

利用无人机快速检测大坝填筑平整度

党永胜 谢桐

中国水利水电第四工程局有限公司设计院

DOI:10.32629/jsse.v3i4.17871

[摘要] 常规大坝平整度检测采用全站仪或RTK进行点检测,通过无人机航测,可以大面积检测整个施工区域平整度,能够快速有效完成对坝体每一层填筑厚度及平整度。大坝填筑平整度检测过程中,针对传统大坝检测方法存在的效率低下、安全隐患大等问题,提出并实施了利用无人机快速检测的一种大坝安全、快速检测方法。基于此,本文首先研究了无人机平台在大坝检测中的适用性,以及无人机技术的发展趋势对大坝填筑工作的要求;然后结合无人机技术的特性,设计大坝检测的方案,包括无人机的飞行路径规划、数据采集与处理等关键环节。采用该方案实施检测后的结果表明,无人机可以有效完成大坝填筑的检测工作,大大提高了效率。

[关键词] 无人机; 快速; 检测; 大坝; 平整度

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Rapid Detection of Dam Filling Flatness Using Unmanned Aerial Vehicles

Yongsheng Dang Tong Xie

Design Institute, China Water Conservancy and Hydropower Fourth Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] Conventional dam surface flatness detection is carried out by point detection using total stations or RTK. Through unmanned aerial vehicle (UAV) aerial surveying, the flatness of the entire construction area can be detected on a large scale, which can effectively and quickly complete the detection of the thickness and flatness of each layer of dam filling. In the process of dam filling flatness detection, in view of the problems of low efficiency and high safety risks in traditional dam detection methods, a safe and rapid dam detection method using UAVs is proposed and implemented. Based on this, this paper first studies the applicability of the UAV platform in dam detection and the requirements of the development trend of UAV technology for dam filling work; then, combined with the characteristics of UAV technology, a dam detection scheme is designed, including the flight path planning of UAVs, data collection and processing, and other key links. The results of the detection implemented using this scheme show that UAVs can effectively complete the detection of dam filling, greatly improving efficiency.

[Key words] Unmanned Aerial Vehicle (UAV); Rapid, Detection; Dam, Flatness

引言

水利工程作为国家基础设施建设的关键组成部分,对水资源的合理利用、调配以及防洪、灌溉、发电等方面起着举足轻重的作用。大坝作为水利工程的核心构筑物,其建设质量直接关系到整个水利系统的安全稳定运行以及下游地区人民生命财产安全。在大坝建设过程中,填筑平整度是一项至关重要的质量指标,对大坝的结构稳定性、防渗性能以及长期运行可靠性有着深远影响。从结构稳定性角度来看,大坝填筑平整度不佳会导致坝体内部应力分布不均匀。在长期的水压力、自重以及其他外部荷载作用下,应力集中区域可能引发坝体局部变形甚至开裂,严重时威胁大坝整体结构的稳定性,增加坝体滑坡、坍塌等安全事

故的发生风险。某大坝由于填筑平整度未达标,在运行数年后坝体出现了明显的裂缝,不得不耗费大量人力、物力进行修复加固^[1]。

无人机航测技术在大坝填筑平整度测量中的应用,不仅能够提高测量效率和精度,及时发现填筑过程中的质量问题,为施工过程控制提供实时数据支持,还能通过对不同时期测量数据的对比分析,实现对大坝填筑质量的动态监测和评估,为大坝的长期安全运行提供可靠保障^[2]。这对于提升水利工程建设质量、保障水资源合理利用和社会经济可持续发展具有重要的现实意义。

1 大坝填筑平整度检测的重要性

大坝填筑平整度是确保大坝工程安全、稳定运行的关键因素,对大坝的稳定性、防渗性和耐久性有着深远影响。不平整的表面可能导致坝体在运行过程中受到额外的冲击和振动,进一步加剧材料的疲劳和损坏。大坝由于填筑平整度问题,在运行较短时间内就出现了严重的材料老化和损坏现象,需要提前进行大规模的维修和加固。

综上所述,大坝填筑平整度直接关系到坝体的结构安全、防渗性能和长期稳定性,对大坝工程的整体质量和使用寿命起着决定性作用。因此,在大坝建设过程中,必须高度重视填筑平整度的控制和检测,确保坝体达到设计要求的平整度标准,为大坝的安全运行和长期效益提供坚实保障。

2 无人机航测技术探究

无人机航测系统主要由无人机平台、传感器、控制系统和数据处理软件等部分构成。无人机平台作为整个检测系统的载体,根据其结构和飞行原理的不同,可分为固定翼无人机、多旋翼无人机和无人直升机等类型,每种类型都有其独特的特点和适用场景。

数据处理软件用于对无人机获取的原始数据进行处理和分析,生成各种测量成果。常见的数据处理软件包括Pix4Dmapper、ContextCapture等。这些软件具有强大的数据处理功能,能够完成影像数据的预处理、空三加密、立体测图等工作,生成数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)、三维模型等产品。通过对这些产品的分析,可以准确评估大坝填筑的平整度,为工程质量控制提供科学依据。

3 无人机航测在大坝填筑平整度检测中的应用实例

3.1 工程案例背景介绍

本案例选取新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州阿合奇县境内T河中上游河段的控制性水利枢纽工程。水库总库容7.73亿 m^3 ,正常蓄水位为2465m,电站总装机容量100MW。根据《防洪标准》(GB50201-2014)及《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2017)的规定,工程等别为II等,规模为大(2)型。工程由主坝、副坝、泄洪冲沙兼导流洞、溢洪道、发电引水洞、电站厂房、过鱼建筑物等组成。各主要建筑物级别如下:沥青混凝土心墙坝,最大坝高104.5m,为1级建筑物;黏土心墙副坝为2级建筑物。溢洪道、泄洪冲沙兼导流洞为2级建筑物。发电引水进口闸井为2级建筑物;洞身段、发电厂房为3级建筑物。

3.2 无人机航测方案精心设计

3.2.1 无人机选型与设备配置

根据大坝的复杂地形和精度测量要求,选用大疆Mavic 3E多旋翼无人机。多旋翼无人机具有机动性强、可垂直起降和悬停的特点,能够在大坝周边狭窄空间和复杂地形环境中灵活飞行,满足对大坝不同部位进行详细测量的需求。该无人机搭载了高分辨率测绘相机,具备高像素分辨率,能够获取清晰的地面影像,可以在不同光照条件下获取高质量的影像数据。此外,还配备了高精度的GPS/北斗双模定位模块,能够实时精确确定无人机的位置,为飞行航线的精确控制和测量数据的准确采集提供

了保障。

3.2.2 飞行航线规划

利用专业的无人机航线规划软件进行航线规划。在规划过程中,充分考虑了影像重叠度、航高、飞行速度等关键因素。采用了“之”字形航线布局,确保能够全面覆盖大坝填筑区域。同时,为了提高测量效率,对航线进行了优化,减少了不必要的飞行路径和转弯次数。为了确保获取的影像数据能够完整、准确地反映大坝填筑面的地形信息。航向重叠度设定为75%,旁向重叠度设定为60%以及航高的确定综合考虑了相机的分辨率、测量精度要求以及飞行安全性。经过计算和实际测试,最终确定仿地航高为80米。后续的数据处理过程中,通过同名像点的匹配和三角测量,能够精确计算出地面点的三维坐标,从而构建出高精度的三维模型。

3.2.3 像控点布设

像控点在摄影测量中起着至关重要的作用,它是实现影像与实际地形准确匹配和精确定位的基础。在本项目中,像控点的布设遵循均匀分布、易于识别和测量的原则。根据测区的实际情况,采用了在坝体表面和周边稳定地面设置像控点的方法。在坝体表面,选择了一些具有明显特征的部位布设像控点,经过实地勘察,共在测区内均匀布设了7个像控点。像控点的分布确保了整个大坝填筑区域都能被有效控制,相邻像控点之间的距离根据地形复杂程度和测量精度要求进行合理调整,以提高测量精度。

3.3 数据采集与处理流程展示

3.3.1 数据采集过程

在天气晴朗、风力较小的条件下,按照预先规划好的航线,操控无人机进行数据采集。无人机从起飞点垂直起飞,到达预定航高后,按照设定的速度和航线开始飞行。在飞行过程中,无人机搭载的高分辨率测绘相机按照预设的时间间隔自动拍摄地面影像,确保获取到具有足够重叠度的影像数据。

为了保证数据采集的质量,飞行过程中密切关注无人机的飞行状态和相机工作情况。通过地面站实时监控无人机的位置、姿态、电池电量、信号强度等参数,确保无人机始终保持稳定飞行。同时,观察相机的拍摄指示灯,确认相机正常工作,影像采集正常进行。当发现无人机出现异常情况或相机拍摄故障时,及时采取相应措施,如调整飞行姿态、重启相机或返航检查等,确保数据采集的连续性和完整性。

3.3.2 数据预处理

影像拼接是数据预处理的关键环节,采用了基于特征点匹配的拼接算法^[3]。通过提取影像中的特征点,如角点、边缘点等,利用特征点匹配算法在相邻影像之间寻找同名特征点,然后根据同名特征点的坐标关系,将相邻影像进行拼接,生成一幅完整的测区影像图。在拼接过程中,为了保证拼接的精度和效果,对拼接结果进行了多次检查和优化,对拼接误差较大的区域进行手动调整,确保影像拼接的无缝性和准确性。通过对影像的直方图均衡化、灰度拉伸等处理,增强了影像的可读性和可分析性,

为后续的数字高程模型 (DEM) 和正射影像 (DOM) 生成提供高质量的影像数据。

3.3.3 生成数字高程模型 (DEM) 和正射影像 (DOM)

利用专业的三维建模软件, 基于预处理后的影像数据生成数字高程模型 (DEM)。在生成DEM的过程中, 对生成的结果进行了精度评估和质量检查。通过与已知控制点的高程数据进行对比, 计算出DEM的高程中误差, 评估其精度是否满足测量要求。同时, 对DEM的地形特征进行检查, 查看是否存在地形失真、空洞等问题, 对发现的问题及时进行修正和优化。

正射影像 (DOM) 的生成是在DEM的基础上进行的。利用DEM对影像进行正射纠正, 消除因地形起伏和相机倾斜导致的影像变形, 使影像具有正射投影的性质。然后, 对纠正后的影像进行镶嵌和调色处理, 将多幅影像拼接成一幅完整的测区正射影像图, 并调整影像的色调和亮度, 使其更加美观和易于分析。最后, 对生成的DOM进行质量检查, 包括影像的清晰度、色彩一致性、地物完整性等方面, 确保DOM的质量满足工程应用的需求。

3.4 平整度分析与评估方法阐述

通过对生成的数字高程模型 (DEM) 数据进行分析, 计算大坝填筑平整度。采用的计算指标为标准差 (Standard Deviation) 和变异系数 (Coefficient of Variation)。标准差能够反映DEM数据中各点高程相对于平均值的离散程度, 标准差越小, 说明填筑面的高程变化越均匀, 平整度越好; 变异系数则是标准差与平均值的比值, 它消除了数据量纲的影响, 更能准确地反映数据的离散程度, 变异系数越小, 表明填筑面的平整度越高。

评价标准方面, 根据相关水利工程施工规范和本项目的设计要求, 确定平整度的合格范围。判定该区域的填筑平整度合格; 若超出该范围, 则认为填筑平整度存在问题, 需要进一步分析和处理。

4 应用效果评估与对比分析

4.1 精度评估

为了全面、准确地评估无人机航测在大坝填筑平整度测量中的精度, 采用了实地测量验证和与高精度测量数据对比的方法。在实地测量验证方面, 选取了大坝填筑区域内具有代表性的若干区域, 使用全站仪等高精度测量设备对这些区域的特征点进行实地测量, 获取其精确的三维坐标。将这些实地测量得到的坐标数据与无人机航测通过空三加密和立体测图生成的三维模型中对应点的坐标进行对比分析, 计算两者之间的坐标差值, 从而评估无人机航测在平面位置和高程方向上的测量精度。

4.2 综合对比结论

综上所述, 无人机航测在大坝填筑平整度测量中展现出诸多显著优势。在精度方面, 通过合理的设备选型、精确的飞行控

制和先进的数据处理技术, 能够实现厘米级甚至毫米级的高精度测量, 满足大坝工程对填筑平整度的严格要求, 相比传统测量方法, 有效提高了测量精度, 为工程质量控制提供了更可靠的数据支持。

效率上, 无人机航测能够在短时间内对大面积的大坝填筑区域进行快速覆盖测量, 测量周期大幅缩短, 工作效率得到极大提升, 避免了传统测量方法逐点测量或逐段测量的低效率问题, 能够及时为施工过程控制提供实时数据, 保障工程进度。

5 结论

本研究深入探讨了无人机航测技术在大坝填筑平整度检测中的应用, 取得了一系列具有重要理论和实践价值的成果。通过对大坝填筑平整度检测的重要性及传统测量方法的全面剖析, 明确了传统方法在效率、精度、安全等方面存在的局限性, 凸显了引入新型检测技术的迫切需求。

通过实际工程案例, 全面展示了无人机航测技术在大坝填筑平整度检测中的具体应用过程。从检测方案的精心设计, 包括无人机选型与设备配置、飞行航线规划和像控点布设, 到数据采集与处理流程的详细展示, 以及平整度分析与评估方法的阐述, 充分验证了无人机航测技术在大坝填筑平整度测量中的可行性和有效性。

综上所述, 无人机航测技术在大坝填筑平整度测量中具有重要的应用价值, 能够有效提高测量精度和效率, 降低测量成本, 为大坝工程的质量控制和安全管理提供了可靠的技术支持, 对推动水利工程建设现代化发展具有重要意义。

[参考文献]

[1]林向阳. 亭子口水利枢纽大坝坝面无人机智能巡检系统初探[C]//中国水力发电工程学会, 中国水力发电工程学会大坝安全专委会2018年会暨新时期大坝安全监测、监控与监管创新学术交流会议论文集, 2018年10月23日, 四川乐山, 中国。

[2]孙健, 王君杰, 王雁昕, 等. 无人机LiDAR技术在矿区大坝监测中的应用研究[J]. 矿山测量, 2021, 49(06): 50-54.

[3]邓雅心, 骆旭佳, 李红林, 等. 基于无人机倾斜摄影测量技术的水电站坝面裂缝检测研究[J]. 科技创新与应用, 2021(5): 158-161, 166.

作者简介:

党永胜(1998--), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 现供职中国水利水电第四工程局有限公司设计院、研究方向: 水利水电工程设计。

谢桐(2000--), 男, 汉族, 大专, 技术人员, 现供职中国水利水电第四工程局有限公司设计院、研究方向: 水利水电工程设计。