

活性碳、碳黑袋式集塵技術與應用實例介紹

黃志峰*

摘要

袋式集塵技術在應用上，比較傳統濕式集塵設備，不僅是空氣污染防治設備，收集的粉塵，也可直接資源化回收再利用，免於濕式集塵技術的廢水二次處理問題。本文的內容，主要是介紹：利用袋式集塵機技術，解決玻璃珠成型爐廢氣污染問題，更有效地回收活性碳、碳黑等高單價粉塵並再利用，間接節省業者的操作成本。

【關鍵字】

- 1.袋式集塵機(bag house)
- 2.濾袋(bag filter)
- 3.活性碳(activated carbon)
- 4.碳黑(carbon black)

一、前言

環保意識日益抬頭，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機、文式管、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、

*工研院能資所研究員

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、技術背景：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)旋風分離機(2)文式管(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。茲將各種集塵設備之特性比較如表1所示。

2.2 袋濾集塵技術原理

袋式集塵機(Bag Filter)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)重力沉降(gravitation Settling)與(5)靜電引力(electro-static attraction)。

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中回收有用的物質，因此，廣泛地被應用在各個行業。

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。

90 活性碳、碳黑袋式集塵技術與應用實例介紹

表1 除塵技術比較表

	旋風分離器	文氏管	袋式集塵機	填充塔	靜電集塵器
集塵效率(%)	50~80	70~90	99	65~95	96~99
操作壓損(mmAq)	50~150	3000~1000	100~200	50~200	10~20
操作溫度限制(°C)	650	—	285	120	535
設備投資	低	低／中	中／高	中	高
設備空間	小	小	中	中	中／高
運轉費用	低／中	高	中	中／高	低／中
粉塵形式	乾粉	溼污泥	乾粉	溼污泥	1.乾粉(乾式) 2.污泥(溼式)
適用排氣狀況	1.高濃度 2.大顆粒 3.含火星	1.高溼度氣體 2.親水性粉塵	1.乾性氣體 2.非黏性粒狀物	1.高溼度氣體 2.親水性 3.大顆粒粉塵	1.乾性氣體 2.非黏性粒狀物
磨蝕、腐蝕	有磨蝕可能	磨蝕及腐蝕皆有可能	無	有腐蝕可能	無
設計重要參數	1.入口流速 2.筒徑大小	喉口流速	氣布比	填充物高度	1.漂移速度 2.粉塵電阻
廢水處理	不需要	需要	不需要	需要	不需要

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：

2.3.1 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。

1.振動式(shaking Type)

振動式乃利用機械振動的方式，促使附著在濾布上的塵粒掉落至灰斗中。此種型式還可細分為上部、中央部、下部振動三種不同類型。

在振動式清洗塵粒的方式中，振落所需時間(t)，依清洗的方式和塵粒附著狀態的不同而異，大致為15~60秒。

近年來的發展趨勢，雖然為了減少濾材的損傷而採用減心振幅，以增大振動次數的方式來清洗濾袋。然而，在處理吸濕性、附著性高的粉塵，仍然需要採用相當大的振幅。因此，採用振動清洗方式特別需要採用較柔軟的濾布。

2.逆洗式(reverse-air type)

逆洗式是目前使用最廣範的清洗方式。它是從濾布的清潔面通入乾淨空氣以清除濾布附著的塵灰。此種逆洗方式主要是應用在間歇式的清洗場合。逆洗式袋式集塵機一般採用並聯的方式，含塵粒的氣流通過濾袋後，以相對於集塵時間1：4的週期清洗，濾袋的大小約自6吋直徑12呎長至12吋直徑35呎長。清洗的氣流乃由通過濾袋乾淨的空氣再經送風機引入集塵機中使用。清洗期間，氣流入口的檔板設定在關閉的位置，以避免氣流再度進入濾室。直至清洗完畢，再打開檔板。間歇性清洗控制的方式有(1)時間週期控制及(2)差壓控制兩種：(1)時間週期的清洗控制方式，在於設定每一固定時間啓動膜片閥予以清洗。(2)差壓控制則是設定一差壓值，當濾袋壓損大於此一設定值時，即啓動清洗。由於週期控制方式通常清洗頻率較為頻繁，且不易反應真實情況，因此採用差壓控制方式可以減少清洗的次數，進而降低濾袋的耗損。

3.脈衝式(pulse-jet type)

此種型式，含塵氣體從濾布的外側流入，塵粒則在濾袋表面被捕集下來。在各個濾布上方裝有吹管(blow tube)，以40至100 psi($2.72 \sim 4.8 \text{ kg/cm}^2$)壓力的壓縮空氣定時從吹管噴射進入濾袋內側以清除濾袋表面之塵灰。脈衝式袋式集塵機不同於逆洗式袋式集塵機，其清洗的方式採用線上清洗(on-line cleaning)，清洗空氣的來源是由外部空壓機提供。此外在處理量較大的系統也有採用脫離線上(off-line cleaning)的清洗方式以避免塵粒再逸散現象的發生。

2.3.2 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。

2.3.3 濾袋材質

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高的溫度。因此，纖維材質需能夠高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。

一般逆洗式袋式集塵機所採用的濾材重量為9.5~10盎斯／平方碼；脈衝式袋式集塵機則採用16~22盎斯／平方碼的濾材。由於脈衝式袋式集塵機使用較高能量的清洗方式、較高的氣布比，增加塵粒與濾袋、濾袋防護籠(Cage)與濾袋的摩擦，因而需要採用較強韌的濾材。適當地選擇濾袋材質，加上良好的設計，可以延長濾袋的壽命。但是，在設備成本的估算上，也必須考量價格的經濟因素。

逆洗式袋式集塵機大都在大型鍋爐，小型鍋爐則逆洗式、脈衝式二者都有應用(表2)。依據統計，逆洗式袋式集塵機氣布比約1.5至2.5acfm/ft²(0.46~0.76m/min)，脈衝式袋式集塵器氣布比為3.5至6.0acfm/ft²(1.07~1.83m/min)。脈衝式袋式集塵機使用的氣布比較逆洗式的氣布比高(約2倍)，因此脈衝式可使用較小體積的集塵機。

表2 袋式集塵機國外應用實例

應用工廠	規模(MW, acfm)	名稱	A/C(fpm)	ΔP (inAq)	濾袋材質	濾袋壽命(yr)	清洗方式	清洗週期(hr)	濾室個數
汽電共生	400(MW)	Antelope Valley Basin Electric	2.2	4	FG/TC(10)	2	逆洗	2	12 (二廠)
汽電共生	110(MW)	Riverside 6.7 Noethern States	1.70	4	FG	4	逆洗	1	12
汽電共生	60(MW)	Stanton 10 United Power	1.61	4	FG/SGT(14)	2	逆洗	1	—
汽電共生	450(MW)	Carig 3 Colorado-Ute Power	2.3	6	—	2	—	—	—
汽電共生	280(MW)	Rawhide 1 Platte Rvier Power	1.78	3.5	FG/TC	2	逆洗	1	12 (二廠)
汽電共生	320(MW)	Holcomb 1 Sunflower Corp.	1.55	3.5	FG/TC(10)	2	逆洗	2	14 (二廠)
汽電共生	44(MW)	Shiras 3 City of Marquette	2.0	6.8	FG/AR(10)	2	逆洗	8	—
汽電共生	270(MW)	North Valmy Sierra Pacific Power Idaho Power	2.8	5.8	FG/TC	—	逆洗	0.5	10
工廠	750,000(acfm)	Argonne National Laboratory Argonne ILI	3.0	3.5	FG/TC(16)	2	脈衝	1.5	4
工廠	90,500(acfm)	Container Corp. Philadelphia, Penn.	4.5	5.5	FG/TC	—	脈衝	—	8

94活性碳、碳黑袋式集塵技術與應用實例介紹

表2 袋式集塵機國外應用實例(續)

應用工廠	規模(MW acfm)	名稱	A/C (fpm)	ΔP (inAq)	濾袋材質	濾袋壽命(yr)	清洗方式	清洗週期(hr)	濾室個數
工廠	46,500 (acfm)	Fairchild Air Force Base, Spokane, Wash.	2.0	—	—	—	逆洗	—	6
工廠	167,000 (acfm)	General Motor Buick Div. Flint Mich.	2.0	—	—	—	逆洗	—	8
工廠	48,000 (acfm)	Griffis Air Force Base, Rome N.Y.	4.0	9	FG/TC	—	脈衝	—	4
工廠	44,400 (acfm)	Malstrom Air Force Base, Great Falls, Mich.	2.0	—	—	—	逆洗	—	5
工廠	40,000 (acfm)	Strathmore Paper Woronco, Mass.	—	—	壓克力	—	脈衝	—	—
工廠	62,000 (acfm)	University of Minnesota	2.5	2.9	FG/TC	>6	逆洗	5	8
	96,000 (acfm)		1.7	3.0	FG/TC	>6	逆洗	15	8
工廠	97,000 (acfm)	Rockwell Int'l Columbus, Ohio	2.1	3.5	FG/TC	2	逆洗	30	8
工廠	205,000 (acfm)	M.M. Carbon Long Beach, Calif.	1.9	4	FG/TC	—	逆洗	24	12
工廠	81,710 (acfm)	Ohio State Univ. Columbus, Ohio	5.3	8	FG/TC	—	脈衝	—	6

[註] :

ΔP : 袋式集塵機壓損

FG/TC(10) : 鐵弗龍塗佈之玻璃纖維(基重 : 10盎斯／平方碼)

FG/AR : 耐酸材質塗佈之玻璃纖維

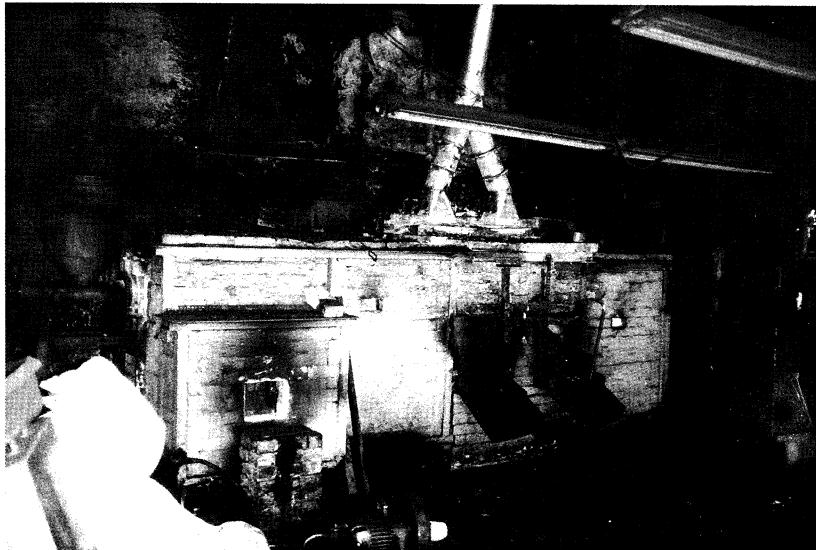
FG/SGT : 矽膠—石墨—鐵弗龍塗佈之玻璃纖維

三、應用實例介紹：華益公司玻璃珠成型爐廢氣處理系統

3.1 背景

華益玻璃珠股份有限公司，其工廠坐落於台北縣樹林鎮內，主要的產品是各式各樣、五顏六色的玻璃珠。在各階段製程中，主要的污染源為壹座玻璃珠成型爐（如圖1所示）。上游製程，將中空的長條玻璃管切成圓柱型玻璃管，再利用成型爐將圓柱型玻璃管燒結成圓型玻璃珠。為了避免成型過程中，中空的玻璃珠因融熔而阻塞中空孔洞，所以在成型前，需添加活性碳(Activated Carbon)及碳黑(Carbon Black)混合物，以維持中空孔洞免於阻塞。但是，由於活性碳及碳黑的添加，造成玻璃珠成型爐排氣中有嚴重的粉塵逸散問題（排放濃度依操作條件不同而有差異，約為 $14\sim22\text{g/Nm}^3$ ）。

該公司為了解決此一問題，委託某家民間業者規劃、設計並建造壹套空氣污染防治設備，系統流程為旋風分離機、袋式集塵機。引風機與煙囪。試車之後，並沒有完全解決排氣問題，排氣中仍含有可觀之粉塵，造成不透光度高達 $20\sim50\%$ 。



■1 玻璃珠成型爐

3.2 技術瓶頸

經過工研院能資所在現場觀察的瞭解，玻璃珠成型爐廢氣在處理上最主要的技術瓶頸，分述如下：

- 1.微細粒徑之粉塵，穿透濾袋：排氣中粉塵的種類是活性碳和碳黑，其平均粒徑為 $5.0 \mu m$ （最小粒徑為 $0.1 \mu m$ ），經過成型爐，組成中的未燃碳燃燒殆盡，造成更微細粉塵的生成。如此微細的粉塵，袋式集塵機若是設計不當，會造成粉塵穿透濾袋，使處理後的排放濃度仍然偏高。
- 2.火星燒袋問題：由於活性碳成份中含有部份比例之未燃碳，經過高溫成型爐造成火星逸散。而火星是袋式集塵機在應用上最大的剋星，處理不當，會造成火星瞬間燒袋的問題產生。
- 3.煙氣排氣溫度高達 $500\sim 600^{\circ}C$ ，而且不穩定：每一種濾材，都有操作溫度的限制。若是製程排氣溫度不穩定，會因瞬間高溫而造成濾袋燒燬的後遺症。

3.3 解決策略

爲了解決上述問題，工研院能資所首先量測煙氣各項特性條件（溫度、流量、粉塵濃度、硫氧化物濃度、含氧量），做爲系統規劃、設計的基本資料。

另外，由於有先前民間業者的前車之鑑，爲了避免重蹈覆轍，本所將華益公司所用的活性碳、碳黑混合物收回，在實驗室內，利用一小型移動式袋式集塵系統，模擬煙氣條件，進行實驗測試，針對不同氣布比、濾材種類，探討各種參數對集塵效率、脈衝清洗週期的影響程度。經過一連串的實驗，有效掌握袋式集塵機各種設計參數：(1)氣布比(2)濾材種類(3)粉塵濃度，對於(1)處理後排氣粉塵濃度(2)處理後排氣粉塵粒度(3)脈衝清洗週期的影響程度。

3.4 系統規劃、設計、建造與試車

根據上述實驗測試的結果，本所規劃、設計壹套玻璃珠成型爐廢氣處理系統，主要流程分述如下（系統流程如圖 2 所示，實體照片如圖 3 所示）：

- 1.輻射降溫風管：利用未保之裸露風管，採自然輻射降溫原理，降低煙氣溫度。
- 2.冷卻閥：引入少量外界空氣，將煙氣溫度降至袋式集塵機濾材所能承受的操作溫度。

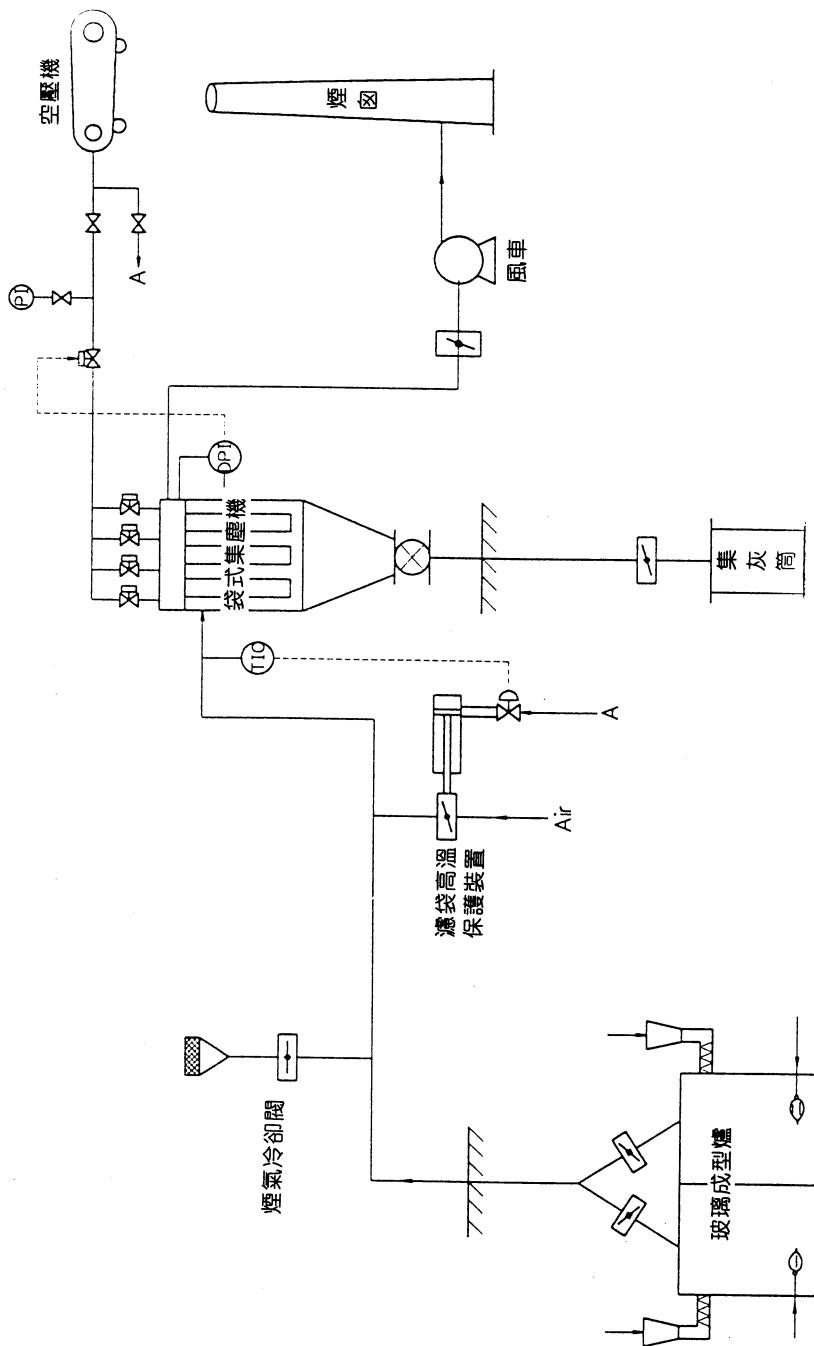


圖2 活性碳袋式集塵機系統流程圖

3. 瞬間高溫急速冷卻閥：因應成型爐煙氣溫度的不穩定性，裝設此一裝置，避免因煙氣溫度瞬過高，而造成袋式集塵機濾袋的損害。此一裝置，已取得中華民國新型第098633號專利。
4. 脈衝式袋集塵機：採用有效的氣布比、Can Velocity，收集煙氣中活性碳、碳黑粉塵。並藉由差壓控制高壓空氣脈衝清洗濾袋，將附著在濾袋表面之塵餅打落至集灰斗中，再利用旋轉閥將粉塵排出，並循環再使用，當作玻璃珠之填充物。
5. 引風機：提供動力、克服系統壓損。
6. 煙囪：排氣。

經過四個月一連串的規劃、設計、發包作業、機械設備製作、現場安裝、單機測試之後，最後如期於83年6月30日正式引入煙氣試車，當日一切順利完成，並經目測判煙，排氣不透光度<10%。

3.5 實際效益

此系統不僅是空氣污染防治設備，也是資源回收再利用製程，主要的實際效益如下：

1. 解決玻璃珠成型爐廢氣污染問題：排氣不透光度由未處理之40~50%，處理後降為低於10%。
2. 改善廠內粉塵逸散問題：在未裝設此套系統之前，活性碳及碳黑粉塵，會從玻璃珠成型爐之出料口逸散而出，造成廠內作業環境的污染問題。此系統利用強制抽風的集氣方式，有效改善廠內粉塵逸散的問題。
3. 資源回收再利用：原本隨煙氣排至大氣中的活性碳及碳黑粉塵，經過袋式集塵機大於99.5%的有效收集與再利用，節省三分之一的材料（玻璃珠填充物：活性碳與碳黑），每年可替業主節省300萬材料費用。

3.6 操作、維修情況追蹤

此系統自從83年6月底正式運轉至今，一直保持操作順利、穩定，煙囪排氣不透光度維持在10%以下，濾袋脈衝清洗頻率約8小時一次。根據研判，濾袋使用壽命應可超過三年。較一般袋式集塵機濾袋壽命設計值1~2年更長。

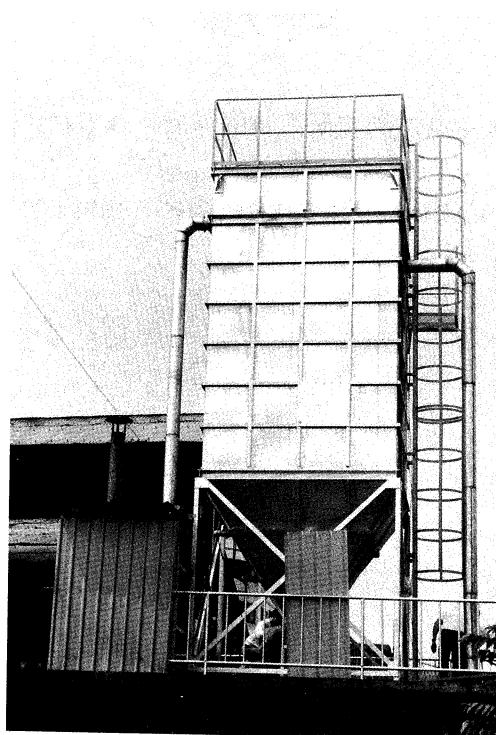


圖3 活性碳袋式集塵機系統實體照片

四、結論

袋式集塵技術，比較傳統的濕式集塵技術，不僅是空氣污染防治技術，收集的粉塵，也可直接資源回收再利用，免於濕式集塵技術的廢水二次處理問題，是極具應用發展潛力的集塵方式之一。

活性碳袋式集塵機在空氣污染防治技術上的應用，除了上述華益玻璃珠公司之玻璃珠成型爐廢氣處理外，在特殊廢氣處理系統中，利用活性吸附重金屬、戴奧辛、夫喃、VOC（揮發性有機氣體）等污染物，可提供活性碳的集塵與回收再利用功能，具有相當的發展潛力。

參考文獻

- 1.經濟部工業局“空氣污染防治技術人員訓練班、空氣污染防治設計操作訓練講義”，1991。
- 2.James H. Turner, "FABRIC FILTER-BAGHOUSES I:Theory, Design, and Selection", ETS, Inc,1989.