

特種機械設備安全

SAFETY OF SPECIAL MACHINE AND EQUIPMENT

1991-5 創刊 2015-10 出刊
雙月刊 第 38 期

發行所	台灣省鍋爐協會
發行人	汪清港
總編輯	賴桂堂
發行地址	台中市 40857 南屯區南屯路二段 290 號 12 樓之 1
電話	(04) 2475-1232
傳真	(04) 2475-1208
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 54241 草屯鎮中正路 601-7 號 5 樓
印 刷 廠	洪記印刷有限公司
地 址	台中市西區明智街 25 號
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

霖興機械工業股份有限公司
大震企業股份有限公司
三浦鍋爐股份有限公司
台灣大吳股份有限公司
合炬科技股份有限公司
光宏保溫有限公司
紳藝實業有限公司
辰鼎企業有限公司
增大股份有限公司
銘暉股份有限公司
興志五金企業有限公司
潔康企業有限公司
原鈦峰工業有限公司
吾豐機電廠股份有限公司
正熊機械股份有限公司
大德股份有限公司
申昌機械股份有限公司
東立鐵工廠有限公司
銘達工業有限公司
金瑛發機械工業股份有限公司
歲鼎企業有限公司
志豪工業有限公司
莊鼎實業有限公司

目錄

CONTENTS

會務訊息

- ★本會邀請中國特種設備檢測研究院
專業人士來台技術交流 2

技術報導

- ★高熱能新燃料—石油焦簡介 3
★鍋爐之化學清洗 13
★從設計改進燃燒效率 21

會務訊息

- ★即測即評及發証 當天考照 現場取証 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

本會邀請中國特種設備檢測研究院 專業人士來台技術交流



◀ 參訪本會

▼ 聽取台欣公司簡報



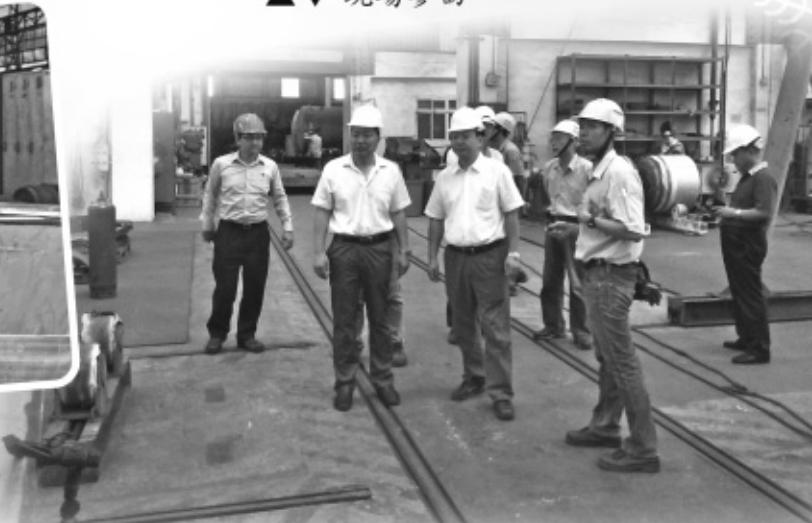
104. 9. 13~
104. 9. 30



▲▼ 現場參訪



▲▼ 現場參訪



高熱能新燃料—石油焦簡介

陳文能

一、前言

在世界能源危機中，尋求能源、節約能源、使能源做最有效利用遂成為當務之急。能源危機已成為當今世界性的嚴重問題，像 1960 年代所享有低廉而穩定的能源時代已成過去，全世界人類對地球上能源畢竟有限的事實也有了深刻的認識。各國工業界不得不正視能源之消耗問題，或則謀“開源”之道或則採“節流”之策，以期有效地控制其生產成本。

工業界生產單位減低成本之方策有二：一為降低燃料費，另一為生產過程中節約能源。降低燃料費可分為：工業用鍋爐中重油轉換為其他燃料，及燃燒特殊燃料之鍋爐。由重油轉換為其他燃料有向重質油轉換燃料、向石油系列固體燃料轉換燃料，燃燒特殊燃料之鍋爐有燃燒樹皮鍋爐、使用複數燃料之複合鍋爐系統及蔗渣鍋爐等。

(一) 向重質油轉換燃料：

重質油之代表性者為柏油，與重油相較，其黏度、引火點均較高，又殘留碳、硫礦、氮氣及鉑等重金屬之含量較多。但事先充分明瞭其特有性質，採取必要措施時，對既設鍋爐亦不需要大幅度改造而可使用其燃料。

(二) 向石油系固體燃料轉換燃料：

石油焦。

(三) 燃燒樹皮鍋爐 (Bark Boiler) :

在造紙（紙漿）工廠原木處理工場所產生之樹皮或木渣其量很多，屯積要廣大場所，又由於腐化發酵引起自然起火或污染排水。新式的燃燒樹皮鍋爐，不僅要積極防止由於丟棄樹皮所發生之公害問題，並要使產生高壓高溫蒸汽而當作動力源更不用樹皮之前處理，使工廠所產生之包含不燃物，長短不齊之樹皮直接當作燃料使用。

(四) 使用複數燃料之複合鍋爐系統：

從前為丟棄或藉重油助燃而焚化之工業廢棄物（樹皮、垃圾、紙渣）等物質當作熱源而有效活用，以謀節省能源，低公害化（排氣、排水於限制範圍內）為目的，採用複合鍋爐系統設置發電設備。

(五) 蔗渣鍋爐 (Bagasse Boiler) :

在甘蔗製糖工廠，於第一段工程即甘蔗壓榨工程所產生之蔗渣，雖含水分為 40-50% 左右，但有：

1. 尺寸較小均勻。
 2. 成分中揮發分佔比率較多。
 3. 具有本身可燃燒之發熱量。
 4. 混入不燃物為少等優點。
- 故充分具有當鍋爐燃料之可能性。

二、石油焦煉製

石油是世界重要之能源來源，自石油危機以來，世界各國積極找尋替代能源，煤炭與核能大量使用，使重油過剩；且由於輕質原油之產量逐漸減少，被中質或重質原油所取代，因此在煉油過程中，輕質油料如汽油、柴油等之產量亦相對減少，而重質油料如燃料油則產量提昇。因此國內外石油公司為服務用油客戶，降低生產成本，重油之轉化利用乃成為目前世界上熱門之煉油製程，重油之轉化途徑很多，見圖一，大都裂解轉化為輕質油料與石油焦。

(一) 石油焦工場流程：

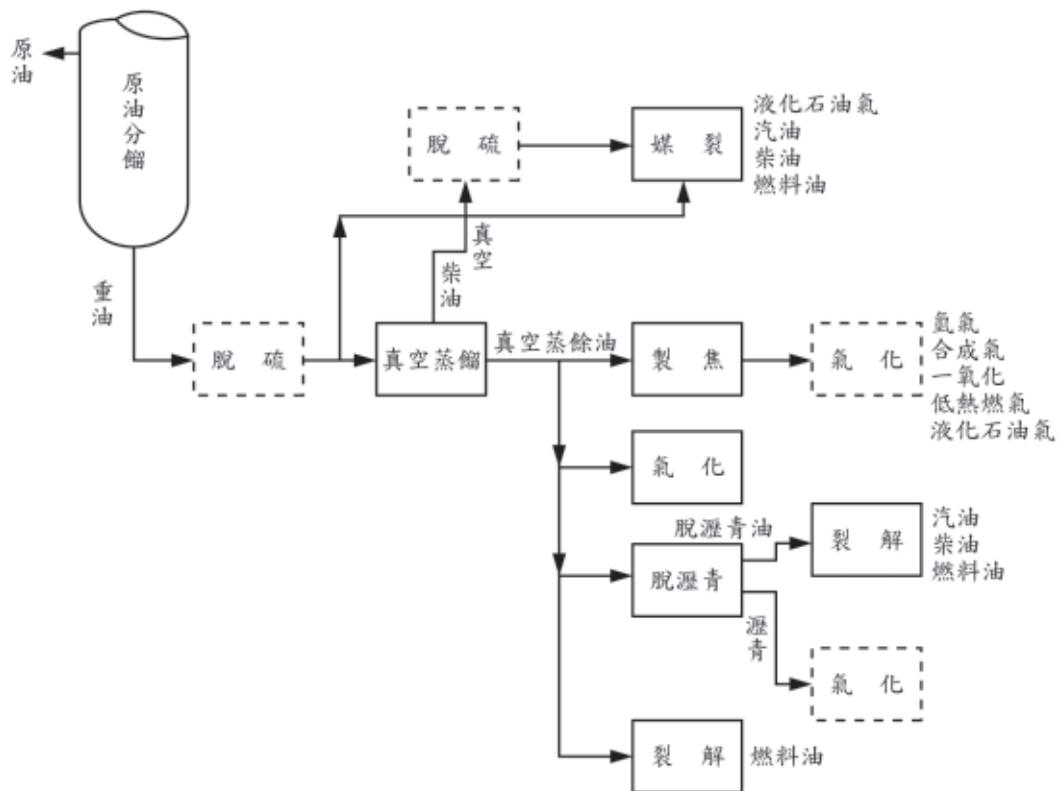


圖 1 重油轉化之可能途徑

中國石油公司為配合國內需要，乃利用延滯結焦法（Delayed Coking）將重質油料轉化為輕質油料與石油焦，其簡單流程圖如圖二所示。

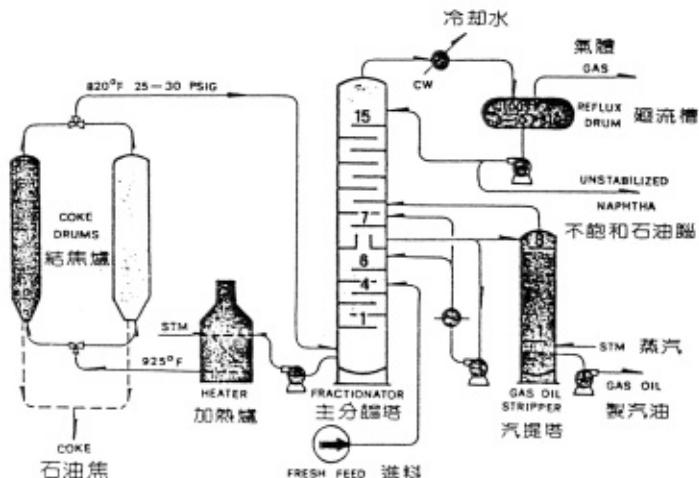


圖 2

石油焦工場係以高芳香烴及高殘碳量之殘渣油為進料，經預熱後，進入主分餾塔底部，連同循環之裂解油料進入結焦加熱爐，使溫度升高至 910°F~940°F 左右，讓部分油料在爐管中蒸發裂解，然後進入結焦爐，轉化為石油焦與輕質油料。

(二) 石油焦品質控制：

石油焦之品質及產率常因進料油性質與操作之不同而有很大的差異，其影響因素如下：

1. 進料油：

可作為延滯結焦法的進料有重油、真空殘渣油、媒裂殘渣油、及煉鋼後之煤焦油等，種類繁多，不一而足，其可能影響石油焦之品質及產率的進料物理性質有：

(1) 康氏殘碳量 (Conradson Carbon) :

係指油料經加熱蒸發及裂解剩下的焦碳含量。殘碳量愈高，石油焦的產率也愈高。

(2) 比重 (Specific Gravity) :

進料油愈重，石油焦產率愈高，製氣油產率則愈少。

(3) 金屬與非金屬雜質：

原油中所含的硫、氮、氧、灰分及金屬鹽等雜質，經分餾之後，大部分殘留於重油中，重油經加熱裂解後，這些雜質大部分遺留在石油焦中。如製成電極焦，金屬雜質將嚴重影響電極之導電度與機械強度，同時其硫含量及金屬含量對於石油焦之用途也有很大影響。

2. 結焦爐壓力：

結焦爐之壓力一般均控制在 10~15psig 之間，提高壓力，如同增加迴流一樣，使製氣油產量減少，製氣油終沸點降低，石油焦產量增加。相反的，壓力低一點，

製氣油產量增加，製氣油終沸點較高，石油焦產量減少，品質較鬆，揮發物較少。

3. 結焦溫度：

一般加熱爐之出口溫度係依進料油之不同而異，加熱爐的出口溫度在 910~940°F 之間，提高溫度，石油焦產量增加，揮發物減少，硬度較大，燃料氣增加。相反地，溫度降低，則石油焦產量減少。

(三) 石油焦之性質：

1. 挥發物（Volatile Matter）少，約為煤炭之一半；固定碳（Fixed Carbon）高，約為煤炭之二倍，燃料比（固定碳／揮發物）高，故燃燒速度遲鈍，燃燒完畢需費時，缺少著火安定性。
2. 發熱量（Heating Value）高，平均較煤高 40% 左右；灰份（Ash）少，僅為煤炭的十分之一，故較煤炭易於操作。又較煤炭其粉碎性良，可減少磨煤機動力，減低磨耗性。
3. 氮份與煤炭差不多，所產生之 No_x 量可能認為並無太大差別。惟由於具有難燃性，燃燒時難於採取降低 No_x 之對策。
4. 燃料中含硫量（Surfur Content）較煤炭為多，需要脫硫裝置，又由於鉑、鈉等之影響，須採取與重質油相同之高、低溫腐蝕對策。

表 1 所示為中國石油公司所產石油焦與進口煤炭一般性質比較。

表 1 中油公司石油焦與進口煤炭性質比較表

項目	中油石油焦	進口煤炭
水份重量%	7 以下	3-10
揮發性物質重量%	18 以下	33-45
固定碳重量%	80 以上	35-47
灰份重量%	1.5 以下	7-28
含硫量重量%	8 以下	0.5-4.0
熱值仟卡／公斤	8,200±200	4,700-6,700
研磨性 HGI	84-93	48-52

三、石油焦用途

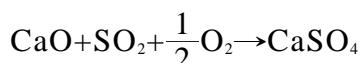
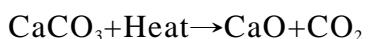
原油的性質對於石油焦之用途及銷售分佈有關鍵性之影響。在煉製過程中，原油中之硫分大部分殘留在石油焦中，乃影響其品質及用途。在美國，因其原油硫分較低，製程之石油焦，可作為工業燃料及煉鋁電極焦；而日本則以中東之高硫原油為主所製成之石油焦，只能用在鑄造、碳化物、水泥業及普通電極方面。近幾年來由於原油價格上升，墨西哥、委內瑞拉、美國、中東等地區原來保留之原油均陸續開採，因此煉油廠未來煉製之原油將愈來愈重。根據報導預測，美國煉油廠在 1980~1990 年，其

APIGravity 將減少 6%由 1980 之 33.3°降至 1990 之 31.3°，而其平均硫含量將增加 35% 達 1.2 WT%，超過 1000°F 之餾份將上升 15~20 VOL%，其影響所及，將使高硫分石油焦產量上升，低硫分石油焦則有逐漸降低之趨勢。因此，如根據硫分用途來分析美國石油焦市場，在未來當燃料用之石油焦將會有大幅之成長，冶金焦略有增加，而電極用之焙焦則幾乎持平。

另據一項統計資料顯示，1980 年美國石油焦市場之分佈，其國內所使用之燃料用石油焦僅占 10%，出口外銷及當焙焦（Calcined Coke）之原料各占 45%、44%，而其國內之燃用石油焦市場幾乎有一半應用於水泥工業。至於其國內燃用石油焦市場佔有率偏低之主要原因為過去石油焦大都摻煤當作鍋爐用燃料，現已漸被一些石油產品及天然氣所取代；另外，為了防止空氣汙染，對硫含量限制較嚴，以及為了發展較高價值之石油焦市場，如煉鋁、煉鋼等工業所需之高品質石油焦，也使燃用石油焦之市場減少。出口市場方面，也有一大半以上當作燃用焦，也是與煤摻混使用，以提高燃料之熱值。

石油焦為近代煉油工業之副產品，因受原油含硫量之影響，所以石油焦之含硫量亦不相同，用途亦迥異，一般而言含硫量 1%以下之石油焦主要作為高級鑄造用，1%~3%作為一般鑄造及碳化物之製造，3%以上則做為水泥煅燒、窯業、鍋爐之燃料及製造合成氣，作為燃料之石油焦，因其價廉、熱值高。目前在國外已成為各種消耗能源行業的新寵兒，如水泥製造、火力發電及鍋爐等之使用燃料。

石油焦亦可與石灰石（Limestone）混合使用，做為蒸汽產生氣之燃料，燃燒後所產生之二氧化硫被石灰石所吸收，其化學反應如下：



以石灰石吸收 SO₂，可避免硫分逸入大氣而造成空氣汙染。

此外，石油焦尚可當石油化學原料，如與生石灰（Quick Lime）在電爐中加熱，可製造碳化鈣（Calcium Carbide）。碳化鈣可水解成乙炔，用來製造聚氯乙烯；也可作為肥料工業之原料。最後，石油焦尚可用以製造合成氣、氫氣及低熱值燃料氣等。

四、石油焦之燃燒

(一) 石油焦供給設備：

1. 設備：

石油焦與煤炭均為以固體形狀供給燃燒器，故需如燃燒煤炭之燃料供給設備，即儲存煤炭設備、漏斗、計量器、粉碎機等措施在新設鍋爐固然是不可短缺，對改造既設之鍋爐，需要充分檢討設置此等設備之空間及設置。

2. 研磨性及研磨形式：

研磨性 (Grindability) 為衡量固體燃燒磨碎難易之程度。因存在於煤中之硫分，可分有機硫與無機硫兩種。而無機硫是礦物，對煤的硬度與研磨性有很大的影響。石油焦僅含有機硫，所以較煤炭容易研磨；故研磨性佳，又灰分較少，研磨機之磨耗小。圖 3 為以石油焦與從澳洲進口之煤炭，作一通過 170Mesh 之研磨試驗。另石油焦之揮發物量少，燃燒速度為遲鈍，為了盡量減少未然物，需要把研磨機出口之粒度近可能使較粉煤粒度為細小，及調整研磨機使通過 200Mesh (網目) 之粒子成為 80-85% 以上。

石油焦大都使用在消耗能源較大之水泥工業及鍋爐、發電等方面。並在不改變設備之情況下，均可與煤炭混合使用，其摻混方法有分別研磨法如圖 4 及混合後研磨法如圖 5 等二種。

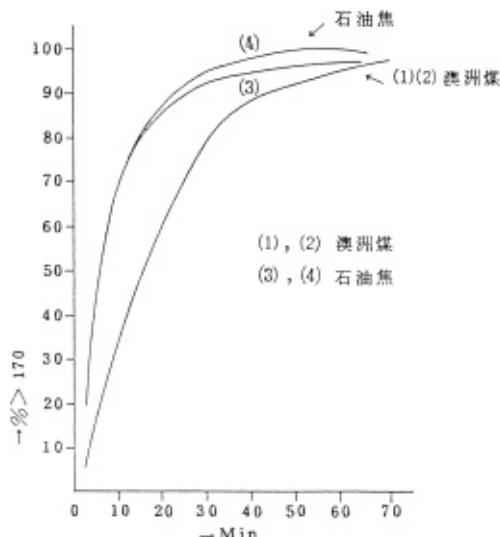
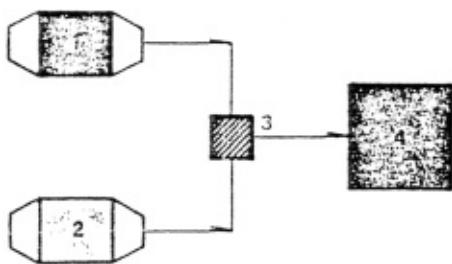
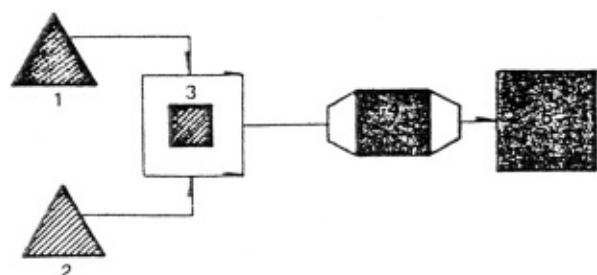


圖 3 石油焦與煤之研磨時間曲線 JIS-M-8801



1. 煤炭研磨機
2. 石油焦研磨機
3. 自動混合機
4. 燃燒系統

圖 4 分別研磨法



1. 煤炭
2. 石油焦
3. 自動混合機
4. 研磨機
5. 燃燒系統

圖 5 混合後研磨法

(二)燃燒方式及鍋爐形式之選定

石油焦為揮發物少，著火溫度高，燃燒性較差，故選定適當之燃燒方式及鍋爐型式為最重要。關於燃燒方式可考慮到微粉燃燒及流動床燃燒，因灰分少，移床式爐篦燃燒易燒損爐條故不合適用。亦可採用 COS 方式（焦炭，油，Slurry），但焦炭燃燒量少，其經濟價值較差。石油焦之燃燒方式及特徵比較如表 2 所示。

表 2 石油焦之燃燒方式及特徵比較表

	微粉方式	流動床方式	COS 方式
燃燒性	需 10~20% 助燃	可專燒石油焦	重油：石油焦=50：50
燃燒效率	97~99% (1~3% 為未燃物損失)	再循環式：85~90% 附 CBC：90~95%	與微粉方式略同 (稍差)
鍋爐容量	適合於較中，大形 (50~100T/H 以上)	適合於較小容量 (100~150T/H 以下)	均適合
改造之難易	充份可能	稍困難	容易
粉碎機	微粉用磨粉機 (通 200 紡目者 80% 以上)	磨碎機 (6 ^m /m 以下或 25 ^m /m 以下)	微粉用磨粉機 (通 200 紡目者 95% 以上)
其他特徵	<ul style="list-style-type: none"> • 技術信賴性高 • 灰份少，既有之改造亦容易 	<ul style="list-style-type: none"> • 爐內可脫硫 • 與煤炭可併用 	<ul style="list-style-type: none"> • 既有之設備可大幅度利用 • 槽類以後之設備簡單 (操作容易)
今後之問題點	<ul style="list-style-type: none"> • 助燃最小化 • NO_x 對策 • 有實績 	<ul style="list-style-type: none"> • 石灰石補充量消減及灰份處理方法 • 系統簡化 • 爐內鋼管提高耐久性 • 實績少 	<ul style="list-style-type: none"> • 燃燒器噴嘴提高耐磨耗性 • 防止配管堵塞之對策 • 提高經濟性

1. 微粉方式：

燃燒效率佳可大形化，又有實績，故技術問題最小，可適應於燃燒石油焦鍋爐。燃燒室大小略與燃燒煤炭鍋爐相同。若欲獲得更高之燃燒效率，就得較煤炭鍋爐增大一成左右。

2. 流動床方式：

可專燒石油焦，但燃燒效率較微粉燃燒為低，關於石油焦之供給方式共有兩種，一為利用高壓空氣從爐底進料之 Under Feed 方式，另為使用散佈機（Spreader）之 Over Feed。前者需要有粒徑 6mm 以下之磨碎機、乾燥機等設備之外，利用燃料配管投進鍋爐，雖運轉維護複雜，但燃燒效率、 NO_x 發生量、脫硫效率等較後者多少有優越性。後者之設備簡單，又操作容易，若設置 Carbon 再燃爐較前者可獲得並不差之燃燒效率。今後之目標為減少石灰石量為最低，又提高爐內鋼管之耐久性。

3. COS 方式：

與重油混合，其著火具有優良之安定性，燃燒完畢所需要之時間較微粉方式為長，故不能防止未燃物之發生。為了避免上記缺點，石油焦之粒徑爐可能範圍需磨成粉狀。煤炭 COM 已進入實用化階段，技術上可充分採用，惟此前二者其經濟性為差。

(三) 使用石油焦所發生之問題及解決方法

茲將燃燒石油焦其可能發生的問題及解決方法簡單說明如下：

1. 石油焦硫含量高：

硫含量高低與原油硫含量高低直接有關，如使用低硫分原油，石油焦之硫含量必可降低，但煉製石油焦之成本必然提高。

2. 石油焦灰分熔點低：

灰分熔點低，必須加強灰垢之清理，但如少量與煤摻用（估計 10% 以下），應無問題。同時，因石油焦灰分含量比煤少很多，摻用後可降低燃料之灰含量，因而可減少其灰分之處理費用。

3. 起火點延後熱值利用率低：

因石油焦之揮發物含量較煤炭低，如與煤炭摻用，可能造成起火點延後，而造成需要熱量的地方得不到熱量，部分地方又呈現過熱之問題。但如使用前能充分磨細，並充分預熱，使能迅速達到燃點，必能克服起火點延後之問題，並能提高其熱值利用率。

4. 結圈、結皮：

因硫分燃燒後變成鉀、鈉及鈣等之硫酸鹽，在水泥窯內結圈、結皮，可用水槍清除之。

(四) 公害對策

石油焦為石油系列中最粗劣燃料，須要充分注意公害對策。灰塵量在鍋爐出口欲控制於 $0.5\text{g}/\text{Nm}^3$ 以下很困難。若無脫硫裝置須要 Electrostatic Precipitator 或 Bag Filter 裝置。對 SO_x 值視限制值可能採用 FGD（排煙脫硫 Flue Gas Desulfurization）。關於藉

燃燒對策而施行減低 NO_x 法，由於燃料為低揮發物難燃性，故較煤炭所採取之對策為困難。

(五) 高低溫腐蝕對策

1. 高溫腐蝕：

原油殘渣物之石油焦內包含高濃度之硫礦、鉑等物質，對燃燒瓦斯所引起之過熱器高溫腐蝕需充分檢討。一般高溫腐蝕為鈉化合物，磷酸根，硫礦，鉑等所引起之影響很大，此類化合物有降低灰燼熔解溫度之作用。

在燃燒過程中，燃料內所含鉑與氧氣化合變成氧化鉑 (V_2O_4 , V_2O_5 , V_2O_8)。若有十足之氧氣變成 V_2O_5 ，此類氧化鉑以熔解狀態具有很大之腐蝕性。 V_2O_4 , V_2O_8 之熔解溫度為 1650°C 以上，但 V_2O_5 在 680°C 附近就熔解。

又燃料中所含之鈉 (Sodium)，硫礦具有更降低 V_2O_5 氧化物之熔點為 540~590°C 之作用，故鉑或鈉量儘可能降低至最小值。

有高溫腐蝕憂慮之燃料，蒸汽溫度維持在 510~520°C 以下，使鋼管金屬表面溫度維持在 580~590°C 以下。鋼管金屬表面溫度若低於鉑化合物熔解溫度， V_2O_5 為無黏結性之粉狀，不可能進行腐蝕，以吹灰器可輕易去除。

防止高溫腐蝕之另一方法為加添 MgO 等鎂系添加劑以提高熔點之方法。此類添加劑與 SO_3 化合亦有降低酸露點之作用，故對低溫腐蝕亦有效果，但注入添加劑有增加灰塵之趨勢，故使用時須有充分檢討。

2. 低溫腐蝕：

石油焦內包含高濃度硫礦量，硫分經燃燒後大部分轉變為亞硫酸氣 (SO_2)，一部分則更進一步氧化成為無水硫酸 (SO_3)，而若鍋爐低溫部分溫度在露點以下之時更因凝結轉變為硫酸 (H_2SO_4) 而引起腐蝕。容易發生低溫腐蝕的地方式空氣預熱器的低溫部、煙道、集塵器、引風機以及煙囪等。由其是在空氣預熱器的低溫部熱傳金屬片 (Element) 的表面，尤凝結生成硫酸之同時，發生黏著灰塵現象而導致通氣管道的堵塞事故。

(六) 灰燼處理設備

石油焦中之灰分較煤炭為很少，故不需大設備。若非長時間運轉，燃燒室爐底不需要設置漏斗。

五、燃燒石油焦之經濟效益分析

石油焦因含硫量較高，使用者以水泥業及裝置流動床鍋爐之工廠獲政府核准者為主，及裝置有脫硫設備之工廠經政府核准者為副，因前兩者皆在燃燒石油焦過程中，可產生脫硫作用，不致造成空氣汙染，茲分別就石油焦使用於水泥業及流動床鍋爐工廠之成本效益分析如下：

(一)以水泥業而言：

依目前進口煤炭 CIF 價格為每公噸 28~32 美元，再加上稅金、港工捐及到廠運輸費每公噸約新台幣 1200~1400 元，如以石油焦出廠價每公噸 1000 元。尚可因石油焦熱值較高，使用時可節省燃煤。而在水泥製程中因含有鹼金屬，具有吸收硫分之效果，不僅不會造成空氣汙染，而且尚可有效利用能源。如依政府規定須搭配省煤使用時，則其節省成本更多，經濟效益更大。

(二)流動床鍋爐使用方面：

因流動床鍋爐可使用碳酸鈣 (CaCO_3)，吸收燃料在燃燒中產生之二氧化硫。所以使用石油焦不會造成空氣汙染。茲以理論為基礎，作經濟效益評估如下：

設 1 公噸 20°C 的水變成 100°C 之蒸汽，鍋爐效率為 83~84%，則所須之熱量為 740,000kcal，如 100% 使用煤炭，則產生每噸蒸汽之燃料費用為 143 元；如石油焦、煤炭各使用 50%，則產生每噸蒸汽之燃料費用為 123 元，節省之燃料費為 14%。以上計算，煤炭之發熱量以 6200kcal/kg，石油焦為 8200 kcal/kg 計算。而兩者之單價均為 1200 元/T。

六、法令規章

石油焦因含硫量較高為避免造成空氣汙染，因此行政院衛生署於七十五年二月六日以衛署環字第 57733 第公告。自七十五年六月一日起，未經申請主管機關之許可不得販賣及使用石油焦為燃料或原料。因此有意使用石油焦之業者者，請依該公告「三」「四」「五」條之規定辦理。茲摘錄其內容如下：

「三」公私場所，具有排煙脫硫設備，或燃燒製造過程中，本身具有脫硫作用者，得檢具有關資料向當地主管機關申請使用石油焦為燃料或原料。在三個月適用期間內應提出經中央主管機關認可之測定機構之指定項目檢驗結果，經審查合格者，或經主管機關測定合格者，給予許可使用石油焦為燃料或原料。

「四」公私場所以石油焦摻配其他燃料使用，所排空氣污染物能符合排放標準者，得檢具摻配燃料來源之資料，經中央主關機關認可之測定機構，所為之燃料分析結果及其他指定資料向當地主管機關申請許可。

「五」公私場所，領有有石油焦使用許可後，應於一個月內裝妥排煙脫硫設備之動力部分之獨立電表，或其他足以顯示有關設備正常運轉之裝置，並於六個月內，裝妥排氣之二氧化硫與氧氣監測及紀錄設備，報請當地主管機關查核，逾期，吊銷其許可。有關紀錄應保存三年，以備主管機關隨時查核。

鍋爐之化學清洗

(本會資料室)

一、前言

鍋爐鍋垢之形成，無論其水處裡如何好，均在所難免，只是每一個鍋爐其鍋垢成長率、量、成份，與分佈有所不同而已，鍋垢形成到某種程度，將導致壞損失，爐管過熱，破管、管材腐蝕、流體的壓差上升等嚴重後果，為確保鍋爐運轉安全及可靠，鍋爐熱交換器表面的清洗，在預防保養上是非常重要的，尤其鍋爐壓力越高，爐管的清洗更加重要，這有兩種顯著的原因：

1. 減少高壓運轉金屬材質的過熱。
2. 溶在爐水中的成分高溫時濃縮，當其沉澱堆積在鍋爐內將促進腐蝕。

早期小型的低壓鍋爐，能容易用機械方法清除，但難達鍋爐各角落及大部分的巡迴管路，現在的中、高壓鍋爐既不能用機械的方法清除，也不能作爐管內部全面檢查，故今日鍋爐的運轉維護人員具備化學清洗知識是絕對需要的。

二、化學洗淨目的

鍋垢 (Scale) 生成原因：

1. 補給水不良，不純物帶進鍋爐。
2. 鍋爐管材本身之氧化腐蝕
3. 鍋爐前端飼水系統設備管路腐蝕生成物之流進。
4. 爐水溫度上昇，水中溶解鹽類之溶解度減少。
5. 爐水溶解鹽類濃縮析出附著。

在低壓鍋爐，均勻且小量的沉積物是可容許的，但是爐管隨著時間慢慢劣化，管內大量沉積物的累積，將造成管子過熱，在高壓鍋爐微量的沉積物就會造成嚴重腐蝕的問題，使爐管在操作溫度限值下造成傷害。由經驗告訴我們，高壓高效率的鍋爐，定期清洗爐管表面是必須且值得的。

在製造與運轉過程方面，兩者之潛在問題，亦是造成沉積物的原因，鍋爐承受壓力應力的部分，在製造安裝及運轉皆須經熱處裡，尤其電焊或彎曲部分的應力在運轉前必須消除。碳或碳合金材質與高溫空氣接觸發生氧化，產生一層氧化膜 (mill scale)，除了電焊或彎曲的部分，一般都非常的薄，其厚度受溫度及金屬曝露於空氣中的時間長短而定，這種薄膜最初都是均勻的，冷卻後形成易碎的薄片，運轉後容易造成鍋爐表面腐蝕，高壓鍋爐在運轉前須先經酸洗，去除此表面腐蝕層，也一併除去裝機時在大氣中所形成的鐵鏽。

鍋爐開始運轉後，將陸續有大量的固體組分進入鍋爐飼水系統，溶解於水中之鹽類，則可藉沖放排出，而不能溶解的物質僅有部份可藉沖放除去，其餘部份則沉積在鍋爐表面，這些沉積物如不除去，經過一段時間後，將聚積至難以處理。以蒸餾水或除礦水供給鍋爐飼水，鍋爐沉積物的主要成份是氧化鐵銅和少量的鎳和鋅（這些成份由爐前飼水系統材質而定，控制爐前飼水系統的腐蝕，就能使前述成份減至最少，在高壓鍋爐水系統無論如何是不可能完全避免沉積物的形成，因此鍋爐運轉期間必須偶而化學清洗，這已成為公認的事實，就如大修維護工作一樣的被接受。

三、化學洗前資料調查與切管檢查

1. 資料調查目的，是為洗淨液之選擇，清洗時間之判斷與決定是否必要實施酸洗，調查項目如下：

- (1) 鍋爐形態（汽鼓或貫流式）、壓力、溫度蒸發量、容水量等。
- (2) 爐前飼水設備之材質、補給水量蒸發回收量等。
- (3) 爐管材質與管徑（包括內外徑及厚度）。
- (4) 運轉時間包括開始運轉至目前時間，與上次化學洗淨日期。
- (5) 鍋爐負荷（基載、滿載或變載）。
- (6) 使用何種燃料。
- (7) 鍋爐停機起動次數與停機時間，包括 96 小時或超過等。
- (8) 停機時檢查或維護情形。
- (9) 飼水及爐水處理方式，特別在起動時除氧方式或鍋爐有無隱藏（Hideout）現象。
- (10) 水質受汙染與其是洩入鍋爐情形。
- (11) 爐管腐蝕與鍋垢形成之情形。
- (12) 上次鍋爐檢察日期。

2. 切管時間與位子

- (1) 切管時間如下表：

爐壓	燃料	煤	煤油混燒	重油
80 kgf/cm ²		6 years	5 years	4 (2) years
120 "		5 "	3 "	3 (1) "
180 "		4 "	2 "	1 year
250 "		-	1 year	1 year

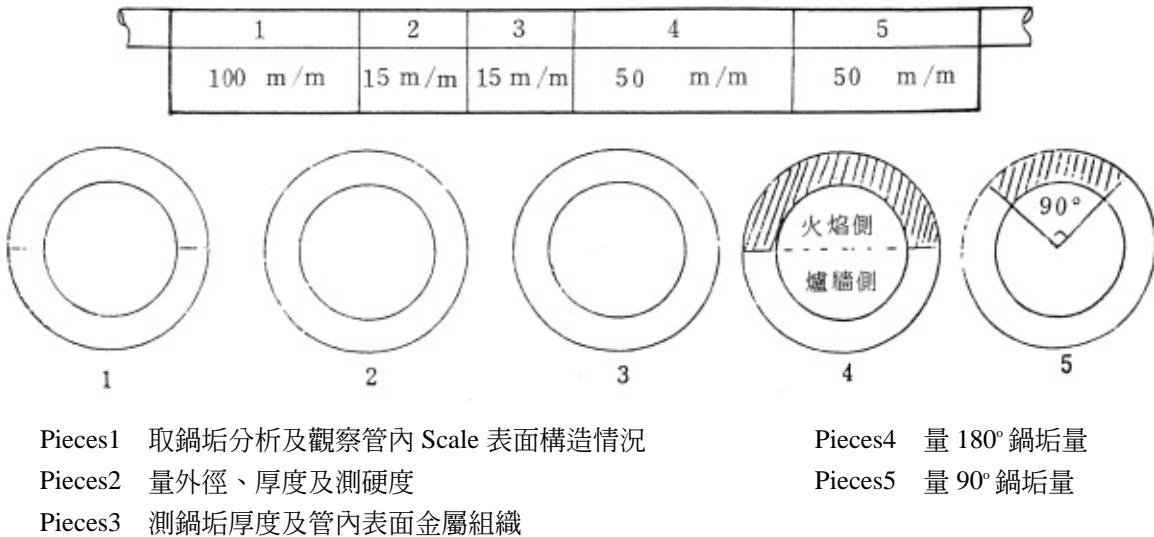
※重油括號內為貫流式（One Through）鍋爐。

- (2) 切管位置：①熱負荷高之位置如燃燒器附近。

- ②較易破管之彎管處（如 Arch Tube）。
- ③具有代表性位置。

3. 切管檢查及試驗

- (1) 鍋垢成分分析，如 Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , CuO , Al_2O_3 , NiO , N_2O , CuO , MgO , SiO_2 , PO_4^{-3} 等量。
- (2) 鍋垢厚度測試。
- (3) 鍋垢數量試驗。
- (4) 管內外徑測試（量管厚度）與其硬度、金屬構造組織等，如下圖。



4. 化學洗淨時期之決定

燃料	化學洗淨	爐壓	80kg/cm ²	120kg/cm ²	180kg/cm ²	超臨界壓 (Supercritical)
煤	必須洗淨			0.30-0.45 (90-135)	0.25-0.35 (75-105)	
	可以洗淨			0.25-0.35 (75-90)	0.20-0.25 (60-75)	
煤油混燒	必須洗淨		0.30-0.40 (90-120)	0.25-0.35 (75-105)	0.20-0.30 (60-90)	
	可以洗淨		0.25-0.30 (70-90)	0.20-0.25 (60-75)	0.15-0.20 (45-60)	
重油	必須洗淨		0.20-3.30 (75-105)	0.20-3.30 (60-90)	0.15-0.25 (45-75)	0.08-0.12 (24-36)
	可以洗淨		0.15-0.20 (60-75)	0.15-0.20 (45-60)	0.10-0.15 (30-45)	0.06-0.08 (18-24)

註 1 鍋垢厚度 m/m 鍋垢量 mg/cm² (括號內)

註 2 120kg/cm²&180kg/cm² 可應用在貫流鍋爐

四、化學洗淨劑之選用

化學洗淨的實施，須先在實驗室模擬試驗，以尋求清洗之最佳條件，如要運用各種技術在現現場鍋爐作試驗，再以累積的經驗與結果來作為溶劑的選擇，是不經濟而

且浪費時間，況且一般鍋爐運轉人員也不會允許，但是化學藥品的選擇往往受決定者的經驗及個人的喜好與偏見所影響。

鍋爐清洗最先是採用鹽酸，現在仍舊是最普遍的溶劑，可是鹽酸不但具有危險性，且對鍋爐易造成損傷，雖然更好的抑制劑與清洗技術不斷的研究開發，但酸洗的危險始終無法完全避免，稀薄的管材難免因清洗而造成損傷，因此酸洗應具備必要的知識，以了解最易損傷的區域及可能失敗的原因，為使酸洗的危險性減至最少，必須小心謹慎的計劃。

既然強酸可溶解氧化鐵，一些弱酸和鹼溶液亦能達到相同的效果，而這些溶劑於不能使用鹽酸清洗的材質顯得格外有效；例如鹽酸（或其他鹵素有關的酸）決不能清洗不銹鋼，因氯離子在壓力下是一種快速腐蝕的促進劑，洗液雖經中和後仍然會留存在裂縫或積在鍋爐裡面而引起壓力腐蝕碎裂，在這情況下，通常則選用較貴但效果較差卻安全性高的溶劑。

化學洗淨劑的選用，一般皆依鍋爐的材質與鍋垢的性質作決定，鹽酸用於碳鋼及普通鐵材，可洗出鐵、銅、鎳、鋅、鈣、鎂等垢，氨洗則可將銅、鎳等垢清洗出，氟化氫銨或氫氟酸用於洗矽垢，A.C.R (Alkaline Copper Removal) 洗銅、鐵、鎳、鈣、鎂等垢，另氫氧化鈉及磷酸三鈉洗油垢。

五、化學洗劑的種類

1. 酸洗：①無機酸：鹽酸 (HCl) 、硝酸 (HNO_3) 、硫酸 (H_2SO_4) 、磷酸 (H_3PO_4) 、氨基磺酸 ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$) 等。
- ②有機酸：檸檬酸 ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 、羥基乙酸或乙醇酸 Hydroxy Acetic Acid [$\text{CH}_2(\text{OH})\text{COOH}$] ，E.D.T.A (Ethylene Diamine Tatra Acetic Acid) 酒石酸 Tartaric Acid [$\text{C}_2\text{H}_2(\text{CH})_2(\text{COOH})_2$] 等。
2. 鹼洗：氨水 (NH_4OH) 、氫氧化鈉 (NaOH) 、碳酸鈉 (Na_2CO_3) 、磷酸三鈉 (Na_3PO_4) 。
3. A.C.R (Alkaline Copper Removal) EDTA-銨鹽 ($\text{NH}_4)_3\text{HEDTA}$ 。

六、化學洗淨處裡方法

1. 依洗淨液分一次、二次洗（鍋垢分兩個步驟洗，如先洗鐵再洗銅），升溫洗 (ACR) 。
2. 依脫垢方式分循環法（包括用泵及氮氣建立）、浸漬法、高壓噴液法。

七、化學洗淨前之準備

1. 實驗室模擬試驗

切下預洗爐管，綜合調查的資料與切管檢查的結果，選擇幾種配方、變化藥品濃度、洗液溫度、時間與流速等試驗，尋找一種腐蝕率低而能洗得乾淨之最佳配藥方與理想之條件，作為實際洗淨之依據。

2. 配管

化學洗淨液必須先在鍋爐外溶解，再飼入鍋爐，配管適宜與否，化學泵，循環泵使用時有無故障與管路有無洩漏，都直接影響洗淨效果。

3. 試片製造

以原爐管材質切斷，車製 $30 \times 50 \times 5\text{ m/m}$ (管材太薄時，鎔平熱處理)，研磨至表面無痕跡且光亮。

八、化學洗淨種類及程序

1. 新機鍋爐前端飼水系統

工程	使用藥名	分析項目	判斷基準	備註
水洗	N_2H_4	N_2H_4 濁度	濁度、汙泥	N_2H_4 50-100 PPM
鹼液洗淨	Na_2CO_3 $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 界面活性劑	PH 鹼性度 PO_4^{3-} 油脂 濁度	油脂濁度 >一定	80°C 12Hr. Na_2CO_3 0.1-0.2% $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 0.1-0.2% 界活劑 0.05%
溫水洗	N_2H_4	N_2H_4 濁度 PH	濁度	N_2H_4 100 PPM

2. 新機鍋爐 (汽鼓式、管材為碳鋼)

工程	使用藥品及濃度	分析項目	判斷基準	備註
鹼性煮爐	NaOH 0.1-0.2% Na_2CO_3 0.1-0.2% $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 0.1-0.2% Na_2SO_3 0.02% 界面活性劑 0.05%	PH 鹼性度 PO_4^{3-} SO_4^{2-} 濁度、油脂 SiO_2	油脂濁度 >一定	10-21 kg/cm ²
預熱				70°C
酸液洗淨	$\text{HC}\ell$ 5.0% Inhibitor 0.5%	$\text{HC}\ell$ $\text{Fe}^{+++}\text{Fe}^{++}$	Fe^{++} 一定	60°C 6Hr. 尚加鍋垢促進劑
溫水洗		pH T-Fe	pH 5	45-60°C
中和準備	檸檬酸 ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 0.1%	pH T-Fe		1-2 Hr. 40°C
中和防銹	NH_4OH 0.1% N_2H_4 0.05%	H N_2H_4	pH 9.3	65-80°C 2-3 Hr. 可用 NaNO_2 0.5% 防銹
熱水洗	N_2H_4 100PPM	pH N_2H_4	濁度	3-5 kg/cm ²

5. 舊機鍋爐（汽水鼓）一次洗

工程	使用藥品及濃度	分析項目	判斷基準	備註
酸液洗淨	鹽酸 (HCl) 5.0% 抑制劑 (Inhibitor) 0.5% 硫尿素 ($(\text{NH}_2)_2\text{CS}$) 0.5-1.2% 四氮六甲圜 ($(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$) 0.02-0.1% 氟化氫銨 NH_4HF_2 0.5-1.0% 硫氰化銨 NH_4CHS 0.05-0.1%	$\text{HC}\ell$ $\text{Fe}^{++}\text{Fe}^{+++}$ $\text{Cu}^{++}\text{Ni}^{++}$	$\text{Fe}^{++} > \text{一定}$ Cu^{++}	60-65°C 6-7 Hr.
溫水洗		pH T-Fe Cu ⁺⁺		
中和準備	檸檬酸 ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 0.1%	pH T-Fe		40°C 1-2 Hr.
中和防銹	氨水 (NH_4OH) 0.1% 聯胺 (N_2H_4) 0.05%	pH N_2H_4	pH > 9.3	60-80°C 1-2 Hr. 可用 NaNO_2 0.5% 防銹
熱水洗	N_2H_4 100PPM	pH N ₂ H ₄	濁度	3-5 kg/cm ²

6. 舊機貢流鍋爐（管材為不銹鋼）

工程	使用藥品及濃度	分析項目	判斷基準	備註
鹽酸洗淨	HO CH ₂ OH 羥基醋酸 Hydroxy Acetic Acid 2-3% Ibit 30A 0.3-0.5% NH_4HF_2 0.5-1.0% $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ 0.5-1.0% 還原劑 0.1% pH 3-4	pH $\text{Fe}^{++}\text{Fe}^{+++}$ Cu^{++} SiO_2	$\text{Fe}^{++} > \text{一定}$ SiO_2	80~90°C
溫水洗		pH T-Fe		
中和準備	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 0.1%	pH T-Fe		
中和防銹	NH_4OH 0.1% N_2H_4 0.05%	pH N ₂ H ₄	pH > 9.3	65~80°C
熱水洗	N_2H_4 100PM	pH N ₂ H ₄	濁度	3-5 kg/cm ²

7. A.C.R 洗（升溫洗）

工程	使用藥品及濃度	分析項目	判斷基準	備註
除鐵工程	V-675 8-8.5% $(\text{NH}_4)_3\text{HEDTA}$ A-175 0.2-0.4% 抑制劑	pH V-675 $\text{Fe}^{++}\text{Cu}^{++}$ $\text{Ni}^{++}\text{Zn}^{++}$	Fe^{++} 一定 E.M.F. -360~ -440mV	先加 NH_4OH pH>9.3 120~150°C V-675>2%
除銅及防銹工程	V-675 1-2% pH9.3-9.4	pH V-675 $\text{Fe}^{++}\text{Cu}^{++}$	Cu^{++} 一定 E.M.F -200~ 240mV	71°C Air Flow 200-280 CFM 可加 NaN_2 協助防銹
排放	N ₂ Sealing			N ₂ Press. 2.4 kgf/cm ² (底樓) 0.4 kgf/cm ² (Drnm)
熱水洗	N_2H_4 100PPM	pH N ₂ H ₄		60°C 以上

九、化學洗液分析與洗淨判斷

1. 洗液分析

(1) 氨洗中銅離子測定

- ① 取 Sample 50ml 於 250ml 燒杯中。
- ② 以 HCl (1:1) 或 10% 醋酸銨調整 pH 至 2.5。
- ③ 加 Dotite-Pan 指示劑 2-3 滴以 0.05M EDTA 滴定至紫紅色變黃色為止（天藍色變綠色）。

計算： $\text{Cu PPM} = \text{EDTA ml}$

$$\text{數 } Xf_{\text{EDTA}} \times 3.177 \times \frac{1000}{50}$$

$$= \text{EDTA ml 數 } Xf_{\text{EDTA}} \times 63.54$$

(2) 氨洗中鎳離子測定

- ① 取 Sample 50ml 用 (1:1) HCl 或 50% 醋酸鈉調整 pH=3 後加熱煮沸。
- ② 滴加 20% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液適量變色後再加 2-3 滴。
- ③ 加 0.05M EDTA 10ml 攪拌後靜止 4-5min。
- ④ 以 50% 醋酸鈉調整 pH=5.5 後加指示劑 (Xylenol, Orange) 數滴。
- ⑤ 以 0.05M ZnCl_2 滴至赤紅色止。

計算： $\text{Ni PPM} = (0.05M \text{ EDTA} \times f - 0.05M \text{ ZnCl}_2 \times f) \times 58.71$

(3) 酸洗中鐵離子測定

A Fe^{+++} ① 吸取 10ml 試水於燒杯中 (必要時過濾)。

- ② 加純水 50ml 以 (1:1) HCl 或 20% 醋酸銨調整 pH=22 ± 0.2。
- ③ 加 4-5 滴 10% Sulfosulicylic Acid 指示劑。
- ④ 以 0.05M EDTA 滴定至紅色消失為止。

計算： $\text{Fe}^{+++}\text{PPM} = 279.25 \times \text{EDTA ml 數} \times f$

- ① 將上面 Fe^{+++} 離子滴定後之溶液之 Fe^{++} 氧化為 Fe^{+++} 。
- ② 以 0.05M EDTA 滴定至暗紅色消失為止。

計算： $\text{Fe}^{++}\text{PPM} = 279.25 \times \text{EDTA ml 數} \times f$

(4) 酸洗中銅離子測定

- ① 取 10ml 試水注入三角燒杯中加濃 HNO_3 1~1.5ml，加熱煮沸 2min. (棕色煙趕快)。
- ② 加尿素 20% 5ml 再加熱煮沸以 NH_4OH (1:1) 中和使略生褐色沉澱為止。
- ③ 加氟化氫銨 25% 10ml 混合均勻冷卻。
- ④ 加 KI (50%) 5ml 先以 N/20 硫代硫酸鈉滴定至橘黃色稍微淡黃色，再加 3 滴溴粉指示劑以 N/20 硫代硫酸鈉滴定至藍色消失變無色為止 (試加 10% 4ml KCNS 仍為藍色應續滴定)。

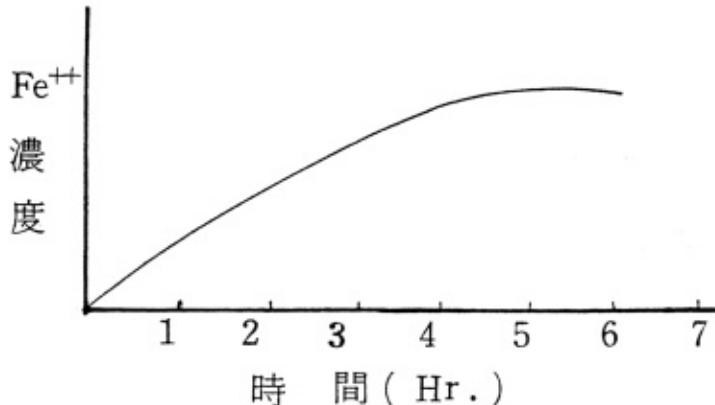
計算： $Cu\ PPM = N/20 \ Na_2S_2O_3\ ml \times f \times 318$

(5) 酸洗中鎳離子測定

- ① 取 Sample 50ml 加 (1:1) NH₄OH 使成沉澱後加熱煮沸。
- ② 先以 5A 濾紙過濾以 (1:1) NH₄OH 洗濾紙殘渣，濾液再以 5C 濾紙過濾。
- ③ 濾液以 (1:1) HCl 或 50% 醋酸鈉調整 pH=3 後加熱煮沸。
- ④ 滴加 20% Na₂S₂O₃ 約 0.5c.c.。
- ⑤ 加 0.05M EDTA 10ml 攪拌後靜止 4-5min。
- ⑥ 以 50% 醋酸鈉調整 pH=5.5 後，加指示劑 (Xylenol Orange) 2-3 滴。
- ⑦ 用 0.05M ZnCl₂ 溶液滴定變赤紅色為止。

計算： $Ni\ PPM = (0.05M\ EDTA\ ml \times f - 0.05M\ ZnCl_2\ ml \times f) \times 58.71$

2. 洗淨判斷



正常洗淨之時間大約為 6 小時左右，除考慮抑制劑抑制效果時間外，尚須考慮 Fe⁺⁺, Cu⁺⁺溶出濃度之飽和現象。

十、化學洗淨後處理（中和防誘）

1. 化學洗淨後水洗至 pH < 8 Cu < 5 PPM (氨洗)，pH > 5 Fe⁺⁺ < 20 PPM, Cu < 5 PPM (酸洗)
2. 加檸檬酸再洗管內之殘留鍋垢，時間約 1-2 小時。
3. 加氫氧化銨 (NH₄OH) 中和，pH > 9.3 時間約 1-2 小時。
4. 加聯胺 (N₂H₄) 後溫度上昇 70-80°C 開始防誘工作，如加亞硝酸鈉 (NaNO₂) 溫度上升至 65~90°C。時間約 2-3 小時，中和防銹後排放即工作完成。

十一、化學洗淨後檢查

1. 切管檢查洗淨效果或防銹程度。
2. 試片 (Test Pieces) 處理稱重計算腐蝕率 (mg / cm² Hr.)。

從設計改進燃燒效率

(本會資料室)

一、燃燒器 (BURNERS)

(一) 燃燒效率 (Combustion Efficiency)

有些人或許會認為混合燃料與空氣的燃燒器，在設計上已有高度發展的技術。而且，使用者確信可以買到好燃料能完全燃燒的優良產品。但是，事實並非如此。吾人熟知的良好燃燒的三 T 因素：時間 (Time)、溫度 (Temperature)、擾動 (Turbulence)，是在性質上說明燃燒器而不是在數值上。

至於何者構成燃燒器的性能，由於買方與賣方的見解不同而使問題複雜。當一個人購買燃燒器時，可由載明的數值標準來克服這個問題。其中一項標準就是燃燒效率，亦即燃燒的完全性 (Completeness)。

但是，這僅是一個起點。除非購買者在燃燒器安裝後測試它，否則無法得知銷售者的性能保證是否達成。如果燃料沒有完全燃燒，便造成浪費。基本上，決定燃燒器性能的好壞，可以使用手提式的或永久性的燃燒分析器，測定未燃燒的成分，如一氧化碳或其他可燃物。圖 1 顯示不完全燃燒所造成的浪費。

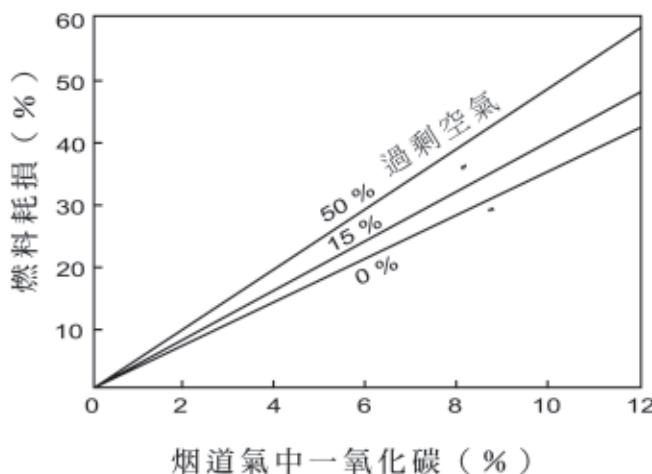


圖 1 一氧化碳的存在即造成燃料耗損，二二氧化碳的百分比是以乾基準冊定。

(二) 滯留時間對漩渦 (Residence Time Versus Swirl)

長久以來，吾人已很習慣地認為燃燒氣體停留在爐內的時間（滯留時間），是一項良好燃燒的重要標準。通常，此一滯留時間又以燃爐之熱量釋放率的等值來表示，其單位是 $\text{Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{hr}$ 。此亦是認定良好燃燒三 T 因素的第一項：時間。由於燃燒器的發展與工程人員技術的提升，已經明顯的知道：燃燒器的燃氣滯留時間或熱量釋放率，

可以由許多因素之一來改變。不良的燃燒器在形成火焰焰柱時，只有 $10,000 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{hr}$ 的熱量釋放率，而某些高性能的燃燒器卻可以達到 $10,000,000 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{hr}$ 的熱量釋放率。

由於最好的燃燒器有最高的熱量釋放率。因此，指定長的滯留時間作為完全燃燒的標準，就變成不智之舉。最好的標準是燃燒器的漩渦係數（Swirl Number），也就是擾動的數值表示。在此，吾人又要面對一些問題。因為，只有少數的賣主能夠提出燃燒器的漩渦係數。在燃氣、燃油或粉煤燃燒器的調節器中，燃燒用空氣的軸向旋轉（或稱漩渦）是供給空氣從風箱到燃爐之壓力降的函數。此壓力降可作為漩渦係數的指標，但是並非絕對可靠。因為，一個好的燃燒器，其良好設計之空氣動力的通道，可以在較低的壓力降下產生較佳的漩渦。而不良設計的燃燒器，其流動限制卻只會造成磨擦損失。一般而言，吾人可以預期有較高壓力降的燃燒器會有較好的性能，其範圍的 $10 - 30$ 英吋水柱。雖然，這種燃燒器很有效用，但是，它們的優點並不被廣泛地接受。然而，由於燃料成本的上漲與燃燒器性能的嚴格評估，高壓力降的燃燒器將被普遍地採用。

(三) 低過剩空氣 (Low Excess Air)

以低過剩空氣燃燒的觀念，目前正逐漸被接受。除非燃燒器用於直接加熱，否則超量的過剩空氣只會造成更多的顯熱排至大氣中。圖 2 與圖 3 顯示因過剩空氣所造成的燃料損失。完全燃燒所需要的過剩空氣量因設計而異。有高漩渦係數的燃燒器在理論空氣量的條件下可以獲得高燃燒效率，而設計不良的燃燒器則可能需要 75% 的過剩空氣，才能獲得相同的燃燒效率。所以，在大多數的應用與節約能源的觀點上，以低過剩空氣運轉得到高燃燒效率是最效益的。

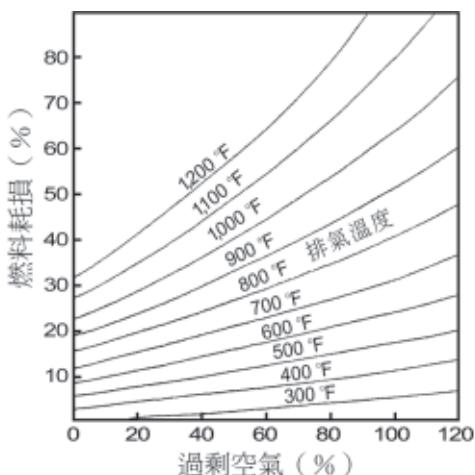


圖 2 天然氣節省比例圖

以 CH_4 燃料在 300°F 與 0% 過剩空氣時為準。
依乾氣基準，過剩空氣 = $90 (\text{O}_x / 21\text{O}_x)$ ，節省比例由減法求出。
基準效率 = 84.37%

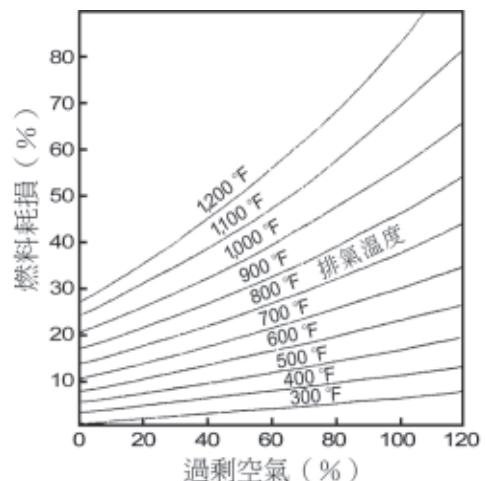


圖 3 燃料油節省比例圖

以 C_4H_9 燃料在 0% 過剩空氣與 300°F 時為基進。
依乾氣基準，過剩空氣 = $94.5 (\text{O}_x / 21\text{O}_x)$ ，節省比例由減法求出。
基準效率 = 89.92%

(四)負荷調整率

通常，賣方在廣告上都會吹噓其燃燒器有很大的負荷調整範圍。同樣地，買方在訂購時，也會指定大負荷調整範圍的燃燒器。圖 4 表示一種性能相當高的燃燒器之性能曲線。當負荷調整率超過 3:1，在低過剩空氣時，燃燒器的性能則變得很差。這是因為空氣的流量是壓力降的平方根函數。當以 $1/3$ 的容量運轉時，壓力降祇是全容量時的。很明顯的，漩渦或者說擾動將會很小。一般而言，如果在低過剩空氣時要測定燃燒器的有效性能，使用固定輪葉式調節器者，無法在負荷調整率超過 3:1 的情況下運轉。在低負荷時，改變燃燒器的數量比擴大單一燃燒器的負荷率更有效益。

(五)霧化 (Atomization)

燃油燃燒器需要將油霧化才能與空氣均勻混合。重油的黏度通常以加熱來降低，才能有較微小的霧化。其效果隨著霧化媒質（蒸氣或者壓縮空氣）能量的增加而提高。超音波裝置能將燃油霧化至極微小。由於霧化媒質代表能量的供給，超過需要量便是浪費。事實上，如果霧化得太細，反而會形成細雲團，使低漩渦的空氣很難穿入混合。當低硫重油首次引入東海岸時，許多操作員發現必須降低油溫，才能保持有效的燃燒。事實上，他們都是減少燃油的霧化程度，使較大的油滴與低漩渦空氣能有較好的混合。

霧化的方式是機械式的，可利用蒸氣或壓縮空氣。其方法有經過孔口的壓降法或使用迴轉杯法。但是，後者已漸不受採用，主要是因為此法需要高過剩空氣以補償不良的霧化。

為了 3:1 的負荷調整率，壓力式霧化須將油壓提高至 900 psi 左右。這是最有能源效率的霧化方法，也是使用大型燃燒器時必須考慮的。蒸氣式與空氣式霧化的成本，依能源價格而定。然而，以霧化特性而言，空氣是較有利的，每個工廠必須評估本身的情況。如果使用空氣，壓縮機必須控制到所需的壓力即可，通常是 35 psi。

(六)穩定性 (Stability)

燃燒火焰的穩定性是藉著火焰穩定器或加強火焰來達成。以高過剩空氣燃燒時，可能需要使用低漩渦的燃燒器，或者在燃燒焰柱形成後，引入二次空氣與燃燒生成物混合。為了穩定性的理由，大漩渦的燃燒器不能用於超過 50% 過剩空氣的情況。如果過量的空氣引入高過剩空氣的燃燒器，將會因為良好燃燒的第二個 T 值，即溫度太低而造成不完全燃燒。

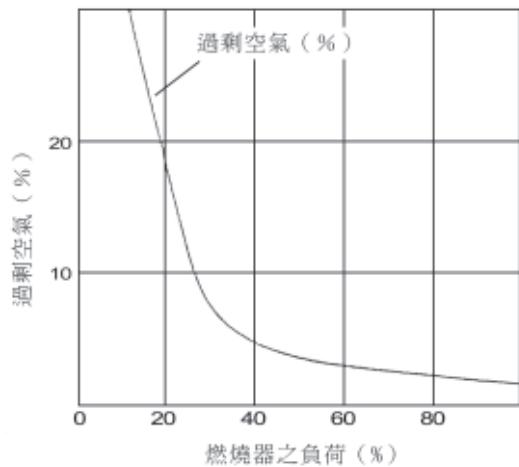


圖 4 高性能燃燒器典型的性能曲線

二、燃爐 (FURNACES)

(一) 直焰式燃爐 (Direct-Fired Furnaces)

在直焰式燃爐中，燃燒生成物與被加熱的流體互相混合。如果此流體是空氣的話，則燃燒效率是很重要的。為了避免燃燒生成物的熱流層化，大都在燃爐中加上混合裝置的泵送能量須比高漩渦燃燒器的低些。圖 5 是一種應用空氣至加熱器的燃爐簡圖。

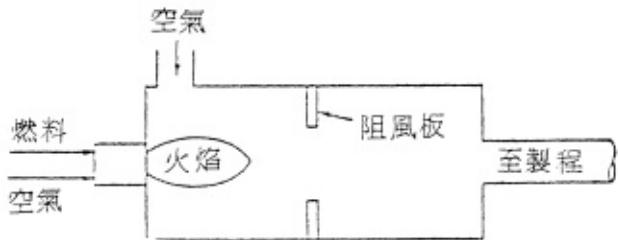


圖 5 附有阻風板的空氣預熱器

(二) 輻射與對流熱傳式燃爐 (Furnaces for Radiant and Convective)

當增進熱傳效率的因素在設計時考慮在內，此型式的燃爐一定可以發揮最大的效用。逆向流、最大燃爐溫度、最小熱損、與均一熱流，都是影響效率的因素，而且直接由設計上決定。

(三) 廢物處理燃爐 (Waste-Disposal Furnaces)

廢物處理燃爐通常都是用來減少廢物的體積與轉變有害物質的毒素或變成較易處理的物質。如果減少體積是主要任務，則燃燒效率是重要的，如果轉變物性是主要任務，則化學反應的完全程度是控制的因素。碳氫物氯化的焚化爐即為後者之實例。熱力學上的研究顯示，在高溫與低過剩空氣的情況下，HCl 的成分最多而游離的 Cl₂ 則最少。這是一項重要的設計標準，因為 HCl 能夠容易地用水清洗，而游離的 Cl₂ 則很難從燃燒氣體中去除。

即使燃爐的主要工作是處理廢物，但是通常須考慮使用廢熱鍋爐、空氣加熱器或其他設備，以進行熱回收工作。廢物處理燃爐通常需要輔助燃料，如能審慎地設計，燃料的消耗可降至最低。

三、燃料 (FUELS)

(一) 燃燒熱值 (Heat of Combustion)

廣義地說，任何物質能夠氧化即可視為燃料。煤、石油、或天然氣等燃料的燃燒熱值都是吾人熟知的，燃燒熱值又分高熱值 (HHV) 與低熱值 (LHV) 或稱高發熱量與低發熱量兩種。所謂高發熱量係包含燃燒氣體中水蒸氣冷凝時所放出之能量；低發熱量則不包含。在美國，通常都採用高發熱量來決定熱效率；在歐洲則採用低發熱量。

發熱量的計算都先假設燃料的成分固定，而且，燃燒每一摩爾 (mole) 氧所產生的 HHV 是 184,000 btu。例如，天然氣的成分可假定是 CH₄，2 號燃油是 CH₂，6 號燃油是 C₄H₆。因此，2 號燃油的發熱量可估算如下：

$$\text{HHV} = 184,000 \times 3/2 = 276,000 \text{ Btu / lb-mol}$$

$$= 276,000/14 = 19,714 \text{ Btu / lb}$$

$$\text{LHV} = [276,000 - (1 \times 18 \times 1030)]/14 = 18,390 \text{ Btu / lb}$$

其中，14 是 CH_4 的分子量，18 是 H_2O 的分子量。同時，1030 Btu / lb 是水蒸氣的能量。

(二) 水分含量 (Moisture Content)

通常在固體與液體燃料中都含有水分，而且，當燃料中的氫素燃燒時，也會形成附加的水分。這些水分只會造成較大的熱損失。例如，在極端的情況下，一整車的冷凍煤在送至燃料艙之前，大約須耗用一半的能量來解凍與卸貨。所以覆蓋車、儲槽、或加入添加物處理系統等的設計，用來防止固體冰塊的形成，可以避免嚴重的熱損失。

水分在燃爐中必定會吸收燃料的熱量而蒸發或過熱。而且，離開燃爐時，便帶走顯熱與潛熱。每一磅水進入燃爐大約造成 1500 Btu 的熱損。燃爐以 50% 的過剩空氣運轉與排氣溫度在 180°F 時，熱損失約 4500 Btu / lb。

液體燃料儲桶可以適當地配置使揮發所產生的凝結水降至最低。油桶亦能夠予以加熱後，而將沉降的水抽出。一般流行的措施是將水與燃料乳化，然而實際上所造成的損失遠超過任何可能獲得的利益——不論是好的操作條件，或是使用好的燃燒器。

(三) 灰分含量 (Ash Content)

設計高效率的燃爐必須考慮燃料中灰分的含量。如果，輻射式熱交換的表面被一層灰包覆，其效率變得極差。同樣地對流式熱交換器的效率也是會受到熔融的灰分所影響。當燃料的灰分含量多時，必須知道其軟化點（熔化溫度）。同時，燃爐須在此溫度以下運轉，使灰分以固體粉狀排出。為了避免灰分的不良影響，採取的措施有二：一為增加輻射式熱交換面積，以冷卻排氣溫度在灰分的熔化點以下；另一為增加過剩空氣量，以冷卻排氣溫度。依節約能源的觀點，較好的方式是選擇前者。

但是，即使灰分是乾粉狀還是很容易累積在對流式熱交換管排上。對於乾淨的氣體，鰭管與交錯排列的管有較高的熱傳係數。但是，當燃燒氣體不乾淨時，採用直列式管排在交叉流熱交換的效率較佳。如果使用鰭管，必須加大鰭片的間隔，以保持其傳熱效果。燃料為重油時，鰭片間隙通常在 $1/4$ 英吋以上。

四、構造 (CONSTRUCTION)

(一) 爐壁 (Walls)

爐壁影響能源節約的效果有兩種情況，好的爐壁氣密性佳且可防止熱量流失。如果爐壁氣密性差，則會造成外氣滲入爐內或燃燒氣體外洩。空氣滲入爐內時，過多的熱量會自煙囪排出；燃燒氣體外洩時，會使絕緣材料過熱而破壞其有效性，或者因腐蝕性氣體接觸金屬外殼而將其毀壞。在高硫燃料燃燒的地方，而且燃爐內是正壓時，

最好防止雨水滴到金屬的外殼。

一般爐壁的設計都有最小的熱流阻力。表 1 列出耐火材料的絕熱值與溫度極限，表 2 則為外殼材料的絕熱值與溫度條件。圖 6 顯示同樣熱損失卻不同設計的兩種爐壁。如果燃爐的溫度較低，爐壁愈輕愈好。如果耐火材料用得較少，而絕熱材料用得多，必須注意核對界面溫度，確定其不超過允許溫度。

有時候，爐壁是用來作為燃爐結構的構件。即使不是，在遇到不正常的操作時，亦必須能夠承受壓力。圓筒形燃爐採用碟形頭端是較有利的。因為如此，可以使耐火材料保持受壓縮的狀態，不但能增加其壽命而且可以抵抗壓力激變。

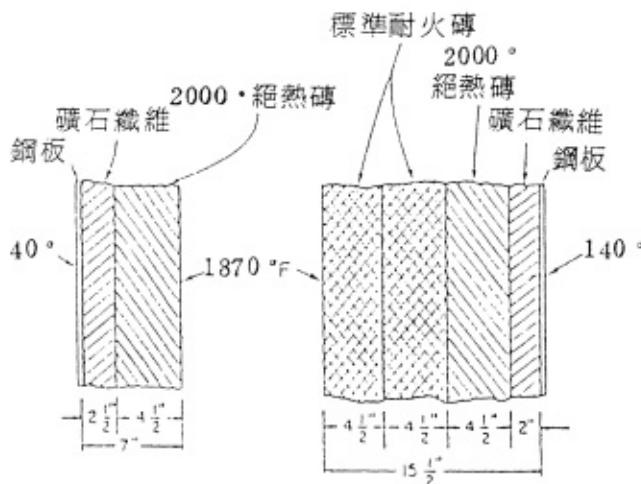


圖 6 相等熱傳之輕型與重型爐壁

表 1 耐火材料之絕熱阻抗

耐火材料	最大溫度 (°F)	R 值 ($\frac{\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot{}^{\circ}\text{F}}{\text{Btu}\cdot\text{in.}}$)
耐火矽酸鈦磚	3,100	0.08
90% 氧化鋁耐火磚	3,000	0.09
超級耐火磚	2,700	0.10
標準耐火磚	2,400	0.11
高溫可鑄性	3,100	0.14
塑膠耐火材料	2,800	0.18
標準可鑄性	2,800	0.20
絕熱磚	2,800	0.40
絕熱磚	2,600	0.60
絕熱可鑄性	1,800	0.65
絕熱磚	2,300	0.90
絕熱磚	2,000	1.00
絕熱磚	1,600	1.20
礦石纖維	1,700	2.00

表 2 外殼熱阻

外殼條件	外殼溫度 (°F)	Rt 值 ($\frac{\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot{}^{\circ}\text{F}}{\text{Btu}}$)
鋼板塗上非金屬漆	140	0.22
相同	400	0.24
鋁板或鋼板塗上金屬漆	140	0.385
相同	400	0.40

(二) 热交換器的排列 (Arrangement of Heat Exchangers)

最有效的傳熱面是排列在爐壁上的高溫輻射面。在最近大力強調節約能源之前，通常可以發現燃爐完全依賴輻射傳熱面。但是，由於燃爐尺寸與佔用面積的限制，為了減少燃燒氣體的溫度，以防止高熱損，基本上都是增加對流傳熱面。

輻射傳熱面的總熱傳係數約在 15 至 30 Btu/ft²-hr-°F 之間，而相對之下，對流傳熱面卻在 1.5 至 5 Btu/ft²-hr-°F 之間，其成本效益當然也較差。有許多燃爐需要四倍的對流傳熱面才能吸收輻射傳熱面的一半熱量。輻射傳熱區必須如單元 3 所說的要點審慎地設計，才能發揮其最大潛能。同樣地，對流傳熱區亦須使其傳熱最佳化。顯而易見地，最佳的設計包括：儘量增加傳熱面；採用交叉流取代縱向流；使用高速度所造成的壓力降來增加氣體側的傳熱係數；以及選用最大溫度差的排列方式。

對流傳熱區包含有流體者，通常都稱為節熱器 (Economizers)。如果，輻射傳熱區的流體，能夠在節熱器中加熱，那是最好不過。但是，最重要的一點，必須小心防止因節熱器中發生蒸發現象而造成的降流 (Downflow)。如果此流體不適於用在輻射傳熱區，通常都是在對流傳熱區加熱其他流體，供給其他製程用。有些型式的氣體對液體節熱器或對流傳熱面，必須用來減少燃爐的排氣溫度至某種程度。但是，實用上都是使用氣體對氣體熱交換器。其型式通常是燃燒用空氣預熱器，而且常見的型式大都為蓄熱式 (Regenerative type)，如圖 7 所示。



圖 7 蓄熱式空氣預熱器

五、控制 (CONTROLS)

(一) 空氣燃料比控制 (Controlling Air-Fuel Ratio)

為了節省能源，燃燒器都裝上自動的空氣燃料比控制器。如果不這樣做，為了安全起見，至少要裝上手動的控制器。然而除了最極端的負荷外，這種控制方式會造成無效率的運轉。空氣燃料比控制器的兩種基本型式是定位式 (Positioning) 與定量式 (Metering)。如果能夠適當地應用，任一種型式都很有效。圖 8 說明定位式控制系統，藉著保持通過百葉式擋板的壓差固定，以控制空氣量。擋板有線性變化的特性，而與送風機或燃爐無關。燃料量則是藉著保持通過凸輪操作式閥的壓差固定，以控制其量。在起動時，燃料控制凸輪必須小心標示以配合空氣擋板。這種定位式系統是簡單、廉價與容易維護的。

圖 9 說明一種簡單自行驅動的定量式控制系統。燃燒器本身即是用來作為燃燒用空氣的定量孔口。使用氣體燃料時，空氣施於燃燒器的壓力使燃料成比例的通過相似的孔口，並保持相同的壓力。使用液體燃料時也是一樣，只是保持較高的壓力。許多複雜的系統可用在大型燃爐，其節省燃料的效益足可抵消昂貴的成本。上述的兩種系統非常適合小型燃爐，約使用 10-15% 的過剩空氣，所獲得的能源節約超過手動操作者。

(二) 氧氣回饋 (Oxygen Feedback)

定位式或定量式控制都不可能計算燃爐燃燒器系統中的所有變數。隨著入口空氣溫度、濕度、與氣壓的變化，送風機所輸送的燃燒用空氣量亦改變。燃料的供給隨著黏度、比重、發熱量、與溫度而改變。為了計算這些變數與在低過剩空氣下操作，必須使控制回路密閉。因為惟一的辦法便是分析燃燒生成物。過去， CO_2 曾經是偵測的對象，現在則以氧氣為主。

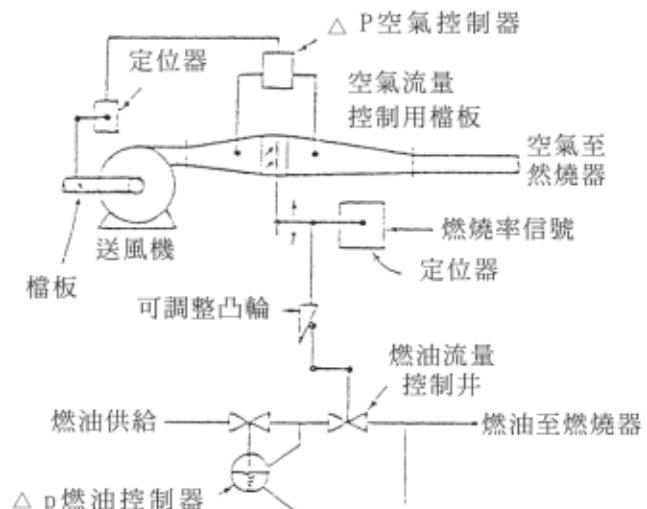


圖 8 定位式控制

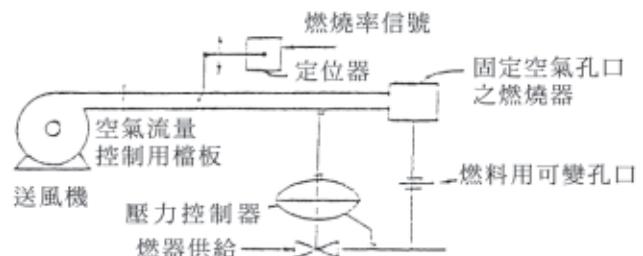


圖 9 定量式控制

過剩空氣與 O₂ 的比例關係如下

$$\text{過剩空氣比} = K \left(\frac{O_2}{21 - O_2} \right) \%$$

而 K 值是：天然氣 90，燃料油 94，煤炭 97。O₂ 的體積是歐氏（Orsat）分析器的乾氣標準。

使用氧氣分析器，取樣延遲是不可避免的，但是其作用主要是調整空氣燃料比，而不是直接地控制空氣或燃料的流量。從空氣燃料比的調整，經過燃燒器，燃爐，取樣系統，與分析器到控制線路，大約有 10 秒以上的延遲時間。因此校正動作必須緩慢，但是這並不是問題，因為需要調整氧氣的許多因素，並不必要快速地改變。為了最佳的能源節約，氧氣的調整是必需的。

(三)多數燃燒器的平衡 (Balancing Multiple Burners)

燃爐使用多數燃燒器時，想要將過剩空氣降至最低程度遠較使用單一燃燒器時困難。對每一個燃燒器，燃料與空氣必須調整相同的比率，或者全部燃燒器的火焰必須完全地混合，而在燃爐中形成單一的火焰。因為氧氣含量是所有燃燒器的共同成分，當多數燃燒器平衡時其值很小。所有的空氣調節器必須有壓力控制開關與可調的擋板，如此才可能設定均勻的空氣流量。燃油燃燒器必須有用來測量差量的固定孔口，以使燃油流量均勻的分配。除非系統中將這些特性設計在內，否則，即使使用最好的燃燒器，也不可能以低過剩空氣的條件來操作。

六、通風 (DRAFT)

(一)自然通風 (Natural Draft)

燃爐中氣體的流通是利用其煙囪所造成大氣的壓力差來驅動的。自然通風有其限制，同時隨著大氣壓力，溫度，與濕度而有很大的改變。而且，也無法達成最佳的能源使用效率。

(二)強制、抽氣與均衡通風 (Forced、Induced and Balanced Draft)

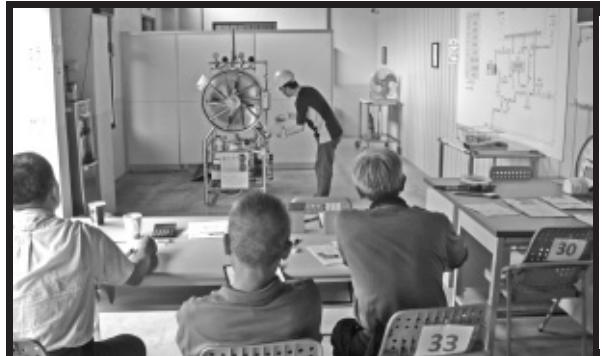
利用機械式傳動的送風機，其驅動空氣與燃燒氣體的能力遠大於自然通風。使用此種通風方式，可以減少燃爐對於大氣情況的敏感性。並且可以使用較高漩渦係數的燃燒器。一般而言，單獨的強制通風比單獨的抽氣通風理想。因為，強制通風所需的馬力較少，而且可以提高爐內壓力，減少空氣的滲入。如果低壓情況可以改善運轉性能，例如乾燥過程，則最好單獨使用抽氣通風。如果由於過大的爐壓而不能單獨使用強制通風，可以加裝抽氣通風的風車，使爐壓維持接近大氣壓力，這就是所謂的均衡通風運轉。

即測即評及發証

當天考照 現場取証



▲固定式起重機操作



▲第一種壓力容器操作



▲電腦學科測試



▲當天現場取証

專業、落實

品質、服務

-----台灣省鍋爐協會附設職業訓練中心-----