

宽筛分粒子在流化床中的混合*

黄 健 榕

(华侨大学化工与生化工程系, 泉州 362011)

摘要 研究等密度宽筛分二元系统颗粒混合物的混合和离析. 得出流化床二元混合物完全流化的最小流化速度式, 且其计算值与实验值较为吻合. 同时分析气固流化床中的混合、离析与液固系统的相平衡图有类似之处, 获得等密度不同粒径比的各种相图.

关键词 气固流化床, 宽筛分粒子, 混合, 离析

分类号 TQ 051.13

流化床中粒子的粒径、密度和形状系数, 十分敏感地影响粒子混合物的混合和离析^[1,2]. 上浮物为密度轻(或粒径小)的粒子; 下沉物为密度重(或粒径大)的粒子. 上浮物相对于下沉物有较低的最小流化速度 u_{mf} . 1978 年 Nienow 等人发现, 在表观流化速度等于下沉物的最小流化速度时, 粒子能得到较好的混合; 1982 年 Yang 等人认为, 操作速度大于下沉物的最小流化速度, 粒子能得到完全混合. 所有这些研究都是集中在小(或轻)的粒子系统, 粒子的分布范围很窄, 而等密度系统的文章发表更少.

1 二元系统混合物的混合态

1.1 根据二元系统粒子的粒径、密度和形状系数的不同, 其混合态可以分为 3 种混合区域. (1) 离析区域, 即分布板区域. 区域内密度重(或粒径大)的粒子占主要成分, 颗粒处于完全分离状态. (2) 过渡混合区域, 即床层中部区域. 其密度轻(或粒径小)的粒子和密度重(或粒径大)的粒子, 相互混合床层顶部密度轻(或粒径小)的粒子占主要成分; 床层底部密度重(或粒径大)的粒子占主要成分. (3) 完全混合区域. 该区域大小轻重的粒子互相混合较好, 在流化条件达到时, 可得到完全混合状态.

1.2 离析和混合指数是离析和混合好坏的重要判据, 已被许多研究者提出. 1972 年 Rowe 等人定义的混合指数是最为简单的, 即 $M = X/\bar{X}_j$, 它是均匀床层顶部重组分(或大颗粒)的质量分数与全床的重组分的质量分数的比值.

2 试验和材料

本试验在小型有机玻璃床层上进行. 在直径为 0.15 m, 孔径为 1.0 mm, 开孔率为 0.56%

* 本文 1993-07-03 收到; 福建省自然科学基金资助项目

的多孔分布板上,贴上铜网以均布气体.直径为 0.21 m 小型园柱床,其气体分布板分别装有 7 个泡罩.泡罩底部的气流进入孔可调节流速,压力降可调节分布板泡罩的间隙大小,以达到均布气流.所用材料为:硅砂 $\rho=2\,680\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,颗粒的平均直径从 $0.208\times 10^{-3}\text{ m}$ 到 $1.450\times 10^{-3}\text{ m}$, u_{mf} 的实验值从 $0.032\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 到 $0.900\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;玻璃球 $\rho=2\,438\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,颗粒平均直径 $0.610\times 10^{-3}\sim 2.140\times 10^{-3}\text{ m}$, u_{mf} 的实验值从 $0.290\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 到 $1.160\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,铁球 $\rho=7\,440\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,颗粒平均直径 $0.388\times 10^{-3}\sim 0.138\times 10^{-3}\text{ m}$, u_{mf} 的实验值从 $35.2\times 10^2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 到 $18.1\times 10^2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;分子筛 $\rho=1\,500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,颗粒平均直径 $1.60\times 10^{-3}\sim 1.80\times 10^{-3}\text{ m}$, u_{mf} 的实验值为 $0.57\sim 0.66\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

根据 9 种硅砂,5 种玻璃珠,3 种铁球和 2 种分子筛的尺寸以及密度和配比,在实验开始时大(重)粒子置于底部,细(轻)粒子置于顶部,校正流量计,选择合适气速强烈流化 5 min,记下压力降和气体流速.采取两种不同的失流化过程.其一,快速失流化过程,是在床层中尽量快地降低表观气速,使之小于轻(或小)粒子的最小流化速度,然后再慢慢降低气速并测定床层压降 ΔP ,使床层达到最好的混合.其二,慢速失流化过程,是表观气速慢慢地减少到零,一般在 10 min 内结束.从快速失流化过程中,可以测得混合物的最小流化速度;从慢速失流化过程中,则可测得起始流化速度和完全流化速度.

3 结果和讨论

为寻找二元混合物完全流化的最小流化速度 u_{cf} ,可以不同的 ω_j, d_r 和 u_r 值进行关联,获得 $(u_j - u_{cf})/u_j = [(\bar{u}_{mf} - u_j)/u_j]^2$. 其中: ω_j 为下沉物在床层上部的质量分数; d_r 为颗粒直径比 (>1); u_r 为最小流化速度比; u_j 为重(大)组分的最小流化速度; \bar{u}_{mf} 为二元混合物的平均最小流化速度, $\bar{u}_{mf} = u_l(u_j/u_l)^{\bar{\omega}_j}$, 以此式代入上式,得

$$u_{cf} = u_j - u_j[1/(u_j/u_l)^{1-\bar{\omega}_j^2} - 1]^2,$$

式中, u_l 为轻(小)组分的最小流化速度; $\bar{\omega}_j$ 为下沉物在全床中的平均质量分数. u_{cf} 的实测值与计算值误差在 10% 左右,见图 1. 对等密度 $\rho_r=1$ 的宽筛分二元系统的 3 种配比: (a) $d_r=3.0, u_r=3.08$; (b) $d_r=4.6, u_r=6.36$; (c) $d_r=9.8, u_r=32.8$, 如图 2 所示. 其平衡相图与液固相图十分相似. 完全混合区是随着流速比的增大而加大的,亦即混合得到加强,离析的倾向则变小. 当 $u > u_{cf}$ 床层发生完全混合,粗细颗粒达到完全流化;当 $u < u_{cf}$, 床层逐渐趋向静止,达到失流化的状态.

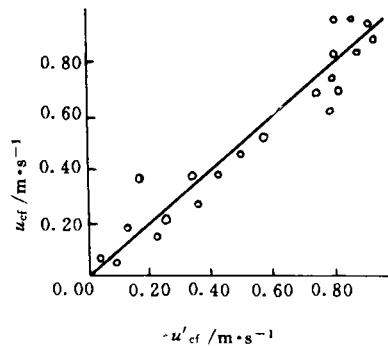
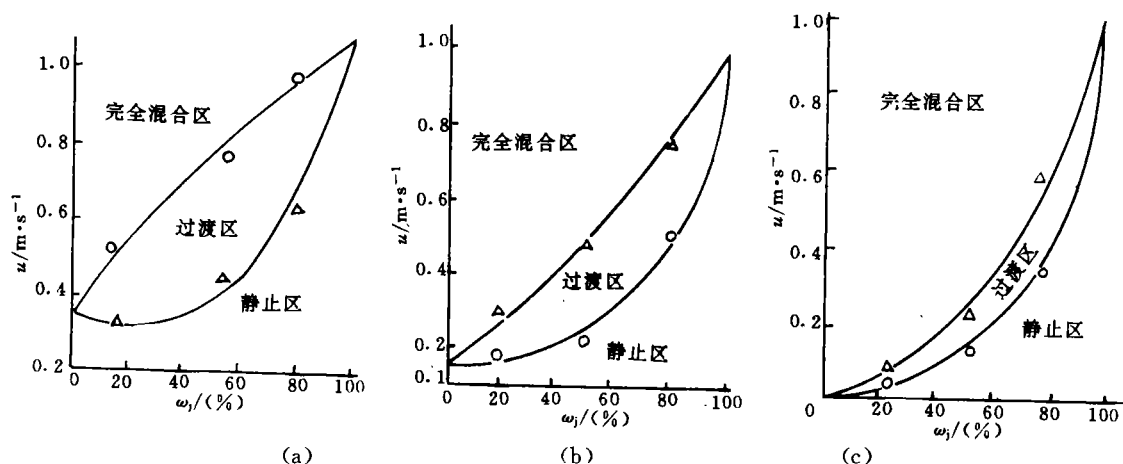


图 1 u'_{cf} 实测值与计算值 u_{cf} 的关系

4 结论

二元系统等密度宽筛分混合物的混合和离析经实验得到完全流化速度式的计算值与实验值较为吻合. 二元系统混合物 u_{cf} 与 u_{mf} 的相图,类似于液固系统的相图. 同时,过渡区面积随

图2 u_r 与 ω_1 的关系曲线

流化速度比的增大而减小,完全混合区则随流化速度比的增大而增大。

刘华信和朱艳同志参加部分实验工作,谨此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 黄健榕, Peeler J P K. 在小型和大型气固流化床中等密度宽筛分固体颗粒的分离. 化学反应工程与工艺, 1988, 4(3): 72~80
- 2 Peeler J P K, Huang J R. Segregation of wide size range particle mixtures in fluidized beds. Chem. Eng. Sci., 1989, 44(4,5): 113~1119
- 3 Gibilaro L G, Rowe P N. A model for a segregating gas fluidised bed. Chem. Eng. Sci., 1974, 29: 1403~1412

Mixing of Wide-Size Range Particles in Fluidized Beds

Huang Jianrong

(Dept. of Chem. & Biochem. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract The author dealt with the mixing and the segregation of a binary particulate mixture composed of isopycnic and wide-size range particles. In relation to a binary mixture fluidized completely in fluidized bed, a formula was proposed for computing its minimal fluidizing velocity, with the computed values quite coincident with experimental values. The similarity between the mixing and the segregation in a gas-solid fluidized bed and the phase-balance diagram of liquid-solid system was analyzed. Various phase diagrams of isopycnic and different particle diameter ratios were obtained.

Keywords gas-solid fluidized bed, wide size range particles or wide-screened particle, mixing, segregation