

特種設備安全

SAFETY OF SPECIAL EQUIPMENT

1991-5 創刊 2022-6 出刊

雙月刊 第78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
- ★協助彰化縣政府辦理 111 年度「丙種職業安全衛生業務主管」教育訓練班 30
- ★會員大會延期通知 30

技術報導

- ★離心式空氣壓縮機運轉及維護實例簡介 3
- ★生質燃料與應用技術 17
- ★貫流式蒸汽鍋爐常見事故分析 26

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 08（一）、09（二）、10（三）日三天

- ★ 上課時間：上午 9：00～下午 5：00

- ★ 上課內容：

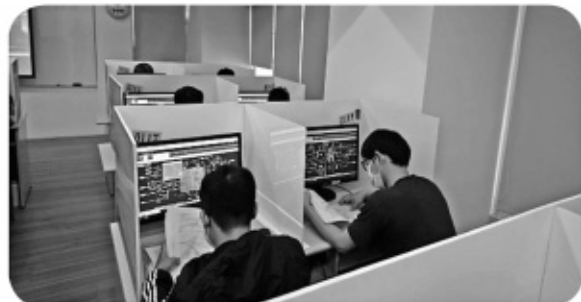
日期	上課內容	時數	備註
111.08.08（一）	燃油、煤、氣等三系統操作程序講解，異常處理解說	7 小時	課堂上課
111.08.09（二）	燃油、煤、氣等三系統操作圖控與程序解說，上機實作	7 小時	上機實作
111.08.10（三）	上機實作	7 小時	上機實作

- ★ 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

配合 111 年度
第 2 梯次
術科檢定訓練班



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%

離心式空氣壓縮機運轉及維護實例簡介

張進發、李信龍
〔本會資料室〕

一、前言

「壓縮空氣」在火力發電廠中之應用非常廣泛，依其用途主要可區分為儀用空氣（Instrument Air）、廠用空氣（Plant Air）、吹灰空氣（Soot Blowing Air）三個系統，各系統之壓縮空氣皆透過自身之「空氣壓縮機（Air Compressor）」及其管線供給；儀用空氣系統主要供給儀器控制、氣動閥驅動所需之壓縮空氣，廠用空氣則用於設備檢修等雜項用途，另外吹灰空氣屬於燃煤、複循環電廠特有的壓縮空氣系統，目的是提供鍋爐爐管、熱交換器吹清所需之壓縮空氣；因使用特性相異，故各壓縮空氣系統所需之空氣容量、壓力等級與空氣品質管制皆不同，其中以吹灰空氣之容量及壓力等級最高（2.2MPa/9200SCFM/台），而儀用空氣（0.8MPa/800 SCFM/台）品質之要求最為嚴格。

空氣壓縮機依機械結構及動作原理可分為「定排量式（Positive Displacement）」、「動力式（Dynamic Compressor）」兩大類，各類之空壓機型式如下圖 1，目前在發電廠中常見之空氣壓縮機為「往復式」、「離心式」兩型，其中往復式空壓機因零件種類複雜，需定期更換之消耗性零件數量及項目相當多，加上供氣品質及效率不及離心式空氣壓縮機，故近年來在 1200SCFM（34 Nm³/min）以上的大出氣量應用場合，已逐步被離心式空氣壓縮機所取代。



圖 1 空氣壓縮機分類

二、離心式空壓機基本構造及空氣流程

離心式空氣壓縮機主要由「葉輪（Impeller）」、「擴散器蝸殼（Diffuser）」、「機殼（Housing）」、「控制風門（Control Damper）」、「空氣冷卻器（Air Cooler）」所構成，如下圖 2、3。

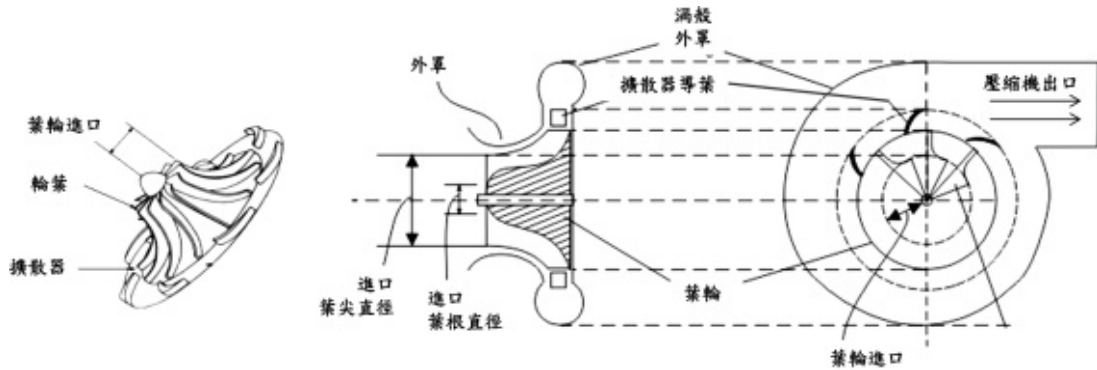


圖 2 離心式空氣壓縮機基本構造

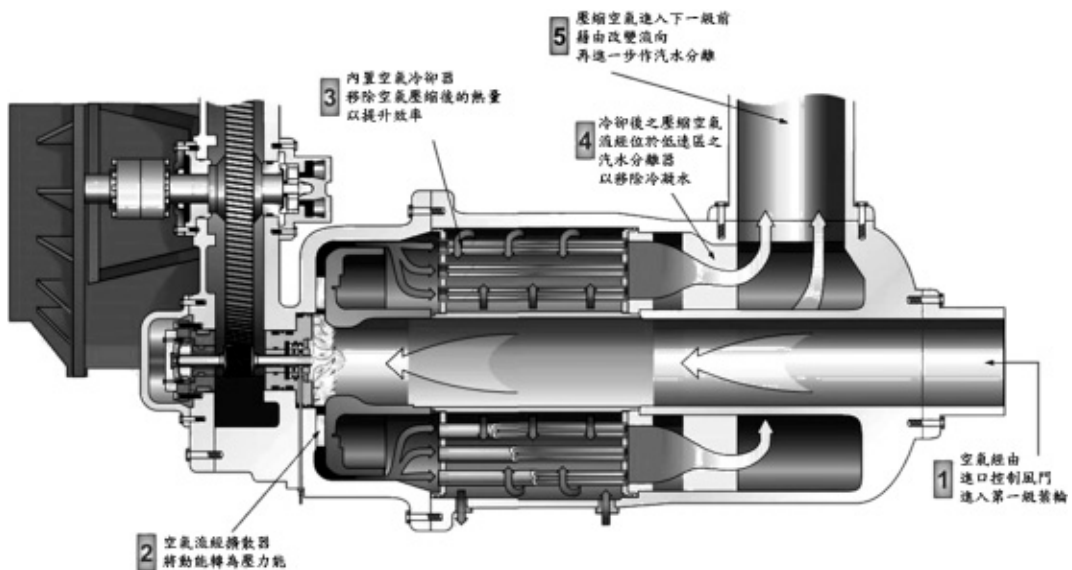


圖 3 離心式空氣壓縮機典型空氣流程

(一)葉輪 (Impeller)、擴散器蝸殼 (Diffuser)

驅動馬達透過聯軸器帶動機殼內的主傳動齒輪及轉子，進而使轉子上的葉輪高速旋轉（可達 50,000RPM 以上），此時因葉輪對空氣做功，使得葉輪中的空氣在離心力的作用下朝向葉輪出口加速甩出，並在葉輪進口處形成負壓而同時吸入空氣；被加速後的空氣向下流入擴散器蝸殼，空氣於蝸殼流動期間，因蝸殼內的流道面積逐漸增大使空氣流速降低，進而將空氣的「動能」轉變為「靜壓能」達到對空氣增壓的目的；由於葉輪與蝸殼間存在間隙並無接觸，無直接之機械磨耗損失，故其能源效率（3.5~4.5 SCFM / HP）較往復式空氣心式壓縮機壓縮機高。

(二)控制風門 (Control Damper)

離心式空氣壓縮機常見之兩大控制風門分別為「進口風門」及「沖放/再循環」風門，如下圖 4 所示，其常見為百葉窗式導葉結構，透過氣動驅動閥帶動導葉連桿

來控制風門的開閉；因壓縮機的最大排氣壓力，隨進口風門開度變化很大，故進口風門主要是藉由調控進入空壓機之風量來達成空壓機加、減載操作；而為了避免空壓機減載過程中，因進口風門關閉造成氣流量不足，引起喘振（SURGE），故沖放/再循環風門主要是作為空壓機防 SURGE 控制用，當空壓機進氣流量已低至設定值時，沖放/再循環風門開啓，增加流經空壓機之氣流量。

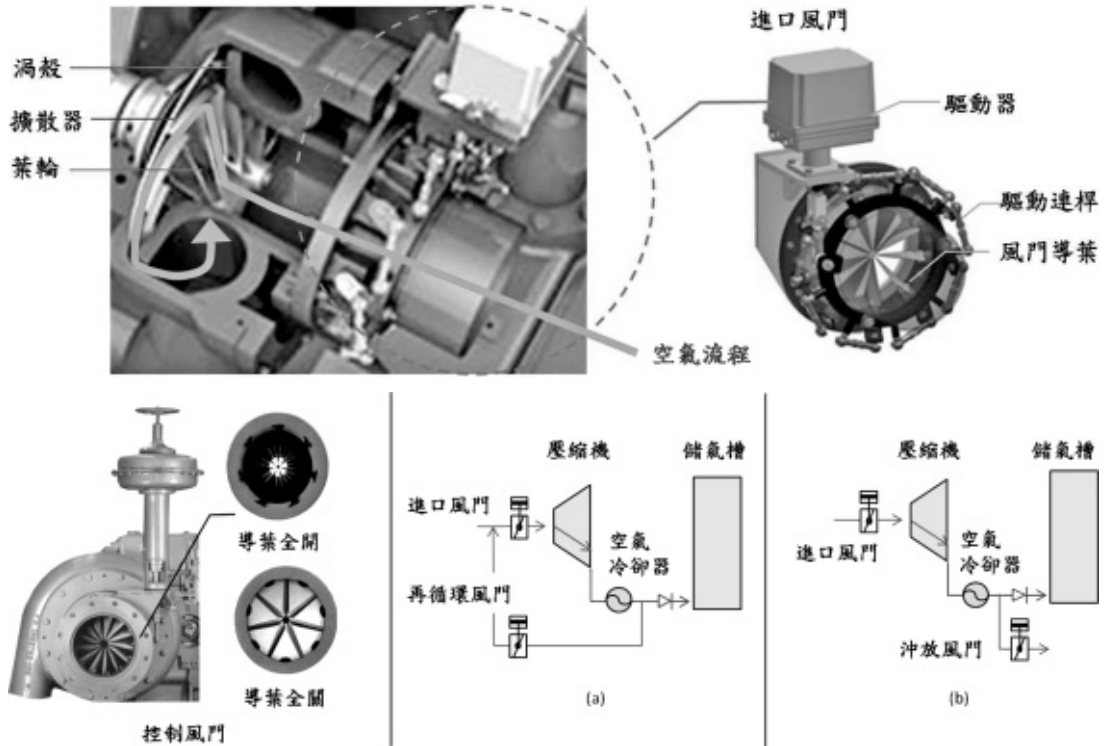


圖 4 常見離心式空氣壓縮機控制風門配置 (a.再循環式 / b.沖放式)

(三) 空氣冷卻器

一般而言，因單級離心式壓縮機所能產生的壓縮比，較往復式或螺旋式空壓機來得小，故離心式空壓機為了獲得較高的空氣輸出壓力，會採取多級串聯的方式，依據供氣量、壓力等級的不同，設計最佳的串聯級數；各段壓縮機出口空氣在流經擴散器後，速度減緩而壓力上升，使得空氣的溫度上升很快（一般可達 70~100℃），如不經冷卻即進入下一級再壓縮，則輕者造成壓縮效率大幅下降，重者可能使機件燒損；由熱力學的角度來看，如將壓縮機內的空氣壓縮過程，視為一個 $Pv^n=C$ 的理想氣體穩流多變壓縮過程，則其壓縮功可表示如下圖 5。由圖中可知，透過中間空氣冷卻器於各壓縮機間進行中間冷卻，可使整個空氣壓縮過程更接近理想的等溫壓縮過程，從而降低壓縮機的整體馬力消耗，提升壓縮效率。

離心式空壓機設置之中間空氣冷卻器（如下圖 6），一般常採用冷卻水作為冷

卻介質，冷卻器由熱交換器、氣水分離器兩部分構成，其有兩個主要的功能，除了迅速將壓縮機出口的壓縮空氣溫度冷卻，以提升空氣壓縮機整體的壓縮效率外，另一個目的是將升壓後之空氣降溫，使空氣中 95% 以上的水份自飽和空氣中分離，避免下一級之壓縮機葉輪產生沖蝕現象，並提供高品質的壓縮空氣供下個階段的製程使用。

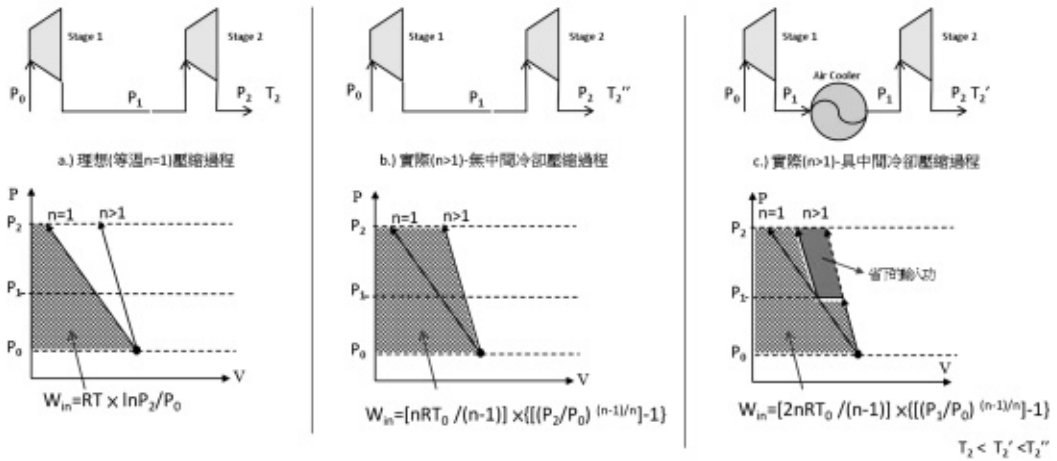


圖 5 理想、實際多變過程壓縮功

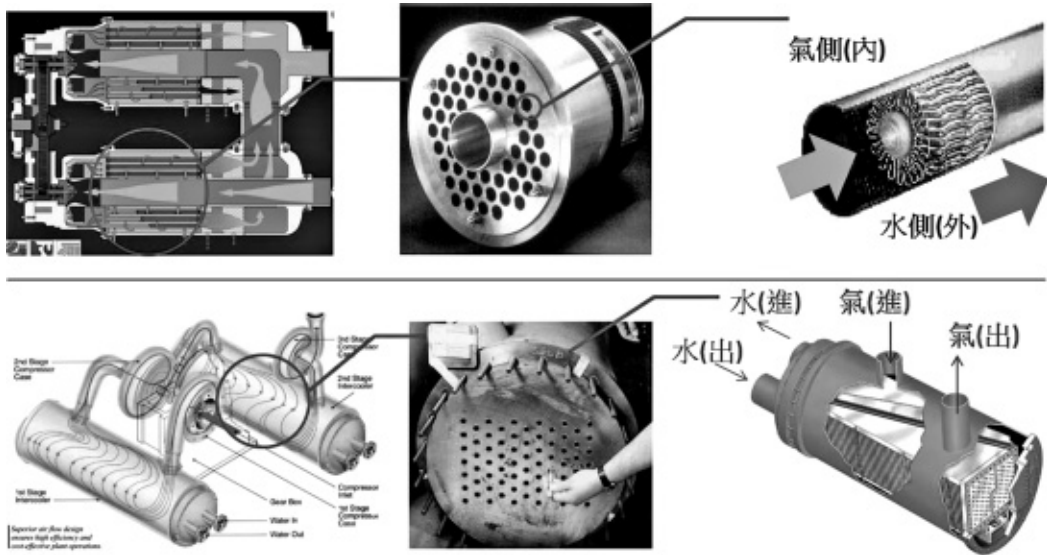


圖 6 常見離心式空壓機中間空氣冷卻器

三、空氣壓縮機理論效率

空氣壓縮機的能源使用效率，常見以產氣量及耗電量之比值來表示，其中較常見的單位為 CFM/HP 或 CMM/HP，而空氣壓縮機之理論運轉效率可由下式(1)計算得知：

$$Q_s / L = [229(K-1) \times \eta_c \times \eta_d] / \{[(P_o/P_s)^{K-1/K(N+1)} - 1] \times K(N+1) \times P_s \times d\} \dots\dots\dots (1)$$

上式中各符號所代表之意義如下：

- L：所需動力 (HP)
- P：吸入空氣之絕對壓力 (Kg/cm²)
- P_o：排出空氣之絕對壓力 (Kg/cm²)
- Q_s：單位時間吸入空氣量 (Nft³/min)、(ICFM)
- N：中間冷卻器數
- K：空氣比熱比 (K=Cp/Cv=1.4)
- η_c：壓縮機全斷熱效率
- η_t：傳達效率
- d：裕度 (離心式壓縮機 d=1.20)

如假設斷熱效率 (η_c) 及傳達效率 (η_t) 值皆為 1，亦即純粹探討壓縮比 (P_o/P_s)、壓縮段數 (N) 與能源效率 (Q_s/L) 三者之間的關係，則根據上式，在相同的壓縮比設計下 (P_o/P_s=常數)，壓縮段數愈多 (中間冷卻器數越多)，則空氣壓縮機的理想能源使用效率愈高；而在相同的壓縮級數設計下 (N=常數)，設計壓力較高者，效率會低於設計壓力較低者；然而實際上因空壓機的整體效率尚需計算機械損失、閥損及壓損等因素，故斷熱效率 (η_c)、傳達效率 (η_t) 值並不為 1，增加壓縮段數可能產生的機械損失可能遠大於其理論效率提升量，因此壓縮段數及壓縮比並無法絕對的代表整體效率；目前市面上常見的離心式空壓機段數主要以出口壓力及進氣量決定 (如圖 7)，常見為 2~5 級，其中 10Kg/cm²、4500ICFM 以下之機型，大多不超過 3 級，以上則以 4~5 級為主。

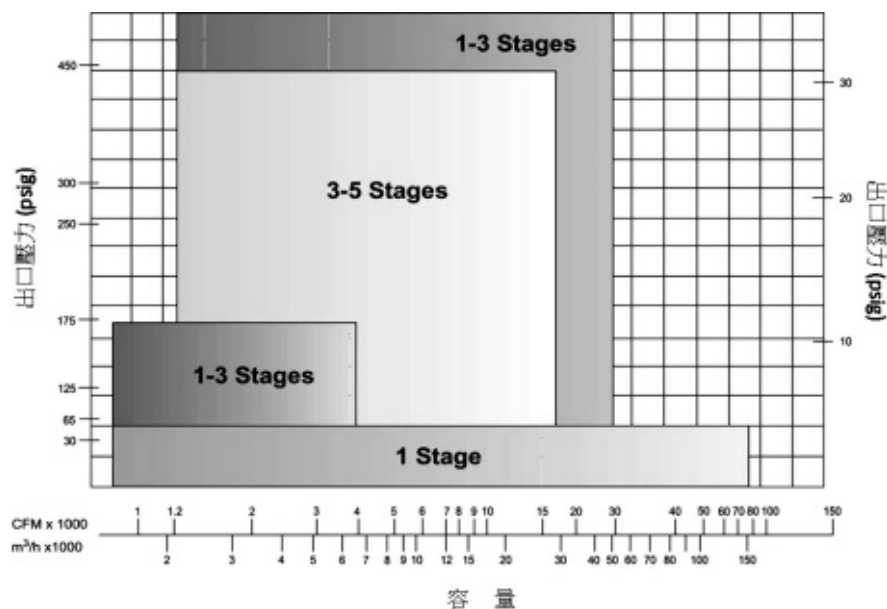


圖 7 離心式空壓機段數及適用條件示意圖

四、離心式空氣壓縮機喘振 (SURGE) 及防制

(一)喘振 (SURGE) 成因及影響

下圖 8(a)、(b)分別為簡化之離心式空壓機系統流程圖及其特性曲線圖。現假定空壓機運轉於穩定狀態下 (點 A)，若下游製程的氣體需求量逐步減少，則空壓機之工作點將沿著特性曲線朝向點 B 移動，期間空壓機出口空氣流量 Q_d 亦同步減少。

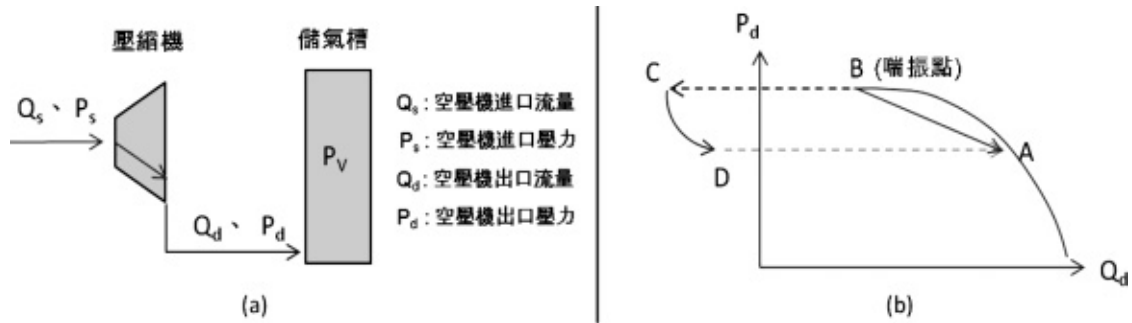


圖 8 (a)離心式空壓機簡化系統流程圖、(b)離心式空壓機簡化特性曲線圖

如果負載再持續降低，則壓縮機工作點將碰觸或跨越點 B (surge point)，此時因氣體流量不足，故壓縮機對氣體所作之功已無法讓其抵抗下游之壓力，亦即 P_d 將小於 P_v ，此現象將造成操作點由 B 點迅速跳轉至點 C，即空壓機內部氣流流動逆轉；因壓縮機內流動反轉故排氣壓力下降，工作點由 C 點移動到 D 點，此時因壓縮機出口背壓低，空氣所獲得之動能又足以克服出口阻力，故操作點重新返回到點 A，並沿著特性曲線再次朝向 B 點靠近，重複前述過程，進入下一個喘振循環；當空壓機之工作點接觸 SURGE POINT 後，內部氣流流動逆轉過程時間僅為幾個毫秒，而整個喘振循環周期約為 1~3 秒，除非改變操作條件才可讓空壓機脫離不穩定區域，中斷整個喘振循環。

喘振 (SURGE) 發生時，由於壓縮機出口高溫氣流未經空氣冷卻器冷卻，隨即以相當高的頻率再次逆流壓縮增溫，故喘振除了引起壓力震盪、嘯喘異音外，也常伴隨壓縮機出口空氣溫度高警報；高溫可能造成壓縮機組件，包括：轉子、軸承、油封、氣封環的過熱損壞或變形，而壓力震盪亦將導致轉子軸向位移大幅變化，使推力軸承負荷增加，若嚴重時推力軸承過載，轉子葉輪將高速撞擊擴散器、渦殼，造成機台嚴重損壞。一般離心式空壓機的最高排氣壓力高於設計壓力大約 10~20 % 即會產生喘振 (SURGE)，因此在選擇離心式空壓機的設計壓力時，需要依系統的使用情況慎重考慮。

(二)防喘振 (SURGE) 控制

喘振為離心式空壓機特有之現象，其對空壓機有著很嚴重的危害，故必須預防空壓機工作點落入喘振區引起喘振的發生。離心式空壓機的特性曲線隨著工作條件

的不同而有差異，如下圖 9(a)所式，每一條工作曲線上皆對應一個喘振點，當工作條件沿該曲線向左移並碰觸到喘振點，則空壓機進入不穩定之喘振區；若將各工作曲線上的喘振點連線，可得到空壓機之喘振極限曲線（SLL），而離心式空壓機防喘振（SURGE）控制的目的是，即透過控制的手段，藉由空壓機進口風門、排放或再循環風門的調整，確保其在任何情況之下，皆不會造成工作點之流量過低而碰觸 SLL 或進入 SLL 左半部；常見在控制上採用之方法有「固定極限流量法」、「可變極限流量法」兩種。

1. 固定極限流量法

如下圖 9(b)，首先在進口閥全開下，逐步關閉空壓機出口閥，使空壓機出口流量下降而壓力上升，直到空壓機發生喘振（SURGE）為止，獲得空壓機之極限出口壓力 $P_{d,max}$ 及其相對應的極限流量 $Q_{d,min}$ ；由前述之討論可知，只要限制最高出口壓力並確保空壓機運轉時的空氣流量一直保持在極限流量之上，就可避免喘振的發生，故當空氣流量下降到安全設定流量 $Q_{d,min}'$ 以下，則空壓機之再循環或沖放閥打開，即可維持通過壓縮機的最小流量，避免進入 SURGE 區域。

2. 可變極限流量法

與固定極限流量法最大的差異是，在可變極限流量法中，空壓機的安全設定流量 $Q_{d,min}'$ 不再是定值，而是透過控制系統所獲得的壓縮機運轉數據，於不同運轉條件下，沿事先設定之防喘振控制曲線（SCL），自動計算並改變防喘振最低流量 $Q_{d,min-x}$ 的設定值，如下圖 9(c)，當空氣流量下降到該運轉曲線之安全設定流量 $Q_{d,min-x}$ 以下，空壓機之再循環或沖放閥才開啓；採用可變極限流量法防喘振時，空壓機之喘振極限曲線（SLL）、進口風門位置回授信號皆對 $Q_{d,min-x}$ 值的計算扮演關鍵角色，如因環境因素、設備劣化造成 SLL 偏移，或因機械、校準問題使風門開度無法準確地傳至控制器，皆可能導致 $Q_{d,min-x}$ 值設定過低，造成壓縮機穿過喘振線而發生喘振。

由於可變極限流量法可隨時依空壓機運轉狀況，改變防喘振的最小極限流量，故可避免空壓機低載時過度的沖放或再循環，達到節能效果；然而從安全的角度來看，固定極限流量法雖然效率低，但其設計簡單且可保持較大的安全區域裕度，故對於強調穩定運轉或空壓機長時間處於全載運轉的場合，一般仍採用固定極限流量法；不論是採用最小流量法或可變極限流量法的防喘振控制，其流量設定點一般皆會取 5~10% 的裕度，以確保不致因控制系統反應不及或設備劣化造成喘振點偏移，影響空壓機的運轉穩定。

實際應用中，因空氣流量計算複雜且不易維持精確度，故亦常見以馬達之節流極限（TL）電流來近似空壓機的極限流量，並將喘振曲線簡化成關於馬達電流和出口壓力的曲線，即當空壓機減載過程中進氣閥關小或因系統壓力過大使空壓

機流量下降時，馬達電流也會下降，當空壓機馬達電流小至喘振發生時，這時的馬達電流叫做節流極限（TL），空壓機運轉條件達到 TL 值時，沖放閥或再循環閥即自動開啓調節。

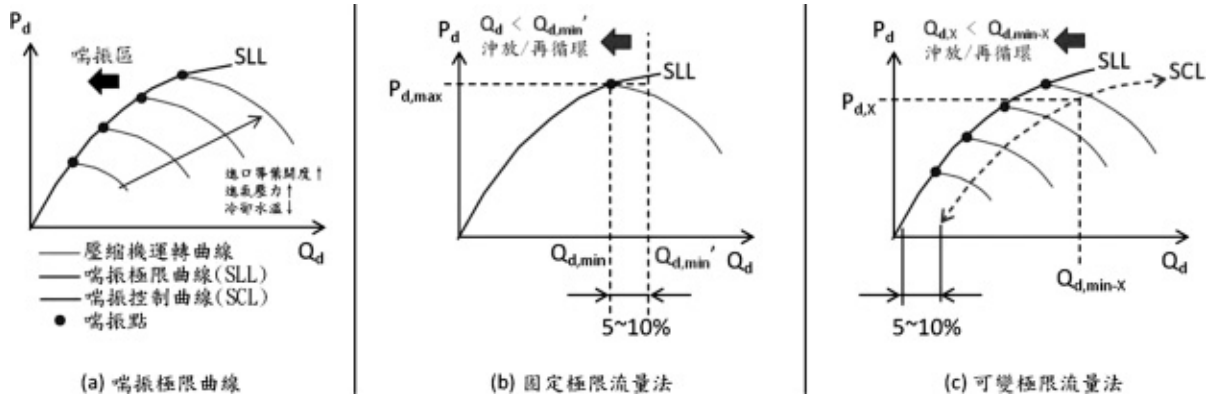


圖 9 離心式空壓機防喘振控制方式

五、影響離心式空氣壓縮機效能之因素

因離心式空壓機存在喘振（SURGE）特有現象，故其具有輸出流量可調節範圍小的先天限制，環境因素的改變，如進氣溫度、進氣壓力、冷卻水溫…等、設備本身劣化、控制不良，皆可能影響離心式空壓機的效能，使得空壓機的流量、出力下降、運轉點逐漸向 SURGE POINT 靠近，進而造成空壓機長期處於沖放/再循環狀態，此除了產生大量的能耗外，也提高了運轉上的不穩定性。離心式空壓機效能下降，最顯而易見的指標即在相同出口壓力下，空壓機全載時馬達電流下降，最終產生 SURGE，因此離心式空壓機的運轉需同時考慮下述操作環境、設備劣化及控制匹配等因素。

(一) 環境因素（氣溫、氣壓、冷卻水溫）

空壓機的設計容量，大都是指在 25°C 、 1atm 下的測試值，氣壓的降低及氣溫提高都會使空氣密度下降，影響離心式葉輪吸氣及壓縮效能，一般而言離心式空壓機進氣壓力每降低 1PSI，約使流量及出力減少 4%，在海拔不高的地域，氣壓變化對進氣壓力的影響幾乎可忽略不計，影響進氣壓力較顯著的反而是進口濾網的效能；進氣溫度的改變對離心式空壓機的影響幅度，則取決於葉輪級數，對二段式壓縮的機型而言，進口氣溫變化量在設計值 15°C 以內，對空壓機的影響程度已不顯著，而對四段壓縮以上的機型而言，其影響更可直接被忽略；在相同的氣進條件下，冷卻水溫度每增加 10% 約會使離心式空壓機出力減少 1.4%，依據過往的運轉經驗，因夏、冬兩季的冷卻水溫差異可能高達 50%，故相較於進口壓力及氣溫的影響，冷卻水溫的變化對離心式空壓機的影響是極端顯著的。

(二)設備劣化

1. 葉輪磨損或粘附物（積垢）太多

離心式空壓機主要是藉由自身葉輪的曲線槽結構和高速旋轉來對吸入的空氣做功，增加空氣的壓力和速度，若葉輪磨損或粘附物（積垢）太多時（如下圖 9），將改變原本間隙設定及流場特性，使得葉輪內部氣流的洩漏損失、磨擦損失及二次損失加劇，此結果除了降低葉輪效率外，也將使得壓縮機葉輪出口溫度上升，形成增加進氣溫度或冷卻水溫；如果積垢嚴重，甚至可能影響轉子動平衡，造成空

2. 擴散器、渦殼磨損、腐蝕

離心式葉輪出口的高速空氣，經過擴壓器及渦殼時，透過截面漸擴的流道設計，能使空氣的流速逐漸降低，同時將空氣的動能轉為靜壓力；若擴散器、渦殼腐蝕或磨損嚴重將造成氣流流向偏移，除了使葉輪出口的高速空氣在流經擴散器時容易形成渦旋外，也將造成氣流在渦殼內的損失加劇，此兩效應都將進一步增加葉輪出口背壓，減少壓縮機進氣量，導致空壓機的輸出降低。

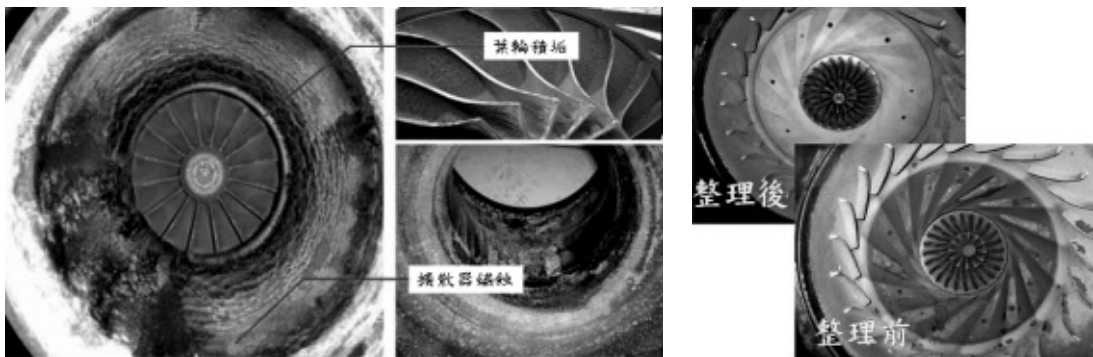


圖 10 離心式空壓機葉輪、擴散器及渦殼積垢、鏽蝕情形

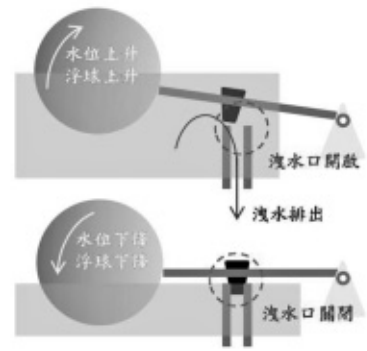
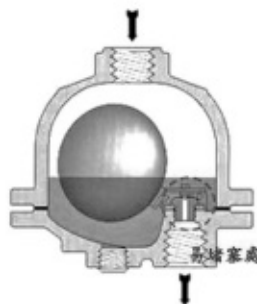
3. 空壓機排水/乾燥不良

離心式空壓機內部的鏽蝕、積垢，肇因不外乎都是祛水器排水不良或是不確實的乾燥過程；空壓機運轉中，渦殼、擴散器等處的高溫可達 100℃ 以上，若組件長期處在高溫潮濕的環境中，更易加快腐蝕的速度，同時增加凝結水中的溶解雜質，進而衍生葉輪積垢及冷卻器氣側堵塞等現象；空壓機為了排出各段所析出之凝結水，在空氣冷卻器下游皆會設置祛水器，而傳統的浮球式祛水器（如圖 11a），完全是靠浮球浮力來驅動洩水孔的開閉，因浮力受浮球體積所限，使得洩水孔無法加大，故運轉中常因為洩水雜質造成祛水器堵塞、空壓機排水不順，使凝結後的水滴積存在機殼內部；排水不良除了易引起鏽蝕問題外，因空壓機運轉中氣流夾帶水滴撞擊高速旋轉的葉輪，亦會引起葉輪及組件的沖蝕，此外過去運轉經驗中亦曾多次因祛水器堵塞，造成水滴衝擊葉輪使得轉子高振動產生。

新型的定量自動排放祛水器（如圖 11b）可改善舊型祛水器易堵塞失效的問題，其與傳統浮球式祛水器的差異是，洩水孔的開關不再直接由浮球驅動，而是由較大口徑之電磁閥或汽缸，其開、關信號則由浮球位置或水位計提供，如此可有效加大洩水孔口徑，改善因洩水孔小易堵塞造成失效之缺點，另外透過祛水器內凝結水的定量排放，在凝結水排空前排水閥即可關閉，內部殘留些許凝結水作為水封，避免高壓氣體隨之排放造成浪費。

除了改良祛水器排水性能，避免空壓機排水不良外，因空壓機停用初期內部仍可達 50℃ 以上，且含有許多水氣跟凝結水，故亦須保持內部通風順暢確保組件乾燥，一般可用的作法，是在空壓機完全停用後，同時開啓進口、沖放風門，利用空氣自然對流來達到內部換氣及乾燥的目的，或者是在進口風門後引入經乾燥後之壓縮空氣來做強制乾燥，否則高溫、潮濕空氣長期被悶封在空壓機內部，必然造成組件嚴重的繡蝕。

(a.) 浮球式祛水器



(b.) 定量自動排放祛水器

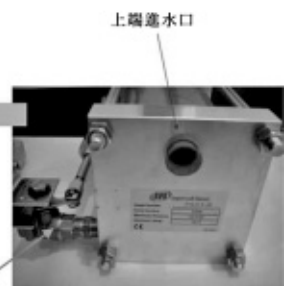
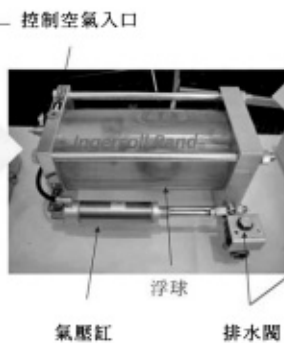
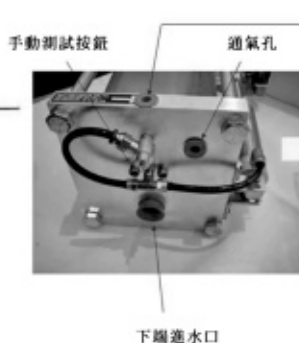


圖 11 (a)傳統的浮球式祛水器、(b)新型的定量自動排放祛水器

4. 不當的葉輪與擴壓器間隙

離心式空壓機各級葉輪與擴散器渦殼之間隙數值，一般可分成軸向間隙（Y）及徑向間隙（Z）兩種，如下圖 12，若間隙過大，則葉輪內部高壓區的氣流易發生洩漏再被低壓區吸入，導致葉輪內部的氣流再循環量提高，使空壓機淨吸入空

氣流量減少，造成空壓機出力下降；而較小的間隙值雖然理論上可提升吸入流量，但須考慮空壓機負載變化期間，轉子的軸向位移量以及止推軸承的磨耗率，過小的間隙值，容易發生高速轉動的葉輪與擴散器及渦殼碰撞，一般而言，離心式空壓機之間隙數值皆有嚴格要求，須依原廠給定之數值區間調整。

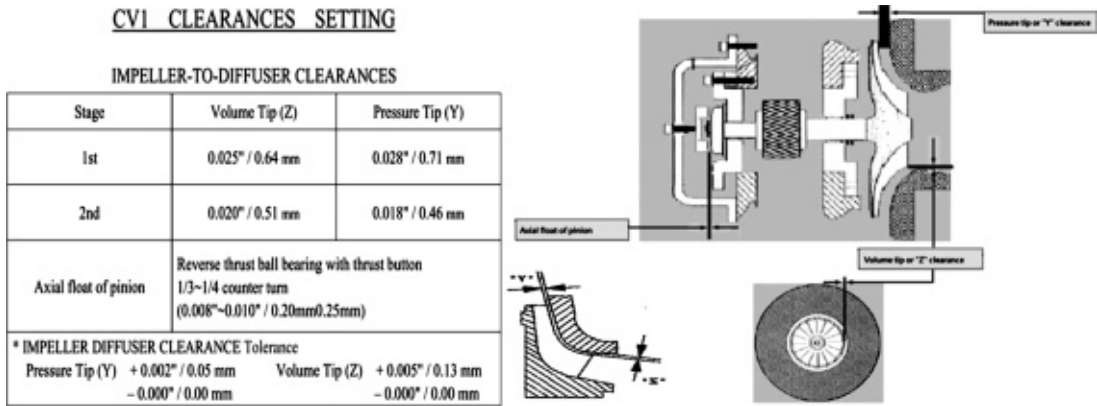


圖 12 IR-CV1 離心式空壓機間隙調整原廠建議值

5. 空氣冷卻器效能下降。

在空壓機運轉過程中，空氣中的細小灰塵或空壓機本身磨損、管路鏽蝕剝落產生的微粒，很容易粘附在冷卻器和汽水分離器內，造成冷卻器氣側和汽水分離器的堵塞，導致空氣流量減少；另一方面，當冷卻水水質變差或變髒時，容易在冷卻器水側表面積垢或造成堵塞，影響冷卻水流動，降低冷卻效果，不論氣側或水側的髒堵，都將造成葉輪出口空氣冷卻效果下降，影響空壓機的空氣容積率，使空壓機出力下降；一般而言經過冷卻後之空氣溫度與冷卻水入口水溫差異（CTD）標準值，需維持在 14°C 以下，如超過則代表空氣冷卻器效能下降，需進行冷卻器的抽換及化學清洗工作，以提升空壓機效能。



(a) 冷卻器水測積垢

(b) 氣側熱交換鰓面生鏽

圖 13 空氣冷卻器積垢、生鏽情形

6. 空壓機進氣口濾網髒堵

為了避免空壓機吸入粉塵及微小異物，造成內部磨損或空氣冷卻器、祛水器髒堵，在空壓機的進口控制風門前，皆會設計多道進氣濾網（如下圖 14），確保最終進入空壓機內部的粒子為 0.3 μm 以下；目前常用之內層濾網材質為防水性玻璃纖維紙（Micro Glass），其於流量 2000SCFM 下對 0.3 μm 粒子的過濾效率須大於 99.97%，且初始壓損一般要求在 350Pa 以下；而外層濾網材質則常見為多元酯纖維（Polyester Felt），其於流量 2000SCFM 下，濾網過濾等級須為 MERV（最小效率報告值）8 以上，且初始壓損要求在 80Pa 以下。

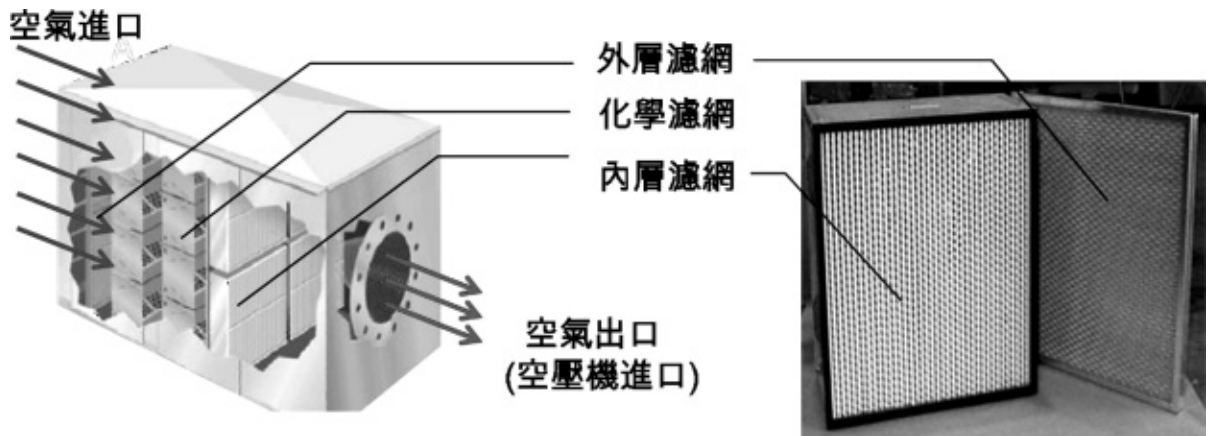


圖 14 離心式空壓機進口濾網

濾網屬於耗材，經長時間使用後會因髒堵而失效，特別是當空氣中溼氣較重時，粉塵結合水分將更容易堵塞濾網的孔洞，造成進口空氣濾網差壓迅速提升，一旦進口空氣濾網堵塞嚴重，氣流通過率下降，將造成空壓機出口溫度上升，對空壓機出力影響顯著，特別是在夏季期間，空氣及水溫都較高的情況下，濾網堵塞甚至可能使空壓機出口溫度高而跳脫，或使 SLL 曲線偏移造成運轉點跨越至不穩定區而產生喘振，故平時運轉期間皆要記錄濾網差壓變化，當差壓達設定值後應進行濾網更換，避免影響空壓機運轉穩定性。

(三) 風門控制匹配不良

離心式空壓機的加載（LOADING）、卸載（UNLOADING）是由進口風門配合沖放/再循環風門的開關來達成，負載變化過程中所產生的喘振，主因大多是因為進口風門、沖放/再循環風門動作匹配不良，使空壓機運轉點瞬間進入喘振區所導致；卸載過程中產生喘振，主要是因為空壓機內部的壓力不能即時配合進氣流量的減少而降低，肇因可能是沖放/再循環風門開啓速度過慢，或進口風門的關閉動作太快，解決方式可調整進口風門、沖放/再循環風門的動作速度或行程，加快沖放/再循環

風門的開啓速度（縮短行程時間），或減緩進氣風門開啓速度（增加行程時間）；相反的，如果喘振是發生在空壓機加載的過程中，則可能是因為沖放/再循環風門關閉速度過快，或進口風門的開啓動作太慢所造成，解決方式可減緩沖放/再循環風門的開啓速度（增加行程時間），或增加進口風門的開啓速度（縮短行程時間）；如果空壓機卸載運轉中亦發生喘振，則須確認沖放/再循環風門是否未全開，或是進口風門的最小開度不足所造成。

六、離心式空氣壓縮機常見故障原因及排除

如離心式空壓機的規格選用得當，則相較於其它形式之空壓機，原則上是可維持長時、穩定的高效率運轉，適當的保養周期及組件維護是維持其妥善率與效能的不二方法，特別是在設備運轉環境不佳或經長時運轉後；根據過往的維護經驗，離心式空壓機的故障原因彼此間皆存在顯著的因果關係，而常見故障及排除方式可整理並簡述如下表：

故障原因	可能肇因	排除方法
1 出口空氣 溫度高	空氣冷卻器髒堵	更換、清洗冷卻器(保持CTD 14°以下)
	冷卻水流量低、管路堵(濾網差壓高)	檢查冷卻水進口壓力、水濾網清堵
	葉輪、擴散器、渦殼鏽蝕嚴重	停用檢修、清理、間隙調整
	葉輪、擴散器、渦殼積垢嚴重	
	進氣不順、濾網髒堵(雨季易加劇)	檢查進口風門開度、更換濾網
	進口空氣溫度高	空壓機房保持適當通風、調整進氣位置
	冷卻水溫過高	冷卻水溫保持 35°C 以下
	儀器異常	校正、更換儀錶
	喘振(SURGE)造成	調整運轉點(設定、出力…)、停用檢修
2 潤滑油 溫度高	油溫加熱器故障(異常加熱)	隔離電源，檢修油溫加熱器
	油熱交換器髒堵、失效	更換、清洗油熱交換器
	冷卻水管路堵(濾網差壓高)	冷卻水濾網清堵
	潤滑油量不足、油濾網堵塞	確認油壓值正常、更換油濾網
	油溫控制閥故障	更換油溫控制閥
3 軸承 高振動	祛水器堵，空壓機積水	開啟祛水器旁通洩水、祛水器清堵
	油溫控制不正確	調整油溫至原廠建議值
	葉輪磨損或積垢嚴重	停用清理、轉子動平衡(G2.5 以上)
	訊號異常	檢查接頭、更換探頭/導線/PROXIMETER
	軸承積碳、損傷(常伴隨軸承溫度高)	停用檢修、更換軸承

4	空壓機 漏油	油封環損耗	更換油封環，調整間隙值
		密封件(O環、迫緊)老化	停用更換
		呼吸器髒堵	清理呼吸器、更換油細過濾器
		油氣抽氣系統失效	確認機殼內為輕微負壓
5	喘振 (SURGE)	防 SURGE 控制失效、風門動作匹配不良	調校風門動作速度、防喘振線設定值
		空壓機效能低落	停用檢修、清理、間隙調整
		運轉環境變化	適當的冷卻水溫、進氣溫度、壓力
		運轉點偏移	調降系統壓力

七、參考文獻

1. 莊朝焮「壓縮空氣供氣系統節能手冊」財團法人中技社節能技術發展中心。
2. 楊維盛「台中發電廠鍋爐輔機一課儀用空壓機教育訓練教材」台灣電力公司。2015
3. 黃茂興「細說壓縮空氣系統節能之高效率空氣壓縮機」威鐘企業。2007
4. 鐘瑞明「離心式空氣壓縮機喘振故障分析與控制預防」凡口鉛鋅礦廣東韶關市。2011
5. 蘇炯標「空壓機原理及故障排除」INGERSOLL RAND 台灣。
6. 李祥「熱力學與熱機學」第9版鼎茂圖書出版有限公司。2013
7. 「台中發電廠五～八號機鍋爐輔機設備說明書」台灣電力公司。1997
8. 「林口電廠更新擴建計畫-壓縮空氣系統研究」泰興工程顧問股份有限公司。2006
9. INGERSOLL RAND 4C110M5、0CV8M2、1CV12M2 離心式空壓機操作維修技術手冊。
10. COOPER TA100M5R3SB 離心式空壓機操作維修技術手冊。
11. Gulf Publishing Company Book Division. (1979). *Compressor Handbook for the Hydrocarbon Processing Industrial*.
12. I. Lewis, R. (1996). *Turbo-machinery Performance Analysis*. Butterworth-Heinemann.

〔摘自本會鍋爐知識第38期〕

生質燃料與應用技術

萬皓鵬、李宏台
〔本會資料室〕

一、前言

傳統化石燃料包括煤炭、石油與天然氣，根據統計數據分析，化石燃料將分別於數十年至兩、三百年之內消耗殆盡。因此，國內外均積極致力於發展可能之替代能源，其中，以再生能源的發展最具潛力。生質能為利用生質物所產生的能源，屬於再生能源的一種，根據國際能源總署的統計資料顯示，生質能僅次於煤炭、石油與天然氣，為全球第四大初級燃料供應來源，約供應全球 13.5% 的初級能源需求。本文將由化石燃料現況介紹著手，進而討論再生能源、生質物與生質能的關係及內容，最後將討論使用生質燃料的主要應用技術。

二、化石燃料的逐漸匱乏

於數億年前，地球上許多浮游生物及動植物死亡後，逐漸堆積於海底形成堆積物，其後經過長期且緩慢的高溫、高壓與細菌等作用後，逐漸轉化而成今日人類所倚賴為生的化石燃料（fossil fuels）（煤炭、石油與天然氣）。無庸置疑的，化石燃料扮演了工業革命以來，人類文明的重要推手。

煤炭是目前世界儲量最豐富的化石燃料，一般而言，煤炭依據炭化程度及固定碳含量，可分為無煙煤（anthracite）、煙煤（bituminous）、亞煙煤（sub-bituminous）、褐煤（lignite）與泥煤（peat）等。原油（crude oil）的來源與煤炭相同，亦是古代動植物經常年作用下的產物，原油開採後經過煉油廠不同的蒸餾（distillation）程序，依據油品沸點不同，生產出燃料氣、輕質汽油、輕油、煤油（kerosene）、柴油（diesel）、重油等油料及其他化學品。

天然氣（natural gas; NG）是一種碳氫化合物，主要成分為甲烷（ CH_4 ），多是在礦區開採原油時伴隨而出。依其蘊藏狀態，又分為構造型、水溶性與煤礦等三種天然氣。液化天然氣（LNG）則是把礦區出產的天然氣冷凍至零下 162°C ，使成為一種無色、無臭的液體，體積縮減為六百分之一左右，以利儲存與運送。天然氣液化後，為維持其低溫狀態，必須用特殊冷凍船運送到接收站，經由卸料臂送到低溫儲槽儲存。使用時藉由海水汽化裝置，將液態天然氣復原為常溫氣態，再由長途輸送管線，將天然氣輸送到家庭用戶、工廠及發電廠使用。

依據英國石油公司（BP）統計資料顯示，截至 2003 年底，世界煤炭可開採儲藏量

約為 984,453 百萬公噸，按目前生產速度平均可再開採 204 年。石油至 2003 年底，儲存量約為 11,478 億桶，約可再開採 41 年左右，其中以中東地區蘊藏量最多，中南美洲其次。而天然氣至 2003 年底，儲存量約為 156 兆立方米，約可使用 61 年左右（圖 1）。

針對化石燃料蘊藏量的有限，美國生態學家 Jeff Dukes 彙整一些已發表的文獻資料，大膽推算：每提煉產生一公升的汽油，將需要高達 23.5 公噸遠古植物的長年儲存、轉化而成（1 U.S. Gallon 石油，需 90 公噸遠古植物）。這種驚人的消耗量，也提醒我們，在享受便利化石燃料的同時，積極尋找化石燃料之替代能源，將是全體人類不可避免且即將面臨的新課題。

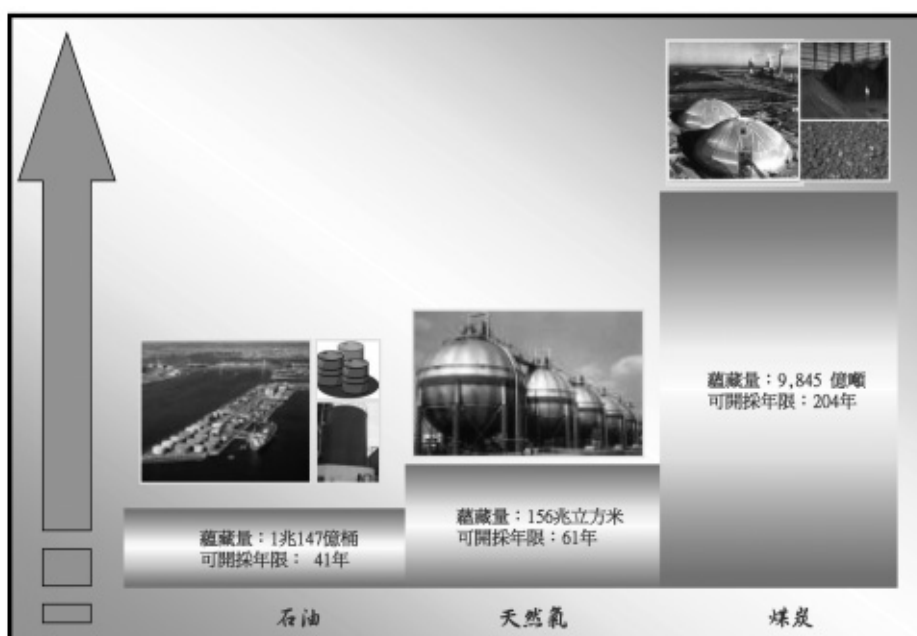


圖 1 依據 2003 年全球化石燃料的開採情形，所估計各種化石燃料之儲存量及可用年限（R/P ratios; reserves-to-production ratios）
（資料來源：BP Statistical Review of World Energy 2004）

三、再生能源與生質能

能源包括初級能源（如煤炭、石油、天然氣、核能等）、次級能源（如電能等），前述的初次能源屬於不可回覆性能源，即消耗後無法重複使用，主要以化石燃料為主。如前節所述，在面對即將耗竭的未來時，人們所想到的是能重複使用，取之不盡、用之不竭的水力能、風力能、太陽能、地熱能、潮汐能與生質能（biomass energy）等「再生能源」（renewable energy）。

再生能源受到世界各國的重視，並非近幾年的事情。於 1973 年及 1979 年兩次石

油危機時，再生能源曾被視為石油的替代能源，然而，在石油價格回穩後，有關再生能源的研究發展也隨之趨緩。近年來，一方面石油價格持續上漲，另一方面，由於燃燒化石燃料，產生大量的二氧化碳等溫室效應氣體，引起全球暖化造成氣候異常，使得能源問題日趨嚴重與國際化。因此，再生能源再度受到各國的重視，此次，不僅是尋求化石燃料的替代方案，對於控制全球氣候變遷的減緩，更是各國政府宣示推動再生能源為無悔政策的主要原因。圖 2 為國際能源總署（International Energy Agency; IEA）2003 年統計 2001 年世界初級能源供應比例及再生能源供應比例，由圖中可知，再生能源供應比例，已由 2000 年的 11.0% 提升至 2001 年的 13.5%。

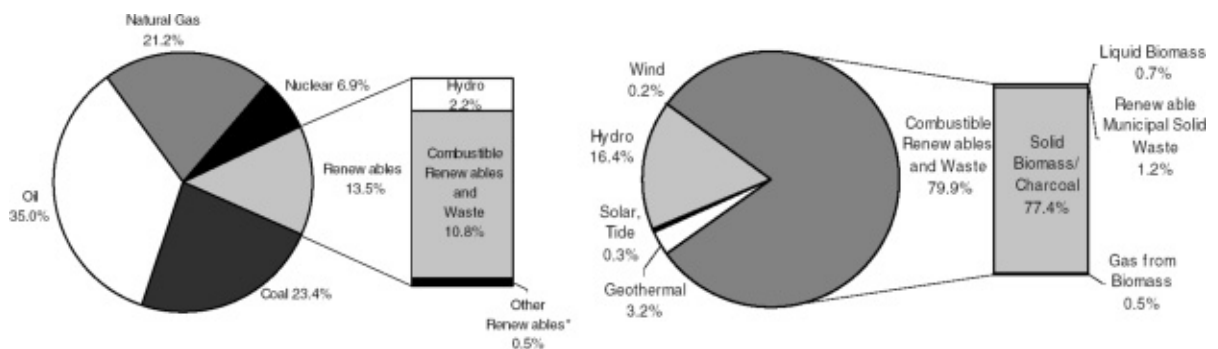


圖 2 2001 年世界初級能源與再生能源供應比例

（資料來源：IEA, Renewable information 2004）

於 1997 年 12 月在日本京都召開的第三屆氣候變化綱要公約（the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）締約國大會，達成溫室氣體排放之減量協議後（簽訂京都議定書-Kyoto Protocol），各國皆積極投入再生能源的開發。在去（2004）年 11 月俄羅斯將其批准文書呈交給聯合國秘書長安南後，聯合國氣候變遷架構公約當局（位於法國巴黎）即發表聲明指出，「京都議定書將自 2005 年 2 月 16 日起，對 128 個簽署國具有法律拘束力」，於是開發有助於減少溫室效應氣體的排放的再生能源預期將更為各國所重視。

再生能源中水力能、風力能、太陽能、地熱能、潮汐能等，顧名思義均明白易懂，然而，生質能則是需要進一步解釋的能源。生質能英文可為 biomass energy 或是 bio-energy，係指利用生質物（biomass），經轉換所獲得之次級能源，如電與熱。依據國際能源總署的定義，生質能來源包括：固體生質物（solid biomass）、再生性都市廢棄物（renewable MSW）、生質物產生之沼氣（gas from biomass）、非再生性都市廢棄物及工業廢棄物（non-renewable MSW & industrial waste）、非特定可燃性再生物及廢棄物（non-specified combustible renewable & wastes）等。

由此分類可看出，生質能不像風能或是太陽能等再生能源定義明確，世界各國在統計時皆有不同的看法，因此許多國家在歸類時，常將生質物與廢棄物歸類在一起，或是將廢棄物歸於廣義的生質物當中。因此生質物可泛指由生物產生的有機物質。此外，農業作物一直是以供應糧食為主要目的，但近年來種植以作為燃料為主要目的的能源作物（energy crop）也在許多國家推動，通常這些作物有生長迅速且能密集栽種、具有高含量碳氫化合物等特性，亦為極佳之生質能的來源。

依據我國「再生能源發展條例（草案）」，生質能定義為「國內農林植物、沼氣、一般廢棄物與一般事業廢棄物等，直接利用或經處理所產生之能源」。而生質能源自於生質物的應用，生質物則是泛指由生物產生的有機物質，如木材與林業廢棄物、農作物與農業廢棄物、畜牧業廢棄物、廢水處理廠、垃圾與垃圾掩埋場、下水道污泥處理廠所產生的沼氣、工業有機廢棄物等。

生質燃料與化石燃料對於溫室氣體排放貢獻最大之不同，在於生質物如植物、藻類等係吸收大氣中二氧化碳，經由太陽光進行光合作用而成長，因此，雖然在應用時，如同化石燃料般的燃燒後會產生二氧化碳排放於大氣，但其淨排放相較而言則低的很多，表 3 為以生命週期評估各種發電技術之溫室氣體排放量，由表中可知，生質能與其他再生能源相較，更有助於降低二氧化碳的排放。

表 3 以生命週期評估各種發電技術之溫室氣體排放量

（資料來源：UNEP, Energy: Facts and Figures, Industry and Environment, 23 (3), 4-11 (2000)）

總二氧化碳排放當量 (g / kWh)					
煤	生質能	太陽能	風力	地熱	核能
1,050-1,114	46	60-410	7-74	47-97	39

四、生質燃料的應用技術

由於廣義的生質物的種類非常多，因此依據各種生質物的物理與化學性質、密集度、經濟性的不同，而有不同的轉換方式與應用方式。圖 4 簡要繪出生質物經由直接燃燒、物理轉換、熱轉換（如氣化與裂解產生合成燃油或瓦斯）、化學/生物轉換技術（如經發酵、酯化等反應而產生酒精汽油；經生物轉換產生氫氣、甲醇等燃料等）、沼氣或生質柴油後，可產生不同之生質能形式之關連圖，本節將簡要說明各項生質物之應用技術。

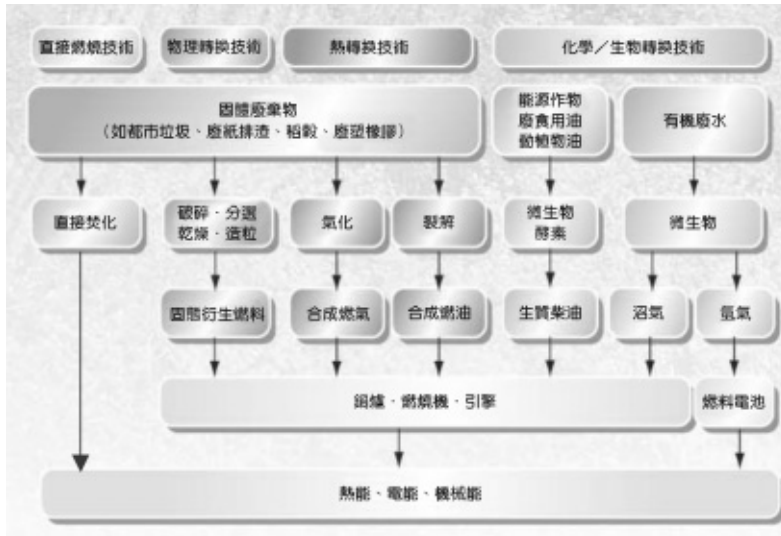


圖 4 生質物的轉換應用技術 (資料來源：工研院能資所)

(一)廢棄物衍生燃料技術

「廢棄物衍生燃料」(Refuse Derived Fuel; RDF)，顧名思義即是將廢棄物經過適當的處理後，轉換為一種高效率、低污染，可利用的再生性燃料。圖 5 分別就美國與日本針對廢棄物衍生燃料的定義及能源效率作一說明。由圖中我們可以發現燃料等級由 RDF-1 至 RDF-7 逐漸提升，而能源使用效率也隨著燃料等級的提升隨之提升。簡而言之，如果我們將一般家戶所蒐集到的垃圾不經分類直接送入焚化爐中燃燒，則我們可以回收的能源將小於 15%；反之，若經過衍生燃料技術轉換垃圾後，可以提供的可用能源，將可達到 35% 以上。

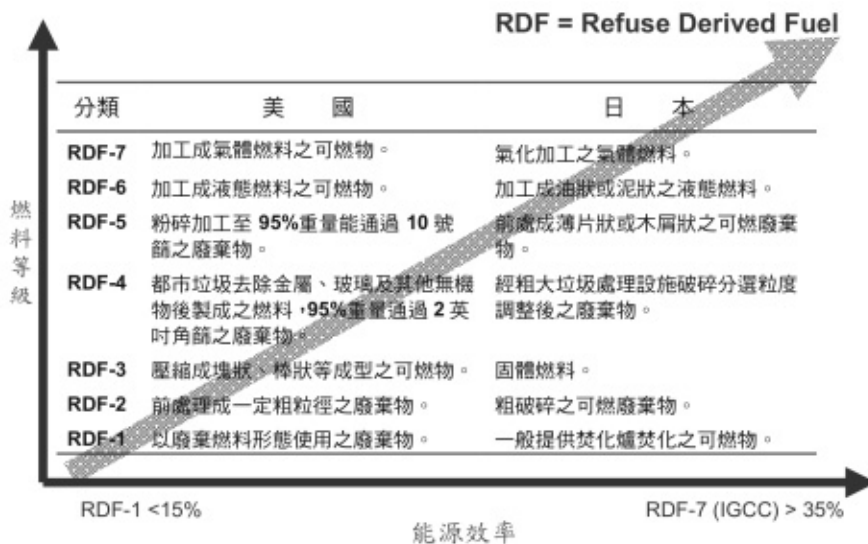
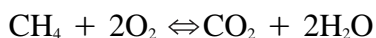


圖 5 廢棄物衍生燃料分類及能源效率 (資料來源：工研院能資所)

上述一般廢棄物可以先排除不適燃燒之成份，乾燥化再加以壓縮粒狀化（Pelletization）而形成一般廢棄物固態衍生燃料（Densified Refuse Derived Fuel, d-RDF, RDF-5），具有容易儲存、運輸與保存期間較長等優點。RDF-5 在運送到最終利用場所時，主要作為燃燒發電或直接熱利用的燃料。廢棄物亦可採用液化（裂解）或氣化等技術（後另加說明），使其轉換為液態廢棄物衍生燃料（RDF-6）或是氣態廢棄物衍生燃料（RDF-7）等而加以應用。

(二) 直接燃燒技術

燃燒為燃料與空氣混合後所產生的高溫放熱化學反應，燃料中的碳及氫與空氣中的氧完全反應後產生二氧化碳與水蒸汽，當燃燒不完全時則會產生一氧化碳（CO）。例如沼氣（主要成分為甲烷）的燃燒：



直接燃燒生質燃料以產生熱能、電力或動力所利用的燃燒系統的基本需求與傳統的化石燃料（煤炭、油、天然氣）是一樣的。生質燃料分為固態（廢木材，蔗渣、都市廢棄物等）、液態（生質柴油、酒精汽油等）及氣態（沼氣、生質合成氣）。上述三種生質燃料均可送入鍋爐燃燒，以產生蒸汽或熱水利用其熱能，蒸汽並可做為動力例如推動壓縮機或送入蒸汽渦輪機（steam turbine）發電。

生質燃料多為生產製程的副產品，其產量不大一般熱值亦不高，為節省運輸成本及燃燒設備成本，利用現場既有的燃燒設備與傳統化石燃料混燒（Co-firing），為處理生質燃料較佳的途徑。生質物混燒前，可與化石燃料預先混合處理或先製成衍生燃料，再混入化石燃料之中送入鍋爐燃燒。

由於既有鍋爐依據燃煤性質設計，因此燃燒系統構件例如粉煤機、燃料輸送系統，燃燒器等必須視需要修改，運轉條件例如空氣量亦必須調整，以使效率與污染排放不受影響。生質燃料與燃煤混燒所能容許的比例依鍋爐型式而定，以目前混燒技術而言，既有設備中，粉煤鍋爐（PC boiler）中生質燃料重量比例應低於 10%，旋風式鍋爐（cyclone boiler）應低於 20%（Engstroem, F. 1999）。國內混燒實例為汽電共生系統中，同時混燒煤炭、污泥、廢紙篩渣（paper reject）及廢輪胎等。

由於生質燃料具有多樣化、中低熱值與成分複雜的特性，因此在直接燃燒生質燃料時，流體化床技術便成為極佳的選擇。流體化床原本是為傳統化石燃料而發展，為已相當成熟商業化的技術，應用於生質燃料時其設計、運轉以至於維修均須視生質燃料性質作調整。

(三) 熱裂解與氣化技術

有機物在高溫下會呈現不穩定狀態，這種因加熱作用使長鏈有機物分解成短鏈有機液體或氣體的化學反應稱為熱裂解（thermal cracking）。若加熱是在缺氧狀態下

進行，所產生的熱裂解反應稱為熱裂解（pyrolysis）。若加熱是在少量氧氣存在下進行，使有機物分解成可燃氣體（syngas），則另稱為氣化（gasification）。熱分解和氣化反應是一種常見的化學工業程序，也是經常應用於生質物能源利用的技術。

氣化爐型式很多，例如固定上吸式或下吸式氣化爐、氣泡式流體化床氣化爐、循環式氣化爐和雙流體化床氣化爐，其中以流體化床氣化系統最有潛力，可分別處理如稻殼、木屑、果殼等生質物，近年來也朝轉換工業廢棄物（如廢保力龍、廢塑膠、廢橡膠等）及生活廢棄物（垃圾、有機污泥等）之潛能發展。

氣化是不可逆反應，不同於燃燒或焚化，主要是氣化反應係將生質物中可利用的化學能儲存於合成燃氣，包括 H_2 、 CH_4 、 CO 、 C_2H_4 、 C_2H_6 、 C_nH_{2n} 、 C_nH_{2n+2} ...及焦油（tar）等。一般而言，氣化合成燃氣之熱值均不高，依轉換物質之不同而有差異，其熱值約在 $6,200\sim 25,120\text{ kcal/m}^3$ 之間，氣化效率為 70% 左右。

生質物中亦由部分之轉化技術，係利用熱裂解反應，以廢塑膠或橡膠為原料來源，將其轉換為可利用的液態合成燃油，又稱為液態廢棄物衍生燃料。此項技術的優點，是以易於儲存運輸與使用的燃油為主要產品，且系統容量不需太大即具經濟性。其缺點則在於因需維持燃油的產率，裂解溫度不能太高（約 30000°C ），若不預先進行廢棄物中原含有的重金屬與硫、氮等成分脫除，將會存在於產品油內而造成產品油的性質不穩定。

(四) 沼氣應用技術

沼氣是經由細菌將有機生質物分解而產生，主要成分是甲烷與二氧化碳，及少量的硫化氫與水分，其中甲烷（ CH_4 ）約可達 85%，二氧化碳（ CO_2 ）約佔 10% 至 50%，硫化氫（ H_2S ）0.2~5%，水份（ H_2O ）2~3%，熱值為 5,000 至 5,500 kcal/m^3 。沼氣之主要來源是廢棄物，可分成兩大類，一是垃圾掩埋場，二是廢水處理廠；後者包括民生污水、畜牧廢水及工業廢水，如食品業、紡織業、膠帶業及其他行業等。

垃圾掩埋場沼氣利用與廢水處理廠沼氣利用的最大差異是在於沼氣的產生或收集之設備。垃圾掩埋場需要在不同的地點埋設管線，用以收集垃圾腐化所產生的沼氣，因此管線設備之成本會比較高；而廢水處理廠利用厭氧性蒸煮器（anaerobic digester），加溫除去生質固體以淨化廢水，而由蒸煮器產生的沼氣，就可由管線引出；由於蒸煮器之面積遠低於垃圾掩埋場，因此廢水處理廠為利用沼氣所須裝置的管線就不如垃圾掩埋場那麼多。

沼氣純化的技術包括氧化鐵法、溶劑吸收法、薄膜法及水洗法。以台灣目前的情形而言，氧化鐵法適用於小型養豬場（即小於 500 頭豬者）；溶劑吸收法與薄膜法適用於大垃圾掩埋場；而水洗法的適用性比較廣，中大型養豬場皆可適用，沼氣

儲存設備主要為儲存袋及其固定設備。

沼氣之利用包括發電與直接燃燒利用。首先設置管線收集或引進其所產生的沼氣，通過沼氣純化設備，排除雜質、乾燥化後，引入發電設備如往復式引擎、燃氣渦輪機、蒸汽渦輪機或微型渦輪機，產生動力再牽動發電機產生電能。或者把沼氣引進熱利用設備，直接燃燒，用以作為照明、保暖、廚房燃料、產生工業製程用蒸汽或乾燥等用途。也有些利用程序是在經過純化以後，先引進儲存設備儲存，最後，才引入發電設備或熱利用設備燃燒利用，較先進的技術，則包括以沼氣為燃料電池或微渦輪機之燃料藉以發電。

一般而言，燃氣渦輪機淨發電效率比往復式引擎低，因為就整個發電計畫，燃氣渦輪機須使用約 10 至 20% 的發電量來作沼氣之清淨化（純化）與壓縮的工作，而往復式引擎則相對只須要用約 6 至 10% 的發電量來作相同的工作。（U.S. Environmental Protection Agency, 2003）

(五) 生質柴油與酒精汽油之製造與應用技術

生質柴油是由動植物油或廢食用油脂經轉脂化程序，轉化成甲醇或其它醇類之脂肪酸酯化物。可混入石化柴油，加入一般柴油引擎中使用。生質柴油之製造一般皆以油酯和簡單醇類進行轉酯化反應取得。一般而言轉酯化反應約略有兩種方法，可分為觸媒法及非觸媒法。傳統上生質柴油為由動植物油酯和甲醇（或乙醇）經鹼或酸催化，產生脂肪酸甲酯（或乙酯）及甘油等，反應後產物經分離下層之甘油層後，上層之油層再以蒸餾去除未反應之油脂即得酯類之生質柴油。

目前生質柴油之製成包括化學製程（鹼製程與酸製程）、生物轉化製程（使用酵素或微生物轉化）及超臨界流體轉化製程。其中以化學製程中鹼製程較常見，然需視實際進料物種而決定，生物轉化製程及超臨界流體轉化製程，目前仍在研發中。生質柴油的原料，可使用廢食用油、黃豆油、油菜籽、向日葵籽等，目前我國及日本以廢食用油為主要原料，而歐洲（如德國）主要以油菜籽、向日葵籽為原料，美國則以黃豆為主要原料。

生質柴油的應用方面，可直接使用作為柴油之替代燃料，或不同比例摻配於市售柴油中。全部為生質柴油者稱為 B100，摻配 20% 生質柴油之石化柴油稱為 B20。摻配 20% 於市售柴油中可降低約 20% 二氧化碳之排放量。生質柴油中約含 11%wt 之氧，在燃燒中並會改善燃燒，提升效率。

生質酒精可以由乙烯合成，也可以碳水化合物為原料，用發酵法來生產；前者又分為直接水化法與間接水化法，而後者則有乾磨法與濕磨法兩種方式。以發酵法產生生質酒精主要原料包括：甘蔗、玉米、小麥、高粱、甜菜、木材、乳漿等。在汽油中摻加生質酒精就成為酒精汽油（gasohol），是利用生質酒精為交通燃料的方

式；其填加之酒精比例少則 10%（汽油 90%），一般為 E10。如果摻含量為 85% 酒精，15% 汽油，則為 E85。重型車輛有使用 E90 或 E100 者。

巴西為全世界利用酒精能源最有名的國家，以蔗糖來製造酒精。該國於 1973 年開始推動酒精燃料計畫，於 1975 年開始生產酒精，初期以 20% 體積比率添加入汽油中，1980 年提高為 22%，至 1985 年全面以酒精作為車輛之替代能源，是第一個希望完全使用酒精來當作汽車燃料之國家。

美國出售之汽油中約有 12% 摻有酒精，約為全部汽油量的 1%。添加酒精集中在美國中北部 14 州，酒精添加量為 10 vol.%。最普遍為 E-85 酒精車（使用 85% 乙醇及 15% 汽油）；重型車輛則有使用 90% 之乙醇（E-90）及全部為乙醇者（E-100）。

五、結論

再生能源目前為全球第四大初級能源之供應來源，主要兼具替代化石燃料及防止地球暖化的雙重效益，其中生質能約佔再生能源之 80%。本文透過介紹生質燃料之種類，並簡要說明各種生質能之製造與應用方式，期望透過對生質能的闡述，能讓傳統化石燃料之使用者，在燃料的選用上，能有更多一種的選擇。

〔摘自本會鍋爐知識第 26 期〕

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。



貫流式蒸汽鍋爐常見事故分析

薛軍／上海市嘉定區特種設備監督檢驗所

燃油（氣）貫流式蒸汽鍋爐因其占地面積小、自動控制程度高、操作簡便、效率高和產汽速度快等特點，近幾年在我區食品、服裝等行業的中小型企業得以廣泛運用，已占全區燃油（氣）鍋爐總數的60%以上。但是，鍋爐本體泄漏事故的發生率卻很高，表1是近幾年發生在我區範圍內的貫流式蒸汽鍋爐的事故。

表1 我區近幾年內貫流式蒸汽鍋爐部分事故情況

序號	使用單位	鍋爐型號	投用日期	事故日期	事故形式及原因
1	某食品公司	EI-2000	1998.05	2003.03	缺水過燒爆管泄漏
2	某食品公司	TU-500M	1997.12	2003.06	管子與鰭片焊縫拉裂泄漏
3	某食品公司	LSS2-1.0-Y	2001.05	2004.07	管子與鰭片焊縫拉裂泄漏
4	某金屬製品公司	LSS2-1.0-Y(Q)	2001.10	2006.10	氧腐蝕穿孔泄漏
5	某家具公司	YJS2000	2002.12	2006.10	腐蝕穿孔泄漏
6	某服裝公司	EI2000SK	2005.05	2006.12	水垢堵塞爆管泄漏
7	某服裝公司	KB-250M	2003.04	2007.01	3根水管腐蝕穿孔泄漏
8	某金屬材料公司	LSG0.5-0.4-Y	2006.10	2007.09	缺水過燒水管變形泄漏
9	某食品公司	HES-20K	2006.02	2008.01	聯箱平管泄漏
10	某食品公司	JYS750	2005.11	2008.01	水垢堵塞爆管泄漏

一、貫流式鍋爐結構

貫流式蒸汽鍋爐的主要受壓元件由2部分組成：(1)上、下聯箱；上、下聯箱之間並與其焊接的水冷壁管（又稱直水管）。

上、下聯箱的形式大致有4種：(1)由2塊管板對扣組焊而成的方型聯箱（見圖1）；(2)由2塊平管板外加2個筒節組焊而成的方型聯箱（見圖2）；(3)由平管板加U型圈組焊而成的半圓型聯箱（見圖3）；(4)由大直徑無縫鋼管彎制後組焊而成的圓型聯箱（該形式現已少見）。

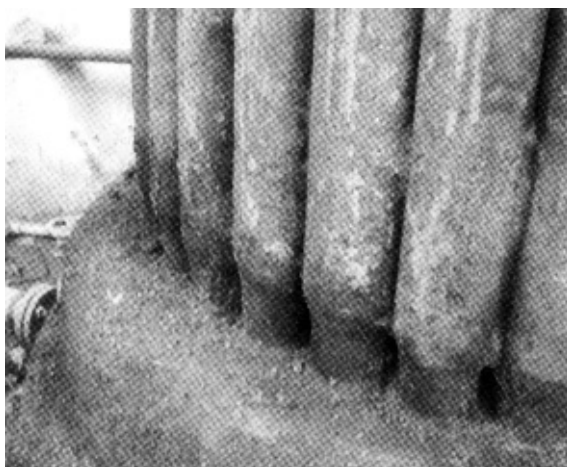


圖1

水冷壁管的形式基本上只有 2 種：(1)直水管兩端收口後密排布置的水冷壁管；(2)直水管兩端不收口、也非密排布置，但管間焊有鱗片的水冷壁管。

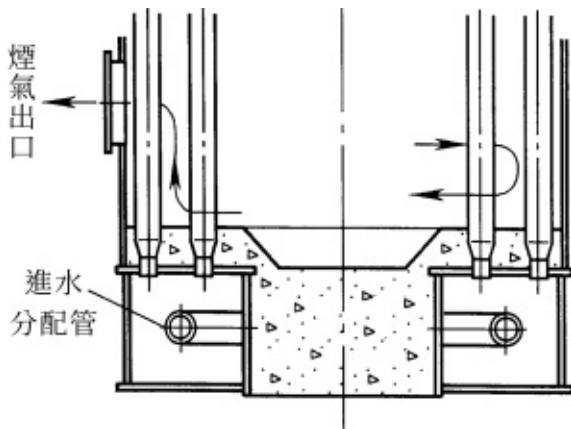


圖 2

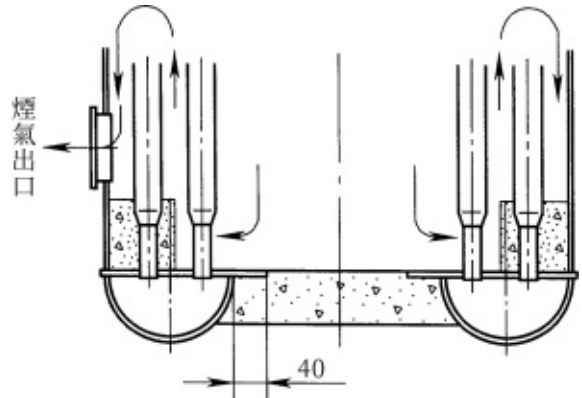


圖 3

二、事故分析

貫流式蒸汽鍋爐的衆多鍋爐本體事故基本是由水冷壁管和聯箱的破裂泄漏而引起的。

(一)水冷壁管泄漏

貫流式蒸汽鍋爐的結構型式決定了其運行使用的要求更高，目前一般泄漏事故的產生主要集中於水冷壁管的爆裂。其事故形式主要有 3 種，分別為：缺水過熱變形泄漏、水垢堵塞過熱爆裂泄漏和腐蝕穿孔泄漏。

1. 缺水過熱變形泄漏

由於燃油（氣）貫流式蒸汽鍋爐自動化程度較高，鍋爐在啓動後各項自動控制和保護功能投入使用，即自動給水、缺水保護、大小火切換、超壓停爐、低壓啓爐、熄火保護等，司爐操作人員以監視為主，沒有過多的其它操作，更多地依賴鍋爐本身的自動控制系統，有的單位因此又會安排司爐操作人員從事其它兼職工作。一旦發生鍋爐缺水運行，嚴重時產生缺水乾燒，使水冷壁管過熱、變形、脹粗、直至爆破泄漏。

2. 水垢堵塞過熱爆裂泄漏

貫流式蒸汽鍋爐由於鍋爐水容量小而產汽速度快，爐內換熱速率大，且大多數貫流式蒸汽鍋爐的水冷壁管兩端進行了縮口，水質要求高。為更好地提高鍋爐安全使用，在加強給水鍋外化學處理的同時，還需採用鍋內加藥措施，促使鍋內產生的微量水垢得以軟化、清除，並產生管壁保護膜。然而由於我區水質硬度較高，水質超標現象嚴重，而且鍋內加入的藥劑質量較差，致使部分貫流式鍋爐在運行一、二年時間內就產生水垢堵塞過熱而爆管。

3. 腐蝕穿孔泄漏

貫流式蒸汽鍋爐的設計壓力一般不超過 1.0MPa，根據《工業鍋爐水質》規定：“直流（貫流）鍋爐給水應採用鍋外化學水處理，其水質標準按額定蒸汽壓力為大於 1.6MPa，小於等於 2.5MPa 的指標執行”。鍋爐給水的溶解氧含量小於等於 0.05mg/L，給水含氧量要求較高。現已投用的貫流式蒸汽鍋爐一般額定蒸發量為 2t/h 以下，均無給水除氧裝置。如果給水未經過除氧處理，導致給水氧含量過高，長期使用便產生管壁氧腐蝕穿孔。另外，經對貫流式蒸汽鍋爐使用單位的使用情況分析，發現部分使用單位的鍋爐間斷性投用，停爐期間的保養工作不到位，致使鍋爐管子內外壁均存在不同程度的局部氧腐蝕，嚴重時產生氧腐蝕穿孔泄漏。

(二) 水冷壁管與鱗片焊縫拉裂泄漏

貫流式蒸汽鍋爐因密封結構考慮往往還採用直水冷壁管和鱗片焊接的形式。鍋爐運行時爐內溫度較高，水冷壁管和鱗片受熱程度不同，導致水冷壁管和鱗片膨脹不一致，在水冷壁管和鱗片焊縫間產生一定的拉應力，致使焊縫的薄弱處拉裂泄漏。

(三) 聯箱設計、制造缺陷產生泄漏

第 1 種形式的方型聯箱，其 2 塊管板對扣組焊通常採用的是帶墊板全焊透的焊接接頭型式，第 2 種形式的方型聯箱，其 2 快平管板外加 2 個筒節組焊通常採用的是角接焊接接頭型式，這兩種形式的聯箱一般很少產生泄漏事故。第 3 種形式的半圓型聯箱，其平管板加 U 型圈組焊通常也採用的是角接焊接接頭型式（見圖 3），但由於在設計、制造環節存有不妥之處，因此，這種形式的聯箱產生泄漏事故較多。

鍋爐按國家相關法律、法規和安全技術規範要求進行合理設計和精心制造是確保鍋爐正常、安全運行的首要因素。2008 年我區一家食品企業一台貫流式蒸汽鍋爐半圓型聯箱的平管板產生多條裂紋的泄漏事故。事故發生後對鍋爐進行檢查，發現鍋爐水側基本沒有結水垢，而聯箱的平管板伸出 U 型圈達 40mm 的平管板部分所處的部位（爐膛煙氣出口處）煙溫高於 600℃，由於平管板伸出 U 型圈部分太長，同時制造時沒有用耐火材料對此處進行有效的絕熱處理，以致於該部分平管板長期過熱產生裂紋，鍋爐發生泄漏事故。

三、預防措施和建議

根據上述貫流式蒸汽鍋爐常見事故情況可知，由於設計制造不合理和使用不當等因素極易導致部分貫流式蒸汽鍋爐發生泄漏事故，而且有的甚至在投用 1 年內就發生事故。另外，根據貫流式蒸汽鍋爐結構的特殊性，一旦鍋爐個別水冷壁管發生變形或破裂，對局部更換和修理難度極大，往往 1 根水冷壁管的損壞必須更換整個鍋爐本體，給企業帶來一定的經濟損失。為此，應更好地使用貫流式蒸汽鍋爐，充分發揮其優勢，

建議做好以下幾個方面的工作：

(一)從源頭抓起，更好地提高產品質量

1. 貫流式蒸汽鍋爐設計時應考慮受熱元件能得到可靠冷卻和自由膨脹，避免將可能產生局部過燒的部件暴露於高溫煙氣區，或採用良好的絕熱手段進行其保護；
2. 在滿足強度要求的同時，盡量在上、下聯箱開設數個檢查孔、沖洗孔、觀察孔，以利於日常的檢查、清洗、維護、保養；
3. 鍋爐本體頂蓋設計時應考慮日常檢查、維護保養時便於開啓，以設計成鉸鏈式為宜，因為一般鍋爐房內很少具備垂直起吊設施，貫流式鍋爐的開蓋一直是影響爐內檢查的重要因素。

(二)加強運行管理，提高使用環節的各項工作質量

1. 加強給水的水質處理和化驗工作，避免產生水垢和氧腐蝕，既保證鍋爐安全可靠運行，又達到節能降耗的目的。
2. 針對貫流式蒸汽鍋爐水容量小的特點，除了在運行期間進行定期排污外，還可以採用在停爐後全排污的方法來排泄鍋內垢渣等雜物。建議根據《鍋爐使用說明書》進行操作，採納勤換水的方法，以改善爐水品質。
3. 在採用鍋外水處理的同時，鍋內加藥作補充，既及時疏松水垢便於清除，又能產生壁面保護膜。
4. 加強鍋爐各部件包括管道、閥門、儀表的檢查，做好鍋爐停用期的保養工作。

(三)檢驗到位，提高檢驗質量

1. 貫流式蒸汽鍋爐定期檢驗時，應盡量做到開蓋檢驗，充分掌握受壓元件外壁使用情況，杜絕僅從燃燒器安裝口作宏觀檢驗；同時宜盡量拆開各個管座（如：爐頂的安全閥管座、主汽閥管座、進水管座、排污管座）、螺紋管口、檢查孔、沖洗孔、觀察孔，查實受壓元件內壁結垢和腐蝕等情況。
2. 選用內窺鏡等先進儀器，對水冷壁管內壁進行詳細檢驗，從而提高檢驗質量。
3. 根據《蒸汽鍋爐安全技術監察規程》規定，針對貫流式蒸汽鍋爐結構緊湊等特點，除了每3年進行一次常規水壓試驗外，建議在進行定期檢驗時增加一次工作壓力下的耐壓試驗，以檢查鍋爐本體的致密性。

四、結束語

隨著節能環保工作的不斷深入開展，貫流式蒸汽鍋爐因其特有的優勢逐漸受到使用單位的青睞，但同時對設計、制造、安裝、使用和檢驗等環節提出了更高的要求，只有充分做好每個環節的各項工作，才能確保既安全可靠、又高效節能地運行。

〔摘自中國特種設備安全 第24卷第11期〕

協助彰化縣
政府 111 年度

「丙種職業安全衛生業務主管」 教育訓練班辦理完成



會員大會延期通知

本會第 15 屆第一次會員大會，原訂於民國 111 年 6 月 18 日召開，因配合政府防疫規定，暫延期辦理。

台灣省鍋爐協會 啟