

无人机摄影测量在工程建设中的应用

张际泽, 刘礼

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

摘要:近年来,随着低空无人机和摄影测量技术的发展,摄影测量逐渐成为劳动强度低、效率高、精度可控的一种新型测量方法^[1]。介绍了印尼巴丹托鲁水电站项目研究利用无人机航摄技术获取高精度的实景三维模型及大比例尺地形图以解决零散分布、小区域、带状测区测量工作并获取高精度的实景三维模型及大比例尺地形图,为项目设计、方案选择、施工管理等需求提供基础数据;同时提高测量工作的效率,提升测量成果的质量,降低劳动强度,满足工程建设精细化、智能化管理需求的过程。

关键词:无人机;摄影测量;航线设计;变高飞行;空三处理;实景三维模型;巴丹托鲁水电站

中图分类号:TV7;TV221

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2020)04-0069-05

Application of UAV Photogrammetry in Engineering Construction

ZHANG Jize, LIU Li

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: In recent years, with the development of low altitude UAV and photogrammetry technology, photogrammetry has gradually become a new measurement method^[1] with low labor intensity, high efficiency and controllable precision. Taking Batang Toru Hydropower Station Project in Indonesia as an example, this paper introduces the study and application of UAV aerial photography technology to obtain high-precision real scene 3D model and large-scale topographic map to solve the measurement under the conditions of scattered distribution, small area and belt survey area, and obtain high-precision real scene 3D model and large-scale topographic map, which provides basic data for project design, scheme selection and construction management; at the same time, it improves the efficiency of measurement work and the quality of measurement results, and reduces labor intensity, which meet the needs of fine and intelligent management of engineering construction.

Key words: UAV; photogrammetry; route design; elevated flight; aero-triangulation treatment; real scene 3D model; Batang Toru Hydropower Station

1 概述

巴丹托鲁水电站(Batang Toru HEPP)位于印度尼西亚北苏门答腊省南部的巴丹托鲁(Batang Toru)河上,工程区距省会棉兰(Medan)市约 400 km,距离西苏门答腊省省会巴东市约 410 km。工程以发电为主,工程等别为二等大(2)型,总装机容量为 510 MW(4×127.5 MW),最大坝高 71.5 m,正常蓄水位高程 427.5 m,对应库容 $3.87 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

印尼巴丹托鲁水电站建设在人迹罕至的高山密林地区,该工程地形条件复杂,多悬崖峭壁,测量难度极大。若采用常规测量作业方式,现场劳

动强度大、效率低且测量人员野外作业极不安全,经研究决定,该项目采用无人机摄影测量手段辅助野外测量作业,取得了较好的效果。

2 无人机摄影测量方法

2.1 测量原理

无人机低空摄影测量技术以获取高分辨率数字影像为应用目标,以无人驾驶飞机为飞行平台,以高分辨率数码相机为传感器,通过 3S 技术在系统中集成应用,最终获取小面积、真彩色、大比例尺、现势性强的航测遥感数据,然后以数字影片为基础,由计算机软件进行影像处理和影像匹配,自动识别相应像点及坐标,运用解析摄影测量的方法确定所摄物体的三维坐标并输出数字高程模型和正射数字影像,或图解线划等高线图以及带等

收稿日期:2020-05-19

高线的正射影像图等地理信息。

2.2 无人机及软件

该项目摄影测量选用大疆精灵 4 Pro 无人机及自带摄影镜头。无人机摄影测量需满足以下要求^[2]:

- (1)环境光线稳定;
- (2)无人机起飞地点地势开阔,地面平坦,有稳定的 GPS 信号;
- (3)避免雨天等特殊天气。

常用的摄影测量数据处理软件:

- (1)飞行控制软件:飞马无人机管家。

(2)三维实景建模软件:ContxetCapture(简称 CC)。

(3)地形图绘制软件:SV360 智能三维测绘系统。

2.3 航线设计

依据测量任务书,利用《飞马无人机管家》的智航线设计功能进行航线、航高、重叠度等航飞参数设计。考虑到测区为零散分布的高山区域,为保障航飞像片的精度,飞行模式选用变高飞行。

2.4 像控点布设

现场实施无人机测量前,需要在测区范围内由人工布设像控点。相邻像控点间距根据测图精度确定,间距为 150~400 m^[3]。像控点使用标靶布设,标靶为 L 型标记,线宽约 30 cm,长 100 cm。使用 RTK 测量像控点坐标(L 型标记拐角内侧点坐标)。

2.5 摄影测量

采用锂电池动力无人机执行航飞任务。航飞模式为正摄变高飞行,航飞高度为 73~150 m,空间分辨率(GSD)为 2~5 cm,航向重叠度为 80%,旁向重叠度为 70%。

2.6 空三处理

将无人机采集到的像片上传至 CC 软件,导入像控点坐标。选中其中一个像控点,在像片中查找含有该像控点的像片并一一刺点。当所有含有像控点的像片刺点完成后进行空三处理。空三处理完成后,检查空三处理结果,直至全部像控点空三处理合格。

2.7 三维建模

空三处理合格后,利用 CC 建模软件开始自动三维建模,生成 DSM/DOM 模型。

2.8 模型检查

实景三维模型生成后,在三维模型中提取像控点、特征点、检查点三维坐标,与现场 RTK 测量的三维坐标进行比较,判断模型的精度及准确性。三维模型检查合格后,可用模型进行设计方案选择、道路勘探、地形图绘制、项目管理等工作。

3 应用案例

3.1 大坝地形图测量

3.1.1 地形条件

大坝区域河面宽约 20 m,两岸地势陡峭,植被茂密,地形平均坡度大于 40°,给测量工作带来了很大困难。测量坝区地形时 GPS 不能使用,全站仪免棱镜能在河两岸互相测量部分河对岸上的部分地形点。河面宽度及河面上 30 m 范围内全部不能测量,故大坝部分地形图主要采用无人机摄影测量。

3.1.2 技术要求

根据美标测量规范,大坝区地形图设计比例为 1:500,等高线间距为 1 m,其特征点坐标、高程点高程的 RMSE 限差要求见表 1。

表 1 地形图精度要求(美标)^[4]表

地形图比例	等高线间距 /m	特征点坐标精度 (RMSE)	点或数字模型高 程精度(RMSE)
1:500	1 m	0.125 m	0.17 m

3.1.3 无人机摄影测量

该项目外业控制测量平面采用墨卡托投影、印尼国家坐标系,高程采用印尼国家高程基准。航测像控点布设主要利用 GPS-RTK 接收机进行坐标点量测,整个大坝区域共布设 8 个像控点,11 个检查点。

大坝区地面起伏较大,最大高差为 210 m,因此,无人机摄影测量选择正摄变高飞行,飞行相对地面高度为 73 m,空间分辨率(GSD)为 2 cm,航向重叠度为 80%,旁向重叠度为 70%。整个航测飞行时间为 30 min,分两次完成,共拍摄 463 张航片。

3.1.4 三维建模

航片拍摄完成后,将具有空间信息数据的航片导入 CC 建模软件,经空三处理、像控刺点、建模等流程生成实景三维模型。

3.1.5 模型检查分析

三维模型生成后(图 1),共检查了平面特征

点 11 个点,高程点检查了 13 个点,其误差统计见 表 2、3。



图 1 大坝三维模型图

表 2 特征点坐标检查统计表

ID	特征点坐标			特征点检查坐标			差 值		
	X	Y	H	X	Y	H	Δx	Δy	Δh
1	170 728.192	516 071.459	302.691	170 728.174	516 071.455	302.67	0.018	0.004	0.021
2	170 825.034	516 062.806	301.343	170 825.028	516 062.781	301.36	0.005	0.025	-0.017
3	170 961.499	516 065.757	298.874	170 961.449	516 065.763	298.9	0.05	-0.006	-0.026
4	170 772.644	516 189.134	313.756	170 772.64	516 189.135	313.73	0.004	-0.001	0.026
5	170 825.357	516 104.492	272.957	170 825.373	516 104.482	272.94	-0.016	0.010	0.017
6	179 174.181	520 343.459	537.094	179 174.166	520 343.542	537.06	0.015	-0.083	0.034
7	179 472.742	520 366.636	521.226	179 472.723	520 366.724	521.32	0.019	-0.088	-0.094
8	179 496.138	520 401.494	518.799	179 496.114	520 401.529	518.85	0.024	-0.036	-0.051
9	179 336.74	520 620.703	534.066	179 336.742	520 620.825	534.02	-0.002	-0.092	0.046
10	179 198.516	520 615.958	529.838	179 198.551	520 616.043	529.79	-0.035	-0.085	0.048
11	179 241.262	520 376.889	535.938	179 241.223	520 376.816	535.94	0.038	0.073	-0.002

表 3 高程点高程检查统计表

ID	RTK 测量坐标			地形图检查高程			差 值		
	X	Y	H	X	Y	H	Δx	Δy	Δh
1	179 522.77	520 441.584	511.733			511.87			-0.137
2	179 628.063	520 486.739	501.953			502			-0.047
3	179 577.747	520 532.189	509.149			509.1			0.049
4	179 497.411	520 526.12	517.492			517.48			0.012
5	179 412.97	520 537.007	526.182			526.15			0.032
6	179 362.109	520 605.467	531.047			531.07			-0.023
7	179 266.453	520 685.25	538.705			538.74			-0.035
8	179 220.97	520 681.333	539.066			539.09			-0.024
9	179 202.963	520 617.111	529.761			529.85			-0.089
10	179 183.384	520 593.227	532.378			532.42			-0.042
11	179 190.771	520 532.925	532.08			532.16			-0.08
12	179 212.16	520 467.306	531.272			531.32			-0.048
13	179 239.133	520 422.309	527.873			527.91			-0.037

经比较得知,11个平面特征点坐标误差最大的为9.2 cm, RMSE 值为: $X=0.023$ m, $Y=0.053$ m;高程点高程最大误差为13.7 cm, RMSE 值为: $H=0.048$ m;其数字模型满足美标规范要求。

最后,打开SV360智能绘图软件,加载三维模型,绘制设计所需要的地形图。

3.2 R4路勘测

3.2.1 R4路现场实际情况

R4道路位于巴丹托鲁河右岸、厂房下游,设计路线长5 493.701 m,其中K2+462.020~K2+872.737跨过两个高边坡塌方段。毛路修到K1+800位置时据现场工作人员反映,按照设计线路,高边坡塌方处道路不能通过,需要技术部确定施工方案。项目负责人要求测量协助工程技术人员进行现场踏勘,测量并采集数据,以供技术部研究制定道路线性方案。

R4毛路K0+000~K1+800段初步形成路基,但没有整修成型,车辆不能行使,需步行30 min。K1+800~K2+462.02段由于没有清理,植被密集、沟壑纵横,比较难走,行走需时间3 h。如果采用常规测量,往返的路上就要花7~8 h,现场工作没法开展,经研究决定采用无人机摄影测量。

3.2.2 无人机摄影测量

R4道路K2+462.02~K2+872.737段河宽40 m,左岸有长300 m、宽20 m左右的河滩,适合布设像控点和无人机起飞。无人机摄影测量选择正摄变高飞行,飞行高度为90 m,空间分辨率(GSD)为2.5 cm,航向重叠度为80%,旁向重叠度为70%。

3.2.3 成果应用

三维模型生成后(图2),由技术部根据三维模型研究确定路线方案。



图2 R4道路K2+462.02~K2+872.737段三维模型图

4 无人机摄影测量具有的优点及优势

摄影测量生成的实景三维模型主要具有以下优点:

(1)机动、灵活和安全性高。无人机具有灵活机动的特点,受空中管制和气候的影响较小,能够在恶劣环境下直接获取影像,即便是设备出现故障,也不会出现人员伤亡,具有较高的安全性。

(2)成本相对较低、操作简单。无人机低空航摄影系统使用成本低,耗费低,对操作员的培养周期

相对较短,系统的保养和维修简便,无需机场起降,是当前唯一将摄影与测量集为一体的航摄方式,可实现测绘单位按需开展航摄飞行作业这一理想生产模式。

(3)周期短、效率高。对于面积较小的大比例尺地形测量任务(10~100 km²),受天气和空域管理的限制较多,大飞机航空摄影测量成本高;采用全野外数据采集方法成图,作业量大,成本亦较高。而将无人机遥感系统进行工程化、实用化开

发,则可利用其机动、快速、经济等优势,在阴天、轻雾天也能获取合格的影像,从而将大量的野外工作转入内业,既能减轻劳动强度,又能提高作业的效率 and 精度。

(4) 真实性。倾斜影像能让用户从多个角度观察,可以更真实地再现地物的实际情况,无限逼近真实世界,弥补了传统正射影像的不足。

(5) 可量测性。倾斜影像通过配套软件的应用,可以直接基于成果影像进行高度、长度、面积、角度的量测,实时获取数据。

(6) 丰富纹理。与传统垂直影像相比,倾斜影像具有自己独特的优势:它能提供丰富的建筑物立面信息。有了建筑物的立面信息,即获取了建筑物表面纹理,对于三维建模等方面具有深远的影响。

5 结 语

此次无人机摄影测量在巴丹托鲁项目成功应用的经验表明:多数情况下,无人机摄影测量技术

(上接第60页)

检查孔压水试验结果进行了加密灌浆处理。

6 结 语

(1) 本次试验孔与孔之间分为三序施工。根据以往工程的实践经验,二序施工和三序施工的灌浆效果是一样的,而施工效率却大为提高。因此,笔者建议:在今后的灌浆施工中应使用二序施工,即把目前试验的二序孔改为一序孔,三序孔改为二序孔。

(2) 本次试验的分段方式为:第一段2 m、第二段3 m、第三段及以下各段5 m。根据《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T5148—2012)“5.4.2 帷幕灌浆段长一般可为5~6 m,岩体完整时可适当加长,但最长不应大于10 m;岩体破碎、孔壁不稳时段长应缩短。混凝土结构和基岩接触处的灌浆段段长宜为2~3 m。”因此,笔者建议:在后续帷幕灌浆施工中,第五段及以下各段应调整为6 m段长。

(3) 采用“自上而下与自下而上相结合的综合灌浆法”能够建造出满足设计要求的帷幕墙,相对于传统的“孔口封闭灌浆法”降低了趾板被抬动的

可以取代劳动强度大、工作效率低、传统的地形图测量方式,其具有操作简便、速度快、采集信息量大等优点,可为工程建设项目管理全寿命周期进行增值,使建设过程更经济、高效和便捷^[5]。

参考文献:

- [1] 李党罗. 无人机在工程测量中的应用研究[J]. 科技资讯, 2017, 14(18): 71~72.
- [2] 无人机数字航空摄影测量与遥感外业技术规范, GDEILB007—2014[S].
- [3] 控制测量及地形测量(2007美标版), EM_1110—1—1005[S].
- [4] 摄影测量(2002美标版), EM 1110—1—1000 USACE[S].
- [5] 杨卫彬. 浅析无人机在工程建设中的应用[J]. 基层建设, 2017, 77(18): 1 573—1 574.

作者简介:

张际泽(1973-),男,四川资阳人,高级工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工
刘 礼(1977-),女,四川仁寿人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

风险,同时亦降低了工程造价。

(4) 在帷幕工程量、帷幕轴线较长的工程中,针对检查孔透水率不合格试段采取局部坝段、局部孔段进行加密灌浆处理的方式是可行的,加密孔的孔深应根据检查孔透水率不合格试段的深度确定,无需与原灌浆孔深一致。

参考文献:

- [1] 孙 钊. 大坝基岩灌浆[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2004.
- [2] 张景秀. 坝基防渗与灌浆技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.
- [3] 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范, DL/T5148—2012[S].
- [4] 许厚才, 乔润国, 李 强. 琅琊山抽水蓄能电站上水库帷幕灌浆试验研究[J]. 人民长江, 2007, 52(2): 43—46.
- [5] 史青松, 刘 炜, 李成斌. 北川开茂水库帷幕灌浆生产性试验施工技术[J]. 四川水力发电, 2015, 34(5): 13—15+19.

作者简介:

刘 炜(1982-),男,四川南充人,工程师,从事水利水电基础工程施工技术与管理工
马 旭(1989-),男,甘肃庆阳人,助理工程师,从事水利水电基础工程施工技术与管理工
罗 英(1971-),女,四川都江堰人,工程师,从事建设工程施工技术与经营管理工作。

(责任编辑:李燕辉)