

粘附性颗粒流化床内构件的选型

刘勤, 吕雪松, 李洪钟

(中国科学院化工冶金研究所多相反应开放实验室, 北京 100080)

摘要: 研究了多孔板式内构件和桨叶式内构件对粘附性颗粒流态化的影响. 实验表明, 多孔板式内构件对流化质量的改善不好, 桨叶式内构件的效果良好但仍然存在缺陷. 通过结合二者优点开发的孔桨式内构件克服了桨叶式内构件的缺点, 显著地改善了粘附性颗粒的流化质量.

关键词: 粘附性颗粒流态化; 内构件; 孔桨式; 床层崩裂速度

中图分类号: TQ021 文献标识码: A 文章编号: 1009-606X(2001)01-0020-05

1 前言

粘附性细颗粒的应用极为广泛, 但处理粘附性颗粒的反应、加工设备极其有限. 流化床在气固接触、处理方面有独到之处, 是处理粘附性颗粒的首选设备. 但粘附性颗粒流态化是非稳态流态化, 流化过程中常常产生沟流、节涌、聚团, 降低了流化床的处理能力, 所以目前各国学者都在致力于改善粘附性颗粒流化质量方法的研究. 有些研究者如王兆霖和周涛等^[1, 2]研究了粘附性颗粒中添加其他颗粒来改善流化质量的过程. 有些研究者采用外加声场、振动场等外力场的方法, 来改善粘附性颗粒的流化质量, 如朱庆山^[3]的轴向磁场, 吕雪松^[4, 5]的横向旋转磁场.

添加内构件是传统流化床中改善流化质量和改进气固流动行为的有效方法^[6], 在 Geldart A 类、B 类颗粒流化床中研究较多^[7-9], 但还没有人研究过内构件对粘附性颗粒流化质量的改善.

本文试图考察几种典型的内构件对粘附性颗粒流化床的床层行为的影响, 为选择适当的内构件型式和进一步的研究和开发提供指导.

2 实验装置、物料及方法

实验装置包括流化床、压力传感器和数据采集系统三部分, 如图 1 所示. 流化床内径 55 mm, 由有机玻璃制成. 床体中专门为拆换和固定内构件设置了卡口. 辅助设备包括空气压缩机、转子流量计、气体干燥器等.

内构件设在距分布板 150 mm 处. 在距分布板 25 mm 和距内构件以上 20 mm 处各开一个引压口, 分别连接到一个压力传感器上.

测量系统由压力系统和 A/D 转换系统组成. 其中, 压力系统由一个直流稳压电源、两个压

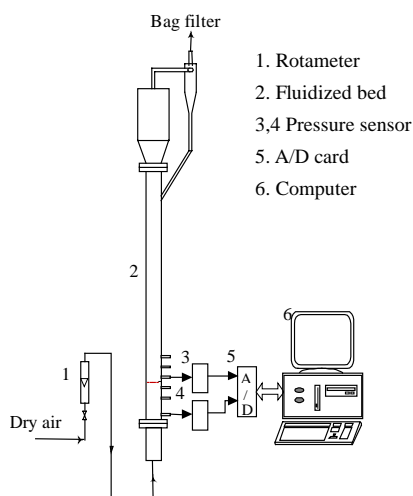


图 1 实验设备示意图

Fig.1 Schematic diagram of the experimental facility

收稿日期: 2000-01-24, 修回日期: 2000-04-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (编号: 29976042)

作者简介: 刘勤 (1975-), 男, 土家族, 湖南张家界人, 硕士研究生, 化学工程专业.

力传感器(输出 0~5 V 电压信号)组成. A/D 转换由大恒 PC-5442 多路高速 A/D 转换卡完成,并根据采样要求用 8088 宏汇编语言编写了采样程序.

本文考察了多孔板式、桨式和孔桨式内构件. 孔桨式内构件即在桨叶式内构件的叶片上均匀地开一定数量的小孔, 其目的在于抑制桨式内构件流化床中的沟流. 3 种内构件的结构示意图见图 2. 实验物料为粘附性 $-Al_2O_3$ 颗粒, 平均粒径为 $4.92 \mu m$, 密度为 $859 kg/m^3$.

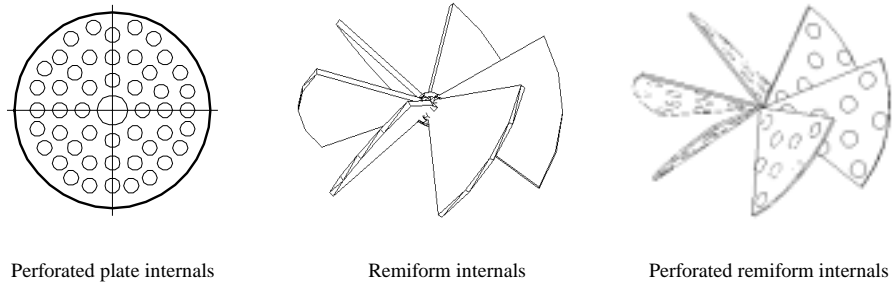


图 2 内构件结构示意图
Fig.2 Schematic diagram of internals

本文将从以下几个方面来评价内构件对流化质量的影响:

(1) 将粘附性颗粒床层流化压降曲线与经典流化压降曲线进行比较, 以此来判断添加内构件后流化质量的好坏.

(2) 根据床层崩裂速度 U_d 的大小进行判断. 床层崩裂速度是针对粘附性颗粒流态化提出的概念, 是指床层经历节涌、沟流和床层分裂达到较好的流化状态的最小表观流化速度. 该流速远大于粘附性颗粒的理论最小流化速度. 它的大小可以反映添加内构件后流化状态与理想流化状态的接近程度.

(3) 根据上升与下降压降曲线的吻合程度进行评价. 经典流化压降曲线显示, 上升压降曲线高于下降压降曲线, 这包含了颗粒起始流化的“解锁”过程, 而粘附性颗粒流化的压降曲线情况正好相反, 一般上升压降曲线低于下降压降曲线, 这是沟流造成的, 所以粘附性颗粒流化上升和下降压降曲线之间偏差的减小蕴含了沟流的消除和流化质量的改善.

(4) 根据内构件上测压点的压力波动信号进行判断. 压力波动信号曲线的振幅反映了床层内气泡尺寸的大小, 波动频率和稳定性反映了流化的稳定性.

3 实验结果及讨论

3.1 无内构件流化实验

实验表明, 无内构件时, 粘附性 $-Al_2O_3$ 颗粒的流化表现为严重沟流. 随着风速上升, 床层首先出现短暂的节涌, 然后在相当宽的风速范围内表现为气体短路和沟流. 当风速达到 $0.25 m/s$ 时, 流化状态逐渐好转. 减小风速, 床层保持流化状态. 但当风速减小到 $0.09 m/s$ 时, 在几分钟内, 床高逐渐降低, 床层下部出现明显的沟流, 并且向上扩展, 最终使气体短路、床层静止. 无内构件流化床的压降曲线见图 3(a), 压力波动曲线见图 4(a).

由此可见, $-Al_2O_3$ 颗粒的流化状态相当不稳定. 为了改善其流化状态, 实现稳定、持续的流化操作, 有必要使用添加内构件等方法.

3.2 多孔板式内构件对流化状态的影响

实验表明,添加多孔板式内构件对降低床层崩裂速度没有明显的作用,多孔板孔径对流化状态有显著的影响.实验考察了 6, 4, 3 mm 三种孔径的内构件.当孔径为 6 mm 或 4 mm 时,床层流化状态比无内构件时好;孔径为 3 mm 时,内构件上堆料,床层分层,流化状态很不稳定,操作弹性很差,床层流化状态比无内构件时更差.通过观察和对压力波动信号的分析发现,减小孔径有利于抑制气泡的合并长大,但孔径太小容易导致操作弹性下降,仅适于高气速的情况;孔径太大时(6 mm)则对气泡的长大抑制作用不明显,对消除沟流等作用不大.因此,3 种孔径中 4 mm 是较好的开孔孔径.

开孔率和孔径对床层内颗粒的浓度分布有明显影响.当开孔率小(25%, 6 mm)或孔径小(50%, 3 mm)时,内构件上严重积料;但当开孔率和孔径为 35%, 6 mm 和 50%, 4 mm 时,分布板上维持 7~9 cm 高的料面,且流化状态较好;当开孔率和孔径为 40%, 6 mm 时,内构件基本上起不到分割床层的作用,当气速较低时,内构件上有数道气泡串,但没有明显的沟流.

从孔径 4 mm、开孔率 50% 的多孔板内构件的床层压降曲线[图 3(b)]和压力波动曲线 [图 4(b)] 看,其流化质量较无内构件的情况有了一定的改善,稳定性有所好转,但振幅仍然较大.

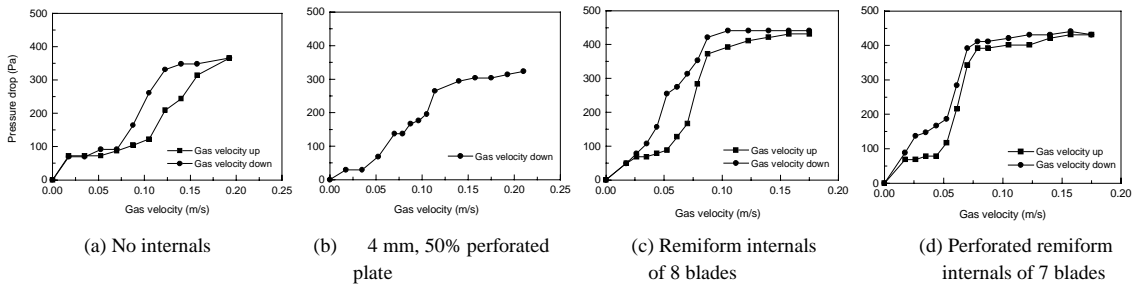


图 3 流化床床层压降曲线图

Fig.3 Pressure drop of fluidized bed vs. gas velocity

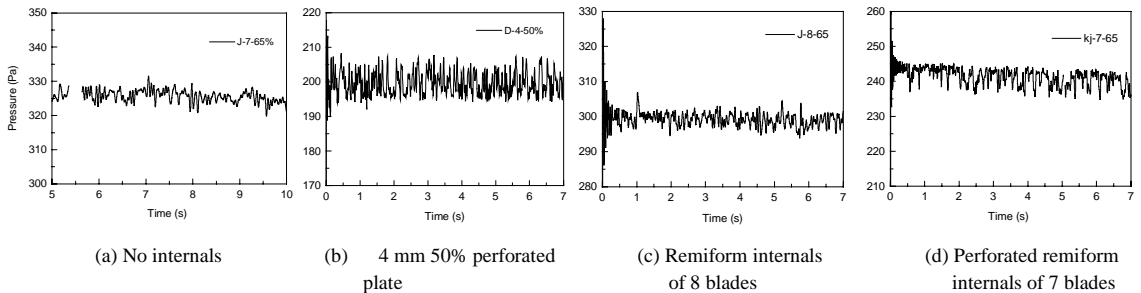


图 4 床层内构件上压力波动曲线

Fig.4 Pressure drop fluctuation signals across the internals (gas velocity $U_g=0.1575$ m/s)

3.3 桨式内构件对流化状态的影响

实验表明,桨式内构件对流化质量的改善要好于多孔板式内构件,其表现在于床层崩裂速度显著降低,且操作稳定性和重现性较好.使用桨式内构件时,床层在内构件处无分割现象,床层为一个整体.

添加桨式内构件后,床层的流动行为有了明显的改善.从床层压降曲线可以看到,桨叶数为 5, 7, 8 的床层崩裂速度 U_d 分别为 0.07, 0.075, 0.08 m/s, 比多孔板式内构件均有明显的减小.如图 3(c)所示,当桨叶数为 8 时,气速增大和减小时的压降曲线均吻合较好,说明操作稳定性高,流化质量得到了明显的改善.对每一种桨式内构件进行了数次实验,所观察到的实验现象和压降曲线的重现性较好.

桨式内构件的结构参数主要有叶片倾角和叶片数.实验考察了叶片倾角为 55° , 60° , 65° 的情况.倾角为 55° 时,床层在内构件处有一定的分割现象,在叶片上有颗粒的堆积,并且这部分积料是一个死区,不易流化起来;倾角为 60° 和 65° 时,情况明显改善.因此,叶片倾角的选择应大于 60° .

叶片数的影响可以总结为随着叶片数的增多,流化质量变好.从压降曲线可以看出,叶片数为 7 和 8 时的上升和下降曲线的吻合程度比 5 叶片内构件好;从压力波动曲线[图 4(c)]看,随着叶片数的增加,压力波动的振幅明显减小.这说明叶片数多时起到的颗粒解锁、破碎聚团和气泡的作用更加明显,但从曲线的均匀度和稳定性来看尚有一定程度的沟流现象.

3.4 孔桨式内构件对流化状态的影响

基于改善气体流动、减少沟流的目的,本工作对几种桨式内构件进行了改进.一种简单有效的改进是将桨式内构件和多孔板式内构件结合起来,即孔桨式内构件.

实验观察和数据以及压降曲线均说明孔桨式内构件不仅保持了桨式内构件改善流化质量的功效,而且效果更好.在叶片上开孔增加了气体的流动通道,并且由于从小孔上升的气流与沿叶片旋向上升的气流间有一个角度,提供了额外的分布和扰动,使沟流很难在内构件上下产生,明显地抑制了沟流的产生与发展.从压降曲线[见图 3(d)]来看,与 8 叶片的桨式内构件相比,孔桨式内构件的压降曲线更接近理想的压降曲线,其气速上升和下降曲线更加吻合一致.从压力波动曲线[图 4(d)]分析,由于空隙增大,7 叶片孔桨式内构件压力波动曲线的幅值与 8 叶片桨式内构件相近,但稳定性更好,说明它具有更好的抑制沟流、改善流动行为、提高流化稳定性的能力.

众所周知,压降波动峰与气泡在分布板附近的产生、气泡在床层上升中产生的扰动及气泡在床表面的破碎有关,所以波动峰的高低和疏密预示了气泡的大小和数量.从压力波动曲线可以看出,无内构件的压降波动小,这是由于沟流造成的;加入多孔板式内构件后,改善了流化质量,但床层压降波动幅度较大;加入桨式内构件后床层波动幅度明显比加入多孔板式内构件小;而加入孔桨式内构件后床层波动的频率进一步降低,同时稳定性更好.因此,桨式内构件,特别是孔桨式内构件比无内构件的情况和多孔板式内构件都要好得多,是一种较好的粘附性颗粒流化床内构件.

4 结论

- (1) 实验表明,添加内构件是改善粘附性颗粒流化质量的有效方法之一.
- (2) 多孔板式内构件对改善流化质量、抑制气泡和消除沟流有一定的作用,但效果并不令人满意.
- (3) 桨式内构件对操作弹性、流化稳定性等均有显著的改善作用,是一种效果不错的内构件.主要的结构参数有叶片数和叶片倾角.但其主要缺点是沟流仍然比较明显,不能令人十分满意.

(4) 本工作结合了多孔板式内构件和桨式内构件的优点,开发了一种效果很好的孔桨式内构件.它弥补了桨式内构件沟流抑制不足的缺点,是一种适用于改善粘附性细颗粒流化质量的优良内构件.

参考文献:

- [1] 王兆霖,李洪钟.细颗粒的团聚流态化及其测定[J].化工冶金,1995,16(4):312-319.
- [2] 周涛,李洪钟.粘性颗粒添加组分流态化实验[J].化工冶金,1998,19(3):231-236.
- [3] 朱庆山,李洪钟.磁场流态化技术的研究及其应用[J].化工冶金,1995,16(3):271-281.
- [4] 吕雪松,王守进,王兆霖,等.细铁粉气液固三相磁场流化床的床层膨胀特性[J].化工冶金,1999,20(2):129-135.
- [5] 吕雪松.横向旋转磁场作用下液固流态化和粘性颗粒气固流态化的研究[D].北京:中国科学院化工冶金研究所,1999.
- [6] 《化学工程手册》编辑委员会.化学工程手册[M].北京:化学工业出版社,1987.160-167.
- [7] 赵思源,沈国宏.无环隙挡板流化床流化特性研究(一):挡板对床层密度分布影响的测定[A].第3届全国流态化会议文集[C].太原.1984.67-72.
- [8] 毕继诚,邹学军,赵书琨,等.挡板流化床中的气泡行为[A].第四届全国流态化会议文集[C].兰州.1987.50-55.
- [9] 许贺卿,赵思源,沈国宏,等.多孔挡板流化床流态化特性研究—孔板主要参数的影响[A].第四届全国流态化会议文集[C].兰州.1987.23-28.

New Design of Internals for Improving Fluidization Quality of Cohesive Particles

LIU Qin, LU Xue-song, LI Hong-zhong

(Inst. Chem. Metall., Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: To improve the fluidization quality of cohesive particles, the traditional perforated plate internals and the remiform internals as well as the new design of the perforated remiform internals were tested with cohesive Al_2O_3 particles as the experimental material. The experimental results showed that the perforated plate internal was inefficient for improving fluidization quality of cohesive particles, the remiform internal was better than the former. The perforated-remiform internals combine the advantages of two traditional ones and was proved to be the best internals for using in cohesive particles.

Key words: cohesive particle fluidization; internals; perforated remiform internals; disrupting velocity