



## 加泰科 GTK-R15 总场铷光泵、矢量磁通门双补偿航磁航测 移动起降垂起固定翼无人机物探平台简介

### 入选 2019 年度中国海洋十大科技进展设备

21 世纪是海洋时代。获得高空间分辨率的海洋磁场异常图是前沿科学与技术难题。

2019 年底,我国首次研发成功远洋垂起固定翼无人机磁测系统。该系统突破了机船动态模式下的起降问题,克服了测量平台上的电磁干扰,

实现了多种磁力仪系统的集成数据采集,标志着我国在海洋物理探测领域的又一重大突破。与传统的船载磁测技术相比,该系统的测量效率可提高一个数量级,性能国际领先。该系统将全面提升海洋磁测模式,大力推动洋壳结构、洋中脊演化与海洋考古等重大科学研究。同时,该系统还适合大面积的海洋矿产资源勘查,为我国占领国际海洋资源制高点提供了新的技术保障,为推动我国海洋事业发展做出重大贡献。

### 1 铷光泵总场、磁通门矢量磁力仪双补偿海洋航磁物探系统

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 铷光泵航磁测量系统采用微机电技术实现的芯片级原子光泵磁力仪,集成了高精度磁通门三分量

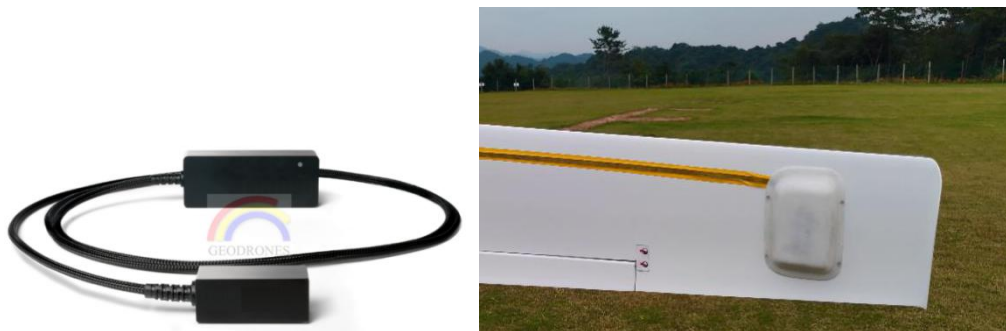


磁力仪, GPS, 激光高度计, 9 轴姿态传感器, 气压高度计, 使用加泰科发明的专利固定翼航磁补偿技术, 实时或飞行后补偿方法将飞行器机动飞行时, 对磁力仪探头产生的干扰, 采用软件补偿的方法去除掉。该系统是目前已知商用的最轻型的垂起固定翼无人机光泵航磁补偿系统。

该航磁补偿系统, 从软件通讯到硬件集成, 深度融合于 CW-15 飞行平台中, 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。



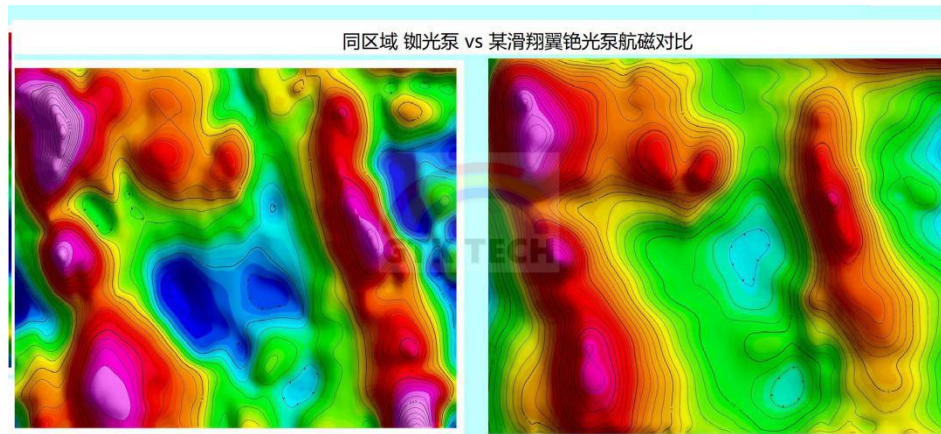
铷光泵/磁通门磁力仪双补偿系统集成于 CW-15 大鹏无人机



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



铷光泵航磁测量系统主要技术参数如下表:

### 1.1 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	$\approx > 0.02\text{nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ (0.1-100 Hz 频带, 功率谱)
测量死区	单一赤道平面, $\pm 7$ 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)



## 1.2 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, $\approx 10pT_{rms}/\sqrt{Hz}$
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 $1^{\circ}$
数字输出静态噪声水平	$< 0.2 nT 5Hz$
数字采样率	10Hz-1Hz

## 1.3 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: $0.01^{\circ}$
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数字补偿算法及光泵磁力仪双补偿技术

## 1.4 专利光泵磁通门双补偿技术

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。

#### 1.4.1 总场光泵航磁补偿性能

干扰改进比率 (总场): 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)

#### 1.5 矢量磁通门补偿技术

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 移动起降垂起固定翼无人机飞行平台

移动起降版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。





移动起降版 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:

- 移动平台垂直起降: 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, 成熟海洋移动平台起降能力;
- 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;
- 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, 以利生成高质量航磁成果;

## 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



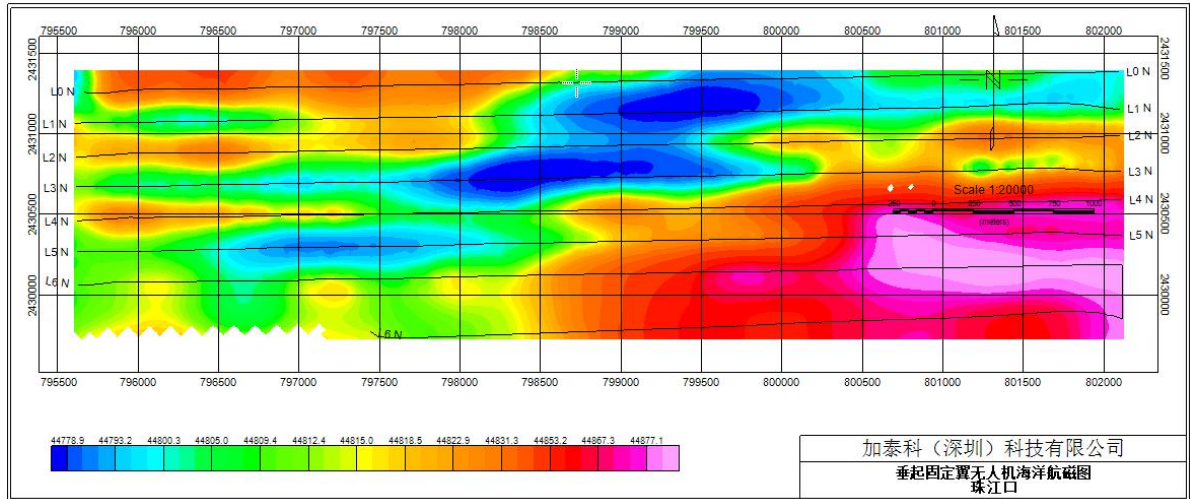


### 3 应用案例：海上移动起降航磁测试

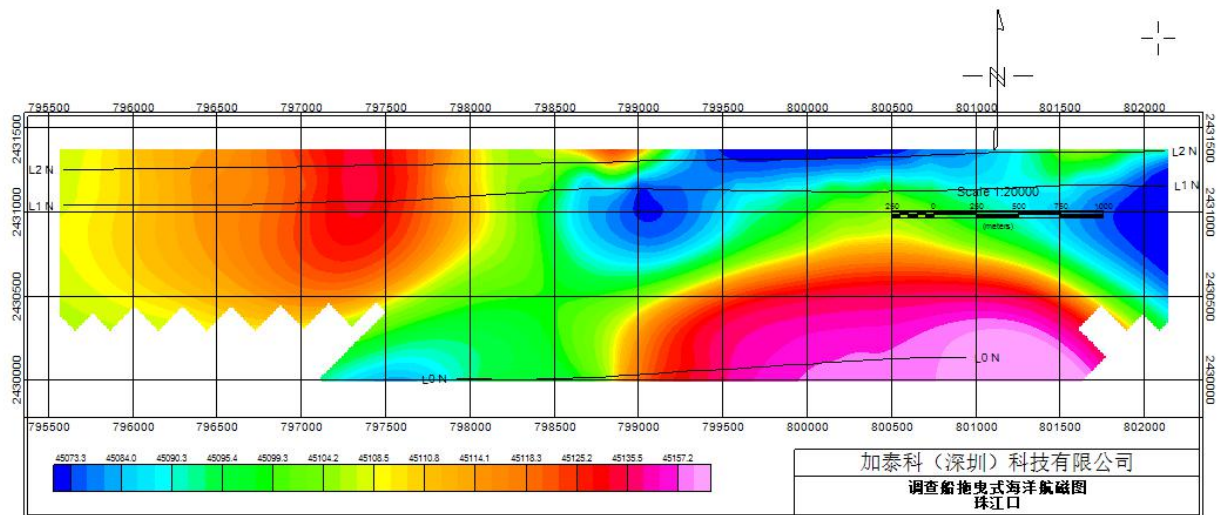
#### 海洋六号船磁无人机航磁联动测试项目：

①无人机在调查船平台上的定点起降；②无人机海上航磁补偿测试；③无人机海上航磁探测；④无人机在海洋六号船磁测航行中起降，并同步开展“海-空”磁测的系统联动试验。

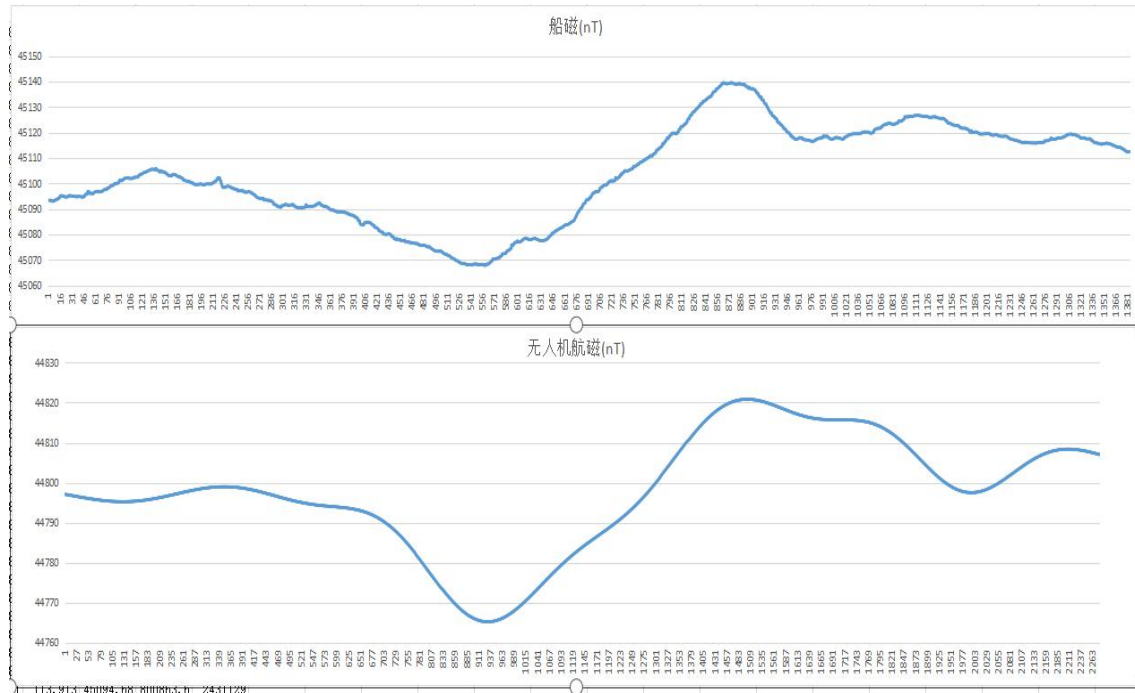
无人机航磁总场如下图（去除了海面船体磁性干扰）：



调查船拖曳式海洋磁力如下图



选取测线 L2 做剖面对比图



无人机飞越调查船 100 米上方附近产生的异常特征明显



船用垂起固定翼无人机航磁与拖曳式航洋磁测对比:

	拖曳式航洋磁力仪	船用垂起固定翼无人机航磁
航行速度	15km/h	72km/h
测量高度	水下	水上 80-100 米
使用燃料	柴油	电池
操作团队	多人操作	2-3 人/架
使用成本	高	非常低
特点	有拖缆, 无盲区, 无指向误差, 无温度效应误差, 无环境使用条件限	不干扰船上作业, 有磁补偿功能, 光泵总场及磁通门矢量磁场, 可多架次协同操作提供效率, 操作简单方便。