

双向水流侧式进出水口分流墩研究

蔡付林<sup>1</sup>, 胡 明<sup>1</sup>, 张志明<sup>2</sup>

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏南京 210098; 2. 南京水建总公司, 江苏南京 210001)

**摘要** 研究了双向水流侧式进出水口分流墩与进出水口水力性能之间的关系. 通过水工模型试验比较, 研究分流墩形状及其布置方式对进出水口各孔流道中流量和流速分布以及水头损失系数的影响. 针对抽水蓄能电站库水位变化幅度大, 在发电和抽水工况下进出水口水流方向相反的特点, 拟定了多个试验方案, 并对每个方案在高水位及低水位时不同水流方向情况下的水力性能进行试验比较. 研究表明, 分流墩的形状和位置与双向水流侧式进出水口的水力性能有密切关系.

**关键词** 侧式进出水口 分流墩 水力性能 收缩流 扩散流

**中图分类号** :TV732      **文献标识码** :A      **文章编号** :1000-1980(2000)02-0074-04

抽水蓄能电站中侧式进出水口的应用较为普遍, 发电运行时的水流方向与抽水运行时的相反, 进出水口中为双向水流. 水从水库中经过进出水口流入输水隧洞时, 进入进出水口的水流呈收缩流状态. 隧洞水流通过进出水口流出进入水库时, 水流呈扩散流状态. 实测结果表明, 收缩流状态和扩散流状态下进出水中的流速分布、水头损失系数存在着明显差别. 因此, 寻找理想的进出水口体型, 使之在两种水流状态下均能保持良好的水力性能, 对提高抽水蓄能电站的运行效益有重要意义.

本文通过多个进出水口方案的水工模型试验, 获得了收缩流状态和扩散流状态的流速分布、水头损失及流量分配等, 研究重点为分流墩体型及其布置方式对进出水口水力特性的影响.

1 进出水口体型

进出水口结构外形见图 1. 其平面扩散角为  $27.87^\circ$ , 底板水平布置, 高程为 100.00 m; 顶板最高点高程为 109.75 m, 顶板仰角为  $6.86^\circ$ . 输水隧洞直径  $d$  为 6.5 m. 3 个厚度 1.30 m 的分流墩将其流道分为 4 孔, 本文将它们由左向右 (逆收缩流状态水流方向) 依次称为 1 #, 2 #, 3 #, 4 # 孔, 其中 1 #, 4 # 两孔称为侧孔, 2 #, 3 #

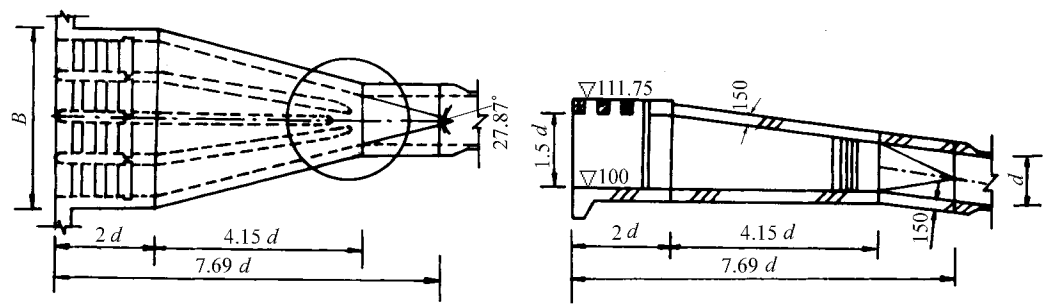


图 1 进出水口外形  
Fig.1 Configuration of the flank inlet-outlet

两孔称为中孔. 每孔最大净过流高度和宽度分别为  $1.5d$  和  $0.615d$ , 进出水口总宽度  $B$  为  $3.062d$ , 设置 3 根横截面宽高为  $1.75\text{ m} \times 2.0\text{ m}$  的防涡梁, 其顶部高程为 111.75 m. 拦污栅布置在最后一道防涡梁和进出水口整流段入口之间. 由于进出水口的两侧边墙平面扩散角、顶板仰角、进出水口流道净高及扩散段长度均在较理想的范围以内, 试验重点集中在改变分流墩体型及布置方式上, 以便研究它们对进出水口水力性能的影响.

响. 各比较方案分流墩形状及布置方式见图 2.

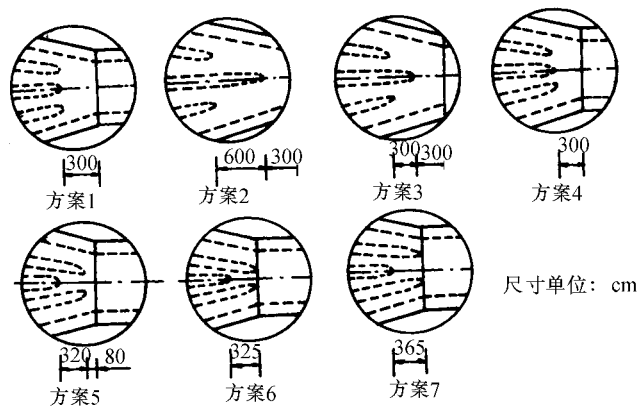


图 2 各试验方案分流墩形状及布置方式  
Fig.2 Shape and position of guide piers

防涡梁顶部水深,水库高水位时为  $3.73d$  ( $d$  为输水隧洞直径), 即  $24.25\text{ m}$ , 水库低水位时为  $0.654d$ , 即  $4.25\text{ m}$ . 在上述水深下对各方案扩散流状态和收缩流状态的孔中流速分布、流量分配进行了量测. 使用 CSY 旋桨流速仪(起动流速为  $0.025\text{ m/s}$ )量测流速, 4 个孔的流速分别记为  $V_1, V_2, V_3, V_4$ , 流量用标准孔板流量计量测. 进出水口净高为  $9.75\text{ m}$ , 在拦污栅处每孔中间沿水深方向布置 7 个测点, 它们到底板的垂直距离依次为  $0.68\text{ m}, 2.03\text{ m}, 3.38\text{ m}, 4.73\text{ m}, 6.08\text{ m}, 7.43\text{ m}$  和  $8.78\text{ m}$ .

2 试验成果

2.1 高水位收缩流状态时的流速分布

在水库高水位流量为  $94.6\text{ m}^3/\text{s}$  时, 各试验方案的 4 孔中流量分配都比较均匀, 其中又以方案 1 与方案 2 最好, 4 个孔中每孔实测流量占进出水口总流量的百分比基本接近, 与平均值  $25\%$  相比, 差别均在  $1.6\%$  以内, 其余 5 个方案虽然相对而言差些, 但与平均值的差别仍在  $5\%$  以内. 图 3 中的实线为水库高水位时, 收缩流状态方案 1 进出水口流速沿水深分布的实测结果. 由此可以看出, 每孔中的流速沿水深分布都非常均匀, 两个中孔和两个边孔中流速及流量分布基本上是对称的. 将每孔中最大流速  $V_{\max}$  与各测点实测流速的平均值  $V_a$  之比定义为流速分布不均匀系数, 各方案收缩流状态的流速分布不均匀系数实测值均未超过  $1.23$ .

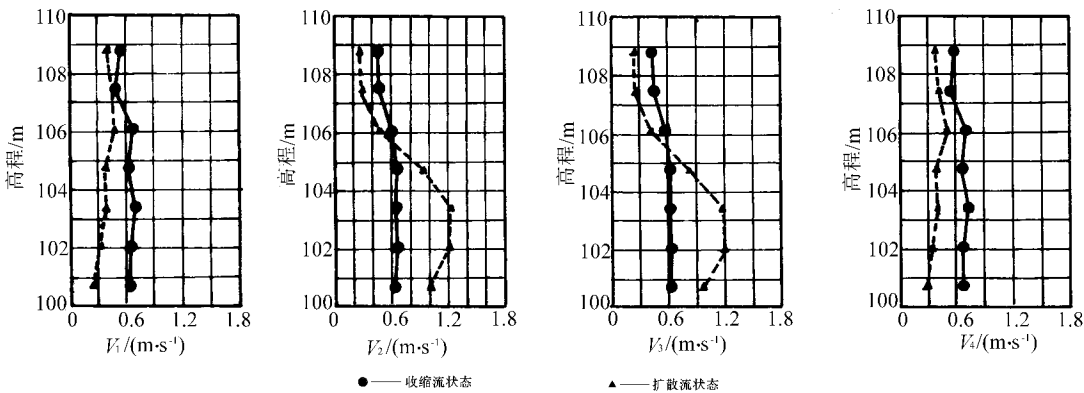


图 3 方案 1 进出水口高水位运行时流速分布

Fig.3 Velocity profiles of the inlet-outlet of case 1 under high reservoir water level

图 2 中, 方案 1 与方案 4 的分流墩均采用墩头齐平布置方式, 但墩头形状不同, 前者 3 个分流墩墩头都是对称圆弧构成的, 后者的中间分流墩同方案 1, 但两侧分流墩墩头由直线与圆弧组成. 这种差异造成收缩流状态下方案 4 的各孔之间流量分配的均匀性不如方案 1, 其 1 #, 4 # 两侧孔流量比 2 #, 3 # 两孔大  $11.3\%$ .

方案 2 和方案 3 均将两侧分流墩缩短, 中间分流墩形状相同且向扩散起始断面加长, 3 个分流墩呈“凸”形分布, 前者两侧分流墩墩头外侧与进出水口边墙平行, 内侧平行于中墩轴线, 后者两侧墩头由直线与圆弧

构成.试验表明,方案3的边孔流量比方案2更大.

方案6和方案7的分流墩位置基本相同,方案6的中墩为对称形的,边墩墩头的外侧与进出水口的边墙平行,方案7的所有分流墩墩头均为对称折线组成.试验表明,方案6进出水口4孔中流量分配均匀性较方案7差.这表明,要使进出水口在收缩流状态的4孔流量分配接近均匀,选择合理的分流墩墩头形状是很必要的.

至于高水位时分流墩墩头位置对进出水口收缩流状态4孔中流量及流速均匀性的影响,试验中看不出明显的规律.在图2中方案1,2,7分流墩墩头位置的差别是显而易见的,但方案1与方案2的4孔流量分配均匀性却基本接近,方案7流量的分配与平均流量分配百分比25%相比,最大差别也不到3%.

## 2.2 高水位扩散流状态时的流速分布

比较而言,扩散流状态时每个方案流量分配的均匀性不及收缩流状态.以方案1为例,扩散流状态下2#,3#两个孔通过的流量占总流量的比例高达66.1%,而1#,4#两个孔仅占33.9%,前者为后者的1.95倍.

从图3可以看出,扩散流状态不均匀性明显大于收缩流状态,而且扩散流状态中间两孔的流速分布较两侧两孔更不均匀,呈现顶部流速小、中下部流速大的分布格局,流速分布不均匀系数达1.64.虽然扩散流状态流量为 $88.8\text{ m}^3/\text{s}$ ,收缩流状态流量为 $94.6\text{ m}^3/\text{s}$ ,但进出水口中测得的扩散流状态最大流速为 $1.33\text{ m/s}$ ,收缩流状态最大流速仅为 $0.72\text{ m/s}$ ,前者较后者大69%.

比较图2中的方案2,3,它们的两侧分流墩缩短,即两侧墩头向防涡梁方向收缩以加大1#,4#两个侧孔在扩散流状态的过水面积.试验表明,这两个侧孔扩散流状态流量占总流量的比例不但未能增加,使流量分配趋于均匀化,反而加大了侧孔与中间两孔的差别.由于在扩散流状态水流从隧洞中流出进入扩散段后,主流集中在进出水口中间,在主流与两侧边墙之间形成回流区,虽然方案2,3的两个边孔此时的过流面积较两个中孔大,但相当一部分面积处于回流区中,故出现上述结果.

有鉴于此,方案5至方案7中均缩短两侧分流墩墩头到扩散起始断面的距离,加大中间分流墩到扩散起始断面的距离,使3个墩头呈‘凹’形分布.在水流扩散之前由两侧分流墩进行第1次流量分配,然后由中间分流墩进行第2次流量分配.试验表明,采取这种措施对均衡扩散流状态时进出水口孔间流量分配非常有效.

## 2.3 低水位时的流速分布

低水位时收缩流状态和扩散流状态各方案流速分布及流量分配规律与高水位时基本一致.收缩流状态的流速沿水深方向分布比较均匀,进出水口4个孔中的流量仍然基本相等.扩散流状态时各孔中流速沿水深方向分布仍然不及收缩流状态时那么均匀,中间两孔流量大于两侧孔流量的倾向也较高水位时更明显,如方案3高水位扩散流状态的 $Q_2/Q_1$ 为2.39,而低水位时 $Q_2/Q_1$ 达3.13.

所有方案中方案5至方案7扩散流状态进出水口中各孔的流量分配均匀性与方案1相比,均有明显的改进,其中方案7最为显著.图4中虚线表示方案7低水位扩散流状态流量为 $110.80\text{ m}^3/\text{s}$ 时进出水口各孔流速分布,实线为 $120.20\text{ m}^3/\text{s}$ 流量时收缩流状态流速分布.分析图4可知,方案7中流速、流量分布均匀性的改进效果较好.从图3~4中的实线可以看出,收缩流状态低水位时进出水口4个孔之间的流量分布及流速分布基本上也是均匀的.

综上所述,对于有3个分流墩的侧式进出水口,为了满足扩散流状态和收缩流状态的水力条件,必须妥善处理进出水口中分流墩的形状和位置.不宜将分流墩布置成中墩长边墩短的形式或墩头平齐的形式.采用中墩短边墩长的布置方式,既能改善扩散流状态的水力条件,又能满足收缩流状态的水力条件.

试验结果还表明,库水位对各方案进出水口收缩流状态水流运动规律基本上没有影响,而对扩散流状态则有一定的影响.从综合考虑扩散流状态和收缩流状态进出水口水流的角度来看,所有方案中方案7最优,由于改善了水流分布,其收缩流状态和扩散流状态的水头损失系数降低,如方案1在这两种流态下的水头损失系数分别为0.26和0.54,方案7在上述两种流态下的水头损失系数仅为0.18和0.42.

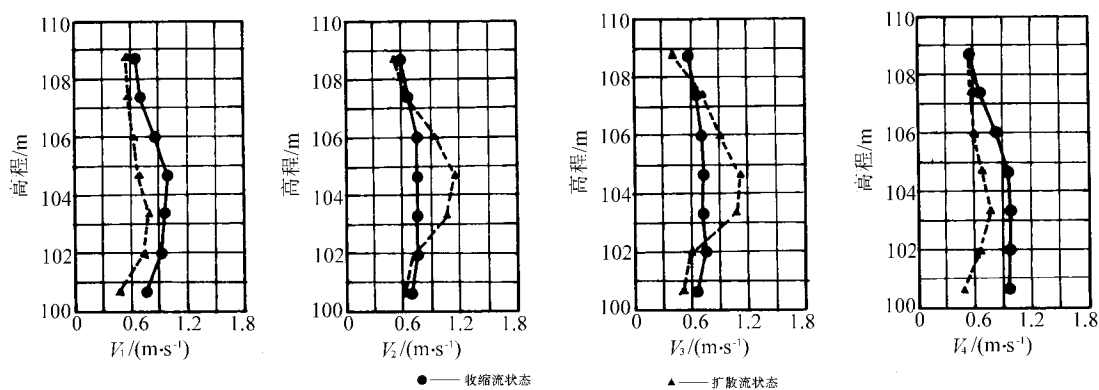


图 4  方案 7 进出水口低水位运行时流速分布

Fig.4  Velocity profiles of the inlet-outlet of case 7 under low reservoir water level

3  结    语

- a. 分流墩体型及位置对进出水口水力性能有明显的影响,而且改善进出水口扩散流状态的水力条件较收缩流状态困难.
- b. 对于有 3 个分流墩的 4 孔双向水流侧式进出水口,宜采用中间分流墩短、两侧分流墩长的布置方式,并且两侧分流墩最好始于进出水口扩散起始断面.
- c. 分流墩体型和布置方式对抽水蓄能电站侧式进出水口水力性能的影响不是唯一的,对于重要工程,应通过水工模型试验来筛选确定分流墩体型并确定其布置方式.

参考文献：

[1] 陆佑楣,潘家铮.抽水蓄能电站[M].北京  水利电力出版社,1992.  378~385.

[2] 李惕先,季云,刘后钊.抽水蓄能电站[M].北京  水利电力出版社,1995.  155~184.

Study on Guide Piers in Flank Inlet-outlet with Double Flow Directions

CAI Fu-lin<sup>1</sup>, HU Ming<sup>1</sup>, ZHANG Zhi-ming<sup>2</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;  
2. Nanjing Water Conservancy Engineering Construction Company, Nanjing 210001, China)

**Abstract** This paper presents an experimental study on the effects of guide piers on the flow characteristics at water inlet-outlet with two flow directions used in pumped storage plants. The study is focused on the shape and location of the guide piers. Because the water level in the reservoir of pumped storage plants changes within a large range and the water in the inlet-outlet flows in two directions, seven models are adopted for several cases. The study indicates that the shape and position of guide piers are of much importance for the hydraulic characteristics of a flank inlet-outlet with double flow directions.

**Key words** flank inlet-outlet ; guide piers ; hydraulic characteristics ; convergent flow ; divergent flow