

混输泵半螺旋形吸入室不同含气率下的速度分析

马希金, 秦 霞, 牛显明

(兰州理工大学 流体动力与控制工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 利用 CFD 模拟分析软件——STAR-CD, 对油气混输泵半螺旋形吸入室在不同含气率下的流场进行了三维模拟分析。模拟结果显示流场速度变化较为均匀, 表明这种半螺旋形吸入室作为混输泵的吸入室是合适的, 只是在隔舌处会发生漩涡, 出现气体滞留现象, 并与流速大小和气体的含气量有关。根据分析结果, 增大了隔舌处的圆弧半径, 减小了出口端隔舌的厚度。样机试验表明, 泵效率和含气率均明显提高, 说明措施有效。

关 键 词: 油气混输泵; 半螺旋形吸入室; 三维模拟; 速度流场分析;

中图分类号: TQ051.21 文献标识码: A

1 前 言

“一种新型自平衡轴流式油气混输泵”项目已获国家发明专利授权。作为石油和天然气混合输送的关键设备, 根据结构需要, 该泵采用了半螺旋形吸入室。研究半螺旋形吸入室的资料本身比较少, 而对于气液两相流动, 尚属首次使用。混输泵的吸入室不仅要保证液流均匀进入叶轮, 减小损失, 提高泵的效率 and 抗汽蚀性能, 而且为提高含气量, 还应尽量保证气液不分离, 混合均匀地进入压缩级^[1]。此前已对吸入室在纯水状态下流场进行了三维模拟, 证明吸入室的设计符合水力性能的要求。实际生产中, 油和气的比例变化是比较大的, 研究它在不同含气率下的流场是十分必要的。这里主要分析研究吸入室在不同含气率时的速度分布情况。

在设计计算半螺旋形吸入室的过程中, 各断面的面积大小和形状往往要经过多次修改。这是因为断面面积大小要符合计算值, 面积均匀变化, 流道要光滑。因此, 为了节省时间, 缩短开发周期, 在建模后, 利用 STAR-CD 软件对半螺旋形吸入室流场进行模拟计算^[2], 并对其进行分析, 找出其中的不合理

处, 对已有设计进行修改和优化。

2 模型的建立

2.1 三维几何模型的建立

由于半螺旋形吸入室的结构比较复杂, 大部分都是曲面过渡, 所以选择目前比较流行的 Pro/E 三维建模软件来建模。

2.2 网格的划分

网格的划分在 Icem 中完成。在 Icem 中, 可以根据计算的需要, 在不同的部分划分不同大小的网格。因为隔舌部分的流动情况是研究的重点, 所以在隔舌部分网格的划分有所加密。入口和出口分为两部分网格来划分。一共划分了 78 954 个网格。

3 数值计算

选择一个转速下的 3 种不同的含气率来进行分析比较, 含气率为 27.2%、53.5% 和 73.7%, 相应的进口速度为 5.5、5.3 和 5.2^[3]。

3.1 计算模型的选择

在选择计算模型时, 考虑到 3 种状态下, 含气率由小到大, 而欧拉模型在第二相的含量较高时也同样适用, 且有较好的通用性, 所以多相流模型选择欧拉模型。而在选择紊流模型的时候, 也要考虑吸入室中漩涡的产生及影响。这里选用 RNG $k-\epsilon$ 高雷诺数的紊流模型来进行模拟计算。

速度-压力耦合计算采用 Simple 算法, 最大残差取 0.001。近壁面处理采用 Standard Wall Function, 以考虑边界层的影响。

3.2 边界条件

准确地说, 流动是非稳态的, 但在工况变化较平

缓时, 忽略较小幅度的脉动, 近似认为其主流是稳态的。这里设定吸入室进口为稳态、均相的, 且速度入口方向沿吸入室进口的轴线。流场的计算采用稳态的数值计算。吸入室壁面设为无滑移边界条件。边界条件的设定在一定程度上可加速解的收敛。

4 数值模拟的结果及分析

在以前的研究中, 吸入室考虑的都是二维状态下的流场分布, 三维模拟的结果还没有涉及。在二维状态下, 认为流动是轴对称的, 各个轴面上速度是相同的, 水流在吸入室中保持自由流动。但实际上, 由于存在二次回流, 中间的主流是向前的, 而墙壁附近是反方向的回流, 实际流动是三维的^[4]。将问题简化为二维, 会带来一定的误差。所以从三维的角度对吸入室流场进行分析, 是有实际意义的。在图 1 至图 6 中, 叶轮的转动方向均为顺时针, 吸入室的入口均在切片图的左侧。

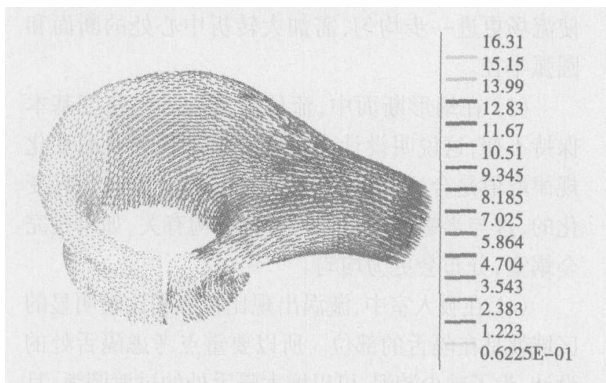


图 1 含气率为 27.5% 的速度场

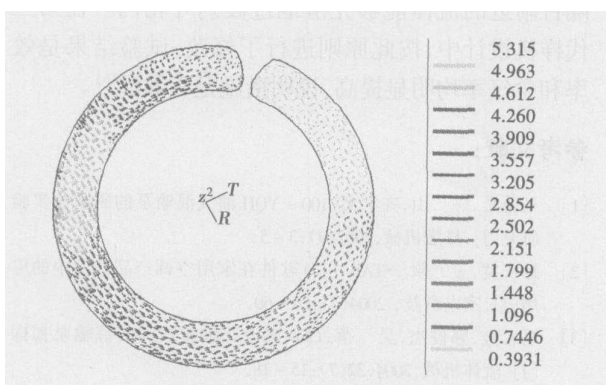


图 2 吸入室出口处的速度矢量切片

4.1 含气率为 27.2% 的情况

从图 1 来看, 在含气率为 27.2% 时, 流速的过渡还是比较平滑的, 只有在隔舌的地方有些波动, 而且

在隔舌处产生了一些的漩涡。在吸入室的外侧面局部速度比较低, 说明此处发生了气体滞留, 由于气体的存在, 在通道中阻碍了液体的流动, 使流速降低。

图 2 为吸入室出口处的速度矢量切片图, 从中可看出, 速度总体来说也是均匀过渡的, 在吸入室的入口侧, 速度是最大的, 因为此处距离入口最近, 主流有抄近道的趋势。随后速度沿着环形的通道逐渐减小。

4.2 含气率为 53.5% 的情况

在这种状态下, 气体的含量明显增大, 气体和液体基本上能够均匀混合。

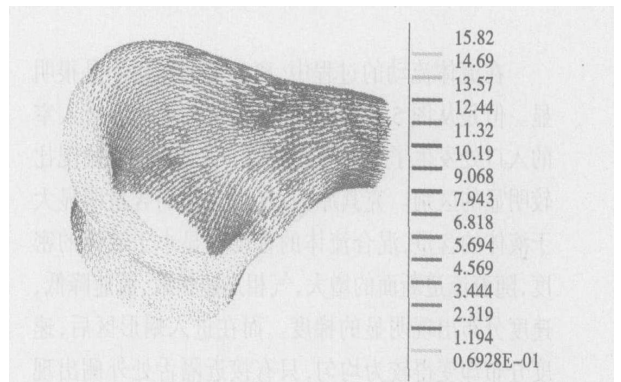


图 3 含气率为 53.5% 的速度场

从图 3 可看出, 吸入室的速度分布还是比较均匀的, 与图 1 的分布规律基本相同, 在隔舌处的速度分布有所改善, 没有明显的漩涡产生, 而且在远离吸入室入口一侧也没有发生液体或者气体的滞留现象, 说明气体与液体混合状况较好。

从图 4 中能更清楚地看到, 流体的速度更趋向光滑过渡, 分布更为均匀, 没有发生速度的激变。

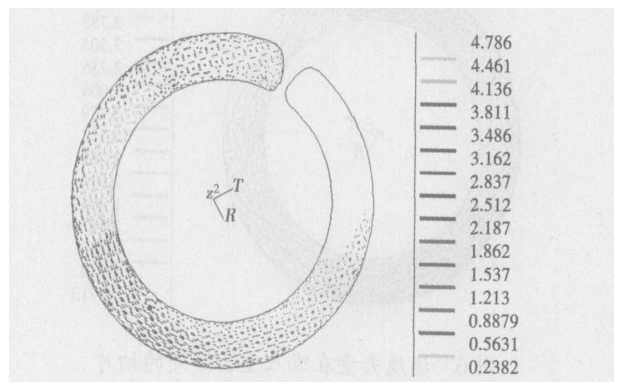


图 4 速度矢量在吸入室出口处的切片

4.3 含气率为 73.7% 的情况

在此含气率下, 气体占了主体地位, 即气体为主相, 液体含量较少, 变为次相。

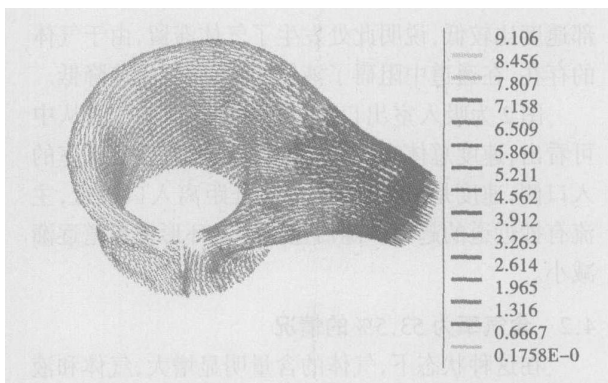


图 5 含气率为 73.7% 的速度场

在流体流动的过程中,离心力的作用不是很明显。但是从图 5 中可以看到,流体的速度在吸入室的入口处发生了很明显的变化。这与前两种情况比较明显的区别。究其原因,这里气体的含量明显大于液体的含量,混合流体的密度明显小于液体的密度,随着流道断面的增大,气相迅速扩散,流速降低,速度分布出现明显的梯度。而在进入蜗形区后,速度分布却变得较为均匀,只有接近隔舌处外侧出现一段低速区。

这里混合流体的密度指流动瞬间任一流动截面上两相流混合物的密度,用 ρ_m 表示,定义如下:

$$\rho_m = \alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_l$$

其中: α —气相的容积含气率^[3]; ρ_g —气体的密度; ρ_l —液体密度。由伯努利方程:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{H}{g} + \frac{p}{g\rho} = \text{const}$$

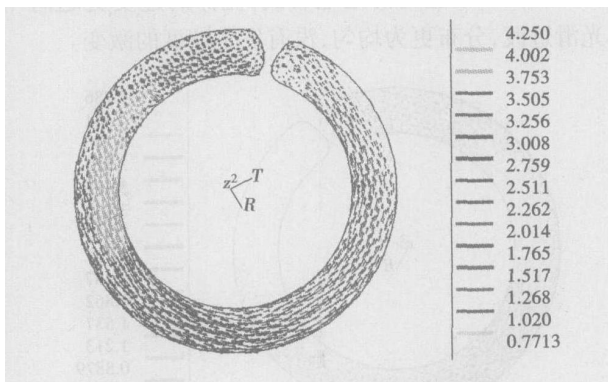


图 6 速度矢量在吸入室出口处的切片

可知,在吸入室的入口处,流体具有一定的能量。当流体流过一定的距离时,由于过流断面的增大,流速减小,动能减少。根据能量守恒的原理,流体的压力会增大。但因为密度很小,所以在压力增大相同的条件下, $p/g\rho$ (对气液两相流,这里 ρ 即为混合流体

的密度 ρ_m) 增大的更为明显,所以速度的减小就更多。这就是图 5 中,速度在吸入室入口处变化比较明显的原因。

通过图 6 与图 4 对比可以看到在大部分区域,流体的流速变得更为均匀,低速区缩小到接近隔舌的蜗形室外表面一个很小的区域。该区域成了气体的积聚区。

5 结 论

(1) 半螺旋形吸入室在不同的含气率下,其内部流场的速度变化较为均匀。表明这种半螺旋形吸入室作为混输泵的吸入室是合适的,只是在隔舌处会发生漩涡,流体出现滞留现象,并与吸入室入口速度和气体的含气量有关。

(2) 流体从进口的柱状流转向沿轴线方向的环向流时,其转折中心的流速明显大于两侧的流速,要使流场更进一步均匀,需加大转折中心处的断面和圆弧半径。

(3) 在蜗形断面中,流体沿流动方向速度基本保持不变,这说明设计中过渡圆弧半径和断面变化规律取值是合适的。沿圆周方向,速度分布是有变化的,这与半螺旋形蜗室的自身结构有关,如果是完全蜗室,分布会更为均匀。

(4) 在吸入室中,漩涡出现比较多和比较明显的区域就是在隔舌的部位。所以要重点考虑隔舌处的设计,为了减少漩涡,可以增大隔舌处的过渡圆弧,且在工艺有保障的条件下,应尽量减小隔舌的厚度,使隔舌附近的流体能够光滑地过渡到叶轮内。在第三代样机设计中,按此原则进行了修改,试验结果是效率和含气率均明显提高,说明措施是有效的^[6]。

参 考 文 献:

[1] 马希金,陈山,齐学义. 100-YQH 油气混输泵的研制及实验研究[J]. 排灌机械, 2002(3): 3-5.

[2] 孙庆宽,王硕. STAR-CD 软件在家用空调产品开发中的应用[J]. 家电科技, 2004(4): 56-60.

[3] 马希金,郭俊杰,吴蓓. CFD 法设计轴流式油气混输泵初探[J]. 流体机械, 2004 32(7): 15-18.

[4] 李文广. 水力机械流体力学[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000.

[5] 郭烈锦. 两相与多相流动力学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.

[6] 王宏亮. 轴流式油气混输泵单个压缩级叶轮流场 CFD 模拟分析[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2005.

(渠源 编辑)

structural features and operating parameters of the nozzle. With compressed air and transformer oil serving as working media an experimental study was conducted of the pressure characteristics in the mixing chamber of the media-atomization nozzle of an internal mixing type. As a result, an experimental relation was obtained between the pressure in the mixing chamber on one hand and the structural and operating parameters on the other hand for this kind of nozzle. This relation can serve as a reference for design and operation engineers. **Key words:** nozzle of internal mixing type, experimental study, pressure characteristics

混输泵半螺旋形吸入室不同含气率下的速度分析=Analysis of the Velocity Flow-field in the Semi-Volute Suction Chamber of a Multiphase Pump for Different Void Fractions[刊, 汉] / MA Xi-jin, QIN Xia, NIU Xian-ming (College of Fluid Dynamics and Control under the Lanzhou University of Science & Technology, Lanzhou, China, Post Code: 730050) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(2). — 186 ~ 188

By using simulation-analysis software CFD (Computational Fluid Dynamics), STAR-CD, a three-dimensional simulation analysis was conducted of the semi-volute suction chamber of a gas-oil multiphase pump for flow fields at different void fractions. The results of the simulation indicate that the variation of flow field velocity is relatively uniform, showing that it is proper to use this kind of semi-volute suction chamber to serve as the suction chamber of a multi-phase pump. However, at a partition tongue location eddies may occur with the phenomenon of gas stagnation emerging, which is related to the magnitude of flow speed and the void fraction of gas. On the basis of analysis results the circular arc radius at the partition tongue location has been augmented and the thickness of the outlet-end partition tongue decreased. The test of a sample machine indicates that there is a significant enhancement of pump efficiency and void fraction, demonstrating the effectiveness of the measures being taken. **Key words:** gas-oil multiphase pump, semi-volute suction chamber, three-dimensional simulation, velocity flow-field analysis

HAT 循环饱和器工质㊀计算分析及㊀效率=Exergy Computational Analysis of the Working Medium of a Saturator and the Exergy Efficiency of the Saturator in a HAT Cycle[刊, 汉] / LI Yi-xing, WANG Yu-zhang, WENG Shi-lie, et al (Education Ministry Key Laboratory of Power Machinery & Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(2). — 189 ~ 192

A saturator is the key component of a humid air turbine (HAT) cycle. Knowledge about its performance has a direct bearing on the performance analysis of the system as a whole. The authors have calculated the exergy of the saturator working-medium, i. e. humid air and water and analyzed the law governing the influence of temperature and humidity at difference reference points on exergy as well as the variation of physical exergy and chemical diffusion exergy with a change in humid air temperature. Through the establishment of an exergy equilibrium model for the saturator a target-exergy efficiency has been employed to serve as the exergy efficiency of the saturator. From the calculation results the law governing the variation of humid air exergy magnitude with a change in temperature and humidity at reference points has been identified as follows: the exergy of the humid air first decreases until a minimum value of zero is reached, then there is a continuous rise in value, the exergy magnitude being always greater than (or equal to) zero. Moreover, the greater the difference from the reference-point parameters, the greater will be the exergy magnitude. With an increase in humid air temperature the share taken up by the physical exergy decreases, while that taken up by the chemical diffusion exergy