

# 2023 年甘肃积石山 Ms 6.2 级地震震害异常的启示

王运生<sup>1</sup>, 赵波<sup>2</sup>, 吉锋<sup>1</sup>, 李为乐<sup>1</sup>

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059;  
2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610299)

[摘要] 2023 年 12 月 18 日, 甘肃省临夏回族自治州积石山县发生 Ms 6.2 (Mw 5.9) 级地震, 震源深度 10 km。此次地震造成大量的人员伤亡、房屋倒塌和地质灾害。为了对该次地震的震害有初步认识, 基于已有文献资料、高精度遥感数据和野外调查数据, 本文尝试对该次地震的灾害特征展开分析。结果表明: 该次地震为逆冲型事件, 发震断裂为拉脊山北缘断裂东段; 震源浅叠加松散覆盖层产生了明显的地震波放大效应, 使得极震区的地面运动峰值加速度 (PGA) 异常高, 强震动使得房屋大量倒塌; 而位于断裂上盘的积石山崩塌及滑坡地质灾害相对不发育, 仅在黄土覆盖的官亭盆地产生了数百处小型滑坡和中川乡一处较大规模的地震液化滑坡泥流。

[关键词] 积石山 Ms 6.2 级地震; 地震液化滑坡泥流; 地形放大; 震害异常; 松散堆积层

[分类号] P315.9

[文献标志码] A

## Preliminary Insights into the Hazards Triggered by the 2023 Jishishan Ms 6.2 Earthquake in Gansu Province

WANG Yunsheng<sup>1</sup>, ZHAO Bo<sup>2</sup>, JI Feng<sup>1</sup>, LI Weile<sup>1</sup>

1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, and Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610299, China

**Abstract:** On 2023 December 18, an Ms 6.2 (Mw 5.9) seismic event struck Jishishan County, Gansu Province, with a focal depth of 10 km. This earthquake caused a large number of casualties, house collapses, and geohazards. To obtain a preliminary understanding of earthquake-induced hazards, this study discussed some characteristics of the hazards triggered by this event based on existing literature, high resolution remote sensing data, and field investigation data. The results showed this earthquake was a thrust event, where the seismogenic fault was attributed to the north Laji Mt. fault. The strong

[收稿日期] 2023-12-27。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(41877235, 42007273)。

[第一作者] 王运生(1960—), 男, 教授, 研究方向: 工程地质学, E-mail: wangys60@163.com。

[通信作者] 赵波(1989—), 男, 副研究员, 研究方向: 区域滑坡演化与成因机理, E-mail: zhaobo1989@imde.ac.cn。

[引用格式] 王运生, 赵波, 吉锋, 等, 2024. 2023 年甘肃积石山 Ms 6.2 级地震震害异常的启示[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 51(1): 1-8.

Wang Y S, Zhao B, Ji F, et al., 2024. Preliminary insights into the hazards triggered by the 2023 Jishishan Ms 6.2 earthquake in Gansu Province[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 51(1): 1-8.

seismic shaking caused by the shallow earthquake coupled with site amplification of loose surficial layers caused the meizoseismal area to experience extreme seismic shaking, causing numerous house collapses. While fewer landslides occurred in hanging wall areas (e. g., the Jishishan mountain area), only Guanting Basin, which is covered by loess, was found to be a landslide-prone area due to the hundreds of small landslides and a seismic liquefied earthflow that occurred in this basin.

**Key words:** Jishishan Ms 6.2 earthquake; seismic liquefied landslide earthflow; site amplification; anomalous earthquake-induced hazard; loose surficial layer

北京时间 2023 年 12 月 18 日 23 时 59 分,在甘肃省临夏回族自治州积石山县(35.7°N,102.79°E)发生 6.2 级地震,震源深度 10 km(中国地震台网中心,2023)。此次地震造成大量的房屋倒塌,截至 2023 年 12 月 22 日 8 时,积石山 6.2 级地震已造成 148 人遇难,979 人受伤,3 人失联(新京报,2023)。尽管震级不大,但此次地震产生的人员伤亡明显比 2017 年的九寨沟 Ms 7.0 地震(19 人死亡,525 人受伤,6 人失联)和 2022 年泸定 Ms 6.9 级地震(93 人死亡,25 人失联)都要严重(四川省人民政府,2023a,2023b)。

此外,该地震产生的地质灾害也存在异常。通常情况下,一次地震事件会在稳定性相对差的山区产生大量的滑坡、崩塌等地质灾害,如 2008 年汶川地震在龙门山区触发了数万处滑坡、2017 年九寨沟 Ms 7.0 级地震在九寨沟景区触发了 4 000 余处地质灾害、2022 年泸定 Ms 6.9 级地震在大渡河深切峡谷区触发了超过 5 000 处滑坡,2013 年,距此次地震震中 185 km 的岷县 Ms 6.6 级地震也触发了超过 3 000 处滑坡(Ling et al., 2021; Xu et al., 2014; Zhao et al., 2022; Zhao et al., 2023)。而根据已收集的高精度遥感影像显示,此次地震离发震断裂最近的积石山区极少有滑坡、崩塌等地质灾害发生,同时,在非常平缓的黄土区层发生一个较大规模的地震液化滑坡泥石流及数百处小型黄土滑坡,该泥石流运动数千米,沿途掩埋多栋房屋。这些不同以往的震害现象,让我们认识到本次地震的异常性。

为了解释这些异常的震害现象,本文从区域发震背景、地震特征、区域地震动力响应和区域水文特征等方面对积石山 Ms 6.2 级地震震害异常性展开讨论分析,对灾后重建提供部分参考。

## 1 发震背景

2023 年积石山 6.2 级地震的震中位于拉脊

山北缘断裂上,属于拉脊山构造混杂岩带的北东部边界断裂,该断裂是一个逆冲型断裂(图 1)。拉脊山北缘断裂形成于加里东期,华力西期—印支期活动不明显,燕山期—喜山期强烈复活,控制北东侧西宁—民和盆地,中新世末拉脊山逆冲于红色盆地之上。拉脊山断裂形态成铲形,具有明显的线性构造特征,断裂带全长 230 km,由数段弧状不连续的断裂带组成,其走向自西向东由 N60°W 转变为近 EW、NNW 向,断面总体倾向 SW,倾角 45°~55°,红崖子剖面处产状 300°∠66°(杨中轩,1993;李智敏等,2009)。断裂两盘地貌主要由断裂西侧的积石山和断裂东侧的低缓丘陵内嵌盆地如临夏断陷盆地组成。积石山的海拔在 2 200~3 500 m,丘陵地区的海拔在 1 800~2 200 m 之间。发震断裂的下盘地质建造包括新近系他拉组 and 毛沟组的砂泥红色岩系、上更新统风成马兰黄土等,断裂上盘主要以侵入岩为主,包括中粗石英闪长岩、细粒花岗闪长岩等。附近的水系都是黄河支流,来源主要包括降雨和冰雪融水等。自 1949 年以来,震中周边 200 km 范围内发生 6.0~6.9 级地震 2 次,5.0~5.9 级地震 14 次,最大为 2013 年 7 月 22 日甘肃省定西市岷县、漳县交界 6.6 级地震,距本次震中的距离约 185 km(中国地震局,2023)。该区域分布有大量的历史滑坡,如孟达天池滑坡等(胡亚东,2004)。

2023 年积石山 6.2 级地震的总体构造背景以挤压变形为主,然而震中附近处于拉张状态(中国地震局地震预测研究所,2023b)。此次地震震源机制解为逆冲为主兼左旋走滑(图 1),破裂面呈现北北西—南南东走向,破裂持续时间约为 10 s(中国地震局地震预测研究所,2023a)。破裂由震中主要向北西方向延伸,由深部向浅部扩展(中国地震局地震预测研究所,2023b)。最大破裂点位于震中北西方向 7 km 附近,最大滑动量约 0.66 m(中国地震局地震预测研究所,2023a)。

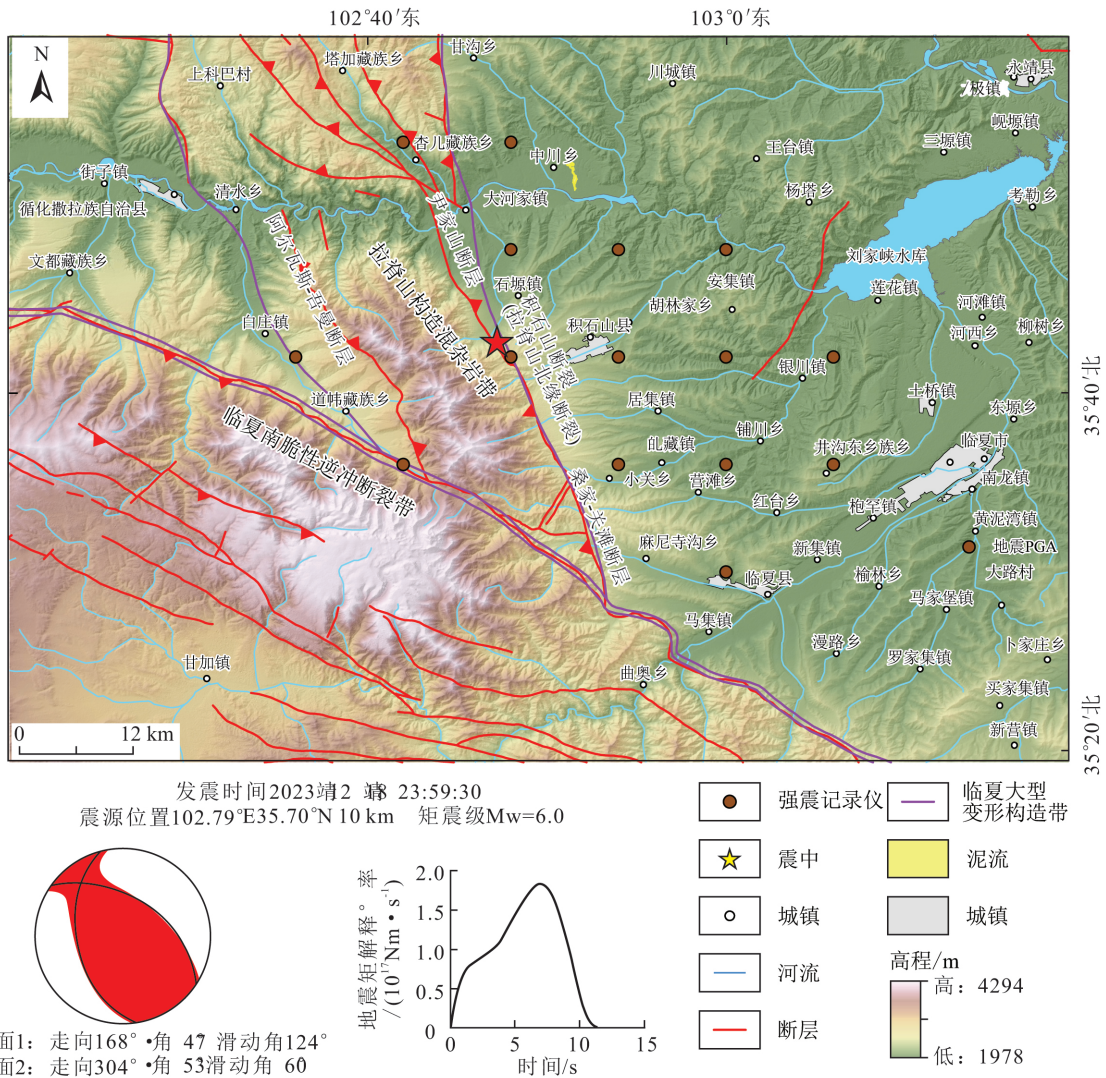


图 1 2023 积石山地震发震背景

Fig. 1 Seismogenic setting of the 2023 Jishishan seismic event

(图中断层来自 1 : 25 万地质图,震源机制解修改自中国地震局地震预测研究所,2023a)

截至 2023 年 12 月 20 日 12 时,中国地震台网共记录到 5 级以上余震 0 次,4~4.9 级余震 2 次,最大余震震级为 4.1 级(中国地震局地震预测研究所,2023c)。余震序列整体呈北西向展布,展布长度约 15 km,深度主要集中在 5~15 km,略向北东方向倾斜(图 2)。

中国地震局工程力学研究所对震中 100 km 范围内强震记录仪分析得到:GS. N0028 台烈度最大,其震中距为 13.6 km,东西、南北、垂直向加速度峰值分别为  $905.8 \text{ cm/s}^2$ 、 $778.5 \text{ cm/s}^2$ 、 $-702.4 \text{ cm/s}^2$ ,东西、南北、垂直向速度峰值分别为  $57.3 \text{ cm/s}$ 、 $-52.1 \text{ cm/s}$ 、 $-16.3 \text{ cm/s}$ ,计算仪器地震烈度 9.5 度(图 3);GS. N0027 台震中距最

小,其震中距为 5.8 km,东西、南北、垂直向加速度峰值分别为  $823.9 \text{ cm/s}^2$ 、 $-533.3 \text{ cm/s}^2$ 、 $692.7 \text{ cm/s}^2$ ,东西、南北、垂直向速度峰值分别为  $-39.8 \text{ cm/s}$ 、 $-28.9 \text{ cm/s}$ 、 $-11.3 \text{ cm/s}$ (图 3)(中国地震局工程力学研究所,2023)。从图 3 震区地面峰值加速度分布不难看出,由于震源浅,这次地震极震区的地面震动响应明显高于同级别的地震。

## 2 房屋震害特点

此次房屋受损严重,有近 15 000 间房屋倒塌,主要在甘肃省积石山县大河家镇、刘集乡、石塬镇、柳沟乡,青海省的生官亭镇、甘沟乡、中川乡、杏儿藏族乡等(新华社,2023)。

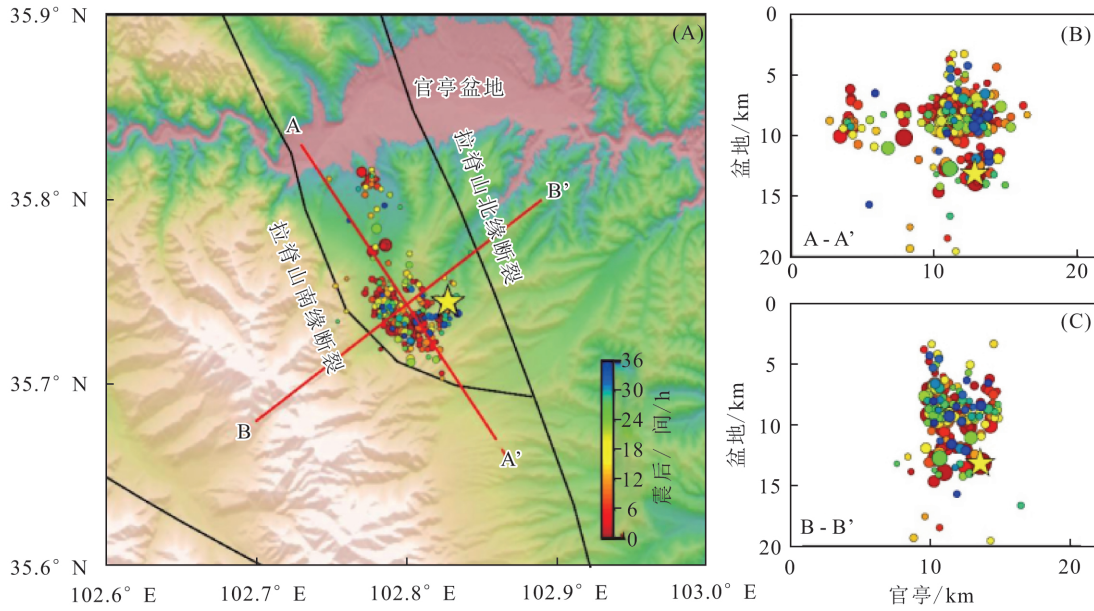


图 2 积石山地震主震(黄色五角星)及余震(圆圈)分布特征

Fig. 2 Spatial distribution of aftershocks

(文件修改自中国地震局地震预测研究所,2023c)

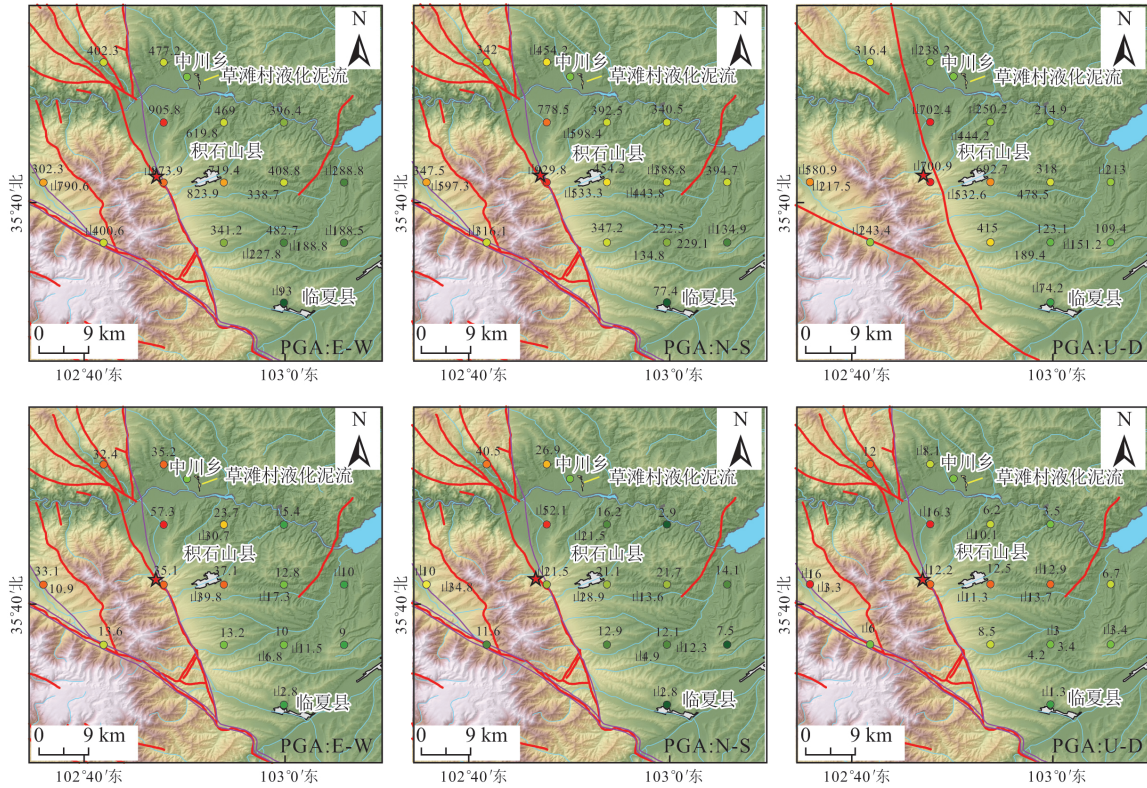


图 3 积石山地震极震区附近监测到的峰值加速度(PGA,单位:cm/s<sup>2</sup>)和峰值速度(PGV,单位:cm/s)分布图

Fig. 3 Spatial distribution of peak ground acceleration(PGA;units:cm/s<sup>2</sup>) and peak ground velocity (PGV;units:cm/s)in the meizoseismal area

(地震监测数据来自中国地震局,中国地震局工程力学研究所,2023)

此次房屋损毁严重的有以下 4 个特点:

(1)损毁房屋大多位于发震断裂下盘。已有

地震震害统计显示,山区逆冲型地震房屋损坏程度上盘大于下盘,这次地震出现反常情况,位于下

盘房屋损毁严重,初步分析认为中国西部强震震源深度大多大于 10 km,而这次地震震源深度近 10 km,导致地表的峰值加速度异常;下盘峰值加速度背景值大(图 3)。

(2)下盘房屋地基主要位于深厚覆盖层上。下盘以居民聚集区、城镇为主,多位于地势平缓的深厚覆盖层上。由汶川地震及九寨沟地震土层实测 PGA 可知,大于 5 m 后的深厚覆盖层放大倍数 1.2~3 倍(Wang et al.,2012; Wang et al.,2015;Zhao et al.,2018),这会造成地震震时加速度放大背景下大面积倒塌。

(3)地震中以土木结构房屋损毁最为严重,其次是砖木结构,框架结构影响相对较轻。体波经深厚覆盖层放大后的特征周期通常大于 1 s,而土坯房的自震周期一般在 0.7~1.5 s,产生共振的概率大。砖木结构的自震周期次于土坯房,破坏程度仅次于土坯房,地震中大河家陈家村砖木房屋毁坏占比最大。框架结构房屋自震周期短,整体性好,抗震性好,损坏程度相对较弱。

(4)房屋破坏方式以倒塌、局部开裂或泥石流掩埋为主。此次地震破坏方式除抗震性能较差外,一个显著的异常是中川乡地震液化滑坡泥石流顺坡而下冲击或掩埋房屋,泥石流高度达 3 m,致 20 人失联(光明网,2023)。

### 3 地震地质灾害异常特点

根据现场调查和已有的卫星影像,在发震断裂上盘积石山区内多为小规模土质滑坡、崩塌及土坡震裂等地质灾害(图 4),与 2008 年汶川  $M_s$  8.0 级

地震、2013 年芦山  $M_s$  7.0 级地震、2017 年九寨沟  $M_s$  7.0 级地震和 2022 年泸定  $M_s$  6.9 级地震所产生的地质灾害形成鲜明对比。因为后者地震所产生的地质灾害都在陡峻的山区(Zhao et al.,2023),而前者地震断裂上盘积石山区深切峡谷不发育,谷坡坡度小于  $50^\circ$ ,由侵入岩组成,完整性较好,仅见零星崩落。而发震断裂下盘的官亭盆地出现了地震液化滑坡(图 5、图 6)。

青海省官亭盆地官亭镇及中川乡位于黄河左岸,盆地内密集分布有众多冲沟,著名的喇家遗址便位于此处。根据喇家遗址的剖面揭示,中川乡盆地自上而下为:洪积物→马兰黄土(32.00~11.50 ka BP)→河漫滩堆积→砾石层→第三系红层(古近系他拉组砂泥质岩建造)(图 5)(王海燕,2021)。现场调查和遥感解译揭示此次地震产生的滑坡主要为马兰黄土液化滑坡。

普通的滑坡主要分布于陡峭的冲沟内。根据成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室的应急解译发现,中川乡的冲沟两侧沟壁至少发育有 700 余处滑坡、崩塌,刘集乡有 100 余处土质滑坡、崩塌,这些滑坡主要为浅层的小型地质灾害(地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,2023)。

此次地震在黄河左岸的官厅盆地中川乡金田村(距离震中约 15 km)一带,引发 1 处自北向南沿着坡面震动液化滑坡向下流动的泥石流次生灾害,泥石流物源区(面积约  $11.4 \times 10^4 \text{ m}^2$ )内的高压电塔损毁(图 6),流通堆积区(面积约  $30 \times 10^4 \text{ m}^2$ )大量房屋被掩埋。该液化泥石流表现出极



(A)大河家镇切坡边坡滑坡

(B)大河家镇土坡崩塌

图 4 2023 年积石山地震造成斜坡灾害

Fig. 4 Landslides triggered by the 2023 Jishishan earthquake

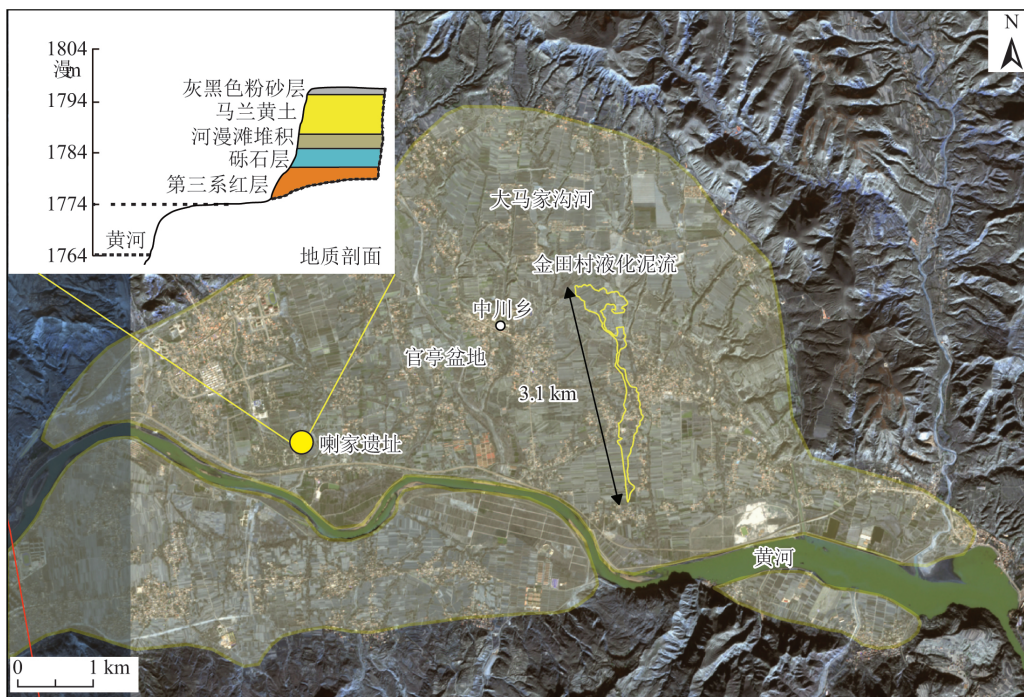
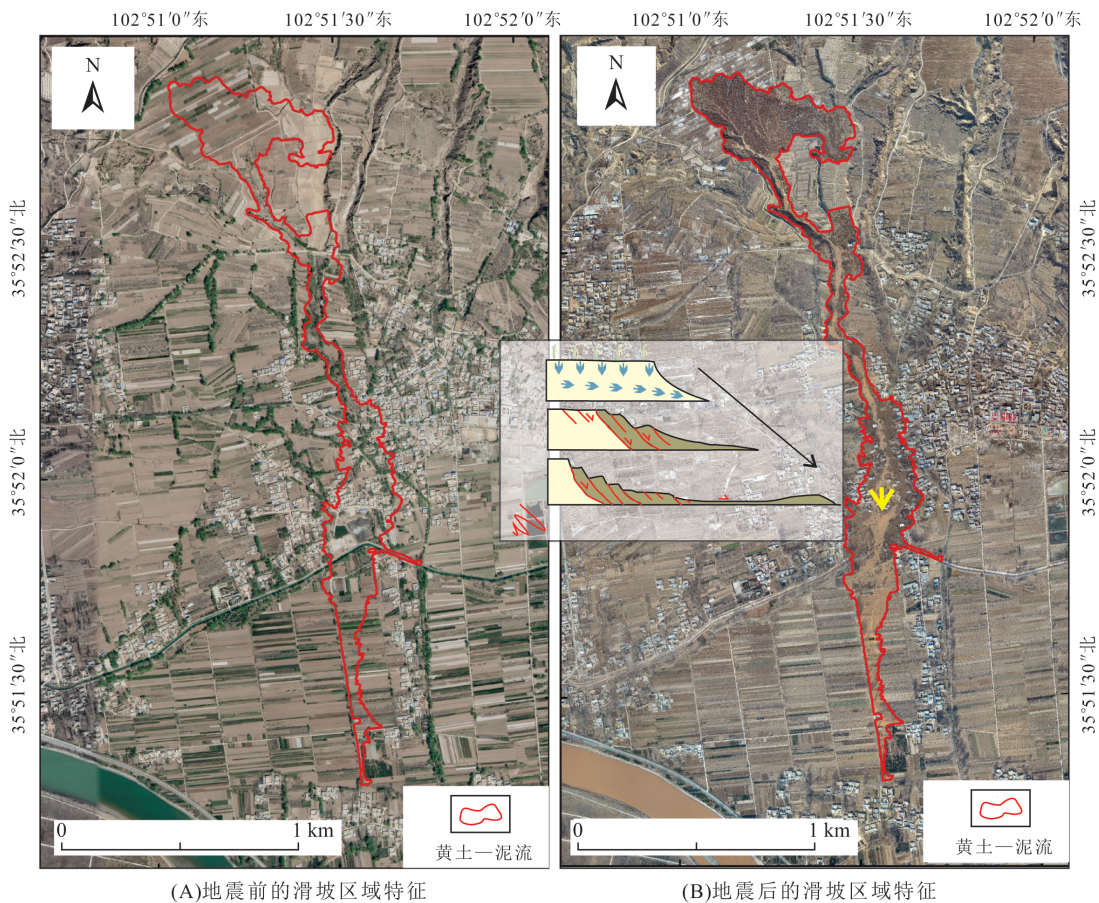


图 5 官厅盆地特征及金田村液化泥流位置

Fig. 5 Characteristics of Guanting Basin and the seismic liquefied earthflow in Jintian village



(A)地震前的滑坡区域特征

(B)地震后的滑坡区域特征

图 6 地震前后中川乡金田村液化泥流特征及成因模式图

Fig. 6 Characteristics of the seismic liquefied earthflow in Jintian village before and after the earthquake

强的流动性:在仅有约 70 m 的地形高差条件下(物源区至金田村),该泥石流运移了约 3.1 km,机动性  $H/L=0.023$ 。

造成此次泥石流次生灾害的可能原因包括:(1)地形为多级黄土小“台塬”构成的斜坡,成分以粉细砂为主(表层有洪积黏土),土壤胶结疏松、孔隙度大、水敏性强,遇水易崩解(《地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,2023》)。(2)后山支沟发育,汇水条件好(图 5),滑坡泥石流物源区后有 2~3 m 的陡坡,陡坡下为大的排洪沟;滑源区内地形微波状起伏,且黄河灌渠由西向东穿过(震后被毁),位于物源区东侧的支沟被修整为梯田,常年的小流域上游汇水、日常降雨入渗和冬灌灌区渗漏导致物源区近地表的物质处于高含水状态。(3)该区域处于极震区,地震动背景值最大已接近 0.5 g(图 3),在覆盖层放大效应(放大 1.5~3 倍, Zhao et al., 2018)叠加条件下,松散河流漫滩相砂层及黄土会产生强烈的地震动,这使得黄土快速液化呈流塑状。(4)在重力作用下处于流塑状的砂泥混合流体沿着既有沟道向下游运动,随着沟道河谷的深浅而在不同部位发生堆积,造成此次淤埋地震地质灾害。

甘肃积石山大河家镇陈家村位置上与青海官亭镇隔河相望,覆盖层同样深厚,在地震中房屋损毁严重,人员伤亡大;同时有切坡边坡滑坡、崩塌现象。

## 4 讨论与结论

2023 年 12 月 18 日,甘肃省临夏回族自治州积石山县发生  $M_s$  6.2 ( $M_w$  5.9) 级地震,震源深度 10 km。基于已有文献资料、高精度遥感数据和野外调查数据,本文尝试对该次地震的灾害特征展开分析。此次的震害异常体现为震级较低的地震,出现大面积房屋破坏,造成了 148 人死亡,山区地震崩滑发育程度差,而下盘丘陵及盆地区地质灾害反而发育等等。上述异常有几点启示:(1)场地条件决定了地震动响应,黄土分布区,地震波有放大效应,地震加速度成倍增加,相比而言主动盘(上盘)侵入岩分布区地形放大效应不太明显;(2)黄土区土坯房及砖木结构房屋除抗震性能较差外,地震中因叠加覆盖层放大效应及共振效应,房屋损毁严重;(3)含水率高的黄土斜坡地震液化会造成灾难性震动液化泥石流滑坡。

此次地震烈度图显示逆冲型地震震害上盘较轻,下盘较重,这与西部大多数强震震害形成鲜明对比。有必要对这一异常及发震构造特点进行更深入研究。离震中十余千米长的青海省官亭盆地成了重灾区,中川乡地震液化滑坡泥石流滑源区含水率局部异常成因目前并不清楚,历史上距草滩村上游 5 km 的喇家出现过类似灾难;同样是官亭盆地南部的大河家镇此次地震震害也异常严重,因此,官亭盆地中川乡等类似结构斜坡未来强震是否稳定需进一步深入研究。此次地震对基础设施的深远影响值得关注。建议深厚覆盖上新建房屋选择自震周期短整体性好的框架结构,与官亭镇及中川镇具有类似黄土结构及汇水条件的斜坡设立地下水长观孔,以便评估震时液化风险,加强震区发震构造的精确定位。

致谢:

成文过程中得到成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室许强教授团队大力支持,中国地质调查局成都地质调查中心铁永波研究员、白永健正高级工程师、中国科学院成都山地灾害与环境研究所胡凯衡研究员等给予了帮助,在此深表感谢!

## [ 参 考 文 献 ]

- 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室. 甘肃积石山 6.2 级地震诱发部分区域滑坡灾害快速解译分析[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://mp.weixin.qq.com/s/Nf3SyGGNW5eNV2ivCB1qXg>.
- 光明网.“泥浪”高达 3 米!青海两村庄震后遭罕见砂涌, 20 人失联[EB/OL]. [2023-12-27]. [https://m.gmw.cn/2023-12/20/content\\_1303606881.htm](https://m.gmw.cn/2023-12/20/content_1303606881.htm).
- 胡亚东, 2004. 黄河积石峡水电站库岸地质灾害研究[D]. 成都:成都理工大学档案馆.
- Hu Y D, 2004. Studies on Geohazards of Reservoir of Jishi Valley Hydropower Station, Huanghe River [D]. Chengdu: The Archive of Chengdu University of Technology. (in Chinese)
- 李智敏, 田勤俭, 屠泓为, 2009. 拉脊山断裂带遥感特征研究[J]. 高原地震, 21 (1): 26-31.
- Li Z M, Tian Q J, Tu H W, 2009. Remote sensing characteristics of Lajishan fault[J]. Plateau Earthquake Research, 21 (1): 26-31. (in Chinese)
- 四川省人民政府, 2023a. 九寨沟“8·8”地震首场新闻发布会在省抗震救灾指挥部召开[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://www.sc.gov.cn/10462/10464/10797/>

- 2017/8/10/10430246.shtml.
- 四川省人民政府,2023b.截至9月11日17时四川泸定6.8级地震已造成93人遇难[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://www.sc.gov.cn/10462/10778/10876/2022/9/12/7de02bc2330942b6adab52542e295b8b.shtml>.
- 王海燕,2021.青藏高原东北缘喇家遗址覆盖沉积物性质及史前灾难成因研究[D].西安:陕西师范大学档案馆.
- Wang H Y,2021. A Study on the Properties of Sediments Covering the Lajia Site on the Northeast Edge of the Qinghai Tibet Plateau and the Genesis of Prehistoric Disasters[D]. Xi'an: The Archive of Shaanxi Normal University. (in Chinese)
- 新京报. 积石山6.2级地震已致148人遇难[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1785972304364818079&wfr=spider&for=pc>.
- 新华社. 专家详解积石山6.2级地震农房大量倒塌现象[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1786178190961081789&wfr=spider&for=pc>.
- 杨中轩,1993.南祁连拉脊山北缘逆冲推覆构造带[J].石油实验地质,15(2):138-145.
- Yang Z X,1993. On the overthrust zone in the north margin of the Lajishan, the southern Qilian Mountains [J]. Experimental Petroleum Geology, 15(2): 138-145. (in Chinese)
- 中国地震局,2023.甘肃积石山6.2级地震为逆冲型破裂和主震-余震型地震[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://www.cea.gov.cn/cea/xwzx/mtbb/5747808/index.html>.
- 中国地震局地震预测研究所,2023a.2023年甘肃积石山6.2级地震滑动分布[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://www.ief.ac.cn/kydts/info/2023/90215.html>.
- 中国地震局地震预测研究所,2023b.2023年甘肃临夏6.2级地震的震间三维变形及应变率[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://www.ief.ac.cn/kydts/info/2023/90211.html>.
- 中国地震局地震预测研究所,2023c.甘肃临夏6.2级地震序列精定位[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://www.ief.ac.cn/kydts/info/2023/90206.html>.
- 中国地震局工程力学研究所,2023.甘肃积石山6.2级地震(第1报)[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://www.iem.ac.cn/detail.html?id=2963>.
- 中国地震台网中心,2023.12月18日23时59分在甘肃临夏州积石山县发生6.2级地震[EB/OL]. [2023-12-27]. <https://www.cenc.ac.cn/cenc/dzxx/409064/index.html>.
- Ling S, Sun C, Li X, *et al.*, 2021. Characterizing the distribution pattern and geologic and geomorphic controls on earthquake-triggered landslide occurrence during the 2017 Ms 7.0 Jiuzhaigou earthquake, Sichuan, China[J]. Landslides, 18:1275-1291.
- Wang Y, He J, Luo Y, *et al.*, 2015. Seismic monitoring of a slope to investigate topographic amplification[J]. International Journal of Geohazards and Environment, 1(3):101-109.
- Wang Y, Luo Y, Wang F, *et al.*, 2012. Slope seismic response monitoring on the aftershocks of the Wenchuan earthquake in the Mianzhu section[J]. Journal of Mountain Science, 9:523-528.
- Xu C, Xu X, Yao X, *et al.*, 2014. Three (nearly) complete inventories of landslides triggered by the May 12, 2008 Wenchuan Mw 7.9 earthquake of China and their spatial distribution statistical analysis[J]. Landslides, 11:441-461.
- Zhao B, Hu K, Yang Z, *et al.*, 2022. Geomorphic and tectonic controls of landslides induced by the 2022 Luding earthquake[J]. Journal of Mountain Science, 19(12):3323-3345.
- Zhao B, Su L J, Xu Q, *et al.*, 2023. A review of recent earthquake-induced landslides on the Tibetan Plateau [J]. Earth-Science Reviews, 244:104534.
- Zhao B, Wang Y, Luo Y, *et al.*, 2018. Landslides and dam damage resulting from the Jiuzhaigou earthquake (8 August 2017), Sichuan, China[J]. Royal Society Open Science, 5(3):171418.

(责任编辑:魏 崑)