

双向贯流泵导叶设置与原动机布置的研究

王玲花¹, 刘大恺¹, 陈德新²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 华北水利水电学院动力系, 河南 郑州 450045)

摘要 根据双向贯流泵具有在正、反向工作效率都不能太低, 而导叶布置的位置, 导叶进、出口安放角和叶栅稠密度等因素对泵出流流态产生影响, 进而影响到泵的效率的提高这样一些特点, 通过单、双向贯流泵性能试验的对比分析, 得出了“S”形双向贯流泵设置后导叶能显著提高泵的效率以及原动机布置在进水侧较为有利的结论。

关键词 双向贯流泵; 流态; 效率; 导叶; 原动机

中图分类号 TK73 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2002)01-0106-03

单向贯流泵一般只设后导叶^[1], 进行转轮后旋转动能的回收, 进水管采用渐缩形式进行导流。单向贯流泵在正向抽水时具有较好的水力性能, 而反向抽水效率却极低(约 30% ~ 40%)。反向抽水时如不调换叶片位置, 则叶片工作面与背面交换, 原来的后导叶成了前导叶, 不但扭曲了水流的方向, 还起了阻流的作用, 而且没有后导叶使出流环量不能消除, 影响能量转换。为了满足双向抽水的要求, 需研制双向贯流泵, 但双向贯流泵不只是单向动能的回收和单向导流的问题。目前, 转轮设计理论比较完善合理, 仅靠改进转轮的设计, 泵的效率提高不大。对整个泵装置来说, 必须从整个过流部件和流道的合理设计最优组合来改进。流道形状的选取是否最佳, 导叶的设置和原动机的布置是否合理等都会影响水流的流态和泵的效率。

1 单向贯流泵导叶出流分析

贯流泵叶轮在转轮区进行能量转换后, 出口水流仍有很大能量, 而后导叶的主要作用就是将叶轮出流的旋转动能转化为压力能, 减小水流在出水流道中的能量损失。如图 1 所示, 一般导叶出口安放角 $\alpha_4 = 90^\circ$, 由于有限叶片数(即叶栅稠密度)和水流惯性的影响, 导叶出流方向并不沿导叶出口的切线方向, 而是与轴面有一夹角即出流偏角 γ , 导叶在半径为 R 处的出流环量 $\Gamma_{\text{导}} = 2\pi R v_z \tan \gamma$, 其中 v_z 为导叶计算圆柱面上轴向平均流速, $v_z = Q / (\pi R^2)$; α_3 为导叶进口安放角; β_3 和 β_4 为导叶来流和出流方向角。

当导叶叶栅稠密度(l/t)以及 α_3, β_3 愈小时, γ 就愈大, 一般 γ 为 $5^\circ \sim 15^\circ$, 因此导叶出流具有较大的剩余环量 $\Gamma_{\text{导}}$, 出水流道内水流具有较强的旋转运动, 而并非渐变流, 旋转方向与叶轮转向一致。在实际工作中, 对于中小型贯流泵站, $\Gamma_{\text{导}}$ 会引起出水流道的附加水头损失 Δh_h ; 对于大型贯流泵站^[2], 出水流道常因结构需要而设置中间隔墙, $\Gamma_{\text{导}}$ 不仅在隔墙起始处形成挑流, 还造成同一流道左、右两孔流量不等, 形成偏流, 引起出水池内的流态紊乱, 增加出水池内的水力损失。而 $\Gamma_{\text{导}}$ 一方面表现为水流旋转动能的损失 Δh_h , 另一方面 $\Gamma_{\text{导}}$ 分布不均匀则引起层间漩涡, 增强了水流质点的摩擦、碰撞与掺混。对于确定的出水流道, $\Gamma_{\text{导}}$ 分布愈不均匀则 Δh_h 愈大。当 α_4 一定时, γ 随着 $\alpha_3, \beta_3, l/t$ 的增大而减小, 与 v_z 无关。在设计工况附近 $\alpha_3 = \beta_3$, $\Gamma_{\text{导}}$ 决定于 β_3 , 可通过增加导叶叶栅稠密度(l/t)来减小, 但须考虑导叶片对水流的排挤作用和摩擦损失, 所以 $\Gamma_{\text{导}}$ 与 l/t 之间存在着矛盾。根据最优化理论, 找出导叶最佳 l/t , 但出流仍会有一定环量。因此, 适

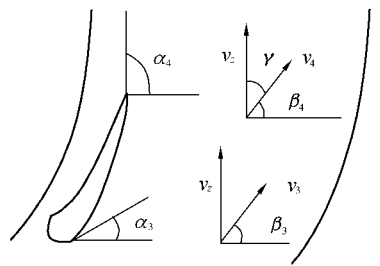


图 1 导叶出流方向
Fig. 1 Flow direction from guide blade

当增大 α_4 ,可使 $\Gamma_{\text{导}}$ 减小 ,同时可适当减小导叶叶栅稠密度 ,有利于提高泵的装置效率.

2 单、双向贯流泵性能试验的对比分析

试验模型泵的主要参数为试验装置扬程 $H_T = 0.2 \sim 3.0 \text{ m}$,设计扬程 $H_r = 1.75 \text{ m}$,模型转轮直径 $D_1 = 300 \text{ mm}$,转速 $n_r = 980 \text{ r/min}$,导叶数 $Z_0 = 6$,转轮叶片数 $Z = 3$,设计流量 $Q_r = 0.215 \text{ m}^3/\text{s}$.
试验结果如表 1 所示.

表 1 单、双向贯流泵性能试验成果
Table 1 Performance of monodirectional and bidirectional tubular pumps

方 案	最优工况			设计扬程下			叶片位置 h/mm
	H/m	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$	H/m	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta/\%$	
正常叶片正向抽水(无前导叶、有后导叶)	2.00	0.233	72	1.75	0.248	70	37
正常叶片不作转动反向抽水(有前导叶、无后导叶)	0.51	0.173	36	0.34*	0.215*	24*	37
正常叶片反转 180°反向抽水(有前导叶、无后导叶)	1.67	0.128	61	1.75	0.123	61	18
正常叶片反转 180°反向抽水(无前导叶、有后导叶)	1.60	0.165	65	1.75	1.78	62	33
“S”形叶片正向抽水(无前、后导叶)	0.94	0.190	57	1.75	0.163	53	55
“S”形叶片反向抽水(无前、后导叶)	1.32	0.190	61				55
“S”形叶片正向抽水(无前导叶、有后导叶)	1.24	0.200	67	1.75	0.188	66	57
“S”形叶片反向抽水(有前导叶、无后导叶)	0.95	0.200	58				57

* 在设计流量情况下的试验结果.

从试验结果可看出 ,正向抽水时 ,正常叶片转轮设置后导叶的最高效率为 72% ,效率最高 ;“S”形叶片转轮设置后导叶较无后导叶效率提高 10% 左右 ,反向抽水时 ,原来的后导叶变成前导叶 ,正常叶片转轮设置前导叶较无前导叶效率下降约 4% ,正常叶片不作转动反向抽水时不能满足反向抽水的要求 ;“S”形叶片转轮设置前导叶较无前导叶效率下降约 3% ,前导叶给叶片一个正环量 ,增加了叶片出口水流的旋转 ,增加了在出水管中的损失 .可见设置后导叶能显著提高泵的效率 ,设置前导叶对“S”形双向贯流泵效率影响不很明显 ,尤其是泵一般在最优工况下的工作时间长 ,前导叶的阻力损失小 ,前导叶仅起导流作用 .但是 ,目前实际的贯流泵站多采用以正向工况设置后导叶 ,而不设置前导叶 ,如果前、后都设置导叶 ,则必然引起正向工况效率的降低 ,而反向工况效率提高多少 ,正、反向的综合效率是否最高 ,还需进一步试验分析 .另外 ,双向贯流泵与单向贯流泵的导叶有何差别也是值得考虑的问题 ,有待今后进一步研究.

3 原动机的布置

本试验的流道并不对称 ,正、反向性能也不一样 ,双向贯流泵电动机采用轴伸式布置在出水侧 ,如图 2 所示 ,其电动机布置在出水侧流道的外部 ,通过一根长轴连接 .这种型式布置方便 ,有利于电动机的维护 ,但因有一段收缩管和两个弯头及一段扩散管 ,水力损失较大 ,同时还存在着传动轴和流道壁之间的防渗问题 .所以要提高泵的装置效率 ,原动机如何布置也是值得研究的.

对于灯泡贯流泵^[2] ,它的电动机是安装在灯泡体内的 ,由于它的流道形状平直 ,水力效率较高 ,结构紧凑 ,适用于大型低扬程泵 ,但对电机的防潮、绝缘、检修等问题也要求较高 .灯泡体的形状对于叶片进口和出口水流流态影响很大 ,而进、出口水流流态又会直接影响机组效率和运行稳定 .为了改善流态 ,希望灯泡体尽量细长 ,而灯泡体内放有电动机 ,要求灯泡体外径又不能太小 ,所以设计合理的灯泡体也是提高泵装置效率的一种途径 .灯泡体在流道中的位置 ,一种是位于流道进水侧 ,另一种是位于流道出水侧 .对于单向贯流泵 ,灯泡体位置的变换能直接影响到泵的装置效率 .对于后置灯泡体 ,其整体布置较为紧凑 ,由于灯泡体安装在流道的出水侧 ,并导致水流扩散 ,因而对出水流态起着阻塞作用 ,并使出水流态紊乱 ,旋转环量较大 ,从而增加了出流损失 ,比速越大的水泵 ,效率降低越显著 ;对于前置灯泡体 ,进水侧压力较低 ,易于密封 ,水流速度较低 ,水流比较稳定 ,灯泡体本身可以起导流作用 ,而出水侧可以设置导叶进行出水整流 ,改善

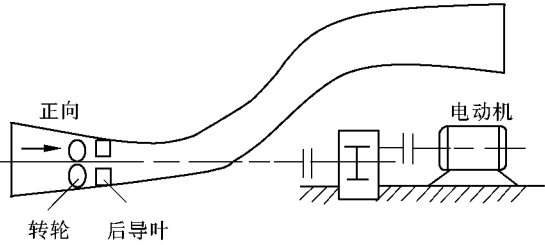


图 2 轴伸式贯流泵示意图

Fig.2 Sketch of tubular pump of axial stretching type

对于后置灯泡体 ,其整体布置较为紧凑 ,由于灯泡体安装在流道的出水侧 ,并导致水流扩散 ,因而对出水流态起着阻塞作用 ,并使出水流态紊乱 ,旋转环量较大 ,从而增加了出流损失 ,比速越大的水泵 ,效率降低越显著 ;对于前置灯泡体 ,进水侧压力较低 ,易于密封 ,水流速度较低 ,水流比较稳定 ,灯泡体本身可以起导流作用 ,而出水侧可以设置导叶进行出水整流 ,改善

了流态.因此,从能量观点分析,单向贯流泵采用前置灯泡体有利,特别对高比速泵更为合适.

根据以上分析,由模型换算出的原型泵,若采用最佳流道并合理布置原动机,则泵的装置效率会提高一些.根据贯流泵的水流特点,对于以正向运行为主的双向贯流泵,建议采用前置灯泡式.将原动机布置在进水侧,特别是对灯泡式贯流泵其效果是明显的.对于扬程变化较大,正、反向运行时间相差不多的双向贯流泵,亦可采用后置灯泡式和轴伸式.因为泵在反向运行时的效率一般低于正向运行时的效率,在本次泵的性能试验中,“S”形双向贯流泵带导叶反向时的效率低于正向时约 9%,若反向时的效率过低,达不到抽水要求,则原动机也可以布置在出水侧,以使泵反转时在出流侧的水力损失减小,效率提高.轴伸式贯流泵的原动机布置在进水侧或出水侧,一般对泵效率的影响不是很大,还应考虑土建布置的要求.对于双向贯流泵来说,原动机在出水侧更容易布置.总之,以灯泡式较轴伸式为好,以前置灯泡式较后置灯泡式为好.

4 结 论

a. 不同的导叶安放角对泵的性能指标有影响,后导叶的设置应使出流无环量,对“S”形叶片双向贯流泵,有后导叶较无后导叶效率提高 10% 左右,建议设置后导叶.只设置前导叶引起效率下降不很明显,而同时设置前、后导叶对泵的综合效率的影响还有待进一步试验研究.

b. 对于以正向运行为主的双向贯流泵,建议采用前置灯泡式,将原动机布置在进水侧;对于扬程变化较大,正、反向运行时间相差不多的双向贯流泵,亦可采用后置灯泡式和轴伸式.本试验中流道并不对称,最佳流道有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 韩国奇,刘大恺.轴流泵后导叶几何参数的试验研究[J].河海大学学报,1989,17(1):79~85.
- [2] 张允达,刘尚智,谢晓桐.南水北调工程中大型低扬程水泵的研制和运行问题[J].水泵技术,1984(1):34~36.

Study on Arrangement of Guide Blade and Prime Motor for Bidirectional Tubular Axial-Flow Pumps

WANG Ling-hua¹, LIU Da-kai¹, CHEN De-xin²

- (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;
- 2. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: In bidirectional tubular axial-flow pump systems, the work efficiency is not allowed to be very low under either positive or negative operation conditions; the positions and setting angles of guide blades at inlets and outlets and the blade density may affect the flow pattern from pumps, and then affect the improvement of pump efficiency. A comparison between the test performances of monodirectional and bidirectional tubular axial-flow pumps shows that the S-like arrangement of bidirectional pumps may largely improve the pump efficiency, and that the arrangement of prime motor at the inflow side is favorable.

Key words: bidirectional tubular axial-flow pump; flow pattern; efficiency; guide blade; prime motor