

文章编号:1671-6833(2014)04-0048-04

# 基于 PDPA 分离器分离参数及分离性能的试验研究

刘育, 余波, 张卿, 陈凌平, 卿彪

(西华大学 能源与环境学院, 四川 成都 610039)

**摘要:**采用试验验证法,对某重点项目所研制的一种基于 PDPA(相位多普勒粒子分析仪)组合分离器的准确性和可行性进行试验验证.该组合分离器高效地实现了多阶段气液分离,并通过对出口粒子粒径、进出口液态水含量的检测得出组合分离器的分离效率.利用该组合分离器在不同输入参数下,通过多数据试验测试,找出了各输入参数与气液分离效率、出口 LWC 浓度和出口粒径的关系曲线.

**关键词:**PDPA;组合分离器;分离效率;试验验证

**中图分类号:**TE866 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.04.012

## 0 引言

气液分离技术是从气态流体中分离出雾滴或液滴的技术,在石油、化工(如合成氨、硝酸、甲醇生产中原料气的净化分离)、动力等领域有着广泛的应用.在特定的应用场合能够有着优良的气液分离效果是气液分离技术追求的目标,通常采用分离效率、浓度和粒径等指标表征,特别是分离效率,对降低设备的运行成本有着显著的效果.据统计:分离效率在提高 1% 的情况下,能使压缩机电耗降低 1%,同时其成本仅相当于设备半年节省的电费,因此提高其分离效率是气液分离中的关键技术之一<sup>[1-2]</sup>.

笔者以某重点项目所研制的一种基于 PDPA 的分离器为试验研究背景,验证了一种新型气液分离设备的可行性及设备的性能指标,并利用该设备进行了不同参数下分离效率的试验,找出了各参数对气液分离效率、LWC 液态水含量和粒径的关系.

## 1 试验原理

传统典型的分离器技术在工业应用领域已经非常成熟,但存在通用性差、设备使用局限性大的缺点<sup>[3]</sup>.本项目受中石油公司委托,采用的方案是在传统旋流气液分离器上,增加稳流器和折流

板这样一种组合方式的气液分离器.

该组合分离器的原理为:待分离气液混合物先进入旋流器实现气液初步分离,并将分离出来的液滴排出旋流器;经初步分离的气液混合物再进入稳流器,该稳流器由许多平行钢板组成,经稳流器进一步分离后的气液混合物进入折流板装置再次分离,最后将液滴、雾沫去除后经出气口排出.由平行钢板构成的稳流器是依靠增大了气液混合物与钢板的接触面积,减少其沉降距离,以使得混合物中的液滴沉降在平行钢板上,并沿着平行钢板表面流到液相区,其结构如图 1 所示.

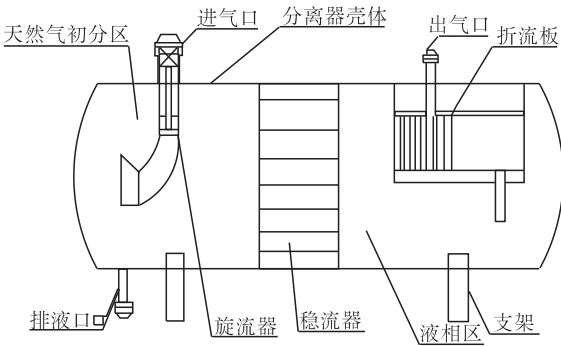


图 1 分离器结构  
Fig.1 Separator structure

在该稳流器中,由液滴沉降过程中液滴力的平衡关系可推导出允许的气液混合物流速.

收稿日期:2014-04-14;修订日期:2014-05-09

基金项目:西华大学流体及动力机械教育部重点实验室资助项目(SBZDPY-11-6);西华大学研究生创新基金项目资助(YCJJ2014073)

通信作者:余波(1965-),男,四川西昌人,西华大学教授,主要从事水利水电工程及自动化、计算机监控和仿真技术等领域的研究. E-mail:yubo@163.com.

液滴的重力表述为<sup>[4]</sup>

$$F_G = \frac{M_p(\rho_L - \rho_V)g}{g_c\rho_V}.$$

(1)

式中: $F_G$  为液滴重力; $M_p$  为液滴质量; $\rho_L$  为液体密度; $\rho_V$  为气体密度; $g$  为重力加速度; $g_c = 32.17$  (1bm/ft). 同时,其平衡曳力为

$$F_D = \frac{(\pi/8)C_D D_p^2 U_V^2 \rho_V}{g_c}.$$

(2)

式中: $F_D$  为曳力; $C_D$  为曳力系数; $D_p$  为液滴直径; $\rho_V$  为气体密度; $U_V$  为气体速率; $g_c = 32.17$  (1bm/ft). 在气液混合物中,较重的液滴将以终端沉降速度  $U_T$  运行,该速度  $U_T$  为一恒值,且满足:

$$U_T = \frac{4D_p(\rho_L - \rho_V)g}{3C_D\rho_V}.$$

(3)

只要当气体速率低于终端沉降速度  $U_T$  时,就能够实现气液分离. 通常,两者存在这样的关系: $U_V = 0.75U_T$ ,结合式(1)和(2)的平衡关系,从而便可导出 Saunders – Brown 方程<sup>[5]</sup>:

$$U_T = K \sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V}}.$$

(4)

其中, $K = \sqrt{\frac{4gD_p}{3C_D}}$ . 在该原理下,组合分离器试验系统图如图 2 所示.

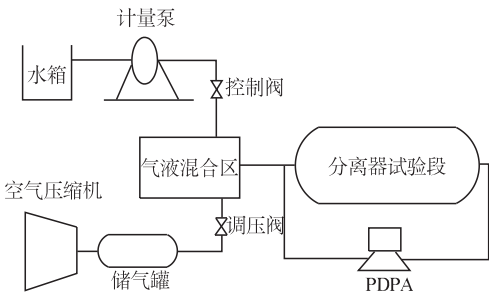


图 2 试验系统  
Fig. 2 The test system

试验设备中,为保证气液混合物的流动状态,在分离器进口、出口测试段来流方向均保证具有不小于 10 倍管径的直管.

2 试验方案

由于 PDPA 是利用多普勒效应来测量运动粒子的相关特性,具有不干扰流场,测量精度高等特点,因为本次试验利用美国 TSI 公司生产的 PDPA 对分离器进行测试. 其中,PDPA 测试原理如图 2 所示.

在相位多普勒粒子分析仪中,依靠 PDPA 产生的多普勒信号的频率正比于粒子通过测量体的

速度来确定粒子速度,利用设定接收角度和间距的两个光电倍增管多普勒信号间的相位差测定粒子的粒径大小<sup>[5]</sup>. 通过测量分离器进、出口气液混合物中液态水的浓度(即液态水含量)来确定分离器的分离效率,其粒子浓度  $C$  和分离效率  $\eta$  分别由式(5)和式(6)得到.

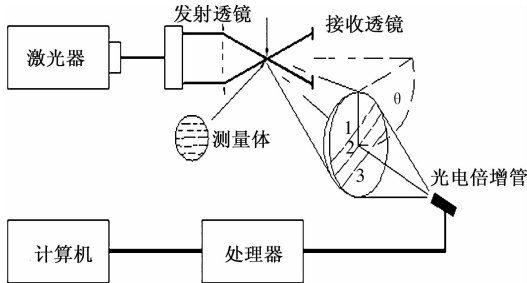


图 3 PDPA 测试原理  
Fig. 3 The test principle of PDPA

$$C = \frac{\pi d^3 \rho N}{6 v t A}.$$

(5)

式中: $N$  是测量时间  $t$  内经过测量体的粒子数; $v$  为粒子的平均速度; $A$  是相应的测量体的有效横截面积; $d$  为粒子粒径; $\rho$  为所测粒子的密度.

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%.$$

(6)

$C_1, C_2$  分别为进口、出口处气液混合物中液态水含量.

由于本试验设备不能实现连续量测试,故本试验的方案选用离散点分别重复测试,具体试验工况为:股液的加注量为 30 m<sup>3</sup>/d 和 50 m<sup>3</sup>/d,喷雾量为 10.44 L/h,试验段内压力为 0.055 MPa,气体流量分别为 10,20,33,40,53,64 Nm<sup>3</sup>/h.

3 试验结果及处理

在完成储气罐加气、股液加注后,当气体流量接近指定试验工况时,就对分离器模型进出口相关参数进行连续测量和观察,并记录到达指定工况时的参数值,若试验进行中气体流量下降以使得运行工况偏离,则进行补气以维持运行工况. 试验数据分别测试 4 次,最后取其平均值.

由表 1、表 2 和表 3 可以得出:在股液量为 30 m<sup>3</sup>/d 和 50 m<sup>3</sup>/d 时,组合分离器出口液滴粒径、LWC、分离效率与气体流量关系曲线见图 4~6.

从图 4 可以看出,该分离器能有效控制出口粒子粒径,平均粒径基本在 13 μm 左右. 当气体流量大于 20 m<sup>3</sup>/h 时,分离器出口处粒子粒径随股液量的增大而减小. 出口粒子粒径减小,说明大

粒径粒子被分离器分离.

表 1 股液量 30 m³/d 时分离器实测数据及分离效率

Tab.1 Shares of liquid 30 m³/d and separation efficiency of separator			
气体流量/ (Nm³·h <sup>-1</sup> )	平均粒径/ μm	LWC/ (g·m <sup>-1</sup> )	分离效率/ %
10	12.942 5	1.906 0	99.999 98
20	13.152 5	7.344 5	99.997 49
33	13.452 5	8.771 2	99.994 62
40	13.567 5	8.277 2	99.995 35
53	13.645 0	7.188 2	99.994 42
64	13.553 3	5.739 4	99.993 70

表 2 股液量 50 m³/d 时分离器实测数据及分离效率

Tab.2 Shares of liquid 50 m³/d and separation efficiency of separator			
气体流量 (Nm³·h <sup>-1</sup> )	平均粒径/ μm	LWC/ (g·m <sup>-1</sup> )	分离效率/ %
10	13.120 0	0.853 8	99.999 53
20	13.073 3	4.706 8	99.995 48
33	13.070 0	5.857 6	99.995 59
40	13.162 5	5.676 7	99.996 12
53	13.257 5	5.090 1	99.996 42
64	13.117 5	3.709 4	99.997 37

表 3 不同股液量时进口 LWC 计算值  
Tab.3 The different shares liquid solution inlet LWC value

气体流量/ (Nm³·h <sup>-1</sup> )	股液量/ (30 m³·d <sup>-1</sup> )	股液量/ (50 m³·d <sup>-1</sup> )
10	111 607.140	172 461.370
20	58 962.264	94 353.865
33	36 549.708	59 388.065
40	30 339.806	49 508.872
53	23 062.731	37 823.771
64	19 171.779	31 527.441

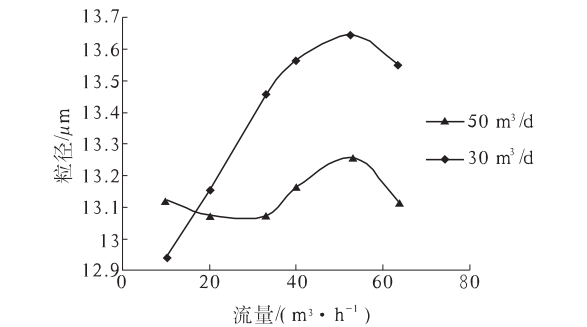


图 4 不同股液量下粒径随气体流量的变化  
Fig.4 The different shares liquid solution particle size and the gas flow rate

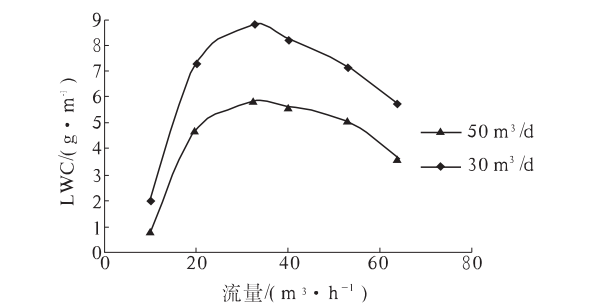


图 5 不同股液量下 LWC 随气体流量的变化  
Fig.5 The different shares liquid solution LWC and the gas flow rate

由图 5 可以看出,分离器出口处,在相同股液量加注方式下,随着气体流量的增加,液态水含量均呈现先增加后减小的趋势;在相同的气体流量下,随着股液量的增加,液态水含量减小.

在股液量为 30 m³/d 和 50 m³/d 下,组合分离器分离效率与气体流量关系曲线如图 6 所示.

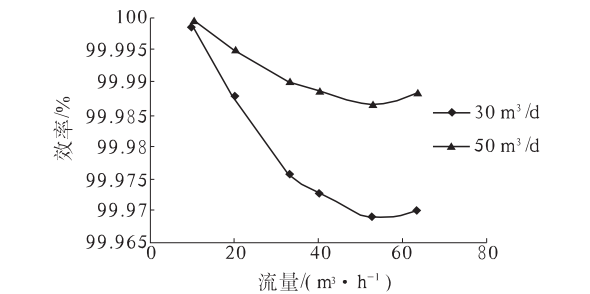


图 6 不同股液量下分离效率和气体流量的关系  
Fig.6 The different shares liquid solution separation efficiency and the gas flow rate

根据图 6 可知,该分离器对于股液添加方式具有相当高的分离效率,都在 99.9% 以上. 在相同的气体流量下,随着股液量的增加,分离器分离效率随之增大. 当股液量一定时,分离器分离效率随气体流量的增加呈现先减小后增大的趋势.

4 结论

通过该试验验证了该组合式气液分离器能够在期望的分离效果下良好运行,并从工程实际的角度证明了基于 PDPA 对液滴粒径、分离效率检测和计量的准确性和可行性. 通过对试验数据的采集研究分析,可以得出以下结论.

- (1)分离器出口气体中 LWC 很低,且平均粒径也较小(13 μm 左右),该分离器对于股液加注方式在各试验气体流量下都能达到 99.9% 以上的分离效率.
- (2)分离器出口处粒子粒径随股液量增大而

减小,随着气体流量的增大粒子粒径基本呈现先增大后减小的趋势,当气体流量为 50 m<sup>3</sup>/h 左右时达到最大.

(3)分离器出口 LWC 随股液量增大而减小,随着气体流量的增大 LWC 呈现先增大后减小的变化趋势.

(4)分离器分离效率随股液量的增大而增大;而当股液量一定时,随着气体流量的增加分离器分离效率呈现先减小后增大的变化趋势.

参考文献:

[1] 冯健美,杨鑫,高翔,等. 旋风式油气分离器数值模拟与实验研究[J]. 西安交通大学学报,2011,45

(7):55-59.

[2] 王为术,徐维晖,罗毓珊,等. 带钩波形板分离器分离性能试验研究[J]. 华北水利水电学院学报,2010,31(2):52-54.  
[3] 李成兵,熊璉,新型柱式气液旋流分离器数值计算[J]. 石油矿厂机械,2011,40(2):34-37.  
[4] EASTWICK C N, SIMMONS K, WANG Y, et al. Study of aero-engine oil-air separator [J]. IMechE: Part A Journal of Power and Energy, 2006,220(A3): 707-717.  
[5] BACHALO W D, HOUSER M J. Phase Doppler spray analyzer for simultaneous measurements of drop size and velocity distributions [J]. Opt. Engng, 1984, 23(5):583-590.

Experimental Study on Separation Parameters and Separation Performance Based on PDPA Separator

LIU Yu, YU Bo, ZHANG Qing, CHEN Ling-ping, QING Biao

(School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China)

**Abstract:** By means of tests, this paper verified the accuracy and feasibility of a combined separator which a key project develop based on PDPA. The results showed that the combined separator efficiently realized multi-stage gas-liquid separation, and the separation efficiency of the combined separator was got through tested particles size of export, liquid water content of import and export. By means of multiple data test method, the relationship between the input parameters and the gas-liquid separation efficiency, the input parameters and the outlet LWC, the input parameters and outlet diameter was established by using the combined separator.

**Key words:** PDPA; combined separator; separation efficiency; experimental verification

(上接第 47 页)

High Temperature Electrical Properties of Y Doped Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9</sub>

LI Hong-tao<sup>1</sup>, WANG Biao<sup>1</sup>, ZHI Hui-bo<sup>1</sup>, WU Yi-wen<sup>1</sup>, LI Meng<sup>2</sup>, JI Cheng-chang<sup>2</sup>

(1. Technical Center for Industrial Product and Raw Material Inspection and Testing of SHCIQ, Shanghai 200135, China; 2. College of Materials Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** Thermoelectric materials Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9</sub> doped with Y in the composition of Y<sub>0.2</sub>Ca<sub>2.8</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9</sub> were prepared by sol-gel method combined high - pressure compacting technique followed by pressureless sintering. The microstructures of the oxides were investigated and the electrical properties (including of Seebeck coefficient and electrical conductivity) were measured from room temperature to 1000 K. It was found that high pressure compacting helps to improve the density and texture of Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9</sub>. The electrical resistivity decreases with an increase of temperature, while the Seebeck coefficient increases with an increase of temperature. The maximum power factor 3.9 μW/cmK<sup>2</sup> at 973K is obtained for the sample pressed by high pressure.

**Key words:** thermoelectric material; Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9</sub>; high pressure