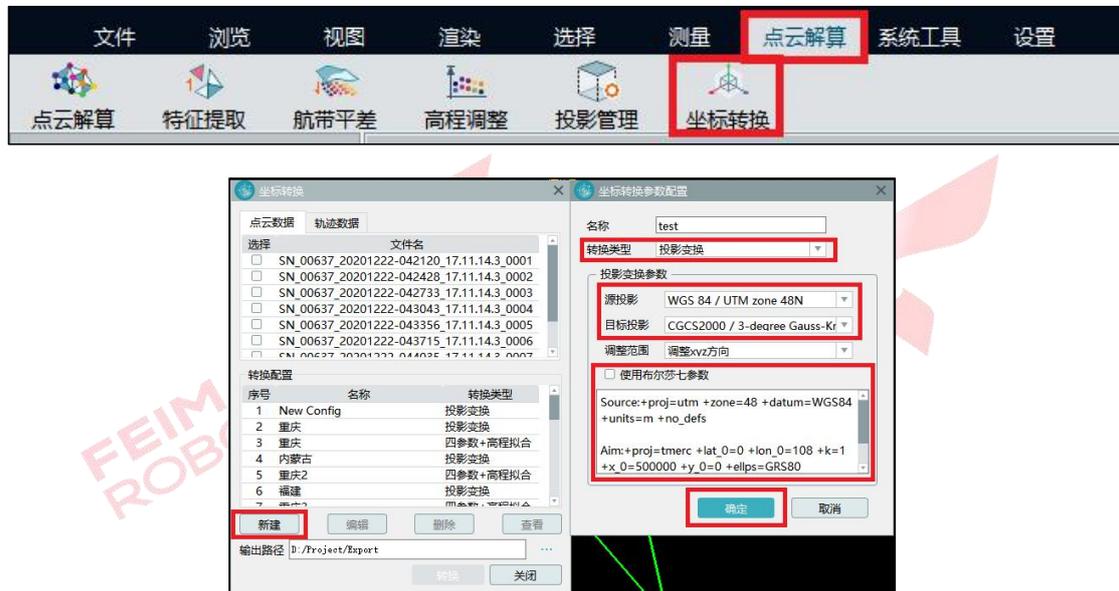


图 坐标转换设置

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。

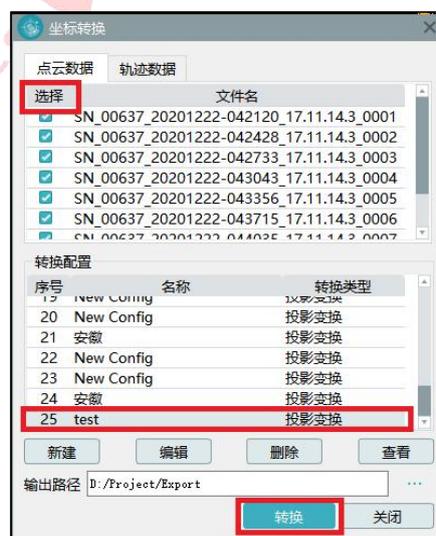


图 坐标转换

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。

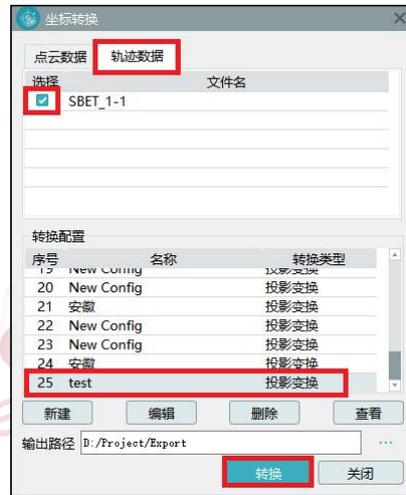


图 轨迹坐标转换

3.8.2 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。

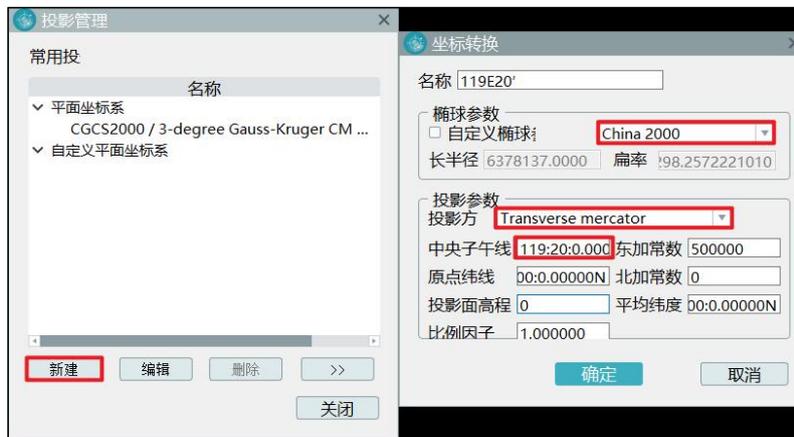


图 自定义平面坐标系统

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 3.8.1 节步骤 4 及步骤 5。

3.9 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。

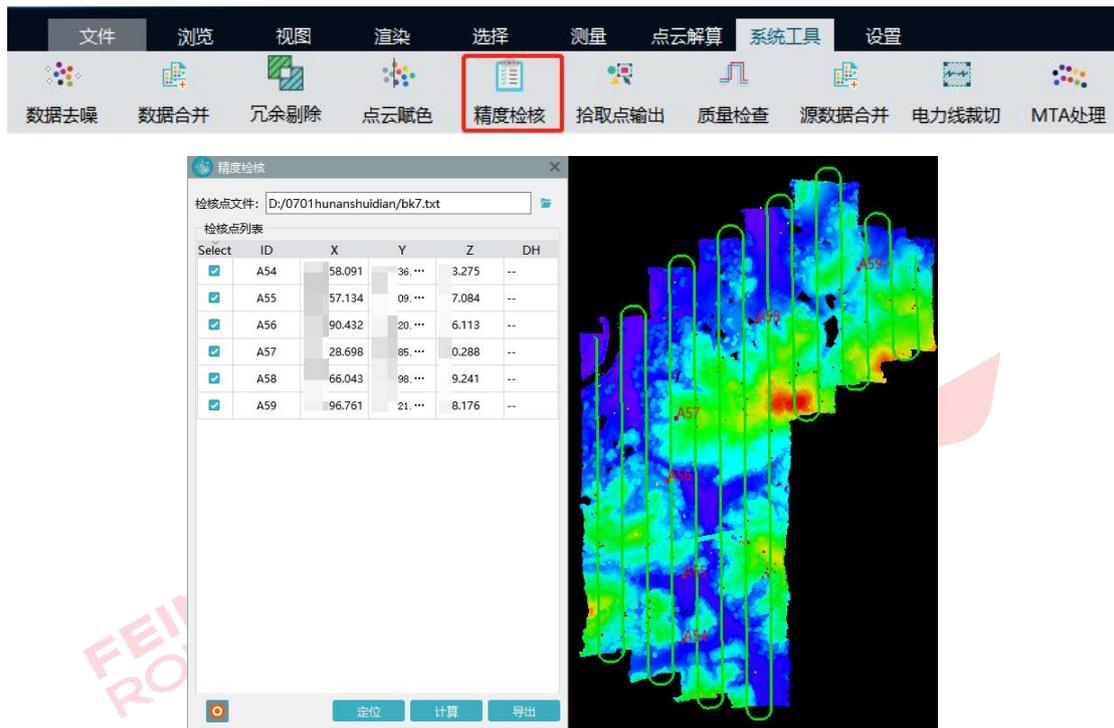


图 获取精度报告

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。

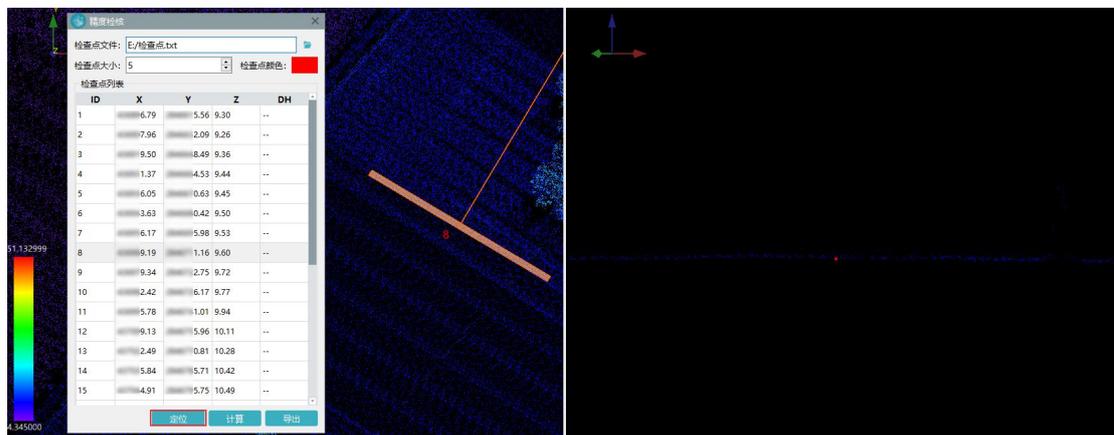


图 拉剖面检查

3.10 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：



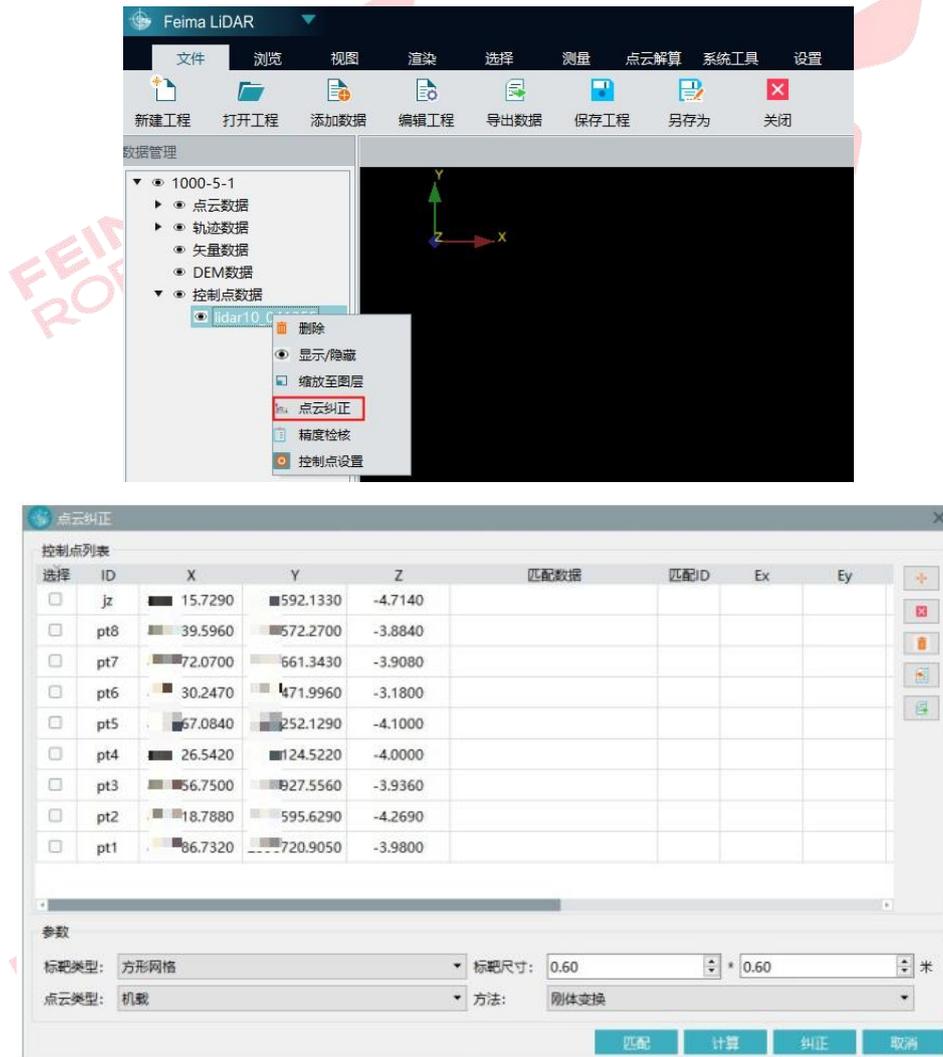
在控制点导入界面可以输入已知的控制点坐标，并可以按照控制点文件属性设置分隔符、坐标系统、坐标顺序等参数。其中的坐标系统支持投影坐标和地理坐标，地理坐标支持设置坐标系和坐标格式，如上图所示。

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

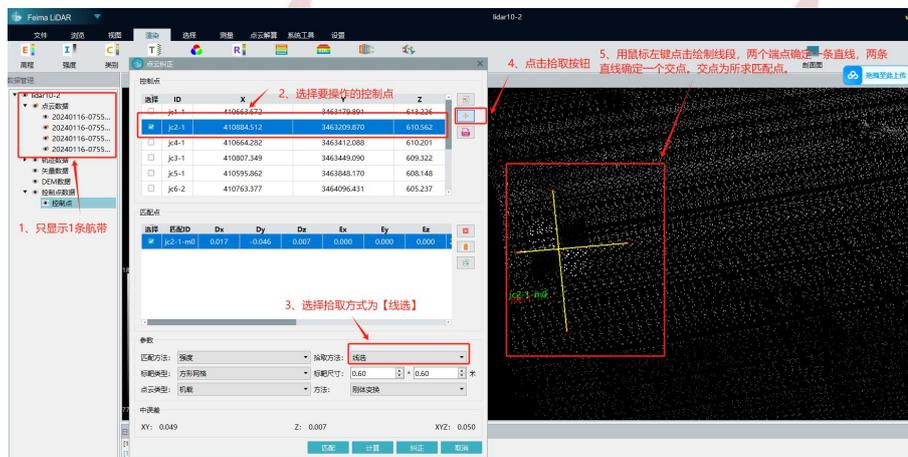
功能用于手动添加自动匹配异常的控制点。

2.3 参数设置

参数设置包括匹配方法、拾取方式、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 $D_x \setminus D_y \setminus D_z$ 值；

选择“计算”：计算匹配后精度，以 $E_x \setminus E_y \setminus E_z$ 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点进行点云纠正，合并前可以对数据进行必要预处理。

3.11 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。



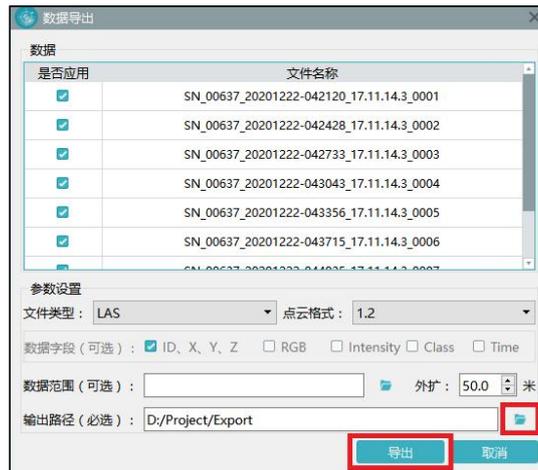


图 点云输出

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。

3.12 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。

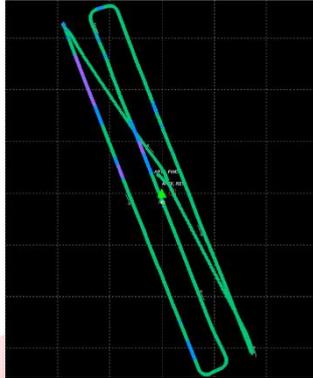
3) 如果数据较多，涉及到分区的数据（多架次数据进行的分区）：加入区块接边处的点云.fmi 及轨迹文件进行质量检查，若分层则将区块接边架次进行航带平差，并检查平差后相邻区块质量，不分层则进行步骤 4 的操作。

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。

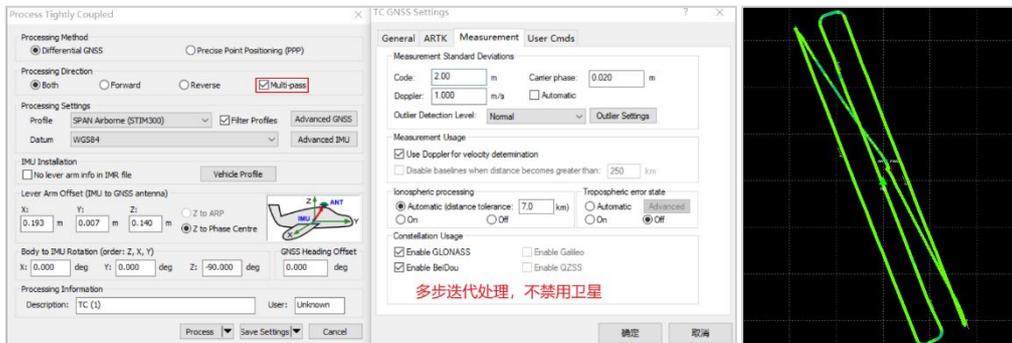
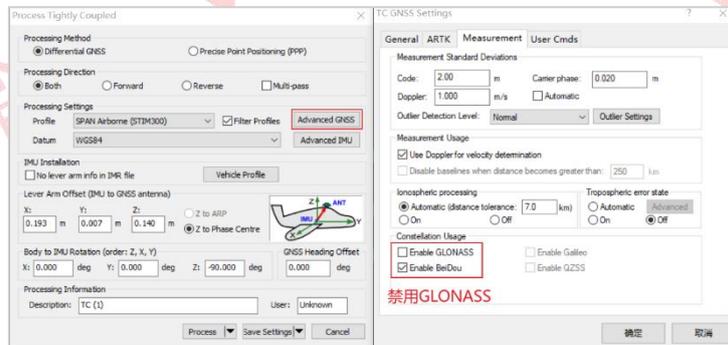
4.常见问题

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？



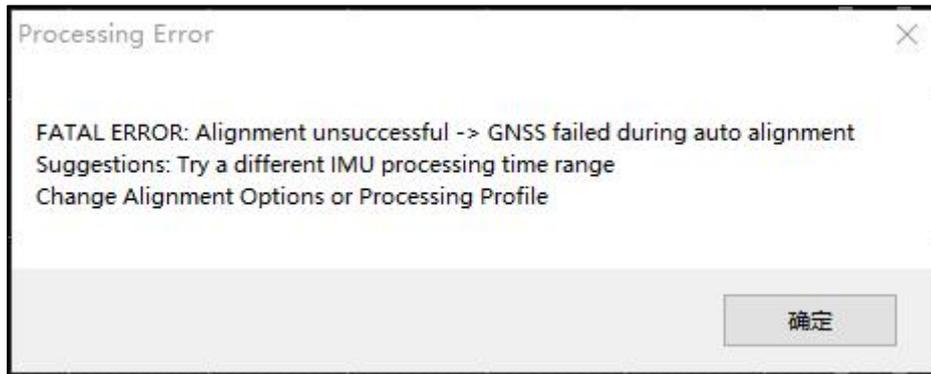
A: 可以按下图所示方式，调整 IE 紧耦合的参数，重新进行轨迹解算。



Q: 是否可以采用网络基站作业？

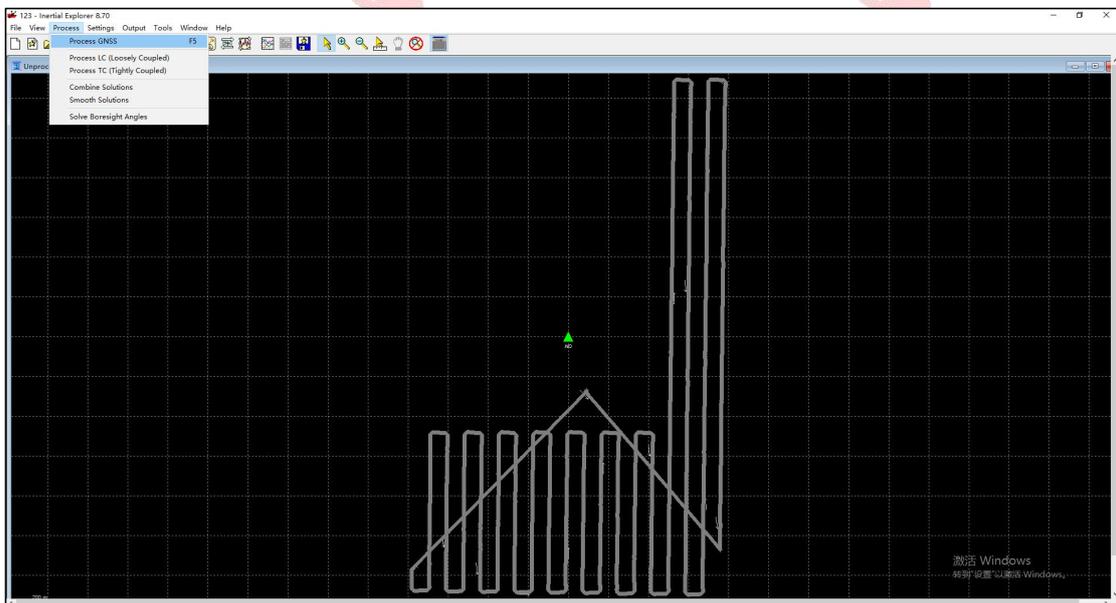
A: 可以，只需要开通飞马网络基站服务，收费标准咨询售后。

Q: IE 进行紧耦合差分计算时候出现如下提示，怎么办？

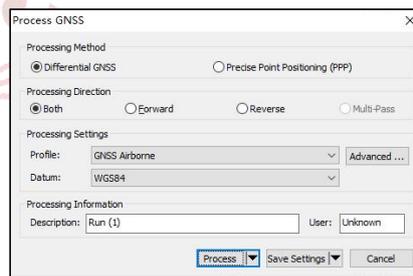


A: 出现此问题的原因可能是起飞降落后受到干扰，解决方法如下：

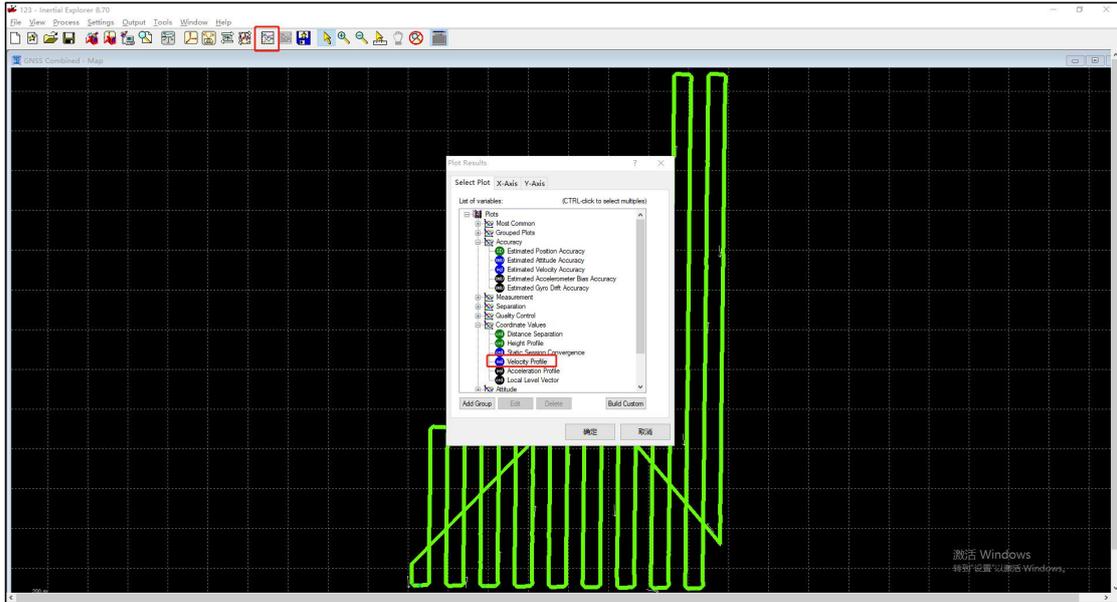
1) 添加完基站、流动站、imu 数据后选择【Process】 - 【Process GNSS】。



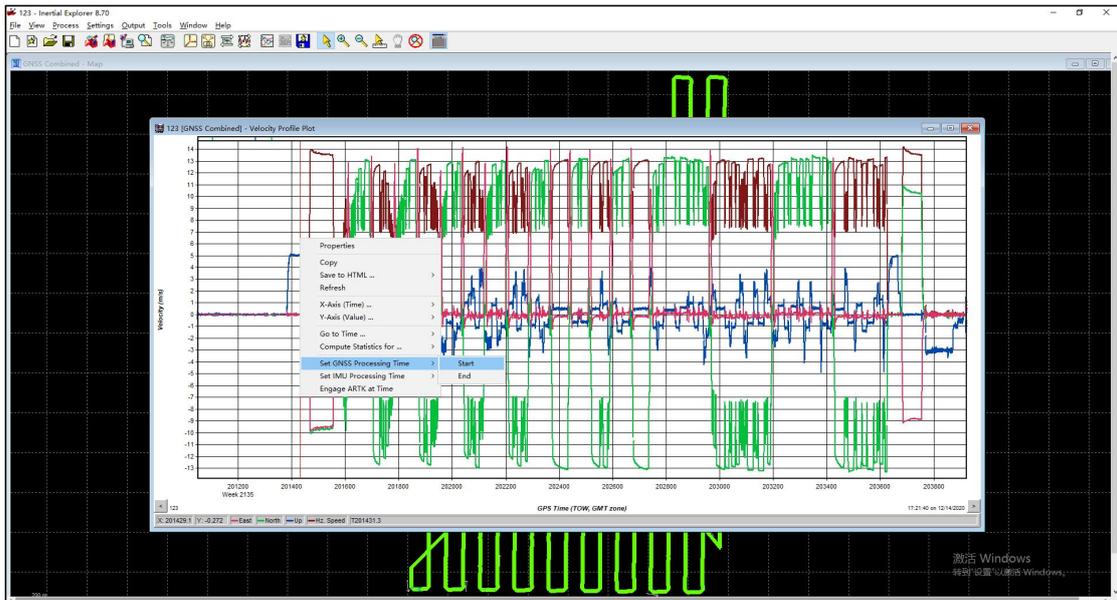
2) 按照默认设置点击【Process】开始处理，中途出现提示点击【Continue】。



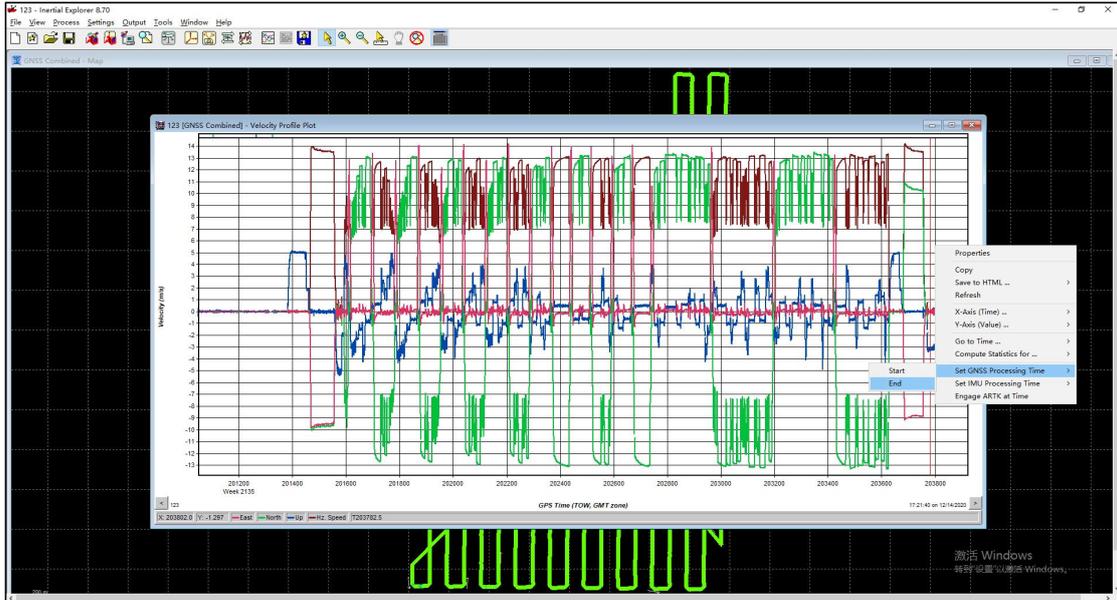
3) 处理完成后选择【Plot Results】 - 【Velocity Profile】。



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。



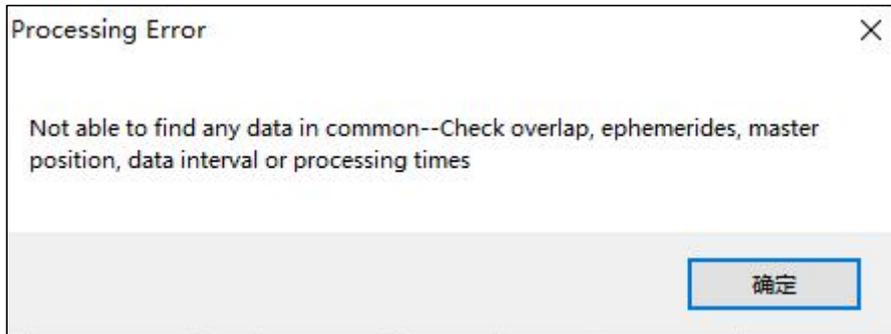
5) 鼠标右键点击降落时刻区域，出现红线，然后右键【Set GNSS Processing Time】- 【End】，设为终点。



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？

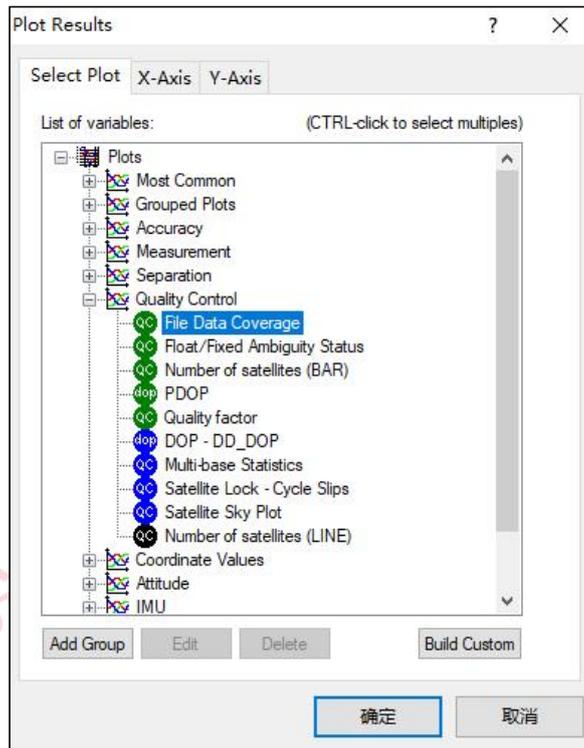


A: 出现此问题的原因可能是基站、流动站、IMU 时间不匹配，解决方法如下：

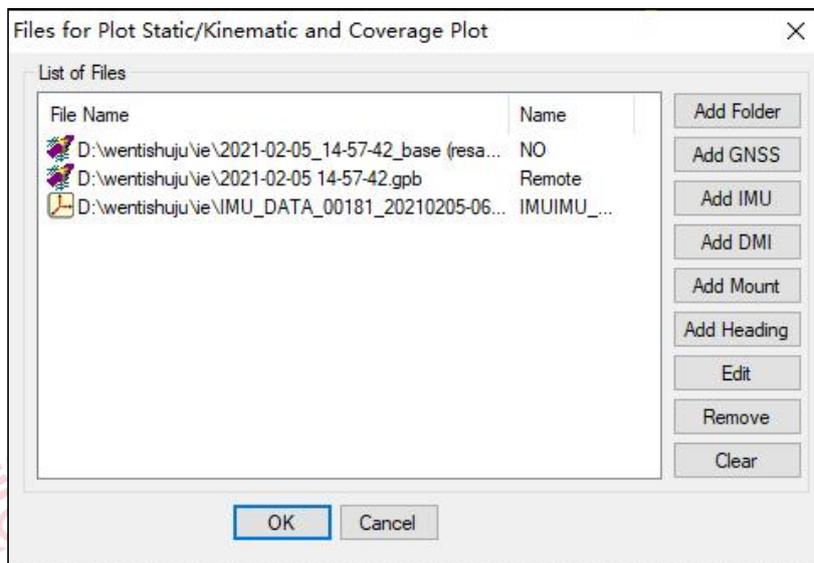
1) 添加完基站、流动站、imu 数据后，点击上方工具栏中的【Plot Results】



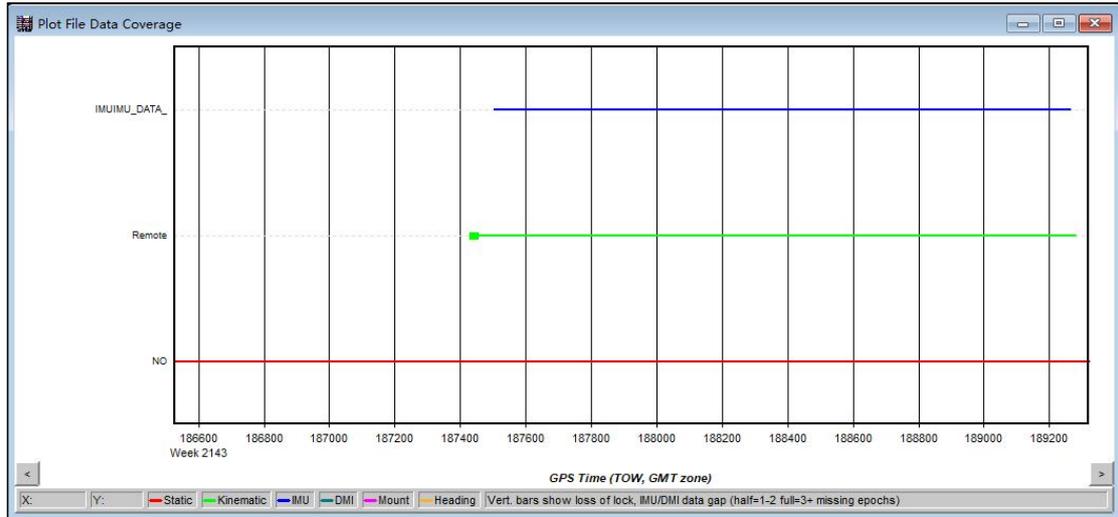
2) 打开【quality control】-【file data coverage】



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。

5) 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。

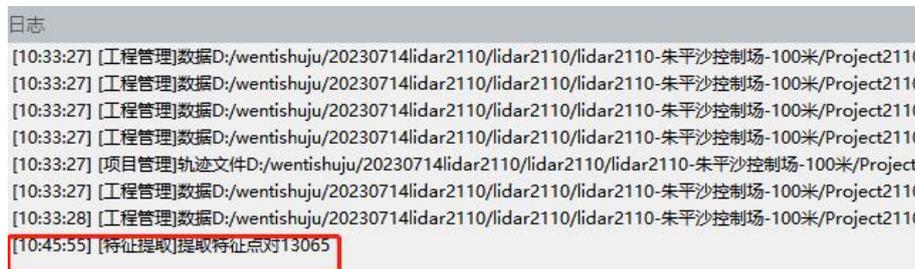
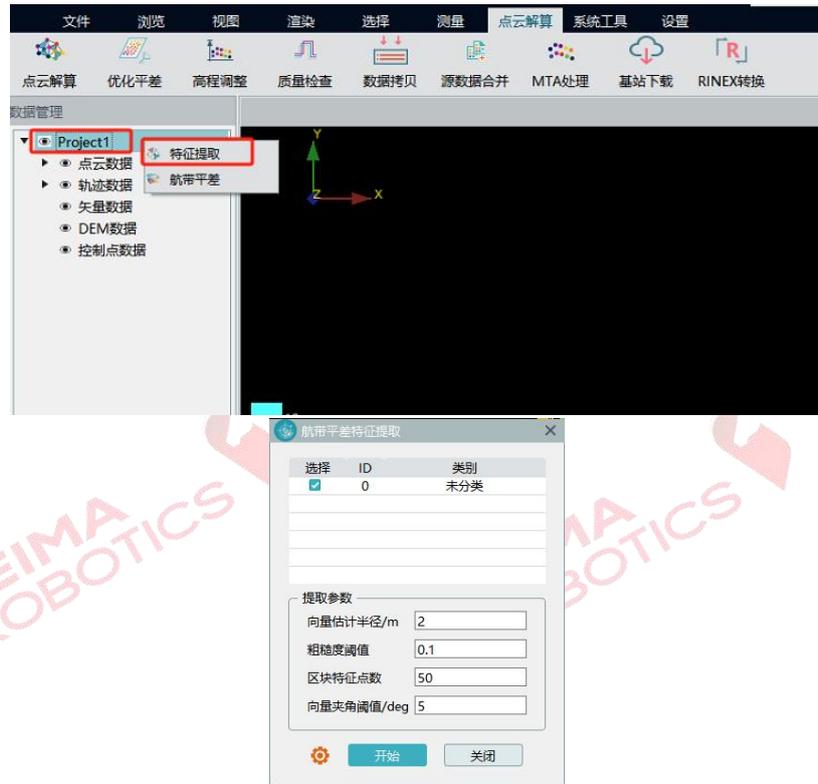


图 特征提取

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】；

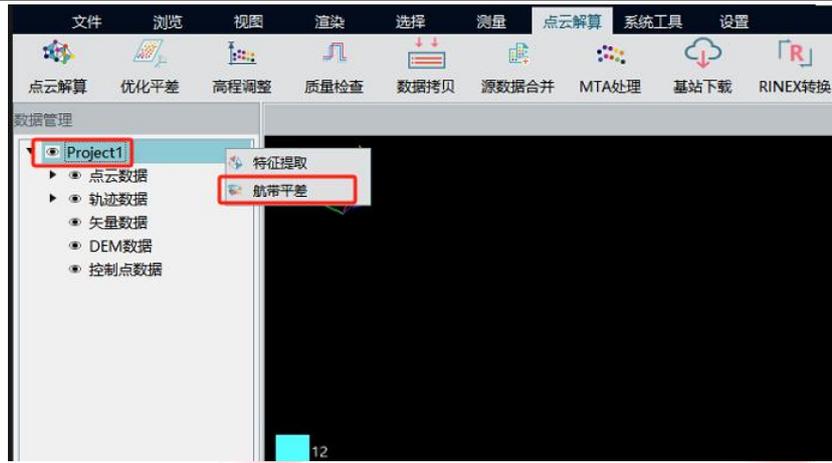




图 航带平差

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)。