

# 负扬程时魏村枢纽扩容改建工程 泵站机组现场测试分析

邵春楼<sup>1</sup>, 殷奇红<sup>1</sup>, 季文杰<sup>2</sup>, 刘丹杰<sup>1</sup>, 杨帆<sup>2</sup>

(1. 常州市城市防洪工程管理处, 江苏 常州 213000; 2. 扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:** 针对感潮河段魏村枢纽扩容改建工程双向立式泵站负扬程工况进行引水运行, 采用现场测试方法分析不同负扬程时机组的摆度、振动、压力脉动及噪声, 为泵站机组的安全运行和技术改进提供技术依据。随着泵站负扬程的减小, 叶片安放角度逐渐增大, 主轴的摆度呈逐渐增大的趋势。随着泵站扬程及叶片安放角逐渐增大, 电机层和联轴器层的噪声均呈先减小后增大的变化趋势。在相同负扬程时, 叶片安放角应向负角度调节有利于泵站机组运行的稳定性。

**关键词:** 泵站运行; 负扬程; 现场测试

中图分类号: TV675 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839(2025)10-0069-0004

## Field testing and analysis of pumping station unit for the Weicun Hub expansion and reconstruction project under negative head

SHAO Chunlou<sup>1</sup>, YIN Qihong<sup>1</sup>, JI Wenjie<sup>2</sup>, LIU Danjie<sup>1</sup>, YANG Fan<sup>2</sup>

(1. Changzhou Urban Flood Control Engineering Management Office, Changzhou 213000, China;

2. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** In view of the negative head condition of the two-way vertical pumping station in the expansion and reconstruction project of Weicun Hub in tidal reach section, the swing, vibration, pressure pulsation and noise of the unit under different negative head conditions are analyzed by field testing, which provides technical basis for the safe operation and technical improvement of the pumping station unit. With the decrease of the negative head of the pumping station, the blade placement angle gradually increases, and the swing of the main shaft gradually increases. With the increase of pumping station head and blade placement angle, the noise of motor layer and coupling layer decreases first and then increases. At the same negative head, the blade placement angle should be adjusted to a negative angle, which is conducive to the stability of the operation of the pumping station unit.

**Key words:** pumping station; negative head; field testing

收稿日期: 2025-06-24

基金项目: 江苏省水利科技项目(2024032); 常州市水利科技项目(CZSLKJ[2025]02)

作者简介: 邵春楼(1978—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事泵站运行管理工作。E-mail: 43938459@qq.com

通信作者: 杨帆(1985—), 男, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事泵站工程科研与教学工作。E-mail: fanyang@yzu.edu.cn

## 1 概述

魏村枢纽扩容改建工程泵站位于江苏省长江扬中河段,该河段既受到内陆径流影响,又受外海潮汐侵入的影响,属于典型的感潮河段泵站。泵站排水设计流量为 $160\text{ m}^3/\text{s}$ ,引水设计流量为 $60\text{ m}^3/\text{s}$ ,叶轮直径为 $3\ 100\text{ mm}$ ,转速 $125\text{ r}/\text{min}$ ,叶片角度采用液压全调节方式,泵房剖面示意图如图1所示。

因长江侧潮汐的影响,该泵站机组在引水工况时易出现负扬程运行情况,为明确负扬程时该泵站机组运行稳定性,对特定机组进行了现场测试。当前,现场测试已成为了解泵站机组运行状况及泵站建设质量的重要方法之一,泵站现场测试研究主要集中在泵站机组能量性能现场测试<sup>[1-2]</sup>,泵站机组噪声现场测试<sup>[3-4]</sup>,泵站流量的现场测试<sup>[5-6]</sup>,泵站机组振动及土建的现场测试<sup>[7-10]</sup>等方面。基于当前已有的研究方法,对魏村枢纽扩容改建工程泵站机组的摆度、振动、压力脉动及噪声进行现场数据采集及分析,以期同类泵站的负扬程运行提供技术参考。

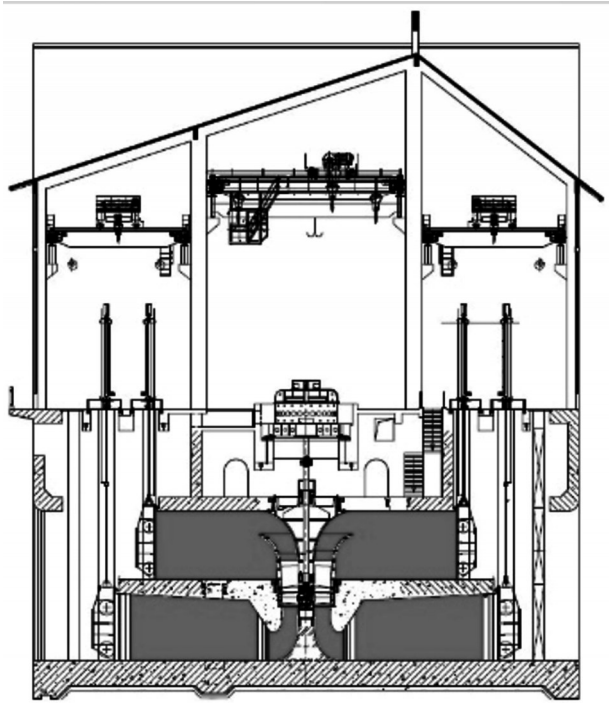


图1 泵房剖面示意图

## 2 测试设备及方法

泵站机组的流量采用Risonic超声波模块,压力脉动测量采用PAA-23SY型压阻式压力传感器,振

动测量采用Velomitor CT型振动传感器、MH112-1A振动传感器,摆度测量采用IN-081摆度传感器,噪声测量采用AWA5661声级计,各传感器的安装测点示意图如图2所示。以3#机组为测试对象,现场测试依据《泵站现场测试与安全检测规程(SL548—2012)》及《泵站设备安装及验收规范(SL/T317—2023)》要求开展。

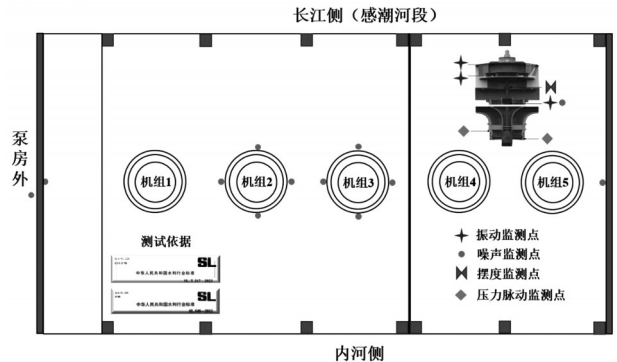


图2 各传感器测点示意图

## 3 测试结果与分析

不同扬程时各叶片安放角下主轴摆度的测试结果如图3所示,在负扬程 $-0.6\sim-0.25\text{ m}$ 间,各叶片安放角时水泵主轴的摆度均小于 $300\ \mu\text{m}$ ,满足《泵站设备安装及验收规范(SL/T317—2023)》中绝对摆度允许值的要求。随着泵站负扬程的减小,叶片安放角逐渐增大,主轴的摆度呈逐渐增大的趋势。在负扬程 $-0.35\sim-0.25\text{ m}$ 间,相同叶片安放角 $+2^\circ$ 时,主轴的摆度呈减小趋势;以负扬程 $-0.31\text{ m}$ 、叶片安放角 $+2^\circ$ 时主轴的摆度平均值为基准,在负扬程 $-0.6\text{ m}$ 、叶片安放角 $-6^\circ$ 时主轴摆度均值减少了 $6.90\%$ ;在负

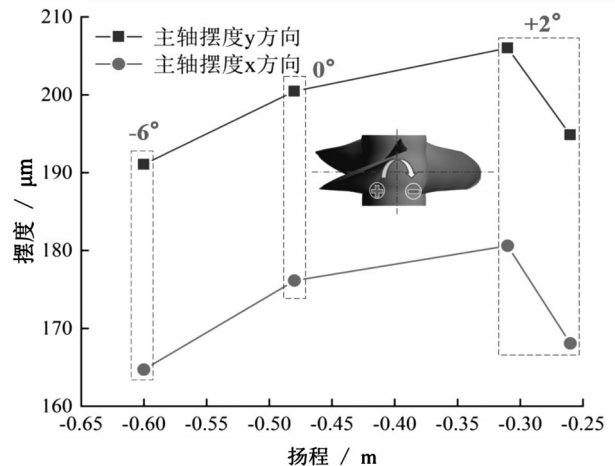


图3 不同扬程时主轴摆度

扬程-0.26 m、叶片安放角+2°时主轴摆度均值减少了5.02%,表明在相同负扬程时,叶片安放角向负角度调节有利于泵站机组运行的稳定性。

不同扬程时各叶片安放角时,电动机的上机架和下机架的水平垂直振动位移峰峰值如图4所示。各扬程时不同叶片安放角下电动机的上机架和下机架的垂直方向振动位移峰峰值均大于水平方向数值,上机架的垂直方向振动位移峰峰值平均是水平方向振动位移峰峰值的1.411倍,下机架的垂直方向振动位移峰峰值平均是水平方向振动位移峰峰值的1.275倍。测试扬程范围内,电动机上机架和下机架的垂直方向振动峰峰值最大为25.06 μm,水平方向振动峰峰值最大为19.26 μm,均小于限值30 μm,满足《在非旋转部件上测量和评价机器的机械振动(GB/T 6075.5—2002)》的规定。以上机架的振动峰峰值为基准,下机架在垂直方向振动峰峰值平均增幅为7.87%,水平方向振动峰峰值平均增幅为19.25%,下机架的振动略微大于上机架。机架的垂直方向振动和水平方向的振动与扬程未呈正相关性,主要因振动受电动机自身固定约束、机械部件及叶轮所受水流条件等多因素耦合共同所致。

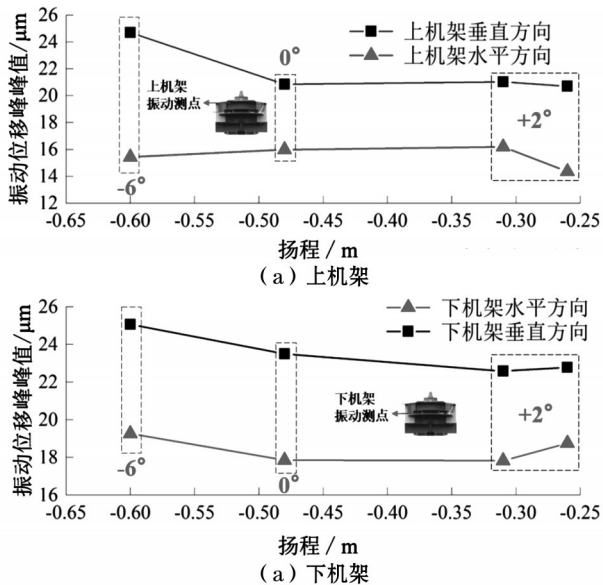


图4 不同扬程时电动机机架的振动位移

以负扬程-0.31 m、叶片安放角0°为对象,2#机组和3#机组的电动机上机架的垂直方向和水平方向的振动主频基本一致,主频均为18.5 Hz,为8.89倍的轴频。2#机组和3#机组水泵后导水锥顶盖的垂直方向振动主频和水平方向振动主频存在差异性,水平方向的振动主频高于垂直方向的振动主频,垂直方向振动主频均为12.5 Hz,但水平方向振动主频

存在差异性。2#机组水泵后导水锥顶盖的水平方向振动主频与3#机组水泵后导水锥顶盖的水平方向振动主频相差了3.365倍轴频,结构的振动主频和自身约束、材料属性及运行工况等均有一定的关联性。

叶轮的进出口面共环向布置8个压力脉动监测点,为了便于分析,采用压力脉动峰峰值均值进行分析。压力脉动峰峰值均值为各压力脉动监测点压力脉动峰峰值的平均值,结果如图5所示,其计算式为

$$\Delta P = \frac{\sum_{i=1}^4 P_i}{4} \tag{1}$$

式中:  $\Delta P$  为各监测点压力脉动峰峰值的平均值;  $i$  为测点的序号;  $P_i$  为第  $i$  个监测点的压力脉动峰峰值。

在泵站扬程-0.65~-0.25 m期间,叶轮进口的压力脉动峰峰值均大于叶轮出口,各扬程工况时叶轮进口的压力脉动峰峰值平均为2.124倍叶轮出口的压力脉动峰峰值。随着泵站水位差的减小,叶片逐渐向正角度调节时,叶轮进出口压力脉动峰峰值的比值逐渐增大,当泵站处于负扬程运行时,叶片安放角宜向负角度调节。在叶片安放角-6°,泵站扬程为-0.6 m时,叶轮进口的压力脉动峰峰值为2.82倍扬程,叶轮出口的压力脉动峰峰值为1.65倍扬程。在叶片安放角-2°,泵站扬程-0.48 m时,叶轮进口的压力脉动峰峰值为3.61倍扬程,叶轮出口的压力脉动峰峰值为1.67倍扬程。在叶片安放角0°,泵站扬程-0.31~-0.26 m时,叶轮进口的压力脉动峰峰值平均为6.37倍扬程,叶轮出口压力脉动峰峰值平均为2.76倍扬程,其值远超泵站在运行扬程范围内水泵进水口压力脉动值与扬程之比不大于2%的要求,

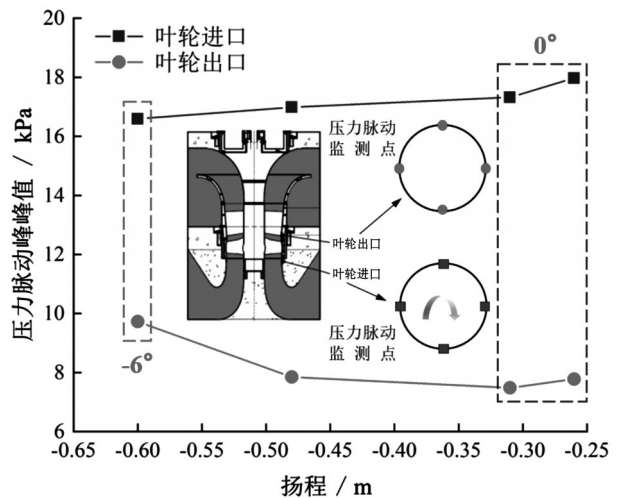


图5 叶轮进出口压力脉动峰峰值

表明在负扬程运行时,泵站水泵进出口压力脉动峰值均较大,水流条件复杂,易导致机组振动加剧和噪声增大。

不同扬程时电机层噪声及联轴器层噪声的声压级如图6所示。在负扬程 $-0.65\sim-0.25$  m范围内,随着泵站扬程的增大,叶片安放角逐渐增大时,电机层和联轴器层的噪声均呈先减小后增大的变化趋势,噪声级均超过85 dB(A),噪声主要来源于机械和流体,负扬程时泵内涡旋诱发水力噪声较大,其次泵房结构自身隔音和传声也有一定影响。在相同叶片安放角时,随着泵站负扬程的增大,水泵层和联轴器层的噪声也逐渐增大。在泵站负扬程 $-0.27$  m,且机组2、机组3运行时,水泵层的噪声分布如图7所示。电机层的平均声压级在80 dB(A)以上,而当噪声级超过70 dB(A)易影响工作效率。根据《声环境质量标准(GB 3096—2008)》规定按声功能区4b类划分,在负扬程时厂区外噪声已超过70 dB(A),但场区外无住宅区,泵站噪声的影响主要为厂区内工作人员。

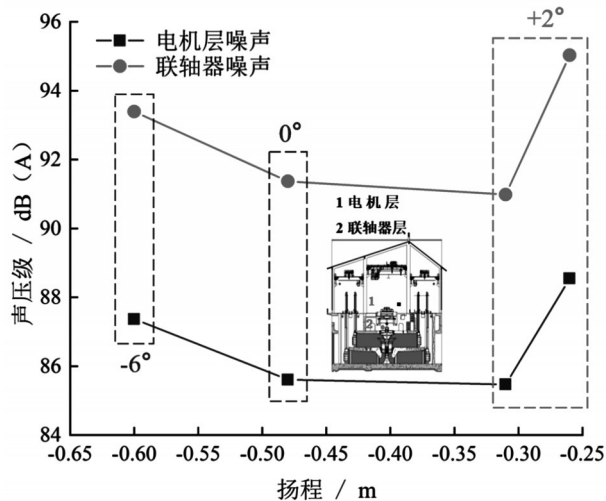


图6 不同扬程时电机层与联轴器层的噪声

## 4 结论

(1)随着泵站负扬程的减小,叶片安放角逐渐增大,主轴的摆度呈逐渐增大的趋势。各负扬程工况时,不同叶片安放角时电动机的上机架和下机架的垂直方向振动位移峰峰值均大于水平方向数值,机架的垂直方向振动和水平方向的振动与扬程未呈正相关性。

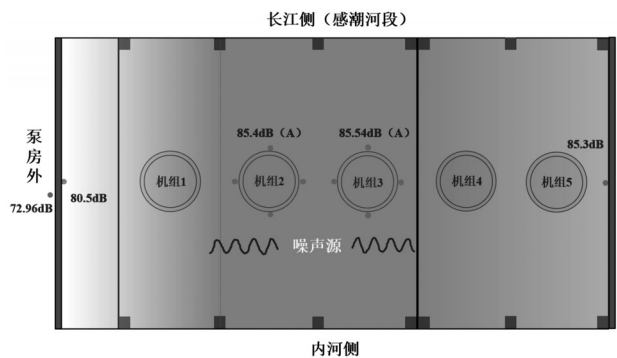


图7 电机层噪声分布图(叶片安放角+2°)

(2)在负扬程工况时,叶轮进口的压力脉动峰值均大于叶轮出口。随着泵站负扬程的增大,叶片逐渐向正角度调节时,叶轮进出口压力脉动峰值的比值逐渐增大。在相同叶片安放角时,随着泵站负扬程的增大,水泵层和联轴器层的噪声也逐渐增大。

(3)双向立式泵装置机组应尽量避免在负扬程运行,若在负扬程运行时,叶片安放角应调向负角度,更有利于泵站机组运行的稳定性。

### 参考文献:

- [1] 朱献军,刘丹杰,邵春楼,等. 感潮河段双向立式泵站机组性能测试及分析[J]. 黑龙江水利科技, 2025, 53(4): 99-102.
- [2] 吕鹏刚,袁文娟,曾嵘. 东江一期泵站机组现场效率试验与结论分析[J]. 小水电, 2025(2): 43-46.
- [3] 蒋红樱,刘金生,丁平,等. 某潜水贯流泵站噪声现场测试与分析[J]. 中国农村水利水电, 2022(10): 148-153.
- [4] 丁平,刘金生,金晓宇,等. 大型贯流泵站噪声现场测试与降噪措施分析[J]. 水科学与工程, 2023(5): 49-52.
- [5] 刘辉,刘海关,胡文竹,等. 差压法测流在邓楼泵站中的应用及分析[J]. 中国农村水利水电, 2020(3): 166-168.
- [6] 吉庆伟,李进东,张一祁,等. 时差式超声波流量计在刘老洞泵站中的应用及分析[J]. 浙江水利科技, 2021, 49(6): 68-71.
- [7] 李扬,张宇,孙岚清,等. 大型泵站立式全调节轴流泵振动特性试验[J]. 中国农村水利水电, 2018(3): 81-91.
- [8] 吴安凯,莫岳平,王玉杰,等. 立式泵机组振动现场测试与分析[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(9): 47-49.
- [9] 李进东,蔡一平,李忠斌,等. 扬州市瓜洲泵站工程现场测试及分析[J]. 水利科技与经济, 2022, 28(1): 165-170.
- [10] 蔡一平,孙圣杰,许旭东,等. 江苏省界牌泵站工程现场检测及分析[J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(12): 46-51.