

无人机倾斜摄影在卡拉水电站边坡治理中的应用

范 维

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要:目前水电站的边坡治理多采用全站仪、GPS-RTK、实地勘测等方式进行测量及定位,其具有强度大、周期长、风险高、成本大等特点。因卡拉水电站边坡危岩体垂直及水平分布范围广,危岩体数量众多,为满足卡拉水电站危岩体排查及测量需求,利用无人机倾斜摄影技术对危岩体的分布情况进行测量及定位,其数据获取效率为全野外采集的五倍之多,从而大大提高了测绘效率,改善了野外工作人员的工作环境,取得了较好的收益。阐述了无人机倾斜摄影在卡拉水电站边坡治理中的具体应用过程。

关键词:卡拉水电站;无人机倾斜摄影;三维建模;边坡治理

中图分类号:TV7;TV52;TV51;[TU198+.7];[TU198+.3] **文献标志码:** B **文章编号:**1001-2184(2023)05-0017-05

Application of UAV Tilt Photography in Slope Treatment of Kala Hydropower Station

FAN Wei

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: At present, total station, GPS-RTK, field survey and other methods are used to measure and locate the slope of hydropower station, which have the characteristics of high strength, long cycle, high risk and high cost. Due to the wide vertical and horizontal distribution and large number of dangerous rock masses on the slope of Kala Hydropower Station, UAV tilt photography technology is used to measure and locate the distribution of dangerous rock masses to meet the inspection and measurement requirements of dangerous rock masses in Kala Hydropower Station. And the data acquisition efficiency is five times that of the full field collection, thus greatly improving the efficiency of surveying and mapping and improving the working environment of field workers, and achieving good profits. The paper explains the specific application process of UAV tilt photography in Kala Hydropower Station.

Key words: Kala Hydropower Station; UAV tilt photography; 3D modeling; slope treatment

1 概 述

长期以来,国内主要采用高水准尺、全站仪、GNSS接收机等地面检测仪器设备对野外地物的全站坐标等信息进行收集。随着科学技术的发展,测绘手段已经从传统水准仪或钢尺的人工水平绘图发展为无人机摄影及三维空间建模,其检测科技亦朝着精确、高效率、低成本的方向蓬勃发展^[1]。近年来,由于无人机设备具有成本投入小、操作简便、机动快速、精确有效等优点,使航测遥感网络平台的发展展现出蓬勃的生机^[2,3],无人机倾斜摄影技术也逐渐成为其研发和应用的热门^[4,5]。无人机的摄影测量作为一种新兴的测绘技术已在三维模型设计和测绘工程等领域中发挥

出极其重要的作用,但国内倾斜摄影测量技术目前仍处于快速发展的推广阶段^[6]。

卡拉水电站是雅砻江中游河段一库七级开发中的第七级电站,该电站为二等大(2)型工程,主要开发任务为发电,电站总装机容量为1020 MW,安装4台、单机容量为255 MW的立轴混流式水轮发电机组。根据前期现场踏勘发现工程区发育有较明显的危岩体250处,其中左岸160处,右岸26处,大碧沟区域40处,永久交通桥区域24处。根据现场的实际情况,卡拉水电站边坡治理的水平距离超过2000 m,垂直分布距离超过1000 m,若采用全站仪及人工进行测绘,其数据收集效率低、数据更新慢。而在采用无人机倾斜

收稿日期:2023-05-30

摄影测量技术后,其数据采集速度大大提升,从而为卡拉水电站的建设带来极大的便利。

2 无人机倾斜摄影测量技术

无人机倾斜摄影三维建模包含无人机、倾斜摄影和三维建模三部分。其中无人机是拍摄平台;倾斜相机是拍摄工具;三维模型是摄影信息的处理过程和结果。无人机倾斜摄影可以将多个立体感应器搭建在一个航拍平台上,同时通过倾斜、垂直的拍摄视角实现地形、地貌及高程等关键信息的获取,最大限度地保证数据资料的精度和安全。

2.1 无人机

无人机(Unmanned Aerial Vehicle,简称 UAV)是一种采用无线电和计算机程序遥控操纵的无人驾驶的航空器。与载人飞机相比,无人机具有体重较小、灵活性高、造价低、操作简单、飞行环境要求低等优点。由于科学技术的飞速发展,无人机领域已由原来的军工应用逐步延伸至民生行业,被广泛应用于地理、天气、能源、抢险救援等各行各业,具有良好的发展前景。目前无人机领域主要分为固定翼无人机与多旋翼无人机。多旋翼无人机设备具备便携起降、飞机身高较低、操作灵巧、构造简单、工艺完善、拆卸简单、容易维修等优点,目前在测绘领域多旋翼无人机飞行设备已经获得了广泛应用。

2.2 无人机倾斜摄影测量

无人机的摄影测量主要是在无人机载荷平台上搭载高分辨率多视点航空摄影仪,在进行航路规划设计后对目标空域展开摄影以获得目标地域的地理信息。

无人机载荷平台为携带五个相机镜头的数码相机,其中1个为垂直摄影机,作用是获得底部区域的正射影象(正片),而其余四个镜头可以分别获得前、后、左、右方位的倾斜图像(斜片,倾斜角度为 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$),能够更高效地获得大角度图像及更丰富地物纹理图像资料,从而更加真实地表现地物的实际状态,解决了传统垂直摄影测量方法存在的不足,亦克服了垂直摄影存在的缺点。

2.3 三维建模技术

三维建模技术系指使用计算机描绘物品外形

的三维技术。实现这项技术的软件被称为三维建模工具。目前市场上最主流的应用软件涵盖了 Smart3D、PIX4D MAPPER、PHOTOSCAN、Photomesh、街景工厂等三维模型应用软件。卡拉水电站利用 Smart3D 建立了枢纽区的三维模型,利用无人机倾斜摄影获取的三维建模数据能够完美还原整个地表形状。倾斜摄影三维模型通常具有以下特点:

(1)给定区域中,在三维环境中各处的相对精度都是一致的,如平面的相对位置;

(2)三维场景系指一种能够通过投影转换公式实现平移、翻转、压缩等投影变换功能的刚体;

(3)三维建模中可以利用特定位置的控制点和所在区域的位置控制系统发生关联性(绝对定向);

(4)实景三维空间模拟是通过倾斜摄影和固定的体块构模而成,与地貌、建筑等模式为一体表现;

(5)实景三维模型造型完美、定位精确,能够保持与实际现场高度一致。三维模型不会出现明显的拉伸扭曲以及贴图漏洞,也不会产生贴图模糊及拉伸扭曲。

3 无人机倾斜摄影关键技术控制

3.1 无人机的选择

无人机包含机体、发动机、着陆架、飞控及安全保障系统五个部分。大多数无人机机体均采用玻璃钢或碳纤维复合结构,其飞控的全称为飞行控制系统,主要作用是控制无人机飞行;发动机为无人机提供动力;着陆架提供无人机的起飞与降落;安全保障系统保障无人机能够在信号源丢失时仍能够自动飞行并返航。作为倾斜摄影技术的重要数据收集平台,无人机在选型流程中需要着重留意以下几点:

(1)无人机应具备充分的安全性和可信度;

(2)无人机须达到摄像装置的承载能力和安装要求;

(3)无人机的飞行控制精度应符合倾斜摄影的标准要求;

(4)无人机的设备性能应能适应卡拉水电站的地形环境及气象条件;

(5)无人机的续航、飞行速度、控制距离等一定要满足实际应用需求。

根据以上要求,卡拉水电站挑选了飞马 E2000 无人机作为倾斜摄影搭载平台。作为多旋翼无人机,飞马 E2000 无人机具有操作简单、起降便利等优点,并具有低空飞行、空中悬停能力,能够获取高分辨率的倾斜影像资料,其最大飞行半径为 25 km,可以满足卡拉水电站边坡三维模型数据收集的需求。

3.2 多镜头倾斜摄影相机的设计

(1)利用单台相机进行拼接组合,禁止镜头中不必要的功能;

(2)对单台相机进行改造,将数码后背与镜头重新组合;

(3)对所有传感器、摄像头等均另行购买。对集成后的倾斜式摄影镜头也需要精确检校以适应精确测量的需要。

3.3 倾斜摄影影像数据的获取

倾斜摄影影像数据的获取方法是通过在飞马 E2000 无人机上搭载 5 个镜头的照相机(该照相机可以进行旋转),同时获得多个角度的地形、地貌影像以及位置信息资料。

(1)航线的设计。无人机航线的设计是根据测图精度、相机参数、作业区地形地貌等参数综合确定飞行高度、飞行比例尺、飞行重叠宽度等参数。《低空数字航空摄影规范》CH/T 2005—2021 规定航向的重合度应在 60%~80%之间,其旁向重合度不得小于 30%。为保持一定的富余,其航向重合度可以设置为 75%,旁向重合度可以设置为 35%,飞行速度为 5~10 m/s。

(2)无人机航空摄影。无人机航空摄影主要参照以下步骤作业:①选择宽阔、无遮挡、视野良好的起降场地,在接收到飞行指令后发射无人机;②操作手根据设计航线进行飞行,通过无人机搭载的设备对区域内地形地貌数据进行采集;③无人机完成飞行任务后返航完成外业;④从存储设备中导出采集到的数据并进行数据分析与检查,若数据不合格则需进行补测。

3.4 倾斜影像数据的处理

获得倾斜图像纹理后即可启动对倾斜图像的

数据处理工作。倾斜图像数据的处理过程包括对正片和斜片的多角度图像联合平差、多角度图像密集匹配、TIN 三角网建模、3D 纹理映射等步骤,通过以上步骤,可以实现三维数据的可量测操作。与人工建模相比,倾斜摄影自动模型控制系统具有高效率、高精度、高保真和低成本的优点。而信息处理控制系统则大多使用空三分布式计算机制,从而极大程度地提高了运算效能,具备丰富的摄影处理功能。输入数据时,系统通过图形间的相互关联完成空中三角测量自动解算,并通过密集点云配对、点云整合与构网、无缝的自动纹理投射等过程完成三维空间模型的自行重构。通过连续的二维图形还可以复原成实景三维建模而无需人工干预,即可实现对海量模型的批量管理。在完成数据采集等外业工作后,利用专门的处理软件 Smart3D 对所获取的数据进行三维建模处理,并采用 GPS/POS 系统对影像的坐标进行定位,其主要内容为:

(1)影像预处理。对图像品质进行测试,确定图像有无失真、变形问题。对于不合格的图像进行修改并根据相应的规范采用 POS 进行图像处理(POS 即姿态定位:包含拍照瞬间对某组画面的姿态角和空间位置两个数据。航摄测量中的成像分辨率的准确度愈高,其影像的空间位置就愈准确,其空三解算的结果愈好。因此,所得到的三维模型的空洞、变形等模型错误就愈少。

(2)自动空三加密。自动空三加密系指在立体摄影中在一些实际地形上布设地面标志达到添加影片的外方位元素的目的,最终在计算机上解出所拍摄地区未知点地面坐标的测量方法。空三解算是获得加密点三维位置信息的过程。由于科学技术的进步,目前最普遍使用的方式是通过 POS 系统辅助实现空三解算。在实际摄影过程中,通过无人机群在空间的某一地点对目标物体实施摄影得到目标物体的空间方位和姿态角,形成摄影瞬间的 POS 数据,该数值包括目标物体的经纬度和高程,然后再通过 POS 进行区域网平差(以面积最大不超过像对总数划分区域。像对总数是指区域内点连线以内的高点和高程点连接范围内的像对个数),再根据基础误差方程和最小二

乘法即可解得地面物点的三维坐标;最后通过空三解算可以将航摄影像进行初步匹配并还原影片在空间进行时的空间信息,从而建立三维模型的初步建模框架并可进行高度平差解算;而倾斜式摄影技术进行的多镜头拍摄能够综合五组镜头的POS数据进行联合高度平差解算,从而极大地降低了因POS数量过于单一产生的解算结果偏差,从而大大地提高了计算准确度。

在影像上刺像控(即给照片特定位置赋值坐标)时,利用光束法进行区域网的高程平差值解算得到加密点成果。

(3)多视角影响联合平差。在多视角拍摄中,不但涵盖了直角拍摄信息,也涵盖了斜面拍摄信息。但部分空中三角测量技术并不能很好地处理斜面拍摄信息,因此,在多视角拍摄联合平差时要充分考虑画面空间的几何变化和遮挡情况。根据POS系统给出的多视角影像的方位元素,采用了从粗狂到精细的金字塔搭配方法,在每级图像上实现了同名点自动配对以及自由网光束的平差归零,获得了较高的同名点配对效果。另外,已经确定的连接点和连接线、控制位置坐标、CPU/IMU等辅助参数可以利用多视角图像校对及区域网平差的误差方程进行统一解算,可以确保高程与平差计算结论的正确性。

(4)多视角影像密集匹配。图像匹配是摄影测量的基础技术之一,多视角图像具备范围广、清晰度高等优点,因此,如何在搭配流程中充分考虑多余的内容以便迅速、精确地获得多视角图像中的同名点位置、进而获得地物的三维数据即成为多视角图像匹配的重点。单纯采用一种匹配单元的匹配方式往往无法获得建模需要的同名位置,故近年来伴随着机器视觉开发出来的多基元、多视角图像匹配也越来越多地成为水电领域关注的对象。通过寻找更多多视角图像上的特点,如建筑物边缘来定义建筑物的二维矢量数据集数据,亦可将不同角度的二维特征转换为三维空间数据。

(5)高精度三维模型的构建。无人机倾斜摄影技术最直接的收获是三维空间建模。空三解算成功后,能够按照需求选择如3 mx 三维空间建模、las点云图像、DOM数字平射影像等各种形

式的信息。根据卡拉水电站枢纽区的测绘需求,3 mx 格式的三维高精度实景建模更有利于该工程建设。在此基础上构建研究区3D TIN并进行表面纹理绘制和颜色填充(表面纹理绘制是在已创建出的3D TIN基础中将网格表面进行细节描写),通过倾斜式拍摄技术形成的高精度三维模型对高陡边坡区的研究工作具有很大的帮助。而传统单摄像头无人机在采集影像后虽然也可以进行三维建模工作,但其在拍摄目标物时仅能从一个视角进行取景,即在其他方位的区域中便会产生映像不全、位置偏移以及模型空洞等问题。而倾斜摄影技术是使用五组摄影机共同完成的影像收集,从而可以真正意义上实现对研究区域的“全方位”取景。多镜头航摄技术不但提高了影像数量,同时亦在进行空三解算时提高了多组POS数量,从而进一步提升了解算的准确度。无论在三维建模视觉效果或模型物理信息的提取准确度上,多镜头倾斜拍摄技术均明显高于传统单镜头拍摄技术。

(6)真正射影像纠正。真正射影像纠正包括物方连续性的数字高程模型DEM和大量离散分布粒度差别较大的地物数据,还包括巨量的像方多角度图像,具有一定的消息密集性和计算密集特性。在具有DSM的背景上,可以针对物方连续性地形特征和大量离散地物数据的不同特性采用轮廓抽取、面片模型拟合、屋顶重构等技术获取物方的语义信息内容;同时在多视图像上采用图像分割、轮廓抽取等多种技术获取像方语义信息内容,并通过联合平差等密集匹配技术形成物方与像方之间的同名点匹配关系,继而实现全局的取样决策与顾及几何辐射特性时的统一修正并实现匀光处理。

4 无人机倾斜摄影技术在卡拉水电站中应用具有的优势

4.1 降低了边坡工程测绘的成本

卡拉水电站枢纽区边坡的上下高差大于1 000 m,且其边坡坡度大于75°,导致人工测绘非常困难。但利用低空飞行的无人机以倾斜拍摄的方式实施测绘后,由于其整个作业过程灵活、方便,从而大大减少了技术人员操作的时间,显著提高了

测绘的效率,有效地降低了卡拉水电站测绘的成本投资。同时,与常规单镜头航拍方式相比,倾斜摄影方式具有突出的优点,其不但可以收集到多种不同维度的摄影信息,同时在对拍摄画面进行后期数据处理中,也可以通过自动化批量数据处理的方法对信息进行处理,从一定意义上节约了建模成本、降低了航拍次数,同时节约了测绘人员成本,在获得准确、全面的地表数据资料的同时可以有效避免拍摄器材及人员的浪费。

4.2 获取边坡工程测绘的原数据

将倾斜摄影等测量技术运用到卡拉水电站测量时,其最主要的优点是可以得到原数据,即多角度影像。工程测量技术人员能够从倾斜摄影数据中直接导出与测量原数相符的高密度图形和点云,为卡拉水电站边坡测量工作起到了辅助作用,从而有助于工程技术人员更全面地掌握测量范围现场的复杂地貌。

4.3 提升水电工程测绘的质量与效率

倾斜摄影可以显著提高测量效果和整体效率。从事工程测量的技术人员通过将倾斜摄影测量方法和计算机软件技术相结合,可以建立起工程测量区域的三维空间形象,其具有很强的可视性;如果进一步通过对其进行量取、编辑和立体测图等作业,既可以给工程决策者一种身临其境的感受,有助于对其做出更准确的评估,亦可以提高水电工程测量的质量与效率。

5 结 语

通过采用旋翼无人机对卡拉水电站边坡进行倾斜摄影航飞并通过 SMART3D 软件生成实景

模型,再借助 EPS 软件进行 1:1000 DLG 采集并在通过 GPS 验证后其地形图成果满足 1:1000 比例尺精度要求,其数据的获取效率比采用人工收集提升了近五倍之多。倾斜摄影能够取得优良的数据收集效果且其所构建的建筑物三维模型与真实世界的建筑物具有高度的一致性;将其运用到水电工程测量领域,既可以全面保证测量资料的准确度及安全性,亦可有效提高工程测量的总体效率及测量效果,从而为水电工程的后续建设奠定基础,其必将在国民经济建设领域中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 冯茂平,杨正银,张秦罡.基于小型多镜头航摄仪的无人机倾斜摄影技术在实景三维建模中的应用[J].测绘通报,2017,63(增刊1):5-7.
- [2] 陈继溢,孙杰,张力,等.无地面控制的无人机影像全自动快速拼接[J].遥感信息,2015,30(2):26-30.
- [3] 陈鹏飞.无人机倾斜摄影测量开采沉陷监测方法研究[D].太原理工大学,2018.
- [4] 曲林,冯洋,支玲美,等.基于无人机倾斜摄影数据的实景三维建模研究[J].测绘与空间地理信息,2015,38(3):38-39,43.
- [5] 李明,孙运豪,孙彬淳.无人机倾斜航空摄影在文化遗产保护中的应用[J].测绘与空间地理信息,2019,42(1):34-36,40.
- [6] 李德仁,肖雄武,郭丙轩,等.倾斜影像自动空三及其在城市真三维模型重建中的应用[J].武汉大学学报(信息科学版),2016,41(6):711-721.

作者简介:

范 维(1981-),男,四川成都人,总承包部技术部主任,高级工程师,学士,一级建造师,从事水利水电与市政工程施工技术与管理工作。
(责任编辑:李燕辉)

水电七局一分局李家岩水库项目参与地方抢险救灾获 当地政府感谢

2023 年 9 月 27 日下午,崇州市文井江镇至鸡冠山的唯一通道在蜂桶岗处发生山体滑坡,大量泥沙和石头阻断公路的长度约为 60 m,严重影响地方交通。9 月 30 日中午,下游侧山体在清理过程中发生了二次坍塌。地灾造成出行受阻的群众达 1 324 人,其中常住人口 579 户、1 147 人,租住户 149 人、游客 28 人。

水电七局一分局李家岩水库工程项目部积极响应政府的抢险指令,组成应急抢险队及时赶赴山体滑坡现场开展安全警戒、实地踏勘、排险抢通等应急抢险工作。恰逢“中秋”“国庆”双节期间,项目部人员放弃休假,领导亲临现场部署抢险工作、进行安全交底;技术人员听取各方专家意见,熬更守夜、数易其稿,制订抢险措施方案;管理人员、操作手顶风冒雨、披星戴月进行安全盯控、清理堆积体。10 月 4 日,项目部在相关单位的指导下成功打通了滑坡体处的应急通道,为受灾群众早日恢复生产生活做出了重要贡献。为此,地方政府对项目部付出的努力表示感谢。

(水电七局 供稿)