

硬梁包水电站施工导流设计

张永清¹, 郭志忠², 程保根¹, 相昆山¹, 袁鹏²

(1. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072; 2. 四川华能泸定水电有限公司, 四川 泸定 626100)

摘要:硬梁包水电站是四川省大渡河干流水电规划 28 级方案中的第 14 个梯级电站, 采用引水式开发。挡水建筑物为混凝土面板堆石坝+闸坝。根据坝址地形地质、水文条件及枢纽建筑物布置特点, 施工导流方式选定为围堰分期拦断河床, 导流明渠泄流。笔者简述了硬梁包水电站施工导流方式与程序, 导流建筑物的布置与设计, 截流设计等, 可供其他工程参考借鉴。

关键词:硬梁包水电站; 施工导流设计; 导流建筑物设计; 截流设计

中图分类号: TV 551

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2023)01-0101-04

Diversion Design of Yingliangbao Hydropower Station

ZHANG Yongqing¹, GUO Zhizhong², CHENG Baogen¹, XIANG Kunshan¹, YUAN Peng²

(1. PowerChina Chengdu Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610072;

2. Sichuan Huaneng Luding Hydropower Co., Ltd., Luding Sichuan 626100)

Abstract: The Yingliangbao Hydropower Station is the 14th cascade hydropower station in the 28 level plan of the main stream of the Dadu River in Sichuan Province, which adopts diversion development. Water retaining structure is composed of concrete face rockfill dam and gate dam. According to the topographical, geological and hydrological conditions of the dam site and the layout characteristics of hydraulic structures, the diversion method is selected as cofferdam to block the riverbed in stages and open diversion channel to discharge. This paper briefly describes the diversion method and procedure of Yingliangbao Hydropower Station, the layout and design of diversion structures, closure design, etc. It can be used as reference for other projects.

Key words: Yingliangbao Hydropower Station; Diversion design; Design of diversion structures; Closure design

1 工程概况

硬梁包水电站^[1]是以发电为主的工程, 工程等别为二等, 工程规模为大(2)型, 永久性主要建筑物为 2 级建筑物, 永久性次要建筑物为 3 级建筑物, 临时建筑物为 4 级建筑物。

硬梁包水电站采用引水式开发。水库正常蓄水位为 1 246.00 m, 调节库容 826.0 万 m³, 具有日调节性能。电站装机容量为 1 080 MW, 生态电站装机 36 MW。

电站首部枢纽由挡水建筑物, 泄水、冲砂建筑物, 进水口, 发电建筑物, 过鱼建筑物和输水建筑物组成。坝顶总长度(含生态电站)为 481.50 m, 从左至右依次为 47.5 m 的生态电站, 118.5 m 的混凝土闸坝段(含储门槽段), 305.5 m 的混凝土面板坝段(含重力式挡墙)和 10 m 的鱼道过坝段。

2 自然条件

2.1 水文

硬梁包水电站坝址控制集水面积为 59 450 km²。流域径流变化与降水变化相一致, 年内变化大, 而年际变化小。径流集中在丰水期, 5~10 月约占全年径流的 81.3%, 枯水期为 11 月~翌年 4 月占全年径流的 18.7%, 最枯期 1~3 月占全年径流的不到 7%。

流域洪水主要由降水形成。洪水具有量大、峰不高、缓涨缓落、历时较长的特点。流域主汛期为 6~9 月, 年最大流量多出现在 6、7 月份, 以 7 月份出现的几率最多。

2.1 地形地质

工程区河段河谷较开阔, 呈“U”型, 河流纵坡降相对较缓, 为 5.8%左右, 河谷呈舒缓的深切曲流侵蚀地貌。闸址区河谷谷底宽约 400~500 m,

收稿日期: 2022-08-05

枯水期河面高程 1 218.00 m 左右,河水面宽 95 m 左右,水深一般 3~5 m。现代主河道偏左岸,为基岩岸坡,右岸为漫滩和 I 级阶地,宽约 300 m,分布高程 1 220~1 229 m,左岸漫滩和阶地不发育。坝址区谷底及岸坡基岩主要为花岗岩,岸坡基岩区,坡度 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$,左岸上、下游区域均分布有块碎石土覆盖层,地形坡度 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$;右岸岸坡高程 1 236 m 以上以花岗岩基岩出露为主,坡度为 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。

3 施工导流设计

3.1 导流标准及时段

硬梁包水电站为二等大(2)型工程,永久性主要建筑物级别为 2 级,永久性次要建筑物为 3 级。

根据《水电工程施工组织设计规范》^[2]及《水电工程施工导流设计规范》^[3],综合各方面因素,并参照国内已建和在建的同类工程经验^[4-5],该工程导流建筑物级别为 4 级。

考虑到该工程闸坝基坑工程规模较大,基础处理项目多,难以在一个枯水期内完成。若采用枯期导流,不仅增加上下游围堰拆除、保护及基坑清理次数,而且延长了闸坝工期,导致首部工期成为控制工期,直接影响首部机组发电时间。因此,本工程首部枢纽的取水口、左岸生态电站及挡水坝、主河道闸坝的导流时段采用全年导流。右岸面板堆石坝规模较小、工程量不大,可在一个枯水期内完工,故右岸面板堆石坝的导流时段采用枯期导流。

根据坝址区地形、地质情况及枢纽布置情况,经堰型比较,选择土石类围堰。对于 4 级土石类导流建筑物,其导流标准为洪水重现期 20~10 a。考虑到闸坝基坑工程规模较大,基础处理项目多,围堰失事将影响工程总工期且投资增加较大;20 a 一遇($5\ 510\text{ m}^3/\text{s}$)与 10 a 一遇($5\ 020\text{ m}^3/\text{s}$)洪水流量相差不大(相差 9.76%),导流泄水建筑物规模相同情况下,上游围堰高度相差仅 0.67 m,导流建筑物规模及投资相差很小,故采用 20 a 一遇的洪水标准,相应设计流量为 $5\ 510\text{ m}^3/\text{s}$ 。

右岸混凝土面板堆石坝坝体施工安排在一个枯水期(11月~翌年5月)内完工,其间由已完建的 1号~5号冲砂泄洪闸过流,枯期导流明渠上、下游围堰设计挡水标准采用枯水期 20 a 洪水重现期,相应设计流量 $2\ 820\text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.2 导流方式及方案

坝址区右岸为宽阔的漫滩和 I 级阶地,具备良好的导流明渠布置条件。根据坝址区地形与地质条件、枢纽建筑物布置特点及施工进度要求,通过技术经济比较,该工程推荐采用右岸明渠道流,主体建筑物分两段三期施工方式。

3.3 导流程序

该工程计划第三年 11 月初主河床截流,第五年 7 月初首台机组投产发电,首部枢纽施工采取分期明渠道流方式分三期施工,施工控制进度如下:

(1)第一年 11 月至第三年 9 月修建右岸导流明渠,同时进行左岸取水口明挖及边坡防护、右岸明渠占压面板坝部位基础处理及防渗墙施工,由原河床过流。

(2)第三年 11 月初河道截流,进行主河道上下游围堰防渗墙施工及围堰堆筑;第五年 5 月完成闸坝基础处理、混凝土浇筑;第五年 6 月至第五年 9 月进行闸门及启闭机安装。期间由导流明渠过流。

(3)第五年 11 月填筑导流明渠上下游封堵围堰;第五年 11 月至第六年 5 月进行右岸混凝土面板堆石坝施工,由已完工的闸坝泄流。

(4)第六年 5 月底首部枢纽施工结束,具备下闸蓄水条件;第六年 7 月初第一台机组具备发电条件。

3.4 导流建筑物设计

(1)导流明渠。导流明渠布置于右岸滩地,底宽 60 m,梯形断面,轴线长 540.78 m。明渠底板及两侧边墙均为 1.5 m 厚混凝土贴坡式,明渠边坡比 1:1.5。

综合考虑工程布置特点、截流落差、出口水面衔接、减少施工难度和避免水下开挖过深等因素,经水力学模型试验验证,明渠底板高程在明渠桩号 0+000.000 m 上游为 1 220.00 m,0+000.000 m~0+380.780 m 段由 1 220.00 m 渐变至 1 216.00 m,底坡 1.05%。0+000.000 m 桩号以前边墙顶高程 1 235.00 m,0+000.000 m~0+050.000 m 桩号边墙顶部高程由 1 235.00 m 渐变至 1 228.00 m,0+050.000 m 桩号以后边墙顶部高程为 1 228.00 m。明渠两侧边墙由于开挖坡高不足部位,先进行局部土石堆筑压实后再贴坡浇筑混凝土板。

明渠桩号 0+097.32 m~0+380.78 m 段底板建基面以下作为明渠底板基础的第⑤层(含漂砂砾石粗粒土层)较薄,第⑤层以下即为承载力较低的第④层(粉质黏土、粉土及中细砂细粒土层),为改善该段明渠基础承载力条件,对该段明渠基础进行处理。

明渠桩号 0-055.18 m~0+097.32 m 段为面板堆石坝基础,其基础处理为振冲碎石桩,故该段明渠底板基础不再另行处理;明渠桩号 0+097.32 m~0+380.78 m 段采用基础开挖换填砂砾石方式处理,换填深度 5 m。

为减小明渠进口处冲刷,在明渠进口 20 m 范围内铺设钢筋石笼,厚度 2 m,在明渠进口混凝土底板起始处设混凝土防冲齿墙,深度 3.0 m。明渠出口设大块石串护底。

(2)明渠进、出口全年围堰。明渠进口围堰采用土石围堰,堰顶高程 1 230.00 m,顶宽 5.0 m,堰顶轴线长 400.7 m,最大堰高 13.65 m,迎水面堰坡 1:1.75,背水面堰坡 1:1.5。堰基防渗采用高喷防渗墙(厚 0.5 m,最大深度 19.5 m)+混凝土防渗墙(厚 0.8 m,最大深度 22.5 m,与部分主河床上游围堰堰基防渗墙结合),防渗墙深入基础相对不透水的第④层 4 m,堰体采用复合土工膜心墙防渗。

明渠出口围堰采用土石围堰,堰顶高程 1 228.00 m,顶宽为 5.0 m,堰顶轴线长 352.6 m,最大堰高 12 m,迎水面堰坡 1:1.75,背水面堰坡 1:1.5。堰基防渗采用高喷防渗墙(厚 0.5 m,最大深度 15.5 m)+混凝土防渗墙(厚 0.8 m,最大深度 15.5 m,与部分主河床下游围堰堰基防渗墙结合),防渗墙深入基础相对不透水的第④层 4 m,堰体采用复合土工膜心墙防渗。

(3)主河床上、下游全年围堰。主河床上游围堰采用土石围堰,堰顶高程 1 235.00 m,轴线长度 367.11 m,围堰顶宽 10.0 m,最大堰高 21.7 m,上、下游边坡均为 1:2.0,上游块石护坡厚度 1.5 m,下游干砌石护坡厚度 0.5 m。堰体防渗采用复合土工膜,堰基防渗采用混凝土防渗墙(深入基础相对不透水的第④层 4 m),厚 0.8 m,最大深度 26.0 m。

主河床下游围堰采用土石围堰,堰顶高程 1 228.00 m,轴线长度 195.58 m,围堰顶宽 10.0

m,最大堰高约 14.0 m,上、下游边坡均为 1:2.0,块石护坡厚度 0.8 m。堰体防渗采用复合土工膜,堰基防渗采用混凝土防渗墙(深入基础相对不透水的第④层 4 m),厚 0.8 m,最大深度 22.5 m。

(4)明渠封堵上、下游枯期围堰。明渠封堵上游围堰采用土石围堰,堰顶高程 1 229.50 m,轴线长 358.47 m,围堰顶宽 5.0 m,最大堰高约 9.5 m,上、下游边坡分别为 1:1.75 和 1:1.5;堰体采用复合土工膜防渗,堰基防渗采用高喷防渗墙(与明渠进口围堰高喷防渗墙部分结合),墙体厚 0.5 m,最大深度 22.5 m。

明渠封堵下游围堰采用土石围堰,堰顶高程 1 224.50 m,轴线长 80.43 m,围堰顶宽 5.0 m,最大堰高 6.7 m,上、下游边坡分别为 1:1.75 和 1:2.0,堰体采用复合土工膜防渗。

(5)出口防护工程设计。硬梁包导流明渠布置于深厚覆盖层上,具有导流流量大、明渠规模大、明渠出口流速大、冲坑深的特点。为保证导流明渠结构及下游出口的安全,在导流明渠出口布置混凝土框格式地下连续墙防冲、防淘刷。地连墙盖板厚度 2 m,两排间距 12 m,隔墙间距 10 m 的地连墙方案,地连墙深 30 m,穿过第④层,深入第③层,采用桩墙连接,墙厚 1 m,桩径 2 m。

沿导流明渠出口右边墙下游 90 m 范围内布置框格式地下连续墙结构形式同明渠出口地连墙,并与明渠出口地连墙连接,上接混凝土面板护坡;明渠出口右边墙下游 90 m 范围以下至德威大桥 180 m 范围,采用单排混凝土防淘墙+岸坡混凝土面板防护。防淘墙结构参数与明渠出口地连墙相同,混凝土防淘墙厚 1 m,深 30 m,护坡混凝土面板厚 0.5 m。

3.5 截流设计

根据水文特性及施工导流规划,截流时段选定为第三年 11 月上旬,选定 5 年重现期 11 月上旬的平均流量 $907 \text{ m}^3/\text{s}$ 为截流设计流量。

根据水力计算及龙口地形地质特点,选定龙口宽度为 80 m,戽堤顶高程 1 226.00 m,顶宽 25 m;选定截流方式为单戽立堵截流,截流戽堤在主河床上游围堰轴线下游侧 30 m 处,与围堰相结合。根据计算,截流最大落差 5.37 m,最大平均流速 7.7 m/s ,龙口最大单宽流量 $28.716 \text{ m}^3/\text{s}$,龙口最大单宽功率 110.27 t/s ,计划 48 h 合龙,

抛投强度为 $949 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.6 基坑排水

初期排水包括围堰闭气后基础及围堰渗水、基坑积水等。截流闭气后,初期排水总量约 35.55 万 m^3 ,按 3 d 排干计算,初期排水强度约 $5\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

基坑经常性排水包括施工期降水、基础和围堰渗水、施工弃水等组成。基坑经常性排水最大强度为施工期降水与围堰渗水之和,按 1 d 排干计算,最大排水强度约为 $4\,300 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.7 下闸蓄水及下游供水

首部枢纽工程在第六年 5 月底具备挡水条件,作为工期控制线路的引水发电系统,在第六年 6 月底具备下闸蓄水条件。由于该工程水库库容很小,且在主汛期下闸,蓄水历时很短,可根据实际施工进度情况,随时进行蓄水。首部枢纽施工期基本不改变原河床流量,不影响下游水电站和沿河各县各部门的生产、生活供水。

4 结 语

设计从工程水文气象、地形地质及工程枢纽布置等方面综合分析选定该工程的施工导流标准、方式及导流建筑物设计。围堰结构设计中,除主河床上下游围堰外,其余围堰防渗采用堰基高喷防渗墙+堰体土工膜防渗形式,有效节省了导

流工程量。通过在出口布置混凝土框格式地下连续墙,进行防冲、防淘刷保护,保证了导流明渠结构和下游出口的安全。

参考文献:

- [1] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司硬梁包水电站可行性研究报告[R]. 报告编号:CD410 KX-13-9(1),2014.
- [2] 水电工程施工组织设计规范[S].
- [3] 水电工程施工导流设计规范[S].
- [4] 伍秀云. 某水电站工程施工导流设计[J]. 中国水运,2019,19(11):204-205.
- [5] 胡田清,赵颖,朱信波. 金沙水电站导流明渠设计及出口防冲措施研究[J]. 四川水力发电,2018,37(2):21-24.

作者简介:

张永清(1988-),男,甘肃武威人,高级工程师,硕士,中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,从事水利水电工程施工组织设计工作;

郭志忠(1968-),男,青海西宁人,正高级工程师,学士,四川华能泸定水电有限公司,从事水利水电工程管理工作;

程保根(1982-),男,江西新建人,学士,高级工程师,中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,从事水利水电工程施工组织设计工作;

相昆山(1988-),男,山东临沂人,硕士,高级工程师,中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,从事水利水电工程施工组织设计工作;

袁 鹏(1988-),男,湖北荆门人,四川华能泸定水电有限公司,工程师,学士,从事水利水电工程管理工作。

(责任编辑:吴永红)

(上接第 96 页)

明显的区域主要在边墙和拱肩位置,边墙周围塑性区深度变化明显,增加了 1.6 m,拱肩位置塑性区深度也有明显的增大规律,增加了 1.2 m。

(3)上半圆开挖后,能量主要集中在墙脚附近。下半圆第一层开挖后,围岩表层发生塑性屈服,导致能量集聚在边墙内部,需加固围岩内部。

三维数值模拟时,除采用一般隧洞变形与塑性区分析方式,还采用了能量计算的方式,对围岩内部能量聚集特征进行了分析总结,可直观看到隧洞开挖后由于应力重新分布原因,导致的围岩内部能量分布的具体形式,可结合隧洞变形与塑性区分析,对施工期间现场监测与安全提供建议。

参考文献:

- [1] 吴庆良,吴梦军,方林,等. 非均匀应力场作用下圆形水工隧洞开挖与支护参数设计[J]. 农业工程学报,2021,37(15):78-85.

[2] 张晓莉,吕爱钟,王少杰. 正交各向异性非圆形水工隧洞的应力解析解[J]. 岩石力学与工程学报,2017,36(S2):3808-3815. DOI:10.13722/j.cnki.jrme.2016.1615.

[3] 刘闯龙,陈士海,孙杰,等. 浅埋小净距隧道爆破损伤探测及数值模拟分析[J]. 爆炸与冲击,2021,41(11):149-157.

[4] 王明胜. 强风化炭质板岩隧道大变形控制技术研究[J]. 铁道工程学报,2021,38(7):35-39+47.

[5] 铁道部第二勘察设计院. TB10003-2005 铁路隧道设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社,2001.

作者简介:

陈 涛(1977-),男,吉林辽源人,四川华能泸定水电有限公司,高级工程师,学士,从事水利水电工程方面工作;

袁超义(1981-),男,河南南阳人,四川华能泸定水电有限公司,高级工程师,硕士,从事水利水电工程管理工作;

薛瑞华(1998-),男,辽宁沈阳人,东北大学,硕士,从事采矿工程方面工作;

佟 强(1996-),男,辽宁沈阳人,东北大学,硕士,从事土木水利方面工作;

何本国(1984-),男,辽宁沈阳人,东北大学,教授,博士,从事隧道工程方面工作。

(责任编辑:吴永红)