

利用 CFD 技术研究淮安一站叶片翼型对水泵的影响

仲子夜, 王闻通

(江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

摘要: 通过对水泵叶片翼型的设计, 应用软件建立其三维数学模型, 基于 CFD 数值模拟技术, 分析 3 种叶片翼型对水泵性能的影响。经研究可以得到最优模型, 再通过模型试验和现场测试的方法研究优化后泵装置的性能。在叶片安放角为 0° 时, 淮安一站原型数值模拟结果与换算后的原型试验参数进行数值模拟, 从而得出, 淮安一站机组数值模拟和模型试验结果曲线变化规律一致, 流量—扬程曲线基本吻合, 流量—效率曲线也基本一致。总体来说, 模型试验和数值模拟结果较为吻合, 数值模拟结果较为可信。

关键词: 叶片翼型; CFD 数值模拟; 性能; 模型试验

中图分类号: TV675 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 11-0017-04

Study on the influence of blade airfoil on the water pump in No.1 Huai'an pumping station by using CFD technology

ZHONG Ziye, WANG Wentong

(Main Irrigation Channel Management Division of Jiangsu Province, Huaian 223200, Jiangsu)

Abstract: Through the design of the blade airfoil of the pump, the three-dimensional mathematical model was established by using the software, and the influence of the 3 vane airfoils on the performance of the pump was analyzed based on CFD numerical simulation technology. The optimal model could be obtained by studying, and then the performance of the optimized pump could be studied by model test and field test. When the blade angle was 0 degree, the prototype numerical simulation results and the prototype test parameters after conversion of No.1 Huai'an pumping station were numerically simulated, and the results showed the curve changes of numerical simulation results and model test results were consistent. The flow-head curve was basically consistent, and flow-efficiency curve was basically the same. Overall, the model test and numerical simulation results were in good agreement, and the numerical simulation results were more credible.

Key words: blade airfoil; CFD numerical simulation; performance; model test

1 工程概述

淮安一站始建于 1972 年 12 月, 原有 8 台 64ZLB-50 型立式半调节轴流泵, 配套 TDL-215/31-24 型立式同步电机, 单机功率为 800 kW, 总装机容量为 6400 kW, 设计扬程为 4.89 m, 设计流量为 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 。2001 年 5 月开始改造, 2005 年 5 月竣工验收, 泵

站设计扬程为 4.89 m, 安装 1750ZLQ-11.2-5.3 型立式全调节轴流泵 8 台, 设计总流量为 $89.6 \text{ m}^3/\text{s}$, 配套 TL1000-24/2150 型立式同步电机, 单机功率 1000 kW, 总装机容量为 8000 kW。

2 CFD 应用

收稿日期: 2017-06-07

作者简介: 仲子夜 (1985-), 男, 本科, 工程师, 主要从事泵站运行管理工作。

近年来,计算流体力学 CFD (Computational Fluid Dynamics) 得到了迅速的发展,大多处于湍流状态的水力机械内流特性可用连续性方程和 Navier-Stokes 方程来描述,建立全流道三维湍流计算的数学模型,通过连续方程和 Navier-Stokes 方程的联立求解,可得计算域内各处的流动速度和压力信息。这种方法消除了传统设计理论中的许多假设,更加接近工程实际情况。因此,CFD 技术越来越多地应用在水力机械性能预测及优化设计上,并取得了不少的成果。对于水泵的设计开发,亦可采用 CFD 技术进行数值模拟,对机组进行内外特性的流动分析并提供性能曲线预测,在众多方案中遴选出较优方案,然后再进行模型试验的研究,这样就能为最终决策提供更加准确、科学的依据。同时,对 CFD 技术成果与模型试验结果进行相互印证和比较,可以大大提高水力机械研发能力,也使设计水平跨入一个新的层次。

3 淮安一站叶片翼型优化设计

叶片是水泵的关键部件,也直接决定水泵的过流能力、水力效率、空蚀性能、工况稳定性等工作性能。在其他过流部件尺寸参数相同条件下,对叶片翼型进行设计优化。泵站设计总流量为 $89.6 \text{ m}^3/\text{s}$, 8 台机组,其运行水位组合及特征扬程见表 1^[1]。

表 1 泵站运行水位组合表

特征参数	数值
最大扬程 H_{\max}	6.65 m
最小扬程 H_{\min}	2.00 m
水泵设计扬程 H_r	4.89 m
额定转速 n	250 r/min

淮安一站拟采用叶轮直径 1640 mm, 转速 250 r/min。模型泵的转轮直径为 300 mm, 根据相

似理论,换算出的模型转速为 1367 r/min, 设计流量为 375 L/s ^[2]。

3.1 叶片翼型对水泵性能的影响

根据现场实际情况,叶轮高度为 650 mm, 叶轮直径 1640 mm, 轴流式机组的叶片是空间扭曲叶型,对不同叶片翼型进行 CFD 模拟计算,计算时采用流量进口 ($11.2 \text{ m}^3/\text{s}$)、压力出口 (0Pa),对计算结果(扬程、效率)进行分析,如表 2。

由表 2 可以看出,在设计流量工况下,翼型 C 的扬程较为接近设计扬程,泵装置的效率在 3 种翼型中也是较高的,翼型 A 扬程过高,且效率比较低;翼型 B 扬程达不到设计要求,且效率较翼型 C 更低。在偏离设计流量工况时,翼型 B 效率下降较多,翼型 A 和翼型 C 效率几乎相同。综合以上因素看,翼型 C 是较优方案。

3.2 全流道流线

图 1 为不同翼型水泵的全流道流线图。由图可见,3 种翼型水泵中整体流线均较顺畅,流速分布基本对称,转轮区流速较大。进水水道水流流线均顺畅,流速基本呈对称分布。而出水水道中,流线呈绕水道中心的螺旋线状。在设计流量下,导叶出口处的水流流态较为平稳,翼型 B 水流在出水水道中出现了回流;翼型 A 与翼型 B 在设计扬程工况下,由于流量偏离设计工况,导叶出口处的水流流态较为紊乱。

3.4 不同工况下水泵工况水力性能

经过对水泵的优化,可以得到最优模型,其三维透视图如图 2 所示。

为了得到优化后最优模型的综合水力性能,对水泵装置开展 -6° 、 -4° 、 -2° 、 0° 、 2° 、 4° 等 6 个叶片角度下,每个角度 10 ~ 13 个流量工况的数值模拟,通过计算,水泵装置在设计流量 $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,数值模拟最高效率为 82.86%,对应的叶片安放角 ϕ 为 0° ,水泵扬程为 4.91 m。

3.4 最优模型水流迹线及水平剖面压力分布

表 2 不同叶片翼型水泵模型计算结果

翼型	扬程 (m)	流量 (m^3/s)	功率 (kW)	装置效率 (%)	叶轮效率 (%)	转速 (r/min)
A	5.28	11.2	738.4	78.63	91.04	250
B	4.80	11.2	657.2	80.28	92.08	250
C	4.91	11.2	651.1	82.86	93.17	250

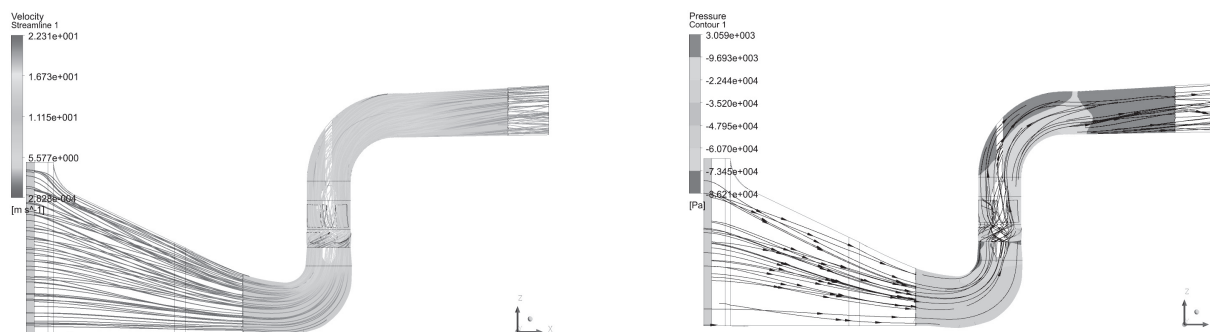
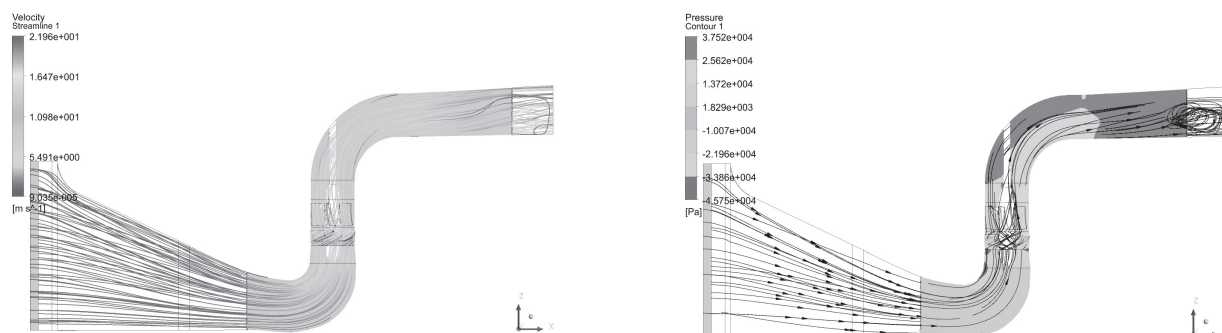
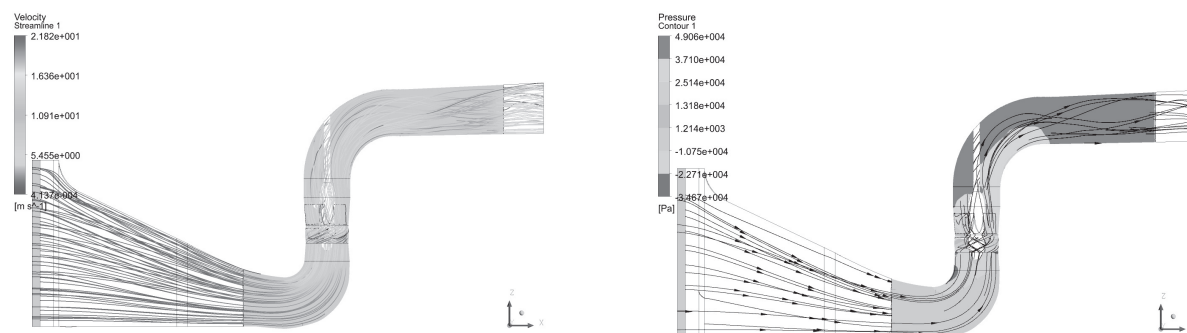
(a) 翼型 A, 流量为 $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 的水泵流线图(b) 翼型 B, 流量为 $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 的水泵流线图(c) 翼型 C, 流量为 $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 的水泵流线图

图 1 不同叶片翼型的水泵流线图

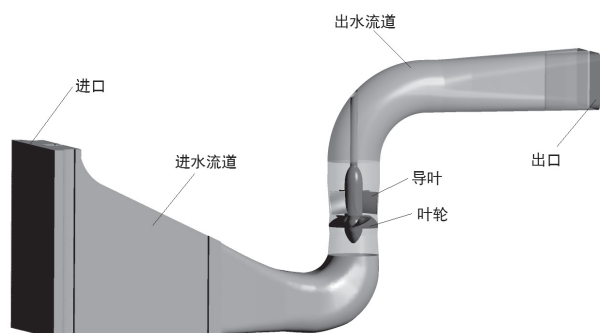


图 2 最优模型三维图

由图 3 得出, 泵装置进水流道水流流态均较好, 水流迹线均匀、对称分布, 水流平稳、顺畅。出水

流道内, 水流迹线较为平顺, 无明显不良流态。进水流道压力分布均匀、对称、沿水流方向基本无变化, 水力损失很小, 出水流道内变化也基本相同。从水流迹线来看, 进水流道内的水流迹线平稳、顺直, 说明在进水流道内水流流态较好, 无脱流、回流及漩涡等现象。

4 结论

4.1 数值模拟结果

叶片数为 4 时, 水泵工况在设计流量 $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 数值模拟最高效率为 82.86%, 对应的叶片安

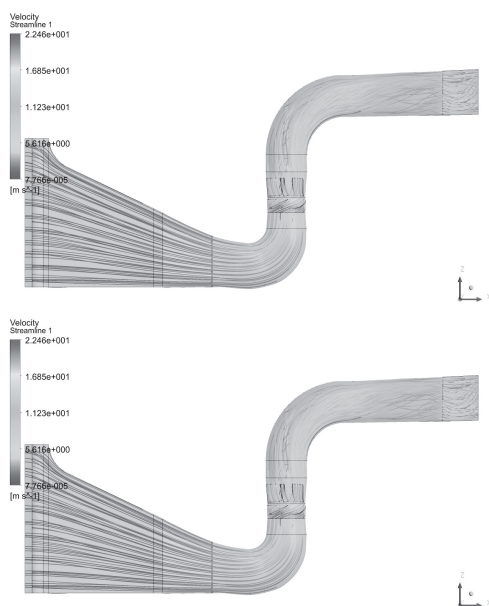


图3 最优模型水流迹线及水平剖面压力分布

放角 φ 为 0° ，水泵扬程为 4.91 m。

4.2 模型试验结果

(1) 模型最高装置效率为 79.98%，叶片安放角 φ 为 -4° 时，对应的扬程为 4.89 m，模型流量为 $0.317 \text{ m}^3/\text{s}$ ，对应原型流量为 $9.48 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(2) 根据不同叶片角度下的水泵装置性能参数，叶片安放角为 0° 时，设计扬程 4.89 m，效率为 78.39%，模型流量为 $0.376 \text{ m}^3/\text{s}$ ，原型流量为 $11.24 \text{ m}^3/\text{s}$ ，满足工程要求。

(3) 以效率大于 60% 作为评价标准时，则该泵装置在各个角度的最优运行区区间为：叶片角度为 -6° 、 -4° 、 -2° 、 0° 、 2° 、 4° 时，对应的运行扬程分别为 1.64 m、1.71 m、1.81 m、1.88 m、2.05 m 和 2.25 m。

(4) 参照南水北调和重要工程泵站的模型试验结果，我国模型装置效率大致指标：轴流泵，扬程为 3 m、4 m、5 m、6 m、7 m，对应效率分别为 74%、75%、76%、77%、78%。参照本次模型试验结果，叶片安放角度为 -6° 、 -4° 、 -2° 、 0° 、 2° 、 4° 时，在设计扬程 4.89 m 下，其效率均不低于 77.4%。本泵站采用的水泵模型达到了同类泵站中的较高水平^[3]。

4.3 数值模拟与模型试验对比

对叶片安放角为 0° 时，淮安一站原型数值模拟结果与换算后的原型试验参数进行数值模拟，流量—扬程曲线和流量—效率曲线如图 4 所示。

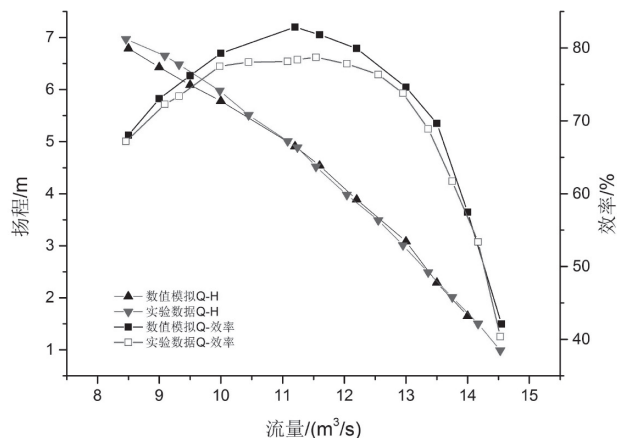


图4 叶片安放角为 0° 时数值模拟与模型试验性能曲线对比

从图 4 中可以看出，数值模拟和模型试验结果曲线变化规律一致。流量—扬程曲线基本吻合，流量—效率曲线在大扬程段存在一定误差。模型试验效率比数值计算结果偏低，原因是轴承摩擦与密封、流道和转轮之间的摩擦造成的轴功率损失。同时，叶片安放角摆放也无法保证完全一致，造成两者存在偏差。此外，水泵运行在小流量工况时，流动本身不稳定，特别是在小流量工况区，湍流特性明显，模型试验在此工况下测量参数波动较大，这也将造成该工况下误差偏大。总体来说，模型试验和数值模拟结果较为吻合，数值模拟结果较为可信^[4]。

参考文献：

- [1] 江苏省水利勘测设计研究院有限公司. 淮安第一抽水站加固改造工程可行性研究报告[R]. 扬州: 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 1996(7).
- [2] 戴启璠, 梁豪杰, 孟小敏, 等. 淮安三站灯泡贯流泵装置优化研究[J]. 江苏水利, 2016(10): 38-41.
- [3] SL-140-2006, 水泵模型及装置模型验收试验规程[S].
- [4] 河海大学. 淮安一站模型开发与试验研究技术报告[R]. 南京: 河海大学, 2017(5).

(责任编辑: 王宏伟)