

操作績效自我評估管理制度手冊

酸鹼性氣體洗滌塔

撰稿者：白曠綾 教授

陳建志

補助單位：科學工業園區管理局

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

中華民國九十二年十二月 第二版

目錄

1.1 洗滌塔基本原理	3
1.2 洗滌塔之常見問題說明及改善對策	11
2.3 洗滌塔之操作維護紀錄項目	15
1.4 洗滌塔之操作績效自我評估	20

附件一 洗滌塔填充物資料

附件二 操作效能自我評估管理記錄表

圖目錄

圖 1 填充式洗滌塔之構造 ^[2]	4
圖 2 在溫度為 20°C，壓力為 1 atm 下 HCl 之去除效率對 τa 變化圖	10
圖 3 在溫度為 20°C，壓力為 1 atm 下 HF 之去除效率對 τa 變化圖	10
圖 4 循環水槽 pH 值管制圖	23

表目錄

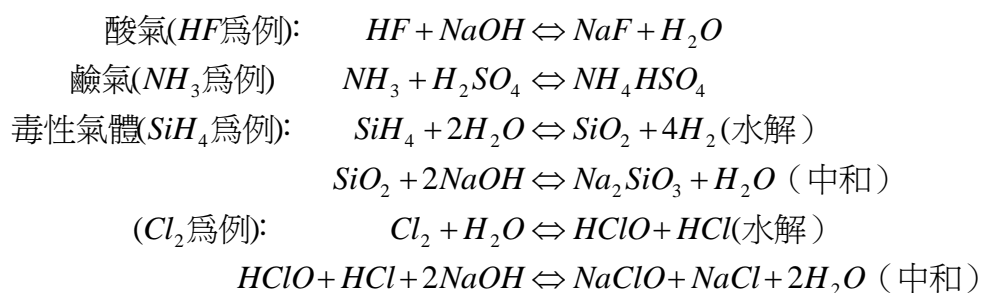
表 1 酸、鹼性氣體處理設備比較表 ^[3]	5
表 2 HCl、HF、NH ₃ 之 $K_G a$ 值 ^[4]	9
表 3 洗滌塔常見問題說明及改善對策整理表	14
表 4 污染防制設備建議檢測及紀錄項目	18
表 5 洗滌塔操作維護紀錄項目填寫範例	19
表 6 洗滌循環水槽 pH 值紀錄表填寫範例..... 錯誤！尚未定義書籤。	

本手冊收錄園區內常見使用之防制設備—酸鹼性氣體洗滌塔之操作效能自我評估管理制度（含日常操作維護紀錄項目），藉由實務操作經驗使自我評估管理制度更趨完善，並使工廠更能兼具操作績效且達到自我管理之目的，以下敘述其內容。

1.1 洗滌塔基本原理

目前對於無機酸鹼性氣體之處理方法主要以吸收法為主，其原理為藉由氣液兩相接觸之氣體吸收程序，將氣體中之溶質吸收輸送至液體內部，常見之吸收洗滌裝置有：噴淋塔(spray column)、板式吸收塔(plate absorption tower)及填充塔(packed tower)等^[1]，所用之裝置，必須能使氣體與液體充分接觸，以提高吸收效率。其中又以填充塔為各種氣體吸收洗滌塔中最被廣泛使用，而園區內半導體及光電業廠家，也多以使用濕式洗滌塔來作為處理酸性及鹼性氣體之防制設施。表 1.1 即為酸、鹼性氣體處理設備比較表。

濕式洗滌塔可處理廢氣中之粒狀物，同時亦可去除廢氣中所含之氣態污染物，而對某些氣態污染物而言，可以生產或回收有用之化學物質，且可緩衝污染物之突增負荷，繼續維持高效率操作。其噴出洗滌液之反應，舉例說明如下：



填充式洗滌塔之構造如圖 1 所示，塔中通常填充著比表面積甚大之填料物(packing)，其目的乃欲使氣體與液體間具有充分接觸之機會。操作時，氣體混合由塔底進入，液體吸收劑則自塔頂由一分佈

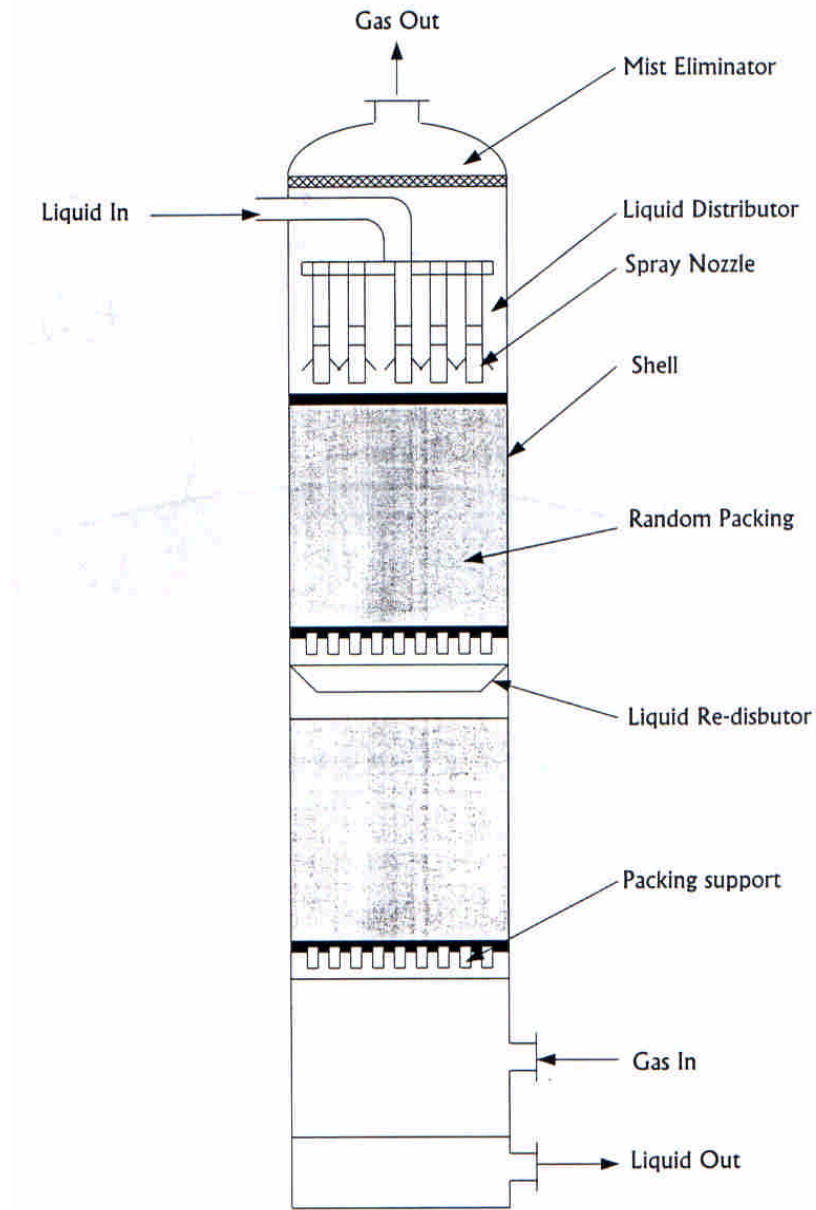


圖 1 填充式洗滌塔之構造^[2]

表 1 酸、鹼性氣體處理設備比較表^[3]

設備名稱	設備特點
交叉流式洗滌塔 (Cross Flow Scrubber)	<ol style="list-style-type: none"> 1.設備內外表面有最大之抗腐蝕性，以確保使用壽命減少維修成本。 2.洗滌塔底部的循環水槽，提供有 2 至 5 分鐘之循環水量。 3.洗滌液可循環使用，亦可設計為批次操作或連續式自動操作，洗滌液分佈設計中採用低壓較大水量之噴嘴，發揮最之均勻流率，達到最高之洗滌效率。
濕式洗滌塔 (Wet Scrubber)	<ol style="list-style-type: none"> 1.去除效率高，以同時處理氣狀與粒狀污染物。 2.設置費用較低。 3.可冷卻高溫氣體，但易造成設備腐蝕問題。 4.易造成二次污染問題，並增加排煙之不透光率。 5.對粒狀物粒徑介於$1\mu\text{m}$及$1.0\mu\text{m}$之去除效率較低。
橫臥式洗滌塔 (Dia-T type Scrubber)	<ol style="list-style-type: none"> 1.由於採橫臥式，故塔身較低，可置於建築物頂樓或室內、高度受限之區域。 2.設備功能彈性大，可為單段或多段式藥液吸收層設計。 3.去除效率佳，操作維護容易。
Wet Cyclone Scrubber	<ol style="list-style-type: none"> 1.對於 mist 及 dust 的去除效率較噴霧式為佳。 2.較低的能源需求。 3.使用高壓噴嘴，產生極小的液滴，能增進處理效率。
Venturi Scrubber	<ol style="list-style-type: none"> 1.對微粒的去除效率可達 80 至 90%。 2.pressure drop 易於調整。 3.欲達更高的去除率，可以使多組串連。
Packed Bed Scrubber	<ol style="list-style-type: none"> 1.流量範圍為 100 至 10^5acfm。 2.高去除效率與填充塔高度、流率及使用之液體組成有關。 3.能同時提供各種不同的洗滌。 4.多床式的填充塔能同時去除多種的氣體污染物。

器噴淋而下，然後在其流經填料的途中，與逆流而上之氣體接觸，並吸收氣相中之溶質，遂成一溶液自塔底流出。

一般而言填料在使用時，其堆置的方式常可成兩大類^[2]：1.任意堆置(dumped packing)之填料、2.整齊堆置(stacked packing)之填料。而園區廠家多半使用價廉質輕之塑膠材質填料，並以任意堆置方式填充。一般在設計洗滌塔時亦須考慮幾個部份^[1]：

- (1) 尺寸：為使氣體速度均勻一致，並在可能發生迴流之處設置分調節板。
- (2) 噴嘴的選擇：一般洗滌液為循環使用，故高壓噴嘴式的洗滌塔對於所使用的液體要求最嚴格。
- (3) 液體處理設備：為防止洗滌液造成環境污染問題，因此經常循環使用洗滌液以減少廢水量，但也因此增加了污染物的濃度，另外選擇不同的洗滌液可同時處理不同的氣體。由於洗滌廢液具有腐蝕性，故亦需使用防蝕性材質。
- (4) 潤濕因子：填充式洗滌塔為一利用洗滌液體與氣狀污染物之氣液接觸，進而吸收處理污染物之設備。因此，為了使液體能夠均勻分佈在填充物上，已增加氣體與液體完全接觸之面積。所以，洗滌液體的澆注量需符合最小潤濕因子(Minimum-Wetting Factor：MWF)值的要求，其計算公式和規範中所規定的值如下：

$$MWF = V_L / a > 0.1 \text{ m}^2/\text{hr}$$

$$MWF = V_L / a = 0.1 \text{ m}^2/\text{hr} \times 1 / 3600 \text{ hr}/\text{sec} = 2.78 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$$

其中 V_L =液體空塔流速； a =填充物比表面積

即當填充物之 $a=95 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ，其所需之最小 $V_L=2.64 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ ，因此如果已知洗滌塔之截面積，則最小液體流量即可據此評估得。

(5) 填充物之比表面積：填充物有非常多種，其可選擇之直徑尺寸從 30 mm 到 95 mm 都有。在選擇尺寸時，應以塔徑之 1/10 至 1/8 為原則，過大或過小會影響效率^[2]。而材質之選擇以惰性、耐酸鹼及便宜為主。填充物之主要功能為：使液體能均勻分佈而增加質傳效率及氣、液體在槽中的均勻接觸。目前，園區內半導體廠商所使用洗滌塔之填充物以 Tellerettes、Tripack、VSP 及 Hacketten 為主。尺寸為 50 至 83 mm，在此尺寸下各廠牌之比面積大多在 92 至 128 m^2/m^3 之間。因此皆符合規定填充物的比面積大於 90 m^2/m^3 。因為增加比表面積將增加質傳效率，根據填充物廠商所提供之資料來看，質傳效率隨著液體流量而增大，但各廠牌之商品在相同尺寸下卻相差不大，填充物之基本資料如附件一。

(6) 液氣比：洗滌塔是利用液體將空氣中污染物吸收處理，所以液氣比為一相當重要之操作參數，其對洗滌塔的效率有很大的影響。而由最小潤濕因子(Minimum-Wetting Factor：MWF)值的要求，以填充物之 $a = 90 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 為例，其所需之最小液體流速 $V_L=2.5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ 。而當氣體流速(V_G)大於 2.5 m/s 時，易導致溢流(flooding)現象之發生。而最佳氣體流速為溢流點(flooding point)流速之 60 % 至 80 %。即 $V_G = 1.75 \text{ m/s}$ ，則所需液氣比(L_M/G_M)為：

$$L_M/G_M = (V_L \times A \times \rho_L) / (V_G \times A \times \rho_G) \quad (1)$$

$$= (2.5 \times 10^{-3} \times A \times 1000) / (1.75 \times A \times 1.17) = 1.22$$

其中 ρ_L 和 ρ_G 為液體和氣體之比重(Kg/m^3)、A 為塔之截面積。

(7) 操作參數之評估與設計：根據 Perry's Chemical Engineers'

Handbook^[4]：其總傳輸單位數(Number of overall mass transfer unit ; N_{OG})，可由氣液平衡關係求出。一般處理如 HCl、HF、 HNO_3 、 H_3PO_4 、 H_2SO_4 和 NH_3 等 Henry's constant 極小之氣體，在利用酸式洗滌塔處理時，其酸氣濃度不高，又因為具化學反應之吸收洗滌。因此， N_{OG} 計算公式可簡化如下：

$$N_{OG} = \ln (y_{in} / y_{out}) \quad (2)$$

$$y_{out} / y_{in} = \exp (-N_{OG}) \quad (3)$$

令效率為 η

$$\begin{aligned} \eta &= \left(1 - \frac{y_{out}}{y_{in}} \right) \times 100\% \\ &= [1 - e^{-N_{OG}}] \times 100\% \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $N_{OG} = Z_T / H_{OG}$; $H_{OG} = G_M / (K_G \times a)$,

則

$$\eta = \left[1 - e^{-\frac{Z_T K_G a}{G_M}} \right] \times 100\% \quad (5)$$

實際上，由於工廠之處理風量無法改變，故操作參數將從填充物高度 Z_T 及填充物比表面積 a 來著手。指標污染物種為 HCl 與 HF 時，由於許多工廠在實際應用上之處理風量 Q 、填充高度 Z_T 及填充物比表面積 a ，皆有所差異。因此，我們引進一個變數 τa ；

$$\tau a = \tau \times a \quad [s \cdot m^2 / m^3] \quad (6)$$

$$\tau = \text{滯留時間} \quad [sec]$$

a = 填充物比表面積 [m²/m³]

則在 T = 20°C, P = 1 atm 下

$$\eta = \left[1 - e^{-0.0234\tau a K_G} \right] \times 100\% \quad (7)$$

所以，對於酸性氣體洗滌塔而言，只要知道欲處理之物種，總氣膜傳輸係數 K_G 可由 Perry's Chemical Engineers' Handbook^[8] 得知，在操作條件為：38 mm ceramic Intalox saddles、P=1atm、T=16-24°C 時，HCl、HF 與 NH₃ 之 $K_G a$ 值如表 2 所示，在代入處理效率後即可得 τa 值。

(8) 填充高度之設計：其中 $K_G = K_G a / a$ 可由表 2 求得。而決定比表面積後可得填充塔滯留時間 τ ，再由

$$Z_T = \tau \times V_G \quad (8)$$

其中 Z_T 即為為填充物之填充高度。

表 2 HCl、HF、NH₃ 之 $K_G a$ 值^[4]

Gas phase reactant	Liquid-phase reactant	$K_G a$ (kmol/h-m)	$K_G a$ (mol/s-m ³)
HCl	H ₂ O	353	98.05
HF	H ₂ O	152	42.22
NH ₃	H ₂ O	337	93.61

因此只要改變 τa 值，即可代入效率預測公式(7)，圖 2 及圖 3 即為預測之結果。

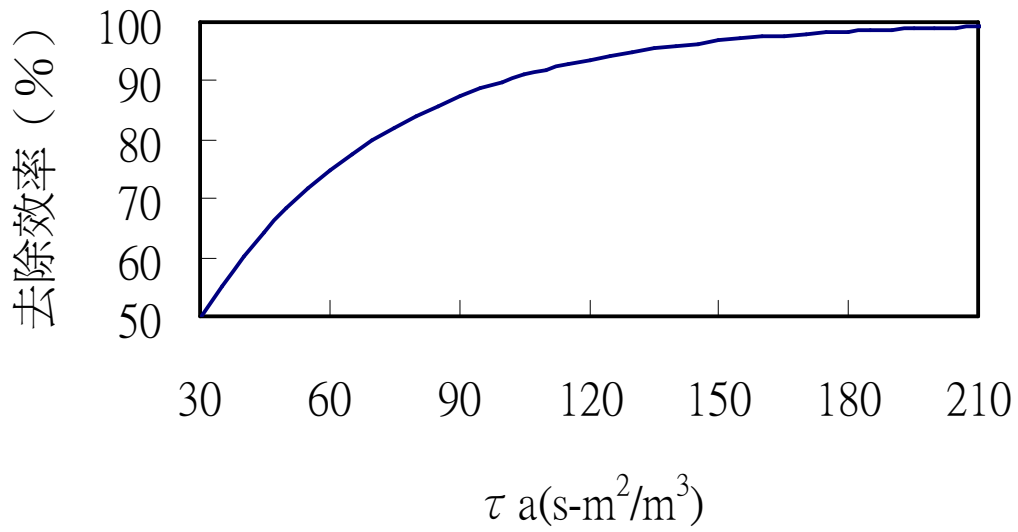


圖 2 在溫度為 20°C，壓力為 1 atm 下 HCl 之去除效率對 τa 變化圖

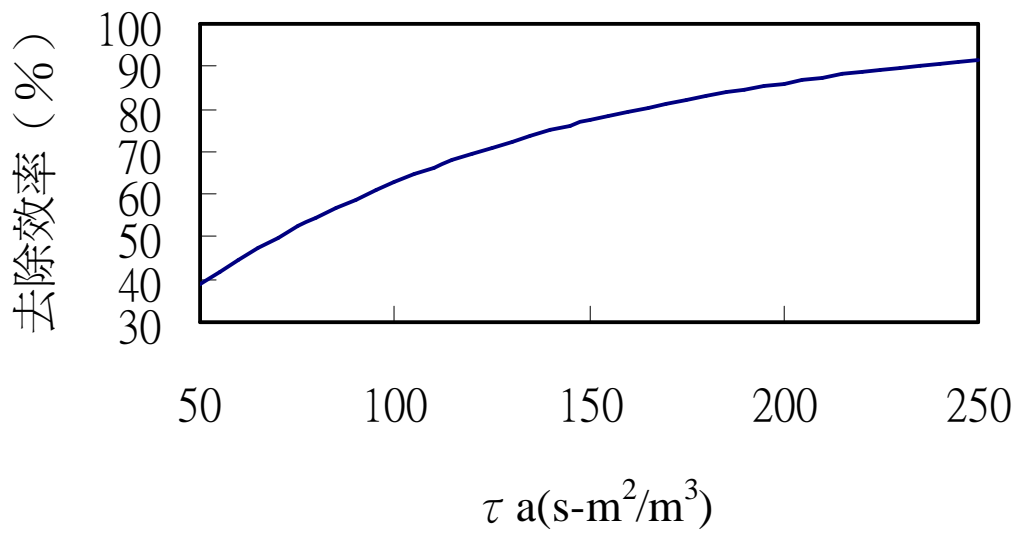


圖 3 在溫度為 20°C，壓力為 1 atm 下 HF 之去除效率對 τa 變化圖

1.2 洗滌塔之常見問題說明及改善對策

濕式洗滌填充塔由於其設備為連續式操作，且濕式洗滌塔通常將洗滌液循環使用，因此長時間操作之下，難免會有各種問題發生。若洗滌液中粒狀物含量太高，將易造成填料、管線、噴嘴、流量計中之粒狀物堆積，造成噴嘴堵塞、管徑變小或是浮子流量計卡死。又因其為濕式洗滌，故容易造成洗滌後之氣體相對濕度偏高的問題等。表 3 為洗滌塔常見問題說明及改善對策整理表，經由此表將可以很快透過徵兆的發現，明白問題之產生原因，進而針對問題進行改善。表中之各項操作問題，將詳細之說明如下：

(1) 噴淋嘴阻塞

洗滌塔中之粒狀物顆粒易堆積於流速較低的地方如：管線、浮子流量計上端、噴嘴口或填料上。其中管線、流量計、噴嘴的堵塞通常可由噴嘴噴出液滴變化得知(噴淋角度變小或偏斜，流量變小等)，除此之外流量計流量不正常，壓降升高也是一種徵兆。

因此，設計時應選用適當的噴嘴(可通過的液體量及顆粒的大小)及管線口徑，並且經常清洗，定時更換洗滌液。而在設計上，應增設閥及流量計的旁通(bypass)管線。並在循環水槽中增設柵欄以阻隔粒狀物被泵吸入。

(2) 填充物結垢

酸鹼洗滌塔中粒狀物顆粒的堆積，主要原因為來自廢氣中所攜入的粒狀污染物的沉澱，以及因化學反應所產生的結晶沉澱，如 NaOH 水溶液與廢氣中之酸性氣體所形成之鹽類結晶。

其解決方法可藉由增加液氣比，控制 pH 值、增加循環水槽中洗滌液停留時間、增設再分佈器、選擇效果較佳澆注器及添加化學藥劑等方式，並且每年固定清洗或更換填充物，來改善操作結垢狀況。

(3)洗滌塔之生物黏膜附著

填料、管線、噴嘴、流量計生物黏膜附著的情形，通常在 VOC_S 氧化處理程序中之洗滌塔，較常出現。但一般酸鹼洗滌塔的操作中並不構成問題，但若是廢氣中含有揮發性有機物(提供微生物生長所需之碳源)，且使用的洗滌液中含有氮鹽(NO₃⁻或 NH₄⁺，如使用地下水，或廢氣中含有硝酸或氨氣)，則生物黏膜生長的情形會較嚴重。

一般在設計之初，即避免 VOC_S 與含氮氣或硝酸氣體的廢氣進入同一洗滌塔，並應避免使用地下水、廢水生物處理後之放流水以及 RO 逆滲透的濃縮廢水。而生物黏膜生長後，則需於洗滌塔定期維護時，利用殺菌劑將生物膜剝除。浮子式流量計，因陽光照射，容易有青苔生長的問題。平時可將流量計遮蔽，只在監測流量時將遮蔽物卸下，監測後再重新遮蔽的方式以避免青苔的生長，並定期拆卸清洗。

(4)白煙問題

濕式洗滌塔，容易造成洗滌後之氣體，相對濕度偏高的問題，一般洗滌塔出口之溫度約為 20 至 30°C，相對濕度約為 85 %至 90 %，因此，使排放之煙囪容易產生白煙的問題。所以在設計洗滌塔時，應注意洗滌液之澆注口不宜過小，否則易產生液滴，而使濕度增高。在塔頂增設除霧器(mist eliminator)，可濾除一些水蒸氣。

(5)洗滌塔處理效率降低

當洗滌塔煙道監測濃度過高或有明顯之異味時，表示其吸收效率降低，造成這個因素通常是由於循環水之 pH 值過低、循環水量不足、液體分散不均或槽化產生所引起。上述原因造成吸收效率降低、接觸時間不足及短流發生，因而使處理效率降低。所以，應檢查 pH 探測針是否正常、加藥系統之泵、閥或管線是否堵塞、循環水之泵、控制閥或管線是否正常、清理液滴分散器或增設再分佈器並檢查清理填充物是否結垢、腐蝕或壓堆變形。

表 3 洗滌塔常見問題說明及改善對策整理表

操作問題	徵兆	問題原因說明	改善對策
噴淋嘴阻塞	噴嘴噴淋角度變小或偏斜。	<ol style="list-style-type: none"> 1.來自廢氣中所攜入的粒狀物污染物的沉澱。 2.因化學反應所產生的結晶。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.循環水槽中增設柵欄以阻隔粒狀物被泵吸入，設計時應選用適當的噴嘴及管線口徑，並且經常清洗。 2.定時更換洗滌液，並增設閘及流量計的旁通(bypass)管線。
填充物結垢	流量計流量不正常或壓降升高。	因化學反應所產生的結晶。	增加液氣比，控制 pH 值、增加循環水槽中洗滌液停留時間、增設再分佈器、選擇效果較佳澆注器及添加化學藥劑，並且每年固定清洗或更換填充物，來改善操作結垢狀況。
洗滌塔之生物黏膜附著	浮子式流量計有青苔生長。	廢氣中含有揮發性有機物(提供微生物生長所需之碳源)，且使用的洗滌液中含有氮鹽(NO_3^- 或 NH_4^+)如使用地下水，或廢氣中含有硝酸或氨氣。	避免 VOCs 與含氨氣或硝酸氣體的廢氣進入同一洗滌塔，並應避免使用地下水、廢水生物處理後之放流水以及 RO 逆滲透的濃縮廢水。而生物黏膜生長後，則需於洗滌塔定期維護時，利用殺菌劑將生物膜剝除。
白煙問題嚴重	煙囪出口有明顯之白煙	<ol style="list-style-type: none"> 1.洗滌後之氣體濕度過高。 2. SiO_2 微粒成為飽和水蒸氣之凝結核。 3. NH_3 存在於酸性廢氣中。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.檢查是否塔頂液體分散器之噴嘴力道過強，導致水滴以噴霧狀被氣流帶出，形成過飽和之水氣。裝設除霧器或提高除霧效果；如為篩網式，篩口徑大小直接影響除霧效果。 2.可於 local scrubber 處改裝焚化裝置後，直接串聯袋式集塵器，可有效去除 SiO_2，且此在園區內已有實例。 3.檢視管線，查看是否酸、鹼氣體有混和排入洗滌塔內。 4.檢視 NH_3 是否有效去除，因為在 local scrubber 焚化 NF_3 時亦可能產生 NH_3。
洗滌塔處理效率降低	煙道監測濃度過高或有明顯之異味	<ol style="list-style-type: none"> 1.循環水之 pH 值過低或過高。 2.循環水量不足。 3.液體分散不均。 4.槽化產生。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.檢查 pH 探測針是否正常。檢查加藥系統之泵、閘或管線是否堵塞。 2.檢查循環水之泵、控制閘或管線是否正常。 3.檢查並清理液滴分散器或增設再分佈器。 4.檢查並清理填充物是否結垢、腐蝕或壓堆變形。

2.3 洗滌塔之操作維護紀錄項目

洗滌塔為園區大多數廠商用來處理酸性氣體時之主要設備，然而其效果之維持有賴於平日之保養與維護，因此若能確實做好檢測紀錄，則能提早發現各種問題並加以改善，如此將使設備之操作效能提升並能延長設備之使用期限，達到環保與經濟之雙重目標。

平日保養方面應每日紀錄事項如表 4 所示，其中包含有：洗滌塔之處理風量、處理前後壓差、洗滌循環水量、洗滌水 pH 值，以及估算潤濕因子(洗滌循環水量÷填充物比表面積÷與氣流垂直之填充段截面積)，此外處理前、後濃度應定期檢測並紀錄，且定期更新/清洗塔中填充物。

每日紀錄洗滌塔之主要操作參數如表 5 所示，其中包含洗滌塔設備操作參數其中固定參數為(1)填充段水平截面積。(2)填充段高度。(3)填充物比表面積。操作參數則為(4)循環水槽之 pH 值。(5)處理風量。(6)洗滌循環水量。(7)潤濕因子。(8)空塔滯留時間。保養維護記錄包含：(9)循環水管線壓力差(10)導電度(11)填充物清洗/更換紀錄(12)pH 計清洗/更換紀錄(13)洗滌液更換紀錄

其說明如下：

- (1)填充段水平截面積為：濕洗滌設備內部裝載填充物部份之水平橫截面積，單位為 m^2 。
- (2)填充段高度為：設備內部裝載填充物部份之高度，單位為 m。
- (3)填充物比表面積為：濕式洗滌設備內部裝載填充物之表面積與體積之比，其目的為增加廢氣與洗滌液之氣液接觸時間。法規中規

定填充物比表面積需大於 $90 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。

- (4) 循環水槽之 pH 值：為了使酸性氣體在洗滌液中產生中和反應，以加大削減效率，法規中規定洗滌液之 pH 值需大於 7 以上。
- (5) 處理風量：濕式洗滌設備內部流過填充物之廢氣體積流量，單位為 m^3/hr 。
- (6) 洗滌循環水量：濕式洗滌設備內部流過填充物之洗滌水體積流量，單位為 m^3/hr 。
- (7) 潤濕因子：洗滌循環水量/(填充物比表面積 \times 洗滌塔填充段水平截面積)，單位為 m^2/hr 。為了使液體能夠均勻分佈在填充物上，以增加氣體與液體完全接觸之面積，所以洗滌液體的澆注量需符合最小潤濕因子的要求(大於 $0.1 \text{ m}^2/\text{hr}$)。
- (8) 空塔滯留時間：濕式洗滌設備中氣體流過填充段之時間，單位為 sec。
- (9) 循環水管線壓力差：裝設水壓計於洗滌塔循環水槽之管線中，測量管線之壓力降，若壓力降過大則顯示水槽中之填充物結垢問題嚴重，單位一般為 in-H₂O。
- (10) 導電度：記錄循環水槽之導電度當導電度過大時，表示循環水中陰陽離子過多，應適度補充一些新鮮水並放流部分循環水，除了可以避免影響去除效率外，亦可減低塔中結晶現象。
- (11) 填充物清洗/更換紀錄：紀錄填充物清洗/更換紀錄之時間。
- (12) pH 計清洗/更換紀錄：紀錄 pH 計清洗/更換紀錄。

(13)洗滌液更換紀錄：紀錄洗滌液更換之時間。

表 4 污染防制設備建議檢測及紀錄項目

	紀錄項目	備註
酸性氣體洗滌塔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 處理風量(每日紀錄) 2. 處理前、後壓差(每日紀錄) 3. 洗滌循環水量(每日紀錄) 4. 洗滌水 pH 值(每日紀錄) 5. 潤濕因子估算(洗滌循環水量÷填充物比表面積÷與氣流垂直之填充段截面積)(每日紀錄) 6. 處理前、後濃度(定期紀錄) 7. 洗滌塔填充物更新/清洗(定期紀錄) 	

表 5 洗滌塔操作效能自我評估表填寫範例

洗滌塔編號		A006		記錄日期 92 年 08 月		
自我管理指標 (一)		pH 紀錄 (五)		運轉成本 (六)		備註
運轉成本	45 萬元	日期	(14)pH 值	(19)運轉電費： 10.8 萬元/年		運轉成本 =(23)
不良率	7.14%	92/08/12	7.475	(20)運轉水費： 20.7 萬元/年		不良率 =(18)
標準差	0.7591	92/08/13	8.475	(21)加藥費用： 3.5 萬元/年		標準差 =(17)
設備資料 (二)		92/08/14	6.6	(22)固定保養費用： 10 萬元/年		(7)潤濕因子(>0.1) =(6) / [(1)×(3)]
形式	<input type="checkbox"/> 直立式 <input checked="" type="checkbox"/> 橫臥式	92/08/15	7.65	(23)總費用： 45 萬元/年		(8)空塔滯留時間(>0.5) = 3600 × (1) × (2) / (5)
處理物種	HCl, HF, HNO ₃	92/08/16	8.02			(15)總合 = $\sum_1^n (14)\bar{X}_i$
填充物種類	Tellerette	92/08/17	8.39			(16)總平均：μ = (15)/n
處理前濃度	1975 ppm	92/08/18	8.76			(17)標準差： $\sigma = \frac{\sum_1^n (\bar{X}_i - \mu)^2}{n}$
處理前濃度	180 ppm	92/08/19	9.13			(18)不良率： = pH 值低於 7 比率
設備操作參數 (三)		92/08/20	8.07			(23)總費用： =(19) + (20) + (21) + (22)
固定參數	(1)填充段水平截面積	1.75 m ²	92/08/21	8.44		
	(2)填充段高度	1.2 m	92/08/22	8.81		
	(3)填充物比表面積	95 m ² /m ³	92/08/23	9.18		
操作參數	(4)循環水槽之 pH 值	7.76	92/08/24	7.02		
	(5)處理風量	15000 m ³ /hr	92/08/25	8.07		
	(6)洗滌循環水量	30 m ³ /hr				
	(7)潤濕因子	0.18 m ² /hr				
	(8)空塔滯留時間	0.504 sec				
保養維護記錄 (四)						
9)循環水管線壓力差	2.4 in-H ₂ O					
10)導電度	8.75 s/cm	(15)總合	114.09			
11)填充物清洗/更換	92/08/12	(16)總平均	8.149			
12)pH 計清洗/更換	92/08/12	(17)標準差	0.7591			
13)洗滌液更換	92/08/12	(18)不良率	7.14%			

1.4 洗滌塔之操作績效自我評估

目前大多數廠商，對於法規管制無機酸之控制，多以酸性氣體洗滌塔為主。然而，由於目前我國公告之排放管道無機酸鹼標準檢測方法(NIEA A412.70A、NIEA A409.70A、NIEA A441.11B、NIEA A410.70A 及 NIEA A408.70A 等^[5])無法適當檢測每家廠商無機酸之排放量和濃度，因此經常出現 ND(Non-detectable)值，目前工廠大多以符合「洗滌塔之操作設施條件規範」來控制列管之無機酸排放量。但是可以考慮採用經國外環保機構或是學術驗證過之採樣分析方法，如仍以吸收瓶採樣，但是可以斟酌減少吸收液之填充量，以提高分析時之偵測極限值；或是改為使用擴散採樣管(Diffusion denuder)^[16]或多孔金屬片(Porous metal)^[17]之方式進行採樣，亦可提高其偵測極限值，以便瞭解工廠本身之實際排放量，來因應未來總量管制之趨勢。

在「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」中，排放標準規定的酸性廢氣包括有硝酸、鹽酸、磷酸及氫氟酸等，需符合排放削減率大於 95%，或排放總量小於 0.6 kg/hr 之標準，硫酸標準為排放削減率大於 95%，或排放總量小於 0.1 kg/hr。若未能證明符合前項標準，而以濕式洗滌塔操作時，其操作條件應符合：「設備洗滌循環水槽 pH 值應大於 7、潤濕因子應大於 0.1 m²/hr、填充段空塔滯留時間應大於 0.5 秒、填充物比表面積應大於 90 m²/m³。」

根據本研究群在上年度計畫研究中，若欲達 95% 之去除效率則其操作條件規範須符合：「設備洗滌循環水槽 pH 值應大於 7、潤濕因子應大於 0.1 m²/hr、填充段空塔滯留時間與填充物比表面積之乘積值 τa 應大於 180 sec-m²/m³。」

然而，由於填充段空塔滯留時間，取決於處理風量及填充段水平

截面積，這關係到製程及硬體設備的改變。而填充物之比表面積除了歲修之外不可能更換，因此以上兩者皆不適於廠務部門作為績效改進之指標。至於潤濕因子雖可由改變循環水之流量來改變，但是若使用流量計來控制其流量，則可達到相當精確並符合法規之流量，因此其改變空間亦不大。

但就控制洗滌循環水槽 pH 值方面而言，大多數園區廠家皆設有自動加藥泵浦，而其加藥之 pH 值設定點一般設為 9。然而根據某些廠家之內部監測報告，發現在某些時間點上 pH 值會低於 7 或高於 10，當 pH 值低於 7 時會造成去除效率不足，而過高之 pH 值其並無法顯著提升效率，反而增加藥品使用量亦不符合經濟效益。因此在這方面的控制可作為洗滌塔操作績效之一項重要之指標。

因此我們建議，首先在設備洗滌循環水槽應至少在水槽中及水槽之出口，各裝設一個至兩個 pH 值監測計使其更具代表性。藉由上述之監測計我們應一日多次紀錄其值並計錄之，並由品質管制之觀念設置 pH 值 7 為規格下限，低於規格下限之時間點即為不合格，每月可計算不良率以作為操作績效之重要指標，並針對不合格之時間點找尋原因並改善之。

將 pH 紀錄表與日常維護記錄事項及法規中之設施操作條件重要因子整合在一起，以使表格能更加簡化並具有較完整之功能性，並加入加藥費用及運轉費用之評估，俾使本制度能更加完善，表格中附有計算方法，使廠務人員在日常繁重公務之下亦能以最短時間填寫，本研究群以實行計畫之經驗，並將較為重要之指標：運轉費用、標準差及不良率至於表格較為明顯之處，方便執行操作效能自我評估人員，能迅速、正確由該表格中得到所需之資料，並能針對該指標來進行操作效能自我評估工作。運轉費用包含運轉電費：運轉水費、加藥費用

及固定保養費用，此為操作效能自我評估管理之重要指標之一。

此外為提昇 pH 操作值之穩定性，可以參考一般利用作為品質管
控之統計學方法如表 5 所示，定期求出 pH 操作變化之標準差 σ ，若
標準差愈小則表示操作條件控制能力愈佳，所以此為操作績效指標之
一，只要透過縮小每個月計算之標準差，即可達到操作績效提升之目
的。但須注意的是，如果 pH 計受到結晶影響其靈敏度，也可能會因
此導致 pH 值幾乎不變動，因此在執行 pH 操作穩定性測試之前，必
須先保養 pH 計，使其靈敏度良好。

如此我們利用每月計算之 pH 值與標準差，訂定平均值+3 σ 為管
制上限值，而管制下限為 pH=7，如圖 4 所示。對於超出管制下限標
準之加藥時間點，計算其所佔之比率為不良率，而超出管制上限值者
亦應一併追查其發生原因，以期提早發現問題並改進之。因此標準偏
差值亦可為操作績效指標之一。

運轉費用包含運轉電費：運轉水費、加藥費用及固定保養費用

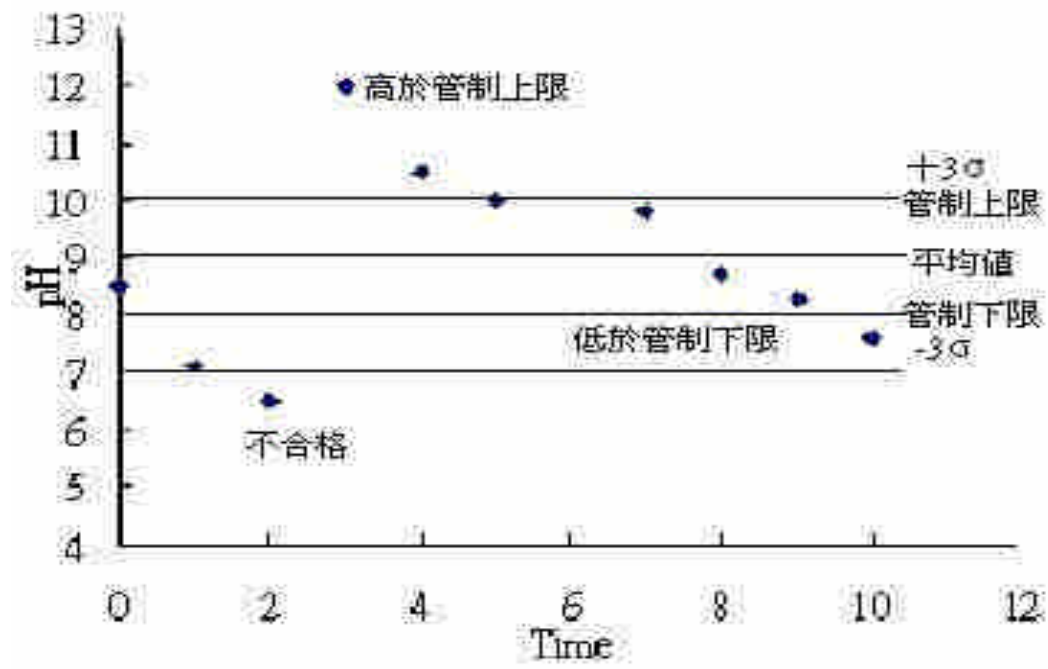


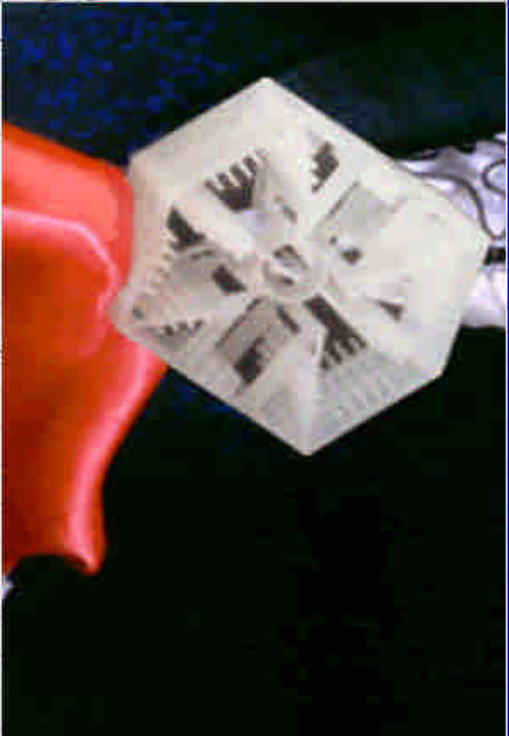
圖 4 循環水槽 pH 值管制圖

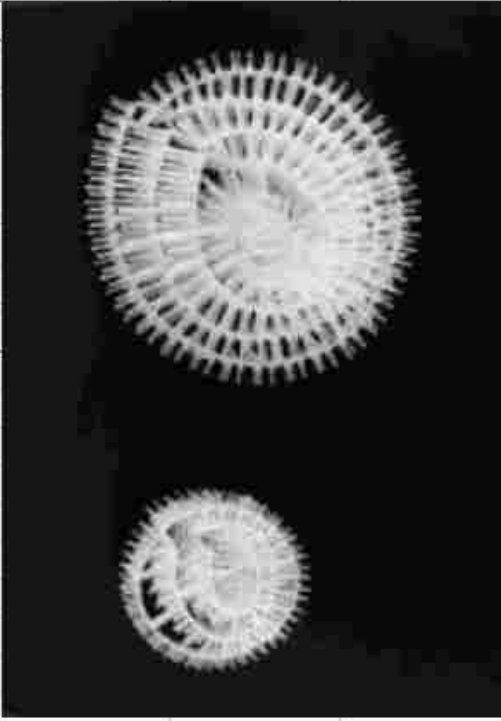

參考文獻



1. 葉和明，「單元操作(三)」，三民書局，pp.121~126，民國 86 年(1997)。
2. C. D. Cooper & F. C. Alley, "Air Pollution Control : A Design Approach", *Waveland Press Inc.*, 2nd ed., pp. 411~442, 1996.
3. 白曠綾、李谷蘭、楊泰辰、黃文賢、林育旨，「園區半導體製造業廢氣處理及排放調查研究」，民國 89 年(2000)。
4. Robert H. Perry and Don W. Green "Perry's Chemical Engineers' Handbook", *McGraw-Hill*, 7th ed., 1997.
5. 行政院環保署環境檢驗所網站，http://www.niea.gov.tw/index_Frame.htm
6. U.S. EPA, Chapter IO-4.2, Determination of Reactive Acidic and Basic Gases and Strong Acidity of Atmospheric Fine Particles in Ambient Air Using the Annular Denuder Technology, 1999.
7. Tsai, C. J., Huang, C. H., Wang, S. H., and Shin, T. S. "Design and Testing of a Personal Porous-metal Denuder" , *Aerosol Sci. Technol.* Vol 35, pp 1-6, 2001.

附件一 洗滌塔填充物資料

			Q-PAC	
Nominal Size	7 in	4 in		
Void Fraction	96.10%	96.30%		
Geometric Surface Area	98m ² /m ³	98m ² /m ³		
Weight(lb/ft ³)	2.2	2.1		
	(polypropylene)	(polypropylene)		
	4.1 (PVDF)	4.1 (PVDF)		
Packing Factor	7/ft	7/ft		
第 1 頁				
			lanpac	
Nominal Size	2.3in	3.5in		
Void Fraction	89	92.5		
Geometric Surface Area	223m ² /m ³	144m ² /m ³		
Weight(lb/ft ³)	6.2	4.2		
	200	50		
Packing Factor	21	14		



		nupac							
Nominal Size		2.5in	4.5						
Void Fraction		90.9	94.2						
Geometric Surface Area		180m ² /m ³	131m ² /m ³						
Weight(lb/ft³)		5.1	3.1						
		9	6.3						
Packing Factor		16	8						
				第 2 頁					
		Tellerette							
Nominal Size		NO.1Type R	NO.2Type R	NO.3Type R	NO.2Type K	NO.3Type K			
Void Fraction		87	93	92	95	96			
Geometric Surface Area		180m ² /m ³	125m ² /m ³	98m ² /m ³	92m ² /m ³	72m ² /m ³			
Loop Height		0.75	1	1.5	1.25	2.19			
Packing Factor		36	18	16	11	9			
									

Void Fraction	88	90	92	94
Geometric Surface Area	160m ² /m ³	140m ² /m ³	120m ² /m ³	100m ² /m ³
Packing Factor	287	175	140	112
				
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> 第 3 頁 共 6 頁 </div>				
Nominal Size	D25	D38	D50	D76
Void Fraction	95.3	95.7	96.6	94.8
Geometric Surface Area	185m ² /m ³	116m ² /m ³	86m ² /m ³	81m ² /m ³
				

	Pall®-Ring				
Nominal Size	15mm	25mm	38mm	50mm	90mm
Void Fraction	91	91	93	95	93
Geometric Surface Area	350m ² /m ³	220m ² /m ³	145m ² /m ³	110m ² /m ³	78m ² /m ³



第 4 頁
VSP®

Nominal Size	25mm	50mm	90mm
Void Fraction	93	95	97
Geometric Surface Area	185m ² /m ³	100m ² /m ³	78m ² /m ³



附件二 操作效能自我評估管理記錄表

洗滌塔編號		A006		記錄日期 92 年 08 月			
自我管理指標 (一)			pH 紀錄 (五)		運轉成本 (六)		備註
運轉成本	45 萬元		日期	(14)pH 值	(19)運轉電費： 10.8 萬元/年		運轉成本 =(23)
不良率	7.14%		92/08/12	7.475	(20)運轉水費： 20.7 萬元/年		不良率 =(18)
標準差	0.7591		92/08/13	8.475	(21)加藥費用： 3.5 萬元/年		標準差 =(17)
設備資料 (二)			92/08/14	6.6	(22)固定保養費用： 10 萬元/年		(7)潤濕因子(>0.1) =(6) / [(1)×(3)]
形式	<input type="checkbox"/> 直立式 <input checked="" type="checkbox"/> 橫臥式		92/08/15	7.65	(23)總費用： 45 萬元/年		
處理物種	HCl, HF, HNO ₃		92/08/16	8.02			
填充物種類	Tellerette		92/08/17	8.39			
處理前濃度	1975 ppm		92/08/18	8.76			
處理前濃度	180 ppm		92/08/19	9.13			
設備操作參數 (三)			92/08/20	8.07			
固定參數	(1)填充段水平截面積	1.75 m ²	92/08/21	8.44			(8)空塔滯留時間(>0.5) = 3600 × (1) × (2) / (5)
	(2)填充段高度	1.2 m	92/08/22	8.81			
	(3)填充物比表面積	95 m ² /m ³	92/08/23	9.18			
操作參數	(4)循環水槽之 pH 值	7.76	92/08/24	7.02			(15)總合 = $\sum_1^n (14) \bar{X}_i$
	(5)處理風量	15000 m ³ /hr	92/08/25	8.07			(16)總平均：μ = (15)/n
	(6)洗滌循環水量	30 m ³ /hr					(17)標準差：
	(7)潤濕因子	0.18 m ² /hr					$\sigma = \frac{\sum_1^n (\bar{X}_i - \mu)^2}{n}$
	(8)空塔滯留時間	0.504 sec					
保養維護記錄 (四)							(18)不良率： = pH 值低於 7 比率
9)循環水管線壓力差	2.4 in-H ₂ O						(23)總費用： =(19) + (20) + (21) + (22)
10)導電度	8.75 s/cm		(15)總合	114.09			
11)填充物清洗/更換	92/08/12		(16)總平均	8.149			
12)pH 計清洗/更換	92/08/12		(17)標準差	0.7591			
13)洗滌液更換	92/08/12		(18)不良率	7.14%			