

文章编号:1673-5005(2008)06-0118-07

分离器整流聚结构件分离性能

张黎明¹, 何利民¹, 王涛², 吕宇玲¹, 何兆洋¹

(1. 中国石油大学 储运与建筑工程学院, 山东 东营 257061; 2. 中国海洋石油研究中心, 北京 100027)

摘要:为了提高重力式分离器的性能,选取不同结构的整流和聚结构件,采用 Fluent 数值模拟软件对分离器内部流场进行三维数值模拟,通过对比速度场和浓度场分布,确定整流和聚结构件的性能。在长为 1.8 m,内径为 384 mm 的重力式分离器内安装 4 种不同结构的聚结板,改变进口含油率和流量,测量颗粒的单位体积质量含油率,确定聚结板的分离性能。结果表明:在流量较大的时候,聚结板分离效果下降,表现出对粒径选择性的单一分离作用;聚结板的结构和材质对液滴的聚结沉降影响很大,应根据工况和处理条件进行合理选择。

关键词:重力分离;数值模拟;流场;液滴聚结;粒径

中图分类号:TE 624.1 **文献标识码:**A

Separation behaviors of commutating and coalescing internals in separator

ZHANG Li-ming¹, HE Li-min¹, WANG Tao², LÜ Yu-ling¹, HE Zhao-yang¹

(1. College of Transport & Storage and Civil Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

2. China National Offshore Oil Company Research Center, Beijing 100027, China)

Abstract: In order to increase the efficiency of gravity separator, different kinds of commutate and coalescence internals were chosen. Three-dimensional numerical simulation of flow field in separator was carried out by Fluent software. Comparing the velocity field and concentration field, the performances of the commutate and coalescence internals were obtained. Experiments on separation behaviors of 4 kinds of coalescence plates were carried out in a separator with diameter of 384 mm, length of 1.8 m. The separation behaviors of coalescence plates can be determined by measuring droplets unit volumetric mass oil concentration in different inlet flow rate and oil concentration. The results indicate that the separation efficiency declines at high flow rate, at the same time takes on singleness separation selectivity with particle size. The best coalescing plates suited to the separator and operation conditions should be chosen because of configuration and material of coalescing plates influencing the settlement of particles.

key words: gravitational separation; numerical simulation; flow field; droplets coalescence; particle size

目前大部分油田采出的原油中含水率过高,总采出液量成倍增长,原油处理成本居高不下,同时高粘稠油的开采也造成原油乳化严重,很难分离^[1]。传统的仅靠重力作用对油水进行分离处理的设备已经无法满足实际需求,必须对其进行改造以适应生产要求^[2-3]。在分离器内部添加入口构件,可吸收进入设备的高速液流的动能,减小来流对分离设备内部流场的冲击^[4]。聚结填料技术是利用多孔曲折

流道增加液滴聚结的机会,有效提高分离效率^[5]。整流构件促使流体在经过整流构件后平稳地进入分离器内部^[6]。捕雾器构件可将气体中夹带的小颗粒液滴去除,使分离器稳定运行^[7]。上述技术得到了广泛应用,将其组合使用于分离器,可大幅度提高其分离性能^[8]。此外聚结构件的使用可减小分离器的体积,节省成本和空间,对海上石油的开采具有重要意义^[9]。笔者利用 Fluent 软件对安装不同整

收稿日期:2008-03-11

基金项目:国家“863”计划项目(2006AA09Z302)

作者简介:张黎明(1982-),女(汉族),山东东营人,博士研究生,从事油气集输及多相流分离方面的研究。

流构件的分离器内部流场进行数值模拟,分析不同整流构件对速度场的影响。

1 数值模拟

1.1 计算流型选取

Fluent 数值模拟软件可准确有效地模拟分离器内部流动特性以及流场分布情况,确定分离器的聚结分离效果^[10]。分离器内部的构件和流道一般比较复杂,流体在其内的流动通常属紊流。大量的紊流计算表明,k-ε模型具有较好的计算稳定性、经济性和计算结构的准确性,此模型由湍动能k(m²/s²)方程和湍动耗散率ε(m³/s³)方程组成^[11],其表达式为

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \right] + G_k - \rho \epsilon, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \right] + \frac{C_{1\epsilon} \epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2)$$

式中,x_i,x_j为坐标分量;ρ为密度,kg/m³;u_i为速度分量,m/s;μ,μ_t分别为粘性系数和湍流粘性系数,Pa·s;G_k为平均梯度湍流动能,m²/s²;模型常数C_{1ε},C_{2ε},σ_k,σ_ε的取值分别为1.44,1.92,1.0,1.3。

除了湍流模型与模拟方法选取外,还必须选取合适的多相流模型。混合模型是一种简化的多相流模型,可用来求解以不同速度运动的多相流动。假设在非常小的空间尺度上是平衡的,相之间的耦合非常强烈,因此可用于均相流和有相间转移的多相流动。

1.2 模型设定

轴向筒长为1.8 m(不包括左右两个球形堵头),直径为384 mm;入口、水出口、油出口直径分别为15,32,20 mm,如图1所示。

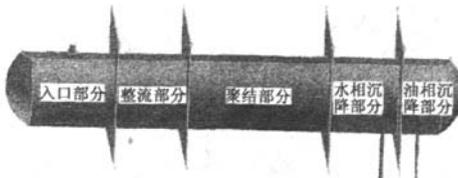


图1 简化后分离器的外形

Fig.1 Figuration of simplified separator

模拟选取不同结构的整流板和聚结板,分别位于分离器所示对应位置。整流构件如图2所示依次为竖板、横板、圆筒、田字板型。

聚结板结构如图3所示。依次为平板、斜板、蛇



图2 整流构件示意图

Fig.2 Sketch map of commutate internals
平板背向平行板组和斜板交错搭接平行板组。

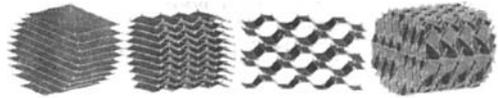


图3 聚结板示意图

Fig.3 Sketch map of coalescence internals

分离器模拟的边界条件为:(1)入口条件,设为速度边界条件,根据停留时间计算入口流量,再根据流量确定液体流速;(2)出口条件,油出口和水出口设为质量流出口,油出口的质量流量占20%,水出口的质量流量占80%;(3)压力条件,仅对油水两相乳状液进行数值模拟研究,不考虑气相,因此操作压力设为101.325 kPa。

1.3 模拟结果

利用 Fluent 数值模拟软件对分离器整流部分的速度等值线进行分析,结果如图4所示。

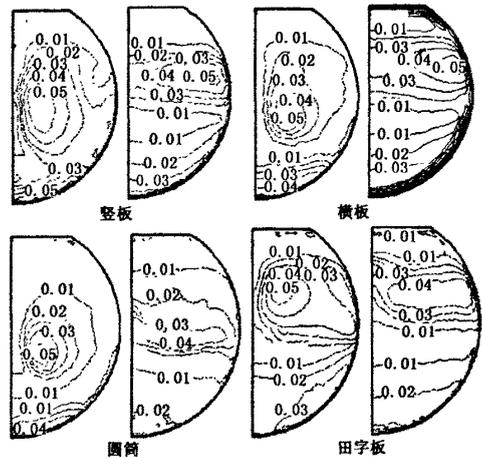


图4 不同整流构件前、后速度等值线

Fig.4 Velocity contour line before and after the commutate internals

对比发现,圆筒整流构件和田字板整流构件对速度的规整特性优于竖板和横板整流构件。经过合理的整流构件,分离器内的流场速度可以得到明显的改善,变得均匀一致,有利于后部聚结板对液滴的聚结分离作用。

图5所示为油水乳状液经过各聚结板组聚结后

分离器内油水浓度的分布。由图5可发现平板平行板组和蛇相背向平行板组对油水乳状液中液滴的聚结作用不显著,而斜板平行板组和斜板交错搭接平

行板组则具有良好的油水分离特性,经过这两种聚结板作用后乳状液中的油大部分上浮至分离器顶部,保证分离器的分离性能。

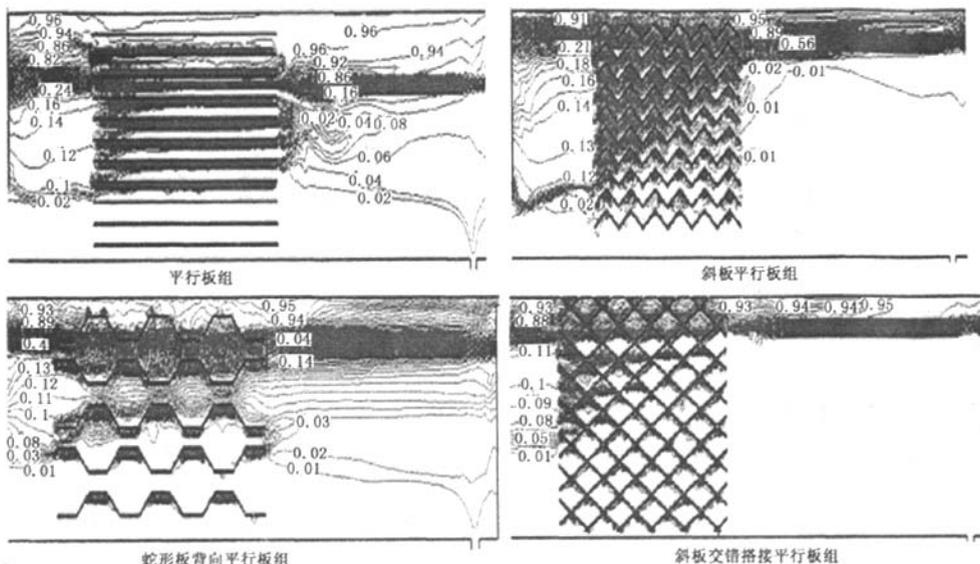


图5 分离器内油水浓度等值线
Fig.5 Oil and water concentration contour line in separator

2 试验

2.1 试验装置

试验所用分离器剖面如图6所示。其尺寸与数值模拟的一致。其工作原理是:气液混合物首先进入气体预分离室,利用离心分离和重力作用分离出绝大部分气体后,液体经过一个倒“T”型的导管进

入6个平行的布液管;在布液管的上、下部开有小孔,这样来流液体均匀上升进入水洗室进行水洗破乳,然后进入油水分离室缓冲、整流和聚结,进行油气水三相分离;分离器顶部气体与预分离室分出的绝大部分气体一起经过气体出口流出分离器;上部油漫过堰板进入油室,水从底部经水出口排出。

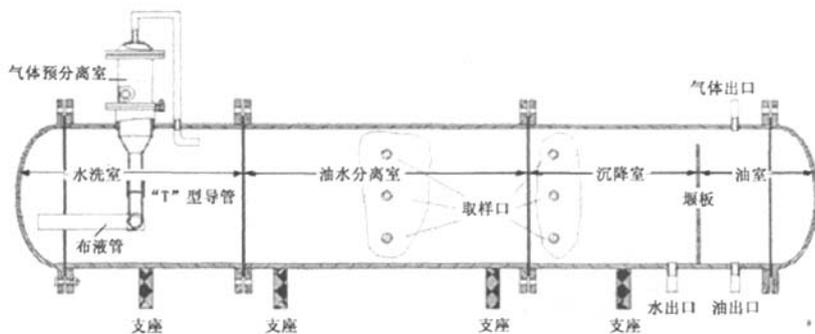


图6 分离器剖面
Fig.6 Separator section

该分离器有如下特点:(1)分离器的材质是透明的有机玻璃,可以方便观察和手动调节油水界面的液位,并且能够直观地观察到油滴的聚结浮升过程和水滴的沉降过程;(2)在气液混合物进入分离器筒体前能够预先分离出96%以上的气体;(3)在

油水分离室和沉降室处有两组各3个取样口,在两组取样口中间可以放置不同类型的聚结构件,这样可以从上而下分析3个高度处的含水量、含油量,从左至右分析经过聚结构件前后含油浓度的变化,从而测试聚结板的聚结效果。

2.2 试验内容

对聚结板的分离性能进行研究,聚结板选用 4 种不同结构和材质:A 聚结板为不锈钢交错搭接波纹板;B 聚结板为聚四氟乙烯蛇形背向平行板;C 聚结板结构与 A 聚结板结构一致,材质为聚四氟乙烯;D 聚结板为不锈钢平行波形板。

试验所用白油和水的物性分别为:白油 20 ℃ 时密度 870 kg/m³,动力粘度 0.15 Pa·s;水 20 ℃ 时密度 998.2 kg/m³,动力粘度 1.003 mPa·s。为保证其形成的乳状液具有一定的稳定性,采用 OP-10 作为乳化剂,按质量含量进行搅拌配置。使用 Malvern

激光粒度测试仪对油出口处取出的样品进行含水分析;用紫外可见分光光度计对水出口处取出的样品进行含油浓度分析。

2.3 聚结板性能对比

对分离器前中与后中取样口所取得的样品进行单位体积质量含油率($c_v = cv_d$,其中, c_v 为出口水中单位体积质量含油率,g/L; c 为出口水中含油浓度,g/L; v_d 为粒径为 d 的颗粒所占的体积百分比)的计算,得到不同聚结板前后颗粒的单位体积含油率与粒径的关系曲线,见图 7~10(Q 为流量)。

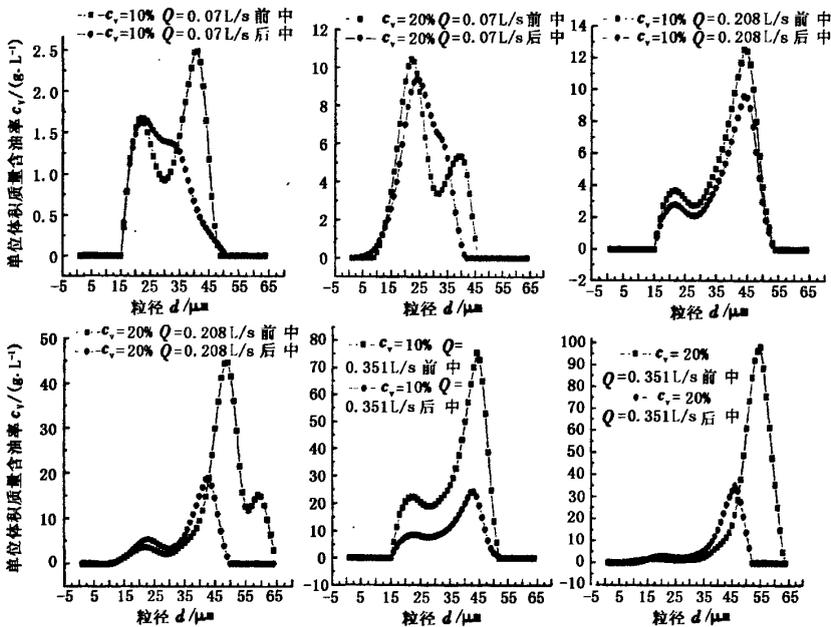


图 7 聚结板 A 不同工况下的的聚结性能

Fig. 7 Coalescence capability of A plates in different conditions

比较 4 块聚结板的颗粒单位体积质量含油率分布曲线可以看出,在进入聚结板前的油水乳状液颗粒都为双峰分布,而经过聚结板后基本上为单峰分布,大粒径颗粒有了明显的分离,小粒径颗粒则产生了不同程度的聚结现象。在聚结板前油水乳状液的颗粒分布为双峰现象的原因是,在油水乳状液进入分离器时,表面张力比较小、颗粒粒径比较大一点的颗粒开始聚结,但没有足够的时间上浮到连续的油相中,而油水乳状液中另一部分颗粒粒径很小且表面张力很大的小颗粒油滴在聚结板前的一段(自然重力沉降段)不会产生明显的聚结,即使这部分油滴通过聚结

板后也只是一小部分聚结为较大颗粒的油滴,绝大部分将从分离器水出口排出,而且这些不容易产生聚结的小颗粒油滴在油水乳状液中的比例随着油水乳状液乳化程度的增大而增大,这就是在试验的后期分离器水出口含油率比较高,且分离器性能不稳定的原因。另外,图中的双峰曲线都以 30 μm 为分界线分为前后两个峰,这点足以证明了在本试验中不可能有效地处理粒径小于 30 μm 的分散相颗粒。如果想对粒径小于 30 μm 的分散相进行有效的聚结分离,则必须对分离器进口的油水乳状液进行破乳。

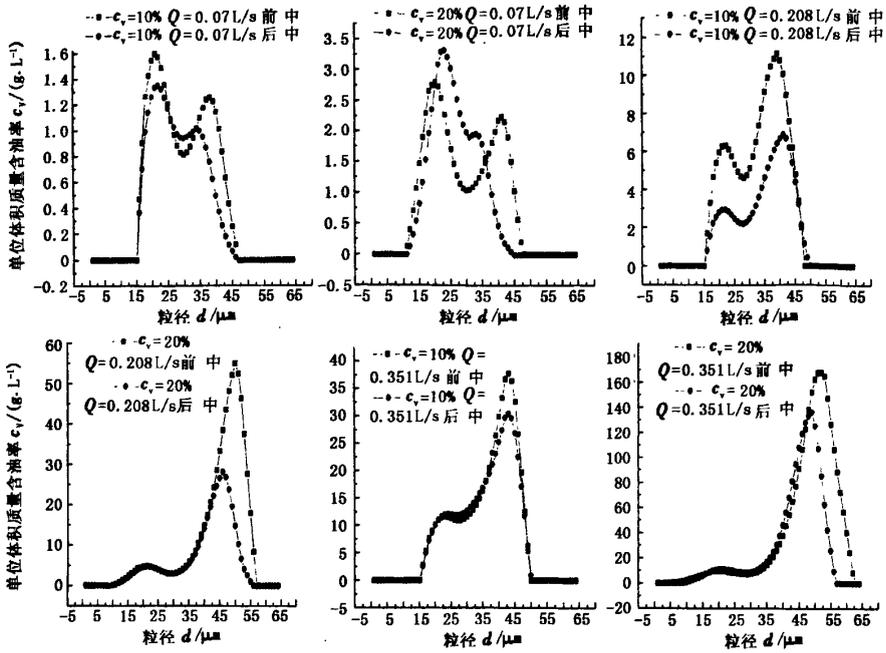


图8 聚结板 B 不同工况下的的聚结性能

Fig.8 Coalescence capability of B plates in different conditions

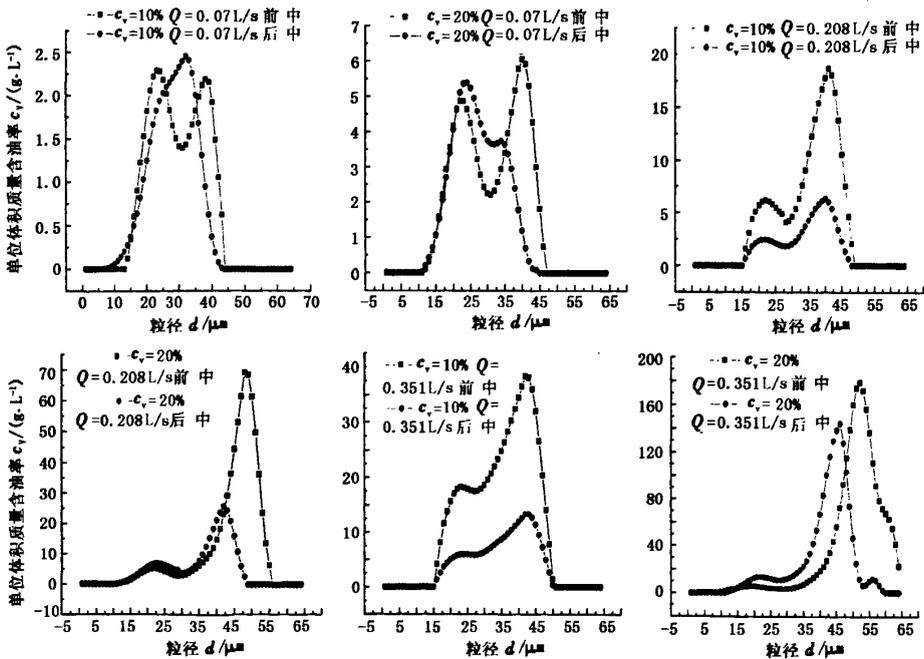


图9 聚结板 C 不同工况下的的聚结性能

Fig.9 Coalescence capability of C plates in different conditions

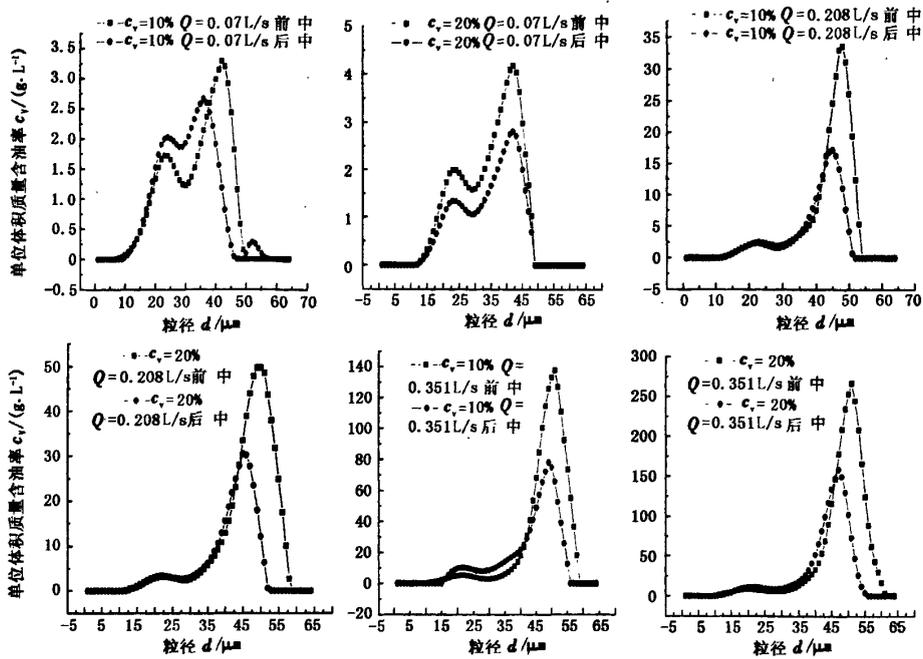


图10 聚结板D不同工况下的聚结性能比较图

Fig. 10 Coalescence capability of D plates in different conditions

聚结板A与聚结板C在分离器进口流量不大且含油率较低的情况下具有更好的聚结分离特性,这主要表现在这两块聚结板对颗粒处理的粒径范围广,工作性能相对稳定。随着分离器进口流量的增大以及进口含油率提高,聚结板C的工作性能急剧下降,聚结板A聚结性能也有所减弱。由此可见,流道复杂的聚结板适于在含油率不大(小于20%)且分离器进口流量较小的工况下工作。由于聚结板B内的流体流道为直筒六边形流道,分散相颗粒在其流道内只能产生单一的上浮聚结,而不能通过不同流道内颗粒的碰撞产生更为容易的聚结。另外,流体在流经聚结板B内的流道时产生聚结的颗粒不能有效地上浮到连续的油相,从而使通过聚结产生的油滴最终从流道的另一端被流经其流道内的流体携带出去,这样就大大降低了聚结板B的分离性能。由于这一原因使得其在分离器进口流量较大且含油率较高的工况下分离性能很不稳定,分离效果在4块聚结板中最差。聚结板D虽然聚结分离性能不是很好,但是其在各种工况下都能稳定工作,且当分离器进口流量越大含油率越高时其分离性能越明显,这一点也说明了在处理不同含油率的油水乳状液时应根据含油率的大小选用具有不同流道的聚结板。含油率越高、流体经过聚结板流道时流速越快,所选的聚结板的流道也应该相应地越大,且聚结

板的流道更容易使分散相在流道内聚结的大颗粒上浮到上层。反之,在要处理的油水乳状液含油率不高、流经聚结板流道的流体流速较低的情况下,为了提高聚结分离性能,应选用流道相对较小的聚结板。

3 结论

(1) 蛇形背向平行板组和斜板交错搭接平行板组具有很好的油水分离特性。

(2) 随着含油率和流量的增大,各聚结板的分离效率都有所下降,并出现粒径选择性的单一分离作用。相比而言,不锈钢交错搭接波纹板的分离效果和处理范围较宽,不同的工况下应选择相应的聚结构件。

参考文献:

[1] 张铜耀,范维玉,南国枝,等. 水包稠油乳状液中稠油极性组分与乳化剂的相互作用研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2006,30(5):101-105.
ZHANG Tong-yao, FAN Wei-yu, NAN Guo-zhi, et al. Study on interaction of heavy crude oil polar component and emulsifier in heavy crude oil-in-water emulsion[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006,30(5):101-105.

[2] 冯叔初,郭揆常,王学敏. 油气集输[M]. 东营:石油大学出版社, 2002:220-235.

- [3] SUNKL Kokal. Crude oil emulsions; a state-of-art review [R]. SPE 77497, 2002.
- [4] JAWORSKI Artur J, DYAKOWSKI Tomasz. Measurements of oil-water separation dynamics in primary separation systems using distributed capacitance sensors[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2005, 16:113-127.
- [5] WILKINSON D, WALDIE B. CFD and experimental studies of fluid and particle flow in horizontal primary separators[J]. Trans I Chem E, 1994, 72(Part A):189-196.
- [6] BHARDWAJ A, HARTLAND S. Dynamics of emulsification and demulsification of water in crude oil emulsions [J]. Fuel and Energy, 1995, 36(1):11-19.
- [7] 张鸿仁. 油田原油脱水[M]. 北京:石油工业出版社, 1990.
- [8] BAKER G, CLARK W W, AZZOPARDI B J, et al. Transient effects in gas-liquid phase separation at a pair of T-junctions [J]. Chemical Engineering Science, 2007, 63:968-976.
- [9] GALVIN K P, CALLEN A, ZHOU J, et al. Performance of the reflux classifier for gravity separation at full scale [J]. Minerals Engineering, 2005, 18:19-24.
- [10] 陶文铨. 数值传热学[M]. 2版. 西安:西安交通大学出版社, 2001.
- [11] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

(编辑 沈玉英)

(上接第112页)

- [2] HOEKSTRA A J, DERKSEN J J, VAN DEN AKKER H E A. An experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones [J]. Chemical Engineering Science, 1999, 54:2055-2065.
- [3] GONG A L, WANG Lian-ze. Numerical study of gas phase flow in cyclones with the Repds [J]. Aerosol Science and Technology, 2004, 38:506-512.
- [4] 胡砾元, 时铭显, 周力行, 等. 旋风分离器三维强旋湍流流动的数值模拟[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2004, 44(11):1501-1504.
HU Li-yuan, SHI Ming-xian, ZHOU Li-xing, et al. Numerical simulation of 3-D strongly swirling turbulent flow in a cyclone separator [J]. Journal of Tsinghua University (Sci & Tech), 2004, 44(11):1501-1504.
- [5] 张雅, 刘淑艳, 王保国. 雷诺应力模型在三维湍流场计算中的应用[J]. 航空动力学报, 2005, 20(4):572-576.
ZHANG Ya, LIU Shu-yan, WANG Bao-guo. Application of the Reynolds stress model to the calculation of three-dimensional turbulent flow-field [J]. Journal of Aerospace Power, 2005, 20(4):572-576.
- [6] DERKSEN J J, VAN DEN AKKER H E A. Simulation of vortex core precession in a reverse-flow cyclone [J]. AICHE Journal, 2000, 46(7):1117-1331.
- [7] 刘成文. 旋风分离器的能耗与减阻杆减阻机理研究[D]. 北京:清华大学航天航空学院, 2006.
- [8] 王建军, 王连泽, 刘成文. 旋风分离器排气管内流动分析及减阻机理[J]. 过程工程学报, 2005, 15(3):251-254.
WANG Jian-jun, WANG Lian-ze, LIU Cheng-wen. Research on the flow field in the exit tube and the mechanism of pressure drop reduction in a cyclone separator [J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2005, 15(3):251-254.
- [9] 王建军, 王连泽, 刘成文. 带有减阻杆的旋风分离器内气体流动分析[J]. 化工学报, 2005, 56(6):989-994.
WANG Jian-jun, WANG Lian-ze, LIU Cheng-wen. Gas flow analysis in cyclone separator with a stick [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2005, 56(6):989-994.
- [10] 钱付平, 章名耀. 不同排尘结构旋风分离器的分离特性[J]. 燃烧科学与技术, 2006, 12(2):169-174.
QIAN Fu-ping, ZHANG Ming-yao. Separation characteristics of cyclone separators with different dust outlet geometries [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2006, 12(2):169-174.

(编辑 沈玉英)

(上接第117页)

- [9] 岳吉祥, 蔡耀光, 肖文生, 等. 深水半潜式平台钻井材料输送系统配置与布局研究[J]. 船海工程, 2008, 37(4):31-36.
YUE Ji-xiang, QI Yao-guang, XIAO Wen-sheng, et al. Study on configuration and layout about drilling material transportation system of semi-submersible drilling platforms [J]. Ship & Ocean Engineering, 2008, 37(4):31-36.
- [10] 岳吉祥, 蔡耀光, 任旭虎. 基于人机工程学的海洋平台总体布局设计研究[J]. 中国海洋平台, 2008, 23(2):7-12.
YUE Ji-xiang, QI Yao-guang, REN Xu-hu. Study on the driller cabin of semi-submersible offshore drilling platforms based on human factors engineering [J]. China Offshore Platform, 2008, 23(2):7-12.

(编辑 沈玉英)