

# 江苏古邳泵站混流泵装置模型试验

孙丹丹<sup>1</sup>, 陈世杰<sup>2</sup>, 王 斌<sup>1</sup>, 杨 帆<sup>2</sup>

(1. 徐州市水利建筑设计研究院, 江苏 徐州 221002; 2. 扬州大学, 江苏 扬州 225127)

**摘要:** 泵装置物理模型试验是检验和优化泵装置水力性能的重要手段。对古邳泵站的立式混流泵装置整体进行了能量性能、空化性能、振动及噪声测试等物理模型试验, 以获取该泵装置的综合性能。试验结果表明: 该混流泵装置有着较高的效率, 在较大的运行工况范围内叶轮空化性能良好, 且振动和噪声均满足国家规范。

**关键词:** 古邳泵站; 混流泵; 泵装置; 模型试验

**中图分类号:** TV675 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7839 (2017) 06-0032-05

## Model test of mixed flow pump unit for Gupi pumping station in Jiangsu

SUN Dandan<sup>1</sup>, CHEN Shijie<sup>2</sup>, WANG Bin<sup>1</sup>, YANG Fan<sup>2</sup>

(1. Xuzhou Water Conservancy Architectural Design Institute, Xuzhou 221002, Jiangsu;

2. Yangzhou University, Yangzhou 225127, Jiangsu)

**Abstract:** The physical model test is an important means to test and optimize the hydraulic performance of pump unit. In order to obtain the comprehensive performance, energy performance, cavitation, vibration and noise testing of the whole vertical mixed flow pump device for Gupi pumping station are tested by physical model test. The test results show that the mixed flow pump has high efficiency, and the cavitation performance of the impeller is good in the larger operating range.

**Key words:** Gupi pumping station; mixed flow pump; pump unit; model test

## 1 概况

古邳泵站位于徐州市睢宁县境内, 由古邳站等7座泵站组成, 古邳站分三期建成, 共装机24台, 装机总功率4570 kW, 设计抽水流量29 m<sup>3</sup>/s。该泵站的3座泵房建于20世纪70~90年代, 建设标准较低, 建筑物出现了不同程度的裂缝、变形; 机电设备老化、损坏, 装置效率低; 金属结构锈蚀、变形, 不能满足安全运行要求。

古邳泵站: 设计净扬程为8 m, 最低净扬程为

5.1 m, 最高净扬程为10.3 m, 平均净扬程为7.5 m。

根据工程布置与设计, 泵站采用正向进出水布置, 选用5台叶轮直径为1.35 m立式混流泵, 单机流量 $Q=5.8\text{ m}^3/\text{s}$ , 配套电机的型号为YL6302-16, 功率710 kW, 总装机容量为3550 kW。

物理模型试验方法被广泛应用于大中型水泵水力性能的获取<sup>[1-7]</sup>, 本文对古邳泵站的水泵也采用该方法进行研究。

## 2 模型泵装置试验

收稿日期: 2017-02-17

**基金项目:** 国家科技支撑计划项目(2015BAD20B01-02), 江苏省博士后自然科学基金(1601161B)和江苏省高校自然科学基金面上项目(14KJB570001)

**作者简介:** 孙丹丹(1986-), 女, 工程师, 主要从事流体机械研究。

**通讯作者:** 杨帆(1985-), 男, 副教授, 主要从事水泵及泵装置水力特性研究。

## 2.1 试验概况

借鉴文献<sup>[4-5]</sup>中原模型泵 $nD$ 值相等的原则进行几何尺寸换算。模型泵型号为TJ11-HL-05,该模型泵叶轮采用青铜材料制成。模型泵装置示意图见图1。

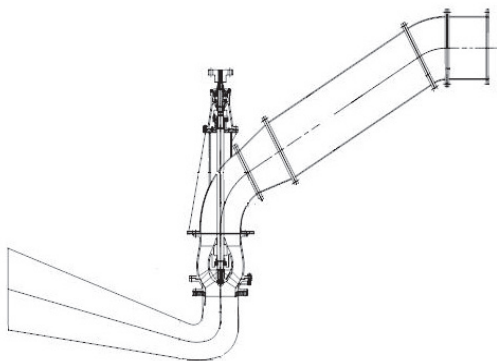


图1 模型泵装置

## 2.2 试验台布置

试验台为高精度水泵模型及装置模型通用试验台,采用立式闭循环水系统。如图2所示。

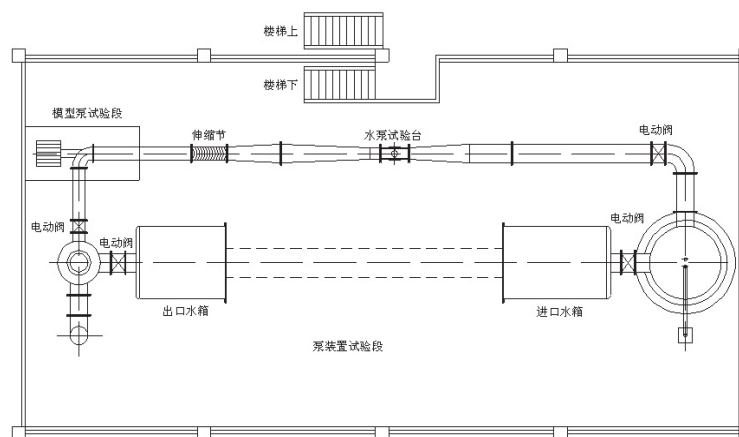


图2 试验台布置图

试验台汽蚀筒直径为 $\Phi 2000$  mm,有效容积 $17.164\text{ m}^3$ ;两只稳流筒直径均为 $\Phi 2200$  mm,单筒有效容积 $31.966\text{ m}^3$ ;装置试验用的两只(进出水箱)直径 $\Phi 2000$  mm,有效容积 $17.281\text{ m}^3$ ;循环系统主管直径为 $\Phi 500$  mm,整个系统总容积为 $78.588\text{ m}^3$ ,保证了系统的稳定运行。系统采用大流量混流泵作为辅助供水泵。试验台主要技术参数如下:最大试验扬程 $100\text{ m}$ ;最大试验流量 $2880\text{ m}^3/\text{h}$ ;最大电机功率 $220\text{ kW}$ (减压启动)、 $160\text{ kW}$ (变频调速)、 $110\text{ kW}$ (直流调速);试验转速 $0\sim 3000\text{ r/min}$ ,直流电机的调速范围 $0\sim 1500\text{ r/min}$ ;辅助泵电机功

率 $160\text{ kW}$ (直流调速)。

试验台可适用的水泵模型转轮直径为 $250\sim 460\text{ mm}$ ,可安装立轴、横轴、斜轴及贯流等各式水泵模型装置。试验台可开展水泵及水泵装置模型的能量特性、汽蚀特性、飞逸特性、压力脉动、振动和噪声、流态及力特性试验。

试验台效率测试综合误差可达到 $0.36\%$ ,优于中华人民共和国水利部标准SL140-2006《水泵模型及装置模型验收试验规程》和GB/T18149-2000《离心泵、混流泵和轴流泵水力性能试验规范精密级》的要求。

## 2.3 试验方法

(1)能量试验方法:试验采用等扬程进行模型试验研究。模型试验转速由下式得到:
$$n_m = \frac{n_p D_p}{D_M}$$
实型泵叶轮直径为 $1350\text{ mm}$ ,转速为 $295\text{ r/min}$ ,模型叶轮直径为 $320\text{ mm}$ ,由计算可得模型试验转速为 $1244.5\text{ r/min}$ 。在能量试验采集数据前,模型泵应在额定工况点运转 $30\text{ min}$ 以上,排除循环系统

中游离气体,其间应检查泵的轴承、密封、噪声和振动状况。性能试验应在无空化条件下进行,试验前进行各测量传感器调零。每条试验曲线试验点数不少于15个。试验从小流量点开始,一直进行到大流量结束。

(2)空化试验方法:空化试验以模型泵转轮中心线高程为基准计算水泵 $NPSH$ 。系统封闭后运行 $20\text{ min}$ ,开始空化试验。取模型泵装置扬程下降 $3\%$ 时的空化余量为临界空化余量( $NPSH$ ) $_c$ 表示。第一个试验点进口水箱通大气,完成第一个点测试后封闭进口水箱,抽真空逐渐加大真空度,

逐渐降低试验系统的  $NPSH$ , 在试验曲线变化较大的区域应有较密集的试验点。扬程下降足够后完成该工况点测试, 测量工况点数大于 10 个。扬程下降值以空化试验的起始点为基准, 该点必须与性能试验时的测试数据一致。

空化余量  $NPSH$  计算公式:

$$NPSH = H_1 + \frac{P_{amb} - P_v}{\rho_1 g} \quad (1)$$

式中:

$NPSH$ —相对  $NPSH$  基准面的入口绝对总水头与汽化压强水头的差;

$H_1$ —泵入口截面处的总水头, m;

$P_{amb}$ —当地大气压强值, Pa;

$P_v$ —汽化压强值, Pa。

(3) 振动试验方法: 通常主要测点的具体位置应通过试测确定, 即在测点的水平圆周上试测, 将测得的振动值最大处定为测点。每个测点都要在 3 个互相垂直的方向(水平、垂直、轴向)进行振动测量。本次模型泵振动试验的主要测点选在轴承座部位, 辅助测点选在模型泵出水口及进水口位置。

(4) 噪声试验方法: 在测量离心泵、混流泵、轴流泵等叶片泵的噪声时, 应在规定转速(允许偏差为  $\pm 5\%$ )、规定流量下进行。噪声测点位置的选择如图 3 所示。包括泵周围的测点(P1 ~ P4)和原动机(电机)周围的测点(M1 ~ M3)共计 7 个。测点离泵体表面水平距离为 1 m。测点高规定如下: 泵的轴线距离声反射面(地面)的高度为泵的中心高, 当泵的中心高小于或等于 1 m 时, 测点高规定 1 m。

当泵的中心高大于 1 m 时, 测点高与中心高相同。当模型泵运行在规定工况点, 测量并记录各测点位置的 A 计权声压级  $L'_{PA}$ 。当泵停止运行时, 测量并记录各测点位置背景噪声的 A 计权声压级  $L''_{PA}$ 。

各测点背景噪声修正值为  $K_{1A}$ :

$$K_{1A} = -101g(1 - 10^{-0.1\Delta L_A}) \quad (2)$$

其中:  $\Delta L_A = L'_{PA} - L''_{PA}$

若  $\Delta L_A > 10 \text{ dB}$ , 不需修正。

### 3 模型试验结果与分析

#### 3.1 能量特性试验

测试古邳泵站模型泵装置 4 个不同叶片安放角( $+2^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $-2^\circ$ 和 $-4^\circ$ )时立式混流泵的能量特性曲线分别如图 4 所示。

由模型试验结果可知, 4 种叶片安放角时, 该试验泵的流量—扬程、流量—功率曲线符合高比转数混流泵装置特性规律, 即扬程、轴功率随流量减少而增大, 最高效率随叶片安放角减小而增大。4 种叶片安放角  $+2^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $-2^\circ$ 、 $-4^\circ$  的水泵最高效率分别达到 82.47%、83.39%、83.41%、84.79%。在叶片安放角为  $0^\circ$  时, 对应设计净扬程 8 m 时的流量为  $1338 \text{ m}^3/\text{h}$ 、效率为 82.21%, 但最高净扬程 10.3 m 时的流量为  $1146 \text{ m}^3/\text{h}$ 、效率为 81.78%。

#### 3.2 空化性能试验

按照空化相似准则确定空化试验转速为 1244.5 r/min, 即空化余量原型与模型相等。试验测试了 4 个不同叶片安放角( $+2^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $-2^\circ$ 、 $-4^\circ$ )的模型泵装置空化特性。临界空化余量按照 GB/

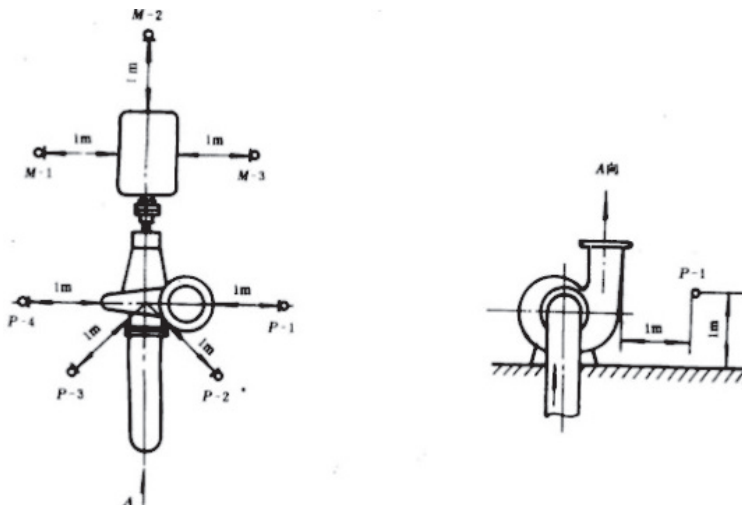


图 3 单级单吸离心泵噪声测点示意

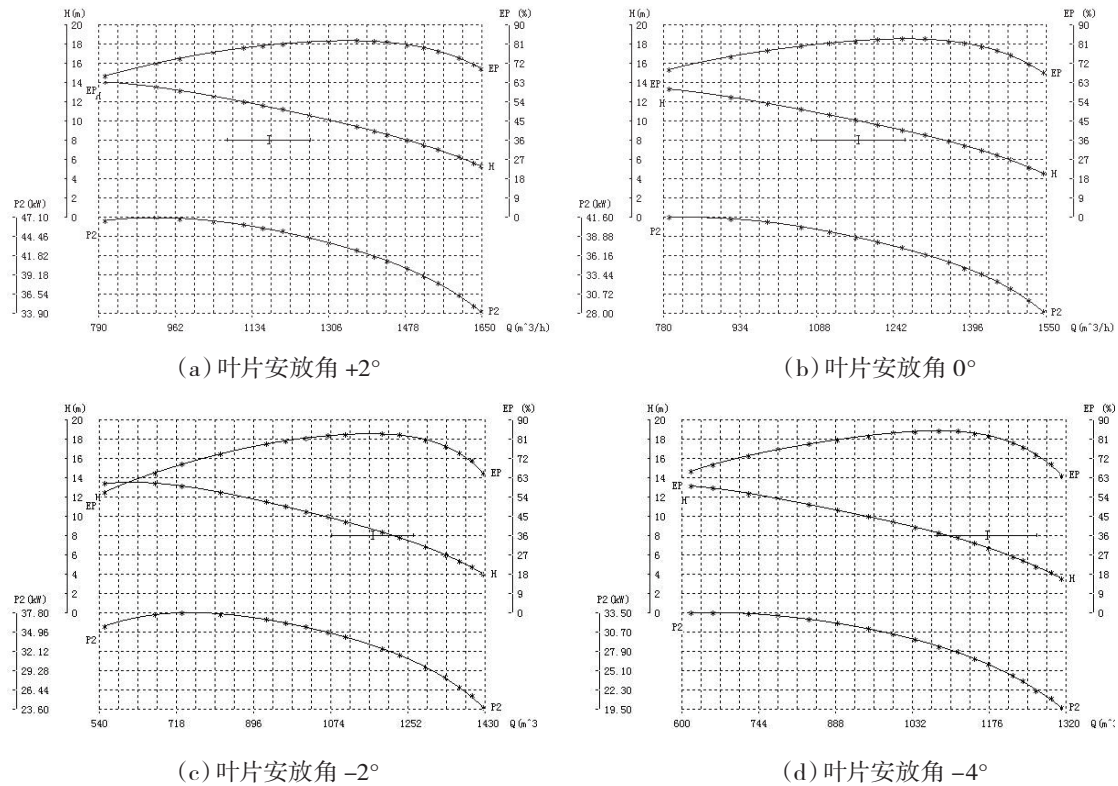


图4 不同叶片安放角时立式混流泵能量性能曲线

T 3216-2005 进行, 分别在 5 个流量点下进行空化试验, 空化试验结果如表 1 所示。

试验结果表明, 对水泵运行工况的较大范围内, 4 个叶片安放角下的空化余量均小于 8 m, 只

表1 泵装置空化试验

叶片角 ( $^\circ$ )	扬程 m	流量 $\text{m}^3/\text{h}$	空化余量 m
$+2^\circ$	7.53	1491.47	7.63
	8.89	1371.57	6.48
	10.15	1252.34	5.96
	10.95	1172.46	5.59
	11.88	1064.15	5.48
$0^\circ$	5.18	1514.04	7.97
	6.99	1398.54	6.70
	8.17	1302.51	5.78
	9.21	1207.07	5.37
	10.18	1116.43	5.04
$-2^\circ$	4.49	1393.96	7.15
	6.49	1289.53	6.52
	7.79	1172.32	5.56
	8.98	1099.87	5.48
	10.29	979.04	5.33
$-4^\circ$	3.58	1300.59	7.41
	6.01	1191.13	6.37
	7.62	1111.29	5.93
	8.98	1010.88	5.52
	10.02	910.13	5.22



是在叶片安放角为 $0^\circ$ 大流量时的空化性能较差。

模型泵装置的综合特性曲线如图5所示。

模型泵最高效率均在81%~84%之间,该水泵效率较高。

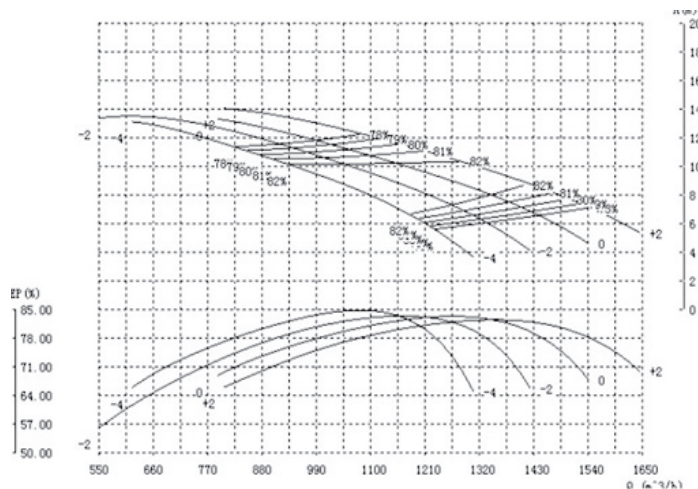


图5 试验装置模型综合特性曲线

### 3.3 振动试验

试验测试了4个不同叶片角度( $+2^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $-2^\circ$ 、 $-4^\circ$ )的模型泵装置振动情况,最大振动烈度分别达到3.44 mm/s、3.27 mm/s、3.38 mm/s、3.15 mm/s,由试验可知模型泵装置运行稳定性良好。振动试验符合JB/T 8097-1999《泵的振动测量与评价方法》的要求。

### 3.4 噪声试验

试验测试了4个不同叶片安放角( $+2^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $-2^\circ$ 、 $-4^\circ$ )的模型泵装置噪声情况,评价噪声级别分别为83.8dB(A)、83.3 dB(A)、82.9dB(A)、82.5dB(A),规定值为85.7dB(A),可知噪声在控制范围之内。噪声试验符合JB/T 8098-1999《泵的噪声测量与评价方法》的要求。

## 4 结论

对江苏古邳泵站立式混流泵模型试验分析,可得出以下几点结论:

(1)由泵装置模型试验结果可知,该水泵在各运行工况时均能安全稳定高效运行,同时也能够满足古邳泵站技术改造的设计要求。

(2)古邳泵站模型泵装置最高效率点在叶片安放角为 $-4^\circ$ 时,流量1116.129 m<sup>3</sup>/h,扬程7.76 m,轴功率27.82 kw,效率84.79%。4个叶片安放角下

(3)TJ11-HL-05混流泵水力模型与肘形进水流道、直管式出水流道组成的泵装置在各运行工况时空化余量均小于8m,泵装置空化性能优良。

(4)水泵模型装置的振动和噪声试验中测得的试验结果均低于国家标准的要求,在装置运行中满足工程安全。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 高钦,郭江.博斯腾湖东泵站模型装置试验研究[J].水电站机电技术,2005,28(6):38-40.
- [3] 杨敬江.排涝泵站立式轴流泵装置模型试验[J].排灌机械,2008,26(6):20-23.
- [4] 施卫东,关醒凡. $30^\circ$ 斜轴泵模型装置的试验研究[J].中国农村水利水电,1997(3):28-30.
- [5] 费海蓉,吕赛军,戴龙洋,等.大套一站水泵装置模型试验研究[J].水利与建筑工程学报,2013,11(1):126-129.
- [6] 关醒凡,张大恩,李焰东.南水北调东线工程睢宁二站混流泵模型试验研究[J].水泵技术,2011(2):6-11.
- [7] 杨帆,汤方平,刘超.大型低扬程立式蜗壳混流泵装置模型试验研究及分析[J].水力发电学报,2013,32(3):234-240,257.

(责任编辑:王宏伟)