

基于 CFD 的离心泵叶轮水力性能优化

郭傲辉¹, 刘小兵², 曾永忠², 李继栋², 罗红英¹

(1. 西藏大学农牧学院 水利土木工程学院, 西藏 林芝 860000; 2. 西华大学 能源与环境学院, 四川 成都 610039)

摘要:离心泵已广泛应用于工农业生产生活中, 因此其效率的提升对于满足实际需要和节约能源有着非常重要的意义。为了解决某型号离心泵叶轮出口部位的少量紊流, 为该离心泵叶轮添加了 5 个短叶片, 以求减少紊流、改善叶轮出流状况、保护固定导叶, 并达到进一步提升效率的目的。将添加短叶片前后的离心泵基于 SST 模型进行流场模拟, 并绘制出 $Q-\eta$ 曲线进行比较, 然后将设计工况下添加短叶片前后的压力云图、速度流线图与实际试验数据进行比较分析。结果发现, 在添加短叶片后, 叶轮出口部位的紊流明显减小, 液流更加均匀, 效率也得到了一定程度的提升。试验结果可为该型号离心泵的优化和效率的进一步提升提供一种新的思路 and 理论参考。

关键词: 叶轮; 短叶片; SST 模型; 压力云图; 相对速度矢量图; 离心泵

中图法分类号: TV734

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.12.018

1 研究背景

离心泵是一种使用量非常大的水泵, 广泛应用于石油化工、煤炭冶金、造船、环保医疗、食品加工、农田灌溉等生活生产的各个领域^[1], 因此其水力性能的提高对离心泵效率的提高具有十分重要的意义。近些年来, 随着流体仿真技术的发展, 使用 CFD 技术对泵内部流场进行数值模拟, 探索泵内部流动规律, 已经成为流体机械研究的热点^[2]。通过 CFD 仿真计算对泵内流场进行数值模拟, 也逐渐成为重要的优化设计方法。大量的工程实践也证明, 数值模拟结果是可靠的^[3]。离心泵叶轮叶片数量过多, 会引起叶轮进口部位过度排挤, 通过对原有装置进行优化设计, 对叶轮设计偏置短叶片, 可以适当避免甚至消除这种影响^[4]。本文研究中, 为叶轮添加了 5 个短叶片, 以求减少长叶片中部以后的紊流, 改善出流状况, 并在一定程度上实现效率的提升。

2 实体建模

某型号离心泵的实际效率虽然达到了设计效率要求的 82% 左右, 但出口处却出现了小部分的紊流, 而紊流对固定导叶所造成的破坏又非常严重, 会极大地缩短离心泵的使用寿命。本文根据原有泵型的各种参数, 运用三维绘图软件 UG^[5-6], 构建泵的三维实体模型, 并为该型号泵添加 5 个短叶片 (见图 1), 以求改变叶轮出口处的紊流状况, 延长该离心泵的使用寿命, 而且将其与实际添加短叶片后的离心泵实验效率进行比对。文中所述离心泵的转速为 1 480 r/min, 叶轮直径为 482 mm, 固定导叶的叶片数为 8, 叶轮的长叶片数为 5, 短叶片数为 5。

3 仿真模拟

文中所述型号的离心泵主要运用于南水北调工程中河水抽取, 由于含沙量非常小, 为简化运算过程, 将

收稿日期: 2013-11-13; 修回日期: 2015-03-12

基金项目: 国家自然科学基金(51279172); 高原水力发电重点实验室基金(2013002); 西藏大学农牧学院高层次人才科研启动基金(2014096)

作者简介: 郭傲辉, 男, 助教, 硕士, 主要从事工程流体力学方面的教学工作。E-mail: 717861759@qq.com

介质选为单相清水(密度为 998 kg/m^3)。运用 ANSYS 软件中的 ICEM 模块对水体模型进行网格划分,导入 CFX-Pre 中设置边界条件。边界条件采用进口速度、出口压力,叶轮转速为 $1\,480\text{ r/min}$ (见图 2),所用湍流模型为 SST 模型,由此开展仿真模拟。

为了更加契合实际,文中采用的计算域为泵进口段到出口段的整个泵段,对设计工况和大、小流量总共 5 个工况点进行仿真计算。仿真效率曲线与实际实验数据的比较如图 3 所示。

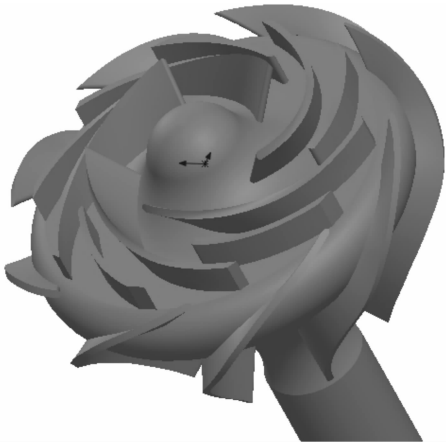


图 1 模型实体

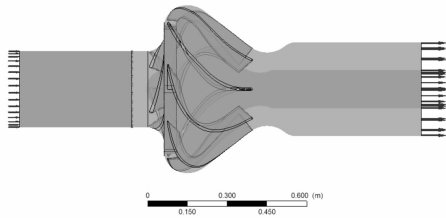


图 2 边界条件划分

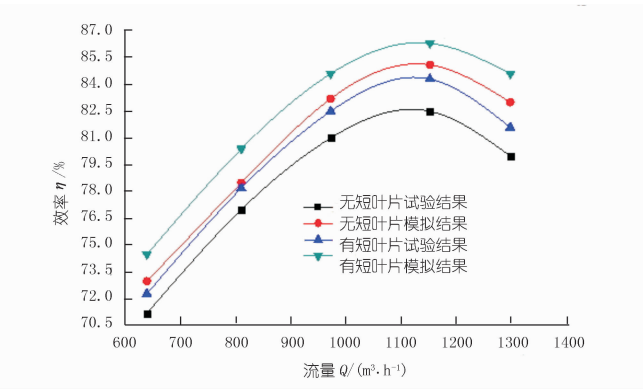


图 3 SST 湍流模型下的效率比较曲线

4 压力分布

图 4 所示为运用 SST 湍流模型时,添加 5 个短叶片前后在设计工况下的压力云图。

(1) 添加短叶片前,叶轮中间位置的压力梯度变化比较小,进水边和出水边压力梯度的变化比较大;添

加短叶片后,液流出口处的压力梯度变化开始变小。

(2) 添加短叶片前后,叶轮进出口处的最低压力值也明显高于临界空化压力。

(3) 添加短叶片后,出口压力值和最小静压力值有一定程度的提升,一方面说明叶轮的设计和水泵的选型是符合设计要求的;另一方面也表明添加 5 个短叶片后,有利于减小空化现象的发生,可以适当延长离心泵固定导叶的使用寿命,同时叶轮出口压力的提升也有助于离心泵效率的进一步提升。

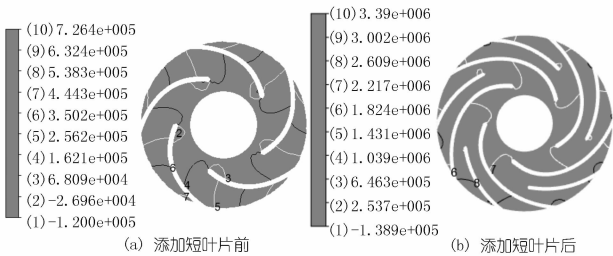


图 4 添加短叶片前后设计工况下的压力分布状况(单位:Pa)

5 速度矢量分布

图 5 为运用 SST 湍流模型时,添加 5 个短叶片前后标况下的速度矢量图。由图可以看出,添加短叶片后,叶轮出口部位的液流更加均匀,出口部位的乱流现象也相对减少,这样有利于保护固定导叶,减小对固定导叶的破坏。

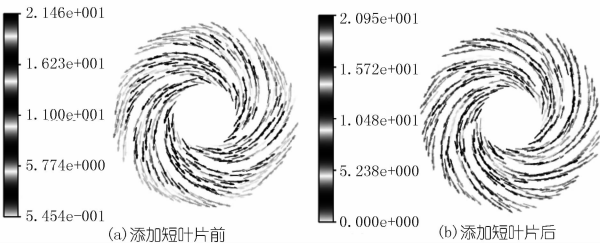


图 5 添加短叶片前后设计流量下
相对速度矢量分布(单位:m/s)

6 结论

(1) 对文中所述型号的离心泵进行了湍流数值模拟,结果发现,数值计算结果与实际实验结果还是比较接近的,最大误差率都在允许范围之内。

(2) 随着流量的增加,叶轮出口部位的速度明显减小,但出口部位的压力则相对增大,在设计工况下,叶轮中的液流流动较为均匀,乱流也较少。另外,在添加短叶片后,叶轮出口部位的压力值有一定的提升,压力梯度变化减小,最小静压力值也明显高于临界空化压力(见图 4),这样有利于减少甚至避免空化现象的发生。此外,在添加短叶片后,最大速度值以及最小速

度值均得以减小,叶轮中的液流运动更加平稳,这在一定程度上也保证了设备的安全,可以适度地延长使用寿命。

(3) 短叶片的添加有效地提升了该泵的效率,同时,也为该泵型的优化提供了一个初步的改良方案。但是,在效率提升方面不是特别明显,说明对于短叶片的设计方案还有待进一步优化,以使其效率得到更显著的提升。

参考文献:

[1] 庄丰余. 浅析离心泵叶轮焊接技术[J]. 化工管理, 2013, (14): 254 - 254.

- [2] 李龙, 王泽, 徐峰, 等. 离心泵叶轮内变工况三维湍流数值模拟[J]. 农业机械学报, 2004, 35(6): 72 - 74.
- [3] 刘文明, 金仲康, 郑源, 等. 大型供水泵站数值模拟及水力优化[J]. 排灌机械, 2009, 9(5): 281 - 286.
- [4] 潘中永, 袁寿其, 刘瑞华, 等. 离心泵复合叶轮短叶片偏置设计研究[J]. 排灌机械, 2004, 22(3): 1 - 4.
- [5] 李沈坚, 李春, 周碧池, 等. 基于 UG 的离心泵实体造型设计及研究[J]. 机械制造, 2008, 46(11): 52 - 54.
- [6] 冯俊, 郑源, 李玲玉. 超低水头竖井贯流式水轮机三维湍流数值模拟[J]. 人民长江, 2012, 44(21): 85 - 88.

(编辑: 赵秋云)

Optimization of hydraulic performance of centrifugal pump impeller based on CFD

GUO Aohui¹, LIU Xiaobing², ZENG Yongzhong², LI Jidong², LUO Hongying¹

(1. College of Hydroelectric and Civil Engineering, Agriculture and Animal Husbandry College of Tibet University, Linzhi 860000; 2. School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: As the centrifugal pumps have been widely used in industrial and agricultural production and life, the improvement of their efficiency is of great significance to meeting actual needs and conserving energy. Since a small amount of turbulent flow exists at the impeller outlet of a certain type of centrifugal pump, five short vanes are added to the impeller to reduce the turbulence, improve the outflow at the impeller, protect the fixed guide vanes, and eventually improve the efficiency of the centrifugal pump. The centrifugal pump with and without the five additional short vanes are put into flow field simulation respectively by the SST model, and through which their $Q - \eta$ curves are worked out and compared with each other. The pressure nephograms, the velocity streamline charts of the two centrifugal pumps in design working condition are analyzed in comparison with the data obtained from the practical test. It is found out that the turbulent flow at the impeller outlet reduces significantly and the water flows more evenly after adding the five short vanes, which improves the efficiency of the pump in a certain extent. The research results will provide new thoughts and theoretical reference for the optimization and efficiency improvement of the centrifugal pump of this type.

Key words: impeller; short vanes; SST model; pressure nephogram; relative velocity vector distribution; centrifugal pumps

(上接 47 页)

Application of wavelet - difference index smoothing model in displacement predication of landslides

WANG Ming^{1,2,3}, YI Wu^{1,2,3}

(1 College of Civil Engineering & Architecture, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2 National Field Observation and Research Station of Landslides in Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River, Yichang 443002, China; 3 Collaborative Innovation Center for Geo - Hazards and Eco - Environment in Three Gorges Area, Yichang 443002, China)

Abstract: The wavelet - difference index smoothing method was used to predict cumulative displacement of the Bazimen landslide located in Three Gorges Reservoir area. Wavelet transform is widely used in signal analysis because of its multi resolution analysis, while the index smoothing method is a kind of time series analysis method, which is developed based on the moving average method and commonly applied in prediction analysis. Aiming at the accumulative displacement data of the landslide, the time series is denoised by the wavelet transform in pretreatment, and the first difference - index smoothing model and second difference - index smoothing model are established to predict the accumulative displacement of the landslide. The results show that the MAPEs (Mean Absolute Percent Error) are 1.5% and 1.1%, demonstrating that this model can be applied to practical engineering.

Key words: wavelet analysis; difference; index smoothing; landslide; displacement prediction