

中国地质灾害气象风险预警20年：2003—2022

肖锐铨, 刘艳辉, 陈春利, 苏永超, 王惠卿, 徐 为, 方志伟, 梁宏锟

20-year early warning for regional geo-hazards risk in China: 2003-2022

XIAO Ruihua, LIU YanHui, CHEN Chunli, SU Yongchao, WANG Huiqing, XU Wei, FANG Zhiwei, and LIANG Hongkun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202401028>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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“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

无人机载LiDAR和倾斜摄影技术在地质灾害隐患早期识别中的应用

The application of UAV LiDAR and tilt photography in the early identification of geo-hazards

贾虎军, 王立娟, 范冬丽 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 60-65

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

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



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202401028

肖锐铨, 刘艳辉, 陈春利, 等. 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.

XIAO Ruihua, LIU YanHui, CHEN Chunli, et al. 20-year early warning for regional geo-hazards risk in China: 2003-2022[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(2): 1-9.

中国地质灾害气象风险预警 20 年: 2003—2022

肖锐铨, 刘艳辉, 陈春利, 苏永超, 王惠卿, 徐 为, 方志伟, 梁宏昆
(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: 地质灾害气象风险预警业务自 2003 年启动以来, 对我国地质灾害防灾减灾起到了重要支撑作用。文章全面总结了预警工作 20 年的发展历程、预警技术方法和防灾减灾成效。(1) 将预警工作历程分为启动推进(2003—2009 年)、深化合作(2010—2017 年)和改革提升(2018—2022 年)三个阶段。(2) 以 24 h 预警业务为主体, 逐步形成了预测预报预警的递进式预警模式和较完善的预警业务系统。(3) 逐步形成包括临界降水阈值模型、基于地质灾害危险性的阈值模型和动力预警模型等 3 套预警模型技术方法体系, 2023 年发布行业标准。(4) 预警产品时空精度不断提高, 国家级和 26 个省级预警空间精度高于 5 km×5 km, 以 24 h 预警为主, 向 72 h、中长期预测等尺度发展; 超过 8 个省级和部分市县级开展了 3 h 短临预警, 逐步形成支撑服务长期部署、中期防范和短临应对的业务体系。(5) 有预警必有响应, 2020 年自然资源部将国家级预警作为启动防御响应的依据之一, 18 个省份在省级突发地质灾害应急预案中明确了预警响应联动工作机制。(6) 多方联动防灾意识不断增强, 收到预警信息后, 加强巡查排查和组织人员撤离实现成功避险的案例不断增加, 防灾减灾成效显著。20 年来的预警工作总结, 可为下一步推进地质灾害气象风险预警业务提供借鉴, 支撑提升我国地质灾害防治工作能力和水平。

关键词: 地质灾害; 地质灾害气象风险预警; 发展历程; 技术方法; 减灾成效

中图分类号: P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-8035(2024)02-0001-09

20-year early warning for regional geo-hazards risk in China: 2003-2022

XIAO Ruihua, LIU YanHui, CHEN Chunli, SU Yongchao, WANG Huiqing, XU Wei,
FANG Zhiwei, LIANG Hongkun

(China Institute of Geo-Environment Monitoring (Guide Center of Prevention Technology for Geo-Hazards,
MNR), Beijing 100081, China)

Abstract: Early warning of geo-hazards based on meteorological factors has played an important supportive role in disaster prevention and mitigation in China since its inception in 2003. This paper summarizes the the 20-year development process, technical methods, and disaster reduction effects of the early warning works. (1) The development process of early warning work process is divided into three stages: initiation and promotion (2003-2009), deepening cooperation (2010-2017), and reform and enhancement (2018-2022). (2) With 24-hour early warning work as the main content, a progressive warning model and a relatively complete warning service system have been gradually formed. (3) Three sets of early warning model technology and method systems have been gradually developed, including critical precipitation threshold model, the threshold model based on

收稿日期: 2024-01-17; 修订日期: 2024-02-28

投稿网址: <https://www.zgdzzyfzxb.com/>

基金项目: 国家级地质环境监测与预报项目(10220222018000009060-1); 国家重点研发计划(2023YFC3007201; 2023YFC3007205; 2018YFC1505503); 国家自然科学基金(42077440; 42207213; 41202217)

第一作者: 肖锐铨(1984—), 男, 博士, 正高级工程师, 主要从事地质灾害监测预警与应急防治研究。E-mail: xiaoruihua0316@126.com

geo-hazards risk, and the dynamic early warning models, with the publication of industry standards for warning. (4) The spatial and temporal accuracy of warning products continues to improve, with the national and 26 provincial warning spatial accuracies exceeding $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$. The focus is on 24-hour warnings, with development towards 72-hour and medium- to long-term forecasts. Over 8 provincial-level and some municipal and county-level authorities have implemented 3-hour short-term warnings, gradually forming a work system to support service short impending warning response, medium-term prevention and long term deployment. (5) Where there is warning, there is response. The Ministry of Natural Resources has taken the national early warning as one of the bases for initiating defense responses, and 18 provinces have clarified the working mechanisms of the early warning response linkage. (6) The awareness of multi-party disaster prevention has been continuously enhanced. With strengthened inspections, evacuations, and successful risk aversion after receiving early warning information, the effectiveness of disaster prevention and mitigation is evident. The experience of early warning works in the past 20-year can provide reference for the next step in promoting the early warning of geo-hazards based on meteorological factors, supporting the enhancement of China's capability and level of geo-hazards prevention and control work.

Keywords: geo-hazards; warning of geo-hazards based on meteorological factors; development process; technical methods; mitigation effectiveness

0 引言

我国是世界上地质灾害最严重的国家之一。复杂多样的地质环境条件、点多面广的地质灾害现状、降雨因素的主要诱发作用是我国地质灾害防治的基本国情。《地质灾害防治条例》(国务院令 394 号)明确国家实行地质灾害预报制度,预报内容主要包括地质灾害可能发生的时间、地点、成灾范围和影响程度等,地质灾害预报由县级以上人民政府国土资源主管部门会同气象主管机构发布。2003 年起,自然资源部(原国土资源部)、中国气象局联合开展地质灾害气象风险预警工作,稳步推进以面上地质灾害气象风险预警和点上群测群防为主的点面结合预警机制^[1-8]。地质灾害气象风险预警是指基于孕灾环境、前期过程降水量和预报降水量,开展的地质灾害发生可能性及成灾风险的预警预报工作,经过 20 年的实践和发展,逐步形成了国家级、省级、市级和县级分级预警机制,对气象因素引发的地质灾害风险提前发布预警信息,警示地方政府和当地群众提前防灾避灾,对地质灾害的防灾减灾工作起到了重要支撑作用。据统计,至 2022 年底,已有 30 个省(自治区、直辖市)、305 个市(地、州、盟)、1 806 个县(市、区)开展了地质灾害气象风险预警工作,我国以地质灾害气象风险预警为先导的地质灾害防范机制逐步健全,群众防灾减灾意识不断增强,多方联动防灾减灾成效显著。

本文在国家级和 30 个省级预警总结报告基础上,系统梳理了我国地质灾害气象风险预警工作 20 年发展历程,全面总结了预警基础数据、模型模式、业务系统、信息发布、标准体系和响应联动等方面的进展,以

及地质灾害防治工作中多方联动取得的防灾减灾成效,为下一步推进地质灾害气象风险预警业务提供借鉴,支撑提升我国地质灾害防治工作能力和水平。

1 预警工作发展历程

根据预警工作推进过程中的重要进展和重大调整,分别以 2003 年、2010 年和 2018 年为时间节点,将地质灾害气象风险预警工作 20 年历程分为启动推进(2003—2009 年)、深化合作(2010—2017 年)和改革提升(2018—2022 年)等三个主要发展阶段(图 1)。

(1) 启动推进阶段(2003—2009 年)

2003 年 4 月 7 日,原国土资源部和中国气象局签订《联合开展地质灾害气象预报预警工作协议》,6 月 1 日国家级地质灾害气象风险预警工作正式启动。2003 年 11 月 24 日,《地质灾害防治条例》(国务院令 394 号)发布,明确国家实行地质灾害预报制度,预报内容主要包括地质灾害可能发生的时间、地点、成灾范围和影响程度等,地质灾害预报由县级以上人民政府国土资源主管部门会同气象主管机构发布。各地迅速落实相关要求,省级两部门陆续签订地质灾害气象预警预报工作协议并开展地质灾害预警预报工作,至 2005 年全国已有 29 个省(区、市)开展地质灾害气象风险预警工作。市县层面,2003 年河北省唐山市率先启动市级地质灾害气象预警工作,福建省泉州市安溪县率先启动县级地质灾害气象预警工作。2003—2009 年,山西省太原市、福建省厦门市、河南省郑州市、浙江省杭州市、广东省梅州市等陆续启动市县级地质灾害气象预警风险工作,市县级预警工作有序推进。

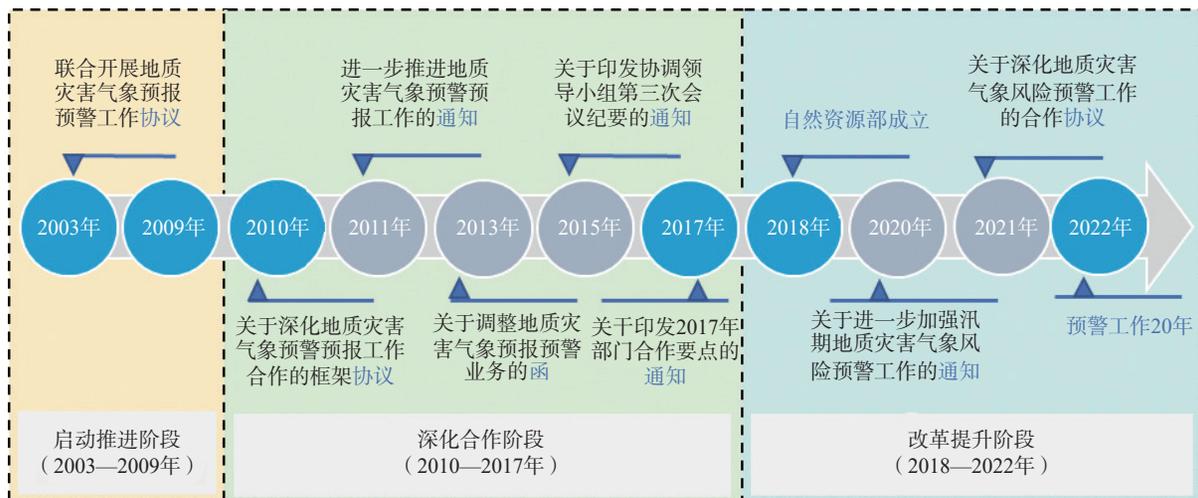


图1 地质灾害气象风险预警20年发展历程

Fig. 1 Development of early warning for geological disasters in the past 20 years

(2) 深化合作阶段(2010—2017年)

2010年,原国土资源部和中国气象局签订《关于深化地质灾害气象预报预警工作合作的框架协议》,在联合共建精细化地质灾害气象预报预警试验区、联合提高地质灾害气象预报预警精细化水平、联合对地质灾害气象预报预警等级进行调整、联合加强地质灾害气象预报预警信息发布等方面进一步深化合作。同年,两部门联合下发《国土资源部中国气象局关于进一步推进市(地、州)、县(市、区)地质灾害气象预报预警工作的通知》,进一步推进市县级地质灾害气象预报预警工作。2010年云南哀牢山、福建泉州和三峡库区监测预警示范区启动,2015年四川青川地质灾害气象风险预警试验区启动,双方联合开展精细化地质灾害气象预报预警研究,引领提升市县级预报预警精度;2013年,两部门将“地质灾害气象预报预警业务”调整为“地质灾害气象风险预警业务”,地质灾害气象风险预警进入了风险性预警的探索阶段;2015年,地质灾害气象预报预警信息通过国家突发事件预警信息发布系统发布,提高了预警发布的覆盖面和时效性。

(3) 改革提升阶段(2018—2022年)

自然资源部成立后,自然资源、气象两部门主动调整、加快探索、积极推进预报预警业务适应新时期防灾减灾救灾体制机制,合作进入改革提升阶段。2021年,自然资源部和中国气象局签订《关于深化地质灾害气象风险预警工作的合作协议》,不断拓展合作的广度和深度,推动市县级预报预警能力建设显著提升、预报预警预测体系逐步建立、预警响应体系逐渐完善、监测站网建设不断加强。在此期间,国家级和省级自然资源、

气象部门每年均对地质灾害气象风险预警持续投入,27个省有多年持续稳定的资金保障,29个省有专职预报预警工作人员;有16个省份以签订协议或联合发文形式进一步推动提升合作的广度和深度,市县级预警平台标准化建设快速推进;双方在常规地质灾害气象风险预警业务基础上,建立了服务于长期部署、中期防范和短期应对的预测预报预警合作机制;2020年《自然资源部地质灾害防御响应工作方案》中明确将地质灾害气象风险预警作为防御响应的启动条件,18个省份在省级突发地质灾害应急预案中明确了预警响应联动工作机制。

2 预警技术方法进展

20年来,预警业务依托的地质灾害精细化调查、监测网络建设等基础数据不断扩展,预警模型模式研发、预警业务系统建设取得长足进展,预警产品精度不断提高、预警信息精准发布不断完善,2023年预警行业标准发布,预警响应联动机制初步形成。以2003年(预警工作启动年)、2012年(预警工作10年)和2022年(预警工作20年)3个节点的地质灾害气象风险预警关键技术进展汇总见表1。

2.1 基础数据扩展

(1) 精细调查部署与成果基础

近10年来,在全国范围内先后部署开展了全国1:5万地质灾害详细调查、国务院第一次全国自然灾害风险普查、全国1:5万地质灾害风险调查评价等工作,逐步形成的最新成果为地质灾害气象风险预警模型研究和业务开展奠定了基础。至2022年底(图2),全国1:5万地质灾害详细调查完成1897个县(市、区),

表 1 20 年地质灾害气象风险预警关键技术进展汇总表

Table 1 20-year development progress of refined meteorological early risk warning for geo-hazards

时间节点	2003年	2012年	2022年
地质灾害调查基础	1:10万县市地质灾害调查	1:10万地质灾害调查2020个县;1:5万地质灾害详细调查450个县;地质灾害风险普查94个县	1:5万地质灾害详细调查1897个县;第一次全国自然灾害风险普查2177个县;1:5万地质灾害风险调查1501个县
地质灾害灾情数据	700多个灾害点。参数:灾害点个数	20万个灾害点。参数:灾害频次、规模、体积	40万个灾害点。参数:灾害位置坐标、发生详细时间、引发因素、规模体积、造成人员伤亡及经济损失、监测预警类型及数据等
监测网络	2500个雨量站点	气象部门雨量站3.9万个;自然资源部门简易滑坡裂缝报警器 and 地面裂缝伸缩仪20余万台	气象部门1万余个国家级地面气象观测站、近6万个省级气象观测站,在轨气象卫星9颗,240余部新一代天气雷达、X波段天气雷达;自然资源部门5.5万处地质灾害监测站点
模型方法	临界降雨阈值模型	临界降雨阈值模型;基于危险性的预警模型	临界降雨阈值模型;基于危险性的预警模型;基于机器学习的预警模型;分灾种、雨型的预警模型
系统平台	国家级预警系统1个	国家级预警系统1个;省级预警系统26个	国家级预警系统1个(升级2次);省级预警系统30个;市级预警系统164个;县级预警系统652个
空间精度	1:600万精度,空间精度为60 km×60 km	国家级预警精度为10 km×10 km;区域或局地易发区空间精度为5 km×5 km	国家级预警精度5 km×5 km;18个省级预警精度5 km×5 km;8个省级预警精度1 km×1 km
时间精度	24 h预警	24 h预警;局地逐3 h、逐6 h的短临预警	趋势预测(年、季、月、72 h)、汛期常规预警(24 h)、短临预警(12 h、6 h、3 h、1 h)的预测、预报和预警体系
规范标准	无	《地质灾害气象风险预警工作要求》(试行)(2009)	《地质灾害预报技术规程》(DB61/T 589—2013)(陕西省地方标准);《地质灾害区域气象风险预警标准(试行)》(T/CAGHP 039—2018);《暴雨诱发的地质灾害气象风险预警等级》(QX/T 487—2019);《突发地质灾害预警响应技术导则(试行)》(T/CAGHP 081—2022);地质灾害气象风险预警规范(DZ/T 0449—2023)

占计划总数的 98.7%;第一次全国自然灾害风险普查完成 2 117 个县(市、区),占计划总数的 96.8%;全国 1:5 万地质灾害风险调查完成 1 501 个县(市、区),占计划总数的 75.2%。另外,部分省份开展了精细化调查。浙江、重庆、四川、贵州、云南、甘肃等“隐患点+风险区”双控试点省份开展了重点地区 1:1 万地质灾害精细

调查,完成 1:1 万重点城镇风险区划图件;福建省为了破解临坡切坡建房地质灾害防治工作难题,开展了 1:1 万地质灾害调查和风险评价,基本查明农村房屋和人口聚集区受地质灾害威胁情况;北京市分灾种开展了山区泥石流和山区道路沿线崩塌滑坡灾害隐患精细调查与评价。

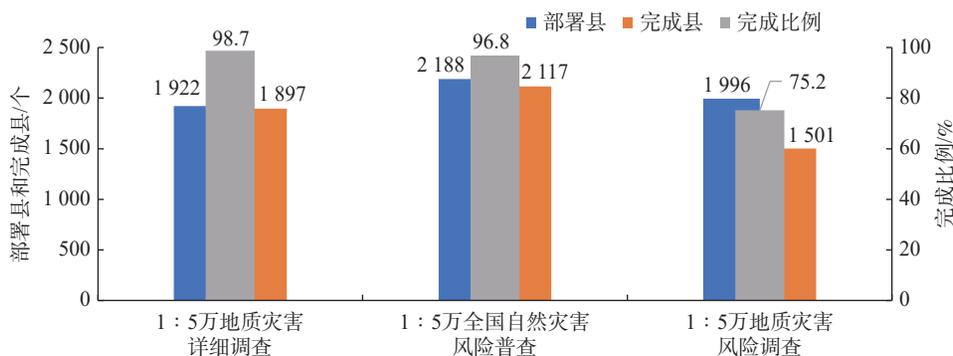


图 2 1:5 万地质灾害调查普查完成情况

Fig. 2 Completion status of 1:50 000 geological disaster survey and census

注:数据来源于全国地质灾害信息平台。

(2) 监测网络建设与数据共享

降雨是地质灾害的主要引发因素,实况及预报降雨量对地质灾害气象风险预警预报时空精度具有重大影响。气象部门建成 1 万余个国家级地面气象观测站、近 6 万个省级气象观测站,在轨气象卫星 9 颗,240 余

部新一代天气雷达、X 波段天气雷达。自然资源部成立后新建 5.5 万处监测站点、布设了 25 万台套雨量、形变、位移等监测设备,初步构建全国地质灾害动态监测网^[9-10]。浙江自然资源部门加强与气象、水利部门深度合作,自建雨量站 4 293 个,实时共享气象部门自动气

象站 4 932 个、水利部门水利雨量站 6 670 个,雨量数据精细化得到大幅提升,为浙江“省-市-县”地质灾害等级预报和实时预警业务提供基础数据支撑。福建自然资源部门与气象部门实现全方位气象数据共享,进一步提升了台风、强降水等灾害性天气过程的实时监控能力。广西建立自然资源、气象、水文部门信息共享机制,依托三个部门的专业监测网络构建了包含 8 000 多个雨量站和 2 170 个地质灾害专业监测点的监测网络。

2.2 预警模型模式

(1) 预测预报预警体系初步形成

地质灾害气象风险预警业务体系逐步完善,逐步形成了预测、预报、预警的递进式预警模式,根据降雨发展趋势动态调整预警时段和空间范围,精准指导临灾避险。预警产品由未来 24h 预警拓展为年度、季度、月度和未来 7d、72h、24h、6h、3h、1h 等预测、预报、预警产品体系和递进式预警模式,形成服务长期部署、中期防范、短临应对的预测、预报、预警业务体系(图 3)。

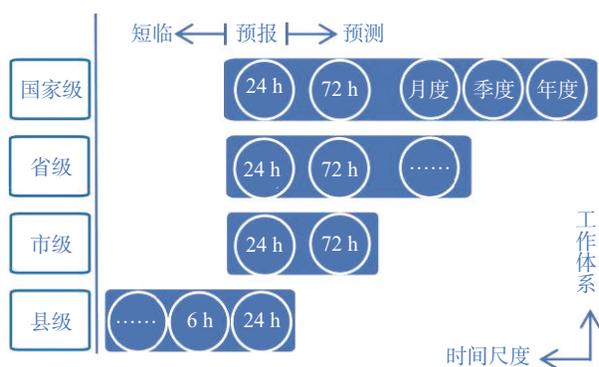


图 3 预测预报预警体系示意图

Fig. 3 Schematic diagram of forecasting, and early warning system

国家级业务方面,月度、季度和年度等中长期全国地质灾害风险趋势预测,支撑服务国家防灾减灾救灾委员会、自然资源部开展地质灾害防治工作部署;未来 72 h、7 d 风险预测,支撑服务国家防总、自然资源部启动地质灾害防御及应急响应;未来 24 h 风险预警,支撑自然资源部与相关省份开展地质灾害风险会商研判和预警响应联动。省级业务方面,重点做好未来 24 h 预警,支撑辖区内地质灾害防治工作部署和防御响应,指导市县开展短临预警和临灾避险。市县级业务方面,重点做好未来 6 h、3 h、1 h 等短临预警,指导基层开展临灾避险。浙江、安徽、江西、湖南、广东、重庆、四川、陕西、甘肃等省份逐步开展了 3 h 短临预警。湖南在省级发布未来 24 h 预警、市县提前 3~6 h 发布预警信号的基础上,增加了省市县三级提前 1~3 d 发布强降雨

过程重要警示信息、县级提前 0~1 h 发布临灾警报,特别是结合气象部门无缝隙智能网格预报业务和“6 h 预报、3 h 预警、1 h 叫应”(631)递进式气象预警机制,联合建立了“6 h 预报、3 h 预警、1 h 叫应、30 min 再呼应”的地质灾害递进式预报预警模式,逐级提升预警空间精度,拓宽预警时段,递进式提升预警时间和空间的精准性,支撑多起成功避险。

(2) 预警模型方法与示范区建设

经过 20 年探索,逐步形成 3 套预警模型包括临界降水阈值模型、基于地质灾害危险性的阈值模型和动力预警模型等。3 套预警模型方法作为推荐方法写入《地质灾害气象风险预警规范》(DZ/T0449—2023)行业标准。标准规定了预警模型选择的具体要求:预警模型宜采用基于地质灾害危险性的阈值模型,随着地质灾害调查评价精度的提高,预警模型宜及时更新;辖区面积较小或地质环境条件较单一时,可采用临界降水阈值模型;辖区面积较大或地质环境条件较复杂时,应在预警区划的基础上,分区建立临界降水阈值模型;辖区为小流域或特别重要的局部区域,可在地质灾害孕灾环境精细化调查研究基础上采用动力预警模型。同时,针对不同地区地质环境特点、雨型特点及降雨诱发地质灾害的模式分析等,预警模型逐步向多元化发展^[11-16]。如广东针对台风降雨、龙舟水持续强降雨和局地强对流暴雨这 3 种主要降雨类型构建了适宜不同降雨条件的预警模型;北京针对本地泥石流和道路沿线崩滑灾害多发的特点,构建了泥石流预警模型和道路沿线崩塌滑坡灾害预警模型等;国家级和部分省级在临界降雨阈值模型、在危险性的预警模型基础上,基于 AI 技术开展了基于机器学习的预警模型探索等^[17-19]。

2015 年起,自然资源部和中国气象局依托四川四川地质灾害气象风险预警试验区,在地质灾害精细化调查成果应用、模型研发、系统建设和防灾避险等方面取得一系列进展,预警产品时效提升至 6 h、3 h、1 h,预警产品精细化至行政村单元、斜坡单元,为县级开展精细化地质灾害气象风险预警提供了示范^[20]。浙江、河北、湖南等省份通过开展试验示范区建设或设立地方科研项目,联合攻关预警模型研发和系统建设;山西太原、安徽黄山、湖南临湘、四川广安、广州市黄埔区、陕西镇安县等市县,在地质灾害气象风险精准预警、避灾转移和“隐患点+风险区”双控等方面开展了试验示范工作。

2.3 预警业务系统

20 年来,国家级地质灾害气象风险预警系统历经

2 次大规模的升级改造^[21], 目前已形成完备的预警业务系统, 支撑全国层面地质灾害不同时间尺度预测、预报、预警的递进式全流程预警模式。全国 30 个省份建立了省级地质灾害气象风险预警业务系统, 164 个市建立了市级预警业务系统, 652 个县建立了县级预警业务系统, 其中有 118 个市、508 个县通过“省-市-县”或“省-市”一体化预警平台实现。

自然资源部成立后, 四川、浙江、福建、云南等省份率先探索省级统建的“省-市-县”一体化预警平台, 市县作为用户节点, 同步实现了 57 个市、465 个县预警系统的平台化运行。依托一体化平台, 可实现数据资源高效共享、预警逐级精细、经费和技术高度集约, 优化了省、市、县三级地质灾害气象风险预警产品制作、发布、响应、反馈的分级预警工作机制, 大大降低了市县建议运行成本, 提高了市县级预警工作的规范化、系统化、自动化和精细化。

2.4 预警信息发布

(1) 预警产品时空精度不断提升

随着地质灾害基础调查精度、预警模型技术方法研发和降雨等气象因素预报精度的大幅提升, 面向地质灾害防治工作的不同需求, 地质灾害气象风险预警产品类型不断扩展, 预警产品时空精度不断提高^[22-23]。国家级预警层面, 地质灾害气象风险预警空间精度逐步提升, 2003 年全国划分为 28 个预警单元, 2018 年预警单元数量提升到约 38 万个; 预警时间尺度逐步拓展, 2003 年全国开展 24 h 常规预警, 逐步拓展为服务短临应对、中期防范和长期部署的预警、预报、预测体系。省级预警方面, 18 个省级预警空间精度为 5 km×5 km, 8 个省级预警空间精度为 1 km×1 km; 短临精细化预警逐步推进, 2018 年以来浙江、安徽、江西、湖南、广东、重庆、四川、陕西、甘肃等省份逐步开展了 3 h 短临预警。

(2) 预警产品发布渠道不断扩展

随着新媒体、新技术的发展, 地质灾害气象风险预警信息发布渠道在传统电视、广播、传真的发布基础上不断拓宽, 新增国家突发事件预警信息发布系统、应急广播、公共场所电子显示屏和微博、公众号等新媒体平台; 预警信息点对点发送至管理人员、技术支撑人员, 管理人员细化到乡镇级, 技术支撑人员细化到县级巡查驻守人员、群测群防员。在此基础上, 多个省份探索将预警信息精准发布至隐患点受威胁群众、施工场地等, 确保预警信息进村入户到人, 补强了信息发布的“最后一公里”。如, 湖南和广西分别将全省可能受地质灾害威胁的 86 万、3.4 万农村临坡切坡建房户全部纳入预

警信息接收对象, 向预警区域内受威胁群众以及相关责任人员精准靶向发送地质灾害气象风险短临预警信息。四川为避免多方发布可能给基层防灾工作造成困扰, 实行预警信息分级发布管理, 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; 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, 等。据统计, 2018—2022 年国家级预警发布 700 余次, 省级发布近 3 万次, 市级发布 4.8 万余次, 县级发布 14.9 万余次。

2.5 标准体系建设

在各级地质灾害气象风险预警业务实践基础上, 地质灾害气象风险预警相关标准体系不断健全完善。2013 年陕西发布地方标准《地质灾害预报技术规程》(DB61/T 589—2013); 2018 年中国地质灾害防治工程行业协会发布团体标准《地质灾害区域气象风险预警标准》(试行)(T/CAGHP 039—2018); 2023 年自然资源部发布行业标准《地质灾害气象风险预警规范》(DZ/T 0449—2023), 指导规范各级地质灾害气象风险预警业务的工作组织、技术方法、产品制作与发布、预警效果评价等; 天津、浙江、福建、湖北、湖南、广东等 12 个省份发布省级预警技术规程规范等。2022 年中国地质灾害防治与生态修复协会还发布团体标准《突发地质灾害预警响应技术导则(试行)》(T/CAGHP 081—2022), 指导地质灾害预警信息发布后相关预警响应方案。

2.6 预警响应联动

有预警必有响应已成为新时期防灾减灾基本要求, 健全地质灾害气象风险预警“叫醒”“叫应”机制, 发布预警信息后第一时间应急处置和转移避险是预警发挥实效的必要措施。浙江健全地质灾害预警“叫应”机制, 自然资源、应急、气象、水利等部门联合发布了《关于强化气象、地质灾害、山洪灾害预警和应急响应联动工作的指导意见》, 在“叫应”内容上, 规定各级自然资源部门发布红色、橙色预警信息时, 要在第一时间实施“叫应”, 既要“叫应”又要“叫醒”, 确保预警信息即时到人、防范措施准备到位。四川省自然资源厅印发的《四川省监测预警响应指引(试行)》, 明确了省级和市、县级自然资源部门针对不同等级地质灾害气象风险预警的响应方案。

基于预测预报预警业务体系, 推动建立了自然资源部门内部预警防御响应和部门间预警响应联动新机制。2020 年 9 月, 自然资源部印发《自然资源部地质灾

害防御响应工作方案》,将国家发布地质灾害气象风险预警作为启动防御响应的依据之一。部门间预警响应联动机制方面,至2022年底,已有18个省份在省级突发地质灾害应急预案中明确地质灾害气象风险预警响应联动工作机制。地质灾害气象风险预警发布后,在地方党委政府统一领导下,各部门按照预案责任分工,共同做好行业领域内地质灾害隐患巡查排查、监测预警、撤离避险、转移安置、抢险救援和次生灾害防范等各项工作,形成防灾减灾救灾总合力。

3 防灾减灾成效

(1) 总体成效

地质灾害气象风险预警已成为防御响应启动的重要依据和实施避险转移的集结号。据国家预警发布中心数据,2022年全国各地共发布地质灾害气象风险预警信息1万余条,占非气象类预警信息的51%。根据广东省2018—2022年的灾情反馈信息统计,汛期期间广东省由降雨诱发造成损失的地质灾害有1110起,发生在3级及以上预警时空范围内的地质灾害938起,占灾害总数的84.5%,且呈逐年上升趋势。2021年河南郑州“7·20”特大暴雨诱发地质灾害,对市级预警信息的复盘表明,郑州市208起地质灾害中93.7%发生在预警区内。

2003年以来全国共成功避险地质灾害1.7万起,及时转移避险81万人,避免经济损失165亿元。其中“十三五”期间,成功避险4296起,涉及可能伤亡人员近15万人(图4)。“十四五”前两年,成功预报案例中,收到各级地质灾害气象风险预警信息,进而加强巡查排查和组织人员撤离实现成功避险的占比超过80%,2023年达到了占总数的92.8%,防灾成效不断凸显。因地质灾害造成的死亡、失踪人数由“十一五”期间年均1000

人左右降低到“十二五”期间年均400人左右、“十三五”期间年均250人左右。

(2) 防灾意识显著提升

地质灾害气象风险预警工作开展以来,自然资源、气象两部门充分利用“世界气象日”“世界地球日”“5·12防灾减灾日”和“国际减灾日”等开展综合防灾减灾宣传和定期演练活动,共开展32.5万次培训,培训超过2600万人次;开展68.5万次应急演练,应急演练超过2560万人次。群众的防灾意识逐渐增强,尤其是受威胁地区干部群众的防灾减灾意识得到了全面提升,越来越多的居民群众收到地质灾害气象风险预警信息后能自主关注房前屋后、道路沿线、景区景点等的地质灾害风险。

(3) 成功避险案例增多

近年来以地质灾害气象风险预警为先导,收到各级预警信息后,加强巡查排查和组织人员撤离实现成功避险的案例不断增加。如2020年8月甘肃陇东南等地遭遇了百年一遇降雨,地质灾害气象风险预警的精细化、实时化,吹响了避险转移的号角,群测群防员及时发现隐患,组织避险转移,成功避险29次,避免人员伤亡5704人;2021年7月5日,四川省凉山州木里县项脚乡项脚沟流域7条支沟相继发生泥石流灾害,上下游群测群防员结合地质灾害气象风险预警联动巡查,避免了20户118人因灾伤亡;2022年四川青川“7·14”青川新村泥石流由于预警及时、巡查到位,提前转移避让,受威胁的6户18人避免了伤亡。

4 结语

经过20年的发展,地质灾害气象风险预警业务在部门合作机制、预警技术方法、支撑服务能力等方面取得了突出进展,有效支撑了我国地质灾害防治工作,取得了较好的防灾减灾成效。本文全面总结了地质灾害气象风险预警20年的发展历程和预警预报技术方法研究进展,将预警工作历程分为启动推进、深化合作和改革提升三个阶段,从基础数据扩展、预警模型模式创新、业务系统完善、信息发布能力提升、标准体系建立、响应联动贯通等方面系统分析了预警工作进展、典型做法和防灾减灾成效。

近年来极端天气气候事件频发,人类工程活动加剧,地质灾害风险防御面临新形势新要求。在适应气候变化新形势和防灾减灾救灾新要求过程中,地质灾害气象风险预警也暴露出一些问题和短板,如“自上而下”的预警响应机制已不适应精细化防灾减灾新要求,基层

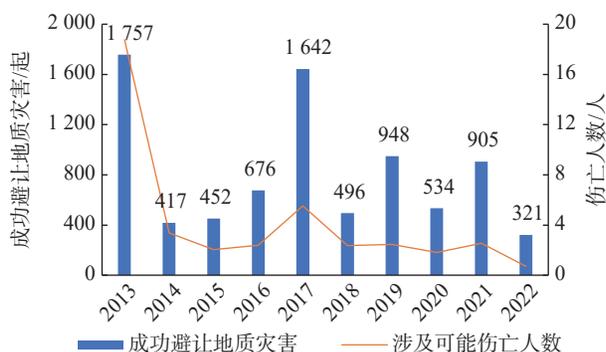


图4 2013—2022年成功避让地质灾害起数与涉及可能伤亡人数
Fig. 4 The number of successfully averted geo-hazards and the number of possible casualties from 2013 to 2022

人财物保障不足限制了预警规范化建设和运行,地质灾害气象预警技术方法体系有待进一步完善等。后续将在探索形成“自上而下”的预测预报防御响应与“自下而上”的预警响应闭环管理、加强基层地质灾害气象风险预警长效机制建设、推动县级预警能力提升、加强预警模型研发等方面持续推进,不断提升我国地质灾害气象风险预警时空精度,提升预警预报支撑防灾减灾能力。

致谢: 地质灾害气象风险预警 20 年业务运行和总结过程中,自然资源部、中国气象局两部门主管司局、各省(自治区、直辖市)自然资源主管部门和新疆生产建设兵团自然资源局、各级地质灾害气象风险预警业务技术支撑单位给予了大力支持和指导,30 个省级预警业务单位提交的 20 年预警总结报告是本文总结分析的重要基础,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

- [1] 国土资源部地质灾害应急技术指导中心,中国气象局公共气象服务中心.中国地质灾害气象预警预报十年工作总结(2003—2012) [R]. 2013. [Technical Center for Geo-Hazards Emergency of MLR, Public Weather Service Center, CMA. A decade summary to early warning for regional geo-hazards, China (2003 —2012) [R]. 2013. (in Chinese)]
- [2] 国土资源部地质灾害应急技术指导中心,中国气象局公共气象服务中心.中国地质灾害气象预警预报十五年工作总结(2003—2017) [R]. 2017. [Technical Center for Geo-Hazards Emergency of MLR, Public Weather Service Center, CMA. A fifteen years summary to early warning for regional geo-hazards, China (2003 —2017) [R]. 2013. (in Chinese)]
- [3] LIU Chuangzheng, LIU Yanhui, WEN Mingsheng, et al. Early warning for geo-hazards based on the weather condition in China [J]. *Global Geology*, 2006, 9(2): 131 - 137.
- [4] PICIULLO L, CALVELLO M, CEPEDA J. Territorial early warning systems for rainfall-induced landslides [J]. *Earth-Science Reviews*, 2018, 179: 228 - 247.
- [5] 刘传正,刘艳辉,温铭生,等.中国地质灾害区域预警方法与应用 [M]. 北京:地质出版社,2009. [LIU Chuangzheng, LIU Yanhui, WEN Mingsheng, et al. Regional early warning method and application of geological disasters in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009. (in Chinese)]
- [6] 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 Chuangzheng, 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)]
- [7] 刘传正.地质灾害防治研究的认识论与方法论 [J]. *工程地质学报*, 2015, 23(5): 809 - 820. [LIU Chuangzheng. Epistemology and methodology on geo-hazard research [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2015, 23(5): 809 - 820. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 刘传正,陈春利.中国地质灾害成因分析 [J]. *地质论评*, 2020, 66(5): 1334 - 1348. [LIU Chuangzheng, CHEN Chunli. Research on the origins of geological disasters in China [J]. *Geological Review*, 2020, 66(5): 1334 - 1348. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 张鸣之,杨飞,马娟,等.区块链技术在全国地质灾害风险预警系统建设中的应用探索 [J]. *水文地质工程地质*, 2023, 50(6): 168 - 174. [ZHANG Mingzhi, YANG Fei, MA Juan, et al. Exploration of blockchain technology application in the construction of National Risk Warning System on Landslides [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2023, 50(6): 168 - 174. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 唐亚明,张茂省,薛强,等.滑坡监测预警国内外研究现状及评述 [J]. *地质论评*, 2012, 58(3): 533 - 541. [TANG Yaming, ZHANG Maosheng, XUE Qiang, et al. Landslide monitoring and early-warning: An overview [J]. *Geological Review*, 2012, 58(3): 533 - 541. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 殷坤龙,陈丽霞,张桂荣.区域滑坡灾害预测预警与风险评估 [J]. *地学前缘*, 2007, 14(6): 85 - 97. [YIN Kunlong, CHEN Lixia, ZHANG Guirong. Regional landslide hazard warning and risk assessment [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(6): 85 - 97. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 刘艳辉,唐灿,李铁锋,等.地质灾害与降雨雨型的关系研究 [J]. *工程地质学报*, 2009, 17(5): 656 - 661. [LIU Yanhui, TANG Can, LI Tiefeng, et al. Statistical relations between geo-hazards and rain-type [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2009, 17(5): 656 - 661. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 徐辉,刘海知.诱发滑坡的多尺度降雨特征 [J]. *山地学报*, 2019, 37(6): 858 - 867. [XU Hui, LIU Haizhi. Multi-scale rainfall characteristics of rainfall-induced landslides [J]. *Mountain Research*, 2019, 37(6): 858 - 867. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 刘正华,余丰华,夏跃珍,等.基于斜坡单元的地质灾害气象预警系统建设初探 [J]. *水文地质工程地质*, 2015, 42(6): 131 - 136. [LIU Zhenghua, YU Fenghua, XIA Yuezhen, et al. Primary exploration of the geological hazard

- meteorological warning system based on slope unit [J] . *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2015, 42(6): 131 - 136. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 陈悦丽,赵琳娜,王英,等.降雨型地质灾害预报方法研究进展 [J] . *应用气象学报*, 2019, 30(2): 142 - 153. [CHEN Yueli, ZHAO Linna, WANG Ying, et al. Review on forecast methods of rainfall-induced geo-hazards [J] . *Journal of Applied Meteorological Science*, 2019, 30(2): 142 - 153. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 陈春利,方志伟.福建省地质灾害气象预警有效降雨模型研究 [J] . *地质力学学报*, 2023, 29(1): 99 - 110. [CHEN Chunli, FANG Zhiwei. Research on an effective rainfall model for geological disaster early warning in Fujian Province, China [J] . *Journal of Geomechanics*, 2023, 29(1): 99 - 110. (in Chinese with English abstract)]
- [17] LIU Yanhui, HUANG Junbao, XIAO Ruihua, et al. Research on a regional landslide early-warning model based on machine learning: A case study of Fujian Province, China [J] . *Forests*, 2022, 13(12): 2182.
- [18] 董力豪,刘艳辉,黄俊宝,等.基于卷积神经网络的福建省区域滑坡灾害预警模型 [J] . *水文地质工程地质*, 2024, 51(1): 145 - 153. [DONG Lihao, LIU Yanhui, HUANG Junbao, et al. An early prediction model of regional landslide disasters in Fujian Province based on convolutional neural network [J] . *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2024, 51(1): 145 - 153. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 李阳春,刘黔云,李潇,等.基于机器学习的滑坡崩塌地质灾害气象风险预警研究 [J] . *中国地质灾害与防治学报*, 2021, 32(3): 118 - 123. [LI Yangchun, LIU Qianyun, LI Xiao, et al. Exploring early warning and forecasting of meteorological risk of landslide and rockfall induced by meteorological factors by the approach of machine learning [J] . *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2021, 32(3): 118 - 123. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 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)]
- [21] 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 Chuanzheng, 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)]
- [22] 杨寅,林建,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)]
- [23] 刘艳辉,温铭生,苏永超,等.台风暴雨型地质灾害时空特征及预警效果分析 [J] . *水文地质工程地质*, 2016, 43(5): 119 - 126. [LIU Yanhui, WEN Mingsheng, SU Yongchao, et al. Characteristics of geo-hazards induced by typhoon rainstorm and evaluation of geo-hazards early warning [J] . *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2016, 43(5): 119 - 126. (in Chinese with English abstract)]