



## 四川省会东县崩滑灾害孕灾地质条件分析

王峰<sup>1</sup>, 齐云龙<sup>2</sup>, 郭晨<sup>3</sup>

- 西昌大地勘察设计有限公司, 四川 西昌 615000;
- 四川省自然资源投资集团有限责任公司, 四川 成都 610066;
- 中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610036

**摘要:** 随着乌东德水电站、白鹤滩水电站等金沙江各梯级水电站的不断开发建设及运营, 加上极端降雨多发, 会东县地质灾害呈现出多发频发的趋势, 严重威胁当地人民生产生活和生命财产安全。在收集地质灾害历史资料以及野外详细地质调查的基础上, 分析总结了会东县地质灾害发育分布特征, 进而结合 GIS 分析手段, 研究了崩滑灾害与地形地貌、地层岩性、地质构造、斜坡结构、人类工程活动等孕灾因子之间的关系。结果表明: 区内滑坡分布首先受地质构造和工程地质岩组影响, 其次受地形地貌和斜坡结构影响, 高程、坡度、斜坡结构与滑坡发育相关性都较好; 崩塌则受控于工程地质岩组, 并与坡度、地势起伏度及斜坡结构相关性较高。综合考虑会东县内主要孕灾条件, 全县可分为四大孕灾地质条件区。通过详细阐述每个区内的孕灾特征及发育规律, 进一步认识了会东县崩滑灾害孕灾地质条件, 可更好地助力于地方防灾减灾体系, 也可为其他地质灾害风险调查评价项目提供参考。

**关键词:** 地质灾害; 孕灾条件; 崩塌; 滑坡; 水电站; 四川省

## DISASTER-PREGNANT GEOLOGICAL CONDITIONS OF COLLAPSE AND LANDSLIDE IN HUIDONG COUNTY, SICHUAN PROVINCE

WANG Feng<sup>1</sup>, QI Yun-long<sup>2</sup>, GUO Chen<sup>3</sup>

1. Xichang Dadi Survey and Design Co., Ltd., Xichang 615000, Sichuan Province, China; 2. Sichuan Natural Resources Investment Group Co., Ltd., Chengdu 610066, China; 3. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610036, China

**Abstract:** With the continuous construction and operation of cascade hydropower stations on Jinsha River, coupled with frequent extreme rainfalls, the geohazards in Huidong County show a frequent tendency, seriously threatening local people's production and living. Based on the collected data of historical geohazards and detailed field geological survey, the paper analyzes and summarizes the development and distribution characteristics of geohazards in Huidong County, and the relationship between collapse-landslide and disaster-inducing factors such as landform, stratigraphic lithology, geological structure, slope structure and human engineering activities combined with GIS analysis method. The results show that the distribution of landslide in the area is affected first by geological structure and engineering geological rock formation, and then by landform and slope structure. The elevation, gradient and slope structure have good correlation with landslide development, while the collapse is controlled by engineering geological rock formation and highly

收稿日期: 2023-03-30; 修回日期: 2023-06-14. 编辑: 李兰英.

基金项目: 四川省科学技术厅、四川省中央引导地方科技发展专项“季冻区融雪诱发黄土滑坡的热水力耦合机制研究”(2022ZYD0022).

作者简介: 王峰(1984—), 男, 水工环高级工程师, 主要从事地质灾害防治研究工作, 通信地址 四川省西昌市长安中路 148 号, E-mail//17409325@qq.com

通信作者: 齐云龙(1982—), 男, 水工环正高级工程师, 主要从事地质灾害防治研究工作, 通信地址 四川省成都市成华区崔家店路 75 号 1 幢, E-mail//49235990@qq.com

correlated to gradient, relief intensity and slope structure. Considering the main disaster-inducing conditions in Huidong County, the whole county can be divided into four major disaster-pregnant geological condition areas. By description of the disaster-inducing characteristics and development laws in each area, the geological conditions of landslide disaster pregnancy in Huidong County are further recognized, which will expectedly help the local disaster prevention and reduction system, and provide reference for other geological disaster risk investigation and evaluation.

**Key words:** geohazard; disaster-pregnant condition; collapse; landslide; hydropower station; Sichuan Province

## 0 引言

四川省跨越中国第一、二级地貌阶梯,地形高差悬殊,地质条件复杂,地质构造活跃,河流切割侵蚀强烈,地质灾害点多面广、危害大,是我国地质灾害第一大省,全省约91.8%的国土面积属地质灾害易发区<sup>[1-3]</sup>.位于四川省南部的会东县(图1),地质环境条件脆弱,地质灾害频发.随着乌东德水电站、白鹤滩水电站等金沙江各梯级水电站的不断开发建设及运营<sup>[4-6]</sup>,加上近年来极端降雨多发,会东县地质灾害呈现出多发频发的趋势,严重威胁当地人民生产生活和生命财产安全<sup>[7-8]</sup>.

由于地质灾害的形成及演化机理较为复杂,现阶段我国地质灾害的精准预测预报能力还较低,尤其是临灾预警还较为困难.因此目前我国区域性地质灾害防治的重心仍在地质灾害的早期识别上<sup>[9]</sup>,提前发现不在地质灾害台账中的地灾隐患点,是灾害防治的关键<sup>[10]</sup>.而地质灾害的孕灾背景条件又是灾害早期识别

的基础,孕灾地质条件的分析认识程度直接影响了灾害早期识别的准确性.自20世纪初,我国地质灾害区划经历了从1:10万县(市)地质灾害调查区划到1:5万地质灾害详查、地质灾害精细化调查和地质灾害风险调查等阶段<sup>[11]</sup>.现今地质灾害调查评价工作逐渐从“抗灾救灾”向“防灾减灾”转变,将防灾关口前移,意味着对孕灾地质条件的重视程度也不断提高<sup>[12-14]</sup>.虽然一些学者针对会东县水电库区地质灾害等做了一定的研究,但是往往集中于单体地质灾害的调查评价<sup>[15-16]</sup>,针对全县区域性孕灾地质条件的研究还相对较少.

本文以会东县为研究对象,依托“四川省会东县地质灾害风险调查评价(1:5万)”项目,在孕灾地质条件分析与野外调查的基础上,系统分析区内崩滑地质灾害与孕灾地质条件之间的关系,定量揭示区内崩滑地质灾害在各孕灾地质条件中的易发区间,阐述各孕灾因子对滑坡、崩塌地质灾害发育分布的控制作用,旨在为地质灾害防治工作提供更明确的思路.

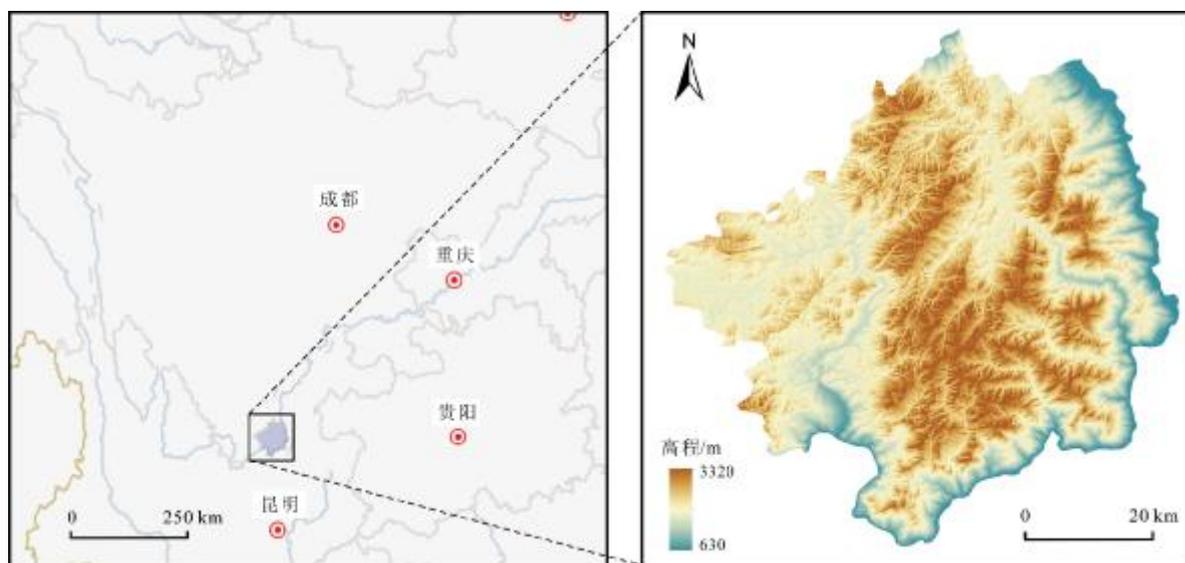


图1 研究区地理位置图

Fig. 1 Geographical location map of the study area

## 1 研究区概况

会东县位于四川省南部, 县域面积 3 223 km<sup>2</sup>, 地理位置介于东经 102°20′13"—103°03′35"、北纬 26°12′14"—26°55′42"之间, 距凉山彝族自治州首府西昌市约 246 km. 研究区大地构造位于川滇经向构造体系中段, 受境内会东弧形断裂、龙潭断裂、德干断裂等断裂及金沙江长期侵蚀切割的影响, 区内地形复杂, 山地约占全县总面积的 90%, 整体地势中部高、东部和南部陡、西部缓、北部低, 最大相对高差达 2 692 m, 山脉、河流多为南北走向(图 1). 境内出露的地层较完整, 沉积岩和变质岩分布面积最广, 岩性以砂泥岩、白云岩、千枚岩为主. 区域构造上位于川滇交界处的德干活动断裂带和小江活动断裂带, 境内金沙江沿岸乡镇地震较为频繁. 近年来, 随着国民经济建设的快速发展, 城镇建设、交通建设、水利水电建设及矿产资源、旅游资源的开发等人类工程经济活动更加频繁. 无序的开发活动, 以及不合理切坡、废弃土石乱堆乱放, 引发并加剧了地质灾害的发生, 特别是交通沿线、水利水电工程建设区和人口集中的城区等更为突出.

## 2 地质灾害发育分布概况

会东县从 2006 年开始开展了多轮地质灾害调查

评价与区划工作. 本文中地质灾害数据一部分来源于上述调查成果, 并且结合高分辨率的卫星遥感、InSAR 以及无人机摄影测量等先进遥感手段进行补充解译(图 2). 全县共发育 348 处地质灾害点, 其中滑坡 319 处, 占比 91.67%; 崩塌 8 处, 占比 2.30%; 泥石流 21 处, 占比 6.03%. 区内的地质灾害受地形地貌、气象水文以及人类工程活动等的影 响, 具有行政区域间分布不均而在地段上及时段上分布集中的特点.

在时间上, 会东县地质灾害数量呈递增趋势(图 3), 尤其是在 2016 年进行了一轮较为详细的全县域地质灾害详细调查, 新增地质灾害隐患点较多. 2016 年以后得益于地方主管部门采取有效的治理手段并建立有效的监测预警措施, 地质灾害数量趋于平缓. 另外, 根据资料分析及现场调查发现, 区内地质灾害总体还呈现以下特点: 1) 受降雨的控制作用越来越明显; 2) 地质灾害以滑坡为主, 泥石流次之, 崩塌较少.

在空间分布上, 会东县东部及南部地区是滑坡灾害的高发区(图 4), 主要涉及铅锌镇、江西街乡、乌东德、鲢鱼河镇、铁柳镇、新街镇、姜州镇、大崇镇、嘎吉镇、松坪镇、鲁吉镇等, 并且在铅锌镇滑坡灾害发育最多. 崩塌在全县零星分布, 受地质构造分布影响明显,

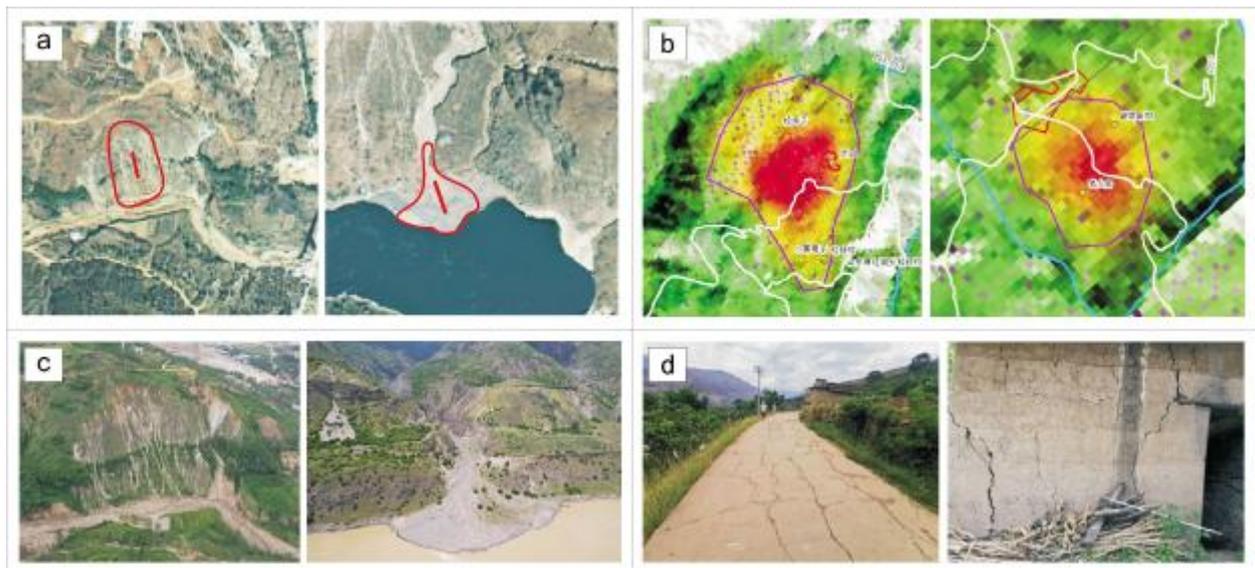


图 2 会东县地质灾害调查方法

Fig. 2 Methods of geohazard investigation in Huidong County

a—基于高分卫星影像的地质灾害解译 (geohazard interpretation based on high-resolution satellite image); b—基于 InSAR 技术的地质灾害探测 (geohazard detection based on InSAR); c—基于无人机航拍的地质灾害详查(UAV-based detailed investigation of geohazards); d—基于人工地面的地质灾害调查复核(field geohazard survey and review)

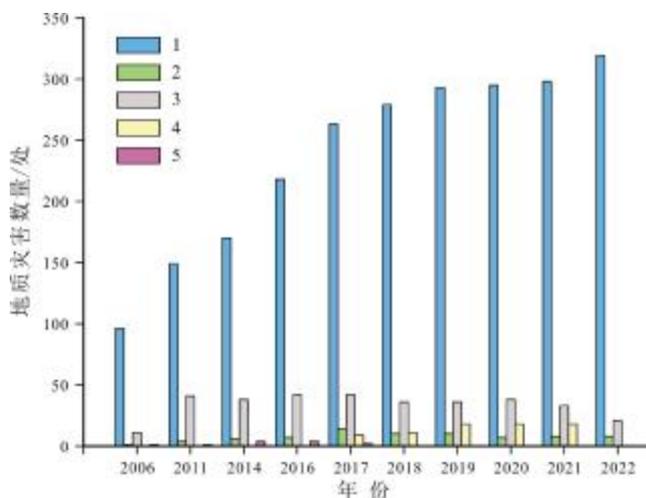


图3 会东县地质灾害时间分布图

Fig. 3 Temporal distribution diagram of geohazards in Huidong County

1—滑坡(landslide); 2—崩塌(collapse); 3—泥石流(debris flow); 4—不稳定斜坡(unstable slope); 5—地面塌陷(land collapse)

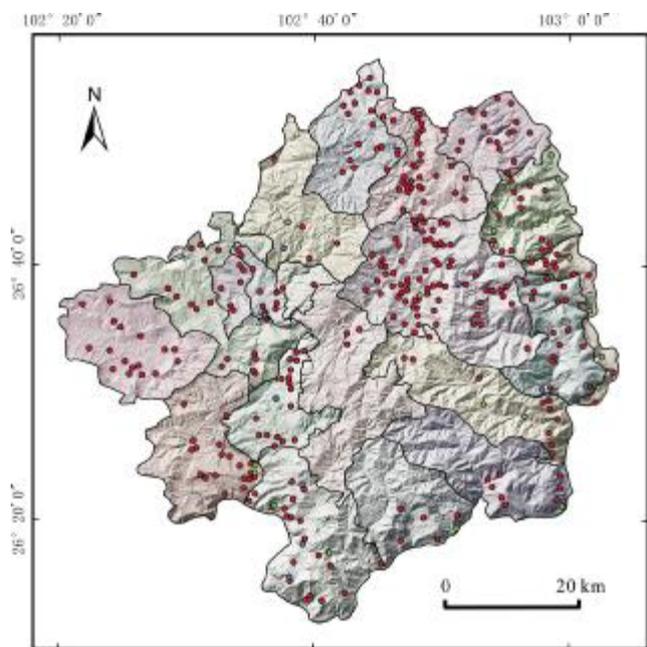


图4 会东县地质灾害空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution map of geohazards in Huidong County

主要分布在乌东德镇、松坪镇、堵格镇、铅锌镇、鲢鱼河镇。就崩塌的分布而言,乌东德镇崩塌灾害数量最多。

另外,由于会东县所处的地理位置独特,区内降雨主要表现出年降雨丰沛、降雨时间和降雨量高度集中、短时强降雨和连续多日强降雨的特征。充沛的降雨易于引发滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害。降雨的时间

分布直接影响地质灾害的发生频率,降雨主要集中于6—9月份,而降雨最多的6、7两月发生的地质灾害就占到总数的47.98%,说明这些月份同时也是地质灾害的高发季节。

### 3 崩滑孕灾地质条件分析

#### 3.1 基础数据准备

在孕灾地质条件野外调查的基础上,系统分析区内地质灾害与地质环境条件之间的关系。影响滑坡发育的孕灾地质条件主要有:地形地貌(高程、坡度、坡向)、地层岩性(工程地质岩组)、地质构造、斜坡结构、水文地质条件、人类工程活动等。影响崩塌发育的孕灾地质条件包括:高程、坡度、地形起伏度、工程地质岩组、斜坡结构、距断层距离、距水系距离、平均植被覆盖度等。上述的孕灾地质条件通过野外调查、DEM空间分析、遥感解译等手段获取(见表1)。进而通过GIS分析工具提取崩滑灾害范围内各类孕灾地质条件数据,统计各类孕灾地质条件的滑坡发育数量,绘制各孕灾因子与崩滑灾害发育的关系图。另外,崩塌、滑坡地质灾害数据主要来源于收集的历次地质灾害巡排查资料以及本次地质灾害野外调查、遥感解译成果。

表1 孕灾地质条件数据来源

Table 1 Data sources of the disaster-pregnant geological condition

孕灾地质条件	数据来源	
高程	1:50000 地形图制作的 DEM	
坡度	1:50000 地形图制作的 DEM	
地形地貌	坡向	1:50000 地形图制作的 DEM
地形起伏度	1:50000 地形图制作的 DEM	
地层岩性	工程地质岩组	1:200000 地质图、遥感解译、野外现场调查
地质构造	断层	1:200000 地质图、遥感解译、野外现场调查
斜坡结构	GIS 分析和野外现场调查	
水文地质条件	距河流距离	GIS 分析和遥感解译
人类工程活动	距道路距离	GIS 分析和遥感解译
	平均植被覆盖度	遥感影像提取

### 3.2 滑坡孕灾地质分析

通过 GIS 空间分析工具提取滑坡范围内各类孕灾地质条件数据,统计各类孕灾地质条件的滑坡发育数量,绘制了各孕灾因子与滑坡发育的关系图(图 5)。从滑坡与各孕灾因子的数理统计可以看出,各孕灾因子与滑坡发育均表现出一定的相关性。结合野外调查情况,区内滑坡分布首先受地质构造和工程地质岩组影响,其次受地形地貌和斜坡结构影响。就地形地貌而言,高程、坡度、地势起伏度与滑坡发育相关性都较好。高程方面,区内高程 1 600~2 100 m 的范围是地壳抬升和河谷下切演化过程中应力集中释放的区域,岩体破碎,因此滑坡集中发育;其次,10~40°范围是利于滑坡发育的坡度,区内软-较软的碎屑岩类有利于滑坡集中发育;在小江断裂带影响下,滑坡主要发育于距断裂带 1 000 m 范围内,尤其是距断层 500 m 范围内滑坡较为发育,在横向坡中滑坡最发育。受人类工程活动

和水系影响,滑坡在距道路 100 m 范围、距水系 400 m 范围内较为发育。

### 3.3 崩塌孕灾地质分析

根据野外调查情况,结合上述已发育崩塌与各孕灾因子的数理统计表明,区内发育崩塌全部为岩质崩塌,主要受控于工程地质岩组,并与坡度、地势起伏度及斜坡结构相关性较高。地形地貌及岩体结构是崩塌的主要孕灾地质条件,地质构造也是通过对地形地貌和岩体结构的控制,影响崩塌的产生,在其作用下,高陡临空面和破碎岩体为崩塌的发育提供了有利条件。就地层岩性而言,上硬下软的岩性组合,由于差异风化,下部软弱岩层抗风化力弱,形成岩腔,在重力作用下,被卸荷裂隙或构造裂隙切割为块状的岩体,重心不稳而产生崩塌。各孕灾因子与崩塌发育的关系见图 6。高程方面,区内高程 1 600~2 100 m 的范围是地壳抬升和河谷下切演化过程中应力集中释放的区域,岩体

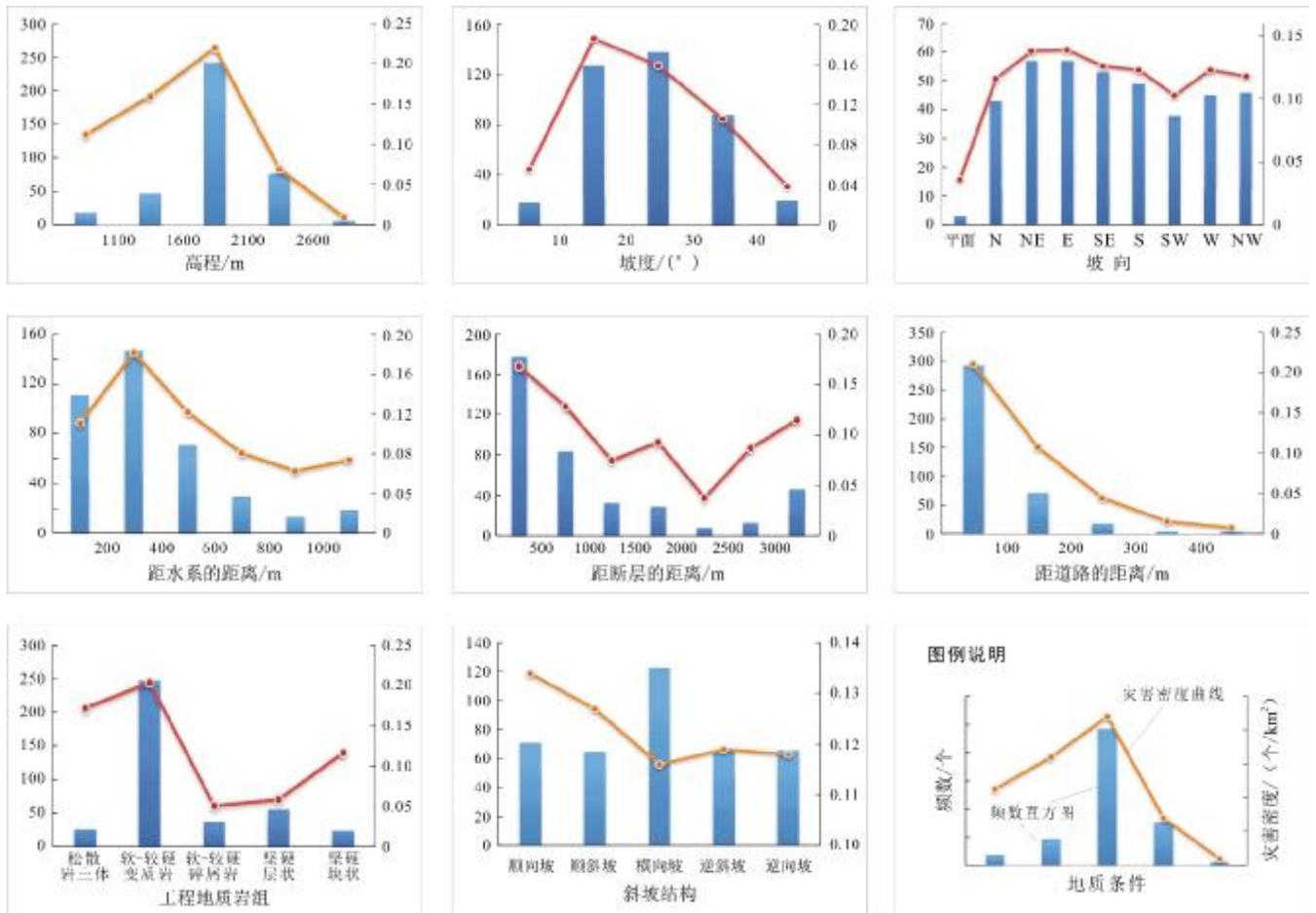


图 5 滑坡孕灾地质条件分析

Fig. 5 Statistical analysis of disaster-pregnant geological conditions for landslide

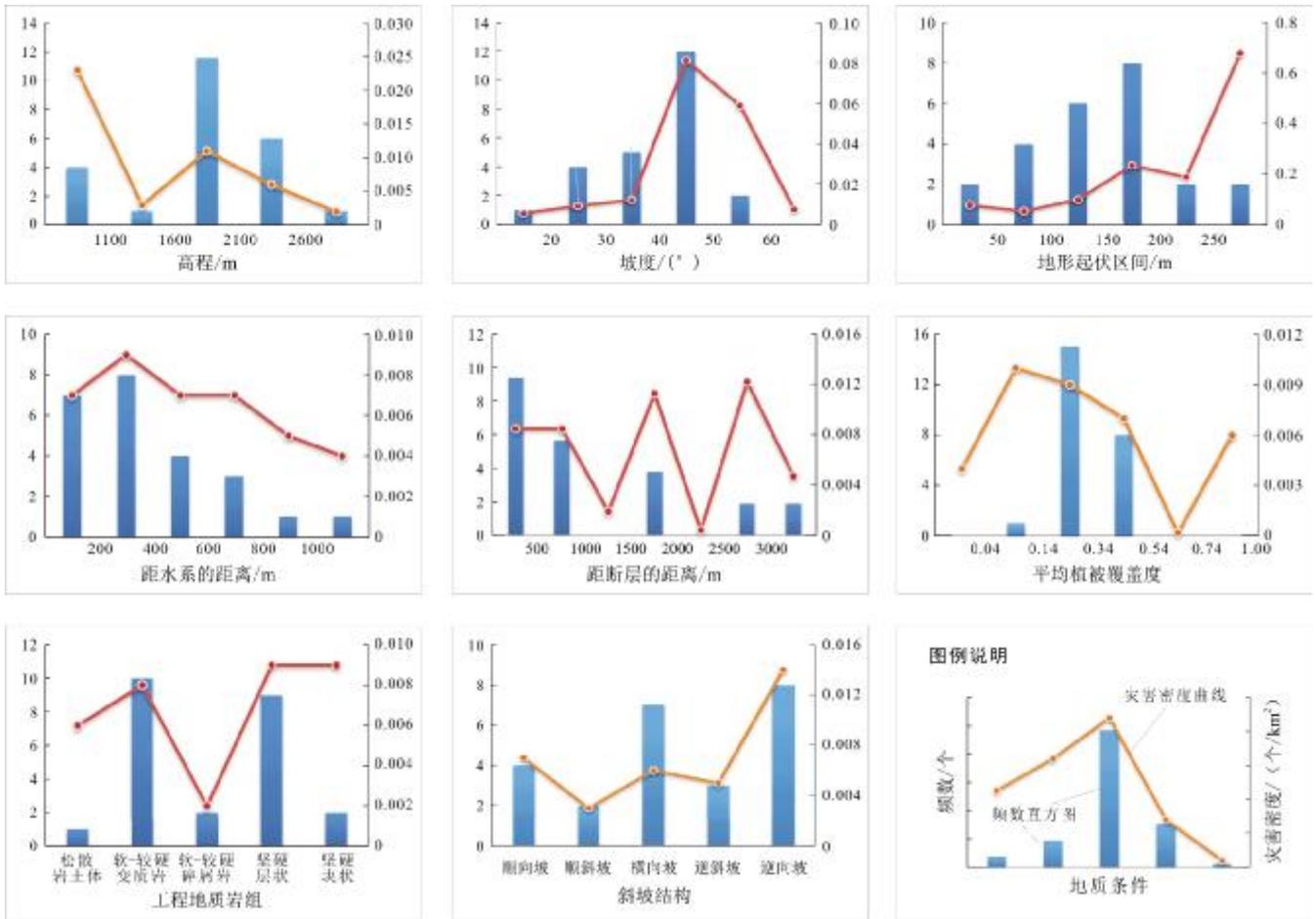


图6 崩塌孕灾地质条件分析

Fig. 6 Statistical analysis of disaster-pregnant geological conditions for collapse

破碎,因此也是崩塌集中发育的高程范围;其次,40~50°范围是利于崩塌发育的坡度,区内软-较硬的碎屑岩以及坚硬的层状岩体是利于崩塌发育的岩性,100~200 m 的地形起伏范围利于崩塌发育;在小江断裂带影响下,崩塌主要发育于距断裂带 1 000 m 范围内,尤其是距断层 500 m 范围内滑坡较为发育,并在横向坡和逆向坡中崩塌最发育;在植被覆盖度为 0.14~0.34 时崩塌较为发育。

#### 4 孕灾地质条件分区

会东县地貌上总体为剥蚀构造中山地貌, 占全县总面积的 96.15%。地形上沟壑纵横, 不同地区的沟道切割深度及沟道流域面积均极大不同。县境西北部和东南部为深切剥蚀构造高中山与深切构造高山, 该区地形高差大, 沟谷切割强烈。此外地层岩性分布也具有较大的差异性, 县境中部广泛发育侏罗系至白

垩系的层状砂岩、粉砂岩、泥岩,是滑坡灾害发育的主要区域;县境西南部岩性较为复杂,分布有坚硬玄武岩、千枚岩等,是崩塌发育的主要区域。因此结合研究区内地质环境条件和各灾种的详细阐述,重点考虑会东县内地形地貌及工程地质岩组条件等主要孕灾条件,将会东县孕灾地质条件分为四大孕灾地质条件区(图7)。不同区内地质灾害孕灾条件及发育特征是不同的,具有明显的分带性。

I 区主要分布在县境西南部姜州镇及鲢鱼河镇部分地区。地貌单元主要为低中山地貌,地形坡度一般 10~25°,地形切割浅,山坡高度小于 300 m。地层岩性以白垩系上统小坝组( $K_{2x}$ )、侏罗系中统新村组( $J_{2x}$ )砂泥岩等软-较硬层状碎屑岩为主,岩体大多呈层状结构,软硬交接。滑坡灾害主要发生在此区域,零星发育有部分小型崩塌。

II 区主要分布在铁柳镇、鲢鱼河镇、铅锌镇、新街

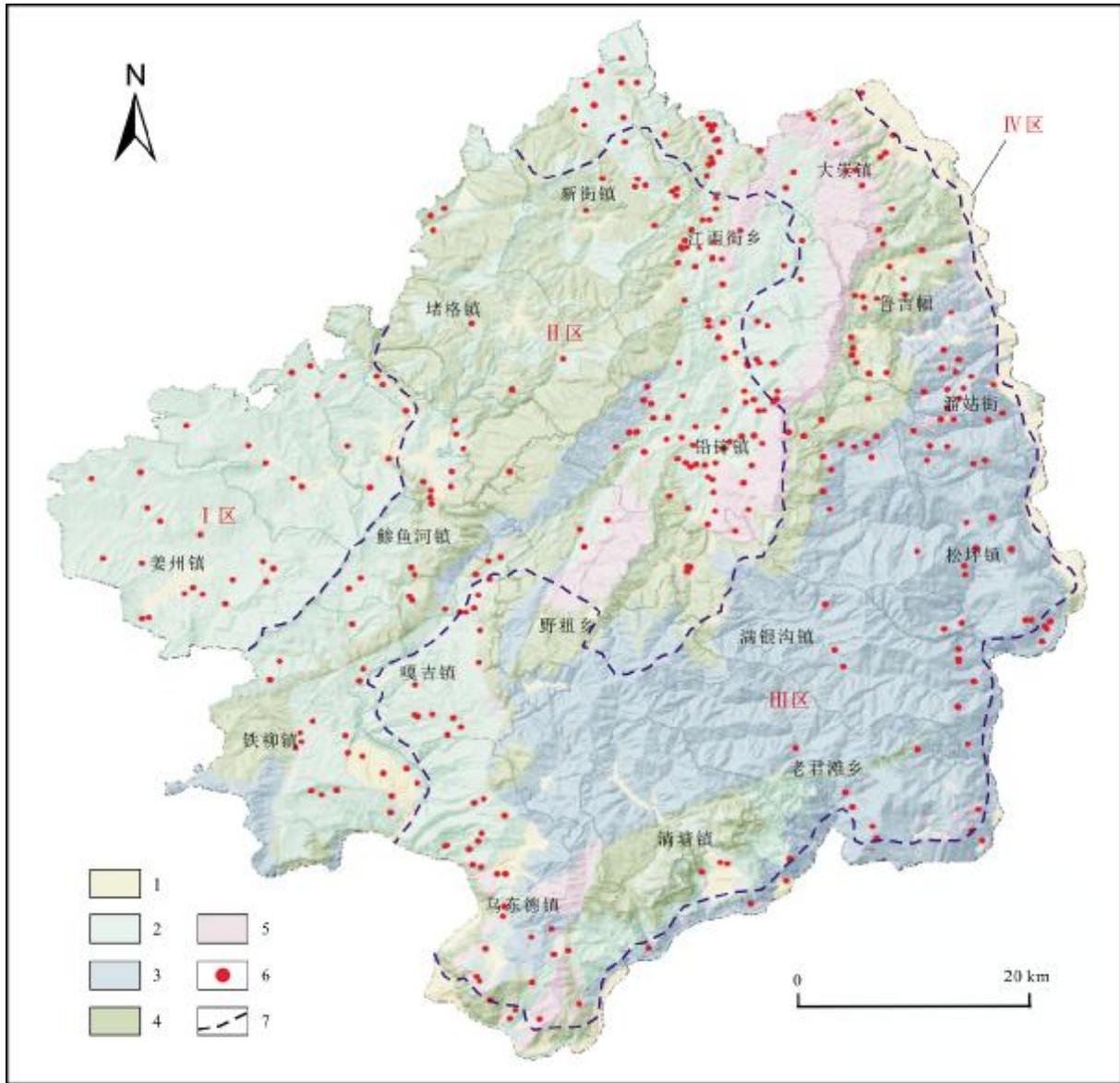


图7 会东县孕灾地质条件分区图

Fig. 7 Zoning map of disaster-pregnant geological conditions in Huidong County

1—松散(松软)土类(loose/soft soil); 2—软-较硬层状碎屑岩岩组(soft-hard bedded clastic rock formation); 3—软-较硬层状变质岩岩组(soft-hard bedded metamorphic rock formation); 4—坚硬层状-块状碳酸盐岩岩组(hard bedded-massive carbonate rock formation); 5—坚硬块状岩浆岩岩组(hard massive magmatic rock formation); 6—地质灾害点(geohazard site); 7—孕灾地质条件分区界线(zoning boundary of disaster-pregnant geological condition)

镇等地区. 地貌单元主要为中山地貌,地形切割中等,坡度一般 20~25°,山岭海拔 2 000~3 300 m,岭谷高差 500~1 000 m,分水岭山脊多较短窄,延伸方向以南北向为主,北东向及北西向次之. 该区地层岩性主要为震旦系上统灯影组( $Z_3d$ )白云岩和寒武系中统西王庙组( $C_2x$ )及奥陶系中统巧家组( $O_2q$ )泥岩、砂岩、灰岩等坚硬层状碳酸盐岩、坚硬块状岩浆岩. 崩塌灾害主要发生在此区域.

Ⅲ区主要分布在县境铁柳镇部分地区、乌东德镇部分地区、淌塘镇部分地区以及嘎吉镇. 该区地貌单元主要为高中山地貌,区内地形坡度一般 30~50°,地形深切,水系发育,呈树枝状、放射状. 侵蚀切割较强烈,多在金沙江沿岸形成“V”型深谷. 岩性以古元古界会利群力马河组( $Pt_1l$ )及天宝山组、通安组千枚岩、变砂岩、石英岩等软-较硬层状变质岩为主,岩体大多呈层状-块状结构. 由于断裂发育,岩石破碎,

大规模的滑坡主要发生在此区域,崩塌灾害在此区域有少量分布.受金沙江影响,泥石流在乌东德镇广泛分布.

IV区主要分布在县境大崇镇部分地区、铅锌镇部分地区、新街镇部分地区.海拔高程一般小于1 000 m,地形坡度一般10~15°,多为坡积、泥石流堆积和江河下切形成.区内植被覆盖差,沟谷发育,多呈“V”型谷.地层多为碎石土、黏土和粉土,岩性主要为第四系冲洪积堆积物.该区泥石流较为发育,崩塌滑坡较不发育.

## 5 讨论

孕灾地质条件分析的准确性主要取决于3个方面的内容,一是地质灾害数据库,二是孕灾因子的选取,三是分析方法<sup>[17-18]</sup>.其中孕灾因子经过多年的研究已逐步形成统一的认识,主要从地形地貌(斜坡坡度、高度和坡形)、地质构造(断裂和褶皱)、工程地质岩组(土体、岩体)、地表水与地下水(水文)、气候、植被与土地利用状况、人类工程活动等方面,根据区域条件进行选取.另外,分析方法也逐渐从定性分析向利用GIS分析工具进行定量研究转变.

此外,完善的地质灾害数据是孕灾地质条件分析的基础和重点.通常该数据来源于我国多年群策群防体系建立的地灾数据库和野外地质调查工作,但是上述方法都依赖于人工地面调查,往往调查范围和覆盖区域有限,对于山高坡陡、人迹难至区域的调查能力有限<sup>[19]</sup>.随着航空航天技术的发展,基于卫星、无人机等遥感手段可以对人迹难至区域的地质灾害点进行补充调查解译,提高灾害调查效率,进一步完善地质灾害数据库<sup>[20]</sup>.中国地质调查局“山地丘陵区地质灾害调查工程”强调我国地质灾害调查工作要强化孕灾背景调查,形成“四步走”调查思路,构建调查新技术新方法体系,其中重点是探索利用高精度遥感技术调查地质结构、斜坡类型、长大节理等孕灾特征<sup>[21]</sup>.本文中的地质灾害数据是在既有地质灾害数据库的基础上,通过高分卫星遥感、InSAR、无人机等先进遥感技术进行补充解译,加上详细的野外地质调查核查,很好补充了人迹罕至区域的地质灾害数据,为孕灾条件的分析提供了较好的数据基础.

## 6 结论

(1)通过资料收集及野外调查,会东县目前共发育348处地质灾害,以滑坡为主,泥石流次之,崩塌较少.区内地质灾害空间分布受地质环境条件、气候因素及人类工程经济活动共同作用的影响,具有行政区域分布不均但在地段上及时段上分布具有集中性等特点,并受降雨的控制作用明显.

(2)区内滑坡分布首先受地质构造和工程地质岩组影响,其次受地形地貌和斜坡结构影响.高程、坡度、斜坡结构与滑坡发育相关性都较好,崩塌则受控于工程地质岩组,并与坡度、地势起伏度及斜坡结构相关性较高.

(3)结合会东县地质环境条件,综合考虑区内地形地貌、地层岩性及工程地质岩组等主要孕灾条件,将会东县分为四大孕灾地质条件区,并详细阐述了不同孕灾区内地质环境条件、地质灾害发育特征及主控孕灾条件等.希望本研究有助于地方防灾减灾体系的提升,也为其他地质灾害风险调查评价项目提供参考.

## 参考文献(References):

- [1]刘传正,陈春利.中国地质灾害防治成效与问题对策[J].工程地质学报,2020,28(2):375-383.  
Liu C Z, Chen C L. Achievements and countermeasures in risk reduction of geological disasters in China [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(2): 375-383.
- [2]许强,陆会燕,李为乐,等.滑坡隐患类型与对应识别方法[J].武汉大学学报(信息科学版),2022,47(3):377-387.  
Xu Q, Lu H Y, Li W L, et al. Types of potential landslide and corresponding identification technologies [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022, 47(3): 377-387.
- [3]郭晨,许强,董秀军,等.复杂山区地质灾害机载激光雷达识别研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2021,46(10):1538-1547.  
Guo C, Xu Q, Dong X J, et al. Geohazard recognition by airborne LiDAR technology in complex mountain areas [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(10): 1538-1547.
- [4]滕明明.乌东德水电站库区鲮鱼河右岸滑坡群形成机理及稳定性评价[D].宜昌:三峡大学,2022.  
Teng M M. On the Formation mechanism and stability assessment of landslide group on the right bank of Trevally River in the reservoir area of Wudongde Hydropower Station [D]. Yichang: China Three Gorges University, 2022.
- [5]康亚,赵超英,张勤,等. InSAR 滑坡探测技术研究——以金沙江

- 乌东德水电站段为例[J]. 大地测量与地球动力学, 2018, 38(10): 1053-1057.
- Kang Y, Zhao C Y, Zhang Q, et al. Research on the InSAR technique of landslide detection: A case study of Wudongde Hydropower Station section, Jinshajiang[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2018, 38(10): 1053-1057.
- [6]胡启芳. 乌东德库岸滑坡灾害风险性研究[D]. 武汉: 长江科学院, 2014.
- Hu Q F. Study on landslide hazards risk of Wudongde bank[D]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2014.
- [7]赵昌坤. 四川省会东县毛椿树泥石流发育特征及治理工程措施研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- Zhao C K. Research on the development characteristics and treatment engineering of Maoshunshu debris flow in Huidong County of Sichuan Province[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [8]聂成顺. 基于 InSAR 和光学遥感的会东县滑坡隐患识别研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2021.
- Nie C S. Recognition for potential landslides in Huidong County based on InSAR and optical remote sensing[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2021.
- [9]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 Q. Understanding the landslide monitoring and early warning: consideration to practical issues[J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(2): 360-374.
- [10]许强, 郭晨, 董秀军. 地质灾害航空遥感技术应用现状及展望[J]. 测绘学报, 2022, 51(10): 2020-2033.
- Xu Q, Guo C, Dong X J. Application status and prospect of aerial remote sensing technology for geohazards [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2022, 51(10): 2020-2033.
- [11]丁俊, 魏伦武, 秦建华, 等. 西南地区地质灾害调查工作的思考[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(3): 77-80.
- Ding J, Wei L W, Qin J H, et al. Some thoughts on the geological survey of the geological hazards in southwestern China[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006, 26(3): 77-80.
- [12]王全涛, 方敏. 广东省韶关市曲江地区地质灾害分区及防治[J]. 地质与资源, 2017, 26(1): 73-76.
- Wang Q T, Fang M. Zonation and control of geological disasters in Qujiang district of Shaoguan City, Guangdong Province[J]. Geology and Resources, 2017, 26(1): 73-76.
- [13]王涛, 段鹏. 山西省中阳县地质灾害特征及区划研究[J]. 地质与资源, 2016, 25(5): 487-493.
- Wang T, Duan P. Research of the characteristics and zonation of geological hazards in Zhongyang County, Shanxi Province[J]. Geology and Resources, 2016, 25(5): 487-493.
- [14]刘腾, 任蕊, 匡野, 等. 四川省北川县崩滑灾害孕灾地质条件分析[J]. 中国地质调查, 2022, 9(6): 59-66.
- Liu T, Ren R, Kuang Y, et al. Analysis on the disaster-pregnancy geological conditions of collapse and landslide in Beichuan County, Sichuan Province[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(6): 59-66.
- [15]谭运钊, 王正祥. 乌东德水电站金坪子滑坡变形监测综合分析[J]. 人民长江, 2015, 46(14): 91-93.
- Tan Y Z, Wang Z X. Comprehensive analysis of deformation monitoring of Jinpingzi landslide at Wudongde Hydropower Station[J]. Yangtze River, 2015, 46(14): 91-93.
- [16]戴可人, 沈月, 吴明堂, 等. 联合 InSAR 与无人机航测的白鹤滩库区蓄水前地灾隐患广域识别[J]. 测绘学报, 2022, 51(10): 2069-2082.
- Dai K R, Shen Y, Wu M T, et al. Identification of potential landslides in Baihetan Dam area before the impoundment by combining InSAR and UAV survey[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2022, 51(10): 2069-2082.
- [17]王高峰, 王爱军, 田运涛, 等. 基于图幅调查的六盘山镇孕灾地质条件分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 364-369.
- Wang G F, Wang A J, Tian Y T, et al. Analysis on disaster-pregnant geological environment of Liupanshan Town based on map sheet survey[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(5): 364-369.
- [18]王东辉, 陈绪钰, 朱德明, 等. 成渝经济区南部城市群孕灾条件与地质灾害发育特征[J]. 地质力学学报, 2016, 22(3): 695-705.
- Wang D H, Chen X Y, Zhu D M, et al. Formation conditions and spatial distribution of geo-hazards in southern urban agglomeration of Chengdu-Chongqing Economic Zone [J]. Journal of Geomechanics, 2016, 22(3): 695-705.
- [19]郭晨, 许强, 董秀军, 等. 无人机在重大地质灾害应急调查中的应用[J]. 测绘通报, 2020(10): 6-11, 73.
- Guo C, Xu Q, Dong X J, et al. Application of UAV photogrammetry technology in the emergency rescue of catastrophic geohazards [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(10): 6-11, 73.
- [20]王俊豪, 魏云杰, 梅傲霜, 等. 基于无人机倾斜摄影的黄土滑坡信息多维提取与应用分析[J]. 中国地质, 2021, 48(2): 388-401.
- Wang J H, Wei Y J, Mei A S, et al. Multidimensional extraction of UAV tiltphotography-based information of loess landslide and its application[J]. Geology in China, 2021, 48(2): 388-401.
- [21]李媛. 中国地质调查局“山地丘陵区地质灾害调查工程”进展[J]. 中国地质, 2018, 45(6): 1082.
- Li Y. Progress of “Geological Disaster Investigation Project in Mountainous and Hilly Areas” of China Geological Survey [J]. Geology in China, 2018, 45(6): 1082. (in Chinese)