

操作績效自我評估管理制度手冊

活性碳吸附塔

撰稿者：白曠綾 教授
盧重興 教授
張國財博士
曾映棠、黃欣惠

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

國立中興大學環境工程學系

中華民國九十二年九月二日第一版

目錄

1-1 活性碳吸附塔基本原理	1
1-2 影響活性碳吸附塔操作效率之因子	3
1-3 活性碳換碳頻率之評估	5
1-3.1 實廠簡介	6
1-3.2 活性碳吸附塔貫穿測試實驗	6
1-3.3 活性碳吸附塔換碳頻率	9
1-4 活性碳吸附塔操作績效自我評估	10
1-5 參考文獻	17

圖目錄

圖 1.1 活性炭吸附情形與貫穿曲線示意圖.....	4
圖 1.2 顆粒狀活性炭床之壓力降與流速之關係圖.....	5
圖 1.3 小型活性炭吸附塔 THC _s 貫穿試驗結果(C_{out}/C_{in} =出口/入口 VOCS 濃度比值).....	8
圖 1.4 小型活性炭吸附塔異丙醇及丙酮貫穿試驗結果(空心與實心符 號分別為第一次與第二次貫穿試驗結果).....	8
圖 1.5 實場活性炭吸附塔操作時程對 THC _s 之去除率推算.....	9
圖 1.6 活性炭吸附塔飽和吸附測試格線.....	16

表目錄

表 1.1 不適合使用活性炭吸附處理之 VOCs.....	2
表 1.2 實場活性炭吸附塔對於異丙醇、丙酮及 THC _s 所需換碳頻率.....	10
表 1.3 活性炭吸附塔基本資料.....	11
表 1.4(a) 活性炭吸附塔績效管理之廢氣特性記錄表.....	12
表 1.4(b) 活性炭吸附塔績效管理之換碳記錄表.....	13
表 1.4(c) 活性炭吸附塔績效管理之廢氣處理記錄表.....	14
表 1.5 活性炭吸附塔飽和吸附測試數據表.....	15

1-1 活性碳吸附塔基本原理

吸附主要乃將廢氣中之物質，通過一多孔固體，使之附著於其固體表面上，來達到去除之目的。吸附的機制一般依鍵結作用方式可分為物理吸附及化學吸附兩種。

物理吸附之主要作用為凡得瓦力，其為分子與吸附劑表面形成一微弱之吸引力，包括了倫敦擴散力與靜電吸引力兩種。物理性吸附之特徵包括了：低吸附熱(通常其吸附熱小於 2 至 3 倍之蒸發潛熱)及快速而可逆之吸附平衡。

化學性吸附亦稱活性吸附，其吸附質與吸附劑之間產生了化學鍵結作用，當形成共價鍵時，稱為弱化學吸附；形成離子鍵，稱為強化學吸附。若形成強化學吸附時，將使脫附變得不可行。一般在常溫操作時之吸附多屬物理性吸附，而在高溫時(大於 200°C)之吸附，其活化能即足以破壞化學鍵，形成化學性吸附。

對大部份氣態污染物之控制而言，其多為物理吸附現象，故可輕易藉脫附操作而使吸附劑再生利用，而不適合使用活性碳吸附處理之 VOC_s 如表 1.1 所示。

活性碳吸附塔於吸附時，可約略分為三個區域：吸附帶(adsorption zone, AZ)、飽和帶(saturation zone, SZ)及乾淨帶(clean zone, CZ)。吸附帶指的是真正進行吸附之區域，飽和帶則已完成吸附，乾淨帶表尚未進行之區域。由圖 1.1 可知隨著吸附塔操作時間之增加，吸附帶將逐漸下移，而使得飽和帶越來越大，直到氣體於吸附塔中之濃度不再為

表 1.1 不適合使用活性炭吸附處理之 VOC_s

反應性化合物	高沸點化合物
有機酸	可塑劑
醛類	樹脂
某些酮類	碳數 14 以上之長鏈碳氫化合物
某些聚合物單體	酚類
	二醇類
	胺類

一低而穩定之值，亦即如圖 1.1 中(c)所示，氣體出口濃度達到貫穿點 (break point)時，此時吸附帶位於吸附塔最下方，而乾淨帶已完全消失。而由(c)至(d)之出口濃度變化曲線，稱為貫穿曲線(break through curve)，當吸附帶愈窄時，表示貫穿曲線愈峭急，吸附床之利用率愈好。然而通常吸附床之利用率往往不若等溫吸附曲線所預估得之飽和吸附量，其原因除了吸附帶有一定之寬度，而無法被利用外，其他原因包括了吸附過程本身放熱，而使得床溫升高影響吸附，此外氣流中之水汽，以及經脫附後之吸附劑中仍含有部份之水汽，均降低了等溫吸附所預估之吸附量，其實際之吸附量甚至常在預測值之 40 % 以下，一般活性炭對揮發性有機物之飽和吸附量約為 0.1 至 0.3 kgVOC_s/kg 活性炭。

園區內使用固定床活性炭作為揮發性有機物吸附之工廠為便於更換吸附劑，通常採用抽取式或纖維濾網式之吸附設施，此種型式吸附塔乃將吸附劑填置於可抽取式箱櫃內，或製成濾網、不織布型式，操作一段期間後即予抽換，再交由活性炭供應廠商回收廢棄之活性

碳。

1-2 影響活性碳吸附塔操作效率之因子

影響活性碳處理效率之因子包括：

(1) 溫度

採用活性碳作為吸附劑之操作溫度宜維持在 40°C 以下才能發揮良好效果，吸附溫度越低，活性碳所能夠吸附的 VOC_S 量也就越多，由於園區內防制設備多設於頂樓，易受陽光照射影響，使活性碳吸附溫度上升，而造成活性碳吸附量下降，若此時之活性碳已接近吸收飽和狀態下，會將已吸附之 VOC_S 再度脫附出來，使出流濃度高於進流濃度。其解決方法可加裝隔熱裝置，或其他避免受太陽直射之設施。

(2) 空塔流速

流經吸附床之流速越大，吸附帶的寬度也就越寬，造成吸附床使用率變差，另外也造成壓差增加，增加能源之消耗；然而流速過低會產生流速分佈不均問題，因此活性碳設計流速一般在 0.1 至 0.5 m/sec^[1]。減緩流速之改善方法為增加活性碳床截面積，或將其分流再增設一活性碳吸附塔處理之。圖 1.2 為顆粒狀活性碳床之壓力降與流速之關係圖^[1]。

(3) 濾床深度

一般而言，良好的活性碳吸附塔之濾床深度至少要大於吸附帶寬度。若設計濾床深度較短，則需以較頻繁的換碳頻率來維持其效率；

若設計的濾床深度太深，則會增加壓差，形成能源之浪費。

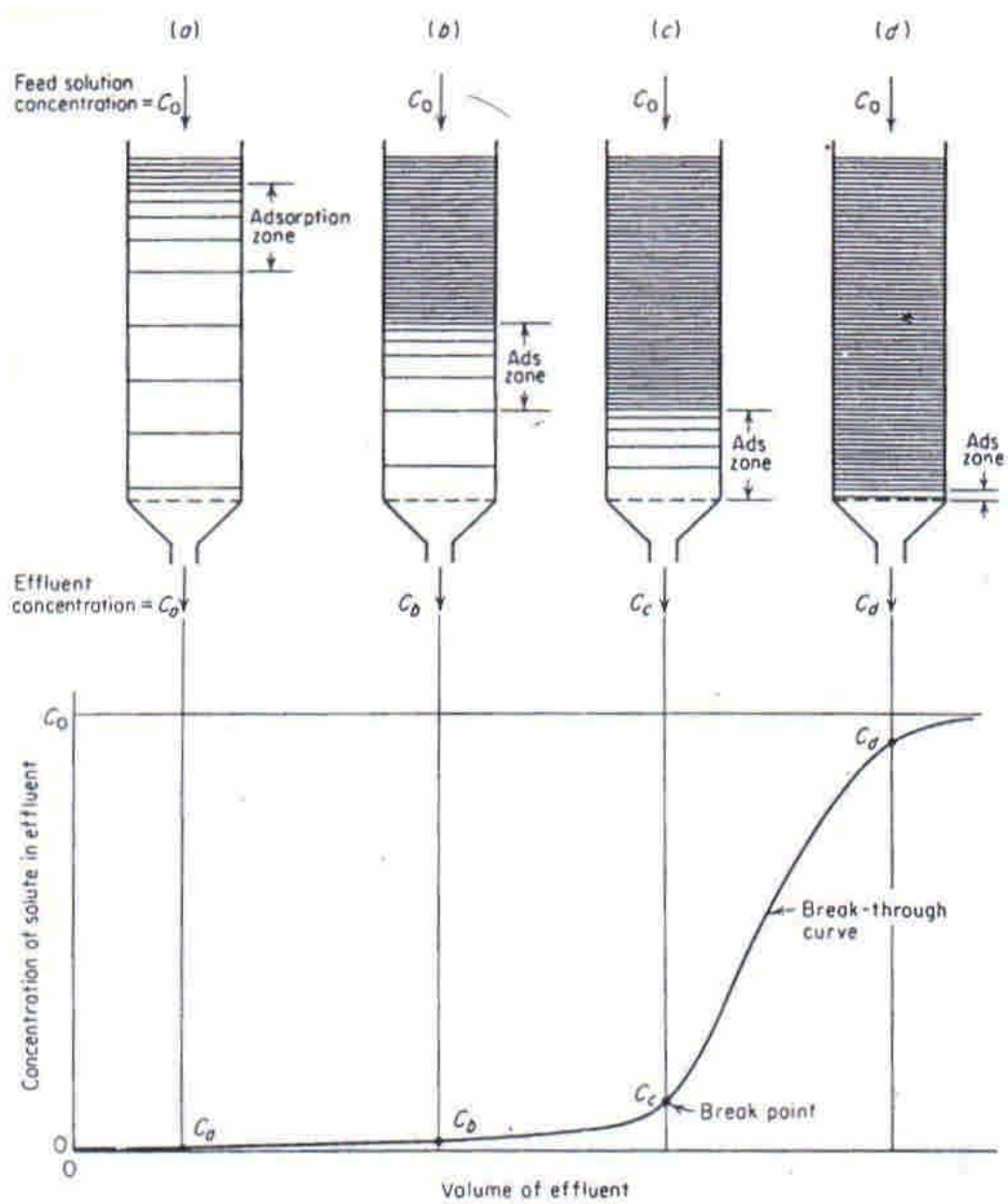


圖 1.1 活性炭吸附情形與貫穿曲線示意圖^[2]

(4) 換碳率不足

在前述三項因子都考慮後，一般活性炭在換碳初期均可以維持良

好之 VOC_S 處理效率，但隨著換碳時間增加，活性炭即逐漸趨於飽和，而使效率下降。若是一個穩定操作，處理之 VOC_S 項目單純之活性炭床，則其換碳頻率可以藉由活性炭供應商所提供之飽和吸附量推估換碳頻率，然而園區內之工廠使用 VOC_S 種類較多，排放濃度亦不穩定，加上若非 24 小時持續操作，因此不易推估其飽和吸附量。而活性炭之換碳量不足為園區內工廠容易發生之問題，因此若能進行實際廢氣之飽和吸附量測試，方可獲得較合理之換碳效率。

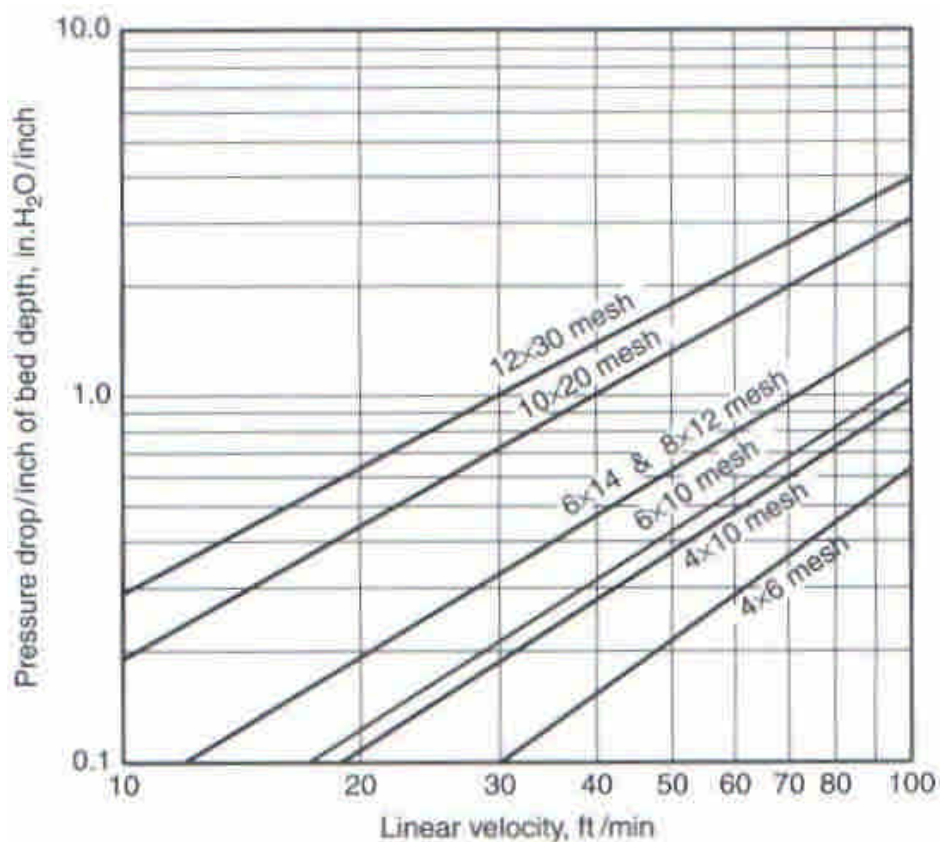


圖 1.2 顆粒狀活性炭床之壓力降與流速之關係圖^[1]

1-3 活性炭換碳頻率之評估

一般使用活性炭吸附塔之廠家皆為廢氣濃度小，且流量亦小(多

在 250CMM 以下)，其皆有定期檢測，但無線上監測設施。為確保活性碳吸附塔之處理效能，因此建議使用此設備之廠家做活性碳換碳頻率之評估，以下為本研究群於去年度為某光電廠評估其換碳頻率實例。

1-3.1 實廠簡介

該光電廠所使用主要 VOC_S 溶劑為異丙醇及丙酮，其使用溶劑時段為 7:00 至 19:00。實廠製程排放 VOC_S 廢氣之主要處理設備為活性碳吸附塔。

1-3.2 活性碳吸附塔貫穿測試實驗

該光電廠之活性碳基本資料如下：

- 工廠 THC 最近一次測量值為 15 ppmv
- 廠商所供應活性碳 VOC_S 吸附量之數據為 0.25 kg-VOC_S/kg-AC，供應商建議之活性碳更換週期為 50 天，每次更換 1600 kg。
- VOC_S 平均分子量約為 60 g/mole

以下根據廠商所提供之數據推估確認實廠活性碳之飽和時間，其估算方式如下：

實廠每天工作 12 小時 VOC_S 排放量為：

$$\frac{15 \times 10^{-6} \frac{\text{mole VOCs}}{\text{mole gas}} \times 60 \frac{\text{g}}{\text{mole}}}{24.5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mole gas}}} \times 160 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{g}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times 12 \frac{\text{hr}}{\text{day}}$$

$$= 4.2 \frac{\text{kg - VOCs}}{\text{day}}$$

因此初步推估該廠活性碳吸附塔飽和時間為：

$$\frac{0.25 \frac{\text{kg - VOCs}}{\text{kg - AC}} \times 1600 \text{ kg - AC}}{4.2 \frac{\text{kg - VOCs}}{\text{day}}} = 95 \text{ days}$$

在活性碳貫穿試驗中，係將實廠廢氣抽引至一小型之活性碳吸附床，來模擬該廠之吸附飽和狀況，測試之基本條件如下：

- 模廠抽氣馬達抽氣速率為 20 l/min
- 模廠活性碳吸附塔活性碳填充量為 15 g

因此以活性碳供應商所提供之飽和吸附量，推估所裝設之小型吸附塔之貫穿時間約在 170 小時左右。而在 THC_s 濃度測試結果發現，於工廠操作期間，在進入活性碳塔前之 THC_s 濃度約在 87 ppmv 至 193 ppmv 間，而在工廠未操作期間之 THC_s 入流濃度為 ND(未檢測出)，出流濃度則為 6 至 10 ppmv，顯示在未操作期間之乾淨氣流會將活性碳床內之部份 VOC_s 脫附出。

圖 1.3 則為貫穿試驗結果，小型活性碳吸附床吸附 THC_s 達 90 % 的效率只有 18 小時左右，達 70 % 的去除率則為 68 小時以內，實際貫穿時間則約在 150 小時左右，因此雖然本次實測濃度與原先推估時工廠所提供之 VOC_s 濃度值相差頗大，但本次測試之貫穿時間與原先推估時間相差並不大(170 小時)。另外，本實驗亦監測實場使用最大

量的有機溶劑異丙醇及丙酮，由圖 1.4 則可以發現異丙醇達 90 % 的效率只有 22 小時左右；而丙酮達 90 % 的效率只有 22 小時左右。

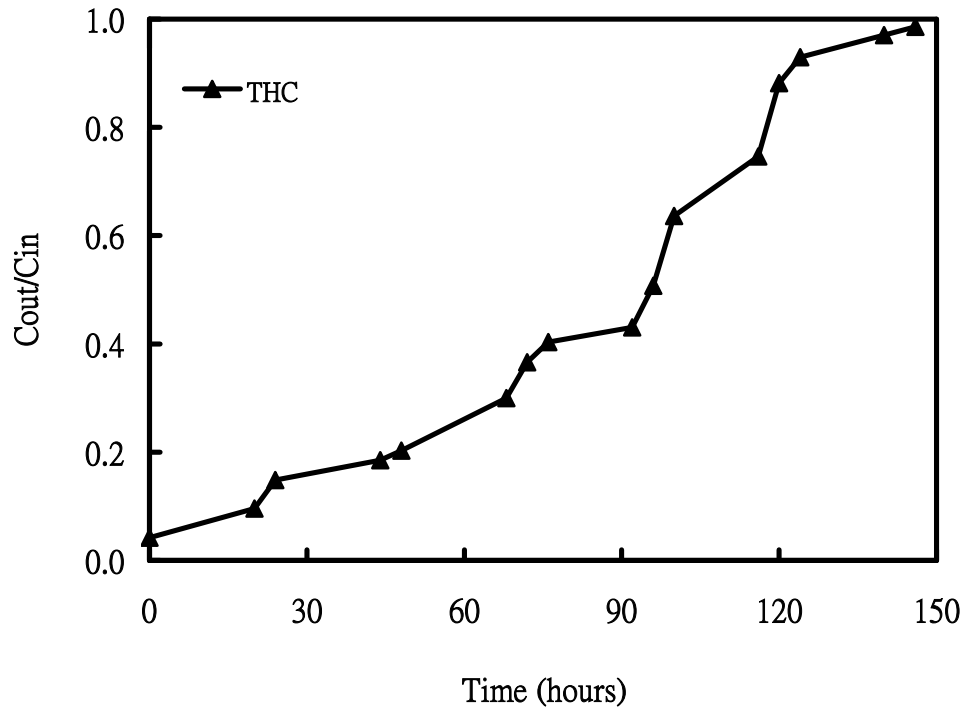


圖 1.3 小型活性碳吸附塔 THCs 貫穿試驗結果(Cout/Cin=出口/入口 VOCs 濃度比值)

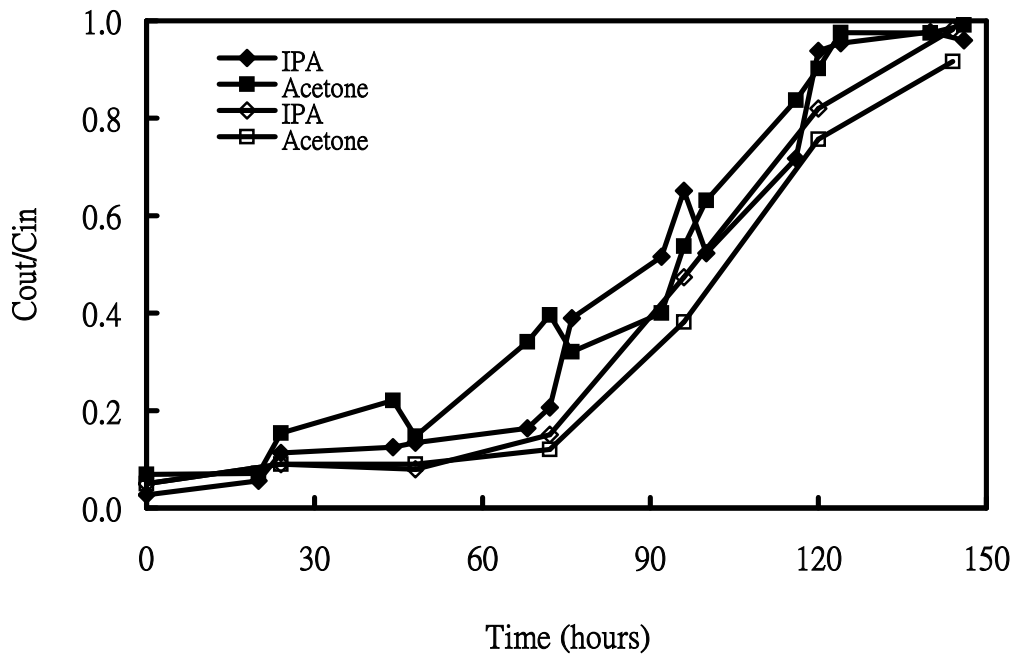


圖 1.4 小型活性碳吸附塔異丙醇及丙酮貫穿試驗結果(空心與實心符號分別為第一次與第二次貫穿試驗結果)

1-3.3 活性碳吸附塔換碳頻率

由前一節之小型活性碳床飽和吸附貫穿實驗數據結果，可換算實場活性碳吸附塔操作時程對 THC 之去除效率，如圖 1.5 所示。表 1.2 則分別為實場活性碳吸附塔對於異丙醇、丙酮及 THC 在吸附效率為 90 %、70 % 及 10 % 以下時所需時間。由表中的推算結果可以看出，若實場活性碳吸附塔要維持 70 % 以上的吸附效率則需在 38 天之後更換其活性碳。當活性碳未予以更換而繼續操作，則會在 80 天之後發生完全破出現象，此外原活性碳供應商建議之 50 天更換週期，約只可維持 50 % 以上之 THC_s 處理效率。

在換碳成本之估算上發現，若要維持 70 % 以上之吸附效能，則需每個月予以更換活性碳吸附塔內之活性碳，以此頻率來計算本案例之光電廠在 THC_s 濃度為 87 至 193 ppmv，廢氣流量為 160 CMM 下，

其活性碳每次更換重量為 1600 kg 之成本為 10 萬元，一年須更換 12 次活性碳，則須 120 萬元的成本。

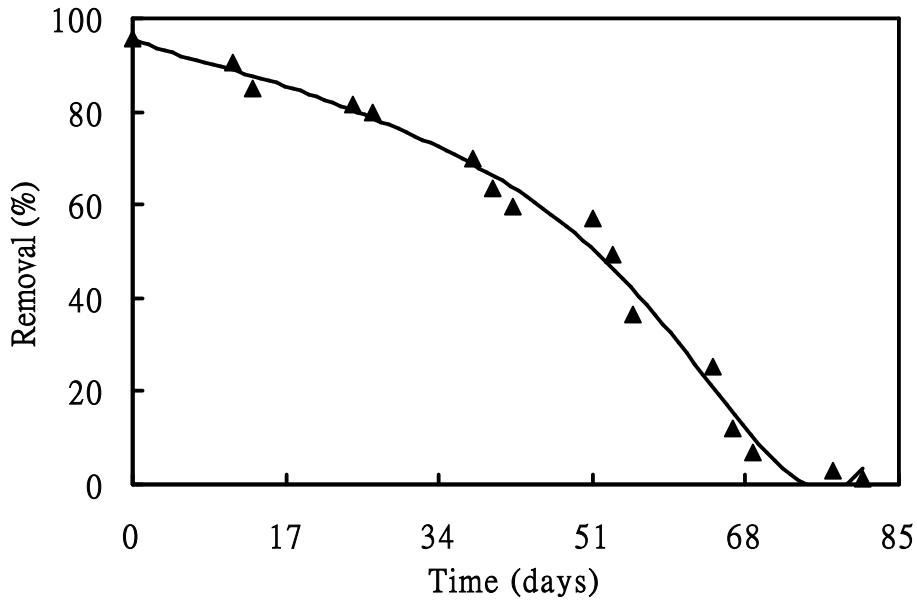


圖 1.5 實場活性碳吸附塔操作時程對 THC 之去除率推算

表 1.2 實場活性碳吸附塔對於異丙醇、丙酮及 THC 所需換碳頻率

化合物 \ 吸附效率	90 %	70 %	10 % 以下
異丙醇	12 天	41 天	67 天
丙 酮	12 天	33 天	69 天
THC	10 天	38 天	69 天

1-4 活性碳吸附塔操作績效自我評估

由於園區使用活性碳吸附塔之廠商將活性碳之再生委外處理，無活性碳再生方面之問題，故表 1.3 為活性碳吸附塔之基本資料，其記錄項目應包括活性碳飽和吸附量、吸附塔截面積、填充厚度、換碳頻

率、換碳費用、進出流 THCs 濃度、進流廢氣流量、活性碳床流速、風車運轉費用等之原設計值。

而在自我績效管理上，工廠針對活性碳吸附床應進行之績效提升日常維護記錄表如表 1.4 所示，藉由表 1.4 可在法規、耗能與更換頻率間由記錄結果來取得一較經濟但合理之平衡點，進而獲得最佳之操作績效。

此外建議工廠針對其活性碳床進行至少一次之飽和吸附貫穿試驗，以正確推估其換碳頻率，建議之數據記錄於表 1.5 中，並將之繪點於圖 1.6 中得一貫穿曲線圖。

表 1.3 活性炭吸附塔基本資料

設備編號		紀錄日期	年 月 日
上次活性炭更換日期			年 月 日
紀錄項目		操作值	
(1)活性炭飽和吸附量(設計值)		kgVOCs/kg 碳	
(2)活性炭吸附塔截面積		m ²	
(3)活性炭填充厚度		cm	
(4)換碳頻率		月/次	
(5) 換碳量		Kg/次	
(6)換碳費用		萬元/次	
(7)進流 THC _s 濃度(設計值)		ppm	
(8)出流 THC _s 濃度(設計值)		ppm	
(9)進流廢氣流量(設計值)		CMM	
(10)活性炭床流速 (合理設計值範圍為 6 至 30 m/min)		m/min	
(11)風車運轉費用(設計值)		萬元/月	

表 1.4(a) 活性碳吸附塔績效管理之廢氣特性記錄表

廢 氣 特 性(每日記錄)							
日期	溫度(°C)	相對濕度	壓差 (mmH ₂ O)	日期	溫度(°C)	相對濕度	壓差 (mmH ₂ O)

表 1.4(b) 活性碳吸附塔績效管理之換碳記錄表

換 碳 記 錄(換碳時記錄)					
日期	換碳量 (kg/次)	換碳成本 (萬/次)	日期	換碳量 (kg/次)	換碳成本 (萬/次)

表 1.4(c) 活性碳吸附塔績效管理之廢氣處理記錄表

處理效率(依照法規需求記錄)									
日期	風量 (CMM)	處理前 濃度 (ppm)	處理後 濃度 (ppm)	處理 效率 (%)	日期	風量 (CMM)	處理前 濃度 (ppm)	處理後 濃度 (ppm)	處理 效率 (%)

表 1.5 活性炭吸附塔飽和吸附測試數據表

檢測日期	處理前 濃度	處理後 濃度	處理 效率	檢測日期	處理前 濃度	處理後 濃度	處理 效率

換碳日期： 年 月 日

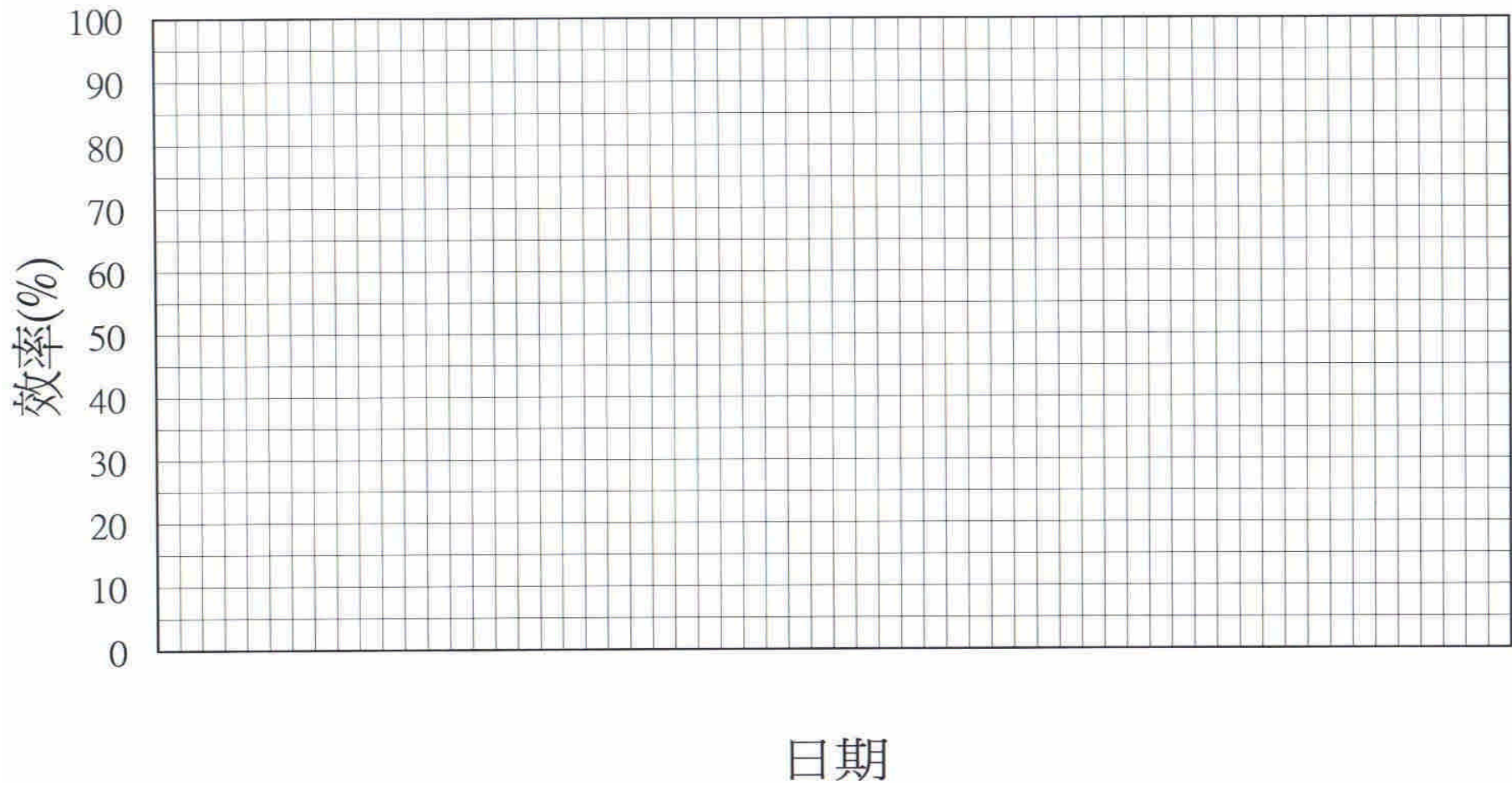


圖 1.6 活性炭吸附塔飽和吸附測試格線

1-5 參考文獻

1. Wayne T. Davis, “Air Pollution Engineering Manual” , *Air & Waste Management Association*, 2nd ed., pp. 37-43, 2000.
2. Trybal R. E. “Mass Transfer operation” , *McGraw-Hill*, 3rd ed., pp.624, 1980.