

# GSA—高效率之半乾式廢氣脫硫處理技術

馬作棟\* 徐恩凱\*\*

## 摘要

為有效解決日益嚴重之垃圾問題，自民國78年以來，政府即積極推動興建都市垃圾資源回收廠。空氣污染防治在資源回收廠為一相當重要的問題，焚化爐廢氣脫硫技術上，由於濕式法有廢水排放問題，因此，現今之廢氣處理系統，均優先考慮半乾式噴霧處理系統。不過，傳統之半乾式處理系統，一般均有去除效率不高之缺點。本文將介紹一項新的半乾式噴霧脫硫技術—氣體懸浮式噴霧脫硫系統(GSA)，除了介紹該系統之基本設備及流程說明外，並比較GSA系統與傳統之半乾式廢氣脫硫系統之差異點。根據其在美國及歐洲之實際運轉結果顯示，GSA能有高達99%以上之除硫效率，對相同之去除效率而言，其和傳統之半乾式處理設備相比，吸收劑( $\text{Ca(OH)}_2$ )之用量亦較傳統系統節省約20%。

---

\* 大毅技術工程有限公司專案主任

\*\* 美國AirPol公司亞洲區經理

# GSA—An Efficient and Economic Process For Flue Gas Desulfurization System

Jerry Ma\* Frank E. Hsu\*\*

## ABSTRACT

The Refuse Resource Recovery Plant construction projects was established and executed positively by the goverment authorites since 1989 for solving the municipal waste problem.

The air pollution control system is essentially important for a Refuse Resource Recovery Plant , due to the wet type flue gas cleaning system will produce an amount of waste water and cause secondary pollution , currently. The semi-dry scrubbing system, therefore , was selected as flue gas cleaning system for the Refuse Resource Recovery Plant , However , the conventional semi-dry or dry type desulfurization system generally has lower efficiency on the HCl and SO<sub>2</sub> removal.

The newest semi-dry desulfurization technology – GSA (Gas Suspension Absorption) will be introduced in this paper. Besides the system and process description , a performance comparison between GSA and conventional system is also included in this paper.

According to the records of United States and Europe shows that the capital and operation cost of the GSA is generally 20% less as compared to the average spray dryers. The GSA overall system SO<sub>2</sub> removal efficiency was found more than 99% at the closest approach-to-saturation temperature.

---

\* Diamond Technical & Trading Co.,  
\*\* America Airpol Inc. Director of Asian Operations.

## 一、前　　言

台灣由於地小人稠，隨著工商業的日趨發達，垃圾產生量與日遽增。近幾年來，環保意識高漲，在衛生掩埋場取得不易，而焚化廠尚在規劃興建之際，垃圾無法適當處理之問題也漸漸被突顯，民衆也開始有了警覺，意識到垃圾焚化處理之急迫性及必要性。

雖然垃圾之處理方法有壓縮、掩埋、填海、焚化等方式，但無疑地，焚化是台灣地區最可行之垃圾處理方法，而興建垃圾資源回收廠為長期解決垃圾出路之必要手段。垃圾資源回收廠之興建，雖然是將垃圾減量及無害化之最佳工具，但為一般民衆擔憂的即在於其所可能衍生之二次污染問題，因此也突顯出空氣污染防治設備在資源回收廠之重要性。

目前，在國內第二期垃圾資源回收廠興建計劃中，各顧問公司之空氣污染防治處理設施規劃，均建議採用半乾式處理系統 (*semi-dry process*)，用以替代可能產生大量廢水之濕式法及效果不佳之乾式廢氣處理系統。一般而言，半乾式系統對 HCl 廢氣處理效率可達 90% 以上，然而針對硫氧化物 (SO<sub>x</sub>) 而言，去除效率卻相當低 (約 50~60%)，因此在鍋爐廢氣脫硫製程中，所謂的 FGD (Flue Gas Desulfurization) 系統，因為主要廢氣成份為 SO<sub>2</sub>，在實際處理運用上，一般均採用效率較高之濕式洗滌法 (*wet scrubbing system*)。

氣體懸浮式噴霧脫硫系統 (Gas Suspension Absorption 簡稱作 GSA) 是 1985 年由丹麥 F. L. Smidth Miljo a/s 公司所開發之半乾式噴霧脫硫技術，由於 GSA 在現有九座都市垃圾焚化廠 (municipal waste incineration plant) 之實際運轉經驗中，發現其 SO<sub>2</sub> 之去除效率高達 90%，為了證明 GSA 在鍋爐方面之 FGD 亦能具有優異之 SO<sub>2</sub> 去除效率，因此於 1992 年 AirPol Inc. (F. L. Smidth Miljo a/s 子公司) 與美國 TVA (Tennessee Valley Authority) 及 DOE (US Department of Energy) 共同合作了 CCT 計劃 (Clean Coal Technology Program)，並於美國肯塔基州的 TVA 廢氣排放技術研究中心 (National Center for Emission Research, NCER) 興建一座 10MW 燃煤電廠鍋爐之 GSA 廢氣處理示範廠 (demonstration plant)，用以對該套新式之半乾式噴霧脫硫系統作各項性能測試與研究。

## 二、製程簡介及廢污來源

TVA廢氣排放技術研究中心位於 Shawnee Fossil Plant 內，本套系統係針對該廠 No. 9 10MW容量之燃煤發電鍋爐廢氣之特性而設計，廢氣來源主要是來自鍋爐之燃料 — 高含硫率 (2.7%) 之煤 (Eastern Bituminous Coal)，其燃燒所生成含大量 SO<sub>2</sub> 之廢氣。

## 三、廢氣量及特性

該套 GSA 系統係依據鍋爐實際排氣量及所含 SO<sub>2</sub> 之含量設計，處理量為 39,000Nm<sup>3</sup>/hr，詳細廢氣之排氣成份如表 1 所示。

表 1 九號鍋爐出口廢氣組成資料表

項 目	數 量	單 位	備 註
流 量	1,000	ACMM	160 °C
粒 狀 物	4,645	mg/Nm <sup>3</sup>	乾基
HCl	18.74	PPM	
SO <sub>2</sub>	1,873.33	PPM	

## 四、處理流程及其特點

### 4.1 處理流程概述

該廠之廢氣處理流程如圖 1 所示。

#### 4.1.1 氣體懸浮式反應器 (gas suspension absorber)

由鍋爐排出夾雜有飛灰 (fly ash) 之廢氣自反應器底部注入，將充填在反應器內之粒子 (含飛灰) 造成流體化 (fluidization) 之現象，石灰泥漿由底部噴嘴注入反應器內，使懸浮粒子表面裹覆一層石灰泥漿，

再藉由懸浮粒子表面之泥漿和廢氣中之酸氣進行中和反應，形成硫酸鈣固體。

#### 4.1.2 旋風分離機

經過中和反應及乾燥程序後之廢氣，先經過此旋風分離機將廢氣中之大顆粒粒子收集下來，並且利用底部之輸送裝置將95~99%所收集到之粒子重新送回反應器底部循環使用，其餘粒子則視為廢棄產物送至貯槽(Silo)並濡濕後載運丟棄。

#### 4.1.3 靜電集塵機

廢氣中顆粒較小的粒子，因無法完全被旋風分離機所收集，在此經高壓電極作用，使微小粒子帶電並附著收集在集塵板上，處理後之廢氣則可符合粒狀物濃度之限制排放標準。

#### 4.1.4 泥漿製備系統

系統包含有：

1. 石灰貯槽(lime silo)
2. 石灰消和機(slaker)：將石灰消和以便於製備成氫氧化鈣。
3. 石灰泥漿塔槽(lime slurry tank)：設備附有攪拌裝置以充分調和所需之石灰泥漿濃度(約20%重量比)，並經輸送泵浦送至雙流體噴嘴(dual-fulid nozzle)。
4. 雙流體噴嘴：系統採用單一噴嘴設計，且噴嘴設計與廢氣同向(co-current spray)，噴嘴之構造如圖2所示。製好之 $\text{Ca(OH)}_2$ 由噴嘴噴入反應器底部，並裹覆在床內懸浮粒子表面。

#### 4.1.5 誘引風機

導引廢氣強制通過處理設備後才予排放，同時也用以維持反應器內呈負壓狀態，以確保系統沒有廢氣逸散之問題。

#### 4.1.6 袋濾式集塵設備

用以取代靜電集塵器，以收集較細微粒子，在本系統同時設置有二套不同之集塵設備，目的乃在於可用以比較二套系統用於GSA之適用性及研究二者之間的性能差異。

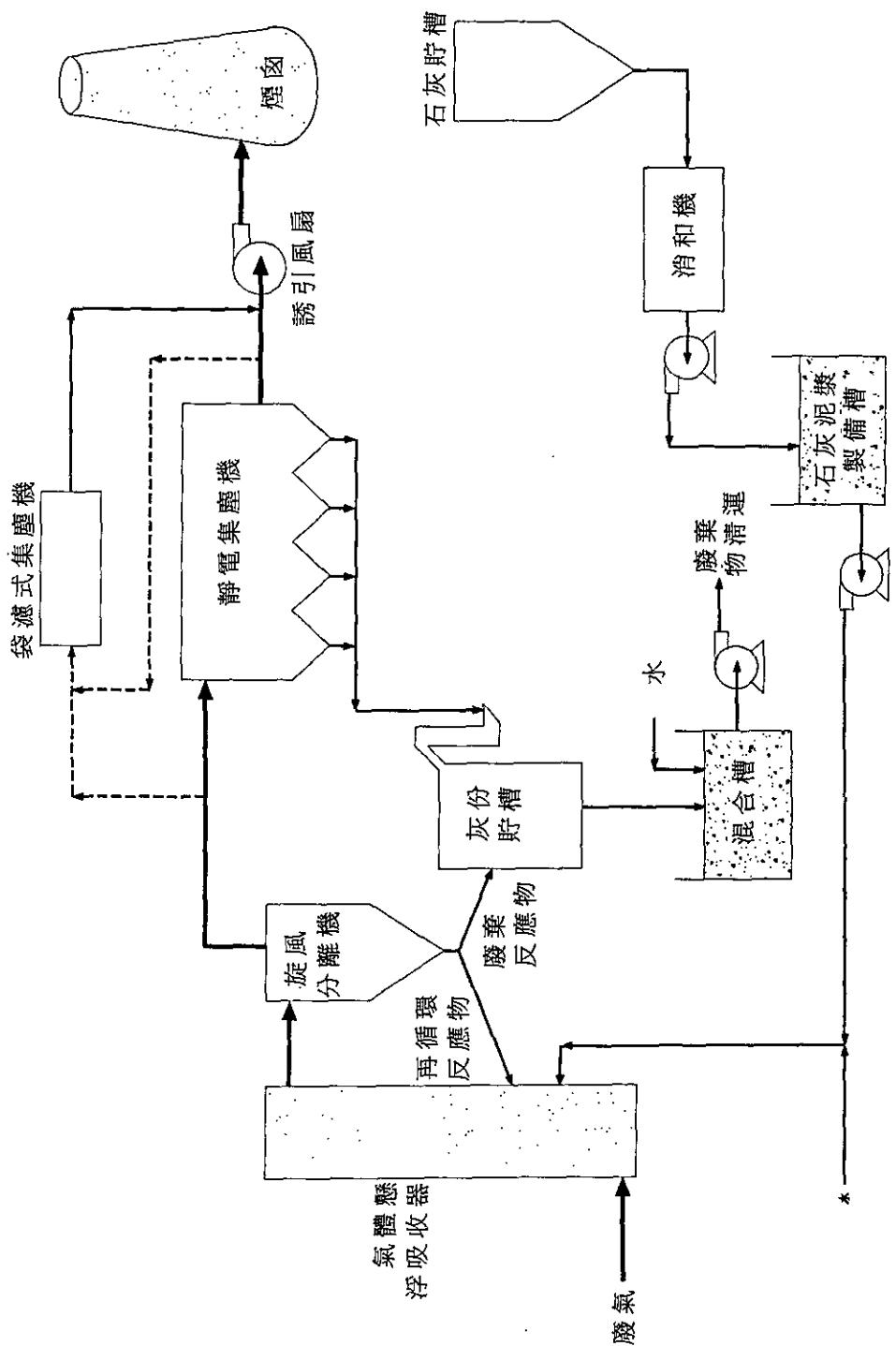


圖 1 GSA示範廠廢氣處理流程

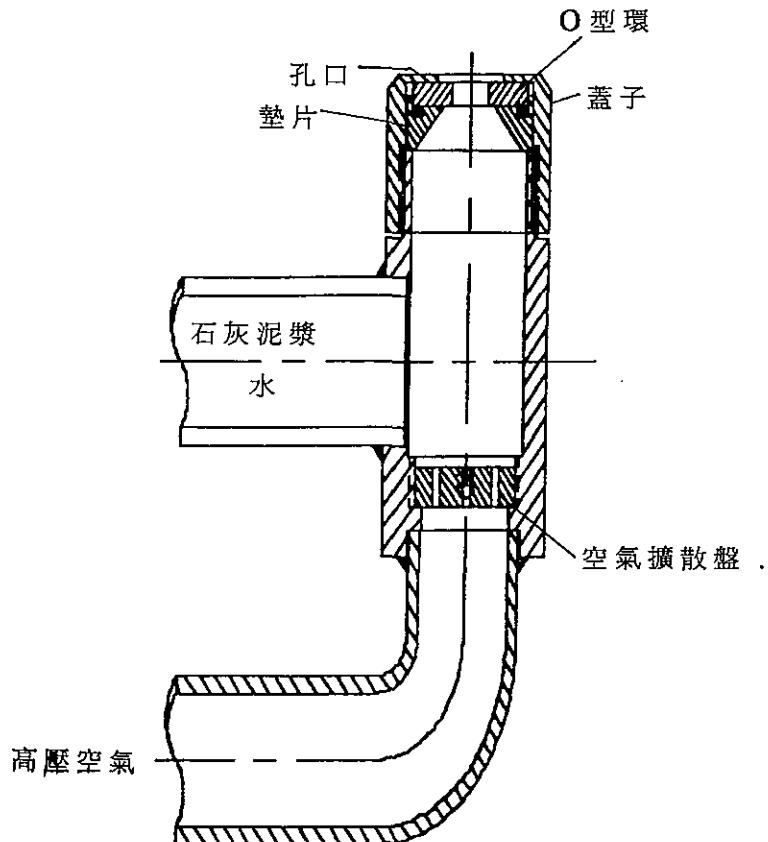


圖 2 雙流體噴嘴構造圖

#### 4.2 處理特點

TVA廢氣排放技術研究中心於1988年針對同座鍋爐曾設置了一套傳統之半乾式噴霧脫硫系統 — 噴霧乾燥吸收塔(spray dryer)並已作一系列之測試及研究。和噴霧乾燥吸收塔比較，GSA之設備特點敘述如下。

##### 4.2.1 石灰泥漿霧化 (lime slurry atomization)

GSA主要操作上之優點即在於對石灰泥漿之霧化程度與噴霧吸收塔要求不同，傳統之噴霧乾燥吸收塔通常採用高建造費用及精密高速設計之旋轉式霧化器 (rotary atomizer) 或是高壓霧化噴嘴 (high pressure atomizing nozzle) 設計，以確保將石灰泥漿完全霧化，藉由霧化之石灰泥漿與 SO<sub>2</sub> 等酸氣瞬間接觸時產生中和反應，而 GSA 之霧化裝置為低壓雙流體霧化噴嘴 (low pressure dual fluid nozzle)，SO<sub>2</sub> 吸收之方式乃將

石灰泥漿以噴嘴注入至反應器底部，並裹覆懸浮粒子表面，再藉由酸性廢氣與所有懸浮粒子表面之石灰泥漿反應，而將酸性氣體中和。

#### 4. 2. 2 簡易且直接將大部份反應物再循環輸送系統之設計

將未反應之石灰再循環使用是GSA系統與其他半乾式脫硫系統之不同點，有的系統雖然也有未反應石灰再循環使用之設計，但常常配備極複雜的控制裝置並將其與新鮮石灰泥漿(fresh slurry)混合再噴入至反應器，此摻雜有飛灰(fly ash)之石灰泥漿卻存在有嚴重磨損噴嘴或輸送管線之問題，因此增高設備維修成本。GSA系統之循環系統係利用旋風分離機(cyclone)及其下方之進料裝置，直接將收集之未反應石灰及反應物直接送回反應器，在操作及系統裝置上均很簡易。

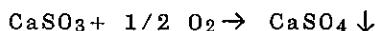
#### 4. 2. 3 流體化床式反應器設計

GSA之反應器與傳統其他之半乾式吸收塔不同，其類似流體化床反應器(fluidized bed reactor)，故具備了有下列特性：

1. 反應器內能承載粒子，懸浮粒子於反應器中扮演如濕式洗滌器(scrubber)中之填充物(packing)一般，能提供更大之反應接觸面積，因此反應很完全且效果優異。
2. 流體化床具有很好之熱傳特性，此使得反應器內粒子之乾燥過程相當迅速。反應器具有較高之緩衝能力，能操作在較低的溫度範圍，而操作溫度愈低(愈接近露點溫度)，除硫效率愈好。

#### 4. 2. 4 低吸收劑耗用量

GSA系統所採用之吸收劑為氫氧化鈣 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 泥漿，係以石灰(lime)調拌水產生，其與酸氣之中和反應式為：



由於系統之反應面積及操作溫度均適合反應進行，使 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 之使用率達到最佳之狀況，再加上部份未反應之石灰再循環利用，因此可節省石灰耗用量。

#### 4. 2. 5 低操作維護成本

傳統噴霧乾燥吸收塔時會有反應器內壁結塊問題，故系統需裝設管壁清洗裝置 (wall cleaner) 以定時地清除附著在內壁之石灰塊，該裝置相當昂貴，同時須耗費大量電力，系統操作及維護成本均較高，而且清洗裝置係在骯髒廢氣環境中運作，容易故障。

GSA系統與其他半乾式脫硫系統不同，因反應器內部沒有移動物件 (moving parts)，故連續長期操作下，沒有操作維修之困擾。石灰泥漿之噴嘴直徑亦比一般傳統之噴霧噴嘴大，不易有堵塞情形，同時對於噴嘴的磨損 (wear) 現象可減至最小。噴嘴更換時僅需3～5分鐘，可於操作中更換，而不致影響正常操作。

#### 4. 2. 6 設備設置上富彈性 (flexibility)

GSA系統因為設有旋風分離機，其具有初步收集粉塵之效果，故在一既有集塵設備之污染工廠內，GSA系統可直接設置，不致於增加原有集塵設備之集塵負擔，而傳統之處理系統則需擴充集塵設備之容量，甚至需更換新的集塵裝置。此外由於GSA系統有很高之酸氣中和效果，因此並不限定特別型式之集塵裝置，袋濾式集塵機或靜電集塵機皆可使用。(一般半乾式系統均考慮採用袋濾式集塵設備，因其具延伸酸氣吸收之效果。)

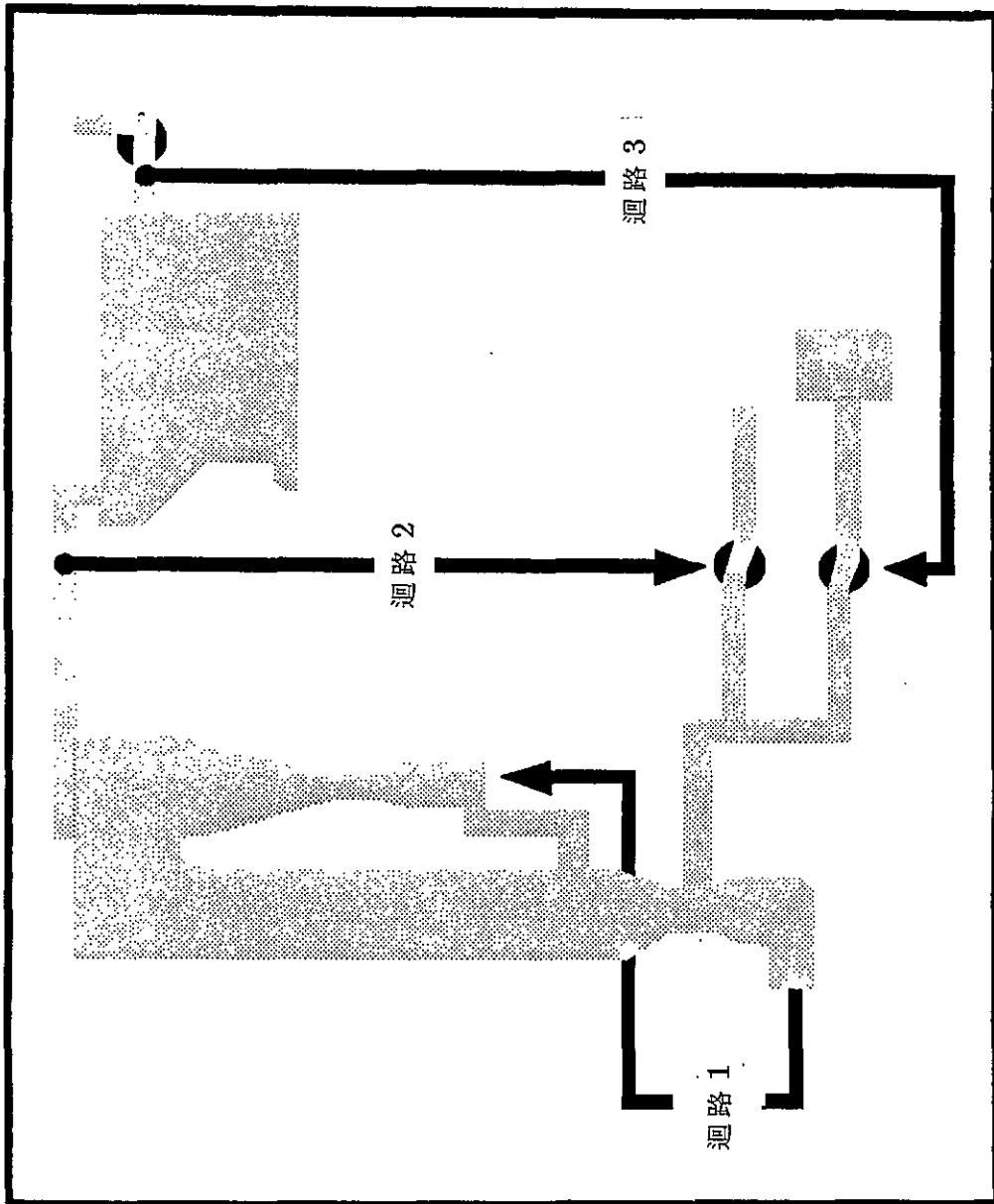
#### 4. 2. 7 設備簡單，建造成本低且佔地空間小

由於反應器內懸浮粒子濃度極高(約500～2000g/Nm<sup>3</sup>，約為傳統系統之50～100倍)，故在短時間內，即可進行吸收反應，一般而言，氣體於GSA反應器滯留設計時間僅約2-3秒，遠較傳統之噴霧乾燥系統之7～11秒為小，此意味著 GSA 設備空間需求小。在歐洲實際運轉的經驗顯示，GSA之投資建造費用比典型半乾式脫硫系統少20%。

#### 4. 2. 8 系統採三個自動控制迴路

GSA之控制及監測系統，能依操作狀態自動調節水量及石灰泥漿之加入量，使石灰之消耗維持最低量。系統之自動控制程序圖如圖3所示，計有下列3個控制迴路 (control loop)。第一個自動控制迴路係依據煙道氣流量之變化來調整迴流粒子的量；第二個自動控制迴路乃依據反應器出口溫度高低控制系統之給水量；第三個自動控制迴路係依集塵設備出口之SO<sub>2</sub>排放濃度來調節石灰泥漿之進料量，以達到法令標準。傳統系統只有後面二個自動控制迴路。

圖 3 系統之自動控制迴路



## 五、設備概要

### 5.1 機械儀表設備

項次	設 備 名 稱	數量	材質／構造	規 格 ／ 尺 寸	備 註
1	反應器	1	ASTM A-36	1600mm I. D. x 14.88m	
2	旋風分離機	1	ASTM A-36	2794mm I. D. x 3.45m	
3	進料器	1	ASTM A-36	1m <sup>3</sup> 貯存量, 0.28m <sup>3</sup> /min進料率	
4	石灰貯槽	1	ASTM A-36	3658mm I. D. x 9.3m	廠區既有設備
5	石灰消和系統	1	ASTM A-36	909kg/hr	廠區既有設備
6	石灰泥漿進料槽	1	ASTM A-36	19.68m <sup>3</sup>	廠區既有設備
7	空氣壓縮機	1		107kg/hr @7kg/cm <sup>2</sup>	
8	石灰泥漿輸送泵浦	2		3.4m <sup>3</sup> /hr max.	
9	水泵浦	1		2.5m <sup>3</sup> /hr @4.2kg/cm <sup>2</sup>	
10	誘引風扇	1			
11	噴嘴	1	SUS 316		
12	靜電集塵器	1			廠區既有設備
13	袋濾式集塵器	1			廠區既有設備
14	不透光率自動監測設備	1			廠區既有設備
15	SO <sub>2</sub> 自動監測設備	1			廠區既有設備
16	溫度控制器	1			
17	差壓指示／控制器	1			

### 5.2 土建工程

設備設於地面上，除了地基基礎土建外，無其餘土建工程。

## 六、處理效果

該套示範性GSA系統於1992年10月份安裝完成後，約花費一個月的時間進行設備試倅及調整，之後隨即進行設備性能測試。

### 6.1 系統AST之測試

在一連串的測試中，首先係針對操作溫度對SO<sub>2</sub>吸收之效應作一系列之測試。一般而言，溫度操作愈趨於飽和溫度(saturation temperature)，酸氣吸收之效率愈高，然而，操作溫度愈低，愈有可能造成系統因乾燥不完全而結塊堵塞(clagging)，必須停機維修清除，因此在半乾式脫硫系統中操作溫度一般以趨近飽和溫度的範圍為參數，簡稱為AST(approach-to-saturation temperature)，系統能操作之AST愈小，其吸收效率愈高。針對GSA系統之AST與SO<sub>2</sub>吸收效率之測試，系統操作條件固定如下：

廢氣入口溫度 : 160°C

石灰/SO<sub>2</sub>莫耳比 : 1.4

廢氣 : 不含Cl<sub>2</sub>

測試結果如圖4。該項測試結果造成美國當地工業界相當震驚，因為結果顯示出GSA系統能達到90%以上之SO<sub>2</sub>去除效率，此推翻了工業界一般認為半乾式系統不適用於鍋爐廢氣處理之想法。由於傳統之半乾式系統在SO<sub>2</sub>去除效率上被證實僅有50~65%，不像濕式洗滌系統具有90%以上之吸收效率，故傳統上，濕式系統被認為是處理鍋爐廢氣脫硫之唯一可行技術。另外一項令人感到不可思議之操作結果是GSA系統能操作在5°F之AST狀況下，並且正常運轉，沒有結塊堵塞之現象。在SO<sub>2</sub>去除效率方面依照相同的操作條件，我們將廠區原先之傳統噴霧乾燥吸收系統對SO<sub>2</sub>去除效率之測試結果與GSA之測試結果相互比較，結果如圖5所示。其顯示出GSA系統無論是1.0或是1.4鈣硫計量比狀況下，其SO<sub>2</sub>去除效率均較噴霧乾燥系統來的高，另外一個有趣的現象是噴霧乾燥系統之AST測試結果只

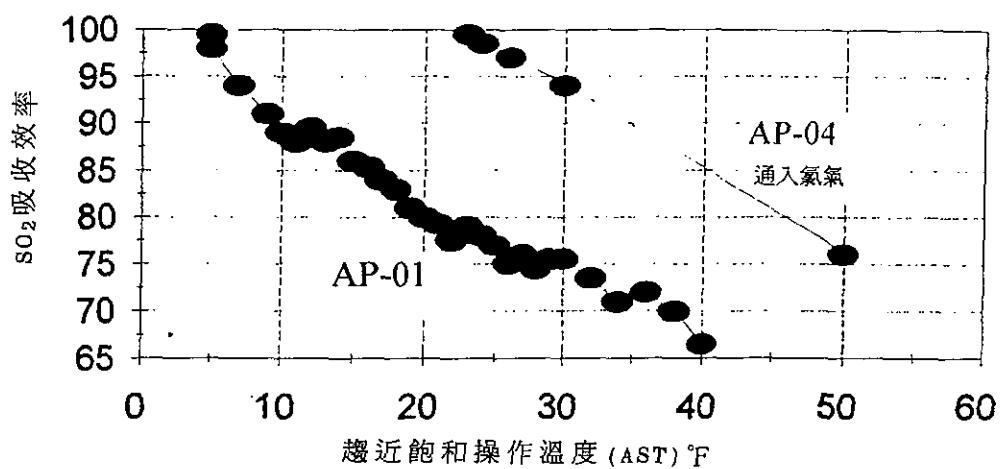


圖 4 操作溫度 (AST) 對  $\text{SO}_2$  吸收效率之影響

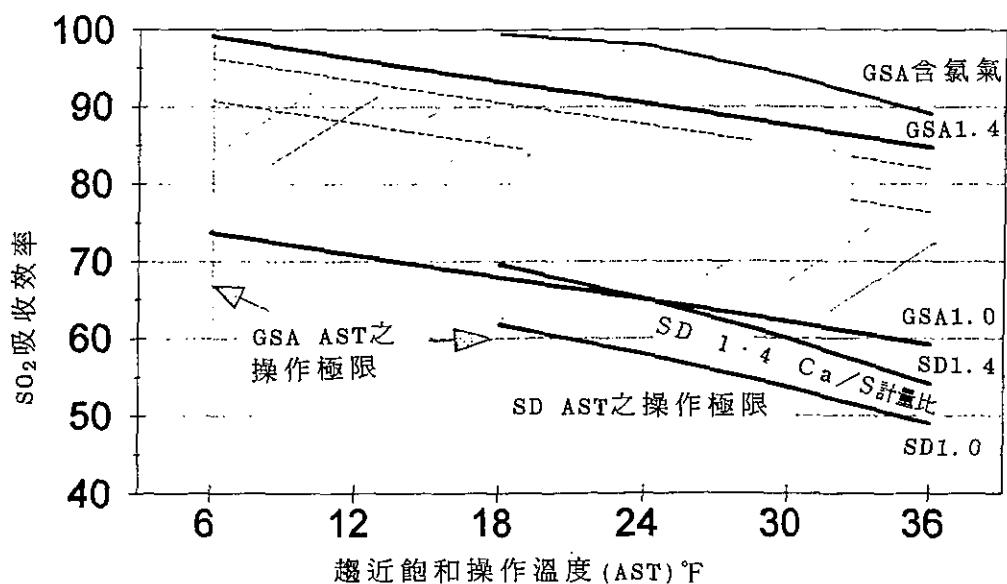


圖 5 GSA與 SPRAY DRYER 之  $\text{SO}_2$  吸收效率曲線圖

能操作在  $18^{\circ}\text{F}$ ，AST 溫度低於  $18^{\circ}\text{F}$  即無法正常操作，而 GSA 能操作在更低之 AST 範圍。測試結果亦顯示出當系統操作在更低 AST 時，其  $\text{SO}_2$  去除效率明顯增加，當 AST 操作於  $5^{\circ}\text{F}$  時， $\text{SO}_2$  去除效率可達 99% 以上。

### 6.2 廢氣中含氯氣之效應測試

為再次驗證 GSA 對焚化爐廢氣處理之功效，系統將  $\text{CaCl}_2$  溶液注入至廢氣中，藉以模擬焚化爐之廢氣特性（含有大量  $\text{HCl}$  成份），圖 4 結果亦顯示廢氣中若含有氯氣， $\text{SO}_2$  去除效率亦增加，然而實驗亦發現當有  $\text{Cl}_2$  存在於廢氣中時，系統無法操作在低 AST 下，其原因在於反應物中有  $\text{CaCl}_2$  (calcium chloride) 存在，因其屬於離子化鹽類 (ionic salt)，會降低 (depress) 水蒸氣壓力，使得泥漿中之水份不易蒸發 (evaporation)，因此操作低 AST 時會增加系統堵塞之可能。在  $\text{SO}_2$  去除效率方面， $\text{CaCl}_2$  為親水性物質 (hydroscopic material)，具有吸收廢氣中水份之能力，此增加了反應物之含水率及與  $\text{SO}_2$  反應之機會，因此能有較好之  $\text{SO}_2$  吸收效果。

### 6.3 鈣硫計量比之效應

系統針對不同鈣硫計量比所作之結果，如圖 5 所示， $\text{SO}_2$  去除效率高鈣硫比 (1.4) 比低鈣硫比 (1.0) 較高，再拿 GSA 系統與噴霧乾燥系統之  $\text{SO}_2$  去除效率比較，發現在同樣的 AST 及  $\text{SO}_2$  去除效率條件下，GSA 所需之鈣硫計量比較低，此表示出在達到同樣  $\text{SO}_2$  去除效果下，GSA 系統所消耗之石灰量較少，可節省操作費用，在 TVA 之 NCER 廠測試發現，GSA 之石灰消耗量較噴霧乾燥系統約少 20%。

### 6.4 GSA 系統對重金屬 (heavy metals) 去除之效果

由於本套 GSA 示範廠為美國能源部 (U. S. Department of Energy DOE) 燃煤廢氣處理技術 (Clean Coal Techhogy) 研究之一項計劃，在最近 DOE 將對該套 GSA 系統作有關有害物質 (air toxics) 去除之研究，並預計在 82 年 9 月份開始進行測試。基於 GSA 早期在焚化廠之實際運轉測試發現，GSA 系統無需注入其他特殊吸收劑 (如活性炭或其他螯合試劑) 對於鉛 (Pb)，鎘 (Cd) 以及汞 (Hg) 等重金屬均有高達 90% 以上之去除效率。圖 6 為

GSA系統(配合袋濾式集塵設備)應用在焚化廠實例中Hg去除效率曲線圖，測試顯示Hg去除效率可達90%，圖7及圖8則分別為鎘及鉛之去除效率曲線，兩者平均去除效率均高達95%。

## 七、操作管理問題與建議

該套GSA系統自1992年10月份正式運轉迄今，未發現有任何操作管理問題，相對於另一套傳統噴霧乾燥系統經常發生問題，亦顯示出GSA之高使用率(availability)之特點。以下列舉傳統噴霧乾燥系統常有之操作管理問題及GSA系統實際操作經驗供業界參考。

### 7.1 石灰反應物再循環使用系統之堵塞及管路噴嘴磨蝕問題

將未反應之石灰重新送回反應器循環使用是GSA之操作特色之一(有的半乾式系統沒有循環使用之設計)，而GSA系統循環之方式是利用旋風分離機下方的進料器直接將未反應之粒子送回反應器，而噴霧乾燥系統之粒子循環系統相當複雜，其流程圖如圖9所示，該套循環系統有下列操作問題，其經常導致系統必須停機維修。

- (1)灰份貯槽(ash silo)時常有溢流(over flow)情形，因為灰份液位檢知器(ash level detector)時常故障。
- (2)灰份貯槽常因控制閥機械問題而無法順利排灰。
- (3)由於未反應之粒子夾雜有飛灰，其與石灰泥漿混合後再由噴嘴噴入反應器常造成噴嘴嚴重磨蝕，因此必須每週更換霧化噴嘴。(GSA之噴嘴僅需更換孔口板約3個月更換一次。)

### 7.2 反應器內壁結塊問題

內壁結塊問題一直是傳統噴霧乾燥系統最主要待克服之問題，一般均需設置昂貴及高動力消耗之清除裝置，然而由於裝置係操作在骯髒之環境下，因此裝置容易受損，須經常檢修。GSA為一流體化床式反應器設計，由於反應器內乾燥過程相當迅速，而且懸浮粒子有持續刷洗(Brush)反應器內壁之功能，因此每次GSA停機時工程人員檢查反應器內壁均相當潔淨

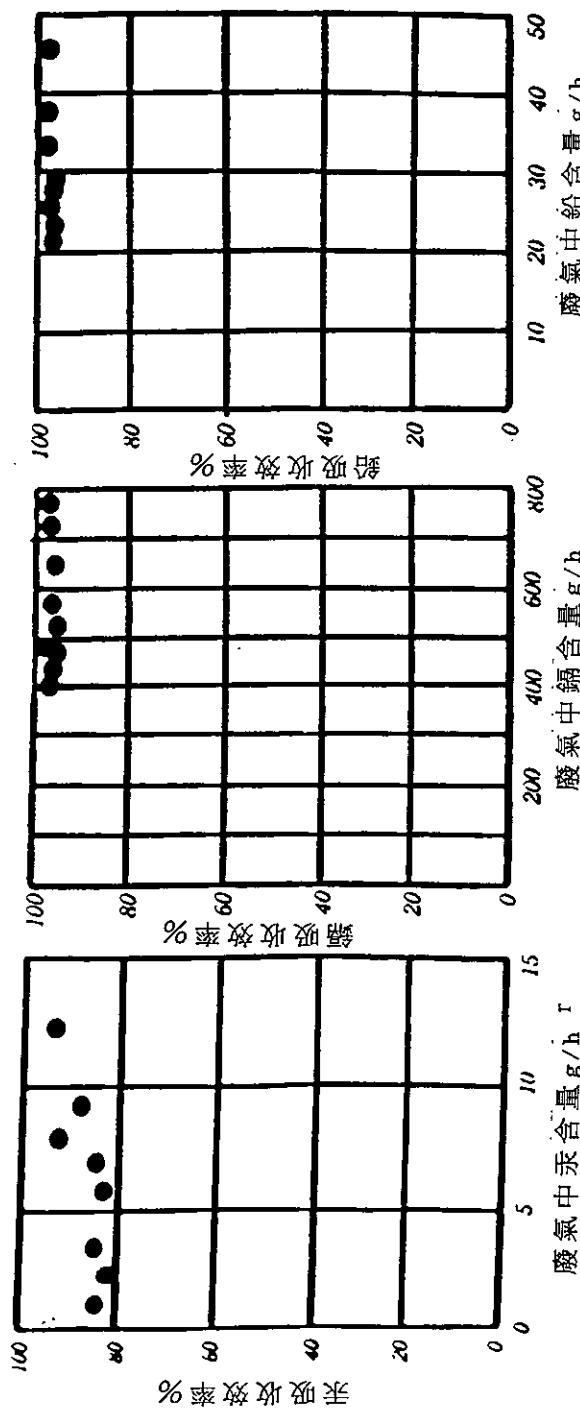


圖 6 GSA 對重金屬 Hg 之去除  
效率測試結果

圖 7 GSA 對重金屬 Cd 之去除  
效率測試結果

圖 8 GSA 對重金屬 鉛 之去除效  
率測試結果

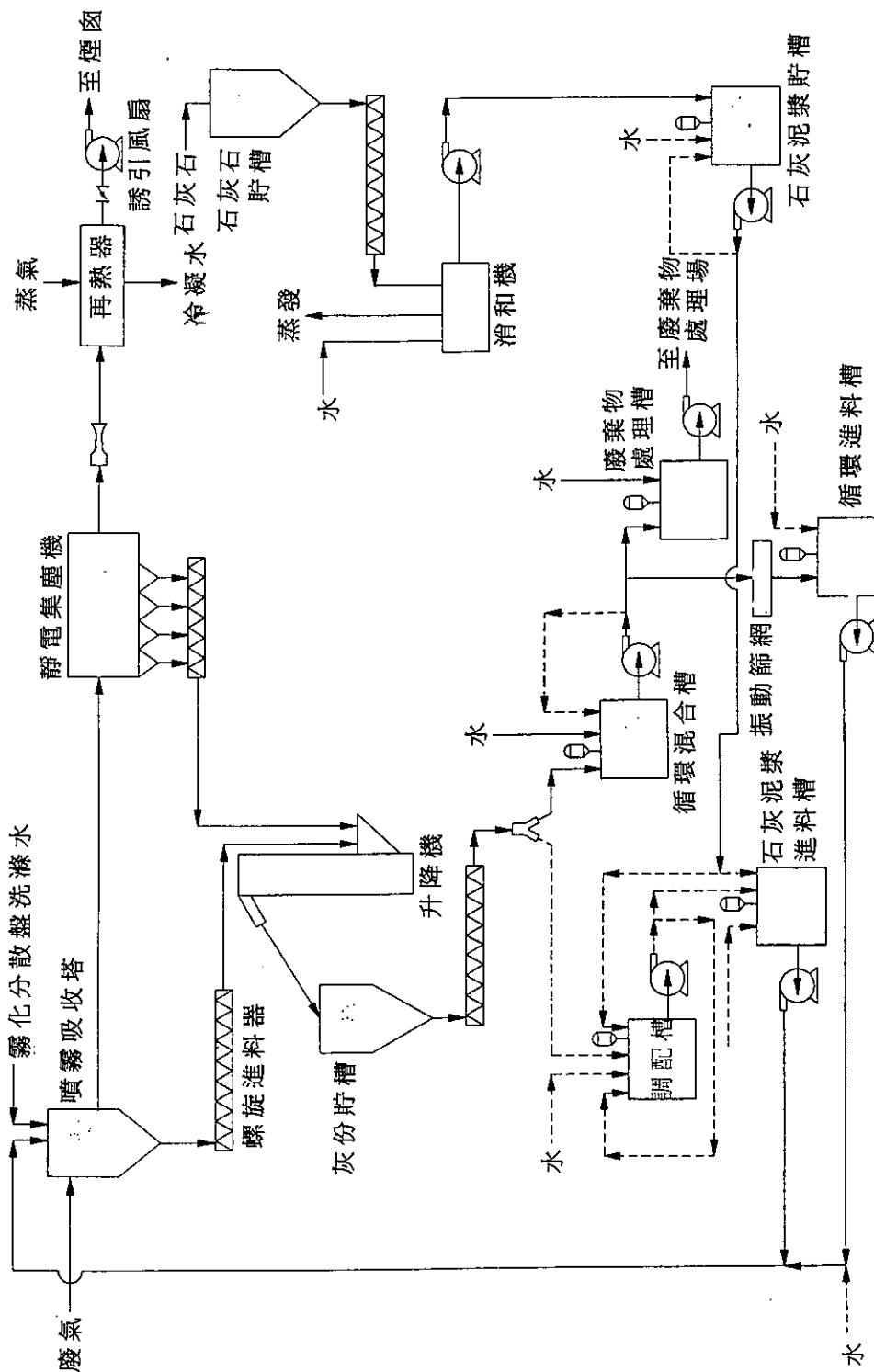


圖 9 噴霧乾燥系統之設備流程圖

沒有結塊現象。基於此10-MW GSA運轉的經驗，我們另有下列二點建議：

1. 石灰泥漿輸送管線 (lime feeding line) 宜採用軟管 (flexible hose) 配管，此可有效避免石灰泥漿沉降或堵塞在管線並易於管線維護清理。
2. 輸送石灰泥漿及給水泵浦宜採用 hose pump

hose pump為正位移式 (positive displacement) 泵浦，其可克服管線內之阻力，並定量 (fixed amount) 提供所需泥漿至系統使用。不會像離心式泵浦會隨輸送壓力增加而減低輸送量。

## 八、結論

雖然第一套商業化運轉之 GSA半乾式廢氣處理系統自1989年完成距今不過短短四年的時間，不過由於其具有高吸收效率、低操作成本 (石灰石消耗量低)、簡單化之系統設計及幾乎零故障之維修優點，已經成功地襲捲並漸漸取代了傳統之半乾式噴霧脫硫系統，成為未來垃圾資源回收廠及燃煤鍋爐廢氣處理之最佳處理設備。全世界現已有11 座商業化之GSA系統正運轉中，其中9座用在垃圾資源回收廠之後段廢氣處理，2座用於燃煤鍋爐之廢氣處理，目前另有2座正在建造中 (分別為台灣南部大發工業區 100 Ton/Day 特殊性廢棄物焚化系統之半乾式廢氣處理系統及投資金額高達美金壹仟萬元之瑞典LKAB公司之製程廢氣脫硫處理系統)。由GSA在美國Shawnee電廠之測試結果及在歐洲焚化廠之實際運轉經驗發現，GSA具備有下列優點與特性：

1. 具有極優異之酸氣吸收效率。
2. 石灰的消耗量低，操作成本較低
3. 設備簡單，建造成本較傳統處理設備低。
4. 無反應器內壁結塊或複雜之粒子循環系統設計，設備故障率低，使用率 (availability) 高。
5. 設備可直接配合既有設施設置，佔地空間小。

綜合以上優點，無疑地，GSA已證明為一高性能且最經濟之半乾式廢氣脫硫處理系統。

## 九、參考文獻

1. Frank E. Hsu "GAS Suspension Absorption an Efficient and Economic Process for Acid Gas Removal for Solid Waste Incineration System" AirPol Inc. (1992)
2. AirPol Inc. "AirPol Gas Suspension Absorption Demonstration Plant" (1993).
3. AirPol Inc. "General Note for GSA System for DOE Clean Coal Technology III" (1992)
4. 賴重光等，"燃燒後廢氣之半乾式脫硫技術"，中華民國第三屆燃燒科技應用研討會，pp382-388 (1993)
5. 鄭顯榮，"垃圾資源回收廠工程現況與展望"，1993廢棄物焚化處理技術與問題研討會暨展覽專題演講資料 (1993)
6. 林鴻祺，"我國資源回收廠未來發展的趨勢及面臨的問題"，1993廢棄物焚化處理技術與問題研討會暨展覽專題演講資料 (1993)