

## 青海省地质灾害监测预警信息化平台建设与实践

隋 嘉, 孙 皓, 张丽华, 辛倩男, 孙永旺, 王 栋

## Construction and realization of information platform for geological disaster monitoring and early warning in Qinghai Province

SUI Jia, SUN Hao, ZHANG Lihua, XIN Qiannan, SUN Yongwang, and WANG Dong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202202007>

## 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

#### 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

#### 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, 吴靓 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(5): 112-116

#### 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

#### 基于虚拟参考站技术的滑坡高精度位移监测系统设计与实践

Design and practice of high precision landslide displacement monitoring system based on VRS

张鸣之, 湛兵, 赵文, 袁旭东, 李宏祥 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 54-59

#### 青海省滑坡崩塌泥石流灾害时空分布特征

Temporal and spatial characteristics of landslide, rockfall and debris flow disasters in Qinghai Province during the period

魏正发, 曹小岩, 张俊才, 应忠敏, 严慧, 魏赛拉加 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(6): 134-142



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202202007

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.

## 青海省地质灾害监测预警信息化平台建设与实践

隋 嘉<sup>1</sup>, 孙 皓<sup>1</sup>, 张丽华<sup>1</sup>, 辛倩男<sup>1</sup>, 孙永旺<sup>1</sup>, 王 栋<sup>2</sup>

(1. 青海省地质环境监测总站(青海省地质灾害防治技术指导中心), 青海 西宁 810000;

2. 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 在全球变化的影响下地质灾害发生的频率明显上升, 建设青海省地质灾害监测预警信息化平台对于保证地区生命财产安全十分重要。本文从青海省地质灾害监测预警信息化平台的设备布设、系统建设、平台功能、运行现状阐述其建设与实现过程。目前青海省地质灾害监测预警信息化平台已经可以达到地质灾害不同来源, 不同批次的灾害点信息统一管理动态更新, 做到数据集成化、成果可视化、信息综合化、系统一体化。青海省地质灾害监测预警信息化平台包括地质灾害调查评价系统、地质灾害监测预警系统、地质灾害气象预警系统等 10 个模块。现阶段所有的普适性监测数据可以同步发送到国家级地质灾害监测数据平台, 能够高效支撑地灾预警工作。监测预警信息化平台能够对实时采集的监测数据自动进行分析, 支持多种预警模型进行判别; 当监测数据发生变化触及预设判别模型时, 能够自动发送地灾预警信息。通过系统试运行, 已经有了成果监测预警的案例, 数据可靠能够满足监测预警的需求。

**关键词:** 地质灾害; 信息化; 监测预警; 系统建设; 青海省

**中图分类号:** P694:P208

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1003-8035(2023)02-0092-10

## Construction and realization of information platform for geological disaster monitoring and early warning in Qinghai Province

SUI Jia<sup>1</sup>, SUN Hao<sup>1</sup>, ZHANG Lihua<sup>1</sup>, XIN Qiannan<sup>1</sup>, SUN Yongwang<sup>1</sup>, WANG Dong<sup>2</sup>

(1. *Qinghai Provincial General Geological and Environmental Monitoring Station (Qinghai Provincial Geological Disaster Prevention and Control Technical Guidance Center)*, Xining, Qinghai 810000, China; 2. *State Key Laboratory of*

*Cryospheric Science, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China*)

**Abstract:** Under the influence of global changes, the frequency of geological disasters in Qinghai Province, which is located in the northeastern part of the Qinghai-Tibet Plateau, has increased significantly. It is important to build a geological disaster monitoring and early warning information platform in Qinghai Province to reduce the safety of life and property in the area. In this paper, the process of construction and realization of the information platform for geological disaster monitoring and early warning in Qinghai Province is described in terms of equipment deployment, system construction, platform function and operation status. At present, the information platform of geological disaster monitoring and early warning in Qinghai Province has been able to achieve the unified management and dynamic update of disaster information of different sources and batches of geological disasters, and achieve data integration, result visualization, information synthesis and system integration. The

收稿日期: 2022-02-10; 修订日期: 2022-03-17

投稿网址: <https://www.zgdzzhyfzxb.com/>

基金项目: 青海省地质环境信息化综合平台(2021-ZJ-T08); 天文大科学装置冷湖台址监测与先导科学研究(2019-ZJ-A10)

第一作者: 隋 嘉(1981-), 男, 青海湟源人, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质灾害信息化等研究。E-mail: jason\_sui@163.com

information platform of geological disaster monitoring and early warning in Qinghai Province includes 10 modules such as geological disaster investigation and evaluation system, geological disaster monitoring and early warning system, and geological disaster meteorological early warning system. At this stage, all universal monitoring data can be sent to the national geological disaster monitoring data platform synchronously, which can support the work of geological disaster early warning efficiently. The monitoring and early warning information platform can automatically analyze the monitoring data collected in real time and support a variety of early warning models to discriminate; when the monitoring data changes and touches the preset discriminating models, it can automatically send geohazard early warning information. Through the trial run of the system, there have been cases of results monitoring and early warning, and the data is reliable enough to meet the needs of monitoring and early warning.

**Keywords:** geological disaster; informationization; monitoring and early warning; system construction; Qinghai Province

## 0 引言

近年来,受全球变化影响<sup>[1]</sup>,青海省地质灾害发生的频率明显上升<sup>[2]</sup>,地质灾害进入相对活跃期,地质灾害呈现出频发、群发的态势<sup>[3-4]</sup>,而地质灾害具有隐蔽性、突发性和周期性的特征,防灾形势十分严峻<sup>[5]</sup>。现阶段青海省地质灾害治理率低,许多地质灾害威胁城镇、学校等人员集中区<sup>[6]</sup>的重大地质灾害隐患点,工程治理或避险搬迁难度大、资金困难,基层预防和自我救助能力弱,地质灾害防治任重道远。

2004 年三峡库区着手建立了地质灾害监测预警信息管理系统<sup>[7]</sup>,随后北京、江苏、贵州等省市也都分别针对本省的地质环境条件特点建立了基于 WebGIS、CORS、物联网等的地质灾害监测预警系统<sup>[8-10]</sup>,接着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<sup>[11]</sup>,同时“空天地一体化”地质灾害监测预警系统也有了理论基础<sup>[12]</sup>,地质灾害监测预警平台蓬勃发展。

因此,加强普适型地质灾害监测预警工作,加速地质灾害综合防治体系建设已迫在眉睫。“十三五”以来,青海省建立了已知地质灾害隐患点全覆盖的群测群防体系,防灾减灾成效显著,但仍存在群测群防员更换频繁、兼职、专业技术掌握不足、信息传递速度慢等问题。自动化专业监测仅处于初步阶段,尚未推广。省内地质灾害自动化监测应用极为缺乏,原有的地质灾害排查工作效率低、基层班组巡查工作量大、人工监测区域受限且频次低、应急抢险时效性差,与新形势下地质灾害防治工作的需求还相差甚远<sup>[13-14]</sup>。

为积极贯彻落实自然资源部关于推进地质灾害监测预警设备试点工作的相关精神,根据《中国地质调查局地质灾害监测预警普适型仪器设备示范试用工作方案》的总体要求。青海省在地质灾害防治信息化建设现有的基础上,结合地质灾害防治新理论、新方法,根据

其行政管理各项需求,达到地质灾害不同来源,不同批次的灾害点信息统一管理,动态更新。

## 1 工作区及监测点布设

### 1.1 工作区概况

青海省地处青藏高原东北部,地质条件复杂,生态环境脆弱。全省地形地貌以山地、丘陵为主,占全省总面积的 72%,地质灾害极高易发区仅存在极少部分,占青海省全省面积的 1.66%;高易发区占 9.56%,中易发区占 26.50%。地质灾害呈现范围广、数量多、群发突发、灾情严重、治理难等特点。

全省各类地质灾害隐患点共有 4 279 处,其中崩塌 455 处、滑坡 1 034 处、泥石流 1 183 处、不稳定斜坡 1 595 处、地面塌陷 9 处、地裂缝 1 处、地面沉降 2 处。地质灾害隐患对 20.36 万人口和 76.38 亿元财产构成威胁。地质灾害隐患点主要分布在青海省东部地区西宁市、海东市和海南藏族自治州,占全省地质灾害隐患点总数的 54.6%,南部地区其次,数量占全省总数的 27.7% (图 1)。

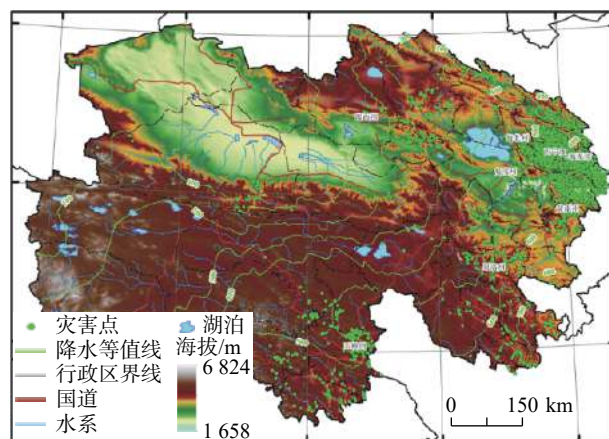


图 1 工作区隐患点分布

Fig. 1 Distribution of hidden danger points in work area



1.2 监测预警选点原则与布置情况

第一,以尚未规划或尚未实施搬迁、治理、威胁人数较多的监测等级达到二、三级的滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害隐患点为主要监测对象。按照“统筹安排、重点突出、统一接口、融合共享、边建边用、以用促建”的原则,部署工作任务。

第二,对于不同的地质灾害隐患类型,需有针对性地选取符合隐患特点的普适型监测设备,设备要求功能简单、精度得当、运行牢靠、成本适当、推广适用性强的特点。

第三,根据以往建设经验,自动化监测效果的保障关键在于地质灾害隐患点可监测性的综合分析和科学研究,选取合理的隐患监测点位,制定监测方案,明确设备选型和布局,达到有效监测和预警预报的目的。同时系统应统一数据接口,不同厂商不同设备数据要通过统一数据结构标准进入系统进行处理。

经过前期资料研究,现场实地踏勘、航测、复核、专家组综合分析论证的基础上进行甄选,选点合理。对威胁全省人数大于 30 人以上的 422 处高风险隐患点选取安装普适型自动化监测设备及自动报警设备,增加地质灾害隐患自动化监测覆盖面,监测点部署情况见表 1。

1.3 监测工程布置方式

监测工程应尽量沿灾害体变形主体方向布置监测剖面,用来监测灾害体的总体变形,并检验仪器的适用性。剖面布置宜优先考虑“十”字型,即一条纵剖面 and 一条横剖面。在此基础上,可根据监测需求扩展为“卅”字型、“卅”字型、“#”字型或“丰”字型等。在有地形限制的情况下,可采用放射型。

监测点应布设在地表变形显著部位;监测仪器设施的安装需严格执行有关技术要求说明;监测点布设应考虑其运行条件及解决方案;监测点布设在实现本项目目标的前提下应尽可能减少建设成本;为相互印证对比,同时从安全角度出发,监测点成组分布组成现场站。

表 1 青海省地质灾害监测预警总体部署表

Table 1 Qinghai Province geological disaster monitoring and early warning general deployment table

| 市州  | 监测预警点 | 分布特征                                                                   |
|-----|-------|------------------------------------------------------------------------|
| 西宁市 | 145   | 共威胁人员 8 221 人。其中西宁市区 5 处,湟中区 85 处,湟源县 8 处,大通县 47 处。                    |
| 海东市 | 202   | 共威胁人员 24 594 人。其中乐都区 64 处,平安区 4 处,民和县 42 处,互助县 44 处,化隆县 32 处,循化县 16 处。 |
| 黄南州 | 19    | 共威胁人员 1902 人。其中同仁市 15 处,尖扎县 4 处。                                       |
| 海南州 | 17    | 共威胁人员 2 432 人,其中共和县 1 处,同德县 3 处,贵南县 2 处,贵德县 9 处,兴海县 2 处。               |
| 海北州 | 3     | 共威胁人员 188 人,门源县 3 处。                                                   |
| 果洛州 | 10    | 共威胁人员 834 人。其中玛沁县 7 处,班玛县 2 处、达日县 1 处。                                 |
| 玉树州 | 26    | 共威胁人员 2 770 人。其中囊谦县 20 处,玉树市 5 处,称多县 1 处。                              |
| 合计  | 422   | 其中滑坡 247 处,不稳定斜坡 131 处,崩塌 4 处,泥石流 47 处                                 |

滑坡主要监测降雨、地表位移、土壤含水率等,对重要隐患点安装视频系统加强监测;崩塌主要监测降雨量、倾角、加速度等;不稳定斜坡按照发展趋势按潜崩或潜滑进行监测设备布设;泥石流主要监测降雨量、泥位等,同时安装视频监测系统进行监测预警。

对布设普适性监测仪器的灾害点进行不间断监测,监测周期要求经地质人员综合分析确定地质灾害体变形阶段,以具体确定监测周期,在外界扰动较大时,如暴雨期间或汛期,应加密观测次数。

在仪器的选择中,应选取普适型设备及组合针对性的开展专群结合监测预警(表 2),对地质灾害体出现、发生过程及降雨等关键性指标和指示性信息开展实时监测<sup>[15]</sup>。

2 系统建设

地质灾害监测预警系统一方面要实现地质灾害隐患多手段、多维度、多通道的监测数据融合,提高地质灾害隐患监测效果;达到常态巡查、专业排查、群测群

表 2 灾害类型与测项选择

Table 2 Types of hazards and selection of measurement items

| 灾害类型   |     | 监测设备 |    |    |     |     |    |    | 声光报警 | 备注                       |
|--------|-----|------|----|----|-----|-----|----|----|------|--------------------------|
| 测项     |     | GNSS | 裂缝 | 倾角 | 加速度 | 含水率 | 雨量 | 泥位 |      |                          |
| 滑坡(潜滑) | 岩质  | ●    | ●  | ○  | ○   |     | ●  |    | 按需布置 | 具体安装位置及数量,根据灾害体规模及特征综合确定 |
|        | 土质  | ●    | ●  | ○  | ○   | ○   | ●  |    |      |                          |
| 崩塌(潜崩) | 岩质  | ○    | ●  | ●  | ●   |     | ●  |    |      |                          |
|        | 土质  | ○    | ●  | ○  | ○   |     | ●  |    |      |                          |
| 泥石流    | 沟谷型 |      |    |    |     | ○   | ●  | ●  |      |                          |
|        | 坡面型 |      |    | ○  | ○   | ○   | ●  | ○  |      |                          |

注:●为宜测项,○为选测项。来自《地质灾害专群结合监测预警技术指南(试行)》

防、自动化监测以及 InSAR/LiDAR 监测<sup>[16]</sup>等各类地质灾害监测数据的汇聚并与历史数据进行对比。另一方面要达到地质灾害隐患预警预报的自动化、智能化的目标。融合气象风险、群测群防、自动化监测实现针对气象局提供的多类型雨量数据、气象数据的查询、浏览、可视化,在此基础上综合气象风险预警预报分析的其他参数模型,进行地质灾害气象风险预警预报分析,并生成预警预报成果。能够签批管理预警预报产品成果,对政府工作人员决策支持起到一定辅助作用。对各

类地质灾害风险进行预判,并在第一时间发布预警信息,实现地质灾害隐患监测预警自动化、智能化。

2.1 平台设计

地质灾害监测预警信息化平台在已有地质灾害信息化建设成果基础上,基于 B/S 架构,面向服务架构(SOA),采用 WebGIS 技术、物联网技术等关键技术,按照“一个中心、两个平台、多个应用”的总体架构建设,实现业务系统的统一用户身份认证、统一 GIS 服务、统一数据支撑、统一工作流引擎(图 2)<sup>[17]</sup>。

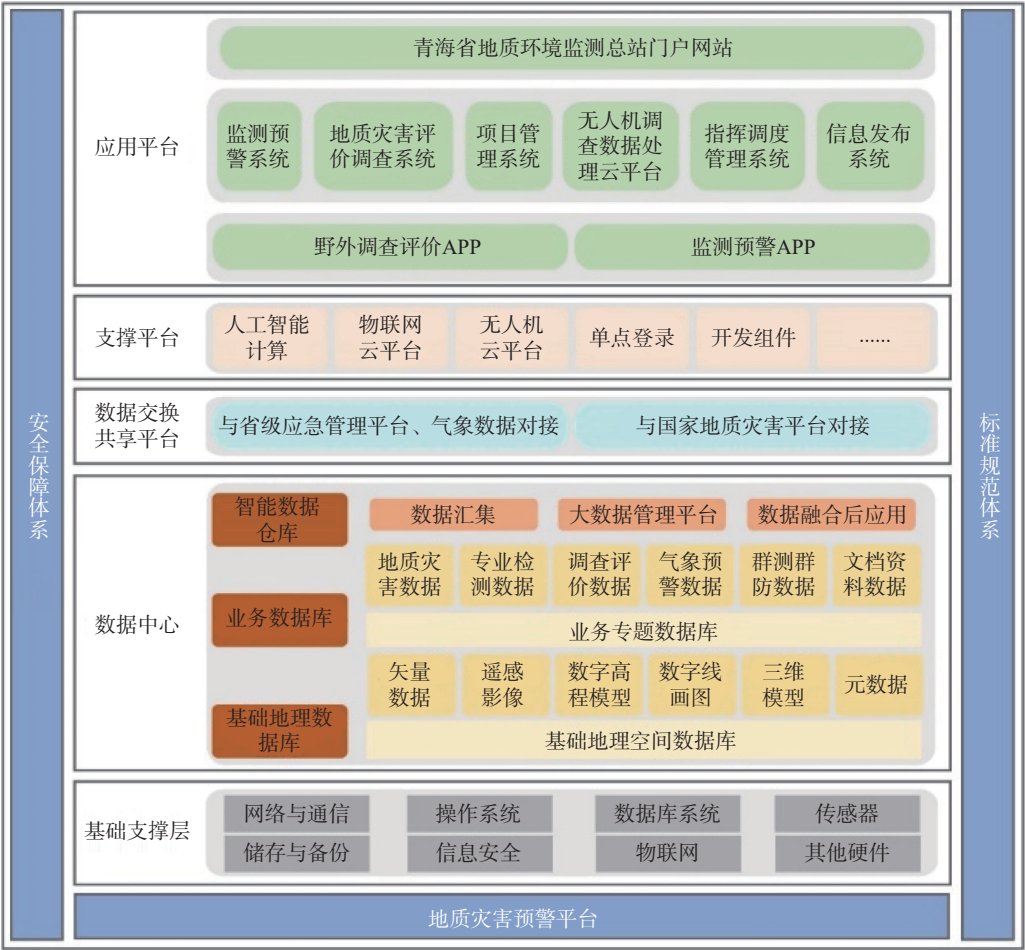


图 2 系统架构

Fig. 2 System architecture

基础支撑层:即支撑地质灾害监测预警信息化平台数据及软件系统的硬件设备与网络环境。

数据中心与数据交换共享平台:数据中心包括基础地理数据库、业务数据库、智能数据仓库与相应的数据管理、分析、监控工具。数据交换共享平台主要与省级应急管理平台、气象数据、国家地质灾害平台对接。

支撑平台:用于支撑整个地质灾害信息化应用系统

建设,提供一套统一的技术支撑组件,包括业务需要使用的关系数据库、工作流、消息队列、消息通知、任务调度、报表服务等。另外为了让系统统一集成,支撑平台层提供快速开发框架以及单点登录系统用于统一构建业务系统,保证业务系统风格统一,集成方便。建设物联网云平台、Web 三维地理信息平台、无人机调查公有云平台,支撑地质灾害监测应用。最后是开发大数据

和机器学习组件,包含实时数据传输、NoSQL 计算引擎、全文检索、机器学习算法库、深度学习算法库等。这样可以保证数据从数据仓库中获取之后,可以通过业务选择算法进行模型训练。

应用平台系统:基于数据中心提供的数据,支撑平台提供相应的支持,展开各类业务应用平台建设,主要包括地质灾害调查评价系统、地质灾害监测预警系统、指挥调度决策支持管理系统、项目管理系统、信息管理发布系统等,包含地质灾害调查、监测预警、统计分析、综合防治、应急支撑、地质遗迹保护等地质灾害业务。

整个系统平台以信息化推动地质灾害防治工作的

系统化、科学化、规范化,支持地质灾害防灾、减灾,保障人民的生命财产安全,为青海省各级主管部门的地质灾害战略规划与工作部署提供技术支撑和决策支持服务。

## 2.2 数据中心建设

通过建立地质环境标准体系,需统一规范的地质环境业务工作流程、数据结构、数据处理标准以及系统界面、编码等。标准体系主要由基础设施标准、数据资源标准、应用开发标准、信息安全标准、业务系统建设管理标准等组成。确保地质环境数据从生产、汇交、整合、管理、更新、共享到应用整个过程的标准化、规范化。实现青海省地质环境数据的管理一体化(图 3)。

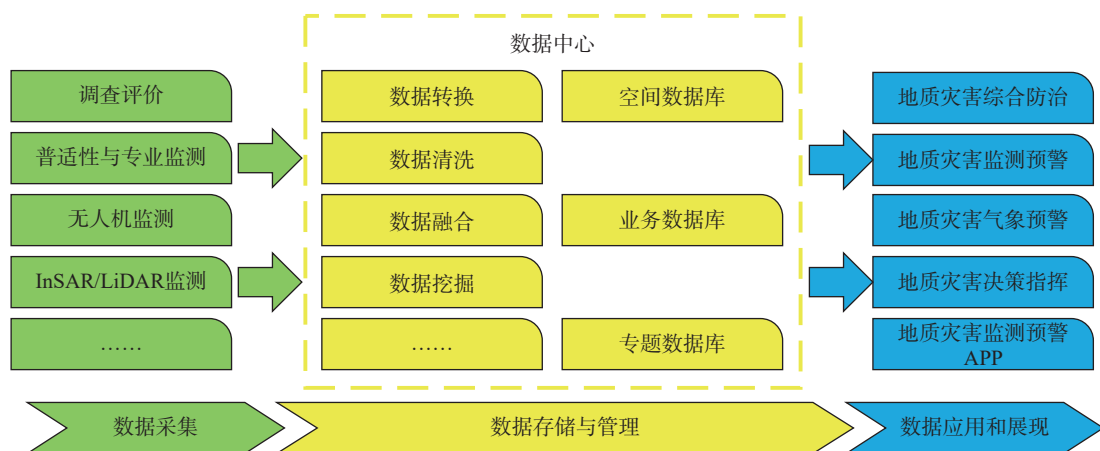


图 3 数据中心建设

Fig. 3 Data center construction

依据地质灾害大数据的创建要求,实现数据的一体化存储、管理和服务,为青海省地质灾害监测预警信息化平台建设提供数据支撑;为业务信息系统、专业软件及工具、应用系统提供统一的数据服务。最终形成地质灾害数据的一体化服务体系。

## 2.3 支撑平台建设

平台采用 Web 三维地理信息平台,用于支持各类业务数据、空间数据、无人机三维模型等数据的三维叠加查看,同时可以提供三维量测、空间分析等基础工具。支持矢量点线面、icon、标注、DOM、DEM、模型、点云、场景、等高线、等值线、等值面、热点图、动态线、视频、全景图等几十种数据类型,支持谷歌地图、天地图、本地数据等不同种数据源。

无人机监测主要包括重点项目、重点区域定期的无人机数据采集与调查。基于云计算技术,建立无人机数据处理云平台,实现无人机数据的半自动化到自动化采集、无人值守数据处理和数据分析、解译、应用。无人机云平台主要由 3 个部分组成,其中包括无人机数据

采集平台、无人机数据云平台以及无人机数据发布平台等模块组成。

物联网监测云平台提供地质灾害感知设备的接入,实现监测数据采集、数据传输、数据管理(包括数据接入、数据存储、数据处理、数据挖掘、数据转发)和数据应用。物联网监测系统包括前端传感器、物联网数据智能采集终端、物联网传输链路、物联网平台。基于物联网平台提供的接口,业务应用可以基于物联网监测数据,进行进一步的业务数据分析。

## 2.4 地质灾害监测预警信息平台组成

围绕地质灾害监测预警服务应用,在总体技术架构基础上,对现有业务系统进行整合完善,建立集管理、查询、统计分析、报表生成等功能于一体的地质灾害监测预警信息平台,达到对地质灾害防治的全流程管控与决策支撑。

青海省地质灾害监测预警信息化平台包括地质灾害调查评价系统、地质灾害监测预警系统、地质灾害气象预警系统、信息管理发布系统、指挥调度决策支持管



理系统、项目管理系统、无人机调查云平台、移动端、监测预警系统(切线角方法)、气象风险预报系统,共 10 个部分(图 4)。



图 4 系统组成

Fig. 4 System composition

3 平台系统功能模块

3.1 常用系统功能模块

地质灾害调查评价系统针对实际工作中的地质灾害调查评价业务,包括以项目形式的调查评价以及日常巡查、排查工作。紧扣实际业务,整合完善现有的系统,建立集管理、审核、查询、统计分析、报表生成等功能于一体,主要有地质灾害调查评价、地质灾害巡、排查监管数据的管理维护、审核、查询、统计等。

地质灾害监测预警系统满足对监测对象的自动、连续、实时的监测,并具备将不同厂商设备的实时监测数据根据统一数据格式进行实时接收和存储的功能;系统进行前端业务数据管理和监测数据分析展示界面以及相应数据服务和应用服务;同时系统能以信息采集和预报分析决策为基础,依据预警信息的预警等级和地质灾害波及范围,借助传真、短信、无线广播等预警方式及相对应的预警流程,快速精准的将预警信息传达到地质灾害可能危及的地区,使收到预警信息地区的人员依据实时掌握的地质灾害整体的安全状态,及时采取相应防范措施,最大程度的降低人员伤亡及财产损失(图 5)。

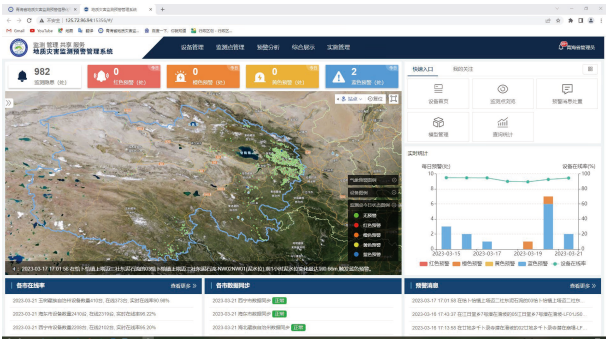


图 5 地质灾害监测预警系统

Fig. 5 Geological disaster monitoring and early warning system

地质灾害气象预警系统包括气象信息查询分析、预警模型管理、气象预警签批发布等模块。气象信息查询包括雨量站、历史雨量、预报雨量的查询浏览和实时雨量监测功能。预警模型管理包括预警参数设置与预警分析计算两部分内容。预警计算过程在界面上展示,用户可以实时看到预警计算的进度情况。预警计算完成后可发布预警信息。

3.2 辅助系统功能模块

信息管理发布系统包括信息发布、文章发布、链接

发布、通讯录管理和门户网站等模块。

指挥调度决策支持管理系统主要建设灾险情、汛期值班、应急调查、应急资源管理、决策支持功能模块,完全满足对指挥调度决策支持管理体系的总体要求。

项目管理系统包括项目管理、资料查阅、项目审批、专家库管理等模块。

无人机云平台主要是处理空间数据,实现数据从采集到处理、再到服务发布的全流程管理。使用无人机 APP,可以控制飞行路线、范围,实现无人机数据的采集与传输,数据传输至云端后,讲对数据进行处理。对于拍摄回来的数据,可以利用裂缝识别模型,对图片进行分析,查看哪些地方有裂缝。处理后的数据可以通过发布后,即可在一张图中进行浏览。

地质灾害监测预警移动端主要建设灾险情速报、任务管理、巡查管理、项目过程管控、监测预警、调查处置、应急调查、信息发布、信息公开、微信公众号功能模块,完全满足对移动端的总体要求。

### 3.3 特色系统功能模块

围绕青海省在地质灾害防治方面面临的系列问题,借鉴国内外先进经验,在充分利用、整合已有地质灾害建设成果基础上,主要基于改进的切线角方法研发了独具青海特色的青海省滑坡地质灾害实时监测预警系统。主要的改进体现在两点,首先改进切线角  $\alpha$  作为预警判据,同时考虑初始变形阶段、等速变形阶段和加速变形阶段的变形速率临界值  $v^{[18]}$ 。其次地灾预警是一个复杂的多方面的问题所以引入了神经网络模型收集监测数据不断优化预警阈值提高预警准确率(图 6)。

并且系统平台能够实现快速融合 InSAR/LiDAR 数据、无人机正射影像、三维倾斜模型、现场调查等地质灾害应急数据;通过 ETL 工具,提取气象、交通、受灾对象、应急物资等数据至系统智能数据仓库,构建青海省地质灾害综合信息模型,实现从数据汇聚、数据管理、动态监测、预警预报、指挥调度、综合防治等全过程信息化、智能化和标准化管理。

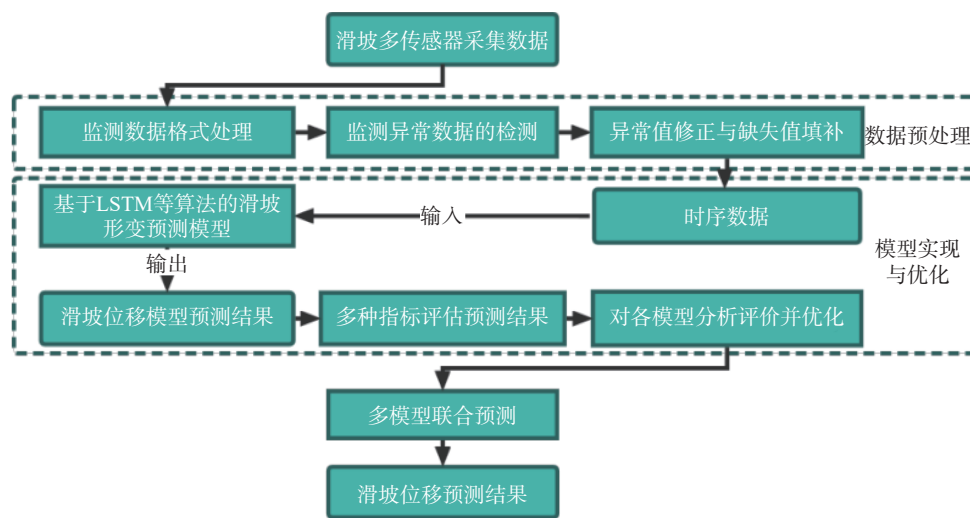


图 6 气象风险预警系统

Fig. 6 Meteorological risk early warning system

同时基于青海省的地区分异也设计了独具青海特色的青海省地质灾害气象风险预警系统(图 7)。气象风险预警分析主要包括不同自然区划的参数设置、预警计算等功能<sup>[19-23]</sup>。

## 4 监测预警运行

### 4.1 预警运行情况与响应机制

根据监测预警机制,省级单位负责地质灾害专群结合监测预警工作的组织、协调、监督和管理。承担单位与设备供应商共同负责站点建设、运行维护工作。州、

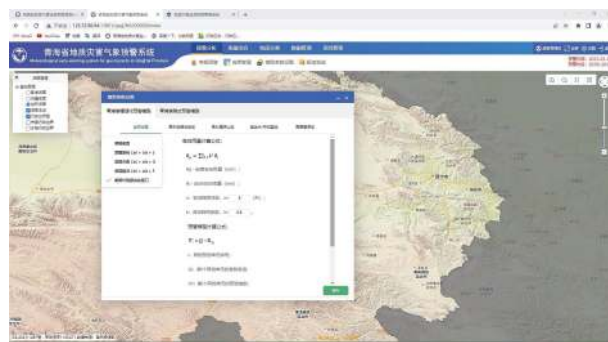


图 7 气象风险预警系统

Fig. 7 Meteorological risk early warning system



县级单位负责站点建设期间的协调工作。

为加强和提升地质灾害监测预警管理能力,夯实监测预警的各项基础工作,打造“自下而上、分级管理、责任监督”的省、市、县、乡、村“五级管理”系统,提高地质灾害监测预警的日常监督和监管,适应新形势下的地质灾害监测预警大数据的采集、传输、存储、共享、分析和预警,从各方面提高基层地质灾害综合防治能力。

根据地质灾害监测预警预报的等级分四级响应,分别为乡、县、市、省四级,分工有序、共同协作。乡级政府及时组织撤离、监测;县级政府组织技术单位调查、风险评估、制定处置措施;市级政府督导,技术支撑;省级监管,技术指导。预警信息遵守“政府主导,统一发布;属地管理,分级负责;纵向到底,全部覆盖。”的发布原则,由县级自然资源部门发布,第一时间将相应等级的预警信息告知有关防灾负责人、监测负责人、群测群防员、并根据有关规定决定是否向全社会发布。

报警方式及响应结合专业监测的成果及灾害宏观地质现象专业监测人员评价灾害的稳定性,一旦达到预警级别需按照不同的等级进行处置。对应于四个预警等级,红色警报级、橙色警戒级、黄色警示级、蓝色注意级。报警方式及响应的内容也不同,按照各个等级给不同的对象发送预警信息。

蓝色预警发出后,群测群防员应去现场对宏观迹象进行巡查,并将有关情况进行反馈至乡(镇、街道办事处)自然资源主管部门。

黄色预警发出后,地质灾害隐患点监测责任人、群测群防员应去现场对宏观迹象进行巡查;技术支撑单位加强监测数据分析,开展中期预警,预测发展趋势,并到现场进一步核查,并将有关情况反馈至乡(镇、街道办事处)自然资源主管部门。

橙色预警发出后,地质灾害隐患点监测责任人、群测群防员应去现场对宏观迹象进行巡查,加强对宏观变形迹象的监测;技术支撑单位加强监测数据分析,开展短期预警,预测发展趋势;乡(镇、街道办事处)防灾责任人会同技术支撑单位前往现场进一步核查,并将有关情况反馈至县(区)级自然资源主管部门。

红色预警发出后,地质灾害隐患点监测责任人、群测群防员应去现场对宏观迹象进行巡排查,加强宏观变形监测及短临前兆监测,开展短临预警,由其根据现场宏观变形等实际情况判定是否提前组织地质灾害危险区群众进行转移。县级自然资源主管部门会同乡(镇、街道办事处)和技术支撑单位前往现场进一步调查处置,若确属灾险情,则立即按照应急预案和灾险情速报机制采取相应行动。地质灾害应急响应人员主要由各

灾害点所在的村、乡(镇)相关负责人负责。

## 4.2 预警系统日常管理

监测预警日常管理以地质灾害点、地质灾害监测人员、自动化监测设备以及应急救援物资等为基础对象,坚持分层分级管理的原则,实现对群测群防日常地质灾害点的监测、巡检、综合管理等工作落实情况的监管,为上级地质灾害监管单位提供险情判断的有效依据。

对于目前没有地质灾害隐患点的行政村,建立群众和地质灾害信息员(由村支部书记或村委会主任担任)上报机制,并通过监测预警管理平台实现地质灾害群测群防体系的落地。通过自动化监测设备的监测数据挖掘、分析和处理,综合历史数据和实时采集的降水量、形变等数据,利用平台设定的自动预警、报警功能和监测预警警戒值,实现自动化监测设备的自动化报警,为有关部门提供及时可靠的依据,从而有效预防事故。

为保证自动化监测设备能持久可靠运行,一定要对监测设备、通信链路等进行实时检查校验,建立运行电子档案,及时处置任何可能影响系统运行的问题。在信息分发与反馈方面,实现向上下级或平级部门及时分发监测预警预报信息,及时反馈上下级单位部门或平级部门分发的信息。在层级管理方面,县、市、省三级分层管理,通过平台分别实现对所辖区域下级单位工作落实情况的量化监督管理和考核。在权责管理方面,地质灾害监测预警预报系统自动匹配对应管理权限的责任部门,建立台账确保所有通过平台的工作来往都有据可查,保障监测预警预报数据合理、有效和可靠。

## 4.3 典型预警成果

2021年8月20日青海省玉树藏族自治州囊谦县吉曲乡白玛俄林寺普适性监测预警设备成功预警,白玛俄林寺滑坡共布设有4台GNSS,2台裂缝计,1台GNSS基准站和1台雨量计(图8)。



图8 囊谦县吉曲乡白玛俄林寺

Fig. 8 Baima elin temple, Jiqu Township, Nangqian County

根据实时监测曲线(图 9)和宏观变形趋势综合研判,监测预警设备首先发布了黄色预警信息通知群测群防员。随着滑坡不断发展,于当日 04:09 在白玛俄林寺的 02GP01(地表位移 GNSS)触发单参数预警,预警等级升级为橙色。设备及时记录预警信息通知市级主管人员加强值守指导和现场管控,做好紧急转移准备。

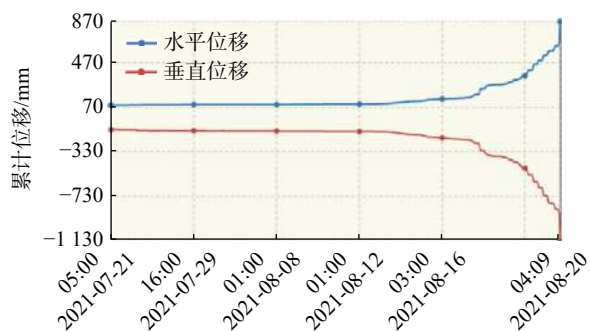


图 9 2021 年 7—8 月实时监测曲线

Fig. 9 Real time monitoring curve from July to August in 2021

## 5 结论与展望

(1) 青海省地质灾害监测预警信息化平台在设备布设、系统结构、功能搭建、数据中心、预警模型、数据库建设等方面形成了较为完整的体系,包涵了地质灾害监测、预警、应急、治理、核销的全生命周期信息的管理;

(2) 信息化平台通过数据集成化、成果可视化、信息综合化、系统一体化等技术手段,实现了青海省地质灾害不同来源,不同批次灾害点信息的统一管理和动态更新,极大提高了青海省地质灾害隐患监测的预警效果;

(3) 通过系统试运行,平台数据可靠,能够满足监测预警的需求。

通过信息化平台的试运行已经获得了很多的预警信息,数据积累初见成效为以后的工作打下基础。信息化平台仍存在数据集成度较低、缺乏数据共享及服务综合分析能力不足的缺陷。在未来的工作中将会主要着重于以下几个方面首先基于区块链技术保证可信数据平台;其次构建云网融合高性能的智能预警分析计算框架,大数据环境下地质灾害监测预警样本库;接着建立基于数据驱动的预警模型,实现动态阈值设定;最后实现基于人工智能的重大事件速报。充分满足各类用户需求,保障人民生命财产安全。

## 参考文献(References):

[1] REINMAN S L. Intergovernmental panel on climate change (IPCC) [J]. *Reference Reviews*, 2012, 26(2): 41–42.  
[2] 赵东亮, 兰措卓玛, 侯光良, 等. 青海省河湟谷地地质灾害易发性评价 [J]. *地质力学学报*, 2021, 27(1): 83–

95. [ ZHAO Dongliang, LAN Cuozhuoma, HOU Guangliang, et al. Assessment of geological disaster susceptibility in the Hehuang valley of Qinghai Province [J]. *Journal of Geomechanics*, 2021, 27(1): 83–95. (in Chinese with English abstract) ]  
[3] 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) ]  
[4] 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) ]  
[5] 殷跃平. 中国地质灾害减灾战略初步研究 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2004, 15(2): 1–8. [ YIN Yueping. Initial study on the hazard-relief strategy of geological hazard in China [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2004, 15(2): 1–8. (in Chinese with English abstract) ]  
[6] 张志军, 庄永成. 基于 GF-1 数据的地质灾害遥感调查——以青海省大通县为例 [J]. *科学技术与工程*, 2017, 17(18): 9–17. [ ZHANG Zhijun, ZHUANG Yongcheng. The survey of geological hazards based on GF-1 data: Taking example for Datong County, Qinghai Province [J]. *Science Technology and Engineering*, 2017, 17(18): 9–17. (in Chinese with English abstract) ]  
[7] 刘传正, 李铁锋, 温铭生, 等. 三峡库区地质灾害空间评价预警研究 [J]. *水文地质工程地质*, 2004, 31(4): 9–19. [ LIU Chuanzheng, LI Tieferteng, WEN Mingsheng, et al. Assessment and early warning on geo-hazards in the Three Gorges Reservoir region of Changjiang River [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2004, 31(4): 9–19. (in Chinese with English abstract) ]  
[8] 李潇, 许飞青, 于喆, 等. 北京市突发地质灾害监测预警系统设计与实现 [J]. *城市地质*, 2021, 16(4): 381–390. [ LI Xiao, XU Feiqing, YU Zhe, et al. Design and implementation of emergency geological hazards monitoring and early warning system in Beijing [J]. *Urban Geology*, 2021, 16(4): 381–390. (in Chinese with English abstract) ]  
[9] 单玉香, 孙国曦, 陆美兰, 等. 江苏省地质灾害气象预警系统的设计与实现 [J]. *江苏地质*, 2007, 31(1): 41–44. [ SHAN Yuxiang, SUN Guoxi, LU Meilan, et al. Design and realization of meteorological early-warning system for geological hazards in Jiangsu Province [J]. *Jiangsu Geology*, 2007, 31(1): 41–44. (in Chinese with English abstract) ]  
[10] 王洪辉, 李鄢, 虞先国, 等. 地质灾害物联网监测系统研制及贵州实践 [J]. *中国测试*, 2017, 43(9): 94–99. [ WANG

- Honghui, LI Yan, TUO Xianguo, et al. Development of geological hazards monitoring system based on IoT and application in Guizhou Province [J]. China Measurement & Test, 2017, 43(9): 94–99. (in Chinese with English abstract)
- [11] 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)]
- [12] 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)]
- [13] 赵久彬, 刘元雪, 宋林波, 等. 大数据关键技术 在滑坡监测预警系统中的应用 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018, 32(2): 182–190. [ZHAO Jiubin, LIU Yuanxue, SONG Linbo, et al. Application of big data processing and monitoring technologies in landslide monitoring and warning system [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2018, 32(2): 182–190. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 苏白燕, 许强, 黄健, 等. 基于动态数据驱动的地质灾害监测预警系统设计与实现 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2018, 45(5): 615–625. [SU Baiyan, XU Qiang, HUANG Jian, et al. Design and implementation of monitoring and warning system for geological disasters based on dynamic data-driven technology [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2018, 45(5): 615–625. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 田廷山. 中国地质环境监测院. 全国地质灾害防治规划研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2008. [Chinese Institute of Geoenvironment Monitoring. Research on national plan for prevention and control of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008. (in Chinese)]
- [16] 张勤, 黄观文, 杨成生. 地质灾害监测预警中的精密空间对地观测技术 [J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1300–1307. [ZHANG Qin, HUANG Guanwen, YANG Chengsheng. Precision space observation technique for geological hazard monitoring and early warning [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10): 1300–1307. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 邓志德, 邱锦安, 童纪伟, 等. 基于 WebGIS 的广东省突发地质灾害应急管理平台的设计与实现 [J]. 地质灾害与环境保护, 2020, 31(4): 31–37. [DENG Zhide, QIU Jin'an, DONG Jiwei, et al. Design and implementation of the geological disaster emergency management platform of Guangdong Province based on webgis [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2020, 31(4): 31–37. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 许强, 彭大雷, 何朝阳, 等. 突发型黄土滑坡监测预警理论方法研究——以甘肃黑方台为例 [J]. 工程地质学报, 2020, 28(1): 111–121. [XU Qiang, PENG Dalei, HE Chaoyang, et al. Theory and method of monitoring and early warning for sudden loess landslide: A case study at Heifangtai Terrace [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(1): 111–121. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 杨寅, 包红军, 徐成鹏. 地质灾害气象风险预警实时检验客观工具关键技术及应用 [J]. 气象科技, 2021, 49(2): 291–296. [YANG Yin, BAO Hongjun, XU Chengpeng. Development of a real-time verification objective tool for meteorological risk warning to geological hazards [J]. Meteorological Science and Technology, 2021, 49(2): 291–296. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 孙超, 王昕洲, 叶莹莹, 等. 河北省地下水资源承载能力评价及预警方法研究 [J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(6): 55–63. [SUN Chao, WANG Xinzhou, YE Yingying, et al. Research on evaluation and early warning of groundwater resources carrying capacity in Hebei Province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(6): 55–63. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 方然可, 刘艳辉, 苏永超, 等. 基于逻辑回归的四川青川县区域滑坡灾害预警模型 [J]. 水文地质工程地质, 2021, 48(1): 181–187. [FANG Ranke, LIU Yanhui, SU Yongchao, et al. A early warning model of regional landslide in Qingchuan County, Sichuan Province based on logistic regression [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2021, 48(1): 181–187. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 张像源. 基于 GIS 和 GDAL 的地质灾害汛期风险预警产品信息自动化生成算法的构建与实现 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(5): 76–82. [ZHANG Xiangyuan. Construction and implementation of an automatic algorithm for generating information of geological disaster floor risk warning products based on GIS and GDAL [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(5): 76–82. (in Chinese with English abstract)]
- [23] 王雪冬, 张超彪, 王翠, 等. 基于 Logistic 回归与随机森林的龙市地质灾害易发性评价 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(6): 1957–1970. [WANG Xuedong, ZHANG Chaobiao, WANG Cui, et al. Geological disaster susceptibility in Helong city based on logistic regression and random forest [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(6): 1957–1970. (in Chinese with English abstract)]