

# 巴拉水电站泄洪放空洞掺气方案优化研究

杨洋<sup>1</sup>, 邵伟<sup>1</sup>, 邓钦宣<sup>1</sup>, 张韶鹏<sup>2</sup>

(1. 四川足木足河流域水电开发有限公司, 四川 成都 610041; 2. 四川大学水利水电学院, 四川 成都 610200)

**摘要:**在泄水建筑物的设计中,通常会设置掺气坎来达到掺气减蚀的效果,合理的掺气坎结构设计,能在掺气坎底部形成良好的掺气空腔,防止发生空蚀破坏。通过建立单体水工模型,便于研究泄洪放空洞轴线、掺气减蚀设施和出口挑坎体型的优化设计,分析确定闸室和洞身段空化破坏薄弱位置,采取优化掺气减蚀的工程措施。

**关键词:**泄洪放空洞;模型制作;优化设计方案;掺气坎

**中图分类号:**[TM622];TV651.3;TV131.3+4

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2023)05-0099-07

## Optimization Study on Aeration Scheme for Flood Discharge Tunnel of Bala Hydropower Station

YANG Yang<sup>1</sup>, SHAO Wei<sup>1</sup>, DENG Qinxuan<sup>1</sup>, ZHANG Shaopeng<sup>2</sup>

(1. Sichuan Zumuzu River Basin Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan; 610041;

2. College of Water Resources and hydropower, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610200)

**Abstract:** In the design of water release structures, aerators are usually installed to achieve the effect of air entrainment and corrosion reduction. Reasonable structural design of aerators can form a good aerated cavity at the bottom of the aerator to prevent cavitation damage. By establishing a single hydraulic model, the optimization design of the axis of the flood discharge tunnel, aeration erosion reduction facilities, and outlet flip bucket shape was studied. The weak positions of cavitation damage in the gate chamber and tunnel section were analyzed, and the engineering measures for aeration erosion reduction were optimized.

**Key words:** Flood discharge tunnel; Model fabrication; Optimization of design scheme; Aerator

## 0 引言

从已建工程实际案例分析得知,不少水利工程的深孔放空洞闸室段和洞身都要受到不同程度的空化空蚀破坏。根据经验,高海拔地区泄洪建筑物水流超过 22 m/s 的速度,就可能引发过流面空蚀破坏,需进行空化数据和脉动数据的相关分析,考虑采取掺气减蚀措施,以确保泄洪设施及整个枢纽建筑物的安全。

空化空蚀对建筑物的危害是瞬时瞬间破坏<sup>[1]</sup>,通过模型试验可充分捕捉其瞬时压力脉动的情况,对关键部位的脉动特性结合经验进行详尽的观测分析,并采取必要的掺气减蚀措施。根据以往工程经验,已建工程中一旦出现较为严重的空化破坏后,在进行修复和将来的维护管理都比较麻烦。

巴拉水电站属二等大(II)型工程,位于阿坝藏族羌族自治州马尔康县境内,地处高海拔地区,大气压强相对较低。针对本工程实际情况,结合相关工程的经验技术,分析该电站泄洪放空洞的关键问题,提出空化空蚀的优化措施并试验验证,以达到安全经济的效果。

## 1 试验目的及模型制作

### 1.1 试验目的

通过泄洪放空洞单体模型<sup>[2-3]</sup>对其泄流能力进行验证;对进口体型、掺气减蚀设施和出口挑坎体型等进行优化研究,确定合理的泄水建筑物体型,避免不良水流空蚀条件;完成最终优化方案的各项试验。

### 1.2 模型制作

泄洪放空洞模型的几何比尺为 1:30,主要建筑物由岸塔式进口、有压隧洞、工作闸门井、无

收稿日期:2023-08-21

压隧洞、出口挑流段和下游河道等组成,根据设计尺寸按比例均采用高质量的有机玻璃制作,糙率 $n=0.008$ ,而原型水泥抹面糙率 $n_p$ 在0.013和0.017之间,按照相似糙率比尺 $\lambda_n=1.763$ ,计算出模型糙率 $n_m$ 应在0.0074和0.0096之间,平均值为0.0085,因此,采用有机玻璃模拟基本满足糙率相似要求。模型试验各水力参数相似比尺见表1。

表1 各水力参数相似比尺

序号	名称	符号	关系式	比尺值
1	几何比尺	$\lambda_L, \lambda_h$	$\lambda_L = \lambda_h$	30
2	流速比尺	$\lambda_v$	$\lambda_v = \lambda_L^{0.5}$	5.477
3	流量比尺	$\lambda_Q$	$\lambda_Q = \lambda_L^{2.5}$	4 929.50
4	糙率比尺	$\lambda_n$	$\lambda_n = \lambda_h^{1/6}$	1.763
5	时间比尺	$\lambda_{t(水)}$	$\lambda_{t(水)} = \lambda_L^{0.5}$	5.477

## 2 原设计方案试验成果

原设计方案的试验针对闸门局开2.5 m、闸门局开4.0 m、闸门全开时不同库水位工况,观察泄洪放空洞沿程的闸门段、长陡坡段、掺气槽、挑坎和下游河道的水流状态,并测试相关参数。

### 2.1 流态及掺气槽

#### 2.1.1 闸门局开2.5 m

闸门局开2.5 m时,不同库水位工况下泄洪放空洞的进口段和有压段流态平稳,闸门前水流平顺,经过突扩跌坎后,发生水翅现象,随后水面产生波动,进入陡坡段后逐渐平稳,挑坎挑出的水流靠左岸,下游河道的冲坑也靠左岸。

库水位为2 865.00 m、2 875.00 m和2 885.00 m时,闸后突扩跌坎处有积水,1号、2号、3号掺气槽处没有积水;库水位为2 895.00 m时,闸后突扩跌坎、1号、2号、3号掺气槽处基本没有积水。各工况突扩跌坎处均产生水翅现象,与陡坡段衔接的水面波动不平稳。

#### 2.1.2 闸门局开4.0 m

闸门局开4.0 m时,不同库水位工况下泄洪放空洞的进口段和有压段流态平稳,闸门前水流平顺,经过突扩跌坎后,发生水翅现象,随后水面产生波动,进入陡坡段后逐渐平稳,挑坎挑出的水流随库水位的升高从左岸扩散到整个河床,下游河道的冲坑也从左岸扩大到整个河床。

库水位为2 865.00 m和2 875.00 m时,闸后突扩跌坎偶见空腔积水严重,1号、2号、3号掺气槽处有掺气,但是偶见积水;库水位在2 885.00 m、2 895.00 m工况下,闸后突扩跌坎有积水,1号、2号、3号掺气槽处空腔干净,没有积水;库水位在2 905.00 m工况下,闸后突扩跌坎和各掺气槽处空腔干净没有积水。各工况突扩跌坎处均产生水翅现象,与陡坡段衔接的水面波动不平稳。

#### 2.1.3 闸门全开

闸门全开库水位2 905.00 m和2 920.00 m工况下,泄洪放空洞的进口段和有压段流态平稳;受上游有压转弯段影响,闸后出流明显不对称,左侧流速比右侧大;经过突扩跌坎后,发生剧烈的水翅现象,折冲水流比较严重,水面波动较大,水位超过边墙甚至超过洞顶高度;挑坎挑出的水流扩散到整个下游河床,跌落水面过大,造成冲坑扩大到整个河床,冲坑下游的堆积体增高。

两种工况闸室突扩跌坎空腔严重积水,1号、2号、3号掺气槽处空腔部分积水。

### 2.2 水翅

高速水流从有压段出口流出后,受到侧向突扩的影响,发生横向扩散,冲击侧墙,形成弧状的侧墙冲击带,在冲击带顶部,水流沿侧墙向上溅起,形成水翅<sup>[5]</sup>。闸门段后形成的水翅及参数见图1。

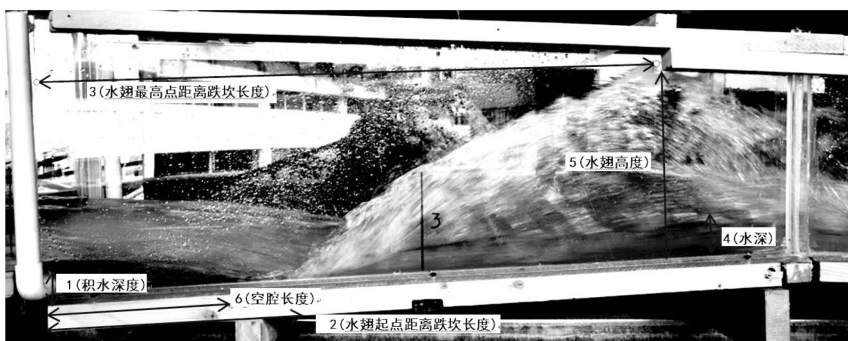


图1 水翅及参数示意图

闸门局开时不同库水位工况下,侧向扩散的水流在接触侧边墙后均形成明显的水翅,在之后的水面上形成基本对称的菱形冲击波,恶化泄洪放空洞及下游水流流态。下游水面由于水翅脱离边墙卷入主流,使水面在很长一段距离内波动较为剧烈。

通过实验可知,随着闸门开度增大和库水位

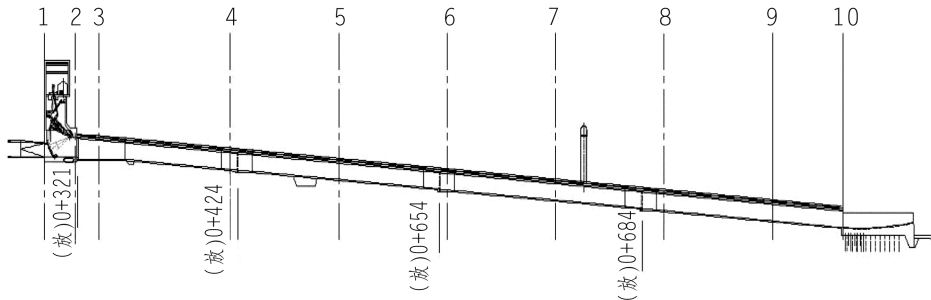


图 2 泄洪放空洞原设计方案无压段的水面线测点布置示意图

试验测量了库水位 2 920.00 m,下游控制断面水位 2 801.60 m(对应频率 1%消能防冲工况)的无压段沿程各测点的水面线见表 2。试验中掺气效果不佳,水深数据基本上为实测清水水深,未考虑掺气以后的水深。

从表 2 中可以看出,无压段各测点水面衔接光滑,沿程变化有波动,闸室段(测点 3)的最大水深约为 6.6 m,进入陡坡段后,随着水流速度逐渐加大,沿程测点的水深逐渐减小,泄洪放空洞末端(测点 10)的水深约为 5.49 m。

表 2 无压段沿程各测点的水面线

测点	桩号/m	高程/m	水深/m
1	放 0+300.00	2 840.00	6.50
2	放 0+320.00	2 840.00	6.15
3	放 0+335.00	2 840.00	6.60
4	放 0+419.81	2 834.83	5.85
5	放 0+489.62	2 829.66	5.55
6	放 0+559.43	2 824.49	5.25
7	放 0+629.24	2 819.32	5.40
8	放 0+699.05	2 814.15	5.58
9	放 0+768.86	2 808.98	5.91
10	放 0+814.00	2 804.50	5.49

### 3 优化设计方案及试验成果

#### 3.1 优化方案

泄洪放空洞优化设计主要针对原设计方案在模型试验中出现的问题进行,具体优化部位有两点:

(1)泄洪放空洞的轴线右侧偏移,出口高程

的升高,水翅的高度和水翅最高点的距离也不断增加,当闸门全开库水位 2 905.00 m 时,水翅高度达到直墙顶,库水位 2 920.00 m 时,水翅高度已超过直墙。

#### 2.3 水面线

泄洪放空洞原设计方案无压段的水面线测点布置见图 2。

降低;

(2)对掺气槽进行优化设计以充分掺气,对突扩跌坎后进行优化设计以减小水翅现象。

#### 3.1.1 泄洪放空洞轴线及出口高程的调整优化

泄洪洞出口挑流对左右两岸山体产生威胁,优化方案将泄洪放空洞轴线偏移,平面圆弧段的夹角增加为  $52^{\circ}32'$ ,下游明渠段轴线向右偏移,挑坎的位置向右偏移一定距离,挑流主流向河床中心偏移,挑流的水舌向四周扩散。优化后的设计起挑位置(桩号 0+814.00 m)向右岸偏移了 6.82 m;该点(桩号 0+814.00 m)高程优化为 2 802.00 m。泄洪放空洞轴线的优化设计方案见图 3。

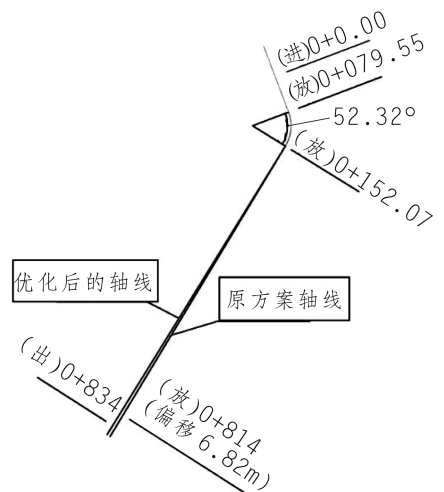


图 3 泄洪放空洞轴线优化设计方案示意图

### 3.1.2 突扩跌坎后的平台优化方案

突扩跌坎原设计方案(桩号(放)0+321.00 m)的剖面布置见图4。

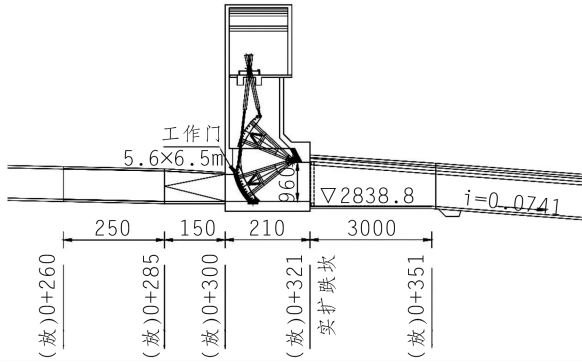


图4 突扩跌坎处原设计方案的剖面布置(单位:cm)

根据经验,优化后突扩跌坎的平面布置和原方案基本一致,剖面进行如下优化:跌坎水平段长度缩短为12.0 m,接半径45.0 m,夹角 $10^{\circ}17''$ 的圆弧段,后接坡度 $i=0.1815$ 的陡坡段,到高程2 834.44 m与下游坡段衔接。突扩跌坎处优化方案的详细尺寸见图5。

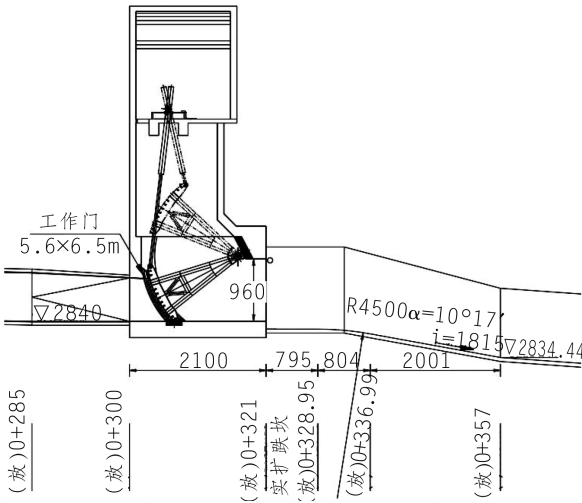


图5 突扩跌坎处的优化方案的详细尺寸(单位:cm)

优化方案在库水位2 905.00 m、2 920.00 m 闸门全开工况下,跌坎后形成掺气空腔,水翅现象基本得到消除,水面波动明显减弱,和下游水流衔接良好<sup>[6]</sup>。

### 3.1.3 掺气槽优化方案

掺气槽优化包括两个部分:(1)掺气槽位置优化;(2)掺气槽的设计方案优化。

闸室后突扩跌坎的位置不变,1号、2号、3号掺气槽的位置与原方案相比,整体位置后移。原

设计方案和优化设计的掺气槽桩号见表3,原方案和优化方案掺气槽桩号及高程见图6。

表3 原设计方案和优化设计的掺气槽桩号表

掺气槽编号	桩号	
	原方案	优化方案
突扩跌坎	0+321.00 m	0+321.00 m
1号掺气槽	0+424.00 m	0+471.00 m
2号掺气槽	0+554.00 m	0+621.00 m
3号掺气槽	0+684.00 m	0+771.00 m

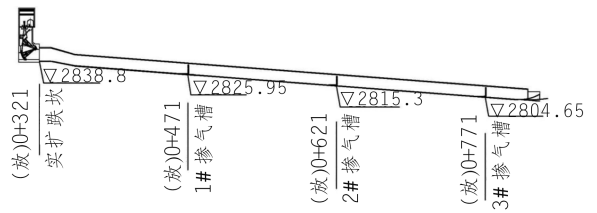
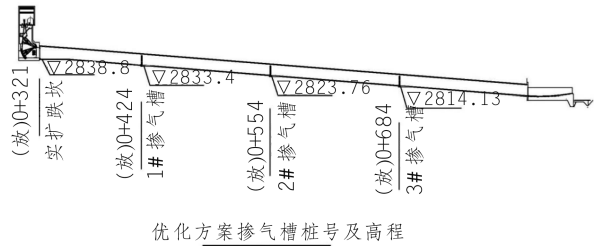
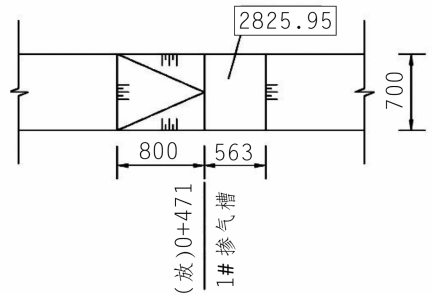
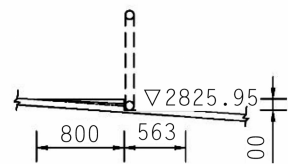


图6 原方案和优化方案掺气槽桩号及高程示意图(单位:cm)

掺气槽优化布置以1号掺气槽为例,掺气槽前设计8.0 m的斜坡段,底面和两侧均为斜坡变化;掺气槽半径0.4 m,跌坎后高程2 825.95 m,设计长度5.63 m的水平段,再接陡坡段。1号掺气槽优化设计方案如图7。



(a)1号掺气槽平面图



(b)1号掺气槽剖面图

图7 1号掺气槽优化方案设计方案示意图(单位:cm)



### 3.1.4 优化方案试验工况

优化方案的试验工况拟定,即泄洪放空洞正常工况的可能运行方式和蓄水、放空时的可能运行方式,考虑工程所在地海拔高程 2 800.00~2 900.00 m,大气压强约 7.2 cm 水银柱高,结合以往类似工程项目的经验,流速达到 25 m/s 情况下,泄洪建筑物边壁发生空化空蚀的可能性非常大。

综合以上分析,泄洪放空洞优化方案的试验工况见表 4。工况 1 水库水位 2 920.00 m 时放空洞泄流量为 1 108.05 m<sup>3</sup>/s;其余工况放空洞单独泄洪。

表 4 泄洪放空洞优化方案的试验工况表

试验 工况	水库水位 /m	闸门 开度	下游水位控制 流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	下游水尺控制 水位/m
1	2 920	全开	2 126.90	2 801.60
2	2 892	全开	约 853.7	2 799.46
3	2 890	局开 1/2	约 352.7	2 798.01

### 3.2 流态及掺气槽

闸门全开且在不同库水位时,从主要部位的流态观测得知:各库水位及各个运行方式工况下,泄洪放空洞的进口段和有压段流态平稳,闸门前水流平顺,经过突扩跌坎后,水翅现象在低水位局开工况略为明显,随着水位升高以及全开工况水翅基本消失,水面衔接平稳,各级掺气挑坎水面起伏稍大,差动式挑坎出口流态在各个水位和流量工况平面和立面上比较均匀,水舌主流分为上下两层分散落在整个河床,说明挑坎体型对不同水位和流量的适应性良好。

库水位 2 890.00 m 局开 1/2 开度运行工况,闸门后突扩跌坎处形成完全掺气空腔,无积水;1 号、2 号、3 号掺气槽处形成空腔无积水。

库水位 2 892.00 m 闸门全开工况,闸门后突扩跌坎处形成掺气空腔,里面约有一半的积水;1 号掺气槽处形成空腔没有积水;2 号掺气槽处部分积水。

库水位 2 920.00 m 闸门全开工况,闸门后突扩跌坎处形成完全掺气空腔,无积水;1 号、2 号、3 号掺气槽处形成空腔无积水。

### 3.3 泄流能力

泄洪放空洞的泄流能力试验包括三种工况:(1)闸门全开;(2)闸门局开 1/2;(3)闸门局开

1/3。在不同的库水位下测量泄洪放空洞的泄流量,计算相应的流量系数。

分别泄洪放空洞闸门全开、局开 1/2 和局开 1/3 工况时,均对对库水位在 2 920.00~2 860.00 m 之间的泄流量进行了测量,根据库水位和流量计算出流量系数,由流态观测得知,三种工况下进口水流平静均未见旋涡,流量系数总的趋势是随库水位降低而减小,泄洪放空洞的泄流能力随库水位升高而增加,随着库水位降低,闸门收缩作用影响越大,库水位分别到 2 901.55 m、2 894.71 m、2 906.56 m 以下时,流量系数随库水位降低而逐渐减小。

闸门全开库水位 2 920.00 m 工况,泄洪放空洞的泄流量为 1 108.05 m<sup>3</sup>/s(原设计泄流量为 1 066 m<sup>3</sup>/s),试验值比原设计值大 42 m<sup>3</sup>/s,泄洪放空洞的泄流能力满足设计要求。

### 3.4 水面线

在泄洪放空洞闸门后无压段布置多个水面线测点,根据水库特征水位下泄洪放空洞沿程各测点的水深测量值(试验中水深数据为模型实测水深值,未考虑掺气以后的水深)可分析得出,各水库水位工况下,泄洪放空洞无压段沿程水深总趋势下降,沿程水面衔接光滑,在掺气槽附近略有波动变化。闸门全开工况突扩跌坎后的水位没有大的起伏,闸门局开工况突扩跌坎后的水位较低;闸门局开库水位 2 890.00 m 和闸门全开库水位 2 892.00 m 工况,水面线在 1 号、2 号和 3 号掺气槽前后略有起伏;最大水深在闸门全开库水位 2 920.00 m 工况 M<sub>2</sub> 测点位置,水深 7.35 m,未到达直墙高度。

### 3.5 压力及脉动

为了研究水流对放空洞底板及挑坎底板产生的压力及脉动情况,在泄洪放空洞及挑坎沿程布置了测压点,在不同库水位工况下对时均压力和脉动压力进行了测量<sup>[7]</sup>。

泄洪放空洞至挑坎沿程一共布置 112 个测点,根据各工况下沿程各测点的实测压力值及脉动压力均方根值分析得出:泄洪放空洞进口后的有压段压力沿程降低;转弯段外侧压力高于内侧压力,正常蓄水位工况内外侧压差相对较大,最大压差达 8.46 m;闸门后陡坡段沿程测点均为正压;突扩跌坎和 1 号、2 号、3 号掺气槽附近测点的

压力较低。出口挑坎所布置的所有压力测点均为正压,且在3号掺气坎的掺气保护范围内,安全能够得到保障。

各工况下泄洪放空洞进水口后的有压段和陡坡段各测点的频谱分析结果表明,测点的压力脉动分布基本满足正态分布;大部分测点的脉动压力均方根小于0.1;掺气槽下游附近测点的脉动压力均方根值略大于陡坡段其他测点,但基本也小于1.0;仅正常蓄水位工况3号掺气槽后靠挑坎附近的D<sub>39</sub>、D<sub>40</sub>两个测点的脉动压力均方根出现大值,分别为3.173和3.030;挑坎部分正常蓄水位工况各测点的脉动压力均方根基本大于0.1,最大值0.514,其余两种工况各测点的脉动压力均方根比较小。

### 3.6 流速及空化特性

抗空化能力一般采用水流空化数( $\sigma$ )来衡量,对某一特定的建筑物而言,空化数越大,抗空化能力越强。水流空化数按式(1)定义。

$$\sigma = \frac{h_0 + h_d - h_v}{v_0^2 / 2g} \quad (1)$$

式中  $h_0$  为实测点的时均压力水头, m;  $h_d$  为工程所在地的大气压力水柱(m),按下式计算:

$$h_d = 10.33 - \nabla 900 \quad (2)$$

式中  $\nabla$  为工程或测点所处海拔高程值;  $h_v$  为蒸

汽压,与温度有关,水温 20 °C 计算取值为 0.24 m;  $v_0$  为数值模拟计算测点的断面平均流速(m/s)。

根据式(1),不同工况下泄洪放空洞陡坡段典型断面的计算空化数见表5。由计算结果可以看出,闸门局开库水位2890.00 m 工况,陡坡段各特征点的水流流速基本在 25.81~26.62 m/s 之间,其余各点空化数均接近 0.3;闸门全开库水位2892.00 m 工况,陡坡段各特征点的水流流速在 23.10~25.69 m/s 之间,各点空化数均大于 0.3;闸门全开库水位2920.00 m 工况,J<sub>6</sub> 点空化数 0.19,陡坡段各特征点的水流流速继续增大,在 30.37~30.97 m/s 之间,空化数在 0.17~0.34 之间,大多接近 0.3。

根据陡坡段的计算空化数,闸门全开库水位2892.00 m 工况,陡坡段各特征点的空化数均大于 0.3;闸门局开库水位2890.00 m 和闸门全开库水位2920.00 m 工况,特征点的流速增大,空化数小于 0.3;闸门全开库水位2920.00 m 工况闸门前有压渐变段测点(J<sub>5</sub>、J<sub>6</sub> 测点)的空化数小于 0.3,最小值 0.19,也需引起足够的重视。

各试验工况下观测突扩跌坎和各掺气槽,都能形成稳定足够的空腔对边壁进行保护作用,能保障建筑物安全运行要求。

表5 不同工况下泄洪放空洞陡坡段典型断面的计算空化数

编号	桩号 /m	高程 /m	流速及计算空化数					
			全开库水位 2 920.00 m		全开库水位 2 892.00 m		1/2 局开库水位 2 890.00 m	
			流速 / (m · s <sup>-1</sup> )	空化数	流速 / (m · s <sup>-1</sup> )	空化数	流速 / (m · s <sup>-1</sup> )	空化数
J <sub>5</sub>	0+300.81	2 846.58	30.37	0.27	23.10	0.37	/	/
J <sub>6</sub>	0+302.37	2 846.52	30.37	0.19	23.38	0.30	/	/
YM <sub>1</sub>	0+339.94	2 837.54	30.42	0.19	23.49	0.39	26.56	0.25
YM <sub>2</sub>	0+344.36	2 836.74	30.42	0.23	23.50	0.45	26.55	0.27
D <sub>4</sub>	0+386.92	2 832.32	30.47	0.26	23.70	0.41	26.48	0.26
X <sub>3</sub>	0+470.01	2 826.77	30.56	0.25	24.08	0.35	26.35	0.27
D <sub>17</sub>	0+522.34	2 822.71	30.62	0.26	24.31	0.39	26.27	0.26
D <sub>18</sub>	0+552.26	2 820.58	30.66	0.27	24.45	0.39	26.23	0.27
D <sub>23</sub>	0+619.35	2 815.98	30.73	0.26	24.76	0.35	26.12	0.28
X <sub>6</sub>	0+619.77	2 816.13	30.73	0.23	24.76	0.33	26.12	0.28
D <sub>30</sub>	0+667.40	2 812.41	30.79	0.26	24.98	0.37	26.12	0.26
D <sub>31</sub>	0+697.33	2 810.28	30.82	0.26	25.11	0.37	26.05	0.27
D <sub>36</sub>	0+769.20	2 805.33	30.91	0.27	25.44	0.35	26.00	0.27
X <sub>9</sub>	0+769.65	2 805.48	30.91	0.25	25.44	0.33	25.89	0.30
D <sub>40</sub>	0+786.58	2 803.94	30.93	0.30	25.52	0.39	25.89	0.29
C <sub>1</sub>	0+818.09	2 803.36	30.96	0.17	25.66	0.26	25.86	0.29
W <sub>5</sub>	0+824.24	2 806.60	30.97	0.34	25.69	0.41	25.81	0.27

#### 4 结 语

通过巴拉电站的泄洪放空洞单体模型试验,研究了泄洪放空洞轴线和掺气减蚀设施的优化设计,通过对原设计方案和优化设计方案的相关模型试验结果进行对比,得出以下结论:

(1)原设计方案在局开工况下,各个掺气坎基本上能满足掺气要求,但在全开工况下闸室后掺气坎不能形成稳定的掺气空腔。闸室后突扩和跌坎设计不当,使得各个工况下水翅均非常严重,甚至超过洞顶 12 m 的高度,会造成出闸室水流不间断冲击洞顶,严重威胁泄洪洞安全。

(2)优化设计方案闸门全开各库水位工况,闸门后的突扩跌坎处的水翅现象基本消除,和下游陡坡段的水流衔接良好,水面无大的波动。突扩跌坎、1 号、2 号、3 号掺气槽处均可形成空腔,在试验及观测主要工况下均能形成稳定的掺气空腔,闸室后跌坎侧空腔也能保持足够掺气长度,掺气作用良好,能满足安全运行抗空化空蚀要求。同时,优化方案根据实测水深和计算的断面流速,计算陡坡段测点的空化数,闸门全开库水位 2 892.00 m 工况,陡坡段各特征点的空化数均大于 0.3。闸门局开库水位 2 890.00 m 和闸门全开库水位 2 920.00 m 工况,特征点的流速增大,空化数小于 0.3,但大多接近 0.3。闸门全开库水位 2 920.00 m 工况闸门前有压渐变段的空化数小于 0.3。各试验工况下观测突扩跌坎和各掺气槽,都能形成稳定足够的空腔对边壁进行保护作用,

用,能保障建筑物安全运行要求。

(3)试验测量了优化方案不同闸门开度和库水位工况泄洪放空洞沿程测点的脉动压力均方根值,大部分测点的脉动压力均方根小于 0.1,库水位 2 920.00 m 靠挑坎附近的两个测点的脉动压力均方根出现大于 1.0 的值。泄洪放空洞沿程流态平顺,可满足工程安全要求。

#### 参考文献:

- [1] 王新,李媛. 水工混凝土高速水流空蚀破坏机制试验研究[J]. 水力发电, 2019, 45(10): 0559-9342.
- [2] 水工(常规)模型试验规程, SL 155-2012[S].
- [3] 左东启. 模型试验的理论和方法[M]. 水利电力出版社, 1984.
- [4] 苏晓玉,赵雪萍,李磊. 前坪水库溢洪道单体水工模型试验研究及分析[J]. 水利建设与管理, 2018, 038(2): 30-32.
- [5] 王芳芳,吴时强,王威. 小底坡泄洪洞突扩突跌掺气坎水力特性[J]. 水力发电学报, 2017, 36(7): 65-73.
- [6] 周赤,李静. 突扩跌坎掺气设施深化研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(9): 76-79.
- [7] 史蝶,李国栋,贺翠玲,等. 某溢洪道掺气方案优化研究[J]. 人民珠江, 2021, 42(6): 99-106.

#### 作者简介:

- 杨 洋(1997-),女,四川兴文人,学士,从事工程建设管理工作;  
邵 伟(1989-),男,四川富顺人,学士,工程师,从事工程建设管理工作;  
邓钦宣(1994-),男,河北张家口人,博士,从事岩土工程可靠度研究、抽蓄工程数字化及工程项目建设管理工作;  
张韶鹏(2004-),男,河南郑州人,本科在读,从事水利工程方向研究。

(责任编辑:卓政昌)

## 中电建水电开发集团有限公司召开改革深化提升行动启动会暨深化改革工作推进会

2023 年 10 月 12 日,中电建水电开发集团有限公司召开改革深化提升行动启动会暨深化改革工作督办推进会,巩固提升改革三年行动成果,立足新征程新形势要求,以服务国家和集团战略为导向,以提高核心竞争力和增强核心功能为重点,持续推动公司新一轮三年改革工作走深走实。公司党委书记、董事长、总经理吴旭良出席会议并作重要讲话,公司党委委员、副总经理陆元务主持会议,公司党委委员、副总经理赖真明、罗武出席会议。

会议首先传达国务院国资委和电建集团关于改革深化提升行动的部署要求,宣贯《公司改革深化提升行动方案》《公司电力生产管理体制改革方案》,公司相关领导结合分管业务领域下一阶段改革重点作了交流发言。

在深化改革工作推进会上,各部门负责人对照《公司对标世界一流企业价值创造行动实施方案》《公司进一步深化改革实施方案》汇报工作进展情况、存在的问题以及下一步工作计划。会议就贯彻落实本次会议精神提出三点要求。一是各部门、各单位要提高政治站位,敢于担当善于作为,突出主业、聚焦实业,加快推进公司深化改革工作;二是要迅速传达落实本次会议精神;三是要认真按照公司改革深化提升工作台账分工表,对照时限要求抓好工作落实。

(摘自中电建水电开发集团有限公司官网)