

引用格式:Ma Xijin,Ni Pengbo,Jia Weibin. Influence of Rotating Speed on Performace of Helico-Axial Oil-Gas Mutiphase Pump[J]. Journal of Gansu Sciences,2015,27(1):128-130,134. [马希金,倪鹏博,贾维斌. 转速对螺旋轴流式油气混输泵性能影响分析[J]. 甘肃科学学报,2015,27(1):128-130,134. ]  
doi:10.16468/j.cnki.issn/1004-0366.2015.01.027.

# 转速对螺旋轴流式油气混输泵性能影响分析

马希金,倪鹏博,贾维斌

(兰州理工大学 能源与动力工程学院,甘肃 兰州 730050)

**摘要** 以螺旋轴流式油气混输泵为研究对象,对其在不同转速、流量、含气率下进行了全流场的数值计算。计算时采用 Mixture 模型,湍流计算选用标准  $k-\epsilon$  湍流模型,速度压力耦合计算采用 Simple 算法。通过对模拟结果的相态分析,以及对外特性的预测,可知转速的增加可增加气液分离程度,并可通过改变转速来适应泵的进口条件。

**关键词** 油气混输泵;转速;数值模拟

中图分类号:TK263.8<sup>+</sup>2

文献标志码:A

文章编号:1004-0366(2015)01-128-04

随着石油开采技术的发展和要求,传统式油气分输技术已经不能满足当代的经济发展,而多相混输技术在石油工业中得到人们的关注,尤其在海上油田和陆地边际油田的开发中显示出很大的优势<sup>[1]</sup>。混输泵作为多相混输技术的主要设备,在国外已进行过大量的实验,并已成功运用在实际生产平台上;国内对其研究起步比较晚,并且气液两相流动本身很复杂,目前还没有成熟的理论体系,基本停留在室内实验阶段<sup>[2]</sup>。

一般情况下,试验的一次性投入成本大,而且周期长,随着计算流体动力学(CFD)的迅速发展,数值模拟的方法被引入对混输泵的研究中。文献[3,4]中对多相混输泵的内部流场进行了数值模拟,并对相应的外特性进行了研究,建立了较为完善的计算流体动力学分析模型。文献[5]中通过对螺旋轴流

式叶片泵在高含气条件下的三维流场模拟,分析了气液两相介质在泵内的流动规律。文献[6]中采用流体仿真计算软件对漩涡泵内部气液两相流场进行了数值模拟,初步揭示了该泵内气液两相流动特征,该泵的性能预测曲线与试验曲线较吻合。

对自主研发的螺旋轴流式油气混输泵进行全流场数值模拟,通过改变其流量(90 m<sup>3</sup>/h、100 m<sup>3</sup>/h、110 m<sup>3</sup>/h、120 m<sup>3</sup>/h)、转速(2 740 r/min、2 950 r/min、3 160 r/min、3 370 r/min、3 580 r/min)、含气率(0、0.1、0.3、0.5、0.7、0.9)分析转速对该泵性能的影响。

## 1 网格的生成及边界条件

运用 Pro/E 三维建模软件生成计算几何体,再用 ICEM 进行非结构网格划分如图 1 所示。

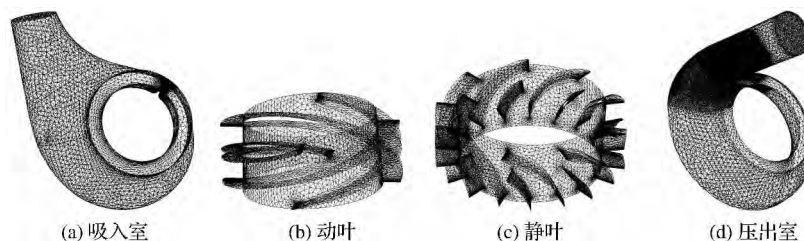


图 1 计算域网格的划分

Fig. 1 Division of computing domain Grids

收稿日期:2014-03-25;修回日期:2014-04-09.

基金项目:甘肃省兰州市科技攻关项目(KG954-3-11).

作者简介:马希金(1958-),男,山西夏县人,研究员,研究方向为流体机械. E-mail:349285442@qq.com.

对于该泵的空间扭曲叶片和复杂的内部流动, 该网格有很好的适应性。我们对多相流动的计算采用 Mixture 模型, 为了考虑旋转的影响和方便计算, 将叶轮设在转动参考坐标系上, 其余静止区域设在固定坐标系上。湍流计算选择标准  $k-\epsilon$  模型, 速度压力耦合方式采用 Simple 算法<sup>[7]</sup>。边界条件的设置如下:

(1) 计算域进口设为速度进口, 假设气液两相混合均匀且进口速度相同, 湍动能和耗散率根据液相速度计算式为

$$k_{in} = 0.003\mu_{in}^2, \epsilon_{in} = C_{\mu}k_{in}^{3/2}/l_{in},$$

其中:  $l_{in}$  为进口区的混合长度, 并假定为进口处当量直径的 0.015 倍<sup>[8]</sup>;

- (2) 出口定义为压力出口<sup>[7]</sup>;
- (3) 对于近壁区域, 采用壁面函数法进行处理。

## 2 数值模拟结果及分析

选取流量为  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , 转速分别为  $2\ 950 \text{ r}/\text{min}$ 、 $3\ 370 \text{ r}/\text{min}$ , 含气率为 0.3 时, 动、静叶气相分布如图 2 所示。

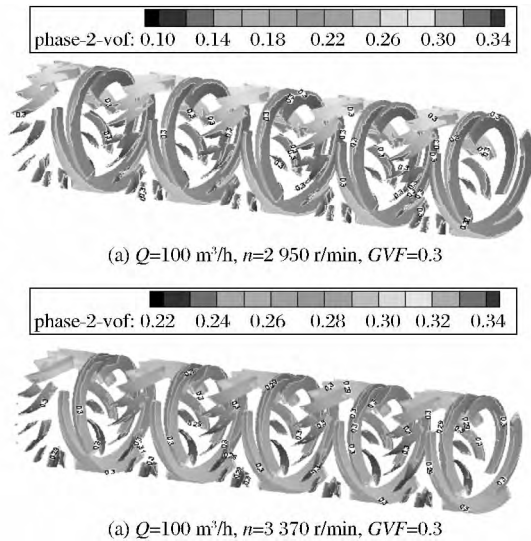


图 2 动、静叶气相分布

Fig. 2 Gas phase distribution of rotating and static blades

对图 2(a)、(b) 进行分析可知, 受离心力作用, 密度小的气相在动叶靠近轮毂处含量高于轮缘处, 随转速的增加气液分离程度会增加。动叶片背面进口处会有高含气区, 容易形成气堵现象, 而在工作面进口处会有低含气区, 随着转速的增加这两个区域会扩大, 但没有出现纯水区。气液在静叶轮中重新混合, 静叶片的气液分布相对动叶片更均匀, 气液分离程度较小。

## 3 外特性预测

相同条件下各关系曲线的趋势相似, 分别取其中之一分析。相同流量、不同含气率下, 随转速的增加扬程会升高(见图 3), 扬程随转速的变化呈非线性关系。在实际运行过程中, 混合介质中的气相含量增加会降低混输泵的扬程, 可通过增加转速得到相同的增压值来提升扬程。通过改变转速来适应不同的进口情况条件, 进而改善泵的运行情况。在相同流量、不同含气率下, 效率随转速的增大而降低(见图 4)。

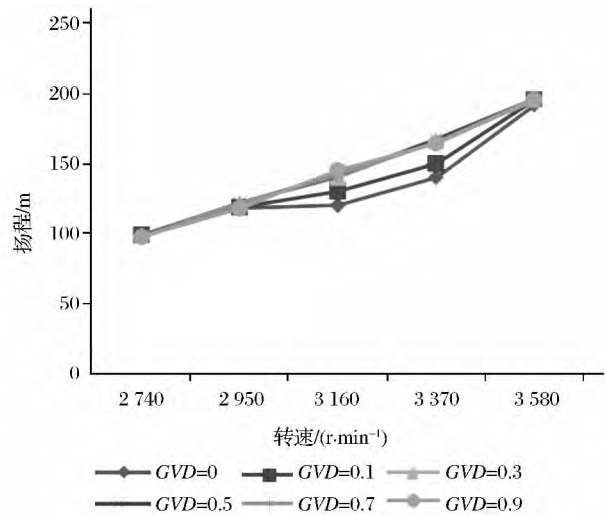


图 3 流量为  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , 不同含气率下扬程与转速的关系曲线

Fig. 3 Graph of the relationship between speed and head at a flux of  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  and at different gas rate

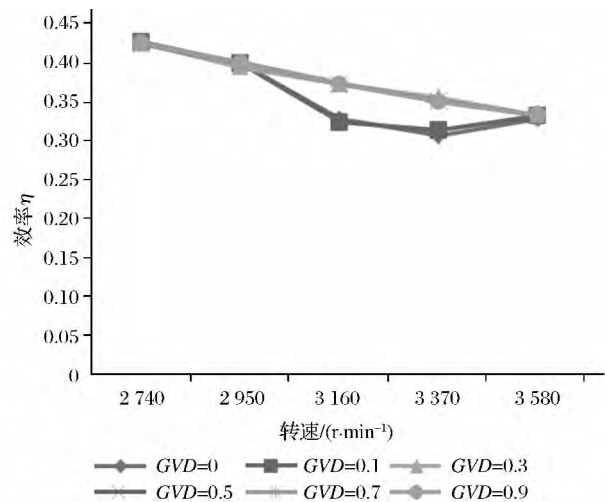


图 4 流量为  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , 不同含气率下效率与转速的关系曲线

Fig. 4 Graph of the relationship between speed and efficiency at a flux of  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  and at different gas rate

通过叶片进出口速度三角形的分析,转速的变化会引起牵连速度的变化,改变了水的流动方向,增加了进口的冲击损失,随转速的增加,泵内部流动中沿程阻力损失、二次流损失等都有所上升,加剧了内部流场的不稳定流动,实际运行过程中会产生噪声和振动,降低了泵的性能。在低含气率的情况下,效率随转速的增加有先降低后增加的趋势,如图5所示。

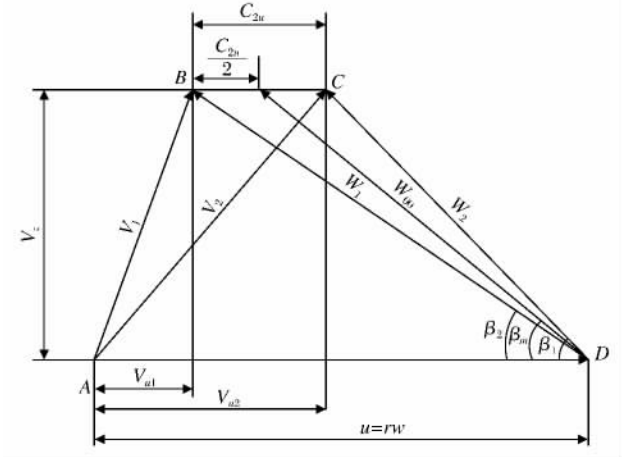


图5 轴流泵叶轮进、出口速度三角形

Fig. 5 Axial flow impeller inlet and outlet velocity triangle

在相同转速、不同含气率下,扬程随流量的增加而降低,理论扬程  $H_t$  公式为

$$H_t = \frac{1}{g}(u_2 v_{u2} - u_1 v_{u1}),$$

流量变化时,由叶片进出口速度变化可知  $v_{u2}$  随流量的增加而减小,  $v_{u1}$  随流量的增加而增大,在同一含气率下,随流量的增加扬程会减小(见图6)。

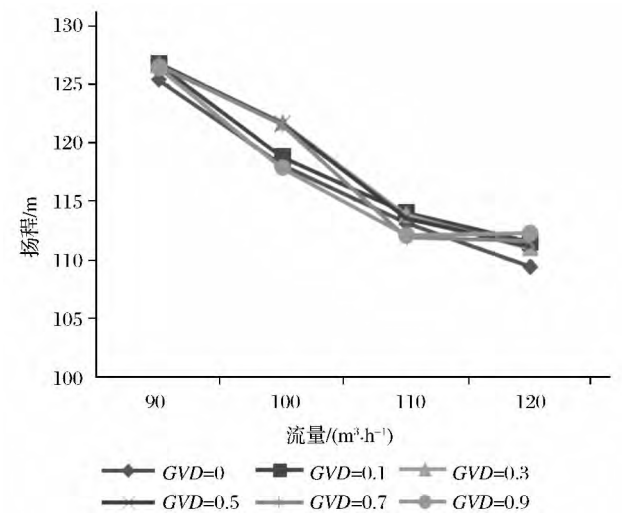


图6 转速为 2 950 r/min,不同含气率下扬程与流量的关系曲线

Fig. 6 Graph of the relationship between head and flux at a rotating speed of 2 950 r/min and at different gas rate

而同一转速、不同含气率下,效率随着流量的升高而升高如图7所示。

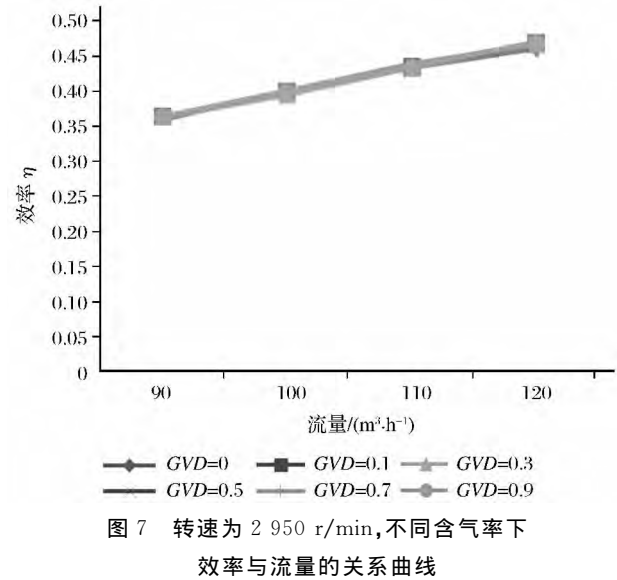


图7 转速为 2 950 r/min,不同含气率下效率与流量的关系曲线

Fig. 7 Graph of the relationship between efficiency and flow at a rotating speed of 2 950 r/min and at different gas rate

### 4 结论

通过对螺旋轴流式油气混输泵内部流场的相态和外特性预测曲线分析,得出以下结论:

- (1)随转速的增加,动叶片背面进口处的高含气区和工作面进口处的低含气区都会扩大,但没有出现纯水区,静叶片上的气液分布比动叶片均匀;
- (2)利用可变转速来适应泵的进口条件,在一定程度上能够改善泵的性能。

### 参考文献:

- [1] 李军峰. 油气混输泵的研究与发展[J]. 辽宁化工, 2011, 40(9): 938-940.
- [2] 宇富平, 任爱菊, 刘克强. 螺旋轴流式多相泵的研究现状[J]. 石油矿场机械, 2004, 33(S1): 4-7.
- [3] 苗长山, 李增亮, 赵学新. 多相混输泵的数值模拟及与实验结果对比[J]. 石油机械, 2007, 35(11): 1-4.
- [4] 陈猛, 李增亮, 苗长山. 井下螺旋轴流式混输泵增压单元流场仿真分析[J]. 石油机械, 2009, 37(2): 25-28.
- [5] 黄思, 王宏君, 郑茂溪. 叶片式混输泵气液两相流及性能的数值分析[J]. 华南理工大学学报, 2007, 35(12): 11-16.
- [6] 李映, 盛英英. 气液混输漩涡泵内部气相分布与性能预测研究[J]. 机电工程, 2009, 26(7): 32-33.
- [7] 马希金, 肖兴均. 轴流式油气混输泵吸入室及压缩级流场分析[J]. 排灌机械, 2007, 25(1): 14-16.
- [8] 余志毅, 曹树良, 王国玉. 叶片式混输泵内气液两相流的数值计算[J]. 工程热物理学报, 2007, 28(1): 46-48.

(下转第 134 页)

## CFD Simulation & Analysis of Load-Sensing Proportional Multiway Valve

Zhang Yuanshen, Wei Ya, Zhou Huizhen, Zhao Jing, Mi Xiaoming

(College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract** On the basis of the valve core of a load-sensing proportional multiway spool valve, the three-dimensional flow field was simulated through the calculation of the port area of the spool valve and by the CFD method, to analyze the characteristics of the pressure and flow at the valve port under different working conditions. The results showed that when the valve opening was small, fluid force made the valve port bigger, and when the valve opening increased, the fluid velocity increased and became offset to the axis of the spool. The analysis provided a firm basis for the study of the stability of the multi-way valve.

**Key words** Spool valve; Valve orifice area; CFD simulation

---

(上接第 130 页)

## Influence of Rotating Speed on Performace of Helico-Axial Oil-Gas Mutiphase Pump

Ma Xijin, Ni Pengbo, Jia Weibin

(College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract** The helico-axial oil-gas multiphase pump was chosen as the main research object to make a numerical calculation of the whole flow field of the pump at different flows, rotating speeds and air rates by the Mixture model. The standard  $\kappa\epsilon$  turbulent model was adopted to calculate the turbulence and the simple arithmetic was utilized to calculate the velocity pressure coupling. The phase analysis of the simulation results and the prediction of the external characteristics showed that the increase of rotating speed caused the increasing separation of gas and liquid, but through the change of speed the inlet conditions of the pump could be adapted.

**Key words** Oil-gas multiphase pump; Rotating speeds; Numerical simulation