



行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

壓電晶片震動對流場中粒子附著於壁面之影響

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC90-2212-E-032-015

執行期間： 90 年 8 月 1 日至 91 年 10 月 31 日

計畫主持人：湯敬民

共同主持人：

計畫參與人員：葉泳蘭, 康有評, 林國偉, 陳啟科, 王儷霖

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學航太系

中 華 民 國 九 十 二 年 一 月 三 十 日

Abstract---本文以實驗方法探討使用壓電材料 (piezoelectric material)於流場中之高頻振動對顆粒附著於壁面之影響。實驗中利用改變壓電晶片振動頻率與流場速度以觀測各參數之變化對塵粒附著影響。定量分析藉由量測流場出口粉塵重量多少而決定，流場觀測則用於定性分析上。實驗結果有助於工業界對粉塵或廢氣排放管道等設計之考量，也可提供於學術上深入研究的基礎認知。

由流場觀測中可看出流場受晶片振動影響的情況。由於晶片振動可對流場中的顆粒提供能量，使得顆粒較不易受到重力影響而附著於管道中。從定量分析的結果及測試區顆粒附著的程度來看，晶片振動確實可減少顆粒之附著。使用氧化鋁為實驗顆粒、在測試區入口速度約為 5.4m/s、晶片振動電壓為 97Volt 時，發現振動頻率於 400~600Hz 及 40~60Hz 時顆粒附著量最少；而使用顆粒較重之氧化銅時，在相同振動電壓下則須提高入口速度至約 6.5m/s，而振動頻率為 10~20Hz 時才有較好的結果。

I Introduction

近年來隨台灣經濟成長使得環保的議題越來越受到眾人的重視，由於製造過程所產生之有毒廢氣在排放過程中容易因附著於輸送管壁表面而造成腐蝕；而在一般煙囪內壁煙灰堆積亦造成運轉與維護之困擾。粒子沉積在過去無論是於數學模擬或是實驗方面均已有相當的研究成果，但在研究方面卻少見如何以主動控制之方式降低其附著量。因此，本研究方向大致是建立一主動流場控制技術，藉由實驗方法探討減少粒子於壁面沉積之法。

理論計算方面，He and Ahmadi[1]以數學模擬的方式來進行管道內顆粒沉積的分析與研究。Zhang and Ahmadi[2]則模擬顆粒在垂直與水平的管流中傳送與沉積，結果顯示在顆粒的沉積過程中，壁面結構扮演了一重要的角色。Lee and Curtis[3]; Zhang etc. [4]等學者皆是利用顆粒計數器(particle counter)來計算及分析流場中所含的顆粒數量，以得到流場受到干擾後的定量分析。Zhang etc.[4]在顆粒因壓力梯度經過纖維濾網而產生的沉積之研究中發現顆粒的穿透會因環境壓力的減低而減少，而且過濾之顆粒大小會因氣體壓力的減低而增加，濾網兩側的壓降也會因壓力的減少而稍微減少。Tsai & Liu[5]是利用通過熱水及冷水來維持其不同溫度之上下兩板，以強制熱對流來使微小粒子能被有效且穩定的聚集。Lee & Curtis[3]則探討在擴散爐(diffusion furnace)內微粒之沉積。

Halit[6]是利用電磁流體計量器來研究粘土顆粒於管流中的集中特性與密度量測。Yoshihisa etc.[7]則是使用一種光學空間過濾器(optical spatial filtering)來測量顆粒於流場中因空氣力學所產生的傳遞，目的是量測流場的速度與質量流率。M. Rashidi etc.[8]的研究報告則是以不同大小，密度，荷重(loading)的顆粒於不同

雷諾數之流場中探討顆粒於紊流中的相互影響，結果得知較大的聚苯乙烯 (polystyrene) 顆粒 ($1100 \mu\text{m dia}$) 會增加壁面噴入 (wall ejecting) 的強度，於流場中可量測出較大的紊流強度 (turbulence intensity) 及雷諾剪應力 (Reynolds stress)，較小的顆粒 ($120 \mu\text{m dia}$) 則有較小的量值；而較重的玻璃顆粒 ($\sim 88 \mu\text{m dia}$) 則不會造成起任何有意義的紊流調致 (modulation of turbulence)，原因是較小及較重之顆粒於流場中的荷重增加了，使其不易運動而堆積 (accumulate) 於壁面紊流流場中。

以壓電材料 (Piezoelectric materials) [9] 控制流場近年來亦已有廣泛研究。在 Wiltse and Glezer [10] 進行的實驗中除了使用壓電晶片外更加上揚聲器來加強流場的能量，以使流場達到可控制之狀態。在 Couche [11] 及 Seung Jo Kim etc. [12] 的論文中亦有效的利用壓電晶片來抑制汽車及飛機座艙中之噪音及使用主動控制之法解決飛機因速度變快而對結構產生共振的問題。成大蕭飛賓教授則利用貼附在機翼上的晶片進行延遲流場分離之研究 [13]。

Ebenezer and Joseph [14] 使用相同密度，不同厚度之壓電材料與頻率的相互關係來探討於壓電材料製成之圓柱形中空管道內之徑向壓力與速度分佈。Motamedi [15] 以壓電材料製成之感測器，如微加速測量器、陀螺儀等，原理是利用壓電材料的特性 (機械動能轉換成電位能或電位能轉換成機械動能)，由加速減速對壓電材料所產生的徑向位移經由轉換量測後，可得所需之物理量，此感測器可運用於車輛之導航 (vehicle navigation) 系統。Forster [16] 的研究是利用壓電制動器 (piezoelectric actuator) 應用於飛行器之翼盒 (wing boxes)，證明使用壓電制動器可允許較薄且較輕之機身結構。國內學術單位有關以壓電材料控制流場的實驗分析，在成大航太所有趙怡欽教授 [17]，蕭飛賓教授及潘大知教授 [13]，屏東科技大學及本校水環系在數年前亦有相關研究，整體來說並未有大量專門的研究報告。

II Experiment Setup and Procedures

本實驗所使用之風洞本體全長 242 公分，可分為穩壓段，擴張段、安置室 (settling chamber)、及漸縮段四個部份。穩壓段包含兩個 50 加侖氣室以降低流場擾動。擴張段入口截面為 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ ，出口截面為 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，擴張角約為 20 度，以避免流場分離。後接安置室 ($9\text{cm} \times 40\text{cm} \times 40\text{cm}$)，包括鋁製蜂巢網 (honeycomb) 及前後各一之整流網 (screen)，作為整流之用。安置室後接漸縮段，出口截面積為 $3\text{cm} \times 25\text{cm}$ ，面積收縮比為 1 比 48，其收縮曲線為一 5 次方曲線。圖 1 為實驗設備系統示意圖。

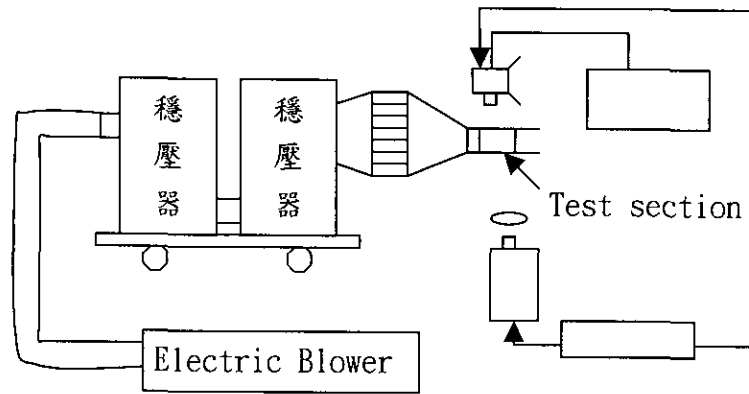


圖 1 實驗設備系統示意圖

截面為長方形之測試段($H*W*L = 3\text{cm}*25\text{cm}*12\text{cm}$)接於壓縮段後，測試段為壓克力所製成，距測試區入口 2cm 之底面共有八個裝置壓電晶片之狹縫，狹縫間距為 2.5cm，最外側之晶片距壁面均為 3.8cm (圖 2)。

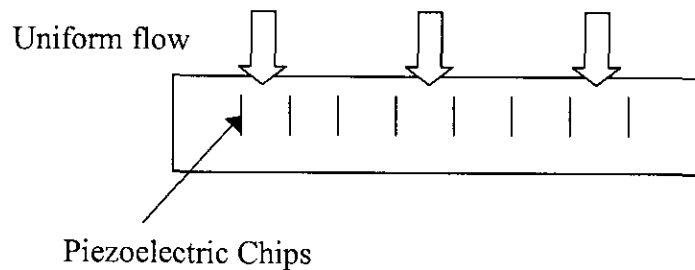


圖 2 觀測段俯視圖

顆粒於壁面附著之定量分析是利用裝置濾網於觀測段出口以過濾未附著於壁面之顆粒，藉量測濾網增加之重量來分析顆粒附著之多寡。濾網較實驗前增加之重量較多則代表粒子附著於壁面者較少，通過測試區後被濾網攔截的多。反之，濾網增加之重量較少則代表粒子附著於壁面的較多。實驗中是使用市售大同牌空氣清淨機所使用之不織布濾網，經適度剪裁後裝置於測試段出口，用於濾下未附著於壁面之顆粒。本研究主要是探討不同晶片振動頻率對流場特性的影響，所採用的壓電晶片為直徑 3.5cm 之圓形壓電晶片(PZT，又稱蜂鳴器)，經裁剪為 3.5cm*1.5cm 長方形後做為主要擾動流場之機構。實驗中利用函數產生器(function generator)加以驅動，頻率操作範圍為 10Hz~800Hz，並利用功率放大器放大至最大之輸出電壓：97Volt。鼓風機最大流量為 $7\text{m}^3/\text{min}$ 、最大轉速為 3500rpm，轉速調整由變頻器控制，以提供不同風速的氣流。本實驗採用電子秤為重量量測工具，最大量測重量為 50g，量測精度為 0.001g。實驗前後的濾網重量與每次實驗所植入之粉粒總量均經電子秤稱重。每次實驗植入之 2 公克左右顆粒須先經稱重後置入顆粒儲存罐中並予以密封。 粒子另經 2hp 的空氣壓縮機植入，因為固定輸出風量，因此需接流量計控制輸出風量。由軟片罐製成之顆粒儲

存罐裝置於流量計後，控制流量計開關使得於儲存罐中之顆粒可以均勻植於流場中。實驗量測所控制的參數包含入口流速(鼓風機頻率為 25Hz 與 30Hz，相對流速為 5.4m/s 和 6.5m/s);晶片位置(相距 2.5cm、5cm 兩種)，晶片頻率(低頻:10Hz、20Hz、40Hz、60Hz、80Hz 五種，高頻:200Hz、400Hz、600Hz、800Hz 四種)，晶片電壓(67Volt、97Volt 兩種)。實驗中於每個控制參數擷取 8 個數據做統計分析。

為瞭解不同頻率之振幅對流場所造成的影響，實驗中利用光學儀器量測晶片振幅。以雷射光直射到經特殊磨光的晶片金屬面，驅動晶片後即可由電腦紀錄振幅之電壓值，因所得到之電壓值為放大 200 倍後所得，故須經換算後才可得到晶片之振幅。若振幅較大，代表晶片對流場的影響較大，若振幅較小，則代表經晶片對流場的影響較小。

觀測流場則以一 500mw 之半導體雷射當做光源，經過一柱面鏡(Cylindrical lens)產生雷射切面，並使雷射切面射入測試段使觀測區流場可視。影像的紀錄裝置係透過日本 JAI 公司之 CVM-70ac 數位攝影機(CCD camera)拍攝，可紀錄約 15 秒左右的流場運動情形。

III Discussion And Conclusion

本研究在探討壓電晶片在不同電壓、振動頻率、入口風速、裝置位置與實驗顆粒間的相互關係。如圖 3 所示，在重複八次的量測實驗中可發現較高的電壓使晶片有較大的振幅使測得重量較大，可顯示晶片對流場的影響較大。而風速亦是影響流場的重要因素，因為過小的入口風速無法使顆粒伴隨著流場流動，而過大的風速則因慣性力過大相對地使晶片的能量不足，以致未能達到實驗之目的。所以實驗中使用的金屬氧化物顆

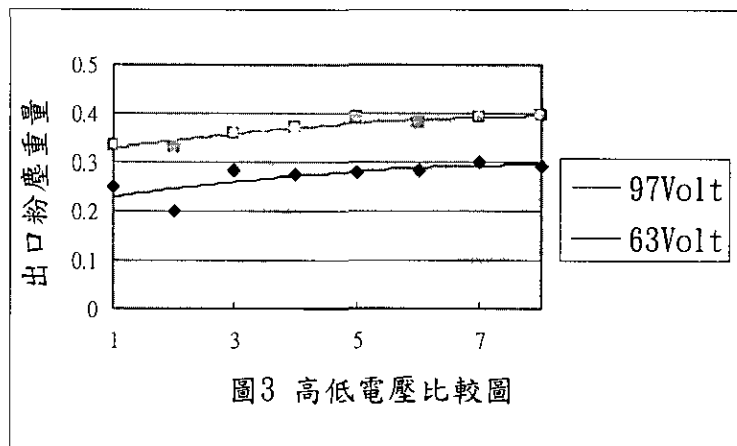


圖3 高低電壓比較圖

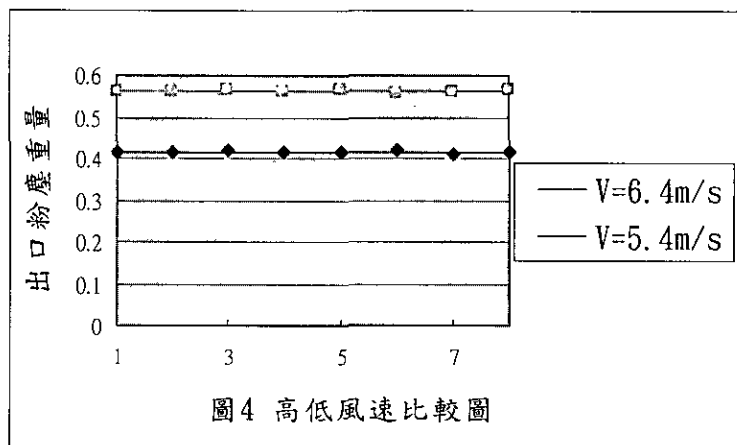


圖4 高低風速比較圖

粒因重量不同會影響所使用之入口風速。入口風速過快可能會將顆粒快速帶出觀測區，結果會使壁面的附著量變少，但卻不是本研究所要探討的結果。如圖 4 所示，以氧化鋁為實驗顆粒時，較快的入口風速會使較多的顆粒隨流場流出，使出口濾網重量增加，晶片於流場中所扮演的角色因此不明顯。實驗中亦有做鼓風機送風速度更高時之測試，但因實驗所得之數據(未附著於壁面顆粒之重量)顯示幾乎所有粒子都被吹出測試區，所以並沒有列入本研究討論範圍。

在所測試的晶片頻率中，可見到於低頻時有較佳的結果，也就是觀測段壁面的附著量較少。原因是低振動頻率時晶片有較大擺動的振幅，可對流場中之顆粒提供較大的能量。如圖 5 所示，氧化鋁在入口風速 5.4m/s，晶片間距 2.5cm，振動頻率於 40~60Hz 及 400~600Hz 時，有最好的減少壁面附著結果；若入口風速提高為 6.5m/s，實驗所得數據因風速加快使得所稱得出口粉塵重量較重，在其他外在條件相同下，晶片振動頻率於 40~60Hz 時有最好的結果，而於高頻時因晶片能量不足而使結果不理想。

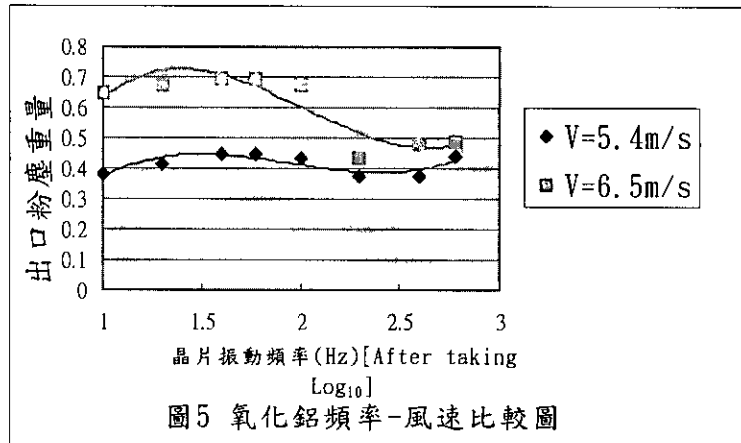


圖5 氧化鋁頻率-風速比較圖

因振幅的大小直接影響顆粒於壁面的附著，所以不同振動頻率之振幅為本研究之重要參數之一。晶片在相同電壓下於 10Hz、200Hz 及 600Hz 振動時其振幅分別約為 0.025cm, 0.013cm 與 0.018cm。事實上，由實驗結果可知振動頻率於 10~60Hz 和 400~600Hz 時壁面顆粒附著最少，而振幅在 60 至 400Hz 之間時的結果較差。可知晶片於低頻(<40Hz)振動時因有較大的振幅，所以在本研究中結果較佳；於高頻時(>400Hz)振幅較低頻時略小，但所得之結果亦不錯；而頻率於某些範圍時(>60Hz、<400Hz)，因振幅最小，所以所得結果最差。

顆粒重量在實驗中扮演相當重要的角色，因不同重量的顆粒隨流場流動的特性不相同，原因是重量較重的顆粒受重力的影響較大且入口風速能量不足，所以較易附著於壁面上，因此晶片振動必須提供較大的能量才能

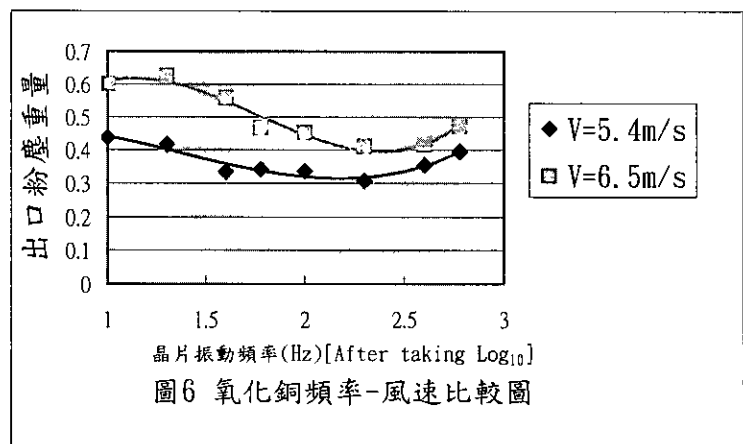
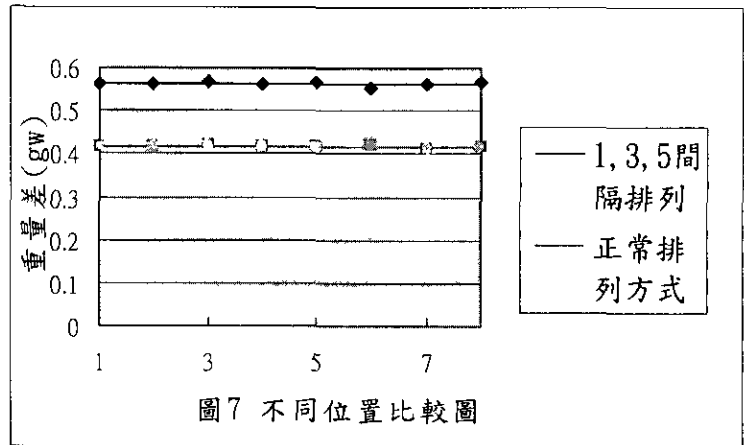


圖6 氧化銅頻率-風速比較圖

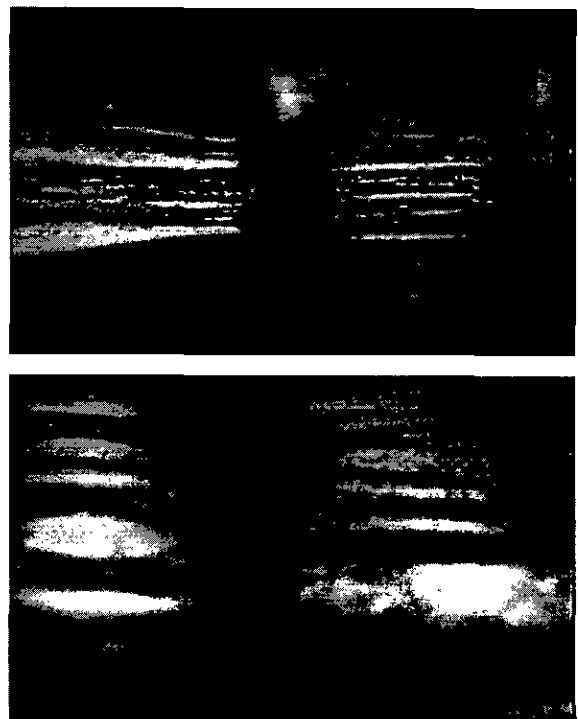
減少附著量。如圖 6 所示，分析實驗數據可知於相同的振動頻率及入口風速下，氧化銅於出口所量測到的重量較輕，表示氧化銅顆粒因顆粒重量較重而不易隨流場流出。結果亦顯示使用氧化銅為實驗顆粒時，晶片振動頻率於 10~20Hz，入口風速約為 6.5m/s 時有較佳的實驗結果，原因是因氧化銅顆粒較重，需較大入口風速，與低頻振動之晶片所提供較大之能量。實驗中亦有使用重量較輕之氧化鎂為實驗顆粒，但因所處環境溼度較高因素使氧化鎂易於受潮，故本研究只針對氧化鋁與氧化銅顆粒做定量分析。

壓電晶片為本研究主要控制流場之設備，由頻率產生器驅動晶片振動達到研究之目的，若晶片間的距離過近會因相互干擾而降低對流場之影響。觀測段中晶片原本相距 2.5cm，共裝置八片，實驗中改變晶片距離為 5cm，共裝置三片，在相同的條件下進行實驗，如圖 7 所示，晶片相距 5cm



之流場出口所量測到的重量較重，也就是壁面有較少的附著量，因為晶片相距 5cm 的相互作用較小，所以振動產生的能量大部份都能用於減少附著的產生。而實驗中亦有進行相距 7.5cm 的測試，但因其相距過遠而使晶片能量不足，使得於測試段出口所測得的重量過少 (<0.3g)，也就是壁面的附著量增加，較晶片距離相距 2.5cm 之附著量還多，故 7.5cm 間距之效應並未進一步探討。

植入流場之顆粒隨著流場流經晶片的擾動區時，會因晶片振動而於壁面上顯示出累積於壁面之粒子受擾動而形成的波紋，此波紋即為晶片振動影響流場之明顯證據。右圖為晶片振動頻率 600Hz，入口風速為 5.4m/s 時之振動波紋，右下圖則為振動頻率為 10Hz 時之振動波紋。右圖顯示在高頻振動時，由於音速固定而波長較短，所以造成顆粒附著之波紋間距較小。下圖則因頻率低而波長較長故波紋間距較大。流場觀測所拍攝的照片顯示，晶片振動確實可以對流場產生一定程度的影響。



由上述分析可知入口風速、顆粒重量、晶片裝置位置及振動頻率為減少壁面附著實驗的主要控制參數。實驗結果顯示，在測試區入口速度約為 5.4m/s，使用氧化鋁為實驗顆粒，觀測區內裝置相距 5m 之三片壓電晶片，輸入電壓為 97Volt，晶片振動頻率低頻於 40~60Hz，高頻於 400~600Hz 時有最佳減少壁面附著的能力。而使用氧化銅為實驗顆粒時，須提高入口速度至約 6.5m/s，振動頻率只限於低頻 10~20Hz 時有最佳的結果。綜合結果分析，由本實驗中可大略窺知由晶片振動減少壁面顆粒之附著，不論實驗中所使用的顆粒為何，適當相隔距離 (2.5<間距<7.5 間)之晶片於高電壓低頻振動時皆有一定程度能減少附著量。

IV References

1. Chunhong He and Goodarz Ahmadi, "Particle Deposition with Thermophoresis in Laminar and Turbulent Duct Flows", *Aerosol Science and technology* 29:525-5461, 1998
2. Haifeng Zhang and Goodarz Ahmadi, "Aerosol particle transport and deposition in vertical and horizontal turbulent duct flow", *J. of Fluid Mech.* Vol. 406, pp55-88, 2000
3. K. W. Lee and L. A. Curtis, "Behavior of Small Particles from Process Gas Stream in Diffusion Furnaces", *Aerosol Science and Technology*, 16:236-245, 1992
4. Zhiqun Zhang, Benjamin Y. and H. Liu, "Experimental Study of Aerosol Filtration in the Transition Flow Regime", *Aerosol Science and Technology*, 16:227-235, 1992
5. Chuen-Jinn Tsai and Hsin-Chung Lu, "Design and Evaluation of a Plate-to-Plate Thermophoretic Precipitator", *Aerosol Science and Technology*, 22:172-180, 1995
6. Halit Eren, Member, "Particle Concentration Characteristics and Density Measurement of Slurries Using Electromagnetic Flowmeters", *IEEE*, Vol.44, No.3, pp783~786, 1995
7. Yoshihisa Ichikura, Kajiro Watanabe, "Measurement of Particle Flow by Optical Spatial Filtering" *IEEE*, pp.340~341, May 10~12, 1994
8. M. Rashidi, G. Hetsroni, and S. Banerjee, "Particle-Turbulence Interaction in a Boundary Layer", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol.16, No.6, pp.935~949, 1990
9. 吳德昌、吳秋松，1981 年 5 月，"發聲器用壓電材料之製造與特性研究"，逢甲大學化工所碩士論文。
10. John M. Wiltse and Ari Glezer, "Manipulation of free shear flows using piezoelectric actuators", *J. Fluid Mech.*, pp.261~285, 1993
11. Jeroure Couche, "Active Control of automobile cabin noise", *Master of Science in Mechanical Engineering*
12. Seung Jo Kim, Kyung Yeok Song, "Active Control of Sound Field from Plates in Flow by Piezoelectric Sensor/Actuator" *AIAA Journal*, Vol.37, No.10,

pp1180~1186, 1999.

13. 蕭飛賓、胡育豪、潘大知，1995，"以壓電材料控制流場分離之研究,"中華民國振動與噪音工程學會第三屆學術研討會,1995/4/24,台北市, pp. 189-200。

14. D. D. Ebenezer, Laly Joseph, "Frequency-Dependent Open-Circuit Acoustic Sensitivity of Fluid-Filled, Coated, Radially Polarized Piezoelectric Ceramic Cylindrical and Infinite Length", IEEE, Vol.48, No.4, pp914~921, 2001.

15. M.E.Motamedi, "Acoustic Sensor Technology" IEEE, pp.521~524, 1994

16. Edwin E. Forster, "Flutter Control of Wing Boxes Using Piezoelectric Actuator", Journal of Aircraft, Vol.35, No.6, pp949~956, 1998.

17. 趙怡欽、蔡秋宏、吳得群、曾照暉，1997，"聲波激擾對遲滯區跳脫火焰污染物生成之影響"，第七屆燃燒科技應用研討會，台北市。