

doi: 10.6046/zrzyyg.2023002

引用格式: 和海霞,李博. 青海大通“8·18”山洪灾害特征及风险分析[J]. 自然资源遥感, 2024, 36(2): 135–141. (He H X, Li B. Characteristics and risk analysis of the flash flood occurring in Datong of Qinghai Province on August 18, 2022[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2024, 36(2): 135–141.)

青海大通“8·18”山洪灾害特征及风险分析

和海霞¹, 李博²

(1. 应急管理部国家减灾中心, 北京 100024; 2. 应急管理部国家自然灾害防治研究院, 北京 100085)

摘要: 2022 年 8 月 18 日凌晨, 青海省西宁市大通回族土族自治县发生山洪灾害, 导致 26 人死亡、5 人失联, 这是典型的小溪小河发生灾害造成多人伤亡事件。降雨叠加是此次山洪灾害的直接原因, 前期连续降雨使土壤含水量达到或接近饱和, 2022 年 8 月 17 日晚超历史记录局地短时强降雨难以通过土壤下渗或被植被截留, 形成山洪灾害。综合分析遥感数据、数字高程模型、现场数据和媒体数据发现, 山洪区具有汇水面大、河谷狭窄、相对高差大、河道较浅、障碍物多等特征, 造成山洪势能大、运动距离长、局地雍水外溢严重, 致使沟道两侧部分房屋、农田、道路等被冲毁。全球变化背景下, 西北干旱区、青藏高原等山洪低风险区降水量显著增加, 局地短时强降雨时有发生, 小溪小河发生山洪甚至特大山洪风险形势日益严峻, 如再次遭遇强降雨灾区存在山洪灾害复发风险。

关键词: 山洪灾害; 成因特点; 遥感监测; 风险分析

中图法分类号: TP 751 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2024)02-0135-07

0 引言

活跃的地质构造、巨大的地形高差、丰沛的夏秋降雨、密集的人口分布和高强度的人类活动等因素组合叠加, 造成我国山洪灾害点多面广、多发频发, 严重威胁广大山区人民群众生命财产安全和重大工程安全^[1]。据水利部统计, 山洪灾害伤亡人数占洪涝灾害伤亡人数 70% 左右。山洪灾害突发性强、成灾快、破坏性大、监测预警难度大, 是我国自然灾害风险防范的难点和薄弱环节^[2]。根据全国山洪灾害调查评价成果^[3], 我国山洪灾害存在较为明显的空间分异特征, 92% 的山洪灾害发生在胡焕庸线以东地区^[4]。一般情况下, 山洪高风险区为川渝生态区、华南生态区、云贵高原和长江中下游地区, 低风险区为西北干旱区、青藏高原、内蒙古高原和东北生态区^[5]。

需要特别注意的是, 近年来, 受全球变化影响, 西北地区降水量和大气中的含水量均呈现增加趋势^[6], 山洪灾害甚至特大山洪灾害风险形势日益严峻, 山洪灾害事件时有发生。如 2010 年 8 月 8 日, 甘肃省舟曲县发生新中国成立以来最为严重的山洪泥石流灾害, 造成 1 501 人死亡, 264 人失踪, 城乡居

民住房被大量损毁, 交通、供水、供电、通信等基础设施陷于瘫痪, 白龙江河道严重堵塞, 堰塞湖致使大片城区长时间被水淹^[7]。2022 年 8 月 18 日凌晨, 青海省西宁市大通回族土族自治县发生山洪灾害。据青海省应急管理厅统计, 截至 8 月 21 日 16 时, 山洪灾害已造成 26 人死亡, 5 人失联。本文复盘大通山洪灾害过程, 研判致灾和成灾特征, 分析山洪灾害风险, 以提高决策者和公众的山洪灾害风险防范意识和能力, 为未来科学防范应对类似灾害风险提供参考。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

大通回族土族自治县地处青海省东部河湟谷地, 祁连山南麓, 是青藏高原和黄土高原过渡地带, 位于 100°51′~101°56′E, 36°43′~37°23′N 之间, 海拔 2 280~4 622 m, 属高原干旱、半干旱大陆性气候, 降雨量小但相对集中^[8], 年降水量 430~800 mm^[9]。大通回族土族自治县的居民地和农业区大多在东南部, 位于湟水支流黑林河和北川河河流阶地后缘与丘陵交界的山麓地带^[10]。2022 年 8 月 17 日晚, 大通回族土族自治县局地发生短时强降雨, 18 日凌晨

收稿日期: 2023-01-03; 修订日期: 2023-05-18

基金项目: 国家重点研发计划“多灾种灾害风险遥感监测预警关键技术与应急业务服务示范”(编号: 2021YFB3901200)。

第一作者: 和海霞(1980-), 女, 研究员, 主要研究方向为空间技术应急管理应用。Email: 53651059@qq.com。

通信作者: 李博(1981-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为自然灾害防治技术。Email: 77096014@qq.com。

青林乡和青山乡交界处发生山洪灾害,研究区地理位置见图 1。

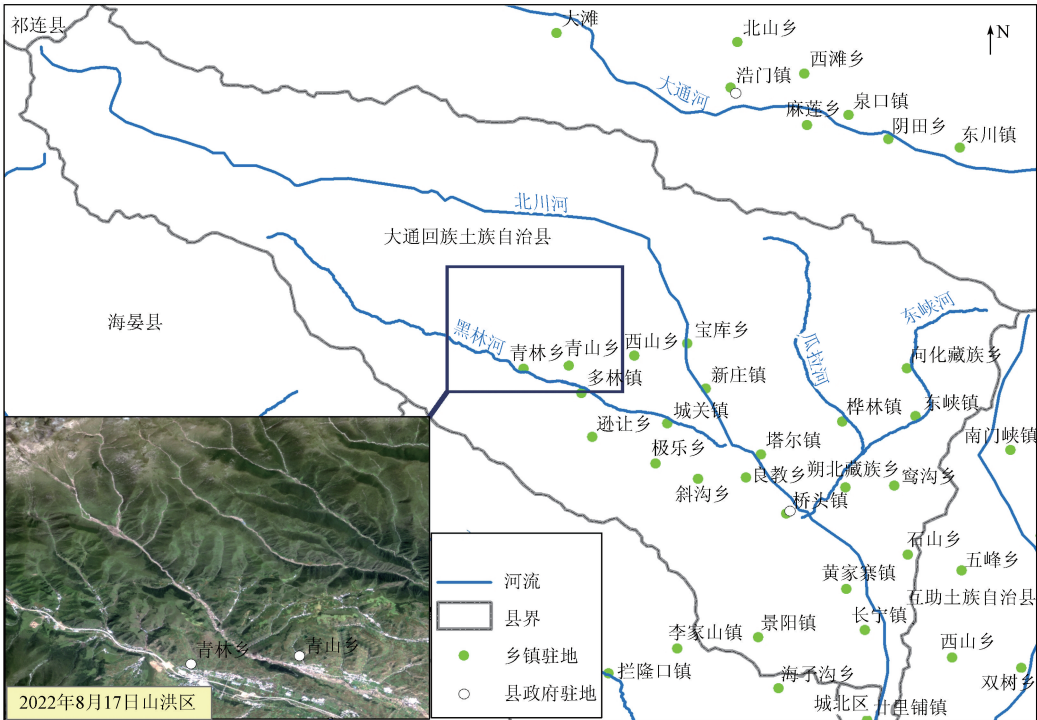


图 1 研究区地理位置示意图
Fig.1 Location map of study area

1.2 数据源

本文利用资源一号 02D 卫星(又称为 5 m 光学业务卫星)和高分二号卫星数据(基本参数如表 1 所示)开展山洪灾害范围和损毁监测。2014 年 8 月 19 日,高分二号卫星在太原卫星发射中心成功发射^[11]。2019 年 9 月 12 日,资源一号 02D 卫星在太原卫星发射中心成功发射,搭载了一台可见光近红外相机,一台高光谱相机^[12-13]。

灾前数据为 2021 年 9 月 11 日的高分二号卫星数据,灾后数据为 2022 年 8 月 20 日的资源一号 02D 卫星数据。利用自然资源部国土卫星遥感应用中心提供的资源一号 02D 卫星和中国资源卫星应用中心公布的高分二号卫星绝对定标系数和光谱响应函数,进行辐射定标和大气校正^[14]。采用像素刻刀软件进行全色和多光谱融合,利用全球公开的 Sentinel-2 几何影像作为参考影像进行几何精校正^[15],得到灾前 1 m 和灾后 2.5 m 的多光谱融合产品。

此外,从 <https://search.asf.alaska.edu> 网站下载了数字高程模型,用于分析山洪灾害形成原因。数字高程模型数据由 ALOS(Advanced Land Observing Satellite)卫星相控阵型 L 波段合成孔径雷达(PALSAR)生成,分辨率为 12.5 m。

表 1 资源一号 02D 卫星与高分 2 号卫星载荷主要参数

Tab.1 Parameters of ZY1-02D and GF2 satellites			
卫星	资源一号 02D 卫星		高分二号卫星
载荷	可见近红外相机	高光谱相机	全色和多光谱相机
光谱范围/ μm	0.452~0.902 (全色)		
	0.452~0.521		0.45~0.901 (全色)
	0.522~0.607		
	0.635~0.694	0.452~0.902	0.45~0.524
	0.776~0.895	166 个波段	0.52~0.594
	0.416~0.452		0.63~0.694
	0.591~0.633		0.77~0.894
	0.708~0.752		
	0.871~1.047		
空间分辨率/m	全色 2.5 多光谱 10	30	全色 1 多光谱 4
幅宽/km	115	60	45

2 致灾特征分析

2022 年 8 月 19 日零时,青海省西宁市大通回族土族自治县“8·18”山洪灾害抢险救援处置工作应急指挥部举行新闻发布会介绍,经自然资源、水利、气象等部门现场查看,初步分析成因如下:一是连续降雨致使土壤水量达到或接近饱和;二是此次降雨时间短、强度大;三是 17 日晚强降雨导致河道流量突增至 100 m³/s 左右,引发山洪灾害^[16]。在此基础上,本文耦合降水、地形地貌、承灾体分布等

信息,深入分析致灾特征。

1)前期持续降雨、事发当日短时强降水是山洪灾害直接诱因。学者研究表明,青海东部降雨强度超过 25 mm/h 就会形成山洪^[17]。2022 年 8 月初至灾害发生,大通回族土族自治县青林乡降雨量累计达 114 mm,超过 50 a 来 8 月平均值。8 月 17 日 22—23 时,青林乡和青山乡发生短时强降水,降雨量分别达到 39.3 mm 和 34.6 mm,均为建站以来历史第一位。大通国家气象站 17 日 23 时—18 日 0 时降雨量 40.6 mm,小时雨强为 1984 年以来最大。局地雨强超过 25 mm 山洪阈值,诱发山洪灾害。

2)河谷狭窄、相对高差大是山洪运动距离长、影响范围大的主要原因。前期土壤含水量较大,达到或接近饱和,短时强降水难以通过土壤下渗;山地坡度大,短时强降水也难以被植被截留,沿着斜坡快速汇集至沙岱河形成下泄水流,造成河道水量显著增大,流量由多年平均流量每秒 1.07 m³ 陡增至 100 m³ 左右。此外,汇水面起点至八哈呼相对高差

为 892 m、至张家庄相对高差达 1 223 m,从八哈呼到张家庄相对高差为 331 m(见图 2),沙岱河上下游如此大的相对高差造成下泄水流速度快、重力势能大。此外,受灾区山脉河谷相间,沙岱河河道宽度约为 3 m、河谷宽度约为 380 m,均远远小于山脉宽度,如此狭窄的河道和河谷宽度难以容纳突发山洪,只能沿着河道和河谷向下游运动。多因素共同作用造成八哈呼(山洪影响的第一个居民区)至张家村(山洪结束地)山洪运动距离长达 13.4 km。

3)河道较浅、障碍物多是山洪灾害破坏性大的根本原因。灾区人多地少,为缓解人地矛盾,河道周围被开发,人们在河道周围修建房屋和道路、种植树木和作物。山洪下泄过程中,推动碎石等杂物一起运动,冲刷损毁房屋、农田和道路等。房屋、树木、石头等阻水物影响山洪下泄,发生雍水、涨水,因河道较浅,洪水快速外溢淹没河道周围房屋、农田和道路,央广网相关报道图见图 3。

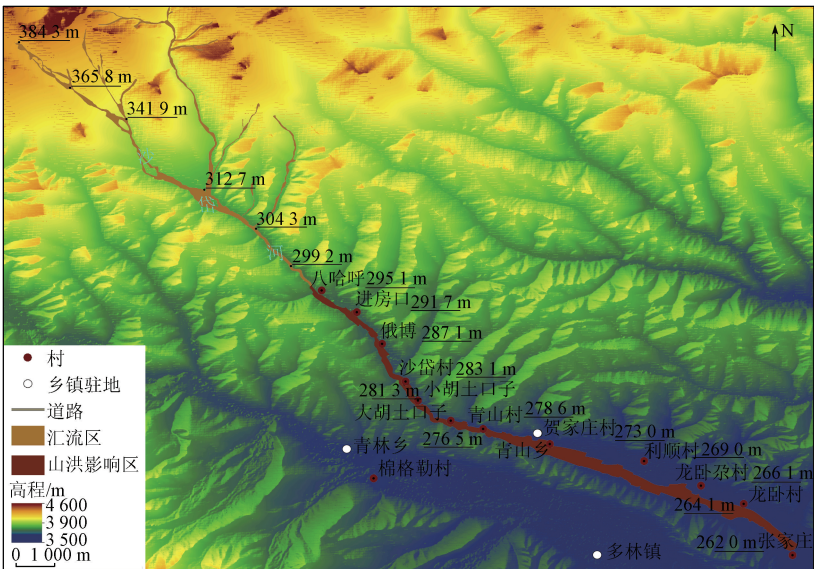


图 2 灾区周边数字高程图

Fig.2 DEM of disaster area



图 3 贺家庄周边灾后航空摄影图

Fig.3 Post-disaster aerial map around Hejiashuang

3 成灾特征分析

由灾前灾后遥感影像对比可知,山洪区在真彩色合成影像上显示为灰白色调,有水流冲刷的纹理特征,与农田、房屋、道路、山体等地物具有明显的空间和光谱特征差异(图 4)。山洪灾害导致部分房屋被完全冲毁、部分房屋主体结构严重损毁,碎石、淤泥等杂物淤积或洪水冲击造成部分房屋中度损毁,部分房屋还出现进泥、进水等轻度损毁等情况。这些复杂场景叠加混合像元的影响,造成山洪灾害范围和房屋损毁难以实现计算机自动识别。本文采用计算机自动识别和人工解译结合的方法,开展洪涝

灾害范围和房屋损毁分析。

灾前河道范围和灾后山洪区提取采用区域生长算法,其基本思想是具有相似准则的像素空间聚类过程。即由一个种子像素出发,通过设置阈值,从其领域中搜索辐射特征和结合特征预期差异最小的像素,再重复迭代搜索,直至目标区域内全部符合条件的像素都被聚类,构成区域。之后,利用灾前灾后变化检测方法,全面综合现场信息、媒体信息、山洪范

围等多源信息,解译山洪范围分布和解译房屋损毁情况(图 4)。此次山洪灾害范围为 2.6 km²(图 5)。受沙岱河两岸山体阻挡,山洪范围在沙岱河两岸呈窄条带状分布,具有集中、连续等特征。青山乡八哈呼、进房口、俄博、沙岱村、小胡土口子、大胡土口子、青山村、贺家庄村、利顺村、龙卧孕村、龙卧村等地房屋存在不同程度损毁,损毁房屋占地面积约为 0.25 km²。

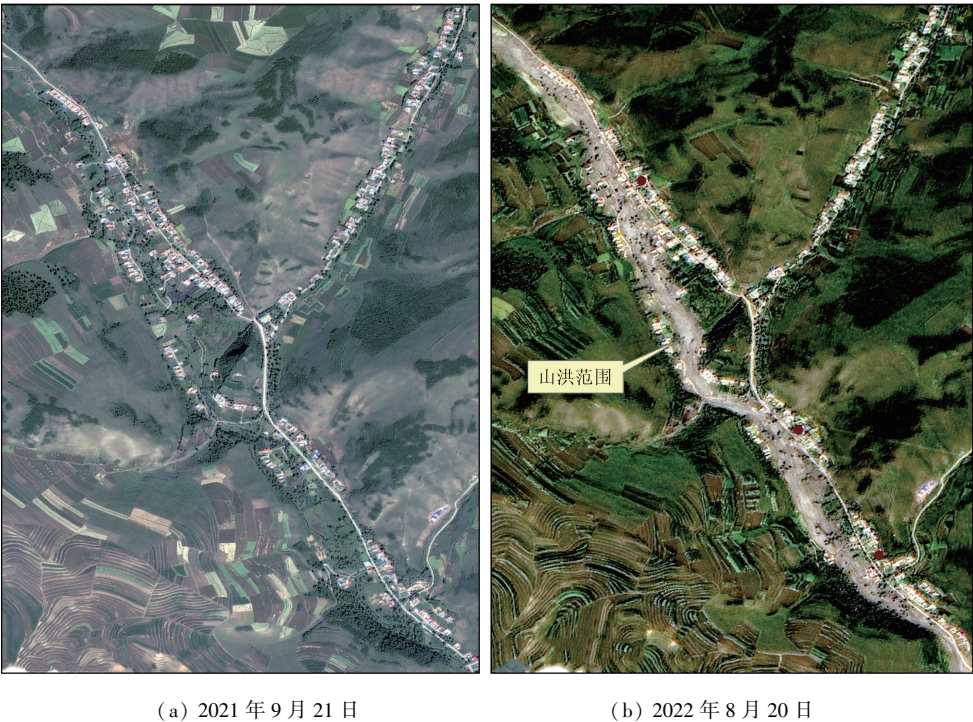


图 4 山洪灾害范围遥感解译特征

Fig. 4 Remote sensing interpretation characteristics of flash flood extent



图 5 山洪灾害范围分布图

Fig. 5 Map of flash flood extent

河道上游山洪冲击速度和力度较大,房屋损毁以完全冲毁为主。受碎石、淤泥、树木等阻水物影响,河道中游山洪冲击速度和力度有所减弱,房屋损毁以严重损毁为主。河道下游山洪冲击速度和力度

明显减弱,但下游地势较低,大量洪水雍集滞留,房屋损毁以进泥、进水等中度损毁和轻度损毁为主。此外,受涨水影响,距河道近损毁重、较远损失较轻(图 6)。

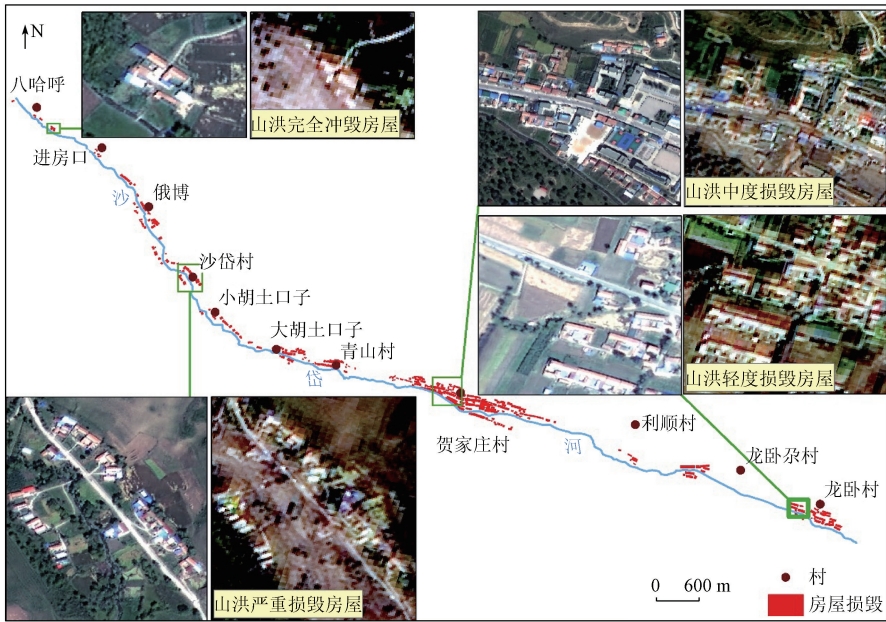


图 6 房屋损毁前后对比图

Fig. 6 Comparison images before and after the house damage

4 风险分析

本文从风险源、风险载体和防灾减灾救灾措施等视角,分析山洪灾害风险。

1) 山洪重复发生风险源增多。近年来,在全球变化影响下,西北气候向暖湿转型,降水量显著增加^[18],极端天气气候事件时有发生,类似青海大通这样一个或几个乡范围内的局地短时强降雨及其引发的山洪灾害风险变大,地质灾害、城乡内涝、堰塞湖等山洪次生链生灾害发生风险不确定性增强。据统计,2013—2015 年,13.6%的山洪灾害防治规划县多次重复遭受山洪灾害。同一县每年重复遭受山洪灾害最多达 7 次^[19]。与南方相比,西北干旱区、青藏高原等地山洪灾害风险低,部分干部群众存在麻痹和侥幸心理,认为山洪灾害发生概率低、已发生山洪地区重复发生可能性不大,缺乏对山洪及其次生灾害的防范意识,一旦重复受灾或次生灾害叠加灾情可能偏重。此次大通山洪灾害发生后第二天,部分村民就进山找牛羊,若发生滑坡、泥石流等次生灾害,后果将不堪设想。

2) 风险载体防范应对能力不高。风险载体是风险直接承受体。人员等风险载体风险防范应对能力高,防灾避险能力强,风险转化为灾害时受到的影响小。据青海大通山洪灾害亲历者讲述,有村民在

上游看到山谷中洪水汇流而下,提前通知下游房屋中的家人转移,避免了人员伤亡;也有村民在上游得知山洪,在通知家人撤离时,因通讯中断,家人不幸被山洪冲走遇难;有的村庄在山洪来临前获知消息,但个别人员来不及转移被山洪冲走失联。由此可见,基层干部群众具备基础的山洪防灾避险意识和一定的自救互救能力,但是因日常培训演练不够、硬件设施配备不够,灾后第一时间自救互救能力仍需提升。尤其是依山傍水地区的人们,更要增强灾害风险意识,全面提升风险防范能力。

3) 防灾减灾救灾措施仍需加强。重大山洪灾害发生区应列入高风险区,设立气象、水文等观测站点,在诱发山洪多的溪河上游加密地面观测网络,提高装备配置水平,加强自然灾害风险隐患报送工作,全面加强人防技防支撑能力建设。科学、全面开展河谷下垫面开发利用程度、山洪灾害复发风险以及次生链生灾害发生等综合风险研判,充分发挥防灾减灾救灾科技支撑作用。恢复重建工程选址要统筹规划,充分分析山洪受灾范围以及重建区斜坡场址稳定性和灾害风险,对于存在灾害隐患又必须利用的场地,必须实施防治工程,达到工程安全要求后再建设。

5 结论与建议

本文利用遥感影像、数字高程模型、现场信息和

媒体信息,复盘分析青海大通山洪灾害后认为,青海大通山洪灾害是小溪小河发生灾害造成多人伤亡的典型事件,是在河谷狭窄、相对高差大、河道较浅等特殊地形地貌背景下,耦合前期持续降雨和事发当日短时强降雨形成的自然灾害,具有运动里程长、影响范围大、受灾区集中、造成损失重等特点。

山洪灾害防治是一个世界性难题,需要系统性的解决方案。我国政府高度重视山洪灾害防治,2006 年国务院批复了《全国山洪灾害防治规划》,实施了全国山洪灾害防治项目,摸索出了一套行之有效的山洪灾害防御技术体系和组织管理体系。全球变化背景下,西北干旱区、青藏高原等山洪低风险区降水量显著增加,小溪小河发生山洪甚至特大山洪风险形势日益严峻,灾区重复发生山洪灾害风险仍然较高,防御形势依然复杂严峻,亟须采用多种手段提升干部群众灾害风险防范应对意识和能力。复盘分析大通山洪灾害形成原因、发展特征,有利于发现小溪小河山洪灾害风险防范应对过程中的薄弱环节,有助于改进工作组织、物资配置等工作。

参考文献 (References):

[1] 崔鹏,邹强. 山洪泥石流风险评估与风险管理理论与方法[J]. 地理科学进展,2016,35(2):137-147.
Cui P,Zou Q. Theory and method of risk assessment and risk management of debris flows and flash floods[J]. Progress in Geography,2016,35(2):137-147.

[2] 张志彤. 我国山洪灾害特点及其防治思路[J]. 中国水利,2007(14):14-15.
Zhang Z T. Characters of mountain flood disasters in China and prevention methods[J]. China Water Resources,2007(14):14-15.

[3] 郭良,丁留谦,孙东亚,等. 中国山洪灾害防御关键技术[J]. 水利学报,2018,49(9):1123-1136.
Guo L,Ding L Q,Sun D Y,et al. Key techniques of flash flood disaster prevention in China[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2018,49(9):1123-1136.

[4] 胡焕庸. 中国人口之分布—附统计表与密度图[J]. 地理学报,1935(2):33-74.
Hu H Y. Distribution of population in China - statistical table and density map[J]. Acta Geographica Sinica,1935(2):33-74.

[5] 刘业森,杨振山,黄耀欢,等. 建国以来中国山洪灾害时空演变格局及驱动因素分析[J]. 中国科学:地球科学,2019,49(2):408-420.
Liu Y S,Yang Z S,Huang Y H,et al. Spatiotemporal evolution and driving factors of China's flash flood disasters since 1949[J]. Scientia Sinica(Terrae),2019,49(2):408-420.

[6] 王澄海,张晟宁,张飞民,等. 论全球变暖背景下中国西北地区降水增加问题[J]. 地球科学进展,2021,36(9):980-989.
Wang C H,Zhang S N,Zhang F M,et al. On the Increase of precipitation in the northwestern China under the global warming[J]. Advances in Earth Science,2021,36(9):980-989.

[7] 国务院. 国务院关于印发舟曲灾后恢复重建总体规划的通知. [EB/OL]. (2010-11-10) [2023-05-18]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2010-11/10/content_6563.htm

[8] 辛荣芳,李宗仁,张焜,等. 青海省湟水流域地质灾害动态变化遥感监测[J]. 自然资源遥感,2022,34(4):254-261. doi:10.6046/zrzyyg.2021313.
Xin R F,Li Z R,Zhang K,et al. Remote sensing monitoring of the dynamic changes in geologic hazards in the Huangshui River basin of Qinghai Province[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2022,34(4):254-261. doi:10.6046/zrzyyg.2021313.

[9] 大通土族自治县人民政府. 魅力大通. [EB/OL]. [2023-05-18]. <http://www.datong.gov.cn/>.
People's Government of Datong Tu and Hui Autonomous County. Charming Datong[EB/OL]. [2023-05-18]. <http://www.datong.gov.cn/>.

[10] 张志军,庄永成. 基于 GF-1 数据的地质灾害遥感调查—以青海大通县为例[J]. 科学技术与工程,2017,17(18):9-17.
Zhang Z J,Zhuang Y C. 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.

[11] 潘腾. 高分二号卫星的技术特点[J]. 中国航天,2015(1):3-9.
PAN T. Technical characteristic of Gaofen-2 satellite[J]. Aerospace China,2015(1):3-9.

[12] 张宏宇,韩波,王啸虎,等. 资源一号 02D 卫星总体设计与技术特点[J]. 航天器工程,2020,29(6):10-18.
Zhang H Y,Han B,Wang X H,et al. System design and technique characteristic of ZY-1-02D satellite[J]. Spacecraft Engineering,2020,29(6):10-18.

[13] 魏红艳,肖晨超,宋庆君,等. 资源一号 02D 卫星在轨测试自然资源典型应用[J]. 航天器工程,2020,29(6):148-154.
Wei H Y,Xiao C C,Song Q J,et al. Natural resources typical applications in on-orbit test of ZY-1-02D satellite[J]. Spacecraft Engineering,2020,29(6):148-154.

[14] 申茜,姚月,李利伟,等. 北京市平原区 2015 年—2019 年 0.8 m 地表反射率数据集[J]. 遥感学报,2021,25(11):2303-2312.
Shen Q,Yao Y,Li L,et al. Annual 0.8 m surface reflectance data set of Beijing plain area from 2015 to 2019[J]. National Remote Sensing Bulletin,2021,25(11):2303-2312.

[15] 薛玉斌,王淳,马洪婷. 青海大通县公布“8·18”山洪灾害成因. [EB/OL]. (2022-08-19) [2023-05-18]. http://www.xinhuanet.com/2022-08/19/c_1128928016.htm.
Xue Y B,Wang B,Ma H T. Datong County, Qinghai Province announces the causes of the "8.18" flash flood disaster. [EB/OL]. (2022-08-19) [2023-05-18]. http://www.xinhuanet.com/2022-08/19/c_1128928016.htm.

[16] 贾君. 青海东部黄土分布区山洪灾害成因、特点及防治措施[J]. 青海科技,2011,18(5):55-57.
Jia J. Flash flood causes, characteristics and prevention measures of loess area in eastern Qinghai[J]. Qinghai Science and Technology,2011,18(5):55-57.

[17] 范一大,和海霞,李博,等. 基于 HJ-1 CCD 数据的洪涝灾害范围动态监测研究——以黑龙江省抚远县为例[J]. 遥感技术与应用,2016,31(1):102-108.

Fan Y D, He H X, Li B, et al. Research on flood disaster extent dynamics monitoring using HJ-1CCD: A case study in Fuyuan of Heilongjiang Province, Northeastern China [J]. Remote sensing technology and application, 2016, 31(1): 102-108.

[18] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.

Shi Y F, Shen Y P, Li D L, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in northwest China[J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152-164.

[19] 何秉顺, 马美红, 李青, 等. 我国山洪灾害防治现状与特点探析[J]. 中国农村水利水电, 2021(5): 133-138, 144.

He B S, Ma M H, Li Q, et al. Current situation and characteristics of flash flood prevention in China[J]. China Rural Water and Hydropower, 2021(5): 133-138, 144.

Characteristics and risk analysis of the flash flood occurring in Datong of Qinghai Province on August 18, 2022

HE Haixia¹, LI Bo²

(1. National Disaster Reduction Center of China, Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China, Beijing 100024, China; 2. National Institute of Natural Hazards, Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China, Beijing 100085, China)

Abstract: In the early morning of August 18, 2022, a flash flood occurred in Datong Hui and Tu Autonomous County, Xining City, Qinghai Province, resulting in 26 deaths and 5 missing. This flash flood is a typical event of multiple casualties caused by a creek disaster. The superimposed effect of rainfall directly led to this flash flood. The early continuous rainfall caused soil moisture content to reach or approach saturation. On the night of August 17, 2022, local short-time heavy rainfall smashing historical records, which could not infiltrate into the soil or be retained by vegetation, resulted in a flash flood. As revealed by the comprehensive analysis of remote sensing data, digital elevation model, field data, and media data, the flash flood area exhibited a large catchment area, a narrow river valley, a high relative height difference, a shallow river channel, and many obstacles. Consequently, the flash flood manifested high potential energy, a long movement distance, and locally severe backwater overflow, destroying some houses, farmland, and roads on both sides of the river channel. Against the backdrop of global changes, low-risk areas of flash floods, including the arid region of northwest China and the Qinghai-Tibet Plateau, display significantly increased precipitation and frequent local short-time heavy rainfall. Hence, creeks in these low-risk areas are exposed to increasing risks of flash floods and even catastrophic ones. Additionally, heavy rainfall might induce the recurrence of flash floods in disaster areas.

Keywords: flash flood; origin and characteristics; remote sensing monitoring; risk analysis

(责任编辑: 李 瑜)