

多翼离心风机 CFD 分析及参数优化设计*

张素梅 郭培红 温小萍 李同卓 / 河南理工大学机械与动力工程学院

Abstract

■ 摘要 :利用 CFD 分析软件 FLUENT 对多翼离心风机内部三维流场进行数值模拟,数值结果与五孔探针实验数据吻合较好。在此基础上建立多翼离心式风机参数化模型,并说明不同出口截面尺寸条件下 CFD 分析方法的风机参数优化设计过程。

■ 关键词 :多翼离心风机 CFD 数值模拟;五孔探针;参数优化设计

中图分类号 :TH432 文献标识码 :B
文章编号 :1006-8155(2011)04-0040-03
CFD Analysis and Parameter Optimal Design of Multi-blade Centrifugal Fan
Abstract: In this paper, the internal 3-D fluid in multi-centrifugal fan is numerically simulated by CFD software FLUENT. The numerical data are in good agreement with the experimental results tested by five-hole probe. Based on the numerical data, parametric models of multi-blade centrifugal fan are established. And parameter optimal design process of centrifugal fan based on CFD analysis method in different outlet section size condition is illustrated.

Key words: multi-blade centrifugal fan; CFD; numerical simulation; five-hole probe; parameter optimization design

0 引言

多翼离心风机由于其压力系数高、噪音低等特点得到了广泛应用。但由于其蜗壳非对称性及其内部流场复杂性,凭借现有实验手段很难较为准确地测试其内部的压力脉动、尾流及漩涡脱落等流动现象。近年来,国内外众多学者致力于风机内部流场的研究,但大部分研究仅借助于数值模拟方法对风机内部流场

进行解析计算,对多翼离心风机内部的叶片通道或截面数值计算结果往往缺乏实验数据进行验证,不能真实地反映风机内部流动真实特性。

CFD (Computational fluid Dynamics) 分析技术以连续方程、动量方程及能量方程为基础,通过计算机数值计算和图像显示,对包含流体流动等相关物理现象进行系统分析,可模拟从不可压缩到高度可压缩范围内的复杂流动。

本文采用 CFD 分析软件 FLUENT 对多翼离心式风机内部流场进行三维数值模拟,分析其内部流动特征,利用五孔探针实验测试数据对数值模拟结果进行验证,在此基础上建立多翼离心式通风机参数化模型,并以改变蜗壳出口截面尺寸为实例说明以 CFD 分析为基础的多翼离心通风机参数优化设计过程。

1 CFD 分析数学模型

CFD 数值计算基于三维时均 N-S 方程、 $k-\epsilon$ 湍流双方程建立模型,壁面附近采用标准壁面函数,湍流动能、湍流耗散项、动量方程等均采用二阶迎风格式离散,压力-速度耦合采用 SIMPEL 算法。叶轮选用旋转坐标,蜗壳选用静止坐标,其连续方程、动量方程以及 $k-\epsilon$ 湍流双方程分别见式(1)~(4)。

* 基金项目 河南省科技厅科技攻关项目(102102310362) 河南理工大学博士基金项目(B2010-33) 河南省教育厅自然科学研究计划项目(2010B470007)

收稿日期 2011-04-14 焦作市 454000

$$\frac{\partial}{\partial x_{ij}}(\rho u_i)=0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_{ij}}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] = S_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j k - \frac{\mu_e}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) = G - \rho \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j \varepsilon - \frac{\mu_e}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) = C_1 G \frac{\varepsilon}{k} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

2 几何模型及网格划分

针对多翼离心风机进行 CFD 分析, 其几何结构包括叶轮、蜗壳以及集风器等, 见图 1。

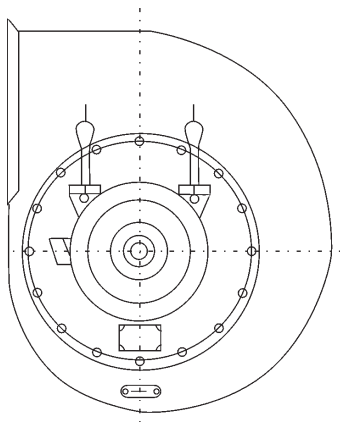


图 1 多翼离心式风机几何模型

多翼离心式风机的三维实体模型见图 2。几何模型在 PRO-E 软件建立后, 导入 FLUENT 前处理软件 GAMBIT 中并划分网格和定义边界条件。其中, 进口和出口边界分布采用质量进口和自由出口, 计算网格采用混合网格, 并在交接面处使用局部网格加密。

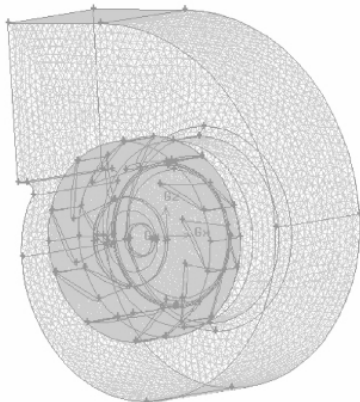


图 2 物理模型及计算网格

3 模拟结果与分析

图 3 为风机内部流线图。由图 3 可以看出, 空气从进气口进入机壳后, 大部分直接进入旋转的叶轮中得到加速, 少部分则通过蜗壳和机壳之间的区域流入叶轮中, 从而在叶轮上方形成了两个漩涡, 这些漩涡的存在不仅影响了风机的气动性能(如流量、压力等), 而且会带来一些噪声的增加, 因此风机进气条件对这些漩涡的产生发展有直接关系, 从而影响着风机的性能。

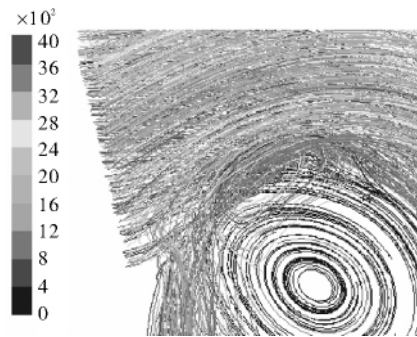


图 3 叶轮内部的漩涡

图 4 表示 $Y=0.05\text{m}$ 截面的速度分布云图。整个叶轮的速度分布与总压的分布十分类似, 说明在靠近风机蜗壳出口处的叶轮通道与其它叶轮通道速度分布的明显不同。速度和压力在各个叶轮通道分布的不同也正好说明了在计算时, 不能采用通过定义周期性边界条件实施的单通道流域计算的方法, 而要进行整机的计算。从速度分布中同样可以看出, 气流在叶轮外缘处的速度比较大, 且气流在蜗壳内的速度分布除了在靠近蜗壳出口处分布明显不均匀外, 其余部分的分布情况差别不是很明显。

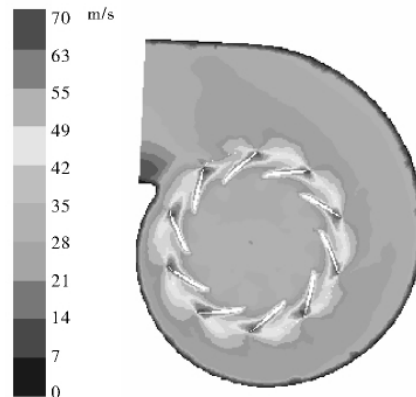


图 4 $Y=0.05\text{m}$ 截面的速度云图

4 实验验证

为验证数值模拟的准确性,利用五孔探针三维流场测试装置对 4-72 型多翼离心式风机出口截面中心线上的速度分布情况进行实验测试。在出口截面的沿水平方向(x 方向)选取 20 个点测量其速度大小及方向。风机出口截面沿水平方向速度分布测试结果见图 5。由图 5 可知,轴向速度在截面中心处出现较大值,径向速度由中心沿直径方向逐渐减小。

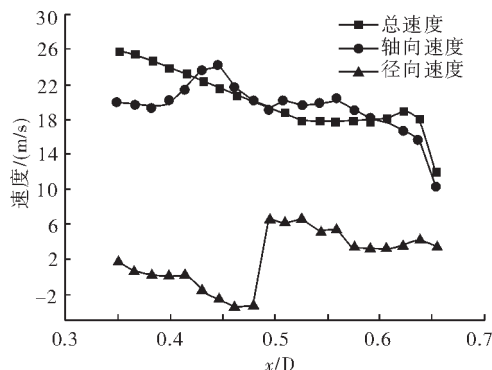


图 5 出口截面的速度分布

出口截面速度大小的实验值和模拟值比较见图 6。由图 6 可以看出,模拟值与实验结果吻合较好,最大误差为 10.7%。

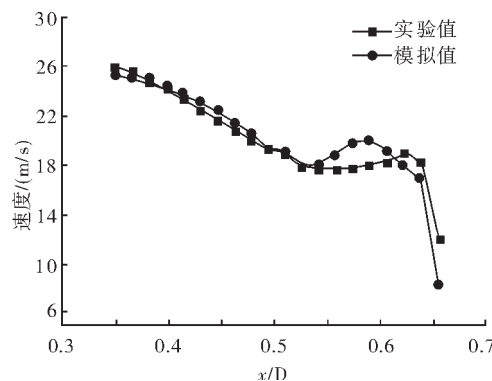


图 6 出口截面速度实验值与模拟值比较

5 参数优化设计实例

风机的结构参数对其气动特性和工作性能影响较大,通过运用 CFD 分析可实现参数优化设计,可节省大量的实验经费,提高了设计效率。以不同蜗壳出口截面尺寸为例进行 CFD 对比分析,3 种出口截面条件下的速度云图和总压图见图 7 和图 8。

由图 7 和图 8 可以看出,当截面尺寸为 305mm×360mm 时出口速度分布比较均匀,风机出口截面尺寸的减小,虽然可以使得出口总压

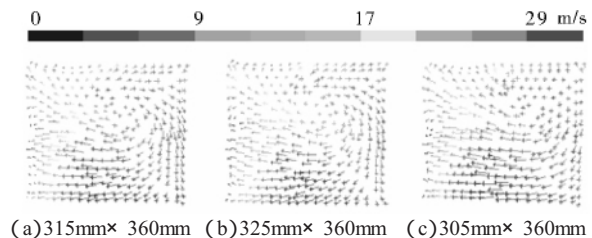


图 7 3 种出口截面的速度矢量图

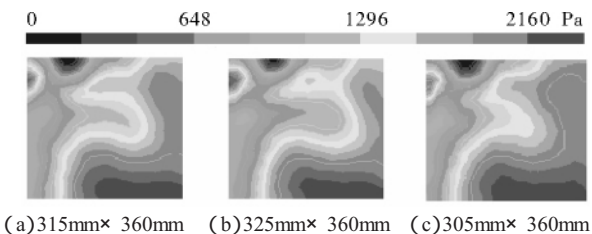


图 8 3 种出口截面的速度矢量图的总压图

增大,风机效率增加,但是出口流量相应减小,会使得风机因流量减小而无法使用。通过对比 3 种不同出口截面尺寸条件下的 CFD 分析结果,选择出口截面为 305mm×360mm 为优化模型,改动后,出口逆流面减少,出口流量较小,但出口总压增加,效率提高,蜗壳出口截面尺寸的改动使得通风机内部流场得到改善。

6 结论

(1) 本文运用 CFD 分析软件 FLUENT 对多翼离心风机内部三维流场进行数值模拟,数值结果表明在叶轮内部蜗舌上游区域存在着进口漩涡,说明 CFD 分析可以模拟多翼离心风机的内部流动特征。

(2) 利用五孔探针装置对 4-72 型多翼离心式风机出口截面中心线上的速度分布情况进行了实验测试,数值结果与五孔探针实验数据吻合较好,验证了基于 CFD 的数值模拟方法满足风机设计计算要求。

(3) 建立了多翼离心式通风机参数化模型,不同出口截面尺寸条件的应用实例说明了以 CFD 分析方法为基础的风机参数优化设计是可行的,提高了设计效率,可为实际生产节省大量实验费用。

参考文献

- [1] 赵云波, 王宗明, 兰永亮. 基于质量进口边界条件的风机流场数值模拟[J]. 风机技术, 2010 (3): 20-21.
- [2] 冯新粮, 郭津津. 基于 CFD 的离心通风机蜗壳型线结构性能分析[J]. 流体机械, 2009, 37(8): 21-24.
- [3] 蔡建程, 何鹏. 前向多翼离心通风机噪声的试验研究[J]. 风机技术, 2002 (4): 3-5.
- [4] 尤遐, 沈卫国, 陆伟. 应用 CFD 数值模拟对离心风机进行设计分析[J]. 风机技术, 2009 (6): 17-19.
- [5] 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: 220.