

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

燃燒金紙、拜香及爆竹產生空氣污染物之減量及危害評估-  
-總計畫暨子計畫四：金紙燃燒空氣污染防治技術研發：強  
制通風燃燒改善合併文式洗滌法  
研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型  
計畫編號：NSC 95-EPA-Z-110-002-  
執行期間：95年03月01日至95年12月31日  
執行單位：國立中山大學環境工程研究所

計畫主持人：周明顯

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：王嘉禧  
碩士班研究生-兼任助理：李孟霖

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年01月26日

95 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」  
成果完整報告

燃燒金紙、拜香及爆竹產生空氣污染物之減量及危害  
評估

總計畫及子計畫四：

金紙燃燒空氣污染防治技術研發：強制通風燃燒改善  
合併文式洗滌法

計畫類別：整合型計畫  
計畫編號：NSC 95-EPA-Z-110-002-  
執行期間：九十五年三月一日至九十五年十二月三十一日  
總計畫主持人：周明顯  
計畫主持人：周明顯  
共同主持人：  
計畫參與人員：王嘉禧、李孟霖  
執行單位：國立中山大學環境工程研究所

中華民國九十五年十二月三十一日

# 金紙燃燒空氣污染防治技術研發： 強制通風燃燒改善合併文式洗滌法

## 目錄

|       |                                  |    |
|-------|----------------------------------|----|
| 中英文摘要 |                                  |    |
| 第一章   | 前言                               | 1  |
| 第二章   | 文獻回顧                             | 2  |
| 2-1   | 燃燒廢氣特性                           | 2  |
| 2-2   | 粒狀污染物去除機制及影響因子探討                 | 3  |
| 第三章   | 研究方法                             | 4  |
| 第四章   | 結果及討論                            | 7  |
| 4-1   | 試驗條件                             | 5  |
| 4-2   | TSP 去除率、洗滌前後濃度與循環水流量( $Q_L$ )之關係 | 8  |
| 4-3   | 廢氣與循環水溫度之變化                      | 9  |
| 4-4   | 排氣煙度變化                           | 10 |
| 4-5   | 循環水用量及性質                         | 11 |
| 4-6   | 燃燒紙錢之抽氣量設定                       | 12 |
| 4-7   | 燃燒紙錢排氣各成分及濃度變化                   | 13 |
| 4-8   | 自製金紙及噴灑助燃劑之燃燒比較                  | 14 |
| 4-9   | 以瓶杯試驗混凝沉除灰水中懸浮固體物                | 17 |
| 4-10  | 清水除臭檢測                           | 20 |
| 第五章   | 結論及建議                            | 23 |
| 5-1   | 結論                               | 23 |
| 5-2   | 建議                               | 23 |
| 參考文獻  |                                  | 24 |
| 附件    |                                  | 25 |
| 附錄 A  | 紙錢燃燒計算書                          | 25 |
| 附錄 B  | 市售金紙燃燒試驗數據                       | 27 |
| 附錄 C  | 洗滌循環水添加清潔劑試驗數據                   | 34 |
| 附錄 D  | 自製金紙燃燒及噴灑 $KClO_3$ 助燃之實驗數據       | 36 |

## 中文摘要

本研究設置一每小時可燃燒 20 kg 紙錢之金爐，另設置一最大可處理 20 Am<sup>3</sup>/min (@35°C)排氣之洗滌器，作焚化排氣除塵試驗。試驗結果顯示：(1) 在焚化速率 14.2-16.3 (平均 15.3) kg/hr、抽氣量  $Q_G = 13.1、26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  (@35°C)時，排氣粒狀物(TSP)濃度分別為 93-157 (平均 126)及 127-182 (平均 157) mg/m<sup>3</sup>，低抽氣量之 TSP 濃度較低。TSP 去除率與循環洗滌水流量  $Q_L$  成正比，在  $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$  (洗滌截面液體強度 4.0 L/m<sup>2</sup>.s)時，TSP 去除率可達 70%；(2)在焚化速率 16 kg/hr、洗滌截面液體強度 4.0 L/m<sup>2</sup>.s、抽氣量 13.1 或 26.3 m<sup>3</sup>/min 時，排氣煙度不顯著；(3)燃燒 1 kg 紙錢之循環水消耗量可設定為 1.2-2.4 公升，每 1,000 Am<sup>3</sup> 抽氣量之循環水消耗量為 24-34 公升；(4)欲達 70% TSP 去除率，洗滌器適當設計參數為：(a)液氣比( $Q_L/Q_G$ ) 3-6 L 液體/(m<sup>3</sup> 氣體@30°C)，(b)氣體通過洗滌段之空塔流速( $U_G$ ) 0.6-1.2 m/s，(c)洗滌液通過洗滌段之空塔流速( $U_L$ ) 0.004 m/s，(d)氣液接觸段長度約 0.70 m。

分析其燃燒產生的附產物 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO、NO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 之濃度變化，CO<sub>2</sub>、CO、NO 濃度出口均隨洗滌液循環量之增加而減少，O<sub>2</sub> 則隨著燃燒增加，NO<sub>2</sub> 及 SO<sub>2</sub> 均無顯著變化。利用原生紙漿進行自製金紙實驗，選用 3% KClO<sub>3</sub> 均勻噴灑於自製金紙上，比較燃燒的效果，噴灑藥劑的紙漿燃燒迅速，但其產生的白煙多；原生紙漿自製的金紙去除率有比較好的效果。灰水(洗滌循環水)在 pH = 7.0 添加劑量 15 mg/L 之 FeCl<sub>3</sub> 混凝，可將其中 SS 由 100 mg/L 混凝澄清至 <10 mg/L。在抽氣量  $Q_G = 13.1、26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  及廢氣洗滌循環水  $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$  時進行聞臭實驗，洗滌前後焚燒排氣之臭氣濃度分別為 309 及 232，臭味去除率約為 25%。

**關鍵字：**空氣物染控制、紙錢焚化、噴淋洗滌

## Abstract

A 20 kg/hr ritual-money combustion chamber and a 20 Am<sup>3</sup>/min (@35°C) wet scrubber were setup for performance tests on the removal of TSP (total solid particulates) from the combustion flue gas. Results from the preliminary tests indicate that (1) TSP in the flue gas ranged from 93-157 (avg. 126) and 127-182 (avg. 157) mg/m<sup>3</sup> (@35°C) at gas drawing rates ( $Q_G$ ) of 13.1 and 26.3 m<sup>3</sup>/min (@35°C), respectively, with ritual-money combustion rates of 14.2-16.3 (avg. 15.3) kg/hr. The lower gas drawing rate gave lower TSP concentrations in the flue gas. TSP removal efficacy varied linearly with the liquid scrubbing rate ( $Q_L$ ) and a 70% TSP removal was achieved at a  $Q_L$  of 60 L/min which is equivalent to a scrubbing-liquid intensity of 4.0 L/m<sup>2</sup>.s over the scrubber cross section. (2) Visual smoke intensity in the exit of the scrubber chimney was not apparent with a combustion rate of 16 kg/hr, scrubbing intensity of 4.0 L/m<sup>2</sup>.s, and gas drawing rates of 13.1 and 26.3 m<sup>3</sup>/min. (3) Scrubbing water consumptions of 1.2-2.4 L are estimated for combustion of 1 kg ritual money. (4) Design parameters of a scrubber for 70% TSP removal from the flue gas are (a) liquid/gas ratio ( $Q_L/Q_G$ ) = 3-6 L liquid/(m<sup>3</sup> gas @30°C); (b) superficial gas velocity over the scrubber cross section ( $U_G$ ) = 0.6-1.2 m/s; (c) superficial liquid velocity over the scrubber cross section ( $U_L$ ) = 0.004 m/s; and (d) a gas-liquid contacting length of 0.70 m.

**Keywords:** air pollution control, ritual-money combustion, spray-type flue gas scrubber

# 第一章 前言

目前多數中大型寺廟金爐未設排氣處理設施，已設者多為具二次焚化及旋風集塵器之控氣式固體焚化爐，外型與一般固體廢棄物焚化爐無異，造價高昂，無法為一般廟宇接受。裝設一般洗滌塔或旋風集塵器之中大型廟宇金爐，煙塵去除效果存疑。

羅玉雲(2005) [1]分別以靜電集塵裝置(ESP)及袋濾集塵裝置(BH)試驗其去除紙錢燃燒排氣粒狀污染物(TSP)之性能並作比較。結果顯示，ESP 初始運轉期間之 TSP 去除率為 80-99%，但須經常清洗集塵板，方可維持效率，ESP 顯然不適用於該排氣除塵。在 BH 方面，於過濾速度 2.0 m/min，BH 可將 TSP 由 9-182 (平均 72) mg/Nm<sup>3</sup> 去除至 0-12 (平均 2) mg/Nm<sup>3</sup>，操作穩定性高，適用於金紙焚化排氣除塵。SEM (Scanning Electron Microscope)分析顯示，集塵灰粒徑為 20-110 nm，平均 45-60 nm；底灰粒徑為 50-300 nm，平均 250 nm。

BH 確可使用於中大型金爐排氣除塵，對一般燃燒量 50 kg/(小時)之金爐，BH 之佔地面積約 50 平方公尺，造價約 70-80 萬元，用地面積及造價偏高使其推廣不易。可去除約 1 微米尺寸粒狀物之噴淋洗滌器雖有產生廢水之缺點，但其佔地小、造價低、設備簡單，頗適合寺廟使用，但目前仍無測試資料及寺廟使用。

因此，本研究以一可處理 20 m<sup>3</sup>/min 排氣之實場規模洗滌器，測試其除塵性能。主要試驗項目包括用水量、液氣比、氣流溫度等對 TSP 去除效果之影響，另行研究項目為排出煙灰水之水質。設施造價、操作費用、二次污染、操作維護特性等，將隨研究結果呈現。本計畫主要目的為發展一經濟有效之洗滌技術，以處理中大型寺廟金爐排氣，以減除其對環境之污染及寺廟周圍居民之煙薰及味道困擾。

預期本研究成果，在實際上可提供寺廟一經濟有效技術，處理金爐排氣，以減除其對環境之污染及寺廟周圍居民之煙薰及味道困擾；在學術上，探討目標污染物(TSP)在處理系統中去除機制；工作人員可獲致：(1)洗滌器之試驗系統裝設及操作，(2) TSP 及臭味分析、TSP 處理方法，(3)TSP 去除機制分析等訓練。

## 第二章 文獻回顧

### 2-1 燃燒廢氣特性

紙錢在金爐中燃燒後所排放之廢氣之特性，基本上主要包括粒狀污染物、一氧化碳、氮氧化物與酸性氣體等污染物質，分別介紹如下[楊萬發，1996]：

#### (1) 粒狀污染物

長期曝露在以細微粒為主的空氣污染狀況下與死亡率、壽命減低及致癌率有顯著的關係，PM<sub>10</sub> 濃度日變化與兒童急性呼吸道問題就診率、學校及幼稚園缺席率、正常兒童肺活量減低、兒童及成人氣喘患者藥物服用率有關。年長者、呼吸道及心血管疾病患者及兒童對於 PM<sub>10</sub> 不良影響最為敏感。細微粒較粗微粒更具危害性。紙類燃燒過程所產生之粒狀污染物大致可分為三類：

- (A) 成份中之不燃物，在燃燒過程中較大粒狀殘留物將成為底灰，而部份的小顆粒粒狀物則隨廢氣而排出爐外成為飛灰，一般所產生之粒狀物粒徑大於 10 $\mu$ m，極易利用空氣污染防治設備去除，這些粒狀污染物主要成份為 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 及微量金屬。
- (B) 部份無機鹽類在高溫之下氣化而排出，於爐外遇冷而凝結成粒狀物，或二氧化硫氣體在低溫下遇水滴而形成硫酸鹽霧狀微粒等。
- (C) 未燃燒完全所產生之碳顆粒與煤煙，由於粒徑約在 0.1-10  $\mu$ m 間，由於所產生顆粒非常細微，較難用空氣污染防治設備去除。

#### (2) 一氧化碳

吸入一氧化碳對於胸部並無直接危害，但一氧化碳會與氧氣競爭血紅素形成碳氧血紅素而干擾氧氣傳送，間接影響組織。因此，一氧化碳的不良影響造成氧氣供給量需求增加情形，包括慢性血氧不足(類似高山症)、貧血及心臟血管疾病。慢性曝露於一氧化碳造成胎兒體重過輕及損害神經系統發展。一氧化碳是在不完全燃燒情況下之產物，因此常以 CO 之含量來判定燃燒反應之完全性與否，藉由改變金爐內燃燒狀況，以完全燃燒將一氧化碳反應去除。

#### (3) 酸性氣體

燃燒所產生的酸性氣體，主要包括 SO<sub>x</sub>、HCl 等，這些污染物都是直接由紙類中之 S、Cl 等元素，經燃燒反應而形成。對於一些氣喘患者，曝露於低濃度二氧化硫中亦可能造成支氣管收縮。對於急性二氧化硫曝露引起的呼吸道不順及肺活量降低皆會造成嚴重的呼吸問題。高濃度曝露則會產生肺水腫、肺組織傷害及刺激呼吸道黏膜等。

#### (4) 氮氧化物

長期曝露於二氧化氮會造成兒童急性呼吸道疾病，包括呼吸道感染及呼吸道症狀。

二氧化氮短期曝露會造成呼吸困難、呼吸道收縮但不影響肺活量。常期長期曝露於較低的二氧化氮濃度中，患有氣喘或慢性肺功能障礙者(慢性支氣管炎、肺氣腫)，因其肺活量減少，因此危害性也較一般正常人為嚴重。當動物同時曝露於 NO<sub>2</sub> 及 O<sub>3</sub> 時，肺組織傷害較僅有 O<sub>3</sub> 時為嚴重。燃燒過程中，氮氧化物之產生，主要來自紙類中的氮成份與氧氣反應產生。以及燃燒氣體中氮氣與氧氣在高溫下反應產生。依據一研究[[台北市民政局, 2001](#)]，金爐燃燒的污染物排放情形與選用空污控制設備時，應注意下列特點：

- (A) 排氣中夾雜大粒徑飛灰、紙片，加上金爐排放口不高，易造成鄰近地區落塵增加、減低能見度。
- (B) 排氣溫度高，並可能帶有餘燼，在選用污染防制設備時，應注意著火問題與材料的承受溫度，或須加裝適當前處理設備。

## 2-2 粒狀污染物去除機制及影響因子探討

洗滌器用作粒子去除的主要機構有二：第一種係利用洗液將粒子潤濕，第二即將被潤濕的粒子收集在集塵器之表面予以去除。粒子濕潤可利用將洗滌液體噴散霧化(atomization)，使微粒子(或氣膠)與液面互相接觸。洗滌器利用床體或濕潤的表面可去除小至 0.1-1.0 μm 之粒子，對 1.0-10 μm 及 10-50 μm 大小的粒子之去除效果更佳。

濕式處理設備大致可分成兩種型式。一種是將洗滌液霧化，使其與廢氣接觸；如噴水式洗滌器、旋風式洗滌器及文氏洗滌器。若主要去除對象為粒狀物時，則霧化液滴之直徑以不超過粒狀物之二百倍時，效果較佳。

噴水式洗滌器(spray tower scrubber)為將液體自塔頂向下以霧狀(或小液滴)噴灑，廢氣則由塔頂(同向流)或塔底(逆向流)進入，達到氣液接觸目的。此型主要可用於冷卻廢氣溫度、氣體調溼(gas conditioning)及顆粒物質之去除。由於其對氣體吸收之效果較差，較少應用於有毒氣體之吸收。常運用在除塵方面者，係採高壓散水方式以產生較小的水滴，形成較多的表面積，能夠收集 1-2 μm 範圍的粒子。

文氏洗滌器(Venturi scrubber)均使用同向流、液相分散型，由於停留接觸時間較填充塔或板式吸收塔為短，故氣液接觸效果較差。一般的文氏洗滌器中氣體在喉部之速度為 60-120m/s) [6]，當液體由喉部射入時，高速廢氣穿剪而過，使吸收液變成霧狀小液滴，產生接觸作用。由於接觸時間較短，此洗滌器較適用於極易溶解或具有反應之氣體處理。在除塵設備中，文氏洗滌器亦為最常使用的型式，因為其可有效的收集氣體中微小的顆粒。此型洗塵器主要是使液滴經加速後，以較大的初線速度來和氣流中的顆粒發生撞擊，以增加收集微粒的效率，但其價格亦較高。集塵效率與流速成正比，捕集之粒徑愈小時需要較高的流速，對 0.5 μm 以上的粒子，使用 110 m/s 流速可得高效率。最大缺點是壓力損失大，動力費用高。優點則是構造簡單，細小微粒均能捕集，對 1 μm 以上之粒子有超過 90% 的收集效率。



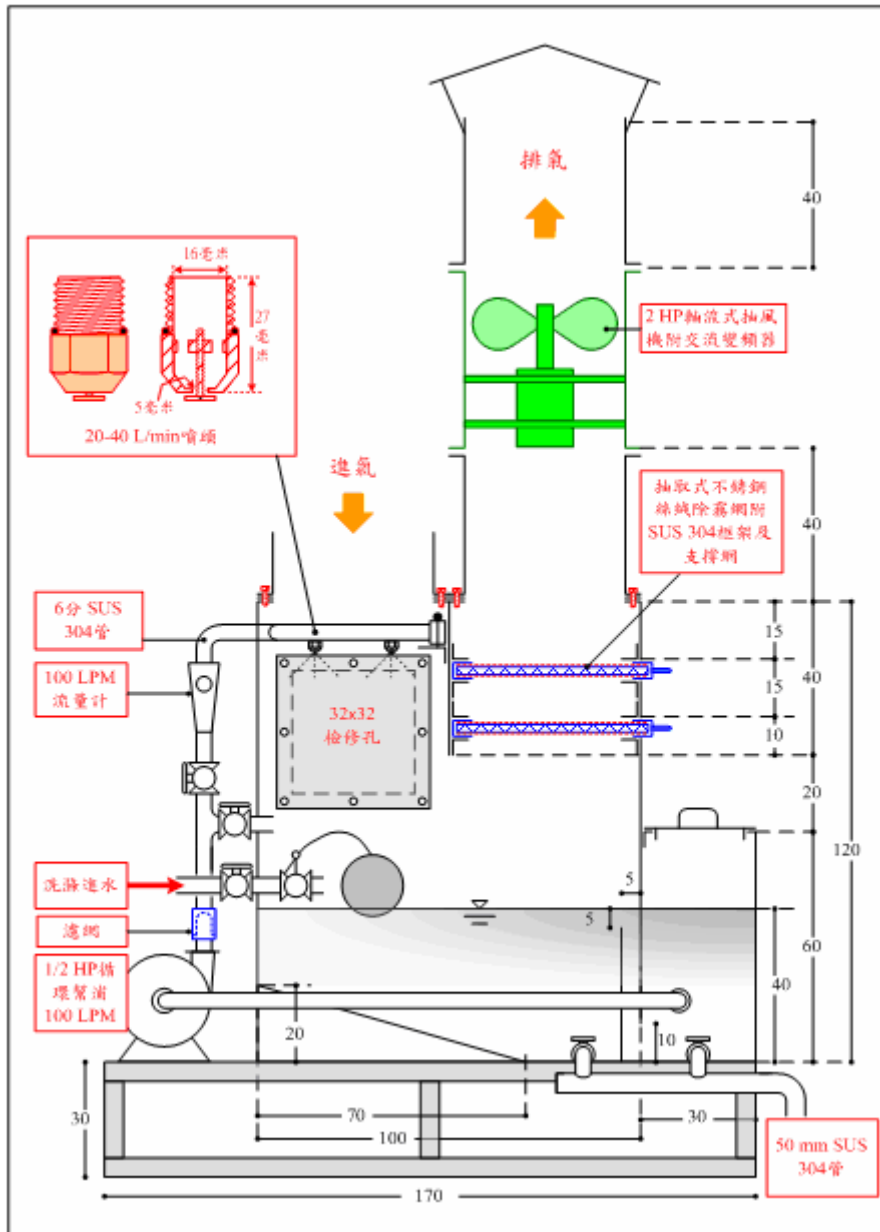
### 第三章 研究方法

供試排氣源為小型金爐(鐵製材質, 尺寸為  $60\text{ cm}^D \times 100\text{ cm}^H$ , 內置紙錢為燃燒材料, 分批次作燃燒試驗, 在金爐上方出口處設有一個採樣點, 以檢測金爐的溫度變化), 其燃燒速率可控制在中型金爐  $20\text{ kg}/(\text{小時})$  之水準。由附錄 A「紙錢燃燒計算書」計算知, 燃燒速率  $20\text{ kg}/(\text{小時})$  之金爐, 在過剩空氣為 200% 時, 其排氣溫度約為  $900^\circ\text{C}$ , 排氣量為  $3.10\text{ Nm}^3/\text{min}$ , 折算成真實排氣量為  $3.50\text{ Am}^3/\text{min}$  ( $@35^\circ\text{C}$ )。

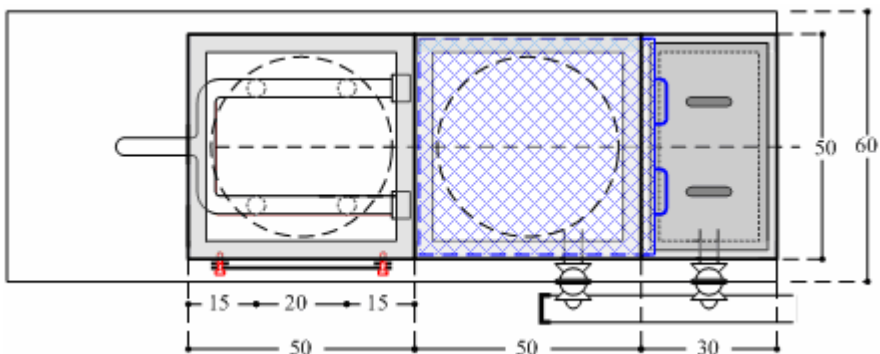
因此, 本研究設置一最大可處理  $20\text{ Am}^3/\text{min}$  ( $@35^\circ\text{C}$ ) 排氣之實場規模洗滌器(圖 3.1、3.2)。該洗滌器洗滌部份內截面積為  $0.25\text{ m}^2$  ( $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ ),  $20\text{ Am}^3/\text{min}$  ( $@35^\circ\text{C}$ ) 氣體通過該截面積之空塔流速為  $1.34\text{ m/s}$ ; 若該氣流於  $320^\circ\text{C}$  通過該截面積, 則空塔流速為  $2.66\text{ m/s}$ 。洗滌水噴嘴出口至液面間約  $0.70\text{ m}$ , 空塔流速為  $2.66\text{ m/s}$ , 則氣液接觸時間為  $0.26\text{ s}$ 。循環洗滌水流量可控制在  $60\text{ L}/\text{min}$  以下, 變化抽氣量及循環洗滌水流量, 可控制各種不同的液氣比。

燃燒試驗前, 先清除金爐內所有積灰, 再將市面購入之金紙(表觀密度  $0.26\text{--}0.48\text{ g}/\text{cm}^3$ , 灰份  $2.0\text{--}3.5\%$  [1]) 點火, 再啟動洗滌器抽風機及循環水幫浦, 封閉金爐頂排放口, 開始測試。金紙以每 4-5 分鐘時隔方式定量投入爐內, 每隔一定時間量測或紀錄下列數據: (1) 洗滌器進、出口廢氣溫度, (2) 洗滌器進、出口廢氣中 TSP (total solid particles) 濃度, (3) 循環水溫度, (4) 循環水中懸浮固體物(SS)濃度, (5) 循環水位。

洗滌器抽排氣量係在金爐不操作之情況下, 以熱感式氣體流速計(Alnor Instrument Co., APM 100, USA)量測排放口氣體流速, 再將平均流速乘以排放口截面積而得, 氣體流量數據溫度為  $28\text{--}32^\circ\text{C}$ 。氣流 TSP 測定裝置參照羅玉雲(2005) [1] 採用之標準方法(NIEA A101.72C, 2003 年 8 月), 濾紙廠牌為 Advantec, 材質為 Glass Fiber, 直徑  $47\text{ mm}$ 。水中 SS 測定採標準方法(NIEA W210.57A, 2006 年 6 月)。



金爐排氣洗滌塔正面(長度單位：cm)



金爐排氣洗滌塔俯視(長度單位：cm)

圖 3.1：金爐排氣洗滌塔設計圖



圖 3.2：金爐及排氣洗滌器照片

## 第四章 結果及討論

### 4-1 試驗條件

試驗條件如表 4.1 及附錄 B 所示。編號 1-4 試驗為在定抽氣量(13.1、17.3、22.0、26.3 Am<sup>3</sup>/min @30-41°C)下，變化循環水流量(20、30、40、50、60 L/min)，求取：(1)抽氣量、循環水量與洗滌前、後排氣中 TSP 濃度之關係；(2)液氣比與 TSP 去除率之關係；(3)排氣及循環水溫度之變化；(4)循環水消耗量及循環水內 SS 濃度變化。編號 5 試驗為在定抽氣量(13.1、26.3 Am<sup>3</sup>/min @30-41°C)及循環水流量(50、60 L/min)，探討循環水中添加清潔劑(沙拉脫)對 TSP 去除率之影響。

表 4.1：試驗條件

| 試驗編號 | 總時間 (hr) | 紙錢投入總量(kg) | 燃燒速率 (kg/hr) | 抽氣量 (Am <sup>3</sup> /min) @30-41°C | 循環水量 (L/min) @30-62°C | 液氣比 (L/m <sup>3</sup> ) | 循環水清潔劑 (mL/L) |
|------|----------|------------|--------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| 1    | 1.33     | 28.4       | 21.4         | 22.0                                | 20-60                 | 0.91-2.73               | 0             |
| 2    | 1.42     | 23.0       | 16.2         | 17.3                                | 20-60                 | 1.16-3.47               | 0             |
| 3    | 1.50     | 21.3       | 14.2         | 13.1                                | 20-60                 | 1.53-4.58               | 0             |
| 4    | 1.33     | 21.7       | 16.3         | 26.3                                | 20-60                 | 0.76-2.28               | 0             |
| 5    | 1.00     | 15.9       | 15.9         | 13.1、26.3                           | 50、60                 | 1.90-4.58               | 0.10          |

## 4-2 TSP 去除率、洗滌前後濃度與循環水流量( $Q_L$ )之關係

圖 4.1、4.2 分別顯示在抽氣量  $Q_G = 13.1$ 、 $26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，焚燒排氣 TSP 去除率、洗滌前後 TSP 濃度與循環水流量( $Q_L$ )之關係。數據顯示在焚化速率 14.2-16.3 (平均 15.3) kg/hr 抽氣量  $Q_G = 13.1$ 、 $26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，排氣 TSP 濃度分別為 93-157 (平均 126) 及 127-182 (平均 157)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，低抽氣量之 TSP 濃度較低。TSP 去除率與  $Q_L$  成正比，在  $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$  (相當於洗滌截面液體強度  $4.0 \text{ L}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) 時，TSP 去除率可達 70%，其原因為氣流通道截面完全為水柱充滿(圖 3.2 之 4)，氣液接觸狀況良好。

圖 4.1、4.2 亦顯示，洗滌循環水中添加清潔劑對 TSP 去除率並無助益。

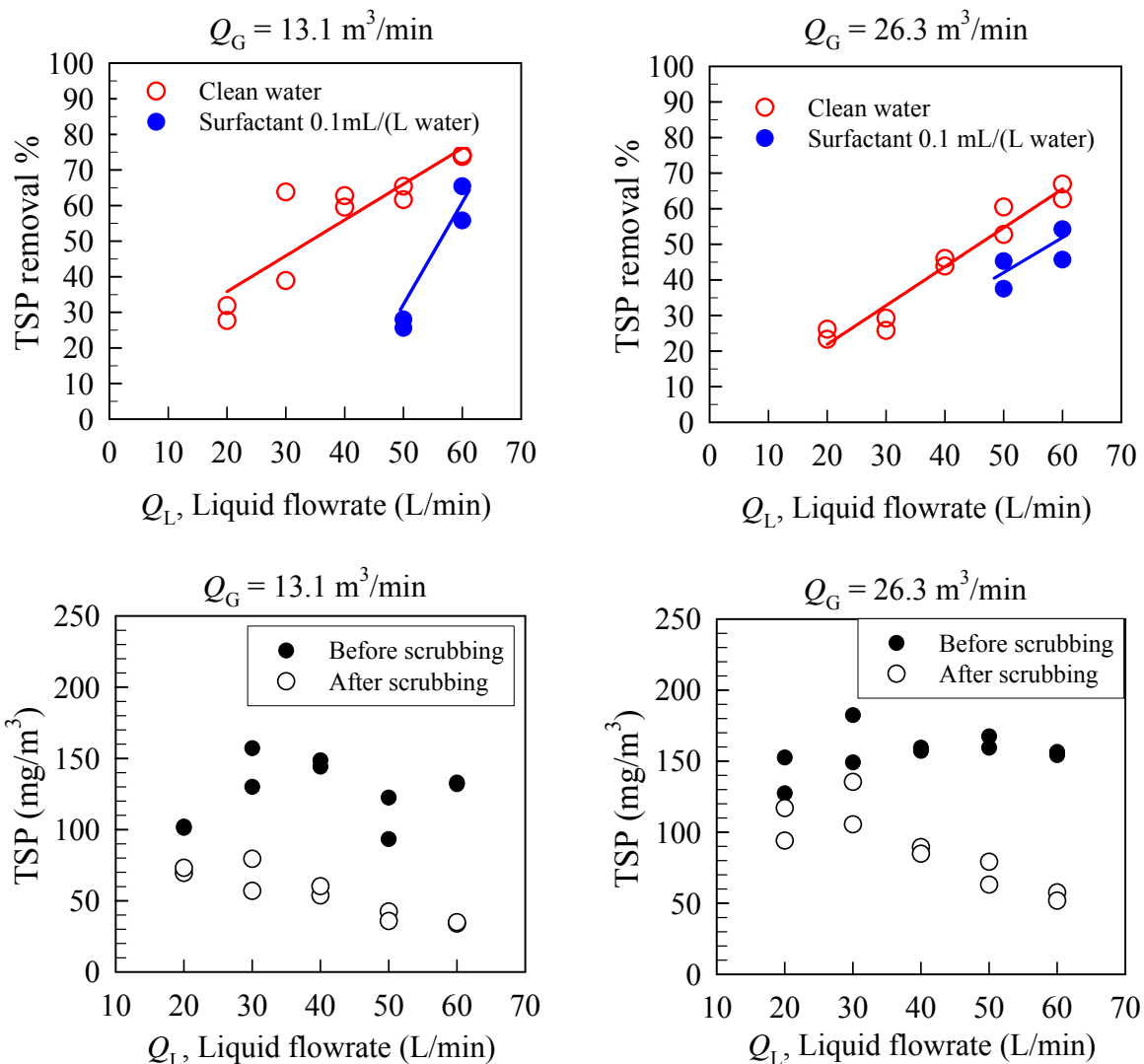


圖 4.1：TSP 去除率、洗滌前後濃度與循環水流量( $Q_L$ )之關係(抽氣量  $Q_G = 13.1 \text{ m}^3/\text{min}$ )

圖 4.2：TSP 去除率、洗滌前後濃度與循環水流量( $Q_L$ )之關係(抽氣量  $Q_G = 26.3 \text{ m}^3/\text{min}$ )

### 4-3 廢氣與循環水溫度之變化

圖 4.3、4.4 分別顯示在抽氣量  $Q_G = 13.1$ 、 $26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，廢氣洗滌前後溫度與循環水溫度隨焚化時間之變化。數據顯示，在焚化速率  $14.2 \text{ kg/hr}$ 、 $Q_G = 13.1$  時，金爐抽排氣溫度在排氣口、洗滌前、洗滌後分別為  $358$ - $625$  (平均  $509$ )、 $288$ - $481$  (平均  $361$ )、 $104$ - $174$  (平均  $133$ )  $^{\circ}\text{C}$ ；在焚化速率  $15.3 \text{ kg/hr}$ 、 $Q_G = 26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，金爐抽排氣溫度在排氣口、洗滌前、洗滌後分別為  $335$ - $455$  (平均  $395$ )、 $267$ - $369$  (平均  $315$ )及  $118$ - $192$  (平均  $150$ )  $^{\circ}\text{C}$ 。二操作狀況下(循環水流量  $20$  增至  $60 \text{ L/min}$ )，循環水溫度由約  $30$  漸增至穩定之  $60^{\circ}\text{C}$ 。

上述結果顯示，平均焚化速率約  $15 \text{ kg/hr}$ ，抽氣量  $13.1$  及  $26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，抽排氣平均溫度如下：排氣口  $509$ 、 $625^{\circ}\text{C}$ 、洗滌前  $361$ 、 $315^{\circ}\text{C}$ 、洗滌後  $133$ 、 $150^{\circ}\text{C}$ ，排氣無水蒸氣霧現象。

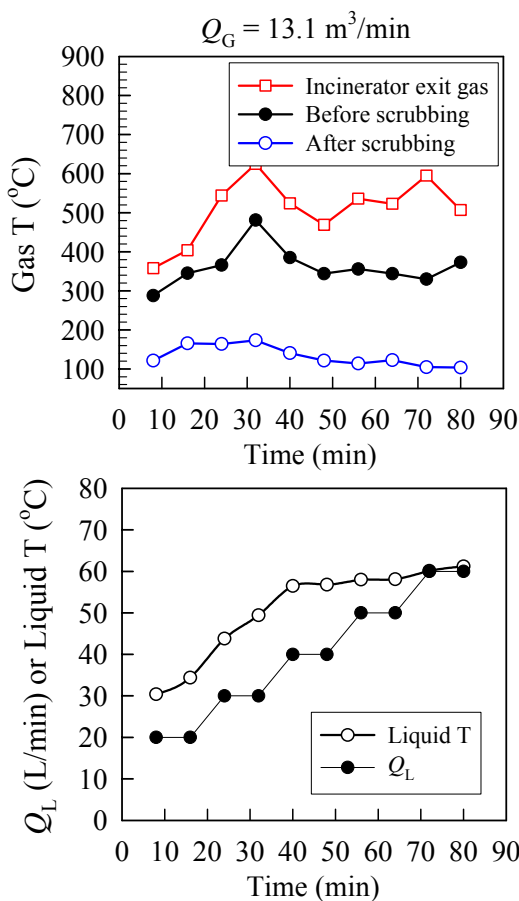


圖 3.3：廢氣洗滌前後溫度與循環水溫度隨焚化時間之變化(抽氣量  $Q_G = 13.1 \text{ m}^3/\text{min}$ )

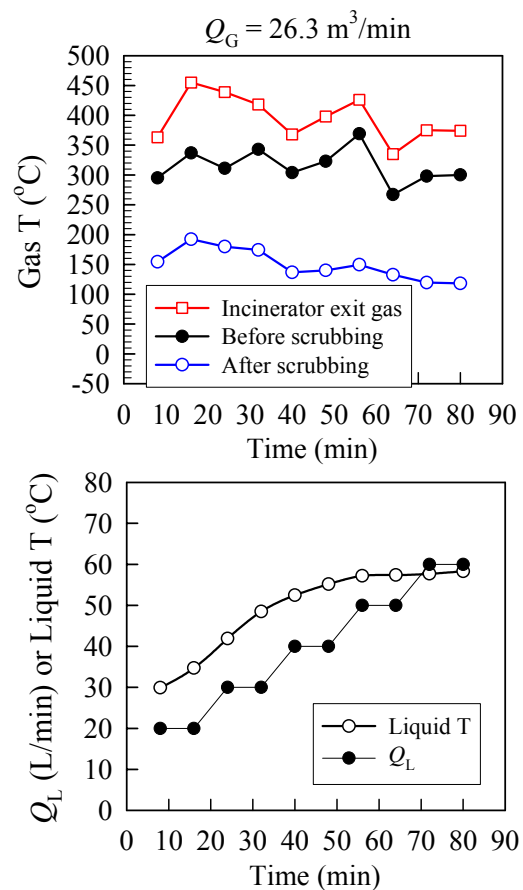


圖 3.4：廢氣洗滌前後溫度與循環水溫度隨焚化時間之變化(抽氣量  $Q_G = 26.3 \text{ m}^3/\text{min}$ )

## 4-4 排氣煙度變化

圖 4.5 顯示在焚化速率 15.9 kg/hr、抽氣量為 13.1、26.3 m<sup>3</sup>/min 時，廢氣洗滌循環水未開啟時之排煙狀況；圖 4.6 顯示在焚化速率 16.3 kg/hr，抽氣量為 13.1、26.3 m<sup>3</sup>/min 時，廢氣洗滌循環水  $Q_L = 40$ 、60 L/min 時之排煙狀況。

煙道排煙狀況顯示，在焚化速率約 16 kg/hr、 $Q_L = 60$  L/min (洗滌截面液體強度 4.0 L/m<sup>2</sup>.s)、抽氣量 13.1 或 26.3 m<sup>3</sup>/min 時，排氣煙度不顯著。



1. 抽氣量 13.1 m<sup>3</sup>/min，排氣口粒狀物濃度約 140 mg/m<sup>3</sup>



1. 抽氣量 13.1 m<sup>3</sup>/min，循環水量  $Q_L = 60$  L/min，排氣口粒狀物濃度約 60 mg/m<sup>3</sup>



2. 抽氣量 13.1 m<sup>3</sup>/min，排氣口粒狀物濃度約 190 mg/m<sup>3</sup>



2. 抽氣量 26.3 m<sup>3</sup>/min，循環水量  $Q_L = 60$  L/min，排氣口粒狀物濃度約 50 mg/m<sup>3</sup>



3. 抽氣量 26.3 m<sup>3</sup>/min，排氣口粒狀物濃度約 115 mg/m<sup>3</sup>



3. 抽氣量 26.3 m<sup>3</sup>/min，循環水量  $Q_L = 40$  L/min，排氣口粒狀物濃度約 85 mg/m<sup>3</sup>

圖 4.5：廢氣洗滌循環水未開啟時之排煙狀況(焚化速率 15.9 kg/hr)

圖 4.6：廢氣洗滌循環水開啟時之排煙狀況(焚化速率 16.3 kg/hr)

## 4-5 循環水用量及性質

圖 4.7、4.8 分別顯示在  $Q_G = 13.1$ 、 $26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，循環水量、溫度及懸浮固體物濃度(SS)隨焚化時間之變化，表 4.2 顯示循環水消耗量。數據顯示，在焚化速率  $14.2 \text{ kg/hr}$ 、抽氣量  $13.1 \text{ m}^3/\text{min}$  時，燃燒  $1 \text{ kg}$  紙錢之循環水消耗量為  $1.17 \text{ 公升}$ ，每  $1,000 \text{ Am}^3$  抽氣量之循環水消耗量為  $23.6 \text{ 公升}$ ；在焚化速率  $16.3 \text{ kg/hr}$ 、抽氣量  $26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，燃燒  $1 \text{ kg}$  紙錢之循環水消耗量為  $2.40 \text{ 公升}$ ，每  $1,000 \text{ Am}^3$  抽氣量之循環水消耗量為  $33.9 \text{ 公升}$ 。

由上數據知，燃燒  $1 \text{ kg}$  紙錢之循環水消耗量可設定為  $1.2\text{-}2.4 \text{ 公升}$ ，每  $1,000 \text{ Am}^3$  抽氣量之循環水消耗量為  $24\text{-}34 \text{ 公升}$ 。

圖 4.9、4.10 分別顯示未添加及添加清潔劑之循環水外觀。

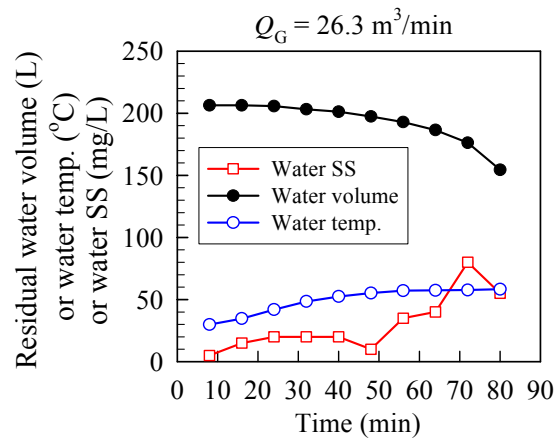
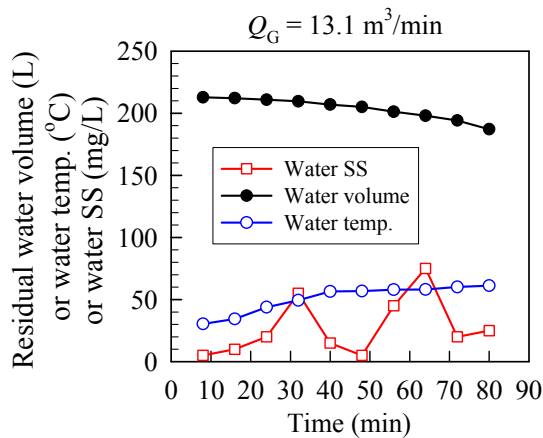


圖 4.7：循環水量及性質變化(抽氣量  $Q_G = 13.1 \text{ m}^3/\text{min}$ )

圖 4.8：循環水量及性質變化(抽氣量  $Q_G = 26.3 \text{ m}^3/\text{min}$ )

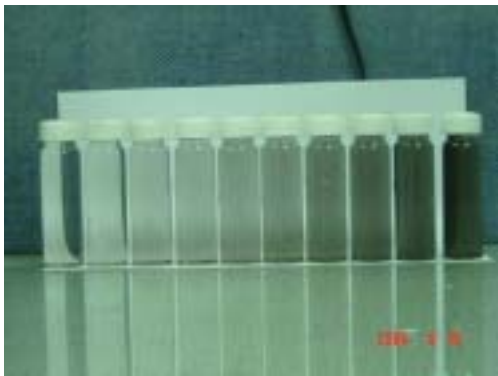


圖 4.9：未添加清潔劑之循環水 SS 變化



圖 4.10：添加清潔劑之循環水 SS 變化



表 4.2：循環水消耗量計算

| 試驗編號 | 總時間 (hr) | 燃燒速率(kg/hr) | 抽氣量 (Am <sup>3</sup> /min) @30-41°C | 循環水總消耗量(L) | 燃燒 1 kg 紙錢之循環水消耗量(L/kg) [註 1] | 每 1,000 Am <sup>3</sup> 抽氣量之循環水消耗量 (L/(1,000 Am <sup>3</sup> )) [註 2] |
|------|----------|-------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------|---|
| 2    | 1.42     | 16.2        | 17.3                                | 27         | 1.17                          | 18.3  |
| 3    | 1.50     | 14.2        | 13.1                                | 26         | 1.22                          | 22.1  |
| 4    | 1.33     | 16.3        | 26.3                                | 52         | 2.40                          | 24.8  |

[註 1]: 燃燒 1 kg 紙錢之循環水消耗量(L/kg) = 循環水總消耗量(L) ÷ 總時間(hr) ÷ 燃燒速率(kg/hr)

[註 2]: 每 1,000 Am<sup>3</sup> 抽氣量之循環水消耗量(L/(1,000 Am<sup>3</sup>)) = 循環水總消耗量(L) ÷ 總時間(hr) ÷ 60 min/hr ÷ 抽氣量 (Am<sup>3</sup>/min) × 1,000 Am<sup>3</sup> / (1,000 Am<sup>3</sup>)

#### 4-6 燃燒紙錢之抽氣量設定

由附錄 A 「紙錢燃燒計算書」計算知，燃燒速率 20 kg/(小時)之金爐，若其空氣供應量為燃燒需氧量之 300% (過剩空氣 200%)，其進氣溫度為 27°C，則其抽排氣量為 3.10 Nm<sup>3</sup>/min，排氣溫度為 901°C。參考實驗數據，若欲將金爐出口排氣溫度控制於 400°C 以下以利洗滌，則抽排氣量 = 3.10 Nm<sup>3</sup>/min × (901-27)/(400-27) = 7.26 Nm<sup>3</sup>/min = 8.00 Am<sup>3</sup>/min (@27°C)。依此折算，焚化 1 kg/hr 紙錢之適當抽氣量為 0.40 Am<sup>3</sup>/min (@27°C)。本研究實際抽氣量與本適當抽氣量比較如表 4.3 所示，實際抽氣量為適當抽氣量之 1.6-2.9 倍。

表 4.3：抽氣量比較

| 試驗編號 | 燃燒速率 (kg/hr) | 實際抽氣量 (Am <sup>3</sup> /min @30-41°C) | 適當抽氣量 (Am <sup>3</sup> /min @35°C) | 實際抽氣量/適當抽氣量 |
|------|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| 2    | 16.2         | 17.3                                  | 8.56                               | 2.02        |
| 3    | 14.2         | 13.1                                  | 8.19                               | 1.60        |
| 4    | 16.3         | 26.3                                  | 9.16                               | 2.87        |

#### 4-7 燃燒紙錢排氣各成分及濃度變化

表4.4顯示抽氣量 $Q_G = 26.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 、循環水量 $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$ 時，洗滌塔進出口氣體中 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 之平均濃度(以氣體分析儀器(IMR)每30秒記錄一次)，顯示洗滌塔可去除約45%之 $\text{NO}$ 。

表4.4：洗滌塔進出口氣體濃度比較

| 成分            | 濃度            |               | 去除率(%) |
|---------------|---------------|---------------|--------|
|               | 進口            | 出口            |        |
| $\text{CO}_2$ | 1.7-2.3 (%)   | 1.5-1.6 (%)   | 22.5   |
| $\text{CO}$   | 165-258 (ppm) | 143-174 (ppm) | 25.2   |
| $\text{NO}$   | 18-21 (ppm)   | 10-11 (ppm)   | 45.4   |

## 4-8自製金紙及噴灑助燃劑之燃燒比較

圖 4.11 之 1 及 2 顯示在研究室使用原生紙漿自製金紙，先將紙漿用果汁機打碎，到入裝紙漿的箱子，在竹檢上將紙漿壓成金紙，置於通風處約 2-3 天使其乾燥，得供試金紙。圖 4.11 之 3 顯示未添加藥劑之自製金紙燃燒迅速且幾乎無煙，圖 4.11 之 4 顯示未添加藥劑之自製金紙燃燒洗滌排氣口煙度極低。

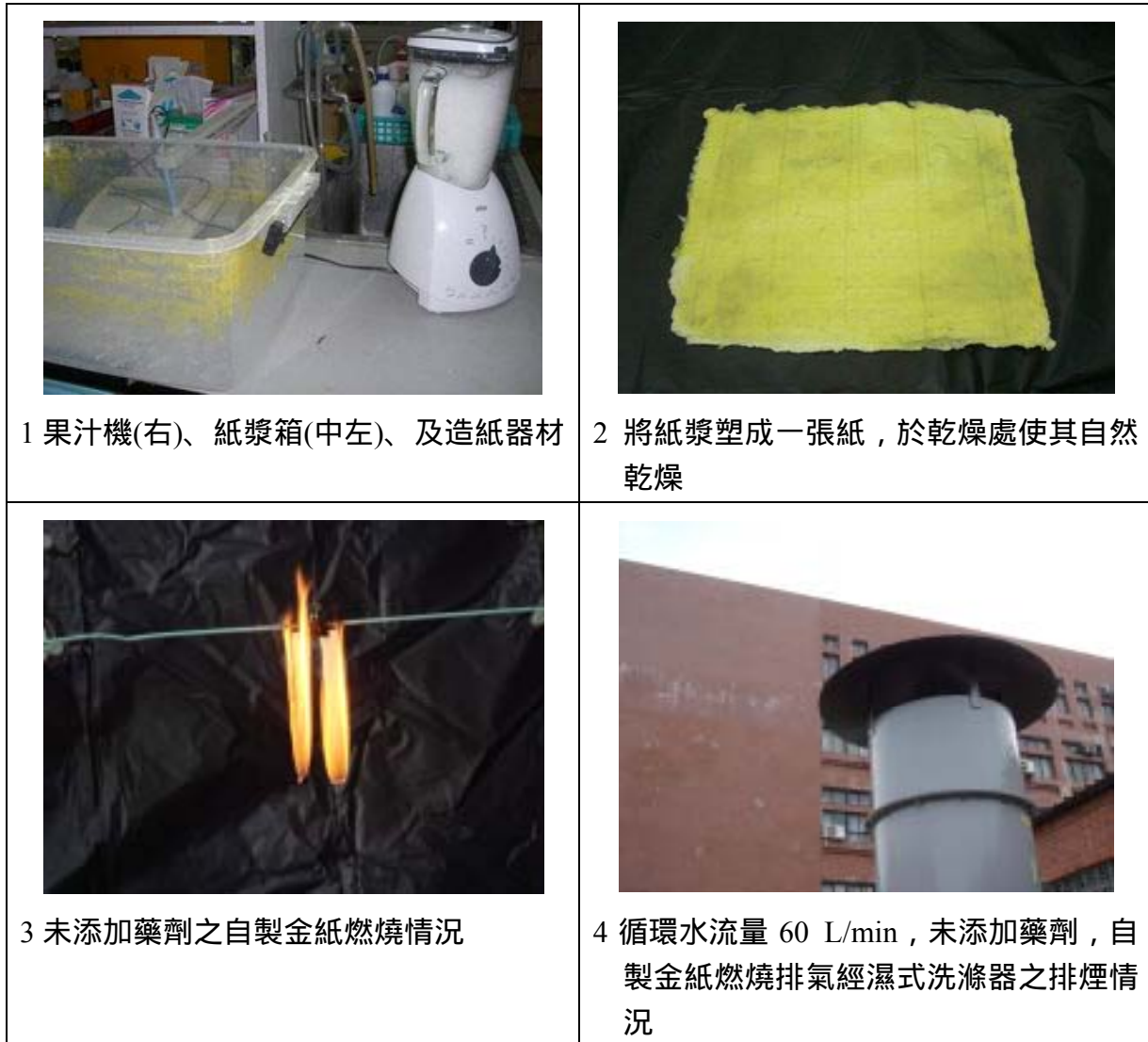


圖 4.11：自製金紙過程、燃燒狀況及燃燒排氣經洗滌器排煙照片

圖 4.12 顯示紙漿乾燥後，選用不同濃度  $\text{KClO}_3$  及  $\text{KNO}_3$  噴霧處理乾燥後試燒，使用 3%  $\text{KClO}_3$  噴霧有最快速的燃燒效果。



圖 4.12：比較添加不同濃度  $\text{KClO}_3$  助燃劑自製金紙之燃燒情形

圖 4.13 顯示將自製金紙均勻噴灑 3%  $\text{KClO}_3$ ，將金紙燃燒，使用最佳的操作參數  $Q_G = 26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  及  $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$  進行排氣洗滌試驗。



圖 4.13：噴灑 3%  $\text{KClO}_3$  自製金紙之燃燒排氣洗滌情形

自製金紙上噴灑均勻之 3%  $\text{KClO}_3$ ，雖有助於自製金紙的燃燒，但其燃燒過程中仍有大量白煙的產生，而且燃燒之火焰猛烈並伴隨間歇性之火花。由上列圖片可明顯看出，自製金紙在未添加任何藥劑時，其燃燒尾氣排煙處理情況較添加 3%  $\text{KClO}_3$  之自製金紙為佳。附錄 B 試驗編號 6 顯示焚燒排氣 TSP 去除率、洗滌前後 TSP 濃度與循環水流量( $Q_L$ )之關係。自製金紙數據顯示在焚化速率 25.2-28.8 (平均 27.0)  $\text{kg}/\text{hr}$ 、抽氣量  $Q_G = 26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，排氣 TSP 濃度分別為 19.5-20.4 (平均 20)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，TSP 去除率可達 52%。添加 3%  $\text{KClO}_3$  金紙數據顯示在焚化速率 28.8-44.4 (平均 36.6)  $\text{kg}/\text{hr}$ 、抽氣量  $Q_G = 26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時，排氣 TSP 濃度分別為 99.5-125 (平均 112)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，TSP 去除率僅達 15%。添加  $\text{KClO}_3$  的金紙，其燃燒排氣經洗滌後 TSP 的去除率並不顯著，但噴灑過的金紙燃燒速度比未噴灑者大。

## 4-9 以瓶杯試驗混凝沉除灰水中懸浮固體物

金紙焚化洗滌水含黑色懸浮固體灰燼微粒(圖 4.9、圖 4.10)，簡稱灰水。該等懸浮固體物沉降速率極低，可加混凝劑混凝以加速沉澱去除。本研究先行測試三種混凝劑(硫酸鋁、氯化鐵、多元氯化鋁(PAC))，以篩選出較適用者，次就該較適用者測試其添加量及最適初始 pH 值。

三種混凝劑篩選混凝效果比較如表 4.5 所示，以添加氯化鐵所得膠羽較大，混凝效果較佳。表 4.6 顯示氯化鐵添加量與灰水樣初始 pH 對混凝沉澱後上澄水 pH 之影響，相關照片如圖 4.14 所示，以原 pH = 7.0、FeCl<sub>3</sub> 劑量 15 mg/L (0.2mL 7% FeCl<sub>3</sub> 凝劑/L 水樣)所得上澄液 SS 最少 (8 mg/L)，目測也最清測，加藥量亦最少。未加混凝劑之原灰水與添加最適量混凝劑(原 pH = 7.0、FeCl<sub>3</sub> 劑量 15 mg/L)之澄清效果比較如圖 4.15 所示，顯示混凝劑之澄清效果甚佳，可將灰水中 SS 由 100 mg/L 混凝澄清至 <10 mg/L。

表 4.5：三種混凝劑篩選混凝效果比較

| 混凝劑           | 硫酸鋁(7%溶液)       |      | 氯化鐵(7%溶液)       |      | PAC (3.5%溶液)    |      |
|---------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
|               | 0.05            | 0.10 | 0.05            | 0.10 | 0.05            | 0.10 |
| 混凝劑添加量 (mL/L) | 0.05            | 0.10 | 0.05            | 0.10 | 0.05            | 0.10 |
| 添加混凝劑後 pH 值   | 4.28            | 3.98 | 3.67            | 3.12 | 4.98            | 5.10 |
| 添加混凝劑後目測情況    | 形成膠羽小，灰黑色，上澄液中等 |      | 形成膠羽大，黃綠色，上澄液最少 |      | 形成膠羽小，灰黑色，上澄液最多 |      |

表 4.6：氯化鐵混凝效果與灰水樣(SS = 100 mg/L)初始 pH 之關係

| 混凝劑添加量         |              | 水樣原 pH 為下列值時，上澄水之 SS (mg/L) |     |     |     |     |
|----------------|--------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 7%氯化鐵溶液 (mL/L) | 氯化鐵濃度 (mg/L) | 3.0                         | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 |
| 0.2            | 14           | 72                          | 48  | 48  | 16  | 8   |
| 0.3            | 21           | 52                          | 20  | 16  | 16  | 12  |
| 0.4            | 28           | 32                          | 32  | 16  | 24  | 12  |
| 0.5            | 35           | 96                          | 56  | 24  | 16  | 16  |

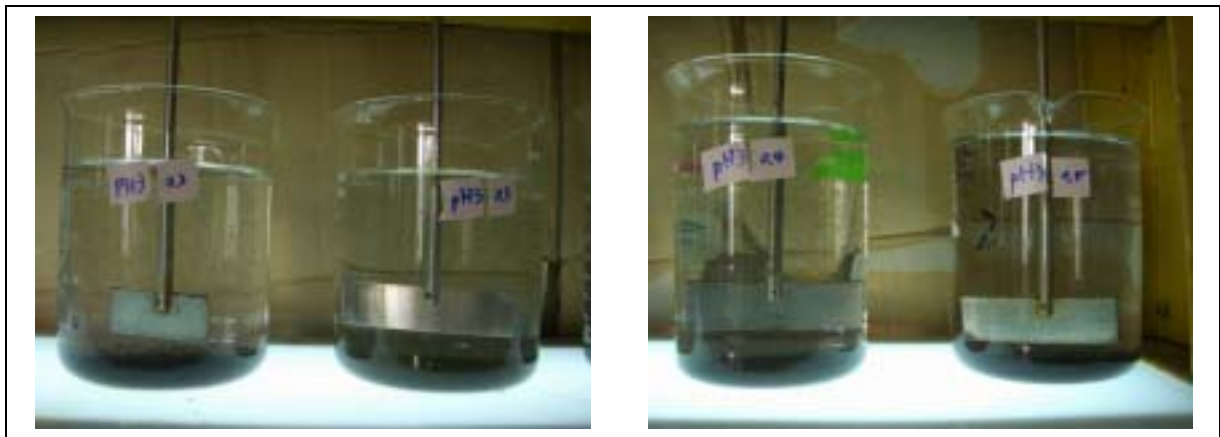


圖 4.14(a)：初始 pH = 3，分別添加 14、21、28、35 mg/L 氯化鐵(由左至右)之灰水混凝沉澱效果

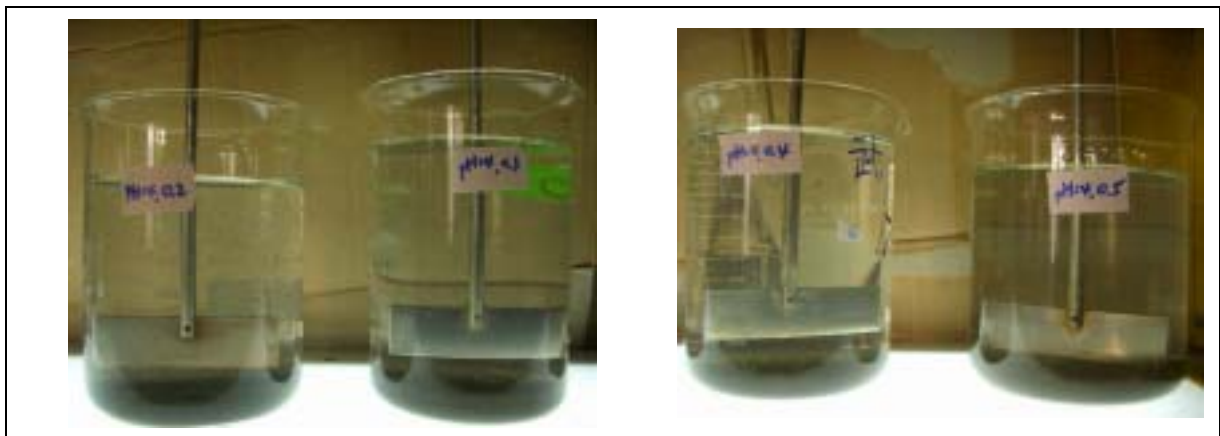


圖 4.14(b)：初始 pH = 4，分別添加 14、21、28、35 mg/L 氯化鐵(由左至右)之灰水混凝沉澱效果



圖 4.14(c)：初始 pH = 5，分別添加 14、21、28、35 mg/L 氯化鐵(由左至右)之灰水混凝沉澱效果

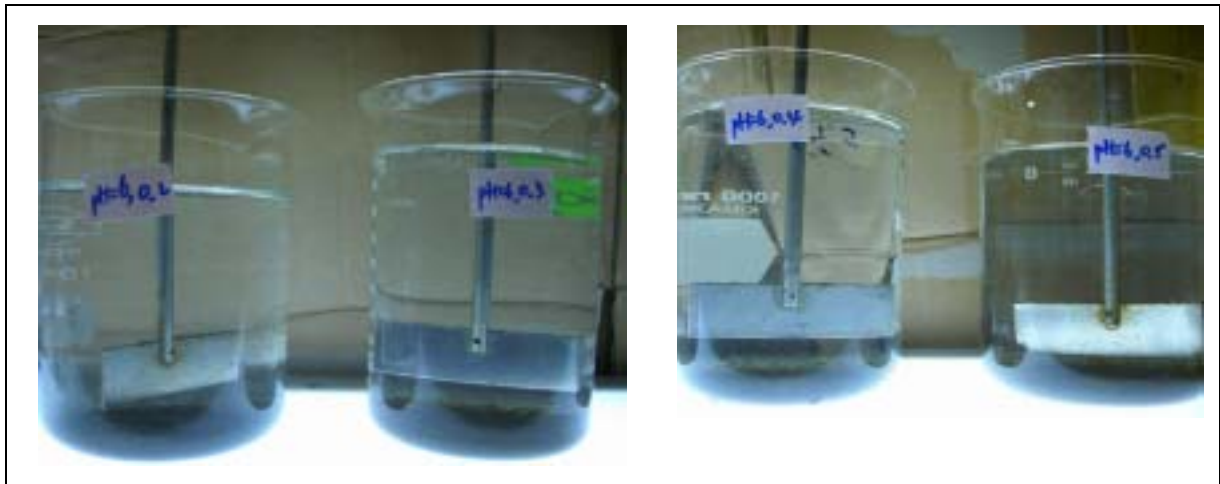


圖 4.14(d)：初始 pH = 6，分別添加 14、21、28、35 mg/L 氯化鐵(由左至右)之灰水混凝沉澱效果

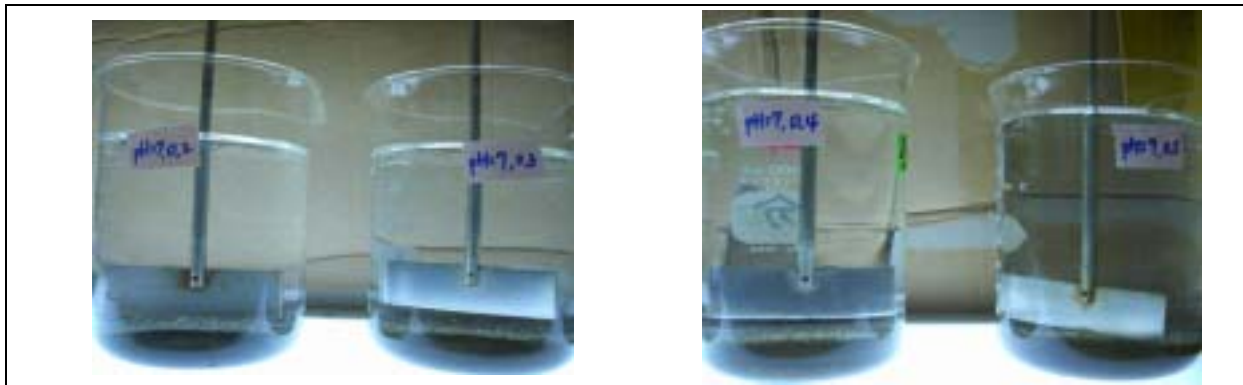


圖 4.14(e)：初始 pH = 7，分別添加 14、21、28、35 mg/L 氯化鐵(由左至右)之灰水混凝沉澱效果



圖 4.15：灰水未加混凝劑與添加最適量混凝劑之澄清效果比較



## 4-10清水除臭檢測

在抽氣量  $Q_G = 13.1、26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  及廢氣洗滌循環水  $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$  時，採集氣體進行三點比較式嗅袋法，進氣臭味濃度為 309 (表 4.7(a))，出口皆為 232 (表 4.7(b)及(c))，臭味去除率約為 25%。

表 4.7(a)：金紙燃燒未經處理廢氣臭味檢測報告

編號：95001-1

|      |             |         |                 |
|------|-------------|---------|-----------------|
| 味道性質 | 金紙燃燒進口      | 官能測定主持人 | 李孟霖             |
| 樣品名稱 | 未經處理廢氣      | 官能測定地點  | 中山大學            |
| 採樣日期 | 95.12.07    | 官能測定時間  | 95.12.07, 11:00 |
| 採樣時間 | 09:00-09:30 | 測定結果    | 臭氣濃度：309        |

### 測定紀錄

| 次數      | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6           | 7           | 8      | 9      | 10      | 嗅覺判定員個人<br>閾值(對數值) |
|---------|-------|------|------|------|------|-------------|-------------|--------|--------|---------|--------------------|
| 試樣氣體注入量 | 100ml | 30ml | 10ml | 3ml  | 1ml  | 300 $\mu$ l | 100 $\mu$ l | 二段稀釋   |        |         |                    |
| 稀釋倍數    | 30    | 100  | 300  | 1000 | 3000 | 10000       | 30000       | 100000 | 300000 | 1000000 |                    |
| 對位數     | 1.48  | 2.00 | 2.48 | 3.00 | 3.48 | 4.00        | 4.48        | 5.00   | 5.48   | 6.00    |                    |
| 1       | ○     | ○    | ○    | X    |      |             |             |        |        |         | 2.74               |
| 2       | ○     | ○    | X    |      |      |             |             |        |        |         | 2.24               |
| 3       | ○     | ○    | X    |      |      |             |             |        |        |         | 2.24               |
| 4       | ○     | ○    | X    |      |      |             |             |        |        |         | 2.24               |
| 5       | ○     | ○    | ○    | X    |      |             |             |        |        |         | 2.74               |
| 6       | ○     | ○    | ○    | X    |      |             |             |        |        |         | 2.74               |

嗅覺判定人全體閾值(個人閾值最大與最小值各捨去一個後之平均值) = X  
 臭氣濃度  $Y=10^X$   
 $X = 2.49, Y = 309$

表 4.7(b)：金紙燃燒經洗滌處理廢氣臭味檢測報告

編號：95001-2

|      |  |         |                 |
|------|--|---------|-----------------|
| 味道性質 | 焦臭味                                      | 官能測定主持人 | 李孟霖             |
| 樣品名稱 | 經洗滌處理廢氣(抽氣量<br>13.1 m <sup>3</sup> /min) | 官能測定地點  | 中山大學            |
| 採樣日期 | 95.12.07                                 | 官能測定時間  | 95.12.07, 11:00 |
| 採樣時間 | 09:00-09:30                              | 測定結果    | 臭氣濃度：232        |

測定紀錄

| 次數   | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8      | 9      | 10      | 嗅覺判定員個人<br>閾值(對數值) |
|--|-------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|---------|--------------------|
| 試樣氣體注入量  | 100ml | 30ml | 10ml | 3ml  | 1ml  | 300μl | 100μl | 二段稀釋   |        |         |                    |
| 稀釋倍數   | 30    | 100  | 300  | 1000 | 3000 | 10000 | 30000 | 100000 | 300000 | 1000000 |                    |
| 對位數  | 1.48  | 2.00 | 2.48 | 3.00 | 3.48 | 4.00  | 4.48  | 5.00   | 5.48   | 6.00    |                    |
| 1  | ○     | ○    | ○    | X    |      |       |       |        |        |         | 2.74               |
| 2  | ○     | ○    | X    |      |      |       |       |        |        |         | 2.24               |
| 3  | ○     | ○    | X    |      |      |       |       |        |        |         | 2.24               |
| 4  | ○     | ○    | ○    | X    |      |       |       |        |        |         | 2.74               |
| 5  | ○     | X    |      |      |      |       |       |        |        |         | 1.74               |
| 6  | ○     | ○    | X    |      |      |       |       |        |        |         | 2.24               |
| 嗅覺判定人全體閾值(個人閾值最大與最小值各捨去一個後之平均值) = X<br>臭氣濃度 $Y=10^x$<br>$X = 2.365, Y = 232$ |       |      |      |      |      |       |       |        |        |         |                    |

表 4.7(c)：金紙燃燒經洗滌處理廢氣臭味檢測報告

編號：95001-3

|      |  |         |                 |
|------|--|---------|-----------------|
| 味道性質 | 金紙燃燒出口                                   | 官能測定主持人 | 李孟霖             |
| 樣品名稱 | 經洗滌處理廢氣(抽氣量<br>26.3 m <sup>3</sup> /min) | 官能測定地點  | 中山大學            |
| 採樣日期 | 95.12.07                                 | 官能測定時間  | 95.12.07, 11:00 |
| 採樣時間 | 09:00-09:30                              | 測定結果    | 臭氣濃度：232        |

測定紀錄

| 次數  | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8      | 9      | 10      | 嗅覺判定員個人<br>閾值(對數值) |
|---|-------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|---------|--------------------|
| 試樣氣體注入量   | 100ml | 30ml | 10ml | 3ml  | 1ml  | 300μl | 100μl | 二段稀釋   |        |         |                    |
| 稀釋倍數  | 30    | 100  | 300  | 1000 | 3000 | 10000 | 30000 | 100000 | 300000 | 1000000 |                    |
| 對位數   | 1.48  | 2.00 | 2.48 | 3.00 | 3.48 | 4.00  | 4.48  | 5.00   | 5.48   | 6.00    |                    |
| 1   | ○     | ○    | X    |      |      |       |       |        |        |         | 2.24               |
| 2   | ○     | ○    | X    |      |      |       |       |        |        |         | 2.24               |
| 3   | ○     | ○    | ○    | X    |      |       |       |        |        |         | 2.74               |
| 4   | ○     | X    |      |      |      |       |       |        |        |         | 1.74               |
| 5   | ○     | ○    | ○    | X    |      |       |       |        |        |         | 2.74               |
| 6   | ○     | ○    | X    |      |      |       |       |        |        |         | 2.24               |
| 嗅覺判定人全體閾值(個人閾值最大與最小值各捨去一個後之平均值) = X<br>臭氣濃度 $Y=10^x$<br>$X = 2.365$ , $Y = 232$ |       |      |      |      |      |       |       |        |        |         |                    |

## 第五章 結論及建議

### 5-1 結論

本研究設置一每小時可燃燒 20 kg 紙錢之金爐(鐵製材質,尺寸為 60 cm<sup>D</sup>×100 cm<sup>H</sup>),另設置一最大可處理 20 Am<sup>3</sup>/min (@35°C)排氣之實場規模洗滌器,以作焚化排氣除塵洗滌試驗。試驗結果顯示:

1. 在焚化速率 14.2-16.3 (平均 15.3) kg/hr、抽氣量  $Q_G = 13.1、26.3 \text{ m}^3/\text{min}$  時,排氣粒狀物(TSP)濃度分別為 93-157 (平均 126)及 127-182 (平均 157) mg/m<sup>3</sup>,低抽氣量之 TSP 濃度較低。TSP 去除率與循環洗滌水流量  $Q_L$  成正比,在  $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$  (洗滌截面液體強度 4.0 L/m<sup>2</sup>.s)時,TSP 去除率可達 70%,其原因為氣流通道截面完全為水柱充滿,氣液接觸狀況良好。
2. 在焚化速率 16 kg/hr、 $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$  (洗滌截面液體強度 4.0 L/m<sup>2</sup>.s)、抽氣量 13.1 或 26.3 m<sup>3</sup>/min 時,排氣煙度不顯著。
3. 燃燒 1 kg 紙錢之循環水消耗量可設定為 1.2-2.4 公升,每 1,000 Am<sup>3</sup> 抽氣量之循環水消耗量為 24-34 公升。
4. 欲達 70%之 TSP 去除率,洗滌器適當設計參數如下:(1)洗滌液氣比( $Q_L/Q_G$ )為 3-6 L 液體/(m<sup>3</sup> 氣體@30°C), (2)氣體通過洗滌段之空塔流速( $U_G$ )為 0.6-1.2 m/s, (3)洗滌液通過洗滌段之空塔流速( $U_L$ )為 0.004 m/s, (4)氣液接觸段長度約 0.70 m。
5. 灰水在 pH = 7.0 添加劑量 15 mg/L 之 FeCl<sub>3</sub> 混凝,可將其中 SS 由 100 mg/L 混凝澄清至 <10 mg/L。
6. 洗滌前後焚燒排氣之臭氣濃度分別為 309 及 232,臭味去除率約為 25%。

### 5-2 建議

1. 廟宇焚燒紙錢產生之空氣污染物,加裝污染防制設備是屬管末處理,不符合經濟效益,若能從源頭紙錢開始集中至大型焚化爐燃燒;再進一步將紙錢減量,從質與量方面著手,如採用環保金紙燃燒,將可大幅減少空氣污染物產生;再來就是改變的生活習性,盡量朝著不燒紙錢的目標推進。現今網路發達,或許可以網路上焚燒紙錢代替,這是焚燒紙錢今後的發展趨勢,但是需要一段很長的時間來改變。
2. 因 TSP 去除率與循環洗滌水流量  $Q_L$  成正比,在  $Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}$  (洗滌截面液體強度 4.0 L/m<sup>2</sup>.s)時,TSP 去除率達 70%,在設備許可下,往後實驗將嘗試將  $Q_L$  提升,試驗是否可提升去除率。

## 參考文獻

1. 羅玉雲，以靜電集塵裝置及濾袋室集塵裝置處理紙錢焚燒排氣之研究，國立中山大學環境工程研究所碩士論文，中華民國九十四年七月。
2. 呂世傑，文氏洗滌器之性能分析，國立交通大學機械工程學系碩士論文，中華民國九十一年六月。
3. 台北市政府民政局，「燃燒紙錢採用祭拜金銀紙錢燃燒煙塵廢氣調查與改善之研究」(2001)。
4. 行政院環保署環境檢驗所，「空氣檢測方法」(1997)。
5. 唐進勝，「拜香燃煙中微粒之度量、計數及脂族醛含量」，國立台灣大學公共衛生研究所碩士論文(1993)。
6. 許武雄，「燃燒參數對固體燃料燃燒速率之影響」，國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文(1994)。
7. 張木彬、鄭嫻婷，「粒狀污染物控制設備」，空氣污染防治專責人員訓練教材(1996)。
8. 楊萬發，「事業廢棄物焚化爐設計與選用手冊」，經濟部工業局(1996)。
9. 楊萬發、李曜全、莊桓齊、董士誠，「祭拜金銀紙錢燃燒煙塵廢氣調查與改善之研究」，台北市政府民政局(2001)。
10. Yung, S. C., Calvert S., and Barbarika, H. F., "Venturi Scrubber Performance Model" Env. Sci. Tech. 1978 Vol.12, pp.456-458
11. R.W.K.Allen "Prediction of Venturi scrubber grade efficiency curves using the contacting power law", Powder Technology 1996 , 137-144

## 附錄 A：紙錢燃燒計算書

燃燒計算包燃燒空氣需量、燃燒排氣量及溫度計算等。表 A1-1 為紙錢之燃燒方程式及燃燒熱(25°C, 1 atm)，表 A1-2 為計算基準，表 A1-3 為燃燒空氣需量計算，表 A1-4 為燃燒排氣量及溫度計算結果。

表 A1-1：紙錢燃燒方程式及燃燒熱(25°C, 1 atm)

| 代表方程式   | 燃燒方程式  | 低位燃燒熱<br>kcal/kg |
|---|--|------------------|
| 紙錢纖維(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub> | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> + 6 O <sub>2(g)</sub> → 6 CO <sub>2(g)</sub> + 5 H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub> | 約 3,500*         |

\*參考資料：Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Ed., Table 25-52, 1997.

TABLE 25-52 Typical Proximate-Analysis and Energy-Content Data for Components in Domestic, Commercial, and Industrial Solid Waste\*

| Component              | Proximate analysis, % by mass |                 |              |                 | Energy content, kJ/kg |        |                       |
|------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------------|--------|-----------------------|
|                        | Moisture                      | Volatile matter | Fixed carbon | Non-combustible | As collected          | Dry    | Moisture-and ash-free |
| Food and food products |                               |                 |              |                 |                       |        |                       |
| Fats                   | 2.0                           | 95.3            | 2.5          | 0.2             | 37,530                | 38,296 | 38,374                |
| Food wastes (mixed)    | 70.0                          | 21.4            | 3.6          | 5.0             | 4,175                 | 13,917 | 16,700                |
| Fruit wastes           | 78.7                          | 16.6            | 4.0          | 0.7             | 3,970                 | 18,638 | 19,271                |
| Meat wastes            | 38.8                          | 56.4            | 1.8          | 3.1             | 17,730                | 28,970 | 30,516                |
| Paper products         |                               |                 |              |                 |                       |        |                       |
| Cardboard              | 5.2                           | 77.5            | 12.3         | 5.0             | 16,390                | 17,278 | 18,240                |
| Magazines              | 4.1                           | 66.4            | 7.0          | 22.5            | 12,220                | 12,742 | 16,648                |
| Newsprint              | 6.0                           | 81.1            | 11.5         | 1.4             | 18,550                | 19,734 | 20,032                |
| Paper (mixed)          | 10.2                          | 75.9            | 8.4          | 5.4             | 15,815                | 17,611 | 18,738                |
| Waxed cartons          | 3.4                           | 90.9            | 4.5          | 1.2             | 20,345                | 27,272 | 27,615                |

表 A1-2：計算基準

|         |  |
|---------|--|
| 紙錢焚化處理量 | 50 kg/h (三個金紙投入爐孔，每封金紙以 0.6 kg、3 分鐘投畢計，每孔每小時最大投入量 = 0.6 kg/(3 min)×60 min/hr = 12 kg/hr，三孔最大投入量 = 12 kg/hr×3 = 36 kg/hr，以 50 kg/hr 設計。 |
| 紙錢熱值    | 3,500 kcal/kg  |

表 A1-3：燃燒空氣需量計算

|               |   |
|---------------|---|
| 燃燒發熱量         | 50 kg/h×3,500 kcal/kg = 175,000 kcal/h  |
| 紙錢燃燒理論需氧量     | 175,000 kcal/h÷3,500 kcal/kg C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ×(6×32 kg O <sub>2</sub> /242 kg C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) = 39.7 kg O <sub>2</sub> /h |
| 實際需氧量(200%過剩) | 39.7 kg O <sub>2</sub> /h×3 = 119 kg O <sub>2</sub> /h  |
| 實際空氣需量        | 119 kg O <sub>2</sub> /h÷0.21 kg O <sub>2</sub> /kg air = 567 kg air/h  |
| 實際空氣需量        | 567 kg air/h÷1.29 kg/Nm <sup>3</sup> = 439 Nm <sup>3</sup> /h = 7.32 Nm <sup>3</sup> /min   |

表 A1-4：燃燒排氣量及溫度計算

|                 |  |                       |   |
|-----------------|--|-----------------------|---|
| 氮氣              | $567 \text{ kg air/h} \times 0.79$   | $= 448 \text{ kg/h}$  | $= 358 \text{ Nm}^3/\text{h}$                                   |
| 氧氣              | $39.7 \text{ kg O}_2/\text{h} \times 2 = 119 \text{ kg O}_2/\text{h}$  | $= 79.4 \text{ kg/h}$ | $= 55.6 \text{ Nm}^3/\text{h}$                                  |
| 水蒸氣             | $175,000 \text{ kcal/h} \div 3,500 \text{ kcal/kg}$<br>$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \times (5 \times 18 \text{ kg H}_2\text{O} / 242 \text{ kg C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)$   | $= 18.6 \text{ kg/h}$ | $= 23.1 \text{ Nm}^3/\text{h}$                                  |
| CO <sub>2</sub> | $175,000 \text{ kcal/h} \div 3,500 \text{ kcal/kg}$<br>$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \times (6 \times 44 \text{ kg CO}_2 / 242 \text{ kg C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)$  | $= 54.5 \text{ kg/h}$ | $= 27.8 \text{ Nm}^3/\text{h}$                                  |
| 合計              | 綜合排氣   | $= 601 \text{ kg/h}$  | $= 465 \text{ Nm}^3/\text{h}$<br>$7.74 \text{ Nm}^3/\text{min}$ |
| 排氣溫度            | $\text{燃燒發熱量} \times (1 - \text{爐壁散熱分數}) = \text{排氣比熱} \times \text{排氣重量} \times (\text{排氣溫度} - 27^\circ\text{C})$<br>$175,000 \text{ kcal/h} \times (1 - 0.1) = 0.30 \text{ kcal/kg.K} \times 601 \text{ kg/h} \times (\text{排氣溫度} - 27^\circ\text{C})$<br>排氣溫度 = 901 |                       |   |
| 排氣流量            | $7.74 \text{ Nm}^3/\text{min} \times [(273 + 901) / 273] = 33.3 \text{ m}^3/\text{min} (@901^\circ\text{C})$   |                       |   |

## 附錄 B：市售金紙燃燒試驗數據(1)

| 試驗日期  | 2006/08/08 |       |       |       |       |
|---|------------|-------|-------|-------|-------|
| 次數  | 1          | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 金爐出口氣體溫度(°C)  | 363        | 455   | 439   | 418   | 368   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)   | 295        | 337   | 311   | 343   | 304   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)   | 154.4      | 192.3 | 179.8 | 174.4 | 136.8 |
| 操作氣溫(°C)  | 40.0       | 40.0  | 40.0  | 40.0  | 40.0  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)                                      | 26.3       | 26.3  | 26.3  | 26.3  | 26.3  |
| 循環水流量 (L/min)   | 20         | 20    | 30    | 30    | 40    |
| 循環水溫(°C)  | 29.9       | 34.7  | 41.9  | 48.5  | 52.5  |
| 採樣時間(min)   | 5          | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 粒狀物去除率(%)   | 26.1       | 23.3  | 25.8  | 29.2  | 43.9  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                  | 127.3      | 152.5 | 182.3 | 149.0 | 159.4 |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                  | 94.0       | 116.9 | 135.3 | 105.5 | 89.4  |
| 金紙重(kg)   | 2.6        | 1.8   | 2.5   | 2.2   | 1.9   |
| 循環水水位(cm)   | 37.6       | 37.6  | 37.5  | 37.1  | 36.8  |
| 循環水 SS (mg/L)   | 5.0        | 15.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )   | 0.206      | 0.206 | 0.206 | 0.203 | 0.201 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量=0；試驗時間：1.33 小時 |            |       |       |       |       |



## 附錄 B：市售金紙燃燒試驗數據(2)

| 試驗日期  | 2006/08/08 |       |       |       |       |
|---|------------|-------|-------|-------|-------|
| 次數  | 6          | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 金爐出口氣體溫度(°C)  | 453        | 420   | 411   | 426   | 386   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)   | 388        | 343   | 365   | 322   | 327   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)   | 155.3      | 149   | 140   | 129.8 | 134.1 |
| 操作氣溫(°C)  | 34.0       | 34.0  | 34.0  | 34.0  | 34.0  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)                                      | 22.0       | 22.0  | 22.0  | 22.0  | 22.0  |
| 循環水流量 (L/min)   | 40         | 50    | 50    | 60    | 60    |
| 循環水溫(°C)  | 58.5       | 61.5  | 62.4  | 62.1  | 62.0  |
| 採樣時間(min)   | 5          | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 粒狀物去除率(%)   | 49.1       | 38.8  | 41.8  | 42.7  | 41.2  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                  | 85.1       | 68.3  | 78.7  | 77.1  | 91.6  |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                  | 43.4       | 41.8  | 45.8  | 44.2  | 53.8  |
| 金紙重(kg)   | 3.4        | 2.9   | 2.5   | 3.3   | 2.5   |
| 循環水水位(cm)   | 35.0       | 33.6  | 29.2  | 26.6  | 23.0  |
| 循環水 SS (mg/L)   | 50.0       | 40.0  | 5.0   | 20.0  | 55.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )   | 0.190      | 0.181 | 0.153 | 0.136 | 0.113 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量=0；試驗時間：1.33 小時 |            |       |       |       |       |

### 附錄 B：市售金紙燃燒試驗數據(3)

| 試驗日期  | 2006/08/14 |       |       |       |       |
|---|------------|-------|-------|-------|-------|
| 次數  | 1          | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 金爐出口氣體溫度(°C)  | 388        | 348   | 370   | 463   | 465   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)   | 268        | 291   | 309   | 344   | 315   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)   | 149.2      | 163.3 | 140.3 | 154.8 | 133.8 |
| 操作氣溫(°C)  | 31.0       | 34.0  | 37.0  | 37.0  | 36.0  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)                                      | 17.3       | 17.3  | 17.3  | 17.3  | 17.3  |
| 循環水流量 (L/min)   | 20         | 20    | 30    | 30    | 40    |
| 循環水溫(°C)  | 29.8       | 34.2  | 41.7  | 47.4  | 54.5  |
| 採樣時間(min)   | 5          | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 粒狀物去除率(%)   | 13.0       | 14.6  | 20.2  | 22.8  | 35.1  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                  | 85.9       | 71.5  | 80.3  | 81.9  | 78.4  |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                  | 74.8       | 61.0  | 64.1  | 63.3  | 50.9  |
| 金紙重(kg)   | 2.9        | 2.3   | 1.5   | 2.0   | 1.6   |
| 循環水水位(cm)   | 39.4       | 313.1 | 39.2  | 39.0  | 38.6  |
| 循環水 SS (mg/L)   | 25.0       | 10.0  | 15.0  | 20.0  | 25.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )   | 0.218      | 0.217 | 0.217 | 0.215 | 0.213 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量=0；試驗時間：1.42 小時 |            |       |       |       |       |

## 附錄 B：市售金紙燃燒試驗數據(4)

| 試驗日期  | 2006/08/14 |       |       |       |       |
|---|------------|-------|-------|-------|-------|
| 次數  | 6          | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 金爐出口氣體溫度(°C)  | 427        | 544   | 467   | 548   | 496   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)   | 308        | 436   | 381   | 402   | 381   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)   | 140.1      | 138.3 | 140.9 | 116.2 | 119.5 |
| 操作氣溫(°C)  | 37.0       | 36.5  | 37.0  | 37.0  | 36.0  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)                                      | 17.3       | 17.3  | 17.3  | 17.3  | 17.3  |
| 循環水流量 (L/min)   | 40         | 50    | 50    | 60    | 60    |
| 循環水溫(°C)  | 58.5       | 61.5  | 62.4  | 62.1  | 62.0  |
| 採樣時間(min)   | 5          | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 粒狀物去除率(%)   | 30.6       | 38.5  | 44.7  | 52.8  | 59.1  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                  | 98.1       | 88.3  | 92.5  | 86.0  | 88.9  |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                  | 68.1       | 54.3  | 51.1  | 40.6  | 36.4  |
| 金紙重(kg)   | 2.9        | 3.1   | 2.5   | 2.1   | 2.1   |
| 循環水水位(cm)   | 38.3       | 37.7  | 37.0  | 36.1  | 35.2  |
| 循環水 SS (mg/L)   | 45.0       | 35.0  | 35.0  | 15.0  | 45.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )   | 0.211      | 0.207 | 0.203 | 0.197 | 0.191 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量=0；試驗時間：1.42 小時 |            |       |       |       |       |

## 附錄 B：市售金紙燃燒試驗數據(5)

| 試驗日期   | 2006/08/15 |       |       |       |       |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|
| 次數   | 1          | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 金爐出口氣體溫度(°C)   | 358        | 404   | 544   | 625   | 524   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)  | 288        | 345   | 366   | 481   | 385   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)  | 121.2      | 165.6 | 164.1 | 173.6 | 140.8 |
| 操作氣溫(°C)   | 35.0       | 35.0  | 35.0  | 35.0  | 35.5  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)                                       | 13.1       | 13.1  | 13.1  | 13.1  | 13.1  |
| 循環水流量 (L/min)  | 20         | 20    | 30    | 30    | 40    |
| 循環水溫(°C)   | 30.4       | 34.4  | 43.8  | 49.4  | 56.5  |
| 採樣時間(min)  | 5          | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 粒狀物去除率(%)  | 31.9       | 27.7  | 38.9  | 63.8  | 62.7  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                   | 102.0      | 101.1 | 130.0 | 157.0 | 144.1 |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                   | 69.5       | 73.1  | 79.4  | 56.9  | 53.7  |
| 金紙重(kg)  | 2.4        | 2.6   | 2.4   | 2.4   | 1.9   |
| 循環水水位(cm)  | 38.6       | 38.5  | 38.3  | 38.1  | 37.7  |
| 循環水 SS (mg/L)  | 5.0        | 10.0  | 20.0  | 55.0  | 15.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )  | 0.213      | 0.212 | 0.211 | 0.210 | 0.207 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量= 0；試驗時間：1.50 小時 |            |       |       |       |       |

## 附錄 B：市售金紙燃燒試驗數據(6)

| 試驗日期   | 2006/08/15 |       |       |       |       |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|
| 次數   | 6          | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 金爐出口氣體溫度(°C)   | 469        | 536   | 523   | 595   | 507   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)  | 344        | 356   | 344   | 330   | 373   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)  | 121.5      | 114.1 | 122.5 | 104.7 | 103.6 |
| 操作氣溫(°C)   | 35.0       | 35.5  | 35.5  | 35.5  | 36.0  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)                                       | 13.1       | 13.1  | 13.1  | 13.1  | 13.1  |
| 循環水流量 (L/min)  | 40         | 50    | 50    | 60    | 60    |
| 循環水溫(°C)   | 56.8       | 58.0  | 58.1  | 60.1  | 61.2  |
| 採樣時間(min)  | 2.5        | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 粒狀物去除率(%)  | 59.5       | 65.4  | 61.6  | 74.3  | 73.8  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                   | 148.5      | 122.4 | 93.2  | 131.8 | 133.0 |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                   | 60.2       | 42.4  | 35.8  | 33.9  | 34.9  |
| 金紙重(kg)  | 1.0        | 2.6   | 2.1   | 1.9   | 2.0   |
| 循環水水位(cm)  | 37.4       | 36.8  | 36.3  | 35.7  | 34.6  |
| 循環水 SS (mg/L)  | 5.0        | 45.0  | 75.0  | 20.0  | 25.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )  | 0.205      | 0.201 | 0.198 | 0.194 | 0.187 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量= 0；試驗時間：1.50 小時 |            |       |       |       |       |

## 附錄 B：市售金紙燃燒試驗數據(7)

| 試驗日期   | 2006/08/16 |       |       |       |       |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|
| 次數   | 1          | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 金爐出口氣體溫度(°C)   | 363        | 455   | 439   | 418   | 368   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)  | 295        | 337   | 311   | 343   | 304   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)  | 154.4      | 192.3 | 179.8 | 174.4 | 136.8 |
| 操作氣溫(°C)   | 40.0       | 40.0  | 40.0  | 40.0  | 40.0  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)                                       | 26.3       | 26.3  | 26.3  | 26.3  | 26.3  |
| 循環水流量 (L/min)  | 20         | 20    | 30    | 30    | 40    |
| 循環水溫(°C)   | 29.9       | 34.7  | 41.9  | 48.5  | 52.5  |
| 採樣時間(min)  | 5          | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 粒狀物去除率(%)  | 26.1       | 23.3  | 25.8  | 29.2  | 43.9  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                   | 127.3      | 152.5 | 182.3 | 149.0 | 159.4 |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                   | 94.0       | 116.9 | 135.3 | 105.5 | 89.4  |
| 金紙重(kg)  | 2.6        | 1.8   | 2.5   | 2.2   | 1.9   |
| 循環水水位(cm)  | 37.6       | 37.6  | 37.5  | 37.1  | 36.8  |
| 循環水 SS (mg/L)  | 5.0        | 15.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )  | 0.206      | 0.206 | 0.206 | 0.203 | 0.201 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量= 0；試驗時間：1.33 小時 |            |       |       |       |       |

## 附錄 B：市售金紙燃燒試驗數據(8)

| 試驗日期   | 2006/08/16 |       |       |       |       |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|
| 次數   | 6          | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 金爐出口氣體溫度(°C)   | 398        | 426   | 335   | 375   | 374   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)  | 323        | 369   | 267   | 298   | 300   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)  | 140.1      | 149.5 | 132.7 | 119.7 | 118.3 |
| 操作氣溫(°C)   | 40.0       | 40.0  | 40.0  | 41.0  | 41.0  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)                                       | 26.3       | 26.3  | 26.3  | 26.3  | 26.3  |
| 循環水流量 (L/min)  | 40         | 50    | 50    | 60    | 60    |
| 循環水溫(°C)   | 55.2       | 57.2  | 57.4  | 57.7  | 58.3  |
| 採樣時間(min)  | 5          | 5     | 5     | 5     | 5     |
| 粒狀物去除率(%)  | 46.0       | 52.7  | 60.4  | 62.7  | 66.9  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                   | 157.1      | 167.4 | 159.4 | 154.1 | 156.4 |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )                                   | 84.8       | 79.1  | 63.1  | 57.5  | 51.8  |
| 金紙重(kg)  | 2.2        | 2.1   | 1.8   | 2.7   | 1.9   |
| 循環水水位(cm)  | 36.2       | 35.5  | 34.5  | 32.9  | 29.5  |
| 循環水 SS (mg/L)  | 10.0       | 35.0  | 40.0  | 80.0  | 55.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )  | 0.197      | 0.193 | 0.187 | 0.176 | 0.154 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量= 0；試驗時間：1.33 小時 |            |       |       |       |       |

### 附錄 C：洗滌循環水添加清潔劑試驗數據

| 試驗日期   | 2006/08/21 |       |       |       |
|--|------------|-------|-------|-------|
| 次數   | 1          | 2     | 3     | 4     |
| 金爐出口氣體溫度(°C)   | 376        | 485   | 386   | 380   |
| 洗滌前氣體溫度(°C)  | 306        | 385   | 324   | 313   |
| 洗滌後氣體溫度(°C)  | 101.4      | 118.7 | 148   | 150.3 |
| 操作氣溫(°C)   | 33.0       | 35.0  | 35.0  | 36.5  |
| 抽氣量(m <sup>3</sup> /min)   | 13.1       | 13.1  | 26.3  | 26.3  |
| 循環水流量 (L/min)  | 50         | 50    | 50    | 50    |
| 循環水溫(°C)   | 30.4       | 43.8  | 51.1  | 53.2  |
| 採樣時間(min)  | 5          | 5     | 4     | 4     |
| 粒狀物去除率(%)  | 25.6       | 28.0  | 45.3  | 37.5  |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )   | 144.6      | 141.0 | 149.5 | 158.7 |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )   | 107.6      | 101.5 | 81.8  | 99.2  |
| 金紙重(kg)  | 2.0        | 1.9   | 2.0   | 2.0   |
| 循環水水位(cm)  | 39.8       | 39.5  | 39.0  | 38.8  |
| 循環水 SS (mg/L)  | 15.0       | 30.0  | 20.0  | 50.0  |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )  | 0.220      | 0.219 | 0.215 | 0.214 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量= 0.1 mL 清潔劑/(L 循環水)；試驗時間：1.0 小時 |            |       |       |       |



## 附錄 D：自製金紙燃燒及噴灑 $\text{KClO}_3$ 助燃之實驗數據

| 試驗日期   | 2006/08/21 |       |       |       |
|--|------------|-------|-------|-------|
| 次數   | 5          | 6     | 7     | 8     |
| 金爐出口氣體溫度( $^{\circ}\text{C}$ )   | 441        | 552   | 563   | 555   |
| 洗滌前氣體溫度( $^{\circ}\text{C}$ )  | 377        | 320   | 352   | 324   |
| 洗滌後氣體溫度( $^{\circ}\text{C}$ )  | 130.2      | 128.8 | 137.4 | 145.4 |
| 操作氣溫( $^{\circ}\text{C}$ )   | 36.0       | 36.5  | 36.5  | 36.5  |
| 抽氣量( $\text{m}^3/\text{min}$ )   | 13.1       | 13.1  | 26.3  | 26.3  |
| 循環水流量 (L/min)  | 60         | 60    | 60    | 60    |
| 循環水溫( $^{\circ}\text{C}$ )   | 57.4       | 56.3  | 56.8  | 57.8  |
| 採樣時間(min)  | 4          | 4     | 4     | 4     |
| 粒狀物去除率(%)  | 65.4       | 55.8  | 54.2  | 45.7  |
| 入口粒狀物濃度( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )   | 188.2      | 134.6 | 117.6 | 114.8 |
| 出口粒狀物濃度( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )   | 65.1       | 59.5  | 53.9  | 62.4  |
| 金紙重(kg)  | 2.0        | 2.0   | 2.0   | 2.0   |
| 循環水水位(cm)  | 38.3       | 37.9  | 36.9  | 35.4  |
| 循環水 SS (mg/L)  | 170.0      | 30.0  | 35.0  | 30.0  |
| 水槽水量( $\text{m}^3$ )   | 0.211      | 0.208 | 0.202 | 0.192 |
| 註：本批次實驗關閉循環水補充水進水閥門，以便觀察循環水損失情況；金爐排風口封閉；清潔劑添加量= 0.1 mL 清潔劑/(L 循環水)；試驗時間：1.0 小時 |            |       |       |       |

| 試驗日期   | 2006/11/20 |        |        |        |
|--|------------|--------|--------|--------|
| 次數   | 1          | 2      | 3      | 4      |
| 金爐出口溫度( )  | 676        | 585    | 498    | 380    |
| WS 前溫度( )  | 291        | 283    | 271    | 313    |
| WS 後溫度( )  | 123.1      | 113.7  | 137.9  | 150.3  |
| 操作氣溫( )  | 29.1       | 29.1   | 24.9   | 36.5   |
| 氣體流量(m <sup>3</sup> /min)  | 26.3       | 26.3   | 26.3   | 26.3   |
| 循環水流量計讀數(L/min)  | 60         | 60     | 60     | 60     |
| 循環水溫( )  | 29.0       | 39.3   | 29.9   | 35.5   |
| 循環水添加藥劑  | 0          | 0      | 0      | 0      |
| 流量計讀數(L/min)   | 25         | 25     | 25     | 25     |
| 採樣時間(min)  | 5          | 5      | 5      | 5      |
| 濾紙空重 1 (g)   | 0.0959     | 0.0960 | 0.0960 | 0.0953 |
| WS 補集前重(g)   | 0.1007     | 0.1006 | 0.1098 | 0.1109 |
| 濾紙空重 2 (g)   | 0.0964     | 0.0959 | 0.0960 | 0.0963 |
| WS 捕集後重(g)   | 0.0986     | 0.0982 | 0.1074 | 0.1101 |
| 捕集量(g)   | 0.0026     | 0.0023 | 0.0024 | 0.0018 |
| WS 去除效率(%)   | 54.2       | 50.0   | 17.4   | 11.5   |
| 入口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )   | 42.5       | 40.7   | 120.5  | 141.5  |
| 出口粒狀物濃度(mg/Nm <sup>3</sup> )   | 19.5       | 20.4   | 99.5   | 125.2  |
| 金紙重(kg)  | 2.1        | 2.4    | 2.4    | 3.7    |
| 燃燒時狀況  | 良好         | 良好     | 良好     | 良好     |
| 循環水水位(cm)  | 37.5       | 37.5   | 39.0   | 38.8   |
| 循環水 SS (mg/L)  | 13.3       | 13.3   | 10.0   | 20.0   |
| 水槽水量(m <sup>3</sup> )  | 0.206      | 0.206  | 0.215  | 0.214  |
| 註：先行試驗未添加藥劑自製金紙燃燒(次數 1、次數 2)當作空白試驗。<br>接續進行添加 3%的 KClO <sub>3</sub> 於自製金紙上的燃燒試驗(次數 3、次數 4) |            |        |        |        |

## 可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

可技術移轉

日期：\_\_年\_\_月\_\_日

|                |   |
|----------------|---|
| <b>國科會補助計畫</b> | 計畫名稱：金紙燃燒空氣污染防治技術研發：強制通風燃燒改善合併文式洗滌法<br>計畫主持人：周明顯<br>計畫編號：NSC 95-EPA-Z-110-002- 學門領域：環工  |
| <b>技術/創作名稱</b> | 強制通風金紙燃燒器合併排氣洗滌法  |
| <b>發明人/創作人</b> | 周明顯、王嘉禧、李孟霖   |
| <b>技術說明</b>    | <p>中文：</p> <p>本研究設置一每小時可燃燒 20 kg 紙錢之金爐，另設置一最大可處理 20 Am<sup>3</sup>/min (@35°C)排氣之洗滌器，作焚化排氣除塵試驗。試驗結果顯示：(1) 在焚化速率 14.2-16.3 (平均 15.3) kg/hr、抽氣量 <math>Q_G = 13.1、26.3 \text{ m}^3/\text{min}</math> (@35°C)時，排氣粒狀物(TSP)濃度分別為 93-157 (平均 126)及 127-182 (平均 157) mg/m<sup>3</sup>，低抽氣量之 TSP 濃度較低。TSP 去除率與循環洗滌水流量 <math>Q_L</math> 成正比，在 <math>Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}</math> (洗滌截面液體強度 4.0 L/m<sup>2</sup>.s)時，TSP 去除率可達 70%；(2)在焚化速率 16 kg/hr、洗滌截面液體強度 4.0 L/m<sup>2</sup>.s、抽氣量 13.1 或 26.3 m<sup>3</sup>/min 時，排氣煙度不顯著；(3)燃燒 1 kg 紙錢之循環水消耗量可設定為 1.2-2.4 公升，每 1,000 Am<sup>3</sup> 抽氣量之循環水消耗量為 24-34 公升；(4)欲達 70% TSP 去除率，洗滌器適當設計參數為：(a)液氣比(<math>Q_L/Q_G</math>) 3-6 L 液體/(m<sup>3</sup> 氣體@30°C)，(b)氣體通過洗滌段之空塔流速(<math>U_G</math>) 0.6-1.2 m/s，(c)洗滌液通過洗滌段之空塔流速(<math>U_L</math>) 0.004 m/s，(d)氣液接觸段長度約 0.70 m。分析其燃燒產生的附產物 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO、NO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 之濃度變化，CO<sub>2</sub>、CO、NO 濃度出口均隨洗滌液循環量之增加而減少，O<sub>2</sub> 則隨著燃燒增加，NO<sub>2</sub> 及 SO<sub>2</sub> 均無顯著變化。利用原生紙漿進行自製金紙實驗，選用 3% KClO<sub>3</sub> 均勻噴灑於自製金紙上，比較燃燒的效果，噴灑藥劑的紙漿燃燒迅速，但其產生的白煙多；原生紙漿自製的金紙去除率有比較好的效果。灰水(洗滌循環水)在 pH = 7.0 添加劑量 15 mg/L 之 FeCl<sub>3</sub> 混凝，可將其中 SS 由 100 mg/L 混凝澄清至 &lt;10 mg/L。在抽氣量 <math>Q_G = 13.1、26.3 \text{ m}^3/\text{min}</math> 及廢氣洗滌循環水 <math>Q_L = 60 \text{ L}/\text{min}</math> 時進行聞臭實驗，洗滌前後焚燒排氣之臭氣濃度分別為 309 及 232，臭味去除率約為 25%。</p> |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
|                                | <p>英文：</p> <p>A 20 kg/hr ritual-money combustion chamber and a 20 Am<sup>3</sup>/min (@35°C) wet scrubber were setup for performance tests on the removal of TSP (total solid particulates) from the combustion flue gas. Results from the preliminary tests indicate that (1) TSP in the flue gas ranged from 93-157 (avg. 126) and 127-182 (avg. 157) mg/m<sup>3</sup> (@35°C) at gas drawing rates (<math>Q_G</math>) of 13.1 and 26.3 m<sup>3</sup>/min (@35°C), respectively, with ritual-money combustion rates of 14.2-16.3 (avg. 15.3) kg/hr. The lower gas drawing rate gave lower TSP concentrations in the flue gas. TSP removal efficacy varied linearly with the liquid scrubbing rate (<math>Q_L</math>) and a 70% TSP removal was achieved at a <math>Q_L</math> of 60 L/min which is equivalent to a scrubbing-liquid intensity of 4.0 L/m<sup>2</sup>.s over the scrubber cross section. (2) Visual smoke intensity in the exit of the scrubber chimney was not apparent with a combustion rate of 16 kg/hr, scrubbing intensity of 4.0 L/m<sup>2</sup>.s, and gas drawing rates of 13.1 and 26.3 m<sup>3</sup>/min. (3) Scrubbing water consumptions of 1.2-2.4 L are estimated for combustion of 1 kg ritual money. (4) Design parameters of a scrubber for 70% TSP removal from the flue gas are (a) liquid/gas ratio (<math>Q_L/Q_G</math>) = 3-6 L liquid/(m<sup>3</sup> gas @30°C); (b) superficial gas velocity over the scrubber cross section (<math>U_G</math>) = 0.6-1.2 m/s; (c) superficial liquid velocity over the scrubber cross section (<math>U_L</math>) = 0.004 m/s; and (d) a gas-liquid contacting length of 0.70 m.</p> |
| <p>可利用之產業<br/>及<br/>可開發之產品</p> | <p>寺廟</p>   |
| <p>技術特點</p>                    | <p>創新性：強制通風增加金紙燃燒速率並以簡便方法將排氣煙度降低70%。<br/>進步性：將傳統洗滌器需百萬設置費用降低至20萬以下；將傳統洗滌器需10平方公尺設置面積降低至2平方公尺以下。</p>   |
| <p>推廣及運用的價值</p>                | <p>推廣於寺廟，減除燃燒空氣污染物排放。</p>   |

1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。