

# 滑坡工程的稳定性评价与灾害治理

杨魁<sup>1</sup>, 杜清坤<sup>2</sup>, 刘忠义<sup>2</sup>, 张锐<sup>2</sup>

(1. 云南省普洱市思茅区建设工程质量监督站, 云南 普洱 665000; 2. 云南国土建设工程总公司, 云南 昆明 650041)

**摘要:** 主要阐述某场地设施设备受临边滑坡的威胁, 对该滑坡进行勘察, 稳定性验算, 滑坡形成原因分析, 综合评价, 提出治理方案。

**关键词:** 滑坡; 稳定性验算; 评价; 治理措施; 预应力锚索

**中图分类号:** P642.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)01-0073-03

**Evaluation on Stability of Landsliding Treatment and Hazard Control/YANG Kui<sup>1</sup>, DU Qing-kun<sup>2</sup>, LIU Zhong-yi<sup>2</sup>, ZHANG Rui<sup>2</sup>** (1. Simao Construction Project Quality Analyzer & Supervision Station, Puer Yunnan 665000, China; 2. Yunnan Land Construction Engineering Co., Ltd., Kunming Yunnan 650041, China)

**Abstract:** The paper mainly described the potential threat on field facilities from nearby landsliding. Landsliding investigation and checking calculation for stability were made, and landsliding forming reasons was analyzed treatment measures put forward.

**Key words:** landsliding; checking calculation for stability; evaluation; treatment measure; pre-stressed anchor cable

## 1 工程概况

某场地设施设备受临边滑坡的威胁, 该边坡长约 100 m, 高 13~18 m, 距场地设施设备约 6 m, 原砌筑有一高 5.5 m 的护坡挡墙, 坡面土工格栅简单支护。治理前护坡挡墙和土工格栅已发生变形破坏, 护坡挡墙东端 4-4' 剖面地段有一段长约 20 m 的挡墙已垮塌; 下水沟已开裂变形(裂缝 1, 用 LF1 表示, 下同), LF1 沿护坡挡墙下水沟延伸, 长约 60 m, 宽 0.2~3 cm, 两侧高差 2~12 cm; 土工格栅上可见多条裂缝, 其中 LF2 长约 90 m, 宽 0.1~30 cm, 裂缝两侧高差在剖面 4-4' 塌滑位置最大, 达 3.4 m, 其余地段为 0.1~0.8 m, 此裂缝即为滑坡后壁; LF3、LF4 为 LF2 的分支, LF3 长约 15 m, 宽约 0.1~3 cm, LF4 长约 30 m, 宽约 0.1~3.5 cm, LF3、LF4 与 LF2 呈树枝状交叉; 土工格栅在剖面 2-2' 至剖面 3-3' 之间已向下凹陷, 凹陷处呈椭圆形。在场地中部剖面 2-2' 至剖面 4-4', 离护坡挡墙 1.5~2.0 m 有大块隆起地段, 隆起地段长约 15 m, 宽 1.5~2.0 m, 高 5~15 cm。另外, 在护坡挡墙及土工格栅上可见许多细小裂缝, 且在已破坏护坡挡墙部分的两边挡墙有一定隆起, 隆起高度 0.3~1.0 m, 在剖面 2-2' 及剖面 5-5' 处, 护坡挡墙下避雷针均已向场地方向发生倾斜。其中, 剖面 2-2' 处避雷针已倾斜约

15°, 剖面 5-5' 处避雷针已倾斜约 5°。已经直接威胁到设施设备及人员的安全, 必须立即治理。

## 2 工程地质条件

通过对该边坡进行工程地质勘察, 主要地层为人工填土、粉质粘土、强风化粉砂岩互层、中等风化粉砂岩互层、强风化泥灰岩、中等风化泥灰岩。受区域构造、风化剥蚀影响, 岩体较破碎, 风化岩体节理裂隙极发育。

## 3 滑坡形成机制分析

### 3.1 地形条件

该处原始地貌为一斜坡地带, 坡度 36°~55°, 较陡, 存在边坡失稳的地形因素。边坡下部挡墙难以抵挡边坡上部因集中降水而激增的土体压力。

### 3.2 地层结构

滑坡地层主要呈土状, 厚度较大, 渗透性好, 渗水后引起强风化岩体强度降低, 加上雨季暴雨沿风化裂隙入渗形成通道, 渗水后强度降低, 既增加了滑坡体的载荷, 又给滑坡创造了条件, 这是滑坡形成的内在因素。

### 3.3 下伏基岩作用

测区岩层多为顺坡及小角度斜交, 节理裂隙发

收稿日期: 2008-12-04

**作者简介:** 杨魁(1966-), 男(汉族), 云南普洱人, 云南省普洱市思茅区建设工程质量监督站工程师, 土木工程管理专业, 从事岩土工程和建筑工程管理、质量监督及检测工作, 云南省普洱市思茅区新兴街 19 号; 杜清坤(1972-), 男(汉族), 云南镇雄人, 云南国土建设工程总公司高级工程师, 地球化学专业, 从事岩土工程施工管理工作, 云南省昆明市董家湾路 172 号; 刘忠义(1974-), 男(汉族), 云南永胜人, 云南国土建设工程总公司工程师, 岩土工程专业, 从事岩土工程施工管理工作; 张锐(1987-), 男(汉族), 云南永胜人, 云南国土建设工程总公司技术员, 钻探专业, 从事岩土工程施工管理工作。

育,岩体较为破碎,结构呈碎裂~碎裂镶嵌块体结构,岩体组合不利于边坡稳定。全顺坡结构容易引起内部强风化岩层的顺层滑动及地下水渗流浸润作用,这也是滑坡形成的内在因素之一。

### 3.4 地下水条件

护坡挡墙未破坏前,受强风化岩层节理面发育等因素控制,内部富集了大量地下水,顺坡向具较大的水力坡度,地下水对护坡挡墙的水压力逐渐增大,并沿竖向节理和岩层面下渗,且沿岩层面及层间裂隙顺层,顺坡向渗流,长期渗流导致岩土体强度降低,造成护坡挡墙基础持力层的强度降低,同时也加大了原有边坡土体的重力,这是引起边坡变形最终导致滑坡的主要外部因素。

## 4 稳定计算分析

### 4.1 计算指标

勘察揭露滑坡周界清晰,滑动面位于强风化基岩内,针对滑坡布置5条剖面,据此进行滑坡的稳定性验算。

根据原状土试样室内浸水快剪、浸固快、多次剪切试验成果,确定各滑动面的验算强度指标(见表1)。计算时未考虑现有护坡挡墙的支挡作用。

表1 滑坡验算参数取值表

| 层号 | 岩土名称     | 天然重度 $\gamma$<br>/( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | 粘聚力 $c$<br>/kPa | 内摩擦角 $\varphi$<br>/( $^\circ$ ) |
|----|----------|---|-----------------|---------------------------------|
| ①  | 人工填土     | 17.0  | 8.0             | 3.0                             |
| ②  | 粉质粘土     | 19.5  | 12.0            | 4.0                             |
| ③  | 强风化砂泥岩互层 | 21.0  | 17.0            | 5.0                             |
| ④  | 强风化泥灰岩   | 21.0  | 25.0            | 15.0                            |

### 4.2 稳定性分析验算

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002),圆弧滑动法稳定按下式计算:

$$K_s = \sum R_i / \sum T_i$$

$$N_i = (G_i + G_{bi}) \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i)$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i)$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i$$

式中: $K_s$ ——边坡稳定系数; $c_i$ ——第*i*计算条块滑动面上岩土体的粘结强度标准值,kPa; $\varphi_i$ ——第*i*计算条块滑动面上岩土体的内摩擦角标准值,( $^\circ$ ); $l_i$ ——第*i*计算条块滑动面长度,m; $\theta_i$ 、 $\alpha_i$ ——第*i*计算条块滑动面底面倾角和地下水位面倾角,( $^\circ$ ); $G_i$ ——第*i*计算条块滑动面单位宽度岩土体自重,kN/m; $G_{bi}$ ——第*i*计算条块滑体地表建筑物的单位宽度自重,kN/m; $P_{wi}$ ——第*i*计算条块单位宽度的

动水压力,kN/m; $N_i$ ——第*i*计算条块滑体在滑动面法线上的反力,kN/m; $T_i$ ——第*i*计算条块滑体在滑动面切线上的反力,kN/m; $R_i$ ——第*i*计算条块滑动面上的抗滑力,kN/m。

各剖面验算结果见表2。

表2 滑坡稳定性系数验算结果表

| 验算剖面编号 | 潜在滑动面编号 | 计算方法 | 稳定性系数 $K_s$ |
|--------|---------|------|-------------|
| 1-1'   | a       | 圆弧法  | 0.97        |
| 2-2'   | a       | 圆弧法  | 0.87        |
| 3-3'   | a       | 圆弧法  | 1.06        |
| 4-4'   | a       | 圆弧法  | 1.04        |
| 5-5'   | a       | 圆弧法  | 0.98        |
| 4-4'   | h       | 圆弧法  | 0.99        |

表3 滑坡稳定性评价表

| 剖面编号 | 计算方法 | 潜在滑动面<br>主要地层 | 稳定性评价 |        |
|------|------|---------------|-------|--------|
|      |      |               | 稳定系数  | 评价     |
| 1-1' | 圆弧法  | ①②③④          | 0.97  | 极限平衡状态 |
| 2-2' | 圆弧法  | ①②③④          | 0.87  | 失稳状态   |
| 3-3' | 圆弧法  | ①②③           | 1.06  | 极限平衡状态 |
| 4-4' | 圆弧法  | ①②③④          | 1.04  | 极限平衡状态 |
| 5-5' | 圆弧法  | ①②③           | 0.98  | 极限平衡状态 |

### 4.3 滑坡稳定性评价

经过验算,场地护坡挡墙稳定系数为0.87~1.06,表明滑坡处于失稳及极限平衡状态。结合滑坡现状条件下的变形破坏情况,在雨季地表水等因素的诱导下,滑坡将有向后缘、深部发展的可能,因此对该滑坡必须进行治理,确保人员和设施设备的安全。

根据以上分析验算结果,在治理方案设计时根据相应的工程状态对滑坡稳定性及剩余下滑力进行验算,安全系数为1.30。

抗剪强度指标为: $c=25$  kPa, $\varphi=6.9^\circ$ 。

对于潜在滑动面,采用抗剪强度指标为: $c=27.5$  kPa, $\varphi=7.6^\circ$ 。

稳定安全系数  $K=1.3$  时,抗震设防烈度为7,计算需支挡的推力为600 kN/m(计算过程略)。

## 5 治理方案比选

对边(滑)坡的治理目前有多种成熟的方法,采用较多的是抗滑挡墙、抗滑桩、预应力锚索等。确定该滑坡治理方案时,对上述3种措施均根据计算结果结合现场实际情况进行综合分析比较。

### 5.1 抗滑挡墙

施工工艺为“从上至下”的流程,在已滑动的坡体上大开挖,开挖过程中可能引发新的滑动,即该方案实际上难于实施。另外,抗滑挡墙的工作原理是

靠自身重力来阻挡需要支挡的坡体下滑力,当需要支挡的推力较大时(600 kN/m),所需抗滑挡墙体量很大,占用场地较大,所以,该工程抗滑挡墙不合适。

## 5.2 抗滑桩与预应力锚索

从工作原理上分析,抗滑桩须在施工完毕后待滑体变形时才受力工作,是被动受力;相反,预应力锚索是主动受力,施工时,只要预应力施加在坡体上,就能控制坡体变形,避免由于边坡的变形而使坡体强度下降。

施工难度方面:该边坡主要地层为岩层,抗滑桩成桩较困难,且必须放炮将岩石震碎才能施工,放炮的同时产生的震动对滑坡危害很大,这样对坡体自然状态下的稳定将会产生较大影响;锚索采用潜孔锤成孔,逆作法施工,对坡体的稳定不会产生影响,在该场地十分适用。

施工工期及安全方面:由于需支挡的下滑力较大,抗滑桩方案工程量较大,从施工安全考虑,不可能全面同时开挖,所以施工工期较长;锚索采取从上往下逐排施工,施工下排时对上排张拉锁定,还可以同时作业,所以施工工期较短。

工程量及造价方面:经初步计算,抗滑桩方案费用比预应力锚索方案费用多约30%。

综合以上分析比较,从工作原理到场地施工条件,预应力锚索方案技术可行,施工安全,占地面积小,工程量小,工期短,施工难度小,外形尺寸易控制,经济投入产出比高,因此采用方案。

## 6 预应力锚索原理

在边(滑)坡治理中预应力锚索是一种适应性较广、工艺较为先进的技术。对于类似本工程的岩质高边坡,该项技术非常适用。

锚索的工作原理是:锚索穿过坡体进入潜在滑面以下的岩(土)体内,锚索在滑面以下的岩(土)体内的部分通过水泥等粘结材料与其周边的岩(土)体粘结在一起。所以,该部分岩(土)体强度越高,其与粘结材料的粘结力就越高,所以锚固段长度就可以越短。在地面处对锚索施加预应力,粘结力的存在使锚索被拉紧,预应力靠锚具作用在锚垫板的压力建立。该压力使锚垫板紧紧压在坡体上,使坡体不会变形。因此,锚索的工作原理是使坡体主动受力,一旦施工完毕,该边坡的稳定性大大提高。

## 7 滑坡治理

对场地北面护坡挡墙已破坏部分:先拆除,然后

采用预应力锚索挡墙结构治理滑坡。

预应力锚索挡墙由锚索、肋柱和挡板(锚垫板)3部分组成。滑坡推力作用在挡板上,由挡板将滑坡推力传于肋柱,再由肋柱传至预应力锚索上,最后通过预应力锚索传到滑动面以下的稳定地层中,靠预应力锚索的锚固力来维持整个结构的稳定,构成本支护结构的主体,又能防止雨水对坡体的冲刷。

预应力锚索进入稳定地层中等风化砂泥岩或中等风化泥灰岩以下适当深度,满足抗滑移、抗倾覆要求。

绑扎锚垫板钢筋前设置了厚100 mm的C10素混凝土垫层。锚垫板每隔15 m左右设一道伸缩缝,缝宽30 mm,沥青麻丝填充。锚垫板中下部设置泻水孔,间距1.5 m,成排布置,最下一排靠近地面,便于变坡内积水的疏导,泻水孔位置用级配碎石做反滤层,确保了泄水孔通畅,减少地下水对边坡稳定性的不利影响。

在滑塌部位采用C25混凝土充填。对治理后的坡面采用粘土夯实封闭裂缝,坡面及坡体上方地表采用1:2水泥砂浆混凝土封闭。

坡体上设置截洪沟(位置与现有截水沟重合的地方对现有截水沟维护通畅),对坡顶的降水进行拦截和疏排。挡墙脚处的排水沟在支挡结构完成后修复,且确保了治理坡面的流水有效排走。

滑坡治理工程施工期间,对滑坡进行变形监测,并及时进行滑坡活动的预报,根据变形监测结果并延续到施工结束后的一定时间。

## 8 治理效果

在施工中做到坡面基本保持在同一平面,支护后外观基本保持一致。锚索张拉在锚固体强度达到设计要求后进行,张拉分级进行,满足设计要求。截洪沟的施工利用了坡顶原有截洪沟,并将其接至坡面以外,利于支护体外的流水能从中外排,减少对支护坡面的冲刷和侵蚀。坡底排水沟按原来排水沟外移后原样修复,能保证坡面地表水经沟渠排走。本工程治理措施在2008年的雨季前已经施工完毕,现已通过雨季的考验,通过对边坡的监测表明目前边坡已处于稳定,可以确保安全。

## 参考文献:

- [1] 韩琨,等.青海红土山滑坡工程的治理方案选择[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(7).
- [2] GB 50330-2002,建筑边坡工程技术规范[S].
- [3] GB 50021-2001,岩土工程勘察规范[S].