

水工环地质勘察及遥感技术在地质工作中的应用

胡冲 任卓楠 邱鹏 宋辉

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i2.19997

[摘要] 新时代背景下对地质工作开展提出更高要求,传统技术方法存在精度低、响应慢的缺点,不满足实际工作需求。文章从水工环地质勘察常用技术手段入手,介绍了基于遥感技术的水工环地质勘察流程,结合山体滑坡监测项目探讨了水工环地质勘察及遥感技术的应用实践。结果显示,该技术方案可实现动态监测和精准预警,有效防控地质灾害发生,可在类似项目中推广应用。

[关键词] 水工环; 遥感技术; 地质灾害; 问题解译; 风险预警

中图分类号: TP7 **文献标识码:** A

Application of Hydrogeological and Environmental Geological Survey and Remote Sensing Technology in Geological Work

Chong Hu Zhuonan Ren Peng Qiu Hui Song

China Nonferrous Metals Industry Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] The new era imposes higher demands on geological work, while traditional techniques suffer from low precision and slow response, failing to meet practical needs. This paper introduces the workflow of hydraulic and environmental geological surveys using remote sensing technology, starting with common survey methods. Through a landslide monitoring project, it demonstrates the practical application of these technologies. The results show that this approach enables dynamic monitoring and precise early warning, effectively preventing geological disasters, and can be widely adopted in similar projects.

[Key words] hydraulic engineering environment; remote sensing technology; geological hazards; problem interpretation; risk warning

引言

水工环是水文地质、工程地质和环境地质的总称,水工环地质勘察的目的是调查地下水源、评价自然环境,为工程建设提供支撑^[1]。地质灾害具有突发性和破坏性,是威胁环境稳定和人类安全的重要因素,如何开展防灾减灾工作成为一个关键。水工环地质勘察和遥感技术的联合应用,能采集水文环境、地质形变等数据并展开全面分析,形成一体化监控预警体系,提高灾害防治的科学性和精准性。

1 水工环地质勘察常用技术手段

1.1 地质雷达技术

地质雷达是无损勘察技术的一种,通过向地下发射高频电磁波,电磁波在介电常数差异的地质体界面产生反射,采集反射波信号并进行时域分析、成像处理,即可推断出地下结构,确定异常体的分布情况。该技术适用于浅层水工环勘察任务,如探测地下空洞、地下管线、岩溶发育带、滑坡体结构等。实际应用中,地质雷达技术的优点是探测速度快、空间分辨率高、设备容易携带转移,可满足大面积野外快速扫描需求;缺点是电磁波的

穿透深度有限,信号在富水、高导地层衰减快,且容易受到电磁干扰,对深层地质的探测效果较差^[2]。

1.2 透视电镜技术

透视电镜可用于水工环微观分析,原理是向超薄岩土样品发射高能电子束,样品与电子相互作用形成透射图像,进而获取岩土的形貌、界面特征、孔隙结构和矿物组分。该技术适用于分析地质结构的微观机理,如岩土体的孔隙分布情况、矿物蚀变特征、污染物的变化规律、污染场地修复效果等。实际应用中,透视电镜技术的优点是微观分辨率高、测试精度高,能明确岩土微观结构与水文地质参数之间的关联;缺点是只能对室内样品展开分析,无法进行现场原位探测,数据结果难以反映出宏观地质规律。

1.3 载波相位差分技术

载波相位差分是一种高精度的定位技术,原理是在参考站上布设接收机连续观测卫星,移动站同时接收自身卫星载波、参考站载波观测量及坐标,通过处理数据最终解算自身坐标。该技术消除了卫星轨道、电离层、对流层等系统误差,可实现实时厘

米级定位,适用于水工环勘察全流程,包括地形测绘、勘探点放样、地下管线定位、地下水位监测孔定位、滑坡位移与地面沉降监测等^[3]。实际应用中,载波相位差分技术的优点是定位精度高、作业效率高、数据可实时输出,尤其适用于大范围区域勘察;缺点则是受到建筑、山体遮挡,可能导致卫星信号失锁,且布设基准站使得设备和运维成本较高。

2 基于遥感技术的水工环地质勘察流程

将遥感技术应用在水工环地质勘察中,作业流程见下图1。

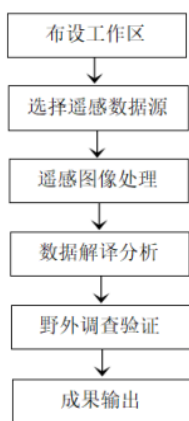


图1 基于遥感技术的水工环地质勘察流程

2.1 选择遥感数据源

根据水工环地质特征和勘察作业要求,合理选择遥感数据源,常见如多光谱遥感影像、热红外遥感影像和雷达影像,主要参数见下表1。以多光谱遥感影像为例,使用ETM+传感器,空间分辨率为全色15 m、多光谱30 m。

表1 地质勘察常用的遥感数据源

数据类型	传感器	光谱波段	空间分辨率(m)
多光谱遥感影像	ETM+	蓝、绿、红、近红外	15, 30
	OLI	绿、红、近红外、中远红外	15, 30
热红外遥感影像	MODIS	36个波段	250, 500, 1000
雷达影像	高分3号	C波段雷达	1, 10

2.2 遥感图像处理

遥感图像处理是一个关键环节,主要步骤如下:①进行波段组合、图像融合等预处理,提高影像清晰度与信息完整性。②通过大气校正消除环境干扰,结合劈窗算法完成热红外地温反演,同时对雷达遥感数据进行去噪、滤波与增强处理。③采用纹理映射、三维渲染技术,生成高分三维遥感、多光谱与雷达融合影像,得到热红外地温反演图。

2.3 数据解译分析

根据各类遥感成果进行地质解译与数据反演,重点包括不良地质的解译、遥感断层的解译,精准识别滑坡体、岩溶发育带、地下空洞等不良地质体,圈定区域内断层的展布范围与发育特征。另外,结合热红外、雷达反演数据,分析区域地温异常、地

质体形变等情况,并且关联水文地质与工程地质条件,形成初步的地质解译成果^[4]。

2.4 野外调查验证

结合遥感数据初步解译成果,开展现场野外调查验证工作。围绕解译识别的不良地质区、断层带、地温异常区等重点区域,通过现场地质测绘、典型点位取样、实地特征核查等方式,核实解译结果是否真实准确,修正遥感解译中出现的偏差^[5]。同时补充采集现场地质实测数据,完善解译成果,确保遥感解译数据与实际地质情况相符,为最终成果输出、资料编制提供可靠的实测依据。

3 水工环地质勘察及遥感技术的应用实践

3.1 地质灾害项目概况

某山体滑坡监测项目,属于深层基岩顺层滑坡,总体积约800万m³,威胁附近村落的生产活动和人员安全。根据水工环勘察结果,该地年均降雨量超过1000 mm,地下水位波动明显,滑坡体持续处于变形状态。2024年,地质灾害防治部门引进遥感技术升级地质勘察方案,打造滑坡风险监测预警系统,共设置8个地面监测站、4个气象监测站、7组地下水位传感器,并连接卫星影像,基于随机森林算法对滑坡数据展开训练,提高预警精准度。

3.2 技术方案实施

3.2.1 采集卫星影像

根据项目实际情况,确定滑坡监测范围、周期,选择合适的遥感卫星。具体见下表2。①Sentinel-1卫星覆盖宽度超过200 km,单颗卫星的重访周期为6 d,两颗卫星组网则缩短至3 d;方向和距离方向的空间分辨率分别为5 m和20 m,可满足地质灾害隐患点的监测精度要求。另外,根据监测区域的坐标匹配最佳成像窗口,将雷达入射角控制在20°-45°之间。②实际监测作业中,Sentinel-1卫星发现滑坡隐患后,再调用TerraSAR-X和ALOS-2卫星实施局部高精度监测。采集原始数据,将影像灰度值转换为雷达后向散射系数,从而消除不同传感器增益带来的差异。③建立数字高程模型,结合卫星轨道参数将斜距影像转换为地理编码影像,使得定位精度<1个像素;通过相位误差纠正、水汽反演,进一步消除对流层延迟、电离层延迟带来的干扰,提高数据精度。

表2 用于遥感影像采集的卫星类型

卫星类型	波段	分辨率(m)	重访周期(d)	应用场景
Sentinel-1	C波段	5×20	6	滑坡快速筛查
TerraSAR-X	X波段	0.25×0.25	11	地质形变分析
ALOS-2	L波段	3×3	14	植被形变监测

3.2.2 提取变形信息

应用合成孔径雷达差分干涉技术,分析不同时相遥感影像的相位差异,能对地表形变进行精准监测,精度达到毫米级,从而发现地面沉降、坡面位移等情况。从遥感影像中提取变形信息,具体操作步骤如下:

第一步,对两期遥感影像进行几何配准,相同地物的像素偏差 <0.1 像素,配准后对影像复共轭相乘得到干涉相位图,表达式:

$$\phi_{\text{int}} = \arg(S_1 \cdot S_2) \quad (1)$$

式中, ϕ_{int} 代表干涉相位, rad; \arg 代表复数辐角计算函数, S_1 、 S_2 分别代表主影像和从影像的复信号。分析相位图特征,即可反映出地表的相对性变化。

第二步,考虑到干涉相位具有缠绕特性,缠绕周期为 2π ,需采用解缠算法还原真实相位,计算公式:

$$\phi_{\text{u}} = 2\pi \cdot n + \phi_{\text{int}} \quad (2)$$

式中, ϕ_{u} 代表解缠后的连续相位, rad; n 代表整数相位模糊数。通过解缠处理,将地表形变监测误差控制在 $\pm 0.25\pi$ 内,可保证形变计算精度。

第三步,解缠后的相位图置于WGS84地理坐标系中,利用数字高程模型对地形相位偏差予以校正,计算公式:

$$\phi_{\text{topo}} = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{2Bh}{R_0 \cdot \sin \theta} \quad (3)$$

式中, ϕ_{topo} 代表地形相位, rad; λ 代表雷达的波长, cm; B 代表垂直基线距离, m; h 代表高程值, m; R_0 代表斜距, m; θ 代表雷达的入射角, $^\circ$ 。通过地形相位补偿,可以消除地形起伏对相位带来的干扰。

第四步,根据解缠后的相位和地形校正结果,计算视线向位移值,公式:

$$d_{\text{LOS}} = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \Delta\phi_{\text{def}} \quad (4)$$

式中, d_{LOS} 代表视线向位移, m; $\Delta\phi_{\text{def}}$ 代表形变相位, rad。根据结果绘制视线向位移图,即可呈现出地表的形变特征。

3.2.3 风险评估预警

滑坡风险评估预警,需要整合地表形变数据、气象数据、地质参数、地下水数据等建立模型,采用随机森林算法对历史滑坡

数据展开训练,从而预测未来24 h滑坡发生概率。根据概率大小划分为预警等级,采取针对性防控治理措施,见下表3。

表3 滑坡预警等级和防控治理措施

预警等级	滑坡发生概率(%)	防控治理措施
四级	<30	定期巡查,提高监测频率
三级	30-59	进入应急程序,实行加固方案
二级	60-79	封锁危险区域,做好抢险准备
一级	≥ 80	抢险救灾,灾后重建规划

3.3 地质灾害防控效果

滑坡风险监测预警系统运行至今,成功完成2次险情预警,经防控治理避免了滑坡灾害发生,不仅保护了民众的生命安全,而且减少了经济损失,防灾减灾能力显著提升。

4 结语

在地质工作中,水工环勘察与遥感技术的结合成为一种新型技术手段,具有定位精准、响应迅速等优点,可用于地质灾害监测预警。未来,应持续更新相关设备、改进算法模型,进一步提高勘查结果和遥感数据的可靠性,为地质工程项目的安全稳定实施提供技术支持。

[参考文献]

- [1]沈秋华,赵燕.融合多源遥感与云平台的工水环地质勘查新技术研究[J].华南地震,2023,43(2):90-96.
- [2]张浩森.水工环地质监测技术在地质灾害治理中的应用[J].百科论坛电子杂志,2025(23):292-294.
- [3]王欢庆.矿区水工环地质勘察技术应用[J].中国金属通报,2025(4):237-239.
- [4]张兰新.矿山水工环地质勘查工作中的技术要点研究[J].世界有色金属,2024(3):187-189.
- [5]周琦.浅析地质灾害治理中水工环地质技术的应用[J].世界有色金属,2023(13):133-135.

作者简介:

胡冲(1986--),男,汉族,贵州遵义人,研究生,高级工程师,研究方向:水文地质,工程地质,环境地质。