

特種設備安全

SAFETY OF SPECIAL EQUIPMENT

1991-5 創刊 2021-12 出刊

雙月刊 第75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

技術報導

- ★液化石油氣與液化天然氣之特性 3
- ★鏈排爐應用臭氧脫硝設備
De-NO_x 實務資訊 18
- ★鍋爐向火側高溫腐蝕的機理及防止措施 25

政令宣導

- ★台灣地區鍋爐設置數統計表 29
- ★台灣地區危險性設備設置數統計表 30

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

甲級鍋爐操作模擬機具系統訓練班

一、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。

二、訓練日期：111 年 01 月 19、20、21 日三天

（第一天課堂講解，第二及第三天，實際線上操作）

三、上課時間：上午 8：30～下午 5：00

四、上課內容：

日期	上課內容	時數	備註
111.01.19 (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
111.01.20 (四)	燃油、煤、氣等三系統操作上機實作	7 小時	上機實作
111.01.21 (五)	燃油、煤、氣等三系統操作上機實作	7 小時	上機實作

五、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

六、訓練費用：每人 12,000 元（含稅），本會甲鍋學員報名 9 折優惠

七、截止日期：111 年 01 月 07 日止（額滿截止）

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

配合第三梯次
術科檢定



模擬機操作訓練上課情形

賀

本會第二梯次鍋爐模擬機具術科及格率 70%

液化石油氣與液化天然氣之特性

陳建志

一、前言－使用氣體燃料的必要性

節能減排是國際趨勢，我國為配合聯合國「氣候變化框架公約」的要求，一立法院於 104 年 6 月中通過「溫室氣體減量法」，CO₂ 排放的減量目標訂為 2050 年時須為 2005 年排放量的一半，在排除幾無 CO₂ 排放的核能發電的結果，屆時能排的 CO₂ 量可能僅有目前的 40% 左右，故除更換高效率機組外，也必須使用低排 CO₂ 氣體燃料。

環保署 107 年 9 月 19 日公告即日起凡新設固定污染源的粒狀汙染物（重量而可允許濃度）要在 30g / Nm³ 以下，硫氧化物要在 50ppm 以下，一氧化碳要在 100ppm 以下，而氮氧化物也要在 100ppm 以下。而既存鍋爐自 109 年 7 月 1 日起氮氧化物也要在 100ppm 以下。（如下表所示）然考量台灣西南部地區空污嚴重，故授權各所在地縣市政府得另行加嚴訂定。在此情況下則粒狀汙染物即使燃重油加裝集塵器也不能合乎規定，若燃柴油雖可合於規定但成本遠較氣體燃料為高，故也必須要選用氣體燃料。

固定污染源鍋爐的空氣污染排放標準

空氣污染物	排放標準	施行日期	
		新設鍋爐	既存鍋爐
粒狀汙染物	30 mg / Nm ³	自發布日施行。	自中華民國一〇九年七月一日施行。
硫氧化物 SO _x	50 ppm		
氮氧化物 NO _x	100 ppm		
一氧化碳 CO	100 ppm		

環保署 107 年 9 月 19 日公告

但為因應無氣體燃料管線地區之緩衝也規定如下：

考量部分地區既存鍋爐有工程施作改善時間較長或所在地區氣體燃料管線鋪設較需時間之問題，參考一百零三年十二月一日修正發布電力業標準第八條內容，給予業者可提交空氣防制計畫延長改善期限之配套措施。

因此：固定污染源的空氣污染防制法第六條也規定既既存鍋爐未能符合本標準者，應於中華民國 109 年 4 月 1 日前，檢具其燃料系統種類、空氣汙染物防治設施種類、構造、效能、流程、設計圖說、設置經費及進度之空氣汙染防制計畫，向直轄市、縣（市）主管機關申請核定改善期限，並應於期限屆滿前完成改善，符合本標準之規定。

前項改善期限不得逾中華民國 111 年 7 月 1 日。

在 20 世紀 70 年代人們開始注意到懸浮粒子與健康間的關係，懸浮微粒主要來源是從地表揚起的塵土，浪花揚起的海鹽、火山爆發、沙塵暴、森林火災…等自然過程產生。另外人類用煤、石油等石化燃料和垃圾燃燒，由其中所含的硫和氮的氧化物轉化而成懸浮微粒。

政府為了國民的健康 2012 年 5 月 14 日環保署公告修正空氣品質標準：將細懸浮微粒 (PM2.5) 24 小時值訂為 $35\text{Mg}/\text{m}^3$ ，年平均值訂為 $15\text{Mg}/\text{m}^3$ ；並初步訂於 2020 年達成全國懸浮微粒濃度平均值 $15\text{Mg}/\text{m}^3$ 的目標，同時依國際管制趨勢逐期檢討，朝達成 WHO 提出之標準值 24 小時訂為 $25\text{Mg}/\text{m}^3$ ，年平均值的目標 $10\text{Mg}/\text{m}^3$ 為改善目標。為達成此目標也必須使用氣體燃料。

(一)液化天然氣 (LNG) 與液化石油氣 (LPG) 之差異

一般氣體燃料除少部分製程氣體外泛指天然氣及從原油提煉的石油氣而言，但為因應無天然氣之氣體燃料管線地區之緩衝，也依規定要用液化石油氣，則企業必須建造氣體儲槽，由中油公司以氣槽車輸送補給，兩者間之差異如下所述：

項目	液化天然氣	液化石油氣
來源	古生物遺骸長期沉積地下，經慢慢轉化及變質裂解而產生之氣態炭氫化合物，為自然生成於地層內之可燃氣體；經鑽探開採後再將硫、二氧化碳、水份等除去並降溫液化；縮小體積以供船運送。	原油煉製過程之副產品，或由天然氣中分離而得，若是由國外進口則將之降溫縮小體積以供船運。
狀態	成份以甲烷為主，在常壓下以超低溫 (-162°C) 之液態儲存。若常溫要液化儲存，壓力要高達 $150\text{kg}/\text{cm}^2$ ，臨界壓力在 $45.8\text{ kg}/\text{cm}^2$ 時臨界溫度也要低至 -80°C ，故以微壓低溫儲存為主。	在常壓下，在 20°C 時加壓至表壓 $8\text{kg}/\text{cm}^2$ 可液化，在 37.7°C 時加壓至表壓 $13.4\text{ kg}/\text{cm}^2$ 可液化，在 -20°C 下加壓至表壓 $5\text{ kg}/\text{cm}^2$ 可液化。若溫降至 -42.1°C 常壓即可液化，成份以丙烷及丁烷為主，故大容量以低溫儲存為宜但視情況亦有高壓儲存，小容量可常溫高壓儲存。
液化後體積	為原氣態的 1/600	原為氣態的 1/250
熱值	氣態約為 $8800\text{-}11000\text{Kcal}/\text{Nm}^3$ ，目前中油公司供應的低熱值為準，分為： NG1--- $8500\text{ Kcal}/\text{Nm}^3$ NG2--- $9200\text{ Kcal}/\text{Nm}^3$	氣態熱值約為 $28000\text{ Kcal}/\text{Nm}^3$ ($12000\text{Kcal}/\text{Kg}$)

項目		液化天然氣	液化石油氣
處理過程		開採後降溫液化→液化船運→液化槽儲存→熱交換氣化→海管或陸管輸送→客戶端	原油提煉後高壓儲存→降溫液化→液化船運→熱交換氣化→高壓液化槽儲存→槽車運送（或桶裝）→客戶端
比重	氣態時 （以空氣為 1 時）	較空氣輕，為其 0.555 倍，洩漏時很容易擴散於空氣中。	較空氣重，為其 1.5 倍（丙烷）及 2 倍（丁烷），洩漏時會沉降而不易擴散致令人窒息，故危險性較大。
	液態時 （以水為 1 時）	較水為輕，為其 0.31 倍，船運時船弦高	較水為輕，為其 0.51-0.58 倍，船運時船弦高
爆發限界		以甲烷為主與空氣混合上限 13.9%，下限 5.3%	以丙烷為主與空氣混合上限 9.5%，下限 2.37%
交易對象		補自產氣之不足及有管道之處所	尚無天然氣管道可達之地區
輸送方式		以管道（陸管或海管）為主	以液化氣槽車為主
主要進口產地		卡達、馬來西亞、澳洲	中東地區

二、液化石油氣

(一) 液化石油氣之組成

所謂液化石油氣，其英文名稱為“Liquid Petroleum Gas”乃是石油氣液化後所得之產品，通常取英文名詞中之三個字首“LPG”為簡稱。中文俗稱“液化瓦斯”，主要成分乃石油中所含的丙烷、丁烷之類，比較容易液化的液化氣體製成的；對象由丙烷與丁烷等之碳氫化合物，俗稱為烴，而若其組成中碳原子數少於 5 者（C₅）稱之為低級碳氫化合物或稱低烴類。

甲烷（CH₄）、乙烷（C₂H₆）、丙烷（C₃H₈）、丁烷（C₄H₁₀）等，其分子式概屬於 C_nH_{2n+2} 型（n 為碳原子數目），稱為烷系碳氫化合物或石腊烴。

乙烯（C₂H₄）、丙烯（C₃H₆）、丁烯（C₄H₈）等，其分子式概屬於 C_nH_{2n} 型，稱為烯系碳氫化合物或稱烯烴。

液化石油氣（LPG）中所含之碳氫化合物以石臘烴為主，但仍含有少量之低級烯烴（碳原子量少於 5 的烯烴），因此液化石油氣可說是低級碳氫化合物的混合氣體。

一般高壓氣體依其狀態可概分為三種，即壓縮氣體、溶解氣體及液化氣體等。

1. 壓縮氣體是指將氣體壓縮，而壓縮後在常溫下仍為氣體，如氫氣、氧氣、氮氣等，其在容器內之壓力通常約為 150 kg/cm²。

2. 溶解氣體是指在容器內先填入多孔性質的固體，再注入溶劑，最後才把氣體以高壓灌入溶解而成；如乙炔氣，因若單獨將乙炔氣加以壓縮，則有分解爆炸之危險，故通常以丙酮為溶劑，使成溶解氣體狀態存在容器內。
3. 液化氣體是指如丙烷、丁烷、丙烯、丁烯、氯氣、二氧化碳等氣體，在常溫常壓下為氣體狀態，但經壓縮後則易變成液態，故能以液態保存在容器內，容器內之壓力則隨所裝氣體之種類及溫度條件而異。

目前台灣的液化石油氣（LPG），都為中國石油公司所供應，有的從苗栗、新竹一帶盛產的天然氣中分離而得，內含丙烷、丁烷各佔約 50%；另外就是靠由高雄煉油廠在原油提煉過程中之油氣製成，其丙烷與丁烷之比例約為 30% 與 70% 並滲有少量之其他烯烴或烷烴。若不足則由國外進口。

依據美國 ASTM 的分類方法，可分為 4 大類：

- (1) 商用丙烷 (Commercial propane)：供寒帶地區對燃料成分要求較嚴之地區，以及對燃料要求較嚴格之引擎使用。
- (2) 商用混合丙丁烷 (Commercial PB mixture)：為一般狀況所使用。
- (3) 商用丁烷 (Commercial butane)：為非寒帶地區所使用。
- (4) 特殊規格丙烷 (Special-duty propane)：供給對燃料要求非常嚴格之引擎所使用。

(二) 液化石油氣的一般性質

如前所述，液化石油氣（LPG）為丙烷、丁烷、丙烯、丁烯等，多種低碳系烴類氣體的混合氣，其通性如下。

- (1) LPG 在常溫常壓下為氣體，但加壓則可成液態存在，可貯存在密閉鋼筒中，使運送作業及使用上均極為方便。
- (2) 氣態時之比重約為空氣之 1.5 倍，較空氣重故洩漏時，會滯留在低下處，容易造成窒息、火災等傷害事故。
- (3) 理論上欲完全燃燒，丙烷與空氣之混合比約為 1：24，丁烷則達 1：31，故其燃燒之空氣供給量需求大。

燃燒需要空氣體積比（各以 1NM³ 為準）之計算式如下：

丙烷燃燒方程式 $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ （空氣中含氧量 20.95 %）

∴ 1 : (5 ÷ 0.2095 = 23.86) 故以 1 : 24 計。

丁烷燃燒方程式 $C_4H_{10} + 6\frac{1}{2} O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$

∴ 1 : (6½ ÷ 0.2095 = 31) 故以 1 : 31 計。

除上述之通性外，我們亦可由下列數端來了解 LPG 之一般性質。

1. LPG 氣體之密度

一單位體積之氣體所含的質量，稱為氣體密度（density）以 g / L 表之，氣態丙烷（C₃H₈）在標準狀態下（0°C，1atm），其密度約為 2g/L，氣態丁烷（C₄H₁₀）約為 2.59 g/L。算法如下：

C₃H₈ → 分子量 $12 \times 3 + 1 \times 8 = 44$ 即一摩爾為 44g

因一摩爾氣體在標準狀態下（0°C，1atm），其體積為 22.4L。

故 C₃H₈ 丙烷之氣體密度 = $44\text{g} \div 22.4\text{L} \doteq 1.96\text{ (g/L)}$

C₄H₁₀ 丁烷之氣體密度 = $(12 \times 4 + 1 \times 10)\text{g} \div 22.4\text{L} \doteq 2.59\text{ (g/L)}$

2. LPG 氣體之比重

氣體的質量在標準狀態下（0°C，1atm）與同體積之空氣質量比，稱為氣體比重。在標準狀態下，一摩爾之空氣（22.4 L）的質量約為 29 克，故丙烷之氣態比重為 44 克 / 29 克 $\doteq 1.52$ ，丁烷之氣態比重為 58 克 / 29 克 $\doteq 2.0$ 。

空氣質量的算法：因空氣中之組成分子

氮（N₂）之體積比約為 78%（N₂ 分子量為 28）

氧（O₂）之體積比約為 21%（O₂ 分子量為 32）

氬（Ar）之體積比約為 1%（Ar 分子量為 40）

故一摩爾（22.4L）空氣之質量：

$28 \times 78\% + 32 \times 21\% + 40 \times 1\% = 28.96\text{ (g)}$ ，為方便記取 29 克（g）

氣化丙烷（或丁烷）的重量為空氣的 1.52（或 2.0）倍。比空氣重，故外洩時易沉降不易擴散，且易生火災。而液化丙烷（或丁烷）的重量為水的 0.51（或 0.58）倍，比水及汽油輕。

1 公升的液化丙烷重量約 0.5 公斤（即 1 公斤液化丙烷容量約 2 公升），而 1 公升液化丁烷重量約 0.6 公斤（即 1 公斤液化丁烷容量約 1.7 公升）。

3. LPG 液體之密度

液態 LPG 與一般物質類似，溫度上升時會膨脹，體積增大；溫度下降時即收縮，體積變小，一般我們把 15°C 時之液態丙烷單位體積定為 100%，則其溫度與體積之變化如表 1 所示。

表 1 液態 LPG 溫度與體積之變化

溫度°C	-20	0	10	15	20	30	40	50	60
液態丙烷體積變化比例 %	91.4	96.2	98.7	100	101.7	104.9	109.1	113.8	119.3

所以其液態密度（單位體積之質量）隨溫度而變，溫度愈高，密度愈小；溫度愈低，密度愈大，如表 2 所示。

表 2 液態 LPG 溫度與密度之變化

		丙烷	丁烷
常溫加壓下 液體密度 (kg/ℓ)	0°C	0.5282	0.6011
	15°C	0.5077	0.5844
	20°C	0.5005	0.5788

4. LPG 液體之比重

液體比重與氣體比重算法不同，它是指液體之質量與同體積 4°C 之純水質量的比值，例如 4°C 的純水 1 L 之質量為 1 kg（密度為 1）；15°C 之液化丙烷 1 L 之質量為 0.5077 kg（密度為 0.5077）因此；15°C 時之液化丙烷比重為：

$$0.5077 \text{ kg} / 1 \text{ kg} = 0.5077$$

一般比重適為密度之倒數，故其比重如表 3 所示。

表 3 液態 LPG 溫度與比重之變化

		丙烷	丁烷
常溫加壓下 之液體比重	0°C	0.5282	0.6011
	15°C	0.5077	0.5844
	20°C	0.5005	0.5788

5. 揮發點（沸點）

隨溫度上升，分子之活動增加，若溫度上升至某一點時，液體之分子由液態變成氣態，而從液面或內部向空間逃逸的現象，稱為蒸發或沸騰，此時之溫度即稱為揮發點或沸點，一般揮發點受物質成份及壓力影響，液面壓力大則沸點增高，壓力低則沸點降低。故高山上煮飯或蛋不易熟。一般在一大氣壓下丙烷之沸點為-42.07°C，正丁烷為-0.50°C。

6. LPG 之蒸氣壓

如圖 1 所示，容器內之 LPG 液體，當溫度保持一定時，一部份之 LPG 液體蒸發成氣態充塞於容器之上方空間，由於不斷蒸發，故氣態分子愈來愈多，最後使 LPG 之液面上形成如圖所示之一般 LPG 蒸氣壓，如容器是密閉且溫度維持一定，則最後此 LPG 蒸氣壓將達一定值，即此時由液態蒸發成氣態之 LPG 分子速率，與由氣態之 LPG 分子落回液態的速率相等，俗稱氣液飽和平衡狀態。此時之 LPG 蒸氣壓稱飽和蒸氣壓，如圖 1 所示。

液化石油氣 (LPG) 之蒸氣壓，受 LPG 之組成 (丙烷、丁烷等混合比例) 及溫度而定，和液量多寡無關，即若組成和溫度一定，則不管液量如何變化，其容器內蒸氣壓均一定，如表 4 所示為不同成分之飽和蒸氣壓。

丙烷與丁烷各種不同混合比例下之飽和蒸氣壓如圖 2 所示。

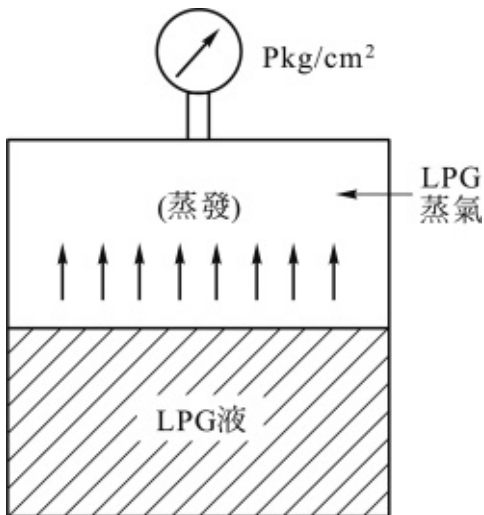


圖 1

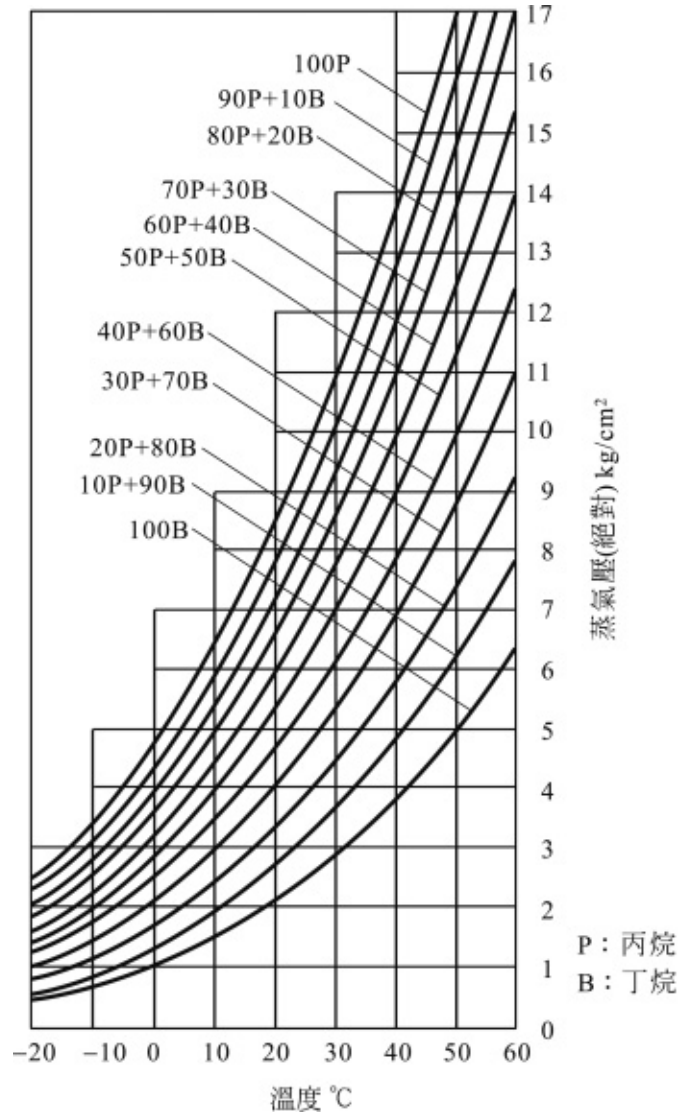


圖 2 丙烷與丁烷混合氣之飽和蒸氣壓

表 4 所示為不同成分之飽和蒸氣壓。

溫度°C		0	10	20	30	40
飽和蒸汽壓 kg / cm ²	丙烷	3.9	5.4	7.4	9.5	12.7
	丁烷	0	0.4	1.1	1.8	2.8

由上可知當容器內之蒸氣壓低於飽和蒸氣壓時，即表示容器內已無液態之 LPG' 如丙烷在 20°C 時，容器內之壓力為 6.5 kg / cm² 時，即表示容器內已無液態之丙烷了，表 5 為低碳及碳氫化合物之物理化學性質。

表 5 為低碳及碳氫化合物之物理化學性質

	甲烷	乙烷	丙烷	正丁烷	異丁烷	正戊烷	異戊烷	新戊烷	乙烯	丙烯	丁烯			
											1-丁烯	順-2-丁烯	反-2-丁烯	異丁烯
分子式	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₅ H ₁₂	C ₅ H ₁₂	C ₂ H ₄	C ₃ H ₆	C ₄ H ₈	C ₄ H ₈	C ₄ H ₈	C ₄ H ₈
分子量	16.04	30.07	44.09	58.12	58.12	72.15	72.15	72.15	28.05	42.08	56.10			
氣體密度 kg/m ³ 0°C 1atm	0.7168	1.3562	2.0200	2.5985					1.26036	1.9149	2.503			
氣體比重 0°C 1atm 空氣 = 1	0.5544	1.0493	1.520	2.0098					0.9749	1.481	1.936			
液體密度 0°C 1atm kg/l			※	※	※					※	※			
			0.5282	0.6011	0.5812	0.6452	0.6394	0.6138		0.5464	0.6190			
20°C 1atm			※	※	※			※		※	※	※	※	※
			0.5005	0.5788	0.5572	0.6262	0.6197	0.5910		0.5139	0.5951	0.6213	0.6042	0.5942
蒸氣壓 atm 0°C (絕對) 20°C	(176) (293)	2.4 3.7	4.7 8.4	1.03 2.10	1.60 2.95	0.16 0.42	0.23 0.62		40 (60)	5.9 9.8				1.3 2.5
沸點 0°C 1atm	-161.49	-88.63	-42.07	-0.50	-11.73	36.07	27.85	950	-103.71	-47.70	-6.26	3.72	0.88	-6.90
臨界溫度 °C	-82.5	32.27	96.81	152.01	134.98	196.62	187.3	160.60	9.90	91.9	146.4	155		144.73
臨界壓力 atm	45.80	48.20	42.01	37.46	36.00	33.31	32.9	31.57	50.50	45.4	39.7	41		39.45
臨界密度 kg/l	0.162	0.203	0.220	0.228	0.221	0.232	0.234	0.238	0.227	0.233	0.238	0.238		0.234
蒸發潛熱 (沸點) kcal/kg	121.9	117.0	101.8	92.09	87.56	85.38	81.79	75.37	115.4	104.6	93.36	99.46	96.94	94.22
發熱量(氣態) 1atm kcal/kg · 25°C	13.265	12.399	12.034	11.832	11.797	11.715	11.688	11.650	12.022	11.692	11.577	11.547	11.529	11.505
燃燒範圍 (%)	上限	140	12.5	9.5	8.5				32.0	10.3	9.3			
	下限	5.3	3.0	2.2	1.9				3.1	2.4	1.6			

※為飽和壓時之值。

(三) 液化石油氣之燃燒性質

(1) 著火溫度

可燃性物質在空氣中徐徐地加熱下，達到某一溫度以上，即使附近沒有火種也會自然開始燃燒的最低溫度稱之為著火溫度（或稱著火點）。

丙烷的著火溫度為 481°C，丁烷是 441°C，汽油的著火溫度為 210°C～300°C，故丙烷比汽油安全性高。但其燃燒範圍的下限很低，一旦洩漏出來即成高危險真爆炸性之混合氣體，且會沿地面廣泛地擴散開來，引火之危險性較汽油還大，因而在處理 LPG 時應特別注意煙火。

(2)閃火點

將汽油及酒精之類容易揮發的物質加熱至某一溫度以上時，若有火種接近其蒸氣時，即會引火開始燃燒之引火最低溫度稱之為閃火點或稱引火點。

液化石油氣當其完全燃燒時，會生成二氧化碳（ CO_2 ）與水蒸氣（ H_2O ）。但如果空氣之供給量少時，液化石油氣就無法完全氧化，致發生不完全燃燒而生成一氧化碳（ CO ）、氫氣（ H_2 ）、碳（ C ）等物質。

(3)沸點

丙烷是 -42.07°C ，丁烷是 -0.5°C ，常溫下均為氣體。汽油沸點是 $25\sim 232^\circ\text{C}$ ，常溫下為液體。

(4)蒸發潛熱

LPG 在氣化時，須吸收周圍大量熱氣，此稱為蒸發潛熱或氣化潛熱。

- ①丙烷蒸發潛熱 101.8 kcal / kg ，丁烷蒸發潛熱 92.09 kcal / kg 。
- ② LPG 汽車雖使用氣化器將 LPG 氣化，但可能因蒸發潛熱而使氣化器冷卻凍結乃至破損，所以必須使用汽車水箱（radiator）之溫水環繞氣化器之內部，以預防氣化器凍結。
- ③若萬一 LPG 汽車發生火災事故時，瓦斯容器受熱使內部之 LPG 氣化，當蒸氣壓約達 24 kg / cm^2 以上時，安全閥會自動打開，使氣化後之 LPG 排出車體外，當瓦斯容器之蒸氣壓下降至 16 kg / cm^2 以下時，安全閥即再自動關閉，瓦斯容器內之 LPG 即再開始氣化，而在氣化時即因蒸發潛熱使瓦斯容器冷卻，如此利用瓦斯容器內之自動調壓及冷卻作用，瓦斯容器會保持在一定壓力、溫度以下，故瓦斯容器不會爆發破裂。

(5)蒸氣壓

將 LPG 放進密閉容器，部份會蒸發變成氣體，而產生壓力，當達某一定壓力時，蒸發會自然停止，容器內之壓力即安定下來，此時之壓力稱之為蒸氣壓。

- ①在 20°C 時丙烷蒸氣壓是 8.0 kg / cm^2 ，丁烷是 2.0 kg / cm^2 ，汽油是 0，故 LPG 被稱為高壓瓦斯。
- ②不論容器內液狀瓦斯量為多少，蒸氣壓均為一定，兩種以上之 LPG 混合時，亦依其瓦斯之混合比例與溫度顯示出一定值。

(6)發熱量

- ①平均每重量之發熱量：丙烷是 $12,034 \text{ kcal / kg}$ ，丁烷是 $11,832 \text{ kcal / kg}$ ，汽油是 $11,200 \text{ kcal / kg}$ 。
- ②平均每公升之發熱量：丙烷是 $6,113 \text{ kcal / L}$ ，丁烷是 $6,909 \text{ kcal / L}$ 汽油是 $7,390 \text{ kcal / L}$ ，LPG 之發熱量僅為汽油之 $80\sim 90\%$ ，但日本已開發出 LPG 專用引擎及燃料裝置，可彌補上述瓦斯車爬坡較無力缺點。

(7)燃燒範圍（空氣中重量百分比）

①丙烷是 2.37~9.50，丁烷是 1.86~8.41，汽油是 1.5~7.6。

②燃燒範圍愈廣愈易燃燒，故 LPG 較汽油燃燒範圍大。

(8)完全燃燒所需空氣量（空氣中氧佔 0.2095 一般為方便以 21%計）

①丙烷是 15.71 kg / kg，丁烷是 15.49 kg / kg，汽油是 14.7 g / kg。

②完全燃燒之方程式：

丙烷燃燒方程式 $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ （空氣中含氧量 20.95 %）

∴ 1 : (5 ÷ 0.2095 = 23.86) 故以 1 : 24 計。

丙烷 1m³ 完全燃燒約需 24m³ 之空氣

丁烷燃燒方程式 $C_4H_{10} + 6\frac{1}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$

∴ 1 : (6½ ÷ 0.2095 = 31) 故以 1 : 31 計。

丁烷 1m³ 完全燃燒約需 31m³ 之空氣

故 LPG 可完全燃燒成 CO₂ 和水，對空氣不會造成污染。

(9)辛烷值

丙烷是 125，丁烷是 91，較汽油還高，故 LPG 車可使用較高壓縮比之引擎，通常壓縮比在 10 : 1 左右。

1. 日本車用液化石油氣之品質規格

日本工業規格（JIS K2240-1987）對 LPG 之品質作如表 6。

表 6 日本 LPG 工業規格

項目 種類		組成 (mole%)				硫含量	蒸氣壓	密度 (15°C)	主要 用途
種類		乙烷 + 乙烯	丙烷 + 丙烯	丁烷 + 丁烯	丁二烯	(%)	MPa (kgf/cm ²)	g/cm ³	
1 種	1 號	—	80 以上	20 以下	0.5 以下	0.015 以下	1.53 (15.6) 以下	0.50~0.62	家庭用燃 料及業務 用燃料
	2 號	5 以下	60 以上 80 以下	40 以下					
	3 號	—	60 以下 (不含 60)	30 以上					
2 種	1 號	—	90 以上	10 以下	※ (1)	0.02 以下	1.55 (15.8) 以下	0.50~0.62	工業用燃 料、原料 及汽車用 燃料
	2 號	—	50 以上 90 以下	50 以下			1.55 (15.8) 以下		
	3 號	—	50 以下	50 以上 90 以下			1.25 (12.7) 以下		
	4 號	—	10 以下	90 以上			0.52 (5.3) 以下		

2. LPG 使用於汽車之特徵

(1) 被使用於汽車之優點

① 起動性好

目前市面販賣之 LPG 係由丙烷 (propane C_3H_8) 及丁烷 (butane C_4H_{10}) 混合之液化氣。丙烷之沸點為 $-40^\circ C$ ，丁烷則為 $-0.5^\circ C$ ，其揮發性好，故流動性甚佳，即在嚴苛寒帶地區已不使用阻風裝置亦能容易發動引擎。

② 辛烷值高

丙烷之辛烷值為 125，丁烷則為 91，故可以直接使用於現今之最高壓縮比 (10.5 : 1) 之引擎。在一般引擎上，將點火角度提前至相當位置時，則可節省其燃料消耗量。

③ 不污染潤滑油

LPG 在引擎內燃燒，不會引起機油污損，能維持機油及引擎之清潔。所以一般未加添加劑之普通級機油亦可以使用。因為燃燒時不產生碳渣 (sludge)，故機油濾清器芯子 (oil filter element) 之使用壽命可延長數倍。引擎之腐蝕磨耗亦顯著地減少，即可延長引擎壽命至 3~4 倍。

④ 火星塞之持久性

由於火星塞不會受燃料中之鉛的傷害、機油之污損，所以形成半永久性產品。

⑤ 可節省供油泵及化油器裝置

由於 LPG 燃料裝置，係將容器中之 LPG 予以減壓後引導於進氣歧管，進入引擎內燃燒 (以進氣歧管內與空氣混合成可燃氣體)，故不但不需要化油器，亦不需供油泵，當然必須有其必要的蒸發器 (vaporizer)。

⑥ 排氣公害

因都能完全燃燒，故排氣中含有害氣體或污染物質較少。

(2) 未被普遍使用之原因

① 蒸發器

至目前為止小型蒸發器之性能尚未達理想階段，其加溫裝置在日本規定應使用 $40^\circ C$ 溫水，但在汽車而言頗為困難。

目前部份 LPG 產品不太純淨尚含有殘留焦油，會影響蒸發性能。

② 單位容積之熱量較少

因單位容積之發熱量較少，輸出馬力較小，故僅適用於轎車及小型貨車行駛於平坦道路。高負載之重車及行駛於山區道路者不適使用。

③ 加氣站不足

加氣較困難，尤其長途行駛時，必須中途有加氣站，否則便利性不足，汽油車使用者興趣缺缺。

三、液化天然氣

(一)天然氣之成分

天然氣 (natural gas) 簡稱 NG，是指深藏於地層，而以碳氫化合物為主要成份之可燃性氣體，而其中含量最多者為甲烷 (CH₄)，此外尚含有少量的乙烷 (C₂H₆)、丙烷 (C₃H₈)、丁烷 (C₄H₁₀)、戊烷 (C₅H₁₂) 等，以及少量的不燃性氣體，如氮氣 (N₂)、二氧化碳 (CO₂)、硫化氫 (H₂S) 等。

天然氣之組成依產地而有所差別，即使在同一產地、同一口氣井，其成份亦隨著地層深度的不同而有所差異，如表 7 所示為各國天然氣之成份。

表 7 世界各國天然氣之成份

			台灣	台灣	阿拉斯加	汶萊	阿爾及利亞	美國
			錦水	八掌溪				德州
組成 (體積%)	甲烷	CH ₄	87.06	94.81	99.34	90.7	79.5	71.5
	乙烷	C ₂ H ₆	4.29	2.64	0.11	4.8	7.5	7
	丙烷	C ₃ H ₈	0.74	0.48	—	2.5	2.5	4.4
	異丁烷	iC ₄ H ₁₀	0.1	0.15	—	1.4	5	0.3
	正丁烷	nC ₄ H ₁₀	0.13	0.08	—			0.7
	戊烷	C ₅ H ₁₂	0.08	0.03	—	0.1	—	0.02
	己烷	C ₆ H ₁₄	0.02	0.14	—	—	—	—
	二氧化碳	CO ₂	6.34	0.62	0.02	0.5	—	—
	氮	N ₂			0.52	—	5.5	15.5
	氧	O ₂	0.7	1.05	0.11	—	—	—
	氦	He	—	—	—	—	—	0.58
	硫化氫	H ₂ S	—	—	1ppm	—	—	—
	合計			100	100	100	100	100
比重 (空氣 = 1)			0.65	0.59	0.556	0.628	0.709	0.727
發熱量 (Kcal / Nm ³)			9,219	9,755	9,456	10,476	10,923	9,315

(二)液化天然氣之成分

液化天然氣 (liquified natural gas)，簡稱為 LNG。此乃將天然氣在微壓 (約 0.015kg/cm²) 且低溫下液化，體積可縮為六百分之一，以利於儲存及運輸，此種超低溫液體 (-162℃) 即為 LNG。

但天然氣在液化前必須先除去水份、二氧化碳、硫化氫等雜質，以避免在低溫時雜質凝固而堵塞了設備，因此 LNG 亦稱為乾淨的能源，LNG 之成分大部分和 NG 之成分相同，如表 8 所示為世界各地之 LNG 成份。

表 8 世界各地 LNG 的成份分析 (1980 年)

產地	美國阿拉斯加 Kenai	汶萊 Lumut	阿布達比 Das	印尼 Badak	印尼 Arun
氮 (mol%)	0.12	0.02	0.05	0.04	0.06
甲烷	99.81	89.83	82.07	89.91	86.96
乙烷	0.07	5.89	15.86	5.44	8.40
丙烷	0	2.92	1.89	3.16	3.66
異丁烷	0	0.56	0.06	0.67	0.53
正丁烷	0	0.74	0.07	0.75	0.39
戊烷以上	0	0.04	0	0.03	0
平均分子量	16.067	18.286	18.859	18.312	18.642
總發熱量 kcal / Nm ³	9,491	10,617	10,921	10,639	10,805
氣體比重	0.554	—	—	0.647	—
液體密度 kg / l	0.415	—	—	0.465	—

(三) 液化天然氣之特性

1. 比重

天然氣與空氣相比較時，其比重約在 0.58~0.79 之間而空氣之比重為 1.00，純甲烷之比重為 0.555，亦即是天然氣較同體積之空氣為輕，如表 9 為天然氣中各成分之氣體比重。

2. 沸點蒸氣壓

液體之蒸氣壓隨溫度之增加而升高，如圖 3 所示為天然氣中各成份之蒸氣壓與溫度之關係。

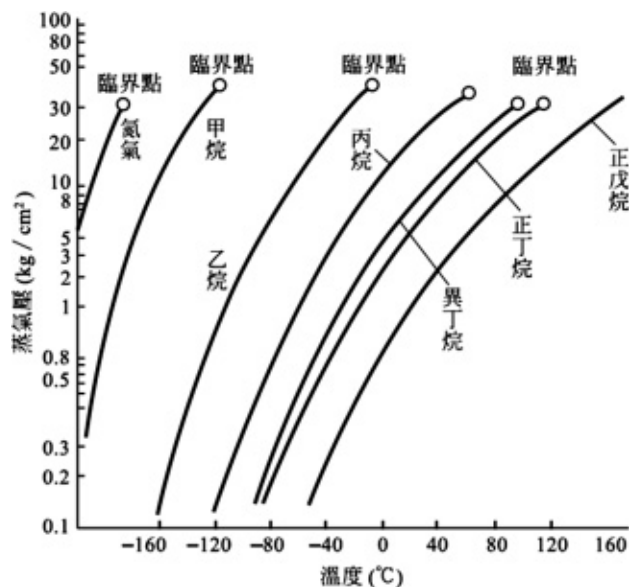


圖 3 天然氣中各成份之蒸氣壓與溫度之關係

表 9 為天然氣中各成之氣體比重及其物理性質

成份物性	甲烷	乙烷	丙烷	異丁烷	正丁烷	二氧化碳	硫化氫
分子式	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	CO ₂	H ₂ S
分子量	16.04	30.07	44.09	58.12	58.12	44.01	34.08
分子容	22.36	22.16	21.82	21.77	21.49	22.26	22.14
融點°C (1atm)	-182.6	-172.0	-187.1	-145.0	-135.0	-56.6	-85.5
沸點°C (1atm)	-161.4	-88.6	-42.2	-10.0	-0.6	-78.3	-60.3
液體比重 (60 / 60 °F)	0.300	0.378	0.512	0.562	0.581	0.816	0.790
氣體比重 (空氣 =1)	0.555	1.049	1.522	2.007	2.010	1.529	1.176
臨界溫度°C	- 82.5	32.3	96.8	135.0	152.0	31.1	100.4
臨界壓力 atm	47.4	50.45	44.5	38.3	37.2	73.5	91.8
蒸發潛熱 kcal / kg	121.9	116.9	101.8	87.56	92.09	137.8	131.1
融解潛熱 kcal / kg	14.0	22.2	19.1	—	18.0	45.3	—
空氣混合上限 %	5.0	2.9	2.1	1.8	1.8	—	4.30
爆發限界下限 %	15.0	13.0	9.5	8.4	8.4	—	45.50
總發熱量 kcal / Nm ³	9,520	16,820	24,320	31,530	32,010	—	—
kcal / kg	13,270	12,400	12,030	11,810	11,840	—	—
有效發熱量 kcal / Nm ³	8,550	15,370	22,350	29,050	29,510	—	—
氣體比熱 kcal / kg	11,950	11,350	11,080	10,900	10,930	—	—
Cp (kcal / kg)	0.2928	0.2279	0.2158	0.2151	0.2205	0.1106	0.141
Cv (kcal / kg)	0.223	0.191	0.191	0.196	0.202	0.095	0.107
Cp / Cv	1.308	1.193	1.133	1.097	1.094	1.164	1.32
液體比熱 kcal/kg	—	—	0.297 (6.1°C)	0.298 (-10 °C)	0.304 (-17.8 °C)	—	—
蒸氣壓 kg / cm ³ (37.7°C)	—	54.8	13.4	5.1	3.6	—	39.1
燃燒必要空氣量 m ³ / m ³	9.53	16.67	23.82	30.97	30.97	—	—

3. 液化之溫度與壓力

甲烷的臨界溫度為-82.5°C，臨界壓力為 47.4atm，通常甲烷需冷至-82.5°C以下並壓縮至 47.4atm 以上時才能液化，若在一大氣壓 (1atm) 的常壓下，須冷至其沸點 (-162°C) 以下，才能液化。

4. 著火溫度

著火溫度是指物質在空氣中或氧氣中受到加熱起火燃燒之最低溫，如表 10 示為碳氫化合物之著火溫度。

以 LNG 主成份 (甲烷) 和 LPG 成份 (丙烷、丁烷) 相比較，甲烷的著火溫度比丙烷、丁烷微高，亦即是較不易起火，同時 LNG 氣體比重較空氣小，不會有滯留於低處之危險，因此一般而言 LNG 較 LPG 為安全。

表 10 化合物之著火溫度

	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	戊烷	己烷
著火溫度 (°C)	595	515	470	462	365	285
引火點 (°C)	—	—	—	—	—	— 40
燃燒限界下限 (Vol%)	5.0	2.9	2.1	1.8	1.8	1.4
燃燒限界上限 (Vol%)	15.0	13.0	9.5	8.4	8.4	8.3
蒸氣密度 (空氣 = 1.0)	0.55	1.04	1.52	2.01	2.01	2.49
總發熱量 (kcal / Nm ³)	9,497	16,638	23,679	30,595	30,684	37,714
淨發熱量 (kcal / Nm ³)	8,551	15,217	21,786	28,229	28,316	34,873

5. 燃燒速度

燃燒是一種發熱反應。於此將各種可燃氣體之燃燒速度列於表 11。

表 11 燃氣體之燃燒速度

混合氣體	燃燒速度	混合比例
甲烷—空氣	33.8cm / 秒	9.96%
乙烷—空氣	40.1	6.28
丙烷—空氣	39.0	4.54
丁烷—空氣	37.9	3.52
戊烷—空氣	38.5	2.92
氫—空氣	27.0	43.00
甲烷—氧氣	330	33.0
丙烷—氧氣	360	15.1
氫氣—氧氣	890	70.0

一般可燃性氣體之火焰速度達每秒 800~2,000 公尺時稱之為爆轟，如在密閉之容器內，爆轟產生強烈的衝擊波，對周圍會產生很大的破壞力量。

6. 發熱量

發熱量又稱之熱值，天然氣發熱量之高低，視其組成而定，又天然氣之發熱量有總發熱量 (gross heating value) 與淨發熱量 (net heating value) 之分。

總發熱量是指天然氣燃燒後，所生成之水蒸氣全部凝結為液態水時所產生之全部熱量。而淨發熱量乃指燃燒後所生產之水蒸氣仍舊為氣態時所產生熱量，也就是說，總發熱量是淨發熱量加水蒸氣凝結時所放出熱量的和。

總發熱量 (GHV) = 淨發熱量 (NHV) + 水蒸氣凝結放出之熱量 (全文完)

鏈排爐應用臭氧脫硝設備 De-NO_x 實務資訊

環興科技股份有限公司／謝永昌

一、緣起

環保署於 107 年 9 月 19 日訂定發布「鍋爐空氣污染物排放標準」（下稱鍋爐專法），後於 109 年 7 月 8 日修訂，該法為與鍋爐相關之空污法規中最为重要的排放標準。該法不分規模及燃料別，加嚴粒狀污染物（PM）至 30 mg / Nm³、硫氧化物（SO_x）至 50 ppm 及氮氧化物（NO_x）至 100 ppm 之排放標準，所有鍋爐須於 109 年 7 月 1 日符合該標準。

考量有些廠商改善需時，環保署在鍋爐專法中給予既存鍋爐 2 年緩衝期，廠商可於 109 年 4 月 1 日前申請改善展延，經環保局審核後，最多可給予廠商 2 年延長緩衝期，應於期限屆滿前完成改善，改善期限不得逾 111 年 7 月 1 日。

如廠商提出因特殊狀況之展延需求，如遭逢特殊不可抗力（例如氣體燃料管線施工遭遇陳情抗爭影響、受蒸汽或氣體燃料管線施工工期影響、受天然氣供氣量不足影響、經天然氣事業或目的事業主管機關證明供氣管線無法到達，且非屬中央主管機關公告指定應申請固定污染源操作許可證）等原因，改善計畫之展延核定改善期限，最晚不得超過 116 年 7 月 1 日，也就是說 116 年 7 月 1 日之後，全國所有鍋爐就必須改善完成，達到鍋爐專法的排放標準。

鍋爐專法中，粒狀污染物和硫氧化物的排放標準，通常只需基本的集塵器、排煙脫硫設備就可達到，較難符合的是氮氧化物的排放標準。去除氮氧化物（De-NO_x）的技術，常見者為 SNCR（選擇性非觸媒還原，Selective Non-Catalytic Reduction）、SCR（選擇性催化還原，Selective Catalytic Reduction），是一般認為 De-NO_x 效能較佳之技術，其他如低氮氧化物燃燒器、煙道氣迴流法、分段燃燒法、火上風空氣法（Over Fire Air, OFA）、低過剩空氣法（Low Excess Air, LEA），雖有應用，但一般認為效果較低，或難以驗證、穩定保持其效能等缺點。

由於許多廠商難以符合鍋爐專法中氮氧化物的排放標準，使用 SCR 雖效果佳但費用昂貴、SNCR 又須在高溫情況下（900~1,050℃）方能達到最佳脫硝反應，否則脫硝效能大多低於 4 成，廠商往往先向當地環保局申請改善展延，或因苦尋不著適當去化方式而使改善進度延宕遲滯，將有遭環保單位行政處罰之風險。

筆者希望廠商能夠符合環保署之要求，也希望協助廠商找到功能和價格都符合要求的合適防制設備，在環保與經濟上取得平衡，方能放心永續長久運營。

二、何謂臭氧？何謂臭氧脫硝？

本次介紹之臭氧脫硝，以往在國內較少工廠使用，近期由於國內之設備代理商引進相關設備，開始推廣，近期也有部分流體化床鍋爐廠商準備使用，目前已有至少 10 餘座鏈排爐使用。筆者本期介紹近期某家大型紡織業鏈排爐實際試用效果，提供讀者參考。

臭氧優缺點都是很明顯的，例如臭氧是環保署空保處所訂定之空氣品質指標（AQI）的 6 大指標污染物（臭氧 O_3 、細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 、懸浮微粒 PM_{10} 、一氧化碳 CO 、二氧化硫 SO_2 及二氧化氮 NO_2 濃度）之一，如果洩漏到大氣中，對人體有刺激性，尤其肺部組織與呼吸等功能有損害；但如應用得好、沒有洩漏的話，反而淨化殺菌功能，溶於水中後殺菌力更強，例如最近常有洗衣機主打臭氧或活氧殺菌，就是運用臭氧可破壞病菌細胞核的優點。

臭氧脫硝，則是利用臭氧的強氧化力，將 NO 與臭氧混合反應後變成 NO_2 與 N_2O_5 等較易溶於水之特性，在後端濕式排煙脫硫設備（WFGD）較易被洗入噴淋水中，後續進入污水處理系統，從而使管末廢氣中 NO_x 濃度減少之技術。

三、鏈排爐應用臭氧脫硝設備 De- NO_x 實務

以下分項介紹臭氧脫硝設備實務案例之要點。

(一)該紡織廠使用之臭氧脫硝設備，由國內代理商設計規劃後，委由中國相關設備製造商製造，再由代理商組裝。其中核心設備為臭氧發生器，外觀如圖 1。

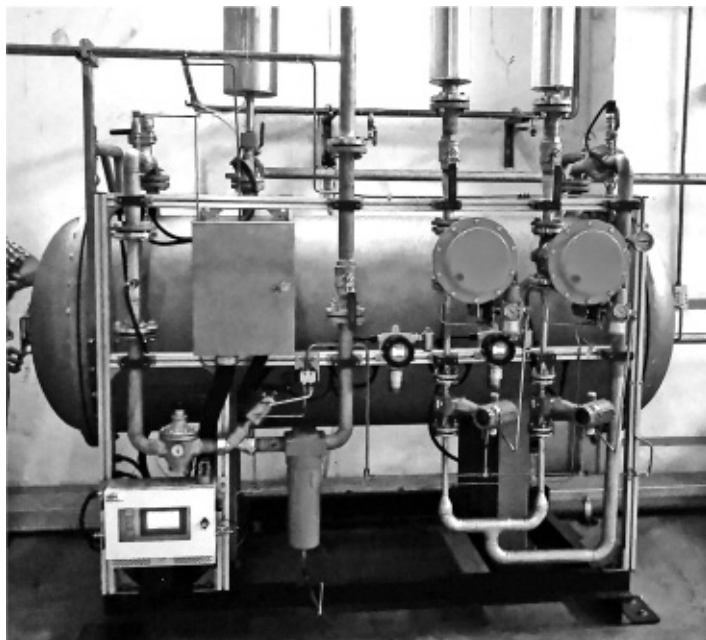


圖 1 某紡織廠臭氧脫硝設備（資料來源：環興公司／某紡織廠）

(二) 流程概況如圖 2 (操作面板呈現方式)

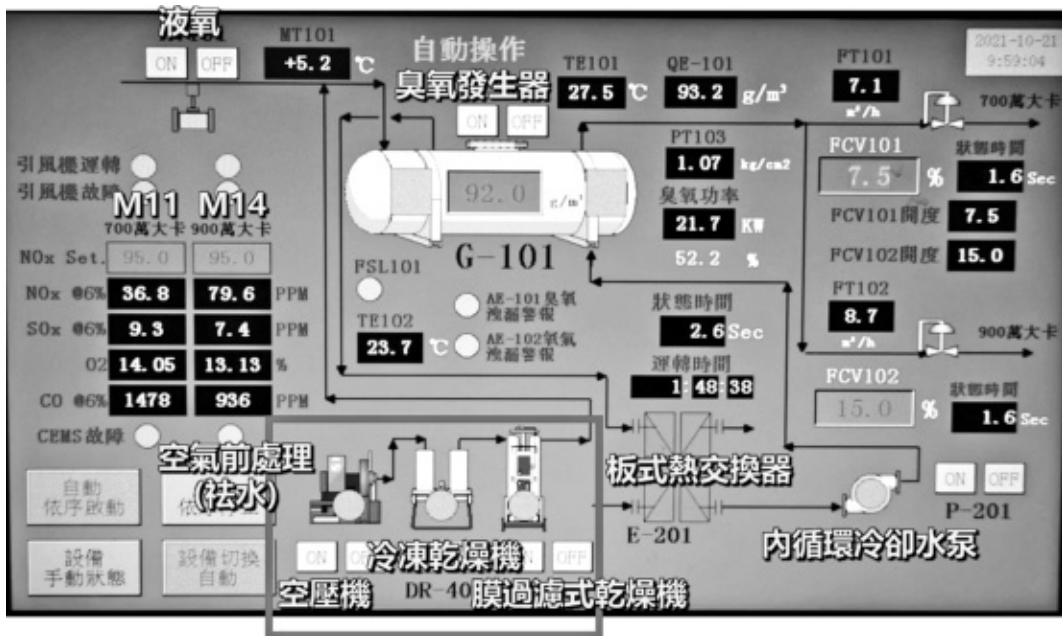


圖 2 某紡織廠臭氧脫硝設備控制面板-1 (資料來源：環興公司/某紡織廠)

(三) 注入臭氧位置：鏈排爐 (爐膛溫度 500~600°C) → 出口廢氣溫度約 180°C → 袋式集塵器 → 臭氧注入處 → FGD

(四) 去除機制 (反應原理)：將 NO_x 反應為 FGD 噴淋水容易吸收的 NO₂ 及 N₂O₅。主要反應式：

1. $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ 快
2. $2\text{NO}_2 + \text{O}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_5 + \text{O}_2$ 快
3. $\text{CO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{O}_2$ 慢
4. $\text{SO}_2 + \text{O}_3 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{O}_2$ 非常慢
5. $\text{Hg}^0 + \text{O}_3 \rightarrow \text{Hg}^{+2} + \text{O}_2$ 快

首先將液氧以蒸發器降溫為氧氣，經臭氧發生器以密集放電體 (電極，如圖 3) 高壓 (約 6,500V) 放電後，反應為臭氧。該部分工作環境溫度範圍為 0~40°C，相對濕度 < 95%，冷卻水溫度 < 30°C。由於不須要浪費過多液氧，故另有一套空壓機將空氣透過乾燥設備祛水後導入臭氧發生器中，略為降低臭氧濃度。空氣中含水氣可能導致漏電短路，故需先祛水。

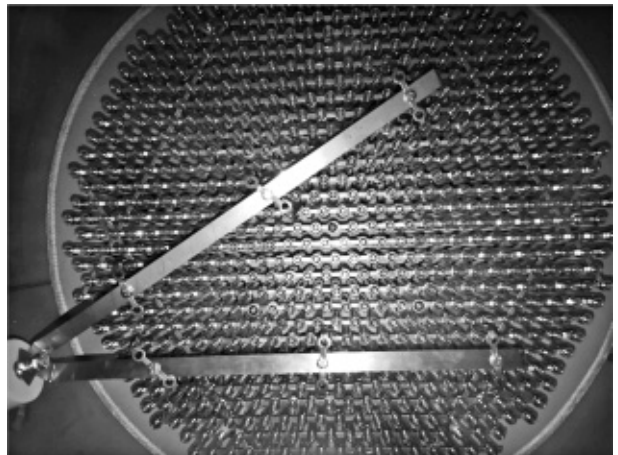
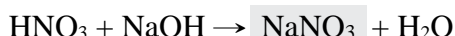


圖 3 某紡織廠臭氧脫硝設備-電極 (資料來源：環興公司/某紡織廠)

(五) 臭氧脫硝特性

1. 臭氧對 NO_x 反應選擇性高、速度快、去除率高。
2. 全系統自動化，可設定臭氧濃度或去除率，依照 NO_x 濃度自行調整臭氧濃度，無須專人值守，僅需定期巡檢。
3. 無須對煙氣加熱，不須在特定溫度範圍內操作，也不會受到煙氣中 PM 之影響。
4. 應注意 NO₂ 及 N₂O₅ 易溶於鹼液而被 FGD 噴淋吸收，在污水中形成硝酸鹽及亞硝酸鹽，後續形成硝酸鹽氮之問題。下以液鹼為例。



5. 額外效益：去除汞等重金屬。

(六) 衍生問題：脫硝後將使 FGD 廢水中含有較多硝酸鹽及亞硝酸鹽，致使放流水中硝酸鹽氮濃度提高。

以下為某紡織廠使用臭氧脫硝設備之相關重要資訊。

表 1 某紡織廠臭氧脫硝設備資訊

評估項目	廠商	某紡織廠
臭氧脫硝設備商		榮○機械
設備來源		中國
裝設年度		110 年
裝設進度		已裝設，操作許可試車中（試車時程：110 年 9 ~ 12 月）
應用製程		熱媒加熱程序（M11） 熱媒加熱程序（M14）
應用設備		一套臭氧脫硝設備，同時供應 2 座鏈排式熱媒鍋爐
現有空污防制設備		第 1 座鏈排式熱媒鍋爐（下稱 # 1）： 旋風分離器、洗滌塔、脈動式袋式集塵器
		第 2 座鏈排式熱媒鍋爐（下稱 # 2）： 旋風分離器、脈動式袋式集塵器、洗滌塔
燃料		# 1：煙煤 1.207 公噸 / 小時或 10,428 公噸 / 年
		# 2：煙煤 1.607 公噸 / 小時或 12,727 公噸 / 年
熱值或蒸汽量		# 1：熱交換熱媒 7 公秉 / 小時，60,480 百萬仟卡 / 年
		# 2：熱交換熱媒 10 公秉 / 小時，69,696 百萬仟卡 / 年
使用前 NO _x 濃度		120 ~ 150 ppm 以 135 ppm 為代表
使用後 NO _x 濃度		70 ~ 90 ppm 以 80 ppm 為代表，最低至少可達 40 ppm 以下
NO _x 去除率		可調，以該廠為例，一般約為 40 ~ 60%
臭氧發生器類型		液氧

臭氧產生量	5 kg/hr
臭氧發生器價格	1,500 萬元 / 台
全系統價格	1,900 萬元 / 台
施工工期	180 天 (含設計)、試車 15 天
維運 / 耗材	液氧使用量 5,000 公斤 / 日
廢氣溫度	120 ~ 160°C (臭氧不需在特定溫度範圍內運作)
廢氣濕基排氣量	300 ~ 426 Nm ³ / min
廢水量	2 座鏈排爐 FGD 廢水量約 100CMD，全廠廢水量約 10,000 CMD
污水中硝酸鹽氮產生量或提高濃度	未檢測 (許可規定無須檢測)

資料來源：某紡織廠

(七) 實際使用效果

據筆者現場觀察，開啓臭氧脫硝前，NO_x小時平均濃度值約為 130 ppm，開啓臭氧脫硝設備產生臭氧 30 分鐘後，NO_x即時值明顯降低至低於鍋爐專法之 NO_x 限值 100 ppm，再過 30 分鐘，NO_x 小時平均濃度值低於 100 ppm，開啓 2 小時後，NO_x 小時平均濃度值降至 50 ppm 左右，此時 NO_x 去除率約為 61.5%，詳如圖 4。

由於該廠安裝 CEMS 固定污染源空氣污染物連續自動監測設施，Continuous Emission Monitoring Systems，故可即時監測煙道廢氣各項重要空氣污染物及煙道氣參數，故可即時且輕易地驗證臭氧脫硝設備之實際效能。CEMS 採樣監測示意如圖 5。

該廠臭氧脫硝係應用於 2 套鏈排式熱媒鍋爐脫硝使用，據現場觀察 CEMS 數值，第 1 座鏈排式熱媒鍋爐實測 NO_x 濃度值約為 40 ppm，另一套則約 20 ppm，詳如圖 6。

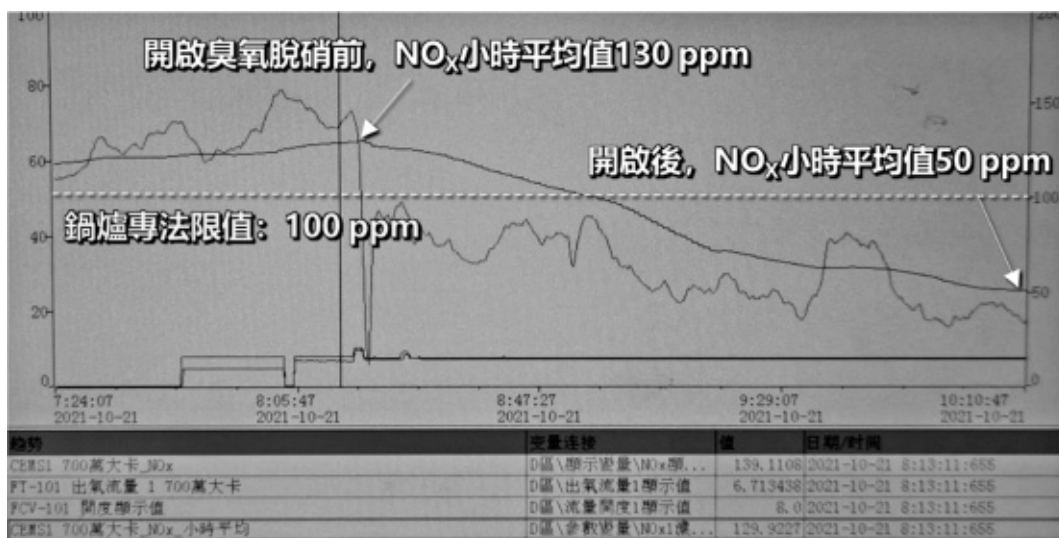


圖 4 某紡織廠臭氧脫硝設備控制面板-2 (資料來源：環興公司/某紡織廠)

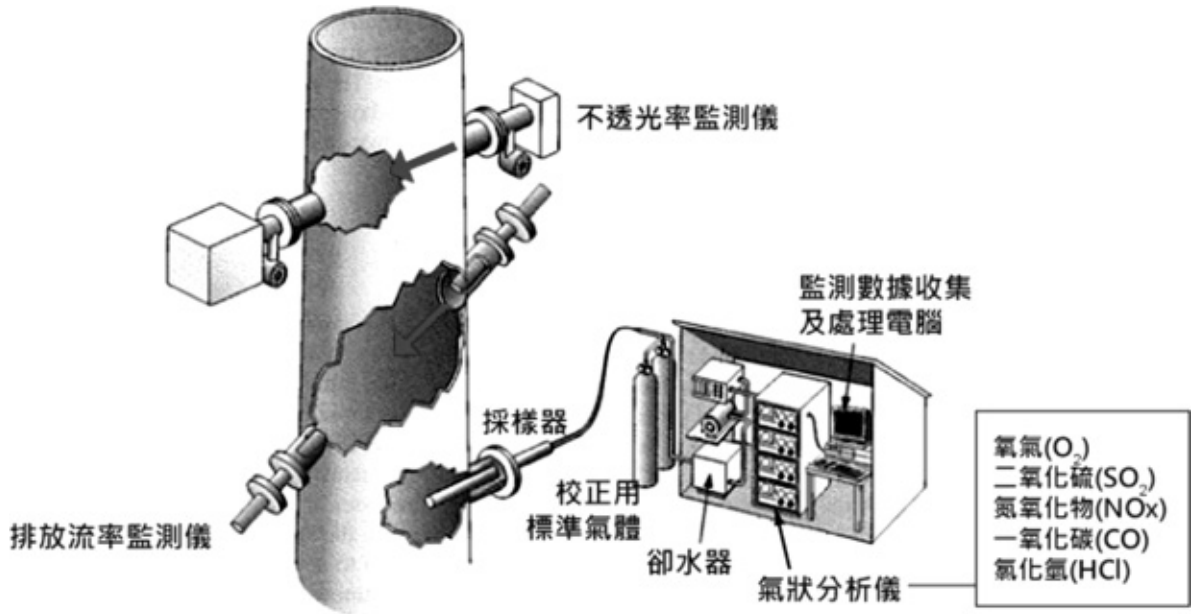


圖 5 CEMS 採樣監測示意圖（資料來源：環保署空氣品質改善維護資訊網）



圖 6 某紡織廠 CEMS 顯示面板（資料來源：環興公司/某紡織廠）

在大家最關心的 NO_x 去除率方面，該紡織廠實務案例雖僅有 4~6 成，但實際上臭氧脫硝的最大去化能力應可達 9 成以上，該廠之所以不發揮其最大潛力，主要原因是要節省液氧使用量，從而減少維運成本。如鍋爐專法要求 NO_x 排放標準為 100 ppm，則廠商通常會控制在 80~90 ppm 即可，否則除了消耗大量液氧成本外，亦間接浪費了液氧輸送、生產製造端所造成的碳排與污染等環境成本。

由於該紡織廠使用該臭氧脫硝設備未滿一個月，尚未有實際液氧使用量數據，惟據另一家造紙廠以流體化床使用量預估，每月液氧成本約為全系統初設費用 1.5%，則全年液氧成本約為全系統初設費用 18%。

(八)其他

除了使用液氧，亦有使用觸媒將空氣中純化氮氣之技術，惟設備成本較為昂貴，目前筆者尚未得知國內應用實例。

(九)注意事項

就筆者觀察，臭氧脫硝設備確為除了 SNCR 及 SCR 外的另一可靠選擇，但任何設備都需要正確且穩妥之操作，才能發揮應有的預期效用，以免產生臭氧洩漏、脫硝效能不足等問題。

另需注意，使用臭氧脫硝設備，將使 FGD 廢水中含有較多硝酸鹽及亞硝酸鹽，致使放流水中硝酸鹽氮濃度提高。

以該紡織業而言，廢水量高達約 10,000 CMD，且原本廢水中硝酸鹽氮甚低，故環保局並未要求定期檢測硝酸鹽氮；臭氧脫硝後所產生之硝酸鹽氮被大量廢水稀釋後，整體廢水硝酸鹽氮濃度僅略為提升，不構成超標風險；然而對於廢水產出量較少之工廠，則應與臭氧脫硝設備製造商預估放流水硝酸鹽氮濃度、討論是否有超標風險（我國「放流水標準」規定事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之廢污水，硝酸鹽氮最大限值為 50 毫克／公升，但特定業別、區域另定有排放標準者，依其規定。），再決定是否使用，以免改善了空污問題，卻衍生了其他水污問題。

另先前說明了臭氧具有對肺部與呼吸功能之危害，故臭氧洩漏必須嚴格防止，避免造成現場操作人員健康之危害，亦使 NO_x 去除能力大打折扣，無法達到預期效果，且大幅提高超標受罰的風險。

綜上所述，臭氧脫硝適合排水量大（例如紡織染整業、造紙業等）的鍋爐使用，De-NO_x 效能主要由液氧供應與臭氧產生量控制，初步觀察效果甚佳，建議配合 CEMS 使用，實時監測，需注意避免臭氧洩漏。

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。



鍋爐向火側高溫腐蝕的機理及防止措施

蔡勤、許喬瑜、郭捷昕、郭欣欣〔廣東 珠海市〕

鍋爐運行時，在高溫高壓條件下接觸含有腐蝕性的燃料和氣體，極易發生腐蝕，對鍋爐的安全經濟運行有很大危害，所以研究鍋爐向火側高溫腐蝕產生的機理及其防止措施，對於保證鍋爐的正常運行和延長使用壽命具有重要意義。鍋爐向火側的高溫腐蝕主要發生在燃用高硫煤或含鈰重油的鍋爐水冷壁管和過熱器管束上。燃料中的硫和燃料灰份中的鹼金屬鈉、鉀以及鈰等，燃燒後形成的 Na_2O 、 K_2O 和 V_2O_5 凝結在受熱面上，與煙氣中的 SO_3 化合生成複合硫酸鹽以液態形式在受熱面上沉積所造成的腐蝕現象。

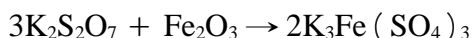
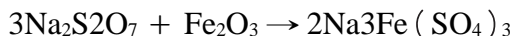
一、鍋爐向火側高溫腐蝕的機理

鍋爐受熱面在向火側發生的高溫腐蝕是一個極其複雜的物理化學過程，從其發生的機理來看一般可分為以下 3 類：硫腐蝕，氯腐蝕和鈰腐蝕。

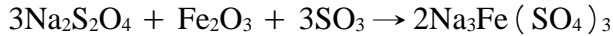
(一) 硫腐蝕

硫腐蝕一般分為硫酸鹽型高溫腐蝕和硫化物型高溫腐蝕。

硫酸鹽型高溫腐蝕機理：硫酸鹽高溫腐蝕主要是燃料中的鹼性成分與 S 在燃燒過程中反應生成的硫酸鹽和焦硫酸鹽對鍋爐受熱面進行腐蝕。其腐蝕反應過程如下：燃料中鹼性成分轉變成硫酸鹽。有其 2 種途徑：一是在爐內高溫下含 NaCl 燃料中的 Na 揮發、升華，除一部分被熔融矽酸鹽捕捉外，餘下的則與煙氣中 SO_3 反應，轉換成 Na_2SO_4 ；二是存在於非揮發性的矽酸鹽中的鉀，通過與揮發的鈉置換反應被釋放出來並與 SO_3 化合，而轉換成 K_2SO_4 。當鹼性金屬硫酸鹽沉積到受熱面上後會再吸收 SO_3 並生成焦硫酸鹽 ($\text{M}_2\text{S}_2\text{O}_7$)。由於焦硫酸鹽的熔點很低，在通常的鍋爐管壁溫下呈熔融狀態，與 Fe_2O_3 更容易發生反應生成 $\text{M}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ ，即形成反應速度更快的熔鹽型腐蝕。焦硫酸鹽的腐蝕過程中主要包括如下反應：



而管壁上熔融的硫酸鹽 M_2SO_4 吸收 SO_3 並與 Fe_2O_3 或 Al_2O_3 作用下反應，生成低熔點的複合硫酸鹽 $(\text{Na,K})_3(\text{Fe,Al})(\text{SO}_4)_3$ 。當在管壁的表面溫度升高到複合硫酸鹽的熔點，管壁表面的 Fe_2O_3 氧化保護膜被複合硫酸鹽破壞，使管壁繼續腐蝕。複合硫酸鹽的腐蝕過程中主要包括如下反應：

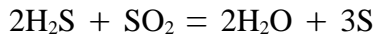


硫化物型高溫腐蝕機理：硫化物型高溫腐蝕是由燃煤中的黃鐵礦硫造成的，黃鐵礦粉末隨著未燃盡煤粉到達受熱面上，受熱釋放出單原子硫和硫化亞鐵。在燃燒器區域內，由於尚未燃盡的火焰直接沖刷到受熱面使得燃料繼續燃燒時消耗了大量氧氣，在該處形成還原性或半還原性氣氛，硫的燃燒和三氧化硫的形成發生困難，因而遊離的硫和硫化合物（硫化氫等），便開始與鐵發生反應形成 FeS，生成的 FeS 緩慢氧化成 Fe₃O₄，將受熱面不斷腐蝕。硫化物型高溫腐蝕的具體腐蝕反應過程如下：

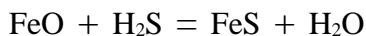
1. 硫的形成：



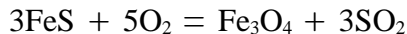
若受熱面附近的硫化氫和 SO₂ 超過一定溶度時，也會生產單硫原子。



2. 鐵和氧化亞鐵的硫化：



3. 硫化亞鐵的氧化：



生成的 SO₂ 在渣層內由於灰渣的催化作用有可能轉化成 SO₃，從而促進硫酸鹽的腐蝕。另外，H₂S 也可直接與受熱面金屬反應，由於 H₂S 是還原性介質，比氧化性介質更具有腐蝕，H₂S 的濃度越高，受熱面溫度越高，腐蝕速度越快。

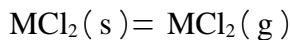
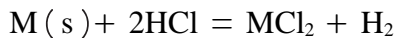
(二) 氯腐蝕

氯化物型高溫腐蝕機理：近年來許多研究表明，由於煤中氯的存在，氯化物及其分解產物 HCl 和腐蝕過程中產生 Cl₂ 是造成鍋爐管高溫腐蝕的重要原因，而且這種腐蝕不像硫酸鹽腐蝕是一次性的，而是重復性的腐蝕，其中也包括對合金鋼中 Cr 和 Ni 的腐蝕。

一般認為，氯在煤中有 3 種存在形式：無機氯化物、有機氯化物和煤中鹽有關的氯離子。無機氯化物主要以鹽岩 (NaCl)、鉀鹽 (KCl)、鈣鹽 (CaCl₂) 和水氯煤石 (MgCl₂·6H₂O) 的形式被煤中大量的內表面所吸附。在煤加熱過程中無機氯化物釋放出來，而無機氯化物易與煙氣中的 H₂O、H₂S、SO₂ 和 SO₃ 等反應，生成硫酸鹽和 HCl 氣體。反應釋放出來的 HCl 是活性很強的氣態腐蝕介質，在高溫條件下積極參與對 Fe、FeO、Fe₃O₄ 和 Fe₂O₃ 的腐蝕。由於 HCl 的存在可以使金屬表面的保護膜 (FeO、Fe₃O₄ 和 Fe₂O₃) 遭到破壞，從而加大了氣態腐蝕介質 Cl₂、O₂、SO_x 還有 HCl 等向基體介面的傳遞而直接腐蝕基體金屬。除此之外，由於生成的 FeCl₃ 具有較

低的熔點（303℃）和高的蒸汽壓（1670Pa），所以在爐管表面溫度下極易揮發，從而使保護膜層中產生空隙，使之變得疏鬆，大大降低了活性氣態腐蝕介質向基體金屬介面的傳遞阻力，同時使腐蝕產物更易脫落，進而更加速了金屬的腐蝕進程。

另外，有些反應中生成了氧化性很強的 Cl₂，這些氯可以和鐵及 FeCl₂ 不斷的發生反應。根據“活化氧化”模型的解釋，在高溫時，Cl 滲透能力很大，它可以通過氧化膜同金屬反應生成相應的氯化物；氯化物在高溫時的蒸氣壓較高，容易蒸發；蒸發的氯化物同氧氣反應生成氯氣和相應的氧化物；由於該反應需要的氧壓不大，且氧化層可能有催化作用，所以氯化物在靠近金屬表面的地方就被氧化生成氯氣；新生成的氯氣又重新返回金屬表面，腐蝕因而能以較大的速率進行反應。其具體反應方程式為：

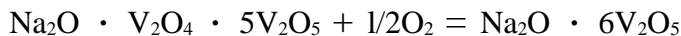


在這種循環中，不斷對鐵及其化合物造成腐蝕，因此氯的高溫腐蝕具有重復性的特徵，只要有 HCl 和 Cl₂ 不斷補充，腐蝕反應就會一直進行下去。

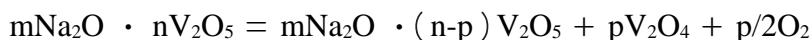
(三) 鈇腐蝕

原油中含硫和鈇等，鈇以油溶性聚合體結合物的形式存在，燃燒時，鈇的結合物隨溫度升高而分解。剛開始形成的產物比較穩定，揮發性不大，呈 V₂O₅ 和 V₂O₄。而當油中碳化物全部消耗後，則只有 V₂O₅ 存在。V₂O₅ 的蒸氣壓較高，並隨溫度升高而迅速增大。因此，在燃燒時，V₂O₅ 呈氣相狀態，其中一部分形成鈇鹽，而大部分凝聚在結構材料的表面上，以後和其他燃料灰分結合，引起材料的鈇侵蝕。

鈇的侵蝕機理：大多數鈇化物都是低熔點物質，由於低熔點鈇化物凝固，由鈇酸鹽變成復式鈇酸鹽放出氧，在熔融時則吸收氧。由於這一可逆反應，加快了氧向金屬材料表面的傳輸，引起加速腐蝕。也就是，在燃氣／氧化膜介面，鈇化物熔融時吸氧，其反應如下：

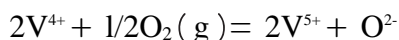


而在氧化膜／金屬基體介面上，鈇鹽變成腐蝕鈇鹽放出氧，反應式為：

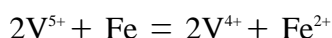


反應式中，m、n、p 皆為整數。

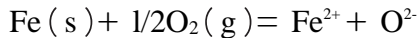
所以鍋爐受熱面的鈇蝕過程為：受熱面表面沉積一層 V₂O₄ - V₂O₅ 熔融物，在氧化物／氣體介面發生反應：



而在氧化物／鐵的介面發生反應：



總反應為：



也就是說，在氧化物／鐵介面，鐵發生溶解，此後， Fe^{2+} 向氣體／氧化物介面擴散，並且以 FeO 析出，結果在外表面形成一層非保護性的 FeO 膜，由於生成 FeO 的反應明顯加快，所以在鐵的表面上 Fe^{2+} 不會飽和，鐵持續不斷地發生溶解。

二、防止高溫腐蝕的措施

1. 在水冷壁，過熱器管等受熱面管表面噴塗耐腐蝕材料，或提高金屬材料的耐腐蝕性能。
2. 採用低氧燃燒技術。減小爐內的過量空氣系數，自由氧原子的生成量減少，二氧化硫轉化為三氧化硫的轉化率降低，三氧化硫的濃度低，發生高溫腐蝕的機會就會減少。另外，降低氧濃度，也可防止金屬氧化和 V_2O_5 的生成，降低鈣腐蝕的發生。
3. 合理配風和強化爐內氣流的湍流混合過程，避免出現局部還原性氣氛，以減少 H_2S 和硫化物型腐蝕。可採用“風包煤”、增加側邊風技術以減少高溫腐蝕。
4. 加強一次風煤粉氣流的調整，盡可能使各燃燒器煤粉流量相等，使燃燒器內橫截面上煤粉濃度均勻分佈，以保證燃燒器出口氣流的煤粉濃度均勻分佈。控制適當的煤粉細度。煤粉顆粒較粗時，火焰容易沖牆和煤粉難於燃盡，這樣易引起高溫腐蝕和磨損。
5. 避免出現受熱面壁溫局部過高，控制爐內局部火炬最高溫度及熱流密度，特別是在燃燒器區域附近的火焰中心處，水冷壁的高溫腐蝕速度很大。降低出口扭轉殘餘煙溫偏差以及過熱蒸汽流量分佈偏差，以避免出現局部過高的壁溫。
6. 採用煙氣再循環，可以降低爐膛內火焰溫度和煙氣中的 SO_3 濃度，減輕高溫腐蝕。
7. 採用貼壁風技術，在水冷壁壁面附近形成氧化氣氛的空氣保護膜，避免高溫腐蝕。
8. 在燃料中加入添加劑，改變煤灰結渣特性。在油料中加入添加劑來提高灰分附著物的熔點。這類添加劑有 MgO 、 CaO 等，它們可以改善附著物的物理和化學性質，使對應的或稠密的附著物變疏鬆的顆粒狀，易於從受熱面上脫落，從而使由鈣蝕引起的腐蝕速度降低 $1/2\sim 1/3$ ，但受熱面可能出現堵灰。
9. 控制給水品質。控制給水品質，避免管內結垢，減少熱阻，從而可以防止水冷壁壁溫過高，預防高溫腐蝕的發生。

三、結論

鍋爐向火側的高溫腐蝕常見於大型鍋爐中，嚴重影響了鍋爐的安全經濟運行，為了更好的做好鍋爐向火側的高溫腐蝕防護工作，應深入系統的研究鍋爐向火側高溫腐蝕的機理，加強採用實驗室模擬試驗評定方法的研究，在實踐中不斷探索，總結和積累經驗。

〔摘自中國特種設備安全 第25卷 第1期〕

台灣地區鍋爐設置數統計表

2020年12月止

	地區 比率 %	豎型橫 (煙)管式	臥型 煙管式	臥型爐筒 煙管式	雙鼓彎曲 水管式	其它各種 水管式	熱媒 鍋爐	電熱 鍋爐	其他	總計
型別 比率 %		0.64	6.23	33.74	6.37	11.59	29.50	8.56	3.36	100.0
台北市	2.14	1	4	84	12	0	2	17	0	120
新北市	6.92	1	7	136	2	33	144	61	5	389
台中市	6.48	3	21	159	28	59	82	6	6	364
台南市	8.31	3	32	130	27	50	164	47	14	467
高雄市	12.58	9	67	182	42	163	160	47	37	707
宜蘭縣	1.58	0	2	61	1	5	15	4	1	89
桃園市	23.79	1	52	369	73	115	624	64	39	1337
新竹縣	3.81	2	10	41	13	15	66	59	8	214
苗栗縣	2.83	0	4	46	14	27	44	1	23	159
彰化縣	9.95	0	33	225	30	29	143	86	13	559
南投縣	2.01	1	9	59	3	3	34	1	3	113
雲林縣	7.17	11	45	82	76	96	62	3	28	403
嘉義縣	3.95	2	10	68	4	33	64	36	5	222
屏東縣	2.60	1	23	85	6	6	14	7	4	146
台東縣	0.21	0	3	2	1	6	0	0	0	12
花蓮縣	0.73	0	0	18	2	16	0	3	2	41
澎湖縣	0.23	0	3	9	0	0	0	0	1	13
基隆市	0.50	0	2	9	2	7	2	5	1	28
新竹市	0.46	0	1	13	0	3	1	8	0	26
嘉義市	0.23	0	3	7	0	3	0	0	0	13
金門縣	0.30	0	9	7	0	1	0	0	0	17
連江縣	0.14	0	4	4	0	0	0	0	0	8
經濟部 加工 出口區	0.60	0	5	5	0	0	17	4	3	34
新竹科學 工業園區	1.99	1	6	48	2	2	11	42	0	112
中部科學 工業園區	0.14	0	2	1	0	2	0	2	1	8
南部科學 工業園區	0.34	0	5	4	0	1	6	3	0	19
總計	100.0	36	362	1854	338	675	1655	506	194	5620

台灣地區危險性設備設置數統計表（按型別地區分）

2020年12月止

	地區 比率 %	鍋爐	第一種 壓力容器	高壓氣體 特定設備	高壓氣體 容器	總計
型別比率 %		8.38	39.42	43.00	9.20	100.0
台北市	1.65	120	662	108	217	1107
新北市	3.73	389	1191	871	50	2501
台中市	5.34	364	1336	1557	323	3580
台南市	7.28	467	1462	1662	1291	4882
高雄市	24.93	707	5557	8606	1850	16720
宜蘭縣	1.17	89	409	279	8	785
桃園市	17.89	1337	6000	3476	1184	11997
新竹縣	2.05	214	496	556	106	1372
苗栗縣	2.83	159	549	1138	55	1901
彰化縣	4.97	559	1692	759	323	3333
南投縣	0.60	113	137	147	8	405
雲林縣	17.99	403	5035	6532	99	12069
嘉義縣	1.80	222	494	439	53	1208
屏東縣	1.30	146	392	310	25	873
台東縣	0.08	12	22	17	6	57
花蓮縣	0.44	41	175	73	9	298
澎湖縣	0.06	13	11	5	14	43
基隆市	0.35	28	149	55	4	236
新竹市	0.44	26	106	147	19	298
嘉義市	0.40	13	120	68	70	271
金門縣	0.13	17	49	17	5	88
連江縣	0.06	8	4	0	27	39
經濟部加工 出口區	1.14	34	50	264	414	762
新竹科學 工業園區	1.34	112	127	651	12	902
中部科學 工業園區	0.86	8	49	523	0	580
南部科學 工業園區	1.15	19	168	582	0	769
總計	100.0	5620	26442	28842	6172	67076