

长河坝水电站泄洪洞进口边坡地质条件 复核及优化治理

刘永波, 唐世明, 王宗琼, 蒙富强

(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:对长河坝水电站泄洪洞进口边坡进行了详细的地质调查,根据前期勘探成果并结合初期导流洞和右岸交通洞开挖揭示的情况,详细查明了边坡的岩体结构、构造、变形破坏机制等,对泄洪洞进口边坡按照“高边坡、强支护、低开口”的原则进行了设计优化,从可研阶段边坡开挖高度的315 m左右降低为目前开挖高度的125 m左右,根据边坡监测数据得知,边坡未出现异常情况。该设计优化大幅度降低了开挖高度,节约了工期,降低了工程风险。^[1]。

关键词:裂隙密集带;稳定性分析;长河坝水电站;设计优化;施工监测;边坡

中图分类号:TV7;TV221

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)01-0043-03

1 概述

长河坝水电站三条泄洪洞布置于大渡河右岸,从左至右依次为1#泄洪洞、2#泄洪洞和3#泄洪洞,其中1#为深孔,2#、3#为开敞式,洞长为1.3~1.5 km。三条泄洪洞大致平行布置,洞向为S13°~14°W。1#泄洪洞进口高程1 645 m,2#、3#泄洪洞进口高程1 663.5 m。泄洪洞进口边坡高陡,前期勘探揭示,控制边坡稳定性的主要因素为mj5破碎带及其影响带。可研阶段采取对mj5破碎带及其影响带全挖方案,开挖高度最高达315 m。在技施阶段,通过对进口边坡进行的详细地质调查,结合初期导流洞和右岸交通洞对mj5开挖揭示的情况,详细查明了边坡的岩体结构、构造、变形破坏机制等,对mj5有了新的、充分的认识,认为在边坡可以保留mj5破碎带及其影响带,遂对泄洪洞进口边坡“高边坡、强支护、低开口”的原则进行了设计优化。

2 泄洪洞进口边坡基本地质条件

泄洪洞进口边坡位于大渡河右岸象鼻沟上游坡段,自然斜坡在1 800 m以下,平均坡度为48°~54°。1#泄洪洞纵向坡自然坡度为63°左右,2#、3#泄洪洞纵向坡自然坡度为55°~65°。坡体基岩裸露,局部发育植被,主要出露澄江~晋宁期石英闪长岩($\delta_{02}^{(3)}$)和中粗粒花岗岩($\gamma_2^{(4)}$),其下部公路边见少量侵入细晶花岗岩脉(γ_1)。地表调查和勘探平洞揭示泄洪洞进口部位无区域性断

裂通过,地质构造以次级小断层、节理裂隙为特征。进口岩体呈弱风化,强卸荷水平深度一般为20~35 m,弱卸荷水平深度为64~78.5 m。地下水主要为基岩裂隙潜水,受地表降水补给,向河床排泄,分布于裂隙岩体和断层带附近,受断层或岩脉阻水而局部富集。工程区场地50 a超越概率10%的基岩水平峰值加速度为172 gal,相应的地震基本烈度为Ⅷ度。工程区域构造稳定性较差。

3 边坡前期稳定性分析与开挖支护设计

坡体中主要发育J4、J7、J2、J6、J3、J1等多组结构面,裂隙性状见表1。其中以J4、J7、J2、J6等组结构面较为发育,局部零星发育J5组裂隙。此外,发育V1级结构面mj5,产状同J4,由NW向陡倾角长大裂隙平行密集发育组成,裂隙间距一般为1~3 m,长大裂隙裂面上常见压碎现象,局部倾倒张开,延伸长度大于300 m,破碎带宽30~40 m。受mj5影响,岩体较破碎,呈块裂结构~碎裂结构,总体为“Ⅳ”类。

根据设计开挖坡比1:0.5,泄洪洞纵剖面与地形线呈大角度相交,洞脸边坡走向为N77°W,内外侧边坡走向为N13°E,采用赤平投影分析(表2,图1)。

(1)洞脸边坡:J4组陡倾裂隙与开挖面呈小角度相交且倾向坡外,倾角略大于开挖面倾角,延伸长度较大,间距较小,构成板裂状结构,易发生倾倒拉裂破坏;J6组缓倾角裂隙为底滑面,J4组裂隙为后缘拉裂面,J7组裂隙为侧向切割面,易

收稿日期:2015-12-21

表1 泄洪洞进口段裂隙发育统计表

组别	产状	性状特征
J4	N65°~85°W/NE∠75°~82°	发育程度高,延伸长大,常以裂隙密集带形式产出
J7	N20°~35°E/SE∠75°~85°	较发育,延伸长大
J2	N15°~30°E/SE∠45°~55°	较发育,延伸长大,常充填石英岩脉,地貌显示常构成边坡的滑移控制面
J6	N20°~35°W/NE∠30°~40°	较发育,起伏,粗糙,单条延伸一般为5~6m,断续延伸可达20~30m,常构成边坡的滑移控制面
J3	N35°~50°E/NW∠50°~65°	较发育,延伸相对较短,一般为2~3m
J1	N10°~25°E/SE∠20°~38°	发育程度较低,延伸较短

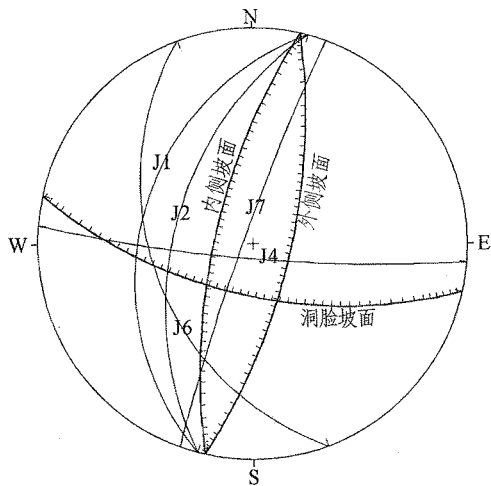


图1 泄洪洞边坡赤平投影图

表2 裂隙产状表

编号	结构面产状
J4	N85°W/NE∠82°
J7	N20°E/SE∠85°
J2	N15°E/SE∠50°
J1	N15°E/SE∠35°
J6	N20°W/NE∠40°
洞脸坡面	N77°W/NE∠63°
内侧坡面	N13°E/SE∠70°
外侧坡面	N13°E/NW∠70°

产生滑移拉裂破坏。

(2)内侧边坡:J2组和J1组裂隙走向与开挖面近于平行,倾向坡外,倾角小于开挖坡脚,以J4组裂隙作为侧向割裂面;J7组裂隙作为后缘拉裂面,易发生滑移拉裂破坏;J7组陡倾角裂隙与开挖坡面近于平行,在浅表部易发生倾倒变形破坏。

(3)外侧边坡:沿J4组陡倾结构面发生倾倒拉裂破坏。

mj5发育在泄洪洞进口整个边坡上,地表出露以卸荷张开、倾倒破坏为主,结构较松弛,产状

同J4。在上述裂隙组合模式中,多为mj5参与,对边坡稳定极为不利。

工程前期,根据对mj5的认识并鉴于泄洪洞进口边坡对于工程的重要性,设计采用的开挖坡比为1:0.3~1:0.5,开挖边坡每25m高差设一道3m宽的马道,将位于进口边坡段岩体破碎部分(mj5破碎带及影响带)全部挖除,挖除后采取一定的支护措施。在前期开挖支护方案中,边坡开口线较高,3#泄洪洞右侧最大开挖坡高约为315m。开挖和支护量大,边坡高陡,施工难度较大,对边坡扰动较大,安全风险较大,工期不可控因素较多。

4 招标技施阶段的勘察与设计优化

4.1 招标技施阶段实施的勘察工作

根据施工支洞、初期导流洞(初期导流洞位于泄洪洞下游,高差约150m)开挖揭示的情况,对mj5进行了详细的调查和分析,对边坡进行了稳定性复核。

(1)mj5延伸长大(勘探平洞底板高程1650m、初期导流洞底板高程约1481m均有出露),密集带宽度为30~50m,主要表现为裂隙间距以5~10cm发育,局部表现为破碎带,一般破碎带宽度为20~30cm,呈现出靠山外侧较宽,靠山里侧较窄的特征。在1#泄洪洞洞脸边坡出露较宽,在2#、3#泄洪洞洞脸边坡出露较窄。

(2)密集带内岩体多呈镶嵌结构、局部呈碎裂结构(破碎带处)。导流洞及施工支洞开挖初期揭示,在强卸荷洞室段岩体稍松弛,但成洞条件较好。mj5在地表出露时呈现为倾卸荷张开、裂隙密集带、卸荷张裂缝、倾倒变形等破坏形式。裂面间压碎现象不明显。

(3)mj5走向与泄洪洞轴线方向呈大角度相交,倾角为75°~85°,倾坡外,对左右侧边坡的稳定

性影响不大,在洞脸部位易产生倾倒塌、塌破坏。

笔者通过前期对边坡进行的稳定性分析,结合招标技施阶段调查和分析,对边坡稳定性进行了复核论证:泄洪洞进口边坡整体处于稳定状态,控制洞脸边坡稳定性的主要因素为裂隙组合形成的较大不稳定块体,组合机制为以J6组倾角裂隙为底滑面,J4组裂隙构成后缘拉裂面,J7组裂隙为侧向切割面,易发生滑移拉裂破坏。

4.2 设计优化情况

基于对mj5的充分认识并经稳定性复核得知,泄洪洞边坡整体处于基本稳定状态,局部存在mj5与其他裂隙组合形成的不稳定块体,易产生滑移拉裂破坏和沿mj5的倾倒塌。边坡开挖支护设计按照“高清坡、低开口,强锁扣”的原则进行了降低开口线的设计优化。边坡支护设计采用一期支护、二期开挖支护。一期支护范围为工程边坡开口线外至第一级较缓地形处,支护前对自然边坡松动危石、危岩体进行清理,清坡后针对不利组合形成的较大不稳定块体采取锚索和框格梁支护,局部不稳定块体采用随机锚杆束支护。二期开挖支护边坡开挖坡比由原来的1:0.3~0.5调整为1:0.25~直立,并将进口塔体外移了20~30 m,开口线高程约为1 730 m,最大开挖高度由原来的315 m调整为125 m左右(3#泄洪洞右侧),开挖后深层支护采用系统锚索、框格梁,浅层支护采用系统锚杆、挂网、喷混凝土、排水孔等支护型式,进而将开挖高度降低了近200 m,大大降低了边坡的安全风险,节约了工程投资,缩短了一定的工程工期。

5 施工开挖揭示的情况

边坡施工开挖揭示:在高程约1 730~1 710 m段岩体卸荷强烈,裂面多张开3~5 cm,以块裂结构为主。由于mj5陡倾坡外,倾角略缓于坡角,因此,在开挖过程中,3#泄洪洞进口边坡高程约1 710 m处mj5出露,以下受mj5裂隙密集带中的陡立、倾山里的挤压破碎带(N70°W/SW∠84°)及中缓倾角裂隙(N55°E/SE∠20°、N80°W/NE∠30°~40°)的影响岩体较破碎、松弛,以碎裂结构为主,在施工过程中产生了垮塌,垮塌厚度为1.5~2.5 m,造成上部倒悬,对上部边坡稳定不利。垮塌产生后,为避免产生进一步的不利影响,承包商及时采取了浅层支护并对倒悬部位采用贴

坡混凝土回填,回填后及时采取了深层支护措施,支护完成后进行了下部开挖,确保了边坡稳定。

另外,在2#泄洪洞高程1 705~1 697 m段,受mj5和J7、J6组合(J6组缓倾角裂隙为底滑面,J4组裂隙为后缘拉裂面,J7组裂隙为侧向切割面)形成不稳定块体,在施工过程中产生了滑移拉裂破坏(图2),垮塌厚度为1~2 m,垮塌后及时采取了浅层、贴坡、深层支护等处理措施,确保了施工期边坡的稳定。

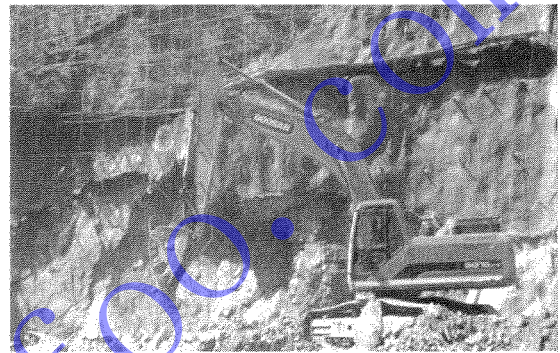


图2 泄洪洞进口边坡垮塌照片

6 监测情况

在泄洪洞进口边坡分别沿洞轴线方向布置了3条监测断面,每条监测断面在一期支护边坡、二期开挖支护边坡范围内布设了4套多点位移计,多点位移计施工安装紧随开挖支护坡面进行。监测资料显示:多点位移计实测孔口累计位移量在-3.45~19.16 mm范围内,2013年位移年变化量在-3.45~18.83 mm之间。多点位移计各测点2013年累积位移值在1.54 mm范围内,位移年增量均在1.54 mm范围内,累积位移值较小,位移时间过程线趋于平缓。总体来说,泄洪洞进口边坡累积位移较小,变化亦较小,位移逐渐趋于平缓。

7 结语

在前期勘探的基础上,通过招标技施阶段对初期导流洞以及施工交通洞中mj5发育情况进行调查,对边坡的岩体结构、构造、变形破坏机制进行了深入的研究与分析,对影响边坡稳定的mj5有了新的、较深入的认识。经过稳定性分析论证得知,进口边坡整体稳定,控制边坡稳定的为长大裂隙组合,mj5仅影响边坡的局部稳定性。

因此,设计单位根据边坡稳定性分析成果,按照“高清坡、强支护、低开口”的原则,采取了陡开

(下转第60页)

向压缩应力状态调整为双向压缩且其竖向处于加载状态,形成沿母线洞轴线方向的广义拉伸应力状态,因此,从力学角度来讲,母线洞容易出现环向裂缝,这一点亦在多个工程中被证实。文中的计算结果也表明:锚索预应力损失程度与岩体水平向变形呈幂指数关系,说明只要增加一定的预应力,岩体变形即可以得到有效控制。因此,采用增加预应力锚索的方式为边墙岩体提供围压,将母线洞附近岩体的应力状态由开挖后的双向受压应力状态转变为三向受压,则可明显地提高岩体的破坏强度并可控制岩体变形。

最终决定,在主厂房下游边墙各母线洞底板下部增设锚索,新增锚索参数为预应力设计值 $T = 1\ 800\ \text{kN}$ 、 $L = 20\ \text{m}$ / $T = 1\ 500\ \text{kN}$ 、 $L = 15\ \text{m}$ 。

5 结 语

从文中的计算结果可以看出,母线洞附近岩体的最大水平位移和预应力损失率呈幂指数关系,当预应力损失率大于 60% 时,水平位移急剧增加;预应力损失率对母线洞附近竖向位移没有

(上接第 45 页)

明显影响,随着锚索预应力损失率的增加,母线洞附近岩体竖向位移变化几乎处于稳定状态。

对于母线洞中的环向裂缝,其本质为厂房下游边墙岩体双向受压引起的张拉开裂,故在厂房下游边墙母线洞周边补加预应力锚索即可有效地控制裂缝的进一步发展,使裂缝两侧岩块形成整体。由于厂房高边墙中部变形大,对锚索支护力需求高,因此,需要母线洞周边提供足够的支护力并重视锚索施工质量。

参考文献:

- [1] GB 50287-2008,水力发电工程地质勘察规范[S].
- [2] 李 宁,孙宏超,姚显春,等. 地下厂房母线洞环向裂缝成因分析及处理措施[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(3):439-446.

作者简介:

谭可奇(1980-),男,陕西石泉人,副处长兼设计副总工程师,硕士,高级工程师,从事水电水利工程勘测设计、项目管理及科研工作;

程丽娟(1984-),女,四川仁寿人,高级工程师,博士,从事地下工程、岩土工程等方面的设计和科研工作。

(责任编辑:李燕辉)

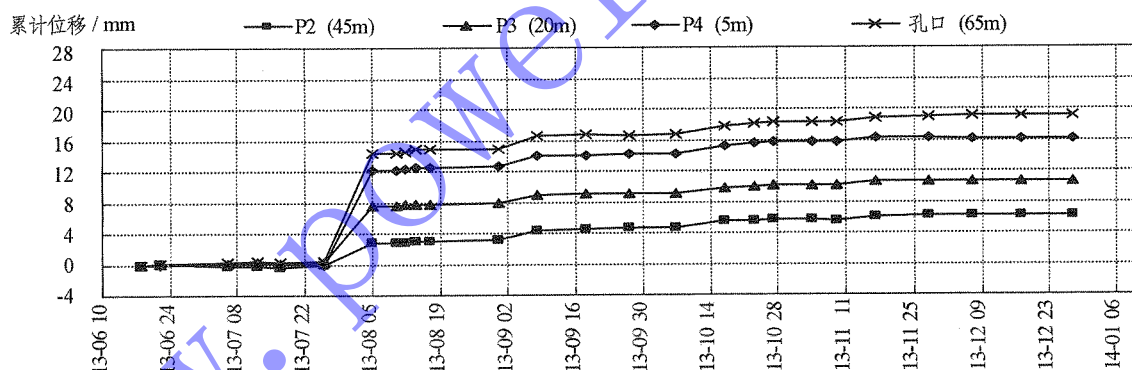


图 3 泄洪洞进口边坡 3-3 剖面 M49 各测点变形时间过程线图

挖、强锁扣、强支护的开挖支护方案,在边坡保留了 mj5 破碎带及影响带。开挖坡比由原来的 1:0.3~0.5 调整为 1:0.25~直立,同时将进口塔体外移了 20~30 m,使边坡开挖高度由原来最大的 315 m 减低为 95 m 左右,大大降低了开挖高度,减少了对边坡的扰动,降低了边坡施工期的安全风险,减少了开挖工程量,节约了工程投资,同时有利于控制工期。

监测数据显示:泄洪洞进口边坡累积位移较小,变化亦较小,位移逐渐趋于平缓,边坡处于稳定

状态。由此可见,泄洪洞进口边坡设计优化合理。

作者简介:

刘永波(1981-),男,河南许昌人,工程师,学士,从事水电工程勘察技术工作;

唐世明(1958-),男,四川西昌人,高级工程师,从事水电工程勘察技术工作;

王宗琼(1965-),女,四川成都人,高级工程师,从事水电工程勘察技术工作;

蒙富强(1980-),男,广西百色人,高级工程师,硕士,从事水工结构设计与研究工作。

(责任编辑:李燕辉)