

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.173

引用格式: 朱文彩, 陈江军, 崔学杰, 等. 综合遥感技术在黄龙滩库区地质灾害监测中的应用[J]. 中国地质调查, 2025, 12(2): 96–103. (Zhu W C, Chen J J, Cui X J, et al. Application of integrated remote sensing technology in geological disaster monitoring of Huanglongtan reservoir area[J]. Geological Survey of China, 2025, 12(2): 96–103.)

综合遥感技术在黄龙滩库区地质灾害监测中的应用

朱文彩^{1,2}, 陈江军^{1,2}, 崔学杰^{1,2}, 胡小庆^{1,2}

(1. 湖北省地质局水文地质工程地质大队, 湖北 荆州 434020; 2. 资源与生态环境地质湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430034)

摘要: 堵河流域黄龙滩库区是南水北调的重要水源地之一, 属于地质灾害高易发、高风险、高风险区, 目前主要采用宏观监测、群测群防、专业监测和“四位一体”网格化管理相结合的方式, 进行地质灾害监测预警, 存在监测手段严重不足的问题, 对于利用综合遥感技术构建“天-空-地”立体化的地质灾害监测网络有着客观需求。针对黄龙滩库区存在的地质灾害监测短板, 在分析库区地质灾害发育规律的基础上, 将其划分为一般区、重点区和重大地质灾害区3个监测层次, 一般区监测布置光学遥感解译和合成孔径雷达干涉(interferometric synthetic aperture radar, InSAR)变形监测, 重点区监测增加机载激光雷达(light laser detection and ranging, LiDAR)监测, 重大地质灾害区监测再增加无人机摄影测量和地面三维激光扫描监测, 同时对识别出的变形区及时进行地质灾害隐患排查。通过“天-空-地”一体化的地质灾害早期识别和监测预警, 可满足乡村振兴、地质环境保护和水安全保障等方面的防灾能力需求。研究对山区构建“点面双控”式的地质灾害监测预警体系具有借鉴意义。

关键词: 堵河流域; 黄龙滩库区; 综合遥感; 地质灾害监测

中图分类号: P642; TD167

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2025)02-0096-08

0 引言

采用综合遥感技术在岸坡陡峻、河谷深切、人烟稀少地区进行地质灾害监测具有监测范围大、时间长、时效高、立体性等优点^[1], 是重要的地质灾害监测预警手段。目前, 全国性地质灾害隐患综合遥感识别已经形成业务化运行。2019年, 自然资源部印发了《地质灾害防治三年行动实施纲要(2019—2021年)》^[2], 提出要充分利用“天-空-地”的观测手段, 提前发现复杂地区大型滑坡隐患。2023年, 自然资源部航空物探遥感中心发布了《地质灾害隐患综合遥感识别技术规程》(征求意见稿)^[3], 规范了将多源遥感技术应用于地质灾害隐患识别的技术方法。不同的遥感技术由于获取数据和成像方法不同, 在监测地质灾害方面各有优劣, 需要多种手段同时进行才可达到工作目的^[1]。何倩

等^[4]在进行邯郸的煤矿区沉降监测研究时, 利用高精度机载激光雷达(light laser detection and ranging, LiDAR)数据绘制矿区精度为1 m的数字高程模型(digital elevation model, DEM), 采用精度为3 m的卫星影像数据和机载激光雷达数据生成的数字高程模型分别进行差分处理, 与水准测量方法获取的地表沉降量做对比后, 发现激光雷达数据生成的数字高程模型大大减小了下沉值的误差; 许强等^[5]提出可通过构建基于星载平台、航空平台、地面平台的“天-空-地”一体化的多源立体观测体系, 进行重大地质灾害隐患的早期识别; 黄海峰等^[6]在宜昌武陵山片区, 通过两期无人机摄影测量, 以数字正射影像(digital orthophoto map, DOM)与数字表面模型(digital surface model, DSM)变化检测为主实现地质灾害体识别后, 通过地面核查确认或排除隐患, 完成了多处不同类型地质灾害的识别和监测。

收稿日期: 2024-03-25; 修订日期: 2024-11-05。

基金项目: 湖北省自然资源厅科技项目“十堰市堵河流域(潘口—黄龙段)地质灾害综合遥感监测(编号: HBZX-2023-020)”资助。

第一作者简介: 朱文彩(1979—), 男, 正高级工程师, 主要从事水工环地质方面的研究工作。Email: 119064308@qq.com。

湖北省对地质灾害隐患点率先实行了“四位一体”网格化管理模式,管理成效较好,但如何将现有成果与风险区管控相结合,推进“点面双控”地质灾害防治模式的开展是目前面临的新挑战^[7],利用综合遥感技术构建出“天-空-地”一体化的立体性地质灾害早期识别和监测预警体系是解决这一挑战的方法之一。地质灾害综合遥感监测的需求分析以及如何根据需求进行有针对性的监测工作部署,是综合遥感技术应用于地质灾害监测的首要环节。本文在分析黄龙滩库区地质灾害发育规律和分布特征的基础上,针对库区地质灾害监测手段严重不足的问题,将库区划分为一般区、重点区和重大地质灾害区3个监测层次,一般区采用光学遥感解译和合成孔径雷达干涉测量(interferometric synthetic aperture radar, InSAR)技术进行变形监测,重点区增加机载激光雷达(light laser detection and ranging, LiDAR)技术进行变形监测,重大地质灾害区再增加无人机摄影测量和地面三维激光扫描进行变形监测,同时对遥感技术识别出的隐患点和变形区及时进行排查,构建“天-空-地”一体化的地质灾害多源立体监测网络,实现区内地质灾害早期识别和监测预警。研究旨在为通过综合遥感手段构建地质灾害“点面双控”的监测预警体系提供借鉴。

1 地质灾害发育特征及监测现状

1.1 地质灾害发育特征

黄龙滩水库大坝位于十堰市黄龙镇,库区是南水北调工程的重要水源地。库首至库尾分别跨黄龙镇、叶大乡、大木厂镇、姚坪乡、楼台乡、文峰乡及城关镇,库区总面积1 072.88 km²(图1)。库区具有两岸斜坡长、岸坡陡峻、河谷深切的地貌特征,受地质环境条件、人类工程活动、库水位变化和降雨等因素影响,地质灾害发育^[8]。

截至2023年6月,库区共发现地质灾害点459处(滑坡437处,崩塌22处),地质灾害点密度达0.43处/km²。库区地质灾害以滑坡、崩塌为主,具有沿水系、构造线及主要交通干线呈带状密集分布的特征,多因强降雨和人类工程活动影响而加剧变形。库区总体属于地质灾害高易发、高危险、高风险区,其中:高易发区面积529.52 km²,主要分布于竹山县城关镇—张湾区黄龙镇的堵河干流及其

主要支流的两岸一级斜坡下部;中易发区面积539.23 km²,主要分布于库区一级斜坡中上部;低易发区面积4.19 km²,仅局部分布(图1)。

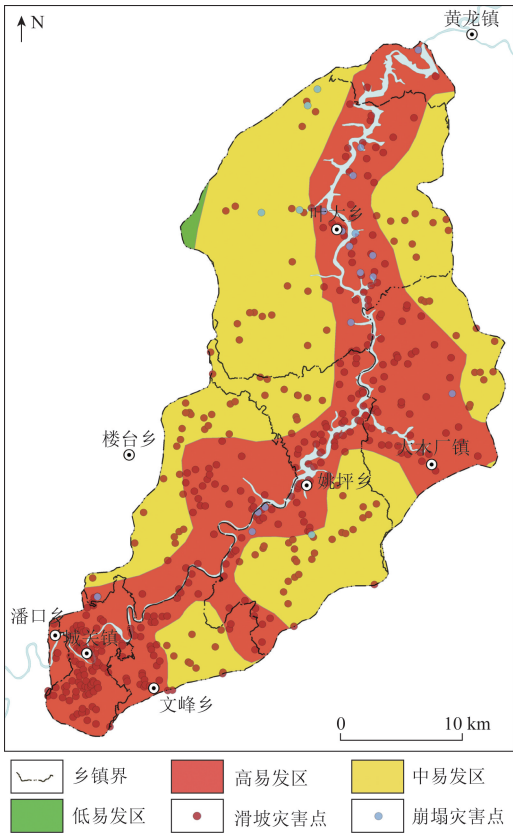


图1 黄龙滩库区地质灾害分布及易发性分区

Fig.1 Distribution of geological disasters and susceptibility zoning in Huanglongtan reservoir area

1.2 地质灾害监测现状

黄龙滩库区目前主要采用宏观监测、群测群防、专业监测和“四位一体”网格化管理相结合的方式进行地质灾害监测预警。宏观监测和群测群防主要依靠基层政府组织和发挥人民群众的力量建立群众性减灾防灾体系,广泛开展群体性防灾抗灾工作,在日常生活中对地质灾害的变形体位置、变形特征和形变量进行发现、测量和上报,由防灾减灾主管部门和专业技术部门提出处置方案并及时处置,以期达到大幅度减少人员伤亡和财产损失的目的^[7]。专业监测包括3部分:一是室外监测设备,包括全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)自动地表位移监测站、地表裂缝监测站、地表倾斜加速度监测站、声光报警器等的数据采集与分析^[7];二是室内实时对所采集数据进行检测与分析,并将全部监测数据汇交至湖北省

地质环境综合信息平台,24 h 实时在线监测和发布预警;三是确保预警信息发布后相关人员能第一时间处置,从而达到高效安全地进行防灾减灾工作。

截至 2023 年 6 月,黄龙滩库区有地质灾害专业监测点 137 处(滑坡监测点 136 处、崩塌监测点 1 处),监测设备 485 台,采集信息传感器 894 个,监测比例为 29.8%,监测点主要位于库区一级斜坡中下部的乡镇集镇驻地和居民聚居区附近(图 2)。

的增加,以及气候、水文等条件的变化,现有监测工作对于未知地质灾害的早期识别能力不足,无法为地质灾害风险防控措施的制定提供全面的基础资料。

(3)库区一级斜坡中、上部的大部分区段内人迹罕至,群测群防的防灾模式在此区域内基本无能为力,已有灾害点也因不威胁住户及其财产而绝大部分未布置地质灾害专业监测设施,造成有效而全面的地质灾害监测手段不足,高位远程地质灾害的监测预警存在一定盲区。

2 地质灾害综合遥感监测需求分析

2.1 确保丹江口库区“一库净水北送”的政治责任

堵河是丹江口库区的汉江第一大支流,黄龙滩库区距离丹江口水库库尾的河道长度约 6 km,属于南水北调工程的重要水源地之一。受地质环境条件、人类工程活动、库水位周期性变化和降雨影响等因素的综合作用,黄龙滩库区为地质灾害高易发、高危险、高风险区。加之库区总体山高林密,且易崩易滑地层广泛分布,存在未知地质灾害隐患的可能性较大。

通过综合遥感技术构建“天-空-地”立体化的地质灾害监测网络,监测已有地质灾害点的变形特征,发现和识别未知地质灾害隐患,实现地质灾害的早期识别与监测预警,是确保南水北调工程水源区的正常安全运行、实现流域地质环境保护、提升流域水安全保障能力的关键之举。

2.2 构建“群专结合”的地质灾害防治体系

黄龙滩库区地质灾害具有分布范围广、区域分布不均、汛期集中发生、破坏性强的特点,地质灾害点隐蔽且难以预测,地质灾害综合防治体系亟须完善。近年来,极端恶劣天气高发,库区重大工程、基础设施建设进入高峰期,加之黄龙滩库区山高坡陡、地广人稀、易滑地层广泛分布的地形地质条件和降雨充沛(特别是短时集中降雨频发)的自然环境条件,区内仍处于地质灾害易发、多发、频发的高风险期。

通过综合遥感技术构建“天-空-地”立体化的地质监测体系,构建“人防+技防”并重的地质灾害“群专结合”工作机制,可大大提升主动防灾减灾能力,充分落实国务院“从注重灾害救助向注重灾前预防转变、从减少灾害损失向减轻灾害风险转变”的地质灾害监测要求^[8]。

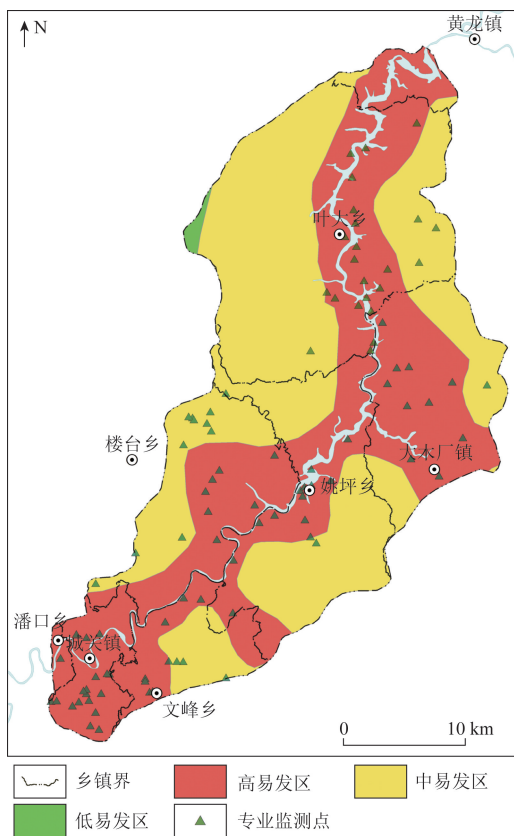


图 2 黄龙滩库区地质灾害专业监测点分布

Fig.2 Distribution of professional monitoring points for geological disasters in Huanglongtan reservoir area

1.3 地质灾害监测中存在的问题

目前,库区的地质灾害监测预警工作主要存在以下 3 方面的问题。

(1)已有监测设施均布置于已发现的大中型地质灾害点上,其监测工作主要是针对单个“点”而非“面”开展,未能形成全方位、立体化的监测网络,无法有效地服务于“隐患点+风险区”防灾减灾双控目标。

(2)地质灾害的孕育形成和变形破坏是一个动态变化的过程,随着社会经济发展和人类工程活动

2.3 实施“点面双控”的地质灾害防治体系

《全国地质灾害防治“十四五”规划》^[9]要求在全国地质灾害防治重点省份持续推行“隐患点+风险区”双控模式,提升风险管控能力。湖北省响应自然资源部文件要求,2023—2024年在省内开展多处双控试点工作^[7]。黄龙滩库区总体处于地质灾害易发、多发、频发的高风险期,迫切需要认清形势,再添措施。

借助航天航空平台覆盖范围广、综合成本低的优势,对库区全域进行地质灾害早期识别和形变监测,从形态特征和形变特征实现库区周期性地灾全覆盖普查识别,结合灾害点监测和周期性地面巡查手段可有效配合“隐患点+风险区”模式,推进区内地质灾害的科学精准防范,切实保障人民群众生命生活生产安全、重大基础设施及城镇安全。

2.4 实现流域综合治理和乡村振兴

黄龙滩库区地处老少边穷山区,地形起伏较大,环境容量有限,建设用地及耕地资源紧缺,人居环境差。以往各级政府在地质灾害人防、物防、技防方面给予了很大投入,但是由于地处贫困落后山区,又是地质灾害易发多发区,应对突发地质灾害存在很大局限,其系统性、及时性、精准性亟待快速提高。

“十四五”期间,十堰市规划以汉江和堵河为轴线,打造1 000 km全域开放的环库沿库生态绿色廊道。为及时发现未知隐患,避免或减轻突发地质灾害对库区人民生命财产安全、库区道路等基础设施的危害,确保库区的环保绿色发展,需要尽早对黄龙滩库区开展地质灾害综合遥感监测,实现库区全覆盖的周期性地质灾害监测,提升流域地质灾害风险防控能力。

3 地质灾害综合遥感监测的应用模式

3.1 地质灾害综合遥感监测的部署原则

为达到提升防灾减灾能力、减少地质灾害损失、保护人民群众生命财产安全和让地质环境更好地为人类服务的目的,黄龙滩库区地质灾害综合遥感监测的部署原则如下。

(1)以人为中心。把保护人民生命财产安全放在首位。监测工作重点围绕人的安全展开,人口密集或人员集聚的区域,如集镇、学校、医院、厂矿以及交通、水电等重要基础设施周边,都是需要重点

关注的区域^[6]。

(2)科学和经济。充分考虑各种技术方法的优缺点和地质灾害的特征与规律,做到技术方法针对性强、适宜性好,既突出重点,又兼顾全面,避免重复和无效实施。根据区内地质背景条件、地质灾害发育和分布现状和人类工程经济活动分布等因素特征,将其划分为一般区、重点区和重大地质灾害区3个层次。

(3)相互对比验证。通过多重对比,做到识别对象相互兼顾。光学遥感解译和InSAR形变监测、机载LiDAR监测、无人机摄影测量、地面三维激光扫描监测结果可以互相对比验证。同时,InSAR形变监测、机载LiDAR监测和地面三维激光扫描监测结果可与地面专业监测数据进行对比验证。对遥感圈定的形变区、遥感识别的地质灾害隐患,通过地质灾害排查,进行现场查证。

3.2 地质灾害综合遥感监测的实现

在充分掌握黄龙滩库区地质背景条件、地质灾害分布规律与发育特征、人类工程经济活动等要素的基础上,根据地质灾害防治的技术逻辑,即先发现隐患,然后核查确认,最后按照风险等级分层级开展相关的监测、工程治理等的综合防治体系原则,将库区划分为一般区(库区全域)、重点区(包含重要承灾体的区域)和重大地质灾害区(重大地质灾害点或高风险斜坡单元)3个监测层次,采用光学遥感解译和InSAR、机载LiDAR、无人机摄影测量、地面三维激光扫描以及现场核查等技术手段^[7-10],构建出“天-空-地”一体化的地质灾害多源立体监测网络体系,实现库区地质灾害早期识别和监测预警(图3,表1)。

大气降雨和库水位周期性升降变化是影响黄龙滩库区地质灾害形成、变形和破坏的关键因素。根据库区的气候变化规律,结合水库的水位调度情况,综合确定监测周期为4次/a,4月(汛前)进行1次监测作为本底数据,7月、9月(夏汛期)各进行1次监测,11月(秋汛期)进行1次监测。

(1)一般区监测。一般区为库区全域,总面积为1 072.88 km²。区内以构造剥蚀中低山地貌为主,地层以变质岩为主,含少量侵入岩,地质构造复杂。区内现有地质灾害点459处,密度为0.43处/km²。一般区监测主要采用合成孔径雷达干涉测量(interferometric synthetic aperture radar, InSAR)技术进行周期性地表形变监测,获取地表形

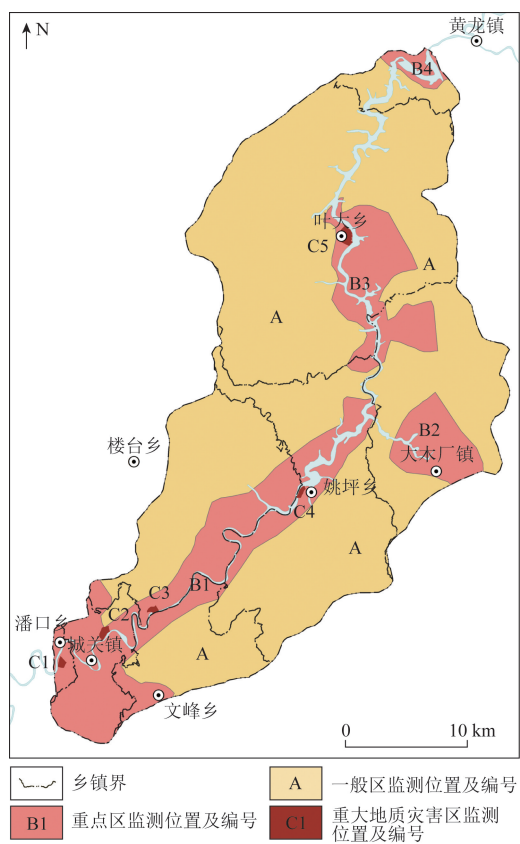


图 3 黄龙滩库区地质灾害综合遥感监测部署位置
Fig.3 Deployment of comprehensive remote sensing monitoring of geological disasters in Huanglongtan reservoir area

变速率分布,然后根据不同形变等级确定形变速率阈值,进而圈定正在变形的区域,实现地质灾害的早期识别与监测预警。一般区监测同时还采用高分辨率卫星影像周期性进行地质环境条件解译和地质灾害隐患识别,既可对现有遥感解译识别标志进行完善修正,又可与 InSAR 变形监测进行相互印证,从而提高准确性。

(2)重点区监测。充分考虑地质灾害分布发育特征、人类工程经济活动特征等因素,把保护人民的生命财产安全放在第一位,将人口密集的集镇区、重要交通干线沿线等包含重要承灾体的区域划定为重点区。重点区总面积为 275.6 km²,细为 4 个亚区: B1 亚区面积为 162.39 km²,以地质灾害极高风险区为主,区内共发育地质灾害 186 处,密度为 1.15 处/km²,有县城 1 处、乡镇驻地 4 处、水电站 4 处、国道及省道 88.62 km、矿山 8 处; B2 亚区面积为 34.11 km²,为地质灾害高风险区,区内共发育地质灾害 15 处,密度为 0.44 处/km²,有乡镇驻地 1 处、省道 19.57 km; B3 亚区面积为 69.27 km²,为地质灾害高风险区,区内共发育地质灾害 30 处,密度为 0.43 处/km²,有乡镇驻地 1 处、省道 12.53 km; B4 亚区面积为 9.83 km²,为地质灾害高风险区,区内共发育地质灾害 2 处,密度为 0.2 处/km²,有乡镇驻地 1 处、省道 12.53 km,

表 1 黄龙滩库区地质灾害综合遥感监测分区及对应工作方法

Tab.1 Deployment of comprehensive remote sensing monitoring of geological disasters and the corresponding working methods in Huanglongtan reservoir area

监测分区	分区代号	分布区域	面积/km ²	面积合计/km ²	工作方法
一般区监测	A	库区全域	1 072.88	1 072.88	①光学遥感解译 + InSAR 形变监测
重点区监测	B1	潘口乡至姚坪乡的河谷地带和集镇区	162.39	275.60	①光学遥感解译 + InSAR 形变监测; ②机载 LiDAR 监测
	B2	房县大木厂镇集镇	34.11		
	B3	大木厂镇至叶大乡的河谷地带和集镇区	69.27		
	B4	黄龙滩水库库首	9.83		
重大地质灾害区监测	C1	潘口乡悬鼓洲村斜坡	0.42	3.00	①光学遥感解译 + InSAR 形变监测; ②机载 LiDAR 监测; ③无人机摄影测量 + 地面三维激光扫描监测
	C2	城关镇撬场村斜坡	0.58		
	C3	楼台乡钻炭岩斜坡	0.35		
	C4	姚坪乡集镇斜坡	0.35		
	C5	叶大乡麻池村斜坡	1.30		

水电站 2 处。重点区增加地面影像分辨率优于 10 cm、点云密度优于 25 ~ 30 点/km² 的机载 LiDAR 监测,以更加灵活、机动的方式,突破地形及植被覆盖的限制,进行微小形变监测和地质灾害

早期识别,实现精细化的遥感识别与监测预警。
(3)重大地质灾害区监测。重大地质灾害区监测布置于库区内目前仍然存在整体或局部变形的重大地质灾害点或高风险斜坡单元。库区共选

出 5 处重大地质灾害区,总面积为 3.0 km²。同时,综合遥感监测实施过程中持续出现异常变形的高风险斜坡单元,在经现场核验确认后,也纳入重大地质灾害区监测范畴。重大地质灾害区监测再增加无人机摄影测量和地面三维激光扫描,通过定性定量相结合,以高分辨率 DEM 为基础,结合地形可视化方法,从形态特征和形变特征进行地质灾害的识别与监测。

(4) 地质灾害隐患排查。对周期性综合遥感监测实施过程中识别出的新增地质灾害点、出现持续变形或较大变形的灾害点或斜坡单元,及时进行地质灾害隐患排查。地质灾害隐患排查工作与“四位一体”网格化管理和宏观监测、群测群防、专业监测工作机制相结合。排查过程中,对新发现和加剧变形的地质灾害点或斜坡单元,需判断其稳定性、发展趋势及危害程度,评估危险区范围,提出地质灾害防治和管控建议,更新地质灾害数据库,必要时根据防灾减灾预案进行应急处置^[11-17]。

4 讨论

GNSS 自动地表位移监测站、地表裂缝监测站、地表倾斜加速度监测站等地面变形监测设备能够长期持续进行地质灾害变形监测,对于地质灾害的突发性、持续性等各类变形均可进行监测预警,但由于其位置固定,对于其位置之外的变形监测则无能为力^[12-16]。光学遥感解译、InSAR 形变监测、LiDAR 形变监测、无人机摄影测量等遥感等技术由于获取数据和成像方法的不同,在监测地质灾害方面各有优劣,例如:光学遥感解译图像清晰,可清楚分辨出灾害体变形的过程和特征,但易受到云雾、雨雪等天气的影响;InSAR 技术对于识别和监测长期持续蠕滑变形的地质灾害隐患效果显著,但对于未变现或突发变形的地质灾害体则识别能力不足;LiDAR 和无人机摄影技术可以通过获取高分辨率、高精度的数字高程模型进行高精度的地质灾害识别与监测,但因平台限制和费用昂贵而应用受限^[5]。

通过综合遥感手段进行“天-空-地”一体化的地质灾害隐患识别和监测,需要在查明研究区孕灾环境和孕灾模式基础上,结合高分辨率遥感影像解译、InSAR 地表形变信息和机载 LiDAR 等遥感数据,建立隐患遥感识别标志,按照识别标志识别出的地

质灾害隐患,进行现场核查验证,并对确认的地质灾害隐患进行监测。相较于传统手段,采用综合遥感技术进行地质灾害监测能够大范围地快速发现和识别地质灾害隐患,极大提高地质灾害的防控精准度和效率,尤其对于山高林密、交通不便、人迹罕至区域的高位远程类地质灾害效果更为明显^[18-20]。

采用综合遥感技术监测地质灾害时,监测区面积通常较大,若采用传统的人机交互形式进行遥感数据分析,监测数据的处理周期一般需要数日至数十日,时间方面难以满足地质灾害的实时预警预报需求。因此,数据处理分析工作引入人工智能技术,通过大数据和机器学习,不仅可以极大加快数据处理进度,还能大幅度提高地质灾害隐患监测识别的精准度^[21]。

5 结论

(1) 黄龙滩库区是南水北调工程的重要水源地,库区总面积为 1 072.88 km²。截至 2023 年 6 月,库区共发现地质灾害点 459 处,地质灾害点密度达 0.43 处/km²。库区山高坡陡、地广人稀、易滑地层广泛分布的地形地质条件和降雨充沛的自然环境条件,使库区总体属于地质灾害高易发、高危险、高风险区。

(2) 黄龙滩库区目前主要采用宏观监测、群测群防、专业监测和“四位一体”网格化管理相结合的方式对地质灾害进行监测预警。截至 2023 年 6 月,黄龙滩库区有地质灾害专业监测点 137 处,监测比例为 29.8%,监测点主要位于库区一级斜坡中下部的乡镇集镇驻地和居民聚居区附近。监测预警工作主要存在 3 个方面问题:一是已有监测设施均布置于已发现的大中型地质灾害点上,未能形成全方位、立体化的监测网络;二是监测工作对于未知地质灾害的早期识别能力不足,无法为地质灾害风险防控措施的制定提供全面的基础资料;三是因人迹罕至区监测手段不足,造成高位远程地质灾害的监测预警存在一定盲区。

(3) 将黄龙滩库区划分为一般区(库区全域)、重点区(包含重要承灾体的区域)和重大地质灾害区(重大地质灾害或高风险斜坡单元)3 个监测层次,采用光学遥感、InSAR、机载 LiDAR、无人机摄影测量、地面三维激光扫描、现场核查等技术手段,结合现有的地质灾害隐患“四位一体”网格化管理体

系进行地质灾害监测预警,构建出“天-空-地”一体化的地质灾害多源立体监测网络体系,可实现库区地质灾害的早期识别和监测预警。

参考文献(References):

- [1] 邵芸,张茗,谢酬. 地质灾害遥感综合监测现状与展望[J]. 地质与资源,2022,31(3):381-394.
Shao Y,Zhang M,Xie C. Present situation and prospect of comprehensive monitoring in geological hazard by remote sensing[J]. Geology and Resources,2022,31(3):381-394.
- [2] 自然资源部. 自然资源部关于印发《地质灾害防治三年行动实施纲要(2019—2021 年)》的通知[R]. 北京:自然资源部,2019.
China Mineral Resources. Notice of the China Mineral Resources on Printing and Distributing the Three Year Action Plan for the Prevention and Control of Geological Disasters (2019—2021) [R]. Beijing:China Mineral Resources,2019.
- [3] 中华人民共和国自然资源部.《地质灾害隐患综合遥感识别技术规程》(征求意见稿)[R]. 北京:中华人民共和国自然资源部,2023.
Ministry of Natural Resources, People's Republic of China. Code of Practice for Potential Geological Hazards Identification by Comprehensive Remote Sensing [R]. Beijing:Ministry of Natural Resources, People's Republic of China,2023.
- [4] 何倩,范洪冬,段晓晔,等. 三维激光扫描与 DInSAR 联合监测矿区地表动态沉降方法[J]. 煤矿安全,2017,48(12):70-73,77.
He Q,Fan H D,Duan X Y,et al. A combining method of 3D laser scanning and DInSAR for monitoring surface dynamic subsidence in mining area[J]. Coal Mine Safety,2017,48(12):70-73,77.
- [5] 许强,董秀军,李为乐. 基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2019,44(7):957-966.
Xu Q,Dong X J,Li W L. Integrated space-air-ground early detection,monitoring and warning system for potential catastrophic geohazards[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2019,44(7):957-966.
- [6] 黄海峰,张瑞,周红,等. 小尺度山区地质灾害隐患的无人机精细化识别方法与实践[J]. 测绘通报,2024(1):6-11.
Huang H F,Zhang R,Zhou H,et al. Refined identification method and practice of unmanned aerial vehicle for geological hazards in small-scale mountainous areas [J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2024(1):6-11.
- [7] 湖北省国土资源厅地质环境处. 2014 年湖北省地质环境工作成果简述及 2015 年工作要点[J]. 资源环境与工程,2015,29(2):113-114.
Geological environment division of the Hubei Province Department of land and resources. A brief introduction to the achievements of geological environment work in Hubei Province in 2014 and the key points of work in 2015 [J]. Resources Environment & Engineering,2015,29(2):113-114.
- [8] 中共中央国务院关于推进防灾减灾救灾体制机制改革的意见[J]. 中国减灾,2017(3):12-17.
Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on promoting the reform of disaster prevention,mitigation and relief system and mechanism [J]. China Disaster Reduction,2017(3):12-17.
- [9] 自然资源部. 自然资源部关于印发《全国地质灾害防治“十四五”规划》的通知[EB/OL]. (2022-12-07). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-01/04/content_5734957.htm.
Ministry of Natural Resources, People's Republic of China. Notice of the China Mineral Resources on printing and distributing the “14th five year plan” for national geological disaster prevention and control [EB/OL]. (2022-12-07). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-01/04/content_5734957.htm.
- [10] 汪民. 关于地质灾害防治需要关注的几个问题[J]. 中国地质灾害与防治学报,2022,33(1):1-5.
Wang M. Several issues concerning the prevention and control of geological disasters [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,2022,33(1):1-5.
- [11] 武维毓,周建波,王光辉,等. 基于卫星遥感的水电站边坡安全风险识别及应用研究[J]. 大坝与安全,2022(3):10-14.
Wu W Y,Zhou J B,Wang G H,et al. Safety risk identification of hydropower station slope based on satellite remote sensing and its application [J]. Dam & Safety,2022(3):10-14.
- [12] 杨铭. 移动测量在超精细三维场景制作中的应用研究[J]. 城市勘测,2017(5):53-56,65.
Yang M. Research on the application of mobile mapping in hyper-fine 3D scene building [J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying,2017(5):53-56,65.
- [13] 刘文,王猛,王朋,等. 国道 219 沿线崩滑地质灾害隐患遥感调查及发育分布规律[J]. 中国地质调查,2023,10(5):99-108.
Liu W,Wang M,Wang P,et al. Remote sensing investigation and development distribution regularity of collapse and landslide geological hazard potentials along National Highway 219 [J]. Geological Survey of China,2023,10(5):99-108.
- [14] 吕磊. 基于三维激光扫描的城市构筑物模型重建[D]. 青岛:山东科技大学,2020.
Lv L. Model Reconstruction of Urban Structures Based on 3D Laser Scanning [D]. Qingdao:Shandong University of Science and Technology,2020.
- [15] 陈卓,刘涛,段明新,等. 基于遥感技术的哈尔滨巴彦-方正地区生态状况评价[J]. 中国地质调查,2023,10(6):111-119.
Chen Z,Liu T,Duan M X,et al. Ecological assessment in Bayan-Fangzheng area of Harbin based on remote sensing method [J]. Geological Survey of China,2023,10(6):111-119.
- [16] 王文涛. 倾斜航空摄影技术在茂密植被山区地质灾害调查中的应用[J]. 中国地质调查,2024,11(2):116-122.
Wang W T. Application of oblique aerial photography technology

in the geological hazard investigation in dense vegetation mountainous areas [J]. Geological Survey of China, 2024, 11 (2): 116 – 122.

[17] 孙小勇,魏龙,唐华,等. 基于 GIS 的崩滑地质灾害孕灾地质条件分析——以西藏嘉黎县为例 [J]. 中国地质调查, 2024, 11 (4): 92 – 100.

Sun X Y, Wei L, Tang H, et al. Analysis of the disaster – pregnancy geological conditions of collapse and landslide based on GIS: A case study of Jiali County in Tibet [J]. Geological Survey of China, 2024, 11 (4): 92 – 100.

[18] 汤志刚,钱静,谢梦雨,等. 基于 InSAR 监测数据的采煤沉降特征及稳定性分析——以江苏省沛县矿地融合示范区为例 [J]. 中国地质调查, 2024, 11 (4): 132 – 139.

Tang Z G, Qian J, Xie M Y, et al. Analysis of coal mining subsidence characteristics and stability based on InSAR monitoring data: A case study of the Mining and Land Integration Demonstration Zone in Pei County of Jiangsu Province [J]. Geological Survey of China, 2024, 11 (4): 132 – 139.

[19] 范雪婷,李明巨,张大骞,等. 基于多主影像相干目标小基线 InSAR 技术的无锡市地表沉降监测 [J]. 现代测绘, 2018, 41 (3): 1 – 5.

Fan X T, Li M J, Zhang D Q, et al. Monitoring of surface subsidence in Wuxi City with MCTSB – InSAR method [J]. Modern Surveying and Mapping, 2018, 41 (3): 1 – 5.

[20] 王绚,范宣梅,杨帆,等. 植被茂密山区地质灾害遥感解译方法研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2020, 45 (11): 1771 – 1781.

Wang X, Fan X M, Yang F, et al. Remote sensing interpretation method of geological hazards in lush mountainous area [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45 (11): 1771 – 1781.

[21] 蒲川豪,许强,赵宽耀,等. 基于遥感分析的延安新区平山造城工程地面沉降及植被恢复特征研究 [J]. 工程地质学报, 2020, 28 (3): 597 – 609.

Pu C H, Xu Q, Zhao K Y, et al. Remote sensing analysis of land subsidence and vegetation restoration characteristics in excavation and filling areas of mountain region for urban extension in Yan'an [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28 (3): 597 – 609.

Application of integrated remote sensing technology in geological disaster monitoring of Huanglongtan reservoir area

ZHU Wencai^{1,2}, CHEN Jiangjun^{1,2}, CUI Xuejie^{1,2}, HU Xiaoqing^{1,2}

(1. Hydrogeology and Engineering Geology Brigade of Hubei Geological Bureau, Jingzhou Hubei, 434020, China; 2. Hubei Key Laboratory of Resources and Eco – environmental Geology, Wuhan Hubei 430034, China)

Abstract: Huanglongtan reservoir area in Du River basin is one of the important water sources for the South – to – North Water Diversion Project, and it belongs to highly prone, dangerous and risky geological disaster area. At present, the combination of macro monitoring, group monitoring and prevention, professional monitoring and “four in one” grid management are used for geological disaster monitoring and early warning. Due to the serious insufficiency of monitoring methods, there is an objective demand for the use of comprehensive remote sensing technology to build a “space – aerial – ground” three – dimensional geological disaster monitoring network. Aiming at the short board of geological disaster monitoring in Huanglongtan reservoir area, the authors divided the area into three monitoring levels, including general area, key area and major geological disaster area, based on analysis of the development law of geological disasters in this area. The optical remote sensing interpretation and interferometric synthetic aperture radar (InSAR) were arranged in the general area. The light laser detection and ranging (LiDAR) was added to the key area monitoring. The unmanned aerial vehicle photogrammetry and ground three – dimensional laser scanning monitoring were added to the major geological disaster area monitoring. At the same time, the hidden dangers of geological disasters in the identified deformation area were checked in time. By the early identification, monitoring and early warning of geological disasters integrated with “space – aerial – ground” network, the disaster prevention capacity requirements in rural revitalization, geological environment protection and water security were met. The research has reference significance for the construction of “point and surface control” type geological disaster monitoring and early warning system in mountainous areas.

Keywords: Du River basin; Huanglongtan reservoir area; integrated remote sensing; geological disaster monitoring