

## 紊流流體化床之起始與遷移

### On Set of Turbulent Fluidization and Regime Transition

國科會計畫編號：NSC89-2214-E-002-041

執行期限：89年8月1日至90年10月31日

主持人：呂理平(LP.Leu) 國立台灣大學 化學工程學系

**摘要**—本實驗是在內徑 7cm、高 2m 的流體化床中，以 FCC 及數種粒徑的 Sand 粒子為研究對象，利用不同軸向位置的壓力探針，量測相對與絕對壓力擾動隨氣體流速變化的情形。由壓力擾動的分析可知，利用相對壓力擾動的測量方式可以得到  $U_c$  及  $U_k$ ；但是利用絕對壓力擾動只能得到  $U_c$ 。而且，兩方式所得  $U_c$  及  $U_k$  皆隨粒子粒徑的增加而增大。更進一步，隨著相對壓力探針間距的增加，其結果會和絕對壓力擾動所得漸趨一致。改變靜床高對  $U_c$  不會有太大的影響，而  $U_k$  則隨著靜床高的增加而有些微的增加。

**Abstract**- Gas velocities at which transition occurred from bubbling to turbulent fluidization with FCC particle and several sand particles were determined by the measurement of the pressure fluctuations. The results show that both  $U_c$  and  $U_k$  could be obtained by the measurement of the differential pressure fluctuations but only  $U_c$  obtained by the method of the absolute pressure fluctuations. Both  $U_c$  and  $U_k$  increased with the particle size increasing. Furthermore  $U_k$  would disappear when the distance between two pressure probes of differential pressure fluctuations became far enough, the result was similar to the result of the absolute pressure fluctuations. The static bed height did not have any effect on  $U_c$ , but the value of  $U_k$  increased slightly with the increase of static bed height.

**關鍵詞**：流體化、紊流流體化、氣泡流體化、流態轉變

**Keywords**: fluidization, turbulent fluidization, bubbling fluidization, regime transition

#### 一、緒論

觀察氣固系統之不同流態，當氣體流速超過最小流體化速度時，可觀察到氣體氣泡與川流 (channeling) 的發生，此造成系統極大的不穩定 (instability)，若繼續增加氣體流速，此時氣體攪動變的更激烈，而固體的運動也變的更有力。一般稱此時為氣泡流體化 (bubbling fluidization)。

當由氣泡流體化床中，緩慢增加氣體流速，大型氣泡或駐塞破裂，床中非均勻的兩相特徵逐漸消失，結構亦趨向一均勻 (homogeneity) 的流態稱為紊流流體化 (turbulent fluidization)。此時氣固間之交互作用很大，接觸亦佳而固體則混和激烈。

從早期 Lanneau (1960) 研究氣泡流體化和紊流流體化間之流態變化開始，紊流流體化及以均一性 (uniformity)、氣固間接觸效率高與操作速度高等優點受人重視，其後 Yerushalmi et al. (1978) 利用床中壓力擾動之平均振幅與氣體速度間之關係，來判斷流態轉移時之氣體速度，如此更使得紊流流體化之研究引人注目。Yerushalmi and Avidan (1985) 對系統流態變化之描述為，開始時氣體流速小，床中粒子的流態唯一含小氣泡之氣泡流體化，隨著流體化床中氣體流速的增加，粒子床中因氣泡之形成頻率增加和氣泡間合併速度加快，使得氣泡之活動更加激烈，當氣泡形成之直徑約大於管壁直徑時，床中即發生駐塞 (slug) 現象，由於氣泡或駐塞之帶動和粒子本身之重力作用，使得粒子於床中劇烈地上下運動，隨著固體粒子之運動，床中氣體壓力隨之呈現擾動現象，現象愈嚴重，擾動亦愈大，最後達到一最高值，此時之氣體速度即為  $U_c$ 。隨後由於大型氣泡或駐塞因擾動激烈而迅速破裂聚合，以致床中均勻性逐漸增加，也就是說，兩相間之不均一性漸漸消失而趨向於形成一均勻的狀態。

#### 二、實驗裝置與步驟

實驗裝置如 Fig.1 所示，床為內徑 0.07m、高 2m，使用透明易觀察之壓克力管製成，床體下半部（分散板上 10cm）連接一 L 型閥（L-valve），並通以壓縮空氣，使粒子順利回流到管內。壓克力管製成的管柱，從底部開始，每 20cm 處之管壁上開孔，還有分散板下 3cm 管壁處開孔，作為壓力探針之接頭，以便與壓力量測裝置連接，來量測床內壓力擾動訊號。Table 1 表示本實驗所使用的四種不同粒子。

### 三、結果與討論

#### 3-1. 由氣泡流體化到紊流流體化的流態轉變

從 Fig. 2 吾人發現，隨著氣體流速的增大，利用相對壓力擾動標準偏差來決定流態的變化時，可以得到擾動的極大值及齊平區的起點。把這兩者與流態轉變的論點加以對照即可了解，其實他們就是氣泡床到紊流床間轉變態的起點  $U_c$  及終點  $U_k$ 。而探針距離愈來愈遠時，齊平的現象會愈來愈不明顯， $U_k$  無法讀出，反而愈接近在分散板下方所量測的單點圖形。

#### 3-2. 絕對壓力擾動的量測

從 Fig. 3 吾人發現，隨著氣體流速的增加，在吾人的量測範圍內，利用絕對壓力擾動的標準偏差來決定流態的變化時，都只能得到  $U_c$ ，而無法得到  $U_k$ 。其結果與 Chehbouni et al.(1994) 相類似。其結果比較見 Table 2 及 Table 3。

#### 3-3. 壓力時間曲線

Fig. 4 為壓力 vs. 時間圖形，從低流速到  $U_c$ ，壓力擾動的振幅隨流速增加而增加，這是因為氣泡與駐塞的形成與接合， $U_c$  時，振幅為最大；高於  $U_c$  時，當流速增加，壓力擾動的振幅減小。此結果與壓力擾動的標準偏差對氣體流速所作的圖相吻合。

#### 3-4. 靜床高對壓力擾動結果的影響

從 Fig. 5 中吾人發現，改變靜床高度 ( $H_s$ )，其  $U_c$  並不會有太大的改變，保持在 0.3m/s 左右，而  $U_k$  則隨著靜床高增加，有增加的趨勢，在靜床高 35cm 時， $U_k$  為 0.7m/s，而靜床高 25cm 時， $U_k$  則為 0.6m/s。這與 Rhodes and Geldart (1986) 的實驗結果顯示，靜床高愈高， $U_c$  改變不大，但  $U_k$  則會增大，結論相吻合。

### 四、結論

1. 由壓力擾動標準偏差對氣體流速作圖的結果可知，利用相對壓力擾動的量測方式可以得到  $U_c$  及  $U_k$  值，而利用絕對壓力擾動的測量方式只能得到  $U_c$ 。
2. 由不同粒徑 Geldart A、B 類粒子之相對或絕對壓力擾動標準偏差對氣體流速作

圖，吾人發現，不論是  $U_c$  或  $U_k$  皆隨粒子粒徑的增加而增大。

3. 由不同探針間距對相對壓力擾動影響的實驗，吾人可以知道，隨著探針間距的增加， $U_k$  的位置會逐漸不明顯。當探針間距大到某一程度時，其結果會和絕對壓力擾動所得一致。
4. 由相對壓力擾動實驗所得到的  $U_k$  值，與其他文獻比較，吾人認為， $U_k$  值受回流裝置影響甚鉅。
5. 由不同靜床高對壓力擾動影響的實驗，吾人可以知道，改變靜床高對  $U_c$  不會有太大的影響，而  $U_k$  則隨著靜床高的增加而增加。

### 五、符號說明

- $d_p$  : mean particle diameter [m]  
 $H_s$  : static height of bed [m]  
 $U$  : superficial velocity of gas in bed [m/s]  
 $U_c$  : transition velocity at which standard deviation of pressure fluctuations reaches a maximum [m/s]  
 $U_k$  : superficial gas velocity corresponding to levelling out of pressure fluctuation amplitude as  $U$  is increased [m/s]  
 $U_{mf}$  : superficial velocity of gas in bed at minimum fluidization [m/s]  
 $z$  : axial coordinate [m]

### Greek Symbol

- $\rho_s$  : particle density [kg/m<sup>3</sup>]

### 六、參考文獻

- Chebouni, A., J. Chaouki, C. Guy and D. Kivana, "Characterization of the Flow Transition between Bubbling and Turbulent Fluidization", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33, 1889 (1994).  
 Lanneau, K. P., "Gas-solids contacting in Fluidized Beds", *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 38, 1125 (1960).  
 Rhode, M. J. and D. Geldart, "Transition to Turbulence ?" in "Fluidization V" (K. Ostetgarrd and A. Sorenson, eds.), p. 281, Engineering Foundation, New York (1986).  
 Yerushalmi, J. and A. A. Avidan, "High Velocity Fluidization", in "Fluidization" (J. F. Davidson, R. Clift and D. Harrison, eds.), 2<sup>nd</sup> ed., p.125, Academic Press, Dondon, GB (1985).  
 Yerushalmi, J., N.T. Cankurt, D. G. Geldart and B. Liss, "Flow Regimes in Vertical

七、圖表說明

Table 1. Properties of solid particles.

Solid particle	FCC(P1)	Sand(P2)	Sand(P3)	Sand(P3)
Geldart classification	A	B	B	B
$d_p$ range ( $\mu m$ )	-	149-177	177-210	250-297
$d_{p,av}$ ( $\mu m$ )	72	163	194	274
$\rho_s$ ( $kg/m^3$ )	1880	2633	2633	2633
$U_{mf}$ (m/s)	0.003	0.023	0.030	0.066

Table 2. Comparison of experimental values  $U_c$  and  $U_k$  by differential pressure fluctuations.

Solid particle	FCC(P1)	Sand(P2)	Sand(P3)	Sand(P4)
$U_c$ (m/s)	0.35	0.90	1.00	1.40
$U_k$ (m/s)	0.71	1.15	1.40	1.60

Table 3. Comparison of experimental values  $U_c$  and  $U_k$  by absolute pressure fluctuations.

Solid particle	FCC(P1)	Sand(P2)	Sand(P3)	Sand(P3)
$U_c$ (m/s)	0.28	0.85	0.90	1.20

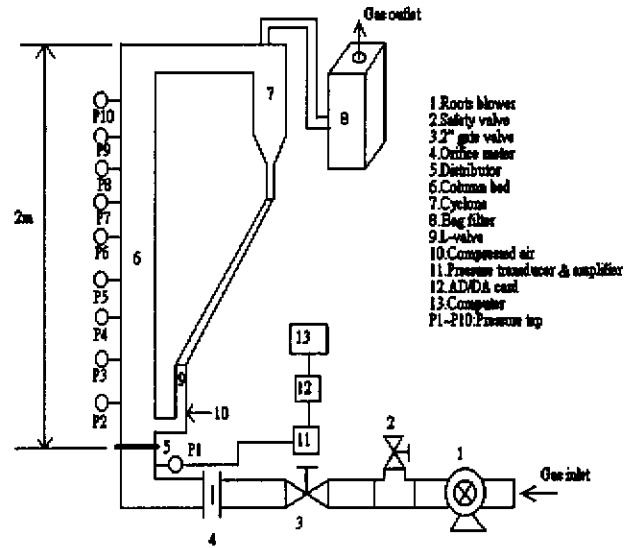


Figure 1. Experimental setup.

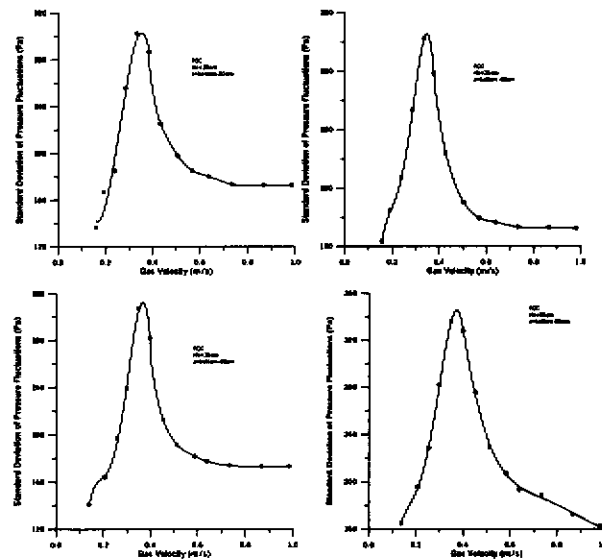


Figure 2. Comparison of different axial positions plotted as standard deviation of differential pressure fluctuations vs. gas velocity for FCC particles.  $H_s=35cm$ .

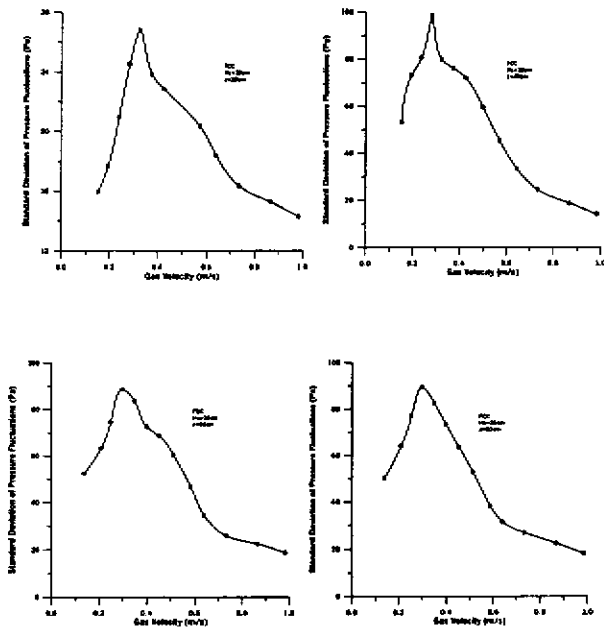


Figure 3. Comparison of different axial positions plotted as standard deviation of absolute pressure fluctuations vs. gas velocity for FCC particles.  $H_s=35\text{cm}$ .

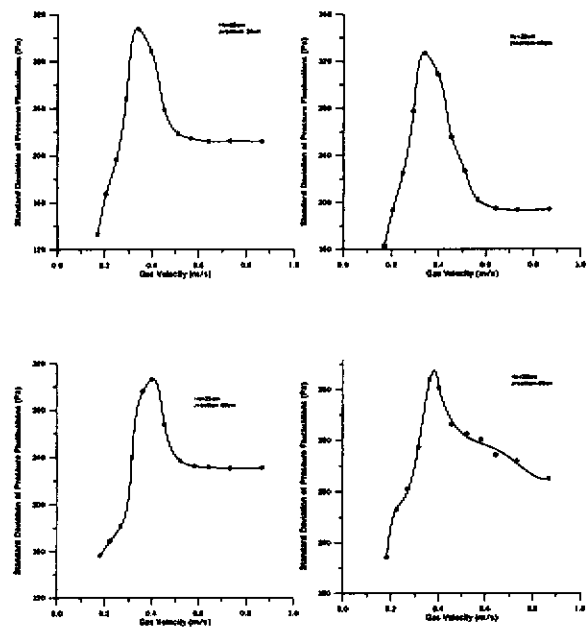


Figure 5. Standard deviation of differential pressure fluctuations vs. gas velocity for FCC particles.  $H_s=25\text{cm}$ .

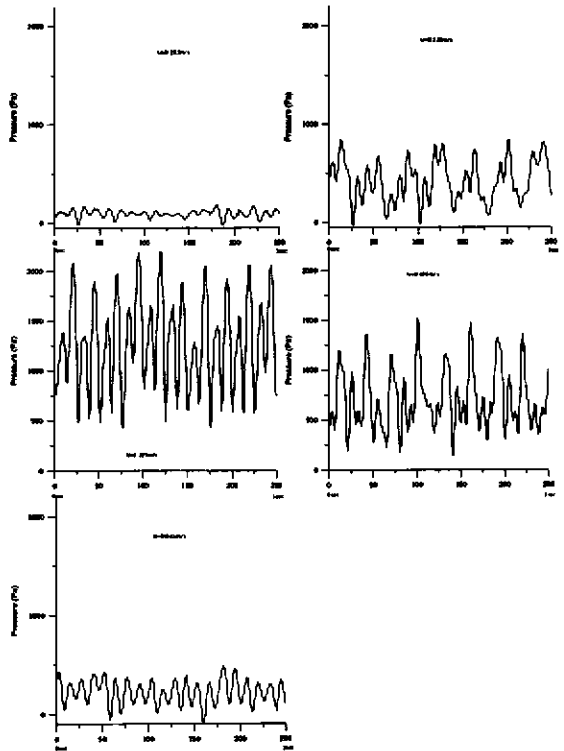


Figure 4. Pressure fluctuations from absolute probe for FCC particles.  $z=20\text{cm}$ .  $H_s=35\text{cm}$ .