

# 无人机航测在山区水利测绘中的必要要素

顾莉娟<sup>1</sup>, 徐子扬<sup>2</sup>

(贵州省水利水电勘测设计研究院 贵阳 550002)

**摘要:** 无人机航测遥感是继卫星遥感、大飞机遥感之后发展起来的一项新型航空遥感技术,在应急测绘保障、国土资源监测、重大工程建设等方面得到广泛应用。无人机航测技术作为一项空间数据获取的重要手段,具有适用地形广泛、影像实时传输、高危地区探测、成本低、快速高效、使用机动灵活等优势。本文分析了山区测绘的基本自然地理情况,介绍了无人机技术国内外的的发展情况以及无人机技术的特点和优势。分别从适合山区水利测绘的无人机机型、获取影像的遥感传感器、数据处理三个方面讨论山区无人机测绘的必要要素。

**关键词:** 无人机;航测;地形图;必要要素

**中图分类号:** P2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-7059(2014)04-0096-06

100多年历史的航空摄影测量和50多年历史的航天摄影测量,构成了传统的航空、航天摄影测量技术体系,而且已经发展得非常成熟,在国家基本比例尺地形图测绘中发挥着独一无二的作用,但在面对小区域、大比例尺成图任务时,双双陷入了无能为力的尴尬局面。原因是传统航空摄影测量虽然可以满足大比例尺成图的精度要求,却无法小区域的成本核算,而传统的航天摄影测量则刚好相反,高分辨率商业卫星虽然在小区域的成本核算上可以被接受,但只能满足成图比例尺小于1:5000的精度要求。为实现摄影测量单位按需要组织飞行的目标,无人机航空摄影技术备受青睐<sup>[1]</sup>。

以山川河流闻名的贵州,全省流域面积大于100 m<sup>2</sup>以上的河流有556条,河网密度为每百平方公里河长17.1 km;平均年降雨量1179 mm,人均水资源总量2900 m<sup>3</sup>。可贵州素有“八山一水一分田”之说,喀斯特面积占全省国土总面积的73%,而且山高坡陡,河谷深切,水资源开发利用成本较高,全国平均利用1 m<sup>3</sup>水的工程成本约为6元,而贵州需要15元。

贵州属于山区地形,采用传统的航空摄影测量,要用航片也只有到指定的资料馆购买,很多区域还是1969年飞的航片,用1969年这些航片做出的地形图,调绘量就非常大,最近更新的六盘水测区,也是2010年飞的,而近3年天翻地覆的变化,还是没法体现。由于传统航空摄影技术对机场和天气条件的依赖性较大,成本较高,航摄周期较长,加上贵州地形复杂,气候恶劣,大面积更新航片,很难找到合适的季节和气候,导致了贵州航片数据迟迟未得到实时更新。贵州水利建设是贵州的民生问题和繁荣昌盛的关键,贵州的水利项目所涉范围不仅仅是一个水库面积大小而是几十上百公里的条带这样不规则的测量范围,1:2000地形图是水利项目需求最初最重要的数据之一,从核算上,采用现有存档航片做1:2000图,购买航片费用就比较高,再加上调绘工作的耗时耗财,1:2000的地形图成本非常昂贵。削减昂贵的成本,减少外业调绘风吹日晒的时间,引进无人机就成为水利

收稿日期: 2014-03-11

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(41001205/D0106)。

作者简介: 顾莉娟(1980—),女,贵州毕节人,贵州省水利水电勘测设计研究院测绘工程师。研究方向:摄影测量与遥感。

徐子扬(1989—),男,湖北襄阳人,贵州省水利水电勘测设计研究院测绘助理工程师。研究方向:无人机航摄。

测绘不可多得的选择。

## 1 无人机航空摄影

无人机航测遥感是继卫星遥感、大飞机遥感之后发展起来的一项新型航空遥感技术,最早出现于20世纪20年代,当时主要是用于军事活动,无人机的民用化直到1998年才开始,近20年以来,随着计算机技术和制造业的飞速发展,无人机的飞行性能不断提高,应用也越来越广泛,在应急测绘保障、国土资源监测、重大工程建设等方面得到广泛应用。

美国运输部示范性地建立了基于无人机的遥感系统,将其应用于道路运输网络图像的快速获取并对所得信息进行快速处理分析,应用无人机航拍的实时遥感影像对震后出现问题的道路、桥梁进行评估,从而快速确定震后救灾的路线。<sup>[2]</sup>美国 Nicolas Lewycky 等利用无人机航摄系统在北卡罗莱纳州进行了自然灾害调查,通过分析处理正射影像的DOM数据,对工厂和村镇的损失做了较为准确的评估,充分表明了无人机航摄系统具有快速应急的能力,为灾害的评估与救援提供了有用的数据。<sup>[3]</sup>

近10年来,无人机低空航测技术在国内也蓬勃发展起来。2005年,由我国研制的高端多用途无人机遥感系统首飞试验成功。该系统在飞行性能、导航控制精度、通信与装备,以及在系统集成、智能化和高分辨率空间数据获取等方面,达到了实用化水平。2009年,国家重点项目“高精度轻小型航空遥感系统核心技术及产品”启动会在北京举行,该系统的相关产品已在北京的“十一五”国家重大科技成就展上亮相。2010年,国家测绘局开始实施已发布的有关无人机航摄要求的测绘行业标准,包括《数字航摄仪检定规程》、《无人机航摄安全作业基本要求》、《无人机航摄系统技术要求》、《低空数字航空摄影测量内业规范》、《低空数字航空摄影测量外业规范》及《低空数字航空摄影规范》等。同年,按照国家测绘局部署,在全国31个省级测绘单位装备无人机航测遥感系统。

作为一项空间数据获取的重要手段,无人机航测技术具有适用地形广泛、影像实时传输、高危地区探测、成本低、快速高效、使用机动灵活,以及能够用于补充地面测量、卫星遥感和有人机航空测量等大、中比例尺测图等优势。其优势具体表现在:

(1) 无需特定机场起降,只需要一块较平整的空地即可完成起降,其应急性好,能快速完成各种应急任务;

(2) 无人机的飞行高度一般低于1000米,可以不申请空域直接飞行,大大缩短了作业周期;

(3) 由于飞行高度低,无人机航测能够得到超高分辨率的影像数据并最终得到大比例尺(1:1000甚至1:500)的成果;

(4) 无人机航测系统一般集成性好,体积相对于传统的航空摄影飞机而言,小了很多很多,从而携带也更加方便;

(5) 由于机体小并且是遥控飞行,其飞行费用要远小于传统航摄飞机,危险性也几乎可以忽略不计。

无人机航空摄影可以得到高精度的各种DEM、DOM等测绘成果。尤其在水利工程领域,由于水利工程往往布设在地势险峻、地形起伏较大的地方,传统的测量方法很难完全覆盖到全部测区,而这对于无人机来说则不是问题。无人机航空摄影成图的基本思路是首先根据测区情况设定无人机飞行路线和根据成图精度要求布设相应密度的地面控制点,并利用传统的GPS-RTK等测量方法得到控制点的真实坐标,然后利用无人机按照预先设置的路线低空飞行摄影获取高分辨率数字影像,再通过全数字摄影测量工作站进行相对绝对定向和空三加密工作,最终在得到的立体像对上进行内业判绘及采集地物,经外业补绘后,输出数字线划图(DLG)的矢量数据,最后在南方CASS绘图系统中进行编辑和整理,为水利工程的规划、设计提供DWG格式数字地形图。

## 2 山区无人机摄影测量的必要要素

无人机摄影测量由于起优势备受青睐,但也由于山区地形的严峻使得无人机航测颇受限,使

得无人机在用于山区水利摄影测量必须具备以下要素，首先，飞机的起飞航摄过程能适应山区地理环境；其次，传感器获取的数据能满足航摄 GSD 成图规范要求；再次，数据处理系统能具备影像处理、数据采集等航测功能，并满足整套系统实时、快速的技术要求。下面对以上详细做论述。

2.1 适合山区水利测绘的无人机类型

经济的不断发展使得生产力对能源的需求不断扩大，对于一些地区的发展，本地能源的供应已经满足不了经济的发展。为了更好地保障能源的供应，西电东送、南水北调成了西部水利水电工程的建设目标。水利测绘是保证水利工程能够进行施工的重要前提。

西部地区丰富的水能资源往往分布在高山峡谷地区，但水能含量大的高山地区地理环境给水利测绘带来了艰巨的挑战。高山地区的河流在河段上通常都是非常深的，而且地形条件也是非常恶劣的，通常的表现就是河流两侧的坡都是非常陡的，河谷地带因为高度的变化也会出现气候的明显不同。在这样的环境下进行航拍的无人机，就必须要有更好的稳定性和较强的抗风能力。由于河谷地区工作人员的可视范围很窄，也要求无人机的起飞、降落、飞行过程的可控性要容易实现。在很多实例中由于无人机程控飞行不容易实现，导致无人机坠落失踪不在少数。而同时成图比例尺也是选择相应无人机类型的关键因素之一。故笔者建议在水利测绘航拍中可以选用固定翼型无人机（见下图1）或多旋翼无人机（见下图2）。

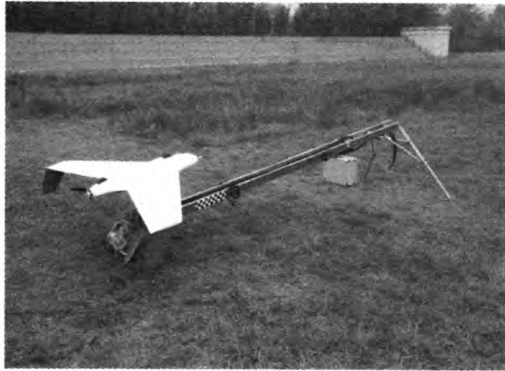


图 1 固定翼无人机



图 2 四旋翼无人机

固定翼型无人机通过动力系统和机翼的滑行实现起降和飞行，遥控飞行和程控飞行均容易实现，抗风能力也比较强，类型较多，能同时搭载多种遥感传感器。起飞方式有滑行、弹射、车载、火箭助推和飞机投放等；降落方式有滑行、伞降和撞网等。同时，它还具有飞行速度快、载荷大、成图效率高的特点，适合大范围（1:2000或1:1000）成图要求的航拍。

而如果平常测绘任务是以1:500或1:1000的成图为主，笔者更推荐使用多旋翼无人机，其优势在于对场地要求不高，可以垂直起降，具有悬停、倒飞、侧飞等能力，其螺旋桨较小，飞行比较安全，同时多旋翼无人机结构简单，控制比较灵活，还有噪声较小等优点。而且它的飞行速度较慢，飞行方向和速度可以灵活控制，在山区进行低空作业危险性较小。同时多旋翼无人机一般是对称结构，其稳定性较好，遇见风速急速变化情况不易偏离计划航线，其体积较小，一般可以折叠，方便运输。因而多旋翼无人机尤其适合山区大比例尺水利测绘。

2.2 获取影像的遥感传感器

遥感传感器是根据不同类型的遥感任务，使用相应的机载遥感设备，如高分辨率 CCD 数码相机、轻型光学相机、多光谱成像仪、红外扫描仪，激光扫描仪、磁测仪、合成孔径雷达等。使用的遥感传感器应具备数字化、体积小、重量轻、精度高、存储量大、性能优异等特点。无人机遥感系统多使用小型数字相机（或扫描仪）作为机载遥感设备。可用于摄影测量的相机分为两种，即专业的量测型相机和非量测型相机。目前大多数无人机使用的都是非量测型数码相机。非量测型数码相机

机与专业的数字航空相机相比较,存在着像幅小、非量测、畸变差大等问题,因而使用非量测型数码相机进行无人机航测之前,必须对其进行严格的检校。非量测型数码相机的检校主要包括:测定主点位置、主距和光学畸变系数。常用室内控制场或室外控制场两种方法检校。

根据水利测区,形状及成图比例尺 1:2000 要求,航摄 GSD(Ground Sample Distance,地面采样距离)为 15—20 cm。<sup>[4]</sup>

对于 CCD 数字相机来说,传统的摄影比例尺  $f/H$  已经不能准确地反映影像的成图能力,对摄影测量而言,只有 GSD 相等的影像,才具有同等的地面物体判读能力以及目标定位能力。例如,对于两台焦距相等的数字相机,当它们在同一飞行高度航摄时,虽然摄影比例尺相等,但此时由于像元尺寸不同,影像的 GSD 是不相同的。影像 GSD 与成图比例尺之间具有稳定的对应关系。从图 3 中可以看出,影像 GSD 与像元尺寸 Size、焦距  $f$ 、相对航高  $H$  的关系如公式 (1) 所示:

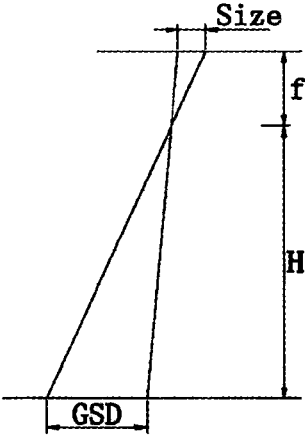


图 3 采样距离、像元尺寸、焦距、相对行高之间的关系图

$$GSD = \frac{H}{f} \cdot \text{Size} \tag{1}$$

在实际应用中,应首先根据成图比例尺的要求,选择合适的 GSD,两者对应关系如下表 1 所示:

表 1 成图比例尺与 GSD 关系

成图比例尺	地面采样距离 (GSD:mm)
1:500	7cm 左右
1:1000	10cm 左右
1:2000	20cm 左右
1:5000	≤50cm
1:10000	≤100cm

然后根据所选择的 GSD,利用相机的焦距  $f$  和像元尺寸  $\text{Size}$ ,计算得到相对航高  $H$ 。在山区水利工程开发中,往往会遇到大片森林。在做航测时,需要无人机航片覆盖面稍大一些,不然,有可能一张航片上全都是森林,这样对控制点的布设或是加密都会带来困难。从图 3 和公式 (1) 可以看出,相机的像元尺寸  $\text{Size}$  和焦距  $f$  是关键参数。在获取水利测绘工程航片时,需要相机像元尺寸小,也就是高分辨率,再者相机焦距大,二者条件具备,在满足 1:2000 航测成图比例尺的同时,飞机可以飞

高点来获得像幅大的影像。

### 2.3 数据处理

航测成图要求航片航向重叠度(60%±5%)与旁向重叠度(30%±5%)。像片倾角 $\geq 2^\circ$ ,像片旋角不超过 $6^\circ$ ,航线弯曲度 $\geq 3\%$ 。对此,稳定性和抗风力强的无人机都能满足该规范要求。

无人机遥感系统多使用小型数字相机(或扫描仪)作为机载遥感设备,与传统的航片相比,存在像幅较小、影像数量多等问题,针对其遥感影像的特点以及相机定标参数、拍摄(或扫描)时的姿态数据和有关几何模型对图像进行几何和辐射校正,应开发出相应的软件进行交互式的处理。同时还有影像自动识别和快速拼接软件,实现影像质量、飞行质量的快速检查和数据的快速处理,以满足整套系统实时、快速的技术要求。<sup>[5]</sup>

在水利测绘中,航测模块是软件的重要应用模块,他直接影响到航测成图的质量和精度。这里以DPGrid低空处理系统为例,简单介绍无人机内业数据处理的流程。其工作流程如下图4所示:

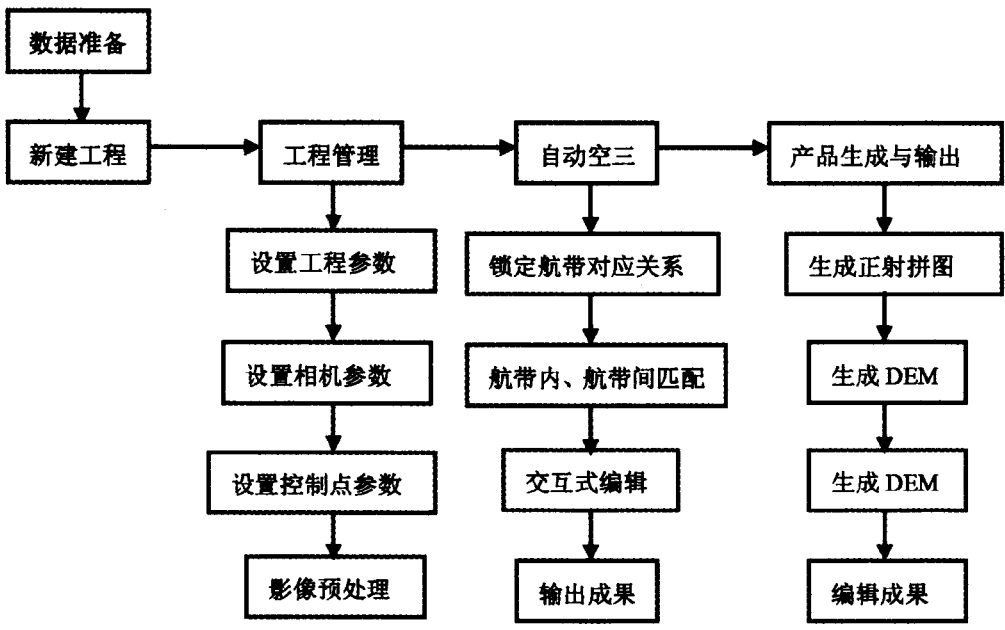


图4 DPGrid低空处理系统工作流程

首先是工程管理模块,主要包含参数设置,航带设置和影像的预处理三部分内容。其中参数设置包括建立测区工程、设置工程参数、相机参数以及控制参数,一般情况都是直接导入.cmr文件即可。航带设置主要是根据影像POS数据来排列航带。影像预处理则是指对原始影像进行内定向、主点畸变改正、影像旋转、生成金字塔影像和快视图等处理。

然后是自动空三模块,DPGrid的空三模块为全自动空三软件,主要包含匹配、智能挑点、交互式编辑、空三平差和空三成果输出。其中相比市面上很多无人机内业处理软件,DPGrid的一个巨大优势是智能挑点,其利用航带间每张对应的影像进行点的传递,并通过上下航带间“6”张影像构件局部自由网平差进行误差匹配点的剔除。最后在交互式编辑部分,通过人工干预的平差剔除错误的像控点,从而提高了空三精度。最终输出精度较高的相对定向和绝对定向结果。

在最后的产品生产模块,既可以通过一系列操作生成DEM和DOM,也可以针对山区水利测绘的需要,直接在立体相对上进行特征点、特征线、特征面的勾划,直接生成DLG产品。如果生成DEM和DOM,需要特别注意的是匀光匀色步骤,对于非量测型数码相机来说,自身的局限性会导致曝光不均匀,使得所摄影像的色调与色彩不尽相同,所以为达到无缝拼接的目的,匀光匀色这一步必不可少。

综上所述,无人机内业数据处理流程和传统摄影测量数据处理流程很类似。但由于无人机影像

单幅覆盖面积小并且分辨率高,其对像控点的要求比传统摄影测量更高,无人机的像控点要求的精度更高,布设的密度也更密。<sup>[6]</sup>一般来说,最好能够采用全野外,可以采用平高网法布点,并保证每条航带间要有连接像控点。这里需要注意的是无人机像控点的布设和传统方法也略有不同,传统摄影测量布设像控点的同时需要外业工作人员在相应航片上刺出像控点。而由于无人机影像的高分辨率的特点,无人机航摄的一般顺序是外业工作人员先布设控制点并做好标志,无人机再去飞,这样比传统的布像控点方法要简单不少。

### 3 结语

水利项目航测的测区,往往是不规则的细长带状,使得无人机影像深受欢迎。但无人机像幅较小,像片数量多,影像航向重叠度和旁向重叠度都不够规则,致使影像有明显的畸变。无人机由于体积小、重量轻的特点使其飞行时容易受到风力的影响,其飞行姿态和飞行路线常常会与设定值偏移,这给内业处理的几何纠正部分带来了不小难题。同时无人机进行飞行作业时,受天气影响较大,尤其在一些山区,云层的高度相对较低,导致无人机经常在云上飞行,从而得到的航片云影较大,大大影响了航片质量。山区无人机测绘还存在一个矛盾,即山区地形复杂路不好走导致像控点往往不好布设与无人机内业数据处理对大量高精度地面真实像控点的需求之间的矛盾。由于无人机航测技术属于比较新的领域,从相关的技术、设备、内业处理软件到相关的技术流程与质量控制体系均不太成熟。如何扬长避短,使之更好地运用于山区测绘,是我们今后研究努力的方向。

### 参考文献

- [1]张 强.低空无人直升机航空摄影系统的设计与实现[D].郑州:中国人民解放军信息工程2007.
- [2]金 伟,葛宏立,杜华强,徐小军.无人机遥感发展与应用现状[J].遥感信息,2009(1):88-92.
- [3]Jan Biesemana,Jurgen Everaerts,Nicolas Lewycky. PEGASUS:remote sensing from a hale-uav[A].ASPRS 2005 Annual Conference[C].2005.
- [4]国家测绘局测绘标准化研究所.GB/T:7930-87.1:500、1:1000、1:2000地形图航空摄影测量内业规范[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [5]李 磊,熊 涛,胡湘阳,等.浅论无人机应用领域及前景[J].地理空间信息,2010,8(5):7-9.
- [6]张惠均.无人机航测带状地形图的试验及分析[J].测绘科学,2013,38(3):100-101.

### Necessary Elements Needed in Water Conservancy Using UAV Aerial Mapping in Mountainous Areas

GU Lijuan<sup>1</sup>, XU Ziyang<sup>2</sup>

(Guizhou Survey and Design Research Institute for Water Conservancy and  
Hydropower, Guiyang, Guizhou550002, China)

**Abstract:** UAV aerial remote sensing is a new type of aerial remote sensing technology developed after satellite remote sensing and large aircraft remote sensing. This new technology has been widely used in emergency mapping support, land resource monitoring, major projects construction and so on. As an important mean to get spatial data, UAV aerial technology has many advantages such as applied in a wide range terrain, transmitting videos in time, detecting high-risk areas and having low-cost, fast, efficient and flexible uses. In this paper, we analyze the basic natural geography of mountains mapping. Then, we introduce the development, features and advantages of UAV technology at home and abroad. Finally, we focus on discussing the necessary elements in mountain UAV mapping respectively from the UAV models Suitable for mountain conservancy mapping, the remote sensors getting the image and data processing.

**Key words:** UAV; Aerial Photogrammetry; Topographic Map; Necessary Elements

(责编:谭本龙 责校:张永光)

作者：[顾莉娟](#)，[徐子扬](#)，[GU Lijuan](#)，[XU Ziyang](#)  
作者单位：[贵州省水利水电勘测设计研究院](#) [贵阳550002](#)  
刊名：[毕节学院学报](#)  
英文刊名：[Journal of Bijie University](#)  
年，卷(期)：2014, 32 (4)  
被引用次数：3次

参考文献(6条)

1. [张强](#) [低空无人直升机航空摄影系统的设计与实现](#)[学位论文] 2007
2. [金伟](#), [葛宏立](#), [杜华强](#), [徐小军](#) [无人机遥感发展与应用概况](#)[期刊论文]-[遥感信息](#) 2009 (1)
3. [Jan Biesemana](#); [Jurgen Everaerts](#); [Nicolas Lewycky](#) [PEGASUS: remote sensing from a hale-uav](#) 2005
4. [国家测绘局测绘标准化研究所](#) [1:500、1:1000、1:2000地形图航空摄影测量内业规范](#) 2009
5. [李磊](#), [熊涛](#), [胡湘阳](#), [熊俊](#) [浅论无人机应用领域及前景](#)[期刊论文]-[地理空间信息](#) 2010 (5)
6. [张惠均](#) [无人机航测带状地形图的试验及分析](#)[期刊论文]-[测绘科学](#) 2013 (3)

引证文献(3条)

1. [王金杰](#), [郭永祥](#) [无人机航测在矿山测绘中的运用](#)[期刊论文]-[城市建设理论研究（电子版）](#) 2015 (17)
2. [王金杰](#), [郭永祥](#) [无人机航测在矿山测绘中的运用](#)[期刊论文]-[城市建设理论研究（电子版）](#) 2015 (17)
3. [张国峰](#), [魏浩林](#), [毛莉莉](#) [无人机航测在矿山测绘中的运用](#)[期刊论文]-[城市建设理论研究（电子版）](#) 2015 (21)

引用本文格式：[顾莉娟](#), [徐子扬](#), [GU Lijuan](#), [XU Ziyang](#) [无人机航测在山区水利测绘中的必要要素](#)[期刊论文]-[毕节学院学报](#) 2014 (4)