

# 农用离心泵内二维流场的 CFD 模拟

郭仁宁, 郭莹莹, 李向龙

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:**基于 CFD 模拟技术,采用滑动网格模型对离心泵内流场进行了 2-D 求解,得出了离心泵内的速度分布图、速度矢量图以及不同时刻的总压力图。结果表明:离心泵内部流动非常复杂,叶轮内各流道压力分布、流速和流量差异明显,呈现出高度的不对称性。Fluent 软件对离心泵内流场的模拟,能真实反映出泵内流道状况,为农用离心泵内叶轮的设计、改良提供理论基础。

**关键词:**CFD; 离心泵; 叶轮; 流道

**中图分类号:**S210.6;S126

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2013)10-0119-03

离心泵具有效率较高、重量轻、流量和扬程适中、结构简单、性能平稳以及容易操作和维修等优点,在农业排灌、农村饮水工程、农村沼气工程中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。以前对离心泵的研究是以经验为基础进行大量的反复试验,最终通过对比得出最佳设计方案,这个过程就需要大量的工作人员、时间和费用。近十几年来,随着科学技术和计算机技术的飞速发展,数值模拟已经在离心泵内流体流动分析中得到了广泛的应用。Fluent 拥有强大的计算流体功能,是目前比较流行的国际商用 CFD 软件包<sup>[2-3]</sup>,用于模拟任意复杂几何形状中的各种流体现象。它对离心泵内流体流动情况的模拟都非常准确,跟传统的离心泵设计相比具有明显的优越性<sup>[4]</sup>。因此用 Fluent 软件对离心泵进行辅助设计成为一种可靠的方法。

该文以农用离心泵为研究对象,采用 Gambit 软件建立离心泵的模型并对其划分网格,然后用 Fluent 软件对离心泵内部流场进行模拟,并得出相应的速度分布图、速度矢量图以及不同时刻的总压力图,对各流道的压力分布、流速和流量进行比较分析,最终得出结论。

## 1 基本控制方程

在数值计算时认为离心泵内液体是连续、非稳态及不可压缩的牛顿流体。控制方程满足质量守恒方程和动量守恒方程。

(1) 质量守恒方程(连续性方程)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0$$

(2) 动量守恒方程

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{u}) = \text{div}(\mu \text{grad} u) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u$$

$$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{u}) = \text{div}(\mu \text{grad} v) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v$$

式中, $\mu$  是动力粘度, $S_u$  和  $S_v$  是动量守恒方程的广义源项, $S_u = F_x + s_x$ , $S_v = F_y + s_y$ ,而其中的  $s_x$  和  $s_y$  的表达式为:

$$s_y = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda \text{div} \vec{u})$$

$$s_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (\lambda \text{div} \vec{u})$$

式中, $\lambda$  是第二粘度,一般可取  $\lambda = -2/3$ 。假设该文涉及到的液体粘性为常数,而且不可压,则  $s_x = s_y = 0$ 。

选取标准  $K-\epsilon$  湍流模型与以上控制方程组成封闭方程组,通过对封闭方程组的数值求解,获得离心泵内液体流动的模式。

## 2 研究对象及建模

离心泵由旋转的叶轮和蜗壳两部分组成,流体从叶轮中间的圆形口进入叶轮,经过叶片的旋转获得能量,最终从蜗壳的出口流出。已知叶轮有 5 个叶片,入口、出口半径分别为 105 和 165 mm,叶轮入口流速为  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,叶轮的旋转速度为  $1200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

用 Gambit 软件先创建叶轮和蜗壳流动区域,分别对叶轮和蜗壳流动区域进行网格的划分,其中叶轮流动区域中划分了 70 805 个网格,蜗壳流动区域划分了 51 826 个网格。

## 3 设置边界条件和计算模型

### 3.1 边界条件

定义两个不同区域,分别为叶轮流动区域和蜗壳流动区域;选定叶轮中央的小圆为速度入口;选定蜗壳的出口为压力出口;定义叶轮壁面为 wall。

收稿日期:2013-05-05

第一作者简介:郭仁宁(1956-),男,辽宁省阜新市人,教授,硕士研究生导师,从事流体机械及热能工程研究。E-mail: guorenning123@163.com。

### 3.2 计算模型

3.2.1 设置求解器类型 当转子和定子的交互作用应用实时解法(而不是时均解法时),必须用滑动网格模型计算非稳态流场。滑动网格模型是模拟多一动参考系流场的最精确方法,也是计算量最大的,该文就是用滑动网格法模拟二维离心泵的流场。弹出“Solver”对话框,在“Time”选项组中点选“Unsteady”单选钮,其它选项保持系统默认设置。

3.2.2 设置湍流模型 设置湍流模型为标准的  $K-\epsilon$  模型,其它选项保持系统默认设置。选择求解的参数时,速度和压力选择耦合方式,在其它选项的下拉列表框中都选择“Second Order Upwind”选项,以提高计算精度。

启动绘制残差功能,在“Max Iterations Per Time Step”文本框中输入“500”,得到的残差值见图1。由此可知计算收敛,对离心泵的模拟是有效且可靠的。

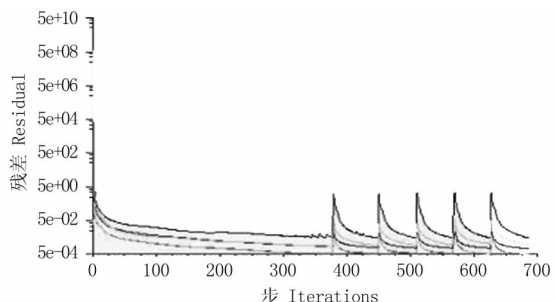


图1 残差图

Fig.1 Residual figure

## 4 模拟结果分析

### 4.1 速度场分布

从图2和图3可以看出,对单个流道进行分析,流体从叶轮入口流到叶轮出口的过程中,速度呈现出逐渐增大的趋势,叶轮内的速度梯度在进口处相对较小,出口处相对较大,叶片背面的速度要高于工作面的速度,且流体的速度在叶轮出口

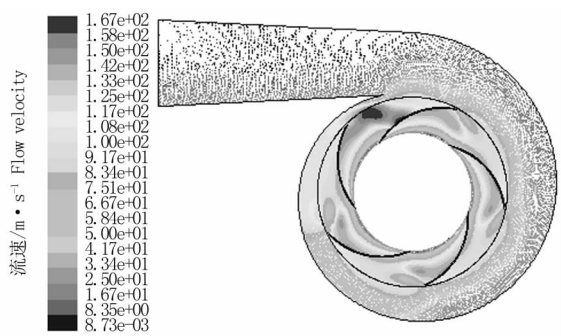


图2 流场速度矢量图

Fig.2 Flow field velocity vector

处达到最大值;对整个流道进行分析,整个流道的速度呈现出高度的不对称性。离蜗舌近的流道内的速度要高于离蜗舌远的流道,离泵壳壁面近的流道速度要高于离泵壳壁面远的流道。蜗壳内的流速变化不是十分明显,在蜗壳的出口处流体速度达到最低。

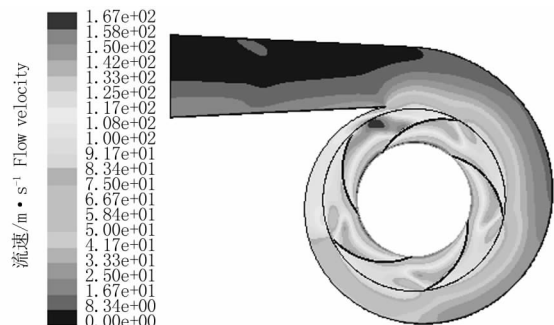


图3 流场速度分布图

Fig3 Flow field velocity distribution

### 4.2 压力场分布

叶轮旋转的速度是1200 rpm,所以每转用时为0.05 s,该文设定了观看录像先用1 s的时间计算1次,待流场稳定后,分别模拟出1.01、1.02、1.03、1.04和1.05 s的总压分布图。

从图4、图5、图6、图7和图8可以看出,不同时刻的总压力都表现出高度的不对称性,特别是各流道的压力呈现明显的不对称性。从叶轮入口到蜗壳排出口流体压力是逐渐增大的,其中在叶轮入口附近压力最小,蜗壳出口附近压力最大。2个叶片之间的流道区域呈现出明显的压力梯度,压力梯度微弱的地方是叶轮进口处,而压力梯度明显的地方是叶轮出口处,可见流道区域的压力梯度规律与速度梯度的规律是相反的。再观察叶轮相同半径的圆周上的压力情况,其叶片背面的压力比叶片工作面的压力小。

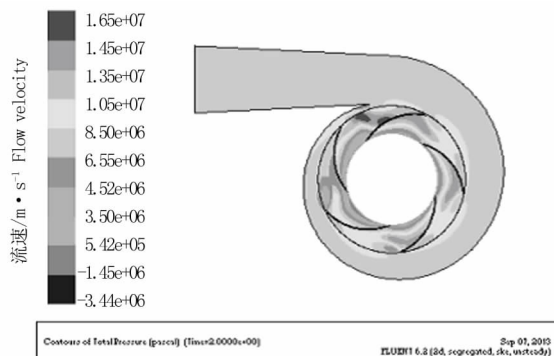


图4 1.01 s的总压分布图

Fig.4 Total pressure distribution at 1.01 s

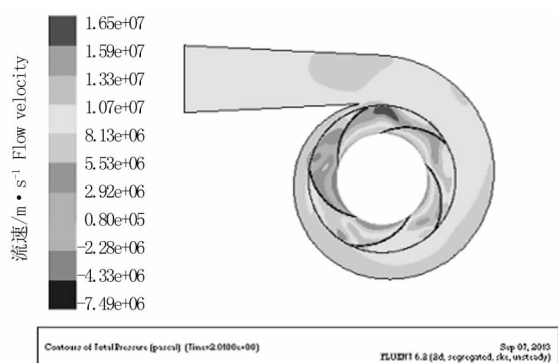


图 5 1.02 s 的总压分布图

Fig. 5 Total pressure distribution at 1.02 s

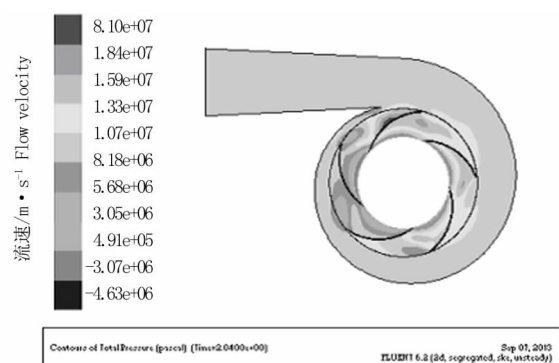


图 8 1.05 s 的总压分布图

Fig. 8 Total pressure distribution at 1.05 s

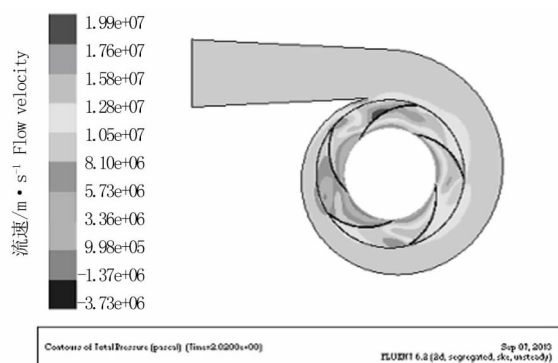


图 6 1.03 s 的总压分布图

Fig. 6 Total pressure distribution at 1.03 s

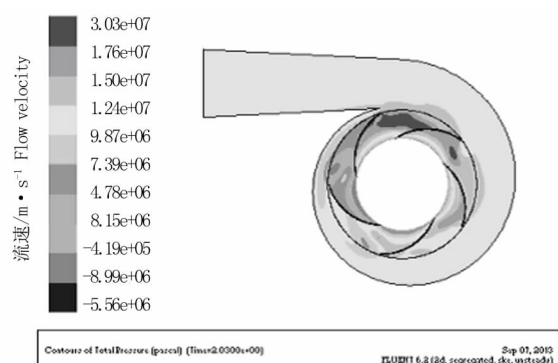


图 7 1.04 s 的总压分布图

Fig. 7 Total pressure distribution at 1.04 s

## 5 结论

利用 CFD 中的 Fluent 软件对离心泵内的流场进行二维模拟,选用标准的  $K-\epsilon$  湍流模型和滑动网格法进行求解,分别得出速度分布图、速度矢量图及不同时刻的总压力图,能真实地反映出离心泵内复杂的流动情况,模拟的结果符合离心泵的一般规律。

通过对压力和速度分布图进行分析,能清楚地掌握离心泵内流体的流动特性。叶轮内的速度从入口到出口呈现出逐渐增大的趋势,流体的速度在叶轮出口处达到最大值。压力分布在叶轮入口处最低,在蜗壳出口处达到最大值。流体在蜗壳出口处速度降到最小值,验证了能量守恒定律。

离心泵内部的速度和压力,在离泵结构中心的圆周上呈现出明显的非对称性,在时间上呈现出高度的不稳定性(非定常性)。该研究为农用离心泵内叶轮的设计和改良提供了理论基础,并为我国农业的机械化提供一定指导作用。

## 参考文献:

- [1] 马祥存. 农用离心泵使用注意的问题[J]. 湖南农机, 2009(4): 33-34.
- [2] 韩占忠. 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: 20-21.
- [3] 王福军. 计算流体动力学分析—CFD 软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 56-57.
- [4] 温正, 石良辰, 任毅如. FLUENT 流体计算应用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 85-86.

# CFD Simulation of Two-dimensional Flow Field in Agricultural Centrifuge Pump

GUO Ren-ning, GUO Ying-ying, LI Xiang-long

(Mechanical Engineering College of Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

**Abstract:** Based on CFD simulation technique, 2-D solver was employed to simulate the flow field in centrifugal pump with sliding mesh. Velocity counters, velocity vectors and pressure counters were obtained to reveal pressure distribution, velocity field and flow rate in different runners. The results showed that the internal flow centrifugal pump was very complex, and there was great asymmetry from each other, the software of Fluent could vividly reveal the flow field in all the runners, so as to design and improve agricultural centrifuge pump.

**Key words:** CFD; centrifugal pump; impeller; flow channel