

四川渠县“8·8”特大暴雨引发的地质灾害分布特征与成因分析

潘元贵, 伍中庚, 孙 东, 谢小国, 田银川, 章舰钞

Analysis on the distributive characteristics and causes of the geological disasters induced by the “8·8” heavy rainstorm in Qu County, Sichuan Province

PAN Yuangui, WU Zhonggeng, SUN Dong, XIE Xiaoguo, TIAN Yinchuan, and ZHANG Jianchao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202203017>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

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

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

甘肃舟曲江顶崖滑坡成因分析与综合治理措施

Causative analysis and comprehensive treatment of the Jiangdingya Landslide in Zhouqu County of Gansu Province

张卫雄, 翟向华, 丁保艳, 张文纶, 张国华 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(5): 7–14

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



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202203017

潘元贵, 伍中庚, 孙东, 等. 四川渠县“8·8”特大暴雨引发的地质灾害分布特征与成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(4): 125-133.

PAN Yuanguai, WU Zhonggeng, SUN Dong, *et al.* Analysis on the distributive characteristics and causes of the geological disasters induced by the “8·8” heavy rainstorm in Qu County, Sichuan Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(4): 125-133.

四川渠县“8·8”特大暴雨引发的地质灾害 分布特征与成因分析

潘元贵^{1,2,3}, 伍中庚^{1,2,3}, 孙东^{1,2,3}, 谢小国^{1,2,3}, 田银川^{1,2,3}, 章舰钞⁴

(1. 四川省华地建设工程有限责任公司, 四川 成都 610081; 2. 四川省地质矿产勘查开发局
成都水文地质工程地质中心, 四川 成都 610081; 3. 四川省地质灾害防治工程技术研究院,
四川, 成都 610081; 4. 四川省地质矿产勘查开发局九一五水文地质工程地质队,
四川 眉山 620000)

摘要: 2021 年 8 月 8 日渠县遭遇特大暴雨袭击, 引发新增灾害 38 处, 不同程度加剧已有灾害点 109 处。文中基于实地调查资料, 对特大暴雨引发灾害的特征和孕灾地质条件与灾害分布关系开展研究, 对比研究了累计降雨量与新增灾害数量和已有灾害加剧程度之间的关系。结果表明: 此次渠县特大暴雨引发新增灾害点主要为土质滑坡, 占比 94.7%; 区域斜坡结构对灾害发生的影响程度最高; 土质滑坡集中发生在 300 ~ 325 mm 累计雨量区间, 高达 27 处, 变形迹象加剧程度严重的灾害点 23 处, 分布在累计雨量为 337 ~ 348 mm 区间内; 为该县地质灾害防治区划与汛期地质灾害防御提供科学依据, 为类似地区特大暴雨地质灾害防灾减灾提供参考。

关键词: 特大暴雨; 地质灾害; 滑坡; 孕灾地质条件; 累计降雨量

中图分类号: P642.3

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2022)04-0125-09

Analysis on the distributive characteristics and causes of the geological disasters induced by the “8·8” heavy rainstorm in Qu County, Sichuan Province

PAN Yuanguai^{1,2,3}, WU Zhonggeng^{1,2,3}, SUN Dong^{1,2,3}, XIE Xiaoguo^{1,2,3}, TIAN Yinchuan^{1,2,3}, ZHANG Jianchao⁴

(1. Sichuan Huadi Construction Engineering Co. Ltd., Chengdu, Sichuan 610081, China; 2. Chengdu Center of
Hydrogeology and Engineering Geology Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Chengdu,
Sichuan 610081, China; 3. Sichuan Institute of Geological Disaster Prevention and Control Engineering Technology,
Chengdu, Sichuan 610081; 4. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Sichuan Province 915
Hydrogeology Engineering Geological Team, Meishan, Sichuan 620000, China)

Abstract: On August 8, 2021, Quxian County was hit by a heavy rainstorm, causing 38 new disasters and aggravating 109 existing disasters to varying degrees. Based on field survey, this paper studies the characteristics of disasters caused by heavy

收稿日期: 2022-03-10; 修订日期: 2022-05-28

投稿网址: <https://www.zgdzzhyfzxb.com/>

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190325)

第一作者: 潘元贵(1993-), 男, 四川成都人, 硕士, 研究方向为地质灾害评价与预测。E-mail: 2801401047@qq.com

通讯作者: 伍中庚(1986-), 男, 四川南充人, 学士, 研究方向为地质灾害勘察与评价。E-mail: 165692026@qq.com

rainstorms and the relationship between the hazard including and geological conditions and disaster distribution. The results show that: the new disaster points caused by the heavy rain in Quxian County are mainly soil landslides, accounting for 94.7%; the regional slope structure has the highest impact on the disaster occurrence; Soil landslides occurred in 300 ~ 325 mm accumulative rainfall range, up to 27 places; There are 23 disaster points with serious signs of aggravation of deformation, which are distributed in the range of accumulative rainfall of 337 ~ 348 mm; It can provide a scientific basis for the county's geological disaster prevention and control zoning and flood season geological disaster prevention, and can provide a reference for disaster prevention and mitigation of geological disasters in similar areas with heavy rainstorms.

Keywords: heavy rain; geological disaster; landslide; disaster-pregnant geological conditions; cumulative rainfall

0 引言

近年来,受全球气候变化影响,局部地区极端强降雨频发,罕见特大暴雨引起新地质灾害,同时加剧已有地质灾害程度。降雨量每日超过 100 mm 的为大雨,超过 250 mm 的为特大暴雨,暴雨诱发的滑坡和崩塌最终会转化为泥石流^[1-2]。地质灾害与暴雨极值有关,获取地质灾害的诱发降雨量和临界降雨量,可以有效构建灾害评价模型^[3-4]。台风暴雨致灾不同于内陆地区暴雨致灾,台风暴雨诱发的灾害有“即雨即滑”的特点^[5]。陕北延安“7·3 暴雨”诱发多处灾害,主要以泥石流和滑坡为主,根据此次灾害提出三类降雨预警指标,预警准确率高达 94.3%^[6-7]。降雨入渗和人类工程活动共同驱动地质灾害发生,采用综合治理手段,全面对灾害进行治理防控^[8-9]。四川境内暴雨频发,运用遥感技术对暴雨后的承灾体和灾害隐患进行预先判别,提出对灾害链的断链措施^[10-11]。利用 ArcGIS 技术评价暴雨灾害风险性,为高速公路暴雨灾害提供预防依据^[12]。基于温度和降雨双指标建立地质灾害预警模型,这种模型适用于冰川型地质灾害^[13]。极端暴雨引发泥石流灾害,这种情况多发生在侏罗系与三叠系的顺层斜坡中,顺层斜坡因暴雨发生滑坡,阻塞沟谷,堰塞湖溃决形成泥石流^[14]。由此可见,暴雨前需做好防灾预案,暴雨中需做好预警信息发布,暴雨后需做好防灾救灾体系。通过遥感解译发现,滑坡集中发生在日降雨量超过 100mm 和累计降雨量超过 210 mm 时,迎风坡坡度 25°的斜坡易发生滑坡灾害^[15-16]。研究发现,林芝市内发生特大暴雨后,灾害发生率为 100%;高山峡谷地区降雨后主要地质灾害为泥石流,岷江的极高易发泥石流沟主要分布在汶川—理县一带^[17-18]。

综上所述,特大暴雨对已有地质灾害有加剧作用,对新增地质灾害有诱导驱动作用。通过遥感技术和调查收集来查明地灾频发期间的暴雨累计降雨量,研究暴雨致灾规律和致灾特征。文中通过分析孕灾地质条件

与灾害分布关系,研究孕灾地质条件对暴雨灾害的影响程度;分析暴雨降雨量与新增灾害频繁数量和已有灾害加剧程度之间的关系。

1 研究意义

受 2021 年 8 月 8—9 日的特大暴雨袭击,8 月 8 日当天最大 1 h 雨强 121.3 mm,日累计最大降雨量 334 mm,远超 250 mm,本次降雨为特大暴雨。四川渠县部分乡镇(街道)出现不同程度的山洪、积涝,县境新增地质灾害隐患点 38 处,其中滑坡 36 处,崩塌 2 处,规模均为小型,滑坡类型均为土质滑坡,崩塌类型均为岩质崩塌,规模亦均为小型。山洪及地质灾害导致部分农房倒塌、大量房屋进水,农作物受淹,多处道路、电力等基础设施损坏。

此次降雨过程导致渠县境内新增大量滑坡、崩塌地质灾害,且原有地质灾害隐患点绝大部分亦出现变形加剧、险情加重趋势。现对该阶段暴雨的地质灾害事件进行分析,旨在掌握区内地质灾害发育规律,利于地质灾害防治工作。

2 “8·8”暴雨历程

通过对渠县 2021 年 1 月 1 日至 9 月 30 日(9 个月)降水总量分布统计,降水总量 1 598.8 mm,是往年同期的 2.1 倍,其中 8 月月降水总量达 605.8 mm,是往年同期的 5.2 倍,为历史同期极大值(图 1)。

根据渠县气象台 2021 年 8 月 8 日 15 时 52 分发布的降雨数据。当日 12—13 时,渠县共 16 个站点雨量超过 50 mm,分别为东安流溪 89.7 mm、土溪水口 83.5 mm、土溪青神 82.4 mm、李馥 81.3 mm、东安 76 mm、万寿板桥 71.5 mm、丰乐 68.7 mm、三汇 64.1 mm、临巴 62.3 mm、城区 57.1 mm。

图 2 是 8 月 1—31 日的累计平均降雨量。8 月 8 日当天最大 1 h 雨强 121.3 mm,最大 3 h 降水量 191.3 mm,最大 6 h 降水量 247 mm。最大连续 24 h 降水量 334 mm。

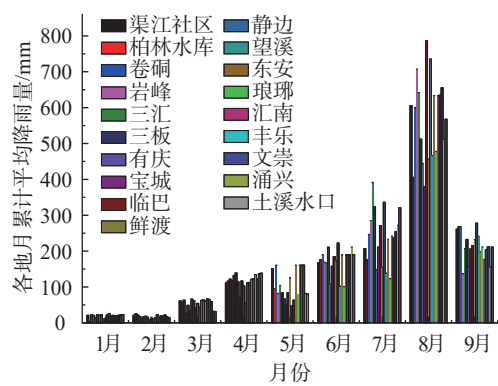


图 1 2021 年 1—9 月各雨量站月累计平均降雨量

Fig. 1 Monthly average rainfall at each rainfall station from January to September 2021

其中 24 h 降水量为有气象记录以来最大降雨天气过程的 1.23 倍(渠县 24 h 降水量有气象记录以来为 272.3 mm)。

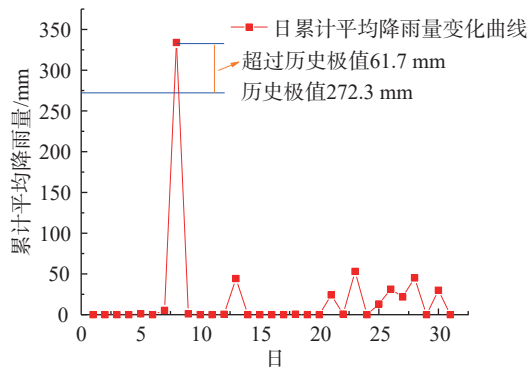


图 2 渠县 8 月每日累计平均降雨量

Fig. 2 Average daily rainfall in Quxian County in August

3 “8·8”暴雨地质灾害发育及危害特征

截至 8 月 9 日下午 19 时,渠县共接到 31 个乡镇上报灾情数据,受灾行政村共 120 个,受灾群众 1.4 万余户,共 4.3 万余人,房屋损坏 240 间倒塌 37 间,道路受损超 1×10^4 m,农作物受灾超 369 ha。其中,新增 38 处地质灾害隐患点共威胁 405 户 1 558 人 7 410 万元,各个新增灾害规模详见图 3。

4 “8·8”暴雨地质灾害孕灾条件分析

4.1 “8·8”暴雨地质灾害与地形坡度关系

图 4 是“8·8”暴雨地质灾害与地形坡度关系图。地质灾害与地形坡度的对比分析表明,滑坡多发于坡度 45° 以下, $15^\circ \sim 30^\circ$ 区间最多,而坡度 $>40^\circ$,滑坡不发育,相反,此坡度易发育地质灾害为崩塌。图 5 是“8·8”暴雨地质灾害与地形坡度关系统计图。

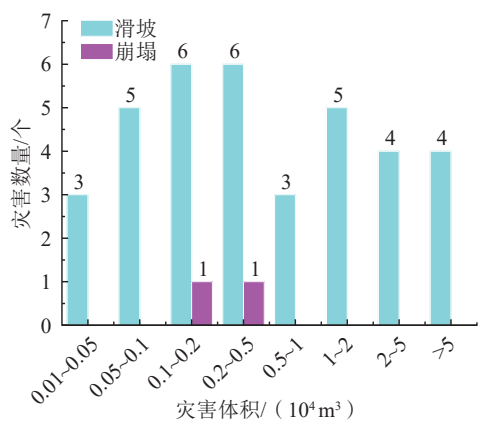


图 3 新增地质灾害发育的规模分级统计图

Fig. 3 Newly added scale grading chart of geological hazard development

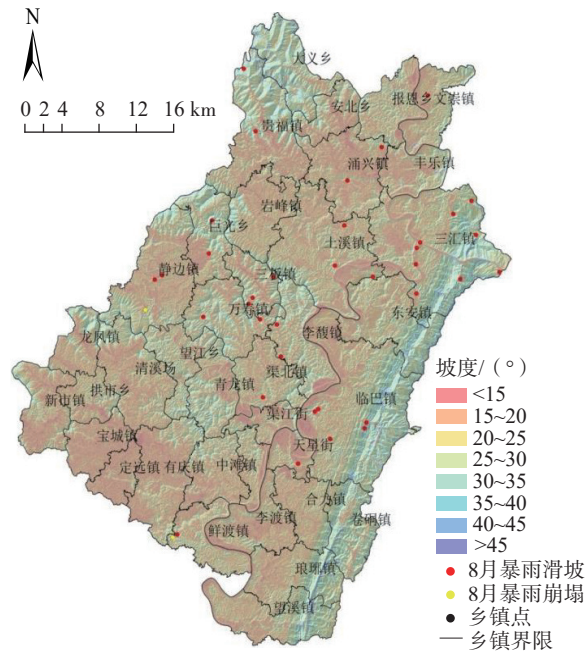


图 4 “8·8”暴雨地质灾害与地形坡度关系图

Fig. 4 Relationship between “8·8” rainstorm geological hazards and terrain slope

4.2 “8·8”暴雨地质灾害与地形起伏度分布关系

图 6 是“8·8”暴雨地质灾害与地形起伏度关系图。渠县大部分地貌为侵蚀堆积的丘陵,包括中丘、浅丘及局部深丘,相对高差一般在 $0 \sim 60$ m,西北部为低山地貌,一般高差 $40 \sim 100$ m,局部大于 100 m。从地质灾害分布来看,在地形起伏度为 $0 \sim 60$ m 的范围内分布了渠县大部分的地质灾害点。从另一个角度分析,地质灾害点的发育和分布也是以人为本的,地质灾害点在地形起伏度 $0 \sim 60$ m 的区间内分布了绝大多数,表明人类工程活动在这一区间是频繁的、剧烈的。纵观渠县滑坡的形成因素,多与切坡建房等人类工程活动等外部因素相

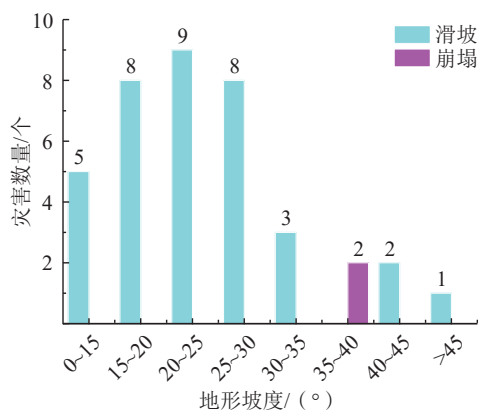


图 5 “8·8”暴雨地质灾害与地形坡度关系统计图

Fig. 5 Statistical map of the relationship between geological disasters of “8·8” rainstorm and terrain slope

关,而崩塌的形成因素则多与自身的地层岩性和岩土体结构等内部因素相关,因此,滑坡的发育随着地形起伏度增加,人类工程活动程度减弱而大幅减弱;而崩塌的发育则几乎不受限于此,多受控与其内在条件。图 7 是“8·8”暴雨地质灾害与地形起伏度关系统计图。地质灾害与地形起伏分布密度统计分析表明,随着地形起伏度增大,地质灾害发育密度基本呈递增趋势。

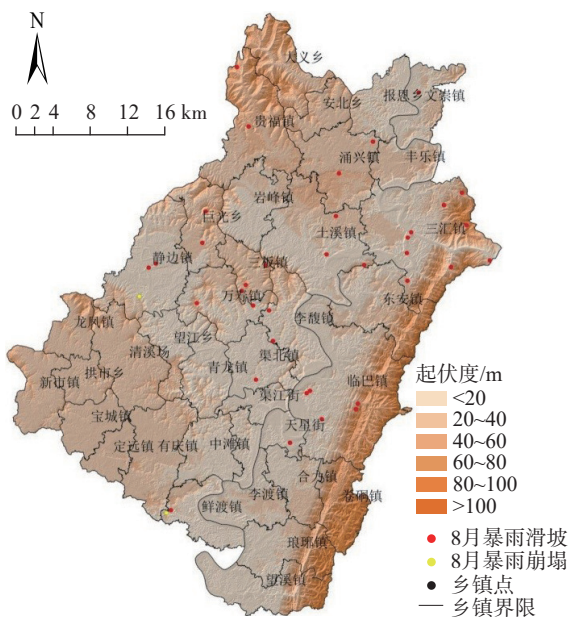


图 6 “8·8”暴雨地质灾害与地形起伏度关系图

Fig. 6 Relationship between “8·8” rainstorm geological hazards and terrain relief

4.3 “8·8”暴雨地质灾害在各高程带上的分布特征

图 8 是“8·8”暴雨地质灾害不同高程带分布图。渠县地质灾害点分布在 400 m 以下海拔发育有地质灾害隐患点占地质灾害隐患点总数的 50%。

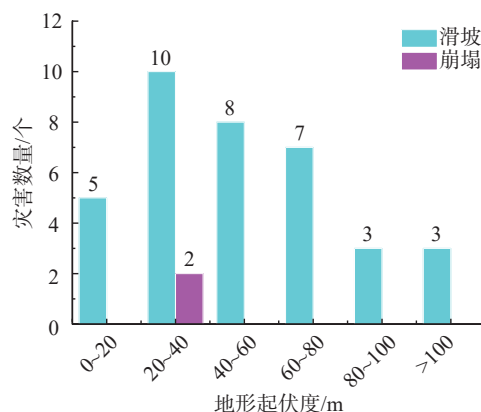


图 7 “8·8”暴雨地质灾害与地形起伏度关系统计图

Fig. 7 Statistical map of “8·8” rainstorm and terrain relief at the relationship between geological disasters

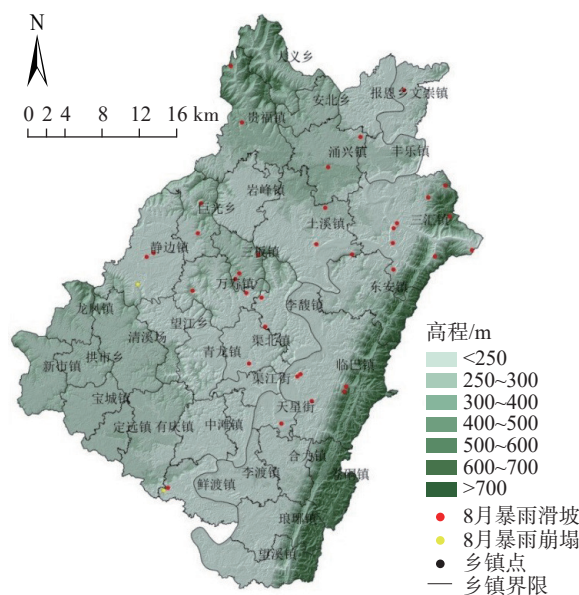


图 8 “8·8”暴雨地质灾害不同高程带分布图

Fig. 8 Distribution map of “8·8” rainstorm geological disasters at different elevation zones

图 9 是“8·8”暴雨地质灾害不同高程带的分布统计图。随着高程增加,地质灾害发育密度增大。地质灾害不同高程带分布密度统计分析表明,随着高程增加,地质灾害发育密度基本呈递增趋势,尤其是崩塌,250~500 m 高程区间内,其占比最大。

4.4 “8·8”暴雨地质灾害与斜坡结构关系

图 10 是“8·8”暴雨地质灾害与斜坡结构分布图,图 11 是“8·8”暴雨地质灾害与斜坡结构关系统计图。根据图中信息可知,区内地质灾害主要为滑坡、崩塌灾害。近水平层状坡、顺向坡和顺向斜向坡整体地质灾害发育密度大,逆向坡地质灾害密度发育小。

4.5 “8·8”暴雨地质灾害在各工程地质岩组分布特征

地层岩性往往是滑坡体的物质来源,特定区域的滑

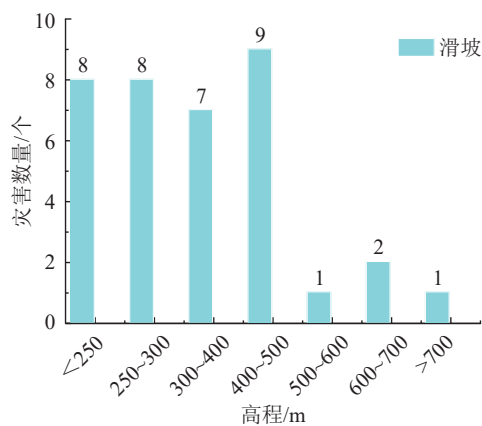


图 9 “8·8”暴雨地质灾害不同高程带的分布统计图

Fig. 9 Distribution statistical map of “8·8” rainstorm geological hazards in different elevation zones

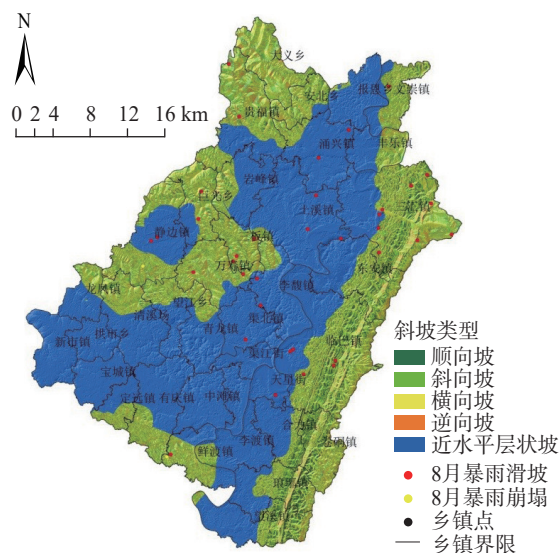


图 10 “8·8”暴雨地质灾害与斜坡结构分布图

Fig. 10 “8·8” rainstorm geological hazards and slope structure distribution map

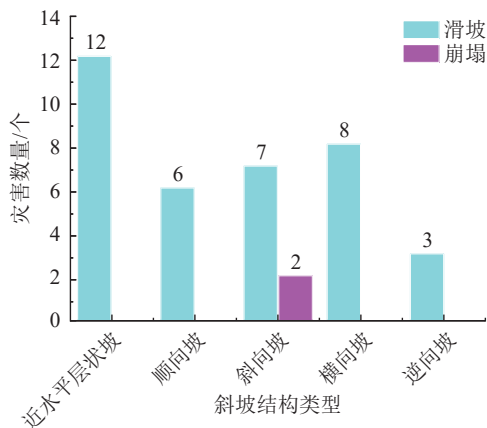


图 11 “8·8”暴雨地质灾害与斜坡结构关系统计图

Fig. 11 Statistical map of the relationship between the “8·8” rainstorm geological disaster and the slope structure

坡发育于特定的地层中。岩土体的物理力学性质、抗风化强弱及产生的各种变形破坏特征与岩石类型、层间结构及相应的软硬程度密切相关,所有地层岩性在一定程度上将影响斜坡稳定性和地表侵蚀难易程度,是滑坡地质灾害形成的极其重要的内在条件之一。如图 12 渠县土质滑坡与地层岩性关系分布图,渠县地层岩性大致可分为第四系松散岩组、粉砂质泥岩与砂岩互层岩组、粉砂质泥岩夹砂岩岩组、页岩夹粉砂岩岩组、灰岩、白云质灰岩、白云岩岩组。其中粉砂质泥岩与砂岩互层岩组、粉砂质泥岩夹砂岩岩组分布灾害点数最多,为 29 处,占总灾害点数的 76.31%(图 13)。因为红层软岩较软弱、强度低、力学性质差、水敏性强,浅表层出露基岩多为全风化-强风化,结构面发育,容易成为滑坡体的物质来源;且红层软岩在干湿交替作用下,风化迅速,遇水软化、泥化,常于上部土层与下部基岩分界处形成软弱带,为滑坡的发生提供天然滑移面,在强降雨的条件下,红层区易发生土质滑坡。

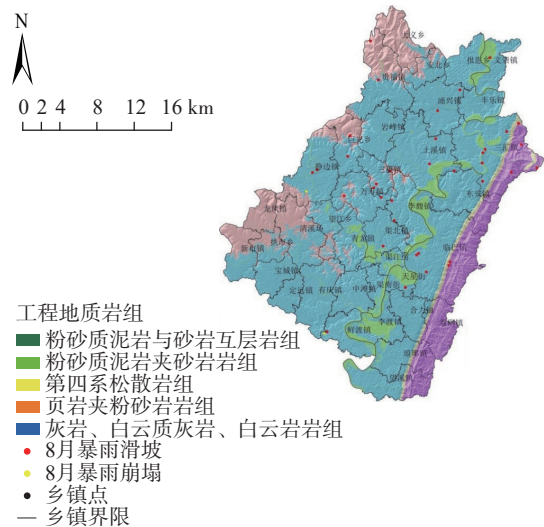


图 12 “8·8”暴雨地质灾害与工程地质岩组分布图

Fig. 12 “8·8” rainstorm geological disaster and engineering geological rock group distribution map

5 滑坡分布与“8·8”累计雨量相关关系

5.1 新增滑坡分布与“8·8”累计雨量关系

2021 年“8·8”特大暴雨,触发渠县发生大量的土质滑坡。在所有的诱发因素中,降雨是触发渠县土质滑坡最重要的外在因素,通过统计全县不同区域“8·8”特大暴雨 24 h 的累计雨量,渠县 2021 年“8·8”累计 24 h 雨量集中分布在 261.7 ~ 348 mm,其中又以 300 ~ 324.3 mm 累计雨量分布最多。如图 14 为“8·8”累计雨量与灾害点密度和灾害点数目图:有 27 个土质滑坡集中在 300 ~

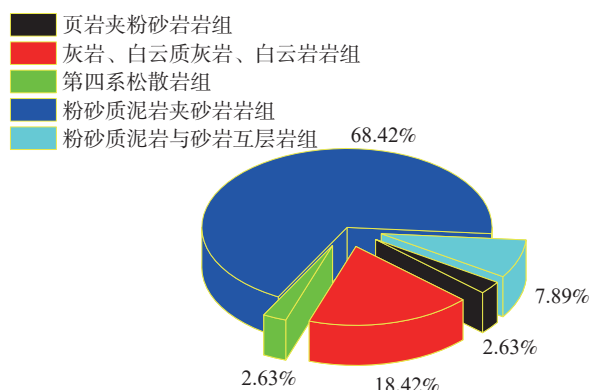


图 13 “8·8”暴雨地质灾害与工程地质岩组关系统计图

Fig. 13 Statistical table of the relationship between the “8·8” rainstorm geological disasters and engineering geological rock groups

注：2 处崩塌灾害处于粉砂质泥岩夹砂岩岩组。

325 mm 累计雨量内，其滑坡点密度为 1.766 个/100 km²；有 8 个滑坡分布在 290 ~ 300 mm 累计雨量内，滑坡点密度为 0.272 个/100 km²；在 280 ~ 290 mm 的累计雨量内 1 个灾害点，滑坡点密度为 0.076 6 个/100 km²；在 261.2 ~ 280 mm 的累计雨量内有 2 个灾害点，滑坡点密度为 0.051 1 个/100 km²。24 h 累计雨量越大，灾害点密度越大，灾害越易发生。

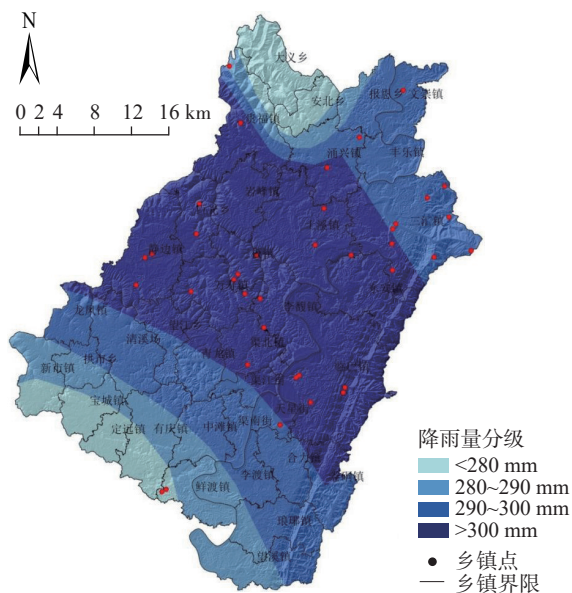


图 14 “8·8”累计雨量与灾害点密度和灾害点数目图

Fig. 14 “8·8” cumulative rainfall, density of disaster points and number of disaster points

5.2 已有滑坡变形加剧程度与“8·8”累计雨量关系

图 15 是“8·8”累计雨量与已有灾害点变形迹象加剧程度分布图。“8·8”暴雨前渠县全县共发育 190 个灾害点，经过“8·8”暴雨后，已有灾害点变形迹象出现不同程度加剧，其中变形迹象加剧程度严重的灾害点 23 处，

占总灾害点数的 12.1%，主要分布在静边、万寿、巨光等乡镇，其“8·8”累计 24 h 雨量集中分布在 337 ~ 348 mm；变形迹象加剧程度较严重的灾害点 84 处，占总灾害点数的 44.7%，主要分布在渠江社区、土溪、三汇、临巴等乡镇，其“8·8”累计 24 h 雨量集中分布在 334 ~ 339 mm；变形迹象加剧程度一般的灾害点 83 处，占总灾害点数的 43.2%，主要分布在县域南部的有庆、宝城、鲜渡等乡镇，其“8·8”累计 24 h 雨量集中分布在 261.7 ~ 293 mm 间。综上所述“8·8”24 h 累计雨量越大，已有灾害点变形迹象加剧程度越严重，灾情越大。

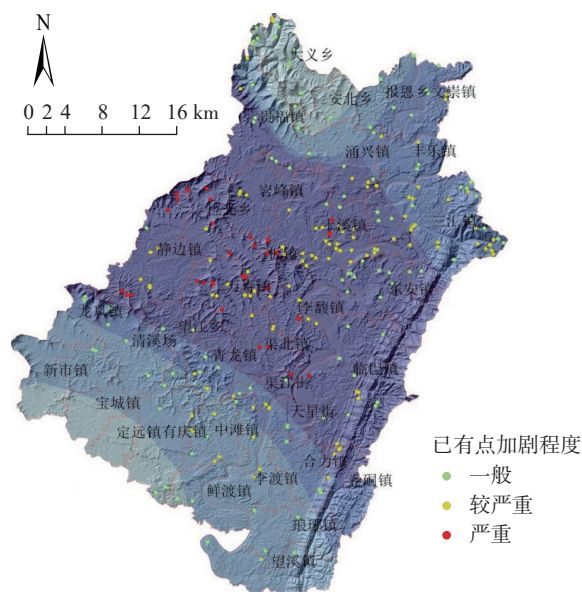


图 15 “8·8”累计雨量与已有灾害点变形迹象加剧程度分布图

Fig. 15 “8·8” cumulative rainfall and the distribution map of the intensified degree of deformation of the existing disaster points

5.3 降雨与地质灾害的关系

降雨是滑坡形成的主要诱发因素，渠县的滑坡多属暴雨型滑坡。降雨不仅增加土体自重，增大下滑推力，还转变为地下水，产生渗透力、扬压力，软化、润滑滑动面，对松散土体斜坡的稳定性极为不利。

降雨对崩塌的影响主要体现在两方面，一是泥化、软化下部软质岩层，形成良好的临空面和凹岩腔，二是产生较高的孔隙水压力，使裂缝增大、增宽。渠县的崩塌产生多与暴雨有关，暴雨时雨水迅速渗入岩体裂隙中，来不及消散，将产生很大的孔隙水压力，导致高位岩体产生崩塌。

综上所述可以看出，渠县地质灾害的发生同降雨之间具有密切关系，其中，滑坡灾害的强变形时间同汛期强降雨发生时间一致，这均说明降雨在地质灾害的形成和发生过程中起到重要作用，是地质灾害发生的触发因素或

诱发因素。降雨的高发份,在过去认为与太阳黑子的活动密切相关,但近随着全球气候变暖,厄尔尼诺现象频增,气候异常多发,大量 50 年乃至百年频率的降雨多发,使滑坡、崩塌等地质灾害受降雨因素的影响进一步加大。

6 控灾条件分析

6.1 各孕灾地质条件控制机制分析

暴雨诱发地质灾害与地貌关系:根据研究分析得知,渠县“8·8”暴雨诱发的地质灾害分布特征与地貌有密切关系,灾害强发育区主要位于中切宽谷缓坡丘陵区 and 低山区和浅切宽谷丘陵区,而河谷平坝区灾害发育强度相对较弱,究其原因:(1)河谷平坝区山体低矮,坡度相对较缓,无法提供滑坡所需的地势条件;(2)低山区的山体相对高度虽然较低,但是其坡度较大,暴雨浸润冲刷过后,坡表土层自重增大,黏聚力和内摩擦角降低,有利于斜坡失稳下滑;(3)中切宽谷缓坡丘陵区分布大量厚土层丘陵,暴雨过后,土层被雨水浸润通透,自重增加,黏聚力和内摩擦角降低,土丘在劣势面出现大体块滑移,形成灾害。

暴雨诱发地质灾害与地形坡度关系:滑坡多发于坡度 45° 以下, $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 区间最多,而坡度 $>40^{\circ}$,滑坡不发育,相反,此坡度易发育地质灾害为崩塌。导致出现这种现象的原因:(1)坡度大于 45° 时,坡表无法存留足量的残坡积物来作为滑坡体,所以滑坡在 45° 坡度以上表现为不发育;(2)大于 45° 坡度易发育崩塌,这是因为坡面岩体在差异性风化过后形成凹腔临空面,而较大的坡度给崩塌体提供了有利于启动的地势条件;(3)滑坡坡度主要集中在 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$,这是因为斜坡坡度小于 15° 时不能有效的将滑坡物重力转换成有效下滑力。

暴雨诱发地质灾害与地形起伏度分布关系:在地形起伏度为 $0 \sim 60$ m 的范围内分布了渠县大部分的地质灾害点。这是因为地质灾害点的发育和分布是以人为本,地形起伏度 $0 \sim 60$ m 的区间内人类工程活动频繁且剧烈,人类工程活动扰动山体,破坏斜坡原有的平衡状态。

暴雨诱发地质灾害在各高程带上的分布关系:渠县地质灾害点分布在 400 m 以下海拔发育有地质灾害隐患点占地质灾害隐患点总数的 50% ,这个海拔带,一是人类较为集中的生产生活栖息地,二是多为地形地貌转折部位,三是多为软弱泥岩地层出露或残坡积土石层较厚软弱岩土分布带,加上降雨量集中,故地质灾害多发于这些地区。

暴雨诱发地质灾害与斜坡结构关系:近水平层状坡、顺向坡和顺向斜向坡整体地质灾害发育密度大,逆向坡地质灾害密度发育小,这是因为顺向坡的岩层与土层交界面与滑坡方向一致,交界面中的软弱破碎带有助于滑坡下滑;逆向坡的岩层倾向和交界面与滑坡方向相反,对滑坡下滑有阻碍作用。

暴雨诱发地质灾害与工程地质岩组关系:粉砂质泥岩与砂岩互层岩组、粉砂质泥岩夹砂岩岩组分布灾害点数最多,为 27 处,占总灾害点数的 71.1% 。灾害主要分布在这种岩组地区的原因:粉砂质泥岩在暴雨雨水浸润后会形成泥化泥膜,这层泥化泥膜表面光滑,在滑坡面与滑床之间有润滑作用,有助于滑坡发育扩展。

暴雨诱发地质灾害与地质构造关系:距离断层越近,地质灾害发育程度越高。原因为:(1)断层活跃带附近基岩破碎程度相对较高,雨水更容易经过破碎带渗入地下,为滑坡提供外部动力;(2)断层错动形成危岩体和险峻山坡,这些危岩体为崩塌提供有利条件,险峻山体为滑坡形成提供有利的地势条件。

暴雨诱发的地质灾害集中于 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 坡度区间,坡度大于 40° 时滑坡不发育,崩塌发育。天然状态下,坡度 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 的斜坡处于稳定状态,大于 40° 的斜坡无法较好保留表层覆盖层,甚至基本无覆盖层,为纯岩质斜坡。降雨增大表层覆盖层的自重,降低覆盖层黏聚力及内摩擦角,但对纯岩质斜坡影响较小,因此,降雨导致滑坡主要集中在 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 坡度区间。大于 40° 的斜坡基本为岩质斜坡,因差异性风化导致表层岩石酥松易剥落,降雨的浸润作用加剧酥松岩体剥落,导致崩塌发生。

地质灾害集中于 $0 \sim 60$ m 起伏范围。人类工程活动主要集中在 $0 \sim 60$ m 起伏高差区域,该区域内降雨诱发的地质灾害威胁到人类工程的概率高。高于 60 m 起伏高差的区域人类工程活动少,该区域内降雨诱发的地质灾害威胁到人类工程的概率低。

近水平层状坡、顺向坡和顺向斜向坡的层状基岩倾向与斜坡倾斜方向一致,有利于斜坡顺岩层节理裂隙面滑动,降雨入渗导致斜坡自重增加,自身强度降低,斜坡表层沿着节理面下滑。逆向坡的层状基岩倾向与斜坡倾斜方向相反,岩层对表层覆盖层下滑有阻挡作用。

粉砂质泥岩夹砂岩岩组的灾害分布最多。粉砂质泥岩遇水膨胀 $9.0\% \sim 9.6\%$ ^[19],泥岩亲水性较好;砂岩空隙发育,吸水能力强,强风化砂岩遇水后软化崩解,强度明显降低。

6.2 各孕灾地质条件对灾害的控制程度分析

7 种孕灾地质条件对灾害影响程度各不相同,现在

基于影响机理和实际影响特征,对其影响程度排序:斜坡结构>地形坡度>工程地质岩组>地貌>地质构造>地形起伏度>高程。

斜坡结构中,顺层坡灾害密度大,驱动滑坡下滑所需坡度和外界因素较小,因此斜坡结构对灾害影响程度最大。地形坡度次之是因为大坡度斜坡如果是逆向坡结构时,这种斜坡结构能有效阻止滑坡下滑,发生滑坡的概率较小。工程地质岩组和地貌对滑坡发育有辅助作用,地质构造中的断层主要形成破碎带和险峻地势,大部分断层周围的地质灾害已经发生过,新灾害出现数量有限;地形起伏和高程主要与人类活动有关,地质灾害在人类活动区具有被选择性,人类活动对地质灾害具有避让性,因此将这两种孕灾条件排在最后。

7 结论

对渠县“8·8”特大暴雨引发的地质灾害和孕灾地质条件展开分析和研究,获得 5 点结论:

(1)“8·8”暴雨导致当日新增地质灾害隐患点 38 处,其中滑坡 36 处,崩塌 2 处,滑坡类型均为土质滑坡,崩塌类型均为岩质崩塌。

(2)孕灾地质条件有 7 种,即地貌、地形坡度、地形起伏度、高程、斜坡结构、工程地质岩组、地质构造,基于影响机理和实际影响程度对这七种孕灾条件的影响程度排序,排序为:斜坡结构>地形坡度>工程地质岩组>地貌>地质构造>地形起伏度>高程。

(3)有 27 个新增土质滑坡集中在 300~325 mm 累计雨量期间,8 个新增滑坡分布在 290~300 mm 累计雨量期间,在 261.2~280 mm 的累计雨量内有 2 个新增灾害点。

(4)累计雨量越大,已有灾害点变形迹象加剧程度越严重。“8·8”累计 24 h 雨量集中分布在 337~348 mm 间时,有 23 处变形迹象加剧程度严重的灾害点;累计 24 h 雨量集中分布在 334~339 mm 间时,变形迹象加剧程度较严重的灾害点 84 处;累计 24 h 雨量集中分布在 261.7~293 mm 间时,变形迹象加剧程度一般的灾害点 83 处。

(5)工程建设中减少高填方、高切坡的工程措施;汛期前、中、后时期进行排查,查清新增地质灾害隐患,核实已有隐患点现状,并及时上报,采取防灾措施。

参考文献(References):

[1] 铁永波,阮崇飞,杨顺,等.云南省贡山县“5·25”暴雨诱发地质灾害的特征与形成机制[J].水土保持通报, 2021, 41(2): 10-15.

[TIE Yongbo, RUAN Chongfei, YANG Shun, et al. Characteristics and mechanism of geological disasters induced by “5.25” rainstorm in Gongshan County of Yunnan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 10-15. (in Chinese with English abstract)]

[2] 黄玉华,冯卫,李政国.陕北延安地区 2013 年“7.3”暴雨特征及地质灾害成灾模式浅析[J].灾害学, 2014, 29(2): 54-59. [HUANG Yuhua, FENG Wei, LI Zhengguo. Characteristics and geological disaster mode of the rainstorm happened on July 3, 2013 in Yanan area of Shaanxi Province [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(2): 54-59. (in Chinese with English abstract)]

[3] 曾维刚,吴福.广西北部湾经济区台风暴雨引发的地质灾害风险评价[J].中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(1): 121-127. [ZENG Weigang, WU Fu. Risk assessment on geological disaster caused by typhoon and rainstorm in Beibu gulf economic zone of Guangxi Zhuang autonomous region [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2017, 28(1): 121-127. (in Chinese with English abstract)]

[4] 纪晓玲,杨婧,朱海斌,等.宁夏西吉两次诱发地质灾害的极值暴雨对比分析[J].灾害学, 2016, 31(4): 54-60. [JI Xiaoling, YANG Jing, ZHU Haibin, et al. Comparative analysis of extreme rainstorms inducing geologic hazards in Xiji [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(4): 54-60. (in Chinese with English abstract)]

[5] 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)]

[6] 黄玉华,武文英,冯卫,等.陕北延安“7·3暴雨”诱发地质灾害主要类型与特征[J].西北地质, 2014, 47(3): 140-146. [HUANG Yuhua, WU Wenying, FENG Wei, et al. Main types and characteristics of the geo-hazards triggered by heavy rain on July 3 in Yan'an, Shaanxi [J]. Northwestern Geology, 2014, 47(3): 140-146. (in Chinese with English abstract)]

[7] 李政国,薛强,张茂省,等.陕西省延安市地质灾害气象预警信息系统研究——以“7·3”暴雨为例[J].灾害学, 2016, 31(2): 69-73. [LI Zhengguo, XU Qiang, ZHANG Maosheng, et al. Study on the meteorological early-warning information system of geological disasters in Yanan city of Shaanxi province: Taking the rainstorm of “7·3” as an example [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 69-73. (in Chinese with English abstract)]

[8] 陈骏峰,杨宜军,王乐新,等.神农架林区“8·22”暴雨型地质灾害案例分析[J].资源环境与工程, 2013, 27(5):

- 665–667. [CHEN Junfeng, YANG Yijun, WANG Lexin, et al. Case study of geological hazards of “8·22” heavy rainfall in Shennongjia forest region [J]. *Resources Environment & Engineering*, 2013, 27(5): 665–667. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 唐名富, 全洪波, 梁文寿, 等. 广西龙胜镇浸沟暴雨型泥石流灾变机理及治理效果评价 [J]. *现代矿业*, 2021, 37(1): 204–207. [TANG Mingfu, QUAN Hongbo, LIANG Wenshou, et al. Catastrophic mechanism and evaluation of drought storm debris flow in Longsheng Town, Guangxi Province [J]. *Modern Mining*, 2021, 37(1): 204–207. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 黄楚惠, 李国平, 张芳丽, 等. 近10a气候变化影响下四川山地暴雨事件的演变特征 [J]. *暴雨灾害*, 2020, 39(4): 335–343. [HUANG Chuhui, LI Guoping, ZHANG Fangli, et al. Evolution characteristics of mountain rainstorms over Sichuan Province in the past ten years under the influence of climate change [J]. *Torrential Rain and Disasters*, 2020, 39(4): 335–343. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 唐尧, 王立娟, 唐梓洋, 等. 基于“高分+应急监测”的“8·20”汶川暴雨灾害链灾情分析 [J]. *国土资源信息化*, 2020(3): 22–27. [TANG Yao, WANG Lijuan, TANG Zhiyang, et al. Disaster analysis of “8·20” Wenchuan rainstorm disaster chain based on “Gaofen + emergency monitoring” [J]. *Land and Resources Informatization*, 2020(3): 22–27. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 顾婷婷, 邓闯, 潘娅英, 等. 基于模糊综合评价法的浙江省高速公路暴雨灾害风险评估 [J]. *干旱气象*, 2018, 36(5): 873–878. [GU Tingting, DENG Chuang, PAN Yaying, et al. Risk division of rainstorm disasters on expressway in Zhejiang Province based on fuzzy comprehensive evaluation method [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2018, 36(5): 873–878. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 李守定, 乔华, 马世伟, 等. 基于温度-降雨双参数的新疆地质灾害预警模型 [J]. *水利水电技术(中英文)*, 2021, 52(11): 207–218. [LI Shouding, QIAO Hua, MA Shiwei, et al. Temperature-rainfall dual parameter-based early warning model for geological disasters in Xinjiang [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2021, 52(11): 207–218. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 李滨, 冯振, 赵瑞欣, 等. 三峡地区“14·9”极端暴雨型滑坡泥石流成灾机理分析 [J]. *水文地质工程地质*, 2016, 43(4): 118–127. [LI Bing, FENG Zhen, ZHAO Ruixin, et al. Mechanism of “14·9” rainstorm triggered landslides and debris-flows in the Three Gorges area [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2016, 43(4): 118–127. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 何秉顺. 河南郑州山区4市2021年“7·20”特大暴雨灾害调查的思考与建议 [J]. *中国防汛抗旱*, 2022. [HE Bingshun. Reflections and suggestions on the investigation of the “July 20” severe rainstorm disaster in 4 cities in the mountainous area of Zhengzhou, Henan in 2021 [J]. *China Flood & Drought Management*, 2022. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 刘志中, 宋英旭, 叶润青. 渝东北2014年“8·31”暴雨诱发滑坡遥感解译与分析 [J]. *自然资源遥感*, 2021, 33(4): 192–199. [LIU Zhizhong, SONG Yingxu, YE Runqing. An analysis of rainstorm-induced landslides in northeast Chongqing on August 31, 2014 based on interpretation of remote sensing images [J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2021, 33(4): 192–199. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 陈宫燕, 普布桑姆, 次仁, 等. 西藏林芝降水引发的山洪地质灾害分布特征 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2018, 29(2): 100–103. [CHEN Gongyan, PU Busangmu, CI Ren, et al. Distribution characteristics of mountain flood and geological disaster caused by precipitation of Nyingchi in Tibet [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2018, 29(2): 100–103. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 林虹宇, 丁明涛, 余涛, 等. 岷江上游典型泥石流活动特征及其易发性评价 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2017, 28(4): 6–15. [LIN Hongyu, DING Mingtao, SHE Tao, et al. Characteristic analysis and susceptibility assessment of the typical debris flow in the upper reaches of Min river [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2017, 28(4): 6–15. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 杨建林, 王来贵, 李喜林, 等. 粉砂质泥岩遇水损伤规律及化学改性研究 [J]. *硅酸盐通报*, 2016, 35(6): 1883–1890. [YANG Jianlin, WANG Laigui, LI Xilin, et al. Damage-law of silty-mudstone in water and chemical modification [J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2016, 35(6): 1883–1890. (in Chinese with English abstract)]