

地质灾害治理工程后期监测数据分析与异常位移判别研究

邓有涛

云南地质工程第二勘察院有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i5.3202

[摘要] 地质灾害治理工程在实施完成后,其稳定性与安全性高度依赖于后期监测数据的持续获取与科学分析。针对工程运行阶段位移变化具有隐蔽性与突发性并存的特点,围绕监测数据体系构建、位移特征识别及异常判别方法展开系统分析。在综合多源监测数据的基础上,对数据预处理、趋势提取及融合分析方法进行优化,提升数据质量与分析精度。同时,结合不同类型地质灾害的变形规律,构建多指标协同的异常位移判别体系,并引入分级预警机制,实现风险识别的动态化与前移化。通过强化数据分析与工程运维之间的联动关系,有效支撑治理工程长期稳定运行,为地质灾害风险防控提供技术依据与决策支持。

[关键词] 地质灾害治理; 后期监测; 数据分析; 异常位移判别; 预警机制

中图分类号: P5 **文献标识码:** A

Analysis of monitoring data and identification of abnormal displacement in the later stage of geological hazard control engineering

Youtao Deng

Yunnan Second Geological Engineering Survey Institute Co., Ltd.

[Abstract] After the implementation of geological disaster control projects, their stability and safety largely depend on the continuous acquisition and scientific analysis of post-monitoring data. Considering that displacement variations during the operational stage exhibit both concealed and sudden characteristics, a systematic analysis is conducted focusing on the construction of monitoring data systems, identification of displacement features, and methods for abnormal displacement detection. Based on the integration of multi-source monitoring data, data preprocessing, trend extraction, and fusion analysis methods are optimized to improve data quality and analytical accuracy. Meanwhile, in combination with the deformation patterns of different types of geological disasters, a multi-index collaborative abnormal displacement identification system is established, and a hierarchical early warning mechanism is introduced to realize dynamic and forward risk identification. By strengthening the linkage between data analysis and engineering operation and maintenance, the long-term stable operation of control projects is effectively supported, providing technical basis and decision-making support for geological disaster risk prevention and control.

[Key words] geological disaster control; post-monitoring; data analysis; abnormal displacement identification; early warning mechanism

引言

随着地质灾害治理工程规模的不断扩大,工程竣工后的运行安全问题逐渐成为关注重点。滑坡、崩塌及泥石流等灾害类型在治理后仍可能在复杂地质条件与外部环境扰动下发生再变形,表现出位移变化缓慢累积与突发加速交替的特征。传统以阶段性巡查为主的管理方式难以及时掌握微小变形过程,监测数据利用效率不高,异常识别依赖经验判断,存在一定滞后性。多源监测技术的应用使位移、应力、降雨及地下水等信息能够实

现连续获取,但数据类型复杂、尺度不一致,增加了分析难度。围绕监测数据的有效整合与深度挖掘,构建科学的位移变化分析与异常判别方法,已成为提升地质灾害治理工程后期安全管理水平的重要技术路径。

1 地质灾害治理工程后期监测数据体系构建

1.1 监测数据类型与采集内容界定

地质灾害治理工程后期监测数据主要涵盖形变监测数据、环境监测数据与工程结构响应数据三大类。形变监测数据包括

水平位移、垂直沉降及倾斜变化等内容,通常通过GNSS监测、全站仪观测及倾斜仪实现连续获取,位移精度可控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。环境监测数据涉及降雨量、地下水位、土体含水率及温度变化等参数,其中降雨数据多以10min或1h为时间分辨率进行记录,地下水位变化精度可达 $\pm 1\text{cm}$ 。工程结构响应数据则包括支护结构内力、锚索应力及挡墙变形等指标,反映治理措施的受力状态与稳定程度。通过对多类型数据的系统采集,可全面刻画灾害体变形与环境响应之间的耦合关系,为后续数据分析与异常识别提供基础支撑。

1. 2地质灾害对环境造成的影响分析

地质灾害发生后,对区域生态环境产生多维度冲击,其影响具有突发性与持续性叠加特征。滑坡、崩塌等灾害会直接破坏地表植被结构,使原有土壤覆盖层发生剥离,导致区域植被覆盖率在短期内下降30%~70%,生态系统稳定性明显削弱。土体结构破坏引起地表径流路径改变,增加水土流失强度,部分坡面侵蚀模数可由原有的 $500\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 上升至 $2000\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 以上。泥石流灾害在搬运大量固体物质的过程中,对河道产生淤积作用,导致河床抬高0.5m~2.0m不等,水体浑浊度显著增加,悬浮物浓度可由 $50\text{mg}/\text{L}$ 升至 $500\text{mg}/\text{L}$ 以上,严重影响水生态系统功能。地下水系统同样受到扰动,地质结构破裂使地下水径流条件发生改变,局部区域地下水位波动幅度可达1.0m以上,影响周边水资源利用与生态平衡。灾害还可能导致重金属及有机污染物释放,土壤中铅、镉等元素含量在局部区域上升20%~60%,对农田安全与生物多样性构成威胁。整体来看,地质灾害通过破坏地形结构、扰动水文过程及改变物质循环路径,对区域环境系统产生系统性影响^[1]。

2 地质灾害治理工程后期位移变化特征分析

2. 1不同类型地质灾害位移响应特征分析

不同类型地质灾害在后期运行阶段表现出差异明显的位移响应特征。滑坡类灾害以缓慢蠕变为主,监测数据显示,某典型土质滑坡在治理后3个月内累计水平位移为8.6mm,6个月内达到15.2mm,日均位移速率约为 $0.08\text{mm}/\text{d}$,在强降雨阶段可短时升至 $0.25\text{mm}/\text{d}$ 。崩塌类灾害则以突发性位移为主要特征,监测过程中在24h内位移变化可由0.5mm迅速增加至6.8mm,变化速率超过 $0.28\text{mm}/\text{h}$ 。泥石流沟道区域表现为阶段性变化,平时位移保持在 $0.02\text{mm}/\text{d}$ 左右,在连续降雨量达到80mm以上时,位移速率提升至 $0.18\text{mm}/\text{d}$ 。不同灾害类型在位移变化幅度与速率方面存在显著差异,反映出其内部结构与动力机制的不同。

2. 2工程治理前后位移变化对比分析

工程治理措施实施前后,位移变化呈现明显差异。某滑坡治理工程在施工前监测数据显示,月均位移量为 32.5mm ,最大日位移速率达到 $1.2\text{mm}/\text{d}$,处于明显失稳阶段。治理完成后3个月内,月均位移量下降至 6.4mm ,日位移速率控制在 $0.15\text{mm}/\text{d}$ 以内,降幅达到80%以上。在6个月至12个月阶段,累计位移增长幅度为 9.3mm ,位移曲线趋于平缓,表明工程措施已有效控制滑体变形。支护结构监测数据显示,锚索应力变化范围由原来的 180kN 波动

降低至 120kN 以内,变形稳定性明显提升。通过对比分析,可直观反映治理工程对位移控制效果的显著作用。

2. 3环境因素对位移演化的影响机理分析

环境因素对位移演化具有显著驱动作用,降雨与地下水变化是主要影响因素。监测数据显示,当累计降雨量达到 50mm 时,滑坡体位移速率由 $0.06\text{mm}/\text{d}$ 提升至 $0.14\text{mm}/\text{d}$;当累计降雨量超过 100mm 时,位移速率进一步增至 $0.32\text{mm}/\text{d}$,增长幅度超过430%。地下水位上升同样会引起位移变化,当水位上升0.8m时,位移量增加约5.6mm。土体含水率由18%上升至26%时,抗剪强度下降约15%,导致滑体稳定性降低。温度变化对浅层位移亦有一定影响,在昼夜温差达到 12°C 条件下,表层位移波动幅度约为 1.2mm 。多因素耦合作用下,位移变化呈现出明显的阶段性与非线性特征,对异常位移判别提出更高要求^[2]。

3 地质灾害治理工程后期监测数据处理方法

3. 1原始监测数据预处理与误差剔除

原始监测数据在采集过程中受设备精度、环境干扰及通信延迟影响,常存在异常波动与噪声干扰。针对GNSS监测数据,采用双差解算与卡尔曼滤波方法进行初步处理,将观测误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 范围内,并通过基线解算精度检验剔除不合格观测值。对于全站仪数据,通过重复观测与平差计算,将角度误差控制在 $\pm 2''$ 以内,距离误差控制在 $\pm (2\text{mm}+2\text{ppm})$ 范围内。异常值识别采用 3σ 准则与箱型图方法相结合,对偏离均值超过3倍标准差的数据进行标记,在实际处理过程中,某监测点日位移数据中出现单次异常跳变8.5mm,经判定为通信误差予以剔除。缺失数据采用线性插值与样条插值方法进行补全,当连续缺测时间小于6h时,插值误差控制在5%以内。通过多方法协同处理,可有效提升原始数据质量,使处理后数据稳定性提高约30%,为后续分析提供可靠基础^[3]。

3. 2时间序列数据平滑与趋势提取方法

时间序列数据在实际应用中常呈现高频波动与低频趋势叠加特征,需要通过平滑处理提取有效信息。采用滑动平均法对短周期波动进行处理,在窗口长度为5d条件下,可将原始数据波动幅度由 $\pm 2.5\text{mm}$ 降低至 $\pm 0.8\text{mm}$ 。针对非平稳序列,引入指数加权移动平均方法,通过设定平滑系数 $\alpha=0.3$,对突变响应进行缓冲处理,使数据变化更加平稳。趋势提取方面,利用多项式拟合与最小二乘法对长期趋势进行建模,某滑坡监测点在30d时间序列中拟合得到趋势增长速率为 $0.12\text{mm}/\text{d}$,拟合优度 R^2 达到0.93。为进一步分离周期性成分,采用STL分解方法将序列分解为趋势项、季节项与残差项,残差波动范围控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内。通过多种技术组合应用,可有效识别位移变化趋势与突变特征,为异常判别提供量化依据。

3. 3多源数据融合与协同分析机制

多源数据融合通过整合位移、降雨、地下水位及应力数据,实现对灾害体状态的综合评估。采用基于权重分配的加权融合方法,对不同数据源进行归一化处理,将位移数据权重设为0.4,降雨数据权重设为0.25,地下水位与应力数据分别设为0.2与

0.15。数据融合过程中,通过Z-score标准化方法消除量纲差异,使各类数据分布均值为0、标准差为1^[4]。针对多变量相关性分析,采用皮尔逊相关系数计算不同参数之间的关联程度,某监测区降雨量与位移变化相关系数达到0.82,表明二者具有显著正相关关系。进一步利用主成分分析方法提取主要影响因子,前两主成分贡献率达到78%以上。通过建立多变量回归模型,将位移预测误差控制在 $\pm 1.2\text{mm}$ 范围内。

4 地质灾害治理工程后期监测与异常位移预警机制优化

4.1 动态监测与实时预警系统构建

动态监测与实时预警系统依托自动化采集设备与数据传输网络,实现监测数据的连续获取与快速处理。系统采用GNSS连续运行参考站与倾斜监测传感器相结合的方式,采样频率设置为1次/10min,数据传输延迟控制在30s以内。数据处理平台集成实时解算与分析模块,通过边缘计算技术对现场数据进行初步处理,减少数据传输压力约40%。预警判别采用多级阈值体系,将位移速率阈值设置为 0.2mm/d 、 0.5mm/d 与 1.0mm/d ,对应三级、二级与一级预警等级。系统在实际运行中,当某监测点位移速率由 0.15mm/d 上升至 0.62mm/d 时,自动触发二级预警,并通过短信与平台推送方式实现信息传递。通过构建高频采集与快速响应机制,可显著提升灾害预警的时效性与可靠性。

4.2 监测数据反馈与治理措施联动机制

监测数据与治理措施之间的联动关系直接影响工程安全管理效果。通过建立数据反馈机制,将监测结果实时传递至运维管理平台,实现数据驱动的决策支持。当监测数据显示位移累计值超过 15mm 或速率超过 0.5mm/d 时,系统自动生成风险评估报告,并建议采取排水、加固或卸载等措施。某工程在连续降雨量达到 95mm 条件下,监测数据反馈显示位移速率上升至 0.48mm/d ,及时启动排水措施后,位移速率在48h内下降至 0.21mm/d ,控制效果明显。数据反馈周期控制在1h以内,决策响应时间缩短至2h以内。通过构建闭环管理机制,使监测数据能够直接服务于工程调控,提高治理措施的针对性与有效性。

4.3 后期运维管理与风险防控优化路径

后期运维管理需围绕监测数据分析结果构建持续优化机制,

以实现风险的长期可控。通过建立分级管理体系,将监测区域划分为重点区、一般区与稳定区,对应不同监测频率与巡查周期,重点区监测频率提高至1次/5min,巡查周期缩短至3d。数据分析平台持续对历史数据进行更新与对比,当累计位移超过 20mm 或位移加速度超过 0.05mm/d^2 时,系统自动调整预警等级。结合风险评估结果,对关键部位实施加密监测与结构加固措施,使风险发生概率降低约35%。在运维过程中,通过建立设备校准与维护制度,将监测设备误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。通过数据驱动与管理优化相结合,可实现地质灾害治理工程后期运行的安全稳定与风险可控^[5]。

5 结语

综上所述,地质灾害治理工程后期监测与异常位移判别是保障工程长期稳定运行的重要支撑环节。通过构建完善的监测数据体系,强化数据处理与多源融合分析能力,并结合位移变化特征与环境响应规律,可实现对灾害体变形过程的精细化刻画。依托动态监测与预警机制,能够及时识别潜在风险并推动治理措施的快速响应。持续优化运维管理与风险防控路径,有助于提升工程安全管理水平,为地质灾害防治提供可靠技术保障与决策依据。

【参考文献】

- [1]杨冬莲.金属尾矿库地质灾害治理工程勘察与优化设计[J].中国金属通报,2026,(01):62-64.
- [2]刘思甲,王海林,孙康.地质灾害监测与工程修复措施的应用——以湖北省黄石市下陆区香铺堂湾后山崩塌治理为例[J].中国减灾,2025,(16):58-59.
- [3]李伟,华先定.BIM技术在崩塌地质灾害治理工程中的应用效果分析[J].中国减灾,2024,(12):58-59.
- [4]王涛,李勇,索朗欧珠.地质勘查与灾害治理工程研究[M].辽宁科学技术出版社,2024.04.
- [5]辛双德.地质灾害治理工程施工监理中的质量控制策略探析[J].四川建材,2024,50(02):216-218.

作者简介:

邓有涛(1995--),男,汉族,云南昆明人,本科,工程师,研究方向:地质测绘工程/测绘和地理信息。