

## 浅谈水库边坡稳定性

柏永岩<sup>1</sup>, 崔春龙<sup>2</sup>, 于远忠<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学 环境与土木工程学院 四川 成都 610000; 2. 西南科技大学 四川 绵阳 621002)

**摘 要:** 随着水库蓄水后水位的变化, 其库岸的水文地质环境必然发生改变, 水库边坡自然平衡发生破坏, 地下水与岩土体之间发生复杂的物理化学作用, 从而使库岸边坡有别于其他非水库边坡。从水库边坡的特点出发, 对水库边坡的破坏形式、滑坡塌岸的形成机理和预测方法进行了简要的阐述。

**关键词:** 水库 边坡 稳定性

人工活动一方面依赖于地质环境, 另一方面又影响和改变地质环境。水库开始蓄水以后, 必然区域或局部地改变了地下水的补给、渗流和排泄条件, 同时地下水与岩土体之间发生了复杂的物理化学作用, 改变了地下水与岩土体的力学特性和力学状态。相应地随着库区边坡自然条件的改变, 库岸边坡的稳定性一般趋于恶化。蓄水前处于稳定状态的某些边坡, 由于水库蓄水而出现变形破坏。严重的变形破坏可能使国民经济和人民生命财产遭受巨大损失。例如著名的意大利瓦依昂水库在 1963 年 10 月 9 日大坝右岸边坡发生大规模滑动, 滑坡造成的涌浪高达 250 m, 造成 2600 人死亡的巨大事故。自此以后, 关于库岸边坡的稳定性, 已经越来越引起各国的高度重视。

水库边坡是在库区自然边坡的基础上形成的, 当水库蓄水以后, 原来处于临空状态的库区河谷边坡, 其自然特点逐渐发生变化。首先是随着水库水位的上升, 临空的河谷边坡自低而高逐渐被淹没于水下, 原来的水上边坡处于水下, 或低处在水下, 高处仍在水上, 改变了原来的边坡自然平衡稳定状态。其次, 随着库水的升高, 边坡岩体的地下水位也相应抬高。由于边坡地下水位的变化, 边坡岩体的物理化学性质也相应调整。水库区水岩相互作用如表 1 所示。

在丘陵或平原地区的水库, 由于库区宽阔, 水库的修建影响了周围气象条件, 风速、风向都有变化。蓄水后, 库岸边坡还受到库面风浪作用, 等等。所有这些, 都是水库边坡区别于其他非水库自然边坡的显著特点。

## 1 水库边坡的特点

表 1 水库区水岩相互作用类型及特征

Table 1 Types and characters of water-rock actions in reservoir area

水库的部位	水岩作用类型	作用特征
库岸及枢纽 区浅部岩体	软化及泥化作用	通过提高土石的含水性而降低其强度的物理作用
	干缩、湿胀与崩解	通过提高土石的含水性而恶化其强度的物理作用
	渗透变形	通过水流带走土石中细小颗粒而降低其承载力的物理作用
	冰冻膨胀作用	通过水冻成冰, 产生膨胀而使裂隙劈理的物理作用
	化学潜蚀与溶蚀	通过带走土石中可溶性成分而恶化其工程性质的化学作用
	动水压力作用	通过水的渗流对土体施加一定推力的力学作用
	空隙水压力效应	通过减小岩土体在破坏面的有效正应力而降低其强度
坝下游边坡及河床	水力冲刷作用	通过强烈的水流冲击而使岩土破坏的力学作用
	雨雾润湿导致的软化、泥化及空隙水压力效应	
坝盘较深部岩体	荷载作用	库水以面荷载的方式作用于库盘的力学作用
	空隙水压力效应	
	水热与汽化膨胀效应	地表水渗漏到地下深处与高温岩体接触而产生的吸热膨胀或汽化膨胀
	应力腐蚀效应	承载的硅酸盐岩遇水后, 岩体内原有裂隙端部的拉应力集中, 会使其硅-氧键发生加速的水化作用, 并使其强度随之降低

据王士天等, 1997.

收稿日期: 2003-11-06; 修回日期: 2004-03-01. 张哲编辑.

## 2 水库边坡变形破坏的常见形式

水库边坡常见的变形破坏形式有:滑坡、塌岸和岩质库岸的崩塌。

### 2.1 滑坡

在大部分水库都可以见到库岸滑坡。库岸滑坡大多出现在水库的蓄水初期,但也有些水库滑坡是在蓄水若干年后才发生的,如瓦依昂水库滑坡,它实际上是岸坡震动变形的发展结果。因此应根据库岸的工程水文地质条件和水库的实际运营情况对滑坡进行综合考虑,必要时通过观测分析才能预测。

按库岸滑坡出露位置可分为水上滑坡和水上滑坡;按其滑动速度分为缓慢滑坡和急速滑坡,按其所处的位置,可分为近坝库岸滑坡和远岸库岸滑坡。显然,水上滑坡、急速滑坡、近坝库岸滑坡的危害更大。

库岸滑坡对大坝和水库的危害主要表现在下列 4 个方面:

(1)滑体直接威胁坝区水工建筑物的安全,堵塞引水建筑物的进山口;

(2)大量岩土滑落入库内,将减少水库的有效库容,这对于库容不大的同区水库影响更加明显;

(3)大体积滑坡高速落入水库引起巨大涌浪,不仅对大坝造成很大的冲击荷载,而且还造成漫顶冲刷,对下游带来极为严重的后果,水库涌浪可在库内传递相当长的距离,对库内交通安全以及库周国民经济造成损害,此外,高速下滑的滑体,可以产生冲击气浪,破坏建筑物;

(4)危及滑坡周围设施的安全,并对农田山林造成破坏。

### 2.2 塌岸

塌岸是指在水库建成蓄水后,因水位壅高,库岸在新的外力因素(特别是波浪作用和水位变化)作用下,发生不断崩塌,水库岸线逐渐后退的现象。塌岸一般发生在平原或盆地水库,由松散地层组成的库岸地段。其发展过程一般是:首先由于水的浸湿、波浪的冲刷等外力作用,库岸形状、土体结构发生变化,影响岸壁稳定,岸壁出现小规模崩塌、塌滑或滑动等破坏。然后,这些堆积于坡脚的破坏产物,在波浪等作用下不断被搬运分选,在水下堆积成浅滩,而在坡脚再次发生堆积破坏。如此循环,岸线逐渐后退,浅滩逐渐增长。随着浅滩的增长,击向岸壁的波浪能量的损失也逐渐增加,直至达到适应水库水文条件的最终塌岸宽度为止。

### 2.3 崩塌

崩塌是峡谷水库岩质库岸较常见的破坏形式,由于水库蓄水坡脚岩层湿水致使上部岩层倾倒崩塌,或由于下部库岸变形破坏而引起上部库岸崩塌。

## 3 水库蓄水后滑坡位移预测

当水库边坡是由高透水的松散堆积体滑坡组成时,滑体内的孔隙水压力常忽略不计。水库蓄水后,库水对滑坡的主要影响是浮托力对滑体的作用。如果原滑体在水库蓄水前处于极限稳定状态,则当浮托力作用于滑体时,滑体可能沿原有滑面继续滑动。滑动的规模随水库水位的升高(即浮托力作用的增加)而

加大。据一些水库边坡的观测资料得知,此类库岸边坡在水库蓄水过程中的变形幅度与水库水位的升高速率呈协调比例关系。一旦水库停止蓄水,库岸变形也相应中止。当继续升高蓄水时,变形又继续进行。对于主要受到浮托力影响,边界明确的库岸滑坡,可以通过计算求得在一定水位时滑坡的位移大小。需要指出的是对于水库边坡,一般并非处于极限平衡状态,而是在蓄水过程中逐渐改变其稳定状况,逐渐达到极限平衡状态,超过这个极限就将发生位移。

## 4 水库滑坡涌浪高度计算

在水库边坡稳定性研究中,对于可能在蓄水以后出现滑动的滑坡,应进行因滑坡造成的涌浪高度的研究估算。目前,国内外对于水库滑坡涌浪的研究一般采用两种方法:第一种方法是通过模型实验直接探求涌浪高度和涌浪波形、波速等;第二种方法是通过计算求得涌浪高度。目前已知的算法有美国加利福尼亚大学提出的涌浪高度算法,潘家铮提出的涌浪高度算法,其次有关部门根据实验资料也提出了一些经验计算公式。

由于水库滑坡是一个十分复杂的自然现象,滑体的几何形状、滑动面的真实阻力、滑体入水后的实际运动情况以及其他许多因素和边界条件都不易或不能确定,所以不论是模型试验或各种理论计算,都对影响涌浪高度的各种因素作了大量的简化假定。在应用计算或试验成果时,必须充分考虑分析简化过程的影响,对计算和实验成果做出合理的判断。

## 5 水库塌岸规模的预测

### 5.1 影响塌岸速度和规模的因素

#### 5.1.1 地质因素

主要是指组成岸坡的岩性、岩层结构、水文地质、物理地质作用、裂隙发育程度以及物理力学性质等因素。岩性和岩层结构(岩层的产状、上下层序、各层出露位置等)直接影响塌岸的规模。水文地质条件是指由于水库蓄水而引起库岸水文地质条件的变化,如随着水库的蓄水,库岸地下水的埋藏条件及水位动态相应发生变化,不仅使岩土体的物理力学、水理性质改变,土体的湿化也破坏了土体的结构,从而大大降低了土体的抗剪强度和承载能力。其次由于地下水位的壅高,地下水的坡降因而减缓,流速减慢,导致土体内地下水的动水压力降低,而当库水位迅速消落时,动水压力增大,对库岸的稳定不利。物理地质作用主要是指风化、滑坡、崩塌等各种物理地质作用。

#### 5.1.2 水文因素

主要包括水流速度、水库动态、各种水位的持续时间、波浪作用等。流水冲刷是水库上游库岸塌岸的重要因素,水库下游因流速缓慢,一般只在洪水期才可能冲刷岸坡。当岸坡岩石被冲刷速度超过岩石的抗冲刷临界流速时,组成岸坡的岩石即被破坏、粉碎、堆积于水下。波浪作用对塌岸的影响表现在击岸浪对岸壁土体的淘蚀和磨蚀,不仅在一定的浪高带内冲刷破坏库岸,而且还波及到水下一定深度,影响水下边坡的稳定。当水深逐渐等于浪高时,波浪就局部或全部消失,波浪作用的强烈程度

与波高、波速以及波浪作用于岸坡的方向有关。

#### 5.1.3 地形因素

地形因素主要是指库岸的高度、坡度、水上水下岸坡形态、岸线的曲率以及库岸的切割程度等。它们对塌岸的形式、速度、塌岸量和浅滩的形态都有较大影响。如高而陡的库岸一般塌岸量大,水下岸形陡直、岸前水深的库岸波浪对岸壁的作用强烈,突嘴的凸岸三面临水塌岸严重。

#### 5.1.4 其他因素

包括坡面植被情况、库岸形状、河水中的含砂量、当地气候特点、冻融作用、浮冰以及大气降水等。

#### 5.2 塌岸的一般预测方法

##### 5.2.1 砂土库岸宽度的预测

库岸在水流以及风浪作用下,由于塌岸使坡角由陡变缓,塌岸破碎物质一部分被水流携运走,一部分以新的稳定坡角停积于岸边,形成新的库岸。库岸坡角改变的范围从最低水位以下波浪影响深度起至最高上击浪影响高度上,击浪以上不受库水影响,仍依土体内摩擦角的不同而形成不同的稳定坡角。由于水库是由原河水位开始蓄水,逐渐达到设计水位的,库岸在蓄水初期自然条件变化最大。当库水达到设计水位后,在较长期间内,库水位周期性地涨落。因此,初期塌岸宽度和最终塌岸宽度变化较大。塌岸的预测亦可分为短期预测和长期预测。对于砂土岸塌岸宽度的预测,通常可采用计算法或图解法。

##### 5.2.2 黄土地区水库塌岸的预测

黄土由于遇水软化、易产生压缩流动、颗粒细小、易浮悬以及洪水时水中砂量大等特点,水库塌岸的形式和规模都有别于一般的砂土堆积库岸。根据对黄土库岸塌岸的调查,黄土库岸塌岸预测的上限需要考虑库内最高洪水位的影响,预测的下限应考虑原河床横向坡度的陡缓程度。针对黄土地区不同的库区塌岸的预测方法也有区别。

#### 6 结语

水库蓄水后引发了一系列的工程地质问题,加强对水库蓄水后库岸的动态观测及对其引发的周围环境的变化的论证是关系到水库能否安全运营及人民生命财产安全的大事。对此水库库岸的研究要集中在以下几个方面:(1)研究水库库岸的水文地质条件;(2)分析滑坡、塌岸的变形破坏机制;(3)选择有效的滑坡区域稳定性计算方法;(4)加强对滑坡、塌岸的预测、预报;(5)制定经济合理的滑坡预防措施。

#### 参考文献:

- [1] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [2] 李进元. 水库蓄水后金龙山谷坡Ⅱ区蠕滑体稳定性研究[D]. 成都理工大学硕士论文,2002.
- [3] 王士天,等. 大型水堰水岩相互作用及其环境效应研究[J]. 地质灾害与环境保护,1997,8,(1):70—71.

## DISCUSSION ON THE SLOPE STABILITY OF RESERVOIRS

BAI Yong-yan<sup>1</sup>, CUI Chun-long<sup>2</sup>, YU Yuan-zhong<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610000, China; 2. Southwestern University of Science and Technology, Mianyang 621002, China)

**Abstract:** During the process of water storing, the rising of water level in reservoirs will cause the change of hydrogeologic environment and then lead to the breakage of natural balance of slopes. Complicated physical and chemical actions take place between the rock-soil mass and underwater. Such effects differentiate the reservoir bank slopes from others. Based on the characters of reservoir bank slope, the shapes of failure forms, mechanism of the slope-collapse and methods of forecast are discussed in this paper.

**Key words:** reservoir; bank slope; stability

作者简介:柏永岩(1979—),男,成都理工大学环境与土木工程学院博士研究生,研究方向 岩土体稳定性及工程特性,通讯地址 四川省成都市成华区 成都理工大学环境与土木工程学院,邮政编码 610000, E-mail/bai\_yongyan@163.com