

# 工業製程 VOCs 廢氣處理技術與案例探討

粘愷峻\*、簡弘民\*\*、張豐堂\*\*\*

## 摘要

揮發性有機物(Volatile Organic Compounds, VOCs)被認為是產生臭氧及PM<sub>2.5</sub>(小於2.5 $\mu$ m的懸浮微粒)的前驅物,因此國內環保機關對於VOCs採取嚴格管制措施,包括行政管制以及經濟誘因等。行政管制部分,環保署訂定固定污染源VOCs管制排放標準、排放許可申請,以及排放量申報等管制方式來降低VOCs排放量。經濟誘因之管制策略,落實污染者付費,自96年起徵收VOCs空污費,鼓勵業者能主動進行VOCs之減量及改善,並達到降低整體VOCs排放量之目標。

VOCs之減量技術包括焚化法、吸附法、吸收法、生物處理等方式;其中,焚化法因破壞效率較高(>95%),亦可回收VOCs燃燒所產生熱能,提供給製程或廠區所用,可以兼具環保及節能需求;而VOCs回收技術主要包括固定床活性炭回收設備、流體化浮動床活性炭回收設備、冷凝吸收技術等,可視產業之需求選擇適當之技術,產業應用可從高科技業到傳統產業。

\*傑智環境科技股份有限公司

資深經理

\*\*傑智環境科技股份有限公司

副總經理

\*\*\*傑智環境科技股份有限公司

董事長兼總經理

## 一、VOCs 減量技術之選用原則

VOCs 處理技術，可依循最佳可行控制技術(Best Available Control Technology, BACT)進行減量。BACT 主要是依製程排氣特性為基礎，在符合法令限制之前提下，對於任何由主要排放設施所可能排放或衍生之污染物，選擇透過製程變更或可行控制方法，考慮能源耗用、環境影響及經濟成本衝擊，選擇用以控制排放之污染物，藉以達成該排放設施所能達到的最大程度削減量之技術或方法，包含：

- 1.使用低污染性原(物)料、燃料；
- 2.採用低污染製程；
- 3.裝置空氣污染排放控制設備；
- 4.其他經主管機關或中央主管機關委託之政府其他機關認定之空氣污染減量技術。

## 二、技術選用案例探討

### 1、包裝材製造業凹版印刷製程

#### (1)本案背景

包裝材製造業產生 VOCs 製程主要為凹版印刷製程及塗膠製程，其廢氣特性為風量大(3,000~4,000ACMM)、濃度低，使用有機溶劑總類原料包括：苯類、酯類、酮類及醇類(含甲醇)等，有機溶劑排出量約 65~220kgs/hr。

#### (2)業者面臨問題

製程機台約 10 台，每個機台操作強度不同，會因為不同產品功能需求及數量做調整，因此排氣特性(濃度及風量)變異性大，但經常性排氣風量相當高。原上述高風量 VOCs 廢氣，導入活性碳吸附設備處理，由於其風量大、濃度低，因此活性碳貫穿時間僅約 1~2 天，增加活性碳更換頻率產生的費用，活性碳對 VOCs 處理效率無法常態保持在高效率(>90%)，致使環保單位的接受度日漸下降，造成業者之環保壓力，並遭環保單位要求限期改善。

#### (3)建議處理技術

VOCs 排放廢氣屬於高風量、濃度變化大等特徵，設備風量與設置成本成正比，考量 VOCs 處理效率、廢熱回收、設置成本、操作成本、二次污染前提，以及廢氣中不易吸附的甲醇成分，因此建議採用能有效吸脫附甲醇的雙蜂巢狀沸石濃縮轉輪+雙槽蓄熱式焚化爐+廢熱回收鍋爐(圖 1)。

本系統可在經常性 VOCs 質量流率高的情況下，將多餘的熱量回收。與直接焚化比較，可將系統設置成本降低 30~40%、操作成本降低 20~30%，再搭配設計廢熱回收鍋爐，利用蓄熱式焚化爐多餘廢熱產生蒸氣供給製程，可避免焚化爐操作穩定性不佳及過溫跳機之情形，減少重油每年 900~1,000 萬元燃料費用。

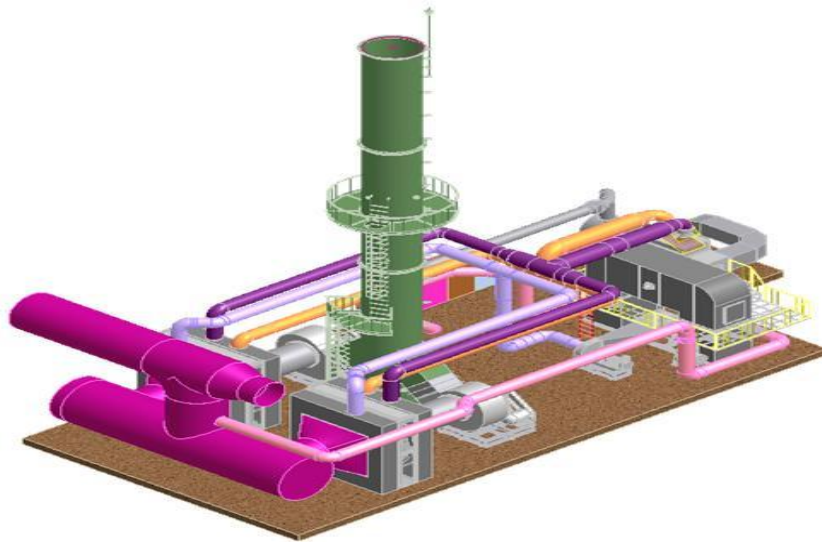


圖 1 雙蜂巢狀沸石濃縮轉輪+雙槽蓄熱式焚化爐(2T-RTO)系統圖

#### (4)控制成效

雙蜂巢狀沸石濃縮轉輪+雙槽蓄熱式焚化爐+廢熱回收鍋爐設備經第三公正機關實廠檢測結果顯示，對於凹版印刷製程及塗膠製程排氣 VOCs 之去除效率 95~98%，改善成效相當顯著。

#### (5)成本效益

由於排氣風量相當高，採用蜂巢狀沸石濃縮設備，可有效降低設置成本；設置經費約 4,500~5,000 萬元，每年節省製程鍋爐燃料重油費用 900~1,000 萬元，對於 VOCs 空污費亦相當節省，相關成本效益彙整如表 1。

表 1 凹版印刷製程 VOCs 處理成本效益

技術規格	設置成本	操作成本	燃油節省 (重油)	VOCs 空 污費節省
雙蜂巢狀沸石濃縮轉輪+雙槽蓄熱式焚化爐+廢熱回收鍋爐設備(4,000 ACMM)	4,500~5,000 萬元/套	250~300 萬元/年	900~1,000 萬元/年	500~1,500 萬元/年

## 2、噴塗製程

### (1)本案背景

鐵製容器製造業，產品多為客製化容器，因應客戶需求及容器功能性，選擇或添加不同種類塗料進行噴塗(包括內塗、外塗及底塗程序)。塗料中含有機化合物種類及成分比例也大不相同，使用之有機溶劑成分種類包括：苯類、醚類、酮類、醇類等，多屬中、低沸點及高揮發性，因此極易於噴塗作業及烘烤過程中逸散或揮發至環境，造成空氣中 VOCs 污染，衍生異味問題。

## (2)業者面臨問題

噴塗室中逸散之 VOCs，普遍採用水簾幕洗滌去除漆粒，回收的漆渣仍含有 10~20%有機溶劑，再將廢漆渣利用回收機進行回收，由於所使用有機溶劑大多數為苯類(甲苯、二甲苯)，因此水溶性相當低(幾乎不溶於水)，而且採用水簾幕對於噴塗程序所產生漆粒的處理效率有限。製程有機溶劑產生量約 50~80 kgs/hr(不含逸散量)，VOCs 廢氣成分複雜，以往採洗滌塔串連活性炭方式進行排氣 VOCs 之處理，效果有限，因此尋求最佳可行之減量技術。

## (3)建議減量處理技術

噴塗廢氣特性屬於大風量(1,500~2,000ACMM)、常溫、高濕度(前端以水簾幕處理)之 VOCs 廢氣，且有未處理完全之漆粒；而由乾燥爐排放 VOCs 廢氣屬高溫排氣(100~150°C)。處理系統選用重點在於對廢氣特性之掌握及瞭解，以及考量環保機關對相關法規及系統效率之要求，另外包括設備的設置成本、操作成本及二次污染等因素。建議採用多道式漆粒過濾設備，後端再串聯回溫控溫控濕單元後做為蜂巢狀沸石轉輪的前置防護器，再進入高濃縮倍率蜂巢狀沸石濃縮轉輪(濃縮 15~25 倍)進行淨化處理。藉由轉輪設備本身高濃縮之特性，使脫附後廢氣風量降低，並降低設置成本及脫附後蓄熱式焚化爐之操作成本。

由於噴塗製程廢氣前端以水簾幕處理具有高濕度的特性，在廢氣進入轉輪處理前，先將廢氣調理至適當之相對濕度(<80%)條件，若結合乾燥爐排放之高溫排氣，則再進入蜂巢狀沸石濃縮轉輪，必須藉由回溫控溫控濕單元再進行溫度(<40°C)及濕度之控制，確保沸石濃縮轉輪對於 VOCs 廢氣之處理性能，相關系統流程如圖 2 所示。

漆粒問題部分若無法有效淨化，將會造成後端蜂巢狀沸石轉輪設備短時間內阻塞的風險，因此特別對噴漆製程及烘烤製程排氣採用多階衝擊器進行微粒濃度及粒徑分布量測分析(圖 3 及圖 4)；分析結果顯示，粒徑分布為雙峰分布，而烘烤製程排氣微粒粒徑則主要分布在 PM<sub>0.1</sub>~PM<sub>1</sub> 次微米粒徑。

### 沸石轉輪濃縮+2T RTO 燃燒爐

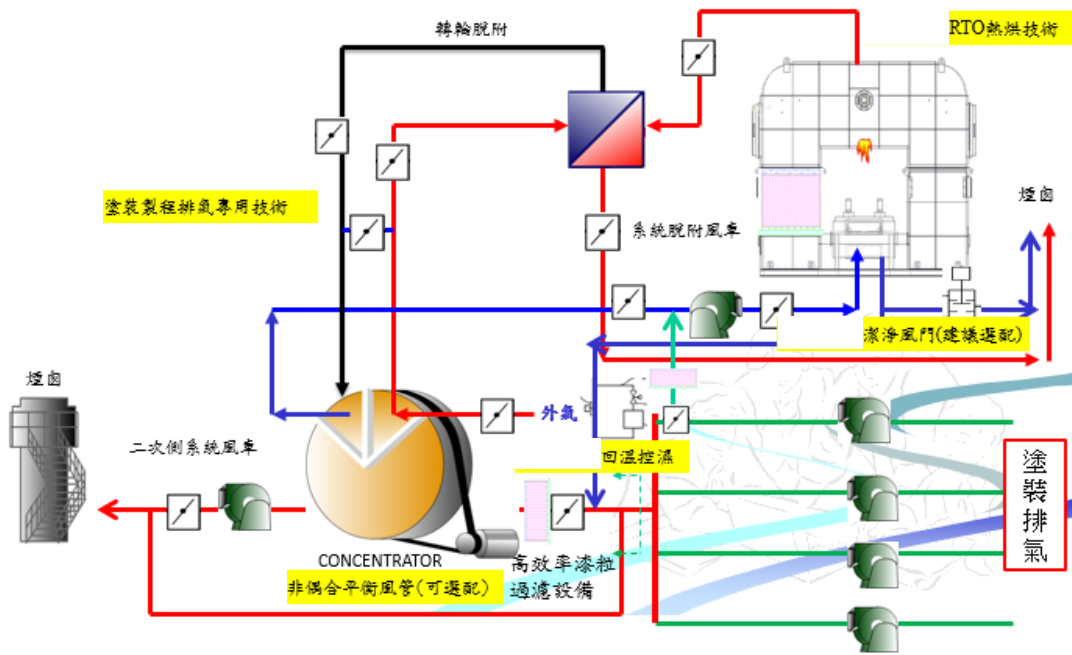


圖 2 高效率漆粒過濾+回溫控溫控濕單元+蜂巢狀沸石濃縮轉輪設備+雙槽蓄熱式焚化爐系統流程圖

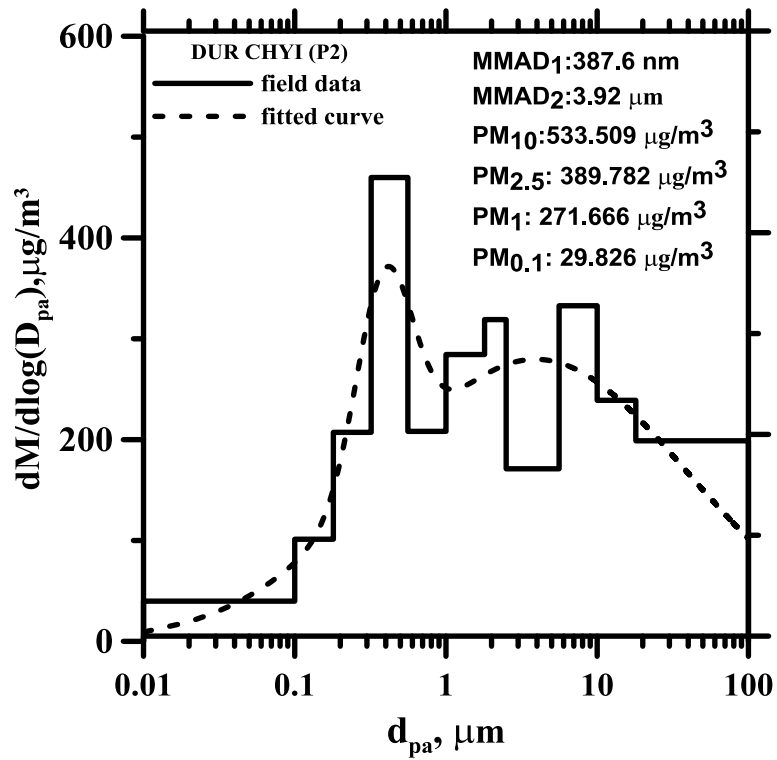


圖 3 噴漆製程排氣微粒粒徑分析結果

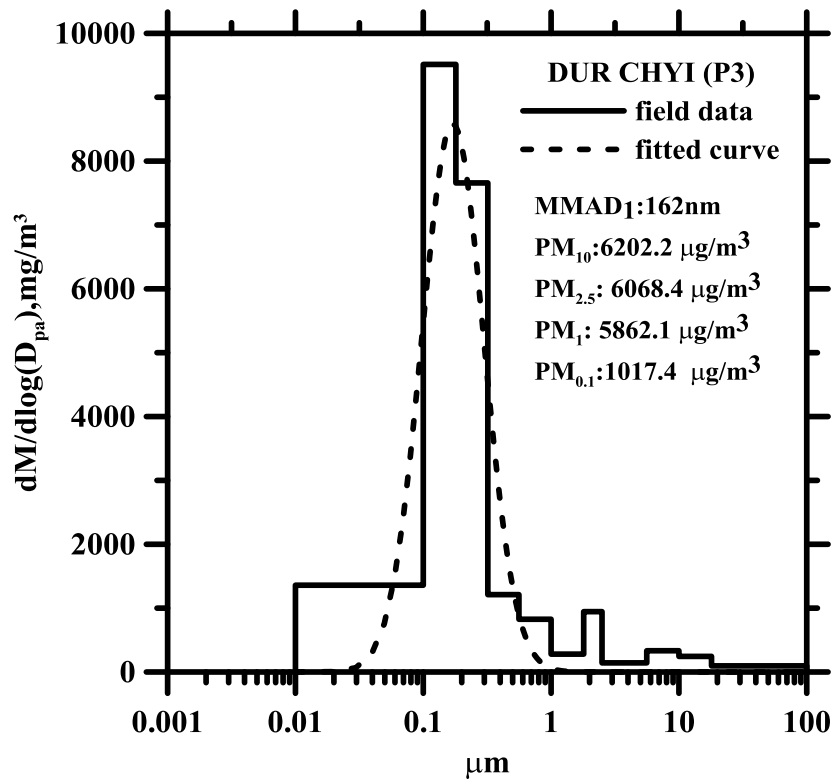


圖 4 烘烤製程排氣微粒粒徑分析結果

(4)改善成效

系統設備對於噴塗排氣 VOCs 之去除效率很高，業者委託第三公正單位進行系統效率驗證可達 95% 以上，可以大幅降低 VOCs 之排放以及節省 VOCs 空污費 400~600 萬元/年。

### (5) 成本效益

由於排氣風量高(1,500~2,000CMM)，採用蜂巢狀沸石濃縮轉輪設備，與直接焚化比較，系統設置成本降低 20~30%、操作成本降低 15~20%，可以有效降低空污設備設置及操作成本，本案設置經費約 2,500~2,800 萬元，年操作成本約 200~250 萬元/年，彙整如表 2。

表 2 噴塗製程 VOCs 處理成本效益

技術規格	設置成本/套	操作成本/套	節省 VOCs 空污費/套
沸石濃縮設備+蓄熱式焚化爐 (2,000 ACMM)	2,500~2,800 萬元	200~250 萬元/年	400~600 萬元/年

## 3、膠帶業

### (1) 本案背景

油性膠帶製程使用有機溶劑成分種類非常多(包括苯類、酯類、醚類、酮類、醇類等)，使用量大(約 480~600kg/hr)，因此極易於上膠及烘乾過程中逸散或揮發至環境中，造成空氣污染排放以及衍生異味問題。

### (2) 業者面臨問題

上膠及烘乾過程產生之 VOCs 比原先高出許多，因此原防制設備不敷使用。廢氣特性屬於風量大、高溫、高濃度 VOCs 廢氣，而且原料中部分產品須添加含矽有機原料，導致燃燒後產生  $\text{SiO}_2$  粉塵問題，容易於燃燒室內阻塞蓄熱材，造成壓損過高。因  $\text{SiO}_2$  粉塵為燃燒(加熱到一定溫度)含矽有機原料必然所產生，而原本做為蓄熱回收使用之陶瓷蓄熱材，則衍然為第一道  $\text{SiO}_2$  粉塵過濾單元，產生阻塞實為必然之現象；若刻意降低蓄熱材的阻塞現象，則將導致  $\text{SiO}_2$  粉塵微粒淨排放到大氣，將會產生二次污染物排放問題。

### (3) 改善建議技術

由於廢氣中 VOCs 質量流率高，經常會超過蓄熱式焚化爐(RTO)所需自持燃燒所需熱值(在 RTO 熱回收效率達 93% 下，仍有多餘廢熱可以回收)，因此建議業者採用高效能蓄熱式焚化爐(RTO)系統+廢熱鍋爐回收系統(圖 6)。另可依製程需求選擇熱媒鍋爐、蒸氣鍋爐或吸收式冰水主機，輔助替代製程所需要之熱源，以節省能源耗損，進行上膠製程 VOCs 廢氣處理。對於蓄熱材之選用及充填，因燃燒行為產生之  $\text{SiO}_2$  粉塵，若無法於原物料端排除，則須另外考慮蓄熱材容易保養清理、回填再利用及不易產生架橋等原則採多層充填方式，再透過系統定期

保養，即可維持蓄熱材應有之特性及性能。

兩槽蓄熱式焚化爐皆面臨間歇性異味排放之問題；為解決此問題，藉由潔淨風門，可提升既有兩槽式焚化爐之性能及間歇性異味排放之問題。以兩槽式蓄熱焚化爐+潔淨風門可達到三槽式蓄熱焚化爐或迴轉式蓄熱焚化爐解決間歇性異味排放之問題，亦可減少 20~50%之設置成本。此技術應用範圍不限產業且相當廣泛，採用兩槽蓄熱式焚化爐即可搭配採用本技術特徵，因為設置成本、異味及效率提升等考量，採用此技術，成功協助業者在最低成本下，提升兩槽蓄熱式焚化爐效率，應用成效相當顯著。

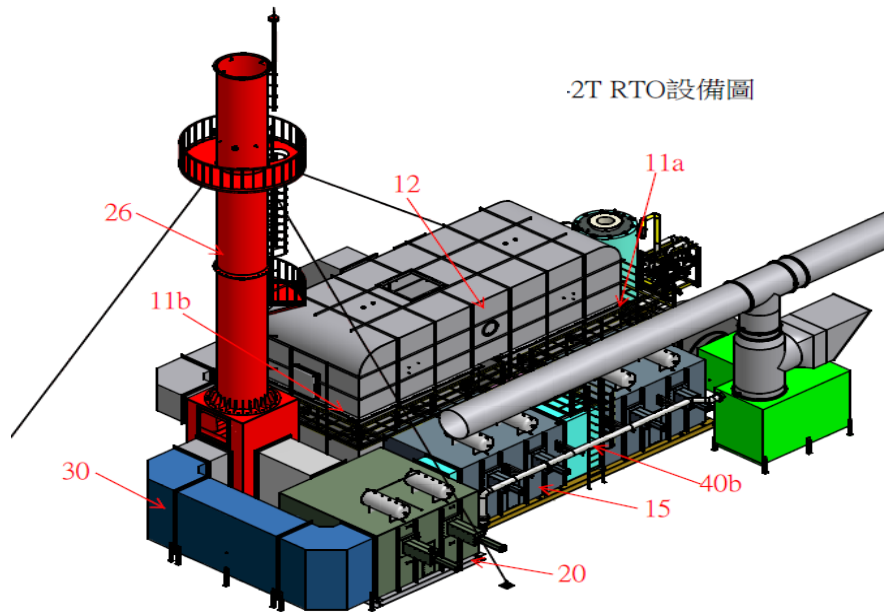


圖 6 焚化+廢熱鍋爐回收流程圖

#### (4)控制成效

採用雙槽蓄熱式焚化爐(RTO)+廢熱熱媒鍋爐回收系統，對於 VOCs 之去除效率經第三公證機關檢測結果 >99%，除了效率優於既設一般的兩槽式蓄熱焚化爐效率 98% 外，更解決間歇性異味問題，也有效降低 VOCs 之排放，並可回收 120~180 萬 kcal/hr 熱媒當量之熱值，提供製程所需熱源。

#### (5)所需經費

本案屬高風量(1,300~1,500 ACMH)、高濃度 VOCs 廢氣，雙槽蓄熱式焚化爐(RTO)+廢熱熱媒鍋爐回收系統設置經費約 3,000~3,200 萬元，操作成本約 250~350 萬元/年，在廢熱回收效益部分，若以熱媒回收當量 120~180 萬 kcal/hr 熱值估計，預估可以節省燃料費用約 1,200~1,600 萬元/年，而 VOCs 空污費節省約 2,000~2,300 萬元/年，燃料費約省 1,200~1,600 萬元/年(以天然氣燃料之熱當量及價格估計)，彙整如表 3。



表 3 膠帶業 VOCs 處理成本效益

技術規格	設置成本	年操作成本	VOCs 空污費/燃料節省
雙槽蓄熱式焚化爐 (RTO)+廢熱熱媒鍋爐(1,500 ACMM)	3,000~3,200 萬元/套	250~350 萬元/年	1.燃料費：1,200~1,600 萬元/年(以天然氣燃料之熱當量及價格估計) 2.VOCs 空污費：2,000~2,300 萬元/年

### 三、結論及建議

日趨嚴格的排放標準、空污費徵收，以及異味陳情等問題，環保單位對於產業界有關 VOCs 處理技術之要求也日趨嚴格。因此，選擇適當的空污控制技術或處理流程，就成為業者必須要面臨的重要課題，以 BACT 的精神做為控制技術選用評估流程，是產業界可以參考及依循的最佳方式。欲成功選擇 VOCs 處理技術，須對產業製程排氣特性有確實的掌握及瞭解，必要時針對其排氣進行檢測分析，才可依此進行適當之前處理(如粒狀物、酸、鹼氣減量)及廢氣調理(如溫度、濕度控制)工作，主要目的是要降低 VOCs 處理設備負面限制因素，才能讓設備發揮應有之性能，以及確保其應有之壽命。