

# 老鹰湾滑坡稳定性计算及形成机制分析

肖 杨<sup>1</sup>, 庄锦亮<sup>2</sup>

(1.凉山州水利电力勘测研究院,四川 西昌 615000;2.西昌学院土木与水利工程学院,四川 西昌 615013)

**摘要:**老鹰湾滑坡体近年来一直存在滑坡隐患,影响西昌市大桥水库一期灌区工程的安全。根据工程勘查及调查,掌握了地貌、变形、滑体、滑床、滑带等滑坡体基本特征,分析了滑坡形成机制,获得滑坡体岩土体物理力学参数。对最不利典型剖面,采用简化Janbu法,对天然工况和暴雨工况下的滑坡体进行了稳定性计算和分析。研究表明:老鹰湾滑坡体属于牵引式滑坡体,地形地貌、地下水活动、暴雨是主要诱因,易沿滑面产生滑动现象,建议迁出滑坡体上住户,同时加强对滑坡的监测预警。

**关键词:**老鹰湾;滑坡;稳定计算;形成机制

**中图分类号:**P642.22 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2019)01-0043-04

## On Stability Calculation and Formation Mechanism of the Landslide-prone Mass of Laoyingwan Slope

XIAO Yang<sup>1</sup>, ZHUANG Jinliang<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Hydraulic and Hydroelectric Survey of Liangshan Prefecture, Xichang, Sichuan 615000, China; 2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

**Abstract:** There is a constant risk to the landslide-prone mass of Laoyingwan Slope in recent years, posing a threat to the security of the first-phase irrigation project of Daqiao Reservoir in Xichang City. Based on engineering surveys, we had better idea of the basic features of the mass's geomorphology, deformation, sliding section, sliding bed and sliding belt, analyzed the formation mechanism of landslide, and obtained physical and mechanical parameters of the sliding mass. Adopting simplified Janbu Method, we made stability calculations and analyses of the slide-prone mass under natural working conditions and heavy rain conditions. Our study shows: the landslide-prone mass of Laoyingwan Slope is of a tractive landslide type, formed mainly due to geomorphology, underground water action and heavy rain, which is liable to slide along the sliding surface. We suggest that residents on this sliding mass be relocated, and the work of monitoring and early warning of possible landslides be improved.

**Keywords:** Laoyingwan Slope; landslide; stability calculation; formation mechanisms

老鹰湾滑坡体位于凉山州西昌市马道镇大桥水库灌区一期工程西德支渠老鹰湾渠道(8+100~8+160)下方,距西昌市区约10 km、马道镇3 km,近年来一直列为滑坡灾害隐患点和易爆发点,虽几经治理,滑坡处地表变形持续,安全隐患未得到彻底解决。2010年和2014年先后两次对渠道下方的浅层滑坡进行过治理,起到了一定效果。2017年汛期雨水造成滑坡变形突然加剧,导致渠道发生渗水,出现了较大安全隐患,将渠道改道并将明渠改为暗渠,变形、渗水等安全隐患有所改善。2018年汛期,此处滑坡进一步加剧,出现多处变形、开裂现象。老鹰湾滑坡防治等级为三级<sup>[1-2]</sup>,威胁对象共3户7

人、林地10 700 m<sup>2</sup>、公路输电线路100 m,同时若滑坡滑动变形加剧,将影响到其后缘西德支渠的安全运行。通过现场测量、地质勘探及调查工作,进行环境地质条件调查和滑坡工程地质勘查,分析老鹰湾滑坡体的范围、危害对象、变形特征、影响因素、形成机制和变形发展情况,提出整治建议。

### 1 滑坡体基本特征

根据滑坡体的范围、地形特征,工程地质调查约16 000 m<sup>2</sup>,重型动力触探试验2.4 m,顺滑坡坡向布置两条勘探轴线,钻孔8个,利用前期治理钻孔5个<sup>[3]</sup>,掌握了滑坡体的基本特征。

### 1.1 地貌形态<sup>[4]</sup>

该滑坡体高程在1 590~1 625 m之间,在山脊斜坡下部。地形起伏不大,后缘西德支渠下方为陡坎,坡度约25°~43°,高约8~9 m,中部地形较缓,坡度15°~20°,滑坡体前部为坡度较缓的平台,坡度5°~8°,有公路及雨塘形成1~2.5 m的陡坎。

### 1.2 变形特征

老鹰湾滑坡体长期以来一直存在变形,最近一次治理是以暗渠形式从原明渠内侧的基岩斜坡上通过,新建暗渠均布置在稳定的基岩上,雨季来临之前未发现有变形、渗水迹象。自2018年7月汛期到来后,从原填方保坎脚以下先后发现滑坡产生多处变形、开裂现象,形成一系列横向裂缝,并顺两侧山坡向下延伸,形成上窄下宽的滑坡变形体。滑体中部有多处隆起,滑坡上部有积水坑,中部有渗水点。滑坡体上部引起原填方渠道部位部分下沉,下部的民房、地面多处产生裂缝。随着雨季降雨,滑坡体不稳定段的变形有加刷趋势,裂缝有加大迹象。通过分析表明,滑坡体变形与降雨关联性较强,雨水对滑坡变形,失稳影响较大。

### 1.3 滑体特征

通过勘察和分析表明<sup>[5]</sup>,滑坡滑体平均厚度约8 m,滑体物质主要包括人工填土和粉质黏土。人工填土呈紫红色、湿、松散,以粉质黏土为主,偶夹碎砾石,主要分布于场地的东侧靠近支渠处,厚度变化不大,层厚1.2-2.5 m。为修建西德支渠时的填土。粉质黏土呈紫红色、湿、松散-稍密,以粉质黏土为主,偶夹碎砾石,层厚度0.2~20.8 m,整个场区均有分布。

### 1.4 滑床特征

根据钻孔及地面测绘资料分析<sup>[6]</sup>,滑床地层为第四系全新统坡积层(Q<sub>4</sub><sup>cd</sup>)、第四系下更新统昔格达组(Q<sub>1x</sub>)和白垩系下统小坝组下段(K<sub>1x1</sub>),见表1。

表1 滑床地层特征

Q <sub>4</sub> <sup>cd</sup>	Q <sub>1x</sub>	K <sub>1x1</sub>
红色,湿,松散,以粉质黏土为主,偶夹碎砾石,为修建渠道的人工填土层,其余为坡积层,在6 m以下为稍密结构	黄色,水平岩层,黏土岩泥质结构,主要矿物为黏土矿物,岩芯具有遇水软化、暴晒干裂的特征,局部软化现象明显,湿度较大,厚度较大,为滑床下伏稳定地层	紫红色,长石石英砂岩、粉砂岩、泥岩,强-中风化倾向角10°,倾向角100°,厚度较大,为滑床下伏稳定基岩

### 1.5 滑带特征

钻探揭露下伏基岩(白垩系粉砂岩、泥岩)地层埋深在2.7~20.8 m,从剖面来看,主要是滑坡体上部

从基岩卧坡面上滑动的可能性;而滑坡下部钻孔揭示在土层中部(10.8~11.8 m,5.6~6.7 m)处有一层胶结较好的黄褐色砾质土层,该层可能是原斜坡的地面,也可能是老滑坡的滑面,该层胶结较好,有一定的阻水性。滑动面(带)处岩芯呈湿—饱和状态,软塑状,含少量角砾。杂乱、揉皱、挤压、错动现象明显,在基岩面上有明显的滑带土分布(粉质黏土中未见明显的滑带土)。因此,该滑坡滑动面(带)主要位于人工填土、粉质黏土与下伏基岩卧坡上,粉质黏土中部,推测滑动(带)面埋深2.7~10.8 m。

由此可见<sup>[7]</sup>:(1)滑动面位于白垩系地层顶部,即在上覆的松散的坡积与基岩卧坡的接触面上;(2)滑动面位于堆积层(粉质黏土层)中部。

## 2 滑坡形成机制分析

### 2.1 滑坡变形形成机制分析

根据工程地质测绘与调查,近期连续降雨,致使已有裂缝变形加剧,老鹰湾滑坡体的变形主要表现为滑坡后缘地面下沉、变形开裂,局部向下滑动;中部-后缘出现数条张拉裂缝。根据勘查分析表明,该滑坡主要原因为降雨后地表水渗入地下,软化土层,致使土体抗剪强度降低导致该滑坡失稳:(1)老鹰湾滑坡为一老滑坡体,斜坡稳定性长期处于极限稳定状态;(2)暴雨后地表水渗入地下,在基岩卧坡面附近及松散的粉质黏土层中富集,从而软化土层,致使土体抗剪强度降低,导致滑坡蠕变变形。(3)滑坡体上部填方段对滑坡稳定有一定的不利影响。

### 2.2 滑坡稳定性影响因素

老鹰湾滑坡体主要由于地表土层结构松散,暴雨后地表水渗入地下,在软弱的粉质黏土层附近富集,从而软化粘性土层,抗剪强度降低,导致滑坡变形;雨季尤其是连续暴雨的情况下,变形加剧。地形地貌、地下水的活动、暴雨(尤其是连续暴雨)等因素是影响老鹰湾滑坡体稳定性的最主要的因素;而地层岩性及结构、地质构造、地震、人类活动等因素是影响滑坡体稳定性的次要因素。

### 2.3 滑坡破坏模式分析

勘查及调查显示,当沿滑面滑动时,老滑坡体主要变形区域均位于滑坡体中、后部,变形机制为中后部滑体失稳,牵引后缘填方下沉变形,推动前缘地表产生隆起变形,属牵引式滑坡。该滑坡滑动面为基岩卧坡面上的软-可塑状粉质黏土,其在斜坡体内呈折线状分布,贯穿性不明显,该上滑面属折线型滑动。

### 3 滑床岩土物理力学性质

#### 3.1 物理力学参数分析

滑床岩(土)体的物理力学指标是评价滑坡体稳定性的依据。采用现场调查、原位测试,结合类似工程经验综合确定<sup>[8-9]</sup>。通过对粉质黏土层进行的 N63.5 重型动力触探原位测试,在 5.8 m 以上 N63.5 击数为 3~7 击/10cm,修正后平均击数  $f_m$  取 4.3 击/10cm,承载力标准值  $f_0$  取 180 kPa,变形模量标准值  $E_0$  取 12 MPa。

一般粉质黏土天然重度 16.5~17.2 kN/m<sup>3</sup>,饱和重度 16.9~18.1 kN/m<sup>3</sup>。根据 N63.5 动探试验成果,考虑到粉质黏土中夹有碎砾石,物理力学指标可稍偏大。结合滑体、滑床、滑带实际勘察岩土情况,粘聚力  $C$ 、内摩擦角  $\varphi$ 、承载力特征值  $f_{ak}$ 、摩擦系数  $\mu$  等取值见表 2。

表 2 滑床岩土物理力学指标分析表

粉质黏土层( $Q_4^{al}, Q_4^{pl}$ )		黏土岩层( $Q_{ix}$ )				粉砂岩( $K_{sa}$ )			
天然状态	饱和状态								
$C$	$\varphi$	$C$	$\varphi$	$E_s$	$\mu$	$C$	$f_{ak}$	$E_s$	$\mu$
17 kPa	10°-15°	15 kPa	8°-12°	15 MPa	0.4	60 kPa	200-300 KPa	30 MPa	0.45
									0
									350-500 KPa

#### 3.2 滑坡体岩土体物理力学参数取值

综合上述分析并结合当地已有工程经验,老鹰湾滑坡体岩土体物理力学参数取值如下:

(1) 滑坡滑体土天然重度 17 kN/m<sup>3</sup>,饱和重度 18 kN/m<sup>3</sup>。天然状态  $C$  取 17.0 kPa,  $\varphi$  取 15°;饱和状态  $C$  取 14.0 kPa,  $\varphi$  取 12°;(2) 滑坡滑面滑带抗剪强度天然状态  $C$  取 15.0 kPa,  $\varphi$  取 10°;饱和状态  $C$  取 12.0 kPa,  $\varphi$  取 8°;(3) 滑床的部分粉质黏土重度取 17.2 kN/m<sup>3</sup>,  $f_{ak}$  取 180 kPa,天然状态  $C$  取 17.0 kPa,  $\varphi$  取 15°;滑床的部分粉砂岩重度取 22.5 kN/m<sup>3</sup>,  $f_{ak}$  取 550 kPa,  $\mu$  取 0.45。

### 4 滑坡稳定性计算

#### 4.1 计算方法

对不利典型剖面进行滑坡体稳定性计算和分析。沿横断面取 1 m 宽土条为计算基本断面,不计两侧摩阻力;滑坡每一分条假定为整体滑动;滑坡推力的作用方向平行于(潜在)滑动面。采用理正岩土软件进行边坡稳定计算,指定滑坡滑面呈折线形,采用简化 Janbu 法计算滑坡稳定性系数<sup>[5]</sup>。

$$K = \frac{\sum (Cb + (W + \Delta H) \tan \varphi) \frac{1}{m_\theta}}{\sum (W + \Delta H) \sin \theta} \quad (1)$$

$$\Delta H = (H_{i+1} - H_i) \quad (2)$$

$$\Delta P = (P_{i+1} - P_i) \quad (3)$$

$$m_\theta = \cos \theta + \frac{1 + \tan \theta \tan \varphi}{K \sec^2 \theta} \quad (4)$$

式中: $K$ 为整个滑体剩余下滑力计算的安全系数; $b$ 为单个土条的宽度, $m$ ;  $W$ 为条块重力, kN;  $\theta$ 为条块底面切向与重力线之间的夹角,度;  $H_i, H_{i+1}$ 为作用条块两侧面竖向力, kN;  $P_i, P_{i+1}$ 为作用条块两侧面水平方向力, kN;其他参数同前。

#### 4.2 计算工况

滑坡前缘为陡坡,剪出口其周边均无大河流通过,降雨使滑体滑带饱水是影响滑坡稳定性的主要因素。因此计算时不考虑河流冲刷及动水压力的作用,重点考虑持续降雨及滑体饱水情况的影响,确定天然工况(自重+荷载+天然状态地下水,规范安全系数取 1.25)、暴雨工况(自重+荷载+暴雨状态地下水,规范安全系数取 1.05)2 种计算工况。

#### 4.3 计算剖面选取

根据场地实际和勘察结果,选取最不利的 1-1 和 2-2 剖面进行稳定性计算,见图 1 和图 2。

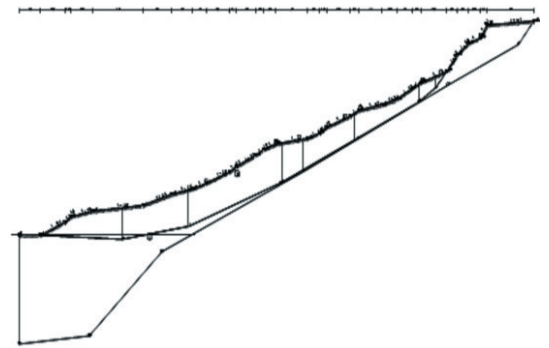


图 1 1-1 剖面实际滑面稳定性计算图

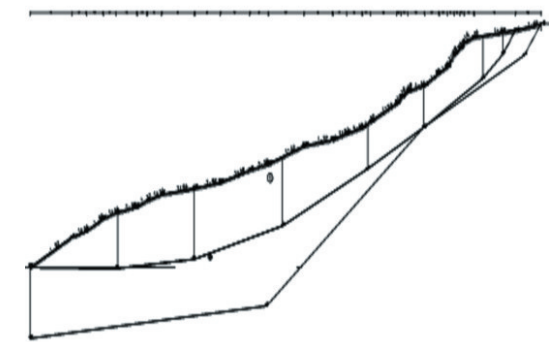


图 2 2-2 剖面滑面稳定性计算图

#### 4.4 滑坡稳定计算结果

计算结果见表 3。

对于最不利剖面 2-2 上部填挖削坡工况下(图 3),稳定计算表明天然滑坡稳定系数为 1.221,仍处于极限稳定状态;暴雨工况下滑坡稳定系数为 0.959,处于不稳定状态。

表3 滑面稳定性计算结果表

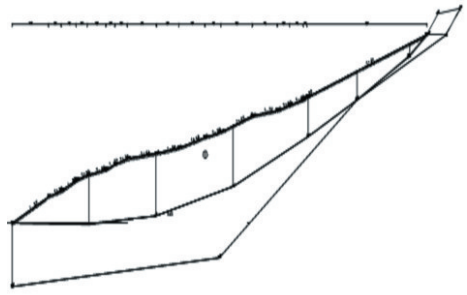
计算剖面	计算工况	滑坡稳定性系数	稳定性
1-1'剖面	天然	1.216	极限稳定
	暴雨	0.946	不稳定
2-2'剖面	天然	1.080	极限稳定
	暴雨	0.842	不稳定

### 5 结语

(1)老鹰湾滑坡属于牵引式滑坡,地形地貌、地下水的活动、暴雨等是影响老鹰湾滑坡体稳定性的最主要的因素。

(2)滑体在天然工况下处于极限稳定状态,在暴雨工况下处于不稳定状态,易沿滑面产生滑动现象,建议采取必要防治。

图3 2-2剖面削坡后滑面稳定性计算图



(3)由于滑坡体前缘堆积层后,拦挡措施工程巨大,建议迁出滑坡体上住户,同时加强对滑坡的监测预警。

### 参考文献:

- [1] DZ/T 0218-2006,滑坡防治工程勘查规范[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [2] GB/T 32864-2016,滑坡防治工程勘查规范[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [3] GB50021-2001,岩土工程勘察规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [4] GB50026-2007,工程测量规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [5] GB50330-2013,建筑边坡工程技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [6] JGJ/T87-2012,建筑工程地质勘探与取样技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [7] AQ2004-2005,地质勘探安全规程[S].北京:中国地质出版社,2005.
- [8] SL237-1999,土工试验规程[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [9] GBT 50123-1999,土工试验方法标准[S].北京:中国建筑工业出版社,1999.

(责任编辑:曲继鹏)