

新疆某水电站泄洪洞挑流消能试验研究

付波, 黄智敏, 何小惠, 陈卓英, 钟勇明

(广东省水利水电科学研究院, 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510635)

摘要: 该文通过水工物理模型试验优化了枢纽工程各泄水建筑物的体型及水力特性, 妥善解决了挑流消能下游回流淘刷岸坡、山体 and 所形成的河床淤积等问题, 确保了工程的安全运行。

关键词: 模型试验; 泄洪洞; 挑流消能; 挑流鼻坎; 淘刷

中图分类号: TV653⁺.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1008-0112(2014)01-0014-04

1 工程概况

新疆某水电站枢纽工程属于Ⅲ等中型工程, 枢纽工程由大坝、溢洪洞、导流洞、发电引水系统及电站厂房、尾水洞等主要建筑物组成(见图 1), 其泄水建筑物为溢洪洞和导流洞。枢纽工程最大坝高为 43.5 m, 总库容为 0.163 亿 m³, 装机容量为 200 MW。正常蓄水位为 1 071.0 m, 设计洪水标准为 50 年一遇($P=2%$), 校核洪水标准为 1 000 年一遇($P=0.1%$)。

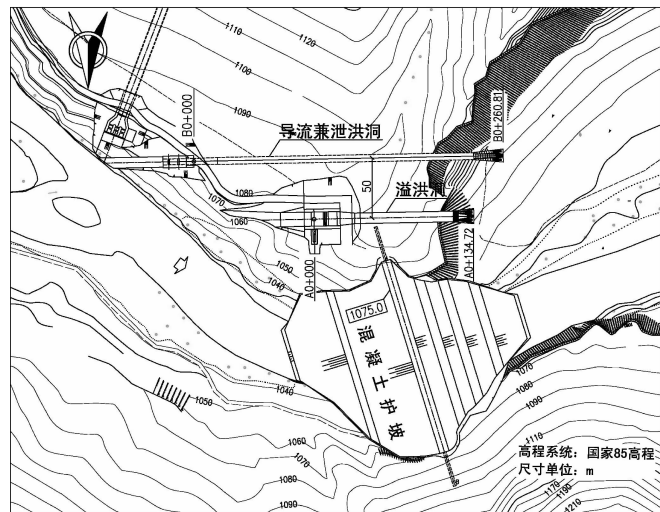


图 1 枢纽工程布置示意

大坝坝址附近两岸地势较高, 河道呈约 120° 的弯曲状, 河床面高程约为 1 033.0 ~ 1 035.0 m。坝址下游河床地形平缓, 下游河床覆盖层厚度约为 10 ~ 31 m (其中, 表层为含砾中粗砂层, 底层为含漂石的砂卵石层), 覆盖层底部高程约为 1 000.0 m。河床覆盖层底部强风化基岩厚度约为 3 ~ 5 m, 弱风化基岩厚度约为 8 ~ 10 m, 岩体完整。

2 模型设计与制作

本模型按佛汝德重力相似律设计为正态, 模型几何比尺为 $L_r=40$ 。泄水建筑物上游河床设计为定床正态模型, 其下游河床设计为动床模型, 选择河床覆盖层抗冲流速 $V=1.6$ m/s, 覆盖层底部强风化基岩抗冲流速 $V=4.5 \sim 5$ m/s, 弱风化基岩抗冲流速 $V=6 \sim 7$ m/s。由伊兹巴什公式

$$D = V^2 / K^2$$

式中 D 为散粒体粒径, m; V 为基岩抗冲流速, m/s; K 为系数, 一般取 5 ~ 7, 本文取 $K=6$ 。

可计算出河床覆盖层的中值粒径 $D_{50} = 0.5$ mm, 强风化基岩的模型冲料散粒体粒径 $D_m = 1.4 \sim 1.7$ cm, 弱风化基岩模型冲料散粒体粒径 $D_m = 2.5 \sim 3.4$ cm。枢纽工程下游河道模型动床范围为泄水建筑物出口至下游长约 350 m 的河段, 在该河段内按覆盖层、强风化基岩和弱风化基岩铺设模型材料。

3 挑流消能设计方案试验

3.1 泄洪洞体型布置

泄洪洞由溢洪洞和导流洞组成, 两洞均布置于挡水大坝左岸(间隔约为 50 m), 由进水渠、渐变段、控制段、洞身段和出口挑坎段等组成。溢洪洞进口控制段为开敞式进水口, 堰顶高程为 1 063.0 m, 下游接 20 m 长的洞身渐变段(由矩形洞型 12 m × 9.5 m (宽 × 高) 渐变为城门洞型 9 m × 9.5 m), 渐变段后接城门洞型洞身段, 洞身段下游连接出口差动式挑流鼻坎段(鼻坎段由进口 9 m 宽渐扩为出口 13 m 宽, 中间低坎反弧半径为 28.96 m、挑射角为 10°, 两边高坎反弧半径为 25 m、挑射角为 25°, 低坎出口高程为 1 035.1 m), 见图 2。

收稿日期: 2013-08-06; 修回日期: 2013-11-28

作者简介: 付波(1981), 男, 硕士, 工程师, 主要从事水工水力学相关试验研究。

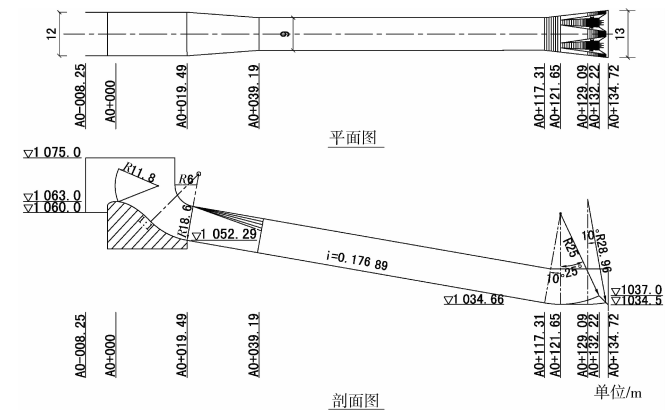


图2 溢洪洞体型布置

导流洞引渠段底宽为9 m, 底板高程为1 037.0 m; 闸井段宽为10 m, 长为26 m, 底板高程为1 037.0 m, 孔口尺寸为5 m×6.5 m, 设1道弧形工作门, 孔口尺寸为5 m×5 m, 闸井顶高程为1 075.0 m; 城门洞身段(6.0 m×7.5 m)下游接出口差动式挑流鼻坎段(鼻坎段由进口6 m宽渐扩为出口11 m宽, 中间低坎反弧半径为122.43 m、挑射角为10°, 两边高坎反弧半径为44.72 m、挑射角为27.05°, 低坎出口高程为1 034.0 m), 见图3。

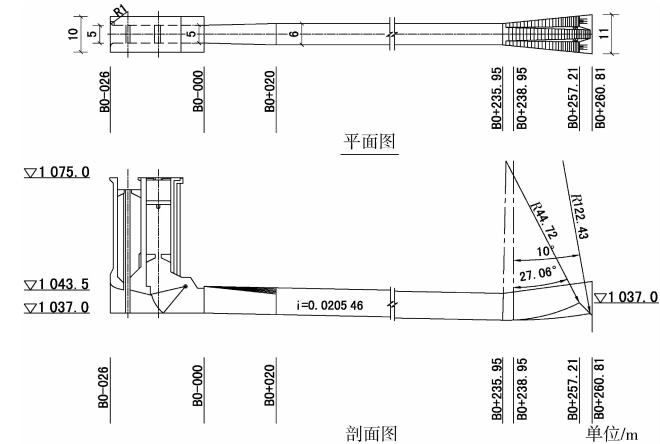


图3 导流兼泄洪洞体型布置

3.2 泄洪洞运行流态

1) 在各级洪水流量泄流运行时, 库区水流进入引水渠段后, 溢洪洞和导流洞泄流过程较为畅顺, 两洞的泄流能力可以满足工程设计要求。

2) 两洞的城门洞段内急流下泄过程中, 水流水面均会有一些的波动, 溢洪洞水面波动值约为0.2~0.3 m, 导流洞水面波动值约为0.1~0.2 m。

3) 在设计洪水和校核洪水频率流量泄流运行时, 溢洪洞堰面局部区域出现小负压值, 负压强的绝对值 $|p/r| < 20$ kPa, 满足设计规范的要求, 溢流堰面曲线合理^[1]; 导流洞沿程各测压点均无负压, 导流洞体型设计合理。

3.3 挑射水舌^[2]与下游河道冲刷特性

1) 采用的扩散式差动鼻坎形成的挑射水舌在纵向呈高低两层水舌、平面呈横向扩散, 增大了挑射水舌在空中的碰撞、掺气和消能(见图4)。在设计洪水和校核洪水频率流量泄流运行时, 溢洪洞的挑射水舌挑距分别约为43.5 m和46.8 m, 水舌入水宽度分别约为21.6 m和24.3 m; 导流洞的挑射水舌挑距分别约为35.1 m和38.4 m, 水舌入水宽度分别约为19.2 m和20.4 m。

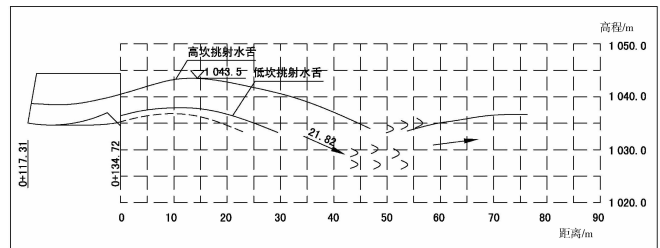


图4(a) 溢洪洞挑射水舌(P=0.1%)

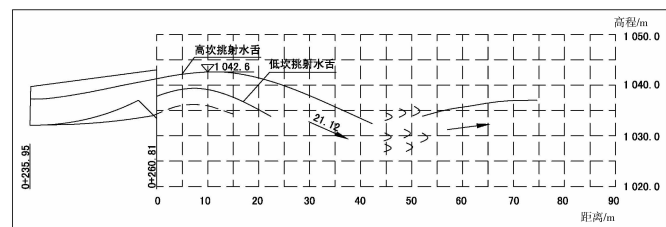


图4(b) 导流洞挑射水舌(P=0.1%)

2) 两股挑射水舌的入水点区域形成了较明显的回流, 回流不断淘刷岸坡、山体和大坝下游坝脚。设计工况下, 测试的回流流速较大值约5.6 m/s, 坝脚淘刷区域底高程约为1 025.0 m。

3) 挑射水舌入水点区域形成冲刷坑且冲深较深, 在设计洪水和校核洪水频率流量泄流运行时, 下游河道冲刷坑底高程分别约为1 009.0 m和1 005.0 m, 冲刷深度分别约23 m和27 m; 冲刷坑下游河床产生较明显的冲渣堆积淤积, 堵塞了下游河道出流空间, 从而影响到大坝稳定。

4 挑流消能优化方案试验

4.1 试验优化思路

针对设计方案试验存在的问题, 泄水建筑物体型及其下游河床冲刷的优化思路为: ①为增大挑射水舌入水时的消能率, 可考虑在下游河床内预挖冲刷坑形成水垫层; ②为减小冲刷坑下游的堆渣淤积并使出流顺畅, 可考虑在下游河床内预挖导流渠; ③为确保大坝坝脚安全稳定, 可考虑将大坝坝脚区域的河床高程加高, 或将挡水大坝往上游移动, 使大坝坝脚远离回流淘刷区。

4.2 对大坝体型布置的优化

为使大坝坝脚远离右岸回流淘刷区, 将设计方案的坝轴线向上游平移30 m, 并顺时针旋转17.8°角,

形成新的坝轴线(见图5)。

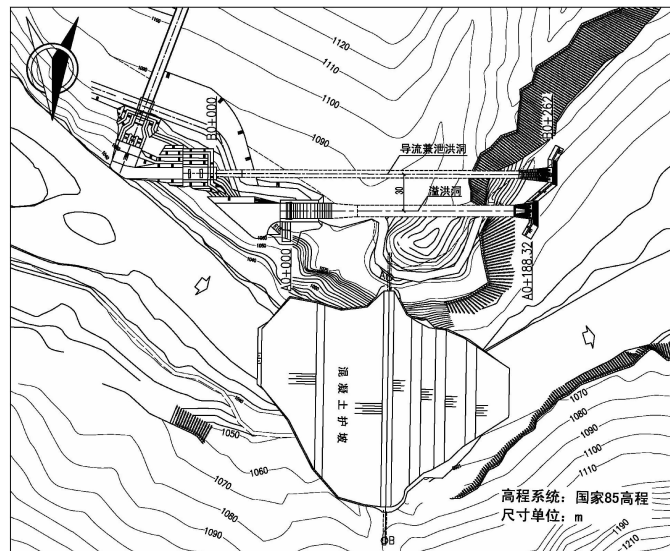


图5 调整后的大坝体型布置

4.3 泄洪洞体型优化

1) 溢洪洞洞轴线的调整: 为减轻溢洪洞泄洪对右侧坝脚回流淘刷的影响, 将溢洪洞的洞轴线往左侧平移 20 m。挑射水舌入水点左移后, 形成的回流对右岸坡淘刷程度减轻。

2) 导流洞体型优化: 为使洞身段下泄水流平稳平顺地进入差动式鼻坎段, 将洞身段坡度 i 由 0.020 546 修改为 0.01, 下游挑流鼻坎段桩号修改为 B0 + 245 ~ B0 + 261, 宽度由进口的 6 m 宽渐扩为出口断面的 10 m 宽。

3) 溢洪洞和导流洞挑流鼻坎优化: 为使挑射水舌入水点适当远离挑流鼻坎段基础, 将溢洪洞高坎出口断面高程 1 037.0 m 抬高为 1 037.73 m (高坎反弧半径 $R = 25$ m、挑射角为 25°), 低坎出口断面高程 1 035.1 m 抬高为 1 035.83 m (低坎反弧半径 $R = 28.96$ m、挑射角为 10°); 将导流洞高坎出口断面高程 1 037.0 m 抬高为 1 037.45 m (高坎反弧半径 $R = 35$ m, 挑射角为 23.5°), 低坎出口断面高程 1 034.0 m 抬高为 1 036.0 m (低坎反弧半径 $R = 78.92$ m, 挑射角为 11°) (见图6)。

4.4 挑射水舌与下游河道开挖导流渠试验

4.4.1 挑射水舌特性分析

优化方案试验的挑射水舌不仅挑距较远、入水宽度加宽, 而且其入水区域远离了挑流鼻坎基础, 有利于工程安全运行。与设计方案试验相比, 在设计洪水和校核洪水频率流量泄流运行时, 试验测得溢洪洞挑射水舌挑距分别约加长了 2.2 m 和 2.0 m, 水舌入水宽度分别加宽了 1.6 m 和 1.5 m; 导流洞的挑射水舌挑距分别约加长了 1.6 m 和 2.2 m, 水舌入水宽度分别加宽了 1.2 m 和 2.2 m, 见图7。

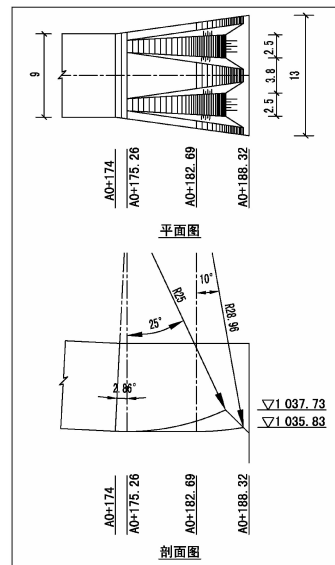


图6(a) 溢洪洞挑流鼻坎优化体型(单位: m)

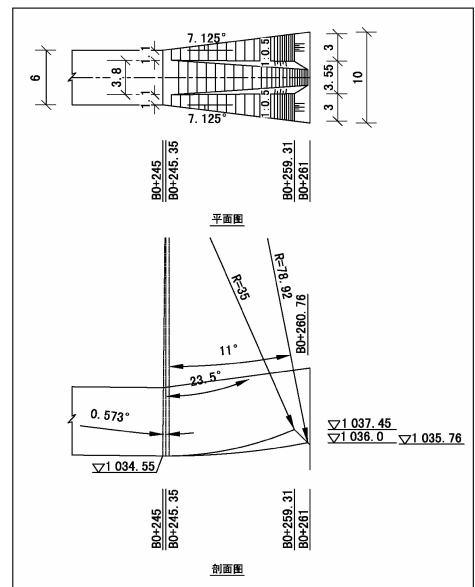


图6(b) 导流洞挑流鼻坎优化体型(单位: m)

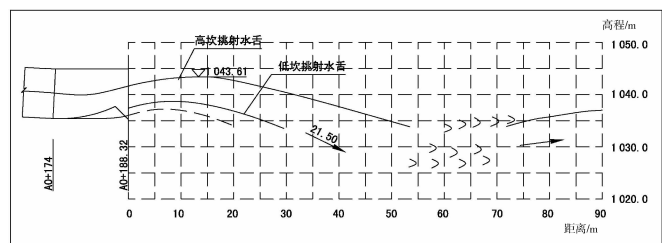


图7(a) 溢洪洞挑射水舌($P=0.1\%$)

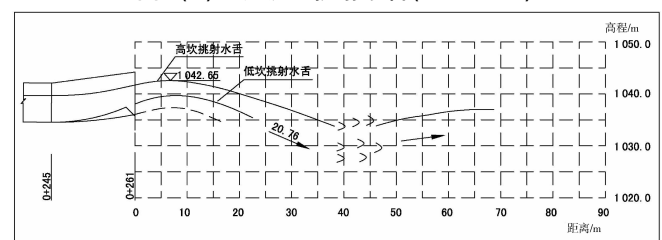


图7(b) 导流洞挑射水舌($P=0.1\%$)

4.4.2 下游河道开挖导流渠优化试验

鉴于设计方案试验中存在的回流淘刷岸坡、山体与河床淤积问题,考虑在下游河床覆盖层内预挖冲刷坑和预挖导流渠。

根据优化思路,试验比较了不同导流渠宽度的开挖方案,试验推荐的导流渠开挖方案布置为:对挑流鼻坎下游河道进行预挖导流渠,导流渠底宽为110 m,渠底高程为1 030.0 m,两侧边坡坡度为1:2;对大坝坝脚下约100 m长范围的河床结合下游围堰填筑,回填至约1 038.0 m高程,见图8。

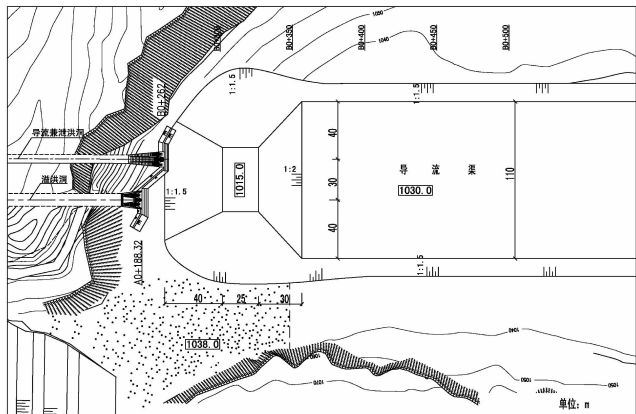


图8 导流渠开挖方案布置

在设计洪水和校核洪水频率流量泄流运行时,试验的开挖方案左岸区域回流流速较大值约为4.53 m/s和5.24 m/s,右岸区域回流流速较大值分别约为4.21 m/s和4.77 m/s(见图9);下游河道所形成的冲刷坑均在河床覆盖层内,冲刷坑底高程分别约为1 008.0 m和1 005.0 m,冲刷深度分别约为24 m和27 m,未冲深至覆盖层底部的基岩,泄流的冲刷和回流流速基本在基岩的抗冲流速之内,对两洞挑流鼻坎坎脚基岩和两侧山体的岩体稳定影响较小。

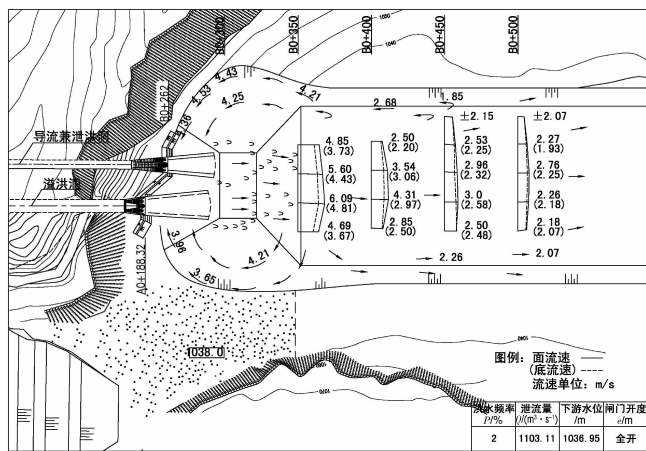


图9 两洞联合泄洪下游河道流态

5 结语

1) 新疆某水电站坝址位于弯形河道,泄水建筑物下游河床内有深厚覆盖层,设计采用挑流消能方式是合理的。

2) 通过水工模型试验优化了枢纽工程各泄水建筑物的体型及水力特性,并在下游河床深厚覆盖层内采用导流渠疏导下泄水流,使冲刷坑出流较平顺与下游河道水流衔接,从而妥善解决了泄水建筑物下游消能防冲问题。

参考文献:

- [1] 华东水利学院 主编. 水工设计手册:第6卷 泄水与过坝建筑物[M]. 北京:水利电力出版社,1982.
- [2] 长江水利水电科学研究所,等. 泄水建筑物的下游消能防冲问题[M]. 1980.
- [3] 潘军宁,王红川,王登婷. 湛江钢铁工程码头工程波浪数模计算报告[R]. 南京:南京水利科学研究所,2008.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. JTS/T233-98 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程[S]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [5] 湛江钢铁基地码头工程方案二维潮流数值模拟及泥沙淤积计算可行性分析报告[R]. 天津:交通部水运工程科学研究所,2004.
- [6] 刘家驹. 海岸泥沙运动研究及应用[M]. 北京:海洋出版社,2009.
- [7] 付波,黄健东,张婷. 广东钢铁环保迁建工程取排水口波浪泥沙物理模型试验研究报告[R]. 广州:广东省水利水电科学研究所,2010.

(本文责任编辑 马克俊)