

國立交通大學

環境工程研究所

碩士論文

一個多階衝擊器內的微粒反彈

及溼度的影響研究

**A study of particle bounce and the influence of the  
humidity in a cascade impactor**

研究生：陳宏達

指導教授：蔡春進 教授

中華民國九十九年一月

## 摘要

本研究主要的目的在於探討相對溼度對 MOUDI (micro-orifice uniform deposit impactor) 多階衝擊器內微粒彈跳造成的微粒濃度分佈影響，而 MOUDI 入口的溼度控制的方式是以一個 Nafion 乾燥器來達成的。以塗敷矽油鋁箔為衝擊板基質的 MOUDI 為參考標準，若相對溼度低至 15% 左右，未塗敷基質的 MOUDI 測得的奈米微粒濃度約高估兩倍左右；相對溼度 50% 時則會高估一倍以上；但相對溼度提升至 77% 以上時，奈米微粒幾無高估情形發生。然而在以上三種溼度下，本研究發現未塗敷矽油的 MOUDI 的細微粒粒徑分佈與塗敷矽油鋁箔的 MOUDI 並無顯著的差異。若塗敷的鋁箔換成未塗敷的鐵氟龍濾紙時，本研究也發現在不同溼度下使用鐵氟龍濾紙的 MOUDI 的細微粒粒徑分佈，與塗敷矽油鋁箔的 MOUDI 並無顯著的差異。在相對溼度 25% 左右時奈米微粒會高估 50%；若將相對溼度提升至 100% 左右後，未塗敷的鐵弗龍與已塗敷的鋁箔所收集的濃度差異在 14% 內，大幅改善了微粒彈跳對奈米微粒濃度的影響。

關鍵字：微粒彈跳、奈米微粒、多階衝擊器、Nafion dryer、相對溼度。

## Abstract

This study aims at investigating the effect of the relative humidity (RH) on particle bounce occurred in the MOUDI (micro-orifice uniform deposit impactor) which influences particle mass distributions. A Nafion dryer was used to control the relative humidity at the inlet of the MOUDI. Using the MOUDI which used coated aluminum (AL) foils as the impaction substrates as a reference standard, it was found that the  $PM_{0.1}$  (or nanoparticle) concentrations measured by the MOUDI which used uncoated AL substrates were overestimated. The nanoparticle concentration was overestimated two times and one time, respectively, when the RH was 15 % and 50 %. When the RH was increased to 77 %, the nanoparticle concentration difference was reduced to below 10 % or the effect of particle bounce was largely eliminated. However, there were no significant differences between the mass distributions of the MOUDI using uncoated AL substrates with those of the MOUDI using coated AL substrates. Using uncoated Teflon filters as the substrates, the measured mass distributions were not significantly different from those of the MOUDI using coated AL substrates either. The nanoparticle concentration was overestimated by 50 % when the RH was about 25 %; the overestimation was reduced below 14 % when the RH was increased to about 100 %. The effect of particle bounce on nanoparticle concentration is reduced substantially using Teflon filters as the substrates of the MOUDI.

Keywords: particle bounce, cascade impactor, nanoparticle, Nafion dryer and relative humidity.

## 誌謝

能完成碩士學位首先我要感謝我的指導教授蔡春進博士，老師不時在課業上或研究上對我的叮嚀與指導使我受益良多，使我能深刻了解氣膠領域的深奧。國際研討會的參與也讓我深深了解到國際交流以及溝通的重要。

在實驗室兩年多的日子裡，少不了經歷過許多的開心與難過，在此感謝學長姐的教導與幫助，特別是傑哥學長，每當實驗不順利都會適時給予鼓勵與建議，著實幫助我不少，冠宇、神哥、士軒、正生、承翰、阿苦、羅楚、凱迪學長等人以及怡伶學姐也教會我許多實驗設備的操作以及研究上的幫助，感恩喔!!

實驗室的學弟妹們，”猴獅雷”!!你們真的超超級認真，週休一日已經變成你們的生活作息了。身為健身教練的俊男與其組員信佑、技恩與毅弘等人，實驗室的採樣就交給你們了，相信你們可以成為實驗室的優等搬運工；燒餅希望你研發的小炫風可以拯救勞工朋友們的身體健康，加油好嗎!!栢森對自己身體好一點~；芸伊、怡伶學妹成為堅強的人吧!!至於我的同學育安跟政毓，我現在終於可以勇敢跟你們說我畢業了，真希望可以在上面滴上幾滴淚水，讓你們見證我的感動!

實驗室助理群們，謝謝能凱、小貓以及穎卉共同陪我經歷許多的戶外採樣，實驗室的儀器也多虧炯朝的修理，實驗室有了你們而更加完整，在此特別感謝陪我一起實驗、一起熬夜的穎卉，真是我實驗室的開心果。

最後感謝一直在背後默默支持我的父親，讓我在求學過程中無須煩惱生活上的柴米油鹽，有你們真好!謝謝!

# 目錄

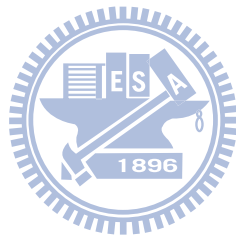
摘要.....	i
Abstract.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vii
第一章 前言.....	1
1.1 緣起與背景說明.....	1
1.2 研究目的.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 基質對微粒彈跳之影響.....	4
2.2 溼度對微粒彈跳之影響.....	9
第三章 研究方法.....	14
3.1 實驗儀器.....	14
3.2 MOUDI 中不同收集板材質的彈跳情形比對.....	23
3.3 控制溼度時 MOUDI 內的微粒彈跳研究.....	23
第四章 結果與討論.....	29
4.1 MOUDI 的 QA/QC.....	29
4.2 MOUDI 的收集基質在未塗敷與已塗敷情況下的比較測試結果.....	33
4.3 MOUDI 中不同溼度對微粒的彈跳研究.....	50
第五章 結論與建議.....	65
參考文獻.....	67
附錄.....	71

## 表目錄

表 2.1 基質與微粒種類對微粒彈跳影響之文獻比較 .....	9
表 2.2 相對溼度 (RH)對微粒彈跳影響之文獻整理 .....	12
表 3.1 MOUDI 設計與操作參數(MARPLE AND OLSON, 1999) .....	17
表 3.2 進口流量、 $P_1$ 與 RH 之實驗值 .....	25
表 3.3 各實驗放置濾紙方式與相對溼度操作條件 .....	28
表 4.1 鋁箔基質上塗敷矽黃油之揮發以及塗敷量測試 .....	29
表 4.2 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時各階濃度差異比較, 980821 .....	30
表 4.3 M1 與 M4 各階濃度比值的比較 .....	31
表 4.4 使用 MOUDI、SMPS 與 DICHOT 等採樣儀器在不同地點的 PM 比較 .....	32
表 4.5 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時經過 NAFION DRYER 的微粒濃度比較, 981215 .....	34
表 4.6 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時經過 NAFION DRYER 的微粒濃度比較, 981218 .....	35
表 4.7 大氣微粒經 NAFION DRYER 之 PM 比值 .....	36
表 4.8 奈米微粒的擴散損失 .....	37
表 4.9 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 980912 .....	39
表 4.10 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 980920 .....	40
表 4.11 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 981231 .....	42
表 4.12 無塗敷矽黃油的鋁箔基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在一般大氣相對溼度環境中之 PM 比值 .....	43
表 4.13 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 980824 .....	45
表 4.14 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 980905 .....	46
表 4.15 無塗敷矽黃油的鋁箔基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在低相對溼度環境中之 PM 比值 .....	47
表 4.16 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時各階濃度差異比較, 980508 .....	48
表 4.17 無塗敷矽黃油的鐵氟龍基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在低相對溼度環境中之 PM 比值 .....	50
表 4.18 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 981220 .....	51
表 4.19 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 981223 .....	53
表 4.20 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 981224 .....	54
表 4.21 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 990110 .....	56
表 4.22 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 990111 .....	57
表 4.23 無塗敷矽黃油的鋁箔基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在高相對溼度環境中之 PM 比值 .....	59
表 4.24 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時各階濃度差異比較, 990101 .....	61

表 4.25 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時各階濃度差異比較,  
990101..... 62

表 4.26 無塗敷矽黃油的鐵氟龍基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在高相對溼度環  
境中之 PM 比值..... 64



## 圖目錄

圖 2.1 不同基質對固體與液體微粒的收集效率 (VANDERPOOL ET AL., 1987).....	7
圖 2.2 MOUDI 與 SMPS-APS 之微粒重量濃度比較(SHEN ET AL., 2002).....	7
圖 2.3 分別放置石英濾紙與鋁箔在 LPI 中測得的微粒質量分布圖.....	8
圖 2.4 MOUDI 與 SMPS 之微粒質量濃度分布比較(PARK ET AL., 2003).....	8
圖 2.5 LAS VEGAS 場址裡使用有無裝置相對溼度控制器的 MOUDI 之微粒分布圖 (VASILIOU ET AL., 1999).....	12
圖 3.1 多階衝擊器(MSP, MODEL 110).....	16
圖 3.2 上圖為 MOUDI 之 10 階噴嘴，下圖為 MOUDI 之衝擊板.....	16
圖 3.3 掃描式微粒電動度分析儀的實際照片及構造示意圖。.....	18
圖 3.4 雙通道 PM <sub>10-2.5</sub> 及 PM <sub>2.5</sub> (DICHOTOMOUS, ANDERSEN SA-241)採樣器.....	19
圖 3.5 SMPS 與 MOUDI 微粒彈跳比對實驗示意圖.....	20
圖 3.6 不同微粒電動度下，微粒有效密度與大氣含水量的關係.....	22
圖 3.7 NAFION DRYER 溼度控制示意圖.....	23
圖 3.8 溼度控制系統.....	24
圖 3.9 乾燥管進口流量與 P <sub>1</sub> 關係之架設圖.....	25
圖 3.10 進口流量、P <sub>1</sub> 與 RH 之關係圖.....	26
圖 3.11 兩台 MOUDI 同時裝置溼度控制器.....	27
圖 4.1 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時各階濃度之分布圖, 980821.....	31
圖 4.2 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時各階濃度之分布圖, 981215.....	35
圖 4.3 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時各階濃度之分布圖, 981218.....	36
圖 4.4 測試微粒通過 NAFION DRYER 損失量之實驗流程圖.....	36
圖 4.5 微粒經 NAFION DRYER 後的微粒數目濃度變化與損失比例.....	37
圖 4.6 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 98091239	
圖 4.7 大氣溫溼度圖, 980912.....	40
圖 4.8 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 98092041	
圖 4.9 大氣溫溼度圖, 980920.....	41
圖 4.10 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 981231	
.....	42
圖 4.11 大氣溫溼度圖, 981231.....	43
圖 4.12 M1、M4 各階濃度之分布圖, 980824.....	45
圖 4.13 M1、M4 各階濃度之分布圖, 980905.....	46
圖 4.14 M4 採樣入口與大氣溫溼度圖, 980905.....	47
圖 4.15 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時之各階濃度分布圖, 980508.....	49
圖 4.16 雪山隧道溫溼度圖, 980508.....	49
圖 4.17 M1、M4 各階濃度之分布圖, 981220.....	52
圖 4.18 大氣溫溼度圖, 981220.....	52



圖 4.19 M1、M4 各階濃度之分布圖, 981223 .....	53
圖 4.20 大氣溫溼度圖, 981223.....	54
圖 4.21 M1、M4 各階濃度之分布圖, 981224 .....	55
圖 4.22 大氣溫溼度圖, 981224.....	55
圖 4.23 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 990110 .....	56
圖 4.24 大氣溫溼度圖, 990110.....	57
圖 4.25 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 990111 .....	58
圖 4.26 大氣溫溼度圖, 990111.....	58
圖 4.27 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時之各階濃度分布圖, 980116.....	61
圖 4.28 大氣溫溼度圖, 980116 .....	62
圖 4.29 塗敷過矽黃油之鋁箔與鐵氟龍在各階濃度比較, 990101.....	63
圖 4.30 M4 採樣入口與大氣溫溼度圖, 990101.....	63



# 第一章 前言

## 1.1 緣起與背景說明

隨著時代的發展，奈米技術的應用漸漸廣泛，舉凡化妝品、建材以及汽車零件等應用已走向奈米化。奈米微粒代表尺寸介於 1 nm 至 100 nm 間之微粒，奈米微粒種類繁多，即便為同種元素，奈米級微粒與微米級微粒的一些物化特性也會因晶體形狀、製造過程的不同而有很大的差異，不盡相同，故目前大都以 PM<sub>2.5</sub> 當成健康指標。

PM<sub>2.5</sub> 的細微粒大小約為人體頭髮直徑的 1/28，它可經過呼吸進入肺部，並且沉積在肺部組織，因此對人體健康影響甚鉅，尤其是對老人、小孩或易過敏性體質等民眾更具有高度的健康風險。流行病學研究已經顯示細微粒與疾病發病率和死亡率的上升有關 (Kreyling et al., 2004)，尤其是心臟和肺部疾病。環保署於 94 年 8 月完成增設 76 個細懸浮微粒空氣品質自動監測儀器，即時監測空氣中細懸浮微粒濃度，依據世界衛生組織(WHO) 於 2006 年 10 月發表之全球空氣品質準則 (Global Air Quality Guidelines)，以 PM<sub>2.5</sub> 24 小時平均值為例，建議以 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  作為啟動預警之限值。

由於奈米微粒的表面積比同質量的大微粒增加很多，使得奈米微粒表面的活性大為增加進而使得奈米微粒有較大的可能性穿透細胞膜，Oberdörster et al. (2004)以超細微粒 TiO<sub>2</sub> 進行老鼠實驗，發現注射相同劑量但不同粒徑的奈米微粒 (20nm 與 250nm)到老鼠細胞內，奈米級比微米級的二氧化鈦造成的發炎反應較高，相較於同等質量的大微粒重量就會造成較多的細胞危害。Donaldson et al. (2002)及 Oberdörster et al. (2005)發現微粒在相同的質量下，隨著微粒粒徑的減小 (< 100 nm)，附著著過渡金屬 (Transition metals)或有機物 (Organic chemicals)的微粒會提高人體肺部及循環系統細胞的活性氧化物 (Reactive oxygen species)產生率(提高氧化壓力)並導致發炎，附著金屬或元素的微粒其毒性也會提高。

為了預防細微粒與奈米微粒對人體以及環境的危害，因此我們必須更準確地量測奈米微粒的濃度以便將奈米微粒劑量重建，進而對特定場所訂定一些安全或危險指標。

國內外環境中奈米微粒的重量濃度、粒徑分布及化學成份的相關研究文獻很多，學者常使用的採樣設備主要有低壓衝擊器(Low Pressure Impactor)與微孔均勻沉積衝擊器(MOUDI)，後者比前者更常被使用(Chow and Watson, 2007)。低壓慣性衝擊器有許多種，如 Hering 低壓衝擊器(low-pressure impactor, LPI)、 Berner 低壓慣性衝擊器(Berner low pressure impactor, BLPI)及電氣低壓慣性衝擊器(electric low pressure impactor, ELPI)等。

## 1.2 研究目的

本篇將探討微孔均勻沉降衝擊器 MOUDI (Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor)收集微粒的準確性，MOUDI 為較普遍且適用性範圍較廣的採樣儀器，但是微粒彈跳(Particle bounce)對多階式慣性衝擊器採樣的誤差一直都是幾十年來存在的問題，MOUDI 會因微粒彈跳造成奈米微粒的重量濃度高估 (Khlystov et al., 2004、Shen et al., 2002 及 Park et al., 2003)，因此我們可以試著改變微粒收集條件來改善彈跳問題，影響微粒彈跳較大的因素可歸類成兩種，分別為採樣器內收集基質種類與採樣現場空氣的相對溼度，因此收集奈米微粒時應了解採樣現場的氣候條件以及當成衝擊基質的種類，避免奈米微粒在 MOUDI 中發生微粒彈跳而使得濃度有高估情形發生。

一般在衝擊器內降低微粒彈跳可利用燒結金屬片滴油衝擊板 (Oil-soaked sintered impactor stages)，此方法是利用毛細作用使衝擊在此衝擊板的微粒一直被油品所覆蓋，因此矽黃油塗敷的鋁箔所收集的微粒重量可假設為一收集效率的標準。此實驗將未塗敷的鐵氟龍與塗敷過矽黃油(Silicone grease)的鋁箔當成衝擊基質並使用溼度控制器統進行大氣採樣，透過提高採樣入口的相對溼度使得微粒表

面能附著上一層水氣，讓微粒被收集基質所捕獲後不會再因微粒間互相撞擊而彈開，期待在高相對溼度條件下可使得未塗敷的鐵氟龍濾紙不會產生彈跳，以便鐵氟龍可以做後續的化學分析。



## 第二章 文獻回顧

微粒彈跳除了會使得收集到的微粒粒徑不準確更會增加管壁損失(wall lose) (Dzubay et al.,1976 ; Cheng and Yeh,1979) , 固體微粒(Solid particles)互相碰撞產生的彈跳問題, 最早在 1945 年時由 May 提出來, 而液相微粒(Liquid particles)則不會明顯產生微粒彈跳 (Rao and Whitby, 1977) , 接下來將回顧不同基質與相對溼度下微粒在多階衝擊器中的彈跳情形。

### 2.1 基質對微粒彈跳之影響

為了利於採集樣本的後續化學分析, 國內外大部份的學者而未在 MOUDI 衝擊板上的濾紙或鋁箔塗敷矽油而進行採樣作業 (Hughes et al., 1998; Chung et al., 2001; Geller et al., 2002; Kim et al., 2002; Fine et al., 2004; Martuzevicius et al., 2004; Miguel et al., 2004; Herner et al., 2005; Sardar et al., 2005; Fujitani et al., 2006; Herner et al., 2006; Huang et al., 2006) 。 Hughes et al. (1998) 研究冬季洛杉磯之大氣超細微粒, 探討其數目濃度與化學成份分布; Chung et al. (2001) 研究加州的奈米微粒化學成份; Geller et al. (2002) 將奈米微粒濃縮器置於 MOUDI 之前, 增加奈米微粒收集量; Martuzevicius et al. (2004) 研究辛辛那提地區懸浮微粒的粒徑分布狀況, 並進一步分析其微粒中的化學成分; Miguel et al. (2004) 研究洛杉磯大氣中奈米微粒化學成份與多環芳香烴分布特徵; Fine et al. (2004) 研究洛杉磯地區奈米微粒之有機物含量; Sardar et al. (2005) 研究洛杉磯大氣中的粗微粒、細微粒與超細微粒濃度, 並將採集的微粒作後續的化學分析; Herner et al. (2005) 研究冬季加州大氣中奈米微粒的化學成份; Herner et al. (2006) 採集加州中部的大氣懸浮微粒, 並分析微粒的化學成分。上述學者利用未塗敷矽油的收集表面的 MOUDI, 探討大氣奈米微粒(或稱超細微粒)的生成機制、質量濃度變化與化學成份特徵。

收集基質上若不塗敷油會造成奈米微粒的高估，因此有部分學者在 MOUDI 的收集表面上塗敷矽油進行相關的研究 (Shen et al., 2002; Park et al., 2003, Lin et al., 2005)。Lin et al. (2005) 使用塗敷矽油的鐵氟龍濾紙作為 MOUDI 的收集表面，進行交通污染的微粒採樣，研究大氣微粒濃度及汽機車輛排放廢氣之金屬成份特性，並分析各項污染物與污染來源之關係。基質與微粒種類對微粒彈跳影響之文獻比較如表 2.1 所示，Park et al. (2003) 使用 SMPS 與塗敷矽油鋁箔之 MOUDI 同時採集柴油引擎排放出的奈米微粒，比較兩者為收集表面的質量濃度分布，並計算微粒有效密度與形狀係數，發現 MOUDI 所採集到小於  $0.1 \mu\text{m}$  的微粒質量濃度明顯高於 SMPS，且 MOUDI 數據在微粒粒徑等於  $0.02 \mu\text{m}$  附近出現一峰值。

使用潤滑油或是油品塗敷在衝擊板上可以有效降低或消除微粒在多階衝擊器中的彈跳 (Dzubay et al., 1976; Rao and Whitby, 1978a; Vanderpool et al., 1987)，通常塗敷的物質為有黏性的油品 (Sticky oil)、潤滑油 (Grease) 以及石蠟薄膜 (Wax film)，然而並不是所有的固體微粒會彈出未塗敷的基質 (bare surface)，微粒的硬度似乎會影響微粒彈跳，將二氧化鉛與黃銅倒進相對硬度較軟的煙霧粉塵後，在未塗敷的不鏽鋼板上不會有彈跳情形的發生 (Hinds et al., 1985)。另外 Newton et al. (1990) 也發現氯化銫 (CsCl) 以及黏土 (Clay) 微粒可能因為微粒不規則形狀而使微粒彈跳降低。微粒也會因微粒承載量上升而使微粒彈跳情形趨於嚴重，因為採樣微粒會直接撞擊已收集之微粒而非潤滑油 (Cheng and Yeh, 1979)。Vanderpool et al. (1987) 測試固體微粒在不同衝擊基質之收集效率，見圖 2.1，結果發現玻璃纖維濾紙以及與未塗敷的基質收集固體微粒效率不佳，最高只有 5%，在較重微粒承載的情況下，由於低黏滯性的油品會產生毛細作用 (Capillary action) 進而覆蓋採樣微粒，因此低黏滯性的油品比起潤滑油還能更有效降低微粒彈跳 (Turner and Hering, 1987)。Dzubay et al. (1976) 使用兩台 Anderson 2000 多階衝擊器在快車道上同時進行採樣，一個有塗敷真空油 (Vacuum grease-coated) 鋁箔，另一個則無塗敷，發現無塗敷之鋁箔的質量中間粒徑 (mass median diameter, MMD) 比有塗敷的鋁箔還要低上 2-5 倍，亦即有較多未被衝擊板



捕抓的大微粒會彈跳至較下階收集粒徑的衝擊板上。Lawson et al. (1980)也比較有無塗敷石蠟於濾材上，發現在相同溼度的環境下，有塗敷的濾材收集效率會明顯比未塗敷的濾材高出 25~30%。

由上述的文獻回顧可知，MOUDI 之收集表面大都皆不塗敷矽油，只有部份學者使用塗有矽油的收集表面，但是過去的許多研究顯示，不論 MOUDI 的收集表面是否塗有矽油，仍會存在奈米微粒彈跳問題 (Shen et al., 2002; Park et al., 2003; Fujitani et al., 2006)。Shen et al. (2002)利用 SMPS-APS 系統比較使用塗有矽油的鐵氟龍濾紙衝擊板之 MOUDI 的質量濃度分布，發現 SMPS-APS 所採集到 0.32 ~ 1  $\mu\text{m}$  的微粒質量濃度和 MOUDI 數據相符合，然而當微粒粒徑小於 0.1  $\mu\text{m}$  時，使用塗有矽油的鐵氟龍濾紙衝擊板之 MOUDI 所採到的質量濃度高於 SMPS-APS 系統，如圖 2.2 所示，由此推論出微粒彈跳問題存在於 MOUDI 中，造成採樣的質量濃度誤差。Fujitani et al. (2006)比較未塗敷的石英濾紙之低壓衝擊器，與使用未塗敷矽油的鋁箔的 MOUDI 的微粒質量濃度分布，結果發現 MOUDI 所採集到粒徑小於 0.1  $\mu\text{m}$  的微粒質量濃度明顯高於低壓衝擊器，可能原因是 MOUDI 採集小於 0.1  $\mu\text{m}$  的微粒時會有微粒彈跳的現象發生，造成奈米微粒採樣濃度的高估，且微粒質量濃度分布往粒徑較小的方向偏移，如圖 2.3 所示。Park et al. (2003)使用 SMPS 與塗敷矽油鋁箔之 MOUDI 同時採集柴油引擎排放出的奈米微粒，以比較兩者為收集表面的質量濃度分布，並計算微粒有效密度與形狀係數，結果如圖 2.4 所示，可看出 MOUDI 數據和 SMPS 數據的相關性很高，而 MOUDI 所採集到小於 0.1 $\mu\text{m}$  的微粒質量濃度明顯高於 SMPS，且 MOUDI 數據在微粒粒徑等於 0.02  $\mu\text{m}$  附近出現一峰值，推測在 MOUDI 內奈米微粒有很嚴重的微粒彈跳問題。

Marple (1991)建議收集固體微粒時衝擊基質上應噴灑油類物質以降低微粒彈跳，雖然無法完全抑制微粒彈跳的發生，但仍屬於較能避免微粒彈跳發生的標準方法之一，我們也須考量基質上塗敷矽黃油的量，若塗敷太多會造成油類在 MOUDI 進行採樣時溢出衝擊板而導致微粒重量分析低估；反之若塗敷太少，則無法有效降低微粒彈跳，鋁箔塗敷量的多寡結果將於第四章說明。

礙於微粒後續的化學分析，若不使用已塗敷的基質來抑制固體微粒彈跳，另一種較常用的方法就是提高大氣的相對溼度，讓微粒表面有一層液相存在，微粒間剛體碰撞機會大大降低。

Particles	Collection efficiency (%)
<b>Solid particles</b>	
Silicone grease	95.7
Stopcock grease	96.8
Petroleum jelly	96.0
Apiezon grease	95.0
Glass-fiber filter	7.2
Silicone-sprayed filter	30.7
Ungreased plate	5.0
<b>Liquid particles</b>	
Glass-fiber filter	99.7
Ungreased plate	97.7

圖 2.1 不同基質對固體與液體微粒的收集效率 (Vanderpool et al., 1987)

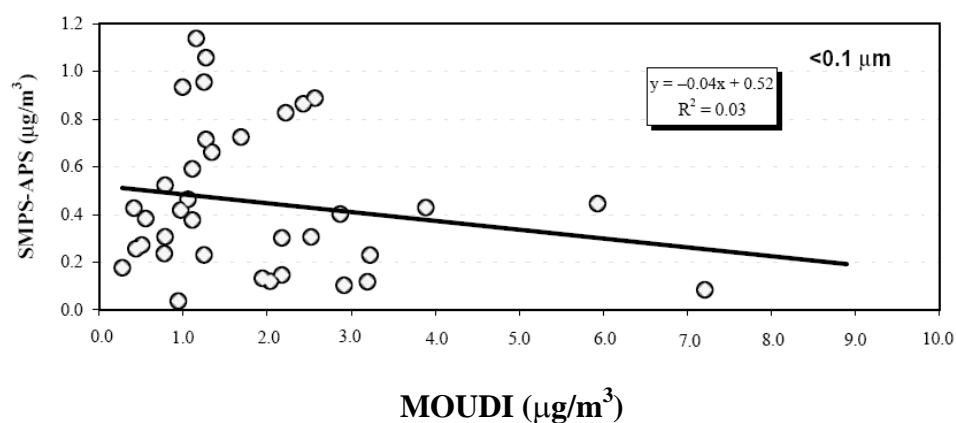


圖 2.2 MOUDI 與 SMPS-APS 之微粒重量濃度比較 (Shen et al., 2002)



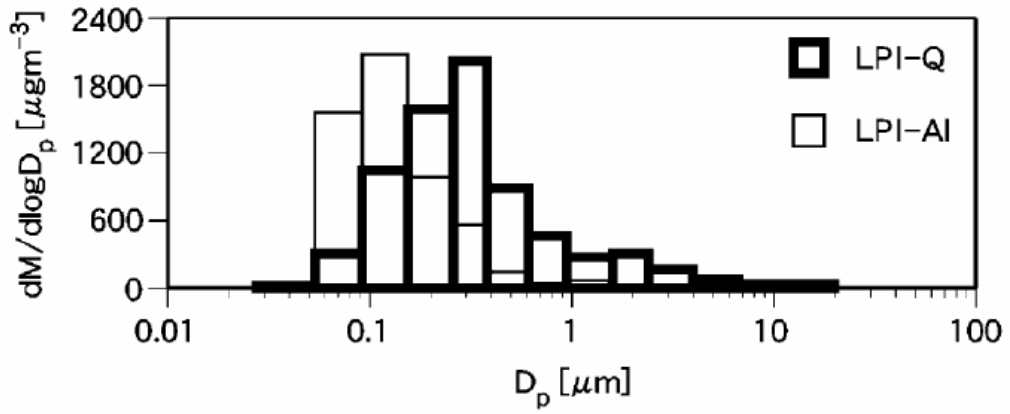


圖 2.3 分別放置石英濾紙與鋁箔在LPI中測得的微粒質量分布圖  
(Fujitani et al., 2006)

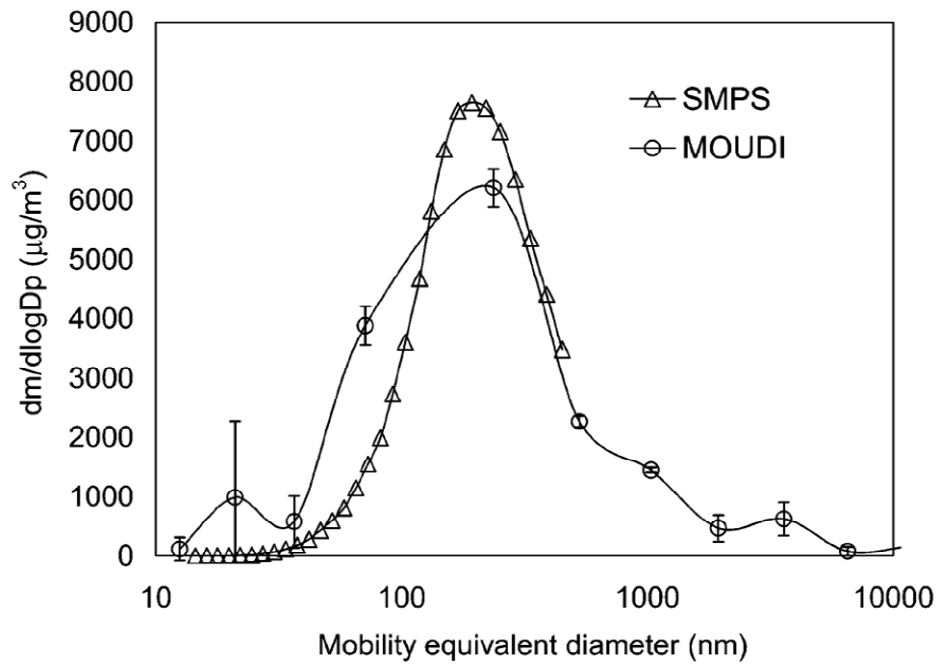


圖 2.4 MOUDI 與 SMPS 之微粒質量濃度分布比較(Park et al., 2003)

表 2.1 基質與微粒種類對微粒彈跳影響之文獻比較

文獻	基質	微粒種類	結果
Dzubay et al., 1976	有無塗敷真空油	汽機車微粒	降低微粒彈跳，有塗敷真空油之 MMD 較無塗敷高 2.5 倍
Lawson et al., 1980	有無塗敷石蠟		塗敷石蠟較無塗敷的收集效率高 25%~30%
Vanderpool et al., 1987	玻璃纖維濾紙以及與未塗敷的基質	較重微粒(如研磨黃酮)	固體微粒收集效率不佳，最高只有 5%
Turner and Hering, 1987	塗敷低黏滯油品與潤滑油	較重微粒	低黏滯油品的效率較佳
Newton et al., 1990		不規則形狀的 CsCl	降低微粒彈跳
Shen et al., 2002	塗敷矽油的鐵氟龍	0.32 微米 ~1.0 微米	MOUDI 數據與 SMPS-APS 數據相近
	塗敷矽油的鐵氟龍	<0.1 微米	MOUDI 數據大於 SMPS-APS 數據
Park et al., 2003	塗敷矽油的鋁箔	柴油車微粒, <0.1 微米	MOUDI 數據大於 SMPS 數據
Fujtani et al., 2006	未塗敷的石英(LPI)與未塗敷的鋁箔(MOUDI)	<0.1 微米	MOUDI 數據大於 LPI 數據
	皆未塗敷的石英與鋁箔(LPI)		鋁箔較石英有往小微粒方向移動

## 2.2 溼度對微粒彈跳之影響

大氣微粒吸收水氣的量與大氣成分組成十分密切，相對溼度小於 60% 之下，水分佔微粒的重量比例不輕，大氣中的水分會被無機物所吸附，當空氣中相對溼度高達潮解點時，無機物便會開始大量吸水，微粒此時體積就會突然大量增加，若將相對溼度往下降至結晶點，微粒仍然維持液相型態，體積雖然會慢慢變小但是直到結晶點時才會突然減少體積至原本體積，複合無機鹽類經歷不同鹽類潮解點而體積不斷增加，然而此複合鹽類的結晶點可能為複合物質中結晶點最低的物質(Pilinis and Seinfeld, 1989)，以上延遲水分吸收以及排出的現象稱為“遲滯”(hysteresis)，每種物質的潮解點與結晶點也不相同。然而大氣有機物也可能吸收水氣，Ellison et al. (1999)發現大氣微粒表面為有機分子所組成，會與氫氧基、

臭氧、硝酸以及鹵化物反應生成氧化物，使得微粒由疏水性質變為較親水性質。Rudich et al. (2000)也發現若疏水性的微粒有裂縫存在，其裂縫處會吸附水分。Demou et al. (2003)利用十二烷、丙二酸、丙二醇、辛二醇以及正辛酸等數種不同有機物基質測試有機物吸水能力，發現丙二酸的潮解點最低，相對溼度 72%時丙二酸便會開始大量吸水，但是相對溼度從 100%開始往下降後只有少量的水氣跑掉，直至降至相對溼度 35%後水氣才會忽然大量消失。微粒吸水因組成成分不同而有很大的差異，不僅僅在無機鹽類部份，有機物吸水也會成為微粒增加重量的一種可能性。

過去學者的研究發現，大氣相對溼度除了會改變微粒重量與粒徑大小外，也與微粒產生彈跳情形有關，大氣氣膠會隨著大氣相對溼度的提高而增加其含水量 (Hanel, 1976; Rader and McMurry, 1986; Stanier et al., 2004; Khlystov et al., 2004; Spencer et al., 2007)，大部分具有吸水特性的大氣細微粒( $PM_{2.5}$ )，會隨著相對溼度的上升使得微粒彈跳情形急速下降 (Stein et al., 1994; Winkler et al., 1974)，而且吸水後的大氣微粒吸水不僅會改變大氣微粒的數目、能見度、微粒的大小、化學組成、生命週期且可能影響微粒穿透人體呼吸系統的可能性 (Stanier et al., 2004)。

不同的相對溼度對微粒彈跳影響之文獻比較如表 2.2 所示，Winkler et al. (1974)發現相對溼度在 75%以上時，使用表面未塗敷的基質收集大氣微粒時微粒彈跳的影響不大；當相對溼度小於 75%時，水溶性材質比起非水溶性材質有較高的收集效率，大氣氣膠的微粒彈跳情形會急速上升。Lawson et al. (1980) 發現大氣相對溼度在 37%左右時，使用未塗敷的聚酯薄膜 (Mylar) 濾材的收集效率約在 25%左右，相對溼度上升至 57%時，微粒的收集效率也上升至 45%。若使用塗敷石蠟 (paraffin)於聚酯薄膜濾材上，當相對溼度從 37%到 57%時，收集效率從 50%上升到 75%。Wang and John (1987)使用不銹鋼基質收集硫酸銨氣膠，發現相對溼度從 17%上升至 23%時微粒的收集效率並無明顯變化，但至相對溼度從 17%至 64%最多可降低 25%微粒彈跳。Fang et al. (1991) 發現相對溼度低於

80%時，使用 MOUDI 採樣硫酸氣膠微粒時，其粒徑大小受到溼度的影響在 4% 以下，相對溼度 95%時硫酸氣膠微粒約成長 17%。Stein et al. (1994) 研究使用未塗敷的鋁箔基質在不同溼度條件下微粒的彈跳情形，發現相對溼度高於 60%以上時，微粒彈跳可降至 26%以下；反之，則彈跳情形急速上升，尤其是相對溼度小於 15%時，微粒彈跳在 84%以上。當相對溼度大於 70%或 80%以上時，僅只有少部份微粒彈跳，表示使用未塗砂油鋁箔的 MOUDI 在採集大氣微粒時，相對溼度須大於 70%，才能有效抑制微粒的彈跳問題發生。

根據上述研究結果，Vasiliou et al.(1999) 在 MOUDI 入口處裝置相對 Nafion dryer，將大氣溼度保持在 70%~80%並使用未塗敷的鐵氟龍作為 MOUDI 的終端濾紙，終端濾紙所收集的重量有隨著相對溼度減少而增加，這是因為微粒彈跳的關係。細微粒(PM<sub>2.5</sub>)中的硫酸鹽在溫度為 25~44°C 且相對溼度 10%~30%情況下，超過 30%以上的硫酸鹽會被收集到終端濾紙上；相對溼度為 20~30%時，15~40%的硫酸鹽重量被收集到終端濾紙上。Vasiliou et al.(1999)在 Las Vegas 場址裡也使用有無裝置相對 Nafion dryer 的 MOUDI 進行大氣採樣，見圖 2.5，發現沒有裝置相對 Nafion dryer 的 MOUDI 比起有裝置相對 Nafion dryer 所量測到的微粒分布有往小微粒方向移動的趨勢。Stanier et al. (2004) 發現當大氣相對溼度從 64%降至 14%時，SMPS 的粒徑分布會往小微粒方向移動。由以上文獻得知，結果顯示當相對溼度大於 70%時，可以有效抑制微粒的反彈現象，且當相對溼度小於 80%時，可以降低收集效率曲線的偏移，準確的採得微粒的質量濃度分布。

微粒的確會因為大氣水氣中相對溼度的上升使得水氣有更高的機會包覆住微粒，讓已被水氣包覆的微粒撞擊衝擊板時可以降低微粒彈跳，不過水氣包覆微粒後不但讓微粒粒徑改變外其微粒密度也會有所不同，在使用儀器(SMPS)計算時須重新計算微粒有效密度。Spencer et al. (2007)比較大氣相對溼度及大氣絕對含水量對微粒有效密度的關係，結果發現大氣含水量與微粒有效密度有很好的相關性，大氣微粒的有效密度大約介於 1.1~1.55 g/cm<sup>3</sup> 之間。

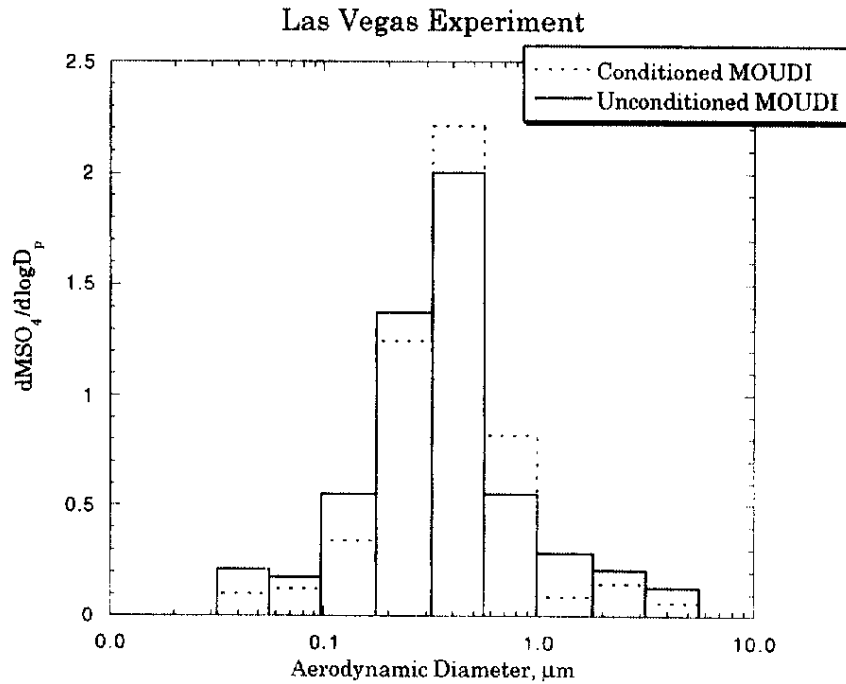


圖 2.5 Las Vegas 場址裡使用有無裝置相對溼度控制器的 MOUDI 之微粒分布圖

(Vasiliou et al., 1999)

表 2.2 相對溼度 (RH)對微粒彈跳影響之文獻整理

文獻	RH	結果	儀器	基質	微粒種類
Winkler et al., 1974	>75%	可使用未塗敷的基質收集大氣微粒			大氣微粒
	<75%	水溶性材質比非水溶性材質有較高的收集效率			大氣微粒
Lawson et al., 1980	37%→57%	使用未塗敷的聚酯薄膜濾材，微粒收集效率從 25%上升至 45%			
	37%→57%	使用塗敷石蠟於聚酯薄膜濾材上，微粒收集效率從 50%上升到 75%			
Wang and John, 1987	17%~64%	使用不銹鋼基質收集硫酸銨氣膠，微粒彈跳可降低 25%			
Fang et al., 1991	<80%	粒徑大小受 RH 影響在 4%以下	MOUDI		硫酸氣膠
	95%	粒徑約成長 17%	MOUDI		硫酸

					氣膠
Stein et al., 1994	>70%	僅少部份微粒彈跳發生	MOUDI	未塗敷鋁箔	大氣微粒
	>60%	微粒彈跳下降 26%	MOUDI	未塗敷鋁箔	大氣微粒
	<15%	微粒彈跳上升至 84%以上	MOUDI	未塗敷鋁箔	大氣微粒
Vasiliou et al., 1999	70%~80%	非吸水性微粒誤差 10.4%	MOUDI	未塗敷的鐵氟龍	大氣微粒
	>80%	改變微粒粒徑	MOUDI	未塗敷的鐵氟龍	大氣微粒
Stanier et al., 2004	64%→14%	SMPS 的奈米微粒數量往小微粒方向偏移	SMPS		大氣微粒



## 第三章 研究方法

本研究使用到的儀器有微孔均勻沉降衝擊器 MOUDI (Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, Model 110, MSP corporation, Minneapolis, MN)、雙通道 PM<sub>10-2.5</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> Dichot(Dichotomous, Andersen SA-241)、掃瞄式電動式微粒分析儀 SMPS (Scanning mobility particle sizer, TSI Incorporated, St. Paul, MN)。本研究主要使用 MOUDI 進行以下實驗並說明其實驗目的：

1. MOUDI 的測試步驟，測試兩台 MOUDI(M1 與 M4)各階層所收集到的微粒濃度差異，其目的為確保 M1 與 M4 濃度收集濃度相近。MOUDI 分別與 Dichot、SMPS 收集到的濃度作比對驗證已塗敷矽黃油的鋁箔的確可抑制微粒彈跳。
2. 測試 MOUDI 內不同收集板材質的彈跳情形比對，以了解在一般大氣相對溼度下(50~80%)，鋁箔與鐵氟龍等不同基質在 MOUDI 內各階收集到的濃度差異。
3. 控制溼度時 MOUDI 內的微粒彈跳研究，了解提升相對溼度後不同收集基質在 MOUDI 內各階收集到的濃度差異，期望能降低微粒彈跳。

### 3.1 實驗儀器

下面將一一介紹本研究使用的微粒粒徑量測儀器之粒徑量測範圍、操作條件及參數等等。

1. MOUDI (圖 3.1)：此儀器可以量測微粒的重量濃度分布。測量質量濃度分布時的採樣流量為 30 L/min，採樣的粒徑範圍由 56 nm 至 18000 nm。MOUDI 由噴嘴加衝擊板組合而成，如圖 3.2，其原理是當微粒具有足夠的慣性力時能夠撞擊於衝擊板上被收集，而當慣性力小的微粒會隨著氣流被帶至下一階，造成不同粒徑之微粒逐階分離收集。每一階層因為噴嘴口徑大小造成不同出口速度，而



形成可收集微粒之截取直徑，當微粒大於階層的截取直徑則可被收集，比其截取直徑小之微粒則會通過。表 3.1 為多階衝擊器之各階的截取粒徑、噴嘴大小及噴嘴數等設計的詳細資料，此處截取氣動直徑值( $D_{pa50}$ )代表微粒經過噴嘴後，微粒中有此階氣動直徑的 50%數量會被此階基質所收集，進口階、第一階、第二階直至第 10 階的衝擊板分別收集微粒粒徑 18 $\mu\text{m}$  以上、18 $\mu\text{m}$ ~10 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ ~5.6 $\mu\text{m}$ 、5.6 $\mu\text{m}$ ~3.2 $\mu\text{m}$ 、3.2 $\mu\text{m}$ ~1.8 $\mu\text{m}$ 、1.8 $\mu\text{m}$ ~1.0 $\mu\text{m}$ 、1.0 $\mu\text{m}$ ~0.56 $\mu\text{m}$ 、0.56 $\mu\text{m}$ ~0.32 $\mu\text{m}$ 、0.32 $\mu\text{m}$ ~0.18 $\mu\text{m}$ 、0.18 $\mu\text{m}$ ~0.1 $\mu\text{m}$  以及收集微粒粒徑 100nm 以下的終端濾紙。

MOUDI 多階衝擊器的每一階，均有齒輪，收集時由於齒輪的帶動，使噴嘴面與收集濾紙或鋁箔紙形成相對旋轉，進而使濾紙或鋁箔紙可以均勻收集，不至於將微粒堆積在同一點上，造成採樣時之局部壓損急升。另外，階與階層間均具有 O-ring seal，可使階與階間密合，不至於在採樣過程中，受到外界氣流干擾及污染。另外，在 MOUDI 多階衝擊器中，可藉由壓損的變化來控制其穩定的流量，上下各有錶壓控制器，上面可控制前七階之壓損，下面可以控制其他階的壓損，當一開始實驗時的設計流量為 30 L/min，但是由於微粒阻塞濾紙及噴嘴，於採樣過程中可能造成壓損的增加使流量下降，因此在開始實驗時，固定錶壓控制器的讀值，往後進行採樣，可依據此讀值調整流量，使流量穩定。

在本研究進行實驗時僅使用 9 個衝擊板，因此採樣的粒徑範圍便改由 100 nm 至 18000 nm，並且將 MOUDI 第三階截取氣動直徑從 3.2 $\mu\text{m}$  換成 2.5 $\mu\text{m}$  的衝擊板，以便測得 PM<sub>2.5</sub>。此儀器使用的基質 (substrate) 為鋁箔，此鋁箔紙的製造商為美國 Diamond 公司，直徑 47 mm。鋁箔上塗敷的矽油為日牌的信越矽油，型號為 KF96SP。本研究選用鐵氟龍濾紙作為終端濾紙，其為美國 PALL 公司生產，型號為 R2PL047，孔洞大小為 1  $\mu\text{m}$ ，直徑為 47 mm。





圖 3.1 多階衝擊器(MSP, Model 110)



圖 3.2 上圖為 MOUDI 之 10 階噴嘴，下圖為 MOUDI 之衝擊板

表 3.1 MOUDI 設計與操作參數(Marple and Olson, 1999)

Stage	理論截取氣動直徑值 ( $\mu\text{m}$ )	實驗截取氣動直徑值 ( $\mu\text{m}$ )	噴嘴直徑 (cm)	噴嘴數目	S/W	P/Po	噴嘴雷諾數
進口	18	18	1.71	1	0.75	1.00	2420
1	10.0	9.9	0.889	3	0.5	1.00	1560
2	5.6	6.2	0.380	10	1.0	1.00	1090
3	3.2	3.1	0.247	10	1.0	1.00	1680
4	1.8	1.8	0.137	20	1.0	1.00	1510
5	1.00	1.00	0.072	40	1.0	0.99	1440
6	0.56	0.56	0.040	80	1.5	0.97	1340
7	0.32	0.32	0.140	900	4.1	0.95	350
8	0.18	0.18	0.0090	900	6.4	0.89	580
9	0.10	0.097	0.0055	2000	10.6	0.76	500
10	0.056	0.057	0.0052	2000	11.1	0.59	750

2. SMPS (圖 3.3): 此儀器系統是由微分式電動度粒徑分析器 (Long-DMA, Model 3080, TSI Inc., St. Paul, MN, USA)和核凝微粒計數器 (CPC, Model 3086, TSI Inc., St. Paul, MN, USA) 所組成，SMPS 原理為利用微粒不同電動度直徑進行微粒粒徑分徑，微粒進入 SMPS 後會先通過靜電中和器 (Neutralizer)，讓微粒的帶電比例成波茲曼分布(Boltzmann equilibrium)，然後大部分僅帶一顆電荷的微粒通過 DMA(Differential mobility analyzer)時，具有相同電動度的微粒就會受電荷的吸引而篩出目標粒徑，此粒徑為電動度直徑，最後再經由 CPC 算得微粒在此目標粒徑的數目濃度。系統中的核凝微粒計數器可以以不同型號的計數器來替換使用，此儀器系統可測量微粒的數目濃度分布。操作條件設定為 Sheath flow: 3 L/min, Aerosol flow: 0.3 L/min，掃描範圍由 15.1 nm 至 661 nm，每筆分布圖的掃描時間為 2 分鐘。

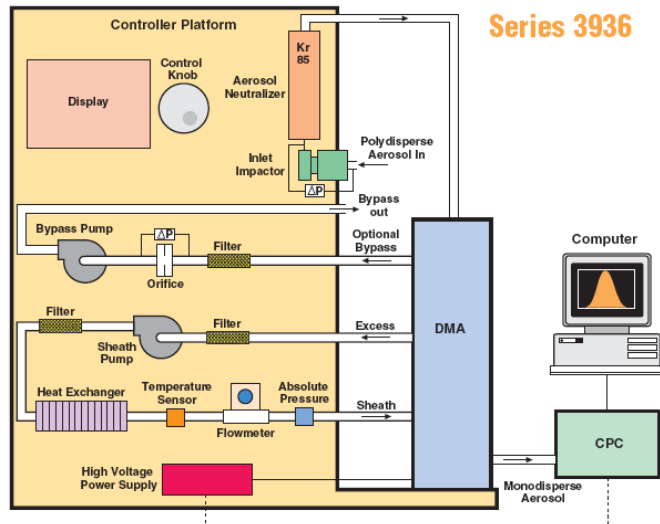


圖 3.3 掃描式微粒電動度分析儀的實際照片及構造示意圖。

(資料來源：TSI website, <http://www.tsi.com/>)

3. Dichot (圖 3.4)：此儀器可以量測微粒的重量濃度分布。微粒進入 Dichot 上方的環形入口後，會先經過一  $PM_{10}$  的衝擊器去除  $10\ \mu m$  以上的微粒，小於  $10\ \mu m$  的微粒會通過加速噴嘴而進入虛擬衝擊器中(Virtual Impactor)，微粒因慣性力大小的不同會被分成兩股，較大顆的微粒(coarse particle,  $10\text{-}2.5\ \mu m$ )會直接進入噴嘴下方，吸取流量較小( $1.67\ L/min$ )的通道而被收集在濾紙上；較小的微粒(fine particle,  $< 2.5\ \mu m$ )則跟隨氣流轉向，進入吸取流量較大( $15\ L/min$ )的通道而被收集在另一片濾紙上。操作條件設定為 Sheath flow:  $1.78L/min$ 。



圖 3.4 雙通道 PM<sub>10-2.5</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> (Dichotomous, Andersen SA-241)採樣器

### 3.1.1. MOUDI 的測試步驟

MOUDI 第七、八兩階(0.25 及 0.18  $\mu\text{m}$ )的噴嘴容易被微粒塞住，所以當流量還是 30 L/min，但壓損有明顯變大時，即表示噴嘴有塞住。不可將 MOUDI 的任何一部份放入超音波震盪器中清洗(會損壞噴嘴)，正確的方式為先將要清洗的部份浸入加少許洗潔精的清水中或其他清潔用的溶劑，一段時間後(約 24 小時或更久)，用蒸餾水或酒精漂洗。取下噴嘴時要相當小心，因為很容易損壞噴嘴。本研究新設計之噴嘴可直接放入超音波震盪器清洗，並無容易破損之問題。

為防止設備採樣期間產生漏氣現象，需先進行測漏實驗，步驟如下：(1)將各階衝擊板置入採樣器中。(2)在 MOUDI 入口接上真空計(或壓力計)及針閥，真空計在針閥與入口之間，並開啟馬達讓衝擊器旋轉。(3)打開真空幫浦並關閉針閥，當真空計讀值大於  $80\pm 5$  kPa (壓力計則小於  $20\pm 5$  kPa)，關閉幫浦。(4)觀察並紀錄真空計讀值的變化，當洩漏率小於 25 Pa/s 則表示通過測漏。

濾紙在採樣前須先放至調理箱 24 小時以上，溫度控制為  $21\sim 22^{\circ}\text{C}$ ，相對溼度為  $40\pm 5\%$ ，塗敷過矽黃油之鋁箔需先放置烘箱中烘烤 90 分鐘再進行調理，烘烤溫度為  $65^{\circ}\text{C}$ ，秤重時環境的溫溼度需與調理箱內相近，且每次秤重前須先讓鋁箔與鐵氟龍之空白重量差異分別在 1、5 微克內時方可開始秤重。

測試不同基質實驗之前，我們需先決定矽黃油(Silicone grease)塗敷於鋁箔上的量，Marple et al. (1991)指出操作 MOUDI 時要注意乾微粒在衝擊板上反彈而被帶至下游階層的問題，所以衝擊板需塗敷矽油以降低微粒的彈跳情形。矽油的塗敷量與預期收集的微粒負載量有關，當衝擊板的微粒負載量為 0.2、0.5 或 3.0 mg 時，烘乾後矽油的塗敷量分別至少為 0.25、0.5 或 1.0 mg/cm<sup>2</sup>。Pak et al.(1992)測試 MOUDI 衝擊板的矽油塗敷厚度對微粒彈跳的影響，使用噴灑器在濾紙上塗敷 0.3、0.5、0.7 以及 9µm (相對矽油重量 0.212-6.36 mg)四種均勻厚度的矽油當作 MOUDI 的衝擊基質。結果發現在低微粒濃度情況下(100 #/cm<sup>3</sup>)任一厚度的矽油噴灑皆能使微粒彈跳降至很低(<7%)，且一般使用 MOUDI 收集細微粒與奈米微粒時，微粒需被收集一定的量才能準確的被秤出重量。然而兩台 MOUDI 各階效率比對實驗也需了解，以便於後續實驗，此部分實驗的兩台濾紙需同時放置已塗敷的鋁箔，且進行為時一天的大氣採樣，測試結果將於 4.1 節說明。

### SMPS 與 MOUDI 之比對測試

實驗我們將 SMPS、Dichot 與 MOUDI 同時在馬路旁、森林中以及隧道內等不同地方進行採樣並同時紀錄溼度，讓 MOUDI 內放置已塗敷的鋁箔當成一個未產生微粒彈跳的基準藉此比較另一台改變收集基質或大氣溼度的 MOUDI 數據，驗證塗敷矽黃油的鋁箔的確能大大降低微粒彈跳情形的發生，SMPS 與 MOUDI 彈跳比對實驗示意圖 3.5。

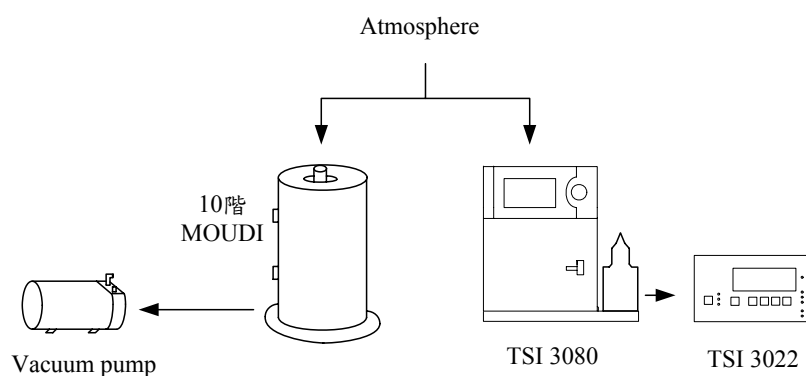


圖 3.5 SMPS 與 MOUDI 微粒彈跳比對實驗示意圖



微粒的密度可將SMPS取得的數目濃度數據轉換成重量濃度數據，一般微粒的密度是透過採樣並分析微粒的化學組成來取得，但因一般大氣中的微粒組成成分相當複雜，所以很難地被精準定量出來，況且當奈米微粒粒徑改變時，有效密度也可能逐漸改變(Ku et al.)。大氣中的微粒有些並非是圓球狀，並不能真正代表此微粒的密度 ( $\rho_p$ )。一般情況下是以有效密度( $\rho_{eff}$ )代表此微粒的特徵密度，然而有效密度與動力形狀係數 ( $\chi$ )有關，微粒形狀越破碎 $\chi$ 值越大，有效密度公式如下：

$$\rho_{eff} = \frac{\rho_p}{\chi}$$

此研究將利用SMPS與MOUDI兩種採樣器來量測微粒的數目濃度以及重量濃度，並且透過公式來訂出微粒的有效密度。Spencer et al.(2007)提到微粒的有效密度與大氣絕對含水量有關，因此要算出大氣的絕對含水量首先先算得大氣中水分子的含量，再利用下述公式計算採樣當時溫度下的水分子飽和蒸汽壓 ( $p_{H_2O}^0$ )：

$$p_{H_2O}^0(T) = p_s \exp[13.3185a - 1.976a^2 - 0.6445a^3 - 0.1299a^4]$$

其中T為溫度， $p_s$ 為1013.25 mb， $a = 1 - (T_s/T)$ ， $T_s = 375.15$  K。得知水分子飽和蒸氣壓以及採樣時之相對溼度 (RH)，則水分子混合比可利用下列公式算得。

$$[H_2O] = 10^4 RH \frac{P_{H_2O}^0}{P} (ppm)$$

再利用下式將混合比轉換成重量濃度：

$$\text{Mixing ratio of } H_2O \text{ in ppm} = \frac{RT}{pM_i} \times \text{conc. of } H_2O \text{ in } \frac{\mu g}{m^3}$$

R及 $M_i$ 分別為理想氣體常數及水分子分子量，最後再查詢Spencer et al.(2007)所提出的相對溼度下大氣水分子毫莫耳比率(mMol/Mol)與有效密度之圖可求得微粒有效密度，見圖3.6。

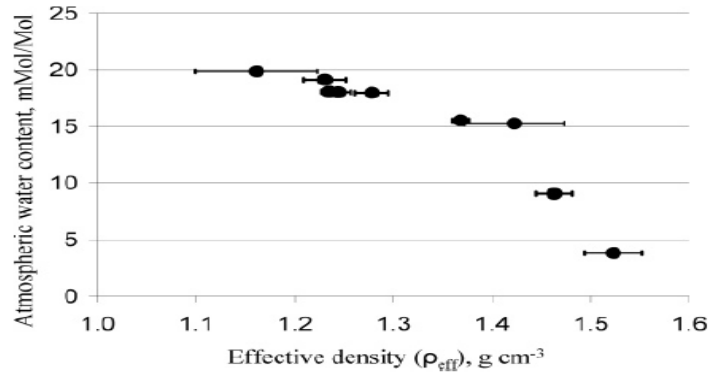


圖 3.6 不同微粒電動度下，微粒有效密度與大氣含水量的關係  
(Spencer et al. 2007)

藉由有效密度將SMPS的電動度直徑轉換成MOUDI的氣動直徑進行比對 (Khlystov et al., 2004; Shen et al., 2002; Park et al., 2003)。公式如下：

$$d_m = d_a \sqrt{\frac{C(d_a)}{C(d_m)} \frac{1}{X}}, X = \sqrt{\frac{\rho_p}{\chi \rho_0}} = \sqrt{\frac{\rho_{eff}}{\rho_0}}$$

$\rho_{eff}$  = 微粒有效密度

$\rho_p$  = 微粒密度

$\rho_0$  = 單位密度(1.0 g cm<sup>-3</sup>)

$\chi$  = 微粒動力形狀係數

$d_a$  = 微粒氣動直徑

$d_m$  = 微粒電動直徑

$C(d_a)$  = 為電動直徑為 $d_a$ 時的滑動校正係數

$C(d_m)$  = 為電動直徑為 $d_m$ 時的滑動校正係數

$X$ 為粒徑修正係數 (size-correction factor, Khlystov et al.,2004)

若假設微粒為圓球型且 $C(d_a) = C(d_m)$ ，則微粒數目濃度 ( $N_i$ )可利用下列公式轉換成重量濃度 ( $C_m$ )：

$$C_m = \frac{\pi}{6} \rho_{eff} N_c (d_m)^3$$

$C_m$  = 微粒重量濃度

$N_i$  = 微粒數目濃度

### 3.2 MOUDI 中不同收集板材質的彈跳情形比對

為了探討無塗敷基質在提高大氣相對溼度後能否降低微粒彈跳，因此我們需了解有無塗敷的鋁箔基質在同樣的相對溼度條件下之彈跳情形。台灣平地地區的溫溼度範圍，乾球溫度 10 至 39°C 而相對溼度從 50 至 100 %，因此實驗時我們將控制相對溼度在 50~80% 條件下進行採樣。實驗方法如下，M1、M4 皆不裝置溼度控制器且在同樣條件下進行採樣，M1 的 1-9 階衝擊基質放置塗敷過矽黃油之鋁箔(直徑 47mm)，M4 則放置未塗敷的鋁箔或鐵氟龍，終端濾紙皆使用鐵氟龍濾紙，進行持續 24 小時的大氣採樣，並紀錄當時採樣周圍的溫溼度。



### 3.3 控制溼度時 MOUDI 內的微粒彈跳研究

MOUDI 入口端溼度控制部份，我們使用 Nafion dryer(Humidifier, ACG Eng. Co., Ltd)來進行加溼或除溼實驗，Nafion dryer 由 780 個 1 毫米管徑、18.78 公分管長的管束所組成，實驗儀器如圖 3.7，它主要利用管束內外壓力差與溼度差來控制採樣入口的溼度值。

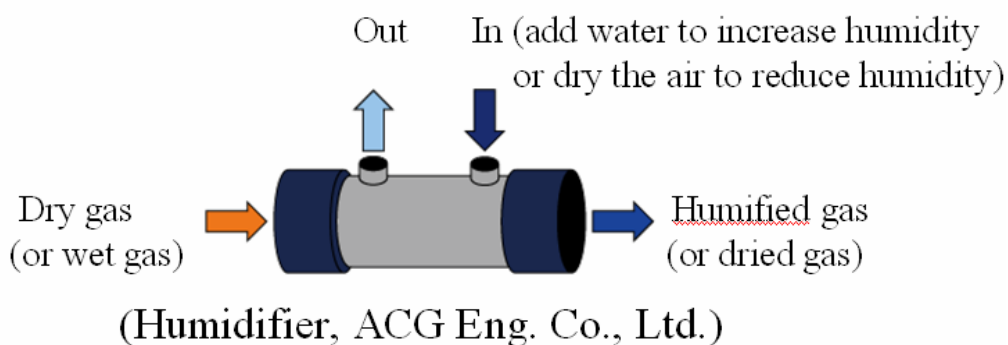


圖 3.7 Nafion dryer 溼度控制示意圖



實驗架設圖如圖 3.8 所示，(A)為加溼系統，將超純水裝入混合腔內 (chamber)，並使用一道高壓且無微粒的氣體注入混合腔中，使得從混合腔出來之氣體具有充分的水氣，最後再將此氣體引入 Nafion dryer 中達到加溼作用，溼度器內部的氣流方向與 MOUDI 的進流方向須相反；(B)為乾燥系統，使用真空幫浦將大氣乾燥空氣引入 Nafion dryer 中達到除溼作用，此處大氣空氣須先經過 HEPA 篩除微粒後再通過除溼矽膠來去除其水分。

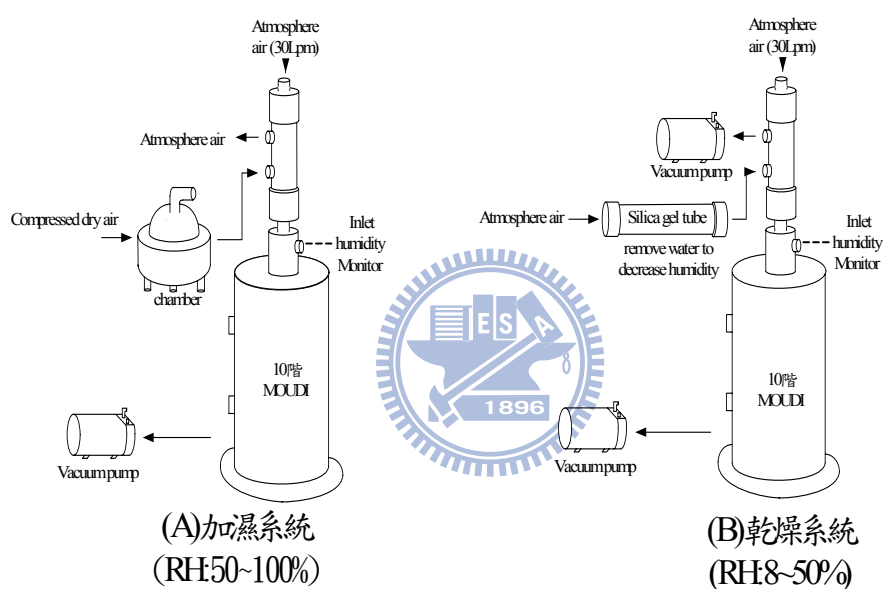


圖 3.8 溼度控制系統

圖 3.9 為降低溼度的系統示意圖，當內部的壓力差與內部氣流的流量越大時，相對溼度可控制越低，然而內部氣流流量與壓力成反比，如表 3.2 與圖 3.10 可見，當氣流流量為 10.16 Lpm 時，有一最低的相對溼度出現，相對溼度當然也與進口溼度有關，若除溼用矽膠的效率降低，則控制溼度的下限值也會慢慢增加。

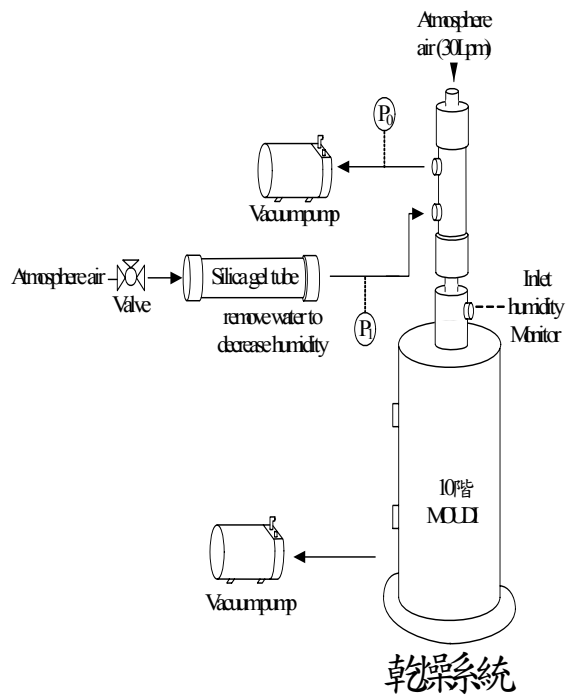


圖 3.9 乾燥管進口流量與  $P_1$  關係之架設圖

表 3.2 進口流量、 $P_1$  與 RH 之實驗值

次數	flowrate (Lpm)	$P_1$ (cmHg)	RH (%)	T ( $^{\circ}$ C)
1	22.26	42.5	14.4	26.5
2	16.35	48	13.8	26.5
3	10.16	55	13.6	26.5
4	7.173	57	14.7	26.5
5	6.015	57.5	14.8	26.5
6	3.511	60	15.2	26.7
7	2.888	60	15.9	26.7
8	1.879	61.5	23	27.1
9	0.683	62	37.5	27.1
10	0	62.5	54.1	27.1

註： $P_0$  為 67.5 cm Hg

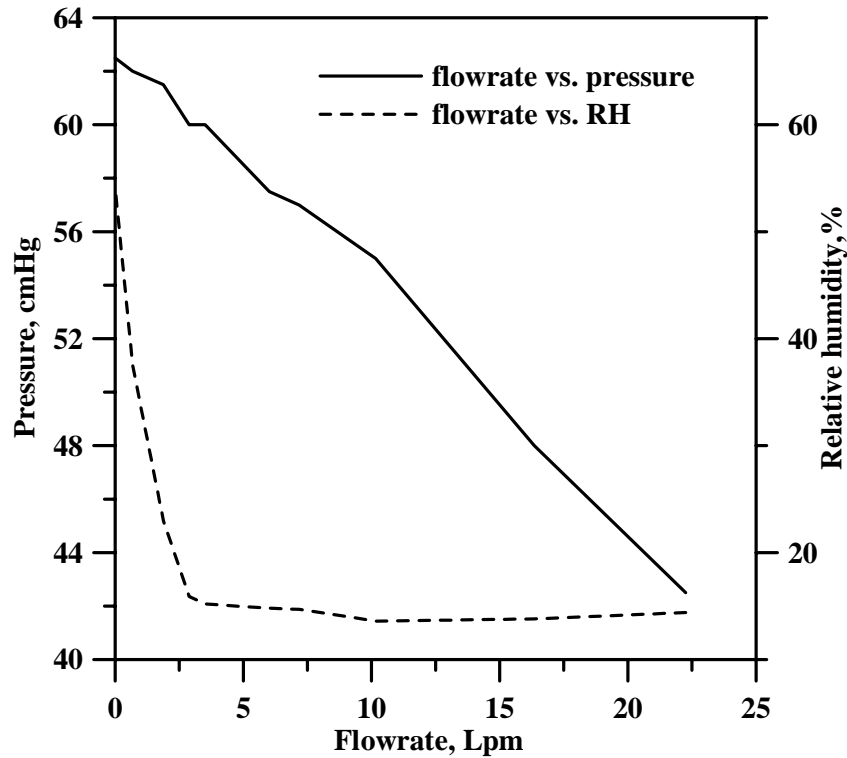


圖 3.10 進口流量、 $P_1$  與 RH 之關係圖

為了解微粒通過溼度控制系統後是否影響微粒收集濃度，因此我們先進行微粒經溼度控制器後的損失測試。此部份實驗放置濾紙方式與測試兩台 MOUDI 的效率一樣，M1 與 M4 的 0~9 階放置已塗敷的鋁箔，M1 未裝置溼度控制器而 M4 有加裝但未控制其溼度，並同時進行為時一天的大氣採樣，再以 SMPS 驗證其奈米微粒通過損失量。

本研究先利用圖 3.8(B) 的系統，以低相對溼度下(8~50%)比較未塗敷且低溼度環境下與已塗敷的鋁箔基質彈跳情形。未加裝溼度控制系統的 M1 的 0~9 階放置已塗敷過的鋁箔，而加裝溼度控制系統的 M4 的 0~9 階放置未塗敷的鋁箔，並控制採樣入口的相對溼度在 8~50% 內，外面大氣相對溼度 55~75% 下，將已塗敷過的鋁箔當成未發生微粒彈跳的一個標準進而比較低溼度且未塗敷的鋁箔基質的彈跳情形，此部分的低相對溼度並未分開討論微粒去水後粒徑粒徑變化，只是更一步了解低相對溼度所造成的粒徑偏移。

在高相對溼度部份，本研究利用圖 3.8(A)比較未塗敷且高溼度環境下與已塗敷的鋁箔基質(鐵氟龍基質)彈跳情形。此部分與低相對溼度部分放置濾紙方式相同，若只將 M4 裝置溼度控制器，則只能比較微粒因水氣成長後之趨勢，無法直接看出不同基質在不同相對溼度下的關係，為了將微粒粒徑因水氣成長後之變數排除，因此在高相對溼度部份，需將 M1 與 M4 一同加溼進行不同基質比較，如圖 3.11。

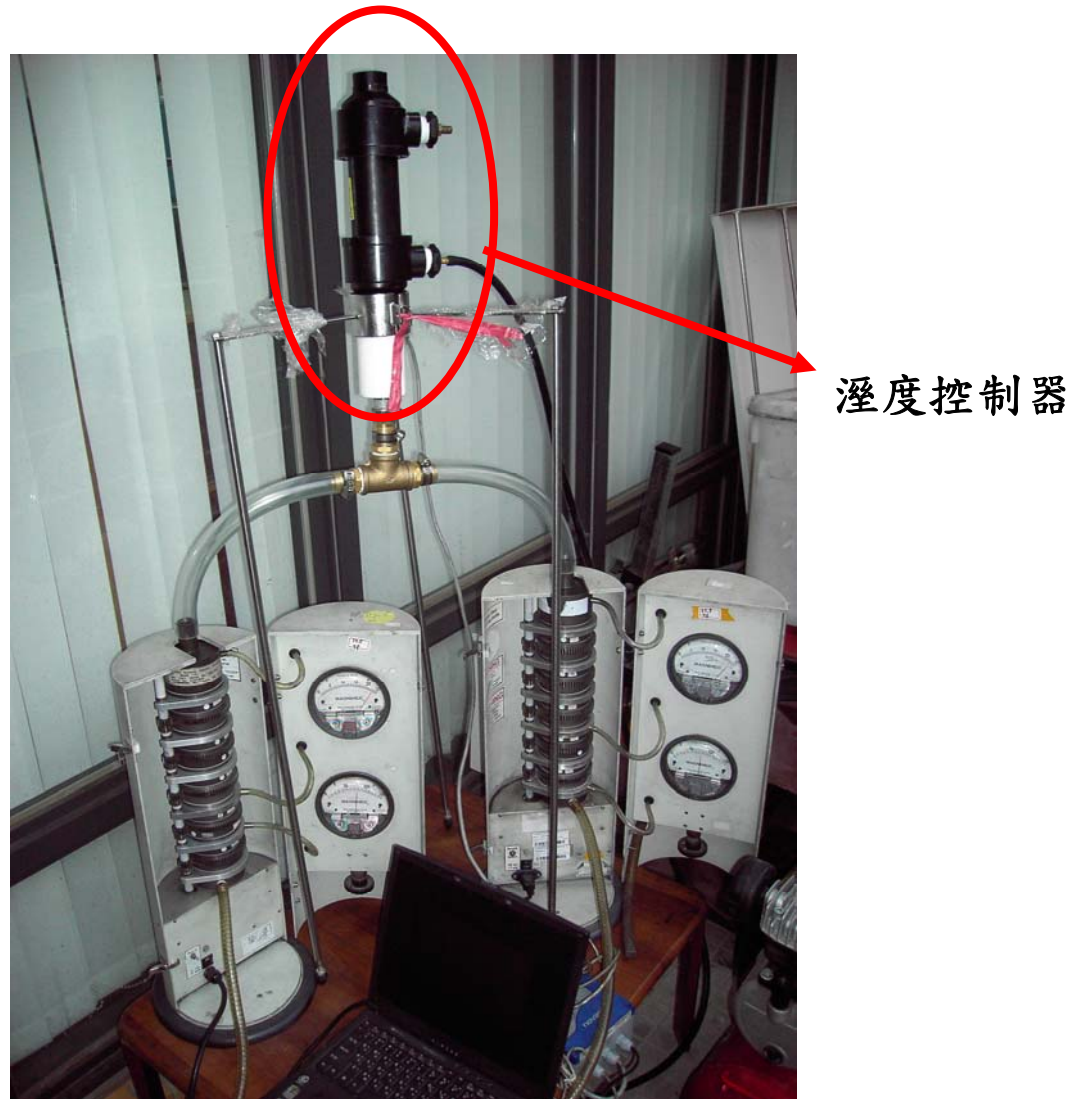


圖 3.11 兩台 MOUDI 同時裝置溼度控制器

整理以上各實驗 MOUDI 濾紙放置方式與相對溼度如表 3.3，表 3.3(1)放置方式比較 M1 與 M4 收集微粒濃度高低與測試溼度控制器造成的微粒損失；表 3.3(2)

放置方式為以鋁箔為基質並改變相對溼度以了解 MOUDI 內微粒彈跳情形；表 3.3 (3)放置方式則以鐵氟龍為基質並改變相對溼度。

表 3.3 各實驗放置濾紙方式與相對溼度操作條件

放置濾紙方式		(1)		(2)		(3)	
相對濕度		無控制		12%、52%、65%、75% 以及 98%		23%、74%以及 98%	
MOUDI 編號		M1	M4	M1	M4	M1	M4
M O U D I	0-9 階	塗敷矽黃油之鋁箔濾紙	塗敷矽黃油之鋁箔濾紙	塗敷矽黃油之鋁箔濾紙	未塗敷矽黃油之鋁箔濾紙	塗敷矽黃油之鋁箔濾紙	未塗敷矽黃油之鐵氟龍濾紙
	終端濾紙	未塗敷之鐵氟龍濾紙		未塗敷之鐵氟龍濾紙		未塗敷之鐵氟龍濾紙	



## 第四章結果與討論

### 4.1 MOUDI 的 QA/QC

#### 4.1.1. 基質上矽黃油塗數量

表4.1為矽黃油揮發測試，因為MOUDI第7階至第9階的壓力較低，較易讓揮發性油品揮發導致秤重分析時低估，因此油品採樣前需經過烘烤過程去除揮發性物質。7~9階的粒徑範圍為0.56~0.1 $\mu\text{m}$ ，H、M、L分別代表矽黃油塗數量的多、中以及少量，由此表可看出我們所使用的油品在烘烤前後的重量差異在2  $\mu\text{g}$ 內，幾乎不揮發，而(4)為使用HEPA先去除大氣微粒並進行時間長達一天的大氣採樣所得到的重量，多量以及中量的塗數量在採樣後的重量差異大，主要是因為塗敷在鋁箔上的矽黃油採樣期間被衝擊到採樣環上導致秤重分析嚴重低估；然而在塗數量控制在0.44mg以下時，可以有效防止矽黃油觸碰到採樣環，而維持良好的重量分析品質，根據Pak et al.(1992)的最低基質塗數量為0.212mg左右，因此以下若需要進行矽黃油塗敷的實驗，則塗數量控制在0.25~0.45mg之間。

表 4.1 鋁箔基質上塗敷矽黃油之揮發以及塗數量測試

Stage	未塗敷 (1), mg	已塗敷 (2), mg	經烘烤 (3), mg	進口濾 除微粒 採樣 (4), mg	矽黃由 重量 (3)-(1), mg	採樣後重 量差異 (4)-(3), mg	是否有 接觸到 採樣環	
H	7	70.416	72.206	72.206	71.729	1.790	-0.477	Yes
	8	70.596	72.536	72.534	71.902	1.938	-0.632	Yes
	9	70.409	71.751	71.750	71.176	1.341	-0.574	Yes
M	7	70.536	71.390	71.391	71.392	0.855	+0.001	No
	8	70.303	71.110	71.108	71.003	0.805	-0.105	Yes
	9	70.387	71.044	71.045	70.960	0.658	-0.085	Yes
L	7	71.282	71.664	71.663	71.665	0.381	+0.002	No
	8	70.487	70.850	70.849	70.852	0.362	+0.003	No
	9	71.250	71.692	71.691	71.689	0.441	-0.002	No

#### 4.1.2. 兩台 MOUDI 之各階效率比較結果

表 4.2 與圖 4.1 僅列出一次兩台 MOUDI 收集效率比對結果，其餘結果(附錄一至六)與此次結果極為相似，表 4.3 中數據為 M1 與 M4 測得重量濃度之比值，越接近 1.0 代表同階層效率越相近，由此表可得知各階收集效率相近，平均在 0.96~1.06，標準差則在 0.01~0.19，所關心的奈米微粒收集效率平均在 1.08，而且變異數不大，代表此階層收集效率的精確度與精準度高。

四次實驗各階效率測試數據，除了 1.8~2.5 $\mu\text{m}$  之間微粒濃度有稍微差異，大部分各階 RSD 皆在 10% 內，奈米微粒重量濃度與微粒總濃度也非常相近。微粒重量濃度分布情形兩台一致，這代表實驗前 MOUDI 各階衝擊板的效率極為相近。

表 4.2 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時各階濃度差異比較, 980821  
(RH: 57~78% T:28~33 $^{\circ}\text{C}$ , both coated Al)

$D_{pa50}(\mu\text{m})$	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RSD(%)
>18	4.394	4.103	4.835
10~18	2.267	2.209	1.829
5.6~10	3.450	3.549	2.018
2.5~5.6	6.642	6.388	2.763
1.8~2.5	1.512	1.346	8.181
1.0~1.8	2.598	2.646	1.274
0.56~1.0	9.866	10.031	1.175
0.32~0.56	9.149	9.432	2.157
0.18~0.32	4.280	4.232	0.793
0.1~0.18	1.503	1.535	1.513
<0.1	1.325	1.359	1.769
SUM	46.984	46.830	

註: 1. 相對標準偏差 (Relative standard deviation, RSD) 值為 (M1 與 M4 重量濃度之標準差)/(兩者平均濃度)\*100。

2. SUM 代表採樣器的收集總重量濃度。



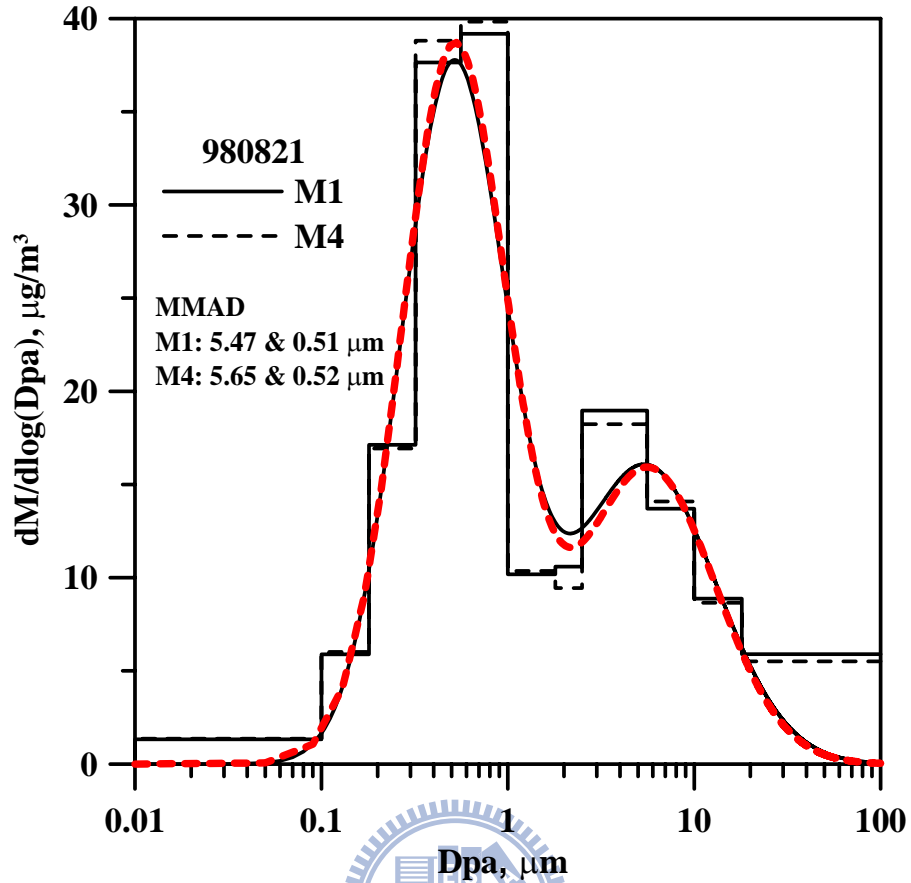


圖 4.1 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗砂油時各階濃度之分布圖, 980821

表 4.3 M1 與 M4 各階濃度比值的比較

Dp <sub>50</sub> (µm)	980410	980821	980830	981222	average	stdev
>18	0.86	0.93	0.98	1.29	1.02 ±	0.19
10~18	0.94	0.97	1.02	1.01	0.98 ±	0.04
5.6~10	0.96	1.03	1.02	0.97	0.99 ±	0.04
2.5~5.6	0.94	0.96	0.94	1.00	0.96 ±	0.03
1.8~2.5	1.38	0.89	0.87	1.09	1.06 ±	0.24
1.0~1.8	0.94	1.02	1.08	0.97	1.00 ±	0.06
0.56~1.0	0.97	1.02	0.96	1.05	1.00 ±	0.04
0.32~0.56	0.85	1.03	1.04	1.04	0.99 ±	0.09
0.18~0.32	1.05	0.99	0.92	1.12	1.02 ±	0.09
0.1~0.18	1.24	1.02	1.00	0.80	1.01 ±	0.18
<0.1	1.15	1.03	1.08	1.05	1.08 ±	0.05
SUM	0.96	1.00	0.99	1.04	0.99 ±	0.03

註：980821、980830 與 981222 為三次採樣的日期

SUM 為總濃度



### 4.1.3. SMPS 與 MOUDI 之比對結果

表 4.4 為雪山隧道、溪頭以及學府路不同地點同時使用 Dichot、SMPS 與 MOUDI 的 PM 濃度比較，其中 SMPS 數據需透過有效密度因子將儀器測得之微粒數目濃度轉換成重量濃度(已於 3.1.1 節說明)，而 Dichot 無需轉換。Dichot 為一微粒不會產生彈跳的微粒採樣器，使用已塗敷矽黃油的鋁箔當成 MOUDI 的衝擊基質進行採樣。PM<sub>10</sub> 的濃度比較方面，使用 Dichot 儀器的收集效率似乎比 MOUDI 佳，除了(1)的濃度差異在 18.2%外，其餘誤差在 15%內，最低只有差異在 3.5%內；在 PM<sub>2.5</sub> 方面，濃度差異性也在 15%內，最低差異為 1.1%；PM<sub>0.1</sub> 方面，SMPS 數據則是透過有效密度的轉換近而與 MOUDI 進行重量分析比較，(2)與(6)筆數據差異較大外，最小的濃度差異在 7.7%左右。因為 PM 濃度比較的差異性不高，最低差異在 1%內，因此可以證明已塗敷矽黃油的鋁箔可以有效的減少甚至無微粒彈跳情形的發生。隧道中 MOUDI 的 PM<sub>0.1</sub> 比 SPMS 略高最大的可能原因為收集微粒的負荷量過大，其次是大氣相對溼度太低(RH<40%)之故。

表 4.4 使用 MOUDI、SMPS 與 Dichot 等採樣儀器在不同地點的 PM 比較

微粒濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2.5</sub>		PM <sub>0.1</sub>	
	MOUDI	Dichot	MOUDI	Dichot	MOUDI	SMPS
雪隧(1)，中午(Oct. 25, 2008)	165.3	202.2	145.5	150.5	43	34.4
雪隧(2)，晚上(Dec. 5, 2008)	75.8	86.5	71.8	63.2	19.1	13.3
雪隧(3)，中午(Dec. 29, 2008)	75.8	78.6	66.8	63.8	29.8	25.1
雪隧(4)，上午(Dec. 30, 2008)	69.4	79.8	61.2	70.3	29.8	32.3
溪頭(5)，(Dec 19~23, 2008)	18.2	17.5	11.9	11.4	0.41	0.38
學府路旁(6)，(Nov.27, 2008)	69.8	76.6	35	35.4	2.85	1.78

## 4.2 MOUDI 的收集基質在未塗敷與已塗敷情況下的比較測試結果

### 微粒經 *Nafion dryer* 後損失量測試結果

此研究主要了解環境中奈米微粒量與 MOUDI 所收集到的濃度差異性高低，表 4.5 與表 4.6 右欄數據為裝置溼度控制器的 M4 各階微粒濃度分布，我們以 M1 為標準比較微粒經過溼度控制器後的微粒損失量。在總濃度方面，發現 M4 的總濃度比 M1 有明顯下降約 20%，主要的微粒損失範圍在粒徑大於 5.6 $\mu\text{m}$ ，大微粒的同一截取粒徑範圍的微粒損失最高將近 50%左右，大微粒損失可能原因是微粒通過 1 毫米大小、780 個管束且管長為 18.78 公分組成的 *Nafion dryer* 時被攔截掉，其結果與 *Nafion dryer* 搭配錐形震盪微量天秤 (TEOM 流量為 16.7 Lpm, 是利用濾紙秤重原理來即時監測大氣氣膠質量濃度) 使用的結果一樣，嚴重低估粗粒徑 (2.5~10 $\mu\text{m}$ ) 質量濃度之懸浮微粒 (許等人, 2004)。奈米微粒的濃度差異很低小於 12% 以下，其餘粒徑的微粒濃度並無明顯的改變。



在 PM 比較方面，如表 4.7，表值為 M4 重量濃度與 M1 重量濃度之比值。若使用 *Nafion dryer* 來收集大氣微粒，除了 PM<sub>10</sub> 方面的濃度差異較大外，約低估 14%，其餘的 PM<sub>0.1</sub>、PM<sub>2.5</sub> 以及 PM<sub>1.0</sub> 的濃度差異並不大，因此 *Nafion dryer* 可與上述三種量測範圍的儀器搭配一起使用，例如雙道採樣器 (Dichot) 的 PM<sub>2.5</sub> 與旋風集塵器 (Cyclone) 的 PM<sub>2.5</sub>。由此可見裝置 *Nafion dryer* 後的微粒分布除了大於 5.6 $\mu\text{m}$  以上的微粒會損失外，其餘微粒粒徑濃度差異與未加裝 *Nafion dryer* 相近且小於 1.8 $\mu\text{m}$  的微粒粒徑分布無明顯的粒徑偏移。

為了更一步驗證奈米微粒通過 *Nafion dryer* 後重量損失很低，根據 Gormley 以及 Kennedy (1949) 公式，計算理論上 30Lpm 流量通過 *Nafion dryer* 所造成的擴散損失，各微粒粒徑之損失量如表 4.8；實測方面，流程圖如圖 4.4，將流量 30Lpm

的 Nafion dryer 採樣器置入一個大混合腔中，並使用 Atomizer (TSI 3076) 產生氯化鈉的多徑微粒且加入大量的稀釋氣體一同導入大混合腔以產生一個微粒濃度穩定的空間。1 與 2 分別代表混合腔內與通過 Nafion dryer 後之濃度，並使用 SMPS 測得其微粒粒徑分布。實驗結果如圖 4.5，由圖發現實驗值與理論值很接近，20nm、50nm、80nm 以及 100nm 理論上與實驗值分別為 12.16%與 14.5%、3.97%與 5.50%、2.27%與 3.00%、1.75%與 2.1%，小於 20nm 的微粒擴散損失較理論值稍微偏高，主要原因是微粒濃度較低之緣故，使得實驗精準度下降。由此可證明，奈米微粒經過 Nafion dryer 後的主要損失為擴散損失，數目濃度損失比例若換算成重量濃度損失比例應在 5% 以下與 MOUDI 實測值極為相近。

表 4.5 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時經過 Nafion dryer 的微粒濃度比較, 981215

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	3.359	0.962	71.35
10~18	1.948	0.521	73.27
5.6~10	4.330	2.914	32.70
2.5~5.6	6.992	5.584	20.14
1.8~2.5	1.394	1.338	3.95
1.0~1.8	1.740	1.614	7.24
0.56~1.0	2.543	2.071	18.58
0.32~0.56	3.047	3.504	-14.99
0.18~0.32	0.891	1.050	-17.86
0.1~0.18	0.544	0.479	11.94
<0.1	0.361	0.319	11.54
SUM	27.149	20.357	

註：各階損失 =  $(M1 - M4) / M1 * 100$

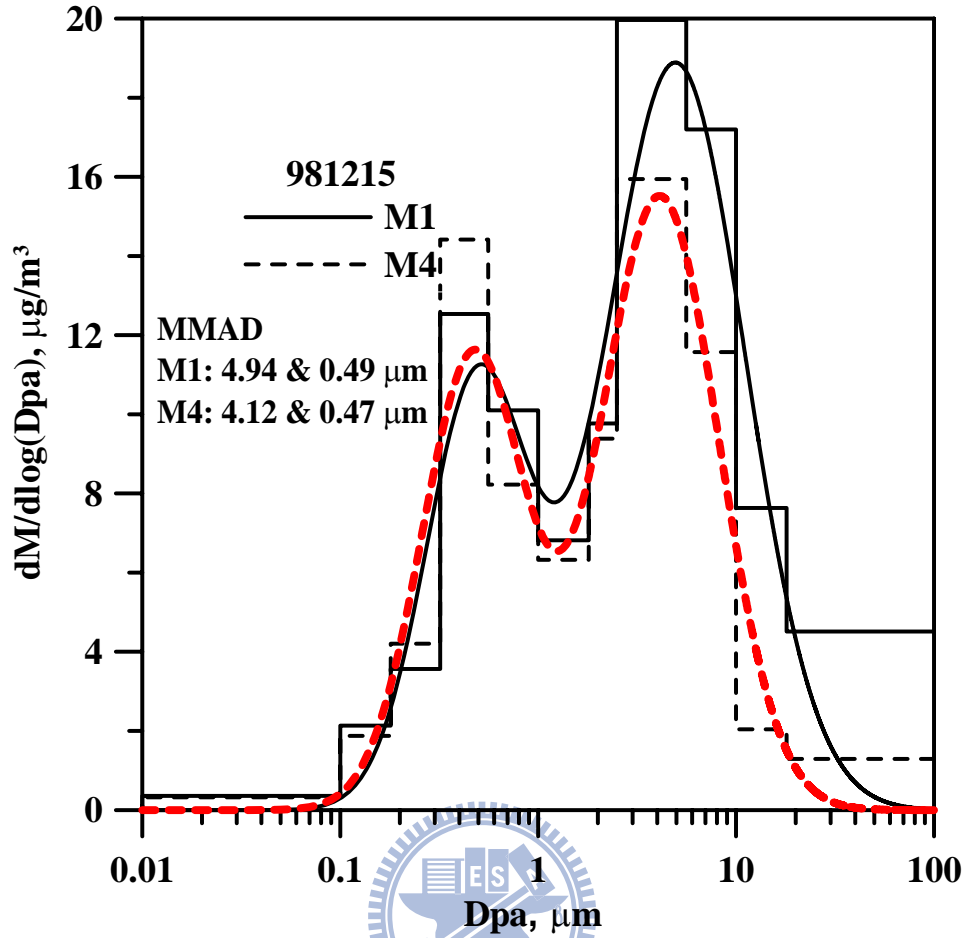


圖 4.2 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時各階濃度之分布圖, 981215

表 4.6 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗矽油時經過 Nafion dryer 的微粒濃度比較, 981218

Dp <sub>50</sub> (μm)	M1(μg/m <sup>3</sup> )	M4(μg/m <sup>3</sup> )	各階損失(%)
>18	6.155	0.989	83.92
10~18	3.231	0.781	75.82
5.6~10	5.474	4.040	26.20
2.5~5.6	9.347	9.037	3.32
1.8~2.5	2.929	2.905	0.81
1.0~1.8	10.747	10.976	-2.12
0.56~1.0	14.708	13.566	7.76
0.32~0.56	12.684	11.999	5.40
0.18~0.32	3.460	3.961	-14.48
0.1~0.18	0.707	0.828	-17.24
<0.1	0.565	0.532	5.74
SUM	70.006	59.615	

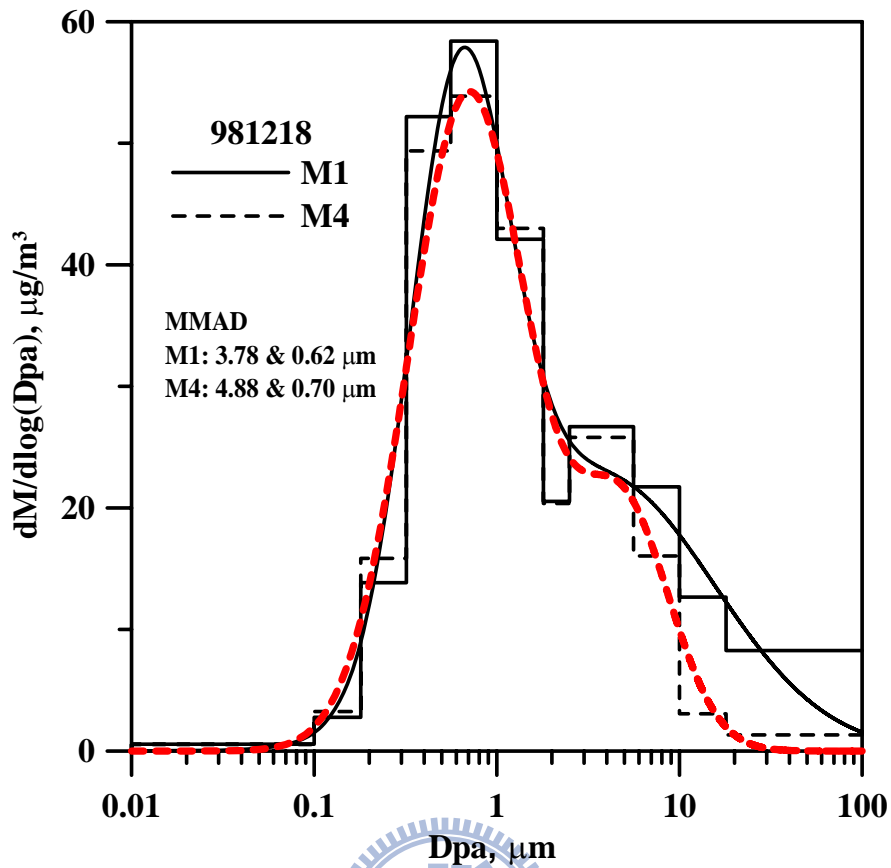


圖 4.3 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗砂油時各階濃度之分布圖, 981218

表 4.7 大氣微粒經 Nafion dryer 之 PM 比值

	Date	PM <sub>0.1</sub>	PM <sub>1.0</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
equipment loss	981215	0.88	1.00	0.99	0.87
	981218	0.94	0.96	0.98	0.95

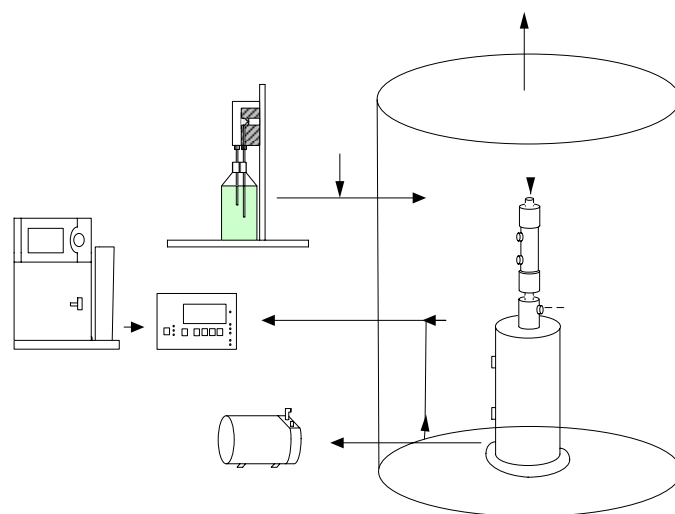


圖 4.4 測試微粒通過 Nafion dryer 損失量之實驗流程圖

表 4.8 奈米微粒的擴散損失

管長 0.1778m、管徑 1mm、Q = 0.038 Lpm			
Dp (nm)	微粒損失比例(%)	Dp (nm)	微粒損失比例(%)
1	100	15	17.46
2	98.95	16	15.94
3	88.23	17	14.81
4	72.54	18	13.82
5	59.24	19	12.94
6	49.22	20	12.16
7	41.71	30	7.403
8	35.97	40	5.206
9	31.48	50	3.969
10	27.89	60	3.187
11	24.98	70	2.652
12	22.58	80	2.267
13	20.58	90	1.977
14	18.89	100	1.753

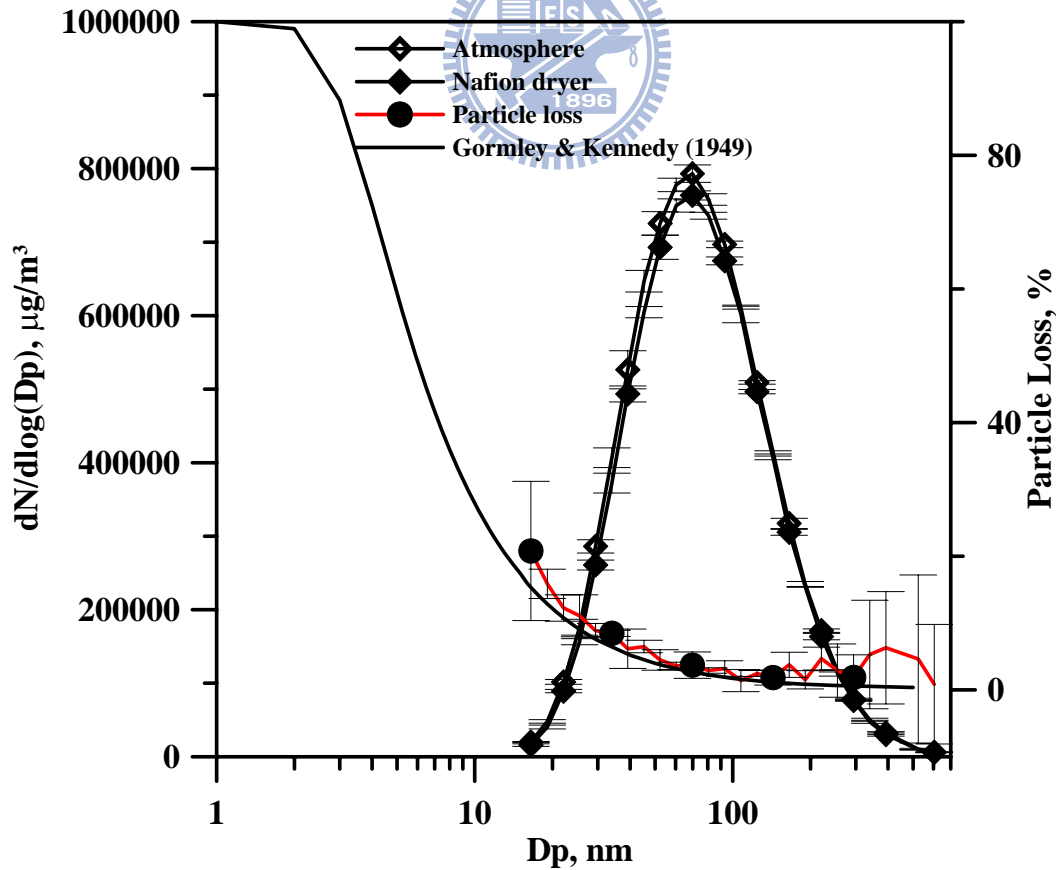


圖 4.5 微粒經 Nafion dryer 後的微粒數目濃度變化與損失比例

#### 4.2.1. 未塗敷的鋁箔與已塗敷的鋁箔

本研究的三次實驗結果如下，980912 與 980920 兩筆數據的 M1 與 M4 未裝置溼度控制系統，981231 數據則利用圖 3.8 的(B)溼度控制系統來降低採樣溼度，M1 與 M4 均同時裝置溼度控制系統且控制相對溼度在 50%左右。980912 的 M4 總濃度損失高達 40%，主要是未塗敷矽黃油的鋁箔基質表面光滑不易抓住粗微粒，使得大於  $18\mu\text{m}$  的微粒往小微粒方向移動，但是未被抓住的微粒並未被下面階層捕獲而損失在管壁上，造成微粒的總重量濃度差異性升高，其餘兩次實驗的粗微粒總濃度沒有 980912 此筆數高而使得總濃度差異下降，如圖 4.6、圖 4.8 與圖 4.10。微粒粒徑介於  $1.8\mu\text{m}$  至  $0.32\mu\text{m}$  之間的濃度差異性極低，沒有明顯粒徑偏移發生；奈米微粒重量濃度隨著相對溼度的下降而高估情形越趨嚴重，見表 4.9、表 4.10 與表 4.11，尤其是採樣入口相對溼度達 50%左右時奈米微粒高估一倍以上，主要原因是粒徑  $0.1\sim 0.18\mu\text{m}$  的微粒在此環境中因為無法被無塗敷的基質完全補捉而有往奈米微粒移動的趨勢，使得低濃度的奈米微粒重量濃度明顯高估，此結果與 Park et al. (2003)使用 MOUDI 與 SMPS 比較結果相似。

在 PM 比較方面，如表 4.12，若使用未塗敷的鋁箔基質來收集大氣微粒， $\text{PM}_{0.1}$  方面的濃度隨著相對溼度從 67%下降至 52%時有明顯上升的趨勢，980912 與 980920 兩筆數據奈米微粒的高估隨著相對溼度上升而攀高但此範圍的絕對溼度並不因絕對濕度的上升使得奈米微粒彈跳下降； $\text{PM}_{10}$  因為粗微粒的損失而有些許的濃度差異，主要損失在粒徑  $10\mu\text{m}$  以上； $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{1.0}$  則無明顯差異，也就是說一般相對溼度的大氣採樣並不會嚴重影響到  $\text{PM}_{2.5}$  與  $\text{PM}_{1.0}$ 。



表 4.9 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 980912  
(M1 coated Al, M4 uncoated Al, no control RH, RH: 56~70% T: 28~34°C)

$D_{pa50}(\mu\text{m})$	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	16.340	4.112	74.83
10~18	5.006	3.819	23.70
5.6~10	5.011	2.778	44.57
2.5~5.6	5.274	4.057	23.08
1.8~2.5	1.394	1.464	-5.08
1.0~1.8	1.087	1.016	6.52
0.56~1.0	1.276	1.134	11.11
0.32~0.56	1.630	1.937	-18.84
0.18~0.32	1.026	1.050	-2.33
0.1~0.18	0.853	0.560	34.29
<0.1	0.972	1.713	-76.19
SUM	39.867	23.641	

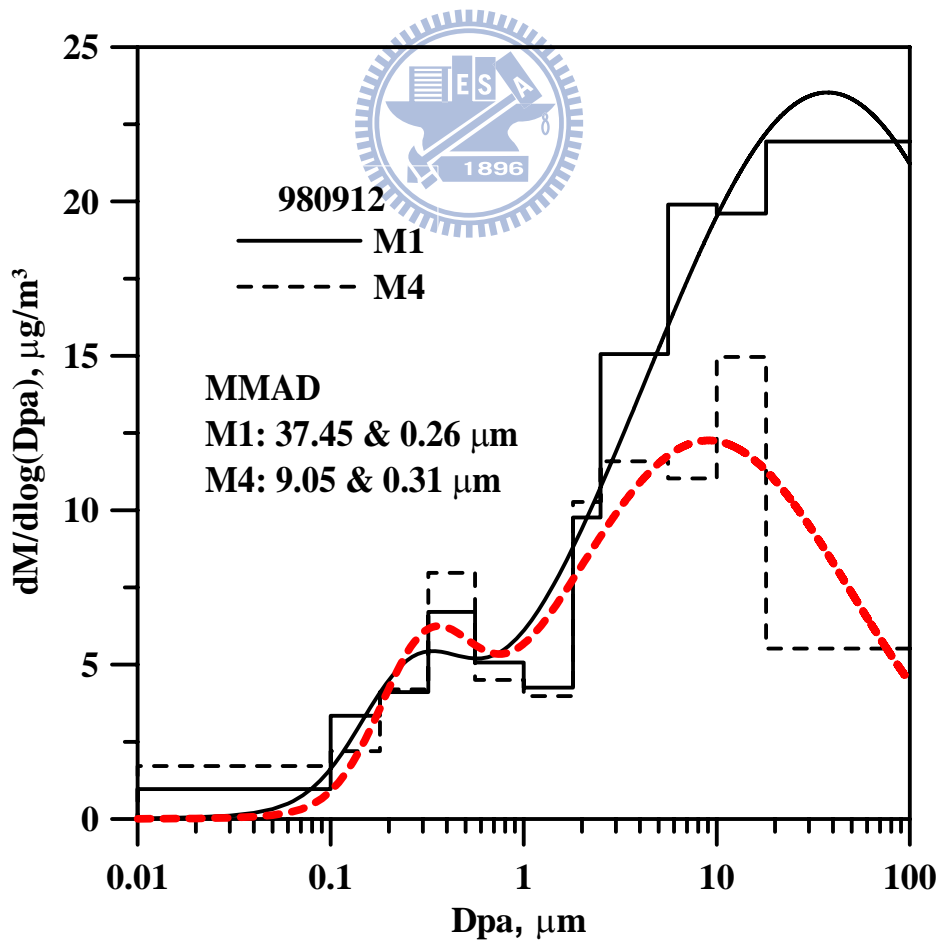


圖 4.6 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 980912

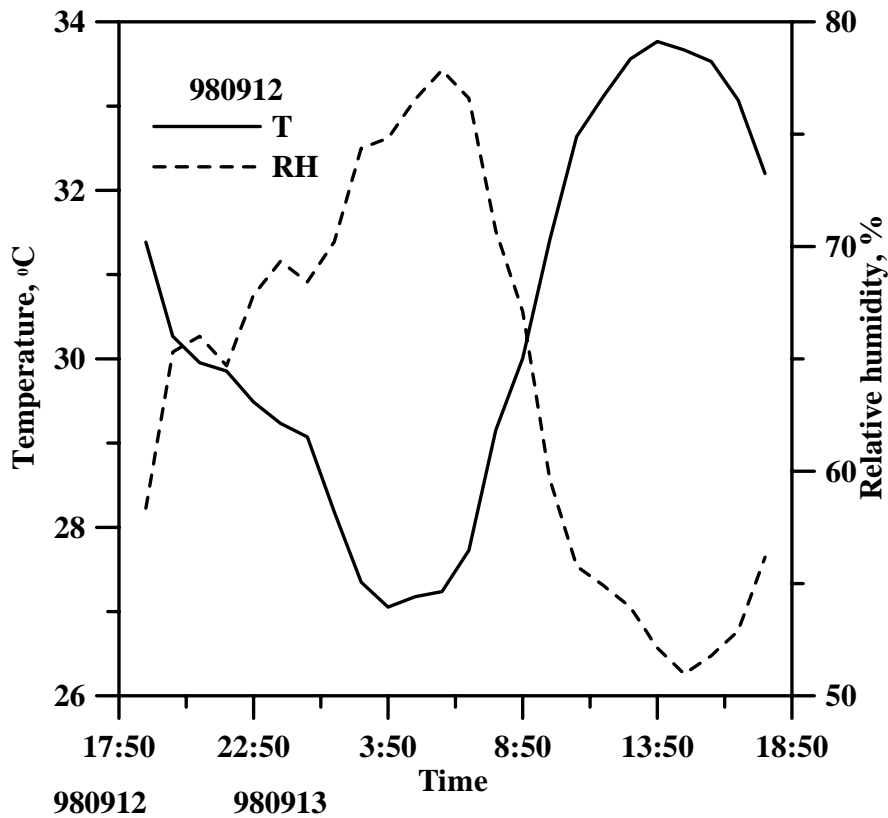


圖 4.7 大氣溫溼度圖, 980912

表 4.10 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 980920  
(M1 coated Al, M4 uncoated Al, no control RH, RH: 55~85% T: 25~33°C)

$D_{pa50}(\mu m)$	M1( $\mu g/m^3$ )	M4( $\mu g/m^3$ )	各階損失(%)
>18	5.819	2.859	50.86
10~18	2.865	2.831	1.18
5.6~10	6.963	6.609	5.08
2.5~5.6	10.206	10.118	0.86
1.8~2.5	2.063	2.063	0.00
1.0~1.8	2.362	2.567	-8.67
0.56~1.0	4.614	5.291	-14.68
0.32~0.56	6.645	6.259	5.81
0.18~0.32	2.864	2.919	-1.94
0.1~0.18	1.454	1.267	12.85
<0.1	1.000	1.468	-46.76
SUM	45.853	42.784	

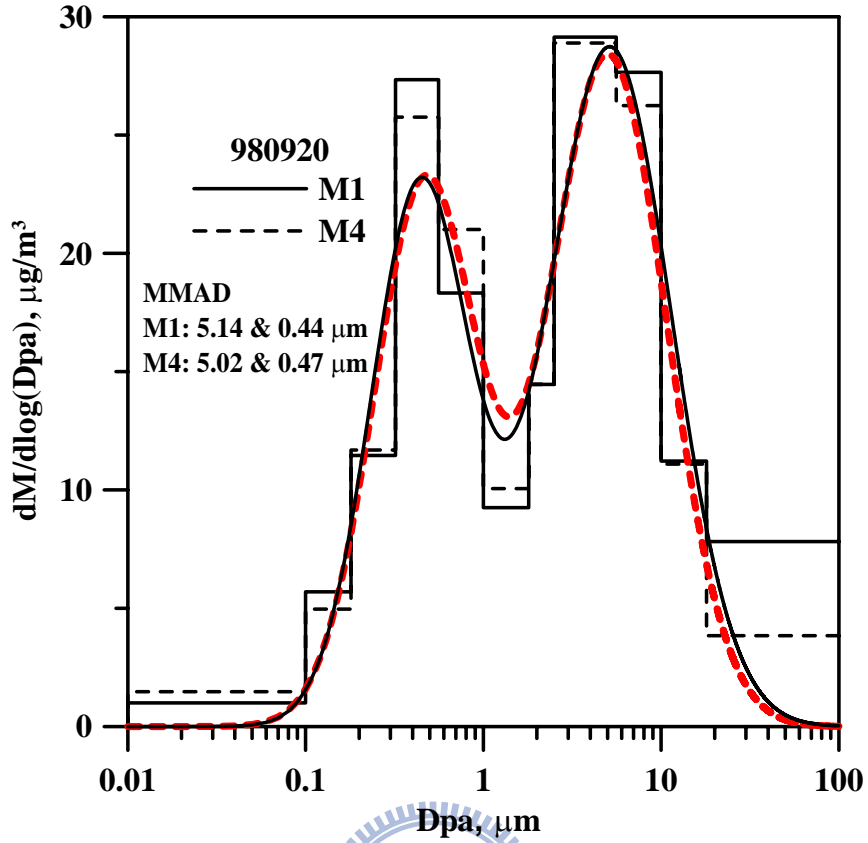


圖 4.8 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 980920

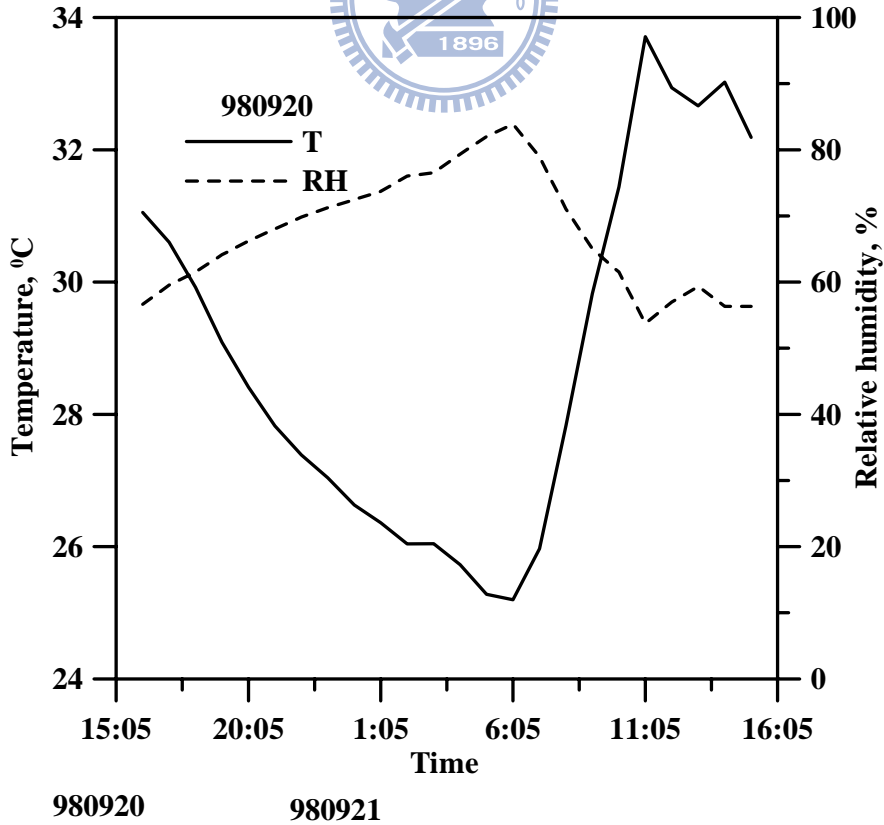


圖 4.9 大氣溫溼度圖, 980920

表 4.11 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 981231  
(M1 coated Al, M4 uncoated Al, control RH, RH: 48~58% T: 10.6~12.9°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	1.071	0.327	69.49
10~18	0.694	0.569	18.06
5.6~10	4.947	4.194	15.23
2.5~5.6	19.266	17.429	9.54
1.8~2.5	4.472	4.330	3.17
1.0~1.8	4.409	4.102	6.96
0.56~1.0	6.157	6.606	-7.29
0.32~0.56	7.803	7.559	3.13
0.18~0.32	3.516	3.285	6.56
0.1~0.18	1.121	0.902	19.57
<0.1	0.792	1.838	-132.16
SUM	54.249	51.140	

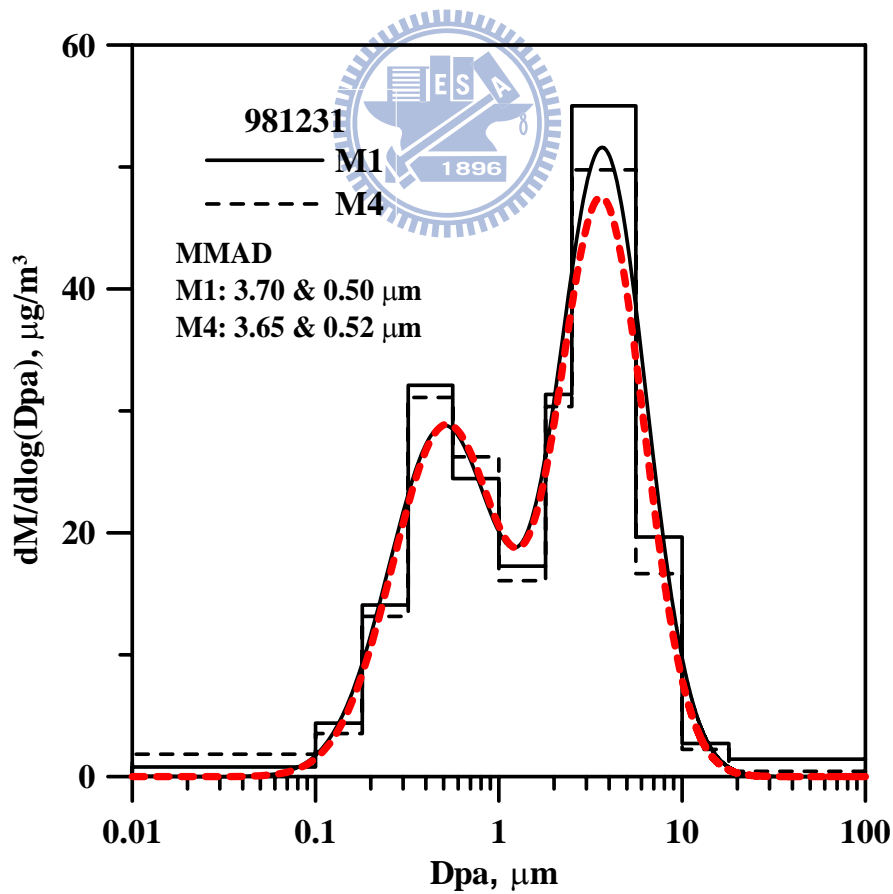


圖 4.10 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 981231

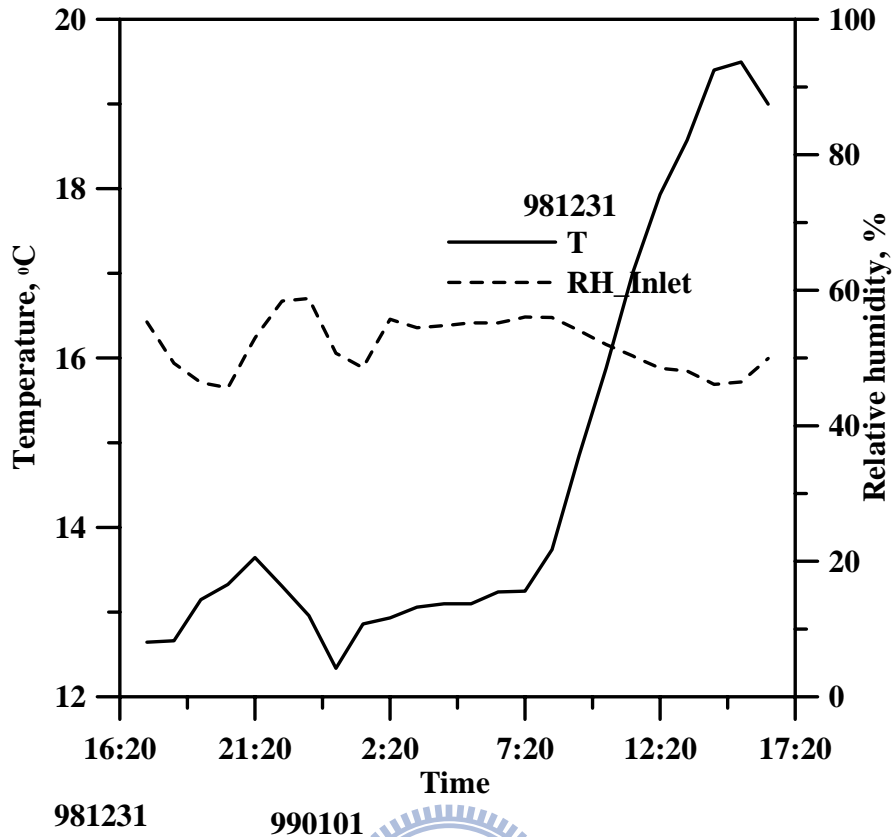


圖 4.11 大氣溫溼度圖, 981231

表 4.12 無塗敷矽黃油的鋁箔基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在一般大氣相對溼度環境中之 PM 比值

	Date	Temperature	RH_Inlet	absolute humidity, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM <sub>0.1</sub>	PM <sub>1.0</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
Normal humidity	980912	30.4±2.3°C (28~34°C)	64.0±8.9% (56~70%)	1805.27	1.76	1.11	1.08	0.87
	980920	28.8±2.8°C (25~33°C)	67.7±9.1% (55~85%)	1749.74	1.47	1.04	1.04	1.01
	981231	14.6±2.5°C (11~13°C)	52.0±4.1% (48~58%)	588.17	2.32	1.04	1.01	0.96

註：980912 與 980920 均未裝置溼度控制器  
981231 裝置溼度控制器

我們發現當相對溼度控制在 52% 時奈米微粒的濃度將會高估 1.3 倍左右，但整體未有明顯的粒徑偏移發生，因此本研究利用圖 3.8 的(B)溼度控制系統將

MOUDI 採樣口的相對溼度下降至 8~18%，圖 4.12、圖 4.13 為控制 MOUDI 進口相對溼度的 M4 與未控制溼度的 M1 微粒濃度分布圖，圖 4.14 為 M4 MOUDI 採樣入口與大氣溼度圖，相對溼度平均相差 50%。發現低溼度的微粒會產生非常明顯的微粒粒徑偏移，微粒粒徑大於 2.5 $\mu\text{m}$  因溼度控制器以及相對溼度太低而損失掉，而小於 2.5 $\mu\text{m}$  的微粒則開始往小微粒方向移動，當相對溼度控制在 8~18% 時，粒徑大小 0.56~1.0 $\mu\text{m}$  範圍的微粒彈跳最明顯，高達 51% 的微粒往小微粒方向移動；相對溼度控制在 10~12% 時，粒徑大小 0.56~1.0 $\mu\text{m}$  範圍的微粒有 27% 左右的微粒往下移動；相對溼度從 60% 降至 20% 時，微粒的粒徑分佈從雙峰變成單峰分布。低溼度環境下所採集的奈米微粒重量濃度與已塗敷的鋁箔的 M1 比起來，則會高估 2~2.5 倍。綜合以上結果可知當使用未塗敷矽黃油的鋁箔當成 MOUDI 的衝擊基質時，大氣相對溼度越低奈米微粒高估值越高，且相對溼度從 52% 降至 15% 左右時，奈米微粒彈跳濃度則會從高估的 1.5~1.7 倍上升到 2~2.5 倍。



在總濃度方面，見表 4.13、表 4.14，此部份微粒損失比相對溼度 52% 高出許多，損失將近 29~40%，而且相對溼度越低使得微粒損失比例越大，這更能說明微粒彈跳會除了會使得收集到的微粒粒徑不準確外更會增加管壁損失(Dzubay et al.,1976；Cheng and Yeh,1979)。

在 PM 比較方面，如表 4.15，使用未塗敷的鋁箔且相對溼度控制在極低的情況下來採集大氣微粒，PM<sub>0.1</sub> 方面的濃度有明顯高估，代表此部份具有嚴重的微粒彈跳情形發生，而 PM<sub>10</sub> 則因為使用未塗敷的鋁箔以及低溼度環境下的雙重影響使得重量濃度差異變大，微粒主要損失在溼度控制器以及 MOUDI 管壁內，PM<sub>2.5</sub> 以及 PM<sub>1.0</sub> 的濃度差異並不大，可能是因為微粒彈跳以及微粒因水氣成長且變重的雙重因素下造成的結果。

表 4.13 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 980824  
(M1 coated Al, RH:57~81% T:28~34°C, M4 uncoated, RH:8~18% T:28~34°C)

$D_{pa50}(\mu\text{m})$	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	4.058	0.345	91.50
10~18	2.324	0.704	69.71
5.6~10	3.858	1.362	64.71
2.5~5.6	6.634	2.752	58.51
1.8~2.5	1.394	1.362	2.26
1.0~1.8	2.779	1.630	41.36
0.56~1.0	8.275	4.031	51.28
0.32~0.56	6.803	8.724	-28.24
0.18~0.32	3.301	4.335	-31.33
0.1~0.18	1.397	1.990	-42.44
<0.1	0.620	2.194	-253.73
SUM	41.444	29.430	

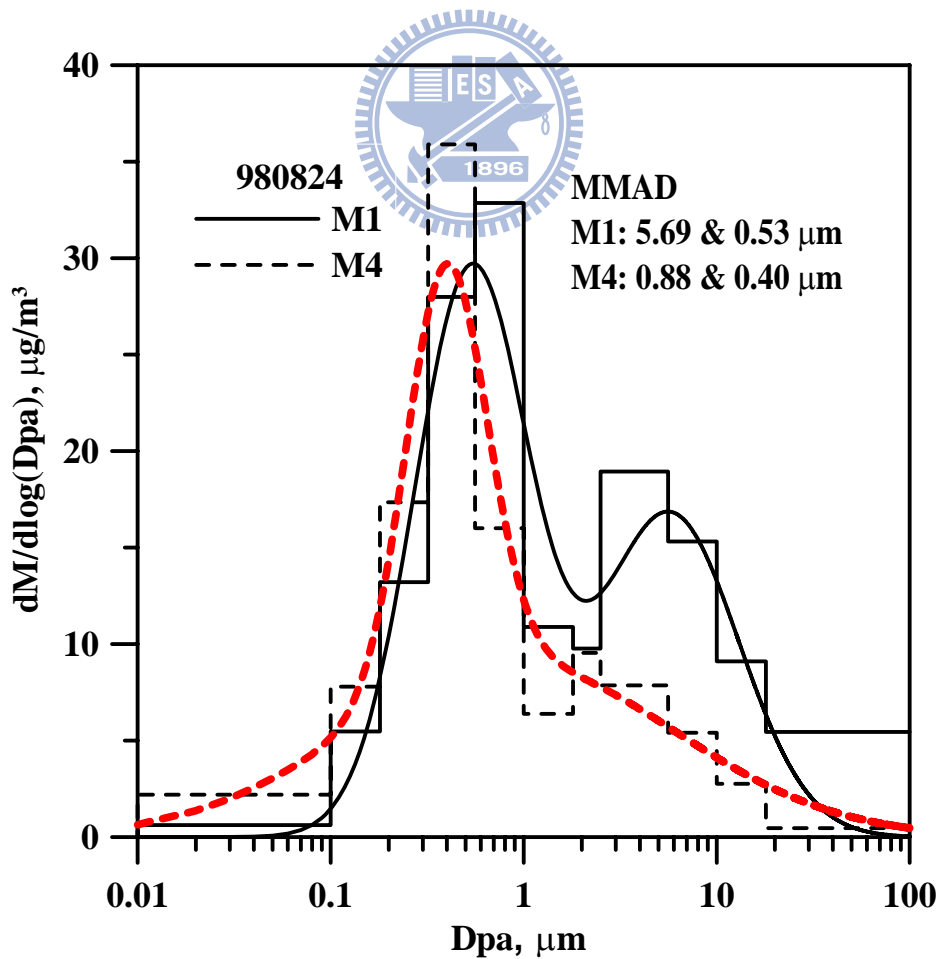


圖 4.12 M1、M4 各階濃度之分布圖, 980824



表 4.14 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 980905  
(M1 coated Al, RH:57~81% T:28~34°C, M4 uncoated, RH:10~12% T:28~34°C)

$D_{pa50}(\mu\text{m})$	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	5.356	0.241	95.51
10~18	2.329	0.574	75.36
5.6~10	4.339	1.312	69.77
2.5~5.6	7.084	1.985	71.98
1.8~2.5	1.752	1.256	28.31
1.0~1.8	1.508	1.472	2.35
0.56~1.0	2.630	1.894	27.99
0.32~0.56	5.015	4.358	13.11
0.18~0.32	2.430	2.577	-6.06
0.1~0.18	1.003	1.547	-54.25
<0.1	1.287	3.889	-202.16
SUM	34.733	21.104	

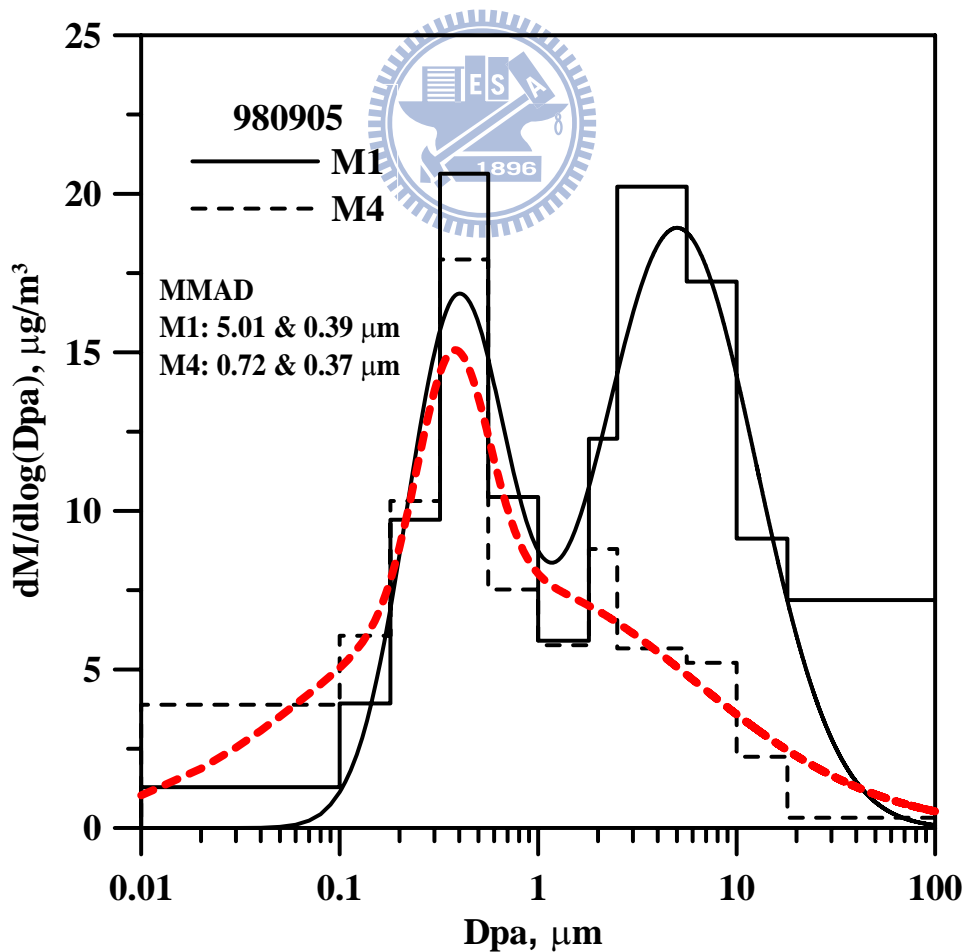


圖 4.13 M1、M4 各階濃度之分布圖, 980905

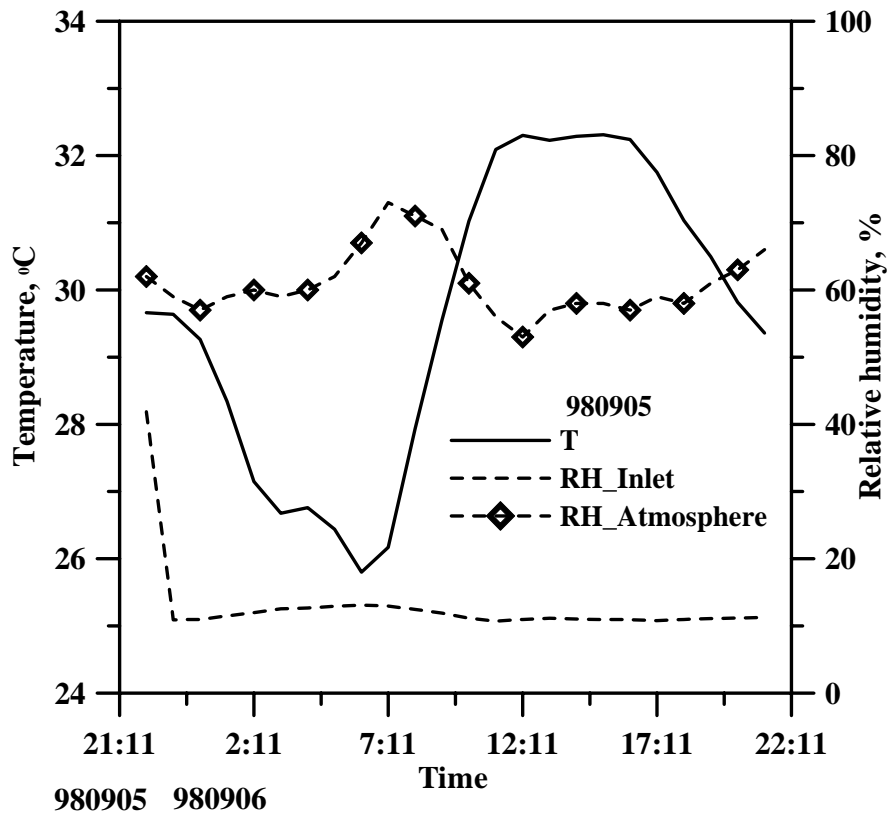


圖 4.14 M4 採樣入口與大氣溫溼度圖, 980905

表 4.15 無塗敷矽黃油的鋁箔基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在低相對溼度環境中之 PM 比值

	Date	Temperature	RH_Inlet	absolute humidity, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM <sub>0.1</sub>	PM <sub>1.0</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
Low humidity	980824	28~34°C	8~18%	276.01	3.54	1.04	0.99	0.82
	980905	28~34°C	10~12%	331.2	3.02	1.15	1.09	0.77

註：980824 與 980905 均裝置溼度控制器

#### 4.2.2. 未塗敷的鐵氟龍(M4)與已塗敷的鋁箔(M1)

此部分數據採樣地點為雪山隧道，因為隧道內小微粒濃度高，尤其是奈米微粒將近是路邊採樣的 7~10 倍濃度，為了防止小微粒在基質上因過度負載而造成微粒彈跳，因此我們將採樣時間大幅縮短至四小時。由表 4.16、圖 4.15 可看出因為微粒總重量濃度相近，粒徑 10 微米以上的微粒，無塗敷的鐵弗龍基質不易抓住，粒徑在 100~180nm 之間的微粒無塗敷的鐵氟龍也有抓不住的趨勢，導致奈米微粒有高估的情形發生，與一般大氣相對溼度(50~70%)且未塗敷鋁箔情況相似。

在 PM 比較方面，表 4.17 數據為鐵弗龍與塗敷矽黃油之鋁箔之比值，使用未塗敷的鐵氟龍且低相對溼度的環境中來採集大氣微粒，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 以及 PM<sub>1.0</sub> 的濃度差異並不大且比值在 1.0 左右，但是 PM<sub>0.1</sub> 方面的重量濃度比值卻有明顯的差異。因此無論是鋁箔或鐵氟龍基質，在一般大氣或低溼度條件下使用 MOUDI 收集微粒，若不將基質進行表面塗敷仍有明顯的微粒彈跳發生。

表 4.16 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時各階濃度差異比較，980508

(M1 coated Al, M4 uncoated Teflon, RH: 22~25% T: 34~35°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Aluminum	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Teflon	各階損失(%)
>18	5.955	2.309	61.22
10~18	3.009	1.667	44.62
5.6~10	3.922	3.399	13.33
2.5~5.6	11.073	10.767	2.76
1.8~2.5	7.559	8.919	-18.00
1.0~1.8	11.275	11.527	-2.23
0.56~1.0	6.299	10.431	-65.60
0.32~0.56	9.007	10.620	-17.90
0.18~0.32	12.282	11.875	3.32
0.1~0.18	23.737	11.228	52.70
<0.1	18.593	28.259	-51.99
SUM	112.709	111.001	

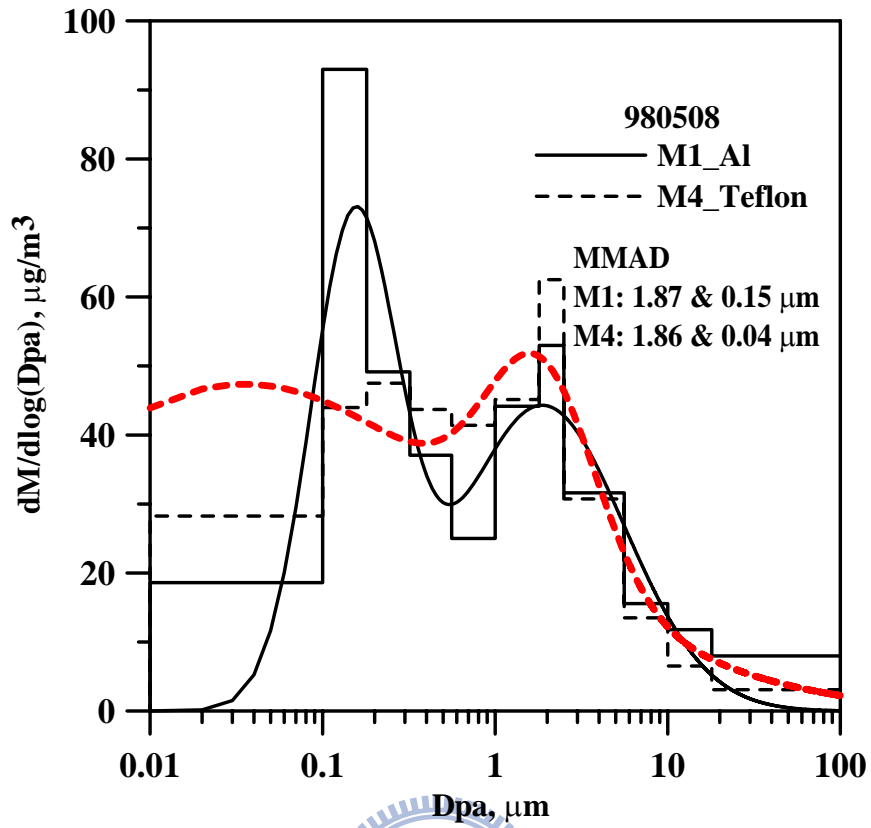


圖 4.15 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時之各階濃度分布圖，980508

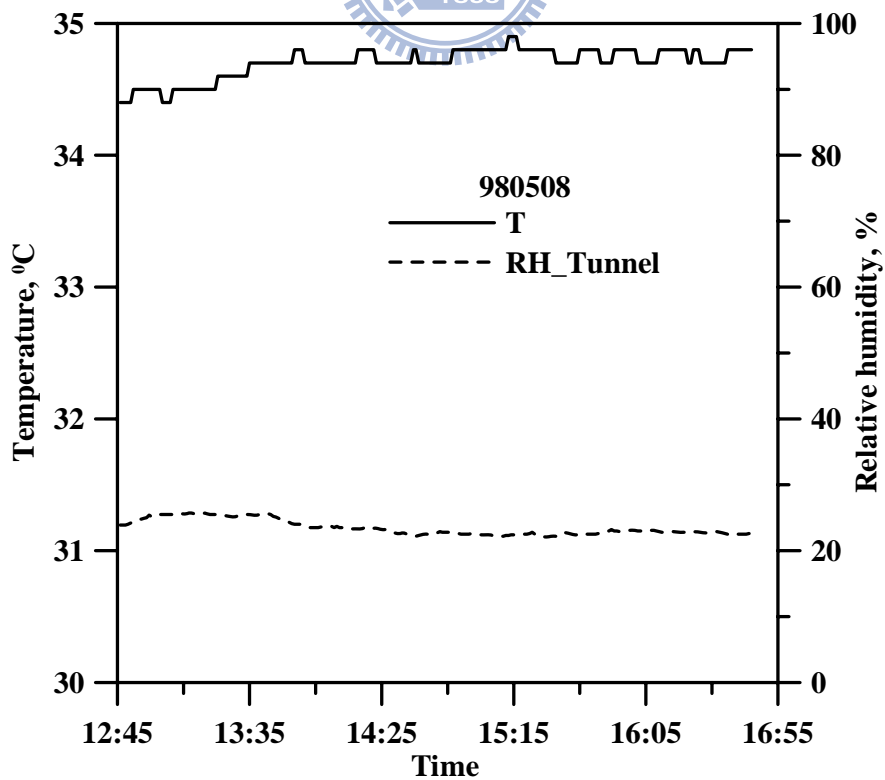


圖 4.16 雪山隧道溫溼度圖，980508

表 4.17 無塗敷矽黃油的鐵氟龍基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在低相對溼度環境中之 PM 比值

	Date	Temperature	RH_Inlet	absolute humidity, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM <sub>0.1</sub>	PM <sub>1.0</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
Low humidity	980508	34.7±0.1°C (34~35°C)	23.5±1.2% (22~25%)	834.06	1.52	1.04	1.04	1.03

980508 未裝置溼度控制器

### 4.3 MOUDI 中不同溼度對微粒的彈跳研究

#### 4.3.1. 以高溼度環境控制未塗敷鋁箔基質比對結果

本研究利用圖3.8的(A)溼度控制系統一同將M1與M4的採樣入口相對溼度上升至80%與98%以上，我們先將相對溼度提升接近100%見表4.18~4.20，除了100~180nm的微粒濃度偏高，5.6 $\mu\text{m}$ 以下各階層的濃度差異幾乎在15%以下，主要是因為180~320nm收集到的濃度與此階層差3~4倍，導致上一階層若多收集到一些會嚴重影響到100~180nm之間所收集到的濃度；奈米微粒的濃度差異在11%內左右，三次實驗平均下來濃度差異更在4%內，代表奈米微粒採此高相對溼度環境中，能有效抑制微粒彈跳至此階層而導致奈米微粒濃度的增加，從相對溼度50%升至100%後，奈米微粒彈跳比例從高估的130%降至4%。圖4.17、圖4.19與圖4.21為已控制溼度的M1、M4微粒濃度分布圖，發現其粒徑分布趨勢與4.1.2節相似，並無明顯偏移。若將相對溼度下降至77%與80%，見表4.21、表4.22、圖4.23與圖4.25，其結果與相對溼度100%相同，因此我們可以發現相對溼度的操作條件在77%左右時最佳，可以使用未塗敷的鋁箔濾紙進行大氣採樣並且不會造成微粒粒徑偏移與奈米微粒濃度高估。

在 PM 比較方面，如表 4.23，使用未塗敷的鋁箔且高相對溼度的環境中來採集大氣微粒，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1.0</sub> 與 PM<sub>0.1</sub> 的濃度差異在 11% 內，濃度差異性極低，絕對溼度方面，此五筆數據絕對溼度在 800~1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之間，無明顯奈米微粒彈跳，但是 4.2.1 節實驗數據的絕對溼度在 1700~1800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  之間卻有奈米微粒彈跳發生，因此可知在絕對溼度介於 800~1800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的實驗條件下，奈米微粒彈跳情形與相對溼度有關，相對溼度越低奈米微粒彈跳情形越嚴重，若在低濃度的環境中進行採樣，其微粒粒徑分佈無明顯偏移。

表 4.18 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 981220  
(M1 coated Al, M4 uncoated Al, RH: 98.2~98.8% T: 10.9~12.°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	0.290	0.309	-6.25
10~18	0.473	0.280	40.82
5.6~10	2.024	1.970	2.69
2.5~5.6	5.823	5.473	6.01
1.8~2.5	2.354	2.307	2.01
1.0~1.8	10.196	9.574	6.10
0.56~1.0	11.299	11.550	-2.23
0.32~0.56	8.590	9.007	-4.86
0.18~0.32	2.561	2.657	-3.73
0.1~0.18	0.569	0.504	11.43
<0.1	0.685	0.648	5.41
SUM	44.864	44.279	1.31

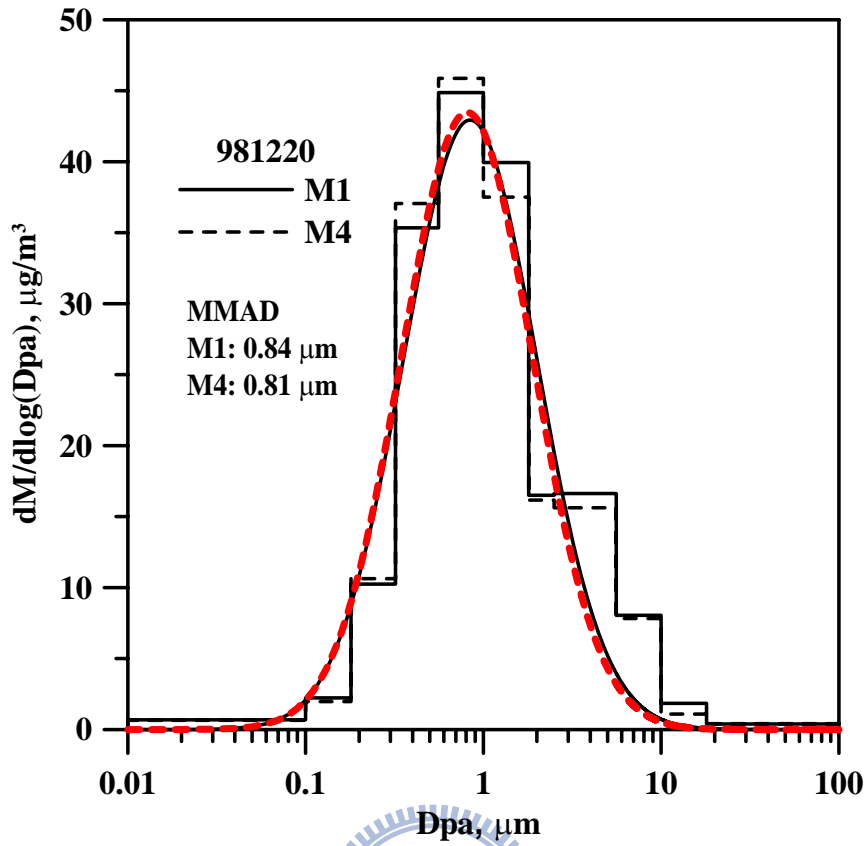


圖 4.17 M1、M4 各階濃度之分布圖, 981220

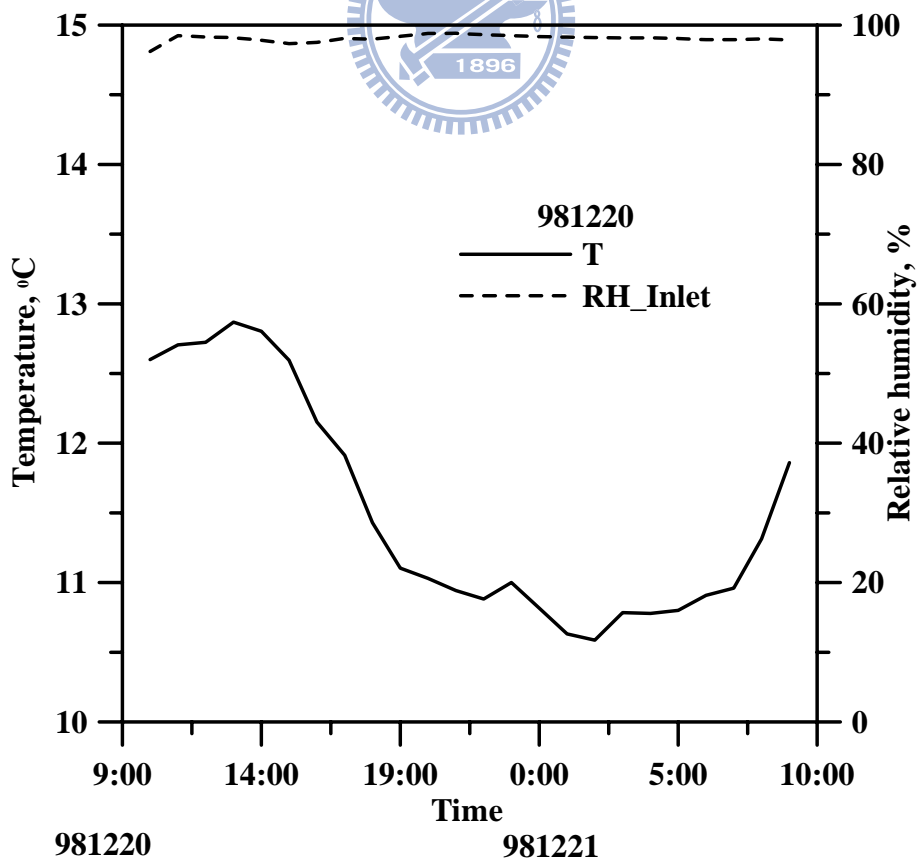


圖 4.18 大氣溫溼度圖, 981220



表 4.19 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 981223  
(M1 coated Al, M4 uncoated Al, RH: 88.7~100% T: 12.2~18.9°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	0.472	0.191	59.62
10~18	0.251	0.289	-15.38
5.6~10	2.106	1.625	22.84
2.5~5.6	7.151	5.863	18.02
1.8~2.5	2.685	2.283	14.96
1.0~1.8	15.070	13.338	11.49
0.56~1.0	15.338	16.235	-5.85
0.32~0.56	9.716	9.984	-2.76
0.18~0.32	5.361	7.493	-39.76
0.1~0.18	2.591	2.031	21.63
<0.1	1.315	1.394	-5.99
SUM	62.056	60.725	2.14

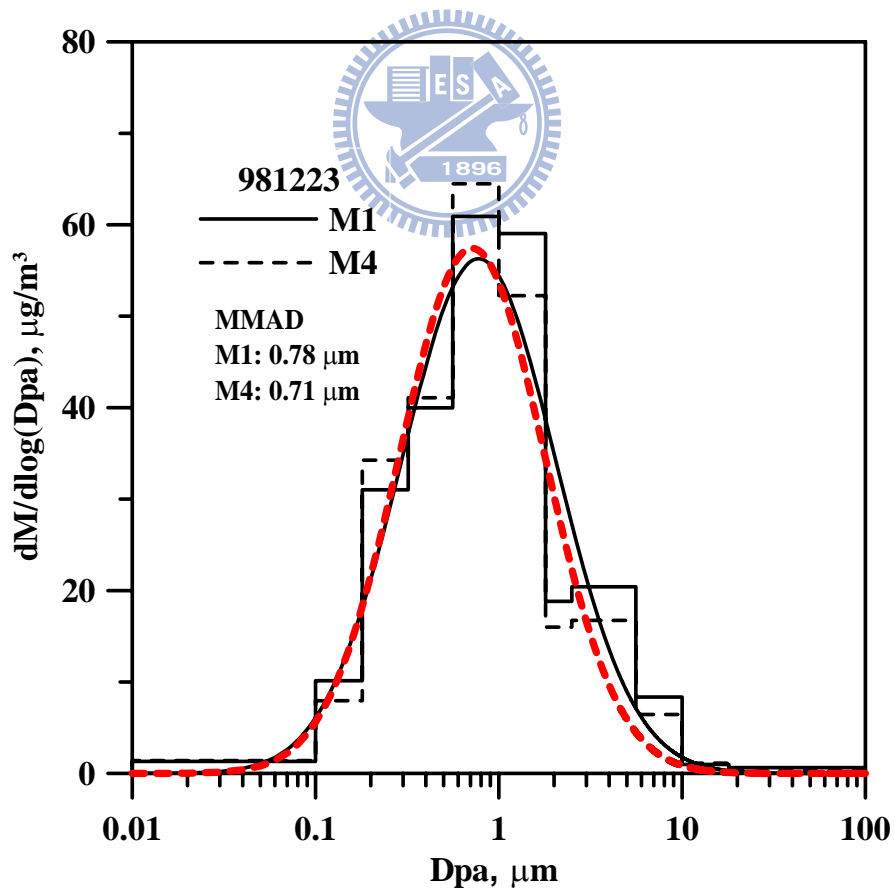


圖 4.19 M1、M4 各階濃度之分布圖, 981223

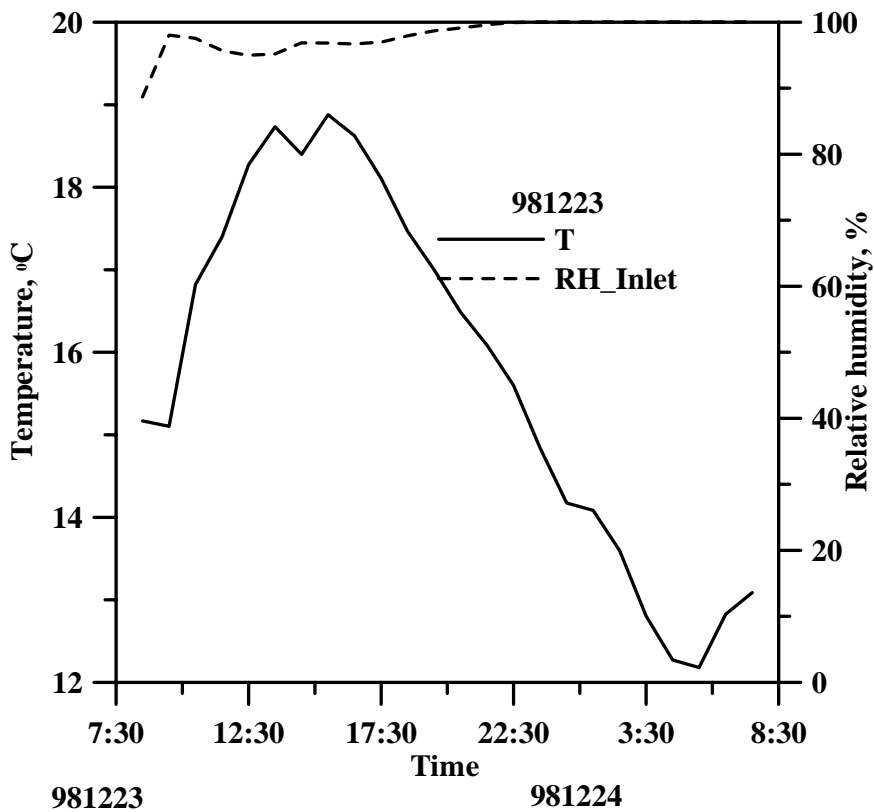


圖 4.20 大氣溫溼度圖, 981223

表 4.20 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 未塗敷時之各階濃度差異比較, 981224  
(M1 coated Al, M4 uncoated Al, RH: 94.7~99.0% T: 16.4~20.0°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	0.172	0.109	36.84
10~18	0.203	0.154	23.81
5.6~10	1.325	1.017	23.29
2.5~5.6	6.054	5.560	8.15
1.8~2.5	2.157	2.197	-1.82
1.0~1.8	12.550	11.086	11.67
0.56~1.0	15.424	14.023	9.09
0.32~0.56	9.866	11.732	-18.91
0.18~0.32	5.592	6.069	-8.53
0.1~0.18	2.364	1.746	26.12
<0.1	0.926	1.023	-10.50
SUM	56.633	54.716	3.38

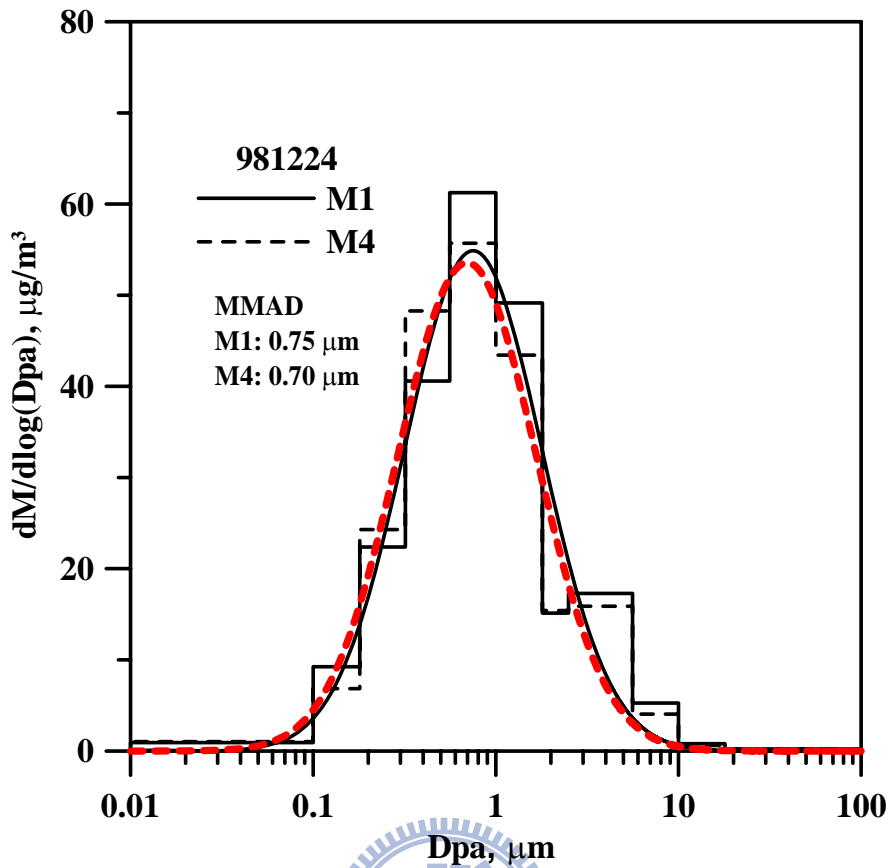


圖 4.21 M1、M4 各階濃度之分布圖, 981224

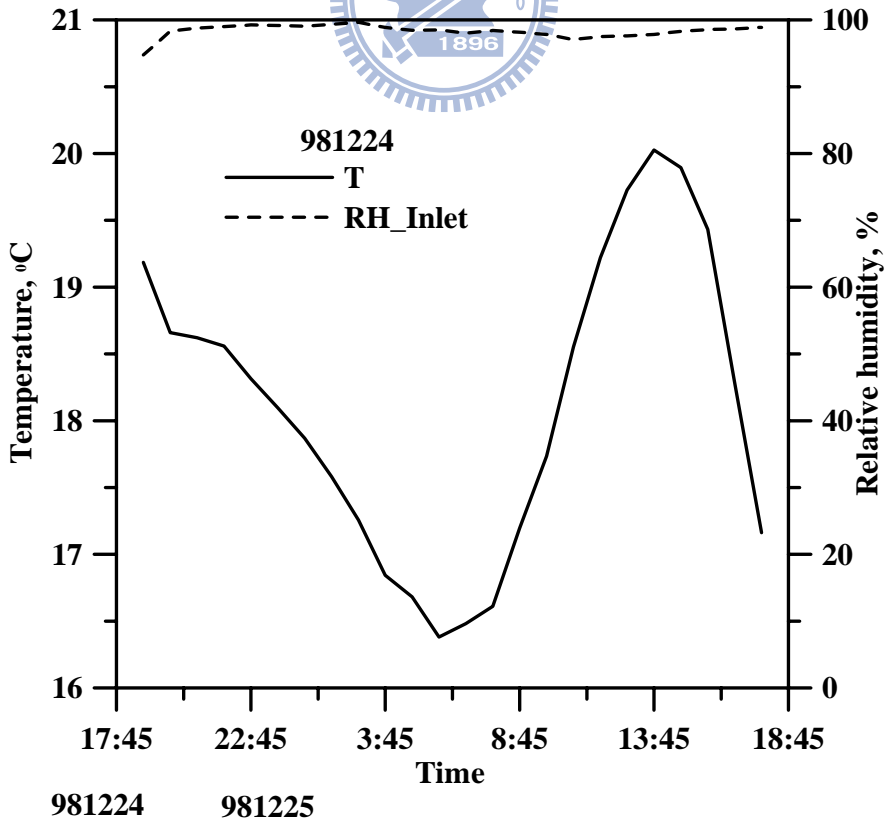


圖 4.22 大氣溫溼度圖, 981224

表 4.21 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 990110  
(M1 coated Al, M4 uncoated Al, no RH control, RH: 68~84% T: 16.4~20°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	3.359	2.333	30.54
10~18	2.768	2.575	6.97
5.6~10	6.890	6.309	8.43
2.5~5.6	11.224	10.635	5.24
1.8~2.5	2.992	2.921	2.37
1.0~1.8	7.952	8.039	-1.09
0.56~1.0	10.913	10.669	2.24
0.32~0.56	5.488	5.787	-5.45
0.18~0.32	1.877	2.124	-13.14
0.1~0.18	1.048	0.845	19.38
<0.1	0.620	0.671	-8.21
SUM	51.152	49.904	2.44

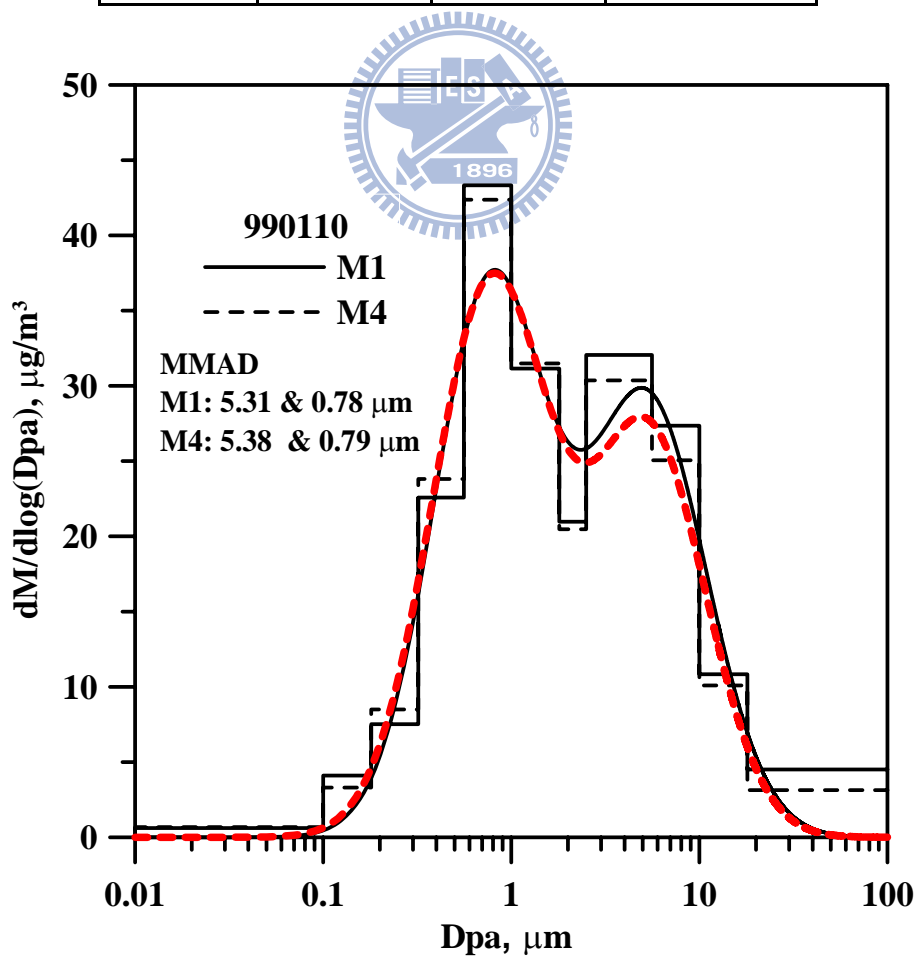


圖 4.23 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 990110

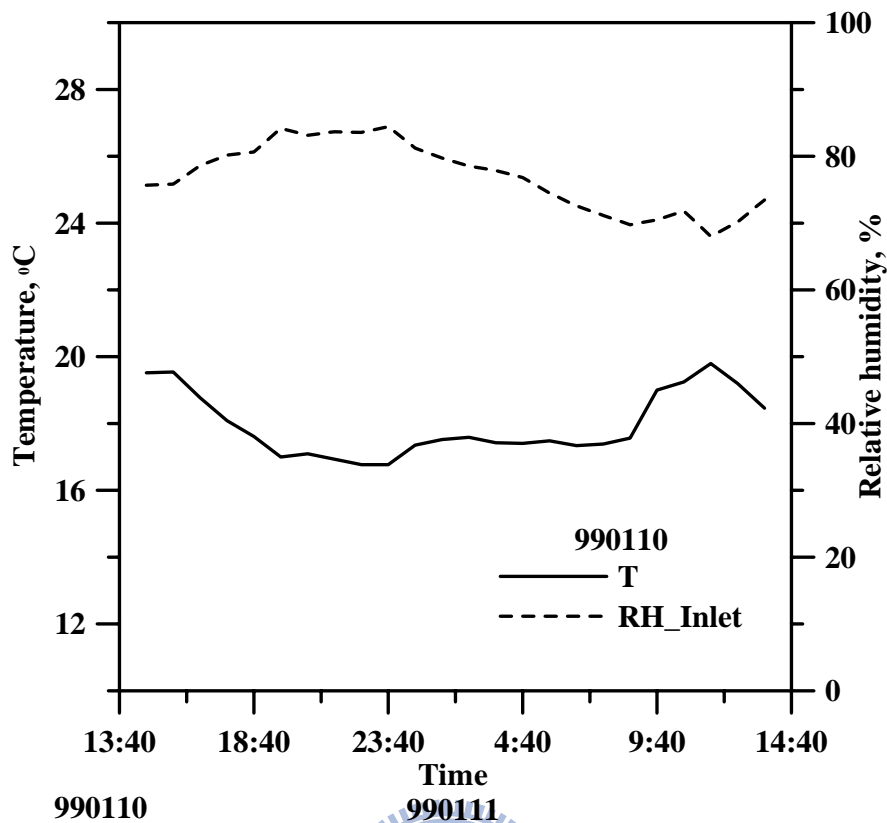


圖 4.24 大氣溫溼度圖, 990110

表 4.22 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時各階濃度差異比較, 990111  
(M1 coated Al, M4 uncoated Al, RH control, RH: 63~85% T: 10~16°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	2.542	2.469	2.86
10~18	1.206	1.427	-18.40
5.6~10	2.660	2.642	0.68
2.5~5.6	4.868	4.630	4.90
1.8~2.5	1.394	1.504	-7.91
1.0~1.8	4.425	4.244	4.09
0.56~1.0	7.181	7.007	2.41
0.32~0.56	6.196	6.362	-2.67
0.18~0.32	1.901	1.686	11.30
0.1~0.18	0.560	0.455	18.84
<0.1	0.329	0.356	-8.45
SUM	32.933	32.426	1.54

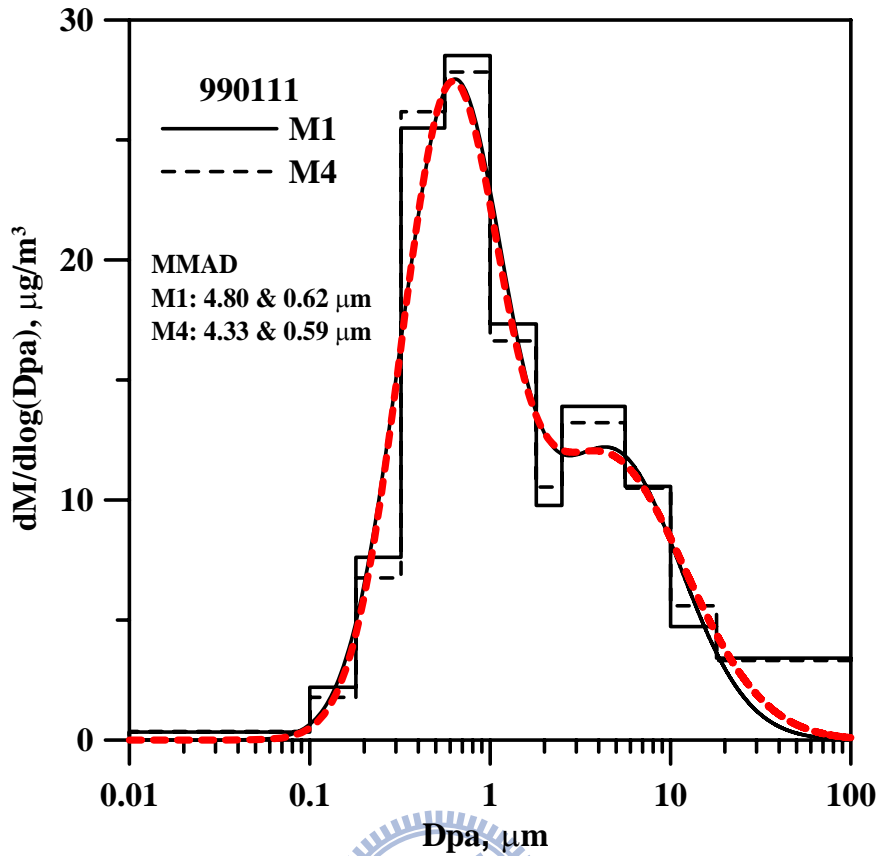


圖 4.25 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 則未塗敷時之各階濃度之分布圖, 990111

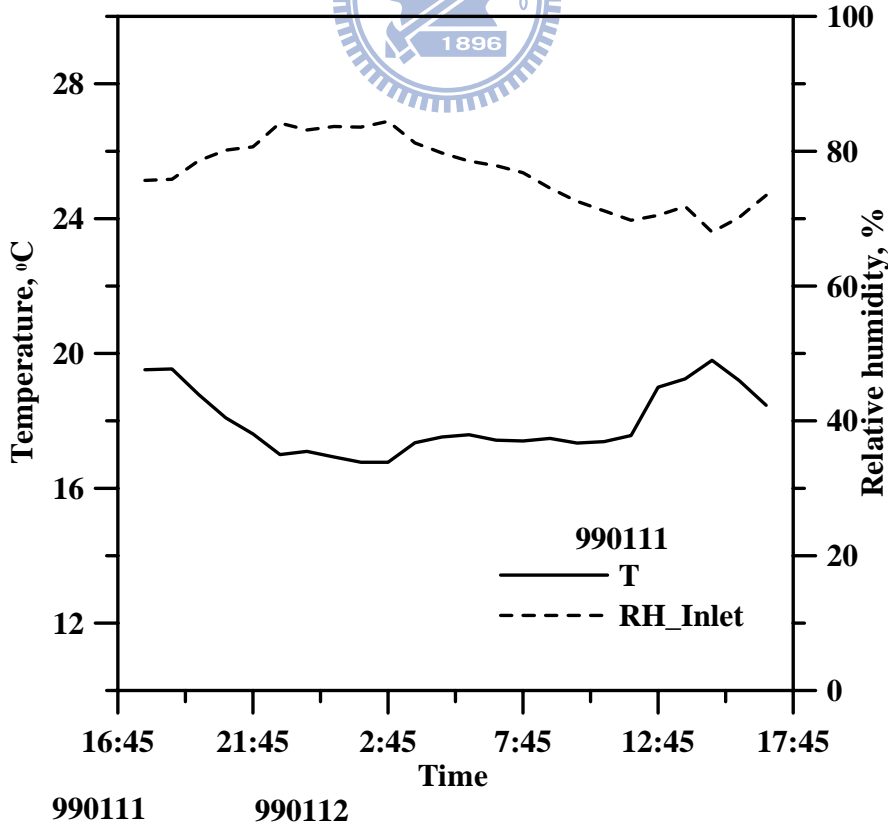
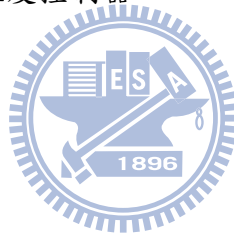


圖 4.26 大氣溫溼度圖, 990111

表 4.23 無塗敷矽黃油的鋁箔基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在高相對溼度環境中之 PM 比值

	Date	Temperature	RH_Inlet	absolute humidity, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM <sub>0.1</sub>	PM <sub>1.0</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
High humidity	990110	18.0±1.0°C (16~20°C)	76.9±5.2% (68~84%)	1069.29	1.08	1.01	1.01	0.98
	990111	12.6±1.7°C (10~16°C)	80.6±4.7% (63~85%)	805.24	1.08	0.98	0.98	0.98
	981220	11.5±0.8°C (11~12°C)	98.1±0.5% (98~99%)	914.60	0.95	1.03	1.00	0.99
	981223	15.8±2.2°C (12~19°C)	98.0±2.6% (89~100%)	1193.05	1.06	1.04	0.99	0.96
	981224	18.1±1.1°C (16~20°C)	98.3±1.0% (95~99%)	1375.06	1.11	1.01	0.98	0.97

註：1. 981220、981223 與 981224 裝置溼度控制器  
2. 990110 與 990111 未裝溼度控制器





#### 4.3.2. 以高溼度環境下未塗敷的鐵氟龍與已塗敷鋁箔基質比對結果

表 4.24 平均的大氣相對溼度約 74%，其相對溼度與未塗敷的鋁箔不會產生微粒彈跳的相對溼度相近，但是 MOUDI 0~9 階放置無塗敷的鐵氟龍基質收集到的奈米微粒濃度卻高估 0~9 階放置已塗敷的鋁箔基質 1.3 倍，主要原因是相對溼度的標準差太大，最低的相對溼度有到達 60%。

表 4.25 可看出除了粗微粒粒徑濃度有差異外，粒徑在 10 $\mu\text{m}$  以下的微粒濃度各階差異性不高皆在 15% 以下，大氣相對溼度從 23% (4.2.2 節) 上升至 100% 後，奈米微粒濃度從高估 50% 降至 14% 以下，除了粗微粒分布明顯改變外，其粒徑分布趨勢與 4.1.2 節相似，並無明顯偏移。圖 4.3.11 有明顯的粒徑偏移發生，主要原因是操作 MOUDI 時使用舊型且較厚的鐵氟龍濾紙時，衝擊孔洞與衝擊板的距離沒有作精確測定，導致微粒收集效率不一致而並非單純由微粒彈跳所造成。

在 PM 方面，表 4.26 為鐵弗龍與塗敷矽黃油之鋁箔之比值，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>1.0</sub> 濃度差異並不大約 14% 以下；PM<sub>0.1</sub> 在相對溼度未良好控制的情況下，奈米微粒仍高估 1.3 倍，但在相對溼度 98% 下，不同材質所收集到的奈米微粒濃度已無太大差異。

表 4.24 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時各階濃度差異比較，  
990101

(RH: 60~80%, T: 13~20°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
>18	6.718	3.960	41.05
10~18	3.974	3.652	8.11
5.6~10	11.320	17.015	-50.31
2.5~5.6	21.207	17.220	18.80
1.8~2.5	5.141	8.433	-64.01
1.0~1.8	13.771	16.421	-19.25
0.56~1.0	19.833	18.712	5.65
0.32~0.56	10.228	4.653	54.50
0.18~0.32	3.261	4.291	-31.56
0.1~0.18	0.869	1.706	-96.26
<0.1	1.667	2.185	-31.11
SUM	97.989	98.247	

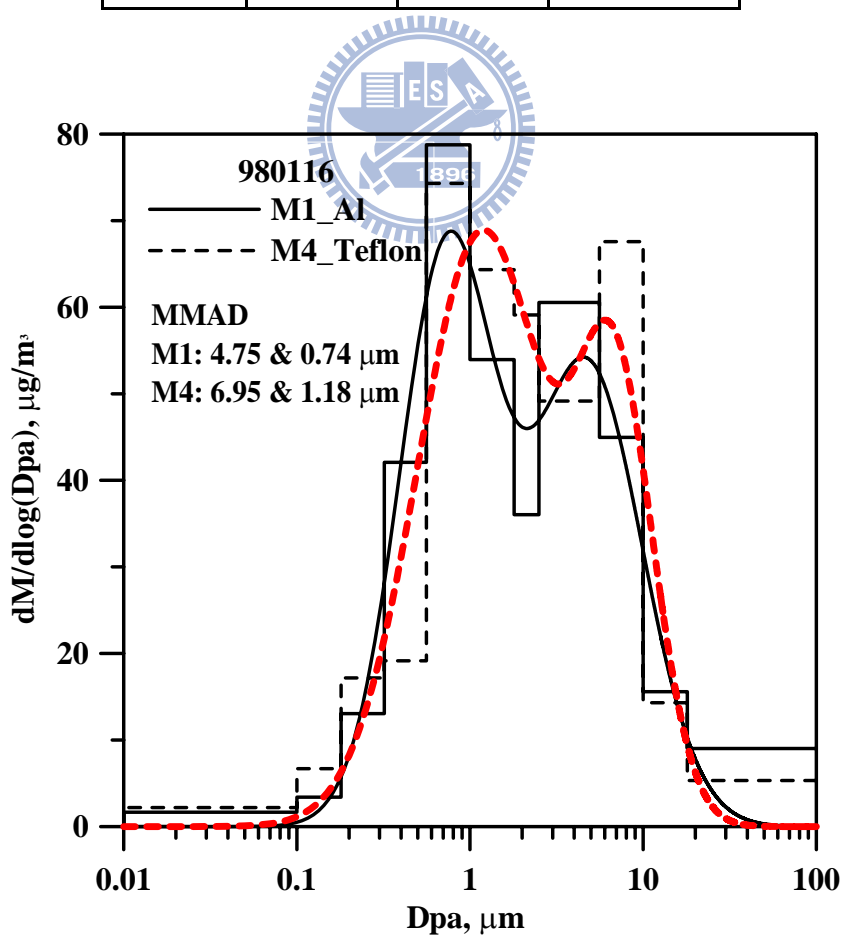


圖 4.27 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時之各階濃度分布圖，  
980116

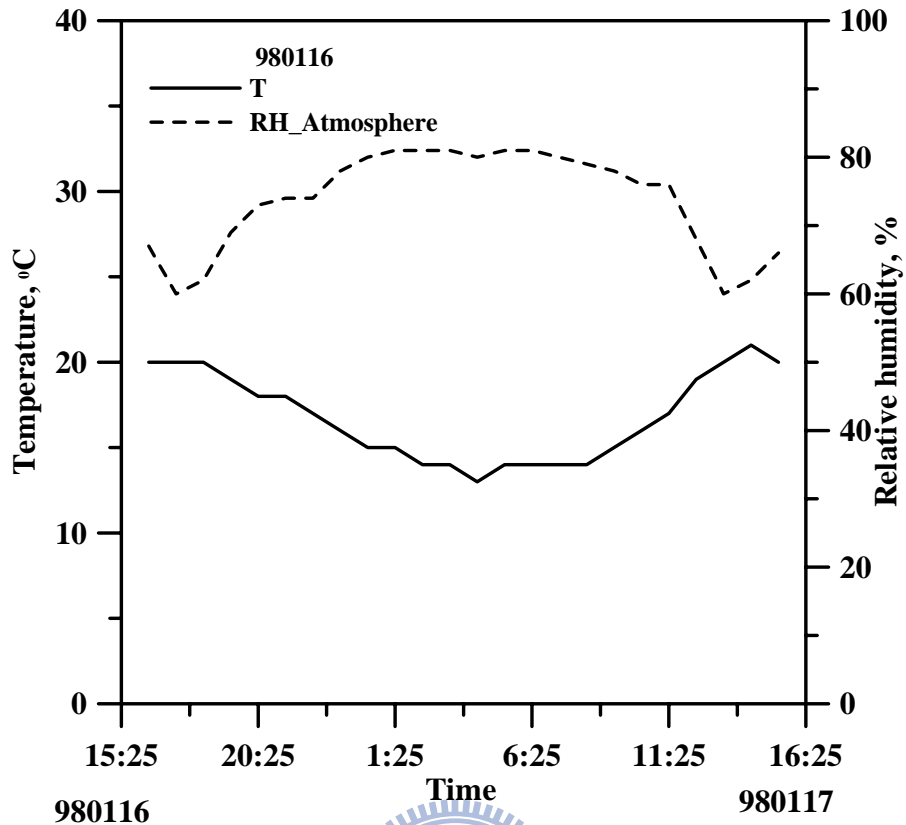


圖 4.28 大氣溫溼度圖, 980116

表 4.25 M1 收集板鋁箔塗敷矽油、M4 收集板鐵氟龍未塗敷時各階濃度差異比較, 990101

(RH: 96~100%, T: 13~19°C)

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	各階損失(%)
	Aluminum foil	Teflon	
>18	0.327	0.000	100.00
10~18	0.473	0.382	19.18
5.6~10	2.751	2.462	10.50
2.5~5.6	9.569	8.939	6.58
1.8~2.5	2.378	2.452	-3.11
1.0~1.8	6.795	6.850	-0.81
0.56~1.0	9.354	9.495	-1.52
0.32~0.56	8.393	8.782	-4.63
0.18~0.32	3.269	3.584	-9.64
0.1~0.18	1.413	1.179	16.55
<0.1	0.931	0.801	13.93
SUM	45.652	44.927	

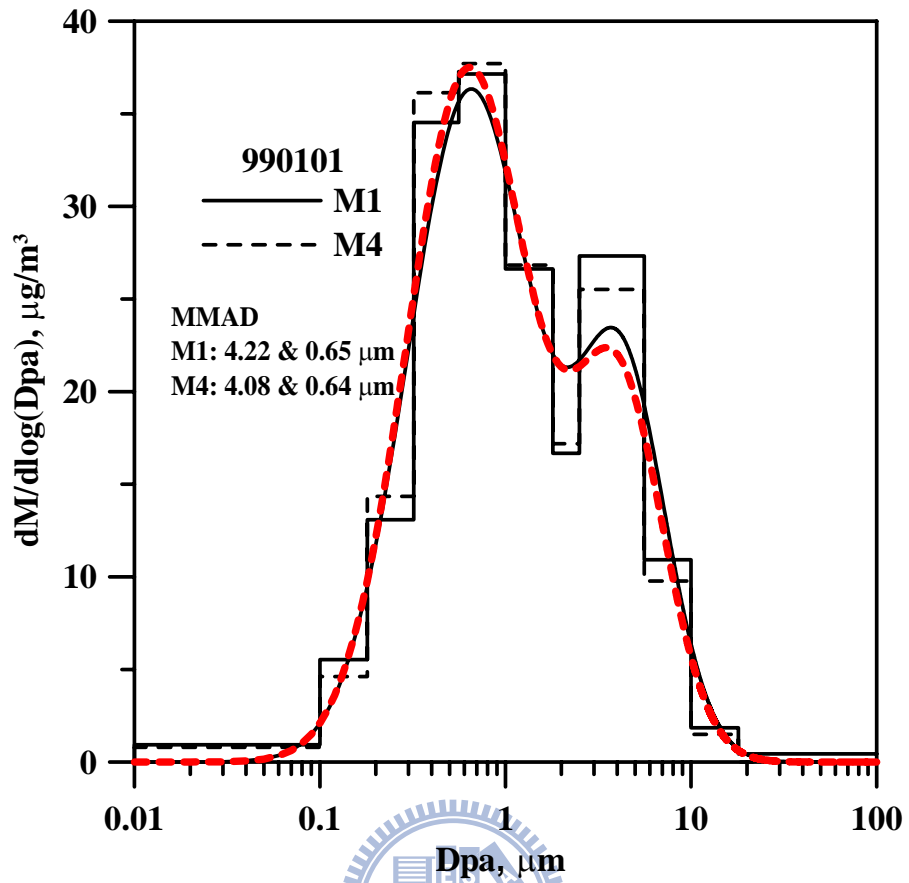


圖 4.29 塗敷過矽黃油之鋁箔與鐵氟龍在各階濃度比較, 990101

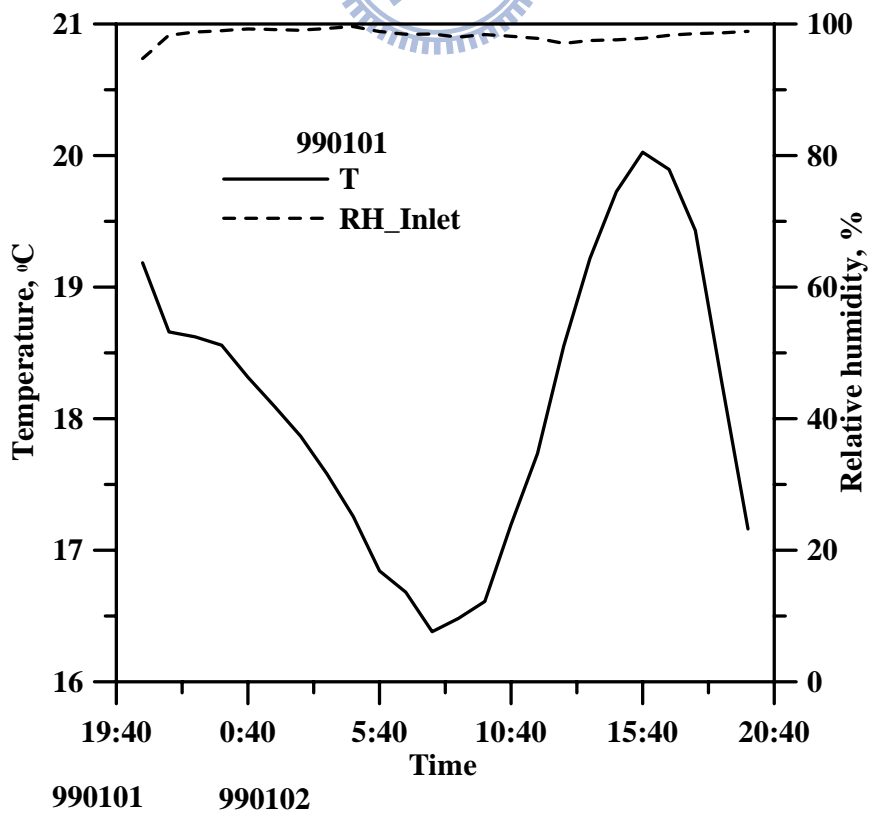


圖 4.30 M4 採樣入口與大氣溫溼度圖, 990101

表 4.26 無塗敷矽黃油的鐵氟龍基質與有塗敷矽黃油的鋁箔基質在高相對溼度環境中之 PM 比值

	Date	Temperature	RH_Inlet	absolute humidity, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM <sub>0.1</sub>	PM <sub>1.0</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
High humidity	980116	16.8±2.6°C (13~20°C)	73.6±7.4% (60~80%)	952.10	1.31	0.88	1.02	1.02
	990101	16.0±1.1°C (13~19°C)	96.4±4.9% (76~100%)	1187.95	0.86	1.02	1.02	1.00



## 第五章 結論與建議

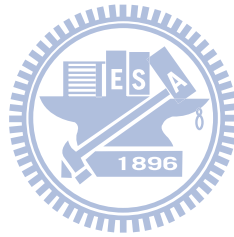
本研究主要測試在多階衝擊器內抑制微粒彈跳的相對溼度，而濕度控制是以一個 Nafion 乾燥器達成的，利用相對溼度的升高以減少奈米微粒濃度高估現象。為了確認此方法可應用於以後的現地或實驗室採樣，必須先了解微粒通過溼度控制器之微粒損失與範圍。本研究結果得知通過溼度控制器後的微粒損失主要為粗微粒，尤其大於  $5.6\mu\text{m}$  以上之微粒，因此若要將溼度控制器與其它儀器搭配使用來控制溼度，其儀器所收集的範圍必須不包含  $5.6\mu\text{m}$  以上之微粒，才能保證其準確性。

台灣大氣的相對溼度處於 50~100% 下，鋁箔與鐵氟龍基質最常被當成 MOUDI 的衝擊基質，然而嚴重影響 MOUDI 收集微粒的準確性就屬微粒彈跳，當相對溼度越低時微粒彈跳越明顯。實驗結果發現以未塗敷矽黃油的鋁箔基質收集大氣微粒，奈米微粒在相對溼度 50% 時會高估一倍以上，但相對溼度提升至 77% 後，MOUDI 各階收集到的濃度卻與有塗敷的鋁箔基質相近，奈米微粒幾乎無高估情形發生。若將相對溼度從 50% 下降至 15% 左右，其奈米微粒則會從高估一倍變為兩倍左右，而粗微粒也會因為未塗敷基質無法有效捕捉而大量損失在管壁上，因此若在低相對溼度且高粗微粒濃度地方使用 MOUDI 採樣時必須校正其損失量。

若以未塗敷的鐵氟龍當成 MOUDI 內的收集基質，奈米微粒重量濃度在相對溼度 25% 左右時將會高估 50%，但比起相對溼度在 52% 且使用未塗敷鋁箔基質所測得的奈米微粒濃度高估 1.3 倍還要低上許多，這意味著在一般大氣溼度環境中鐵氟龍比起未塗敷的鋁箔基質更能抑制微粒彈跳。若將相對溼度提升至 100% 後，未塗敷的鐵氟龍與已塗敷的鋁箔所收集的濃度差異在 14% 內，與未塗敷的鋁

箔收集效率相近，因此在高相對溼度條件下，MOUDI 的衝擊基質種類已無太大影響奈米微粒的收集效率，使用未塗敷的鐵氟龍進行大氣採樣的相對溼度最佳操作應為 75%左右。

在高相對溼度的環境中，尤其是台灣山區，可直接使用未塗敷的鐵氟龍收集大氣微粒以便於後續的化學分析；台灣的梅雨季相對溼度通常在 70%以上，可使用無塗敷的基質進行大氣採樣；但在相對溼度 50~70%之間的地區，除非所收集的微粒屬於液態則無重大影響，否則需使用溼度控制器將採樣口的相對溼度增加至 75%左右，且相對溼度不能超過 80%，以防止微粒粒徑分佈偏移。





## 參考文獻

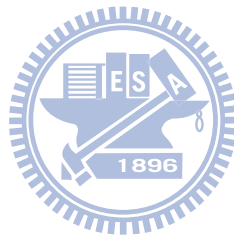
- Cheng, Y. S. and Yeh, H. C., (1979). Particle bounce in cascade impactors. *Environ. Sci. Technol.*, 13:1392-1396.
- Chow, J. C. and Watson, J. G., (2007). Review of measurement methods and compositions for ultrafine particles. *Aerosol Air Qual. Res.*, 7:121-173.
- Chung, A., Herner, J. D. and Kleeman, M. J., (2001). Detection of alkaline ultrafine atmospheric particles at Bakersfield, California. *Environ. Sci. Technol.*, 35:2184-2190.
- Donaldson, K., Brown, D., Clouter, A., Duffin, R., MacNee, W., Renwick, L., Tran, L. and Stone, V., (2002). The pulmonary toxicology of ultrafine particles, in *13th International Congress of the International-Society-for-Aerosols-in-Medicine (ISAM)*, Interlaken, Switzerland, 213-220.
- Fang, C. P., McMurry, P. H., Marple, V. A. and Rubow, K. L., (1991). Effect of flow-induced relative-humidity changes on size cuts for sulfuric-acid droplets in the microorifice uniform deposit impactor (MOUDI). *Aerosol Sci. Technol.*, 14:266-277.
- Fine, P. M., Chakrabarti, B., Krudysz, M., Schauer, J. J. and Sioutas, C., (2004). Diurnal variations of individual organic compound constituents of ultrafine and accumulation mode particulate matter in the Los Angeles basin. *Environ. Sci. Technol.*, 38:1296-1304.
- Fujitani, Y., Hasegawa, S., Fushimi, A., Kondo, Y., Tanabe, K., Kobayashi, S. and Kobayashi, T., (2006). Collection characteristics of low-pressure impactors with various impaction substrate materials. *Atmos. Environ.*, 40:3221-3229.
- Geller, M. D., Kim, S., Misra, C., Sioutas, C., Olson, B. A. and Marple, V. A., (2002). A methodology for measuring size-dependent chemical composition of ultrafine particles. *Aerosol Sci. Technol.*, 36:748-762.
- Huang, X. F., Yu, J., Z., He, L. Y., and Hu, M., (2006). Size distribution characteristics of elemental carbon emitted from Chinese vehicles: Results of a tunnel study and atmospheric implications. *Environ. Sci. Technol.*, 40:5355-5360.
- Hanel, G., (1976). The properties of atmospheric aerosol particles as functions of relative humidity at thermodynamic equilibrium with surrounding moist air.

*Geophys. Res.*, 19:73-188.

- Herner, J. D., Aw, J., Gao, O., Chang, D. P. and Kleeman, M. J., (2005a). Size and composition distribution of airborne particulate matter in northern California: I-particulate mass, carbon, and water-soluble ions. *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 55:30-51.
- Herner, J. D., Ying, Q., Aw, J., Gao, O., Chang, D. P. Y. and Kleemani, M. J., (2006). Dominant mechanisms that shape the airborne particle size and composition distribution in central California. *Aerosol Sci. Technol.*, 40:827-844.
- Hughes, L. S., Cass, G. R., Gone, J., Ames, M. and Olmez, I., (1998). Physical and chemical characterization of atmospheric ultrafine particles in the Los Angeles area. *Environ. Sci. Technol.*, 32:1153-1161.
- Khlystov, A., Stanier, C., and Pandis, S. N., (2004). An algorithm for combining electrical mobility and aerodynamic size distributions data when measuring ambient aerosol. *Aerosol Sci. Technol.*, 38(S1):229-238.
- Kim, S., Shen, S., Sioutas, C., Zhu, Y. F. and Hinds, W. C., (2002). Size distribution and diurnal and seasonal trends of ultrafine particles in source and receptor sites of the Los Angeles basin. *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 52:297-307.
- Lawson, D.R., (1980). Impaction surface coatings intercomparison and measurements with cascade impactors. *Atmos. Environ.*, 14:195-200.
- Lin, C. C., Chen, S. J., Huang, K. L., Hwang, W. I., Chang-Chien, G. P. and Lin, W. Y., (2005). Characteristics of metals in nano/ultrafine/fine/coarse particles collected beside a heavily trafficked road. *Environ. Sci. Technol.*, 39:8113-8122.
- Marple, V. A., Rubow, K. L., Behm, S. M., (1991). A micro-orifice uniform deposit impactor (MOUDI)-description, calibration, and use. *Aerosol Sci. Technol.*, 14: 434-446.
- Martuzevicius, D., Grinshpun, S. A., Reponen, T., Gorny, R. L., Shukla, R., Lockey, J., Hu, S. H., McDonald, R., Biswas, P., Kliucininkas, L. and LeMasters, G., (2004). Spatial and temporal variations of PM<sub>2.5</sub> concentration and composition throughout an urban area with high freeway density - the Greater Cincinnati study. *Atmos. Environ.*, 38:1091-1105.
- Miguel, A. H., Eiguren-Fernandez, A., Jaques, P. A., Froines, J. R., Grant, B. L., Mayo, P. R. and Sioutas, C., (2004). Seasonal variation of the particle size

- distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and of major aerosol species in Claremont, California. *Atmos. Environ.*, 38:3241-3251.
- Oberdörster, G., Oberdorster, E., Oberdorster, J., (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ. Health Perspectives*, 113(7):823-839.
- Pak, S. S., Lin, B. Y. H., Rubow, K. L., (1992). Effect of coating thickness on particle bounce in inertial impactor. *Aerosol Sci. Technol.*, 16:141-150.
- Park, K., Cao, F., Kittelson, D. B. and McMurry, P. H., (2003). Relationship between particle mass and mobility for diesel exhaust particles. *Environ. Sci. Technol.*, 37:577-583.
- Rader, D. J., and McMurry, P. H., (1986). Application of the tandem differential mobility analyzer to studies of droplet growth or evaporation. *J. Aerosol Sci.* 17(5):771-787.
- Sardar, S. B., Fine, P. M., Mayo, P. R., and Sioutas, C., (2005). Size-fractionated measurements of ambient ultrafine particle formation during diesel exhaust dilution. *Environ. Sci. Technol.*, 39:932-944.
- Shen, S., Jaques, P. A., Zhu, Y. F., Geller, M. D. and Sioutas, C., (2002). Evaluation of the SMPS-APS system as a continuous monitor for measuring PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and coarse (PM<sub>2.5-10</sub>) concentrations. *Atmos. Environ.*, 36:3939-3950.
- Spencer, M.T., and Prather, K. A., (2007). Measurements of the density of atmospheric aerosols. *Environ. Sci. Technol.*, 41:1303-1309.
- Stanier, C. O., Khlystov, A., Chan, W. R., Mulia, M., and Pandis, S. N., (2004). A method for the in situ measurement of fine aerosol water content of ambient aerosol: The dry-ambient aerosol size spectrometer (DAASS), *Aerosol Sci. Technol.*, 38(S1):215-228.
- Stein, S. W., Turpin, B. J., Cai, X. P., Huang, C. P. F. and McMurry, P. H., (1994). Measurements of relative humidity-dependent bounce and density for atmospheric particles using the dma-impactor technique. *Atmos. Environ.*, 28:1739-1746.
- Turner, J. R. and Hering, S. V., (1987). Greased and oiled substrates as bounce-free impaction surfaces. *J. Aerosol Sci.*, 18:215-224.
- Vanderpool, R. W., Lundgren, D. A., Marple, V. A. and Rubow, K. L., (1987). Cocalibration of 4 large-particle impactors. *Aerosol Sci. Technol.*, 7:177-185.

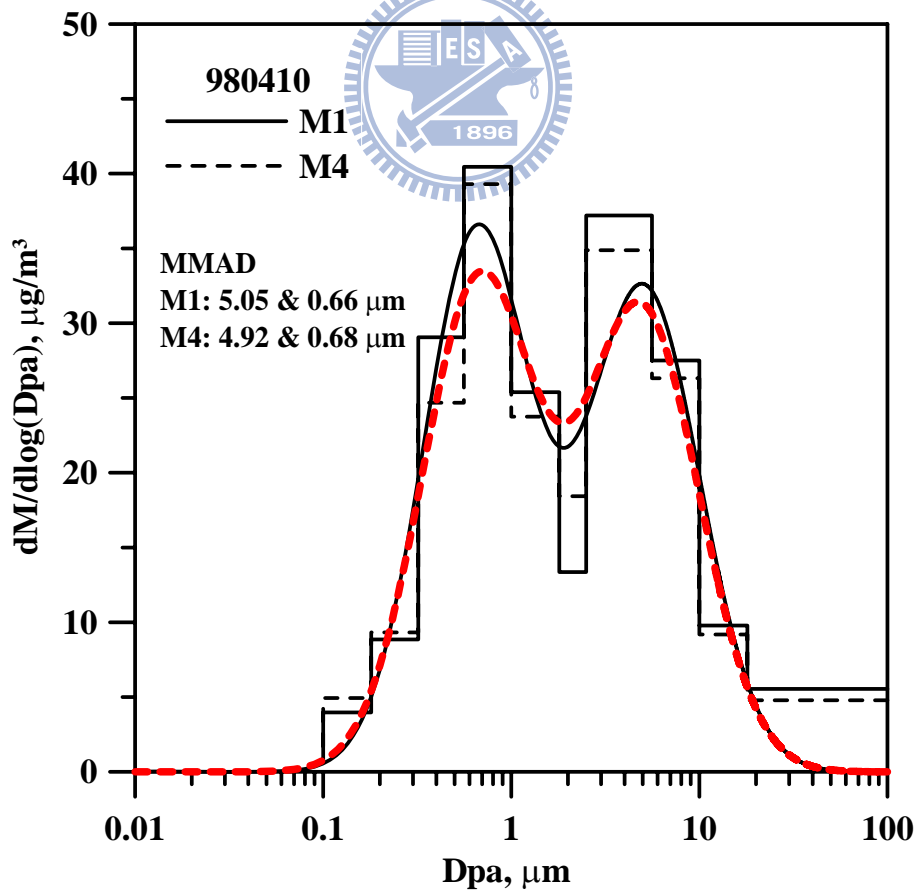
- Vasiliou, J. G., Sorensen, D. and McMurry, P. H., (1999). Sampling at controlled relative humidity with a cascade impactor. *Atmos. Environ.*,33:1049-1056.
- Wang, H.C., John, W., (1987). Comparative bounce properties of particle material. *Aerosol Sci. Technol.*, 7:285:299.
- Winkler, P., (1974). Relative humidity and the adhesion of atmospheric particles to the plates of impactors. *Aerosol Sci.*, 5:235-240.
- 許逸群，陳志傑，蔡俊鴻，2004，空氣污染物自動連續測定儀各偵測原理之準確性評估，EPA-154920057。 <http://www.niea.gov.tw/analysis/assignment/92plan/空氣污染物自動連續測定儀各偵測原理之準確性評估.htm>。



## 附錄

附錄一 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗砂油時各階濃度差異比較, 980410

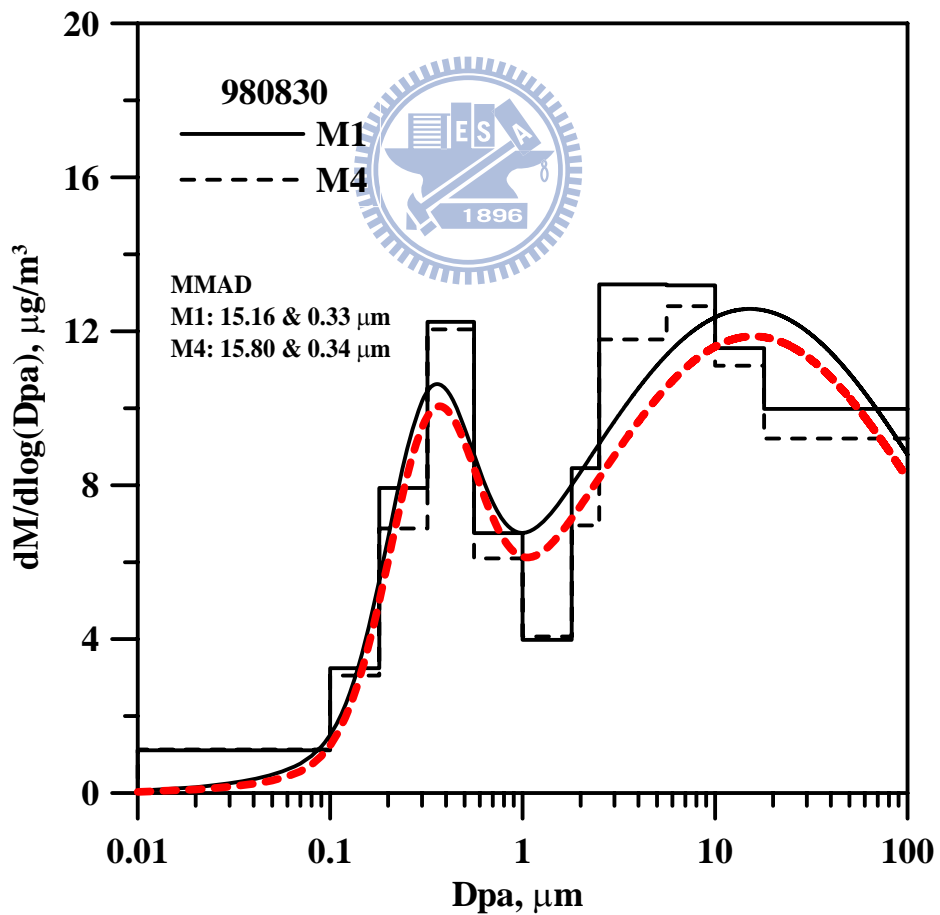
Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RSD(%)
>18	4.130	3.568	10.34
10~18	2.498	2.344	4.51
5.6~10	6.926	6.627	3.13
2.5~5.6	13.030	12.218	4.54
1.8~2.5	1.905	2.630	22.59
1.0~1.8	6.480	6.063	4.71
0.56~1.0	10.188	9.897	2.05
0.32~0.56	7.063	6.000	11.51
0.18~0.32	2.211	2.331	3.72
0.1~0.18	1.015	1.259	15.15
<0.1	0.690	0.792	9.72
SUM	56.137	53.727	



使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗砂油時各階濃度之分布圖, 980410

附錄二 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗砂油時各階濃度差異比較, 980830

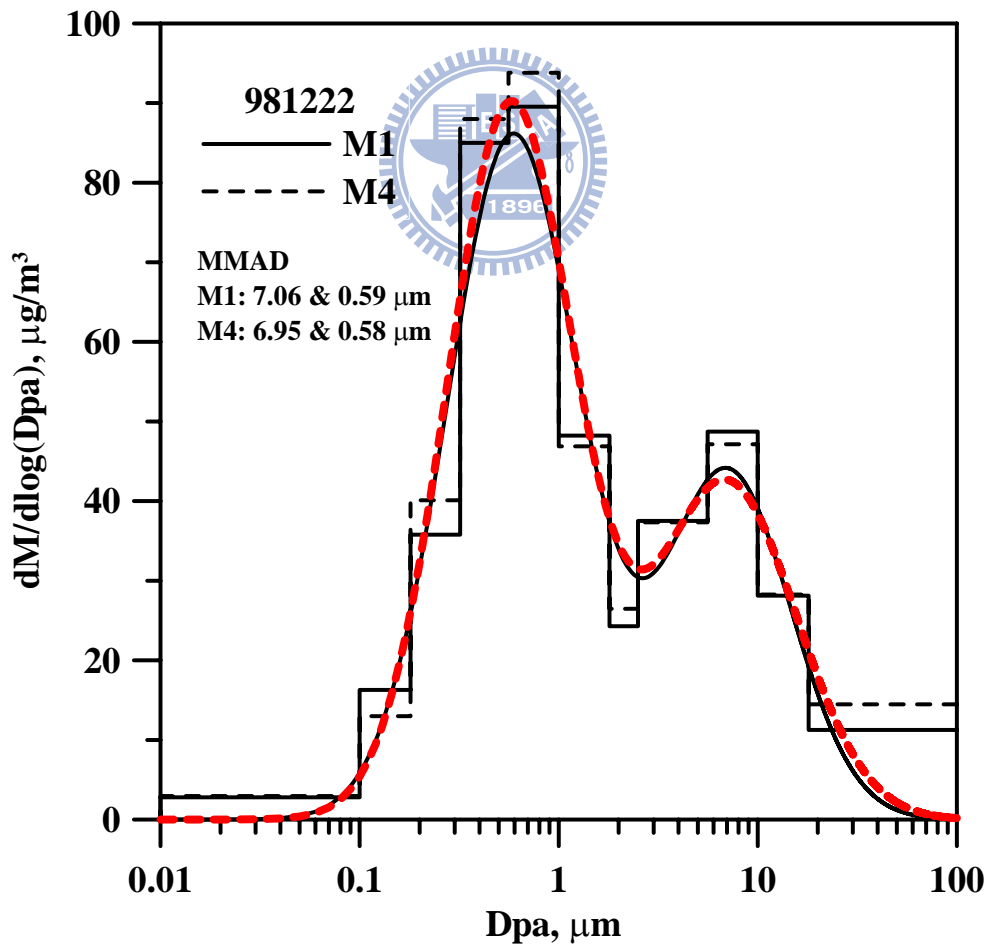
Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RSD(%)
>18	7.435	6.863	5.66
10~18	2.951	2.836	2.83
5.6~10	3.322	3.186	2.96
2.5~5.6	4.630	4.128	8.09
1.8~2.5	1.205	0.992	13.69
1.0~1.8	1.016	1.039	1.63
0.56~1.0	1.701	1.535	7.23
0.32~0.56	2.976	2.929	1.13
0.18~0.32	1.981	1.718	10.04
0.1~0.18	0.828	0.780	4.29
<0.1	1.111	1.134	1.46
SUM	29.156	27.141	



使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗砂油時各階濃度之分布圖, 980830

附錄三 使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗砂油時各階濃度差異比較, 981222

Dp <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ )	M1( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M4( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RSD(%)
>18	8.388	10.784	17.68
10~18	7.176	7.215	0.38
5.6~10	12.273	11.874	2.34
2.5~5.6	13.141	13.078	0.34
1.8~2.5	3.464	3.779	6.15
1.0~1.8	12.314	11.968	2.02
0.56~1.0	22.550	23.621	3.28
0.32~0.56	20.660	21.384	2.44
0.18~0.32	8.941	10.023	8.07
0.1~0.18	4.159	3.314	15.99
<0.1	2.796	2.944	3.65
SUM	115.862	119.983	



使 M1、M4 各階鋁箔收集板均塗砂油時各階濃度之分布圖, 981222