



水口电站坝下工程下引航道水流条件治理分析

周蔚蔚¹, 陈野鹰¹, 扈晓雯², 彭 凯¹

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 水口坝下水位治理工程是无闸低坝枢纽, 不能控制洪水、调节泄流位置, 无论上游来流量高低, 对下游引航道通航条件的影响均较大, 本文针对其水流运动特点和泥沙淤积问题, 利用水力学原理与泥沙运动理论, 创建了隔离水流、切断泥沙流路的技术方法, 通过增设隔流墙、拦沙底坎和优化靠船墩布置等工程措施, 较好地改变引航道内的水流条件, 有效地阻止了泥沙淤积。模型试验结果显示引航道内的水深、流速等通航指标均能满足规范要求, 文章提出的方法可供类似工程参考。

关键词: 无闸低坝; 引航道水流条件; 隔流墙; 拦沙底坎

中图分类号: TV 691

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)09-0121-05

Management and analysis of flow conditions of under approach channel for project blow the dam of Shuikou power station

ZHOU Wei-wei¹, CHEN Ye-ying¹, HU Xiao-wen², PENG Kai¹

(1. School of River & Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. East China Investigation and Design Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Minjiang hydropower station dam water treatment project is the low dam without gate. So it can not control the flood and regulate location of discharge. Whether the level of the upstream flow is large or not, it will bring great impact to the navigation conditions of downstream approach channel. Based on the features of water movement and siltation problems, utilize principles of hydraulics and sediment movement theory, create some technical methods such as isolating water and cutting off path of sediment flow. By subjoining cut-off wall and sediment sill as well as optimizing the layout of dolphins, the flow conditions within the approach channel are changed better and also effectively prevent silting. Model test results show that the navigable index such as depth and flow rate in approach channel all can meet the regulatory requirements. The methods which presented in this paper can provide a reference for similar projects.

Keywords: low dam without gate; flow conditions in approach channel; cut-off wall; sediment sill

闽江水口水电站建成后, 由于坝下河道常年无序开采河沙, 致使河床下切, 河道水位逐年下降, 目前电站泄放航运基流 $308 \text{ m}^3/\text{s}$ 时的下游水位仅为 3.24 m , 大幅低于设计下游最低通航水位 7.64 m , 致使船闸下游门槛水深不足, 通航条件恶化, 也严重影响到电站机组的正常运行。为从

根本上解决这一问题, 拟在其下游建反调节水库, 即水口水电站坝下水位治理工程, 恢复原水口水电站枢纽在泄放航运基流 $308 \text{ m}^3/\text{s}$ 时坝下最低通航水位 7.64 m , 使闽江航运畅通。

水口电站坝下水位治理工程为无闸滚水坝, 坝高较低, 不能控制和调节下泄流量过坝水流,

收稿日期: 2014-01-19

作者简介: 周蔚蔚 (1989—), 女, 硕士研究生, 主要从事河道治理与航道工程方面的研究。

流量较小时,堰流表现为自由出流,坝前呈现水库水流特性,随着流量的增加,溢流逐渐转变为淹没出流,坝前水库特征消失,水流特性跟天然河道下的相似,船闸引航道的水流条件非常复杂,上、下引航道水流条件均难以满足通航要求,关于上引航道水流问题已撰文专题研究过,因此本文将重点针对下游引航道水流问题进行研究。根据坝下河床呈现左高右低、深泓线靠河道右岸行走的特点,经滚水坝下泄的水流出消力池后将被导向右岸,同时,右岸引航道占据了一定河道,过水宽度仅有 200 余米,过坝水流集中、流速较大,船闸下游引航道通航条件较差,随上游来流量的增加,流速大幅超过船舶安全航行允许值。无闸低坝枢纽在小流量下上下游水位差较大,过坝高速水流直接冲击下游缓流,将使水面急剧涌动与旋滚。另一方面,当下引航道调顺段与主流之间无隔流设施时,下泄水流直接进入引航道内,使得河道内流动的水流与引航道内静止的水流相对运动,这些都将导致回流区的产生;另外,由于受船闸灌泄水、通航建筑物、河流地形地势等边界条件的影响,河道水流产生收缩与扩散,从而导致水流弯曲变形,在引航道内及口门区产生斜向水流^[1]。以上产生的不良流态使得船舶难以满足通航安全要求。除此之外,大流量下,上游来流携带的泥沙通过下引航道调顺段进入引航道和口门区内形成淤积带,这将给船舶通航带来不利影响。为解决上述问题,本文根据水口水电站坝下水位治理工程水工模型试验,对下引航道的水流条件进行了研究分析,提出坝下水位治理工程优化布置方案,并通过模型试验验证了优化布置的合理性。

1 水口水电站坝下水位治理工程模型概况

闽江水口水电站枢纽坝下水位治理工程位于水口水电站枢纽坝下游约 9.0 km 处,是为解决水口水电站枢纽通航建筑物下游门槛水深不足而设置的反调节水库,工程的主要任务是满足通航要

求。该工程枢纽建筑物主要由挡水建筑物、泄洪消能建筑物、通航建筑物及护坡建筑物等组成。泄洪消能建筑物布置在主河床;通航建筑物为双线船闸,布置在右岸;泄洪消能建筑物与左岸岸坡采用护坡建筑物相连接。设计方案下,船闸下引航道外导航墙左侧(河道)长为 180 m,右侧(河岸)长为 120 m;停泊段采用独立式靠船墩,且导航墙至靠船墩之间无隔流设施。

根据工程性质、上下游枢纽布置、河道河势及试验要求等特点,选择比尺为 1:100 的正态整体水工模型,模型模拟范围为水口电站坝址上游 0.5 km 至坝下水位治理工程枢纽下游 1.6 km 全长约 11.2 km 的河道范围。再根据水流运动相似比尺关系,计算出模型各项比尺为:流速比尺 $\lambda_v = 10$ 、流量比尺 $\lambda_Q = 100\,000$ 、河床糙率比尺 $\lambda_n = 10$ 、时间比尺 $\lambda_t = 10$ 。通过验证试验对河道糙率进行适当调整,达到了模型与原型相似的要求^[2]。

2 设计方案船闸下游引航道通航水流条件

原设计方案的下引航道布置见图 1。原设计方案下游引航道通航水流条件如下:首先,由于下游引航道调顺段无隔流墙与河道主流之间隔开,下泄水流则通过调顺段斜入引航道,形成较强的斜流,经试验测定调顺段水流纵向流速一般为 0.77 ~ 1.29 m/s,横向流速一般为 0.25 ~ 0.50 m/s。查阅内河通航标准可知,Ⅳ级船闸引航道调顺段与停泊段的流速限值为:纵向流速 0.5 m/s,横向流速 0.15 m/s;口门区流速限值为:纵向流速 2.0 m/s,横向流速 0.3 m/s,回流流速 0.4 m/s^[3]。可见,调顺段纵向流速、横向流速大幅超标。另外,下泄水流经过调顺段时直接进入引航道内,使得河道内流动的水流与引航道内静止的水流相对运动,同时,上游来流绕过堤头时,产生了堤头效应,这些都将导致回流区的产生;其次,对于船闸下引航道的停泊段,由于设立独立式靠船墩,使得主河道来流经过时产生绕流作用,进而在各级流量下靠船墩附近将会产生一定的回流区。另外,上游来流经过下引航道时,由于河道断面

突然扩大,水流产生弯曲变形,进而在停泊段产生斜向流,随着来流量的升高斜流强度将逐渐增大,仅当来流量 $Q \leq 1\,020\text{ m}^3/\text{s}$ 时,下引航道布置的5个停泊位的水流条件才能满足船舶安全靠泊要求,可见原设计方案下停泊段水流条件较差,基本不能满足船舶安全靠泊要求;根据无闸低坝枢纽的特点,可知在小流量时枢纽壅高上游水位效果明显,上下游水位落差较大,这将会导致下泄水流动能增加大,进而在坝下出现水跃现象,致使下游水面不连续,并有反向旋滚,水面将会剧烈波动。另外,由于枢纽坝下河床呈现左高右低的特征,主流朝右岸流向口门区,小流量下,溢流坝表现为自由出流,坝下水流速度较快、动能较高,即使上游来流量较小时,口门区也会产生较大的纵横流速,与此相比,大流量时下游水位较高,溢流坝逐渐从自由出流演变成淹没出流,坝下流速也随之变小,单位水体的动能低于小流量时的。但是,由于此时下泄流量大、波动能力较强,水体仍然携带着较高的能量,大量的水体涌入引航道,使得通过调顺段和停泊段进入口门区的水流也逐渐增加,因而口门区仍然产生较大的斜流^[4]。

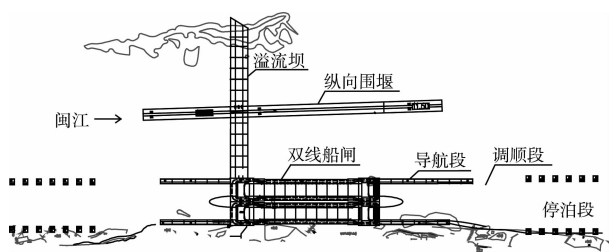


图1 原设计方案枢纽布置

由以上分析可以看出,下引航道存在的问题主要是由于调顺段无隔流墙且停泊段采用独立的靠船墩,导致大坝下泄水流通过调顺段及停泊段进入引航道,即使上游来流量较小时,也会产生较强的斜流和回流,水流流速大幅超标。不仅如此,汛期洪水含沙量较大,在斜向水流的作用下大量泥沙被带入引航道,由于引航道内航槽高程

低于河床3~5 m,进入航道内的泥沙很容易淤积形成沙丘,枯水期下游水位较低时,淤积形成的沙丘会减小引航道水深,影响船舶航行安全,严重时阻碍船舶进闸过坝,破坏正常的航运秩序,因此有必要采取工程措施,消除或弱化不良水流,防止泥沙淤积阻碍船舶通行,改善通航条件,确保航运安全。

3 下引航道通航条件改善措施

为根除无闸低坝船闸下游引航道流速超标、流态差、泥沙淤积等影响船舶通行安全的危害,需通过改变水流运动轨迹、截断淤沙流路和优化布置靠船建筑物等技术措施。

3.1 改变水流运动轨迹

根据模型试验结果分析得知:导致原设计方案船闸下游引航道水流条件不满足规范的根本原因是水口坝下水位治理工程的无闸低坝结构,没有能力控制下泄水流,上游来流多少过坝必下泄多少,且流路布满整个河道,当引航道与河道间没有隔流建筑物将主流与引航道内的水流隔开时,弯曲水流与水面波动均要传入引航道内,造成其水流条件不能满足安全通航要求。为解决这一问题,首先需在原设计方案的170 m长的调顺段上增设隔流建筑物,将隔流墙与导航墙连为整体,阻断由隔流段进入引航道内的斜向水流,改变进出引航道水流的运动轨迹,改善引航道内的水流流态^[5]。模型试验证明在调顺段增设隔流建筑后,该段的水流几乎为静水,且整个引航道内的水流条件均得到明显的改善。

为进一步改善停泊段的水流条件,减小横流强度,可在靠船墩上加装隔流挂板(图2)。由于双线船闸引航道较宽、所占河道比例较大,水流出引航道口门后水面宽度陡然增加,水流弯曲严重,容易造成口门区回流和斜向水流,当引航道内有水流出时,这种不利水流现象能得到改善,随引航道出流量的提高,口门区的横流和回流强度减弱。因此,在停泊段水流条件满足规范要求

的情况下,隔流挂板底高程愈高口门区斜向水流愈弱,根据模型试验结果可将水口坝下水位治理工程下引航道停泊段的隔流挂板底高程确定为 9.0 m,进而既能保证停泊段水流指标满足规范要求,又能有足够的水量由引航道流出,消除或弱化口门区的斜向水流,改善了通航条件。

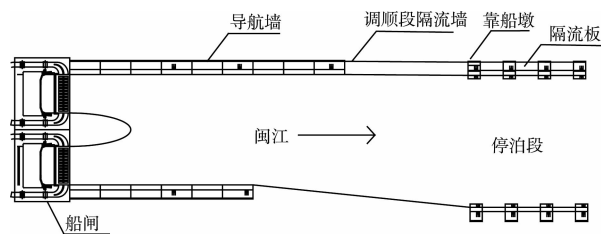


图2 优化方案I下引航道布置

3.2 防止泥沙淤积

水位治理工程距水口枢纽较近,枯水期下泄泥沙非常少,船闸引航道内不存在泥沙淤积碍航的问题发生,但是,在汛期洪水仍然夹带大量泥沙,过坝水流强大的动能容易促使泥沙运动,尽管在运动中的悬移质泥沙的运动轨迹主要受水流的影响,不易在引航道内淤积,但推移质泥沙的运动轨迹不仅受到水流运动特性的制约,同时也要受到河床地形的影响,由于引航道内的航槽底高程比相邻河床低 3~5 m,主河道内的泥沙容易随弯曲水流通过靠船墩建筑物间的空隙流入引航道内。进入引航道内的推移质泥沙一旦停止运动就处于比较稳定的状态,容易原地静止不动淤积生成碍航沙丘。为了阻断推移质泥沙进入引航道,需要在两靠船墩间设置拦沙底坎,从根本上消除碍航淤沙隐患(图3)。然而拦沙底坎的拦沙能力随底坎高度而增强,底坎越高拦沙效果越好,同时底坎建筑物的阻水作用也越大,流入引航道内的水量越少,这将会降低以至消除遏制口门区斜向水流和回流的能力,因此,需综合拦沙与口门区的水流条件,通过模型试验,确定拦沙底坎建筑物高程。根据试验观测结果得知当拦沙底坎顶高程升高至 5.0 m 时,洪水期进入引航道的泥沙已经很少,对引航道的安全航行基本没有影响。

同时在停泊段的靠船墩间,由设置的隔流挂板与拦沙底坎形成的高 4 m、长 15 m 的 9 个透水孔,其透水量即能消除或弱化口门区的水流斜向水流强度,又能使停泊段由靠船墩间的孔口进水产生的斜向流速在规范允许值之内,从而保障船舶顺利进出引航道和安全停泊^[6]。

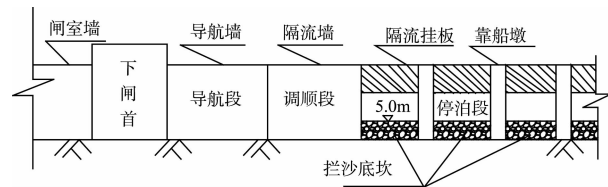


图3 拦沙底坎示意

3.3 优化布置靠船建筑物

另外,工程枢纽下游河势形同喇叭,引航道出口后的下游河道向岸边急速扩展,过水断面宽度由枢纽河段 340 m 变宽至口门区的约 670 m,增加近 1 倍,通航流量下从岸边至左侧(河中侧)航道边线的距离近 150 余米,即使水口电站下泄最高通航流量 $Q=16\,900\text{ m}^3/\text{s}$ 时,岸边 80~100 m 宽度范围内的流速仍然较小,若将岸侧靠船墩沿河岸方向布置,进闸船舶采用靠岸曲线进引航道,船舶通行的水域几乎全位于缓流,模型试验观测的最大流速值如表 1 所示。由表 1 可知,水口坝下水位治理工程船闸下游引航道停泊段和口门区的水流条件基本能达到船舶安全航行的要求。

表 1 优化方案 I 下引航道水流流速最大值 m/s									
流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	调顺段			停泊段			口门区		
	v_y	v_x	v_r	v_y	v_x	v_r	v_y	v_x	v_r
1 530	--	--	--	0.44	0.13	0	1.88	0.25	0
7 000	--	--	--	0.45	0.11	0	1.47	0.21	0
16 900	--	--	--	0.48	0.08	0	1.52	0.27	0

注:表中 v_y 表示纵向流速; v_x 表示横向流速; v_r 表示回流流速; “--”表示静水。

模型试验证明,通过理论研究分析提出的采用隔流墙、隔流挂板能减少大坝泄流水体通过调顺段、停泊段进入引航道,靠船墩间设置拦沙底坎和根据河岸地形特点布置靠船墩的技术措施使水位治理工程船闸下引航道水流条件得到了显著

改善,各项水流指标基本能满足规范要求,显然本文采用的工程措施是可行的,提出的技术方法可被类似工程借鉴。

4 结论

1) 无闸低坝枢纽船闸下引航道,若不采用工程建筑物将引航道与河道主流隔开,引航道内的水流条件较差,无论是停泊段还是口门区,当来流量仅到通航限值的30%~50%时,水流条件已较差,纵横流速与回流流速指标均存在超过规范规定的现象,船舶进出引航道困难。

2) 无调节能力的溢流坝枢纽中,在船闸下引航道调顺段采用隔流墙、靠船墩上加挂隔流板等隔流设施以及通过模型试验确定的拦沙底坎既可以改善引航道内的水流条件,满足船舶安全停泊要求,又能弱化口门区的斜向流和回流,同时还能有效防止推移质泥沙进入引航道淤积形成碍航沙丘,保障航行安全。

3) 根据河岸坡变化设置靠船建筑物,能够充

分利用岸边缓流水域,确保引航道内的水流指标满足规范限制要求,有利于船舶进出引航道和航运安全,文章提出的优化引航道通航条件的技术措施可为类似工程所借鉴。

参考文献:

- [1] 周华兴,郑宝友. 船闸引航道口门区通航水流条件改善措施[J]. 水道港口, 2002, 6(2): 81-86.
- [2] 重庆交通大学. 闽江水口水电站坝下水位治理工程整体水工模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学.
- [3] GBJ 139—90 内河通航标准[S].
- [4] 甘惠麒,那吉. 船闸下游引航道通航水流条件的试验研究[J]. 广西水利水电, 1999(1): 56-59.
- [5] 叶雅思,任启江. 弧线导航墙改善船闸引航道口门区水流状态试验[J]. 水运工程, 2011(7): 144-147.
- [6] 王庆龙,陈野鹰,扈晓雯,等. 水口水电站坝下水位治理工程上引航道水流条件研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2013, 12(6): 102-105.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第120页)

参考文献:

- [1] 田建军. “十二五”末长江电子航道图将全面建成[N]. 中国安全生产报, 2011-03-19.
- [2] 刘力,于秀娟,冯新强,等. 我国内河电子航道图建设的现状及对策[J]. 中国水运: 下半月, 2011(4): 76-77.
- [3] 葛志明,赵学俊,李峰. 长江电子航道图显示与信息系系统[J]. 海洋测绘, 2005(2): 64-65.
- [4] 中国科学院地理研究所,长江水利水电科学院,长江航道局规划设计研究所. 长江中下游河道特性及其演

变[M]. 北京: 科学出版社, 1985.

- [5] 赵振兴,何建京. 水力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [6] 吴保生,张小峰. 河流动力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [7] 殷俊琳. ADCP数据采集和信号处理的分析与设计[D]. 成都: 四川大学, 2005.

(本文编辑 武亚庆)