

# 污染防治技術

## 臭味氣體溼式滌氣技術之研究

樓基中\* 黃世欣\*\* 黃英傑\*\*\*

### 摘要

臭味所造成的空氣污染問題，目前已有許多種成熟的除臭技術，針對不同成份有不同的處理方式。本研究以填充式洗滌塔為例，進行吸收除臭技術之研究，研究結果顯示，吸收氨氣時可以用pH值做為去除效率指標，以硫酸溶液當吸收液，採循環使用時，硫酸溶液濃度愈高，可維持高去除效率愈久，一般應用在化工吸收單元的電腦程式中，僅適用於高濃度成份(1%以上)，而排出臭味成份常為低濃度(數百 ppm以下)，若使用一般化工電腦程式模擬設計，會有很大誤差，必需加以修正才能應用。

### 一、前言

國內空氣污染糾紛事件頻頻發生，根據環保署資料顯示(1)民國七十六年台灣地區民眾向各級環保衛生單位陳情案件總計達到8,805件，其中66%係針對工業污染，有33%陳情項目為惡臭。在台北市，則約有52%強的陳情是惡臭污染，可見惡臭問題的嚴重性。

一般而言，比較容易產生臭味問題的場所是：污水處理廠、垃圾掩埋場、農藥廠、煉油廠、化工廠以及畜牧業等。常引起臭味問題的物質為硫化氫、氨、硫醇、甲基胺以及有機溶劑(2)(3)(4)。

在惡臭防治對策中，所使用的脫臭技術，有清洗、吸收、藥液氧化、吸附、燃燒

\*工研院化工所污防組研究員

\*\*工研院化所污防組副研究員

\*\*\*工研院化工所污防組副研究員

、催化、稀釋、靜電沉降、生物處理、中和、掩埋等，其他尚有溶劑回收、變更工程等對策。

以下簡介數種較常使用的臭味控制技術(5)(6)：

#### 1. 直接焚化(Direct Incineration)

一般操作溫度在650~750°C，燃燒室停留時間0.3~0.5秒，利用高溫氧化分解臭氣中之惡臭成份，適用於處理含高濃度（可燃性）臭味氣體。

#### 2. 觸媒焚化(Catalytic Incineration)

適用於處理較低濃度有機臭氣，一般在250~350°C，0.1~0.2秒停留時間的條件下燃燒。使用觸媒必須注意觸媒中毒與劣化，在觸媒中毒方面因粉末、煙霧、有機矽、鹵素化合物或硫礦化合物等作用，其活性大多會暫時受到劣化，而如水銀、鉛、錫、鋅等重金屬方面，則會受到永久之毒害。

#### 3. 藥液清洗洗的脫臭方式

在吸收方式上，可分成利用水或活性碳懸浮液作物理性吸收法，與利用酸、鹼溶液或氧化劑溶液之反應吸收方式二種，但大多數以後者為主。

##### (1) 鹼溶液法

一般在藥液中均含有1~10 %的氫氧化鈉，有時也有使用自己配製的鹼溶液（如石灰溶液等）。這種方式對於消除硫化氫很有效。

##### (2) 酸溶液法

可使用價格低廉之硫酸(0.5~5%)，酸清洗的目的，主要在消除阿摩尼亞、三甲胺乙內酯等低級胺。

##### (3) 次氯酸鈉法

它是一種比較便宜的氧化劑代表性藥液，而且一般均與酸、鹼清洗法一起用。這種藥液，對於其他法很難消除的硫化甲基最為有效。

##### (4) 使用其他氧化劑的方法

大致上有將過氧化氫、次溴酸鈉、過錳酸鉀、二氧化氯等當作氧化劑使用的。

藥液清洗所須注意事項有下列各點：

- a. 必須掌握各主要成分的作用。
- b. 藥液使用容易買到，且使用簡單的為主。
- c. 吸收、反應速度快的。
- d. 藥劑本身的分解生成物處理較容易的。
- e. 不引起有害物質的產生。

#### 4. 吸附脫臭方式(7)

活性碳吸附法是吸附法中最常採用的方法，適用於低濃度臭氣的脫臭使用。對於捕捉通過吸除層臭氣的吸附帶，依時間出口分成飽和的吸附帶、正在進行吸附的吸附帶、

以及出口處的未吸附帶等。當未吸附帶減少時，臭氣即會漏出，換言之即開始漏氣，此時則必須補充或更換吸附劑。

#### 5. 生物除臭

以微生物來分解臭氣成份，可以將臭氣導入土壤中或類似填充塔的除臭裝置中，附著在填料上的微生物可以將臭氣成份加以分解成無臭物質。

除臭主要有上述技術，至於要選擇何種技術，必須視污染源而定，考慮的主要因素為去除率與經濟兩項。其中必然牽涉到技術層面，而國內目前除臭技術才剛起步，加上地狹人稠、工廠林立，臭味問題極為敏感，除臭技術的開發有其必要性。

### 二、研究目的

由於國內惡臭問題嚴重性，民眾對惡臭的敏感，加上防制技術的不成熟與經驗不足，往往無法有效解決臭味問題，以至民怨頻傳，甚至影響到工廠的生產，造成經濟上的重大損失。

國內惡臭防制技術屬於起步階段，常需引進國外處理設備與技術，使得防制成本極為昂貴，並非一般小型工廠所能負擔。本計畫目的為研究與開發惡臭防制技術，建立本土化技術，降低防制成本，以解決惡臭問題。

### 三、研究範圍

溼式滌氣技術為一種普遍使用的空氣污染防治技術，其中以填充塔為最常見的吸收裝置，因為設備較為便宜易操作，所以應用極廣、本研究使用填充塔進行含氮臭味體去除研究，因為在實驗室進行操作，無法模擬現場實況，只能改變極少的操作條件進行研究。

在高濃度氣體的吸收方面，化學工程上已能利用電腦程式加以模擬。至於低濃度能否採用電腦程式來預測，在本研究中亦將加以探討。

### 四、研究方法

#### 4.1 實驗裝置(8)

本研究使用填充洗滌塔(Wet Scrubber)做為實驗用吸收裝置，其外殼結構為壓克力材質，共有兩塔，詳細規格列於表1中，兩塔之差異在於塔徑與填料(Packing)性質(見表2)。塔A 填料有三層(圖1)，每層50公分高，其填料材質為聚丙烯(Polypropene)

)；塔B 填料75公分高，為陶瓷製拉西環。

整個實驗裝置如圖2所示。

## 4.2 實驗方法

實驗使用的臭味氣體源為鋼瓶氨氣(約8%)與來自空氣壓縮機之空氣混合稀釋至所需濃度，再送入填充洗滌塔，經吸收處理後排出(如圖2)。在操作時吸收液可以採循環使用或不循環使用方式。取樣分析在臭氣方面為測量處理前後之臭氣濃度(氨氣濃度)，吸收液則測定其pH值變化。實驗改變的操入條件有：氣體流量、吸收液流量、進氣臭味濃度、不同性質吸收液等。

## 4.3 分析方法(9)(10)

實驗使用之臭味氣體為氣，取樣時將臭味氣體導入吸收瓶中(吸收裝置參考中國國家標準CNS-K9099方法)，以 $0.04\text{NH}_2\text{SO}_4$ 吸收液吸收，再以電極法(ORION Model 95-12 Ammonia Electrode)，測定吸收液中氨濃度，換算出臭味氣體中氨濃度。

表1 填充塔規格

塔別	填充塔A	填充塔B
材料	壓克力	壓克力
內徑(cm)	19	10
填料高(cm)	150(50 X 3)	75
填料名稱	HEILEX	拉西環

表2 填料性質

品 名	HEILEX	拉西環(Rasching ring)
材 質	P.P(Polypropene)	陶瓷
尺寸(in)	2	1/2 X/ 1/2
比重量(kg/m <sup>3</sup> )	64	803
單位體積充填個數(個/m <sup>3</sup> )	7500	--
比表面積(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	100	400
空間率 (%)	93	64

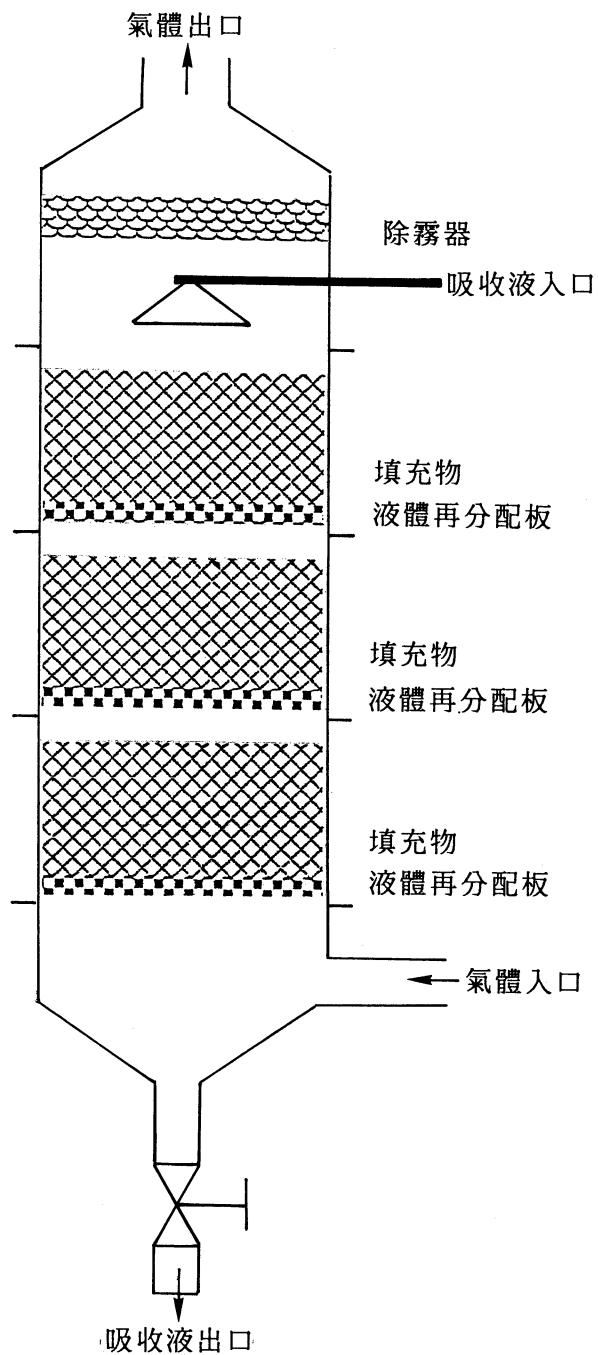
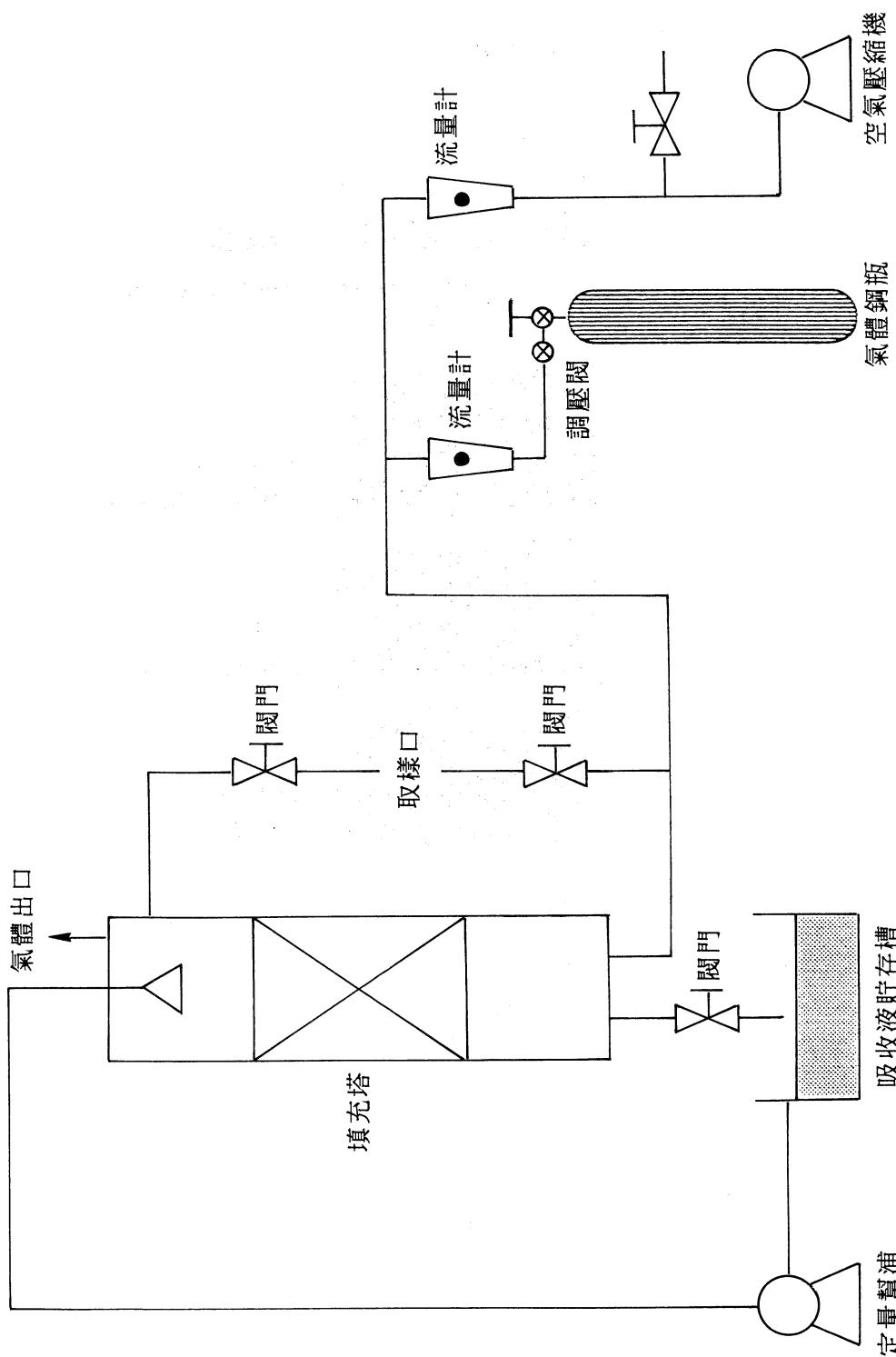


圖 1 填充塔構造



## 五、研究結果

### 5.1 各種操作條件之影響

吸收塔對於臭味氣體的去除效果視操作條件而異，在不同的操作情況不會有不同的吸收效率。從實驗中改率。從實驗中改變各種不同的條件，探討不同操作條件的影響。

#### 5.1.1 入口氨氣濃度

在相同操作條件下，入口氨氣濃度愈高，去除率愈高(圖3)；亦即氨氣濃度愈低去除效率愈差，表示低濃度的臭味不易去除。不過進氣氨濃度較高，其出口濃度也較高。(上述吸收液為水，不循環使用)

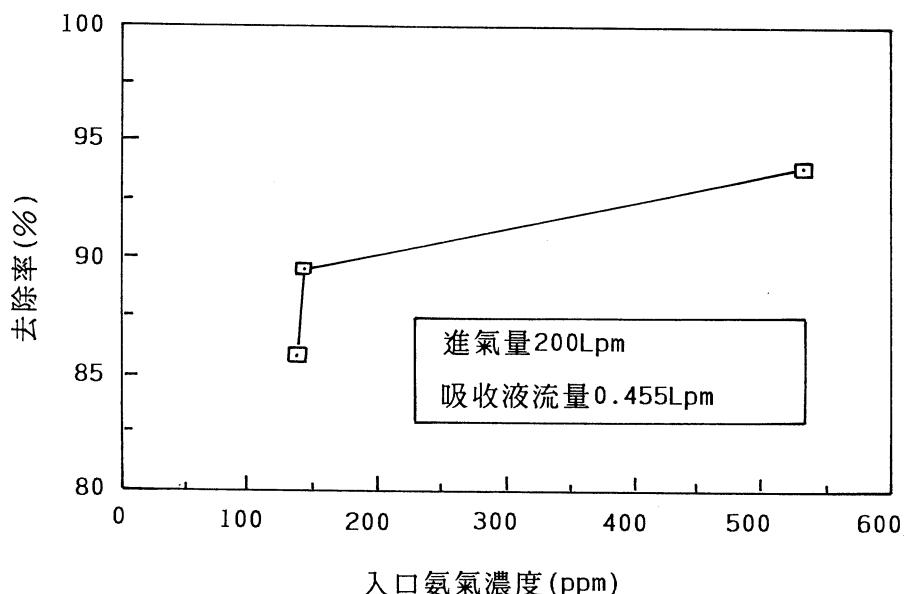


圖3 入口濃度對去除率的影響(填充塔B)

#### 5.1.2 吸收液流量

圖4為吸收液(水)流量對於氨氣去除的影響，進氣量為200LPM，氨氣濃度175ppm，吸收液流量約為0.25~1.7LPM，去除率可達90%以上。增大吸收液流量會提高去除率，

不過增大至某一量後，影響會逐漸減少，為了節省吸收液流量（減少動力消耗），以及保持一定吸收率，就必須選擇較適的流量以達到最經濟的目的。

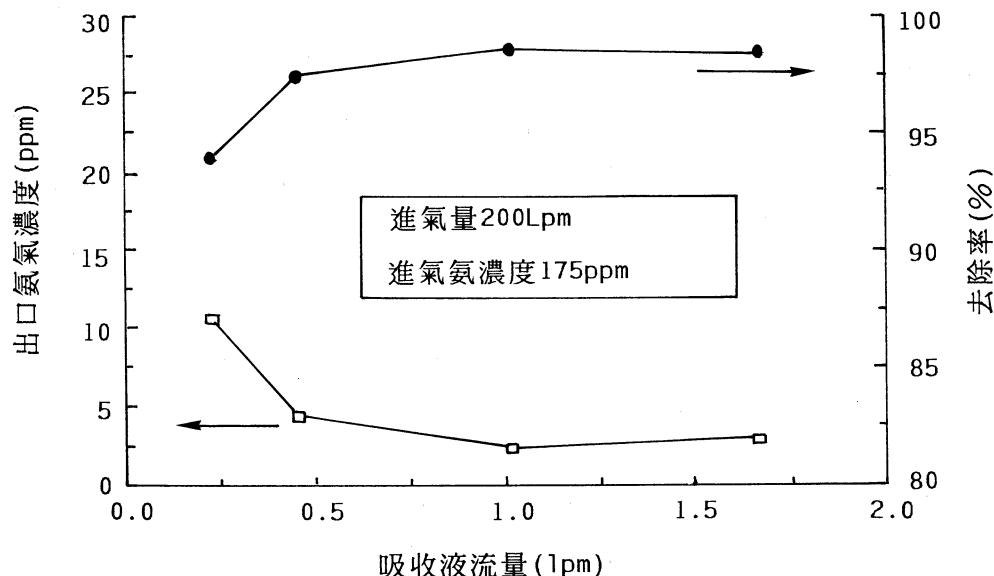


圖 4 液體流量對氨氣去除率的影響(填充塔B)

### 5.1.3 填料(Packing) 高度

填料愈高、氣體和液體的接觸時間愈長，吸收效率愈高。圖 5 與圖 6 為填充塔A 口以水吸收氨氣結果。吸收液流量低時，填料高度的影響較明顯（填料高則效率好），當流量增大時，填料高度對吸收效率之影響即變小。

### 5.1.4 不同吸收液對氨氣吸收的影響

氨氣為一鹼性氣體，且極易溶於水中，用水吸收處理即可達95%以上的去除率(圖 7)，不過隨著水中溶解的氨濃度增加，吸效率會逐漸下降。如果以酸或氧化劑把溶解於水中的氨反應掉，可能有助於吸收效率的持久性。

使用不同濃度的硫酸溶液(0.05%，0.25%)或加入NaOCl(0.1%)得到圖 8 至圖 11 結果。綜合上述結果於圖 12 中，可以看出硫酸濃度愈高，維持高吸收率的時間愈長。

至於使用NaOCl 氧化劑，對於氨氣的吸收影響（與水比較）並不明顯(圖 12 )，顯然NaOCl 無法有效氧化氨氣。

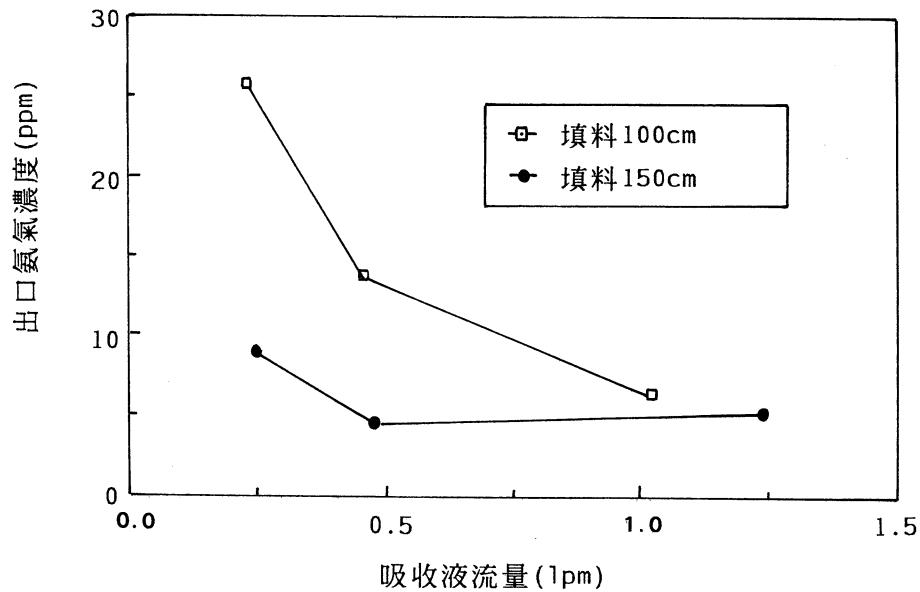


圖 5 填料高度對氨氣去除的影響

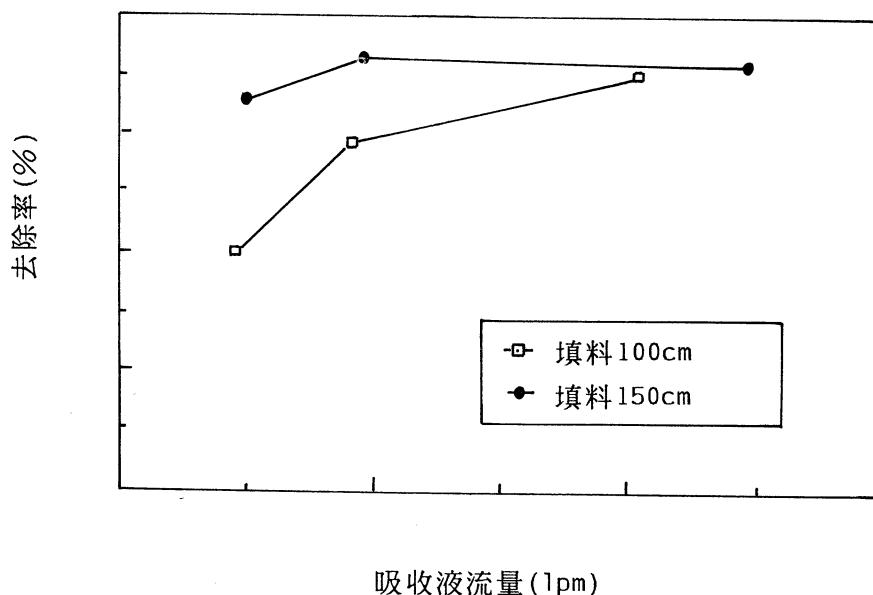


圖 6 填料高度等氨氣去除率的影響

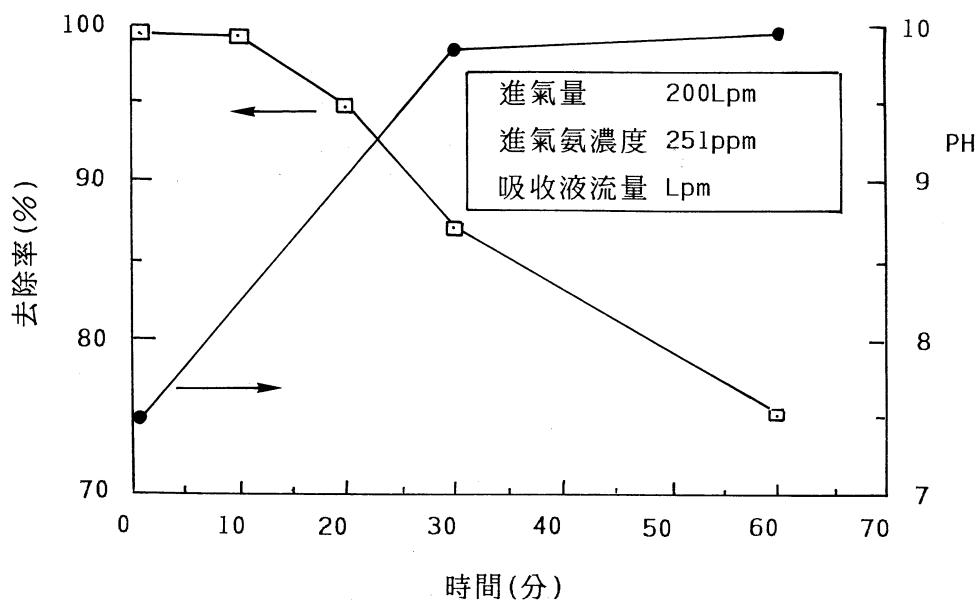


圖 7 水吸收結果

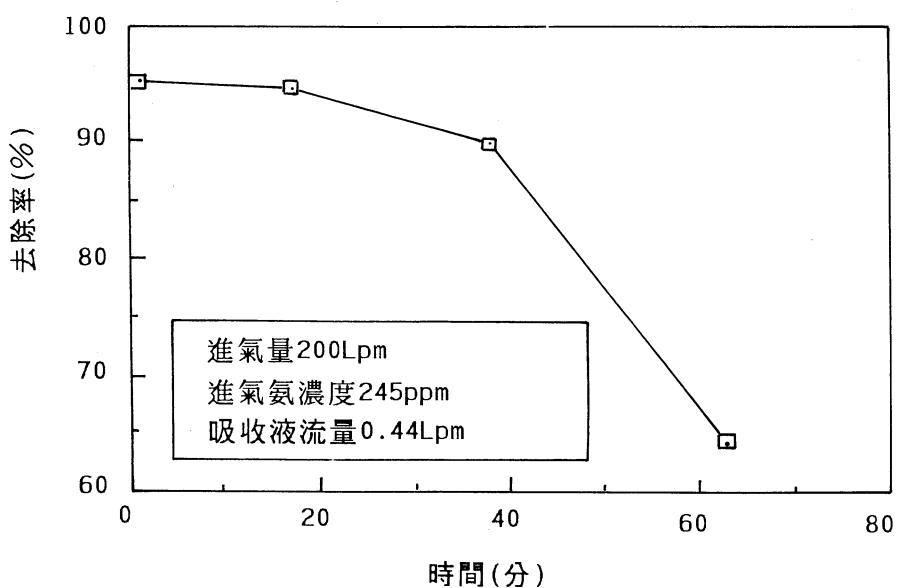


圖 8 0.1% NaOCl 水溶液吸收結果

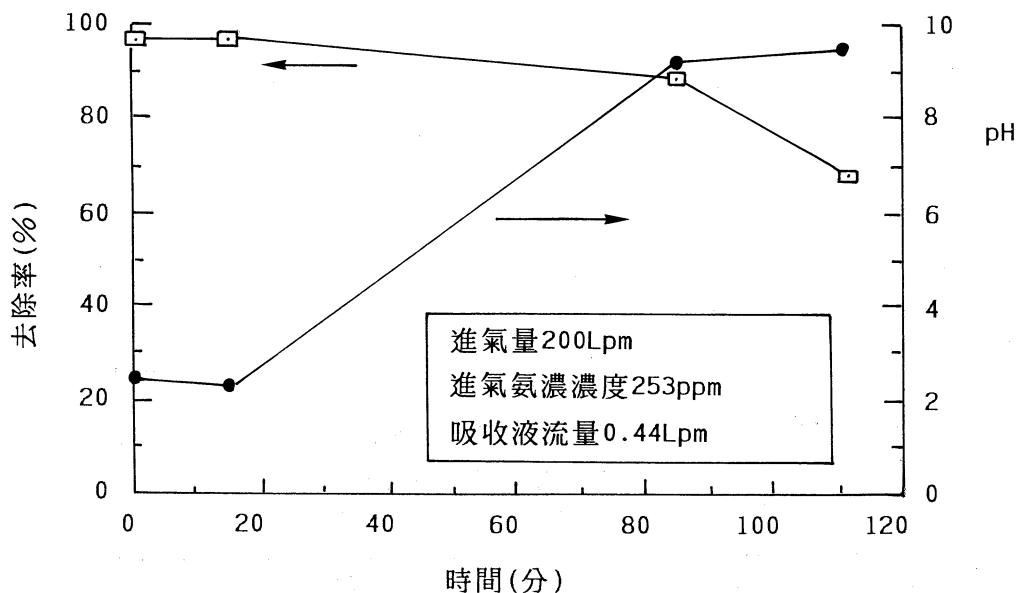


圖 9 0.05%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  水溶液吸收結果

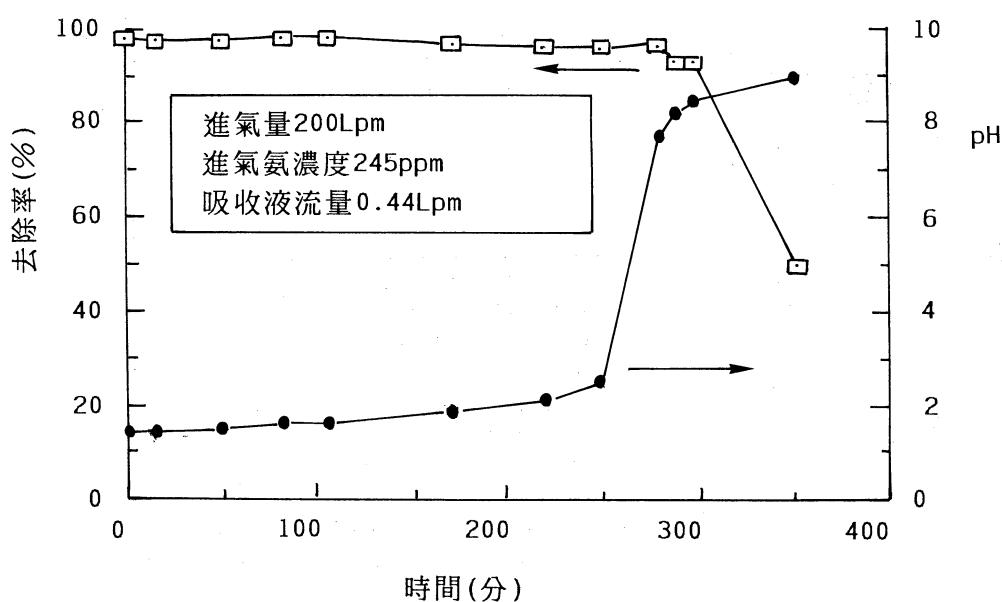


圖 10 0.25%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  水溶液吸收結果

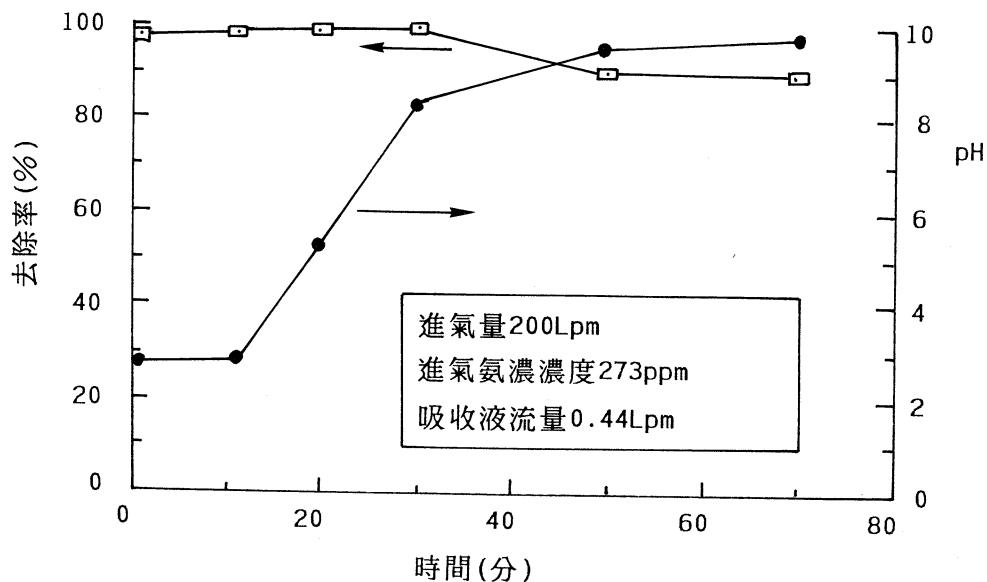


圖 1-1 0.1% NaOCl+0.05% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液吸收結果

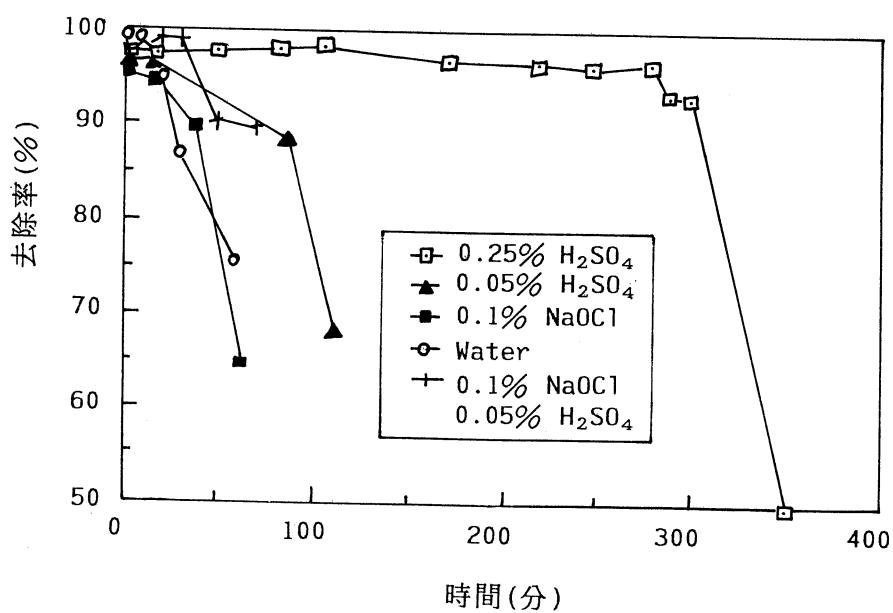


圖 1-2 各種吸收液效率比較

## 5.2 更換吸收液之指標

在實驗中可以瞭解到加入某些反應試劑，可以延長吸收液的使用時間，洗滌塔反應試劑的濃度可以用量測溶液性質來控制與連續監測，例如氧化還原電位、電導度，以反應劑的氧化作用來控制，通常需要一個較適的pH值。對於氫氧化鈉或硫酸溶液，最適合的是pH值的測定(1)。

從圖7至圖11中，可以發現吸收液pH值變化與去除效率關係密切，吸收液達到中性以後，吸收效率則明顯下降，表示根據pH值變化，作為更換吸收液的指標，在氨氣的吸收上十分實用。

若根據酸、鹼中和的觀點來看，以硫酸溶液吸收氨，吸收效率變化應該可以當量來推估，圖13為將吸收液中吸收之氨氣量與去除率相互對照作圖。 $0.25\% \text{H}_2\text{SO}_4$ (10L)約和21(L)氨氣等當量，而 $0.05\% \text{H}_2\text{SO}_4$ 相當於4.2(L)。從圖中可見吸收尚未達到當量點時，吸收去除率即下降很多，與文獻(8)頗有差異，理論上應該是超過當量點後（加上水可溶解氨氣部分），去除率才會明顯下降。

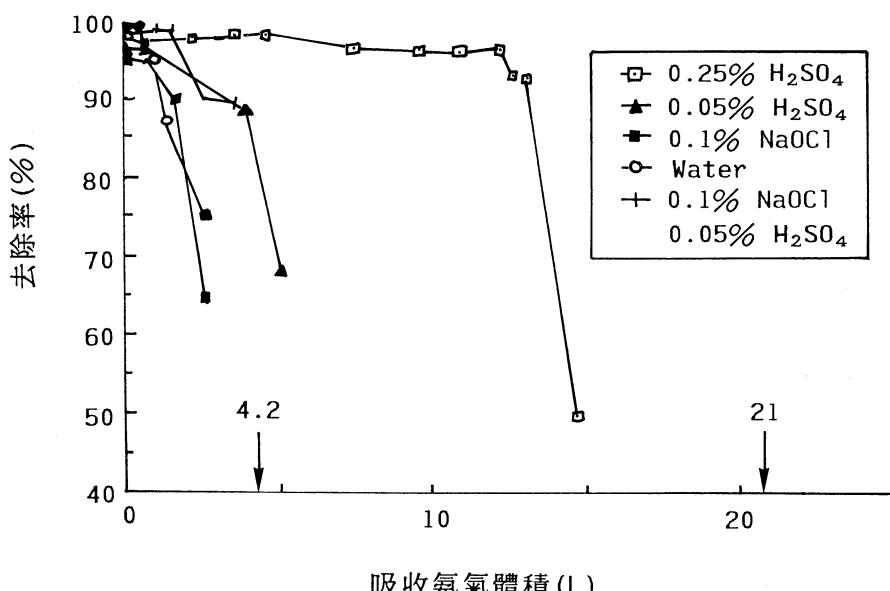


圖13 各種吸收液吸收氨氣體積與去除率關係

檢查結果為實驗誤差造成，不過由於一般臭味氣體質量不穩定且多變化，利用當量只能做為更換吸收液之概估，使用pH值變化做為氨氣吸收，更換吸收液的指標應該較為理想。

### 5.3 模式模擬結果與檢討

本研究使用電腦程式，修改自參考文獻(11)，(12)，(13)主要計算式有以下數個（至於詳細情況請參閱原文）。

$$D = [(4/\pi)(100/FF)(W/G)]^{1/2}$$

$$H_{column}^t = N_{OG} H_{OG}$$

$$N_{OG} = \ln(HAP_e/HAP_o)[1 - (1/AF)] + (1/AF) / [1 - (1/AF)]$$

$$AF = L_{mol}/m \cdot G_{mol}$$

$$H_{OG} = H_G + (1/AF)H_L$$

$$HG = [b(3600G_{area})^c / (L'')^d] (ScG)^{1/2}$$

$$HL = Y(L''/\mu L'')^s (S_{CJ})^{1/2}$$

$$\Delta Pa = (g \times 10^{-8}) [10_{(rL/\rho L)}] (3600G_{area})_2 / \rho G$$

D : 填充塔內徑(ft)

FF : 溢流速度百分數

W : 氣體重量流率(lb/hr)

G : 氣體比流率(lb/hr-sq ft)

H<sub>t column</sub> : 填充層高度(ft)

N<sub>OG</sub> : 氣體傳輸單位數

H<sub>OG</sub> : 一個總氣體傳輸單位的高度(ft)

HAPe : 出口空氣污染物濃度

HAPo : 入口空氣污染物濃度

AF : 吸收係數

$L_{mol}$ ：吸收液流率( $lb\text{-moles/hr}$ )

$G_{mol}$ ：氣體流率( $lb\text{-moles/hr}$ )

$M$ ：平衡線斜率

$HG$ ：氣體傳輸單位高度(ft)

$HL$ ：液體傳輸單位高度(ft)

$b, c, d, Y, s$ ：經驗填充常數

$L''$ ：液體流率( $lb\text{-}/hr\text{-ft}^2$ )

$\mu L''$ ：液體黏滯度( $lb\text{/ft}\text{-hr}$ )

$S_{CG}$ ：氣體之Schmit Number

$S_{CL}$ ：液體之Schmit Number

$\Delta P_a$ ：壓力降( $lb\text{/ft}^2\text{-fr}$ ) $g, r$ ：填充係數

$G_{area}$ ：單位面積氣體流率( $lb\text{/ft}^2\text{-sec}$ ) $L$ ：液體流率( $lb\text{/hr}$ )

$\rho L$ ：液體密度( $lb\text{/ft}^3$ )

$\rho L$ ：液體密度( $lb\text{/ft}^3$ )

### 5.3.1 壓力損失－填料高度的推求

處理氣體經過吸收塔填充層，由於填充物、管壁以及液體等因素，會產生產力損失(壓降)。壓力損失可用經驗公式估計(14)，由本研究使用之模式計算出填充塔B(內徑10cm)在不同處理風量與吸收液流量下，其程式輸出值繪成圖14，處理風量與吸收液流量增加時，壓降會隨之增大。

填充塔的壓力損失對去除率並不致於造成影響，但是卻與使用動力(電力)的大小有很大關係，壓降太大會造成動力消耗，增加處理成本，所以亦是設計上所不可忽視的。

從程式中也可以求出要達到某一去除率時，所需填充層的高度，圖15即為程式輸出結果。上述輸出為針對填充塔B，在吸收液流量60lb/hr，處理風量7 ft<sup>3</sup>/min的情況下。由圖中可以發現，要達到高去除率(由90%至99%)，所需增加的填充層高度快速增加。

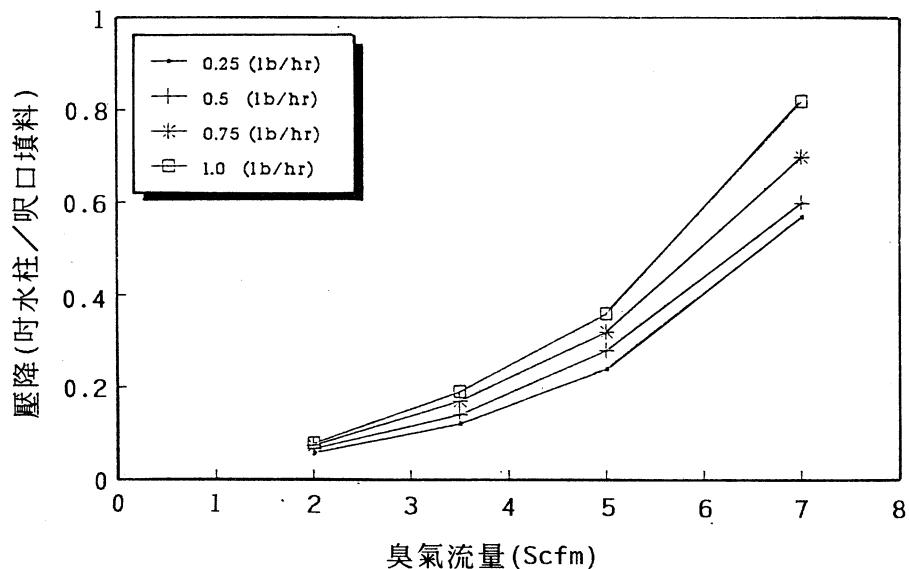


圖 1 4 處理風量與吸收液流量對壓降之影響  
(填充塔B 模式輸出結果)

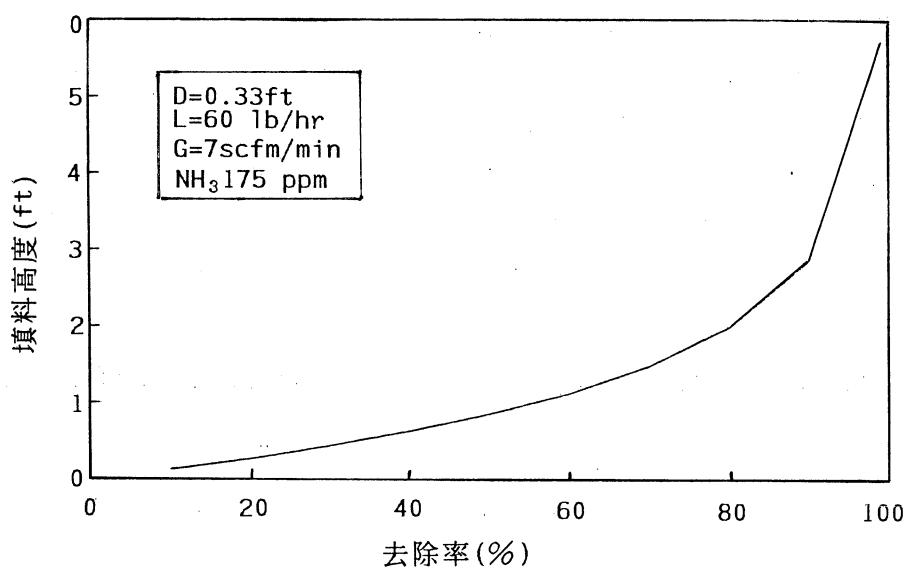


圖 1 5 填充塔B 填料高度與去除率之關係  
(模式輸出結果)

### 5.3.2 模擬值與測值之比較

根據填充塔B的實驗資料與模擬值比較（圖16），實驗所得到的去除率遠較預測值為佳，推測可能有以下兩個原因：

- (1) 實驗使用的吸收液為自來水，而非蒸餾水，自來水中含氯，會與氨產生化學反應，使得實驗吸收效果較預測值好。
- (2) 在參考文獻（圖17）中，使用的斜率m值為1.33，此為高濃度時的平衡，若於低濃度時應遠小於1.33，圖16使用的m值為0.05，因為本研究屬於低濃度下操作。若再降低m值，會使實測值與預測值更接近，不過查不到低濃度之m值，m值應該會隨濃度而變，所以無法確實加以評估。

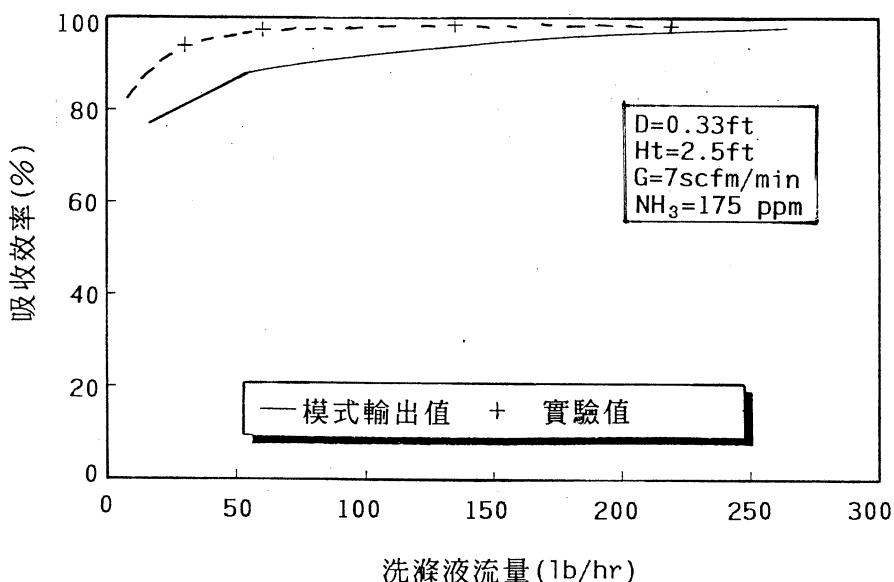


圖16 填充塔B之實驗與模擬值比較

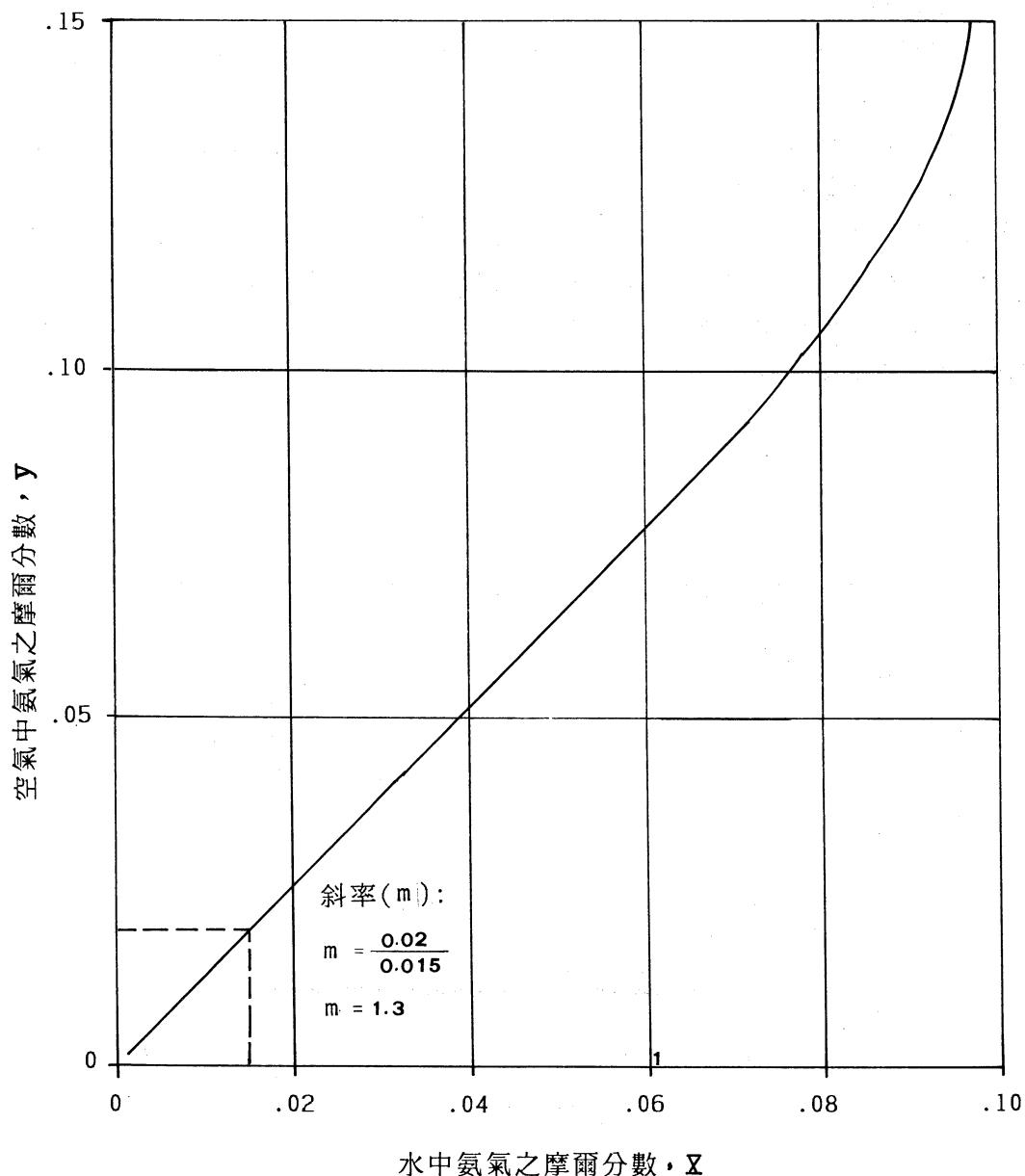


圖 17 氨氣-水-空氣之平衡( $86^{\circ}\text{F}$ , 1 atm)

## 六、結論與建議

1. 使用水為吸收劑吸收氨氣時，採用不循環方式，可以達到極佳的處理效果，不過如此需要使用大量的水，造成用水成本的增高。
2. 利用硫酸水溶液來吸收氨氣（吸收液循環使用）、可以長時間維持高吸收效率，硫酸濃度愈高，維持愈久。
3. 以氨氣的吸收為例，高濃度(1%以上) 時可以利用現有程式，計算出各種操作條件的去除率。但在低濃度（數百ppm以下時），其吸收行為比較複雜，較不易準確的算出結果。
4. 一段式試劑洗滌無法減少臭味至需求時，通常可使用多段式洗滌系統。例如在處理 amines和脂肪酸 (fatty acids)，第一段可使用弱鹼鹼化脂肪酸；第二段使用硫酸與 amines反應產生sulfates(15)。
5. 正確地選擇設備材料是洗滌塔成功操作一項重要因素，像含SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>、HCl，HF、Cl<sub>2</sub>的氣體被吸收進入液體中。大部份高效率洗滌器會使高溫的進氣冷卻至飽和溫度而形成酸以及一些腐蝕性物質，很容易腐蝕鋼、不鏽鋼、和特殊用途的合金。腐蝕會因下列因素的存在而加速：高入口溫度、磨蝕顆粒，高氣體速度、循環使用腐蝕性洗液。  
材料的選擇必須根據特殊的用途，一般常用的準則是根據經驗或模廠試驗，選擇材質最重要的考慮因素為待處理廢氣的性質：溫度、壓力、化學組成、速度、洗滌液之性質和流速需求。
6. 工程師必須先分析廢氣的物理及化學性質，例如污染的濃度、平衡時之溶解度、溶液與反應之熱值，污染物必須減少的程度，對於問題充分瞭解後，才能在設備的選擇上有信心(16)。
7. 吸收速率取決氣體／液體的物理性質（如：黏滯度、密度）與吸收塔操作的條件（如：溫度、氣體與液體的流速）。在下列情況下操作可增加吸收速率：降低溫度、增加接觸面積、提高液氣比，提高氣體成份濃度。
8. 通常工廠的臭味成份極為複雜，無法於實驗室進行去除效率之研究，唯有前往現場進行模廠(Pilot Plant)試驗，才能有效掌握臭味污染源的特性，由模廠試驗結果，設計適合的處理程序與方法解決臭味問題。

## 七、參考文獻

- (1)行政院環保署空保處編印 "中華民國七十六年台灣地區空氣污染防治總檢討" 中華民國78年2月。

- (2)Kenson, R.E., "Controlling Odors,"Chemical Engineering,January, P.P94-100 1981。
- (3)Kumar, R. and Van Sloun, J.K., "Purification by Adsorptive Separation", Chemical Enginerring Process, January,pp.34-40 1989。
- (4)Ycom, J. E. and Duffee, R. A., "Controlling Industrial Odors, "Chemical Engineering, June, PP.160-168 1970。
- (5)行政院環保署譯"惡臭防制技術參考手冊"中華民國77年6月。
- (6)國部進著，歐靜枝譯著，"脫臭新技術基礎"，後漢出版社，74年12月。
- (7)黃欽選等"活性碳在廢氣處理之應用"化工資訊 PP.12-25 79年3 月。
- (8)顏秀慧"無機酸鹼性臭味氣味之吸收處理"國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文78年6 月。
- (9)經濟部中央標準局"中國國家標準：CNS-K9099"。
- (10)Standard Methods:For the Examination of Water and Wastewater.16th ed.1985。
- (11)Tom C.Tsai, "Packed-towr Program Has Special Features",Oil & Gas Journal PP 77-80 Sept 2, 1985。
- (12)EPA, Research Triangle Park,NC,"Evaluation of Control Technologies for Hazardous Air Pollutants, Volume 1. Technical Report ",Pacific Environmental Services, Inc.1985.
- (13)EPA, Research Triangle Park, NC,"Evaluation of Control Technologies for Hazardous Air Pollutants Volume 2. Appendices ",Pacific Environmental Services, Inc. 1985。
- (14)鄭福田 "空氣污染防治(五)"工業污染防治第6 期PP73-92。
- (15)Industrial Air Pollution Engineering,"Automatic Control of Reagent Feed Boosts Wet-scrubber Efficiency",Vincent Cavaseno and the Staff of Chemical Engineering, McGraw-Hill Publications Co, New York, N.Y. 1980。
- (16)Industrial Air Pollution Engineering "Equipment for Controlling Gaseous Pollutants",Vincent Cavaseno and the Staff of Chemical Engineering,McGraw-Hill Publications Co., New York N.Y.1980。