

# 碓磛水库永寿寺边坡坍岸机理及防治措施

刘 晗, 胡 卸 文

(西南交通大学, 四川 成都 610031)

**摘 要:**永寿寺所在条形山脊两侧边坡坍岸表现为典型的牵引式,即岸坡前缘处先发生破坏,然后逐级牵引,向上扩展,潜在滑动面基本受强、弱风化带界限的控制。结合永寿寺岸坡结构及坍岸机理,提出了三种具有针对性的坍岸防治措施方案,通过方案比选,推荐“潜在坍滑部位格构锚索、已坍滑部位阶梯式锚杆挡土墙+格构锚索”的综合治理方案。

**关键词:**碓磛水库;库岸边坡;坍岸机理;坍岸防治

**中图分类号:** P343.3; U416.1+4; U418.5+5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-2184(2018)04-0185-04

## 0 引 言

水库坍岸是指库岸边坡在库水浸泡、风浪冲刷等其他外营力作用下,岸坡岩土体的物理力学性质和水理性质发生改变,破坏了岸坡原有的稳定平衡条件,岸坡发生逐渐坍滑,库岸线不断后移进行库岸再造的地质现象<sup>[1]</sup>。水库坍岸是水库运行期间一种常见的地质灾害,具有发生频次高,反复性强,持续时间长的特点,并且会对人类的生命财产安全和工程设施产生极大的危害<sup>[2-3]</sup>。

碓磛水库由东河主库及蚂蝗沟、咪日沟、泥巴沟、柳洛沟支库组成。永寿寺位于碓磛水电站库区右岸泥巴沟和咪日沟之间的条形山脊上,下游距碓磛大坝约 1.5 km,距宝兴县城约 58 km。由主寺庙、僧房和回廊等组成,占地面积约 4 000 m<sup>2</sup>,建筑物基础高程 2 158 ~ 2 167 m。从 2006 年底碓磛水库蓄水至今,在水库蓄水至正常蓄水位(2 140 m)及其后续降水过程中,靠泥巴沟和咪日沟侧正常蓄水位线附近浅表层局部出现明显变形并坍岸,严重影响场地安全。寺庙所在岩质边坡为何会发生坍岸?揭示其坍岸机理对类似边坡具有指导示范意义。

## 1 边坡工程地质条件

永寿寺所处条形山脊较单薄,山脊走向近东西向,长约 700 m,脊顶高程 2 155 ~ 2 163 m 不等,脊顶宽约 1 035 m,山脊与两侧沟床相对高差约 80 ~ 120 m。条形山脊两侧边坡地形陡峻,地表多覆盖 0.5 ~ 1 m 厚的坡残积砾石土,局部厚达 1 ~ 3 m,植被覆盖率高,局部陡坎部位基岩裸露。

其中,山脊北面(咪日沟)侧坡上陡下缓,地形自然坡度一般 25° ~ 45°;南面(泥巴沟)侧坡地形相对较陡,自然坡度一般 37° ~ 53°。

条形山脊由志留系(S)粉砂质千枚岩偶夹粉砂岩组成,薄层状结构,岩性软弱,受构造作用影响,岩层揉皱强烈,岩层产状 N30° ~ 70° E/NW ∠50° ~ 80°,与山脊大角度相交且倾向山内。根据勘探资料,条形山脊不但强风化深度较大,局部尚残留有厚约 0.5 ~ 1 m 的全风化层,强风化水平深度约 20 ~ 50 m,弱风化水平深度约 50 ~ 70 m;强卸荷水平深度约 10 ~ 16 m;弱卸荷水平深度一般 20 ~ 50 m,与强风化深度基本一致。受构造作用及风化卸荷强烈影响,浅部岩层松弛破碎,局部岩层倾倒变形显著<sup>[4]</sup>。

## 2 坍岸变形体基本特征及坍岸机理分析

### 2.1 坍岸体变形破坏特征

永寿寺坍岸变形体分别位于咪日沟侧和泥巴沟侧,如图 1 和图 2 所示。咪日沟侧坍岸变形体地貌上为陡坡,呈 EW 向展布,平面上呈长条状,前缘分布高程 2 066 m,后缘分布高程 2 162 m。水库蓄水后,局部已经发生坍滑。坍滑体主要发生在坡表的坡残积碎石土层和部分强风化基岩中,滑体顺坡长约 53 m,宽约 42 m,相对高差约 27 m,平均厚度 9 m,主滑方向 6°,坍滑规模约 1 万 m<sup>3</sup>,滑体后缘发育 37 m 长弧形拉裂缝,滑体边缘两侧剪切裂缝发育。

收稿日期:2018-06-10



图 1 昨日沟侧坍塌变形体全景图

泥巴沟侧坍塌岸体主要发育在 2 140 m 正常蓄水位附近的坡表坡残积碎石土和部分强风化基岩中,坍塌体顺坡长约 23 m,宽约 15 m,平均厚度 6 m,主滑方向 175°。岸坡后缘拉裂缝明显可见,预测潜在坍塌体前缘分布高程 2 122 m,后缘分布高程 2 155 m,相对高差约 33 m,最终坍塌规模 3 万 m<sup>3</sup>(见图 3,4)。

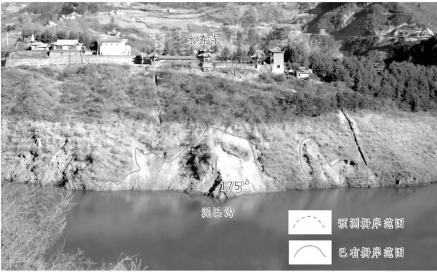


图 2 泥巴沟侧坍塌变形体全景图

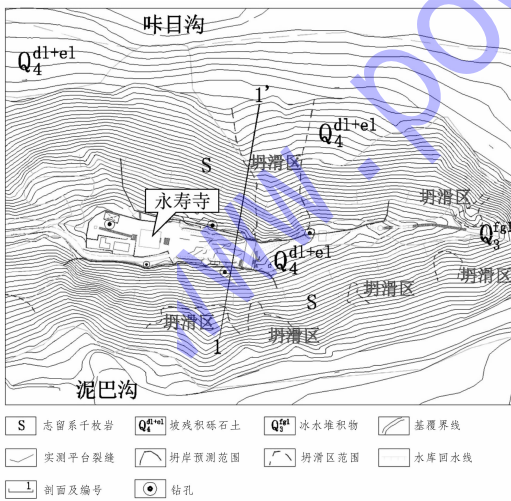


图 3 永寿寺部位工程地质平面图

## 2.2 坍塌影响因素分析

影响坍塌的因素可分为岸坡地质因素和外界诱发因素。岸坡地质因素包括地形地貌、地层岩性、地质构造、岩体风化程度等;外界诱发因素包

括库水位的升降、降水、地震、人类工程活动等。

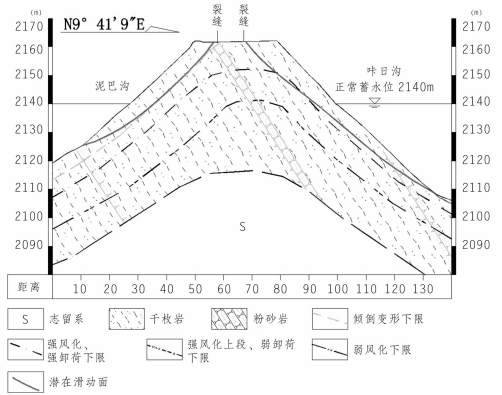


图 4 永寿寺坍塌边坡 1-1'剖面图

### 2.2.1 岸坡地质因素

#### (1) 地形地貌

条形山脊两侧边坡地形陡峻,山脊与两侧沟床相对高差约 80~120m。高陡的岸坡其稳定性相对较差,易发生坍塌。

#### (2) 地层岩性

边坡局部尚残留 0.5~1 m 厚的含砾石粉质黏土,部分颗粒较细,下伏千枚岩表部风化强烈,部分全风化岩体除了保持原岩结构外,但钻孔采取率极低、类似于坡残积碎石土,且渗透性较差,就是下伏的强风化基岩其完整性也差。库水位升降时,内外易形成较大的水头差产生动水压力,容易形成浅表层坍塌。这也是为何永寿寺岩质边坡也会发生较大规模坍塌的主要原因。

#### (3) 风化程度

岩体强风化深度较大,浅部岩层松弛破碎,强度低。在库水浸泡下,岩体不断软化,强度降低,易导致库岸边坡失稳破坏。

### 2.2.2 外界诱发因素

#### (1) 库水位升降

##### ① 库水位上升

当库水位上升和保持正常 2 140 m 蓄水位时,库水入渗,使坍塌变形体内的浸润线上升和保持高位。入渗的库水会降低岩体的强度,同时库水位的上升会对坍塌体前缘产生一定的浮托力,使抗滑力降低,形成坍塌。

##### ② 库水位下降

库水位下降过程中,在岸坡内外形成水头差,形成向外的渗透力,同时岩土体空隙中流动的水

会冲刷、软化岩土体,不利于岸坡的稳定性。

## (2)降雨

永寿寺坝岸变形体在雨季受持续降雨影响,不断下渗补给进入坝岸变形体,同时夏季的库水位保持在2 140 m,坡体内较高的地下水浸润线导致永寿寺坝岸体长时间受到水的浸泡,加速岸坡岩土体的软化,造成岸坡失稳。

## 2.3 坝岸机理

结合影响因素及坝岸体变形破坏特征分析认为,库水位在上升至2 140 m过程中,岸坡的浸润线的升高,使坡体的饱水面积增大,随着库水的浸泡,岩土体发生软化,物理力学性质降低,使坡脚处岩土体最先发生剪切破坏,同时库水位的上升对前缘岩土体产生了一定的浮托作用,致使前缘抗滑力降低,中后部坡体也产生了轻微的变形,此时岸坡处于缓慢蠕滑状态;当库水位下降时,岸坡内外因水头差形成的动水压力推动表层蠕滑,使岸坡后缘拉裂,同时由于水流的冲刷,裹挟部分坡脚岩土体,加剧了坡脚的破坏。坡脚的蠕滑变形为后部岩土体的变形提供了空间,后部岩土体由于失去了支撑,也开始产生滑动变形。总体表现为由下至上逐级破坏,失稳模式为典型的牵引式坝滑。

根据现场勘查及钻孔资料表明,滑体为强风化千枚岩,滑床为弱风化千枚岩,滑带和滑床分界线明显。从底层滑面形态判定潜在滑动面基本受强、弱风化带界限的控制。

## 3 边坡稳定性分析

采用极限平衡法进行稳定性计算分析,计算剖面选取具有代表性的1-1'剖面,通过对正常蓄水位逐渐降至不同水位条件下的坝岸滑坡稳定性计算结果显示,稳定性最差的是正常蓄水位2 140 m降至2 135 m,因此以最不利蓄水2 140 m降至2 135 m及2 140 m正常蓄水为基本控制条件,再考虑天然、暴雨、地震三种况,坝岸底滑面如前所述,即沿着千枚岩岩体内的强、弱风化界面坝滑。据室内试验结果,并结合反演分析结果及类似工程经验,确定滑体的物理力学参数天然状态下 $\gamma = 22.4 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 34 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 33^\circ$ ;饱和状态下 $\gamma = 22.9 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 27 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 28^\circ$ 。稳定性计算结果见表1和表2。以最不利蓄水作为治理工程设计,典型剖面的设计推力见表3。

表1 2 140 m降至2 135 m蓄水位稳定性计算结果表

计算剖面	2 140 m降至2 135 m蓄水位		
	天然情况	地震情况	暴雨情况
咋侧1-1'	1.006	0.973	0.948
泥侧1-1'	1.028	1.009	0.970

表2 2 140 m蓄水位稳定性计算结果表

计算剖面	2 140 m蓄水位		
	天然情况	地震情况	暴雨情况
咋侧1-1'	1.046	1.012	0.980
泥侧1-1'	1.067	1.048	1.013

表3 永寿寺两侧坝岸变形体拟设抗滑工程处剩余推力计算表

计算剖面	治理工程设计控制:2 140 m降至2 135 m		
	天然状态( $K=1.20$ ) 拟设抗滑工程处 /kN·m <sup>-1</sup>	设计推力 剪出口 /kN·m <sup>-1</sup>	建议治理 工程措施
咋侧1-1'	478.6	510.6	锚拉桩/ 锚索格构
泥侧1-1'	129.4	231.4	锚索格构

由计算结果可知,在最不利蓄水条件下,边坡在三种下的稳定性系数均小于1.05,处于欠稳定不稳定状态;在2140m正常蓄水位条件下,不同下的稳定性系数均有所提高,边坡处于基本稳定不稳定状态,表明永寿寺两侧坝岸变形体在水库现阶段运行状态下处于欠稳定不稳定状态,在库水作用下存在较大范围滑动的可能性。

## 4 坝岸防治措施建议

结合永寿寺边坡及其寺庙建筑物的布置、重要性,对于岸坡的治理主要达到以下三个目的:(1)减小岩土体的渗透性;(2)改善岩土体应对变形的能力;(3)提高岩土体的强度以及稳定性。

永寿寺坝岸体表现为典型的牵引式坝滑,因此在治理时主要考虑提高中后部岩土体的强度及稳定性。针对其坝岸形成特点,提出了以下三种治理方案:

### (1)方案一

咋日沟侧边坡:坝岸变形体部位“锚索抗滑桩”、已坝滑部位“抗滑桩板墙+路面硬化处理”;泥巴沟侧边坡:格构锚索;并对寺庙院坝地面进行平整恢复。

### (2)方案二

咋日沟侧边坡:坝岸变形体部位“格构锚索”、已坝滑部位“阶梯式锚杆挡土墙+格构锚

索”;泥巴沟侧边坡:格构锚索;并对寺庙院坝地面进行平整恢复。

### (3) 方案三

昨日沟侧边坡:坍塌变形体部位“格构锚索”、已坍塌部位“抗滑桩板墙+路面硬化处理”;泥巴沟侧边坡:格构锚索;并对寺庙院坝地面进行平整恢复。

通过考虑技术可靠性、经济合理性进行综合比选,推荐方案二。

方案二具体治理措施为:

(1)永寿寺昨日沟和泥巴沟侧潜在坍塌区均分别布置格构锚索框架,格构框架梁间距为 3 m × 3 m,横梁和竖肋的截面尺寸为 0.5 m × 0.6 m,每 34 个孔预留一伸缩缝(2 cm),伸缩缝用浸渍青木板充填。框架采用 C30 混凝土浇注,以 4 根肋柱为一片。昨日沟侧锚索采用 7 根  $\phi 15$  钢绞线,泥巴沟侧锚索采用 5 根  $\phi 15$  钢绞线,每根锚索长度为 20 m,锚固段长度为 8 m,共 386 束,锚索设计荷载 500 kN。

(2)昨日沟侧已坍塌区上部布置阶梯式抗滑挡土墙,挡墙总长 43 m,墙总高 9.5 m,基础埋深 2.0 m,墙顶宽 5.0 m,墙底设置 0.1:1 的反倾,墙体采用 C20 片石混凝土浇筑;设置三排  $\phi 100$  mm PVC 管泄水孔,孔距 2 m,坡度为外斜 5%;并布置 151 根  $\phi 22$  锚杆(锚杆长 9 m,间距 2 m,梅花形排布);已坍塌区下部布置格构锚索框架,每根锚索长度为 20 m,锚固段长度为 8 m,共 42 束。框架采用 C30 混凝土浇注,以 2 根肋柱为一片。

在寺庙已损毁院坝浇筑 10 cm、C30 混凝土对其进行平整恢复,方便行人通行。

## 5 结 语

受硤碛水库长期蓄放水影响,位于库区的永寿寺岩质边坡浅表层局部出现了明显的坍塌变形。通过现场勘察,对此类以全、强风化千枚岩为特点的岩质边坡分析其坍塌影响因素及坍塌机

理,发现永寿寺岩质边坡坍塌主要是由地形地貌、地层岩性、风化程度、库水位变化、降雨等因素造成的,并得出以下结论:

(1)永寿寺两侧岸坡陡峻,岩体卸荷作用强烈,下伏志留系粉砂质千枚岩,岩性软弱,风化作用强烈,受构造作用及风化卸荷的强烈影响,浅部岩层松弛破碎,这是永寿寺坍塌失稳的主要内在因素。而库水位升降对岩体力学性能降低及其所产生的力学效应是坍塌变形体失稳的主要外在因素。

(2)永寿寺所在条形山脊两侧边坡坍塌表现为典型的牵引式,即岸坡前缘处先发生破坏,然后逐级牵引,向上扩展,潜在滑动面基本受强、弱风化带界限的控制。

(3)结合永寿寺岸坡结构及坍塌机理,提出了三种具有针对性的坍塌防治措施方案,通过方案比选,推荐“潜在坍塌部位格构锚索、已坍塌部位阶梯式锚杆挡土墙+格构锚索”的综合治理方案。

### 参考文献:

- [1] 樊克. 水库塌岸研究与进展综述[J]. 中国水运(下半月), 2010, 10(06): 212-214.
- [2] 王兰生. 意大利瓦依昂水库滑坡考察[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(3): 145-148.
- [3] 李智民, 李金柱, 张念, 张勤丽, 袁琴. 浅析湖北秭归牌楼特大滑坡成因机理[J]. 资源环境与工程, 2012, 26(S1): 20-22.
- [4] 周光明, 张景顺, 刘亚新, 杜高怡, 徐旭, 冯建明. 永寿寺岩质边坡稳定性分析评价[J]. 四川水力发电, 2011, 30(05): 71-73+184.

### 作者简介:

刘 晗(1993-),男,湖北荆门人,西南交通大学硕士研究生,主要从事工程地质方面的研究;

胡卸文(1963-),男,浙江金华人,西南交通大学教授、博士生导师,主要从事工程地质、环境地质方面的教学与研究工作。

(责任编辑:卓正昌)

## 重庆 2018 年第 4 批电力直接交易展开:

### 售电公司可代理部分年用电量 50 万千瓦时及以上大工业用户参与交易

重庆市经信委日前发布了《关于组织开展 2018 年第四批电力直接交易试点工作的通知》,主城及渝西地区年用电量 100 万千瓦时及以上的大工业用户可自行参与直接交易,售电公司可代理该地区年用电量 50 万千瓦时及以上的大工业用户参与直接交易。渝东南、渝东北地区年用电量 50 万千瓦时及以上的大工业用户可自行参与直接交易,也可通过售电公司代理参与;渝东南、渝东北地区市级工业园区内大工业用户不受电量门槛限制,可通过售电公司代理参与直接交易。