

# 无人机低空摄影测量技术在长龙山电站中的应用

李 春 林<sup>1</sup>, 袁 亮 亮<sup>2</sup>, 孔 令 红<sup>2</sup>

(1. 长江三峡技术经济发展有限公司, 北京 100038; 2. 浙江长龙山抽水蓄能有限公司, 浙江 湖州 313300)

**摘要:**无人机低空摄影测量是近年来新兴的一种新型测绘技术,在植被茂盛、通视性差、无法进行传统地面测量的地区具有独特的应用优势。在长龙山抽水蓄能电站施工区中采用该技术获得了数字高程模型DEM和数字正射影像图DOM,并利用这些成果进行了部分区域原始地形测量、压覆盖面积计算、地表表面积计算,制作了正射影像地形图,利用三维建模模拟蓄水淹没线等。在水电站工程测量领域采用无人机低空摄影测量技术,具有较高的精度,值得推广和应用。

**关 键 词:**无人机; 低空摄影测量; 抽水蓄能电站; 长龙山

**中图分类号:**TP391

**文献标识码:**A

**DOI:**10.16232/j.cnki.1001-4179.2018.S2.090

近年来,由于无人机技术的飞速发展,在水电站工程测量领域出现了一种基于无人机的先进测量技术——无人机低空摄影测量技术<sup>[1]</sup>。低空摄影测量是指飞行高度在1 000 m以下的摄影测量,是一种理想的大比例尺地形图影像获取技术,广泛应用于土地利用动态监测、地质资源勘查、海洋资源与环境监测及林业草场监测等领域,在水电站工程中也有应用。相对于航空航天遥感平台,无人机低空摄影测量具有成本低、操作方便、现势性好及测绘精度高等优点,其传感器为小像幅数码相机,作业成本低,能够获取高精度的大比例尺影像,对局部信息的反映能力强;无人机起降灵活,可实现快速测绘;影像重叠度高,有利于对影像进行后续处理<sup>[2-3]</sup>。

长龙山抽水蓄能电站位于浙江省安吉县天荒坪镇境内,电站枢纽由上下水库、地下厂房、输水系统以及地面开关站等组成。上水库与已建成的天荒坪抽水蓄能电站上水库隔河相望,下水库坝址距天荒坪抽水蓄能电站下水库大坝约2.9 km。测区所在的天荒坪镇总的地势属丘陵和山地,位于安吉县南段,西连上墅乡,北接递铺镇,属于西苕溪流域。为满足项目管理部招标立项需求,需采用无人机航摄系统获取长龙山抽水蓄能电站施工区(共计60 km<sup>2</sup>)测绘航空影像,制作1:

5 000比例尺正射影像图。

## 1 无人机低空摄影测量技术

### 1.1 无人机航空摄影

无人机航摄系统有无人机飞行平台(含飞控系统)、小型数码相机系统、地面监控系统和配套作业软件等4部分组成,主要流程分为航摄准备、航空摄影、数据质量检查及成果整理4个阶段<sup>[4]</sup>。于2016年8月初完成飞行2个架次,飞行14条航线,共获得有效航摄像片913张。

影像成果质量情况:经过对每个架次航摄飞行成果进行检查,飞行质量优良,航向重叠一般为70%左右,旁向重叠为40%左右,航迹平直,航高保持良好,摄区覆盖完整;影像清晰,色彩逼真,反差适中;部分山区阴影较大,且有云影覆盖,但地物都较清晰;影像清晰,反差适中,颜色饱和,色彩鲜明,色调一致,有较丰富的层次,能辨别与地面分辨率相适应的细小地物影像;航空摄影地面分辨率达到0.2 m。影像成果质量满足外业全要素精确、调绘和室内判读的要求。

### 1.2 像控测量

根据航摄提供的像片中心点坐标和内业空三加密

图进行像控点布设任务。按照地形图航空摄影测量外业规范,测区共测设像控点 45 个。像控点布设示意图如图 1 所示。遇到较大森林无法找到明显地物时,像片控制点尽量布设至森林边缘上,保证控制点的连线至森林边线一般不超过 0.15 cm,目标选取困难的,不超过 2.5 cm。

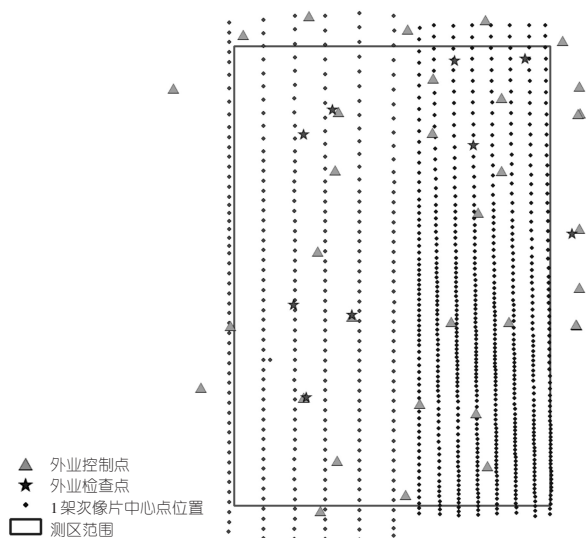


图1 外业像控测量成果分布

根据规范要求,像控点测量的平面中误差不超过地物点中误差的 1/5,高程中误差不超过基本等高距的 1/10。本次像片控制测量采用单基站网络 RTK 模式进行观测。采用单基准站网络 RTK 作为像片控制测量方法时,由网络 RTK 直接测定像控点的三维坐标。

对像控点进行刺点与整饰,采用在数字影像上刺点,直接在数字影像上选点、标记,标示出刺点位置。像控点数字影像的刺点以内业易判、易读、准确为原则。参照整张像片表达像控点的概略位置,以像控点为中心截取放大 3 倍的影像表达像控点详细位置,同时结合点位说明制作像控点点位信息表。所有像控点均进行了野外拍照,分别拍摄远、近景照片,照片要求能清晰地反映出点位目标,且符合技术设计的点位要求。

### 1.3 空中三角测量

低空影像重叠度大,空中三角测量时,每个地面对应的像点观测值较多,大量的多余观测有利于观测值的粗差探测和剔除。光束法区域网平差以每张像片所组成的一条光束为平差的基本单元,以共线方程为平差基础方程。

本次空三加密主要使用 INPHO 软件进行连接点匹配及平差解算,获取空三加密最终解算成果。空中三角测量主要生产流程如图 2 所示。

光束法区域网平差时使用外业控制点 45 个,加密精度均满足相关规范要求,满足后期 DEM、DOM 成果制作。

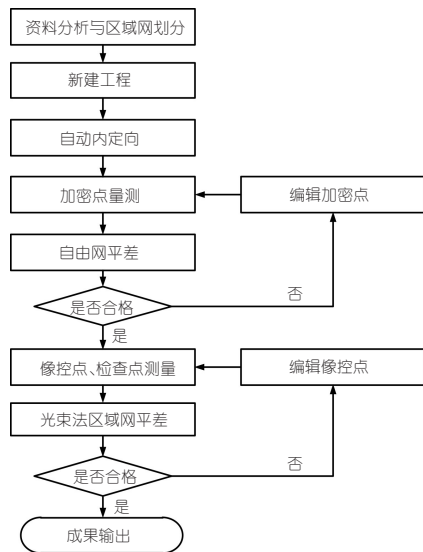


图2 空中三角测量流程

## 1.4 数字高程模型

根据空三加密成果,使用影像数据处理系统自动生成数字高程模型(DEM)数据,并经过适当的人工干预调整,使得 DEM 无异常突起、凹陷等质量问题,满足 DOM 正射影像纠正需求。之后就可以输出最终的测区数字高程模型(DEM)成果。

## 1.5 数字正射影像制作

### 1.5.1 数字正射影像生产流程

数字正射影像制作使用软件包括高分辨率遥感影像数据处理系统 TopGrid, TopRS 遥感图像处理软件、Photoshop, ArcGIS 和 ERDAS。数字正射影像图生产是利用影像数据及 DEM 成果,进行原始航片匀光匀色、单片正射纠正、镶嵌处理、影像色彩处理等生产标准的数字正射影像图成果。DOM 生产技术流程图如图 3 所示。

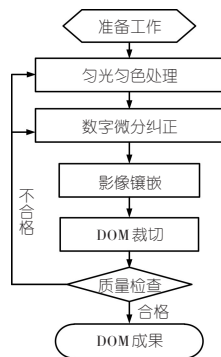


图3 DOM 生产流程

### 1.5.2 匀色影像处理及单片正射纠正

采用基准样片对原始航片进行影像匀光匀色处理,数字正射影像数据采用数字微分纠正,生产像片数字正射影像。项目 DOM 制作过程中采用高分辨率的遥感影像数据处理系统 TopGrid 基于空三加密成果、影

像数据及DEM数据进行单片正射纠正。

### 1.5.3 影像镶嵌

影像的镶嵌使用TOPGRIF系统完成,通过智能镶嵌线生成、海量数据镶嵌处理及数据人机交互实时修改后,输出测区DOM成果。

## 1.6 成果精度评定

为对DOM测图精度进行有效检查,利用已有像控点成果与长龙山抽水蓄能电站施工区工作底图制作DOM成果叠加,对照点之记信息说明文件,逐一量测外业像控点位置与DOM成果位置的误差,使用下列公式计算DOM平面中误差:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2]}{n}} \quad (1)$$

精度检查采用的检查点个数为27个,平面中误差为 $\pm 0.13$  m,平面误差最大值为1.78 m,规范要求1:5 000 DOM平面中误差为 $\pm 3.75$  m,实际平面中误差远小于规范要求,DOM成果满足相应规范要求。

## 2 工程应用

本次无人机低空摄影测量成果主要有数字高程模型DEM和数字正射影像图DOM,除印刷版正射影像图用于工程形象展示外,我们还利用摄影测量成果进行了部分区域原始地形测量、压覆盖面积计算、地表表面积计算,制作了正射影像地形图、三维建模、模拟蓄水淹没线等,取得了一定的经济效益。

### 2.1 压覆盖面积计算

开挖工程施工压覆盖处理是个难点。电站工程开挖施工时间跨度大,现场地形地物变化快,对于施工单位报送的压覆盖面积复核起来难度大。考虑到无人机低空摄影测量影像数据采集与压覆盖时间节点基本一致,我们利用无人机低空摄影测量影像数据和正射影像图成果,计算出勘探道路和外长龙区域压覆盖面积,并采用全站仪现场实地抽检约30%的压覆盖部位,测量数据结果一致。经复核,与施工单位报送压覆盖面积平均偏差达15%。通过无人机低空摄影测量,可以提供类似压覆盖面积成果,也可计算工程施工部位的地表表面积。压覆盖范围如图4所示。

### 2.2 套合设计图

根据制作的正射影像图成果,作为工作底图,在同一坐标系统下,将正射影像图和工程设计图纸CAD版套合成一张图。套合图美观,分辨率高,精度高,可直观反映工程施工进度,展示工程各标段建筑物、设施等



图4 压覆盖区域影像

布置情况,从而可用于指导工程施工。而同区域的Google Earth影像,影像数据拍摄时间较早,更新速度不能反映工程施工进度,分辨率低、精度差,只能进行概略浏览,对工程施工实际应用帮助不大。地下厂房系统及下水库区域套合设计图如图5所示。



图5 地下厂房系统及下水库区域正射影像套合设计图

### 2.3 正射影像地形图

正射影像地形图同时具有地形图和正射影像图的特点,既保留有地形图的所有要素,也有直观、美观、信息量丰富、可量测等正射影像图属性。

根据长龙山电站工程临时征地和永久征地范围,结合长龙山抽水蓄能电站1:1 000,1:2 000地形图分幅索引图,制作1:1 000正射影像地形图70幅,1:2 000正射影像地形图27幅。分幅正射影像地形图如图6所示。



图6 按标准图幅分幅的正射影像地形图

后期进行地形图更新时,可按图幅进行地形图补测、更新。对照分幅索引图,能便于地形图数据管理和查找,大大提高工作效率。

### 2.4 水土保持监测

工程施工会对周边造成一定的水土流失,附带的



碎石废渣会对现有土地造成大量压占破坏,导致生态环境污染。因此,水土保持治理工作作为电站建设的配套工程,要求施工单位在工程施工的同时,落实水土保持专项工作。

通过影像成果,结合项目区平面布置图,绘制项目各分区边界线,精确计算分区扰动土地面积;利用无人机监测获取的影像成果,通过解译标志,提取项目区各划分单元植被覆盖度以及土地利用信息,并分析DEM数据,获取坡度信息,结合土壤侵蚀分类分级标准,判别各划分单元的土壤侵蚀强度;通过对弃渣场控制点进行空间插值,获得弃渣场的DEM,通过与原地形的对比分析,计算项目施工期间的弃渣量。

无人机低空摄影测量系统获取的影像数据能够帮助了解区域水土流失发展趋势、发生特点和现状等,以便做好施工区水土保持工作规划,加快水土流失治理。

## 2.5 三维建模应用

将生成的数字高程模型DEM和数字正射影像图DOM进行叠加处理,得到长龙山电站施工区的三维模型,从而可以进行3D浏览和漫游、模拟蓄水淹没线、查看分水岭、查看任意部位剖面图、测量面积、计算工程量等多种操作应用。数字高程模型渲染图、三维模型、模拟蓄水淹没线、工程部位剖面图分别如图7~10所示。



图7 数字高程模型渲染图

## 3 结语

无人机低空摄影测量技术在长龙山抽水蓄能电站的应用表明,无人机低空摄影影像数据能够满足对应



图8 下水库部分施工区三维模型



图9 模拟下水库蓄水淹没线

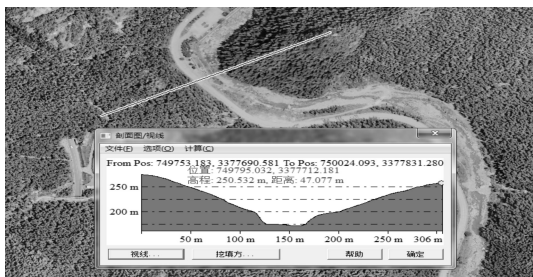


图10 下水库围堰附近河道剖面图

比例尺航测成图的要求。无人机低空摄影能够快速获取影像数据,生产满足规范要求的测绘产品成果,完全满足水电站工程的实际需求。无人机低空摄影测量技术具有较高的精度,值得推广和应用。

### 参考文献:

- [1] 杨俊成. 低空摄影测量在水利工程中的应用[J]. 科技创新与应用, 2016(1):151-153.
- [2] 王光彦,姚建,李登富,等. 低空无人机遥感在水利工程测绘中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2016(5):113-115.
- [3] 王新,陈武,汪荣胜,等. 浅论低空无人机遥感技术在水利相关领域中的应用前景[J]. 浙江水利科技, 2010(11):27-29.
- [4] 杨恺. 无人机遥感技术在开发建设项目水土保持监测中的应用[J]. 陕西水利, 2013(4):145-146.

(编辑:黄文晋)

(上接第317页)

(3) 简易缆道牵引三体船ADCP无线电台通讯走航测验灵活机动,可以满足水电工程各个阶段对流量巡测的需要,同时可为工程建设及水文预报提供可靠的流量数据。

### 参考文献:

- [1] 刘彦祥. ADCP技术发展及其应用综述[J]. 海洋测绘, 2016, 36(2):45-49.
- [2] 齐勇,吴玉尚,张可可,等. ADCP的分类及其研究进展[J]. 气象水

文海洋仪器, 2016, 33(1):110-114.

- [3] 朱进,蒋建平,石照泉,等. GPS安装对ADCP测验精度的影响分析[J]. 现代测绘, 2010, 33(6):28-29.
- [4] 中华人民共和国水利部. SL 622-2014水文缆道设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2014.
- [5] 中华人民共和国水利部. SL337-2006声学多普勒流量测验规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.

(编辑:赵秋云)