后置灯泡式贯流泵装置水力模型

关醒凡[1]，商明华[1]，谢卫东[2]，冯旭松[3]
(1.江苏大学 流体机械工程技术研究中心，江苏 镇江 212013；2.江苏省水利勘测设计研究院，江苏 扬州 225009；3.南水北调东线江苏水源公司，江苏 南京 210029)

摘 要：为了能够满足在南水北调东线一期工程中低扬程大流量工况的要求，针对南水北调金湖等泵站研制开发的贯流泵装置水力模型，利用FLUENT软件进行了CFD流场计算分析，并进行了反复试验和优化设计．经过江苏大学初试和河海大学复试，结果基本相符．模型在2.82 m扬程下，流量为342 L/s，效率达到79.05%，汽蚀比转速为1 105；装置模型流量大，效率高，综合性能指标达到南水北调工程经国际招标的同类装置模型的先进水平；在3 m扬程下和相同性能的立式轴流泵相比，效率约提高5%，流量提高10%以上，综合性能优势明显．

关键词：贯流泵；装置；水力模型；性能试验；泵站；轴流泵
中图分类号：TH311 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-6254(2008)01-0025-04

Hydraulic model and its pilot-plant unit for rear bulb-type cross-flow pump

GUAN Xing-fan[1], *SHANG Ming-hua*[1], *XIE Wei-dong*[2], *FENG Xu-song*[3]
(1. Technical and Research Center of Fluid Machinary Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China; 2. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co. Ltd., Yangzhou, Jiangsu 225009, China; 3. Jiangsu Water Resources Co. Ltd. of South-to-North Water Transfers Eastern Route Project, Nanjing, Jiangsu 210029, China)

Abstract: According to the pump requirements of middle and low delivery lift and large flow capacity for the first-stage construction in South-to-North Water Transfers Eastern Route Project, and the actual pump characteristics in Jinhu Pump Station, a hydraulic model and its pilot-plant unit for the cross-flow pump were built. The flow field was calculated and analyzed by computational fluid dynamics (CFD) with FLUENT code, and the hydraulic model was optimized by repeated trials in the pilot cross-flow pump. The simulating results calculated by the hydraulic model (named JGZM-3) coincided with the actual results from the pretest in Jiangsu University and the retest in Hohai University. The testing parameters from the pilot cross-flow pump were as follows: delivery lift 2.82 m, flow capacity 342 L/s, power efficiency 79.05%, and cavitation specific speed 1 105. The pilot pump has the characters of large flow capacity and high power efficiency; and its overall performance indexes reach the advanced level, as the foreign made products. Compared with a like vertical axial-flow pump, the pilot cross-flow pump raised the power efficiency over 5% and flow capacity over 10%.

Key words: cross-flow pump; pilot-plant; hydraulic model; service test; pump station; axial-flow pump

收稿日期：2007-06-29
基金项目：工业南水北调办公室南水北调泵站工程开发研究项目(JGZXJJ2006-17)
作者简介：关醒凡(1937—)，男，辽宁阜新人，教授，博士生导师(gxfan888@163.com)，主要从事泵站工程及水泵装置的研究.
商明华(1979—)，男，江苏兴化人，工程师，主要从事水泵设计与模型试验的研究.

南水北调东线一期工程新建的21座泵站中,有9座泵站采用贯流泵,所占比例为42%.贯流泵在其他水利和城市排水等方面也有着广阔的应用前景[1].

我国对普通轴流泵的水力模型和装置进行了广泛而深入的研究.2004年,全国有27个模型参加了在天津进行的南水北调工程水泵模型同台测试[1].这些模型正优先在南水北调等工程中使用.贯流泵由于灯泡体的存在,和普通的轴流泵有较大的差别,不能直接套用普通轴流泵的成果.但是国内对贯流泵研究比较少,研究成果远不能满足工程设计和建设的需要.因此南水北调东线的蔺家坝站采用了日本日立公司的技术,淮阴三站采用了荷兰艾荷公司的技术[2].

为了在后续的泵站中能够尽量多地采用国内技术,由江苏省南水北调水源公司、江苏大学、江苏省水利勘测设计研究院共同组成了课题组,开展贯流泵装置水力模型的研究.本课题从2006年6月开始实施.

1 装置模型的设计、制造和安装调试

1.1 设计与制造

江苏省水利勘测设计研究院对金湖泵站用的贯流泵装置进行了初步设计.在此基础上,对试验用贯流泵装置模型进行了优化设计,其中包括利用FLUENT软件进行CFD流场设计.模型装置中的支墩和进人孔按实泵装置设计图的尺寸等比例缩小.最终试验用的泵装置模型如图1所示[3].

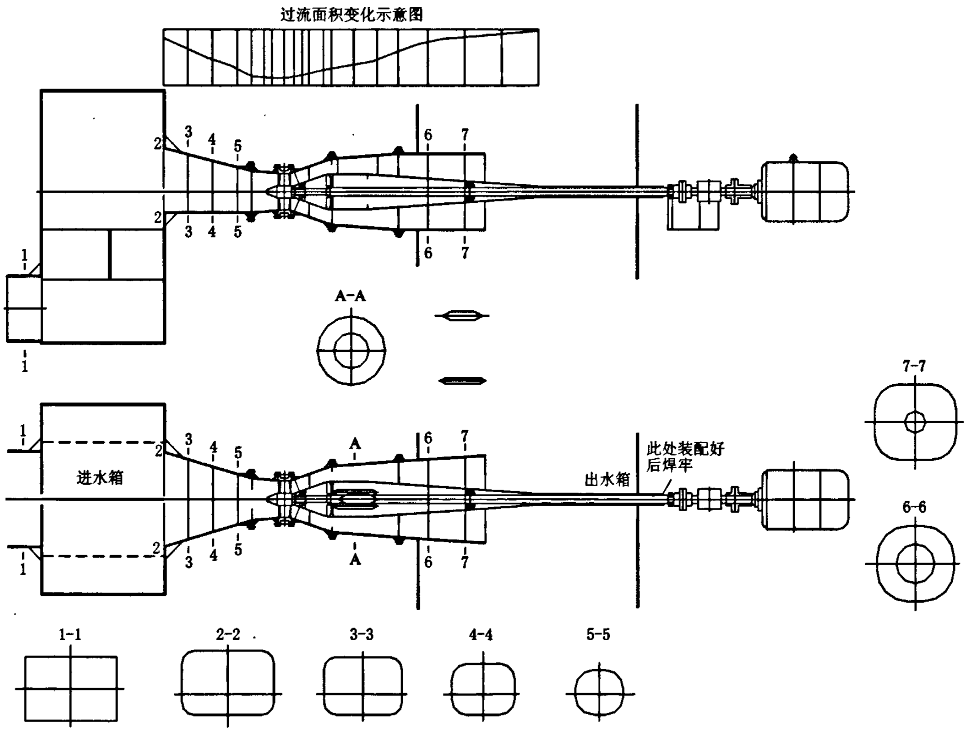

图1 贯流泵装置模型流道

Fig. 1 Flow passage of the cross-flow pump model

装置的主要尺寸参数:实泵:叶轮直径 $D=3\ 300$ mm,灯泡体直径 $D_1=3\ 100$ mm,灯泡比为0.94;模型泵:叶轮直径 $D=300$ mm,灯泡体直径 $D_1=282$ mm,灯泡比=0.94;流道部长度 $L=2\ 174$ mm,流道进口尺寸为745.5 mm×509.1 mm,流道出口尺寸为600 mm×689.8 mm;新设计叶轮叶片、导叶,叶轮3枚叶片,导叶5枚叶片.

1.2 安装调试

根据调试情况,对模型装置和系统进行了两次改进.

1)为了缩短轴系的长度,电机和扭矩传感器置于进水箱外侧.调试时发现安装轴承的前导叶对性能有不良影响.另外,为了安装电机等设备,水从进水箱底部流入,急转90°流向泵,流态很不好.这种

布置情况和实际泵的情况也不相符合.

2）电机等置于出水箱外侧. 经过多次改进、安装调试，运转基本稳定. 这种布置方案，虽然轴系较长，装置的加工、安装调试有一定难度，但和实际泵的情况基本相符合.

2　装置模型试验及结果

装置模型编号：JGZM－3（编号意义：江苏贯流泵装置水力模型，扬程 3 m）.

将本装置模型于 2007 年 3 月在江苏大学进行了 5 个叶片角度的初试. 为了进一步验证试验结果，又将本装置模型于 2007 年 6 月在河海大学进行了复试. 两次试验的结果基本相符.

现以在河海大学试验的结果为正式结果进行介绍.

2.1　试验设备和试验方法

试验装置系统见图 2.

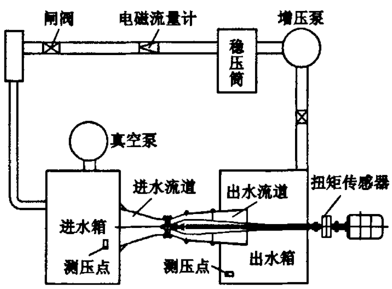

图 2　试验装置系统
Fig. 2　Pilot-plant unit

2.1.1　流量的测量计算

流量用电磁流量计测量.

2.1.2　扬程的测量计算

扬程（单位：m）用连接在进、出口水箱的压力传感器测量.

$$H=\frac{p_2-p_1}{\rho g}$$

2.1.3　汽蚀余量测量计算

汽蚀余量（单位：m）计算式：

$$NPSH=\frac{p_a}{\rho g}+\frac{p_s}{\rho g}+\frac{v_s^2}{2g}-\frac{p_v}{\rho g}\pm Z_D$$

式中 $p_a/\rho g$ 为试验现场大气压力水头，m；$p_s/\rho g$ 为进口表压力水头，m，小于大气压力水头时为负值；$p_v/\rho g$ 为试验水温下水的饱和蒸汽压力水头，m；v_s 为泵进口测压点管内的速度，m/s；Z_D 为泵汽蚀基准和泵进口基准面（过泵进口截面中心线的水平面）的高差，m. 当泵汽蚀基准在泵进口基准面上方时，Z_D 取（－）号，反之取（＋）号；如果测量仪表管线内充满输送的液体，则进口基准面应当理解为过仪表（压力传感器）中心的水平面.

2.1.4　轴功率的测量计算

按下式计算轴功率，扭矩和转速用带测量转速的扭矩传感器测量，本试验扣除轴承、机封等损失扭矩（1.713 N·m）.

$$P=\frac{Mn}{9\,552}$$

式中 M 为扭距，N·m；n 为试验转速，r/min；P 为轴功率，kW.

2.1.5　效率

按下式计算：

$$\eta=\frac{\rho gQH}{1\,000P}$$

2.2　试验结果

泵装置模型的综合特性曲线见图 3，其各角度最高效率性能参数见表 1.

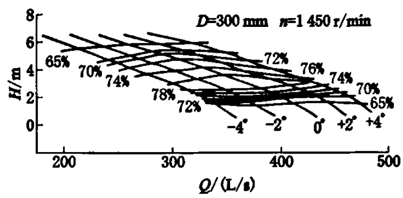

图 3　JGZM－3 贯流泵装置模型综合特性曲线（河海大学）
Fig. 3　Combined characteristics of JGZM－3 cross-flow pump model (from Hohai University)

表 1　泵装置模型各角度最高效率性能参数
Tab. 1　Maximum efficiency performance parameters from pilot-plant unit at different blade setting angles

叶片安放角/(°)	流量/(L/s)	扬程/m	效率/%	汽蚀比转速	比转速
+4°	433.0	3.10	77.90	1 029	1 490
+2°	399.5	3.09	78.56	1 126	1 435
0°	367.7	3.03	78.63	1 124	1 397
−2°	342.0	2.82	79.05	1 105	1 422
−4°	308.3	2.85	78.53	1 042	1 340

3　试验结果分析

本贯流泵装置水力模型已通过了专家评审，评审意见如下：

1）提供评审的技术文件完整、翔实，符合评审要求.

2)JGZM－3贯流泵装置模型经江苏大学初试和河海大学复试,结果基本相符,试验数据可信.

3)JGZM－3贯流泵装置模型在2.82 m扬程下,流量为342 L/s,效率达到79.05%,汽蚀比转速为1 105;该装置模型流量大,效率高,综合性能指标达到南水北调工程经国际招标的同类装置模型的先进水平.

4)JGZM－3贯流泵装置模型在3 m扬程以下使用时优势明显,可推荐在南水北调及其他工程中选用.

4 选型方案

本模型可在2～3.5 m净扬程范围内推广使用.现利用本装置模型试验成果,对南水北调东线规划使用贯流泵的金湖泵站进行方案预选,见表2及图4,以供参考.图4中,水力模型型号:JGZM－3(a),模型最高效率为79.05%,*nD*为381.92,单泵流量为25 m^3/s,水泵扬程为2.35 m.

表2 金湖泵站方案预选参数

Tab.2 Preject preselection parameters from Jinhu Pump Station

Q/ (m^3/s)	$H_{最高}$/ m	$H_{设计}$/ m	$H_{平均}$/ m	$H_{最低}$/ m	D/ mm	n/ (r/min)	nD
25	2.75	2.35	2.05	1.45	3 300	122.0	402.6
预选方案参数					2 800	136.4	381.9

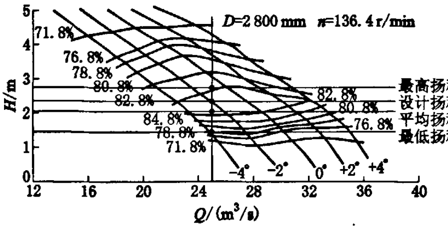

图4 金湖泵站贯流泵装置综合特性曲线(JGZM－3)

Fig.4 Combined characteristics of JGZM－3 cross-flowpump model (from Jinhu Pump Station)

由选型结果可知,和原规划选型相比,泵尺寸减小,效率提高.

5 结 论

初步试验研究表明,贯流泵和普通立式轴流泵相比,性能指标有一定优势.万年闸站、台儿庄站、刘山站均采用肘形进水和弯管出水流道,模型装置效率分别为77.46%,76.6%,76.13%[4].对于本次试验的、扬程为3 m的模型,如果采用普通立式轴流泵,估计模型装置效率为74%.由此,在低扬程区域,贯流泵比普通轴流泵效率提高约5%,相同口径时流量增加约10%.

由于是首次进行贯流泵装置的研究,可能存在一些问题.下一步计划重新设计叶轮、导叶,研制适合在3.5～4.5 m和在1.5～2.5 m扬程范围内使用的装置模型.用这3个装置模型满足常用贯流泵选型的要求,并做前灯泡式贯流泵模型装置试验,与后灯泡式加以比较.

参考文献(References)

[1] 刘 宁,汪易森,张 纲.南水北调工程水泵模型同台测试[M].北京:中国水利水电出版社,2006.

[2] 曾 江,李 缦.“能为南水北调工程做点力所能及的工作是我有生最大的愿望”——江苏大学流体机械研究中心关醒凡教授访谈录[J].通用机械,2004(1):8－10.

ZENG Jiang, LI Man. It's my best wish all my life to do some works in my power for South-to-North Water Transfers in China—An interview with Prof. Guan Xingfan of Technical and Research Center of Fluid Machinary Engineering of Jingsu University[J]. *General Machinery*, 2004(1):8－10.(in Chinese)

[3] ポンプ图集分科会.泵图集[M].关醒凡译.北京:机械工业出版社,1976.

[4] 关醒凡,伍 杰,朱泉荣.南水北调东线已招标泵站水泵模型装置试验成果及分析[J].排灌机械,2006,24(1),1－7.

GUAN Xing-fan, WU Jie, ZHU Quan-rong. Achievements and analysis of pump model unit test for the pump station in the east line of the Project of South-to-North Water Transfers[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2006,24(1):1－7.(in Chinese)

(责任编辑 张文涛)