

# 浙江盐官下河泵站轴流泵装置模型的研究

施卫东

(江苏理工大学)

**摘 要** 采用  $k-\epsilon$  紊流模型数值模拟和计算了浙江盐官下河泵站的进、出水流动, 并对该装置模型进行了试验研究。结果表明: 该泵站机型选择合理, 过流量大, 高效范围广, 装置效率高, 运行平稳。该成果已成功应用于该泵站的建设, 还可为其它同类型工程的设计提供参考。

**关键词** 轴流泵 数值模拟 流道 装置 模型 试验

浙江盐官下河排涝站闸工程是杭嘉湖南排四大出海口门之一, 由排涝泵站和排涝闸组成, 位于浙江省海宁市盐官镇以东, 处在闻名中外的钱塘江涌潮观景地带。本工程的主要任务是排涝, 当在梅汛期(5~7月)涝区水位上涨到 3.3m 高程时, 开闸排涝, 回涝至 3.3m 时, 关闸停排; 当水位上涨至 3.7m 时, 开泵运行, 回落至 3.7m 时停泵。排涝期内具体运行方式为当内河水水位高于外海潮位时开闸关泵, 而当内河水水位低于外海潮位时, 开泵关闸。闸和泵站交替运行, 开、停机较频繁。由于泵站出口为钱塘江, 故水泵扬程受钱塘江潮位制约, 随潮位涨落而瞬态变化, 所以泵站流量也随着扬程的变化而变化。

由于排涝区人口密集, 经济发达, 地处杭嘉湖平原, 排水出路不足, 若遇较大暴雨, 即造成严重的洪涝灾害。工程建成后该地区的防洪排涝能力可由原来的五年一遇提高到二十年一遇左右, 大大减缓洪涝灾害带来的损失, 综合效益显著。同时, 由于内水外排, 使内河水水质得到提高, 通过拓浚上游排水河道, 还可提高内河的通航能力。

## 1 泵站机型选择

本泵站扬程较低, 其流道的水力损失占水泵装置效率的比重较大, 所以水泵装置包括流道型式的选择至关重要。在参考国内外大型低扬程泵站型式的基础上, 结合盐官下河泵站的特点, 采用斜 15°轴伸泵结构<sup>[1]</sup>, 如图 1 所示。该方案的优点是: 由于泵轴斜 15°布置, 进出水流道弯曲小, 装置效率较高; 土建费用低, 安装、检修、维护方便; 采用二级圆柱齿轮减速器, 技术成熟、价格较低。

泵站设计总流量  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , 装机台数 4 台套, 通过对国内外大型低扬程泵站设计参数的统计、分析, 根据目前国内轴流泵模型的研制水平, 并结合盐官下河泵站扬程低、变幅大、单机流量大、年利用小时少的特点, 决定选用  $n_s = 1100$  左

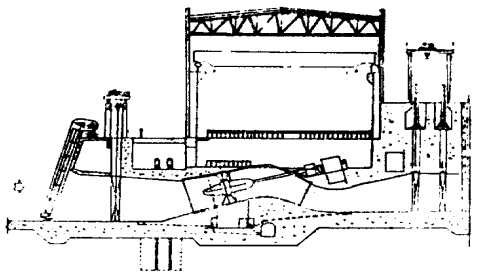


图 1 盐官下河泵站机型选择

Fig 1 The selection of pump type

右的 350ZBM-3 8-HE 轴流泵水力模型,其主要性能参数为: $Q = 0.402 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H = 4.55 \text{ m}$ ,  $n = 1450 \text{ r/min}$ ,  $D = 300 \text{ mm}$ ,  $\eta = 87.8\%$ ,  $n_s = 1077$ ,  $C = 1119$ 。经过相似换算,并通过数个叶轮直径和转速的方案比较,最终确定原型泵的主要性能参数为: $Q = 50.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H = 2.81 \text{ m}$ ,  $n = 90 \text{ r/min}$ ,  $\eta = 85\%$ ,  $P = 2000 \text{ kW}$ ,  $D = 3800 \text{ mm}$ 。原型泵的型号为 3800ZXQ 50-2.8,这是目前国内最大的斜 15°全调节式轴流泵。

## 2 进、出水流道设计

目前人们对于大型电站的进、出水流道的流场特性研究,多数是借助模型试验手段,它能够比较真实地反映部分流场的状况。然而由于许多条件的限制,使得完全依赖模型试验的方法具有一定的局限性,用计算机进行数值模拟可弥补模型试验的不足。本文采用  $k - \epsilon$  紊流模型对斜 15°进、出水流道的初步设计方案进行了数值模拟和计算,并对其内部流场进行了测量和比较<sup>[2]</sup>。由于进水流道的作用是将进水池的水均匀地引入泵入口,而水泵是在假定进口水流为均匀流的前提下设计的,因此,保证进水流道出口水流速度的均匀性至关重要。利用数值模拟对多种方案进行了分析、比较和优选。同样,对于出水流道的优化设计,可以回收 3% ~ 5% 的动扬程,提高装置效率,扩大高效范围。而中隔墩的设计,可以稳定进、出水流态,减小及消除旋涡,有利于提高装置效率。最终选用的进、出水流道模型的型式及主要尺寸如图 2 所示。

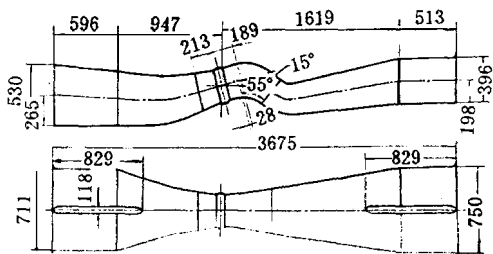


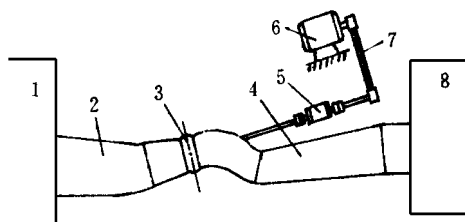
图 2 浙江盐官下河泵站进、出水流道模型的型式

Fig 2 The types of the in-and-out flow passages model

## 3 试验研究

### 3.1 试验设备系统

我们在“ $\phi 50 \sim \phi 400$  水泵模型泵段及水泵模型装置试验台”<sup>[3]</sup>上对浙江盐官下河泵站斜 15°轴流泵模型装置进行了试验研究。试验系统是一个全封闭的循环回路系统,系统总容量为  $50 \text{ m}^3$ 。水自汽蚀筒通过进水箱、进水流道均匀地流入模型泵进口,获得能量后通过出水流道、出水箱流入稳压筒,形成回路。当模型泵的扬程太低,不能形成自循环水流时,可借助增压泵以达到自循环。



1. 进水箱 2. 进水流道 3. 模型泵  
4. 出水流道 5. 扭矩仪 6. 电机  
7. 皮带轮 8. 出水箱

图 3 盐官下河泵站装置模型示意图

Fig 3 The scheme of model device

盐官下河泵站模型装置为斜 15°安装,驱动电机为 45 kW 的调速电机,采用皮带轮通过扭矩仪与泵轴联接,如图 3 所示。模型转轮直径为 300 mm,转轮室为分半结构。模型流道为钢结构,为保证原、模型糙率相似,模型装置过流部分刷树脂漆。工况点的变更与调节通过管路上闸阀的开度变化来实现。

模型装置的动力特性试验主要是测试该装置在运行过程中的综合特性曲线,实际上也就是流量、扬程、转速、轴功率的测量,所有测试仪表均经国家指定的法定计量单位标定。本试验所用的测试仪表及精度如下:(1) 流量采用 M T 900 型电磁流量计,精度为  $\pm 0.50\%$ ;(2) 扬程



采用 U 型水银压差计, 精度为  $\pm 0.45\%$ ; (3) 转速采用转矩转速测量仪, 精度为  $\pm 0.05\%$ ; (4) 轴功率采用 ZJ 型 500 N·m 扭矩仪, 精度为  $\pm 0.502\%$ 。本试验其效率的综合误差为  $\pm 0.866\%$ , 完全符合 GB 3216-89B 级和 ISO/D IS5198A 级(草案) 规定的要求<sup>[4]</sup>。

### 3.2 试验内容与结果

本试验模型泵的转轮直径为 300 mm, 根据原型泵与模型泵  $nD$  值相等的原则, 模型泵的规定转速应为 1140 r/min, 进行了以下几项试验。

#### 3.2.1 能量试验

进行模型装置的能量试验, 叶片角度分别为  $0^\circ \pm 2^\circ \pm 4^\circ \pm 6^\circ$ ; 测量点多于 20 个。能量试验每个角度进行两次, 小流量区段(包括零流量) 采用降速试验, 然后换算至规定转速的性能; 大流量区段(包括零扬程和负扬程) 借助增压泵试验。本试验结果已扣除空载损失, 经测量空载损失约为 48 W。

#### 3.2.2 汽蚀试验

汽蚀试验的目的在于通过试验求得装置模型的临界汽蚀余量或汽蚀比转数。汽蚀试验在能量试验后进行, 每个角度进行大流量、较大流量、较小流量及小流量共 4 个工况, 每个工况的测量点多于 12 个, 临界点按装置效率下降 1% 确定。

本次试验测量的能量及汽蚀试验的原始数据全部由计算机处理后换算至规定转速为 1140 r/min 时的数值。试验结果绘制成每个角度下的性能曲线、汽蚀特性曲线以及装置模型的综合特性曲线。表 1 列出了该模型装置最优工况下的参数, 模型装置的综合特性曲线如图 4a 所示。

表 1 浙江盐官下河泵站模型及原型模型装置最优工况参数

Tab 1 The parameters of model and prototype devices under the optimum condition

	叶片角 $\varphi$ / $^\circ$	流量 $Q$ / $m^3 \cdot s^{-1}$	扬程 $H$ /m	轴功率 $P$ /kW	装置效率 $\eta$ /%	比转数 $n_s$	临界汽蚀余量 $NPSH_c/m$
模型 泵 装置	+ 6	0.350	2.80	13.19	72.86	1137	8.56
	+ 4	0.334	2.70	11.71	75.59	1142	8.72
	+ 2	0.313	2.64	10.40	77.84	1124	8.86
	0	0.291	2.58	9.28	79.38	1103	7.82
	- 2	0.278	2.50	8.47	80.44	1103	8.31
	- 4	0.264	2.40	7.69	80.61	1109	7.77
	- 6	0.242	2.31	6.85	80.27	1092	8.91
原型 泵 装置	+ 6	56.16	2.80	1843.68	83.67	1137	
	+ 4	53.59	2.70	1663.86	85.31	1142	
	+ 2	50.22	2.64	1500.83	86.66	1124	
	0	46.69	2.58	1349.14	87.59	1103	
	- 2	44.60	2.50	1239.73	88.23	1103	
	- 4	42.36	2.40	1129.09	88.33	1109	
	- 6	38.83	2.31	998.45	88.13	1029	

#### 3.2.3 流态观测

为了观测模型装置进水流道的水流情况, 在靠近模型泵进口处的流道左右两侧位置, 对开镶嵌有机玻璃观察窗口, 观测结果如下:

- 1) 在整个能量试验范围内, 对 6 个角度试验工况下的流态观测, 未发现有旋涡、涡带产

生,无明显振动,运行基本稳定。

2) 在汽蚀试验过程中,水流夹带有明显的汽泡并翻动,并发出较大的喘振声音。

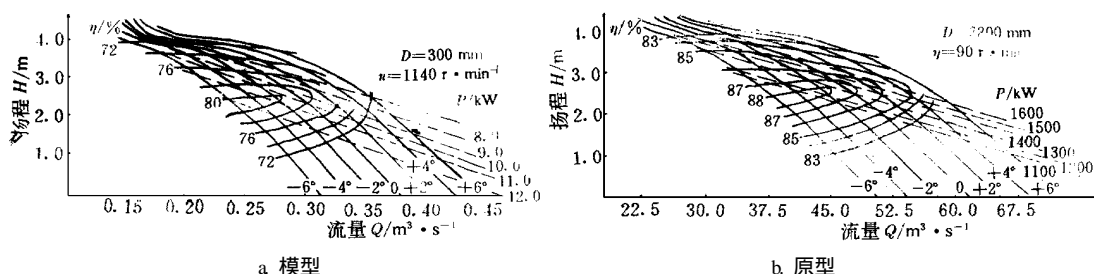


图4 浙江盐官下河泵站轴流泵模型及原型装置的综合特性曲线

Fig 4 The comprehensive characteristic curves of model and prototype axial flow pump

### 3.2.4 飞逸特性试验

为了进行飞逸特性试验,对试验系统进行了改造,使增压泵直接从汽蚀筒吸水,其出口水流经稳压筒到被试泵出口,然后经模型泵从其进口流出,使模型泵作水轮机工况反转,测定模型泵输出力矩为零时的转速,即为反向飞逸转速。

本次模型装置的飞逸特性试验是在 $+2^\circ$ 叶片角下(今后原型装置的实际运行角度),通过旁流闸阀调节使泵出口和进口的水头差在1.8 m 情况下测定飞逸转速为1388 r/min,可见该装置不会进入飞逸状态。

### 3.2.5 原型装置特性

由水力机械相似律,原型装置的特性可以根据模型装置的特性在等 $nD$  值情况下进行相似换算。表1列出了该原型装置最优工况下的参数,原型装置的综合特性曲线如图4b所示。

## 4 结 论

1) 本模型装置的过流量大, $+6^\circ+4^\circ$ 角最高效率点的流量分别为 $0.350 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $0.334 \text{ m}^3/\text{s}$ ,换算至原型装置分别达 $56.16 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $53.59 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2) 本模型装置的效率高,高效范围广。 $-4^\circ$ 角模型装置的最高效率为80.61%,换算至原型装置可达88.33%。并且各角度下模型装置的最高效率均超过72.86%,换算至原型装置在各角度下的最高效率均超过83.67%。

3) 由数模计算优化确定的进、出水流道型式及主要尺寸,经试验效果良好。根据流态观测,未见有旋涡、涡带产生。根据飞逸特性试验结果,该装置不会进入飞逸状态。

4) 根据设计要求,在叶片角为 $+2^\circ$ 时,当额定设计扬程为2.81 m 时,该点模型装置的流量约为 $0.3023 \text{ m}^3/\text{s}$ ,效率为77.13%,换算至原型装置的流量为 $48.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,效率为86.24%,基本符合设计要求,因此可选 $+2^\circ$ 角为实际运行的角度。当然,若必须要达到 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 的设计流量,则可适当增大叶片角,也可适当增加叶轮直径。

5) 泵站机型选择合理,原型泵运行稳定可靠。

## 参 考 文 献

- 1 魏 伟,张道宏 浙江盐官下河泵站机型选择 排灌机械,1998(2): 19~ 22
- 2 Lu L inguang, et al Optimum Hydraulic Design Flow Inlet Passage of a Large Pump Station International Conference Pumps and Systems Beijing, 1992 5: 572~ 576

- 3 施卫东, 关醒凡, 吴俊荣等 水泵模型泵段及水泵模型装置试验台 江苏理工大学学报, 1997(4): 63~68
- 4 施卫东, 关醒凡 水泵模型泵段及水泵模型装置试验台精度分析 水泵技术, 1995(6): 44~47
- 5 施卫东 低扬程轴流泵模型设计与试验研究 农业工程学报, 1996, 12(1): 41~45

## Research on Device Model of Axial Flow Pump on Yanguan Xiahe Pump Station in Zhejiang Province

Shi Weidong

(Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, 212013)

**Abstract** The in-and-out flow passages on Yanguan Xiahe pump station in Zhejiang Province were numerically simulated and calculated with  $k-\epsilon$  turbulence model. Based on the pump type experimental research of axial flow pump device model, it was found that the pump type selection of pump station was rational, and this model was characterized by large discharge, wide range of high efficiency, high device efficiency and stable operation. It has been used to the development of pump station successfully and can be used for reference to the design of other pumps.

**Key words** axial flow pump, numerical simulation, flow passage, device, model, experiment