

·设计与研究·

三峡库区地质灾害稳定性评价研究 ——以开县小湾滑坡为例

舒 华

(中国水电顾问集团 中南勘测设计研究院,湖南 长沙 410014)

摘要 介绍了开县小湾坡滑坡区的地质灾害,并对地质灾害进行了稳定性评价和计算,为地质灾害治理提供参考。

关键词 三峡库区 地质灾害 稳定性评价 小湾坡滑

中图分类号 :TV697.3 文献标识码 :B

0 引言

开县小湾滑坡位于开县竹溪镇大湾村南河左岸,竹溪镇位于开县新县城西南 15 km。地处东经 107°55′~108°54′,北纬 30°54′~31°41′,位于重庆市东北部,大巴山南麓,长江三峡水库小江支流回水末端,地势北高南低,高程在 134~262.6 m 之间。东与巫溪县、云阳县接壤,西接开江县、宣汉县,南与万州区毗邻,北与城口县相连,是重庆直辖市的一个人口大县和资源大县。有渝巫公路(省道 102)穿过通过集镇,交通十分便利。

1 地形地貌

滑坡区地面形态表现为陡崖(陡坡)、斜坡、平台,地貌成因有构造、剥蚀和堆积两种,总体地形地势北西高,南东低。陡崖(陡坡)地层由侏罗系中统沙溪庙组(J_{2s})砂岩和泥岩组成,分布在高程 250.00~265.00 m 以上,坡角 40°~75°,陡崖下部为平台及下部斜坡组成,属于堆积地貌,被第四系土层覆盖,后缘平台标高 250.00~265.00 m,坡角 5°~30°,地形相对平缓。

2 计算剖面 and 参数的确定

2.1 计算剖面的确定

根据《三峡库区三期地质灾害防治工程设计要求》的规定,滑坡的稳定性计算,应选取平行于主滑方向的计算断面进行计算。根据勘查的剖面(图 1)对滑坡区、滑坡区进行稳定性计算,稳定性计算断面采用区 1-1′、5-5′、6-6′、7-7′剖面及区 3-3′、9-9′、10-10′剖面。

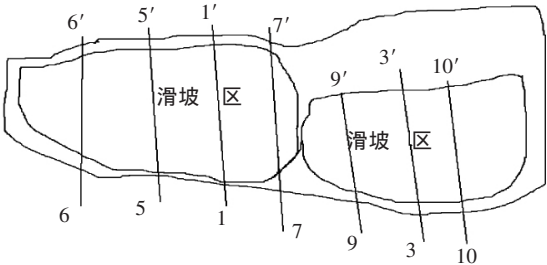


图 1 开县朱溪镇小湾滑坡示意图

2.2 计算参数的确定

根据勘查报告提供的滑体、滑带土、滑床基岩的主要物理力学性质指标采用值(表 1)。稳定性计算时,计算剖面及条块划分与勘查报告保持一致。

表 1 治理工程设计岩土参数建议值

	重度	天然	21.00
	/kN·m ⁻³	饱和	21.50
I 区 滑体土	天然	C/kPa	29.45
		$\varphi/^\circ$	13.37
	饱和	C/kPa	20.58
		$\varphi/^\circ$	9.85
	天然	C/kPa	27.55
		$\varphi/^\circ$	13.23
II 区 滑带土	天然	C/kPa	20.58
		$\varphi/^\circ$	9.93
	饱和	C/kPa	19.44
		$\varphi/^\circ$	12.75
	天然	C/kPa	14.70
		$\varphi/^\circ$	9.90
III 区 潜在滑床 砂质泥岩	天然	C/kPa	20.21
		$\varphi/^\circ$	11.56
	饱和	C/kPa	15.33
		$\varphi/^\circ$	8.92
	抗压强度	天然/MPa	6.19
		饱和/MPa	3.90
承载力特征值	强风化/kPa	300	
		中等风化/kPa	1 800
	挡墙基底同岩石摩擦系数	0.40	
		挡墙基底同粉质黏土摩擦系数	0.25
地基水平弹性抗力系数/MN·m ⁻³	砂质泥岩	80	

3 稳定性计算

3.1 计算模型

按刚体极限平衡理论 根据滑体物质结构特征、出现的变形迹象及滑面形态 采用折线法进行滑坡稳定性计算。

3.2 计算荷载与计算工况

静力荷载 ①滑体自重 ②地面荷载 考虑地面房屋建筑 ③地下水位作用于滑体上的渗透压力 其中 暴雨工况条件下的地下水位按勘察报告中确定的稳定性计算剖面上的预测水位采用。动荷载 不考虑。地震荷载 不考虑。

计算工况 分别按滑坡天然状况和《三峡库区三期地质灾害防治工程设计技术要求》的规定 对非涉水滑坡 稳定性计算时按技术要求的工况 5 进行计算 本次设计中滑坡稳定性计算取两种工况 具体如下：

工况 1 自重+地表荷载 工况 2 滑坡自重+地表荷载+10 年一遇 5 日暴雨($q_{全}$)

3.3 稳定性计算公式

稳定性分析采用二维极限平衡传递系数法进行计算 坡面地形线及可能滑面均简化成折线。计算时取滑坡体的单位宽度为 1 m。对于勘察报告给出的 7 条计算剖面 采用折线法计算滑坡稳定性，在此基础上对该滑坡区进行稳定性评价。

根据传递系数法 在考虑重力、孔隙水压力(假定孔隙水压力按线性分布)的情况 计算公式如下。

滑坡推力计算公式：

$$F_i=F_{si}[(W_{i1}+W_{i2})\sin\alpha_i+\Delta p_i\cos\alpha_i]-[c_i l_i+[(W_{i1}+W_{i2})\cos\alpha_i-p_{wi}-\Delta p_i\sin\alpha_i]\times\tan\varphi_i]+F_{i-1}\psi_{i-1}$$
$$\psi_i=\cos(\alpha_i-\alpha_{i+1})-\sin(\alpha_i-\alpha_{i+1})\tan\varphi_{i+1}$$

式中 ψ_i ——推力传递系数；

- F_i ——第 i 个条块末端的滑坡推力(kN/m)；
 F_{st} ——抗滑稳定安全系数，依技术中不同荷载组合及工程等级选取；
 W_{i1} ——第 i 个条块地下水位线以上土体天然重量(kN/m)；

- W_{i2} ——第 i 个条块地下水位线以上土体饱和重量(kN/m)；
 p_i ——第 i 个条块土体两侧静水压力的合力；
 p_{wi} ——第 i 条块土体底部孔隙压力；
 φ_i ——第 i 个条块所在滑动面上的内摩擦角($^{\circ}$)；
 α_i ——第 i 个条块所在滑动面上的单位粘聚力(kPa)；
 l_i ——第 i 个条块所在滑动面的长度(m)。
孔隙水压力的计算说明如下(图 2)。

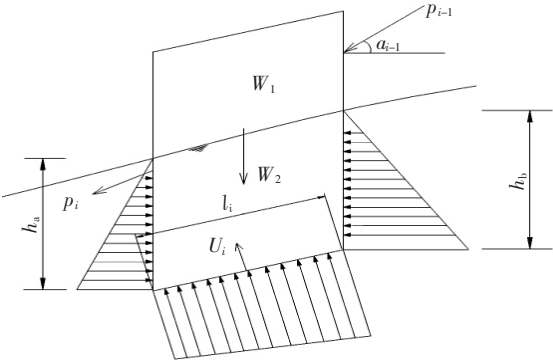


图 2 孔隙水压力计算示意图

$$\Delta p_i=(\gamma h_a^2-\gamma h_b^2)/2$$
$$\Delta p_{wi}=(\gamma h_a+\gamma h_b)l_i$$

本次计算中浸润线采用稳定性分析计算中的水位线。

3.4 滑坡稳定性的判别标准

稳定性系数 $F_s \geq F_{st}$ (滑坡稳定性安全系数)为稳定 $F_{st} \sim 1.05$ 为基本稳定 1.05~1.00 为欠稳定 小于 1.00 为不稳定。

3.5 滑坡稳定性计结果

防治工程等级采用 级 安全系数 F_{st} 静止水位工况 $F_{st}=1.15$ 暴雨工况 $K=1.10$ 。稳定性计算结果统计如表 2 所列。

根据计算结果 1-1'剖面天然状态下处于欠稳定状态，在暴雨工况下处于欠稳定状态 5-5'剖面天然状态下处于稳定状态，在暴雨工况下处于欠稳定状态 6-6'剖面天然状态

表 2 滑坡稳定性计算结果

滑坡区	剖面号	工况编号	荷载组合	稳定系数	滑坡剩余推力/kN
滑坡 区	1-1'剖面	1	自重+地表荷载	1.025	723.3
	1-1'剖面	2	自重+地表荷载+汛期 10 年一遇暴雨($q_{全}$)	1.001	755.5
	5-5'剖面	1	自重+地表荷载	1.166	0.0
	5-5'剖面	2	自重+地表荷载+汛期 10 年一遇暴雨($q_{全}$)	1.035	286.3
	6-6'剖面	1	自重+地表荷载	1.114	142.1
	6-6'剖面	2	自重+地表荷载+汛期 10 年一遇暴雨($q_{全}$)	1.000	405.2
	7-7'剖面	1	自重+地表荷载	1.136	60.6
	7-7'剖面	2	自重+地表荷载+汛期 10 年一遇暴雨($q_{全}$)	1.030	311.9
	3-3'剖面	1	自重+地表荷载	1.013	886.9
	3-3'剖面	2	自重+地表荷载+汛期 10 年一遇暴雨($q_{全}$)	1.001	1 106.5
滑坡 区	9-9'剖面	1	自重+地表荷载	1.088	190.7
	9-9'剖面	2	自重+地表荷载+汛期 10 年一遇暴雨($q_{全}$)	1.004	374.2
	10-10'剖面	1	自重+地表荷载	1.130	56.1
	10-10'剖面	2	自重+地表荷载+汛期 10 年一遇暴雨($q_{全}$)	1.004	293.8

下处于基本稳定状态,在暴雨工况下处于欠稳定状态;7-7'剖面天然状态下处于基本稳定状态,在暴雨工况下处于欠稳定状态;3-3'剖面天然状态处于欠稳定状态,在暴雨工况条件下稳定性处于欠稳定状态;9-9'剖面天然状态下处于基本稳定状态,在暴雨工况下处于欠稳定状态;10-10'剖面天然状态下处于基本稳定状态,在暴雨工况下处于欠稳定状态。

4 敏感性分析

小湾滑坡滑坡为非涉水滑坡,影响该滑坡稳定的外在主要因素包括大气降水及人类工程活动所产生的地面荷载等。

(1) 大气降水:降水入渗除引起地下水位的升高、使地下水浸润线抬升外,还提高了水位以上滑体的饱和度,对滑体构成加载,同时降低滑体土的密实度与抗剪强度指标;大量水的入渗,在滑面附近聚集,也会降低滑带土的抗剪强度,加之地下水渗透压力的影响,使滑坡的稳定状态恶化。

(2) 地面荷载:当在滑体上特别在滑体在后部修建建筑物、填土等,对滑体下滑段构成加载,前部挖方将会在滑体抗滑段构成减载,不利滑坡的稳定。

以上 2 种情况构成影响本滑坡整体稳定的主要敏感因素,由稳定性计算过程发现,上述敏感因素发生变化,滑坡的整体稳定系数随之变化,二种敏感因素中,尤以大气降水最为敏感,其次为地面荷载。

影响滑坡稳定性的内在因素主要为区域地质构造、滑体

土、滑带土的物质结构组成及工程物理力学指标,因此定量分析各种影响因素对滑坡稳定系数的影响程度对评价滑坡的稳定结果十分重要。

本次设计采用 1-1'剖面进行滑坡稳定性敏感分析,取滑坡区 $\varphi=10^{\circ}\sim 16^{\circ}$, $C=17.5\sim 27.5$ kPa,在自重+地表荷载+非汛期 10 年一遇暴雨($q_{全}$)工况下滑带土 $\varphi=12^{\circ}$, $C=13$ kPa 的稳定系数 $F_s=1.006$ 为基准值对 C 、 φ 值进行敏感性分析。

通过计算可知, C 、 φ 值与稳定系数之间存在明显的线性关系。 C 、 φ 值对滑坡稳定系数敏感系数分别为 17.82%~18.06%、46.6%~47.2%。滑动面 C 、 φ 值对稳定系数均有影响,尤其是 φ 值对滑坡稳定系数影响更显著。

5 稳定性综合评价

滑坡稳定性计算结果表明,在按 10 年一遇 5 日暴雨考虑地表降水的影响下,滑体的稳定性:滑坡区、滑坡区均处于欠稳定状态。因此,为确保滑体上居民生命财产安全,需采取工程措施对滑坡进行治理,建议采用对小湾滑坡治理工程为:抗滑桩+地表排水。

参考文献:

[1] 陈国阶,徐 琪,杜榕桓.三峡工程对生态与环境的影响及对策研究[M].北京:科学出版社,1995.
[2] 黄定国,邓一章,梁福庆.三峡库区城镇库岸防护问题[J].中国三峡工程建设,1999,2(4):10-11.

(上接第 34 页)闸门在顺利启闭,在闸门两侧各设置 4 个导向侧轮,以保证闸门从全关到全开始终平稳与侧轨接触,避免发生侧向倾斜。

支臂是一个受力复杂的构件,不仅承受平面内外弯矩,而且承受涌浪引起的震动荷载。从国内弧形闸门破坏资料可以看出,闸门的破坏往往是支臂的扭曲和失稳,因此应加强其强度、刚度和稳定性。本工程上、下支臂均采用支臂结构箱形结构,上、下支臂之间用格构式连接杆连接,以加强平面外的稳定性。

2.5 圆柱铰结构

闸门采用的圆柱铰结构如图 1 所示。在圆柱铰设计中,采用了国产钢基铜塑自润滑关节轴承来代替传统的圆柱滑动轴承,轴承内径为 480 mm,是国内已建水利工程中直径较大的国产关节轴承。此轴承是由带外球面的内圈和带内球面的外圈组成一对滑动摩擦副,由于球形表面的接触面积大且外圈球面在轴向有止推作用,因此能够同时承受一定的轴向和较大的径向荷载。另外滑动接触面具有自动调心,并在一定范围内调节偏斜而不影响轴承应力分布的作用,这不仅有利于闸门的安装及其安全运用,而且使支臂与铰轴的连接真正成为铰接,这在框架计算中较好的符合了设计计算假定。此轴承外形尺寸虽小,但承载力很高。承受动荷载 19 930 kN,承受静荷载 31 890 kN。

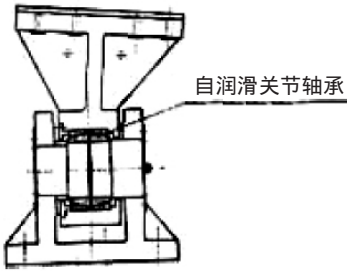


图 1 圆柱铰结构示意图

该弧门支铰轴的工况条件为典型的低速重载,安装精度要求较高,此轴承内圈为铜合金材料,外球形工作表面镶有固体自润滑材料,轴承在工作中不需添加润滑剂,摩擦系数为 0.05,远远低于钢与青铜 0.12 的摩擦系数。自润滑关节轴承具有自动调心,使闸门安装方便,且外形尺寸小,承载能力高,自润滑无需维护等优点,故近年来在国内弧门支铰轴设计中已得到普遍的应用。

6 结语

九旬峡水利枢纽溢洪洞弧门在设计过程中对闸门及设备的整体布置均进行了详细的分析比选,从布置、主框架设计到圆柱铰结构均进行了精心设计。该弧门已竣工挡水,运行近 2 a,闸门启闭灵活,止水严密,效果良好。