

陕西省麟游县丈八乡滑坡群的形成机理与堰塞湖危险性评价

辛 鹏, 吴树仁, 杨为民, 王 涛, 何淑军

XIN Peng, WU Shu-ren, YANG Wei-min, WANG Tao, HE Shu-jun

国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室/中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

Key Laboratory of Neotectonic Movement & Geohazard, Ministry of Land and Resources/

Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China

摘要:为探索黄土滑坡堰塞湖的形成机理与潜在的危险性,以宝鸡市麟游县丈八乡西坡滑坡为例,通过野外调查与室内测试计算,在简要分析宝鸡市麟游县工程地质背景和地质灾害分布特征的基础上,重点研究了麟游县丈八乡西坡滑坡群的形成演化过程、西坡滑坡堰塞湖的形成机理、西坡滑坡坝的稳定性、溃坝后的灾难性效应与潜在危险性。初步揭示:①丈八乡滑坡群集中塬边发育,受到黄土与下伏岩层接触关系的控制,降雨与地震作用是诱发滑坡的主要因素。②西坡黄土滑坡堰塞湖的坝体结构松散,但坝体宽,稳定性较好,在持续降雨的作用下有可能发生溢流溃坝的可能,但对下游甘肃省灵台县的威胁性小。③5·12 汶川地震时在西坡塬边产生的地裂缝有继续扩展的可能性。

关键词:麟游县;滑坡群;堰塞湖;形成机理;危险性

中图分类号:P694

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2009)08-1085-08

Xin P, Wu S R, Yang W M, Wang T, He S J. The forming mechanism of landslide group and assessment of risk of barrier lake in Zhangba Town, Linyou County, Shaanxi Province, China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(8):1085-1092

Abstract: In order to explore the forming mechanism of Xipo loess landslide and assess the potential risk, taking Xipo landslide as an example, based on brief research into engineering geologic background and geo-hazard distribution, through field investigation and indoor sampling, this paper has analyzes the forming process of Xipo landslide, forming mechanism of the barrier lake, slope dam stability and post-collapse danger risk. It's primarily indicated that firstly the landslide is developed intensively at the edge of tableland and is restricted by contact relationship between loess plateau and its underlying rock. Rainfall and earthquake are major inducements for landslide; secondly, the structure of Xipo barrier lake dam is relatively loose while the dam is wide and stable, in case of continuous raining, it's likely to overflow and collapse, while the danger for downstream Lingtai County, Gansu Province is fairly low; thirdly, ground fissure caused by 5.12 earthquake can possibly continue to expand along the western part of the tableland.

Key words: Linyou County; landslide group; barrier lake; mechanism; risk

滑坡堰塞湖的形成机理与危险性研究一直是世界性的难题,特别是 2008 年 5·12 汶川地震发生后地震滑坡形成的唐家山堰塞湖的危险性^[1-3]震撼全国。这使滑坡堰塞湖的形成机理与危险性研究成为滑坡灾害研究领域的热点问题。近年来在陕西省宝

鸡市麟游县进行地质灾害的详细调查中,发现麟游县丈八乡西坡黄土滑坡堰塞湖对下游居民的安全存在潜在的威胁^[4-5]。黄土滑坡一般难以形成堰塞湖,即便形成了也很容易溃坝,因此对黄土滑坡堰塞湖的研究报道很少^[6-7]。麟游县丈八乡西坡黄土

收稿日期:2009-05-20;修订日期:2009-06-01

地调项目:国家“十一五”科技支撑课题(编号:2006BAC04B05)和中国地质调查局项目(编号:1212010640401)资助

作者简介:辛鹏(1984-),男,在读硕士,从事工程地质和地质灾害研究。E-mail: xxiinnpp@126.com

滑坡堰塞湖 1983 年形成后,库容目前已超过 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。以往的研究发现,天然滑坡坝一般很难长久存在^[8-11],鉴于此,分析西坡黄土滑坡坝稳定性的影响因素,以及在什么条件下可能诱发滑坡坝溃坝很有必要。本文在野外详细调查的基础上,扼要地分析宝鸡市麟游县的工程地质背景和地质灾害分布特征,重点研究麟游县丈八乡西坡滑坡群的形成机理和西坡滑坡坝的形成过程,对西坡黄土滑坡坝的危险性做了详细分析。

1 麟游县地质环境与地质灾害分布特征概述

1.1 麟游县地质背景概述

陕西省宝鸡市麟游县位于陕西关中平原西端,地处渭北黄土高原与六盘山系陇山山脉交汇地段,属于低山丘陵和黄土高原丘陵沟壑区。总体地势西北高东南低,高程在 730~1664 m 之间,平均高程 1271 m,中部页岭呈东西方向隆起,构成泾河与渭河流域的分水岭,渭河支流呈树枝状,向东南方向汇聚,泾河支流向东北方向汇聚(图 1)。区域气候属于温带半湿润季风气候,多年平均降雨量 641.6 mm,降雨集中在 7—9 月,占全年降雨量的 81.1%~97.0%。降雨多为暴雨和连阴雨,受到雨水入渗的影响,这 3 个月也是地质灾害发生的高峰期。

麟游县区域地质构造简单,没有区域大断裂,总体分为 2 个构造层,新生代地层不整合在老地层之上。新构造运动在古构造格局的基础之上,地块在白垩纪末整体隆起的背景下继续上升,形成了黄土高原。地块抬升加剧了流水的侵蚀与切割,致使黄土高原支离破碎,残塬与丘陵相互交织,沟壑纵横,河谷深切,形成断块山和岛状山,沿陕甘宁盆地南缘由西北陇县景福山经凤翔老爷岭、向南东至扶风瓦罐岭断续分布,呈单面山,南陡北缓。

新构造运动相对不强烈,新生代以来鄂尔多斯地块整体上升,差异活动不明显,研究区紧邻地区曾有强震发生,在分区上其地震烈度为Ⅶ度。

区内岩土体按工程地质可划分为半坚硬层状沉积岩和松散岩类两大类。①半坚硬沉积岩包括奥陶系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系碎屑岩类及新近系红土层,多在沟谷出露,分布于麟游县全境。碎屑岩类岩性主要为砂砾岩、泥页岩。泥页岩类抗风化能力低,干燥时坚硬,遇水软化,往往形成软弱夹层,多

构成上部黄土的相对隔水层。新近系红土层为棕红色泥岩,属半成岩岩石,在分水岭和丈八乡一带出露,与下伏岩体呈不整合接触关系,岩层面随着古地形变化。底部为半胶结砾岩,干燥时致密坚硬,透水性差,构成局部隔水层。据调查,区内滑坡、崩塌灾害与红土层关系密切。②松散岩类包括黄土、粘性土、碎石土等,其中黄土对区内地质灾害的发生具有重要影响。区内黄土以风积为主,广泛分布于全区。黄土具有高空隙性和湿陷性,垂直节理发育,在各种外营力作用下,节理裂隙不断延伸扩展,斜坡土体整体性大大降低,在重力作用下,沿节理裂隙或软弱结构面产生滑移变形,导致滑坡、崩塌灾害的发生。

1.2 麟游县地质灾害分布特征

从重点滑坡灾害空间分布图(图 1)中可以看到,麟游县地质灾害发育受到地层、岩性和地形地貌的控制。分布主要集中在三大区域:①麟游县城以南的基岩山区,包括东南部的常丰乡,地层岩性上表现为粗砂岩,地形上表现为丘陵和台塬地貌,上层覆盖黄土少,多在沟谷发育小型岩质滑坡。②分水岭两侧地区高差相对较大,下伏为砂质泥岩,多发育黄土顺层滑坡,规模多数为中型。③酒房乡、天堂镇和丈八乡一带属于黄土梁峁地区,黄土覆盖较厚,滑坡灾害的发生同样受到沟谷切割的影响,滑坡规模较大,崩塌灾害严重。其中丈八乡重大滑坡比较集中。

2 麟游县丈八乡滑坡群及西坡黄土滑坡堰塞湖的形成机理

2.1 丈八乡西坡滑坡群的特征

丈八乡滑坡群^[12-13]处在 3 个大的台塬地貌的交汇处:即北边的瓦子塬、南边的西坡塬和东边的春台塬。研究区发育滑坡 15 个,地裂缝 1 条,泥石流冲沟 1 条。灾害点分布在沟谷两侧,滑坡灾害群集中处的面积有 9.6 km^2 ,其中最大的滑坡体积有 $2000 \times 10^4 \text{ m}^3$,最小的滑坡有 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右。

从滑动面的类型考虑,该滑坡群的滑坡有滑动接触面控制型滑坡和黄土层内的滑坡 2 种类型。接触面型滑坡是该地区滑坡发育的主要形式。该地区黄土的堆积厚度相对不大,基岩在沟谷出露。黄土层内的滑坡,其运动为崩滑形式的,多以蠕变形式运动,高速运动的只是个例。滑坡灾害沿沟谷分布,受到沟谷切割深度的影响,整体上表现为:在沟谷宽阔、高差相对较高的地区滑坡的规模大。滑坡的变形

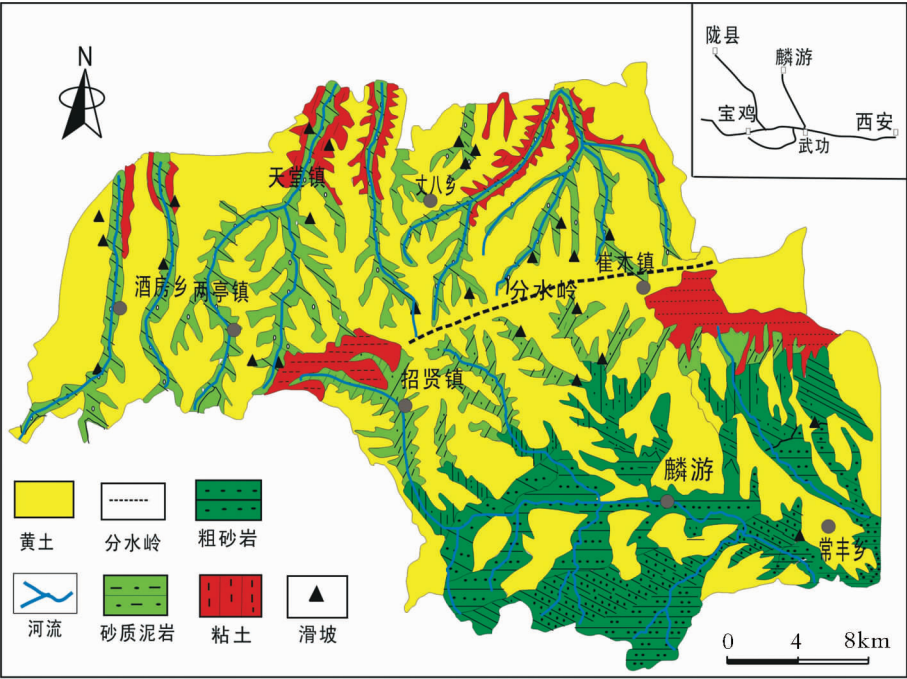


图 1 麟游县工程地质与滑坡灾害分布简图

Fig. 1 Distribution of engineering geology and landslide hazards in Linyou County

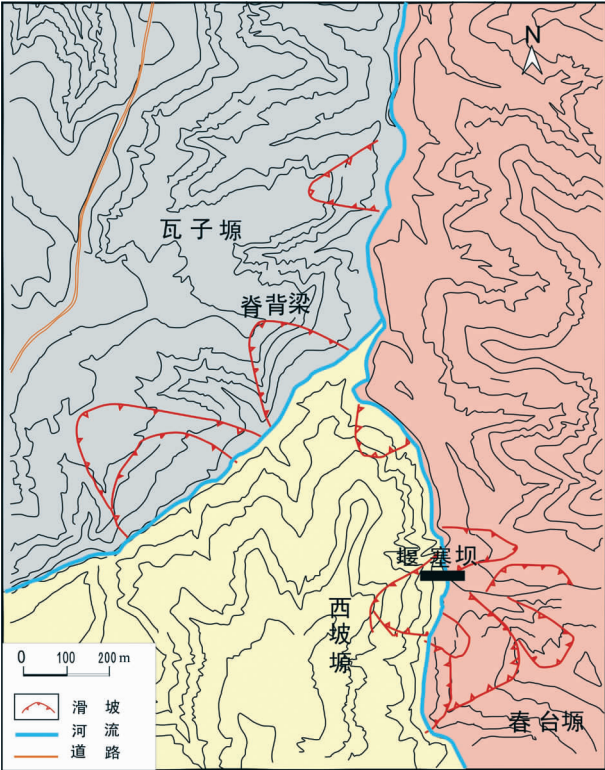


图 2 丈八乡滑坡群分布简图

Fig. 2 Schematic diagram of landslide group in Zhangba Town

和运动特征受到黄土与基岩接触关系的控制。研究区由于降雨量小,且降雨发生时间集中,滑坡的发生多以蠕变为主,滑动速度缓慢^[4-7,12-24]。

(1)西坡滑坡的特征

西坡滑坡位于丈八乡居国寺村西坡小组附近,坡顶为狭长的黄土梁峁,坡脚为泾河支流,河水流向自南向北,河流两岸左陡右缓,形成不规则的 V 字。滑坡长约 280 m,宽约 200 m,滑坡厚约 80 m,滑坡体积 $25\times10^4\text{m}^3$,滑坡滑动方向为东,滑动面坡度 $70\sim80^\circ$ 。该滑坡坡脚高程 1217 m,坡顶高程 1351 m。

滑坡体由第四纪中更新世黄土组成。滑坡后缘陡坎及侧壁陡坎明显,后缘陡坎高 100m,北部侧壁陡坎高 10~15m,南部侧壁陡坎高 70~130 m(图 3)。该滑坡对面斜坡为一古滑坡——南坡滑坡,南坡滑坡后缘陡坎、侧壁陡坎不明显,与西坡滑坡形成对冲式滑坡。

该滑坡于 1979 年左右开始出现变形,陆续下挫距离有 1.5 m。1982 年正月初五晚,滑坡突然失稳快速下滑,由于滑坡体体积大,滑动高差大于 80 m,运动过程中产生巨大的气浪,气浪摧毁了冲沟对面同子沟的院墙,至沟谷堵塞河流蓄水成湖,形成高 25 m 左

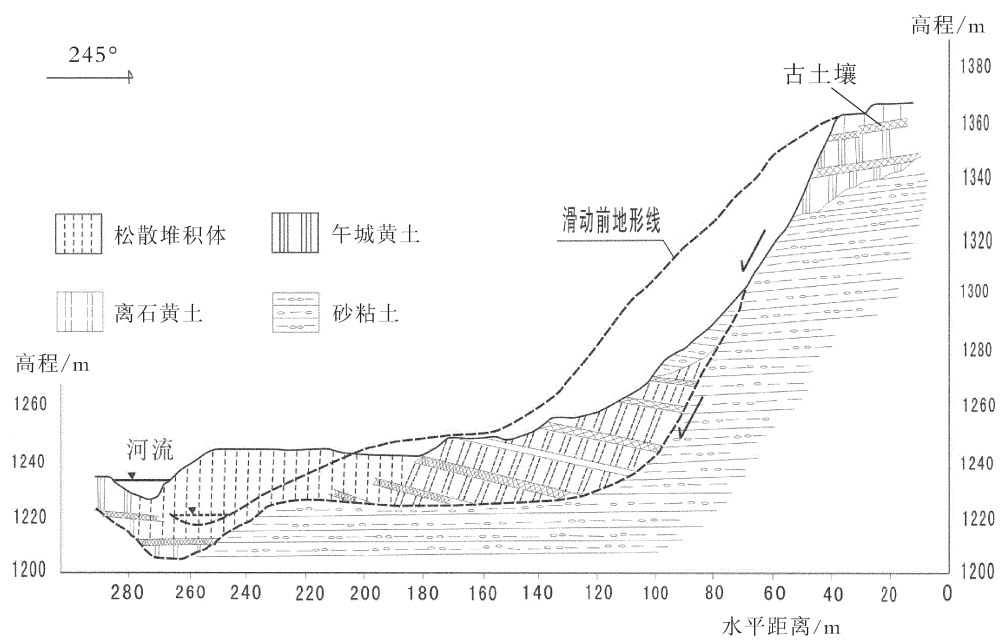


图 3 西坡滑坡工程地质剖面

Fig. 3 Engineering geology profile of Xipo landslide

右、坝长 200 m 左右、上下游坝宽 200 m 左右的滑坡坝和堰塞湖。堵河堤坝后经人工推平成耕地约 100 亩。堰塞湖湖深 50~65 m,库容约 $1000\times10^4\text{m}^3$ 。

滑坡发生之后,裂缝继续向后缘扩展。5·12 汶川地震之后,在西坡村北侧、西坡滑坡南黄土梁上,产生一条长约 300 m、宽 3~4 cm、深 60~70 cm、延伸方向为 NE30°的拉张裂隙。总体呈弧形,凹向西坡沟,对西坡沟西侧坡体构成威胁。

(2)堰塞湖的特征

西坡滑坡发生之后形成堰塞湖,是本次灾害调查中遇到的比较特殊的地方。岩石滑坡发生之后堵江形成堰塞湖(图 4、图 5)。据调查,该滑坡堰塞湖库水面积有 2.65 km²。库容有 $1000\times10^4\text{m}^3$ 左右,库区最深的水位达 40 m。

堰塞湖库容的大小由河流上游水量的补给大小,汇水面积,滑坡坝的高度、浸水后的强度等因素决定。滑坡坝的高度与强度取决于滑坡的大小及滑坡体的物质组成。滑坡坝是滑坡发生时由滑体快速在河沟中堆积形成的,其坝体结构较为松垮,组成物质松散,胶结不良。在很多情况下,滑坡坝堵塞正常河道的水流,水位不断升高到一定水位后,在强水头压力作用下会造成垮坝。有的滑坡坝堵塞的河道未能完全堵死,或者还有其他的泄流通道,形成堰塞湖

后,堰塞湖蓄水和泄水保持在一定的平衡水平,坝体稳定,堰塞湖长久存在。

西坡滑坡是岩层接触面型滑坡,覆盖在红粘土之上的中更新统黄土下滑,滑体物质由中更新统黄土组成。滑坡体轴线南东 160°,堆积物高度超过 20 m,底宽大于 200 m。

堰塞湖形成之后,水位不断上涨,当地有关部门在滑坡坝中间开挖了一条溢流渠道。该渠道的溢水量大小在 3 m³ 左右。当地村民介绍该河道每年都有干涸的时候,在降雨集中的 7—9 月遇到连续的降雨,会处于丰水期。由于当地的年降雨量小,并且该堰塞湖的汇水面积不大,目前堰塞湖及滑坡坝处于稳定状态。

(3)瘠脊梁滑坡的特征

瘠脊梁滑坡滑坡体平面呈三角形,侧壁陡坎清晰,滑坡长约 270 m,宽 300 m,高约 50 m。滑坡堆积体的方量约 $400\times10^4\text{m}^3$,后壁侧壁直立,垂直节理发育,滑坡体整体呈松散状,后壁陡坎高约 30 m,滑坡体整体呈圈椅状(图 6、图 7)。

滑坡体由中更新统黄土组成,黄土具有特殊的层状结构。黄土、古土壤与钙盘相互夹层。其中钙盘具有较高的强度,不容易被剪断,使边坡坡度较高,后缘近陡直状且拉张裂隙发育,整体滑动性质具有

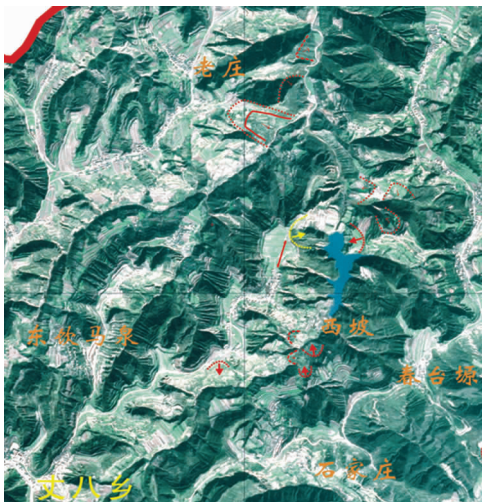


图 4 西坡滑坡堰塞湖遥感图

Fig. 4 Remote sensing map of Xipo landslide barrier lake



图 6 瘠背梁滑坡

Fig. 6 Jibeiliang landslide



图 5 西坡滑坡堰塞湖

Fig. 5 Xipo landslide barrier lake

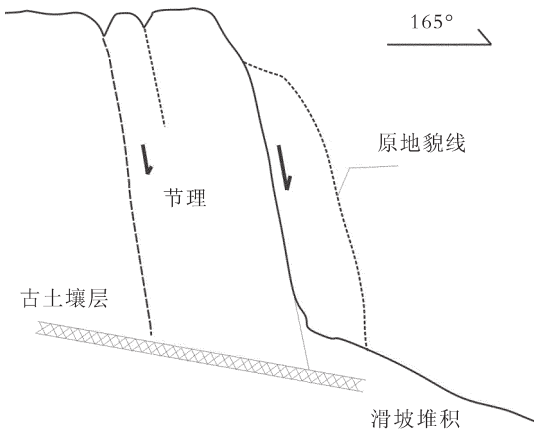


图 7 瘠背梁滑坡剖面示意图

Fig. 7 Profile map of Jibeiliang landslide

崩滑的特点。后缘发育的裂隙,为降雨后雨水的入渗提供了通道,浸水后的黄土崩解,而古土壤则由于自身的粘性性质开始出现塑性变形,同时该滑坡体位于 2 条支流的交叉口处,受到河流两面的侧蚀作用,在空间上边坡处于三面临空的状态,边坡坡体应力不断地调整,向沟口出现变形,最后导致滑动^[7,23-24]。

该滑坡变形属于蠕变滑动型,后缘崩滑距离小,水平距离 20 左右。并且后缘弧形拉张裂缝的形态明显,可以判断该滑坡是一期形成的,不具有多级滑动的性质。

2.2 丈八乡滑坡群的形成机理

丈八乡滑坡的群发性特征受到地貌条件、地层性质及分布的影响。在岩土性质的控制下,在变形速

率上都表现出蠕变性,没有远程滑坡^[17-22]。通过野外调查和实验分析,主要因素为下述 5 项。

(1)该滑坡群处在 3 个大的台塬地貌的交汇处:北边的瓦子塬、南边的西坡塬和东边的春台塬。塬的平面形态可以保存降雨,而沟谷的汇水面积比塬的汇水面积大,聚集的地下水长期顺沟侵蚀,且紧邻沟谷切割深度较大,临空面高,塬边斜坡在重力跨塌作用下具有较大的滑动势能,容易出现崩滑现象。

(2)受到河流沟谷侵蚀的控制,滑坡群在塬边顺着沟谷分布。该地区位于鄂尔多斯盆地的边缘,整体处于隆升状态,受河流的切割影响。滑坡群地区沟谷被切割成 V 字型,表明该沟谷正处于发育期,河道宽度相对较小,二级支流宽度 50 m 左右,沟谷的平

均高差 200 m 左右,与消亡期的河沟相比,为滑坡的发育提供了较高的势能。

(3)滑坡类型主要为黄土层内滑坡与接触面滑坡。当地黄土堆积厚度在 50~200m 之间,粉黄土覆盖面积大,湿陷特征明显。下伏基岩为砂砾层和中新统红粘土。基岩与黄土透水性的差异较大,使得两者的接触层面构成滑坡的滑动面。同时黄土层内的古土壤和黄土钙盘的力学性质差异使黄土层内形成滑动面。经调查发现,该地区古地形为平台,新近纪以来接受中新统红粘土和黄土的沉积,黄土层中垂直节理与构造节理发育,雨水入渗后沿节理渗透,易出现塑性变形,导致整个坡体失稳下滑。

(4)滑坡群中大型滑坡的侧壁边界均是冲沟,两侧均为侵蚀的冲沟,在空间上滑坡体基本上都是三面临空,导致后缘拉应力集中。节理发育的黄土边坡,在拉应力的作用下,会沿着优势拉裂隙向坡体深部扩展贯通。同时后缘拉应力的释放必然导致滑坡前缘剪应力的增大,在河流的侵蚀下,前缘必然更容易剪出。

(5)滑坡受到降雨的影响,滑动时间集中。当地 80%的降雨均集中在 7—9 月份,连阴雨或者连续的强降雨导致地质灾害的季节集中性明显。

3 黄土滑坡堰塞湖危险性评价

该研究区地质灾害具有高发性,塬上人口密集,西坡塬、瓦子塬的塬边和堰塞湖上游库水淹没地区构成地质灾害易发区。春台塬高差相对小,沟壑纵横,塬的面积较小,发育崩塌的可能性大。2008 年 5·12 汶川地震时,在库区左岸西坡后缘出现一条 300 多米长的裂缝,距离堰塞湖 500 m 左右。边坡应力在裂缝出现之后得到重新调整,失稳的可能

性增大。沿此裂缝长时间的雨水入渗会加剧这种变化。在西坡塬的坡脚,库水位上涨,地下水浸润线随之上升,此地裂缝控制的边坡失稳后将直接影响到堰塞湖的安全。堰塞湖的不稳定性对下游构成威胁。

3.1 堰塞坝的形成机制

堰塞湖库容的大小与滑坡坝的强度关系密切^[8-11]。滑坡坝的形成机制大体有 2 种类型:①滑坡体堵塞河道,形成堰塞湖后,河道泄流的路径不变,水位上涨,滑坡坝体出现管涌和裂缝,最后垮坝。②坝体结构宽阔或强度大,河流水位上升,河流通过其他泄流通道向下排泄,使得泄流与汇水保持一定的平衡,坝体会保留,形成稳定的堰塞湖。

西坡滑坡体淤积河道之后,平均水位虽然上升近 20 m,但坝体基本处于稳定状态。20 世纪 90 年代曾出现漫坝溢水现象,当地村民及时在坝顶开挖出泄水道,使得堰塞湖的水位保持在一定的高度。其中滑坡坝的物质来自组成滑坡体的黄土。经过滑坡之后,虽然黄土层状沉积结构改变为松散状,胶结状态不良,总体渗透性变大,但滑坡坝体仍具有隔水作用,且西坡滑坡坝坝体宽阔,达到 200 m 左右,起到了彻底隔水的作用,增加了坝体的强度(图 8)。

3.2 堰塞坝溃坝模式分析

溃坝的诱发因素主要是降雨,该地区连阴雨和特大暴雨会导致堰塞湖水位的上涨,使库水溢流。此外,库岸边坡的稳定性也是影响因素,蓄水以后,库岸边坡的地下水环境发生变化,水位上升,边坡滑动趋势增大。若库区再次发生大型滑坡,也会造成库区水位上涨而溢流。另外的因素就是人为诱发的滑坡坝的破坏。

滑坡坝是运动滑体在河谷中堆积而成的,不像

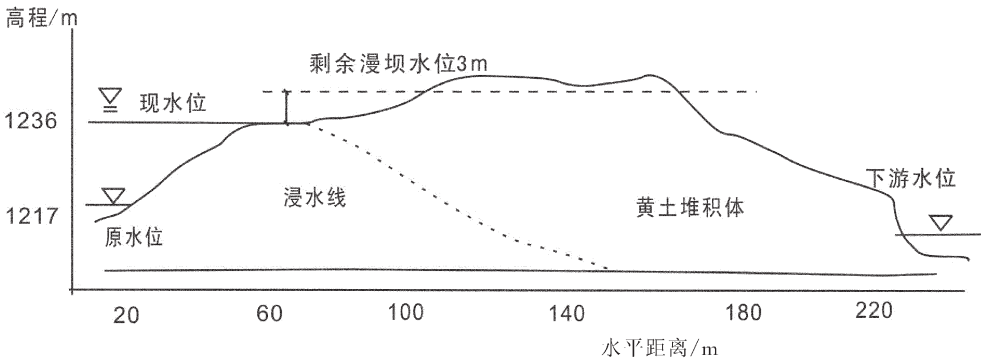


图 8 滑坡坝剖面示意图
Fig. 8 Profile of landslide dam

人工土石坝修建时那样经过系统的压密(在坝体中设有防渗心墙)。从已溃决的土石坝破坏的方式看,有坝顶溢流、潜蚀与管涌、坝坡失稳 3 种可能的破坏模式^[8-11]。在没有溢洪道和其他泄洪设施的情况下,水位升高后,漫坝的洪水冲蚀坝顶和下游坝坡,使坝体变薄、变低,最后因坝顶溢流而溃决(图 9)。此外,坝体中渗流形成渗透力和动水压力。在空洞末端集中的渗透水流就具有较大的浸蚀力,空洞会不断沿最大水力梯度线溯源发展,最终形成一条水流集中的管道,管道中涌出的水携带出大量的土颗粒,从而形成管涌溃坝(图 10)。一般滑坡坝坝体较宽,坝体失稳的可能性较小。

西坡滑坡堰塞湖在集中降雨的季节曾经出现溢流现象,开挖溢流沟后水位得到控制。据观察,该堰塞湖以后还会出现水漫的情况。因而从滑坡坝的溃坝方式考虑,该堰塞湖的溃坝有下述 2 种可能性:①水库在长时间溢流的情况下,坝体软化,强度降低,最后造成坝体失稳。②受黄土潜蚀和坝体溢流的综合作用,坝体可能失稳。

3.3 堰塞坝稳定性评价与溃坝效应分析

西坡滑坡发生之后,形成堰塞湖,位于河流下游的甘肃省灵台县对堰塞湖的安全性提出疑问^[25-32]。黄土滑坡坝的结构松散,胶结程度差,受库水渗流的影响较大。西坡滑坡堰塞湖坝体目前的稳定性较好,主要是因为堰塞湖坝体宽度大。库水位上涨后,上游

形成的水头压力直接作用于坝体之上,按照《土力学》水压力与土压力计算公式可得:水压力小于坝体重力。坝体稳定,没有溃坝的危险。但滑坡坝未来发展仍可能存在重大的溃坝隐患,库区持续暴雨作用将是诱发坝体失稳溃坝的主要因素。

通过软件 ARCGIS 的空间分析计算,库区水面现在的面积为 2.65 km^2 ,目前正常水位库容有 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右,正常水面到坝顶的高度为 3 m ,到满坝状态,剩余库容约 $795 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。麟游县属于温带半湿润—湿润季风气候区,多年平均降水量 641.6 mm ,最大降水量 987 mm (1964 年),最小降水量 374.5 mm (1977 年),一次持续降雨量达到 100 mm 的概率比较小。但 1970 年 8 月 4 日两亭镇降特大暴雨,24 小时降水量 206 mm ,引起山体滑坡、山洪暴发,使人民生命财产受到严重损失。这是麟游县有降雨量记录以来持续降雨量最大的一次。流域上游汇水面积有 56.3 km^2 ,按此计算,如果一次持续降雨量为 206 mm ,则汇水达到 $1159.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,将超过剩余库容导致溢水满坝。这样在降雨量较大的年份,堰塞湖将会出现溢流漫坝现象,溢流漫坝持续时间长,堰塞湖可能出现局部溃坝。

溃坝后的灾难性后果在于堰塞湖的蓄水将在瞬间迸发。因而堰塞湖蓄水量的多少、决口下游地区人口经济密度与溃坝后形成的灾害成正相关关系。滑坡坝水头的大小也是影响致灾后果大小的主要因素,水头越高、能量越大,相应的水流速度越快。溃坝洪水的最大洪峰流量随着离坝体距离的增大而衰减,其危害性也随着距离的增大而减小。

最可能出现的局部溃坝为 10%~30% 的溃坝。按 10% 溃坝,溃坝口宽 20 m 、深度 5 m 估算,下游河谷宽 $50 \sim 100 \text{ m}$,深度大于 20 m ,溃坝初始水头可能高 10 m 左右,只有滑坡坝附近有溃坝水头, 2 km 以外溃坝水头大为降低,水量小。经调查发现,下游 5 km 处为甘肃省灵台县毛家沟村,因此 10% 溃坝危害性不大,只影响河流下游河床层面上的耕地和林地。按 30% 溃坝,溃坝口宽 $50 \sim 60 \text{ m}$ 、深度 12 m 估算,下游河谷宽 100 m 左右,深度 $20 \sim 30 \text{ m}$,溃坝初始水头可能为 20 m 左右, 5 km 以外水头可能降低到 1.2 m 左右,有水涝的威胁。

按此分析,西坡滑坡坝溃坝后直接威胁到的最近村庄系甘肃省灵台县毛家沟村,但是溃坝造成的洪峰对该村庄威胁不大。

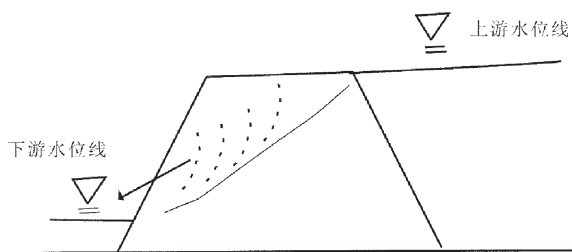


图 9 溢流溃坝模式

Fig. 9 Dam overflow and collapse pattern

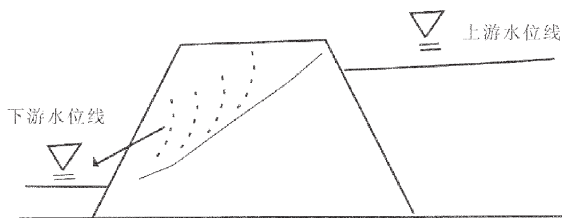


图 10 潜蚀溃坝模式

Fig. 10 Dam suffusion and collapse pattern

4 结 论

(1)麟游县丈八乡滑坡滑动面的发育受黄土与下伏岩层透水性质的控制,降雨与河流的冲蚀下切作用是主要的诱发因素。中等规模的滑坡占多数。滑坡群中多为顺层滑坡,少数滑坡具有崩滑性质。高速黄土滑坡多发生在黄土厚度较大的塬边,低速缓变滑坡受下伏岩层的控制,蠕变性质明显。

(2)丈八乡西坡滑坡堰塞湖形成后,结构松散,但坝体宽度较大,目前不存在渗透漏水情况。该地区集中降雨量小,一般状况下堰塞坝稳定性好。据最大降雨量计算,存在溢流溃坝的可能性。滑坡坝与甘肃省灵台县距离较大,溃坝后不会产生灾难性效应,堰塞湖危险性小。

(3)5·12汶川地震时,在西坡塬产生的地裂缝离塬边距离较近,受后缘拉张应力环境的影响,在降雨和地震的作用下,裂缝具有继续发展的可能性。失稳将造成大规模垮塌,具有危险性。

致谢:中国地质大学硕士生李志科与李晓慧一起参加野外测量与勘查工作,在此表示感谢!

参考文献

- [1]吴树仁,石菊松,姚鑫,等.汶川地震地质灾害活动强度分析评价[J].地质通报,2008,27(11):1900-1906.
- [2]王涛,马寅生,龙长兴,等.汶川地震断裂活动和次生地质灾害浅析[J].地质通报,2008,27(11):1913-1922.
- [3]殷跃平,潘桂棠,刘宇平,等.汶川地震地质与滑坡灾害概论[M].北京:地质出版社,2009:61-126.
- [4]王志荣,王念秦.黄土滑坡研究现状综述[J].中国水土保持,2004,11:16-20.
- [5]王念秦,张倬元.黄土滑坡灾害研究[J].兰州:兰州大学出版社,2005:15-98.
- [6]陕西省滑坡工作办公室.陕西省滑坡分布图说明书(1:750000)[M].西安:西安地图出版社,1995.
- [7]陕西省滑坡工作办公室.陕西省滑坡分布图、陕西省滑坡灾害预测图[M].西安:西安地图出版社,1995.
- [8]孙蔚.堵江滑坡坝的溃坝方式模拟与环境效应分析[J].自然灾害学报,2008,17(4):72-75.
- [9]黄金池.堰塞坝漫顶溃口流量变化过程的数值模拟[J].水利学报,2008,39(10):19-34.
- [10]聂高众.地震诱发堰塞湖初步研究[J].第四纪研究,2004,24(3):491-499.
- [11]王念秦.黄土滑坡发育规律及其防治措施研究[D].甘肃省科学院、

成都理工大学博士论文,2004.

- [12]易顺华.群体滑坡的地质结构类型与发育特征[J].地质通报,2008,27(11):1832-1836.
- [13]罗宇生,汪国烈.湿陷性黄土研究与工程[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [14]徐张建,林在贯,张茂省.中国黄土与黄土滑坡[J].岩石力学与工程学报,2007,26(7):1297.
- [15]李连俊,姚仰平.结构性黄土临界状态力学特性[J].岩土力学,2008,29(1):63-68.
- [16]陈存礼,高鹏.黄土的增湿变形特性及其与结构性的关系[J].岩石力学与工程学报,2006,25(7):1352-1359.
- [17]刘红攻.黄土地区不同类型滑坡特征及影响因素[J].西北地震学报,2006,28(4):44-49.
- [18]董书宁.黄土滑坡的空间预报[J].煤田地质与勘探,2006,28(6):50-55.
- [19]李同录.黄土滑坡发育类型及空间预测方法[J].工程地质学报,2007,15(04):500-504.
- [20]文宝萍,李媛,钟立勋,等.黄土地区典型滑坡预测预报及减灾对策研究[M].北京:地质出版社,1997:13-39.
- [21]宁社教.黄土塬大型滑坡成功预报基本做法[J].水文地质工程地质,2006,(6):110-115.
- [22]杨为民.陕西宝鸡地区对滑式黄土滑坡的特征及其碰撞诱发机理[J].地质通报,2008,27(11):1854-1861.
- [23]刘东生,丁仲礼,郭正堂,等.黄土的物质成分和结构[M].北京:科学出版社,1985:84-118.
- [24]胡广韬,张珂,毛延龙,等.滑坡动力学[M].北京:地质出版社,1995.
- [25]张梁,张业成,罗元华,等.地质灾害灾情评价理论与实践[M].北京:地质出版社,1998:20-25.
- [26]张春山,吴满路,张业成.地质灾害风险评价方法及展望[J].中国地质灾害与防治学报,2003,12(1):97.
- [27]马寅生,张业成,张春山.地质灾害风险评价的理论与方法[J].地质力学学报,2004,10(1):7-10.
- [28]赵法锁,戚炜,王艳婷.三向应力及湿度状态改变对非饱和黄土力学特征的影响[J].地球科学与环境学报,2007,29(1):80-84.
- [29] John R, Dymond Murray R Jessen. Computer simulation of shallow landsliding in New Zealand hill country[J]. ITC Journal/the International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, 1999, 1(2): 122-131.
- [30] Temesgen B, Mohammed M U. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogene Area, Ethiopia[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science. 2001, 26(9): 665-675.
- [31]谢全敏.滑坡灾害风险评价及其治理决策方法研究[D].武汉理工大学博士论文,2004:41-43.
- [32]匡尚富.堰塞湖溃坝风险及其影响分析报告[J].中国水利,2008,16(1):17-21.