

无人机微变摄影测量技术在边坡高位危岩体监测中的应用

白奎明¹, 范庆龙¹, 杨宝全³, 殷滋¹,
侯争军², 陈媛³, 贺宁波⁴

(1. 四川华能泸定水电有限公司, 四川 成都 610065; 2. 成都星景智能科技有限公司, 四川 成都 610065;

3. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室 水利水电学院, 四川 成都 610065;

4. 中国安能第三工程局有限公司, 四川 成都 610000)

摘要:针对传统边坡高位危岩体监测手段的局限性,结合硬梁包水电站厂区边坡高位灾害变形监测要求,引入了无人机微变摄影测量技术,利用无人机采集边坡高位危岩体数据,分辨率可达亚毫米级,并构建三维实景模型,可以生成三维模型、DOM、DEM、数字点云等测绘产品。工程实践表明:微变摄影测量技术获取的三维模型具有真实、纹理清晰、精度高等优势,为边坡高位危岩体调查、监测及巡检提供了一种新的方法。

关键词:边坡;高位危岩体;无人机;微变摄影测量技术;三维实景模型

中图分类号:V279+.2

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2023)01-0089-04

Application of Micro-variation Photogrammetry Technology Based on UAV in the Monitoring of High-level and Hazardous Rock Mass of Slope

BAI Kuiming¹, FAN Qinglong¹, YANG Baoquan³, YIN Zi¹, HOU Zhengjun²,
CHEN Yuan³, HE Ningbo⁴

(1. Sichuan Huaneng Luding Hydropower Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610065;

2. Chengdu Sunvison Intelligent Technology Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610065;

3. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, College of
Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065;

4. China Anneng Group Third Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000)

Abstract: In view of the limitations of traditional monitoring methods for high-level and hazardous rock mass of slope, and combined with the deformation monitoring requirements of the high-level disaster in the slope of Yingliangbao Hydropower Project, the unmanned aerial vehicle (UAV) micro-variation photogrammetry technology is introduced. The data of the high-level disaster bodies of the slope is collected by an UAV, and the three-dimensional (3D) real scene model is constructed. The resolution ratio can reach sub-millimeter level. The digital elevation matrix (DEM), digital orthophoto map (DOM), digital point cloud and other mapping products are generated. The engineering practice shows that the 3D real-action model obtained by micro-variation photogrammetry technology has the advantages of authenticity, clear texture and high precision, which provides a new method for the investigation, inspection and monitoring of high-level and hazardous rock mass of slope.

Key words: Slope; High-level and hazardous rock mass; UAV; Micro-variation photogrammetry technology; Three-dimensional real-action model

1 概述

在水利水电、交通、房屋建筑等土木工程建设

和运行过程中,存在或形成了大量的高陡边坡,边坡上的高位危岩体具有处理难度大、代价高,崩塌后冲击力强,严重威胁施工和运行人员安全。目前,主要采取加强监测和在边坡下部布置被动防护网的方式进行处理。而传统的危岩体监测手

收稿日期:2022-08-05

段,如多点位移计、全站仪、GNSS(Global Navigation Satellite System)等都是单点式的,且这些监测手段往往需要在边坡上布设控制点,但对于危岩体边坡布设控制点是一个难题。

随着三维激光扫描技术、近景摄影技术、卫星拍照技术,以及无人机航摄技术的快速发展和逐渐成熟,为上述问题的解决提供了新的思路。三维激光扫描技术能够高精度地获取岩土体的三维点云数据^[1],因此在边坡工程中运用广泛,如李彬彬等^[2]将三维激光扫描技术运用于地表沉降的监测研究中,提出了基于无人机平台的三维激光扫描技术,并采用小波神经网络方法对点云数据进行非线性逼近处理,提高建模精度,测量误差控制在7 mm以内。近景摄影技术是指在300 m内对目标待测物体进行影像数据的采集,进而在不接触目标物体的前提下得到其更加精准的形状大小坐标信息^[3]。项鑫等^[4]对近景摄影测量的精度进行比较,认为景深方向的精度相对较低,基高比对精度有较大影响,所以选取适当的基高比是提高精度的关键。而王健伟等^[5]将北斗卫星定位技术运用于边坡监测上,证明其具有一定精确性和稳定性。

硬梁包水电站厂房出口边坡高位危岩体监测为背景,采用无人机微变摄影测量技术采集亚毫米级分辨率数据,构建了高精度的边坡高位危岩体的三维实景模型,该方法极大提高了边坡高位危岩体的调查、勘察以及监测巡检工作效率。

2 无人机微变摄影测量系统

2.1 高边坡微变摄影测量技术及操作流程

(1)无人机微变摄影测量技术。无人机微变摄影测量技术以高边坡危岩体的“面”为摄影对象,利用旋翼无人机微变摄影获取亚毫米级分辨率的正交影像,进行精细化地理信息提取,高度还原地表和物体的微细结构,从而能够达到对地表和物体的细微变化进行识别、分析的目的。

(2)无人机高边坡微变摄影测量操作流程。无人机微变摄影测量技术的操作流程包括:边坡整体数据采集、三维实景模型的构建、边坡高位危岩体航迹规划、高位危岩体数据采集、高位危岩体三维模型构建等,具体的步骤为:

①边坡整体数据采集。利用多旋翼无人机对研究边坡目标区域进行图片采集。

②三维实景模型的构建。利用三维 Context-Capture 软件生成满足需要的三维实景模型以及数字正射影像图(Digital Orthophoto Map, DOM),从而了解各部分危岩或危岩体的分布区域以及节理裂隙产状,以此作为高位危岩体航迹规划的数据基础。

③边坡高位危岩体航迹规划。根据危岩体的三维实景模型,规划相应的微变摄影测量航迹路径。

④高位危岩体数据采集。利用多旋翼无人机调整云台控制相机的俯仰角、旋偏角、曝光值等参数,采集边坡危岩体的亚毫米级分辨率正交影像,从而对边坡危岩体进行图片采集(亚毫米级)。

⑤高位危岩体三维模型构建。利用CC软件对边坡高位危岩体进行精细化建模,得到高精度的危岩体三维实景模型,为危岩体勘测、设计和监测提供依据。

2.2 数据采集

数据采集系统主要由无人机 M300RTK、P1 相机和高精度 GNSS 移动站经纬版组成。

无人机采用大疆 M300 RTK(Real-time kinematic),该无人机有效飞行时间 55 min,飞行半径 10~15 km,飞行载重 2.7 kg,遥控控制距离 8 km,15 km 约 1 080 p 图传,六向定位避障,抗风等级 7 级,工作温度为 -20 ℃~50 ℃。

高精度相机采用大疆禅思 P1 航测相机,该相机有效像素 $\geq 4\ 500$ 万,支持 PPK(Performance Index of Process)数据存储,曝光时刻的相机中心的位置信息能够自动记录在照片文件中用于模型重建,支持仿地飞行,与无人机兼容,具有一个接口同时完成供电、飞控控制、GPS(Global Positioning System)信号记录、实时图传的功能。

在数据采集时,无人机携带高精度 GNSS 移动站经纬版,免像控理论可达到 1 cm+1 ppm 水平定位精度及 1.5 cm+1 ppm 垂直定位精度。

2.3 数据处理

数据处理方面,将采集图片直接在 CC 软件中自动处理解析空中三角测量加密,将影像导入软件后,即开始自动进行影像校准、平差、空中三角测量计算原始影像外方位元素等。CC 软件可自动生成亚毫米级的危岩体三维实景模型、DOM、DEM、高密度的点云数据等成果。

2.4 数据成果的应用分析

根据边坡高位危岩体的亚毫米级三维实景模型,可进行工程应用如下:

(1)高位危岩体分布调查研究。利用无人机的空中视角,通过大范围边坡三维实景模型,可以判断危岩体的主要分布区域。

(2)危岩体节理裂隙产状调查。通过高精度边坡危岩体三维实景模型,危岩体的裂隙、岩层产状等清晰可见,通过对危岩体的产状、结构面等地质参数进行调查统计,地质人员可对其安全性进行初步判断和分区。

(3)危岩体裂缝识别和宽度测量。可识别并量测出危岩体的裂缝宽度,同时可测量危岩体的面积、体积等参数。将多期监测数据进行对比,可获得裂缝宽度的异常情况,从而达到对危岩体进行裂缝监测的目的。

3 工程应用

3.1 工程概况

大渡河硬梁包水电站地下厂房厂区自然边坡包含开关站自然边坡、进排风洞及尾水洞等洞室出口自然边坡,这些自然边坡连成一片,范围较大且边坡高陡。岩体物理地质作用强烈,工程建设区内高边坡存在飞石、滚石、崩塌、危岩体、泥石流等地质灾害现象,安全隐患突出。为了确保开关站、进厂交通洞、出线洞、进排风洞及尾水出口施工期和运行期的安全,避免危害边坡下方人员、车辆和设备,有必要对厂区自然边坡进行详细的排危勘察和治理。

3.2 边坡三维实景模型

该次研究对厂房出口天然边坡整体进行数据采集,飞行高度为约 100 m,航线重叠率设置为航向 85%,旁向 75%,使用单镜头垂直摄影模式,共飞行 10 个架次,耗时 180 min,获取影像数据约 2 000 张。利用 CC 专软件进行三维建模,厂区天然边坡全范围三维实景图见图 1。



图 1 厂区天然边坡全范围三维实景图

3.3 亚毫米级灾害体三维实景模型

在全范围三维视图中找到待研究危岩体目标区域,确定无人机起飞点和精细拍摄的路径,以避免无人机冲撞树木、电力输送线、山体等障碍物,并尽可能使拍摄目标区域更全面清晰。

采用大疆 M300 多旋翼无人机完成数据采集工作,经现场试验,完成大渡河上某水电站地下厂房厂区自然边坡高位危岩体监测仅需 1 h,无人机巡检系统采集的图像数据达到亚毫米级分辨率。将目标危岩体区域采集的亚毫米级分辨率正交影像进行图片检查,航摄补射等步骤后,利用 CC 软件进行三维实景建模。

3.4 典型危岩体的数据成果分析

以 6 号危岩体为例进行数据成果分析。

(1)根据 6 号危岩体微变摄影测量成果,该边坡变形破坏模式为平面滑动破坏和崩塌,存在主结构面一条,其他为次要结构面,结构面类型为岩块岩屑型和岩屑夹泥型。

(2)针对 6 号危岩体的结构面情况,布置了裂缝监测断面,根据无人机多期航摄数据分析,获得 6 号危岩体裂缝宽度监测曲线见图 2。各监测断面的裂缝宽度基本没有变化,只有个别点存在微小波动,考虑监测点位置选择的人为误差,该波动在允许误差范围之内。总体来看,各监测断面裂缝宽度无异常变化,相对稳定。

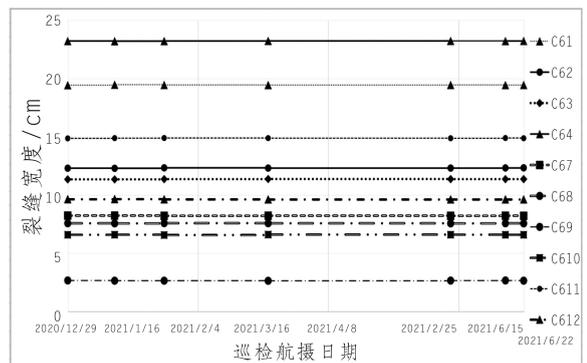


图 2 6 号危岩体裂缝宽度监测曲线

4 结语

通过微变摄影测量技术进行边坡危岩体调查、监测,直观逼真、现实性强,可在大型水电站边坡工程广泛使用,尤其适合比较陡峭的高边坡危岩体。

将无人机微变摄影测量技术应用于大渡河硬

梁包水电站厂区自然高边坡,建立硬梁包水电站不同时期的边坡危岩体的三维模型数据库,不仅能够充分掌握边坡危岩体整体变化过程,而且根据三维实景模型及裂缝变化数据,及时发现边坡危岩体安全隐患,为施工和运营期间提供监测预警服务。

参考文献:

- [1] 王堃宇. 基于三维激光扫描技术的岩土工程动、静态监测[D]. 天津大学, 2018.
- [2] 李彬彬,王笑,秦海超. 无人机三维激光扫描在地表沉降的监测研究[J]. 北京测绘,2022,36(3): 356-360.
- [3] 张敏. 近景摄影技术在露天矿山边坡变形监测中的应用初探[J]. 科技创新与应用,2020(20): 171-172.
- [4] 项鑫,王艳利. 近景摄影测量在边坡变形监测中的应用[J]. 中国煤炭地质,2020.
- [5] 王健伟,王磊. 北斗卫星定位技术在边坡位移监测中的应用[J]. 铁道建筑,2020, 60(1): 85-88.

(上接第84页)

根据隧洞掌子面岩体和实际地质条件确定勘探需求,采用合适的物探方法和常规地质勘探法相结合的方法得到的地质预报结果具有较高的准确度。

利用超前钻孔和施工钻孔相结合既达到了施工目的,又起到了地勘、超前排水和指导进尺等超前预报的作用。

综合性地质超前预报方法的准确度较高,针对出现的高岭土化蚀变岩体、断层、塌腔和地下渗水等不良地质情况,采取了合适的施工技术措施,有效改善蚀变岩隧洞地质灾害,保证了工程的质量,提高了施工的进度。

参考文献:

- [1] 中国水利水电地下工程数据统计(截至2016年底)[J]. 隧道建设,2017,37(6):778-779.
- [2] 张小宝,司富安,段世委,等. 深埋水工长隧洞主要工程地质

作者简介:

- 白奎明(1974-),男,四川广安人,本科,硕士学位,高级工程师,从事水电工程建设、电厂运行维护管理工作;
- 范庆龙(1973-),男,重庆丰都人,硕士研究生,高级工程师,注册一级建造师、注册安全工程师,从事水电工程建设管理工作;
- 杨宝全(1985-),男,云南大理人,博士,从事水利水电工程行业教学与研究工作;
- 殷滋(1993-),女,重庆长寿人,本科,助理工程师,从事水电工程建设管理工作;
- 侯争军(1979-),男,河南焦作人,博士,高级工程师,从事智能变形监测装备系统研究;
- 陈媛(1973-),女,重庆涪陵人,博士,教授,从事水电工程及岩土工程的教学与研究工作;
- 贺宁波(1990-),男,湖南宁乡人,本科,工程师,从事应急装备研发管理工作。

(责任编辑:吴永红)

问题与勘察经验[J]. 水利规划与设计,2021,218(12):55-60.

- [3] 赵学恭. 隧道超前地质预报地震波反射 TSP203 法与 TRT7000 法的应用及比较[J]. 居舍,2021(5):178-180.
- [4] 何发亮,李苍松,李木才,等. 隧道施工地质超前预报工作方法[J]. 岩土力学,2006,27(S1):270-274.
- [5] 时彦芳,李波. 综合电法在花岗岩地区找水中的应用效果分析[J]. 地质与资源,2020,29(4):363-368.

作者简介:

- 虞舜(1988-),男,云南祥云人,本科,中级工程师,从事水利水电工程施工管理工作;
- 朱松(1998-),男,贵州铜仁人,本科,助理工程师,从事水利水电工程施工技术管理工作;
- 李志明(1999-),男,云南腾冲人,本科,助理工程师,从事水利水电工程施工技术管理工作;
- 杨再润(1982-),男,云南临沧人,专科,助理工程师,从事水电水利工程测量管理工作;
- 蒋顿(1989-),男,云南曲靖人,专科,中级工程师,从事水利水电工程施工现场管理工作。

(责任编辑:吴永红)

长江干流梯级水库已累计向下游补水超100亿立方米

受去年夏秋连旱影响,长江流域来水极端偏枯,为解决去冬今春水资源供需紧张难题,三峡集团所属长江电力持续加强与水利、航运、电力等部门沟通协调,精心编制补水方案,并于2022年11月5日开展长江干流梯级六座水库枯期补水调度,这也是长江电力自三峡水库建成以来启动时间最早的一次枯期补水调度。截至目前,长江干流梯级水库已累计向下游补水超100亿立方米,相当于700余个西湖水量,有效缓解长江中下游用水紧张局面。今年1月中旬以来,位于三峡水库上游的向家坝、溪洛渡水库平均出库流量均创历史同期新高,三峡水库平均出库流量达6810立方米每秒,较去年同期增加220立方米每秒,抬升下游沙市水文站水位超0.5米,为开展长江中下游补水提供有力支撑。后续,长江电力将持续加强预测预报,加大与上级调度单位沟通力度,持续开展枯期补水调度,为长江中下游春耕灌溉期间用水提供坚实保障。

(来源:中国长江三峡集团有限公司 2023-02-06)