

地质灾害预报预警系统的构建与优化

陈 静

新疆维吾尔自治区地质环境监测研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]地质灾害预报预警系统对于保障人民生命财产安全、减少灾害损失有重大意义。建立并优化该系统可以提高预报预警的准确性、及时性。该系统由数据采集、数据传输、数据处理和模型建立这四个部分组成。优化要从技术升级、算法改进、信息共享等各方面入手, 提高系统的性能, 提高应对地质灾害的能力。

[关键词]地质灾害; 预报预警系统; 构建; 优化

DOI: 10.64635/ja.2026.1260

中图分类号: P694

文献标识码: A

Construction and Optimization of a Geological Disaster Forecasting and Early Warning System

Chen Jing

Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Environment Monitoring Institute, Urumqi, Xinjiang 830000, China

Abstract: Geological disaster forecasting and early warning systems are of great significance for safeguarding people's lives and property and reducing disaster losses. The establishment and optimization of such systems can improve the accuracy and timeliness of forecasting and early warning. The system consists of four parts: data collection, data transmission, data processing, and model construction. Optimization should be carried out from multiple aspects, including technological upgrading, algorithm improvement, and information sharing, so as to enhance system performance and improve the capacity to respond to geological disasters.

Keywords: geological disaster; forecasting and early warning system; construction; optimization

引言

地质灾害频发对人类社会造成严重威胁, 构建高效准确的预报预警系统迫在眉睫。随着科技的发展, 虽然现有的地质灾害预报预警系统已经取得了一些成果, 但是仍然存在着不足。深入探究系统构建与改良, 能充分发挥先进科技的效能, 提升系统的预报准确度及预警速度, 给防灾减灾给予有力支持。

1 系统构建基础

1.1 数据采集方式

地质灾害预报预警系统数据采集依靠空天地一体化布设体系来完成全域信息归集, 地面点位布设多类型原位传感设备实现岩土参数连续采集, 形变类传感元件利用分布式光纤原理捕捉边坡微观位移变化, 孔隙水压力和土壤含水率传感器分层埋设在土体不同深度层次上, 雨量监测设备沿灾害易发沟谷按照地形梯度完成网格化布设。空域层面将多源卫星遥感和低空无人机航测两种采集途径结合起来, 时序合成孔径雷达依靠周期性过境影像获得

大范围地表蠕变数据, 机载激光雷达用高密度点云数据复现坡面微地形改变特性, 克服地面监测点位无法全面覆盖的不足。

1.2 数据传输网络

系统传输架构采取专网和无线通讯互相冗余的方式进行组网, 在野外偏远的监测点位上依靠北斗短报文来完成极端天气状况下的应急数据回传, 在常规工况之下使用物联网通讯模组来实现监测数据的实时上传, 核心城区以及交通干线周边的监测站点则通过光纤专线来保证高频次的交互。网络架构分层设置边缘节点和中心服务节点, 边缘网关设在片区监测枢纽点位, 就地完成原始数据初步筛选压缩, 减少无效数据占用的传输带宽资源, 跨区域数据流转依靠加密专用链路完成对接, 规避公用网络造成的数据泄露和传输中断风险^[1]。

1.3 数据存储管理

数据存储使用分布式集群存储架构将不同的属性信息分成了不同的存放区域, 时序化监测数据存入时序数据

库可以实现毫秒级的调取,遥感影像、勘察图纸等非结构化大容量资源利用分布式文件系统分区归档,灾害台账、地质勘查报告等结构化文档放在关系型数据库内部。存储体系配置分级备份机制,实时采集到的动态监测数据实行多副本异地备份,阶段性汇总起来的历史资料依照年度展开离线介质归档保存,系统内部嵌入数据生命周期管理逻辑,依照数据的应用频率来划分冷热存储层级,低频历史数据迁移到低成本的归档存储单元里,高频实时数据存放在高速读写存储阵列上。

1.4 系统架构设计

整体系统采用分层模块化的设计思想,分成感知层、网络层、数据层、平台层和应用层五个层次,各个层次通过标准化的接口来实现功能的独立开发以及跨层级的数据互通,感知层对接全品类采集终端来接收原始信息,网络层承担各种传输链路的数据中转工作,数据层统管全品类的存储资源来完成数据的统一调度,平台层集成了算法引擎、模型运算、数据解析等主要的底层功能,应用层为管理部门、基层运维人员、沿线建设单位提供不同的功能模块。系统用微服务拆分各个业务功能,灾害查询、模型运算、预警推送、台账管理分别属于独立的服务单元,单个模块故障不会导致整个系统停运,后期开展功能扩展或者算法更新的时候可以针对局部服务进行迭代,不需要对整个架构主体内容进行改动,模块化布局大大提高了系统后续优化升级的便捷程度。

2 预报模型建立

2.1 模型选择原则

预报模型的选择按照区域地质环境的差异性 & 灾害发育的规律来确定核心选用的标准,优先选用研究区滑坡、泥石流、崩塌等主要灾害类型形成的机理较好的预报模型,同时还要考虑数据来源以及野外监测的实际情况,不使用过于依靠高精度监测数据的算法类型。按照机理和统计相结合的选型思路,岩土变形类灾害用土体极限平衡理论的机理型模型,大范围区域性风险研判用机器学习类统计模型,单一模型不能覆盖复杂地质条件时采用多模型耦合架构。

2.2 模型参数确定

模型参数依靠历史灾害样本、野外实测数据以及区域地质普查资料综合标定,环境类参数依照多年气象观测序列来划定降雨相关临界阈值,岩土力学参数采用原位测试和室内土工试验汇总成果,地形地貌相关参数经由高精度数字高程模型提取生成^[2]。根据不同的地层分区、气候分

区进行参数的本地化修正,在山区松散堆积层区域和基岩裸露区分别设置调整系数,在受工程扰动频繁的建设片区附加人类活动修正项,参数标定工作分为初筛、试算、校准三个阶段分步实施,初筛参数代入历史灾害案例进行回溯演算,根据演算偏差逐步微调系数内容,反复迭代后确定最终参数配置,所有的参数变化都会被保存在标定记录中,给后续模型动态优化提供原始参考依据。

2.3 模型验证评估

模型验证采用历史灾害回溯验证和野外实地试点校验两种方式并行进行,选取多年内已经发生的地质灾害事件作为校验样本,将事发前期的监测数据代入模型推演出的预警结果,比较实际灾害发生的时间段来判断模型预判的契合度。在灾害高发小流域设置试点监测片区,依靠现场连续采集的降雨、位移、含水率实时数据进行中长期试运行验算,从预警提前量、漏报概率、误判概率三个方面建立综合评价体系。

2.4 模型更新调整

建立年度定期更新和突发灾情及时优化相结合的动态调整机制,汛期结束后汇总本年度新增灾害案例和全年实测监测数据,将新增样本加入到模型训练数据集里重新迭代优化内部系数,区域发生重大工程建设、大规模生态改造等地表环境变化的时候,同步更新对应片区的地形和扰动参数。系统后台设置模型运行状态自动监测模块,对各个季节、各个地质单元的预警偏差变化进行长期统计,偏差连续超过合理范围的片区自动标记推送给技术人员,有针对性地对局部参数进行修正,依靠不断的补充数据和实地反馈来达到模型性能逐年提高的效果,适应区域年年变化的地质环境条件。

3 预警机制优化

3.1 预警等级划分

预警等级按照致灾因子强度、承灾体分布、灾害发育概率这三个主要因素来综合确定分级标准,严格依照现行地质灾害预警相关规范搭建起四级分级体系,从低风险到极高风险依次设置对应的预警层级,分级规则分为区域性大范围预警和单点隐患点专项预警两种判定逻辑。区域性预警依靠气象预报和区域地质背景来划定整体风险,单点预警联系隐患体实时形变监测数据细化等级标准,泥石流类预警重点绑定短时降雨变化指标,滑坡类预警叠加土体含水率和深部位移动态数据。不同等级的同步匹配风险释义,明确各个等级预警所对应灾害发生的可能性以及可能造成的影响范围,防止由于标准不清造成的预警划分偏差^[3]。

3.2 预警发布渠道

创建多渠道分层分级预警发布网络,面向自然资源、应急管理、水利等行业的主管部门,利用政务专线和系统后台弹窗发布正式预警文书,面向乡镇基层防灾责任人、监测员使用专用通讯终端、工作群组进行定向信息推送,面向受威胁村居群众整合应急广播、乡村短信平台、户外LED预警屏实现全域信息覆盖。极端灾害高等级预警触发之后自动联动属地融媒体中心补充发布渠道,系统根据预警等级自动选择对应的发布路径,低级预警用行业内部通知代替,高级预警采用全渠道同步推送的方式,依靠多路径布局消除偏远乡村通讯障碍引发的信息接收盲区,保证预警信息能及时到达所有的受波及对象。

3.3 预警响应流程

按照预警等级匹配逐级启动的分级响应处置流程,低等级预警由村级监测队伍进行现场巡回排查,及时做好隐患点位日常巡查记录并上报现场情况,中等级预警升级到乡镇层面统筹调度,组织人员对受威胁区域进行临时管控和隐患动态盯防,高等级及以上预警联动县级多职能部门组建应急专班,统筹人员转移、物资调配、抢险布防等系列处置工作^[4]。系统自备响应闭环台账模块,预警下达之后自动跟踪各个单位的处置回执情况,对于处置过程中没有及时反馈处置信息的主体进行系统的督办提醒,从而达到预警下发、现场处理、结果反馈的全流程闭环管理目的,规范各个层级单位处置的时间节点以及工作内容。

3.4 预警效果评估

从预警时效性、处置落地成效、灾害损失变化三个方面建立常态化评估制度,每次预警结束后汇总预警发布时间、灾害实际发生时间、群众转移完成进度等有关内容,与无预警管控年份同类灾害损失数据进行比较,分析避险效果。对全区域所有的预警案例进行年度汇总,统计各种灾害类型、各个地质分区的预警准确率,分析高频误预警和漏预警点位的共同原因,评价结果直接反馈给预警等级划分规则和预报模型改进工作,依靠周期性的评价不断补充预警机制存在的不足,逐步提高整个预警体系的实用性。

4 系统保障措施

4.1 技术支持体系

建立产学研协同的长效技术支撑体系,联合区域地质勘查院所、高等院校有关专业、信息技术开发企业组成专项技术攻关组,常态化的进行模型算法更新、野外监测设备匹配、系统功能改善的技术交流。将日常运维和专项攻

关两种技术服务内容进行区分,日常运维由本地化技术班组负责系统常规故障检修、监测点位设备维保、基础数据入库校验,专项技术升级依靠合作科研主体开展新技术落地试验和系统迭代开发。创建野外设备故障远程诊断机制,后台技术人员根据系统传回的设备运行参数先进行故障原因分析,简单的故障由现场人员自行处理,复杂的故障由技术人员前往现场维修,分层的技术架构保证系统的全生命周期稳定运行。

4.2 人才队伍建设

根据技术研发、野外运维、业务应用三个方向分别开展人才培育工作,技术研发类人员主要提升算法编程、遥感解译、系统架构等专业能力,参加行业前沿技术培训和课题交流活动,野外运维人员主要提升监测设备安装调试、野外地质隐患踏勘、现场数据校核实操等能力,业务应用岗位人员主要学习预警判识规范、应急处置流程、系统实操应用内容。建立老中青梯度化人才梯队,依靠项目实操把资深技术人员的经验传下去,同时对基层乡镇防灾人员实行常态化短期实操培训,充实一线系统使用人才储备,不断优化全链条人才配置结构,适应系统运维、升级、落地应用的全过程用人需求。

4.3 资金投入保障

创建财政专项列支同项目配套补助相融合的长久资金筹措体系,地方财政每年固定列支专项经费用于系统日常运维、监测设备更新、平台基本维护,地质灾害治理有关工程项目配套列支资金用作新增监测点位设置和系统功能升级。资金根据运维耗材采购、设备更新换代、技术科研攻关、人员教育培训四个方面进行细化使用方向,主管部门定期对资金使用情况审计,保证所有专项经费都用在系统建设与优化相关的项目上,依靠稳定的资金供应支持监测网络的逐年扩大、模型的不断优化和预警渠道的逐步完善,避免资金短缺影响系统的迭代升级^[5]。

4.4 法规政策支撑

依托已有的地质灾害防治相关法律法规细化本地配套管理细则,明确各个部门在系统数据报送、预警处置、点位管护等环节的权责边界,出台监测站点管护、数据共享互通、预警信息发布等相关配套管理文件,将系统常态化运维和预警落地工作纳入属地防灾考核内容。依靠地方防灾相关扶持政策争取试点建设和技术升级相关的扶持资源,依靠政策条文理顺跨部门数据共享的壁垒,推动气象、水务、自然资源等部门的监测数据按规定汇入预警系统,用制度条文固化各个主体的协作模式,从制度法规层

面给系统长期建设优化、落地应用赋予制度保障。

5 结语

地质灾害预报预警系统创建和改进属于一项长久而繁杂的任务。不断改进系统建立的各个环节,改善预报模型及预警体系,加强系统保障工作,能有效地提高地质灾害预报预警水平。持续关注技术的发展和实际的应用情况,使系统不断更新,给地质灾害防治提供有力的支持。

[参考文献]

[1]杜超.地质灾害气象风险预警预报指标分析[J].西部资源,2025,(3):64-66.

[2]黄雄,张移珍.强化预报预警深入排患除险打好防汛救灾硬仗[N].中国应急管理报,2024-06-25(002).

[3]管琴,基于机器学习的青海气象地质灾害智能网格预报预警系统.青海省,青海省气象台,2022-07-21.

[4]黄飞羽,黄山市地质灾害气象风险网格化预报预警系统.安徽省,黄山市气象局,2021-12-11.

[5]邱建新.地质灾害监测预警技术创新及应用研究[J].智能城市,2020,6(17):33-34.

作者简介:陈静(1980.07—),女,汉族,新疆昌吉州博乐市人,硕士学历,高级工程师,研究方向为地质灾害。