

文章编号:1673-5005(2008)04-0118-05

导向挡板对催化裂化颗粒湍动流化床 流动特性的影响

张永民, 王红梅, 卢春喜, 时铭显

(中国石油大学 重质油国家重点实验室, 北京 102249)

摘要: 针对一个具有一层导向挡板的催化裂化颗粒流化床, 在 $500\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 6000\text{ mm}$ 的大型二维流化床冷模装置中, 考察了湍动流化状态下的气固流动现象、床层密度分布、压力脉动和床层膨胀率, 并与自由床中的气固流动规律进行了对比。结果表明: 流化床中加入挡板后, 其下部将会出现一个低密度区, 而在其上部则会出现一个高密度区; 挡板的加入将大大降低床层的压力脉动, 压力脉动和挡板下方气垫的高度分别在一定程度上反映了挡板对气泡破碎的能力和抑制颗粒返混的能力; 相比自由床, 挡板床具有较小的起始湍动速度和较大的床层膨胀率。

关键词: 导向挡板; 流化床; 颗粒; 流体动力特性; 湍流

中图分类号: TQ 021.4

文献标识码: A

Effects of louvre baffles on hydrodynamic properties of turbulent fluidized beds of FCC particles

ZHANG Yong-min, WANG Hong-mei, LU Chun-xi, SHI Ming-xian

(State Key Laboratory of Heavy Oil Processing in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: In a large-sized 2-D cold model installation with the size of $500\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 6000\text{ mm}$, phenomena of gas and solid flow, axial density profiles, pressure fluctuation and bed expansion ratio of a turbulent fluidized bed with one layer of louvre baffle were compared with those of the fluidized bed without baffles. The experimental results show that a low-density region and a high-density region will appear under the baffle and above the baffle respectively in the baffled fluidized bed. The pressure fluctuation will decrease greatly and a void layer will appear under the baffle in the baffled bed. The decrease of pressure fluctuation reflects the ability of louvre baffles on splitting bubbles. However, the thickness of the void layer reflects the different abilities of louvre baffles on restraining the backmixing of particles across the baffle. Compared with the fluidized bed without baffles, the louvre baffled bed has a low initial turbulent velocity and a great bed expansion ratio.

Key words: louvre baffles; fluidized bed; particle; hydrodynamic property; turbulence

为了消除气固流化床中由于气泡存在而造成的气体短路、气固接触不均以及颗粒返混等带来的负面效应, 人们常在床层中设置某种形式的内构件。目前工业中常用的内构件有水平构件、垂直构件和固体填料 3 种类型。导向挡板已经成功应用于丁烯氧化脱氢、萘氧化制苯酐等过程。研究表明, 加设挡板后, 两块挡板之间密度分布会出现中间密、两头稀的状况^[1]。在 0.15 m 直径丁烷氧化脱氢流化床中设置斜片挡板后, 在产量、转化率与选择性方面均比自由床大大改善^[2]。在二维床中对导向挡板进行

的研究发现, 当气速达到 0.3 m/s 时, 可以明显观察到挡板对气泡的破碎效应, 但当气速大于 0.7 m/s 后, 由于挡板下方的气垫厚度过大, 影响了层间颗粒的交换^[3]。挡板的加入可以明显改善催化裂化汽提器和再生器的操作效果^[4]。笔者研究导向挡板对高气速下湍动流化床流动的影响。

1 实验

1.1 实验装置

为了更加直观地观察气固两相在流化床中的运

收稿日期: 2008-01-10

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(20490200); 国家杰出青年科学基金项目(20525621)

作者简介: 张永民(1978-), 男(汉族), 河南淅池人, 博士, 主要从事催化裂化工艺与工程方面的研究工作。

动规律,实验装置采用二维床结构,图1给出了实验装置的简图。流化床所需的流化介质为空气,由一台罗茨鼓风机提供。来自风机的空气首先进入到一个气体缓冲罐中,再经过转子流量计定量输送到流化床中。进入流化床的气体的预分配由一个板式分布器完成,为了保证气体分配的均匀性,分布器下方设置了一个气体预混腔。气体进入到流化床层后,会携带一部分颗粒到床层外,为保证整个床层内颗粒质量和粒径分布的一致性,设置了两级PV型旋风分离器,来回收这部分颗粒,并同时将其返回到密相床层中去。两级旋风分离器的总捕集效率在99.99%以上,可以保证在实验过程中床层内颗粒的质量和粒径分布基本不变。剩余的旋风分离器未能捕集的颗粒由一个布袋过滤器收集,定期返回到床层中去。

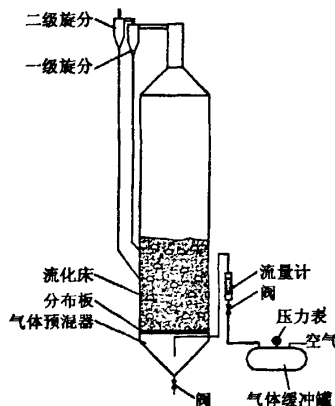


图1 二维床实验装置简图

二维床横截面长0.5 m,宽30 mm,床体总高6 m,采用板式气体分配器,共设11个分布孔,孔径5 mm,开孔率1.44%。

实验中导向挡板在设计中主要考虑以下几个参数(图2):挡板高度 h ,叶片间距 d ,叶片倾角 θ ,叶片自身厚度 δ ,挡板间距 Δh ,设置层数以及挡板距离分布板高度 h_d 等。

导向挡板的结构参数按工业上普遍采用的设计方法^[5]选取,其中挡板高70 mm,叶片垂直间距为40 mm,叶片倾角 55° ,叶片自身厚度为2 mm。实验中导向挡板仅设一层,设置位置距离分布板高0.8 m。兼顾目前工业装置的操作范围和本装置的具体情况,操作线速范围定为0.2~1.1 m/s,共设9挡气速。

装置采用的颗粒为催化裂化平衡剂,平均粒径60 μm ,颗粒密度1500 kg/m^3 ,堆积密度922 kg/m^3 ,

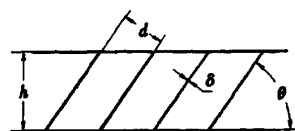


图2 导向挡板结构示意图

初始静床高1.29 m。

1.2 实验方法

通过考察催化裂化颗粒湍动流化床加入导向挡板前后气固流动现象、轴向密度分布、压力脉动以及密相高度等的变化,系统考察导向挡板对床层流动特性的影响。

实验中床层密度的测量采用天水华天微电子有限公司生产的CYB020K和CYB050K型差压传感器,量程分别为2 kPa和5 kPa。两种传感器的输出信号都为0~5 V的直流电压,精度等级为0.2级,输入端为 ± 12 V的直流电压。压差信号经凌华PCI9111DG型多功能数据采集卡进行A/D转化后,输入并记录在计算机中。压力脉动的测量采用Gems Sensors Ltd公司生产的1200型表压传感器,量程0~0.08 MPa,精度0.5%,输出4~20 mA。在差压和压力脉动的测试中,均采用200 Hz的采样频率和60 s的采样时间,以保证足够的采样精度。

2 实验结果分析

2.1 实验现象对比

在自由流化床实验中,气泡的轨迹呈现出很大的随机性,不仅存在上升的气泡,还存在随机漂移的气泡,尤其是在湍动流化阶段,气体的旋涡运动是主要原因。另外,当床层进入到湍动流化状态时,可以明显地看到气泡直径减小,且大小分布比较均匀。

本实验中,当气速(v)为0.19 m/s时,挡板对气泡的作用仅限于较大的气泡,挡板下方没有明显的气垫;当气速增加到0.37 m/s时,大气泡通过时挡板下方开始产生间歇性的气垫,挡板对大气泡具有明显的破碎作用;当气速增加到0.56 m/s时,转子流量计浮子波动最大,挡板下方开始出现连续的气垫,由于挡板的导向作用,气体开始向床层一侧偏流,从而使挡板上的固体颗粒产生循环运动;当气速增加到0.74 m/s时,气垫厚度进一步增大,挡板上方颗粒循环的强度增强,在床层挡板上方的一侧,颗粒的下行流动限制了气体的上行,气体偏向另一侧约2/3的截面积向上流动,挡板所引起的颗粒循环流动区域的高度约为0.5~0.7 m;当气速增加到0.93 m/s时,气垫厚度进一步增加,颗粒循环强度

进一步增强,由于气体能量的增大,有气体流动的截面面积增大至整个截面积的3/4,而另一侧由于固体循环强度太大以及受到挡板和壁面的约束,则经常会出现“架桥”现象,造成挡板下方料面的波动;当气速增加到1.11 m/s后,气垫厚度进一步增加,由于气体的能量进一步增大,颗粒循环的区域反而有所减小,床层操作反而比气速为0.93 m/s时稳定。

2.2 轴向密度分布

实验中通过测量床层两个不同高度测压点之间的压力差来获得该区域的平均密度。图3中分别给出了两个不同表观气速下的密相床层密度的对比。

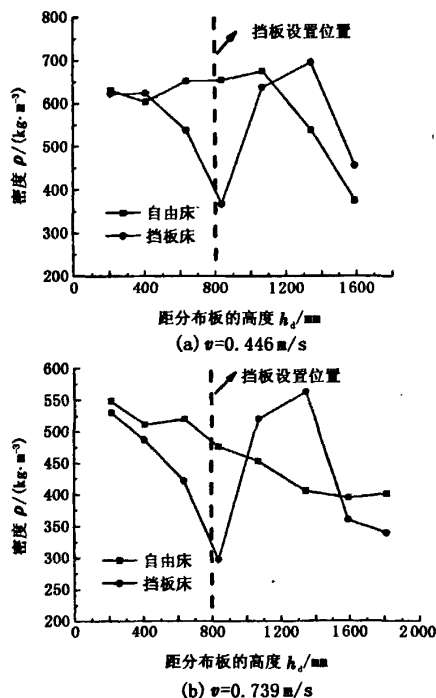


图3 自由床和挡板床床层密度分布对比

由图3可以看出,在挡板设置位置附近会出现一个明显的低密度区,随着表观气速的增加,该区域还将不断地向挡板下方区域扩展,而且该区域的密度和床层主体区域(未受挡板影响的区域)的密度差逐渐加大。另外,在挡板的上方,还会出现一个高密度区,在气速较低时,该区域的密度和床层主体的密度相差不大,但当气速较高时,该密度差将不断增大,这一点和前人研究的结果有所不同。

挡板附近出现的低密度区一方面是由于挡板区域床层表观气速较高的缘故,另一方面也体现了挡板对床层颗粒轴向返混的影响。当流化床内不设置

挡板而处于稳定操作时,床层某一个特定横截面上颗粒向上和向下的通量基本保持相等。床层内设置挡板内构件后,由于其局部截面积的减小,造成局部气体线速的增加,这样的结果就使得挡板下方颗粒更容易被带到挡板上方,而挡板上方的颗粒不容易流到挡板下方。当床层气体线速较低时,尽管挡板间实际气速较高,但还没有达到足够大的颗粒提升能力,同时气体的能量还不足以抑制颗粒向下的流动,因此挡板下方的气垫并不明显。当气体线速度较高时,气体的能量增大,对颗粒的提升能力增强,同时也对挡板上方颗粒向下的流动产生了很大的阻滞作用,这样造成的结果就是挡板下方的颗粒不断地被带到挡板上方,而挡板上方的颗粒却由于受到挡板区高速气体的阻滞而不能以足够大的通量进入到挡板下方去,最终挡板下方的料面因为颗粒的损失不断降低,从而在挡板下方形成连续性的稀相区域,即气垫。挡板下方气垫的产生同时又大大减小了颗粒向上的通量,当向上的通量和向下的通量达到平衡时,挡板下方的料面将保持稳定,但这时挡板上下部区域的颗粒返混量将大大降低。因此,挡板下方气垫的形成是挡板流化床实现自身稳态操作的一种自调节过程,同时又是挡板对床层轴向返混抑制作用的一个体现,挡板下方的气垫高度越大,说明挡板对床层轴向返混的抑制能力越强。

但是挡板下方的气垫也会产生一定的负面作用。当气垫的体积过大时,会降低反应器的空间有效利用率,因此在使用内构件时,应权衡各方面的利弊,以达到最佳的使用效果。

由于料面的波动,在实验中很难通过直接测量的方式得到挡板下方气垫的高度,因此实验中根据挡板影响区域和床层主体之间的密度差间接换算出挡板下方的气垫高度 h_v ,即

$$h_v = \sum_{i=1}^n \Delta h_i - \sum_{i=1}^n \rho_i \Delta h_i / \rho_0 \quad (1)$$

式中, n 为受挡板影响的差压测量段数; Δh_i 和 ρ_i 分别为每一段对应的间距和实测密度; ρ_0 为离挡板最近但未受挡板影响的区域的密度。由于式(1)在一定程度上还考虑了因挡板区域气速增大所引起的压降损失,所以计算的结果应该较实际气垫高度高一些。

图4中给出了不同表观气速下挡板下方气垫高度的变化曲线。可以看出随着表观气速的增加,气垫的高度显著增加,这反映了挡板对颗粒返混的抑制能力的不断增强。

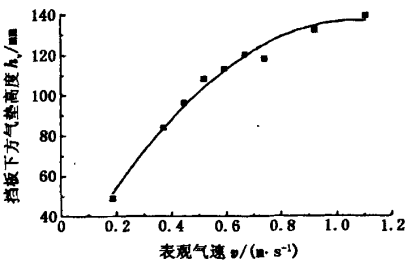


图 4 挡板下方气垫高度随表观气速的变化

2.3 压力脉动

实验中采用动态压力的标准偏差来反映床层压力脉动的大小,图 5 中给出了不同表观气速下自由床压力脉动沿床层高度的变化曲线。从图中可以看出:密相区的压力脉动呈现先降低后增加然后再降低的趋势,即呈水平“S”形分布;当进入到稀相区后,压力脉动较密相区小得多,并且基本沿高度方向保持不变。在表观气速较低的情况下,密相区压力脉动的水平“S”形分布趋势较为明显,当表观气速增加到 0.921 m/s 后,整个密相床层的压力脉动都比较平稳。

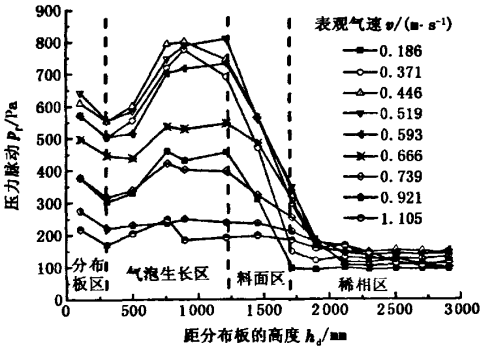


图 5 自由床的压力脉动分布

阳永荣等^[6]根据湍动流化床密相区不同高度气固滑移速度的不同,将密相区分为 3 个区域,分别为分布板影响区、气泡生长区和料面影响区。在分布板影响区,由于分布板的射流速度很大,造成气固之间很大的滑移速度,因此对应着较小的气泡直径和较高的气泡频率;在分布板影响区以上,由于射流的影响不断缩小,气体对固体的加速作用也逐渐变小,气固之间的滑移速度也随之减小,气泡逐渐开始聚并;在接近料面的区域,因为固体颗粒的回流,滑移速度又开始加大。

结合阳永荣等^[6]的理论和实验中测得的压力脉动轴向分布规律,也可以将床层密相区大致分为三个区(图 5)。压力脉动是床层整体行为的体现,

床层局部的压力脉动不仅受局部气固流动特性的影响,而且也同时受到来自上游和下游气固流动的影响。分布板影响区中影响压力脉动大小的主导因素是气体射流所引起的气体湍流强度,这就是该区内压力脉动要略高于气泡影响区下部的原因。在气泡生长区,气泡直径是影响压力脉动的主导因素,由于气泡的不断聚并,气泡直径逐渐增大,造成压力脉动随着高度的增大而不断增大。在料面影响区内,主导因素为稀相空间缓冲效应(或称“端效应”^[7])的影响,因此随着距离料面的高度减小,“端效应”越明显,压力脉动也随之降低。

另外,由于床层稀相空间很大,且固体浓度很小,气体为连续相,局部压力的变化在如此大的连续空间内会很快得到缓冲,因此这也是稀相空间内压力脉动较小的原因。

图 6 中给出了不同高度处自由床和挡板床压力脉动的对比。

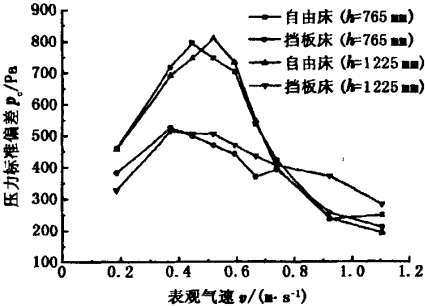


图 6 导向挡板对床层压力脉动的影响

由图 6 可以看出,挡板的存在对床层的流动特性具有非常大的影响,明显降低了床层的压力脉动,尤其是在 0.7 m/s 以下的低线速区。挡板床压力脉动降低的最主要原因应是挡板对气泡的破碎作用。另外,从图中还可以看出,当气速超过 0.7 m/s 后,挡板的存在造成了颗粒的循环运动,从而形成了床层局部区域气体分布的不均匀,因而挡板床的压力脉动并不比自由床低,甚至有时还比自由床高一些。因此可以认为,当床层已完全进入到湍动流化状态后,挡板对床层气泡的破碎作用已不再明显。

根据文献[8]的定义,压力脉动曲线的峰值点对应的横坐标位置就是起始湍动速度 v_c 。从图 6 还可以看出,挡板床的起始湍动速度明显低于自由床,这也同时说明了挡板对气泡的破碎作用。

2.4 密相床层膨胀

根据初始流化状态下床层的密度和正常操作时床层的平均密度的比值(膨水率)来衡量床层的膨

胀。

图7给出了挡板床和自由床密相床层膨胀率的对比。可以看出,挡板床明显比自由床具有更大的床层膨胀率。这一方面是因为挡板下方气垫的存在,另一方面由于挡板对气泡的破碎作用,床层内气泡平均直径较小,上升速度较慢,在床层中的停留时间较长,因而床层膨胀率也较大。

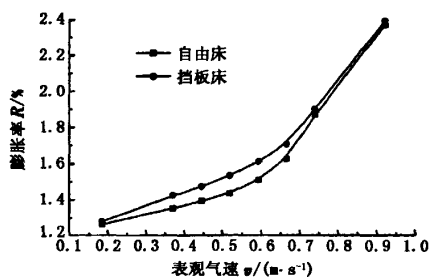


图7 挡板床和自由床密相床层膨胀率对比

3 结 论

(1) 在催化裂化颗粒流化床中加入挡板后,将在挡板下方出现一个低密度区,在挡板上方出现一个高密度区。随着表观气速的增加,相比床层主体密度,低密度区的密度逐渐降低,而高密度区的密度有所增加。

(2) 随着气速的增加,挡板下方的低密度区(或称“气垫”)的高度逐渐增加,反映了挡板对床层颗粒返混抑制能力的不断增强。

(3) 当气速低于 0.7 m/s 时,挡板的加入使床层的压力脉动大幅度降低,反映了挡板对气泡具有明显的破碎能力;当气速大于 0.7 m/s 时,压力脉动降低的幅度并不明显,甚至较自由床有所增加。

(4) 挡板的加入可以明显地使床层提前进入到湍动流化阶段。

(5) 和自由床相比,挡板床具有更大的床层膨胀率。

(6) 根据床层不同高度气固间滑落速度的不同以及沿高度方向压力脉动的分布,床层可以明显地分为分布板区、气泡生长区和料面影响区。

参考文献:

- [1] 张秀兰,李淑珍,耿建文,等. 挡板流态化床特征研究[C]//第二届全国流态化会议论文集. 1980:173.
- [2] YANG Gui-lin. Fluidization[C]//China-Japan Symp. Science and Technology Conference Papers. Beijing: Science Press, China, 1982: 236.
- [3] 金涌,俞芷青,张礼,等. 流化床反应器塔型内构件的研究[J]. 化工学报,1980(2):117-128.
JIN Yong, YU Zhi-qing, ZHANG Li, et al. Studies of pagoda internals in a fluidized reactor[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 1980(2):117-128.
- [4] 张永民,龙军,侯栓弟,等. 新型导向填料汽提器冷态实验研究[C]//中国石油学会第五届石油炼制学术年会论文集. 2005: 504-509.
- [5] 时钧,汪家鼎,余国琮,等. 化学工程手册[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,1996:91-96.
- [6] 阳永荣,戎顺照,陈甘棠. 湍动流化床的理论及实验的研究Ⅱ:床内的相分布与松弛现象[C]//第五届全国流态化会议论文集. 1990: 18-21.
- [7] 阳永荣,戎顺照,陈甘棠,等. 湍动流化床的流型与流型过渡[J]. 化学反应工程与工艺,1990(2):9-16.
YANG Yong-rong, RONG Shun-xi, CHEN Gan-tang, et al. Flow regimes and regime transitions in turbulent fluidized beds[J]. Chemical Reaction Engineering and Technology, 1990(2):9-16.
- [8] YERUSHALMI J, CANKURT N T. Further studies of the regimes of fluidization[J]. Powder Technology, 1979,24(2):187-205.

(编辑 刘为清)

石油百科知识:综合录井(三)

钻井液录井 是定时在井口返出钻井液的出口处从钻井液中捞取样品,并从中获取地下资料。一般需要测量钻井液密度,并分析钻井液所含烃类气体的变化。当钻遇油气层时,会因油气混入使烃类气体增加,钻井液密度降低,钻井液流速加快并有大量油花、气泡出现。此时应及时增加钻井液密度,否则油气大量侵入钻井液可能造成井涌,严重时甚至造成井喷。