

松江河梯级电站地质灾害隐患评估中无人机航拍的应用与研究

李松

中水东北勘测设计研究有限责任公司, 中国·吉林 长春 130000

摘要: 梯级电站运行时要彼此受到制约和影响, 因此梯级电站之间的地质灾害隐患与电站运行安全息息相关, 往往受到水库调度影响梯级电站水位起伏变化过大, 随着水库水位涨落梯级电站运行期属于地质灾害频发区, 受限于梯级电站高山峡谷地貌, 地表植被发育, 常规地质灾害评估方法无法及时准确的对于隐患点进行评估论证, 无人机航拍具有机动性强、时效性高及不受复杂地形地貌影响的特点, 在地质灾害隐患评估中具有独特的优势, 本次研究主要目的是论证无人机航拍手段作为地质灾害隐患评估项目主要手段的可行性, 为后续推动以无人机航拍为主要方法的地质灾害隐患评估提供一些方向和启发。

关键词: 梯级电站; 无人机航拍; 水库调度

Application and Research of Unmanned Aerial Vehicle Aerial Photography in Geological Hazard Assessment of Songjiang River Cascade Hydropower Stations

Song Li

China Water Northeastern Investigation Design and Research Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract: During the operation of cascade power stations, they are constrained and influenced by each other. Therefore, the geological hazards between cascade power stations are closely related to the safety of power station operation. Often affected by reservoir scheduling, the water level fluctuations of cascade power stations are too large. As the reservoir water level fluctuates, the operation period of cascade power stations belongs to the frequent geological hazard area. Due to the high mountain and canyon terrain of cascade power stations and the development of surface vegetation, conventional geological hazard assessment methods cannot timely and accurately evaluate and demonstrate the hidden danger points. Drone aerial photography has the characteristics of strong mobility, high timeliness, and is not affected by complex terrain and landforms. It has unique advantages in geological hazard assessment. The main purpose of this study is to demonstrate the feasibility of using drone aerial photography as the main means of geological hazard assessment projects, To provide some direction and inspiration for the subsequent promotion of geological hazard risk assessment mainly using drone aerial photography.

Keywords: cascade power station; drone aerial photography; reservoir scheduling

0 前言

近年来随着国家逐年加大防灾减灾专项资金额度, 由于自然因素或人为因素造成的地质灾害受到国家的重点关注。地质灾害对人类生命财产和生存环境存在巨大潜在威胁, 但是地质灾害发生却有一定的偶然性和突发性, 这些都给灾害预警和防治带来了巨大挑战, 无人机具有机动灵活、数据客观真实、操作维护简单等特点, 因此基于无人机航拍技术为主要手段的地质灾害隐患评估项目具有独特的优势。随着摄像技术水平的提高, 图形图像解译工具关键技术的突破, 无人机航拍技术在地质灾害评估中广泛应用已成必然趋势。

本次研究基于松江河梯级电站地质灾害隐患评估项目。库区、引水洞进出口边坡、厂房后边坡等部位进行了大面积详细的无人机航拍工作, 获得了高精度无人机影像资料, 结合 2015 年库区内地质灾害重点部位影像图片, 利用专业软

件进行灾害点地貌特征位移变化对比分析, 初步得到地质灾害评估结论, 然后对于隐患点进行常规勘察手段验证, 最终生成基于无人机航拍为主要手段的地质灾害隐患评估报告。为梯级电站运行调度安全提供客观、精准的数据支撑。

1 研究区域概况

松江河梯级电站包括松山引水工程、小山电站、双沟电站和石龙电站。

松山引水工程位于吉林省抚松县头道松花江支流漫江上, 距松江河镇约 28km, 工程以引水为主, 即将漫江水通过引水洞引至松江河, 供小山及下游电站发电。工程等别为 II 等, 工程规模为大 II 型, 由混凝土面板堆石坝、左岸开敞式溢洪道、漫松引水隧洞等建筑物组成。正常蓄水位和设计洪水位均为 711.00m; 校核洪水位 713.25m, 总库容 1.33 亿 m^3 。

小山电站位于吉林省抚松县头道松花江支流松江河上, 电站建设以发电为主, 是松江河梯级电站的第一级。工程等别为Ⅱ等, 工程规模为大Ⅱ型, 由混凝土面板堆石坝、右岸溢洪道、引水系统及发电厂房等建筑物组成。正常蓄水位和设计洪水位均为 683.00m; 校核洪水位 684.58m, 总库容 1.07 亿 m^3 ; 死水位 664.00m, 相应库容 0.44 亿 m^3 , 为年调节水库。

双沟电站是松江河梯级电站的第二级, 距小山电站约 32km。工程等别为Ⅱ等, 工程规模为大Ⅱ型, 由混凝土面板堆石坝、左岸溢洪道、引水系统及发电厂房等建筑物组成, 正常蓄水位 585.00m, 设计洪水位均为 586.58m; 校核洪水位 588.56m, 水库总库容 3.88 亿 m^3 ; 死水位 567.00m, 为多年调节水库。装机容量 280MW, 多年平均发电量 3.868 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

石龙电站为松江河梯级电站的第三级, 距离上游双沟电站约 20km。工程等别为Ⅲ等, 由混凝土重力坝、引水系统及发电厂房等建筑物组成。正常蓄水位 479.00m; 设计洪水位 482.90m; 校核洪水位 483.33m, 总库容 0.412 亿 m^3 ; 死水位 478.00m; 为日调节水库。

2 无人机航拍影像获取

无人机航拍系统自研制成功以来, 以其机动灵活、成

本低廉、操作维护简单等特点已经在很多领域广泛应用。近年来无人机作为辅助手段也被用于地质灾害领域, 本次研究利用专业无人机系统开展航拍工作, 搭载多个镜头, 操作简单易上手, 同时可以实现全向避让, 针对梯级电站松山、小山、双沟、石龙进行了为期 20 天的重点区域航拍工作, 共计拍摄多角度高清影像资料 315 幅。进行初步航线规划时考虑到梯级电站范围广、地面起伏高差较大、地表植被茂盛、地质灾害多发等特点, 航线规划时旁向重叠度设置 60%, 航向重叠度设置 80%。

3 研究区域影像处理及灾害解译

通过无人机获得的梯级电站高清数字影像图, 由于搭载的相机属于非量测型数码相机, 影像资料存在镜头畸变现象, 利用 Bentley 公司软件进行联机计算, 得到高分辨率三维实景模型。对比研究区域 2015 年重点灾害区域影像资料, 准确地辨识出已发灾害点发展状态和新灾害点的类型、规模、影响范围、所处的地形地貌等形态特征。结合野外勘察手段进行验证, 完综合成灾害点解译工作。处理及解译流程如图 1 所示。

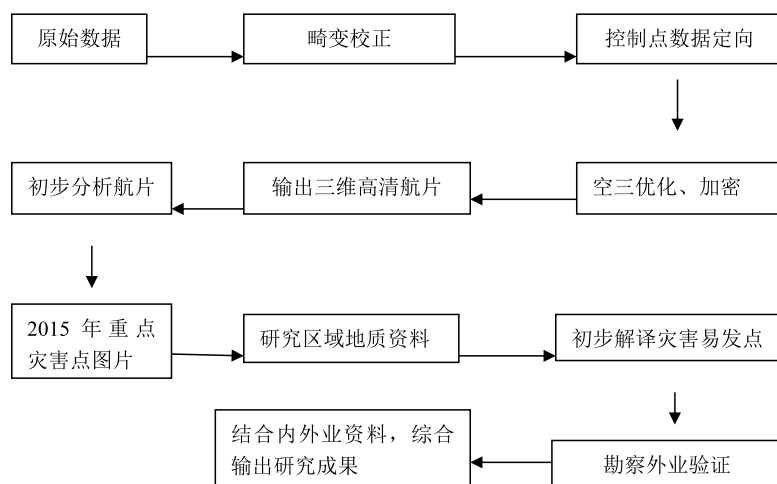


图 1 数据处理及解译流程图

3.1 松山引水工程地质灾害排查航片解译

本次无人机航拍共获得松山引水工程高清影像 100 余幅, 灾害隐患点溢洪道高边坡, 边坡高度约 40m, 开挖坡比 1 : 0.5, 边坡走向 S78° W。边坡岩体为侏罗系安山岩, 呈弱风化状态, 为较硬岩, 饱和抗压强度较高, 抗风化能力强。边坡岩体节理较发育, 多锈面, 无地下水出露。2015 年影像及现状见图 2、图 3、图 4。

根据上述照片对比分析: 松山大坝左岸边坡自 2015 年至今, 特征部位未见明显变形以及潜在的滑坡、崩塌等地质灾害隐患。航片显示其左侧约 12m 远处, 现有长度约 25m, 宽约 10m 的表层松散碎石体 (见图 4), 自工程建设至今一直存在, 其方量约 75 m^3 , 较少, 只分布在表层, 碎

石体大小均匀, 多小于 15cm, 对坝体及溢洪道等构筑物均无影响。

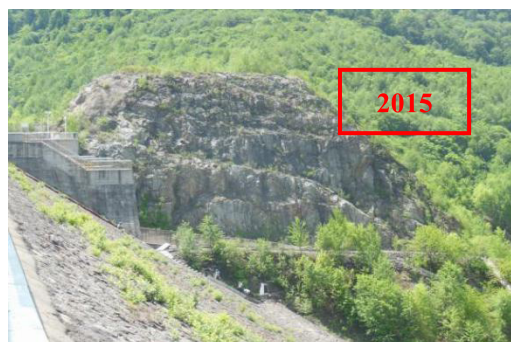


图 2 松山大坝左岸边坡（远景）



图 3 松山大坝左岸边坡（近景）

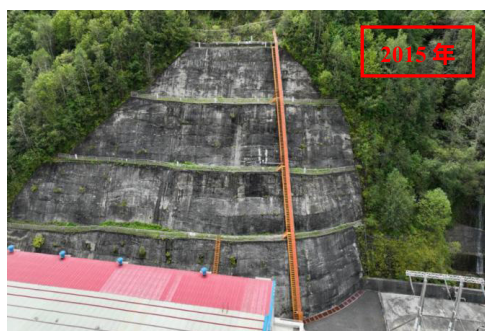


图 6 小山电站厂房后边坡



图 4 松山大坝左岸边坡及其左侧松散坡积物

3.2 小山电站工程地质灾害排查航片解译

小山电站工程本次无人机航拍获得高清影像 76 幅，灾害隐患点为厂房后边坡，小山厂房后山坡系指由调压井至厂房的斜坡地段，边坡高度 40~45m，坡比 1 : 0.5~1 : 1.3，走向近东西，坡角 10° ~30°，局部地段可达 40°，开挖段 52°。根据本次航拍影像资料及 2015 年后山坡影像资料对比如图 5，图 6。经过两次航拍影像对比，可见厂房后边坡为浇筑混凝土支护，混凝土外观腐蚀严重，局部开裂、钢筋裸露。边坡表面略有渗水现象，从上至下近乎直线形且其马道均为混凝土硬化。

因此，推测该水体来源于边坡顶部渗漏以及岩体内部。两次排查期间边坡坡脚处均存在长约 15m、宽约 5mm 的“裂缝”，经我公司物探专业于 2022 年 7 月份现场钻进取芯查验后，该裂缝向内部尖灭，未贯通至岩体，因此，该裂缝仅产生于混凝土本身。



图 5 小山电站厂房后山坡

3.3 双沟电站地质灾害排查航片解译

双沟电站本次无人机航拍共获得 145 幅高清影像，其中灾害隐患点引水隧洞进口边坡高度约 15.0m，坡比 1 : 0.5，走向近南北。岩体为侏罗系安山岩，呈弱风化状态，为较硬岩，抗风化能力强。航拍影像显示边坡岩体节理较发育，无地下水出露。边坡现已湿喷混凝土处理，混凝土与边坡基岩胶结好。开口线沿线偶有掉块现象，路边可见，大小不一，且边坡表面可见树根等杂物，上述物质来源主要为坡顶松散覆盖层，受雨水冲刷、根劈作用导致其掉落，该段局部已有被动防护网和喷锚措施，局部喷锚区域虽有少量零星脱皮现象，其余路段建议加强无人机巡视并及时清理崩坡积物即可，产生地质灾害的可能性小（见图 7、图 8）。



图 7 引水隧洞进口边坡（全景）



图 8 引水隧洞进口边坡（近景）

3.4 石龙电站地质灾害排查航片解译

本次无人机航拍针对石龙电站共获得高清影像 176 幅，发现双沟电站大坝右岸下游山体存在滑坡，结合前期地勘资料显示 2011 年该滑坡发生滑动，滑坡体由含黏土碎块石组成，为现代牵引式土质滑坡。滑坡体位于坝下 90m 处，长度 200m，宽度 100m，平面呈舌形，滑动方向为 S30° W，按平均厚度 4m 估算，滑坡体体积 $8 \times 104\text{m}^3$ ，灾变等级为小型，已做综合治理，现状航拍影像及监测数据显示，未发现继续变形迹象（见图 9、图 10）。



图 9 大坝右岸坝下滑坡（HL01）（2015）



图 10 大坝右岸坝下滑坡全貌（2022）

4 结论及感悟

①通过本次无人机航拍技术研究对比历史影像资料并结合区域地质资料，潜在地质灾害隐患点，现状下均已处理，不具有继续发展的危害，道路附近存在局部零星掉块或混凝土脱落的区域修复即可，如表 1 所示。

表 1 松江河梯级电站地质灾害隐患点评估结果

序号时间位置			灾害类型是否稳定
1	2005.7.29	石龙Ⅱ标公路 0+550~ 交通洞	滑坡稳定
2	2005.10.6	石龙Ⅱ标公路 0+400~0+600	滑坡稳定
3	2006	石龙交通洞 K0+176.5~K0+180	冒顶塌方稳定
4	2006.1.10	石龙交通洞 0+017~0+030m 左侧拱	坍塌稳定
5	2006.9.4	石龙Ⅱ标公路 0+600~0+755m	滑坡稳定
6	2010.8.7	石龙Ⅱ标公路 0+560~0+590m	滑坡稳定
7	2011.4.20	石龙右岸坝后 0+20~0+70	滑坡稳定
8	2011.5.17	石龙右岸坝后挡墙 0+30m~+160m	滑坡稳定

②明确了现状条件下，业主单位暂列的重点区域的地质灾害隐患危险性大小及其危害程度，查明了评估区潜在的地质灾害隐患，得出其潜在危害较小的结论建议。

③为建设单位明确了各电站导流洞的地质灾害级别及其危害程度。

④明确了松山引水、小山电站、双沟电站、石龙电站不存在对大坝、库区及其附属构筑物有较大影响的地质灾害隐患，只有局部道路附近存在零星掉块现象，均对各电站无影响。

⑤明确了石龙右岸滑坡现状条件下不存在继续滑动的可能。

⑥本次调查区域内，其地质灾害危险性等级均为小。

⑦本次无人机航拍技术应用于地质灾害评估生产项目中，实现了无人机作为主要手段进行地质灾害评估的可行性，大大的提高了效率，节省了不必要的资源，为后续无人机常规多频的地质灾害巡视排查打下坚实基础。

参考文献：

[1] 周洁萍,龚建华,王涛,等.汶川地震灾区无人机遥感影像获取与可视化管理系统研究[J].遥感学报,2008(6):877-884.

[2] 何敬,唐川,王帅永,等.无人机影像在地质灾害调查中的应用[J].测绘工程,2017,26(5):40-45.

[3] 吴振宇,马彦山.无人机遥感技术在地质灾害调查中的应用[J].宁夏工程技术,2012(2):1671-7244.

[4] 杜庚霖,浅谈无人机在地质灾害中的应用[J].测绘测量,2021(3):2096-7519.

[5] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会GB/T40112—2021 地质灾害危险性评估规范[S].中国标准出版社,2021.

作者简介: 李松(1990-), 男, 中国黑龙江依兰人, 本科, 高级工程师, 从事水利水电工程地质勘查、地质灾害防治与评估研究。