

黄河流域甘肃段地质灾害发育特征

郭富, 宋晓玲, 刘明霞

The development characteristics of geological hazards in Gansu segment of the Yellow River basin

GUO Fuyun, SONG Xiaoling, and LIU Mingxia

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.05-16>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

雅鲁藏布江下游色东普沟高位地质灾害发育特征遥感解译

Remote sensing interpretation of development characteristics of high-position geological hazards in Sedongpu gully, downstream of Yarlung Zangbo River

李壮, 李滨, 高杨, 王猛, 赵超英, 刘晓杰 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 33-41

西藏然乌湖口高位地质灾害变形特征分析

Analysis on deformation characteristics of geological hazards in Ranwu Lake Estuary

赵志男, 李滨, 高杨, 赵超英, 刘晓杰, 王猛 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 25-32

强震区叠溪松坪沟景区地质灾害发育分布规律

Development and distribution rules of geohazards in Diexi- Songpinggou scenic area in a meizoseismal area

穆成林, 习朝辉, 裴向军, 崔圣华 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 124-130

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

西藏波密茶隆隆巴曲高位地质灾害类型及发育特征

Types and development characteristics of high geological disasters in Chalonglongbaqu gully, Bomi, Tibet

张田田, 殷跃平, 李滨, 贺凯, 王猛, 赵超英, 刘晓杰 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 9-16



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.05-16

黄河流域甘肃段地质灾害发育特征

郭富赞, 宋晓玲, 刘明霞

(甘肃省地质环境监测院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:黄河流域甘肃段是甘肃省地质灾害最为集中的区域。截止 2019 年底, 查明地质灾害点共 12 829 处, 占全省灾害总量的 70.83%。按照水系分布划分, 以渭河流域、泾河流域、黄河干流流域最为发育, 其他水系次之。依据空间分布特征, 划分为永登—靖远等北部泥石流灾害为主的区段、中部崩塌滑坡泥石流集中区段、南部崩塌滑坡泥石流为主的区段和玛曲—碌曲地质灾害轻微发育区段。依据时间分布特征, 具有 2—5 月冻融期、7—9 月主汛期两个高发时段。地质灾害具有小灾巨损、群发巨损和链式巨损等致灾特征。单体灾害易形成巨大损失, 降雨、地震引发的群发性地质灾害往往损失巨大, 同时崩滑流阻断河道形成的堰塞湖风险也常有发生。

关键词:黄河流域甘肃段; 地质灾害; 分布; 致灾特征

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2021)05-0130-07

The development characteristics of geological hazards in Gansu segment of the Yellow River basin

GUO Fuyun, SONG Xiaoling, LIU Mingxia

(Geological Environment Monitoring Institute of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730050, China)

Abstract: Gansu section of the Yellow River basin is the most concentrated area of geological disasters in Gansu Province. By the end of 2019, 12 829 potential geological hazard points have been identified, accounting for 70.83% of the total number of disasters in Gansu Province. According to the distribution characteristics of water system, Weihe River basin, Jinghe River basin and the Yellow River basin are the most developed, followed by other water systems. According to the spatial distribution characteristics, it can be divided into three sections: the northern Yongdeng—Jingyuan debris flow area, the central and northern landslide debris flow concentrated section, the central and southern collapse landslide debris flow section, and the southern Maqu—Luqu geological disaster development section. In terms of time distribution, there are two high frequency periods: freezing and thawing period from February to May and main flood season from July to September. Geological disasters have the characteristics of small disaster and huge loss, mass damage and chain type huge loss. Single disaster is easy to form huge loss. The mass geological disaster caused by rainfall and earthquake often causes huge loss. At the same time, the risk of dammed lake formed by landslide flow blocking river channel often occurs.

Keywords: Gansu section of the Yellow River basin; geological hazards; distribution; disaster causing characteristics

0 引言

黄河流域是中华民族的发祥地, 现今是黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的核心区, 也是我国地质

灾害高易发区^[1-2]。2019 年 9 月, 习近平总书记近日在河南郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话, 着眼全国发展大局, 明确指出黄河流域在我国经济社会发展和生态安全方面具有十分

收稿日期: 2020-08-25; 修订日期: 2021-05-28

基金项目: 甘肃省科技重大专项-社会发展类(19ZD2FA002); 甘肃省自然资源厅地质灾害调查(20200305)

第一作者: 郭富赞(1970-), 男, 甘肃景泰人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事水工环地质和地质灾害防治方面的研究工作。

E-mail: fyg51913@163.com

重要的地位,深刻阐明黄河流域生态保护和高质量发展的重大意义,做出了加强黄河治理保护、推动黄河流域高质量发展的重大部署。

黄河流域甘肃段总面积约 $14.59 \times 10^4 \text{ km}^2$, 位于整个黄河流域上游,包括甘南州、临夏州、兰州市、白银市、定西市、天水市、平凉市、庆阳市,约占甘肃省面积的三分之一。这里生态环境极为脆弱,地质构造复杂,地貌类型多样,软弱岩土广布,地震多发频发,降雨较为集中,是我国地质灾害高易发区域,严重制约着社会经济的发展^[3-4]。随着我国雨带北移,加之地震和人类工程活动影响,崩塌、滑坡、泥石流在黄河流域甘肃段呈现加剧趋势,也成为全省地质灾害重点防治区^[5]。

20 世纪 80 年代以来,随着对东乡县洒勒山滑坡^[6]、永靖黑方台滑坡^[7]等的研究,黄河流域甘肃段地质灾害的研究逐渐引起广泛关注^[8-9]。2000—2018 年,完成了黄河流域甘肃段 1:10 万县市地质灾害调查和 1:5 万县市地质灾害详细调查,基本摸清了分县区的地质灾害发育特征和分布规律。但对于整个黄河流域甘肃段的地质灾害发育特征和分布规律研究不够,不能满足支撑黄河流域甘肃段治理保护工作的需要。本文依托以往地质灾害调查数据,对黄河流域甘肃段地质灾害发育特征和分布规律进行了分析,总结了地质灾害致灾特征,从而为黄河流域甘肃段综合治理宏观战略决策提供科学依据。

1 地质灾害发育背景

1.1 自然背景

黄河流域甘肃段地处青藏高原东北缘,地势西南高、东北低,横跨青藏高原和黄土高原两大地貌单元。以北秦岭—积石山为界,其西南部为波状起伏的甘南高原,海拔 3 000 ~ 5 000 m,其间分布着东西向的线状山脉;其东北则进入黄土高原,海拔 1 000 ~ 3 800 m,马衔山、华家岭、六盘山等山脉呈岛状分布。黄土高原切割强烈,支离破碎,沟道切割密度 $3 \sim 5 \text{ km/km}^2$,切割深度最大超过 500 m,平均侵蚀模数 $4 000 \text{ t/km}^2$,是我国水土流失最严重的区域^[10]。

区域内地层自古生代到新生代均有分布。其中志留系、泥盆系、石炭系的板岩、千枚岩、页岩岩组、白垩系、新近系泥岩夹砂岩岩组、黄土及次生黄土属软弱、易滑岩组,不同岩土组合形成易滑斜坡结构,例如黄土-泥岩、黄土-基岩等双层结构斜坡^[11]。受青藏高原隆升影响,本区域地质构造极为复杂,新构造运动强烈,活动断裂发育,地震频发。总体上自西南向东北依次为青藏地块、秦岭地块和祁连地块,期间分布着阿尼玛卿断裂带、西秦岭北缘断裂带、临潭—岷县—宕昌活动断裂

带、景泰—海原断裂带、六盘山东北缘断裂带、通渭—义岗断裂带等活动断裂带。自有史料以来,先后发生中强震 130 余次,包括 1654 年天水南 8.5 级地震、1775 年通渭 7.5 级地震、1125 年兰州 7.0 级地震、1920 年海原 8.0 级地震、1927 年古浪 8.0 级地震等引发大量的崩塌、滑坡灾害^[12-13]。

黄河流域甘肃段位于青藏气候区、季风气候区和内陆气候区的交汇部位。多年平均降雨量 400 mm 左右,年降雨量自南向北逐渐递减,南部 500 ~ 600 mm,北部永登—景泰等区域,最小降水量仅 150 mm,六盘山、华家岭、马衔山等山地年降雨量在 500 ~ 600 mm。年内降水在时间上极为不均,主要集中在 7—9 三个月,约占全年降水量的 70%。每年降水量变化大,丰水年和干旱年相差 2 ~ 5 倍。极端暴雨多,降水强度大,中部的临夏、兰州、定西、天水、平凉等地区月最大降水量都超过 200 mm,一次最大降水量占年平均降雨量的 70% 左右^[14]。高强度降水是引发崩塌、滑坡、泥石流的重要原因。此外,黄土高原地区受季风环流控制,寒暑分明,冬季寒冷干燥,春季气温快升多变,季节性冻融作用强烈。区内最大季节性冻土深度为 1.0 ~ 2.5 m,每年 10—11 月开始冻结,翌年 2—4 月解冻,虽然冻结层厚度不大,但由此引发的地质灾害多且危害严重^[15]。

1.2 社会背景

黄河流域甘肃段是甘肃区域经济发展的中心及东翼地区(平凉、庆阳、天水)以及三区三州(甘南州、临夏州)深度扶贫攻坚区。社会经济发展水平差异较大,中部兰州—白银,东部的天水、平凉、庆阳分别纳入国家的兰州—西宁城市群和关中—天水城市群发展区,人口、经济密集度高,社会发展水平高,建设速度快,由此产生的人类工程活动对地质环境的改造极为强烈,例如兰州的平山造地工程,形成了大量的人工边坡和填土沉降灾害^[16]。兰州、天水、平凉等河谷型城市用地条件差,向沟、向山用地趋势明显,因而削坡用地、挤占行洪通道等现象比比皆是,埋下了灾害隐患。在黄土高原的广大集镇、乡村,削坡建房、修路等引发灾害层出不穷,房前屋后已成为新的灾害多发区^[17-18],仅 2019 年,这一区域就发生灾害 5 起,造成 19 人死亡。在三区三州深度贫困区,社会经济发展水平低,防灾减灾投入严重不足,地质灾害的致贫效应极为明显,一次灾害往往使居民 20 ~ 30 年的经济积累毁于一旦,成为制约脱贫攻坚的主要因素。

2 地质灾害发育特征

2.1 地质灾害类型

根据调查资料,黄河流域甘肃段主要发育的地质灾

害有崩塌、滑坡、泥石流、(采空)地面塌陷、地裂缝等五种类型。截止 2019 年底,共查明地质灾害点 12 829 处,占全省灾害总数量的 70.83%。其中崩塌 851 处,滑坡 8 807 处、泥石流 2 943 处、地裂缝 176 处,地面塌陷 52 处。

2.2 地质灾害数量

地质灾害按流域划分(表 1),渭河流域的地质灾害数量最多,达 3 930 处;泾河水系次之,有 3 165 处;黄河干流水系分布地质灾害点 2 923 处,洮河流域分布地质灾害点 2 444 处。其余流域分布数量较少。

表 1 黄河流域不同水系地质灾害分布数量一览表

Table 1 List of distribution quantity of geological hazards in different water systems in the Yellow River basin

水系名称	滑坡	崩塌	泥石流	地裂缝	地面塌陷	合计
湟水河流域	187	29	71	0	6	293
黄河干流流域	1 952	300	565	87	19	2 923
洮河流域	1 444	87	910	0	3	2 444
渭河流域	2 676	239	1 004	8	3	3 930
泾河流域	2 493	188	382	81	21	3 165
北洛河流域	55	8	11	0	0	74
合计	8 807	851	2 943	176	52	12 829

2.3 地质灾害人员伤亡及经济损失

根据 2010—2019 年地质灾害灾情资料,黄河流域甘肃段人员伤亡 108 人,受灾人数 30.6×10^4 人,直接经济损失 46.9×10^8 元(表 2),渭河流域地质灾害造成损失最为严重、洮河流域次之。其中渭河流域内天水市于 2013 年发生大规模群发性地质灾害。

表 2 黄河流域不同水系地质灾害人员伤亡及经济损失一览表

Table 2 List of casualties and property losses caused by geological disasters in different water systems in the Yellow River basin

水系名称	受灾人口/人	人员伤亡/人	直接经济损失/万元
黄河干流流域	1 131	21	7 718.34
洮河流域	5 889	11	24 442.00
渭河流域	294 747	60	419 777.20
泾河流域	4 448	16	17 337.70
合计	306 215	108	469 275.24

3 地质灾害时空分布规律

3.1 时间分布规律

(1)地质灾害年内分布规律

总体规律,受降雨、地震、人类工程活动等致灾因素的影响,甘肃黄土高原地质灾害在全年 12 个月均有

发生,年内地质灾害分布与降雨时间一致(图 1)。高发期为 6—8 月主汛期,低发期为主汛前的 2—5 月份和当年 10 月至来年 1 月份。6—8 月份以崩塌、滑坡、泥石流为主;2—5 月以融冻性滑坡(含热融滑塌)为主,11—1 月份以崩塌、滑坡为主。

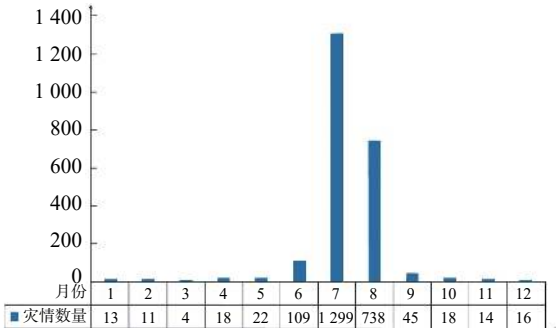


图 1 地质灾害年内分布特征(2013—2019 年平均值)

Fig. 1 Annual distribution characteristics of geological disasters (average value from 2013 to 2019)

甘肃省暴雨在年内主要集中于 4—10 月份,而 7—8 月份却占了全年暴雨发生次数的 60% 以上,因此泥石流的发生也具有一致的时间分布规律。但是并不是每次暴雨都发生泥石流,而是在积累一定的松散物质储备量后,才可能发生。

泥石流的发生频率在地域分布上具有明显的差异性。北部永登、皋兰、靖远、白银、平川等干旱区,泥石流发生频率在 0.05~0.1 次/年,中部兰州地区 0.1~0.2 次/年,陇南地区泥石流发生频率较高,一般在 0.2~1 次/年。

(2)突发地质灾害的年际变化规律

甘肃黄土高原突发地质灾害年际变化规律较为明显,降雨多的年份引发和新增地质灾害较多(图 2),且具有 20~22 年左右的长周期,2.3~5 年短周期。强震发生时(表 3),引发和加剧的地质灾害数量也明显增多,且震级越高、烈度越大则引发的滑坡、数量越多。例如 2013 年甘肃黄土高原地区降雨和地震叠加,引发了大量的地质灾害。

3.2 空间分布规律

受地质条件和致灾因素的影响,甘肃省地质灾害具有明显的地域性分布特征(图 3)。

3.2.1 地域分布特征

(1)黄河干流

黄河干流主要发育于青藏高原东部及陇西黄土高原西部,流经地区包括甘南的玛曲县、合作市、夏河县,临夏市部分地区,兰州市,定西市北部,白银市大部地

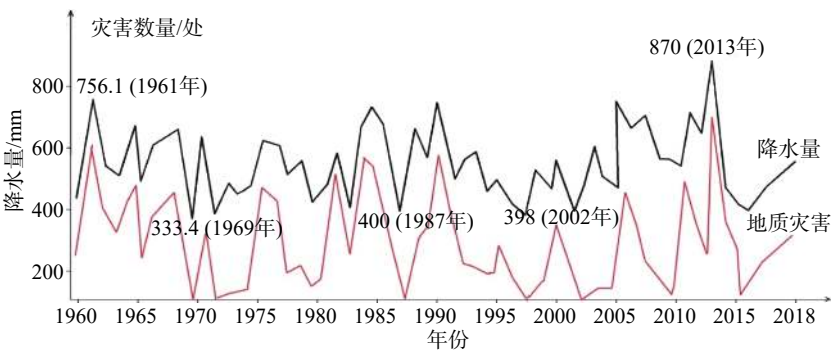


图 2 地质灾害多年分布特征 (天水, 1961—2018)

Fig. 2 Multi year distribution characteristics of geological hazards (Tianshui, 1961—2018)

表 3 地震引发崩塌、滑坡数量表

Table 3 Quantity of collapse and landslide caused by earthquake

名称	震级	烈度	区域	引发加剧灾害
海原地震	8.0	6~11	陇东南区域	大型657滑坡处, 中小型上万处
漳县岷县地震	6.6	6~8	岷县漳县	289处滑坡, 崩塌1 000多处
临洮地震	4.5	6	临洮辛店镇	
通渭地震	5.5	6~7	通渭县一带	大于500 m ³ 的滑坡337处
永登祁山地震	5.9	6~7	永登景泰	大小黄土滑坡150多处

区, 环县北部等。其中玛曲段、环县北部地质灾害不发育, 处于甘肃中部的黄河干流, 较大的支流有大夏河、湟水河、祖厉河等滑坡、崩塌、泥石流密集分布。窑街煤矿区, 阿干镇煤矿区、靖远煤矿区等老矿业基地, 开采时间长, 开采力度大, 该地区是地面塌陷最为集中的地区。

(2)渭河流域

渭河流域地处陇西黄土高原西部, 流经地区包括天水市, 定西市南部, 平凉市西部地区。流域地形以黄土丘陵为主, 黄土丘陵面积约占流域总面积的 83%, 基岩山地只占 17%。较大的支流有葫芦河、耨河、秦祁河等, 本流域主要发育滑坡、崩塌、泥石流。本流域地质灾害多分布在渭河谷地和渭河以北的较大支流, 渭河南岸支流中只耨河中下游几处泥石流较大, 其它支流中分布零散, 规模均小。

(3)洮河流域

跨越甘南高原与陇西黄土高原, 流经地区主要包括甘南州的碌曲县、临潭县、卓尼县、定西市岷县、临潭县、临洮县、临夏州大部地区。上游河谷开阔、植被覆盖度好, 地质灾害发育较少; 中游受构造影响、褶皱发

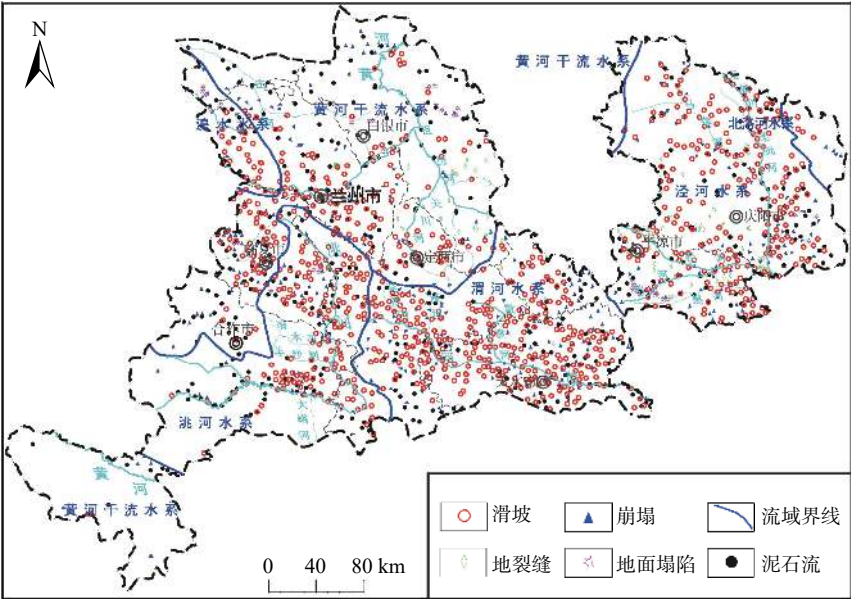


图 3 黄河流域甘肃段地质灾害点分布图

Fig. 3 Distribution of geological hazard points in Gansu section of the Yellow River basin

育、两岸植被良好,地质灾害发育一般;下游临夏地区地形破碎、植被稀少,地质灾害极为发育,主要发育滑坡、崩塌、泥石流灾害。

(4) 泾河流域

泾河流域主要发育于甘肃省陇东黄土高原区,流经地区主要包括庆阳市,平凉市大部分地区,较大的支流有马连河及其支流等,区内主要缺乏植被,黄土裸露,久经侵蚀,沟谷向源头发展,塬面被节节蚕食。总观其地形,残塬丘陵交错,支流密布,沟壑纵横。这里新老黄土迭置,厚 100 m 左右,冲沟、洞穴、坍塌及滑坡等不良物理地质发育。主要发育滑坡、崩塌、泥石流,该流域地质灾害主要分布在泾河谷地以北,以南的崇信、华亭两县北部仅局部地区有地质灾害,但崇信与华亭两县为甘肃省主要的采煤基地,地面塌陷较为发育。

3.2.2 分布密度

各流域地质灾害总面积比达到 $32.47 \times 10^{-3} \sim 150.9 \times 10^{-3}$ 个/ km^2 (表 4),其中渭河水系占比最高达到 150.9×10^{-3} 个/ km^2 ,说明渭河流域在整个黄河流域甘肃段地质灾害分布密度最高;泾河水系和洮河水系次之,其面积比分别为 102.19×10^{-3} 个/ km^2 、 101.28×10^{-3} 个/ km^2 ,地质灾害分布密度相对较高;湟水河水系、黄河干流水系和北洛河水系面积比分别为 77.33×10^{-3} 个/ km^2 、 52.94×10^{-3} 个/ km^2 和 32.47×10^{-3} 个/ km^2 ,地质灾害分布密度相对较低。

表 4 黄河流域甘肃段不同水系地质灾害点面积比统计表

Table 4 Statistical table of area ratio of geological hazard of different water systems in Gansu section of the Yellow River basin

水系	滑坡	崩塌	泥石流	地裂缝	地面塌陷	总面积比/ (10^{-3} 个/ km^2)
渭河水系	102.77	9.18	38.55	0.31	0.12	150.90
泾河水系	80.53	6.07	12.33	2.62	0.68	102.19
洮河水系	59.8	3.61	37.71	0	0.12	101.28
湟水河水系	49.31	7.65	18.74	0	1.58	77.33
黄河干流水系	35.36	5.43	10.23	1.58	0.34	52.94
北洛河水系	24.13	3.51	4.83	0	0	32.47

4 地质灾害致灾特征

4.1 小灾巨损

黄土崩塌、滑坡灾害具有隐蔽性、突发性特征^[19-21],难以排查、难以预警,一旦发生往往造成严重的人员伤亡和财产损失,形成小灾巨损的特征。黄土崩塌多发生于房屋后的削坡部位,规模小,仅几立方米或几百立方米土体,以滑移式居多,一旦下滑,往往造成屋毁人亡。

根据统计资料,仅 2019 年甘肃省的 5 起黄土崩塌灾害就造成 19 人死亡。例如,2019 年 4 月 20 日 6 时 30 分许,定西市通渭县榜罗镇张湾村史家庙社一农户出租房屋后规模仅 200 m^3 滑坡造成两间房屋后墙倒塌,致 2 人死亡,5 人受伤。

4.2 群发巨损

降雨、地震引发的灾害多呈群发性特征,给人民生命和财产造成了巨大损失^[22-24]。2013 年 7 月 25 日,天水市因暴雨引发群发性滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害,共出现地质灾害 708 处,紧急避险转移 8 万余人,灾害造成 24 人死亡、1 人失踪,直接经济损失达 82.75 亿元^[14]。2013 年岷县漳县 6.6 级地震引发 289 处崩塌、滑坡隐患,因地震引发滑坡造成 15 人死亡,2 人受伤,直接经济损失 3.90 亿元^[25]。2018 年 7 月 18 日到 8 月 25 日,临夏因降雨引发滑坡 238 起、崩塌 52 起、泥石流 56 起、不稳定斜坡 134 起、地面塌陷和地裂缝 3 起,紧急避险 2 256 户 10 662 人,造成 2 人死亡,经济损失 6 742.2 万元。

4.3 链式巨损

降雨、地震引发的滑坡、泥石流不仅单体、群发性灾害危害巨大,往往还会堵塞河流形成链式灾害,其影响范围更广。据费杰等^[26]研究,黄河干流积石峡到刘家峡段,曾多次发生滑坡堵河,从而造成河流改道或再造。现今,在黄河干流及其支流,规模巨大的滑坡堵江风险依然存在,特别是强震极易引发大规模滑坡,形成堵河从而引发链式灾害。1965 年天水罗玉沟滑坡堵塞沟道形成堰塞湖,后形成溃决型泥石流,造成 212 人死亡,三分之一的天水市区被泥石流淹没,说明链式灾害的危害性巨大。

5 结论

(1)黄河流域甘肃段是甘肃省地质灾害最为集中的区域,占全省地质灾害数量的 70.83%。从水系分布特征来看,其中以渭河流域、泾河流域、黄河干流流域最为发育,其他水系次之。地质灾害造成损失渭河流域最为严重、洮河流域次之。

(2)从时间分布特征上看,黄河流域地质灾害主要集中于 7—8 月份。从空间分布密度上,各流域地质灾害总面积比达到 $32.47 \times 10^{-3} \sim 150.9 \times 10^{-3}$ 个/ km^2 ,其中渭河水系占比最高,泾河水系和洮河水系次之,湟水河水系、黄河干流水系和北洛河水系占比较低。

(3)地质灾害具有小灾巨损、群发巨损和链式巨损等致灾特征,单体灾害易形成巨大损失,降雨、地震引

发的群发性地质灾害往往损失巨大,同时崩滑流阻断河道形成的堰塞湖风险也常有发生。

参考文献 (References) :

- [1] 曲雪妍,李媛,杨旭东,等.中国地质灾害总体特征与形势分析[J].中国地质灾害与防治学报,2016,27(4): 109-113. [QU Xueyan, LI Yuan, YANG Xudong, et al. The general characteristics and situation analysis of geo-hazards in China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016, 27(4): 109-113. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 李媛,孟晖,董颖,等.中国地质灾害类型及其特征:基于全国县市地质灾害调查成果分析[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(2): 29-34. [LI Yuan, MENG Hui, DONG Ying, et al. Main types and characteristics of geo-hazard in China—Based on the results of geo-hazard survey in 290 counties[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, 15(2): 29-34. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 赵成,施孝.甘肃省地质灾害发育特征及防治对策[J].甘肃科学学报,2003,15(增刊1): 23-29. [ZHAO Cheng, SHI Xiao. The development characteristic and prevention and treatment of geologic hazard in Gansu Province [J]. Journal of Gansu Sciences, 2003, 15(Sup1): 23-29. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 孙建中.黄土学(上篇)[M].香港:香港考古学会,2005. [SUN Jianzhong. Loessology (Vol. 1)[M]. Hong Kong: Hong Kong Archaeological Society, 2005. (in Chinese).]
- [5] 孙於春.黄河上游甘南地区地质灾害形成条件及防治对策[J].甘肃地质,2016,25(4): 69-73. [SUN Yuchun. Development condition of geological disasters at the upper reaches of the Yellow River in Gannan area and its control measures [J]. Gansu Geology, 2016, 25(4): 69-73. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 吕鸿图,杨双庆,艾南山.酒勒山滑坡与新构造应力场关系的探讨[J].兰州大学学报,1984,20(4): 96-104. [LYU Hongtu, YANG Shuangqing, AI Nanshan. On the connection between the landslide at Sale mountain and the neotectonic stress field [J]. Journal of Lanzhou University, 1984, 20(4): 96-104. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 王家鼎,惠泱河.黑方台缘灌溉水诱发黄土滑坡群的系统分析[J].水土保持通报,2001,21(3): 10-13. [WANG Jiading, HUI Yanghe. Systems analysis on Heifangtai loess landslide in crowds induced by irrigated water [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(3): 10-13. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 苏人琼,杨勤业.黄河流域灾害环境综合治理对策[J].人民黄河,1996,18(11): 16-20. [SU Renqiong, YANG Qinye. Treatment policy to comprehensively harness the disaster environment in the Yellow River basin [J]. Yellow River, 1996, 18(11): 16-20. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 姜程,霍艾迪,朱兴华,等.黄土水力侵蚀-滑坡-泥流灾害链的研究现状[J].自然灾害学报,2019,28(1): 38-43. [JIANG Cheng, HUO Aidi, ZHU Xinghua, et al. Research status of loess hydraulic erosion-landslide-mudflow chain [J]. Journal of Natural Disasters, 2019, 28(1): 38-43. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 马润勇,彭建兵,袁志东,等.青藏高原隆升的黄土高原构造侵蚀效应[J].地球科学与环境学报,2007,29(3): 289-293. [MA Runyong, PENG Jianbing, YUAN Zhidong, et al. Geological hazard effect in loess plateau due to Qinghai-Tibet plateau uplift [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2007, 29(3): 289-293. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 郭富赞,孟兴民,黎志恒,等.天水市“7·25”群发性地质灾害特征及成因[J].山地学报,2015,33(1): 100-107. [GUO Fuyun, MENG Xingmin, LI Zhiheng, et al. Characteristics and causes of assembled geo-hazards induced by the rainstorm on 25th July 2013 in Tianshui City, Gansu, China [J]. Mountain Research, 2015, 33(1): 100-107. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 许冲,吴熙彦,徐锡伟.黄土高原及邻区的地震滑坡[J].工程地质学报,2018,26(增刊1): 260-273. [XU Chong, WU Xiyan, XU Xiwei. Earth earthquake-triggered landslides in the loess plateau and its adjacent areas [J]. Journal of Engineering Geology, 2018, 26(Sup1): 260-273. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 王兰民,蒲小武,陈金昌.黄土高原地震诱发滑坡分布特征与灾害风险[J].城市与减灾,2019(3): 33-40. [WANG Lanmin, PU Xiaowu, CHEN Jinchang. Distribution feature and disaster risk of earthquake-induced landslide in loess plateau [J]. City and Disaster Reduction, 2019(3): 33-40. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 郭富赞,宋晓玲,谢煜,等.甘肃地质灾害气象预警技术方法探讨[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(1): 127-133. [GUO Fuyun, SONG Xiaoling, XIE Yu, et al. A discussion on the geological hazards meteorological warning system in Gansu Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(1): 127-133. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 张茂省,李同录.黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J].工程地质学报,2011,19(4): 530-540. [ZHANG Maosheng, LI Tonglu. Triggering factors and forming mechanism of loess landslides [J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(4): 530-540. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 郭富赞.兰州市地质灾害特征与风险管控对策[J].城

- 市与减灾, 2019(3): 59–63. [GUO Fubin. Feature of geological disaster in Lanzhou City and its counter measures of management and control [J]. *City and Disaster Reduction*, 2019(3): 59–63. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 廖红建, 赵树德, 高小育, 等. 西部黄土高原窑洞民居发展中的环境工程问题 [J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2000, 20(3): 7–10. [LIAO Hongjian, ZHAO Shude, GAO Xiaoyu, et al. Environmental engineering problems in developing loess plateau cave dwellings in western areas [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences Edition)*, 2000, 20(3): 7–10. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京: 地质出版社, 2001. [LEI Xiangyi. Geological disasters and human activities on the loess plateau of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001. (in Chinese).]
- [19] 罗守敬, 王珊珊, 付德奎, 等. 北京山区突发性地质灾害易发性评价 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2021, 32(4): 126–133. [LUO Shoujing, WANG Shanshan, FU Dekui, et al. Assessment on the susceptibility of sudden geological hazards in mountainous areas of Beijing [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2021, 32(4): 126–133. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 樊晓一, 张睿骁, 胡晓波. 沟谷地形参数对滑坡运动距离的影响研究 [J]. 地质力学学报, 2020, 26(1): 106–114. [FAN Xiaoyi, ZHANG Ruixiao, HU Xiaobo. Study on the influence of valley topographic parameter on the moving distance of landslide [J]. *Journal of Geomechanics*, 2020, 26(1): 106–114. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 彭建兵, 王启耀, 庄建琦, 等. 黄土高原滑坡灾害形成动力学机制 [J]. 地质力学学报, 2020, 26(5): 714–730. [PENG Jianbing, WANG Qiyao, ZHUANG Jianqi, et al. Dynamic formation mechanism of landslide disaster on the Loess Plateau [J]. *Journal of Geomechanics*, 2020, 26(5): 714–730. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 祁小军. 公路工程环境的岩土勘察与地质灾害评估技术研究 [J]. 公路工程, 2019, 44(1): 115–119. [QI Xiaojun. Geotechnical investigation and geological hazard assessment technology for highway engineering environment [J]. *Highway Engineering*, 2019, 44(1): 115–119. (in Chinese with English abstract)]
- [23] 李滨, 殷跃平, 高杨, 等. 西南岩溶山区大型崩滑灾害研究的关键问题 [J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(4): 5–13. [LI Bin, YING Yueping, GAO Yang, et al. Critical issues in rock avalanches in the karst mountain areas of southwest China [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2020, 47(4): 5–13. (in Chinese with English abstract)]
- [24] 李明威, 唐川, 陈明, 等. 汶川震区北川县泥石流流域崩滑体时空演变特征 [J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(3): 182–190. [LI Mingwei, TANG Chuan, CHEN Ming, et al. Spatio-temporal evolution characteristics of landslides in debris flow catchment in Beichuan County in the Wenchuan earthquake zone [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2020, 47(3): 182–190. (in Chinese with English abstract)]
- [25] 陈冠, 孟兴民, 乔良, 等. “7·22”岷县漳县地震地质灾害分布、特征及与影响因子间关系分析 [J]. 工程地质学报, 2013, 21(5): 750–760. [CHEN Guan, MENG Xingmin, QIAO Liang, et al. Distribution, characteristics, and associated influential factors of the geohazards induced by Minxian-Zhangxian earthquake on 22 July, 2013, Gansu, China [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2013, 21(5): 750–760. (in Chinese with English abstract)]
- [26] 费杰, 何洪鸣, 杨帅, 等. 公元前221年—公元1911年陕甘地区堰塞湖成因浅析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(6): 117–125. [FEI Jie, HE Hongming, YANG Shuai, et al. Landslide lakes in Shaanxi and Gansu Provinces in the period between BC 221 and AD 1911 [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2019, 30(6): 117–125. (in Chinese with English abstract)]