机械密封密封腔的流场及温度场

孙泽刚[1,2]，黄文权[1,2]
(1.过程装备与控制工程四川省重点实验室，四川 自贡 643000；2.四川理工学院，四川 自贡 643000)

摘 要：为了对密封腔内流体的温度和流场分布有直观的了解，运用FLUENT软件对密封腔内流场的温度和压力进行了数值模拟计算.计算以N-S方程为基础，采用标准$k-\varepsilon$方程的湍流模型，对密封运转稳定状态下，密封环温度场及密封腔内流场的温度、速度、压力分布进行了分析计算.结果表明，密封腔内流体温度变化不大，在壁面处温度有所变化；流体在壁面处的流速比其在腔体内的速度小，但流速基本是线性连续的；轴上压强分布基本平衡，但密封腔截面面积变化较大时，将造成压强局部突变.分析计算的结果与试验测试的结果，两者的误差在6%～17.5%之间，基本吻合，表明数值模拟可以对难以观察的流场内变化进行可视化计算.

关键词：机械密封；数值模拟；温度；压力；FLUENT
中图分类号：TK730.3+25 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-6254(2009)03-0200-04

Simulation of flow field and temperature field for mechanical seal cavity

Sun Zegang[1,2], *Huang Wenquan*[1,2]
(1. Sichuan Provincial Key Lab of Process Equipment and Control, Zigong, Sichuan 643000, China; 2. Sichuan University of Science and Engineering, Zigong, Sichuan 643000, China)

Abstract: In oder to understand the distribution of temperature and pressure in a mechanical seal cavity, Fluent software was used to carry out a numerical simulation on temperature and pressure. Based on Navier-Stokes equations and the standard turbulent model, the temperature and flow fields for a mechanical seal ring were simulated. The results prove that the temperature in the mechanical seal cavity has little change and the temperature on the mechanical seal wall has greater change. The velocity near the meachanical seal wall is slower than that in cavity. The velocity distribution is linear and continual. The plot of pressure is nearly balanced at axis. There is a partical pressure change when the area of the cross section of the mechanical seal cavity changes suddenly. By comparing the calculated results with that from experiment, the error range is about 6% to 17.5%, which is coincident with the actual situation. It shows that numerical simulation can be carried out on the visual calculation for the invisible change in the flow field.

Key words: mechanical seal; numerical simulation; temperature; pressure; FLUENT

机械密封是旋转轴用动密封，性能可靠，泄漏量小，使用寿命长，功耗低，且能适应于生产自动化，以及高低温、高压、真空、高速场合，适用于各种强腐蚀介质、含固体颗粒等苛刻工况，因而被广泛使用.

对机械密封所作的研究已经有很多.为了测试机械密封的性能而开发了测量其泄漏量的实验台[1].但是该实验台仅设定了在一定介质、压力、温度下机械密封的泄漏量，却不能测量密封腔体内流

收稿日期：2009-05-05
基金项目：四川理工学院科研项目(2006ZR010)
作者简介：孙泽刚(1975—)，男，四川自贡人，讲师(szg527@126.com)，主要从事流体机械及智能控制研究.
黄文权(1970—)，男，四川自贡人，副教授(hwqsc@163.com)，主要从事机械设计研究.

万方数据

体温度、流速、压强的具体分布情况.

目前,有对机械密封动、静环温度场的分析研究,但还没有直接针对其密封腔内流场、温度场及压力分布情况的.本研究对机械密封密封腔的温度场及流场进行研究,将主要利用 FLUENT 软件对其进行数值模拟计算.

FLUENT 在速度与压力耦合时采用同位网格上的 SIMPLEC 算法,对流项差分格式纳入了一阶迎风、中心差分及 QUICK 等格式.代数方程求解可以采用多重网格及最上残差法(GMRES).湍流模型有标准 $k-\varepsilon$ 模型,RNG $k-\varepsilon$ 模型,及 Reynolds 应力模型(RSM)等,在辐射换热计算方面纳入了射线跟踪法(ray - tracing).可以计算的物理问题类型有:定常与非定常流动,不可压缩与可压缩流动等[2,3].

笔者基于 N - S 方程及标准 $k-\varepsilon$ 模型,对密封腔内部流体流动进行 CFD 数值模拟计算,为选择测试用传感器安放位置提供依据,同时也为寻求一种更加方便快捷的测试方法作出一种尝试.

1　流动基本方程

1)连续性方程

在直角坐标系中,流体流动连续性方程[4]:

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{Vol}\rho \mathrm{d}x\mathrm{d}y\mathrm{d}z + \oiint_{A}\rho v n \mathrm{d}A = 0$$

式中 Vol 表示控制体;A 表示控制面.等式左边第一项表示控制体 Vol 内部质量,第二部分表示通过控制表面流入控制体的净通量.

2)N - S 方程

$$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = \frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} = f_x - \frac{\partial p}{\rho \partial x}$$

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} = f_y - \frac{\partial p}{\rho \partial y}$$

$$\frac{\mathrm{d}w}{\mathrm{d}t} = \frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} = f_z - \frac{\partial p}{\rho \partial z}$$

2　几何模型的建立

这里直接利用 FLUENT 对由 Pro/E 软件建立的试验台和试验密封按给定尺寸比例进行三维实体的造型,并进行有限元分析[5].

计算的区域主要是图 1 中密封介质部分.为了简化模型计算,只需按照图 1 中密封环和介质的外轮廓,应用 Pro/E 软件进行三维模型绘制.在三维直角坐标系中定义转轴中心线与 x 轴正方向重合.模型效果图见图 2,图中灰色实体为密封介质部分.

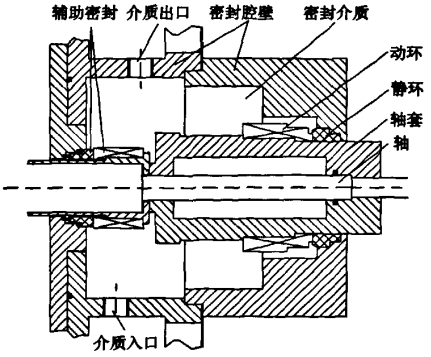


图 1　密封腔体

Fig. 1　Seal cavity

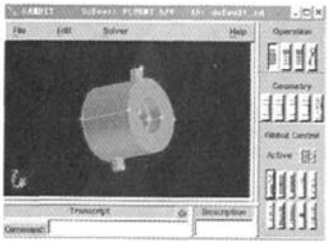


图 2　密封腔内介质三维效果图

Fig. 2　Three-dimensional entity panel of water

3　网格划分与检查

在 CFD 数值模拟过程中,网格的类型、分布和数量对计算结果的正确性和精确度,以及计算时间会产生根本性的影响.出于对初始化时间、计算花费和数值耗散等因素考虑,采用四面体网格[4,6].

由于模拟密封腔内流场结构比较单一,因此不必采用复杂的非结构化网格,只需根据几何实体的大小,适当调整各不同实体模型的网格大小,控制好网格数目,以便在不影响计算结果的情况下尽量缩短计算时间.然后用 TGrid 模块将各部分网格连接起来,如图 3 所示,并保存文件以备计算需要.

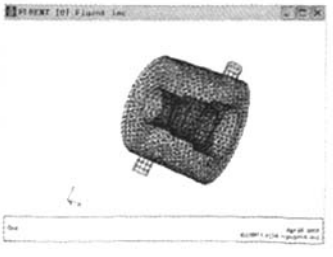


图 3　机械密封腔网格图

Fig. 3　Three-dimensional grid panel

万方数据

网格划分好后，还要对网格进行检查，网格检查完毕后在 solver 菜单栏中选择 FLUENT 5/6，再进入 Specify Boundary Type 对话框，分别定义模型实体中各边、面的名称和边界类型. 定义时最好根据其具体类型来命名，以便计算时调用[7].

4 流场和温度场的计算

利用 FLUENT 调 3D 求解器进行计算. 具体为读入 Gambit 的网格文件并确定长度单位，检查网格，其中要特别注意保持最小体积为正值. 创建计算模型，包括设置求解器、启动能量方程、使用 $k-\varepsilon$ 湍流模型. 设置流体的材料属性，本研究中的流体是水. 设置边界条件，包括入流口的边界条件（流速、温度、直径等）、出流口的边界条件（压力、温度、直径等）等. 在开始计算前，还要设置监视器、预计迭代次数、收敛精度等，在残差监控（residual monitors）设置中使用 Plot 模块，可计算及显示出残差情况. 计算过程及计算的收敛情况就可由残差图（图 4）形式反映出来，其中横坐标代表收敛次数，纵坐标代表收敛的精度. 迭代计算 156 次后收敛.

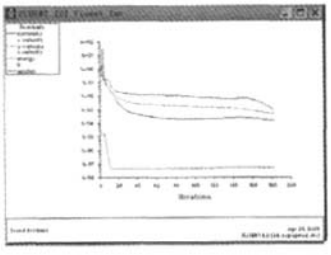


图 4 迭代计算收敛残差图
Fig. 4 Residuals for convergence

5 计算结果与分析

经过迭代计算收敛之后，通过 FLUENT 软件强大的后处理工具（例如 Display，Plot，Report，Parallel 等模块）可对计算结果进行形象生动的表示. 这里主要计算、分析和比较了一种相同的介质温度和压力的情况. 需要说明的是，在该计算中的单位选用，压力为 MPa，速度为 m/s，温度为 K，这在以下各图中不再标明.

从图 5，图 8，图 11 可以看出，在密封腔里流体的温度变化不大，只是在壁面处温度有所变化，这是由于流体与腔壁接触散热的影响，但对密封实验的影响不大. 从图 6，图 7，图 9，图 10 可以看出，流体的流速在壁面的速度比其在腔体里面的速度小，但其流速基本是线性连续的. 在图 12 中，x 轴上压强分布基本平衡，但在 $x=60$ 处压力有一个尖顶，这是由于在 $x=60$ 处密封腔截面面积变化较大造成的.

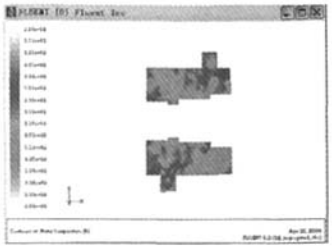


图 5 $y=0$ 平面上温度分布图
Fig. 5 Contours of temperature on panel $y=0$

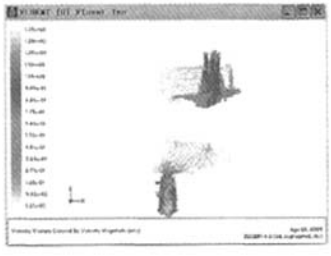


图 6 $y=0$ 平面上速度分布图
Fig. 6 Contours of velocity on panel $y=0$

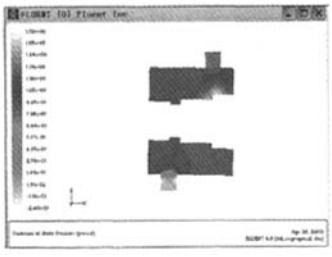


图 7 $y=0$ 平面上压力分布图
Fig. 7 Contours of pressure on panel $y=0$

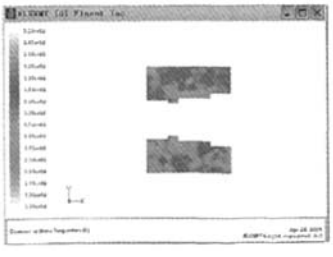


图 8 $z=0$ 平面上温度分布图
Fig. 8 Contours of temperature on panel $z=0$

万方数据

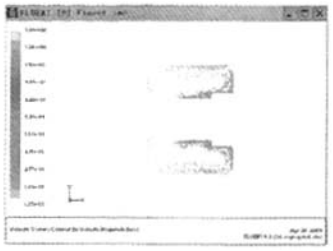


图 9　$z=0$ 平面上速度分布图
Fig. 9　Contours of velocity on panel $z=0$

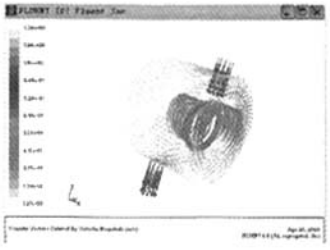


图 10　壁面速度分布图
Fig. 10　Contoues of velocity on wall

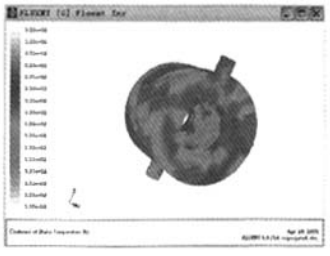


图 11　壁面温度分布图
Fig. 11　Contours of temperature on wall

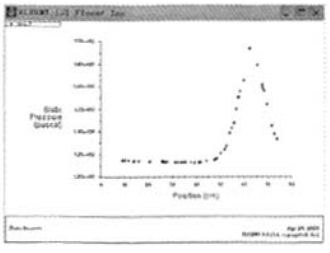


图 12　沿 x 轴的压强分布
Fig. 12　Plot of pressure at x axis

6　结　论

通过 FLUENT 软件的强大计算、模拟功能，对机械密封实验台密封腔体内流体温度、压强、流速的分布情况进行了精确的计算和分析. 这样，以前不能用肉眼观察到的密封腔里面的情况，可以通过线图的形式很直观地表现出来. 这对试验的帮助很大，例如，知道了腔体内流体温度的分布情况，对在机械密封实验台安装温度传感器的位置提供了依据. 同样，也对密封性能测试的准确性提供了理论依据，具有很强的实用价值. 通过研究说明利用 Fluent 软件对机械密封腔温度及流场分析是可行可信的.

参考文献(References)

[1] 陈卓如. 工程流体力学[M]. 北京：高等教育出版社，2004.

[2] 李琪飞，李仁年，韩　伟，等. 蜗壳内部含沙水两相流动的 CFD 模拟分析[J]. 排灌机械，2007，25(5)：61－64.
Li Qifei, Li Rennian, Han Wei, et al. CFD simulation of sand-water two-phase inner flow field of volute[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2007, 25(5): 61－64. (in Chinese)

[3] 龙志军，裴　毅，杨晓珍，等. 离心泵叶轮内部湍流流场的数值模拟[J]. 排灌机械，2005，23(2)：8－10.
Long Zhijun, Pei Yi, Yang Xiaozhen, et al. Numerical simulation of turbulent flow inside impeller of centrifugal pump[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2005, 23(2): 8－10. (in Chinese)

[4] 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，2008.

[5] 王瑞金，张　凯，王　刚. Fluent 技术基础与应用实例[M]. 北京：清华大学出版社，2007.

[6] 杨　青，陈东祥，胡冬梅. 基于 Pro/Engineer 的三维零件模型的参数化设计[J]. 机械设计，2006，23(9)：53－56.
Yang Qing, Chen Dongxiang, Hu Dongmei. Parameterized design of 3D component model based on Pro/Engineering[J]. *Journal of Machine Design*, 2006, 23(9): 53－56. (in Chinese)

[7] 赵斌娟，袁寿其，刘厚林，等. 双流道泵叶轮内贴体网格生成与 CFD 分析[J]. 排灌机械，2008，26(2)：10－14.
Zhao Binjuan, Yuan Shouqi, Liu Houlin, et al. Body-fitted grid generation in double-channel pump impeller and CFD analysis[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2008, 26(2): 10－14. (in Chinese)

(责任编辑　张文涛)

万方数据