

## 硼系玻璃纖維熔爐廢氣處理技術實例介紹

黃志峰\* 陳明輝\*\* 陳旺\*\*\* 謝長良\*\*\* 李怡萱\*\*\*\*

### 摘要

國內玻璃業在玻璃熔爐廢氣的處理上，過去一直仰賴日本技術，而且日本技術所使用之靜電集塵機價格高昂，國內玻璃業者多屬中小規模，較無法接受。再者，處理技術一直掌握在日本廠商手上，無法在國內落實。本技術發展之目標，主要是開發取代程序，利用價格較為低廉之袋式集塵機來處理玻璃熔爐的廢氣。一方面降低設備成本；另一方面，落實技術，使技術本土化，擺脫過去受制於日本廠商困境。

本文主要內容是介紹利用(1)廢熱鍋爐(2)半乾式除酸系統(3)袋式集塵機處理流程，解決玻璃熔爐排氣中酸氣( $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ )、粉塵(油灰、玻璃灰渣)及白煙問題。此項技術，目前已應用在福隆纖維玻璃公司，成功地處理該公司硼系玻璃熔爐(電子級玻璃纖維產量：33噸/日)之廢氣(廢氣流量： $45,000\text{m}^3/\text{h}$ ；廢氣溫度： $500\sim 520^\circ\text{C}$ )，達到下列之處理效果。1.除酸效率： $\text{SO}_2 = 90\%$ ； $\text{B}_2\text{O}_3 > 99\%$ ； $\text{HF} > 99\%$ ； $\text{NO}_x = 35\%$ 。2.除塵效率 $> 97.8\%$ 。3.排氣不透光度 $< 10\%$

#### 【關鍵字】

- 1.半乾式滌氣系統(semi-dry scrubbing system)
- 2.袋式集塵機(baghouse)

---

\*工研院能資所空氣污染研究室副主任

\*\*工研院能資所空氣污染研究室研究員

\*\*\*工研院能資所空氣污染研究室副工程師

\*\*\*\*工研院能資所空氣污染研究室副研究員

## 一、前　　言

隨著科技的進步，人們的生活越來越方便，但伴之而來的污染卻也越來越多。所謂的污染，大致可分成三大類：即水污染、空氣污染及各式各樣廢棄物污染。其中空氣污染是全球性的影響，如臭氧層破壞、溫室效應及酸雨等。而酸雨更是直接會對人體造成傷害，故世界各國對酸氣之排放開始嚴加管制。

我國對酸氣之排放法規因此愈加嚴格，而產業界已開始規劃裝置排氣控制系統，或改善現有之設備，以期能符合新的環保法規，避免受到高額的罰金或刑責，所以國內產業界對除酸技術日益迫切。分析其需求可分為兩方面，第一、低初期成本、高去除率的控制設備，以提高業者投資的意願；第二、既存設備改善，特別是溼式吸收除酸塔的性能診治技術，以維持設備的正常運轉更進而提高效率。

在傳統酸性氣體的處理方面，大部份以濕式洗滌(wet scrubber)的方式進行，此法處理效率可達90%以上，效果良好。但其最大缺點在於用水量大，且經處理後所產生的廢棄物為漿液狀態，必須經脫水處理後才可掩埋處理。而在脫水中所濾除的水份，往往不符合法規排放標準，必需再經過一次污水處理方可排放，因而造成使用成本增加。

另一種常用的酸性氣體處理方法為吸收劑乾式注入法(dry injection)。此方法設備成本極低且無二次水污染問題，但由於是氣、固相間反應，故處理效率差（約在50%左右），且操作成本高，為其最大缺點。

半乾式噴霧乾燥滌氣法(semi-dry spray-dryer absorber)為近年來極熱門的酸性氣體處理法，它採用濕式進料（吸收劑漿液），但所得之副產物卻呈乾燥粉狀。它的吸收效率約在80~95%之間，適用於採用中、低硫燃料的案例。除了酸性氣體外，半乾式處理法採用除酸、除塵同時考慮的觀念，因而可一次解決酸氣與塵粒的污染；依據最近的研究更顯示，噴霧吸收亦可有效地處理許多經由焚化所產生的毒性物質(air toxics)。也有研究發現，噴霧吸收對NOx亦有去除之功能。整合性的防治技術，可同時處理兩種以上的氣體污染物，是目前各先進國家積極發展的趨勢，也是半乾式噴霧乾燥吸收滌氣法的主要特色。

溼式、半乾式及乾式三種除酸系統中，乾式注入法是屬於應急的措施，此種方法，雖然設備簡單，固定投資成本低，但是吸收劑用量高，操作成本可觀，一般較不適合採用，特別是煙氣處理量大的情況。溼式及半乾式系統的比較，端看情況

(廠內廢水處理設備、供水狀況及煙道氣含硫量)而定，並無絕對的優勢，整體而言，以固定成本來說，半乾式低於溼式；以操作成本來說，半乾式與溼式兩者在伯仲之間。

## 二、半乾式除酸除塵技術

### 2.1 原理

半乾式洗滌系統之典型流程如圖1所示，主要包括吸收劑調配儲放系統、噴霧乾燥吸收塔及集塵裝置。噴霧乾燥吸收塔為本系統之心臟，幾乎所有反應都在塔內發生。其原理乃利用一霧化器(atomizer)將吸收劑漿液(一般為 $\text{NaOH}$ 、 $\text{Ca(OH)}_2$ 或 $\text{Mg(OH)}_2$ )霧化成直徑約數十微米的小液滴，這些小液滴再在噴霧乾燥吸收塔中和待處理廢氣接觸。因煙氣的高溫，吸收劑漿液的水份將蒸發，而存在於煙氣中的 $\text{SO}_2$ 、 $\text{HCl}$ 和 $\text{HF}$ 則和吸收劑反應生成各種鈣鹽。由於接觸面積廣，因此質傳和熱傳效率均佳。在熱傳方面，小液滴由於吸收來自廢氣的熱而溫度上升，使得水份蒸發；在質傳方面，酸性氣體透過液氣界面和吸收劑作用，達到廢氣處理的目的。當小液滴到達塔的底部時，水份已經全部蒸發而作乾粉狀態，因此便無廢水處理之問題。

噴霧乾燥吸收塔必須提供吸收劑與廢氣反應與乾燥所需之足夠的滯留時間（一般約為10到15秒），藉著水份的蒸發量來控制吸收塔的反應溫度，一般這個溫度至少需高於露點(dew point)15至20°C，以避免低溫冷凝造成塔壁被酸侵蝕。在這種情況下的產物為乾燥且呈粉塵狀的硫酸鹽和亞硫酸鹽混合物，一部分產物在吸收塔底部排出，另一部分則隨煙氣直到集塵器才被收集下來、而上述二股產物再經由傳輸設備匯合到儲倉中。

乾燥後的吸收劑除部份由吸收塔塔底卸出外，有相當比例會隨煙氣送至後方之集塵設備、因此完整的噴霧乾燥除酸系統必須有適當除塵設備，否則因為噴霧乾燥吸收劑所產生額外的粒狀物進入煙道氣中，將會使排氣中的塵粒濃度超過法規所允許之排放標準。而且合適的除塵設備除了可去除粉塵外，它還提供吸收劑與廢氣進一步反應的時間與空間，因而可提高半乾式系統之整體除酸效率。

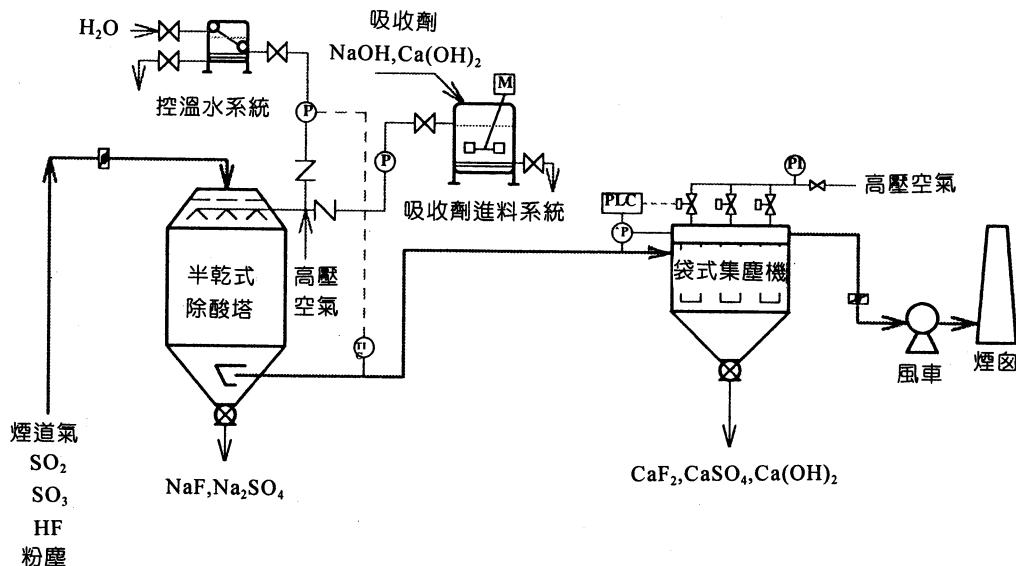


圖1 半乾式滌氣（除酸、除塵）系統流程圖

目前常用於噴霧乾燥除酸系統之集塵設備主要有袋式集塵器及靜電集塵器兩種。其中袋式集塵器由於在除塵的過程中會在濾袋上形成濾餅，因此在煙氣強行穿過濾袋的同時，有許多殘餘酸氣便被濾餅中的吸收劑所吸收，造成除酸效果的提升，一般約在10%左右。相對於袋式集塵器，靜電集塵器便無此優點；加上其除塵效果受煙氣塵粒電氣性質影響相當大，因此較少為半乾式系統採用。

## 2.2 系統組成單位

半乾式除酸系統的主要組成單元有下列幾個部份：

### 1. 噴霧乾燥吸收塔

噴霧乾燥吸收塔為本系統之心臟，可提供廢氣與吸收劑反應、乾燥所需之足夠的滯留時間。從吸收劑與煙道氣同時進入吸收塔開始，下列條件必須保持以達到吸收反應之效果：

- (1)材質必須能耐高溫及抗腐蝕。
- (2)霧化器需有足夠之霧化能力，將吸收劑液滴霧化成 $50 \mu\text{m}$ 以下粒徑，並不發生相互凝結或黏壁情形。
- (3)需有足夠空間及調節噴霧量之單元設備，將輸入之高溫廢氣冷卻，並移除其中污染物。

- (4)需有導氣及分散設施，使霧化之吸收劑漿液液滴與廢氣完全充分混合接觸，並將液滴完全蒸發。
- (5)需設旋轉閥將粉塵體塊自動排出設備。
- (6)需留測定孔及法蘭、觀察孔、維修人孔，於平時未用時，必須能保持密閉，並留工作平台及爬梯。
- (7)設備完成需經測漏之壓力試驗，防止洩漏廢氣。
- (8)吸收劑泵能自動、手動調節0~100%輸出。

## 2.集塵設備

完整的噴霧乾燥吸收除酸系統必需有除塵設備，因噴霧吸收會產生額外的粒狀物進入煙道，故若無除塵設備，將會使排氣超過法規所允許之排放標準，而且合適除塵設備將可提高除酸之效率。目前常用於噴霧乾燥吸收除酸系統之除塵設備主要為袋式集塵器，又依其清潔濾袋方式之不同，而有三種不同之型式，分別為逆洗式、震動式及脈衝式三種。

其功能要求如下：

- (1)維修人孔必需能符合方便替換濾袋之原則。
- (2)能將 $0.1 \mu m$ 以上塵粒有效捕集，集塵效率在99%以上，壓力損失在200mmAq以下。
- (3)濾袋之材質能耐200°C以上高溫，操作溫度為160°C，須耐酸鹼之材質，並維持一年以上使用。
- (4)排出灰方式採用自動灰之旋轉閥控制。
- (5)設備完成須經測漏壓力試驗，以利壓力控制器之準確使用及控制本體壓力。
- (6)須有壓力控制器自動控制清洗設備，並能以手動方式或自動清洗濾袋。
- (7)本體前須設緊急排放煙囪，對於異常溫度能自動開啓，並裝設煙道阻絕風門，防止高低溫進入濾袋機本體，影響設備之安全。
- (8)溫度控制採二段式，第一段為容許警戒溫度上下限溫度預警，第二段為異常保護溫度，強制廢氣脫離處理段。

## 3.石灰漿液儲存及輸送設備

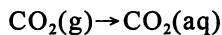
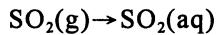
吸收劑儲槽之體積大小，由設計之吸收劑反應比率(SR)及每一槽之容量來決定，一般均以能儲備7日之用量為準。其高與直徑之比通常為2:1。輸送設備之設計，以能運送固含量10%之吸收劑為準。若霧化器為二流體噴嘴，則以泵浦直接

輸送至噴嘴；若為轉盤式，則以幫浦將吸收劑漿液送入霧化器高位液槽(head tank)，再以重力將漿液等速送入霧化器，超過液位則回流到儲槽。如系統使用再循環(recycling)以提高吸收劑之利用率。另吸收劑儲槽須有液位顯示及警報之功能，以利系統操作之便。

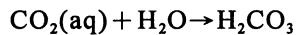
### 2.3 吸收反應機構

以SO<sub>2</sub>為例，在噴霧吸收過程中，其反應之程序包括下列階段：

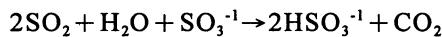
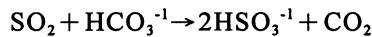
1.SO<sub>2</sub>與CO<sub>2</sub>由液滴之表面擴散進入液滴與氣體之薄膜



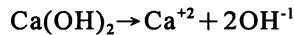
2.SO<sub>2</sub>與CO<sub>2</sub>之水解



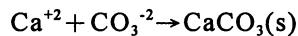
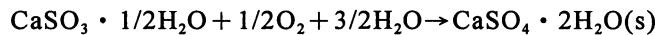
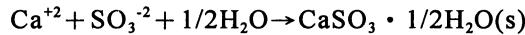
3.分解成鹼性介質



4.吸收劑之分解



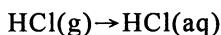
5.鹽類形成



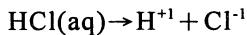
另外，煙道酸氣除SO<sub>2</sub>及CO<sub>2</sub>外，尚有HCl，NO及NO<sub>x</sub>亦可能在某些製程上產生。吸收劑對HCl之吸收反應與SO<sub>2</sub>雷同，但NOx與Ca(OH)<sub>2</sub>之反應則較複雜，其反應所需溫度亦較高。以HCl為例，在噴霧吸收過程中，其反應之程序包括下列階段：

## 72 硼系玻璃纖維熔爐廢氣處理技術實例介紹

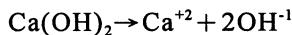
1.HCl由煙道氣通過液滴與氣體之薄膜擴散進入液滴內部



2.HCl之水解



3.吸收劑之分解



4.鹽類的形成



### 2.4 影響去除效率之因素

半乾式系統除硫效率影響因素很多，包括有入口氣體溫度、入口SO<sub>2</sub>濃度、反應物莫耳比(stoichiometric ratio)、滯留時間(residence time)、氣液的接觸方式、吸收劑種類、出口溫度、霧化器霧化效果等等。但一般半乾式系統在操作時，影響除硫效率較大之因素如下：

1.滯留時間

一般噴霧乾燥吸收塔尺寸的設計由適當的滯留時間（在最大的煙氣流量下）來決定。滯留時間為氣體在除酸塔內停留時間，即相當於氣體在吸收塔內和吸收劑接觸反應的時間，其可由下式求得：

$$\text{滯留時間} = \text{除酸塔體積} / \text{塔內單位時間氣體流量}$$

在充分的滯留時間下不但使SO<sub>2</sub>和吸收劑有較長反應時間增加去除效率，亦可避免吸收塔內霧化液滴未完全乾燥形成黏壁。一般商業化之噴霧吸收塔其滯留時間約在10~15秒，再配合霧化器之霧化效果和乾燥程度便可得到合理的吸收尺寸。

2.氣液接觸方式

煙道氣進入吸收塔與吸收劑接觸方式主要可分為三種，分別是：並流式(co-current type)、逆流式(counter-current type)及混流式(mix-flow type)，其接觸方式如圖2所示。由於接觸方式的差異，導致塔內溫度分佈的不同，因而影響了系統除硫效率。

在逆流式中，煙氣由塔內由下方往上，霧化器位於塔內上方使液體由上往下與煙氣相接觸。此方式水份蒸發速率慢，液滴滯留的時間長，霧化乾燥量較大，但塔內溫度較高且呈梯形分佈（上低下高），只適用於噴嘴。

在混流式中，煙氣由塔內由上方往下，霧化器位於塔內下方使液體由下往上與氣體相觸，和逆流式相反。此方式特性介於並流式與逆流式之間，只適用於噴嘴。

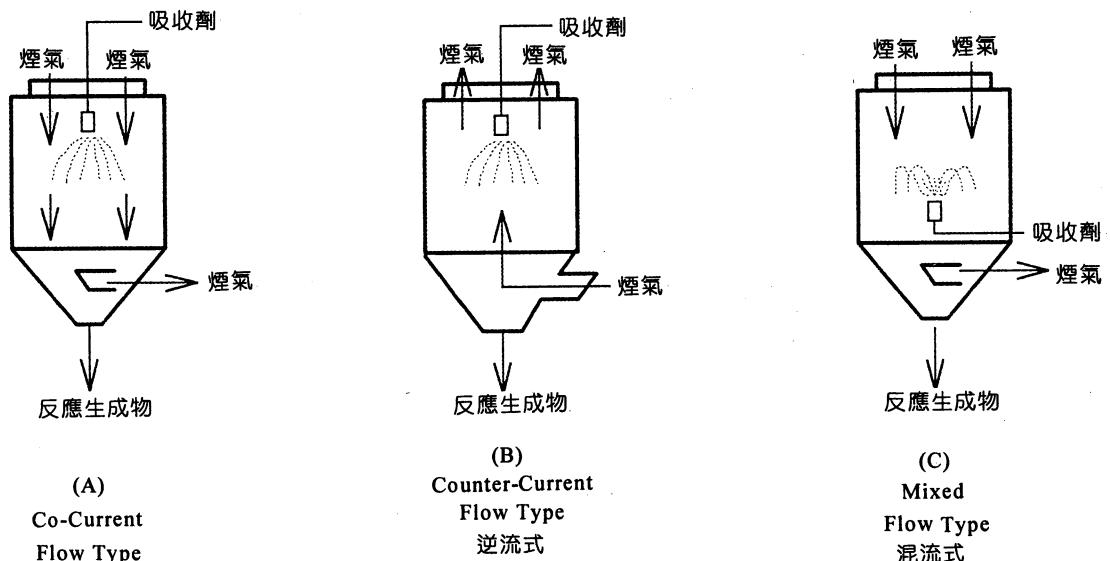


圖2 半乾式滌氣系統－氣液接觸方式示意圖

在並流式中，煙氣由塔上方進入，通過分散盤被導至位於塔內上方的霧化器附近。此方式水份蒸發速率快，液滴滯留時間短，霧化乾燥量較少，但塔內溫度低且均勻分佈，可適用於轉盤或噴嘴。

### 3.反應物莫耳比率

反應物莫耳比率(stoichiometric ratio, SR)定義為：

$SR = \text{吸收劑之莫耳數} / \text{煙道氣進口之} SO_2 \text{莫耳數}$ 。當SR值愈高，即吸收劑用量愈多，去除 $SO_2$ 的量愈多。然而SR值高時去硫效率雖好，但相對地吸收劑利用率卻愈低，經濟效益較差。SR操作值與吸收塔的操作出口溫度為影響除硫效率最重要的兩項操作參數，故可用此兩者之做圖加上欲去除之 $SO_2$ 的數量來決定除硫系統吸收劑之需要量。

### 4.吸收塔操作出口溫度

一般出口溫度愈低，添加的水份就愈多，則煙氣所含的濕度高，液滴在塔內滯留時間長，與 $SO_2$ 反應較充分，因此有較高的除硫效率。所以為了達到良好的

## 74 硼系玻璃纖維熔爐廢氣處理技術實例介紹

$\text{SO}_2$ 去除效率，吸收塔出口溫度愈低愈好。但溫度太低（低於露點溫度），會產生水汽凝結的現象，進而造成酸蝕或濾袋阻塞。故一般噴霧乾燥吸收塔的操作出口溫度應儘量在煙道氣的乾絕熱飽和溫度(adiabatic saturation temperature)以上。

### 5. 霧化器霧化液滴效果

霧化器是噴霧乾燥系統的心臟，系統的操作與霧化效果的好壞有直接的關係。一般常用的霧化器為轉盤型(rotary wheel)與二流體噴嘴(two fluid nozzle)，兩者都已成功地商業化，並可達 $\text{SO}_2$ 去除效率的要求。

二流體噴嘴係利用高速、高壓空氣提供能量來霧化液滴；旋轉圓盤式霧化器則利用旋轉產生之離心力，使漿液由中心向外沿轉盤內壁形成一薄膜，再由壁上開孔向外分離成液滴，依轉盤切線方向射入乾燥吸收塔內。

## 2.5 系統特性

- 1.除酸效率可達90%以上。
- 2.產生乾的廢棄物，容易處理，避免廢水二次污染問題。
- 3.耗水量少，約為濕式除酸系統之三分之二。
- 4.操作溫度高於露點溫度，廢氣不需再加熱，無白煙問題，可直接排入大氣。
- 5.操作溫度高於露點溫度，腐蝕程度低，可採用低碳材質，降低設備成本。
- 6.系統穩定性高，操作、維修容易。

## 2.6 系統應用範圍

半乾式洗滌技術之應用範圍廣泛，如下所述：

- 1.酸性氣體
  - (1) $\text{SOx}$ (燃油鍋爐、燃煤鍋爐....)
  - (2) $\text{HCl}$ (焚化爐...)
  - (3) $\text{HF}$ (玻璃熔爐、陶瓷業、磚瓦窯業...)
  - (4)其他酸性氣體
- 2.塵粒
- 3.重金屬： $\text{Hg}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{As}$ ....
- 4.劇毒性物質： $\text{Dioxin}$ 、 $\text{Furan}$
- 5.其他應用(能源技術、資源回收技術)

- (1)噴霧乾燥：食品業、製藥業、陶瓷業
- (2)廢水處理與資源回收：酸酵廢液處理

### 三、商業運轉實例介紹

#### 3.1 背景

福隆玻璃纖維公司(Nittobo Norplex Oak Co.,Ltd.)是由日本日東紡績株式會社(NTB)和美國聯合訊號印刷電路板系統公司(alled signal)合作投資而成立之公司。日東紡績株式會社係製造各種連續性玻璃纖維(長纖維)之專業公司，例如電子級玻璃紗及補強級玻璃纖維股段、紗束和紗蓆等，在玻璃纖維產業界歷史悠久、品質優良，業績彰顯。聯合訊號印刷電路板系統公司係美國聯合訊號公司集團所屬公司之一，是全球最大印刷電路板基板製造公司。

福隆公司於1989年開始第一號電子級玻璃纖維熔爐之生產營運，完成了製造電子級玻璃纖維環氧樹脂為基材的印刷電路基板工業所需主要原材料。主要產品為G75-1/0及G67-1/0之電子級玻璃纖維紗，除了8公斤規格的產品之外，福隆是世界上第一家生產出12公斤規格電子級玻璃纖維紗之公司，目前每年產值約為15億元。

福隆公司於1996年決定投資第二號生產線，其中生產製程技術仍然來自日本技術；空氣污染防治技術則邀請國內、外相關技術供應商(A、B、C廠商及工研院能源所)，進行技術評比。經過歷時半年之評比作業，最後由工研院能資所得標，並於1997年3月簽約，開始進行廢氣處理系統之規劃與設計作業。

#### 3.2 技術瓶頸

過去，在玻璃熔爐的處理上，採用濕式洗滌系統者，雖然設備成本低廉，但是有排氣冒白煙、設備嚴重腐蝕等操作問題；採用袋式集塵機者，也沒有運轉成功的個案。此一個案最主要的瓶頸在於下列幾點：

- 1.熔爐排氣溫度高(500~520°C)
- 2.廢氣具有強烈腐蝕性：因為含有SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、HF、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等酸性氣體，容易造成設備嚴重腐蝕。
  - (1)HF：272mg/Nm<sup>3</sup>(法規：10mg/Nm<sup>3</sup>)

## 76 硼系玻璃纖維熔爐廢氣處理技術實例介紹

(2)SO<sub>x</sub> : 300~400ppm(法規 : 500ppm)

(3)NO<sub>x</sub> : 366ppm(法規 : 360ppm)

(4)B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 200mg/Nm<sup>3</sup>(法規 : 無)

3. 粉塵具強烈的穿透性：由於玻璃熔爐的主要燃料是重油，重油在燃燒後產生之油灰，具有黏性。再者，玻璃熔爐排氣中灰渣也具有黏性，造成煙氣中的混合粉塵黏性極高，且為 $1\mu\text{m}$ 以下之微細粉塵。此種特性之粉塵，容易穿透、黏著濾袋，填死濾袋之孔隙，造成濾袋阻塞，高壓空氣脈衝清洗無效，以致於壓損過高，無法操作。

4. 排氣不透光度(opacity)高：硼酸(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)具有低昇華點(70°C)特性，會以氣體狀態穿透集塵機之濾袋，並在煙囪出口處冷凝成白色結晶粉塵，造成煙囪冒白煙現象。

### 3.3 解決策略

工研院能資所針對該熔爐化之排氣特性與福隆公司的需求，規劃、設計並建造壹套空氣污染防治設備，以解決玻璃熔爐排放廢氣的處理問題。為了解決上述問題與技術瓶頸，工研院能資所將壹套移動式袋集塵實驗設備，安裝在該公司現場，並引入玻璃熔爐的部份真實廢氣，進行實驗。藉由操作條件（煙氣溫度、濾袋材質、氣布比）的改變，實際觀察袋式集塵機的集塵效率、差壓變化與高壓空氣脈衝清洗效果，以做為設計之參考。

### 3.4 系統流程說明

此一玻璃熔爐廢氣處理系統，主要流程為(1)廢熱鍋爐(2)半乾式除酸塔(3)吸收劑(Ca(OH)<sub>2</sub>)進料系統(4)控溫水系統(5)降溫風車(6)袋式集塵機(7)廢料密相輸送系統(8)引風機(9)煙囪，功能分述如下（系統立體流程如圖3所示，設備照片如圖4所示）：

1. 廢熱鍋爐：利用廢熱鍋爐，將玻璃熔爐煙氣由500~520°C降至250°C。

2. 半乾式除酸塔：利用噴嘴霧化器，將吸收劑（氫氧化鈣水溶液）霧化成細小液滴，與煙氣中之HF、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>及B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等酸氣進行中和反應，以去除有害酸性氣體。

3. 吸收劑(Ca(OH)<sub>2</sub>)進料系統：利用高壓泵，將Ca(OH)<sub>2</sub>水溶液，輸送注入除酸塔中。

(1)反應吸收劑採用低成本之氫氧化鈣(NT\$3~4/kg)。

(2)反應生成物較容易處置：固態粉末，可掩埋處理。

- 4.控溫水系統：為了控制煙氣溫度，保護下游袋式集塵機之濾袋，利用控溫水系統，將除酸塔出口煙氣溫度控制在140~160°C。
- 5.降溫風車：降低煙氣溫度，凝結硼酸(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)，並防止水份凝結。
- 6.袋式集塵機：收集煙氣中原有粉塵、除酸所形成之反應生成物、部份未反應之吸收劑及硼酸。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至集塵機下方之集灰斗中，再利用密相氣體輸送系統將廢料輸送至儲槽。
- 7.廢料密相氣輸送系統：自動控制出灰，將袋式集塵器所收集之粉塵，利用壓縮空氣輸送至廢料儲槽。
- 8.引風機：強制排風，提供靜壓，克服系統壓損。
- 9.煙囪：此一玻璃熔爐廢氣處理系統，工研院已取得中華民國、美國發明專利。

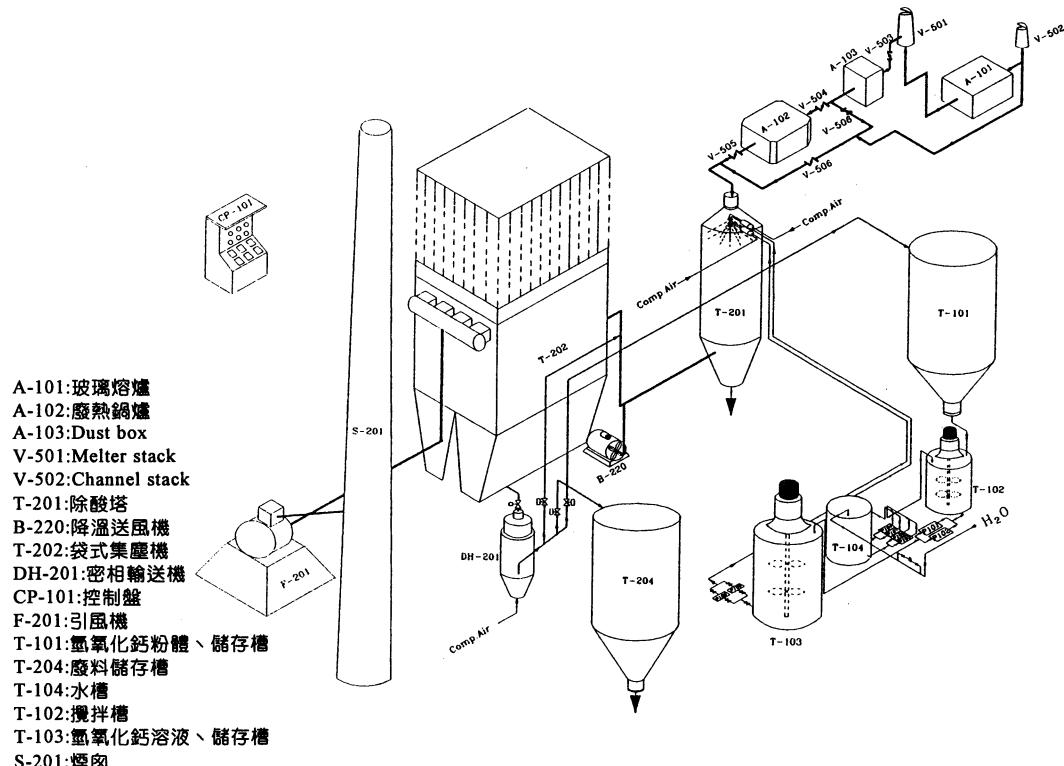


圖3 福隆公司硼系玻璃纖維熔爐廢氣處理系統立體流程圖

### 3.5 試倂結果

經過十個月一連串的規劃、設計、採購、發包作業、機械設備廠內製作、現場安裝、單機測試之後，最後於87年3月20日正式引入煙氣試倂，一切順利完成，並請經過合格認證之代檢業進行檢測，檢測結果如表1所示。若以本系統（第二號玻璃熔爐廢氣處理系統）之排氣狀況與第一號玻璃熔爐廢氣處理系統（國外某廠商設計、承造）之排氣狀況作一比較，如圖5所示，本系統排氣不透光度接近零，為完全無煙狀態；國外廠商所承製系統之排氣，則有明顯之白煙，不透光度接近20~50%。

### 3.6 實際效益

#### 1. 解決玻璃熔爐排氣污染問題

##### (1) 除酸效率

a.  $\text{SO}_2$  : 90%

b. HF > 99.9%

c. NOx: 35%

##### (2) 除塵效率 : 97.8%

##### (3) 不透光度 : 0%

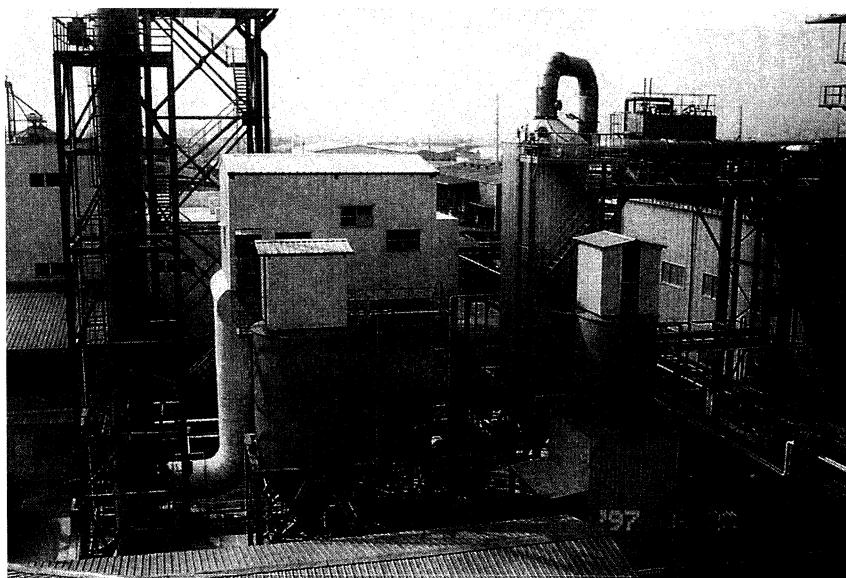


圖4 福隆公司硼系玻璃纖維熔爐廢氣處理系統

表1 福隆公司玻璃熔爐廢氣處理系統控制效率

項目	處理前	處理後	效率 (%)	法規標準
粒狀污染物(mg/Nm <sup>3</sup> )	139	3	97.8%	230
SOx(ppm)	344	35	90.0%	500
HF(mg/Nm <sup>3</sup> )	272	ND(<0.2)	>99.9%	10
NOx(ppm)	366	237	35%	360

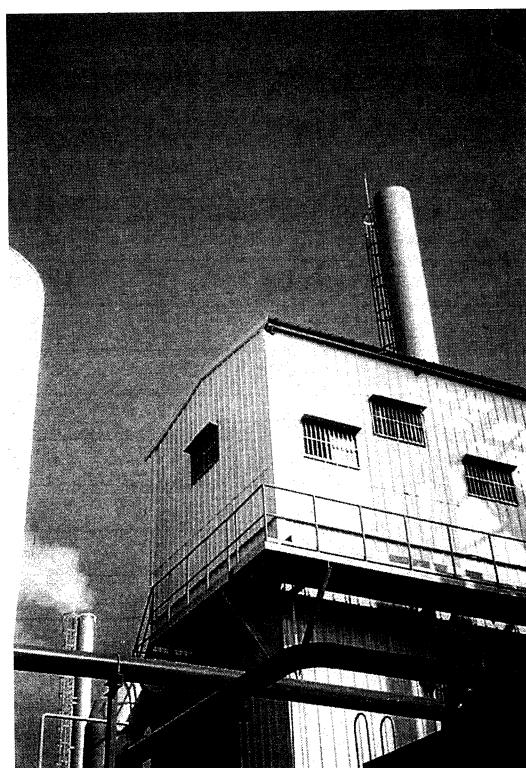
註：1.ND:Not Detectable

2.上列數值皆為校正值

3.檢測單位：汎美科技企業有限公司

4.正式運轉：86.2.20

5.檢測日期：86.3.28



熔爐編號	No.1	No.2
位 置	左	右
排氣不透光度	20-50%	0%
設計、承造廠商	國外廠商	工研院

圖5 福隆公司玻璃熔爐廢氣處理效果比較圖

## 80 硼系玻璃纖維熔爐廢氣處理技術實例介紹

### 2. 綠色生產技術製程

- (1) 零廢水排放
- (2) 低濃度廢氣污染排放(SO<sub>x</sub>、HF、NO<sub>x</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、粉塵)

3. 玻璃熔爐爐壓正常：控制在 + 1.5 ± 0.5 mmH<sub>2</sub>O 穩穩定操作，煙氣排氣順暢，生產正常。

4. 吸收劑粉體設計量、進料、漿料調配、攪拌、噴嘴進料、除酸、集塵、廢料輸運及儲存：自動化比例高，共需1~2人操作即可。

### 3.7 工研院個案之比較

工研院能資所在玻璃熔爐廢氣處理技術的應用上，除了本文所介紹之福隆公司案例外，另有發表於工業污染防治期刊第59期之「玻璃熔爐廢氣處理與資源化技術實例介紹」，該案例是將半乾式除酸技術與袋式集塵技術應用於久展公司納系玻璃熔爐之廢氣處理，系統自從84年2月運轉迄今，已逾兩年半，運轉一切順利。此二案例之比較，如表2所示。

表2 工研院能資所玻璃熔爐廢氣處理案例比較

項目	硼系玻璃熔爐	鈉鈣系玻璃熔爐
使用廠商	福隆玻璃公司	久展玻璃公司
主要產品	電子級玻璃纖維	玻璃容器
粒狀污染物種類	玻璃灰渣、油灰	SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、HF
氣態污染物種類	SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、HF、B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaOH
吸收劑種類	Ca(OH) <sub>2</sub>	較簡單
吸收劑進料系統	較複雜	不易結垢
	較易結垢	150°C
集塵機操作溫度	< 70°C	150°C
系統除酸效率	80~90%	99%
系統除塵效率	> 99%	> 99%
排氣不透光度	0%	0%
廢棄物處理	較易處理	不易處理
系統自動化程度	自動化比例高	人工操作比例高
運轉日期	86.2	84.2

### 3.8 與國外技術之比較

國外技術應用在國內類似之硼系玻璃熔爐廢氣處理個案，目前運轉情況說明如下：

- 1.A玻璃公司：採美國 Anderson Venturi Scrubber 系統，煙囪會冒白煙，有 Opacity過高之困擾。
- 2.B玻璃公司：採美國Teller Process，雖可消煙囪白煙，但是
  - (1)操作問題多：容易黏壁及爐壓偏高
  - (2)幾乎無售後服務
  - (3)Know-How費用每套高達1,500萬
- 3.C玻璃公司#1玻璃熔爐：採用ABB Process
  - (1)無法去除白煙：排氣Opacity > 20%
  - (2)產生大量廢棄物：每日約1.8噸固體廢棄物
  - (3)設備嚴重腐蝕

若將國內、外相關技術做一比較，如表3所示，說明如下：

表3 國內玻璃業玻璃熔爐廢氣處理系統比較表

編號		1	2	3	4	5	6	7	8
流程		WET	SD+BH	SD+BH	SD+EP	SD+EP	DI+BH	EP	EP
除酸效率 (%)	SOx	—	>99.9	>90	60	60	<10	—	—
	HF	—	>99.9	>99.9	—	—	—	—	—
	NOx	—	30~40	30~40	0	0	28	—	—
除塵效率(%)		72	>99.9	>99.6	99.6	—	94.2	90.7	97
不透光度(%)		—	0	0	—	—	20	<10	—
技術來源		國外	工研院	工研院	國外	國外	國外	國外	國外

註：符號意義

WET：濕式洗滌系統

SD：半乾式洗滌系統

DI：乾式濾氣系統

BH：袋式集塵機

EP：靜電集塵機

## 82 硼系玻璃纖維熔爐廢氣處理技術實例介紹

### 1. 國外技術

(1) 系統流程：除酸塔 + 靜電集塵機

(2) 缺點：

a. 設備成本高

b. 無法去除氮氧化物(NOx)

### 2. 國內技術

(1) 系統流程：除酸塔 + 袋式集塵機

(2) 缺點：

a. 排氣不透光度偏高(>20%)

b. 濾袋容易阻塞，影響爐壓，產品產量低

c. 濾袋壽命短(約三至四個月)

### 3. 工研院能資所技術：

(1) 系統流程：半乾式除酸塔 + 降溫系統 + 粉體氣體輸送系統 + 袋式集塵機

(2) 優點：

a. 設備成本低(約國外之2/3~3/4)

b. 排氣不透光度低(<10%)

c. 操作正常，爐壓正常，產品不良率低

d. 濾袋壽命長(久展公司個案>2年)

e. 設備腐蝕現象輕微(露點以上操作)

## 四、結論

過去，在玻璃熔爐廢氣的處理上，國內業者一直仰賴日本技術（主要來源為ASAHI GLASS、NAFCO、FLAKT、COTTREL等國外廠商），所使用之流程多半為除酸系統與靜電集塵機，由於靜電集塵機價格高昂，而國內玻璃業者多屬中小規模，較無法接受；再者，處理技術一直掌握在日本廠商手上，無法在國內落實。為了解決上述問題與技術瓶頸，工研院能資所開發利用價廉之袋式集塵機來取代價昂之靜電集塵機，並在華益公司（產品：玻璃珠）、久展玻璃公司（產品：玻璃瓶）及福隆玻璃公司（產品：電子級玻璃纖維），針對不同型式之玻璃熔爐（鈉系、硼

系玻璃熔爐），成功有效地處理玻璃熔爐廢氣，除了落實技術本土化外，更有效地節省國內業者1/4~1/3的設備投資成本。

## 參考文獻

- 1.黃志峰，陳明輝，蔡政憲，玻璃熔爐廢氣處理與資源化技術實例介紹，工業污染防治，第59期，P.35-45，民國85年7月
- 2.Argonne National Laboratory, United States Department of Energy. Spray-Dryer Flue Gas Cleaning System Handbook, 1988.
- 3.EPRI CS-3953, Evaluation of a 2.5 MW Spray Dryer/Fabric Filter SO<sub>2</sub> Removal System, 1985.