

地质灾害气象风险预警系统在基层防灾减灾中的应用研究

胡仲殊 徐 庚 姚鹏程 李 鑫 卢小云

湖北省荆门市气象局 湖北 荆门 448000

摘 要:为解决基层地质灾害预警信息传递的滞后的问题,本文研究开发一种集多种气象信息融合、智能风险研判与声光报警于一体的预警系统。具体设计思路是利用 GIS、互联网及机器学习技术,融合分钟级气象实况数据与地质灾害风险模型,实现对地质灾害隐患点的风险预警发布。选择荆门市掇刀区白庙街道荣星村作为试点,开展了两次试点应用。结果表明,该系统监测雨量数据达到设定阈值(1 小时 $\geq 40\text{mm}$)或(12 小时累计 $\geq 100\text{mm}$)时,得出地质灾害风险隐患偏高的结论。结合前期累积雨量、当日降雨强度及地质环境因子等信息,模型研判风险达到一定等级时,自动生成“地质灾害黄色/橙色/红色预警”的结论文本并推送到屏幕,触发声光报警功能。该成果一定程度上弥补了基层地质灾害气象风险的发布途径。

关键词: 地质灾害; 气象风险预警; 基层应用; 智能网格; 声光报警; 防灾减灾

引言

2025 年 2 月 8 日,四川省宜宾市筠连县沐爱镇金坪村突发山体滑坡灾害,造成多人失联。过去 20 多年时间里地质灾害事件越来越严重,严重威胁人民群众的生命和财产安全^[1]。领导高度重视,明确指示要“落实预警响应机制,及时通过多渠道、多形式发送预警预报信息,提醒相关部门和群众主动防灾避险”。

随着全球气候变化加剧,极端强降雨事件频发,由降雨引发的崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害风险日益增加^[2]。在实际防灾减灾工作中,我们发现预警信息在到达基层时往往存在滞后的情况。传统的短信、广播等渠道在偏远地区覆盖不足,缺乏直观的现场警示。研究表明,地质灾害的发生通常由地质环境条件(如地形地貌、岩土体性质)与外部诱发因素(如强降雨、地震)共同作用导致。也有学者认为有效降水量是导致地质灾害的重要诱因之一,本研究想建立一套包含历史灾情数据、天气实况、网格降水预报、气象灾害预警和地质灾害气象风险模型融合为一体的系统,通过户外可视化终端的形式,将难以理解的气象数据转化为具体地质灾害风险提示,为基层政府和群众提供科学的避险依据。荆门市位于鄂中地区,地形地貌复杂,部分地区属于地质灾害易发区,有必要在当地找一处地质灾害风险隐患地区进行系统的测试研究。前期通过应急部门提供的 200 多个应急灾害隐患点,挑选符合进行研究试验的荣星村和冯庙村,最后将试点选择位于掇刀区白庙街道荣星村

村委会,该点具备地质灾害监测需求与气象数据支撑双重优势,附近 20 米处设有区域自动气象站,可实现分钟级实况数据接入。

1 系统设计与框架

1.1 系统设计

本系统遵循多部门联动、多源数据融合、多手段发布的设计理念。核心在于打破数据壁垒,将气象、应急、自然资源等部门的信息整合到一个物理终端上。系统部署在地质灾害隐患点附近的应急大喇叭立柱上,实现“气象站+显示屏+报警器”的一体化集成^[3]。

1.2 系统框架

拟设计系统架构分为感知层、传输层、数据层和应用层(图 1)。

(1) 感知层:结合已建的荣星自动气象站(采集分钟级雨量、温湿压、风等数据)和地质位移监测设备(预留接口)。

(2) 传输层:利用 4G/5G 无线网络和 RS232/485 有线通讯,实现数据的实时回传与指令下发。

(3) 数据层:对接天擎系统获取智能网格预报数据,对接湖北省突发事件预警发布平台获取气象灾害预警信号,收集本地历史地质灾害数据库。

(4) 应用层:安装户外 LED 显示屏与声光报警模块,负责展示可视化的信息与声光报警。

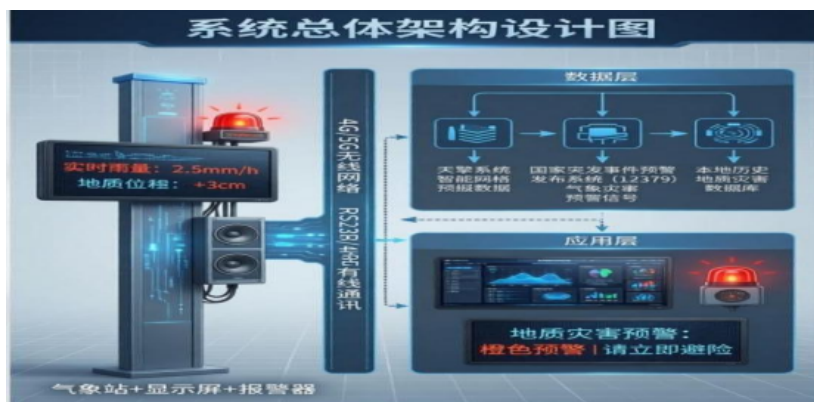


图1 系统总体架构设计图

2 系统主要功能与实现

2.1 气象站实况数据显示

在距离试验点（荣星村村委会）20 米处的荣星气象观测站安装通讯传输模块，利用 Modbus 协议或自定义通讯协议，控制终端每分钟向采集器发送读取指令（如“DMGD”命令），解析返回的二进制数据，提取气温、湿度、气压、风向、风速及分钟/小时降水量。后期计划接入地质位移监测数据，实现“气象+地质”双重监测^[4]。

2.2 天气预报结论显示

利用 GIS 空间分析技术提取设备安装点经纬度的智能网格化预报（如高温、低温、风向风速以及天气现象等），通过自然语言生成技术（NLG），将枯燥的网格数据转化为通俗易懂的日常天气预报文字（如：子陵镇 28 日阴天转小雨，偏北风 2 到 3 级，气温 4 到 10 度；29 日阴天。荆门市气象台发布。），每日 06:00 和 16:00 自动更新两次，指导居民安排生产生活。

2.3 气象灾害预警显示

发布的预警信息数据来源于湖北省突发气象预警灾害平台。建立 API 接口，实时监听针对该区域发布的气象灾害预警（暴雨、雷电、大风等）。模块具备地理围栏功能，当预警范围覆盖设备位置时才触发显示。当预警发布时，屏幕自动切换至全屏滚动红色/橙色/黄色预警信息，并显示预警级别、防御指南及生效时间。预警解除后自动恢复常规显示^[5]。

2.4 地质灾害气象风险预警提示

基于历史灾情数据和机器学习算法（如随机森林或逻辑回归）构建的本地化预警模型。模型综合考虑前期累积雨量、当日降雨强度及地质环境因子。系统实时比对网格点降雨信息与模型阈值。

当模型研判风险达到一定等级时，自动生成“地

质灾害黄色/橙色/红色预警”的结论文本，并推送到屏幕。初步功能已实现，但在现实工作中，联合发布需要双方单位有初步合作框架、涉及领导签发等工作流程才能对外发布。初步设想内容示例：“受降雨影响，当前区域发生突发性山洪地质灾害风险较大，请加强防范”。预警分级阶段则是根据风险分析结果，将地质灾害气象风险划分为不同的预警等级。这一过程需要参考相关行业标准与区域特性，例如《地质灾害区域气象风险预警标准（试行）》中规定的预警等级划分表。具体而言，预警等级通常分为四级，分别表示有一定风险、风险较高、风险高和风险很高^[6]。这种分级方式不仅便于公众理解，也为政府部门制定应急响应措施提供了科学依据。

2.5 阈值超限声光报警提醒

在控制终端中嵌入逻辑判断程序。设定关键阈值（例如：1 小时累计降水量 $\geq 40\text{mm}$ 或 12 小时累计降雨量 $\geq 100\text{mm}$ ）。当监测数据突破预设阈值时，系统自动切断常规显示，触发声光报警器（高分贝警笛+爆闪灯），同时屏幕显示红色加粗警示语^[7]。在夜间或视线不佳情况下，强制引起周边居民注意，起到叫应作用。如表 1 所示。

表 1 系统主要功能与技术参数表

功能模块	数据来源	更新频率	显示/响应方式
实况监测	区域自动气象站	1 分钟/次	实时数字滚动
智能预报	智能网格预报系统	2 次/日 (06/16 时)	文字结论展示
气象预警	省突气象预警灾害平台	实时	插播全屏显示
风险预警	地质灾害预警模型	实时研判	联合发布文本
声光报警	本地阈值逻辑判断	实时触发	声光报警+强制显示

3 具体应用情况

3.1 2025年8月9日至13日的汛期强对流天气过程。我市大部地区出现大雨到暴雨、局地大暴雨，伴有短时强降水和雷暴大风，最大小时雨强达到50到100毫米，地质灾害发生风险较高。这是系统部署后经历的首次重大天气过程考验。系统提前3小时研判该地区可能存在40-60mm的降水量。系统基于本地化预警模型，综合前期累计雨量和当日降雨强度，终端屏幕精准显示地质灾害气象黄色预警信息以及防御指南。随后实况收集到荣星气象站1小时降水量突破40mm，验证了该系统预警提前量^[8]。

3.2 2026年6月18日至19日，荆门市出现区域性暴雨天气过程，累计雨量40-60毫米。此次测试重点验证阈值超限声光报警模块的实战效能：当监测数据达到设定阈值（1小时 $\geq 40\text{mm}$ ）或（12小时累计 $\geq 100\text{mm}$ ），系统立即触发高分贝警笛与爆闪灯，在恶劣天气环境下成功引起户外作业村民注意。

经一年多野外测试，取得了不错的效果，对地质灾害风险隐患点的预警能力进行了一定的补充作用，提升了基层地质灾害预警响应能力。应用实物图如图2所示。



图2 地质灾害气象风险预警系统显示屏装置实物图

4 后期改进方向

4.1 尽管本系统在试点中取得了良好效果，但仍存在进一步优化的空间：

目前主要依赖气象数据，未来需进一步接入自然资源部门的土壤含水量、地质位移实时监测数据，使预警模型从气象驱动向地质力学驱动升级。

目前采用的户外显示屏是依靠村镇值班室接入市电运行，考虑如果在没有接入市电的条件，会影响预警效果。后期计划加装更大容量锂电池和太阳能供电系统，确保在没有市电的野外也能持续运行。

考虑增加一键报警或反馈功能，使群众在发现险情时也能通过设备向指挥中心发送求救信号。

5 结语

地质灾害气象风险预警系统的研究和应用取得了一定的成效，但是还存在很多问题。它的优势大致可分为3点。（1）补强预警信息的不精准。传统的大喇叭广播往往是全域覆盖，容易产生狼来了效应。本系统利用地理围栏技术，当灾害风险直接指向该特定隐患点时，屏幕才显示相应的地质灾害预警，提高了预警的准确率和公信力；（2）融合了实时监测与模型预报。以往的预警系统只显示预报或实况，而它将分钟级实况数据与地质灾害预警模型深度融合。如实况雨量在短时间内激增，即便预报未更新，系统也能基于实况触发风险提示，提升预警的时效性；（3）一定程度上解决了基层防御响应慢的问题。通过添加阈值的声光报警这一物理强刺激手段，可以在灾害发生前最紧迫的时刻发出最高级别的警示，为人员转移争取了宝贵的黄金时间。未来，随着技术的不断迭代，该系统将在保障人民生命财产安全方面发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 肖锐铎; 刘艳辉; 陈春利; 苏永超; 王惠卿; 徐为; 方志伟; 梁宏锟. 中国地质灾害气象风险预警 20 年:2003-2022[J]. 中国地质灾害与防治学报,2024,35(2):1-9.
- [2] 杨竹云; 许彦艳; 李华宏; 杨迎冬; 胡瑞峰; 夏龙松; 刘博文; 魏蕾. 云南省地质灾害气象风险预警技术改进及应用检验 [J]. 灾害学,2024,39(2):85-91.
- [3] 段晨玉; 张以晨; 张继权; 吴晨阳; 何家盛. 基于 GIS 的地质灾害风险预警系统设计 [J]. 灾害学,2022,37(1):199-204.
- [4] 罗鹏; 邵安阳; 黄俊峰; 华骐; 潘峰. 湖北省地质灾害监测预警相关技术应用与成功案例 [J]. 自然科学,2022,10(5):643-649.
- [5] 周诗凯; 刘正华; 余丰华; 朱浩濛; 黄丽; 余恬钰. 浙江省地质灾害气象风险预警一体化建设的探索与实践 [J]. 中国地质灾害与防治学报,2024,35(2):21-29.
- [6] 朱文慧; 邹浩; 肖炜波; 李又升; 李广. 地质灾害精细化气象风险预警模型研究——以黄冈市为例 [J]. 安全与环境工程,2022,29(3):119-126.
- [7] 王博; 赵付明; 程宏超; 徐礼文. 安徽省地质灾害气象风险预警系统方法研究 [J]. 山东国土资源,2022,38(1):60-64.
- [8] 林训伟.2022 年三明市地质灾害气象风险预警预报效果检验与分析 [J]. 福建冶金,2024,53(2):67-70.