

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

粒子在旋回氣流管中之流動特性

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2214-E-002-016-

執行期間：91 年 08 月 01 日至 93 年 01 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學化學工程學系暨研究所

計畫主持人：呂維明

計畫參與人員：盧昱彰

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 5 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫期末報告

[illegible]

計畫類別： ☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC91-2214-E002-016

執行期間： 91 年 8 月 1 日至 93 年 1 月 31 日

計畫主持人：呂維明 教授

共同主持人：李篤中 教授

執行單位：國立台灣大學化學工程系

中 華 民 國 93 年 4 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期末報告

粒子在旋回氣流管中之流動特性

計劃編號：NSC 91-2214-E-002-016

執行期限：91 年 8 月 1 日至 93 年 1 月 31 日

主持人：呂維明 教授

研究生：盧昱彰

執行機構：台灣大學 化學工程學系

一、計畫摘要

欲探討旋回氣流管中粒子之流動特性，首先採取實驗與數值模擬之方法探討單相氣體之流態與速度分佈、壓力分佈，以瞭解其流動特性。其次，使用單一粒徑之聚苯乙烯研究氣體流速與氣固相荷重比對其滯留時間之影響，此可作為設計反應器之參考。同時也可對此種具旋轉特性之流體對其粒子之影響進一步瞭解。最後，針對氣固兩相旋回氣流管系統中熱傳之部份進行探討。

關鍵字：旋回流管、數值模擬、氣固二相流

二、緣由與目的

旋回流管系統於工業上有廣泛之應用，於輸送、篩選、燃燒及乾燥等方面皆具有優良的特性。然而，具旋轉性質之流體其流態與運動模式會受其系統之改變而產生顯著的影響，使其流態與滯留時間有很大之差別，加上其定量測量之困難性，使其缺乏較完整之定量結果。電腦模擬之快速發展，提供一個微觀探討與解釋實驗現象之方法，省卻實驗操作之困難及時間、費用等，為一實用輔助工具。

三、研究方法

實驗裝置與步驟

利用壓克力管製成兩支不同規格之旋回氣流管，一為量測單相氣體之速度分佈，另一為針對兩相系統之實驗設計，其粒子之特性如表一。其設備之裝置流程圖如圖一所示。熱傳部份針對氣固兩相進行熱平衡，以求得其熱傳係數，並探討氣體速度對於熱傳之影響。

Table 1 The physical property of PS

D_p	0.11 cm
k_p	$1.00-1.37 (10^{-3} \text{ J/sec cm}^\circ\text{C})$
C_p	$1.34-1.46 (\text{J}/^\circ\text{C g})$

首先使用改良過皮托管量測速度分佈，壓力傳送器求得壓力分佈，利用旋轉盤求得其滯留時間分佈。以熱電偶量測氣相與固相之溫度，代入公式求得熱傳係數。

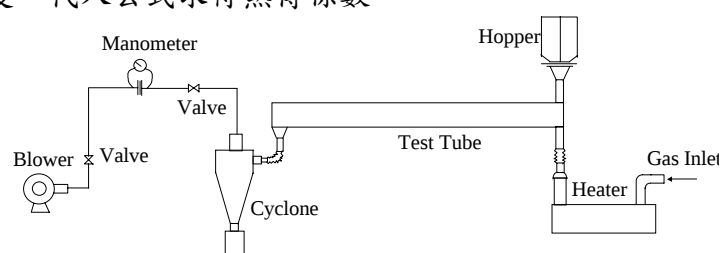


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

數值模擬

使用商用計算流體軟體(Fluent)，首先針對裝置之幾何形狀進行網格建立，接著，輸入邊界條件與物理參數，以符合所操作之條件，對於所操作之流速，採取幾種不同之紊流模式進行探討，以分析數值方法之可行性。

四、結果與討論

單相旋回流系統

當氣體進入旋回管時，切線速度分佈如圖二所示，其最高點靠近管壁附近，而當漸漸往軸向方式前進時，切線速度分佈的最高點逐漸降低，且向軸心方向移動。越靠近出口端，切線速度越平緩，軸心附近的切線速度呈直線分佈，顯示有強迫窩流。而圖三則顯示軸向速度之分佈，圖中顯示各軸向位置靠近軸心處，其軸向速度為負，靠近管壁為正值，顯見旋回管內的流體流動包含軸心區的逆流和軸心與管壁間的順流逆層。而圖四與圖五則分別表示數值模擬之結果，可發現預測切線速度可得到較準確的值，而軸向速度卻與實驗相差較多，這顯示旋回流管中因帶有旋轉之特性，使其解析困難，主因為紊流模式對於此系統雷諾應力項解析能力之不足所造成。圖六為壓力分布圖。

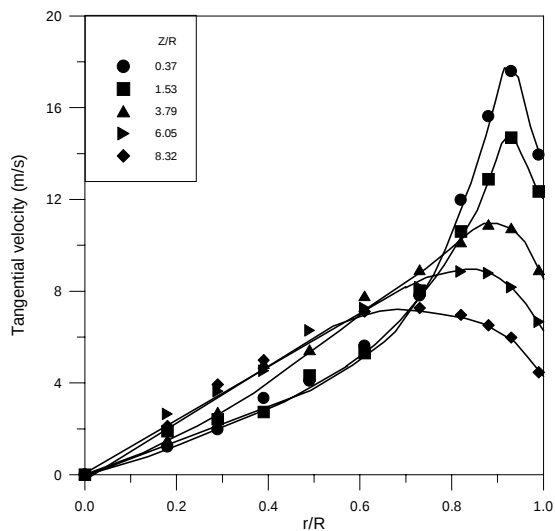


Fig.2 Tangential velocity profile in swirling flow at inlet velocity 24m/s

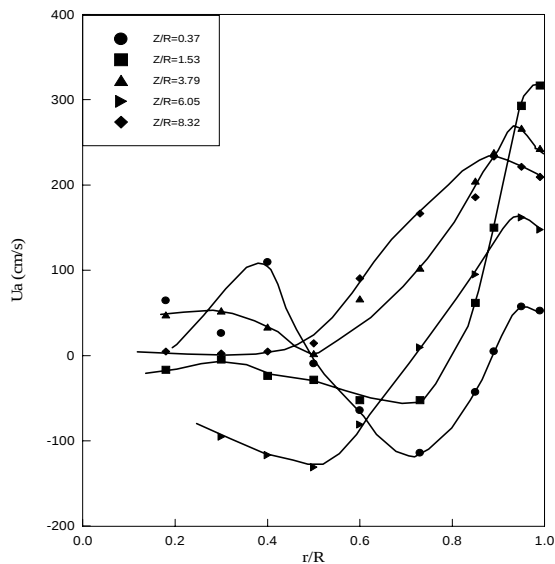


Fig.3 Axial velocity profile in swirling flow at inlet velocity 24 m/s.

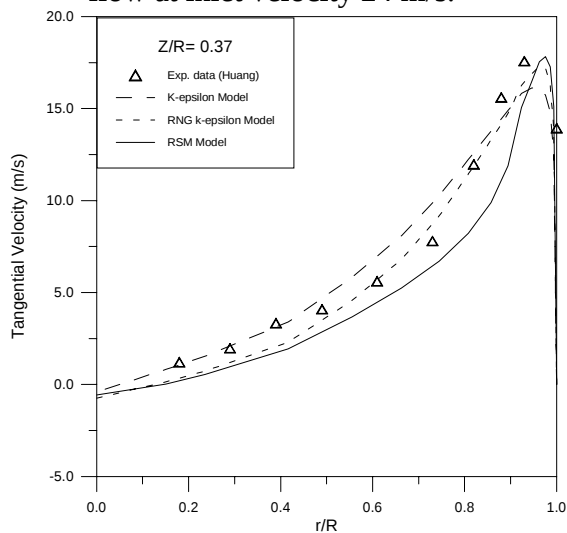


Fig.4 Comparison with tangential velocity between experiments and simulation results at inlet velocity 24 m/s

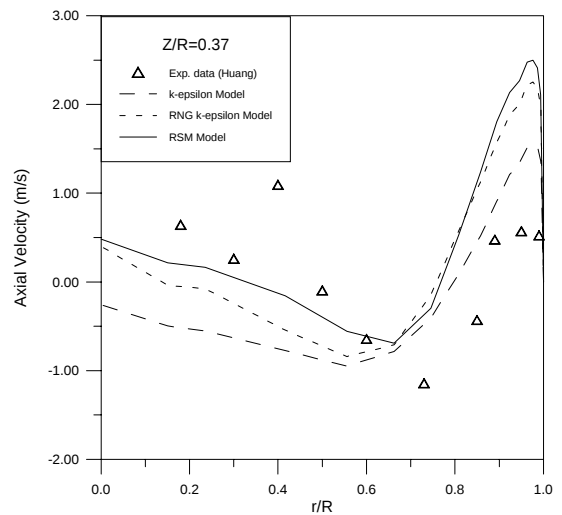


Fig.5 Comparison with tangential velocity between experiments and simulation results at inlet velocity 24 m/s..

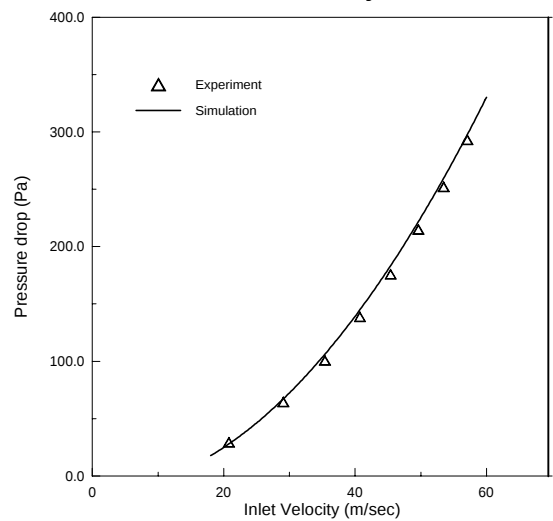


Fig.6 Pressure drop in the swirling tube compared between experiment and simulation

氣-固兩相旋回流系統

如同直流管氣流輸送固體系統，在旋回流管中，固體粒子同時受到氣體作用力、重力與摩擦力。若氣體流速低於某一臨界速度則固體粒子便因重力與摩擦力之影響產生沈降，導致系統無法運作。當氣體速度大於臨界速度時，由旋回氣流管中之固體粒子平均滯留量及固體粒子質量流率可求得固體粒子的平均滯留時間。其結果如圖七。圖中虛線表固體沈積之點，所以其對應之氣體速度即為臨界速度。如圖八所示，可得知固體粒子沈降的臨界溫度將隨 F_g/F_g 之增加而增加。

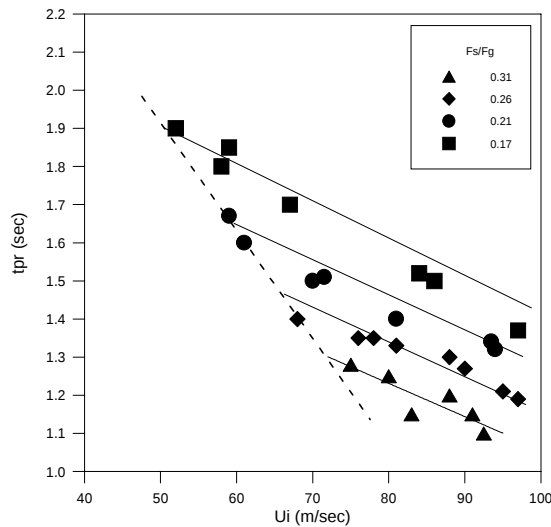


Fig. 7 Effect of air inlet velocity on solid average residence time in air-solid swirling flow

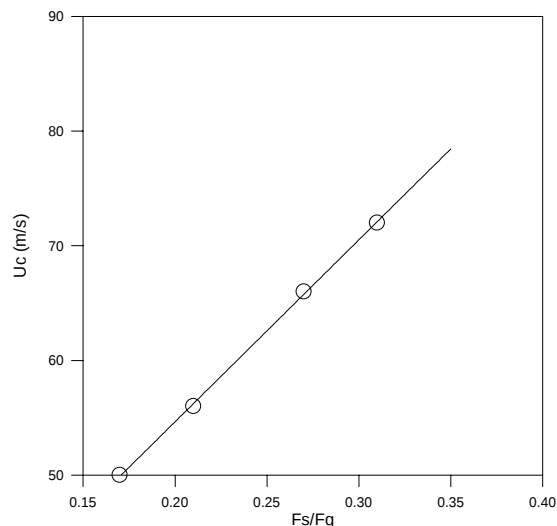


Fig. 8 Critical velocity vs. mass loading

旋回流管中氣-固熱傳研究

增加氣體入口速度將增加氣體帶動固體粒子的力量，也同時增加管壁施予固體粒子之摩擦力，因而固體流速增加不多，此時氣固相對速度增大的話，則氣體與固體熱對流提高。因此當氣體入口速度越大，氣固間熱傳係數越高，如圖九。將氣固間相對速度及熱傳係數無因次化後，可得實驗式：

$$Nu_p \propto Re_p^{0.46} \quad (1)$$

如圖十所式，可得知 Nu_p 和 F_s/F_g 之關係。在旋回氣流管中，當 F_s/F_g 增加時， Nu_p 反而減小，其所得之實驗式為：

$$Nu_p \propto (F_s/F_g)^{-0.53} \quad (2)$$

蓋因旋回氣流管中固體粒子濃度增加時，固體粒子在管內之流程並未變長，因而粒子堆

積在管壁的層次增加而使氣固接觸情形更壞。因此綜合結果合併式(1)及式(2)，得：

$$Nu_p = 0.126 Re_p^{0.46} (F_s/F_g)^{-0.53} \quad (3)$$

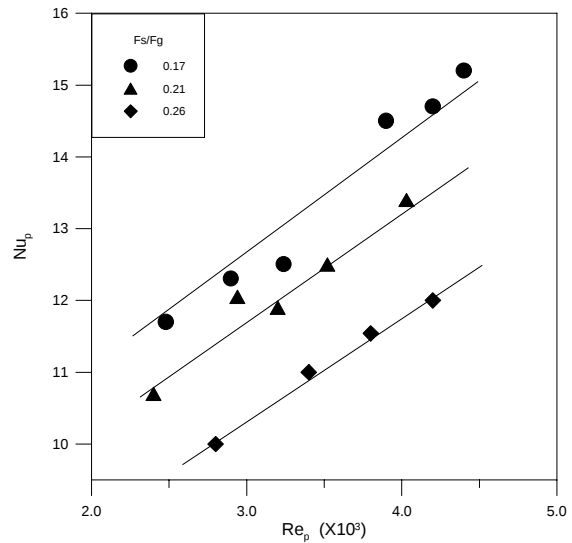


Fig.9 Effect of air inlet velocity on heat transfer coefficient between air and solid in swirling flow

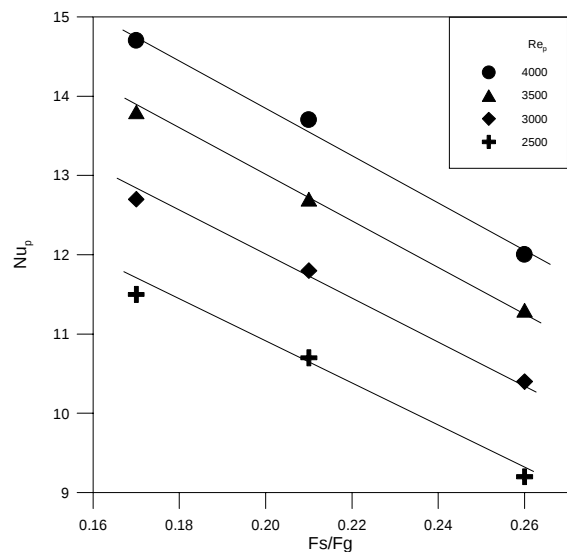


Fig.10 Effect of F_s/F_g on heat transfer coefficient between air and solid in swirling flow

五、結論

針對旋回流中之氣體流速，以實驗方法求得，利用數值模擬配合不同之紊流模式，得到相當大之符合性。然而對於氣體流動之紊流應力部份，則需更多之研究發展更完整之紊流模式。粒子於旋回流管中，平均滯留時間隨著氣體速度與固體粒子濃度增加而降低，而粒子之臨界旋回速度，也隨著氣體速

度之增加而增加。而對於氣固間熱傳係數隨氣體入口速度增加而增加，但隨固體濃度濃度增加而減小。

六、計畫成果自評

此計畫中，使用數值模擬方法針對氣相之流態與速度分析提供了一個強有力之方法，可降低實驗所需之時間。然針對旋回流中紊流強度與雷諾應力則需要發展更準確之紊流模式，以提供計算粒子運動之速度分佈。除此，單一粒徑粒子於旋回氣流管中之流動特性有初步之結果，但若粒子具有粒徑分佈，則其整個於管中之流態，與粒子之滯留時間，則必須深入研究。將粒子之碰撞與運動模式與氣相數值模擬相結合以建立強有力之設計技術，提供更多之資訊，為一重要之課題。

七、參考文獻

- Lay, J.E., “ An experimental and analytical study of vortex-flow temperature separation by superposition of spiral and axial flows,” *J. Heat Transfer*, **81**, 202-222 (1959)
- Sibulkin, M.,” Unsteady, viscous, circular flow, part 3. Application to the Ranque-Hilsch vortex tube,” *J. Fluid Mech.*, **12**, 269-293 (1962)
- King, M.K., R.R. Rothfus and R.I. Kermode,” Static pressure and velocity profiles in swirling incompressible tube flow,” *AIChE J.*, **15**(6), 837-842 (1969)
- Zhou, L.X., Y. Li, T. Chen and Y. Xu,” Studies on the effect of swirl numbers on strongly swirling turbulent gas-particle flows using a phase-Doppler particle anemometer,” *Powder Tech.*, **112**, 79-86 (2000)