

# 不同流型下柱型旋流器分离特性研究

张栋, 刘硕, 许晶禹

(中国科学院力学研究所, 北京, 100190)

**摘要:** 本研究从油水混合管流的流型出发, 分析了流型和分流比对柱型旋流器分离效果的影响。针对分层流,  $Do/w&w$ ,  $Dw/o&Do/w$  和  $Do/w$  四种不同流型下柱型旋流器的分离特性进行了研究, 得到每种工况都存在最佳分流比, 且最佳分流比随着含油率的增大逐渐减小。当超过这一较优值后, 分流比的增大只能将更多的清水从溢流口带出, 而不能明显提高分离效率。

**关键词:** 柱形旋流器; 分离特性; 最佳分流比

## 1 引言

随着油气田开采时间的增长, 采出液中含水率逐年增加, 部分井液的含水率已达到 95% 以上, 给目前已有的采出液处理工艺带来新的挑战。传统的海上平台油田采出液处理工艺系统一般需要多个大型沉降罐以及相应的泵、管汇、阀门、控制系统, 普遍存在占地面积大、分离效率低、处理深度不够等缺点, 因此海洋石油开发一直在寻求级数少、重量轻、占用空间小的油气水高效处理方法, 以便实现海上油气、特别是深海油气的经济开采。由于管道式油气水分离技术具有处理速度快、效率高、占地面积小等优势, 符合目前海上油田开采对分离系统的要求, 近些年来国内外一些油田将其应用到高含水的油水预分离的工艺系统中, 即使用柱型旋流分离技术替代(或部分替代)重力沉降罐。在这种背景下, 深入的研究柱型旋流器分离机理显得尤为突出<sup>[1]</sup>。

柱型管道旋流器是由水平切向入口、旋流器主体、溢流口和底流口所构成的管道式分离设备(图 1)。油水两相混合液经水平管道以切线方式进入旋流器内, 产生高速旋转运动, 而由于油、水两相存在密度差异, 各相产生不同的离心力。重质相水在离心力作用下流向旋流器边壁, 并由内部压力场的作用向下流动从底流口流出, 轻质相油则在旋流器中心处聚集, 同样, 由内部压力场的作用向上流动从溢流口流出, 完成油水两相分离<sup>[2]</sup>。截止到目前, 国外学者对柱型旋流器开展的研究工作多集中于数值模拟和室内测试<sup>[3,4]</sup>, 很少有人研究旋流器入口流动状况对分离效果的影响。因此, 分析了不同工况下, 分流比, 底流口

截面含水率与雷诺数之间的关系,研究结果有望对柱型管道旋流分离器的标准化设计提供依据。

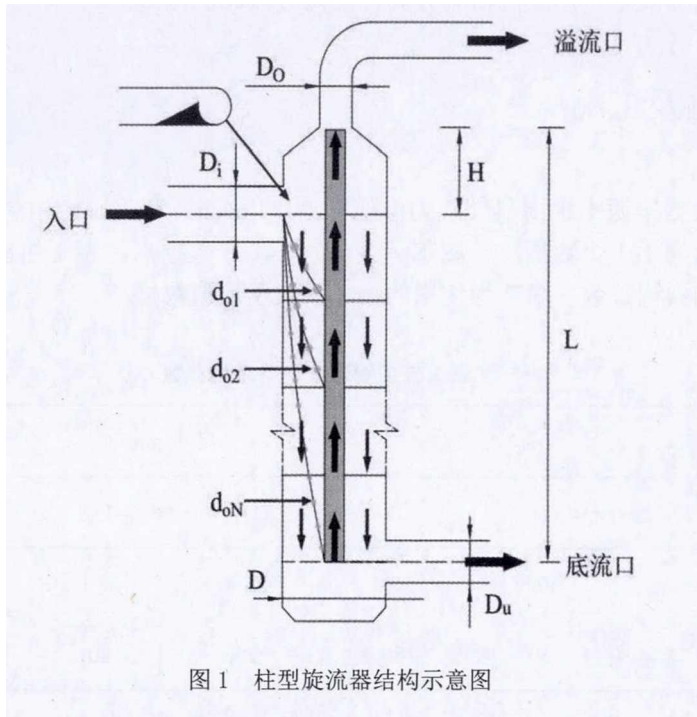


图1 柱型旋流器结构示意图

## 2 理论基础

影响柱型旋流器油水分离性能的因素较多，主要包括了结构参数、操作参数和物性参数三个大方面<sup>[1]</sup>。结构参数涉及柱型旋流器的具体几何结构，包括旋流器的直径  $D$ 、水平进液管直径  $D_i$ 、溢流口直径  $D_o$ 、底流口直径  $D_u$ 、柱体长度  $L$ 、切向进口面积缩比  $A$ 、进液管与溢流口之间的距离  $H$  等。操作参数包括入口混合液流速  $V_i$ 、入口含油率  $\varepsilon_o$ 、分流比  $f_s$ 、混合液油滴粒径  $d_o$  等。物性参数主要是油相密度  $\rho_o$  和黏度  $\mu_o$ 、水相密度  $\rho_w$  和黏度  $\mu_w$  等。此处分流比定义为底流口流量与入口总流量的比值。这些参数共同影响着旋流器的分离性能，其中有的影响参数可以定量研究，但是有的参数只能作为定性研究。根据量纲分析原理，柱型旋流器的油水分离性能可表示为

$$(\eta, w_c, o_c) = f(D, D_i, D_o, D_u, A, L, H, \varepsilon_o, d_o, v_i, f_s, \mu_w, \rho_w, \mu_o, \rho_o, \dots) \quad (1)$$

其中， $\eta$  为分离效率，等于旋流器溢流口油流量与进口油流量的比值， $w_c$  表示底流含水率， $O_c$  为溢流口含油率。

在实验中，对于固定尺寸的旋流器，根据量纲分析原理，可将式（1）简化为

$$(\eta, w_c, o_c) = f(Re, \varepsilon_o, f_s) \quad (2)$$

当入口条件及工况确定时，旋流器的分离性能是分流比的函数。

### 3 实验数据及工况

模型验证数据来源于中国科学院力学研究所 (Imech) 和美国图尔萨大学 (Tulsa)，其中力学研究所为 141 个数据点，图尔萨大学为 241 个数据点，表 1 给出了两个研究单位的柱型旋流器的结构参数，表 2 为使用的物性参数及流型数据。

表 1 柱型管道旋流器结构参数

数据来源	尺寸/mm					
	D	D <sub>i</sub>	D <sub>o</sub>	D <sub>u</sub>	L	H
Tulsa	50.8	50.8	25.4	38.1	1676.4	508
Imech	50	50	25	40	900	100

表 2 列出了实验参数的具体数值

数据来源	分流比	实验温度/°C	物性参数		表观速度/(m/s)	流型	数据点
			密度/(kg/m <sup>3</sup> )	动力黏度/(Pa·s)			
Tulsa	0~100%	24	$\rho_w=1000$	$\mu_w=0.001$	0~1.1	Do/w&w	125
						Dw/o&Do/w	49
			$\rho_o=857$	$\mu_o=0.027$	0~0.4	Do/w	55
						ST	12
Imech	0~100%	20	$\rho_w=998.2$	$\mu_w=0.001$	0~1.25	Do/w&w	44
						Dw/o&Do/w	21
			$\rho_o=850$	$\mu_o=0.215$	0~0.35	Do/w	76

### 4 研究结果和讨论

对于某一入口含油率的混合液，柱型旋流器对油水分离存在一个最佳分流比，这一现

象已被许多学者证实<sup>[5-7]</sup>。当低于最佳分流比时，分流比的减小只能将更多的清水从溢流口带出，当分流比大于最佳分流比时，旋流器不能对油水进行完全分离。下面通过实验对分流比与底流口截面含水率的关系进行研究。

#### 4.1 分层流动 (ST 或 ST&MI)

当油水两相以分层流动进入旋流器时，底流口截面含水率与分流比的关系 (图 2)。

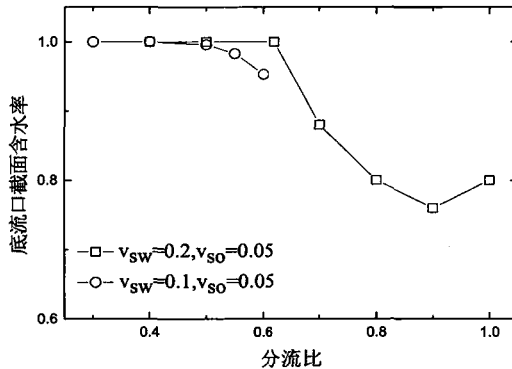


图 2 流型为分层流时，底流口截面含水率与分流比的关系 (Tulsa)

图 2 给出了当油水两相以分层流进入旋流器时，底流口截面含水率与分流比的变化情况。从图中可以看出，流型为层流时，且分流比小于 0.6 时，底流口截面含水率一直为 1，当分流比大于 0.6 时，随着分流比的增大，底流口截面含水率逐渐减小。这说明每种工况都存在一个最佳分流比，实际生产中我们要找到最佳分流比，以保证旋流器在最佳分离状态下运行。油水两相以分层流动进入旋流器时，最佳分流比大约为 60%。

#### 4.2 上部为水包油，下部为水层的流动 (Do/w&w)

当油水两相以 Do/w&w 流型进入旋流器时，底流口截面含水率与分流比的关系 (图 3 和图 4)。

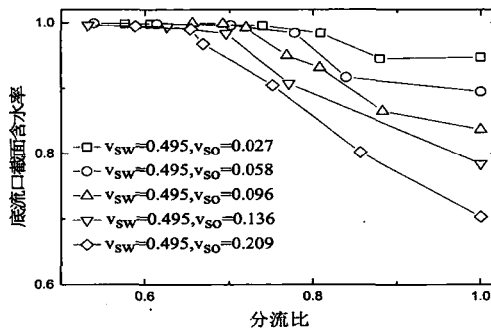


图 3 流型为 Do/w&w 时，底流口截面含水率与分流比的关系 (Imech)

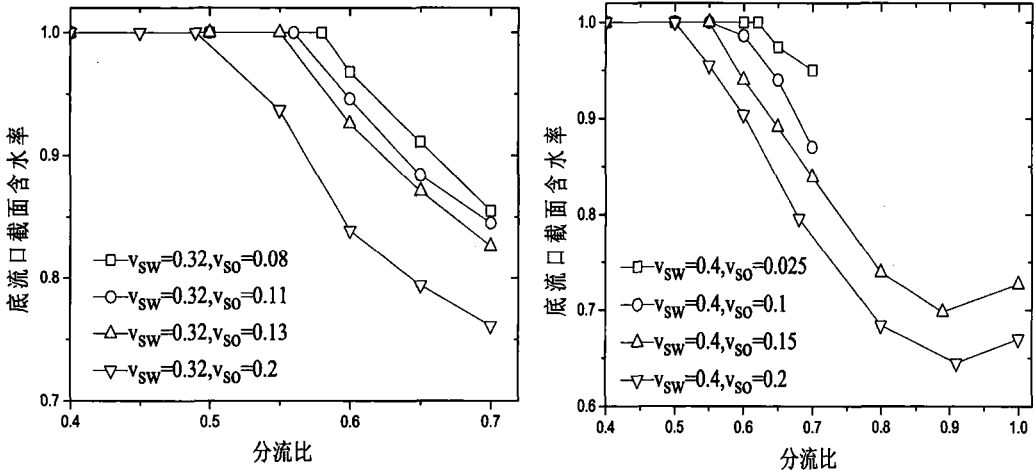


图4 流型为 Do/w&w 时，底流口截面含水率与分流比的关系 (Tulsa)

图3和图4给出了油水两相以 Do/w&w 流型进入旋流器时，底流口截面含水率与分流比的变化情况。从图中可以看出，油水两相以 Do/w&w 流型进入旋流器时，最佳分流比大约为 60%。随着入口含油率的增加，分流比的变化对底流口截面含水率的影响更明显。因为随着含油率的增加，在相同的分流比下，油相无法通过溢流口完全排出，只能通过底流口排出，因此相应的底流口截面含水率变化较明显。同时随着含油率的增加，最佳分流比变小。

#### 4.3 上部油包水、下部水包油的流动 (Dw/o&Do/w)

当油水两相以 Dw/o&Do/w 流型进入旋流器时，底流口截面含水率与分流比的关系 (图5和图6)。

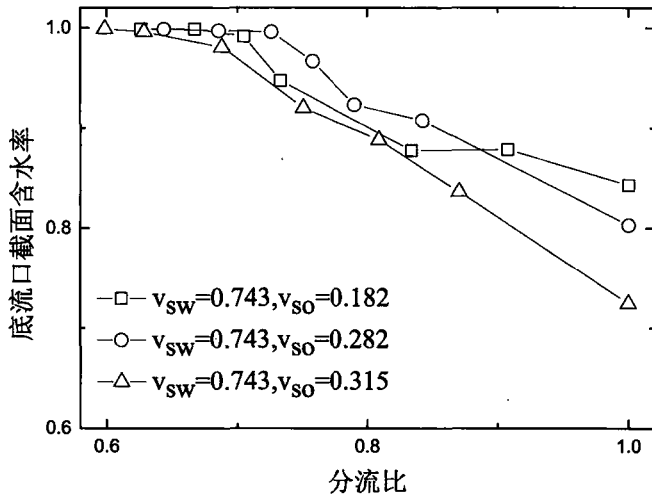


图5 流型为 Dw/o&Do/w 时，底流口截面含水率与分流比的关系 (Imech)

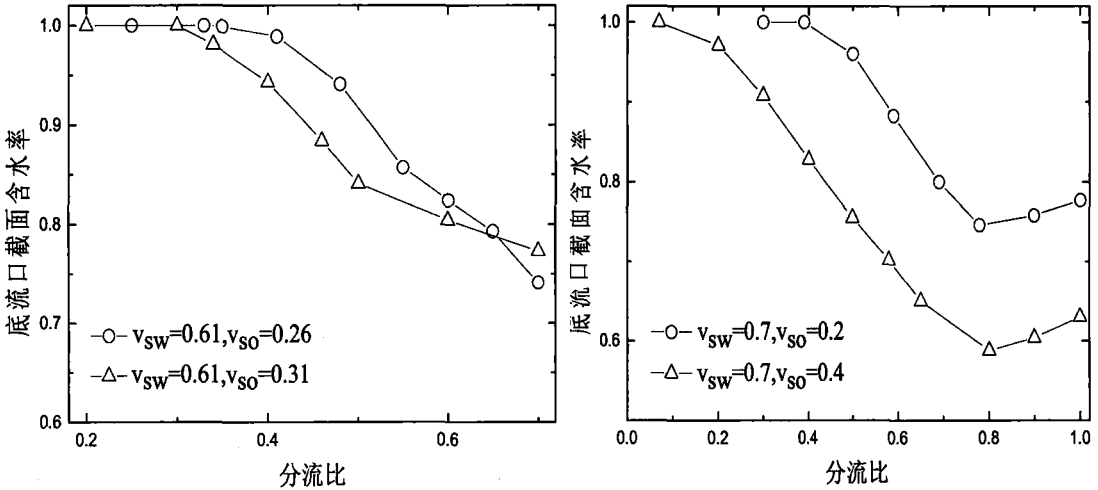


图6 流型为Dw/o&Do/w时，底流口截面含水率与分流比的关系（Tulsa）

图5和图6给出了油水两相以Dw/o&Do/w流型进入旋流器时，底流口截面含水率与分流比的变化情况。从图中可以看出，油水两相以Dw/o&Do/w流型进入旋流器时，最佳分流比在20%-60%之间。同时最佳分流比依然随着含油率的增加，逐渐减小。

#### 4.4 完全分散流 (Do/w)

当油水两相以Do/w流型进入旋流器时，底流口截面含水率与分流比的关系（图7和图8）。

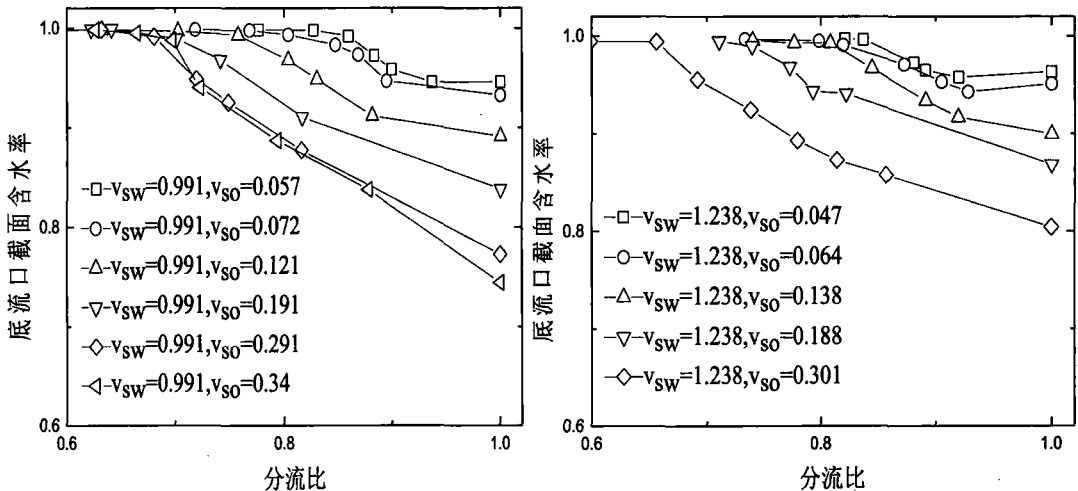


图7 流型为Do/w时，底流口截面含水率与分流比的关系（Imech）

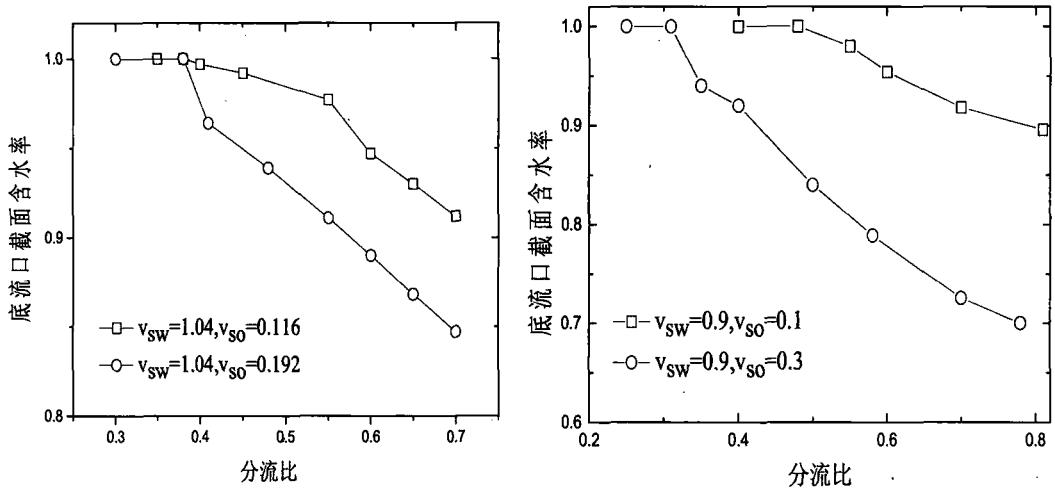


图8 流型为 Do/w 时, 底流口截面含水率与分流比的关系 (Tulsa)

图7和图8给出了油水两相以 Do/w 流型进入旋流器时, 底流口截面含水率与分流比的变化情况。从图中可以看出, 油水两相以 Do/w 流型进入旋流器时, 最佳分流比在 70%~30%之间。

## 5 结论

根据中国科学院力学研究所数据和美国图尔萨大学数据, 对分流比与截面含水率的关系进行了研究以及分离效果与雷诺数的关系。

主要结论如下: 对于某一入口含油率的混合液, 柱型旋流器对油水分离存在一个较优的分流比值。当分流比小于这一较优值时, 旋流器不能对油水进行完全分离, 即底流口中的液样含有一定量的油; 当超过这一较优值后, 分流比的增大只能将更多的清水从溢流口带出, 而不能明显提高分离效率。流型为分层流动时, 最佳分流比大约为 60%。流型为 Do/w 时, 最佳分流比在 70%-30%之间, 且最佳分流比随着入口截面含油率的增大逐渐减小。

## 参考文献

- 1 Liu HF, Xu JY, Zhang J, et al. Oil/water separation in a liquid-liquid cylindrical cyclone. JOURNAL of HYDRODYNAMICS, 2012, 24(1): 116-123.
- 2 WU Ying-xiang, LI Qing-ping, ZHENG Zhi-chu et al. Multiphase flow problems in offshore gas and oil development. Ship building of China, 2005, 46 (Suppl.): 314-321 (in Chinese).

- 3 REINOSO A., GOMEZ L. E. and WANG S. B. et al. Design and performance of slug damper. *Journal of Energy Resources Technology*, 2008, 130(4): 1-12.
- 4 Lockhart R W, Martinelli R C, Proposed Correlation of Data for Isothermal Two Phase Flow, Two Component Flow in Pipes. *Chem. Eng. Prog.*, 1949, 45 : 39-48.
- 5 Thew M T. Hydrocyclone redesign for liquid-liquid separation. *The Chemical Engineer*, 1986, 17-23.
- 6 Meldrum N. Hydrocyclones: A solution to produced-water treatment. *SPE Production Engineering*, 1988, 3(4): 669-676.
- 7 Bennett M A, Williams R A. Monitoring the operation of an oil/water separator using impedance tomography. *Minerals Engineering*, 2004, 17: 605-614.

## **Study of separation characteristics for the cylindrical tube cyclone separator under different flow patterns**

ZHANG Dong, LIU Shuo, XU Jing-yu

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190. )

**Abstract:** In this paper, the effects of flow patterns and split ratios on the Cylindrical Cyclone were analyzed. Firstly, the separation characteristics of the Cylindrical Cyclone at four different patterns-Stratified flow, Oil-in-Water Dispersion& water layer, Water-in-oil Dispersion& Oil-in-Water Dispersion, and Oil-in-Water Dispersion were studied. The results of these analyses demonstrate that every run has an optimal split-ratio that has the relationship with flow pattern, and the split ratio decreases with oil content increasing. When the split ratio exceed this optimal value, the increases of the split ratio can only bring more water out of the overflow part, and cannot significantly improve the separation efficiency.

**Key words :** Cylindrical Tube Cyclone; Separation characteristics; Optimal split ratio Hydrodynamic.