

# 无人机+航空高光谱研究及应用前景

姚佛军 耿新霞 徐胜艳 王辰泽 刘春

【中国地质科学院矿产资源研究所 北京欧普特科技有限公司】，【金盛时代（天津）科技股份有限公司】

## 摘要：

本文主要介绍 Headwall Co-aligned 400~2500nm 高光谱成像仪搭载在飞马 V10、D20 无人机上的应用，飞马 V10、D20 机型很好地解决了大载重、长航时飞行平台的应用问题，让大面积、高质量的高光谱应用普及得以实现。高光谱数据凭借其灵活机动、高分辨率、云下作业等特点广泛应用于农业、林业、军事、地矿、应急、国土规划等多个领域。飞马 V10、D20 无人机+高光谱成像仪，作业区成像扫描式快速获取地物反射率数据，借助成像仪自带高精度惯导（IMU/GPS）纠正成像畸变，从而实现无损、原位、高效、准确地识别地物。

## 关键词：

无人机；高光谱成像仪；co-aligned；光谱指纹

## 1 引言

V10/D20 是飞马机器人全新研发的大载重、长航时、多功能、高精度、高效率无人机系统——V10 为大载重垂直起降无人机系统 D20 为大载重旋翼无人机系统。两款无人机系统主打“大载重、长航时”，延续飞马机器人产品的工业化、模块化设计，使用可通用的智能动力电池与高端载荷设备，可搭载可见光航测模块、可见光倾斜模块、可见光视频模块、热红外相机模块、热红外视频模块、多光谱模块、高光谱模块、激光雷达模块、合成孔径雷达模块以及部分组合模块，均搭配高精度差分 GNSS 板卡，标配网络 RTK/PPK 及其融合解算服务，支持高精度 POS 辅助空中三角测量，具备无控制点的 1:500 大比例尺成图能力，实现免像控应用；均配套“无人机管家专业版（测量版）”软件，支持基于精准三维地形、满足各种应用需求的智能航线与联合航线规划，具备精准地形跟随飞行与三维实时飞行监控能力；支持 GPS 融合解算、控制点量测、空三解算、一键成图、一键导出立体测图、高精度组合导航轨迹解算、点云处理与分类等功能，提供 DOM、DEM、DSM、TDOM、LAS 点云等多种数据成果处理及浏览。

HeadWall Co-aligned 400-2500nm 高光谱成像仪是美国 HeadWall 公司生产的全光谱成

像仪，是目前国内唯一一台无人机机载 400-2500nm 成像仪。HeadWall 公司主要生产光栅、光谱仪等产品，广泛应用在遥感、军工国防、机器视觉和生物医药等领域。HeadWall Co-aligned 400-2500nm 成像方式为经典线扫推成像，每个像元对应一条真实采集的准确光谱。采用全反射同心光学设计，结构紧凑，杂散光更少，信噪比更高，没有机械快门等可移动部件，抗冲击性强，图谱合一，每个像素均为真实采集的光谱，光谱分辨率高，光谱特征信息更为丰富可靠，通过相差校正图像的 smile 与 keystone 畸变降到最小，使用原始的刻划光栅减少了噪声，整套光谱仪系统体积小，集成度高，可以适配激光 Lidar 同步获取高光谱与点云数据，还可以进行两种数据融合的处理。HeadWall Co-aligned 与常见的高光谱仪相比较阿具有以下优势：（1）波段范围宽，波段范围 400-2500nm；（2）设备轻，仅重 2.8kg；（3）集成度高，仪器集成了高精度惯导、400-2500nm 成像仪、激光 LIDAR；（4）真实采集地物的光谱。

## 2 高光谱特征

不同物质的分子、原子、离子构成不同，在同一光谱范围内反射或吸收的光能量分布也不同，从光谱曲线的特征来看，物体反射或吸收光谱曲线与随波长变化而显示有规律的变化，即光谱曲线上有特征的波峰与波谷，高光谱成像仪可以识别这些能量的差异，与人的指纹类似，基于不同物质的“光谱指纹”，通过对光谱数据进行光谱特征分析，提取光谱特征参数，进而实现研究对象的鉴别、区分。

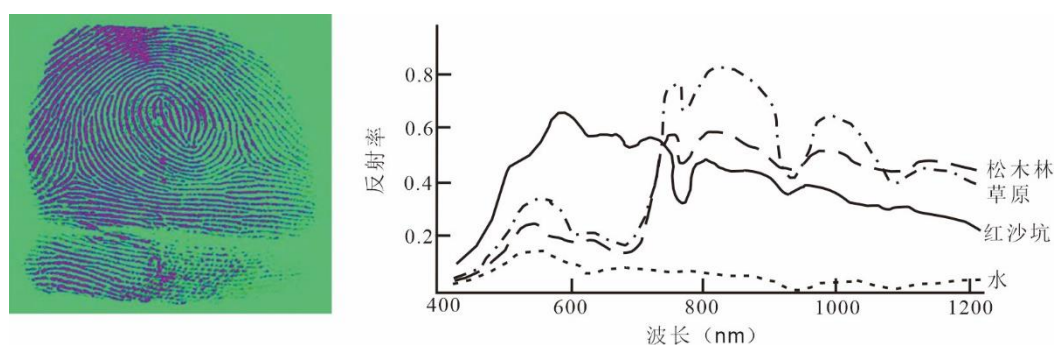


图1 地物的光谱指纹

HeadWall Co-aligned 获取地物 400-2500nm 的可见-短波红外光谱信号，根据地物光谱指纹，可以进行快速的地物信息提取和分析，如蚀变矿物、污染物、伪装物、植被等类型地物的信息提取等。

### 3 无人机高光谱作业流程

无人机高光谱作业流程是从工作目的任务出发,选定目标区域,根据目标区的面积大小,机型选择多旋翼或固定翼无人机,并规划无人机的航线。成像仪的数据采集方式为相机连续推扫式获取地物光谱,飞行任务完成后下载 VNIR、SWIR 和惯导数据,然后通过技术手段将反射光谱数据转换为图像进行显示,接着对高光谱数据进行预处理,根据光谱指纹特征光谱及地面地物光谱数据,建立地物光谱特征识别模型,然后对未知区域进行反演预测,具体流程图见图 2。

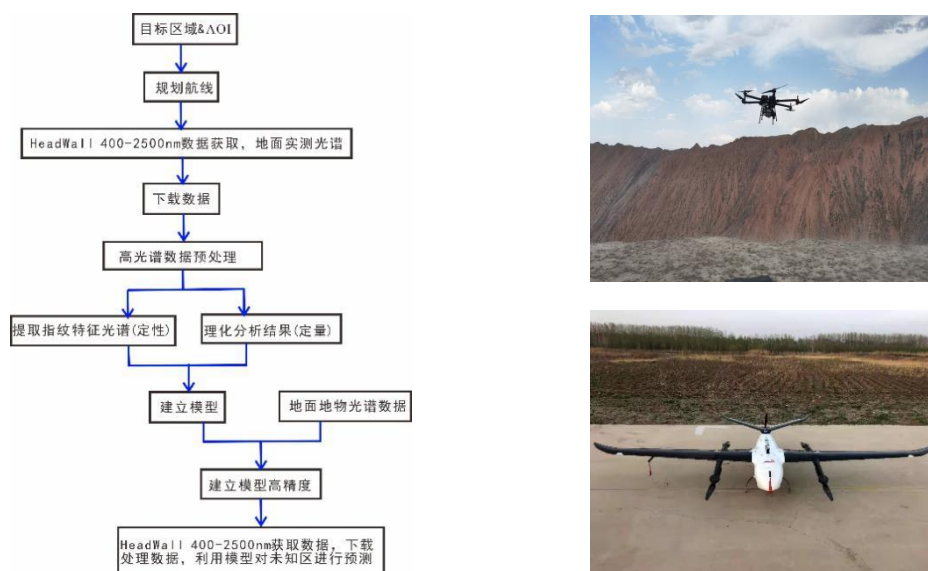


图 2 无人机高光谱处理流程

## 4 高光谱成像特征及数据处理

### 4.1 辐亮度与反射率

高光谱成像仪采用全反射同心光学设计,相差小,并采用了专门设计的光学元件,采集误差不超过一个像元,基本消除了 smile 与 keystone 的畸变。光线通过狭缝,再经过光栅分光,打到传感器上,生成二维数据:空间维和光谱维。狭缝对应地面上的一条线,按照无人机的运动轨迹,线动成面,即获得到了二维的空间维与一维的光谱维,最终获取到了高光谱数据立方体。

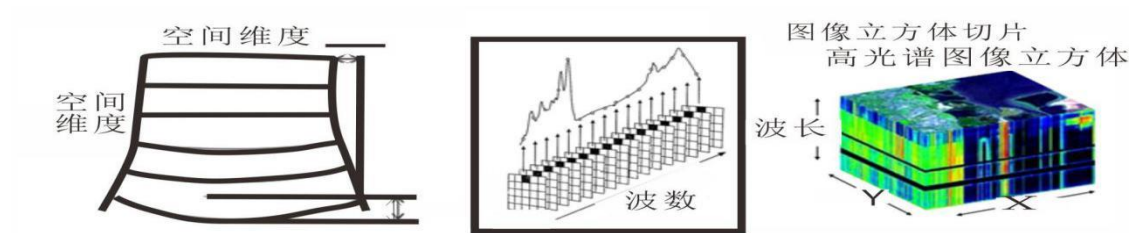


图3 高光谱成像仪成像过程

地物的反射光进入到高光谱成像仪的传感器内部，光信号转变为电信号，获得传感器的原始DN值，利用软件 SpectralView 完成 DN 值到辐亮度的转换。由于传感器每个像元响应不均匀，出厂前厂家都会使用均匀的积分球，进行辐射亮度标定，实现每个像元的均匀化，并且把无单位的原始 DN 值转换为有单位的辐射亮度值，并可与其他设备进行比较，DN 值转换成辐射亮度见图 4。

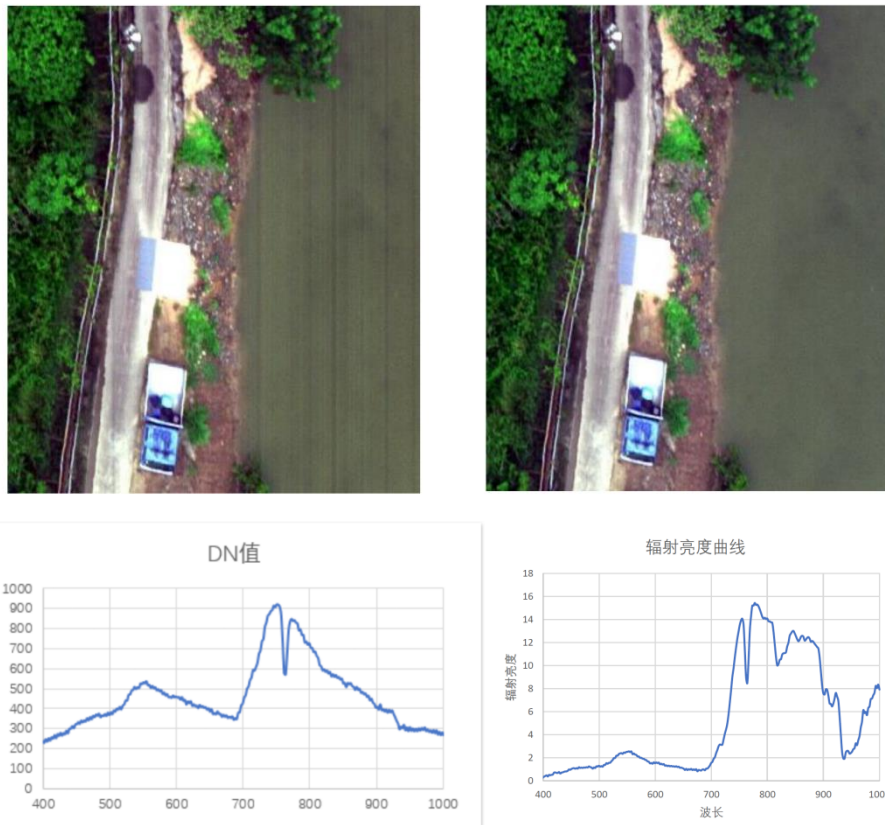


图4 地物辐亮度转换

为了定性地物光谱指纹，需要把辐射亮度值转换成反射率，此过程需要借助靶标进行对比，一般采用三块不同反射率的靶标（如白布、灰布、黑布），每一块均有已知的反射率，通过同时采集地物的光谱与靶标的光谱，利用软件 SpectralView 可以获取地物的反射率，地物反射率见图 5。

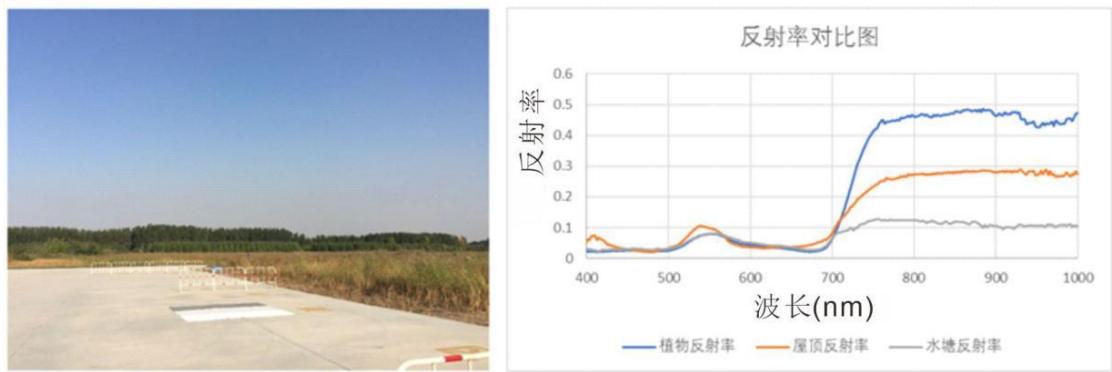
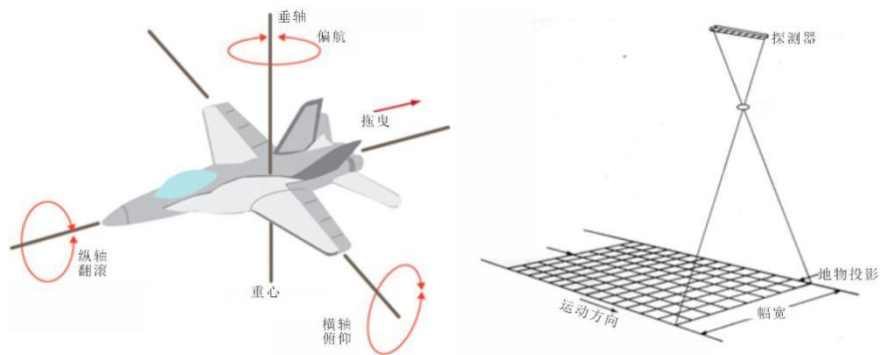


图 5 地物反射率对比图

## 4.2 高精度惯导

受天气影响，无人机不能自始至终保持平稳姿态，会发生各种变动，如无人机飞行过程中的翻滚、俯仰和偏航，导致获取的图像存在各种变形、扭曲等，HeadWall 自带高精度惯导 GPS/IMU 记录姿态和位置信息，用于图像校正。同时 HeadWall 也集成了 16 线激光 Lidar 同步飞行，记录高度小于 100m 的三维点云数据和垂直结构信息，最终实现图像高精度校正 (图 6、图 7)。高精度惯导可以结合地面基站，通过 POSPac UAV 软件实现 PPK 后差分，提高定位与姿态的精度。使用 SpectralView 软件，结合传感器的视场角与瞬时视场角，并通过当时飞行的位置信息与姿态信息，还原每一帧的真实的位置，从而完成正射校正。



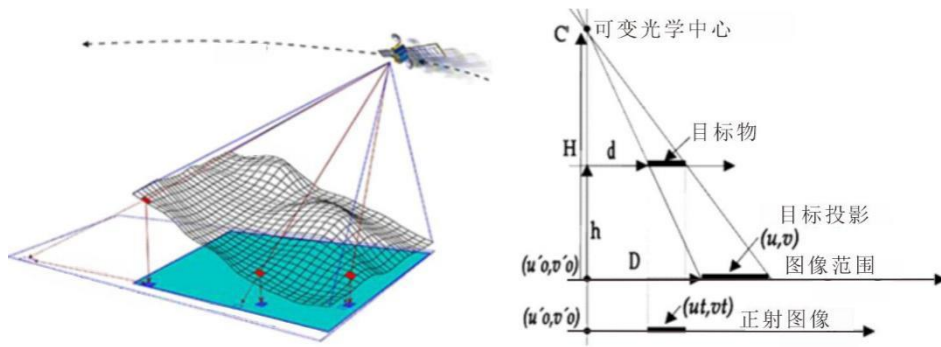


图6 飞行姿态与高精度惯导校正



图7 高精度惯导校正后图像对比

### 4.3 数据融合

数据融合可以把激光 Lidar 获取的地形数据和高光谱数据进行融合(图8)，在假彩色的影像中(图8左)，红通道突出了陡峭的特征(峭壁、树)，绿和蓝通道放大了植被和土地的不同。另外，DEM 数据作为一个通道增加到数据立方体中(图8右)。

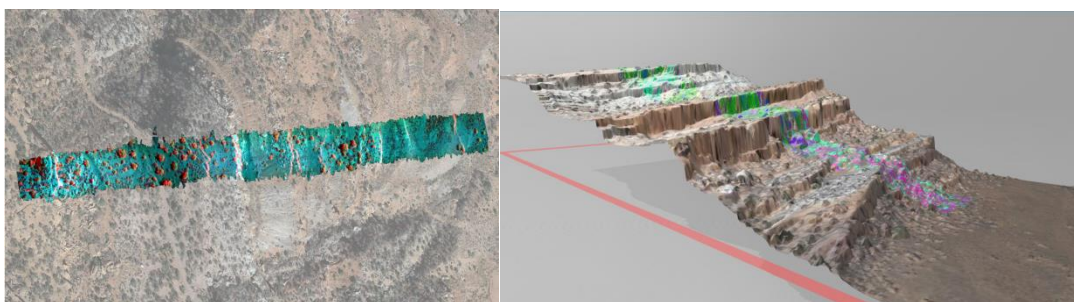


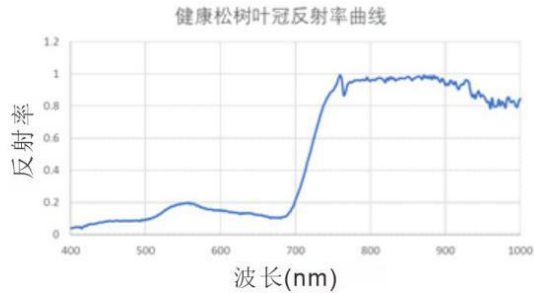
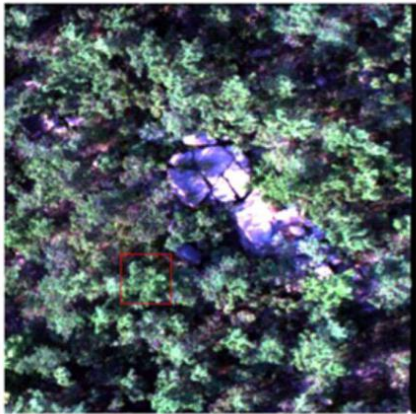
图8 地形和高光谱数据的融合

## 5 应用领域与案例

无人机高光谱广泛应用于监测预警、地质找矿、军事伪装物识别、地物分类、环境污染信息提取、农业估产、生长状况监测、林业树种鉴别、建造规划、工程选址等各个方面，下面选择几个案例进行分析。

### 5.1 林业健康状况监测

监测松树林的健康状况，对于患病初期的松树与健康的松树呈现的绿色，一般的可见光的图像，无法进行分别，而利用机载成像仪，对健康松树叶冠层反射光谱进行测试（图9上），同时也对患病松树叶冠层反射光谱进行测试（图9中），健康松树生长旺盛，叶片水分充足，叶绿素细胞活跃，在绿色与近红外波段有比较强的反射，患病松树由于被虫害侵蚀，生命力弱，叶片水分少，叶绿素细胞不活跃，颜色发黄，绿色与近红外波段反射率低，基于两种不同的特性，结合地面实地提取的光谱特征，获取患病松树和健康松树叶冠层的光谱指纹特征，建立相关光谱模型，通过无人机高光谱获取大面积的光谱影像数据，并基于模型进行反演，实现大面积目标区内的松树健康状况的调查（图9下）。



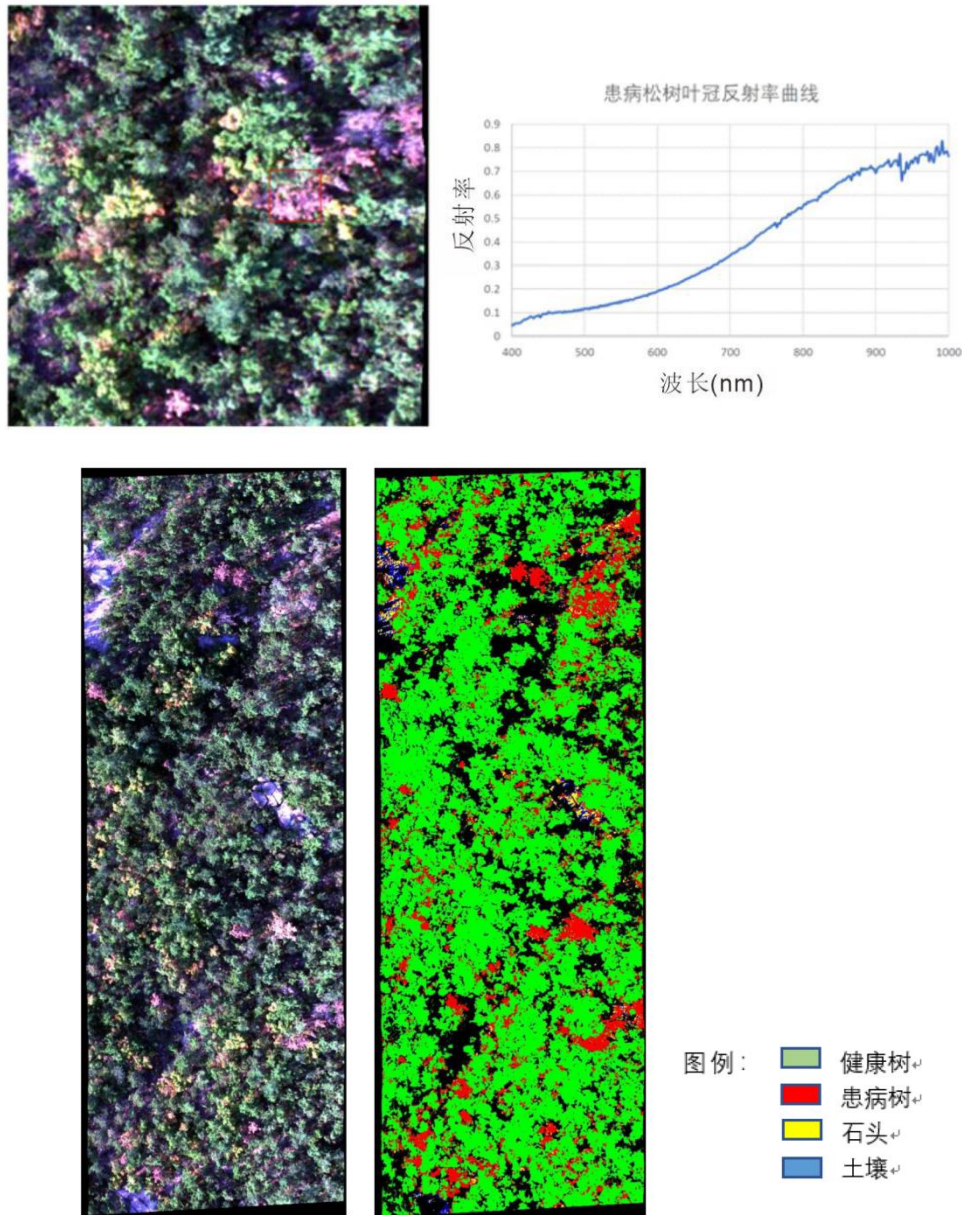


图9 林木健康监测

## 5.2 伪装物识别

弹药堆的伪装识别。图 10 左上为弹药堆上方的萨博梭鱼伪装网，采用常规的 RGB 拍摄后，伪装目标与地面背景融合，视觉上“消失”在到背景中，无法识别伪装目标（图 10 左下）。由于伪装网在全谱段 400-2500nm，与地面背景有差异，采用无人机高光谱获取图像进行处理，把背景信息进行抑制，同时分离和放大光谱异常，从而把伪装目标从背景中隔离出来，使得伪装目标可见（图 10 右）。



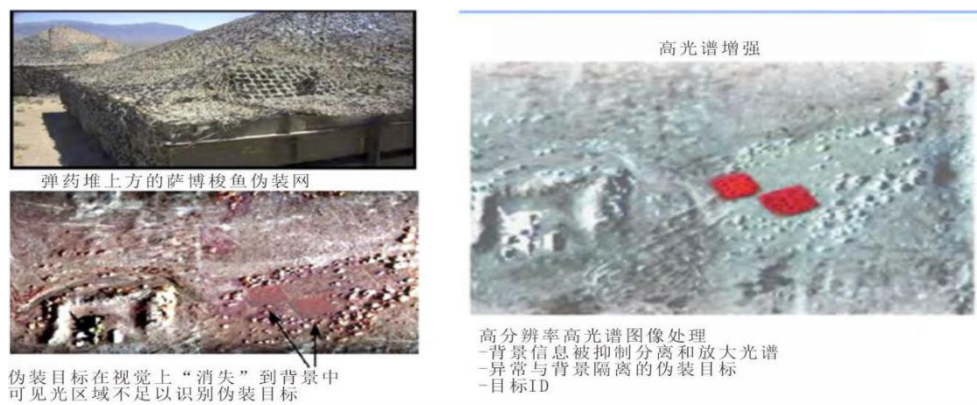


图 10 伪装物目标识别

### 5.3 地物分类

关于农作物的分类。基于地面实验，利用地物光谱仪实测大麦、马铃薯、燕麦、苜蓿、油菜、菠菜等各类农作物的光谱，获取光谱指纹特征，再采用无人机高光谱系统获取农作物“图谱合一”的光谱图像，基于光谱指纹特征，通过 SAM 光谱角计算可以对各类农作物进行分类（图 11）

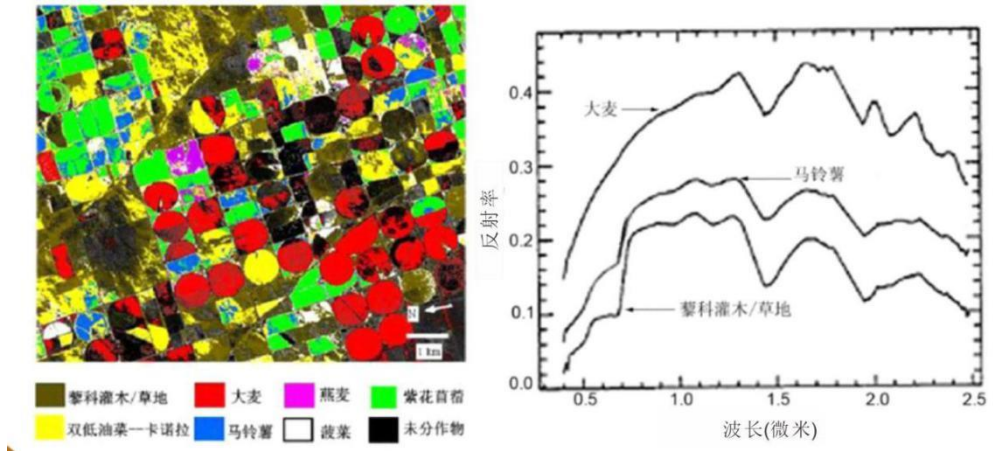


图 11 农作物的分类

### 5.4 找矿探宝

由于不同的矿物的原子组成差异巨大，在 1000-2500nm 有着明显的差异，高光谱技术也是首先在矿物识别领域大展拳脚，目前国际上通行的光谱库也是基于矿物光谱组建，在光谱库基础上使用光谱仪，可以在现场无损鉴定如铁矿、铜矿、黄金等金属。

蚀变是重要的找矿标志，不同蚀变矿物有不同的光谱指纹，热液矿床都与蚀变相关，采

用无人机高光谱可以获取地物的光谱指纹(图 12),也能获取蚀变矿物及其组合的光谱特征,从而实现大面积找矿的目标(图 13)。

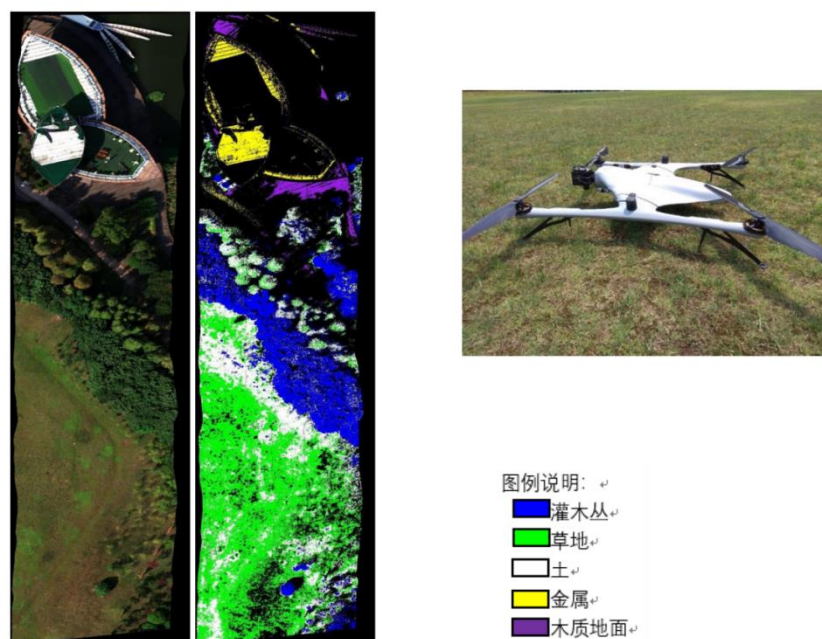


图 12 根据光谱指纹获取的地物信息

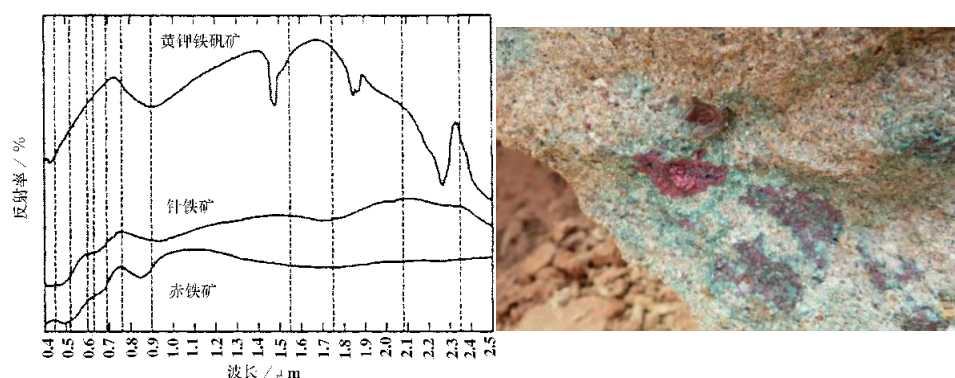


图 13 含金属阳离子矿物的光谱指纹与新发现的铜矿(光谱指纹据 Lee 和 Raines, 1984)

## 5.5 土壤水分含量估算

土壤含水量(Soil Moisture Content, SMC)是土壤的重要物理参量,也是土壤团粒结构及养分状况的关键制约因素。SMC 会影响土壤理化生理过程,了解确切的农田土壤水分状况,可以更有效地管理农田的灌溉系统,有针对性地在作物生长的关键阶段改善土壤水分状况可以提高农作物的产量和质量。在农田内均匀取样,实验室处理烘干,取部分样本建模集,部分样本为验证集,经过滤波去噪后,对每个样区取平均光谱,利用不同的光谱指数选取估

算土壤水分含量的最佳波段，并基于此建立定量估算模型，反演土壤水分的含量。

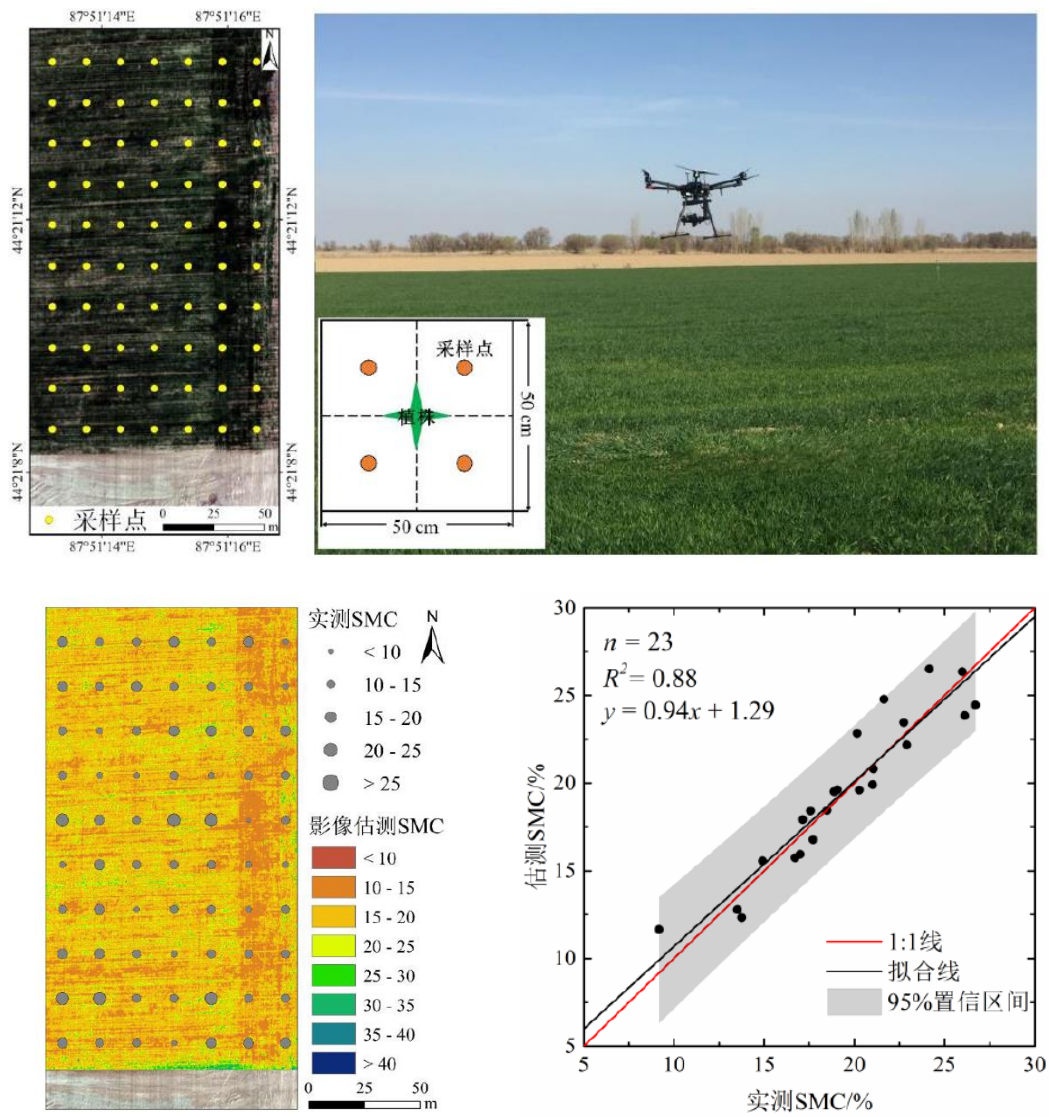


图 14 土壤含水量无人机高光谱检测

(王敬哲、丁建丽, 2018)

## 6 总结

飞马 V10 和 D20 无人机很好的解决了大载重、长航时飞行平台的应用搭载问题。HeadWall Co-aligned 400-2500nm 高光谱成像仪器相比 400-1000nm 的设备具有更宽的光谱数据，可同时获取相同地面分辨率的 400-1000nm、1000-2500nm 的高光谱数据，对光谱指纹信息识别精度更高。无人机+ HeadWall Co-aligned 400-2500nm 高光谱成像仪，能够提供大面积高质量的高光谱数据，可广泛应用于农业、林业、地质找矿、考古、城市规划、环境监测预警等领

域。