

# 特種設備安全

SAFETY OF SPECIAL EQUIPMENT

1991-5 創刊 2024-2 出刊

雙月刊 第88期

發行所 台灣省鍋爐協會  
發行人 陳清松  
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

三浦鍋爐股份有限公司

大震企業股份有限公司

威鼎企業有限公司

岱洋股份有限公司

大華高科股份有限公司

台灣紳藝實業有限公司

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

吾豐機電廠股份有限公司

原鈺峰工業有限公司

綠水精密科技股份有限公司

泓大企業有限公司

正熊機械股份有限公司

增大股份有限公司

東立鐵工廠有限公司

宏榮鋼瓶股份有限公司

辰鼎企業有限公司

鴻羽有限公司

利峰機械有限公司

東庚實業股份有限公司

志豪工業有限公司

潔康企業有限公司

霖興機械工業股份有限公司

# 目錄

## CONTENTS

### 會務訊息

- ★安全閥測試暨設備壓力試驗訓練班 ..... 2
- ★高空工作車操作人員  
特殊安全衛生教育訓練班 ..... 32

### 技術報導

- ★大型燃煤發電鍋爐  
空氣品質控制系統改善簡介 ..... 3
- ★提高煙管鍋爐裝設節熱器壽命的方法 ..... 20
- ★一起罕見的安全閥排氣管事故分析與處理 ... 28

### 訓練訊息

- ★本會舉辦各項訓練日程表  
台中職業訓練中心 ..... 30  
彰化職業訓練中心 ..... 31  
南投職業訓練中心 ..... 31

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

## 安全閥測試暨設備壓力試驗訓練班

本會為服務各界廠商，舉辦安全閥測試暨設備壓力試驗訓練，本次課程除安全閥介紹外，亦針對新版安全閥相關法規及吹洩量計算（CNS2139-108年版，CNS9969 第七部 -107年版）講解。

- ★上課日期：113.05.15 ~ 113.05.17（日間班）
- ★訓練費用：每人 5,500 元（含 5% 營業稅）
- ★上課地點：台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3  
（本會附設台中職業訓練中心）
- ★相關問題請洽本會（電話：(04)2236-2977）



### 台灣省鍋爐協會附設台中職業訓練中心報名表

課程名稱		安全閥測試暨設備壓力試驗訓練		上課地點	台中
編號	姓名	身分證字號	出生年月日	畢業學校	手機號碼
1					
2					
3					
4					
公司名稱				統一編號	
地 址				電話 (O)	
電子信箱				手 機	
聯 絡 人				傳 真	

若於開課兩天前未接獲本中心開課通知（課程表）或  
電話確認～請務必來電 (04)2236-2977 確認。

# 大型燃煤發電鍋爐 空氣品質控制系統改善簡介

林忠堃／台中火力發電廠

## 一、前言

為實踐環境保護的承諾，並符合中央與地方政府更嚴格的煙氣排放環保法規標準，公司投下鉅額資本進行本廠所有鍋爐逐年升級空氣品質控制系統（AQCS：Air Quality Control System），改善既有空污防制設備並加裝當代最佳控制設備，達成環保與供電雙贏的目標。於目前已完成前四部鍋爐改善工程，另六部鍋爐將緊鑼密鼓地逐一進行，本文就進行中四部 B&W（The Babcock & Wilcox Company）製造之鍋爐燃燒系統改造，以及針對防制氮氧化物、粒狀物、硫氧化物、重金屬與次微米懸浮微粒等相關空污防制設備的更新或增設予以簡介，供相關業界並不吝指教。

## 二、四部 B&W 公司鍋爐空污改善概況

四部 B&W 公司鍋爐為了從源頭減少污染源與提升鍋爐效率，於 109~112 年間採用 B&W 原廠設備，陸續將鍋爐燃燒器、火上風門與粉煤機全面更新升級，同時鍋爐濕式底灰出灰系統更新為乾式底灰輸送系統（DRYCON：DRY bottom ash CONveyor）。且於 111~113 年間陸續進行選擇性觸媒還原（SCR：Selective Catalytic Reduction）系統更新，以提升脫硝效率。同時進行煙氣脫硫（FGD：Flue-Gas Desulfurization）吸收塔（Absorber, ABS）系統改造及部分更新，及增設熱媒管式氣對氣加熱器（MGGH：Media Gas to Gas Heater）與濕式靜電集塵器（WESP：Wet Electrostatic Precipitator），以提升脫硫效率及最小量的次微米懸浮微粒排放。

## 三、流程概述

相關流程如圖 1 所示，煤炭經粉煤機研磨成細緻粉煤後進入鍋爐內燃燒，利用最佳化調整之所謂 AireJet 低氮氧化物燃燒器與雙區火上風門，將離開鍋爐省煤器的煙氣中 CO 與 NO<sub>x</sub> 降至最低水平。鍋爐的煙氣被送至 SCR 進行 NO<sub>x</sub> 控制和元素汞（Hg<sup>0</sup>）氧化，MGGH Cooler 用於傳熱及降低煙氣溫度，乾式 ESP 系統用於去除粒狀污染物及粒狀汞（Hg<sup>p</sup>）等重金屬，再經引風機加壓後進入 FGD 系統進行脫硫與去除離子汞（Hg<sup>2+</sup>），WESP 是最後的煙氣處理設備，能有效的控制硫酸霧、次微米粒狀物、氣溶膠和汞。處理完成的煙氣在 MGGH Reheater 重新加熱，可避免煙囪排放到大氣時產生視覺污染的白煙。

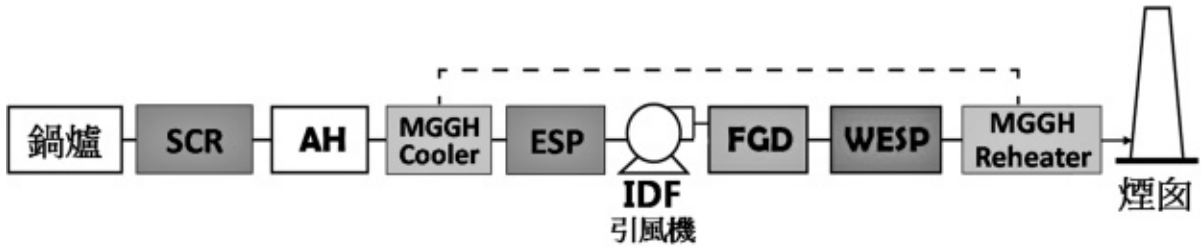


圖 1 大型燃煤鍋爐的煙氣處理流程

## 四、防制設備改善

### (一)減少污染源的措施與設備更新

減少污染源是最佳的防制措施。更新燃燒設備與煤源調整混燒的措施，可降低氮氧化物生成濃度同時減少未燃損失與提高鍋爐效率，達到減少污染源與減少燃煤使用量的目的。

#### 1. 燃燒器

舊型 B&W 第二代的 Low NO<sub>x</sub> Burner 更換為第四代新型 AireJet Low NO<sub>x</sub> Burner（簡稱 AireJet Burner），如圖 2 所示。此新型獨特和專利的燃燒器設計，核心有一噴射空氣（Core air）與外層的旋轉空氣形成兩個二次空氣流，包圍燃料噴射流，由內而外及由外而內的方式，加速燃燒得更加徹底，因排放 CO 更低，過剩空氣可更少，氮氧化物的生成也就最大化的削減。噴射流協同作用產生一個大型的內部再迴圈，使火燄外部週邊的燃燒產物被再回送到富燃料的中心，以缺氧狀態產生碳氫化合物破壞及減少氮氧化物，達到既低未燃損失又低氮氧化物之所謂最佳深度分級（Deep staging），如圖 3 所示。

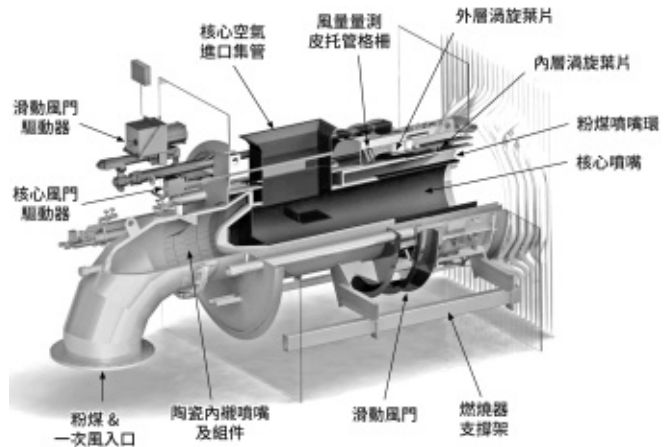


圖 2 AireJet 低氮氧化物燃燒器構造

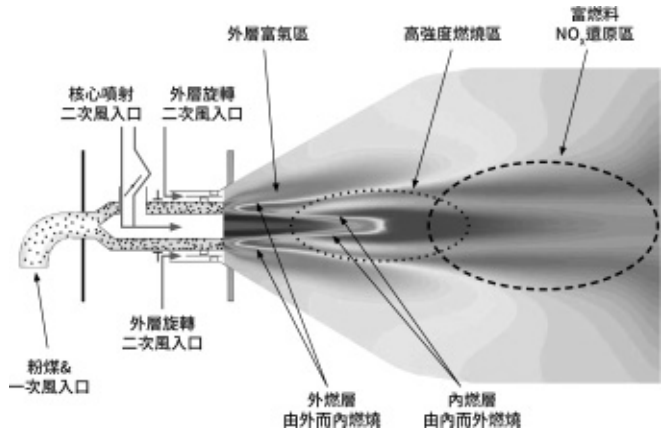


圖 3 AireJet Burner 燃燒機制

## 2. 火上風門

舊型火上風門於前、後爐同一高層各有 6 組，更新為雙區火上風門（Dual Zone OFA Ports），如圖 4 所示，前、後爐對稱維持 6 組但拆分上下兩層，上層 2 組下層 4 組，設置於最佳高程，提供更多降低氮氧化物駐留時間（residence time），並在雙區火上風門系統前完全燃燒（CO 最小化）及減少氮氧化物重整（NO<sub>x</sub> reformation）。AireJet Burners 與 Dual Zone OFA Ports 相結合的分級燃燒方式，已順利達成滿載時 SCR 進口 NO<sub>x</sub> 經 6% 氧修 ≤ 130ppm，並且能隨負載降低而遞減的目標。

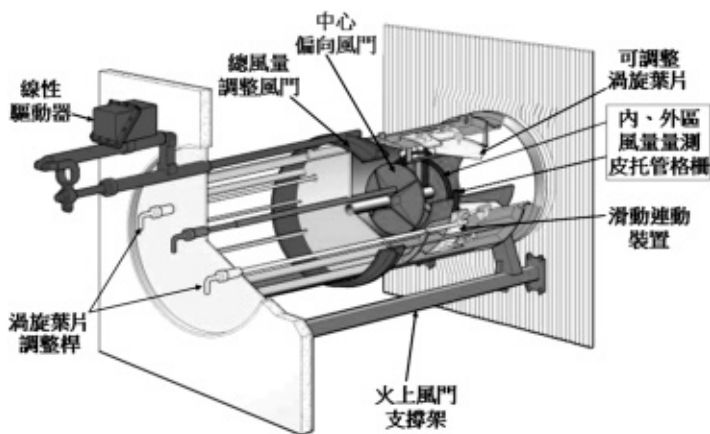


圖 4 Dual Zone OFA Ports 構造

## 3. 粉煤機

將粉煤機升級為磨煤效率與粉煤細度更佳的 MPS-92 機型。性能目標 50mesh 通過率 99.9%；200mesh 依可磨指數（HGI）≥46~51 及煤源不同，通過率 75~80% 以上。粉煤細度越佳，燃燒性能越好，再配合新型燃燒器與火上風門的優異燃燒效果，爐內延後燃燒及結渣情形減少，煤灰中的未燃碳含量亦降低，使得鍋爐效率提高、燃煤使用量減少。此外過剩空氣降低，可抑制 NO<sub>x</sub> 生成及減少 SCR 注氨量，空氣預熱器（AH：Air preheater）堵塞速率也會減緩。

## 4. 不同煤源調整混燒

本廠燃用的煤源主要以澳洲、印尼為主。澳洲煤具有較高的熱值約 5,900~7,200 kcal/kg（氣乾基, A.D.）、較低總水份約 7~15%、較高灰份約 10~16% 及較高硫份約 0.3~1.0% 等煤質特性，屬於煙煤。印尼煤則具有較低熱值約 4,800~5,900 kcal/kg、較高總水份約 15~29%、較低灰份約 2~8%、較低硫份約 0.1~0.8% 等煤質特性，屬於亞煙煤。本廠於日常運轉會安排高燃料比的澳洲煤配置於最下層燃燒器，低燃料比的印尼煤配置於中、上層燃燒器。彈性調整高、低熱值煤源配置比例進行混燒措施，可有效控制污染物生成量，達成符合空污排放標準、機組滿載需求及副產品去化的目的。

## (二) 乾式底灰 (DRYCON) 系統增設

底灰是粉煤於鍋爐內燃燒後掉落之灰燼與吹灰器從爐管上吹落的灰渣。原濕式間歇性除底灰設備，需很長的海水輸送儲存管道和大型灰塘，底灰含未燃碳較高且含有氯離子無法資源化，而且鍋爐底部爐管易受海水侵蝕而破管，維護費用高。更新後之乾式作業底灰則可作為工程填地、製磚、人工骨材及建材使用。

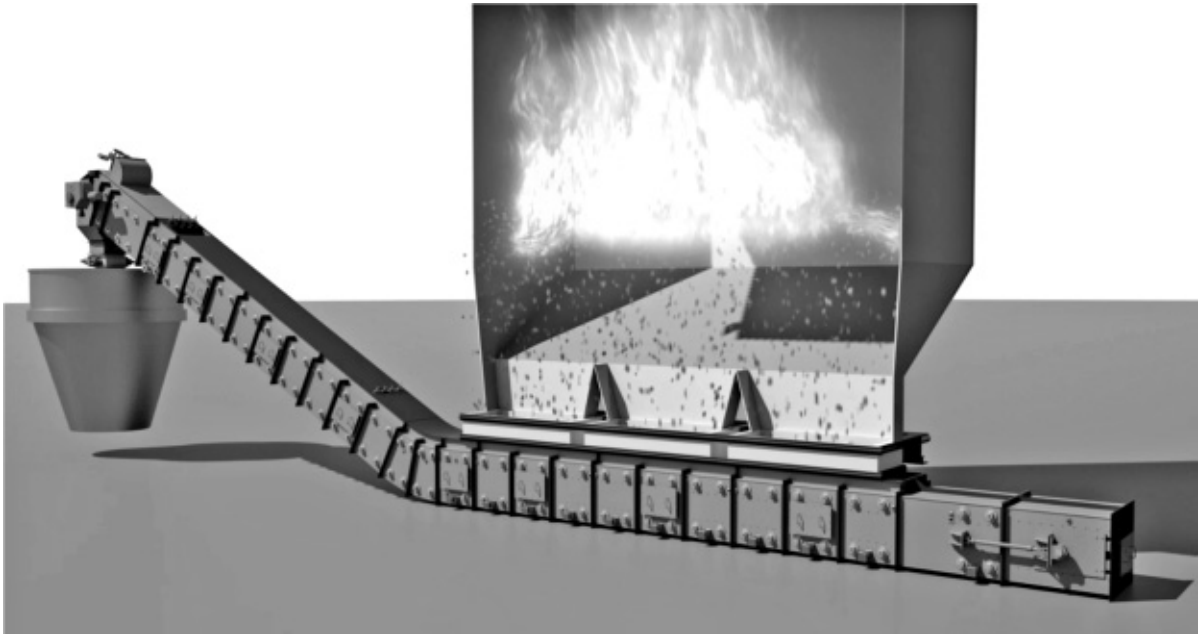


圖 5 乾式底灰系統構造示意圖

德國克萊德貝爾格曼 (Clyde Bergemann) 公司提供的乾式底灰系統，如圖 5 所示，包括隔離門、膨脹接頭、液壓裝置、底灰輸送帶、監視器、冷卻風量控制風門、顎式破碎機、分歧器和底灰倉。具有以下優點：

設備設置空間小、電力消耗少、不須用水冷卻及輸送、省掉蒸發水份所需的輻射熱排放，並由冷卻空氣將熱能返回鍋爐、底灰的未燃碳份極少，鍋爐效率提高、減少煤炭使用量及 CO 排放，從而降低煙氣排放控制成本並且提升底灰的品質。

四部鍋爐 DRYCON 輸送底灰過程的總冷卻風量，分別占燃氣總風量的 0.39、0.47、0.53 及 0.29%，而合格的測試標準為  $\leq 0.8\%$ 。

原海水出灰系統的省煤器集灰斗與粉煤機排渣箱出灰作業方式改善如下：

### 1. 省煤器細灰送至底灰斗引起 DRYCON 故障與改善

四個省煤器集灰斗的細灰使用廠用空氣送至底灰斗，再經由 DRYCON 一併輸送至底灰倉待卡車運走。但因細灰在 DRYCON 上方的盛灰盤會洩漏，而且冷卻底灰渣的空氣流所引起揚塵，經常造成底灰輸送設備的起始端大量積灰，因而易引

起 DRYCON 設備故障損壞。故利用大修期間，將省煤器集灰斗的出灰管路更改為直接排至底灰倉，底灰倉上方增設袋式集塵設備收集揚塵。此措施已有效改善 DRYCON 的運轉妥善率。

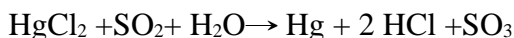
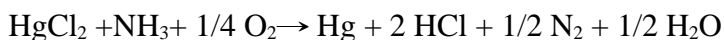
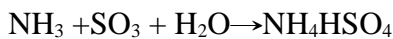
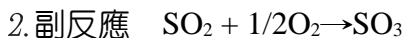
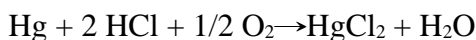
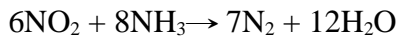
## 2. 粉煤機排渣系統改為淡水作業輸送

使用高壓水泵將循環槽的淡水輸送到粉煤機排渣箱，煤渣與石料等渣物被水流帶到黃鐵礦轉換槽內再與水分離，污水會流至鍋爐區溢流池沉澱，待液位高時再泵送到循環槽備用或排至廢水場處理。黃鐵礦轉換槽內的粒料渣會定期由卡車清理。

## (三) 選擇性觸媒還原 (SCR) 脫硝設備

SCR 脫硝的技術原理是利用氨 ( $\text{NH}_3$ ) 作為還原劑，稀釋一定比例後注入系統中，與  $300^\circ\text{C}$  左右的煙氣充分混合後，氧氣大於 1% 的環境下，經觸媒選擇性地將  $\text{NO}_x$  還原成為  $\text{N}_2$  與  $\text{H}_2\text{O}$ ，不會形成二次污染，而且脫硝效率高、裝置容易維護及運轉可靠。惟觸媒有活性衰減和殘餘氨 (Ammonia slip,  $\text{NH}_3$ ) 與煙氣中的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$  及氧氣反應生成具有腐蝕性和黏性的硫酸氫銨 ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ , Ammonium Hydrogen Sulfate)，嚴重影響 SCR 觸媒的使用壽命，而且導致下游空氣預熱器結垢及堵塞。煤炭中的 Cl 與 Br 元素經過 SCR 容易與 Hg 氧化成  $\text{HgCl}_2$ 、 $\text{HgBr}_2$ ，但有少部分汞氧化物會與殘餘氨及煙氣中的  $\text{SO}_2$  還原成 Hg。

上述化學反應式如下：



煙氣經過 SCR 系統後，元素汞 ( $\text{Hg}^0$ ) 濃度會明顯降低，而離子汞 ( $\text{Hg}^{2+}$ ) 的濃度則明顯提高，因此 SCR 對於元素汞具有明顯的催化氧化作用，但是 SCR 進出口粒狀汞 ( $\text{Hg}^p$ ) 的濃度變化則不明顯。SCR 雖然沒有直接除汞的效果，但卻能強化汞的離子化率，進而增加後續煙氣處理設備對  $\text{Hg}^{2+}$  的去除率。

SCR 脫硝觸媒運轉溫度須在  $250\sim 400^\circ\text{C}$  的高溫環境中，但實際操作時，觸媒的表面會存在粉塵等物質，容易出現觸媒中毒 (poisoning) 或阻塞現象，影響觸媒壽命甚鉅。線上清灰系統的建置，能有效地提高 SCR 觸媒層的抗堵塞能力。四部機 SCR 設備更新項目如下：

### 1. LPA 篩網 (Large Particle Ash screens, LPA screens)

高速的煙氣將大顆粒灰渣 (LPA) 也稱為爆米花灰 (popcorn ash)，帶到 SCR 觸媒，可能會滯留在觸媒層中，造成侵蝕、損壞並降低氮氧化物去除性能。LPA 篩網如圖 6 所示，安裝在鍋爐的省煤器出口處，利用省煤器灰斗持續去除 LPA、同時整流及均勻煙氣分布，確保 SCR 觸媒使用壽命更長，並且更有效地去除氮氧化物。

### 2. 氨噴射格柵 (Ammonia Injection Grid, AIG) 及導流板 (Guide Vane)

煙氣通過 LPA 篩網均流後進入氨噴射格柵，格柵的每支噴氨支管上方有調整氨氣流量的蝶閥，可透過 AIG 調節 (tuning) 工程使調整閥在最佳開度流量位置，均勻分佈混合煙氣流場，再配合三道導流板的引流，進入觸媒達到最佳  $\text{NH}_3\text{-NO}_x$  莫耳比分佈，發揮最大的系統性能，減少殘餘氨，並能有效延長 SCR 觸媒的壽命。現場裝設亦如圖 6 所示。



圖 6 LPA 篩網、氨噴射格柵&導流板

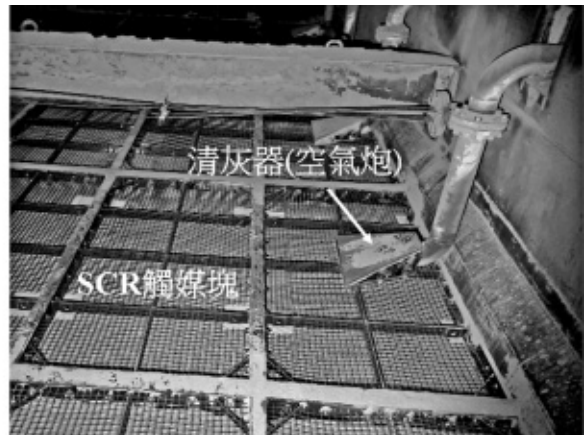


圖 7 空氣炮

### 3. 觸媒塊 (Catalyst)

美國製造商 Cormetech 製造，高級版蜂窩式除塵器 (Honeycomb-Dust Buster Advanced)，觸媒材料為  $\text{TiO}_2\text{-WO}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ ，具有高反應面積、高活性等特性。每個模塊尺寸  $1881 \times 948 \times 1625\text{mm}$ ，每部機有 240 個模塊，分別設置於兩個燃氣通道的上下兩層，比面積  $\geq 399 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ，催化劑總體積為  $485 \text{ m}^3$ 。設計煙氣流量  $1,779,996 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ 、溫度為  $367.5^\circ\text{C}$ 、SCR 入口  $\text{NO}_x$  濃度  $130\text{ppm}$ ；運轉 30 個月內的氮氧化物去除效率  $\geq 88.5\%$ ； $\text{SO}_2$  轉化為  $\text{SO}_3$  的轉換率  $\leq 1\%$ ；殘餘氨  $< 3\text{ppm}$ ；MCR 鍋爐負載下壓降  $\leq 66\text{mm H}_2\text{O}$ 。

觸媒材料中的  $\text{TiO}_2$  有較佳的抗  $\text{SO}_2$  毒化能力，以及對  $\text{SO}_2$  轉化為  $\text{SO}_3$  可有效的抑制，在  $\text{TiO}_2$  作為載體條件下，其反應很弱且可逆，硫酸氫銨生成亦較低。 $\text{V}_2\text{O}_5$  可提高 Hg 的氧化率，在廠商規劃的測試條件下 (總汞濃度  $5.2\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 、煙氣



溫度 370°C、乾基煙氣流量  $2 \times 10^6 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ ），以  $\text{HCl} \geq 75\text{ppm}$  當催化劑，Hg 的氧化率可達  $\geq 95\%$  的標準。

#### 4. 線上清灰系統（On line cleaning System）

Cormetech 提供兩種不同類型清潔設備，都利用空氣動力學可以線上一起操作的清潔器，以提高 SCR 內堆疊觸媒層的抗堵塞能力，使觸媒維持高脫硝效率。

##### (1) 清灰器（Ash sweeper）亦稱為空氣炮（Air cannon）

製造商為美國 Integrated Global Services, Inc. (IGS)，兩風道的觸媒塊上方靠近鍋爐側易積灰處，皆設置 6 組空氣炮，如前頁圖 7 所示。空氣炮即時瞄準歷史記錄中容易堵塞的邊緣，以廠用空氣高壓打擊，直接驅散灰堆。

##### (2) 音波除塵器（Acoustic cleaner）亦稱為聲波喇叭（Sonic horn）

製造商為美國 Acoustic Cleaning Systems, Inc. (ACS)，AC-60 型音波除塵器的作用是在 SCR 內部不斷產生 147 分貝的空氣節律，防止觸媒層表面形成灰份層。於兩風道外側觸媒塊上方約 30 公分處皆設置 3 組，如圖 8 (a)、(b)。

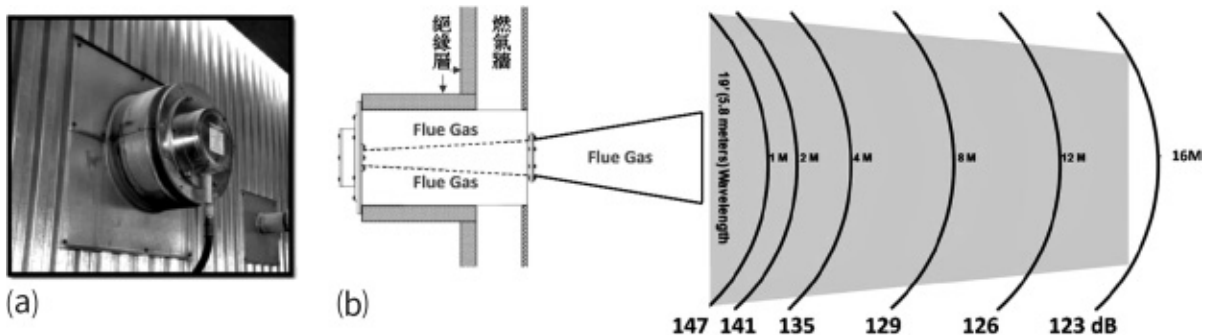


圖 8 (a) 聲波喇叭外觀 (b) 聲波作用範圍

SCR 運轉測試操作，廠商保證達成殘餘氨  $< 3\text{ppm}$ ，煙囪出口經 6% 氧修的  $\text{NO}_x$  濃度  $\leq 15\text{ppm}$ 。SCR 運轉測試後，在辦理許可證異動時，原 250kg/hr 最大注氨總量將調高，以因應更嚴格的環保標準，調幅亦須依據廢水場處理能力而定。

#### (四) 靜電除塵器（ESP）

靜電集塵器是一般大型電廠用來去除煙氣中粒狀物（Particulate Matter, PM）的標準配備，藉由放電電極線產生電暈放電（Corona discharge），使空氣分子游離而形成帶電的空氣離子，空氣離子與粒狀物摩擦使之帶電，緊接著帶電的粒狀物在因為異性電相吸，被兩側的帶電擊板收集。收集板或累積之粉塵微粒需定期由敲擊器震落，由底部之漏斗收集及儲存，蒐集的飛灰可用於溶入建材，避免混凝土龜裂。

ESP 主要的元件包括電源系統、放電電極線、集塵板、敲擊系統及灰斗等，為了改善既有設備之集塵效率，進一步精進去除效率，將電氣系統的第一、二排更換為

高頻變壓器；極線型式同步更換為硬管式極線（R.D.E.）。粒狀物排放改善效益，由 10.4~11.5 mg/ Nm<sup>3</sup> 降至 9.3~9.8 mg/ Nm<sup>3</sup>（Dry basis@6% O<sub>2</sub>），亦即再提升 11~15% 粒狀物去除量。另增設 MGGH Cooler 降低煙氣入口溫度可縮減煙氣體積，以達到增加收集比面積（Specific Collection Area, SCA）提高除塵效率的目的，其中 SCA=粉塵總收集面積（m<sup>2</sup>）÷煙氣流量（m<sup>3</sup>/hr）。

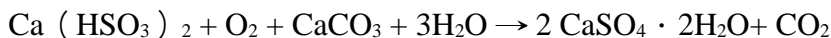
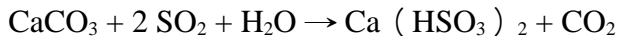
乾式 ESP 對於 PM 的去除效果極佳，尤其對於 1μm 左右之微粒去除率可達 99% 以上，但更小的細懸浮微粒（PM<sub>2.5</sub>）因不易帶電而無法吸附，而下游的 FGD 與 WESP 空污防制設備恰可彌補其不足。

乾式靜電集塵器也能去除部份 SO<sub>3</sub> 濃度（大約 10%~50%），減量幅度與煙氣溫度和飛灰成分有關。飛灰中若含有大量的鹼性物質，可將 SO<sub>3</sub> 吸附到飛灰表面，但是由於 SO<sub>3</sub> 也是粒狀物電阻的調節劑，因此可能會降低 ESP 的粒狀物捕捉能力。

飛灰（PM）中所含有之未燃碳成分因具有吸附能力，可兼具去除煙氣中的汞及非汞重金屬的效果；ESP 對粒狀汞（Hg<sup>p</sup>）的去除率將近 99%，而非汞重金屬因大部分附著在飛灰上，可與飛灰被除塵設備同時捕捉去除。

#### (五) 脫硫設備（FGD）

本廠排煙脫硫採濕式石灰石膏法，將煙氣送入吸收塔內，塔中噴灑高濃度石灰石溶液沖洗，使煙氣中的二氧化硫與石灰石作用，產生亞硫酸鈣，亞硫酸鈣與吸收塔內空氣氧化成硫酸鈣（石膏）。化學反應式如下：



由於吸收塔經過長時間運轉，容易發生煙氣短流現象或因為石灰石漿液與煙氣的接觸效果變差，而影響吸收塔妥善率及去除效率，使得硫氧化物濃度不易進一步下降，經整體評估及改造更新後，二氧化硫去除效率 ≥ 99.0%。同時由前方來的「漏網」懸浮微粒大約有 50% 會洗入漿液中。生成的石膏純度達 95%，可以製成石膏板等其他用途。成份複雜的廢水則由新廢水場處理。FGD 設備更新項目如下：

1. 增加液/氣（L/G）比，提高 SO<sub>2</sub> 去除效率，去除部分 SO<sub>3</sub> 濃度與大部分離子汞（Hg<sup>2+</sup>）。

吸收塔必須根據循環漿液流量和飽和氣體體積進行計算，來確定吸收區所需的噴灑集管數量和 SO<sub>2</sub> 去除效率關係。低、高硫煤 L/G 比值大約 3.5 與 5.5。

濕式 FGD 也能去除部分 SO<sub>3</sub> 濃度，降幅大約為 30%~40%。因為在濕式 FGD 的排氣溫度是遠低於 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的酸露點，因此 SO<sub>3</sub> 會轉化為 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 液滴，其減量幅度與吸收塔的設計特性有關，尤其是吸收塔內的溫度。由於一般吸收塔對於 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 氣膠的去除能力有限，因此大部分 SO<sub>3</sub> 在吸收塔中轉化為 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 酸霧滴，排入下

游的 WESP 處理，方可控制  $\text{SO}_3$  排放的問題。

$\text{HgCl}_2$  氧化汞僅有小部分在 ESP 被灰吸附並中和，大部分是被 FGD 吸收。濕式 FGD 可利用  $\text{Hg}^{2+}$  易溶於水特性將之去除，但是少部分的  $\text{Hg}^{2+}$  會與濕式 FGD 中的  $\text{SO}_3^{2-}$  進行氧化還原反應，使 Hg 再還原至煙氣中。

## 2. 噴灑集管、噴嘴和再循環泵 (Spray headers, Nozzle & Absorber recirculation p'p, ARP) :

五台 ARP (噴灑泵) 皆更新葉輪，ARP 分別供應三個噴灑層，每當 ARP 停止時，會自動洩放排淨並用生水沖洗。隨著噴灑壓力增加亦換新噴嘴，因為石灰石漿液噴嘴斷裂或堵塞會造成工作角度覆蓋不佳，影響石灰石漿液與煙氣的接觸效果。第一層 (最下層) FRP 材質的噴灑集管換新，其餘兩層保留使用。

噴灑集管和噴嘴用於分配石灰石漿液，如圖 9 所示，由 ARP 從反應槽連續泵送。反應槽用於為 ARP 提供吸力，並提供保留噴灑液的時間，從而完成化學反應和沈澱固體。連續監測反應槽的 pH 值，根據出口  $\text{SO}_x$  的變化，調節控制閥開度與 ARP 運轉數量或 Bleed pump 添加新鮮的石灰石粉漿液，控制 pH 值在 4.8~5.6 運轉。添加生水或除霧器的水洗液來控制反應槽液位，使用 Bleed pump 的排出量來控制反應槽密度。

## 3. 篩孔盤 (Perforate trays) :

保留現有的篩孔盤，並在最下層噴灑集管的下方和吸收塔進口之間，增加安裝一層篩孔盤，以提升  $\text{SO}_2$  去除效率，亦如圖 9 所示。

## 4. 反應槽攪拌器 (Reaction tank agitators) :

四組反應槽攪拌器全部換新，以間隔  $90^\circ$  配置，其作用是保持槽內充分混合反應及固體在懸浮狀態。反應槽液位低時，攪拌器會跳脫並發出警報，如圖 10 所示。



圖 9 噴灑集管、噴嘴&篩孔盤



圖 10 空氣噴槍&攪拌器

### 5. 氧化鼓風機 (Oxidation air blower)

兩組氧化鼓風機皆換新，氧化空氣流量採用理論空氣量的 120~250%。氧化空氣由環境空氣進入鼓風機壓縮，空氣噴槍安置在攪拌器前面，亦如圖 10 所示，藉由攪拌器的擾動將氧氣均勻分佈到反應槽且避免空氣管路堵塞問題。控制室 DCIS 監控相關運轉狀態及起停操作，當鼓風機跳脫會自動起動備用組，冷卻水流量作為鼓風機的起動許可條件。

### 6. 除霧器 (Mist eliminator)

將原來帶有清洗系統的除霧器，更換為 Munters Euroform GmbH 分離器，有兩個階段垂直氣流類型的除霧器，根據衝擊原則工作，分離等級高、耐用性長，其恆定工作溫度為 100 °C。煙氣能在平行排列的除霧器薄片上有效流動，氣流在除霧器薄片內發生偏轉時和氣流所含的液滴分離，液滴撞擊薄片，液膜在薄片上形成並被重力影響滴落至吸收塔的反應池中，如圖 11 (a) 所示。

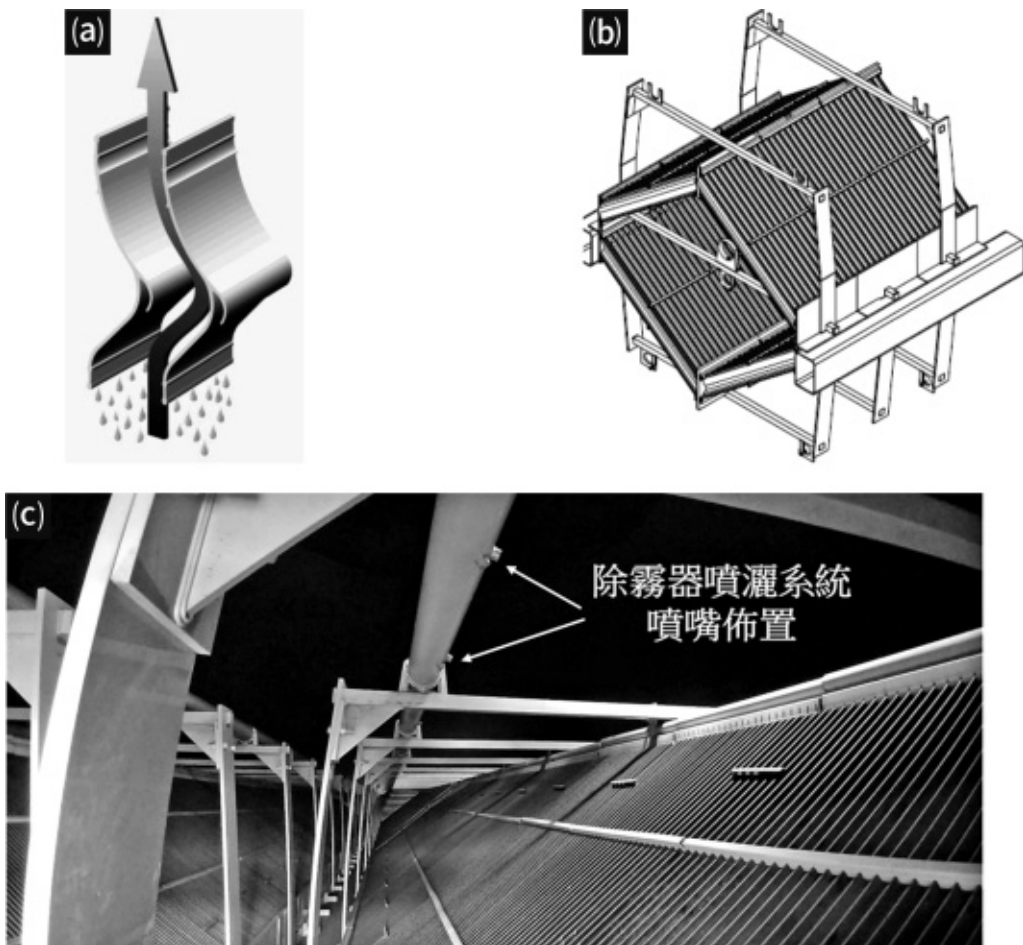


圖 11 (a) 薄片將液滴分離示意 (b) 煙氣由下而上分兩階段除霧  
(c) 細除霧器下游清洗噴嘴

除霧器系統由粗、細兩個除霧階段組成，如圖 11 (b) 所示。位於下方薄片間隙較大為粗除霧器，所分離的液體含有大量的固體顆粒，為了避免沉積在薄片上堵塞除霧器，必須定期清潔，同時可調整反應池的液位。生水噴灑系統的佈置，在每個階段的上游和下游，如圖 11 (c) 所示，將水沖到除霧器元件上並沖洗掉固體顆粒。生水噴灑系統根據 DCIS 設定，間歇性洗滌運轉，動作沖洗水閥執行清洗程序且與反應槽液位連鎖。

噴灑沖洗水的水質至關重要。除霧器薄片內的複合材料，不得觸發任何後續反應，以免導致硬結垢 (hardscaling)。硬結垢由結晶和硬質顆粒組成，不溶性的晶體無法被噴灑系統沖洗掉，因此將導致除霧器失效。

## 7. 新廢水處理場

分兩期工程已於 109 年元月完成，符合發電業廢水排放標準進行放流。檢測項目有 28 項：①水溫 ② pH 值 ③氟鹽 ④硝酸鹽氮 ⑤氨氮 ⑥正磷酸鹽 ⑦酚類 ⑧陰離子界面活性劑 ⑨油脂 ⑩溶解性鐵 ⑪溶解性錳 ⑫鎘 ⑬鉛 ⑭總鉻 ⑮六價鉻 ⑯總汞 ⑰銅 ⑱鋅 ⑲銀 ⑳鎳 ㉑硒 ㉒砷 ㉓硼 ㉔硫化物 ㉕生化需氧量 ㉖化學需氧量 ㉗懸浮固體 ㉘總餘氯。其中⑥為排放自來水保護區檢測項目故不適用，而 ⑦⑪⑫⑬⑮⑯⑰⑲⑳㉑㉒㉓㉔ 項於 112 年 5 月皆未檢出 (ND)。

### (六) 濕式靜電除塵器 (WESP)

增設濕式靜電集塵器 (Wet ESP, 簡稱 WESP) 作為第二道除塵設備，可進一步去除 PM<sub>2.5</sub>、酸氣 (如硫酸液滴) 及煙氣中汞金屬等。配合 FGD 改造工程，廠商保證排放值為 SO<sub>x</sub> ≤ 8ppm；PM ≤ 3 mg/Nm<sup>3</sup>。

#### 1. 運轉技術理論

WESP 運行的三個階段：充電、收集與清洗。當煙氣穿過除塵器時，在高壓放電電極和接地收集板之間，放電電極電暈放電使煙氣電離，氣體離子隨後電離煙氣中的任何顆粒，帶負電的顆粒被吸引並收集到接地的收集板表面上。並經由連續用水灌注所形成的水膜，來清除收集板表面鋸齒狀顆粒，方可實現變壓器整流器更高功率的設定輸出，達成收集及控制已通過上游乾式 ESP 和濕式 FGD 設備的次微米顆粒、硫酸霧、氣溶膠 (Aerosols) 和汞之目標。

當煙氣含有氣態 SO<sub>3</sub> 或 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 通過濕式煙氣脫硫系統時，煙氣會被急速冷卻到酸露點溫度以下，且這種冷卻速率比在吸收塔內氣態 SO<sub>3</sub> 或 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 被吸收劑吸收的速率要快得多，因此，SO<sub>3</sub> 或 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 不僅不能有效脫除，而且會快速形成懸浮於空氣中難於捕集的次微米級 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 酸霧滴 (氣溶膠)，只能透過 WESP 有效去除，WESP 構造，如圖 12 所示。

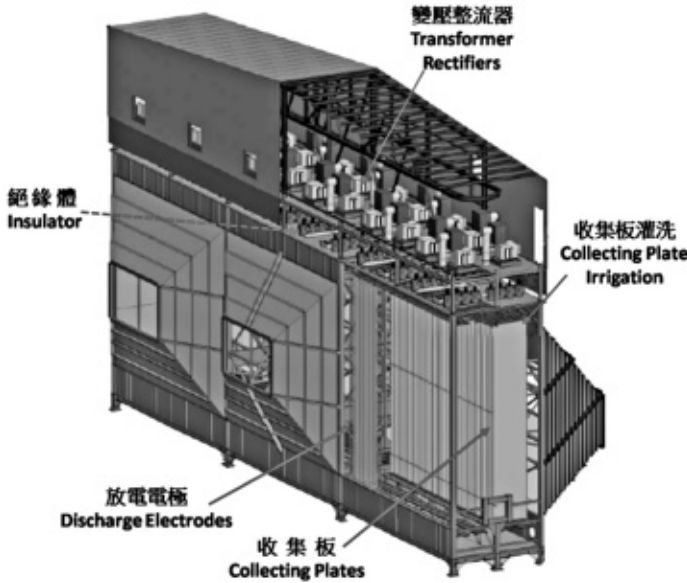


圖 9 過熱器管排積灰狀況



圖 13 WESP 放電電極&amp;收集板

## 2. WESP 的主要組成部分

### (1) 收集電極系統

收集系統的作用是收集氣體中帶負電的粒子流到接地收集板的表面上，而維持兩個收集板的對齊氣體通道至關重要。這些收集板表面上的凹痕增強了澆灌水徹底的分佈，如圖 13 所示。上方有集管水往下澆灌收集板。底部收集澆灌水流到收集槽洩放。

### (2) 放電電極系統

放電系統的作用是使氣體通道內的煙氣電離遍及整個除塵器。電離在內部的顆粒上產生負電荷氣流，放電電極亦如圖 13 所示。

### (3) 氣體分配裝置

布氣裝置的目的是將煙氣均勻分佈遍及除塵器的橫截面。這是為了確保放電和收集系統均勻負載，有利於有效去除氣流中的顆粒物質。分配裝置位於水平煙氣入口處，由一系列均流孔板（均流板）組成，如圖 14 所示。

### (4) 高壓變壓整流器（High Voltage Transformer Rectifier, TR）

WESP 有 8 組高壓變壓整流器，最大電壓 83kV，提供直流電源至放電電極，在煙道中產生氣態離子，用於充電和收集夾帶顆粒和液滴的氣體。

更大的電流及連續的水流灌溉，收集板不會有顆粒積聚。與乾式靜電除塵器相比，可最大化電力場強度，確保最大的顆粒充電和最佳的次微米顆粒和霧氣去除效率。TR 控制單元具有內部保護裝置，當溫度過高、過電壓、欠電壓和過電流故障時，可以自動停用 TR。

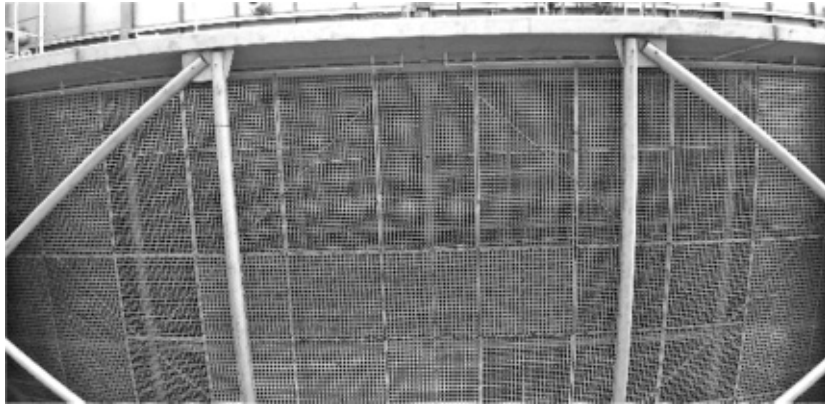


圖 14 WESP 布氣裝置“均流板”

#### (5) 電氣控制系統

TR 到除塵器電場的高壓直流電源，是藉由微處理器的控制單元控制著 TR 電路中的絕緣柵雙極電晶體（IGBT）來執行自動調整。IGBT 具有以下特點：

- ① 監測和降低電壓以阻止除塵器內的火花和電弧。
- ② 發生嚴重故障時發出跳脫和報警信號。
- ③ 通過通信協議傳輸設置和狀態以控制系統。

#### (6) 吹掃空氣系統

吹掃空氣鼓風機加熱系統，將來自頂層的潔淨空氣分配到每個高壓絕緣室，乾燥且加熱的吹掃空氣在絕緣體內部產生旋風掃掠作用，最大限度地減少氣流中的次微米顆粒和酸霧在高壓絕緣礙子外部積聚，防止可能導致絕緣體表面污染過度產生火花或電弧的情況。此外，每個支撐絕緣礙子下方的吊桿上都焊接有含有尖點的裝置，以使任何飄升到絕緣體隔室中的污染物帶電。

#### (7) WESP 清洗系統

##### ① 收集板灌洗系統（Collecting Plate Irrigation System）

藉由連續灌洗收集板表面，清洗收集的顆粒和液滴，如圖 15 所示，以獲得最佳的電氣特性。灌洗水配置至各區域，各支管集管由主集管供水至每個室的收集板區域，通過排水管從區域底部排放至 WESP 水循環槽。

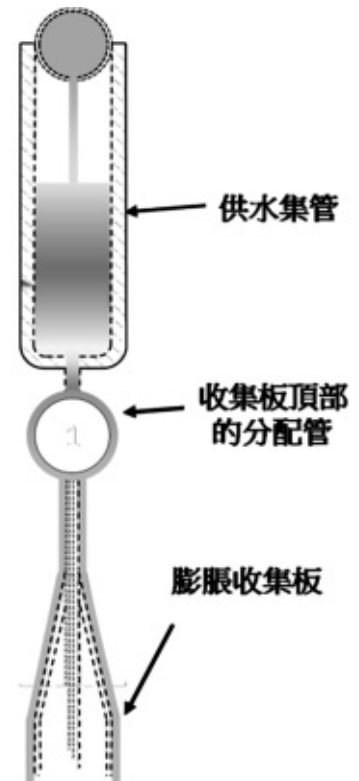


圖 15 WESP 收集板灌洗

### ②外殼清洗系統（Casing Wash System）

清潔 WESP 內部結構的各種表面上的殘留顆粒。管道供應至套管頂部和底部外殼一系列噴嘴中，屋頂噴嘴朝下，底部噴嘴朝上。

### ③水循環系統

一個水循環槽與一台水循環泵（WESP water recirculation pump），提供 WESP 清洗系統的循環水。運轉一台計量泵，由 pH 控制閥的開關將儲槽內氫氧化鈉（NaOH）注入，調節 WESP 水循環槽的水質 pH 值高於 4，一般運轉在 5.0~6.0，補給水由生水供應。靜態混合器安裝在進入水槽的管道中。循環槽的水與 NaOH 混合循環後，提供 WESP 清洗系統使用，另一部分循環水依運轉規定排入濕式 FGD 吸收塔（約 10 tons/week）。NaOH 由槽車供應。

此區域的溢流水收集到 WESP 區域集水坑（Area sump），污水坑的攪拌器可防止顆粒沈積。廢水由輸送泵送到場域洩水坑（Yard drain pit）再回收到吸收塔使用。WESP 水循環系統，如圖 16 所示。

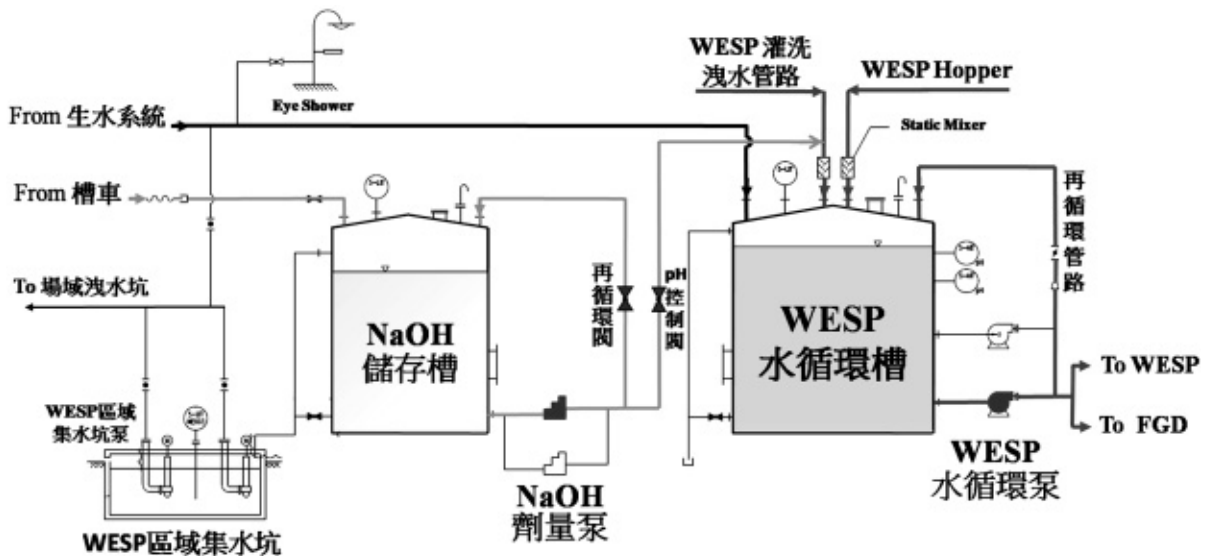


圖 16 WESP 水循環系統

### (七)熱媒管式氣對氣加熱器（MGGH）

MGGH 設計目的是將兩組空氣預熱器排出的未經處理風道煙氣，以兩組冷卻器取出熱量，並透過熱媒水循環將熱量傳遞給從吸收塔和 WESP 排出的已處理煙氣，如圖 17 所示。MGGH 可提升空污防制去除效率、防止管道與煙囪的腐蝕，並提高向大氣的擴散效率及防止可見羽雲出現所造成的視覺污染。



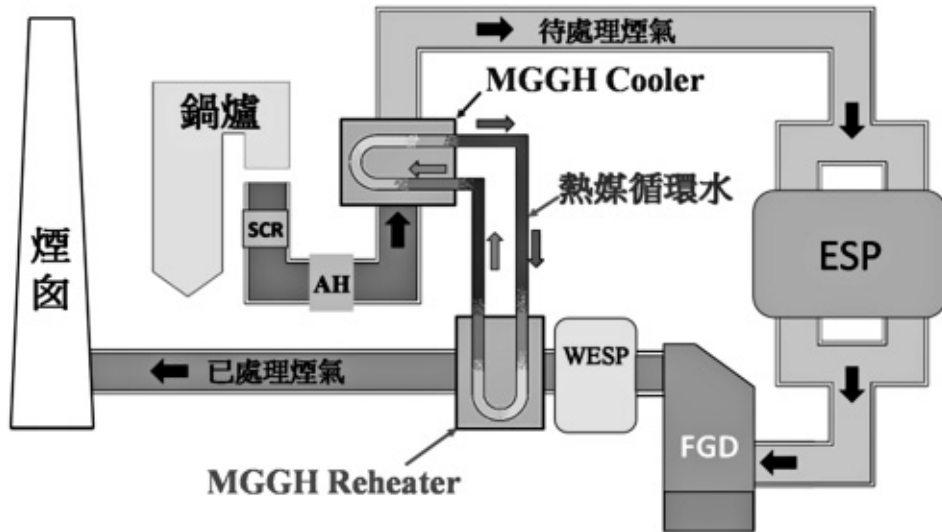


圖 17 MGGH 流程示意

更新前的迴轉式GGH於運轉時，存在著洩漏尚未處理煙氣的問題，煙囪入口處的粉塵與SO<sub>x</sub>洩漏會影響去除效率，對日趨嚴格的環保排放標準恐無法達標。而且迴轉式GGH的金屬傳熱元件在運轉過程中，亦經常有腐蝕、積灰堵塞及煙氣阻力大的現象，幾乎每兩年的大修期間都得更換熱元件，造成運轉與維護費用高昂。新設置MGGH的設備流程如圖18所示，運轉特點如下：

1. 與迴轉洩漏型GGH不同，MGGH沒有煙氣洩漏，因此煙囪入口處的粉塵與SO<sub>x</sub>能有效降低。
2. MGGH Cooler降低煙氣溫度，有助提升ESP及FGD之空污去除效率，而且煙氣溫度降低後，煙氣體積縮小，有助降低引風機耗能。
3. 由機組CR管路新增高壓輔助蒸汽管線，提供MGGH Cooler吹灰器吹灰，另從AS-11閥後新增管路，為熱媒加熱器供應熱源及供給吹灰器的氣封空氣預熱。
4. MGGH Cooler無法向再熱器提供足夠熱能時，可由輔助蒸汽向熱媒水供給額外熱源，以控制熱媒加熱器的運轉溫度和煙囪入口處的煙氣溫度（> 90℃）。
5. 熱媒加熱器的輔助蒸汽冷凝水進入“附冷卻器之熱媒排水槽”，預熱MGGH Reheater出口的低溫熱媒水。
6. 熱媒水流入MGGH Cooler之前的管路中設置旁通管路，當鍋爐起動初期煙氣溫度偏低，此時可開啓熱媒水旁通閥，調整MGGH Cooler熱媒水流量來控制ESP進口煙氣溫度，以確保ESP進口煙氣溫度能維持在90~110℃。
7. 熱交換鰭片管採用輔助蒸汽的吹灰器清潔，維持高傳熱及避免風道阻抗增加。
8. 熱媒水需添加亞硫酸鈉（Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>）控制溶氧量，添加氨（NH<sub>3</sub>）控制pH值，以防止管路及管件腐蝕。

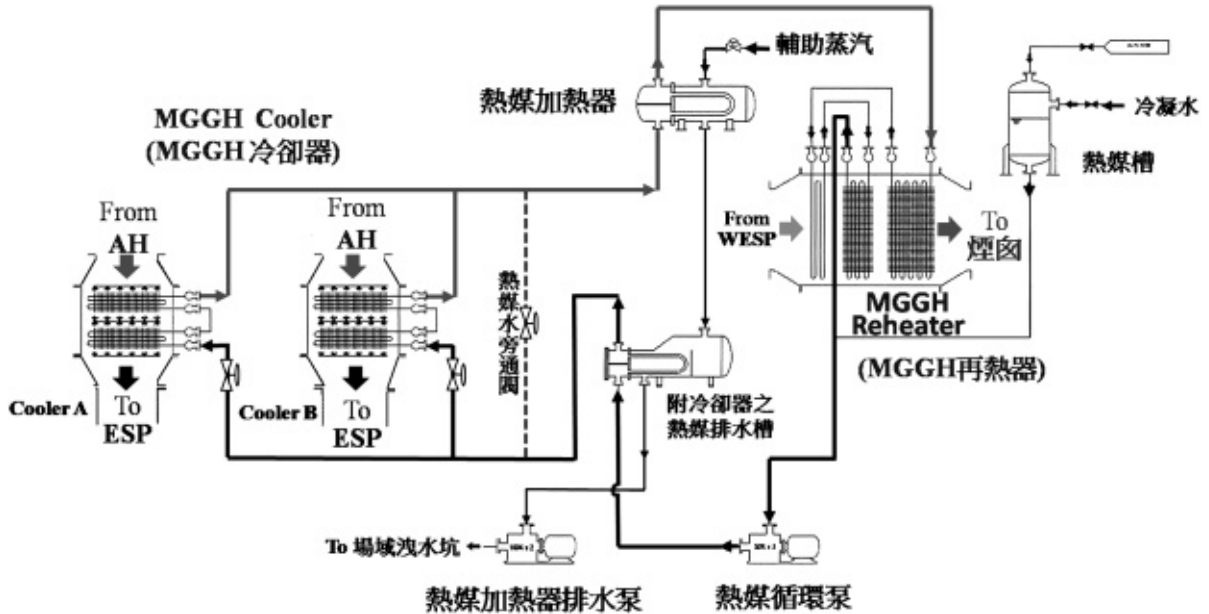


圖 18 MGGH 設備流程

## 五、結論

本廠於 AQCS 工程順利完成後，將可兼顧供電與環保。AQCS 各項工程目標如下：

1. 降低污染就從減少污染源做起。依煤源成分配置不同比例的煤源進行混燒，粉煤機將煤炭研磨成更細緻的粉煤進入爐內燃燒，AireJet 低氮氧化物燃燒器與雙區火上風門相結合，滿載時可將 NO<sub>x</sub> 生成濃度降至 ≤ 130ppm、CO ≤ 200ppm。配合 DRYCON 系統運轉，底灰未燃碳極少，可最小化 CO 排放及減少煤炭使用量。
2. 煙氣被送至 SCR 進行 NO<sub>x</sub> 控制和元素汞 (Hg<sup>0</sup>) 氧化，達成殘餘氨 < 3ppm，煙囪出口 NO<sub>x</sub> ≤ 15ppm 的排放目標。
3. ESP 對粒狀汞 (Hg<sup>p</sup>) 與非汞重金屬的去除率將近 99%。改善工程前的出口粒狀物濃度 10.4 ~ 11.5 mg / Nm<sup>3</sup>，工程後降至 9.3 ~ 9.8 mg / Nm<sup>3</sup> (Dry basis@6% O<sub>2</sub>)，亦即粒狀物與重金屬再提升 11~15% 的去除量。此外 MGGH Cooler 降低 ESP 煙氣入口溫度縮減煙氣體積，亦達再提高除塵效率的目的。
4. FGD 的二氧化硫去除效率 ≥ 99.0 %。同時 PM<sub>2.5</sub> 懸浮微粒大約有 50% 會洗入漿液中。離子汞 Hg<sup>2+</sup> 有易溶於水特性，大部分會是被 FGD 吸收。
5. 新廢水場處理廢水，符合發電業廢水排放標準進行放流。
6. WESP 能有效的控制硫酸霧、次微米粒狀物、氣溶膠和汞。配合 FGD 改造工程，廠商保證排放值為 SO<sub>x</sub> ≤ 8ppm；PM ≤ 3 mg / Nm<sup>3</sup>。
7. MGGH Reheater 將煙氣重新加熱，防止管道與煙囪的腐蝕，並提高向大氣的擴散效率及防止可見羽雲出現造成視覺污染。

空污改善沒有最好只有更好。比較現行法規與排放值、未來加嚴標準與改善目標值，如表 1 所列數值，顯示本廠對改善煙氣污染物排放的用心與努力，而且發電機組於 AQCS 完成後對鍋爐煙氣排放，將以優於台中市政府加嚴排放標準，達成年平均目標，實踐環境保護的承諾。

表 1 鍋爐煙氣排放標準

污染物	現行法規	現行排放值	台中市加嚴標準	#5~8AQCS 年平均目標
粒狀污染物濃度 (mg / Nm <sup>3</sup> )	≤ 20	6~8	≤ 10	≤ 5
硫氧化物濃度 (ppm)	≤ 60	30	≤ 12	≤ 10
氮氧化物濃度 (ppm)	≤ 70	40	≤ 22	≤ 20

註：硫氧化物與氮氧化物濃度值皆為 Dry basis@6% O<sub>2</sub> 修正。

## 高空作業車操作人員術科實習



● 地點

啟聖工業股份有限公司  
彰化縣秀水鄉彰水路 1 段 441 號

# 提高煙管鍋爐裝設節熱器壽命的方法

陳建志

在鍋爐的運轉中，如何防止給水帶給鍋爐及其附屬設備如節熱器（Econmizer）、給水儲槽及給水系統的腐蝕是相關人員值得注意的問題。

## 一、腐蝕產生的原因

鍋爐及附屬設備水側產生腐蝕的原因，有PH值、溶解鹽、二氧化碳、溶存氧等，其腐蝕狀態及速度則因鍋爐材質、水質及水溫而異，分別說明如下：

### (一) PH值的影響

鍋爐水要保持適量的介於 PH11-12 的值，當鍋爐鋼材與水接觸時反應生成氧化鐵的保護膜  $Fe^{++} + 2OH = Fe(OH)_2$ ，鍋爐水的 PH 值低於 11 時且含有氧，則氫氧化第一鐵的保護膜開始大量溶解，形成有紅銹氫氧化二鐵（ $Fe(OH)_3$ ），超過 PH11 時被抑制故溶解量大為減少，然而若超過 PH12 時在高溫鍋爐水中會發生鹼性腐蝕，水中 PH 量與腐蝕關係如圖 1、圖 2、圖 3 所示。

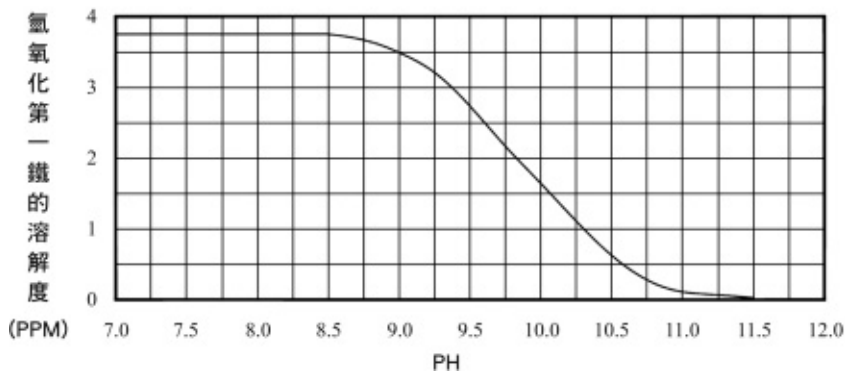


圖 1 氫氧化第一鐵溶解度與 PH 的關係

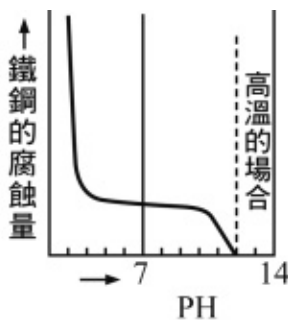


圖 2 PH 量對鋼鐵腐蝕的影響

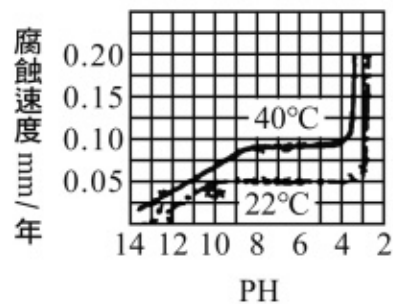
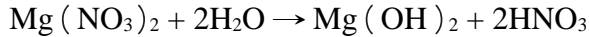
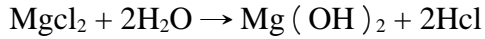


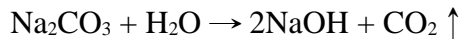
圖 3 PH 量與鋼鐵腐蝕量

## (二) 溶解鹽

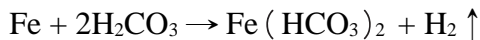
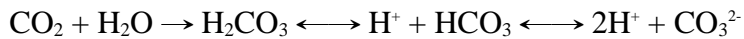
各種溶解鹽類有些會因鍋爐內之溫度與壓力的影響而分解，或者與其溶解鹽類反應生成游離酸或腐蝕性化合物，使鍋爐造成腐蝕；尤其溶於水中的氯化物，會因分解而產生鹽酸，使鍋爐產生嚴重腐蝕。其化學反應式如下：

(三) 二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)

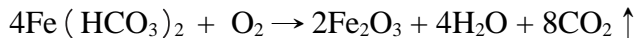
鍋爐給水中酸消費量中的成份碳酸氫鈉 (NaHCO<sub>3</sub>)，在鍋爐內熱分解，產生二氧化碳，如下反應式



所產生的二氧化碳與給水中溶存的二氧化碳，隨蒸汽移到蒸汽系統，蒸汽冷凝時，再溶入冷凝水中生成碳酸 (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)、降低冷凝水 PH 值，對給水及冷凝系統造成腐蝕，反應式如下：



冷凝水內如有溶存氧會再生成二氧化碳，加速腐蝕，其反應式如下：

(四) 溶存氧 (O<sub>2</sub>)

鍋爐水的 PH 值即使維持在標準值範圍，但若鍋爐水中含有溶存氧，鍋爐鋼材表面將無法形成緻密的防蝕膜，也會發生點蝕產生鏽瘤。而鍋爐補給水帶入氧化鐵沈積於鍋爐鋼材表面若補給水中含有溶存氧，其下部同樣會發生點蝕。溶存氧量與鋼鐵表面減量關係如圖 4。

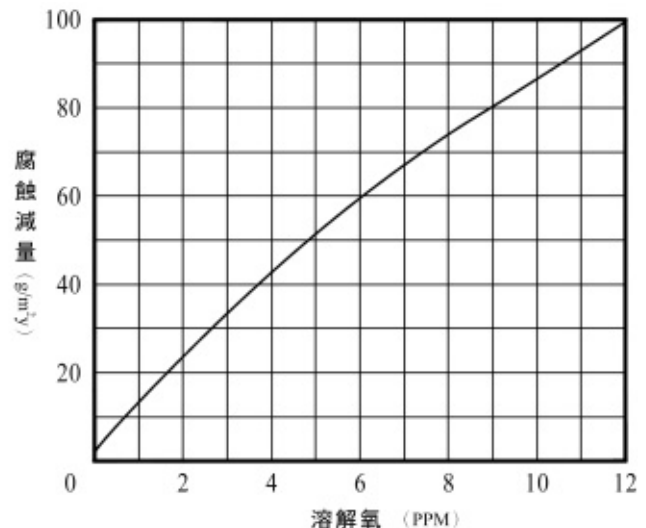


圖 4 氧含量與腐蝕的關係

## 二、腐蝕的預防

### (一)控制鍋爐水的 PH 值於 11-12 的穩定範圍

以 PH 檢測計及控制器，隨時檢測，自動加入 PH 劑，使維持在穩定範圍，或定時檢測由相關人員依檢測值適量加入 PH 劑。

### (二)除去氯離子

鍋爐水中的氯離子控制在鍋爐水的限制值內，若因氯離子濃度太高會阻礙鋼材表面氧化鐵之防蝕薄膜的安定性，如超出限制值則需將氯子於給水中除去，以防止腐蝕產生。其除去方法可採用離子交換脂法或逆滲透法。

### (三)防止分解出二氧化碳

二氧化碳的腐蝕對給水系統及冷凝水系統鋼材造成的腐蝕比鍋爐本體更嚴重。其防止可利用脫鹼軟化裝置或純水製造裝置除去給水中的鹼度或以中和胺在蒸汽冷凝時將二氧化碳中和以達到防止腐蝕的效果。

### (四)溶存氧的去除

#### 1. 加溫脫氧法

水中溶存有一定量的空氣，在大氣壓力下或相同壓力下，溫度愈高溶存氧含量愈低，水中空氣的溶解度和溫度關係如下：

溫度	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
O <sub>2</sub> (c.c./l)	10.19	6.35	4.48	3.28	1.97	0
N <sub>2</sub> (c.c./l)	18.44	11.90	8.67	6.49	4.03	0

若僅以水中之含氧量與溫度關係如圖 5 (重量基準) 圖 6 (容積為基準) 所示。

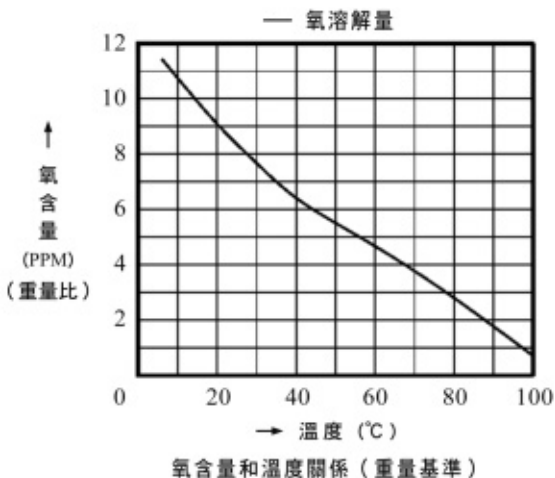


圖 5 氧含量與溫度關係 (重量基準)

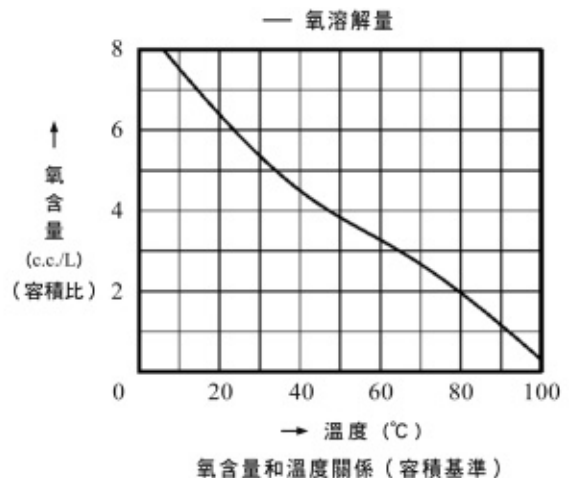


圖 6 氧含量與溫度關係 (容積基準)

由上列圖表看出溫度愈高則含氧量愈低，因此可用加溫脫氣法來脫氧、脫氣。是故一般水管鍋爐都設有脫氣器（Deaerator），給水進入鍋爐前將水溫提升至 105℃ 以上，壓力愈高的鍋爐提升溫度也愈高，含氧量愈少，故有的高壓發電鍋爐其給水溫度高達 150℃ 以上。

## 2. 藥劑除氧法

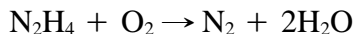
鍋爐給水系統若無脫氣設備，在其相對溫度下含有相當的氧量，須以添加藥劑除氧來防止腐蝕，一般用於較低壓或煙管鍋爐。

鍋爐給水系統若有脫氣設備，可因提高水溫而使絕大部份的氧逃出，但含有微量的氧，這微量的氧也可藉添加藥劑排除，這在水管鍋爐或高壓鍋爐都以此為方式，能較徹底防止腐蝕。

使用除氧的藥劑一般如下：

### (1) 聯氨 $N_2H_4$

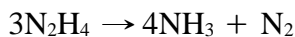
與水中之溶存氧作用化學反應式如下：



聯氨與水中之溶存氧反應生成氮與水，爐水不會因而增多溶解固形物。聯氨與水中之溶存氧的反應速度受溫度及 PH 添加量而影響，高溫反應速度快且此時氧已微量故藥劑量較少即可除氧，故有脫氣設備時，藥劑都於其給水出口處加入，聯氨並可將  $Fe_2O_3$  還原成  $Fe_2O_4$  達到防蝕效果。

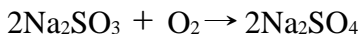


聯氨約於 200℃ 時（15kg/cm<sup>2</sup>）開始分解成氨與氮



### (2) 亞硫酸鈉 $Na_2SO_3$

亞硫酸鈉與給水中的存氧反應生成硫酸鈉，其反應式：



硫酸鈉，會增加爐水中的溶解固形物需沖放較多的鍋爐水；而爐水中要確保含有亞硫酸離子殘存，以避免給水中若含有未能完全除去的溶存氧造成鍋爐腐蝕。亞硫酸鈉與溶存氧反應雖較聯氨為快，但溶解於水後會增加全固形，因此不適用於壓力 112kg/cm<sup>2</sup> 以上的高壓鍋爐。

### (五) 應避開的腐蝕溫度

一般認為水中的氧溶解量會因溫度上升而逐漸減少，並因含氧量的減少就會減少腐蝕的機會，這在無壓力的開放空間或是水溫 100℃ 以上的有壓力脫氣設備（如脫氧槽）確是如此，但在有壓力的容器裡，當常溫上升至 100℃ 時，卻因溫度上升過程，因在密閉容器裡揮發的氧無法逸出致氧變得較活潑更易腐蝕。所以，脫氣器都

裝有一支微量的逸氣管，不斷將氣體排出，其目的即在將此揮發氣體如氧等排出。

當溫度逐漸升高，水中溶存氧確是逐漸減少，然而氧無法逸出對鍋爐或附屬設備的鋼材腐蝕卻是在 70°C 時最高，因為在此溫度  $O_2$  最為活潑，故 70°C 腐蝕量是給水溫度在 20°C 或 100°C 時的四倍，也就是 20°C 時溫度上升腐蝕加速至 70°C 達到最高峰，然後溫度再上升腐蝕又逐漸減緩，情況如圖 7；又如圖 5 及圖 6 所示含氧量在給水溫度在 20°C 或 100°C 是給水溫度在 70°C 時的三倍左右，水溫上升時水中的含氧量必定要釋出，因此在 70°C 腐蝕比是給水溫度在 20°C 或 100°C 時的 12 倍，節熱器之加熱管極易腐蝕。所以節熱器可採用開放式，在鍋爐運轉中為了提高熱效率而將冷凝水回收到儲水槽，如果儲水槽水溫常在 70°C 左右時，儲水槽的防蝕油漆工作要做好，否則，水槽常用水位附近除易腐蝕之外，給水的全固形物或鐵份含量將會增高而影響水質；又由於為適應環保在  $CO_2$  減量要求下燃料若使用液化天然氣 (LNG) 時若附有節熱器 (Economizer) 雖然燃料中無硫份，節熱器管外無低溫腐蝕之慮，但採用密閉式給水溫度要注意高於 95°C，即節熱器的入口水溫 (即將水槽溫度) 要設法提高於 95°C 以上，才可避開水側 70°C 的腐蝕高峰，以免設備使用壽命不長。

又有的給水熱交換器，如熱交換器內有在 70°C 階段 (如入口 50°C 經加熱後出口為 100°C)，則其熱交換鋼管若用炭鋼也極易腐蝕致壽命不長，故此萬不得已情況下熱交換鋼管只得以選用不鏽鋼管為宜。但斧底抽薪的根本辦法，以避開 50-95°C 這段溫度為上策。最安全的方法就是先將給水加熱器入口水溫提升至 95°C 以上，接近 100°C。

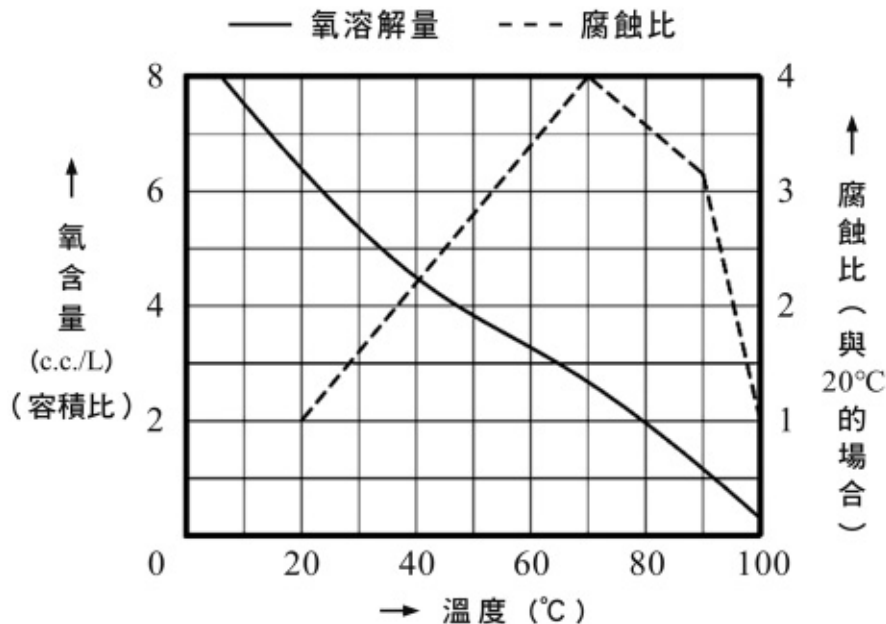


圖 7 氧含量和溫度及腐蝕關係



### (六)如何保護節熱器的壽命

最近鍋爐都使用氣體燃料，為提高熱效率也都裝有節熱器，甚至有的排氣溫度低於  $100^{\circ}\text{C}$  以下。因此煙管鍋爐若附有節熱器時，應不採用密閉有壓力方式（即給水由給水泵押送經節熱器後直接注入鍋爐），以避開  $50\sim 95^{\circ}\text{C}$  加熱階段的溫度，以免水側遭氧腐蝕而減低節熱器的使用壽命。

水溫在  $50^{\circ}\text{C}$  及  $95^{\circ}\text{C}$  時其含氧量為  $20^{\circ}\text{C}$  時的 2.5 倍，若是  $70^{\circ}\text{C}$  時則為  $20^{\circ}\text{C}$  時的 4 倍。其腐蝕比為 10 倍及 12 倍，其原因為常溫水中所含的氧在有壓力的密閉空間無法釋出且較活潑所致。

#### 1. 改善方法：宜儘採用開放式

(1) 採用開放式的時機，如圖 8 所示：

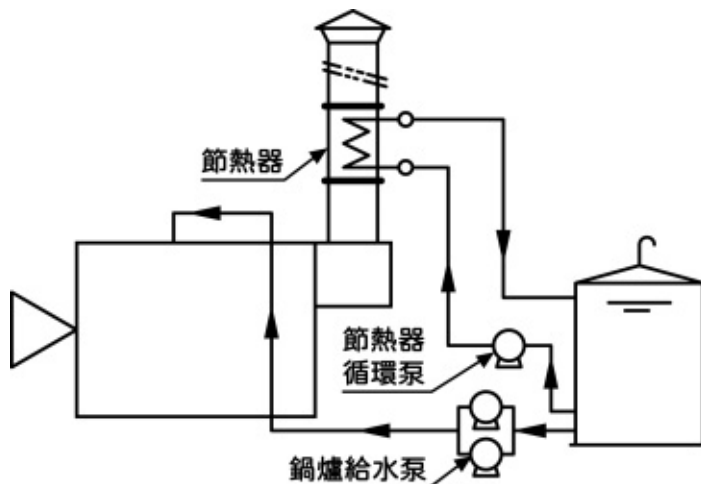


圖 8 採用開放式時機

- ① 若給水為常溫時，採用將給水經節熱器加熱後回到給水槽，水溫升高要揮發的氧由給水槽的排氣管排出。
- ② 給水若有回收，而回收水槽水溫度在近  $80^{\circ}\text{C}$  以下，而鍋排出之廢氣溫度由  $210^{\circ}\text{C}$  降至  $140^{\circ}\text{C}$ ，降低約  $70^{\circ}\text{C}$  時；則採用將經節熱器的給水加熱後回到回收水槽，因節熱器之水溫約可提高  $20^{\circ}\text{C}$ ，混合後此時回收水槽水溫度可再度提高，水溫升高要揮發的氧也由給水槽的排氣管排出。如圖 8 所示。
- ③ 近有廠商為更進一步將鍋爐排出之廢氣溫度由  $210^{\circ}\text{C}$  降至  $100^{\circ}\text{C}$  以下，降低約  $110^{\circ}\text{C}$  時；給水若有回收，而回收水槽水溫度在近  $75^{\circ}\text{C}$  以下時，也採用將經節熱器的給水加熱後回到回收水槽，因節熱器水溫約可提高  $30^{\circ}\text{C}$ ，混合後此時回收水槽水溫度可再度提高，水溫升高要揮發的氧也由給水槽的排氣管排出。如圖 8 所示。

(2)可採用密閉式的時機，如圖 9 所示：

若給水溫度超過 80℃ 而未達 95℃ 時，則將回收水槽溫度提高至 95~98℃，而此高溫給水經節熱器升溫後直接注入鍋爐，此時給水中尚略有含氧腐蝕但已屬輕微，注入脫氧劑即可改善。

若有脫氣器則將脫氣後的高溫水直接經節熱器升溫後注入鍋爐，此為最好的方法。

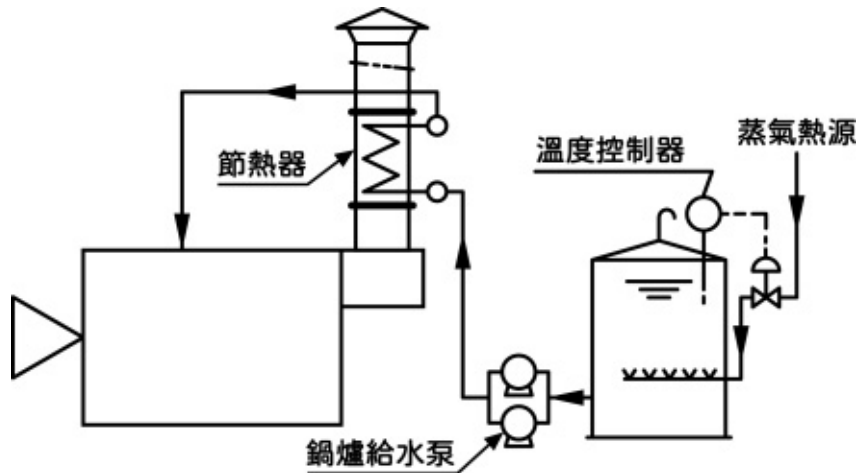


圖 9 採用密閉式時機

## 2. 採用開放式節熱器的優點

### (1) 給水系統費用少

給水控制方式可採用原來 ON-OFF 方式，不增費用。但要增循環泵，將給水經節熱器再回到給水槽，然而費用低。

若用密閉式則給水控制要用連續方式，要有液位傳送器、控制器、控制閥及其前後閥、傍通閥。

### (2) 操作方式簡便

其操作方式與未有節熱器時相同，不會增操作人員負擔。

### (3) 節熱器使用壽命長

用開放式時，節熱器無壓力本就有較長壽命。

使用密閉式時，水中氧無法揮發，又高水位時控制閥關閉，節熱器內水溫易上升至 50~95℃ 的高腐蝕率階段，加熱管易腐蝕，已有此破管情況的廠商所在多有。

在正常情況節熱器若水側溫度控制得宜，有與鍋爐相同壽命。

### (4) 製作簡便、費用少

採開放式為無壓力設計，無需經工檢之繁雜手續及費用並能縮短工期。

## (5)減少脫氧藥劑量

給水溫度提高，水中含氧量少，可減少給水中脫氧的藥劑量。

## (6)改善給水泵耗電量大之缺點

由於連續給水，故給水泵不停地運轉、耗電未能節約能源，而循環泵雖不停運轉，但無壓力、馬力小耗電小。

## 3.既設節熱器之處置

既設若以有壓力密閉式設置，則將液位傳送器及液位控制器保留，將液位控制器的高、低壓訊號改做為給水泵停開之訊號，給水控制閥不用，改為全開或用傍通閥即可。

## 參考資料

以上圖表摘自---日本「平川鐵工所」株式會社出版的「平川ボイテ便覽」。

## &lt;文接第 29 頁&gt;

間隙中排放掉了。這些蒸汽一旦被排放掉，桶罩內壓力迅速回零，桶罩和整個上端排氣裝置下落。桶罩下落後，桶罩與接水盤之間間隙又近乎等於零了，桶罩內又要形成很高的壓力，桶罩和上端排氣裝置又開始被抬高……這樣可以不斷地循環發生，就形成了“呼哧－呼哧”的響聲，上端固定的橫梁不斷發生彎曲。

(三)在這個排氣裝置結構中，限位釘與桶罩之間的距離  $H$  數值至關重要。 $H$  數值太小，桶罩抬高太低，桶罩內蒸汽不能被排放掉，就容易在桶罩內形成壓力，產生一個造成橫梁彎曲的作用力。如果  $H$  數值太大，桶罩上升太高，周圍排放蒸汽數量太迅猛，鍋爐房內形成太多的煙霧，更重要的是，桶罩回落時產生的撞擊力太大，容易破壞接水盤。

這個  $H$  數值大小，一定要根據排氣有關參數來確定，根據該爐的壓力和排氣能力，在實際應用中，掌握在 15~30mm 之間為宜。

## 三、整改措施

經過與技術人員的討論與分析，弄清楚了發生事故的原因，決定對限位釘的位置進行重新確定。通過試驗，只要這個限位釘與桶罩之間的距離保持在 15~30mm 之間，在安全閥剛開始排氣時候，都是安全可靠的。經過整改後，該單位 3 台同類鍋爐，再也沒有發生此類事故。

# 一起罕見的安全閥排氣管事故分析與處理

楊傳生

江蘇省特種設備安全監督檢驗研究院連雲港分院

某熱電廠新安裝的 3 號鍋爐，型號為：UG35 - 5.3 / 485 - M3，江蘇某鍋爐設備安裝公司負責安裝，筆者單位負責監督檢驗，上述單位均有相應的資質。

該爐驗收前，安裝單位和使用單位自己先行調試，之後邀請監檢單位複查。安裝單位和使用單位先進行安全閥排汽試驗，在試驗過程中，突然發生事故。

## 一、技術介紹

經發生事故單位反映，當安全閥排氣後，發出“呼哧－呼哧”的響聲，固定上端排氣管的橫梁已彎曲。安全閥排氣安裝結構如圖 1 所示。

這種排氣結構是江蘇某電力設計院負責設計、江蘇某鍋爐設備安裝公司負責現場制作。它主要是解決安全閥排氣後防止冷凝水回到安全閥閥體內造成安全閥失靈的問題。

### (一) 工作原理

當槓杆式安全閥起跳時，蒸汽沿著 $\phi 133\text{mm} \times 4\text{mm}$  下端排氣管進入 D340mm 接水盤以上的空間後，與排氣管同心的 $\phi 159\text{mm} \times 4.5\text{mm}$  上端排氣管正對著，二者之間斷開一定的距離。當安全閥排氣結束後，排氣冷凝水沿著直徑 159mm 管子內壁下流，而下端是直徑 133mm 管子，冷凝水自然掉落到下面設置的接水盤中，而不會掉落到直徑 133mm 管子中。因為， $159\text{mm} - 9\text{mm} - 133\text{mm} = 17\text{mm}$ ，在下口端直徑 133mm 管子每邊外邊還存在 8.5mm 的間隙。

接水盤上安裝一個疏水管（排水管），直接連接到安全地點，把冷凝水排掉。

為了防止大量的排氣擴散，在接水盤上方設置 1 個桶罩，桶罩與接水盤直徑留有一定的差距，這個間隙是用來散發部分蒸汽用的。

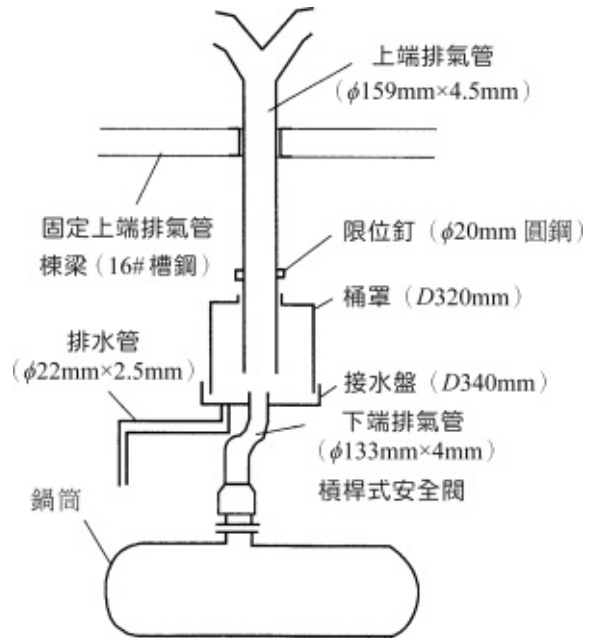


圖 1 安全閥排氣結構示意圖

為了防止桶罩大幅度運動，上方設置有限位釘（ $\phi 20\text{mm}$  圓鋼）。

整個上端排氣管是被固定在鋼架上的橫梁上的。

在上端排氣管的室外端部，設計為  $45^\circ$  開叉管，對稱排氣，防止豎管擺動。

這種結構的排氣疏水結構還是比較合理，效果也比較理想，很多同類工程上也比較常見。

## (二) 存在問題

這種設計結構在安全閥剛開始排氣後，容易產生下述現象，如圖 2 所示：

在安全閥剛剛開始排氣時，當大量的蒸汽沿著排氣管到達排氣管頂端，遇到開叉管的阻擋，強大的壓力會產生一個回座壓力，即一部分蒸汽倒流回來。倒流的蒸汽，遇到接水盤產生一個反彈力，即部分上升的蒸汽力。同時，還可以有少量蒸汽沿著桶罩與接水盤的間隙中跑掉。

桶罩在反彈力的作用下，由於桶罩受到限位釘阻擋，排氣裝置的上部就會產生一個向上的作用力，橫梁在作用力的作用下，發生彎曲。

在桶罩上方設置的限位釘與桶罩的距離  $H$  是這個技術的關鍵，這個尺寸應該根據排氣的有關參數來確定的。

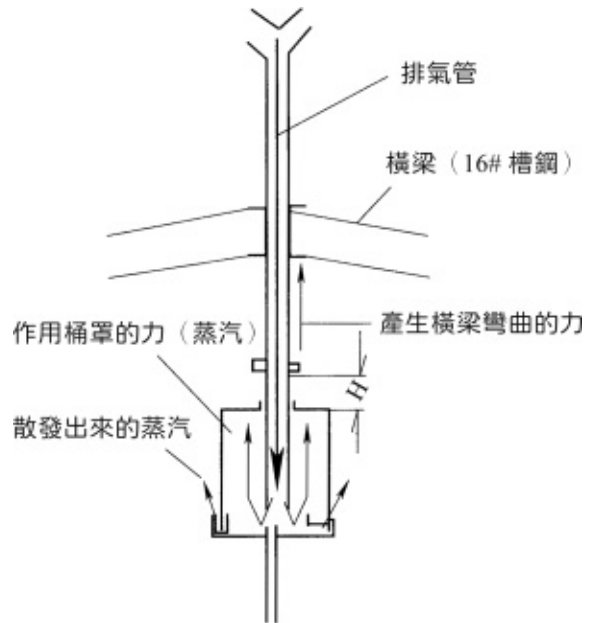


圖 2 安全閥排氣後蒸汽產生效果示意圖

## 二、現場查看和分析

(一) 現場查看。我們到達現場後，通過人員調查和現場查看，並對圖紙資料進行複核發現：設計圖紙對現場零件制作不夠詳細，安裝單位對該排氣裝置原理不明確。在制作時，限位釘與桶罩之間的距離  $H$  沒有仔細考慮，圖紙也沒有注明，限位釘幾乎緊靠著桶罩， $H \rightarrow 0$ 。

(二) 當安全閥開始排氣的時候，排氣管中存在大量的倒流蒸汽。由於限位釘與桶罩距離太小，當大量蒸汽進入桶罩中時，桶罩內的蒸汽無法排放。桶罩與接水盤形成的縫隙很小，不能把倒流的蒸汽沿著桶罩抬高後與接水盤之間形成的間隙中跑掉，桶罩內形成了很高的壓力。在這個壓力的作用下，整個上端排氣裝置被抬高（在作用力的作用下）。當整個裝置抬高後，桶罩內的蒸汽就可以從桶罩與接水盤之間形成的

<文未完，接第 27 頁>

## 本會近期舉辦之各項訓練日程表

台中職訓中心 台中市北區崇德路1段629號4F-3 TEL : (04) 2236-2977 FAX : (04) 2236-2997

訓練班項目		總時數	預定上課時間	訓練費用	備註
危險性機械、設備	甲級鍋爐操作人員訓練 (配合 113 年度第 2 梯次全國技能檢定)	60 小時	113.04.15-113.04.26	18000 元	日間班
	乙級鍋爐操作人員訓練 (配合 113 年度第 2 梯次全國技能檢定)	50 小時	113.04.10-113.04.26	15000 元	日間班
	小型鍋爐操作人員訓練	18 小時	113.03.06-113.03.10	5000 元	夜間班
	第一種壓力容器操作人員訓練 (配合 113 年度第 2 梯次即測即評檢定)	35 小時	113.05.20-113.05.28	8000 元	日間班
	高壓氣體特定設備操作人員訓練	35 小時	113.03.01-113.03.12	6000 元	夜間班
	高壓氣體容器操作人員訓練	35 小時	(額滿開班)	6000 元	夜間班
	三公噸以上固定式起重機(天車)操作(配合 113 年第 2 梯次即測即評)	38 小時	(額滿開班)	8000 元	夜間班
安全衛生 、 高壓作業主管	甲種職業安全衛生業務主管訓練	42 小時	(額滿開班)	7000 元	日間班
	營造業甲種職業安全衛生業務主管訓練	42 小時	(額滿開班)	7000 元	夜間班
	高壓氣體製造安全主任訓練	22 小時	113.06.06-113.06.08	5500 元	日間班
	高壓氣體製造安全作業主管訓練	21 小時	113.05.02-113.05.04	5500 元	日間班
	高壓氣體供應及消費作業主管訓練	21 小時	113.02.21-113.02.23	5500 元	日間班
	製程安全評估人員訓練	87 小時	(額滿開班)	30000 元	日間班
有害作業主管	缺氧作業主管訓練	18 小時	113.05.03-113.05.05	4000 元	日間班
	有機溶劑作業主管訓練	18 小時	113.04.11-113.04.13	4000 元	日間班
	粉塵作業主管訓練	18 小時	113.07.25-113.07.27	4000 元	日間班
	鉛作業主管訓練	18 小時	(額滿開班)	4000 元	夜間班
	特定化學物質作業主管訓練	18 小時	113.03.13-113.03.15	4000 元	日間班
其他	堆高機操作人員訓練	18 小時	(額滿開班)	5000 元	日間班
	高空工作車操作人員訓練	18 小時	113.02.17-113.02.21	8500 元	假日班
	急救人員訓練	18 小時	(額滿開班)	4500 元	日間班
	乙炔熔接裝置作業人員訓練	18 小時	(額滿開班)	5000 元	夜間班
	安全閥測試暨耐壓氣密試驗訓練	20 小時	113.05.15-113.05.17	5500 元	日間班
在職訓練 (回訓)	固定式起重機操作人員在職訓練	3 小時	113.02.17	700 元	日間班
	堆高機操作人員在職訓練	3 小時	113.02.17	700 元	日間班
	鍋爐操作人員在職訓練	3 小時	113.03.07	700 元	日間班
	第一種壓力容器操作人員在職訓練	3 小時	113.03.07	700 元	日間班
	高壓氣體特定設備操作人員在職訓練	3 小時	113.02.26	700 元	日間班
	高壓氣體容器操作人員在職訓練	3 小時	113.02.26	700 元	日間班
	高壓氣體作業主管在職訓練	6 小時	113.04.07	1200 元	日間班
	有害(有機溶劑、特定化學物質、鉛、粉塵)作業主管在職訓練	6 小時	113.03.02	1200 元	日間班
	急救人員在職訓練	3 小時	113.03.24	800 元	日間班
	缺氧作業主管在職訓練	6 小時	113.03.27	1200 元	日間班
	製程安全評估人員在職訓練	6 小時	(額滿開班)	2000 元	日間班
	移動式起重機操作人員在職訓練	3 小時	(額滿開班)	700 元	日間班
	施工架組配作業主管在職訓練	6 小時	(額滿開班)	1200 元	日間班
	乙炔熔接裝置作業人員在職訓練	3 小時	113.06.01	700 元	日間班
	職業安全衛生業務主管在職訓練	6 小時	113.03.23	1200 元	日間班

**彰化職訓中心** 彰化市中央路 184 號 3F-3

訓練班項目	總時數	預定上課時間	訓練費用	備註
乙級鍋爐操作人員訓練 (配合 113 年度第 2 梯次全國技能檢定)	50 小時	113.03.25-113.04.17	15000 元	夜間班
第一種壓力容器操作訓練 (配合 113 年度第 2 梯次即測即評)	35 小時	113.05.27-113.06.06	8000 元	夜間班
小型鍋爐操作人員訓練	18 小時	113.05.20-113.05.24	5000 元	日間班
高空工作車訓練班	18 小時	(額滿開班)	8500 元	日間班
急救人員訓練	18 小時	(額滿開班)	4500 元	夜間班
安全閥測試暨耐壓氣密試驗訓練	18 小時	(額滿開班)	4000 元	日間班
高壓氣體特定設備操作人員訓練	35 小時	(額滿開班)	6000 元	夜間班
高壓氣體容器操作人員訓練	35 小時	(額滿開班)	6000 元	夜間班
第一種壓力容器操作人員在職訓練 (回訓)	3 小時	113.03.08	700 元	日間班
固定式起重機操作人員在職訓練 (回訓)	3 小時	(額滿開班)	700 元	日間班
堆高機操作人員在職訓練 (回訓)	3 小時	(額滿開班)	700 元	日間班
鍋爐操作人員在職訓練 (回訓)	3 小時	113.03.08	700 元	日間班
高壓氣體特定設備操作人員在職訓練 (回訓)	3 小時	(額滿開班)	700 元	日間班
屋頂作業主管在職訓練 (回訓)	6 小時	(額滿開班)	1200 元	日間班

**南投職訓中心** 南投縣南投市文昌街 45 號 4 樓之 2

訓練班項目	總時數	預定上課時間	訓練費用	備註
三公噸以上固定式起重機 (天車) 操作 (配合 113 年第 2 梯次即測即評)	38 小時	113.05.02-113.05.17	8000 元	夜間班
高空工作車操作人員訓練	18 小時	(額滿開班)	8500 元	日間班
急救人員訓練	18 小時	113.11.04-113.11.08	4500 元	夜間班
堆高機操作人員訓練 (配合 113 年第 3 梯次即測即評)	18 小時	113.04.22-113.04.30	5000 元	夜間班
防火管理人訓練 (初訓)	12 小時	113.09.22-113.09.23	3200 元	日間班
防火管理人訓練 (複訓)	6 小時	113.02.22	1600 元	日間班
急救人員在職訓練 (回訓)	3 小時	113.04.12	800 元	日間班
固定式起重機操作人員在職訓練 (回訓)	3 小時	113.03.22	700 元	日間班
堆高機操作人員在職訓練 (回訓)	3 小時	113.02.23	700 元	日間班
有害 (有機溶劑、特定化學物質、粉塵、鉛) 作業主管在職訓練 (回訓)	6 小時	(額滿開班)	1200 元	日間班
職業安全衛生業務主管暨職安員在職訓練 (回訓)	6 小時	(額滿開班)	1200 元	日間班

註：(1)本會於確定開班後，將會寄開班通知單以確認是否參加上課，若無接到通知單者，則表示該訓練班延期辦理，若有不詳，請洽(04)22362977 訓練組

(2)報名回訓課程必須填寫原始證書字號。

(3)恕不接受當天 (現場) 報名。

# 台灣省鍋爐協會附設職業訓練中心

## 高空工作車操作人員 特殊安全衛生教育訓練班

課程依據	職業安全衛生教育訓練規則第 14 條規定，雇主對於高空工作車操作人員，應使其接受特殊作業安全衛生教育訓練。訓練時數：16 小時	
開課日期	113.02.17 ~ 113.02.21 白天班 (2/17 學科上課，2/19、20 術科分組實習，2/21 術科考試)	台中班
	113.02.23 ~ 113.02.29 白天班 (2/23 學科上課，2/26、27 術科分組實習，2/29 術科考試)	彰化班
	113.03.12 ~ 113.03.15 白天班 (3/12 學科上課，3/13、14 術科分組實習，3/15 術科考試)	台中班
	113.03.14 ~ 113.03.20 白天班 (3/14 學科上課，3/18、19 術科分組實習，3/20 術科考試)	南投班
	113.03.26 ~ 113.03.29 白天班 (3/26 學科上課，3/27、28 術科分組實習，3/29 術科考試)	彰化班
	113.04.09 ~ 113.04.12 白天班 (4/09 學科上課，4/10、11 術科分組實習，4/12 術科考試)	台中班
	113.04.19 ~ 113.04.22 假日班 (4/19 學科上課，4/20、21 術科分組實習，4/22 術科考試)	台中班
	113.04.23 ~ 113.04.26 白天班 (4/23 學科上課，4/24、25 術科分組實習，4/26 術科考試)	彰化班
訓練費用	原價 8500 元 / 人 (本會會員 9 折優待)	
上課地點	學科：台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3【台中職訓中心】 彰化市中央路 184 號 3 樓之 3【彰化職訓中心】 南投市文昌街 45 號 4 樓之 2【南投職訓中心】	
	術科：台中市烏日區溪南路三段 418 巷 251 號 (浚大企業有限公司) 彰化縣秀水鄉彰水路 1 段 441 號 (啟聖工業股份有限公司)	
結業證書	訓練期滿經學術科測驗合格，呈報主管機關核發【高空工作車結業證書】	



### 台灣省鍋爐協會附設台中職業訓練中心報名表 報名日期：113 年 月 日

課程名稱		高空工作車操作人員訓練		上課日期		
編號	姓名	身分證字號	出生年月日	畢業學校		手機號碼
1						
2						
3						
4						
公司名稱				統一編號		
地 址				電話 (O)		
電子信箱				手 機		
聯絡人				傳 真		

※ 備註 電話：04 - 2236 - 2977 傳真：04 - 2236 - 2997 Mail：boiler.tw@tbva.org.tw

☆☆依現行之職業安全衛生設施規則第 128 條之 9 條文，要求雇主自 113 年 1 月 1 日起，對於高空工作車，應指派經特殊作業安全衛生教育訓練人員操作。☆☆