

瓦房城水库滑坡治理抗剪参数确定方法研究

庾世华

(甘肃省甘兰水利水电建筑设计院,甘肃 张掖 734000)

摘要:根据瓦房城水库滑坡的形态、特征、边界条件及变形特征,通过分析滑体抗剪参数的多种方法,确定浅层滑坡采用共轭断面反算法,深层滑坡采用分段传递稳定系数反算法(考虑地震力),将所确定的滑体抗剪参数用于滑坡稳定分析,结果与该滑坡目前的变形特征及规律基本吻合,为该滑坡群的整体稳定性评价及治理提供了可靠的依据。

关键词:水库滑坡;抗剪参数;瓦房城水库

中图分类号:TV697.3+3 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-7647(2003)01-0048-03

瓦房城水库位于甘肃省民乐县境内大堵麻河出山口处,是一座以灌溉为主,兼顾防洪、发电的中型水库。水库建成于 1978 年,大坝为壤土心墙砂砾混合坝,右岸建有溢洪道,左岸设置输水洞及坝后式电站,地震烈度按 8 度设防。自建成运行以来,左坝肩山体多次发生浅层滑坡,虽经数次治理,但均未从根本上消除险情。

1 滑坡形态与特征

从左坝肩向上游约 800 m 的水库岸坡,为一规模巨大的古滑坡群分布区,其周界为白垩系红层组成的高差达 40 m 的基岩陡坡,内部组成为冰水滑坡堆积物。

浅层滑坡在区内显露出明显的滑体有 6 个,滑床位于基岩表面。对工程威胁较大的是 V 号浅层滑体,该滑体宽 190 m,长 210 m,滑体平均厚 15 m,体积约 50 万 m³,滑面沿底部基岩面呈 35°倾角,滑坡主轴向为 SE170°。

深层基岩滑坡主要岩性为白垩系砂砾岩、粘土岩互层,产状 NW300°~320°/SW∠6°~16°。钻探资料表明,滑坡厚 30~60 m,宽约 240 m,纵长约 260 m,总体积约 162 万 m³。滑面主滑段长 160~180 m,略呈弧状缓坡形,前部无明显反坡段,滑向指示正南即库区偏上游。滑坡内尚可进一步划分出 3 个次一级的滑面,将整个滑坡分割为 4 个滑体,即①、②、③、④号滑体。输水洞进口段正从此滑坡②、③、④号滑体中通过(见图 1)。

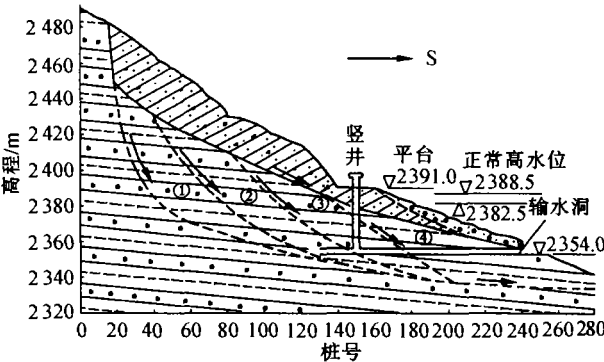


图 1 V 号浅层滑体及深层滑坡各滑体剖面示意图

2 滑面抗剪参数的确定方法

2.1 浅层滑坡

主要确定对水库威胁较大的 V 号浅层滑体滑面的抗剪参数。V 号浅层滑体曾于 1980 年 6 月发生过整体滑动,并将钢筋混凝土竖井剪断推倒,位移达 8 m。当时库水位为 2 379 m,V 号滑体的前缘及部分滑面处于该水位之下,且库区连降大雨,这是该滑体滑动的主要边界条件。因该滑体滑动面接近直线形,经分析采用以下两种方法确定抗剪参数。

- a. 实测法。由试验得知,当含水量达 20%~25%时,内摩擦角 $\varphi = 3^\circ$,粘聚力 $c = 30 \text{ kPa}$ 。
- b. 共轭断面反算法^[1]。在该滑坡主轴的两侧选取大体上相同距离的两个断面建立共轭方程求解,得抗剪参数综合值为:水上 $\varphi = 26^\circ$, $c = 3 \text{ kPa}$;水下 $\varphi = 21^\circ$, $c = 2.5 \text{ kPa}$ 。

用两种方法得出的抗剪参数分别对滑体正常工作条件下的稳定性进行分析,结果见表 1。

作者简介:庾世华(1971—),男,甘肃张掖人,工程师,从事水利工程设计工作。

表1 V号浅层滑体稳定性分析比较

计算情况	稳定安全系数	
	用实测法得出的 抗剪参数计算	用共轭断面反算法 得出的抗剪参数计算
正常水位+上部 自然状态下土体重	0.66	1.10
正常水位+上部 饱和状态下土体重	0.23	1.02

注:水库正常水位为2388.5m;计算方法采用分段传递稳定系数法。

从表1可以看出,共轭断面反算法算出的参数能较好地反映滑坡滑动的实际情况,较为合理;而用实测法得出的参数所作的稳定分析成果与实际相差较大,所以V号浅层滑体抗剪参数的确定采用共轭断面反算法的成果。以此成果为依据对浅层滑坡的治理采取了许多措施,使得浅层滑体至今稳定正常,未发生异常现象,这也说明所确定的抗剪参数是较为合理的。

2.2 深层滑坡

2.2.1 抗剪参数确定方法的适应性分析

由于滑面埋藏较深、滑带较薄,滑面抗剪参数受多种因素影响而使问题错综复杂,在目前没有取得可靠试验资料的前提下,常用的方法有:工程类比法、经验公式法、反演分析法、可靠度分析法等^[2]。工程类比法就是根据其它类似工程在工程期间可能出现的变化,提供建议指标,但该深层滑坡除了主滑面之外,还有3个次一级的滑面,结合滑坡形态、特征,在国内很难找到与之相似的工程实例,所以用类比法难以确定该滑坡的抗剪参数。经验公式法和可靠度分析法都是建立在抗剪参数试验原始数据基础之上的,目前在没有取得任何试验参数的情况下,这两种方法都不能采用。对于已产生过蠕变滑移的边坡,采用反演分析法可求得滑面抗剪参数,但使用时应遵循该法的5条原则(略)^[2,3],因此采用反演分析法确定深层滑坡的抗剪参数,下面具体分析该法对该深层滑坡各滑体的适应性。

根据地质宏观判断,特别对该滑坡长期观测资料进行分析后认为:基岩滑坡前部的滑体④,曾于1988年11月22日肃南县5.7级地震和12月4日肃南县5.5级地震以及1998年11月11日马蹄寺2.8级地震(相应水库区地震烈度均为4度)时出现过位移较小的滑动,使得滑体④滑面穿过的竖井井壁周围出现裂缝和漏水喷射现象,并逐步加剧;另外,1998年11月11日马蹄寺2.8级地震也使得滑体③滑面穿过的输水隧洞钢筋混凝土衬砌出现与滑坡滑面方向、倾角一致的斜向环形裂缝与渗水,表明滑体③已处于初期蠕滑状态;基岩滑坡②、①两个滑体,经过近20年的考验,目前尚无活动迹象,处于相对稳定状态。通过以上综合分析得出:滑体④、③具

备用反演分析法求滑面抗剪参数的各个条件,所以采用反演分析法求其抗剪参数是可行的;但是,滑体②、①滑面抗剪参数不适用反演分析法,而采用经验类比法确定。

2.2.2 确定抗剪参数

2.2.2.1 滑体④、③滑面抗剪参数确定

采用反演分析法,公式为传统条分法(即库伦理论 $\tau = \sigma n \tan \varphi + c$)的各种演变公式,常用的有:分块稳定系数反算法、分段传递稳定系数反算法、共轭断面反算法及毕肖普法等。若用分块稳定系数反算法^[4],滑坡牵引段、主滑段及抗滑段的稳定系数 K 的取值很难准确确定,且事先要给定抗剪指标,在缺乏实测数据时也很难确定;而采用共轭断面反算法须先定出滑坡牵引段、主滑段及抗滑段中两段滑面的抗剪参数,在没有试验资料的前提下,更不好确定,所以上两种方法均不适用于本滑坡的反演分析。

分段传递稳定系数反算法^[4]和毕肖普法^[1]是求滑坡滑面综合抗剪参数的有效方法,根据该水库滑坡实际,滑体④、③的滑移蠕变是在特定的库水位(2382.50m)和当时的地震力(4度烈度)作用下发生的,所以这两点应是参数反演分析法最主要的前提条件。经分析,毕肖普法由于公式的局限性,地震力的作用无法考虑进去,而分段传递稳定系数反算法能兼顾以上两点^[4,5],因此用该法确定滑体④、③滑面的抗剪参数(综合值)。计算剖面为滑坡中轴剖面,具体公式为

$$K = \frac{(W_n \cos \alpha_n + E_{n-1} \sin \Delta \alpha_n - N Q_n \sin \alpha_n) \tan \varphi_n + c_n L_n}{W_n \sin \alpha_n + N Q_n \cos \alpha_n + E_{n-1} \cos \Delta \alpha_n}$$

式中: K 为稳定安全系数; E_{n-1} 为任一块滑动体之上的一块滑动体的剩余下滑力,kN/m(E_n 为滑动体的剩余下滑力); W_n 为滑动体的有效重量,kN; α_n 为滑动体的滑动面与水平面的夹角,(°); $\Delta \alpha_n$ 为相邻两滑面倾角的差值,(°); φ_n 为滑动体的滑面内摩擦角,(°); c_n 为滑动体的滑面粘聚力,kPa; L_n 为滑动体的滑面长度,m; Q_n 为滑动体的实际重量,kN; N 为地震系数,在此取1/400(4度烈度地震)。

根据滑体④、③滑移蠕变的相对大小,在求滑体④滑面的抗剪参数时假定 $K=1.0$,在求滑体③滑面的抗剪参数时假定 $K=1.05$ 。因为在特定的库水位下依据以上公式求取 φ 、 c 值共有4个未知数(水上及水下),无法反算,所以本次计算根据滑坡的形态、滑面物质性状及类比其它滑坡工程的抗剪参数后作如下假定:①水下内摩擦角为 φ 时,水上内摩擦角为 $\varphi+3^\circ$,即相应提高 3° ;②水下粘聚力为 c 时,水上粘聚力为 $c+5$ kPa,即相应增加5 kPa。

根据以上假定可求得滑体④、③滑面的综合抗

剪参数,见表 2.

2.2.2.2 滑体②,①滑面抗剪参数确定

滑体②,①滑面内摩擦角在滑体③滑面内摩擦角的基础上提高 2°,粘聚力提高 3 kPa,其理由:一是滑体②,①尚未出现蠕变滑移迹象;二是滑体②,①滑面所处的空间效应、侧向约束及起伏差更为突出;三是滑体②,①滑面较远离库岸,受库水影响程度较轻.所确定的综合抗剪参数见表 2.

表 2 各滑面抗剪参数采用值

滑体 编号	抗剪指标					
	水 上			水 下		
	$\varphi/(^{\circ})$	$\tan\varphi$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	$\tan\varphi$	c/kPa
①	22.2	0.408	11.5	19.2	0.348	6.5
②	22.2	0.408	11.5	19.2	0.348	6.5
③	20.2	0.370	8.5	17.2	0.310	3.5
④	19.5	0.350	9.6	16.5	0.300	4.6

2.2.3 抗剪参数合理性初步论证

确定的抗剪参数是否合理首先看是否符合滑坡主滑段、牵引段、抗滑段的物理力学定义,即:主滑段的 φ, c 值应使其分块下滑力大于分块抗滑力;牵引段的 φ, c 值应使其分块下滑力等于或略大于分块抗滑力;抗滑段的 φ, c 值应使其分块下滑力小于分块抗滑力,按上述原则,对上节算出的各滑面的抗剪参数作校核,均满足要求.

其次,确定抗剪参数合理与否还要看按该参数所做的滑坡稳定性分析结果是否符合滑坡目前的变形特征及规律,为此,以表 2 中各滑面的抗剪参数作各滑体在水库正常工作条件下的稳定性分析,计算剖面为滑坡中轴剖面,结果见表 3.

表 3 深层滑坡各滑体稳定性计算结果

滑体编号	稳定安全系数		
	水库放空 (2 354 m)	正常蓄水 (2 388.5 m)	水库水位降落 (每昼夜按 3 m 考虑)
①	5.78	2.698	> 1.20
②	3.099	1.835	> 1.20
③	1.371	1.320	> 1.15
④	1.240	1.262	> 1.15

注:计算方法采用分段传递稳定系数法.

从表 3 可以看出,在水库正常工作条件下各滑

·简讯·

我国已建及在建中的中型抽水蓄能电站

电站名称	地 点	河 流	装机容量/万 kW	年发电量/亿 kW·h	水头/m	类 型	主要作用	完建年份
羊 湖	西藏曲水	雅鲁藏布江	4 × 2.25.1 × 2.25	2.4	845	混合式	拉萨地区供电	1998
溪 口	浙江奉化	横坑溪	2 × 4	1.26	250	纯抽式	宁波地区调峰	1998
响洪甸	安徽金寨	淠 河	2 × 4.4 × 1	2.44	60	混合式	安徽电网调峰	1998
天 堂	湖北罗田	天堂河	2 × 3.5	1.25	43	纯抽式	鄂东电网调峰	2001
沙 河	江苏溧阳	沙 河	2 × 5		98	纯抽式	苏南电网调峰	2001
回 龙	河南南召		2 × 6	2.0	416	纯抽式	南阳地区调峰	(2004)

注:装机容量为机组台数乘以单机容量.

(吴笑高供稿)

体均是稳定的,且稳定安全系数从滑体④至①呈现出逐渐增大的规律,这完全符合目前对深层滑坡的观测结果和对深层滑坡各滑体滑移情况所做的地质宏观判断及滑坡目前的变形特征规律.

综上所述,所确定的深层滑坡各滑体滑面的抗剪参数是基本合理的,它包含了滑坡稳定的多种影响因素.

3 结 语

滑坡抗剪参数确定得是否合理,对工程安全和滑坡治理工程投资有很大的影响.本文对瓦房城水库浅层滑坡、深层滑坡抗剪参数确定的思路和方法进行了分析,并初步论证了所确定抗剪参数的合理性,得出:在实测资料不足或缺乏的情况下,基于滑坡已滑动或蠕滑的现实,采用反演分析法得出的滑面抗剪参数用于滑坡稳定分析是可行的.运用反演分析法,充分利用滑坡滑动或蠕滑的边界条件是关键,且针对不同的边界条件,具体分析采纳适合该边界条件的反算演变公式是用反演分析法求滑体滑面抗剪参数最主要的内容.对于在有地震力作用下确定抗剪参数,本文提供了成功的经验.

参考文献:

[1] 马冀.滑坡推力计算中强度指标的反算[A].滑坡文集编委会.滑坡文集[C].北京:中国铁道出版社,1982.102 ~ 105.
[2] 邹成杰,庞声宽,方平德,等.典型层状岩体高边坡稳定分析与工程治理[M].北京:中国水利水电出版社,1995.50 ~ 62.
[3] 韦港.边坡稳定分析参数反算法的适用条件[J].水利水电工程地质,1994(3):8 ~ 10.
[4] 杨宗玠.折线滑面滑坡检算初步研究[A].滑坡文集编委会主编.滑坡文集[C].北京:中国铁道出版社,1984.116 ~ 129.
[5] 李天池.地震与滑坡的关系及地震滑坡预测的探讨[A].铁道部科学研究院西北研究所主编.滑坡文集[C].北京:人民铁道出版社,1979.127 ~ 142.

(收稿日期:2002-03-26 编辑:熊水斌)