

# 特種機械設備安全

SAFETY OF SPECIAL MACHINE AND EQUIPMENT

1991-5 創刊 2019-2 出刊

雙月刊 第58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 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  
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

國方化工科技股份有限公司  
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  
大井泵浦工業股份有限公司  
岱洋股份有限公司  
金瑛發機械工業股份有限公司  
台灣紳藝實業有限公司  
興志五金企業有限公司  
天鴻興業有限公司  
潔康企業有限公司  
宏榮鋼瓶股份有限公司  
志豪工業有限公司  
威鼎企業有限公司  
吾豐機電廠股份有限公司  
原欽峰工業有限公司  
辰鼎企業有限公司  
增大股份有限公司  
東立鐵工廠  
申昌機械股份有限公司  
瀟羽有限公司  
正熊機械股份有限公司  
霖興機械工業股份有限公司  
能光興業股份有限公司

# 目錄

## CONTENTS

### 會務訊息

★產業人才投資計畫在職進修課程訊息 ..... 2

### 技術報導

★鍋爐低 NO<sub>x</sub> 燃燒與空燃比技術探討及  
成本效益分析 ..... 3  
★日本壓力容器事故情報 ..... 16  
★一起工業鍋爐缺水乾燒事故分析 ..... 23  
★密度法測定鍋爐水的溶解固形物 ..... 27

### 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

## 產業人才投資計畫在職進修課程 - 開班囉

▶ 甲種職業安全衛生業務主管訓練班 ◀  
▶ 架空式三公噸以上固定式起重機操作人員 ◀



訓練費政府補助  
80% ~ 100%

名額有限，錯過可惜。（課程代號：甲種 122690、起重機 122691）

本會為服務各界廠商，結合勞動部勞動力發展署產業人才投資方案，凡年滿 15 歲以上、具就業保險、勞工保險或農民保險身分之在職勞工，補助其修習課程之 80% 至 100% 訓練費用，3 年累積最高補助 7 萬元，歡迎有興趣的勞工踴躍報名參加。

- ◎ 報名日期：甲業 2019/02/12（二）12:00 起、起重機 2019/05/21（二）12:00 起
- ◎ 上課日期：甲業（2019/03/12 ~ 2019/03/29）、起重機（2019/06/21 ~ 2019/07/09）
- ◎ 每人費用：甲種 6,950 元    學員自費 -1,390 元    政府補助 -5,560 元  
                  起重機 8,460 元    學員自費 -1,692 元    政府補助 -6,768 元
- ◎ 相關問題請洽本會附設職訓中心 賴昀敬 先生    電話：（04）2236-2977
- ◎ 學科上課地點：台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3（本會職訓中心）  
                  術科上課地點：台中市大里區工業十六路 15 號（順正興工業股份公司）
- ◎ 報名流程：

進 入 台 灣 就 業 通 網	加 （ 登 ） 入 會 員	填 寫 基 本 資 料	填 寫 課 程 代 碼	上 線 報 名 完 成	資 格 審 核
--------------------------------------	---------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------

1. 電話通知繳費及資料
2. 完成手續即報名成功

◎ 台灣就業通在職訓練網：

<https://ojt.wda.gov.tw/> 產業人才投資方案線上報名（可至本會網站，政府補助課程連結報名）

**\*\*\* 本次課程配合即測即評及發證技能檢定（原地考照）\*\*\***

# 鍋爐低 NO<sub>x</sub> 燃燒與空燃比技術探討及 成本效益分析

於酒公賣局鍋爐主管兼講師／羅福山

近來人們對生活環境品質要求愈來愈高，尤其對空氣品質的要求更加明顯，很多疾病的病變及慢性病的發生經過科學證明與空氣品質有關聯，甚至是直接致病，如肺氣腫、急慢性肺炎、肺癌等。事實也證明空氣中的 PM 2.5（浮在空氣中類似灰塵的粒狀物稱為懸浮微粒【particulate matter PM】，PM 粒徑大小有別，小於或等於 2.5 微米（ $\mu\text{m}$ ）的粒子，就稱為 PM 2.5），含有大量的 NO<sub>x</sub> 存在。這些含有重金屬及多氯聯苯的有毒氣體，經常存在人們生活環境的週遭，很難閃避，也很難根除。煙氣排出煙囪後，其中的 NO 最終在大氣中被氧化成 NO<sub>2</sub>。如遇有碳氫團及濕度水份，會產生棕色的光化學煙霧與酸雨，形成有害人體健康之氣體及二次污染環境。

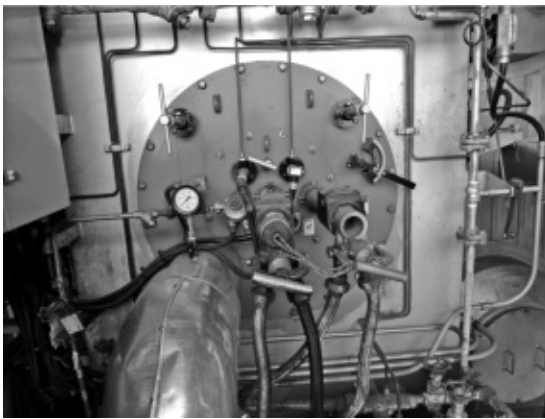


圖 1 改燃瓦斯之水管式鍋爐



圖 2 貫流式鍋爐組合

如何有效的降低鍋爐燃燒煙氣中的氮氧化物含量才是重要方法？通常鍋爐燃燒產生的氮氧化物中含有數種成分，主要是含有大量的 NO，含量大約 90%，占氮氧化物成分之大部分。另一種成分是 NO<sub>2</sub>，約占 5% – 8% 左右，還有少量的 N<sub>2</sub>O 等有害氣體。鍋爐燃燒時進行燃燒化學變化，NO 產生的方式是以化合物形式存在於燃料中的氮原子中，在鍋爐燃燒過程中被氧化而生成的。生成溫度約在 560°C – 695°C，化石燃料中的氮是煤炭、重油等燃料燃燒過程中產生的 NO<sub>x</sub> 的最主要來源，通常在鍋爐燃氣中的 NO<sub>x</sub> 有 58% – 82% 是由燃料燃燒形成的，燃料中的氮比空氣中的氮更容易生成 NO<sub>x</sub>，但是燃料種類及成分有別，燃燒後產生燃氣中其含氮量也不一樣。由於空氣中

的氮氣與  $O_2$  在高溫環境下易產生，所以在鍋爐在燃燒室經過燃燒生成  $NO_x$ ，而高溫熱流影響空氣中之氮轉化為氧化物的影響分子中「溫度」占了絕重要因素，當鍋爐燃燒溫度超過  $1480^\circ C$  時， $NO_x$  生成量會迅速增加，甚至多達 6 倍至 7 倍的濃度量。其他尚有相關影響因素，如長時間的熱滯留及含氧量濃度高低，都會與  $NO_x$  的形成量成正比；相反的如減少高溫滯留時間，及降低含  $O_2$  濃度，則可減少  $NO_x$  鍋爐燃燒排放量。當鍋爐燃燒時，爐膛內火焰的邊緣四周，快速形成氮分子，需要在有碳氫化合物的環境中完成其化學反應，如此乃需要有足夠的  $O_2$  及鍋爐爐膛內之溫度，來催化參與反應，在溫度逐漸上升時，化學反應率也會上升。



圖 3 大型鍋爐煙氣處理設備外觀

所以鍋爐在低氮燃燒技術上，需從「燃燒含  $O_2$  量」、「過剩空氣量」、「爐膛燃燒溫度」及「燃料燃燒方式」等技術，做有效的控制。鍋爐燃燒過程，如風量太大含氧量高，則空氣過剩係數過大，是一種極大的能源浪費，大量的冷空氣送入爐膛內，首先吸收了爐膛溫度，因燃燒室溫度下降，燃燒火焰會趨於不穩定狀態，又增加煙氣容積，增加排煙熱損失。正常燃燒在爐膛出口處，空氣過剩係數在 1.2 到 1.4 之間，當空氣過剩係數由 1.9 提升到 3.3 時，排煙熱損失增加到 4.6%。也增加鼓風機與引風機的電力負擔，使耗能增大。

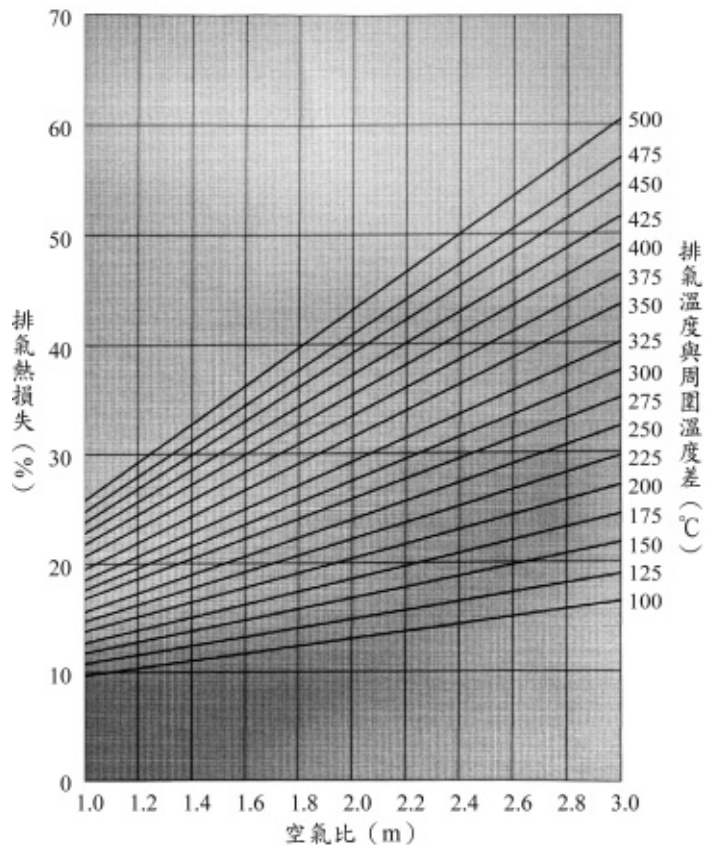


圖 4 排氣熱損失與排氣溫度及空氣比之關係圖



圖 5 改燃瓦斯與重油雙燃料控制系統

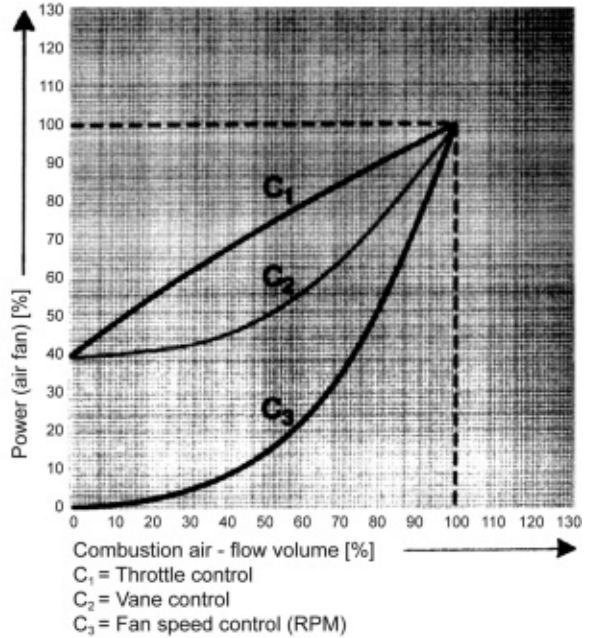


圖 6 風量控制與變頻控制之關係圖

為使爐膛燃燒時，達到適當的空氣風量，需對鍋爐監控、監測 O<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub> 的含量，使煙囪排放煙氣的含氧量降至 6 % 以下，合乎環保排放標準控制量，是必要的正確操作方法。再依據煙氣含氧量作為參數，正確的調整空燃比，來進行低氧燃燒，是達到低 NO<sub>x</sub> 的燃燒手段。

另外鍋爐分段分級燃燒方法：爐膛燃料燃燒方式，是以階段燃燒，使燃料與空氣段混合燃燒，由於燃燒偏離理論當量比，在燃燒前段燃料時，因 O<sub>2</sub> 量有限，造成貧氧燃燒，在低溫環境下燃燒，當該未完全燃燒的燃料，在分級送風階段的風量 (O<sub>2</sub> 量) 助燃下，再度進行燃燒，如此皆在低溫、貧氧之空間狀態下燃燒，以達到低 NO<sub>x</sub> 的空污排放標準。



圖 7 煙氣處理設備

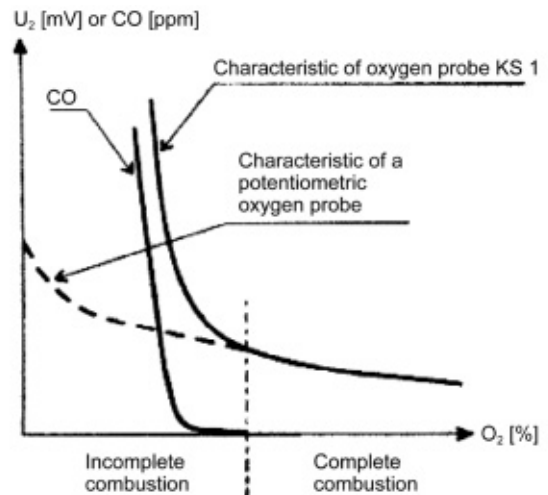


圖 8 對 O<sub>2</sub> 訊號電位式探測器與混合式探測器之特性比較

亦可用煙氣再循環法來降低  $\text{NO}_x$ ，鍋爐燃燒時，利用助燃空氣的氣體壓力，把部分燃燒煙氣再吸回，重新進入燃燒器，與空氣混合燃燒。由於熱煙氣再循環，燃燒煙氣的熱容量大，燃燒溫度降低，即可減少  $\text{NO}_x$  的產生。另一種自身再循環燃燒器是把部分煙氣，直接在燃燒器內進入再循環，再加入燃燒過程，此類燃燒器有抑制  $\text{NO}_x$  效果亦能節省能源。這類高溫低氧燃燒技術是一種新型燃燒技術，這項技術能兼顧環保條件與節省能源的優勢，即從鍋爐煙氣出口煙道上，吸出部分低溫的  $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  等煙氣，再以引風機送入燃燒室，參與輔助燃燒和熱流混合。利用煙氣所具有的低溫低氧特點，將吸入之煙氣與燃燒中之煙氣，在爐膛內適當位置混合，降低爐膛內部溫度，以形成局部還原作用，以抑制  $\text{NO}_x$  的生成，來達到空污環保低  $\text{NO}_x$  的要求。

煙氣再循環燃燒技術，可以降低爐膛內平均溫度，從而降低  $\text{NO}_x$  的生成量。然而煙氣再循環燃燒，有效降低助燃空氣中的含  $\text{O}_2$  氧量，也降低了火焰局部的高溫，有效的抑制了燃燒熱流中之  $\text{NO}_x$  的生成，在控制循環煙氣量時與送入之空氣混合，有效的降低爐內空氣含  $\text{O}_2$  氧量，來達到控制煙道過剩空氣降低的目的，以減少熱損失。

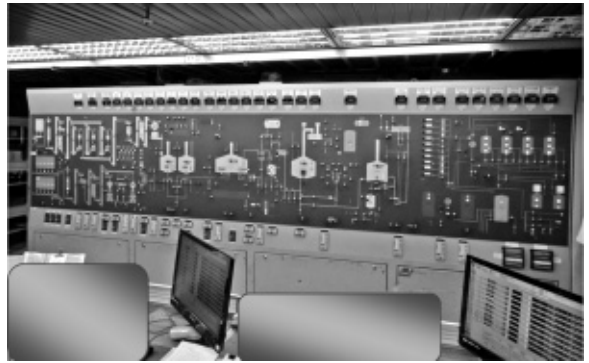


圖 9 控制系統中心

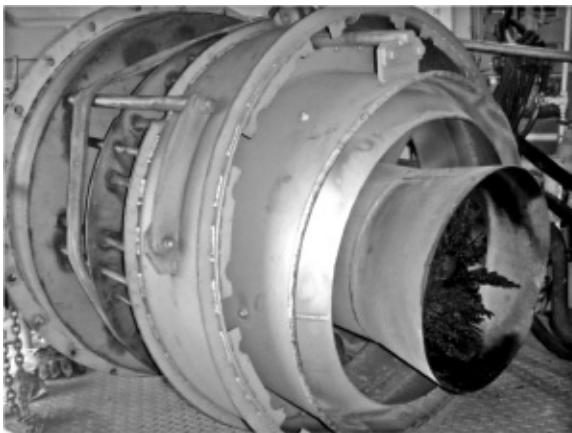


圖 10 燃燒器空燃比調適不良，積碳情況

最佳的燃燒狀態，需要有效的控制燃燒各種條件的發生，因燃燒是一種複雜的放熱化學反應，當燃料與氧化媒介經由火源，燃燒即刻發生，在完全燃燒時，燃料與氧化媒介完全反應，其實沒有任何燃燒過程是完美的或完全燃燒，當缺氧  $\text{O}_2$  時會造成燃燒不完全。



圖 11 傳統空燃比控制器

燃燒效率是燃燒器燃燒燃料能力的效率指標，煙氣中未燃盡的燃料（未燃氣體  $C_xH_x$ ）及過剩空氣（含氧量  $O_2$ ），常是評估燃燒器燃燒效率優劣之指標。優良高效率的氣態與液態燃燒器設計，燃燒器需有較佳的燃燒效率，即使有未燃盡燃料  $C_xH_x$ ，及在較低的過剩空氣量  $O_2$  下，也需有良好的燃燒狀態。其過剩空氣量大多操作在 16% 以下，藉由僅 16% 的過剩空氣量來操作時，燃燒過程熱量較少被加熱在過剩空氣上，依能量不滅原則，使將增加熱量有效的運用，轉換成蒸汽。

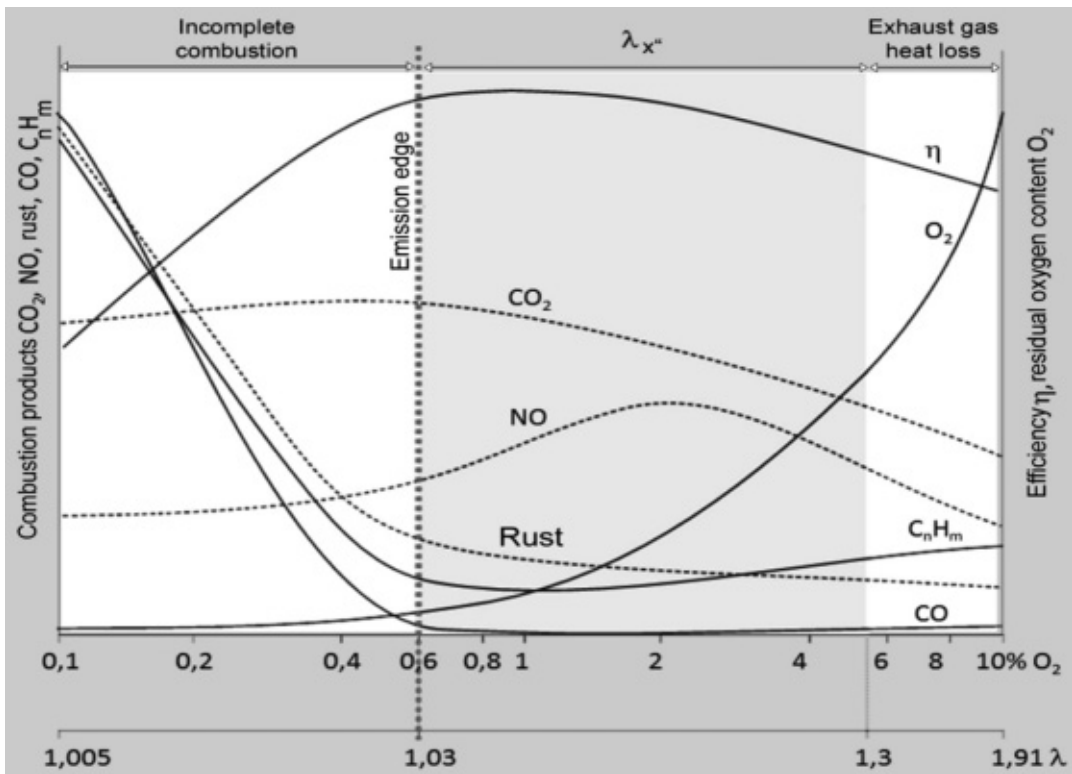


圖 12 以 CO 為導向調整空燃比與效率.  $NO_x$ .  $CO_2$  之關係曲線

操作鍋爐達最佳狀態燃燒，需要思考因素很多，但主要的重點對  $O_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $NO_x$ 、 $SO_x$ 、 $PM_{2.5}$ 、風量風壓、燃料流量及壓力、排煙溫度等要件，作出統合及有效的協調，並即時作出修正、回饋、補償、監測等動作，來配合燃燒狀況，才能達到良好的燃燒空間。這種控制協調功能機制，可分為兩種，一種是機械式空燃比機構系統，

另一種是微電腦數位空燃比控制系統。機械式空燃比機構系統目前台灣工業界尚有很多在使用中，也行之多年，但在微調方面修正、回饋、補償、監測、靈敏、誤差等動作比較不足。近幾年來蒸發量較大或高壓高溫鍋爐，機械式空燃比機構系統已被微電腦數位空燃比控制系統取代，微電腦數位空燃比控制系統是利用操作曲線方式，可解決機械式空燃比機構所無法解決的燃燒操作模式，更可以利用微電腦程式驅動元件的補償動作，來減少機械損失。

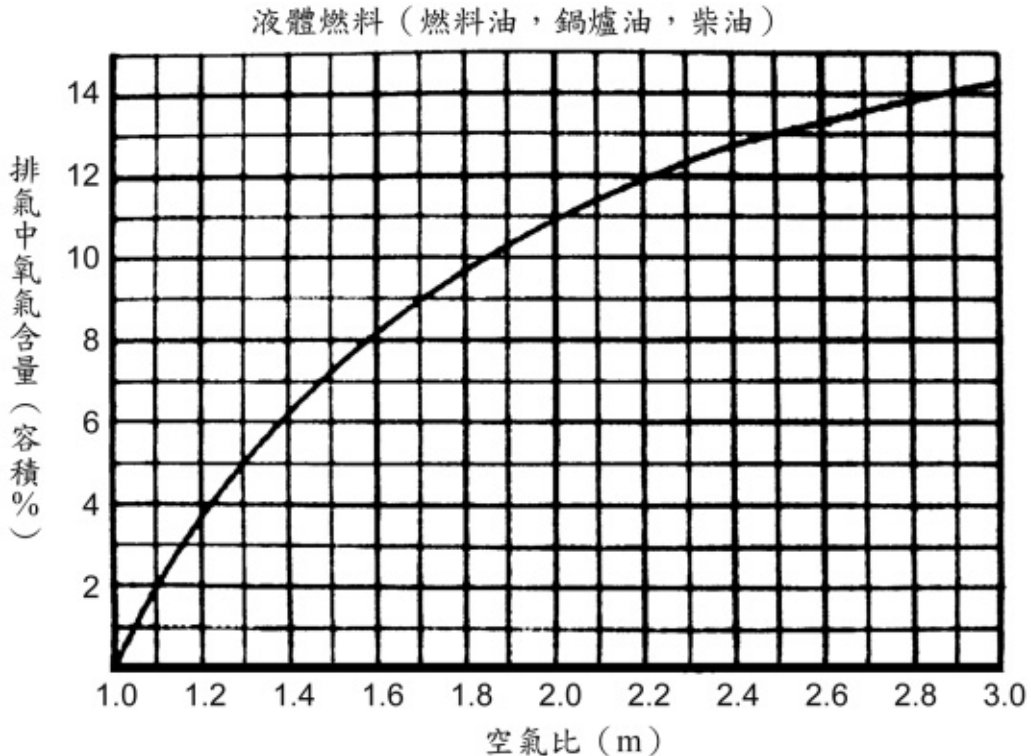


圖 13 排煙氣中含氧量與過剩空氣關係曲線圖

目前微電腦數位空燃比控制系統，可整合許多不同功能，在同一控制系統中，其功能有燃燒機微電腦空燃比控制、火焰監測、燃燒負載量調節器、操作時數計算器、啓動計算器、故障訊息顯示與管理，人機電腦介面、 $O_2$ 、 $CO$  回饋控制、燃燒空氣送風機轉速控制，此外還可以提供（故障訊息）顯示與管理功能，還可以利用【監測器】作回饋控制動作，利用調節排煙氣中的  $O_2$  含量，來達到燃燒狀況最佳化狀態，是工業用鍋爐燃燒機近年來發展的新技術，為了降低含  $O_2$  量，必須調節空燃比，這對傳統機械式空燃比機構系統的結構功能有許多困難處。然而微電腦空燃比控制系統，提供了具方便與經濟性的解決方案，利用微電腦數位空燃比控制系統可以連續監控，更可即時調節各種燃燒變數，配合使用  $O_2$  量回饋控制系統，不但能補償燃燒，同時可調節空燃比在最佳狀態，過多的空氣量會降低  $CO_2$  值，並升高廢棄溫度，影響鍋爐效率。



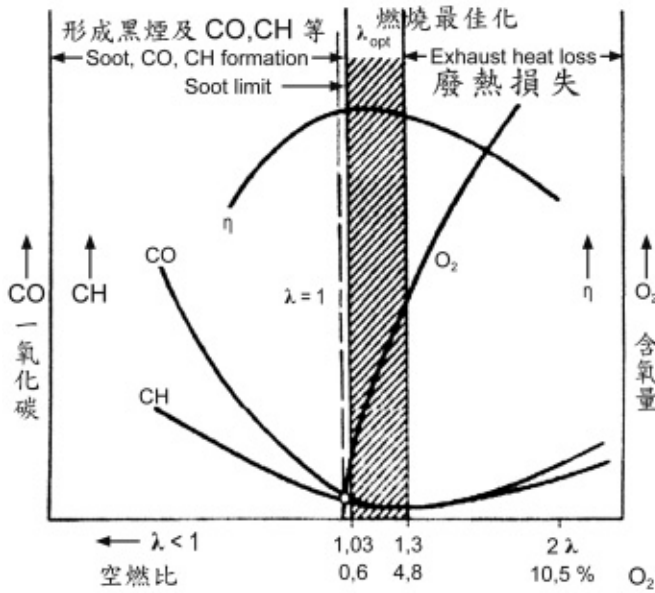


圖 14 排煙氣含 CO、O<sub>2</sub> 量與燃燒效率關係圖

由排煙氣中可燃氣體（CO、H<sub>2</sub>），連續監測數據信號，作回饋控制技術。CO 回饋控制是利用特殊的感測器（CO、H<sub>2</sub>）主動找到燃燒的最佳狀態，即可能產生 CO 的附近並設定及維持在這個點的操作。

這是利用特殊感測器的感應，來調整空燃比直到缺氧燃燒，然後操作曲線則在這曲線上方操作，這曲線就是燃燒的最佳狀態。

空氣污染較嚴重之燃油、燃柴油之鍋爐，改成燃氣鍋爐且經空燃比調整最佳燃燒狀態後的成本效益分析如下：

表 1 燃重油鍋爐改燃天然氣 LNG 成本效益分析

一、目前燃料類別：	重油			
二、每年平均燃料用量：	240	公秉		
三、汰換後燃料類別：	天然氣			
四、輸入新設鍋爐本體費用：	\$ 1,200,000	元，管線工程費用：	\$ -	元
五、請輸入原鍋爐噸數：	2	噸，改善後噸數：	2	噸
六、請輸入原鍋爐座數：	2	座，改善後座數：	2	座
七、請於「燃料換算表」分頁調整各項燃料單價				
八、請於「折舊法」分頁輸入新設鍋爐耐用年限及殘值				
九、請於下列藍底處輸入每年各項成本，並確認預設欄位經費正確性				
(一) 可量化成本				
成本項目	改善前 (元/年)	改善後 (元/年)	備註	減少百分比
1. 燃料成本	4,332,000	0	柴油燃料費用	
		3,826,132	液化石油氣或天然氣燃料費用	12
		0	電能（熱泵或電熱器）費用	
2. 人力成本	360,000	360,000	預設一位鍋爐專責人員費用	0
3. 空污費	5,400	0	年排放量平均計算	100
4. 空污定期檢測費	0	0	依每年煙道檢測 TSP、SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 計	

5. 鍋爐維修保養費	59,000	25,210	依鍋爐狀態及種類估算 (未區分噸數)	57
6. 空污設備維護費	0	0	如有裝設空污防制設備則填入費用	
7. 利息	0	960	依據活存 0.08% 計	
8. 折舊額	0	150,000	以直線法計算之年折舊金額	
9. 稽查罰鍰	100,000	0	以每年受稽查不合格一次計	100
10. 其他成本	0	0	如軟水設備、脫氧藥劑費用等	
總成本(每年)	4,856,400	4,362,302	上述成本加總	
改善後每年收益		494,098	改善後所減少成本	
每年減少成本(%)		10	每年減少成本百分比	
回收期間(未補助):	2.4	年	回收期間法: 整體費用 / 每年減少成本	

## (二) 尚難量化之成本

環境講習時間、商譽、空間成本等

## 十、改善後空氣污染削減效益

排放項目	改善前 排放量(公斤/年)	改善後 排放量(公斤/年)*	削減效益(%)
硫氧化物	2,280	0	100
氮氧化物	1,581	424	73
粒狀污染物	225	13	94
二氧化碳當量	749,079	498,370	33

\* 註：汰換為電能加熱設備後，本身無排放空氣污染物，但自發電廠端發電時仍有排放空氣污染物，故列入計算

## 十一、備註

本工具計算公式解說詳見「工具解說」分頁，如不符合現況應以實際情形為準。

本工具提供各項數值為估算值，實際仍應以廠商報價為準。

## 十二、補助額度試算：

是否有工廠登記：	是			
可補助座數：	2	座		
鍋爐本體費用可補助：	\$ 588,000	元		
管線費用可補助：	\$ -	元		
可補助最高額度：	\$ 588,000	元		
回收期間(補助後)：	1.2	年		



圖 15 10 噸煙管瓦斯鍋爐

表 2 燃重油鍋爐改燃液化石油氣 LPG 成本效益分析

一、目前燃料類別：	重油			
二、每年平均燃料用量：	240.0	公秉		
三、汰換後燃料類別：	液化石油氣			
四、輸入新設鍋爐本體費用：	\$ 1,200,000	元，管線工程費用：	\$ -	元
五、請輸入原鍋爐噸數：	2.0	噸，改善後噸數：	2.0	噸
六、請輸入原鍋爐座數：	2	座，改善後座數：	2	座
七、請於「燃料換算表」分頁調整各項燃料單價				
八、請於「折舊法」分頁輸入新設鍋爐耐用年限及殘值				
九、請於下列藍底處輸入每年各項成本，並確認預設欄位經費正確性				
(一) 可量化成本				
成本項目	改善前 (元/年)	改善後 (元/年)	備註	減少百分比
1. 燃料成本	4,332,000	0	柴油燃料費用	
		7,926,010	液化石油氣或天然氣燃料費用	-83
		0	電能（熱泵或電熱器）費用	
2. 人力成本	360,000	360,000	預設一位鍋爐專責人員費用	0
3. 空污費	5,400	0	年排放量平均計算	100
4. 空污定期檢測費	0	0	依每年煙道檢測 TSP . SOx . NOx 計	

5. 鍋爐維修保養費	59,000	25,210	依鍋爐狀態及種類估算 (未區分噸數)	57
6. 空污設備維護費	0	0	如有裝設空污防制設備則填入費用	
7. 利息	0	960	依據活存 0.08% 計	
8. 折舊額	0	150,000	以直線法計算之年折舊金額	
9. 稽查罰鍰	100,000	0	以每年受稽查不合格一次計	100
10. 其他成本	0	0	如軟水設備、脫氧藥劑費用等	
總成本(每年)	4,856,400	8,462,180	上述成本加總	
改善後每年收益		-3,605,780	改善後所減少成本	
每年減少成本(%)		-74	每年減少成本百分比	
回收期間(未補助):	請重新評估	年	回收期間法: 整體費用 / 每年減少成本	

## (二) 尚難量化之成本

環境講習時間、商譽、空間成本等

## 十、改善後空氣污染削減效益

排放項目	改善前 排放量(公斤/年)	改善後 排放量(公斤/年)*	削減效益(%)
硫氧化物	2,280	61	97
氮氧化物	1,581	773	51
粒狀污染物	225	24	89
二氧化碳當量	749,079	395,083	47

\* 註：汰換為電能加熱設備後，本身無排放空氣污染物，但自發電廠端發電時仍有排放空氣污染物，故列入計算

## 十一、備註

本工具計算公式解說詳見「工具解說」分頁，如不符合現況應以實際情形為準。

本工具提供各項數值為估算值，實際仍應以廠商報價為準。

## 十二、補助額度試算：

是否有工廠登記：	是			
可補助座數：	2	座		
鍋爐本體費用可補助：	\$ 588,000	元		
管線費用可補助：	\$ -	元		
可補助最高額度：	\$ 588,000	元		
回收期間(補助後)：	請重新評估	年		



圖 16 5 噸煙管柴油鍋爐



圖 17 燃煤熱媒鍋爐

表 3 柴油鍋爐改燃液化石油氣 LPG 成本效益分析

一、目前燃料類別：	柴油			
二、每年平均燃料用量：	240.0	公秉		
三、汰換後燃料類別：	液化石油氣			
四、輸入新設鍋爐本體費用：	\$ 1,200,000	元，管線工程費用：	\$ -	元
五、請輸入原鍋爐噸數：	2.0	噸，改善後噸數：	2.0	噸
六、請輸入原鍋爐座數：	2	座，改善後座數：	2	座
七、請於「燃料換算表」分頁調整各項燃料單價				
八、請於「折舊法」分頁輸入新設鍋爐耐用年限及殘值				
九、請於下列藍底處輸入每年各項成本，並確認預設欄位經費正確性				
(→) 可量化成本				
成本項目	改善前 (元/年)	改善後 (元/年)	備註	減少百分比
1. 燃料成本	6,768,000	0	柴油燃料費用	
		6,935,259	液化石油氣或天然氣燃料費用	-2
		0	電能(熱泵或電熱器)費用	
2. 人力成本	360,000	360,000	預設一位鍋爐專責人員費用	0
3. 空污費	5,400	0	年排放量平均計算	100
4. 空污定期檢測費	0	0	依每年煙道檢測 TSP . SOx . NOx 計	

5. 鍋爐維修保養費	47,200	25,210	依鍋爐狀態及種類估算 (未區分噸數)	47
6. 空污設備維護費	0	0	如有裝設空污防制設備則填入費用	
7. 利息	0	960	依據活存 0.08% 計	
8. 折舊額	0	150,000	以直線法計算之年折舊金額	
9. 稽查罰鍰	100,000	0	以每年受稽查不合格一次計	100
10. 其他成本	0	0	如軟水設備、脫氧藥劑費用等	
總成本(每年)	7,280,600	7,471,429	上述成本加總	
改善後每年收益		-190,829	改善後所減少成本	
每年減少成本(%)		-3	每年減少成本百分比	
回收期間(未補助):	請重新評估	年	回收期間法: 整體費用 / 每年減少成本	

## (二) 尚難量化之成本

環境講習時間、商譽、空間成本等

## 十、改善後空氣污染削減效益

排放項目	改善前 排放量(公斤/年)	改善後 排放量(公斤/年)*	削減效益(%)
硫氧化物	2,179	53	98
氮氧化物	575	676	-18
粒狀污染物	202	21	89
二氧化碳當量	627,590	345,698	45

\* 註：汰換為電能加熱設備後，本身無排放空氣污染物，但自發電廠端發電時仍有排放空氣污染物，故列入計算

## 十一、備註

本工具計算公式解說詳見「工具解說」分頁，如不符合現況應以實際情形為準。

本工具提供各項數值為估算值，實際仍應以廠商報價為準。

## 十二、補助額度試算：

是否有工廠登記：	是				
可補助座數：	2	座			
鍋爐本體費用可補助：	\$ 588,000	元			
管線費用可補助：	\$ -	元			
可補助最高額度：	\$ 588,000	元			
回收期間(補助後)：	請重新評估	年			



圖 18 5 噸煙管瓦斯鍋爐

### 結語：

大型工業鍋爐為降低污染，可利用煙氣再循環改造（超低氮）、全預混燃燒機（表面燃燒）、或使用分段燃燒的低氮氧化物燃燒器，配合火上風量以降低燃燒溫度，抑制 $\text{NO}_x$ 的生成量的燃燒方式是目前工業界所普遍使用的，當 $\text{NO}_x$ 的生成量降到200ppm以下時，再以空污防制設備處理。小型商業鍋爐，將較高污染的燃重油或柴油鍋爐，改燃LNG或LPG，或選擇微富氧燃燒。但首先要選擇燃燒低 $\text{NO}_x$ 的燃燒機，亦應依該鍋爐的燃燒室容積，選擇適當大小的燃燒機，再調整適當的空燃比，與熟練的操作技術配合，使該鍋爐達到低 $\text{NO}_x$ 的最佳燃燒狀態。

### 徵 稿

本雙月刊免費贈閱會員、廠商，發行量3,000份。竭誠歡迎各界人士有關鍋爐及壓力容器相關專業技術及最新資訊，踴躍贈稿，請備電子檔及註明真實姓名、通訊地址及聯絡電話，經審核後刊登並贈稿費。（本會E-mail註於目錄首頁）

# 日本壓力容器事故情報

周登春

壓力容器依我國職業安全衛生法令規定，係屬危險性設備，因其具有內容物洩漏及爆炸性危害，極容易造成人員重大傷亡及財物嚴重損失，故規定非經勞動檢查機構或代行檢查機構檢查合格不得使用。

壓力容器運轉操作及各項相關作業亦因人為的疏忽而容易造成事故，因此，對於壓力容器操作等人員應使其具備相關專業知識，以消除不安行為所造成的危害。

「他山之石，可以攻錯」災害的教訓可以做為案例宣導的最佳教材，特彙集日本歷年來所發生的壓力容器相關事故整理如下，期能供業界引為鑑。

## 一、第二種壓力容器（空氣接收罐）斷裂

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
其他製造業	第二種壓力容器（內徑 490mm、長度 1,695mm、常用壓力 7.0Kg/cm <sup>2</sup> (0.68MPa) 以上）	破裂	無

### 2. 事故概要：

聽到爆炸聲的同時，空氣接收罐的胴體和上蓋（端板）之間的焊接部分斷裂，上蓋掉落。

### 3. 主要原因：

雖然對所有機械和設備進行了法定的檢查，但沒有認知到該容器屬於第二種壓力容器，尚未接受個別型式檢查，並且未定期進行自動檢查。

## 二、第二種壓力容器（再沸器）破裂

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
化學工業	第二種壓力容器（最高使用壓力：殼側 6.0Kg/cm <sup>2</sup> (0.58MPa)、管側 1.75Kg/cm <sup>2</sup> (0.171MPa)；內容積：殼側 0.046m <sup>3</sup> 、管側 0.083m <sup>3</sup> ）	破裂	無

### 2. 事故概要：

為了要停止二甲基亞砜（Dimethyl sulfoxide 或 DMSO）的純化，先停止蒸汽的供給，並將再沸器（reboiler；屬第二種壓力容器）與蒸餾塔連接管的上、下端管閥也同時關閉之後，於進行將接收槽內殘餘物提取作業時，再沸器爆裂了。



## 3.主要原因：

二甲基亞砷在分解過程中管側被封閉，其分解熱更促進分解，最終成為失控的狀態，致壓力急遽升高，又未設安全閥，因而破裂。

再者，為了清洗再沸器而將連結管的上、下端閥同時關閉，以便得以入內持續清洗作業。

## 三、使用具腐蝕性的清潔劑和研磨劑清槽造成破裂

## 1.基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
飲料製造業	內存壓力氣體之容器 (最高使用壓力 0.1MPa (推估)、內容積 2.5m <sup>3</sup> )	破裂	1 死

## 2.事故概要：

在啤酒製造廠現場清洗過濾器的部品時，設置在緊鄰隔壁牆的鋁製啤酒儲存桶破裂，桶體突破牆壁飛到工作場所內，人員被夾在儲酒桶與清洗用水槽之間。約在儲酒桶槽破裂前的 10 分鐘，正在進行桶槽內啤酒裝運之分裝作業，雖然在分裝作業過程中會將 0.1MPa 的二氧化碳打入桶內，但在災害發生的當時分裝作業是暫時停止狀態。

## 3.主要原因：

長期使用對鋁具腐蝕性的清潔劑和研磨劑清洗鋁製桶槽，桶槽人孔附近的厚度，因腐蝕、磨耗而減薄，以致無法承受常用壓力。

另外，沒有實施與板厚度減小有關的檢查，而且桶槽亦沒有固定在地板上。

## 四、購置中古壓力容器設置完成未申請竣工檢查致爆炸

## 1.基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
化學工業	第一種壓力容器 (最高使用壓力 2.5Kg/cm <sup>2</sup> 、內容積 2.41m <sup>3</sup> )	破裂	13 傷

## 2.事故概要：

做為消毒用途的醫療用橡膠製品，將裝有該製品的水箱放入壓力容器中，正利用鍋爐產生的蒸汽在壓力容器內進行加熱、加壓之試運轉時，壓力容器的蓋板噴飛，其反作用力也使該容器本體炸飛了。

與此同時，容器內的水箱之過熱水引起蒸氣爆炸，而將在附近工作的勞工擊飛，工廠設備、門窗等亦遭破壞。

## 3.主要原因：

容器內壓力超過最高使用壓力（0.6~0.7MPa）。此外，在先前實施水壓試驗時施加 0.5~0.8 MPa 的壓力，造成容器變形而採用補強板焊接予以矯正。

該容器是二手購買的，但未經使用檢查檢查；於設置完成後，也沒有申請竣工檢查。

## 五、蓄積在空氣槽中的碳化物因油滲入而起火爆炸

## 1.基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
鋼材製造業	第二壓力容器 (最高使用壓力 9.5Kg/cm <sup>2</sup> 、內容積 0.08m <sup>3</sup> )	爆炸	1 傷

## 2.事故概要：

空氣從安裝在工廠中的第二種壓力容器（空氣壓縮機）的軟管洩漏。為了更換軟管，而將容器的閥門關閉，在準備軟管時發生爆炸。

## 3.主要原因：

霧化潤滑油與空氣一起排出，附著於槽內表面，被高溫、高壓的空氣氧化，形成碳化物沉積。當潤滑油滲透到沉積層中時，由於氧化反應而產生熱量。本案情況，由於潤滑油供給過多，推測主要原因是沉積層內產生的熱量，使得滲入的油分分解、起火，導致壓縮空氣中的油分著火爆炸。

## 六、蓄積在空氣槽中的碳化物因油滲入而起火爆炸

## 1.基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
建設業	第二壓力容器 (最高使用壓力 11Kg/cm <sup>2</sup> 、內容積 0.26m <sup>3</sup> )	爆炸	3 傷

## 2.事故概要：

供道路工程用機械保養用途的第二種壓力容器（空氣壓縮機），聽到空氣從壓縮機洩出的聲音，同時軟管脫落，隨後空氣槽就爆炸了。

## 3.主要原因：

排出的霧化潤滑油與空氣一起附著於槽的內部表面，與高溫、高壓的空氣接觸而氧化。碳化物隨著運轉過程持續蓄積，推測主要原因是潤滑油滲透進入沉積層引起氧化反應，產生熱量；或者是因壓縮空氣產生的高熱，使得滲入的油分分解、起火，導致壓縮空氣中的油分著火爆炸。

## 七、無製造許可與構造檢查合格之第一種壓力容器爆裂

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
各種窯業或土石製品製造業	第一種壓力容器	破裂	無

### 2. 事故概要：

在生產熟石灰的過程中，將生石灰和水放入容器中，在攪拌時，容器突然破裂，工廠嚴重破損，碎片飛到鄰近的工廠及民宅，造成損壞。

### 3. 主要原因：

燒製過程中生石灰混合不足，化學反應速度比正常的反應快，在容器內部產生的熱量較正常劇烈，導致壓力上升。

該使用之容器，沒有置備圖面等資料，無法確認強度是否足夠，儘管是屬於第一種壓力容器，但沒有製造許可，製造時也沒有申請構造檢查等相關檢查，製造完成就逕予使用。

此外，該容器亦無安裝安全閥。

## 八、蓄積在配管內的碳化物因油滲入而起火爆炸

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
汽車零組件、附屬品製造業	第二壓力容器 (最高使用壓力 0.98MPa、內容積 19.3m <sup>3</sup> )	爆炸	1 傷

### 2. 事故概要：

安裝在驅動工廠由 9 座空氣壓縮機、2 座空氣接收器槽及其連接配管所組成之壓縮空氣製造儲存設備發生爆炸，爆風將建築物屋頂全部震飛。從損壞最嚴重的程度推估，爆炸應該是發生在配管部。

每座空氣壓縮機，每天補充兩次壓縮機潤滑劑。

### 3. 主要原因：

霧化的潤滑劑在排出空氣的滯留處，與高溫、高壓空氣接觸，因氧化反應而碳化。這種碳化物的沉積隨著持續運轉更加嚴重，接收器槽有實施定期性的清洗，在尚未執行配管內所堆積的碳化物層清掃之前會有潤滑油滲入，促進氧化反應，結合此氧化產生的反應熱和空氣壓縮形成的熱量，使沉積層呈高溫並燃燒，致使霧化的潤滑劑著火引起爆炸。

## 九、滅菌鍋上蓋支持部的固定螺栓鬆弛脫落

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
醫療業	滅菌鍋（第一種壓力容器、 最高使用壓力 0.25MPa、內容積 0.679m <sup>3</sup> ）	破裂	無

### 2. 事故概要：

滅菌鍋運轉中，支撐蓋板的固定螺栓斷裂，蓋板脫落。

### 3. 主要原因：

推測是蓋板支撐軌的固定螺栓鬆動。

滅菌鍋沒有實施定期自動檢查。

## 十、未實施個別檢定（重點檢查）之蒸煮鍋破裂

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
食品製造業	蒸煮鍋（第二種壓力容器、 最高使用壓力 0.3MPa、內容積 0.055m <sup>3</sup> ）	破裂	1 死

### 2. 事故概要：

使用蒸煮鍋進行雞肉炒拌作業後，準備清洗內鍋的時候，蒸煮鍋突然破裂，內鍋噴飛並直接擊中工人的臉。

### 3 主要原因：

接受蒸氣作為加熱源的夾套，將其安裝在本體上時，因溶入不良致熔接部存有殘力，成為疲勞破壞的起點。

另外，該蒸煮鍋未實施個別檢定（自動重點檢查）。

## 十一、更換加熱器的墊圈，在門未上鎖的情況下加壓，門突然快速打開

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
電氣機械器具 製造業	加熱器（第一種壓力容器、 最高使用壓力 0.883MPa、內容積 0.679m <sup>3</sup> ）	破裂	1 死

### 2. 事故概要：

加熱器（環氧樹脂浸漬罐）墊圈（packing）更換作業過程中，為了確認墊圈的密封性，將墊圈裝置在加熱器門扉，並將門板關上後開始施加壓力測試，門板卻突然快速打開，整個門板強力撞擊操作者全身。

### 3. 主要原因：

推測門板關閉後未鎖固，即施加壓力。

## 十二、輸送氮氣超過最高使用壓力造成破裂

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
機械修理業	蓄壓器（第二種壓力容器、最高使用壓力 1MPa、內容積 0.1025m <sup>3</sup> ）	破裂	1 死

### 2. 事故概要：

對於泵單元（pump unit：供做罐式集裝箱清洗設備用途）的安全閥，使用鋼瓶裝的氮氣，經由蓄壓器噴射壓力進行壓力調整作業時，蓄壓器爆裂，直接撞擊作業員而罹災。

### 3. 主要原因：

將約 5MPa 的氮氣送入蓄壓器，大幅超過最大使用工作壓力，導致蓄壓器破裂。蓄壓器沒有經過個別檢定（自動重點檢查）合格，也沒有設置安全閥。蓄壓器未實施定期自動檢查。

## 十三、在開始反應之前，輸入原料立即反應並爆炸

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
化學工業	反應器（第一種壓力容器、最高使用壓力 0.98MPa、內容積 10.24m <sup>3</sup> ）	爆炸	3 傷

### 2. 事故概要：

用於生產氯乙烯基鎂（Vinyl chloride magnesium）的反應器，由於異常反應引起反應器內的壓力迅速增加，雖然安全閥有作動，氣化的內容物仍從凸緣部等處噴出，並起火爆炸，有三個作業員受害。

### 3. 主要原因：

推測可能原因是，以加熱促進反應造成溫度上升、對反應熱的認知錯誤、原料在沒有充分開始反應的情況下就送入、原料在反應器中保持在未反應的狀態下蓄積、迅速反應造成失控。另外，沒有指派作業安全主管。

## 十四、蒸氣輸送超過最高使用壓力發生破裂

### 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
食料食品製造業	乾燥機（小型壓力容器、最高使用壓力 0.098MPa、內容積 1.08m <sup>3</sup> ）	破裂	無

## 2. 事故概要：

操作豆渣乾燥機（蒸氣通過夾套烘乾豆渣）時，突然破裂，蒸汽噴出。

## 3. 主要原因：

送入的蒸氣壓力約 0.7~0.8MPa，大幅超過最大使用工作壓力，導致乾燥機破裂。  
乾燥機與安全閥之間設有遮斷閥，由於在運轉期間關閉遮斷閥，致安全閥無作動。

## 十五、泵浦連續給水底板腐蝕致破裂

## 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
建設業	給水槽（第二種壓力容器（槽內氣相部分）、最高使用壓力 0.3MPa（推估）、內容積 0.64m <sup>3</sup> ）	破裂	1 死

## 2. 事故概要：

道路改善工程用的混凝土需要攪拌混合，將給水槽閥門打開後發覺水槽未供水，在啓動供水泵之際，底部發生爆裂，猛烈撞擊作業員致災。

## 3. 主要原因：

持續用泵將水注入水槽，壓力增加，腐蝕的底部破裂。  
水槽未經個別檢定（重點檢查）合格，未安裝安全閥。  
未對水槽實施定期自動檢查。

## 十六、第一種壓力容器未經使用檢查合格即運轉發生破裂

## 1. 基本資料：

事業單位行業	設備種類	事故類型	死傷人數
化學工業	加熱器（第一種壓力容器、最高使用壓力 0.4MPa、內容積 6.94m <sup>3</sup> ）	與高溫物質接觸	1 傷

## 2. 事故概要：

從骨頭上提取肉及製造骨粉的生產工廠，進行已廢止使用的第一種壓力容器試運轉，將水注入容器內，關閉外蓋，送入約 0.38MPa 的蒸汽時蓋子突然往外掀開，蒸汽噴出，作業員要確認附設在蓋上的壓力錶時被蒸汽淋傷。

## 3. 主要原因：

使用未經檢查合格的第一種壓力容器。  
蓋子的安裝部分破損，加壓時的緊固也不充分。

## 【資料來源】

一般社團法人日本ボイラ協會，壓力容器關係事故（平成 17 年~21 年）

# 一起工業鍋爐缺水乾燒事故分析

張文賦、鮑穎群、晏榮華／浙江省特種設備檢驗研究院

**摘要：**針對一起燃油工業鍋爐缺水乾燒事故，通過對現場發現的問題進行分析，發生事故的主要原因為：給水軸承機械故障卡死，低水位連鎖保護動作無法進水；傳感型水位計選用和安裝位置錯誤，極低水位電板棒結垢失靈；未安裝板低水位遮斷器；司爐工長時間脫崗。結合實際應用和工作經驗，提出了防止類似事故的建議和相關措施，對鍋爐安全運行具有實際意義。

在鍋爐實際運行中，絕大多數缺水事故是因司爐人員疏忽大意、對水位監視不夠造成的，鍋爐使用單位和管理人員應當高度重視<sup>[1]</sup>。根據 TSG G0001-2012《鍋爐安全技術監察規程》，蒸汽鍋爐應當裝設高、低水位報警，額定蒸發量 $\geq 2\text{t/h}$ 的鍋爐，還應當裝設低水位連鎖保護裝置。應提高設備的完好率，保證鍋爐的安全運行，減少事故的發生。

## 一、事故概況

某單位一台 WNS4-1.25-YQ 型鍋爐發生缺水乾燒事故，導致前管板嚴重變形、煙管角焊縫拉裂、爐膽過燒塌陷，見圖 1。鍋爐本體報廢，直接經濟損失 20 餘萬元。據司爐人員反映，在事故發生之前，鍋爐正常運行供汽，當時鍋爐水位正常，蒸汽壓力在 0.5MPa。中問他離開 2 小時吃飯後回到鍋爐房，這時水位計中已看不到水位，鍋爐已被燒壞停爐。該鍋爐新裝使用一年後，原配 Cl.6-HB 傳感型水位計曾嚴重腐蝕滲水，用同制式 C2.5-SS 350mm 傳感型雙色水位計替換。

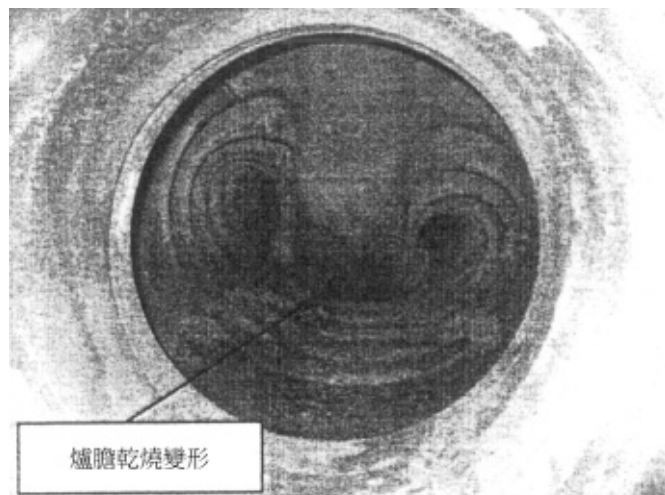


圖 1 爐膽乾燒變形

事故發生後，各方人員對鍋爐圖紙設計文件、鍋爐產品監檢合格證書、安裝監督檢驗證書、使用登記證、定期檢驗報告和運行紀錄進行檢查。該鍋爐安裝和使用登記符合 TSG G0001-2012《鍋爐安全技術監察規程》、GB 50273-2009《鍋爐安裝工程施工及驗收規範》、《特種設備安全法》要求，事故現場檢驗發現如下問題：

1. 鍋爐給水泵軸承存在機械故障，卡死損壞，已經拆卸下來，如圖 2 所示。現場未見給水泵保養維護紀錄。



圖 2 發生機械故障的給水泵

2. 把水位計電極筒體內的鍋水放淨後，對 4 根電極與筒體外殼的電阻進行測量，測量發現：1 # 超高水位、2 # 高水位、3 # 低水位三根電極與筒體外殼的電阻顯示 1，表明斷開，正常，如圖 3 所示。當 3 # 低水位電極發出水位低信號時，給水自動控制系統啟動給水泵進水。測量發現：4 # 極低水位電極與筒體外殼的電阻顯示 0，表明接通，如圖 4 所示。就是在筒體內沒有水的時候，傳遞給燃燒自動控制系統一個錯誤的信息－“有水”，故燃燒機繼續燃燒，直到把爐膽燒損變形。



圖 3 1#、2#、3#電極電阻測量

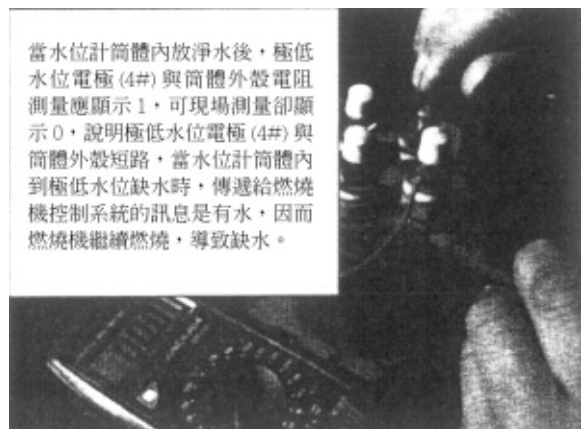


圖 4 4#電極電阻測量



3. 原管道儀表閥門設計圖中，水位連通器  $\phi 108 \times 4.5\text{mm}$ ，高度 1046mm，排污管內徑 20 mm，水位連通器內安裝 4 根電極，長度分別為 549 mm / 569 mm / 649mm / 669mm。水位連通器設計、製造在鍋筒內，但事故鍋爐的水位連通器內未安裝 4 根長電極，只安裝了一隻閥門隔斷，如圖 5 所示。而在傳感型水位計小筒體內安裝了 4 根短電極，如圖 6 所示。



圖 5 鍋筒頂部閥門隔斷

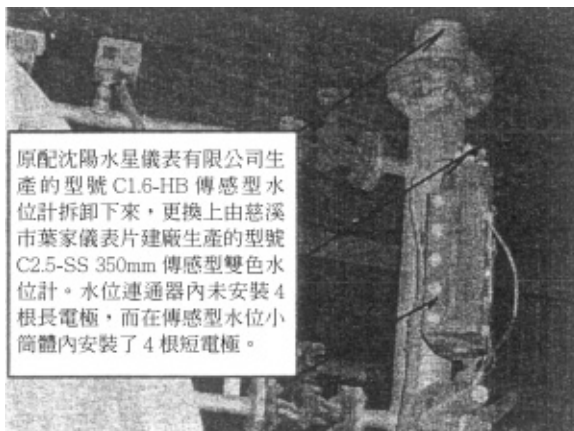


圖 6 水位計小筒體安裝短電極

4. 鍋爐管道閥門儀表圖以及使用說明書中，在特定位置均指示安裝有極低水位遮斷器，如圖 7 所示。現場鍋爐未安裝極低水位遮斷器。

5. 鍋爐運行記錄不全，未見水處理記錄。水處理工作不符合要求，水位計沖洗不勤，水位計內有污泥堆積。

6. 製造方在產品圖樣、技術（工藝）文件的管理上存在管理缺失。設計文件的圖紙鑒定通過後，針對“水位保護控制報警裝置已具備水位控制和極限

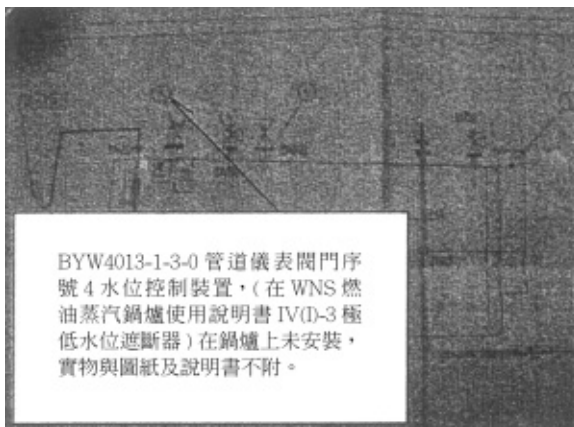


圖 7 極低水位遮斷器布置圖

高低水位停爐報警動能，水位連通器內可不裝電極”簽發了“永久更改通知單”，但製造竣工的事故鍋爐，沒有及時在發送給用戶的圖紙上進行更改。

## 二、原因分析

1. 自動給水泵日常維護保養缺失，以致給水泵發生軸承卡死機械故障。當鍋爐低水位連鎖保護裝置動作，即達到低水位（3 # 水位電極顯示缺水）給水自動控制系統指令給水泵給鍋爐進水時，給水泵無法進水。這是造成這次事故的直接原因。
2. 傳感型水位計選用和安裝位置錯誤，電極棒結垢失靈。小筒體相對水位連通器空

間要小，水位計沖洗困難，不利於排污；水處理工作不符合要求，水位計沖洗不勤，以致出現水位計內堆積污泥。電極棒結垢致使電阻增大，不能傳遞電信號，導致爐內水位達到極低水位時不能停火保護，從而鍋爐缺水乾燒<sup>[2]</sup>。這是造成這次事故的主要原因。

3. 在鍋爐上未安裝極低水位遮斷器。極低水位遮斷器，利用導電度不同的原理，當水位降低至極限值時，會立刻停止燃燒器的工作，同時發出報警。由於極低水位遮斷器未按圖紙和使用說明書要求供貨並安裝，使事故鍋爐失去了本次事故的最後一道自控保險，導致把爐膽燒損變形。
4. 司爐工長時間脫崗，不能及時發現異常現象，以致失去當自控失靈後人工關閉燃燒機的機會。

### 三、結束語

針對此次鍋爐缺水乾燒事故，總結主要原因為：給水泵軸承機械故障卡死，低水位連鎖保護動作無法進水；傳感型水位計選用和安裝位置錯誤，極低水位電極棒結垢失靈；未安裝極低水位遮斷器；司爐工長時間脫崗。對於此次事故，使用單位負主要責任，供貨方負連帶責任。使用單位應重視落實《特種設備安全法》第三十四條“特種設備使用單位應當建立崗位責任、隱患治理、應急救援等安全管理制度，制定操作規程，保證特種設備安全運行。”

1. 堅持安全第一，預防為主的方針。建立作業人員和管理人員的崗位責任制。提高司爐工素質，以確保鍋爐的安全運行，預防和減少鍋爐缺水事故的發生。
2. 根據《特種設備安全法》第四十四條“鍋爐使用單位應當按照安全技術規範的要求進行鍋爐水（介）質處理，並接受特種設備檢驗機構的定期檢驗。”鍋爐使用中每班定期排污，定期清理水位報警控制系統電極棒端頭，減少電極棒結垢失靈故障。
3. 定期對鍋爐的自動給水裝置、高低水位報警裝置進行冷態和熱態試驗，保證自動控制裝置的可靠運行。
4. 鍋爐設計、安裝和改造必須嚴格按照規範要求，不要出現錯裝和漏裝現象。
5. 建議對水處理工作相對薄弱的用戶，把水位連通器設計在鋼筒內和加裝極低水位遮斷器，可有效減少因電極棒結垢失靈造成鍋爐缺水乾燒事故。
6. 建議加裝電導率控制器及自動排污閥，實現自動排污，保證水質。

### 四、參考文獻

- [1] 楊家燦，工業鍋爐缺水事故分析[J]. 機電安全，2011,(7):21-23.
- [2] 王慶光，鍋爐水位不明的判斷及嚴重缺水後處理的探討[J]. 科技風，2009,(16):258.
- [3] 查建國、孫成金，水位示控裝置電極棒結垢引起的鍋爐嚴重缺水事故[J]. 中國特種設備安全，2008,24(4):59-60.

# 密度法測定鍋爐水的溶解固形物

孫潔、金可、黃炯、虞惠豐 / 紹興市特種設備檢測院

## 一、摘要

通過密度計測定鍋爐水中的密度，同時用傳統方法測定水中的溶解固形物的含量，從而通過曲線得出密度與溶解固形物之間的關係，從而提出密度法測定鍋爐水的溶解固形物。

溶解固形物是指將水樣濾出其懸浮物後進行蒸發和乾燥所得的殘渣，是水中溶解的鹽類和有機物的總稱。溶解固形物是監測鍋爐爐水的重要指標，它直接影響鍋爐運行過程中結垢、腐蝕和蒸汽品質的控制，是確定鍋爐排汙量的重要依據。因此，在日常監測過程中，如何準確又簡便地測定溶解固形物，必須引起鍋爐使用單位的重視。密度是用來描述物質在單位體積下的質量，用密度計可以比較精確的測得水的密度。因此，密度法測溶解固形物，是一種全新的方法，它具有方便，高效的優點，在現場條件允許的情況下，可以進行現場監測，為檢測工作帶來了更多的便捷，提高了工作效率。

本次研究中的樣品，主要來源於紹興地區的各鍋爐使用單位的鍋爐爐水抽樣樣品，經過 4 個月左右的抽樣，共收到 121 個樣品，選取了具有代表性的樣品作為此次研究的數據來源。

此次樣品嚴格按照規範抽樣，做到樣品無污染，當天及時完成檢測，使數據準確並且具有代表性。

## 二、方法概要

### (一)前期準備

#### 1. 密度計

本次研究所用台式密度儀：安東帕 DMA4500M

##### (1)測量範圍：

密度精度  $1 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$

密度準確度  $5 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$

(2)進行水檢查，通過的話，可以直接進行樣品檢測。

(3)如果清洗後第二次檢查仍不能通過，需要進行空氣/水校正

#### 2. 溶解固形物

(1)準備水浴鍋或 400mL 燒杯

- (2) 100~200mL 瓷蒸發皿  
 (3) 分析天平 (感量為 0.1mg)

### 三、密度與溶解固形物的關係

#### (一) 測鍋爐水的密度

用密度計測得鍋爐水的密度。為了保證測量結果的準確性，進樣要求均勻且沒有氣泡。

#### (二) 測鍋爐水的溶解固形物含量

用重量法測得溶解固形物含量。

1. 一定量已過濾充分搖勻的澄清水樣 (水樣體積應使蒸乾殘留物的稱量在 100g 左右)，逐次注入經烘乾至恒重的蒸發皿中，在水浴鍋上蒸乾。
2. 將已蒸乾的樣品連同蒸發皿移入 105~110°C 的烘箱中烘 2 小時。
3. 取出蒸發皿放在乾燥器內冷卻至室溫，迅速稱量。
4. 在相同條件下再烘乾 0.5 小時，冷卻後再次稱量，如此反覆操作直至恒重。
5. 溶解固形物含量  $R$  按下式計算：

$$R = \frac{m_1 - m_2}{V} \times 1000$$

式中： $m_1$  —— 蒸乾的殘留物與蒸發皿的總質量，mg；

$m_2$  —— 空蒸發皿的質量，mg；

$V$  —— 水樣的體積，mL。

密度和溶解固形物含量見表 1。

因表 1 中密度含量比較小，兩者之向的關係設定一個中間值  $\rho_0$ ， $\rho_0 = (\rho - 1.00000) \times 100000$ ，將  $\rho_0$  與溶解固形物含量制作曲線。

根據表 2，得到曲線如圖 1 所示。

從圖 1 中，可以得出溶解固形物 ( $R$ ) 和密度 ( $\rho_0$ ) (25°C) 關係： $R = 141.18\rho_0 + 3971$ ，擬合方程  $r^2$  高達 0.996，線性關係良好。

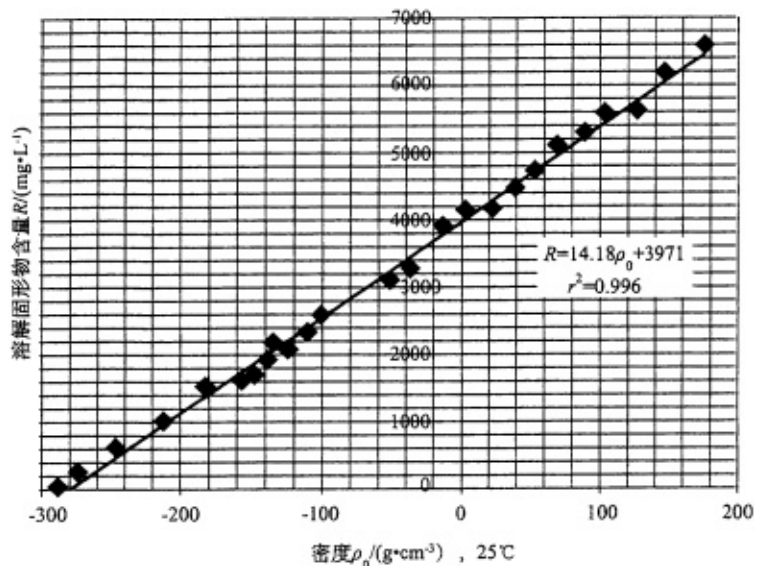


圖 1 密度和溶解固形物關係圖

表 1 密度和溶解固形物含量 R

序號	密度 $\rho/(g \cdot Cm^{-3})$ , 25°C	溶解固形物含量 R/(mg · L <sup>-1</sup> )
1	0.99713	31
2	0.99726	228
3	0.99754	608
4	0.99790	992
5	0.99820	1488
6	0.99844	1641
7	0.99850	1696
8	0.99860	1899
9	0.99867	2092
10	0.99877	2113
11	0.99891	2345
12	0.99901	2569
13	0.99950	3108
14	0.99964	3296
15	0.99988	3881
16	1.00003	4150
17	1.00022	4210
18	1.00041	4518
19	1.00054	4696
20	1.00069	5114
21	1.00092	5322
22	1.00105	5509
23	1.00129	5652
24	1.00147	6120
25	1.00174	6588

表 2 密度 $\rho_0$ 與溶解固形物含量 R

序號	密度 $\rho/(g \cdot Cm^{-3})$ , 25°C	溶解固形物含量 R/(mg · L <sup>-1</sup> )
1	-287	31
2	-274	228
3	-246	608
4	-210	992
5	-180	1488
6	-156	1641
7	-150	1696
8	-140	1899
9	-133	2092
10	-123	2113
11	-109	2345
12	-99	2569
13	-50	3108
14	-36	3296
15	-12	3881
16	3	4150
17	22	4210
18	41	4518
19	54	4696
20	69	5114
21	92	5322
22	105	5509
23	129	5652
24	147	6120
25	174	6588

#### 四、適用範圍

此次研究，只是針對紹興區域的鍋爐水，對於其它區域，由於水域的不同，密度和溶解固形物的關係可能會存在區別，不適合此曲線，不同的區域要做不同的曲線進行修正，而且在不同的季節，必須對曲線進行修正。

此研究中的鍋爐，以自來水為給水，自來水的密度為  $0.99717g/cm^3$ ，溶解固形物含量很低。因此，紹興地區的自來水作為鍋爐的給水，完全不會影響到鍋爐瀘水中溶解固形物的測定。

## 五、結論

鍋爐水的密度和溶解固形物之間是一次線性關係，得到兩者的曲線關係後，可以測得密度的同時計算得到鍋爐水的溶解固形物含量。因此，採用密度法測定鍋爐水中溶解固形物的含量，可以大大節約檢測的時間，提高工作效率，在現場條件允許的情況下可以進行現場水樣的檢測，減少了水樣因為來回取用而帶來的汙染等，同時還可以讓檢測人員對水樣進行隨時監測。但是密度隨溫度變化而變化，因此接下來要研究的是不同溫度下的關係曲線。

## 六、參考文獻

- [1] 郭桂華，鍋水中溶解固形物含量的直接測定與間接控制應注意的問題 [J]. 化工管理，2016, (3):9.
- [2] 孫潔、金可、黃炯等，密度法測定鍋爐水中溶解固形物含量的可行性分析 [J]. 化工管理，2016, (3):9.
- [3] GB/T 1576-2008 工業鍋爐水質 [S].
- [4] 楊佩應、史佩芬，離子交換法測定鍋爐水的溶解固形物 [J]. 工業化工，1989, (3): 35-39.
- [5] 啓蒙，如何監測鍋水中溶解固形物 [J]. 中國特種設備安全，1994, 10(4):45.

別讓您的權利睡著了！  
新購鍋爐時，別忘了  
委託本會測試效率



### 本會技術服務項目

- 外銷鍋爐、壓力容器、熔接、構造檢查。
- 小型鍋爐、小型壓力容器構造檢查及定期自動檢查。
- 第二種壓力容器構造檢查及定期自動檢查。
- 中國特種設備－鍋爐、壓力容器等相關法規、標準諮詢。
- 既有危險性機械（固定式起重機）申請檢查輔導。
- 既有危險性設備（鍋爐、壓力容器）申請檢查輔導。

鍋爐燃燒效率 聯絡人：林佳慶 0937-750800