

特種設備安全

SAFETY OF SPECIAL EQUIPMENT

1991-5 創刊 2023-08 出刊

雙月刊 第85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

威鼎企業有限公司

大震企業股份有限公司

三浦鍋爐股份有限公司

大華高科股份有限公司

岱洋股份有限公司

台灣紳藝實業有限公司

利峰機械有限公司

申昌機械股份有限公司

東庚實業股份有限公司

興志五金企業有限公司

天鴻興業股份有限公司

潔康企業有限公司

泓大企業有限公司

鉅鑫天車有限公司

吾豐機電廠股份有限公司

原欽峰工業有限公司

東立鐵工廠有限公司

辰鼎企業有限公司

鴻羽有限公司

宏榮鋼瓶股份有限公司

正熊機械股份有限公司

志豪工業有限公司

增大股份有限公司

霖興機械工業股份有限公司

目錄

CONTENTS

會務訊息

- ★勞動部中彰投分署 112 年度下半年
產業人才投資計畫 2
- ★112 年度全球減碳發展趨勢及
企業因應策略說明會 29
- ★高空工作車操作人員
特殊安全衛生教育訓練班 30

技術報導

- ★淺論流體化床鍋爐技術與實務 3
- ★碳中和與氫鍋爐 21

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

勞動部中彰投分署 產業人才投資計畫

112年下半年

訓練費補助
80~100%

課程名稱	課程代碼	費用	上課時間	報名日期
堆高機操作人員訓練班	152919	6750 元	9/14 ~ 9/28 (夜間班)	8/1 (二)起
營造業甲種職業安全衛生 業務主管訓練班	152920	8640 元	11/7 ~ 11/29 (夜間班)	10/8 (日)起

- ★ 各班報名日期當日中午 12 點開始在職訓練網報名！
- ★ 若為第一次報名課程，請先至台灣就業通網站加入會員。
- ★ 政府補助一般身分參訓學員訓練費 80%，特殊對象 100% 全額補助。
- ★ 補助對象為年滿 15 歲以上具就業保險、勞工保險或農民健康保險被保險人身分之在職勞工。
- ★ 上課地點：台灣省鍋爐協會附設台中職業訓練中心
台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3



報名方式如下：採網路報名

請至 **台灣就業通（在職訓練網）** 報名：<https://ojt.wda.gov.tw/>

1. 登入帳號密碼
2. 課程線上報名
3. 選擇產業人才投資方案及課程名稱代號

（亦可至本會網站，最新消息或政府補助課程連結報名）



台灣就業通

**** 本次訓練課程配合即測即評及發證技能檢定（原地考照） ****

淺論流體化床鍋爐技術與實務

謝永昌／環興科技股份有限公司

〔摘自本會鍋爐知識 NO.42 期〕

前言

有鑑於近年空氣污染為環保團體及民衆關切之環保議題重點，其中固定污染源（工廠）仍是環保署空氣污染管制策略積極改善之重點；因工廠的中央目的事業主管機關為經濟部，由經濟部工業局及地方政府經發單位輔導改善，協助其符合相關法規及民衆期待。

近年 PM2.5 及霧霾議題持續引起民衆關注，在考量空汙改善之前提下，近年經濟部與環保署大力補助協助工業鍋爐轉型，由以往使用之重油燃料，輔導並補助廠商改用天然氣、液化石油氣、柴油等相對較清潔之燃料，故目前國內主流鍋爐型態已由液體燃料鍋爐（如重油鍋爐）逐漸轉向氣體燃料（如天然氣）鍋爐，且因「鍋爐空氣污染物排放標準」於 109 年 7 月 1 日上路實施等原因，固體燃料鍋爐亦逐漸減少；而站在整體環保之角度，空汙僅是環境保護領域中的一部份，但對經濟部來說，固體燃料鍋爐的減少，雖對空汙改善有幫助，惟在焚化廠與事業廢棄物焚化爐無法短期內提高處理量之情況下，反而限縮了一部分原本可以協助去化事業廢棄物的重要處理設施，所以是有利有弊的。那麼，有沒有對於空汙和廢棄物同樣有利的作法呢？

答案雖然隨著時代的技術和觀念演變而有不同，但是符合循環經濟概念下運作的大趨勢卻是可以確定的，其中之一就是經濟部和環保署都在推動的廢棄物能源化作法：將廢棄物作為燃料進行能源回收，並盡量導入高效而節能減碳的技術手段，將廢棄物作為燃料使用並盡量燃燒完全，使空汙和廢棄物（底渣與飛灰）盡量減少，其中近年以推動流體化床式鍋爐去化廢棄物為主流作法，亦即本文所討論之主題。

經濟部工業局曾在 109 年委託本協會編撰「鍋爐高效燃燒控制技術手冊（以流體化床鍋爐為實例）」，鼓勵產業針對既存流體化床鍋爐可在燃料選用上，依據鍋爐處理能力考量是否採用廢棄物製成之固體再生燃料註（下稱 SRF），例如自行處理自廠製程產出之衍生廢棄物（如有機污泥、廢塑膠、廢橡膠、廢木材等）；如要新設鍋爐，則盡量考量採用本文所介紹之流體化床鍋爐，除燃燒較完全、能源利用率較高外，搭配妥適之空汙防制設備，可同時達到高效能源回收及強化空汙防制之目的，更可協助處理部分事業廢棄物。目前國內已有廠商使用 7 成 SRF 作為主要燃料，甚至有廠商規劃 100% 全燒廢棄物之流體化床式專燒爐，預計於 110 年商轉，對廢棄物能源化帶來全新的視野。

註：依環保署事業廢棄物清理計畫書審查作業參考指引（第3次修訂版）中附件四、固體再生燃料製造技術指引與品質規範第一章第二條：本規範所稱固體再生燃料（Solid recovered fuel, SRF），係指以具適燃性之廢棄物做為燃料，並須符合附表一燃料品質標準者，稱為 SRF（Solid recovered fuel），中文亦可稱為固體回收燃料、固體再利用燃料或固體再生燃料。

上述作法對廠商與政府而言，使用流體化床式鍋爐具有許多經濟與環境面之優點，為雙贏之政策，概述如下：

1. 經濟面：提高鍋爐或燃燒設備之熱利用效率，可在使用較少燃料情況下即能產生所需之蒸汽熱值，故可減少燃料成本與燃料使用量、底飛灰產生量與其清除處理費等衍生優點。
2. 環境面：因燃料使用量減少或以部分低排碳量燃料替代煙煤，可連帶減少碳排量，亦因燃燒較完全且搭配適當空汙防制設備時，可降低空汙排放量。

一、流體化技術簡介

德國人溫克勒於 1921 年在實驗中發現，將燃燒產生的煙氣導入裝有焦炭顆粒爐室之爐底，固體顆粒因受氣體的阻力而上升，整個顆粒系統看起來就像沸騰的液體，即為流體化（fluidization）技術之始。

自此開始，流體化技術於 20 年代初在德國首先應用於工業，此後在美國、法國和英國等國家均有研究發展和應用之實績，主要係應用於燃燒煤，很快地成為主流燃燒方式之一，流體化床燃燒的理論技術和實際應用推動流體化學科的發展亦相當快速。

至 20 世紀中期，工業發展更為迅速，但大量燃煤鍋爐在煤燃燒過程中產生大量灰渣、粉塵、廢水、SO₂、NO_x 等廢棄物，造成嚴重環境污染並幹擾生態，甚至造成永久性的破壞，進而危害人類自身的健康，亟須積極實現高效煤利用率和低污染燃燒之技術，期能降低對環境之傷害。

流體化床鍋爐商業化發展之時代背景，緣起於 1960 年代初期中國和蘇聯交惡，中國無法再由蘇聯輸入石油，因而致力於煤的利用，大力發展可使用劣質煤的流體化床鍋爐，1965 年在廣東茂名建造了世界第 1 座商業運轉的氣泡式（bubbling）流體化床鍋爐。70 年代的石油危機，導致歐美各國開始研究較新且可燃燒各級煤炭或其他固體燃料的技術，1979 年芬蘭 Ahlstrom 公司完成了世界第 1 座商業運轉的循環式流體化床鍋爐。

流體化技術之原理與糖炒栗子雷同，係指利用固體顆粒砂床作為熱載體，通常採用河砂，具有便宜又不耗損的經濟特性，更具有高蓄熱與耐高溫等物理特性，可提供優良的熱傳速度，當燃料進入爐體內接觸固體顆粒，可快速到達氣化溫度而進行燃燒反應。

當一次空氣由下而上穿過固體顆粒，並提供固體顆粒抬升力，當固體顆粒之重力與氣體抬升力達力平衡時，固體顆粒將產生懸浮。由於其過程為空氣通過固體顆粒砂床，使得砂床表面如同沸騰液體般，因而得名流體化床，其流體化床示意如圖 1。

當大量之固體顆粒形成高熱容量砂床時，燃料進入爐體即可維持爐體氣化溫度，使流體化床具備高料源之接受度，包含低熱值、高含水率與高灰分之固體廢棄物。

流體化床因透過加熱固體顆粒，爐體溫度約可維持在 800~950℃ 範圍內，雖因高溫產生氮氧化物（下稱 NO_x）但可經由噴注氨水等方式控制，並可透過固體顆粒中添加吸附劑（如石灰石），降低硫氧化物（下稱 SO_x）之產生，因此為許多大型能源系統與垃圾焚化爐所採用。

當使用不同燃料時，有不同的操作參數調整策略。當使用低熱值、高含水量燃料時需提升進料速率，並暫停砂床冷卻水系統，透過一次風送風量進行砂床溫度控制；使用高熱值、低含水量燃料時，除啟動砂床冷卻水系統外，因燃料氣化使可燃氣體增加，可增加二次空氣進氣量，以達完全燃燒與高燃燒效能之目標。

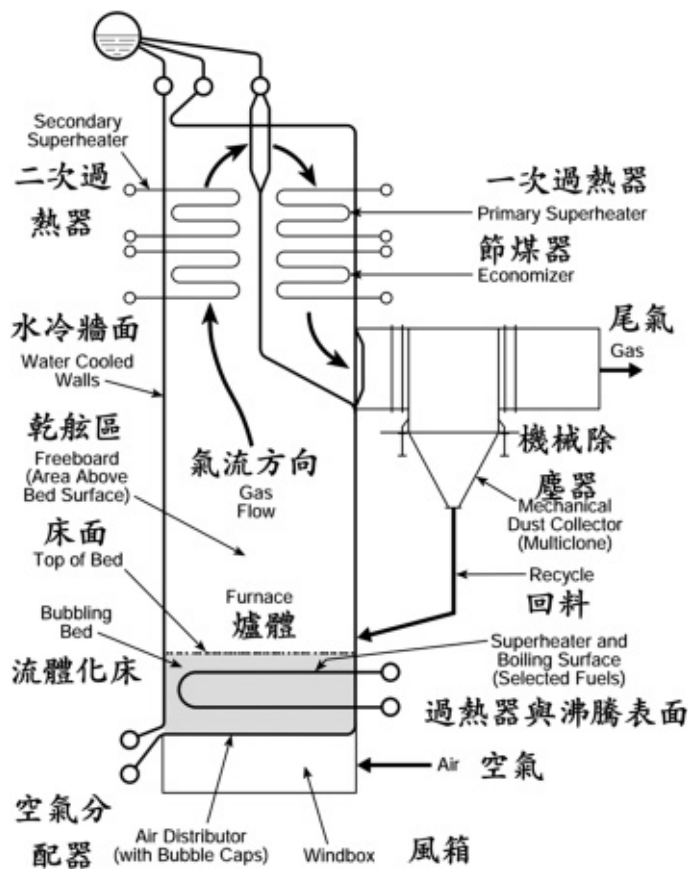


圖 1 流體化床示意圖（資料來源：J.B. Kitto et al., 2005）

(一)流體化燃燒技術優點

流體化床燃燒鍋爐具有許多優點，如對煤的適應性強，這種燃燒方式既能燃燒低熱值煤，也能燃燒優質煤；污染物排放控制特性好；燃燒高硫煤時，砂床中加入石灰石即可有效脫除部分 SO_2 ，流體化床燃燒鍋爐是採相對較低溫（ $800\sim 950^\circ\text{C}$ ）和空氣分段燃燒或噴注氨水等方式， NO_x 的排放能達到排放要求。以下詳細介紹該技術之優點。

1. 低溫動力控制燃燒

燃料燃燒後被空氣攜帶離開爐膛的顆粒進入分離器後，大部分重量較大之顆粒被分離攔截，落入進料系統返送回爐膛循環燃燒，延長燃料在爐膛內燃燒停留時間，使燃料較能完全燃燒。

另由於流體化床燃燒的特點，燃料可在相對較低之燃燒溫度下獲得與粉煤鍋爐較高燃燒溫度下同等的燃燼水準，且爐內溫度一般控制在 $800\sim 950^\circ\text{C}$ ，相對粉煤鍋爐等高溫鍋爐，較能控制因熱產生的 NO_x 排放，且溫度低於一般煤灰的灰熔點，減少了飛灰熔融帶來的爐內結渣及鹼金屬析出問題之各項控制，均比粉煤鍋爐好很多。

從燃燒反應動力學角度看，流體化床內的燃燒反應在動力控制燃燒區內，相對來說，爐內溫度不高，但燃料燃燒速率主要取決於化學反應速率，大量固體顆粒強烈混合形成優異的混合能力，使化學反應甚為快速，使流體化床燃燒技術的燃燼率通常可高達 $98\%\sim 99\%$ 。

2. 燃料適應性佳

由於爐膛內存在大量灼熱的惰性床料（河砂主成分為二氧化矽），使流體化床鍋爐燃燒過程非常穩定，新加入的燃料在進入爐膛後很快與大量高溫床料混合，並很快被灼熱床料加熱引燃，同時不會對爐溫造成明顯沖擊，因此流體化床燃燒技術具有極好的燃料適應性，幾乎對於任何燃料，都可以設計出適合的流體化床鍋爐，並保證燃燒過程的穩定和很高的燃燒效率，對於已經存在的流體化床鍋爐，即使燃料性質在相當大的範圍內變化，通常仍能保證穩定燃燒。

至今已成功地在流體化床鍋爐上燃燒過的燃料包括一切種類的煤，其中有高水分的褐煤，低揮發物的無煙煤，各種煤的煤矸石、洗矸、洗煤泥漿、石煤、各種石油焦、油頁岩、泥煤、城市垃圾、油污泥、廢輪胎、農林業生物質廢料如樹皮、木屑、稻穀、甘蔗渣等。

流體化床鍋爐也可用於燃燒各種液體和氣體燃料，各種燃料既可以單獨燃燒也可以混燒，這是其他爐型難以與之相比的。

3. 燃燒強度高，爐膛截面積小

爐膛單位截面積的熱負荷高是流體化床鍋爐的主要優點之一。流體化床鍋爐

的截面熱負荷約為 $3\sim 6\text{ MW/m}^2$ ，接近或高於粉煤鍋爐，同樣熱負荷下普通鍋爐需要的爐膛截面積要比流體化床鍋爐大 $2\sim 3$ 倍。

4. 燃料製備及進料系統簡單

流體化床鍋爐設計入爐顆粒一般為 10 mm 以下即可，比煤粉鍋爐的要求（通過 $200\text{ mesh} \geq 80\%$ ）低得多。因此，流體化床鍋爐燃料製備系統不需要配置磨煤機（mill），只需單級或二級破碎裝置即可滿足要求。

流體化床鍋爐只需要將燃料沿著給料斜管滑入爐膛（配少量播煤風和給煤氣密風），進料系統簡單，沒有特殊設計的燃燒器，且可集中給料，一個給料點可滿足約 100 公噸/小時 鍋爐蒸發量的要求，有利於鍋爐大型化。此外，流體化床鍋爐能直接使用高水分褐煤（水分達 30% 以上），也不需要專門的處理系統和設備。

如需使用 SRF，則建議 SRF 長度不超過 5 公分 ，通常就不容易出現卡料或架橋狀況。

5. 高效脫硫

流體化床相對低溫燃燒之特點，與石灰石最佳燃燒脫硫之溫度一致，故流體化床鍋爐添加石灰石即可有不錯的爐內脫硫效果。以循環式流體化床鍋爐為例，只要結構設計合理、運轉操作適當，添加適量石灰石，脫硫劑當量比（鈣硫比）為 $1.5\sim 2.5$ 時，通常可達 90% 之脫硫效率，其他類型鍋爐則較難達到此效率。

脫硫反應時，為了讓石灰石燃燒後之產物氧化鈣充分轉化為硫酸鈣，煙氣中的 SO_2 須與脫硫劑有長時間接觸和較大的比表面積，方能達到脫硫目標，故脫硫劑顆粒越小，越能得到更高的硫去除效率。在循環式流體化床鍋爐中石灰石顆粒粒徑通常為 $0.1\sim 0.3\text{ mm}$ ，而氣泡床流體化床鍋爐則為 $0.5\sim 1\text{ mm}$ 。 0.1 mm 顆粒的反應比表面積是 1 mm 顆粒的 10 倍以上。

在反應時間方面，在氣泡式流體化床鍋爐中，氣體在燃燒區域的平均停留時間為 $1\sim 2$ 秒，循環式流體化床鍋爐中則為 $3\sim 4$ 秒，再加上石灰石顆粒也參與循環，可反覆使用，因此無論是脫硫劑的利用率還是 SO_2 的脫除率，流體化床鍋爐通常可比其他爐型更為優越。

6. 氮氧化物（ NO_x ）排放低

流體化床鍋爐的另一個特點是氮氧化物排放低。燃燒常規燃料時，流體化床鍋爐的 NO_x 排放一般低於 250 mg/m^3 （ $\doteq 122\text{ ppm}$ ）。流體化床鍋爐 NO_x 排放低的主要原因是爐溫相對較低，燃燒溫度一般控制在 $800\sim 950^\circ\text{C}$ ，此時空氣中的氮雖會生成 NO_x ，但相對粉煤鍋爐或水泥旋窯相比，溫度較低， NO_x 相對較容易控制，通常以噴注氨水、分段（級）燃燒等方式產生還原反應去除 NO_x 。

7. 灰渣利用率高

流體化床為低溫燃燒，爐體內優良的燃燒條件使鍋爐的灰渣含碳量低，低溫

燃燒的灰渣可再利用，如灰渣可作為再生水泥或建築原材料，且低溫燃燒也有利於灰渣中稀有金屬的提取。脫硫後含有硫酸鈣的灰渣，尚可用來製作膨脹水泥，其他污染物如 CO、HCl、HF 等排放量相對也較低。

(二) 氣泡式流體化床 (BFB) 簡介

早期發展流體化床燃燒技術因為設備與技術上的限制，通常操作壓力為常壓，因此氣流速度僅以維持在粒子終端速度下操作，粒子的粒徑與速度分佈因素，因此流體化床明顯可以分成下方的流體化床區及床表面以上的乾舷區兩部分，而流體化氣體通過床質空隙，因此這類型流體化床稱之為氣泡式流體化床。

固體燃料投入爐內進行燃燒時，固體燃料會因流體化床內高溫產生裂解反應，產生氣態揮發物與固態的固定碳，固態的固定碳會在流體化床區與氧氣進行異相燃燒 (heterogeneous combustion) 反應，而氣態的揮發物質隨著流體化氣體上升至乾舷區進行勻相燃燒 (homogeneous combustion) 反應，這兩個燃燒反應所產生的熱量，除了維持床質與流體化氣體的溫度之外，可以藉由爐內的水管傳熱。

流體化床中的床質具有高熱容量的特性，因此可以處理許多不同型態的燃料，並且對於升降載的限制較少，也易於燃燒低熱值的燃料或是混燒多種不同燃料。生質燃料因具有含水率與低熱值特性，因此流體化床燃燒爐是一種適合使用生質燃料的裝置。

氣泡式流體化床鍋爐主要包含氣泡式流體化床燃燒爐結合水管鍋爐結構，其組成如圖 2，後續介紹其主要結構及目的。

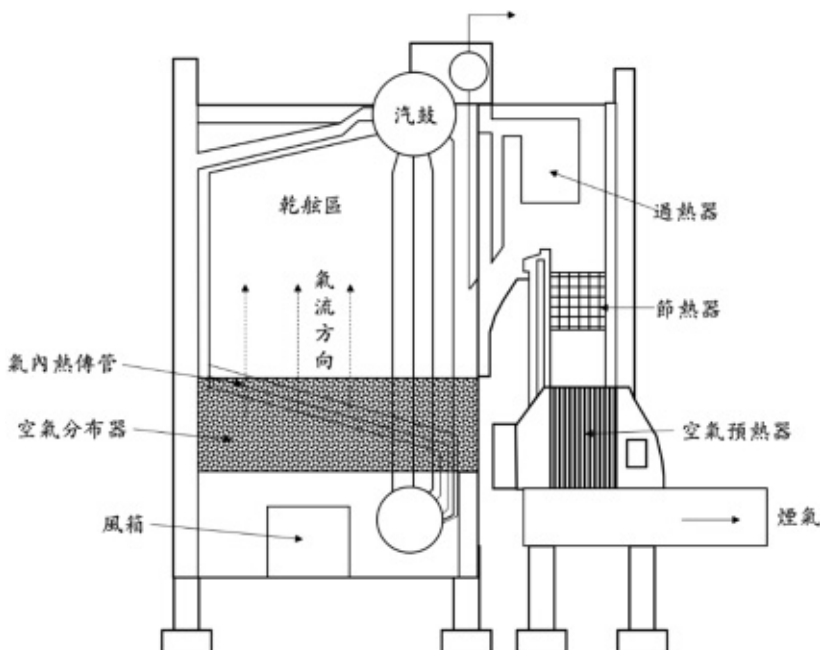


圖 2 氣泡式流體化床燃燒爐 (資料來源：賴耿陽，民 83；賴耿陽，民 86)

1. 風箱：用以蓄積流體化/燃燒用空氣的壓力，以達砂床流體化。
2. 空氣分佈器：在爐膛底部設置數十、甚至數百個噴嘴，使風箱氣體均勻分佈於砂床中，空氣分佈器的均勻度，會影響砂床翻攪能力，進而影響燃燒完全之程度，如不均勻，可能部分砂無法獲得擾動，甚至燃料裂解或氣化累積之局部高溫造成石英砂玻璃化之現象。
3. 流體化床：一般以矽質砂做為床質，例如河床採取之石英砂，其優點為低成本、硬度大而耐磨等特性。固定碳及部分揮發分，於此處透過與空氣分佈器所傳輸之空氣氣泡中的氧氣混合進行燃燒。為達控溫目的，此區常裝設噴水裝置或熱傳管。
4. 乾舷區：位於流體化床上方，揮發性物質主要在這裡燃燒，大部分燃料在離開乾舷區前燃盡，因此常在乾舷區供應分段燃燒的空氣，此區含有部分被淘汰（elutriation）的砂子。一般氣泡式流體化床水管鍋爐於乾舷區末端區域，常會設置水管牆，以吸收流體化床及乾舷區的輻射熱。
5. 燃盡氣體出口：位於乾舷區末端，主要目的是排出燃燒後產生的煙道氣，其設計需兼顧防止粒子淘失。
6. 對流熱傳區：佈設熱傳水管，以對流或傳導方式吸收煙道氣中的熱量。
7. 其他設備：包括循環鍋爐水的水鼓/氣鼓、燃燒系統、公用設備（風機、泵浦）、自動控制設備等。

(三) 循環式流體化床 (CFB) 簡介

循環式流體化床顧名思義係具有循環特性之意，高速的流體化氣體會將部分的床質與未燃盡的焦炭或固態燃料，蒐集回收後迴流至流體化床內，使得固體床質粒子可以循環不斷使用，除可將燃料盡量完全燃燒外，亦可減少飛灰之產生。循環式流體化床燃燒爐示意如圖 3。

高速流體化氣體會隨著爐體高度增加而下降，且固體燃料顆粒也會隨著滯留時間增加而變小，因此部分的固體粒子因終端速度低於流體化氣體的速度時，固體粒子會隨著其氣流向上流動，且伴隨著燃燒反應而放熱。

倘若燃燒未完成，則這些固體粒子會被煙道出口的分離裝置而捕獲，再度落回流體化床燃燒器中，此循環可提高燃燒效率與降低汙染物的排放。

(四) 小結

熱效率高 1%，通常燃料就可節省將近 1%，故選用熱效率高之鍋爐與較差之爐型相比，通常在數年內就可弭平價差，之後就可享受節省燃料之優勢，故建議在經濟條件允許之前提下，盡量選用流體化床式鍋爐。

循環式流體化床 (CFB) 與氣泡式 (BFB) 兩者熱效率與性能皆甚佳，但係循環式強化飛灰回收再燃燒，故比氣泡式更適合處理揮發分較低、灰分較高之物種，如

有機污泥，處理廢棄物之範圍更廣，故使用較多種類之燃料者，較建議使用循環式流體化床（CFB）鍋爐。

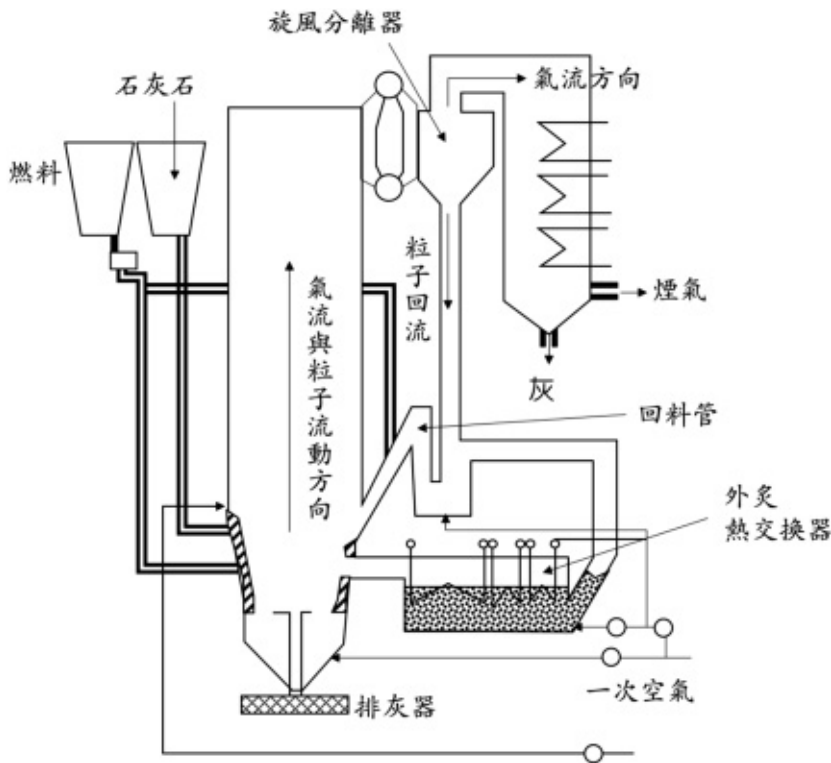


圖 3 循環式流體化床燃燒爐（資料來源：賴耿陽，民 83；賴耿陽，民 86）

二、實廠鍋爐熱效率計算案例介紹

本節以某紡織業為實際案例，介紹流體化床式鍋爐熱效率計算與建議提升之方式。

以往傳統紡織業常採用鏈排爐，依工業局以往經驗，鏈排爐無論大小，鍋爐熱效率通常皆約 7 成左右，通常越小型之鍋爐越低，可能僅有 6 成，雖該型鍋爐價格較便宜，然鍋爐熱效率較低，單位熱值所需燃料使用量較高，故排碳量亦偏高，較不推薦。

紡織係指一種纖維或纖維集合體的多尺度結構加工技術，紡織纖維等紡織材料（如棉、麻、紗等天然纖維及合成纖維如尼龍、特多龍等）經處理加工（退漿、精練、漂白、絲光）及印染整理成產品，其中不論是染整、烘乾、壓片、漿紗、印染、定型等流程皆需要使用到蒸氣，因此多數紡織廠會使用蒸氣鍋爐，提供蒸氣供製程使用並確保紡織品生產流程正常運行，然蒸氣鍋爐所產生的蒸氣狀態會直接反應在紡織廠染色和烘乾的品質上，因此紡織業使用鍋爐時，須注意燃料利用率、鍋爐熱效率及蒸氣穩定度（主要指溫度與壓力），可有效的提高生產紡織的效率及產品品質。紡織染整製程流程概如圖 4。

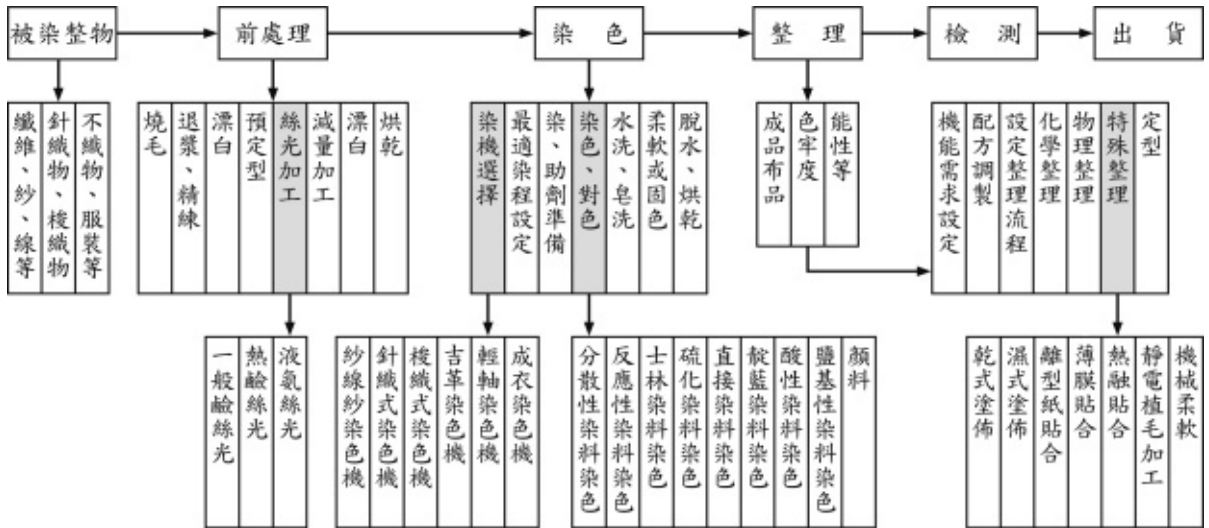


圖 4 紡織染整製程流程圖（資料來源：經濟部工業局，民 109）

本節以某紡織業作為實際案例，該廠具備 3 套流體化床鍋爐系統，提供廠內加工設備運作所需熱能，其中 2 套為德國 INTEC 公司所生產之氣泡式流體化床（BFB）熱媒鍋爐，每小時最大能產生 1,000 萬大卡之熱量供給聚合製程使用，而另 1 套為中國熱華公司所生產之循環式流體化床（CFB）蒸汽鍋爐，設計蒸汽量為 35 噸/小時，熱量供給聚合製程及放紡絲製程使用，以下介紹此兩種鍋爐於紡織廠的應用流程及效率評估，並針對提升熱效率方面，提出改善或強化之建議。

(一)氣泡式流體化床熱媒鍋爐

1. 鍋爐簡介及流程

熱媒鍋爐為一種「高溫低壓」的加熱爐，與一般常見蒸汽鍋爐不同，是以有機熱媒（液態之油品）作為熱量傳遞媒介，而不是使用水或水蒸汽進行熱量傳遞。熱媒油經鍋爐加熱後，藉由管路輸送至所需熱量之場所，再利用熱交換器進行熱能交換，再將熱媒油送回鍋爐加熱，形成一熱媒油循環加熱系統。熱媒油與水之性質不同，其飽和溫度高，在低壓下可得到高溫度之熱能，由於熱媒鍋爐所需之壓力低於蒸汽鍋爐，因此熱媒鍋爐適用於高溫且大量熱能需求之場所，免除使用高壓蒸汽的危險與不便。

該紡織廠之氣泡式流體化床熱媒鍋爐流程如圖 5，此鍋爐採用變頻式馬達帶動螺旋給煤機，並依據現場鍋爐火力大小狀況調整給煤機馬達頻率，以控制煤炭進料速度。

該鍋爐之熱煙氣體導入熱交換器，與加熱過之熱媒油同時提供熱量給預加熱之產品，再將熱煙氣導入節煤器進行空氣預熱，可降低熱煙道氣體所產生之熱量損失，還可以提高鍋爐整體效率。

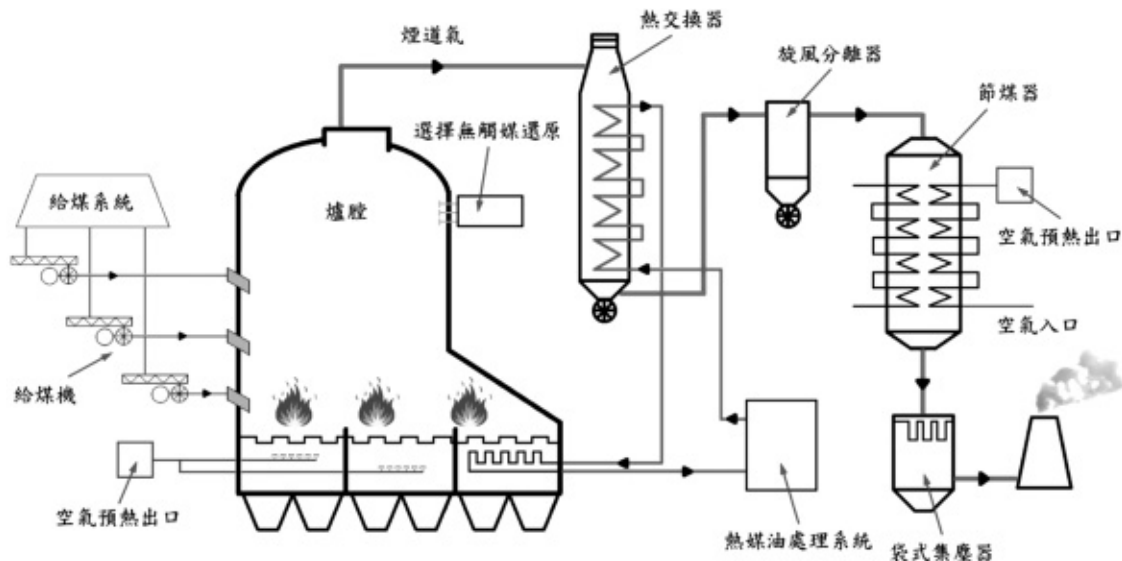


圖 5 氣泡式流體化床鍋爐流程

熱煤鍋爐的熱量傳遞媒介為熱煤油，因此系統之中需設有熱煤油處理系統圖 6，進行熱煤油的循環處理，其中包含膨脹槽、熱煤油儲存槽、過濾器及循環泵浦，簡單說明各項功能如後。

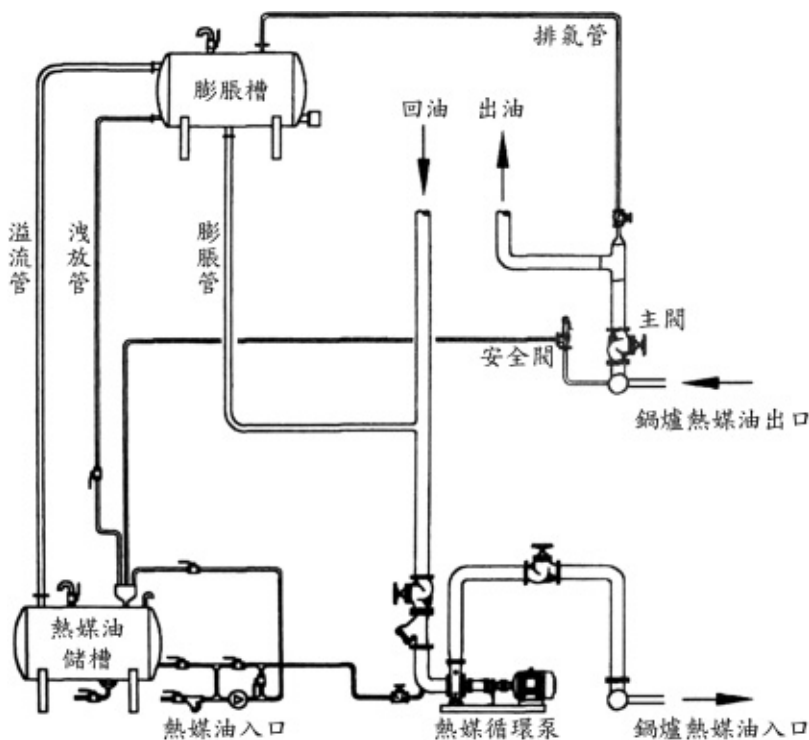


圖 6 熱煤油處理系統流程示意圖

(1)膨脹槽：

儲存熱媒油受熱後膨脹，膨脹槽可在熱油循環系統中於升溫過程中排出液態熱媒鍋爐和系統中，或適時補充熱媒油。注油時先將油注入中間槽，再自動流向鍋爐系統管路內。槽體放置位置於最高位置，有補充之壓頭作用，熱媒油儲存槽則應盡可能放置於加熱系統的最低位置以便排放熱媒鍋爐中的熱媒油。

(2)過濾器

在循環泵浦入口處應裝設過濾器，以便去除熱媒油在高溫運轉下形成的聚合物和殘渣，不但可保護循環泵浦，還可以避免影響鍋爐傳熱效率。

(3)循環泵浦

於循環系統中是用來產生動力，迫使熱媒油在系統設備管路中流動的設備，故此項設備係鍋爐熱媒循環系統中必要之設備。

此鍋爐系統中設有空氣污染防治相關設備，其中包含脈動式袋式集塵器、選擇無觸媒還原（SNCR）及乾式排煙脫流，功能簡述如下。

(1)脈動式袋式集塵器

首先氣體中的微粒在流動的過程中藉由濾布纖維過濾較大之微粒並停留於濾布上，其後的微粒繼續堆積於先前的微粒塵上，形成濾膜，而微粒持續的堆積並擠壓成濾餅，當濾餅厚度逐漸增加時，橫過濾層的壓降也逐漸變大，因此必需觀察集塵器壓降清除濾布表面的濾餅。一般袋式集塵器清洗方式可分為振動式、逆洗式及脈動式三種，而以脈動式清洗效果最佳。

(2)選擇無觸媒還原（SNCR）

指無觸媒的作用下，藉由注入一種含氨基的還原劑，如氨或尿素水溶液，在適合脫硝反應的溫度（900~1,050℃）內噴入還原劑，將煙氣中的氮氧化物還原為無害的 N_2 及 H_2O ，而本設備採用尿素作為還原劑，每小時添加7公斤進行脫硝反應，以降低排煙氣中之 NO_x 濃度。

(3)乾式排煙脫流

係指於鍋爐燃燒室中吹入碳酸鈣，並在高溫燃燒氣流中直接與二氧化硫進行反應，藉此吸收的排煙氣中的硫氧化物成分，而反應後產生的石膏顆粒將於後端袋式集塵器中被過濾出，而此套系統每小時約吹入85公斤的碳酸鈣，進行化學反應吸收硫氧化物，以降低排煙氣中之 SO_x 濃度。

鍋爐煙道氣體通過以上空氣污染防治設備，進行氮氧化物、硫氧化物及懸浮粒子的去除作業，於鍋爐排煙道口量測之 SO_x 濃度為44.6 ppm、 NO_x 濃度為50 ppm。

2. 鍋爐熱效率評估

為計算此鍋爐之鍋爐熱效率，需先瞭解鍋爐整體運作流程，方可得出哪些流程是屬於輸入熱量，哪些流程是屬於吸收熱量，並採用 CNS 2141 陸用鍋爐熱效率計算方法。鍋爐系統相關參數呈現於表 1，而相關計算與假設參數如表 2。

以輸入熱量來看，此熱媒鍋爐未設置外部熱源預熱煤炭、外部熱源預熱空氣及向鍋爐內部施加蒸汽或溫水之過程，因此輸入熱量僅有煤炭所提供之熱量，其煤炭供應熱量是依 CNS 10820 之規定所計算出的燃料發熱量。輸入熱量以煤炭濕基低位發熱量 = 5,532 (kcal/kg) 計。

以有效吸收熱量來看，此熱媒鍋爐僅有循環熱媒油進行有效熱量吸收，此外系統中煙道尾段設有節煤器，提供空氣預熱所需吸收之熱量，因此空氣預熱所吸收之熱量應列入有效吸收熱量中。

表 1 氣泡式流體化床熱媒鍋爐相關參數

項目	數值
用煤量 (kg / hr)	1,675
熱媒流量 (m ³ / hr)	525
熱媒系統入口溫度 (°C)	365
熱媒系統出口溫度 (°C)	337
燃料濕基低位發熱量 (kcal / kg)	5,532
鍋爐壓力 (kg / cm ²)	3.8
鍋爐尾氣溫度 (°C)	185
是否設置燃料預熱器	否
是否設置空氣預熱器	是 (節煤器)
空氣預熱溫度變化 (°C)	210

表 2 氣泡式流體化床熱媒鍋爐熱效率計算參數

項目	數值
熱媒油比熱 (kcal / kg°C) (於 340°C時)	0.59
熱媒油密度 (kg / m ³) (於 340°C時)	775
空氣比熱 (kcal / kg°C)	0.24
空氣密度 (kg / m ³)	1.29
戶外空氣之絕對濕度	0.03
理論空氣量 (kg / m ³)	5.312

有效吸收熱量 = 熱媒油吸收熱量 + 煙道預熱空氣吸收熱量

熱媒油吸收熱量：

$$\begin{aligned}
 &= \text{單位燃料所需之熱媒油量 (kg/kg)} \times \text{熱媒油比熱 (kcal/kg}^\circ\text{C)} \\
 &\quad \times \text{熱媒油溫度變化 (}^\circ\text{C)} \\
 &= \frac{525 (m^3/hr) \times 775 (kg/m^3)}{1,675 (kg/hr)} \times 0.59 (kcal/kg^\circ\text{C)} \times [365 (^\circ\text{C)} - 337 (^\circ\text{C)}] \\
 &= 3,950 (kcal/kg)
 \end{aligned}$$

煙道預熱空氣吸收熱量：

$$\begin{aligned}
 &= \text{單位燃料所用之空氣量 (m}^3\text{/kg)} \times \text{空氣比熱 (kcal/kg}^\circ\text{C)} \\
 &\quad \times \text{空氣密度 (kg/m}^3\text{)} \times \text{空氣溫度變化量 (}^\circ\text{C)} \\
 &= 8.60 (m^3/kg) \times 0.24 (kcal/kg^\circ\text{C)} \times 1.29 (kg/m^3) \times 210 (^\circ\text{C)} \\
 &= 559 (kcal/kg)
 \end{aligned}$$

綜合上述說明，以進出熱量法進行鍋爐熱效率計算，其計算式於下列中呈現，而其計算鍋爐熱效率為 81.5 %。

$$\begin{aligned}
 \text{鍋爐熱效率} &= \frac{\text{有效吸熱量}}{\text{輸入總熱量}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{熱媒油吸收熱量} + \text{煙道預熱空氣吸收熱量}}{\text{燃料輸入熱量}} \times 100\% \\
 &= \frac{3,950 (kcal/kg) + 559 (kcal/kg)}{5,532 (kcal/kg)} \times 100\% = 81.5\%
 \end{aligned}$$

3. 氣泡式流體化床鍋爐熱效率提升方法

以本文計算氣泡式流體化床鍋爐為例，此鍋爐熱效率 81.5% 已於水準之上，原因除流體化床本身對燃燒控制之性能甚佳外，為鍋爐於排氣末端設置空氣預熱器減少約 10.1% 的排煙熱損失，但整體而言鍋爐熱效率還有很大的進步空間。為精益求精，持續提高鍋爐熱效率及減少能源損耗，以此案為例，給予以下建議。

(1) 減少空氣過剩問題

建議盤點熱交換與燃燒系統，其中包含鍋爐排氣溫度、鍋爐排氣含氧量、鍋爐供給空氣量、鍋爐供給空氣溫度、鍋爐進風量、燃料使用量及燃料顆粒大小等，將參數進行交叉比對，找出最佳的調整方法，避免造成更多的熱量損失。

(2)減少熱損失：

- ①建議在鍋爐運行中應定期進行受熱面吹灰和即時除渣，可減輕和防止積灰、結焦，從而保持排煙溫度正常，且降低排煙熱損失。
- ②建議定期檢修鍋爐保溫層是否有受損破裂處。部分熱量會藉由受損部位以輻射和對流方式向周圍空氣散失，成為鍋爐熱損失，進而降低鍋爐整體效率。目前市面上已有外接式的手機紅外線熱感應模組，售價約 1.5 萬元，比以往動輒 5~10 萬元之專用設備便宜許多，因此建議廠商可購買作為漏熱檢測使用，雖精準度不如專用設備，但貴在方便使用，往往尋出漏熱處，都可節省數萬至十萬元/月，與設備本身價格相比，屬於非常划算之設備，建議廠商購買。

(二)循環式流體化床蒸汽鍋爐

1. 鍋爐簡介及流程

該廠循環式流體化床蒸汽鍋爐流程如圖 7，此鍋爐採用變頻式馬達帶動螺旋給煤機，將依據現場蒸汽需求狀況調整給煤機馬達頻率，以控制進料速度。此外，此系統於給煤過程中同時吹入石灰粉末進入鍋爐燃燒室中，在高溫燃燒氣流中直接與二氧化硫進行反應，藉此降低的廢煙氣中的硫氧化物成分，反應後產生的石膏顆粒將於後端袋式集塵器中被過濾出。

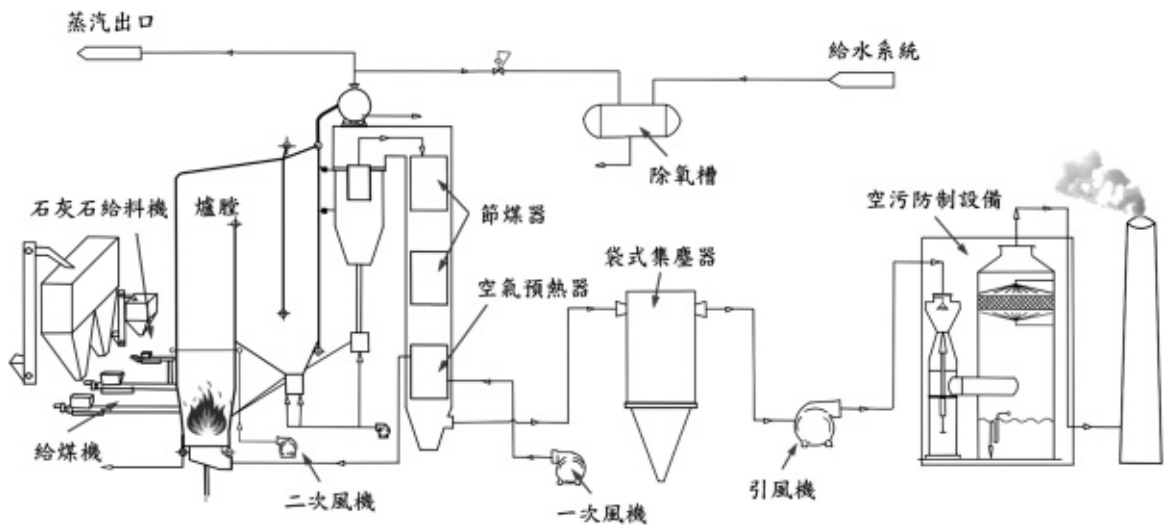


圖 7 循環式流體化床鍋爐流程圖

此套鍋爐於煙道尾段設有鍋爐節煤器進行餘熱吸收，作為空氣預熱之熱源，此舉可降低排煙熱損失，提高鍋爐熱利用效率。

在此鍋爐系統中有設置脫氧槽進行脫氧動作，其主要原因是鍋爐之傳熱媒介為水，而水中溶解氧氣為造成鍋爐系統設備腐蝕最大之原因，故此鍋爐系統採用

機械式除氧槽，盡量去除爐水中所溶存之氧氣，再以化學加藥劑二次除氧，使爐水中含氧量降至最低值。

機械式除氧的基本原理乃根據氧在水中溶解度對溫度及壓力之關連性，溫度越高氣體溶解度越低，壓力越低氣體溶解度越低，因此系統亦利用鍋爐所產生之部分蒸汽來加熱除氧槽內之水溫，同時達到給水預熱及除氧效果。

此鍋爐系統搭配之空氣污染防治設備包含脈動式袋式集塵器、選擇無觸媒還原（SNCR）及乾式/濕式排煙脫流（DFGD/WFGD）設備，除濕式排煙脫硫外，其餘項目已於上節提及，不再贅述。

濕式排煙脫流係在洗滌器內添加鹼劑（氫氧化鈉）與煙道氣體進行化學反應，吸收硫氧化物，以降低排煙氣中之 SO_x 濃度。而此設備每小時用水量約 36.8 噸，每小時添加 17 公斤的 45% 氫氧化鈉作為還原劑使用，而經洗滌器後之洗滌液 pH 值約 8.1。

鍋爐煙道氣體通過以上空氣污染防治設備，進行氮氧化物、硫氧化物及懸浮粒子的去除作業，於鍋爐排煙道口量測之 SO_x 濃度為 3.4 ppm、 NO_x 濃度為 46 ppm。

2. 鍋爐熱效率評估

採用 CNS 2141 陸用鍋爐熱效率計算方法，相關參數呈現如表 3，而相關計算與假設參數呈現如表 4。

表 3 循環式流體化床蒸汽鍋爐相關參數

項目	數值
用煤量 (kg / hr)	3,440
用水量 (kg / hr)	30,759
給水溫度 (°C)	102
燃料濕基低位發熱量 (kcal / kg)	5,532
蒸汽產量 (kg / hr)	28,069
鍋爐壓力 (kg / cm ²)	20
鍋爐尾氣溫度 (°C)	172
是否設置蒸汽再熱器及過熱器	否
是否設置燃料預熱器	否
是否設置空氣預熱器	是 (節煤器)
空氣預熱溫度變化 (°C)	200
是否設置給水預熱器	是 (除氧槽)

表 4 循環式流體化床蒸汽鍋爐熱效率計算參數

項目	數值
飽和水之焓 (kcal / kg) (於 20 kg / cm ² 時)	215.9
飽和乾蒸汽之焓 (kcal / kg) (於 20 kg / cm ² 時)	668
蒸汽乾度 (%)	95
空氣比熱 (kcal/kg°C)	0.24
空氣密度 (kg/m ³)	1.29
戶外空氣之絕對濕度	0.03
理論空氣量 (kg/m ³)	5.31

以輸入熱量來看，此蒸汽鍋爐未設置外部熱源預熱煤炭、外部熱源預熱空氣及向鍋爐內部施加蒸汽或溫水的過程，因此輸入熱量僅有煤炭所提供之熱量，其煤炭供應熱量是依 CNS 10820 之規定所計算出的燃料發熱量。

以有效吸收熱量來看，此蒸汽鍋爐未設置蒸汽過熱器及蒸汽再熱器，因此僅需計算最終蒸汽出口之蒸汽所吸收之有效熱量，在此假設蒸汽乾度以 95% 進行計算；由於此系統亦設有除氧槽之給水預熱及節煤器之空氣預熱，但其中除氧槽之給水預熱是使用鍋爐生產之部分蒸汽進行加熱，故此熱量視為一種熱循環，應避免重複計算，所以不得列入有效輸出熱源中，而鍋爐煙道尾氣並不屬於有效輸出熱源，因此節煤器預熱空氣所吸收之熱能，應列入有效輸出熱源中。

有效吸收熱量=蒸汽吸收熱量+煙道預熱空氣吸收熱量

蒸汽吸收熱 = 單位燃料產生之蒸汽量 (kg/kg)

× 水汽化至蒸汽所需之焓 (kcal/kg)

$$= \frac{28,069 \text{ (kg/hr)}}{3,440 \text{ (kg/hr)}} \times [(215.9 \text{ (kcal/kg)} \times 0.05 + 668 \text{ (kcal/kg)}$$

* 0.95) - 102 \text{ (kcal/kg)}]

$$= 4,433 \text{ (kcal/kg)}$$

煙道預熱空氣吸收熱量=單位燃料所用之空氣量(m³/kg)×空氣比熱(kcal/kg)

× 空氣密度 (kg/m³) × 空氣溫度變化量 (°C)

$$= 8.60 \text{ (m}^3\text{/kg)} \times 0.24 \text{ (kcal/kg)} \times 1.29 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

× 200 (°C)

$$= 532 \text{ (kcal/kg)}$$

綜合上述說明，以進出熱量法進行鍋爐熱效率計算，其計算式於下列中呈現，而其計算鍋爐熱效率為 89.8%。

$$\begin{aligned}
 \text{鍋爐熱效率} &= \frac{\text{有效吸熱量}}{\text{輸入總熱量}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{蒸汽吸收熱量} + \text{煙道預熱空氣吸收熱量}}{\text{燃料輸入熱量}} \times 100\% \\
 &= \frac{4,434 \text{ (kcal/kg)} + 532 \text{ (kcal/kg)}}{5,532 \text{ (kcal/kg)}} \times 100\% = 89.8\%
 \end{aligned}$$

3. 循環式流體化床鍋爐熱效率提升方法

以本文計算案場之循環式流體化床鍋爐為例，鍋爐熱效率達 89.8% 已於水準之上，主要因為此套蒸汽鍋爐末段排氣中設有降低排煙熱損失的空氣預熱器，可大幅降低排煙熱損失約 9.62%，此外，亦利用鍋爐所生產之蒸汽，部分提供給除氧槽進行給水預熱及除氧功能，因此相當值得作為他廠之典範。於未來可以持續提高鍋爐熱效率及減少能源損耗，說明如下。

- (1) 建議調整空燃比控制：燃燒過程為降低不完全燃燒損失和排煙熱損失，當過剩空氣係數過高時，相當於吸入了多餘的冷空氣進入爐膛，這部分多餘的冷空氣並未參與燃燒，而是被加熱後排放出，因此排煙熱損失增大；當過剩空氣係數過低時，由於燃料得不到足夠的氧氣而不能完全燃燒，造成不完全燃燒損失增大。而鍋爐處於長期不完全燃燒情況下，將導致鍋爐受熱面積碳，影響換熱效率，排煙損失持續增大。
- (2) 建議設置蒸汽冷凝水回收系統，原因如下。
 - ① 冷凝水為純的蒸餾水，不含鍋垢之固體成份，可回收至給水系統中，並節省大量清鍋費、水費。
 - ② 可提高鍋爐給水水質，蒸汽品質提高，減少鍋爐沖放以節約能源。由於冷凝水水溫較高，混入給水系統後，除了可以減少水中含氧量，避免鍋爐管線銹蝕，還可以增加鍋爐蒸發量，減少單位蒸汽生成熱能的需要量，直接節省燃料消耗（同時降低 CO₂，NO_x 和 SO_x 對空氣的污染），提高鍋爐熱效率。
 - ③ 冷凝水回收管能有效的降低閃蒸汽排放到大氣時產生的噪音，以及產生的水灘，優化工廠的工作環境。
 - ④ 另建議注重祛水器之使用。祛水器可藉由自動排除系統中的冷凝水和空氣讓蒸汽管道和製程設備中保持充滿蒸汽的狀態達到保持良好的蒸汽品質，分為熱靜力式及壓力平衡式等多種樣態，建議與祛水器廠商討論排氣量等參數後，決定最適合使用之類型。據廠商經驗，良好的祛水器甚至有可能使鍋爐節能能力增加約 2~3 成，如設置數量較多，亦可討論是否可用 ESCO 方式推廣，

例如祛水器之成本由祛水器廠商自行吸收，後續以每月分攤方式收費，由於節能費用很有可能大於每月之分攤費，故對鍋爐使用者而言，每月節省之燃料費大於分攤費，屬於相當划算之投資。

從上述說明之方法進行加強，可將持續將鍋爐熱效率向上提升，不但可以節省產業使用的能源成本，還可以降低排放對環境所造成的污染，因此持續減少鍋爐熱量損失的議題相當之重要。

三、總結

綜上所述，經濟部及環保署皆鼓勵廠商使用既存流體化床鍋爐混燒或純燒 SRF，欲新設鍋爐之廠商，應多考量使用流體化床鍋爐，其中循環式流體化床鍋爐的燃燒特性佳，適合使用揮發分較低之 SRF（如有機污泥）；氣泡式流體化床鍋爐則較適合處理揮發分較高之 SRF（如廢塑膠），兩者產生空汙及廢棄物（底渣與飛灰）皆較一般鍋爐少，如搭配適當之固定污染源最佳可行控制技術（BACT），可將污染排放有效控制；可參考本文提高熱效率並減少熱損，因熱效率高而可減少煙煤用量，具有減碳效益，可減少底飛灰及其處理費，亦可減少焚化廠之負荷，該優良作法值得廠商參考。

高空作業車操作人員訓練實習



碳中和與氫鍋爐

三浦工業（股）氫・FC 事業推展部／竹本真典

摘錄自日本ボイラ研究 NO.434 / 台灣三浦工業股份有限公司 譯

要實現碳中和社會首重於工業熱能脫碳化。本公司著手開發以天然氣或油為燃料的鍋爐，轉換為以氫氣為燃料的鍋爐之下，已實現了安全且低廢氣排放。目前有效運用衍生氫氣的案例雖多，但也已開始證實日後可有效運用來自再生能源的氫氣。以下將針對氫鍋爐進行解說。

一、前言

據說，日本碳排放量當中，直接從工業鍋爐排放的量佔整體的比例%數，今後的工業熱能減碳除了是一大課題的同時，身為鍋爐製造和銷售廠商的本公司，也視為應積極推動的一大主題。有效運用熱需求者現有設備、和取得能源轉換速度平衡的同時，如圖 1 所示，在中長期方面，則以有助於 2 階段降低環境負荷為指標，在短期方面，有效運用轉換燃料和高效率、廢熱回收和有效運用未使用的熱能、可視化的省能源和節能診斷，以提議和推展貫徹的節能源活動。

在此當中，燃燒氫氣時的生成物僅有水，因此被視為零碳排的潔淨能源而備受關注。如表 1 所示，在各燃料種類上計算每 1 噸蒸氣所產生的 CO₂ 量。透過圖 2 可得知，以轉換燃料的觀點來看，目前為止已藉由將燃料從重油轉換為天然氣的方式展開減碳行動，但從天然氣轉換為氫氣將有 2 倍左右、從 A 重油轉換為氫氣則約有 3 倍左右的影響。

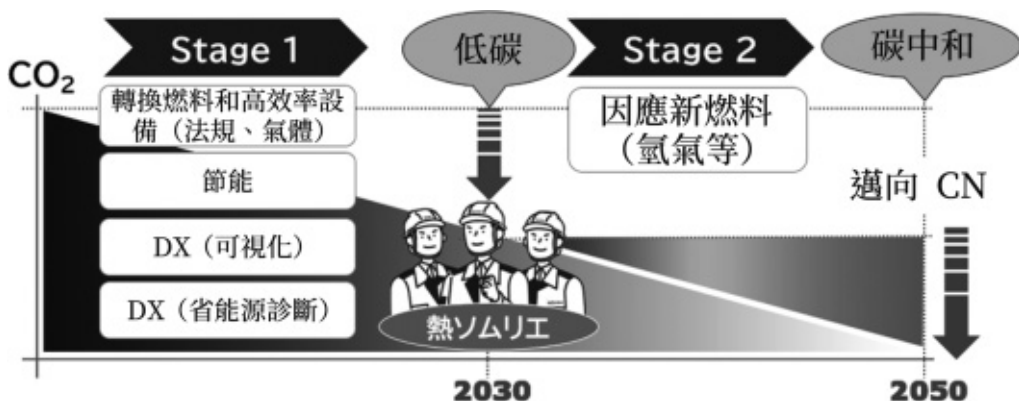


圖 1 三浦邁向 CN 的措施

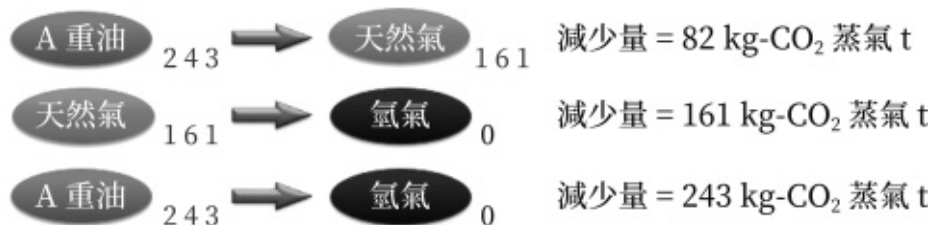


圖 2 轉換燃料對減碳的影響

表 1 燃料類別的碳排量

煤	A 重油	天然氣	氫氣
355	243	161	0

註記：以單位為 kg-CO₂/蒸氣 t，蒸氣壓力 0.7MPa、給水溫度 20℃ 為條件

在 2021 年內閣會議決定的第 6 次能源基本計畫中，也強調徹底強化實現氫社會的對策，並以 2030 年左右大規模運用便宜且穩定的氫氣為指標。然而，目前使用氫氣為燃料的設備仍不普及，因此必須從燃燒速度快、可燃範圍廣泛的特性中，開發出可供各種設備通用的技術。本公司則以日後將有效運用潔淨能源為設想下，鎖定廣泛作為熱源之用的貫流式鍋爐而進行氫利用的開發之後，終於做出日本首創可 100 % 進行氫氣燃燒的貫流式鍋爐產品。

作成商品時有 3 大核心技術。其 1，以氫為燃料的同時確保安全性的技術；其 2，確立讓特性上難以實現低 NO_x 化的氫燃料，符合大氣污染防治法基準的燃燒技術；其 3，搭載即便氫的發生量出現變動時，仍可追隨並將氫氣充分用罄的連續運轉控制。在有效運用這些技術和工業鍋爐普遍具備的台數控制功能，終於開發出可對應實際需求者之熱需求的運轉控制技術。

本公司在排除這些技術障礙之下終於成功生產出產品，目前為止已累積十多台的出貨實績。目前，在製程上產生氫氣會作為副產品的業態，尤其是碳酸鈉業界和石油化學業界的需求者，可透過善用本氫氣燃料鍋爐，以大幅減少既有燃料（化石燃料）的使用量及碳排量，但從日後的脫碳觀點來看，有鑑於將增加無碳氫（來自再生能源的氫氣製造等）的運用，勢必會提高作為脫碳時期熱源的氫燃料鍋爐需求。本公司也為此展開邁向第一步的技術開發。

二、技術開發

表 2 為氫氣燃料的貫流式鍋爐產品規格；圖 3 為外觀圖。目前，本公司備有簡易鍋爐等級的 SU-250H 型、小型鍋爐 SI-2000 型、高壓類型的 AI-2500 型 3 種產品陣容。由於工業廠房大多採用並排設置數台 2,000kg/h~3,000kg/h 貫流式鍋爐的「多罐設置」方式，因此氫鍋爐也以相同運用方式為設想下，展開以 2,000kg/h 為中心的機種。

表 2 氫燃料貫流式鍋爐產品規格

要點	單位	SU-250H	SI-2000AS	AI-2500 20S
鍋爐種類	-	簡易鍋爐	小型鍋爐	鍋爐
操作資格	-	無需資格	具備參加業者實施「特別培訓」以上資格	鍋爐操作技能講習結業者
最高使用壓力	MPa	0.98	0.98	1.96
相當蒸發量	Kg/h	250	2,000	2,500
熱輸出	kW	157	1,254	1,567
燃燒方式	-	ON-OFF	高速連續	3 位置
調降比 (turndown ratio)	-	-	01:04	01:02
氫用量	Nm ³ /h	59.6	451.7	576.7



圖 3 鍋爐外觀 SU-250 (左) 和 SI-2000AS (右)

(一)安全方面

氫氣屬於極易燃、燃燒速度快的氣體，因此燃燒時需根據其特徵採取安全措施，目前尚無明確的氫燃料相關法規的安全基準（在處理氫氣上，與天然瓦斯或 LPG 等一般氣體無異）。因此以處理氫氣的各業界方針為參考下，研討出加裝本公司獨創的安全裝置。以下將說明氫燃料鍋爐具代表性的安全裝置。

1. 採用火焰防阻器 (Flame Arrester)

氫氣的燃燒速度快，恐有發生火焰逆回燃料配管內的逆火現象之虞。氫氣燃料鍋爐是採用，防止逆火現象的裝置安裝於燃料配管內，以防火焰逆回的結構。

此裝置即稱為火焰防阻器，雖依火焰防止結構而有數種類型，但本公司採用的是防止性能最高的波板式（Waveplate）（波紋阻火（crimp ribbon）式），以提高安全性。這種波板式的類型，是以圖 4 所示金屬波板和平板組合而成的結構，流道面積非常狹窄，而形成當火焰通過時，會被金屬奪走熱時失火的架構。

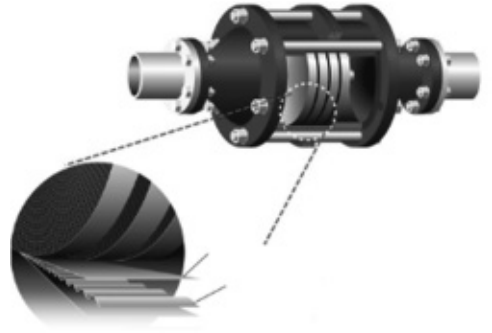


圖 4 火焰防阻器

2. 用氮氣吹淨殘餘氫

氫氣與空氣之間的可燃範圍廣，即便是少量的空氣也能燃燒，因此需注意空氣流入氫氣配管內。然而，鍋爐停止燃燒時，氫氣配管內無論如何都會發生部分的殘餘氫氣，有可能是流入來自爐內或供氣口的空氣，而讓氫形成可燃混合氣。因而配置用惰性氣體氮氣，吹淨此配管內殘餘氫氣的安全控制功能。

如圖 5 所示，停止燃燒時，氫氣會殘餘在燃料斷路閥二次側，因此在此處設置氮氣供應管線，當停止燃燒時，流入氮氣以吹淨殘餘氫。再者，盡可能將氫氣配管內的燃料斷路閥設置於接近燃燒器的位置，以極力減少吹淨氫量的方式進行配管設計。

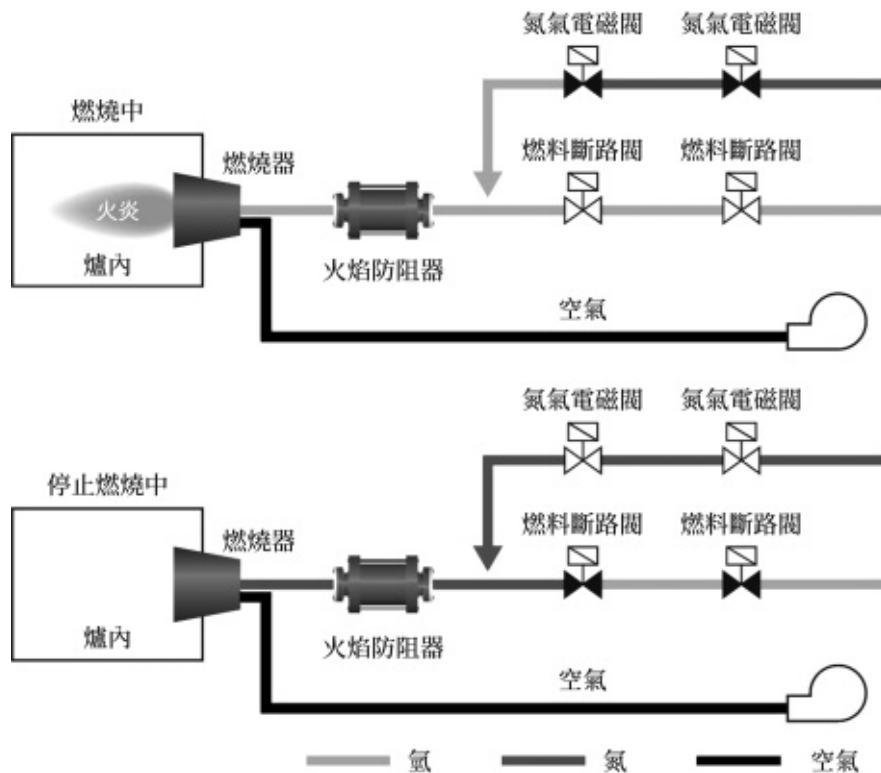


圖 5 氮氣吹淨功能

(二)開發氫燃燒器

氫是極易燃、且燃燒速度快的氣體，依據燃燒時的特徵開發出相應的燃燒器。尤其是氫在燃燒時火焰溫度會升高，因此需重新評估燃燒器材質的同時，亦採取 NOx 對策。火焰溫度越高，越會加快空氣中的氮氣在燃燒中被氧化而形成 NOx 現象（Thermal NOx）的反應。由於氫氣在燃燒中，具有增加 Thermal NOx 的傾向，因此本公司在氫氣燃料鍋爐中採用讓燃燒廢氣在爐內再度循環的 EGR 方式，以減少 NOx 並符合大氣污染防治法規（150ppm 以內；O₂ = 5%）的要求。

此外，也更進一步著手研發低 NOx 化技術。以脫碳和氫能社會為目標當中，要求氫氣燃料鍋爐性能水準需同於傳統的天然瓦斯燃燒鍋爐；再者，要在都市地區推廣氫氣燃料鍋爐時，就必須開發出抑制 NOx 值同於天然瓦斯燃料鍋爐水準的低 NOx 燃燒器（Low NOx Burner）。新開發的低 NOx 燃燒器，是透過高速噴出燃燒用空氣，來誘導爐內的燃燒氣體，經過緩慢的燃燒反應，能抑制局部火焰升溫，降低 NOx。搭載全新開發低 NOx 燃燒器的「氫氣燃料貫流式鍋爐（SI-2000AS-H2A）」，被選為日本全國地方政府第一個使用氫氣燃料的蒸氣鍋爐，並接受「東京都低 NOx、低 CO₂ 小規模燃燒設備委員會」的認證審查後，2021 年 5 月 27 日已被認證為新認證分級（H 級：50ppm 以下）。因這次的認證，也為日後邁向氫鍋爐普及都市地區的第一步。

(三)氫氣量的變動之因應

有鑑於氫氣的流通性和經濟效益，目前已增加不少將氫氣燃料鍋爐交付給可用較低廉成本取得氫氣的副產氫氣工廠的出貨案例。副產氫氣作為產出副產物，因此產生的氫量會依工廠的運作情況而變動。氫氣燃料鍋爐最好能廣泛因應氫氣量，且需快速跟進氫氣量的變動。產品剛上市時，氫燃料鍋爐的燃燒控制僅有 100% 燃燒和 50% 燃燒 2 階段方式，但承如上述所言，因應需擴大燃燒範圍的要求，進而新開發出 100%~25% 的無階段燃燒方式（高速連續控制）。再者，也開發出設置數台可廣泛對應氫氣量的鍋爐，來搭配對各鍋爐傳送燃燒指令的台數控制氫氣燃燒系統。藉此從比較圖 6 和圖 7 得知，對於變動的氫氣量，幾乎可作為全量燃料而加以有效運用。

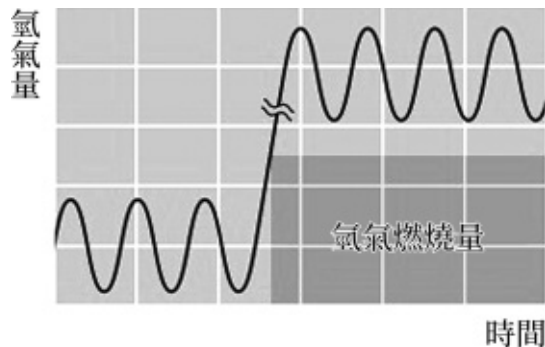


圖 6 3 位置控制時

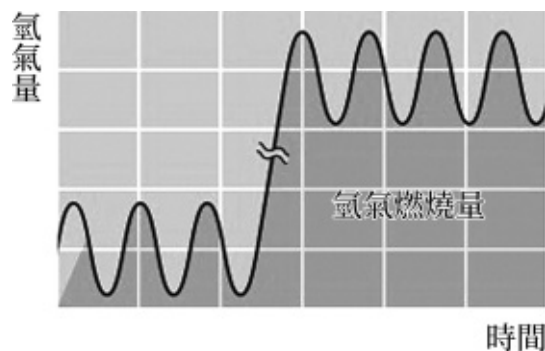


圖 7 高速連續控制時

三、碳排抑制效果和經濟效益

氫氣在燃燒時只生成水，且碳排量為零。從化石燃料轉換為氫時的減排量相當於以往所碳排量，因此減排率為 100%，氫氣燃料鍋爐的抑制碳排效果極大。另一方面，現階段的氫價遠高於化石燃料，在經濟效益方面上會增加成本。表 3 表示與一般 A 重油鍋爐和氫燃料鍋爐的營運成本比較表。在此所示的氫價格是以對外採購為設想的結果，若自家工廠能產生副產氫氣時，便可用更低廉的成本取得氫。若客戶屬於現階段在未使用副產氫氣的情況下加以廢棄時，可透過讓氫燃料鍋爐加以有效運用，進而帶來減少現有燃料（例如表 3 的 A 重油）營運成本，對成本上有著極大優勢。

再者，日本經濟工業省透過成長戰略會議等資料所示的未來目標氫氣價格分別為，2030 年 30 日圓/m³N、2050 年 20 日圓/m³N，為此可預測往後氫鍋爐的年營運成本（燃料費）將逼近同於目前的水準。

表 3 CO₂ 排出量比較

項目	A 重油鍋爐	氫鍋爐
燃料單價	30 日圓 /L	100 日圓 /Nm ³
全年營運成本	62,146 千日圓	264,712 千日圓
全年碳排量	2,105 噸	0 噸

<計算條件>

- A 重油價格摘錄自日本資源能源廳、石油產品價格調查的 2019 年 A 重油價格（小型貨車）平均價格；氫價格摘錄自資源能源廳製作的資料「達成氫・燃料電池戰略進程計劃的因應情況」。
- A 重油的低位發熱量為 36.7MJ/L、氫的低位發熱量 10.77MJ/m³N、鍋爐效率 95%、全年運作時間 6,000h 後所計算而成。A 重油的碳排量計算係數採用的是 2.71t-CO₂/kL。

四、應用來自再生能源的氫

從再生能源經過水電解製造而成的氫氣，和利用 CCS（碳捕捉與封存）從褐煤生產的氫等零碳氫能為燃料的需求將日益成長，目前日本國內也進行實際驗證。本公司在 NEDO（國立研究開發法人新能源產業技術綜合開發機構）委託的事業領域上，透過接單研發方式，將水電解氫應用在山梨縣正積極推動「以建構零碳氫能社會為指標的 P2G 系統技術開發」用途當中的供熱實證機 SU-250-H2 之下，已於 2021 年 2 月完成出貨。這項事業是利用設置於山梨縣米倉山的太陽能發電設備所得的電力當中，較為不穩定的電力以產生氫氣後加以封存，再將氫氣運送給熱需求者的氫鍋爐應用例。

在大型化的發展下，預定往後將實證使用大規模熱能的客戶系統，本公司也有參與 NEDO 事業。這項事業是將技術開發成果運用在 NEDO 委託的事業上，並採用從

2021 年度～2025 年度共計 5 年期間，可安全且安心將再生能源轉換為氫能源的固體高分子型（PEM）水電解，並針對大型化和模組化水電解裝置的設備進行設計和各種試驗。此外，目前正在計劃在複數個部位上，以 16MW 規模導入模組化的 P2G 系統，讓大規模需求者得以透過鍋爐等，直接將化石燃料的運用轉換為氫能源的實證。

五、電氣鍋爐

表 4 為電氣鍋爐的產品規格；圖 8 為外觀圖。電氣鍋爐可透過有效運用綠色電力以降低碳排放量。目前，本公司產品最大容量電氣鍋爐的相當蒸發量為 149kg/h，相較於 2,000 kg/h 的氫鍋爐大約小 13 分之 1。這是因為日本國內具有鍋爐操作資格的限制規定，每 1 台燃燒燃料的鍋爐和電氣鍋爐的蒸發量規模則有 1 位數的差異。因此，若用電氣鍋爐滿足熱需求者的蒸氣需求時，不僅必須多台設置，且需要大規模的受電設備。如表 5 所示，在平成 31（2019）年度的鍋爐出貨成果中可得知，通常型電氣鍋爐的出貨實績屬於 149kg/h 為止的範疇，由此可見目前為止的需求偏向於小型鍋爐。

相較之下燃料燃燒的鍋爐，儘管電氣鍋爐需要較多的設置台數和面積，但可藉由善用現有技術，從來自再生能源的電力中產生蒸氣，來做為工業熱能之用。

表 4 規格一覽表

要點	單位	ME-10	ME-50	ME-100
鍋爐種類	—	簡易鍋爐	簡易鍋爐	簡易鍋爐
操作資格		不需	不需	不需
最高使用壓力	MPa	0.59	0.59	0.69
相當蒸發量	Kg/h	10	76	149
熱輸出	kW	9.4	47.6	93

表 5 鍋爐的出貨實績

換算蒸發量	平成 31 年度 (2019 年度)						
	正常型				低 NOx 規格		合計
	瓦斯	油	電力	廢熱	瓦斯	油	
～ 49	6		319				325
50～149	483	676	119		264	122	1,664
150～499	1,013	1,229		24	433		2,699
500～999	841	1,156		5	360	3	2,365
1,000～1,999	856	660		1	598	77	2,192
2,000～	1,696	617			1,320	9	3,642
合計	4,895	4,338	438	30	2,975	211	12,887

註：令和 2 年度版(2020)的鍋爐年鑑（(一般社團法人)日本鍋爐協會發行）

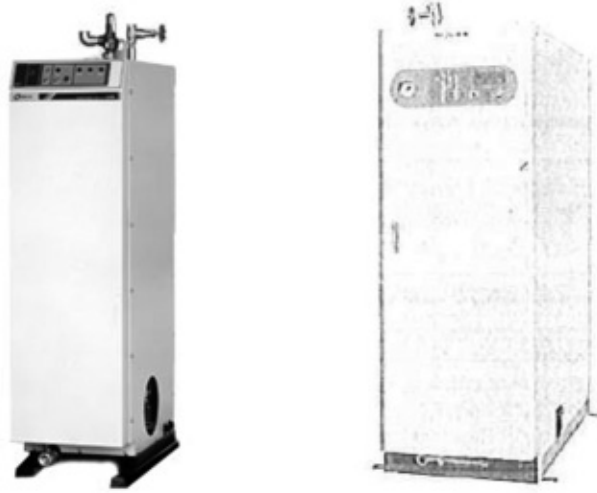


圖 8 電氣鍋爐外觀 ME-10 (左)、ME-100 (右)

六、總結

本公司有效運用綠色氫氣和綠色電力的「綠色鍋爐」，可望在日後為了成為以 2030 年減碳量比 2013 年度降低 46 %、實現 2050 年達成零碳排的大型國家目標。期待「Green Steam®」、「綠色蒸氣®」日後能受到許多工廠運用，進而為熱需求者的脫碳化作出貢獻。

尤其是，本次介紹的氫鍋爐同於傳統天然瓦斯鍋爐一樣，皆屬體積輕巧但可傳遞極大熱能的設備，因此希望能作為工業用熱源之用，往後也將繼續研發技術，為建構脫碳社會作出貢獻。

※註：Green Steam®、綠色蒸氣®為三浦工業的註冊商標。



甲級鍋爐模擬機操作訓練

112
年度

全球減碳發展趨勢及 企業因應策略說明會

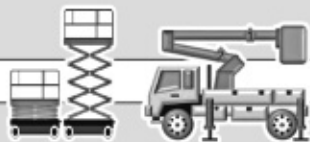
- 主辦單位：工業技術研究院中分院
- 協辦單位：台灣省鍋爐協會
- 時間：112年7月4日
- 地點：台灣省鍋爐協會附設台中職訓中心



台灣省鍋爐協會附設台中職業訓練中心

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	112.08.11 ~ 112.08.14 白天班 (8/11 學科上課，8/12、13 術科分組實習，8/14 術科考試)	台中班	
	112.08.21 ~ 112.08.24 白天班 (8/21 學科上課，8/22、23 術科分組實習，8/24 術科考試)	台中班	
	112.09.04 ~ 112.09.07 白天班 (9/4 學科上課，9/5、6 術科分組實習，9/7 術科考試)	南投班	
	112.09.18 ~ 112.09.21 白天班 (9/18 學科上課，9/19、20 術科分組實習，9/21 術科考試)	台中班	
	112.09.25 ~ 112.09.28 白天班 (9/25 學科上課，9/26、27 術科分組實習，9/28 術科考試)	台中班	
	112.10.02 ~ 112.10.05 白天班 (10/2 學科上課，10/3、4 術科分組實習，10/5 術科考試)	台中班	
	112.10.13 ~ 112.10.17 白天班 (10/13 學科上課，10/16 術科分組實習，10/17 術科考試)	南投班	
	112.11.06 ~ 112.11.09 白天班 (11/6 學科上課，11/7、8 術科分組實習，11/9 術科考試)	南投班	
	112.11.20 ~ 112.11.23 白天班 (11/20 學科上課，11/21、22 術科分組實習，11/23 術科考試)	台中班	
	112.12.04 ~ 112.12.07 白天班 (12/4 學科上課，12/5、6 術科分組實習，12/7 術科考試)	台中班	
	112.12.11 ~ 112.12.14 白天班 (12/11 學科上課，12/12、13 術科分組實習，12/14 術科考試)	南投班	
	112.12.18 ~ 112.12.21 白天班 (12/18 學科上課，12/19、20 術科分組實習，12/21 術科考試)	台中班	
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】 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（宏大大企業有限公司）		
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：

課程名稱		高空工作車操作人員訓練		上課日期	<input type="checkbox"/> 台中班 <input type="checkbox"/> 南投班
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					
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

☆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。☆