

基于 FLUENT 的单 - 双涡室离心泵径向力分析

刘建瑞, 徐永刚, 苏起钦, 王董梅

(江苏大学 流体机械工程技术研究中心, 江苏 镇江 212013)

摘要: 以某电厂 3715L 型脱硫泵为模型, 应用商业软件 FLUENT, 采用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型和 SIMPLEC 算法, 对单 - 双涡室离心泵内部流场进行模拟, 分析了这两种泵静压力和速度场的分布规律, 并对径向力进行了计算分析. 通过对比分析发现, 单涡室离心泵在非设计工况点时隔舌两侧区域出现较大压差, 作用于叶轮产生径向力, 小流量时叶轮出口出现不对称的高速流体; 双涡室结构能够有效地改善非设计工况点时压水室能量的转化, 小流量时叶轮出口的高速液体呈对称分布, 从而降低了压水室压差, 起到了平衡径向力的作用; 通过计算发现, 偏离工况点时双涡室结构设计能有效地减小径向力. 数值模拟的结果与现有理论的基本吻合, 实际运行情况稳定, 可以为更好地认识和设计双涡室离心泵提供依据.

关键词: 离心泵; 单涡室; 双涡室; 径向力; 数值模拟

中图分类号: TH311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-6254(2009)02-0083-04

Analysis of radial forces in centrifugal pump with single and double volute based on FLUENT

Liu Jianrui, Xu Yonggang, Su Qiqin, Wang Dongmei

(Technical and Research Center of Fluid Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: With commercial software FLUENT, two equations standard $k-\varepsilon$ turbulence model and SIMPLEC algorithm were adopted to simulate the internal flow-field of a centrifugal pump with single and double volutes. The distribution laws of static pressure field and velocity field were analyzed, and the radial forces were calculated by empirical formula. The comparing analysis indicates that centrifugal pump with single volute may have large pressure difference, which acts on impeller to produce radial forces, in both sides of tongue tip at off-design conditions. Some high speed unsymmetrical flows appear on impeller exit at low flow rates. While centrifugal pump with double volute can effectively improve the energy conversion in volute at off-design conditions, and the flows at low flow rates are more symmetrical, which can reduce the pressure difference and to balance the radical forces. The calculating result indicates that, the design can reduce the radial forces effectively at off-design conditions, the results of numerical simulation can basically match with existing theory, and also offer some basis for better understanding the double volute pump.

Key words: centrifugal pump; single volute; double volute; radical forces; numerical simulation

收稿日期: 2008-10-23

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAF34B10)

作者简介: 刘建瑞(1952—),男,研究员,博导(ljrjwj@126.com),主要从事流体机械及工程研究.

徐永刚(1984—),男,硕士研究生(yuxiaxyg@163.com),主要从事流体机械及工程研究.

螺旋型涡室因流动比较理想,适应性强,高效范围宽而被广泛应用^[1]。一个设计正确的光壁蜗壳,是一种良好的出流部件。采用螺旋型涡室时,泵的效率可达90%以上^[2]。然而,具有螺旋型压水室的泵,在运转中会产生作用于叶轮的径向力,使轴受交变应力,产生定向的挠度^[1]。这种挠度会使轴承磨损、填料函泄露以及轴因疲劳而断裂^[2]。目前,大量文献对离心泵流道内的流动进行了数值研究^[3-8],但基本上都是针对单涡室进行的,很少有详细涉及单、双涡室离心泵所产生径向力,以及利用软件对此径向力所作的分析研究。

电厂脱硫泵一般体型大,流量大,径向力不可忽略。本研究针对某电厂600 MW机组脱硫系统用泵,结合理论,综合分析单、双涡室离心泵的内部流场规律;在此基础上对单、双涡室产生径向力的原因

进行研究,并基于 Report 功能,对径向力进行计算分析。

1 数学模型的建立

1.1 计算区域及网格

以某电厂3715L型脱硫泵为模型,用同一叶轮、不同涡室结构进行分析,具体参数: $Q=2\ 440\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=40\ \text{m}$, $n=990\ \text{r}/\text{min}$, $Z=6$ 。规定从隔舌处开始,逆时针叶片依次编号为1~6,叶片间流道标号为A~F。构成双涡室的隔板位于蜗壳VI-VIII断面处。利用 Pro/E 创建物理模型,在 GAMBIT 中进行网格划分,考虑到泵内流道几何形状复杂,将其划分为混合网格。单-双涡室计算区域网格及流道、叶片分布见图1。

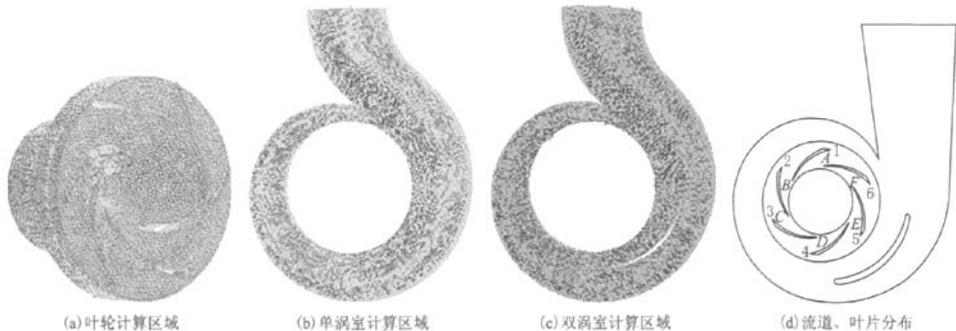


图1 单-双涡室计算区域网格及流道、叶片分布

Fig. 1 Computational domain and grid and distribution of blades and flow tunnel

1.2 边界条件的定义

假定流道中的流动定常,应用多重参考坐标系(MRF),分别建立以叶轮为代表的旋转区域和以涡室为代表的定子两个区域;采用无滑移壁面条件;进口采用速度边界条件,流速由流量与进口面积的比值确定;出口采用自由出流条件,通过改变进口速度的大小来模拟离心泵在不同工况下的流场分布情况;考虑重力的作用。

2 计算结果及分析

2.1 单-双涡室静压力场分布

本研究对单、双涡室结构泵在3个不同流量点($0.5Q_0$, Q_0 , $1.3Q_0$)的流场进行分析。图2为不同工况下单-双涡室泵的静压力分布云图。分析图2可知,单-双涡室结构压水室有相似分布规律,从隔舌处开始,压水室的静压力逐渐增大。对比分析单

-双涡室结构, $Q < Q_0$ 时,双涡室在隔板处区域的静压力明显地小于单涡室时的压力且区域面积较大; $Q > Q_0$ 时,双涡室结构整个蜗壳中的静压力明显小于单涡室结构中的静压力且压力分布均匀,单涡室中压力明显分布不均。

2.2 单-双涡室速度场分布

对单、双涡室结构泵在3个不同流量点($0.5Q_0$, Q_0 , $1.3Q_0$)的速度场进行了分析。分析图3可知,对双涡室 $Q < Q_0$ 时, A-C 流道流出流体的速度逐渐减小,部分流体通过隔板下部流道,流体速度继续减小,导致小流量时隔板下部区域压力稍大; D-F 流道流出的流体在 VI-VIII 断面的双涡室内减小, A-C 区域与 VI-VIII 断面双涡室区域的速度呈对称分布,在2,3,4与5,6,1号叶片出口处有一明显呈对称分布的高速区; $Q > Q_0$ 时,涡室中相对速度平均值明显较大。对单涡室, $Q < Q_0$ 时,流道流出流体的速度沿压水室方向减小,从2号叶片逆时针到1号叶片,

出口区域出现高速区且不对称； $Q > Q_0$ 时，流体流速不均匀分布明显，涡室右侧相对速度大于左侧。对比分析可知， $Q < Q_0$ 时，流体速度在单涡室结构压水室中减小比较明显，且叶片出口高速区呈现不对称分布； $Q > Q_0$ 时，单涡室压水室中平均流速高于双涡室压水室中流速。

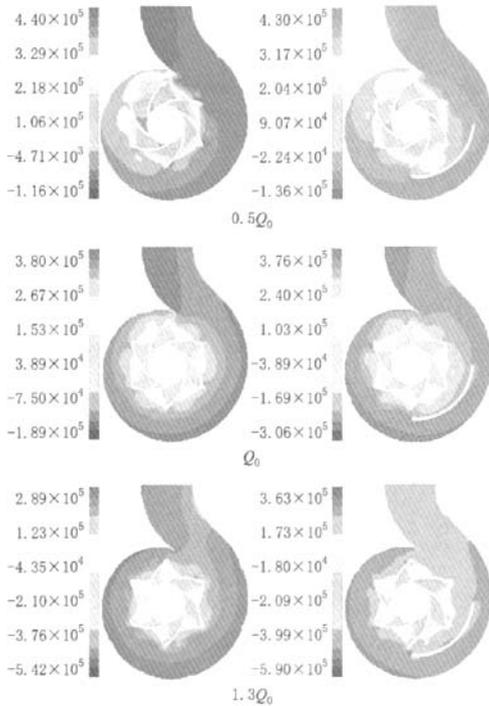


图2 不同工况单-双涡室结构静压力分布云图
Fig.2 Static pressure contour of pump with single and double volute

2.3 综合分析

这里结合静压力和速度的分布云图来分析。对单涡室结构压水室，一方面，小流量时压水室中的速度从隔舌开始减小，动能转化为压能，压力增加；另一方面，液流从叶片出口处流入压水室时绝对速度增大，并与压水室中的低速流体相遇，因两者速度大小和方向不一致，导致高速流体能量损失，一部分转化为压能，则压力进一步增加。压水室中压力不平衡导致了径向力的产生。而双涡室结构压水室，VI-VIII 断面有效地阻止了叶片出口高速流体与低速流体的相遇，减小了流体能量的损失，改善了隔舌两侧压水室的压力差，起到了平衡径向力的作用。 $Q > Q_0$ 时，压水室流体在隔舌处受到挤压，流体在压水室中能量转换不充分，压水室相对速度较大，双涡室结构缓冲了两部分流体的交汇时间，促使流体动能

向压能的转化，防止隔舌两侧出现较大压差产生径向力。由此可见，该电厂 3715L 型脱硫泵采用双涡室结构，对泵的 stable 运行起到了至关重要的作用。

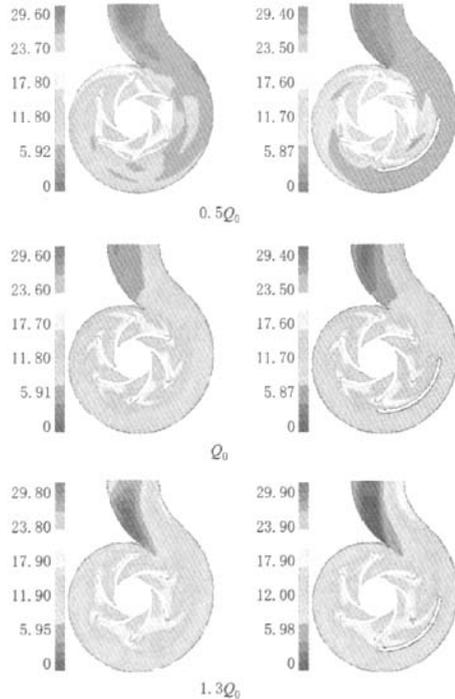


图3 不同工况单-双涡室结构速度分布云图
Fig.3 Velocity contour of pump with single and double volute

2.4 径向力分析

对 $0.3Q_0 \sim 1.3Q_0$ 不同流量点进行了计算，利用 FLUENT 提供的 Report 功能求解不同流量时作用于叶轮的径向合力，图4 为不同流量时径向合力曲线图。

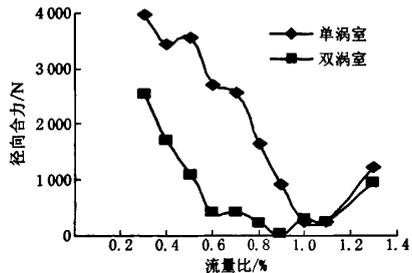


图4 不同流量比时径向力曲线图
Fig.4 Radial forces curve in different flow ratio

分析图4 可知，流量小于设计工况时，双涡室结构能够有效地改善流道能量转化情况，平衡径向力，其产生的径向力明显小于单涡室结构的；双涡室结

构最小径向力出现在设计工况点附近的 $0.9Q_0$ 时;设计点下,单双蜗室径向力差别不大;流量大于设计工况时,双蜗室结构同样能够平衡部分径向力。考虑流量点附近,双蜗室结构产生的径向力小于单蜗室结构,这样就能有效地减小泵在开关机以及流量不稳定时所产生的径向力对轴的不良影响。

3 结 论

从现有理论出发,结合某电厂 3715L 型脱硫泵的实际运行情况,通过对比分析,揭示了单-双蜗室结构泵压水室流场的一些特殊规律,计算了两种不同压水室结构径向力大小的分布曲线,得到结论如下:

1) 对单蜗室蜗壳,小流量时速度沿压水室减小,压力沿压水室增加,隔舌处压力相对较小,大流量时蜗室流体速度较大,出现能量转化不均匀现象。

2) 对双蜗室蜗壳,偏离设计工况时双蜗室结构改善了动能向压能的转化情况,减小了沿压水室方向的压差,减小了径向力。

3) 径向力主要是由于压水室中的压差引起的。对于设计流量比较大且经常重复启动,或者工作流量波动较大的泵,不应该忽略径向力的影响。双蜗室结构能够有效地改善非工况点时由于压水室内部能量转化所引起的压力差,有效地平衡径向力,减小径向力对轴以及其他部件的影响,因此改善了泵的性能。

参考文献 (References)

- [1] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京: 宇航出版社, 1995: 527 - 530.
- [2] 特罗斯科兰斯基 A T, 拉扎尔基维茨 S. 叶片泵计算与结构[M]. 耿惠彬译. 北京: 机械工业出版社, 1981: 224 - 230.
- [3] Gonzalez J, Parrodo J, Santolaria C, et al. Steady and unsteady radial forces for a centrifugal pump with impeller to tongue gap variation[J]. *Journal of Fluids Engineering*, 2006, 128(3): 454 - 462.
- [4] 潘地林, Whitfield A. 蜗壳内部流动特性数值分析及改进设计研究[J]. *流体机械*, 1999, 27(1): 14 - 18. Pan Dilin, Whitfield A. Numerical simulation and design improvement in volute [J]. *Fluid Machinery*, 1999, 27(1): 14 - 18. (in Chinese)
- [5] 王晓燕, 刘 宜, 陈玉芳. HD 型石油化工流程泵双蜗壳内部流场数值计算[J]. *排灌机械*, 2007, 25(1): 21 - 24. Wang Xiaoyan, Liu Yi, Chen Yufang. Numerical simulation of flow field in the double volute of HD type petrochemical process pump [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2007, 25(1): 21 - 24. (in Chinese)
- [6] 任 涛, 闫永强, 梁武科. CFD 技术在离心泵优化设计中的应用[J]. *排灌机械*, 2007, 25(1): 25 - 28. Ren Tao, Yan Yongqiang, Liang Wuke. Application of CFD to optimization design for centrifugal pump [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2007, 25(1): 25 - 28. (in Chinese)
- [7] Cui Baoling, Zhu Zuchao, Zhang Jianci, et al. The flow simulation and experimental study of low-specific-speed high-speed complex centrifugal impellers [J]. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2006, 14(4): 435 - 441.
- [8] 王 洋, 张 翔, 黎文斌. 离心泵变工况流场分析及径向力数值预测[J]. *排灌机械*, 2008, 26(5): 18 - 22. Wang Yang, Zhang Xiang, Li Yibin. Off-design flow field analysis and radial force prediction of centrifugal pump [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2008, 26(5): 18 - 22. (in Chinese)
- [9] 夏朋辉, 刘树红, 吴玉林. 旋流泵全流道三维定常流场的数值模拟[J]. *工程热物理学报*, 2006, 27(3): 420 - 422. Xia Penghui, Liu Shuhong, Wu Yulin. Numerical simulation of steady flow in vortex pump [J]. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2006, 27(3): 420 - 422. (in Chinese)

(责任编辑 张文涛)