

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.05.038

基于低弗氏数水流下折坡渐扩式消力池的优化

白欣,张宗孝,黄智文

(陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 底流消能中在遇坡度情况下通常采用折坡扩散型消力池,其消能效果较好,对地形适应性强,在同等水利条件下,需要的池深更小,更经济高效。折坡式消力池的优化及应用还存在难题,该体型在低弗氏数水流下的消能与具体工程的应用具有一定研究价值。本工程水流为低弗劳德数水流,通过模型试验,在不同工况下,对折坡扩散式消力池的水深、压强、消能率等水力特性做了研究,针对三种不同体型比较优化,最终得出加深消力池与在护坦加设消能墩的方式,其对下游水深的适应更好。

关键词: 折坡扩散式;低弗氏数;消力池;底流消能;模型试验

中图分类号: TV653

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)05-0207-04

Optimization of the Slope Expanding Stilling Basin Under Low Froude Flow Condition

BAI Xin, ZHANG Zongxiao, HUANG Zhiwen

(State Key Laboratory of Eco-Hydraulic Engineering in Shaanxi, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: Bottom flow energy dissipation usually adopt folding diffusion model stilling basin when it come across slope, the energy dissipation effect of which is good and it also has the advantage of strong terrain adaptability, under the same water conservancy condition, the deep pool is smaller comparing to other energy dissipation, thus it is very efficient in terms of economy. However the optimization and application of slope stilling basin is still a remaining issue, the body design in the low Froude flow condition and specific engineering application is of great importance. In this paper, the project of low froude number flow was tested under different conditions, folded slope dispersive stilling basin water depth, pressure and energy dissipation of hydraulic characteristics were optimizaed based on three different sizes, and measures such as deepen stilling basin and adding apron energy dissipation piers in the manner were proposed which is better to the downstream water depth.

Keywords: slope expansion low; low Froude number; stilling basin; underflow energy dissipation; model test

低水头泄水建筑物的主要消能方式为面流消能和底流消能,其中底流消能是工程上通常采用的一种消能形式。底流消能是通过水跃使水流表面发生翻滚、掺气、混掺,从而与周围的水体产生动能和能量的交换、抵消,来消除余能。底流消能的效率与入流的弗劳德数 Fr 有关,当 $1.5 < Fr < 4.5$ 时泄水建筑物无法形成稳定水跃时均消能率在 20% ~ 40%,消能率低,能量较为集中,对下游冲刷严重,所以常常要在消力池加一些辅助消能工来提高消能效率。目前国内外提出了很多值得借鉴的工程措施,如美

国垦务局的 USBRIV 型消力池;安东尼奥试验的 SAF 型消力池;国内的消力墩、消力梁、分流墩、消能掺气墩等,在辅助消能上均有很好的效果^[1-3]。目前国内外对底流消能做了大量研究,其中王海龙等^[4]对低坎分流墩用于低弗氏数水流消能的模型试验;孙保涛等^[5]根据模型试验对低坎分流墩消能工进行优化;梁砚等^[6]对折坡扩散型消力池的不同体型下的水跃特性进行了研究;王冰洁等^[7]对折坡扩散消力池水跃共轭水深计算方法及水跃长度消能率进行了分析。

消能优化的思路通常以恒定流为依据,设计优化泄洪洞的体型和尺寸,加入辅助消能工等措施,同时考虑其安全性,在能满足其工程任务级安全性的前提下提高经济性,本文以模型试验为主体,以流态、流速、消能率,冲刷等指标进行对比,从而比选出相对最优的方案。

1 概述

1.1 工程概况

辽宁清原下水库泄水建筑物采用岸边溢洪道和泄洪放空洞联合泄洪方式。溢洪道和泄洪洞均布置在右岸。下水库正常蓄水位为 319.0 m,死水位为 298.0 m,正常蓄水位以下库容 1 564 万 m^3 ,调节库容 1 443 万 m^3 ,死库容 121 万 m^3 。下水库 200 年一遇设计洪水洪峰流量 570 m^3/s ,2000 年一遇校核洪水洪峰流量 1 056 m^3/s 。

溢洪道总长 176 m,自上游向下游由进水渠、溢流堰、泄槽、消力池组成。溢洪道采用喇叭形进口,进水渠底板高程 305 m,为改善水流条件,靠近溢流

堰设 40 m 导墙。溢流堰段长 22.5 m,采用 WES 实用堰,堰顶高程 310 m。泄槽段长 105.22 m,底坡 28.8%。溢洪道出口采用底流消能,消力池底高程 273.00 m,池深 6 m,池宽 8 m。

1.2 模型试验设计

根据模型试验任务要求,模型按重力相似准则设计,比尺为 1:50,根据相似准则,则模型中其他比尺如表 1 所示。局部动床模型,模型砂粒径根据兹巴什公式(k 取 5.5)计算,抗冲流速为 2.0 m/s,试验冲刷料粒径约为 1.6 mm~3.2 mm,中值粒径约为 2.2 mm;为了观测冲刷坑的深度、范围,从溢洪道消力池下游护坦溢 0+242.672 断面和泄洪放空洞消力池下游护坦溢 0+567.900 断面开始,至下游距溢洪道溢 0+242.672 断面 114.210 m,即溢 0+356.88 断面,动床的左边位于溢洪道轴线左边 75 m,动床的右边位于溢洪道轴线右边 80 m,动床范围为长 114.21 m×宽 155.0 m。动床深度约为 15 m,最低点高程约为 263.0 m^[8]。

表 1 模型试验各物理量比尺表

比尺名称	几何比尺	流速比尺	流量比尺	压强比尺	时间比尺	糙率比尺
比尺关系	λ_L	$\lambda_v = \lambda_L^{0.5}$	$\lambda_Q = \lambda_L^{2.5}$	$\lambda_p = \lambda_L$	$\lambda_t = \lambda_L^{0.5}$	$\lambda_n = \lambda_L^{\frac{1}{3}}$
比尺数值	50	7.071068	17677	50	7.071068	1.919383

2 原方案消能实验成果及存在问题

小流量时,消力池流态为淹没水跃,随着库水位的增加,流量的增大,水跃跃首后移。至设计洪水位 319.00 m 时,水跃跃首已移至消力池池首溢 0+127.720 断面附近,校核洪水位 319.96 m 时出现远驱水跃,以上流态反映溢洪道消力池的尺度不足,溢洪道具体流态见图 1。

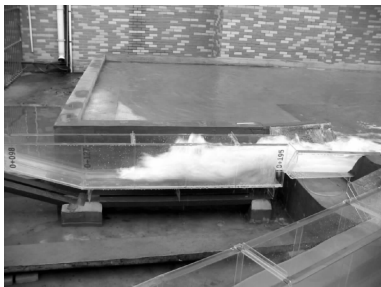


图 1 原方案溢洪道消力池及护坦 319.00 m 水流流态
($Q = 440.0 \text{ m}^3/\text{s}$)

水流从消力池末端流入下游护坦,由于护坦过水断面突然扩大,加之消力池深度不足,消力池末端

的水面增高,导致在护坦上产生较大的水面跌落。设计洪水位时,最大的水面跌落约 5.5 m~6.5 m,之后水面波动较大,由于护坦较短,使得下游冲刷较为严重。目前消力池消能不足的改进方法较多,加深消力池、加设消能墩都是比较常用的方法^[9-11]。针对上述问题,现从两个方面来解决上述问题:(1) 加深消力池,因护坦太短在护坦段加设消能墩以消除余能,平顺水流;(2) USBR II 型辅助消能工,消力池前段采用趾墩,尾端采用差动坎,加大水流掺气,达到消能。

3 修改方案试验结果

3.1 方案 1

该方案为在消力池入口处布置分流趾墩的 USBR II 变型消力池,池尾设差动坎,具体布置型式及尺寸见图 2。消力池高程,池宽等不变。各种实验工况结果表明:消力池内加设趾墩使消力池的消流能力有所提高,但池内紊动加剧,水流回旋严重使池内冲刷加剧,对水工建筑物的使用寿命危害很大,且出池水流仍为急流衔接水面波浪较大。

4.2 消能率级下游冲刷对比

消能率在消力池的优化中为主要优化参数,其大小往往决定着该方案的取舍,工程需多方面考究,决定在各条件下都较优的方案。在设计工况下对各方案与原方案比较,以消能率 η ,以及出池流速为标尺来进行比较。根据水力学教材可知 η 的计算公式如下^[14-15]

$$\eta = (E_1 - E_2) \times 100\% \quad (1)$$

$$E_1 = H_1 + \alpha_1 V_1^2/2g \quad (2)$$

$$E_2 = H_2 + \alpha_2 V_2^2/2g \quad (3)$$

H_1 、 H_2 、 V_1 、 V_2 为消力池上游和下游断面的相对高程和平均流速; α_1 、 α_2 分别为上下游断面的流量系数,本次计算取 1.0;出池流速取底,中,表,其结果如表 2 所示。

表 2 各方案消能率及下游水力特性的比较

方案	消能率 $\eta/\%$	护坦末流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)			下游最大冲刷深度
		底	中	表	
原方案	63.8	10.90	6.50	10.90	6.5
方案 1	82.3	8.90	3.60	8.90	3.6
方案 2	90.5	4.00	1.30	4.00	1.3

从表 2 中可以看出原方案的消力池消能率较低,优化后方案 1 虽然改善了消能率和出池流速但是不如方案 2 的效果好,理论上两种方案都是可行的,但是方案 2 的消能率最高,而且池内流态很好,护坦后底流不大,波浪较小。故本工程采用方案 2。

5 结 论

高水头、低弗氏数泄洪建筑物在工程上是一个比较难以解决的问题,因本身消能率低,在工程实际上常常须借助各种辅助消能工来解决问题。辅助消能工主要依靠体型来产生小尺度漩涡,在局部发生混掺、紊动来使水流之间产生能量交换降低流速,从而保护下游河道、岸坡。目前国内外提出了许多辅助消能设施及方法,合理、灵活运用这些辅助消能建筑物对解决工程问题有很大帮助。

本次研究将消能墩置于护坦上,来解决底流消

能中低水头、低弗氏数泄水建筑物的消能防冲,效果很好,而且避免了在池内修建消能墩、趾墩、分流墩时混入大颗粒泥沙对消力池内的破坏,以及小型涡旋对消力池的冲刷。本工程简单实用,为低弗氏数水流的消能提供了一种新思路,可供其他工程借鉴。

参考文献:

- [1] 梁跃平,刘海凌,梁国亭.辅助消能工应用于低弗氏数水流消能的试验研究[J].华北水利水电学院学报(自然科学版),2000,21(1):13-16.
- [2] 王海云,戴光清,杨庆,等.低水头大单宽流量泄洪消能方式研究[J].水力发电,2006,32(8):25-26.
- [3] 江锋,苗隆德,王飞虎,等.低弗氏数 T 型墩消力池设计及消能研究[J].水利学报,1998(S1):133-138.
- [4] 王海龙,孙桂凯,徐伟章.低坎分流墩用于低弗氏数水流消能的试验研究[J].红水河,2003,22(2):37-41.
- [5] 孙保沐,王海龙.低坎分流墩消能工的优化研究[J].水力发电学报,2004,23(3):93-97.
- [6] 梁砚,周赤,段文刚.折坡扩散型消力池的水跃特性试验研究[J].长江科学院院报,2017,34(3):53-57.
- [7] 王冰洁,刘韩生.折坡扩散消力池水跃共轭水深计算方法及水跃长度消能率分析[J].水电能源科学,2014,32(8):108-111.
- [8] 中华人民共和国水利部.水工(常规)模型试验规程:SL 155—2012[S].北京:中国水利水电出版社,2012.
- [9] 刘莲萍.不同墩形下低水头电站消能效果试验研究[J].水利科技与经济,2015,21(9):95-96.
- [10] 沈鑫.水电站溢洪道中墩尾部水翅消减方案试验研究[J].水利与建筑工程学报,2015,13(4):201-204.
- [11] 陈卓英,倪培桐.低水头拦河闸重建工程消能工优化布置试验研究[J].水利与建筑工程学报,2017,15(2):49-54.
- [12] 李梦成,童海鸿.低弗氏数底流消能辅助消能工模型试验分析[J].人民黄河,2011,33(9):144-146.
- [13] 花立峰.消力墩—T形墩—消能塘联合消能的试验研究[J].水利水电工程设计,2004,23(1):40-43.
- [14] 李建中.水力学[M].西安:陕西科学技术出版社,2002:385-388.
- [15] 李建中,宁利中.高速水力学[M].西安:西北工业大学出版社,1994:67-76.