

陕北子长县阎家沟黄土滑坡特征及其变形机制^{*}

黄玉华, 武文英, 薛 强, 陈社斌, 张 睿

(西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 野外调查和钻探资料显示, 阎家沟滑坡属大型黄土滑坡, 滑坡体为中、晚更新世黄土。在滑坡前缘流水侵蚀坡脚和滑坡体上修建窑洞、梯田、排放生活用水等人类工程活动影响下以及在 2002 年 7 月 4 日连续强降雨的激发下, 目前处于不稳定状态, 若遇强降雨失稳概率很大。填埋滑坡体裂隙和孔洞、加强地表排水、在滑坡体前缘沟谷修建淤地坝是提高陕北此类滑坡稳定性最为经济有效的措施。

关键词: 陕北子长; 阎家沟滑坡; 变形机制; 防治措施

中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)01-0064-04

0 引言

阎家沟滑坡位于陕北子长县马河川流域阎家沟右岸的黄土斜坡上, 滑坡体积达 382.2 万 m^3 , 近期由于暴雨的诱发, 滑坡前缘发生滑动, 滑坡体上的住房墙壁出现多处拉裂、下错等变形迹象, 处于不稳定状态, 危险性较大, 对其上的 30 余户居民和 150 孔砖窑构成严重威胁。该滑坡现被列为延安地区市级重点监测滑坡, 在陕北滑坡中极具代表性, 此种类型的滑坡在陕北发育很普遍。前人对陕北黄土滑坡做了大量的研究工作, 但多限于区域性工作^[1-8]。本文拟对该滑坡的特征及其变形机制进行研究, 进而提出相应防治措施, 这对陕北此种类型的滑坡防治具有一定的参考价值。

1 区域地理地质环境背景

1.1 地形地貌

阎家沟属于黄土梁峁地貌, 坡顶高程 1 385 m, 坡脚高程 1 276 m, 河流垂直侵蚀强烈, 沟谷切割深度达 100 余 m, 属于幼年期沟谷, 呈典型的“V”型断面。滑坡就位于阎家沟左侧的黄土斜坡上, 斜坡平均坡度 27°。由于村民在滑坡体上大修梯田, 斜坡逐渐向前缘河谷以梯田的形式降落。

1.2 气象条件

滑坡区属暖温带半干旱大陆性季风气候。多

年平均气温 9.1℃。极端最高气温为 37.6℃, 极端最低气温为 -23.1℃, 境内雨量较少, 季节变化较明显。年降水量均值 489.5 mm, 最大值 769.6 mm, 最小值 279.6 mm。降水集中于 7、8、9 月份, 达 297.9 mm, 占年降水量的 62.5%。1 月和 12 月最少, 均为 2.6 mm, 各占年降水量的 0.5%, 雨季的集中降雨成为滑坡变形的主要触发因素。

1.3 地层岩性特征

滑坡区斜坡类型为黄土——基岩复合型斜坡。钻探资料揭露, 地层岩性由老到新依次为:

(1) 中侏罗统安定组(J_2a) 黑、灰黑色页岩、油页岩及钙质粉砂岩互层, 上部为灰绿色泥页岩。

(2) 中更新世黄土($Q_p^{2\text{eol}}$) 厚 25~30 m, 为风成粉尘堆积的黄褐色粉质粘土, 无层理, 较致密, 质地坚硬, 后期垂直节理发育, 有钙质结核分布, 发育顺坡披盖的古土壤层。

(3) 晚更新世黄土($Q_p^{3\text{eol}}$) 厚 20~23 m, 为风成粉尘堆积的淡黄色粉质粘土, 结构疏松, 根系、虫孔发育, 具大孔隙, 垂直节理发育, 颗粒组成以粉粒为主, 孔隙比平均为 0.945。

(4) 全新世(Q_h) 覆盖于地表, 厚度 0.5~1 m, 多为耕作层, 表层坡积物。

1.4 水文地质条件

滑坡区地下水主要为基岩裂隙水和黄土孔隙水。钻孔揭示地下水大多位于滑面以上, 上部埋深 23.4 m, 中部埋深 8.85 m, 前缘埋深 3.1 m。滑坡前缘有大片湿地, 局部有水渗出, 可见滑坡

^{*} 收稿日期: 2008-06-24

基金项目: 国土资源大调查项目(1212010814023); 国家科技支撑项目(2006BAC04b00)

作者简介: 黄玉华(1975-), 男, 陕西商南人, 硕士, 助理研究员, 从事地质灾害研究工作. E-mail: h_yuhua@163.com

局部土体已达到饱和状态。

2 滑坡基本特征

2.1 滑坡几何特征

滑坡主滑方向 246° , 长 350 m, 宽 420 m, 平均厚 26 m, 体积达 382.2 万 m^3 。滑坡体呈近似半椭圆形, 由于修建农田等活动, 滑坡后壁已被改造, 中后部滑坡边界也被破坏而难以辨认。滑坡体呈梯田状向河谷降落, 整体坡度约 25° , 滑坡前缘呈鼓肚状延伸向河床(图 1)。

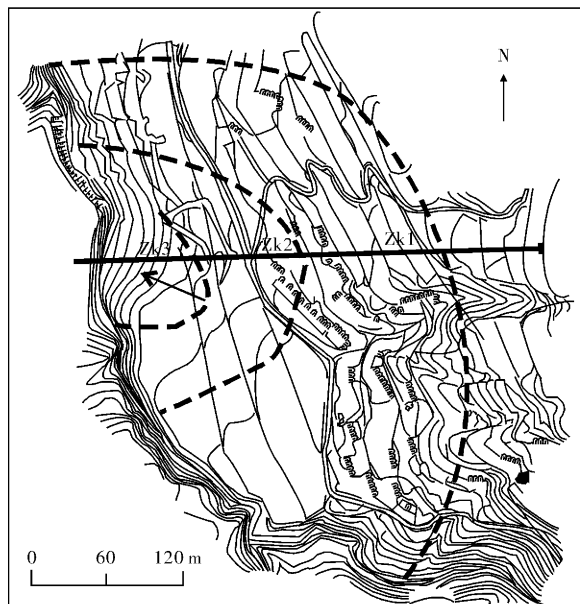
2.2 滑坡结构特征

(1) 滑体特征 滑坡体上部为粉质粘土, 母岩以晚更新世黄土为主。前缘下部局部有中侏罗纪下统安定组泥页岩, 由于挤压滑动摩擦, 多不具有母岩的结构构造。

(2) 滑床特征 滑坡主滑床由两部分组成, 上部分为中晚更新世黄土, 下部为中侏罗统安定组砂岩、泥页岩。滑床形态见滑坡剖面(图 2)。

(3) 滑带特征 滑坡存在两个滑面。主滑带物质中上部以粉质粘土、粘土为主, 呈软塑状, 局部

流塑状。前部分为中侏罗统安定组顶部泥岩与中更新世黄土接触带混合物, 呈软塑状。



1. 滑坡边界 2. 钻孔及编号 3. 剖面线 4. 乡村路

图 1 阎家沟滑坡平面图

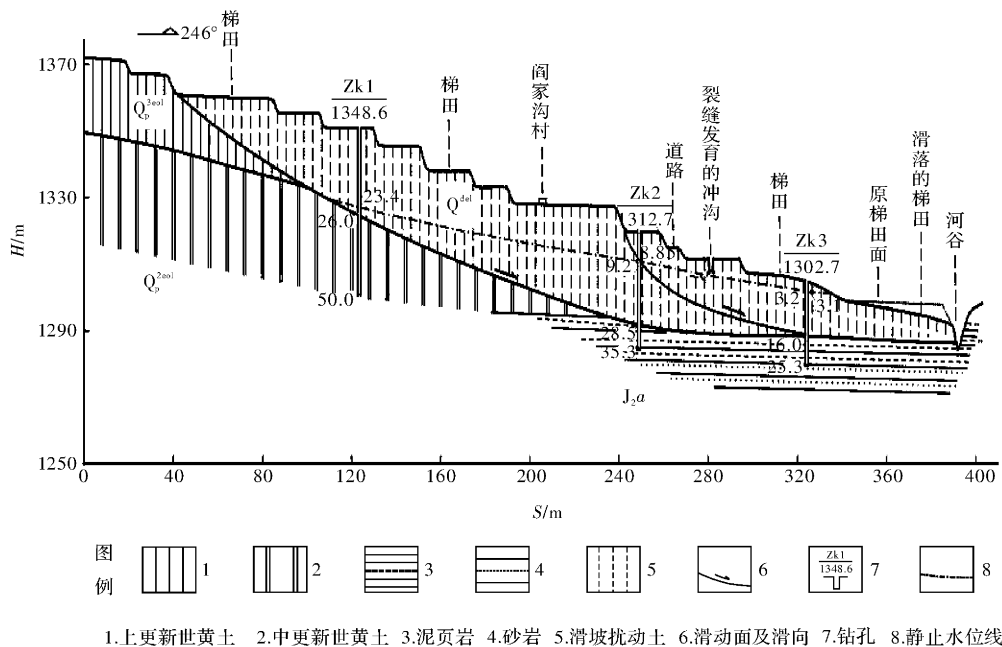


图 2 阎家沟滑坡剖面图

3 滑坡活动特征及稳定性评价

老滑坡体在 2002 年前处于基本稳定状态, 2002 年 7 月 4 日开始, 子长发生特大暴雨, 首先在滑体后缘附近出现一条横贯滑体的裂缝。裂缝

长 300 余 m、宽 10 ~ 20 cm, 南北两侧分别错动 70 cm 和 30 cm。裂缝贯穿滑体中部的宽 15 ~ 25 m、深约 20 m 的纵向冲沟。坡体沿着裂缝发生下滑、错动, 北侧下错约 35 cm, 南侧下错约 70 cm。滑体上窑洞顶面、窑面青砖、炕头瓷砖等多处均出现拉张裂缝, 长者达 63 cm。此后, 每逢雨季滑坡

变形都有发展。2005 年 7 月, 滑体前部耕地出现一条宽约 30 cm 的横向裂缝, 地表水沿此裂缝排放, 逐渐冲刷成一条冲沟, 冲沟走向 152°, 宽 3 ~ 5 m, 深约 3 m, 延伸约 120 m。在滑坡逐渐蠕动变形的过程中, 距离滑体前缘约 20 m 的梯田已经向前缘小河沟内倾斜、滑移, 部分已经被水流带走, 其上的树木也向沟谷方向前移 20 ~ 30 m 不等, 形成醉汉林。滑坡牵引式模式非常明显, 前缘被流水侵蚀失去支撑, 带动后边土体继续下滑, 故滑体前缘张裂隙极度发育, 宽 5 ~ 10 cm, 延伸 60 ~ 70 m, 密集分布。导致醉汉林中的多颗柳树从根部开始拉裂, 最大拉张距离达 20 cm。目前滑坡体仍处于缓慢蠕动状态, 若遇强降雨, 滑坡失稳概率很大。

4 滑坡体变形机制

4.1 滑坡体的工程地质性质

钻孔资料揭示滑坡区斜坡上覆黄土厚 60 余 m, 黄土疏松多孔, 垂直节理、裂隙发育, 遇水容易崩解, 为雨水入渗、滑坡变形提供了条件。尤其是节理、裂隙是入渗水流向深部渗透的主要通道, 也是雨季滑坡体变形的部位。黄土的工程地质性质在不同状态下的差异是滑坡变形的一个内在因素。表 1 可见二者在饱和状态下强度指标均大大低于天然状态下。

表 1 中、晚更新世黄土天然状态和饱和状态下强度

	中更新世黄土		晚更新世黄土	
	天然状态	饱和状态	天然状态	饱和状态
$c/(kpa)$	29.83	16.33	25.17	11.00
$\phi/(^{\circ})$	25.75	15.88	25.30	10.50

样品测试: 陕西省地矿局综合地质大队实验室, 2007-11-15。

4.2 河流侵蚀滑坡体前缘

河流对滑坡前缘不断侵蚀, 降低了坡脚的支撑力, 而且形成了近直立、高 3 ~ 6 m 的临空面, 为滑坡的滑动提供了空间。

4.3 修建梯田排放生活用水的影响

在老滑坡体上修建梯田, 使原来的倾斜坡体变为阶梯状的水平梯田, 大大增加了水体的入渗量。而且整个村子的生活用水全部排在滑坡体上, 也增加了坡体自重。

4.4 降雨是滑坡变形的主导触发因素

从实地调查表明, 阎家沟滑坡一般都是在降雨的条件下发生变形或加剧变形。2002 年 7 月 4 ~

5 日, 子长县发生百年未遇的特大暴雨, 4 日 01:00 ~ 09:40 降雨 189.6 mm, 连续的高强度的降雨使大量雨水倾泻在滑体的梯田上, 由于梯田基本上都是近水平或微向内侧倾斜, 使得大量雨水来不及顺坡径流而渗入滑体, 导致地下水位显著升高, 老滑体土的饱和度显著提高。7 月 5 日 20:20 ~ 6 日 10:00 又持续降雨, 降雨量达 110.8 mm, 随后滑坡体后缘即开始发生变形, 出现张拉裂缝。到目前为止, 滑坡体下部坡体已达饱和状态。降雨入渗和滑坡之间关系密切^[9-11], 降雨入渗使得黄土颗粒之间的联系强度随着降雨入渗量的增加而减小, 造成其相互间引力下降, 导致滑体岩土随含水量增加而凝聚力降低; 同时滑体岩土中结合水的厚度将随着降水入渗过程的进行而逐渐增大, 土颗粒间产生相对运动的摩擦系数减小, 对黄土滑坡体的综合效应是减弱和破坏土体结构的连接性能, 随着降雨入渗作用的加大, 滑坡体自重增加、土体软化, 而且静动水压力增加、同时发生机械潜蚀、化学溶蚀作用, 造成岩土强度急剧下降, 从而影响滑坡的稳定性。

综上所述, 阎家沟滑坡近期活动形变是多因素综合作用的结果, 滑坡体的物质组成及工程地质特性是其变形的物质基础, 河流侵蚀、修建梯田、排放生活用水等人类工程活动是变形的影响因素, 高强度的降雨是其变形最主要的触发因素。

5 讨论与建议

由前述可知, 阎家沟滑坡从运动形式看, 属于牵引式滑坡; 从滑坡物质组成看, 属于沿黄土——基岩接触面滑动的黄土滑坡; 从触发因素看, 属于以降雨为主要触发因素的滑坡。根据阎家沟滑坡发育特征和变形机制, 提出以下防治措施建议, 这些建议对该地区普遍发育的此种类型的滑坡防治也有一定的指导意义。

(1) 埋填裂缝和孔洞 滑坡体上的裂隙和孔洞是雨水入渗的主要途径, 将裂缝和落水洞埋填、夯实, 可防止雨水的继续入渗和裂缝孔洞的持续发展。

(2) 滑坡体排水 降雨入渗是滑坡变形的主要触发因素, 建议在各级梯田内侧修建导水渠, 正常降雨可直接入渗农田, 不影响农田保墒; 在大雨或暴雨期间, 多余雨量可迅速沿此导水渠排出。在滑坡体上修建横向和纵向的汇水渠, 汇流暴雨期间各个导水渠排出的水量。

(3) 修建淤堤坝 建议在滑坡前方沟谷内修建

淤地坝以减弱河流侵蚀, 增大坡脚支撑力。在修建淤地坝的时候, 要切实做好盲沟材料和土工布等的设计和施工, 使坝内积水有效排出, 避免增加坡脚支撑力的同时抬高了地下水位的现象。

致谢: 在成文过程中得到西安地质调查中心张茂省研究员和徐友宁研究员的指导, 西北大学雷祥义教授和长安大学陈志新教授审查了初稿, 野外工作得到子长县国土资源局环境监测站的大力支持, 在此谨表谢意!

参考文献:

- [1] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [2] 张茂省, 校培喜, 魏兴丽, 等. 延安市宝塔区地质灾害详细调查示范[J]. 西北地质, 2007, 40(2): 29-54.
- [3] 张茂省, 校培喜. 延安市宝塔区崩滑地质灾害发育特征与分布规律初探[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(6): 73-74.
- [4] 张永双, 曲永新. 陕北砂黄土区公路地质灾害及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(2): 35-38.
- [5] 孙波. 陕北黄土滑坡地貌演变分析[J]. 铁道工程学报, 1999, 61(1): 61-71.
- [6] 刘玉海, 张俊, 倪万魁, 等. 延安城市工程地质[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1988.
- [7] 张宗祜. 黄土高原区域环境地质问题及治理[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [8] 吴玮江, 王念秦. 黄土滑坡的基本类型与活动特征[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(2): 36-40.
- [9] 黎志恒. 兰州黄土滑坡与地表水入渗变形关系分析[J]. 甘肃科学学报, 2003, 15(S0): 131-134.
- [10] 张玉成, 杨光华, 张玉兰. 滑坡的发生与降雨的关系研究[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 82-85.
- [11] 林孝松, 郭跃. 滑坡与降雨的耦合关系研究[J]. 灾害学, 2001, 16(2): 87-92.

Deformation Mechanism and Characteristics of Yanjiagou Landslide in Zichang County, Northern Shaanxi

Huang Yugua, Wu Wenying, Xue Qiang, Chen Shebin and Zhang Rui

(Xi'an Center of Geological Survey, Xi'an 710054, China)

Abstract: Data of field survey and drilling show that Yanjiagou landslide is a large scale loess landslide. The main part of landslide formed of loess of late Pleistocene and middle Pleistocene. Due to flow erosion at the lower slope, caves, terraces and drainage works built on the landslide mass and a heavy rainstorm on July 4, 2002, the landslide is instable at present. If it encounters a strong rainfall, it would lose its stability. Filling cracks and holes of landslide, strengthening surface drainage and building warping dam are the most economical and effective measure to enhance the stability of landslide, like Yanjiagou landslide in northern Shaanxi.

Key words: Zichang County of northern Shaanxi; Yanjiagou landslide; deformation mechanism; preventive measures