

文章编号:1673-5005(2008)04-0099-04

圆柱式气液旋流分离器的性能评价

寇杰^{1,2}, 官敬¹, 曹学文²

(1. 中国石油大学 城市油气输配技术北京市重点实验室, 北京 102249;

2. 中国石油大学 储运与建筑工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:圆柱式气液旋流分离器(GLCC)是一种新型、高效的小型分离设备。通过对GLCC分离机理的研究,对GLCC的入口进行了优化,制作了试验模型,并在气液两相流试验环道上对GLCC的分离效果进行了试验。结果表明:GLCC具有较好的分离性能;在设计工况下,其液体含气率和气体含液率都能满足现行标准,并且具有下倾入口的GLCC比水平入口的GLCC分离效果要好;液相粘度影响GLCC的分离性能,粘度增大,GLCC分离效果变差,气液处理量变小。

关键词:GLCC; 试验; 含气率; 含液率; 分离性能

中图分类号:TQ 051.8 **文献标识码:**A

Performance evaluation of gas-liquid cylindrical cyclone

KOU Jie^{1,2}, GONG Jing¹, CAO Xue-wen²

(1. Beijing Key Laboratory of Urban Oil and Gas Distribution Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. College of Transport & Storage and Civil Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: The gas-liquid cylindrical cyclone (GLCC) is a kind of new type, high efficiency, miniature separator. To evaluate the separating properties of the GLCC, a model was designed, the inlet parameters were optimized and relevant experiments were carried out on a gas-liquid two-phase flow loop. The results show that the designed GLCC has good separation performance. Ratios of gas fraction in liquid and liquid fraction in gas are satisfied with the current standard under designed operating condition. And the GLCC with the inclination entrance has the better separation effect than that with horizontal one. Liquid viscosity is the influencing factor of the separation efficiency. The separation effect is bad and the gas-liquid capacity becomes little with the viscosity increasing.

Key words: gas-liquid cylindrical cyclone (GLCC); experiment; gas fraction; liquid fraction; separation performance

随着陆地及近海油气资源逐渐减少甚至枯竭,为满足日益增长的能源需求,世界发达国家将油气资源开发重点投向了深海^[1-2]。平台是海上采油的主要生产设施。海洋平台上的主要工艺设备有油、气、水处理和注水供水设备等,分离器即是海上油田的油、气、水通常采用的处理设备之一。传统容器式分离器仅依靠气液相密度差实现重力分离,需要较长的停留时间,因此容器式分离器体积大、笨重、投资高。为了降低平台上的设备质量,减少开发建设投资费用,研制了圆柱式气液旋流分离器(gas-liquid

cylindrical cyclone,简称GLCC),它具有结构简单、紧凑、能耗低、质量轻、应用方便等优点^[3,4]。此外,由于分离效率高,它可明显降低烃的残留量^[5],是一种环境友好型设备。本文中通过入口流型的调整,优化GLCC入口结构,提高气液分离效率,并通过试验分析评价其分离性能。

1 结构与原理

图1为GLCC结构简图。它的主体结构由带有倾斜切向入口的垂直管和气、液相出口组成。待分

收稿日期:2008-03-09

基金项目:国家自然科学基金项目(50676109)

作者简介:寇杰(1969-),男(汉族),江苏赣榆人,副教授,博士研究生,主要从事油气储运工程专业的教学与科研工作。

离的气液混合物在一定压力下通过倾斜切向入口进入圆柱式气液旋流分离器,并在分离器内高速旋转,产生强大的离心力场。由于流体中气液两相密度的不同,导致其所受的离心力不同,从而轻相(气)向气液旋流分离器轴心处运动,形成向上的内旋流气核,重相(液)向器壁运动,形成向下的外旋流,促使轻重组分迅速分离。柱体内气液将形成旋涡形界面,上部为气体空间,下部为液体空间。气液分离后,气从气体出口排出,液从液体出口排出。

气液旋流分离器是用离心加速度代替重力加速度来实现两相分离的。一般情况下,旋流分离器内的离心加速度是重力加速度的几百倍甚至上千倍,从而表现出旋流器的高效性^[6]。GLCC的操作受到两个因素的限制,即顶部气流中的含液量及底部液流中的含气量。气流中出现液体的迹象表明携带液体的开始,同样,底部液流中气泡的出现表示其已开始携带气体。

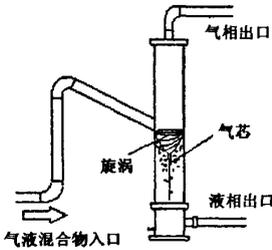


图1 GLCC 结构简图

2 GLCC 入口流型调整与分离性能评价

2.1 GLCC 入口流型调整

GLCC 入口流型呈现分层流将在很大程度上改善气液分离效果,扩大其应用范围^[7],因此确定入口管分层流的范围是GLCC设计的前提。本文中针对实验室条件,在Taitel & Dukler的理论基础上^[8],用数学模型直接求得流型,然后画出流型分界图,以便找出分层流的区间,并由此确定试验用气、液流量范围。计算得到的管径为81 mm和63 mm的流型分界图分别如图2,3所示。由图2,3可知,在其他参数相同的情况下,分层流的范围在下倾管中比在水平管中要大得多。

同时,利用机理模型^[9]所述的方法计算得到了几种不同气液流量下的GLCC尺寸。由计算结果得知,入口管直径取81 mm时,在以上模拟计算的气液流量下,虽然是分层流型,但液相流速最大为

2.01 m/s,低于入口液相切向速度应在4.5~6.0 m/s的要求^[10]。流速过小将难以发挥旋流离心分离的作用,但液相流速过大将形成过高的旋涡区,在筒体中过早出现气相夹带液滴和液相夹带气泡现象,影响分离效果。因此,入口直径81 mm的方案不予采用。最后经对比分析确定GLCC的尺寸为:入口管内径63 mm,长度1 m,喷嘴面积取入口管截面积的30%;筒体内径100 mm,下部高1.1 m,上部高按经验取1.0 m;气相出口管内径51 mm,液相出口管内径63 mm。另外,为了验证入口倾角对分离效果的影响,在GLCC试验模型制作过程中,设计加工了入口管倾斜和水平两种方案。

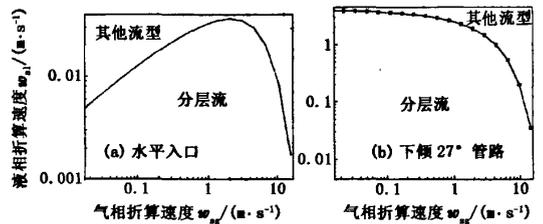


图2 管径81 mm的流型分界图

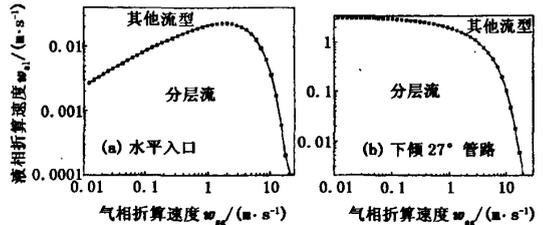


图3 管径63 mm的流型分界图

2.2 分离性能评价

经分离器分离后,仍有部分细小液滴可能被气体携带进入气相管路,同样,小气泡也会被液体夹带进入底部的液相管路。对于分离器,其分离效果可以采用两个参数进行评价,即液体含气率和气体含液率。

(1) 气体含液率 k_g 的计算。表达式为

$$k_g = Q_{1-gas} / Q_{g-in} \tag{1}$$

式中, Q_{1-gas} 为一段时间内气体出口管中夹带的液体量, m^3/h ; Q_{g-in} 为一段时间内入口管内进入分离器的气体量, m^3/h 。

(2) 液体含气率 k_l 的计算。表达式为

$$k_l = Q_{g-liquid} / Q_{l-in} \tag{2}$$

式中, $Q_{g-liquid}$ 为一段时间内液体出口管中夹带的气体量, m^3/h ; Q_{l-in} 为一段时间内入口管内进入分离器的液体量, m^3/h 。

根据冯叔初,等^[11]提供的标准,当 k_g 小于 $0.05 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ (气)和 k_l 小于 $0.02 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (液)时,分离器设计合理。 k_g 和 k_l 越小,分离效果越好。

3 试验流程与主要设备

在一套大型室外多相流试验环道上进行试验,试验流程如图4所示。水罐(或者油罐)中的水(或油)经过水(油)调节阀后由质量流量计计量流量,然后进入气液混合器;由压缩机出来的压缩空气经过缓冲罐和调节阀后由气体流量计计量气量,然后进入气液混合器;气、液在气液混合器内混合后经过一段长约200 m的充分发展段进入GLCC进行分离,分离后的气体、液体再次混合进入卧式气液分离器,空气排入大气,水(油)进入水罐(油罐)。为了达到测试精度的要求,本试验采用0.02级的液体流量计和1级的气体流量计。试验过程中,利用Lab-View软件进行数据采集。

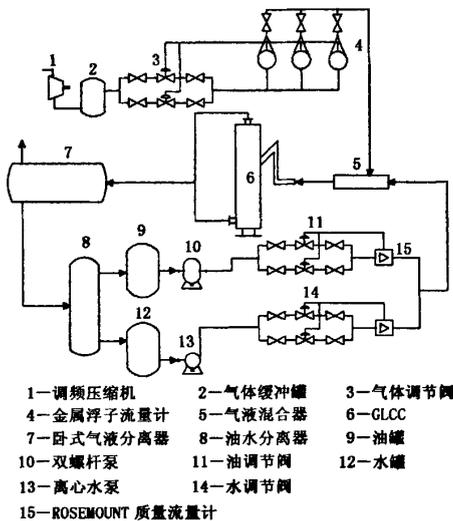


图4 室内试验环道流程图

在GLCC的气体出口管处设计、安装液滴捕集装置,在液体出口管处设计、安装气泡捕集装置,以便解决两个含率的测试问题。气泡和液滴捕集装置按文献[11],[12]中的设计方法进行设计。为了提高液滴捕集装置捕集液滴的效果,在捕集装置内入口下角安装倾斜板,可以使液体沿斜板自然流下以减少流动死区。同时在液滴捕集装置出口安装除雾器,可以使夹带进气流中的细小液滴碰撞凝聚,并沿除雾器结构面流至集液部分,增强捕集效果。

本试验中分别采用水和油作为液相介质,通过对比试验研究液体粘度对GLCC分离效率的影响。

4 试验结果分析

4.1 气体含液率

对于具有水平入口的GLCC,只做了空气和水为介质的试验。每组试验结束后观察液滴捕集装置,发现在捕集器内只有一层薄的液膜出现,给定量分析带来困难。但是,试验连续进行10 h,然后静置15 h后计量,捕集器聚集了 10 cm^3 的液体,试验10 h的气体流量最小值为 1000 m^3 (标准状态下),按照含液率最大的情况来分析,气体含液率为 $0.01 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ (气),小于 $0.05 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ (气)的标准。这主要是由于水的粘度小以及水与气的密度差大,水、气易于分离造成的。

对于具有倾斜向下入口的GLCC,分别做了空气和水、空气和油为介质的试验。

(1)空气和水试验。试验自始至终没有发现液滴捕集器内有液滴出现,说明倾斜向下入口的GLCC的 k_g 比水平入口的更小。

(2)空气和油试验。试验介质换为空气和油时,从试验过程发现,由于试验时期温度较低,所用油的粘度已达 $150 \sim 200 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,流体的旋转强度衰减很快,当气体流量 Q_g 较大时,液体不仅旋转到入口上方甚至旋转到气体出口处。因此,对于相同的液体流量 Q_l 和气体流量 Q_g ,以空气和油为介质的气体出口的 k_g 要比以空气和水为介质的的大得多。

4.2 液体含气率

具有水平入口的GLCC只进行了空气和水为介质的试验。试验观察表明,气体捕集器捕集到的气体很少,计算结果为 $0.00026 \sim 0.0014 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (液),小于 $0.02 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (液)的标准。同时, Q_l 一定时,随气液比的增大, k_l 逐渐减小; Q_g 一定时,随气液比的减小, k_l 变化不明显。这主要是由旋转强度和气液相互作用的因素引起的。

对于倾斜入口的GLCC,同样进行了介质为空气和水、空气和油的试验。

(1)空气和水试验。从图5得出, k_l 与气液比、 Q_g 及 Q_l 有关。当 Q_l 较小时,随着气体流量的增大, k_l 有下降的趋势;当 Q_l 较大时,随着气体流量的增大, k_l 变化不明显。从图6可以看出,随着液体流量的增大,在试验 Q_g 范围内, k_l 均有下降的趋势。

(2)空气和油试验。空气和油为介质时,分散在油中的气泡比较均匀,最大的直径约为 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$,试验结果如图7,8所示。

由图7,8得出,当 Q_l 一定时,随着 Q_g 的增加,

k_1 有增大的趋势,但变化不是很大;当 Q_g 一定时,随着 Q_l 的增大, k_1 有减小的趋势。

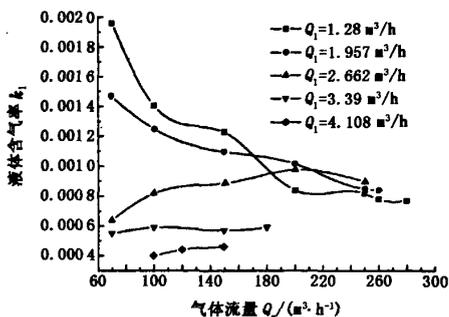


图5 k_1 在不同 Q_l 时随 Q_g 的变化

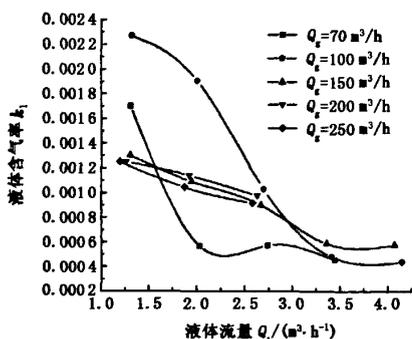


图6 k_1 在不同 Q_g 时随 Q_l 的变化

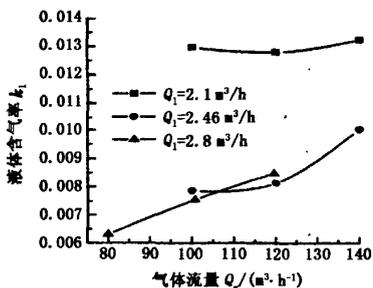


图7 Q_g 变化对 k_1 的影响

考虑到试验装置的承压能力、油的粘度以及 k_g 等多方面的因素,没有进行其他工况的试验,在试验工况下, k_1 符合要求。

(3) 液体的粘度对 k_1 的影响。试验所用液体分别为水和油,试验条件下,水的粘度约为 $1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,油的粘度约为 $150 \sim 200 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。图9为不同介质对 k_1 的影响。从图9可以看出,液体粘度对 k_1 有很大的影响。当气液比相同时,液相为油时的液体含气率要远大于液相为水时的含气率。空气和水作介质的 k_1 仅为空气和油的 k_1 的 $1/20$ 。这说明对同一

台 GLCC,由于液体粘度不同,要达到现行标准的分离效果,适用的气液处理量范围不同。

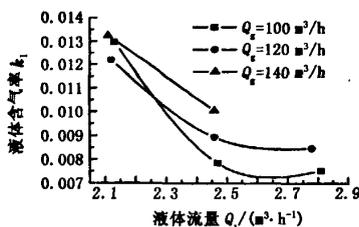


图8 Q_l 变化对 k_1 的影响

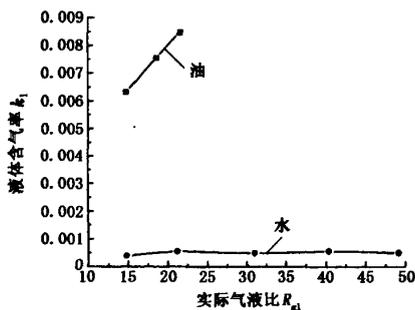


图9 不同介质对 k_1 的影响($Q_l = 2.7 \text{ m}^3/\text{h}$)

5 结论

(1) 优化后的 GLCC 具有较好的分离效果,在设计工况下,其气体含液率和液体含气率都能满足现行标准。

(2) 具有下倾入口的 GLCC 比水平入口的 GLCC 分离效果要好,GLCC 设计时应保证入口为倾斜段,以促进气液初步分离。

(3) 液相粘度影响 GLCC 的分离性能,随着粘度增大,GLCC 分离效果变差,气液处理量变小。

参考文献:

[1] 曹惠芬. 世界深海油气钻采装备发展趋势[J]. 船舶工业技术经济信息,2005(1):24-27.
CAO Hui-fen. Trend of world deepwater oil and gas drilling and exploitation equipments[J]. Technology and Economy Information of Ship Buildings Industry,2005(1):24-27.

[2] 贾琇明,岳来群,韦子亮. 有关我国深海油气资源勘探开发的几点思考[J]. 国土资源情报,2005(7):5-7.
JIA Xiu-ming, YUE Lai-qun, WEI Zi-liang. Reflections on deepwater oil and gas exploration and development in China[J]. Land Resources Information,2005(7):5-7.

(下转第 108 页)

- tance sampling techniques in dynamical structural reliability [J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 2001, 18(4): 478-482.
- [3] BUCHER C G, BOURGUND U. A fast and efficient response surface approach for structural reliability problem [J]. Structural Safety, 1990, 7: 57-66.
- [4] 侯国祥, 徐凯, 朱海林, 等. 应用神经网络——蒙特卡罗法的可靠性分析方法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(4): 84-86.
HOU Guo-xiang, XU Kai, ZHU Hai-lin, et al. Reliability analysis method based on artificial neural networks-Monte Carlo method[J]. J Huazhong Univ of Sci & Tech (Nature Science Edition), 2002, 30(4): 84-86.
- [5] HURTADO J E, ALVAREZ D A. Neural-network-based reliability analysis; a comparative study [J]. Comput Methods Appl Mech Engrg, 2001, 191(9): 113-132.
- [6] HURTADO J E. An examination of methods for approximating implicit limit state functions from the viewpoint of statistical learning theory [J]. Structural Safety, 2004, 26(3): 271-293.
- [7] 徐长航. 自升式平台结构动力可靠性分析与评估 [D]. 东营: 中国石油大学机电工程学院, 2004.
- [8] 李洪双, 吕震宙, 岳珠峰. 结构可靠性分析的支持向量机方法[J]. 应用数学与力学, 2006, 27(10): 1136-1143.
LI Hong-shuang, LÜ Zhen-zhou, YUE Zhu-feng. Support vector machine for structural reliability analysis [J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2006, 27(10): 1136-1143.
- [9] VAPNIK V. The nature of statistical learning theory [M]. New York: Springer, 1995.
- [10] CORTES C, VAPNIK Vladimir N. Support vector networks [J]. Machine Learning, 1995, 20(3): 273-297.
- [11] 徐长航, 陈国明, 谢静, 等. 风暴状态下自升式平台非线性动力分析[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(4): 80-83.
XU Chang-hang, CHEN Guo-ming, XIE Jing. Nonlinear dynamic analysis model for Jackups under extreme storm condition [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(4): 80-83.

(编辑 修荣荣)

(上接第 102 页)

- [3] 严世华. 浅谈海上边际油气田的开发[J]. 中国海洋平台, 2007, 22(6): 7-10.
YAN Shi-hua. Introduction of exploration and exploitation for offshore marinal field [J]. China Offshore Platform, 2007, 22(6): 7-10.
- [4] WANG S. Dynamic simulation and control system design for gas-liquid cylindrical cyclone separators [R]. SPE 49175, 1998.
- [5] GOMEZ L E, MOHAN S, SHOHAM O. Enhanced mechanistic model and field design of gas-liquid cylindrical cyclone separators [R]. SPE 49174, 1998.
- [6] INTA A, ARAPANDI, ASHUTOSH R Joshi, et al. Hydrodynamics of two-phase flow in gas-liquid cylindrical cyclone separators [R]. SPE 30683, 1996.
- [7] KOUBA G E, SHOHAM O, SHIRAZI S. Design and performance of gas-liquid cylindrical cyclone separators [C]//Proceedings of the BHR Group 7th International Meeting on Multiphase Flow, Cannes, France, June 7-9, 1995.
- [8] TAITEL Y, DUKLER A E. A model for predicting flow regime transitions in horizontal and near horizontal gas-liquid flow [J]. AIChE Journal, 1976, 22(1): 47-54.
- [9] GOMEZ L E, OVADIA Shoham, KOUBA G E. Enhanced mechanistic model and field-application design of gas/liquid cylindrical cyclone separators [R]. SPE 62487, 2000.
- [10] 曹学文, 林宗虎, 黄庆宣, 等. 新型管柱式气液旋流分离器[J]. 天然气工业, 2002, 22(2): 71-75.
CAO Xue-wen, LIN Zong-hu, HUANG Qing-xuan, et al. Novel gas-liquid cylindrical cyclone [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(2): 71-75.
- [11] 冯叔初, 郭揆常, 等. 油气集输与矿场加工 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006.
- [12] CHIRINOS W A, GOMEZ L E, WANG S, et al. Liquid carry-over in gas-liquid cylindrical cyclone compact separators [R]. SPE 56582, 1999.

(编辑 沈玉英)