

廢氣處理

玻璃熔爐廢氣處理與資源化技術實例介紹

黃志峰** 陳明輝* 蔡政憲**

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，利用價格較為低兼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之困境。此項技術達到下列之處理效果：

- 1.除酸效率： $\text{SO}_2 > 99\%$ ； $\text{SO}_3 > 99\%$ ； $\text{HF} > 99\%$
- 2.除塵效率 > 99%
- 3.排氣不透光度 < 10%
- 4.本系統所產生之反應生成物(Na_2SO_4)為乾粉狀，除了無廢水處理問題外，尚可當作玻璃熔爐原料使用，達到零廢料、零廢水及零污染廢氣排放之效果，符合ISO 14000綠色生產之精神。

【關鍵字】

- 1.煙氣、廢氣(flu gas)
- 2.半乾式除酸系統(semi-dry absorbing system)
- 3.袋式集塵器(bag house)
- 4.玻璃熔爐(glass smelting furnace)
- 5.資源化(resource recovery)

*工研院能資所副研究員

**工研院能資所研究員

一、前　　言

玻璃業是一個古老的傳統行業，其中約有75%是以生產容器玻璃與平板玻璃為主，而在現代科技的幫助下，其製程也逐漸達到自動化生產的目標。一般玻璃業製程，可概分為原料混配與輸送、熔融、成型等三大步驟，而其空氣污染也來自於此三大步驟，而其中又以玻璃熔爐熔融過程為主要的廢氣來源，組成主要包括粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物、氟化物。因此加裝空氣污染防治設備便成了工廠永續經營必要的環保措施。目前玻璃熔爐廢氣處理常見的空氣污染防治設備有濕式水洗塔、半乾式除酸系統、袋式集塵器、靜電集塵器，這些設備其造價有高有低，除酸除塵效果亦有好有壞，同時空氣污染防治設備的選擇與操作須注意不可影響玻璃融爐的爐壓穩定性。

二、半乾式除酸除塵技術

2.1 原理

圖1為一典型半乾式滌氣處理系統示意圖。由引風機將煙氣引入除酸塔，在除酸塔內，利用一霧化器(atomizer)，將吸收劑漿液霧化成直徑約數十微米的小液滴，這些小液滴在除酸塔中和廢氣接觸，反應形成鹽類反應生成物。一部份在除酸塔底部排出，另一部份則隨煙氣排至下游的袋式集塵機才被收集，處理後之乾淨煙氣再經引風機抽送由煙囪排放至外界。

2.2 系統組成主要單元設備及其功能

1.半乾式除酸塔：

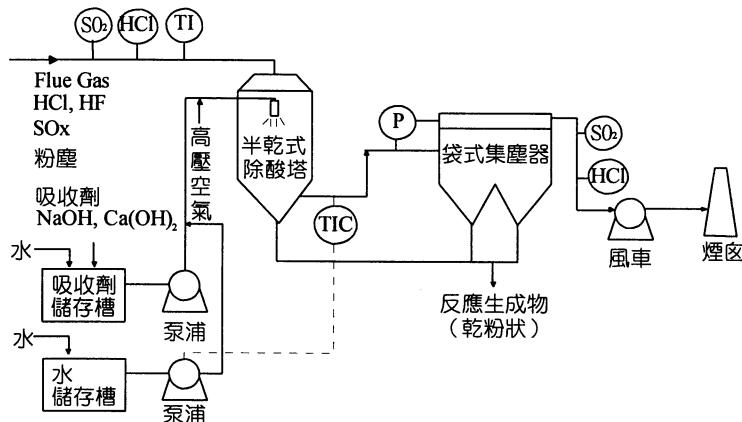
提供煙道氣與吸收劑反應、乾燥所需之足夠的滯留時間。

2.集塵設備：

一般搭配半乾式除酸塔之集塵設備有靜電集塵機與袋式集塵機，主要的功能在於收集煙氣中原有粉塵、除酸所形成之反應生成物與部份未反應之吸收劑。

3.吸收劑貯存及輸送設備：

主要的功能在於儲存、輸送與供給除酸反應用之吸收劑。



<系統特色>

1. 除酸效率： $\text{SO}_2 > 80\% ; \text{SO}_3 > 95\% ; \text{HCl} > 95\%$
2. 除塵效率： $> 99.5\%$
3. 材料腐蝕問題輕微（露點以上操作）
4. 無白煙問題（露點以上操作）
5. 副產物呈乾粉狀，不需廢水處理

圖1 半乾式滌氣系統流程圖

2.3 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，可採用低碳鋼材質，降低設備成本。
6. 系統穩定性高，操作、維修容易。

三、商業運轉實例介紹：久展(JIU ZHAN)玻璃公司 玻璃熔爐廢氣處理與資源化系統

3.1 背景

久展玻璃公司，其工廠坐落於新竹縣竹東鎮，主要的污染源為壹座每日生產量六十噸之玻璃熔爐，生產產品種類為茶棕色玻璃瓶（例如：感冒糖漿玻璃瓶、威士比瓶）。為了解決玻璃熔爐廢氣排放問題，該公司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，系統流程為袋式集塵機、引風機與煙囪（如圖2所示），主要的操作問題點如下：

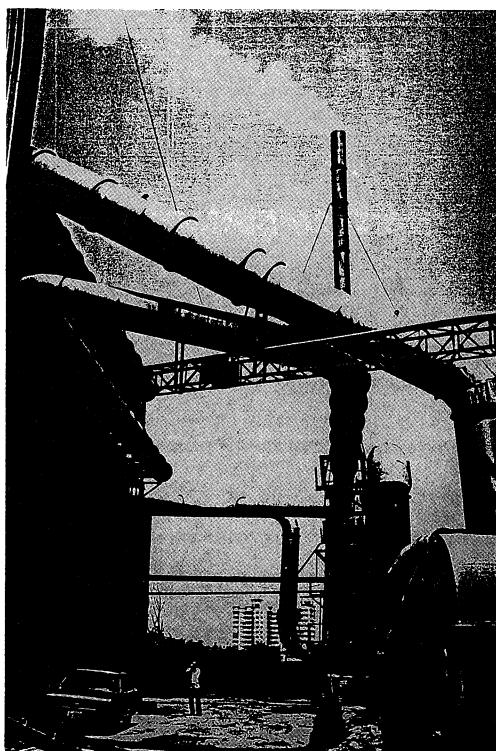


圖2 原有空污設備（袋式集塵機）實體照片圖

1. 濾袋阻塞，無法操作，平均兩個月需更換濾袋一次，期間使用過Ryton、P-84、Nomex，都無法改善現況。
2. 由於濾袋阻塞，排氣不順，造成爐壓異常，產品不良率高。
3. 設備嚴重腐蝕，外漏煙氣到處逸散，造成工作環境惡劣。
4. 排氣不透光度(opacity)高：即使排氣檢測收據顯示粉塵濃度低於法規標準，不透光度仍高達20~50%。

3.2 技術瓶頸

過去在玻璃熔爐處理上，採用濕式洗滌塔者，雖然設備成本低廉，但是排氣有白煙、設備嚴重腐蝕的操作問題；採用袋式集塵機者，也沒有成功的個案。其中最主要的瓶頸在於下列幾點：

1. 濾袋阻塞，無法操作：由於玻璃熔爐的主要燃料是重油，重油在燃燒後所產生之油灰，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。此種特性之粉塵，容易黏著濾袋，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。
2. 爐壓異常，產品不良率高：一般而言，玻璃熔爐在操作上，產量大於180噸者，多半以微負壓(1.0mmAq)操作，產量較小者，則以微正壓(1.2~2.4mmAq)操作。由於濾袋阻塞，使得袋式集塵機壓損高於原設計值，造成系統引風機設計靜壓不足，以致於排氣不順，影響前端玻璃熔爐爐壓，發生產品不良率偏高的現象。
3. 設備嚴重腐蝕：由於煙氣中含有少量之SO₃、HF等酸性氣體，露點溫度約為140°C。若是操作溫度過低或因焊接不良，洩漏所造成的局部冷點，會引起設備嚴重腐蝕之不良影響，外漏煙氣到處逸散，造成工作環境惡劣。
4. 排氣不透光率(opacity)高：玻璃熔爐排氣中，最主要之污染物有四項：(1)粒狀污染物(2)硫氧化物(3)氮氧化物(4)總氟量，各項污染物之法規標準如表1、表2所示。一般而言，玻璃熔爐排氣污染物排放量，大多在法規標準內，可是，由於排氣中含有少量(1)金屬燻煙：在煙囪排氣口，由於光線折射現象，

(2)SO₃氣體污染物：在煙囪排氣口，會與週遭水氣反應形成硫酸(H₂SO₄)，

(3)微細粉塵，會造成排氣不透光度偏高（約20~50%，如圖2所示）。

表1 玻璃熔爐排氣管制污染物與其標準

污染物種類	法規標準	校正含氧量
粒狀污染物	$1860.3Q^{-0.386}$	6%
硫氧化物	500ppm	6%
氮氧化物	如下表所示	如下表所示
總氟量	10mg/Nm ³	6%

[註]：粒狀污染物標準： $1860.3Q^{-0.386}$

(Q：煙氣流量，單位：Nm³/min)

表2 玻璃熔爐排氣氮氧化物管制與其標準

污染源	含氧量(%)	氮氧化物(ppm)	
		a	b
平板玻璃、玻璃纖維	15	400	360
影像管、光學、色板、燈罩、電器用玻璃	16	900	800
其它玻璃	15	500	450

註：a：七十九年二月十九日以前設立之污染源

b：七十九年二月十九日以後設立之污染源

3.3 解決策略

久展玻璃公司由於上述系統在操作上，問題重重，於是委託工研院能資所，針對該廠的需求，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式集塵實驗設備，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效率、差壓變化與高壓空氣脈衝清洗效果。

3.4 突破技術

為了克服濾袋阻塞之操作問題，利用一氣體輸送系統，將特定粉體藉由高壓氣體輸送注入袋式集塵機上游煙道，在濾袋表面形成一保護粉塵塵餅，隔離具有黏性之玻璃灰渣，有效解決濾袋阻塞之操作問題。

3.5 專利系統

此一玻璃熔爐廢氣處理系統，主要流程為(1)輻射降溫風管(2)半乾式除酸塔(3)吸收劑進料系統(4)控溫水系統(5)粉體氣注入系統(6)袋式集塵機(7)引風機(8)煙囪，功能分述如下（系統流程如圖3所示，設備照片如圖4所示）：

- 1.輻射降溫風管：利用未保溫之裸露風管，利用自然輻射降溫的原理，將玻璃熔爐煙氣由450°C降至250°C。
- 2.半乾式除酸塔：利用噴嘴霧化器，將吸收劑（氫氧化鈉水溶液）霧化成細小液滴，與煙氣中之硫氧化物、氫氟酸等酸氣反應，以去除有害酸性氣體。
- 3.吸收劑進料系統：利用高壓泵，將40%氫氧化鈉水溶液，輸送注入除酸塔中。
- 4.控溫水系統：為了調節煙氣溫度，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165°C。
- 5.粉體氣送注入系統：利用氣體輸送裝置將特定粉體經由一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塵餅，pre-coating並保護濾袋，有效克服濾袋阻塞的問題。
- 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與部份未反應之吸收劑。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，再利用出灰閥將粉塵排出處理。
- 7.引風機：強制排風，提供靜壓，克服系統壓損。
- 8.煙囪：排氣。

此一玻璃熔爐廢氣處理系統，工研院已向各國申請專利，並已取得中華民國發明專利。

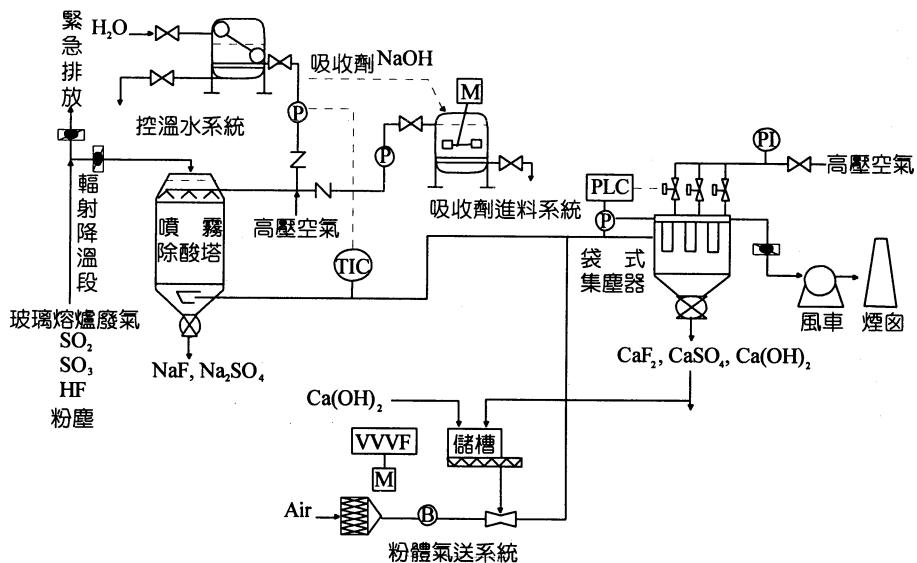


圖3 玻璃熔爐廢氣控制系統流程圖

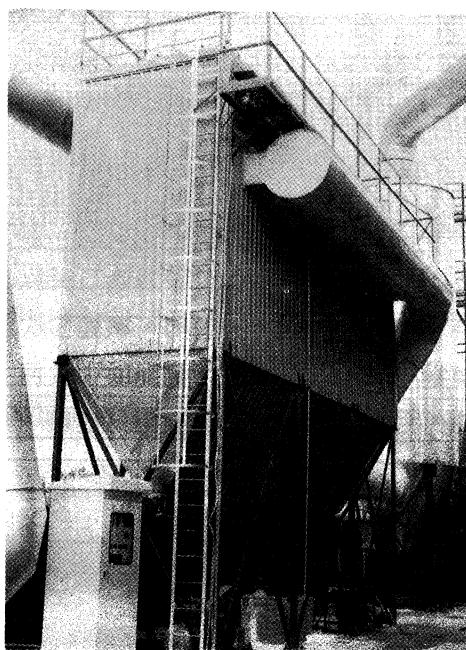


圖4 玻璃熔爐廢氣處理系統實體照片圖

3.6 試車結果

經過四個月一連串的規劃、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，最後如期於84年2月14日正式引入煙氣試車，當日一切順利完成，並請經過合格認證之代檢業進行檢測，檢測結果如表3所示，排氣粉塵濃度、硫氧化物、總氟量結果皆為ND(Not Detectable)。

表3 久展玻璃公司空氣污染防治系統處理效率

項目	處理前	處理後	效率(%)
粒狀污染物(mg/Nm^3)	300	ND	>99%
$\text{SO}_3(\text{ppm})$	95	總硫氧化物= $\text{SO}_2 + \text{SO}_3 + \text{ND}$	>99%
$\text{SO}_2(\text{ppm})$	365		>99%
$\text{HF}(\text{mg}/\text{Nm}^3)$	2.7	ND	>99%

〔註〕：

- 1.ND : Not Detectable
- 2.檢測單位：瑩諦(ENVIMAC)科技股份有限公司
- 3.檢測位置：煙囪排氣口

3.7 實際效益

1.解決玻璃熔爐排氣污染問題

(1)除酸效率

$\text{SO}_2 > 99\% , \text{SO}_3 > 99\% , \text{HF} > 99\%$

(2)除塵效率 > 99%

(3)不透光度 < 10%

2.流程符合ISO 14000綠色技術(green technology)綠色清潔生產的精神（如圖5所示）：

(1)資源化：該廠玻璃熔爐原料，部份採用回收的玻璃廢料，每日回收量約為500kg，每年有效回收約180噸玻璃資源。

(2)零廢水排放：流程採用半乾式除酸系統，產生之反應生成物為乾粉狀，零廢水排放，無二次污染問題。

- (3)零有害廢氣(SO_2 、 SO_3 、HF、粉塵)污染排放：由檢測結果顯示，排放廢氣中 SO_2 、 SO_3 、HF、粉塵濃度，無法量測，接近零有害廢氣污染物排放的處理效果。
- (4)零廢料：流程所產生之反應生成物，可回收當作玻璃熔爐之原料，所以無淨廢料產生。

3. 玻璃熔爐爐壓正常：由於袋式集塵機過濾效果正常，系統排氣順暢，上游玻璃熔爐爐壓正常，有下列直接效益：

(1)產品不良率降低

(2)熔爐產量提高，該玻璃熔爐在未加裝空氣污染防治設備之前，產量最高可達50噸／日；加裝原民間廠商所設計之袋式集塵機之後，由於排氣不順，產量只能勉強達到45噸／日；改裝成工研院設計之專利製程之後，產能可提昇40%，達到63噸／日高產能，直接為該廠每月增加約648萬元之產能。

4. 節省輔助電力成本：原先因為系統排氣不順，在蓄熱室加裝一輔助電極以利排氣，經過改良製程後，可節省每月35萬元之電力操作費用。

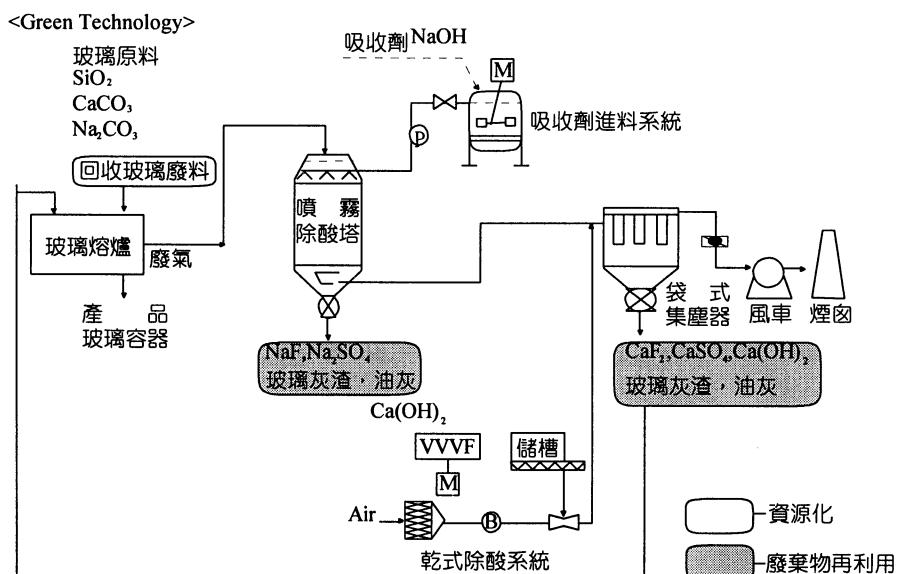


圖5 碎玻璃處理資源化流程圖

四、結論

過去，在玻璃熔爐排氣的處理上，國內業者一直仰賴日本技術（主要來源為ASAHI CLASS、NAFCO、FLAKT、COTTREL等廠商），所使用之流程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靜電集塵機，並有效地處理玻熔爐排氣。

參考文獻

- 1.Argonne National Laboratory, United States Department of Energy. "Spray-Dryer Flue gas Cleaning System Handbook", 1988.
- 2.EPRI CS-3953, "Evaluation of a 2.5 MW Spray Dryer/Fabric Filter SO₂ Removal System", 1985.