

离心泵尾流-射流现象及粗糙度对其影响的分析*

赵斌娟 王 瑜 陈汇龙 侯多华 仇 晶

(江苏大学能源与动力工程学院, 镇江 212013)

摘要:为减小叶轮内的流动损失,结合计算流体力学、壁面函数法和等效沙粒粗糙度模型,研究了离心泵叶轮流道内的尾流-射流现象及其受粗糙度的影响规律。对比试验和数值模拟结果,确保了所选计算方法和湍流模型(RNG $k-\varepsilon$ 模型)能够准确反映内流场的变化。研究表明:在叶轮流道内相对速度 W 的分布存在明显的尾流-射流规律,且吸力边后盖板附近的边界层厚度较大,尾流区主要在吸力边后盖板附近;在叶轮出口处,尾流区则出现在吸力边的前盖板附近。粗糙度对叶轮流道内湍流的影响较大,对压力边和吸力边相对速度的影响相反。粗糙度对内部流动的影响存在一个过渡值,当粗糙度大于此值时,粗糙度对流动的影响与粗糙度小于此值时相反。随着粗糙度的增加,叶轮出口处相对速度波动的振幅增加。

关键词:离心泵 粗糙度 尾流-射流结构 叶轮流道 数值计算

中图分类号: TH311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0138-06

引言

已有的流场分析研究表明:在离心泵叶轮流道内存在着相对速度较小的尾流区和近似无粘性的射流区,相对速度 W 的尾流-射流结构直接影响离心泵的流动损失。然而针对离心泵内部流动的尾流-射流规律及其受到叶轮内表面粗糙度影响的分析还较少。

文献[1-4]直接分析了叶轮表面粗糙度对离心泵性能的影响。通过数值计算的方法研究了粗糙度对轴流泵性能的影响,指出离心泵表面粗糙度每提高0.1 mm,水泵的效率可以提高1.71%。且叶片表面粗糙度对水泵的扬程和效率的影响均为显著。离心泵叶轮流道出口尾流-射流结构的强弱是影响叶轮内效率和喘振的重要因素^[5]。然而针对尾流-射流如何影响离心泵性能及其受哪些因素影响的分析却未提及。

文献[5-9]通过试验和表面粗糙度直接建模的数值模拟方法,对粗糙度对湍流的影响进行了基础性的研究。研究表明:粗糙度对湍流边界的影响存在着相似的现象——相对速度在对数区域存在相同的下移现象,表面粗糙度增强了壁面附近的湍流现象,增加了壁面附近的剪切应力和传热系数。文献[10-11]则是通过试验方法研究了叶片表面粗糙度对风力涡轮机性能和流动的影响。Marzabadi

等通过数倍的热膜传感器,研究了进口边粗糙度对翼型边界层的影响。由于粗糙度的原因,边界层的过渡点向入口边移动,导致机翼尾部更早期产生边界层分离现象,因此减弱了翼型的作用。

由此可见,表面粗糙度对流体机械的性能起着至关重要的作用。因此,为进一步提高离心泵的水力性能,需着重分析泵内的流动规律及其如何受粗糙度的影响。目前,可以通过试验和数值计算的方法,研究粗糙度对性能的影响。然而,通过试验方法研究闭式叶轮内表面粗糙度对湍流的影响比较困难。随着计算流体力学的发展,数值计算能够比较准确地反映内流场的变化和预测离心泵的性能。本文结合计算流体力学、壁面函数法和等效沙粒粗糙度模型,研究离心泵内的尾流-射流结构和这种流动结构受粗糙度的影响。

1 数值计算

1.1 控制方程

目前 ANSYS 等可以有效计算雷诺时均方程和湍流模型(RNG $k-\varepsilon$ 模型)。封闭的方程组包括时均连续性方程、雷诺时均方程(RANS)和湍流模型方程。通过有限体积法离散在旋转坐标系下的方程。湍流模型能够很好预测湍流充分发展的区域,而对于靠近壁面附近的速度则通过壁面函数法、结合等效沙粒粗糙度模型进行修正。

收稿日期: 2014-02-28 修回日期: 2014-04-09

* 国家自然科学基金资助项目(51109094)、江苏省高校优势学科建设工程资助项目和航空科学基金资助项目(201328R3001)
作者简介: 赵斌娟,副教授,主要从事流体机械内部复杂流动数值计算及先进测量技术研究,E-mail: zhaobinjuan@mail. ujs. edu. cn

1.2 等效沙粒粗糙度模型

表面粗糙度导致了壁面附近湍流现象的产生,湍流的产生又明显增加了壁面剪切应力和传热系数。为更准确预测壁面附近的流动和热传递,选择一个准确的粗糙度模型至关重要,使模拟结果和试验结果更加吻合。等效沙粒粗糙度模型认为,粗糙的表面可以等效为在光滑的表面上密布一层平均高度为 h 的球体,则壁面上的速度 u^+ 可表示为

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + B - \Delta B \tag{1}$$

其中
$$\Delta B = \frac{1}{\kappa} \ln \left(1 + \frac{0.3hu_\tau}{\nu} \right)$$
$$y^+ = \frac{\rho \Delta y u_\tau}{\mu} \quad u_\tau = \left(\frac{\tau_\omega}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中 κ ——Karman 常数 B ——粗糙度常数
 ν ——介质的动力粘度
 h ——球体的平均高度
 u^+ ——近壁处速度
 y^+ ——到壁面的无量纲距离
 u_τ ——摩擦速度 μ ——动力粘度
 τ_ω ——壁面切应力 ρ ——介质的密度
 Δy ——计算点与壁面的距离

1.3 计算模型及网格划分

本文研究的低比转数离心泵的设计工况和主要参数为:流量 $Q = 20.37 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H = 46.35 \text{ m}$,转速 $n = 2\,900 \text{ r/min}$,比转数 $n_s = 45$,叶轮入口直径 $D_s = 48 \text{ mm}$,叶轮出口直径 $D_2 = 192 \text{ mm}$,叶轮出口宽度 $B_2 = 5 \text{ mm}$,叶片出口角 $\beta_2 = 38^\circ$,叶片包角 $\varphi = 117^\circ$,蜗壳基圆直径 $D_3 = 198 \text{ mm}$,蜗壳入口宽度 $B_3 = 15 \text{ mm}$ 。计算用泵如图 1 所示。

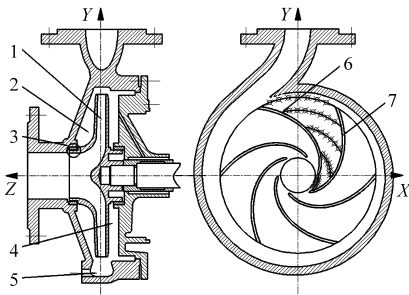


图 1 计算用泵示意图

Fig. 1 Sketch of pump used for computation

1. 叶轮流道 2. 前泵腔 3. 密封环间隙流道 4. 后泵腔 5. 蜗壳流道 6. 压力边 7. 吸力边

为了更好地研究粗糙度对离心泵内流场的影响,本文对包括叶轮流道、蜗壳流道、前后泵腔、密封环间隙流道,以及进出口流道在内的离心泵全流道进行流动数值模拟。由于计算区域几何结构的复杂

性,采用四面体非结构化网格对整个区域进行网格划分(见图 2),尤其对密封环处进行局部网格加密。根据网格无关性检测发现当蜗壳流道的网格数为 2 005 105,叶轮流道网格数为 432 731,进出口流道的网格数均为 99 813 时,计算所得离心泵的扬程和效率不再受网格数影响,计算过程的收敛性和稳定性均较好。

1.4 边界条件

离心泵进口采用速度入口。考虑到低比转数离心泵出口存在的回流现象,出口设定为开放式出口(opening)。各壁面均采用无滑移的壁面条件。监测离心泵扬程和出口截面的平均静压,当其不再发生变化时,认为收敛。



图 2 网格划分

Fig. 2 Grid of centrifugal pump

1.5 数值计算结果的验证

为了保证数值计算结果准确性和数值计算模型设置的合理性,对离心泵进行外特性性能试验,测试离心泵扬程、效率、轴功率随流量的变化关系,对比试验和模拟结果,保证数值计算能较好地预测内流场的变化。数值计算和试验所得性能曲线如图 3 所示,数值计算和试验结果吻合良好(效率相对误差为 3%),在设计工况下,效率误差较小,扬程随流量的变化趋势与试验结果相似,说明数值计算能够在各个工况下较好地反映内流场的情况,为分析粗糙度对离心泵内部流场的影响提供了保证。

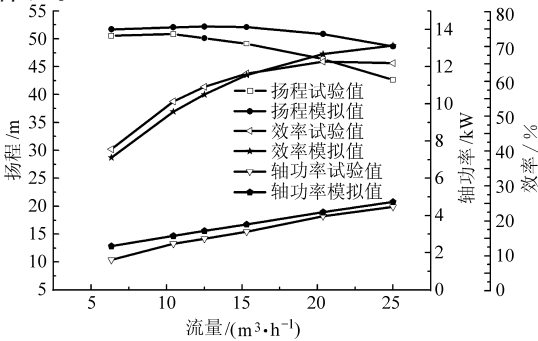


图 3 数值模拟和试验所得离心泵性能曲线

Fig. 3 Comparison of the performance curve by simulation and experiment

2 计算结果及分析

如上文所述,本文采用雷诺平均动量方程计算一低比转数离心泵在设计工况下全流道内的三维定常湍流,采用 RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型求解并封闭控制方程。应用高分辨格式离散对流项,二阶欧拉格式离散时间导数项。采用冻结转子法耦合动静部件,残差收敛精度设为 10^{-5} 。

为了充分地研究壁面粗糙度对离心泵内尾流-射流结构的影响,分别选择水体区域的壁面粗糙度为 0.01、0.03、0.05、0.10、0.50 和 0.80 mm,作为数值计算的输入条件。在离心泵的 XY 平面内绘制 5 条圆形曲线,并在一个流道内的各条曲线上分别布置 9 个均匀分布的监测点,如图 1 所示。随叶轮半径减小方向各曲线依次为 A、B、C、D、E 曲线,监测点从吸力边到压力边依次记为 1、2、3、4、5、6、7、8、9 点。提取计算所得各监测点的相对速度 W (相对速度是离心泵内贯通流和轴向旋涡的叠加),进而分析低比转数离心泵叶轮流道内的流动规律以及粗糙度对流动规律的影响。

2.1 离心泵尾流-射流结构的分析

2.1.1 XY 平面上相对速度 W 的分析

低比转数离心泵单个叶轮流道内的相对速度 W 分布如图 4 (随 Y 减小,各曲线依次对应 A、B、C、D、E 曲线) 所示。在叶轮流道内存在明显的尾流-射流结构,在叶轮的出口部分尾流-射流结构比较明显。在叶轮流道内,压力边的中间位置存在一个明显的低速区,随着半径的增加,压力边的相对速度 W 先减小再增大,速度梯度的变化比吸力边大。在 B 到 E 曲线上,相对速度 W 的变化趋势相似,从吸力边到压力边,相对速度 W 先增加,达到峰值后减小。在吸力边附近存在较明显的尾流区域,且尾流区域随着半径的增加而增加。在叶轮出口曲线 A 上,从吸力边到压力边,相对速度 W 增加,速度梯度在第 2 个监测点附近较大,相对速度 W 在蜗壳隔舌附近出

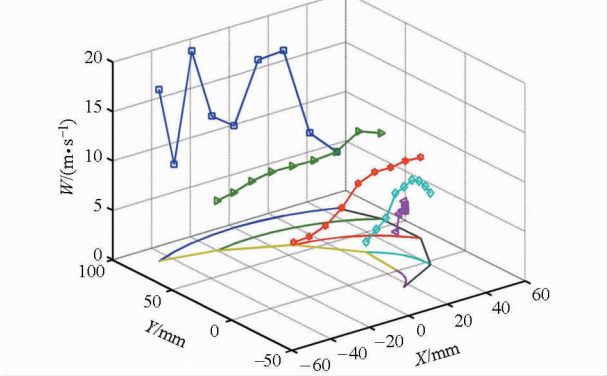


图 4 相对速度 W 的分布

Fig. 4 Distribution of relative velocity W

现了波动。随着半径的增大,从 E 曲线到 C 曲线,各圆上的相对速度 W 的变化比较大,在 B 曲线上的相对速度 W 变化较小。

2.1.2 Z 向圆柱面上相对速度 W 的分析

图 5 是各 Z 向圆柱面上的相对速度 W 矢量图。该图验证了在 XY 平面上尾流-射流结构的存在。在 A 曲线上,尾流-射流结构最为明显。在蜗壳隔舌附近,相对速度 W 受到蜗壳的影响,相对速度 W 的方向和大小发生了改变。从吸力边到蜗壳隔舌附近,流体质点受到了压力和离心力作用,流体质点的加速度方向发生改变,使相对速度 W 方向指向蜗壳隔舌。

在吸力边附近,从前盖板到后盖板,相对速度 W 分布也呈现出尾流-射流结构,尤其在 B 和 C 曲线附近。在后盖板附近的尾流区域较大,边界层厚度较大,剪切层较薄,能量损失较大。随着半径的减小,后盖板附近的尾流区域变薄,剪切层增厚。在吸力边出口处,尾流区域出现在前盖板附近。

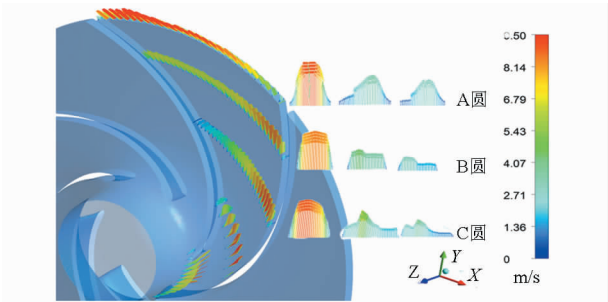


图 5 各圆柱面上相对速度 W 矢量图

Fig. 5 Relative velocity vector on the five cylinders

在压力边附近,从前盖板到后盖板相对速度 W 分布近似对称。在靠近前、后盖板表面附近,相对速度 W 梯度较大,没有明显的尾流结构和边界层增厚现象;在吸力边附近,从 B 曲线到 E 曲线,圆柱面上的相对速度 W 呈现明显的尾流-射流规律,在后盖板附近存在较明显的低速区(尾流区),在靠近前盖板附近时,相对速度 W 出现波动,随着半径的减小,波动加剧,峰值增大。在前盖板附近相对速度 W 变化相似,存在较大的速度梯度;在出口部分,吸力边的低速区则出现在前盖板附近。在各条圆形曲线的中间部分,相对速度 W 的变化规律相似,呈近似对称的分布结构,在前、后盖板附近,相对速度 W 呈线性变化。在 A 曲线中间位置,相对速度 W 呈正态分布,在前、后盖板附近均出现了低速区和呈对数特性增加的梯度区域,且低速区较小,对数区较大。

尾流-射流结构是边界层增厚的原因,而流线曲率和旋转是影响边界层稳定性的重要原因。从上述分析得知,工作面边界层内的低能流体微团通过前、

后盖板运动到吸力面上的边界层内。而且由于后盖板曲率的影响,吸力面上边界层内的低能流体微团运动到后盖板附近。因此在后盖板附近的边界厚度较大,层内流体相对速度 W 较小,而湍流核心区域的相对速度 W 较大,因此在吸力面后盖板附近形成了明显的尾流-射流结构,且相对速度 W 在 XY 平面和 Z 向的圆柱面上均存在尾流-射流规律。由于表面粗糙度破坏了边界层内的流动,加强了湍流流动,也加剧了低能流体微团的运动,因此有必要分析粗糙度对低比转数离心泵内部尾流-射流结构的影响。

2.2 粗糙度对叶轮流道内尾流-射流的影响

2.2.1 XY 平面上相对速度

图6是数值计算所得压力边相对速度 W 随粗糙度的变化规律。由图可见,随着半径的增加,压力边上的相对速度 W 先逐渐减小,达到极小值后再增加。当粗糙度小于 0.50 mm 时,压力边的相对速度随着粗糙度的增加而增加;当粗糙度大于 0.50 mm 时,规律则相反。

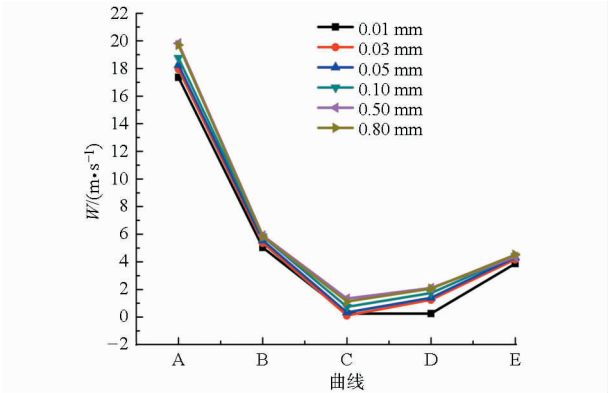


图6 压力边上相对速度 W 随粗糙度的变化曲线
Fig.6 Relative velocity W on the pressure side

图7~11是在 XY 平面上,各圆柱面上的相对速度 W 随粗糙度的变化关系,各圆上均匀分布的监测点从吸力边到压力边依次记为 1、2、3、4、5、6、7、8、9。在 B、C、D 圆上的湍流的核心区域,相对速度 W 随粗糙度变化规律相似,先逐渐增加,达到峰值后减小。随着半径的减小,峰值逐渐向压力边移动。在压力边附近相对速度 W 随粗糙度的变化规律相似,随粗糙度的增大而增大;在吸力边附近相对相对速度 W 的变化存在较大的差异。在吸力边附近,相对速度 W 随着粗糙度的增加而减小。但是随着半径的减小,粗糙度的影响减弱,吸力边的相对速度 W 的变化减小。当粗糙度大于 0.50 mm 时,粗糙度对相对速度 W 的影响则相反,从峰值的位置到压力边,相对速度 W 随粗糙度的增加而减小,从峰值的位置到吸力边,相对速度 W 随粗糙度的增加而增加;当粗糙度小于 0.03 mm 时,在叶轮流道的中间

位置的圆上,相对速度 W 将不再出现峰值,而是从吸力边到压力边逐渐减小。且随着半径的减小,在相对速度 W 峰值附近的速度梯度减小。

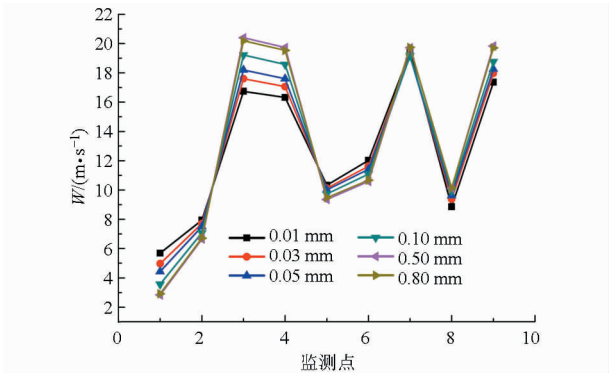


图7 A圆上相对速度 W 随粗糙度的变化曲线
Fig.7 Relative velocity W on the circle A

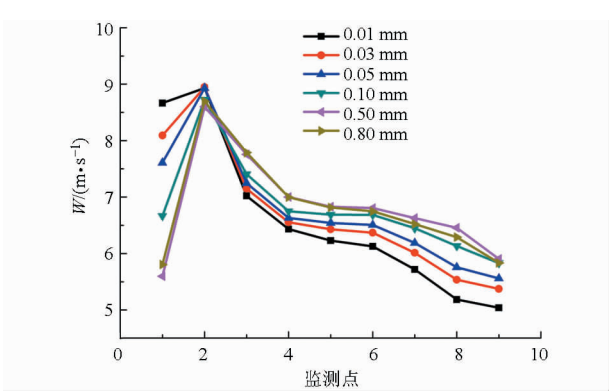


图8 B圆上相对速度 W 随粗糙度的变化曲线
Fig.8 Relative velocity W on the circle B

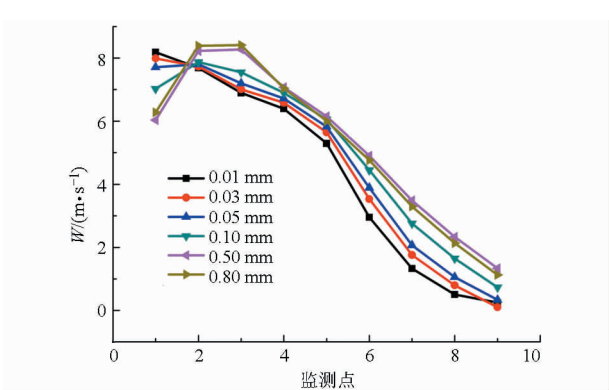
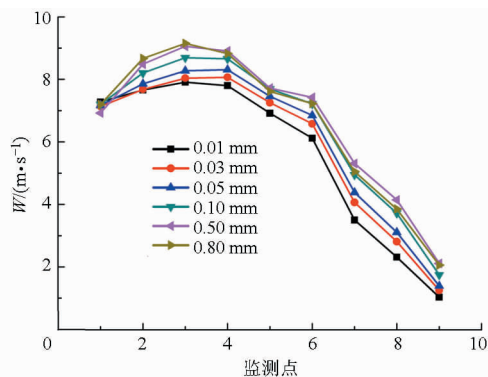
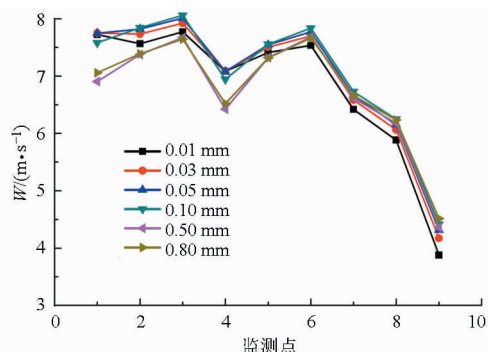


图9 C圆上相对速度 W 随粗糙度的变化曲线
Fig.9 Relative velocity W on the circle C

由图7还可见,在叶轮出口边上相对速度 W 受到蜗壳和相邻流道的影响,变化规律与流道内各圆上的不同。在吸力边相对速度 W 受粗糙度的影响与其他各圆相似。从吸力边到压力边,相对速度 W 出现波动,尤其在蜗壳隔舌部分。当粗糙度小于 0.50 mm 时,随着粗糙度的增加,相对速度 W 的波动振幅增大;同理,当粗糙度大于 0.50 mm 时,粗糙度对相对速度 W 的影响规律相反。在离心泵入口处,压力边的相对速度 W 变化与 B 到 D 曲线上的变

图10 D圆上相对速度 W 随粗糙度的变化曲线Fig. 10 Relative velocity W on the circle D图11 E圆上相对速度 W 随粗糙度的变化曲线Fig. 11 Relative velocity W on the circle E

化规律相似。在吸力边处,受到入口流动影响,产生波动。受粗糙度影响的变化规律不明显。

由上述分析可得叶轮表面的粗糙度对尾流区和射流区均存在较大的影响。当粗糙度小于 0.50 mm 时,尾流区的平均相对速度减小,剪切层的速度梯度增大。在射流区域,相对速度 W 随着粗糙度的增加而增加。随着粗糙度的变化,离心泵内部的流动损失发生了变化。因此减小叶轮表面粗糙度有利于减小损失。

2.2.2 Z向柱面上相对速度

图12是吸力边附近各圆柱面上的相对速度 W 随粗糙度的变化。由以上分析得知,边界层在吸力边的后盖板附近出现了较大的增厚现象,使流动出现了比较明显的尾流-射流结构。粗糙度的变化对边界层厚度、层内流体相对速度 W 影响相对较小,对湍流核心区域的相对速度 W 影响较大。各圆柱面上相对速度 W 随粗糙度的变化规律相似。当粗

糙度小于 0.50 mm 时,随着粗糙度的增大,湍流核心区域的相对速度 W 峰值减小,相对速度 W 较大的范围减小,但同一圆柱面上,相对速度 W 沿 Z 向的分布规律不受粗糙度的影响。在同一粗糙度下,叶轮中部的平均相对速度 W 较小,随着半径的减小,相对速度 W 沿 Z 向的分布出现较大的波动。当粗糙度大于 0.50 mm 时,湍流核心区域的相对速度 W 的峰值出现增加的趋势。在不同半径的圆柱面上,相对速度 W 的峰值出现在不同轴向位置。

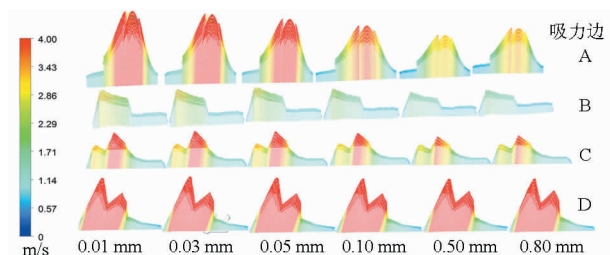
图12 吸力边附近 Z 向圆柱面上相对速度 W 矢量图

Fig. 12 Relative velocity vector of cylinder nearby the suction side

3 结论

(1)在叶轮的出口位置尾流区域紧贴在叶轮的前盖板和吸力边附近;然而在叶轮的中间位置,尾流区域则统一出现在吸力边的后盖板附近。因此,尾流区域不均靠近前盖板。

(2)在各圆的中间位置,相对速度 W 沿轴向的分布呈现对称的结构,在靠近压力边和吸力边时,出现不对称的结构。

(3)压力边和吸力边受粗糙度的影响规律也不同,在 XY 平面的湍流核心区域,相对速度 W 受粗糙度影响较大,在吸力边上相对速度 W 受粗糙度的影响和压力边相反。在 Z 向圆柱面上粗糙度对前、后盖板中间位置的相对速度 W 影响较大。

(4)叶轮表面粗糙度对尾流-射流结构影响较大,在尾流区随着粗糙度的增加,相对速度减小。在射流区随着粗糙度的增加,相对速度增大。因此,粗糙度对离心泵内流的影响规律复杂。

(5)当粗糙度大于 0.50 mm 时,粗糙度对叶轮流道内的尾流-射流的影响和粗糙度小于 0.50 mm 的情况相反。

参考文献

- 李龙,王泽.粗糙度对轴流泵性能影响的数值模拟研究[J].农业工程学报,2004,20(1):132-135.
Li Long, Wang Ze. Simulation of the influence of wall roughness on the performance of axial-flow pump[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1):132-135. (in Chinese)
- 谈明高,刘厚林,吴贤芳,等.粗糙度对离心泵性能数值预测的影响[J].中国农村水利水电,2011(2):131-134.
- 朱红耕,鄢必鹏,周济人.壁面粗糙度对轴流泵水力性能影响的研究[J].灌溉排水学报,2006,25(1):85-88.
Zhu Honggeng, Yan Bipeng, Zhou Jiren. Study on the influence of wall roughness on the hydraulic performance of axial-flow pumps

- [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(1):85–88. (in Chinese)
- 4 张兰金,常近时. 转轮表面糙度对水泵水轮机泵工况水力性能的影响[J]. 水力发电学报,2008,27(2):125–129.
Zhang Lanjin, Chang Jinshi. Influence of roughness of runner on the cavitation of pump-turbine in the pump mode[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008,27(2):125–129. (in Chinese)
- 5 Huang K, Wan J W, Chen C X, et al. Experiments investigation of the effects of surface roughness on laminar flow in macro tubes [J]. Experimental Thermal and Fluid Science,2013,45:243–248.
- 6 Krogstad P A, Antonia R A. Surface roughness effects in turbulent boundary layers[J]. Experiments in Fluids,1999,27(5):450–460.
- 7 Shah M K, Agelinchaab M, Tachie M F. Influence of PIV interrogation area on turbulent statistics up to 4th order moments in smooth and roughness wall turbulent flows[J]. Experimental Thermal and Fluid Science,2008,32(3):725–747.
- 8 De Marchis M, Napoli E. Effects of irregular two-dimensional and three-dimension surface roughness in turbulent channel flows [J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2012, 36: 7–17.
- 9 Dierich F, Nikrityuk P A. A numerical study of the impact of surface roughness on heat and fluid flow past a cylindrical particle [J]. International Journal of Thermal Sciences,2013, 65: 92–103.
- 10 Marzabadi F Rasi, Soltani M R. Effect of leading-edge roughness on boundary layer transition of an oscillating airfoil[J]. Scientia Iranica, 2013, 20(3):508–515.
- 11 Soltani M R, Birjandi A H, Moorani M Seddighi. Effect of surface contamination on the performance of a section of a wind turbine blade[J]. Scientia Iranica, 2011,18(3):349–357.
- 12 Liu Houlin, Ren Yun, Wang Kai, et al. Research of inner flow in a double blades pump based on OPENFOAM[J]. Journal of Hydrodynamics,2012,24: 226–234.
- 13 赵斌娟,侯多华,陈汇龙,等. 叶轮流道结构对双流道泵性能的影响[J]. 排灌机械工程学报,2013,31(4):294–299.
Zhao Binjuan, Hou Duohua, Chen Huilong, et al. Influence of impeller passage structure on performance of double-channel pumps[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering,2013,31(4):294–299. (in Chinese)
- 14 Khabbouchi I, Guellouz M S, Nasrallah S Ben. A study of the effect of the jet-like flow on the near wake behind a circular cylinder to a plane wall[J]. Experiment Thermal and Fluid Science, 2013, 44: 285–300.
- 15 裴吉,袁寿其,袁建平. 流固耦合作用对离心泵内部流场影响的数值计算[J]. 农业机械学报,2009,40(12):107–112.
Pei Ji, Yuan Shouqi, Yuan Jianping. Numerical calculation for effect of fluid-structure interaction on flow field in centrifugal pump[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(12):107–112. (in Chinese)
- 16 Li Wenguang. Model of flow in the side chambers of an industrial centrifugal pump for delivering viscous oil[J]. ASME Journal of Fluid Engineering,2013,135: 051201–1–051201–22.
- 17 Echouchene F, Belmabrouk H, Penven L Le, et al. Numerical simulation of wall roughness effects in cavitating flow[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2011,32(1):68–75.

Jet-wake Flow in the Channel of Impeller and the Effect of Surface Roughness on It

Zhao Binjuan Wang Yu Chen Huilong Hou Duohua Qiu Jing

(School of Energy and Power Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: For analyzing the flow pattern and reducing the hydraulic loss, the jet-wake flow in the channel of impeller and how it is influenced by the surface roughness have been studied by coupling computational fluid mechanics and the sand-grain roughness method. The results of experiment and simulation were compared to insure the RNG $k-\varepsilon$ model could reflect the variation of the inner flow. The results indicate that the jet-wake flow was obvious in the channel of impeller and the jet flow mainly appeared nearby the rear shroud of the suction side, while the jet flow appeared in the front shroud at the exit of impeller. The surface roughness of the impeller had a great influence on the relative velocity, and had the opposite influence on the pressure and suction side. The effect of surface roughness on the relative velocity become opposite when the value of roughness was higher than a transitional point. With the increase of the value of surface roughness, the amplitude of the relative velocity at the exit of impeller increased obviously, which was caused by the impeller-volute interaction.

Key words: Centrifugal pump Roughness Jet-wake flow Channel of impeller Numerical simulation