

蜗壳进口宽度对离心泵性能影响的分析

赵万勇, 李存明, 马 达, 王 钊

(兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 通过改变蜗壳的进口宽度,对蜗壳与叶轮的匹配关系进行了数值研究.在保证蜗壳断面面积不变的前提下,重新设计了两个进口宽度与原型泵互不相同的蜗壳,分别与原型泵叶轮组合作为研究所用的模型.利用 FLUENT 软件对离心泵内部流动进行了三维定常和非定常数值模拟.计算结果表明:泵的效率 and 扬程均随蜗壳进口宽度的增加而降低;随着蜗壳进口宽度的增大,蜗壳扩散段内的低速区域扩大,进口处的速度值减小;速度分布越向壁面分散,漩涡的范围越大.

关键词: 离心泵;蜗壳;蜗壳进口宽度;非定常

中图分类号: TH311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0366(2013)04-0055-04

Influence of Spiral Case Inlet Width on Centrifugal Pump Performance

ZHAO Wan-yong, LI Cun-ming, MA Da, WANG Zhao

(School of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The numerical study of the matching relation between the spiral case and the impeller was conducted by changing the spiral case inlet width. With the sectional area of the spiral case unchanged, the two spiral cases with the inlet width different from that of the prototype pump and the research model that combine with the impeller of the prototype pump were redesigned. With the software FLUENT, the three-dimensional steady and unsteady numerical simulation of the internal flow in the centrifugal pump was made, the calculation results show that the efficiency and lift of pump decreases with the increase of the inlet width, the low speed region in the divergent section of the spiral case increases, and the inlet velocity value becomes smaller, the more divergent to the wall the velocity distribution becomes, the wider the scope of the vortex becomes.

Key words: centrifugal pump; spiral case; spiral case inlet width; unsteady

离心泵是应用最广泛的一种泵,它具有结构简单、工作可靠、体积小、效率高等优点,因此对离心泵的性能研究在国民生产中具有重要意义.离心泵蜗壳又称螺旋形压水室,起着重要的导流与扩压作用,其设计的好坏对泵的性能有重大的影响.而长期以来,人们将研究的重点集中在叶轮上,很大程度上忽略了叶轮和蜗壳间相互匹配关系的研究.这就造成单叶轮运行性能往往非常优异,一旦和蜗壳配合起来工作,各项性能指标都会大幅度下降,并且伴随有振动、噪声等非稳定工况^[1,2].为此,研究离心泵蜗

壳与叶轮的匹配关系对于改善泵的整体性能十分必要,对于预防和解决泵运行中的振动和噪声问题意义重大.我们基于 CFD 对不同进口宽度的蜗壳与同一叶轮匹配关系进行研究,通过对离心泵全流场的数值计算,分析了蜗壳进口宽度对离心泵流场的影响,阐述了蜗壳进口宽度与叶轮的匹配关系^[3-5].

1 研究方法

1.1 研究对象

选取某一单级单吸离心泵为原型泵,该泵的比

收稿日期:2013-03-14

基金项目:甘肃省教育厅研究生导师科研项目(0503-04)

作者简介:赵万勇(1961-),男,教授,主要从事流体机械方面的研究. E-mail: zhaowy@lut. cn

转速为 $n_s = 66$, 设计扬程 $H = 54$ m, 设计流量 $Q = 50$ m³/h. 它的主要几何参数为: 叶轮出口直径 $D_2 = 205$ mm, 叶轮进口直径 $D_1 = 75$ mm, 叶片出口宽度 $b_2 = 10$ mm, 叶片数 $z = 6$, 叶片包角 130° , 叶轮额定转速 $n = 2\ 900$ r/min, 蜗壳进口基圆直径 $D_3 = 208$ mm, 蜗壳进口宽度 $b_3 = 24$ mm. 取离心泵的整体作为计算域, 用 Pro/E 软件对其进行三维造型. 将进口宽度互不相同的三个蜗壳分别与同一叶轮组合作为研究的计算模型.

1.2 控制方程

假设该泵内流体是不可压、稳定流动, 不计重力的影响, 密度 ρ 为常数且 $d\rho/dt = 0$, 控制方程如下^[6]:

连续方程为

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0. \quad (1)$$

运动方程, 又称为 Navier-Stokes 方程的张量表达式为

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + f_i. \quad (2)$$

其中: 式左端代表单位体积流体的惯性力, 右端第 1 项表示单位体积流体的压强梯度力, 第 2 项代表粘性变形应力, 它只与流体的黏度系数和应变率张量有关, 第 3 项代表单位体积的质量力.

1.3 计算域的网格划分

离心泵内流场计算域分蜗壳、叶轮、进口段 3 个部分, 对 3 个部分单独进行网格划分, 如图 1 所示. 不同网格域之间通过网格交界面技术实现上下游部件的物理场信息的传递, 在交界面上所有方程中各种物理量的处理都是隐式的, 并且完全守恒. 网格数量的多少将影响计算结果的精度和计算规模的大小. 我们运用 ICEM 对计算域进行网格划分, 由于非结构化网格对于任意复杂几何结构的描述和离散所具有的普适性和灵活性, 故各部分流域采用非结构化网格.

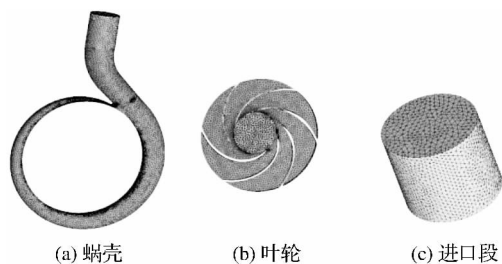


图 1 模型的计算网格

1.4 计算方法

1986 年 Yakhot 和 Orszag 首次将重整化技术 (RNG) 应用到高雷诺数的湍流流动中. 它的主要思想是依据模糊数学理论, 用公式率定代替标准 $\kappa\epsilon$ 模型中参数的实验率定, 同时对 $\kappa\epsilon$ 方程做了一些修正. 由于 RNG $\kappa\epsilon$ ^[7-10] 湍流模型可以考虑分离流动和涡旋流动的效应, 同时可较准确地预测近壁区的流动, 所以用该模型预测流体机械中的三维非定常流动, 能得出很好的结果.

1.5 边界条件

模型泵流动域的介质设为清水, 且认为是不可压缩的, 其密度为 998 kg/m³, 动力黏度为 $1.003\ 3 \times 10^{-3}$ Pa·s. 对模型泵内部流动而言, 主要存在进口边界、出口边界和固壁边界. (1) 进口边界: 进口边界取在进口管进口截面处, 并取为绝对速度边界条件. (2) 出口边界: 出口边界取在出口管出口截面处, 取为自由出流边界条件. (3) 离心泵叶轮和蜗壳壁面设为固壁条件, 由于不存在壁面有喷射或抽吸情况, 所以固壁表面取为无滑移边界.

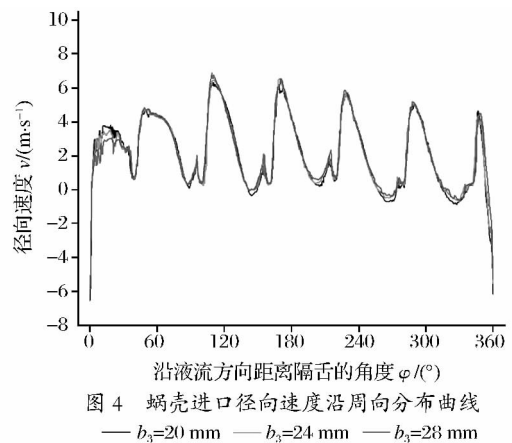
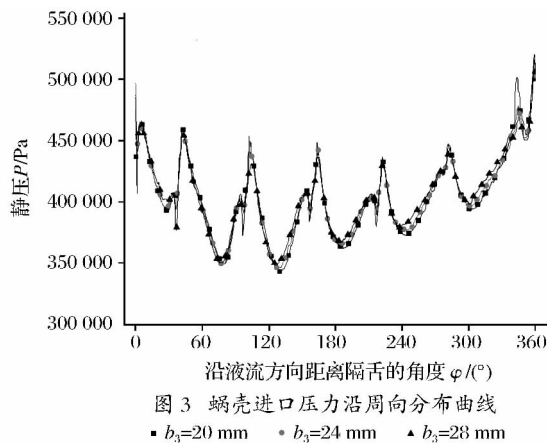
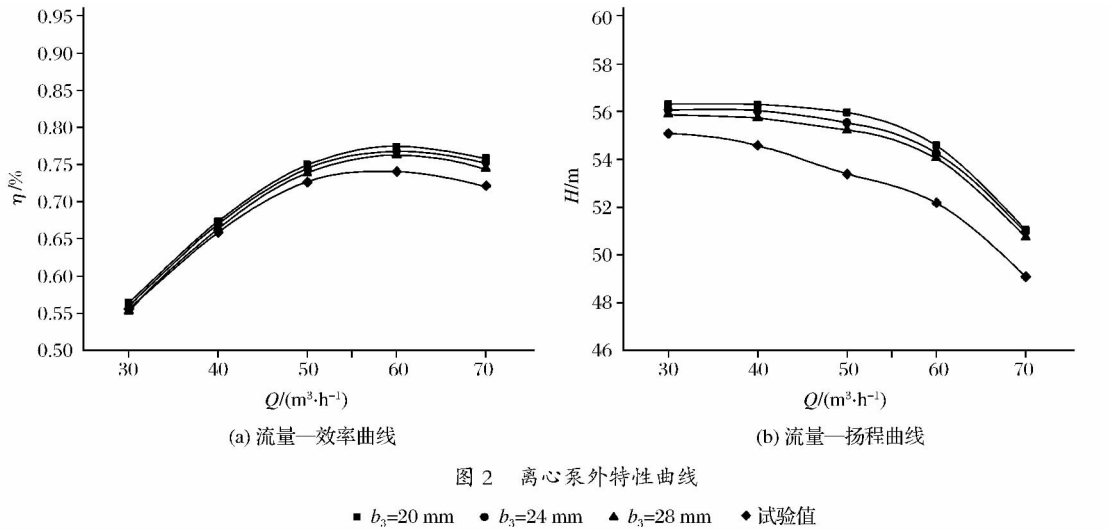
2 CFD 数值分析

2.1 外特性预测及分析

蜗壳进口宽度不同的 3 个模型的水力效率、扬程和轴功率随流量变化的曲线见图 2. 由图 2 可以看出, 数值模拟得到的流量—效率曲线和流量—扬程曲线均稍高于试验结果, 但与试验值整体变化趋势一致, 说明我们的数值计算结果可以被接受. 数值计算的结果稍大于试验值, 主要因为在数值计算时没有考虑泄漏引起的容积损失、泵轴中的机械摩擦损失和泄露液体与叶轮之间的圆盘摩擦损失. 从图 2(a) 中的流量—效率曲线中可以看出, 效率随着蜗壳进口宽度的减小而略有增高, 蜗壳进口宽度为 20 mm 的曲线更为平坦些, 高效区也更宽, 而蜗壳进口宽度为 28 mm 的则相反. 从图 2(b) 流量—扬程曲线可知, 各蜗壳进口宽度下的扬程相差不大, 但整体上扬程随蜗壳进口宽度的增大而有所降低, 即相同工况下, 蜗壳进口宽度为 20 mm 的扬程最高, 进口宽度为 28 mm 的最低. 在设计流量下, 进口宽度为 20 mm 的扬程与进口宽度为 28 mm 的相差最大, 达到 0.73 m, 但是整体上仍然相差较小.

2.2 定常数值计算结果及分析

蜗壳进口压力和进口径向速度沿周向分布曲线分别如图 3、图 4 所示.



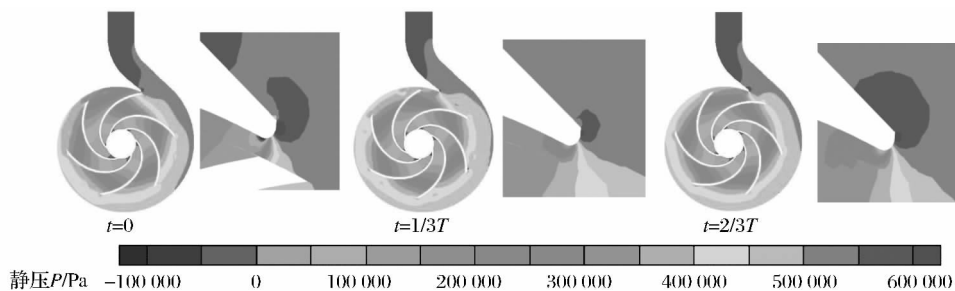
由图 3 和图 4 可知, 3 种模型的进口压力和进口径向速度沿圆周分布趋势相同, 呈现周期性变化。总体上相同位置处的蜗壳进口压力随蜗壳进口宽度的增大而略有增加, 而压力波动幅值却有所减小。蜗壳进口宽度的变化对蜗壳进口处径向速度的总体分布影响不大, 但也存在一定差异。

2.3 非定常计算及结果分析

根据定常计算的结果可知, 蜗壳进口宽度的改变并未对离心泵内部流场的分布规律造成显著影响, 以 $b_3 = 24\text{ mm}$ 的原型泵为代表, 分析叶片和蜗壳隔舌相对位置的改变对离心泵内流场分布的影

响。设计流量 3 种工况下一个周期内不同时刻中间截面上的静压见图 5, 不同时刻中间截面上的绝对速度分布见图 6, 每个工况下相邻两图的时间间隔为 $T/3$, 其中叶片恰好扫到隔舌时刻记为 $t=0$ 。

从图 5 和图 6 可知, 非定常计算得到的静压场和速度场分布与定常计算的分布趋势基本一致, 但是随着叶片和隔舌相对位置的不同, 离心泵内部流场分布有所差异, 尤其是蜗壳隔舌附近的区域受叶片和隔舌相互干涉的作用明显。图 5 结果显示, 静压分布方面, 叶片靠近隔舌时, 隔舌处的高压区域较小, 随着叶片远离隔舌后, 高压区域逐渐增大。



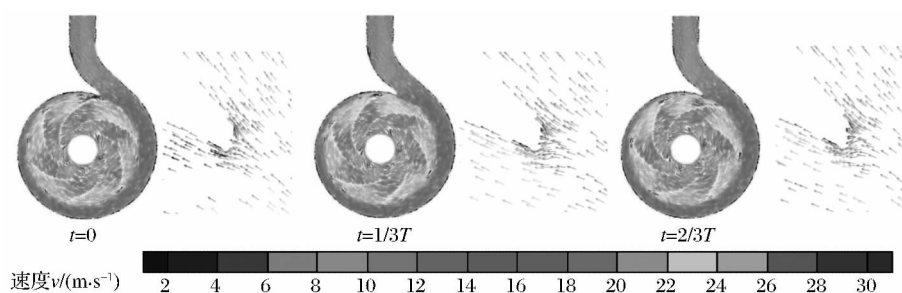


图6 中间截面速度分布

从图6可以看出,非定常计算得到的绝对速度分布特征与定常下的基本一致.

3 结论

(1) 3个模型的外特性预测结果表明,泵的效率 and 扬程均随蜗壳进口宽度的增加而稍稍降低.

(2) 蜗壳进口宽度越大,进口处的速度值越小,速度分布越向壁面分散,旋涡的范围也越大.

(3) 蜗壳进口处的压力随进口宽度增大而略有增加,而压力波动幅度却随蜗壳进口宽度增大而有所减小.

(4) 蜗壳隔舌与叶轮间的动静干涉是引起蜗壳内部压力脉动的主要原因.不同时刻下驻点位置基本不变,说明叶片与隔舌之间的动静干涉作用对隔舌处速度场的分布影响不大.

参考文献:

[1] 邓文剑,楚武利.叶轮和蜗壳匹配关系对离心泵性能影响的研究[J].石油机械,2008,36(3):9-12.

[2] Majidi K. Numerical Study of Unsteady Flow in a Centrifugal Pump[J]. ASME Journal of Turbomachinery, 2005, 127(2): 363-371.

[3] 周鹏.低比转速离心泵蜗壳与叶轮匹配关系的数值研究[D].西安:西安理工大学,2009.

[4] 陈斌,施卫东,张华,等.超厚叶片离心泵叶轮与蜗壳之间性能匹配的研究[J].水泵技术,2011,39(6):26-29.

[5] 郭鹏程,罗兴铸,刘胜柱.离心泵内叶轮与蜗壳间耦合流动的三维紊流数值模拟[J].农业工程学报,2005,21(8):1-5.

[6] 王福军.计算流体动力学分析[M].北京:清华大学出版社,2004.

[7] 韩占忠,王敬,兰小平.FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M].北京:北京理工大学出版社,2004.

[8] 苏铭德,黄素逸.计算流体力学基础[M].北京:清华大学出版社,1997.

[9] 徐朝晖,吴玉林,陈乃祥,等.高速泵内三维非定常湍流激振计算[J].清华大学学报:自然科学版,2003,43(10):1 428-1 431.

[10] 徐朝晖,吴玉林,陈乃祥,等.基于滑移网格与 RNG 湍流模型计算泵内的动静干涉[J].工程热物理学报,2005,26(1): 66-68.