

遥感技术在水利水电工程地质勘察中的作用

熊天满

玉溪市水利建设有限公司 云南玉溪 653100

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13143

[摘要] 本文围绕遥感技术在水利水电工程地质勘察中的应用展开研究,系统分析该技术在地质构造识别、岩土体分类与特性分析、水文地质条件探测等方面的作用,并阐述其在地质灾害监测预警中的应用,通过实际案例验证遥感技术能够显著提升地质勘察的效率、精度,降低成本,为水利水电工程的规划、设计和建设提供可靠的地质依据。

[关键词] 水利水电工程;地质勘察;遥感技术

1. 遥感技术概述

1.1 原理与特点

遥感技术依托卫星、飞机等搭载平台的各类传感器,收集目标地物反射或辐射的电磁波信息。不同地物因其物质组成、结构形态的差异,具有独特的电磁波响应特性,通过分析这些特性,可有效反演地物的物理属性、空间形态及分布规律。

相较于传统地质勘察手段,遥感技术优势显著。卫星遥感以其宏观视角,一次成像便能覆盖数千甚至数万平方公里的区域,极大缩短大面积区域地质信息的获取周期。同时,卫星遵循特定轨道,周期性地对同一区域开展观测,实现地质环境的动态、长期监测。例如,在青藏高原等高海拔、交通不便地区,传统勘察方法难以实施,而遥感技术凭借其不受地形限制的特性,可快速获取地质信息,显著提升工作效率^[1]。

1.2 常用遥感数据类型

(1) 光学遥感数据

光学遥感数据通过记录地物对可见光、近红外光的反射特性,为地质构造解译、岩性识别提供关键信息。不同岩石类型因矿物组成、风化程度不同,在可见光波段的反射率存在明显差异。例如,玄武岩富含铁镁矿物,在遥感影像上通常呈现深灰色调;而砂岩因成分相对均一,色调较浅。通过构建基于光谱特征与纹理特征的解译标志库,可有效提升岩性识别的准确率。

(2) 热红外遥感数据

热红外遥感记录地物发射的热红外辐射,其在水文地质调查与地质灾害监测中发挥着重要作用。地下水溢出带、地下热水分布区与周围环境存在明显的温度差异,在热红外影像上表现为低温或高温异常区。在滑坡、火山喷发等地质灾害发生前,地表温度会出现异常变化,热红外遥感可捕捉这些细微变化,为灾害预警提供依据。

(3) 雷达遥感数据

雷达遥感利用微波与地物相互作用产生的回波信号,获取地物的几何和物理特征。在植被茂密的热带雨林地区,或降水频繁的高山峡谷地带,光学遥感受天气和植被遮挡影响较大,而雷达遥感的微波信号具有较强的穿透性,可穿透植被和云层,获取地表及浅层地下的地质信息,弥补光学遥感的不足。

2. 遥感技术在水利水电工程地质勘察中的应用

2.1 地质构造识别

地质构造的稳定性,作为影响水利水电工程安全运行的关键因素,要求在工程地质勘察阶段进行精准识别与评估。遥感技术凭借其强大的对地观测能力,通过对线性构造与环形构造在遥感影像上呈现的空间几何特征、色调差异等多维度信息的综合分析,实现对断层、褶皱等典型地质构造的快

速且准确的识别。

在遥感影像解译过程中,断层通常表现为线性延伸的色调异常带,同时伴有地形地貌的错动位移以及水系形态的扭曲变形。例如,在金沙江白鹤滩水电站的前期选址工作中,项目团队利用高分辨率卫星遥感影像开展解译工作,成功识别出区域内多条断层构造。这些断层在影像上呈现出明显的线性特征,与周边区域的色调和纹理存在显著差异,同时其走向与地形地貌的变化趋势高度相关。对于褶皱构造而言,岩层会呈现出规律性的弯曲变形,不同岩性层在影像上形成独特的条带状纹理,其纹理的疏密程度和弯曲形态能够反映褶皱的类型与规模。白鹤滩水电站选址阶段对褶皱构造的识别,有效规避因褶皱核部岩石破碎、节理发育等地质条件带来的高风险区域,为工程建设的地质安全提供了科学依据,极大降低后期建设和运营过程中的地质风险^[2]。

2.2 岩土体分类与特性分析

遥感技术基于岩土体独特的光谱反射特性和纹理特征,实现对不同类型岩土体的精确分类与特性分析。不同岩土体因其矿物成分、结构构造以及表面粗糙度的差异,在遥感影像上呈现出截然不同的色调、纹理和几何形状。以花岗岩为例,由于其结晶结构均匀,在光学遥感影像上通常呈现出均匀的灰白色调,且纹理相对粗糙,这是由其矿物颗粒较大、表面反射特性较为一致所导致的。而黏土由于颗粒细小,对光线的吸收作用较强,在影像上表现为较暗的色调,同时其细腻的纹理特征反映了黏土颗粒的微观结构^[3]。

为进一步提高岩土体分类的效率和准确性,研究人员引入机器学习算法,构建岩土体光谱和纹理特征库。通过对大量已知类型岩土体样本的训练,该模型能够自动识别和分类不同类型的岩土体,经实际验证,分类准确率可达80%以上。此外,利用多光谱遥感影像在不同波段的反射率差异,结合反演算法,能够获取岩土体的含水量、孔隙度等关键物理参数。这些参数对于工程设计中的地基承载力计算、边坡稳定性分析等具有重要的参考价值,为水利水电工程的科学设计提供关键数据支持。

2.3 水文地质条件探测

水文地质条件作为水利水电工程地质勘察的核心内容之一,对工程的规划、设计和运营具有深远影响。遥感技术凭借其大面积同步观测和多光谱探测能力,在水文地质条件探测方面发挥着不可替代的作用。

热红外遥感影像能够捕捉到地球表面的热辐射信息,从而探测地下水的溢出点和地下热水的分布情况。由于地下水与周围介质存在温度差异,在热红外影像上常表现为低温异常区,而地下热水则呈现为高温异常区。这种温度异常特征为地下水的定位和地下热水资源的勘探提供了重要线索。此外,光学遥感影像通过对水系的分布、形态和动态变化的分析,能够推断地下水的补给、径流和排泄条件。水系的疏密

程度、弯曲程度以及与地形地貌的关系等特征,均与地下水的分布和运动密切相关。通过对这些特征的量化分析,结合地理信息系统(GIS)技术,能够绘制地下水等水位线图,为工程建设中的水资源评价、地下水开采方案制定以及水利设施的合理布局提供科学依据^[4]。

3. 遥感技术在地质灾害监测预警中的应用

3.1 滑坡监测

滑坡是水利水电工程建设中常见的地质灾害之一,其突发性强、破坏力大,严重威胁工程安全和周边居民生命财产安全。遥感技术凭借其宏观、快速、动态的特点,在滑坡监测中发挥着重要作用^[5]。通过多时相遥感影像对比分析,能够全面、连续地监测滑坡体的位移、变形等动态变化。例如,利用差分干涉合成孔径雷达(D-InSAR)技术,能够精确测量滑坡体的微小位移,监测精度可达毫米级。此外,通过分析光学遥感影像的植被覆盖变化、地形地貌变化等特征,也可以判断滑坡体的稳定性。在滑坡发生前,滑坡体上的植被可能会出现异常枯萎、死亡等现象,地形地貌也会发生微小的变化。通过对这些特征的监测和分析,可以提前发出滑坡预警,采取相应的防治措施,减少灾害损失。

3.2 泥石流监测

泥石流的形成与地形、地质、水文等多种因素密切相关。遥感技术可以通过对这些因素的综合分析,预测泥石流的发生。利用数字高程模型(DEM)数据,能够提取地形坡度、坡向、沟谷纵横比等地形特征。这些地形特征是判断泥石流易发区域的重要依据。一般而言,坡度较陡、沟谷纵横比较大的区域更容易发生泥石流。通过对地形特征的分析,可以初步划定泥石流的潜在发生区域。同时,结合光学遥感影像和雷达遥感影像,获取地质构造、岩土体类型和植被覆盖等信息,评估泥石流的形成条件。在泥石流发生时,通过卫星遥感和航空遥感,能够实时监测泥石流的运动轨迹和影响范围,为灾害救援提供准确的信息。

3.3 崩塌监测

崩塌是一种突发性的地质灾害,具有发生速度快、破坏力强的特点,对水利水电工程的安全构成严重威胁。遥感技术可以通过对崩塌体的形态、结构和稳定性进行监测,及时发现崩塌隐患,为工程的安全运行提供保障。利用高分辨率光学遥感影像和激光雷达数据,能够获取崩塌体的三维形态信息。高分辨率光学遥感影像可以清晰地呈现崩塌体的外观特征,如岩体的形状、大小、颜色等。激光雷达数据则可以精确地测量崩塌体的高程信息,构建崩塌体的三维模型。通过对三维形态信息的分析,可以深入了解崩塌体的结构特征和稳定性。例如,通过分析崩塌体的裂缝分布、岩体完整性等特征,评估崩塌体的稳定性。此外,通过对崩塌体周围地形地貌的变化监测,也可以预测崩塌的发生。

4. 案例分析

在雅鲁藏布江某大型水电站的地质勘察进程中,项目团队基于当地复杂的地质地貌特征,系统且综合地运用多种遥感技术,成功突破传统地质勘察的局限,打造高效、精准的地质勘察范例。

项目伊始,团队借助卫星遥感技术开展区域地质构造普查。通过对多源卫星影像,如Landsat系列和高分卫星影像的解译,从宏观尺度识别出该区域的主要断层和褶皱构造。在影像解译过程中,利用卫星影像丰富的光谱信息,将不同岩石类型、地质构造在影像上的色调、纹理和几何特征差异作为识别依据。例如,断层在卫星影像上表现为线性的地貌突变带,常伴有植被分布的异常,部分断层还会导致水系的错断或急转弯。褶皱构造则通过不同岩性层形成的条带状影

像特征进行识别,褶皱的轴部和翼部因岩石变形程度不同,在影像上呈现出不同的纹理和色调特征。通过对这些特征的分析,清晰圈定区域内主要的断层和褶皱构造,为后续的勘察工作划定重点区域。

为获取更详细的地质信息,项目团队采用航空遥感技术,搭载先进的光学和热红外传感器,开展低空飞行勘察。高分辨率的光学影像为岩土体的详细分类提供丰富的细节信息。借助纹理分析算法,依据岩土体在影像上呈现的粗糙或细腻程度、纹理的方向性等特征,结合其光谱反射特性,对不同类型的岩土体进行精确区分。与此同时,热红外影像捕捉到地球表面的热辐射差异,为探测水文地质条件提供关键信息。地下热水在热红外影像上呈现出高温异常区,且其分布与地质构造存在密切关联;而地下水溢出点则表现为低温异常区,通过对这些异常区域的定位和分析,有效掌握区域内的地下水分布情况。

在工程建设阶段,为实时掌握地质体的动态变化,预防潜在地质灾害,项目团队引入差分干涉合成孔径雷达(D-InSAR)技术。该技术通过对不同时间获取的合成孔径雷达(SAR)影像进行干涉处理,能够精确测量地表微小的形变信息。在水电站建设区域,对可能出现滑坡、地面沉降等地质灾害的地段,设置多个监测点。通过D-InSAR技术的持续监测,成功捕捉到部分区域因工程活动引发的地表形变信息,并及时发出预警,为工程的安全建设提供有力保障。

遥感技术的系统性应用,极大提升此次地质勘察的效率与质量。与传统地质勘察方法相比,地质勘察周期从2-3年大幅缩短至1年以内,有效节约时间成本。此外,通过多源遥感数据的融合与分析,为工程设计提供了高精度的地质信息。在工程布局规划中,依据精确的地质构造、岩土体类型和水文地质条件信息,合理调整坝址、输水线路等关键工程设施的位置,避免因地质条件复杂而可能导致的工程风险,显著降低工程建设和后期运营成本,为工程的安全建设与稳定运行筑牢基础。

5 总结

遥感技术凭借其独特的优势,在水利水电工程地质勘察中发挥着重要作用。从地质构造识别、岩土体分类与特性分析,到水文地质条件探测和地质灾害监测预警,遥感技术能够为水利水电工程提供全面、准确的地质信息。随着遥感技术的不断发展,其在水利水电工程地质勘察中的应用前景将更加广阔。未来,应进一步加强遥感技术与传统地质勘察方法的结合,充分发挥各自的优势,为水利水电工程建设提供更加可靠的技术支持。

【参考文献】

- [1]李明,梁灿英.岩溶地区工程地质勘察方法探讨[J].四川建筑,2024,44(6):168-169+174.
- [2]张凯翔,姚洪锡,柏华军,等.陆路交通工程智能遥感地质调查技术体系研究[J].铁道标准设计,2025,69(3):30-39.
- [3]熊国庆,孙祥宾.基于遥感技术的农田水利工程地质勘察[J].农业工程技术,2024,44(26):84-85.
- [4]庞雯雯.常见地质勘探技术与地质勘查现状分析[J].西部探矿工程,2024,36(8):102-104.
- [5]王星桥.测绘新技术在地质工程勘察中的运用分析[J].中国设备工程,2024,(13):83-85.

作者简介:熊天满1990.10,男,籍贯:云南大理祥云县,民族:汉族、学历:本科、职称:工程师;研究方向:水利水电工程地质。