

# 导流式脱气设备分离特性测试

刘硕, 张健, 王黎松, 侯林彤, 许晶禹

(中国科学院 力学研究所, 北京, 100190, E-mail: xujingyu@imech.ac.cn)

**摘要:** 油田生产领域, 采出液在举升至地面过程中, 会因泄压造成溶解气析出, 形成气-液两相流, 影响后续处理环节。因此在进行后续处理前需经历脱气环节去除游离态气体。本文提出了一种基于导流式气-液分离原理设计的除气设备, 并展开了系统的测试工作。研究发现气相在旋流场中以气柱形式存在。给定入口条件下, 气柱尺寸随分流比增加而变小。在分离效率方面, 给定入口条件, 分离效率随分流比增加而逐渐增加, 超过临界分流比后分离效率接近 100% 并保持不变。临界分流比受入口条件影响, 与入口液相流量呈负相关关系; 与入口含气率呈正相关关系。这些成果有助于导流式除气设备的改进和优化。

**关键词:** 气-液分离; 导流片; 分流比; 分离效率

## 1 研究背景及概述

海上油田生产领域, 采出液自井下举升至地面的过程中, 随着环境压力下降, 部分液态形式存在的碳氢化合物会逐渐析出形成游离态气体, 对后续采出液处理造成压力。目前常用的处理方式是分离出伴生气送至火炬臂燃烧, 或另作他用。如何快速有效地分离出伴生气是业界普遍关注的问题。近年来, 以旋流分离技术为代表的管道式气-液分离技术逐渐成为业界的热点。基于气液相间密度差和旋流加速度, 来流气-液混合液可在旋流场中实现快速分离。

经过多年发展, 旋流气-液分离设备逐渐涌现出了以气-液柱形旋流器 (GLCC) 为代表的切向启旋气-液分离设备和以导流式气液分离设备为代表的轴向启旋分离设备<sup>[1]</sup>。其中导流式气液分离技术因空间需求、压降特性和结构复杂性而更具优势<sup>[2]</sup>, 适合于空间紧凑性需求较高的海上生产平台。而导流式旋流气液分离设备因处理来流的含气率不同而不同。对于气相为主要相, 液相为液滴相的状况, 有效收集液滴相是主要需要解决的问题。针对这种状况, Huang 等<sup>[3]</sup>提出了液相收集腔, 而 Wei 等<sup>[4]</sup>则提出了狭窄切向导管结构收集液滴或液膜。当液相为主相, 气相为离散相时, 学者们提出了导流式气泡分离器。该种设备的气相主要由启旋导叶片或恢复导叶片轴心的空腔进行收集, 可有效处理含气率小于 4% 的来流<sup>[5]</sup>。而石油伴生气的入口含气率可能介于 5%~30% 之间, 现有的结构形式可能需要改进。

本文提出了一种导流式脱气设备并开展了一系列测试工作。

## 2 测试结构及方案

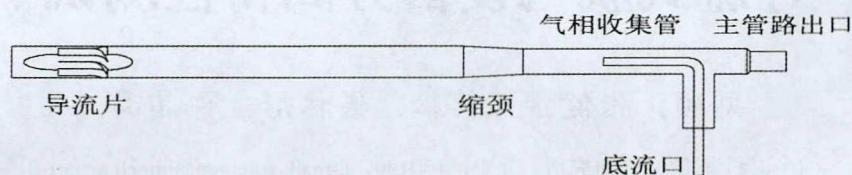


图1 旋流脱气设备结构形式示意图

本文提出的结构形式主体为导流式轴向启旋气液分离设备。分离设备入口段管道内径为 100mm，气液混合液来流经过导流片诱导启旋后逐渐形成稳定的气液两相旋流。之后混合流体经过缩颈段加速后进入内径为 80mm 的分离器中，在管道中心布置一气相收集管，将气相经过底流口引出，剩余高含水流体经过主管出口排出，整体结构形式如图 1 所示。

脱气设备的测试工作在中国科学院力学研究所多相流体力学模拟测试平台开展，以自循环测试系统为供给系统。自循环系统由水罐、供气系统、水循环系统组成，系统中的流量上限为 30m<sup>3</sup>/h，气相流量上限 150m<sup>3</sup>/h。除测试段 100mm 内径管路外，其他部分管路内径为 50mm。具体测试流程图如图 2 所示。

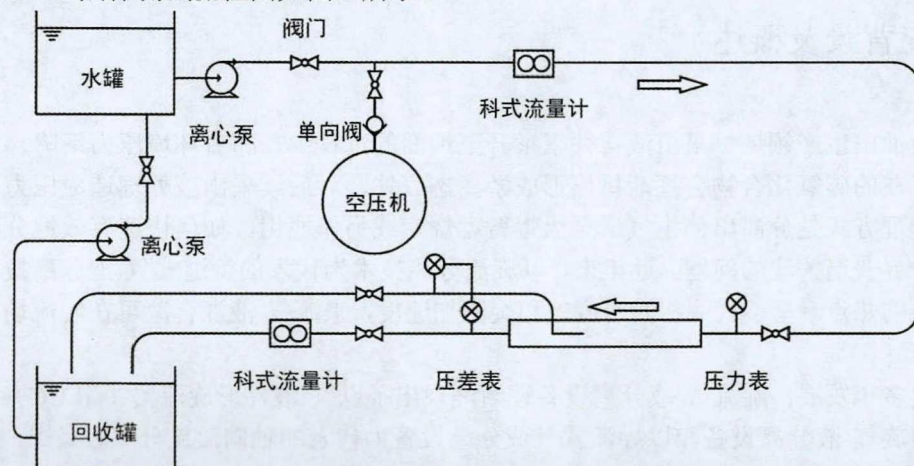


图2 自循环式测试流程

测试过程中，来自水罐和空压机的混合流体经过科式流量计测试混合密度和流量后进入测试段。测试段入口设有压力表，整个测试段含底流口和主管路出口两条支路。主管路出口含科式流量计测量高含水混合液流量和混合密度，以便获得含气率。同时压差表与两条之路连接测试支路间的压差。测试过程中，采用自来水为水相，采用空气为气相。调整

离心泵频率改变来流水相流量，调整空压机阀门改变入口含气率，调整主管路出口阀门开度改变分流比，以测试不同工况下脱气设备分离效率。测试工况设置中，水相入口雷诺数介于 46000~82000 之间；入口含气率于 5%~30% 之间；分流比介于 10%~35%。

### 3 测试结果分析

#### 3.1 旋流场气相分布

通过实验测试发现，气泡进入旋流场后汇聚形成连续气柱，气柱尺寸受入口流量、含气率和出口分流比影响。固定液相入口雷诺数为 71,479、入口含气率为 16.5% 时，改变出口分流比，气柱尺寸将发生变化。这里分流比定义参照式 (1)，其中  $Q_{m-inlet}$  为入口混合流量， $Q_{m-branch}$  为底流口混合流量。

$$\beta = \frac{Q_{m-branch}}{Q_{m-inlet}} \quad (1)$$

如图 3 所示，固定入口条件，改变分流比时，气柱尺寸随分流比增加而降低。这是由于给定入口条件，分流比增加，通过底流口排出的流体流量增加，通过主管路出口排出的流体流量相对降低。从而导致主管路出口压力水平提高，底流口压力水平降低。对应的旋流场中心与四周的压差进一步增加，导致气柱与周围水相交界面向旋流场中心移动，气柱尺寸减小。随着分流比从 22.9% 向 33.6% 逐步增加，这一现象愈发明显。

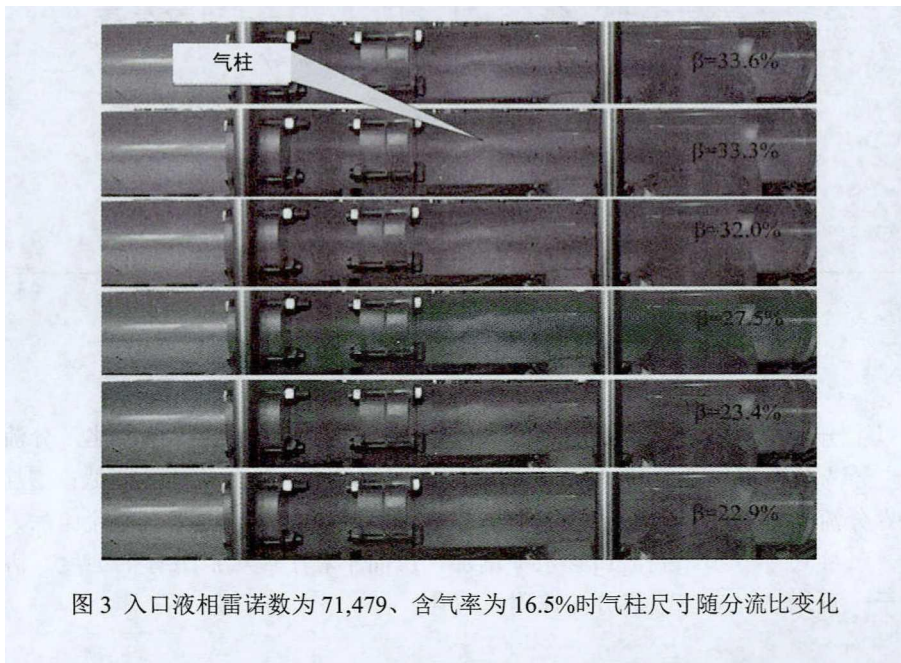


图 3 入口液相雷诺数为 71,479、含气率为 16.5% 时气柱尺寸随分流比变化

### 3.2 脱气设备分离性能研究

脱气设备的分离性能评估可通过分离效率进行评估。其中的分离效率  $\eta$  定义为底流口气相流量  $Q_{g-branch}$  与来流气相流量  $Q_{g-inlet}$  之比，如式 (2) 所示：

$$\eta = \frac{Q_{g-branch}}{Q_{g-inlet}} \quad (2)$$

图 4 分别给出了不同入口条件下，分离效率随分流比的变化。图 4a 中固定液相入口雷诺数，改变入口含气率。入口含气率较低 (5.6%) 时，分流比达到 11%，分离效率就可以迅速提高到 99% 以上，并随分流比增加保持较高的分离效率。提高入口含气率 (16.5%) 分流比为 15.8% 时，分离效率可迅速达到 99.8%，之后随分流比增加保持相对稳定。进一步提高入口含气率 (22.5%)，分流比为 35% 时，分离效率达到最大值，接近 100%。可见对于不同的入口含气率，总存在临界分流比，当分流比小于临界分流比时，分离效率随分流比增加而逐渐增加；当分流比超过临界值时，尽管分流比继续增加，分离效率基本保持不变。固定入口气量，改变入口液相雷诺数时，同样可发现类似的趋势。如图 4b 所示，对不同的液相入口雷诺数，分离效率同样随分流比增加而逐渐增加。当入口液相雷诺数为 47,416 时，需要 40% 以上的分流比使得分离效率接近 100%；而当入口液相雷诺数增加至 82,095 时，23% 的分流比即可使分离效率接近 100%。当分流比超过临界值时，继续增加分流比分离效率保持接近 100% 不变。

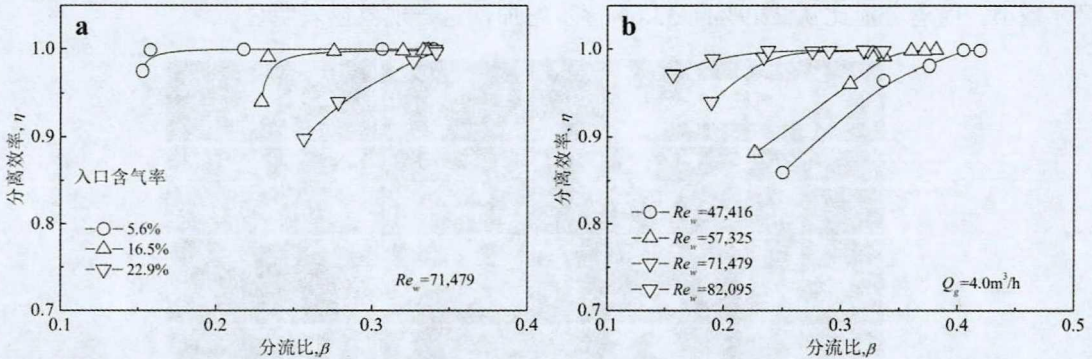


图 4 不同入口条件下分离效率随分流比变化

从以上分析中可以看出，对给定的入口条件，总存在一个临界分流比，分流比超过临界值时，分离效率接近 100%。增加入口液相雷诺数，临界分流比逐渐降低；增加入口含气率，临界分流比逐渐提高。而结合 3.1 节中观测到的现象，超过临界分流比后，分流比继续增加，气柱尺寸变小，底流口含水率增加，反而不利于脱气后气体的纯度。因此，分流比不适于一直增加，应在临界分流比附近变化。

## 4 结论

针对入口含气率介于 5%~30% 的来液状况, 本文提出了一种导流式旋流脱气装置。装置由导流片启旋段、缩颈、内置气相收集管等组成。通过实验对该种旋流脱气装置的气相分布规律和分离性能开展了一系列测试工作。

通过研究发现, 给定入口条件, 旋流场中气柱尺寸随分流比增加而逐渐降低, 这与分流比对出口压差和旋流场内气液界面动态平衡的影响有关。

在分离效率方面, 对给定的入口条件, 存在一个临界分流比, 当分流比小于临界值时, 分离效率随分流比增加逐渐增加; 当分流比超过临界值时, 分离效率接近 100% 并保持基本不变。临界分离效率受入口液相雷诺数和含气率影响, 与入口液相雷诺数呈负相关关系, 与入口含气率呈正相关关系。这些研究结论对旋流式脱气设备的设计和 optimization 具有一定的指导意义。

## 参考文献

- 1 Liu S, Zhang D, Yang L, et al. Breakup and coalescence regularity of non-dilute oil drops in a vane-type swirling flow field, *Chem. Eng. Res. Des.* 2018, 129 35-54.
- 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. Nucl. Energy*, 2014, 74, 1-13.
- 3 Huang L, Deng S, Chen Z, et al. Numerical analysis of a novel gas-liquid pre-separation cyclone, *Sep. Purif. Technol.* 2018, 470-479.
- 4 Wei P, Wang D, Niu P, et al. A novel centrifugal gas liquid pipe separator for high velocity wet gas separation, *Int. J. Multiphase Flow*, 2020, 124, 103190.
- 5 Sun L, Zhao L, Du M, et al. Performance evaluation of a bubble generator and a bubble separator designed for the gas removal system of a small TMSR, *Chin. J. Chem. Eng.* 2020, 28(5), 1250-1259.

## Testing on the separation performance of a swirling degassing separator

LIU Shuo, ZHANG Jian, WANG Li-song, HOU Lin-tong, XU Jing-yu

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China. E-mail: xujingyu@imech.ac.cn)

**Abstract:** In petroleum extraction area, production liquid may turn to be gas-liquid two phase flow due to release of solution gas resulted from pressure decrease during lifting. This will have influence on further processing. So degassing procedure is needed prior to conduct downstream process. This work proposed a vane-type degassing separator suitable for conditions above. Systematic testing work was conducted on the separator model. Results show that gas phase exists in the form of gas core. Under given entrance condition, gas core narrows down as split ratio increases. In addition, the separation efficiency will rise as split ratio increases as well in the beginning. However, when the split ratio exceeds a critical value, the separation efficiency keeps almost 100% though the split ratio rises continuously. The critical split ratio is sensitive to entrance conditions as it shows negative correlation with liquid entrance Reynolds number, while presents positive correlation with entrance gas volume fraction. These are beneficial for development and optimization of vane-type degassing separator.

**Key words:** gas-liquid separation; swirling vane; split ratio; separation efficiency