

旋转直流内循环式 旋风分离器流场测定与分析(I)

顾锦鸿 张志群* 陈旭东 杨祖荣 赵志宏

(北京化工大学化学工程学院, 北京 100029)

摘 要 采用五孔探针测试技术及相应的计算机数据采集与处理系统, 测定了旋转直流内循环式旋风分离器的三维流场分布。对所测流场分4个区域进行了分析讨论, 并对内循环气量进行了衡算。结果表明该新型旋风分离器设计合理, 结构有利于气流中颗粒的分离。

关键词 旋风分离器; 内循环; 流场

符号表

p_1 、 p_2 、 p_3 —— 五孔探针1、2、3孔采出的压力值, Pa

Q_0 —— 入口气量, m^3/s

Q_n —— 浓相区的气流量, m^3/s

Q_1 —— 出口气量, m^3/s

Q_s —— 翼栅出口气流量, m^3/s

Q_{11} —— 11#截面上的气量, m^3/s

Q_x —— 内循环气量, m^3/s

Q_f —— 分离段总气量, m^3/s

旋风分离器是工业上最常见的气固分离设备, 其研究与开发一直受到人们的重视。在旋风分离器近百年发展史上, 人们已对旋风分离器的结构形式做了各种改进^[1~3], 但实际生产中使用的旋风分离器仍普遍存在分离效率较低、压力损失较大等问题^[4,5]。本文研究的旋转直流内循环式旋风分离器^[6,7]突破了传统的反转分离形式, 并通过内循环结构设置, 在显著降低压力损失的同时, 妥善解决了直流式分离的旋转流场强化和浓相流排离问题, 是一种低阻、高效的新型旋风分离器。为了弄清该新型旋风分离器内部的气相流动行为, 以建立数学模型进行工业装置的性能预测和放大设计, 本文着重对其三维时均流场进行测定, 探求了其流场分布规律。

1 实验装置与方法

实验研究的主体设备为不锈钢制的旋转直流内循环式旋风分离器, 其总体尺寸为 $\phi 314\text{mm} \times 1725\text{mm}$ 。配套风机为9-19-5.6A型高压离心风机, 实验流程如图1所示。

实验测试系统由五孔探针、标准毕托管、测压管、Ascom AM 5305 DV型压力传感器、放大

* 通讯联系人: 北京市和平街北口, 北京化工大学 137 信箱, 邮编: 100029

器(自制)、HY-1232型A/D转换器、微机—9型直流稳压电源和286/386计算机组成。五孔探针在清华大学国家重点实验室定制并在标准风洞中进行了标定。

流场测定以空气为介质,在常温常压下进行。入口气速为 $10\sim 30\text{m/s}$ 。为得到三维全流场分布,根据该新型旋风分离器结构特点,自上而下选取了24个测量面,每个测量面由内向外均匀分布5~10个测量点。

为提高实验效率,保证测试结果的可靠性和准确性,我们开发了一套用五孔探针测定三维全流场分布的计算机数据采集与处理软、硬件系统^[8],实验过程中所测数据均由计算机自动采集、记录并储存处理。

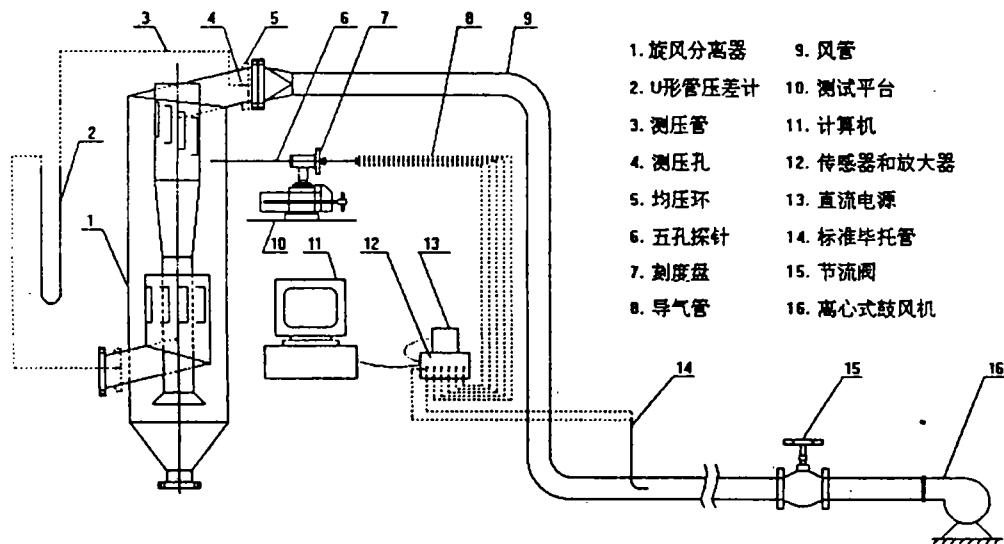


图1 流场测试装置示意图

2 实验结果与讨论

2.1 全流场分析

图2是入口气速为 23.51m/s 时,实测得到的旋转直流内循环式旋风分离器径向速度、切向速度、轴向速度以及静压(虚线)和总压(实线)的全流场分布图。根据该新型旋风分离器的结构特点,以下对整个流场分为4个区域进行简要的分析。

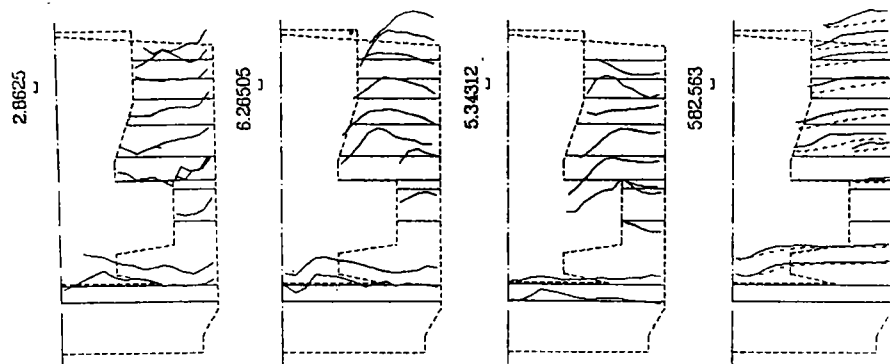
2.1.1 分离段的流场

从旋风分离器的入口到分流筒入口截面之间的区域是对分离起主要作用的区域,称之为分离段。

分离段的上部是内循环升气管切向翼栅的出口区域。在这一区域中,切向速度和径向速度值都较大,径向速度均指向旋风分离器的外筒壁,轴向速度向下,且越靠近外筒壁其值越大,这些因素都是对分离有利的。处于这一区域的尘粒在较大的切向速度和向外的径向速度作用下易于趋向器壁,同时在较大的轴向速度的作用下迅速向下滑落,而且向外的径向速度对尘粒碰撞器壁后的反弹也起到了抑制作用,因此分离段的上部是最有效的分离区域。

分离段的下部是内循环升气管的过渡区。在这一区域中,径向速度指向旋风分离器的外筒壁,沿径向数值变化不大。轴向速度方向向下,其值在靠近升气管壁处较大,在靠近外筒壁处较小。实验中发现,越接近分流筒这一现象越明显。因此,处于此区域中的尘粒虽然在切向

速度和径向速度的作用下向外筒壁处移动,但也有可能因较大的轴向速度使尘粒来不及分离而被出口气流带走,使分离效率降低。这说明,分流筒对分离效率的影响至关重要。



(a) 径向速度分布 (b) 切向速度分布 (c) 轴向速度分布 (d) 静压和总压分布

图2 全流场分布图

2.1.2 分流筒与外筒壁之间的环隙流场

在分流筒与外筒壁间的环隙处,三维速度的数值均比分离段小得多。径向速度指向外筒壁;切向速度在靠近壁面处较小,中间有一最大值;轴向速度方向向下,在靠近外筒壁处其值较大。从环隙处的三维速度分布可以看出,这一区域的气流仍以旋转下降,能够对分流出的浓相流进行进一步的分离,促进颗粒的捕集回收。此外,由于此区域有分流筒翼栅的出口,测定结果证实了该处确实存在向外喷出的切向气流,这说明均布在分流筒上的开口翼栅可以进一步除去出口净气中残存的细粒,有利于进一步提高分离效率。

2.1.3 分流筒螺旋面下区域的流场

在对分流筒螺旋面下的区域进行流场测定时发现:在这一区域内,无论怎样调整五孔探针的位置,采出的 p_1 、 p_2 和 p_3 的值都始终相近,且不随位置的改变而改变,直到离外筒壁很近的地方才会出现变化。同时,从轴向速度的全流场分布图可以看到,在 21[#] 测量面(升气管入口)靠近外筒壁处的轴向速度值为正,其方向向上,直到 23[#] 测量面靠近外筒壁处的轴向速度方向才是向下的。分析这一区域的流场,认为产生这一现场的根本原因与此处旋风分离器的结构有关。由于从环隙区域到分流筒螺旋面以下的区域,流通截面的突然扩大,必然会引起近壁处旋转气体的边界层分离,产生涡流。而升气管入口处的倒角又正好为此涡流提供了一个回流的边界,从而使气流在这一区域形成一个大的旋涡。受此旋涡的影响,使升气管入口截面上靠近外筒壁处的轴向速度方向向上,阻碍颗粒向下滑落,或使颗粒重新扬起,影响分离效果。显然,这一现象对于颗粒的分离是非常不利的。

2.1.4 内循环升气管入口处的流场

在内循环升气管入口处,轴向速度的值为正,方向向上,这表明有气流进入内循环升气管;切向速度和径向速度值都是靠近管壁处大而在中心处小,这与圆管流中的情况正好相反,从而断定升气管中的气流也是以旋转形式螺旋上升的。另外,该处切向速度也为正值,方向与分离段切向速度相同,表明升气管中的气流与分离段气体的旋转方向一致,为逆时针方向。内循环流的这种流动形式与本旋风分离器的设计构思吻合。

2.2 内循环气量校核

内循环升气管是旋转直流内循环式旋风分离器的结构特点,它在利用浓相区气流强化流场的同时,将浓相区与稀相、净相区分开,从而避免了现有旋风分离器内尘粒由于与器壁冲撞反弹而重返净气流的不利现象。这样既可提高分离效率,又可省去现有直流分离技术所需的二次分离设备,降低费用和能耗。为了探讨该新型旋风分离器结构设计的合理性和检验所测流场数据的可靠性,我们对内循环气量进行了校核分析。

2.2.1 升气管上部切向翼栅出口气量

在升气管上部共有7个翼栅片,每个翼栅片长120mm,狭缝宽度10mm。由于在内循环升气管内的气流是旋转上升的,在切向翼栅的出口处,气流沿切向翼栅的方向喷出。可以认为,此处气流的速度只有切向速度,所以在测量时,我们将五孔探针沿翼栅片的边缘放在翼栅出口处,调整2孔的位置使 p_2 值达到最大, $p_1 = p_3$,此时可将五孔探针虚拟为一毕托管,则 p_2 为总压, p_1 为静压,根据 $p_2 - p_1 = \rho v^2 / 2$,即可求得狭缝处的气流速度,进而求出翼栅出口气流量为 $Q_s = 0.1222 \text{ m}^3/\text{s}$ (计算过程从略)。

2.2.2 浓相区气流量

浓相区气流即经过分流筒分离后进入内循环升气管的内循环气流。取16[#]测量面的轴向速度对环隙面积积分,可得到浓相区的气流量 $Q_n = 0.1373 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

若以浓相区的气流量 Q_n 与翼栅出口气流量 Q_s 的平均值为内循环气量 Q_x 的基准值 $Q_x = 0.1297 \text{ m}^3/\text{s}$,则 Q_n 和 Q_s 与 Q_x 的相对误差分别为5.86%和-5.78%。该值在工程允许的误差范围内,所以可认为浓相区气流量 Q_n 与翼栅出口气流量 Q_s 基本守恒。

2.2.3 分离段总气量

分离段总气量 Q_f 等于通过11[#]测量面的气流量,以测得了的轴向速度对面积积分,得到该截面上的气流量 $Q_{11} = 0.4253 \text{ m}^3/\text{s}$ 。同时,分离段总气量还应等于入口气量 Q_0 与 Q_s 之和,以及出口气量 Q_1 与 Q_n 之和。达到动态平衡时,入口气量等于出口气量,即 $Q_0 = Q_1 = 0.2951 \text{ m}^3/\text{s}$,由此得到 $Q_0 + Q_s = 0.4173 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_1 + Q_n = 0.4324 \text{ m}^3/\text{s}$ 。这样,我们从3个不同的途径得到3个不同的分离段总气量的测量计算值,取其平均作为分离段总气量 Q_f 的值,则 $Q_f = 0.4250 \text{ m}^3/\text{s}$,同时得到 Q_{11} 、 $(Q_0 + Q_s)$ 、 $(Q_1 + Q_n)$ 这3个计算值分别与平均值 Q_f 的相对误差为0.07%、-1.8%和1.7%。

内循环气量 Q_x 占分离段总气量 Q_f 的比率为30.52%。

通过上面的计算分析,我们认为整个旋风分离器内的气流量是守恒的。这说明旋转直流内循环式旋风分离器利用浓相区气流强化分离的设计构思合理可行。此外,由于计算分析所用的数据均由实验测得,物流质量守恒从另一个侧面也说明了本实验研究的数据是可信的。

3 结 论

(1)本文采用五孔探针和计算机数据采集处理系统,测定了 $\phi 314\text{mm} \times 1725\text{mm}$ 的不锈钢制旋转直流内循环式旋风分离器的三维时均流场。

(2)对全流场4个区域测定的分析结果表明:该新型旋风分离器的分离段上部是最有效的分离区域;分流筒对分离效率的影响较大;分流筒螺旋面以下的区域由于结构原因造成涡流的存在,对分离不利;内循环气流旋转上升,旋转方向与分离段一致,可以强化气固分离。

(3)根据实测数据对内循环气量进行衡算的结果表明:整个分离器内部的气流量守恒,浓相流的气流量与升气管翼栅出口的气流量基本相等。

(4)限于篇幅,有关入口气速对流场分布的影响及其压降性能的分析与讨论,将另文报道^[9]。

参 考 文 献

- 1 化学工程手册编辑委员会. 化学工程手册(第 21 篇):气态非均一系分离. 北京:化学工业出版社,1989
- 2 Perry R H, Chilton C H. Chemical Engineers Handbook, 6th. ed. McGraw - Hill Inc, New York, 1984
- 3 Biffin M, Syred N, Sagep. Enhanced Collection Efficiency for Cyclone Dust Separators. Chem. Eng. Res. Des., 1984, 62 (7)
- 4 龙维德. 旋风收尘器收尘过程的作用机理及合理结构的探讨. 硫酸工业, 1980, (2):26
- 5 Marty M, Cory W T W. Practical Solutions to Dust Collection Problems in the Fertilizer Industry. Filtration & Separation, 1976, (3/4)
- 6 张志群, 李景. 旋风除尘器新型分离结构的探讨. 第四届全国非均相分离学术讨论会论文集, 1994
- 7 张志群, 陆铭, 廖娅卿. 旋转直流内循环式旋风分离器及其压降性能的研究. 第七届全国化学工程学术报告会论文集, 1994
- 8 顾锦鸿, 陈旭东, 张志群等. 旋风分离器流场测定的计算机数据采集与处理. 第五届全国非均相分离学术讨论会论文集, 1997
- 9 顾锦鸿, 张志群, 陈旭东等. 旋转直流内循环式旋风分离器流场测定与分析(Ⅱ), 粉体技术, 1997, 3(3):13~19

Measurement and Analysis of the Flow Field of Rotary Uniflow & Inner - recycle Cyclone Separator(I)

Gu Jinhong Zhang Zhiqun Chen Xudong Yan Zurong Zhao Zhihong

(College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology)

Abstract By employing the five - hole exploring needle technique and its computer system for data collecting and processing, the flow field of rotary uniflow & inner - recycle cyclone separator was experimentally studied in this paper. The measured flow field was respectively discussed and analyzed in four different regions, and flow rate mass balance of the inner - recycled gas stream was conducted. The result reveals that the design of the new type of cyclone separator is practicable and its structure is good for the separation of particles from gas stream.

Key words cyclone separator; inner - recycle; flow field