

基于 FLUENT 的紧凑型油水分离器性能模拟研究

王玉江¹, 杨风斌², 李秀丽², 陈建树², 史仕莹³

(1. 中石化胜利油田工程技术管理中心; 2. 中石化胜利油田孤东采油厂, 山东 东营 257237;
3. 中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘要:为解决我国高含水老油田的高效油水分离问题, 本文基于旋流分离原理设计了一种紧凑型油水分离器, 并采用计算流体力学的方法, 研究了旋流器中的流场分布和操作参数对分离器性能的影响。研究发现: 旋流场中的切向速度分布呈现典型的涡分布特征, 轴向速度分布呈现三峰分布, 使得密度小的油滴迁移运动富集在管道中心区域, 更有利于油相的聚并从而提高油水分离效率。通过研究发现, 当增大出水口分流比时, 出水口含油率逐渐增大; 增大入口含油率时, 相同的分流比下, 出水口含油率增大。研究结果为新型油水分离器的现场应用提供了指导。

关键词:紧凑型分离器; 油水分离; 数值模拟; Fluent 软件

中图分类号: U664.91

文献标识码: A

0 引言

目前我国大部分陆上油田开采进入中后期, 含水率高达 85% 以上^[1]。而这些老油田如胜利油田经过 50 多年开发已建立了比较完善的地面集输及处理系统, 采用计量站-接转站-联合站的三级布站方式以及二、三级混合集输方式为主, 注水地面系统采用联合站-注水站-配水间-注水井模式^[2]。但随着油田进入高含水期, 采出液综合含水不断升高, 产液量和污水处理量也逐年增加, 大量污水采出与回注的循环极大的增加了污水处理的成本^[3]。

高含水的油水混合液给油田带来了极大的挑战, 而调研发现目前大部分油田仍然采用重力式分离器, 这种重力式分离设备体积大、效率低, 急需对现有的技术进行改进^[4]。在这种背景下, 研究一种新型紧凑型旋流油水分离器用于高含水采出液的处理, 将这种新型紧凑型旋流油水分离器替代传统的重力沉降罐处理高含水采出液对于降低老油田的开采成本具有重要意义。

本文对一种新型油水分离器采用 FLUENT 软件进行了仿真计算, 对其油水分离性能进行了研究, 为其工业应用提供指导^[5]。

1 数值计算模型

在对多相流动规律进行数值计算前, 需要建立数学控制方程, 如连续方程、动量方程和湍流输运方程。

其中对于不可压缩、定常条件下, 连续方程化简如下:

$$\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_i} + \bar{v}_j \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{v}_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

雷诺应力模型 (RSM) 摒弃湍流输运系数概念, 直接建立湍流应力与其他二阶关联量的输运方程, 并求解雷诺应力张量各个分量的输运方程, 对于流向急剧变化的旋流场, 利用 RSM 湍流模型能够很好的计算旋流油水分离器中的流场, 故本文利用 FLUENT 软件中的 RSM 湍流模型计算轴入新型紧凑型旋流油水分离器的湍流流场分布^[6-7]。具体形式为:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \overline{u_i u_j}) + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho \overline{u_k u_i u_j}) = -D_{Tij} + D_{Lij} - p_{ij} + \phi_{ij} - \epsilon_{ij} - F_{ij} \quad (3)$$

D_{Tij} 、 D_{Lij} 、 p_{ij} 、 ϕ_{ij} 、 ϵ_{ij} 、 F_{ij} 分别为湍流扩散项、分子粘性扩散项、剪应力产生项、压力应变项、粘性耗散项和系统旋转产生项。

对于油水两相流的模拟, 本文采用 Euler 模型^[8-9]。

2 计算模型及边界条件

2.1 几何模型、网格划分

本人中采用的基准模型如图 1 所示, 结构尺寸如图 1 所示 (单位: mm), 其中下部在管道中螺旋流道的结构参数为: 螺旋片为 3 片, 螺旋圈数为 1 圈, 螺旋升角

作者简介: 王玉江 (1968-), 男, 本科学历, 高级工程师, 研究方向: 油气集输与污水处理管理。

收稿日期: 2020-06-28

为 30° 。油水混合液经过螺旋流道后由管流转变为告诉旋转运动，因油水两相的密度差异，密度小的油相向管道中心区域富集最后从管道上部中的中心管流出，密度大的水相向管壁附近运动最后从上部侧面的管道流出。

网格划分时，在螺旋流道前后和上部出口附近采用四面体网格，直管道中采用六面体网格，并控制网格扭曲率在 0.8 以内，通过网格无关性验证最终确定网格数为 85460 个。

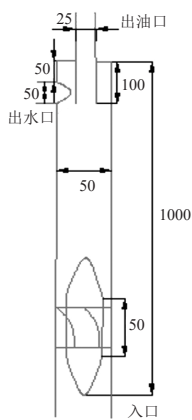


图 1 几何模型

2.2 边界条件

入口边界条件使用均匀速度入口，速度方向与入口截面的方向平行式中；出口边界条件设置成充分发展，所有变量沿出口截面法线方向的梯度为 0，并设定分流比；壁面按照无穿透无滑移边界处理，默认各变量在壁面处的取值为 0，壁面粗糙度为默认的 0.5，采用标准壁面函数法处理边界湍流。

3 模拟结果分析

3.1 油水分离器中的流场分布

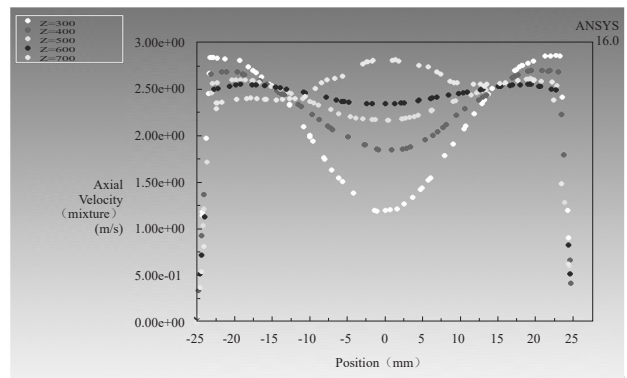
图 2 显示了速度场分布和压力场分布，从图中可以看出，切向速度分布呈现典型的涡旋速度分布特征。油滴受到的向心浮力大于离心力，因此向管道中心区域迁移。可以看出，在距离导流片距离 700 mm 左右，轴向速度出现了三个相同方向的峰值，而在这之前，中心的峰值处于最低位置处，这对于旋流场中心区域油滴聚集有利，当油滴聚集到比较高的浓度时，油 - 滴的聚并现象将出现，这样油相的含油浓度会得到提高，最终富油相混合物从管道中心区域的管道流出。

3.2 分流比对新型紧凑型旋流油水分离器的影响

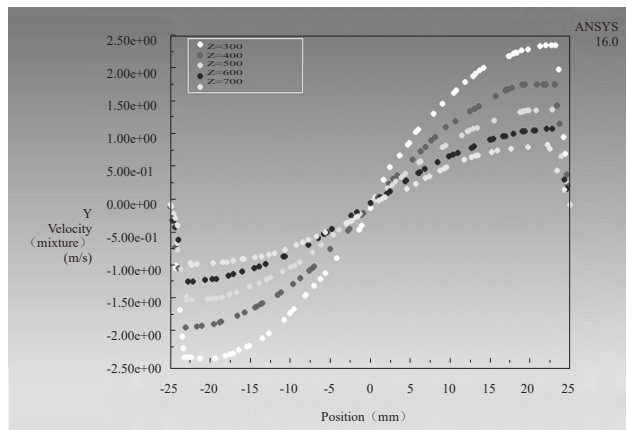
分流比为出水口流出的流量与入口流量之比，从图 3 可以看出，当分流比增大时，出油口的含油率逐渐增大，这是符合规律的，因为从出水口流出的流体为含油率比较低的水，当从这个口流出的流体越多，则出水口流出的水越少，因此含油率逐渐增大。这就是双同向旋流场的优点所在，对于锥形旋流器来说，出水口含油率是随着底流口分流比的增大先增大后减小，锥形旋流器中的双反向旋流场在出水口分流比较小小时，从出水口流出的流体大部分为含水高的短路流，因此性能不稳定。

3.3 入口含油率对新型紧凑型旋流油水分离器的影响

入口含油率的改变对旋流油水分离性能也是有影响



(a) 轴向速度分布



(b) 切向速度分布

图 2 流场分布

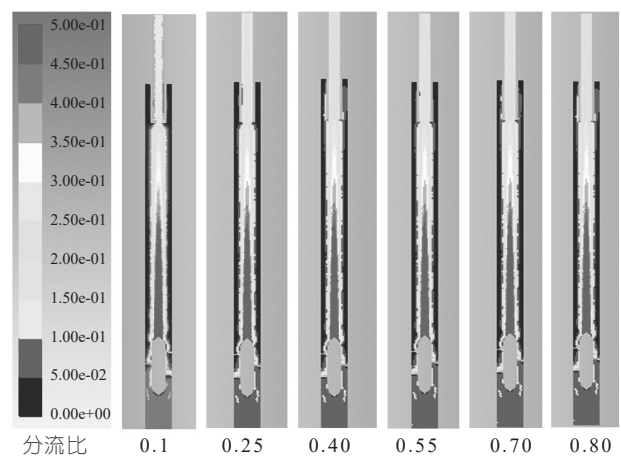


图 3 分流比对油水分离的影响

的，当入口含油率增大，从图 4 中可以看出出水口的含油率逐渐增大，但同时出水口含油率也逐渐增大。也即当入口含油率高时，在同样分流比的前提下，油出口的含油率高，但同时水出口的含油率也会增大。当入口含油率增大时，可以看出出水口的含油率迅速增大，但同

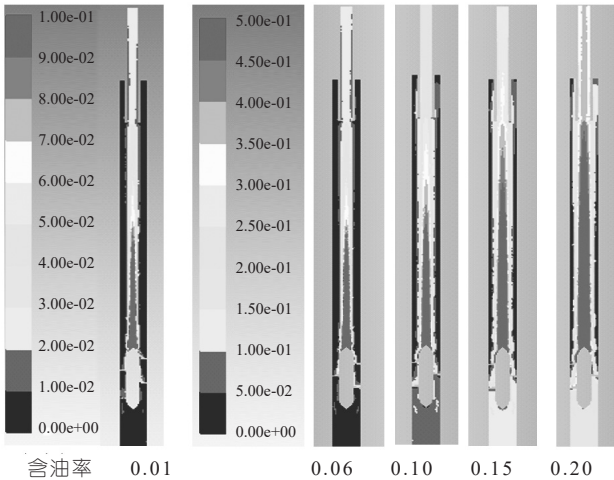


图4 入口含油率对油水分离的影响

时出水口的含油率也会增大,当保持出水口含油率低于一定的指标时,则入口含油率越低则分出的达标水越多。

4 结语

本文基于 FLUENT 对一种新型油水分离器性能进行数值模拟,研究结果获得了新型分离器内部的流场分布规律,证明了这种分离器能够进行高效油水分离,同时研究了分流比和入口含油率对其性能影响的规律,发现随着分流比增大,出油口含油率逐渐增大,出水口含油率逐渐减小;随着入口含油率增大,出水口的含油率

增大,出水口的含油率也迅速增大,当保证出水口的水中含油率小于一定值时,入口含油率越低则可以从出水口流出的流量越大,研究结果为新型分离器的现场应用提供了指导。

参考文献:

- [1] 蒋明虎,赵立新,李枫,等.旋流分离技术[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2000.
- [2] 李荣强.胜利油田低渗砂岩油藏水驱规律研究[D].中国石油大学(华东),2016.
- [3] John A.Veil. Interest revives in downhole oil-water separators. Oil & Gas Journal, 2001,99(9):47~56.
- [4] 张晓华.原油脱水技术研究进展[J].化工科技,2009,17(5):57~62.
- [5] 龚俊,叶俊红,姚明修.基于 FLUENT 的水力旋流器入口结构参数优化设计流场仿真[J].山东化工,2019,48(06):189~191.
- [6] 李莹.井下油水旋流分离器的数值计算及优化设计[D].中国石油大学,2008.
- [7] 邢雷.旋流场内离散相油滴聚结机理及分离特性研究[D].东北石油大学,2019.
- [8] Noroozi S., Hassan S., Hashemabadi. CFD Simulation of Inlet Design Effect on Deoiling Hydrocyclone Separation Efficiency, Chem. Eng. Technol., 2009,1-10.
- [9] Huang S.. Numerical simulation of oil-water hydrocyclone using Reynolds-Stress Model for Eulerian multiphase flows. Can. J. Chem. Eng., 2005(83):829~834.

(上接 176 页)



图5 放出内部杂质和原油

行检定查验效果(如图4,图5)。

排污后,再进行了一次1#流量计检定试标,发现数据的重复性很好,与前次正常数据对比,也能大致吻合,从而再一次证明是因为1#流量计出口阀512#内漏导致检定数据的不稳定现象,经过排污清理,这一问题得到解决(如表2)。

复性、线性不达标,我们可以通过研究数据本身的规律,找准问题发生的大致方向,再通过一系列措施一一排查,使问题得到解决。流量计出口阀内漏对流量计检定的准确性有着很大影响,在一些新建计量站中,为了避免这一现象发生,出口阀门由旋塞阀代替了平板闸阀,旋塞阀可用于经常性操作,启闭迅速、轻便,密封性能好,彻底解决了流量计出口阀关闭不严的问题。

参考文献:

- [1] 中石化管道储运有限公司.原油计量与运销管理.北京:中国石化出版社,2019.
- [2] 夏琼.石化企业阀门泄漏的原因分析及对策[J].石油化工设备技术,2005,26(2):23-25
- [3] 全国流量容量计量技术委员会.液体容积式流量计:JJG667-2010[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [4] 王文华,晁宏洲.分析原油流量计检定系统误差来源提高检定精度[J].工业计量,2004,S1:126-127.
- [5] 找璟,陈正茂,张江涛.原油流量计在检定周期内准确度下降的原因及对策[J].中国计量,2012,08:113-114.

4 结语

在流量计检定过程中会遇到各种问题导致数据的重