

飞水崖堆积体边坡的稳定性分析与评价

谢剑明,尹显科,郭劲松

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院 地质工程处,四川 成都 610072)

摘要:分析了深溪沟水电站右岸飞水崖堆积体边坡及古河槽的成因,采用条分法搜索稳定性最差的潜在滑动面并对边坡的稳定性作了计算和评价,计算中考虑了暴雨和地震等因素对边坡稳定性的影响。

关键词:堆积体;边坡稳定;稳定分析;影响因素;深溪沟水电站

中图分类号:TU470.3

文献标识码:B

文章编号:1003-9805(2007)01-0062-04

1 前言

深溪沟水电站位于大渡河中游汉源县和甘洛县接壤处,成昆铁路长河坝车站上游约1km峡谷中,坝址距上游汉源县城和下游乐山市金口河区分别约42km和25km。深溪沟水电站是瀑布沟水电站下游的反调节水电站。深溪沟水电站右岸飞水崖砾石土料为拟定的围堰土料。该料场为一堆积体边坡,坡体地势较陡,本文就其稳定性作一初步分析和评价。

2 堆积体边坡的基本地质条件

飞水崖堆积体边坡位于深溪沟沟口对面的大渡河右岸谷坡680m高程以上,堆积体分布有大片块碎石土。堆积体总体上呈扇形分布,向河谷方向展开,上、下游边界为两条冲沟。两冲沟呈“人”字形在后缘同源,上接飞水崖沟,该沟延伸数千米,沟向大体垂直大渡河,雨季汇水于飞水崖。飞水崖堆积体内冲沟不发育,坡面地形完整,坡面从前缘至后缘呈缓、陡、缓态势,总体地形坡度为 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$,前缘高程为680m左右,前缘以下临河为基岩陡壁,堆积体中部760~820m高程左右为一高60余米的覆盖层陡壁;堆积体后缘高程约900m,在此高程以上为陡缓交替的岩质岸坡。据地质调查和钻孔揭示,堆积体平面面积约7.5万 m^2 ,铅直厚度50~80m,最厚可达139~150m,估计总方量约500~600万 m^3 。

堆积体物质以块碎石为主,其下部周界区域的基岩顶面分布有冲积成因的含漂卵石层,厚度一

般3~5m。经钻孔揭示,在多数钻孔基覆界线附近分布有一薄层卵石层,坡体覆盖层具有以块碎石土为主体、底部分布有卵石层的二元结构(见图1)。块碎石土成分主要为近源的白云岩、白云质灰岩、砂岩,呈强~弱风化状态。物性分析表明,该层小于5mm粒径的平均含量为52.02%,小于0.075mm粒径的平均含量为23.04%,黏粒平均含量为6.05%。块碎石土结构密实、均一,表层钙华,呈钙泥质半胶结状态。

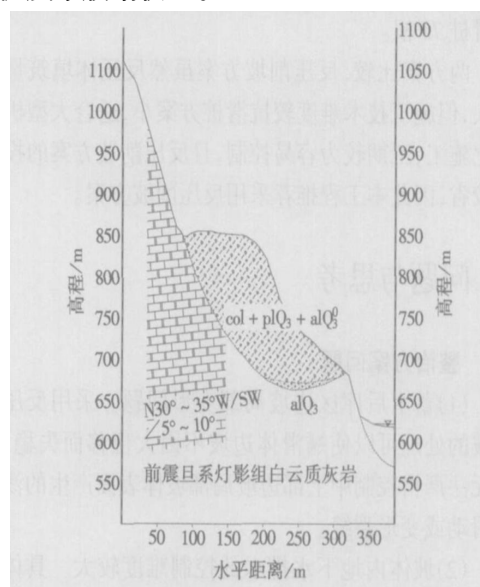


图1 堆积体边坡横II-II剖面

基于对堆积体结构、地形地貌条件、基岩顶面形态的分析,飞水崖堆积体区底部为一顺河方向的古河槽:

(1)据地质测绘和钻孔揭示,堆积体底部分布有

收稿日期:2006-01-10

作者简介:谢剑明(1977-),男,湖北京山人,硕士,助理工程师,主要从事于水电岩土工程勘测工作。

3~5m 冲积成因的卵砾石层,距现代河床拔河高 50m 左右;

(2) 已完成的 5 个钻孔揭示的基岩顶面最低高程为 648.83m,低于其前缘临河的基岩陡壁 680m 高程 30 余米,总体上堆积体区基岩顶板呈槽状负地形,延伸方向大体为顺河展布,为河谷演变过程中遗留的古河槽,形态上具有上游高、向下游渐低的展布趋势;

(3) 在现代河谷形态上,堆积体恰好分布于河流弧弯段的凸岸区,堆积体前缘为高 50~60m 的基岩陡壁。

3 堆积体及古河槽成因时代

经地勘论证,在飞水崖堆积体分布区,基岩顶板具槽状地形特点,其上覆堆积 3~5m 厚的冲积含漂卵砾石层,相当于 II 级阶地底部堆积物,说明基岩古河槽的形成时代当属 II 级阶地形成之前。

据对飞水崖堆积体块碎石土的物源分析,基本上为近源物质,分选性和磨圆度均较差,呈扇形分布,扇顶对应于飞水崖沟,其物质来源于飞水崖沟上部第四系冰川堆积物,经后期洪水搬运堆积于飞水崖,洪积物的不断堆积形成堆积扇,随着地壳快速抬升,河谷快速垂直下切,形成高悬的古河道及飞水崖堆积体。显然该堆积体成因属洪积堆积。

4 堆积体边坡稳定性分析与评价

4.1 飞水崖堆积体稳定性分析计算

在堆积体内及坡面未发现失稳破坏现象,堆积体整体处于古河槽内,自然条件下整体处于稳定状态。稳定性计算主要针对局部稳定性问题。假定滑弧以堆积体前缘基覆界线点为剪出点搜索滑面(滑面 1)和随机搜索最危险滑面(滑面 2),计算其稳定性系数。计算方法采用毕肖普方法和摩根斯坦-普赖斯法。

当不同地质剖面用同一公式计算而得出不同的边坡稳定性系数时,取其最小值;对同一地质剖面采用不同公式计算得出的边坡稳定性系数,取其平均值。按上述原则分析评价堆积体的稳定性。根据勘探布置,分别对飞水崖堆积体的 4 个横剖面作了稳定性计算。

4.1.1 计算剖面岩土体的物理力学参数取值

稳定性计算所采用的抗剪强度参数参考飞水崖堆积体碎石土室内的力学性试验结果(见表 1),即取凝聚力为 60kPa,摩擦角为 38.6°(见表 2)。暴雨时,计算岩土体按饱水状态考虑。参照 GB 50287 -

99《水利水电工程地质勘察规范》及其它有关规程,进行稳定性计算。

表 1 堆积体碎石土物理力学性试验结果

试验编号	天然状态				直剪试验(饱、固、快)		
	湿密度	干密度	含水率	孔隙比	比重	凝聚力	摩擦角
	$\rho_w / g \cdot cm^{-3}$	$\rho_s / g \cdot cm^{-3}$	$w \%$	e	G_s	c / MPa	$\phi / (^\circ)$
K _上					2.71	0.050	33.8
K _中	2.0	1.90	5.4	0.426	2.71	0.060	38.6
K _下					2.71	0.075	42.8

表 2 堆积体稳定性计算的物理力学参数建议取值

计算滑面	内聚力	内摩擦角	重度/饱水重度	地震系数
层位	c / kPa	$\phi / (^\circ)$	$\rho / kN \cdot m^{-3}$	K_0
碎砾石土	60	38.6	20/22	0.109

4.1.2 计算工况

根据飞水崖堆积体所处地理位置及其用途,以及堆积体边坡位于坝址下游且前缘最低高程都在 680m 以上,水库蓄水不会对其稳定性产生影响,因此对这一工况不作分析。本次稳定性分析主要考虑了地震和暴雨,并按以下工况考虑:

- (1) 基本组合(天然状况,载荷为自重);
- (2) 特殊组合 1(天然状况 + 暴雨,载荷为自重 + 暴雨);
- (3) 特殊组合 2(天然状况 + 地震,载荷为自重 + 地震)。

4.1.3 稳定性计算

采用圆弧法分别对横 I- I、II- II、III- III 和 IV- IV 剖面进行滑面 1 和滑面 2 最危险的滑面搜索。潜在的最危险滑动面如图 2 所示,滑动面在各种工况条件下的稳定性系数见表 3。

表 3 表明:飞水崖堆积体边坡滑面 1 在基本组合和特殊组合 1(天然状况 + 暴雨)工况下,横 I- I 和横 IV- IV 剖面稳定系数都大于 1.05,即整体处于稳定状态;横 II- II 和横 III- III 剖面潜在滑面 1 的稳定性系数都接近 1.0,处于临界稳定状态。在特殊组合 2(天然状况 + 地震)工况下,各滑面的稳定性系数都降低较多,横 II- II 和横 III- III 剖面潜在滑面 1 的稳定性系数都小于 0.95,处于不稳定状态;横 IV- IV 剖面潜在滑面 1 的稳定系数小于 1.05,处于临界稳定状态;横 I- I 剖面潜在滑面 1 的稳定性系数大于 1.05,处于稳定状态。

滑面 2 在基本组合和特殊组合 1 工况下,横 I- I 和横 IV- IV 剖面的潜在滑面 2 的稳定系数都大于 1.05,计算滑面处于稳定状态;横 II- II 和横 III- III 剖面的潜在滑面 2 的稳定性系数都小于 0.95,处于不稳定状态。在特殊组合 2 工况下,横 II- II 和横 III- III 剖面的潜在滑面 2 的稳定性系数都小于 0.95,处于不稳定状态;横 IV- IV 剖面的稳定系数小于 1.05,处于临界稳定状态;横 I- I 剖面潜在滑

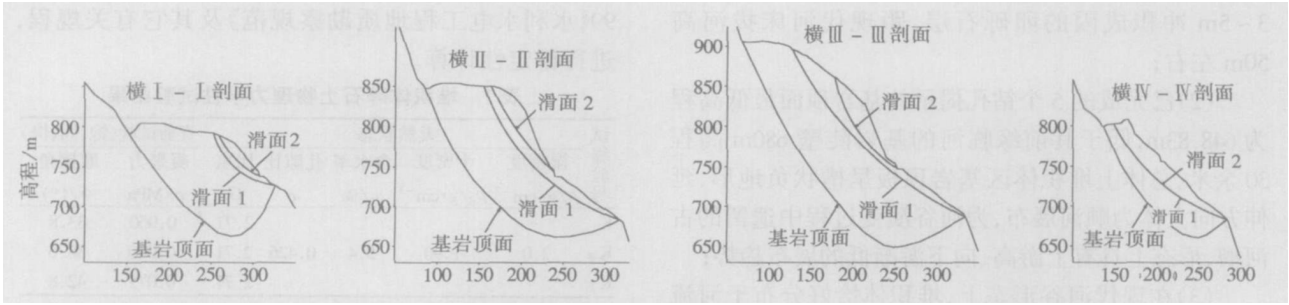


图 2 飞水崖堆积体边坡横 I~IV剖面潜在最危险滑动面示意

表 3 飞水崖堆积体边坡各计算剖面的稳定性系数

计算剖面	计算方法	潜在滑面 1 的稳定性系数			潜在滑面 2 的稳定性系数		
		基本组合	特殊组合 1	特殊组合 2	基本组合	特殊组合 1	特殊组合 2
横 I - I	毕肖普法	1.412	1.371	1.211	1.388	1.337	1.187
	摩根斯坦 - 普赖斯法	1.401	1.359	1.190	1.385	1.333	1.183
	平均值	1.407	1.365	1.201	1.387	1.335	1.185
横 II - II	毕肖普法	1.006	0.984	0.855	0.880	0.853	0.748
	摩根斯坦 - 普赖斯法	1.005	0.983	0.859	0.869	0.842	0.736
	平均值	1.006	0.984	0.857	0.875	0.848	0.742
横 III - III	毕肖普法	1.020	0.997	0.866	0.892	0.867	0.774
	摩根斯坦 - 普赖斯法	1.013	0.990	0.857	0.881	0.856	0.758
	平均值	1.017	0.994	0.862	0.887	0.862	0.766
横 IV - IV	毕肖普法	1.230	1.204	1.036	1.230	1.204	1.036
	摩根斯坦 - 普赖斯法	1.219	1.194	1.029	1.219	1.194	1.029
	平均值	1.225	1.199	1.033	1.225	1.199	1.033

面 2 的稳定性系数大于 1.05,处于稳定状态。

4.1.4 反演分析计算

(1) 参数的反算。目前,飞水崖堆积体边坡无论是整体还是局部均处于稳定状态,坡面未发现失稳破坏现象;而计算的结果显示,在天然状况下,横 II - II和横 III - III剖面的潜在滑面 2 的稳定系数都小于 0.95,因此需对参数进行反算。反演分析时选取稳定性系数最小的横 II - II剖面,反算的稳定性系数取 1.0,工况为特殊组合 1(天然状况 + 暴雨)。反演结果见图 3。

室内饱和固结快剪试验所得凝聚力 c 的均值为 60.0kPa,考虑到堆积体边坡呈钙泥质微胶结~半胶结状态,且坡面局部见钙华现象,所以 c 取 100kPa,对照 $K - \phi - c$ 关系曲线,得到堆积体潜在滑面的摩擦角 ϕ 的取值为 37.4°。

(2) 反演计算成果。利用反算得到的参数计算横 I - I、横 II - II、横 III - III和横 IV - IV剖面在各工况下潜在滑面的稳定性系数见表 4。

计算结果表明,横 I - I和横 IV - IV剖面在特殊组合 2(天然状况 + 地震)的工况下潜在滑面 1 的稳定性系数都大于 1.05,即滑面 1 所属局部稳定处于稳定状态;横 II - II和横 III - III剖面潜在滑面 1 的稳定性系数介于 1.00 和 0.95 之间,滑面 1 所属局部稳定处于临界稳定状态;在特殊组合 2(天然状况 + 地震)的工况下,横 I - I和横 IV - IV剖面潜在滑

面 2 的稳定性系数都大于 1.05,即其所属局部稳定也都处于稳定状态;横 II - II和横 III - III剖面潜在滑面 2 的稳定性系数小于 0.95,即所属局部稳定处于不稳定状态。

4.2 稳定性分析与评价

飞水崖堆积体地面地形较完整,无冲沟,仅在边界发育两条呈“八”字形展布的暂时性流水冲沟,向上与飞水崖沟同源。前缘临河为基岩陡壁,内侧为古河槽,堆积体基座位于古河槽内,呈扇形展布,中部分布有一 60m 高的堆积体陡壁。堆积体物质为块碎石土,结构密实,呈钙泥质半胶结状态。坡面未发现失稳破坏现象,陡壁前缘区域为旱地耕作区,陡壁及后部区域灌木丛生。可见飞水崖堆积体整体处于稳定状态。

从局部稳定计算结果来看,4 个横剖面在基本组合和特殊组合 1(天然状况 + 暴雨)的工况下,滑面 1 所属局部都处于稳定状态;在特殊组合 2(天然

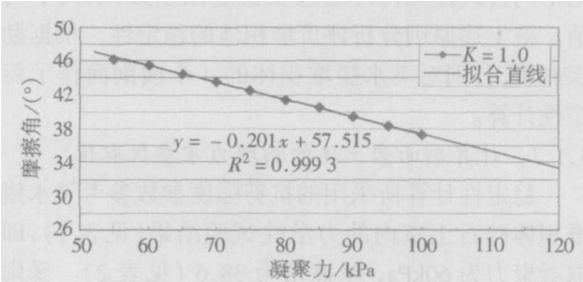


图 3 反算 $K - \phi - c$ 关系曲线

表 4 飞水崖堆积体边坡各计算剖面的稳定性系数

计算剖面	计算方法	潜在滑面 1 的稳定性系数			潜在滑面 2 的稳定性系数		
		基本组合	特殊组合 1	特殊组合 2	基本组合	特殊组合 1	特殊组合 2
横 I- I	毕肖普法	1.663	1.594	1.432	1.654	1.598	1.407
	摩根斯坦- 普赖斯法	1.674	1.605	1.446	1.649	1.594	1.402
	平均值	1.669	1.600	1.439	1.652	1.596	1.405
横 II- II	毕肖普法	1.132	1.096	0.976	1.048	1.005	0.914
	摩根斯坦- 普赖斯法	1.131	1.095	0.976	1.046	1.001	0.903
	平均值	1.132	1.096	0.976	1.047	1.003	0.909
横 III- III	毕肖普法	1.160	1.121	0.998	1.043	1.001	0.919
	摩根斯坦- 普赖斯法	1.151	1.113	0.986	1.041	0.999	0.909
	平均值	1.156	1.117	0.992	1.042	1.000	0.914
横 IV- IV	毕肖普法	1.376	1.333	1.173	1.376	1.333	1.173
	摩根斯坦- 普赖斯法	1.368	1.326	1.164	1.368	1.326	1.164
	平均值	1.372	1.330	1.169	1.372	1.330	1.169

状况 + 地震) 的工况下,横 I- I 和横 IV- IV 剖面滑面 1 所属局部处于稳定状态,横 II- II 和横 III- III 剖面滑面 1 所属局部处于临界稳定状态。

横 I- I 和横 IV- IV 剖面在基本组合、特殊组合 1 和特殊组合 2 工况下,滑面 2 所属局部都处于稳定状态;横 II- II 和横 III- III 剖面在特殊组合 1 工况下,局部都处于临界稳定状态,在特殊组合 2 的工况下局部都处于不稳定状态,存在失稳的可能性,且都处在陡坡地带。另从稳定性计算结果可知,影响飞水崖堆积体边坡稳定的主导因素是地震,暴雨影响相对较小。

考虑到坝区枢纽布置和施工影响,以及坡体地形较陡存在局部不稳定问题,将威胁建筑物出口区,因此建议场内公路、水工建筑物的布置应避开堆积体,避免对堆积体的中、下部开挖,特别应避免对坡体的天然土体结构的扰动、破坏,并对坡体采取适当处理措施。

5 结论及建议

通过采用圆弧法对飞水崖堆积体潜在的滑动面的搜索,并用毕肖普法和摩根斯坦- 普赖斯法分别计算了各潜在滑动面三种组合工况下的稳定性系数,以及采用反演参数再次计算了各潜在的滑动面的稳定性系数,可知:

(1) 飞水崖堆积体边坡横 I- I 和横 IV- IV 剖面在基本组合、特殊组合 1 和特殊组合 2 工况下,都处于稳定状态;横 II- II 和横 III- III 剖面在特殊组合 1 工况下,局部都处于临界稳定状态,在特殊组合 2 的工况下局部都处于不稳定状态,存在失稳的可能性,且都处在陡坡地带。

(2) 影响飞水崖堆积体边坡的主导因素是地震,暴雨影响相对较小。

由于飞水崖堆积体陡表坡地带存在不稳定性,建议场内公路、水工建筑物的布置均应避开堆积体,避免对堆积体的中、下部开挖。如不能避免,则应采取相应的边坡处理措施,确保施工的安全。

简讯

成都院的七个工程项目荣获四川省“四优”奖

2006 年度四川省“四优”奖即优秀工程设计、优秀工程勘察、优秀工程设计软件、优秀工程建设标准设计的参评项目有 135 项,经过专家组初评、“四优”评审委员会议通过、上网公示以及建设厅审批,共评定出一等奖 23 项、二等奖 38 项、三等奖 40 项。成都院获得三个一等奖、三个二等奖、一个三等奖,共计七个获奖项目,创下了成都院在一个年度内省级“四优”评选活动中获奖数量最多的新纪录,也充分展现了成都院的勘察设计技术实力和水平。具体获奖情况如下:

- 《四川岷江紫坪铺水利枢纽工程勘察》获优秀工程勘察一等奖;
- 《四川省阿坝州草坡河沙牌水电站工程勘察》获优秀工程勘察一等奖;
- 《通口水电站工程勘察》获优秀工程勘察二等奖;
- 《四川华能小关子水电站工程勘察》获优秀工程勘察二等奖;
- 《四川省阿坝州草坡河沙牌水电站工程设计》获优秀工程设计一等奖;
- 《通口水电站工程设计》获优秀工程设计二等奖;
- 《四川华能小关子水电站工程设计》获优秀工程设计三等奖。

(本刊编辑部)