

空氣污染與噪音類

膠帶業排氣二次濃縮回收技術

管大慶*、張瑞琪**、許正平***

摘 要

膠帶業製程所使用溶劑量大，一般排氣的總碳氫化合物 (THC) 濃度，相對於甲烷 (as CH₄) 約 2,000~3,000 ppmC，同時排放的揮發性有機物 (VOCs) 成份相對單一 (如甲苯，乙酸乙酯)，因此相當適合回收。目前膠帶產業常使用的處理設備為活性碳吸 / 脫附罐搭配蒸氣脫附回收系統，處理削減效率約 90 %，煙囪排放的總碳氫廢氣濃度約 200~300 ppmC as CH₄。依據 111 年 6 月 22 日修正公告之「膠帶製造業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」既存製程且全廠 VOCs 年用量達 250 公噸以上，其 VOCs 之處理效率應達 96% 以上，或其單一排放管道之揮發性有機物排放量每小時 2.2Kg 以下，已無法符合現行法規。

VOCs 處理設備主要以焚化系統為主，燃料及 VOCs 燃燒過程中造成大量二氧化碳 (CO₂) 排放，無法有效達到節能減碳的目標。本研究發展的技術為球狀活性碳 (BAC) 流體化床濃縮脫附回收設備，其中運用高效的 BAC 吸附材，串聯既有的 VOCs 回收設備，經過層層處理後達到排放標準，協助業者提昇處理效率，同時二次回收 VOCs，除了增加回收量，更進一步有效解決空污問題。

【關鍵字】BAC球狀活性碳、高效濃縮脫附設備、二次回收、BAC流體化床濃縮脫附回收設備

* 吉能科技股份有限公司	總經理
** 工業技術研究院綠能與環境研究所	研究員
*** 慧群環境科技股份有限公司	環工技師

一、前言

膠帶業為大排氣風量，同時排放揮發性有機物 (VOCs) 的廢氣量也相對較高；製程中產生之纖維及油霧也經常造成 VOCs 處理設備的堵塞，進而造成處理效率降低與設備保養成本增加的困擾，甚至產生相關廠區與周界的異味問題，影響附近居民生活品質。近年來產業發展演變，空氣污染問題在台灣或全球，皆已成為社會大眾熱烈關注的議題，因此如何針對防治設備的效能提昇及改善，一直以來為相關廠商處理的挑戰與難題。

本文所介紹的膠帶業排氣二次濃縮回收技術，乃針對原有 VOCs 設備處理效能，無法有效提昇處理效率問題，進行相關處理模式參數設計上的技術研發與探討。本系統主要串聯原有的活性碳吸脫附罐中蒸氣脫附回收系統，再加設 BAC 流體化床濃縮脫附回收設備，此模式相較於現有的濃縮焚化處理設備將更為適切、安全與節能減碳，同時具有循環再利用機制的污防設備。

二、活性碳吸脫附原理

物理性吸附原理，主要作用為凡得瓦爾力 (Van der Waals' force)，其為分子與吸附劑表面形成一微弱之吸引力，其吸附之特徵包括低吸附熱 (通常吸附熱小於 2 至 3 倍之蒸發潛熱)，及快速而可逆之吸附平衡。一般在常溫操作時，吸附作用與大部分氣態污染物之控制，多為物理吸附現象，故可藉由脫附操作參數，達到再生利用系統中吸附劑之目的。

由於吸 / 脫附是一種表面現象，利用這種現象可將碳氫化合物和其他化合物，有選擇性的吸附至吸附材質表面上，這些吸附劑包括活性碳、矽膠和礬土等物質。現今活性碳是應用最廣泛的吸附劑，對於某一給定的 VOCs (如甲苯)，吸附劑的吸附能力經常用吸附等溫線圖描述 (見圖 1)。於理想情況下，吸附能力隨著被吸附的 VOCs 分子量增加而增加；此外，在一般情況下，不飽和化合物比飽和化合物吸附更完全，環狀化合物比直鏈結構的物質更容易被吸附。另外，吸附能力亦隨著操作溫度的降低和廢氣濃度的升高而增加；具高沸點、低蒸氣壓特性的 VOCs，則比低沸點、高蒸氣壓

的 VOCs 更容易被吸附。

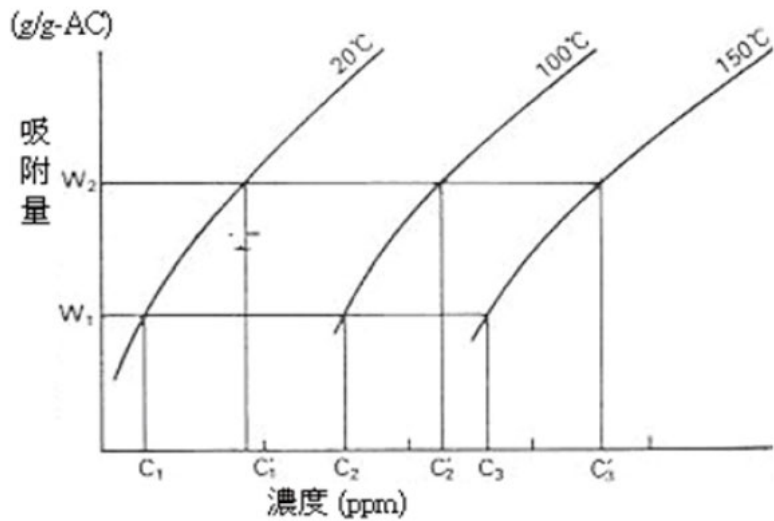


圖 1 吸附等溫線圖

操作過程如下所詳述。首先含有 VOCs 廢氣的氣流，通過活性碳床後則被吸附在碳床上，當活性碳床的吸附能力趨於飽和時，也就是在出口排放端監測到 VOCs 濃度時，即表示吸附床已達到吸附的臨界點；此時將排氣引流到另一個並聯且已被再生過的吸附床。上述過程可不斷循環進行。

過程中，再生流程則為將已吸附飽和的吸附床，通入加熱的低壓蒸氣，或者聯合使用抽真空和加熱氣體，使飽和的吸附床進行脫附。雖然吸附飽和的活性碳是一種可逆轉的過程，藉著通過加熱（數量相當於在吸附過程中所釋放的熱量）可以將吸附在活性碳床上的 VOCs 脫附出來；但是完全脫附乾淨在技術面甚難達到，並且在實務上也不切實際，故總有一些“殘餘物”留在吸附床上。

執行蒸氣脫附過程中，通入空氣的步驟可將吸附床內殘留的水蒸氣吹出，進行乾燥和冷卻；此模式運用蒸氣執行脫附，在蒸氣流中被脫附出來的 VOCs 一般需給予冷凝，然後依不同 VOCs 物 / 化特性，選用以下 2 種方法中的 1 種回收技術進行回收：對不溶於水的物質，可採用簡單的比重法；對於可溶於水的物質，則採用蒸餾法執行回收作業；如果要求高純度地回收 VOCs，特別在 VOCs 是由溶劑混合物組成的情況

三、球狀活性碳 (BAC) 的使用特性

球狀活性碳 (Bead-shaped Activated Carbon) 由日本吳羽化工製造生產，生產過程主要使用石油瀝青，將其球狀化並活化後過篩製造而成，平均粒徑 $0.5 \pm 0.05 \text{ mm}$ ，比重約 0.6，比表面積 $1,100\sim1,300 \text{ m}^2/\text{g}$ ，發火溫度 $450\sim480 \text{ }^\circ\text{C}$ ，高耐磨耗性 $5 \text{ \%}/\text{year}$ ，特性資料如表 1 所列，相關設計則可依據圖 4 參數選擇合宜條件模式。

表 1 BAC 特性

項目	特性值
形狀	球狀
堆積密度 (packing density)	約 $0.6 \text{ g}/\text{cm}^3$
比表面積	$1,100\sim1,300 \text{ m}^2/\text{g}$
硬度	95 % 以上
乾燥減量	5 % 以下
碘吸收性能	$1,200\sim1,350\text{mg}/\text{g}$
四氯化碳吸收性能	70~85 %
糖蜜值 (カラメル脱色力)	80~95 %
亞甲基藍值 (メチレンブルー脱色力)	$220\sim270 \text{ mL}/\text{g}$
ABS 值	50 以下
苯酚值 (フェノール値)	60 以下
點火殘渣 (灰)	0.05 % 以下

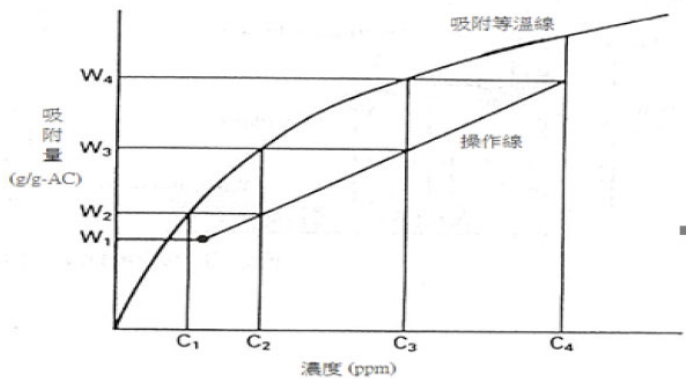


圖 4 吸附量濃度

BAC 流體化床操作原理，主要將 VOCs 廢氣經由排氣風機 (Exhaust Fans) 導入吸附塔 (Adsorber) 底部，通過空氣分配器，將 VOCs 廢氣均勻分配，直接向上穿透一連串的篩狀拖盤 (Sieve Trays)，以及流體化的球狀活性碳 BAC 均勻分佈在篩狀拖盤上，接觸 VOCs 廢氣，BAC 流動可有效地自 VOCs 廢氣中吸附有機溶劑蒸氣 (Solvent Vapor)，同時利用推力使 BAC 達到置換新舊 BAC 設計吸附段數。

吸附飽和的 BAC，自吸附塔最底層拖盤掉落至底部的收集槽中，經過 BAC 輸送系統 (Airlift Blower + Fluid Ejectors) 傳送至脫附塔 (Desorber) 頂部。BAC 由脫附塔頂部向下流動，以流動的方式穿過脫附塔中段之加熱區；BAC 通過加熱區時，VOCs 自 BAC 的孔洞中被脫附出來，熱氣則被引進脫附塔內部，向上逆流過 BAC 層，氣流攜帶已被脫附的 VOCs 到熱交換器回收一部份的熱能以進行脫附；同時高濃度的 VOCs 廢氣再經冷凝器冷凝回收，至於無法冷凝的廢氣則排放至排氣管路，再次經由活性碳吸脫附罐蒸氣脫附回收處理。至於已經脫附完成的 BAC，經由 BAC 輸送系統送回到吸附塔頂部，流過吸附塔頂部的冷卻區段，被冷卻後繼續吸附，相關流體化處理過程如圖 5 所示，現場設置實際圖與設備外觀如圖 6 所示。

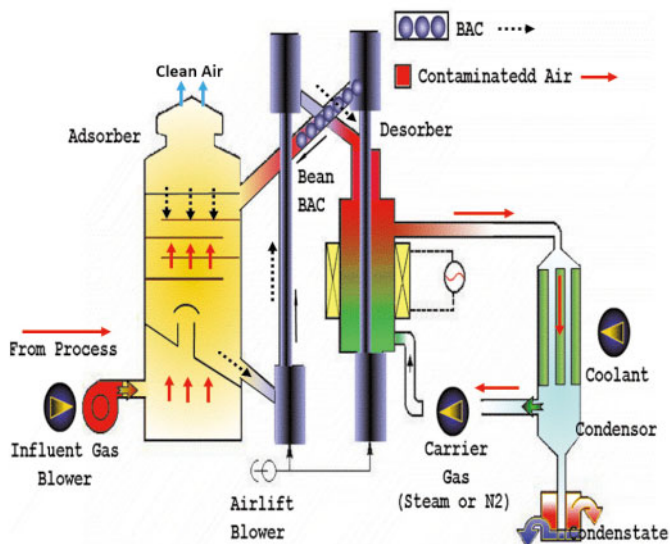


圖 5 BAC 流體化示意圖

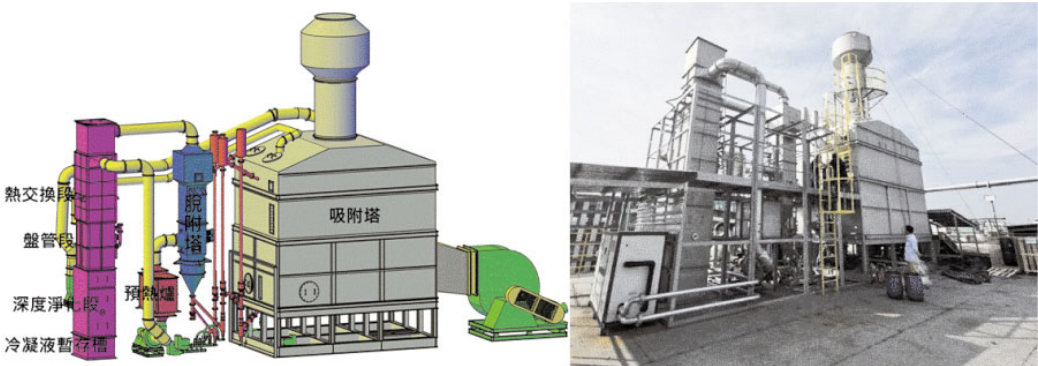


圖 6 設備外觀示意與現場設置圖

四、高效的濃縮吸脫附架構

脫附塔中 VOCs 藉由向下流動的活性碳，與向上流動熱氣之間的接觸逆流進行連續脫附，活性碳脫附效能越高，則會獲得越高的吸附效能；吸附平衡濃度下降時剩餘的吸附量變小，並且難以進行吸附。在這種情況下，須使用較高的溫度進行脫附，因此大量的 VOCs 可以用少量的熱空氣脫離出來，而脫附乾淨的活性碳可再輸送到吸附塔進行吸附，著實為一節能且確實可行的處理模式；圖 7 為脫附氣量和活性碳剩餘吸附量的實驗關係圖例。另經由圖 8 所顯示濃縮流程示意圖可知，在一般情況下，脫附溫度為 200 ℃～250 ℃，低風量高濃度廢氣濃縮脫附，可達到的濃縮倍數範圍為 25~80 倍。

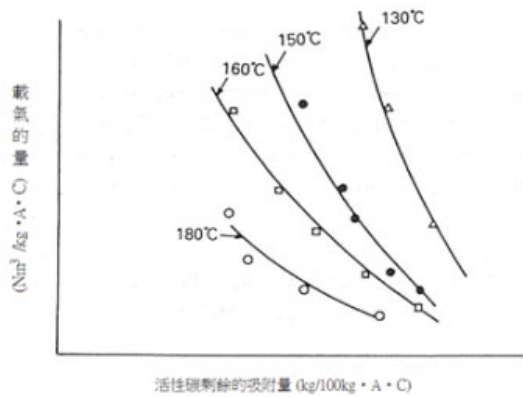


圖 7 脫附溫度對可吸附量曲線圖

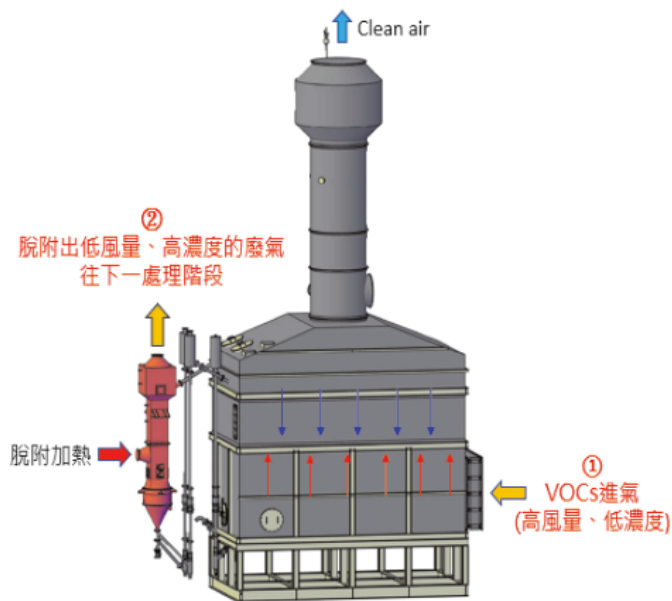


圖 8 濃縮示意圖

五、二次濃縮回收系統

回應環保議題中節能減碳的施行，以及降低 VOCs 的排放量，提高整體 VOCs 的回收效率，故系統流程設計了第二次的濃縮回收。經由本設備的發展，除了獲得上述處理效益外，在設置與操作實務成本上亦有相當的回饋，相關資料如表 2 所列。

表 2 VOCs 處理成本效益

設備名稱	處理規格 (CMM)	設置成本 (萬元 / 套)	操作成本 (萬元 / 年 / 套)	回收甲苯量 (公升 / 年)	成本效益 (萬元 / 年)
流體化床濃縮設備	750	2,500~3,000	250~300	75,000	750

系統回收整體流程為 VOCs 排氣經過除霧器阻絕油霧及纖維後，進入既有的活性碳吸附罐蒸氣脫附設備，開始第一次的濃縮回收；接著將第一次濃縮回收處理後的尾氣，導入 BAC 流體化床濃縮脫附回收設備，經冷凝回收後的尾氣，再重新導入第一次的濃縮回收流程，如此重複的回收設計與步驟，更進一步提升處理效率與回收效率，系統示意簡圖如圖 9 所示，至於實務操作提高處理效率及降低出口排放量之案例則如圖 10 所示。

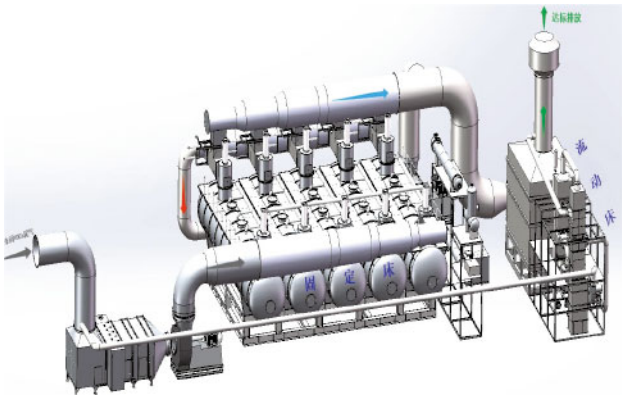


圖 9 二次濃縮回收系統

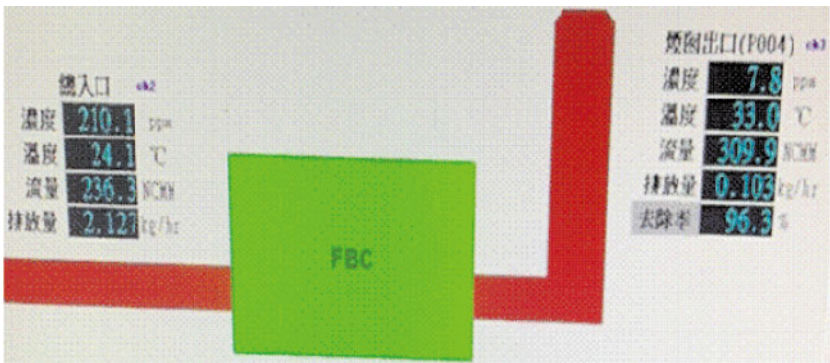


圖 10 某廠處理效率值

經長期經驗且實際勘查與討論後發現，針對揮發性有機物質，此方面檢測技術已非常成熟，為了解高沸點物 (SVOCs) 質真實濃度，在工研院綠能所團隊協助下，針對複雜製程氣體，進行整體性與全面性調查評估模式的檢測。基於產業與污染控制原理

不同，工研院研發以適切的採樣與分析模式，取得有效樣品，還原廢氣中高沸點物質真實濃度，另外也應用了環檢所公告的方法施行檢測以獲得更具代表性數據與資料，部分相關測試結果分別如表 3 與表 4 所列。

表 3 高沸點化合物檢測結果

採樣點	檢測結果		
	高沸點 (SVOCs) (mg/m ³)		總有機碳 (TOC) (mg/L)
	二甲亞砜 (DMSO)	乙醇胺 (MEA)	
入口 (Inlet)	340.7	1330.5	69.3
出口 (Outlet)	61.8	192.0	1.9

表 4 某廠活性碳殘留分析

溫度範圍 (°C)	化合物名稱		波峰面積 百分比 (%)	沸點 (°C)
	英文	中文		
50~300	Sulfur dioxide	二氧化硫	100.00	-10
300~700	Phthalic anhydride	鄰苯二甲酸酐	31.68	295
	Sulfur dioxide	二氧化硫	23.75	-10
	Phthalimide	鄰苯二甲醯亞胺	22.03	310
	Benzoic acid	苯甲酸	6.25	249
	Benzonitrile	苯甲腈	5.60	191
	Naphthalene	萘	3.96	218
	Benzene	苯	2.92	78
	Pyruvicaldehyde	丙酮醛	1.32	72
	N-Vinylphthalimide	N- 乙烯基鄰苯二甲醯亞胺	1.22	305
	Methylphthalimide	甲基鄰苯二甲醯亞胺	0.69	286
	Toluene	甲苯	0.57	111

藉由工研院專業檢測技術，獲得詳細與真確濃度後，針對應用於高沸點化合物去除與回收技術設備，整體設計與研發上的發展，則為目前尚需努力的方向與目標。因此本研發設備開發初期，藉由尋求工研院技術支援並運用創新且合宜的檢測，幾經測試與參數調整，其相關處理效率經計算已可達 96 % 以上，現階段成效可說相當顯著。

六、結語

關於有機廢氣防制技術，目前經常使用燃燒式破壞性的處理方式，如何有效的利用回收技術及提昇效能，一直是設備廠商所努力的方向。將 BAC 流體化床濃縮脫附回收設備，串聯活性碳吸脫附罐蒸氣脫附回收系統，應用於高濃度廢氣處理，為一項創新與符合環保需求中節能減碳的處理模式。本技術具備了操作簡化、可客製化、穩定性與可靠度高等優點與特性；實務操作上除可提升回收與再利用效率，同時有效解決空氣污染所造成的異味問題，更能經由回收機制，減少因燃燒甲苯產生的二氧化碳排放量 240,000 kg/ 年，可確實有效減少碳排放。

現階段，藉由運用實驗室專業且精準的檢測能量，同步進行理論與推估之間相關測試與結果，以釐清與解決開發技術上的問題，讓研發的設備與技術有更廣泛的應用面，進而精進與創新應用領域。於此更期望能藉此協助與釐清，產業界於污染議題與設備設置成本上實務操作效益，進一步協助業界以經濟可行技術解決環保問題。

參考文獻

1. Equipment & Systems Production Dept ,DAIKIN INDUSTRIES,LTD.
2. 吳羽化工 GASTAK 資料型錄。
3. 張瑞琪 (2010)，高科技產業高沸點製程廢氣調查技術研究，國立交通大學環境工程研究所碩士論文。
4. 環境檢驗所 (2015)，排放管道中 N- 甲基吡咯酮與異丁醇檢測方法－試劑水吸收 / 氣相層析火燄離子偵測法 (NIEA A747.10B)，環署檢字第 1040030894 號。
5. 環境檢驗所 (2016)，空氣中二乙醇胺檢測方法－去離子水吸收 / 離子層析法 (NIEA A508.10B)，環署檢字第 1050001155 號。
6. 環境檢驗所 (2009)，水中生化需氧量檢測方法 (NIEA W510.54B)，環署檢字第 0980060634D 號。