

# 陕北“对滑”型黄土滑坡发育特征及其整治对策探讨 ——以子长县阎家沟滑坡为例

黄玉华

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

**摘要:**在相同地质环境条件下沟谷两岸发生相向滑动的滑坡,可称之为“对滑”型滑坡。以陕西子长县阎家沟滑坡为例,讨论了“对滑”型滑坡的形成环境、发育模式、成因机制和后期变形演化特征。在此基础上提出了陕北大量发育的“对滑”型滑坡的整治措施。

**关键词:** 陕北; “对滑”型滑坡; 发育特征; 整治对策

**中图分类号:** P642.22      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0844(2009)02-0152-05

## Discussion on the Development Characteristics and Prevention Countermeasures of "Opposite-slide" Loess Landslide in Northern Shaanxi Province ——Taking the landslide in Yanjiagou, Zichang county, as example

HUANG Yu-hua

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

**Abstract:** Under the same geological environment, both slopes in a valley slide face-to-face, it could be called as "opposite-slide" landslide. In this paper taking the landslide in Yanjiagou valley of Zichang county, Shaanxi province, as example, the formation environment, development patterns, causes, mechanisms and the late evolution of deformation for the "opposite-slide" landslides in northern Shaanxi province, some prevention countermeasures are put forward.

**Key words:** Northern Shaanxi province; "Opposite-slide" landslide; Development characteristics; Prevention countermeasure

### 0 前言

陕北黄土丘陵区地形破碎,沟壑纵横,水土流失严重。广泛分布的第四纪黄土垂直节理发育,结构疏松,是滑坡高发区。笔者在野外调查期间发现有很多滑坡发育于沟谷的相对两侧,形成对滑。为了叙述方便,在此我们不妨将这种“发育于地形地貌、斜坡结构、地质营力等类同的地质环境背景中,滑坡成因机制、变形模式、结构特征等基本相似的、相向滑动的滑坡”称之为“对滑”型滑坡。前人对区内滑坡作了大量的区域性的研究工作<sup>[1-14]</sup>,但是对于“对滑”型滑坡的论述尚未见到。调查还发现,陕北

此类滑坡体上一般都有居民居住,而“对滑”型滑坡由于其特定的发育环境和发育特征,一般都处于欠稳定状态。如何以比较经济的整治措施提高此类滑坡的稳定性,有效达到减灾防灾目的是本文的主要出发点。

子长县阎家沟滑坡就是这种“对滑”型滑坡的典型代表。滑坡位于秀延河一级支流马河川支沟阎家沟内,沟谷切割较强烈,呈“V”型,滑坡发育坡段接近沟头,两岸滑坡成对出现,相向而滑(图1),呈明显的“对滑”性质。右岸滑坡体现已改造为耕种地,

收稿日期:2008-06-26

基金项目:国土资源大调查项目(编号:1212010814023);国家科技支撑项目(编号:2006Bac04b00)

作者简介:黄玉华(1962-),男(汉族),陕西商南人,助理研究员,从事地质灾害研究与防治工作。

左侧滑坡体即为阎家沟村居民聚居地。上世纪80年代起村民在滑坡体上修建梯田。2002年7月4日子长县发生特大暴雨,滑坡前缘发生滑动,滑坡体上的住房也有多处变形迹象。滑坡处于不稳定状态,对其上的36户居民169口人和150孔砖窑构成严重威胁。本文即以左岸阎家沟滑坡为实例,对此类滑坡进行研究。

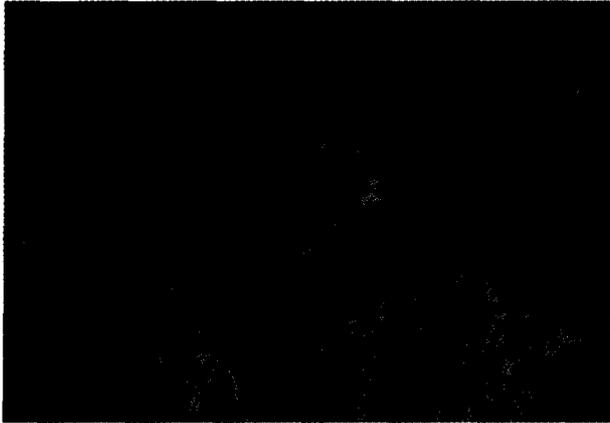


图1 阎家沟“对滑”型滑坡 SPOT-5 遥感影像图

Fig. 1 SPOT-5 RS image of "opposite-slide" type landslide at Yanjiagou.

## 1 阎家沟“对滑”型滑坡剖析

### 1.1 滑坡发育的地质环境背景

#### (1) 地形地貌

阎家沟滑坡区地貌属于幼年期沟谷地貌,谷坡坡度 $27^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ,沟谷断面呈“V”型,河流垂直侵蚀强烈,沟谷切割深度达100 m左右。河水已切穿黄土地层,下伏基岩出露高度1~2 m。河床狭窄,大部分宽度小于2 m。滑坡体下滑极易掩埋河床,堵塞河道。

#### (2) 斜坡结构

滑坡区斜坡结构为黄土-基岩复合型斜坡,呈典型的二元结构。上部为第四系黄土及浅表层坡积物。其中中更新世黄土厚约25~30 m,直接被覆于下伏安定组泥岩风化面上,为风成粉尘堆积的棕红色粉质粘土,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。晚更新世黄土厚约20~23 m,大面积出露,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。全新统多为耕作层和表层坡积物,覆盖于地表,厚约0.5~1 m。下伏基岩为中侏罗统安定组( $J_2a$ ),为灰黑色页岩、油页岩及钙质粉砂岩互层,顶部风化强烈。

#### (3) 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,可见滑坡局部土体已达到饱和状态。

### 1.2 滑坡发育特征

#### (1) 几何特征

滑坡为黄土-基岩接触面滑坡,主体发育于中、晚更新世黄土中。滑坡后壁高约8 m,由于修建农田等活动,滑坡后壁及滑坡中后部的边界地貌已被破坏而不可辨。滑坡主滑方向 $246^{\circ}$ ,长350 m,宽420 m,平均厚26 m,体积达 $382.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。滑坡整体呈近似半椭圆形,滑体呈梯田形势向河谷降落,整体平均坡度 $25^{\circ}$ ,前缘滑坡舌呈弧形延向河床(图3(a))。

#### (2) 结构特征

滑坡体物质为多为粉质粘土,母岩以中、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。主滑床由中晚更新世黄土中侏罗统安定组砂岩、泥页岩组成,滑床形态见滑坡剖面(图2)。钻探资料揭示滑坡存在两个滑面,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。

### 1.3 滑坡成因分析

#### (1) 滑坡区地形地貌是滑坡“对滑”的必要条件

滑坡区地貌属于幼年期沟谷地貌,沟谷断面呈“V”型,谷坡主要是流水垂直侵蚀的产物,在地形地貌特征上两岸谷坡基本相似,这是在相同的地质营力下发生“对滑”型滑坡而不是单一滑坡的必要条件。

#### (2) 斜坡的结构类型及其土体性质是滑坡产生的物质基础

黄土-基岩的二元结构斜坡类型为滑坡的形成提供了主滑面,滑坡主体由中晚更新世黄土组成,其工程地质性质在不同状态下的差异是滑坡变形的内在因素。表1可见黄土在饱和状态下强度指标均大大低于天然状态下。黄土疏松多孔,垂直节理、裂隙发育,遇水容易崩解等都为雨水入渗、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。

#### (3) 流水侵蚀坡脚是“对滑”型滑坡产生的共同

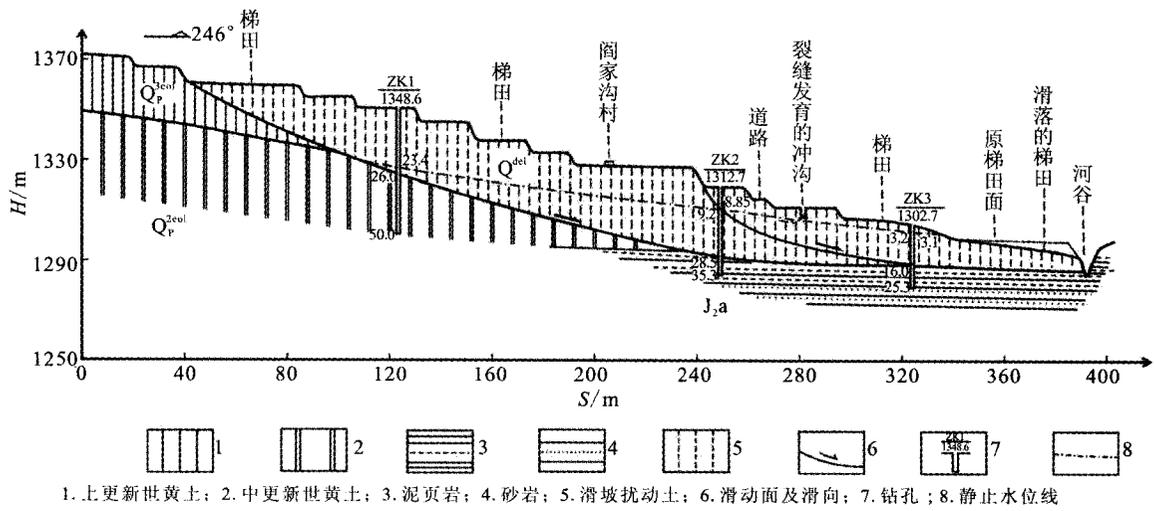
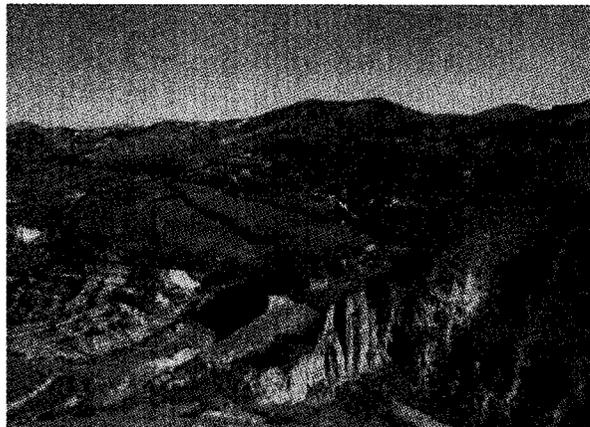
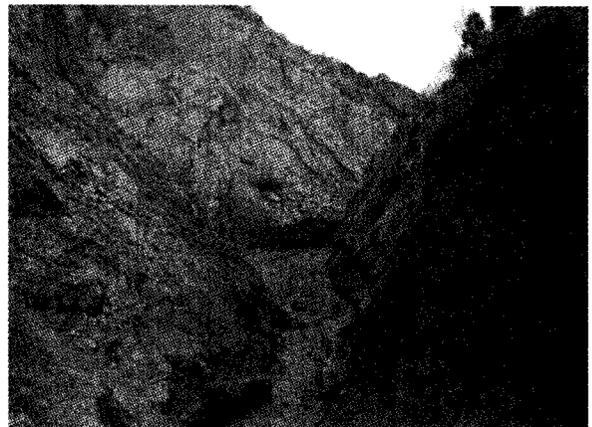


图2 阎家沟滑坡剖面图

Fig. 2 The section of Yanjiagou landslide, Zichang county.



(a) 阎家沟滑坡全貌



(b) 流水冲开挤压在一起的坡脚



(c) 滑坡体上裂缝发展的冲沟



(d) 滑坡前缘树根拉裂现象

图3 阎家沟滑坡照片

Fig. 3 The photographs of Yanjiagou landslide.

营力

河流对滑坡前缘的不断侵蚀,降低了两岸坡脚

对斜坡的支撑力,而且形成了近直立、高3~6 m的临空面,为滑坡的“对滑”提供了空间。滑坡发生“对

滑”后,两滑坡体前缘相互接触、挤压在一起,暂时堵塞河道。河流聚居一定水量后冲开堵塞滑体,继续侵蚀坡脚,为滑坡的后期变形、复活创造了条件(图3(b))。

表1 中、晚更新世黄土天然状态和饱状态下强度

	中更新世黄土		晚更新世黄土	
	天然状态	饱状态	天然状态	饱状态
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

1.4 滑坡后期变形

由于滑坡发生于幼年期沟谷,特定的地形条件决定了滑坡滑速较低,滑距较小,诱发因素仍然存在,稳定性较差,后期变形乃至复活的几率大。

(1) 人类工程活动对滑坡后期变形的影响

加载、修建梯田、排放生活废水等为后期主要的人类工程活动。在老滑坡体上修建梯田,一方面使土体更加疏松,增大了土体的渗透系数,另一方面使原来的倾斜坡体变为阶梯状的水平梯田,大大增加了土体的入渗量。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。

(2) 降雨是滑坡后期变形的主要触发因素

从实地调查滑坡变形的资料看,阎家沟滑坡一般都是在降雨的条件下发生变形或变形加剧。2002

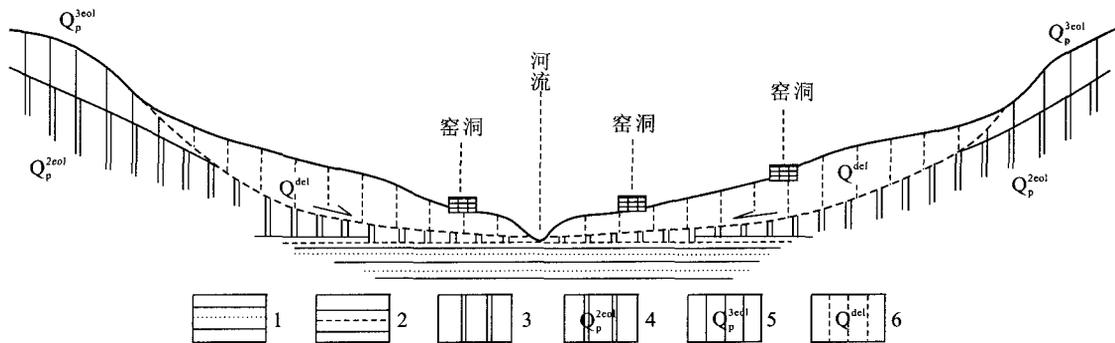
年7月4-6日子长县发生百年未遇的特大暴雨,降雨量达到300.4mm,连续的高强度的降雨使大量雨水倾泻并渗入滑体,减弱和破坏了滑体岩土结构的连接性能,滑坡体自重增加,土体软化,而且静动水压力增加,同时发生机械潜蚀、化学溶蚀作用,造成岩土强度急剧下降,并导致滑坡体后缘出现拉张裂缝。

2 陕北“对滑”型滑坡的特征

笔者于2005年至2008年在陕北延安地区进行地质灾害详细调查期间,发现陕北发育有大量的与阎家沟滑坡相似的“对滑”型滑坡。如仅子长县就有县城北边的窑子沟滑坡、袁家沟滑坡、安定镇的石家台滑坡等。

2.1 “对滑”型滑坡发育的地质环境背景

调查发现,陕北“对滑”型滑坡一般发育于幼年晚期沟谷和壮年期沟谷两岸斜坡,斜坡结构以黄土斜坡和黄土-基岩型混合斜坡为主。黄土-基岩型混合斜坡的黄土一般沿基岩谷地形顺坡披盖,在黄土和基岩之间存在一个相对不透水的软弱结构面,如新近系红粘土、侏罗纪泥岩、含煤系岩层的页岩,或一定厚度的基岩风化层。沟谷内有常年或季节性流水侵蚀坡脚,形成一定的临空面(图4)。



1. 砂岩; 2. 泥岩; 3. 红粘土; 4. 中更新世黄土; 5. 晚更新世黄土; 6. 滑坡扰动土

图4 陕北“对滑”型滑坡发育模式示意图

Fig. 4 Sketch model of "opposite-slide" type landslide in northern Shaanxi province.

2.2 “对滑”型滑坡成因及发育特征

从调查资料分析,陕北发育的“对滑”型滑坡从时代上划分多属于全新世以前的老滑坡;从成因上看属于典型的牵引式滑坡。发育“对滑”型滑坡的幼年和成年期沟谷坡段相对较平直,河流以垂直下切为主。在坡脚的侵蚀作用下坡脚的支撑力不断降低,岸坡坡度和相对高度不断增加,在降雨等气象因素的激发下滑坡形成。由于两岸地质条件相似,两岸斜坡同时或相继失稳,形成对滑。从滑坡物质组

成分类,应属黄土滑坡,滑坡主体由中晚更新世黄土组成。滑床由黄土和下伏基岩两部分组成。滑面上部分发育于黄土中,一般较陡;下部发育于黄土与基岩间的软弱结构面,坡度随古地形变化不大。

2.3 “对滑”型滑坡稳定性较差,大多发生后期变形

调研发现,陕北“对滑”型滑坡的发育环境和引发因素决定了滑坡一般滑距较短、滑速较慢。因此滑坡的能量不能充分的释放,稳定性较差。在修建窑洞、道路斩挖坡脚,排放废水,兴修农田水利等人

类工程活动和降雨等自然因素的双重作用下会再度失稳。其变形演化经常是多期次的、缓慢的变形—蠕动—复活。

### 3 “对滑”型滑坡的整治措施

根据陕北“对滑”型滑坡发育特征和变形机制,以阎家沟滑坡为例提出防治措施建议,可供陕北此类滑坡整治措施参考。

#### (1) 埋填裂缝、孔洞

老滑坡体都疏松多孔,裂隙和落水洞比较发育,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,所以在滑坡体上修建排水渠是降低雨水入渗的首选措施。针对阎家沟滑坡,首先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排水渠,汇流暴雨期间各个导水渠排出的水量。

#### (3) 修建淤地坝

坡脚受河水侵蚀导致滑体前缘滑动牵引中后部滑体发生变形是该滑坡的运动模式。鉴于滑坡周围地形地貌特征,结合滑坡滑动机理,建议在滑坡前方沟谷内修建淤地坝。这样主要有两方面的作用:①修建淤地坝起到了反压坡脚的作用。增加了沟谷谷底宽度,降低了两岸坡体的相对高度,增加了谷底宽度与谷坡高的比值,有效降低了坡脚的剪应力(图5);②削减了前缘临空面,增加了坡体的稳定性。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,避免降低坡脚剪应力的同时抬高了地下水位导致滑坡体再度复活的现像。

致谢:野外工作得到陕西省延安市国土资源局环境监测站的支持和帮助,样品测试由陕西省地矿局综合地质大队实验室完成,防治措施方面张茂省研究员提出了指导意见,在此谨表谢意!

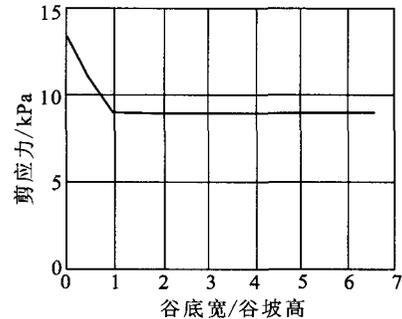


图5 谷底宽度对坡脚剪应力的影响(据胡广韬<sup>[15]</sup>)

Fig. 5 The influence of width of valley to shearing strength in foot of slope.

#### [参考文献]

- [1] 张茂省,校培喜. 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.
- [2] 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,(6):73-74.
- [3] 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.
- [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] 杨喜成. 陕西地质灾害特点[J]. 陕西地质,2001,19(2):75-81.
- [10] 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.
- [11] 刘红玫,石玉成. 黄土地区不同类型滑坡的特征及影响因素[J]. 西北地震学报,2006,28(4):360-363.
- [12] 任自铭,冯仲林,殷世林. 土质边坡剖面上动力响应异常点与潜在滑动面位置的关系研究[J]. 西北地震学报,2009,31(1):21-25.
- [13] 穆鹏,董兰凤,吴玮江. 兰州市九州石峡口滑坡形成机制与稳定性分析[J]. 西北地震学报,2008,30(4):332-336.
- [14] 卢育霞. 宁夏西吉县境内地震滑坡的地貌特征及其减灾开发对策探讨[J]. 西北地震学报,2007,29(1):79-83.
- [15] 胡广韬,杨文远等. 工程地质学[M]. 北京:地质出版社,1984:146-147.