

# 乌东德水电站近坝库段大村滑坡群稳定性分析

刘 帅<sup>1</sup>, 李会中<sup>2</sup>, 陈剑平<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 长江三峡勘测研究院有限公司, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**为研究乌东德水电站大村滑坡群的稳定性,运用自然历史分析法和工程地质类比法,讨论了滑坡的破坏机理,认为该滑坡群的形成和发展是地质构造、地形、鲮鱼河下蚀和暴雨等综合作用的结果。运用极限平衡理论中的传递系数法,对其中一典型滑坡在天然状态和暴雨状态 2 种工况下的稳定性进行了综合分析和评价。结果表明,天然状态下滑体稳定性较好;暴雨状态下滑体处于极限平衡状态。针对该滑坡的实际情况,提出了在滑坡内开展变形监测工作的建议措施。

**关 键 词:**大村滑坡群;滑坡特征;形成机制;传递系数法;稳定性分析;乌东德水电站

**中图法分类号:** P642

**文献标志码:** A

**DOI:**10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.S1.038

乌东德水电站是金沙江下游河段 4 个水电梯级——乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝中的最上游梯级,坝址所处河段左岸隶属四川省凉山州会东县,右岸隶属云南省昆明市禄劝县。

乌东德水电站以发电为主,是西电东送骨干电源点之一;兼顾防洪、航运、拦沙等综合利用效益。该水电站正常蓄水位 950 m,干流水库长度 162.5 km,总库容 46.18 亿 m<sup>3</sup>,电站装机容量 7 400 MW,最大坝高约 240 m,由混凝土双曲拱坝、泄洪建筑物、引水发电系统等建筑物组成,为一等大(一)型工程<sup>[1-2]</sup>。

大村滑坡群位于鲮鱼河右岸,距河门口坝址约 6.3 km、距乌东德坝址 13 km,是一经多期次变形、解体而形成的巨型古基岩顺层滑坡。滑坡群由 4 个次级滑体组成,滑体主要由土、碎石土、块石土组成。;其主要的次级滑体有崖脚—转塘沟崩滑堆积体、大村滑坡、上新田滑坡、下新田滑坡等。

滑坡区隶属四川省会东县可河乡,涉及可河乡治所及其 4 个村民小组,共计一千余人;交通闭塞,仅有乡村路通往会东县城;经济不发达。因此,研究大村滑坡群的稳定性对于保证可河乡治所及附近村民的安全具有重要意义。

## 1 滑坡区工程地质概况

### 1.1 地层岩性

滑坡区发育和出露的地层由老至新依次有:① 侏罗系下统益门组、中统新村组、上统牛滚函组(J<sub>3n</sub>)、官沟组(J<sub>3g</sub>);② 白垩系下统马头山组(K<sub>1m</sub>)、上统江底河组(K<sub>2j</sub>);③ 第四系堆积层。基岩岩性以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、泥岩、砂岩为主(图 1)。各地层岩性特征现简述如下。

#### 1.1.1 侏罗系

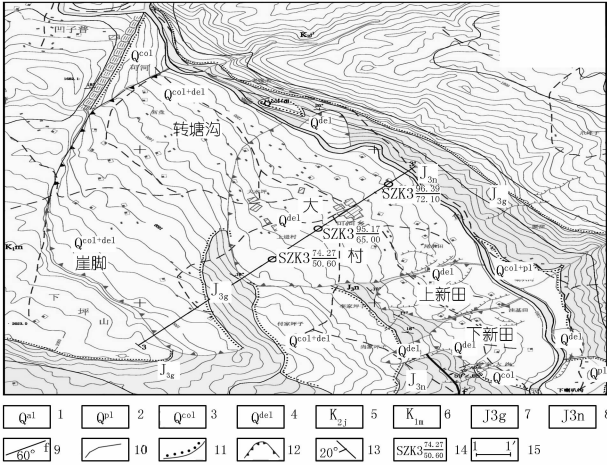
(1) 下统益门组(J<sub>1y</sub>)。紫红色薄—中厚层状泥岩夹杂色薄层状粉砂岩,厚约 85 m。下伏白果湾组呈平行不整合接触。分布于小村至河口间鲮鱼河两岸岸坡脚。

(2) 中统新村组(J<sub>2x</sub>)。灰紫色、灰绿色钙质泥岩、粘土岩、页岩夹暗紫色长石石英砂岩,厚约 350 m,与下伏益门组呈整合接触。分布于道坡至河口间鲮鱼河两岸岸坡下部。

(3) 上统牛滚函组(J<sub>3n</sub>)。鲜红色、紫红色泥岩、泥质粉砂岩及粉砂质泥岩,底部为长石石英砂岩及粉砂岩。分布于鲮鱼河右岸大村—道坡间的岸坡中上

部,及左岸坡脚,厚度 402 m,该地层在滑坡区分布最广,是鲮鱼河右岸滑坡群发育主要物质基础。

(4) 上统官沟组( $J_3g$ )。上部为暗紫红色、紫红色泥岩与钙质泥岩不等厚互层;下部为紫红色泥岩夹少量粉砂岩。分布于鲮鱼河右岸大村—道坡间的岸坡上部,及左岸中部,厚度 115 m,是大村滑坡发育的物质基础之一。



注:1. 冲积; 2. 洪积; 3. 崩塌堆积; 4. 滑坡堆积; 5. 江底河组一段(泥岩夹粉砂岩及泥灰岩); 6. 马头山组(砾岩、砂岩、泥岩互层); 7. 官沟组(泥岩夹砂岩及泥灰岩); 8. 牛滚凼组(泥岩夹少量砂岩); 9. 断层; 10. 地层界线; 11. 不整合地层界线; 12. 滑坡体界线; 13. 岩层产状; 14. 钻孔编号,上为钻孔深度、下为覆盖层厚度; 15. 剖面线及编号

图 1 大村滑坡群工程地质示意

1.1.2 白垩系

(1) 下统马头山组。上部为紫红色厚层长石石英砂岩夹砂泥岩、页岩;中、下部为暗紫红色厚层砂岩夹紫红色泥岩。出露在崖脚上方陡崖以及标水岩一带,形成左岸坡顶陡崖。厚度 153 m。

(2) 上统江底河组( $K_2j$ )。紫红色、灰绿色、黄绿色粉砂质泥岩、页岩与泥质粉砂岩互层,夹中—厚层长石石英砂岩,底部有砾岩或砂岩。分布于标水岩上方——凹子普一带,及左岸岸坡上部。厚度 628 m。

1.1.3 第四系

第四系堆积体广泛分布于右岸以及左岸临河地段,按照成因可分为滑坡堆积( $Q^{del}$ )、崩塌堆积( $Q^{col}$ )、崩坡积( $Q^{col+dl}$ )、河流冲积( $Q^{al}$ )、洪积( $Q^{pl}$ )。

1.2 地质构造及地形地貌

大村滑坡地处鲮鱼河向斜西南翼,单斜构造,顺向坡。岩层倾北东,倾角  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ,靠近轴部一带略有变缓。在大村滑坡下新田—大坪地之间,高程 1 200 ~ 1 250 m 间发育一条断层。断层走向  $SE150^{\circ}$ ,倾北东或倾南东,倾角  $60^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 。受断层影响,两侧岩层产

状变化明显。区内主要发育 2 组陡倾角裂隙,在滑体西侧缘陡崖测得:第 1 组走向  $130^{\circ} \sim 140^{\circ}$ ,裂隙间距 2 ~ 5 m,顺坡向;第 2 组走向  $190^{\circ} \sim 200^{\circ}$ 。倾角均大于  $80^{\circ}$ ,陡崖呈大角度相交。受两组裂隙组合切割,陡崖边缘多处形成块体。

大村滑坡位于鲮鱼河右岸,鲮鱼河呈向东凸出的圆弧状自北往南流经本区。在大坪地以上,流向约  $130^{\circ} \sim 140^{\circ}$ ;大坪地以下,流向约  $205^{\circ} \sim 210^{\circ}$ 。河谷呈不对称的“V”字形,河床宽度 50 ~ 80 m,坡降较大,两侧冲沟发育。鲮鱼河两侧岸坡地形差异较大,左岸以基岩为主,为典型的逆向坡,地形较陡,坡度约  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ;右岸基本为第四系滑坡堆积体岸坡,地形平缓,地表平均坡度约为  $15^{\circ}$  左右。

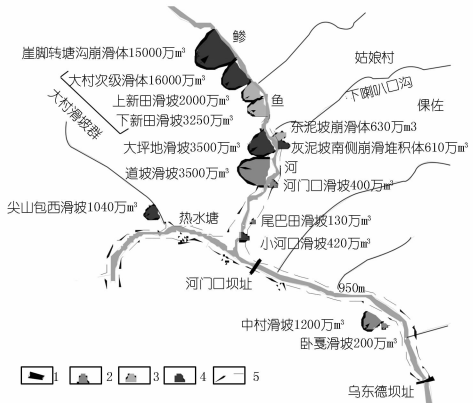
1.3 水文地质

滑坡区区内地下水主要属潜水。按照其赋存环境,可分为孔隙水、孔隙—裂隙水两大类型。孔隙水不同地段差异较大,总体而言含水量不丰,无统一地下水位,随季节变化大。孔隙—裂隙水不同部位埋深差别较大,总体而言含水量不丰,但水量、水位相对稳定。受区内地形条件限制,地下水主要接受大气降水以及中后部水渠的渗漏补给,少量接受来自崖脚—凹子普西北侧山体中的孔隙—裂隙水补给。

2 滑坡形成条件及机制分析

2.1 滑坡群工程地质特征

大村滑坡群主要的次级滑体有崖脚—转塘沟崩滑堆积体、大村滑坡、上新田滑坡、下新田滑坡等(图 2)。



注:1. 坝址位置及名称; 2. 稳定滑坡体; 3. 基本稳定滑坡体; 4. 稳定性差或稳定性较差滑坡体; 5. 库水位线。

图 2 鲮鱼河大村滑坡群分布示意

滑坡群前缘沿鲮鱼河右岸展布,高程 950 ~ 1 240 m;后缘至下坪山崖脚陡崖之下,高程 1 850 ~ 1 890 m;西北侧缘位于彪水岩陡崖下;南侧缘至新田姚家大沟,

宽 2 100 ~ 5 000 m、纵向长 3 000 m,分布区域总面积约 11 km<sup>2</sup>。坡面陡缓相间,有 4 ~ 6 级平台分布,较缓处 10° ~ 15°,稍陡处达 22° ~ 25°,滑体中后部陡坡处基岩出露坡。滑体主要由土、碎石土、块石土组成,厚 10 ~ 40 m,中前部最大厚度可达 60 ~ 80 m,总体积约 3.625 亿 m<sup>3</sup>。

2.2 滑坡形成条件

大村滑坡形成条件主要有地质构造、地形、鲮鱼河下蚀、暴雨等。

(1) 地质构造。古滑坡发育于鲮鱼河向斜西翼,岩层倾东北、倾角 15° ~ 30°,顺向坡;受构造影响岩体中 NE 组长大裂隙发育,南侧姚家大沟一带次级褶曲发育,后缘下坪山东南山脊位于次级背斜轴部岩体顺山脊拉裂,形成古滑坡侧、后缘切割边界。基岩为白垩系马头山组(K<sub>1</sub>m)砂岩、侏罗系官沟组(J<sub>3</sub>g)、牛滚凼组(J<sub>3</sub>n)泥岩夹粉砂岩,上硬下软的岩层结构不利岸坡稳定。

(2) 地形和鲮鱼河下蚀。鲮鱼河持续、快速下蚀,形成右岸顺向坡切脚,地形坡度逐渐变大,导致古鲮鱼河右岸岸坡的稳定条件不断恶化,为古滑坡滑移提供临空面。

(3) 暴雨。暴雨条件下,地表水流通过侧、后缘裂缝入渗后顺层面向鲮鱼河运移,由于侏罗系地层中泥岩、泥质粉砂岩等岩性软弱、遇水易软化,导致古斜坡抗滑力降低,岸坡稳定性下降。

2.3 滑坡形成机制

其形成机制可概括为:古基岩斜坡北西侧裂隙切割和南侧背斜轴部的拉裂破坏形成侧、后缘边界,前缘受鲮鱼河冲刷切脚,岸坡稳定性持续下降,在暴雨等因素作用下,最终导致古斜坡岩体顺层面向鲮鱼河产生大规模顺层滑移。在古滑坡形成后,由于鲮鱼河对前缘的持续冲刷深切,导致滑坡体不断变形、解体,最终形成了沿鲮鱼河右岸分布、稳定条件相对独立、有各自变形特征且相互间变形无直接影响的数个次级滑体。

3 滑坡体稳定性分析

3.1 稳定性计算

受工作阶段、工作量限制,本文仅对滑坡群的主要次级滑体——大村滑坡体进行滑坡体稳定性计算与分析。

3.1.1 计算方法及模型

在计算该滑坡稳定性时,采用极限平衡理论中的传递系数法,对大村次级滑坡整体进行稳定性计

算<sup>[3-4]</sup>。计算时,首先在滑动主轴方向的地质纵断面上,按照岩土性质以及滑动面的产状,将滑动土体划分为  $n$  个垂直条块,然后取单位宽度滑动土体的任一条块分离体作极限平衡状态下的静力分析,作用在第  $i$  个条块上的基本力系如图 3 所示。

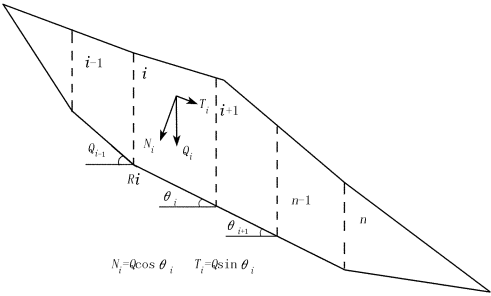


图 3 传递系数法计算简图

其计算公式如下

$$F_s = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{j=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + T_n} \tag{1}$$

$$\psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1} \tag{2}$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i L_i \tag{3}$$

式(1) ~ (3)中,  $F_s$  为稳定系数;  $\theta_i$  为第  $i$  块段滑动面与水平面夹角, (°);  $R_i$  为作用于第  $i$  块段的抗滑力, kN/m;  $N_i$  为第  $i$  块段滑动面的法向分力, kN/m;  $\varphi_i$  为第  $i$  块段滑带土的内摩擦角, (°);  $c_i$  为第  $i$  块段滑带土的凝聚力, kPa;  $L_i$  为第  $i$  块段滑带土的滑面长度, m;  $T_i$  为作用于第  $i$  块段滑动面上的滑动分力, kN/m; 出现与滑动面方向相反的滑动分力时,  $T_i$  应取负值;  $Q_i$  为第  $i$  块段滑体所受的重力, kN/m;  $\psi_i$  为第  $i$  块段的剩余下滑动力传递至第  $i + 1$  块段时的传递系数 ( $j = i$ )。由式(2)、(3)可求得

$$E_i = \psi_{i-1} E_{i-1} + F_{st} \cdot T_i - R_i \tag{4}$$

式中,  $E_i$ 、 $E_{i-1}$  分别为第  $i$  条块、第  $i - 1$  条块的剩余下滑力, kN/m;  $F_{st}$  为滑坡稳定安全系数。

3.1.2 岩土体物理力学参数

根据室内实验结果和工程类比资料,选取物理力学参数<sup>[5-6]</sup> (表 1), 取天然状态及暴雨状态两种工况<sup>[6-8]</sup>, 运用传递系数法进行计算。

表 1 大村滑坡稳定性计算参数选用值

滑体容重/(t · m <sup>-3</sup> )		c' 建议值/kPa		φ 建议值/(°)	
天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
2.22	2.32	25	22	12	10

3.2 稳定性分析

据滑带土物理力学性质试验资料并类比相关工程经验,可得两种工况下的1-1'剖面计算结果。取大村滑坡天然状态下滑带土凝聚力 $c'$ 为25 kPa,内摩擦角 $\varphi$ 为12;饱和条件下 $c'$ 为22 kPa, $\varphi$ 为10。采用传递系数法计算,大村滑体在天然状态下整体稳定系数约为1.248;在久雨滑体饱水条件下稳定系数约为1.036。计算结果表明,在天然状态下大村滑坡体整体稳定;在久雨饱水条件下滑坡体处于极限平衡状态。

4 结论

(1) 综合以上分析,大村滑坡群形成机制主要受控于以下4个因素:地质构造;地形;鲹鱼河下蚀;暴雨。以上因素的耦合作用形成了该滑坡群。

(2) 经研究论证取大村滑坡天然状态下滑带土 $c'$ 为25 kPa, $\Phi$ 为12,得大村滑体在天然状态下整体稳定系数为1.248,处于整体稳定状态;取大村滑坡饱和条件下 $c'$ 为22 kPa, $\Phi$ 为10,得大村滑坡在久雨滑体饱水条件下稳定系数约为1.036,处于极限平衡状态。稳定性计算结果与目前滑坡体变形现状较为吻合。

(3) 在暴雨工况时,滑坡的稳定性系数较低,约为1,处于极限平衡状态,稳定性较差,且有滑动危险,建议在滑坡内开展变形监测工作,防范突发性地质灾害。

参考文献:

[1] 王吉亮. 乌东德水电站右岸引水洞进口边坡稳定性研究[J]. 水利学报, 2012, 43(10): 1271-1278.

[2] 王吉亮. 乌东德水电站左岸拱肩槽边坡稳定性[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43(2): 528-536.

[3] 王章琼, 周春梅. 大冶铁矿东露天采场滑坡稳定性分析-以F25断裂滑脱带内滑坡群为例[J]. 工程地质学报, 2009, 17(6): 762-768.

[4] 许建聪, 尚岳全. 碎石土古滑坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(1): 57-65.

[5] 刘彤, 黄小宁, 苏天明, 等. 新疆下坂地水库Ⅷ号古滑坡稳定性分析预测[J]. 工程地质学报, 2005, 13(2): 200-205.

[6] 俞伯汀, 孙红月, 尚岳全, 等. 浙江下山滑坡特征及稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(S1): 2875-2881.

[7] 丁秀丽, 付敬, 张齐华. 三峡水库水位涨落条件下奉节南桥头滑坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 2913-2919.

[8] 崔芳鹏, 胡瑞林, 谭儒蛟, 等. 青海八大山滑坡群形成机制及稳定性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(4): 848-857.

(编辑: 陈紫薇)

(上接第111页)

3 结语

综上,将军滩滑坡为一顺层古滑坡,滑坡的演化可大致分为“滑移前的准备阶段→滑动阶段→滑移后的再改造阶段→滑移的准备阶段→…”的循环过程。在后期自然地质作用或人为因素影响下仍有可能启动,发生滑动。

参考文献:

[1] 汪华斌, 吴树仁, 汪稔. 长江三峡库区滑坡灾害危险性评价[J]. 长江流域资源与环境, 1998, 7(2): 186-191.

[2] 李晓, 张年学, 李守定, 等. 奉节白衣庵滑坡演化的工程地质与历史地质分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(12): 2416-2425.

[3] 计凤桔, 李建平, 刘明达. 滑带土TL测年初探[J]. 核技术, 1993,

16(4): 232-235.

[4] 朱焕春, 陶振宇, 黄德凡. 河谷走向与河谷地应力分布[J]. 岩石力学与工程学报, 1995, 14(1): 17-24.

[5] 李焯芬, 王可钧. 高平地应力对岩石工程的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, 15(1): 26-31.

[6] 邹成杰. 岩层剪切错动及其对地基边坡稳定的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(4): 312-319.

[7] 唐红梅, 陈洪凯, 祝晓寅, 等. 重庆库区新构造应力场及其对滑坡宏观活动规律的控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(3): 352-356.

[8] 刘传正. 长江上游川峡二江续接地段岸坡演变过程探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(1): 50-59.

[9] 刘传正. 长江三峡复杂斜坡成因问题[J]. 水文地质工程地质, 2005, (1): 1-6.

(编辑: 赵凤超)