

# 袋式集塵技術與小型焚化爐廢氣處理應用 實例介紹

謝長良\* 黃志峰\*\*

## 摘要

過去數年來，國內焚化爐在垃圾焚化爐廢氣之處理上，皆仰賴國外技術，且價格昂貴，國內業者較無法接受，處理技術一直掌握在國外廠商手上，無法落實於國內，本文主要內容是介紹：利用(1)粉體氣送注入系統(2)袋式集塵機處理流程，以解決垃圾焚化爐廢氣中酸性氣體、粒狀污染物及白煙問題。其目的有二：一方面降低設備初設成本，另一方面是落實技術，使技術本土化，擺脫過去受制於國外廠商的困境。

### 【關鍵字】

1. 垃圾焚化爐(waste incinerator)
2. 半乾式除酸系統(semi-dry absorber system)
3. 靜電集塵機(electro-static precipitator)
4. 粉體氣送注入系統(dry injection system)
5. 袋式集塵機(bag house)

---

\*工研院能資所副研究員

\*\*工研院能資所研究員

## 一、前　　言

環保意識日益抬頭，焚化爐已被廣泛應用於垃圾廢棄物的處理，因它能夠使垃圾廢棄物安全性地轉換，且減少廢棄物的體積，所產生之灰燼能安安全全地丟棄，然亦伴隨產生空氣污染問題，故加裝空氣污染防治設備以降低污染物排放，是工廠永續經營必要的環保措施。目前煙道氣除塵處理的空氣污染防治設備有旋風分離器、文氏管、填充塔、袋式集塵機與靜電集塵機等數種。各種設備初設成本、操作費用有高有低，除塵效果亦是有好有壞。如何選擇適當的空氣污染防治設備，是業者進行投資前的重要課題。

## 二、袋式集塵技術

### 2.1 集塵技術分類與比較

粒狀污染物依照來源的不同，粒徑大小的範圍可從 $0.002\text{ }\mu\text{m}$ 到 $100\text{ }\mu\text{m}$ 。一般而言，小於 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的粒狀物，稱為懸浮微粒。其中來自機械研磨、擊碎過程的粒狀物，多半大於 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ ；來自燃燒製程的粒狀物，多半小於 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 。

常被工業界採用的集塵設備，主要有1.旋風分離器2.文氏管3.填充塔4.袋式集塵機5.靜電集塵機五種。在應用的選擇上，主要的考慮因素有(1)集塵效率(2)操作壓損(3)操作溫度限制(4)設備設資成本(5)設備安裝所需空間(6)操作運轉費用(7)磨蝕、腐蝕問題(8)廢水(料)處理問題等。茲就袋式集塵機與靜電集塵機之特性做比較，如表1所示。其中袋式集塵機效率高、屬於乾式集塵(無廢水問題)，是廣為工業界應用之集塵設備。

### 2.2 袋式集塵技術原理

袋式集塵機(bag house)是採用濾布，製成袋子的形狀，藉由廢氣穿透質地密、孔目細的濾袋表面進行表面過濾的集塵裝置。

塵粒流經袋式集塵機的捕集作用主要為1.慣性衝擊(inertial impaction)2.遮擋作用(direct interception)3.擴散作用(brownian diffusion)4.重力沈降(gravitation settling)與5.靜電引力(electro-static attraction)。

表1 除塵技術比較表

項 目	袋式集塵機	靜電集塵機
集塵效率 (%)	99	96~99
操作壓損 (mmAq)	100~200	10~20
操作溫度限制 (°C)	285	535
設備投資	中／高	高
設備空間	中	中／高
運轉費用	中	低／中
粉塵形式	乾粉 2. 汚泥 (濕式)	1. 乾粉 (乾式) 2. 汚泥 (濕式)
適用排氣狀況	1. 乾性氣體 2. 非黏性粒狀物	1. 乾性氣體 2. 非黏性粒狀物
磨蝕、腐蝕	無	無
設計重要參數	氣布比	1. 漂移速度 2. 粉塵電阻
廢水處理	不需要	不需要

由於袋式集塵機對於微細粒子具有相當良好的捕集效果，同時又可從塵粒或煙塵中回收有用的物質，因此，廣泛地被應用在各行業。袋式集塵機主要的裝置主要包括：1. 濾袋及支架2. 清洗裝置3. 集灰斗4. 各個獨立組室5. 送、引風機與6. 監控儀錶。其操作方式依送、引風機的型式與相關位置，分為正壓操作與負壓操作兩種方式，為避免氣體逸出管道、危及人體與磨損風扇葉片等問題，通常採用負壓操作較為普遍。

### 2.3 袋式集塵機的設計要點

袋式集塵機在設計與選擇上的主要考慮項目分述如下：

#### 1. 袋式集塵機的型式與清洗機構

袋式集塵機依清洗濾袋的裝置型式可分為振動式(shaking type)、逆洗式(reverse-air type)、脈衝式(pulse-jet type)三種。

#### 2. 過濾速度或氣布比(air to cloth ratio)

不同的過濾速度或氣布比設計與選擇，會產生不同的操作壓力降、粉塵集塵效率以及濾袋壽命，且間接地影響到袋式集塵機的投資費用與操作成本。

### 3.袋材質

在袋式集塵器的設計與操作中，濾布的選擇是決定性能好壞的重要關鍵。為了得到良好的集塵效率，濾布的選擇須考慮下列的幾個因素：

- (1)濾布的穿透性：對於濾布的選擇，必須要有充足的纖維空隙，以允許氣流的通過。
- (2)機械強度：纖維的強度必須能夠承受濾布本身的張力、操作時的差壓、清洗時的脈衝或機械震盪力量。
- (3)塵粒的附著性：濾布纖維的構造，必須能夠防止微細粒子堵塞纖維的間隙，並且須要能夠捕捉微細塵粒，不會通過濾布而流至清潔空氣側。
- (4)抗蝕性：濾布纖維結構的聚合體鍵結，可能由於酸性水解、鹼性物質的攻擊而使強度衰退，甚至破損。因此，在選擇材質上須能夠抵抗化學性的侵蝕。
- (5)抗熱性：在某些製程所排放的廢氣具有極高的溫度。因此，纖維材質需能夠在高溫下操作以免因高溫而造成材質的分解。每一種濾布材質，都有其溫度的限制，選用時須掌握製程操作最高溫度與濾材纖維耐溫性能的匹配。
- (6)清洗特性：清洗濾餅的方法和纖維結構、型式有密切的關係。纖維的構造要能夠在清洗階段時，很快地將濾餅剝落。
- (7)穩定性：在清洗或過濾的過程，纖維的孔隙度不致於會鬆脫或變大，致使塵粒穿透纖維。

## 三、袋式集塵機處理焚化爐廢氣現場實驗測試

### 3.1 實驗目的

利用移動式袋式集塵機，引入焚化爐廢氣，進行實場測試，實際瞭解袋式集塵技術應用在焚化爐廢氣處理之可行性。

### 3.2 實驗方法

利用小型移動式袋式集塵機測試設備，安裝在焚化爐現場，實際引入焚化爐廢氣，並在測試系統上游注入吸收劑 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，藉以吸收煙氣中之水份、酸氣( $\text{HCl}$ )。

### 3.3 實驗條件

1.A/C(氣布比)=1.2 m/min.

2.引入煙氣流速= 16 m/s

### 3.4 實驗結果

利用預先注入之 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 使集塵機差壓上升至25~55 mm- $\text{H}_2\text{O}$ ，再正式引入焚化爐煙氣，集塵機差壓約每小時上升25~70 mm- $\text{H}_2\text{O}$ ，持續上升至130~152 mm- $\text{H}_2\text{O}$ ，採用高壓空氣反向脈衝清洗後，集塵機差壓降至約25 mm- $\text{H}_2\text{O}$ ，再注入 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，使集塵機差壓上升至25~55 mm- $\text{H}_2\text{O}$ ，如此周而復始。

### 3.5 實驗結論

1.袋式集塵機在焚化爐廢氣處理的應用上，依現場實驗操作的結果判斷，差壓變化與濾袋脈衝清洗現象，一切正常，如圖1所示。

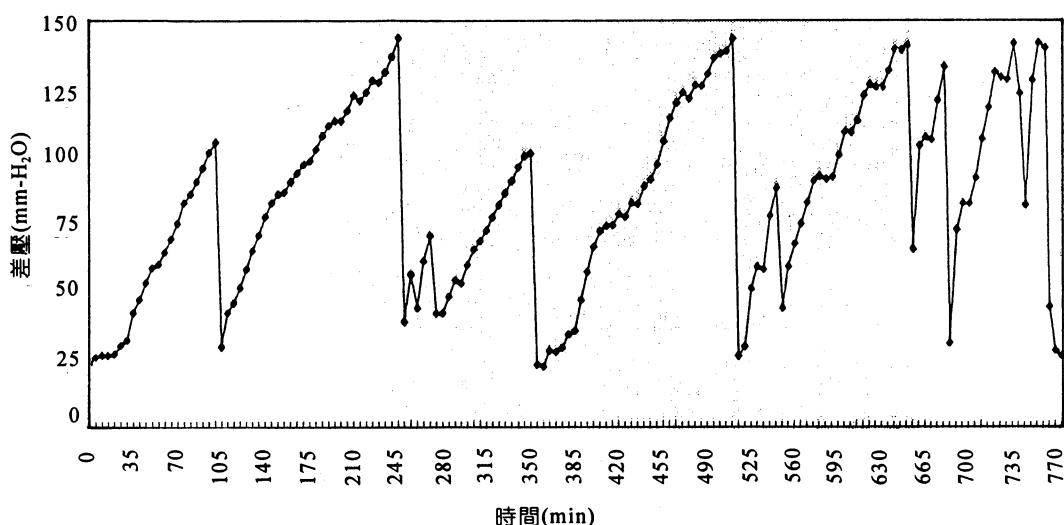


圖1 現場測試袋濾集塵機差壓曲線圖

## 2.4 袋式集塵技術與小型焚化爐廢氣處理應用實例介紹

2. 將測試使用後之實驗濾袋，送至國外原廠進行物性實驗分析、檢驗，分析結果，如表2、圖2所示，無論是物性或是濾材剖面構造分析，皆證明袋式集塵機可有效地處理焚化爐之廢氣。

表2 現場實驗測試新、舊濾袋物性比較表

項 目	新濾袋 (New)	舊濾袋 (Used)
伸張強度(daN/5cm) (Tensile strength)	經(warp) 48 緯(weft) 102	經(warp) 48.9 緯(weft) 101.5
伸張度(%) (Elongation)	經(warp) 20.1 緯(weft) 42.9	經(warp) 22.6 緯(weft) 20.2
基布重量(g/m <sup>2</sup> ) (Area Weight)	540	670
透氣度(L/dm <sup>2</sup> -min) (AP2mbar)	上(Top) — 中(Middle) 125 下(Bottom) —	上(Top) 91 中(Middle) 85 下(Bottom) 94

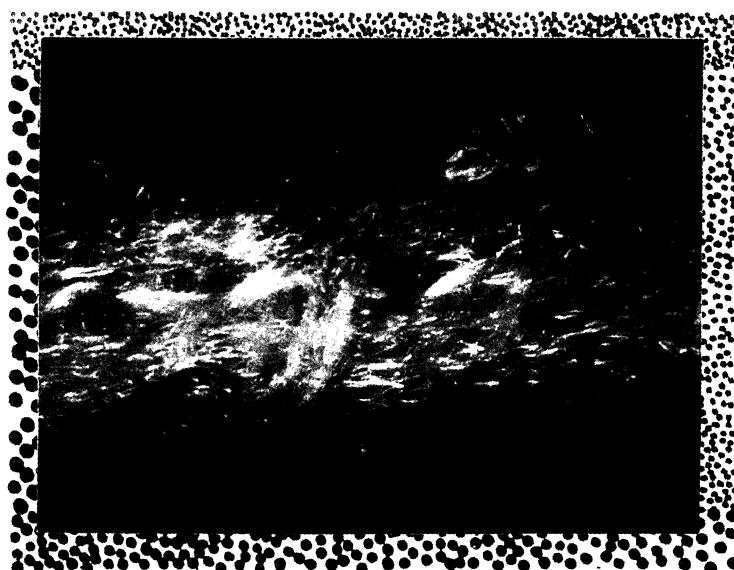


圖2 現場測試使用過的濾袋剖面圖

## 四、應用實例介紹

### 4.1 處理個案簡介

台元紡織公司竹北總廠，其工廠座落於新竹縣竹北市，主要的污染源為兩座交替使用壹座容量為5噸/八小時之垃圾焚化爐，主要垃圾種類為(1)木材類(2)紙張類(3)日用品類等等。垃圾焚化爐廢氣中，主要污染物大致可分為(1)粒狀污染物(2)硫氧化物(3)氮氧化物(4)氯化氫及其它鹵素化合物(5)不完全燃燒之產物。

由於該廠周圍皆是民宅，該總廠全體員工，極具環保意識，為了敦親睦鄰，於數年前，委託民間業者規劃、設計並建造壹套空氣污染防治設備，設備流程為送風機、靜電集塵機與煙囪，主要問題點如下：

- 1.送風機腐蝕不堪用：由於廢氣中含有氯化氫酸性氣體，將送風機葉片、外殼嚴重腐蝕穿孔，致送風機氣密不佳，推送廢氣能力大打折扣。
- 2.靜電集塵機設備腐蝕：靜電集塵機內極線、極板材質不良，已嚴重腐蝕，如圖3所示，且高壓放電設備搭配不佳，亦無放電集塵效果可言。
- 3.煙囪腐銹不堪：由於廢氣中的粒狀物、酸性氣體未有效去除，致大量具有腐蝕性的煙氣從煙囪排出，故煙囪腐銹不堪，排氣不透光度高。



圖3 台元紡織公司焚化爐廢氣原有靜電集塵機內極板、極線腐蝕情況

## 4.2 廢氣特性

鑑於垃圾廢棄物及燃料中各種不同成份之濃度有很大的變化，於未加裝空氣污染防制設備時，不論粒狀污染物、硫氧化物、氯化氫等，其濃度變化在數百個 ppm（或mg/Nm<sup>3</sup>）至數萬個ppm（或mg/Nm<sup>3</sup>）間，其中粒狀物可能來自於垃圾廢棄物及輔助燃料中所含的無機或有機物質，或是這些無機、有機物質的其它混合物，諸如鹽類及其中之微量金屬，因為可被分解或轉變成其它形態，然無法以焚燒方式加以摧毀，最後形成之粒狀物體積、分子量、形狀及表面結構係決定於焚燒的條件，如溫度、滯留時間及粒狀物處於昇溫狀態下受到氧化或還原的情況，所以加裝空氣污染防制設備是有其必要性。

## 4.3 技術瓶頸

此個案垃圾焚化爐排氣，經工研院能資所，利用一移動式袋式集塵機測試設備，安裝在焚化爐現場，實際引入煙氣測試，觀察袋式集塵機差壓變化、脈衝清洗情形、煙氣溫度，主要瓶頸在於下列幾點：

- 1.火星燒袋問題：由於垃圾焚化爐的排氣中，含有部份比例的未燃燒完全之產物，經由二次爐、廢熱鍋爐，火星逸散現象存於煙道中，而火星是袋式集塵在應用上最大的剋星，處理不當，會造成火星瞬間燒袋問題發生。
- 2.濾袋阻塞問題：由於垃圾焚化爐主要燃料是採用重油，在燃燒後所產生之油灰，具有黏性，再者，垃圾廢棄物中有可能是塑膠類的東西，致垃圾焚化爐排氣中灰渣也具有黏性，造成煙氣中的混合粉塵黏性亦高，這種特性的粉塵容易黏著濾袋，使濾袋之孔隙填死，造成濾袋阻塞，以高壓空氣清洗無效，致壓損過高，無法操作。
- 3.設備嚴重腐蝕問題：由於煙氣中含有少量之SOx、HCl等酸性氣體，若是因為操作溫度過低、或是因為焊接不良，造成局部冷點，引起設備嚴重腐蝕之不良影響。
- 4.排氣不透光度偏高：由於垃圾焚化爐排氣中含有少量(1)金屬燻煙：在煙囪排氣口，會發生光線折射現象，(2)SO<sub>3</sub>氣態污染物：此污染物在煙囪排氣口，會與周遭水氣反應形成硫酸，造成排氣不透光度偏高。

## 4.4 解決策略

為了克服火星燒袋、濾袋阻塞、排氣不透光度偏高等問題，利用移動式袋式集塵機，引入垃圾焚化爐廢氣，進行實場測試，證實袋式集塵技術應用在焚化爐廢氣

處理之可行；遂利用一乾式氣體注入設備，將特定粉體藉由高壓氣體輸送注入袋式集塵機系統上游煙道，使其在濾袋表面形成一保護粉塵的保護膜----塵餅，隔離具有黏性暨火星問題的垃圾焚化灰渣，有效解決上述之操作問題。

此一垃圾焚化爐廢氣處理系統，其處理流程為1.瞬間高溫急速冷卻閥2.乾式氣體注入設備3.袋式集塵機4.引風機5.煙囪。功能分別敘述如下：

- 1.瞬間高溫急速冷卻閥：因應垃圾焚化爐焚燒高熱值的垃圾時，煙氣溫度會瞬間過高，避免因此現象的發生，而造成逾越袋式集塵濾材所承受的操作溫度，使濾材損害。
- 2.乾式氣體注入設備：利用氣體輸送裝置，將特定粉體經由一撓性軟管注入袋式集塵機上游煙道中，在濾袋表面形成一層粉塵的塵餅，預覆(pre-coating)並保護濾袋，及吸收少許酸性氣體(HCl、SOx)，以使濾袋能維持正常的壽命。
- 3.脈衝式袋式集塵機：收集垃圾焚化爐煙氣中原有粒狀物、及未燃燒完全之產物，並藉由差壓控制，利用高壓空氣脈衝清洗濾袋，將附著在濾袋表面之塵餅，打落在集塵機下方之集灰斗中，再利用出灰閥將粉塵排出。
- 4.引風機：提供靜壓，克服系統壓損。
- 5.煙囪：排氣。

#### 4.5 試車結果

經過一連串的規劃、設計、採購、發包作業、機械設備的廠內製作、現場安裝、單機測試之後，終於一切順利，完成施工，如圖4所示，並在85年8月13日，正式引入煙氣試車，如圖5所示，並請經過合格認證之代檢業，進行檢測粒狀物、氯化氫濃度，校正排氣濃度值分別為 $3.2\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $20\text{ppm}$ ，遠低於法規要求的標準（法規標準：粒狀物、氯化氫排放濃度分別為 $180\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $60\text{ppm}$ ），除塵效率>99%，並經目測判煙，排氣不透光度<20%，而系統運轉時濾袋差壓變化與脈衝清洗狀態，如圖6所示，一切正常。

#### 4.6 實際效益

本系統解決垃圾焚化爐排氣污染問題，主要實際效益如下：

- 1.解決焚化爐廢氣處理問題：此個案空氣污染防治設備原先係採用靜電集塵機設備，而送風機裝設在靜電集塵機之上游，廢氣中之水份、酸性氣體及粒狀物等，

未能有效地處理，致空氣污染防治設備腐銹不堪用，而本系統利用粉體氣送注入設備和袋式集塵機，有效處理小型垃圾焚化爐排氣問題。

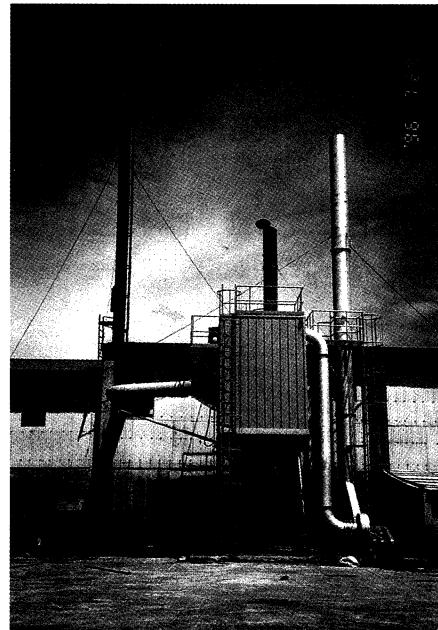


圖4 台元紡織公司焚化爐廢氣袋式集塵處理系統施工暨完成圖



圖5 台元紡織公司焚化爐廢氣袋式集塵處理系統煙囪排氣情形

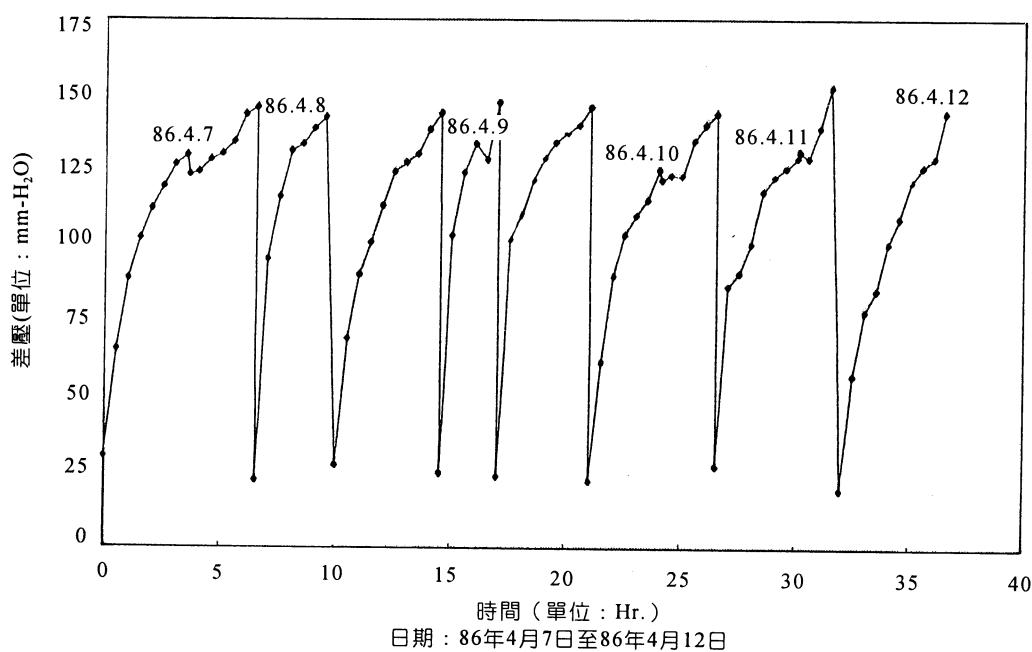


圖6 實際運轉濾袋差壓變化、脈衝清洗與時間曲線圖

- 2.改善焚化爐場內煙氣逸散問題：在未裝設此系統之前，係採用靜電集塵機設備，垃圾焚燒後的煙氣，有部份比例的煙氣，從焚化爐一次爐的爐門處逸散，造成場內作業環境的污染問題，本系統利用強制抽風集氣的方式，有效改善場內煙氣逸散的問題。
- 3.零廢水排放：本系統流程採用半乾式除塵系統，產生之反應生成物為乾粉狀，係屬零廢水之排放，無二次污染問題。

## 五、結論

過去數年來，在垃圾焚化爐排氣的處理上，國內業者一直仰賴國外技術，價格較昂貴，國內業者較無法接受，處理技術亦一直掌握在國外廠商手上，無法落實於國內，再者，袋式集塵技術，可免於濕式集塵處理，廢水二次污染問題，工研院能資所開發利用袋式集塵廢氣系統，來有效地處理小型垃圾焚化爐排氣問題，是極具應用發展潛力性之集塵方式。