

船坞泵站泵装置模型优化试验研究

葛 强¹ 陈松山² 施 伟² 王林锁² 严登丰²

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098 2.扬州大学水利科学与工程学院,江苏 扬州 225009)

摘要 对船坞泵站泵装置进行了模型试验,讨论了水泵参数换算、试验结果及误差分析等问题,研究了导流方案与悬空高度对泵装置性能的影响.为提高泵装置性能,将原出水管虹吸下降段及出口管径设计成渐扩管.试验结果表明,在悬空高度 $h_p = 0.76D_0$ 时,各种工况下进水流态平顺,流道内无涡带发生,水泵运行平稳,装置效率可提高 0.5%~1.5%.

关键词 船坞泵站;泵装置;模型试验;试验参数

中图分类号 TV675 TV131.6

文献标识码 A

文章编号 1000-198X(2005)03-0327-04

模型验收试验是检验水泵及水泵装置是否具有安全、稳定及高效率指标的一种有效手段^[1].青岛船舶公司为达到船坞所需的供排水要求,在两船坞间兴建一泵站,选用 3 台立轴导叶式混流泵,提水扬程 $H = 6.1 \sim 13.0$ m,流量 $Q = 12.0 \sim 8.0$ m³/s.泵站进水采用涵箱型进水流道^[2~5],出水采用虹吸流道,真空破坏阀截流.为确保船坞泵站建成后在任意工况下均能安全、高效地运行,可靠地发挥效益,青岛船舶公司委托扬州大学进行泵装置特性优化试验.试验结果论证了该船坞泵站水泵装置优化设计的合理性,提出了有利于船坞泵站运行管理的结论和建议.

1 船坞泵站模型泵装置设计及测试方法

1.1 船坞泵站模型泵装置设计

试验模型泵弯管出口直径 $D_0 = 350$ mm,根据两水泵厂家产品规格受试泵外形安装尺寸及叶轮直径 D ,模型比按出水管径比确定 $\lambda_L = 1800/350 = 5.143$,模型试验转速根据泵装置试验规范按等扬程条件确定^[6].几何相似的模型泵有 A、B 两种水力模型,按相似原理模拟箱涵式进水流道、虹吸出水流道等.为实现喇叭口不同悬空高对装置性能影响试验,观测和摄录进水流道泵喇叭口流态,模型进水流道设计成可整体上下移动的结构形式,在底板和喇叭口四周分别粘贴示踪流向的红丝线,喇叭口流道箱壁开设透明有机玻璃观察窗直接观测和摄录进水流态,虹吸出水流道驼峰段用全透明有机玻璃制作,直接观测两种水泵启动时虹吸形成过程及水泵正常稳态运行时驼峰流态^[5].

1.2 船坞泵站模型验收试验装置

船坞泵站泵装置模型试验在江苏省水利水电工程重点实验室泵站试验台进行.试验台扬程(水头)范围 $-1.0 \sim 16$ m,流量范围 $0.1 \sim 0.8$ m³/s,转速范围 $0 \sim 1600$ r/min,轴功率范围 $0 \sim 40$ kW.泵站试验台为平面布置式,试验系统由水力循环系统、动力控制系统和数据测试系统组成.泵及泵装置动力性能试验中,水位、扬程、流量、转速、扭矩、轴功率等测定通过传感器和各接口组接于专用微机测试系统,实现试验数据实时采样和自动处理.模型试验泵装置见图 1.

1.3 船坞泵站模型验收试验测试方法

流量 Q 测量:采用 $\varnothing 500$ mm LDG 型电磁流量计,配 IMT-25 型数显转换器,自带通讯口与专用微机测试系统通讯显示、记录;泵装置扬程(H_{sy})和进水池水位 H 测量:采用压差变送器,检定精度 0.15 级,测量值接专用微机系统显示、记录;轴功率 P 、转速 n 测量:采用 JN338-200A 型扭矩仪,检定精度 0.5 级,转速由直流调速装置数字设定,精度 0.01%,轴功率和转速测量值接专用微机系统显示、记录.

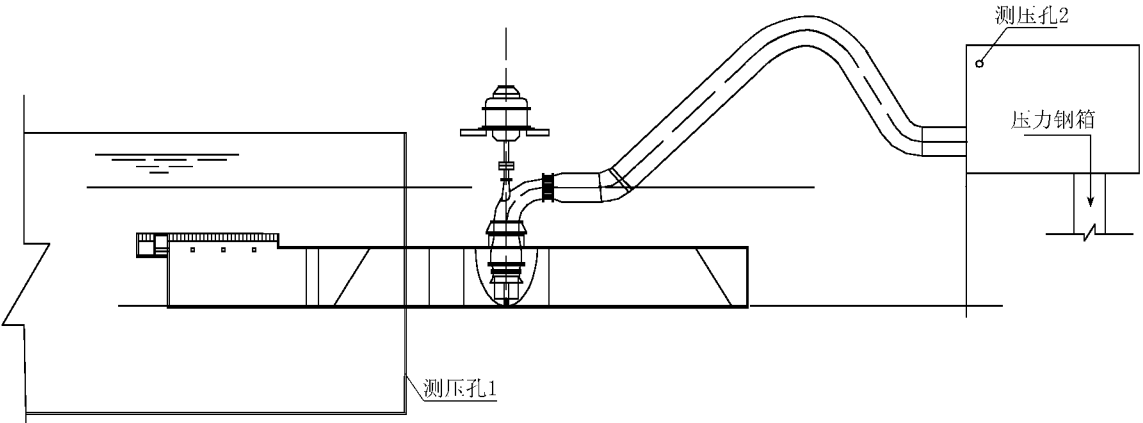


图1 模型试验泵装置

Fig.1 Pump sets for model experiment

2 船坞泵站泵装置模型试验结果

2.1 进、出水流道水力优化及流态观测

2.1.1 进水流道水力优化及流态观测

喇叭口悬空高度直接影响泵站底板高程和水泵进口流态等,愈是靠近水泵进口处,固壁边界的形状对水泵装置的运行影响愈大.为使箱涵式进水喇叭口四周环向进水,满足泵进口轴向水流速度分布均匀要求,在模型试验中,设计了3种不同的喇叭口悬空高度 h_p 组合4种导流墩型线方案,用模型泵A完成12次试验.不同喇叭口悬空高度与导流墩组合时进水流道流态观测结果见表1.模型试验结果表明:悬空高度 $h_p = 0.76D_0$ 和 $h_p = 0.62D_0$ 及与之组合的导流墩方案1、方案2对泵装置动力特性的影响不明显;但悬空高度 $h_p = 0.2D_0$ 和 $h_p = 0.3D_0$ 对泵装置效率特性有影响,其效率明显低于前者.

表1 喇叭口悬空高度与导流墩组合对进水流道流态的影响

Table 1 Inflow pattern influenced by bellmouth entrance height and diversion pier		
悬空高度	导流墩方案	流态观测结果
$h_p = 0.76D_0$	无导流墩	无连续附底涡带
	方案1	无有害漩涡出现
	方案2	无有害漩涡出现
	方案3	无明显漩涡,但泵机组特性参数跳动值较大
$h_p = 0.62D_0$	无导流墩	有间隙性附底、附壁涡带
	方案1	喇叭口两侧偏后有漩涡出现
	方案2	无有害漩涡出现
	方案3	无明显漩涡,但泵机组特性参数跳动值较大
$h_p = 0.48D_0$	无导流墩	有连续的附底、附壁涡带
	方案1	喇叭口两侧偏后有漩涡出现
	方案2	喇叭口两侧偏后有间隙性漩涡
	方案3	喇叭口两侧偏后有漩涡出现,且泵机组特性参数跳动值较大

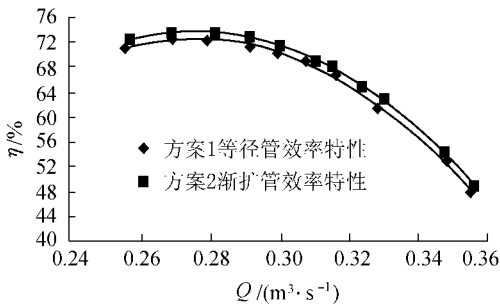


图2 虹吸管出口等径管与渐扩管对模型泵装置性能的影响

Fig.2 Performance of pump sets installed with constant-diameter pipe and gradually-expansive pipe at outlet of siphon tube

2.1.2 泵装置出水管出口段优化

原型出水管虹吸下降段及出口管径为DN2000,当运行流量 $Q = 8.0 \sim 12.0 \text{ m}^3/\text{s}$,出水流速 $V = 2.55 \sim 3.82 \text{ m/s}$ 时,出口局部损失33.1~74.5 cm,表明出口流速与出口局部损失较大.为提高泵装置的效率,将原出口等径管DN2000设计成 $\varnothing 2500$ 渐扩管,则同样工况下出口流速为 $V = 1.63 \sim 2.45 \text{ m/s}$ 时,出口局部损失13.6~30.5 cm,虹吸管出口等径管与渐扩管对泵装置性能的影响见图2.试验结果表明,改进后的方案泵装置性能明显得到改善,装置效率可提高0.5%~1.5%.

2.2 泵装置动力特性试验

对A、B两台混流泵模型进行了装置动力特性试验,测得两模型泵叶片 0° 和 -4° 装置的动力特性.模型泵装置动力特性见图3(a)和图3(b).扬程、流量和功率可按相似律换算成原型泵

装置动力特性^[7].

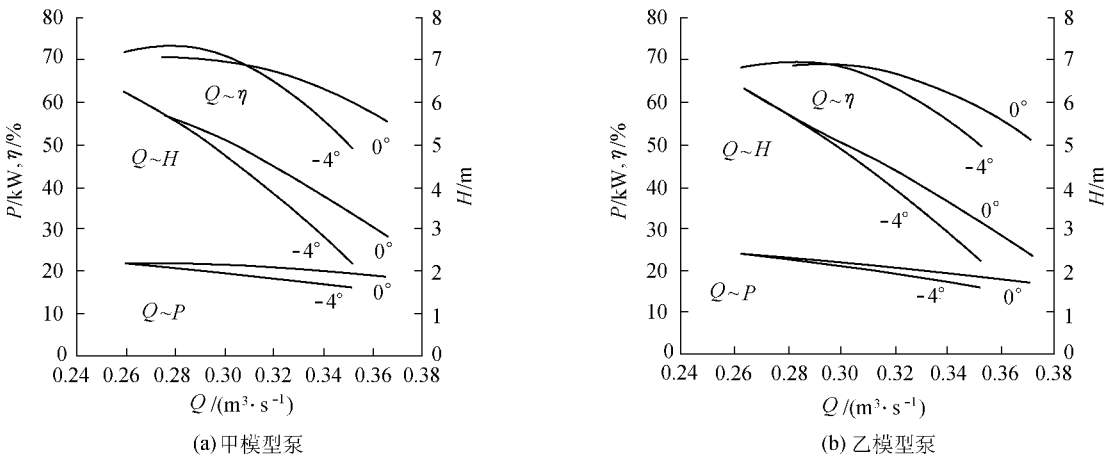


图 3 模型泵装置 0°、-4° 动力性能曲线

Fig.3 Dynamic characteristic curve of model pump sets for blade angle of 0° and -4°

3 效率综合误差分析

模型泵装置试验参数测量误差主要包括扬程测量误差、流量测量误差、转速测量误差和扭矩测量误差，它们组成了系统误差。效率测量的综合误差由系统误差和随机误差构成。

- a. 扬程测量误差. 试验台压差变送器的非线性度、滞后误差、重复性误差均小于 $\pm 0.1\%$ ，出厂检定精度为 $\pm 0.15\%$ 。取变送器系统检定准确度作为扬程测定系统误差， $\delta_H = \pm 0.15\%$ 。
- b. 电磁流量计测量误差. LDG 电磁流量计经上海工业自动化仪表研究所检定，误差 $\delta_Q = \pm 0.24\%$ 。
- c. 转速测定测量误差. 591C 整流调速装置转速稳定精度高于 $\pm 0.01\%$ 。取转速稳定精度为测定相对误差， $\delta_n = 0.01\%$ 。
- d. 扭矩测量误差. 扭矩仪实际检定误差小于 $\pm 0.2\%$ ，取其作为扭矩仪系统相对误差， $\delta_P = \pm 0.2\%$ 。

泵或泵装置效率测试误差系上述扬程、流量、功率误差合成， $\delta_\eta = \sqrt{\delta_H^2 + \delta_Q^2 + \delta_P^2}$ 。由此可得效率综合系统误差 $\delta_\eta = \pm \sqrt{0.2^2 + 0.24^2 + 0.18^2} / 100 = \pm 0.36\%$ 。

4 结 论

- a. 两模型泵在叶片角度为 0° 时，在合同要求装置扬程范围下，流量偏大，轴功率在高扬程下严重超载，配套动力机需 2000 kW 以上，为避免所选 1500 kW 电动机超载，建议适当减小泵叶轮直径。
- b. 通过对模型试验装置进水流道两侧开设的有机玻璃窗口，对进水流道内的水流状态进行长时间的观测，在悬空高度 $h_p = 0.76D_0$ 的各种工况下进水流态平顺、均匀，流道内无涡带发生，水泵运行平稳。随着悬空高度的降低，逐渐产生附底附壁涡带，泵运行效率降低。试验结果表明，喇叭口悬空高度不宜小于 $0.7D_0$ ，与文献 [8] 结论一致。
- c. 为在不增加土建投资情况下提高泵装置的效率，建议将原型出水管道虹吸下降段及出口管径 DN2000 设计成 $\varnothing 2500$ 渐扩管。试验结果表明，改进后方案的泵装置动力性能明显得到改善，装置效率可提高 0.5% ~ 1.5%。

参考文献：

[1] SL140—97 水泵模型验收试验规程[S].

[2] 葛强, 陈松山, 王林锁, 等. 涵箱型双向流道在船坞泵站中的应用研究[J]. 水泵技术, 2004(4): 40—43.

[3] 周济人, 刘超, 袁家博, 等. 大型泵站箱涵式双向进水流道试验研究[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 1999(4): 79—82.

[4] 陆林广, 刘成云, 陈玉明. 泵站进水流道的两种基本流态[J]. 水泵技术, 1997(4): 25—28.

- [5] 王林锁, 陆伟刚, 陈松山, 等. “工字型”双向流道泵站装置特性试验研究[J]. 水力发电学报, 2001(2): 79—85.
- [6] GB 3216—89 离心泵、轴流泵、混流泵和贯流泵试验方法[S].
- [7] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京: 宇航出版社, 1995. 60—75.
- [8] 郭绍艾. 潜水泵站方箱式双向进水流道设计[J]. 河北水利水电技术, 2003(2): 3—4.

Experimental study on model optimization for pump sets of shipyard pumping stations

GE Qiang¹, CHEN Song-shan², SHI Wei², WANG Lin-suo², YAN Deng-feng²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. School of Water Conservancy and Hydraulic Engineering, Yangzhou Univ., Yangzhou 225009, China)

Abstract Model tests were performed on pump sets of shipyard pumping stations. Some related problems, such as parameter conversion and experimental result and error analysis, were discussed, and the influences of the diversion scheme and bellmouth entrance height on the performance of pump sets were analyzed. The results of model tests showed that the flow pattern was smooth in inflow channel in any case at the bellmouth entrance height $h_p = 0.76D_0$, and that the pump sets in model tests operated steadily with no whirlpool occurring. For improvement of the performance of pump sets, the siphon drop section of the discharging pipe and its outlet originally designed were converted to be a gradually expansive pipe, and the efficiency of pump sets was increased by 0.5%—1.5%.

Key words shipyard pumping station; pump sets; model experiment; experimental parameter

《河海大学学报(哲学社会科学版)》征订启事

(CN32-1521/C, ISSN1671-4970, 季刊, 自办发行)

本刊以马列主义、毛泽东思想和邓小平理论为指导, 坚持实事求是的思想路线, 贯彻“双百”方针, 弘扬时代主旋律, 理论联系实际, 为社会主义物质文明与精神文明建设服务。

本刊为哲学与社会科学类学术期刊, 主要刊登哲学、政治学、文学、史学、语言学、法学、社会学、心理学、经济学、管理学、高等教育学等社会科学方面的研究成果、学术论文、综述等学术性文章。本刊可供上述有关专业的研究人员、管理人员和大专院校师生阅读与参考。本刊为中国学术期刊(光盘版)入编期刊与中国学术期刊网入编期刊。

本刊由河海大学主办, 每季末出版, 国内外公开发行, 每本定价5元, 每本邮费1元, 全年订费24元。欢迎广大读者直接向编辑部订阅。联系地址: 南京市西康路1号《河海大学学报(哲学社会科学版)》编辑部, 邮政编码210098。联系电话(025)83786376。