

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
高溫廢氣淨化-流動式顆粒床過濾技術開發整合型研究-
顆粒體輸送器性能測試

Performance Test of Granule Pneumatic Conveyer

計畫編號：NSC 88-2218-E002-037

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：郭景宗 國立台灣大學機械工程學研究所

E-mail: jtkuo@w3.me.ntu.edu.tw

一、摘要

1-1 中文摘要

固氣混合的噴流式顆粒體輸送器是氣體動力輸送裝置中應用相當廣泛的驅動裝置。然而，在實際輸送時常伴隨能量的損耗，為了將噴流式輸送器作最佳化設計，以滿足能量傳輸效率與性能需求。所以建立一套噴流式輸送器性能分析模式是非常重要的。

影響噴流式輸送器性能參數有兩組，一組參數包括主噴嘴出口與混合段的管徑比、主噴嘴出口與次噴嘴入口之間距及擴散段的長度與擴散角度，這些參數會影響粒子輸送的質量流率與粒子輸送的距離。第二組參數為混合段長度，它影響固氣混合比率，及後續擴散段中粒子與氣體得能量交換。

實驗所使用的兩套噴流式顆粒體輸送器，其中影響噴流式輸送器的設計參數都是可調式的。量測的數據包括管內壓力與顆粒速度分布，並在室溫下與理

論計算結果互相比較。實驗結果顯示主噴嘴出口與次噴嘴入口間距有一最佳值，當出入口間距太長時，會使得供料斗中產生正壓吹出粒子，當距離太短時，粒子流入噴流式輸送器的截面嚴重受限，這兩種情況，都會造成粒子質量流率的降低。

關鍵詞：顆粒體輸送器 粒子質量流率、傳輸效率

1-2 英文摘要

Air/solid-injectors are used as feeding devices for many pneumatic transport applications. The development of an injector performance analysis model based on the knowledge of pressure distribution and velocities of solid particles in the injector is essential for achieving optimum design for good efficiency and performance. In this work, one-dimensional equations to model the flows of solids and the transporting air were established. Two laboratory scale air/solid-injectors with adjustable design parameters were constructed. The measured quantities include the pressure

profiles and solid velocity distributions in the injector. The model predictions are compared with test results under cold conditions. One important design parameter is the distance between the exit of the primary nozzle and the inlet of the secondary nozzle. Test results indicated that there is an optimum exit-to-inlet distance that can produce a maximum solid flow. If the exit-to-inlet distance is too large, a positive pressure may develop in the region near the primary nozzle exit, which could cause solids blowout. On the other hand, when the exit-to-inlet distance is too small, the area for solids flow may be seriously restricted. Both extremes would cause a drop in solids flow rate.

Keywords: Air/solid-Injector, solids Flow Rate, Injector Performance

二、緣由與目的

本計畫案之主要研究目的為發展以顆粒體為過濾介質的高溫廢氣淨化技術。顆粒體再生循環系統是流動式顆粒過濾床廢氣淨化技術的重要環節之一，主要的功能是輸送循環顆粒體再生使用，其性能在整體系統中扮演關鍵性的角色，而噴流式顆粒體輸送器又是顆粒體再生循環系統的心臟，其重要性可想而知。噴流式輸送器是經常使用到的輸送裝置，工業上的應用廣泛，舉凡石化業，水泥業，煤灰，化學製藥，砂粒，農業，冷凍空調及焚化爐灰渣的輸送。本計畫乃針對影響噴流式顆粒體輸送器性能之參數進行實驗研究，建立設計噴流式顆粒體輸送器之設計依據與基礎。

三、研究方法

以一維分離流為理論基礎，推導出固氣兩相的統御方程式，建立設計模式（王宗源,1998）。實驗用噴流式顆粒體輸

送器之設計考慮的特點有：維修容易；零件拆卸替換容易；易於作實驗上觀察。組合圖見圖(1)。實驗量測包括(1)氣體速度的量測(2)輸送管中壓降的量測(3)固體顆粒在噴流器中的速度量測(4)顆粒體流量量測(5)噴嘴效率分析。至於整個實驗系統的架設則如圖(2)，包括提供動力的送風設備；噴流式輸送器；光纖量測系統；數據處理系統；顆粒輸送與回收系統。

四、研究結果與討論

4-1 主次噴嘴距離對管路壓力降分析

不同的主噴嘴與次噴嘴距離 S 關係見圖(3)，由圖中可看出當 S 的距離減小時，噴流器中的靜壓差隨而漸增，而且混合段中壓力差較初始壓力為低，所以無因次化的靜壓差為負值，此時 $d_i/d_M = 0.60$ 。同時在進入混合段前， S 距離較大者 ($s/L=0.162$) 會有較大的靜壓差，乃是因為此時在一定的噴射流體擴展角度下，由於 S 距離的增加，流體在混合段前就已打在次噴嘴的管壁上，因此造成管中靜壓差在此時增加。由以上結論可知，主次噴嘴距離小時，所產生的壓差較大，適合較長距離運送，主次噴嘴距離大時，所產生的壓差較小，適合較短距離運送。

噴流器管中的靜壓差隨著驅動風速的增加而增大，在第一個量測點時，靜壓差為負值時，噴流輸送器對供料斗中的粒子有吸入的吸吮作用，當吸吮效果愈強時，對於供料斗中粒子的輸送愈有利。

4-2 顆粒體之速度量測

當主噴嘴口徑與混合段口徑比值較大時 ($d_T/d_M = 0.901$) 時，顆粒體速度在混合段入口呈現增加的現象，乃是由於當主噴嘴口徑較大時，噴射流體截面積較大，所能加速的粒子數目較多，因此

顆粒體的平均速度比主噴嘴較小的為大，但是在理論上卻顯示出相反的現象，此乃因為理論為一維的分析，對於較小的主噴嘴口徑，僅適用於噴射流體內部，而在噴射流體外部的較低速流體（包括氣體與粒子），並未包含在理論計算中，若加計此一部分的粒子速度，所得的粒子平均速度應為與實驗較為吻合。

主噴嘴與次噴嘴距離 S 距離較大時，在混合段前端會有粒子加速的現象，當主次噴嘴距離 S 較小時，粒子速度較為平緩，而在混合段後段，由於噴射流體的截面積固定（等於混合段口徑），因此粒子速度漸趨一致。

4-3 顆粒體之流量量測

當 $d_T/d_M = 0.394$ 時，供料斗中靜壓差為負值，此時顆粒體由料斗中被吸入噴流器中。當 $d_T/d_M = 0.78$ 時，料斗中壓差漸漸由負轉為正，顯示顆粒體不再受到吸力，因此流量減少。當主噴嘴直徑加大至 30mm， $d_T/d_M = 1.18$ ，此時噴流空氣噴入噴流器時，所受背壓較大，因此氣流往壓力較小的供料斗上方吹出，所以質量流率為零。

主噴嘴與次噴嘴距離 S 降低時，會加強料斗中顆粒吸入作用，因此流量增加。然而在 $d_T/d_M = 0.787$ 時，主次噴嘴距離 S 的改變，對於顆粒流量的影響就不大。

4-4 噴流輸送器的效率分析

當主噴嘴與次噴嘴距離小時，由於負壓吸入，顆粒體流量增大，所得到的噴嘴效率也較大。噴流輸送器之

$d_T/d_M = 0.6$ 時的效率較 $d_T/d_M = 0.901$ 時為大。在 $d_T/d_M = 0.901$ 時，供料斗內形成正壓，不利顆粒往下輸送，因此噴

流器輸送效率較低。

五、參考文獻

1. Arastoopour, H., and Gidaspow, D., 1979, "Vertical Pneumatic Con-veying Using Four Hydrodynamic Models," Ind. Eng. Chem., Fundam. Vol. 18, pp. 123-130.
2. Bohnet, M., 1984, "Calculation and Design of Gas/Solid injectors," Powder Technol., McGraw-Hill Int. Book Co.
3. Bohnet, M., and Wagenknecht, U., 1978, "Investigations on Flow Con-conditions in Gas/Solids-injectors," Ger. Chem. Eng., Vol. 1, pp. 278-304.
4. Chellappan, S., and Ramaiyan, G., 1986, "Experimental Study of Design Parameters of a Gas-Solids Injector Feeder," Powder Technol., Vol. 48, pp. 141-144.
5. Fairbank, L., 1953, "The Venturi as a Meter for Gas-Solids Mixtures," Trans. ASME, Vol. 75, pp. 943-951.
6. Frank, S., Heilmann, C., and Siekmann, H. E., "Point-Velocity Methods for Flow-rate Measurements in Asymmetric Pipe Flow," Powder Technol., Vol. 7, pp. 75-78.
7. Kmiec, M., and Leschonski, K., 1991, "Analysis of Two-Phase Flow in Gas-Solids Injectors," Chem. Eng. J., Vol. 45, pp. 137-147.
8. Kmiec, M., and Leschonski, K., 1998, "Numerical Calculation Methods for Solids Injectors," Powder Technol., Vol. 95, pp. 75-78.
9. Kudirka, A. A., and Decoste, M. A., 1979, "Jet Pump Cavitation With Ambient and High Temperature Water," Trans. ASME, Vol. 101, pp. 93-99.
10. Lee, J., and Crowe, C. T., 1982, "Scaling Laws for Metering the Flow of Gas-particle Suspensions Through Venturis," Trans. ASME, Vol. 104, pp. 88-91.
11. Marcus, R. D., Leung, L. S., Klinzing, G. E., and Rizk, F., 1990, "Pneumatic Conveying of Solids-A Theoretical and

