

湖南省“631”地质灾害预警模式及避险案例研究

黄炜敏, 陈全明, 陈吉祥

Analysis of the “631” geological disaster early warning mode and case studies in Hunan Province

HUANG Weimin, CHEN Quanming, and CHEN Jixiang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202312022>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

自贡市地质灾害专群结合监测预警模式升级与实践

Upgrading and practice of early warning mode of geological disaster special group combination in Zigong City

杨江涛, 李波, 李伯宣, 罗兰 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 130-134

基于“3S”技术的地质灾害监测预警系统在我国应用现状

Review on geological disaster monitoring and early warning system based on “3S” technology in China

张凯翔 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 1-11

2004—2018年北京市突发地质灾害时空分布特点和监测预警状况

Temporal-spatial distribution and monitoring and early warning of sudden geological disasters in Beijing during the period of 2004 to 2018

程素珍, 路璐, 翟淑花, 张长敏, 郝春燕, 任凯珍 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 38-46

西南红层地区地质灾害发育规律与成灾模式

Developing law and disaster modes of geohazards in red bed region of southwestern China: A case study of Yiliang County of Yunnan Province

徐伟, 冉涛, 田凯 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(6): 127-133

基于机器学习的滑坡崩塌地质灾害气象风险预警研究

Exploring early warning and forecasting of meteorological risk of landslide and rockfall induced by meteorological factors by the approach of machine learning

李阳春, 刘黔云, 李潇, 顾天红, 张楠 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 118-123

青海省地质灾害防治资金投入与成效分析

Analysis of funding used for geological disaster prevention in Qinghai Province and its effects

魏赛拉加, 严慧, 张俊才, 魏正发, 吴靛 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(5): 112-116



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202312022

黄炜敏, 陈全明, 陈吉祥. 湖南省“631”地质灾害预警模式及避险案例研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(2): 74-80.

HUANG Weimin, CHEN Quanming, CHEN Jixiang. Analysis of the “631” geological disaster early warning mode and case studies in Hunan Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(2): 74-80.

湖南省“631”地质灾害预警模式及避险案例研究

黄炜敏, 陈全明, 陈吉祥

(湖南省自然资源事务中心, 湖南 长沙 410118)

摘要: 降雨是地质灾害的主要诱发因素, 但做到精准预测降雨时段和落区很难, 这也是传统的地质灾害短期预警误报率较高的原因之一。湖南省地处中南, 降雨充沛, 地质条件相对脆弱, 地质灾害多发频发。为应对日益严峻的地质灾害防治形势, 结合湖南多年预警工作经验, 构建了“631”递进式地质灾害气象风险预警模式。该预警模式以湖南省地质灾害综合防治信息系统为技术支撑, 基于精准度较高的短临雨量预报和实况雨量, 形成“提前 6 h 预报暴雨落区、提前 3 h 预警、提前 1 h 叫应、提前半小时再呼应”预警叫应机制。目前该预警模式已广泛应用于湖南省地质灾害防治工作, 大大提升了预警效率和精准度。2022 年 6 月初湖南遭遇一轮超历年极值的强降雨过程, 地质灾害呈群发性出现, 运用该预警模式, 2022 年转移人数、避让起数均排全国第一, 取得了显著的防灾成效。

关键词: 地质灾害; 递进式; 预警模式; 成功避险

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2024)02-0074-07

Analysis of the “631” geological disaster early warning mode and case studies in Hunan Province

HUANG Weimin, CHEN Quanming, CHEN Jixiang

(Hunan Center of Natural Resources Affairs, Changsha, Hunan 410118, China)

Abstract: Rainfall is the primary trigger for geological disasters, yet accurately predicting the timing and distribution of rainfall remains challenging, contributing to the high false alarm rates of traditional short-term geological disaster early warning systems. Located in south-central China, Hunan Province experiences abundant rainfall and relatively fragile geological conditions, making it susceptible to frequent geological disasters. To address the escalating challenges of geological disaster prevention and control, a “631” progressive geological disaster meteorological risk early warning model has been constructed based on years of early warning work experience in Hunan Province. This early warning model is technically supported by the comprehensive geological disaster prevention and control information system of Hunan Province, and is based on accurate short-term rainfall forecasts and real-time precipitation. It establishes an early warning and response mechanism, issuing warning six hours in advance to forecast rainfall areas, three hours in advance for general warnings, one hour in advance for responses, and thirty minutes in advance for further response. Currently, this early warning model has been widely applied in geological disaster prevention and control efforts across the province, and greatly improving the efficiency and accuracy of early warnings. In early June 2022, Hunan Province encountered an unprecedented heavy rainfall event that exceeded historical

收稿日期: 2023-12-22; 修订日期: 2024-03-19

投稿网址: <https://www.zgdzzhyfzxb.com/>

基金项目: 湖南省 2019 年自然资源科研(地方标准)项目和科技创新平台建设及科普基地建设资金(湘财建二指[2019]14 号)

第一作者: 黄炜敏(1977—), 男, 湖南邵阳人, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质灾害调查评价、监测预警和信息化建设等工作。

E-mail: 64854978@qq.com

records, and geological disasters occurred in clusters. Through the application of this early warning model, Hunan ranked first nationwide in the number of evacuees and avoidance measures implemented in 2022, demonstrating significant disaster prevention results.

Keywords: geological disaster; progressive; warning mode; successful mitigation

0 引言

伴随着全球变暖,暴雨和台风等极端天气日益增多,地质灾害呈现出高频态势^[1]。地质灾害具有很强的突发性和隐蔽性,预测地质灾害何时发生一直是世界性难题^[2]。2012年许强^[3]认为在暴雨、人工开挖、地震等外界影响下,也会导致滑坡的突然发生。2018年刘传正^[4]以四川茂县新磨村滑坡和贵州纳雍普洒社区崩塌灾害为例,建立了风险综合计算模型,对地质灾害的风险识别进行了初步探索。

自从2003年开展国家级地质灾害气象预警技术研究以来,四川、浙江等省份也陆续实施了地质灾害气象预警服务^[5]。近年来不少学者围绕地质灾害预警进行了深入研究。2020年侯圣山等^[6]在甘肃兰州建立了基于普适性监测设备的黄土滑坡监测预警系统。2022年尚敏等^[7]考虑降雨的滞后效应,采用灰色神经网络预测模型,对三峡库区八字门滑坡的位移实施了预测研究。2022年Pierpaolo等^[8]展示了使用人工神经网络提高滑坡预警降雨阈值的准确性。2023年刘杰^[9]建立了陕西省镇安县降雨引发地质灾害的连续概率阈值模型,实现镇安县的地质灾害气象预警。2023年青海省搭建地质灾害监测预警信息化平台,可以支持多种预警模型进行判别^[10-11]。2023年贡琰棋等^[12]发现湖北省一处堆积层滑坡呈现“阶跃型”的动态演化特征,通过研究滑坡活动对降雨的响应关系,建立了滑坡的递进式综合预警模型。常规的地质灾害气象预警业务在地方政府日常防灾减灾工作中发挥明显的支撑作用,但也显现出一些短板和不足。相关研究表明,传统的阈值预警法难以适用于突发性很强的滑坡等地质灾害^[13-15]。加之现阶段短期气象预报的精准度不够,将会导致地质灾害预警误报率很高。

湖南多山地丘陵,地质条件复杂,汛期极端天气频发,加之地表植被茂盛,地质灾害具有很强的复杂性和隐蔽性,为全国地质灾害最严重的省份之一。近年来,湖南地质灾害气象风险预警产品制作能力不断提升,从最初只有省级制作发布24h联合地质灾害气象风险预警,到目前已经建立了覆盖短临、短时、短期到中期时效的地质灾害气象风险预警产品体系。为应对频发的

暴雨等极端天气,根据湖南多年地质灾害发生规律,结合预警工作实践经验,克服短期气象预报的弊端,基于精准度较高的短临雨量预报和实况雨量,2022年5月构建了“631”递进式地质灾害气象风险预警模式,并不断完善监测预警、组织动员、值班值守、群测群防、预警叫应、避险转移联动工作机制。2022年6月湖南迎来雨水集中期,其中6月1—6日出现全年持续时间最长、雨强最大的降雨过程,泸溪、辰溪、桃源、凤凰、麻阳、沅陵、溆浦7个县过程降雨量达到极端降水标准,导致湖南省地质灾害呈群发性出现。运用“631”预警模式,通过12379预警平台发布7593批短临预警产品、短临预警短信414万条。2022年湖南转移人数、避让起数均排全国第一,取得了显著的防灾成效。

1 2012—2021年研究区成灾规律分析

1.1 灾情基本特征

据数据统计,2012—2021年过去10年湖南省年平均发生地质灾害2013起,年平均亡失踪人数18.3人,年平均直接经济损失47449.1万元。灾害类型以滑坡为主,灾情级别小型占绝大多数,主汛期6—7月是地质灾害高发期。10年间湖南省地质灾害数量呈波动跳跃,2016年发生地质灾害最多,为4478起;2018年发生地质灾害最少,为276起(图1)。

1.2 成灾规律

(1) 灾害类型以滑坡为主

2012—2021年湖南省地质灾害类型中,滑坡年平均发生数量最多,共1737起,占比86.3%;其次是崩塌,共发生179起,占比8.9%;再次是泥石流,共发生48起,占比2.4%;地面塌陷41起,占比2.0%;地裂缝和地面沉降地质灾害发生的数量相对较少,共9起,占比0.4%(表1)。

(2) 灾情级别以小型为主

2012—2021年湖南省地质灾害灾情级别主要以中小型为主,其中小型最多,年平均1954起,占比97.0%;其次为中型,共52起,占比2.6%;大型和特大型共8起,占比0.4%(表2)。

(3) 灾害主要集中在6月和7月

2012—2021年地质灾害发生时间按月均统计分

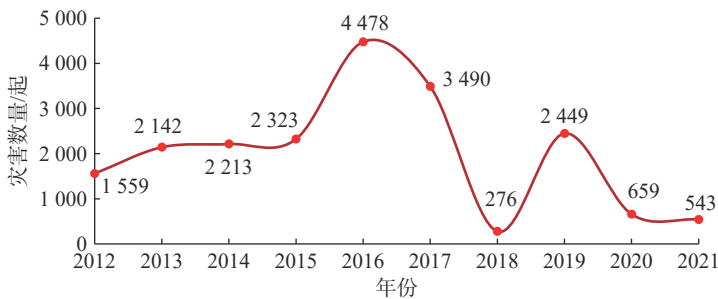


图 1 近 10 年灾害数量变化趋势图

Fig. 1 Trend of changes in the number of disasters over the past decade

表 1 地质灾害类型分布特征

Table 1 Distribution characteristics of geological hazard types

灾害类型	滑坡	崩塌	泥石流	地面 塌陷	地裂缝+ 地面沉降	合计
数量/起	1 737	179	48	41	9	2013
比例/%	86.3	8.9	2.4	2.0	0.4	100

析,汛期(4—9月)是地质灾害多发期,共发生地质灾害 1918 起,占比 95.2%;而主汛期(6—7月)是地质灾害高发期,共发生地质灾害 1 331 起,占比 66.1%;汛期以外月份发生地质灾害相对较少,仅占比 4.80%(图 2)。

(4)短时强降雨是主要诱发因素

湖南省地质灾害成灾机理较复杂,单个地质灾害由多种因素诱发,具有一定突发性和随机性,但总体上主

表 2 地质灾害灾情级别占比情况

Table 2 Proportion of loss level

灾情级别	特大型	大型	中型	小型	合计
数量/起	2	6	52	1954	2013
比例/%	0.1	0.3	2.6	97.0	100

要诱发因素等还是具有较明显特征。根据 2012—2021 年地质灾害数据分析,湖南省地质灾害受降雨影响明显,短时强降雨主导引发的地质灾害共 18 386 起,占比 91.3%,具有很强的突发性。湘中以北地区与年降雨量相关性较大,发生灾害数量明显高于其他地区;湘东南永州、郴州、株洲与年降雨量相关性不够明显;湘西南近 10 年年降雨量大多数低于平均值,发生灾害数量也较少。

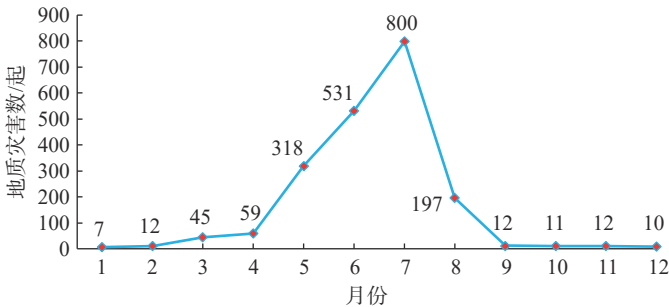


图 2 2012—2021 年月均地质灾害发生数量

Fig. 2 Monthly average number of geological disasters from 2012 to 2021

2 “631”预警模式

2.1 提出背景

受地质环境条件复杂、降水时空分布不均衡、极端天气事件频发等因素影响,每年汛期湖南省地质灾害多发易发,基层转移避险的任务依然艰巨。原有的气象风险预警的精细化程度不高,预警产品在时间精度上仅提前了 24h,没有涉及临灾预警;在空间精度上已经实现预警到市、精度到县,但尚未精准到乡镇、村组层次。导致基层转移人员普遍存在盲目性,应转的可能没有转

移到位,不需要避险的却过多转移,安全漏洞很大,与当前推行以村组为单元的精准预警和避灾转移等地质灾害风险管控要求仍有一定差距。此外,部分群众防灾避险意识仍较薄弱,关键时候思想上仍存在留恋财物、心存侥幸等心理。如 2021 年桃江和龙山两起因灾造成人员伤亡事件,村民均收到了预警短信,灾前也觉察到了小崩小滑迹象,但没有及时果断撤离,最终酿成惨剧。

因此,急需在短期预警的基础上加强短临预警,大力推动预警产品由市、县向乡、村转变,精细化预警发

布区域,信息精准推送到户到人,必要时上门告知风险,可以极大减少地方避险转移人力物力财力浪费,最终实现预警直达最后“一米”。

2.2 预警模型

湖南省地质灾害气象预警就是预测在某一降雨强度作用于特定地质环境区域时该地质环境单元发生地质灾害的可能性大小,具体方法就是将预报条件下评价单元降雨特征(用降雨强度等级或降雨诱发指数表征)与地质环境条件(以地质灾害易发程度指数表征)进行叠加分析或数学运算,根据相应判别标准划分预警等级,从而建立群发型区域性地质灾害预警预报模型。将全省按 1 km×1 km 网格划分计算单元,分别计算各单元预警指数,根据预警指数判定预警等级,预警指数按下式判定:

$$T = k_1G + k_2X_i + k_3Y \tag{1}$$

式中: T ——地质灾害气象风险预警等级指数;
 G ——地质灾害易发程度分区等级指数;
 X_i ——前 i d 累计降雨量, $i=1, 2, 3, 5, 7$;
 Y ——未来 1 h、3 h、6 h、24 h 预报降雨量;
 $k_1、k_2、k_3$ ——权重系数,根据湖南多年经验分别取值为 0.4、0.18、0.42。

2.3 基础数据

为了实现地质灾害防治全流程信息化,2018 年自主研发了新一代自动与半自动化地质灾害气象风险预警和应急响应相融合的湖南省地质灾害综合防治信息系统,可以实时获取气象部门自动雨量站数据、精细化

网格预报数据、风云系列卫星云图和多普勒雷达图像数据,可以对湖南省未来 1 h、3 h、6 h、24 h 和 2~7 d 中短期的天气情况进行会商研判,预测降雨时段、雨量和落区,叠加地质灾害高中易发区、地形地貌、岩组、人类工程活动等要素图层,融入预警模型算法,确定地质灾害气象风险预警时间、范围和等级。

2.4 预警模式

针对湖南省地质灾害多为短时强降雨诱发、突发性很强的特点,同时为了弥补传统的地质灾害 24 h 短期预警精准度不足的问题,突出临灾预警,以湖南省地质灾害综合防治信息系统为技术支撑,2022 年 5 月在总结以往预警工作经验的基础上,依托气象部门的逐小时递进式降雨预报服务,逐步完善形成“631”叫应和半小时再呼应预警机制,即“提前 6 h 预报暴雨落区、提前 3 h 预警、提前 1 h 叫应、提前半小时再呼应”(图 3)。强降雨过程,作为地质灾害防治主管部门,自然资源部门应加强与气象部门的会商,分析暴雨的落区,研判地质灾害发生的风险,及时发布短临预警。值班部门收到预警信息,应及时电话叫应当地政府启动应急预案,发挥乡镇、村组干部作用,利用 12379 预警平台、电话、村村喇叭、铜锣、上门告知等方式及时将预警信息告知预警范围内每户每人,实现预警空间精度上到乡村户;凡是电话未接通或信息未回复的,当地要迅速组织人员上门告知提醒,必要时坚决组织群众撤离,确保预警信息叫应形成闭环,做到预警叫应有反应、有反馈、有行动、有效果。该模式已广泛应用于湖南人民政府总

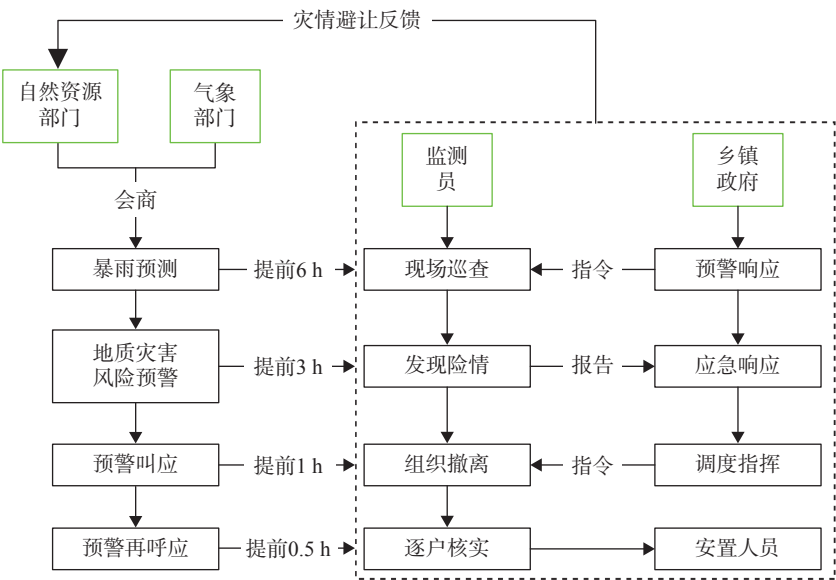


图 3 “631”地质灾害预警模式
Fig. 3 “631” early warning mode of geological disaster

值班室、省自然资源厅、省应急厅、省气象局以及市县各级自然资源部门等,为湖南省政府主导、部门联动防御地质灾害提供重要科学依据。

3 2022 年预警总体成效及典型案例分析

3.1 2022 年总体成效

2022 年湖南省发生达标地质灾害 2 884 起,其中滑坡 2 561 起、崩塌 247 起、泥石流 34 起、地面塌陷 25 起、地面沉降 13 起、地裂缝 4 起;灾情等级特大型 1 起、中型 45 起、小型 2 838 起,直接经济损失 34 155.2 万元,因灾造成 12 人死亡(麻阳 6 人、桃源 3 人、泸溪 3 人),1 人失踪(泸溪)。与前 10 年平均值相比,地质灾害起数增加 871 起,增幅 43%;造成死亡失踪人数减少 5.3 人,减幅 29%;直接经济损失减少 13 293.9 万元,减幅 28%。

作为防灾关键期,2022 年汛期(4—9 月)共发灾 2 854 起,约占 1—12 月总数的 99.0%;汛期灾害主要集中于 5—7 月,共发生 2 837 起,占汛期总数的 98.58%。特别是 6 月 1—6 日,为 2022 年最强降雨过程,湘西地区的怀化市和湘西州经历了一场连续强降雨过程,其中部分县市的 12 h 内降雨量更是突破本地区有气象记录以来最大记录。1 h 最大降水站点为怀化市麻阳隆家堡敬老院 94.9 mm,与去年同期相比偏多 70%;3 h 最大降水站点为怀化市麻阳隆家堡敬老院 191.1 mm,与去年同期相比偏多 60%;6 h 最大降水站点为怀化市麻阳高村镇绿溪口 228.3 mm,与去年同期相比偏多 50%;12 h 最大降水站点为怀化市麻阳高村镇绿溪口 266.5 mm,与去年同期相比偏多 70%;24 h 最大降水站点为怀化市麻阳高村镇绿溪口 266.5 mm,与去年同期相比偏多 70%;总过程最大降水站点为湘西州凤凰廖家桥镇都里 400.5 mm,与去年同期相比偏多 80%。导致湖南省地质灾害呈群发性出现,其中 6 月 1—6 日共发生地质灾害 2 278 起,短短 6 d 发灾数达全年总数的 79%,是近 10 年同期平均发灾数的约 6 倍(图 4)。

湖南省自然资源系统按照“守点控面、精准预警、及时转移”的要求,积极主动防御地质灾害,并严格落实“631”预警机制,2022 年湖南省共紧急转移 16.33 万人,成功避让地质灾害 149 起,涉及可能的人员伤亡 1 631 人,避免经济损失 15 858 万元。据自然资源部 2022 年度地质灾害公报,湖南省 2022 年因地质灾害转移、避让数量均排全国第一,在遭受严重灾害的同时,2022 年湖南省地质灾害防治攻坚战取得了显著的经济效益和社会效益。

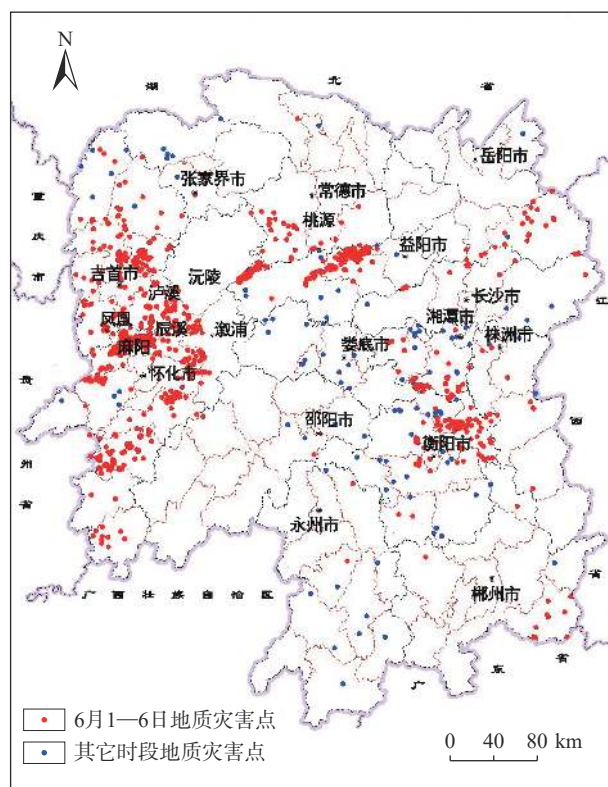


图 4 湖南省 2022 年地质灾害分布图

Fig. 4 Geological hazard distribution map of Hunan Province in 2022

3.2 典型案例分析

3.2.1 益阳市桃江县鲒埠回族乡大水田村滑坡

(1)提前 6 h 预报暴雨落区。2022 年 6 月 2 日 18 时左右,自然资源部门联合气象部门发布未来 6 h 暴雨预报,大水田村支书收到预报短信后,按照乡政府要求,启动预警响应,立刻组织村组干部在地质灾害风险区和隐患点展开巡查。

(2)提前 3 h 预警。6 月 2 日 22 时,自然资源部门联合气象部门再次发布地质灾害橙色预警,提醒“未来 3 h 大水田村附近降水量将达到 100 mm,发生地质灾害的可能性大,请注意防范”。村组干部发现险情后,立即上报乡政府,启动应急响应,按照“应转尽转,应转早转”的原则,村组干部果断组织受威胁住户转移。

(3)提前 1 h 叫应和半小时再呼应。村组干部逐户确认转移人员,对转移不及时的上门叫应,协助其转移。在危险区设置警戒线,明确专人值守,防止群众回流。

(4)灾害发生。6 月 3 日 3 时,大水田村滑坡发生,滑动体积约 3 500 m³,导致一间房屋全毁、一间房屋严重受损和家用小车受损,2 户 9 人实现成功避险转移,无人员伤亡(图 5)。



图5 滑坡全貌及倒塌房屋

Fig. 5 Overall comprehensive view of landslide and collapsed house

3.2.2 怀化市麻阳县高村镇大溪桥村7组滑坡

(1)提前6 h 预报暴雨落区。2022年6月1日22:15,接自然资源部门联合气象部门预报信息,大溪桥村附近降雨将达到红色警报等级,当地政府立即启动预警响应,马上组织村组干部加强隐患巡查。

(2)提前3 h 预警。6月1日23:30,险情出现,当地政府启动Ⅳ级应急响应,村组干部迅速转移隐患区住户。

(3)提前1 h 叫应和半小时再呼应。6月2日凌晨,高村镇政府人员及点长、片长上门呼叫未转移的群众撤离。

(4)灾害发生。6月2日凌晨3时左右,大溪桥村7组一户居民屋后山体发生滑坡,导致房屋损毁,1户3人成功避险,无人员伤亡(图6)。



图6 滑坡全貌

Fig. 6 Overall comprehensive view of landslide

4 结论

本文结合湖南多年地质灾害预警实践,针对湖南地

质灾害发育规律,构建了“631”叫应和半小时再呼应预警模式,主要得出以下结论:

(1)根据2012—2021年近10年数据,湖南省地质灾害具有多为短时强降雨诱发、突发性很强等明显特征,传统的地质灾害24h短期预警精准度不高,因此开展短临预警十分有必要。

(2)以自主研发的湖南省地质灾害综合防治信息系统为技术支撑,依托气象部门的逐小时递进式降雨预报服务,基于精准度较高的短临雨量预报和实况雨量,构建了“631”递进式地质灾害气象风险预警模式。

(3)“631”预警模式,可以确保预警形成闭环,做到预警有反应、有效果。该模式已在湖南省广泛应用,为湖南省政府主导、部门联动防御地质灾害提供重要科学依据。运用该预警模式,2022年湖南地质灾害转移人数、避让起数均排全国第一,取得了初步的防灾成效。

参考文献(References):

- [1] 高杨,李滨,冯振,等.全球气候变化与地质灾害响应分析[J].地质力学学报,2017,23(1): 65-77. [GAO Yang, LI Bin, FENG Zhen, et al. Global climate change and geological disaster response analysis [J]. Journal of Geomechanics, 2017, 23(1): 65-77. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 许强,董秀军,李为乐.基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J].武汉大学学报(信息科学版),2019,44(7): 957-966. [XU Qiang, DONG Xiujun, LI Weile. Integrated space-air-ground early detection, monitoring and warning system for potential catastrophic geohazards [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2019, 44(7): 957-966. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 许强.滑坡的变形破坏行为与内在机理[J].工程地质学报,2012,20(2): 145-151. [XU Qiang. Theoretical studies on prediction of landslides using slope deformation process data [J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(2): 145-151. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 刘传正.崩塌滑坡灾害风险识别方法初步研究[J].工程地质学报,2019,27(1): 88-97. [LIU Chuanzheng. Analysis methods on the risk identification of landslide disasters [J]. Journal of Engineering Geology, 2019, 27(1): 88-97. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 杨寅,林键,包红军.2018年地质灾害重点区域气象预警效果检验[J].中国地质灾害与防治学报,2019,30(6): 135-140. [YANG Yin, LIN Jian, BAO Hongjun. Evaluation of meteorological early warning to major regions affected by geological hazards in 2018 [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(6): 135-140. (in

- Chinese with English abstract)]
- [6] 侯圣山, 李昂, 陈亮, 等. 基于普适型仪器的滑坡监测预警初探——以甘肃兰州岷县三处滑坡为例 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(6): 47–53. [HOU Shengshan, LI Ang, CHEN Liang, et al. Application of universal geo-hazard monitoring instruments in landslides and early warning of three landslides in Gansu Province: A case study in Minxian County and Lanzhou City of Gansu Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(6): 47–53. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 尚敏, 张惠强, 廖芬, 熊德兵, 赵国飞. 考虑降雨滞后效应的八字门滑坡位移预测研究 [J]. 自然灾害学报, 2019, 31(3): 242–250. [SHANG Min, ZHANG Huiqian, LIAO Fen, et al. Displacement prediction of Bazimen landslide considering rainfall lag effect [J]. Journal of Natural Disasters, 2019, 31(3): 242–250. (in Chinese with English abstract)]
- [8] Pierpaolo DISTEFANO, David J. PERES, Pietro SCANDURA, et al. Brief communication: Introducing rainfall thresholds for landslide triggering based on artificial neural networks [J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2022, 22: 1151–1157.
- [9] 刘杰. 镇安县降雨引发地质灾害预警研究 [D]. 长安大学, 2023. [LIU Jie. Study on Early Warning of Rainfall-induced Geological Hazards in Zhen'an County [D]. Chang'an University, 2023. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 隋嘉, 孙皓, 张丽华, 等. 青海省地质灾害监测预警信息化平台建设与实践 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(2): 92–101. [SUI Jia, SUN Hao, ZHANG Lihua, et al. Construction and realization of information platform for geological disaster monitoring and early warning in Qinghai Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(2): 92–101. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 魏赛拉加, 严慧珺, 张俊才, 等. 青海省地质灾害防治资金投入与成效分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(5): 112–116. [WEI Sailajia, YAN Huijun, ZHANG Juncai, et al. Analysis of funding used for geological disaster prevention in Qinghai Province and its effects [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(5): 112–116. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 贲琰棋, 易武, 李华兵, 等. 基于“阶跃”变形特征的降雨型滑坡预警判据探讨 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(4): 30–38. [BEN Yanqi, YI Wu, LI Huabing, et al. Preliminary analysis on rainfall thresholds for early warning of the rainfall induced landslides based on “step” deformation characteristics [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(4): 30–38. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 许强. 对滑坡监测预警相关问题的认识与思考 [J]. 工程地质学报, 2020, 28(2): 360–374. [XU Qiang. Understanding the landslide monitoring and early warning: Consideration to practical issues [J]. Journal of Engineering Geology, 28(2): 360–374. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 宋昭富, 张勇, 余涛, 等. 基于易发性分区的区域滑坡降雨预警阈值确定——以云南龙陵县为例 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(4): 22–29. [SONG Zhaofu, ZHANG Yong, SHE Tao, et al. Determination of regional landslide rainfall warning threshold based on susceptibility zoning: A case study in Longling County of Yunnan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(4): 22–29. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 龚泉冰, 殷坤龙, 肖常贵, 等. 基于 I-D 阈值的滑坡气象预警双指标模型 [J]. 地质科技通报, 2024, 43(1): 262–274. [GONG Quanbing, YIN Kunlong, XIAO Changgui, et al. Double-index model of landslide meteorological warning based on the I-D threshold [J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2024, 43(1): 262–274. (in Chinese with English abstract)]