

文章编号: 1008-2786-(2017)2-195-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000212

# 坡脚开挖诱发滑坡机理 ——以沙井驿滑坡为例

裴向军<sup>1</sup> 袁广<sup>1,2</sup> 张晓超<sup>1</sup> 李维庆<sup>3</sup> 袁野<sup>3</sup> 赵峰<sup>2</sup>

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学) 四川 成都 610059; 2. 四川华地建设工程  
有限责任公司 四川 成都 610081; 3. 四川省第二测绘地理信息工程院 四川 成都 610100)

**摘 要:** 坡脚开挖、坡面堆载、不合理灌溉等人类活动诱发的工程性黄土滑坡灾害频频发生,对于当地居民的生命财产安全构成极大威胁。本文以兰州市沙井驿滑坡为研究对象,在工程地质勘测的基础上,研究滑坡的基本特征及导致滑坡发生的关键因素。通过减围压三轴试验研究黄土边坡开挖过程中土体的变形破坏特征。基于 FLAC3D 数值模拟方法,对黄土边坡的开挖过程进行模拟,分析开挖过程中边坡不同深度的土体应力及变形发展规律,揭示开挖过程中坡体稳定性变化规律及滑坡启动机理。结果表明,沙井驿滑坡是由于坡脚不合理开挖导致老滑坡复活,为牵引式滑坡;在开挖过程中,坡体内发生应力重分布,应力状态不断发生变化,随着开挖的进行,坡体变形逐渐增大;开挖结束后,坡体中部产生大量剪切裂缝,后缘产生张拉裂缝,坡体稳定性降至最低,中上部均有较大变形,最后发生失稳。

**关键词:** 坡脚开挖; 滑坡机理; 减围压三轴试验; FLAC3D

**中图分类号:** P642.2

**文献标志码:** A

黄土滑坡发生频率呈增加的趋势,对人民的生命财产安全构成严重威胁<sup>[1]</sup>。研究黄土滑坡的诱发因素以及形成机理可以有效减缓黄土滑坡灾害的风险<sup>[2]</sup>。诱发黄土滑坡的因素主要分为自然因素及人为因素,自然因素包括地震、降雨、河流侵蚀等,人为因素包括开挖、堆载、灌溉等。雷祥义<sup>[3]</sup>将人类工程活动引发的滑坡分为五种类型:坡脚挖方型、坡顶(面)加荷型、改变地下水位型、坡面毁林毁草垦田型、底部采空型。

大量学者对黄土滑坡的诱因及分类等进行了研究<sup>[4-6]</sup>。陡峭的地形条件、软弱的岩土体组合、人工绿化灌溉、坡脚挖方<sup>[7]</sup>及坡顶(面)堆载<sup>[8]</sup>等可以诱

发黄土滑坡。本文以兰州市沙井驿滑坡为例,对坡脚开挖引起滑坡复活发生滑动破坏的特性进行研究,通过减围压三轴试验研究黄土边坡开挖过程中土体的变形破坏特征,并建立数值模型,对引发滑坡产生的主要因素—坡脚开挖进行模拟分析,研究在分步开挖过程中,黄土边坡从稳定到发生变形破坏的特性。

## 1 滑坡区地质条件

### 1.1 区域地质构造

兰州地区在大地构造上属祁连褶皱系二级构造

收稿日期(Received date): 2016-05-03; 改回日期(Accepted date): 2016-09-19。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划项目(2014CB744703); 中国地调局项目(No. 1212011140005); 四川省测绘地理信息局科技项目及创新平台开放基金(2016ZC02) [National Key Basic Research Program (2014CB744703); China Geological Survey Project (1212011140005); Science and Technology Projects and Innovation Platform Open Fund of the Surveying and Mapping Geographic Information Bureau of Sichuan Province (2016ZC02)]

作者简介(Biography): 裴向军(1970-),男,内蒙古赤峰人,博士,教授,主要从事地质灾害及地质工程研究。[Pei Xiangjun (1970-), male, born in Chifeng, Inner Mongolia IM, Ph. D, professor, research interests: geological hazards, geological engineering, et al.] E-mail: peixj0119@tom.com

单元—祁连中间隆起带的东段<sup>[9]</sup>,跨越了北祁连优地槽褶皱带的南缘。发生在中生代以来的大幅度的差异性运动,导致加里东褶皱的基底发生了隆起或凹陷沉降,形成了与现今的山地轮廓相似的山地及山间盆地。兰州地区经历了加里东期、燕山期、印支期以及喜马拉雅期等多次地壳运动的影响,褶皱及断裂构造发育,主要构造线为北西向和北北西向,并穿插南北向及北东向的构造线。

研究区地质构造复杂,有褶皱、断层发育。研究区位于马家坪—马滩向斜带的李麻沙沟向斜东翼,为喜马拉雅造山运动的产物,位于哈家咀—沙井驿之间,轴向北北西,长约 25 km,宽约 10 km,北部两翼较平缓,向南逐步变陡。由咸水河组成,轴部岩层较陡,两翼呈较紧密的不对称状,两翼倾角从 7°~10°向轴部逐渐增加到 15°左右。

影响研究区的断裂主要有 3 条,距滑坡最近的为沙井驿正断层。该断层距研究区约 3 km,隐伏于冲洪积的粘土层下部。该断层起于黄河北岸阶地后缘,向北北西方向延伸,穿过凤凰山、砚沟,至于望东山附近,总体走向为北北西向,断面倾向 215°,倾角 50°~65°,长约 2.7 km,宽度约 100 m。研究区基本烈度为Ⅷ度,地震动峰值加速度为 0.2 g。

### 1.2 基本地质条件

研究区位于凤凰山西段,滑坡工程地质剖面如图 1。该区地形起伏较大,为强烈上升的侵蚀构造地形,地势总体北高南低,坡度较陡,山顶海拔 1 860 m,坡脚海拔 1 580 m,相对高差约为 280 m。据地貌成因类型及坡体形态特征可将研究区分为侵蚀低中山地貌及侵蚀堆积河谷阶地地貌。研究区南部呈东西向展布,为黄河Ⅲ级阶地,阶地完整性较好,阶面宽阔平坦,向河床及下游倾斜,坡度约

为 5°。

该区主要出露新生界新近系和第四系地层( $N_{1x}$ ):基岩为棕红色、浅红色泥岩、砂质泥岩夹浅黄色砂岩和薄层脉状石英,主要发育两组节理,为“X”型剪节理,岩层产状  $225^\circ \sim 240^\circ \angle 10^\circ \sim 16^\circ$ ,滑坡体为老滑坡堆积物,主要为灰黄色粉土。

## 2 滑坡基本特征

沙井驿滑坡位于凤凰山老滑坡前缘,为边坡开挖引发老滑坡体部分复活产生的滑动破坏。滑坡位于兰州市北西向,距黄河左岸约 1.6 km,呈不规则状,研究区地形图由无人机航拍后获得(图 2)。开挖前坡体上有少量微小裂缝,随着开挖的进行,原有裂缝持续扩展,伴随新裂缝产生;开挖结束后,滑坡中后部发育大量张拉裂缝、剪切裂缝,裂缝交汇呈“X”型,坡体被切割为块状及条带状,坡面完整性差。滑坡中部为一平台,平台北侧受后部挤压形成小型鼓丘,坡体破碎程度高,裂缝发育,裂缝延伸至滑坡体中部,平台北高南低,向南西向倾斜,倾斜坡度 5°~15°。滑坡前缘临空条件好,临空高度约 80 m,前缘自西向东发育 3 处次级滑动。滑体前缘高程约 1 581 m,后缘高程 1 712 m,相对高差 131 m,滑坡后部坡度 30°~40°、中部 5°~15°,前缘 35°~55°。滑坡长 350 m,平均宽度 230 m,平均厚度约 16 m,总体积约  $130 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,属大型滑坡。

沙井驿滑坡主滑方向 178°,可见滑移形成的“圈椅”状后壁,后壁边界呈“M”型,后壁高 7.2~8.0 m,坡度 30°~40°,岩性为新近系泥岩夹砂岩,中部平台主要为填土、粉土、泥岩碎屑夹砂泥岩团块,前缘发育 3 处次级滑动,东侧 1 处为人工填土,其余 2 处为老滑坡堆积体滑动,岩性以泥岩夹砂岩为主。

## 3 滑坡成因机制分析

沙井驿滑坡(图 3、图 4)发生于 2015 年 1 月 25 日,为牵引式滑坡,形成原因综合。陡峭的地形条件、软弱的岩土体组合、人类不合理的整平、开挖、堆载、人工绿化灌溉等是导致凤凰山老滑坡前缘发生复活的原因。其中,坡脚开挖为沙井驿滑坡形成的

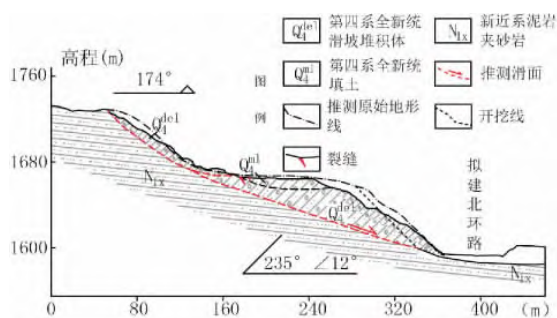


图 1 沙井驿滑坡工程地质剖面图

Fig. 1 Sketch of the cross section of the Shajingyi Landslide

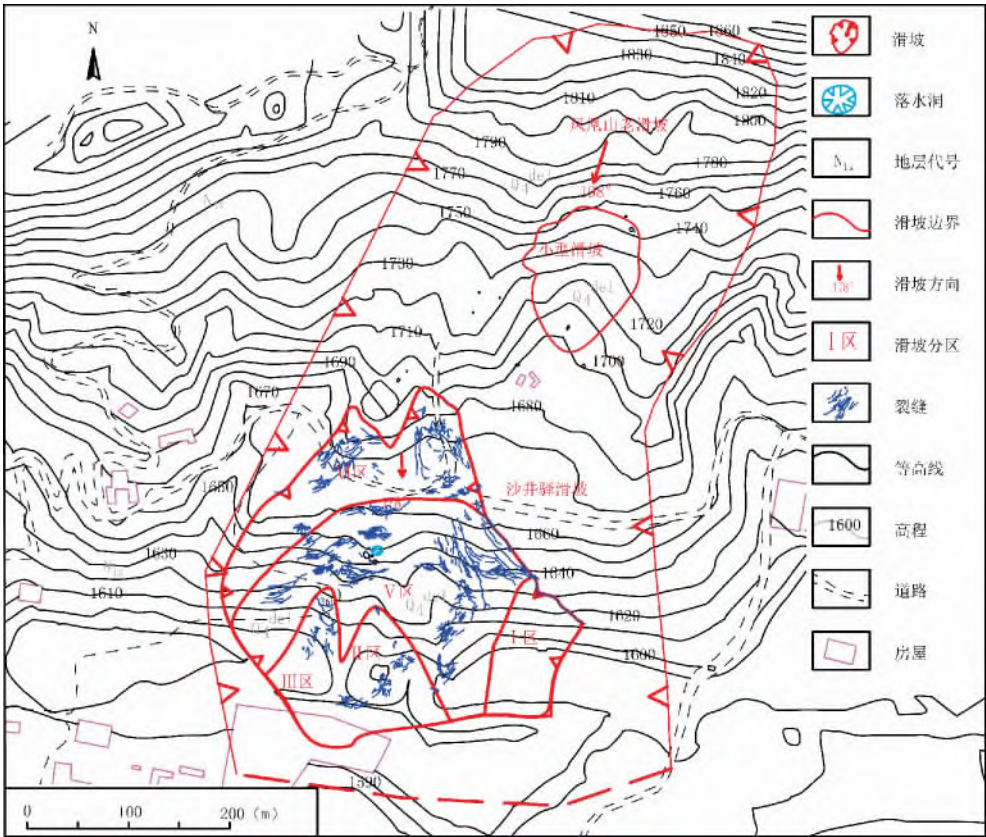


图 2 沙井驿滑坡工程地质平面图

Fig. 2 Plan view of the Shajingyi Landslide



图 3 滑坡前缘

Fig. 3 Front view of the Shajingyi Landslide

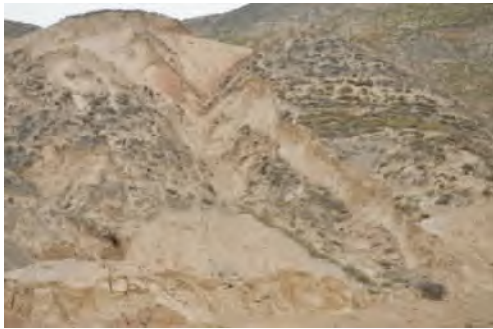


图 4 滑坡后壁

Fig. 4 Rear part of the Shajingyi Landslide

主要因素。

滑坡区地势总体向南倾斜,为强烈上升的侵蚀构造地形,地形起伏大,为滑坡的发生提供了良好的地形条件。滑坡区主要地层为新生界新近系和第四系棕红色、浅红色泥岩、砂质泥岩夹浅黄色砂岩,岩层倾向坡脚。滑坡体为凤凰山老滑坡堆积物,结构松散,植被稀疏,在外界因素作用下易发生滑动。滑坡区地处兰州市南北两山绿化工程带内,常年的绿化灌溉增大了坡体含水量,软化滑带,使其稳定性降低。因输水管道破裂导致长期漏水,致使区内落水洞发育,持续增加土体的含水量,降低岩土体的抗剪强度。

北环路从老滑坡前缘坡脚自东向西穿过。对凤凰山老滑坡前缘从上往下逐级进行开挖,导致靠山



侧形成高约 80 米的人工高边坡。坡脚开挖改变了老滑坡的原始地形,打破坡体内原有的应力平衡状态,发生应力重分布。坡面及坡脚产生卸荷回弹,坡面附近的最大主应力基本顺着坡面方向,在坡脚产生明显的应力集中。老滑坡阻滑段开挖,导致坡体抗滑力减小,为沙井驿滑坡的发生提供了有利条件。

边坡开挖对古滑坡堆积体的稳定性造成严重影响,开挖过程中坡体内应力分布发生变化(图 5)。其中 A 点  $\sigma_v$  减小  $\sigma_H$  不变; B 点  $\sigma_H$  减小  $\sigma_v$  不变; C 点  $\sigma_v$ 、 $\sigma_H$  均不变( $\sigma_H$  为水平应力,  $\sigma_v$  为垂向应力)。滑坡前缘临空条件良好,且坡体内应力重新分布,使其稳定性大幅度降低。

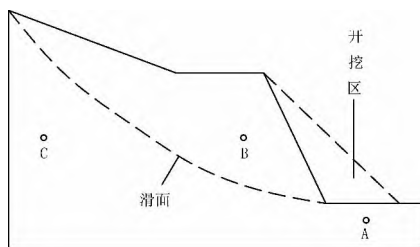


图 5 开挖示意图

Fig. 5 Schematic of excavation

利用 GDS 标准三轴试验系统,对干密度为  $1.35 \text{ g/cm}^3$ ,含水率为 9.5% 的重塑黄土试样进行不排水减围压三轴(RTC)试验。试样饱和后,在  $\sigma_3$  分别为 300 KPa, 400 KPa, 500 KPa 的情况下进行等压固结,然后保持轴向荷载不变,逐步减小围压至试样破坏。

图 6 为偏应力  $\sigma_1 - \sigma_3$  与轴向应变  $\varepsilon_a$  的关系曲线,曲线中有两个较明显的拐点,将曲线分为三个阶段。第一阶段为第一个拐点之前,固结过程中由于土样中水的排出,体积已经发生减小,颗粒间的孔隙也有所压缩,土体基本呈弹性特征。固结过程中试样发生体变,体积已经减小,颗粒间的孔隙也有所压缩,但随着偏应力的增大,试样中土颗粒间的间距会

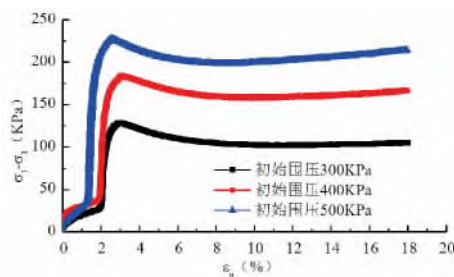


图 6 偏应力-应变曲线

Fig. 6 Curves of deviatoric stress-strain

进一步减小,因此应变也随之增加。第二阶段为两个拐点之间,该阶段偏应力逐渐增大至屈服应力  $\sigma_k$ ,这一过程中应变基本保持不变。第三阶段为第二个拐点之后,土体呈塑性特征,土体结构发生破坏,应变显著增大,发生剪切破坏。

图 7 为孔隙水压力  $u$  与轴向应变  $\varepsilon_a$  的关系曲线,曲线可以分为两个阶段。当偏应力小于屈服应力  $\sigma_k$  时,随着轴向应变的增大,孔隙水压力显著增大;当偏应力达到屈服应力  $\sigma_k$  时,随着轴向应变的增大,孔隙水压力增长速率缓慢。

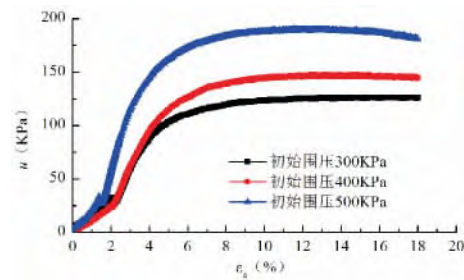


图 7 孔隙水压力-应变曲线

Fig. 7 Curves of pore pressure-strain

对试验数据进行整理,得到总应力路径及有效应力路径曲线(图 8),其中:

$$p' = p - u = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \quad (1)$$

$$q' = q = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \quad (2)$$

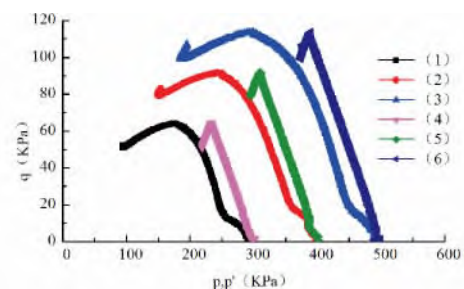


图 8 应力路径/有效应力路径

(1) ~ (3) 为有效应力路径; (4) ~ (6) 为总应力路径

Fig. 8 Stress path/effective stress paths

不同初始围压作用下,总应力路径曲线变化规律相似。在偏应力逐渐增大的过程中,有效应力路径逐步向左侧偏移。试样破坏前  $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$  逐渐减小,  $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$  逐渐增大;偏应力逐渐增大至屈服应力  $\sigma_k$  后,试样破坏  $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$  减小的过程中  $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$  也随之减小。

减围压三轴(RTC)试验能够很好的模拟边坡开挖过程中土体应力及变形特征,试验过程中围压减小对应开挖过程中坡体的卸荷,围压减小导致土体偏应力逐渐增大,同时孔压也不断增高,当偏应力达到屈服应力 $\sigma_k$ 时,土体发生破坏,边坡发生失稳。

## 4 开挖边坡稳定性数值模拟

### 4.1 模型的建立

运用三维计算程序FLAC3D对边坡开挖进行模拟计算分析,对边坡分四步进行开挖。建立的计算模型(图9)坐标系选取为:X指向边坡东侧(坡体左侧),Y指向边坡北侧(坡体内部),Z轴垂直向上。模型范围:前缘取至北环路南侧1575 m高程,后缘至1720 m高程,模型长465 m,宽454 m。模型侧缘边界及底面边界均采用单向约束,表面为自由边界。

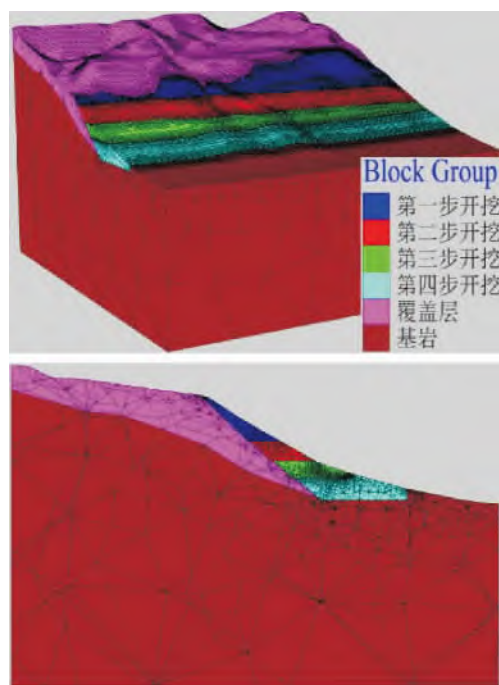


图9 计算模型

Fig. 9 Grid model

因开挖边坡位于西北黄土高原地区,降雨较少,且地下水位较深,因此模拟分析中未考虑地下水的影响;坡脚处在建北环路前缘覆盖层厚度小,在计算模型中未进行考虑。

计算模型采用弹塑性模型,屈服准则为摩尔-库仑强度准则,阻尼形式选用局部阻尼。FLAC3D中模型在弹性范围内通常用两个弹性常量来描述,

即体积模量 $K$ 及切变模量 $G$ :

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (3)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

式中 $E$ 为弹性模量; $\nu$ 为泊松比。

### 4.2 开挖过程模拟

开挖形式采取从上往下逐级进行开挖,在不同时段进行施工,尽可能模拟实际工程施工过程,模型边坡分4步进行开挖,每开挖完一层,就进行开挖过程模拟计算,分析其应力、位移、应变等特性。限于篇幅,重点对第四步开挖后的结果进行分析。

### 4.3 结果分析

由于边坡组成物质主要为古滑坡堆积物,坡体稳定性一般,因此开挖前坡体存在较小位移,总位移(图10)从基覆界面处的1.25 mm至坡表最大约2 mm,位移方向为近似垂直向下,坡体无明显应力集中现象,无明显剪应变集中(图11)。

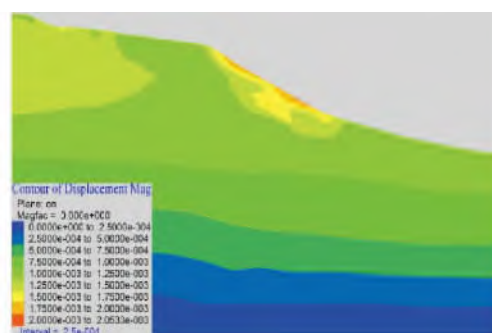


图10 开挖前总位移场特征

Fig. 10 Features of total displacements before excavation

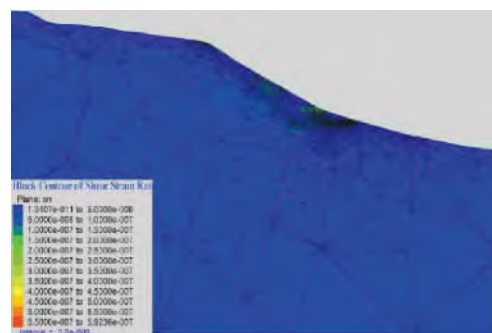


图11 开挖前剪应变特征

Fig. 11 The feature of shear strain before excavation

进行开挖计算时首先对位移场进行清零,因此开挖后产生的位移均为边坡开挖引起的位移增量。对边坡进行开挖后,坡脚部位产生应力集中,开挖形成的临空区域产生卸荷回弹,开挖区域位移由坡体

内部向坡表逐渐增大。边坡开挖区中上部对其稳定性影响较大,因为开挖可能引起坡体上部产生拉裂,在坡体上部形成张拉裂缝,坡体中下部形成剪切裂缝,导致坡体产生较大位移。

对边坡进行第一步开挖后,坡体总位移从坡体内 2 mm 至坡表达到最大约 7.6 mm;水平位移从坡体内 1 mm 至坡表达到最大 7.3 mm;坡体中上部垂向位移从坡体内 1 mm 至坡表最大 3 mm;坡脚部位垂向位移从坡体内 2 mm 至坡表约 4.5 mm,由于卸荷回弹,其位移方向垂直向上。开挖后,坡脚产生应力集中,开挖坡体上部及坡脚出现小规模剪应变集中带,剪应变增量集中在开挖坡脚。

对边坡进行第二步开挖后,坡体上部变形规模有所增大,坡体总位移从坡体内 5 mm 至坡表最大为 3.3 cm;水平位移从坡体内 5 mm 至坡表最大为 2.8 cm;坡体中上部垂向位移从坡体内 2.5 mm 至坡表最大 1.9 cm;坡脚部位垂向位移从坡体内 2.5 mm 至坡表约 5.4 mm,方向垂直向上。坡脚存在应力集中,剪应变集中在开挖形成的坡脚及坡体中上部。

对边坡进行第三步开挖后,坡体变形进一步增大,总位移从坡体内 2 cm 至坡表最大约 16.7 cm;水平位移从坡体内 2 cm 至坡表最大约 13.4 cm;坡体中上部垂向位移从坡体内 2 cm 至坡表最大为 11.6 cm;坡脚部位垂向位移从坡体内 5 mm 至坡表约 2 cm,方向垂直向上。坡脚产生应力集中,剪应变主要集中在开挖坡脚及坡体中上部。

第四步开挖结束后,坡脚部位产生应力集中(图 12)。边坡中~后部出现较明显的剪应变集中带(图 13),剪应变增量主要出现在边坡中后部,且发生贯通,边坡整体稳定性变差。

图 14 为第四次开挖后总位移云图,总位移从坡体内 2.5 cm 至坡表最大约 25.7 cm;水平位移从坡

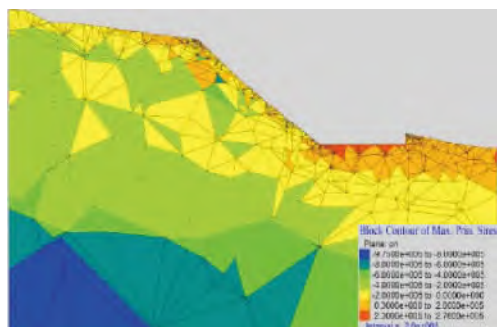


图 12 最大主应力特征

Fig. 12 Feature of maximum principal stress

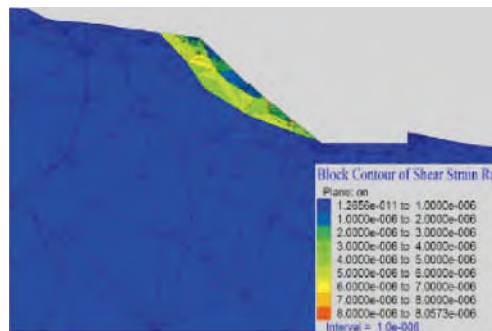


图 13 剪应变特征

Fig. 13 Feature of shear strain

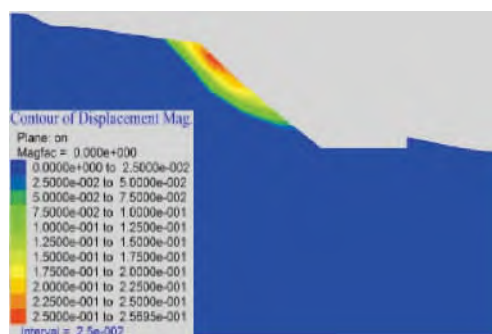


图 14 总位移场特征

Fig. 14 Feature of total displacements

体内 2.5 cm 至坡表最大为 20.6 cm;坡体中上部垂向位移从坡体内 2 cm 至坡表最大 18.2 cm;开挖坡脚覆盖层厚度小,在模型中未考虑,因此坡脚卸荷回弹产生的位移比前三步开挖产生的位移小,坡脚处路基表层位移约 2.1 mm。下覆基岩总位移、水平位移及垂向位移均趋近于 0,基本无变形。

开挖过程中模型剖面在各开挖阶段最大位移如图 15,开挖前至第二步开挖结束后,边坡变形较小,第三、第四步开挖结束后,在坡体原有裂缝不断增大的基础上,又产生大量张拉、剪切裂缝,坡体变形急剧增加,稳定性大幅降低。坡体中上部的水平位移、垂向位移及总位移最大,即在开挖形成的陡缓过度

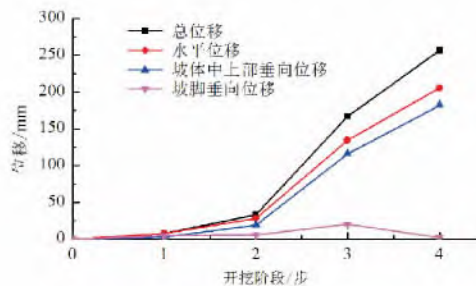


图 15 开挖过程与变形关系

Fig. 15 Relation between excavation process and displacements

部位及坡体中上部变形最大,边坡上的古滑坡堆积物发生明显的变形破坏,产生沙井驿滑坡。

## 5 结论

通过分析,可以得到如下结论:

(1) 沙井驿滑坡为牵引式滑坡,其发生是由多种因素共同作用的结果。坡脚开挖是导致凤凰山老滑坡前缘发生复活最主要的原因。

(2) 边坡的变形与破坏是一个复杂渐进的破坏过程,坡脚开挖导致坡体内部应力重新分布,随着开挖的进行,坡体内的应力状态不断发生变化,坡脚部位产生应力集中,边坡中~后部出现较明显的剪应变集中带。

(3) 减围压三轴剪切(RTC)试验可以很好的模拟边坡开挖过程中土体的变形破坏特征。围压逐渐减小的过程中,偏应力逐渐增大至屈服应力 $\sigma_k$ ,这一过程应变较小,孔隙水压力不断增加;偏应力达到屈服应力 $\sigma_k$ 后孔隙水压力增长速率缓慢,应变明显增大,直至土体破坏。

(4) 随着开挖的进行,坡体抗滑段不断遭到破坏,边坡变形逐渐增大,第一级开挖后的总位移为7.6 mm,四级开挖结束后,坡体总位移已达25.7 cm,方向指向开挖形成的临空面,最终导致边坡失稳。

## 参考文献(References)

- [1] 张茂省,李同录.黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J].工程地质学报,2011,19(4):530-540 [ZHANG Maosheng, LI Tonglu. Triggering factors and forming mechanism of loess landslides [J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(4): 530-540]
- [2] ZHANG M, LIU Jie. Controlling factors of loess landslides in western China [J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 59(8): 1671-1680
- [3] 雷祥义.陕西关中人为黄土滑坡类型的研究—人类活动的黄土斜坡地质环境负效应问题[J].水文地质工程地质,1996,3:36-39 [LEI Xiangyi. Study on the type of loess landslide in Shaanxi—negative effects of human activities on loess slope geological environment [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 1996, 3: 36-39]
- [4] 龚成明,程谦恭,杨林浩,等.黄土高边坡开挖过程的变形监测分析[J].铁道学报,2010,32(5):119-124 [GONG Chengming, CHENG Qiangong, YANG Linhao, et al. Case study of deformation behaviour of high loess slope in excavation [J]. Journal of the China Railway Society, 2010, 32(5): 119-124]
- [5] 许领,戴福初,邝国麟,等.黄土滑坡典型工程地质问题分析[J].岩土工程学报,2009,31(2):287-293 [XU Ling, DAI Fuchu, KUANG Guolin, et al. Analysis of some special engineering-geological problems of loess landslide [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(2): 287-293]
- [6] 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 [WU Weijiang, WANG Nianqin. Basic types and active features of loess landslide [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2002, 13(2): 36-40]
- [7] 陈春利,贺凯,李同录.坡脚开挖诱发古滑坡复活的机制分析[J].西北地质,2014,47(1):255-260 [CHEN Chunli, HE Kai, LI Tonglu. Research on the mechanism of the ancient landslide resurrection triggered by slope toe excavation [J]. Northwestern Geology, 2014, 47(1): 255-260]
- [8] 陈春利,李同录,贺凯,等.人工堆载诱发黄土滑坡失稳机制分析[J].中国地质灾害与防治学报,2014,25(1):1-5 [CHEN Chunli, LI Tonglu, HE Kai, et al. Mechanism of loess landslide induced by loading [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(1): 1-5]
- [9] 杨秀芬.兰州地区地质构造的形成与发展[J].西北师范大学学报(自然科学版),1983,2:58-64 [YANG Xiufen. The formation and development of geological structure in Lanzhou [J]. Journal of Northwest Normal University(Natural Science), 1983, 2: 58-64]



# Study on the Mechanism of the Loess Landslide Triggered by Slope Toe Excavation

—for the Example of the Landslide of Shajingyi

PEI Xiangjun<sup>1</sup>, YUAN Guang<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaochao<sup>1</sup>, LI Weiqing<sup>3</sup>, YUAN Ye<sup>3</sup>, ZHAO Zheng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection (Chengdu University of Technology), Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Sichuan Huadi Building Engineering Co. Ltd, Chengdu, Sichuan 610081, China;

3. Sichuan Province in Second Geographic Information Engineering Institute of Surveying and Mapping, Chengdu, Sichuan 610100, China)

**Abstract:** As results of engineering activities such as excavation at slope toe, surcharge loading onto slope surface, improper irrigation of sloping farmland, etc., loess landslides are occurring frequently in Western China, posing a great threats to the safety of life and property of local residents. Taking Shajingyi Landslide of Lanzhou City as case study, this research conducted field geological surveys for investigation on the main characteristics of loess landslide and its triggering factors. Then confining depressure triaxial tests were implemented to interpret deformation and failure of loess slope during excavation. Based on FLAC3D, the excavation process of loess slope was examined by numerical simulation, and soil stresses and deformation at different depths were collected for analysis in order to reveal mechanism of slope stability or failure during excavation. Research results suggested that Shajingyi Landslide was derived from a unreasonable excavation at slope toe, resulting in a resurgence of an old underlying landslide, typical of retrogressive landslide; During the excavation process, stress redistribution took place in the slope body with stress state regulating simultaneously, and the slope deformation gradually increased with excavation progress; Ensuing the excavation, there were large amounts of shear fractures generated on the middle open surface of the slope as well as tension cracks developed on the back edge, undermining slope stability, and soon it come to fail after a larger deformation in the upper part of the slope was observed.

**Key words:** slope toe excavation; landslide mechanism; RTC tests; FLAC3D