

# 重力式油水分离器内部构件对流动特性的影响

## Study on Flow Field in Gravitational Oil-water Separators with Regulating Components

张海涛, 张吕鸿, 吴崎兵, 徐彬

(天津大学精馏技术国家工程研究中心, 天津 300072)

**摘要:** 通过数值模拟, 研究在油水分离器放置不同内部构件: 稳流构件以及三种入口构件(即挡板式、离心式和孔箱式)前后, 分离器的流场特性。结果表明, 加入不同的入口构件对分离器内初始流场影响亦不相同, 但能更有效缓冲入口流体对初始流场的冲击; 加入稳流构件后, 能明显减小并抑制流场内部漩涡和返混, 使分离器内部流场更接近柱塞流动, 有利于油水两相的分离。因此, 合理的内部构件可有效地提高油水分离器的分离效率。

**关键词:** 油水分离器; 内部构件; 流场; 数值模拟

**Abstract** The properties of flow fields in the separator with different internal structures which are regulating component and inlet flow-buffer including baffle plate type, centrifugal type and hole-box type are inspected separately by stimulation. The result indicates different inlet setups produce distinct effects on initial flow distribution in the separator. They have a tangible result in buffering the impact brought by inlet fluid in initial flow domain. It proves regulating components can reduce and suppress the flow eddy and re-circulation obviously, making it more close to plug flow in separator. It concludes reasonable internal structure can enhance the oil-water separator efficiency remarkably.

**Key words:** oil-water separator; regulating components; flow field; numerical simulation

### 1. 引言

重力式油水分离器是利用重力分离油井采出物的油水分离设备。为了得到较好的油水分离效果, 设备内流体流动形式应尽可能达到或者接近柱塞(层流), 以利于油水两相的分离。为了达到这个要求, 一般通过优化内部构件的形式来改善分离器的流动特性<sup>[1]</sup>。

长期以来, 为了加快油水混合物中水滴(W/O型)和油滴(O/W型)的沉降或浮升过程, 改善设备的技术经济特性, 人们对提高油水分离设备的分离特性开展了诸多研究<sup>[2-4]</sup>, 但对设备流动特性的研究却还很不够。近 20 年来, 美国 Idaho 大学采用激光多普勒测速仪(LDC)对分离器中的速度场进行了模拟实验测试<sup>[5]</sup>; Shell 公司采用放射性示踪法, 对现场在役设备的流动特性进行了停留时间分布测试。测试结果表明, 现有设备中普遍存在严重的短路流

和返混现象, 不仅未能有效利用设备空间, 而且由于涡流造成的返混(反向混合), 使相当多的介质未经过充分的处理就排出。

本文从考察设备的流动特性入手, 进一步研究分离器内部设备结构与流场分布之间的关系, 为设计和优化油水分离器的结构提供技术指导。

## 2. 数学模型的建立

### 2.1 控制方程<sup>[6]</sup>

(1) 在直角坐标系中的连续性方程为:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

在不可压缩流体时,  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ , 于是不可压缩流体的连续性方程为  $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$

(2) 动量守恒方程

$$\rho \left( \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xz}}{\partial z}$$

$$\rho \left( \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{yz}}{\partial z}$$

$$\rho \left( \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial S_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial S_{zz}}{\partial z}$$

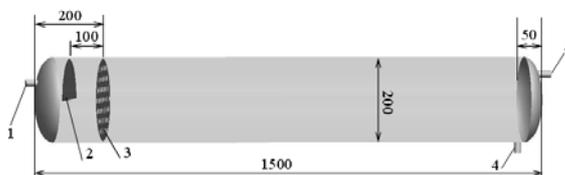
(3) 能量守恒方程

$$S_{xx} \frac{\partial v_x}{\partial x} + S_{yy} \frac{\partial v_y}{\partial y} + S_{zz} \frac{\partial v_z}{\partial z} + S_{xy} \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) + S_{xz} \left( \frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + S_{yz} \left( \frac{\partial v_z}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = 0$$

### 2.2 计算模型

计算区域

重力式油水分离器结构尺寸如图 1 所示。研究的实际流动区域是直径 200mm 长 1500mm 的圆柱体和长半径 100mm、短半径 50mm 的两个半椭球封头组成的空间, 如图 1 所示。



1. 进口 2. 挡板 3. 布液板 4. 水相出口 5. 油相出口

图 1. 油水分离器计算区域(单位 mm)

假设流体在油水分离器中的平均停留时间为 30min，流体在分离器内的主体流动雷诺准数为 220，可知主体流动呈层流流动状态，采用 STAR-CD 中的 Laminar 模型来计算。

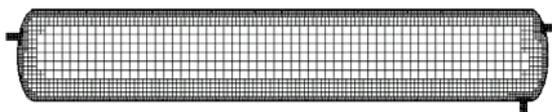


图 2 计算网

#### 边界条件

入口速度： $v = 0.245\text{m/s}$ ，流动主体为常温状态下的水；

出口：按质量流量分割，油相出口，5%；水相出口，95%。

采用 STAR-CD 内部自带的网格生成工具 ProAM 划分六面体单元的非结构型网格，它可以快速生成高质量的贴体网格，根据几何参数和物理参数的分布控制网格疏密<sup>[7]</sup>，见图 2。最终形成以内部六面体网格为主，近壁采用分层结构的总体网格拓扑结构，计算稳定性和收敛性非常好。

### 3. 计算结果及讨论

#### 3.1 稳流构件对油水分离器流场的影响

液体进入油水分离器之后，由于入口处流体的速度梯度较大，该处很容易形成旋涡，即使有入口构件（如挡板）的缓冲作用，也不能完全消除其对分离器内部流场的扰动，对油水分离效果产生不利的影响。

进一步消除这种不利的影响，在入口构件后加装稳流构件布液板（孔板）。布液板性能受开孔位置和空隙率的制约，本文中布液板的开孔结构如图所示，孔隙率为 20%，以此为例着重考察布液板放置前后对油水分离器内部流场的影响。

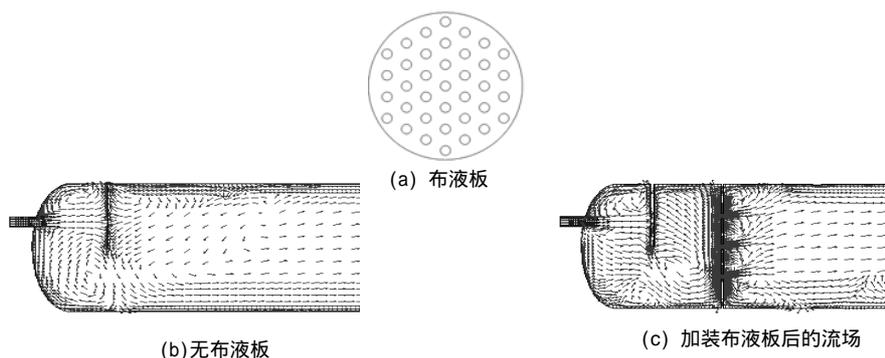


图 3. 稳流构件及其放置前后了流

流体经过布液板后，一方面消耗了自身的能量，另一方面流场被布液板的重新分布，使其更加均匀，有效抑制了漩涡和返混的产生。对比图 b、c，可明显看出挡板的稳流作用。

为进一步考察布液板放置前后油水分分离器各轴向截面的轴向分速度分布,求取每个截面的轴向分速度的相对标准偏差,如图4所示。图4中显示,放置布液板后所考察的速度分布的相对标准偏差明显减小,再次表明布液板的使用后改善流场的分布。

### 3.2 入口构件对油水分离器内部流场影响

在重力式油水分离设备中,入口构件一方面吸收进入高速液流的动能,减小入口对设备分离流场的冲击,另一方面是根据入口液流速度较高的特点,利用惯性或离心的方式,实现一定程度上的预分离作用。本节选取三种典型的入口构件,通过 CFD 模拟,比较得出它们的优缺点,给设计方案提供一定的参考。

入口构件的三种常见类型:挡板式、孔箱式、离心式,其结构如图5所示。

重力式油水分离器中使用最早是挡板式入口构件,其结构比较简单,制造安装方便,在早期曾被广泛使用。从计算模拟后的流场可以看出,入口流体虽不能直接冲击分离区的流场,但液流自挡板下端流向分离区,由于有效流动截面相对减小,使挡板后流场整体区域内出现严重的一次涡流,流场相当紊乱,流动条件差,非常不利于油水分离过程的进行,目前已经日益被淘汰。

离心式入口构件是为了强化入口构件的预分离作用而被设计出来的,该结构的入口件被认为是目前预分离作用最好的入口构件。从矢量图中可以看出,流场中除了存在一定程度的二次涡流以外,一次涡流基本得到抑止和消除,流场中的返混情况得到有效的控制,在强调预分离作用的情况下,是一种较好的选择。

孔箱入口构件是美国C-E Natco公司的标准入口件。从矢量图中可以看出:流场总体上基本呈稳定的正向平面流动,稳流、整流作用都相对较好,但是这种构件的预分离作用不如离心式的好。

对三种入口构件分别求取油水分离器各个截面上的轴向速度分布的相对标准偏差,结果

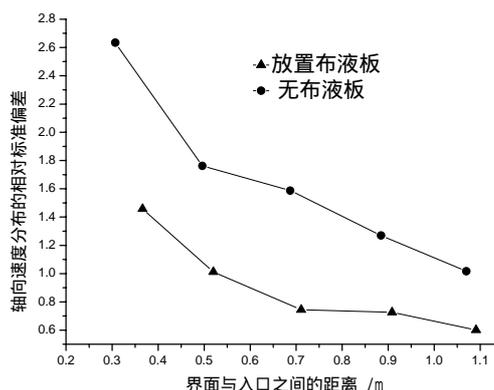


图4. 稳流构件放置前后轴向速度分布

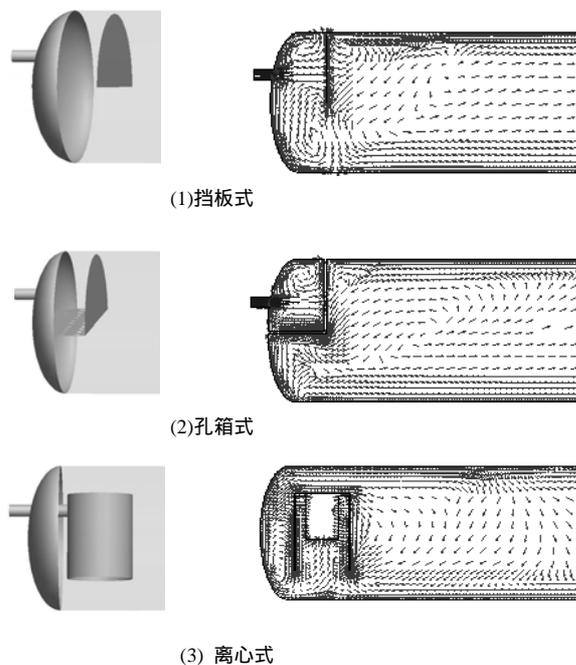


图5 不同入口构件下的流场分布

如图6。可以看出,在没有任何入口构件时,分离器内部的整个区域的速度分布相当紊乱,存在极其严重的返混和旋涡,离心式构件对流场的稳定效果最好,挡板式的性能较差。

综上所述,孔箱式入口构件不仅具有较好的流动特性,同时还具有一定的预分离作用。因此它是一种工程实用价值较大的入口构件形式。当然,在强调有较好的预分离作用的场合下,离心式构件也可以考虑使用。这样的结论和文献<sup>[8]</sup>中通过实验方法,并使用PIV测试技术<sup>[9]</sup>得到的结论完全相同,说明模拟结果和实验结果吻合良好。

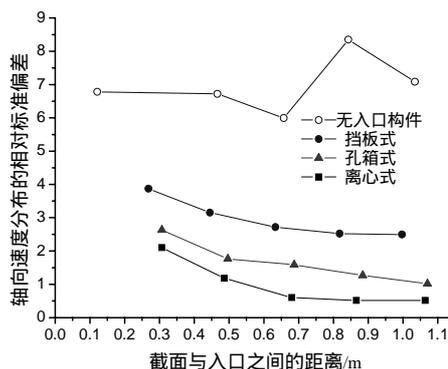


图 6 不同入口构件下的轴向速度分布

## 4 结语

稳流构件以及入口构件(挡板式、孔箱式和离心式)的使用,有效改善了分离器内流场的分布,特别是有效地缓冲了入口流体对分离器内初始流场的冲击,抑制并减少了漩涡和返混,使分离器内部流场更接近柱塞流动,更有利于油水两相的分离。在强调有较好的预分离作用的场合下,离心式入口构件较其他构件性能更优越,可优先选择。

## 5 参考文献

- [1] Drown D. C. The fluid mechanics basis for the design criteria of gravity liquid-liquid settler[D]. Idaho University, 1975.
- [2] Zemel B, Bowman R W, Residence time distribution in gravity oil-water separators[J]. Journal of Petroleum Technology, 1978(February): 275-282.
- [3] 李国珍,肖华,董守平. 油水分离技术及其进展[J]. 油气田地面工程. 2001,20(2):7-9.
- [4] 陆耀军,薛敦松. 重力式油水分离设备流动特性研究 [J]. 石油学报, 2000,16(6):23-29.
- [5] 于兴军,刘春全,艾志久,贺会群,肖莉. 新型油水分离器分离性能研究[J]. 石油矿场机械, 2006,35(3):31-33.
- [6] 姜斌. 新型聚合物水解搅拌装置工业实验研究及搅拌槽内非牛顿流体三维数值模拟 [D]. 天津大学, 2005.
- [7] STAR-CD3.22 Methodology[M]. 3-1.
- [8] 陆耀军, 油水重力分离过程中的液滴动力学分析 [J]. 油气田地面工程, 1998,17(4):1-5.
- [9] 李鑫钢,斜板上液液聚结分相动力学研究[D], 天津大学, 1992.