

特種設備安全

SAFETY OF SPECIAL EQUIPMENT

1991-5 創刊 2021-8 出刊

雙月刊 第73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

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
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
志豪工業有限公司
霖興機械工業股份有限公司

目錄

CONTENTS

會務訊息

- ★安全閥測試暨設備壓力試驗訓練班 2

技術報導

- ★鍋爐運轉之基本技術 3
- ★移動式電極靜電集塵器介紹 18
- ★一起工業鍋爐缺水乾燒事故分析 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

安全閥測試暨設備壓力試驗訓練班

本會為服務各界廠商，舉辦安全閥測試暨耐壓器密試驗訓練，本次課程除安全閥介紹外，亦針對新版安全閥相關法規及吹洩量計算（CNS2139-108 年版，CNS9969 第七部 -107 年版）講解。

- ◎ 上課日期：110.09.27 ~ 110.09.29（日間班）
- ◎ 訓練費用：每人 5,000 元（含 5% 營業稅）
- ◎ 上課地點：台中市北區崇德路一段 629 號 4 樓之 3
（本會附設台中職業訓練中心）
- ◎ 相關問題請洽本會（電話：04-2236-2977）



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

- 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。
- 鍋爐燃燒效率及蒸汽乾度檢測。
- 危險性機械、設備型式檢查申請輔導。

聯絡人：林佳慶 專員 0937-750800

鍋爐運轉之基本技術

薛進來

鍋爐是一種藉燃料燃燒所產生的熱能，傳入於水中，而使水產生蒸汽的裝置。鍋爐的種類很多，且其檢修維護方法也不一樣，要一一舉出，實在不可能的。每一座鍋爐需要特別注意的地方，製造廠家都備有詳細的說明書和手冊可供參考。

一般鍋爐產生的蒸汽大多使用於製程工場的加熱過程，也有的以作動流體的型態，在發電廠的汽輪機上使用，另有的工廠在其他用途上使用。大致發電用鍋爐，小至暖房上使用的熱水鍋爐，可以說到處使用，甚為普遍的。因此鍋爐之運轉狀況在今日經濟上的地位有舉足輕重的，而不可忽視。

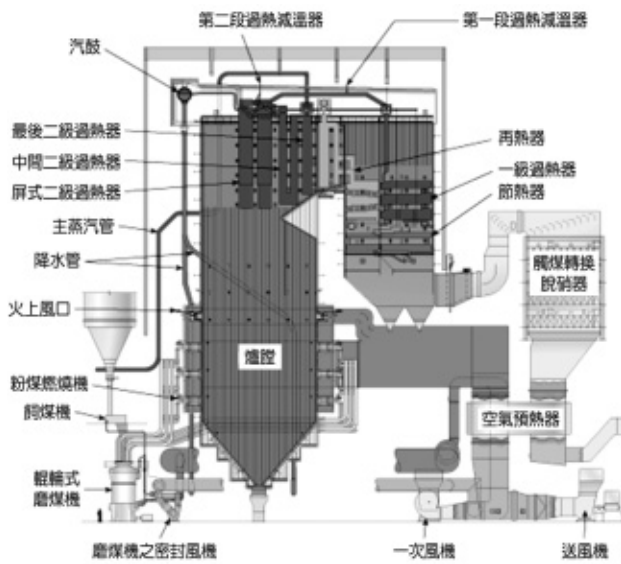
鍋爐運轉人員必須注意的重點如下：

1. 安全性；
2. 長期安定運轉；
3. 高效率運轉及有效熱能使用；
4. 公害防止；

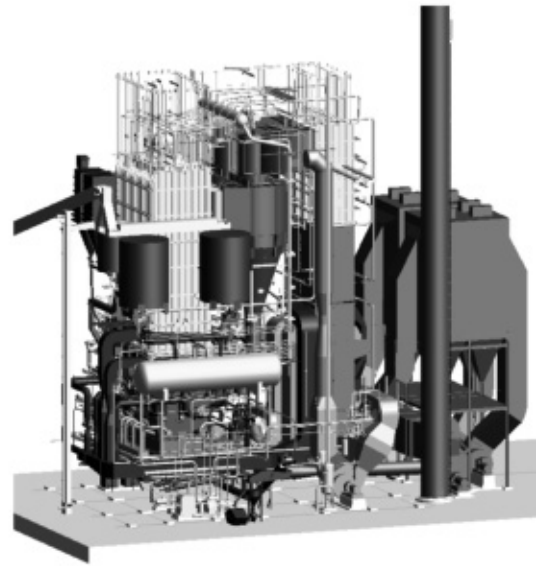
大部分的鍋爐都維持在高效率運轉，這個效率也是嚴格的公害管制下，經過性能測試合格的。鍋爐之所以能夠幾乎無非預定停機作業，平時能夠長期間維持穩定安全可靠連續運轉，主要是這些鍋爐及其附屬設備機器都是依照使用目的，經過周密的設計、細心的安裝和運轉維護的結果。鍋爐運轉維護的要點，除了要將有礙運轉的異常狀況消除，防患事故於未燃之外，並且要以最少的燃料產生最多的蒸汽。

至於鍋爐的運轉則關係到燃料之燃燒和蒸汽之產生，其現象和過程與構成鍋爐的主要設備之間有相互關係，如果在安全上有所疏忽時就會變成危險狀態。燃料、空氣和溫度合夥原是爐膛發生燃燒的三要素，因此如果燃料和空氣的混合比或者式點火的時間上有所不當時，爐膛就會發生爆炸的危險。

爐膛開始燃燒後，鍋爐在產生蒸汽的同時，爐水內將積蓄熱能，此熱能產生的過程，如果在極快速的情況下進行，則會危害到受壓胴體，但鍋爐要是使用得當，也絕不是危險之物；只要依照鍋爐運轉有關的種種基本原則，使各部分維持在規定極限值內或條件下運轉，則可確保長期安全可靠的連續運轉。至於運轉有關的事項，只要把構成鍋爐的主要構件及附屬設備機器，施以定期性之檢查和修護，鍋爐的運轉和維護實有密不可分的关系，想要避免無謂的檢修，防患事故於未然，則必須有計畫的施行預防及保養。



粉煤燃燒鍋爐



循環流化床鍋爐

一、新裝鍋爐的調整與試運轉

新裝鍋爐或經過大修，或未改善而長期停用之鍋爐，在進入運轉時，應實施有系統的動手處理（Approach），其步驟因不同鍋爐而異，不管那種鍋爐都需要處理步驟（Step）如下：

1. 調整試運轉之準備和檢查作業；
2. 水壓試驗；
3. 儀器和控制系統之校正與調整；
4. 輔機之試運轉；
5. 鍋爐水側之淨度確保及化學清洗；
6. 鍋爐點火與升壓試驗；
7. 沖洗；
8. 安全閥試驗。

鍋爐之調整試運轉為設計、製造、安裝的最終目的工程，上述各項工作範圍包含甚廣，並非少數若干人所能夠進行的，而必須由一群相關技術人員的密切合作，方可逐項奏功。因此，必須先將鍋爐之調整試運轉的操作手冊編輯，與相關人員溝通工作，劃分責任範圍，並訂定明確的工期計劃，有系統的進行此工事。

(一)調整試運轉之準備和檢查作業

調整試運轉前之檢查目的是要確認所製造的鍋爐及其附屬設備的狀況，透過此項工作，讓調整試運轉之工作人員都了解狀況。

(二)水壓試驗

凡鍋爐新裝或檢修完成後，壓力容器部分必須進行設計壓力 1.5 倍高之水壓試驗，當水壓到達規定值後需維持一定時間，並檢查各部有無洩漏和異狀，水壓試驗之方法因各廠之條件和設施而異，應就其個別的情況條件下檢討，一般必須注意的事項如下：

1. 為防止安全閥在水壓試驗時開啓漏水，必須先將安全閥用夾子予以夾住，或將安全閥拆下用盲板封住，夾子之安裝或拆除期間應在安全閥設定值之 80~90% 範圍，而且在安裝或拆除期間不要讓壓力變動，如此保護安全閥之閥座和防止加諸於閥桿承受過大的壓力，水壓試驗完成後及鍋爐啓機前，必須將所有盲板或夾子予以悉數拆除。
2. 新裝鍋爐之水壓試驗通常在鍋爐初次補水時施行，因此，為防止鍋爐內面污染及銹蝕，需要使用高純度的飼水，鍋爐補水原則尚需將鍋爐之節熱器、鍋爐本體、過熱器及再熱器等依序進行補水，並避免自鍋爐上下兩方打水；如果上下同時打水，則爐內將積存或混入空氣，當爐內殘留空氣時，將難以提昇水壓來實施水壓試驗。因此，鍋爐補水前必須將其所有排氣閥打開，當在進行打水時可將爐內空氣全部驅除，要一直補水到爐水自所有排氣閥溢出清晰的排水為止，並確認爐內空氣已全部驅除後，關閉所有排氣閥，然後開始進行水壓試驗。
3. 鍋爐補水和水壓試驗所用之水質當然是使用鍋爐飼水規格的純水或超純水，必須取樣分析以確認其水質合格。
4. 鍋爐之過熱器和再熱器等未設有洩水之部分設備，為顧及從水壓試驗到試車點火期間之保存，必須採用填加聯胺 (N_2H_4) 約 500~1,000PPM 處理水補入鍋爐內；其他水壓試驗可以完全洩放存水之部分，則需採用填加聯胺 (N_2H_4) 約 10~20PPM 處理水即可。
5. 水壓上來以後，要徐徐加以提昇壓力，釋壓時亦需徐徐降之。
6. 水壓試驗之水的溫度不可過低，以免壓力容器部分之週遭空氣露化凝結於其表面，而影響對檢漏之判斷；但是如果水溫太高，則自壓力容器部分洩漏出來的水，將有因閃沸而變成水蒸氣之虞，且以手觸檢查較為困難；因此，水壓試驗之水溫必須在適當的範圍。

(三)儀器控制裝置之調整

1. 自然循環鍋爐至少需要裝有壓力計和水位計之儀表，以檢知鍋爐內蒸汽之壓力和水位，這是鍋爐安全運轉所必備的器具；如果鍋爐設有過熱器和再熱器之場合，則尚需裝置溫度計；貫流式鍋爐則壓力計和溫度計都需要的。
2. 鍋爐需求之飼水或產出的蒸汽，以及運轉需要之燃料和空氣，這些流量的多寡在

管理上相當重要，因此，必須裝置這些流體之流量計。

3. 鍋爐之燃料與空氣燃燒前後之各段風道、爐膛及煙道等必須裝置風壓計和溫度計。
4. 鍋爐運轉中所有的儀器之指示必須管制在其設計值內，因此，所有儀器都需要極高的準確性，這些儀器尚未校正達到正確前，鍋爐就不能運轉，此外，儀表校正的精確度也要適當，所有運轉的情況才可掌握在適可範圍內。
5. 大多數鍋爐裝有自動控制設備和安全保護裝置，自動控制的方法視控制目的而略分為兩類，一為鍋爐自動啓機和停止採用程序控制方式（Sequence control）；另一為鍋爐運轉中採用迴饋（Feed back）信號或迴授信號來控制；近來一些高溫高壓的大型鍋爐採用分散式微電腦控制系統（DCS），這些自動控制設備和安全保護裝置的所有動作，在未測試確認可用前，不可冒然使鍋爐置入自動操作。

(四) 輔機之試運轉

鍋爐之輔機包含所有構成鍋爐之輔助設備機器（Auxiliary component），這些機器性能之優劣，直接影響鍋爐之性能；鍋爐之輔機有供給鍋爐燃料用空氣的送風機及引風機、供給鍋爐飼水之泵浦、供給鍋爐燃料之設施及燃燒設備、燃燒前空氣與燃燒後燃氣熱交換之空氣預熱器等，這些輔助設備必須在鍋爐試運轉前全部先行試運轉，並確認其性能良好。

在進行輔助設備試運轉過程，應特別注意安全事項，須有充分的準備和檢查，並注意輔助設備之周圍環境的清理，如果輔機吸入灰塵，有時也會造成性能劣化之原因。

連鎖控制之安全保護裝置必須徹底測試及確認之，如果有部分安全裝置被解除時，需要紀錄其內容及注意事項，並通知相關試車人員知悉；尤其是蒸汽或儀表空氣之根閥（Root valve）的開啓，或電源之投入（送電）時，都應事先考慮到設備和人員的安全；鍋爐之安裝過程是錯綜複雜的情況在所難免，必須明確訂定試運轉人員之分配體制及指揮系統，並在試車現場豎立「閒人莫進」或「禁止入內」等禁止或標示牌，預防因送電或送氣之誤操作而引起一些電氣或儀表的錯誤事故發生。

輔助設備在試車前，先進行啓動前檢查和瞬間試轉動作，然後再進行正式的試運轉，輔助設備之試運轉原則，一般由無負荷徐徐加載升高至全負荷運轉，也要注意泵浦有最小流量之限制，必須遵照其特有設計性能進行試運轉；最高運轉數據的上限查證，儘可能包括流量和電流，依據所測得的數據而決定予以抑制在安全範圍內。

採用可燃氣體（LPG 或 LNG）的設備，起先不可以實用氣體來試驗，應以蒸汽或氮氣等氣體來試驗及確認合格後，才進行採實用氣體試驗較妥。

於試運轉中或試運轉結果，如果發現有不合理的狀況時，不要遷就此事實，應立即與相關人員接洽檢討，並採取適當的處理。

(五) 確保鍋爐水側之淨度及化學清洗

鍋爐之爐膛的水冷壁為構成爐膛和產生蒸汽的主要部分，也是鍋爐受熱最嚴厲的部分，為了使鍋爐能夠在啟動及全負荷運轉範圍內，維持長期安全可靠的連續運轉，使水冷壁管充分發揮其冷卻的作用，必須保持水冷壁之清淨，這對於現代追求高運轉率及高性能的高溫高壓鍋爐是非常重要的。

鍋爐之爐管水側發生髒污，會導致爐管設備發生事故；附著於管內的油污、牛油及防銹漆等，在鍋爐內燒焦而妨礙熱傳導，會使爐管發生過熱而破管；自然循環式鍋爐在汽鼓形成泡沫（Foaming），引起汽水共騰（Carry over），會影響汽鼓水位之正確指示，且爐水中所含固形物會隨蒸汽夾帶出去，尤其是二氧化矽（Silica）在蒸汽中具有高溶解度，容易附著於過熱器管子內及汽輪機之葉片上形成結垢，產生損傷。

為防止此類損害之發生，首要將鍋爐飼水管路及爐管內部的雜物予以沖洗（Flushing），新裝鍋爐在水壓試驗階段，初次打水時就必須採用高純度的水，並保持爐管內清淨。自然循環式鍋爐在飼水系統加入 5~10PPM 之聯胺（ N_2H_4 ），沖洗後進行煮爐過程（Boiling out），以去除附著於爐管內的油污、牛油及防銹漆等；煮爐時，爐內需要加入 200PPM 之氨水或碳酸鈉、苛性鹼、三磷酸鈉、亞硫酸鈉等以進行鹼煮程序。無論採用何種化學藥物來進行鹼煮，煮爐壓力升上 10Kg/Cm²G 時，維持 5~6 小時，排放爐水以去除上述油脂類；為有效地沖洗，最好將鍋爐系統劃分為數個區域，分區個別沖洗；沖洗結果可自爐管的排水之濁度窺知，普通濁度在 3~5PPM 即可判為良好。使用溫水沖洗亦有相當效果，採用高流量大沖放，亦可提升沖洗的效果。貫流式鍋爐及廢熱鍋爐（HRSG）也必須比照上述方法處理，這些煮爐及沖洗過程必須在鍋爐進入運轉前得實施完成的。

煮爐和沖洗工作完畢後，鍋爐和飼水管路內面將殘餘附著一層氧化鐵和微細鐵銹垢之腐蝕性生成物，會妨礙熱傳導，尤其在高熱負荷區之水冷壁內面最容易附著。新裝鍋爐在試運轉至全負荷運轉期間，容易形成多細孔狀的所謂軟質鐵銹垢，此密度極小的多細孔狀沉積物比硬質稠密物之熱阻抗較大，會引起水冷壁的金屬溫度急劇升高，必須予以特別注意，如果採用強制冷卻沖放（Blow down）和清淨（Clean up）可以去除此銹垢。

(六) 鍋爐點火升壓試驗

新裝鍋爐或經過大修或改造工程等長期停用的鍋爐，其初次點火升壓時，需特別注意鍋爐各部位之膨脹伸張、耐火材料之乾燥及輔機之運轉情況而徐徐緩慢升壓；點火升壓時爐水溫度之上升率，應在限制值之 1/2~1/3 左右，為了使鍋爐各部分的伸張及耐火材料的乾燥均勻，必須將燃燒器之點火位置予以適切的變換；鍋爐的部分

如汽鼓或水鼓及爐水集管等底部需要裝設熱脹伸張計測器，在鍋爐點火升壓時，特別注意其熱膨脹量和方向。

運轉人員在鍋爐升壓過程，除了檢查各部分有無異狀外，也要了解鍋爐及其附屬設備之特性，及巡視各管路之法蘭與閘桿之墊圈（Packing）是否有洩漏現象，必要時予以鎖緊至不漏為原則；鍋爐壓力一定要升到正常操作壓力為止，如無特殊異狀，則此升壓試驗工作即告完成。

(七) 沖洗（Flushing out）

新裝汽輪機在初次送汽前，為防止被蒸汽帶過去的鐵銹和其他雜物打傷葉片或閥內元件，可以利用高速蒸汽之流動一冷一熱的反復熱震（Thermal shock）作用，使附著於過熱器、再熱器管內之鐵銹和雜物剝離而吹除。實際上沖洗的過程必須採用排放大氣之臨時配管，此項配管必須考慮管路可以充分吸收熱膨脹，並足夠承受蒸汽的反動力；又排汽的裝配對人、建築物及機器不致造成傷害，同時要裝設消音器，以消除排氣噪音，而且要通知附近相關人員，注意在實施管路沖洗時之安全和噪音問題（需裝設臨時的蒸汽排放消音器）。

最有效去除管內鐵銹和雜物的方法是採用低壓高溫之蒸汽，高流速之蒸汽和管路沖洗過程，通常分為兩階段進行：

1. 以主蒸汽管路，即過熱器和主蒸汽管路為對象，因此，自主蒸汽關斷閥通至大氣中需裝設臨時配管，並在此臨時配管裡面裝置一片經過精研的試片，供檢驗沖洗效果之參考用。
2. 通過包括再熱器管路的過熱器、主蒸汽管、低溫再熱蒸汽管、再熱器、高溫再熱器的沖洗，自主蒸汽關斷閥起至低溫再熱器管、汽機出口之間裝設臨時配管，沖洗效果之檢驗方法如前述一樣。

如此分兩個階段施行沖洗的目的主要是儘可能防止各部分之鐵銹和雜物不致於被帶到其他部分；關於低溫再熱蒸汽管路不一定要特別做反復多次的沖洗，此時一定要在裝配臨時管路之前，先將低溫再熱蒸汽管路請洗乾淨。

沖洗操作過程中，要特別注意鍋爐之安全，小心操作；沖洗操作前需先將管路加以預熱，並打開其洩水閥排水，以防止水錘現象。鍋爐因在打開主蒸汽閥進行沖放時，由於壓力劇降，汽鼓內產生急劇的蒸發，水位會上升；當主蒸汽閥關閉時，蒸汽受到壓制，氣泡破解水位就會下降，因此給水操作之時機不要有耽誤。貫流式鍋爐之場合，因沖洗之量受到限制，因此需要考慮以增加沖洗的次數來補充吹除效果。

(八) 安全閥試驗

一般安全閥在出廠前都已在製造廠做過嚴格的試驗，並調整妥善，但在鍋爐初次升壓至額定值後，為確認安全閥是否設定在規定值，和明瞭實際之動作情形，必

須實施試驗，必要時得調整之。安全閥試驗之目的如下：

1. 確認安全閥是否能在規定值吹出；
2. 安全閥是否能在規定範圍內停止吹出；
3. 安全閥是否能開到充分的吹出量；
4. 安全閥是否動作正確。

安全閥之調整必須由專家或熟練人員來執行，安全閥之閥座容易被濕蒸汽和雜物所傷，如果損傷嚴重時，將導致洩漏之原因，因此，在安全閥試驗之前應先將塞子取出。

安全閥會隨著所裝之汽水鼓、集管或管路而形膨脹，同時也會隨著而上下左右移動，因此，安全閥之排汽管和洩水管必須注意裝配妥；安全閥是必須使其動作穩定，而且應避免吹出時產生巨大的應力，因此，一定要直接裝在和安全閥入口同樣大小，或同樣強大的壓力容器或配管之管嘴上，安全閥之排汽管和洩水管需考慮安全閥的移動在配管上要具有充分的彈性；如果有部分發生碰觸，會使安全閥受到無謂的力量，會成為洩漏和動作不良的原因，應該特別注意。

即使在中央控制室操作之鍋爐，也需要在現場實施安全閥跳動調整試驗；在各崗位上的操作人員應隨時知道鍋爐在徐徐升壓的狀況，免得發生任何問題因聯絡不及而引起事故，安全閥試驗時，所有的壓力表都必須校正，主要壓力表應採用大直徑（300mm）的錶計。

汽鼓上的安全閥，通常試驗吹出壓力和停吹壓力不一樣，升壓時要一直升到吹出壓力為止，然後任其釋壓至停吹壓力以下，安全閥作動時會引起巨大的水位變化，運轉人員要特別注意這點。

超臨界壓力鍋爐之情形，因為鍋爐使用本身壓力高，安全閥吹出壓力設定在高出最高使用壓力的 16% 以上，為了試驗安全閥而將壓力升至設定壓力使其吹出試驗之方式較不妥，這種安全閥有一種較新的測試方式，將安全閥入口側蒸汽壓力升高至吹出壓力之 75% 以上和吹出壓力以下之程度，並保持一定，然後以油壓器徐徐地將油壓提高使安全閥吹出。

再熱器之安全閥試驗，可利用沖洗時之臨時配管及盲板，自鍋爐或其他蒸汽源導入蒸汽實行，試驗前要注意預熱。

安全閥試驗，除了要試驗那支安全閥外，其他者都要把他用夾子夾住，夾子宜當壓力達額定之 80~90% 時夾上，如果從冷態開始就把他用夾子夾住時，由於閥桿和閥柄受熱膨脹會使閥桿彎曲而損害閥座。

吹出前之洩漏太大，或吹出壓力或吹止壓力超過規定範圍時，必須施行調整；同一個安全閥要儘量避免連續多次的試驗，此與跳開之間隔時間有關係，不過如果已做三次仍未能調妥時，最好中斷一段時間後，讓安全閥冷卻下來後再繼續試驗。

二、鍋爐運轉

鍋爐運轉的步驟因各個鍋爐設計而異，但凡鍋爐之運轉操作都為達下列目的而施行：

1. 對腐蝕過熱之熱應力等壓力部之保護；
2. 防止不完全燃燒和鍋爐爆炸；
3. 防止排放廢氣、廢水、廢棄物及噪音等環境污染；
4. 防止機器故障，保持安全運轉；
5. 確保可安定供應所需要的蒸汽壓力、溫度及負載（蒸汽流量）。

因此，鍋爐操作員必須認清下列一般鍋爐施行運轉工作的敘述：

(一)鍋爐給水

鍋爐點火前先啟動給水系統，一般鍋爐要補水至汽鼓的額定水位為止，貫流式鍋爐則打水致滿水狀態，打水的方法敘述如下：

1. 鍋爐給水之水質必須依據鍋爐飼水之水質管理基準管制合格，以防止鍋爐壓力部之腐蝕和鐵銹及其他結垢物等形成；
2. 確認給水儲槽（純水槽或超純水槽及脫氣水槽）之儲水量能夠滿足鍋爐需要的給水量；
3. 鍋爐給水如係溫水，則為了避免汽鼓和管路因熱應力而彎曲，必須慢慢地補水，鍋爐壓力部如溫差太大時，將產生熱應力，縮短壓力部之壽命，又因溫差大而使扣耳（Lug）及其他壓力部之附件因熱應力而產生彎曲，如果給水溫度大於厚板壓力部之溫度達 55℃時，就得注意此問題。
4. 鍋爐補水時間須將排氣閥啓（全開），確認有空氣逸出情況下打水，使爐管內之空氣完全逸出，以防止氧氣腐蝕之發生。
5. 一般鍋爐在點火前，須保持汽鼓在適當的水位，要補水至正常水位稍低一點即可，同時一面將水位計之管柱沖放以確認水位，大量沖放可使內部之雜物排放出去，此在新裝鍋爐啓動時，要反復多做幾次；強制循環鍋爐則在爐水循環泵啓動前，須將水位保持在正常水位之稍上方位置，以防止爐水循環泵啓動後，汽鼓水位下降致無法目視的範圍。
6. 通常鍋爐給水由脫氣塔水槽經由鍋爐飼水泵補水進入鍋爐，在鍋爐尚未啓動前或鍋爐壓力部之壓力過低時，鍋爐給水不必經由高壓的鍋爐飼水泵補水，可改由較低壓的脫氣塔之補水泵來直接補水進入鍋爐。

(二)鍋爐運轉準備

1. 接到鍋爐運轉通知後，汽機及儀電相關人員應密切聯絡，確認各項相關設備都進入運轉狀態，不致於發生故障；

2. 鍋爐啟動前須先檢查下列事項：
 - (1) 鍋爐壓力部內無任何雜物；
 - (2) 運轉人數夠用及工作安排妥當；
 - (3) 所有人孔及窺視孔都確認已封閉；
 - (4) 啟動與連鎖裝置都確認可正常動作；
 - (5) 可退縮式吹灰機 (Retractable Soot Blower) 必須確認在退出爐外規定的位置；
 - (6) 各馬達電源及儀表電源都確認在正常供電狀態；
 - (7) 各儀表之儀表空氣根閥都確認打開狀態，並確認壓縮空氣系統已啟動及其供應壓力充足；
 - (8) 各燃燒器之根閥及風門都在關閉位置，燃燒器角度在水平位置；
 - (9) 確認各通風機之風門都在關閉位置。
3. 確認鍋爐所有關給水、汽機旁通蒸汽、霧化蒸汽、霧化空氣、燃油、減溫噴水、蒸汽加熱等控制閥關閉和其前後阻打開，主蒸汽機關斷閥關閉，汽鼓和過熱器之排氣閥打開，過熱器之洩水閥打開；
4. 再生式空氣預熱器、各通風機、粉煤機、飼煤機、鍋爐飼水泵、爐水循環泵、底灰輸送機等轉動機械之潤滑油是否良好狀態，冷卻水管路阻閥是否打開及是否冷卻水已通暢（並確認冷卻水系統已啟動），及其馬達啟動盤之啟動開關位置在停止等狀況，可允許隨時啟動；
5. 確認空氣預熱器、粉煤機等消防設施要備便，以防急需時可使用。
6. 確認觸煤轉換脫硝器 (SCR)、靜電集塵器 (EP) 或袋式集塵器 (BF)、出灰系統、排煙脫硫系統 (FGD) 等鍋爐之空氣污染防治設備可以隨時啟動。
7. 確認所有自動控制設備在手動控制位置，所有的連續遮斷裝置用手動操作，並檢查其在緊急時是否可自動操作。
8. 粉煤鍋爐在啟動以前，應將爐底之沉水式底灰輸送機的水封池補水至規定水位，將爐底密封妥；如設在煙囪前有濕式排煙脫硫系統，應可在鍋爐啟機前將其吸收塔的循環液泵浦先行啟機，進行洗滌作用，可在鍋爐點火時減少排放黑煙至大氣。

(三) 爐水循環

鍋爐爐膛水冷壁之冷卻係藉流體流動（流體之重量速度）來確保，鍋爐是否可以順利地無事故運轉，端視鍋爐水循環是否良好；亦即藉良好的爐水循環使水冷壁管獲得充分的冷卻，以防止管子過熱，鍋爐就可長期安全穩定的運轉。

自然循環鍋爐係藉循環各管內流體密度差而產生循環力，以維持管內流體之重量與速度，其情況是隨著鍋爐燃燒率之增加，自爐膛受熱之蒸發管內之汽水混合物和非加熱部之降水管內水之密度差而產生水循環。

強制循環鍋爐則藉上述自然循環之力，再加上爐水循環泵之機械力量，促使爐水循環；同時也可藉入口縮孔之作用，使各管熱吸收，確保管內適當之流體重量速度。

貫泵鍋爐基本上靠飼水泵壓送管內所需的流體之流量速度，因此，為鍋爐循環系統之安全運轉，在無法以最低負荷之冷水來確保所需最小的的流體之流量速度的鍋爐，需要另外設置”啓動旁通路”或藉由循環水泵將蒸汽入口使其再循環，以確保其適當充分的水循環。

由於鍋爐之水循環係鍋爐安全運轉上重要事項之基本所在，最好依據鍋爐廠設計條件而施行鍋爐水循環試驗，以了解水循環之特性，建立運轉指南；鍋爐水循環試驗時，要檢查流量、頂部乾度、鍋爐水冷壁管流體溫度、以及金屬溫度、鍋爐水循環泵之運轉台數、入口縮管或流量控制閥之開度調整結果等。

(四) 爐膛清淨（防止爐膛爆炸）

預防燃料進入爐膛立即爆炸是非常重要的事項，爐膛爆炸事故大多發生在鍋爐點火或低負荷運轉時，一般爐膛爆炸的原因如下：

1. 點火不完全或點火不著，爐內殘留有未燃物；
2. 爐內殘留有未燃物和空氣混合達到爆炸極限範圍內；
3. 爐內殘留有未燃物之一部份溫度升高達著火溫度時即起爆炸。

燃料可能有下列原因使未燃物漏入爐膛的狀況：

1. 停用中燃燒器或點火裝置自根閥洩漏入燃料；
2. 熄火時無法立刻遮斷燃料；
3. 啓動時因點火發生困難而延遲著火。

依照下列事項注意，則可防止爐膛爆炸：

1. 使用已停用很久的鍋爐之啓動用燃燒器，在使用點火炬前要先進行爐膛清淨；要確認點火炬之火焰大而不熄，燃燒溫度及霧化蒸汽之乾度等燃燒需求條件必須滿足；
2. 啓動燃燒器後數秒鐘內如未點著，則必須等爐膛清淨後，才可再行點火；
3. 燃燒器點火必須由該燃燒器之點火炬點燃，切不可從其他燃燒器之點火炬引燃；
4. 對不易燃燒之主燃料附有助燃用燃燒器時，不要在助燃器熄火狀態下燃用主燃器。
5. 燃燒器熄火前必須先將該燃燒器之點火炬點燃，進行燃燒器吹驅清淨後，然後熄火；
6. 停用中燃燒器或點火炬之燃料的根閥一定要全關，並確認無漏；如係液體燃料，必須防止燃料滴漏出，及將停用中燃燒器退出爐膛；
7. 鍋爐運轉中遭遇某種原因使燃燒器突然熄火，要監視燃燒器隨時可以遮斷狀態；萬一爐膛熄火，在再點火前必須先實施爐膛清淨操作。

為使鍋爐安全運轉之爐膛清淨方法是啓動通風機，並控制通風機之通風量為鍋爐全負載風量之 25%~30% 至少五分鐘，以確保殘留於爐膛內的可燃物都已驅除乾淨。

(五) 鍋爐啓動

鍋爐係藉燃料之燃燒產生高溫之煙氣，其熱能傳導入於水中因而發生高溫高壓的蒸汽之裝置，因此，無論在停止或運轉狀態，鍋爐啓動，亦即自鍋爐停止狀態變為運轉狀態之過程，運轉人員應該特別小心操作，並且注意鍋爐各部分之溫度、壓力、應力及機械伸張等殊異情況，下面就有關鍋爐啓動時應注意事項加以敘述：

1. 啓動用燃料（一般為瓦斯燃料，也有用柴油燃料的）和主燃料（重油或煤炭）兩種，必須依照順序分別啓動及切換燃料系統；採用煤炭為主燃料的鍋爐啓動後，應先經燃油（柴油或重油）燃燒後，且有一定的負載時才可轉換為煤炭燃燒。
2. 使用重油為燃料時，先啓動重油泵並建立重油循環系統，並要注意其加熱溫度是否足夠，包括重油管路的加熱都有必要，正常重油加熱採用蒸汽，當無蒸汽時則採用電熱器加熱；
3. 啓動用重油燃燒器從著火性及燃燒性著想，採用蒸汽噴霧燃燒器較佳，若無蒸汽時則採用壓縮空氣噴霧燃燒器也可，啓動用燃燒器切換負載用燃燒器之時機，一般為準備供應製程蒸汽時或汽機啓機開始昇載時；
4. 鍋爐啓動時為確保安全，需要多量的過剩空氣，其目的如下：
 - (1) 使爐內之空氣為過剩空氣，燃料送入鍋爐之爐膛後，如果因點火不良或點火過遲所發生的燃氣不致於滯留在爐膛內；
 - (2) 使再生式空氣預熱器內過剩空氣率增加，由空氣預熱器轉子轉動至燃氣混入空氣之比例減少，以防止空氣預熱器發生燒損。
5. 在鍋爐循環系統中設有循環爐水泵的鍋爐，則啓動循環爐水泵，設有啓動旁路之貫流式鍋爐須通以最小設計流量（通常為鍋爐最大連續蒸汽量之 25%~30%）之給水，經啓動旁路系統使爐水循環後才點火，點火前先啓動再生式空氣預熱器，接著啓動引風機及送風機，進行爐膛清淨操作，等爐膛清淨後，將通風機和燃燒器風箱之風門調整至適於點火的風壓，點火後應確認是否點著，並調整啓動用燃燒器使火焰穩定，這可採用火焰偵測器（Flame Scanner）或爐膛之閉路電視而遙控之，一直要使用點火炬及增加支啓動用燃燒器，使爐膛溫度上升及燃燒穩定；切線式爐膛之啓動用燃燒器應採用對角增加或定時更換啓動用燃燒器，以防止爐膛加熱不均勻的現象；
6. 調整鍋爐燃燒率使水溫上升率（次臨界壓力鍋爐則為飽和蒸汽溫度上升率）或厚板壓力部（汽鼓）之內外面溫度不要超過限制值，爐水溫度上昇率是依鍋爐型式構造而異；自然循環鍋爐為 55°C/Hr，強制循環鍋爐為 100°C/Hr，貫流鍋爐為

220°C/Hr；在鍋爐啓動期間，必須調整燃燒率以維持鍋爐出口煙氣溫度或過熱器、再熱器入口煙氣溫度不要超過限制值（540°C）；這些煙氣溫度最好在啓動時於爐膛插入熱電偶橫截計測之；

7. 鍋爐啓動期間之燃燒率調整增加和操作各閥類的運轉工作相當重要，鍋爐在啓動時，其壓力部所產生的空氣、蒸汽及洩水全靠汽鼓及過熱器、再熱器之排氣閥和洩水閥排放。當鍋爐蒸汽壓力上升超過 2Kg/Cm²G 時應將汽鼓及過熱器之排氣閥關閉，在冷凝器真空建立前，須將再熱器之排氣閥與大地連通的洩水閥關閉；關於鍋爐啓動期間之排氣閥和洩水閥的操作觀念敘述如下：
 - (1) 鍋爐必須防止凝結水停滯而產生所謂的凝結水阻塞（Drain block），會阻止蒸汽流動而造成爐管局部過熱或管排散亂等現象；
 - (2) 在鍋爐啓動期間，蒸發部傳熱面較過熱器傳熱面之受熱率高，蒸汽的昇壓較昇溫容易些，如欲提高產汽溫度，可操作靠近汽鼓之洩水閥排放，以限制過熱器之流量來達成；
 - (3) 由各部分之排氣閥和洩水閥排放來維持適當之蒸汽流量，以防止鍋爐之過熱現象發生。
8. 在不超越上述限制範圍內增加燃燒率，並依照特定之溫度、壓力上升計劃圖將鍋爐昇壓起來，鍋爐蒸汽壓力超過 2Kg/Cm²G 時應將汽鼓及過熱器之排氣閥和洩水閥關閉，同時慢慢打開鍋爐出口之主蒸汽關斷閥之旁通閥及製程蒸汽之汽機旁通控制閥及製程蒸汽管路之洩水閥，將蒸汽慢慢送出去預熱管路，等預熱完成後，將啓動用燃燒器切換為負載用燃燒器，慢慢打至全開鍋爐出口之主蒸汽關斷閥，依據製程需求的溫度和壓力將蒸汽送出去，啓用製程蒸汽管路之卻水器及關閉其洩水閥和鍋爐出口之主蒸汽關斷閥之旁通閥，並啓用製程蒸汽之減溫控制器來控制製程蒸汽溫度，注意控制製程蒸汽之壓力和溫度必須趨於穩定狀態。等汽輪發電機發電且負載達 40% 以上時，可將製程蒸汽之供應來源由汽機旁通閥控制器操作切換為汽機抽汽控制器操作。
9. 當鍋爐增加燃燒率達到汽機製造廠家指示之最低允許操作溫度和壓力以上時，即可送汽至汽機開始進行暖機工作；如果因鍋爐負荷率不夠時，可將鍋爐蒸汽排放經消音器排到大氣，提高鍋爐負荷率而使主蒸汽之溫度和壓力能夠達到最低允許值，就可準備啓動汽輪機。貫流鍋爐設有啓動用旁通管路，在其鍋爐、汽機、冷凝器及給水系統之間，此啓動旁路系統有下列功能：
 - (1) 汽輪機送汽前之初期啓動，要確認保護鍋爐壓力部所需最小設計的蒸汽流量，以防止被高溫煙氣燒損；
 - (2) 必須調整鍋爐出口之蒸汽壓力和溫度為適合於汽機啓動之蒸汽條件；
 - (3) 鍋爐啓動和低負載運轉時流經旁路系統的熱量需要靠給水加熱器來吸收。

10. 鍋爐之燃燒率增加到廠家規定的允許自動控制之最低負荷率 ($> 30\%$) 以上的平衡狀態時，即可將燃燒控制和汽鼓水位控制切為自動控制狀態，主蒸汽溫度控制器通常在鍋爐全負載之 70% 以上，才置入自動控制。
11. 鍋爐之燃燒率增加到廠家規定的允許燃用粉煤之最低負荷率以上的平衡狀態時，即可進行燃油切換至粉煤操作，其操作注意要點如下：
 - (1) 每次啟動一台粉煤機及飼煤機，依據廠家提供之粉煤機操作手冊，先啟動粉煤機之輔助設備及密封風機 (Seal air fan) 和強風機 (Primary air fan)，再啟動粉煤機，然後將粉煤機進行預熱操作。
 - (2) 當粉煤機預熱至 $78\sim 85^{\circ}\text{C}$ 時，且確認 Boiler & Oil Master 自動控制已趨於穩定狀態後，然後才可將該台粉煤機之飼煤機切入運轉，起初其飼煤量為最低值，等鍋爐主蒸汽控制 (Master control) 穩定後，才慢慢增加燃煤量，再準備啟動另台粉煤機及飼煤機。
 - (3) 當另台粉煤機及飼煤機切入操作前，必須先將粉煤機運轉台之飼煤量慢慢的調降至比最低飼煤量略高就可，並確認 Boiler & Oil Master 自動控制已趨於穩定狀態後，然後才可將另台飼煤機切入運轉。
 - (4) 每當飼煤機切入運轉後約 2.5 分鐘，鍋爐才實際增加到最低燃煤量，此時 Boiler Master 壓力會短暫的突升，應採手動提昇發電量來維持鍋爐主蒸汽壓力穩定。非不得已才手動調降燃油量與緊急打開蒸汽排放閥來降低主蒸汽的壓力。
 - (5) 燃油須控制壓力不得 $< 4\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ，以利油槍燃燒；當燃油壓力 $> 10\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 時，需增加點燃一支油槍；當燃油壓力 $< 6\text{kg}/\text{cm}^2$ 時，得減少燃一支油槍。
 - (6) 多台粉煤機之飼煤量必須調整同等量並提昇每台略大於最低飼煤量時，才可切入 Coal & Boiler Master 自動控制，然後慢慢的降低燃油量及停止燃油槍，完成鍋爐之粉煤專燒運轉。
12. 當鍋爐已在最低負載以上運轉且也啓用燃煤系統時，鍋爐之空氣污染防治設備例如集塵、出灰、脫硝及脫硫等系統都要置入操作。

(六) 節熱器 (Economizer) 之保護

有汽鼓的鍋爐在啟動期間，在節熱器內因水流動幾無，雖節熱器處於較低溫的地方，然而還是容易產生蒸汽，不但使汽鼓水位難以維持，而且會發生水錘現象，為防止此情況發生，應將節熱器之蒸汽排出或汽鼓不斷地排水使節熱器一直有水補入流通，或將節熱器之爐水再循環旁通閥打開而進行循環，以防止節熱器內積存蒸汽，此須一直開到鍋爐給水正常運轉為止。節熱器設有吹灰器，使煙氣傳熱面經常保持乾淨，以防止灰渣沉積在爐管表面而妨害熱傳導，但如吹灰過度或吹灰之流體含有水滴或硬質灰渣，會容易將節熱器之爐管表面磨損而發生破管事故，因此，在吹灰所當其沖的爐管正表面部分加裝保護片有其必要性。

(七) 過熱器與再熱器 (Superheater & Reheater) 之保護

過熱器與再熱器之管材設計選定都依據鍋爐正常額定運轉時之蒸汽流量、蒸汽溫度及壓力、煙汽溫度等數據來設計，其考慮因素如下：

1. 鍋爐局部蒸汽和煙汽溫度的不平衡；
2. 使用過熱減溫器時蒸汽溫度的變化。

但在鍋爐啟動時，過熱器與再熱器管內流通之蒸汽量並不十分充足，首先要考慮其保護而採過熱器與再熱器進口煙汽溫度加以限制，務使其金屬溫度抑制在管材的最高容許溫度下過熱器與再熱器於啟動時要儘量使加熱均勻，這可由爐膛之煙氣溫度偵測來判定，過熱器與再熱器入口煙氣溫度之調整，基本上要照燃燒率施行；但空氣過剩率、煙氣再循環啟動用特種風門之檢查及調整等，應視為有效的方法之一，亦須靈活運用。

過熱器與再熱器於啟動時需要有充分的蒸汽流量，以防止過熱，從所有管群之洩水閥洩水以確保充分的蒸汽流量；又鍋爐啟動期間或低負載時期，下降流過熱器與再熱器之流動較易發生阻塞，有時會發生阻塞，也應特別注意；此時如果能將負載提昇或以減壓運轉來增加體積流量，必是有效的對策。

過熱器與再熱器都設有吹灰器，使煙氣傳熱面經常保持乾淨，以防止灰渣沉積在爐管表面而妨害熱傳導，但如吹灰過度或吹灰之流體含有水滴或硬質灰渣，會容易將過熱器與再熱器之爐管表面磨損而發生破管事故，因此，在吹灰所當其沖的爐管正表面部分加裝保護片有其必要性。

(八) 鍋爐厚壁壓力部之保護

高溫高壓鍋爐之厚壁壓力部因其鋼板之厚度特別厚，縱使在一定負載下運轉，其各部溫度之分佈或熱屏障亦不會相同，此情況在啟動時更為嚴重，而會有因熱應力而產生疲勞裂縫之虞，因此，在加熱時或冷卻時必須要徐徐地緩慢進行。

(九) 空氣預熱器之保護

再生式空氣預熱器在運轉中應勤於吹灰，使煙氣傳熱面經常保持乾淨，其風壓、溫度以及空氣過剩等儀表指示是正常運轉中必要偵測的；空氣預熱器之煙側風壓損失異常增加時，就表示有堆積物在其表面形成；排煙溫度隨負載之增加而上升，有隨負載之減少而降低，如排煙溫度高時，可推想可能過剩空氣過多、或傳熱面太髒、或發生二次燃燒等原因。

如果空氣預熱器出口煙氣溫度發生異常急劇升高時，即表示空氣預熱器發生火災；鍋爐在啟動時燃料噴霧不良或過剩空氣過低，則空氣預熱器之低溫傳熱面或煙道上容易堆積濃縮的油煙或積炭之傾向，因而著火；因此，在鍋爐啟動期間，操作員應特別注意空氣預熱器出口溫度之變化，萬一發生火災，鍋爐應即刻停下救火。

蒸汽加熱之空氣預熱器是為防止再生式空氣預熱器低溫層之腐蝕而裝在其入口側，此加熱溫度依據燃料之含硫份多少而定；如果送風機吸入過多的灰塵磷物，此蒸汽加熱之空氣預熱器之前後風道可能發生差壓過高，因而使送風機出力增大很多，甚致於大到極限而使鍋爐無法全載轉，解決之道是設法防止送風機吸入過多的灰塵磷物，其次在此蒸汽加熱之空氣預熱器加裝清洗設備。

(十)鍋爐之停止

鍋爐最好依照計劃，在正常的運轉下，先降低負載，燃煤切換燃油操作，減少燃燒器使用，停汽輪發電機，停供製程蒸汽，再按正常的溫度壓力變化下操作停爐熄火。

鍋爐停爐程序中一面減少生產蒸汽流量，一面減少燃燒率，如係燃煤運轉的鍋爐必須切換為燃油操作，燃油燃燒器（油槍）的使用支數比照啟動時相反的順序減少，燃燒器在熄火前須點燃點火炬，施以吹驅油槍乾淨及熄火後再將燃燒器退出爐膛。

供應製程蒸汽由汽機抽汽控制器切換為汽機之旁通閥控制器操作，再切換改由其他鍋爐供應；隨著燃燒率下降，鍋爐負載降至最大連續負載之 40% 前，將汽輪發電機解聯，再停止汽輪機運轉；鍋爐負載降至最大連續負載之 30% 內，所有自動控制器改為手動操作。將鍋爐最後一支燃燒器熄火及停點火炬後，仍然維持送風機與引風機運轉數分鐘，其目的為了進行爐膛清淨操作；當爐膛清淨完成後，停送風機與引風機，但空氣預熱器及冷風機仍要繼續維持運轉，等待爐內相當冷卻後（< 80°C）才停止。

在鍋爐停車期間，鍋爐相關的空氣污染防治設備也須配合操作停車，當燃煤切換為燃油操作後，可將集塵器停止操作，但其相關出灰設備繼續操作至所有飛灰已確認出清為止；脫硝及脫硫之加藥設備可停止，但濕式吸收塔之循環液泵要繼續運轉至爐膛清淨完成後才停止；所有出灰系統包括底灰與飛灰之排放設備，都必須等爐膛清淨完成後，且等所有灰渣都已出清後才可停止。

如由於突發事故，則必須緊急停爐，強制冷卻，進行搶修工作。

鍋爐強制冷卻必須控制爐水溫度下降速率，依據各種鍋爐型式結構而異，自然循環鍋爐為 55°C/Hr，強制循環鍋爐為 100°C/Hr，貫流鍋爐為 220°C/Hr；其冷卻方法如下：

1. 運轉送風機與引風機，使爐內通風冷卻；
2. 操作洩水閥，排放蒸汽，使鍋爐壓力降下；
3. 一面鍋爐補水，一面爐底排水；
4. 啟動旁路系統或爐水循環泵，使爐水循環冷卻。 <全文完>

移動式電極靜電集塵器介紹

張進發

一、概說

靜電集塵器（ESP, Electrostatic Precipitator）是污染防治工業廣泛被運用在氣體除塵的一種設備。其原理為含塵氣體經過高壓靜電場時被電分離，粉塵與負離子結合帶負電後，移動至陽極表面放電而沉積。

靜電集塵應用的歷史悠久，第一台商業靜電集塵器於西元 1885 年完成後，經過不斷地研究改進，提高直流電源及控制設備等性能，使靜電集塵在除塵工業中佔了一席之地。目前傳統的靜電集塵器的設計效率都可達到 99.5% 以上，然而面對未來日益提高的環保標準及民衆對於 PM2.5 排放的疑慮，除塵設備的效率被要求再提高，以降低排放及對環境的影響。

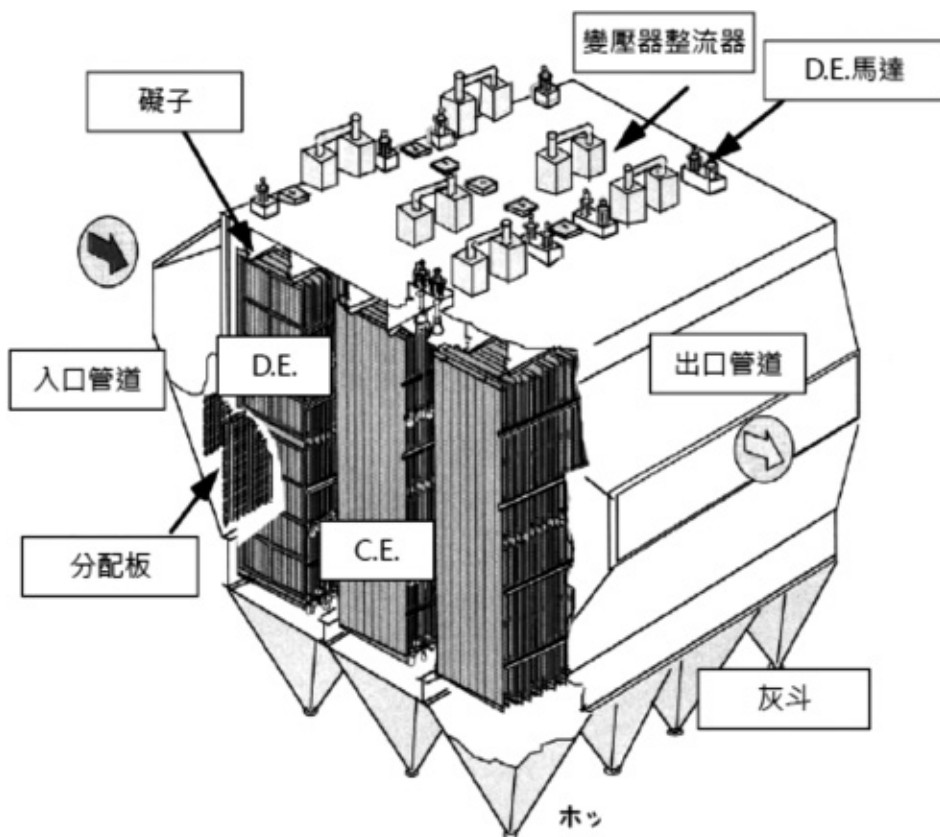


圖 1 傳統靜電集塵器構造圖

影響 ESP 效率的因素眾多，其中粉塵比電阻影響最大。比電阻與粉塵成分兩者之間關係，如圖 2 所示。一般而言，粉塵中的硫份越高，可有效降低比電阻，提升 ESP 效率；氧化鈉與氧化鎂含量越低，則粉塵比電阻越大，ESP 效率將下降。其他影響粉塵比電阻的因素，尚包括排氣中的含水量、含氮量及排氣溫度等。例如低溫靜電集塵器 LLESP 係因排氣溫度越低，排氣量降低，降低粉塵比電阻，可延長粉塵充電時間，可有效提升 ESP 除塵效率。

如圖 3 所示，通常粉塵比電阻在 $1.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$ 之間，為維持靜電集塵器高效率運轉的最佳狀態。當比電阻超過 $1.0 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$ 時即為高比電阻。高比電阻的灰不易被擊鎚敲落，因此集塵板會覆蓋了一層高比電阻的灰，進而產生逆電暈 (Back Corona) 的異常現象。

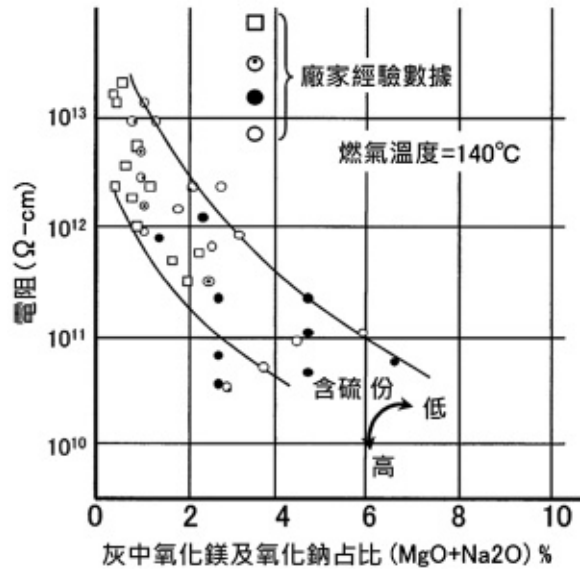


圖 2 比電阻及粉塵中的氧化鈉 + 氧化鎂之關係曲線

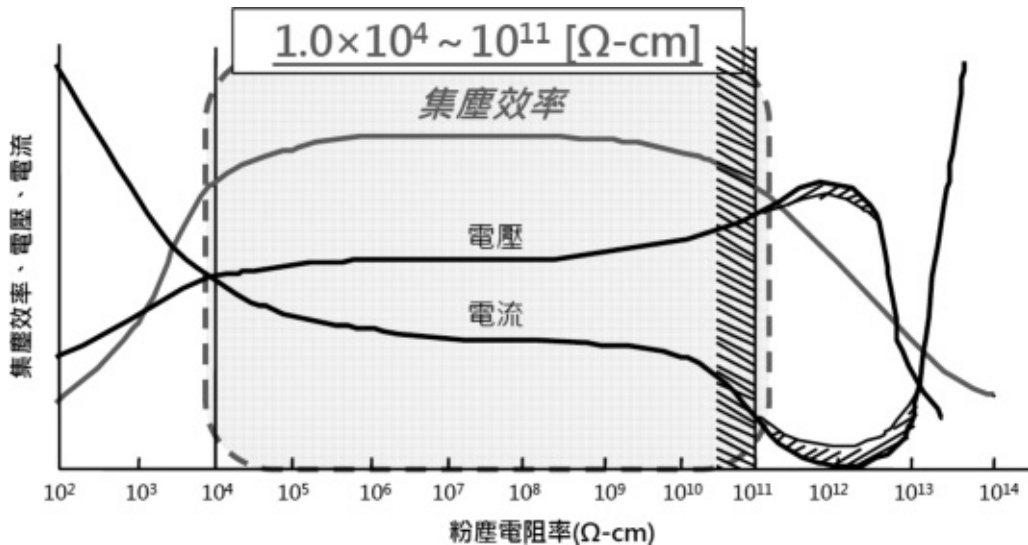


圖 3 比電阻與極塵效率圖

逆電暈就是沉積在集塵極表面上高比電阻粉塵層產生的局部放電現象，其為靜電集塵技術所遭遇到的最要課題。荷電後的高比電阻粉塵到達集塵極後，電荷不易被釋放。隨著沉積在極板上的粉塵層增厚，釋放電荷更加困難。此時，一方面由於粉塵層未能將電荷全部釋放，其表面仍有電暈極相同的極性，排斥後來的荷電粉塵；另一方

面，由於粉塵層電荷釋放緩慢，因此在粉塵間形成較大的電位梯度。當粉塵層中的電場強度大於其臨界值時，就在粉塵層的孔隙間產生局部擊穿，產生與電暈極板性相反的正離子，所產生的離子便向電暈極運動，中和電暈區帶負電的粒子，其結果使電流增大、電壓降低，二次揚塵嚴重，導致集塵性能明顯惡化。

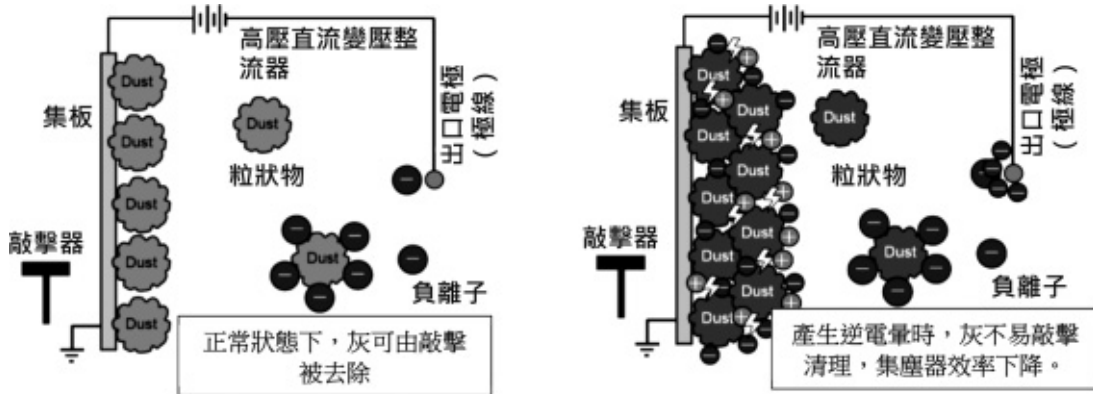


圖 4 逆電暈影響靜電集塵器性能

二、MEEP 發展史

1979 年 HITACHI 日立公司為解決日本石油精製所株式會社橫濱製油所（簡稱日石橫濱）的流體化觸媒裂解器（FCC, Fluidized Catalytic Cracker）用鍋爐廢氣處理因為安裝了二區固定式 ESP 後，因為粉塵比電阻過高而未能達到要求性能，但又礙於現場空間不足，無法再增加更多室的固定靜電集塵器，因而開發出移動電極靜電集塵器（Moving Electrode Electrostatic Precipitator, 簡稱 MEEP）技術。

傳統的乾式靜電集塵器，是將附著在極板、極線上的粉塵藉由敲擊器敲落到下方的灰斗中收集排出。如上所述，當灰比電阻過高時會有敲擊效果不佳的情形，另一方面，敲擊過程又會造成再逸散（Re-scattering）的現象，降低集塵效果。MEEP 原始的構想是由坦克車的履帶和高爾夫球鞋清潔機的概念而來。工程師將極板設計成迴轉式的活動極板，而帶粉塵的極板在通過迴轉式（新式設計已改為非迴轉式）的清潔刷時將粉塵刷下，保持極板的清潔。不僅提升了高灰比電阻環境下的集塵效果，且改善了粉塵再逸散的現象，有效降低出口排放濃度。

三、MEEP 重要元件介紹

(一) MEEP 配置及功能

如下圖 5 所示，MEEP 是以滾子鏈連結多個長條形集塵極板，藉由驅動輪以極低速度移動時，同時收集粉塵。當極板迴轉向上時，底部的清潔刷會強制刮除集塵極上收集的粉塵進入灰斗，清潔刷安裝的位置在灰斗上方，為非燃氣流通區、亦不

帶電，不會有二次揚塵。相較傳統式靜電除塵，極板處於相對潔淨的狀態，很難發生逆電暈而維持高除塵性能，並有利於收集高比電阻及極細的粉塵，保持一定的集塵效率。當煙氣通過系統時，極板保持移動而不停止運轉。啟動MEEP操作時，必須檢查集塵極板是否有扭曲情況。若發生扭曲，在排除扭曲前不得啟動操作。另外需注意 ESP 入口的煙氣溫度，不得超過設計溫度，避免非預期性的熱膨脹導致轉動困難。

(二) MEEP 放電極

放電極為結合放電極管（放電框）與放電線之結構，如圖 6 所示。放電線利用套管及楔塊固定在放電框上。放電框以放電框支撐固定，確保相鄰放電框之間保持規定的間隔距離，放電框利用通過礙子的吊管懸吊。各放電框中心設置敲擊桿，用以拍打附著在放電極上之粉塵。

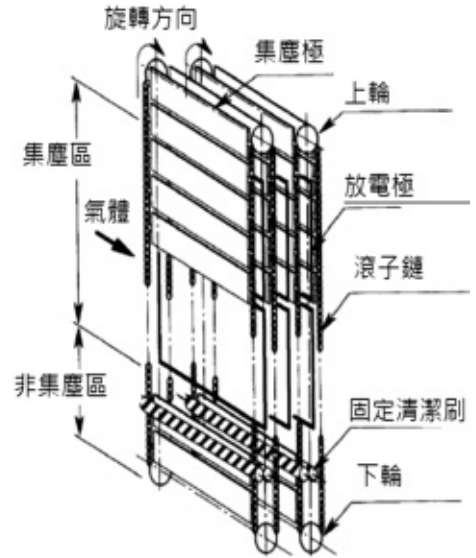


圖 5 MEEP 結構

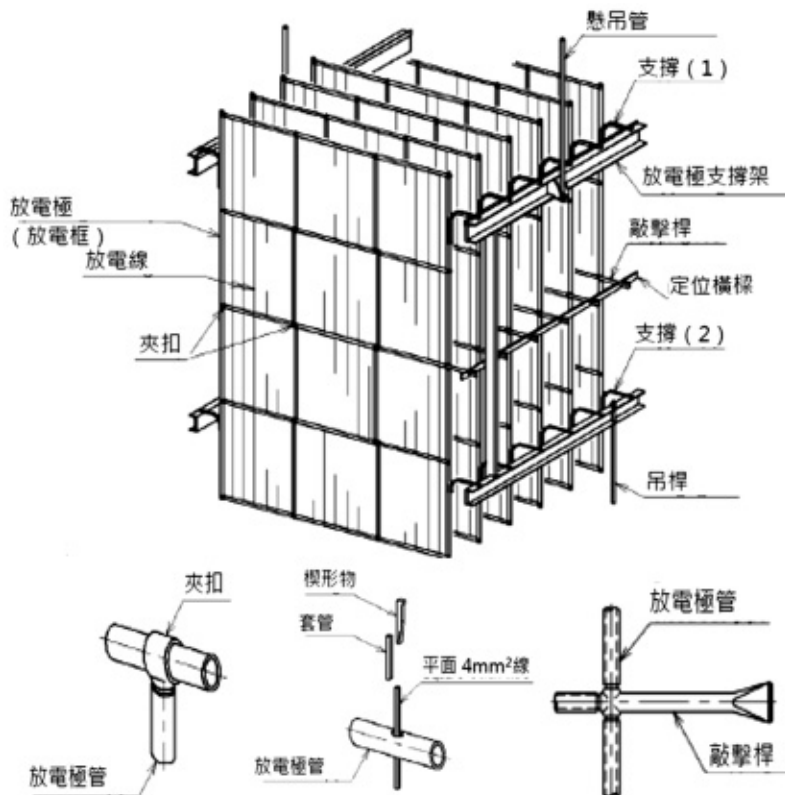


圖 6 MEEP 放電極結構

(三) MEEP 移動集塵極

移動式集塵極由多個以滾子鏈相連之條狀集塵極板組成，數個移動集塵極以等間距置於集塵室中，如圖 7 所示。

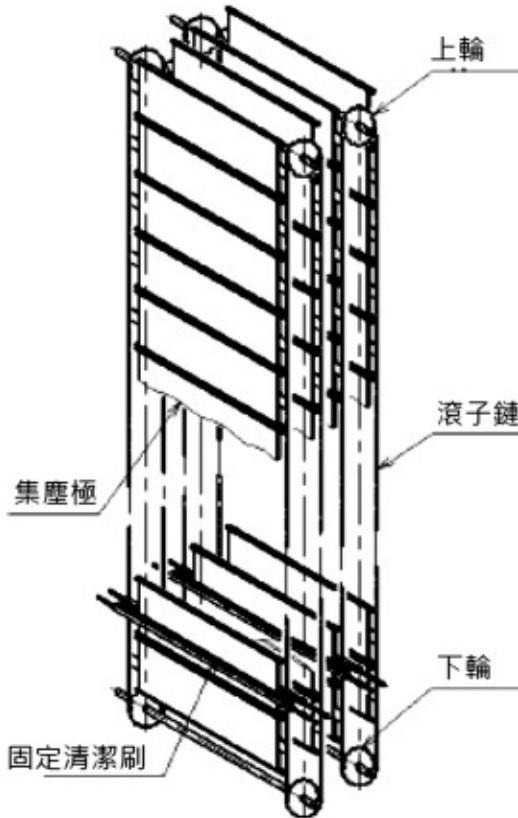


圖 7 MEEP 移動集塵極結構

集塵極板元件係由方鋼管及 2 片薄鋼板組合而成的框架，如圖 8 所示，方鋼管的功能為保持集塵極板的平整度及強度，鋼板點焊框架上。將集塵極板元件固定在以方鋼管製成的框架兩側，組成集塵極板之結構。集塵極板材料一般用冷軋鋼板（Steel Plate Cold-Rolled Coil, SPCC）或耐酸鋼即有良好集塵效果。

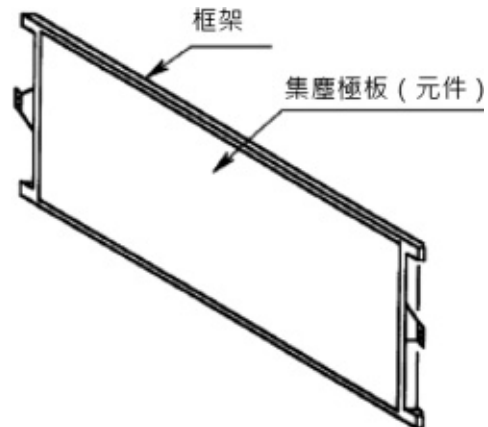


圖 8 集塵極板元件

(四) MEEP 移動集塵極驅動單元

MEEP 的驅動輪帶動環形鏈條轉動，如圖 9 所示。依據煙氣性質，決定集塵極的移動速度。當煙氣性質改變時，亦調整移動速度以適應煙氣性質變化。驅動輪調整的頻率範圍為 20~60Hz。廠家建議使用 20Hz 低速驅動以減少移動集塵極與固定清潔刷的摩擦。若以高速驅動集塵極的移動速度，會使上方驅動鏈輪的磨損加劇及鍊條加速鬆弛，故請避免以高速持續運行超過一週。

一般而言，每個除塵室規畫成兩組六排(LANE)的 MEEP、每組 MEEP 配有一驅動器(DRIVER)，當其中一排 MEEP 故障時，在機組持續運轉狀況下，可將故障位置所屬的鏈輪螺栓卸除，即可空轉隔離故障的 MEEP，驅動裝置仍會帶動其餘的 MEEP 繼續運轉。而故障之 MEEP 仍可做為固定式極板使用。極板上的灰雖因極板無法旋轉而無法清除，然因其他各排 MEEP 仍可持續運轉，對排放濃度的影響不大。

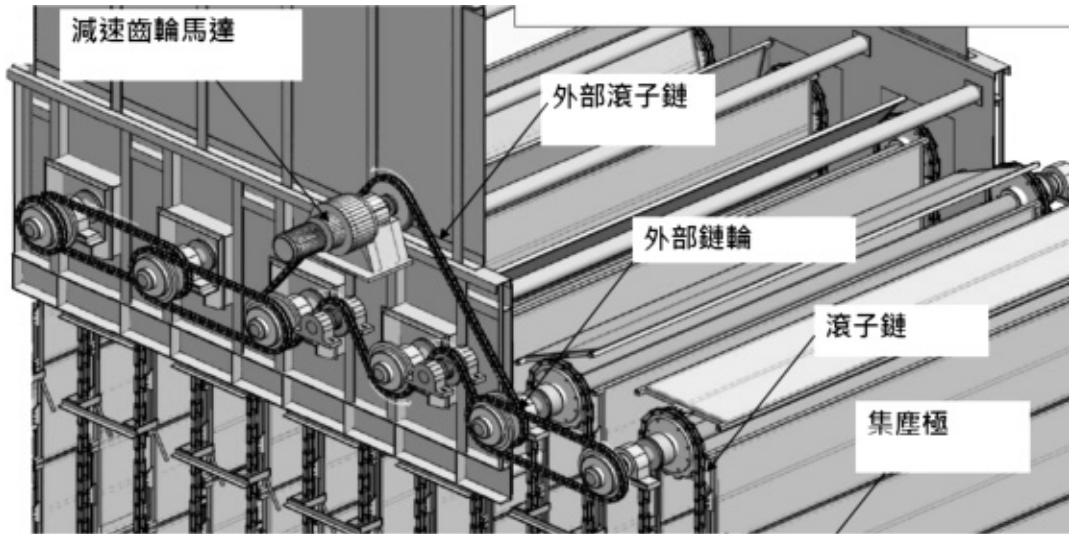


圖 9 一只驅動器可同時驅動六組 MEEP

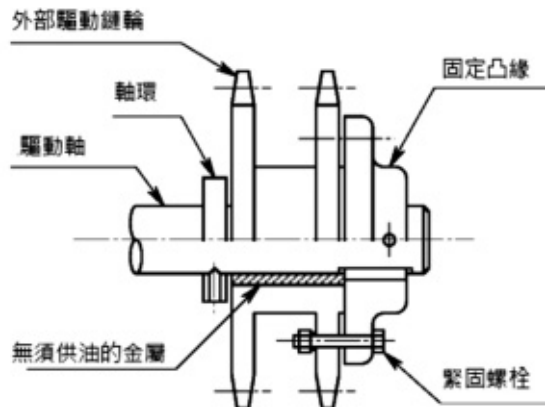
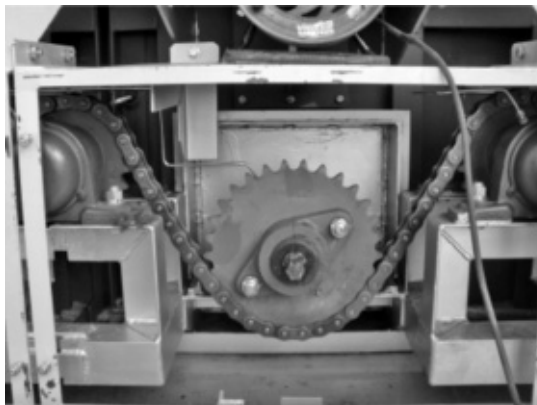


圖 10 鏈輪螺栓卸除即可空轉隔離驅動軸

四、安裝 MEEP 的優缺點

移動電極靜電集塵器可依入口濃度或需求改變其組合。結合固定式電極及移動式電極適用於粉塵進口濃度較高環境，如果粉塵進口濃度較低時，可結合兩組的移動式電極來集塵。在工程上，使用移動電極靜電集塵器的優點為：

節省設備裝置面積：MEEP 不僅較固定式集塵器具較高的集塵效率，並可實現較小的裝置面積。因此在廠區空間受限的情形下，MEEP 提供一個技術上選擇。

相較於較高效能的集塵裝置，MEEP 由於相對體積較小，因此運轉的耗能也較低，依據處理排氣的品質及出口不透光率，有機會達成較大的節能效益。

相較於較高效能的集塵裝置，MEEP 由於相對體積較小，設備的重量可以減輕，設備用料及土木結構基礎較為節省，減少資源的使用。

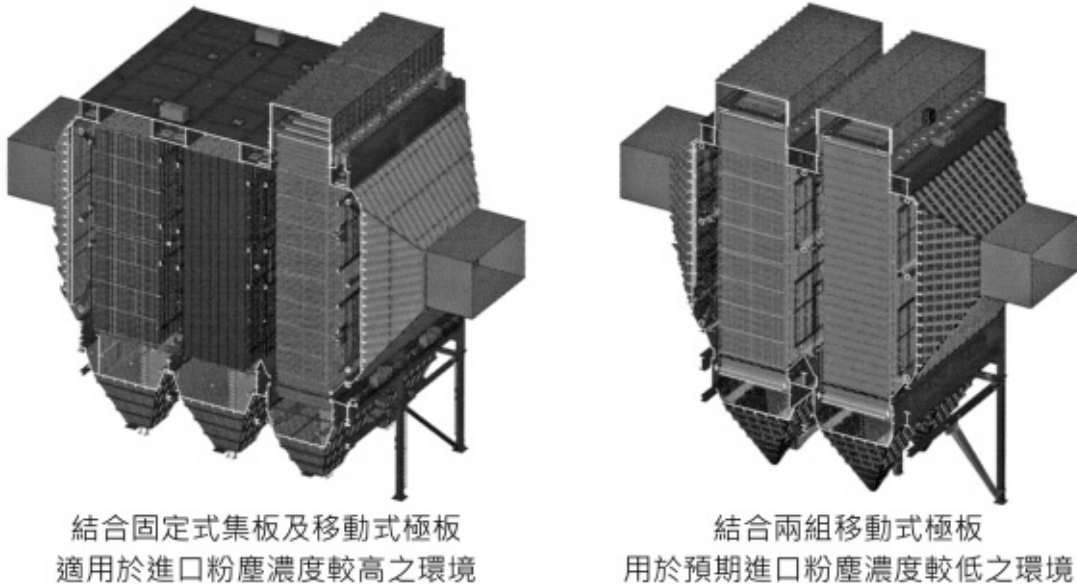


圖 11 移動電極靜電集塵器依需求可以有不同的組合

相對於固定式靜電集塵器，MEEP 也有使用的限制和缺點。由於 MEEP 為迴轉式設備，又可能在高溫下運轉，根據使用經驗，裝置初期並不會太多檢修的問題，隨著運轉時間增加，鏈條有逐漸伸長的情形發生，當伸長量過大時，可能使極板碰觸灰斗而接地，或易被積灰干涉而偏離軌道導致卡住無法運轉。因此 MEEP 必須依照維修計畫，按時量測鏈條伸長量，必要時要進行鏈條或極板的更換。另一方面，為了維持移動極板的正常迴轉，也必須定期量測極板要求之平行度及軸承磨耗量，調整清潔刷的角度等以維護運轉之可靠度。

五、550MW 燃煤鍋爐改造案例

某 550MW 燃煤電廠之 ESP 原設計參數為當 ESP 設計進口濃度為 $15,750 \text{ mg}/\text{NM}^3$ 時，出口保證值為 $27 \text{ mg}/\text{NM}^3$ (All T/R Sets in Service)，保證效率為 99.8286%；當 ESP 設計進口濃度為 $8,000 \text{ mg}/\text{NM}^3$ 時，保證除塵效率為 99.6875% (All T/R Sets in Service)，經計算後其 ESP 出口濃度為 $25 \text{ mg}/\text{NM}^3$ ，原設計下除塵能力已無法應付更嚴之法規標準 $20 \text{ mg}/\text{NM}^3$ 以下。

根據該機組長期以 2 澳 3 印混煤後燃燒結果，約 80% 之 ESP 進口濃度落在 $12,000 \text{ mg}/\text{NM}^3$ 以下，故以該值作為 ESP 進口濃度規劃。而在達到原先設計的除塵效率 99.83% 以下，ESP 出口濃度約為 $20 \text{ mg}/\text{NM}^3$ 。

本計畫改善後，在 ESP 進口濃度 $\leq 12,000 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 情況下，預計 ESP 出口濃度降至 $15 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 以下，且為確保 ESP 進口濃度大於 $12,000 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 情形下，ESP 效率須至少維持 99.875%，如表 1 所示。

表 1 本計畫改善前後 ESP 效率

設計條件	原始設計值	改善前實際值	改善後目標值	改善後保證值
ESP 進口濃度 (mg/Nm ³)	15,750	15,750	12,000	12,000
ESP 出口濃度 (mg/Nm ³)	≤ 27	57	≤ 20	≤ 15
集塵效率 (%)	≥ 99.83	99.64	≥ 99.83	≥ 99.875

在考慮既有廠區配置不變、空間大小有限，且工期有限等情況下，以 ESP 出口濃度保證值為 15 mg/NM³ 為設計基準及原 ESP 設計條件評估，在不擴建 ESP、保留下游風煙道與附屬設備配置之前提，期能在盡量減少對原 ESP 壓降造成影響之狀況下進行改善。

基於燃用 2 倉澳洲煤混燒 3 倉印尼煤之設計條件下，廠商預估灰電阻約為 $1.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ ，具高灰電阻特性。以此灰電阻及 ESP 進口 PM 濃度為 15,750mg/NM³ 之條件評估，將最後一除塵區改造成 MEEP，且前五集塵區之元件皆不進行改善下，僅以 MEEP 搭配傳統 T/R Set，ESP 出口濃度可達到 15mg/NM³ 以下。改善示意圖如圖 12 所示。



圖 12 案例改善示意圖

且根據廠家建議最後一除塵區更換為 MEEP 估算，集塵面積為原來集塵面積的 93%，但效率則由 99.828%可提高至 99.875%，且不會增加 ESP 壓降。

在工期方面，因僅需最後一除塵區進行改善施工，並無土建工程需施作，且 MEEP 主體可模組化預組後再安裝，可有效縮短安裝時間，整體工程可於限定工期內達成。

本案經過性能測試結果亦能符合設計要求。

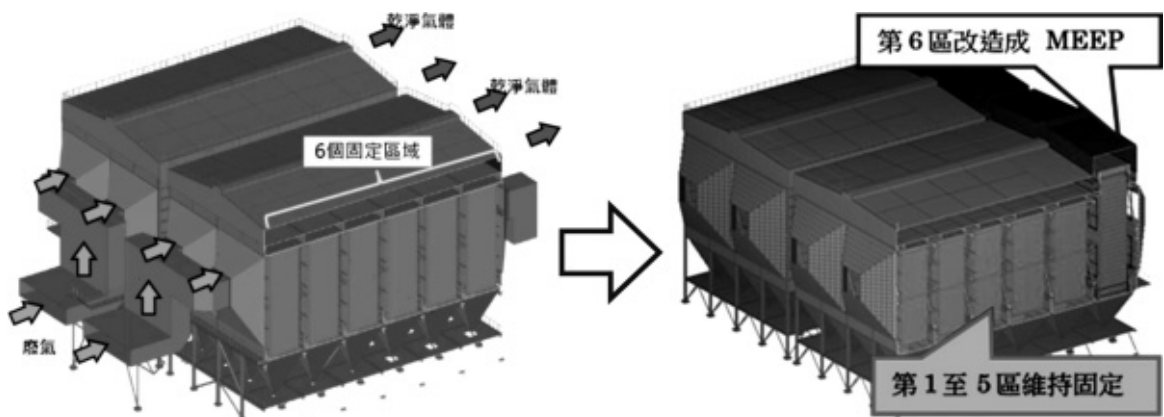


圖 13 改造後將第 6 區變更為 MEEP 型式

表 2 改造前後 ESP 性能比較

內容	單位	設計條件				備註
燃料	—	設計煤質（澳洲：40%+ 印尼煤 60%）				
鍋爐容量	MW	550 BMCR				
氣體體積	—	3,471,143 M ³ /h@150°C ,-3.0kPa				溼
氣體溫度	°C	130 ~ 150				
粉塵濃度	—	改造前 ESP		改造後 ESP		
ESP 入口	mg/M ³ N	15,750		12,000		乾 /6%O ₂
ESP 出口	mg/M ³ N	≤ 27		≤ 15		乾 /6%O ₂
集塵效率	%	≥ 99.828		≥ 99.875		
ESP 規範	—	1st-3rd	4th -6th	1st -5th	6th	
C.E. 尺寸 (W×H)	M	4.375× 15.25	5.255× 15.25	4.375/5.25 5×15.25	4.0×15.0	
氣體通道數量	通道	112	112	112	92	
電極間距	mm	400	400	400	460	
集塵面積	M ² (%)	98,688 (100)		80,737	11,040	實際間距
				91,777 (93)		

六、結語

根據統計，至 2018 年止，三菱日立電力事業群正在運行的 MEEP 機組遍布在世界各地，而運用於電力產業部分共有 59 部機組，其中 45 部機組於日本國內，14 部機組於日本國外。另外運用於其他工業上總共 43 部機組，可見 MEEP 應用於除塵設備已日漸成熟，頗具相當實績。

然而各國環保標準日益提高，另一方面空氣污染防制設備亦日新月異。靜電集塵器的改造除了 MEEP 外，還有使用高頻變壓整流器、袋濾式集塵、低溫靜電集塵以及各種方法的組合，如電袋式除塵，以及本文所介紹的固定式與移動式靜電集塵的組合等。而為達到超低排放，目前應用較多也較為成熟的改造技術則有脫硫除塵一體化技術：加裝濕式靜電集塵器，可保證排放小於 5mg/NM³。

無論採用何種技術，皆應考量所要求的排放濃度以及各種環境及成本等因素，同時必須兼顧節能效果，再提出最佳方案，以滿足環保要求，共同為我們生活地球環境而努力。（摘自本會鍋爐知識第 40 期）

一起工業鍋爐缺水乾燒事故分析

摘自 中國特種設備安全 第 33 卷 第 2 期

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：給水泵軸承機械故障卡無，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。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。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爐裝置。座提高設備的完好率，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，蒸汽壓為在 0.5MPa。中間他離開 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。

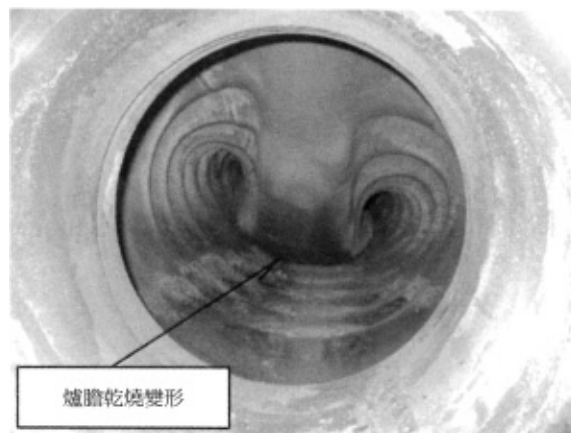


圖 1 爐膽乾燒變形

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記錄進行檢查。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：

(一)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記錄。



圖 2 發生機械故障的給水泵

(二)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，給水自動控制系統啓動給水泵進水。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資訊——“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

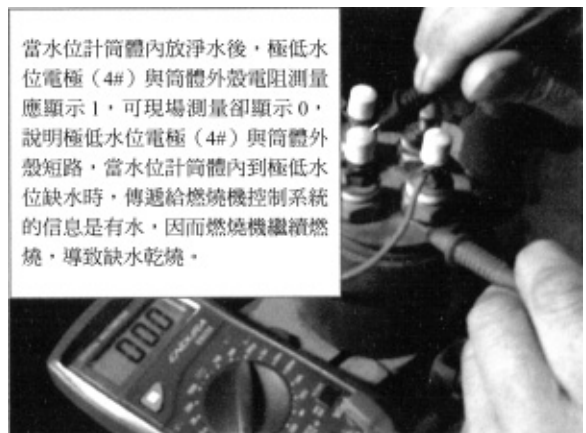


圖 4 4#電極電阻測量

(三)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 20mm，水位連通器內安裝 4 根電極，長度分別為 549mm/569mm/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，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

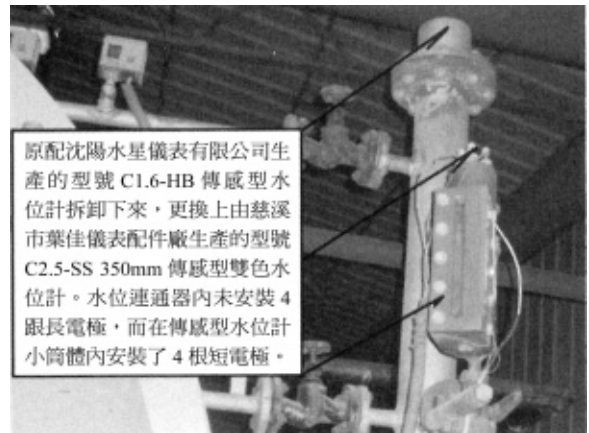


圖 6 水位計小筒體安裝短電極

(四)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。

(五)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，水位計沖洗不動，水位計內有污泥堆積。

(六)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高低水位停爐報警功能，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。

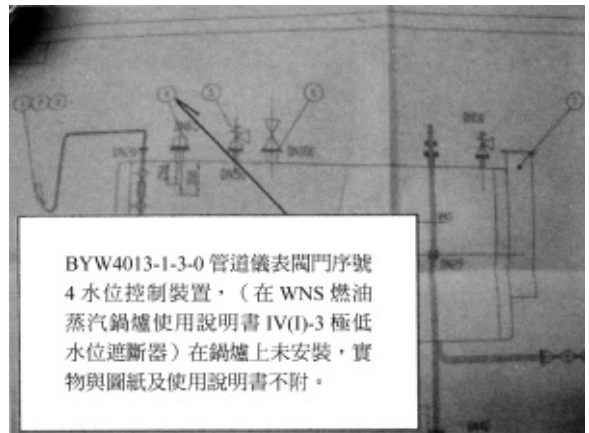


圖 7 極低水位遮斷器佈置圖

二、原因分析

(一)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。

- (二)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。電板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。這是造成這次事故的主要原因。
- (三)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。
- (四)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。”

- (一)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。
- (二)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。
- (三)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。
- (四)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。
- (五)建議對水處理工作相對薄弱的用戶，把水位連通器設計在鍋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。
- (六)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。