

# 特種機械設備安全

SAFETY OF SPECIAL MACHINE AND EQUIPMENT

1991-5 創刊 2020-10 出刊

雙月刊 第68期

發行所 台灣省鍋爐協會  
發行人 邱華瑞  
總編輯 賴桂堂  
發行地址 台中市 40452 北區崇德路  
一段 631 號 10F-2

電話 (04) 2235-1628

傳真 (04) 2238-0960

E-mail tw.boiler@msa.hinet.net

網址 www.tbva.org.tw

台中職訓中心 台中市 40452 北區崇德路  
一段 629 號 4F-3

電話 (04) 2236-2977

傳真 (04) 2236-2997

E-mail boiler.tw@msa.hinet.net

彰化職訓中心 彰化市 50056 中央路 184  
號 3 樓之 3

南投職訓中心 南投縣 54048 南投市文昌  
街 45 號 4 樓之 2

印刷廠 洪記印刷有限公司

電話 (04) 2314-0788

E-mail hg2527@ms32.hinet.net

行政院新聞局局版字第 11469 號

中華郵政台中雜字第 2056 號登記證

台中郵局許可證台中字第 1321 號登記為

雜誌交寄 發行數：3000 本

## 廣告索引

潔康企業有限公司  
大震企業股份有限公司  
三浦鍋爐股份有限公司  
東庚實業股份有限公司  
利峰機械有限公司  
台灣紳藝實業有限公司  
岱洋股份有限公司  
金瑛發機械工業股份有限公司  
興志五金企業有限公司  
申昌機械股份有限公司  
天鴻興業股份有限公司  
志豪工業有限公司  
台灣省鍋爐協會技術服務組  
威鼎企業有限公司  
吾豐機電廠股份有限公司  
原鈦峰工業有限公司  
辰鼎企業有限公司  
東立鐵工廠有限公司  
增大股份有限公司  
宏榮鋼瓶股份有限公司  
瀟羽有限公司  
正熊機械股份有限公司  
國方化工科技股份有限公司  
霖興機械工業股份有限公司

# 目錄

## CONTENTS

### 會務訊息

- ★鍋爐燃燒技術與實務應用班 ..... 2

### 技術報導

- ★鍋爐省煤器破管案例檢討 ..... 3
- ★熱電發電系統應用於熱媒鍋爐 ..... 9
- ★燃氣鍋爐的燃燒器管理系統 ..... 18
- ★降低鍋爐注汽水質含氧措施及  
節能降耗效果分析 ..... 24

### 訓練訊息

- ★本會舉辦各項訓練日程表
- 台中職業訓練中心 ..... 31
- 彰化職業訓練中心 ..... 32
- 南投職業訓練中心 ..... 32

本刊內容已刊載於本會網頁，請進  
台灣鍋爐協會網站 (www.tbva.org.tw) :  
點進“刊物報導”進入覽閱

# 鍋爐燃燒技術與實務應用班

本會為服務各界廠商，結合勞動部勞動力發展署產業人才投資方案，凡年滿 15 歲以上、具就業保險、勞工保險或農民保險身分之在職勞工，補助其修習課程之 80% ~ 100% 訓練費用，3 年累積最高補助 7 萬元，歡迎有興趣的勞工踴躍報名參加。

**訓練費政府補助  
80% ~ 100%**

名額有限，錯過可惜。

◎ 報名日期：第 01 期 109.10.18 起 (額滿截止)、第 02 期 109.11.02 起 (額滿截止)

◎ 上課日期：第 01 期 109.11.18 ~ 109.11.20 (日間班)

第 02 期 109.12.02 ~ 109.12.04 (日間班)

第一天	09:00 ~ 11:00	天然氣相關知識及使用實務	2 小時
	11:00 ~ 12:00	使用案例介紹與分析	1 小時
	13:00 ~ 16:00	鍋爐選用、操作運轉實務	3 小時
第二天	09:00 ~ 12:00	生質燃料：化石燃料的替代品	3 小時
	13:00 ~ 16:00	空污法規及防制技術實務	3 小時
第三天	09:00 ~ 17:00	鍋爐燃燒技術發展與實務案例聯結	6 小時

◎ 每人費用：3,000 元 學員自費 -600 元 政府補助 -2,400 元

(45 歲以上，訓練費全部政府補助)

◎ 相關問題請洽台灣省鍋爐協會附設台中職訓中心 電話：(04) 2236-2977

◎ 上課地點：台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3

洛克斐勒大樓 B 棟 4 樓 (家樂福樓上)

◎ 報名流程：

進 入 台 灣 就 業 通	加 入 會 員	填 寫 基 本 資 料	填 寫 課 程 代 碼	上 線 報 名 完 成	資 格 審 核
---------------------------------	------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------

1. e-mail、電話通知繳費及資料
2. 完成手續即報名成功

勞動部勞動力發展署—台灣就業通在職訓練網 (產業人才投資方案) 線上報名  
(可至本會網站，政府補助課程連結報名)

# 鍋爐省煤器破管案例檢討

台灣中油公司林園石化廠公用組  
李紹琮 工程師

## 一、前言

本廠為供應製程工場所使用之蒸汽與電力，設置有四套汽電共生設備，編號分別 19、22、26、27，四套汽電共生設備均為油氣混燒鍋爐與汽輪發電機組合，其中 26 號鍋爐完工於民國 96 年，民國 108 年發生破管事故，發生破管時該鍋爐已運轉 12 年，以下介紹 26 鍋爐省煤器破管經過與發生原因。

## 二、26 號鍋爐基本資料介紹

26 號鍋爐為單鼓懸吊水管式鍋爐，26 鍋爐設備配置簡圖如圖 1 所示，有一、二次過熱器與省煤器回收煙氣熱量以提高鍋爐效率，並設置有選擇式還原觸媒脫硝設備 (Selective Catalytic Reduction, 以下簡稱 SCR) 與煙氣脫硫設備 (Flue Gas Desulfurization, 以下簡稱 FGD)，詳細規格如表 1 所示。

表 1 鍋爐規格表

建造時間	民國 96 年
蒸發能力	300T/H
設計壓力	148kg/cm <sup>2</sup>
設計溫度	340°C
傳熱面積	1365m <sup>2</sup>
使用燃料	燃料油、天然氣
汙染防治裝置	SCR、FGD

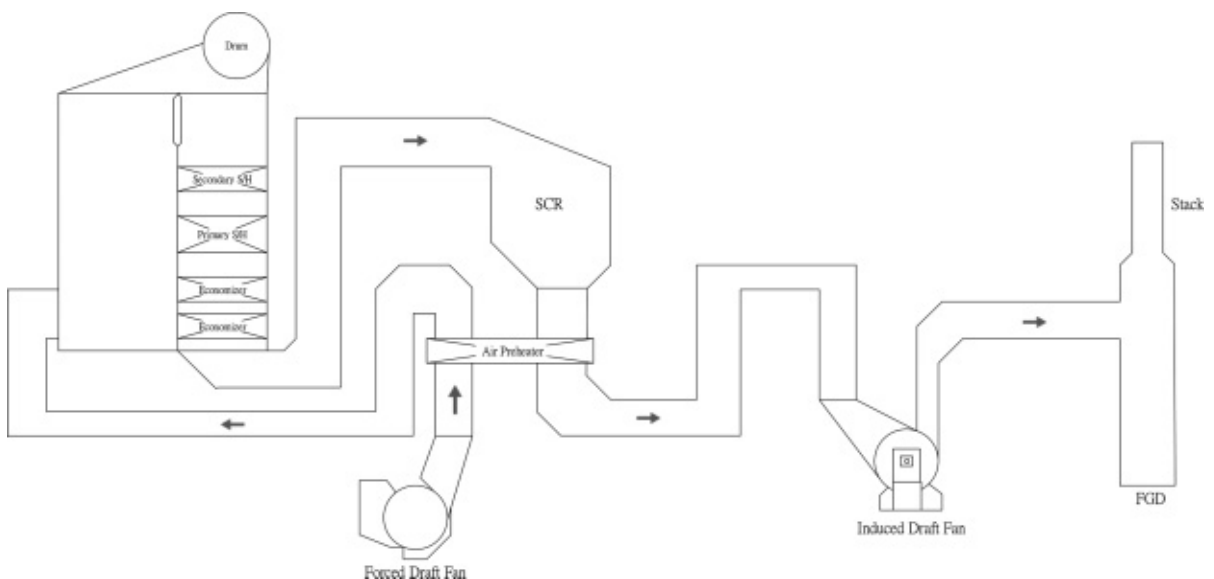


圖 1 鍋爐設備配置圖

### 三、破管過程簡介

於 108 年 8 月 1 日 13 時 05 分時，鍋爐操作員進行例行性現場巡邏時，途中經過 26 鍋爐省煤器下方煙道時，發現該處設置之溫度表所測得煙氣溫度為 225℃，較鍋爐正常操作時煙氣測得溫度應為 270~400℃間，隨鍋爐實際蒸發量不同而有所變動，但不應低於 270℃，操作員發現異狀，並由北側煙道排水管打開排水閥排水確認，發現亦有水持續不斷排出，研判省煤器破管。

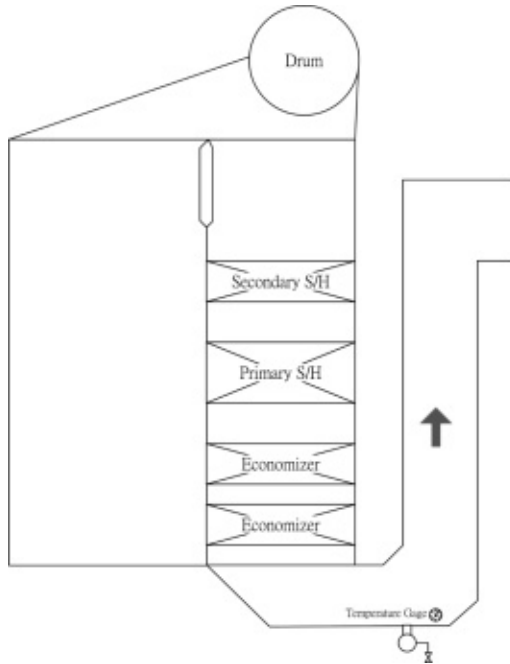


圖 2 省煤器溫度表配置圖與實際照片

即安排於 8/2 停爐，冷卻兩天後於 8/5 上午進入鍋爐內部檢視，發現省煤器由北側第一排管排最下方支撐處明顯有水流出如圖 3 所示，因該處補鐸不易，且避免有未發現缺陷，決定由省煤器進出口集管處切斷該管排，將集管切除處以管蓋封鐸如圖 4 所示，取下破管處如圖 5 所示送本公司煉研所化驗分析破管原因。

26 鍋爐省煤器由 79 排管排組成，鍋爐給水由入口集管分配給 79 排管排與煙氣換熱後匯集於出口集管再送至汽鼓，管排下方有支撐承受管排重量，省煤器管排配置如圖 6 所示，26 鍋爐省煤器管排材質為 SA210 Gr. A 與直徑 63.5mm × 厚度 5.5mm 管子組成，省煤器詳細數據如表 2 所示。

表 2 省煤器資料

型式	水平多迴路裸管
傳熱面積 (m <sup>2</sup> )	2219
省煤器水壓 kgf/cm <sup>2</sup>	133
省煤器入口水溫℃	135.4
省煤器出口水溫℃	245
省煤器水管材質	SA210 Gr.A1
省煤器水管外徑 mm	63.5
省煤器水管厚度 mm	5.5



圖 3 破管漏水



圖 4 管蓋封鋸



圖 5 破管取樣

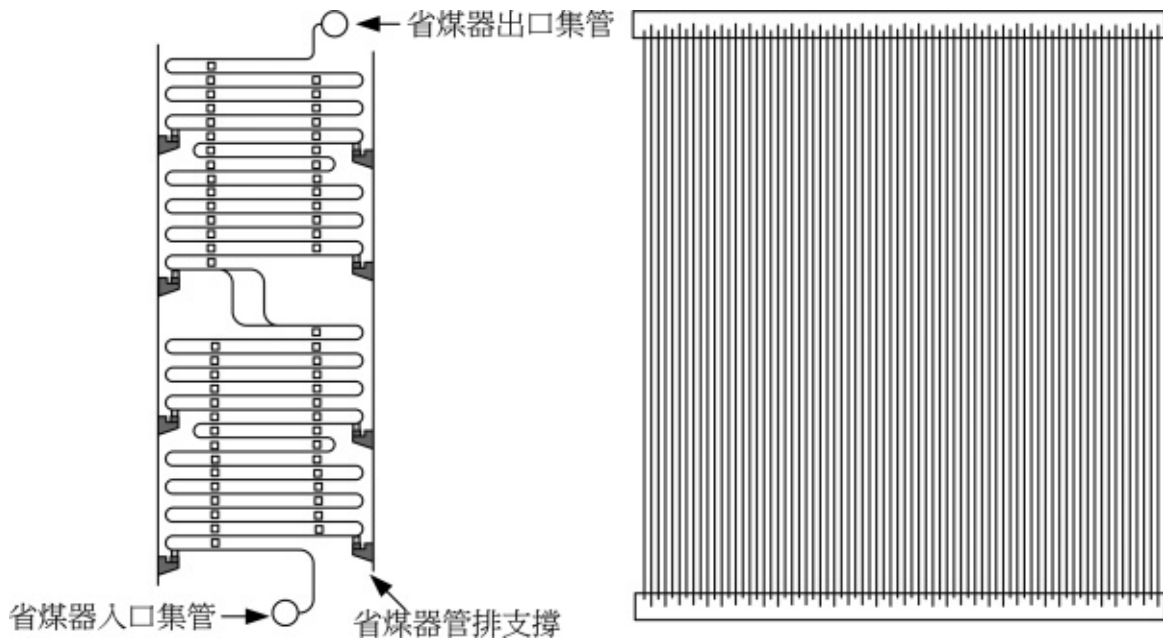


圖 6 省煤器管排配置



### 四、破管原因

將取樣管件送本公司煉研所首先以肉眼檢視，管件內表面有約 10mm 長，寬 3mm 裂縫缺陷如圖 7 所示，後將取樣管件切片發現管件與支撐填角銲處有裂紋，且支撐材有可疑撞凹痕，初步研判爐管與支撐間有受力可能如圖 8 所示。

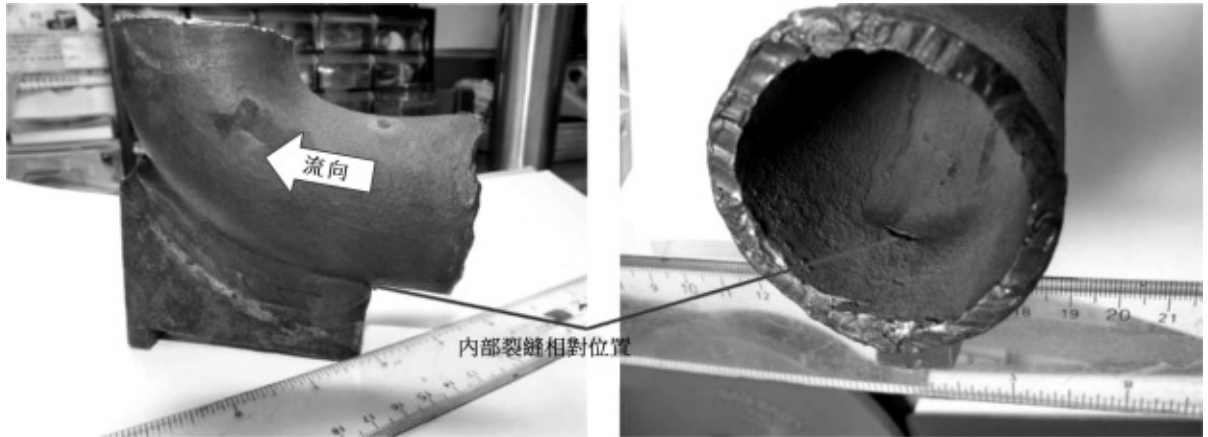


圖 7 取樣管件裂縫缺陷

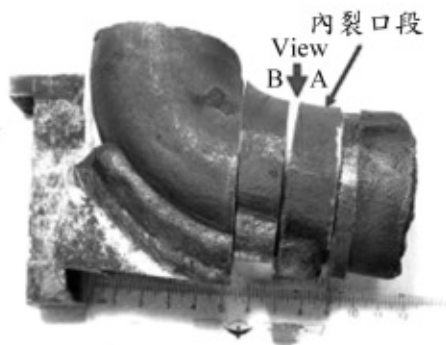
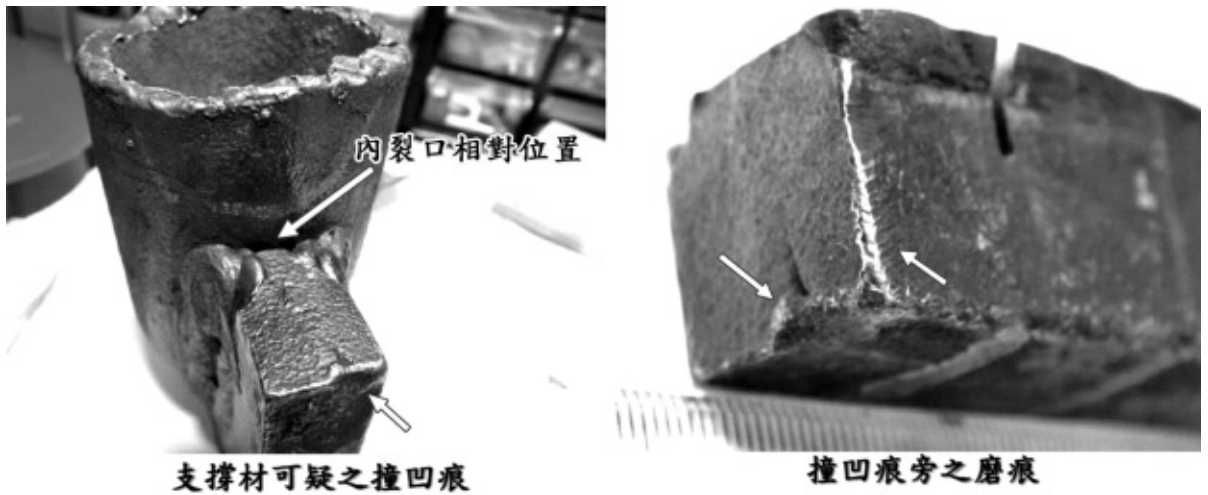


圖 8-1

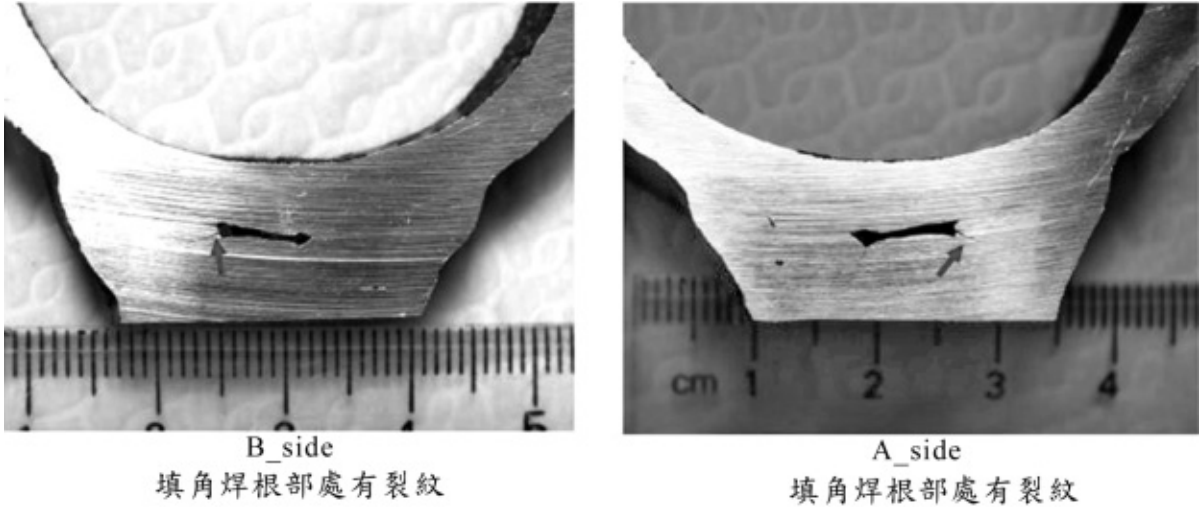


圖 8-2

後將裂縫缺陷垂直切片，分為 A、B 剖面，進行金相分析，觀察裂紋其特徵發現裂紋尖端充滿氧化物，裂紋可能為長時間累積所形成如圖 9 所示。

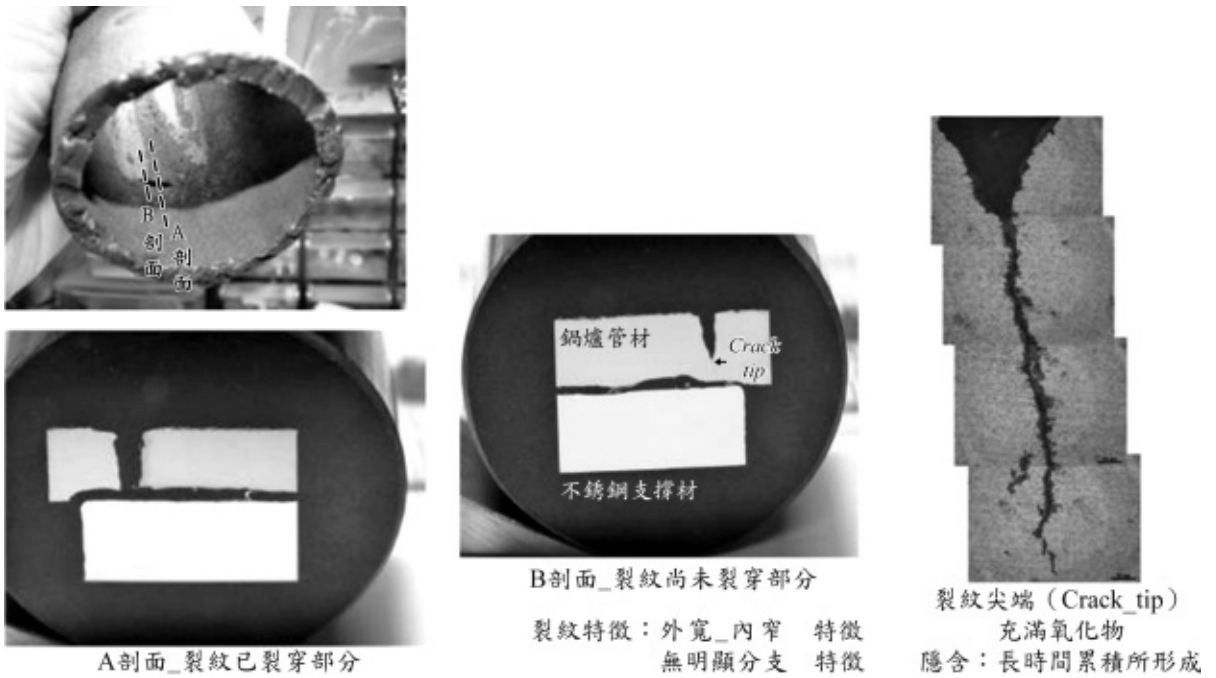


圖 9

根據上述分析結果，總結如下：

1. 破口處之鍋爐管內外表面並無明顯減薄情形，並非腐蝕因素導致破管。
2. 破口位置恰在與支撐物焊連處之起點位置。
3. 裂紋從內表面向外表面延伸。

4. 裂紋特徵：外寬、內窄且無明顯分支；裂紋尖端（Crack\_tip）充滿氧化物。
5. 鍋爐管與支撐材之填角焊一側根部處存在有裂紋。
6. 支撐材角隅發現有可疑之撞凹痕及磨痕。

以分析結果研判：

1. 鍋爐管內表面裂口之形成可能與支撐座受到侷限，無法自由移動有關。
2. 當支撐座受到侷限無法自由移動時，裂口位置處會因鍋爐管熱伸縮效應受到應力，長期下來造成裂紋，而後裂紋慢慢延伸致破管。

## 五、結果與討論

鍋爐一旦發生破管，即須停爐檢修，影響本廠蒸汽供應，嚴重時可能導致製程工場停爐，除造成生產損失外，其排放至燃燒塔燃燒製程氣體更造成周遭民衆恐慌，影響公司聲譽，對公司形象上之無形損失更大於經濟損失，因此要保持鍋爐穩定操作，避免發生破管。



**OtaStor**  
Information Technology Inc.

# INVITATION

 成果發表會

## 天翔系統整合-智慧製造資訊應用POC驗證

Hi

109年10月23日  
(星期五) 13:00 入場【會議室一樓】

報名請掃QR Code  
或撥打02-77015578



免費參加，歡迎現場報名！

誠摯邀請您光臨

經濟部工業局雲林科技工業區服務中心  
雲林縣斗六市科加路22號1F





# 熱電發電系統應用於熱媒鍋爐

吳國光、焦鴻文、葉建弦、陳奕瑞、李天源、宋柏毅、王健彰  
工業技術研究院 綠能與環境研究所 新能源應用技術組

## 摘要

本研究將熱電發電系統應用於 A 公司之熱媒鍋爐，此系統可將煙氣廢熱回收進行發電。性能測試結果顯示，裝置熱電發電系統後熱媒鍋爐的平均煙氣溫度從 258.8℃ 降至 182.5℃，讓 A 公司的熱媒鍋爐達到平均煙氣溫度必須低於 220℃ 的法規要求。熱電發電系統在性能測試期間最大發電功率為 173.7W，所產生的電力可用來供應鍋爐房照明用之 LED 燈用電。

關鍵字：熱媒鍋爐、熱電系統、廢熱

聯絡人：吳國光

地址：新竹縣竹東鎮中興路 4 段 195 號 64 館 301 室

電話：03-5916290 傳真：03-5820230 E-mail：kkwu@itri.org.tw

## 一、前言

熱媒鍋爐是工業界常用之加熱公用設備，它是種高溫低壓的加熱系統，以燃燒或電熱的方式加熱煤油，熱煤油再經由循環幫浦輸送至各種需要高溫加熱的製程上，供給熱量後再回到鍋爐重新加熱。因為若要利用蒸汽鍋爐來提供高溫蒸汽 (>250℃) 所需的壓力非常高，所以在高溫製程下，採用熱媒鍋爐是比較好的選擇。熱媒鍋爐在石化業和紡織業被大量使用，但熱媒鍋爐的缺點是排氣溫度較高，效率較低，加上僅有少數業者有進行廢熱回收，因此能源局制訂了『石化業節約能源及使用能源效率規定』<sup>[1]</sup>以及『紡織業節約能源及使用能源效率規定』<sup>[2]</sup>，分別於民國 104 年 7 月 1 日以及民國 105 年 1 月 1 日正式施行，針對熱媒鍋爐規範其煙氣含氧體積濃度及煙氣出口溫度上限，如表 1、表 2 所示，用以強制要求熱媒鍋爐用戶提高熱媒鍋爐的效率。

表 1 石化業熱媒鍋爐煙氣含氧體積濃度及煙氣出口溫度年平均値上限

設備 / 燃料	既設設備			新設設備		
	氣體燃料	液體燃料	固體燃料 (煤炭)	氣體燃料	液體燃料	固體燃料 (煤炭)
上限值						
含氧體積濃度 (%)	5.2	5.7	7.2	4.7	5.1	6.5
煙氣出口溫度 (°C)	220	250	250	200	230	230

表 2 紡織業熱媒鍋爐煙氣含氧體積濃度及煙氣出口溫度年平均值上限

設備 / 燃料 上限值	既設設備				新設設備			
	氣體 燃料	液體 燃料	固體燃料 (煤炭)		氣體 燃料	液體 燃料	固體燃料 (煤炭)	
			額定總 燃燒量 超過 9 百萬千 卡/小時	額定總 燃燒量 9 百萬千 卡/小時 以下			額定總燃燒量 9 百萬千卡/小時 以下，且於民國 106年6月30日 前完成設置者	非適用 左列條 件者
含氧體積濃度 (%)	5.2	5.7	7.2		4.7	5.1	6.5	
煙氣出口溫度 (°C)	220	250	250		200	230	230	

A 公司屬於紡織業，該公司主要從事高性能不織布的生產製造，在產品製作過程中，需要大量熱能，該廠的熱能主要是由熱媒鍋爐來提供，此熱媒鍋爐是既設設備，其額定總燃燒量為 60 萬千卡/小時，使用液化石油氣 (LPG) 當燃料，設備 24 小時運轉。鍋爐查驗人員量測此熱媒鍋爐的煙氣出口溫度在 250°C 以上，根據此鍋爐的條件對照法規的要求 (表 2)，此鍋爐的煙氣出口溫度需低於 220°C，顯示此熱媒鍋爐無法符合法規規定。有鑑於此，A 公司尋求工研院提供相關解決方案，讓該公司的熱媒鍋爐可符合法規的規定，避免受罰。一般煙氣廢熱最好的回收利用方式就是拿來預熱空氣或是預熱鍋爐飼水效益最高，但 A 公司的熱媒鍋爐燃燒機是採用槍型燃燒機 (如圖 1 所示)，由於使用槍型燃燒機若用預熱空氣會造成槍型燃燒機上的馬達受高溫而毀損，加上熱媒鍋爐不需要飼水且該公司也沒有熱水的需求，所以工研院提出的解決方案是將熱媒鍋爐的高溫煙氣經由熱電發電系統取熱後進行發電，所發出的電力用來提供鍋爐房的照明，可同時達到降低煙氣溫度及照明用電的效果。



圖 1 A 公司熱媒鍋爐之槍型燃燒機外觀

## 二、熱電發電系統原理

熱電發電系統主要是利用熱電材料的席貝克效應（Seebeck effect），藉由材料兩端的溫差產生電壓來發電，此系統具有可模組化、無噪音、無震動、零排碳等優點。熱電發電系統因其結構是由許多熱電模組（如圖 2 所示）堆疊而成，故可依據現場空間條件與發電量進行系統設計，讓系統建置具有彈性。熱電發電系統運作時，主要是利用熱端熱交換組件從廢熱源進行取熱，並將熱能傳遞至熱電模組中進行發電，剩餘的熱量透過冷端熱交換組件進行散熱。系統內每個模組均可獨立進行發電，因此可以依據熱源的規模建置不同發電規模之發電系統，其發電規模可由數瓦至數十瓩，產生的電力可提供廠房之照明或小型設備使用，以供應工廠部分之電力需求，降低廠區電網負擔。

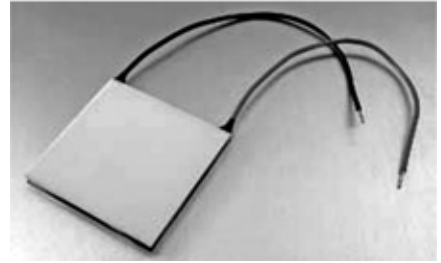


圖 2 熱電模組

## 三、熱電發電系統設計

A 公司之熱煤鍋爐使用 LPG 當燃料，LPG 平均消耗量為每小時  $16\text{m}^3$ ，燃燒後之氧氣濃度為 4.88%，表示過剩空氣量約為 30.46%。A 公司之熱煤鍋爐煙氣所攜帶之熱量可以採用熱損失法來計算，煙氣熱損失主要是來自煙道氣顯熱損失，煙道氣顯熱損失 ( $L_1$ ) 計算方式如下：

$$L_1 = G \cdot C_g \cdot (t_g - t_0) \dots\dots\dots (1)$$

$G$  為燃燒 1kg 燃料所產生之實際煙氣量 ( $\text{m}^3$ )、 $C_g$  為煙道氣之平均比熱，一般為  $1.38\text{kJ}/(\text{m}^3\text{K})$ 、 $t_g$  為煙道氣溫度， $t_0$  為環境空氣溫度。當燃燒機有使用預熱空氣，在計算煙道氣顯熱損失時，若僅考慮煙道氣溫度之熱焓而沒有扣除預熱空氣熱焓，則會高估煙道氣熱損失量，故計算煙道氣熱損失量應扣減預熱空氣熱量 ( $L_2$ )。預熱空氣熱量計算方式如下：

$$L_2 = G_a \cdot C_a \cdot (t_p - t_0) \dots\dots\dots (2)$$

$G_a$  為燃燒 1kg 燃料所需之燃燒空氣量 ( $\text{m}^3$ )、 $C_a$  為空氣之平均比熱，一般為  $1.21\text{kJ}/(\text{m}^3\text{K})$ 、 $t_p$  為預熱空氣溫度， $t_0$  為環境空氣溫度。因為 A 公司之熱煤鍋爐沒有使用預熱空氣，所以不須扣減預熱空氣熱量。另一方面，考慮煙氣排放溫度不可過低，以避免露點腐蝕問題發生，可降低的煙氣溫度下限設為  $180^\circ\text{C}$ ，因此需扣掉  $180^\circ\text{C}$  以下所攜帶的煙氣熱量，才是有機會被回收利用的熱量，所以此時(1)中的  $t_0$  是  $180^\circ\text{C}$ 。經計算後，此熱煤鍋爐可用煙氣熱量約為  $19.5\text{kW}$  ( $16,767\text{kcal/hr}$ )。在此熱煤鍋爐的煙氣廢熱條件下，根據實務經驗，熱電發電系統的總體效率約 1%（包括熱交換效率及熱電轉換效率），因此我們以發電量 200W 的規模來進行熱電發電系統的設計。

熱電發電系統設計如圖 3(a)所示。熱端取熱材質為銅，鰭片部分以銅薄板垂直滿焊於銅板上，形成一具有鰭片結構之取熱熱交換組件，其結構如圖 3(b)所示；冷端解熱材質為鋁合金，內部以鋁擠方

式形成鰭片結構，並用鋁鐸方式密封，形成一具有鰭片結構之冷端熱交換組件。為因應煙道入口斜面及側面的尺寸，冷端熱交換組件尺寸有兩種設計，如圖 3(c)及圖 3(d)所示。本熱電發電系統所使用的熱電模組為碲化鉍合金系 (BiTebased alloy) 材料所製作之模組，製作完成之熱電發電系統實體如圖 4 所示。

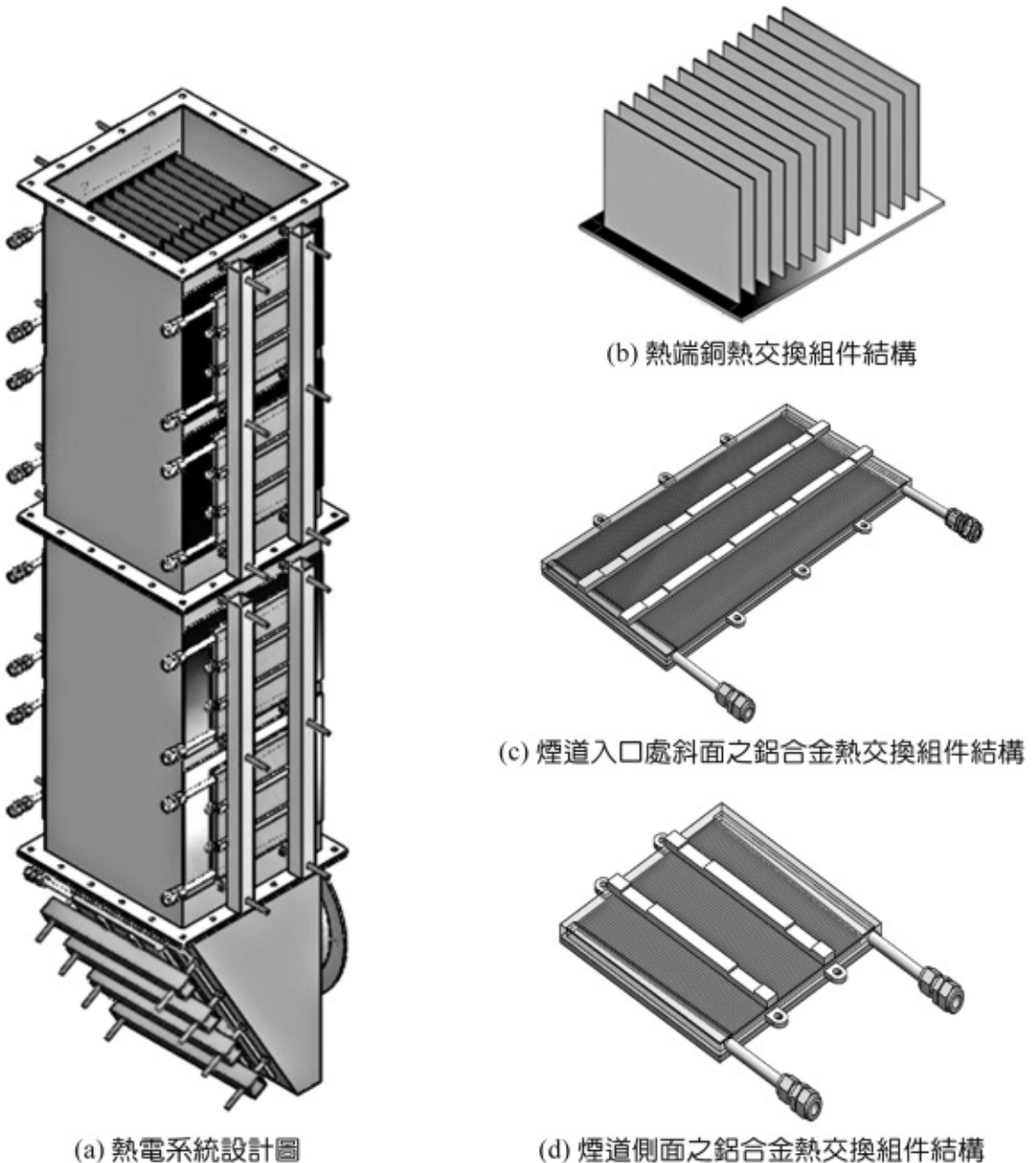


圖 3 熱電發電系統結構設計圖



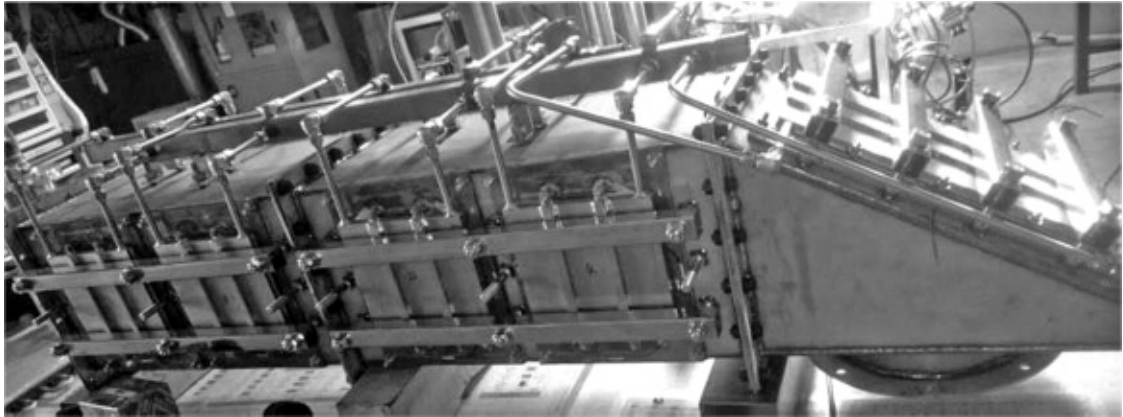


圖 4 熱電發電系統實體

熱電發電系統冷端的冷卻水由 A 公司原有之冷卻水管路分流過來提供，不須額外使用泵浦來供應，所使用的冷卻水最終會回到冷卻水塔降溫後循環使用。在 A 公司所建置之熱電發電系統所需之冷卻水相較於廠內冷卻水用量微乎其微，不會增加供水泵浦的能耗。為了保護熱電模組，避免熱電模組在無冷卻狀態下受到煙氣殘留高溫而損壞，建議鍋爐停機時不須關閉熱電發電系統的冷卻水，或是待熱電發電系統熱端降溫後（約需 2 小時），才關閉熱電發電系統的冷卻水。安裝完成之熱電發電系統如圖 5 所示。



圖 5 熱電發電系統安裝於熱煤鍋爐煙道

#### 四、結果與討論

將熱電發電系統完成建置後，我們進行 A 公司熱煤鍋爐改裝前後之煙氣成分分析比較，確認燃燒狀況是否會受到熱電發電系統的影響。我們採用 E Instruments 公司之 E4500-S 氣體分析儀進行煙氣成分分析（如圖 6），可分析之氣體成份包含氧氣（ $O_2$ ）、一氧化碳（CO）、二氧化碳（ $CO_2$ ）、氮氧化物（ $NO_x$ ）、硫氧化物（ $SO_x$ ），在此我們僅量測  $O_2$  及 CO，因為從這兩個成分的濃度高低就能看出燃燒狀態的好壞與否。此氣體分析儀  $O_2$  的量測範圍是 0 至 25%，CO 則為 0 至 8,000ppm。在進行煙氣成分濃度分析前，需先利用標準氣體進行零點（zero）及跨距（span）校正，確保儀器的準確性。在量測期間，我們每 5 分鐘記錄一筆資料，之後進行數據分析時，以所有量測數據的平均值來進行分析，所有數值皆修正至 6%  $O_2$ ，以作為公平性的比較，修正方式如下：

$$[S]_c = [S]_m \times \frac{[O_2]_a - 6}{[O_2]_a - [O_2]_m} \dots\dots\dots (3)$$

其中 $[S]_c$ 為修正至 6%  $O_2$  之 CO 濃度值， $[S]_m$ 為煙道氣中 CO 量測濃度值， $[O_2]_a$ 為空氣中之  $O_2$  濃度值， $[O_2]_m$ 則為煙道氣中  $O_2$  量測濃度值。為避免煙道漏氣影響取樣，故煙氣取樣點位於鍋爐本體與煙道連接處之間，如圖 7 所示，取樣棒深入煙道中心部位取樣分析。至於煙氣溫度我們則是採用 K 型熱電偶（K type thermocouple）來量測，K 型熱電偶是由鎳鋁合金組成，其溫度量測範圍介於-200~1200℃，熱媒鍋爐的煙氣溫度會在 K 型熱電偶的溫度量測範圍內。



圖 6 氣體分析儀



圖 7 煙氣取樣點位置

圖 8 為裝置熱電發電系統前後之煙氣中的平均  $O_2$  濃度（過剩氧），因為鍋爐的負載是隨著現場產線需求而變動，所以煙氣中的  $O_2$  濃度也隨燃燒負載而有變化。在基線性能量測期間（共 120 分鐘），過剩氧濃度介於 3.80% 到 5.30% 之間，平均過剩氧濃度為 4.88%，換算成過剩空氣量（excess air）約 30%；裝置熱電發電系統後，過剩氧濃度介於 2.90% 到 5.90% 之間，平均過剩氧濃度為 4.50%，換算成過剩空氣量約 27%。一般而言，過剩氧濃度越低，煙氣排氣熱損越少，鍋爐效率越高，不過在降低過剩氧的同時，仍須確保能達到完全燃燒，否則將會違反環保法規，同時效率也會降低。以氣體燃料的燃燒情況來看，理想的過剩空氣量應低於 20%（相當於過剩氧濃度約 3.50%）。不過因為 A 公司之熱媒鍋爐是屬於貫流式鍋爐的型式，燃燒室較短，空氣與燃料的混合較不均勻，所以需要較多的燃燒空氣以確保能完全燃燒。依據經濟部能源局所頒佈之『紡織業節約能源及使用能源效率規定』，熱媒鍋爐的過剩氧濃度上限為 5.20%。量測結果顯示，A 公司之熱媒鍋爐在裝置熱電發電系統後仍符合法令的規定。

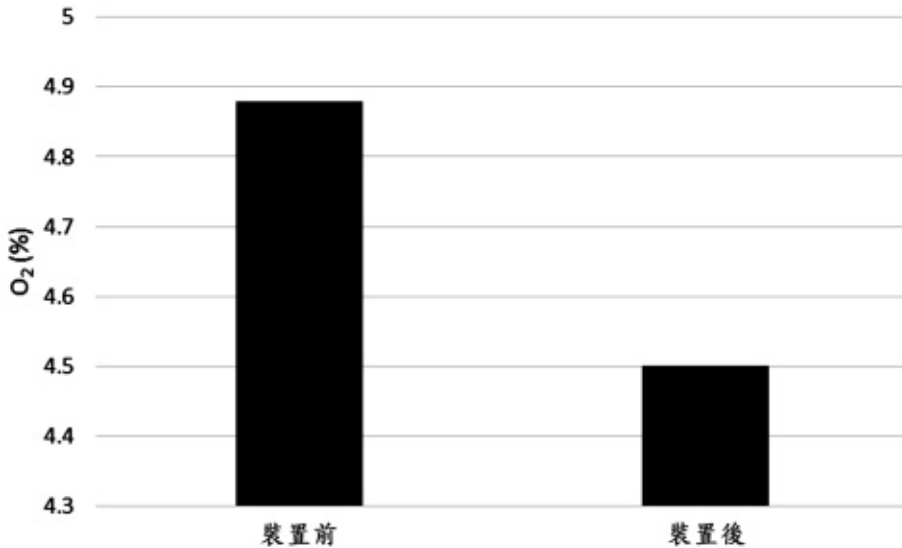


圖 8 裝置熱電發電系統前後之煙氣中 O<sub>2</sub> 平均濃度

圖 9 為裝置熱電發電系統前後之煙氣中的平均 CO 濃度，在基線量測期間，CO 濃度 (at 6% O<sub>2</sub>) 介於 0ppm 到 3ppm 之間，平均 CO 濃度為 2ppm (at 6% O<sub>2</sub>)；裝置熱電發電系統後，CO 濃度 (at 6% O<sub>2</sub>) 介於 6ppm 到 13ppm 之間，平均 CO 濃度為 9ppm (at 6% O<sub>2</sub>)。CO 濃度是作為燃燒不完全的重要指標，若達到完全燃燒，就不會產生 CO，反之燃燒越不完全，CO 濃度就越高。以貫流式鍋爐而言，一般建議燃燒調整後之平均 CO 濃度要降至 100ppm 以下。從量測結果來看，A 公司的熱煤鍋爐在採用熱電發電系統後 CO 有增加 7ppm (從 2ppm 增加至 9ppm)，但平均 CO 濃度仍小於 10ppm，表示裝置熱電發電系統後的壓損不致影響燃燒狀況。

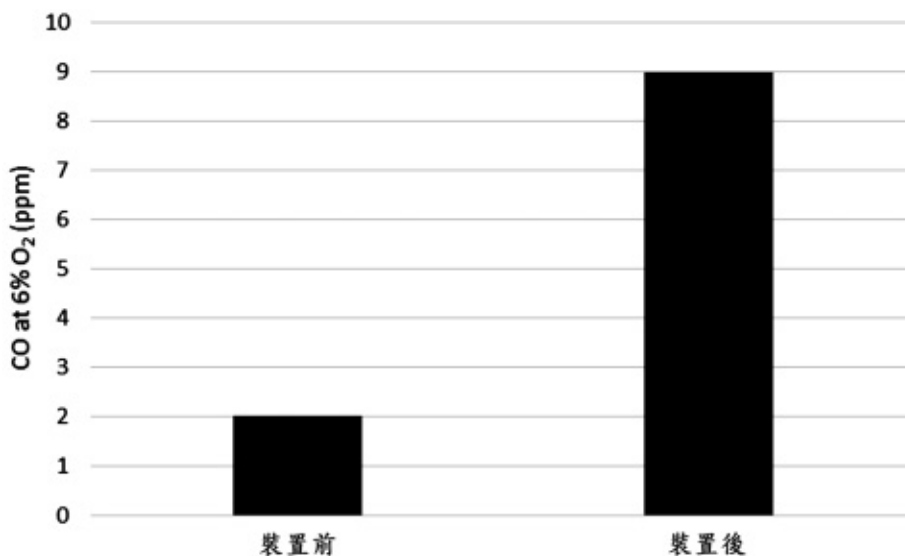


圖 9 裝置熱電發電系統前後之煙氣中 CO 平均濃度

圖 10 為裝置熱電發電系統前後之煙氣平均溫度，在基線量測期間，煙氣溫度介於 257.0°C 到 260.0°C 之間，平均煙氣溫度為 258.8°C；裝置熱電發電系統後，煙氣溫度介於 180.0°C 到 186.2°C 之間，平均煙氣溫度為 182.5°C，遠低於法規要求煙氣溫度必須低於 220°C 的規定。相較於基線，裝置熱電發電系統後平均煙氣溫度降低了 76.3°C，降幅十分明顯。顯示 A 公司的熱媒鍋爐透過裝置熱電發電系統，能有效回收煙氣廢熱，降低煙氣溫度，達到符合法規規定的目的。

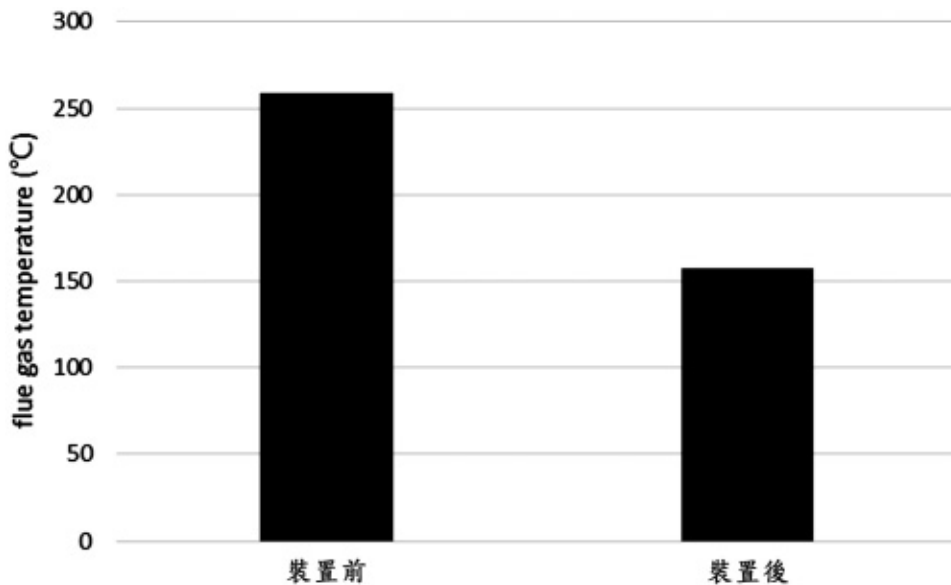


圖 10 裝置熱電發電系統前後之煙氣平均溫度

我們以掃描式電子負載實際量測電壓與發電功率之關係圖，如圖 11 所示。由圖中可知系統之開路電壓（Opencircuitvoltage）約為 35.57 V，最大發電功率可達 173.7W，最大發電量之電壓約出現在 18.66V 時（約為開路電壓之一半）。本熱電發電系統的設計裝置發電容量為 200W，實際最大發電功率為 173.7W，符合預期。我們在 A 公司的鍋爐房共裝置 8 盞 15W 的 LED 燈，利用熱電發電系統所產生的電力來點亮 LED 燈，做為鍋爐房的照明之用。由於熱電發電系統所發出的電是直流電，加上發電電壓會隨系統負載變化而變動，為了簡化系統及兼顧效率，所以我們不裝設逆變器將直流電轉成交流電，也不裝設穩壓器穩定電壓（裝設逆變器及穩壓器都會減損整體效率），而是選擇使用電壓範圍在 12-80V 的直流 LED 燈來提供照明。圖 12 為熱電發電系統提供鍋爐房照明現場實景，熱電發電系統啟動後，大約在 3 分鐘內，所有的 LED 燈都可達到最大亮度。因為 A 公司的熱媒鍋爐負載相對穩定，使用時間長，負載波動小，所以熱電發電系統的發電量也能維持穩定，讓 LED 燈使用時不會因發電量的變化而忽明忽暗，維持良好的照明。



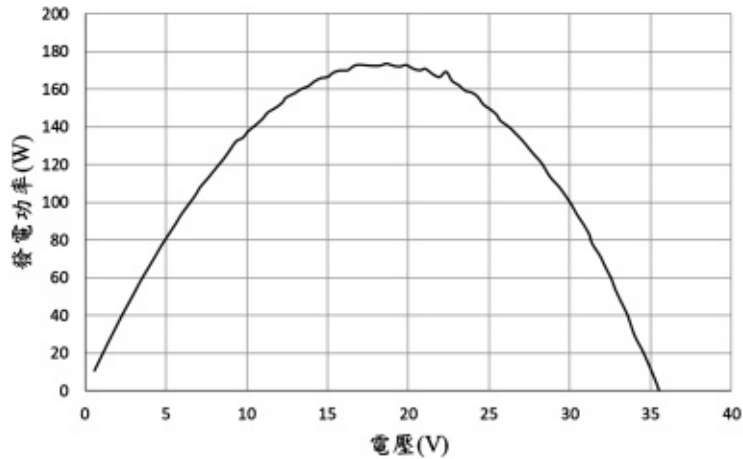


圖 11 以電子負載量測之電壓與發電功率曲線



圖 12 熱電發電系統提供鍋爐房照明

## 五、結論

熱媒鍋爐在紡織業屬於常用的公用設備，法令規定排氣溫度必須低於  $220^{\circ}\text{C}$ 。但熱媒鍋爐一般都是使用槍型燃燒機，因此無法將煙氣廢熱拿來預熱空氣，若工廠沒有熱水的需求，也不能將煙氣廢熱拿來預熱水，因為電力是任何工廠都需要的，此時熱電發電技術剛好可解決此一困境。工研院協助 A 公司利用熱電發電系統將熱媒鍋爐的煙氣廢熱轉換成電力，性能測試結果顯示，平均煙氣溫度從  $258.8^{\circ}\text{C}$  降至  $182.5^{\circ}\text{C}$ ，比改善前降低了  $76.3^{\circ}\text{C}$ ，達到法規要求。此外裝設熱電發電系統後也保持良好的燃燒狀態，平均 CO 濃度在  $10\text{ppm}$  (at 6%  $\text{O}_2$ ) 以下。熱電發電系統在測試期間之最大發電功率為  $173.7\text{W}$ ，所發的電力足夠供應給 LED 燈提供鍋爐房穩定的照明。

## 六、參考文獻

1. 石化業節約能源及使用能源效率規定，經能字第 10304603450 號公告，103 年 7 月。
2. 紡織業節約能源及使用能源效率規定，經能字第 10404605050 號公告，104 年 10 月。

# 燃氣鍋爐的燃燒器管理系統

摘自：中國特種設備安全 第 25 卷 第 3 期

燃氣鍋爐的爐膛（含煙道，下同）爆炸是爐膛內積聚的可燃氣體被點燃所致。所以，如本專述之一（見本刊 2008 年第 5 期）所述，防止爐膛爆炸的關鍵，就是要防止在爐膛內有可燃氣體積聚。

實際上，不論是停運的爐膛還是運行中的爐膛都有可能發生可燃氣體的積聚。造成這種積聚的主要原因往往是燃氣燃燒系統的設備存在不安全因素或運行時燃燒出現了不安全狀態。因此，防止爐膛爆炸的主要措施之一就是鍋爐一定要配備安全的燃燒設備系統，採用控制系統對其運行進行控制。然而，燃氣鍋爐的爐膛爆炸事故表明，僅有良好的設備和燃燒控制系統還不足以防止爐膛爆炸的發生，因為設備和控制系統二者都始終未離開人的參與，何況整個燃燒設備系統（包括控制系統）是由若干支系統的許多設備和器件構成的，任何一個設備故障或某項控制失靈都可導致事故的發生。經過長時間的探索和經驗積累，一個專門用於安全監控的系統——燃燒器管理系統被用於燃氣鍋爐上，成為防止爐膛爆炸的一個有力手段。

## 一、燃燒器管理系統（代號 BMS——Burner Management System）

### （一）功能

與用於鍋爐啓、停的操作控制系統和正常運行時以固定的空氣/燃氣比調節燃氣和空氣輸入量的燃燒過程控制系統不同，燃燒器管理系統是一個專門用於監控鍋爐點火順序和燃燒系統運行狀況的燃氣控制系統，其功能是一旦鍋爐啓動，系統就會對其運行的各個階段進行連續監視，當出現點火操作順序不正確、或運行中燃燒狀態不穩定而可導致可燃氣體積聚、危及人員和設備安全時，就會自動將點火程式中止，或迅速切斷進入爐膛的燃料並隨之按預定順序停止相關設備的運行，即實現安全連鎖。所以，BMS 是一個防止發生爐膛爆炸等破壞性事故的順序控制和安全保護系統，或者像美國燃燒工程（CE）公司那樣，叫做爐膛保護監控系統（代號 FSSS——Furance Safeguard Supervisory System）

由於防止爐膛爆炸的關鍵是要防止在爐膛內有可燃氣體積聚，所以，BMS 的基本功能主要通過對鍋爐運行的不同階段進行設防，即以下 3 個方面：

1. 爐膛點火的前吹掃及跳閘後的吹掃；
2. 點火順序許可控制；
3. 連續監視鍋爐運行的燃燒工況及關鍵熱力參數；緊急情況時，實施總燃料跳閘。

### (二)性質

從上述功能可知，BMS 是鍋爐各控制系統中一個優先級的系統，它對操作控制系統和過程控制系統可以“行使控制權”，即對可導致危險的操作順序或運行設備發出中止或停止運行的命令，是為保證鍋爐安全而採用的一種極端的控制手段。

### (三)核心和要求

與所有自控裝置一樣，BMS 也基本上由敏感（檢測）元件、邏輯控制設備和驅動裝置組成，其中第一和第三項為燃燒設備的現場設備，所以，就 BMS 而言，其主要部分就是邏輯控制設備。它的作用是：接受操作控制發來的各種指令和現場敏感元件送來的有關運行狀態的檢測信號，經過處理和判斷，再按程式向操作控制系統和現場驅動裝置發出許可或中止的命令。圖 1 為一個採用可編程序控制技術的邏輯框圖。

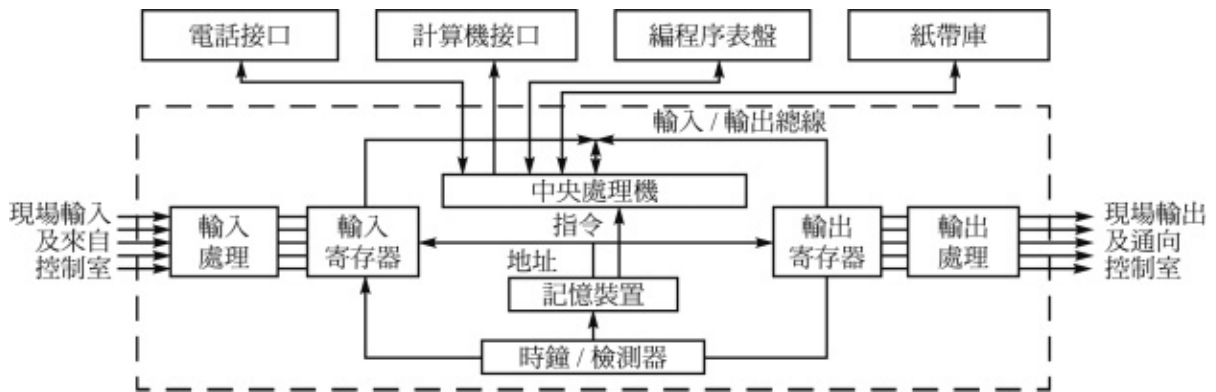


圖 1 典型的邏輯處理器結構

由此可知，邏輯控制設備在 BMS 中處於至關重要的核心地位，所以，其性能必須靈敏可靠，為此，邏輯控制設備必須滿足以下基本要求：

1. 不能因單個控制器及其全部邏輯功能的失效而危及鍋爐的安全或使鍋爐停止運行；
2. 具有自診斷功能，以保證邏輯系統自身工作可靠；
3. 具有獨立性，不僅實行 1 台鍋爐 1 套邏輯系統，而且同台鍋爐的安全監控系統的工作不受其他控制系統的干擾和影響；
4. 觸發強制性總燃料跳閘的信號必須是硬線連接；不得有妨礙總燃料跳閘的缺陷存在；
5. 從信號輸入到命令輸出的響應時間必須非常短等。

## 二、爐膛吹掃

BMS 的安全保護功能，首先是通過對爐膛的吹掃來實現的。所謂爐膛吹掃，就是向爐膛內吹進足夠的風量，把積存在爐膛內的可燃氣體帶走，以防止這些可燃氣體引發爐膛爆炸的工作過程。

### (一)吹掃的必要性

無論是鍋爐點火前還是停爐後（包括正常停爐和運行中突然熄火）都必須進行爐膛吹掃。因為鍋爐停爐後，尤其是較長時間的停爐後，爐膛內可能積聚一些可燃氣體，這就給啟動點火帶來爆炸危險，所以點火前必須進行爐膛吹掃，即前吹掃。鍋爐停爐時，特別是運行中突然熄火，因火焰在一瞬間就熄滅，而燃氣切斷總有一個滯後，所以在火焰熄滅後必然運有一部分燃氣和空氣的混合物進入爐膛，而此時爐膛的溫度還很高，很容易引起爆炸，所以必須將這些可燃氣體吹出爐膛，由於是熄火後的吹掃，故稱後吹掃。

### (二)吹掃的邏輯控制

爐膛吹掃過程可以用圖 2 所示邏輯框圖表示。

從圖 2 可知，吹掃邏輯控制實際上包括吹掃允許條件“是”（或否）和吹掃過程監控兩部分。另外，述兼顧了框圖未示出的點火條件的檢查。

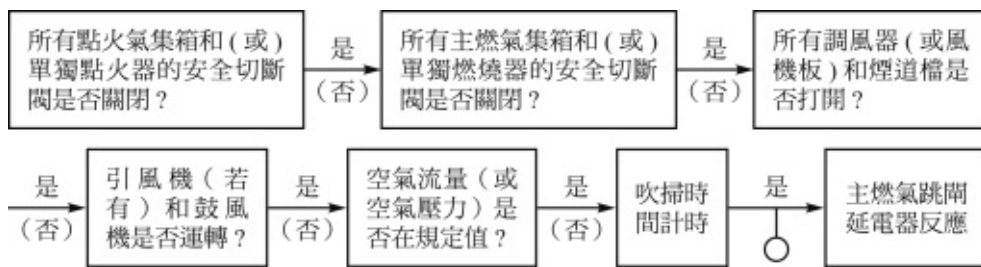


圖 2 爐膛吹掃框圖

#### 1. 吹掃允許條件

- (1)吹掃時不能有燃氣進入爐膛，所有燃氣安全切斷閥都必須關閉關閉鎖；
- (2)從鼓風機入口經調風器、爐膛和煙道，至煙囪入口的調節掃板必須在規定的開啓位置，通道暢通；
- (3)引風機（若有）和鼓風機至少有一台（指多台風機設置）在運行，風量或風壓必須在規定的吹掃率或壓力值；
- (4)火焰監視器顯示爐膛內“無火焰”。

#### 2. 吹掃過程監視

在吹掃允許條件全部滿足時，吹掃計時器開始計時。吹掃時間是根據吹掃方式而設定的。如單只燃燒器的鍋爐一般是以 70 % 以上額定風量的風量，短時間進行吹掃；而多隻燃燒器的鍋爐是以 25 % 左右額定風量進行 5min 或 5 倍鍋爐煙氣通道容積進行吹掃。當達到設定吹掃時間，吹掃即完成。

#### 3. 點火條件檢查

由於吹掃完成後即要進行點火，所以，在吹掃的同時，還要進行以下檢查：



- (1)燃氣壓力是否正常；
- (2)燃氣切斷閥關閉是否嚴密；
- (3)爐膛壓力是否正常；
- (4)鍋爐水位是否正常；
- (5)鍋爐介質壓力或溫度是否正常。

以上條件，既是吹掃前提，也是吹掃過程繼續的必要條件，只要有一條不滿足，吹掃就不能進行或繼續，此時系統就會中斷吹掃，發出報警（圖 2 框圖中符號“b”），只有故障排除，條件滿足後才能重新進行吹掃。如果條件均滿足，主燃氣安全切斷閥繼電器在吹掃完成後即復位，為供氣作好準備。

至於後吹掃，由於是在鍋爐運行後進行，所以吹掃條件通常是滿足的，其吹掃主要是吹掃過程的監控，即空氣量和吹掃時間的監控。

### 三、點火順序控制

在鍋爐運行的階段上，常將上述前吹掃作為點火程式的一部分，但此效的點火是僅指使燃氣開始燃燒的操作過程，也就是在燃燒系統已具備向鍋爐供給燃氣的條件下：點火程式啟動，將燃氣送入爐膛，並將其點燃。

由於燃氣燃燒器都是採用三級（類）點火器，所以 BMS 的邏輯控制就是對燃氣供給順序、點燃時間和空氣量加以限定、監控。

#### (一)燃氣供給順序

在電火花發生器電源接通後，開啓總燃氣和點火燃氣閥，建立點火火焰；待點火火焰穩定後，切斷電火花電源；主燃氣閥開啓，建立主火焰；待主火焰穩定後，點火燃氣閥關閉，點火火焰退出。

#### (二)點燃時間

從燃氣閥開啓，相應火焰即應建立，並在規定時間內火焰穩定。若在該時間內，火焰檢測器檢測無相應火焰，此時相關燃氣閥就必須立即關閉。由於該時間是點火燃氣和主燃氣在爐膛內形成可燃混合物的時間，所以有“安全時間”之稱，一般稱前者為第一（點火）安全時間，後者為第二（主火）安全時間。

#### (三)空氣量

點火時的空氣量比正常運行時空氣／燃氣比時空氣量要大，即維持富空氣狀態。

### 四、總燃氣跳閘系統（代號 MFT——Master Fuel Trip）

上述爐膛吹掃和點火順序控制只是 BMS 基本功能的一個方面，即順序控制。其另一個方面就是 MFT，也就是在鍋爐運行的各個階段，當燃燒出現不穩定及關鍵熱力參

數達到限值，危及人員和設備安全時，BMS 會發出指令，迅速切斷進入爐膛的燃料，強迫鍋爐停止運行。由此可知，MFT 是 BMS 突現對鍋爐進行自動安全保護的一個連鎖系統。

圖 3 是美國 NFPA 多支燃燒器鍋爐燃燒系統的 MFT 連鎖系統圖（“?” 表示報警）。

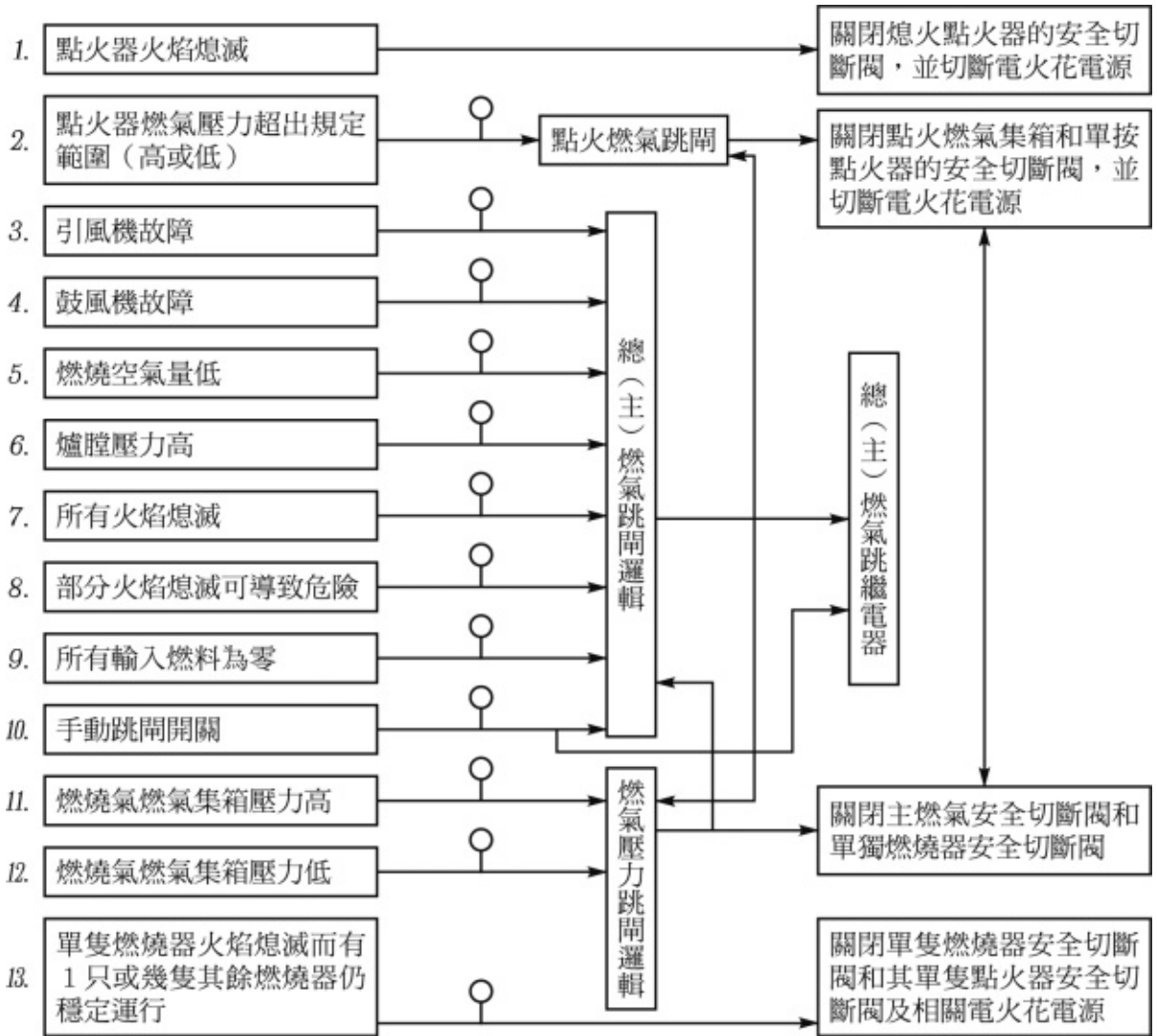


圖 3 MFT 連鎖系統圖

此框圖可簡釋如下（參見專述之二圖 1~圖 4）。

框 1 表示單個點火器火焰熄滅，將引起的連鎖是：關閉單個點火器的安全切斷閥，切斷電火花電源，打開放散閥，並給主火焰保護系統發“點火火焰已失去”的信號。

框 2 表示由於不正常的點火燃氣集箱壓力（高或低），將引起集箱和單個點火器的安全切斷閥跳閘，並切斷電火花電源。

對於直接用電火花點燃的燃燒器就不用框 1 和框 2，而是用總燃氣跳閘，並切斷電火花電源來保護。框 3 和框 4 表示大量燃燒空氣中斷，所有引風機或鼓風機停止，將引起 MFT 連鎖。

框 5 表示空氣流量低到允許極限（如 25% 額定流量）以下時，將引起 MFT 連鎖。

框 6 表示爐膛壓力高，將引起 MFT 連鎖。此連鎖是防止爐膛結構造成損壞。

框 7 表示爐膛內全部火焰熄滅，將引起 MFT 連鎖。

框 8 表示部分火焰熄滅，可能擴大成危險條件（特別是低負荷時）的 MFT 連鎖。此連鎖要根據燃燒器的佈置、數量及其運行方式，以及火焰監視器的設置等因素來設定其邏輯。

框 9 表示不論什麼原因造成輸入爐膛的燃料被中斷（流量為零），將引起 MFT 連鎖。

框 10 表示為在緊急情況下操作者可以直接實施 MFT，故設置的人工使用 MFT 操作開關。

框 11 和框 12 表示燃燒器燃氣集箱壓力達到限值（高或低）時，將引起 MFT 連鎖。

框 13 表示單個燃燒器火焰熄滅，而其餘燃燒器仍穩定燃燒、且不會導致象框 8 那樣的危險條件，將引起該燃燒器的安全切斷閥、點火器的安全切斷閥及其電火花電源被切斷，但不致引起 MFT 連鎖，也就是不致造成停爐。

按 NFPA 的申明，以上連鎖是防止燃氣鍋爐爐膛爆炸必須設置的最低要求，是不可缺少的。

除上述燃燒系統的連鎖保護外，對涉及鍋爐安全的關鍵熱力狀態或參數，當達到其限值時也要激發 MFT 連鎖保護。如蒸汽鍋爐水位達到最低安全水位時；蒸汽壓力達到安全閥較低整定壓力時；直流鍋爐給水中斷時間超過規定時間時，以及熱水鍋爐壓力降到會發生汽化、或水溫升高達到限值、循環水泵突然停止運轉時等。

由此可知，MFT 是 BMS 諸功能中一項最重要的安全功能，只要燃燒系統和鍋爐熱力系統中的設備運行狀態和參數有 1 個超出鍋爐安全運行的正常範圍，BMS 就會發出 MFT 的命令，實現緊急停爐，而且引發 MFT 的條件不消除，其連鎖就不會解除。當然每次 MFT 發生，都會有緊隨其後的後吹掃進行，以阻止可燃氣體積聚在爐膛內。

由於引發 MFT 的因素較多，所以連鎖系統中都設有報警（“?” 標志），使操作人員知曉“跳閘原因”，以便採取處理措施。當故障處理完成（無 MFT 條件存在），吹掃結束後，MFT 繼電器才解除閉鎖而復位。對只配置 1 個燃燒器的“單只燃燒器鍋爐”，NF-PA 的 MFT（稱“事故保護停爐”）除無圖 3 中的框 8 和框 13 外，其他項目基本相同。

# 降低鍋爐注汽水質含氧措施及 節能降耗效果分析

摘自：中國特種設備安全 第31卷 第6期

## 摘要

在注汽過程中，給水中的溶解氧會對鍋爐爐管起到氧腐蝕作用，使爐管變薄，當腐蝕積累到一定程度時將發生爆管事故，造成人身和財產損失。過濾式除氧器的工作原理是：含有溶解氧的軟化水通過特製的海綿鐵（其形狀近似於小細微性的石英沙）濾料，該濾料具有較大的表面積，常溫下，可使水中的溶解氧與鐵發生氧化反應，從而將溶解氧除去，除氧後的水通過集水帽進入樹脂罐進一步處理。在注汽水質含氧高致注汽鍋爐腐蝕情況調查的基礎上，分析了鍋爐注汽水質含氧高的原因，並制定了具體的對策，實施後取得了良好的降低含氧的效果，同時取得了一定的經濟和社會效益。

水中的溶解氧會造成與其接觸金屬的氧腐蝕，如與注汽鍋爐爐管接觸會產生氧腐蝕。鍋爐爐管內蒸汽溫度越高氧腐蝕速度就越快。因此，鍋爐用水含氧指標要求非常嚴格，要求含氧小於 0.01mg/L。但生水（來水）中的含氧指標一般大於 3.5mg/L，給水中的溶解氧會對鍋爐爐管起到氧腐蝕作用，使爐管變薄，當腐蝕積累到一定程度時將發生爆管事故，造成人身和財產損失。

生水在進入鍋爐爐管制汽前均要進行水處理。水處理主要有軟化和除氧兩大功能。生水經過預處理和離子交換處理後即為軟水，軟水中會溶有大量的氣體，如氧氣、二氧化碳等。尤其是水中的溶解氧很容易給鍋爐給水系統及鍋爐帶來較為嚴重的氧腐蝕。氧腐蝕是一種電化學腐蝕。鐵與氧易形成兩個電極，組成腐蝕電池。腐蝕原理為：鐵的電極電位總比氧的電極電位高，所以在鐵氧腐蝕電池中，鐵為陽極，氧為陰極，發生腐蝕，如圖1所示。

氧腐蝕反應式為：

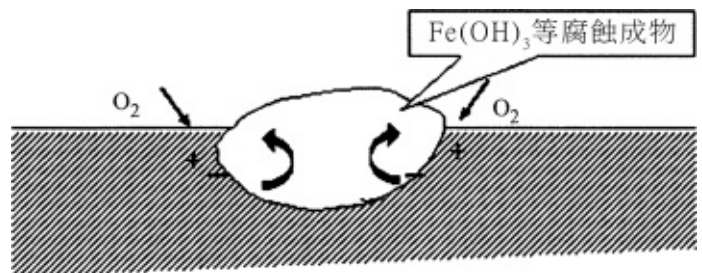
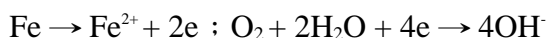


圖1 鍋爐爐管氧腐蝕示意圖



爐管內壁一旦發生氧腐蝕，產生  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物，就不能阻止其繼續腐蝕。隨著時間的延長，爐管內壁就會形成不同形狀的陷坑，嚴重影響鍋爐的安全運行。因此，降低鍋爐給水含氧指標，減少或防止溶解氧對鍋爐爐管的腐蝕，對保障鍋爐的正常運行，實現鍋爐安全經濟注汽至關重要。

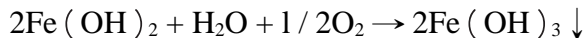
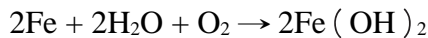
### 一、注汽水質含氧高致注汽鍋爐腐蝕情況調查

現場採用了常溫-過濾式除氧器技術。雖然此項除氧設備操作簡單、除氧效果明顯。但因除氧器自身流程的缺陷，易造成海綿鐵結塊和  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物堵塞集水帽，反洗時不能把  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物沖洗乾淨，樹脂再生時會引起樹脂中毒，嚴重的是爐管內壁形成鐵垢（主要成分是鐵的氧化物和氫氧化物，較堅硬，易清除），導致鋼爐腐蝕進而引起爐管變薄乃至爆管，影響鍋爐的安全經濟運行。

### 二、原因分析

目前，現場採用的常溫-過濾式除氧器除氧，因多種原因沒能發揮出其理想的除氧效果。過濾式除氧器的工作原理是：含有溶解氧的軟化水通過特製的海綿鐵（其形狀近似於小細微性的石英沙）濾料，該濾料具有較大的表面積，常溫下，可使水中的溶解氧與鐵。

其化學反應原理是：



反應生成物  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  為鬆軟絮狀物。當海綿鐵表面積達到一定程度後，可用反沖洗法將  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沖走，以保持海綿鐵的除氧能力。正常情況下，水處理後含一般能控制在  $0.01\text{mg/L}$  以下，但隨著水處理時間的延長，水質含氧逐步增加，達  $0.03\text{mg/L}$  以上，甚至更高。這就要求頻繁進行反沖洗，甚至進行清罐，清洗海綿鐵，以保持或恢復海綿鐵的除氧能力。頻繁反沖洗和清罐增加了大量人力、物力消耗。

經過分析，主要原因是水反沖洗效果差和腐蝕生成物易沉澱結塊兩項原因造成的。

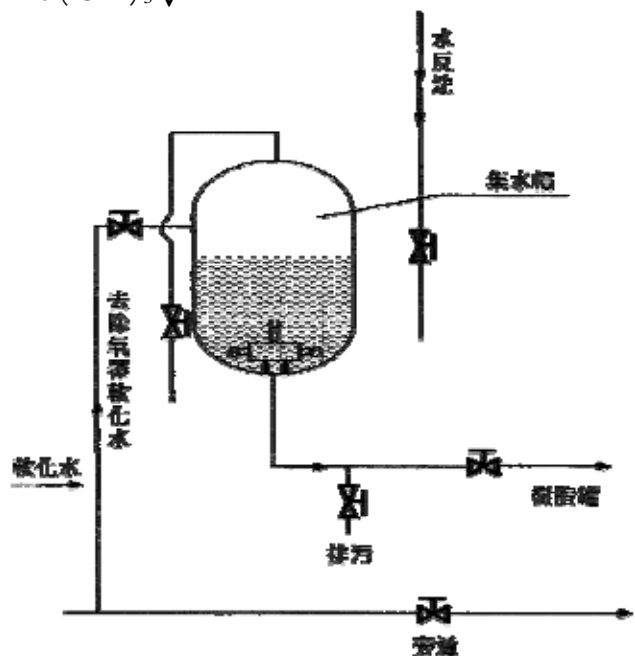


圖 2 除氧罐示意圖

### (一)水反沖洗效果差

為了將除氧器罐內的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物沖洗掉，將結塊的海綿鐵沖散，以恢復海綿鐵的除氧能力，需要定期反洗。過去一直採用水反洗流程。反沖洗時，生水通過除氧罐底部均勻分佈的 35 個集水帽進入除氧器罐內部，將除氧器罐內  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物沖洗掉，將結塊的海綿鐵沖散，以恢復海綿鐵的除氧能力。

除氧器罐內的海綿鐵重達 0.5t，受自重和水處理壓力的共同作用，容易使其結塊沉澱，部分在罐壁形成鐵瘤，加上  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物在海綿鐵罐的罐底沉積，堵塞集水帽，影響除氧效果。在長期運行的過程中由於集水帽的堵塞程度不同，使其吸水性和反沖洗這水能力有較大差異。

吸水性差的集水帽，在水反沖洗時很難沖起上部的海綿鐵及  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物。反沖洗時，水流從較寬的縫隙中通過，形成偏流，使反沖洗不徹底，導致除氧能力急劇下降。如果經常清洗集水帽也可達到除氧效果，但將耗費大量的人力、物力。

### (二)腐蝕生成物易沉澱結塊

除氧器罐內的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物易沉澱結塊，顆粒小的便進入集水帽內，在內壁形成塊，堵塞集水帽縫隙，且其堵塞程度不同，使集水帽吸水、過水能力下降，造成反洗時形成偏流，導致反洗不徹底。由於軟化水是自上而下通過濾料層的。在自重與水處理壓力共同作用下，海綿鐵及生成物易固結一起，沉積於罐底，堵塞部分集水帽。由於集水帽堵塞造成除氧能力下降。

由於腐蝕生成物易沉積結塊的設備缺陷，造成集水帽堵塞；反沖洗效果差的工藝缺陷造成集水帽吸水和過水能力降低，影響除氧效果。因此，集水帽堵塞是導致水質含氧超標的根本原因。

## 三、制定對策並實施

### (一)確定對策思路

根據以往經驗，要解決水質處理含氧超標的難題，延長鍋爐管使用壽命，需要另辟蹊徑。QC 小組多次邀請採油廠、採油礦水質處理專家召開“專家會議”，廣泛吸取了專家和崗位工人的“頭腦風暴”成果，確定了解決問題的技术路線與對策思路（圖 3）。

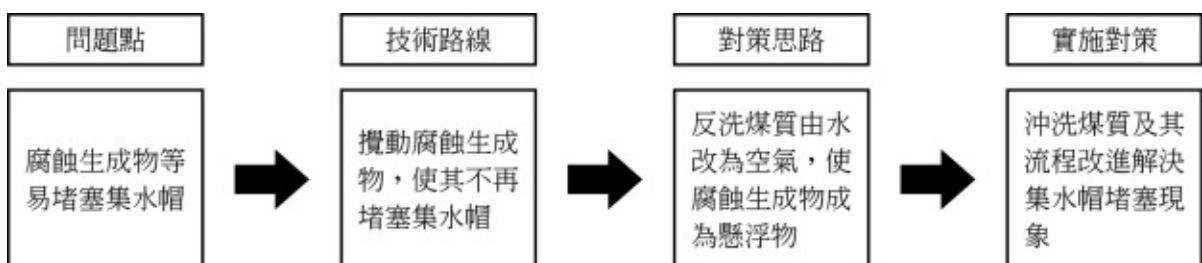


圖 3 對策思路圖

## (二) 對策實施

### 1. 反沖洗煤質及其流程改進思路的提出

除氧水處理過程中產生的反應生成物  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  為松軟絮狀物。當海綿鐵表面積達到一定程度後，可用反沖洗法將  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沖走。但幾年來現場動作表明，水反沖洗過程  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  生成物很難沖洗徹底。多年來筆者一直進行研究，也採取了一些措施，如增大反洗和增加反洗次數等，都未取得很好的效果，成力困擾多年的管理和技術難題。

由於軟化水是自上而下通過濾料層的。在自重與水處理壓力的作用下，海綿鐵及生成物易固結一起，沉積於罐底，用常規的反洗法很難將其沖洗掉，從而造成部分海綿鐵結塊失去除氧作用，並堵塞集水帽。

經過集思廣益，提出了采用空氣+生水+軟化水三段塞式反沖洗法，即反沖洗煤質由原來單一的水改為空氣、生水、軟化水，分三個階段進行沖洗。實施時在海綿鐵的反洗流程上增加一條空氣反沖流程（見圖 4）。

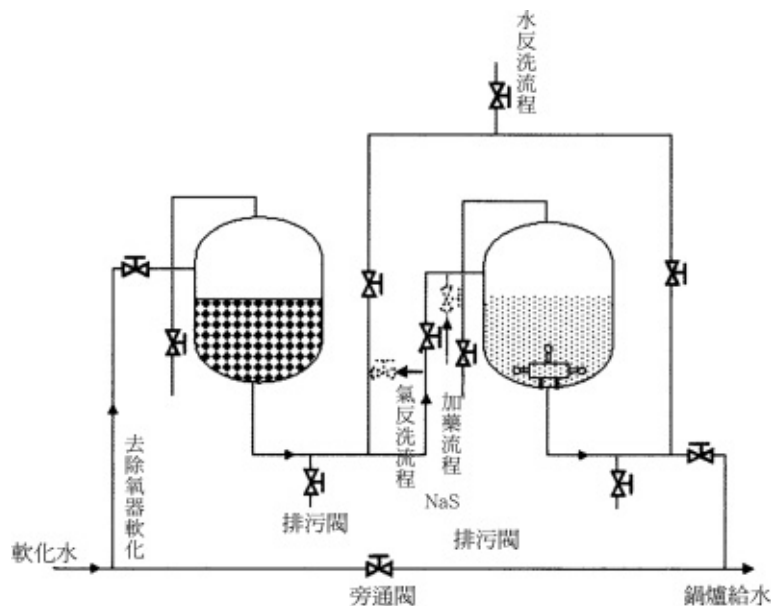


圖 4 空氣反沖流程示意圖

第一段塞：使用空氣段塞作為反沖洗煤質，沖洗時使  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  生成物和結塊的海綿鐵在水中懸浮起來；

第二段塞：用生水反沖洗使  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物被沖洗走；第三段塞：待  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  等腐蝕生成物沖洗乾淨時用軟化水將生水替換掉。

通過以上三段塞式沖洗過程，解決集水帽堵塞而造成反沖洗水道偏流進而造成除氧效果差的難題。當空氣反沖洗一定時間後，此時因及時改為正常的水反沖洗，按除氧操作規程執行。

## 2. 空氣反沖洗法除氧原理

空氣反沖洗法除氧的原理主要有兩方面：

### (1) 有利於解除集水帽堵塞

由於空氣的摩擦力和剪切力比水大，容易使雜質脫離管材內壁，使其成為遊離狀態。又因空氣的密度小重量輕幾乎沒有自重，反沖洗時可將集水帽內部的沉積物沖懸浮起來而被排出，從而解除集水帽堵塞。同時穿過集水帽的氣體可帶動起四周的海綿鐵進行翻滾，使海綿鐵之間產生摩擦，將其外表生成的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  摩擦掉。

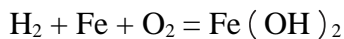
### (2) 有利於降低 $\text{Fe}^{2+}$ ，恢復海綿鐵除氧能力

空氣中的  $\text{CO}_2$  可除去  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  形式存在的  $\text{Fe}^{2+}$  保護膜，反應過程起到較好的除氧作用。反應機理如下。

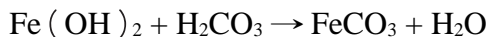
二氧化碳在水中水解生成碳酸：



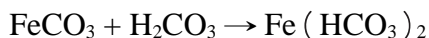
亞鐵離子是顯兩性的物質，在鹼性溶液中顯酸性（亞鐵酸），在酸性溶液中顯鹼性（氫氧化亞鐵）：



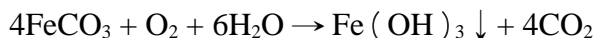
氫氧化亞鐵與碳酸發生中和反應，生成碳酸亞鐵：



繼續與碳酸反應，生成重碳酸亞鐵：



碳酸亞鐵和重碳酸亞鐵與溶解氧發生氧化－還原反應，生成氫氧化亞鐵，放出二氧化碳：



二氧化碳在鐵的氧化的過程中，起到相當重要的作用，將鐵表面的氫氧化亞鐵保護膜除去，活化鐵的表面，使鐵的氧化過程順利進行，除氧過程能在常溫下順利進行，從而恢復海綿鐵的除氧能力。二氧化碳在鐵的氧化過程中沒有損失，是鐵氧化反應的催化劑，加快反應速度。

### (2) 科學確定空氣反沖洗時間、頻次及沖洗壓力等段塞參數

現場對反洗流程進行改造，將空壓機 0.35~0.75MPa 的空氣引入到正常的水反洗流程。由於空氣中含有豐富的氧氣，採用空氣反沖洗時，時間控制不易



過長。考慮到海綿鐵中  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  易與空氣中的氧氣發生化學反應，在海綿鐵洗乾淨的前提下，盡量縮短氣體反沖洗時間，以減少海綿鐵的消耗。在多次試驗的基礎上，我們發現空氣反沖洗時間過短，海綿鐵反沖懸浮不起來，時間過長則會加速海綿鐵消耗。

由於海綿鐵的處理能力是一個逐漸下降、平衡、恢復上升的過程。經過多次試驗，筆者確定每星期使用空氣反沖洗一次，反沖時間 3~5min 為最佳，此時可將集水帽的沉積物沖洗出來，也可使罐內中、下部的海綿鐵反洗起來，然後採用生水反洗，控制水反沖洗壓力在 0.3~0.45MPa 反覆清洗，就可達到比較理想的除氧效果。最後再用除氧器罐體積 2 倍的軟化水替換掉生水，此時，可轉入正常的除氧運行。如果初次採用空氣反沖洗時，可根據集水帽、海綿鐵堵塞、結塊程度來確定反洗時間。

經過規範、總結，得出結論：

第一段塞：媒質：空氣，控制壓力：0.35~0.45MPa，頻次：一星期 1 次，時間：每次 3~5min；

第二段塞：媒質：生水，控制壓力：0.3~0.45MPa，頻次：一星期 1 次，時間：每次 10min；

第三段塞：媒質：軟化水，控制壓力：0.35~0.45MPa，頻次：一星期 1 次，時間：每次 5min。

### (三)現場實施效果

#### 1. 經濟效益

經過 KD521 注汽站現場實施，取得了很好除氧及節水、節電效果，處理後的水質含氧量由原來的 0.03mg/L 下降為 0.006mg/L。實施前，100m<sup>3</sup>/h（實際泵排量 80m<sup>3</sup>/h）反洗泵一天需要反洗 2 次，一次反洗時間 20min。採用氣體反洗法後，水反洗時間可縮短到 12min（啓動空壓機消耗較少可忽略不計），可取得很好的節水、節電效果：

日節水  $w$ ：

$$w = 2 \times (20\text{min} - 12\text{min}) / 60\text{min} \times 80\text{m}^3 / \text{h} = 21.3\text{m}^3$$

節電  $a$ ：

$$a = 2 \times (20\text{min} - 12\text{min}) / 60\text{min} \times 15\text{kw} \cdot \text{h} = 4\text{kw} \cdot \text{h}$$

該站從 2013 年 2 月正式採用氣體反沖法，到 2014 年 12 月底正常注汽 550 天，共節約用水  $W$ ：

$$W = 550 \times 21.3 = 11712\text{m}^3$$

共節約用電 A :

$$A = 4 \times 550 = 2200 \text{kw} \cdot \text{h}$$

按水價 2.7 元 / m<sup>3</sup>、電價 0.65 元 / kw · h 計算，共取得直接經濟效益：

$$\text{經濟效益} = 11712 \times 2.7 + 2200 \times 0.65 = 3.3 \text{ (萬元)}$$

## 2. 社會效益。

由原來沖洗一次集水帽，運行 15 天，集水帽就出現不同程度的堵塞，除氧效果明顯下降，使用本方法後集水帽可延長使用 2 個多月，節省了大量的人力、物力。同時，由於水質含氧由原來的 0.03mg/L 下降到 0.006mg/L，有效地緩解了鍋爐爐管的腐蝕速度。根據水質含氧下降的幅度和實踐經驗預測，可延長鍋爐使用壽命 2~3 年，節約維修資金 150 萬元，保證了注汽鍋爐的安全經濟優化運行。

# 勞動部中彰投分署

## 109 年度下半年產業人才投資計畫

課程名稱	課程代碼	費用	開訓日期	報名日期
甲種職業安全衛生業務主管訓練班 第 02 期	132586	\$7,000	109.11.06 ~ 109.11.25 (夜間班)	109.10.06 起
鍋爐燃燒技術與實務應用班 第 01 期	132587	\$3,000	109.11.18 ~ 109.11.20 (日間班)	109.10.18 起
鍋爐燃燒技術與實務應用班 第 02 期	132588	\$3,000	109.12.02 ~ 109.12.04 (日間班)	109.11.02 起
架空式三公噸以上固定式起重機操作人員訓練班 第 01 期	132589	\$9,000	109.12.23 ~ 110.01.12 (夜間班)	109.11.23 起

★各班報名日期當日中午 12 點開始在職訓練網報名！

★政府補助訓練費 80% ~ 100%。

★上課地點：台灣省鍋爐協會附設台中職訓中心

台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3

