

# 长河坝水电站引水发电建筑物的布置与设计

谭可奇, 蒲晓峰

(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:**长河坝水电站左岸引水发电系统具有地下洞室群复杂、规模大且岩体结构面发育、地应力高、地下水丰富、通风散烟等特点和难点。系统概述了该引水发电系统各建筑物的布置与设计,旨在为类似工程设计提供有益的启示。

**关键词:**长河坝水电站;引水发电系统;布置与设计

**中图分类号:**TV7;TV222;TV641

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2016)01-0015-03

## 1 工程概述

长河坝水电站系大渡河干流水电规划“三库22级”开发中的第10级电站,工程的主要任务为发电,电站总装机容量为2 600 MW,水库总库容10.75亿 $m^3$ ,调节库容4.15亿 $m^3$ ,具有季调节性能。工程枢纽建筑物主要由砾石土直心墙堆石坝、左岸引水发电系统、右岸2条开敞式进口溢洪洞、1条深孔泄洪洞及1条放空洞组成。引水发电建筑物布置于河道左岸山体,采用首部式地下厂房布置方案,主要由电站进水口、压力管道、主副厂房、主变室、开关站、尾水调压室、尾水洞等建筑物组成。引水及发电等永久性主要建筑物为1级建筑物,电站厂房防洪标准按200 a一遇洪水设计,1 000 a一遇洪水校核,地下厂房内布置4台单机容量为65万kW混流式机组,电站设计引用流量为1 458  $m^3/s$ ,场址地震基本烈度为Ⅷ度。

## 2 引水发电系统区的工程地质情况

引水发电系统布置在左岸,枢纽区山体雄厚,岩性为花岗岩,完整性较好,无区域性断裂通过,次级小断层发育稀疏,具备布置大型地下洞室群的工程地质条件。

进水口边坡由较坚硬的花岗岩构成,坡体无贯穿性软弱结构面,天然坡整体基本稳定。进水口自然边坡地形较陡,岩体卸荷松弛强烈,松动岩带、危岩体、坡崩积块碎石等均较发育。

压力管道围岩总体较完整,以镶嵌~次块状结构的Ⅲ类围岩为主,部分为Ⅱ、Ⅳ类,成洞条件较好。

地下厂房等三大洞室水平及垂直埋深均大于

200 m,岩体新鲜,致密坚硬。三大洞室均处于地下水位线以下,洞室上部地下水不发育,以渗水~线状流水为主,在中、下部开挖时地下水将逐渐增多。厂区围岩多呈次块~块状结构,局部镶嵌结构,以Ⅲ、Ⅱ类围岩为主,局部小断层交汇区域为Ⅳ类围岩,成洞条件较好。厂区最大主应力 $\sigma_1$ 量级为25.68~31.96 MPa,属高地应力区。

尾水隧洞岩体较完整,以镶嵌~次块状结构为主,Ⅲ~Ⅱ类围岩,成洞条件较好。

开关站开挖边坡的变形破坏主要受断层及同组长大结构面的控制,边坡岩体破碎,局部稳定性较差。

## 3 引水发电建筑物的布置与设计

### 3.1 总体布置

进水口位于倒石沟下游侧,采用岸塔式进口,4台机组进水口呈“一”字型并排布置,进水口塔体尺寸为137.2 m×30 m×74 m(长×宽×高)。压力管道内径为9.5 m,采用单机单管供水,设计引用流量为364.5  $m^3/s$ ,洞内流速为5.178 m/s。

发电厂房位于左坝肩坝轴线下游约18 m处,最小垂直埋深230 m,最小水平埋深约200 m,厂房纵轴线方位 $N82^\circ W$ 。主厂房尺寸为228.8 m×30.8 m×73.35 m(长×宽×高),主变室尺寸为150 m×19.3 m×26.15 m(长×宽×高),尾调室尺寸为144 m×22 m×79 m(长×宽×高);三大洞室平行布置,尾水调压室中心线和厂房顶拱中心线间距为135.2 m,主变室和厂房、尾水调压室间的岩柱厚度分别为45 m和44.5 m。

尾水系统采用“二机一室一洞”布置方案,共设置了两个长条形圆拱直墙阻抗式调压室,总长

度为144 m,中间用15 m厚的岩柱隔开。1#、2#尾水洞长度分别为1 306.57 m、1 134.51 m,断面尺寸为12 m×16 m(宽×高)。

地面开关站位于左岸坝下游约120 m处,地坪高程1 685 m,与地下洞室采用两条竖井和一条平洞连接,开关站尺寸为145 m×30 m(长×宽)。

### 3.2 引水建筑物布置

引水建筑物由进水口和压力管道组成,采用“单机单管引水”的布置格局。

电站进水口布置于左坝肩上游侧倒石沟堆积体下游沟壁约300 m范围的边坡段,受地形、地质条件的限制,进水口位置相对固定,可调整的范围不大。采用岸塔式进水口,塔高74 m,塔体总长137.2 m,顺水流方向长30 m。塔体基础高程为1 624 m,塔顶高程1 698 m,进口底高程1 628 m。塔内设有清污机槽、拦污栅槽、检修闸门槽、工作闸门槽及通气孔,塔顶布置有启闭设备及控制系统。

压力管道采用单机单管供水,4条管道平行布置,管轴线间距为33.8 m。压力管道由上平段、上弯段、斜井段、下弯段、下平段及连接管段组成,上、下平段采用60°斜井连接,上弯段为空间转弯,下弯段为立面转弯。1#~4#压力管道长645.447~532.538 m(至厂房上游边墙)。主管管径9.5 m,连接管管径7.657 m,单管设计引用流量为364.5 m<sup>3</sup>/s,主管流速为5.14 m/s,连接管流速为7.92 m/s。压力管道进口底板高程为1 628 m,上平段底坡为1%,斜井倾角为60°,下平段中心高程为1 463.45 m。考虑到斜井段下部内水压力较大,对下弯段上部20 m以下管段采用钢板衬砌,管外回填1 m厚C20微膨胀混凝土;对下弯段上部20 m以上管段(包括上平段、上弯段、斜井段)采用衬砌厚度为1 m的C25钢筋混凝土衬砌。

### 3.3 发电厂房及开关站布置

#### 3.3.1 厂房轴线的选择

围岩类别以Ⅲ~Ⅱ类为主,局部小断层交汇区为Ⅳ类,整体成洞条件和围岩自稳能力较好。厂区次级小断层和挤压破碎带宽度较小,发育较稀疏,且以NE向为主,走向介于N15°~50°E,次为NW向,少量近EW向;优势裂隙J1、J2间距较大,同一部位一般仅出现1~2组,走向介于N10°

~40°E;厂区初始地应力最大主应力 $\sigma_1$ 量级为16~32 MPa,方向大致为N60°~80°W。

在综合考虑优势裂隙、地应力方向、枢纽布置、施工方便等因素后,选取厂房纵轴线走向为N82°W,与坝轴线近似平行。

#### 3.3.2 主副厂房、出线系统及开关站设计

经对围岩稳定、厂内外交通、机电设备布置、运行管理、工程投资等多方面进行综合比较后最终确定的三大洞室布置格局采用平行布置,主变室布置于厂房和尾水调压室之间,主变室与厂房和尾水调压室中心线间距分别为70.05 m和65.15 m。

地下厂房由山里至山外依次布置安装间、主机间、副厂房;主机间长147 m,安装间长60.9 m,副厂房长20.9 m,主副厂房总长度为228.8 m;主厂房吊车梁以上开挖跨度为30.8 m,以下为27.3 m;主厂房净跨度为25.5 m,其中机组中心线上游侧宽10.25 m,下游侧宽15.25 m;厂房顶拱高程为1 510.8 m,基础高程为1 437.45 m,主厂房高度为73.35 m。

主机间内安装4台单机容量为650 MW的水轮发电机组及其附属机电设备,机组安装高程为1 463.45 m,机组间距为33.8 m。为便于结构布置并使设备布置更加紧凑以减少厂房跨度,在参考国内外已建类似工程经验,最终决定采用方圆形的机墩和风罩结构,紧贴上游侧岩壁布置,下游侧布置厂内各层的纵向通道。厂内安装2台400 t+400 t/50 t双小车桥式起重机,吊车梁型式为岩壁式。厂内布置从上至下依次为:厂房顶拱风道层、发电机层、电气夹层、水轮机层、蜗壳层及尾水操作廊道层。

主变室长150 m,宽19.3 m,高26.15 m,断面为圆拱直墙型。主变室按功能分为上、下二层。上层为500 kV电缆层,高程为1 494.7 m,下层为主变层,高程为1 480.7 m,通过交通联系洞与进厂交通洞相连。

2条电缆出线竖井布置在主变室下游侧,竖井中心线距主变室下游墙14.3 m,两竖井之间水平中心距离为67.6 m;出线竖井通过两条交通洞联系洞、两条电缆出线下平洞与主变室相连,其竖井内径均为8 m,高度均为205.3 m;在1 686.5 m高程通过电缆出线支洞和1条出线上平洞与地面开关站GIS楼500 kV电缆层连接,地面高程为

1 685 m。

地面开关站由地面副厂房、GIS楼、出线场、回车场及进站公路组成。地面副厂房与GIS楼按一字型布置,其间设0.1 m的伸缩缝,总面积为150 m×30 m(长×宽),地面高程为1 685 m,室内比室外高0.3 m。

### 3.3.3 厂区防渗帷幕的布置

厂区防渗帷幕与大坝左岸防渗帷幕相接,防渗帷幕沿厂房纵轴线方向延伸至安装间外50 m后再顺河向延伸至主变室下游边墙外15 m,形成厂区防渗帷幕的灌浆廊道。灌浆廊道距主厂房上游边墙约50 m,平行于主厂房布置,廊道内设灌浆孔和排水孔。与坝肩灌浆廊道对应,从1 697 m高程至1 473 m高程共设置了5层灌浆廊道,平面上5层灌浆廊道的平均长度约为384.7 m。灌浆廊道断面尺寸为3 m×4 m,城门洞型。各层灌浆廊道均设两排灌浆孔。灌浆孔与铅直面呈5°夹角,布孔间距为2 m,排距1.5 m,梅花形布置。上、下两层帷幕采用浅孔灌浆进行搭接。

### 3.3.4 厂区排水系统的布置

厂区排水自成系统,在厂房及主变室附近设置了3层平面上呈半封闭式布置的排水廊道,廊道内设排水孔,将厂房和主变室笼罩在排水孔幕内以有效排除地下水,提高地下厂房洞室群的围岩稳定性,确保厂房系统的安全运行。

### 3.3.5 地下厂房通、排风系统的设计

#### (1) 送风系统的布置。

送风系统由进风平洞、进风机室(组合空调机房)、主副厂房顶拱送风道组成,采用集中空调处理加进厂交通洞辅助(自然)进风方案。

送风系统洞室群空气流程如下:

① 室外新风→进风平洞→进风机室→进风兼排风平洞→厂房拱顶送风道→主厂房各层和副厂房。

② 室外新风→进风楼→进厂交通洞→主变室和GIS层→出线竖井。

#### (2) 排风系统的布置。

排风系统主要由主副厂房顶拱排风道、进风兼主厂房排风平洞和主厂房排风平洞、主变室顶拱排风道、排风机室、排风竖井、排风上平洞组成;另外2条500 kV出线竖井、出线上平洞兼排风,以确保将全厂的余热、余湿及废气排至室外。

排风系统洞室群空气流程如下:

① 主副厂房→主副厂房顶拱排风道→进风兼排风平洞→主副厂房排风平洞→排风机室→排风竖井→排风上平洞→室外。

② 母线洞→主变室→主变室顶拱排风道→排风机室→排风竖井→排风上平洞→室外。

③ 电缆层→出线竖井排风道→出线竖井排风机室→出线上平洞排风道→室外。

### 3.4 尾水系统的布置

尾水系统由尾水调压室、尾水支洞、尾水洞、尾水闸门室及尾水洞出口等建筑物组成。

尾水调压室1 498 m高程以上两室连通。经引水发电系统水力过渡过程数值计算分析,确定尾水调压室的型式为长条形阻抗式,尾水系统采用“两机一室一洞”的布置方式,总长度为144 m,其间设置一道15 m厚的岩柱隔墙,在隔墙顶高程1 498 m以下,调压室分为两室,即:1#调压室连接1#、2#机组及1#尾水洞,室长67 m;2#调压室连接3#、4#机组及2#尾水洞,室长62 m。调压室上、下宽度分别为22 m和21 m,顶拱高程1 517 m,阻抗隔板顶高程为1 456 m,底板高程为1 440 m,调压室高79 m。在调压室上游侧设置尾水检修闸门,闸门槽兼作阻抗口,孔口尺寸为10.8 m×3.4 m。检修平台高程稍高于常年洪水位且高于下游正常尾水位。

尾水系统采用“两机一室一洞”的布置格局。尾水支洞垂直于调压室下游边墙,相互平行布置,中心间距33.8 m。1#尾调室的1-1、1-2尾水支洞在尾调室外以卜形岔形式合流交汇于1#尾水洞,交汇角度为140.46°;2#尾调室的2-1、2-2尾水支洞在尾调室外以卜形岔形式合流交汇于2#尾水洞,交汇角度为140.46°;尾水支洞及其交汇段均采用平坡。卜形岔后两条尾水洞平行布置,洞轴线间距为65.7 m,岩柱厚度为50.7 m,岩柱厚度与开挖跨度之比为3.38。1#、2#尾水洞进口底板高程为1 440 m,出口底板高程为1 456.5 m;长度分别为1 306.57 m、1 134.51 m,纵坡 $i = -1.442%$ 与 $i = -1.661%$ 。尾水支洞及尾水洞均为城门洞型,断面净尺寸分别为9 m×14 m(宽×高)、12 m×16 m(宽×高),采用钢筋混凝土衬砌,标准段衬砌厚度为1.2~1.5 m。

(下转第21页)

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C<sub>90</sub>40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1490 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1494.31 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1500.7 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9970 m<sup>3</sup>/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)