

# 特種設備安全

SAFETY OF SPECIAL EQUIPMENT

1991-5 創刊 2022-4 出刊

雙月刊 第 77 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

三浦鍋爐股份有限公司  
大震企業股份有限公司  
志豪工業有限公司  
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  
金瑛發機械工業股份有限公司  
利峰機械有限公司  
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  
威鼎企業有限公司  
吾豐機電廠股份有限公司  
原鈺峰工業有限公司  
東立鐵工廠有限公司  
辰鼎企業有限公司  
增大股份有限公司  
申昌機械股份有限公司  
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  
霖興機械工業股份有限公司  
國方化工科技股份有限公司

# 目錄

## CONTENTS

### 會務訊息

- ★甲級鍋爐操作模擬機具系統訓練班 ..... 2
- ★安全閥檢測暨設備壓力試驗訓練班 ..... 16

### 技術報導

- ★2050 年實現碳中和目標之氫氣活用 ..... 3
- ★談複循環發電 ..... 12
- ★燃煤鍋爐空氣預熱器線上  
高壓水洗系統簡介 ..... 17
- ★離心式空壓機漏油原因分析與改善 ..... 25

### 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

## 台灣省鍋爐協會

# 甲級鍋爐操作模擬機具系統訓練班

- ★ 訓練目的：鍋爐操作甲級技術士技能檢定自 110 年第二梯次起術科採  
模擬機具電腦測試，為使受訓學員熟悉燃油、燃煤  
及天然氣等三套系統操作，特舉辦本次訓練。

- ★ 訓練日期：111 年 08 月 03（三）、04（四）、05（五）日三天

- ★ 上課時間：上午 9：00～下午 5：00

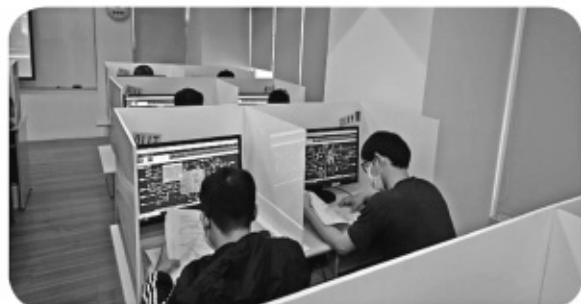
配合 111 年度  
第 2 梯次  
術科檢定訓練班

日期	上課內容	時數	備註
111.08.03（三）	燃油、煤、氣等三系統操作程序講解，異常處理解說	7 小時	課堂上課
111.08.04（四）	燃油、煤、氣等三系統操作圖控與程序解說，上機實作	7 小時	上機實作
111.08.05（五）	上機實作	7 小時	上機實作

- ★ 上課地點：台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3  
台灣省鍋爐協會附設台中職業訓練中心

- ★ 參訓資格：需甲級鍋爐檢定（紙筆測驗）不及格者

- ★ 聯絡人：陳秀如 組長      (04) 2236-2977      0933-193747



模擬機操作訓練上課情形

賀

本會110年度  
第二梯次鍋爐模擬機具術科及格率70%  
第三梯次鍋爐模擬機具術科及格率88%

# 2050 年實現碳中和目標之氫氣活用

譯者 鴻羽有限公司 黃馨儀

文章摘錄自 ボイラ研究第 429 號

世界各國為了實現碳中和正在積極進行各種研究中，其中氫能源受到極大矚目。氫從過去就被利用為工業用途，未來在 FCV 或發電用等領域作為能源利用亦將持續發展。於本文中針對氫的用途，氫的製造、儲存與運送方式等相關基礎內容；氫的成本、基礎設備、FCV 普及化及氫需求增加等為了實現氫能源社會的課題及未來發展進行說明。

## 一、前言

世界各國為了實現碳中和正在積極進行各種研究中，其中氫能源受到極大矚目。有報導表示歐洲於 2030 年為止，將投資 60 兆日元左右巨額，推動氫能源普及化。日本於 2017 年制定“氫能基本戰略”，將推動氫能相關的技術發展項目記錄於「第 5 次能源基本計劃」中，比過往更加積極地推動普及化。日本經濟產業省已通過 2 兆日元的「綠色創新基金事業」，對此公私部門皆對此共同具體目標具有相當的野心，表示未來 10 年間對將此目標納入經營計畫中的企業，政府將持續針對研究開發或實例驗證到社會實踐等各項目進行補助。活用此基金，不分業種皆開始投入氫能開發，筆者認為氫能源普及化會更進一步地發展。

本文除了說明氫的用途、氫的製造、儲存與運送技術，更針對推動氫普及化的課題及未來發展進行說明。

## 二、氫之用途

氫長期以來使用於各種工業，被半導體、食品、石化、光纖、鋼鐵、或焊接相關等產業廣泛利用。使用於能源，最為人熟知的即為火箭燃料，目前作為燃料被燃料電池車及發電使用等亦持續發展中，在日本目前氫的用途如圖 1 所示。



▲ 甲級鍋爐模擬機具操作研習班



圖 1 氫的用途

### 三、氫的製造

#### (一)氫的原料

氫在自然資源中幾乎不存在，但可從各式各樣的原料中製造生產。有從天然氣或石油氣等石化燃料重組、煤炭氣化或水電解等製造方式。在碳酸氫電解氣化等工業加工過程中所產生副產品氫，可進行回收再精製後製造生產，圖 2 為主要的氫製造方式。

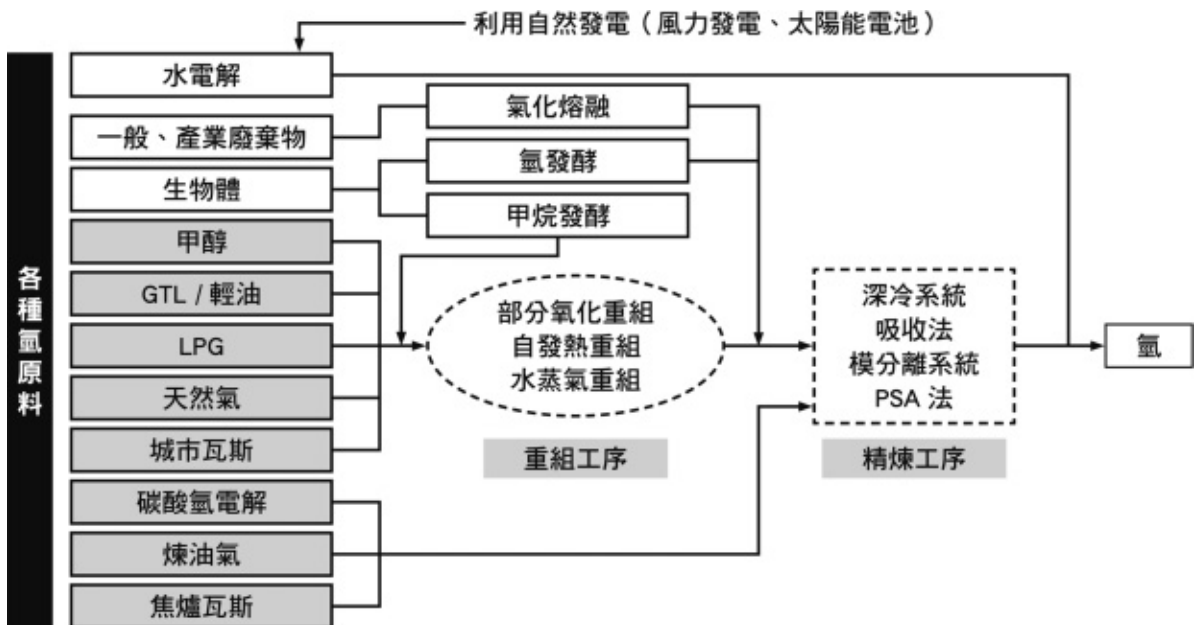


圖 2 主要的氫製造方式



### (二)高壓氫的製造

「高壓氣體保安法」的規範對象為壓力 1.0MPa 以上的氫，稱為高壓氫。利用壓縮機升壓製作未超過 1.0MPa 的低壓氫為一般氫，亦有利用高壓水電解裝置直接製造高壓氫的方式；壓縮的氫會以氣瓶或長尺寸容器進行供給。

### (三)液化氫的製造

被使用於 H<sub>2</sub> 火箭燃料的液化氫為 -253℃ 極低溫液體。由於氫於常溫下無法液化，因此以液化氮絕熱膨脹產生的冷卻氫作為冷卻材料，將產品氫冷卻到逆轉溫度（-80℃）以下後，因 Joule-Thomson 膨脹作用而液化。氫依核自旋方向分為高能級的正氫及低能級的仲氫；常溫氫氣中，正氫約 75%，仲氫約 25%，隨著低溫越低仲氫比例會越高（圖 3）。由於轉變成仲氫時會產生轉換熱，故液化加工時會先用觸媒將正氫轉換成仲氫後再進行液化。

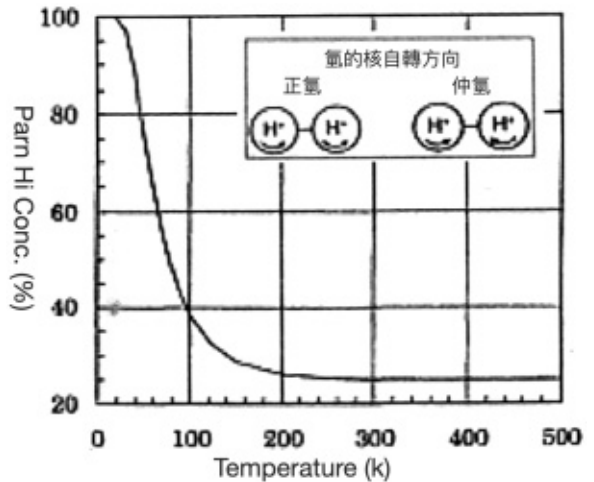


圖 3 同溫度的仲氫含有率

以筆者服務的企業集團中子公司 Hydro edge 為例，其液化氫製造工廠的流程如圖 4 所示。氫原料為 LNG，利用水蒸氣重組後製造氫，導入液化工程。工廠中利用 LNG 的冷熱特性將空氣分離後製造出液化氮，用來作為氫液化加工的冷卻材料。製造出的液化氫以真空絕熱儲槽儲存，填充到容器後進行運送。

### (四)二氧化碳零排放氫的製造

隨著脫碳化的腳步，氫製造亦被規範需達到二氧化碳零排放。如圖 2 所示氫的一般製造方法會排出較多的二氧化碳。而石化燃料產氫與再生能源產氫相比，前者有實際確立技術及製造成本較低等優點，但製造時需要進行二氧化碳的回收。

二氧化碳零排放氫分為，在氫製程中不排出任何二氧化碳的「綠氫」，及氫製程中將排出的二氧化碳回收後變為零排放的「藍氫」。過去不回收二氧化碳的方法所製造的氫稱為「灰氫」，今後將漸漸以「綠氫」及「藍氫」替代。

日本目前亦有進行二氧化碳零排放氫的實證工作，如圖 5 所示「福島氫能源研究中心」，設置有 20MW 的太陽能發電及 10MW 級的水電解裝置，正在進行「綠氫」的製造實證。

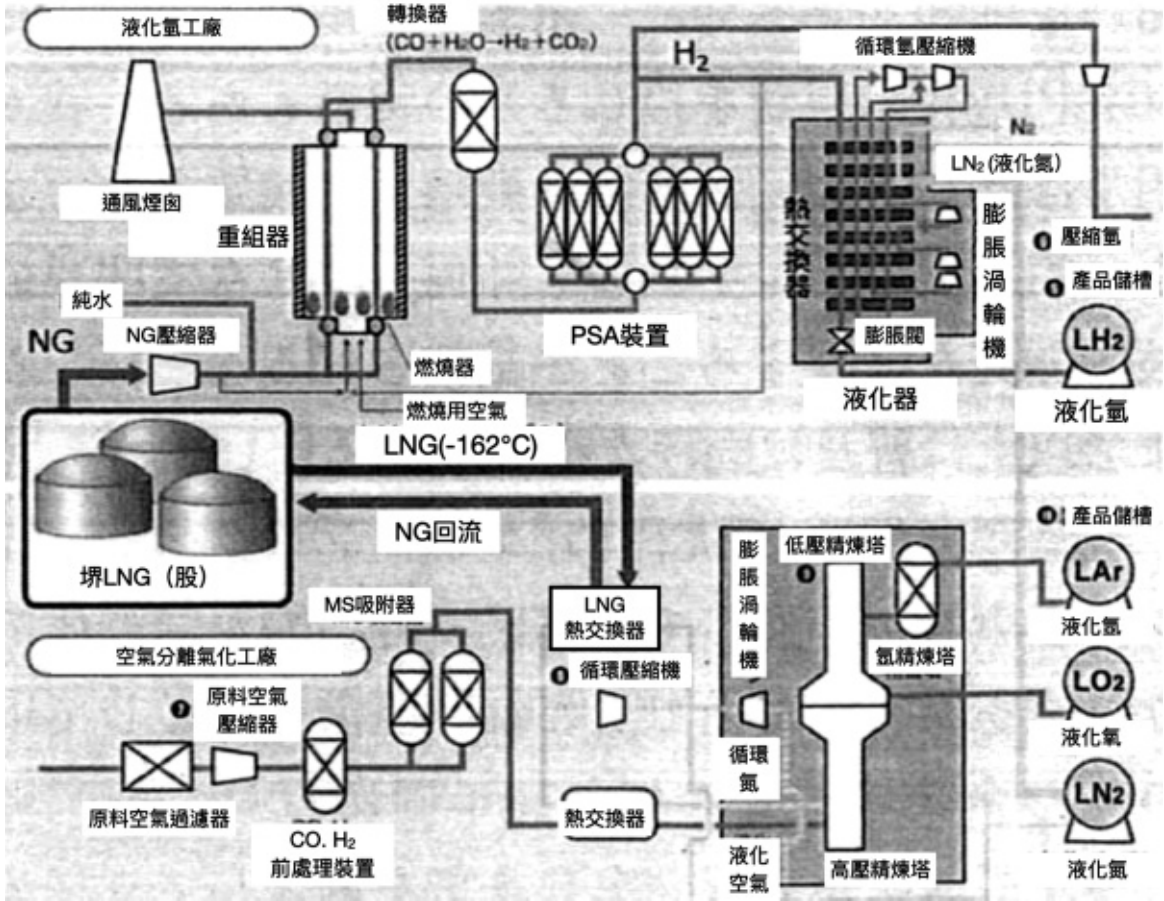


圖 4 液化氫工廠的流程

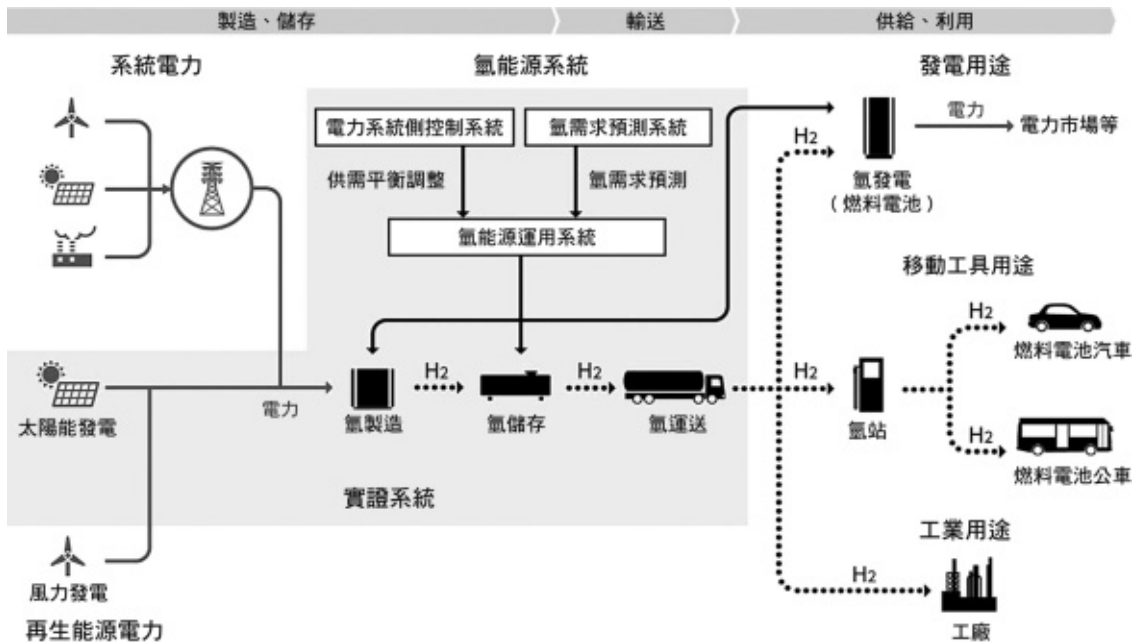


圖 5 福島氫能源研究中心的概要

另外，以澳洲當地低價的褐煤為原料製造生產液化氫後進口回日本的計畫正在進行中（圖 6）。因可將氫製程時所產生的二氧化碳直接儲留於地層中，被分類為「藍氫」。

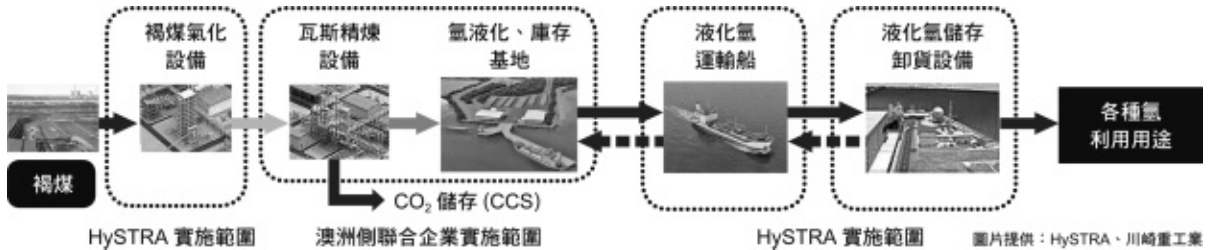


圖 6 澳洲褐煤計畫

#### 四、氫的儲存及運送方法

##### (一)高壓氫

利用高壓進行氫儲存及運送是從過去以來相當普及的技術，少量使用時是以鋼製容器（圓筒型）或將一些圓筒容器固定在容器架後，以 14.7MPa 的壓力充填氫後進行運送；如大量使用時，是以搭載約 20 個 19.6MPa 長型容器的氫運輸拖車進行運送（圖 7），一般以 19.6MPa 的壓力充填。近年來，亦有利用針對氫站所用，搭載 FRP 複合容器 45MPa 型的氫運輸拖車進行運送。



圖 7 高壓氫輸送方法

##### (二)液化氫

以液化氫運送時，使用液化氫工廠專用的容器進行運送（圖 8）。日本國內主要的液化氫工廠有 3 個，從此三處運送至全日本各地（圖 9）。液化氫為  $-253^{\circ}\text{C}$  極低溫，為了防止熱侵入而產生蒸氣，故以絕熱雙重構造，所謂魔法瓶般的容器進行運送。以液化氫運送與以高壓氫運送相比，前者一次大約能運送 10 倍氫的量；由於運送效率比較好，大量使用時大多以液化氫進行運送。



圖 8 液化氫工廠及液化氫容器

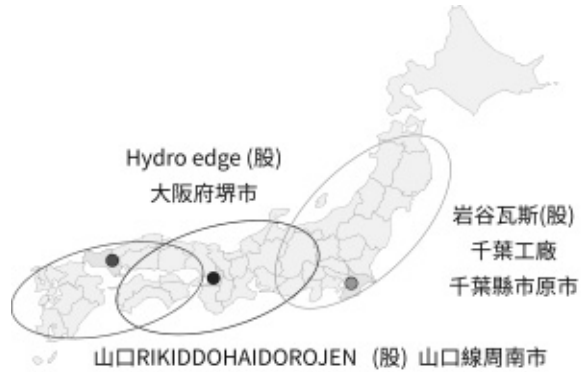


圖 9 日本液化氫工廠

### (三) 輸送管

在歐美地區一直以來都是使用輸送管運送氫，如同日本的城市瓦斯一樣；建構長距離的輸送管網絡，長度甚至可達數千公里，在日本幾乎如同聯合企業區域（礦業或鋼鐵業等）般的長距離網絡。關於在一般街道建立氫運輸管的供給部分，目前在北九州及山口縣周南市部分區域正在進行實證研究，雖有 2020 年東京奧林匹克選手村（東京都晴海地區）的實證案例，但不到普及的程度。

### (四) 儲氫合金

儲氫合金的體積氫密度與液化氫有並駕齊驅的優勢，低壓的狀態即可大量地儲存。然而，目前的儲氫合金的重量氫密度約 1~2wt% 左右，因此重量會變非常重，並不適合運送。為了能活用於氫運送，必須要開發輕量的材料。

### (五) 其他

甲基環己烷之類的有機氫化物，可在常溫狀態下進行運送，可使用汽油等石油類的同等基礎設施，且不需要高壓容器或絕熱容器。然而，需要有脫氫化（製造氫）的設備，亦會有殘留物。近年來，提升脫氫化技術或改善氫供給系統正在推動中，未來可期待成為大量運送氫的方法之一。氨氣中的氫含有量大，且可常溫下運輸，未來可期待成為氫的載體。然而，因為是有毒氣體必須要進行脫氫化，未來可期待利用於發電用途。

## 五、推動氫普及的課題及展望

### (一) 氫的成本

目前氫的成本大約為 100 日元/Nm<sup>3</sup>，Roadmap 中目標值為於 2030 年降到 30 日元/Nm<sup>3</sup>（圖 10）。二氧化碳零排放及成本降低的關係，較便宜的原料及再生能源的採購是必要的。除了日本電力系統限制等機制上的問題以外，還有因為平原區域太



少使得風力、太陽能等發電成本增加的問題。由於日本是島國，難以從鄰近國家引進電力，而再生能源受到天氣左右影響的因素作為主電力使用的風險過大，使得導入受到限制。為此在這期間，於資源或再生能源豐富的國外製造氫後再輸入日本，推動國際間氫供應鏈的建構，應能達到降低氫成本的目的。特別是石油生產國，石油或天然氣等氫原料來源地，有豐富的日照量（太陽能大量導入），且有採油時將二氧化碳儲存於地層中的相關技術，不久的將來，製造便宜的二氧化碳零排放氫是可以期待的。

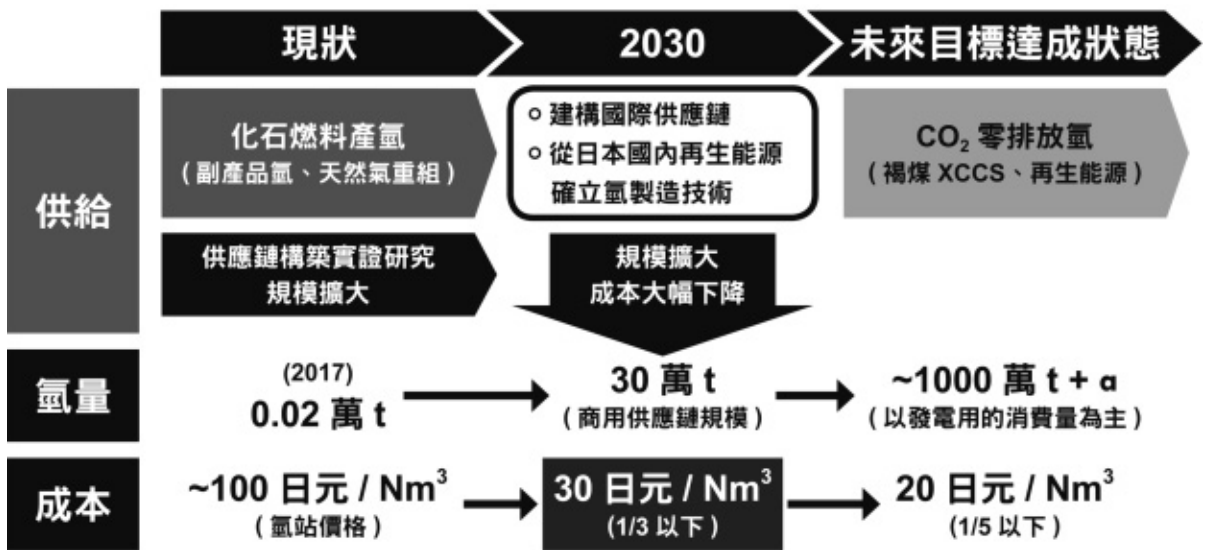


圖 10 氫的成本目標

(二) 氫站的普及

日本氫站的整備正依照其 Roadmap 計畫進行中，以四大都市圈為中心超過 160 個氫站正在建設及運用中，氫站的普及狀況如圖 11 所示。因法規制度等建設成本及運用成本依然較高，但在國家補助下整備持續進行中；今後也會根據規制的修正進行成本的削減。

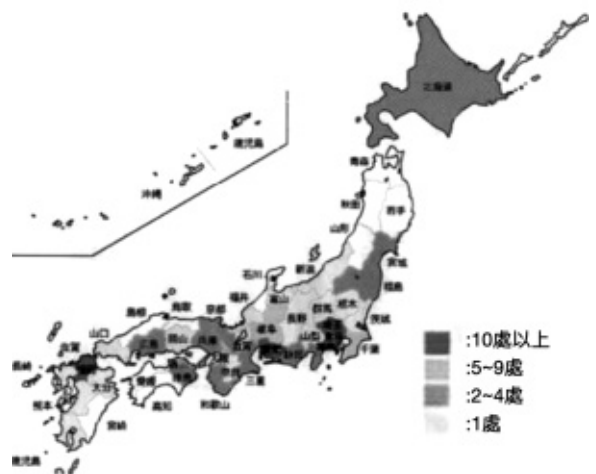


圖 11 日本國內氫站普及狀況 (至 2021 年 10 月為止)

(三) 燃料電池車 (FCV) 的普及

在日本，FCV 普及的目標為至 2020 年為止有 4 萬台，但實際上在

2020 年的台數大約停留在目標值的 1/8。FC 公車到 2020 年度為止導入 100 台左右，由於商用車及大型車（巴士、卡車等）的移動範圍或移動距離大多有一定程度的限制，因此訂定專用氫基礎設施整備計畫較為簡單，故其 FC 化的進展應比一般座車更快。

#### (四) 氫需求的增加

針對民生部門及運輸部門的氫需求增加，雖然基礎設施及 FCV 普及的課題還很多，但在工業部門及發電部門由於燃料轉換的關係，氫需求的增加是可預期的。針對無人機、船、航空機等新型移動工具，使用氫能源的適用性亦正在推動中。

目前火力發電亦正在使用氫進行氫氣發電的實證研究，期能代替石化燃料作為主燃料。氫燃燒時雖然不會產生二氧化碳，但由於燃燒溫度高容易產生 NO<sub>x</sub>，對此需要有相關對策。另外，由於發電需要大量燃料，如何降低氫的成本將會是氫發電普及化的關鍵。目前不只是發展單純燃燒氫，亦有添加氫於目前使用中的燃料進行混合，使二氧化碳產生量降低的氫混燒也在發展中，如圖 12 所示氫氣渦輪的例子。



圖 12 氫發電之例（燃氫瓦斯渦輪）

製鐵加工會使用煤炭進行還原，是大量二氧化碳排出的工程，目前正以利用氫還原達到削減二氧化碳排出量的加工方法進行試驗中。目前推動國中有相關計畫「COURSE50」目標為於 2030 年時實現氫還原製鐵的實用化，並確立高爐煤氣的二氧化碳分離回收技術，以達到二氧化碳大量削減的目標，「COURSE50」流程的概要如圖 13 所示。

作為工業用熱源的鍋爐而言，亦在推動使用氫的適用性，亦正在進行商品化中。由於工業部門也正積極推動碳中和，因此包含與其他燃料混燒等，燃氫鍋爐應會漸漸地普及。

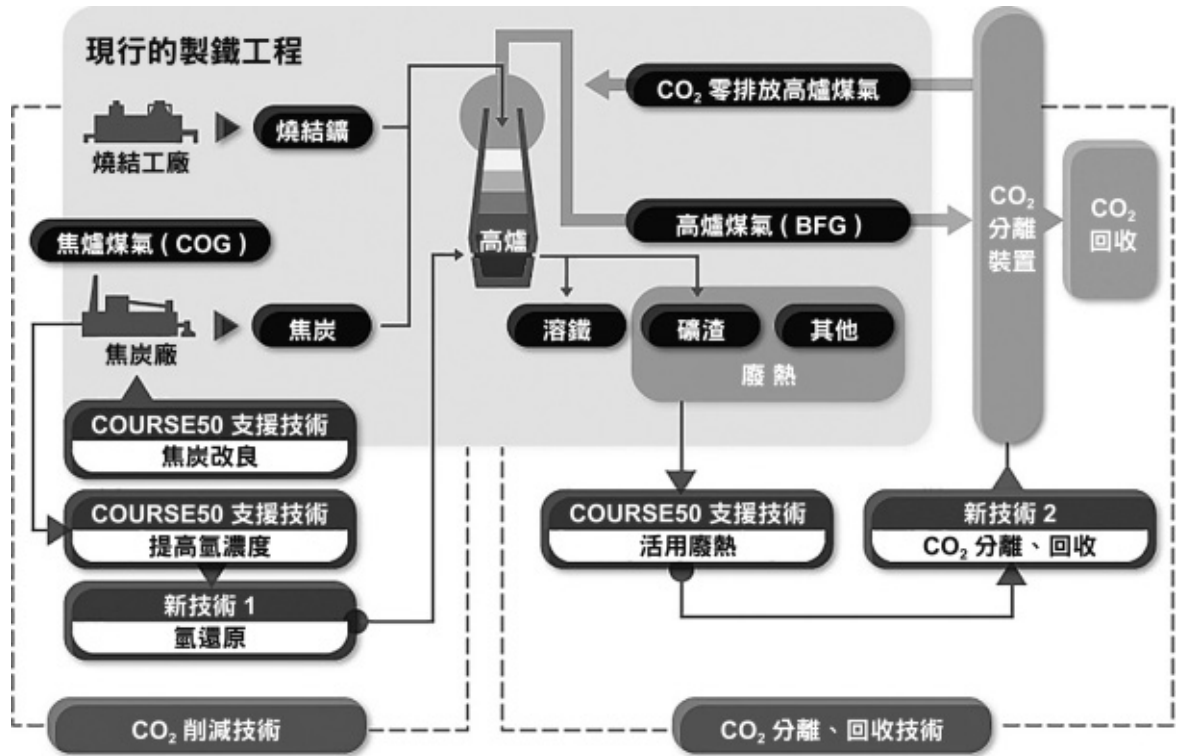


圖 13 利用氫還原的製鐵工程 ( COURSE50 )

## 六、總結

氫可以廣泛地活用於發電、工業或運輸等，可以說是碳中和的王牌。

除了直接作為能源使用以外，亦可活用為電力儲存載體讓再生能源所產的電力更為穩定。雖然有成本問題及規範進行緩慢等推動普及化的相關課題，但如何活用氫獨特的特徵是相當重要的。雖說氫要成為世界上主能源還言之過早，但將氫與既存能源進行最佳混合，建構達到碳中和的能源系統是可以期待的。

別讓您的權利睡著了！  
 新購鍋爐時，別忘了  
 委託本會作鍋爐“燃燒效率”  
 及“蒸汽乾度”檢測

### 本會技術服務項目

- 鍋爐燃燒效率及蒸汽乾度檢測。
- 丙類危險性工作場所審查及檢查（含每 5 年重評）輔導。
- 危險性機械、設備型式檢查申請輔導，法規諮詢。
- 固定式起重機竣工檢查、定期檢查申請輔導。



# 談複循環發電

林芳村

## 一、基本架構介紹

複循環（COMBINE CYCLE）發電，顧名思義就是結合熱力學兩個熱力循環布雷登循環（BRAYTON CYCLE）與朗肯循環（RANKINE CYCLE）的發電設備（附圖一），包含有氣渦輪機（Gas Turbine）、熱回收鍋爐（Heat Recovery Steam Generator）、蒸氣輪機（Steam Turbine）、發電機（Electric Generator）等主要設備及其他發電所需支持系統，如水淨化系統、海水冷卻系統、燃料供輸儲存系統、控制系統等，可說是當代高科技的集合體。

布雷登循環（BRAYTON CYCLE）的應用以氣渦輪機為代表，是利用空氣為介質將燃料燃燒之熱能轉化為機械能（轉動），再驅動發電機轉化為電能；早期的氣渦輪機著眼於體積小、潔淨（與煤炭蒸氣輪機比）、出力大（比柴油機），所以大多裝置於船舶上；陸上氣渦輪發電機因發電成本高（汽、柴油燃料貴+熱效率低），發電量少（小於10MW），適用在小區域發電系統或中東產油國（汽柴油、天然氣比水便宜）、直到上世紀60年代因中東戰爭，燃料價格暴漲，造成能源危機，大家意識到必須提升能源利用率，遂有複循環發電機組之設計，想利用氣渦輪機高溫排氣之廢熱，導引至熱回收鍋爐，產生蒸氣推動蒸氣輪機發電，增加之電力約為前端氣渦輪發電量的一半，整體熱效率提升至40%左右，已與傳統燃煤火力發電機組相當；作為複循環發電機組主角之一的氣渦輪發電機，主要結構包括空氣壓縮機、燃燒器、渦輪機、發電機等，各廠家設計基本上相近，只在燃燒器外型上有較大差異，如環狀燃燒器（GE設計之氣渦輪機），單筒燃燒器（ALSTON設計之氣渦輪機），V型雙筒燃燒器（SIEMENS設計之氣渦輪機），各有其設計訴求及優缺點。近年來拜材料科技、燃燒與冷卻技術、精密製造的蓬勃發展，氣渦輪機朝大型化推展，複循環發電機組發電量已接近甚至超越傳統火力機組，。

複循環發電另一主角為運用朗肯循環（RANKINE CYCLE）的熱回收鍋爐（HRSG）及蒸氣輪機，一般而言，熱回收鍋爐因使用氣渦輪機高溫排氣，本身無燃燒系統只有加熱管排，為增加加熱面積採用鰓管（fintube），相較於傳統燃煤鍋爐簡單許多，裝置空間也小很多，其他輔助設施大致與傳統火力機組相同；外觀造型上視建廠場址大小與廠家設計，主要有直立式與臥式兩種造型，使用上並無多大差異；若有特殊需求，如要求增加蒸氣輪機出力或預防因氣渦輪故障跳脫造成全部電力輸出中斷，也有在熱回收鍋爐加裝燃燒器的設計；在前端氣渦輪機大型化下，廢熱量大增，熱回



收鍋爐亦由單壓、高低雙壓及高中低三壓進化，在足夠壓力溫度下亦有貫流鍋爐的設計出現，可說是蓬勃發展，爭強鬥豔；至於蒸氣輪機部分與傳統火力蒸氣輪機大致相同，只有在為因應氣渦輪機快速起停特性，蒸氣輪機大部件間隙及蒸汽進汽控制系統有所改變；另外複循環機組尚需配備小型鍋爐，以提供蒸氣輪機啟動時所需輔助蒸汽。

## 二、複循環發電機組優點

### (一) 裝機時間短

複循環發電機組裝機場址小，較容易取得，而且氣渦輪機、熱回收鍋爐、發電機、蒸汽輪機、大型輔機等大都已模組化設計，生產廠家早將設備在訂購確定後製造組裝完成，裝箱運送至買家場址，買家依設計圖面將土木設施建置定位，組裝之後即大功告成，只需待管線、控制、電氣迴路連結完成，隨即開始試運轉測試，從裝機到商轉大致在兩年內完成，大大縮短裝置時間，對有電力急迫需求之系統有很大助益。

### (二) 成本低

從廠址大小、機組模組化及裝機時間短即已節省很大經費。

### (三) 啟動、停機及負載變化快速

氣渦輪機單循環從啟動到滿載約只需 20 分鐘，能快速提供電力系統出力，滿足負載變化需求，對供電系統的穩定有很大幫助；熱機時整組複循環約一小時可達滿載供電，比慣常火力廠需三、四小時快速很多，一般多作為中載 DSS (Day Start and Stop) 運轉或尖峰負載 (peak load) 機組運用。

### (四) 供電能力穩定

複循環機組由蒸汽輪機與氣渦輪機組成，可有一對一、一對二或一對多部氣渦輪機組合供買家選擇，一般多選一部蒸汽輪機搭配多部氣渦輪機，無論是考量整機組容量大小，電力調度的靈活性，除非輸電線路故障、燃料系統中斷或整組重大保護連鎖作動，運轉中減少整組跳脫，容或有氣渦輪機故障跳脫，對電力系統影響度有限，還可單獨隔離檢修，迅速恢復供電，不像傳統火力或核能電力機組跳脫時的影響度，可說是電力調度人員的最愛。

### (五) 高效率

高效率是製造廠家與買家追求的共同目標，機組賣得好不好的重要指標之一，複循環機組效率不斷的提升主因在於氣渦輪機的不斷改進，氣渦輪機因需要在小空間輸送大量空氣供燃料燃燒，故在前端裝設渦輪空氣壓縮機，大約消耗掉百分之六十能量，導致氣渦輪發電機熱效率低，在早期進氣溫度 1000~1200℃ 級約只有 29%

左右，所以很少單獨用於發電，直到複循環組合機組出現，才將熱效率一舉提升到 40% 上下，已可與慣常大型火力機組相匹敵，加上前述四大特性，漸漸獲得各國電力系統採用，作為尖峰負載電力來源，近年來在渦輪葉片耐熱材料、隔熱塗層及冷卻技術不斷的研發改進下，氣渦輪機進氣溫度已推升至 1500℃ 級，整組熱效率達到 60% 左右，遠遠超過大型火力機組，大有取代成為基載電廠之勢。

### 三、複循環發電機組組合與運轉模式介紹

#### (一) 依氣渦輪機 (GT) 與蒸汽輪機 (ST) 之組合分：

##### 1. 1GT + 1ST：

場地需求小，單純、獨立性高。

##### 2. 多台 GT + 1ST：

依機組容量大小組合不同數目之氣渦輪機與蒸汽輪機，電力調度靈活，運轉可靠性高，可作 AGC (Auto Generation Control) 運轉。

#### (二) 依燃料別區分：

##### 1. 石化燃料 (汽油、柴油、重油)：

早期氣渦輪機設計皆以汽、柴油為基準，基於經濟考量也有燃用重油機組，但是燃用重油必須增設重油淨化前處理設備，添加鈳抑劑、燃燒催化劑及氮氧化物抑制等設備，同時需要降溫運轉影響效率，設備故障率也較高，必須縮短定檢及大修週期，另外因重油含有較高之硫份，為避免 HRSG 低溫腐蝕，煙囪排溫需維持在 160℃ 以上，影響 HRSG 熱回收率，降低蒸汽輪機發電量，使得整組效率降低。

##### 2. 天然氣：

為目前最佳燃料之一，燃燒後只產生水、二氧化碳及少量的氮氧化物，依目前燃燒設計已可控制氮氧化物於 20PPM 以下。

##### 3. 煤氣：

一種將煤炭氣化、脫硫後供給氣渦輪機燃燒之新開發技術，其主要著眼於煤炭的存量及廉價。

#### (三) 依負載別區分

##### 1. 尖載運轉：

由於氣渦輪機之快速起停特性，最適於擔負尖峰負載運轉，為系統穩定之關鍵少數 (此系統尖載運轉與氣渦輪機之 peak load 運轉不同，氣渦輪機 peak load 係提升進氣溫度運轉，是降低葉片壽命換取負載的運轉模式，除非急需用電否則不會用此模式用轉、一般廠家皆有限制規定)。

## 2. 中載運轉：

一般作為 DSS ( Day Start and Stop ) 運轉，因為必須每天起動、停機，對機組壽命有相當影響。

## 3. 基載運轉：

著眼於複循環機組高效率特性，除氣渦輪機水洗、跳機、故障檢修、定檢、大修外，一起動即滿載運轉。

## 4. 汽、電共生：

部分大型企業設置複循環機組，除提供所需製程蒸汽外，氣渦輪機及多餘蒸汽產生的電力則自用或轉賣，對企業收益有很大幫助

### (四) 複循環機組運轉模式：

#### 1. 氣渦輪機單循環運轉：

在熱回收鍋爐或蒸氣輪機故障檢修期間，可將燃氣風門 ( Diverter Damper ) 置於旁通位置，廢氣經旁通煙囪排出，單獨運轉氣渦輪發電機；此外，燃氣風門用於熱回收鍋爐溫升控制，並為蒸汽輪機跳脫保安機構之一。

#### 2. 連線冷凝運轉：

這是一種最常態的運轉模式，所有熱回收鍋爐產生的蒸汽流經蒸汽輪機作功後排至冷凝器冷凝成水，經冷凝水泵、飼水加熱器送回除氧器，再由鍋爐飼水泵送至熱回收鍋爐加熱產生蒸汽。

#### 3. 蒸汽輪機旁通運轉：

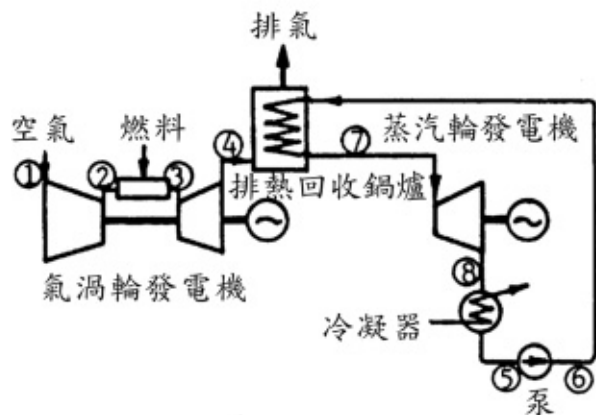
熱回收鍋爐送汽後及汽機起動初期，將蒸汽排入冷凝器的運轉模式，這是複循環機組特有的設計，若汽機跳脫，亦可將多餘之蒸汽由高壓、低壓蒸汽旁通排入冷凝器，但是有壓力及溫度限制以保護冷凝器。

#### 4. 蒸汽輪機變壓運轉：

蒸汽輪機併聯初期，蒸汽壓力由旁通控制系統維持定壓，主蒸氣控制閥 ( MCV ) 逐漸開啓直至全開，同時旁通控制閥 ( BPV ) 依據蒸汽供應量及壓力變化逐漸關閉，通常在  $1GT + ST$  時，MCV 無法達到全開，當其他熱回收鍋爐陸續送汽後，MCV 繼續開啓直到全開，之後蒸汽壓力跟隨蒸汽量增加而上升，直至滿載，這一段稱為 Sliding Pressure Control，為複循環機組之特殊設計。

#### 5. 汽機轉軸熱應力控制：

本控制系統主要功能為隨時計算出轉軸之相對熱應力，並監視及控制此熱應力，可根據轉軸的表面溫度計算出轉軸的平均溫度，用以限制汽機之升載率及降載率，使汽機在安全範圍內運轉，以保護汽機並延長轉軸壽命。當熱應力超出控制或安全保護之設定值時，會出示警報或降載解聯或跳脫汽機。具有節省氣機啓動時間、成本與提供氣機轉軸保護功能。



複循環發電機組  
( Combined Cycle )

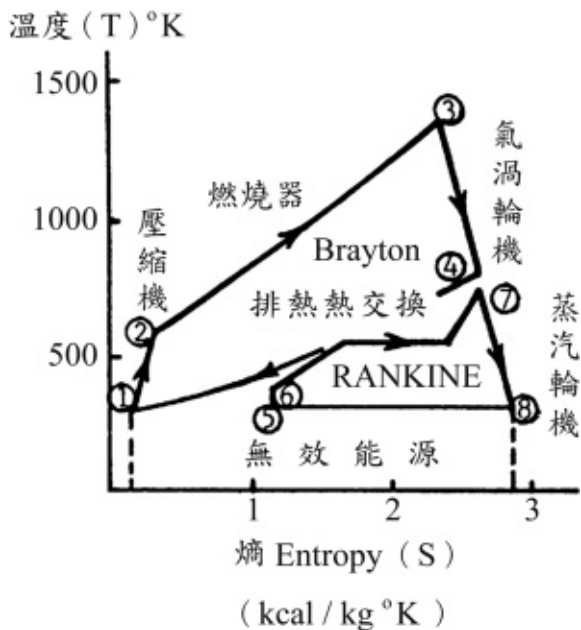


圖 1

## 安全閥檢測暨設備壓力試驗訓練班

本會為服務各界廠商，舉辦安全閥檢測暨設備壓力試驗訓練班，本次課程除各式安全閥解說外，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：111.06.06 ~ 111.06.08（日間班）
- ★ 訓練費用：每人 5,000 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）





# 燃煤鍋爐空氣預熱器線上高壓 水洗系統簡介

邱士展〔本會資料室〕

## 一、前言

鍋爐空氣預熱器長時間運轉後，熱元件會有積灰堵塞現象，若該鍋爐為符合氮氧化物排放的需求而增設 SCR 選擇性脫硝觸媒反應器，將更容易發生所謂硫酸氫銨堵塞的情形。

空氣預熱器一旦發生堵塞則鍋爐通風力受影響，於相同鍋爐出力前提下，將致送風機、引風機、一次風扇耗用電力增加，鍋爐燃氣出口溫度上升等負面影響，嚴重時鍋爐被迫減載運轉。

空氣預熱器堵塞時於目前係採用低壓水洗方式，惟須於鍋爐停止運轉或鍋爐降至 50% 負載以下，停止一組送風機、引風機之所謂單邊通風系統運轉下進行，發電機組發電量因而減少，影響發電機組容量因素及經濟效益。

本報告係一大型發電鍋爐為改善上述問題，引進所謂線上高壓水洗設備，可在機組不停機或不降載單邊通風系統運轉的情況下進行水洗。根據實績顯示，確有改善空氣預熱器因煤灰或硫酸氫銨堵塞功能。目前已有諸多鍋爐安裝此線上高壓水洗設備，本項技術如果能夠更成熟地發展，對於鍋爐運轉穩定及經濟效益必有極大的幫助，因而特撰本稿供業界先進參考並期不吝指教！

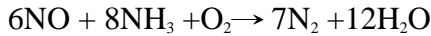
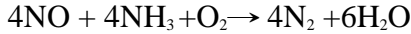
## 二、空氣預熱器及其堵塞原因介紹

典型燃煤鍋爐空氣預熱器位於鍋爐的出口端，其功用為利用特殊的金屬材料元件，將爐膛排出的燃氣熱量吸收，再藉著連續迴轉的方式，將吸收到的熱量，加熱進入空氣預熱器另一側的冷空氣。這些無數的金屬元件，排列整齊的被填塞在轉子半徑四周分隔成的扇型籃框中，被稱為轉子。而外殼包圍轉子的架構，由兩端裝有連結導箱，同時還有徑向氣封片及圓周氣封片的裝置，構成一良好的氣封系統。空氣預熱器的一半通道為空氣通路，另一半為燃氣通路。當空氣預熱器轉子慢慢的迴轉，燃氣和空氣交交流過的金屬元件，一方面吸收熱量，再將儲存的熱量交換給流經空氣預熱器另一側的冷空氣，經交換後，溫度上升的空氣，就被送進爐膛，作為燃燒用空氣及輸送與乾燥粉煤用。

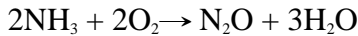
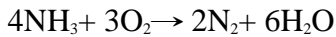
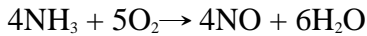
空氣預熱器位於鍋爐的出口，此處煙氣和熱元件金屬壁溫較低，而且燃煤產生的

煙氣含灰量較多，容易出現堵灰問題。且現在的燃煤鍋爐為了符合環保要求，大都在上游裝置 SCR 脫硝裝置。SCR De NO<sub>x</sub> 之原理乃是利用在觸媒反應器之催化作用下，還原劑 NH<sub>3</sub> 只選擇與煙氣中的氮氧化物 NO<sub>x</sub> 反應，不會與煙道氣其他氧化物反應。其化學反應式為：

I. NO、NO<sub>2</sub> 與 NH<sub>3</sub> 反應產物（反應溫度 180~570℃）



II. 未反應之 NH<sub>3</sub> 與煙氣中之過剩氧反應（反應溫度 450℃ ↑）



III. 未反應之 NH<sub>3</sub> 與煙氣中之 SO<sub>2</sub> 氧化成 SO<sub>3</sub> 反應（反應溫度 210℃ ↓）

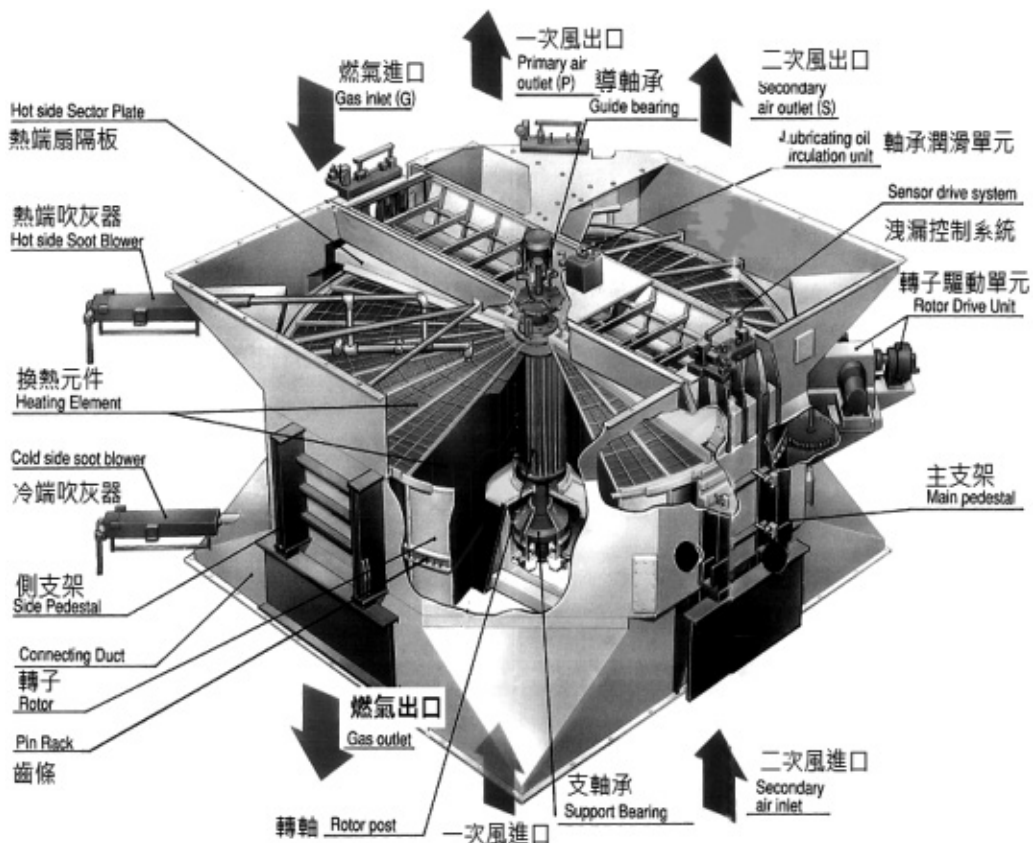
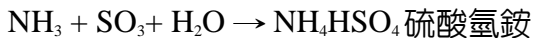
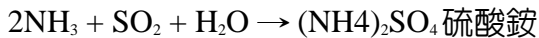


圖 1 空氣預熱器外形及各部名稱

對於裝置 SCR 後的空氣預熱器，因為脫硝觸媒在脫硝過程中，會將煙氣中部份的  $\text{SO}_2$  轉變成  $\text{SO}_3$ ，如果脫硝反應不完全時，未反應的  $\text{NH}_3$ （稱為逸失氨或  $\text{NH}_3$  SLIP）和  $\text{SO}_3$  反應形成黏稠性的硫酸氫銨（Ammonia bisulfate，簡稱 ABS）。而一般發電燃煤鍋爐  $\text{NH}_3$  SLIP 量設計為 3~5PPM，此 SLIP 量在煙道中部份會被煤灰吸收，實際檢出量約在 1~4PPM。因空氣預熱器煙道側溫度，由  $360^\circ\text{C}$  降為  $150^\circ\text{C}$ ，跨越硫酸氫銨  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  之生成溫度，故其會生成而附著於空氣預熱器中，而使堵塞加劇。

空氣預熱器堵塞的影響主要在：增加風煙道阻力，使空氣預熱器洩漏率增加，並導致風機電流上升、能耗提高，廠內用電增加；如果空氣預熱器堵灰不均勻，差壓波動，將導致一、二次風壓、風量的波動，可能引起風機喘振（Surge），嚴重時使機組無法滿載運轉，或被迫停機檢修，對設備長期運轉及機組效率造成影響。

根據 ABB 之試驗結果，在能達到預期脫硝效果， $\text{NH}_3$  SLIP 量愈低，則 AH 須停車水洗之頻率則愈低。當控制在 1PPM 以下時，可以確保運轉超過一年，不會有 AH 阻塞現象。

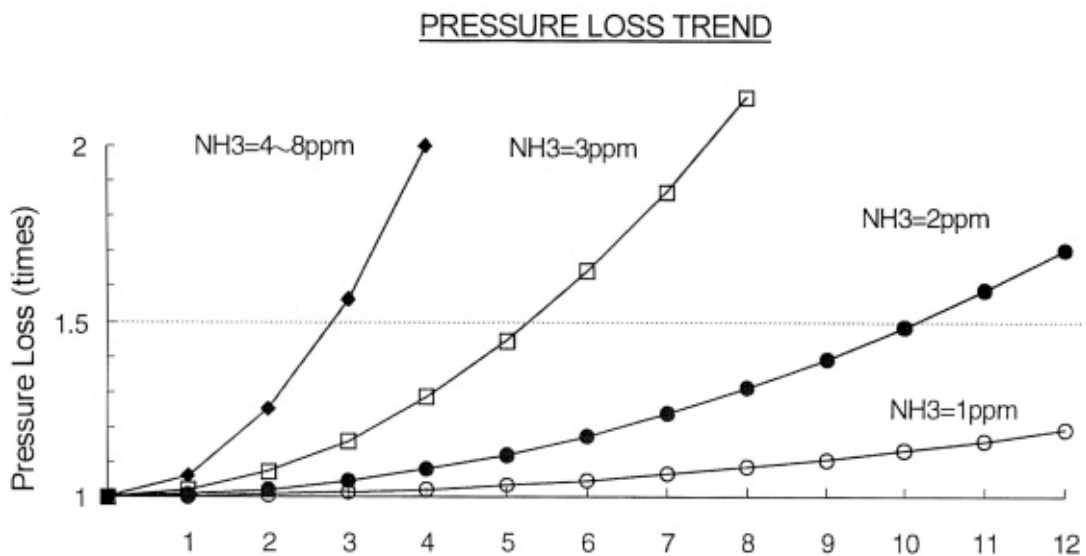


圖 2  $\text{NH}_3$  SLIP 量與 AH 須停機水洗時間關係

### 三、空氣預熱器線上水洗技術介紹

由於 ABS 為水溶性，因此空氣預熱器發生堵塞後可採取水洗方式來改善。早期機組必須停機停爐，在常溫下以大量低壓水沖洗空氣預熱器。因為 ABS 為酸性的化合物，因此在水洗過程中，當檢查水洗廢水的酸鹼值達到中性時（通常  $\text{pH} > 6$ ），則被判斷大部份的 ABS 已清除。對於一座 550MW 的燃煤發電鍋爐，這種水洗方式至少要停機 3 天，造成的發電損失極大。

另一種方式是為了改善龐大的發電損失，將鍋爐出口一側空氣預熱器隔離，另一側維持運轉。隔離的空氣預熱器冷卻至一定溫度後，再進行水洗。如此可以維持將近一半的負載，減少發電的損失。

有鑑於 SCR 普遍安裝，空氣預熱器的堵塞情形已無法避免。空氣預熱器製造廠家也都積極研究在不降載下進行空氣預熱器的清洗，例如 HOWDEN 的 Enerjet™ 沖洗系統及 AVROS (原 ASTOM) 的 OSW (On-line Stream Washing)。以 HOWDEN 的 Enerjet™ 線上清洗系統為例：利用高壓力低流量的水（通常可達 30MPa）作為沖洗介質，透過高壓槍管及高壓噴嘴成為針狀的水柱，在鍋爐滿載的運轉狀況下，由空氣預熱器的冷端注入，垂直往上仰洗。由於空氣預熱器需先透過吹灰將積灰清除，再利用高壓清洗系統將堵塞物沖擊成碎片，同時被燃氣加熱乾燥（約 380℃），然後通過空氣預熱器排出，因此不會再次粘著。

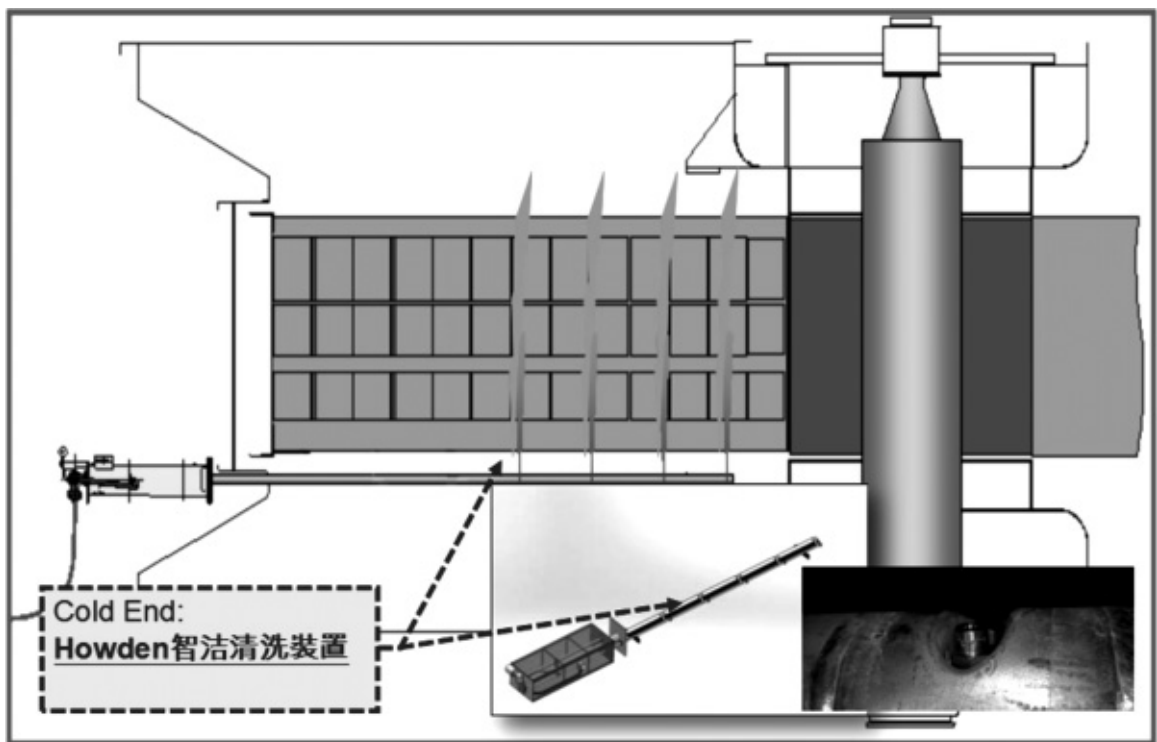


圖 3 HOWDEN Enerjet™ 線上清洗系統

以一部 550MW 發電量的燃煤鍋爐來說，如果停機 3 天進行空氣預熱器水洗，發電損失達 3,960 萬度；如果採用降載方式水洗，負載降至 200MW，合計降載時數 24 小時，發電損失仍有 840 萬度；但如果採用高壓線上水洗，則沒有發電損失，因此對於空氣預熱器經常堵塞、水洗頻率高的機組而言，將是一個值得投資的選項。



表 1 各種水洗方式的比較

時間	停機 3 天	降載 24 小時	高壓線上水洗
水壓	0.5MPa	0.5MPa	30MPa
用水量	3,000 噸	3,000 噸	120 噸
廢水處理	需要	需要	不需要
發電損失	3,960 萬度	840 萬度	--

空氣預熱器的高壓沖洗系統並不是一套複雜的系統，其主要設備包括：

(1)高壓水沖洗裝置

通常沖洗裝置是結合半伸縮式吹灰器採雙介質設計或單獨設置，利用高壓水作為沖洗介質，配設高壓水槍管以及高壓水噴嘴，使其可實現線上水沖洗，即可以在鍋爐停機、滿載時進行高壓水洗，或者通過隔離單台空氣預熱器、降低鍋爐負載的方式進行線上隔離沖洗。

(2)高壓水泵

配置壓力可達 30MPa 的高壓水泵，提高沖洗壓力以達到更好的沖洗效果。

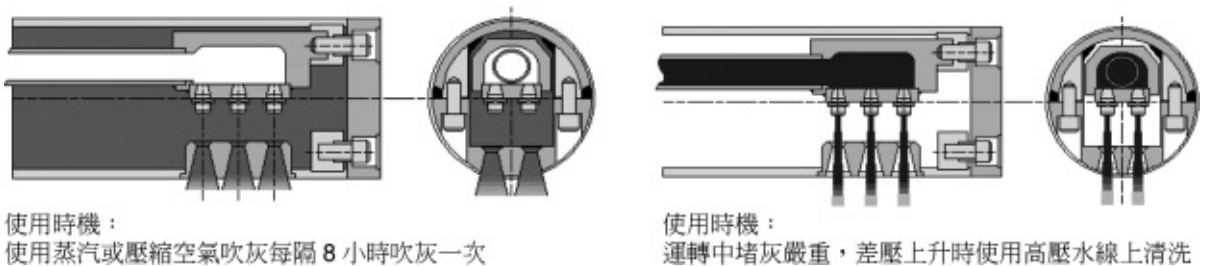


圖 4 雙介質的清洗裝置示意圖

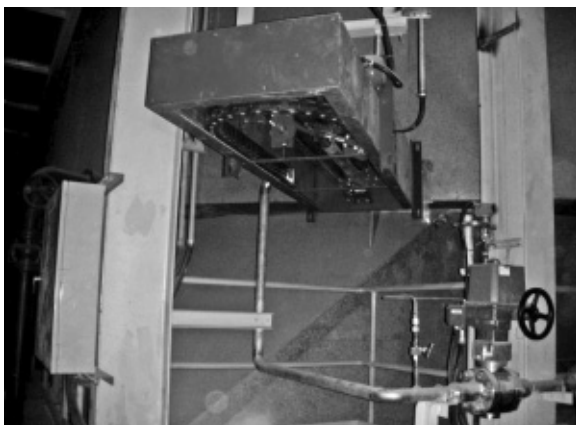


圖 5 單獨設置的高壓水沖洗裝置外觀



圖 6 高壓清洗泵

### (3)高壓水管路

包括水泵出口至沖洗裝置之間的所有管路閥門、邏輯程式及安裝附件。

### (4)電控設備及控制程式

沖洗系統具備控制節點和沖洗程式，便於操作及監控。整套電控元件可提供現場或遙控操作，以達到線上沖洗目標。

然而大多數的電廠對於在正常運轉下的空氣預熱器進行線上水洗的可靠性，仍存有疑惑：主要是線上高壓水洗是否會對轉子和熱元件造成潛在的影響。由於線上高壓水洗採取高壓力低流量的方式，沖洗壓力高達 30MPa，高壓清洗水和冷端熱元件的溫差約為 40-50℃（以水溫 30-40℃，冷空氣及燃氣出口平均溫度為冷端熱元件溫度 80-90℃ 計算），因沖洗水量僅 150-200L/min，沖洗時僅通過約 50mm\*100mm 小面積，廠家認為不會對 AH 轉子造成明顯的變形，轉子發生“淬火”的可能性非常小。

另外，依據 ISO-4530 搪瓷瑛瑯加熱片品質測試與標準，搪瓷瑛瑯加熱片須通過熱衝擊性測試：即在熱風式烤箱加熱到 350℃ 保持 10 分鐘，取出並在 5 秒內投入 15℃ 至 20℃ 水中，必須完全浸入水中至少 30 秒，取出擦乾並冷卻到室溫，重複三次冷熱循環完成，樣品表面目視不能有龜裂、脫落現象。因此理論上冷端的加熱片亦不會因高壓水洗發生淬裂。HOWDEN 表示至少在已經應用該方式的電廠，還沒有收到轉子淬裂、變形或磨損的案例的類似回饋。

線上沖洗時，HOWDEN 建議鍋爐負荷應大於 70% 額定負載，目的是保證進入空氣預熱器的沖洗水能充分汽化、減少煤灰在煙道沉積以及確保後續設備的安全運轉；在對集塵器的影響方面，根據目前 HOWDEN 已經進行線上沖洗電廠的經驗，無論是靜電集塵器、濾袋式集塵器，均沒有受到影響，也沒有出現除塵器排灰系統堵塞的問題。而對排氣溫度的影響，經過理論計算和實際的運轉經驗，Enerjet™ 清洗系統線上沖洗時，排氣溫度大約下降 15~20℃；沖洗完成後，隨著熱效率的提高，甚至可使排煙溫度下降。然而，如果堵塞嚴重或高壓水無法有效穿透時，排氣溫度的下降就沒有預期的多了。

熱元件也是影響高壓線上水洗的關鍵。目前廣泛使用 DU 型熱元件吹灰時會產生偏流且通道較窄，新式的 ARVOS 的 DUN 型熱元件以及 HOWDEN 的 HC 型熱元件因相鄰之凹痕浪板相交叉而形成一個通道，可消除偏流和導引吹灰氣流，使吹灰空氣可以直接穿越過熱元件，減少吹灰介質之能量損失，並可在最小壓力降下得到最佳的熱傳效果。因此，在設置線上高壓清洗設備時，也必須同時考慮進行加熱元件的更換，以得到較佳的清潔效果。

依空氣預熱器的大小，每個水洗循環可持續 2~4 個小時，且高壓水洗程式允許

連續的水洗循環。依照廠家經驗，為了達到最終潔淨狀態下的壓降，可能需重複高壓水洗循環才能完成。尤於每次線上高壓水洗都是在滿載下進行的，除考慮排水及灰斗溢滿的問題外，水洗持續的時間無關緊要，因為水洗程序對鍋爐輸出和可靠度沒有任何影響。

位於西班牙東北部 Teruel 電廠包含 3 座 350MW 的機組，由美國 FOSTER WHELLER 設計。該廠燃用當地低等褐煤礦，但褐煤含硫量高達 7%，與進口煤混合後含硫量約為 4%。電廠燃燒高硫煤，導致空氣預熱器在惡劣的環境中運轉時快速堵灰。一旦空氣預熱器發生了嚴重的堵灰，就很難用正常程序的吹灰方法進行清潔。HOWDEN 公司在該廠裝設高壓線上清洗系統，在空氣預熱器冷端配備雙介質的吹灰及清洗裝置。2005 年，電廠在滿載下完成線上高壓水洗，高壓水洗後，壓降降至 1.1 ~ 1.4kPa。

□ DU and DUN 型加熱元件比較

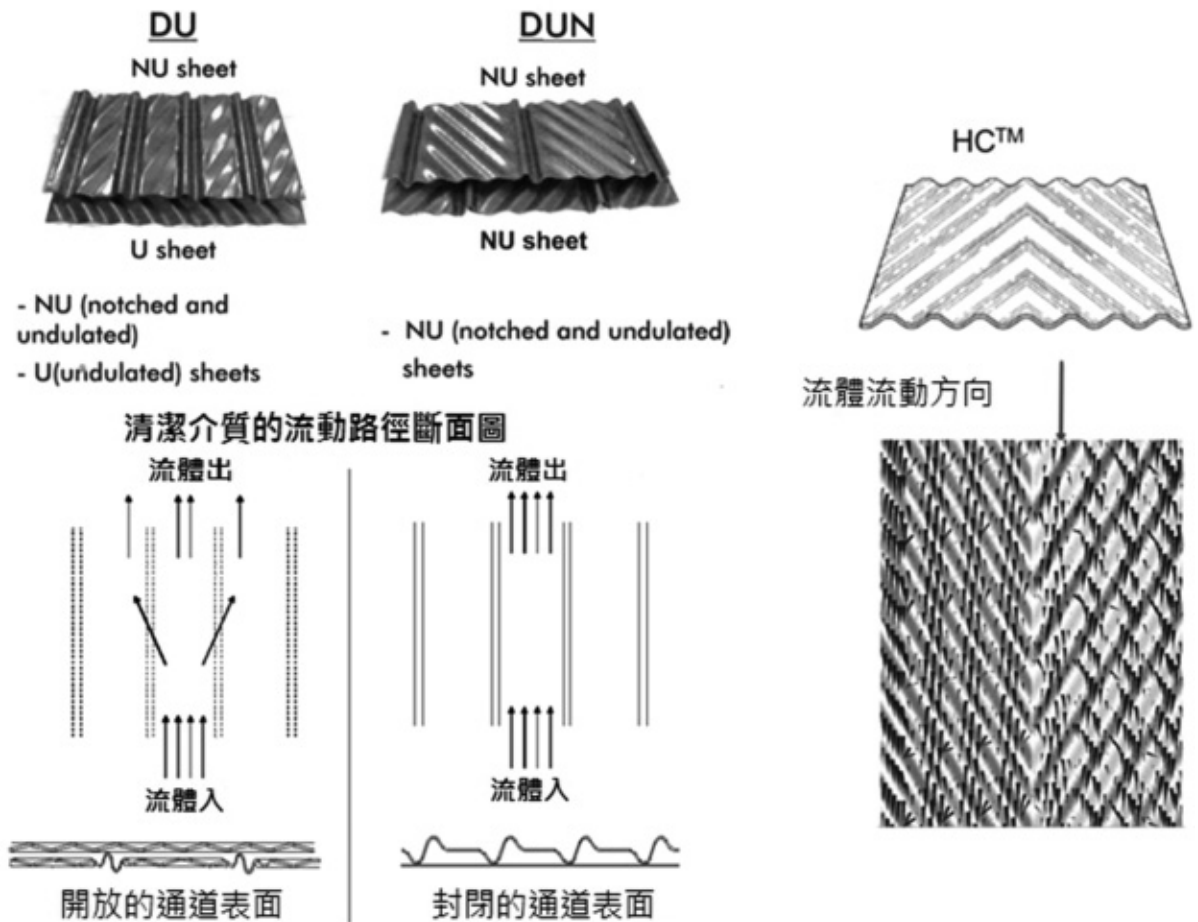


圖 7 DUN 和 HC 波形熱元件可消除偏流

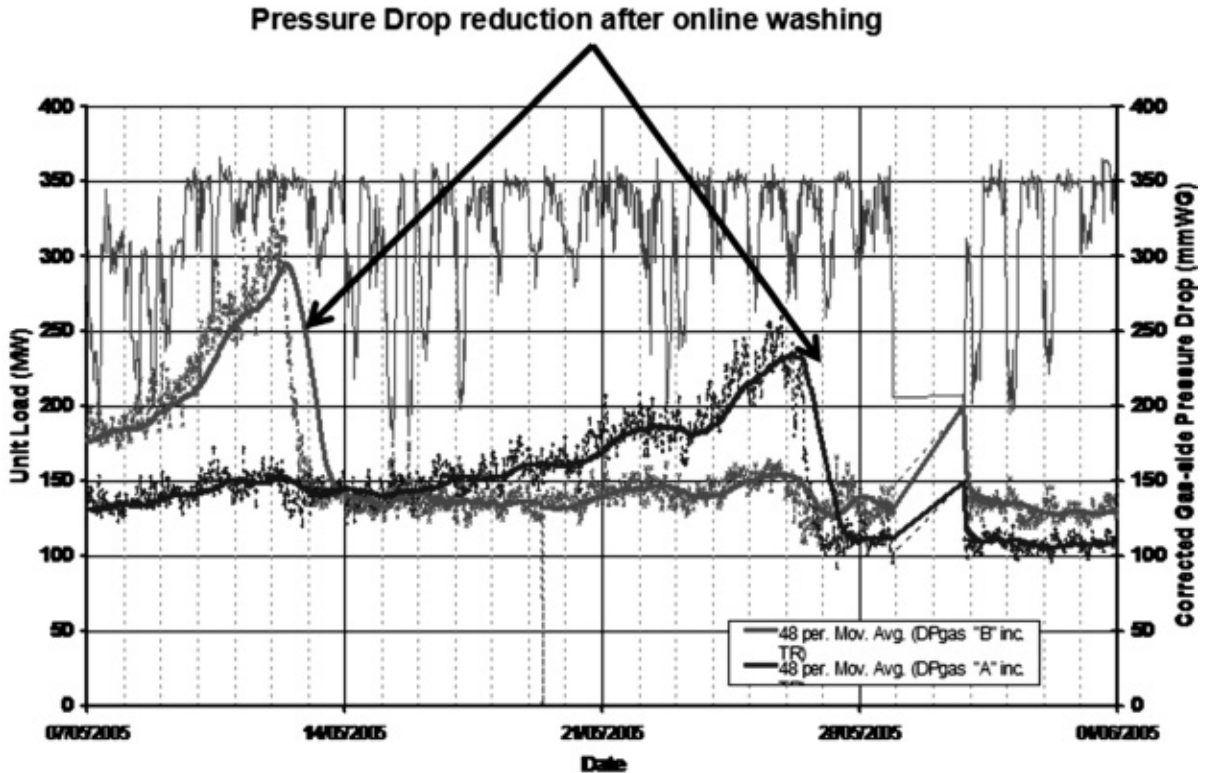


圖 8 西班牙 Teruel 電廠空氣預熱器高壓線上清洗前後性能曲線

#### 四、結語

從 Teruel 電廠的實際應用，廠家認為空氣預熱器線上高壓水洗是安全、可靠和可有效的降低熱元件堵灰風險的手段。據稱目前高壓清洗系統已經有數十個機組的安裝實績，高壓線上清洗技術已是經過測試可以使用的技術，其亦可與現有的吹灰器整合，在不停機或降載下進行熱元件的清理。高壓清洗系統解決了低壓水洗需要降載或停機的發電損失及處理大量的廢水，投資此系統在正常情況下，可在一年內回收，如與新型的熱元件結合，可以得到更大的清洗效果，對鍋爐的長期運轉和降低廠內用電等方面均有重要貢獻。

〔摘自本會鍋爐知識第 37 期〕



# 離心式空壓機漏油原因分析與改善

張進發、賴定弘、李信龍〔本會資料室〕

## 一、背景

本廠裝共設置有 4 部 COOPER (CAMERON) 公司產製之 TA100M5R3SB 型離心式空壓機，供燃煤鍋爐吹灰空氣使用，自該型空壓機裝機試運轉以來，各台皆出現空壓機機殼多處接合面及轉軸軸封處滲、漏油情況，期間雖經運轉參數及裝配之調整，此問題仍無法獲得緩解，雖空壓機本身效能不受影響，然潤滑油洩漏後之溢散，除增加保養人員負擔、造成環境髒汙外，亦容易產生工安隱憂，故該型空壓機漏油問題之探討與改善，一直是本廠空壓機維護人員的頭號目標之一。

## 二、TA100M5R3SB 型空壓機設計概述

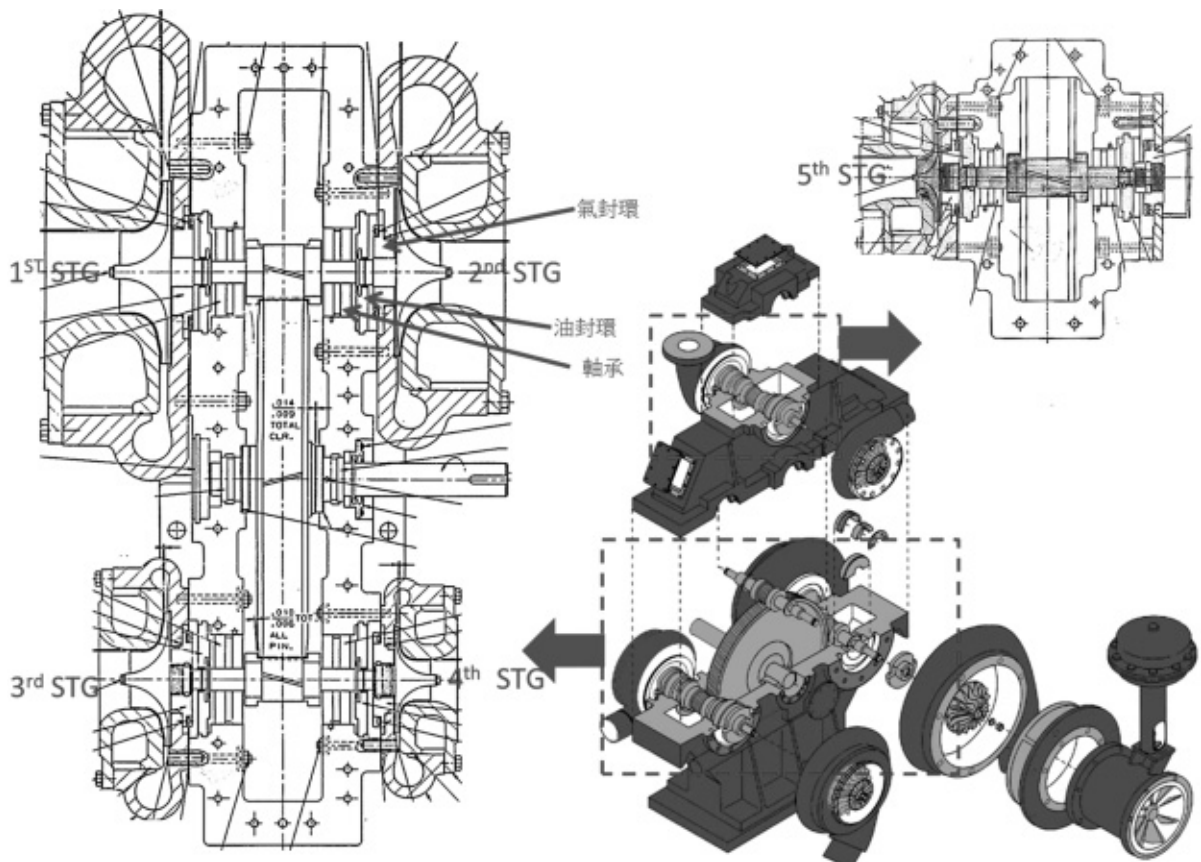


圖 1 TA100M5R3SB 構造示意圖

TA100M5R3SB 為五段壓縮、水冷、離心式空氣壓縮機，採用 3500HP (3 $\phi$ 、60Hz、6.6KV) 馬達驅動，進口設計容量為 1563m<sup>3</sup>/hr，額定出口壓力為 366.2psig，馬達輸入轉速為 1800RPM，第一、二級與第三、四級葉輪分別為同軸設計，第五級葉輪單獨設置，透過馬達驅動齒輪箱中之之 BULL GEAR，進而帶動與其相連之各段轉軸，其各軸之轉速分別為：24320 RPM (第一、二級)、31268 RPM (第三、四級)、39086RPM (第五級)，其構造示意圖如上圖 1。

### 三、漏油可能之原因探討

#### (一)內部密封機構不良

一般而言，離心式空壓機皆設置有內部密封機構，目的在避免空壓機齒輪箱及軸承室內部的潤滑油流進葉輪側，造成壓縮空氣混油，或葉輪側壓縮後之空氣向空壓機齒輪箱及軸承室洩漏；TA100M5R3SB 空壓機之內部密封機構為常見之迷宮型密封環設計（如下圖 2），其原理是在轉軸上沿軸向（洩漏方向），設若干個依次排列的環形迷宮齒，因為齒與齒之間構成一連串的截流間隙與膨脹室，當介質在通過這些曲折間隙的期間，不斷的交互產生節流、膨脹過程，使其穿透能量衰減，進而達到減少洩漏的目的；雖然迷宮型密封機構因轉子和機殼間存在間隙，具有無需潤滑並允許熱膨脹等優點，但可能因為齒環磨損、間隙調整不良而無法達到預期的密封效果，另有相關的研究指出，當介質流經迷宮型密封機構齒間的環形腔室時，在其內部產生的圓周向流動，將大幅減少其阻漏效果。由下圖 2 可知，如氣封環密封不良，則葉輪出口產生之壓縮空氣，可能大量的沿軸向侵入至軸承、齒輪箱內，造成機殼及油槽內壓力上升，負壓系統失效，油氣竄出滲漏。

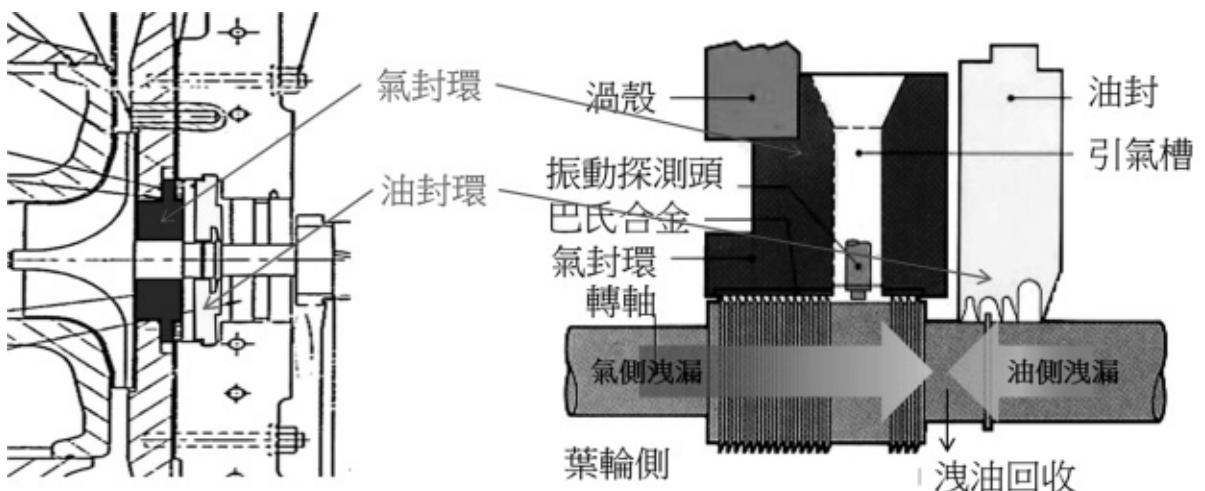


圖 2 TA100M5R3SB 內部密封機構（氣封環、油封環）示意圖

因壓縮機出口空氣未經冷卻時可達 120°C 以上，如因氣封不良致使壓縮後之空氣洩漏進入軸承室、齒輪箱中，勢必造成該段軸承溫度、潤滑油溫度、齒輪箱壓力因而上升，然就檢修前、後運轉紀錄顯示，滲漏情形不一的 4 台 TA100M5R3SB 型空壓機，其各數據並無明顯差異，且查核此型空壓機之拆檢維護紀錄，各段之氣封齒環不僅外觀良好，其與轉軸之間隙值亦皆保持在原廠維護手冊之標準值內，甚而為確保其密封效果，間隙值皆調整在標準值之下限，而經數次更換氣、油封盤新品並逐步調降間隙值後，雖對滲、漏油稍有改善，但仍無顯著效果。

### (二)機體接合面密封不良

因機體潤滑油滲漏位置，有一大部分是出現在齒輪箱上、下蓋接合面之非特定位置，故拆檢期間亦曾檢查接合面狀況，除了確保表面皆未出現侵蝕、腐蝕等受損情形外，同時搭配紅丹塗覆後之試裝配，確認接合面具有全面性的貼合；由於本型空壓機之齒輪箱上、下蓋接合面間未設計有止漏配件（如 ORING、PACKING 等），故為加強此處之密封能力，維護人員曾先後嘗試使用兩型耐高溫 SILICON（下表 1），塗覆於接合面間作為止漏措施，其最高耐用溫度皆遠高於機體運轉時齒輪箱 CASING 所測得之最高金屬溫度（~95°C），經塗覆後實測結果，此做法之短期成效良好，其中 LOCTITE SI 587 雖耐溫較低，但其防油、防蝕特性更適合用於空壓機齒輪箱機殼端蓋，止漏成效及保持期亦較 LOCTITE SI 596 顯著提高，在未有其他改善下，約可維持 6 個月之運轉不出現滲漏，雖仍無法維持長期止漏，但此測試結果顯示，機體接合面的密封設計及 SILICON 的選用，皆是影響空壓機機體密封成效的顯著原因。

表 1 兩型耐高溫 SILICON 規格比較

	LOCTITE SI 587	LOCTITE SI 596
顏色	藍色	紅色
硬化型式	濕氣硬化、 室溫硫化（RTV）硬化	室溫硫化（RTV）硬化
接著時間	30 分鐘	
完全硬化溫度	25 (°C)	
完全硬化時間	24 小時	
特性	提升防油、防蝕能力	----
應用技術	矽膠	
適用溫度範圍	-59 to 260 (°C)	-59 to 316 (°C)

### (三)油槽負壓不足

目前市售中、大型離心式空壓機普遍設計有油槽負壓系統，使油槽及其相通之齒輪箱內維持輕微之負壓環境，目的在降低油氣向外逸散並確保油系統回油順暢，TA100M5R3SB 型空壓機亦設計有油槽負壓系統，其構造示意圖如下圖 3 所示，一個透過外部壓縮空氣驅動之射流泵（JET PUMP）裝設於油槽及油細霧濾網間之管路，當壓縮空氣流經射流泵內部噴嘴時，因喉部氣流加速產生捲吸效果形成負壓區域，進而將機殼內的油氣抽出，而混合後之油氣則經由油細霧過濾器濾除大部分油滴後排出。

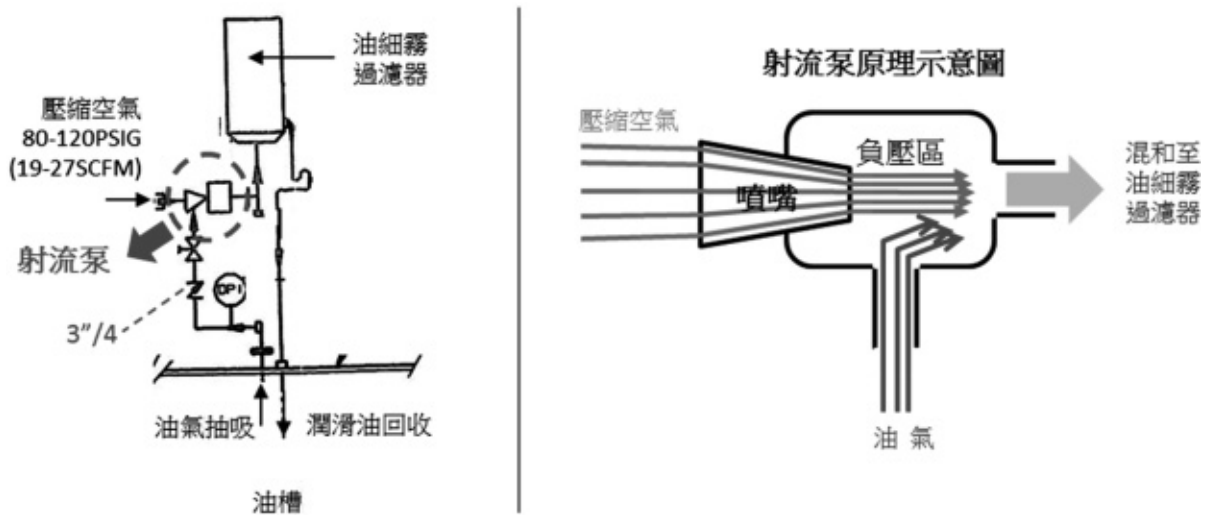


圖 3 TA100M5R3SB 負壓系統構造及射流泵（JET PUMP）原理示意圖

依據 TA100M5R3SB 型空壓機設計規範，其負壓系統須能夠使空壓機齒輪箱機殼內保持-6~-12Kpa 之負壓環境，目前本廠用於驅動射流泵之氣源壓力約為 103PSIG，而空壓機全載運轉下齒輪箱內部之環境壓力僅約為-1Kpa，遠不及其設計規範。因前述氣封盤間隙值皆已保持在規範允許之下限，故推測造成油槽負壓不足的原因，並非為壓縮後之高壓空氣竄入齒輪箱機殼內所致，可能原因為：

#### 1. 抽吸管路、油細霧濾網堵塞

由上圖 3 可知，如抽吸管路堵塞，則機殼內部油氣將無法透過負壓系統宣洩，導致壓力上升，如油細霧濾網堵塞則射流泵下游背壓增加，將使得噴嘴出口的流速下降影響抽吸效果；經維護人員拆檢同時油洗抽吸管路，確認無堵塞，並嘗試將裝設於細霧過濾器內的 6 支濾心抽除 4 支，然空壓機全載運轉下，齒輪箱內部之負壓值仍未獲得有效的提升。

#### 2. 負壓系統抽吸量不足

在確認管路通暢的前提下，如欲提升既有負壓系統之抽吸效果，唯有加大射



流泵容量或驅動氣源壓力，但必須特別注意的是，因為射流泵管路與油槽相通，故用於驅動氣源之空氣品質需特別要求，一般壓縮空氣如未經處理，內部所含之水分可能汙染油槽或造成噴嘴結垢、髒堵，因而本廠採用空氣品質較高之儀用空氣作為射流泵驅動氣源，惟其氣源壓力設定已達 103PSIG 上限，且為顧及機組主要控制設備所需之儀用氣源，固而不宜提升射流泵負壓系統之容量。

為釐清「負壓不足」是否為造成空壓機漏油之原因，本廠維護人員改採用「油槽抽氣扇」設計，取代既有之射流泵抽氣機構及油細霧過濾器，並配合抽氣扇進口尺寸，將原抽吸管路由 3/4 吋加大為 4 吋，其配置方式及抽氣扇規格如下圖 4、5 所示。

型號 MODEL	電源 POWER	馬力 MOTOR	風量 (m <sup>3</sup> /min) 50Hz/60Hz	噪音值 db(A) 50Hz/60Hz	吸入口徑	過濾效果空間
AE-20S	三相380V/50Hz或220V/60Hz	0.4KW	18 / 21	68 / 72	6"	<10m <sup>3</sup>
AE-20P						

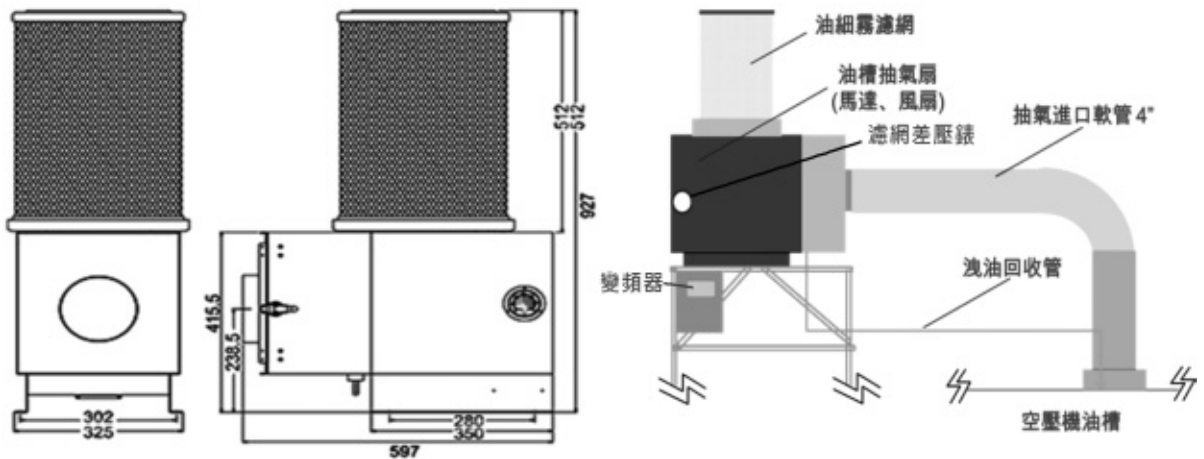


圖 4 油槽抽氣扇負壓系統規格及配置示意圖

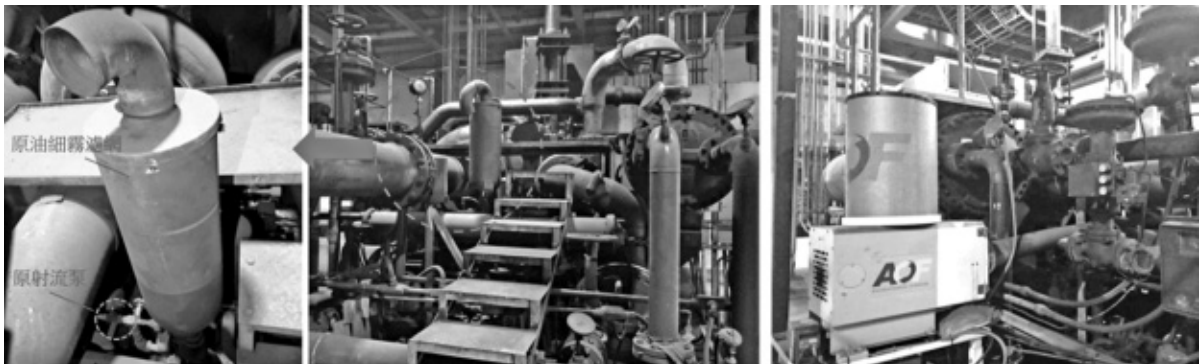


圖 5 原設計之射流泵管路（左）、改良後之油槽抽氣扇（右）

此抽氣扇與主馬達起、停信號連鎖，不須額外之儀用氣源並具備前置過濾桶，可先粗濾進口油氣中 $>2\mu\text{m}$ 之油霧，連同後段因風扇離心效果而分離之油滴，收集回收至空壓機油槽，而出口之高效率油細霧過濾器，可進一步將 $>0.3\mu\text{m}$ 之油霧捕捉、收集，避免影響環境空氣，此外改良後之油槽抽氣扇設有變頻轉速控制功能，藉此可調整馬達轉速，控制風扇進口風量將機殼內壓力調整在適當範圍；經裝設後實測，空壓機全載運轉下，抽氣扇轉速僅須 70%時，其齒輪箱內部之壓力值即可保持在 $-10\text{Kpa}$ ，負壓系統容量大幅提升。

經改良 2 部 TA100M5R3SB 型空壓機之油槽負壓系統，使空壓機運轉時，齒輪箱可維持在 $-10\text{Kpa}$ 負壓後，空壓機機體漏油改善成效顯著，已運轉近 1 年仍未出現先前發生的嚴重滲、漏油問題，而齒輪箱端蓋的滲油情形也有明顯改善，其中搭配塗覆耐高溫 SILICON 檢修後之機組，已完全無出現漏、滲油問題。

#### 四、結論

由於本型空壓機自裝機以來即出現漏油問題，原先對內部密封裝置磨損、間隙過大導致齒輪箱內壓力上升的懷疑，在經過調整及量測確認後已被排除，推測該型機組原配置之射流泵及抽吸管路，因容量不足造成負壓效果不如預期設計效果，而齒輪箱內部的油氣在高溫下，因無法獲得足夠的宣洩而自轉軸處、接合面向外逸散，進而造成機體多處漏油或滲油；此外因機組潤滑方式為噴淋式，油滴在受到齒輪、轉子高速切線撞擊後，獲得更大的動能，加強其向機殼內壁面之沖擊、竄流能力，當齒輪箱接合面無止漏配件（如 ORING、PACKING 等）下，如無塗覆有效且防油之 SILICON 作為止漏措施，則潤滑油易在端蓋及接合面處滲漏，經本廠人員改善負壓抽氣容量及接合面止漏措施後，現空壓機的漏油問題已獲得解決。

〔摘自本會鍋爐知識第 39 期〕

#### 五、參考文獻

- [1] COOPER TA100M5R3SB 操作維修技術手冊。
- [2] 楊兆亮「離心式空壓機密封失效故障分析與改進」濟南鮑德氣體有限公司，山東濟南。2017
- [3] 李燕坡，王吉鵬，曹彥恒「離心式壓縮機密封技術的應用綜述」河南煤業化工集團煤氣化公司義馬氣化廠。2011