

不同叶轮高速部分流泵非定常压力场数值分析

柴立平¹, 潘兵辉¹, 石海峡², 丁亚娜¹

(1. 江苏大学 流体机械工程技术研究中心, 江苏 镇江 212013; 2. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230009)

摘 要:为研究高速部分流泵由于叶轮和蜗壳的动静干涉而产生压力脉动情况,采用 Fluent 6.3 软件中 $S-A$ 湍流方程和滑移网格技术(SM),分别选取直叶轮和复合直叶轮,在设计工况点进行非定常的数值模拟,分析中间截面总压和静压分布云图,发现复合直叶轮的总压高于直叶轮,而静压相近;在出口和蜗壳内壁圆周的 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ 和 270° 处布置 4 个监测点,比较总压脉动情况看出,复合叶轮的峰值明显高于直叶轮,而峰值之间的波动幅度要比直叶轮的小。

关 键 词: 叶轮; 高速部分流泵; 非定常压力场; 压力脉动

中图分类号: O242 文献标识码: A

引 言

部分流泵(part emission pump)是二战时期由德国巴斯克博士首先提出,并在 20 世纪 70 年代前完成了该类型泵的主要理论研究工作。崔宝玲等人对比分析了两种叶轮形式的低比转速高速离心泵的动静压、内部流场和试验^[1],总结出回流是影响离心泵性能的重要因素;文献[2]对比分析了无短叶片,有长短叶片和短短叶片的 3 种离心泵非定常的压力分布,重点给出了在一个压力波动周期内由于叶轮-割舍的相对位置的不同,造成割舍附近的流场变化原因,从动力学的角度对降低水泵的振动噪声提供了有益的分析结果;文献[3~5]分别运用非定常的方法对内部流动机理、外特性和压力分布做了比较深入的研究;文献[6~8]分别从叶片形式、叶片数和加分流叶片的位置进行了具体的分析,总结出了加分流叶片有利于叶轮出口和蜗壳入口的压力、速度、分布均匀性。

上述研究从外特性试验或内部流动机理方法进行分析,并没有对内部总压沿蜗壳分布的情况作出具体的分析,只有分析出沿蜗壳环绕一周处压力的波动情况,才能从根本上解释振动的机理,本研究采

用 Fluent 软件模拟出两种叶轮形式的高速部分流泵,在沿着蜗壳典型位置处设立 4 个监测点,观察压力脉动的情况,对比了加分流叶片直叶轮和直叶轮在一个周期内沿蜗壳壁面总压及出口总压的脉动情况。

1 几何模型和运行参数

本例模型采用的是加分流叶片直叶轮(A),直叶轮(B)这两种形式,都匹配环形喷管式蜗壳,如图 1 所示;其中喷管喉部直径为 d_0 ,叶片数为 Z ;叶片出口宽度 b_2 ,叶片出口角 β_2 ,叶片进口直径 D_0 ,叶片出口直径 D_2 ;其设计工况参数为:流量为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 450 m ,转速为 $8\,500 \text{ r}/\text{min}$,结构尺寸如表 1 所示。

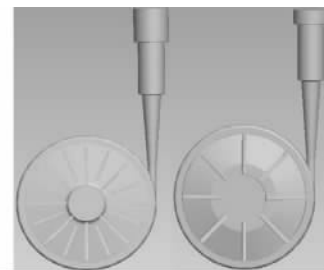


图 1 计算模型示意图

表 1 高速部分流泵的主要尺寸

叶轮形式	Z	d_0/mm	b_2/mm	$\beta_2/(^\circ)$	D_0/mm	D_2/mm
A	16	12	15	90	65	175
B	8	12	15	90	65	175

2 数值分析方法

在 Gambit 中对两种泵的水体划分网格,部分区域在网格划分时进行加密处理,采用计算流体力学

收稿日期: 2010-03-15

基金项目: 安徽省科技攻关基金资助项目(08102303)

作者简介: 柴立平(1969-),男,安徽滁州人,江苏大学高级工程师。

软件 Fluent 6.3, 求解采用 $S-A$ 方程, 控制方程采用具有二阶精度的有限差分法离散, 壁面采用无滑移边界条件, 近壁区域采用标准壁面函数处理, 进口采用速度进口边界条件, 出口采用压力出口的边界条件, 选用 Sliding Mesh 模型对叶片-蜗壳动静干涉进行模拟, 其基本思想是在某一时间步, 分别计算定子区域和转子区域的流场, 通过交界面传递流动参数, 转子区域的网格随着转子一起转动, 而定子区域的网格静止不动; 根据时间步长的选取原则每隔 2° 设置一个时间步长^[9], 计算得 $\Delta t = 0.000\ 039\ 2\ \text{s}$, 叶轮旋转一个周期所需要的时间 $T = 0.007\ 06\ \text{s}$ 。

流场的非定常计算分为两步进行, 首先进行的是模型泵水体的定常计算, 然后进行非常计算, 其中定常计算的结果为非定常计算的初始流场, 并确定非定常计算中的边界条件, 之后进行以定常计算结果为非定常计算的初始条件和边界条件, 进行非定常计算, 检测出口总压和蜗壳 4 个测点处的总压变化满足周期性要求, 计算收敛。

3 计算结果及分析

3.1 中间截面的压力分布

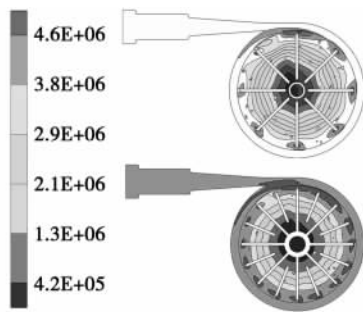


图2 中间截面总压云图

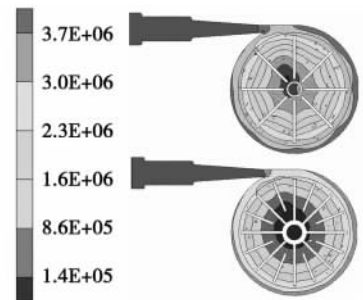


图3 中间截面静压分布

图2和图3分别给出在设计工况下高速部分流泵的中间截面总压和静压分布。由图2可见, 加分

流叶轮的总压明显高于直叶轮, 在同一半径上, 不论在叶片的工作面还是背面, 压力相差不多, 这表明在叶轮设计中常用的一元设计理论是可靠的。加分流叶片后, 在叶轮的轮毂处更易发生气蚀; 由于环形喷嘴的作用, 压力分布与其它流道内的分布明显不同并出现局部压力的最高点, 在喷嘴附近总压都出现了大面积的减小, 在滑过喷嘴的一段区域内总压下降严重, 在滑过大约 90° 后压力再次积聚, 分布与 180° 、 270° 、 360° 时相近; 而两个静压力分布特征基本相似, 压力呈现出环状向外递增的趋势, 而且从进口到出口, 从轮毂到轮缘压力是逐渐递增, 表明叶型做功是沿着径向增加的。但是在加分流叶片的复合叶轮当中, 进口处气蚀区域比直叶轮的大很多。

3.2 监测点位置设置以及压力监测域

为监测高速部分流泵蜗壳内各处的压力脉动, 在叶轮出口、蜗壳内部共建立 4 个监测点, 如图 4 所示。

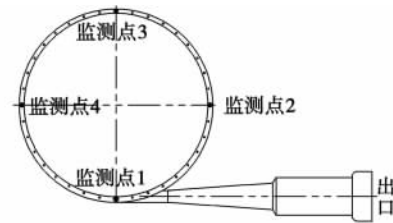


图4 监测点分布

3.3 压力脉动时域

图5和图6为出口和沿蜗壳壁面分布 4 个监测点在一个周期内的压力脉动时域图, 可以看出压力脉动周期性非常明显, 一个周期内波动次数和叶片数相同, 且复合叶轮的出口压力脉动会因为存在分流叶片的作用而使得压力脉动的幅值较高, 中间会有一个分流叶片作用的效果, 出现一个小的阶梯状, 不会像直叶轮一样出现聚升和聚降的情况; 在割舍附近的地方总压比出口大, 这是因为动能主要耗散在喷嘴区域, 所以喷嘴的截面积对扬程有着很明显的影 响, 这点在前面的引用文献有说明, 喷嘴的直径与流量系数和扬程系数密切相关, 除此在直叶轮中, 由于此处的流动紊乱, 致使该处在一个周期内也出现一个小的波动; 在旋转过 90° 时, 可以观察到复合直叶轮的总压能再次积聚, 达到最大值, 这点在图5中得到印证, 该处的最大值可以达到 $4.38\ \text{MPa}$, 而直叶轮总压和在割舍处的相近; 在 180° 附近时, 复合叶轮的波动和峰值达到稳定, 而直叶轮的却在此积聚, 峰值达到 $4.27\ \text{MPa}$; 在

270°时,两种叶轮的波动幅度和幅值都和 180°时的相近,说明流体的流动基本上达到一个相对的稳定状态,这样,内部的流动就非常符合设计理念。

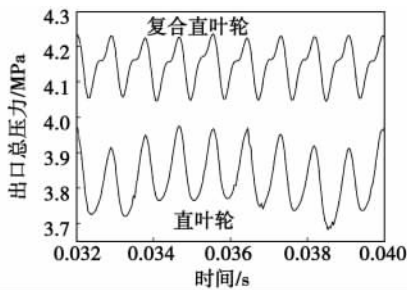
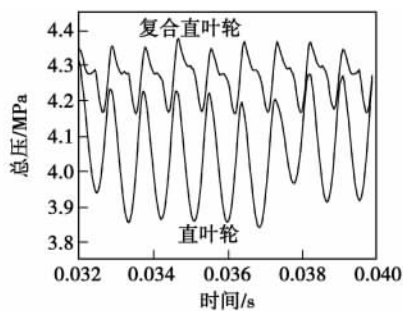
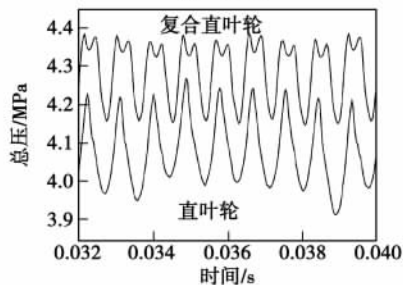


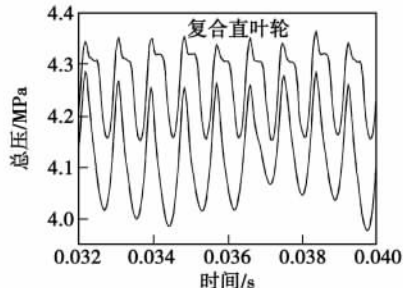
图 5 出口总压力脉动时域



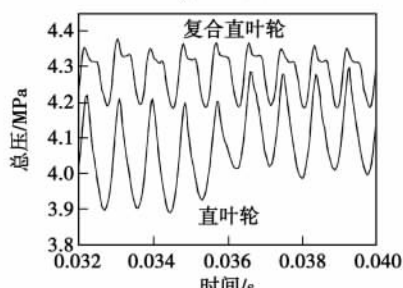
(a) 监测点1



(b) 监测点2



(c) 监测点3



(d) 监测点4

图 6 监测点 1、2、3、4 总压脉动时域

4 结 论

利用 Fluent 中数值模拟的滑移网格技术,很好地捕捉到非定常流场中在不同时刻的压力波动情况,为泵体产生振动的原因进行本质上的分析和论证,为工程实际应用提供了理论支撑。从研究中可以概括出以下几点:

(1) 蜗壳的出口和内壁分布 4 个监测点的压力脉动呈现明显的周期性,且复合直叶轮的压力幅值大于直叶轮,但是波动的幅度却比直叶轮的小,表明复合叶轮的运行情况比直叶轮的更加稳定。

(2) 蜗壳壁面上压力脉动的幅值呈现出一定的相似性,在复合直叶轮的监测点 1、3、4 压力幅值和频率相近,压力最大脉动出现在离开蜗舌 90°处,而在直叶轮中,压力脉动出现对称性,测点 1、3 和 2、4 压力幅值相似。

(3) 高速部分流泵模型泵内部压力脉动明显,通过 S-A 方程模拟其内部流场具有可信性,通过研究分析得出的压力脉动变化规律可为部分流泵研究和设计提供参考。

参考文献:

- [1] 邵春雷,顾伯勤,陈 晔. 离心泵内部非定常压力场的数值研究[J]. 农业工程学报,2009,23(1): 75-79.
- [2] 田 辉,郭 涛,孙秀玲,等. 离心泵内部动静干涉作用的数值模拟[J]. 农业机械学报,2009,40(8): 92-95.
- [3] 邓文剑,楚武利,吴艳辉,等. 离心泵整机非定常特性数值研究[J]. 机械科学与技术,2009,28(6): 744-748.
- [4] 崔宝玲,朱祖超,林勇刚,等. 不同形式高速离心泵叶轮内部流动的数值模拟[J]. 机械工程学报,2007,43(5): 19-23.
- [5] 耿少娟,聂超群,黄伟光,等. 不同叶轮形式下离心泵整机非定常流场的数值分析[J]. 机械工程学报,2006,42(5): 27-31.
- [6] 张金凤,袁寿其,付跃登,等. 分流叶片对离心泵流场和性能影响的数值预报[J]. 机械工程学报,2009,45(7): 131-137.
- [7] 严 敬,潘光玉,王 桃,等. 低比转速叶片数的选择准则[J]. 排灌机械,2008,26(1): 18-21.
- [8] 潘中永,袁寿其,刘建瑞,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.
- [9] JOSE GONZALEA, CARLOS SANTOLARIA. Unsteady flow structure and global variable in a centrifugal pump[J]. ASME journal of Fluid Engineering, 2006, 128(9): 937-946.

(编辑 伟)

Studied was the influence of the flow path arrangement and number of branch lines in a finned tube heat exchanger on the performance of its air-source gas engine heat-pump system. The research results show that when a reverse cross flow path arrangement mode is adopted, the air-source gas engine heat pump will obtain the best performance, while that adopting a positive flow path arrangement mode will result in the worst. Compared with the direct flow path arrangement mode, the above-mentioned performance can increase by about 10% when the reverse cross flow path arrangement mode is adopted. The foregoing performance adopting 14 branch lines for a finned tube heat exchanger will increase by about 7% when compared with that adopting 7 branch lines. Therefore, the design of a finned tube heat exchange has a relatively big influence on the performance in question and a rational design of the finned tube heat exchange can play a definite role in enhancing the performance under discussion. **Key words:** air-source gas turbine heat pump, flow path arrangement, number of branch lines, system performance

不同叶轮高速部分流泵非定常压力场数值分析 = **Numerical Analysis of Unsteady Pressure Fields of a High-speed Portion Flow Division Pump in Various Impellers** [刊,汉] CHAI Li-ping, PAN Bing-hui, DING Ya-na (Research Center for Fluid Mechanical Engineering Technology, Jiangsu University, Zhenjiang, China, Post Code: 212013), SHI Hai-xia (Hefei Institute of Technology, Hefei, China, Post Code: 230009) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(1) . - 20 ~ 22

To study the pressure pulsation caused by the interference between the rotating and static portion, i. e. an impeller and a volute in a high speed portion flow division pump by using the S-A turbulent flow equation and sliding grid technology in software Fluent 6.3, a straight impeller and a complex one were chosen respectively. An unsteady numerical simulation was performed at the design operating point to analyze the total pressure and static pressure distribution chart in the middle section. It has been found that the total pressure of the complex straight impeller is higher than that of the straight impeller but their static pressures are close. 4 monitoring points were arranged at the circumferential locations of 0° , 90° , 180° and 270° of the inner volute wall at the outlet. A comparison of the total pressure pulsations shows that the peak values of the complex impeller are conspicuously higher than those of the straight one and the fluctuation amplitude between the peaks, however, is smaller than that of the straight one. **Key words:** Impeller, high-speed flow division pump, unsteady pressure field, pressure pulsation

Muszynska 模型经验系数对转子系统稳定性的影响 = **Influence of Muszynska Model Empirical Coefficient on the Stability of a Rotor System** [刊,汉] LI Yong, DONG Hong-yun (College of Energy Source and Mechanical Engineering, Northeast University of Electric Power, Jilin, China, Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(1) . - 23 ~ 26

Based on Muszynska model, derived and established was a non-linear dynamic equation for a rotor-gland seal system under the action of a seal fluid excitation force. A numerical analysis was performed of the movement differential equation and a law governing the influence of the bifurcation characteristics of the system under discussion and the empirical coefficient in Muszynska model on the system stability was studied. The analytic results show that the nonlinear kinetic behavior of the rotor caused by the seal fluid excitation force features a very complicated evolution process. During this process, the average circumferential speed ratio constant and the empirical coefficient depic-