DOI:10.16616/j.cnki.11-4446/TV.2017.010.007

非对称消力池水力特性的试验研究

严杨松

(大唐四川发电有限公司,四川成都 610091)

【摘 要】 泄水建筑物下泄水流入水轴线与消力池轴线的布置形式对池内水流特性和消能率等影响的相关研究 甚少。以石梁子水库的消力池为对象,采用水工模型试验对比研究对称和非对称消力池的水流特性和消能率。研 究结果表明:非对称布置的消力池内,水流在单侧边界附近形成剧烈的回旋,单侧边墙的流速明显大于另一侧,易 被冲击破坏,尾坎处也有明显二次跌流现象;对称体型的两侧边墙附近具有对称小涡旋,强度和范围较小,靠近边 墙的流速较小,尾坎水流与下游衔接平顺,其水流特性优于非对称体型,且两种体型下的消能率相当。 【关键词】 非对称;消力池;水力特性;消能率;物理模型

中图分类号: TV135.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-4774(2017)010-0028-04

Experimental study on hydraulic characteristics of non-symmetric hydration pool

YIN Yangsong

(Datang Sichuan Power Generation Co., Ltd., Chengdu 610091, China)

Abstract: The influence of sluicing flow entry axis under release structure and the layout form of hydration pool axis on water flow features in the pool, energy dissipation efficiency, etc. is rarely studied. The hydration pool of Shiliangzi Reservoir is adopted as an object. The hydraulic model test is adopted for comparatively studying the water flow features and energy dissipation efficiency of symmetrical and asymmetric hydration pools. The research results show that water flow forms severe swirl near the unilateral boundary, and the unilateral side wall flow velocity is significantly greater than the other side, and it is easily damaged by impact in the asymmetric hydration pool. The tail gate also suffers from obvious secondary drop flow phenomena. There are symmetrical small vortexes near two side walls with a symmetrical shape. Their strength and scope are small. The flow velocity near the wall is low. Tail gate water flow is smoothly linked to the downstream. Its flow characteristics is superior to the asymmetric shape. The energy dissipation efficiency under the two shapes is equivalent.

Key words: asymmetric; hydration pool; hydraulic characteristics; energy dissipation efficiency; physical model

1 引 言

消力池使泄水建筑物下泄急流迅速变为缓流,是 底流式水跃消能设施。在下泄急流进入消力池时,水 流入水的纵向中心轴线常常与消力池的中心轴线位于 同一平面内,从而让水流能够以对称形式在消力池内 发展。许多学者研究了下泄急流在消力池内以对称形 式发展的水力特性,并提出了反弧型、跌坎型和微挑型 等体型。针对这些体型,张功育等^[1]通过模型试验对 比了常规底流消力池和跌坎式消力池间的水流流动状 态、临底流速和底板脉动压强。孙双科等^[2]以向家坝 水电站为例,进一步研究了跌坎式消力池的不同跌坎

· 28 ·

高度对水力特性的影响,表明连续跌坎有利于降低消 力池的临底流速。程飞等^[3]采用数值模拟和模型试验 对微挑消力池的水力特性进行了研究,揭示了微挑和 常规反弧平底消力池间的不同之处。但是,下泄水流 入水轴线和消力池不处于同一平面时,入水水流将以 非对称形式在消力池内运动,水流特性和消能率的相 关研究甚少。

石梁子水库溢流坝反弧段的下泄水流进入消力池 后,以非对称的水流在池内运动。结合该水库消力池 轴线与下泄水流轴线布置的相对位置,通过物理模型 试验研究对称和非对称体型下消力池内的水流流态、 流速分布和消能率等。

2 模型试验

2.1 试验模型

石梁子水库以环境供水和防洪为主,兼顾旅游和 发电及县城饮用备用水源。水库大坝采用碾压混凝土 重力坝,左岸挡水坝段由坝坡直立面和斜坡面构成,放 空(兼冲沙底孔)建筑物和生态取水建筑物布置在溢 流坝段右侧的非溢流坝段内,溢流表孔布置在大坝中 部,溢流堰堰面曲线为 WES 曲线,堰下游与斜坡段相 接,其后通过反弧段与消力池衔接。图1为模型整体 平面图和消力池纵剖面图。





图1 模型整体图和消力池纵剖面

物理试验模型为正态模型,按重力相似、几何相 似、运动相似准则制作,比尺为1:50^[4]。水工试验模 型包括部分库区、表孔溢流坝、消力池及放空兼冲沙底 孔、生态放水压力管道、下游河床和量堰等。溢流坝表 孔、消力池及放空孔采用有机玻璃制作,模型糙率为 0.008~0.0085。

采用旋浆式流速仪测量流速,测压管测量时均压 强,矩形薄壁量堰对来流流量进行控制和测量,测针分 别测量水库水位和矩形薄壁堰堰上水头。流量的计算 采用雷伯克 Rehbock 公式^[5]:

$$Q = mB \sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}} \tag{1}$$

$$m = 0.403 + 0.053 \frac{H}{P} + \frac{0.0007}{H}$$
(2)

式中 m——综合流量系数; p——上游堰高; B——矩形量堰宽度; H——堰上水头。

2.2 试验方案

为了研究反弧段与消力池两者相互位置对消力池 内水力特性的影响,拟定非对称和对称布置体型进行 试验,体型示意如图2所示。结合水库的正常蓄水位、 设计洪水位和校核洪水位等,确定的试验工况见表1。



· 29 ·



(c) 对称布置体型

图 2 试验体型示意图

耒1	计	忌	т	ን፹
77 I	LIL.	22		- 21

工况	校核工况	设计工况	消能防冲工况	
入库流量/(m ³ /s)	1370.0	746.0	515	
出库流量/(m ³ /s)	835.0	436.0	325	
水库水位/m	648. 53	645.56		
闸门开启方式	表孔闸门全开启			

试验结果与分析 3

由于同一体型在不同试验工况下的水力特性具有

相似性,根据设计水位下水力学要素的试验结果讨论 分析不同体型对消力池内流态、流速及消能率等的 影响。

3.1 水流流态

消力池与溢流表孔的非对称布置体型1内的水流 在消力池右侧形成漩涡,回漩剧烈,尾坎处有明显的跌 流现象,如图3(a)所示。当消力池右边墙移至冲沙孔 轴线4m处构成非对称体型2后,消力池内的漩涡范围 减小,有效消能体积增加,消能效果和出流流态较非对 称体型1有一定改善,但仍会形成一个漩涡,出流流态 不稳,而且尾坎水流的跌流现象明显、流速较大,如 图 3(b) 所示。在非对称体型1的基础上,将左边墙移 动形成对称体型后,消力池前半段水流紊动剧烈,受消 力池对称扩散影响,消力池的左右两侧形成两个小漩 涡,漩涡强度和范围较非对称体型1明显减小。消力 池后半段是跃后水流的调整段,水面较前半段平稳,尾 坎水流与下游连接较为平顺,如图3(c)所示。



图 3 消力池水流流态

(c) 对称体型

3.2 流速分布

非对称体型1和2的消力池在跃首位置处最大临 底流速(该流速也是入池后的最大临底流速)达到 16.21m/s和17.25m/s,中间临底流速下降到4.67m/s 和 4.24 m/s, 临近尾坎处达 6.93 m/s 和 2.62 m/s, 该沿 程流速分布在体型1时靠近左边墙,体型2时靠近右 边墙。但是体型2在横向上(靠近左边墙)的流速较大 且与最大流速相比变化不大,体型1在横向上的流速 变化较大。这主要是由于在靠近尾坎处范围内的水流

(a) 非对称体型1

出现较大回旋,导致部分能量被消耗掉,进而右边墙的 流速变得较小,也定量反映了临底水流流态的变化。 对称体型消力池的最大临底流速为14.57m/s,中间的 临底流速下降到 5.43m/s,临界尾坎处达到 2.41m/s, 该沿程流速分布靠近右边墙且附近有回旋产生,左边 墙附近也形成了回旋,两边边墙的流速小,消力池内的 沿程流速分布均匀。

消力池临底流速分布如图4所示。



图 4 消力池临底流速分布

3.3 消能率

消力池的进口反弧段起始断面 a-a 处的能量 E_a 为初始能量,位于尾坎跃后的河道下游断面 b-b 处的能量 E_b 为剩余能量,如图 5 所示。依据两段面间的能量变化公式(3)~式(6)^[6],确定的消力池消能率见表2。



图 5 计算消能率的示意图

	断面 a—a		断面 b—b		冰尘本
体型	平均流速	水深	平均流速	水深	们 肥 平
	$v_a/(m/s)$	$h_a/{ m m}$	$v_b/(\mathrm{m/s})$	h_b /m	/%
非对称体型1	19.30	1.50	9.11	1.35	72.76
非对称体型2	19.30	1.50	5.82	2.11	81.27
对称体型	19.30	1.50	6. 15	2.00	80. 83

表2 消力池的消能率结果

计算消能率的 a-a 和 b-b 断面的能量公式:

$$E_a = h_a + \frac{v_a^2}{2g} \tag{3}$$

$$E_{b} = h_{b} + \frac{v_{b}^{2}}{2g}$$
 (4)

消力池内的能量损失 ΔE 为

$$\Delta E = E_a - E_b \tag{5}$$

相对消能率为

$$\frac{\Delta E}{E_a} = \frac{E_a - E_b}{E_a} \tag{6}$$

式中 $v_a v_b$ —断面 $a \ \pi b \ \psi$ 的平均流速;

 h_a 、 h_b ——断面 a 和 b 的水深。

从表2中可知,三种体型消力池的消能率都较高, 这是由于在消力池内部均有大尺度的回旋流和水跃产 生。但是,非对称体型的水流流态劣于对称体型,靠近 某单边墙(左边墙)附近的流速明显大于另一单边墙, 进而左边墙受到较大的水力冲击导致易被破坏。因 此,在消能率相当的情况下,对称体型优于非对称 体型。

4 结 论

通过物理模型试验对石梁子水库溢流坝反弧段人 水轴线与消力池轴线的非对称布置和对称布置两种形 式下消力池内的水流特性和消能率进行了研究。非对 称布置的消力池内会在单侧边墙附近产生大的漩涡, 回旋剧烈,边墙附近的流速大,容易被冲击破坏,在尾 坎处也会有明显的跌流现象。但是,对称布置的消力 池可消除这些不良的水力特性,且两种体型下的消能 率相当。因此,对称布置体型优于非对称布置体型,可 为类似的工程提供借鉴。◆

参考文献

- [1] 程飞,刘善均. 微挑消力池的数值模拟与试验研究[J]. 四 川大学学报(工程科学版),2011,43(1):12-17.
- [2] 孙双科,柳海涛,夏庆福,等. 跌坎型底流消力池的水力特 性与优化研究[J].水利学报,2005,36(10):1188-1194.
- [3] 张功育,汤健,王海军,等. 跌坎式底流消能工的消能机理 分析与研究[J]. 南水北调与水利科技,2005,3(6):43-45.
- [4] 南京水利科学研究院. SL 155—2012 水工(常规)模型试 验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
- [5] 吴持恭. 水力学(上册)[M]. 北京:高等教育出版社, 2007:278.
- [6] 沈浩,王均星,郑浩. 有无分水墙对莲花寺水库消力池消 能效果的影响[J]. 水电能源科学,2016,34(3):108-111.

· 31 ·