

黄金坪水电站尾水出口边坡开挖支护优化设计

尹葵霞，樊熠玮

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 610072)

摘要:黄金坪水电站在左岸地下厂房尾水出口边坡大部分为岩质边坡,可研设计阶段尾水边坡开挖高度较高,工程量较大,开挖范围较广。开挖实施过程中,为减少边坡开挖爆破对附近姑咱镇居民的影响,降低或避免社会与环保风险,结合尾水出口闸墩设计调整,对边坡开挖开展了大量的优化设计调整工作,有效控制了边坡开挖高度,节约了工程投资。

关键词:黄金坪水电站;边坡;EMU;优化设计

中图分类号:TV7;TV22;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)02-0033-05

1 概 述

黄金坪水电站位于大渡河上游河段,系大渡河干流水电规划“三库22级”中的第11级电站。水库正常蓄水位高程为1476 m、相应水库库容为1.28亿m³,电站总装机容量为850 MW,其中右岸环保电站安装2台单机容量为25 MW的水轮发电机组。电站采用水库大坝和“一站两厂”的混合式开发,枢纽建筑物主要由沥青混凝土心墙堆石坝、1条岸边溢洪道、1条泄洪(放空)洞、左岸引水发电建筑物和右岸环保电站引水发电建筑物等组成。

黄金坪水电站引水发电系统由左岸引水发电建筑物和右岸引水发电建筑物等组成,其中左岸两条尾水隧洞出口位于大渡河左岸姑咱镇附近。招标设计阶段尾水洞出口设置检修闸门室,上部布置过闸交通桥,闸室段顺水流向总长15 m。

根据尾水出口布置情况,建筑物包括检修闸室和过闸交通,加之尾水隧洞断面较大,因此需要对出口山体进行大范围开挖。根据尾水出口岩体地质条件,稳定开挖坡比为1:0.75。为减小边坡开挖高度,按照1:0.5进行开挖与支护设计,边坡开挖高度约为146 m。

尾水出口大渡河对岸为姑咱镇,房屋和人口密度较大,直线距离约70余m,尽管出口边坡开挖爆破点位于居民点爆破安全距离外,但仍可能对姑咱镇房屋和人员产生不利影响,或将引发社会风险。

为减少对当地居民和社会的干扰,维护社会

稳定,保证工程顺利进行,设计单位对尾水边坡开挖开展了大量的优化设计工作。

2 出口边坡地质条件

黄金坪水电站左岸地下厂房尾水洞出口边坡地形陡峭,大部分基岩裸露,近三面临空。自然边坡坡度一般为40°~50°,自然坡高600 m以上,岩体风化、卸荷深度大。尾水隧洞出口边坡岩性以晋宁-澄江期斜长花岗岩及闪长岩为主,物理地质现象主要表现为岩体风化、卸荷和崩塌,岩体强卸荷水平深度为28 m,弱卸荷水平深度为105 m,弱风化水平深度为190 m。

边坡岩体中无较大规模的断层分布,岩体结构总体为次块状~块裂结构,局部为碎裂结构。边坡强卸荷带岩体以Ⅳ类为主,弱卸荷带内岩体以Ⅲ类为主。

通过对尾水隧洞出口自然边坡的岩性、构造、物理地质现象以及边坡岩体结构特征进行的综合分析表明自然边坡整体基本稳定,其变形破坏形式主要为后坡强卸荷松动危岩体的崩塌失稳以及滑移拉裂。

尾水隧洞工程边坡出口主要发育的代表性结构面为:J1、J2、J8三组裂隙及f7-2'、f7-3、f7-5三条小断层,洞脸边坡存在以下变形破坏类型:

①以f7-3、J2等缓倾角顺坡结构面为主滑面,f7-2'、f7-7、J8等中陡倾角结构面为后缘切割面,f7-5、J1结构面为侧向切割面,构成潜在平面滑移拉裂破坏;

②沿J8等陡倾角结构面发生倾倒~崩塌破坏;

③f7-3、f7-2、J1、J2等结构面间构成楔形滑移拉裂破坏的不利组合。

3 边坡开挖招标设计

根据尾水洞出口地质条件,经分析计算,按照“强支护、少开挖”的原则,拟定尾水洞出口边坡开挖支护坡比为1:0.5,每20 m设一马道,马道宽2 m。尾水洞出口最大坡高146 m,开挖工程量约为19万m³。

由于边坡次级小断层及节理、裂隙发育,经组合形成不利稳定块体,故局部存在楔形滑移拉裂、平面滑移拉裂、倾倒~崩塌等多种变形破坏型式。按照地质人员分析的潜在滑移组合模式,采用规范推荐的传递系数法进行整体稳定计算。支护方式及计算剖面见图1。

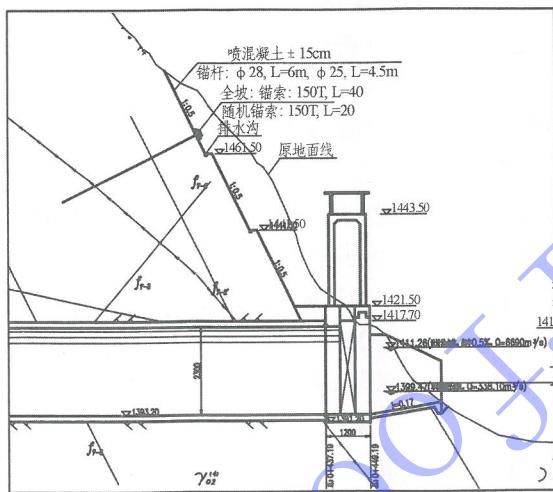


图1 尾水洞出口典型开挖边坡剖面图

4 尾水出口边坡优化设计

4.1 优化调整的原因

边坡开挖施工过程中,姑咱镇当地居民提出,出口边坡开挖爆破将影响其房屋安全,反对大规模爆破开挖。为减少对当地居民的影响,保证工程的顺利进行,并从降低环境影响、减少工程量、优化工期、节约投资的角度出发,结合尾水出口闸门及过闸交通布置,对边坡开挖布置进行了调整,结合闸室和过闸交通提出了7个开挖方案进行综合技术经济比较。

4.2 优化设计思路

根据地质、地形条件、尾水检修闸门相关资料,优化设计的主要思路为:

(1)研究尾水洞出口检修闸室布置,调整闸室位置、压缩闸室长度并研究取消交通公路的可

行性;

(2)根据地形、地质条件,强化“强支护、少开挖”的原则,通过计算分析,研究进一步提高开挖坡比,降低开挖量的可行性;

(3)根据电站运行的实际情况,研究分析取消尾水出口检修闸室的可行性。

4.3 尾水出口边坡稳定计算及综合比选

4.3.1 边坡抗滑稳定标准

根据《水电水利工程边坡设计规范》DL/T5353-2006的规定,黄金坪水电站属于二等大(2)型工程,左岸地下厂房引水及发电等永久性主要建筑物为2级建筑物,尾水边坡属于Ⅱ级边坡,计算分析中边坡抗滑稳定系数取值如下:

- (1)持久设计工况(即正常运用工况)取1.25;
- (2)短暂设计工况(即暴雨工况)取1.05;
- (3)偶然设计工况(即地震工况)取1.05。

4.3.2 边坡计算方法

尾水出口边坡为岩质边坡,结构面组合符合平面假定,主要采用中国水利水电科学院陈祖煜院士所编制的EMU程序进行计算。

4.3.3 边坡稳定计算

- (1)计算剖面的选取。

1#尾水洞的边坡为1-1剖面,2#尾水洞的边坡为2-2剖面,两条尾水洞之间取3-3剖面。

- (2)滑移模式分析。

尾水隧洞工程边坡出口主要发育的代表性结构面为J1、J2、J8三组裂隙及f7-2'、f7-3、f7-5三条小断层,发育部位均在1485 m高程以下。以f7-3、J2等缓倾角顺坡结构面为主滑面,f7-2'、f7-7、J8等中陡倾角结构面为后缘切割面,f7-5、J1结构面为侧向切割面,构成潜在平面滑移拉裂破坏;沿J8等陡倾角结构面发生倾倒~崩塌破坏;f7-3、f7-2等结构面间构成楔形滑移拉裂破坏的不利组合。所选取的计算剖面显示,由于J2为产状SN/W∠30°的顺坡裂隙,成为最为危险的滑动面,故选取f7-2'、J2等结构面间构成的滑移拉裂破坏的不利楔形体作为最危险滑移面进行计算。而J2为间距0.5~2 m的多条裂隙,因此,首先试算出其与f7-2组成最危险滑裂面的位置高程,然后进行各方案对应工况下的计算分析。

- (3)设计工况。

计算分析时按照三种设计工况进行稳定性分

析,分析类型采用滑动稳定分析,具体为:

①持久设计工况,即正常运行工况。

②短暂设计工况,即暴雨工况;由于计算采用简化处理,浸润线的位置对此工况的计算结果影响很大。计算时,根据地质资料拟定浸润线为下部自河床水面线高程起,沿着地面线向上由近至远以约1.2~13.3m的距离延伸。

③偶然设计工况,即地震工况;地震基本烈度为8度,设防烈度取基本烈度,地震效应折减系数取0.25。

4.3.4 边坡优化方案稳定计算

根据优化设计思路,拟定并研究了以下7个方案。

(1)方案一:尾闸交通公路宽度由8.65m减

为6.75m,尾水出口开挖坡比由1:0.5调整为1:0.3(图2)。

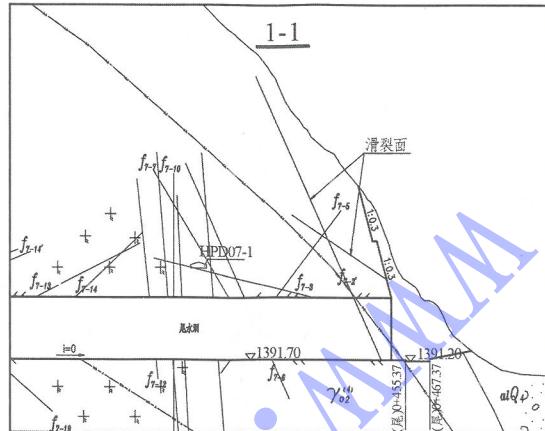


图2 方案一边坡稳定示意图

各工况对应的边坡抗滑稳定安全系数见表1。

表1 方案一抗滑稳定安全系数计算成果表

运行工况	计算安全系数K	支护后安全系数Ko	支护措施
持久设计工况(正常运用)	1.13	1.25	
短暂设计工况(暴雨)	0.97	1.07	10排150t及5排200t@5m锚索,L=45~55m,交错布置
偶然设计工况(地震)	1.04	1.14	

对计算结果进行分析得知边坡在1:0.3的坡比开挖后,未加支护时各工况稳定安全系数均不满足规范要求,稳定性较差,需采取永久支护措施且支护量较大。

(2)方案二:为减小开挖量、尽量少扰动边

表2 方案二抗滑稳定安全系数计算成果表

运行工况	计算安全系数K	支护后安全系数Ko	支护措施
持久设计工况(正常运用)	1.2	1.35	
短暂设计工况(暴雨)	1.01	1.09	6排150t@6m锚索,L=40~50m,交错布置
偶然设计工况(地震)	1.09	1.15	

对计算结果进行分析得知边坡在1:0.5的坡比开挖后,未加支护时各工况稳定安全系数均不满足规范要求,稳定性较差,需采取永久支护措施。

(3)方案三:在方案二的基础上将1#、2#尾水出口边坡开挖坡比由1:0.5调整为1:0.3(图3)。

经过计算分析,3-3剖面位置边坡计算稳定性最差,其各工况下对应的边坡抗滑稳定安全系数见表3。

对计算结果进行分析得知边坡计算各稳定安全系数均不满足规范要求,稳定性较差,需采取永久支护措施。但此方案较其它方案开挖量较小,对姑咱镇影响也相对较小且经济性较高。

(4)方案四:在方案三的基础上进一步优化,边坡开挖坡比由1:0.3调整为1:0.1(图4)。

坡,将方案一中1#尾水洞出口检修闸室往河床方向外移5m,2#闸室不动,闸室长度均为12m,两条隧洞边坡开挖坡比取1:0.5。

各工况对应的边坡抗滑稳定安全系数见表2。

表2 方案二抗滑稳定安全系数计算成果表

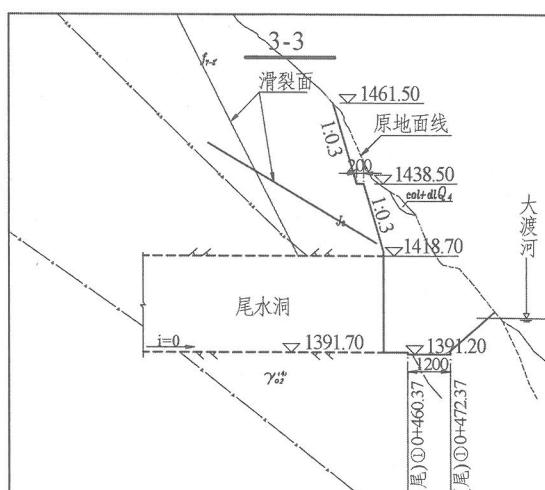


图3 方案三边坡稳定示意图

表3 方案三抗滑稳定安全系数计算成果表

运行工况	计算安全系数 K	支护后安全系数 Ko	支护措施
持久设计工况(正常运用)	1.1	1.17	
短暂设计工况(暴雨)	0.99	1.06	7排150t/200t@6m锚索,L=45~55m,交错布置
偶然设计工况(地震)	1.02	1.1	

表4 方案四抗滑稳定安全系数计算成果表

运行工况	计算安全系数 K	支护后安全系数 Ko	支护措施
持久设计工况(正常运用)	0.95	1.12	
短暂设计工况(暴雨)	0.88	1.03	11排200t@6m锚索,L=50~60m
偶然设计工况(地震)	0.92	1.04	

各工况对应的边坡抗滑稳定安全系数见表4。



图4 方案四边坡稳定示意图

对计算结果进行分析得知:边坡在1:0.1的坡比开挖后各项稳定安全系数均不满足规范要求,稳定性较差,需采取永久支护措施。虽然开挖量较少,但支护量相对较大,经济性差。

(5)方案五:尾闸室平台不设公路,尾闸室减小长度至8 m,边坡开挖坡比为1:0.3(图5)。由图5可见,若将闸室内侧原6.75 m的预留路取消,然后将闸室由12 m×26 m(长×宽)优化为8 m×26 m(长×宽),则尾水洞出口相当于外延10.75 m,1#尾水洞出口边坡1-1剖面位置基本没有开挖,3-3剖面位置有少量开挖,2#尾水洞出口边坡有很少量的开挖,就边坡来说开挖量很小。

但此方案没有施工通道及过车条件,为了方便施工交通,在闸室下游布置了1.5 m宽的悬臂平台,与排架之间的总宽度为3.5 m,可供小型车辆出入。

各工况对应的边坡抗滑稳定安全系数见表5。



图5 方案五边坡稳定示意图

表5 自然边坡的抗滑稳定安全系数计算成果表

运行工况	计算安全系数 K
持久设计工况(正常运用)	1.38
短暂设计工况(暴雨)	1.23
偶然设计工况(地震)	1.29

对计算结果进行分析得知:开挖边坡稳定系数满足规范要求。

(6)方案六:在方案五的基础上将尾水出口检修闸门调整为叠梁门。

出口布置型式不变,仅将检修闸门调整为叠梁门,则平时叠梁门槽顶部采用盖板封口,门槽可以兼顾施工通道,这样实施不但保留了施工道路,而且尾闸长度可以由原设计的12 m×26 m(长×宽)优化为8 m×26 m(长×宽),优化思路同方案五,但不需再考虑另找施工道路。

由于尾水洞净宽为16 m,如果调整为叠梁门,则直接用汽车吊时难度很大,很难入槽。为了减小闸门尺寸需增设中墩,将闸门一分为二,以方便吊装。中墩增设后,可能会影响尾水隧洞的有效过流断面,为了尽可能减少对过流的影响,尾水洞出口段两边需增加宽度,相应的尾闸也较方案

五增加了工程量,而且尾水闸门室平台宽度不能满足汽车吊装场地需求,同时因需要考虑汽车运行及通过的道路,边坡开挖量增大,支护量也随之增加。因此,方案五相较方案六更优。

(7)方案七:取消尾闸室,尾水洞外延,最大程度减少尾水洞出口上方边坡的开挖,仅按环境边坡治理措施进行支护,如图6所示。

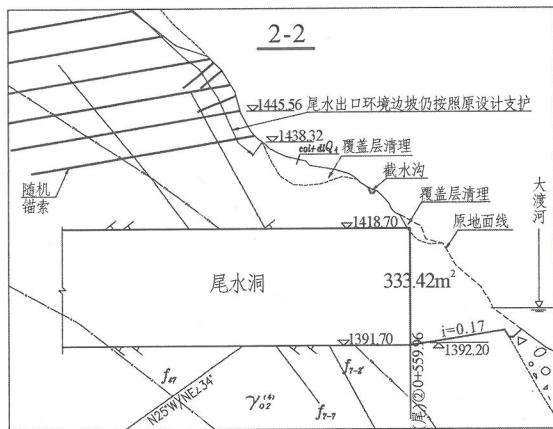


图6 方案七边坡稳定示意图

表6 自然边坡的抗滑稳定安全系数计算成果表

运行工况	计算安全系数K
持久设计工况(即正常运用工况)	1.41
短暂设计工况(即暴雨工况)	1.28
偶然设计工况(即地震工况)	1.33

对计算结果进行分析得知:边坡稳定系数满足规范要求,但由于环境边坡潜在的不稳定因素很多,仍需采取一定的支护措施。

4.4 各优化方案工程投资及优缺点比较

各方案工程投资及优缺点见表7。

根据以上综合比较,最终推荐方案五。

对最终优化方案与招标方案工程量及投资进行对比得知,尾水边坡优化设计共节省投资1 980.03万元。

表7 各优化方案工程投资及优缺点对比表

方案	投资/万元	优 点	缺 点
方案一	1237.87	不占河道,不影响行洪,施工围堰布置裕度大,运行方便	边坡不满足安全稳定要求,开挖量大,支护量大,社会环境影响大
方案二	671.49	略占河道,基本不影响行洪,施工围堰布置稍难,支护量小,运行方便	边坡高,开挖量很大,社会环境影响大
方案三	673.48	略占河道,基本不影响行洪,施工围堰布置稍难,支护量小,运行方便	边坡较高,开挖量大,社会环境影响大
方案四	1 210.38	略占河道,基本不影响行洪,施工围堰布置稍难,运行方便,开挖量较小,社会环境影响较小	边坡不满足安全稳定要求,支护量过大
方案五	593.74	略占河道,基本不影响行洪,施工围堰布置稍难,开挖量小,支护量小,社会环境影响小	没有尾水出口检修公路,仅设尾水平台供小型车辆出入,运行期间略有不便
方案六	593.74	略占河道,基本不影响行洪,施工围堰布置稍难,开挖量小,支护量小,社会环境影响小	没有尾水出口公路,需要运输公路、起吊场地、存放叠梁门场地及租用吊车,运行不方便
方案七	571.16	不占河道,不影响行洪,施工围堰布置稍难,开挖量最小,支护量小,社会环境影响最小	无检修闸门,检修时需堆砌7~9 m高围堰;存在泥沙淤积问题

5 结语

经过对黄金坪水电站尾水出口的布置进行优化和边坡稳定计算分析复核、工程量、现场施工和运行条件以及社会环境等因素等的综合比较,最终确定了尾水出口边坡开挖支护实施方案。该方案在确保电站运行功能的条件下,有效地降低了边坡高度,减少了开挖工程量,节省了工程投资,最大限度地降低了对姑咱镇的社会影响,保证了工程顺利建设。

参考文献:

- [1] DL/T5353-2006,水电水利工程边坡设计规范[S].
- [2] 陈祖煜,汪小刚,杨健,等.岩质边坡稳定分析——原理方法程序[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [3] 陈祖煜,等.土质边坡稳定分析——原理方法程序[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [4] DL/T 5176-2003,水电工程预应力锚固设计规范[S].

作者简介:

尹葵霞(1978-),女,河南舞阳人,设计副总工程师,高级工程师,工程硕士,从事水电工程设计与管理工作;
樊熠玮(1981-),男,河南三门峡人,高级工程师,学士,从事水电工程设计与管理工作。
(责任编辑:李燕辉)