

# 石港泵站立式轴流泵装置模型试验研究

龙 俊, 王 豹, 高 亮, 傅 金

(江苏省洪泽湖水利工程管理处, 江苏 淮安 223100)

**摘要:** 针对石港泵站立式轴流泵装置, 提出合适的运行方案。通过设计和制作模型泵装置, 测得 6 个叶片角度下模型装置的能量特性、5 个叶片角度下的气蚀特性和 5 个叶片角度的飞逸特性, 并按照相似理论, 换算得到石港泵站原型泵装置特性。研究结果表明, 该轴流泵装置具有较高的装置效率, 在叶片角度  $-2^\circ$  时的最高效率达到 75.8%; 设计扬程时, 泵装置汽蚀余量 7.15 m, 小于招标文件规定, 且满足飞逸转速安全要求。

**关键词:** 立式轴流泵; 装置; 模型; 试验

中图分类号: TV675

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2017) 02-0012-05

## Study on model test of vertical axial-flow pump device of Shigang station

LONG Jun, WANG Bao, GAO Liang, FU Jin

(Hongze Lake Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province,  
Huai'an 223100, Jiangsu)

**Abstract:** According to the vertical axial flow pump device of Shigang Pump Station, a suitable operation scheme is put forward. By designing and manufacturing the model pump device, the energy characteristics of the model device were measured in 6 blades, and cavitation characteristics were measured in 5 blade angles, and the runaway characteristic were measured in the 5 blade angle. According to the similarity theory, the characteristics of the prototype pump device of Shigang Pump Station are obtained. The results show that the axial flow pump device has high efficiency. The maximum efficiency of  $-2^\circ$  at the blade angle is 75.8%. The cavitation performance of pumping device is 7.15m, which is less than the provisions of the tender documents. It also meets the safety requirements of runaway speed.

**Key words:** vertical axial-flow pump; device; model; test

## 1 工程概述

江苏省石港泵站位于江苏省金湖县金北镇, 淮河入江水道左岸, 老站建成于 1974 年, 是抗旱建设的临时站, 安装 20HB-40 型卧式混流泵配 55 kW 异步电动机 240 台套, 总装机容量 13200 kW,

设计流量  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , 为宝应湖地区的主要外排泵站。经过多年运行, 泵站机组老化严重, 电气设备陈旧, 存在较多安全隐患, 且机组效率低、耗能高, 运行可靠性差, 经安全鉴定综合评定为四类站, 列入水利部淮河入江水道整治工程进行更新改造<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2016-10-29

作者简介: 龙俊 (1989-), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事水利工程建设与管理工作。

更新改造泵站设计流量  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ , 泵站设计净扬程  $5.00 \text{ m}$ , 最低净扬程  $0.44 \text{ m}$ , 最高净扬程  $5.83 \text{ m}$ 。泵站拟安装 4 台套叶轮直径  $2.6 \text{ m}$ 、转速  $150 \text{ r/min}$ 、单机流量  $22.5 \text{ m}^3/\text{s}$  的立式轴流泵, 配套电机功率  $1800 \text{ kW}$ , 同步电机, 水泵叶轮中心安装高程  $3.25 \text{ m}$ , 不设备用机组。泵站采用肘型流道进水, 虹吸式流道出水, 真空破坏阀断流。

## 2 模型泵装置试验

### 2.1 模型设计

模型试验装置按相似要求设计并构建。几何相似的模型水泵由中标单位提供, 叶轮外壳采用中开结构, 以利拆装及叶片角度调节。按相似原理全模拟肘型进水流道、泵段、虹吸式出水流道, 并在进、出水流道侧壁分别开设流态观测窗, 模型泵装置见图 1。

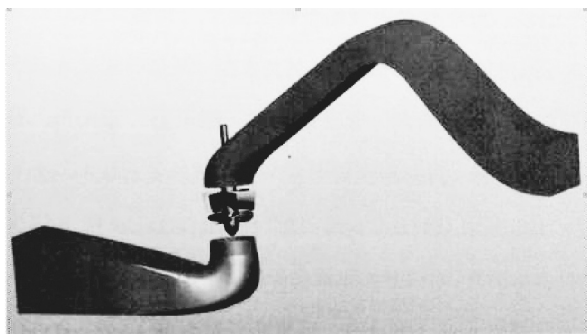


图1 模型泵装置三维透视图

### 2.2 泵装置模型试验系统

石港泵站泵装置模型试验在扬州大学新建流体动力工程试验室高精度泵站试验台上进行。试验台为平面封闭循环系统, 试验台由水力循环系统、动力系统、控制系统和测量系统组成。试验台主要工作参数: 扬程  $-1.5 \sim 20 \text{ m}$ , 流量  $0.05 \sim 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , 转矩  $0 \sim 500 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 转速  $0 \sim 2000 \text{ r/min}$ 。

模型泵装置综合误差小于  $0.35\%$ , 测试精度高于 GB/3216-89、ISO 标准 A 级和水利部行业标准 SL140-2006, 满足招标文件规定的等级精度要求。

### 2.3 试验方法

#### 2.3.1 泵装置扬程测量

泵装置进口测压断面设置在进水箱 1-1 位置 (图 2 的进水测压点断面), 出口测压断面设在压力水箱 2-2 位置 (图 2 的出口测压点断面), 装置扬程  $H$  等于 2-2 断面和断面 1-1 的总能头差 (即

相应于原型泵站的上、下游水位差)。

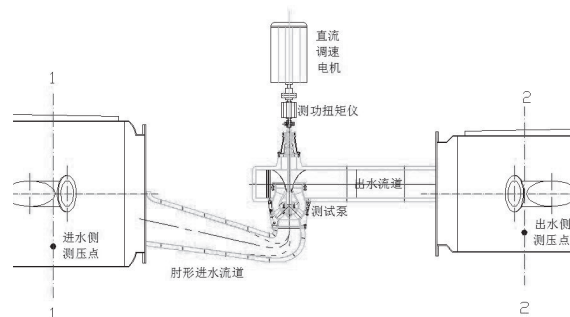


图2 石港泵站泵装置模型测压断面示意图

#### 2.3.2 流量测量

泵装置的流量采用 DN400 电磁流量计测量, 流量计水平布置, 其前、后直管段长度均大于  $4 \text{ m}$ , 安装长度均大于 10 倍直径。

#### 2.3.3 模型泵转矩、转速 (轴功率) 测量

模型泵装置的轴转矩及转速采用测功扭矩仪测量。按照试验规程, 在计算泵装置水力效率时应扣除由轴承与轴封摩擦损失所造成的空载转矩。水泵轴功率由式 (1) 计算<sup>[2]</sup>:

$$P_m = \frac{2\pi n_m (M_m - M_{0m})}{60} \times \frac{1}{1000} \quad (1)$$

式中:

$P_m$ —轴功率, kW;

$n_m$ —转速, r/min;

$M_m$ —泵输入轴转矩,  $\text{N} \cdot \text{m}$ ;

$M_{0m}$ —泵轴空载转矩,  $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

#### 2.3.4 泵装置效率计算

泵装置效率试验值按式 (2) 计算:

$$\eta_m = \frac{\rho g Q_m H_m}{P_m} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$\eta_m$ —模型泵装置水力效率, %;

$\rho$ —水的密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$Q_m$ —流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$g$ —重力加速度,  $\text{m/s}^2$ ;

$H_m$ —泵装置扬程, m;

$P_m$ —水泵轴功率, W。

#### 2.3.5 汽蚀余量测量

汽蚀试验保持流量不变, 通过对封闭循环系统抽真空, 逐步减小系统压力, 使泵内发生汽蚀。按效率下降  $1\%$  确定临界汽蚀余量  $NPSH_r$ 。不同压力下的汽蚀余量值由式 (3) 计算:

$$NPSH_{av} = \frac{p_{av}}{\rho g} + h - \frac{p_v}{\rho g} \quad (3)$$

式中:

$NPSH_{av}$ —汽蚀余量, m;

$p_{av}$ —装置进口测压点的绝对压强(由绝对压力变送器测得), kPa;

$p_v$ —试验水温下水的饱和蒸汽压强, kPa;

$h$ —绝对压力变送器高于水泵转轮中心线的高度值, m。

本项试验已将绝对压力变送器安装位置和水泵转轮中心线同高度, 故  $h=0$ 。

### 2.3.6 飞逸特性试验

泵装置飞逸转速是指泵装置在水轮机工况运行状态且输出力矩为零时的转速。试验前脱开扭矩仪与电机之间的联轴器。飞逸特性试验的反向水头由辅助水泵提供, 通过调节辅助泵的转速来改变反作用水头。利用测功扭矩仪和电磁流量计测量不同水头下水泵稳定反转的转速和倒泄流量<sup>[3-4]</sup>。单位飞逸转速  $n_1'$  和单位倒泄流量  $Q_1'$  由式(4)计算:

$$n_1' = \frac{n_m D_m}{\sqrt{H_m}}, \quad Q_1' = \frac{Q_m}{D_m^2 \sqrt{H_m}} \quad (4)$$

式中:

$D_m$ —模型泵叶轮直径, m;

$H_m$ —模型泵装置试验水头, m;

$n_m$ —试验转速, r/min;

$Q_m$ —模型泵装置倒泄流量, m<sup>3</sup>/s。

## 3 模型试验结果

### 3.1 能量特性试验结果

测试石港泵站模型泵装置 6 个不同叶片角度 ( $-6^\circ$ 、 $-4^\circ$ 、 $-2^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $+2^\circ$ 、 $+4^\circ$ ) 下的泵装置能量特性, 各个叶片角度下的测量工况点均大于 15 个。整理试验结果得到的泵装置模型综合性能曲线见图 3, 按国家标准 GB/T3216-2005 进行换算得到的原型综合性能曲线见图 4。

### 3.2 汽蚀特性试验结果

根据等扬程(即等汽蚀余量)汽蚀特性试验转速为 1300r/min。试验测试了 5 个叶片角度下 ( $-4^\circ$ 、 $-2^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $+2^\circ$ 、 $+4^\circ$ ) 的 5 个工况点的汽蚀性能, 如表 1 所示。

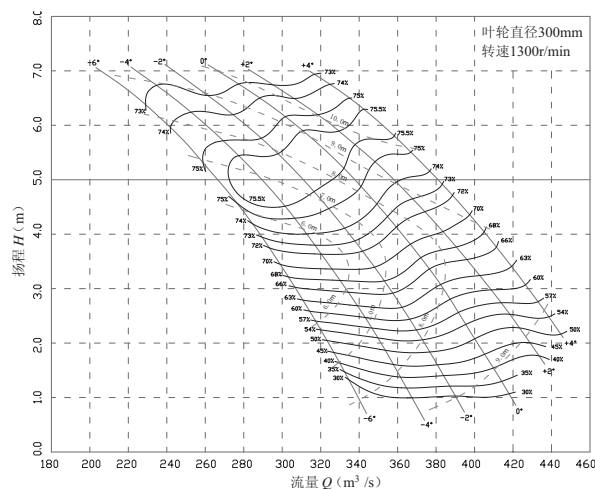


图3 模型装置综合特性曲线

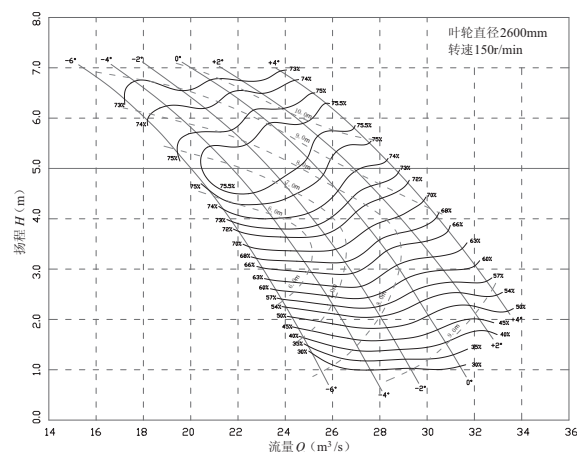


图4 原型装置综合特性曲线

### 3.3 飞逸特性试验结果

对石港泵站泵装置进行了  $-4^\circ$ 、 $-2^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $+2^\circ$  和  $+4^\circ$  共 5 个叶片角度下的模型泵装置飞逸特性测试, 并按公式计算得到单位转速和单位流量, 得到飞逸特性曲线见图 5, 换算到原型的水

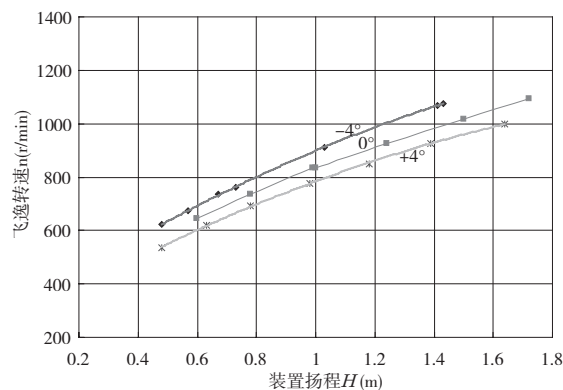


图5 模型泵装置飞逸转速特性曲线

表 1 模型装置临界汽蚀余量数据表

叶片角度 (° )	转速 (r/min )	流量 ( L/s )	扬程 ( m )	汽蚀余量 ( m )
-4°	1300	338	2.60	6.32
	1300	321	3.56	5.42
	1300	300	4.60	6.53
	1300	273	5.48	7.65
	1300	253	6.05	8.50
-2°	1300	380	1.48	8.54
	1300	355	3.10	7.25
	1300	330	4.02	6.82
	1300	306	5.02	7.12
	1300	276	5.95	7.85
0°	1300	401	1.78	8.72
	1300	386	2.69	8.12
	1300	360	3.83	7.68
	1300	328	5.05	8.53
	1300	300	5.95	9.05
+2°	1300	416	2.61	8.21
	1300	388	3.73	8.34
	1300	365	4.60	9.01
	1300	343	5.48	9.80
	1300	323	5.90	10.50
+4°	1300	444	2.35	8.42
	1300	418	3.45	8.63
	1300	390	4.56	9.26
	1300	372	5.32	9.72
	1300	347	6.07	10.52

泵飞逸特性曲线见图 6。

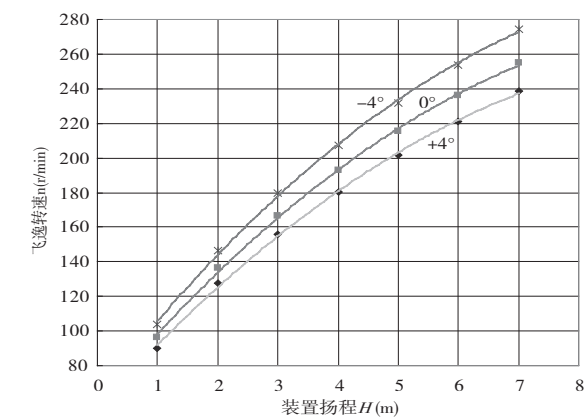


图 6 原型泵装置飞逸转速特性曲线

4 结论与建议

对石港立式轴流泵装置的模型试验结果分析可得以下结论：

(1) 根据模型试验结果在叶片角度 -2°、设计扬程 5.0 m 时, 流量为 23.4 m³/s, 装置效率 75.8%; 设计扬程下的流量略大于设计流量 22.5 m³/s, 效率高于招标文件规定的 75.5%; 在叶片角度 -2°、最大扬程 5.83 m 时, 流量为 21.5 m³/s, 装置效率 74.9%, 效率高于招标文件规定的 73.2%, 满足工程设计要求。

(2) 泵装置汽蚀特性试验结果表明, 叶片角度 -2°、设计扬程 5.0 m 时, 流量为 23.4 m³/s, 泵装

置必须汽蚀余量 7.15 m, 小于招标文件规定的 7.5 m。

(3) 根据泵装置飞逸特性试验结果, 泵装置单位飞逸转速随叶片角度减小而增大, 单位流量则是随叶片角度减小而减小。在最大上下游水位差 5.85 m、叶片角度  $-2^{\circ}$  时, 按公式计算得到最大飞逸转速为 242.9 r/min, 为额定转速 1.62 倍, 小于两倍的额定转速, 满足飞逸转速安全要求。

综上所述, 将原模型泵叶片角度  $-2^{\circ}$  作为石港泵站设计运行角度  $0^{\circ}$ , 可满足工程设计要求。

#### 参考文献:

- [1] 周伟, 陆银军. 石港泵站装置优化设计与模型试验研究 [J]. 人民长江, 2013 (11): 86-88.
- [2] 刘润根, 马晓忠, 詹磊. 黄家坝  $30^{\circ}$  斜式轴流泵装置模型试验研究 [J]. 中国农村水利水电, 2016 (2): 109-111.
- [3] 关醒凡, 赵艳, 商明华. 邳州泵站贯流泵装置模型试验研究 [J]. 水泵技术, 2011 (4): 9-13.
- [4] 周正富, 陈松山, 何钟宁, 等. 斜式轴流泵装置模拟计算研究 [J]. 中国农村水利水电, 2009 (04): 65-68.

(责任编辑: 徐丽娜)

