

离心泵不同流量工况下的流场模拟对比分析

李国威,孙 琦,郭仁宁,李春芳

(辽宁工程技术大学 机械工程学院,辽宁 阜新 123000)

摘要:离心泵是国民经济各部门必不可少的机械设备,其内部流场的流动极为复杂,因此需用高效的数值模拟方法对其进行研究,从而指导实际应用,为泵的改良设计提供可靠依据。现利用商用 CFD 软件 Fluent 对 IS140-125-400 型蜗壳式离心泵进行整机的流场模拟,在动参考系坐标下,用有限体积法对雷诺时均 $N-S$ 方程进行离散,选用标准的 $k-\epsilon$ 湍流模型和 SIMPLEC 算法进行求解,分别得出离心泵在不同流量工况下的速度和压力分布图,真实地反应出泵内部的流动情况,并对其进行分析和比较,得出泵在靠近额定工况下运行时,流动最稳定。

关键词:离心泵;数值模拟;速度;压力

中图分类号:TH311

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2011)03-0129-04

泵是一种应用非常广泛的通用机械,可以说,在国民经济各部门中,凡是有液体流动之处,几乎都有泵在工作。而且,随着科学技术的发展,泵的应用领域正在迅速扩大。其主要应用范围有:农田排灌、城市给排水、动力工业、石油化工、采矿和船舶工业等。另外,泵在火箭燃料供给、船舶推进

方面也得到应用。据不同国家统计,泵的耗电量都约占全国总发电量的 1/5,可见泵是当前的耗能大户。因而,提高泵技术水平对节约能耗具有重要意义^[1-2]。

传统对泵的研究和设计是以实验为基础的,并借助经验判断来确定研究方案,这是一种需要不断设计和实验的反复性工作。因此需要较长的周期和较高的费用,对经验判断的依赖也较强。近十几年来,随着计算机技术的飞速发展,数值模拟开始更为广泛地应用于泵的设计和流场分析中。Fluent 是一个用于模拟和分析在复杂几何

收稿日期:2011-01-07

第一作者简介:李国威(1978-),男,辽宁省盖州市人,在读博士,讲师,从事流体机械及工程专业的教学与科研工作。E-mail:logowo@foxmail.com。

Study on Vegetation Coverage in Zhaoyuan County Based on ERDAS

WU Li, ZHANG You-zhi, XIE Wen-huan

(Remote Sensing Technique Center of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

Abstract: Utilizing the same period three-view TM image data in the three years of 2008, 2009, 2010 of Zhaoyuan county, the vegetation Index (NDVI) was extracted by using the ERDAS software, then using the modeling tools of ERDAS to calculate the vegetation coverage of Zhaoyuan county according to Pixel dichotomy. Finally, using the unsupervised classification to classify vegetation coverage and assigned to color, the three-year category graphics of vegetation coverage of Zhaoyuan county was obtained. It showed its quantitative changes like this: The vegetation coverage of Zhaoyuan county was increased as a whole tend, the planting proportion of crops in 2009 were 23 542.2 km² more than 2008. But about 2 871.09 km² in 2010 were submerged as a result of higher water potential. It also showed that the method could be used for study on changing and conversion of crop area in plain area, it could get information more quickly than traditional interpretation method, and could provide a favorable basis for the government to make macroeconomic policy.

Key words: normalized difference vegetation index; vegetation coverage; ERDAS; Zhaoyuan county

区域内的流体流动与热交换问题的专用 CFD 软件^[3]。只要涉及流体、热传递及化学反应等工程问题时,都可以用 Fluent 进行解算。它具有丰富的物理模型、先进的数值方法以及强大的前后处理功能,在航空航天、汽车设计、石油天然气、涡轮机设计等方面都有着广泛的应用^[4-5]。因此利用 Fluent 对离心泵进行辅助设计成为一种可靠的方法。CFD 技术现在已经成为对泵研发非常重要的工具之一,是改善水力性能等泵核心竞争力的重要手段^[6]。

1 研究对象及建模

离心泵是把原动机的机械能转换成液体能量的涡轮机械,它由旋转的叶轮和静止的蜗壳两部分组成。蜗壳内的叶轮由原动机带动做高速旋转,流体在高速旋转的叶轮内,借叶片的作用获得能量,同时被甩出叶轮,叶轮内形成真空。同时,外界的流体沿叶轮中心流入叶轮。如此周而复始不断地循环工作,对液体做功,增加流体的位能、压能和动能(高速液流)。从而使需要数量的液体,由吸水池经泵的过流部件输送到要求的高处或要求压力的地方^[7]。

以型号为 IS140-125-400 的蜗壳式离心泵为研究对象,其基本参数:叶轮叶片数为 6,叶轮进、出口直径分别为 140 mm 和 400 mm,叶轮出口宽度 20 mm,叶片出口角是 25°,转速是 1 450 r·min⁻¹,额定流量为 0.09 m³·s⁻¹。泵入口压力为 101 325 Pa,输送液体为标准状态下的水,它的密度为 998.2 kg·m⁻³,流体粘度为 0.001 003 kg·m⁻¹·s⁻¹。

利用 Fluent 的前处理软件 Gambit 对离心泵的几何模型进行构建,并对其过流部件通道部分进行网格划分。由于模型的复杂性,该文在离散过程中主要采用了适应性比较好的非结构化网格。并对叶片和隔舌处的网格进行加密处理,以保证计算的精度。

2 模拟计算方法

采用 Fluent 中的动参考系模型(Moving Reference Frame,简称 MRF)进行求解。该文所涉及的流动为不可压缩稳态湍流,选择非耦合隐式求解器。考虑计算资源情况,参考控制方程以及各种湍流模型和计算方法,在计算中用有限体积法对雷诺时均 N-S 方程进行离散,采用标准 k -

ϵ 湍流模型,并选择了分离式 SIMPLE 算法。

2.1 控制方程

流体动力学控制方程是一组由连续性方程、运动方程和能量方程组成的微分方程组。这些方程反映了单位时间和单位体积内物理量的守恒性质。其通用形式可表示为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i\Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i}\right) + S_\Phi$$

式中 ρ 为流体密度, Γ_Φ 是扩散系数, S_Φ 为源项。对于特定意义的 Φ , Γ_Φ 、 S_Φ 具有特定的形式。方程各项依次为非定常项、对流项、扩散项和源项。根据爱因斯坦求和约定, i 角标在一项中重时称求和,表示三项求和, i 可取值 1, 2, 3。

由于湍流的不规则性、混掺性和耗散性等特性,在处理湍流问题时必须用统计方法,工程上较多采用的是时间平均值法(简称时均值法)来描述和求解湍流问题。利用连续方程和雷诺时均法则可得到湍流运动时均方程,即湍流雷诺时均 N-S 方程^[8]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \overline{u_i}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \overline{u_i u_j}) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\Gamma_u \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_i} - \overline{\rho u'_i u'_j}\right) + \overline{S_i}$$

2.2 边界条件

根据离心泵进口流道特点,假定进口速度在轴向分布均匀,流动是轴对称的,无旋的,采用速度进口边界条件,具体数值由流量与进口面积比值给定。计算前,蜗壳出口流体的速度和压力未知,因此在出口边界条件中采用自由出流边界条件。在粘性流体计算中,Fluent 采用无滑移边界条件。在壁面有平动或转动时,可以定义一个切向速度分量作为边界条件,也可以定义剪切应力作为边界条件。对于叶轮流体而言,叶片是围绕中心轴线转动的,因此,将叶片面设置为移动壁面,但相对于临近流体区域的移动速度还是零。对于蜗壳内腔,由于在整个流动过程是处于静止状态,因此设置为静止壁面。

3 模拟结果及对比分析

分别模拟了 0.6、0.8、1.0、1.2 和 1.4Q(Q 表示额定流量)5 种流量工况下的流场分布,得出了压力和速度分布图(见图 1),并对其进行比较和分析。

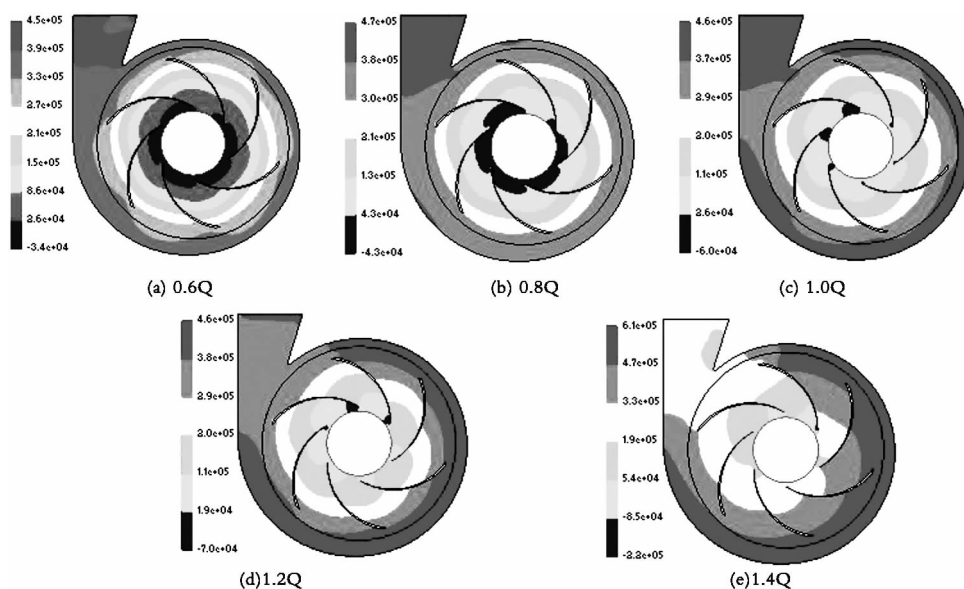


图1 压力分布图

3.1 压力场分布

从图1中可以看出,流体压力由泵吸入口到排出口是逐渐上升的,其中最小压力出现在叶轮进口附近,最大压力出现在蜗壳出口附近。在叶轮出口处以及蜗壳出口处压力都基本相同。而在两叶片所包含的流道区域内出现了压力梯度,叶轮进口处压力梯度不大,出口处却很明显,即压力梯度由叶轮进口到出口是逐渐增大的。再观察叶轮相同半径处的压力情况,其叶片工作面的压力比叶片背面的压力大。由于在叶片背面离进口不远处的压力是最小的,所以此处是最容易产生汽蚀的地方。

由几种不同流量工况的对比可以看出,随着流量的增加,离心泵整体流场的压力也在增加。从总体上看,压力分布的趋势是基本相同的。但流量越小,其叶轮进口处的负压范围越大,所以流量越小越容易产生汽蚀现象。随着流量的增加,泵的最大压力并没有出现在蜗壳出口处,而是沿蜗壳一周出现高压区,这样会由于出口压力的降低,而造成严重的能量损失。无论是在大流量工况下,还是在小流量工况下,都不利于泵的工作,因此应尽量保证泵在额定工况下运行。

3.2 速度场分布

从图2中可以看出,从叶轮进口到出口(径

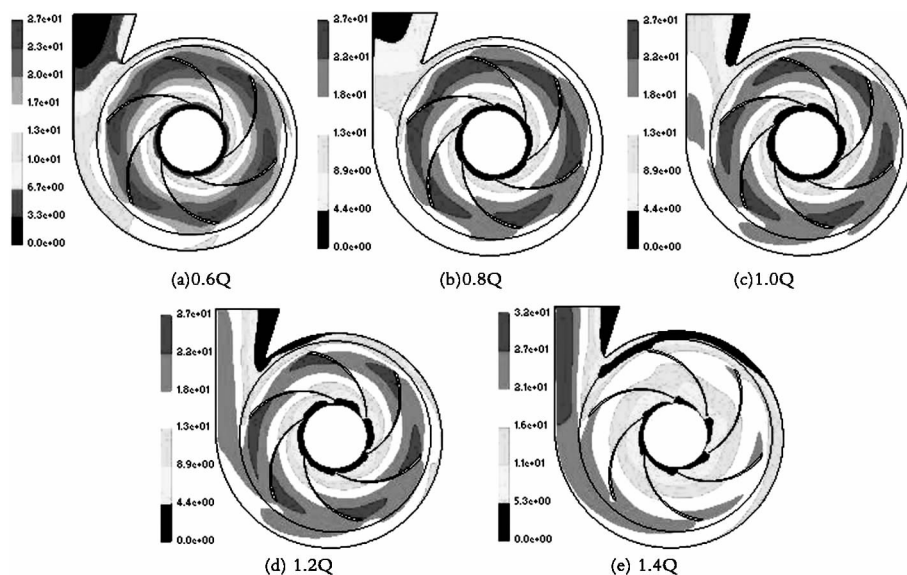


图2 速度分布图

向)速度呈增大趋势,叶片工作面的速度比背面的速度小,在叶轮出口附近速度基本保持一致,这说明在叶片之间的相对流动会产生轴向旋涡。在叶片工作面附面层中速度基本变化不大,只是在叶片出口处速度有些加大,叶片背面附面层中的速度变化比较明显。从图中还可以看到,叶轮进口到出口的速度逐渐增大,进口的速度梯度相对较小,出口的速度梯度相对较大,且叶片出口处速度达到最大值。蜗壳中的流速变化不大,在蜗壳的出口处,速度逐渐降低。

由几种不同流量工况的对比可以看出,随着流量的增加,离心泵出口流速也在增加。在小流量工况条件下,由于流量小,叶轮转速高,使流体的流动变得不稳定,速度梯度的变化也较快,当到达出口时速度变得很小,如果速度再继续减小,则很容易产生回流,造成很大的能量损失。在大流量工况条件下,随着流量的增大,在扩散管位置的局部地区,由于受到局部冲击,流体速度变得很大,而且流动也不规则,从而会出现回流和涡流现象。所以还是在额定流量工况下流体的流动最为稳定。

4 结论

该文利用商用 CFD 软件 Fluent 对 IS140-125-400 型蜗壳式离心泵进行整机的流场模拟,在动参考系坐标下,用有限体积法对雷诺时均 $N-S$ 方程进行离散,选用标准的 $k-\epsilon$ 湍流模型和 SIMPLEC 算法进行求解,分别得出离心泵在不同流量工况下的速度和压力分布图,真实地反映出泵内部的流动情况,并对其进行分析和比较。从数值分析的结果上看,模拟计算所得出的结果均符合离心泵工作特性的一般规律,这表明采用 Fluent 对离心泵整机流场进行数值模拟研究是正确可行的。

流体进入叶轮后,通过叶片流道流出叶轮。

流体在叶轮内的流动过程中,旋转的叶片将能量传递给流体,与此同时流体的压力能与动能都相应增加。从压力和速度的分布图来看,总的分布趋势与理论研究是一致的。从图中可以看出,蜗壳隔舌部分流体为能量损失较大部分,另外在叶轮出口附近,蜗壳流体压力和速度都出现较大变化,这也是造成离心泵内流场不稳定的因素之一。

通过对几种不同流量工况下离心泵内部流场的对比模拟可以看出,随着流量的增加或减少,离心泵内部流场的压力和速度都有不同程度的改变。此外,在小流量和大流量工况下的离心泵,叶轮内部各流道流场呈现出很明显的差异,局部地区都出现压力、速度梯度较大的现象。相比之下,额定工况下的流场分布比较均匀,叶轮和蜗壳的作用效果比较好,且流体流动也较稳定。

在额定工况下流体的流动最为稳定,随着流量的增大或减小,流体的流动往往会出现各种不利情况,会造成能量的损失,不利于泵的工作,所以应尽量采取各种措施保证泵在靠近额定工况下运行。

参考文献:

- [1] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京:宇航出版社,1995.
- [2] 关醒凡. 从展品看泵的发展趋势和技术水平[J]. 通用机械, 2010(11):23-24.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 刘萍,张东速. 基于 FLUENT 的小流量射流流场中的可视化研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2006,26(2):26-29.
- [6] 潘中永,李晓俊,袁寿其,等. CFD 技术在泵上的应用进展[J]. 水泵技术,2009(1):9-14.
- [7] 杨诗成,王喜魁. 泵与风机[M]. 2版. 北京:中国电力出版社,2004.
- [8] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

Centrifugal Pump in Different Flow Condition of Flow Field Simulation Analysis

LI Guo-wei, SUN Qi, GUO Ren-ning, LI Chun-fang

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

Abstract: Centrifugal pump is indispensable mechanical equipment in national economic sectors. The flow in the internal flow field is very complex. Thus it is necessary to use an efficient numerical simulation method to study them to guide practical application and provide reliable basis for the pump to improve and design. Using the commercial CFD software Fluent to simulate the machine of the flow field of IS140-125-400 type spiral centrifugal pump, in the frame of moving reference coordinate, using the finite volume method to disperse the Renault time-averaged Navier-Stokes equations. Selecting standards of $k-\epsilon$ turbulence model and SIMPLEC algorithm to solve and obtained the velocity and pressure distribution of the centrifugal pump respectively in different flow condition, which could real react the internal flow of the pump. Through the analysis and comparison, the conclusion was drawn that when it was running under near the standard conditions, the pump flow was the most stable.

Key words: centrifugal pump; numerical simulation; velocity; pressure