

抽水蓄能电站下库进/出水口水力特性

姜成海, 曹 玺, 何少云

(浙江仙居抽水蓄能有限公司, 浙江 仙居 317300)

摘要:为减小仙居抽水蓄能电站下库进/出水口及泄放洞进口围堰施工难度,需对原围堰方案进行调整,并验证其合理性.利用1:50比尺的水工正态模型,针对下库进/出口及泄放洞布置调整方案,进行了不同运行工况试验研究,分析了调整方案水流流态及水力特性,发现了存在的不利流态,提出前池连接优化方案,论证优化布置方案的合理性,为工程实施及安全运行提供了科学依据.

关 键 词:抽水蓄能电站;水库进/出水口;水工模型;水力特性

中图分类号:TV131.6

文献标志码:A

文章编号:1009-640X(2013)03-0052-08

仙居抽水蓄能电站位于浙东南中心地带仙居县境内,电站设计安装4台单机容量375 MW的可逆式抽水蓄能机组,总装机容量1500 MW,年发电量25.125亿kW·h,年平均抽水耗电量32.63亿kW·h.电站主要服务于浙江电网,承担系统调峰、填谷、调频、调相及事故备用等任务.

电站枢纽建筑物包括上水库、下水库、输水系统、地下厂房洞群和开关站、下水库泄放洞等,下水库利用已建的下岸水库.可研阶段下库电站进/出水口布置的推荐方案^[1]:

(1)由引水明渠、前池段、进/出水口段(拦污栅段、扩散段、调整段)、检修闸门塔、渐变段、尾水隧洞等组成.引水明渠长约200 m,宽73 m,底板高程为172 m;前池底板高程161 m,前池与引水明渠之间通过56.5 m长反坡连接,坡度1:5.反坡底端与进/出水口间经拦渣坎分为15 m的沉渣池和30 m的前池.

(2)2个电站进/出水口平行布置,轴线间距离为24 m;每个进/出水口设有3扇拦污栅,孔口尺寸6 m×11 m($b \times h$),底板高程162 m.进/出水口扩散段长34 m,调整段长7 m,调整段断面6 m×7.4 m($b \times h$);后接检修闸门塔,闸门后接尾水隧洞,设12 m渐变段,隧洞由6 m×7.4 m($b \times h$)方形渐变为直径7.4 m圆形隧洞.

(3)泄放洞进水口布置在下库进/出水口引水明渠左岸,其进口底板高程172 m,出口高程160 m,全长约791 m,隧洞内径7.4 m,由进水口段、事故闸门、有压洞段、工作弧门、无压洞段、出口消能工组成.由于泄放洞开挖进洞点位于引水明渠回流区内,为避免泄放洞运行与电站抽水组合工况时发生危害性漩涡,采用混凝土明洞方式将泄放洞进口向下水库内延伸,进口包括防涡梁段、收缩段和方洞段.防涡梁段流道分为2孔,每孔净尺寸7.5 m×11.1 m($b \times h$),中墩及边墩厚1.2 m,防涡梁段沿进流方向长6.6 m.收缩段由16.2 m×11.1 m($b \times h$)渐缩为7.4 m×7.4 m的方形,顶部采用长轴与底平行的1/4椭圆曲线;收缩段长7.4 m,考虑顶部跨度较大,中墩深入收缩段4 m.收缩段后接方洞段,至事故闸门前渐变为闸门孔口尺寸7.4 m×5.8 m($b \times h$),闸门后接12 m长的渐变段,由矩形渐变为直径7.4 m的圆形隧洞.

在施工图阶段,为减小下库进/出水口及泄放洞进口围堰施工难度,调整了围堰布置方案,泄放洞进口位置、以及引水明渠和前池体型等随之作了如下调整:

(1)泄放洞进口向下水库进/出水口靠拢,平移30 m,同时结合地形,进洞点向山体内缩进10 m.泄放洞

收稿日期:2012-10-28

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y111002)

作者简介:姜成海(1962-),男,山东乳山人,高级工程师,主要从事抽水蓄能电站工程建设管理工作.

E-mail: jch575@163.com

全长由 791 m 增加到 793.4 m,即在有压段增加了 2.4 m.

(2)下水库进/出水口位置和体型不变;前池长度由原 45 m 缩短至 20 m,前池底板高程 161 m,与引水明渠之间通过 34.5 m 长的反坡连接,坡度调整为 1:3,反坡底端与进/出水口间经拦渣坎分为 5 m 的沉渣池和 15 m 的前池.

(3)下库进/出水口引水明渠底板高程由原 172 m 适当抬高,但须确保流态,尤其是低水位工况.

由于抽水蓄能电站进/出水口水力条件比较复杂,其对电站运行的影响比一般常规电站大^[2-5];而电站下库进出口与泄放洞进口较近,且均处在山体凹侧,二者之间存在相互影响和干扰.为此采用水工模型试验方法验证调整方案在各种工作水位下发电和抽水时的水流情况以及泄放洞泄流时的进口流态,提出改善意见及合理的推荐布置形式.

1 模型设计及试验组次安排

电站进/出水口及泄放洞整体模型几何比尺 1:50,模型按重力相似准则设计^[6-10].模拟范围:纵向长 570 m,横向宽 300 m.下库地形模拟至 215 m 高程,下库地形和引水明渠均根据设计资料采用水泥砂浆制作,进/出水口及泄放洞采用有机玻璃制作.整个模型由供水系统、下水库和引水明渠、电站进/出水口、量水系统以及回水系统等组成,模型制作和安装见图 1.

模型流量采用电磁流量计测控,水位采用测针测量,流速用旋桨流速仪测量,压力采用测压管和测针进行观测.进/出水口设 2 个观测断面,各孔口的每个观测断面均设 3 条(左、中、右)测流垂线,每条垂线设 5 个测点.引水渠共设 5 个观测断面,各断面设 5 条观测垂线,每条垂线分别设 3 个(表、中、底)流速观测点,其中,底部测点距渠底 2 m,表面测点位于水面以下 1 m.

下库进/出水口的各种工作水位及流量关系如表 1.当工作弧门全开时,泄放洞设计水位-流量关系见表 2.

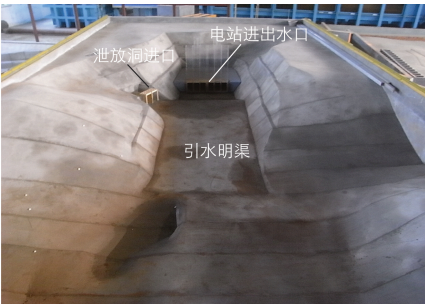


图 1 进/出水口及泄放洞模型照片
Fig.1 Model of the inlet/outlet and the discharge tunnel

表 1 进/出水口的工作水位与流量关系

Tab.1 The relationship between working head and discharge for the inlet/outlet

下库水位/ m		相应单机流量/ (m ³ ·s ⁻¹)		下库水位/ m		相应单机流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	
		发电流量 Q _T	抽水流量 Q _P			发电流量 Q _T	抽水流量 Q _P
死水位	178.00	87.70	67.60	下库 0.5% 洪水位	212.10	93.30	85.37
泄放洞起泄水位	202.19	94.36	82.33	下库 0.2% 设计洪水位	212.30	93.27	85.43
正常蓄水位	208.00	93.70	85.70				

表 2 泄放洞的水位流量关系

Tab.2 The relationship between head and discharge for the discharge

洪水频率/ %	下库水位/ m	洪水调控泄洪洞最大下泄流量/	泄洪洞弧门全开泄流能力/
		(m ³ ·s ⁻¹)	(m ³ ·s ⁻¹)
20	209.31	242	696.3
5	212.00	464	720.4
0.5	212.10	721	721.3
0.2	212.30	723	723.0
0.05	213.87	736	736.0

注:库水位在 212.10m(0.5%) 以下时,抽蓄电站正常运行;库水位超过 212.10m 时,抽蓄电站关机.

2 试验成果分析

2.1 进/出水口水流流态及流速分布

进/出水口流速分布试验结果见图 2。4 台机组抽水或发电时,各流道分流比分别为 31.5% ~ 35.2% 和 30.5% ~ 37.4%,分流系数分别为 0.95 ~ 1.06 和 0.92 ~ 1.12。各工况下流道分流比相近,流道内分流稳定,进流均匀。抽水时中间流道流量略小于两侧流道的流量,而发电时,中间流道流量略大于两侧流道流量。各工况条件下,4 台机组抽水时,拦污栅门槽处断面平均流速最大值和最大流速值分别为 0.91 和 1.13 m/s,发电时,则分别为 0.99 和 1.68 m/s,均不超过过栅流速要求。抽水和发电时拦污栅门槽处流速分布不均匀系数分别为 1.12 ~ 1.27 和 1.62 ~ 1.79,不均匀系数分别不超过 1.5 和 2.0。

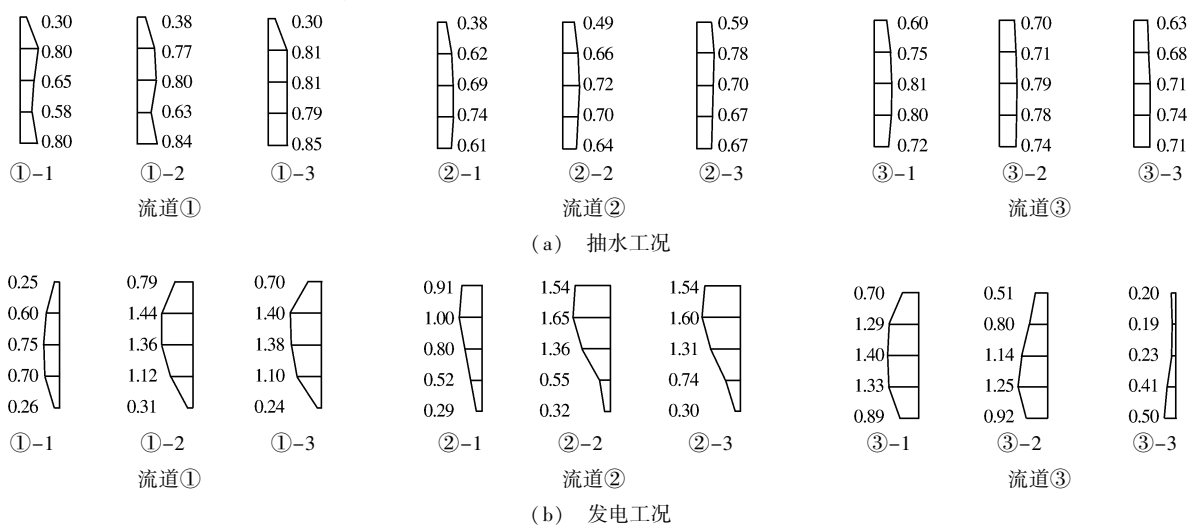


图 2 电站进出口流速分布(单位:m/s)

Fig. 2 Velocity distribution along the inlet and outlet of the hydro power station (unit: m/s)

2.2 进水口漩涡

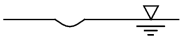
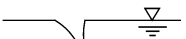
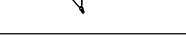
抽水蓄能电站抽水时,进水口前缘可能出现表面漩涡现象,这给工程带来了不利影响,例如减小进水口的过流量、增大进水口内部水流的紊动和阻力、引起机组和建筑物的振动、降低机组效率、漩涡卷吸水面漂浮物、引起拦污栅堵塞等等。为了分析和研究漩涡对工程影响,对漩涡进行分类和分级。根据国内外相关的研究成果,可将漩涡的形态及其影响分为 6 级(见表 3)。

影响抽水蓄能电站进水口漩涡的主要因素有:进水口的布置型式、孔口大小、淹没深度、流量以及边界条件等。控制漩涡运动形态和强度的水力学参数主要包括:重力、黏滞力、表面张力、孔口淹没深度、进水口前流场(流速和流向)、进水口体型布置(孔口型式、孔口大小、孔口布置等)以及边界条件。因此,在缩尺模型中真实模拟原型漩涡必须满足重力、黏滞力、表面张力等相似条件。

在水工正态模型中,一般能满足孔口淹没深度、进水口前流场、进水口体型布置和边界条件等相似要求;但不能同时满足黏滞力和表面张力的相似要求,存在缩尺效应。因此,在模型试验中,通常采用加大模型流量方法(试验流量扩大为 2 ~ 3 倍设计流量),进行漩涡的测试和分析^[11-12]。将模型流量扩大为 2.5 ~ 3.0 倍设计流量时,试验过程中出现了漩涡。但是,在表 4 所列的各进流条件下,4 台机组抽水时,模型中均没有出现吸气漏斗漩涡。

表 3 进水口漩涡形态及其影响分级

Tab. 3 The intake vortex flow patterns and their impact classification

分 级	漩涡名称	漩涡形态	漩涡形态描述	漩涡对工程的影响程度
I	表面涡纹		水面出现旋转,但旋转中心区未出现下陷现象,表面以下水体旋转不明显.	漩涡强度微弱,对工程的影响小,一般不会引起危害.
II	表面凹陷涡		水面旋转中心形成微小凹面,表面以下水体明显旋转,但尚未向下延伸.	
III	表面漏斗涡		表面凹陷稳定,涡面呈漏斗状,但未吸入漂浮物和空气.	漩涡尚未吸入空气,但漩涡中心存在一个明显的旋转核心,若进水口的淹没深度不够大,可能对工程造成有较大影响.
IV	漏 斗 涡		形成较深漏斗,尾部向下延伸,漩涡可吸入水面漂浮物挟带进入取水口,但未吸入空气.	
V	间歇性吸气涡		漩涡不仅可以吸入水面漂浮物,且间歇性吸入空气,并挟带进入取水口内.	漩涡强度大,对工程有较大影响.通常进水口须避免出现吸气漩涡现象.
VI	连续性吸气涡		漩涡中心形成串通的漏斗,可明显观察到一条涡管进入取水口,空气连续进入取水口内.	

根据已有研究成果,在漩涡相似模拟中,目前应用比较广泛的临界雷诺数 $(Re)_c$ 和临界韦伯数 $(We)_c$ 分别为:

$$(Re_s)_c = \left(\frac{QS}{A\nu} \right)_c = (1.5 \sim 4) \times 10^4 \tag{1}$$

$$(Re_h)_c = \left(\frac{Vh}{\nu} \right)_c = (3 \sim 10) \times 10^4 \tag{2}$$

$$(We)_c = \left(\frac{\rho Vd}{\sigma} \right)_c = 120 \tag{3}$$

式中: Q 为进水口流量(m^3/s); S 为进水口淹没深度(m); ν 为运动黏性系数, $\nu=1.007\times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ (水温为 20°C 时); V 为进水口断面平均流速(m/s); h 为进水孔口高度(m); ρ 为水体密度, $\rho=998.2\text{ kg}/\text{m}^3$; σ 为表面张力系数,水温 20°C 时, $\sigma=0.0731\text{ N}/\text{m}$; d 为进水隧洞(直径)高度(m).

在不同库水位条件下,4台机组按设计流量和2.5倍设计流量抽水时,模型雷诺数 Re 和韦伯数 We 的计算结果如表4所示.表5为加大流量条件下进口流态出现漩涡的情况.

表 4 设计流量条件下模型中雷诺数 Re 和韦伯数 We (抽水工况)

Tab. 4 The Reynolds number and the Weber number for the model under design flow conditions

流量水位组合		进水口工作条件		水力学参数模型值					
试验流量	库水位/ m	$Q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	S/m	h/m	$V/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	d/m	$Re_s/10^4$	$Re_h/10^4$	We
设计流量	178.00	135.20	0.23	0.22	0.10	0.15	3.4	2.2	19.9
	202.19	164.66	0.71	0.22	0.12	0.15	1.3	2.6	26.6
	208.00	171.40	0.83	0.22	0.13	0.15	1.2	2.7	32.0
	212.30	170.74	0.92	0.22	0.12	0.15	1.0	2.6	25.5
2.5 倍设计流量	178.00	338.00	0.23	0.22	0.24	0.15	8.3	5.3	121.0
	202.19	411.65	0.71	0.22	0.29	0.15	3.2	6.4	163.2
	208.00	428.50	0.83	0.22	0.30	0.15	2.9	6.7	194.5
	212.30	426.85	0.92	0.22	0.31	0.15	2.6	6.7	165.7

表 5 进水口漩涡的试验观测结果(2.5~30 倍设计流量抽水)

Tab. 5 The observed results of swirl at the inlet

库水位/ m	模型流量 $Q / (m^3 \cdot s^{-1})$	模型中漩涡形态
212.70	52.2×10^{-3}	1#进水口开始出现漩涡;漩涡形态:Ⅰ级、Ⅱ级;漩涡直径约 3.0 cm
207.80	55.1×10^{-3}	1#进水口右侧存在漩涡;漩涡形态:Ⅱ级、Ⅲ级;漩涡直径约 5.0 cm
202.60	54.6×10^{-3}	1#进水口右侧存在漩涡;漩涡形态:Ⅱ级、Ⅲ级;漩涡直径约 4.0 cm 2#进水口左侧出现漩涡;漩涡形态:Ⅰ级、Ⅱ级;漩涡直径约 2.0 cm
196.40	53.4×10^{-3}	1#进水口右侧存在漩涡;漩涡形态:Ⅱ级、Ⅲ级;漩涡直径约 4.0 cm
190.30	51.3×10^{-3}	1#进水口前存在漩涡;漩涡形态:Ⅱ级、Ⅲ级;漩涡直径约 4.0 cm 2#进水口左侧出现阵发性漩涡;漩涡形态:Ⅰ级;漩涡直径约 2.0 cm
184.30	52.4×10^{-3}	1#进水口右侧存在漩涡;漩涡形态:Ⅳ级;漩涡直径约 6.0 cm
179.50	50.2×10^{-3}	尾水明渠与沉渣池间斜坡段,水流呈急流,水面突降,出现跌流现象; 进水口前无漩涡

分析可见,在各种抽水运行工况下,模型雷诺数和韦伯数小于临界值,不满足漩涡相似模拟的要求.当模型流量扩大为 2.5 倍设计流量时,模型雷诺数和韦伯数均超过了临界值,说明此时模型已能模拟原体漩涡的运动特性,此时模型中出现了漩涡现象,但是 4 台机组抽水时,均没有出现吸气漏斗漩涡.

J. L. Gardon 根据 29 个电站旁侧式进水口的原型观测资料,分析得出进水口不发生吸气漏斗漩涡的最小淹没水深 $S_{\min}$ 与进口流速 V 存在如下关系^[11]:

$$S_{\min} = cVh^{1/2} \tag{4}$$

式中: c 为经验系数,正向来流,水流均匀对称时取 $c=0.55$;边界复杂,侧向时取 $c=0.73$.

B. J. Pennino 对 12 个抽水蓄能电站进水口的模型试验资料进行分析,认为若满足下列条件,进水口才可能不出现吸气漏斗漩涡.

$$\frac{S}{h} > 0.5, \quad Fr_s = \frac{V}{\sqrt{gS}} < 0.23 \tag{5}$$

采用上述经验公式进行计算和分析,结果见表 6.可见,仙居抽水蓄能电站进水口的实际淹没水深均大于最小淹没水深,因此电站运行过程中,进水口不会产生吸气漏斗漩涡.

表 6 电站进水口淹没深度、进流条件计算及漩涡判别

Fig. 6 The submergence depth, inflow conditions calculated and whirlpool discriminant for the station inlet

库水位/ m	单机流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	S / m	$V / (m \cdot s^{-1})$	$S_{\min} / m$	$\frac{S}{h}$	Fr_s	判别出现吸气漏斗 漩涡的可能性
178.00	67.60	4.50	0.68	1.24	0.41	0.10	不产生吸气漏斗漩涡
202.19	82.33	28.69	0.83	1.51	2.61	0.07	不产生吸气漏斗漩涡
208.00	85.70	34.50	0.87	1.58	3.13	0.05	不产生吸气漏斗漩涡
212.30	85.37	38.90	0.86	1.57	3.53	0.04	不产生吸气漏斗漩涡

2.3 进出口水头损失系数

水头损失系数按下式计算:

$$\eta = k \left[\left(H_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(H_0 + \frac{V_0^2}{2g} \right) \right] / \frac{V_1^2}{2g} \tag{6}$$

式中: H_0, H_1 分别为断面 0-0,1-1 处压力水头(m); V_0, V_1 分别为断面 0-0,1-1 的平均流速(m/s); k 为系数,抽水时 $k=-1$,发电时 $k=1$.

采用逐渐加大模型流量的试验方法,测量分析进/出水口的水头损失,得出:电站发电时,流量 527.08, 600.12,708.12,830.81 和 898.20 m^3/s 对应的水头损失系数为 0.599,0.587,0.586,0.583 和 0.585;抽水时,流量 319.13,459.07,525.36,608.96 和 755.85 m^3/s 对应的水头损失系数为 0.242,0.242,0.235,0.234

和0.231。可见,抽水时进/出水口的水头损失系数为0.223~0.248,水头损失系数平均值为0.236;发电时进/出水口的水头损失系数为0.571~0.613,水头损失系数的平均值为0.588。

2.4 调整引水明渠与前池之间衔接段的坡比

本阶段基本布置方案的试验结果表明:泄放洞不开启泄流时,4台机组运行(发电或抽水)工况下,水流平稳、顺畅,没有出现不良水流现象。

泄放洞开启泄流时,4台机组抽水工况下,泄放洞进口存在表面漩涡现象,但没出现有害吸气漏斗漩涡;4台机组发电工况下,前池斜坡段与泄放洞进口区域内,水面存在明显上涌、翻花现象,水流紊乱,电站出水条件不够理想。

为此,模型中适当减小了引水明渠与前池之间衔接段的坡比(坡比由1:3调整为1:4),同时,取消前池内拦渣坎,保留引水明渠末端的拦渣坎。引水明渠及前池布置经此调整之后,消除了上述不良水流流态。

2.5 抬高引水明渠底高程的可行性试验

为了分析引水明渠底高程抬高的可行性,在明渠底高程172、173和174 m(明渠末端拦渣坎高2 m)情况下,分别观测了引水明渠及电站进/出水口处水流流态和流速分布。

库水位178 m(最不利工况)时,引水明渠底高程为172 m和173 m时,4台机组抽水和发电工况下,进/出口流速分布基本对称,流态较平顺,没有出现不利水流现象。抽水时最大流速分别为0.72和0.74 m/s,发电时最大流速分别为0.77和0.78 m/s。

引水明渠底高程抬高至174 m时,通过拦渣坎顶部的水流流速较大,拦渣坎附近出现跌流现象,水面波动明显,此时已不能满足要求。下库水文泥沙研究成果表明,水库泥沙颗粒较小,按中细沙考虑,其相应的泥沙不冲流速约0.75 m/s。试验成果显示,下库最低运行水位178 m(最不利工况)时,4台机组同时抽水或发电,引水明渠底板高程173 m,明渠内最大流速已超底沙不冲流速。因此,综合考虑泥沙不冲流速、引水明渠内水流流态及水下围堰拆除等多方面影响因素,引水明渠底高程保持172 m不变。

2.6 引水明渠水流流态和流速分布

2.6.1 水流流态和流速分布 泄放洞不开启,4台机组抽水或发电工况时,不同库水位条件下,流速分布基本对称,水流流态较平顺,靠近进/出水口区内,水流表面存在弱回流现象。试验中没有出现表面漩涡等不利水流现象。

泄放洞开启泄洪,4台机组抽水或发电时,不同库水位条件下,尾水渠内水流流速明显比泄放洞不泄流时增大,尾水渠内水流表面出现大范围的回流现象,但由于回流强度弱、且仅为表面回流,对电站进/出水口内的水流没有明显不利影响。抽水时,引水明渠内水流仅仅从下游水库库区一个方向流向电站进/出水口,尾水渠内水流沿横向分布不对称,泄放洞进口一侧的水流流速大,进口左侧水流表面存在大范围的弱回流区(逆时针旋转);进口右侧水流表面出现大范围的弱回流区(顺时针旋转)。发电时,水流分别从下游水库库区方向和电站出水口方向两个方向流往泄洪洞进水口,尾水渠内水流沿横向分布不对称,泄放洞进口一侧的水流流速大,左侧水流表面存在大范围的弱回流区(逆时针旋转),右侧水流表面出现大范围的弱回流区(顺时针旋转)。

2.6.2 泄放洞运行对电站进水口漩涡的影响 试验过程中,在不同库水位条件下,采用2.5倍设计流量进行试验,分别观测了泄放洞运行对电站进/出水口漩涡的影响。试验观测表明,抽水时泄放洞进水口前水流表面存在漩涡现象,但没有出现吸气漏斗漩涡(V级和VI级漩涡)现象,与泄放洞不泄流相比,进水口前漩涡形态和强度并没有明显变化。发电时,进水口前水流表面没有出现漩涡现象。因此,泄放洞运行对电站进水口前表面漩涡的形态和强度均没有明显的影响。

3 结 语

试验结果表明,电站进/出水口和泄放洞进口调整方案总体可行,引水明渠的断面设计和平面布置合理。泄放洞进口向下库进/出口方向平移30 m,进洞点向山体内缩进10 m后,泄放洞正常运行时,对电站进/出

水口内水流流态及流速分布没有明显的不利影响。

引水明渠与前池之间衔接段的坡比为 1:3 时,泄放洞开启泄流与 4 台机组发电同时运行工况下,前池斜坡衔接段与泄放洞进口区域的水流表面存在明显上涌、翻花现象,电站出流条件不够理想。优化方案中对其进行了适当调整,引水明渠与前池之间通过 45.5 m 长的斜坡连接,坡比调整为 1:4 后,可有效消除不利水流现象。

4 台机组在设计工况条件下运行时,没出现表面漩涡现象,下库进/出水口前没有出现有害的吸气漏斗漩涡。尾水渠内水流横向分布基本对称,进/出水流平顺。靠近进/出水口区内,水流表面存在弱回流现象。泄放洞闸门开启泄流对尾水渠内水流及电站进水口前池流态均没有明显不利影响。

抽水和发电工况下,流道内分流稳定,进流均匀,分流比之间相近。在拦污栅门槽处,流道断面平均流速最大值不超过过栅流速要求。抽水和发电工况的流速分布不均匀系数分别小于 1.5 和 2.0。

综合考虑泥沙不冲流速、引水明渠内水流流态及水下围堰拆除等多方面影响因素,建议引水明渠底高程保持 172 m 不变。

参 考 文 献:

- [1] 周辉,陈惠玲,沙海飞. 仙居抽水蓄能电站可研阶段下库进/出水口水工模型试验研究报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,2005. (ZHOU Hui, CHEN Hui-ling, SHA Hai-fei. Hydraulic model test study on the inlet/outlet of lower reservoir for Xianju pumped storage power station[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2005. (in Chinese))
- [2] 梅祖彦. 抽水蓄能技术[M]. 北京:清华大学出版社,1988. (MEI Zhu-yan. Pumped-storage technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1988. (in Chinese))
- [3] 陆佑楣,潘家铮. 抽水蓄能电站[M]. 北京:水利电力出版社,1992. (LU You-mei, PAN Jia-zhen. Pumped storage plants [M]. Beijing: Water Power Press, 1992. (in Chinese))
- [4] DL/T 5208-2005, 抽水蓄能电站设计导则[D]. (DL/T 5208-2005, Design guide for pumped storage power station[S]. (in Chinese))
- [5] SL 155-2012, 水工(常规)模型试验规程[S]. (SL 155-2012, Specification for normal hydraulic model test[S]. (in Chinese))
- [6] 吴时强,丁道扬. 琅琊山抽水蓄能电站下库库区水流数模计算报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,1995. (WU Shi-qiang, DING Dao-yang. Numerical simulation on the flow pattern of lower reservoir for Langyashan pumped storage power station [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 1995. (in Chinese))
- [7] 徐世凯,周辉. 宜兴抽水蓄能电站下库进出口水工模型试验[R]. 南京:南京水利科学研究院,1999. (XU Shi-kai, ZHOU Hui. Hydraulic model test study on the inlet/outlet of lower reservoir for Yixing pumped storage power station[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 1999. (in Chinese))
- [8] 张伯纳. 天荒坪抽水蓄能电站水力学模型试验研究[J]. 华东水电技术,2000(2): 90-99. (ZHANG Bai-na. Hydraulic model experiment of Tianhuangping pumped storage power station[J]. East China Hydropower Engineering, 2000(2): 90-99. (in Chinese))
- [9] 高学平,张效先,李昌良,等. 西龙池抽水蓄能电站竖井式进出水口水力学试验研究[J]. 水力发电学报,2002(1): 52-60. (GAO Xue-ping, ZHANG Xiao-xian, LI Chang-liang, et al. The hydraulic characteristics at vertical pipe intake of Xilongchi pumped storage plant[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2002(1): 52-60. (in Chinese))
- [10] 张兰丁. 琅琊山抽水蓄能电站下库进/出水口水工模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2003. (ZHANG Lan-ding. Hydraulic model test study on the inlet/outlet of lower reservoir for Langyashan pumped storage power station[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2003. (in Chinese))
- [11] 张从联. 惠州抽水蓄能电站下库进出口水工模型试验研究[J]. 人民珠江,2003(6): 10-14. (ZHANG Cong-lian. Hydraulic modeling of inlet/outlet of lower reservoir for Huizhou pump storage plant[J]. Pearl River, 2003(6): 10-14. (in Chinese))
- [12] 周辉,沙海飞. 洪屏抽水蓄能电站下库进/出水口水工模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2006. (ZHOU Hui, SHA Hai-fei. Hydraulic model test study on the inlet/outlet of lower reservoir for Hongping pumped storage power station [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2006. (in Chinese))

Hydraulic model study of inlet/outlet of a lower reservoir for Xianju pumped storage plant

JIANG Chen-hai, CAO Xi, HE Shao-yun

(Zhejiang Xianju Pumped Storage Plant Co., Ltd., Xianju 317300, China)

Abstract: For reducing the construction difficulty of the inlet/outlet of the lower reservoir and the discharge tunnel of Xianju pumped storage plant, it is necessary to find alternative programmes for the original program and verify their rationality. Based on a hydraulic model with 1 : 50 scale, studies of hydraulic characteristics under different operating conditions for alternative programs for the inlet/outlet of the lower reservoir and the tunnel of Xianju pumped storage plant are carried out. Flow pattern and hydraulic characteristics for the alternative programs are analyzed in the study, and it is found that there are some bad flow patterns. An optimization program is developed for the connection with the forebay. The test results show that the hydraulic characteristics of the optimized program are feasible, and it can be taken as the base of science for the pumped storage projects under construction and operation.

Key words: pumped storage plant; inlet/outlet of lower reservoir; hydraulic model; hydraulic characteristics

我院被列为国家海洋局海岛保护利用规划编制、 海岛使用金评估和无居民海岛使用论证推荐单位

为了进一步规范海岛保护利用规划编制工作,提高规划编制质量,满足无居民海岛使用论证工作需求,进一步提高《无居民海岛开发利用具体方案》和《无居民海岛使用项目论证报告》编写质量;探索积累海岛使用金评估工作经验,进一步推动海岛使用金评估工作,国家海洋局在沿海省级海洋主管部门推荐的基础上,按照单位资历、设备配置、技术条件、管理能力等相关条件,认真审查、筛选,确定了一批海岛保护利用规划编制、海域使用金评估、无居民海岛使用论证推荐单位。近日公布了“关于海岛保护利用规划编制单位推荐名录的通知(国海岛字[2013]125号)”、“关于海岛使用金评估推荐单位名单的通知(国海岛字[2013]126号)”和“关于无居民海岛使用论证推荐单位名单的通知”,均将我院列为推荐单位。

继2008年我院获得海域使用论证乙级资质后,此次获得海岛保护利用规划编制、海岛使用金评估和无居民海岛使用论证等3个资质,为我院进一步开拓海洋资源开发管理奠定了基础。

摘自南京水利科学研究院网站