

# 半坚硬岩(土)体地区 水库岸坡稳定性变化趋势的研究途径

詹 铮

(成都地质学院)

自六十年代瓦依昂水库、拓溪水库发生滑坡涌浪事故以来,滑坡涌浪问题已成为大型水利水电工程建设中必须回答的重要课题。特别是建坝前,历史上已发生过高速滑坡的地区更是如此。

国内某些大型水库的调查资料表明,在半坚硬岩、土体分布区,水库蓄水后由于频繁的小型坍岸、库水的浸润及溶蚀作用以及蓄水不断上升,使库岸形态、岩土物理力学性质及地下水位都随时间而变化。故库岸稳定性及因滑坡引起涌浪的可能性也都是时间的函数。因此评价蓄水后的库岸稳定性,需在了解上述诸因素随时间的变化规律基础上才能进行。遗憾的是至今有关此问题的系统研究国内、外皆属空白。由此看出无论从哪个方面,都需在蓄水前研究的基础上,对蓄水后的库岸变化规律进行调研与总结。蓄水后的几年内,将会出现频繁的小规模坍岸,高陡岸坡处于相对稳定状态。但并不意味着库岸以小规模坍岸为主,而不发生较大规模的滑坡,只有在充分掌握各种变化规律以后,才能作出评价。

## 一、水库蓄水前的研究

根据对某大型水库正、反两方面研究的体会,蓄水前应进行以下几个方面的研究。

### (一) 岸坡岩体结构的研究

斜坡岩体结构制约着滑坡产生的可能性、滑坡类型及运动特征。在较软弱岩层分布区应重视控滑结构展布特征的研究。

层状岩层中往往发育有构造或卸荷成因的层间错动面,多数皆泥化成泥化夹层,它对斜坡的稳定性及滑坡特征起着重要的制约作用。

我国某大型水库,库岸由产状近于水平的中、下更新统超固结土组成。层间发育有卸荷成因的层间错动面,坡顶展布有被卸荷作用加深了的陡倾构造裂隙,此二组结构面构成了岩体上部的拉裂面及下部的滑移面,上下部之间的岩体稳定性,取决于岩(土)体的抗剪断强度及累进行性破坏特征(图1)。此即控制该水库岸

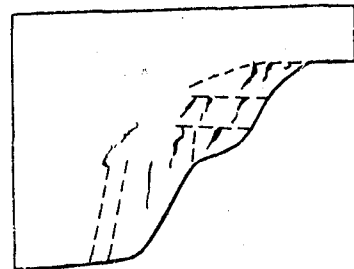


图1 某水库岸坡结构及变形破坏模式(据模型实验)

岸稳定性及滑坡发育特征的三段式(即拉裂、剪断、滑移)岩体结构。对水库近坝地段十几个巨型高速滑坡的调查表明,其滑面特征皆与此相符。

三峡水库川江段,地处侏罗系红层分布区,层间结构面的产状特征随岸坡所处的构造部位不同,与之有关的岸坡稳定性及滑坡类型也因之而异(图2)

**(二) 岩土体物理力学性质的研究**

除了常规的岩(土)体物理力学性质实验研究外,还应注意以下几方面的研究:

1. 岩(土)体脆性破坏及应力特征研究,特别着重于饱水后的情况。前述某水库岸土体的三轴饱水强度实验成果,所得轴向应变小于3~4%具脆性破坏特征;峰、残强度比为2:1。这些数据表明:①该库岸斜坡破坏具突发性;②最少有50%的位能转化为动能。不仅从岩、土的物理力学性质方面解释了该水库蓄水前已存在的滑坡属突发高速型的原因;并表明蓄水后可能发生的完整岸坡的滑动也将具有此特性。

2. 蓄水后库岸岩(土)体物理力学性质变化趋势研究。蓄水后岸坡岩(土)体的性质随库水浸泡及溶滤而变化,其变化特征可模拟蓄水后的浸水条件进行有关实验研究。

1982年我院孔德坊教授已进行过前述水库岸土体的浸水溶滤实验研究。实验证实了土的强度随浸水溶滤时间的增加而逐渐降低。虽然由于实验条件所限,未能得出土的物理力学性质在浸水溶滤后随时间变化的定量规律,但对预测蓄水后库岸稳定性变化具有实际意义。

3. 四川红层分布地区,应注意粘土岩膨胀性及浸水后变化规律的研究。

**(三) 研究已有滑坡变形破坏特征及规律**

蓄水前已存在的老滑坡已具贯通性滑面,即已失去了突发高速的条件,蓄水后若再次活动多半也只是低速移动,不会激起涌浪,其作用只是作为固体沉积物的来源之一。除非影响沿岸城镇及其它建筑物安全,一般不必对其在蓄水后的稳定性进行研究及评价。对其研究的主要目的仍然应着眼于未来蓄水后高陡库岸稳定性的发展变化。

1. 研究滑坡变形破坏的基本模式。前述的某水库,沿库岸有十几个巨型滑坡,皆为具三段式滑面的滑移——压致拉裂型,即其形成受层间缓倾软弱面及后部陡倾裂隙面控

构造部位	岩体结构特征	岸坡结构模式	相应的变形破坏模式	
			名称	图式
近背、向斜轴部	岩层产状近水平发育,有层间泥化软弱面,陡倾裂隙		滑移— 压致拉裂	
背、向斜翼部	岩层倾角中等,层间软弱面,结构面临空,陡倾裂隙		滑移— 拉裂	
背、向斜翼部	岩层产状中偏陡,层间软弱面,结构面不临空		滑移— 弯曲	
背、向斜翼部转折端	岩层产状由陡变缓,层间软弱面,结构面不临空		滑移— 弯曲	
多见于背、向斜轴部附近	岩层上硬下软		壅流— 拉裂	

• 参见《工程地质分析原理》 张倬元等 地质出版社 1981

图2 三峡水库岸坡岩体结构及破坏模式

制。结合斜坡岩体结构特征(见图1)可预计蓄水后若发生较大的滑坡,将不至于背离此模式。三峡水库川江段,蓄水后可能发生的滑坡也必然受所处构造部位的岸坡岩体结构制约,各段的滑坡模式将具有不同的特点(图2)。

2. 研究滑坡的形成过程。从斜坡形成至滑动经历了漫长的变形及累进性破坏过程。据上述水库某滑坡及条件类似的其它滑坡的调研,以及我国一些高速滑坡的资料,以下几点值得重视:

(1) 从坡体出现裂隙到下滑,一般皆经历几年时间(图3);

(2) 已知的国内、外高速滑坡,后期的斜坡变形皆与典型的破坏型蠕变曲线相符(图3)。从岩石力学角度看,这类滑坡是可以定量预报的;

(3) 凡具弧形滑面的滑坡,临滑前将会出现裂缝闭合现象,因此裂隙闭合可作为这类滑坡临滑预报的依据。

由上述情况可以得出:①没有必要为了预防涌浪危害,一开始就降低水位运行,可在出现明显变形(如出现裂隙)后再降低水位;②在可靠的定量预报方法基础上,可使降低水位的时机更切合实际,因此应开展研究、验证定量预报方法。

3. 滑坡运动特征的研究。其目的有两方面:①蓄水后的滑坡是否能激起较大涌浪的高速滑坡,②为涌浪研究提供滑速依据。

如前述的某水库沿库岸的十几个滑坡皆为高速碎屑流型( $V_{max}$ 为几十年/秒),饱水后的土体也具脆性破坏特征及较大的峰、残强度差。因此,可以预计,蓄水后发生的滑坡仍具高速特征。

据实际调研、计算、动力学模型实验等资料,碎屑流型滑坡有以下两个特点:

(1) 滑体各部位滑速不同,前快后慢,最大滑速出现在滑体前缘部份;

(2) 滑体启动至终止滑速经历了加速至减速的过程,即各点滑速在滑动过程中因时而异,图4是水电部西北院动力学模型试验成果,按Scheidegger A. E公式计算与此相符。

这些表明了滑速是随距离、时间而变化的变量,难以据此提供涌浪研究(计算、犬型模拟实验)所需的滑速参数。考虑到涌浪所依据的主要因素是滑体入水时的动能,因此建议按下述公式计算所需滑速。

$$V = S_0 \sqrt{2gH}$$

式中  $H$ ——滑前滑体重心与滑后滑体重心的高度差,

$S_0$ ——与能量损失有关的系数。

考虑到某水库应力降较大(峰残强度差为2:1即约50%的能量用于克服残余摩擦,约50%的能量转化为动能);和启动后将会发生新的高速运动机制,摩擦阻力将更低,其摩擦损失可按20~30%考虑。故 $S_0$ 可采用70~80%,并以此作为涌浪评价的依据。

#### (四) 对已建水库塌岸规律的研究

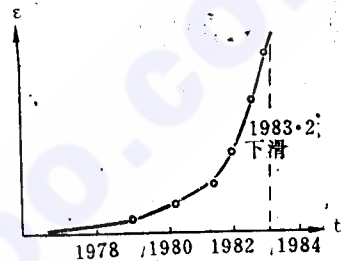


图3 酒勒山滑坡变形—时间曲线

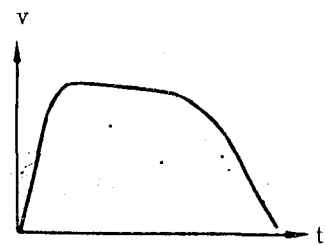


图4

1.目前正在蓄水水库的调研,除本身需要外,应考虑为拟建水库提供借鉴,因此应考虑适当考虑研究内容及投资。

2.对拟建水库,如三峡水库应考虑条件相似的已建成水库的调查研究如四川红层区的狮子滩、升钟等水库。鉴于我国过去一直忽视蓄水后库岸变化规律的研究,可考虑从以下几方面收集资料。

- 1) 有关水库各设计阶段的资料,地形地质图等;
- 2) 蓄水后水库塌岸情况,若无文字及图件资料,应以访问调查为主;
- 3) 不同时期的地形图、航片(包括小比例尺),藉以分析库岸塌滑的宽度、规模及规律;
- 4) 在上述资料基础上开展适当的现场测绘。

#### (五) 施工期水库塌岸的研究

施工期围堰可能拦蓄部份洪水(如1981年某水库特大洪水期)而形成水库,应抓紧此机会研究水库塌岸规律。

#### (六) 预报方法的研究

目前国内、外已有多种定量预报滑坡的方法,这些方法在国内尚未经过实践验证。因此工作的着眼点主要不在于提出较高水平的新预报方法,而是利用一切途径对各种方法进行验证,优选出可信赖的预报方法。

1.在水库区内,对小型滑坡(包括二次滑动、塌岸等)进行监测预报,这类滑坡更符合当地实际,且周期短易见成效。

2.收集国内已知的已变形的斜坡变形观测资料,如甘肃省东乡县境内的几个变形体资料进行研究。忽视了四川巫溪、达县滑坡的预报研究是非常遗憾的。

在上述蓄水前的研究工作基础上,应划分出库岸重点研究地段,并设长期监测网以便继续观测研究蓄水后的情况。

## 二、水库蓄水后的研究

蓄水后库水位的动态特征。根据蓄水后库水位的变动特征分为两个阶段:①蓄水阶段:下闸蓄水至正常高水位的蓄水过程。此段水位变化特征是逐年上涨(每一年内仍有涨落);②正常运行阶段:正常高水位以后,水位的涨落将以此为基准面(个别年份可低达死水位)。

因此库岸稳定性的发展变化也将随库水位动态阶段不同而分为两个阶段。正常运行阶段的库岸发展规律,现在尚无观测资料,有待今后总结。本文主要以蓄水阶段为主。

1.蓄水后将产生频繁的小规模塌岸使库岸逐年后退,并形成一定坡角的水下岸坡。库岸形态也因之逐年而变,因此稳定性计算所需剖面形态也将随时间而异。

2.岩土的物理力学性质也因浸水溶滤逐年而变。

3.地下水位也随时间而异。

因此库岸稳定性必然由于上述三个因素随着时间而变化。因而库岸稳定性预测也应

首先在掌握上述三方面变化规律的基础上进行。以此达到预测不同时间的岸坡稳定性。具体研究途径如下。

### (一) 塌岸规律及水下岸坡形态研究

1. 塌岸规律的调查研究 较软弱岩(土)体分布区,蓄水后,由于条件突变,将发生频繁的小规律塌岸,根据对某水库的调查有如下特点:

(1) 岩(土)体结构不同的地段,塌岸方式不同,完整岸坡地段以小型崩塌及座落为主,规模一般在 $100\text{ m}^3$ 以下;老滑坡地段以小型的二次滑动为主,规模一般小于 $10^4\text{ m}^3$ ,不具突发性。

(2) 塌岸主要发生在水位上涨期间,当水位下落后终止活动。这是由于库水波浪对岸坡的掏蚀及崩解作用转移到改造坡度较缓的水下岸坡(落水后已出露水面),由于这部份岩(土)体因长期浸水而处于饱和状态不易崩解。

(3) 水位下降时所产生的动水压力对完整岸坡作用不大,故水位降落后塌岸立即终止。个别的在水位下落后产生坍塌是由于岩土体的累进性破坏而引起的。老滑坡地段在水位降落的初期,由于动水压力作用,其前缘将产生滑动,个别的可大到万立方米。

2. 塌岸宽度的调查研究 根据某水库实测的当年最高水位及死水位时的库岸边界线,得出死水位至该高水位期间库岸后退的幅度(15~30m),据此算出水位上涨1m库岸后退的变幅,由此变幅可推算出蓄水阶段各水位时间的库岸边界位置或库岸后退的规律以及下闸蓄水开始库岸后退的规模(约100~150m)。

3. 水下岸坡形态的调查研究 库岸稳定性评价、计算、预测所必需的岸坡形态(这里主要是指计算剖面)由水下和水上岸坡组成,而研究水下岸坡剖面形态是探讨库岸稳定性变化规律至关重要的资料。某水库实测了水位降落后各重点研究地段的当年最高水位及死水位间的剖面形态(图5),并用测深的方法向水下作了适当延伸。根据图5有两点值得考虑:

(1) 整个水下剖面平均坡角为 $32^\circ$ ,可以把它作为蓄水阶段水下岸坡的平均坡角,并以此推断出

蓄水阶段不同年份(当年最高水位时)水下岸坡的形态,从而得到各年份的岸坡剖面。

(2) 剖面具阶梯状。各缓倾平台为水位暂时稳定时期的水下磨蚀坡角,可把它作为水库边岸再造预测的磨蚀坡角。因此可推断出水库正常运行期的库岸形态变化。

4. 库岸稳定性评价计算 评价、计算不同年份库岸稳定性,需在前述研究基础上不同年份蓄水期的库岸剖面。图6为推算的某水库1~5年不同水位的库岸剖面形态。

### (二) 岩(土)体物理力学性质的研究

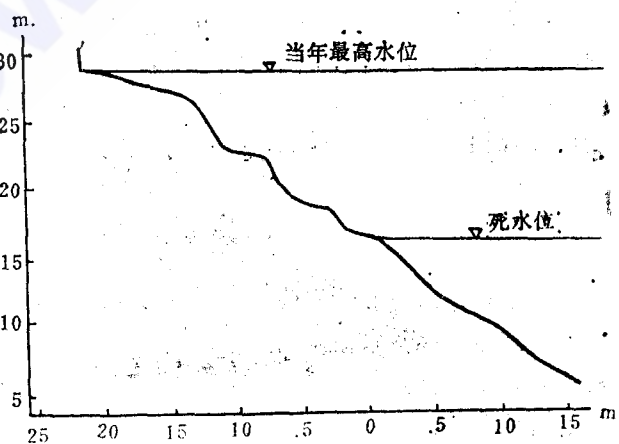


图5 某水库水下岸坡剖面

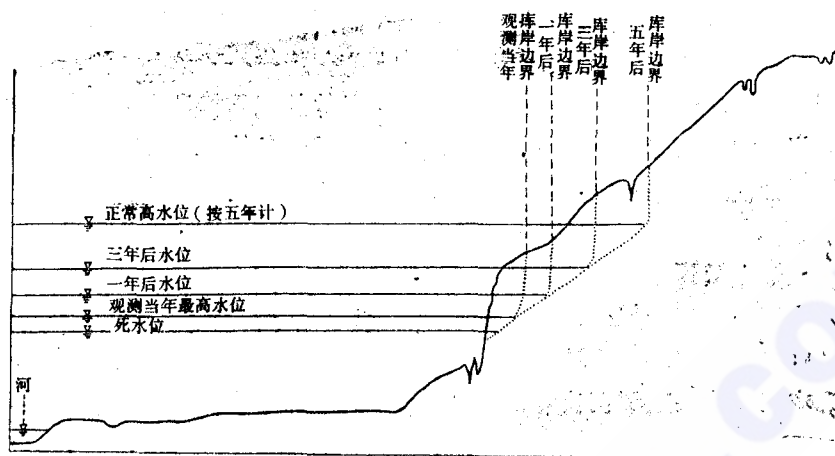


图6 某水库预测的库岸形态

评价库岸稳定性需掌握蓄水后岩(土)体性质变化的趋势及规律。为此应在每年水位下落后立即取最高水位附近的原状土样进行物理力学试验和化学分析,并作出各力学性质参数变化的历时曲线(图7),若此项工作暂有困难,可利用蓄水前的研究成果。

### (三) 地下水动态的研究

蓄水后库岸地下水位将随库水位变动,且滞后于库水位的变动而变化。通过长期观测获取地下水位动态资料,并得出岸坡平均渗透系数,以此推算今后不同年份的地下水位。长期观测孔的布置离各时期的水边线不应过远,重点观测剖面必需有少量钻孔靠近正常高水位或在其以下,虽然这样钻孔会因库水淹没及塌岸而在几年内报损,但所获得的蓄水早期地下水动态资料是其它途径无法取得的,在经济上也是合算的。

### (四) 库岸稳定性变化趋势分析

在前述工作基础上,算出各年份典型剖面的稳定性系数(K),并绘出K的历时曲线,预测库岸稳定性的变化趋势。如图8中的曲线a,表明库岸稳定性是逐年上升的,可预知此期间水库边岸将以小型塌岸为主,发生较犬滑坡的可能性不大。曲线b则刚好相反,有产生较犬型滑坡的可能。

关于滑坡定量预报方法的研究,蓄水以后应重点放在对蓄水前所研究方法的验证上,只有经过验证的预报方法才是可信赖的。

## 三、结 束 语

(一) 水库蓄水后,库岸剖面形状、岩(土)体物理力学性质、地下水位动态都是

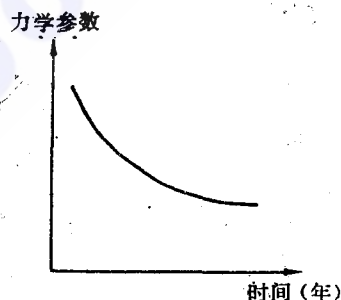


图7 浸水溶滤土的力学参数—时间曲线

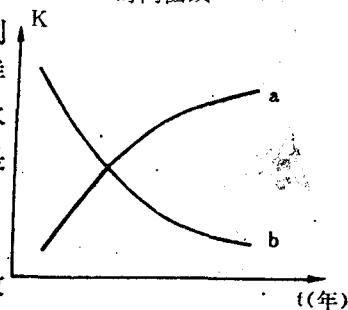


图8

