

四川宜宾市地质灾害隐患与地层岩性-地质构造关系分析

刘 文, 余天彬, 王 猛, 代 力, 黄细超, 董继红

Analysis on the relationship between geological hazard and lithology , geological structure in Yibin City of Sichuan Province

LIU Wen, YU Tianbin, WANG Meng, DAI Li, HUANG Xichao, and DONG Jihong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202206011>

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

安徽黄山市徽州区地质灾害危险性评价研究

Study on risk assessment of geological hazards in Huizhou District, Huangshan City, Anhui Province

刘乐, 杨智, 孙健, 刘钦, 彭鹏, 段俊斌 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 110-116

四川长宁“6·17”地震诱发的次生地质灾害类型及其发育特征

Types and their characteristics of geological hazards triggered by “6·17” earthquake in Changning, Sichuan Province

廖勇, 徐闯, 陈军, 周世文 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(1): 77-83

甘肃定西地区地质灾害危险性评价

Risk assessment of geological hazards in Dingxi region of Gansu Province

沈迪, 郭进京, 陈俊合 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(4): 134-142

湖北武汉白沙洲隐伏岩溶区地质结构与岩溶塌陷分类

Types of geological structures and mechanism of karst collapses in Baishazhou, Wuhan City of Hubei Province

陈标典, 李喜, 李祖春, 姜超, 贾毅, 李慧娟, 刘鹏瑞 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 43-52

渤海海域海底地质灾害危险性区划

Risk zonation on the submarine geological hazards in Bohai Sea

宋玉鹏, 孙永福, 杜星, 刘晓瑜, 王振豪, 曹成林 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 140-146



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202206011

刘文, 余天彬, 王猛, 等. 四川宜宾市地质灾害隐患与地层岩性-地质构造关系分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(3): 118-126.

LIU Wen, YU Tianbin, WANG Meng, et al. Analysis on the relationship between geological hazard and lithology, geological structure in Yibin City of Sichuan Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(3): 118-126.

四川宜宾市地质灾害隐患与地层岩性-地质构造 关系分析

刘 文¹, 余天彬¹, 王 猛¹, 代 力², 黄细超¹, 董继红¹

(1. 四川省综合地质调查研究所(稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室), 四川 成都 610081; 2. 宜宾市自然资源和规划局, 四川 宜宾 644000)

摘要: 针对宜宾市地质灾害数量大、类型多、分布不均等问题, 以宜宾市地质灾害隐患与地层岩性-地质构造耦合关系为切入点, 在资料搜集、遥感解译、野外调查的基础上, 分析总结了地层岩性、地质构造对地质灾害隐患的控制效应, 可为宜宾市地质灾害防灾减灾工作的分区部署提供科学支撑。研究表明: 宜宾市地质灾害隐患与地层岩性关系密切, 滑坡(含不稳定斜坡)、崩塌、地面塌陷在软硬相间的块状-层状碎屑岩岩组中广泛分布, 较坚硬层状-块状碳酸盐岩岩组与软硬相间碎屑岩岩组的过渡部位亦有利于崩塌的发育, 泥石流则分布在易被风化、可提供丰富物源的岩组中。区域地质构造控制了地质灾害隐患的整体分布, 主要表现为褶皱、断层走向与地质灾害隐患整体展布具有一致性。对于不同的局部构造环境, 地质灾害隐患发育程度明显不同, 在褶皱构造中地质灾害隐患主要分布在距褶皱核部 2 km 以外的区域, 距离褶皱核部越远, 地质灾害隐患点密度有逐渐增大的趋势; 在断层构造中距断层面越近地质灾害隐患点密度越大, 距离在 1 km 以内断层对地质灾害隐患的控制效应尤为明显。大致以高县凤滩村—江安县和平村为界, 研究区北部应重点关注滑坡(含不稳定斜坡)地质灾害隐患, 建议采取群测群防的防治措施, 南部应重点关注崩塌、地面塌陷地质灾害隐患, 建议采取专业监测、搬迁避让的防治措施。

关键词: 地质灾害; 地层岩性; 地质构造; 宜宾市

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2023)03-0118-09

Analysis on the relationship between geological hazard and lithology , geological structure in Yibin City of Sichuan Province

LIU Wen¹, YU Tianbin¹, WANG Meng¹, DAI Li², HUANG Xichao¹, DONG Jihong¹

(1. Sichuan Institute of Comprehensive Geological Survey (Evaluation and Utilization of Strategic Rare Metals and Rare Earth Resource Key Laboratory of Sichuan Province), Chengdu, Sichuan 610081, China; 2. Yibin Natural Resources and Planning Bureau, Yibin, Sichuan 644000, China)

Abstract: Based on the large number, diverse types and uneven distribution of geological disasters in Yibin City, this study takes the coupling relationship between geological disaster and lithology - structure as a starting point. Through data collection, remote sensing interpretation and field investigation, this study analyzed and summarized the control effects of formation

收稿日期: 2022-06-08; 修订日期: 2022-07-05

投稿网址: <https://www.zgdzzhyfzxb.com/>

基金项目: 四川省地质灾害隐患遥感识别监测(2022 年)及高分遥感应用服务项目(N5100012022001470)

第一作者: 刘 文(1990-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事遥感地质与地质灾害调查工作。E-mail: liuwen2009.hi@163.com

通讯作者: 王 猛(1980-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质灾害遥感应用方面的研究。E-mail: wangmengscrs@qq.com

lithology and geological structure on geological disasters. The findings can provide scientific support for the zoning and deployment of geological disaster prevention and mitigation in Yibin City. The results show that geological disasters in Yibin City are closely related to lithology. Landslides (including unstable slopes), collapses, and ground collapses are widely distributed in soft and hard massive layered clastic rock formations. Additionally, the transition zone between hard layered massive carbonate rock formation and soft hard clastic rock formation is conducive to the development of collapse. Debris flows are distributed in rock formations that are easily weathered and can provide rich material sources. Regional geological structure also influences the overall distribution of geological disasters, particularly the consistency between the strike of folds and faults and the overall distribution of geological disasters. The degree of geological disaster development varies with different local tectonic environments. In fold structures, geological disasters are primarily concentrated within 2 km of the fold core, with density increasing gradually as the distance from the fold core increases. In the fault structure, the density of geological disasters points increases as one approaches the fault plane, with the control effect of faults on geological disasters particularly evident within 1 km. This study recommends that the northern part of the study area, specifically Fengtan Village in Gaoxian County and Heping Village in Jiang'an County, prioritize landslide prevention and control measures, such as group prevention and group strategy. In contrast, the southern part should prioritize measures to prevent and control collapses and ground collapses, such as professional monitoring, relocation, and avoidance.

Keywords: geological disasters; formation lithology; geological structure; Yibin City

0 引言

地质灾害是地球内外动力耦合作用的结果^[1],其孕灾地质环境条件主要包括气象水文、地形地貌、地层岩性、地质构造、地震和人类工程活动等,其中地层岩性是地质灾害孕育的物质基础,不同类型和性质的岩土体控制着不同类型的地质灾害,制约斜坡的破坏方式;地质构造是地质灾害孕育的内动力条件,既控制地形地貌、地下水的分布规律,又控制岩土体变形破坏的空间位置和边界^[2-3]。关于区域地质灾害孕灾地质环境条件研究的报道较多,对本文研究工作的开展具有重要的借鉴意义。在综合研究方面,开展了基于地层时代、斜坡结构、坡度等方面的地质灾害发育特征及规律研究,总结了不同斜坡结构与不同岩体结构组合下的成灾模式和破坏过程^[4]。刘云等^[5]以江西省历年有记录的地质灾害事件为研究对象,从区域地形地貌、岩土体类型、年降雨量及人类工程活动等方面总结了地质灾害的分布特征。曾琳洁等^[6]在河南南召县大比例尺地质灾害详细调查的基础上,从地形地貌、地质构造、岩土类型、降雨和工程活动等方面总结了地质灾害的形成条件。在支撑易发性分区划分方面,房浩等^[7]根据地形地貌、地层岩性和构造及地貌演化等特征,按照崩塌、滑坡、泥石流地质灾害的易发程度,划分易发性分区,总结了我国 2010—2015 年地质灾害的空间分布特征。廖小平等^[8]以香丽高速公路边坡地质灾害为研究对象,研究了边坡地质灾害的主要类型、发育特征和分布规

律,提出了基于地形地貌、岩土体结构、地层岩性等地质灾害易发性评价指标的易发性分区。在地质构造、地层岩性与地质灾害方面,秦宇龙等^[9]研究了川西甘孜地区活动断裂与地质灾害的空间分布关系,认为活动断裂是甘孜地区地质灾害孕育的内动力条件之一,活动断裂既控制了特殊的地形地貌、山体结构,同时还控制了主要的地质灾害空间位置和周界。冯卫等^[10]在资料搜集、遥感解译、野外调查的基础上,总结了甘肃礼县至罗家堡断裂带沿线地质灾害的时间和空间分布规律,并基于 GIS 技术开展了地震地质灾害与断层的距离效应、上下盘效应、方向效应和烈度效应。聂进等^[11]对竹溪县地质环境与地质灾害的内在关系进行了研究,认为地质灾害的类型与发育程度与局部构造样式关系密切,竹溪县地质灾害整体表现为南崩、北滑、中崩滑以及东西分异的分布格局。涂美义等^[12]从湖北省地质灾害与地质构造的相关性入手,总结了不同 II 级地质构造单元地质灾害的分布特征,探讨了地质灾害与褶皱构造、断裂构造的耦合关系。马秋红^[3]在资料收集和野外调查的基础上,对秦巴山区地层岩性、地质构造与地质灾害的关系进行研究,提出秦巴山区不同岩性条件下形成的地质灾害类型和发育程度不尽相同,地质构造控制着地质灾害的地域分异性和带状分布的结论。黄润秋等^[13]以“5·12”汶川大地震触发的崩滑地质灾害为研究对象,提出地质灾害受到发震断层的控制,沿发震断裂呈带状分布,总体上距发震断层越远,地质灾害分布密度

越小。郭进京等^[14]以西秦岭滑坡、崩塌和泥石流地质灾害为研究对象,认为西秦岭区域断裂构造格架和活动特征对滑坡、崩塌和泥石流地质灾害空间和强度分布具有主导控制作用。

目前,针对宜宾市地质灾害区域性研究成果较少。前人研究主要集中在对四川长宁“6·17”地震的区域构造应力场特征及构造环境、震后地质灾害的发育与分布特征、地震前后地质灾害变化规律等方面^[15-18],未开展地质灾害与孕灾地质环境条件的关系研究。此外,胡承林^[19]、肖汉全^[20]对宜宾市地质灾害类型、发育特征、成因及影响因素开展了初步的研究工作。随着全球气候的变迁、构造运动的活跃,已有研究成果的深度和时限已无法满足防灾减灾的需求。宜宾市地层出露齐全,构造复杂,是开展地层岩性、地质构造对地质灾害控制效应研究的优势区域,本次以宜宾市地质灾害隐患与地层岩性-地质构造耦合关系为切入点,剖析地层岩性、地质构造对其控制作用,为宜宾市防灾减灾工作的开展提供参考依据。

本次研究收集的数据包括 1:20 万等区域地质调查资料,宜宾市长宁“6·17”震后地质灾害隐患排查资料、宜宾市空天地一体化地质灾害遥感调查与监测资料等地质灾害调查资料。收集的数据基于不同的存储平台,数据格式、坐标系多样化,本次采用 2000 国家大地坐标系、高斯-克吕格投影为匹配基准,进行相应的格式转化、坐标系投影变换,最终将区域地质、地质灾害数据统一到同一平台,建立研究数据库。

1 研究区概况

宜宾市位于四川盆地南缘,地处云贵川三省结合部,金沙江、岷江、长江三江交汇处,东北部为丘陵区,地貌起伏不大,西南部为低中山区,切割强烈、山势陡峻、喀斯特地貌发育,地质灾害频发。研究区出露岩性主要为沉积岩,地层除泥盆系、石炭系、上志留统缺失外,自寒武系至第四系均有出露(图 1)。参照四川省岩石地层划分方案^[21],宜宾市地层隶属于华南地层大区(I 级地层区)的范畴,分属扬子地层区(Ⅱ级地层区)中的上扬子分区(Ⅲ级地层区)。由于历经多期构造活动,宜宾市不同地区地层发育与分布具有明显的差异性。大体以筠连县海瀛、珙县底硐、高县黄水口、珙县金沙湾、江安县红桥、兴文县古宋一线为界,分为南北两个明显不同的区域。北部区域主要为白垩系、侏罗系红层广布区,其范围包括长江两岸的丘陵区 and 金沙江、岷江相夹持的地带,为一套红色河湖相砂岩、泥岩建造,

岩相变化较大,易于风化剥蚀。南部区域出露地层较老,以三叠系、古生界为主,岩性复杂,断裂发育,碳酸盐岩广布,喀斯特地貌发育。

在大地构造位置上,研究区位于川滇南北向构造带和川黔南北向构造带之间,南与南岭东西复杂构造带北部边缘的“黔中隆起”、扬子准地台娄山弧形箱型褶皱区相接,北同中国新华夏构造体系最西边一级沉降带四川盆地毗连,断层、褶皱十分发育(图 2)。其中华莹山大断裂、柏树溪断层、两河村—团林断层、联合—王家断层、巡司断层、君田坝断层、乐义断层、民主—双河口断层、老河坝—中都断层等 9 条断层为已知活动断层。根据研究区内构造形迹的空间展布规律,大体可划分出东西向构造带、南北向构造带、北西向构造带以及新华夏构造带等四个构造带。各构造带形成和发展的时间略有先后,东西构造带最先形成,大致始于早古生代,南北向构造带稍后,大致始于晚古生代末期,其后为新华夏构造带和北西向构造带。

宜宾市地质灾害隐患类型多样,主要有滑坡(含不稳定斜坡)、崩塌、地面塌陷、泥石流等,具有数量大、类型多、规模小的特点。本文利用宜宾市历年来地质灾害调查资料,统计各类地质灾害隐患 1 359 处(表 1)。滑坡(含不稳定斜坡)规模以小型为主,岩质滑坡、土质滑坡均有发育,人类工程活动、强降水因素的叠加作用是滑坡产生的主要原因,每年汛期是滑坡的高发期。崩塌规模以小型为主,崩塌主要发生在人类不规范的工程活动所遗留下来的高陡边坡和自然斜坡的危岩体,多属于岩质崩塌。崩塌体一般为岩土体在暴雨与重力的作用下突然失稳而形成的,具有突发性。地面塌陷规模以小型为主,主要发生在采空区和岩溶区,按形成原因划分为岩溶型塌陷和冒顶型塌陷,很少形成明显的负地形,变形期地表多出现拉张裂缝或下错,地下水位变幅较大,多数地区地下水枯竭。泥石流在研究区不发育,规模以小型为主,多与崩塌、滑坡等灾害相伴出现,崩滑堆积体在强降雨下可为泥石流提供崩滑物源。

2 地质灾害隐患与地层岩性-地质构造耦合关系

2.1 地层岩性的控制效应

依据不同的建造类型及岩性、岩体结构和岩石强度进行工程地质岩类及岩组划分,将研究区地质灾害孕育地层划分出岩浆岩类、碎屑岩类、碳酸盐岩类、松散岩类等 4 种岩体类型,具体可细分出 16 种工程地质岩组(表 2)。滑坡(含不稳定斜坡)在软硬相间的块状-层状碎屑岩岩组中广泛分布,该类岩组透水性好、软硬

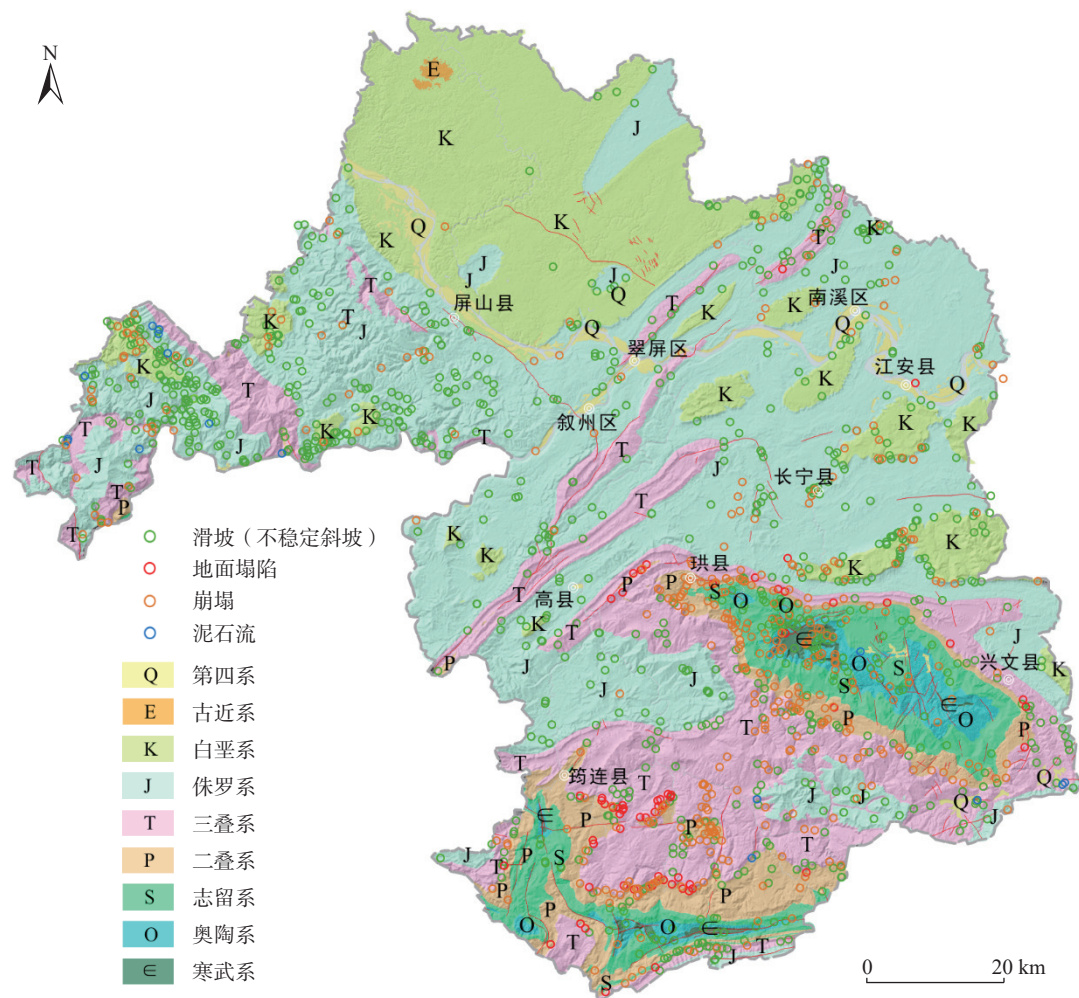


图 1 研究区地质简图(据 1 : 20 万地质图修改)

Fig. 1 Geological map of the study area (modified based on 1 : 200 000 geological map)

不均、易风化、力学强度变化大、成土条件好、易形成较多的第四系松散堆积物,在窝头山组(K_{1w})、蓬莱镇组(J_{3p})、上沙溪庙组(J_{2s})、珍珠冲组(J_{1z})、自流井组(J_{1-2z})、须家河组(T_{3xj})、飞仙关组(T_{1f})、遂宁组(J_{3s})等孕育地层尤为集中;崩塌在软硬相间的块状-层状碎屑岩岩组和较坚硬层状-块状碳酸盐岩岩组靠近碎屑岩组一侧广泛分布,尤其是蓬莱镇组(J_{3p})、上沙溪庙组(J_{2s})、飞仙关组(T_{1f})、嘉陵江组(T_{1j})、长兴组(P_{2c})、龙潭组(P_{2l})、栖霞组(P_{1q})、茅口组(P_{1m})、梁山组(P_{1l})等地层中;地面塌陷发育在软硬相间的块状-层状碎屑岩岩组中,尤其是飞仙关组(T_{1f})、长兴组(P_{2c})、龙潭组(P_{2l})等地层中广泛分布,飞仙关组中地面塌陷主要分布在靠近含煤岩系的龙潭组、长兴组一侧;泥石流分布在易被风化的碎屑岩和盐酸盐岩岩组中,这些岩组的风化产物可为泥石流提供丰富的物源,尤其是须家河组(T_{3xj})、遂宁组(J_{3s})、嘉陵江组(T_{1j})等地层中较集中。

大致以高县凤滩村—江安县和平村为界,具有北部滑坡集中分布,南部崩塌集中分布的特点。

2.2 地质构造控制效应

2.2.1 区域构造线方位对地质灾害隐患的控制特征

区域构造线方位对地质灾害隐患的控制主要表现为褶皱构造、断层构造与地质灾害整体分布的一致性。研究区位于川滇南北向构造带和川黔南北向构造带之间,地质构造复杂,不同区域主构造线方位有所不同。大致以岷江和金沙江为界围限的屏山县一带的滑坡、崩塌、泥石流主要分布在北西—南东向的褶皱转折端和断层附近;大致沿高县凤滩村—江安和平村以北,滑坡受北东—南西向的褶皱和断层控制明显,分布在褶皱转折端和断层面附近;大致沿高县凤滩村—江安和平村以南,该区域为北东—南西向、北西—南东向构造转换部位,崩塌、滑坡沿构造线方位呈环形分布,主要分布在复式褶皱的转折端、断层破碎带及

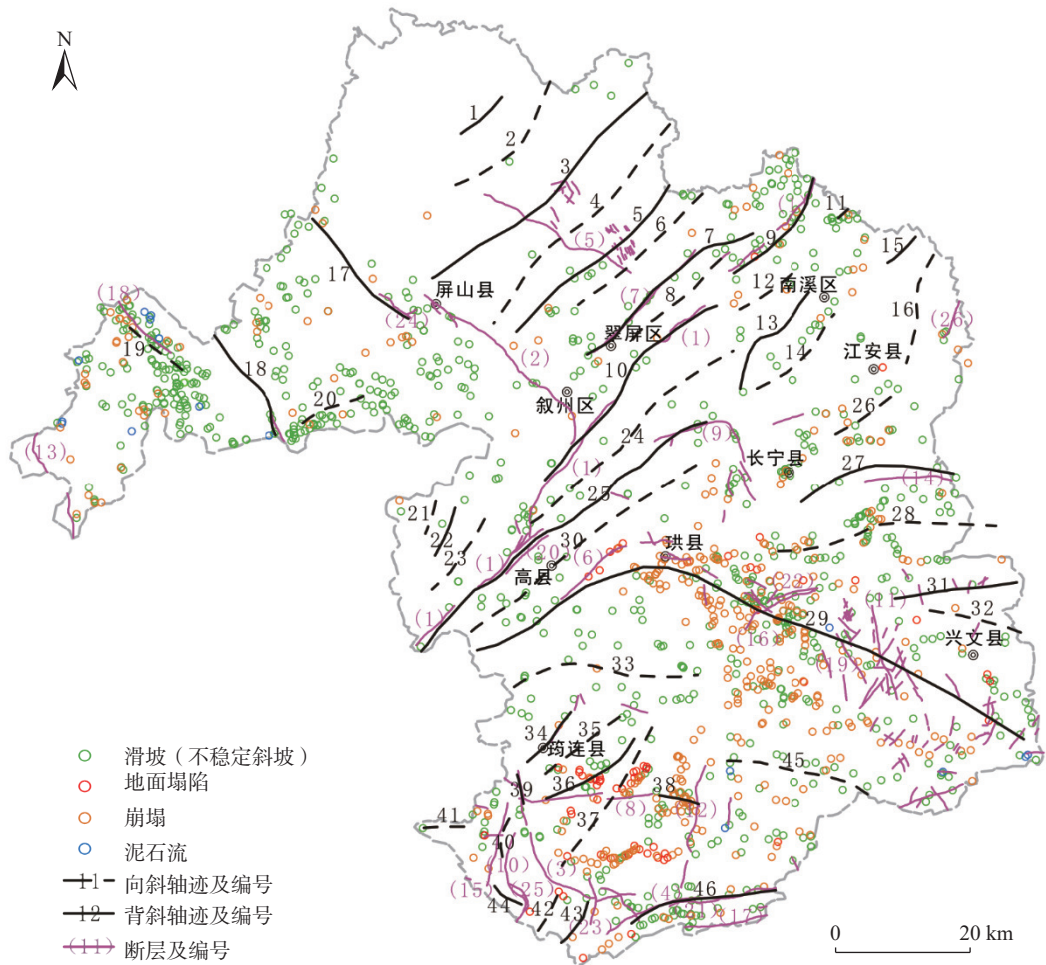


图 2 研究区构造纲要图

Fig. 2 Sketch tectonic map of the study area

注: 1-观音镇背斜; 2-徐场向斜; 3-孔滩背斜; 4-打段向斜; 5-青杠坪背斜; 6-蟠龙场向斜; 7-宜宾背斜; 8-龙花滩向斜; 9-青山岭背斜; 10-南广背斜; 11-同心寨向斜; 12-同心场向斜; 13-宋家场背斜; 14-马家场向斜; 15-广福坪背斜; 16-蒋祝山向斜; 17-天官堂背斜; 18-五指山背斜; 19-兰坝—中和庄向斜; 20-锦屏山向斜; 21-田坝向斜; 22-黄楠垫背斜; 23-老鹰咀向斜; 24-来复渡向斜; 25-贾村背斜; 26-沙溪沟向斜; 27-老翁场背斜; 28-相岭—象鼻场向斜; 29-珙长背斜; 30-高县向斜; 31-东阳乡鼻状背斜; 32-凤凰山向斜; 33-罗场向斜; 34-筠连鼻状背斜; 35-水茨坝向斜; 37-武家坝向斜; 37-巡司背斜; 38-乐义背斜; 39-走马背斜; 40-联合向斜; 41-仙雾山向斜; 42-蒿坝向斜; 43-高龙背斜; 44-兴胜背斜; 45-九丝城向斜; 46-大雪山—王家背斜; (1)-华莹山大断裂; (2)-柏树溪断层; (3)-两河村—团林断层; (4)-联合—王家断层; (5)-毛桥断层; (6)-芭蕉湾断层; (7)-观斗山断层; (8)-巡司断层; (9)-君田坝断层; (10)-柏胜—后溪断层; (11)-西关门断层; (12)-乐义断层; (13)-民主—双河口断层; (14)-白杨湾断层; (15)-丰乐断层; (16)-大增湾断层; (17)-海平子—半坡头断层; (18)-老河坝—中都断层; (19)-多岗漕断层; (20)-四脚断层; (21)-联合—王家分支断层; (22)-九龙断层; (23)-香樟断层; (24)-水泥坝断层; (25)-柏胜—后溪分支断层; (26)-南井断层。

表 1 研究区地质灾害类型和数量统计表

Table 1 Type and quantity statistics of geological disaster in the study area

类型	大型/处	中型/处	小型/处	合计/处	百分比/%
滑坡(含不稳定斜坡)	9	152	722	883	64.97
崩塌	5	102	291	398	29.29
地面塌陷	2	0	60	62	4.56
泥石流	0	4	12	16	1.18

两侧, 北东—南西向的褶皱对地面塌陷的控制优势明显。

2.2.2 褶皱构造控制效应

对研究区褶皱两侧发育的地质灾害进行统计发现, 距离褶皱核部 1 km 以内的地质灾害隐患点有 210 处: 滑坡(含不稳定斜坡)143 处, 崩塌 54 处, 地面塌陷 12 处, 泥石流 1 处, 地质灾害隐患点密度 0.094 处/km²; 距离褶皱核部 1~2 km 范围内的地质灾害隐患点有 234 处: 滑坡(含不稳定斜坡)164 处, 崩塌 52 处, 地面塌陷 15 处, 泥石流 3 处, 地质灾害隐患点密度 0.104 处/km²; 距离褶皱核部 2~5 km 范围内的地质灾害隐患点有 490 处: 滑坡(含不稳定斜坡)321 处, 崩塌 147 处, 地面

表 2 研究区不同工程地质岩组中地质灾害发育情况

Table 2 Geological disasters development in different engineering geological lithologies in the study area

工程地质岩类及岩组			滑坡(含不 稳定斜坡)/处	崩塌 /处	地面 塌陷/处	泥石流 /起
岩类	岩组	地层及代号				
岩浆岩类	坚硬的块状玄武岩岩组	峨眉山玄武岩组(P ₂ β)	8	4	1	0
	较硬的块状砂岩岩组	打儿函组(K ₁ d)、窝头山组(K ₁ w)	59	20	0	0
	软硬相间的块状-层状砂岩、泥岩、页岩岩组	三合组(K ₂ s)、天马山组(K ₁ t)、蓬莱镇组(J ₃ p)、 上沙溪庙组(J ₂ s)、下沙溪庙组(J ₂ xs)	341	72	1	3
	软硬相间的层状砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩岩组	高坎坝组(K ₂ g)、新田沟组(J ₂ x)	3	1	0	0
	软硬相间的块状-层状砂岩、粉砂岩、 泥页岩夹灰岩岩组	珍珠冲组(J ₁ z)、自流井组(J ₁₋₂ z)、 长兴组(P ₂ c)、龙潭组(P ₂ l)	97	32	16	2
碎屑岩类	软硬相间的块状砂岩夹泥页岩岩组	须家河组(T ₃ xj)	54	14	2	3
	软硬相间的层状粉砂岩、页岩、灰岩岩组	湄潭组(O ₁ m)	28	7	0	0
	软硬相间的层状页岩夹灰岩、砂岩岩组	飞仙关组(T ₁ f)	70	80	37	0
	软硬相间的层状粉砂岩、页岩夹泥灰岩、灰岩岩组	罗惹坪组(S ₁ lr)	22	10	0	0
	软弱的层状页岩夹泥灰岩岩组	龙马溪组(S ₁ l)、五峰组(O ₃ w)、中上志留统(S ₂₋₃)	34	25	0	1
碳酸盐岩类	软弱的层状页岩、泥岩岩组	遂宁组(J ₃ s)、梁山组(P ₁ l)	92	12	1	3
	软硬相间的层状白云岩、灰岩夹粉砂岩、泥岩岩组	雷口坡组(T ₂ l)、嘉陵江组(T ₁ j)	31	29	0	4
	较坚硬的层状白云岩、白云质灰岩岩组	娄山关群(Є ₂₋₃ ls)、高台组(Є ₂ g)	17	20	1	0
	较坚硬的层状-块状灰岩岩组	栖霞组(P ₁ q)、茅口组(P ₁ m)	15	69	3	0
	软硬相间的块状—层状灰岩夹粉砂岩、 泥页岩岩组	临湘组(O ₂ l)、宝塔组(O ₂ b)、 桐梓组(O ₁ t)、红花园组(O ₁ h)	10	3	0	0
松散岩类	砾、砂、砂土、亚黏土类	全新统(Qh ^{al})、更新统(Qp ^{al})	2	0	0	0

塌陷 17 处, 泥石流 5 处, 地质灾害隐患点密度 0.088 处/km²; 距离褶皱核部 5 km 以外的地质灾害隐患点有 425 处; 滑坡(含不稳定斜坡)255 处, 崩塌 145 处, 地面塌陷 18 处, 泥石流 7 处, 地质灾害隐患点密度 0.132 处/km²(图 3)。由此可见, 地质灾害隐患主要分布在距褶皱核部 2 km 以外的区域, 远离褶皱核部, 地质灾害隐患点密度有逐渐增大的趋势。

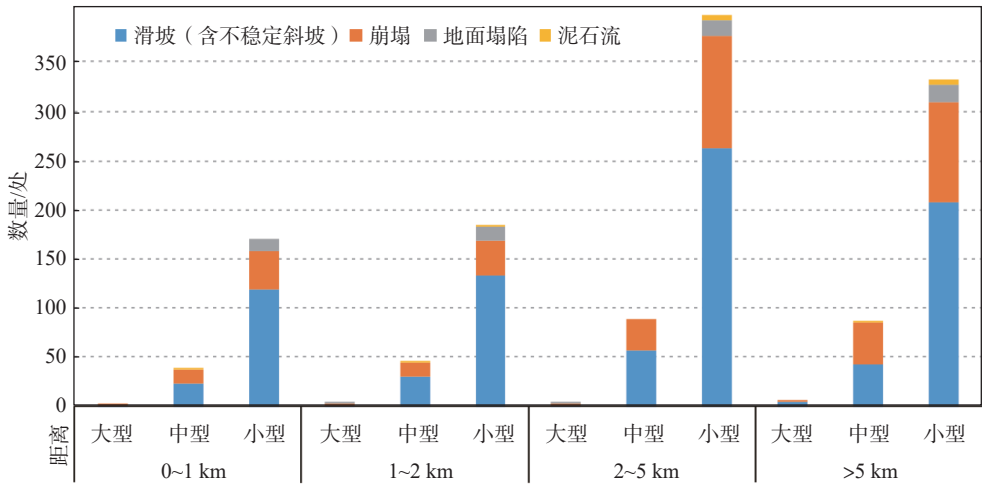


图 3 研究区地质灾害隐患与褶皱构造直方图

Fig. 3 Histogram of geological disasters and fold structure distribution in the study area

2.2.3 断裂构造控制效应

对研究区断层两侧发育的地质灾害进行统计发现, 地质灾害隐患的分布与距离断裂的远近有关, 距离断

层 1 km 以内的地质灾害隐患点有 245 处: 滑坡(含不稳定斜坡)161 处, 崩塌 70 处, 地面塌陷 9 处, 泥石流 5 处, 地质灾害隐患点密度 0.143 处/km²; 距离断层 1 ~

2 km 范围内的地质灾害隐患点有 170 处: 滑坡(含不稳定斜坡)97 处, 崩塌 60 处, 地面塌陷 11 处, 泥石流 2 处, 地质灾害隐患点密度 $0.101 \text{ 处}/\text{km}^2$; 距离断层 2~5 km 范围内的地质灾害隐患点有 405 处: 滑坡(含不稳定斜坡)228 处, 崩塌 137 处, 地面塌陷 34 处, 泥石流 6 处, 地质灾害隐患点密度 $0.090 \text{ 处}/\text{km}^2$; 距离断层 5 km

以外的地质灾害隐患点有 539 处: 滑坡(含不稳定斜坡)397 处, 崩塌 131 处, 地面塌陷 8 处, 泥石流 3 处, 地质灾害隐患点密度 $0.100 \text{ 处}/\text{km}^2$ (图 4)。由此可见, 断裂构造对地质灾害隐患的控制作用明显, 越靠近断裂发育的区域, 地质灾害隐患点密度越大, 尤其是距离断层 1 km 以内断裂对地质灾害隐患的控制效应更强。

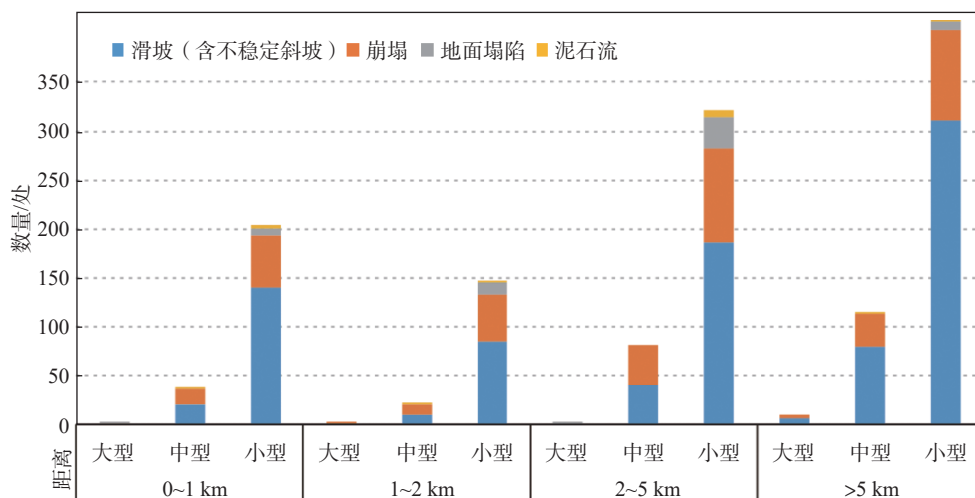


图 4 研究区地质灾害隐患与断裂构造直方图

Fig. 4 Histogram of geological disasters and fault structure distribution in the study area

Abrahamson 等通过研究地震的近场强震记录提出了断层“上下盘效应”, 认为发震断层上盘的加速度峰值普遍高于下盘^[22]。对研究区距断层 5 km 以内的地质灾害隐患进行上下盘统计发现(本次暂不统计性质不明断层附近的地质灾害隐患), 位于断层上盘的地质灾害隐患点有 154 处(滑坡(含不稳定斜坡)95 处, 崩塌 49 处, 地面塌陷 10 处), 位于断层下盘的地质灾害隐患点有 190 处(滑坡(含不稳定斜坡)102 处, 崩塌 73 处, 地面塌陷 9 处, 泥石流 6 处), 其中华莹山大断裂、柏树溪断层、两河村-团林断层、联合-王家断层、巡司断层、君田坝断层、乐义断层、民主-双河口断层、老河坝-中都断层等 9 条已知活动断层 5 km 以内地质灾害隐患点有 154 处(位于断层上盘 78 处, 断层下盘 96 处), 研究区地质灾害隐患与断层上下盘效应关系不明显, 不具备典型的地震地质灾害的断层上下盘效应^[13], 这可能与研究区断裂规模小、仅通过优势结构面间接影响斜坡的稳定性有关。常祖峰等^[18]提出 2019 年长宁 $M_s 6.0$ 地震可能为珙长背斜中的超压环境叠加古构造应力场致使区域性 NW 向纵向节理发生构造强化、贯通、破裂的结果, 进一步说明了区域性节理等优势结构面的存在^[23-24]。

3 结论与建议

(1) 宜宾市地质灾害隐患类型多样, 主要有滑坡(含不稳定斜坡)、崩塌、地面塌陷、泥石流等, 规模以小型为主, 以滑坡(含不稳定斜坡)地质灾害隐患最为发育, 大体具有北滑坡南崩塌的特点。

(2) 滑坡(含不稳定斜坡)、崩塌、地面塌陷在软硬相间的块状-层状碎屑岩岩组中广泛分布, 该类岩组透水性好、软硬不均、易风化、力学强度变化大、成土条件好、易形成较多的第四系松散堆积物; 此外, 较坚硬层状-块状碳酸盐岩岩组与软硬相间的层状碎屑岩岩组的过渡带亦利于崩塌的发生; 泥石流分布在易被风化的碎屑岩和盐酸盐岩岩组中, 这些岩组的风化产物可为泥石流提供丰富的物源。

(3) 区域地质构造控制了地质灾害隐患的整体分布, 主要表现为褶皱、断层走向与地质灾害隐患整体展布的一致性, 不同主构造线方位其地质灾害隐患整体展布方向亦不同。对于不同的局部构造环境, 地质灾害隐患发育程度明显不同, 相对于褶皱构造, 地质灾害隐患主要分布在距褶皱核部 2 km 以外的区域, 远离褶皱核部, 地质灾害隐患点密度有逐渐增大的趋势; 相对于断裂构造, 距断裂越近地质灾害隐患点密度越大, 尤其是

距离断层 1 km 以内断裂对地质灾害隐患的控制效应更强。

(4)研究区地层出露齐全、地质构造复杂,不同区域主构造线方位有所不同,大致以高县凤滩村—江安县和平村为界,北部为丘陵区,地形起伏小,白垩系、侏罗系红层广布,在防灾减灾过程中应重点关注软硬相间碎屑岩岩组中发育的滑坡(含不稳定斜坡),建议采取群测群防的防治措施,南部为低中山区,切割强烈、山势陡峻、喀斯特地貌发育,部分地质灾害隐患地处高位,隐蔽性强,在防灾减灾过程中应重点关注碳酸盐岩岩组中发育的崩塌、采空区发育的地面塌陷,建议采取专业监测、搬迁避让的防治措施。

参考文献(References):

- [1] 王思敬. 地球内外动力耦合作用与重大地质灾害的成因初探[J]. 工程地质学报, 2002, 10(2): 115–117. [WANG Sijing. Coupling of earth's endogenic and exogenic geological processes and origins on serious geological disasters [J]. Journal of Engineering Geology, 2002, 10(2): 115–117. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 白永健, 铁永波, 倪化勇, 等. 鲜水河流域地质灾害时空分布规律及孕灾环境研究[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 69–75. [BAI Yongjian, TIE Yongbo, NI Huayong, et al. Temporal-spatial distribution and environment pregnant of geohazards in Xianshui River of Sichuan, China [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 69–75. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 马秋红. 秦巴山区地层岩性与地质构造对地质灾害发育的控制作用分析[D]. 西安: 长安大学, 2011. [MA QiuHong. Analysis for control function of formation lithology and geologic structure for the geological hazards in Qinling-Bashan mountains [D]. Xi'an: Changan University, 2011. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 徐伟, 冉涛, 田凯. 西南红层地区地质灾害发育规律与成灾模式: 以云南彝良县为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2021, 32(6): 127–133. [XU Wei, RAN Tao, TIAN Kai. Developing law and disaster modes of geohazards in red bed region of southwestern China: A case study of Yiliang County of Yunnan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021, 32(6): 127–133. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 刘云, 康卉君. 江西崩塌滑坡泥石流灾害空间时间分布特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(4): 107–112. [LIU Yun, KANG Huijun. Spatial-temporal distribution of landslide, rockfall and debris flow hazards in Jiangxi Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(4): 107–112. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 曾琳洁, 张涛, 冯文凯. 河南南召县地质灾害形成条件与分布规律[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(1): 82–89. [ZENG Linjie, ZHANG Tao, FENG Wenkai. Formation conditions and distribution law about geological disasters in Nanzhao County, Henan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(1): 82–89. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 房浩, 李媛, 杨旭东, 等. 2010—2015年全国地质灾害发育分布特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(5): 1–6. [FANG Hao, LI Yuan, YANG Xudong, et al. Distribution characters of geo-hazards in China during the period of 2010—2015 [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(5): 1–6. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 廖小平, 徐风光, 蔡旭东, 等. 香丽高速公路边坡地质灾害发育特征与易发性区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2021, 32(5): 121–129. [LIAO Xiaoping, XU Fengguang, CAI Xudong, et al. Development characteristics and susceptibility zoning of slope geological hazards in Xiangli expressway [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021, 32(5): 121–129. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 秦宇龙, 吴建亮, 詹涵钰, 等. 川西甘孜地区活动断裂与地质灾害分布相关性探讨[J]. 地质力学学报, 2021, 27(3): 463–474. [QIN Yulong, WU Jianliang, ZHAN Hanyu, et al. Discussion on the correlation between active fault and geological disaster distribution in the Ganzi area, western Sichuan Province, China [J]. Journal of Geomechanics, 2021, 27(3): 463–474. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 冯卫, 毕银强, 唐亚明, 等. 甘肃礼县至罗家堡断裂带沿线地质灾害分布规律及断层效应研究[J]. 自然灾害学报, 2021, 30(2): 183–190. [FENG Wei, BI Yinqiang, TANG Yaming, et al. Research on the distribution law of geological disasters and fault effect along the Lixian-Luojiabu fault zone in Gansu [J]. Journal of Natural Disasters, 2021, 30(2): 183–190. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 聂进, 王孔伟, 路永强. 湖北省竹溪县地质灾害成因机理与局部构造关系[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2020, 42(1): 52–56. [NIE Jin, WANG Kongwei, LU Yongqiang. Relationship between cause mechanism of geological disaster and local structure in Zhuxi County of Hubei Province [J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2020, 42(1): 52–56. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 涂美义, 李德果. 湖北省地质灾害与地质构造耦合关系研究[J]. 人民长江, 2012, 43(增刊2): 1–3. [TU Meiyi,

- LI Deguo. Study on coupling relationship between geological disasters and geological structures in Hubei Province [J]. Yangtze River, 2012, 43(Sup 2): 1–3. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 黄润秋, 李为乐. 汶川大地震触发地质灾害的断层效应分析 [J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19–28. [HUANG Runqiu, LI Weile. Fault effect analysis of geo-hazard triggered by Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 19–28. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 郭进京, 韩文峰, 李雪峰. 西秦岭断裂构造格架和活动特征对地质灾害的控制作用分析 [J]. 地质调查与研究, 2009, 32(4): 241–248. [GUO Jinjing, HAN Wenfeng, LI Xuefeng. Analysis for control function of the fault framework and its active characteristics for the geological hazards in the west Qinling [J]. Geological Survey and Research, 2009, 32(4): 241–248. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 廖勇, 徐闯, 陈军, 等. 四川长宁“6·17”地震诱发的次生地质灾害类型及其发育特征 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2021, 32(1): 77–83. [LIAO Yong, XU Chuang, CHEN Jun, et al. Types and their characteristics of geological hazards triggered by “6·17” earthquake in Changning, Sichuan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021, 32(1): 77–83. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 尹欣欣, 郭安宁, 赵韬, 等. 四川长宁M_s6.0地震区域构造应力场特征分析 [J]. 地震工程学报, 2019, 41(5): 1215–1220. [YIN Xinxin, GUO Anning, ZHAO Tao, et al. Characteristics of the regional tectonic stress field of the Changning M_s6.0 earthquake, Sichuan Province [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(5): 1215–1220. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 宫悦, 王宇玺, 梁明剑, 等. 2019年四川长宁6.0级地震序列时空演化特征及其地震构造环境研究 [J]. 地震, 2020, 40(4): 90–102. [GONG Yue, WANG Yuxi, LIANG Mingjian, et al. Study on the spatio-temporal evolution characteristics and seismic structure environment of the 2019 M_{6.0} Changning Sichuan earthquake sequence [J]. Earthquake, 2020, 40(4): 90–102. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 常祖峰, 张艳凤, 王光明, 等. 2019年四川长宁M_s6.0地震的地质构造成因: 区域性构造节理贯通、破裂结果 [J]. 地球学报, 2020, 41(4): 469–480. [CHANG Zufeng, ZHANG Yanfeng, WANG Guangming, et al. The geological genesis of the 2019 Changning M_s6.0 earthquake in Sichuan: Connecting and rupturing of regional structural joints [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2020, 41(4): 469–480. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 胡承林. 宜宾市地质灾害成因及特征浅析 [J]. 资源与人居环境, 2013(9): 30–31. [HU Chenglin. Analysis on causes and characteristics of geological disasters in Yibin City [J]. Resources Environment Inhabitant, 2013(9): 30–31. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 肖汉全. 宜宾市地质灾害及其防治对策 [J]. 四川地质科技情报, 1997(3): 30–32. [XIAO Hanquan. Geological disasters and their control countermeasures in Yibin City [J]. Sichuan Geological Science and Technology Information, 1997(3): 30–32. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 辜学达, 刘啸虎. 四川省岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. [GU Xueda, LIU Xiaohu. Stratigraphy (lithostratic) of Sichuan Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. (in Chinese with English abstract)]
- [22] ABRAHAMSON N A, SOMERVILLE P G. Effects of the hanging wall and footwall on ground motions recorded during the Northridge earthquake [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1996, 86(1B): 93–99.
- [23] 张田田, 杨为民, 万飞鹏. 浑河断裂带地质灾害发育特征及其成因机制 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(1): 149–161. [ZHANG Tiantian, YANG Weimin, WAN Feipeng. Characteristics and Formation Mechanism of Geohazards in Hunhe Fault Zone [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(1): 149–161. (in Chinese)]
- [24] 曲雪妍, 李媛, 房浩, 等. 基于时空维度耦合的地质灾害发育程度评价研究 [J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(1): 137–145. [QU Xueyan, LI Yuan, FANG Hao, et al. A study of the evaluation of geo-hazards development degree based on time-space coupling [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(1): 137–145. (in Chinese with English abstract)]