

油滴在旋流场中的破碎与聚并研究

陈三君¹, 吴奇霖¹, 刘硕², 许晶禹²

¹中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳, 518067

²中国科学院力学研究所, 北京, 100190, Email: xujingyu@imech.ac.cn

摘要: 在海上油气生产中, 导流片为代表的轴向启旋分离技术在管道式分离技术中具有重要的应用前景。由于其出现较晚, 同时考虑海上油田中后期高含水率的现状, 为促进轴向启旋分离技术的应用, 需要对导流片型旋流场中油滴破碎和聚并规律进行详细研究。本研究基于管流实验, 对直径 100mm 的导流片型旋流场中离散相油滴破碎与聚并规律展开了详细研究。研究结果表明, 不同尺寸的油滴在导流片前后破碎聚并规律不同; 旋流场中出现油核, 尺寸受入口条件影响。这些将为导流片式油水分离设备的设计应用提供参考。

关键词: 导流片; 旋流场; 油滴; 破碎聚并

1 引言

海上油田对采出液处理设备的体积和重量有着严格要求, 一般常用管道式分离系统对采出液进行预分离处理, 之后进行下一步电脱和含油污水处理工序。管道式分离技术的核心是旋流分离技术, 通过旋流场提供离心加速度使轻质相向中心靠拢, 重质相分散在四周, 配合合理的回收装置实现分离。旋流式分离技术按照启旋方式可以分为切向启旋分离技术(也被成为水力旋流技术)和轴向启旋分离技术(以导流片式分离技术为主)两种。前者经过几十年优化改进已经可以适用于不同油田和生产条件, 而后者提出的较晚早期用于空气除湿^[1]和熔盐堆裂变气体在线分离^[2]。与水力旋流技术相比, 导流片式分离技术的优势在于结构简单、分离效率高、压降小^[2], 当环境要求严格时, 是更优选择。

在油田开发中后期, 油藏含水率急剧提升, 可达 95%以上。为了将导流片式分离技术应用于高含水率油水预分离中, 需要对旋流场中的油滴的行为特性, 包括破碎、聚并和迁移规律有详细了解。与对除油水力旋流器的研究相比^[3-6], 尽管学者们对导流片型旋流器已经展开了研究, 但主要集中在导流片形状、高入口流速下连续相流场规律以及气泡移动规律等^{[1][2][7][8]}。遗憾的是, 尚未有涉及到高含水率油水两相流导流片旋流场中油滴破碎聚并及与旋流场间相互作用的研究, 因此需要展开相关方面的研究。考虑到现场生产状况, 导流片型旋场内径为 100mm。研究将从管流实验和数值模拟两个方面展开。

2 实验设备和流程

实验中通过 Malvern 测量导流片前后油滴特征分布参数。Malvern 是一种光学仪器, 可

以通过衍射原理给出油滴的粒径特征分布参数 dv_{10} 、 dv_{50} 、 dv_{90} 和 d_{32} ，实验中应用的 Malvern 型号为 RTsizer。ERT 则是通过十六个布置在截面上的电极，根据 Maxwell 方程，测量截面相含率分布。同时，实验中还应用了科氏流量计测量油水混合液的混合密度。应用压力表测量了导流片上下游的压力分布。

实验中的油相为燕山石化生产的 PS-40 型号白油。20℃条件下，白油的密度是 840 kg/m³，黏度是 36 mPa·s，油水界面张力系数是 0.032 N·m。实验中的水相为自来水，20℃条件下密度为 998 kg/m³。

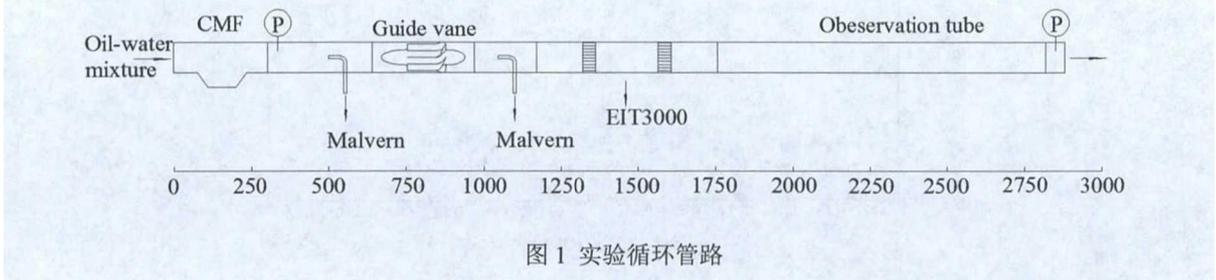


图1 实验循环管路

根据研究目标设计了内径为 100mm 的循环实验管路（图 1）。实验中，通过计量泵向实验管路中注入白油，白油和水的混合液在实验管路上游充分混合后进入实验管路段，首先流经科氏流量计测量混合密度，之后经过两个取样装置分别放置在导流片前后用来测量油水混合液的油滴尺寸分布。由于实验管路较粗，取样装置可以沿径向移动测量截面不同位置的油滴尺寸分布参数。

实验中的入口水相流量有四种，分别为 12 m³/h、14 m³/h、16 m³/h 和 18 m³/h；油相含率有六种，分为 0.1%、0.3%、0.5%、1%、3% 和计量泵最大流量（583L/h）对应的入口含率，这样，整个实验共含有 24 中操作工况。

3 结果及讨论

通过对比导流片前后油滴粒径分布参数的方式探讨旋流场中油滴破碎聚并变化状况。对 Malvern 测量的油滴粒径分布参数 dv_{10} 、 dv_{50} 、 dv_{90} 和 d_{32} 进行分类汇总，其中 dv_{10} 代表小尺度油滴， dv_{90} 代表大油滴， dv_{50} 为油滴平均值， d_{32} 是 Sauter 平均粒径，与湍流能量耗散率有关。湍流脉动导致油滴时刻存在破碎聚并，破碎聚并的动态平衡使油滴特征分布参数保持稳定。这样，通过图 2 可以看到，在靠近管道中心位置，对于小油滴（ dv_{10} 表征），在 0.4-0.6m/s 液相入口流速工况下，经过导流片，小油滴尺寸增加，这说明小油滴在靠近管道中部聚并现象更明显。对于大油滴（ dv_{90} 表征），发现在入口流速小于 0.56m/s 条件下，油滴尺寸增加，聚并现象明显；当入口流速达到 0.56m/s 时，大油滴平均粒径略有下降。这是由于在旋流场中心附近位置，在切向速度和油-水密度差作用下，油滴剪切破碎现象更加明显；同时，油滴能保持稳定的最大粒径降低，这与 Hinze^[9]提出的理论预测模型是一致的。根据 Zhang 和 Xu^[10]的研究成果， d_{32} 与湍流能量耗散率在双对数坐标系下成线性关系。旋流场形成后 d_{32} 增加，证明湍流能量耗散率降低，流动变的更加有序。

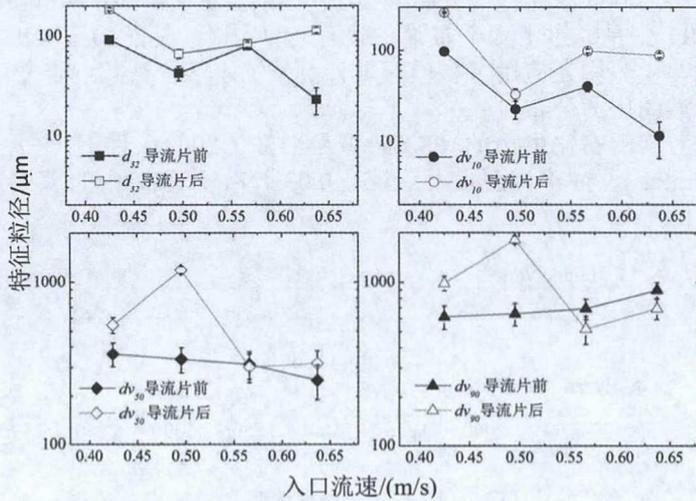


图 2 0.5%入口含率、不同入口流速下管道中部导流片前后油滴粒径变化

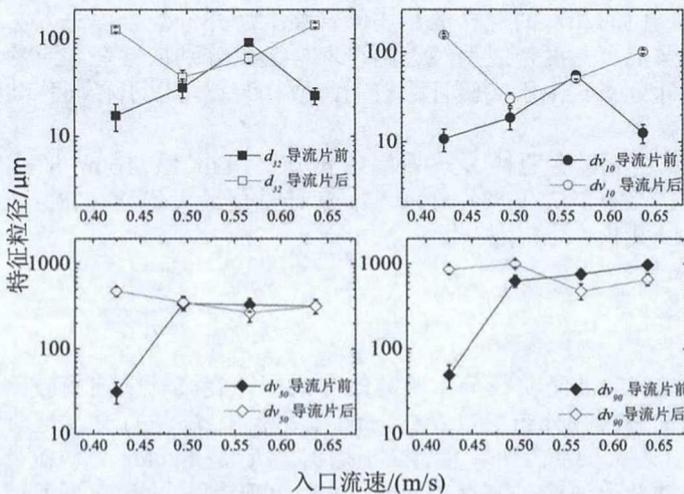


图 3 0.5%入口含率、不同入口流量下管道四周导流片前后油滴粒径变化

图 3 为流场中远离管道中部的油滴粒径分布参数在经过导流片前后的变化状况。与流场中管道中部油滴粒径变化状况类似，小油滴在旋流场中以聚并为主，大油滴在低于 0.56m/s 入口流速旋流场中以聚并为主，高于 0.56m/s 入口流速旋流场中会出现破碎现象更明显，这是连续相剪切强度所致。对于 Sauter 平均粒径也是总体增加，证明经过导流片后，流域内原理管道中心的位置也变得有序。但与图 2 相比，图 3 的区别在于 0.56m/s 入口流速下的小粒径降低。这是由于旋流场中，油滴逐渐向管道中心迁移，形成轴核，相对于管道中部轴核区域，远离管道中部区域小油滴密度小，碰撞聚并作用弱于连续相湍流脉动导致的剪切破碎作用，不能使小油滴平均粒径维持动态平衡，进而下降。

5 结论

通过管流实验对非稀疏相油滴在导流片旋流场中的流动特性进行了系统的研究。在研究过程中得到了以下结论:

对于旋流场油滴破碎聚并规律,当入口流速小于 0.56m/s 时,旋流场中的所有油滴倾向于聚并,聚并现象比破碎现象更明显;随着入口流量增加超过 0.56m/s 时,小油滴仍然有聚并的趋势,但大油滴由于连续相剪切速度增加的缘故,破碎趋势更为明显。整体来说,旋流场提高了油滴的 Sauter 平均粒径,也就是降低了湍流能量耗散率,使旋流场更加稳定。以上研究成果将为导流片式管道预分离设备的设计应用提供指导。

参考文献

1. Klujso, L. A. C., Songfack, P. K., Rafaelof, M., Rajamani, R. K., 1999. Design of a stationary guide vane swirl air cleaner. *Miner. Eng.* 12 (11), 1375-1392.
2. Cai, B., Wang, J., Sun, L., et al., Experimental study and numerical optimization on a vane-type separator for bubble separation in tmsr, *Prog. in Nucl. Energy* 74 (3) (2014) 1-13.
3. Chakraborti, N., Miller, J. D., 1992. Fluid flow in hydrocyclones: a critical review. *Miner. Process. Extr. Metall. Rev. An International Journal* 11 (14), 211-244.
4. Khezzar, L., 2010. Hydrocyclones for de-oiling applications-a review. *J. Pet. Sci. Technol.* 28 (7), 738-755.
5. Motin A., Theoretical and numerical study of swirling flow separation devices for oil-water mixtures. Michigan State University, 2015.
6. Vakamalla, T. R., Mangadoddy, N., 2016. Numerical simulation of industrial hydrocyclones performance: role of turbulence modeling. *Sep. Purif. Technol.* 176, 23-39.
7. Rafee, R., Rahimzadeh, H., 2010. Performance evaluation of a curved type vane separator at different plate spacing in the range of 25 to 35mm using numerical simulation. *Iranian J. Chemistry and Chemical Eng.* 29 (3), 95-108.
8. Shi, S. Y., Xu, J. Y., 2015. Flow field of continuous phase in a vane-type pipe oil-water separator. *Exp. Therm Fluid Sci.* 60, 208-212.
9. Hinze, J.O., 1955. Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes. *AICHE J.* 1 (3), 289-295.
10. Zhang, J., Xu, J., 2015. Rheological behaviour of oil and water emulsions and their flow characterization in horizontal pipes. *Can. J. Chem. Eng.* 94 (2), 324-331.

Investigation on the oil droplet breakup and coalescence in the vane-type swirling flow field

CHEN Shan-jun¹, WU Qi-lin¹, LIU Shuo², XU Jing-yu²

(1. Shenzhen Branch Company, China National Offshore Oil Corporation, Shenzhen 51806, China;

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

Abstract: In the offshore crude extracting field, axial induced swirling technique, whose common swirling equipment is swirling vane, has widely application prospects. Due to its short application history and high water content situation in the oil field, it's essential to have knowledge of oil droplet breakup and coalescence regularities in order to promote axial induced swirling technique's application. On the basis of flow experiment, droplet breakup and coalescence regularities of swirling flow field with 100mm diameter are investigated in this work. Results show that, droplets with various sizes have different breakup and coalescence tendencies. Moreover, oil core exist in the swirling flow field with size sensitive to the inlet conditions. These results are beneficial for design and application of vane type separator.

Key words: vane, swirling flow field, oil droplet, breakup and coalescence