

管道式气液旋流器流场特性研究

董志^{1,2}, 史仕荣², 孙峰¹, 薛世峰¹, 许晶禹², 吴应湘²

(1. 中国石油大学华东储建学院, 青岛, 266580, 2. 中国科学院力学研究所
流固耦合实验室, 北京, 100190, Email: xujingyu@imech.ac.cn)

摘要: 气液两相流中含水率过高一直威胁着井下油气的安全生产。为了提高管道式气液旋流器的分离性能, 降低分离后气液两相流的含水率, 利用数值模拟方法, 对不同工况下旋流器的流场特性及分离性能进行了研究。研究表明: 经导流片起旋后, 气液两相分离, 并在管道中间形成稳定的气芯。此外, 入口流量、气液比是影响分离效率的重要因素。入口流量越大, 气液比越大, 含水率越低, 管道式气液旋流器的分离效果越好。研究结果对实际油气安全生产有一定的指导意义。

关键词: 气液分离; 数值模拟; 气液比; 入口流量

1 引言

油气田开发中, 管道中气液两相流的含水率超标将会导致天然气水合物生成, 堵塞管道, 大大降低了输气管道的输气能力, 严重时甚至会导致管线或者阀体的堵塞。此外, 开采出来的气体中通常含有硫化物等酸性物质, 这些物质融于水后会对管道等设备产生腐蚀作用从而引发安全问题^[1-2]。

与陆地油气井不同的是, 深水油气井一般产量大, 要求分离器处理量大、分离效率高, 且能适应产量和气液比的大幅波动。而且为了控制成本, 提高可靠性, 深水环境又要求分离器尺寸紧凑、结构简单、操控便利, 为此, 迫切需要研制开发适用于深水环境的高效紧凑型气液分离器^[2]。管道式气液旋流器作为一种新型气液分离器, 具有结构简单、体积小、压降低、分离效率高等特性, 满足井下对于分离设备紧凑型以及高效性的需求, 因此在油气生产中得到了广泛应用^[3-4]。

由于管道式气液旋流器中流动的复杂性, 实验结果通常仅限于特殊的几何形状和操作条件。此外, 由于成本高、持续时间长和操作复杂, 有关管道式气液旋流器的实验存在许多限制^[5]。因此, 本文采用计算流体动力学(CFD)方法, 对不同工况下的管道式气液旋流器的流场特性进行研究, 以为实际的油气田开采给出一定的指导作用。

2 模型建立及参数设置

管道式气液旋流器的主要结构部件如图 1 所示,包括旋流器主管段(内径 80mm、长 1200mm)、取气管(内径 35mm)、导流片(流线型锥体、6 叶片)等^[2-4]。其中,导流叶片直接影响着旋流器内气液两相的流动状态,是影响旋流器分离性能的关键部件。管道式气液旋流分离器内气液两相分离的工作原理如下:当气液两相混物流经旋流器的导流叶片时,气液混合物会在导流叶片的作用下形成旋转流动。气、液两相由于密度差导致其所受的离心力不同,液相在离心力的作用下运动至管段外侧,并沿着壁面经出水口流出;气相则在旋流器轴向区域螺旋前进,形成一段稳定的气芯,并沿着取气管从出气口流出。

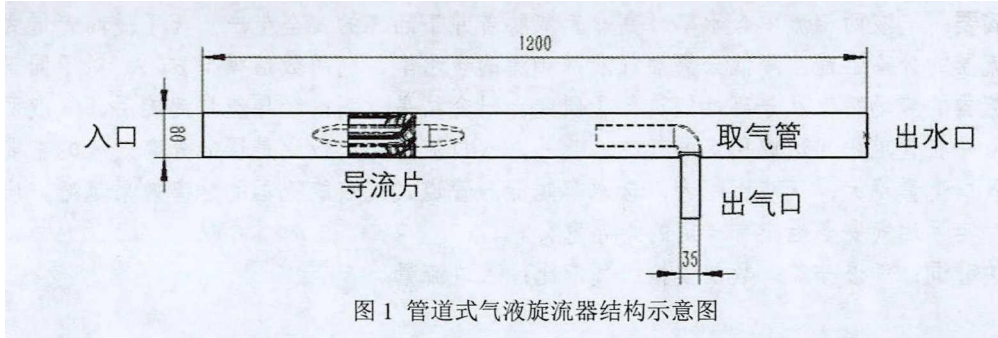


图 1 管道式气液旋流器结构示意图

本文模拟采用常温下的水和空气作为试验介质,其中气相视为连续相,并假设气液两相均为不可压缩流体。采用四面体网格对模型进行网格划分,并在导流片处进行局部网格加密,网格数量为 578965,最小网格尺寸为 $2.05 \times 10^{-10} \text{m}^3$,模型网格划分如图 2 所示。

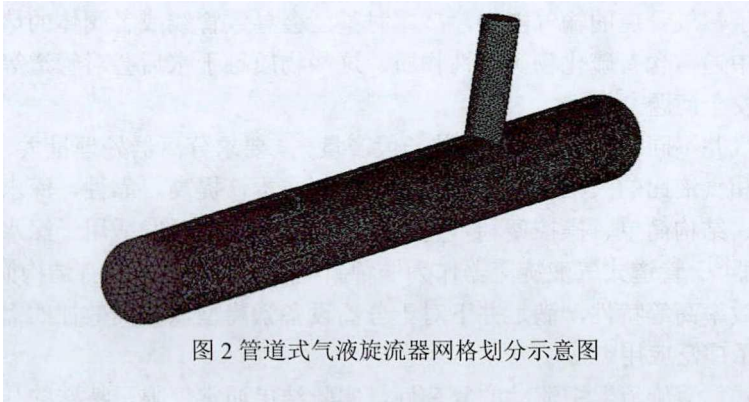


图 2 管道式气液旋流器网格划分示意图

数值计算采用瞬态求解方法,计算模型为旋流器中的三维强旋流湍流流场,故选用欧拉(Eularian)模型为多相流模型,RNG k- ϵ 模型为湍流模型进行求解。流场入口边界采用速度入口边界,其大小以入口处的流量计算得出,出口边界采用 outflow 边界,壁面边界设置为无滑移壁面。瞬态计算的时间步长设置为 0.005s,残差控制在 1×10^{-5} 。

3 结果与讨论

3.1 不同含气率下流场特性研究

为研究不同入口含气率下管道式气液旋流器的流场特性，设置入口流量为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ，含气率分别为 30%、40%、50%、60% 共四种工况。图 3 显示了不同含气率下旋流器中气相的分布情况，其中，颜色深度代表气相体积分数大小，纯红色表示气相体积分数 1，纯蓝色代表气相体积分数为 0。由图可知：当入口总流量不变，入口含气率逐渐增大时，管段轴向区域形成气芯变宽；且当入口含气率较高时，大部分气体可由取气管取出，只有少量气体经出水口逃逸。因此，对于高气液比的气液混合流来说，管道式气液旋流器具有良好的分离效果。

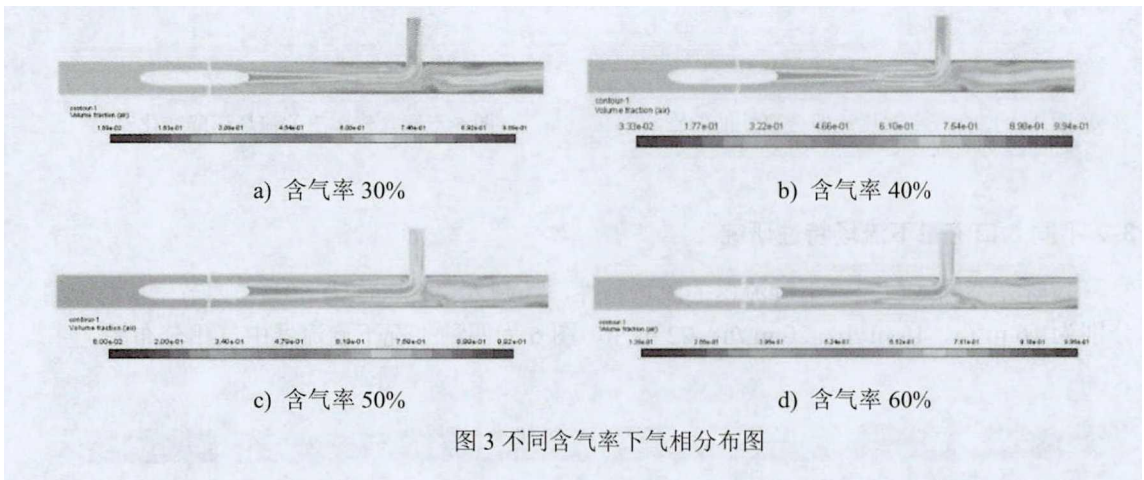


图 3 不同含气率下气相分布图

假设气液混合流在进入旋流器入口前液相质量流量为 m_1 ，流出水口时液相质量流量为 m_2 ，则旋流器的分离效率 η 可表示为：

$$\eta = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%$$

图 4 表示旋流器分离效率随含气率的变化规律，结果表明：随着入口含气率的增大，分离效率降低，这是因为气相含量增加，虽然会使得旋流强度增强，但同时出水口处液相夹带的气体也会逐渐增多，从而导致分离效率降低。

取入口处为测试点 1，出水口为测试点 2，出气口为测试点 3。其中， P_1 为入口压力， P_2 为出水口压力， P_3 为出气口压力， ΔP_1 为入口与出水口压力的差值； ΔP_2 为入口与出气口压力的差值，则：

$$\Delta P_1 = P_1 - P_2$$

$$\Delta P_2 = P_1 - P_3$$

图 5 显示了入口含气率与压降的变化规律。由图可知，随着入口含气率的增加，压差 ΔP_1 、 ΔP_2 逐渐减小，且近似于线性关系。

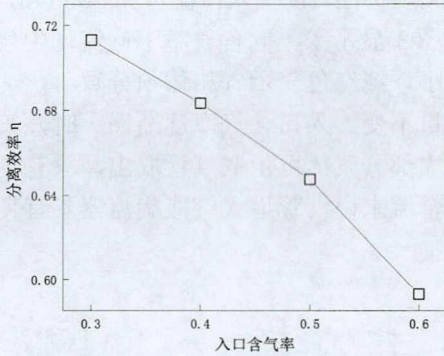


图 4 入口含气率对旋流器分离性能的影响

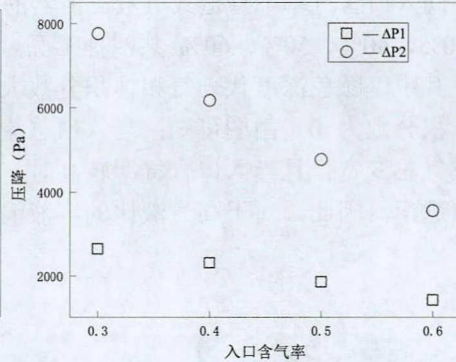


图 5 不同含气率下的流场压降变化

3.2 不同入口流量下流场特性研究

为研究不同入口流量下旋流器的流场特性，控制入口含气率为 50%，调节气液总流量分别为 $16 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $18 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $22 \text{ m}^3/\text{h}$ 。图 6 为四种工况下旋流器中气相分布图。

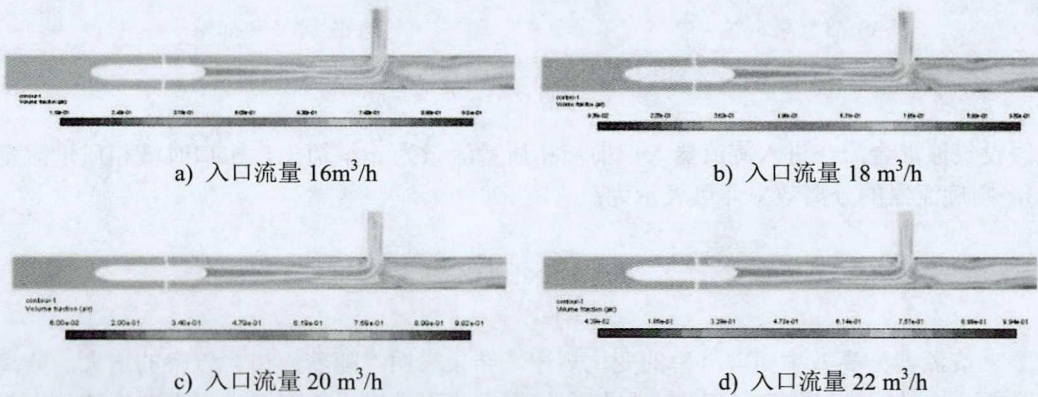


图 6 不同入口流量下气相分布图

旋流器分离效率随入口流量的变化规律如图 7 所示。当含气率保持不变时，随着流量的增加，气液混合流速逐渐增大，旋流强度增强，流经导流片时产生的离心力逐渐增大，因此所产生的气芯越集中，气液两相的分离效果增强。图 8 显示了入口流量与压降的变化规律。由图可知，随着入口流量的增加，压差 ΔP_1 、 ΔP_2 逐渐增大且近似于线性关系。

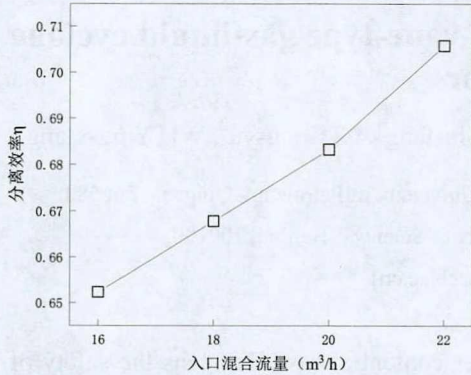


图7 入口流量对旋流器分离效率的影响

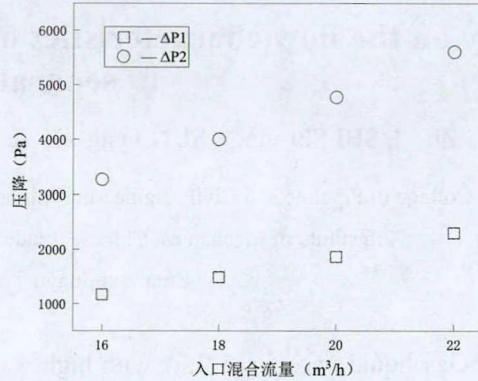


图8 不同入口流量下的流场压降变化

4 结论

本文基于计算流体力学 (CFD) 方法对管道式气液旋流器中的流场特性进行研究, 探讨了入口含气率及流量对旋流器分离效率及压降的影响关系。研究表明: 随着入口含气率的增大, 管道式气液旋流器的分离效率逐渐减小, 压降逐渐减小; 随着入口气液混合流量的增大, 管道式气液旋流器的分离效率逐渐增强, 压降逐渐增大; 对于高气液比的混合流, 管道式气液旋流器分离效率高, 能够满足实际油气生产需求。

参考文献

- 1 S.Nagdewe, J.K.Kwoon, H.D.Kim, et al Parametric Study for High-Efficiency Gas-Liquid Separator Design[J]. Journal of Thermal Science, 2008, 17(03): 238-242.
- 2 杨兆铭, 陈建磊, 韩云蕊, 等. 二级旋流气液分离装置设计与流场特性模拟[J]. 过程工程学报, 2018, 18(6): 1198-1209. DOI: 10.12034/j.issn.1009-606X.218124.
- 3 罗小明, 高奇峰, 刘萌, 等. 轴流式气-液旋流分离器分离特性[J]. 石油学报(石油加工), 2020, 36(03): 592-599.
- 4 Liu S, Yang L L, Zhang D, et al. Separation characteristics of the gas and liquid phases in a vane-type swirling flow field[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2018.
- 5 Deng Y J, Zhang L, Hou H, et al. Modeling and simulation of the gas-liquid separation process in an axial flow cyclone based on the Eulerian-Lagrangian approach and surface film model[J]. Powder Technology, 2019, 353.

Study on the flow characteristics of vane-type gas-liquid cyclone separator

DONG Zhi^{1,2}, SHI Shi-ying², SUN Feng¹, XUE Shi-feng¹, XU Jing-yu², WU Ying-xiang²

(1. College of Pipeline and Civil Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, 266580;

2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190,

Email: xujingyu@imech.ac.cn)

Abstract: Gas-liquid two-phase flow with high water content always threatens the safety of oil and gas production. In order to improve the performance of the vane-type gas-liquid cyclone and reduce water volume fraction of the gas-liquid two-phase flow. The flow characteristics and separation performance of the cyclone under different working conditions were studied by using numerical simulation method. The results show that the gas-liquid flow is separated and a stable gas core is formed in the middle of the pipeline. In addition, the flow of inlet and gas-liquid ratio are important factors affecting separation efficiency. The higher the flow of inlet, the higher the gas-liquid ratio and the lower the water volume fraction, the better the separation efficiency of the pipeline gas-liquid cyclone. The research results can give some guidance to the oil and gas production.

Key words: Gas-liquid separation; Numerical simulation; Gas liquid ratio; The flow of inlet.