

GTK-R15 航空物探行业解决方案



加泰科（深圳）科技有限公司

二〇一九年十月

目录

GTK-R15 航空物探行业解决方案.....	1
1 航空物探行业概况.....	3
2 CW-15 无人机航磁测量系统.....	4
2.1 飞行平台.....	4
2.2 传感器.....	7
2.2.1 单镜头全画幅正射航测相机.....	7
2.2.2 GTK-R15 型铷光泵航磁补偿测量系统.....	9
2.3 POS 系统.....	12
2.4 地面站 GCS-202.....	13
2.5 CWCommander 地面指挥控制系统.....	14
2.6 JoPPS 后差分 GNSS 数据解算软件.....	16
3 作业流程.....	18
3.1 航磁航线规划.....	18
3.2 执行航磁飞行.....	18
3.3 航磁补偿参数计算.....	19
4 应用案例：中国西南某地航空物探测量作业.....	21
5 CW-15 无人机检测报告.....	24
5.1 工信部检测报告.....	24



1 航空物探行业概况

航空地球物理探测技术，是地球物理勘探技术与航空技术相结合的一门高新技术。航空磁力测量是航空物探方法中使用时间最早、最成熟和最多的磁测方法，其将航空磁力仪及其配套的辅助设备装载在飞行器上，在测量地区上空按照预先设定的测线 and 高度对地磁场强度或梯度进行测量，并对测量数据进行分析，以便研究地下地质构造和寻找矿产。航磁测量可为矿产资源调查评价、海洋地质调查、工程地质和环境调查、基础地质与研究等应用提供有效信息和解释成果。

与传统地面磁测相比，航磁测量不受水域、森林、沼泽、沙漠和高山等地形条件限制，具效率高、成本低、便于大面积工作、探测深度较大等优点。同时由于飞行是在距地表一定的高度进行，从而减弱了地表磁性不均匀体的影响，能够更加清楚地反映出深部地质体的磁场特征。

传统的航磁测量设备体型大，重量重，价格高昂，且对飞行平台姿态和精度要求高，因此大多数采用固定翼、直升机以及动力三角翼等载人飞行平台；同时使用载人飞行平台作业成本高，风险大，飞行高度高，获取的数据分辨率和精度较低。

无人飞行器具有灵活机动、高效快速、精细准确、作业成本低、适用范围广、生产周期短的特点，可一定程度上突破自然条件和人类能力限制、代替工作人员进行远距离（难到达）和高危地区作业，能够在复杂地面和气象条件下执行飞行任务。结合高精度、高灵敏度航空磁力仪，可实现低风险、低成本、高质量航空物探测量作业，能有效拓展航空物探应用场景。

2 CW-15 无人机航磁测量系统

本系统飞行平台采用成都纵横大鹏无人机科技有限公司的CW-15无人机航磁测量系统,在继承CW-10航测系统优点的基础上,续航时间、载荷能力、航电设计等方面均有了进一步提高。其同时搭载铷光泵高精度航磁测量仪,以及4200万像素正射航测相机,不仅能获取高精度地磁数据,还可同时采集高分辨率正射影像数据,便于后期数据分析。极大地简化了航空物探测量作业,提高了作业自动化程度和成果精度水平,实现测量工期缩短、成本降低的目标,成为高精度、高效率、稳定可靠的航空物探利器。

2.1 飞行平台

CW-15纯电动垂直起降固定翼无人机系统,垂直起降、全自主飞行,操作简单;可配置多个任务模块舱,根据实际需求任务载荷等;机身结构高度模块化,各连接结构全部采用快锁装置;旋翼机臂采用折叠设计,无需拆卸,电气和机械连接一次同步,进一步提高可靠性和便捷性。拆解后可装入1400mm x 600mm x 550mm 包装箱,运输方便。



CW-15 大鹏无人机

CW-15大鹏无人机主要技术参数如下表所示：

项 目	参 数
最大起飞重量	16Kg
任务载荷	2.5kg
最佳巡航空速	65km/h
最大飞行空速	105km/h
垂直起降动力	电机
平飞动力	电机
续航时间	120min（搭载航磁传感器）
翼展	3.54m
机身长度	1.7m
实用升限	6500m
最高起飞海拔	4500m
使用环境温度	-30℃~50℃
垂直方向定位精度	3cm
水平方向定位精度	1cm+1ppm
起降方式	垂直起降
防雨能力	小雨小雪（降雨量≤10mm/24h）
抗风能力	6 级风
控制距离	30km
包装箱尺寸	1400mm x 600mm x 550mm

主要特点：

- 垂直起降：大大减小对场地的要求，无须依赖弹射架、降落伞等辅助设备；
- 全自主起降：一键起降，无需遥控器，安全简便，降落精度 10cm 以内；
- 大载重：最大任务载荷能力可达 2.5kg；

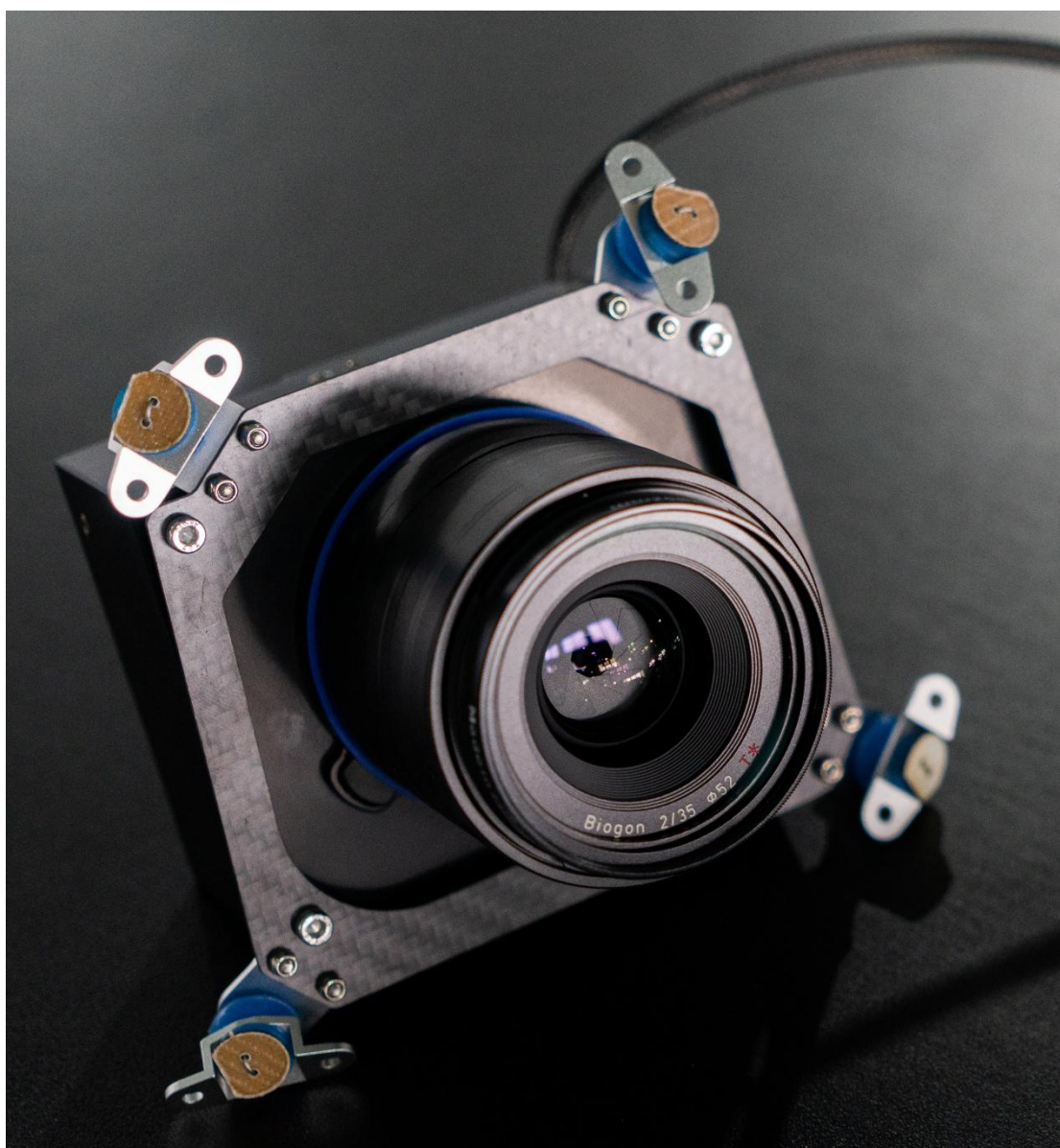


- 长航时：搭载正射或航磁设备，续航最高可达到 120 分钟；
- 效率高：最大作业续航时间可达 120 分钟，单架次可以完成 12 平方公里以上 1:500；30 平方公里左右 1:1000, 40 平方公里左右 1:2000 正射航测任务；
- 一机多用：飞行平台可配置不同任务模块舱，根据需求更换正射相机（4200 万像素全画幅相机或 1 亿像素中画幅飞思工业相机）、五拼倾斜摄影相机（总像素 1.2 亿半画幅相机或 2.1 亿全画幅相机）、多光谱、高光谱、航磁、光电吊舱与图传等，方便输出多种数据成果；
- 高原性能：可在 4500 米海拔正常起飞，巡航高度可达 6500 米；
- 折叠机臂：旋翼无需拆卸，通过折叠设计进一步提高可靠性和便捷性；
- 模块化设计：使用插销、卡扣、自锁装置，方便拆装；
- RTK/PPK：标配实时差分 and 事后差分两种模式同时使用。实时差分主要用于厘米级精准自主垂直降落，后期差分主要用于输出高精度 POS 数据，确保大量减免像控点；
- 姿态好：气动设计通过严格的风洞实验，飞行控制采用总能量自适应算法确保姿态稳定，以利生成高质量 DLG 成果；
- 曝光同步：确保延时控制在 10ms 以内；
- 双 GPS 冗余设计：确保飞行过程中若主差分 GPS 出现异常，可以平滑切换到备份 GPS，保障飞行安全；
- 双磁罗盘冗余设计：确保飞行过程中若内置出现异常可以平滑切换到备份外置磁罗盘，保障飞行安全。

2.2 传感器

2.2.1 单镜头全画幅正射航测相机

CA102正射航测相机是由成都纵横在常规数码相机基础上进行优化改装检校而来,该相机成像质量好、拍照间距短、体积小、重量轻,搭配21mm原装蔡司镜头,能实现低空航测作业,完全满足航磁测量低空作业需求。对地航高120米时,照片地面分辨率为3cm,且相片畸变小,能有效提高后期数据处理精度。



CA102 正射航测相机



CA102 正射航测相机集成于 CW-15 大鹏无人机

相机主要技术参数如下表：

项 目	参 数
型号	CA102
安装方式	内置固定
镜头焦距	21mm
传感器尺寸	35.9mm×24.0mm（全画幅）
曝光间隔	1 秒
总像素	4200 万
像幅	7952×5304
影像存储格式	RAW&JPEG
分辨率	3cm
存储容量	128G
存储接口	TF
尺寸	126.9mm×95.7mm×60.3mm
重量	582g（仅机身）
输入电压	10~28V
供电方式	外部供电

2.2.2 GTK-R15 型铷光泵航磁补偿测量系统

光泵磁力仪是以氦等气体以及碱金属钾、铷、铯等元素的原子在外磁场中产生的塞曼分裂为基础, 并采用光泵和磁共振技术研制成的磁力仪。光泵磁力仪是成熟商用总场磁力仪中精度最高的一种磁力仪。为了适合无人机搭载飞行, GTK-R15型铷光泵航磁测量系统集成了高精度磁通门三分量磁力仪, GPS, 激光高度计, 9轴姿态传感器, 气压高度计, 使用业内成熟的固定翼航磁补偿技术将飞行器机动飞行时, 对磁力仪探头产生的干扰去除掉, 该系统是目前国内投入实际应用的最轻型固定翼光泵航磁系统。

GTK-R15 型航磁测量系统, 从软件通讯到硬件集成, 深度融合于 CW-15 飞行平台, 为行业用户提供了航磁、航测一站式解决方案。深受业内专家好评。



GTK-R15 航磁补偿测量系统集成于 CW-15 大鹏无人机



铷光泵航磁测量传感器集成于左机翼



磁通门航磁补偿传感器集成于右机翼

GTK-R15型航磁测量系统主要技术参数如下表：

高精度民用光泵磁力仪

项 目	参 数
地面静态噪声水平	0.01 nT （四阶差分法，国标航磁一级）
分辨率	0.0001nT
灵敏度	≈> 0.02nT/ √Hz （0.1-100 Hz 频带, 功率谱）
测量死区	单一赤道平面, ± 7 度
量程	1000 nT - 100000 nT
电源及功耗	5V, 探头及频率计 2 W（工作） ， 3W（启动时）
工作温度	-30C to +60C
校准	不需要
最大梯度容差	1000 nT/cm
重量	18 g（探头）/100g(频率计数器) （未含连接线）
探头尺寸	19x19x47 mm（探头）

高精度磁通门矢量磁力仪

项 目	参 数
磁通门轴数	3（右手 XYZ 坐标系）
测量范围	$\pm 100 \mu T$
内部噪声：低噪	在 1Hz 时， $\approx 10pTrms/\sqrt{Hz}$
预热时间	15 分钟
偏移误差	在零场中 $\pm 100nT$
比例误差	直流时， $\pm 0.5\%$
偏移误差的温度系数	$1nT/^{\circ}C$
正交误差	轴间误差小于 1°
数字输出静态噪声水平	$<0.2 nT 5Hz$
数字采样率	10Hz-1Hz

微小型多路数据采集器及软件补偿系统

微小型多路 数据采集器	24 位高速 ADC 数据采集器, 4 核 ARM Cortex-A53, 1.2GHz CPU, USB 数据储存
	12 参数校正计算对磁通门磁力仪进行轴向干扰，比例系数，正交度误差和软铁效应的修正
	9 轴加速度计陀螺仪姿态角测量模块/气压计 分辨率：加速度： $6.1e-5g$ ，角速度： $7.6e-3^{\circ}/s$ 。 稳定性：加速度： $0.01g$ ，角速度 $0.05^{\circ}/s$ 。 姿态测量稳定度： 0.01°
航磁地面站系统	GPS 接收机 2m 精度，支持 GPS 及北斗导航卫星
	Windows 航磁数据记录处理软件，飞行后数据清理，数据分析，补偿参数计算磁通门磁力仪 12 参数数字补偿算法及光泵磁力仪补偿技术

该系统光泵补偿技术系统采用18项系数补偿算法，使用软件补偿方式对航空磁测数据进行补偿。系统使用矢量磁力仪的三份量作为姿

态因子，将飞行器的永久磁场，感应磁场和涡流磁场通过算法从总场中去除。在离地面尽量远的磁场平缓地带，根据预先四边飞行的数据，估算出18项系数。在随后的实际工作调查飞行中，使用18存储项系数来对采集到的数据进行软件处理。其补偿干扰改进比率（总场）为10-20倍（典型值，不同飞行平台结果不一，干扰越小的系统，改进比率越低）。

该系统磁通门补偿技术采用磁通门磁力仪12参数数字补偿算法，获得轴向干扰，比例系数，正交度误差和软体效应的12个修正参数，可对磁通门磁力仪输出的总场进行实时补偿。

2.3 POS 系统



PPS-100 差分记录仪模块

PPK/RTK GNSS 模块是成都纵横研制的工业级高精度差分 GNSS 模块，其主要技术参数如下表所示：

GNSS 技术参数	
跟踪通道	通道数 120 个 GPS L1, L2, L2C GLONASSL1/L2 GalileoE1
定位精度	H:10mm+1.0ppm×baseline V:15mm+1.0ppm×baseline

处理器和内存配置	
处理器	工业级处理器
内部 Flash 容量	1G Byte
更新速率	5Hz/10Hz/20Hz
存储格式	Binary
性 能	
存储容量	960M
数据存储时间	28H
数据读取速率	128KB/s
拍照触发方式	大于 150ns 的高电平触发
硬件接口配置	
PW/EVENT/DGNSS/ MCU/RS422/D0	1 个 Lemo 15 芯接口，用于电源输入、数据输入/输出、计算机通信、调试接口
天线接口	1 个外置天线接口
工作环境	
工作温度	- 20° C~60° C
存储温度	- 40° C~80° C

2.4 地面站 GCS-202



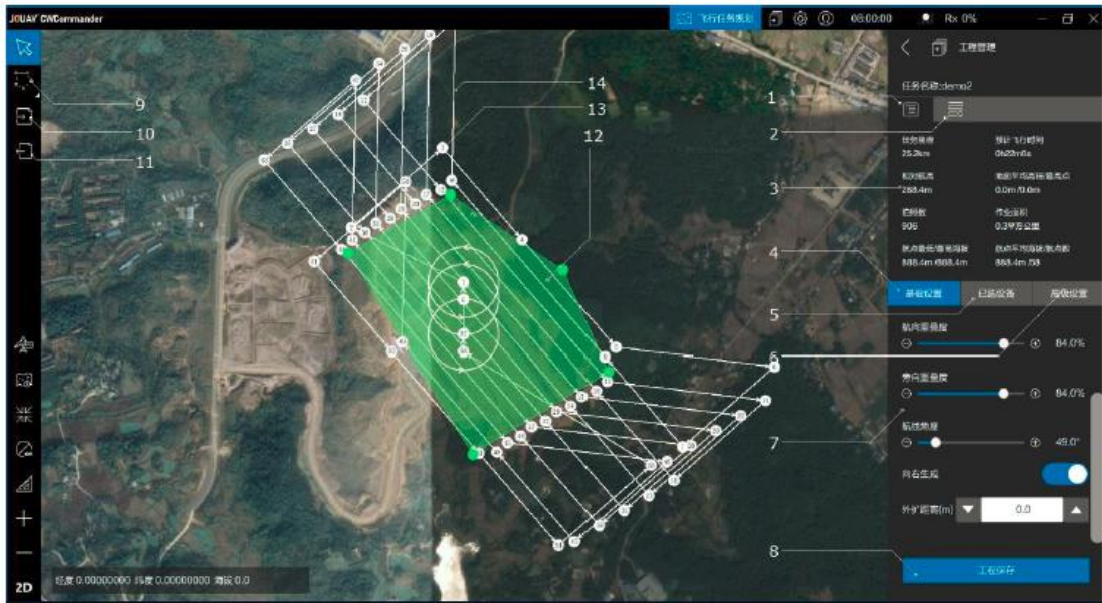
GCS-202 地面基站

GCS-202 地面站由成都纵横自主研发，用于实现地面控制系统与飞行平台实时数据传输，差分定位等功能，主要技术参数如下表所示：

项 目	参 数
输入电压	8~26V DC
功耗	<5W
外形尺寸	238.15×117.8×61.5mm
重量	557 克
存储环境	-55~+85° C
使用温度	-40~+70° C
跟踪通道	GPS:L1 C/A L2 C/A、P GLONASS:L1 C/A L2 C/A、P
定位精度	1cm+1ppm
储存容量	8G Byte NAND Flash
更新速率	5Hz
数据存储时间	≥200h
数据读取速率	128KB/s
续航时间	8h

2.5 CWCommander 地面指挥控制系统

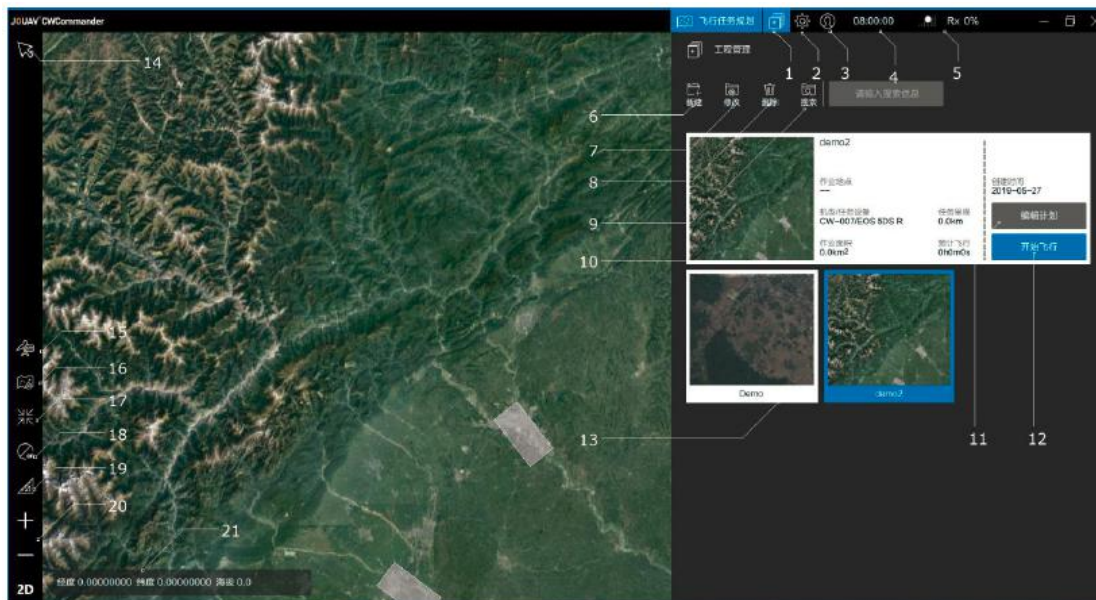
采用成都纵横开发的 CWCommander 地面站软件，完成飞行任务规划与执行。



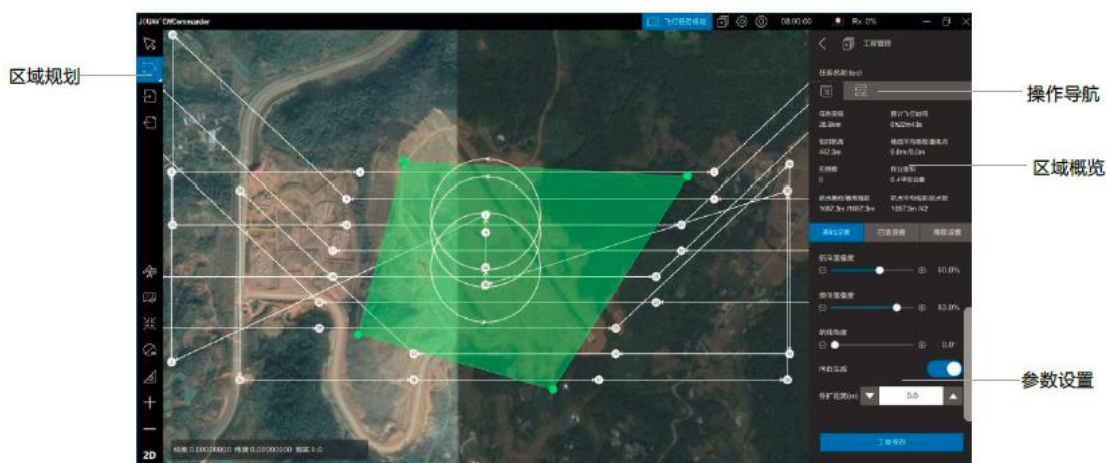
CWCommander 地面站软件

主要特点：

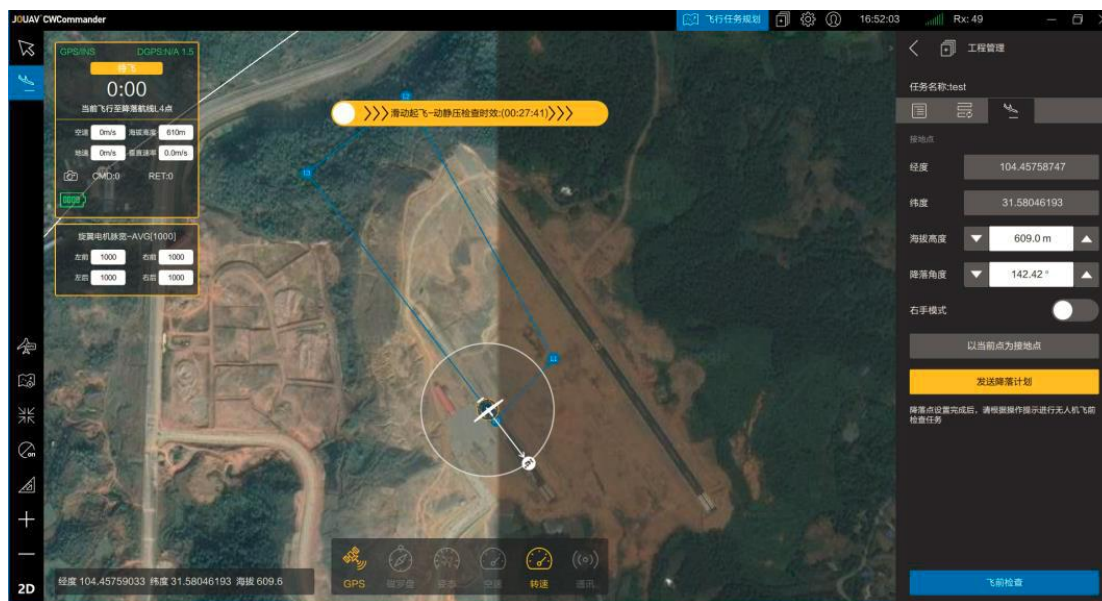
- 飞行任务工程化管理：可对任务工程新建、编辑、删除、查询。
选择工程可以进行流程化作业飞行；



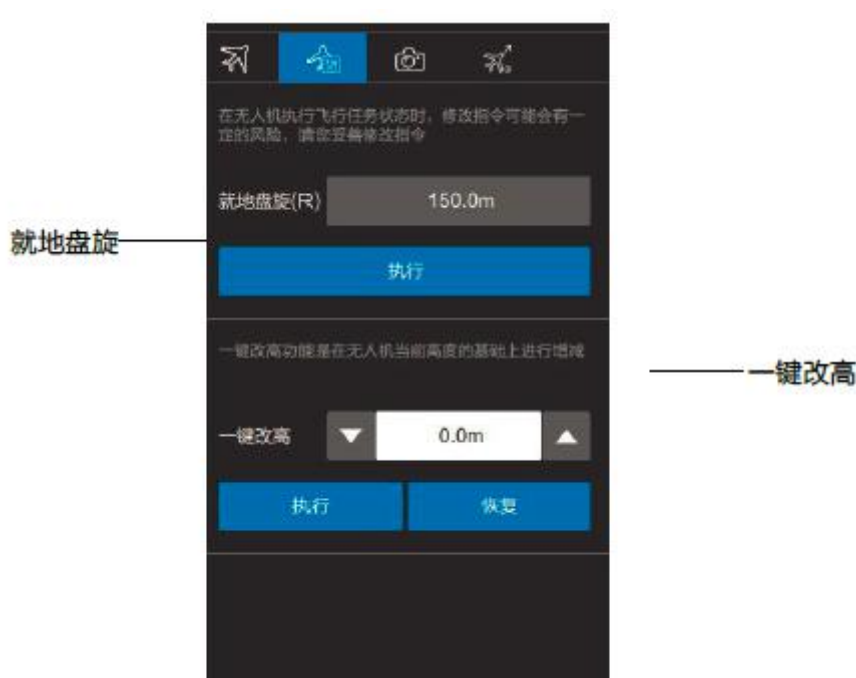
- 航线规划简捷：使用 CWCommander 的自动生成计算功能，只需要在地图上设计覆盖任务区域，系统自动根据相关参数进行航点优化计算。对于复杂地形，可以设置多边形区域，软件根据高程自动调整基准面（*需有离线高程数据文件）；



- 飞行流程管控智能化：飞前检查完成，整个系统满足起飞条件，起飞按钮将自动显示，向右滑动起飞按钮发送起飞指令。滑动起飞按钮之后系统内部将进行航线安全检查，确保安全。



- **快速响应机制：**在飞行过程中可对无人机快速调整，包括就地盘旋、一键改高等指令。



2.6 JoPPS 后差分 GNSS 数据解算软件

采用成都纵横自主研发的 JoPPS 后差分 GNSS 解算软件，完成后差分 GNSS 数据的解算，提供高精度的 GNSS 数据解算结果。

JoPPS 后差分解算软件

3 作业流程

3.1 航磁航线规划

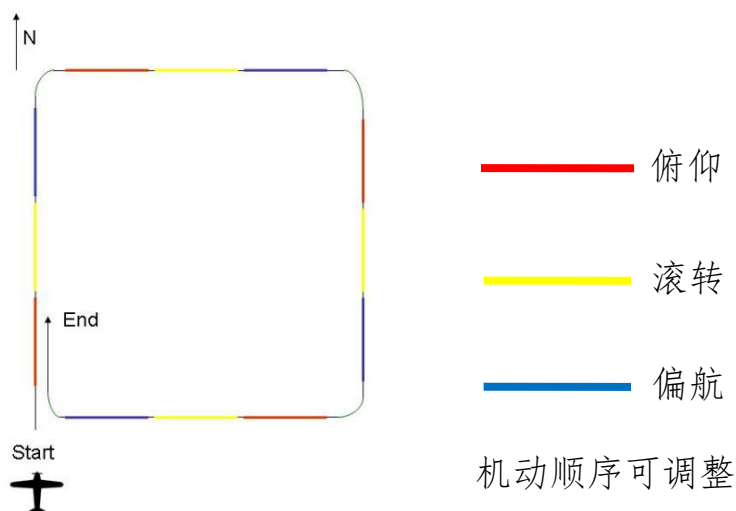
- 寻找地磁变化平缓区域，规划航磁四边飞行 FOM 航线，设置飞行高度设置相关机动参数；
- 规划十字线或三叶草飞行航线；
- 根据任务规划航磁测线航线；
- 测区范围确定原则上按航空磁测任务和飞行条件、工作地区自然条件、工作量等来确定测区的角点坐标。

测线间距、飞行高度和测量比例尺相关，其对应具体关系如下表：

测量比例尺	测线间距/m	平均飞行高度/m
1 : 5000	50	70 - 125
1 : 10000	100	
1 : 20000	200	
1 : 25000	250	
1 : 50000	500	70 - 140
1 : 100000	1000	80 - 170

3.2 执行航磁飞行

在进行航磁补偿参数计算时，需在地磁变化微小的区域，在至少高于地表 500 米以上的高空，在 0° , 90° , 180° , 270° 四个方向上做定点机动，记录航磁数据，如下图所示。进入机动前导距离 400 米，保证飞机状态稳定后机动操作进行每个飞行方向上 3 个俯仰（机动角度 $\pm 5^{\circ}$ ）、3 个滚转（机动角度 $\pm 10^{\circ}$ ）和 3 个偏航（机动角度 $\pm 5^{\circ}$ ）的机动，动作周期 2 秒，动作间隔 1 秒。软件计算出相应的航磁补偿参数，评估航磁补偿结果。航磁补偿结果达到要求后再沿设计测线飞行采集，直至完成所有测线，单一飞行试验结束。



四边 FOM 飞行定点机动设置

当磁力仪在完成空中自动补偿取得合格补偿参数后, 为了检查磁补效果, 通常采用十字线或三叶草飞行航线, 同一航线上不同朝向, 进行飞行检查。检查探头(有时两个以上)在确定中心点位置上, 八方向或四方向过中心点时的磁场数值, 以确定方向差(偏向差)是否被补偿。

试验过程时, 需始终采集磁日变记录。

3.3 航磁补偿参数计算

飞行后获取采集器上 U 盘航磁数据, 使用航磁处理软件对原始航磁数据进行日变改正, 将四边飞行 FOM 航线的数据导入航磁处理软件航磁补偿参数计算模块中, 设置相关参数计算补偿参数, 获得补偿参数文件及补偿评判结果。

- 磁补偿质量评价参数, 各系统具有一项或多项补偿参数:
- 未补偿的总场算术平均值;
- 经过滤波后, 未补偿的总场标准偏差;
- 经过滤波后, 补偿后的总场标准偏差;
- 提升比例 (IR) 值(为上述两项补偿前后标准偏差的比值即改善率);
- 补偿后标准差在 4 个成 90 度的方向上如 (0° 、 90° 、 180° 、



270°)做侧滚、俯仰、侧滑动作和转弯期间补偿后剩余的
标准差(均方差);

- 品质因数FOM(figure of merit)即通过4个航向如(0°、90°、180°、270°)上进行摇摆、仰俯、偏航所求得12个峰值的总和。

如果补偿评判结果达到要求,根据补偿参数文件对十字线或三叶草飞行航线以及任务规划航磁测线数据进行飞行后补偿计算。进一步判定补偿后数据质量。

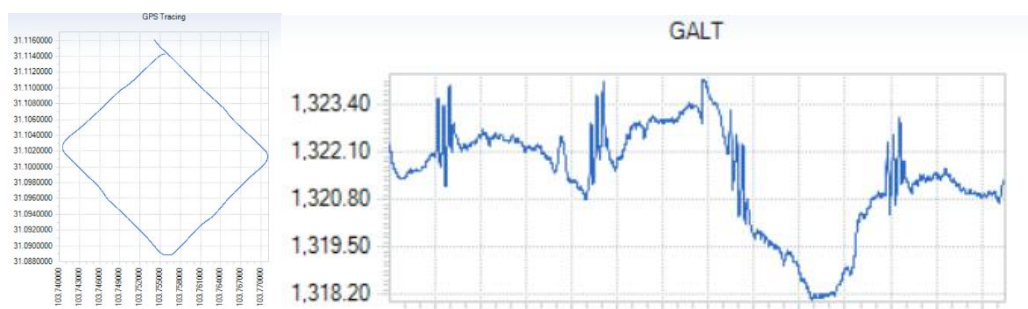
如果判定补偿后数据质量达到要求,可以根据需要或者条件,使用第三方成图软件如 Surfer 或者 Oasis 进行航磁图生成。

在确定航磁参数后,如果无人机系统内无零部件变化,在同一地区可一直采用该套参数。由于无人机需要切换电池,电池位置和摆放方向等需要标记并保持一致。

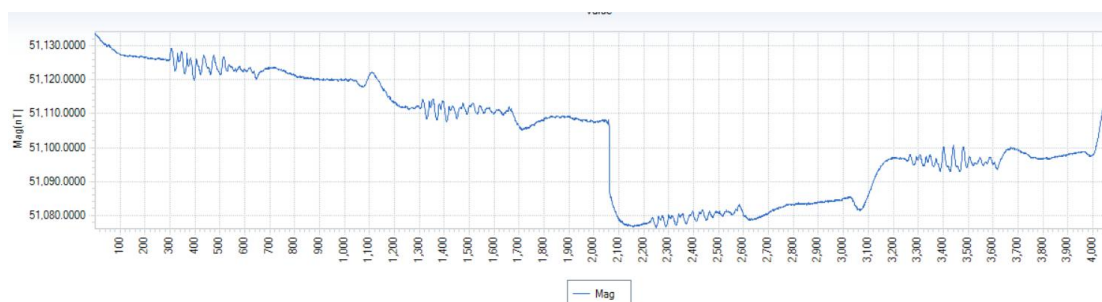
4 应用案例：中国西南某地航空物探测量作业

此次作业采用 CW-15 飞行平台搭载 GTK-R15 型航磁测量系统，航磁输出速率为 10Hz；飞机设定飞行空速为 20m/s。

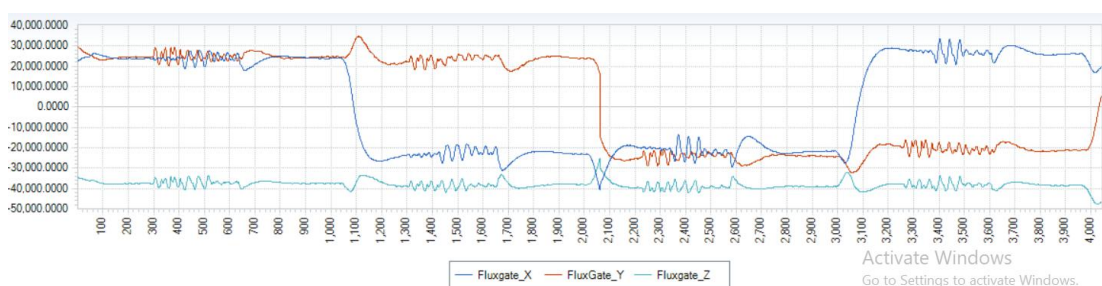
四边 FOM 飞行，设置对地航高为 500m（FOM 飞行在空域及无人机状态允许条件下越高越好），实际飞行 GPS 轨迹和 GPS 高度如下图：



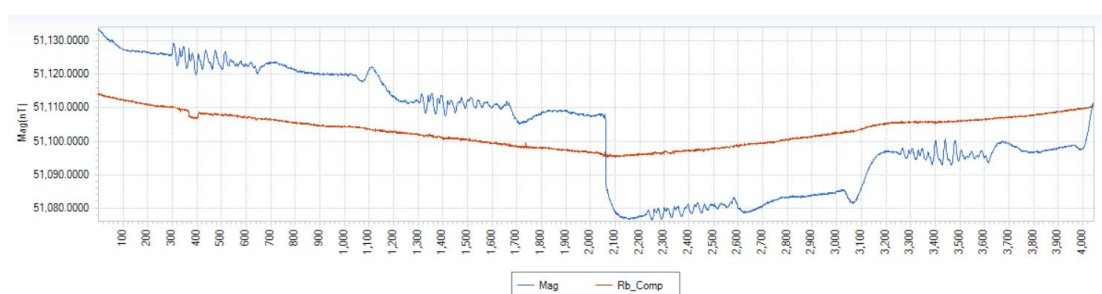
FOM 飞行光泵原始数据如下图：



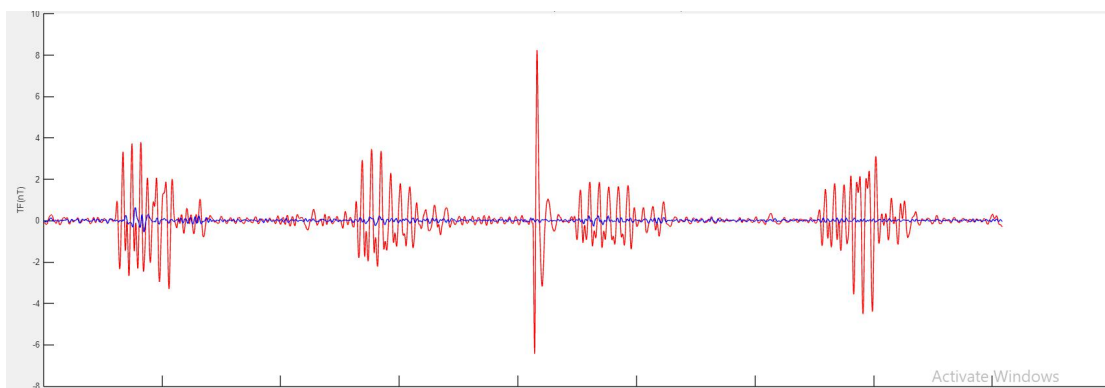
FOM 飞行磁通门原始数据如下图：



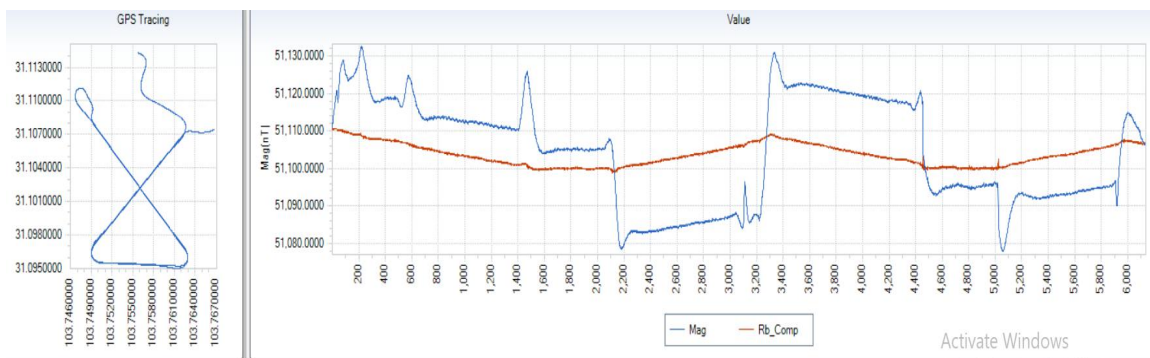
FOM 飞行原始数据和补偿后数据对比如下图（蓝色为原始数据，红色为补偿后数据）：



补偿提升比例为 12.5，四边剩余标准差为 0.05nT（红色显示由于飞机机动造成的干扰，蓝色显示补偿后剩余干扰）。

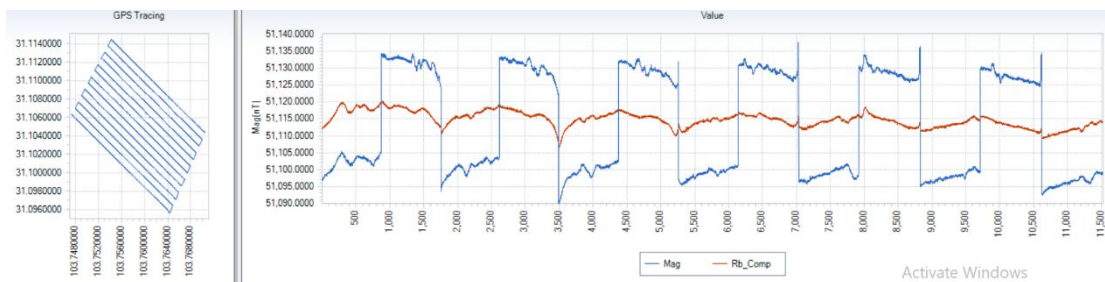


十字航线飞行，设置对地航高 500m，使用计算参数对十字线飞行做补偿后数据对比如下图：



两次航迹重叠相同高度，飞行方向相反的十字线飞行数据补偿后显示图形非常对称，曲线光滑，补偿效果良好，无数据滞后或其他异常情况。

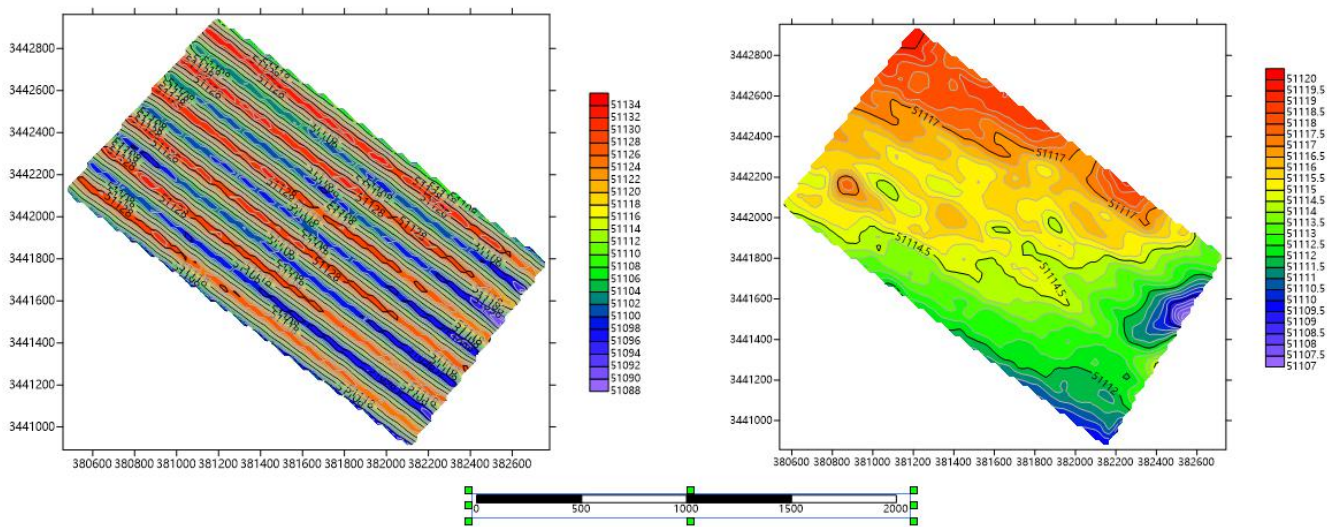
航磁测量飞行，设置对地航高为100米，设置航线间距为100m，测区单条航线长度2km，测量比例尺1:10000。测得的数据如下图所示（蓝色为原始数据，红色为补偿后数据）：



此次航磁测量作业数据结果显示：使用计算参数对 13 条航磁测线进行补偿计算后，由系统和无人机平台产生的方向误差和机动干扰

被有效去除。

原始数据和补偿后的网格数据图对比如下图所示：



5 CW-15 无人机检测报告

5.1 工信部检测报告

报告编号	T1906WT8888-02334
总页数	共 12 页



中国认可
国际互认
检测
TESTING
CNAS L0462

检 验 报 告

(本报告未经允许不得部分复制)

产品名称: 大鹏无人机系统

型号规格: CW-15

检验类别: 委 托 检 验

生产单位: 成都纵横大鹏无人机科技有限公司

委托单位: 成都纵横大鹏无人机科技有限公司



工业和信息化部电子第五研究所
中国赛宝实验室 赛宝质量安全检测中心

工业和信息化部电子第五研究所
中国赛宝实验室 赛宝质量安全检测中心
检 验 报 告

报告编号：T1906WT8888-02334

第 3 页共 12 页

产品名称	大鹏无人机系统	样品型号	CW-15
		商 标	/
生产单位	成都纵横大鹏无人机科技有限公司	检验类别	委托检验
委托单位	成都纵横大鹏无人机科技有限公司	检验地点	详见说明
生产方地址	成都高新区天府五街 200 号 6 号楼 A 区 7 楼		
委托方地址	成都高新区天府五街 200 号 6 号楼 A 区 7 楼		
送样数量	1 套	送 样 日 期	2019 年 6 月 26 日
送样者	委托单位	完 成 时 间	2019 年 7 月 18 日
检验环境	温度：15℃~35℃ 相对湿度：45%~75%		
检验项目	1) 几何尺寸、2) 重量、3) 垂直起降、4) 续航时间、5) 抗风等级、6) 自主飞行、7) 安全性能、8) 高温试验、9) 低温试验		
检验依据	1) GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温； 2) GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温； 3) 委托方技术要求*		
检验结果	所检项目检验结果见第 5 页至第 9 页所示。		
检验结论	合格		
说 明	1) 标“*”的检验依据不在本实验室 CNAS 认可和 CMA 认定范围内。 2) 检验项目 1~7 测试地点为：四川省绵阳市北川县通航机场；检验项目 8~9 测试地点为：本实验室。		

主检：王振

审核：周发杨

批准：[Signature]

职务：主任

日期：2019 年 7 月 18 日

日期：2019 年 7 月 18 日

日期：2019 年 7 月 18 日