

渭北黄土塬边大型黄土滑坡成因分析研究

李 滨^{1,2}, 吴树仁^{1,2}, 石菊松^{1,2}

(1. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081; 2. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要:在宝鸡渭河北岸黄土塬边大型滑坡灾害详细调查、工程勘察等工作基础上,分析了大型滑坡形成的地形地貌、地层岩性、地质构造、水的作用以及人类工程活动等因素,认为新构造活动孕育了滑坡发生的地形地貌环境,渭北黄土塬边 100~200 m 的斜坡坡高、25°~45°的坡度和凸形坡形的地形地貌提供了滑坡发育的有力条件;黄土—阶地—三门组红黏土和黄土—三趾马红土—基岩两类斜坡结构,以及上新世三门组红黏土和三趾马红土易滑地层的存在和小型断层、构造节理裂隙对坡体完整性的破坏,直接控制着渭河北岸黄土塬边大型滑坡的发生与分布;水的作用和人类工程活动则是目前渭北大型滑坡发生的主要诱发因素。在此基础上,提出了渭北大型黄土滑坡的地面形态特征、失稳模式和滑坡动力效应等识别因素。

关键词:渭北黄土塬边;大型黄土滑坡;形成影响因素;识别特征

中图分类号:P642

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0206-06

Research and Analysis on Large-scale Loess Landslides in Loess Tableland Area of Weibei

LI Bin^{1,2}, WU Shu-ren^{1,2}, SHI Ju-song^{1,2}

(1. Key Laboratory of Neotectonic and Geohazard, Ministry of Land Resources, Beijing 100081, China; 2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: On the basis of detailed investigation and geological survey on large landslide at the edge of loess tableland lying on the north of Weihe River in Baoji City, some conclusions could be drawn by discussing several factors including topography, lithology, geological structure, groundwater and human activities, etc. First of all, neotectonic movements create 100 m to 200 m high, 25° to 45° steep and gibbous slopes on the edge of loess tableland which is an advantage topographic environment for landslide occurrence. Secondly, controlling factors of landslide in the area are special kinds of lithologic association, loess—terrain—red clay of Sanmen group and loess—Hipparion laterite—bedrock respectively involving soft intercalations which are Sanmen group red clay and Hipparion laterite, and anisotropy due to small-scale faults and joints in slopes. Thirdly, underground water and human activities are the main triggers to large loess landslides at present. Based on the obtained results, identification elements including topographic characteristics, failure modes and dynamic effect are determined.

Key words: Weibei loess tableland edge; large-scale landslides; influencing factors for formation; identification features

陕西省宝鸡市渭河北岸黄土塬边是我国有名的黄土滑坡灾区之一^[1-4],自宝鸡市金台区六川河河口开始至眉县常兴镇北吕塬长约 98 km 的黄土塬边,滑坡成群成带集中分布,大型滑坡或滑坡群有 170 个以上,约占塬边总长度的 50%^[2-4],其中宝鸡市区金

台区北坡塬边长 22 km,宽 0.5~0.9 km 的塬边地带更是分布有大型滑坡体 38 处,占塬边斜坡面积的 96.8%。1955 年 8 月卧龙寺滑坡将陇海线向南推移 110 m,中断铁路运营数日;1971 年 5 月滑坡局部再次滑动,导致 28 人死亡^[2];随着宝鸡城市建设和大规

收稿日期:2011-10-09

修回日期:2011-11-11

资助项目:国家自然科学基金“多级旋转型黄土滑坡形成机理研究”(4110264);国家“十一五”科技支撑课题(2006BAC04B02);中国地质科学院地质力学研究所基本科研项目(DZLXJK201010)

作者简介:李滨(1980—),男,山东滨州人,博士,助理研究员,主要从事黄土地质灾害研究。E-mail:libin1102@163.com

通信作者:吴树仁(1955—),男,湖北武汉人,博士,教授,博士生导师,主要从事地质灾害研究。E-mail:shrwu@cags.net.cn

模经济建设的快速发展,20 世纪 80 年代以来,位于宝鸡主城区北坡的滑坡带出现明显的变形迹象,如长寿山滑坡、宝鸡中学滑坡、簸箕山滑坡^[5]、八角寺滑坡、狄家坡滑坡^[6]、摩天院滑坡、金台观滑坡、二十一军部、福利院等大型—巨型滑坡体,这些滑坡危及市区近 10 万人和城市基础设施的安全,严重影响城市建设的和谐发展。

因此,为了分析渭河北岸黄土塬边大型滑坡形成影响因素,本文基于多年在宝鸡地质灾害调查、工程勘察、遥感解译以及室内试验等的大量实际资料基础上,经研究分析,提出大型滑坡滑动的主要成因。

1 大型滑坡形成影响因素分析

宝鸡市渭河北岸大型滑坡形成影响因素分为静态和动态两大方面,静态因素主要包括:地形地貌、地质构造、地层岩性、斜坡结构、水文地质等;动态因素主要包括:人类活动、降雨、河流冲蚀、地震等。下面从地形地貌、地层岩性、地质构造、斜坡结构、地下水以及人类工程活动等方面分析滑坡形成的主要影响因素。

1.1 地形地貌与滑坡形成的关系

宝鸡渭北大型滑坡发育区基本地形地貌为黄土台塬地貌,深切河谷冲沟极为发育,斜坡高陡且临空好,为滑坡发育提供有利的条件,主要控滑因素包括:坡高、坡度、坡形。

(1)坡高。坡高的差异主要与区域地质构造运动和河流侵蚀切割作用相关。将研究区坡高分为 50~100,100~200,200~300 m 三个区间,统计各区间段内滑坡发育情况发现,滑坡多发育的坡高范围是 100~200 m,约占统计滑坡灾害总数的 75% 左右,与滑坡体积相比,坡高在 100~200 m 范围内的滑坡多是大型、特大型滑坡,规模巨大,危害性也大,这说明了

坡高对滑坡灾害发育规模和发生率有明显的影响。

(2)坡度。坡度是斜坡稳定性的重要影响因子,将坡度分为 $0^{\circ}\sim 25^{\circ}$, $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$, $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$, $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$, $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 五个区间,统计发现,滑坡灾害主要集中在 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 和 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 这两个坡度区间,分别占统计总数的 63.8% 和 25.5%, $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 坡度区间可称为滑坡灾害的优势坡角。

(3)坡形。将斜坡的形态分为直线坡、凸形坡和凹形坡三种坡形,对研究区滑坡坡形特征和灾害发育情况调查发现,凸形坡稳定性最差,发育滑坡最多,约占灾害的 72.3%,凹形坡稳定性最好,灾害数量最少,仅占灾害的 8.5%。造成这样结果的原因主要是凸形坡坡体内的水平应力减弱,拉应力出现,不利于斜坡的稳定。

1.2 地层岩性和斜坡结构对滑坡的控制作用

地层岩性是滑坡发生、发展的重要内因和物质基础,对滑坡的控制作用主要体现在易滑地层和岩土体结构两个方面。不同力学性质的岩土体组合及斜坡结构类型具有不同的稳定性,发育的滑坡灾害类型亦不尽相同,而易滑地层岩组的空间分布则控制着滑坡的分布。

(1)斜坡结构。宝鸡渭河北岸黄土塬边斜坡是由多套岩性地层组成的非均质体,主要地层包括厚层的黄土、渭河及金陵河阶地、上新世的三门组砂砾石和硬黏土互层及三趾马红土、白垩系砂岩等。在对研究区大型滑坡详细调查、工程勘察和试验测试分析后,研究区大型滑坡的主要斜坡结构类型大致分为两类:一类是黄土—阶地—三门组红黏土斜坡(图 1A),上新世三门组红黏土是控滑地层;另一类斜坡是黄土—三趾马红土—基岩斜坡(图 1B),三趾马红土是主要控滑地层,滑床位于三趾马红土层内或表层接触面。

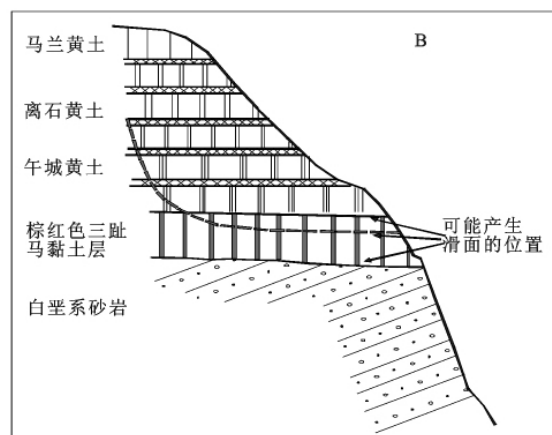
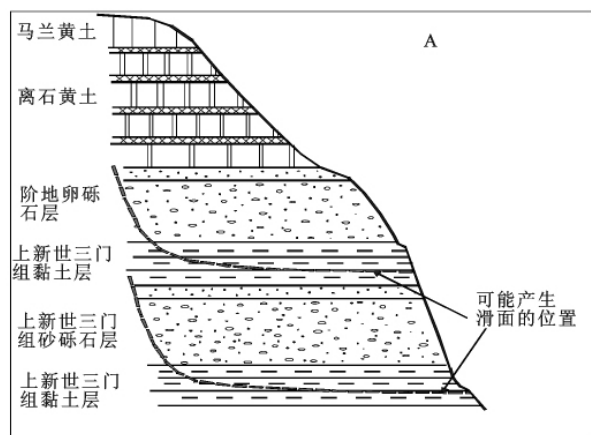


图 1 宝鸡渭河北岸黄土塬边大型滑坡主要斜坡结构类型

(2)易滑地层。通过大型滑坡勘察的钻孔岩芯测试分析、野外滑坡滑动面的调查,认为宝鸡渭河北岸黄

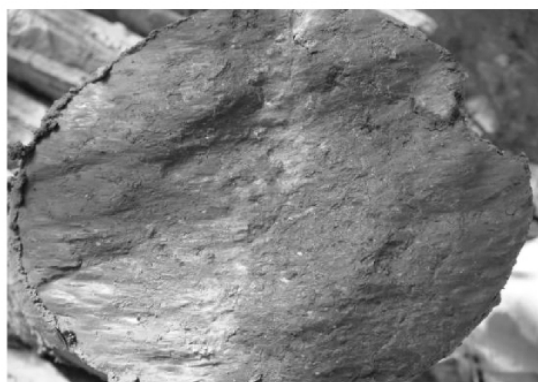
土塬边大型滑坡的主要易滑地层包括上新世三门组红色硬黏土层和三趾马红土层,其工程地质特性如下:

①上新世三门组红色硬黏土(图 2A)。该套地层属中等混层比的膨胀性黏土,有效蒙脱石含量高(15%~24.42%),比表面积一般为 161.7~258.3 m²/g,黏粒含量(<0.005 mm)30.2%~48.72%;含水量一般为 19.4%~24.2%,容重 2.06~2.15 g/cm³,干容重 1.66~1.80 g/cm³,液限 36.1%~44.95%,塑限指数 15.8~25.5,天然状态下抗剪强度 c 值为 95~271 kPa,内摩擦角 φ 为 25.4°~39.5°,残余剪强度 c 值为 24.7~58.7 kPa,内摩擦角 φ 为 13.7°~29.9°,饱和情况下 c 值为 39~153.3 kPa,内摩擦角 φ 为 16.7°~32.4°,残余剪强度 c 值为 16.5~47 kPa,内摩擦角 φ 为 8.1°~24.1°;该套地层干燥时致密较坚硬,透水性差,成为区域隔水层,遇水饱和后即软化,抗剪强度锐减,是大型滑坡最主要的滑动地层。

②三趾马红黏土(图 2B)。主要的黏土矿物为伊利石与蒙脱石混层黏土矿物,伴生少量高岭石,且蒙脱石所占比例高于伊利石,有效蒙脱石含量高(15.5%~27.56%),比表面积一般为 151.2~262.9 m²/g,

黏粒含量(<0.005 mm)37.12%~54.40%,是高混层比的膨胀性黏土,因而具有较高的物理化学活性,显著的收缩性、膨胀性。研究区三趾马红土含水量一般为 16.8%~28.9%,容重 2.00~2.13 g/cm³,干容重 1.55~1.90 g/cm³,液限 36.2%~57.34%,塑限指数 15.5~24.34,天然状态下抗剪强度 c 值为 68~250 kPa(一般 100~200 kPa),内摩擦角 φ 为 25°~38°,残余剪强度 c 值为 34~60.7 kPa,内摩擦角 φ 为 8.2°~29°,饱和情况下 c 值为 42.6~164.5 kPa,内摩擦角 φ 为 15.2°~35°,残余剪强度 c 值为 28.5~47.7 kPa,内摩擦角 φ 为 10.7°~23.3°,三趾马红土抗剪强度随含水量增高,密度的减少和塑性指数的增大而减小。

通过上述数据可以看出,研究区两套易滑地层具有成岩时间短,胶结程度差、强度低、显著胀缩等特性,遇水极易崩解,从强度而言,无论是天然状态还是饱水状态,易滑地层黏土均会出现突发性脆性破坏,其天然状态差值为 48%~61%,饱和状态差值 58%~68%,很好地解释了渭河北岸大型滑坡产生的原因。



A 三门组黏土中的滑动面



B 三趾马红土中的滑动面

图 2 宝鸡渭河北岸黄土塬边大型滑坡易滑地层的滑动面及擦痕

1.3 地质构造对滑坡的控制作用

地质构造对滑坡灾害的控制作用主要体现在活动断裂的作用,像渭河北缘断裂、秦岭北缘断裂、渭河断裂等,由于区域新构造运动的整体抬升和间歇性活动的特点,研究区南部秦岭山区及北部黄土塬区相对渭河断陷大面积抬升,形成了宝鸡渭河地堑盆地的现今地貌格局^[7-10]。南部秦岭的隆升速率总体上大于北部塬区,且北部塬区总体向北发生掀斜,使得渭河主流向北迁移,尤其是中更新世末期强烈的差异性新构造运动隆起加剧了渭河的垂直和侧向侵蚀作用,使渭河北岸阶地前缘被掏蚀,上新世软弱地层在斜坡底部出露或临空;同时受其影响伴生的小型断层和构造节理裂隙破坏了坡体的整体性和稳定性,为水的快速下渗提供了前提,大量次级断层面(图 3)的存在也为滑坡发生提供了软弱面,促进滑坡的发生。

此外,据资料统计,历史上宝鸡渭河北岸塬边来自东部和西部 200 km 外的各地震带的强震波及,对区内滑坡产生不同程度的诱发作用。

1.4 水对滑坡的诱发作用

水是滑坡发育最为活跃的动力因素之一,大气降雨、灌溉、河流侧蚀以及地下水的作用都影响着滑坡的形成与分布。宝鸡渭河北岸黄土塬边大型滑坡形成是不同水作用组合共同诱发影响的。首先在古老滑坡早期形成阶段,由于渭河向北强烈的侧蚀,使塬边坡脚阶地堆积物遭到侵蚀,渭河北岸岸坡高陡且临空,形成有利于滑坡发生的地形条件;其次因渭河侵蚀,塬边斜坡基座上新世红黏土出露,在地下水的润滑和潜蚀作用下,黏土强度大大降低,形成潜在的滑动面;最后在暴雨条件下斜坡发生滑动,形成了大量的古老滑坡。目前塬边地带大型滑坡变形依然是地

下水和降雨的诱发作用,塬边是黄土塬区远处基岩裂隙水汇集排泄区,地下水在塬边斜坡中的第四系阶地和上新世砂砾石层中储存,形成多套含水层(图 4),地下水在塬边地带水力坡度大,渗流速度快,产生较大的静水压力和动水压力,还对基座底层中上新世红

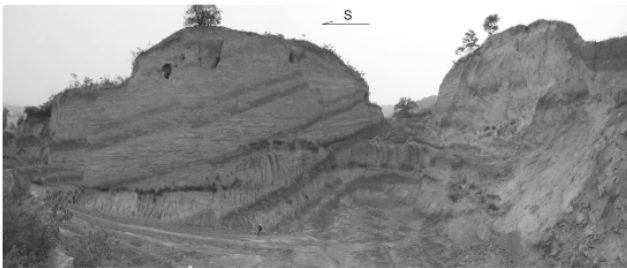


图 3 宝鸡渭河北岸黄土塬边活动构造剖面图(眉县郭何村)

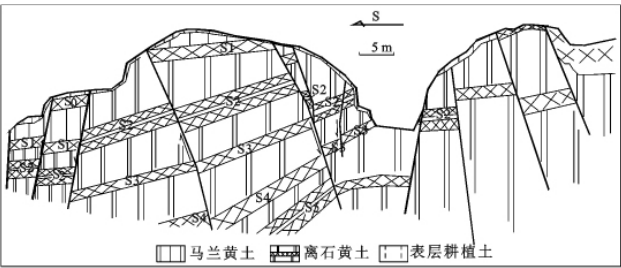


图 4 宝鸡渭河北岸黄土塬边水文地质结构

1.5 人类工程活动对滑坡的触发作用

研究区全新世以来,地壳活动变缓,气候干旱少雨,谷坡经过地质历史时期的各种侵蚀作用,应力释放和调整基本完成,斜坡或老滑坡体一般处于稳定或基本稳定状态,自然条件下,一般不会发生重大滑坡灾害。然而随着社会经济的迅猛发展,人类工程经济活动,如削坡、加载、灌溉等作用,破坏了原有的斜坡平衡状态,成为触发大型滑坡的主要因素之一。

2 滑坡的稳定性分析

2.1 渭北塬边典型大型滑坡稳定性分析

本文选取渭河北岸较为典型的滑坡类型—宝鸡市区金顶寺大型滑坡展开极限平衡计算与数值分析,验证目前渭河北岸大型滑坡体的稳定性情况。金顶寺滑坡位于宝鸡市金台区渭河北岸,滑体中部是高家堡村,前缘是宝鸡市区及陇海、宝成铁路线。金顶寺滑坡呈近南北向,后缘位于五级阶地前部,前缘可达渭河北岸高漫滩,滑坡南北长 520 m,宽 350 m,最大厚度 109 m,平均厚度约 70 m,总体积约 1 300 万 m³。金顶寺滑坡后缘斜坡主要地层结构是上部为更新世黄土,其下是渭河五级阶地冲积砂砾石、黏土和砂质黏土层,下伏上新世红色硬黏土及砂砾石互层。

黏土产生机械潜蚀和化学溶蚀作用,使土体强度降低,形成塑流软化带,进而形成滑动面;在连阴雨季,雨水沿黄土节理裂隙迅速下渗,增大了斜坡荷重,促使裂缝扩张,加速斜坡平衡的破坏,从而沿产生新的滑坡。

目前滑坡体出现多处浅表层开裂变形迹象。

本文选用滑坡主滑剖面(图 5),通过 Fellennius 法、Bishop 法及 Sarma 法进行滑坡极限平衡分析。计算参数根据室内试验结果,结合参数反演和综合工程类比分析,确定金顶寺滑坡滑体常用参数表和滑带的物理参数取值表,见表 1。

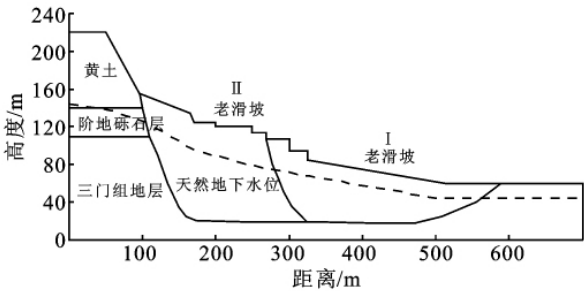


图 5 金顶寺滑坡主滑剖面

表 1 金顶寺滑坡滑体物理力学参数选用表

地层	天然重度/ (kN·m ⁻³)		饱水重度/ (kN·m ⁻³)		天然状态 c/kPa φ/(°)		饱水状态 c/kPa φ/(°)	
黄土	19.5		20.5		45	26	35	18
三门组砂质硬黏土	20.5		21		146	34.1	112	26.5
滑带土	20.5		21.5		85	25	55	11.5

(1)计算工况的选择。根据滑坡目前发生的主要诱发因素,稳定性计算考虑以下 4 种工况。工况 1 属于天然工况,地下水位为天然状态的水位线;工况 2 为降雨,考虑长时间降雨入渗,降雨强度按 10 a 一遇和 50 a 一遇设计,水位分别为 0.1H 和 0.5H(H 为各剖面条块高度);工况 3 为地震,主要考虑地震水平惯性力作用,考虑地震烈度分别为 6 度、7 度、8 度的情形,即取地震加速度分别为 0.05,0.1,0.2 g 进行敏感性分析;工况 4 为降雨+地震组合,考虑 10 a 一遇、50 a 一遇降雨的地下水水头及地震加速度分别为 0.05,0.1,0.2 g 不同组合,共 6 种情况。

(2) 计算结果分析。滑坡稳定性计算结果如表 2 所示。

表 2 金顶寺滑坡稳定性计算结果

荷载组合		Fellenius 法	Bishop 法	Sarma 法
工况 1	天然状态	1.608	1.850	1.835
工况 2	降雨			
	10 年一遇	1.460	1.691	1.674
	50 年一遇	1.302	1.518	1.500
工况 3	地震	$a=0.05\text{ g}$	1.380	1.479
		$a=0.1\text{ g}$	1.162	1.202
		$a=0.2\text{ g}$	0.785	0.909
		$a=0.05\text{ g}$	1.264	1.351
工况 4	地震+降雨/10 a	$a=0.1\text{ g}$	0.995	1.120
		$a=0.2\text{ g}$	0.714	0.822
	地震+降雨/50 a	$a=0.05\text{ g}$	1.139	1.212
		$a=0.1\text{ g}$	0.859	1.004
		$a=0.2\text{ g}$	0.637	0.743

根据稳定性计算结果,可以看出:

①工况 1——天然状态下,滑坡稳定系数 $K=1.608\sim 1.850$,整体处于稳定状态。

②工况 2——考虑降雨情况下,降雨情况分为 10 年一遇和 50 年一遇两种情况,滑体稳定系数 $K=1.302\sim 1.691$,表明在降雨环境下滑坡整体是稳定的。

③工况 3——考虑地震力作用,地震加速度为 0.05 g 、 0.1 g 时,滑坡稳定系数 $K=1.162\sim 1.479$,滑坡稳定;汶川地震时宝鸡地震烈度划为 7 度,相应地震加速度为 0.1 g ,这种情况下,金顶寺滑坡保持稳定,上述计算结果与实际一致;地震加速度 0.2 g 时,滑体稳定系数 $K=0.785\sim 0.909$,滑坡整体将发生滑动。

④工况 4——降雨加地震的情况下,降雨+地震力为 0.05 g 情况下,滑坡稳定系数 $K=1.139\sim 1.351$,滑坡处于稳定状态;降雨+地震力为 0.1 g 情况下,滑坡稳定系数 $K=0.859\sim 1.120$,滑坡处于临界至失稳状态;在降雨+地震力为 0.2 g 情况下,滑坡失稳, $K=0.637\sim 0.831$ 。

(3) 数值模拟。结合前面分析,利用 FLAC3D 模拟金顶寺滑坡目前状态下的应力应变、位移,计算工况主要考虑天然和考虑地下水两种情况。

①天然工况。运用 FLAC3D 对天然状态下金顶寺滑坡进行数值模拟,图 6 为滑坡天然状态下整体的位移云图,可以看出滑坡体整体变形较小,仅在滑坡后缘上部陡坡处和中前部陡崖处变形稍大,此时稳定系数为 1.14,说明滑坡整体稳定较好。

②考虑地下水工况。图 7 为滑坡在地下水状态下的剪应力增量云图,反映滑坡后缘陡坡脚处剪应力增量和软弱层的剪应力增量,后缘斜坡由于较高较

陡和软弱层在地下水情况下的强度降低,出现明显应力集中和剪应力增量,说明此时滑坡整体已经开始出现蠕滑变形,同时后缘及局部陡崖稳定较差。

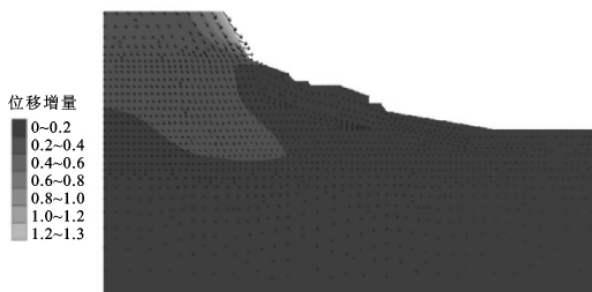


图 6 金顶寺滑坡天然状态下整体位移云图



图 7 金顶寺滑坡考虑地下水作用下剪应力增量云图

综上所述,金顶寺滑坡在目前阶段处于稳定状态;考虑降雨时,滑坡体基本不受影响,是稳定的;天然状态加地震时,一般滑坡体也是稳定的;只有当降雨及强震综合作用时,滑坡体会发生滑动,就目前而言滑坡体具有超稳性,地下水的作用和地震依然是主要诱发因素。需要注意的是,后缘塬边浅层滑坡及较大拉裂缝,大的拉裂缝会造成降雨入渗,后缘深层蠕滑,持续发展会推动滑坡整体滑动。金顶寺滑坡基本代表了渭河北岸大型滑坡的基本现状,以小规模滑动为主,大规模滑动较小,仅在极端情况或人类扰动下出现大规模活动。

2.2 渭北塬边大型滑坡识别特征

在研究区灾害详细调查、工程勘察、遥感解译、室内试验以及稳定分析的基础上,考虑了渭北塬边大型黄土滑坡的物质结构和运动特征,总结提出了渭北大型黄土滑坡的地面形态特征识别、失稳模式识别、滑坡动力效应等识别类型,详见表 1。

3 结论

本文在对宝鸡渭河北岸黄土塬边大型滑坡灾害详细调查、工程勘察等工作基础上,对滑坡形成的地形地貌、地层岩性、地质构造、水的作用以及人类工程活动等影响因素进行了分析,提出滑坡滑动的主要因素和识别特征。

表 1 渭北塬边滑坡成灾模式及特征识别表

识别类别	基本特征
地面形态特征识别	发育于黄土塬边,上部为厚层黄土—古土壤地层,下部多为砂砾石—红黏土层,近水平层状
结构特征识别	滑带土内摩擦角遇水强度<15°;临空好的黄土塬边地带,滑体后缘裂隙发育,红黏土层处承压水压力高,滑带地层在地下水及长期蠕变作用下,导致滑坡分级分块失稳破坏
失稳模式特征识别	深层旋转或多级旋转滑动
触发动力	降雨/灌溉 低—高速/近—远程滑动
	人工挖填 低—高速/近—远程滑动
	地震 低—高速/近—远程滑动
复合灾害特征	土流/崩塌/堰塞湖
滑坡动力效应	液化效应

(1)渭北黄土台塬塬边 100~200 m 的斜坡坡高、25°~45°的坡度和凸形坡形为滑坡发育提供有利的地形地貌条件。

(2)地层岩性和地质构造是渭北大型塬边古老黄土滑坡发生的控制性因素。宝鸡渭河北岸黄土塬边控制滑坡发生的结构包括黄土—阶地—三门组红黏土斜坡和黄土—三趾马红土—基岩斜坡,上新世三门组红黏土和三趾马红土是易滑地层,这两套易滑地层具有成岩时间短,胶结程度差、遇水显著膨胀和极易崩解等特性,从强度而言,无论是天然状态还是饱水状态,易滑地层均会出现突发性脆性破坏,剪强度的瞬时损失差值在 50% 以上;地质构造对滑坡的控制作用体现新构造活动及断裂等的影响,新构造活动孕育滑坡发生的地形地貌环境,而伴生的小型断层和构造节理裂隙则破坏了坡体的完整性,为水的快速下渗

和软弱结构面提供了前提,控制了滑坡的发生。

(3)渭北大型滑坡目前发生的主要诱发因素是水的作用和人类工程活动。塬边地带为地下水排泄区,水力坡度大,渗流速度快,对基座底层中上新世红黏土产生软化作用,而连阴雨及灌溉使地表水沿节理裂隙快速下渗,增大坡体重量,促使裂缝扩张,加速斜坡平衡的破坏,在削坡、加载、灌溉等人类工程活动作用,易发生新滑坡。

(4)从稳定性分析角度看,渭河北岸大型滑坡整体基本稳定,多以小型滑塌为主,地下水和人类工程活动对其整体稳定性影响较大。

参考文献:

[1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社,1985.
[2] 胡广韬. 滑坡动力学[M]. 北京:地质出版社,1995.
[3] 胡海涛,项式均,王肇芬,等. 关中西部滑坡的桔构、构造特征及稳定性分析[J]. 地质学报,1965,45(4):435-465.
[4] 孙广忠. 西北黄土的工程地质力学特性及地质工程问题研究[M]. 兰州:兰州大学出版社,1989.
[5] 冯希杰,李忠生,宋立胜,等. 宝鸡簸箕山滑坡地震勘探[J]. 水文地质工程地质,2003(4):55-58.
[6] 刘传正,张明霞,邹正盛,等. 宝鸡市狄家坡滑坡稳定性研究[J]. 工程地质学报,1998,6(2):93-103.
[7] 王景明. 渭河裂谷区活断层对地质灾害的制约[J]. 水土保持学报,1988,5(3):29-36.
[8] 程谦恭. 论渭河盆地现代山崩滑坡和地裂陷灾害的活动周期[J]. 水土保持学报,1989,6(3):71-83.
[9] 冯希杰,田勤俭,申旭辉. 渭河断裂西段活动差异性分析[J]. 地质论评,2003,49(3):233-238.
[10] 陈云,童国榜,曹家栋,等. 渭河宝鸡段河谷地貌的构造气候响应[J]. 地质力学学报,1999,5(4):49-55.

(上接第 205 页)

参考文献:

[1] 中华人民共和国国土资源部. 2005 年中国国土资源公报[J]. 国土资源通讯,2006(8):26-30.
[2] 中华人民共和国国土资源部. 2009 年中国国土资源公报[J]. 国土资源通讯,2010(7):4-13.
[3] 陈开圣,肖涛,彭小平. 贵州省公路地质灾害基本特征及防治对策研究[J]. 公路,2007(11):135-139.
[4] 甘肃省交通规划勘察设计院有限责任公司. 连云港至霍尔果斯国道主干线永登(徐家磨)至古浪公路工程可行性研究报告[R]. 兰州:甘肃省交通规划勘察设计院有限责任公司,2004.
[5] 甘肃省地质环境监测院. 连云港—霍尔果斯国道主干线永登(徐家磨)至古浪公路地质灾害危险性评估报告[R]. 兰州:甘肃省地质环境监测院,2005.
[6] 中国地质调查局. 滑坡崩塌泥石流灾害详细调查规范(DD2008-02)[S]. 2008:9-11.

[7] 雷祥义,魏青珂. 陕北伤亡性黄土崩塌成因与对策研究[J]. 岩土工程学报,1998,20(1):64-69.
[8] Nakamura H, Tsuchima S. Analysis of piles works assuming slide movement[J]. Journal of the Japan Landslide Society,1987,24(2):17-31.
[9] 曲永新,张永双,覃祖森. 三趾马红土与西北黄土高原滑坡[J]. 工程地质学报,1999,7(3):257-265.
[10] Derbyshire E. Geological hazards in loess terrain, with particular reference to the loess regions of China [J]. Earth-Science Reviews, 2001,54:231-260.
[11] 李栋梁,刘德祥. 甘肃气候[M]. 北京:气象出版社,2000.
[12] 谭炳炎,段爱英. 山区铁路沿线暴雨泥石流预报的研究[J]. 自然灾害学报,1995,4(2):43-52.
[13] Rosen A M. The impact of environmental change and human land use on alluvial valleys in the Loess Plateau of China during the Middle Holocene[J]. Geomorphology,2008,101:298-307.