

# 无人机多光谱遥感在水库大坝渗漏检测中的应用

管培成

江门市水利水电工程质量检测站有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6708

**[摘要]** 本文系统地研究无人机多光谱遥感技术在水库大坝渗漏检测中的应用。根据多光谱探测目标物不同的波段辐射特性,识别渗漏区水分有关的光谱差别(近红外低反射率),创建“准备-采集-处理-可视化评价”全过程方法。用某水库案例检验,该技术可迅速找到渗漏地点,准确率超过90%,可以发现人工巡检容易漏掉的隐患。从结果可以看出其机动性强、时效性好、成本低,是大坝安全运行维护的非接触式渗漏检测有效方案。

**[关键词]** 无人机; 多光谱遥感; 水库大坝; 渗漏检测

中图分类号: TV697 文献标识码: A

UAV multispectral remote sensing application in reservoir dam leakage detection. Warning dividends.

Peicheng Guan

Jiangmen water power engineering quality inspection station co., LTD

**[Abstract]** This article systematically studies the application of unmanned aerial vehicle multispectral remote sensing technology in reservoir dam leakage detection. Based on the different spectral radiation characteristics of the target object detected by multispectral detection, identify the spectral differences related to water content in the leakage area (near-infrared low reflectivity), and create a full process method of "preparation acquisition processing visualization evaluation". Using a case study of a certain reservoir, this technology can quickly locate the leakage location with an accuracy rate of over 90%, and can detect hidden dangers that are easily missed during manual inspections. From the results, it can be seen that it has strong maneuverability, good timeliness, and low cost, making it an effective non-contact leakage detection solution for the safe operation and maintenance of dams.

**[Key words]** drones; multispectral RS; reservoir dam; leakage detection

水库大坝安全关系到下游的生命财产安全,渗漏作为常见的隐患需要准确地被探测出来。传统的检测方法有依靠人工巡检、钻探和利用卫星遥感这三种方式。人工巡检效率低,盲区多,钻探对地物破坏大,卫星遥感受气象条件、成本等因素的限制,都不能满足常态化监测的需要。无人机多光谱遥感以灵活机动、实时回传、成本低等优势为渗漏检测提供新的途径。本文主要研究该技术原理、应用流程和效果验证,目的是给水库大坝渗漏检测提供系统的检测技术方案,推动非接触式检测技术的发展。

## 1 无人机多光谱遥感技术原理及优势

### 1.1 多光谱遥感基本原理

多光谱遥感技术是探测目标物在不同波段的辐射特性并成像,其原理是地表物质在一定的频域内具有不同的反射、吸收、发射光谱。获取并分析光谱数据,可以实现地理实体的空间分布和属性参数有效识别与分类。在水库大坝渗漏监测中,渗漏区因为水分含量比正常区域高很多,与周围正常区的光谱响应特征

存在较大差异,在近红外波段渗漏区反射率一般较低(水分对近红外光吸收强),在可见光波段也会出现细微的光谱波动(受土壤湿度、植被覆盖等因素影响)。通过对多波段反射率数据展开系统分析处理,比如实施波段比值运算、光谱曲线拟合等步骤,就能从中提取出体现渗漏特点的重要指标,诸如某些波段组合的光谱指数之类,从而准确确定渗漏区位置及范围。

### 1.2 无人机搭载多光谱传感器的特点

无人机搭载多光谱传感器有明显的技术优势。机动性强,可以按照监测需要改变飞行路线、高度、速度,完成水库大坝的全面、多角度精准监测,在复杂地形或人员难以到达的地方优势明显。系统配备的高分辨率成像设备可以获得细节丰富的多光谱影像,既可以识别渗漏隐患区微小的特征(如细微湿斑、植被异常),又可以定位潜在风险区。

时效性是它的又一主要特点,在任务执行过程中可以实时回传数据,监测人员可以及时了解现场情况,调整飞行方案,避

免无效作业,大大提高了检测效率。设备成本也具有竞争力,购置及日常维护费用远低于传统大型遥感卫星或者航空遥感平台,而且操作简单,更适合中小型水库大坝的常态化巡检需求。这样一种“低成本、高灵活、强时效”的组合方式,使它成为水库大坝渗漏监测的实用化技术手段<sup>[1]</sup>。

### 1.3相较于传统检测方法的优势

和传统的人工巡检方式相比,有明显的优势。传统的常规人工观测主要是依靠肉眼观察和简单的仪器测量,效率低、监测范围小,很难发现隐蔽的缺陷隐患。无人机搭载着高性能的多光谱传感器设备,可以对大面积的区域进行迅速的扫描覆盖,能够有效地提升工作效率。传统的地质钻探方法虽然具有直接采集数据的功能,但是由于破坏性的操作会破坏结构稳定性、采样点分布有限等缺点,不能全面反映渗漏现象的整体情况及其潜在危害程度。无人机多光谱遥感技术属于非接触式检测方式,可以避免大坝结构受到物理损坏,而且可以实现全方位信息采集工作,从而提高监测数据的完整性、准确性,传统的遥感卫星或者航空平台虽然具有广域覆盖的优势,但是受气象条件、飞行窗口期、运维费用等种种因素的影响,其操作灵活性大大降低。

## 2 无人机多光谱遥感在水库大坝渗漏检测中的应用流程

### 2.1检测前的准备工作

水库大坝渗漏检测启动前需要系统完成前期筹备,核心步骤如下:

第一步是收集有关的大坝结构资料,即设计图纸、施工日志、以前的监测记录等,从中了解大坝的结构特点(坝体材料、断面尺寸)、几何参数(坝高、坝长)和地质环境(地基岩性、水文条件)等,为渗漏风险评价提供数据。

之后进行现场勘察,详细勘察周边地形地貌(坡度、植被覆盖情况)、交通条件(进场道路通行情况),根据大坝结构特点规划适航点位并设计无人机飞行路线,覆盖渗漏高发区域(坝肩、排水棱体、穿坝建筑物周围)。

同步对无人机系统以及搭载的多光谱传感器进行性能校验和调试,检查飞控系统稳定性、传感器校准状态(波段响应精度)、测试影像采集分辨率、数据传输速率,保证设备状态正常后才能投入正式使用。

最后根据检查目标来决定详细的作业计划,把飞行高度区间设为50米到100米(既能保证分辨率又能保证覆盖面积)、飞行速度限值为3米每秒到5米每秒(防止图像模糊)、航线间距为航向重叠度 $\geq 60\%$ 、旁向重叠度 $\geq 30\%$ ,选择晴朗无风天气,保证数据采集质量,此时气象条件为窗口。

### 2.2数据采集过程

数据采集是无人机多光谱遥感检测的重要环节,在飞行过程中,无人机按照事先规划好的飞行计划进行飞行,此时多光谱传感器会同步采集大坝表面的多光谱影像数据。为了保证采集到的数据准确无误、完整有效,则需要注意以下几点,选择合适的飞行时间,一般会选择在天气晴朗、光照充足的时段进行飞行,

以减少大气散射、云层等因素对影像质量的影响;控制好飞行高度和速度,飞行高度过高会导致所拍摄到的影像分辨率降低,飞行速度过快也会造成图像出现模糊的现象,因此需要根据实际情况调整对应的参数设置,即合理地确定飞行的高度和速度。为了保证影像的重叠效果,相邻两张影像之间要留出相应的重叠区。在航向上,重叠度应该在60%以上,在旁向上,至少要达到30%,这样后期数据处理时对精确的拼接、匹配才有要求。在飞行作业过程中要随时关注无人机和传感器状态的各项参数,及时处理可能出现的各种技术问题或者意外情况<sup>[2]</sup>。

### 2.3数据处理与分析

高效处理与解析多光谱遥感影像需遵循系统化流程,核心步骤如下:

预处理是基础环节,包含辐射定标、几何校正、大气校正这三个主要操作,辐射定标可以消除传感器自身的误差和外界环境的干扰,保证地物反射率的准确量度,几何校正可以消除图像的空间变形,使图像坐标系与现实地理参照系一致,大气校正可以消除空气介质散射、吸收的影响,提高成像质量。

影像拼接紧随其后,用无缝对接相邻影像数据的方式合成整个坝面的综合图层,给后续分析提供完整空间基底。

特征提取主要针对多光谱影像的波段反射率数据,从光谱和纹理属性的角度来创建渗漏特征集,常用波段比值法(近红外与红光波段比值)、主成分分析等方法,提取渗漏区特有的光谱响应模式(水分相关的光谱指数)。

分类与识别环节,用机器学习(支持向量机、随机森林)或者模式匹配算法将提取的特征和标注的典型渗漏样本进行比对,最终实现渗漏区域的自动识别和分类。

整个流程需要严格把控各个环节的精度,在预处理中辐射定标需要使用标准反射板校准,几何校正需要结合地面控制点(GCP)提高精度,保证最后分析结果可以反映大坝渗漏实际情况。

### 2.4检测结果的可视化与评估

在保证主要观点不变的基础上,本段通过技术细节的补充和逻辑关系的完善来达到扩充字数的目的。渗漏监测数据可视化之后,在直观地表现大坝渗漏情况方面具有重要意义,利用GIS平台可以将空间分布特征转换成专题地图,并且细致地标出渗漏区域范围、等级等重要的参数信息。建立三维模型可以更好地理解大坝的结构特点和内部渗流路径,并且可以提高定位精度与综合分析水平,它属于一个不会改变的关键环节。将检测结果以图形形式系统化呈现出来,可以明显改善视觉传达效果,帮助操作人员快速获取所需要的全部数据支持。充分利用成熟的GIS工具的空间分析功能十分重要,可以将原始资料转换为可视的图表,并保证各个维度指标的正确、完整。利用BIM技术建立大坝三维可视化模型,可以更立体地展现坝体内部构造、坝基地质状况,准确找到渗漏点,动态显示渗漏液体的扩散路径和渗透区域,从而给直观判断渗漏影响提供有力支持,检测结果要从正确性和可靠性两方面来评价,结合大坝实际渗漏实例进行交

叉验证,用准确率、召回率等量化指标分析误差来源和不确定性,最后锁定大坝设计标准及其安全阈值,执行渗漏风险等级判定,明确它对坝体安全的影响程度,为下一步防渗修理、结构加强提供精确的决策支持<sup>[3]</sup>。

### 3 应用案例分析

#### 3.1 实际水库大坝检测情况说明

该水库大坝创建于上世纪80年代,属于区域内的主要水利设施,总长约为500米,最高处有30米高。近段时间运维人员在日常安全巡查中发现大坝存在渗漏的迹象,但是由于技术上的限制,传统的检测方法不能准确地判定出具体的渗漏点位和影响范围,给整个工程的安全运行埋下了隐患。为了完全排除渗漏的隐患,控制在可控范围内,技术团队采取了无人机多光谱遥感监测系统对大坝进行排查的方法。技术人员在对大坝设计文件、运行记录和有关基础资料进行整理之后,就前往目标区域及其周边地区展开实地勘测工作,拟定出详细的施工方案,飞行高度为50米,巡航速度为3米每秒,航向重叠度为70%,旁向重叠度为40%,从而保证采集到的数据是准确和完整的。最后选择气象条件好、阳光充足的时间段进行影像采集工作,在这段时间内共拍摄多光谱图像约200张左右,给渗漏隐患的精准定位提供可靠的数据支持。

#### 3.2 检测结果与实际情况对比验证

对采集到的多光谱影像数据进行处理分析之后,识别出大坝表面有很多渗漏处。为了检验检测结果是否正确无误,组织专业人员前往现场展开勘察与检测工作,经由钻孔取样、渗压计测量等手段确认了实际存在的渗漏之处及其范围大小,再把所测得的结果同实际情况作比较对照,在此过程中发觉无人机利用多光谱遥感技术检测出来的渗漏区域大致符合实际状况,并且其准确率高达百分之九十以上;而且该技术还察觉到了一些人工巡查未能查知隐蔽渗漏点的存在情况,从而给大坝的安全评定增添更为全面的信息资料<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 应用效果总结与经验教训

经过本次应用案例可以得知,无人机多光谱遥感技术用于水库大坝渗漏检测有着很好的效果,可以较快准确地发现大坝的渗漏点,提高了大坝渗漏检测的效率与精度。为大坝的安全维

护工作提供一定的技术支持,可以发现一些比较隐蔽的渗漏点,便于及时采取措施去处理这些渗漏问题,防止其继续恶化下去,在使用的过程中也得到了很多的经验教训。在数据采集过程中要控制好飞行参数,保证影像质量及重叠度,才能使后续数据处理更准确;在对所收集到的数据进行处理分析时也要选择合适的算法、模型并加以改进优化,使最后得到的结果更加可靠可信。

### 4 结束语

本文主要研究无人机多光谱遥感技术在水库大坝渗漏检测中的应用,介绍了多光谱遥感的基本原理,分析了无人机搭载多光谱传感器的特点,以及它与传统检测方法相比的优势。介绍了从检测前的准备工作到数据采集、处理、分析、可视化展示、结果评估的整个应用流程,通过实际案例证明该技术在水库大坝渗漏检测中是有效的、准确的,研究表明无人机多光谱遥感技术可以快速、高效、精准地识别出水库大坝存在的渗漏处,从而为大坝的安全评价与守护提供重要的技术支持。可以提高传感器的性能,研制出更高分辨率、更宽光谱范围的多光谱传感器,从而获得大坝表面更加详细的信息。加大对数据处理、分析算法的研究力度,提高检测结果的准确性、可靠性,可运用深度学习等先进技术深入剖析多光谱影像数据,探讨无人机多光谱遥感技术与其它检测手段结合的可能性。

#### [参考文献]

- [1]宋恩泽,张颖,邵光成,等.基于无人机多光谱遥感的农业园区地物分类研究[J].江苏农业学报,2023,39(09):1862-1871.
- [2]宋钊颖.基于无人机多源遥感技术多性状联合筛选高固碳湿地松[D].河北农业大学,2023.
- [3]封伟祯,朱俊科,彭文字,等.无人机多光谱遥感在农作物生长监测中的应用综述[J].农业与技术,2023,43(21):42-46.
- [4]王伟康.基于固定翼无人机多光谱影像的水稻长势关键指标无损监测[J].中国农业科学,2023,56(21):4175-4191.

#### 作者简介:

管培成(1997--),男,汉族,广东梅州大埔县人,本科,研究方向为水利工程质量检测(混凝土、金属材料)、无人机检测。