

國立交通大學

工學院永續環境學程 碩士論文

實驗室排氣櫃的污染物洩漏評估

Pollution Leakage Assessment of a Laboratory Fume



研究生：宋祚季

指導教授：蔡春進

中華民國一百年十二月

實驗室排氣櫃的污染物洩漏評估

Pollution Leakage Assessment of a Laboratory Fume Hood

研究生: 宋祚季 Student : Tso-Chi Sung

指導教授: 蔡春進 Advisor : Chuen-Jinn Tsai

國立交通大學

工學院永續環境科技學程

碩士論文



Pollution Leakage Assessment of a Laboratory Fume Hood

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Environmental Technology for Sustainability

December 2011

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 100 年 12 月

實驗室排氣櫃的污染物洩漏評估

學生：宋祚季

指導教授：蔡春進

國立交通大學工學院永續環境科技學程

碩士論文

摘要

實驗室的人員在實驗過程中常會在排氣櫃內操作危害物質，以避免有害物質的逸散。排氣櫃的捕集能力往往影響污染物逸散量多寡，而影響排氣櫃捕集能力的因素有氣流狀態、污染物狀態及操作狀態，許多研究顯示排氣櫃拉門高低會改變排氣櫃面速度的大小，進而影響排氣櫃的捕集效率。

本研究為了瞭解實驗室排氣櫃的面速度與污染物洩漏兩者間的關聯性，進行排氣櫃拉門開口於不同高度時的面速度量測以及一般操作人員呼吸區域的污染物洩漏濃度即時監測，以探討在正常運作排氣櫃時污染物的洩漏情形。研究將排氣櫃拉門劃分呈垂直平行的假想網格，量測不同區域與拉門高度間醋酸逸散量，並對應其面速度，觀察其相關性。在以兩種醋酸傾倒方式：1.有操作人員在固定時間增補醋酸量 2. 無人為操作而以滴管連續式補充醋酸，探討有無人員的操作狀態(即外部氣流干擾的有無)對排氣櫃捕集效率的影響。

結果發現有操作人員在固定時間增補醋酸量而在拉門高度設定在 15~45 cm 高時，面速度值 (0.25~0.52 m/sec) 符合各國家部分機構對排氣櫃建議值 (0.3~0.77 m/sec)，排氣櫃拉門高度降低，其面速度漸增，但是拉門開口過小 (例如：開口高度為 15 cm 高)，在拉門開口處會形成較強的紊流 (0.50~0.52 m/sec) 足以將櫃中的氣狀污染物向櫃門外洩漏，操作者的呼吸暴露值也隨之升高；而當拉門開口高度為 30 cm 高時，排氣櫃的排氣運作對操作者的呼吸

暴露的控制，可達最佳成效。實驗也發現對於站立於櫃前正中間位置操作化學物品的操作員而言，其暴露濃度較站立兩側的人員為高。另外，操作人員傾倒溶液動作時，其原本的背景值提升，代表著操作員的動作可能產生一氣流，這產生的氣流能讓櫃中污染物洩漏至操作員的呼吸區域。

在無人為操作而以滴管連續式補充醋酸的情況下，在拉門高度設在 60~30 cm 高時，面速度值 (0.28~0.49 m/sec) 符合建議值，排氣櫃拉門高度降低，面速度增加，但拉門開口高度低至 5cm 時，面速度值 (1.52~1.58 m/sec)；當拉門開口高度提高至 15cm，面速度值 (0.75~0.89 m/sec)，均高於排氣櫃建議值。實驗結果發現拉門開口過小 (例如：拉門開口為 5cm 高) 操作者的呼吸暴露值最高；而當拉門開口高度為 45cm 高時，操作者的暴露控制，達排氣櫃排氣運作的最佳效果。站立於櫃前正中間不做任何操作的操作員，其暴露分析濃度較站立兩側的人員為低。另外，無人為操作櫃前呼吸區域測量的醋酸濃度和樣本的時間序列關係較有人為操作平穩，代表著站立於櫃前，未做任何動作的操作員，較不易產生氣流而將污染物帶出。

關鍵詞：排氣櫃、面速度、氣流、捕集、洩漏、醋酸

Pollutant Leakage Assessment of Laboratory Fume Hoods

Student: Tso-Chi Sung

Advisor: Chuen-Jinn Tsai

Degree Program of Environmental Technology for Sustainability
College of Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

Laboratory personnel in the experimental process often operate hazardous substances in a fume hood in order to avoid the dispersion of harmful substances. The capturing efficiency of the hood often determines the emission rate of the pollutants. The factors that affect the capturing efficiency of the hood are airflow, pollutant and operational conditions. Many studies have shown that the sash position will change the face velocity of the hood, thereby affecting its efficacy.

This study investigates the relationship between the face velocity of the fume hood and the emission rate of pollutants. In order to examine the emission of the pollutants in the normal operation of the fume hood, we measured the face velocity of the hood when the sash was at different positions and monitored the exposure concentration of the pollutants at the operator's breathing zone. The sash opening was mapped to a virtual grid for measuring the emission rate of acetic acid and face velocities at different positions when the sash was at different positions. The acetic acid was added in two ways, one with an operator adding acetic acid at regular intervals and the other with a dropper adding acetic acid continuously, to explore how the disturbances of external airflow caused by an operator affected the capturing efficiency of the fume hood.

With the operator filling acetic acid, we found that when the sash height was set within 15 ~ 45 cm, the face velocities (0.25 ~ 0.52 m / sec) met the national standard for the recommended fume hood face velocity (0.3 ~ 0.77 m / sec). When we lowered the sash, the face velocity increased. However, when the opening was too small (for example, with the sash height at 15cm), it generated strong turbulence (0.50 ~ 0.52 m / sec) inside the hood causing gaseous pollutants to leak out of the fume hood, which increased the pollutant exposure to the operator. When the sash height was set 30 at cm, it minimized the pollutant

exposure to the operator. We also found that the operator standing in the middle position in front of the hood was exposed to higher pollutant concentration than that standing on the two sides. In addition, when the operator poured the solution, the original background value increased. This indicates that the movement of the operator may generate airflow, which may cause the leakage of air pollutants to the operator's breathing zone.

Without the operator and acetic acid was added with a dropper without the disturbances from external airflow, the face velocities (0.28 ~ 0.49 m/sec) with the sash height set at 60 ~ 30 cm met the recommended value. When we lowered the sash, the face velocity increased. But when the sash height was smaller than 5 cm, the face velocity was 1.52 ~ 1.58 m/sec. When the sash height was increased to 15 cm, the face velocity was 0.75 ~ 0.89 m/sec. Both of them were higher than the recommended value. The experiment data showed that when the sash opening was too small (for example, at 5 cm high), the operator's exposure will be the highest. When the sash height was at 45 cm, the control of the pollutant exposure on the operator's respiratory system was found to be optimal. In addition, when the operator stood in the middle position in front of the hood but did not operate, the exposure was less than the case when the operator stood on the two sides. Furthermore, the concentration of acetic acid was more stable when acetic acid was added with a dropper than the case when acetic acid was filled by an operator. It indicates that when the operator stands in front of the hood without any movement is less likely to generate airflow to cause the leakage of pollutants.

Keyword : hood, Face velocity, airflow, capturing efficiency, leakage, acetic acid

誌 謝

在環工所的學習過程，隨著論文的付梓，即將劃上句點。再度回到校園攻讀研究所，一直是工作多年來的心願。於繁重的工作壓力下，並克服南北往返的舟車勞頓完成研究所的學業，至今回想起來仍覺得不可思議，但得以一償宿願，一切的辛苦與堅持是值得的。

本論文能順利完成，幸蒙我的指導教授 蔡春進教授的指導與教誨，對於研究的方向、觀念的啟迪、架構的匡正、資料的提供與求學的態度逐一斧正與細細關懷，於此獻上最深的敬意與謝意。論文口試期間，承蒙口試委員傅武雄教授與簡弘民教授的鼓勵與疏漏處之指正，使得本論文更臻完備，在此謹深致謝忱。



在研究所修業期間，感謝我的同窗何國華、劉怡伶、劉芸依在實驗流程上的切磋討論與建議，感謝古月萍博士後研究員教導我實驗方法及計畫書的寫作。謝謝國華兄幫忙找人整修好了實驗的設備與怡伶協助接洽學校實驗室設備的商借事宜，尤其是在腳受傷無法順利走路又必須要做實驗的狀態下，他們給了我許多協助，讓我能順利完成實驗。謝謝好友蔡慧玲與陳欣薇在英文翻譯上提供諮詢與指導。特別感謝摯友鄭雅萍，從準備研究所考試到論文完成，一直以來對我鼎力支持和鼓勵，友誼的溫馨讓我每每在疲累想放棄的時候，有堅持到底的動力。對於所有幫助過我、關懷過我的人，致上由衷感謝。

最後，特將本文獻給我最敬愛的父親與母親。感謝父親精神上的支持，您的殷切期望總鞭策我不斷追求進步。感謝母親無怨無悔的養育與無時無刻的關懷照顧，讓我能專注於課業研究中。願以此與家人共享。

在職進修的研究生活緊湊忙碌，因此對於時間運用的效能有更深刻體悟，工作上累積的專業與課堂習得的新知往往可以產生良好的互動激盪，來自不同領域職場的同窗，帶給我視野上的提升，這些對我都是相當寶貴的經驗。期勉自己於環工所學習的知識、經驗與啟發，實際應用在日常生活中及工作上，發揮所學。



祚季 謹誌於
交通大學環境工程研究所
中華民國一百年十二月

目錄

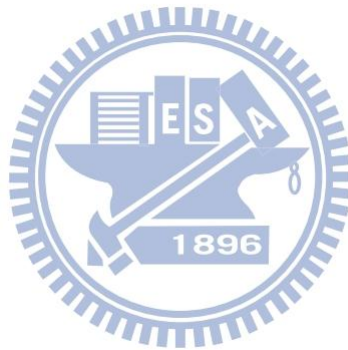
摘要.....	I
Abstract.....	IV
誌謝.....	VI
目錄.....	V
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
一、前言.....	1
1.1 緣起.....	1
1.2 目的.....	4
二、文獻回顧.....	5
2.1 影響排氣櫃性能的因素.....	5
2.2 排氣櫃拉門開口的面速度.....	9
2.3 國內現行和現有的酸氣污染物採集分析方法.....	11
2.4 醋酸.....	12
三、研究方法.....	13
3.1 面速度的測量.....	18
3.2 操作人員的暴露程度.....	20
3.2.1 醋酸的放置—污染物的產生.....	20
3.2.2 即時監測器和採樣管口的架設—操作人員的呼吸區域.....	20
3.2.3 傾倒醋酸溶液和拉動拉門—操作員在抽氣櫃操作化學 品時的基本動作.....	23
3.2.4 自動化地添加醋酸溶液和固定的拉門開口高度—無外 界氣流的干擾.....	24
3.3 品保及品管.....	25
3.3.1 風速儀.....	25
3.3.2 酸氣即時監測器.....	25
四、結果和討論.....	27
4.1 醋酸濃度的品保與品管.....	27
4.2 面速的度分布.....	28
4.3 排氣櫃污染物的洩露濃度和操作人員的暴露程度.....	39
4.3.1 傾倒溶液、拉動拉門以及拉門開口高度的影響.....	39

4.3.2 以軟管補充溶液、拉動拉門以及拉門開口高度的影響...	45
4.4 面速度與排氣櫃性能.....	50
4.4.1 有人為操作.....	50
4.4.2 無人為操作.....	52
4.5 排氣櫃內污染物洩漏之數值比較及分析.....	54
五、結論與建議.....	57
5.1 結論.....	57
5.2 建議.....	58
六、參考文獻.....	59



表目錄

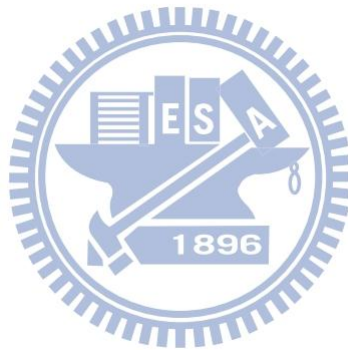
表 1	各國機構對於排氣櫃面速度的建議值	10
表 2	醋酸根離子檢量線的溶液配置濃度.....	27
表 3	有人為操作-於操作人員呼吸區域監測的醋酸濃度數值.....	42
表 4	無人為操作-於操作人員呼吸區域監測的醋酸濃度數值.....	47
表 5	無人為操作時固定搭門開口進行數值比對.....	55
表 6	單點濃度測試方法，比較無人為操作不同拉門高度洩漏之 濃度.....	56



圖目錄

圖 1	流場可視化實驗中觀察的排氣櫃本體.....	7
圖 2	流場可視化觀察結果顯示污染源洩漏嚴重.....	9
圖 3	有人為操作排氣櫃實體圖.....	14
圖 4	有人為操作-實驗室排氣櫃的設置(A)立體圖以及(B)平面圖 .	15
圖 5	有人為操作-排氣櫃尺寸圖 (a) 正面圖和 (b) 側視圖	15
圖 6	無人為操作排氣櫃實體圖.....	16
圖 7	無人為操作-實驗室排氣櫃的設置(A)立體圖以及(B)平面圖 .	17
圖 8	無人為操作-排氣櫃尺寸圖 (a) 正面圖和 (b) 側視圖	17
圖 9	熱線式風速計.....	18
圖 10	有人為操作-面速度量測時的假想網格示意圖.....	19
圖 11	無人為操作-面速度量測時的假想網格示意圖.....	19
圖 12	即時監測器的採樣口架設實體圖.....	21
圖 13	有人為操作現場採樣相片.....	21
圖 14	無人為操作現場採樣相片.....	22
圖 15	無人為操作現場採樣示意圖.....	22
圖 16	無人為操作現場採樣示意圖.....	23
圖 17	醋酸根離子檢量線圖.....	27
圖 18	拉門高度 60cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	29
圖 19	拉門高度 45cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	30
圖 20	拉門高度 30cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	31
圖 21	拉門高度 15cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	32
圖 22	有人為操作-排氣櫃拉門的開口高度與面速度的分布和誤差	33
圖 23	拉門高度 60cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	34
圖 24	拉門高度 45cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	35
圖 25	拉門高度 30cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	36
圖 26	拉門高度 15cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	37
圖 27	拉門高度 5cm 時，九格假想格中心位置的面速度值.....	38
圖 28	無人為操作-排氣櫃拉門的開口高度與面速度的分布和誤差	39
圖 29	有人為操作-櫃前呼吸區域測量的醋酸濃度數值和樣本進樣的 時間序列關係。排氣櫃拉門高度分別為(A) 15cm (B) 30cm (C) 45cm 以及(D) 60cm	44

圖 30 無人為操作-櫃前呼吸區域測量的醋酸濃度數值和樣本進樣的 時間序列關係。排氣櫃拉門高度分別為(A) 5cm (B) 15cm (C) 30cm(D) 45cm 以及(E) 60cm.....	50
圖 31 有人為操作-面速度分布與排氣櫃氣狀污染物(醋酸氣體)洩露至 操作員呼吸區域的濃度.....	52
圖 32 無人為操作-面速度分布與排氣櫃氣狀污染物(醋酸氣體)洩露至 操作員呼吸區域的濃度.....	54



一、前言

1.1 緣起

實驗室的人員在實驗過程中，會有操作危險物品的相關實驗。為了避免有害物質的洩漏，操作過程會選擇在排氣櫃(hood)內進行。實驗室裡常見的排氣櫃為一種「包圍式氣罩」[1]，其利用排氣櫃中的抽氣裝置產生穩定氣流，以抽離排氣櫃中的污染物。排氣櫃的內部，則因氣體的被抽離而產生負壓並造成室內空氣和排氣櫃內空氣兩者之間氣壓的差異，導致實驗室內的空氣得以流入排氣櫃內，進而稀釋污染物，再隨著排氣櫃的氣流抽出實驗室。排氣櫃的裝置除了能減少操作人員的暴露機會、保障其健康安全之外，亦能維護實驗室的環境品質。

實驗室排氣櫃的類型眾多，依據基本結構排氣櫃可分類為傳統式(Conventional hood)、旁通柵門式(Bypass hood)、輔助供氣式(Auxiliary air hood)以及可變流量式(Variable air volume hood)等四大類(Monsen, 1989)。相對於可變流量式排氣櫃的另外一種排氣櫃-定風量式排氣櫃-則可設計為傳統型、旁流型以及補充型；其中以傳統型及旁流型為最廣泛地使用[2]。在1988年，Albern *et al.* 則報導可變流量式之操作費用較傳統式為節省，可節省約75%。

在2005年，高磊等人整理出各型定風量式排氣櫃的優缺點。(1)傳統型排氣櫃其排氣流量固定，且排氣速度取決於拉門的開口大小。其排氣櫃面速度(hood face velocity，係指經由拉門開口由排氣櫃外進入排氣櫃內的風速[2])能保持固定，因此安全性較高。此型排氣櫃，於初期投資時費用低；但是，其運轉費用高，不符合長期的經濟效應。在拉低排氣櫃拉門時，會提高拉門開口的面速度，而較易造成排氣櫃內實驗品傾倒或造成排氣櫃內紊亂的氣流。(2)旁流型排氣櫃的抽氣流量為固定，且在其側邊有一開口設計。此開口設計能降低因

拉門高度變化所造成的面速度波動起伏。但是，此設計卻容易造成風速的過低。(1) 補充型排氣櫃於排氣櫃外部設有專門導入空氣的裝置。此裝置能將室外空氣吸入，並減少室內空調區域之排氣量。此型排氣櫃能將一般在使用排氣櫃時時，於操作人員胸部產生的渦流，向下移至操作人員的腹部部位；進而帶走被氣流稀釋的污染物。但是，此型排氣櫃的初期投資費用高，而排氣櫃前的補風會造成排氣櫃內部氣流的擾動，進而導致污染物溢出的可能性。(2) 變風量式排氣櫃係一種透過調整排氣櫃拉門開口高度來改變排氣量以及利用感應排氣櫃面速度的變化來控制其面速度恆定的排氣櫃。一般來說，此型排氣櫃已能達到基本安全需求以及經濟要求。但是，此型排氣櫃的系統控制項目，卻僅有排氣櫃的面速度這一項目，可能略顯不足。

排氣櫃型式眾多，但是，排氣櫃效能的好壞，仍決定於排氣櫃抽取污染物的捕集能力。其捕集能力越佳，污染物洩漏量越低。影響排氣櫃捕集能力的因素可歸納為：(1) 氣流狀態：包括空氣供氣與回氣情形、換氣率、風速、溫度、氣流混合、氣流方向與速度等；(2) 污染物狀態：包括化學物性質與種類、溫度、擴散率、擴散方向與速率與接觸頻率等；(3) 操作人員狀態：包括接觸時間、頻率與位置及排氣櫃拉門開啟和關閉的位置以及操作程序等[3]。因此，在選擇或使用實驗室排氣櫃時，常留意排氣櫃拉門開口的平均風速是否能保持在理想範圍；不良的設計和安裝、欠缺維護保養、不當的操作以及周界不穩定的氣流，均能導致排氣櫃內污染物的洩漏。而學者和業者常利用檔版 (baffle)、孔隙 (slot)、旁道式氣流 (bypass)、氣翼 (airfoil)、風量控制閥 (flow controller)、可變頻率控制閥 (variable-frequency drive)、窩漩控制閥 (vortex damper) 等方式來提升排氣櫃的捕集性能[2]。

一般實驗室人員在排氣櫃內操作揮發性化學物品時，常發生下述情形。操作人員將化學品放入一台運作中的排氣櫃內操作，而操作

人員卻仍於操作過程中，聞到不良的氣味。操作員為了找出問題的癥結，會先確認排氣櫃是否有效運轉，並完成排氣櫃的自動檢查（檢點氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機排氣性能），再對排氣櫃本體進行相關的檢測。排氣櫃內的相關檢測，除了測量排氣櫃拉門開口的平均風速之外，也需針對排氣櫃四周的空氣進行採集，以找出不良氣味的來源。而一般的實驗室，其作業環境測定的採樣、分析以及儀器測量的方法係參照行政院勞工委員會採樣分析建議方法 NIOSH 5010 (8/15/94)進行[4]。但是，若以醋酸為例，在排氣櫃中操作依照建議方法採得、分析後卻常發生如下的檢測結果：排氣櫃正常運轉（拉門開口面速度為 0.5 m/sec）、採樣的分析數值為 ND（低於儀器偵測極限），而操作人員卻仍聞到刺鼻酸味。深入檢討後發現，採樣方法及分析儀器對醋酸的採集和分析存在限制[5]，而人類鼻子的嗅覺靈敏度高於儀器的偵測極限，故操作人員才會常常聞到儀器偵測不出的氣味。此外，現行的酸氣採樣法，在採樣時間結束後，必須將其採樣管送至分析室做分析。因此若遇到突發性的酸氣洩漏，其分析採樣所得的結果，除了緩不濟急之外，也無法供相關人員做立即的判斷及改善。

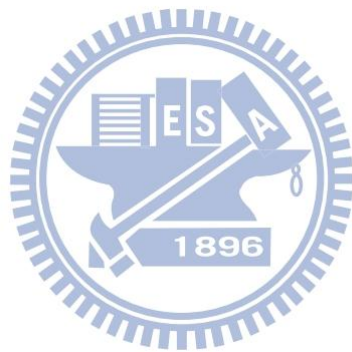
從上述得知，排氣櫃性能的評估，若單純以短時間面速度和現行的酸氣採樣分析方法的測量結果來代表，並無法顯現出排氣櫃內污染物的真實洩漏情形以及得知操作人員和環境的暴露風險。

本研究使用酸氣即時監測器監測操作員呼吸區域的酸氣洩漏濃度，除能減少採集和分析時的繁複作業流程，也能立即評斷排氣櫃操作參數變化（例如：拉門開口高度變化）時，酸氣洩漏的程度。在結合排氣櫃於不同拉門高度開口時面速度的測量，了解排氣櫃的拉門開口高度與酸氣洩漏兩者間的關係以提供日後操作人員的參考。實驗中所使用的排氣櫃為傳統形式及旁流型式；使用的測試氣體為醋酸。

1.2 目的

本研究之主要目的包括：

- (1). 評估排氣櫃在拉門開口高度以及面速度不同時，酸氣洩漏的程度。
- (2). 評估排氣櫃最低酸氣洩漏之操作條件。



二、文獻回顧

2.1 影響排氣櫃性能的因素

在設計良好的情況下，排氣櫃的運作應能有效限制、稀釋及排除經由化學操作過程所釋放的污染物，進而保障操作人員的安全和實驗室環境。而根據黃榮芳[6]研究資料顯示，排氣櫃裡污染物的洩漏程度也和其它氣流的干擾、不穩定氣流的產生或是污染物的性質有關。例如：拉動拉門的動作或是附近人員迅速的移動等，均能造成排氣櫃內部和外部空氣氣流的變化，進而影響排氣櫃的性能[3]。因此，對於一台設計良好的排氣櫃而言，其污染物洩漏的原因可歸納為兩大類：有人為操作以及無人為操作。詳述如下：

(1). 有人為操作

造成排氣櫃性能不佳的有人為操作包含迅速拉動拉門的動作、週遭人員的快速走動、操作人員的手在排氣櫃內的大幅晃動以及室內風扇的使用等。週遭人員迅速行經排氣櫃附近時，產生的紊流能將排氣櫃內的污染物捲出 [6]。而 Ivany 等人[7]的觀察則發現操作人員在排氣櫃內操作化學物質時其污染物洩漏程度為沒有操作人員操作時的五倍以上。

(2). 無人為操作

在排氣櫃拉門高度固定、沒有操作人員操作或無其它氣流流動干擾的前提下，造成排氣櫃性能不佳的因素被歸類為無人為操作。這些無人為操作包含：排氣櫃的幾何大小、排氣櫃的拉門開口高度、污染源的揮發速率、不良的設計及安裝、欠缺維護保養等因素[3]。排氣櫃在排氣運作時，在排氣櫃內部後側的上端會形成旋轉的渦流，而排氣櫃本身內部的設計結構（例如：排氣櫃的幾何大小）會影響此渦流的型態、大小和旋轉方向。在2007年，黃榮芳曾以可視化流場實驗觀察一個排氣櫃的內部流場。觀察結果顯示：排氣櫃內部的流場和複雜的三維性結構（長、寬、高三個維度所構成）有關。根據黃榮芳（2007）

的報導資料顯示：排氣櫃拉門開口大時，排氣櫃面速度會降低，且容易降低排氣櫃對污染物的捕集能力。但是，排氣櫃面速度若太高，對於污染物的捕集，除了無效之外，還會造成紊流將污染物帶出排氣櫃。Durst and Pereira [8]曾發表一篇有關實驗室排氣櫃風量的研究報導，報導指出排氣風量與排氣櫃的性能兩者之間未必成正比；排氣風量和排氣櫃拉門開口的高度兩者之間呈現反比；因此，Durst and Pereira認為排氣櫃的面速度若能降低至排氣櫃的最高捕集率，則可減少運作能源的浪費。Fuller and Etchells [9]指出，排氣櫃內污染物的洩漏程度與排氣櫃內化學品的濃度及揮發性有一定的關聯。Fuller and Etchells [9]亦指出在操作人員呼吸區域 (breathing zone) 量測到較高的揮發性化學品洩漏濃度值的原因包含(1) 排氣櫃內污染物揮發速度的增加；(2) 污染源與操作人員距離的拉近以及(3) 釋放污染源高度的提高。

在2006年，王瑋榆[10]則指出，不良的設計和安裝或是欠缺維護保養均能對排氣櫃的排氣性能產生影響。例如：(1) 排氣櫃的擺放需遠離進出門15公分以上才算安全；(2) 排氣櫃風扇的選擇及排氣櫃的能效係和排氣流量、系統的總靜壓損值(total static pressure loss) 等因素有關以及(3)是否定期執行自動檢查、風扇保養、排氣系統及其組件的檢查。

(A)

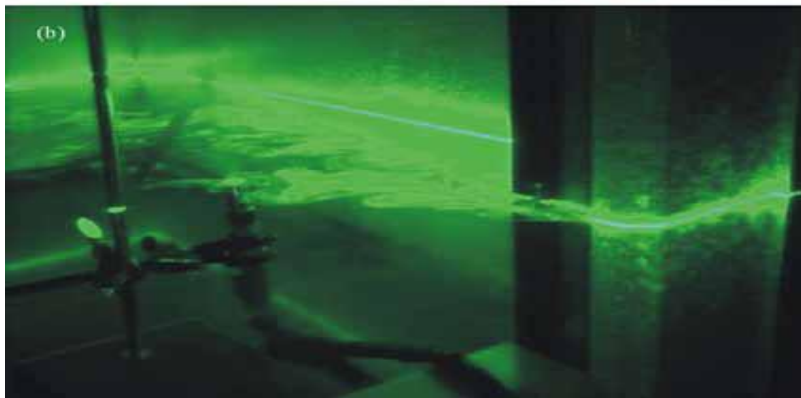
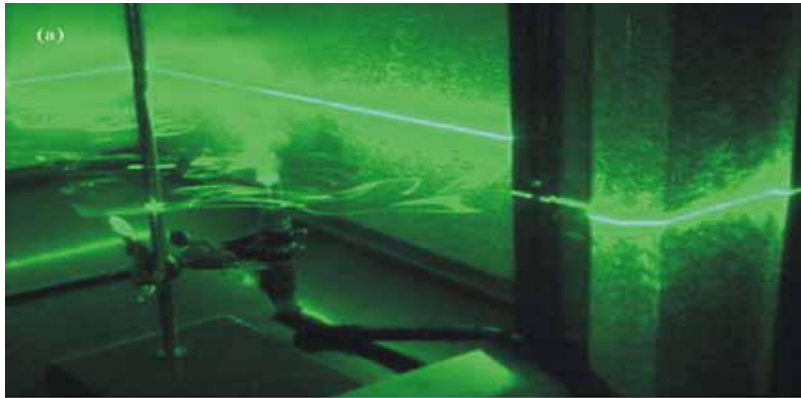


(B)

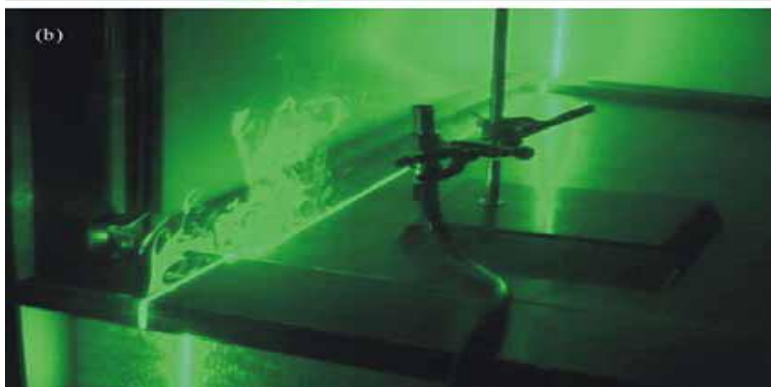
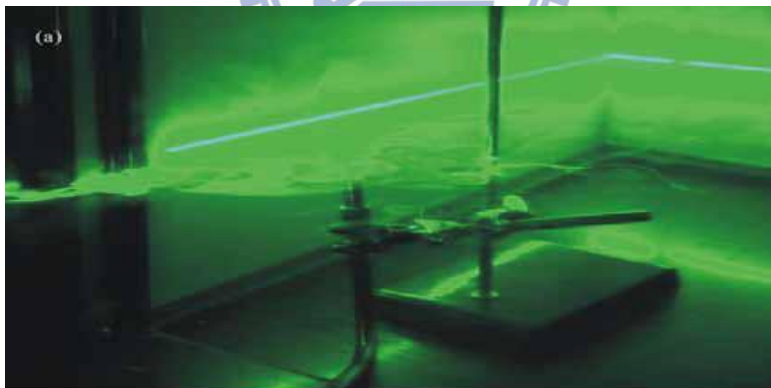


圖1. 流場可視化實驗中觀察的排氣櫃本體 [6]。

(A)



(B)



(C)

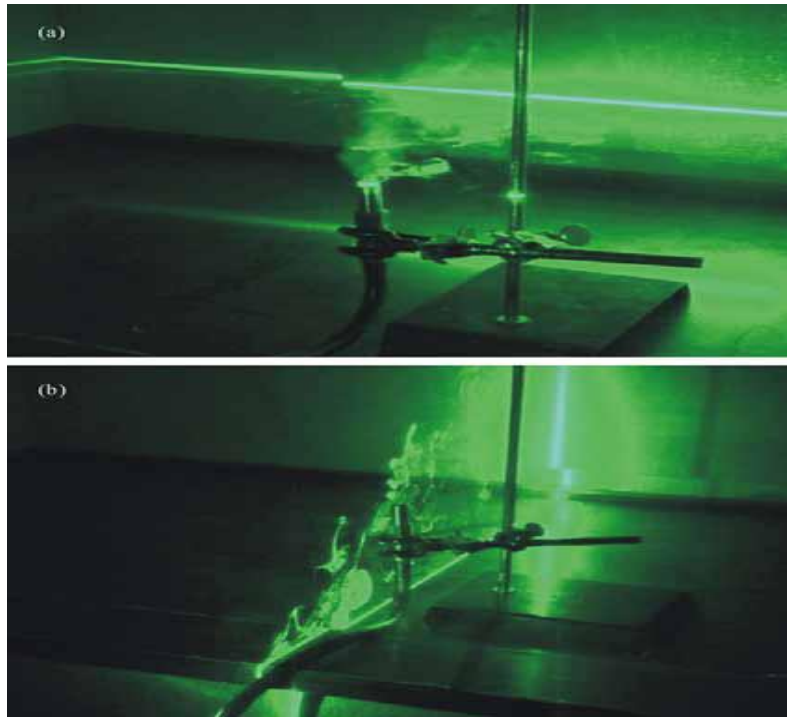


圖2. 流場可視化觀察結果顯示污染源洩漏嚴重(A)排氣櫃壁右緣、(B)排氣櫃壁左緣以及(C) 排氣櫃門檻附近[6]。

2.2 排氣櫃拉門開口的面速度

曾麗靜於2007年曾指出，排氣櫃的排氣性能和排氣櫃拉門開口假想平面上的平均面速度值有關；理想狀態下，在任何一個位置的氣流速度可接受變異範圍應該為面速度平均值的10-20% [3]。另一方面，曾麗靜則指出，在操作人員的標準操作流程之下，一個近似理想設計的實驗室排氣櫃，其面速度值設定在0.3 m/s 是適當的；也指出多數的非屬理想設計的排氣櫃，其設計的面速度值偏高，但是，對於污染物的捕集效率並無助益，而且還需仰賴更完善且適當的其它輔助設計，才能提升排氣櫃的性能[3]。在2007年，黃榮芳[6]指出，適當設計的排氣櫃能維持相當低的面速度（0.25 m/sec），且對操作人員和環境的保護因子能比非適當設計的排氣櫃（面速度為0.76 m/sec）高出 2200 倍。黃榮芳（2007）曾整理各國機構針對排氣櫃採定的面速

度建議值 (表 1)；建議的面速度值落在0.3~0.77 m/sec之間[6]；我國則尚未有採定的建議值。

針對排氣櫃面速度的測量，在全世界均大同小異 [6]；其間較大的不同的是在測量面速度時於拉門開口假想平面上的假想網格間距的不同、量測儀器本身的差異以及讀取時間的不同。測量面速度的基本的步驟，敘述如下：

(1) 量測排氣櫃拉門在全開時的幾何長寬和大小；(2) 分別調整排氣櫃拉門高度於欲測量位置（通常是全開位置、正常使用的最大開度位置或是拉門全開時的50%，25%等不同位置），並於拉門開口的假想垂直面上設定假想網格(由垂直線和水平線構成)；(3) 將風速計固定於各網格的正中心位置，量測風速度，並記錄其平均值及最高和最低風速值。常用的排氣櫃面速度量測儀器則包括旋轉式葉輪風速計 (rotating vane anemometer)、熱偶氏風速計 (thermocouple anemometer) 及熱線式風速計 (hot-wire anemometer) [6]。

表1 各國機構對於排氣櫃面速度的建議值[6]。

國家與機構名稱	面速度建議值 (m/sec)
台灣	無
澳洲/紐西蘭國家標準(AS/NZS)	0.51
美國職業安全衛生署 (OSHA)	0.3-0.51但是對致癌物則為0.77
美國工業衛生技師協會 (ACGIH)	0.3-0.51
美國職業安全衛生研究所 (NIOSH)	0.51-0.77
美國國家衛生研究所(N.I.H.)	0.5±10
美國國家標準局 (ANSI)	0.51-0.77
美國國家防火協會 (NFPA)	應具足夠面速度以避免污染物由櫃內洩漏
美國核能法規委員會 (NRC)	0.5 (針對醫院的放射性物質)、0.77 (針對鈾235)
美國科學器具製造商協會 (SAMA)	0.64-0.77

2.3 國內現行和現有的酸氣污染物採集分析方法

目前國內無機酸氣污染物採集分析方法為勞委會「作業環境空氣中有害物標準分析參考方法」(行政院勞委會標準分析參考方法2901,2008) [11] 與環檢所公告之檢測方法(空氣中無機酸類之檢測方法NIEA A435.71C, 2010) [12];採樣介質為矽膠管400mg/200mg, 以玻璃綿分隔, 型號ST 226-10-03及SUPELCO ORBO-53), 採樣流速: 0.2~0.5 L/min。從公告方法得知, 分析儀器分為: 電子捕捉偵測器(ECD)-Electron-Capture Detectors 及離子層析儀(IC)-Ion Chromatography, 酸氣污染物樣品採樣完成後, 仍須以流洗液進行脫附取得萃取液, 再以離子層析儀分析來得到作業環境或空氣中的樣品氣體濃度。因此, 現行的酸氣採樣法, 採樣時間長, 在採樣時間結束後, 必須將其採樣管送至分析室做分析。有機酸氣污染物採集分析方法為勞委會「作業環境空氣中有害物標準分析參考方法」(行政院勞委會標準分析參考方法5010, 2005) [11];採樣介質為矽膠管100mg/50mg, 活性碳管, 型號ST 226-01), 參考資料NIOSH 1008, 採樣流速: 0.01~1.0 L/min。從公告方法得知, 分析儀器分為: 氣相層析(GC)Gas Chromatograph及火焰離子偵測器(FID) Flame Ionization Detector。因此若遇到突發性的酸氣洩漏, 其分析採樣所得的結果, 除了緩不濟急之外, 也無法供相關人員做立即的判斷及改善。而採樣和分析的製備過程繁複, 可能存在人為操作誤差和污染, 導致分析濃度的誤判。

於2006年開始, 國內蔡春進教授帶領的研究團隊試圖發展一套能即時偵測酸性氣體濃度的自動化採樣和分析系統(林冠宇, 2006; 楊凱迪, 2009)。此系統的主體為一台高效率平行平板濕式分離器與一台IC離子層析儀。設定氣體流量為5 L/min, 醋酸氣體的吸收效率為93-97%, 吸收液流量為2 cc/min。此系統能即時監測空氣裡酸性氣體的濃度, 並能記錄其短時間內的變化且排除人為操作的汙染。對醋酸

氣體而言，此監測系統的偵測極限為1.24 ppbv。偵測下限低，適合用於環境週界的空氣品質監測[13-14]。

2.4 醋酸

醋酸為實驗室中常使用的有機酸溶液。勞工安全衛生研究所公告的物質安全資料表（CAS NO.64-19-7）[15] 顯示：在低於16°C時，純醋酸是固體；溫度高於16°C時，純醋酸則為無色、潮解性液體，揮發速率為0.9（乙酸丁酯=1）且釋放出強烈的酸味、易潮解。在成分百分比濃度為100 %時，純醋酸的蒸氣和液體可燃，而蒸氣比空氣重會傳播至遠處，遇火源可能造成回火。危害辨識資料顯示純醋酸在吸入時有害，蒸氣會刺激呼吸道，引起肺部傷害等。因此，物質安全資料表中，建議操作人員在操作純醋酸溶液時，需使用必要的局部排氣裝置和密閉製程來控制空氣中的霧滴與蒸氣量，並建議應分開使用抗腐蝕性的通風系統且排氣口直接通至室外，以及應供給充分空氣，以補充排氣系統抽出的空氣。

勞工安全衛生法(勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準)規定:勞工於作業環境空氣中，醋酸容許濃度標準為：八小時日時量平均容許濃度（TWA）為10 ppm；短時間時量平均容許濃度（STEL）為15 ppm。

三、研究方法

為了解實驗室排氣櫃的面速度與污染物濃度洩漏兩者之間的關聯性，本實驗進行排氣櫃拉門開口於不同高度時的面速度量測，以及於操作人員呼吸區域的酸氣污染物洩漏濃度即時監測，以進一步探討在正常運作狀態時，排氣櫃中的氣狀污染物洩漏情形以及較適當的排氣櫃操作參數。

(1) 有人為操作研究

本研究使用的排氣櫃（圖3）設置在某所大專院校的某間實驗室內，距離實驗室出入口為330 cm（圖4）。此款排氣櫃的型式屬於定風量式旁流型，排氣流量的固定係利用其內部裝設的輔助進氣口以進行調節。例如：在拉門關閉時提供氣源，以降低下方進氣口開口處的激流。圖5為排氣櫃的尺寸示意圖。實驗桌面積為150cm × 68cm（寬×深），拉門全開產生的開口大約為130 cm × 70 cm（寬×高）。根據操作說明，此款排氣櫃的拉門開口建議高度為10~57 cm之間。

(2) 無人為操作研究

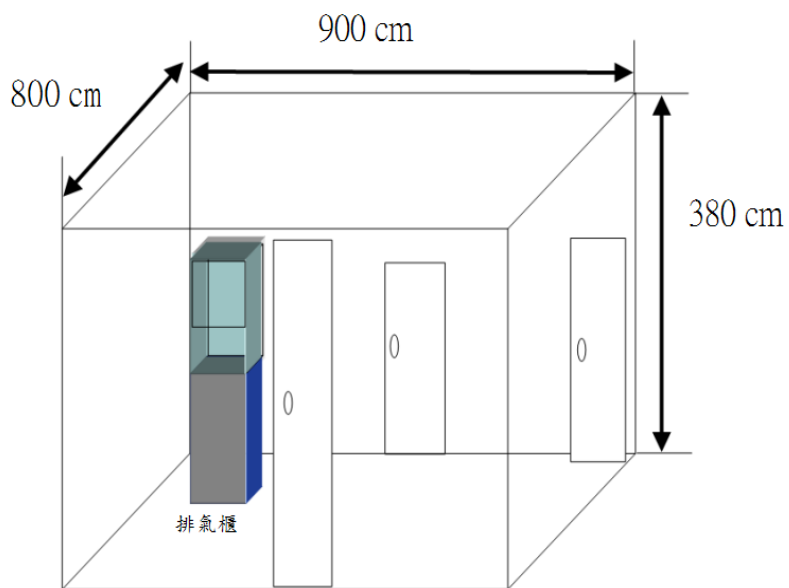
本研究使用的排氣櫃（圖6）設置在某所大專院校的另某間實驗室內，距離實驗室出入口為680cm（圖7）。排氣櫃的型式屬於定風量式傳統型。圖8為排氣櫃的尺寸示意圖。實驗桌面積為150cm × 68cm（寬×深），拉門全開產生的開口為130cm × 77cm（寬×深）。此款排氣櫃的拉門開口建議高度為10~60cm之間。

在有人為操作研究進行時，排氣櫃的輔助進氣口未啟動。拉門開口高度分別設置在15、30、45以及60 cm高；以仿效正常於櫃中操作化學品的情形。在試驗進行期間，為避免外界氣流干擾，特別限制門、窗及冷氣的使用以及人員的靠近。例如：第一梯及第二梯試驗進行和觀察日期選為農曆春節前；當日室溫為15°C~19°C，室內未啟用冷氣、門窗關閉且無人員進出。



圖3. 有人為操作排氣櫃實體圖。

(A)



(B)

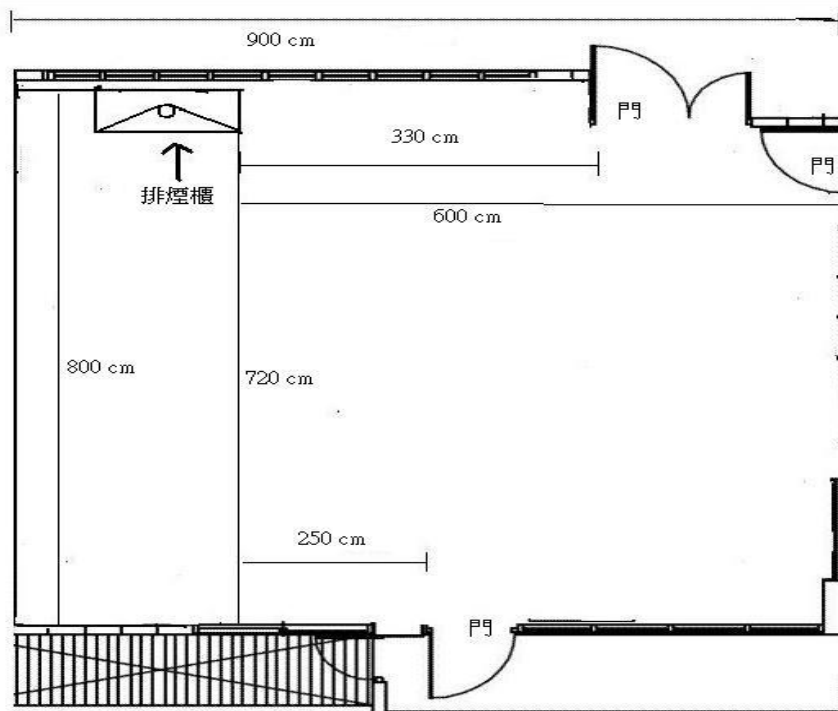


圖4. 有人為操作-實驗室排氣櫃的設置(A)立體圖以及(B)平面圖。

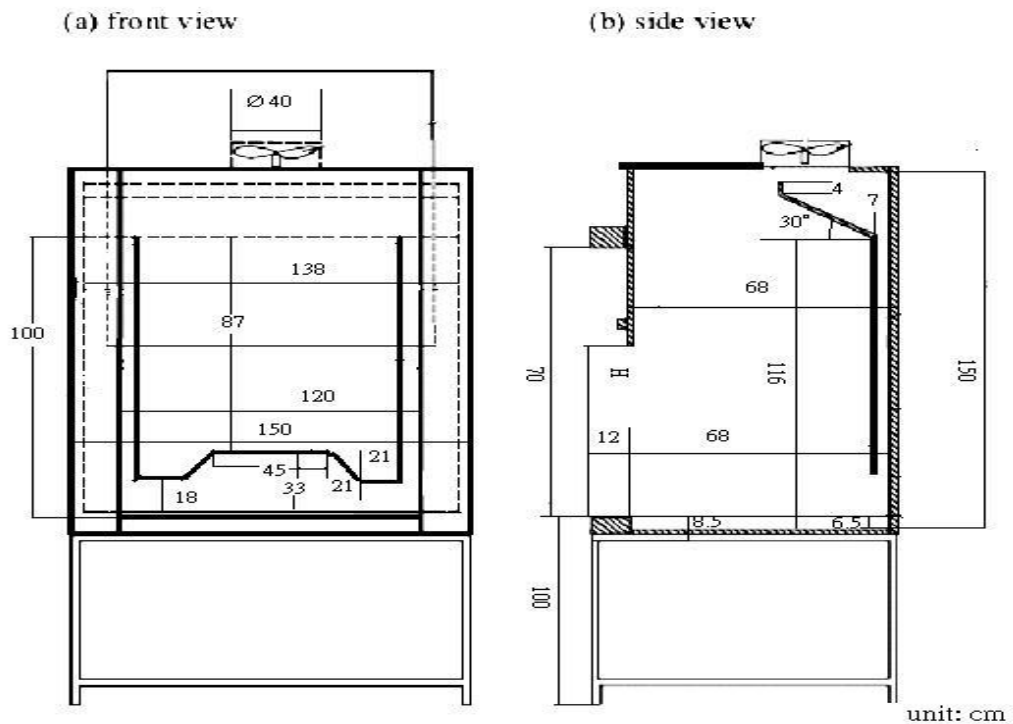
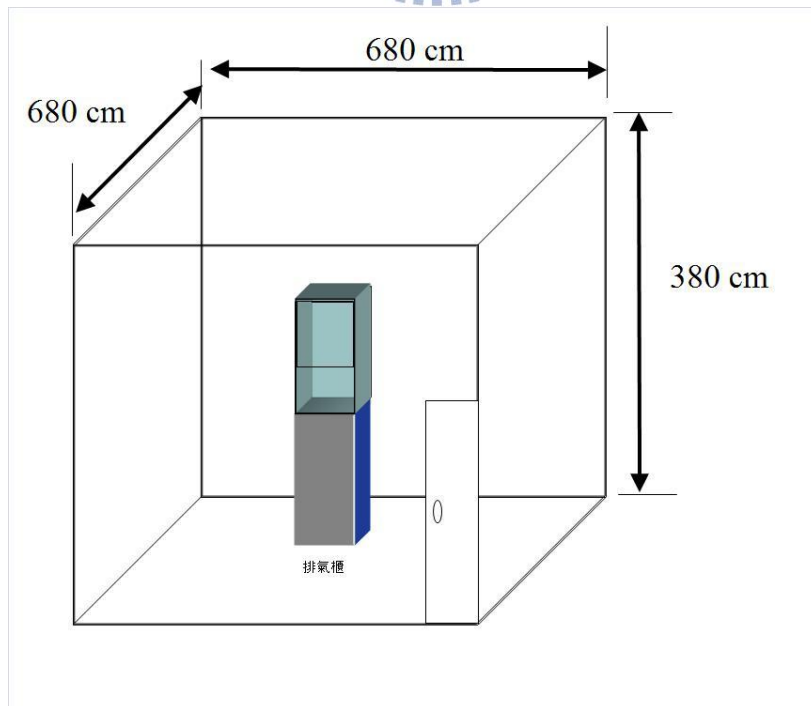


圖5. 有人為操作-排氣櫃尺寸圖 (a) 正面圖和 (b) 側視圖。



圖6. 無人為操作排氣櫃實體圖。

(A)



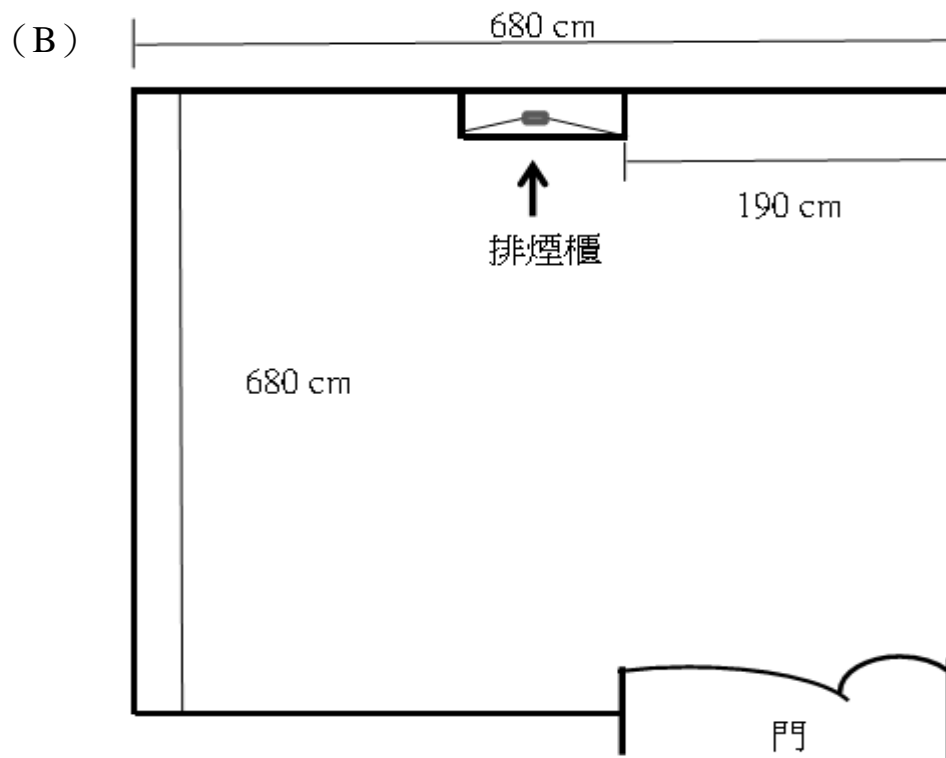


圖7. 無人為操作-實驗室排氣櫃的設置 (A) 立體圖以及 (B) 平面圖。

(a) front view

(b) side view

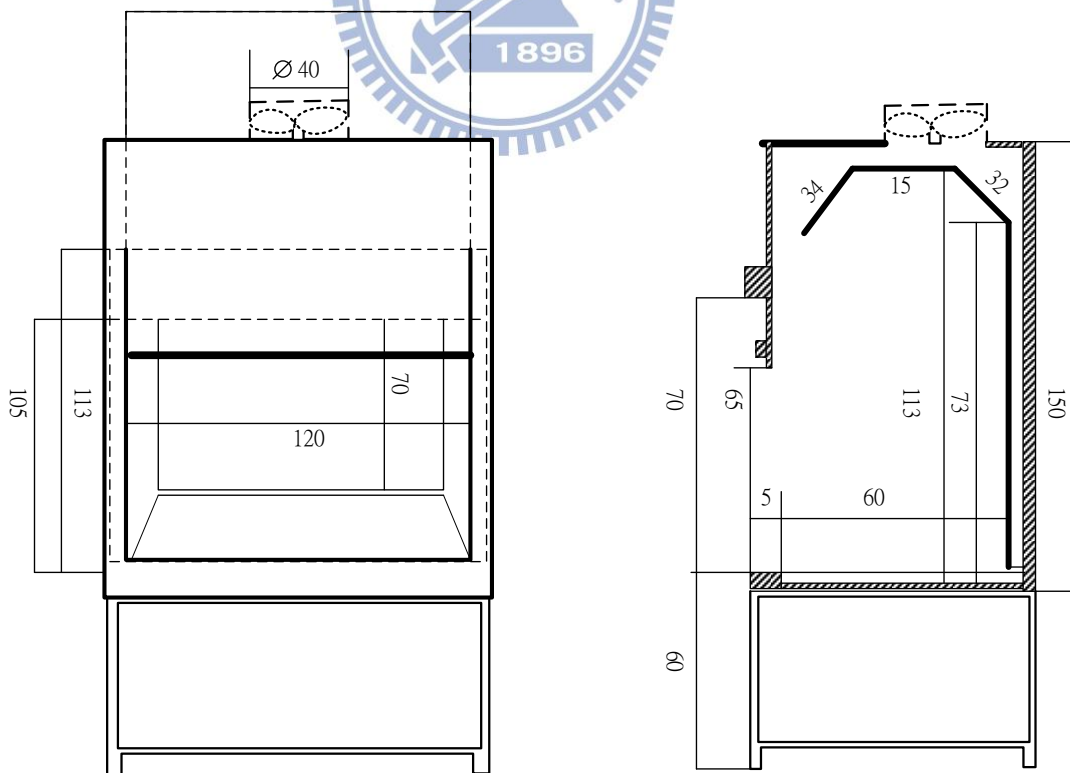


圖8. 無人為操作-排氣櫃尺寸圖 (a) 正面圖和 (b) 側視圖。

3.1 面速度的測量

為了解此款排氣櫃在正常操作時的面速度分佈範圍，本研究以熱線式風速計量測排氣櫃拉門開口的面速度值。選用的熱線式風速計型號為testo 425 (圖9)、測量範圍為：0~20 m/sec 以及 -20~70°C、精確度為 $\pm 0.05 \text{ m/sec} \pm 5\%$ 測值以及 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、解析度為 0.01 m/sec 和 0.1°C 。熱線式風速計是一種能測低風速的儀器。在結構上包含熱線式伸縮測棒以及測量儀表這兩部分。測棒的探頭為一個直徑0.6mm的玻璃球。玻璃球內繞有加熱玻璃球用的鎳鉻絲圈和兩個串聯的熱電偶。熱電偶的冷端連接在磷銅質的支柱上，直接暴露在氣流中。當一定大小的電流通過加熱圈後，玻璃球的溫度升高。溫度升高的程度和風速有關。風速較小時，溫度的升高程度較大；風速較大時，溫度的升高的程度小。溫度升高的程度大小通過熱電偶再經轉換後，以氣流流速（風速，m/sec）顯示。(1) 在有人為操作試驗進行時，於拉門開口假想平面上的假想網格共有九格 (圖10)。橫向間距為43cm；垂直方向的向距分別為5、10、15以及20 cm，分別在拉門高度設定在15、30、45以及60 cm時。風速計在執行歸零校正後，被固定在各網格正中央量測風速值乙次。再取 9 個網格的風速平均值，代表一特定拉門開口的面速度值。(2) 無人為操作試驗進行時，於拉門開口假想平面上的假想網格共有九格 (圖11)。橫向間距為25cm；其他流程與有人為操作一致。



圖9. 熱線式風速計。

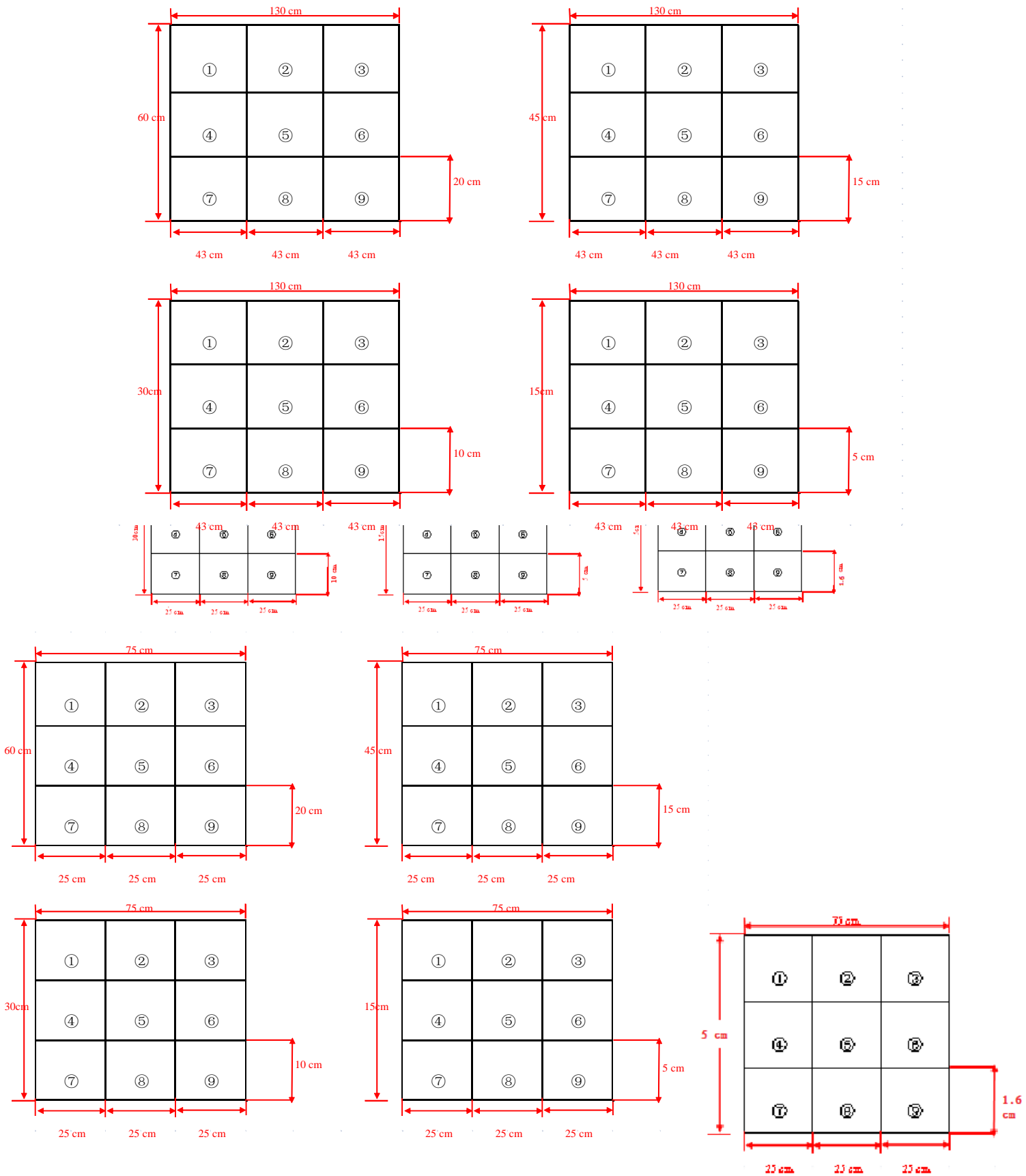


圖11. 無人為操作-面速度量測時的假想網格示意圖。

3.2 操作人員的暴露程度

排氣櫃在正常運作排氣時，排氣櫃的內部會產生旋轉渦流。旋轉的渦流可能將污染物帶至操作人員的呼吸區域，增加污染物對操作員的暴露機會。而單獨透過排氣櫃的面速度分佈值，是否能有效評斷操作人員於操作化學物質時的暴露風險。因此，本研究亦執行操作人員暴露程度的試驗。亦即模擬操作人員於排氣櫃操作揮發性有毒溶液時的呼吸暴露情形。試驗的進行係以一加熱器加熱一放置在排氣櫃桌面中心且靠近拉門位置的純醋酸溶液（60°C、150 mL）以及一架設在150 cm高的即時酸氣監測器的採樣管口（圖15）來仿倣一操作人員在櫃內操作化學物質時於操作員呼吸區域的酸氣暴露濃度。試驗的操作細節如下：

3.2.1 醋酸的放置—污染物的產生

以直徑10 cm、高度1 cm的圓底不鏽鋼容器裝盛 150 mL 純醋酸溶液（99.5~100.5%、acetic acid、PANREAC）放置在加熱平板上維持溫度60°C，並以磁石攪拌（70 rpm），讓其產生穩定的酸性氣體。不鏽鋼容器和左右兩側抽氣櫃的壁緣距離為60 cm，和拉門的距離為15 cm，和排氣櫃桌面的距離為10 cm高。

3.2.2 即時監測器和採樣管口的架設—操作人員的呼吸區域

採樣管口的進氣端架設在一般操作人員的呼吸區域，在距離地面150 cm 高、距離拉門 17.5 cm 遠的位置。採樣管為加熱至100~125°C的鐵福龍管（內徑4 mm）。鐵福龍管被固定在一片鋁製板條上（190×3×2 cm，長×寬×厚）（圖12）。鐵福龍管的開口朝向排氣櫃；採樣管的另一端銜接至被放在推車上的酸性氣體即時偵測器，以進行每 20 分鐘一筆的酸氣濃度監測，並進一步得知污染物的洩漏程度以及操作人員的呼吸暴露。推車高度為20 cm、監測器高度和寬度分別為 85 和 60 cm 以及電腦螢幕高度和寬度為28和26 cm（如圖13及14）。為了仿效操作原站立於排氣櫃前方的可能活動區域，在試驗

進行之前，會依序將推車緩慢橫向移至三個不同固定位置之後，再開始進行量測。三個固定位置的採樣管口架設高度均為距離地面 150 cm 高、距離拉門 17.5 cm 遠的位置；但是，卻分別位於排氣櫃櫃前中心 (C2)、偏左側 30 cm (C1) 或是偏右側 30 cm (C3) 的位置；而排氣櫃開口寬度為 120 cm 寬 (圖15)。



圖 12. 即時監測器的採樣口架設實體圖。

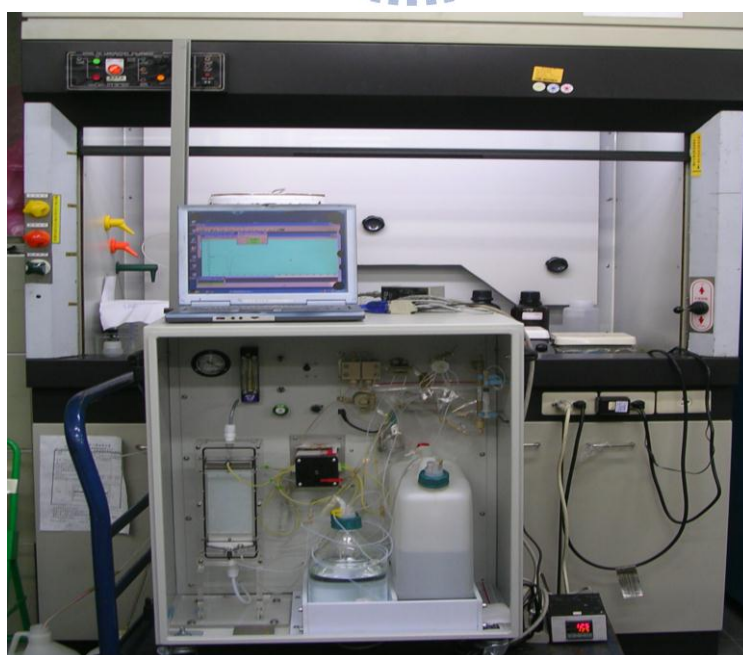


圖 13. 有人為操作現場採樣相片。



圖 14. 無人為操作現場採樣照片。

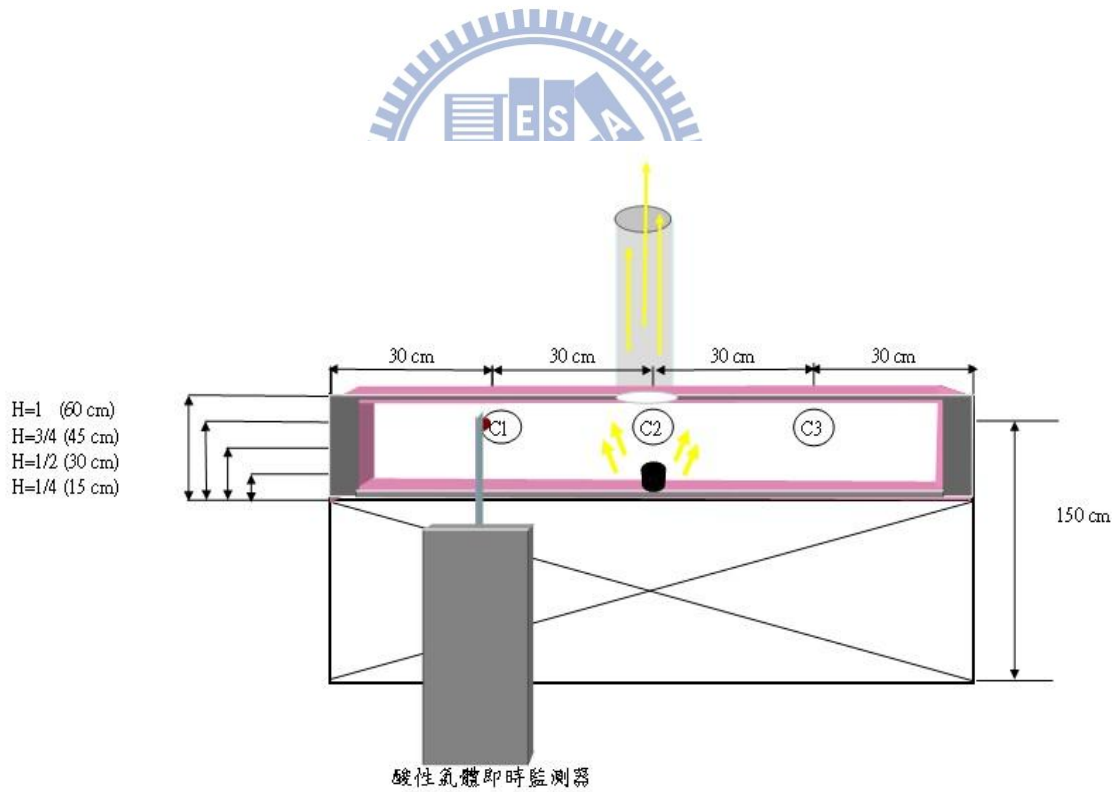


圖 15. 有人為操作現場採樣示意圖。

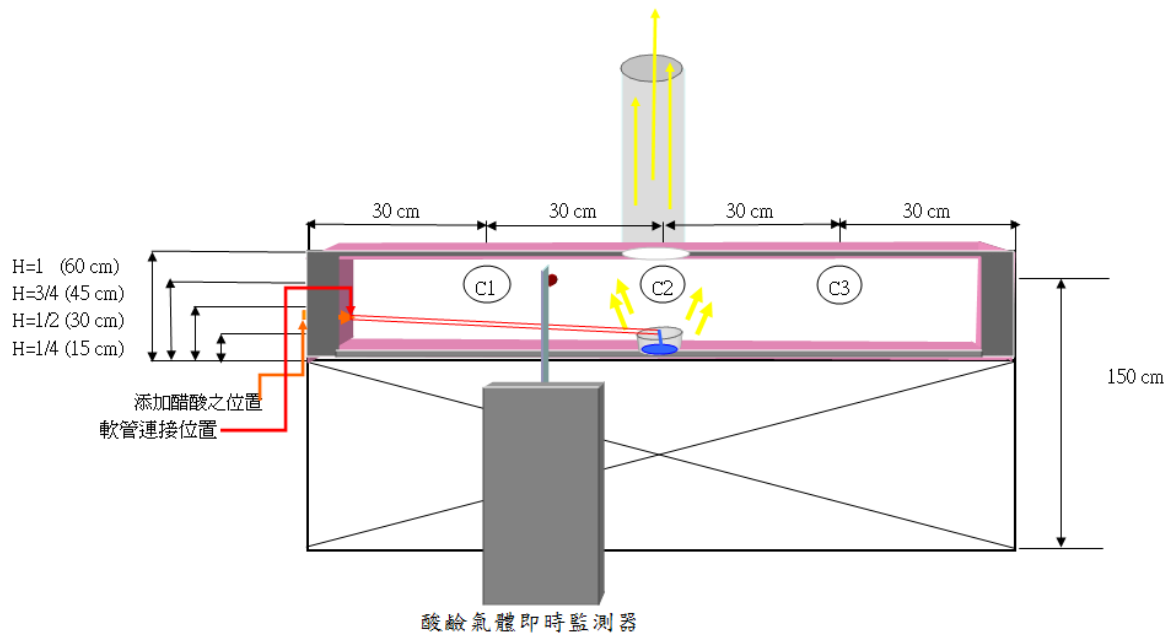


圖 16. 無人為操作現場採樣示意圖。

3.2.3 傾倒醋酸溶液和拉動拉門—操作員在抽氣櫃操作化學品時的基本動作

操作人員於抽氣櫃操作化學物品時，基本動作包含傾倒化學物品及拉動拉門。為了了解執行這些動作時，對污染物洩漏以及操作人員呼吸暴露的影響，本試驗設計如下的試驗流程：

- (1). 在正式執行定點酸氣濃度連續監測前，會將採樣管口架設在如上節所述的固定位置（C1），再加熱排氣櫃內放置的醋酸溶液（如上節所述）至 60°C ）。
- (2). 執行在此定點採樣前的 30 分鐘，倒入以玻璃燒杯盛裝的室溫濃醋酸溶液 50 mL。
- (3). 緩慢拉動拉門至特定高度。
- (4). 執行此特定點 C1 的酸氣濃度採集和監測。監測器的時間解析為 10 min、監測資料為每 20 分鐘一筆、總監測時間為 60 分鐘。為了得知單獨傾倒溶液這一動作對污染物洩漏以及操作人員呼吸暴露的影

響，在針對特一定點的酸氣監測進行至第 30 分鐘時，研究人員會將手伸進排氣櫃內，再次倒入以燒杯裝盛的常溫濃醋酸溶液 50 mL。

(5). 待監測總時間 60 分鐘結束時，研究人員會再將手深入排氣櫃內，以相同方式倒入 50 mL 室溫的濃醋酸溶液，並在拉動拉門至下一個特定高度後再次執行這一定點的 60 分鐘酸氣濃度採集和監測。一樣地，於監測時間第 30 分鐘，研究人員會以相同方式倒入 50 mL 的室溫濃醋酸溶液。

(6). 重複上述步驟 (5) 至完成拉門固定在四個高度時的採樣口位在定點位置 C1 的酸氣濃度採集和監測。這四個高度分別為 60、45、30 以及 15 cm 高。

(7). 在 C1 定點位置的酸氣採樣和監測結束後，重複上述步驟 (1)~(6) 至完成定點位置 C2 和 C3 (圖 10)於四種拉門高度設置時的酸氣濃度即時監測。

3.2.4 自動化地添加醋酸溶液和固定的拉門開口高度—無外界氣流的干擾

在一般化學實驗操作步驟流程裡，可能會有需要將化學物品靜置在抽氣櫃內以待其完成反應的步驟。為了以量化方式表示最佳靜置化學物品時的抽氣櫃拉門設定高度，本試驗另外設計一套實驗流程，並以軟管注入的方式由研究人員定時定量添加濃醋酸溶液，以取代上節 (3.2.3)實驗流程中研究人員傾倒溶液的動作。試驗流程如下：

(1). 在正式執行定點位置的酸氣濃度連續監測前，先將採樣管口架設至固定位置 C1，再加熱排氣櫃內放置的醋酸溶液並維持其溫度在 60°C。

(2). 從外部架設軟管至內部，再針對特定一點酸氣測定，每 30 分鐘時，研究人員會將針筒內裝盛常溫濃醋酸溶液注入至軟管內以補充被加熱的醋酸溶液以持續產生醋酸氣體。

- (3). 靜置一段時間後，緩慢拉動拉門至特定高度。
- (4). 執行此特定點的酸氣濃度採集和監測。時間解析為 10 分鐘、監測資料為每 20 分鐘顯示一筆數值、監測時間為 60 分鐘。
- (5). 待監測時間 60 分鐘結束時，研究人員將拉門緩慢拉動至下一個特定高度後，再次執行這一定點的 60 分鐘酸氣採集和即時監測。
- (6). 重複上述步驟 (5) 至完成拉門固定在四個高度時的採樣口位在定點位置 C1 的酸氣濃度採集和即時監測。這四個高度分別為 60、45、30 以及 15 cm 高。
- (7). 在 C1 定點位置的酸氣濃度監測結束後，重複上述步驟 (1)~(6) 至完成定點位置 C2 和 C3 (圖 11)於四種拉門高度時的酸氣濃度即時監測。

3.3 品保及品管

在上述實驗進行時，除了嚴格控管實驗室內冷氣的使用、門窗的開關以及人員的進出，以避免不必要的外在氣流干擾之外，對於風速儀以及酸氣即時監測器也進行必要的校正。

3.3.1 風速儀

本研究使用的熱線式風速計，在進行實際測量前須先進行歸零校正，其校正方式為 (1) 將伸縮棒前端往上拉動至蓋住測棒的感應器探頭，以隔離感應器探頭與外界環境流動。(3) 長按歸零按鈕 (START STOP) 直到風速計螢幕上的數字顯示 "0.0" 讀值。

3.3.2 酸氣即時監測器

本研究使用的酸氣即時監測器為蔡春進教授實驗室設計的產品 (林， 2006；Tsai et. al. 2008, 楊， 2009) [13、16、14]。在進行實際測量前，須先進行管線測漏、氣體流速、液體流速以及濃度讀值

的校正，以確保有效的採樣和分析。測漏的進行係打開抽氣泵並將進氣口密封，確認浮子流量計浮標能否歸零。而氣體流速和液體流速分別以校正後的浮子流量計和旋扭讀值確認其流速分別在 5 LPM 以及 2 mL/min。浮子流量計的校正係以泡沫流量計 (Gilibrator-2) 進行；旋扭讀值係以定量瓶 (5mL 容量，0.1 cc 刻度) 進行。

為校正醋酸的濃度讀值，需先配置檢量線以做為樣品濃度的定量依據。檢量線的製作係利用標準醋酸溶液配製 11 種不同濃度的已知標準品 (5、10、20、40、60、120、200、400、800、1200、2000 ppb)；配置的標準溶液濃度需含蓋待測樣品之濃度範圍；檢量線之迴歸係數 (R^2) 需大於 0.995，才可確保數值分析的可信度。

溶液濃度和氣體濃度兩者間的轉換關係式為依據採樣流量和流速進行換算，換算式為 $C_{l,PPWD} = \frac{C_g \times Q_{g,PPWD}}{Q_{l,PPWD}}$ 其中，

$C_{l,PPWD}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)：利用平板式濕式固氣分離器採樣所得之液體樣品濃度理論值；

C_g ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)：標準氣體在空氣中濃度；

$Q_{g,PPWD}$ (l/min)：氣體採樣流量；

$Q_{l,PPWD}$ (l/min)：實際吸收液流量。

而在進行正式採樣前，需先檢查監測系統的背景值。

四、結果和討論

4.1 醋酸濃度的品保及品管

利用標準品配置的11種已知濃度醋酸根離子標準液(5~2000ppb)經 IC 分析的結果如表2和圖 17 所示。在溶液濃度為 5~2000 ppb 時，醋酸根離子和導電度訊號和時間之間存在的關係式為 $y = 0.5306x^2 + 26.484x$ ，其中， y =溶液濃度、 x =訊號的面積、 $R^2 = 0.9998$ 。

空白分析結果顯示，系統背景值為 <1 ppbv。

表2 醋酸根離子檢量線的溶液配置濃度。

離子	CH ₃ COO ⁻ (ppb)										
標準液濃度	5	10	20	40	60	120	200	400	800	1200	2000
相關係數 (R ²)	0.9998										
回歸方程式	$y = 26.484x + 2.0197$										

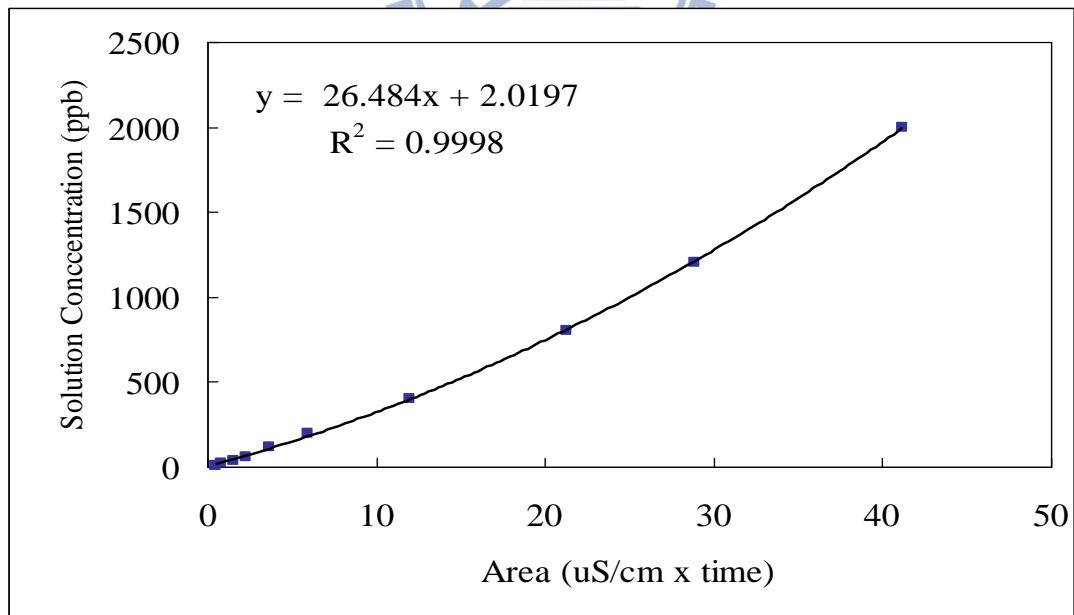


圖17. 醋酸根離子檢量線。

4.2 面速度的分布

(1) 圖18~21 顯示有人為操作實驗被觀察的排氣櫃在四種拉門高度時，利用熱線式風速計於不同時間重複三次測量九格假想格 (圖10) 中心位置的風速值。在拉門高度分別為 15、30、45 以及 60 cm 時，面速度值分別落在 0.5~0.52、0.26~0.36、0.25~0.31 以及 0.18~0.25 m/sec的範圍內。在拉門高度為15cm高時，面速度值則較大 (0.5~0.52 m/sec)；在拉門開口高度設定為 30、45以及60 cm 時，面速度值 (0.26~0.36、0.25~0.31 以及 0.18~0.25 m/sec)。

(2) 圖23~27 顯示無人為操作實驗被觀察的排氣櫃在拉門高度分別為 5、15、30、45 以及 60 cm 時，於不同時間重複三次測量九格假想格 (圖11)。面速度值分別落在 1.28~1.32、0.62~0.64、0.35~0.41、0.23~0.25以及 0.17~0.19 m/sec的範圍內。在拉門高度設為30cm 及 45cm 時，面速度值 (0.35~0.41 以及 0.23~0.25 m/sec)，在拉門高度 5cm 及 15cm 時，面速度值則較小 (1.28~1.32 與 0.62~0.64 m/sec)；在拉門開口高度設定為 60 cm 時，面速度值分別落在 (0.17~0.19 m/sec)。

由以上面速度測定值可歸納出三個項目：

- (a) 不同時間測量特定拉門開口的面速度值，其變化範圍小。
- (b) 可印證黃榮芳 (2007) 於文中所提之適當設計的排氣櫃的面速度值 (0.25 m/sec)。
- (c) 測量結果得知，此類型排氣櫃在未使用內部額外設置的輔助進氣調節氣流設置時，其面速度值已符合各國家機構對於排氣櫃面速度的建議範圍 (0.3~0.77 m/sec，黃，2007)。

A. 第一次測量 (2月7日17:27)

0.22	0.32	0.30	平均值：0.23±0.09
0.24	0.10	0.27	最大值：0.36
0.10	0.36	0.19	最小值：0.10

B. 第二次測量 (2月7日20:26)

0.17	0.24	0.21	平均值：0.18±0.05
0.24	0.20	0.11	最大值：0.24
0.13	0.12	0.21	最小值：0.11

C. 第三次測量 (2月8日01:26)

0.20	0.31	0.23	平均值：0.20±0.06
0.19	0.18	0.21	最大值：0.31
0.25	0.15	0.11	最小值：0.11

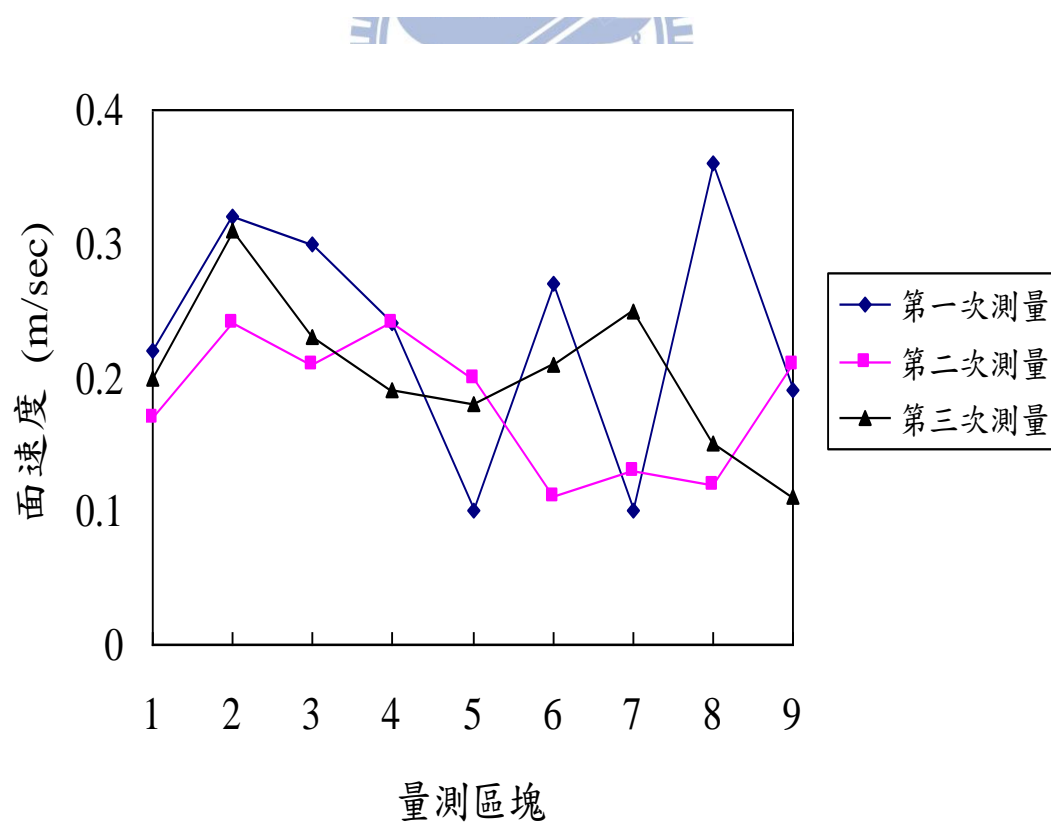


圖18. 拉門高度60 cm 時，九格假想格中心位置的面速度值(m/sec)。

A. 第一次測量 (2月7日16:27)

0.32	0.36	0.30	平均值：0.30±0.07
0.27	0.17	0.16	最大值：0.36
0.22	0.27	0.30	最小值：0.16

B. 第二次測量 (2月7日21:26)

0.23	0.21	0.24	平均值：0.31±0.22
0.28	0.28	0.18	最大值：0.84
0.30	0.03	0.84	最小值：0.03

C. 第三次測量 (2月8日00:26)

0.28	0.37	0.40	平均值：0.25±0.10
0.31	0.25	0.27	最大值：0.40
0.14	0.12	0.18	最小值：0.12

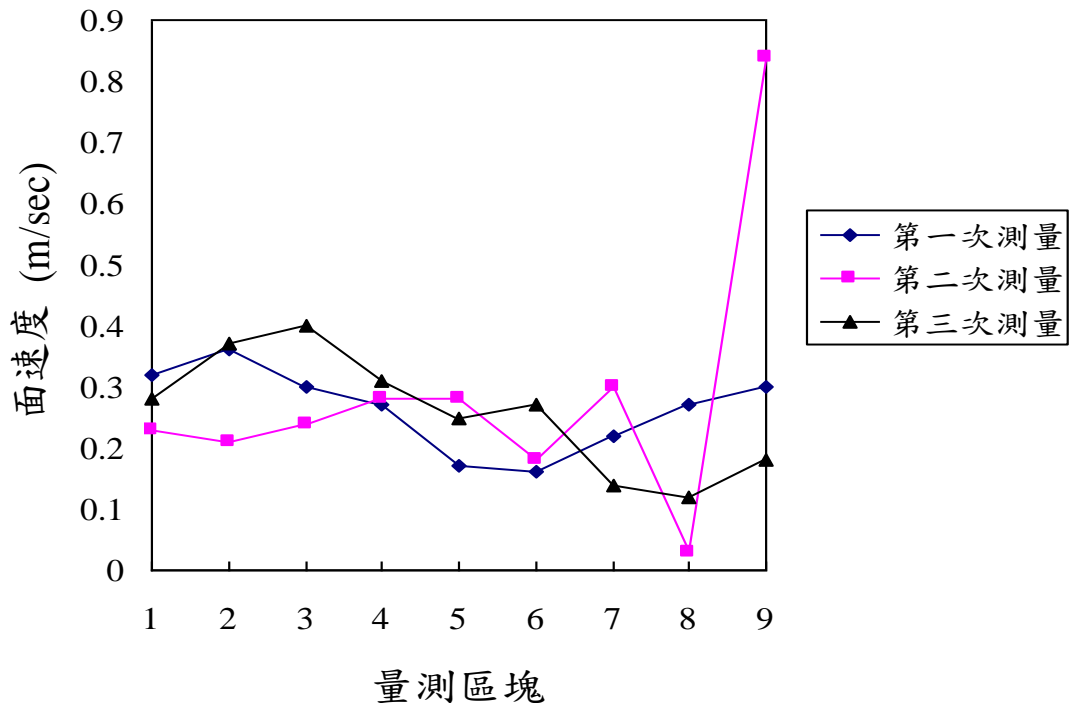


圖19. 拉門高度為 45 cm 時，九格假想格中心位置的面速度值 (m/sec)。

A. 第一次測量 (2月7日 15:27)

0.43	0.24	0.37	平均值: 0.31 ± 0.09 最大值: 0.43 最小值: 0.13
0.34	0.29	0.34	
0.13	0.39	0.30	

B. 第二次測量 (2月7日 19:27)

0.32	0.27	0.35	平均值: 0.26 ± 0.09 最大值: 0.36 最小值: 0.08
0.36	0.21	0.26	
0.32	0.24	0.08	

C. 第三次測量 (2月8日 23:26)

0.39	0.40	0.37	平均值: 0.36 ± 0.06 最大值: 0.46 最小值: 0.25
0.32	0.37	0.46	
0.38	0.37	0.25	

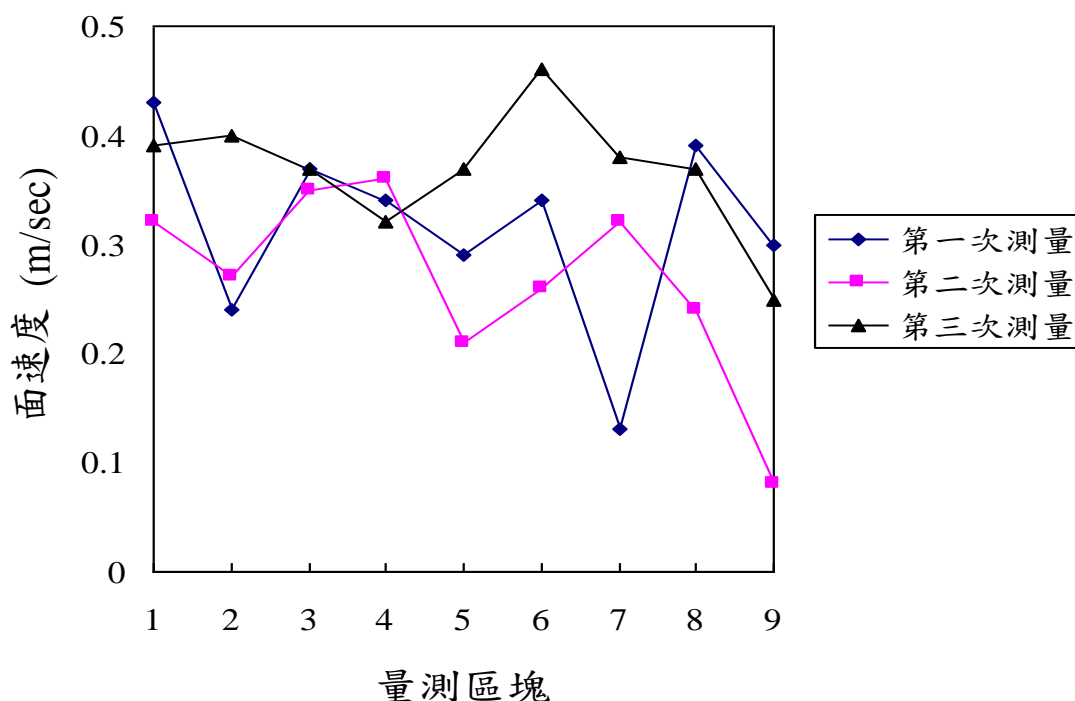


圖20. 拉門高度為 30 cm 時，九格假想格中心位置的面速度值 (m/sec)。

A. 第一次測量 (2月7日14:27)

0.50	0.44	0.49	平均值: 0.51 ± 0.05 最大值: 0.59 最小值: 0.44
0.54	0.45	0.54	
0.55	0.59	0.46	

B. 第二次測量 (2月7日18:27)

0.55	0.39	0.45	平均值: 0.50 ± 0.09 最大值: 0.63 最小值: 0.39
0.55	0.54	0.45	
0.58	0.39	0.63	

C. 第三次測量 (2月8日22:26)

0.54	0.60	0.53	平均值: 0.51 ± 0.07 最大值: 0.60 最小值: 0.40
0.45	0.45	0.59	
0.40	0.48	0.58	

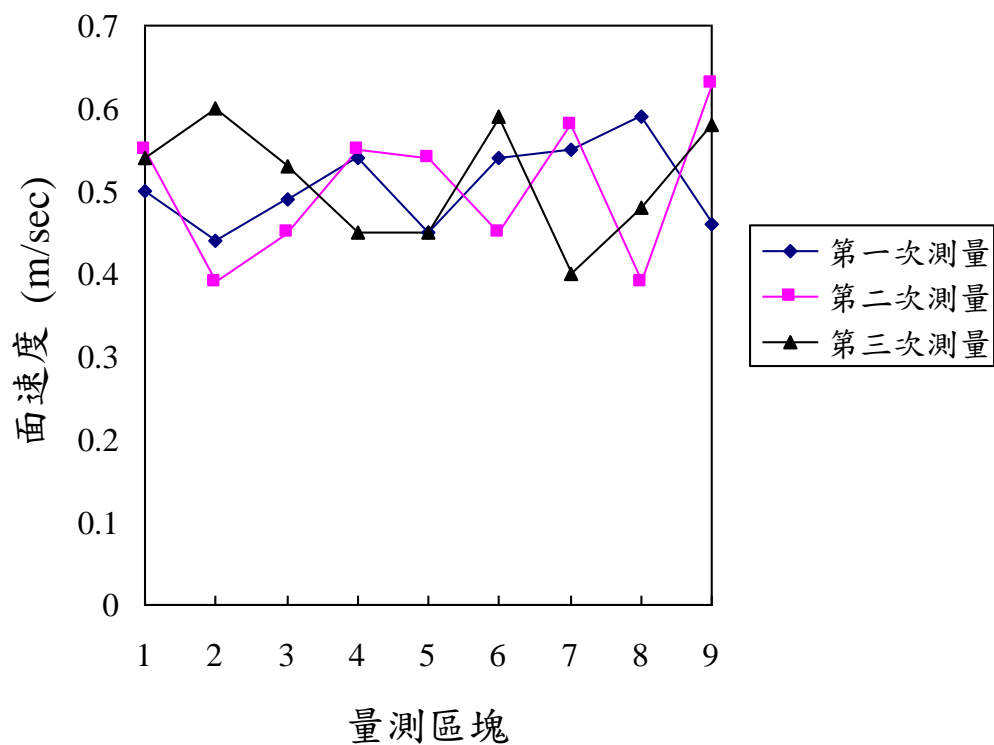


圖21. 拉門高度為15 cm時, 九格假想格中心位置的面速度值(m/sec)。

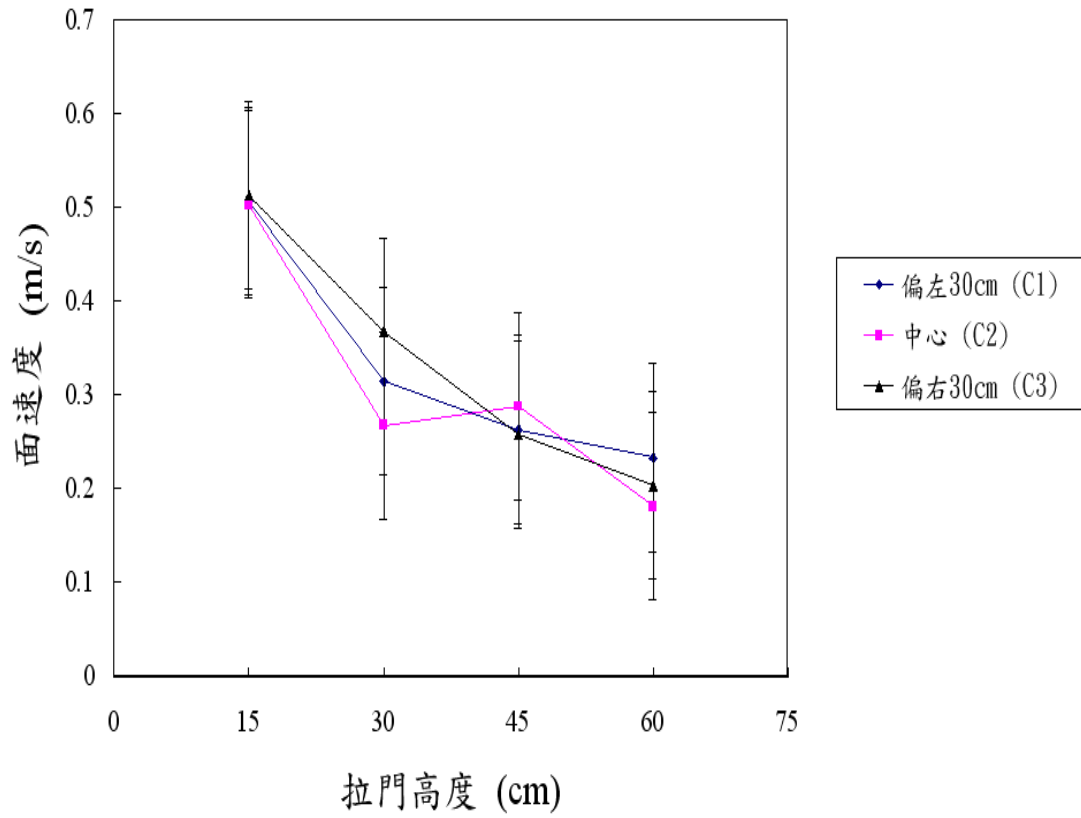


圖22. 有人為操作-排氣櫃拉門的開口高度與面速度的分佈和誤差。

A. 第一次測量

0.22	0.33	0.32	平均值：0.28±0.06
0.22	0.20	0.30	最大值：0.37
0.29	0.37	0.25	最小值：0.20

B. 第二次測量

0.20	0.28	0.29	平均值：0.28±0.04
0.30	0.28	0.32	最大值：0.32
0.32	0.24	0.29	最小值：0.20

C. 第三次測量

0.17	0.20	0.26	平均值：0.27±0.09
0.26	0.24	0.27	最大值：0.50
0.25	0.31	0.50	最小值：0.17

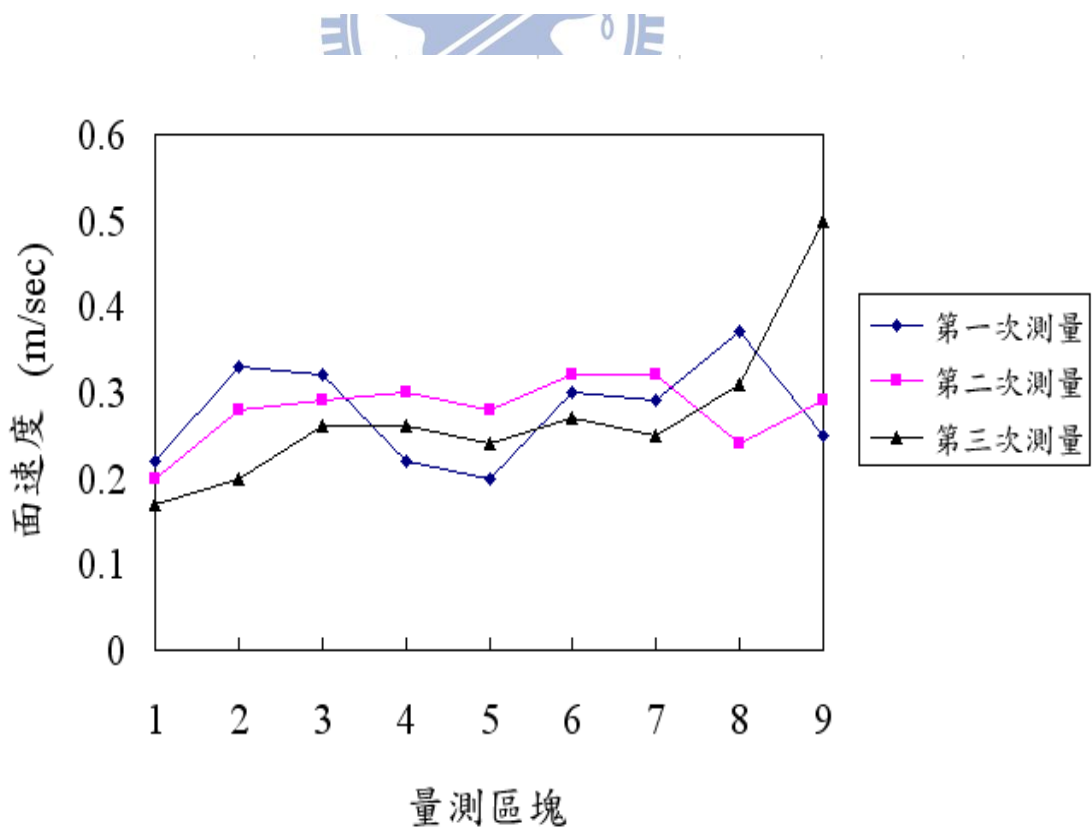


圖23. 拉門高度為60 cm時，九格假想格中心位置的面速度值(m/sec)。

A. 第一次測量

0.33	0.35	0.44	平均值：0.37±0.07
0.32	0.29	0.44	最大值：0.44
0.28	0.46	0.38	最小值：0.28

B. 第二次測量

0.25	0.28	0.32	平均值：0.32±0.09
0.30	0.26	0.44	最大值：0.45
0.40	0.22	0.45	最小值：0.22

C. 第三次測量

0.34	0.28	0.37	平均值：0.33±0.03
0.33	0.32	0.31	最大值：0.37
0.35	0.35	0.34	最小值：0.28

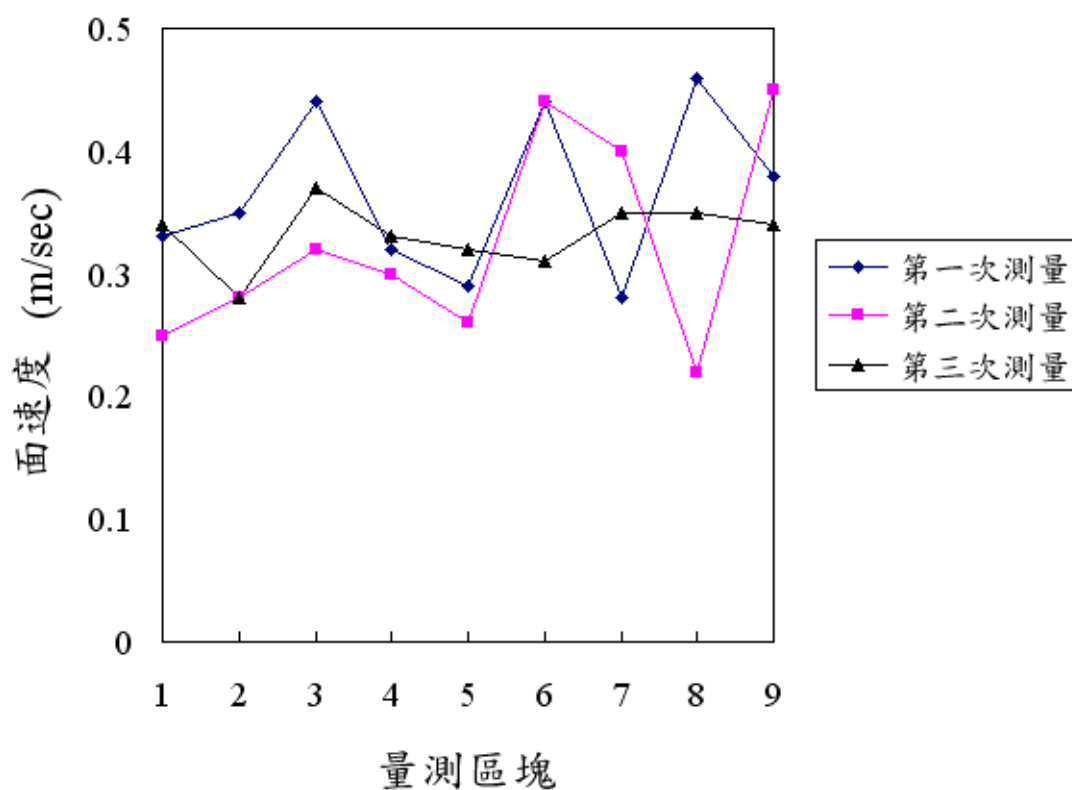


圖24. 拉門高度為45 cm時，九格假想格中心位置的面速度值(m/sec)。

A. 第一次測量

0.46	0.59	0.63	平均值：0.55±0.07
0.53	0.61	0.53	最大值：0.63
0.42	0.59	0.58	最小值：0.42

B. 第二次測量

0.36	0.25	0.49	平均值：0.42±0.10
0.35	0.46	0.47	最大值：0.56
0.56	0.36	0.50	最小值：0.25

C. 第三次測量

0.43	0.59	0.43	平均值：0.49±0.06
0.45	0.53	0.45	最大值：0.59
0.49	0.57	0.44	

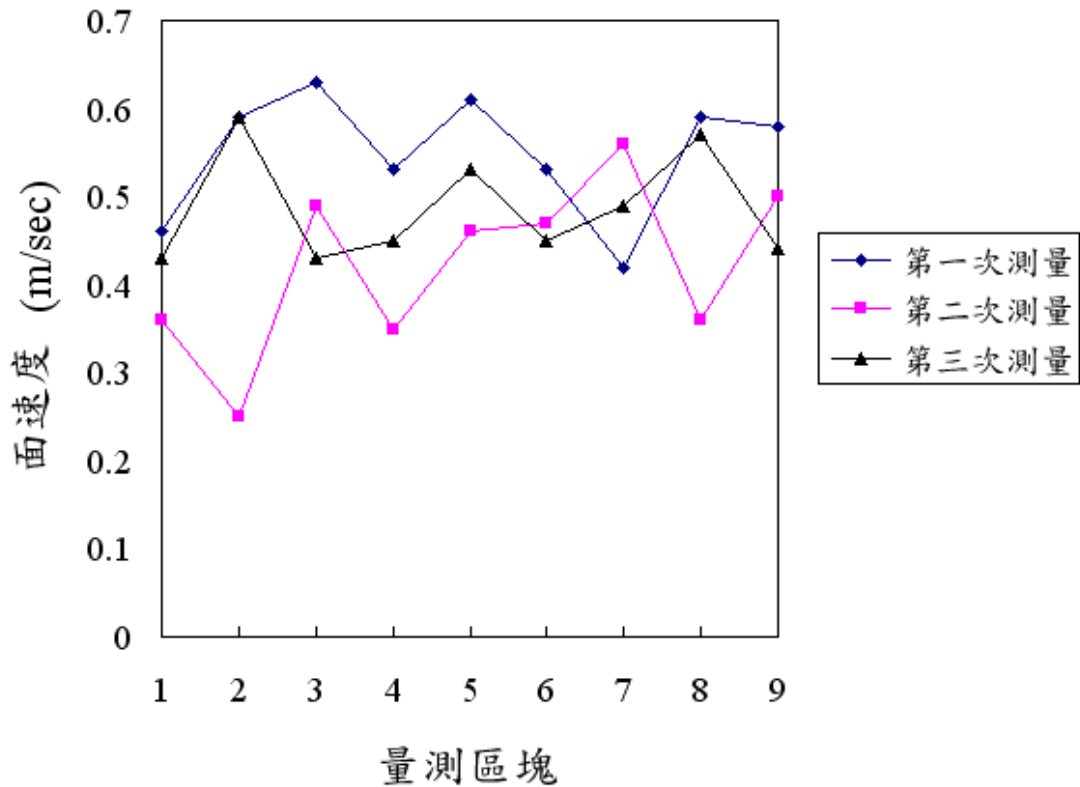


圖25. 拉門高度為30 cm時，九格假想格中心位置的面速度值(m/sec)。

A. 第一次測量

0.64	0.76	0.88	平均值：0.82±0.11
0.66	0.83	0.95	最大值：0.95
0.88	0.87	0.90	最小值：0.64

B. 第二次測量

0.74	0.60	0.67	平均值：0.75±0.10
0.88	0.70	0.69	最大值：0.88
0.86	0.82	0.82	最小值：0.60

C. 第三次測量

0.96	0.90	0.75	平均值：0.89±0.08
0.98	0.88	0.85	最大值：1.00
0.91	1.00	0.81	最小值：0.75

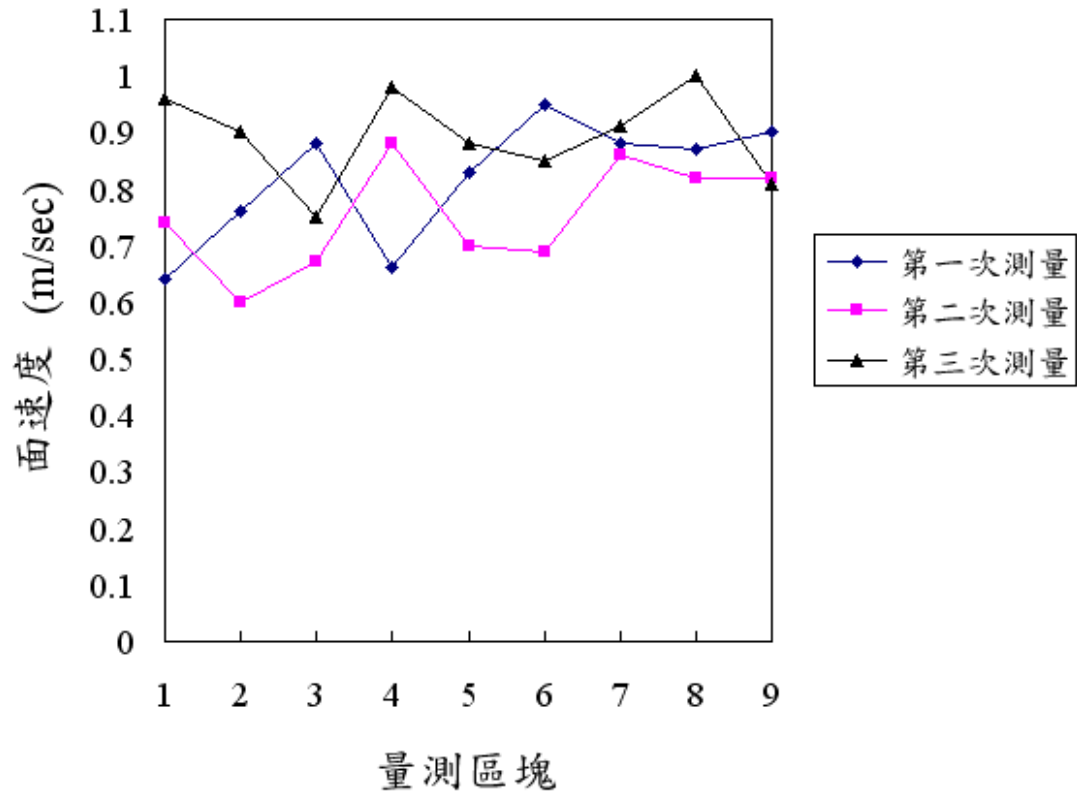


圖26. 拉門高度為15 cm時，九格假想格中心位置的面速度值(m/sec)。

A. 第一次測量

1.67	1.45	1.05	平均值：1.58±0.26
1.35	1.68	1.66	最大值：1.95
1.95	1.71	1.70	最小值：1.05

B. 第二次測量

1.26	1.20	0.83	平均值：1.53±0.40
1.87	1.58	1.91	最大值：1.91
1.91	1.29	1.88	最小值：0.83

C. 第三次測量

1.16	1.13	1.02	平均值：1.53±0.40
1.66	1.18	1.79	最大值：1.99
1.99	1.96	1.91	最小值：1.02

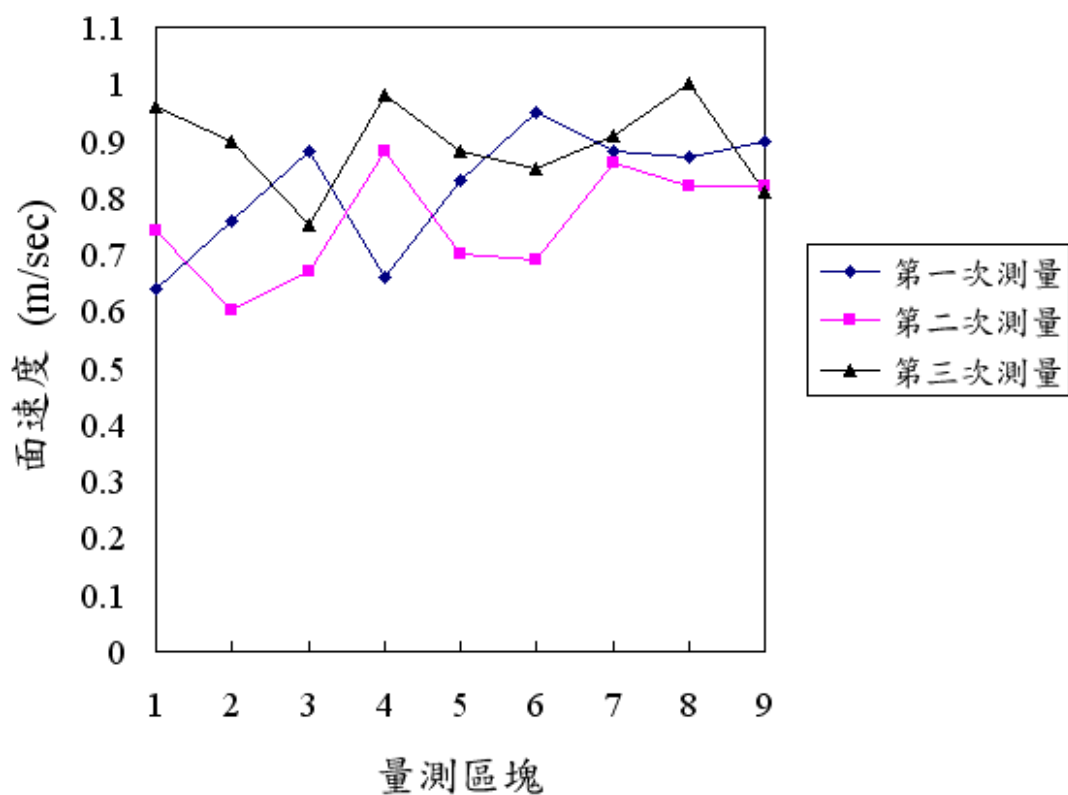


圖27. 拉門高度為5 cm時，九格假想格中心位置的面速度值(m/sec)。

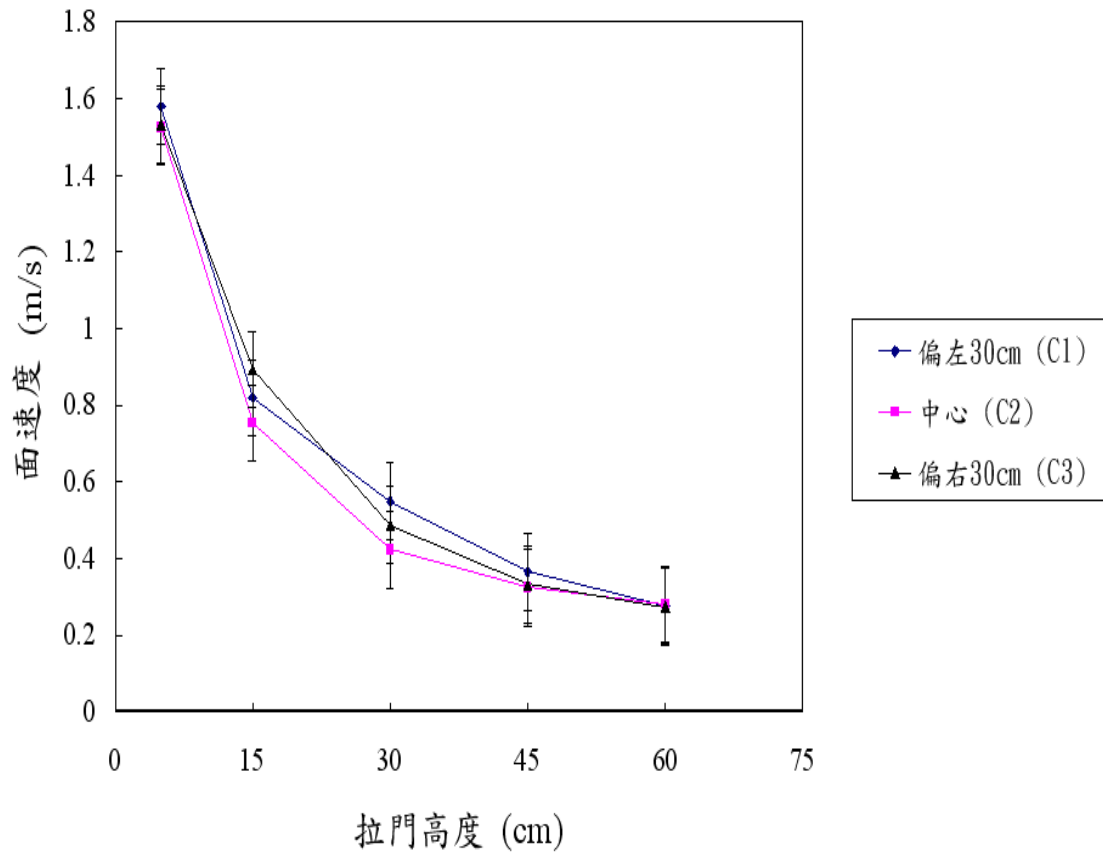


圖28. 無人為操作-排氣櫃拉門的開口高度與面速度的分佈和誤差。

4.3 排氣櫃污染物的洩漏濃度和操作人員的暴露程度

4.3.1 傾倒溶液、拉動拉門以及拉門開口高度的影響

表3 顯示利用酸氣即時監測器監測操作人員在執行排氣櫃拉門拉動的動作以及（或是）在固定拉門高度時執行傾倒溶液動作之後，排氣櫃中的氣狀污染物洩漏至操作人員呼吸區域的濃度監測數值結果。而操作人員的呼吸區域係以三個定位點表示：排氣櫃的正前方（中間C2）以及中間偏左30 cm（C1）和中間偏右30 cm（C3）。結果顯示：拉動拉門的動作會增加櫃中氣狀污染物（醋酸）於三個呼吸區域定位點的監測濃度值。而在特定拉門高度，操作人員傾倒溶液時，原本已經洩漏在呼吸區域的酸氣濃度並不會因此而明顯增加。例如：

將拉門高度由 10 cm 拉至 15 cm 以及傾倒溶液之後，監測器於呼吸區域定位點 (C1) 位置測得的醋酸濃度由原本的背景值上升至 21.2 ppbv；代表著操作員的動作可能產生一氣流，這氣流能讓櫃中污染物洩漏至操作員的呼吸區域。再經歷 20 分鐘後，濃度明顯下降至 4 ppbv，代表著排氣櫃排氣有效地運作。而在傾倒醋酸溶液動作之後的 10 分鐘，監測器測得濃度為 3 ppbv，這濃度數值和執行傾倒動作前測得的濃度值 (4 ppbv) 近似。亦即加熱至 60°C 的醋酸溶液 (<150 ml) 在拉動拉門、添加常溫醋酸溶液 50 mL 後的 20 分鐘，或是在單獨以傾倒方式添加溶液後的 10 分鐘，兩種操作條件下產生的醋酸氣體污染物在排氣櫃不斷排氣之後，洩漏至呼吸區域的氣狀污染物濃度為近似。可能代表著，在這運作時間內，此型排氣櫃對這種污染源 (60°C 的濃醋酸) 的排氣效果可能有限；因此仍能造成 <4 ppbv 的醋酸洩漏。因此，在本設計試驗中，尚無法識別單獨執行傾倒這一動作對氣狀污染物洩漏的影響。

將表 3 資料繪製成圖 29，以 IC 進樣時間序列顯示呼吸區域監測的濃度數值和拉門設定高度 (15、30、45 以及 60 cm) 以及操作者執行動作和站立位置，四者之間的關係。可清楚看到 (1) 在拉門高度設定在 15、30 以及 45 cm 高時，第一筆監測數值 (IC 進樣時間序列為第 0 分鐘) 的濃度，均明顯偏高。代表拉門的動作確實增加氣狀污染物的洩漏。(2) 在拉門高度設定在 15、30 以及 45 cm 高時，從三筆連續監測數值 (IC 進樣時間序列第 0、20 以及 40 分鐘) 能發現對於站立於櫃前正中間位置 (C2)、試驗中正在操作化學物品的操作員而言，其暴露濃度較站立在兩側的人員為高。(3) 將拉門高度設置在 30 cm 高時，站立在排氣櫃前的操作者或是觀察者，其呼吸暴露危害將最低。

例如：操作員將拉門由 15 cm 推至 30 cm 高時，中心位置 (C2) 操作員的暴露濃度為 22.6 ppbv；在排氣櫃持續抽氣 20 分鐘後，操作員

的暴露濃度可降至3.4 ppbv；而傾倒溶液後的10分鐘，暴露濃度值仍低（2.7ppbv）。而站在兩側位置（C1及C3）的觀察員，其暴露濃度值僅為1.4~5.7 ppbv。

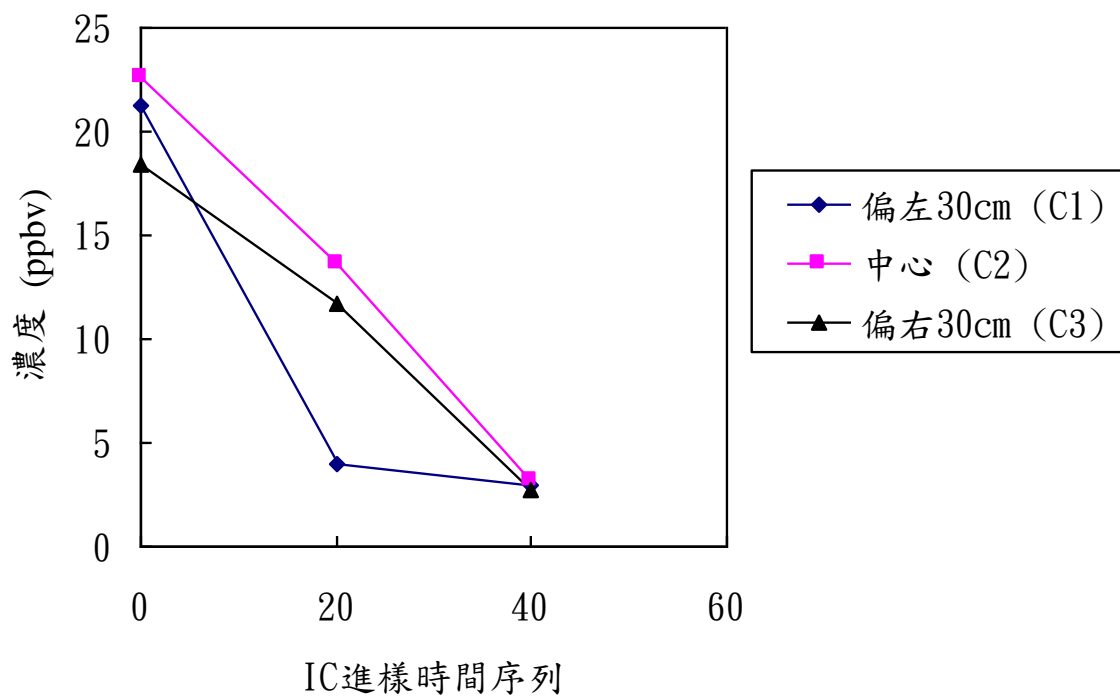
在拉門高度設置在45 cm時，排氣櫃的氣狀污染物捕集效果明顯降低；在櫃前中心（C2）、櫃前偏左30 cm（C1）以及櫃前偏右30 cm（C3）位置測得的洩漏濃度值分別是拉門高度設在30 cm時的9~16、2~3 以及 1 倍。

當拉門高度設在15 cm高時，在櫃門偏左30 cm（C1）以及櫃門偏右30 cm（C3）位置測得的酸氣洩漏濃度（在IC進樣時間為0、20及40 min時，數值濃度分別為18.4~21.2、4.0~11.7以及2.7~3.0 ppbv）為拉門設在30 cm時，於櫃前兩側位置（C1及C3）測得濃度的2~8倍。測得的濃度近似於拉門設定在15 cm或是30 cm時於櫃前中心位置（C2）測得的濃度（分別為22.6、13.6以及3.2 ppbv或是22.6、3.4以及2.7 ppbv）。這種在拉門開口高度設定為 15 cm 時，於櫃前兩側呼吸區域之氣狀污染物洩漏濃度增加的現象，可以透過拉門開口縮小造成的紊流來解釋。測量的面速度值資料（圖22）顯示在拉門開口在高度為15 cm時，其面速度值（0.5~0.52 m/sec）較開口高度 30cm 時的面速度值（0.26~0.36 m/sec）為強。較強的氣流流速得以將櫃內氣狀污染物擴散出，進而增加氣狀污染物的洩漏和暴露機會。

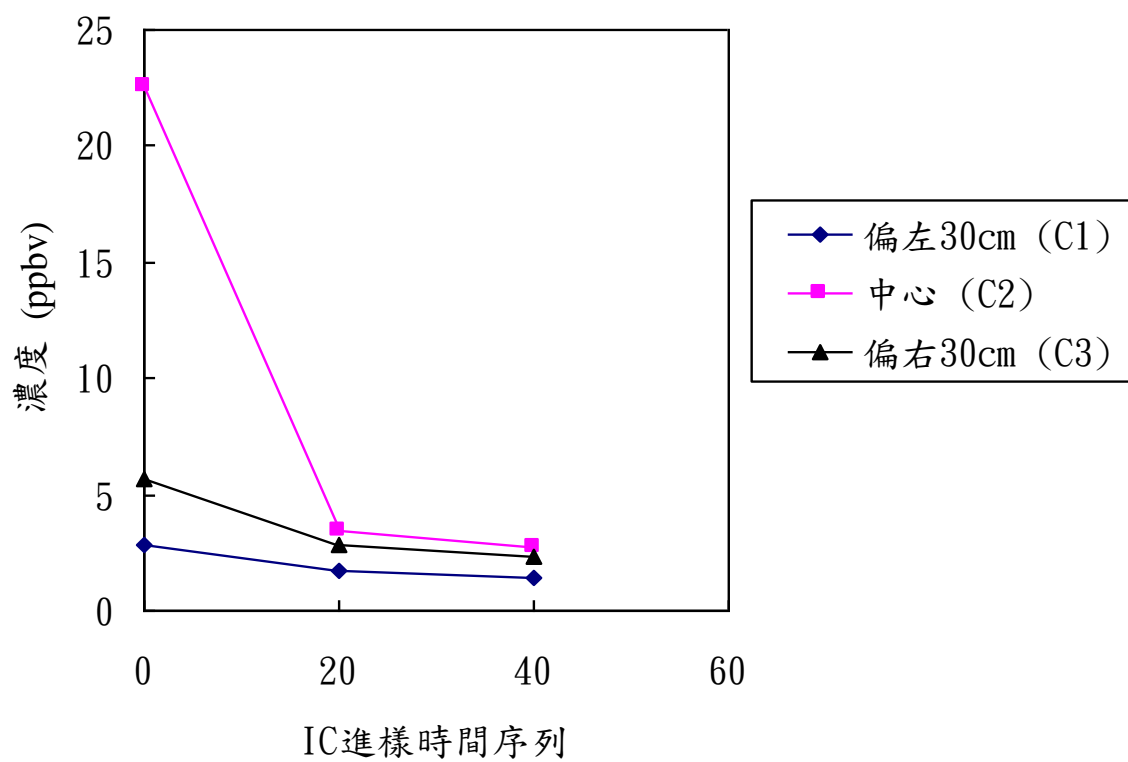
表3. 有人為操作-於操作人員呼吸區域監測的醋酸濃度數值。

定位點	拉門高度 (cm)	IC進樣的時間 (HH : mm)	測得濃度 (ppbv)	操作人員執行特定動作的時間(HH : mm)	
				拉動拉門	傾倒溶液
C1 (偏左30cm)	15	14:37	21.20	14:26 (由10cm高拉至15cm高)	-
	15	14:57	4.00		15:07
	15	15:17	3.00		-
	30	15:37	2.80	15:26 (由15cm高拉至30cm高)	15:37
	30	15:57	1.70		16:07
	30	16:17	1.40		-
	45	16:37	9.30	16:26 (由30cm高拉至45cm高)	16:37
	45	16:57	3.00		17:07
	45	17:17	2.80		-
	60	17:37	11.70	17:26 (由45cm高拉至60cm高)	17:37
	60	17:57	30.50		18:07
60	18:17	127.90	-		
C2 (中間)	15	18:37	22.60	18:26 (由60cm高拉至15cm高)	18:37
	15	18:57	13.60		19:07
	15	19:17	3.20		-
	30	19:37	22.60	19:26 (由15cm高拉至30cm高)	19:37
	30	19:57	3.40		20:07
	30	20:16	2.70		-
	45	21:36	201.80	21:25 (由30cm高拉至45cm高)	21:36
	45	21:56	51.40		22:06
	45	21:16	42.70		-
	60	20:36	30.00	20:25 (由45cm高拉至60cm高)	20:36
	60	20:56	519.20		21:06
60	21:16	658.00	-		
C1 (偏右30cm)	15	22:36	18.40	22:25 (由60cm高拉至15cm高)	22:36
	15	22:56	11.70		23:06
	15	23:16	2.70		-
	30	23:36	5.70	23:25 (由15cm高拉至30cm高)	23:36
	30	23:56	2.80		12:06
	30	00:16	2.30		-
	45	00:36	4.60	24:25 (由30cm高拉至45cm高)	12:36
	45	00:56	2.40		01:06
	45	01:16	2.40		-
	60	01:36	17.00	01:25 (由45cm高拉至60cm高)	01:36
	60	01:56	34.00		02:06
60	02:16	85.90	-		

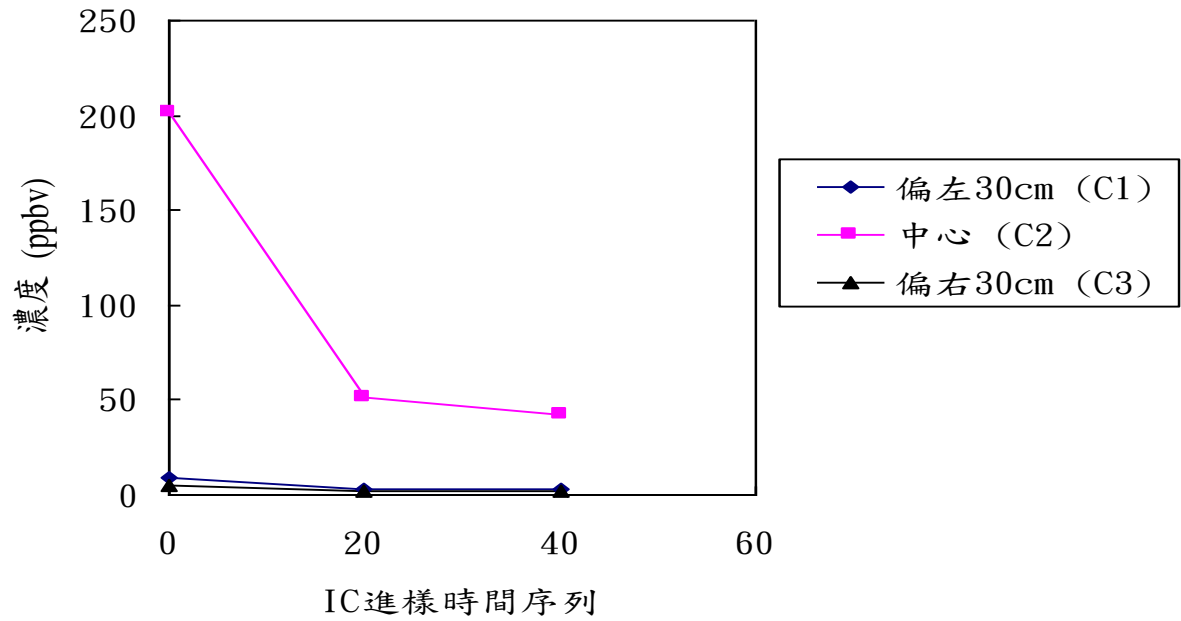
A、15 cm



B、30 cm



C、45 cm



D、60 cm

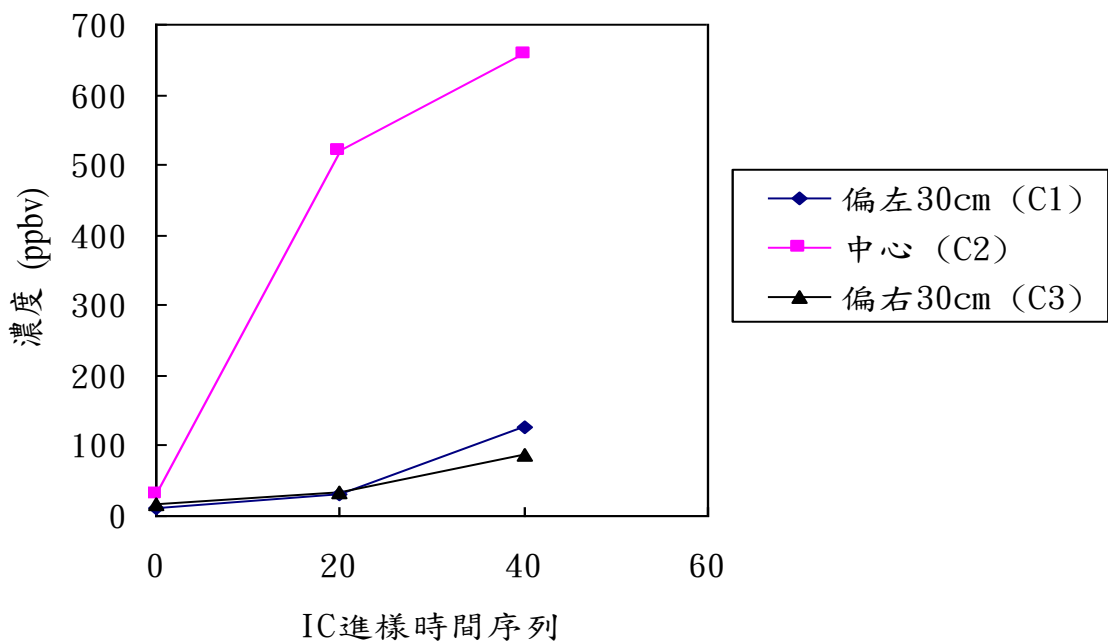


圖29. 有人為操作-櫃前呼吸區域測量的醋酸濃度數值和樣本進樣的時間序列關係。排氣櫃拉門高度分別為 (A) 15 cm (B) 30 cm (C) 45 cm 以及 (D) 60 cm。

另外，表3資料以及圖 29 (D) 亦顯示：將拉門開口高度由45 cm 擴大至60 cm 後（此高度近似此排氣櫃上張貼的建議拉門開啟高度最大值，57 cm），監測器於櫃前的中心（C2）、偏左30 cm（C1）以及偏右30 cm（C3）位置測得的第一筆醋酸濃度數值（30、12 以及17 ppbv）近似於將拉門開口高度由60 cm 或是45 cm 縮小至15 cm 後，監測器於三個呼吸區域位置測得的第一筆數值（23、21 以及 18 ppbv）。但是，在監測時間增加（IC進樣時間第20分鐘）或是排氣櫃運作抽氣時間增長（在拉動拉門以及以傾倒方式添加溶液後的第20分鐘）後，在櫃前中心、偏左30 cm 以及偏右30 cm (C2、C1以及 C3) 三個呼吸區域測得的醋酸氣體洩漏濃度卻大幅度地升高（519、31 及 34 ppbv）；甚至在監測進行至第30分鐘，研究人員以傾倒方式添加醋酸溶液後的第10分鐘，於櫃前呼吸區域的濃度監測數值（IC進樣時間第40分鐘，圖29(D)）繼續上升至658、128 以及86 ppbv。持續上升的數值，意味著抽氣櫃在拉門開口高度達60 cm高時，抽氣櫃的運轉已無法將櫃內氣狀污染物有效排除。甚至隨著拉門開啟時間的延長，於操作人員呼吸區域的氣狀污染物濃度不斷增高。這現象或許和此時氣流出現遲滯有關。而根據面速度測量數值（圖22）亦顯示此時的開口面速度值為0.18~0.25 m/sec，此數值低於各國家機構對排氣櫃的面速度建議值（0.3~0.77 m/sec）。

4.3.2 以軟管補充溶液、拉動拉門以及拉門開口高度的影響

表4 顯示即時監測器監測操作人員在執行排氣櫃拉門拉動的動作後，排氣櫃中的氣狀污染物洩露至操作人員呼吸區域的濃度監測數值結果。而操作人員的呼吸區域係以三個定位點表示：排氣櫃的正前方（中間C2）以及中間偏左30cm（C1）和中間偏右30cm（C3）。而在特定拉門高度，由外部軟管添加溶液時，無人為操作原本已經洩漏在呼吸區域的酸氣濃度並不會因此而明顯增加。例如：在監測器密

度C1位置以軟管添加醋酸動作之後的10分鐘，監測器測得濃度為66.20 ppbv，而這濃度數值和執行軟管添加醋酸前測得的濃度64.11 ppbv近似。

將表4資料會製成圖30，以IC進樣時間序列顯示呼吸區域監測的濃度數值和拉門設定高度（15、30、45以及60 cm）以及操作者執行動作和站立位置，四者之間的關係。可得以下結果(1) 在拉門高度設定在5 cm 高之左右兩邊位置時，第一筆監測數值的濃度，均明顯比拉門高度設定於15、30、45以及60 cm 高出許多。(2) 拉門高度設定在5、15、30、45 以及 60 cm 高時，從三筆連續監測數值能發現對於站立於櫃前正中間位置、未操作化學物品的操作人而言，其暴露濃度較站立在兩側的人員為低。(3) 將拉門高度設置在45 cm高時，站立在排氣櫃前的操作者，其呼吸暴露危害最高。

例如：操作員將拉門由15 cm推至30 cm高時，中心位置操作員的暴露濃度為35.85 ppbv；在抽氣櫃持續抽氣20分鐘後，操作員的暴露濃度微降至32.41 ppbv；而用軟管補充溶液後的10分鐘，暴露濃度值微增為33.43 ppbv；暴露濃度值未因拉動拉門或以軟管補充溶液造成明顯的偏高或偏低。而站在兩側的觀察員，其暴露濃度值為30.53~35.48 ppbv。

在拉門高度設置在45 cm時，排氣櫃的氣狀污染物捕集效果微增加；在櫃前中心、櫃前偏左30 cm以及櫃前偏右30 cm位置測得的洩漏濃度值分別是拉門高度設在30 cm時減少的0.63~0.76、0.75~0.80以及0.70~0.85倍。

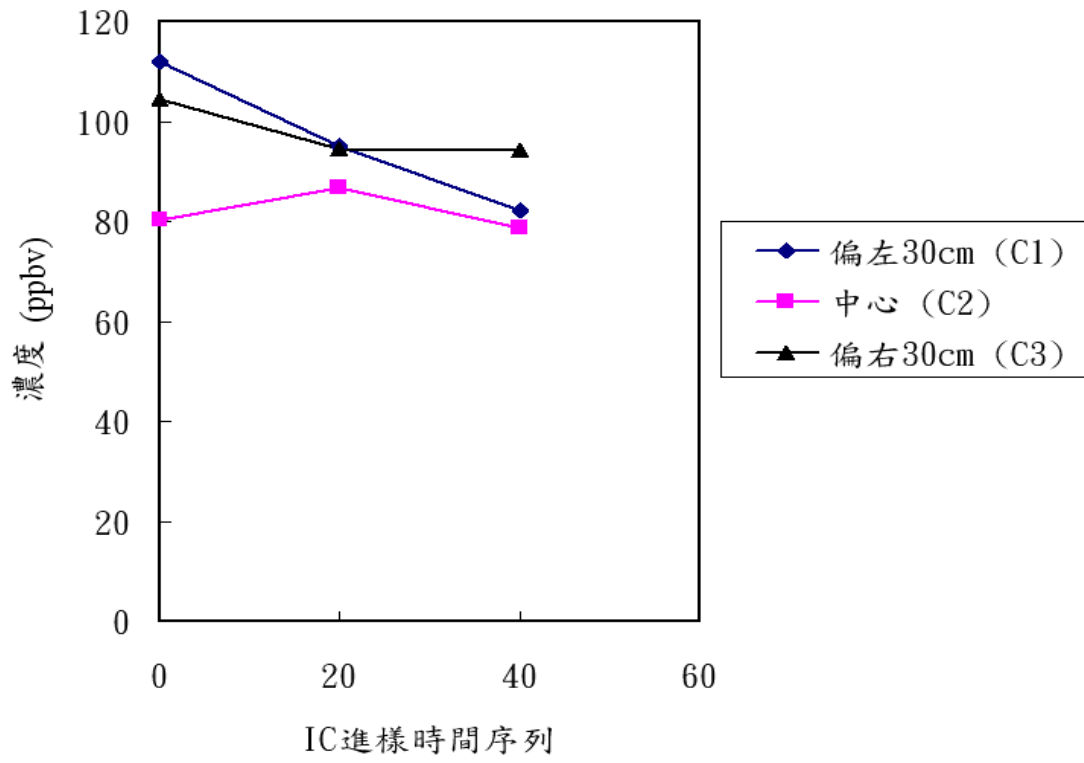
當拉門高度設在15 cm高時，在櫃門偏左30 cm以及櫃門偏右30 cm位置測得的酸氣洩漏濃度數值分別為63.19~64.56、66.20~73.61以及64.11~65.85 ppbv為拉門設在30 cm時，於櫃前兩側位置測得濃度的1.3~1.6倍。測得的濃度高於拉門設定在15 cm或是30 cm時於櫃前中心位置測得的濃度，分別為52.57、52.58以及53.15 ppbv或是33.85、32.41

以及33.43 ppbv。測量的面速度值資料（圖28）顯示在拉門開口在高度為15 cm時，其面速度值（0.75~0.89 m/sec）較開口高度 30cm 時的面速度值（0.42~0.54 m/sec）為強。

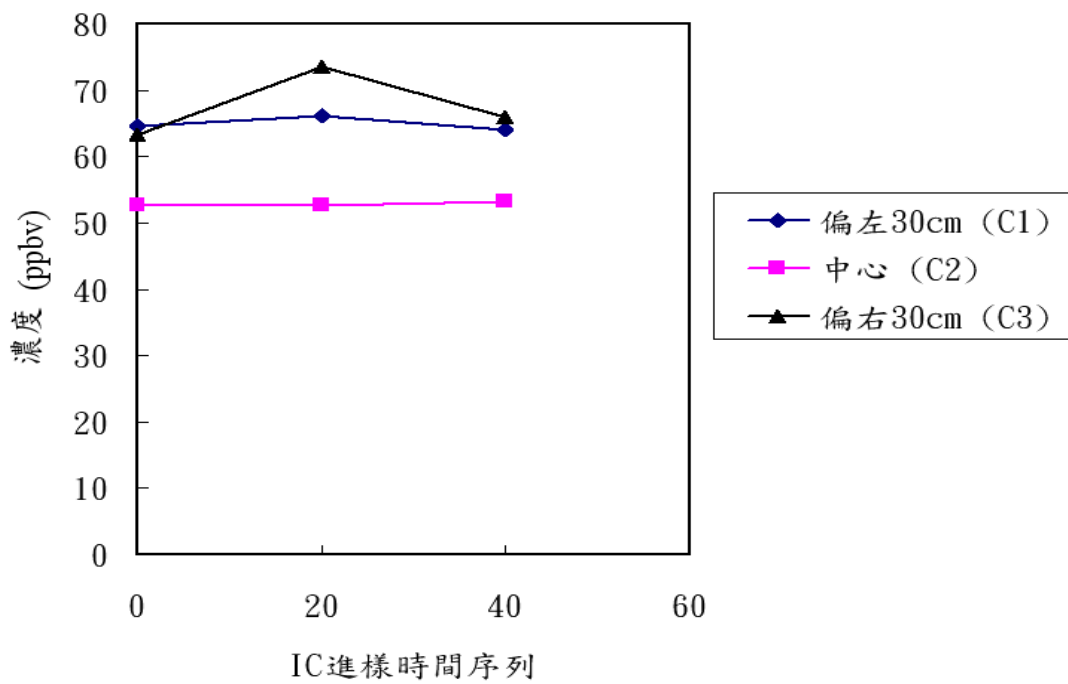
表4. 有人為，操作-於操作人員呼吸區域監測的醋酸濃度數值。

定位點	拉門高度 (cm)	測得濃度 (ppbv)	拉動拉門高度
C1 (偏左30cm)	5	111.93	(拉至5cm高)
	5	95.07	
	5	82.19	
	15	64.56	(由5cm高拉至15cm高)
	15	66.20	
	15	64.11	
	30	42.59	(由15cm高拉至30cm高)
	30	44.13	
	30	40.26	
	45	32.76	(由30cm高拉至45cm高)
	45	35.48	
	45	30.74	
	60	32.38	(由45cm高拉至60cm高)
	60	36.87	
	60	37.22	
C2 (中間)	5	80.17	(由60cm高拉至5cm高)
	5	86.64	
	5	78.59	
	15	52.57	(由5cm高拉至15cm高)
	15	52.58	
	15	53.15	
	30	35.85	(由15cm高拉至30cm高)
	30	32.41	
	30	33.43	
	45	22.73	(由30cm高拉至45cm高)
	45	24.66	
	45	22.38	
	60	25.05	(由45cm高拉至60cm高)
	60	28.76	
	60	30.70	
C1 (偏右30cm)	5	104.53	(由60cm高拉至5cm高)
	5	94.49	
	5	94.26	
	15	63.19	(由5cm高拉至15cm高)
	15	73.61	
	15	65.85	
	30	46.20	(由15cm高拉至30cm高)
	30	41.14	
	30	40.74	
	45	32.26	(由30cm高拉至45cm高)
	45	30.53	
	45	34.82	
	60	30.70	(由45cm高拉至60cm高)
	60	36.59	
	60	38.06	

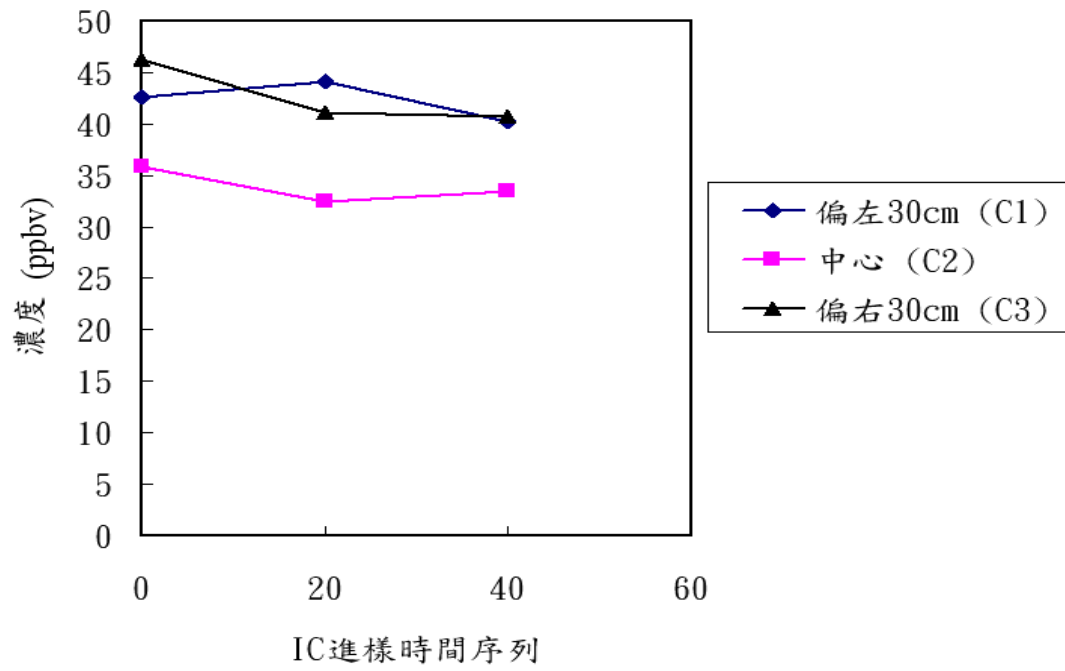
A、5 cm



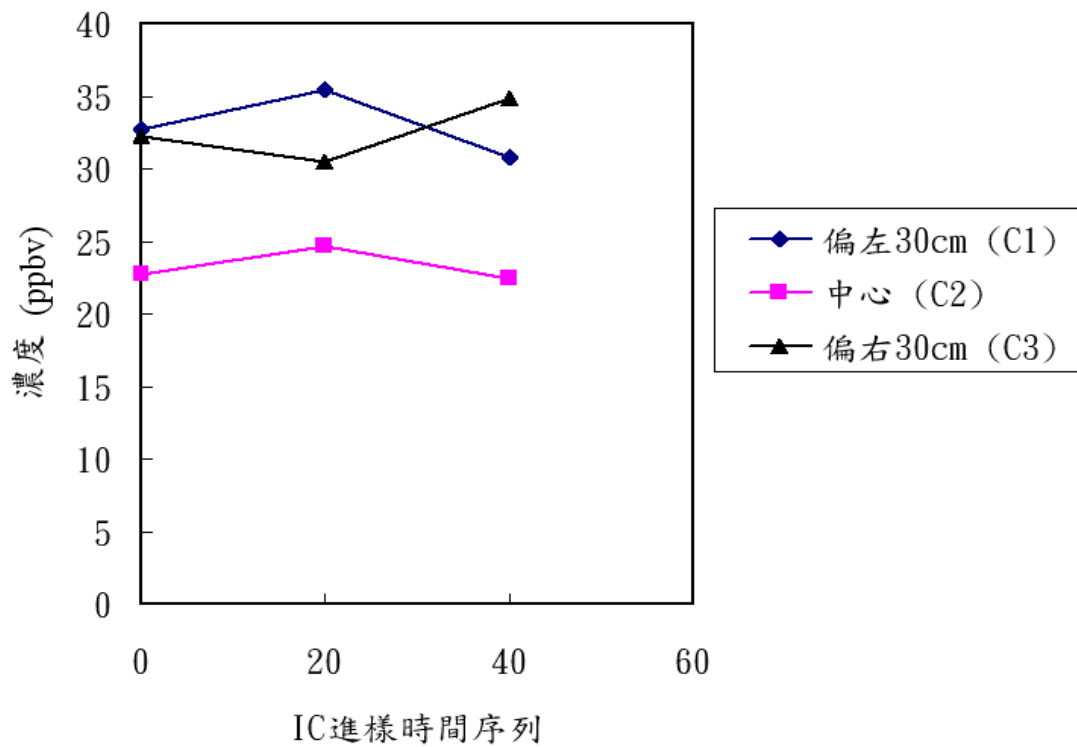
B、15 cm



C、30 cm



D、45 cm



E、60 cm

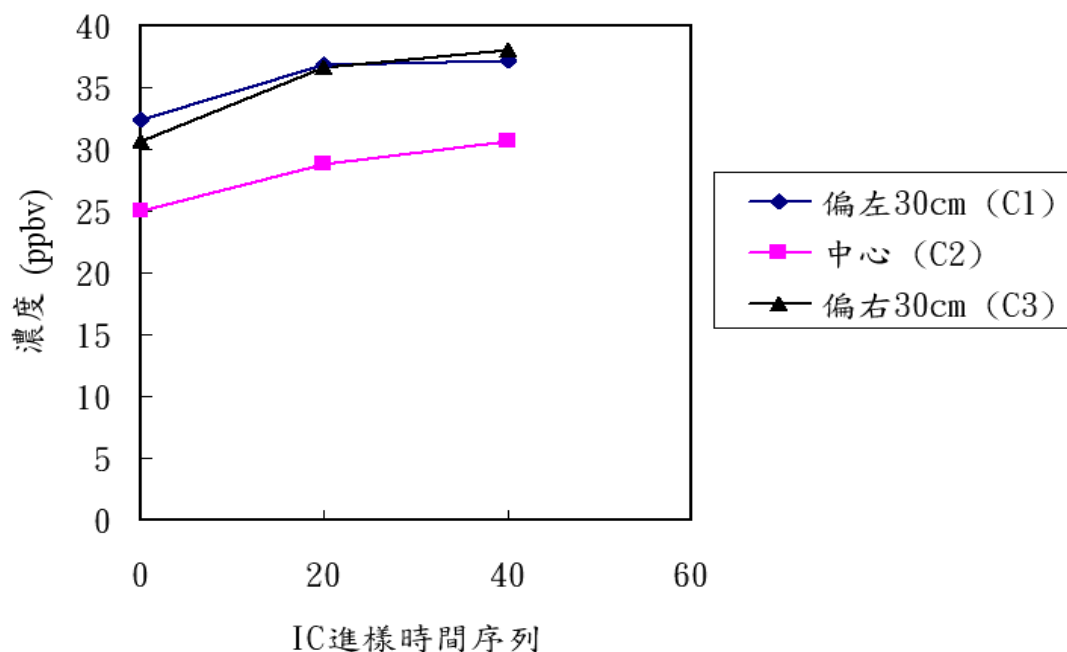


圖30. 無人為操作-櫃前呼吸區域測量的醋酸濃度數值和樣本進樣的時間序列關係。排氣櫃拉門高度分別為 (A) 5 cm (B) 15 cm (C) 30 cm (D) 45 cm 以及 (E) 60 cm。

4.4 面速度與排氣櫃性能

4.4.1 有人為操作

將表3中受到研究人員執行拉門拉動動作影響的監測濃度值忽略不計(即每第一筆監測數值濃度),利用表3對醋酸氣體洩漏至操作員呼吸區域的連續監測(第2、3筆數值)結果,即可進一步探討此排氣櫃因拉門高度設定不同,有人為操作面速度值與排氣櫃排氣性能兩者之間的關係,如圖31所示。圖29中的醋酸濃度值為表3中的第2、3筆連續監測濃度的平均值;面速度值係取自表3圖31顯示:拉門高度設定在15~45 cm高時,面速度值(0.25~0.52 m/sec)符合各國家部分

機構對排氣櫃的面速度建議值 (0.3~0.77 m/sec)；但是，對於操作人員而言，其對氣狀污染物的呼吸暴露程度卻有所不同。且面速度分佈和呼吸暴露程度兩者之間無特定正比或反比關係。例如：在拉門開口高為45以及 30 cm高時，兩者的拉門開口面速度值極為近似，分別為0.25~0.31以及 0.26~0.36 m/sec；但是，經由排氣櫃開口洩漏至操作人員呼吸區域的濃度卻有明顯差異，分別為2.4~47.1 以及1.5~3.0 ppbv。在拉門高度設定為60、30以及15 cm 高時，其拉門開口面速度值漸增，分別為0.18~0.25、0.26~0.36 以及 0.50~0.52 m/sec；但是，經由排氣櫃開口洩漏至操作員呼吸區域的濃度卻呈無規則變化，分別為 25.5~588.6、1.5~3.0 以及 3.5~8.4 ppbv。因此，試驗顯示：若單純以排氣櫃開口面速度值來評估排氣櫃對氣狀污染物的排氣效果，在評量上仍顯不足。而應考量櫃門開口高度以及被操作的化學物品性質。當被操作的化學物品為揮發性物質（例如：醋酸）時，在排氣櫃抽氣運作之下，在櫃裡揮發生成的氣體會迅速被氣流稀釋並向排氣櫃上部及兩側擴散。而當拉門開口高度為30 cm 高時，排氣櫃的排氣運作對操作者的呼吸暴露控制可達最佳成效（面速度為0.26~0.36 m/sec；暴露濃度為1.5~3.0 ppbv）。當拉門開口過小（例如：開口高度為15 cm高）在排氣櫃拉門開口處會形成較強的紊流（0.50~0.52 m/sec），此紊流足以將櫃裡的氣狀污染物捲向拉門外而造成洩漏，因此，操作者的呼吸暴露值也隨著拉門開口的縮小而升高至3.5~8.4 ppbv。當拉門開口擴大（例如：45 cm或是60 cm）時，即使排氣櫃仍在運轉排氣（面速度值分別為0.25~0.31 以及 0.18~0.25 m/sec），櫃內的氣狀污染物則能透過這放大的拉門開口，迅速擴散至操作者呼吸區域，造成暴露濃度值的升高（2.4~4.71 以及 25.5~588.6 ppbv）。

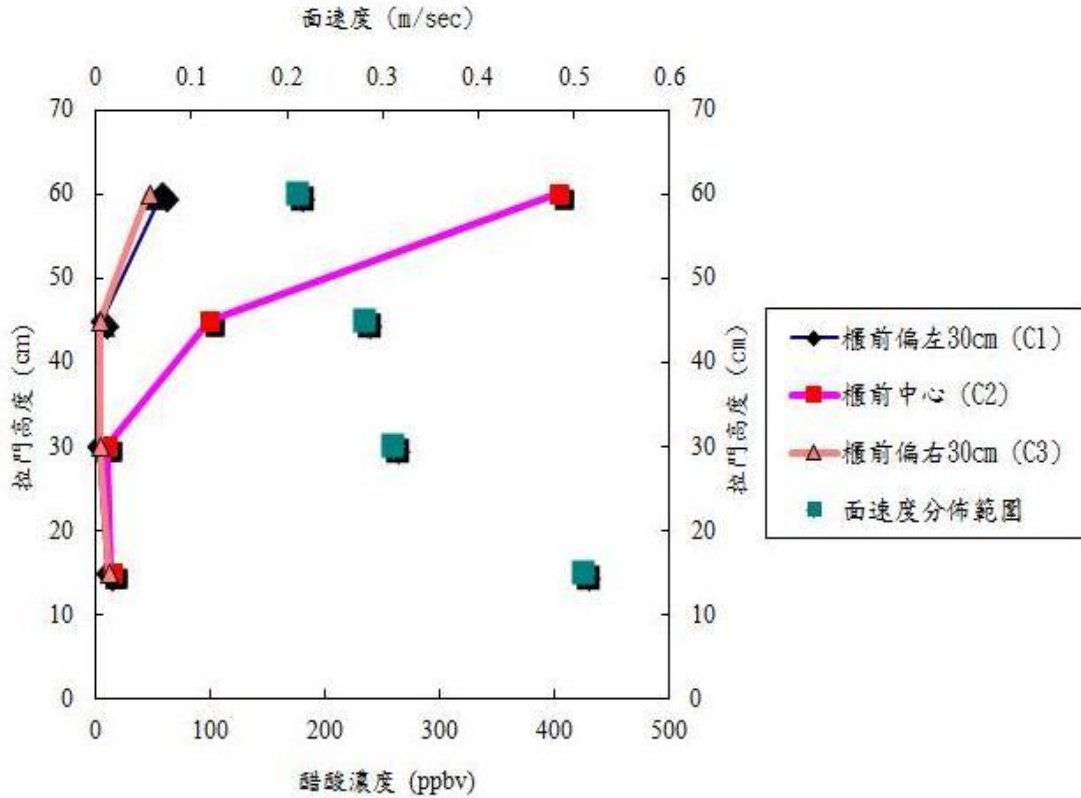


圖31. 有人為操作-面速度分佈與排氣櫃氣狀污染物（醋酸氣體）洩漏至操作員呼吸區域的濃度。

4.4.2 無人為操作

依無人為操作第一筆監測濃度忽略方式，利用表4對醋酸氣體洩漏而至操作員呼吸區域的連續監測結果，探討無人為操作下面速度值與排氣櫃排氣性能兩者之間的關係，如圖32所示。圖30中的醋酸濃度值為表4中的第2、3筆連續監測濃度的平均值；面速度值係取自表4圖24顯示：拉門高度設定在30~60 cm高時，面速度值(0.28~0.49 m/sec)符合建議值。但面速度分佈和呼吸暴露濃度兩者之間仍未有證據顯示出正比或反比關係。例如：在拉門為 60以及 45 cm高時，面速度值分別為0.27~0.28以及 0.32~0.36 m/sec；經由排氣櫃開口洩漏至操作人員呼吸區域的濃度卻無明顯差異，分別為 28.17~35.49 以及

23.25~32.99 ppbv；在拉門45、以及30 cm 高時，面速度值分別為0.32~0.36 以及 0.48~0.54 m/sec；經由排氣櫃開口洩漏至操作員呼吸區域的濃度卻有較明顯差異，分別為 23.25~32.99 以及 33.89~42.69 ppbv。在拉門高度設為60、30以及5 cm高時，其拉門面速度值越增，分別為0.27~0.28、0.42~0.55以及1.52~1.58 m/sec，經由排氣櫃門口洩漏至操作員呼吸區域的濃度顯示無規則變化，分別為28.17~35.49、33.89~42.69以及81.80~96.40 ppbv。當拉門高度開口為45 cm時。排氣櫃對觀察者的呼吸暴露控制達到最佳成效(面速度為0.32~0.36 m/sec；暴露濃度為23.26~32.99 ppbv)。當拉門開口變小(例如：開口高度為30、15以及5 cm高)面速度增加(分別為0.42~0.54、0.75~0.89以及1.52~1.58 m/sec)，操作者的呼吸暴露值隨著拉門開口縮小而增加(分別為33.89~42.69、52.77~67.55以及81.80~97.76 ppbv)當拉門開口擴大(例如60cm)，於排氣櫃運轉狀態下(0.27~0.28 m/sec)，櫃內氣狀污染物仍因拉大的拉門開口，而部份擴散至操作者呼吸區域，造成暴露濃度值微升(28.17~35.49 ppbv)。因此從上述實驗結果可推斷出：櫃門開口過小，拉門開口面速度值增加，使氣狀污染物藉由擾流擴散方式使得操作員呼吸區域的濃度增加；櫃門口過大，拉門開口面速度值減少，由此可證明使氣狀污染物透過分子擴散或布朗分子擴散方式由櫃門內部與氣狀污染物進行氣體交換，且以迴流方式將氣狀污染物洩漏至操作員呼吸區域。櫃門開口過小、拉門開口面速度值增加較櫃門開口過大、拉門開口面速度減少而氣狀污染物藉由擾流擴散方式比分子擴散或布朗分子擴散方式洩漏出較多氣狀污染物。

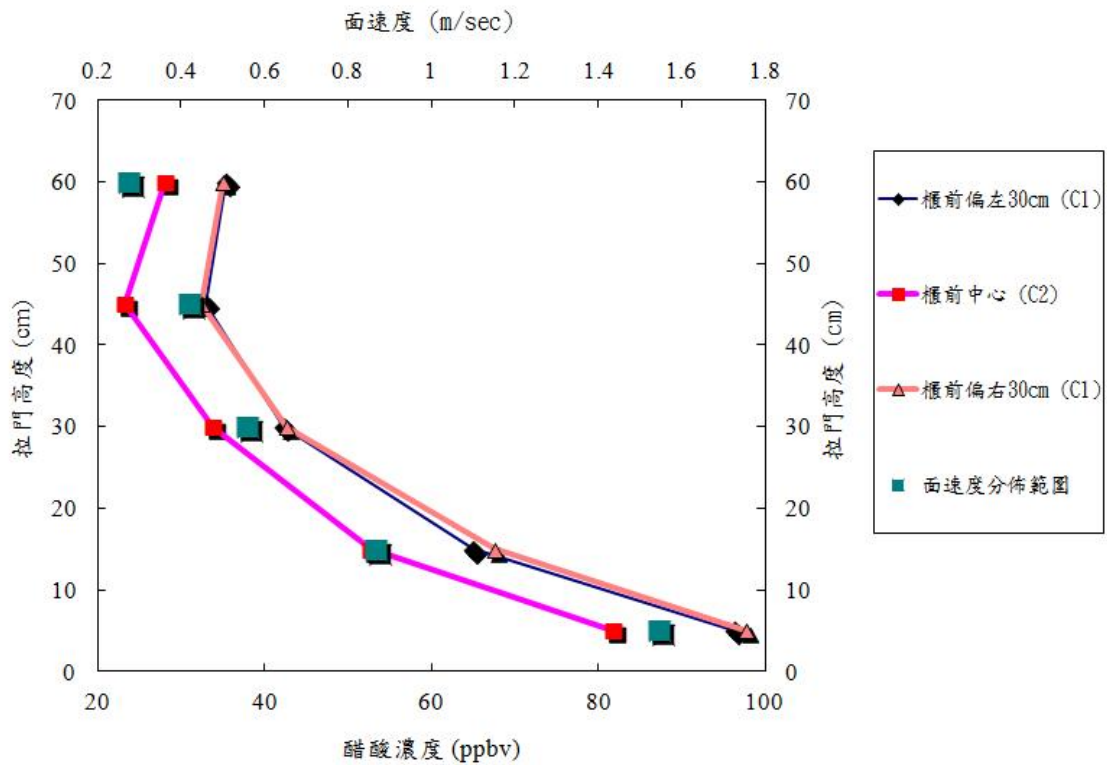


圖32. 無人為操作-面速度分佈與排氣櫃氣狀污染物（醋酸氣體）洩漏至操作員呼吸區域的濃度。

4.5 排氣櫃內污染物洩漏之數值比較及分析

由文獻測量國內九間大學共九個實驗室排氣櫃進行面速度測量及美國ANSI/ASHRAE 110-1995 測試方法之追蹤氣體技術（2007，曾）測量污染源洩漏狀態。從文獻量測不同排氣櫃與本實驗結果於無人為操作時固定拉門開口進行數值比對。由表5所示，CsF6使用方法為ANSI/ASHRAE110-1995 method。由表6所示，單點濃度測試方法，比較無人為操作不同拉門開口高度洩漏之濃度。

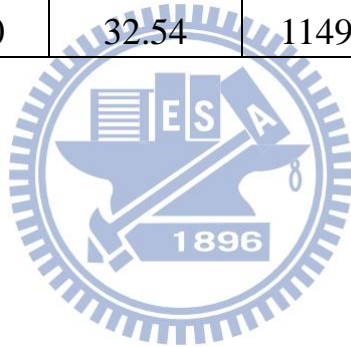
表5. 無人為操作時固定拉門開口進行數值比對

拉門開口半開				拉門開口全開			
Vo (m/s)	CsF6 ppb	Vo (m/s)	醋酸 ppbv	Vo (m/s)	CsF6 ppb	Vo (m/s))	醋酸 ppbv
0.45	163	0.49	39.64	0.32	210	0.27	32.92
~		~		~		~	
0.56		0.55		0.33		0.28	

以不同實驗方法進行排氣櫃洩漏濃度值進行比對可發現以CsF6為污染物實驗方法測得之面速度值為0.32~0.56 m/sec，以醋酸為污染物實驗方法測得面速度值為0.27~0.55 m/sec，兩實驗測得面速度值皆符合各國針對排氣櫃的面速度建議值0.3~0.77 m/sec。由拉門開口高度進行數值比對兩實驗結果顯示：拉門開口半開及全開時，污染物洩漏至操作員呼吸區域的濃度呈現無規則變化。此一比對結果可說明，評估實驗室排氣櫃性能狀態，不僅以氣櫃面速度以及拉門開口高度進行評估，應結合操作人員站立位置以及評估週邊不穩定氣流狀態進行全面性評估，以貼近操作人員站立於排氣櫃前，污染物洩漏至操作人員呼吸區域的濃度。

表6. 單點濃度測試方法，比較無人為操作不同拉門開口高度洩漏之濃度。

	V = 0.3 m/sec			V = 0.5 m/sec		
	拉門開口 高度5 cm		拉門開口 高度45 cm	拉門開口 高度5 cm		拉門開口 高度30 cm
	CsF6 ppb		醋酸 ppbv	CsF6 ppb		醋酸 ppbv
	有假人	無假人	鋁板條	有假人	無假人	鋁板條
C1(左)	1120	170	32.99	250	40	42.33
C2(中)	810	185	23.26	45	20	33.89
C3(右)	620	410	32.54	11490	30	42.69



五、結論與建議

5.1 結論

(1). 面速度值與揮發性污染物洩漏情形，於有人為操作此款定風量式旁流型排氣櫃的面速度值分佈，和拉門的開口大小成反比。在拉門開口高度設定在 45~15 cm 時，開口的面速度值 (0.25~0.52 m/sec) 會符合絕大多數各國家機構對排氣櫃的面速度建議值。從操作員呼吸區域測得的醋酸濃度數值顯示：在排氣櫃近桌面中心位置操作揮發性污染物 (醋酸) 時，操作人員拉動拉門的動作會導致污染物的洩漏；而站在污染物正前方的操作員其呼吸暴露濃度值最高。從拉門的設定高度來看排氣櫃的抽氣效能，最佳的拉門設置高度為 30 cm；此時，操作員的呼吸暴露濃度為 1.5~2.5 ppbv。當拉門高度過低，例如：15 cm 高，在拉門開口形成的較強氣流反而將氣狀污染物攜帶至操作員的呼吸區域並增加其暴露濃度至 3.5~8.4 ppbv。當拉門高度過高，例如：45 cm，排氣櫃雖仍具有抽氣效用，但是，擴散至操作員呼吸區域的氣狀污染物濃度卻增加至 2.9~47.1 ppbv。當拉門開口擴大至高度為 60 cm 高時，拉門的面速度值 (0.18~0.25 m/sec)，已低於一般對排氣櫃的面速度建議值，對操作人員而言，其暴露濃度劇增至 25.5~588.6 ppbv。此時，排氣櫃已無法提供保護作用。

(2). 無人為操作，在拉門高設在 60~30 cm 時，拉門開口面速度值 (0.28~0.49 m/sec)。從操作員的呼吸區域測得的醋酸濃度值顯示：在無外界氣流干擾狀態下，操作人員拉動拉門動作與污染物洩漏並無明顯關聯性。站立於中間位置之操作員其呼吸暴露濃度值最低。最佳拉門高度設定為 45 cm；操作人員的呼吸暴露濃度為 23.3~33.0 ppbv。當拉門開口 5 cm 高，操作員的呼吸區域暴露濃度增至最高濃度至 81.8~97.8 ppbv。拉門開口至 15 cm 高，操作人員的呼吸區域其暴露濃度稍減至 52.8~67.5 ppbv。當拉門開口 30 cm 高時，面速度值 (0.33~0.42 m/sec) 最符合一般對排氣櫃的面速度建議值，洩漏於操作員呼吸區

域的氣狀污染物濃度為33.9~42.7 ppbv。拉門開口拉至60 cm高時，拉門面速度值最小（0.27~0.28 m/sec），其暴露濃度至28.2~35.5 ppbv。最佳建議值之面速度並非最低污染物洩漏值，如單以面速度值來判定排氣櫃捕集性能，並不貼近操作人員呼吸區域氣狀污染物暴露狀態。

5.2 建議

實驗室排氣櫃的設置主要將污染物排出至實驗區域，避免污染物洩漏至操作人員呼吸區域，如能將電費成本降低又能達到排氣櫃最佳污染物捕集效果，其建議如下：

- (1). 排氣櫃效能與面速度大小並無直接關聯，如單以面速度值來反應污染物洩漏狀態，無法有效反應操作人員暴露情形。減少氣流擾動，可減少排氣櫃內污染物因紊流而擴散出排氣櫃外。
- (2). 在實際操作化學品時，必須考量污染物放置位置，操作人員的操作動作，拉門開口大小以及化學品的基本性質，才能找出最適當的排氣櫃運作條件。
- (3). 定期進行排氣櫃自動檢查，風扇保養排氣系統以及組件檢查，避免因機器效能不佳而增加操作者吸入污染物之機率。
- (4). 本實驗使用酸性氣體即時監測器，可有效率的連續監測污染物洩漏濃度。惟單一種類污染物洩漏監測並非完全符合實驗室排氣櫃內化學品多樣化放置情形，可能需同時監測多種污染物洩漏狀況。如何監測實驗室排氣櫃內各種污染物洩漏狀態，未來仍須做進一步研究及討論。

六、參考文獻

1. 王順志，(2003)，淺談排氣櫃性能。勞工安全衛生簡訊第六十二期，1-2。
2. 高磊、沈晉明，(2005)，實驗室通風技術與控制。醫療衛生裝備第26卷第12期，1-4。
3. 曾麗靜，(2007)，實驗室氣櫃氣動力效應與污染物洩漏評估及性能改良技術之開發。國立臺灣大學職業醫學與工業衛生研究所論文，1-23。
4. 行政院勞委會勞工安全研究所 (NIOSH)，(2005)，標準分析參考方法醋酸 5010。
5. NIEA-PA107，2005。環境檢驗方法偵測極限測定指引。行政院環境保護署環境檢驗所。
6. 黃榮芳，(2007)，勞工保險局補助職業災害勞工重建計畫期末報告。中小企業輔導(第一年)期末報告，15-58
7. Ivany, R.E., Melvin, E., First, W. and Louis, J., (1978) Laboratory fume hoods: Influence of room air supply, 84.2, 75-280.
8. Dust, F. and Pereira, J.C., (1991) Experimental and numerical investigations of the performance of fume cupboards. *Building and Environment*, 26, 2, 153-164.
9. Fuller, F.H., and Etchells A.W., (1979) "The rating of laboratory hood performance" *ASHRAE Journal*, 49-53.
10. 王瑋榆，(2006)，二氧化碳滅火系統應用於排氣櫃之研究。國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系研究所碩士論文。共 123 頁。
11. 行政院勞委會勞工安全研究所(NIOSH)，標準分析參考方法。
12. 行政院環境保護署環境檢驗所，(2010)，空氣中無機酸類之檢測方

法。

- 13.林冠宇，(2006)，一個吸收氣體的平板式濕式分離器。國立交通大學環境工程研究所碩士論文。共 105 頁。
- 14.楊凱迪，(2009)，半自動化酸性氣體監測系統的研發。國立交通大學環境工程研究所碩士論文，共 84 頁。
- 15.物質安全資料表，2008 年 09 月 12 日。
資料取自：<http://www.iosh.gov.tw/Print.aspx?cnid=249&P=993>
- 16.Tsai, C. J., Lin, G. Y. and Chen, S. C. (2008). A parallel plate wet denuder for acidic gas measurement. *AIChE J.* 54:2198-2205
- 17.黃榮芳，陳友剛 (2005)，崗亭式氣罩設計規範研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 178 頁。
- 18.黃榮芳，陳友剛 (2006)，崗亭式氣罩最佳化設計研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 139 頁。
- 19.張振平，王順志 (2006)，機械通風吸菸室設計原則之建立工作。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 45 頁。
- 20.蔡朋枝，林文海 (2008)，作業環境通風系統評估技術開發。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 99 頁。
- 21.張振平(2007)，以機械通風方式降低局限空間危害氣體累積之研究-以儲槽一氧化碳累積為例。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 38 頁。
- 22.陳春萬(2000)，整體換氣壓力差對有害物散佈之影響。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 40 頁。
- 23.張振平(2002)，勞工站立在側風之外裝式氣罩位置與其暴露濃度影響之探討。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 98 頁。
- 24.王志順(2007)，局部排氣延伸元件與輔助參數之探討。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 66 頁。
- 25.黃榮芳，陳友剛 (2002)，發散式危害源氣罩設計模式研究。行政院

- 勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 150 頁。
- 26.陳春萬(2007)，通風系統對奈米微粒之捕集效率測試。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 14 頁。
- 27.陳增堯，(2003)，可調式排油煙機最佳排煙方式之研究。國立交通大學環境工程研究所碩士論文。共 95 頁。
- 28.蔡春進，黃政雄(2009)，奈米微粒作業環境控制技術性能評估。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，共 260 頁。

