

刘秋强, 杜岩, 郭富赞, 等. 青藏高原东端甘肃舟曲牙豁口滑坡复活机理研究[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 113–117.  
[LIU Qiuqiang, DU Yan, GUO Fuzan, et al. Study on the Reactivation Mechanism of Yahuokou Landslide at the Eastern End of Qinghai–Tibet Plateau, Zhouqu County, Gansu Province, China[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(2): 113–117. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2021.02.019.]

# 青藏高原东端甘肃舟曲牙豁口滑坡复活机理研究<sup>\*</sup>

刘秋强<sup>1</sup>, 杜岩<sup>2</sup>, 郭富赞<sup>3</sup>, 霍磊晨<sup>2</sup>

(1. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012; 2. 北京科技大学 城市地下空间工程北京市重点实验室, 北京 100083; 3. 甘肃省地质环境监测院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 为深入研究青藏高原古滑坡复活机理, 以甘肃舟曲县东山镇牙豁口滑坡为对象, 通过对 INSAR 监测数据和现场地表监测数据的深入分析, 探讨了舟曲县东山镇牙豁口滑坡的滑动变形阶段, 并揭示其复活驱动机理。鉴于牙豁口滑坡最先启动块体高陡的后壁和侧壁失稳下滑形态可知, 降雨可能只是一个诱发因子, 真正触发牙豁口滑坡复活的根本原因是滑坡后缘岩土体的崩落和坪定–化马断裂带错动的影响。根据现场调查显示, 目前牙豁口滑坡 H1 后壁的稳定性依然较差, 存在多个潜在变形区, 一旦这些潜在变形体发生崩塌破坏, 必然造成牙豁口滑坡的再次复活, 并形成堰塞湖。通过对牙豁口滑坡复活的现场勘查与触发因子分析, 为今后该区滑坡灾害的防治减灾提供必要的借鉴和依据, 也对古滑坡复活机理研究提供了新的参考。

**关键词:** 牙豁口滑坡; 滑坡复活机制; 古滑坡复活; 青藏高原; 甘肃舟曲

**中图分类号:** X43; X915.5; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2021)02–0113–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2021.02.019

古滑坡复活通常是一个涉及地貌、气候变化和人类活动等因素的复杂过程<sup>[1]</sup>, 由于古滑坡的隐蔽性及其复活演变的复杂性和研究手段的局限性, 目前对古滑坡复活问题一直是工程地质和地质灾害界研究的热点和难点问题<sup>[2–3]</sup>。

青藏高原东端作为中国大陆地形地貌陡度最大、内外动力作用最强烈、气候变化极端频繁的特殊区域, 且在历史上曾发育了一系列大型巨型或巨型古滑坡, 是古滑坡复活案例最为集中的地区之一<sup>[4]</sup>; 郭建等<sup>[5]</sup>在岷江支流黑水河库区古滑坡分析基础上, 对滑坡复活过程进行了模拟, 认为库水位上升时坡体内孔隙水压力及动水压力增加是导致古滑坡复活部分变形持续增大的主要原因; 任三绍等<sup>[6]</sup>通过对红花屯古滑坡进行了原位勘察和数值模拟, 得出古滑坡复活诱因为工程开挖与强降雨的综合作用, 而强降雨为主要控制因素。郭长宝等<sup>[7]</sup>认为引起古滑坡复活的因素主要有降雨、地震、人类工程活动、河流侵蚀、库水位变动、断裂活动和长期重力作用, 因此其发育分布受地形坡度、地层岩性、活动断裂、河流侵蚀、植被、人类工程活动等多因素的综合控制和影响; 孙东等<sup>[8]</sup>研究美姑河流域滑坡的时空展布特征, 认为中晚更新世以来的断裂活动对滑坡发

育具有独特的控制模式, 断裂展布及活动性可以改变斜坡岩土体结构并对古滑坡复活具有明显控制作用。

越来越多研究表明活动断裂带对古滑坡形成和复活具有控制作用<sup>[9–10]</sup>。由于青藏高原东缘古滑坡复活具有多期次、多分区、多级滑带的变形特点, 无论是沿着老滑面(滑带)重新滑动, 还是孕育新的次级滑面, 若得不到及时有效的抑制, 很容易出现滑动破坏现象, 甚至形成堰塞湖, 给人类造成了极大影响和危害。本研究以青藏高原东端舟曲县东山镇牙豁口滑坡为对象, 开展活动断裂带对古滑坡复活机理的案例研究, 为古滑坡复活机理研究与该区滑坡灾害的防治减灾提供参考。

## 1 滑坡简介

牙豁口滑坡(H1 滑坡)地处青藏高原东缘岷江右岸, 位于舟曲县东北部的东山镇牙豁口段, 地理坐标 104°30′35″~104°34′28″E, 33°44′15″~33°45′03″N(图1)。2019年7月16日16:40, 舟曲县牙豁口老滑坡后缘牙豁口段出现裂缝, 滑坡初现

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2020–08–05 修回日期: 2020–12–25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41702371); 中国地质调查局地质调查项目(121201103000150014); 中央高校基本科研业务专项(FRF–BD–20–01A)

第一作者简介: 刘秋强(1982–), 男, 汉族, 河南郑州人, 高级工程师, 主要从事地质灾害防治研究. E-mail: Liuqiuqiang@163.com

通讯作者: 杜岩(1985–), 男, 汉族, 河南新乡人, 博士后, 副教授, 主要从事岩土工程和土木工程防灾减灾研究.

E-mail: mutulei@163.com

变形迹象,滑坡体从顶部崖口启动,呈“流塑”状自上而下缓滑动,沿途摧毁 S414 县道 3 km、农村合作社 1 处,直至滑入岷江后逐渐停滞。滑坡致使原本宽约 20 m 的岷江河道最窄处仅 4 m,岷江水位不断上升,呈半堵江状态,累计造成直接经济损失 1.02 亿元。

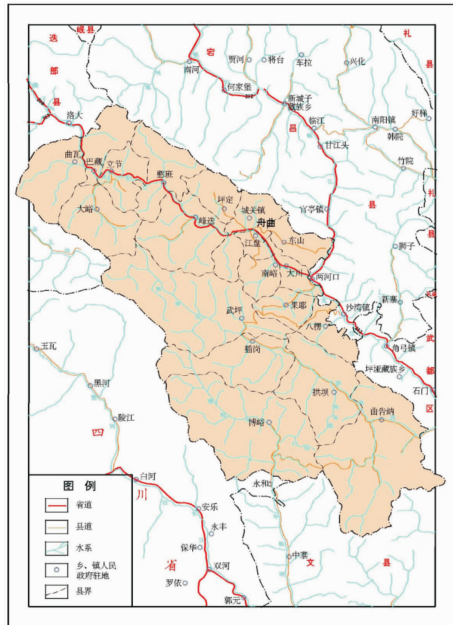


图1 牙豁口滑坡位置图

根据滑坡体的多级变形特征,可以把牙豁口滑坡分为三级,分别为上级(HI1 滑坡)、中级(HI2 滑坡)、下级(HI3 滑坡)(图2)。



图2 牙豁口滑坡全貌

根据 INSAR 监测数据和现场地表监测数据发现,滑坡的变形破坏表现为分级分块,从上至下呈现逐级滑动的缓变式推移变形。其滑动过程可归纳总结成以下三个阶段(图3)。

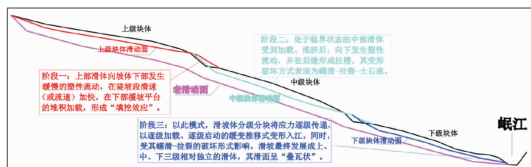


图3 牙豁口滑坡变形破坏模式步骤剖面示意图

阶段一:滑坡体上部(HI1 滑坡)于7月16日发生变形,7月19日整体发生滑动,鉴于滑坡岩土体松散,且地下水赋存,致使滑坡自上而下呈“流体”状态向下缓慢滑动,当滑坡体通过缓坡,进入峡口下部的陡坡后,在重力作用的影响下,滑速(或流速)加快,迅速通过陡坡,在下部缓坡平台的堆积加载。

阶段二:原本处于临界状态的中部滑体受到 HI1 滑坡堆积体加载后,迅速进入加速滑动状态,表现出来的是两侧滑体两侧羽状裂缝发育,滑体上部树木出现变形,最终在堆积体的加载及推挤作用下发生塑性流动,并在后缘形成拉槽,其变形破坏方式表现为蠕滑-拉裂-土石流。

阶段三:随着中部的滑体继续向下加载、推挤其下部的滑体,分级分块将应力逐级传递,表现出来的是其滑体前部不断出现新的剪切裂缝、鼓胀裂缝等迹象,现场调查时,几乎每天都可划定新的变形区域。最终以逐级加载、逐级启动的缓变推移式变形入江。同时,受其蠕滑-拉裂的破坏形式影响,滑坡最终发展成上、中、下三级相对独立的滑体。

牙豁口滑坡滑动全过程遥感影像图如图4所示。由图4可知,滑坡于7月20日17:00形成首个滑坡舌开始,滑坡体以逐级堆积、逐级传递应力、逐级启动的方式,逐级向下部扩展的方式,每天都出现新的形变区域与滑舌位置,直至侵入岷江。从7月16日滑坡发生滑动至8月14日14:00滑入岷江后逐渐停滞,滑坡体最终以逐级推移加载、逐级传递应力、逐级启动的缓变推移式实现了牙豁口滑坡的整体复活滑动破坏。

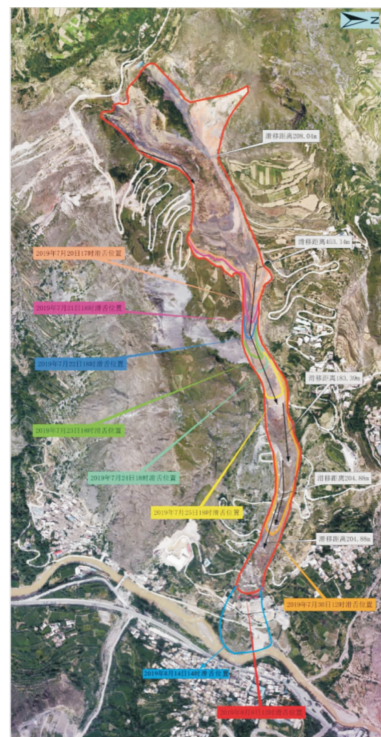


图4 牙豁口滑坡滑动全过程

## 2 牙豁口滑坡复活驱动因子分析

牙豁口滑坡(HI)为牙豁口老滑坡中部凹槽内的复活滑动,在地貌形态上呈“凹槽状”,平面形态上呈狭长的“舌形”,属牙豁口老滑坡的次级滑坡。滑坡自启动至停歇历时近1个月,受其逐级加载、逐级传递应力、逐级启动的变形模式影响,滑坡体在变形破坏方式上表现为分级分块、从上



至下逐级滑动的缓变推移式变形,即滑坡体呈“流体”状态自坡体上部自上而下发生塑性流动,并不断堆积加载下部滑体,受到上部滑体堆积加载和推挤作用后,下部滑坡体逐级启动,最终分级分块整体发生滑动,并形成上、中、下三级相对独立的3个滑坡块体。其中,HI1 滑坡作为牙豁口滑坡最先启动的块体,属驱动段,因此对该段滑坡复活驱动因子进行分析,是研究牙豁口滑坡复活的关键所在。

## 2.1 HI1 滑坡滑体形态特征

HI1 滑坡属中型推移式断裂带堆积层滑坡,平面形态呈“长舌形”,剖面形态呈“折线形”,沿滑动方向最大长度为712 m;滑体主要在两侧山梁之间的洼地内滑动,受地形控制,滑体在平面上呈上窄下宽的态势,平均宽度84 m,面积 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,平均厚度14.6 m,总体积 $81.76 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。滑坡体前缘海拔为1 650 m,后缘海拔为1 863 m,相对高差263 m;滑坡体整体上后部较为陡峭,约 $27^\circ$ ,中下部坡度较为平缓,约 $14^\circ$ ,平均坡度约 $17^\circ$ ;滑体主滑方向受地形控制呈不规则“S”型,由后部至前部主滑方向分别为 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 和 $80^\circ$ 。

现场调查发现,在滑坡堆积体后缘发现局部裸露的滑床,滑床可见明显黑色擦痕,成分为灰黑色炭质板岩碎屑,经测量,与水平夹角为 $18^\circ$ ,说明该区段滑动面角度约为 $18^\circ$ ,同时结合布设于滑坡体上部的钻探资料发现,滑坡体后部最薄、前缘次之、中部最厚。

滑坡堆积体物质细碎、结构较致密,表现出充分解体及后期固结的特点<sup>[11]</sup>。表层多为碎石土和灰黑色炭质板岩混杂堆积体,土体呈黑黄色,其下部滑体披覆大量块石,块石平均粒径约1.2 m,最大粒径约3.3 m,母岩岩性为灰岩。究其原因,主要是左侧侧壁的崩塌体堆积至滑坡体上部,受滑坡的滑动的影响,被搬运至滑坡体下部所致,据现场调查及遥感解译,崩塌堆积体呈长条状展布,披覆于滑坡体上部,总体积约 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。鉴于这些崩滑块体高程较高,坡度较陡,因此这些不良地质体一旦发生破坏便具有较大的重力势能,为HI1 滑坡的破坏提供了巨大的冲击动能,使得滑坡呈“土石流”状态向下滑动破坏。

## 2.2 HI1 滑坡复活机制

图5为牙豁口HI1 滑坡后缘次级滑坡与变形区。由图5可知,HI1 滑坡的滑动过程为,后缘左侧块体先期失稳发生滑动,并牵引后缘右侧滑体,致使滑坡整体失稳下滑。因此左侧滑体的下滑破坏,是HI1 滑坡复活的主要控制因子。在左侧部分滑坡后壁调查发现,后壁局部可见滑坡滑动后擦痕的黑色印痕,沿滑坡后壁发育2处小型次级堆积层滑坡(H'01、H'02),滑坡体体积依次为 $1.24 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $0.87 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,加之后缘高陡的地形为下滑坡体提供了充足的动能,从而直接导致了HI1 滑坡的滑动破坏。同样,在左侧滑块的左右侧滑体均具有这一特征,因此,圈椅状滑坡后缘以及左右侧滑体的下滑破坏是HI1 滑坡滑动的直接动力。

图6为HI1 滑坡平面图。由图6可知,HI1 滑

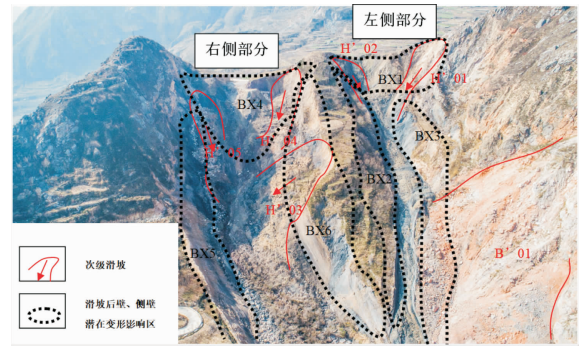


图5 牙豁口HI1 滑坡后缘次级滑坡与变形区

块滑动方向与坪定-化马断裂的走向基本一致,滑坡滑动与断裂带错动有很大关系。坪定-化马断裂系光盖山-迭山南麓断裂的分支断裂之一。该断裂西起九原,经坪定南靖边、舟曲县城西向东至中牌、化马一带,东延至励志坝,全长约55 km,总体走向 $\text{NW}300^\circ \sim 310^\circ$ ,倾向NE,倾角 $50^\circ \sim 80^\circ$ ,舟曲县城东至大川北一带,断裂带走向渐变为近EW向,再向东至中牌,断裂走向 $\text{NEE}70^\circ \sim 80^\circ$ ,化马以东断裂带走向转为 $\text{NWW}310^\circ$ 。该断裂破碎带宽约500~1 500 m,由2条次级分支断层组成,带内断层泥、断层构造发育,局部可见泉水出露。由于该断层性质以挤压逆冲为主,为走滑逆冲断裂兼有挤压的特征<sup>[12]</sup>,该区域的多处古滑坡的复活都与其有直接关联,因此坪定-化马断裂带错动可能是HI1 滑坡滑动的间接动力。此外,滑坡后缘的平均坡度虽然很陡,甚至局部地段近直立,但根据侧壁擦痕的现场测量,擦痕与水平夹角仅为 $16^\circ$ ,滑坡滑动并非沿滑坡倾角下滑,而与断裂走向基本一致,从而间接证明了坡体并非仅受重力作用还受到断层错动等其他因素的影响。

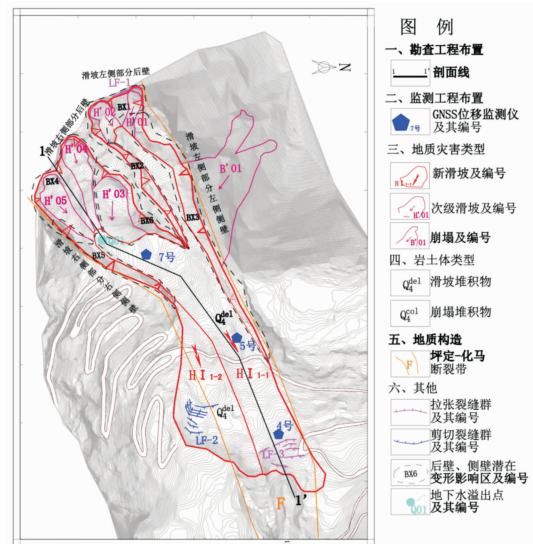


图6 HI1 滑坡平面图

因此,HI1 滑坡的滑动不仅受后缘坡体破坏下滑的冲击作用,还会受到断层错动导致的坡体受力状态的变化,从而最终导致牙豁口滑坡(HI)在牙豁口老滑坡中部凹槽内的全面的复活滑动。

### 3 牙豁口滑坡复活机制讨论

虽然 2019 年舟曲全县夏季暴雨及长期降雨比往年平均值明显偏多, 鉴于滑坡滑动后在后缘拉裂形成了高陡的后壁及侧壁, 根据现场地质调查发现, 牙豁口滑坡的复活主要受滑坡后缘高陡滑坡的破坏冲击与坪定-化马断裂带错动的影响。由于断裂带的错动, 使得滑坡产生阶梯沉降, 使得坡体后缘与坡体会产生多出错落和张拉裂隙<sup>[13]</sup>。因此在滑坡现场, 不仅在后壁坡顶上部发育多处拉张裂缝、拉陷槽与高约 30 cm 的错落(图 7、图 8), 还会在滑坡的中部和下部亦发现多处张拉裂隙(图 9)。



图 7 左侧后壁缘边发育的裂缝



图 8 滑坡后缘错落



图 9 滑坡前缘张拉裂隙发育

由牙豁口滑坡最先启动块体高陡的后壁和侧壁失稳下滑形态可知, 降雨可能只是一个诱发因子, 真正触发牙豁口滑坡复活的根本原因是滑坡后缘岩土体的崩落和坪定-化马断裂带错动的影响。牙豁口滑坡高陡后缘大量变形区岩土体的崩落不仅为滑坡的下滑带来充足的物质来源, 更为主要的是提供了足够大的冲击动力。不仅如此, 这种上层荷载不断堆载的破坏模式造就了滑坡体自上而下一个多月的多级破坏形态, 并最终形成逐级传递应力、逐级启动的变形模式。

上层土体不断堆载加上汛期地下水位的提升导致地层产生较大的压力, 必然会促发坪定-化马断裂带错动, 亦会引起的岩层产生阶梯式沉降, 尤其是在较厚软弱层的坡体, 会产生较大的沉降位移, 并对滑坡破坏提供下滑力<sup>[13]</sup>。因此, 坪定-化马断裂带的错动是牙豁口滑坡的关键因素, 滑坡下方所处的断裂破碎带不仅会产生不均匀沉降, 而且会导致上覆次生黄土层或次级滑坡体产生再次拉裂和解体, 从而造成滑坡的塑性流动破坏。

自晚新生代青藏高原的强烈隆升, 区内新构造活动强烈, 地震频发且强度大, 在内外动力耦合以及人类工程活动作用下, 触发和诱发古滑坡复活事件极为频繁, 给人类造成了极大影响和危害。

古滑坡复活虽然会受地形坡度、地层岩性、活动断裂、河流侵蚀、植被、人类工程活动等多种因素的综合控制和影响, 但先存的地质构造对滑坡的复活往往具有重要的影响<sup>[14]</sup>; 滑坡所处的断层不仅会对谷坡应力的传递有明显的分异作用<sup>[15]</sup>, 而且因断层错动导致坡体初始条件变异<sup>[16]</sup>, 会大大降低坡体的稳定性。因此, 牙豁口滑坡由于坪定-化马断裂带的错动存在再次复活的可能。

根据现场调查显示, 目前牙豁口滑坡 HI1 后壁的稳定性依然较差, 存在多个潜在变形区, 这些高陡的岩土体极有可能在断层错动、地震以及强降水等不利工况下存在坍塌的可能。经过对这些潜在崩滑体的体积测算, HI1 滑块体后壁和侧壁的潜在变形体最大约为  $22.95 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 占据目前 HI1 滑块体的四分之一以上。一旦这些潜在变形体发生崩塌破坏, 必然造成牙豁口滑坡的再次复活, 并形成堰塞湖。因此在后续工程治理中, 需要对上级块体右侧滑块后缘及侧壁进行处理, 控制住上级块体物源, 防止其失稳滑动后对下部滑体进行加载, 引发滑坡整体滑动。

### 4 结论

(1) 牙豁口滑坡后缘与侧壁发育多处堆积层滑坡, 这些滑坡的崩塌破坏不仅为滑坡的整体下滑带来充足的物质来源与外部荷载, 同时也为滑坡滑动提供了足够大的冲击动力。

(2) 上层土体不断堆载加上汛期地下水位的提升导致地层产生较大的压力, 必然会促发坪定-化马断裂带错动, 亦会引起的岩层产生阶梯式沉降, 导致上覆次生黄土层多次拉裂破坏, 呈“流体”状态自上而下发生塑性流动。

(3) 牙豁口滑坡后壁和侧壁目前仍有约为  $22.95 \times 10^4 \text{ m}^3$  潜在变形体, 因此, 需要对滑坡后缘及侧壁进行治理, 控制住上级块体物源, 防止其失稳滑动后对下部滑体进行加载, 引发滑坡整体滑动。

(4) 通过对牙豁口滑坡复活的现场勘查与诱发



因子分析, 为今后该区滑坡灾害的防治减灾提供必要的借鉴和依据, 也对古滑坡复活机理研究提供了新的参考。

**致谢:** “7.16”牙豁口滑坡发生后, 甘肃省各级部门立即开展应急处置以及调查评价和监测等工作。本文的研究工作尤其是资料获取方面包含了众多人员的心血, 在此向他们表示衷心感谢, 尤其是感谢贾吴冉高级工程师与巴基斯坦籍 Asim Farooq 博士在勘查数据和分析方面提供的支持。

## 参考文献:

- [1] CRUDEN D M, VARNES D J. Landslide types and processes, special report, transportation research board[J]. National Academy of Sciences, 1996, 247: 36–75.
- [2] NEGI I S, KUMAR K, KATHAIT A, et al. Cost assessment of losses due to recent reactivation of Kaliasaur landslide on National Highway 58 in Garhwal Himalaya[J]. Natural Hazards, 2013, 68: 901–914.
- [3] DENG H, WU L Z, HUANG R Q, et al. Formation of the Siwanli ancient landslide in the Dadu River, China[J]. Landslides, 2016: 1–10.
- [4] 吴瑞安, 张永双, 郭长宝, 等. 川西松潘上窑沟古滑坡复活特征及危险性预测研究[J]. 岩土工程学报, 2018, 40(9): 1659–1667.
- [5] 郭健, 许模, 赵勇, 等. 黑水河库区某古滑坡形成及复活机制[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(6): 721–728.
- [6] 任三绍, 郭长宝, 吴瑞安, 等. 成兰铁路松潘隧道入口红花屯古滑坡发育特征与稳定性分析[J]. 地质力学学报, 2017, 23(5): 754–765.
- [7] 郭长宝, 任三绍, 李雪, 等. 甘肃舟曲南峪江顶崖古滑坡发育特征与复活机理[J]. 现代地质, 2019, 33(1): 206–217.
- [8] 孙东, 殷志强, 李大猛, 等. 美姑河流域地质构造对大型滑坡孕育的控制作用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(6): 49–58, 67.
- [9] 谢吉尊, 冯文凯, 杨少帅, 等. 则木河断裂带活动特征和地质灾害对地貌演化的影响—以鹅掌河流域为例[J]. 工程地质学报, 2017, 25(3): 772–783.
- [10] 杨佳立. 雅砻江上游甲西滑坡形成及复活机制研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [11] 魏昌利, 张瑛, 冯文凯, 等. 岷江上游槽谷曲流段大型古滑坡成因与复活性分析—以松潘县元坝子古滑坡为例[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(6): 141–149.
- [12] 杨为民, 黄晓, 张永双, 等. 甘肃南部坪定—化马断裂带滑坡变形特征及其防治[J]. 地质通报, 2013, 32(12): 1925–1935.
- [13] 杜岩, 谢谟文, 吴志祥, 等. 平推式滑坡成因机制及其稳定性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(S1): 2871–2880.
- [14] MARTEL S J. Mechanic of landslide initiation as a shear fracture phenomenon[J]. Marine Geology, 2004, 203(3/4): 319–339.
- [15] 黄润秋. 中国西南岩石高边坡的主要特征及其演化[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 292–297.
- [16] 杜岩, 陆永都, 谢谟文, 等. 考虑初始条件变异的蠕滑型滑坡稳定性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(S1): 2828–2836.

# The Reactivation Mechanism of Yahuokou Landslide at the Eastern End of Qinghai-Tibet Plateau, Zhouqu County, Gansu Province, China

LIU Qiuqiang<sup>1</sup>, DU Yan<sup>2</sup>, GUO Fuyun<sup>3</sup> and HUO Leichen<sup>2</sup>

(1. China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China; 2. Beijing Key Laboratory of Urban Underground Space Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 3. Geological Environment Monitoring Institute of Gansu Province, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** In order to study the mechanism of the resurrection of ancient landslides on the Qinghai-Tibet Plateau, we take the Yahuokou Landslide in Dongshan Township, Zhouqu County as the object. Through in-depth analysis of the INSAR monitoring data and field surface monitoring data, the sliding deformation of the Yahuokou landslide is discussed, and its reactivation driving mechanism is revealed. In view of the instability and sliding morphology of the trailing and both sides of broken walls of Yahuokou Landslide, it can be known that rainfall may be only an inducing factor. The fundamental reason for the revival of Yahuokou Landslide is the collapse of rock and soil mass at the back edge of the landslide and the activities of Pingding-Huama Fault Zone. According to the field investigation, the stability of back wall of H11 slope is still poor, and there are many potential landslides. Once these landslides collapse, it will inevitably lead to the revival of Yahuokou Landslide and the formation of barrier lake. Through the field investigation and trigger factor analysis of Yahuokou Landslide, it provides a new reference for the prevention and mitigation of landslide disasters in this area and the study of the reactivation mechanism of ancient landslides.

**Key words:** Yahuokou landslide; landslide revival mechanism; ancient landslide resurrection; Qinghai-Tibet Plateau; Zhouqu in Gansu Province