

氣、液、固三相磁流體化床之氣相滯留與流態分布特徵

計畫編號: NSC 88-2214-E002-008

執行期限: 87 年 8 月 1 日至 88 年 10 月 31 日

主持人: 呂理平 執行機構及單位名稱: 臺大化工

一、中文摘要

本計畫檢測氣、液、固三相磁流體化床之流體化行為以提供反應器設計所須資訊。氣、液、固相分別是空氣、水和鐵粒子(內徑分別是 0.19, 0.39 和 0.92 mm)。三相磁流體化床之徑向氣體滯留分布、平均氣體滯留及流態隨粒子大小改變等均列入探討。徑向氣體滯留分布影響氣、液間質傳速率及其流動型態甚大。本實驗首次以光纖探針量測徑向氣體滯留分布, 並探討徑向氣體滯留分布受流態改變之影響。

Abstract

This study examines the fluidization behavior of gas-liquid-solid magnetic fluidized beds (MFBs) to provide prerequisite knowledge for reactor design. The radial gas holdup distribution and overall gas holdup in three-phase magnetic fluidized beds have been measured. Air, water and iron shots (0.19, 0.39 and 0.92 mm in diameter) were used as gas, liquid and solid phases, respectively. Flow regimes of three-phase magnetic fluidized beds with different particle sizes were also discussed. The radial gas holdup distribution strongly affected the gas-to-liquid mass transfer rate and flow patterns of gas and liquid. This study presents experimental measurement of radial gas

holdup distribution by an optical fiber probe, the change of radial gas holdup distribution under different flow regimes was also studied.

Keywords: Fluidized bed, magnetic field, gas holdup, flow regimes.

二、緣由與目的

氣、液、固三相流體化床於化學、石油化學及生物化學工業程序上具相當重要之份量, 諸如石油殘餘的加氫、廢水處理、發酵、煤炭的液化及液、液萃取器。Filippov [1] 最早在 60 年代研究磁流體化床之流力行為, 早期的研究皆集中在氣、固反應器。直至今日三相磁流體化床之流力行為仍未被深入探討過。

Fu and Wu [2] 以電導度探針量測液、固及氣、液、固三相磁流體化床之徑向及平均氣體滯留。Ouyang et al. [3] 及 Kwauk et al. [4] 檢測於不同液體速度、氣體速度、粒徑大小及表面張力下之氣泡特性。Thompson and Worden [5] 提出實驗量測得之氣體滯留、液體軸向分散係數及氣、液間質傳係數。

內徑小於 1mm 的小粒子被廣泛的應用在生物化學程序諸如好氧及厭氧廢水處理、固定化及球狀成形微生物之培養。由小粒子構成之氣泡凝聚系統於磁場作用下之流力行為仍未被探討過, 本實驗提出三相磁流體化床之流態、徑向

氣體滯留分布及平均氣體滯留；以及徑向氣體滯留分布及平均氣體滯留隨著粒子大小於不同流態時的變化。

圖 1 顯示實驗裝置之示意圖。自來水是主要流體化介質，其流經裝載 2 kg 鐵粒子、內徑 0.08 m、高 0.5 m 之透明壓克力管，空氣則分散於此液體流體化床。床之分散板為開孔率 2.0 % 之穿孔板，其經過設計後可預防液體之穿流現象。光纖探針置於分散板上方 0.07 m 處，粒子床高度範圍則是 0.1 m-0.17 m。

由一對內徑為 0.16 m、相距 0.08 m 之螺線管提供均勻度 96 % 且不隨時間改變、最高為 23,880 A/m 之磁場強度。螺線管之電源由一直流電源供應器提供，空氣由一置於床底部、36 個內徑 1 mm 之圓洞均勻穿透之圓形氣體分散器進入床中。一特製內徑 1 mm 之圓錐狀塑膠光纖[6]用來直接測量局部氣體滯留，在探針及流體介面應用 Snell's law 可得

$$n \sin i = n_0 \sin i_0 \quad (1)$$

塑膠光纖之折射率為 1.62，當周圍液體之折射率小於 1.15 時光線將會反射回來，大於 1.15 時光線會散射出探針。圖 2 是一典型於實驗中探針所測得之反射光信號，而局部氣體滯留則由氣泡通過之時間與探測時間之分率得來。

$$\varepsilon_{gr} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T} \quad (2)$$

t_i 代表由氣泡所佔據之時間， T 是總量測時間。截面平均氣體滯留則由下式求得。

$$\bar{\varepsilon}_g = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R \varepsilon_{gr} 2\pi r dr \quad (3)$$

平均氣體滯留則由閥開關技術量測而得，這是在實驗進行中同時且快速關掉液體及氣體進料，平均氣體滯留則是留在反應器內氣體體積與整個反應器體積之比值。

三、結果與討論

三相磁流體化床之流態

以氣泡之流動型態來區分可將三相流體化床之流態如圖 3 來表示之。三個流態分別是氣泡分散區、氣泡凝聚區及駐塞流區。氣泡分散區隨著磁場的加入而變大，此乃肇因於固體粒子收縮而打破氣泡。明顯的影響氣泡分散區及氣泡凝聚區邊界之磁場強度定義為臨界磁場強度。圖 4 顯示臨界磁場強度隨著粒徑增大而減小，磁場對大粒子流體化床之影響較小粒子流體化床之影響來的大。

由本實驗數據所得臨界磁場強度隨粒徑變化之迴歸式如下：

$$H_c = 193 \cdot d_p^{-0.487} \quad (4)$$

徑向氣體滯留分布

圖 5 顯示於三相磁流體化床中氣泡凝聚區之徑向氣體滯留分布。明顯的氣體滯留分布曲線並非平滑，氣體滯留值由床中央向床壁遞減。加入磁場後，床中央之氣體滯留值隨磁場增加而增加，床壁之氣體滯留值隨磁場增加而減小。這意味著在氣泡凝聚區於磁場作用下氣泡傾向於由床中央向上流動。

圖 6 顯示於三相磁流體化床中氣泡破裂區之徑向氣體滯留分布，及其與 Yu and Kim [7] 之迴歸式作比較。加入磁場後，床中央之氣體滯留值隨磁場增加而減小，床壁之氣體滯留值隨磁場增加而增加。這意味著在氣泡破裂區於磁場作

用下氣泡傾向以駐塞流型式向上流動。

平均氣體滯留

平均氣體滯留可由兩種量測方式測得：(1)閥開關技術(2)光纖探針法。圖 7 顯示三相磁流體化床之平均氣體滯留，此值乃是經過四次重覆後之平均值，其標準偏差為 11 %。隨著磁場強度之增加，平均氣體滯留亦隨之增加。Hu and Wu [2] 亦提出相同結論，磁場使得床中氣泡內徑減小，氣泡上昇氣泡亦下降因此平均氣體滯留隨之增加。

於氣泡凝聚區平均氣體滯留較不受磁場強度之影響。而於氣泡破裂區平均氣體滯留受磁場強度之影響較大，且其隨著流態改變而有劇烈之改變。圖 8 顯示三相磁流體化床之平均氣體滯留與 Hu and Wu [2] 之迴歸式相比較。磁場對小粒子三相流體化床之平均氣體滯留較大粒子之平均氣體滯留影響來的大些。

四、計畫成果自評

1. 臨界磁場強度隨粒徑增加而減小。
2. 於氣泡凝聚區之徑向氣體滯留分布隨磁場強度增加而更陡峭，於氣泡破裂區隨磁場強度增加而更平緩。
3. 平均氣體滯留隨磁場強度增加而增加。
4. 徑向氣體滯留分布及平均氣體滯留均隨流態改變而有劇烈變化。

五、參考文獻

- [1] Filippov, M. V., "The effect of magnetic field on a suspended bed of ferromagnetic particles", *Prik. Magn. Lat. SSR*, 12, 215 (1960).
- [2] Hu, T. T. and J. Y. Wu, "Study on the characteristics of a biological fluidized bed in a magnetic field", *Chem. Eng. Res. Des.*, 65, 238 (1987).

[3] Cuyang, F., Y. Wu, C. Guo and M. Kwauk,

"Fluidization under external forces (I) Magnetized fluidization", *J. Chem. Ind. Eng. (China)*, 5, 206 (1990).

[4] Kwauk, M., X. Ma, F. Ouyang, Y. Wu, D. Weng and L. Chang, "Magneto-fluidized G/L/S systems", *Chem. Eng. Sci.*, 47, 3467 (1992).

[5] Thompson, V. S. and R. M. Worden,

"Phase holdup, liquid dispersion and gas-to-liquid mass transfer measurement in a three phase magnetofluidized bed", *Chem. Eng. Sci.*, 52, 279 (1997).

[6] Abuaf, N., O. C. Jones Jr. and G. A. Zimmer, "Optical probe for local void fraction and interface velocity measurements", *Rev. Sci. Instrum.*, 49, 1090 (1978).

[7] Kim, S. D., C. G. Baker and M. A. Bergougnou, "Holdup and axial mixing characteristics of two- and three-phase fluidized beds", *Can. J. Chem. Eng.*, 50, 695 (1972).

[8] Yu, Y. H. and S. D. Kim, "Bubble characteristics in the radial direction of three-phase fluidized beds", *AIChE J.*, 34, 2069 (1988).

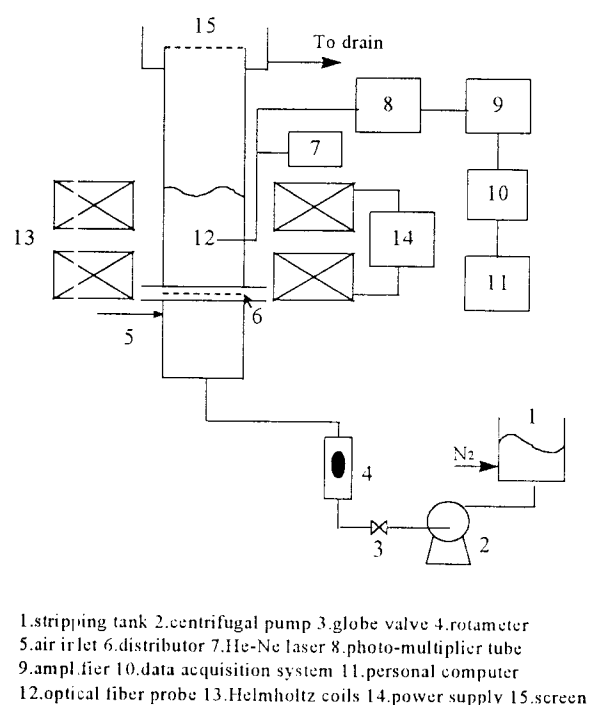


Fig. 1. Experimental setup

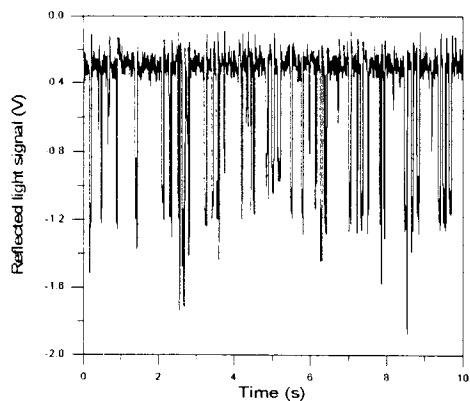


Fig. 2. Typical response signals of bubble measurements.

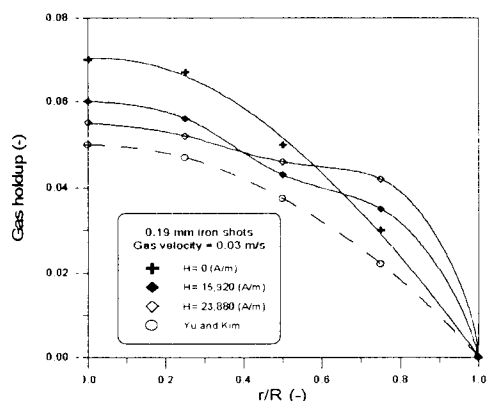


Fig. 6. The radial gas holdup distribution in the dispersed bubble regime.

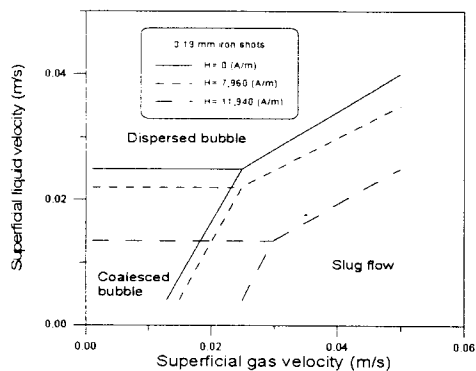


Fig. 3. The flow regime map of three-phase magnetic fluidized beds.

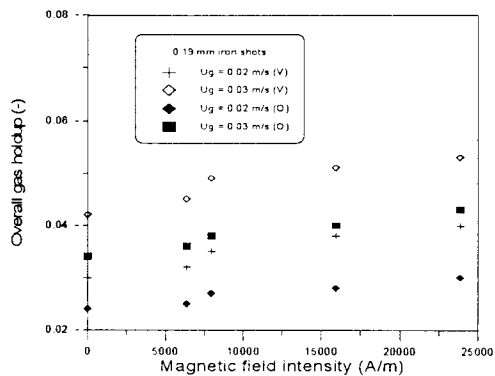


Fig. 7. Effect of magnetic field intensity on overall gas holdup (V:valve technique, O:optical fiber probe method).

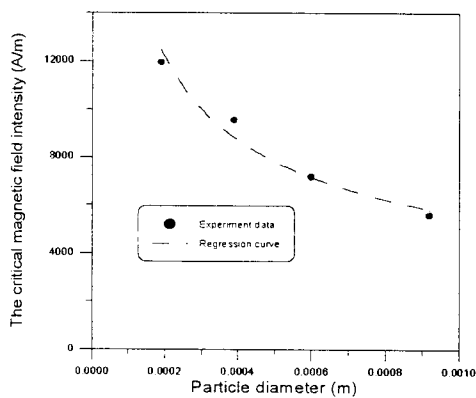


Fig. 4. The effect of particle diameter on the critical magnetic field intensity.

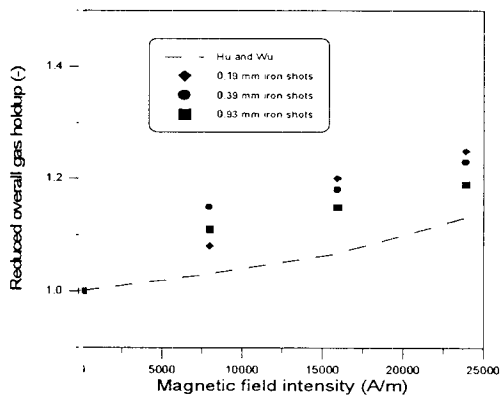


Fig. 8. Comparison of effect of magnetic field intensity on overall gas holdup.

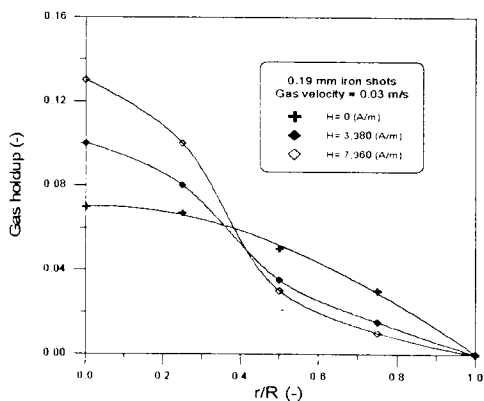


Fig. 5. The radial gas holdup distribution in the coalesced bubble regime.