

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.05.03

青海尖扎盆地寺门村滑坡发育特征及成因分析

史立群^{1,2}, 魏刚^{1,2}, 殷志强³, 袁材栋^{1,2}, 武新宁^{1,2}, 李振超^{1,2}

(1. 青海省环境地质勘查局/青海省地质环境保护与灾害防治工程技术研究中心, 青海 西宁 810007;
2. 青海九〇六工程勘察设计院, 青海 西宁 810007; 3. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要: 滑坡形成演化及复活一直是滑坡防灾减灾领域研究的热点问题。本文在对黄河上游尖扎盆地地质环境背景分析和滑坡体野外调查、遥感解译、实验测试的基础上, 分析研究了盆地内寺门村滑坡的变形过程、滑带土和堆积体特征, 还原了滑坡的演化过程, 厘定了滑坡复活因素, 提出了黄河上游滑坡堆积体开发利用对策建议, 认为(1)该滑坡是2005年之前发生的老滑坡因河流侧蚀和2018年春季人工灌溉引发的复活性滑坡;(2)滑坡体综合治理应与土地整治相结合且应选择合适的灌溉方式。研究结果对于青藏高原东北缘黄河上游地区的滑坡防灾减灾及滑坡体开发利用具有重要意义。

关键词: 寺门村滑坡; 发育特征; 成因; 尖扎盆地; 黄河上游

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)05-0015-07

Characteristics and formation of Simencun Landslides in Jianzha Basin of Qinghai Province

SHI Liqun^{1,2}, WEI Gang^{1,2}, YIN Zhiqiang³, YUAN Caidong^{1,2}, WU Xining^{1,2}, LI Zhenchao^{1,2}

(1. Qinghai Environmental Geological Prospecting Bureau, Key Laboratory of Qinghai Environmental Geology, Xining, Qinghai 810007, China; 2. Qinghai 906 Engineering Survey and Design Institute, Xining, Qinghai 810007, China; 3. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: Landslide formation, evolution and resurrection have been a hot topic in the field of landslide disaster prevention and mitigation. In the paper, based on analysis of the geological environment background and field survey, remote sensing interpretation, and experimental testing of large-scale landslides in the Jianzha Basin on the upper Yellow River, then taking the Simencun Landslide on the southern bank of the Yellow River in the basin as an example, the deformation process, characteristics of the landslide slip zone soil and accumulated body are discussed, the landslide formation process are reduction and reactive factors determined. Finally, some suggestions for the development and utilization of landslide deposits in the upper reaches of the Yellow River are put forward. It is believed that: (1) The landslide that was the old landslide occurred before 2005, which reactivated by the river-side erosion and artificial irrigation in spring 2018. (2) Comprehensive management of landslides should be combined with land remediation and appropriate irrigation methods should be selected, which is of great significance for landslide disaster prevention and mitigation and landslide body development and utilization in the upper reaches of the Yellow River on the northeastern part of the Tibetan Plateau.

收稿日期: 2019-12-09; 修订日期: 2020-04-08

基金项目: 青海省科技计划项目(2018-ZJ-714); 国家重点研发计划项目(2018YFC1504704); 国家自然科学基金(41372333)

第一作者: 史立群(1979-), 男, 高级工程师, 主要从事地质灾害调查和防治研究。E-mail: 305054335@qq.com

通讯作者: 殷志强(1980-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事滑坡地貌演化研究工作。E-mail: yinzq@cigem.cn

Keywords: Simencun Landslide; formation characteristics; origin factors; Jianzha Basin; upper reaches of Yellow River

0 引言

黄河上游尖扎盆地位于青藏高原东北缘一、二级阶梯的过渡带,这里巨型、特大型和大型滑坡非常发育,在全球范围内都具有典型性和代表性^[1-4]。前人已对黄河上游干流地区的大型滑坡泥石流等进行了发育特征、危险性评估以及滑坡对水电水利工程的影响等一系列研究^[5-10],认为该地区的滑坡在地质历史时期曾多次发生大规模滑动^[5-7],留下了很多堆积平台,已被改造为居民区和农田,如夏藏滩滑坡^[7],但由于滑坡堆积体本身具有不稳定性,位于堆积体上的多次

发生农田沉陷、灌溉漏水、渠道毁坏、沟岸塌滑等一系列环境地质问题,引起了当地政府的高度重视。其中位于尖扎盆地黄河南岸的寺门村滑坡就是一处老滑坡,该滑坡位于黄河凹岸(图1),受河流侧蚀作用制约,在2018年开发利用之前已出现多次变形^[11]。2018年春季,该滑坡被开发利用,但2018年4月3日,该滑坡发生复活(图2)。围绕该滑坡复活变形过程及下一步防灾减灾,笔者在野外详细调查、样品采集测试和遥感解译的基础上,开展了该滑坡的发育特征和演化过程研究,提出了黄河上游滑坡堆积体开发利用对策建议。

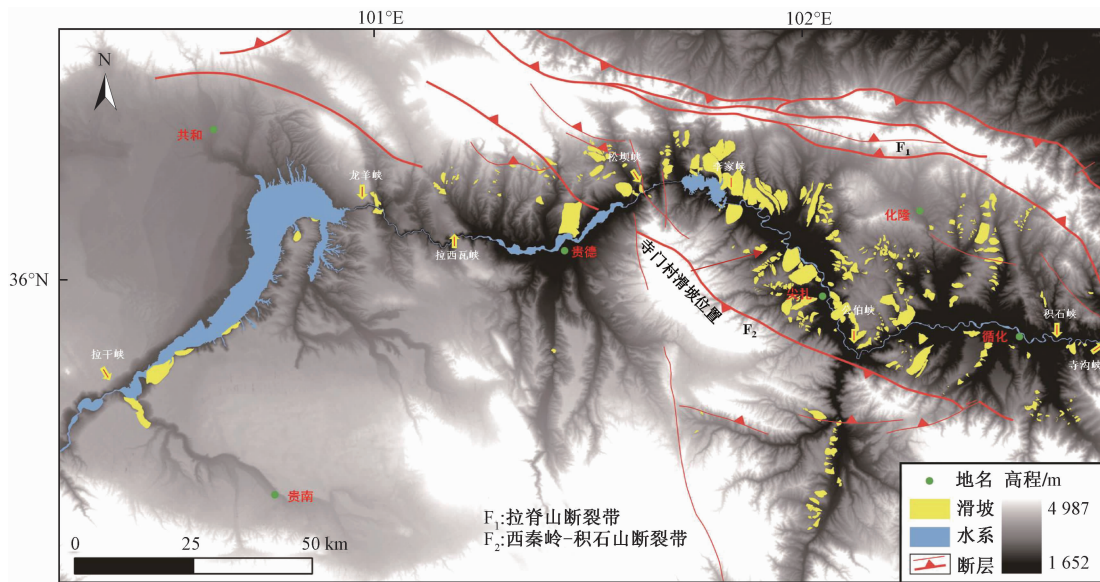


图1 寺门村滑坡在黄河上游位置图

Fig.1 The location of landslide at Simencun in the upper reaches of the Yellow River



图2 黄河上游寺门村滑坡滑动前全貌

Fig.2 The overview of the Simencun Landslide before sliding in the upper reaches of Yellow River

1 寺门村滑坡变形特征

1.1 滑坡总体特征

寺门村滑坡位于尖扎县康杨镇寺门村马康公路约 15 km 处的黄河南岸凹岸处,地貌上属于侵蚀构造低山丘陵区前缘。滑坡后缘坡顶海拔 2 110 m,前缘公伯峡水库水面海拔 2 026 m,垂直落差 84 m,斜坡坡度约 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$,滑坡体长约 390 m,宽约 460 m,厚约 15 m,整体呈“簸箕状”^[8]。滑体前缘为公伯峡水库库尾,紧邻康杨水电站下方,受康杨水电站水位影响较大,同时位于黄河凹岸,受黄河侧蚀作用明显,黄河不断冲刷掏空凹岸物质堆积于凸岸。受水库水位涨落和降雨耦合影响,坡体每年均出现不同程度的蠕滑变形,滑坡体上的公路、电线杆均被严重破坏,同时,前缘河道也受影响。2018 年 4 月 3 日,该滑坡发生复活,由于滑动之

前已出现变形迹象,当地政府采取了措施而未造成人员伤亡。

1.2 滑坡发生过程及危害

滑坡体主要由第四系坡洪积黄土状土(Q_4^{al-pl})及新近系(N)泥岩组成的黄土+泥岩滑坡,结构松散,垂直节理发育。滑坡后壁呈圈椅状,平面形态呈“簸箕状”(图 3),剖面形态呈阶状,上陡下缓,坡向 100° ,主滑方向与坡向一致(图 4),为一处大型滑坡。滑坡后壁 10 m 范围内发育有多条平行于坡面的拉张裂缝,裂缝平均宽度 5 ~ 20 cm,可见深度 0.3 ~ 1.5 m,并且呈加宽、加深趋势;滑坡体两侧下错形成高 2 ~ 5 m 的陡坎;滑坡体中部的公路及前缘耕地因滑坡滑动产生大量鼓张和拉张裂缝,裂缝宽 5 ~ 30 cm,局部形成 0.3 ~ 1 m 的错动。

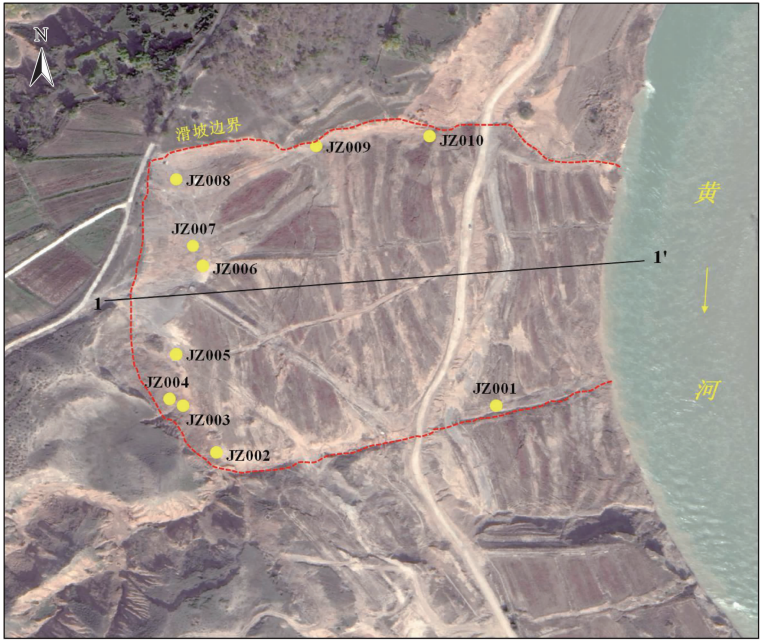


图 3 寺门村滑坡平面图及滑带土采样位置分布(1-1'为图 3 剖面位置)

Fig. 3 Image of Simencun Landslide and distribution of sampling locations(1-1' is position of the section in fig. 3)

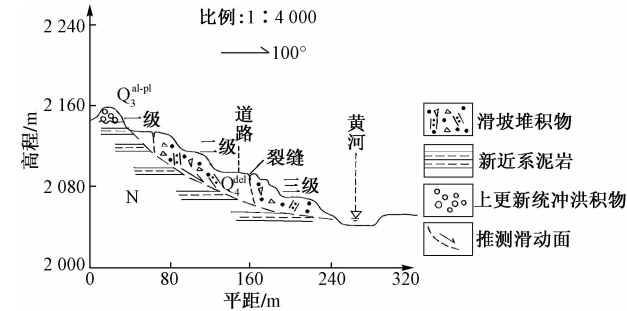


图 4 寺门村滑坡纵剖面图

Fig. 4 The longitudinal profile lines of Simencun Landslide

截止 2018 年 4 月 4 日下午 18 时,该滑坡后壁位置暂时趋于稳定,未向前移动,仅滑坡体整体向下滑动,滑动距离 5 ~ 10 m 不等。后缘顶部发育有多处落水洞,滑坡后壁高 8 ~ 25 m,坡度 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$,后壁部分段滑面清晰,镜面擦痕明显(图 5),滑面产状 $105^{\circ} \angle 55^{\circ}$,滑坡两侧垂直方向产生了约 5 ~ 10 m 的下错,滑坡体中前部产生了大量鼓张裂缝,裂缝宽度 0.3 ~ 1 m,滑坡体前缘向黄河河道方向移动了约 10 m。滑坡范围内主要影响对象为马康公路、耕地、三镇人饮水管道、通讯线路、输电线路等,滑坡造成马康公路路基

损毁 550 m, 输电线路损毁 400 m, 饮水管线损毁 1.2 km 等, 造成直接经济损失约 800 万元。

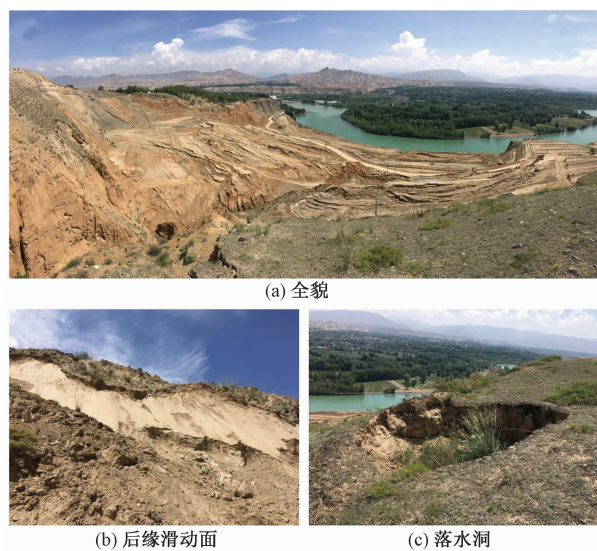


图 5 黄河上游寺门村滑坡

Fig. 5 The fully deposit of the Simen Village Landslide in the upper reaches of the Yellow River

1.3 遥感影像揭示的滑坡变形过程

笔者收集了 2005—2018 年以来该滑坡的遥感影像, 发现 2005 年该地区已出现过滑坡, 至于该滑坡最早发生的时间, 从地形地貌上推测应该是全新世以来, 因为该滑坡覆盖在黄河一级阶地上, 说明滑坡是在一级阶地形成后发生的, 而黄河上游一级阶地的年龄约 1 万年, 所以推测应该是全新世以来发生的滑坡, 属于老滑坡。2018 年发生的这次滑动实际上是老滑坡的复活, 我们称之为复活型滑坡, 本次滑坡的滑动距离较短, 原因可能与滑坡前缘的黄河侵蚀凹岸距离近有关。滑坡体中部有马康公路通过, 纵向发现较大冲沟 1 条。2005—2015 年, Google earth 遥感影像显示该滑坡区虽有人类活动, 如修建排水管等, 但滑坡整体较稳定, 未发生复活。2016 年 1 月 6 日的影像显示该滑坡体被整理为农田, 修建过程应该为 2015. 5. 12—2016. 1. 6。2018 年春季因灌溉需要, 对老滑坡体上的农田进行长时间的大水漫灌, 直接导致老滑坡复活, 产生新的滑动(图 6)。

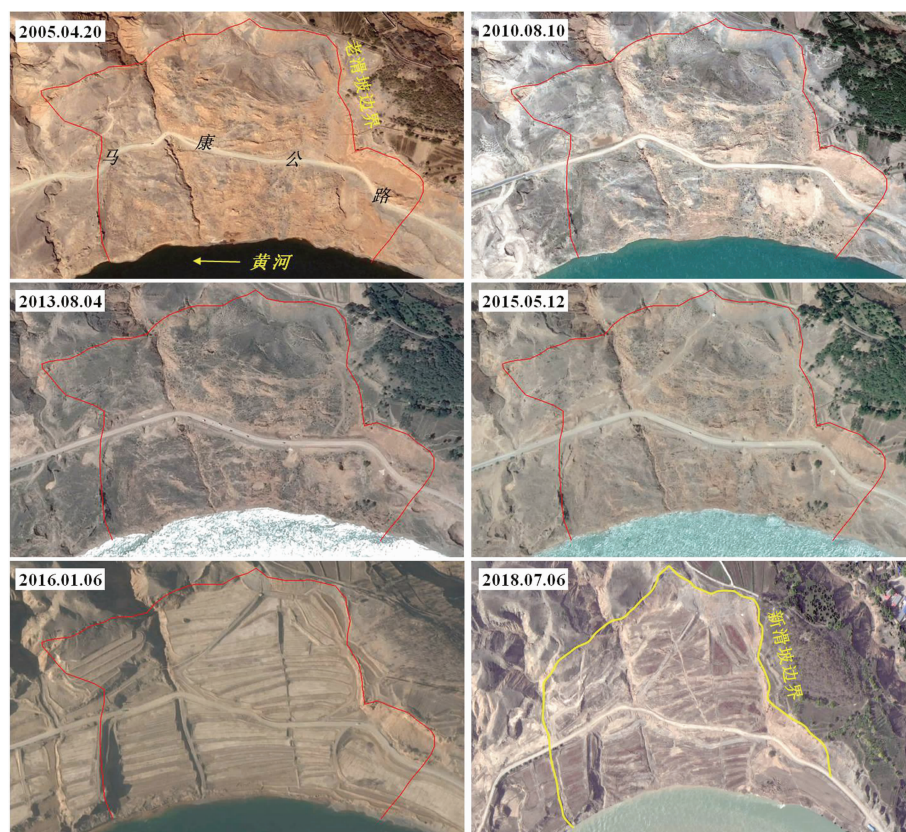


图 6 寺门村滑坡 2005—2018 年遥感影像监测过程(2005—2016 年来源于 Google earth, 2018 年为 World view-3)

Fig. 6 Remote sensing image monitoring process of Simen Village Landslide between 2005 and 2018
(2005—2016 images from Google Earth and 2018 image with World view-3)

2 滑坡滑带土特征

滑坡发生后,笔者第一时间开展了滑坡详细的野外调查,确定了滑坡范围,实测了滑坡的纵剖面 and 横剖面图,并沿着滑坡两壁和后壁采集了10处滑带土样品(图7),样品在中国科学院地质与地球物理研究所粒度实验室测试完成,测试方法沿用前人已成熟的粒度测试方法^[12-13]。

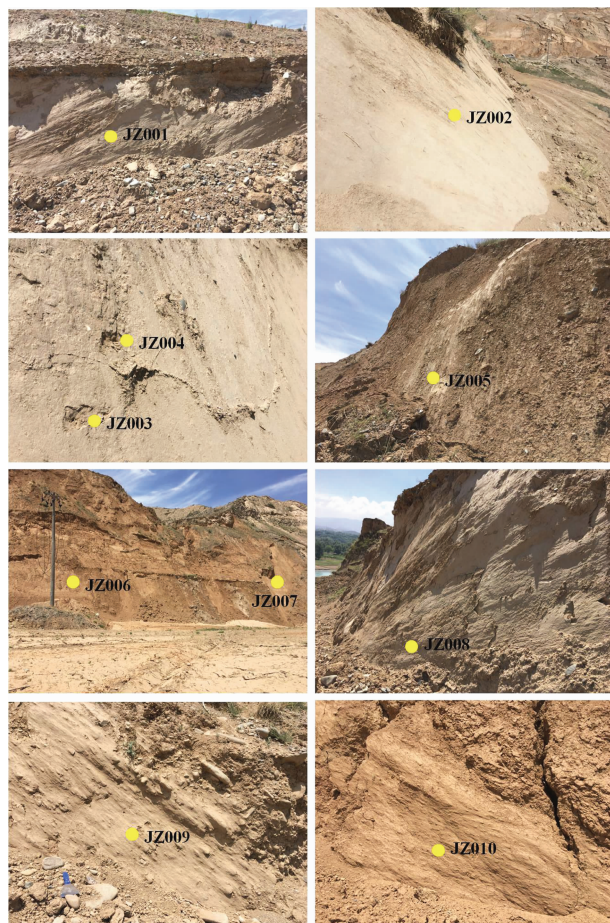


图7 寺门村滑坡滑带土样品采集位置图

Fig.7 Sampling location of sliding soils in the Simencun Landslide Area

根据粒度测试结果可知(图8),该滑坡的滑带土主要分为黄土和新近系泥岩两类,黄土的粒度主要有2个峰,其中中值粒径百分含量最多的部分集中在 $50 \sim 70 \mu\text{m}$,而泥岩的粒度组分主要有3个峰,中值粒径百分含量最多集中在 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 。分析图5的滑带土采样位置,可见JZ001-004, JZ008-009为典型黄土,而JZ005-007和JZ010为泥岩样品。二者在粒度组分曲线上表现出明显的差异,这与前人研究的全国不同地区的滑坡滑带土粒度特征基本一致^[14],反应了滑坡

滑带土的粒度特性具有一致性。通过粒度差异特征和黄土与泥岩的强度和易滑矿物组分分析,进一步判定了黄土与泥岩滑坡的稳定性。

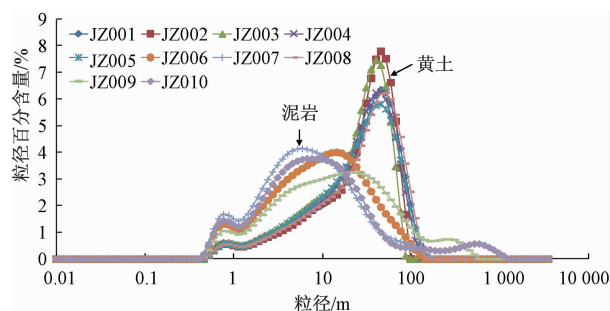


图8 寺门村滑坡滑带土样品粒度分布图

Fig.8 Grain size distribution of sliding zone soil samples in the Simencun Landslide Area

3 寺门村滑坡成因分析

3.1 河流侧蚀侵蚀

该滑坡位于强烈隆升的青藏高原与相对隆升的黄土高原过渡带,构造抬升和流水切蚀造成侵蚀基准面下降,成为河谷区岸坡相对高差增大的自然营力。尤其是寺门村滑坡发育在尖扎盆地的黄河凹岸,其受到黄河坡脚侵蚀,在坡体前缘形成了巨大临空面。由于长期处在黄河凹岸的冲刷、掏蚀作用下使临水坡面形成悬坡,特别是黄河深切到坡体底部的软弱结构面,使坡体失去原有平衡状态,导致坡体破坏产生滑坡。

3.2 人类灌溉活动

寺门村滑坡区不合理的灌溉渗漏是引起斜坡破坏的重要因素之一,该区为黄土+泥岩组成的斜坡,滑坡区原来的人类工程活动主要表现为公路工程。但近年来,为了保证农业生产,在该滑坡区兴修了农田水利灌溉工程,2018年春季的长期灌溉使水沿裂缝和落水洞大量渗入深部,使得坡体上的软弱夹层或结构面被浸润软化,降低抗剪强度而产生滑坡。

综合分析认为,寺门村滑坡是在原黄河河道侧蚀侵蚀引发的稳定性差的老滑坡堆积体上因长时间不合理人类灌溉入渗软化土体而引发的新滑坡。

4 滑坡堆积体开发利用方式

4.1 滑坡综合治理应与土地整治相结合

灾毁土地整理,特别是滑坡灾毁土地整理是土地整理开发的重要组成部分,整理后的土地既能缓解灾区耕地和建设用地紧张程度,又能使有限的土地资源得到合理开发利用。但滑坡防治工程是滑坡灾毁土地

整理和开发利用的前提和基础。滑坡体开发利用必须建立在有效工程治理的基础之上,如三峡库区的新滩滑坡灾毁土地整治通过坡改梯、田间道路、水利灌溉、农田防护等工程建立了“防护—生产型”农业生态系统,成为滑坡灾毁土地农业用地开发的典范,在库区具有示范作用。随着城镇化建设进程的加快,工业发展的推进,建设用地资源稀缺是必然的结果,如果将地质灾害防治与土地利用和土地整治一并考虑,实现避灾、脱贫和改善生态环境三结合,往往会起到事半功倍的效果,甘肃舟曲锁儿头滑坡、三峡库区巫山秀峰寺滑坡等已提供了二者成功结合的典型范例,还有四川宣汉县天台乡义和村大型滑坡治理工程,实现了滑坡地为金土地的土地开发利用模式。

黄河上游尖扎县的烂泥滩滑坡发生后,村落整体搬迁到夏藏滩古滑坡堆积体上。烂泥滩滑坡堆积体充分利用生态治理的理念,通过工程治理将其中后部改造为基本农田(梯田),前缘改造为设施农用地(蔬菜大棚),不同的滑坡部位采用了不同的开发利用方式,这样既保持了水土,合理增加了耕地面积,又改善了种植条件。烂泥滩滑坡开发利用为辩证认识滑坡灾害、合理利用古滑坡体提供了新的素材,但对于中后部基本农田应选择滴灌的灌溉方式,否则又会产生新的危险。

4.2 滑坡堆积体合理开发利用应选择合适的灌溉方式

滑坡堆积体由于质地松散、拉裂缝多等问题,给居民土地耕种和房屋建设带来很大影响。如黄河上游的夏藏滩巨型滑坡堆积体为公伯峡水电站库区的移民提供了居住和耕作的场地,但由于当地居民采用大水漫灌的耕作方式,造成滑坡堆积体沉降,水土流失,沟渠破坏,因此,古滑坡堆积体开发利用要选择合适的灌溉方式,如喷灌、滴管等。烂泥滩滑坡堆积体目前已被开发为基本农田和蔬菜大棚种植基地,建议选择合理灌溉方式,保持水土。2018年4月3日发生的尖扎县康杨镇的寺门村滑坡就是由于农田不合理的排水方式造成大规模滑坡发生。因此,由于古滑坡堆积体本身不稳定,建议放弃大水漫灌的灌溉方式,采用喷灌或滴灌的灌溉方式(最好是滴灌),可有效降低滑坡体土壤本身的饱和度,减少地面裂缝的拉张和沟谷侵蚀的速率。同时在滑坡后缘或中部种植林木,保持水土,减少雨水对土壤的侵蚀速率。

5 结论

在对黄河上游尖扎盆地南部的寺门村滑坡野外调

查、遥感解译、实验测试和综合研究的基础上,分析了该滑坡的历史变形过程、滑带土的粒度特征,提出了滑坡可能的诱发原因和开发利用对策建议,取得的认识主要有:

(1)寺门村滑坡体主要由第四系坡洪积黄土状土(Q_4^{dl-pl})及新近系(N)泥岩组成的黄土+泥岩滑坡,后壁呈圈椅状,平面形态呈“簸箕状”,剖面形态呈阶状,为一处大型滑坡。

(2)寺门村滑坡是在原黄河河道侧蚀侵蚀引发的稳定性差的老滑坡堆积体上因长时间不合理人类灌溉入渗软化土体而引发的新滑坡,滑坡滑带土在粒度组分曲线上表现出明显的差异。

(3)滑坡体综合治理应与土地整治相结合且应选择合适的灌溉方式,建议对古(老)滑坡堆积体使用时应开展稳定性评估并选择合适的开发利用方式。

参考文献:

- [1] 殷志强,程国明,李小林,等. 中更新世早中期以来黄河上游与三峡库区滑坡形成机理与气候变化关系研究[J]. 第四纪研究, 2010, 30(1): 37-45. [YIN Z Q, CHENG G M, LI X L, et al. Relationships between landslide forming mechanisms and climate changes since early mid-Pleistocene in the upper reaches of Yellow River and the Three Gorges reservoir area[J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(1): 37-45. (in Chinese)]
- [2] 殷志强,魏刚,祁小博,等. 黄河上游寺沟峡——拉干峡段滑坡时空特征及对气候变化的响应研究[J]. 工程地质学报, 2013, 21(1): 129-137. [YIN Z Q, WEI G, QI X B, et al. Spatial and temporal characteristics of landslides and there response to climatic change from sigou to lagan gorges in upper reaches of Yellow River[J]. Journal of Engineering Geology, 2013, 21(1): 129-137. (in Chinese)]
- [3] YIN Z Q, QIN X G, YIN Y P, et al. Landslide developmental characteristics and response to climate change since the last glacial in the upper reaches of the Yellow River, NE Tibetan Plateau[J]. Acta Geologica Sinica-English Edition, 2014, 88(2): 635-646.
- [4] YIN Z Q, QIN X G, ZHAO W J. Characteristics of landslides from sigou gorge to lagan gorge in the upper reaches of Yellow River[J]. Landslide Science for a Safer Geoenvironment, 2014; World landslide Forum

- 3, Volume 1:397-406.
- [5] 魏刚, 殷志强, 马吉福, 等. 黄河上游阿什贡滑坡群发育期次及演化过程分析[J]. 水文地质工程地质, 2016, 43(6): 133-140. [WEI G, YIN Z Q, MA J F, et al. An analysis of forming stages and evolution process of the Ashigong landslide cluster in the upper reaches of the Yellow River [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2016, 43(6): 133-140. (in Chinese)]
- [6] 魏占玺, 马文礼, 肖建兵, 等. 黄河上游松坝峡特大型滑坡堰塞湖及地貌效应研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(3): 16-23. [WEI Z X, MA W L, XIAO J B, et al. Study on the large-scale landslide dammed lake of Songba gorge and its geomorphological effect of the upper reaches of Yellow River[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2017, 28(3): 16-23. (in Chinese)]
- [7] 殷志强, 许强, 赵无忌, 等. 黄河上游夏藏滩巨型滑坡演化过程及形成机制[J]. 第四纪研究, 2016, 36(2): 474-483. [YIN Z Q, XU Q, ZHAO W J, et al. Study on the developmental characteristic, evolution processes and forming mechanism of xiazangtan super large scale landslide of the upper reaches of Yellow River[J]. Quaternary Sciences, 2016, 36(2): 474-483. (in Chinese)]
- [8] 何玉花, 张东水, 韩用顺, 等. 基于 Ward 系统聚类方法的黄河上游干流地区滑坡分类及其特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(1): 46-53. [HE Y H, ZHANG D S, HAN Y S, et al. Classification of the landslide and analysis of their development characteristics in the upper reaches of the Yellow River based on Ward system clustering method [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and control, 2018, 29(1): 46-53. (in Chinese)]
- [9] 吕剑, 任光明, 王杰. 黄河上游泥石流发育特征及危险性评价——以吴石沟泥石流为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(3): 51-56. [LYU J, REN G M, WANG J. Analysis of characteristics of debris flow hazards in upper reach of the Yellow River—a case study of Wushigou debris flow[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(3): 51-56. (in Chinese)]
- [10] 马小强, 李小林. 黄河上游茨哈峡—拉加峡段滑坡对水电站工程的影响[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(3): 38-42. [MA X Q, LI X L. Influence of landslide on Hydro-Power Engineering from Ciha gorge to Lajia gorge in upper reach of the Yellow River[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(3): 38-42. (in Chinese)]
- [11] 殷志强. 黄河上游中段巨型滑坡时空分布、演化过程与主控因素研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014. [YIN Z Q. The spatial and temporal distribution, evolution process and key triggering factors of super large scale landslides in the middle upper reaches of Yellow River [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2014. (in Chinese)]
- [12] 秦小光, 吴金水, 蔡炳贵, 等. 全新世时期北京-张家口地区与黄土高原地区风成系统的差异[J]. 第四纪研究, 2004, 24(4): 430-436. [QIN X G, WU J S, CAI B G, et al. The difference between dust-transporting wind systems of Beijing-Zhangjiakou area and the loess plateau since the lgm [J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(4): 430-436. (in Chinese)]
- [13] 殷志强, 秦小光, 吴金水, 等. 中国北方部分地区黄土、沙漠沙、湖泊、河流细粒沉积物粒度多组分分布特征研究[J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 343-351. [YIN Z Q, QIN X G, WU J S, et al. The multimodal grain-size distribution characteristics of loess, desert, lake and river sediments in some areas of Northern China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(2): 343-351. (in Chinese)]
- [14] 殷志强, 魏刚, 唐永光. 滑坡滑带(面)土及堆积物的粒度多组分分布特征研究[J]. 工程地质学报, 2012, 20(6): 998-1006. [YIN Z Q, WEI G, TANG Y G. Characteristics of multi-model grain size slip surface soils and deposits of landslides [J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(6): 998-1006. (in Chinese)]