

长河坝水电站泄水建筑物的布置与设计

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:根据长河坝水电站坝址区的地形、地质条件,对泄水建筑物的布置进行了多方案比选,最终推荐了全泄洪洞方案并随着勘测设计工作的深入进行了适当的优化,降低了工程施工难度和风险;在泄水建筑物布置型式确定后,根据复核水工模型取得的试验成果,对建筑物的体型及结构进行了合理的设计,满足了规范要求,为施工提供了可靠依据,可为类似泄水工程提供借鉴与参考。

关键词:长河坝水电站;泄水建筑物;布置;泄洪洞;试验

中图分类号:TV7;TV222

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)01-0018-04

1 工程概述

长河坝水电站系大渡河干流水电规划开发的第10级电站,工程等别为一等大(1)型,电站采用水库大坝、地下引水发电系统的开发方式,总装机容量为2 600 MW,总库容为10.75亿 m^3 。工程枢纽建筑物由拦河大坝、泄水建筑物、引水发电建筑物等组成,其中大坝为砾石土心墙堆石坝,最大坝高240 m,泄水建筑物包括1#深孔泄洪洞、2#、3#开敞泄洪洞及放空洞。大坝、泄水建筑物按1 000 a一遇洪水设计,可能最大洪水(PMF)校核,设计洪水流量为7 650 m^3/s ,校核洪水流量为10 400 m^3/s 。

2 泄水建筑物布置

2.1 坝区地形地质条件及枢纽布置

长河坝水电站坝址区内的大渡河在该河段由 $S40^\circ \sim 50^\circ E$ 流向转为南西流向形成了一个 90° 的河湾,河谷相对开阔,呈较宽的“V”型。河谷两岸边坡陡峻,岸坡冲沟较发育,从上游到下游左岸有大奔牛沟、大湾沟、孟子坝沟等,右岸有象鼻子沟、花瓶沟、沙场沟等。

泄洪洞、放空洞区出露的岩体为一套晋宁期-澄江期的侵入岩,其岩性以石英闪长岩($\delta_{02}^{(3)}$)、花岗岩($\gamma_2^{(4)}$)为主,局部侵入少量的细晶花岗岩脉(γ_1)。

砾石土心墙堆石坝布置在河道转弯位置,通过对各方案枢纽布置比选后将引水发电系统布置在左岸(凹岸),在右岸(凸岸)布置泄水建筑物对

泄水建筑物的布置及水力学等条件有利。

2.2 泄水建筑物的选择

长河坝水电站泄水建筑物布置在右岸,利用裁弯取直,泄水建筑物的布置具有“平、直、顺”的特点,出口水流顺河道、归槽条件好。在可研阶段,结合坝址区的地形地质条件,对泄水建筑物布置拟定了三个组合方案进行比选。方案一:1条3孔溢洪道+2条深孔泄洪洞+1条放空洞;方案二:1条单孔溢洪道+1条开敞泄洪洞+2条深孔泄洪洞+1条放空洞;方案三:2条开敞泄洪洞+1条深孔泄洪洞+1条放空洞。通过综合比较,三种泄水建筑物布置方案均满足枢纽泄水要求,且在在校核洪水下水库削峰流量基本相当,在常年洪水时均运行可靠、灵活,泄量分配均较合理;但布置方案三可降低右岸边坡的开挖高度,减少施工干扰,有利于安排初期蓄水并缩短发电工期。因此,根据工程具体条件,长河坝水电站泄水建筑物选择采用方案三进行布置,即3条泄洪洞从左至右依次为深孔泄洪洞、2#、3#开敞泄洪洞,3条泄洪洞平行布置,洞轴线方位角均为 $N13^\circ 3' 7'' E$,水平间距60 m;放空洞布置在开敞泄洪洞右侧,洞轴线方位角为 $N11^\circ 26' 57'' E$,与开敞泄洪洞轴线间距为80~115 m。

长河坝工程泄洪水头高、流量大、流速高,水力学问题复杂,结合工程枢纽布置3条泄洪洞及放空洞均选择“一坡到底”无压泄洪直洞的布置形式,经分析研究是合理、可行的,其建筑物特性见表1。

收稿日期:2015-11-04

表1 枢纽泄水建筑物特性表

项 目	1#深孔泄洪洞	2#、3#开敞泄洪洞	放空洞
进口高程/m	1 650	1 673.5	1 590
工作闸门尺寸(宽×高)/m×m	14×11.5	17×16.5	7×10
洞身断面尺寸(宽×高)/m×m	14×16.5	(17)14×16	7×10
单孔(洞)泄流能力(设计/校核)/m ³ ·s ⁻¹	3 426/3 692	2 140/3 138	1 970 (对应库水位高程1 658.5 m)
进口类型	短有压进口无压直洞	实用堰进口无压直洞	短有压进口无压直洞

2.3 泄水建筑物布置优化

长河坝水电站泄水建筑物集中布置于河道右岸,其进、出口边坡地形陡峻,招标阶段开挖边坡高度均达300 m以上,最高达360 m,受施工通道和翻渣集渣平台限制,工程边坡开挖支护自身的施工难度很大且泄洪洞进口边坡开挖对下部已经投运的初期导流洞进水口威胁极大。

因此,在技施阶段,结合现场实际地形地质条件并根据复核模型试验成果决定:采用小角度偏转泄水建筑物轴线、适当外移开敞进口塔体和出口挑坎位置,对进出口边坡采用“弱开挖、强支护”的方案,分一期自然边坡及二期开挖边坡进行支护,将进出口边坡高度降低至100 m左右,极大地降低了施工难度。

泄水建筑物布置优化后,1#、2#泄洪洞轴线进口平面间距约为63 m,出口平面距离约为51 m;2#、3#泄洪洞轴线进口平面间距约为55 m,出口平面距离约为45 m;3#泄洪洞与放空洞进口平面距离约为55 m,出口平面距离约为42 m。

3 泄水建筑物设计

3.1 1#深孔泄洪洞

1#泄洪洞进口为深孔岸塔式结构,洞身采用一坡到底的布置形式,出口以挑流形式衔接下游。

(1) 进口段设计。

泄洪洞进口采用岸塔式结构,塔体尺寸为49 m×27 m×52 m(长×宽×高)。塔基高程为1 645 m,进口底板顶高程为1 650 m,塔顶高程为1 697 m,塔体内设事故检修平板门和弧形工作门各一道,闸门控制孔口尺寸为14 m×11.5 m(宽×高)。为消除深孔泄洪洞运行时产生的贯穿性漩涡,在进口塔体上游面1 685 m高程以上设置竖向消涡板。1#深孔泄洪洞最大泄流量为3 692 m³/s。

(2) 洞身段设计。

泄洪洞洞身采用一坡到底的无压隧洞形式,长1 362 m,隧洞进口底高程为1 650 m,出口底高程为1 510 m,纵坡*i*=0.102 79。

泄洪洞无压洞段断面形式均为圆拱直墙型,断面尺寸为14 m×(19~16) m(宽×高)。根据水力计算及模型试验成果,洞身段沿程最大掺气水深为14.75~10.02 m,水流流速在24~45 m/s之间,在桩号0+400下游洞段的水流空化数小于0.3。为防止洞身段混凝土发生空蚀破坏,在洞身段沿程布置了6道掺气坎和两侧矩形通气井。试验结果表明:在设计洪水闸门全开的情况下,掺气坎空腔长度约为14~30 m,通气井最大风速约为58.4 m/s,掺气坎下游保护段掺气浓度均大于3%,满足规范要求。

洞身段均采用全断面钢筋混凝土衬砌,其中进出口洞段及IV、V类围岩洞段衬砌厚度为1.5 m,II、III类围岩洞段衬砌厚度为0.7~0.9 m。边墙和底板衬砌采用C₉₀40、C₉₀50硅粉混凝土,顶拱采用C25混凝土。

(3) 出口段设计。

经过水工模型试验多种方案研究确定,1#深孔泄洪洞出口采用斜切扭曲挑坎,体型为:起挑高程1 507.94 m,出口左侧挑射半径110 m,挑角为21°,左侧边墙从桩号1+382起接半径*R*=350 m的圆弧,圆弧沿轴线方向长度为40 m,挑坎出口高程为1 511.04 m;出口右侧底板挑射半径为90 m,挑角为36°;右侧边墙呈平面投影半径*R*=270 m的圆弧,圆弧沿轴线方向长度为55 m,出口高程为1 519.76 m。

根据试验成果得知,出口挑坎水舌纵向拉伸扩散较充分,归槽条件较好,在设计水位闸门全开情况下水舌挑距为156.2~190.6 m,入水宽度约为48.3 m,对左岸岸坡冲刷影响小。

3.2 2#、3#开敞泄洪洞

2#、3#开敞泄洪洞进口均为开敞式岸塔结构,洞身采用一坡到底的布置形式,出口以挑流形式衔接下游。

(1) 进口段设计。

2#开敞泄洪洞进口采用WES实用堰,堰顶高程1 675 m,引渠段底高程1 663.5 m,塔顶高程1 697 m,塔体尺寸为36.5 m×28 m×38.5 m(长×宽×高)。进口设事故检修平板门和弧形工作门各一道,闸门控制孔口尺寸为17 m×16.5 m(宽×高),两边墩宽5.5 m,进口边墩前沿为圆弧($R=3$ m)。WES实用堰堰面曲线方程 $X^{185}=23.223 3Y$,原点上游采用三圆弧曲线,圆弧半径分别为0.64 m、3.2 m和8 m。洞堰面曲线下游与30°斜坡相接,斜坡后接反弧段,后接无压泄洪洞,起点底高程为1 662.5 m。进口塔体上游两侧设置长6.5 m的导水墙,以改善其进口水力学条件。

3#泄洪洞进口塔体布置与2#泄洪洞基本一致,进口塔体上游两侧分别设置长6.5 m和12 m的导水墙,以改善其进口水力学条件。

2#、3#开敞泄洪洞的最大泄流量均为3 138 m³/s。

(2) 洞身段设计。

2#、3#泄洪洞洞身均采用一坡到底的无压隧洞形式,洞身总长度分别为1 498 m、1 540 m,隧洞进口底高程为1 662.5 m,出口底高程为1 500 m,隧洞纵坡分别为 $i=0.108 48$ 、 $i=0.105 52$ 。

泄洪洞无压洞段断面形式均为圆拱直墙型,断面尺寸为17/14 m×(18~15)m(宽×高)。根据水力计算及模型试验成果,洞身段沿程最大掺气水深为14.19~9.42 m,水流流速在21~44 m/s之间,桩号0+390下游洞段的水流空化数小于0.3。为防止洞身段混凝土发生空蚀破坏,在洞身段沿程布置了6道掺气坎和两侧矩形通气井。试验结果表明:在设计洪水闸门全开情况下,掺气坎空腔长度约为16~31 m,通气井最大风速约为57.3 m/s,掺气坎下游保护段最小掺气浓度约为2.9%,满足规范要求。

洞身段衬砌方式与1#深孔泄洪洞一致。

(3) 出口段设计。

2#开敞泄洪洞出口采用窄缝挑坎体型,起挑高程为1 500 m,挑坎长度为45 m,出口宽度为6

m,左右侧收缩段长度均为39.7 m,收缩角为5.75°。底板反弧半径为200 m,底板反弧为12.92°,挑坎末端挑角为6.73°,挑坎末端高程为1 500.21 m。

3#开敞泄洪洞出口采用扩散斜切挑坎,起挑高程为1 500 m,长度为74.37 m。挑坎左端弧线长22.69 m,直线段长28.32 m;挑坎右端弧线长25.26 m,直线段长50.39 m。底板反弧半径为199.52 m,底板反弧为22°,挑坎末端高程为1 500.88 m和1 505.85 m。

根据试验成果得知:2#开敞泄洪洞出口挑坎水舌流态良好,水体水量分布较为均匀,基本呈扫帚状沿轴线抛射到河道中,落点位于河道中心,在设计水位闸门全开情况下水舌挑距约为55.4~142.2 m,入水宽度约为14.1 m。3#开敞泄洪洞出口挑坎水舌横向扩散情况较好,扩散非常充分,水舌落点位于河道中心,归槽条件较好,在设计水位闸门全开的情况下水舌挑距约为80.2~123.5 m,入水宽度约为51.6 m,对右岸岸坡冲刷影响小。

3.3 放空洞

放空洞进口为深孔岸塔式结构,洞身采用一坡到底的布置形式,出口以挑流形式衔接下游。

(1) 进口段设计。

放空洞进口采用短有压进口型式,进口基础高程1 585 m,底板顶高程1 590 m,塔顶高程1 697 m,进水口塔体尺寸为49 m×22 m×114 m(长×宽×高)。塔体内设检修闸门、事故闸门、工作闸门各一道,闸门控制孔口尺寸为9 m×7 m(宽×高)。库水位高程低于1 658.5 m时,放空洞开始启用,其最大泄流量为1 974 m³/s。

(2) 洞身段设计。

放空洞洞身采用一坡到底的无压隧洞形式,长1 701.65 m,隧洞进口底高程为1 590 m,出口底高程为1 490 m,纵坡 $i=0.058 77$ 。

泄洪洞无压洞段断面形式均为圆拱直墙型,断面尺寸为9 m×13 m(宽×高)。根据水力计算及模型试验成果,洞身段沿程最大掺气水深为9.57~9.07 m,水流流速在30~32 m/s之间,水流空化数为1.11~0.29,因此,洞身沿程未布置掺气设施。

洞身IV、V类围岩洞段采用全断面钢筋混凝土衬砌,其中进出口洞段及V类围岩洞段衬砌厚

度为 1.5 m, IV 类围岩衬砌厚度为 0.8 m; II、III 类围岩洞段仅进行边墙及底板衬砌, 顶拱只作喷锚支护, 衬砌厚度为 0.6 m。边墙和底板衬砌采用 C₉₀40 高强混凝土, 顶拱采用 C25 混凝土。

(3) 出口段设计。

放空洞出口采用扭曲挑流鼻坎, 平面弯曲非对称扩散。从“放 1 + 701.65”位置起挑, 起挑点高程为 1 490 m。出口左侧挑射半径为 91.67 m, 挑角为 18°, 左侧边墙从桩号 1 + 701.65 起接半径 $R = 60.84$ m 的圆弧, 圆弧沿轴线方向长度为 27.77 m, 挑坎出口高程为 1 494.31 m。出口右侧挑射半径 $R = 80.51$ m, 挑角为 30°, 右侧边墙平面投影 $R = 225$ m 的圆弧, 轴线方向长度为 40.11 m, 出口高程为 1 500.7 m。

放空洞挑坎水舌空中舒展, 扩散比较充分, 全部落在河道中, 归槽情况很好, 挑距约 52.4 ~ 123.5 m, 入水宽度大约为 51.8 m。在河岸左侧

(上接第 10 页)

象分级, 然后综合确定危岩体的危害程度, 其危害程度从高到低分为 I、II、III 级, 最后综合确定其防治措施。

3 结语

笔者主要介绍了长河坝水电站枢纽建筑物主要工程地质问题与评价, 简要介绍了主要工程地质问题的处理及取得的效果, 简单总结了长河坝工程地质勘察经验, 可供类似工程借鉴, 尤其是深厚覆盖层超高土石坝。

参考文献:

[1] 胡金山, 凡亚, 闵勇章, 刘永波, 曹建平. “超高砾石土石心

(上接第 17 页)

尾水闸门室位于叮铛沟上游侧的山体内, 闸室轴线走向为 N6°48'14"E, 闸室高 55.3 m, 垂直埋深 70 ~ 108 m, 最小水平埋深约 30 m。尾水闸门室长度为 132 m, 宽度为 10 m, 城门洞型。

尾水洞出口布置在大坝下游约 500 m 处, 出口纵轴线与河道中泓线的交角约为 40°。

4 结语

长河坝水电站工程引水发电系统地下洞室群复杂、规模大, 各建筑物布置紧凑, 很好地解

产生回流, 但回流影响很小。

4 结语

长河坝水电站泄水建筑物泄洪总量近 9 970 m³/s, 笔者结合坝址区地形、地质条件, 对泄水建筑物的布置进行了比较研究, 所提出的 1 条深孔泄洪洞 + 2 条开敞泄洪洞 + 放空的全泄洪洞组合方式是合理、可行的, 且随着勘测设计工作的深入, 对泄水建筑物的布置进行了适当的优化, 很大程度上降低了工程施工难度, 降低了工程风险。

泄水建筑物泄洪水头高、流量大、流速高, 水力学问题复杂, 根据水工模型试验成果, 对泄水建筑物的体型及结构进行了优化设计, 设计成果满足规范要求, 为施工提供了可靠依据, 亦可为类似泄水工程提供借鉴与参考。

作者简介:

蒙富强(1980-), 男, 广西百色人, 高级工程师, 硕士, 从事水工结构设计工作。(责任编辑:李燕辉)

墙坝防渗土料勘察与确定方法(以长河坝水电站为例)”. 高坝建设与运行管理的技术进展(中国大坝协会 2014 学术年会论文集)[C]. 郑州:黄河水利出版社, 2014:592-599.

作者简介:

胡金山(1973-), 男, 江西余干人, 教授级高级工程师, 注册岩土工程师, 学士, 从事工程地质勘察、岩土工程设计与研究工作;

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;

曹建平(1957-), 男, 云南曲靖人, 高级工程师, 学士, 从事水电工程勘察技术工作。(责任编辑:李燕辉)

决了地应力高、地质构造复杂、地下水丰富、通风、排烟难等一系列问题, 可为今后类似工程设计提供参考。

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, 高级工程师, 硕士, 从事水电水利工程勘测设计、项目管理及科研工作;

蒲晓峰(1963-), 男, 四川南部人, 专业副总工程师, 设计副总工程师, 教授级高级工程师, 学士, 从事水电水利工程勘测设计、项目管理及科研工作。

(责任编辑:李燕辉)