

四川省地质灾害气象风险预警“省市县一体化”建设探索与实践

肖智林, 陈高翔, 张浴阳, 屈伯强, 苏永超, 刘艳辉, 张涌

Construction and application of the “integration of provincial, urban, and county-wide” geo-hazard meteorological risk warning system in Sichuan Province

XIAO Zhilin, CHEN Gaoxiang, ZHANG Yuyang, QU Boqiang, SU Yongchao, LIU Yanhui, and ZHANG Yong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202312039>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

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

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

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

侯圣山, 李昂, 陈亮, 冯振, 王立朝, 曹鹏, 刘军友, 郑浩, 李阳光, 黄鑫, 郭伟, 魏新平 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 47-53

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

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

基于自然灾害风险评价框架的省级地质灾害风险区划方法探讨——以吉林省为例

Provincial geological disaster risk zoning method based on natural disaster risk assessment framework: a case study in Jilin Province

张以晨, 郎秋玲, 陈亚南, 张继权, 田书文 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 104-110



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202312039

肖智林, 陈高翔, 张浴阳, 等. 四川省地质灾害气象风险预警“省市县一体化”建设探索与实践[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(2): 47-54.

XIAO Zhilin, CHEN Gaoxiang, ZHANG Yuyang, et al. Construction and application of the “integration of provincial, urban, and county-wide” geo-hazard meteorological risk warning system in Sichuan Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(2): 47-54.

四川省地质灾害气象风险预警“省市县一体化” 建设探索与实践

肖智林¹, 陈高翔¹, 张浴阳¹, 屈伯强¹, 苏永超², 刘艳辉², 张涌¹

(1. 四川省国土空间生态修复与地质灾害防治研究院, 四川 成都 610081; 2. 中国地质环境监测院
(自然资源部地质灾害技术指导中心), 北京 100081)

摘要: 提升地质灾害气象风险预警预报能力是地质灾害综合防治体系建设的主要内容之一。四川省自 2003 年起率先开展地质灾害气象风险预警工作。在长期实践基础上, 于 2019 年开始重点在预警模型分析和建立、系统设计与实现、分级预警运行模式等方面进行了研究, 创建了地质灾害预警模型库、“省市县一体化”地质灾害气象风险预警互联系统及分级预警机制。基本实现了基于雨量数据传输、预警模型分析运算、预警信息发布等“省市县一体化”平台的互联互通及分级预警的闭环管理, 初步解决了市县缺平台、缺经费、缺技术的三缺问题及多头发布预警信息对基层造成的干扰问题。2023 年四川省成功避险的案例中地质灾害气象风险预警发挥作用的占 86%, 有效减少了地质灾害造成的人员伤亡和财产损失。
关键词: 地质灾害; 气象风险预警; 预警模型; 预警系统

中图分类号: P694 文献标志码: A 文章编号: 1003-8035(2024)02-0047-08

Construction and application of the “integration of provincial, urban, and county-wide” geo-hazard meteorological risk warning system in Sichuan Province

XIAO Zhilin¹, CHEN Gaoxiang¹, ZHANG Yuyang¹, QU Boqiang¹, SU Yongchao², LIU Yanhui², ZHANG Yong¹

(1. Sichuan Institute of Land and Space Ecological Restoration and Geological Hazard Prevention, Chengdu, Sichuan 610081, China; 2. China Institute of Geo-Environment Monitoring (Guide Center of Prevention Technology for Geo-Hazards, MNR), Beijing 100081, China)

Abstract: Improving the geo-hazard meteorological risk warning capabilities is an important component of the comprehensive prevention system for geological disasters. Since 2003, Sichuan Province has been carrying out geo-hazard meteorological risk warning work. Building on the previous foundation, research has been focused on the analysis and establishment of warning models, system design and implementation, and graded warning operation modes since 2019. A geo-hazard warning model library, an integrated geological disaster meteorological risk warning interconnection system at the provincial, municipal, and county levels, and a graded warning mechanism have been created. We have achieved closed-loop management of

收稿日期: 2023-12-30; 修订日期: 2024-01-25 投稿网址: <https://www.zgdzzhyfzxb.com/>

第一作者: 肖智林(1970—), 男, 四川广安人, 本科, 高级工程师, 主要从事地质灾害预警与防治等方面研究。

E-mail: 179217416@qq.com

通讯作者: 陈高翔(1991—), 男, 四川凉山人, 本科, 工程师, 主要从事地质灾害预警与防治等方面研究。E-mail: 576540468@qq.com

interconnection and graded early warning based on integrated platform such as rainfall data transmission, early warning model analysis and calculation, and early warning information release in province, cities, and counties. This has solved the three problems of lack of technology, capacity, and funding in cities and counties, as well as the interference caused by multiple early warning information releases on grassroots levels. In 2023, 86% of the successful risk avoidance cases in Sichuan Province were affected by meteorological risk warning, effectively reducing casualties and property losses caused by geo-hazard.

Keywords: geo-hazard; meteorological risk warning; warning model; warning system

0 引言

从统计分析得出,100%的泥石流、90%的滑坡和81%的崩塌由降水诱发^[1],地质灾害的发生与降水关系密切^[2-3],因此地质灾害气象风险预警是防灾减灾的有效手段之一。自2003年起,自然资源部(原国土资源部)与中央气象台启动并开展了国家级地质灾害气象风险预警业务^[4-6],同年,四川省率先启动省级地质灾害气象风险预警工作。截至2018年,四川省省级预警系统是单机版内网运行,预警产品需从内网拷贝通过外网发布,21个市(州)175个地质灾害易发县(市、区)中,仅成都、雅安、攀枝花、凉山4个市(州),青川1个县建立了地质灾害气象风险预警平台,可开展本级地质灾害气象风险预警预报工作,大部分市(州)、县(市、区)主要转发上级预警结果或依靠本级气象部门发布预警信息,不具备独立的地质灾害气象风险预警分析、制作、发布的能力,省市县三级预警业务独立运行、各自为阵;由于市县大多缺乏必要的预警平台和预警模型,导致预警精准度较低,预警响应呈现全省“上下一般粗”的情况;防灾一线同一时间重复接收省市县各级发布的预警信息,造成信息冗杂混乱,难以高效应对。2019年开始,四川省加强统筹谋划,充分运用多年开展地质灾害气象风险预警工作成果和实践经验,联合中国地质环境监测院(自然资源部地质灾害技术指导中心),按照“省级建设管理,省市县统一平台互联运行”的工作思路,逐步建立分级预警工作机制,同步建成四川省地质灾害气象风险预警互联系统。于2022年汛期开启四川省地质灾害气象风险预警“省市县一体化”运行模式。通过2年的运行情况来看,实现省市县三级各节点用户登录账户独立运行,为地质灾害预警信息存储、管理、分析、传输、发布等提供一个高效、稳定、安全的互联互通环境,实现了资源的集约化,有力支撑省市县地质灾害防灾减灾管理决策服务,提高预警预报工作效率,增强抢险救灾和应急处突的预警保障能力。

本文从四川省地质灾害气象风险预警业务运行的实践出发,面对各级预警业务独立运行的状态、基层缺

平台经费缺技术、多头发布预警信息给基层防灾工作造成困扰等问题,系统介绍了四川省地质灾害气象风险预警“省市县一体化”建设思路,预警模型建立的过程,预警互联系统架构与功能,以及全省运行的效果。

1 四川省地质灾害气象风险预警“省市县一体化”建设思路

为有效提升地质灾害气象风险预警能力,四川省探索建立地质灾害气象风险预警“省市县一体化”运行模式,主要包括三个方面:一是分级预警机制的建立,在预警产品精度上,省级预警到市,精度到县;市级预警到县,精度到乡;县级预警到乡,精度到村;在预警信息发布上,实行省级预警发布到市县两级政府及自然资源主管部门、省级有关行业主管部门(单位);市级发布到县级自然资源主管部门和市级有关行业主管部门;县级发布到乡村两级防灾责任人和县级有关行业主管部门及隐患点防灾监测责任人、在建工程防灾责任人。二是四川省地质灾害气象风险预警模型研究,利用统计学理论,分别采用隐式统计预报法和显示统计预报法^[7],研发了适合四川省的临界降雨阈值模型和基于地质灾害危险性的预警模型,构建了预警精度为1 km网格的地质灾害气象风险预警模型。三是四川省地质灾害气象风险预警互联系统建设,系统采用B/S架构,统一了数据库和地图建设标准,通过信息共享管理和多租户技术实现多级用户使用和维持一个平台,系统运行于互联网环境下,在省级层面实现气象数据的实时处理,核心功能包括预警分析、成果发布、模型管理、运维管理以及三级的互联互动和数据共享交换等功能模块,构建了全省统一的分布式模型集群和模拟计算引擎,实现“省级建设、多级应用”。

2 四川省地质灾害气象风险预警模型研发

四川省位于中国大陆地势三大阶梯中的第一级和第二级,地势西高东低,区域地形复杂多样,河谷深切,高差巨大,地层岩性及地质构造复杂,地震活动频繁。受暖湿的亚热带东南季风和干湿季分明的亚热带西

南季风交替影响, 东西部气候特征差异显著, 东部的四川盆地为夏季高温多雨, 冬季温和少雨, 年均降水量约 1 000 mm; 西部的川西高原气候垂直分布现象明显, 年均降水量 500 ~ 700 mm。据不完全统计, 2013—2022 年四川共发生地质灾害 28 335 处, 造成 373 人死亡(失踪), 86 人受伤, 直接经济损失 85.25 亿元。

2.1 临界降雨阈值模型

根据四川省地貌格局、地质灾害易发分区以及历史地质灾害预警区划, 将四川省分为 10 个预警大区、18 个预警亚区(图 1), 分亚区开展临界降雨阈值模型数据分析研究。

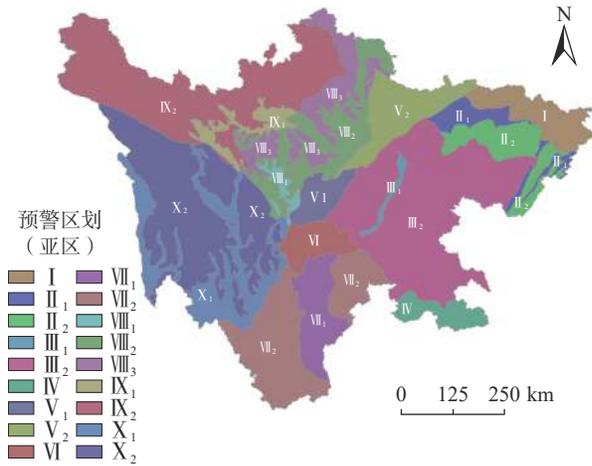


图 1 四川省地质灾害预警区划图

Fig. 1 Geological hazard early warning zoning map of Sichuan Province

本次临界降雨阈值模型采用激发雨量(x)—前期有效雨量(y)临界降水判据开展研究^[7-8], 假定阈值曲线为线性函数, 阈值模型曲线示意图如图 2 所示, 阈值模型通式为:

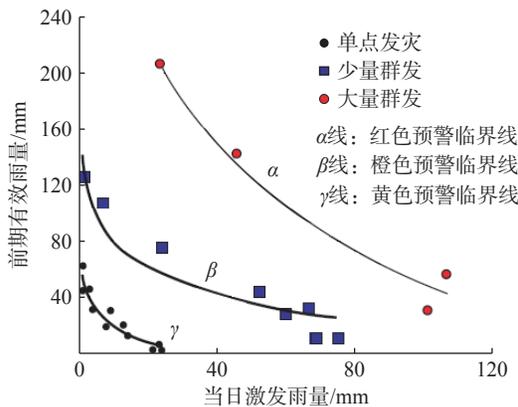


图 2 激发雨量-前期有效雨量临界降水判据

Fig. 2 Stimulates rainfall-critical precipitation criterion for effective rainfall in the early period

$$y = Kx + B \quad (1)$$

式中: y ——前期有效雨量;
 K ——斜率参数;
 x ——当日激发雨量;
 B ——截距参数。

基于临界降雨阈值模型的地质灾害气象风险预警对象为降水引发的区域群发型崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害, 通过筛选 2013—2020 年具有确定经纬度坐标和发生时间的地质灾害数据 5 273 条, 作为预警模型构建的基本统计样本, 同时利用“时空约束条件下随机采样”^[9-12]方法, 建立样本库。在四川省地质灾害预警区划基础上, 利用当日激发雨量(x)与前期有效降水雨量(y), 降雨数据使用气象部门提供的 24 h 的 QPE 网格实况数据, 数据空间精度为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$, 分区(18 个亚区)建立临界降水阈值模型见表 1, 部分样本不足区域参考相邻预警区模型使用。

表 1 各预警区临界降雨阈值判据

Table 1 Critical rainfall threshold criterion for each early warning area

预警分区	预警等级	K	B	预警分区	预警等级	K	B
I	红色预警	-0.44	82.8	VII ₁	红色预警	-0.45	58.0
	橙色预警	-0.44	60.9		橙色预警	-0.45	51.5
	黄色预警	-0.44	43.7		黄色预警	-0.45	43.0
II ₁	红色预警	-1.24	138.9	VII ₂	红色预警	-0.34	80.4
	橙色预警	-1.24	92.4		橙色预警	-0.34	61.7
	黄色预警	-1.24	66.1		黄色预警	-0.34	43.3
II ₂	红色预警	-0.79	76.1	VIII ₁	红色预警	-0.53	36.6
	橙色预警	-0.79	67.7		橙色预警	-0.53	35.5
	黄色预警	-0.79	56.1		黄色预警	-0.53	34.7
III ₁	红色预警	-0.23	160.4	VIII ₂	红色预警	-0.38	60.5
	橙色预警	-0.23	70.1		橙色预警	-0.38	50.2
	黄色预警	-0.23	59.8		黄色预警	-0.38	43.2
III ₂	红色预警	-0.33	136.3	VIII ₃	红色预警	-0.49	47.2
	橙色预警	-0.33	95.8		橙色预警	-0.49	46.0
	黄色预警	-0.33	58.4		黄色预警	-0.49	35.0
IV	红色预警	-0.50	51.6	IX ₁	红色预警	-0.15	36.2
	橙色预警	-0.50	44.0		橙色预警	-0.15	32.9
	黄色预警	-0.50	40.7		黄色预警	-0.15	27.1
V ₁	红色预警	-0.41	122.5	IX ₂	红色预警	-0.31	71.4
	橙色预警	-0.41	99.2		橙色预警	-0.31	58.5
	黄色预警	-0.41	76.1		黄色预警	-0.31	42.1
V ₂	红色预警	-1.42	171.3	X ₁	红色预警	-1.31	45.9
	橙色预警	-1.42	132.6		橙色预警	-1.31	40.9
	黄色预警	-1.42	113.4		黄色预警	-1.31	40.4
VI	红色预警	-0.32	105.9	X ₂	红色预警	-0.88	50.8
	橙色预警	-0.32	70.4		橙色预警	-0.88	49.6
	黄色预警	-0.32	51.4		黄色预警	-0.88	43.7

2.2 基于地质灾害危险性的预警模型研发

在基于地质灾害危险性的预警模型研究中^[13-14], 构建地质灾害潜势度模型的地质环境因子综合选取高程、起伏度、坡度、地层岩性、断层断裂、土地类型、年均雨量、水系、道路、房屋建筑等 10 类影响因子, 量化取其确定系数值和权重后, 经计算得到研究区地质灾害潜势度 Q , 采用归一化法将其归一化到 0 ~ 1, 再根据四川省年均降雨特征和灾情数据匹配的降水数据, 采用专家评判法对四川省地质灾害潜势度进行分区, 将四川省地质灾害潜势度分为龙门山断裂带、川东、川南、川西和川东北 5 个区(图 3), 通过潜势度分区结果分析, 川东北和川东潜势度最高, 龙门山断裂带、川南次之, 川西潜势度相对较低。从地质灾害“潜势度”灾害点密度分布情况分析(图 4), 随着地质灾害潜势度值的逐步增大, 地质灾害的发生密度整体呈逐步增大趋势, 反映了在潜势度值小的区域地质灾害点分布频率小, 潜势度值大的区域地质灾害点分布频率大, 结果表明地质环境条件较差的区域地质灾害发生数量较多, 潜势度计算结果比较合理。利用四川省气象部门提供的 24 h 的 QPE(quantitative precipitation estimation)网格实况数据, 对各分区进行前期有效降水量归一化分析, 根据潜势度各分区降水量特征, 结合专家评判法, 得到各潜势度分区内有效降雨计算天数和降雨诱发因子量化赋值见表 2。龙门山断裂带、川西有效降雨天数计算为累计 3 d, 其余地区为 2 d。川东降雨诱发地质灾害的有效雨量 $(x+y)$ 量化值最高, 龙门山断裂带、川东北、川南依次减小, 川西最低。

将地质灾害潜势度(Q)评价结果和有效雨量归一

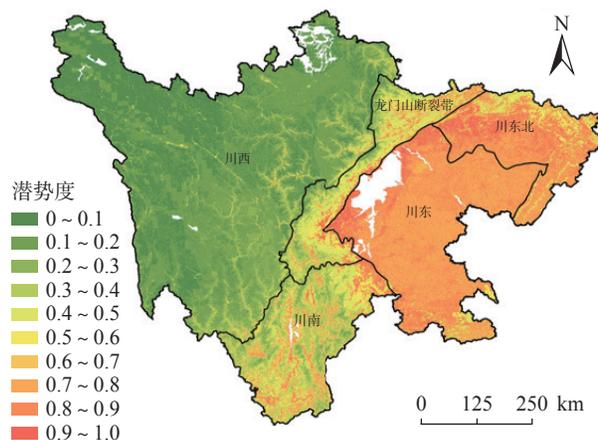


图 3 四川省地质灾害潜势度计算结果及分区

Fig. 3 Calculation results and zoning of geological hazard potential in Sichuan Province

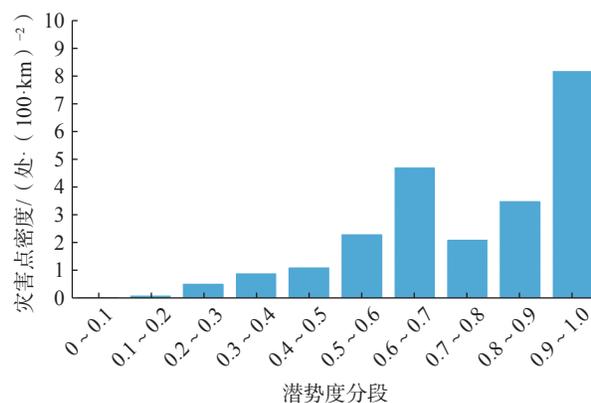


图 4 地质灾害“潜势度”灾害点密度分布情况

Fig. 4 The distribution of the density of geological hazards in the "potential" of geological hazards

化值(T)结果, 带入显示预警模型式(2), 得到各预警区预警指数(R)。根据灾害发生概率, 划分为红色预警、

表 2 各潜势度分区内降水诱发因子量化赋值

Table 2 Quantitative assignment of precipitation-inducing factors in each potential degree zone

潜势度分区	有效雨量计算时间/d	有效雨量/mm					
龙门山断裂带		3					
	有效雨量/mm	<100	100 ~ 120	120 ~ 200	200 ~ 250	250 ~ 300	≥300
	归一化值(T)	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1
川东	有效雨量计算天数/d	2					
	有效雨量/mm	<120	120 ~ 180		180 ~ 400		≥400
	归一化值(T)	0.2	0.4		0.7		1
川南	有效雨量计算天数/d	2					
	有效雨量/mm	<50	50 ~ 80	80 ~ 120	120 ~ 150	150 ~ 200	≥200
	归一化值(T)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1
川西	有效雨量计算天数/d	3					
	有效雨量/mm	<30	30 ~ 50	50 ~ 80		80 ~ 100	≥100
	归一化值(T)	0.2	0.3	0.5		0.8	1
川东北	有效雨量计算天数/d	2					
	有效雨量/mm	<80	80 ~ 100	100 ~ 150		150 ~ 250	≥250
	归一化值(T)	0.2	0.3	0.5		0.8	1

橙色预警、黄色预警和不预警区, 划分依据见表 3。龙门山断裂带、川东、川南、川东北地区不同预警等级的预警指数 R 间断点依次为 0.3, 0.6, 0.9; 川西地区预警指数 R 相对较小, 为 0.1, 0.3, 0.5。

$$R = Q \cdot T \quad (2)$$

式中: R ——潜势度分区的地质灾害气象预警指数;
 Q ——潜势度分区的地质灾害潜势度评价指标;
 T ——区域地质灾害的引发因子指数, 降雨诱发的区域地质灾害预警, 引发因子特指降水, 有效雨量归一化值。

3 四川省地质灾害气象风险预警互联系统建设

3.1 系统架构

四川省地质灾害气象风险预警互联系统自底向上可分为: 基础设施层、数据管理层、服务支撑层、业务应用层和用户层(图 5)。

①基础支撑信息平台: 主要是基于自然资源业务网和四川省建成的信息平台的硬件设备、网络设备和基

表 3 各潜势度分区内显式统计预警模型判据

Table 3 Explicit statistical early warning model criterion in each potential degree zone

预警等级	潜势度分区 预警指数(R)				
	龙门山 断裂带	川东	川南	川西	川东北
不预警	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.1	≤ 0.3
黄色预警	0.3 ~ 0.6	0.3 ~ 0.6	0.3 ~ 0.6	0.1 ~ 0.3	0.3 ~ 0.6
橙色预警	0.6 ~ 0.9	0.6 ~ 0.9	0.6 ~ 0.9	0.3 ~ 0.5	0.6 ~ 0.9
红色预警	> 0.9	> 0.9	> 0.9	> 0.5	> 0.9

础软件平台, 为地质灾害区域气象预警工作提供基础支撑。

②数据管理层: 包括空间业务数据、地质灾害数据、雨量数据、气象预警业务数据等, 在数据资源层实现数据的采集、整理入库、数据接入、数据存储、数据管理和数据共享。

③共享服务支撑层: 对整个应用层的各个应用系统提供支撑服务, 涵盖用户权限管理、基础 GIS 服务、业务应用服务、系统监控服务等。

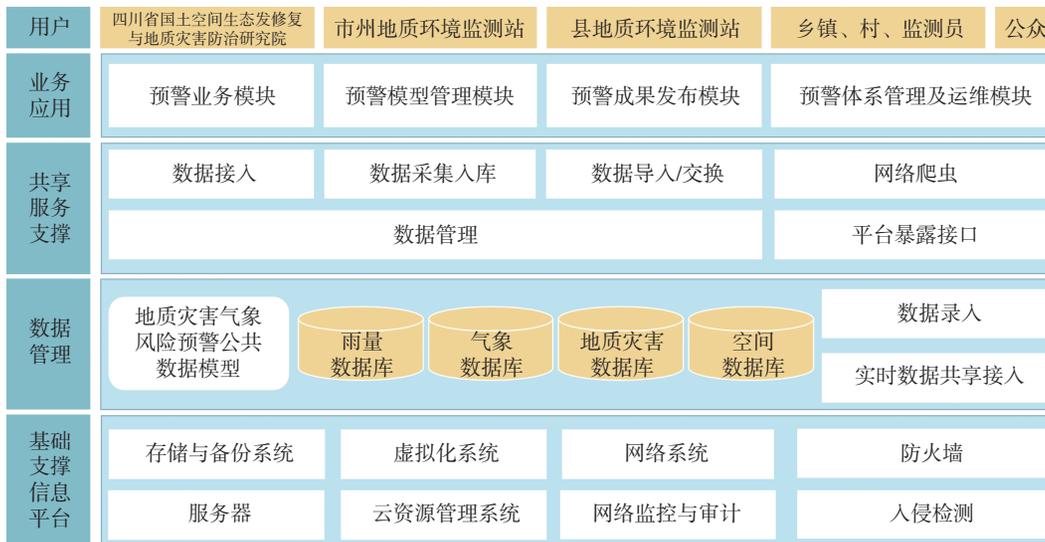


图 5 架构层次图

Fig. 5 Architecture hierarchy

④业务应用层: 围绕省级-地市级-县级“多级递进、逐级精细化”的应用需求, 针对不同的系统用户划分为: 地质灾害气象风险预警业务模块、地质灾害预警模型管理模块、地质灾害气象预警成果发布模块、地质灾害气象预警体系管理及运维模块。

⑤用户层: 用户包括地质灾害管理机构、社会公众和管理及维护人员等群体。其中地质灾害管理机构用户包括三个级别: 省级用户、地市级用户、县级用户。

3.2 系统功能

该系统功能包括 4 大块: 地质灾害气象预警业务模块、地质灾害预警模型管理模块、地质灾害气象预警成果发布模块、地质灾害气象预警体系管理及运维模块。省市县三级气象风险预警业务流程见图 6。

①地质灾害气象预警业务模块: 预警分析的功能是本系统的核心功能, 为用户提供制作气象风险预警分析产品的工具, 实现预警图的创建、编辑以及相关简报的

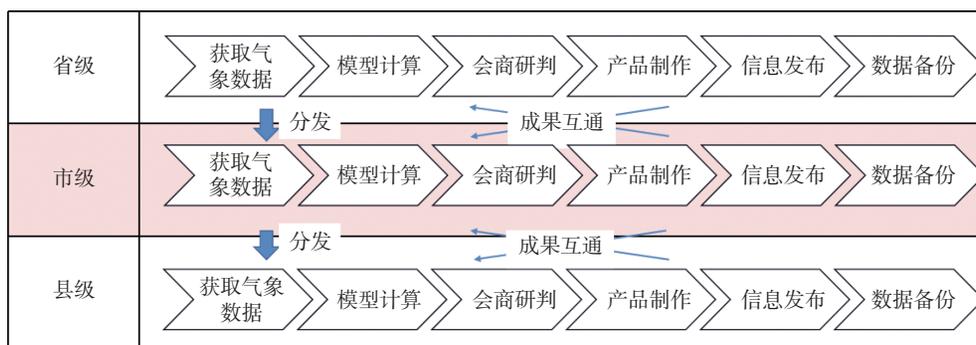


图 6 预警业务流程

Fig. 6 Early warning business processes

制作和成果上报等功能。预警分析的操作步骤为预警创建-预警编辑-简报制作-成果提交, 各级用户可独立登录统一平台独立分析计算生成预警成果, 用户间互不影响, 上下级预警成果可互相查看。

②地质灾害预警模型管理模块: 本模块主要管理模型的独立系统信息, 使其可以被预警分析模块调用。需管理的内容包括模型名称、启动路径或调用接口名称、参数信息表或文件名等信息、修改参数的界面 URL 地址等。目前该模块中有 3 类模型: 临界雨量阈值模型、基于地质灾害危险性的显示模型、指数 T 模型(2016 年建立的省级模型), 用户在预警分析过程中可任选其中一类模型进行计算。

③地质灾害气象预警成果发布模块: 预警发布分为自动通知预警区、手动发送短信、发送邮箱、上传至服务器。该功能实现了省级预警到市、市级预警到县、县级预警到乡、村、隐患点。

④地质灾害气象预警体系管理及运维模块: 包括隐患点管理、短信模板管理、用户管理、角色管理、菜单管理、部门管理、岗位管理、字典管理、参数设置、日志管理, 以及整个系统各功能的运维。

4 四川省地质灾害气象风险预警“一体化”运行效果

4.1 平台和机制的迭代更新

经过 20 年的实践, 四川省地质灾害气象风险预警工作在平台和机制方面经历了从无到有、从粗到细、从单一到丰富的过程。

在预警平台方面, 2003 年四川省开始开展全省汛期地质灾害气象预警预报工作, 省级建立了区域性、警示性为特点的汛期地质灾害气象预警预报系统。2016 年省级对地质灾害气象风险预警系统进行升级, 优化了预警模型和细化预警预报单元网格, 建立了地质

灾害气象风险预警系统 2.0 版本, 个别市县建立了自己的地质灾害气象风险预警系统。2019 年起研究制定省市县三级地质灾害气象风险预警的指标和技术方法, 在 2022 年汛前建立了四川省地质灾害气象风险预警互联系统 3.0 版本, 于 2022 年开始试运行, 2023 年正式运行, 省市县三级均可使用。

在预警机制方面, 2003 年, 四川省建立《地质灾害气象预警预报工作业务规程》。2010 年, 建立《地质灾害防御会商、信息共享管理办法》, 制订会商和信息共享细则, 省级设立专人从事预警预报和值班值守工作, 市、县级预警值班制度参照省级相继建立。2013 年, 建立《地质灾害防御会商、信息共享工作规程》, 全面共享气象站点实时雨量资料。2022 年建立了《四川省地质灾害分级预警工作导则(试行)》《四川省地质灾害监测预警响应指引(试行)》, 构建了全省“平台共用、预警共商、分级负责、逐级精细”的地质灾害等级预报机制, 从此开启了四川省地质灾害气象风险预警“省市县一体化”运行模式。每年汛期, 四川省 21 个市(州)、175 个地灾易发县均运用该系统平台, 制定并发布地质灾害气象风险预警产品, 指导基层组织避险转移工作。

4.2 预警成果

自 2023 年四川省地质灾害气象风险预警“省市县一体化”运行模型正式开展以来, 全省累计发布黄色及以上预警 6 273 次, 发送预警短信 747 万条。其中: 省级发布黄色预警 97 次, 橙色预警 8 次, 发送预警短信 71 万条; 市(州)级发布黄色预警 739 次、橙色预警 185 次、红色预警 10 次, 发送预警短信 139 万条; 县(市、区)级发布黄色预警 4 437 次、橙色预警 750 次, 红色预警 47 次, 发送预警短信 536 万条。2023 年四川省实现成功避险案例 28 起, 地质灾害气象风险预警发挥关键作用的有 24 起, 占 86%, 充分发挥了地质灾害气象风险预警“作战图”作用。

4.3 实例分析

2023 年 7 月 26 日 16:00 时省气象台发布气象预报, 预计 7 月 26 日 20 时—7 月 27 日 20 时川东大部地区有大到暴雨局部大暴雨, 川南中雨为主, 局部大到暴雨(图 7), 经互联系统模型分析计算预警区域见图 8, 与相关部门会商研判最终修正预警产品见图 9。预警完成后, 收集灾情情况, 分析发现 7 月 26 日 20 时—7 月 27 日 20 时四川省共发生 3 起灾情, 其中 2 处位于预警区内, 由于预警及时 2 处都实现了成功避险。其一: 27 日凌晨 3 时 32 分, 凉山州会东县溜姑乡盘龙村发生泥石流灾害, 造成 6 户房屋及 20 余亩农田受损, 直接经济损失约 20 万元, 因预警及时, 提前转移全部受威胁群众 3 户 10 人(另外 3 户 8 人长期在外务工), 避免了 3 户 10 人可能的因灾伤亡。其二: 27 日 20 时, 绵阳市三台县郪江镇鱼洞村 8 组发生崩塌灾害, 造成 1 户农房受损, 直接经济损失 3 万元, 因预警及时, 提前转移受威胁群众 1 户 2 人, 避免了 1 户 2 人可能的因灾伤亡。



图 7 7 月 26 日 20 时—7 月 27 日 20 时预报雨量

Fig. 7 Rainfall forecast from 20:00 on July 26 to 20:00 on July 27



图 8 互联系统模型分析计算预警结果

Fig. 8 Connected system model analysis calculates early warning results

2023年四川省地质灾害气象风险预警图



图 9 会商研判最终修正预警结果

Fig. 9 The results of the final revised early warning will be discussed and determined

5 结论与展望

(1) 预警模型方面, 从单一的预警模型逐步建立预警模型库, 对全省预警区划研究更加深入细致, 预警精度逐级精细。在预警产品精度上, 省级预警到市, 精度到县; 市级预警到县, 精度到乡; 县级预警到乡、村、点, 精度到村。

(2) 四川省基于互联网一体化统一平台研发实现了第三代地质灾害气象风险预警系统, 是基于互联网的一体化统一平台, 从技术上实现了省市县三级预警互联互通, 解决了市县缺平台、缺经费、缺技术的三缺问题, 实现集约化发展。

(3) 四川省市县分级制作发布预警产品工作机制的建立, 在气象风险预警工作机制上实现了探索与创新, 为其他省份提供了示范与经验。在预警信息发布上, 避免多头发布给基层防灾工作造成困扰的问题。2023 年四川省成功避险的案例中气象风险预警发挥作用的占 86%, 有效减少了地质灾害造成的人员伤亡和财产损失。

地质灾害气象风险预警工作虽已经过 20 年的探索与实践, 面对目前防灾形势及防灾能力需求, 还有诸多问题需要解决, 例如降雨预报准确率、模型研究程度、预报人员的技术水平、灾害反馈程度等。在下一步工作中四川省将选取试点开展基于深度学习的多源数据地质灾害气象风险预警模型研究, 同时, 进一步加强预警校验分析研究, 突破行政与技术的壁垒, 多行业全面收集地质灾害用于预警模型的优化与校验研究。

参考文献(References):

- [1] 李媛, 孟晖, 董颖, 等. 中国地质灾害类型及其特征——基于全国县市地质灾害调查成果分析 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2004, 15(2): 29-34. [LI Yuan, MENG Hui, DONG Ying, et al. Main types and characteristics of geo-hazard in China: Based on the results of geo-hazard survey in 290 counties [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2004, 15(2): 29-34. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 张君霞, 黄武斌, 李安泰, 等. 甘肃省主要地质灾害精细化气象风险预警预报 [J]. *干旱区地理*, 2023, 46(9): 1443-1452. [ZHANG Junxia, HUANG Wubin, LI Antai, et al. Fine meteorological risk early warning forecast of main geological disasters in Gansu Province [J]. *Arid Land Geography*, 2023, 46(9): 1443-1452. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 刘艳辉, 唐灿, 吴剑波, 等. 地质灾害与不同尺度降雨时空分布关系 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2011, 22(3): 74-83. [LIU Yanhui, TANG Can, WU Jianbo, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of geo-hazards and rainfall in different scales [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2011, 22(3): 74-83. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 刘传正, 刘艳辉, 温铭生, 等. 中国地质灾害气象预警实践: 2003—2012 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2015, 26(1): 1-8. [LIU Chuazheng, LIU Yanhui, WEN Mingsheng, et al. Early warning for regional geo-hazards during 2003-2012, China [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2015, 26(1): 1-8. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 温铭生, 刘传正, 陈春利, 等. 地质灾害气象预警与减灾服务 [J]. *城市与减灾*, 2019(3): 9-12. [WEN Mingsheng, LIU Chuazheng, CHEN Chunli, et al. Meteorological early warning of geo-hazards and service of disaster reduction [J]. *City and Disaster Reduction*, 2019(3): 9-12. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 温铭生, 王连俊, 连建发, 等. 区域地质灾害气象预警效果评价 [J]. *工程地质学报*, 2011, 19(6): 839-843. [WEN Mingsheng, WANG Lianjun, LIAN Jianfa, et al. Effectiveness evaluation on meteorological early warning of regional geological hazards [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2011, 19(6): 839-843. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 刘艳辉, 刘传正, 温铭生, 等. 中国地质灾害气象预警模型研究 [J]. *工程地质学报*, 2015, 23(4): 738-746. [LIU Yanhui, LIU Chuazheng, WEN Mingsheng, et al. Study of early warning models for regional geo-hazards in China [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2015, 23(4): 738-746. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 刘艳辉, 董力豪, 黄俊宝, 等. 基于 RF 和概率分级的滑坡临界降水阈值的确定方法 [J]. *水利水电技术(中英文)*, 2022, 53(10): 177-185. [LIU Yanhui, DONG Lihao, HUANG Junbao, et al. RF and probability grading-based determination method of landslide critical precipitation threshold [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2022, 53(10): 177-185. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 刘艳辉, 黄俊宝, 肖锐铨, 等. 基于随机森林的福建省区域滑坡灾害预警模型研究 [J]. *工程地质学报*, 2022, 30(3): 944-955. [LIU Yanhui, HUANG Junbao, XIAO Ruihua, et al. Study on early warning model for regional landslides based on random forest in Fujian Province [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2022, 30(3): 944-955. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 刘艳辉, 方然可, 苏永超, 等. 基于机器学习的区域滑坡灾害预警模型研究 [J]. *工程地质学报*, 2021, 29(1): 116-124. [LIU Yanhui, FANG Ranke, SU Yongchao, et al. Machine learning based model for warning of regional landslide disasters [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2021, 29(1): 116-124. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 缪亚敏, 朱阿兴, 杨琳, 等. 滑坡危险度评价对 BCS 负样本采样的敏感性 [J]. *山地学报*, 2016, 34(4): 432-441. [MIAO Yamin, ZHU Axing, YANG Lin, et al. Sensitivity of BCS for sampling landslide absence data in landslide susceptibility assessment [J]. *Mountain Research*, 2016, 34(4): 432-441. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 缪亚敏. 滑坡危险度评价中的负样本采样方法研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2016. [MIAO Yamin. A new approach to generating absence samples for landslide susceptibility assessment [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2016. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 刘艳辉, 苏永超. 四川青川县区域地质灾害气象风险预警模型研究 [J]. *工程地质学报*, 2019, 27(1): 134-143. [LIU Yanhui, SU Yongchao. Early-warning model of regional geological disasters based on meteorological factor in Qingchuan County, Sichuan Province [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2019, 27(1): 134-143. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 刘艳辉, 张振兴, 苏永超. 地质灾害承灾载体脆弱性评价方法研究 [J]. *工程地质学报*, 2018, 26(5): 1121-1130. [LIU Yanhui, ZHANG Zhenxing, SU Yongchao. Case study of vulnerability evaluation for geo-hazards bearing capacity of a region [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2018, 26(5): 1121-1130. (in Chinese with English abstract)]