

出國報告（出國類別：實習）

新型低氮氧化物燃燒器與 粉煤機改善運維技術研習

服務機關：台灣電力股份有限公司

林口發電廠

姓名職稱：葉生偉 機械工程師

派赴國家/地區：美國

出國期間：108年08月24日至108年09月06日

報告日期：108年11月04日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：新型低氮氧化物燃燒器與粉煤機改善運維技術研習

頁數 29 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

葉生偉/台灣電力公司/林口發電廠/機械工程師/(02)26062221 ext 5056

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：108 年 08 月 24 日至 108 年 09 月 06 日

派赴國家/地區：美國

報告日期：108 年 11 月 04 日

關鍵詞：低氮氧化物燃燒器，粉煤機

內容摘要：(二百至三百字)

目前新式超超臨界燃煤火力機組在設計時，需考慮全球各地對電廠排放汙染要求日趨嚴格，因此低氮氧化物燃燒器已是必要之設計，可大幅改善燃燒效率及降低燃燒廢氣的汙染物含量。而粉煤機將不同來源及種類之燃煤研磨成煤粉後依配比送入鍋爐，粉煤機相關運轉維護改善對電廠營運也很重要。

本次前往美國 GE POWER 學習並瞭解大型鍋爐低氮氧化物燃燒器先進技術及發展趨勢，以及最新的粉煤機設計及運維改善方向，並與廠家討論相關運維經驗及技術交流，觀摩研習並蒐集相關資料，以提升電廠人員技術，有助於日後檢修工作，使電廠運轉穩定。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

新型低氮氧化物燃燒器與粉煤機改善運維技術研習報告

壹、實習目的-----	1
貳、實習過程-----	1
參、研習內容-----	2
一、GE 公司簡介-----	2
二、新型低氮氧化物燃燒器-----	2
三、粉煤機改善運維技術-----	14
四、GE 除汞技術介紹-----	24
五、實驗室參訪-----	26
肆、心得與建議-----	28
伍、參考資料-----	29

壹、實習目的：

現今民眾環保意識抬頭，對發電廠各項排放指標無不放大檢視，因此如何降低電廠空汙排放是一重要課題，關係到電廠建廠時之環保承諾，一旦排放超出環保法規標準甚至可能影響電廠營運，進一步造成系統供電危機。

林口發電廠目前有 3 部超超臨界燃煤火力機組(800MW*3)，對電力系統穩定供電與調度占比重要性影響甚大。目前新式超超臨界燃煤火力機組在設計時，大多已設計有低氮氧化物燃燒器之設計，對燃燒效率及燃燒廢氣的汙染物含量已有大幅改善。而粉煤機將不同來源及種類之燃煤研磨成煤粉後依配比送入鍋爐，粉煤機相關運轉維護改善對電廠營運也很重要。因此派員前往美國 GE POWER 學習並瞭解大型鍋爐低氮氧化物燃燒器先進技術及發展趨勢，以及最新的粉煤機設計及運維改善方向，並與廠家討論相關運維經驗及技術交流，觀摩研習並蒐集相關資料，以提升電廠人員技術，有助於日後檢修工作，使電廠運轉穩定。

貳、實習過程：

本次出國計畫為「新型低氮氧化物燃燒器與粉煤機改善運維技術研習」，參訪對象為美國奇異(GE)公司，為期 14 天，相關行程及工作紀要如下：

日期	起訖地點	工作紀要
108 年 08 月 24 日 ∩ 108 年 08 月 25 日	台北~紐約~奇異公司(美國康乃狄克州溫莎鎮)	往程
108 年 08 月 26 日 ∩ 108 年 09 月 04 日	奇異公司(美國康乃狄克州溫莎鎮)	新型低氮氧化物燃燒器與粉煤機改善運維技術研習及實驗室參訪
108 年 09 月 05 日 ∩ 108 年 09 月 06 日	奇異公司(美國康乃狄克州溫莎鎮)~紐約~台北	返程

參、研習內容：

一、GE 公司簡介

通用電氣（General Electric Company，簡稱 GE；又譯為奇異）是源自美國的跨國綜合企業，經營產業包括電子工業、能源、運輸工業、航空航天、醫療與金融服務；總部位於波士頓、公司則在紐約州註冊，業務遍及世界 100 多個國家，擁有員工約 28 萬 7 千人。根據財星 500 大統計，其 2016 年營業額為 1,404 億美元，是美國第 8 大、世界第 27 大企業。

本次至美國奇異公司位於康乃狄克州的溫莎鎮的 GE POWER 實習，其前身為 Combustion engineering 的石化燃料鍋爐部門，後來被 ALSTOM 併購，於 2015 年時被 GE 併購，並將原實驗室搬遷，成立新的潔淨能源研究中心。

二、新型低氮氧化物燃燒器

GE 燃料燃燒系統設計

在將燃燒器和燃料燃燒系統實際應用到鍋爐中時，必須考慮所有影響燃燒速率和完整性的基本因素以及傳熱效率。在燃燒室內，以通過機械結構產生紊流提供成功的反應物分子接觸，在引入燃燒室的所有空氣流和燃料流之間提供相互作用，以產生單個火焰包絡線。獲得和維持燃料和空氣的良好分配的必要性既是設計也是操作上的考慮，必須有足夠的機會使燃料和氧氣分子接觸，以及相對於燃燒室的溫度和質量的均勻分佈。

另一方面，單火焰包絡技術在引入所有燃料和空氣分子之間的混合物的所有燃料和空氣流之間提供相互作用，並且在整個腔室中保持紊流，可以降低對燃料和空氣分配的嚴格精度要求。

代表這兩個概念的點火系統是水平壁式點火系統（以單個火焰為特徵）和切向點火系統（具有單個火焰包絡）。

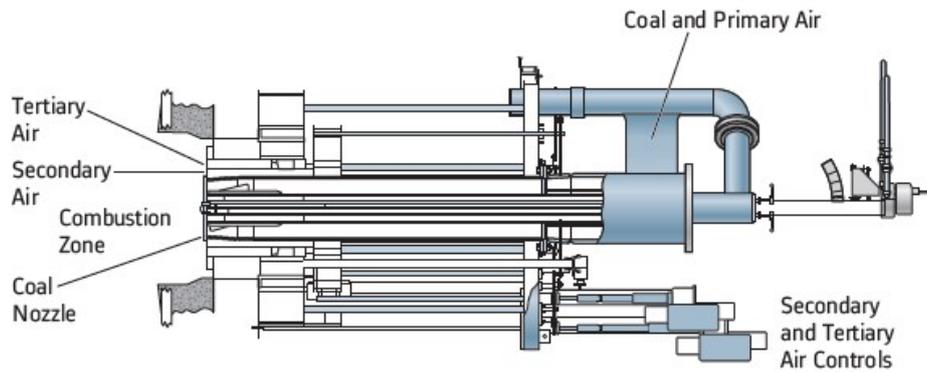


圖 3-2-1 水平燃燒系統(燃燒器)

在水平燃燒系統中，燃料與燃燒空氣在單獨的燃燒器調節器中混合，如上圖。在這種設計中，將煤和一次空氣切向地引入到煤噴嘴中，從而在噴嘴內產生強烈的旋轉，可調節的進氣葉片使來自風箱的預熱二次空氣旋轉，空氣渦流的程度與燃燒器喉管的流量成形輪廓相結合，形成了一種再循環模式，可延伸到鍋爐中幾倍的喉管直徑。

在煤粉點燃後，燃燒的熱產物由噴嘴向外傳播，以提供穩定燃燒所需的點火能量。燃燒器成排放置，或者只在單個壁上，如下圖，或者在前壁和後壁上，因為燃燒過程的主要部分必須在再循環區內進行，所以必須確保每個燃燒器的空氣/燃料比都在嚴格的公差範圍內。隨著反應物離開再循環區，燃燒速率迅速下降，並且火焰之間的相互作用僅在該點之後發生，而相互作用的程度取決於燃燒器和熔爐的配置。

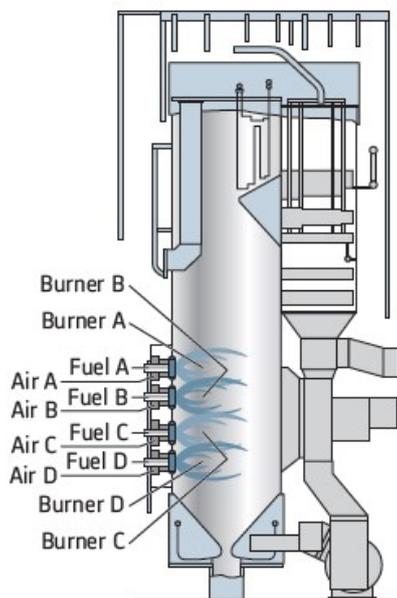


圖 3-2-2 鍋爐中水平燃燒系統燃燒器布置

切線燃燒的系統

切線燃燒系統基於單個火焰包絡的概念，如下圖。

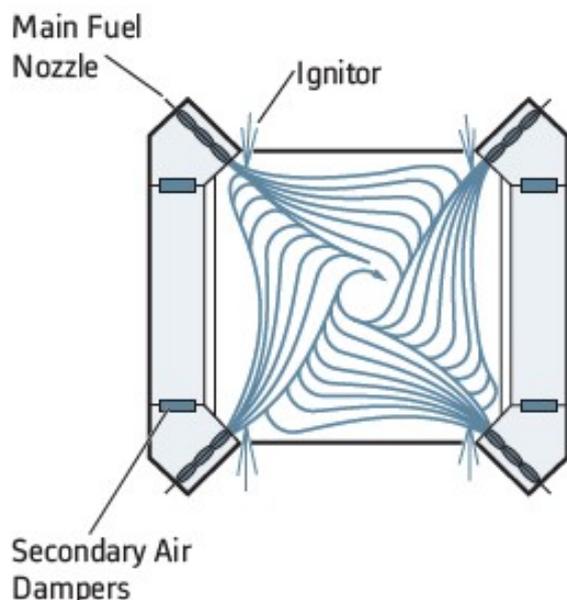


圖 3-2-3 切線燃燒系統

如上圖(圖 3-2-3)燃料和燃燒空氣都從爐子的角沿與爐子中心的水平面上的一個小圓角相切的線噴射。在這些流匯合處發生劇烈混合。類似於旋風分離器的旋轉運動被賦予火焰體，該火焰體散佈並充滿了爐膛區域。與水平燃燒系統相比，切向燃燒鍋爐具有適度的紊流和混合強度。這是因為由於膨脹的氣體很快被迫進入流線流場，所以紊流區域不會持續很長的距離。在燃燒的中間階段，當一股燃氣流撞擊到爐子中央的另一股燃氣流時，會產生高度的紊流，使燃料與氣體作有效混合。

如下圖(圖 3-2-4)，切線燃燒系統風箱的布置，燃料和空氣從豎爐角風箱進入，可以調整風門控制進入每個燃燒室的空氣，因此可以在風箱的整個高度上改變空氣的分佈。也可以改變空氣流的速度，改變燃料和空氣的混合速率，並控制距煤著火的噴嘴的距離。如下圖(圖 3-2-4)，燃料和空氣噴嘴的垂直排列為多種燃料的點火提供了極大的靈活性，通過將這些燃料的附加噴嘴放置在與煤噴嘴相鄰的二次空氣室中，甚至可以天然氣或石油作為燃料提供滿負載的能力。

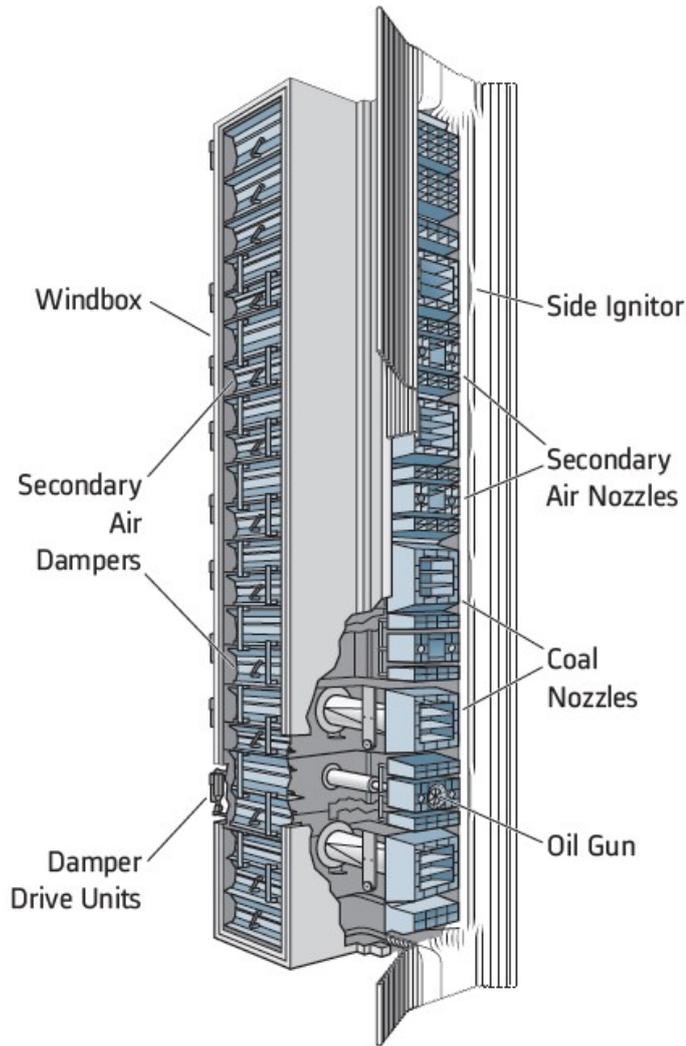


圖 3-2-4 切線燃燒系統風箱的布置，燃料和空氣從豎爐角風箱進入

如下圖(圖 3-2-5)所示，燃料噴嘴和空氣噴嘴可調整共同傾斜角度以提高和降低火焰，以控制爐子中的熱量吸收，從而控制過熱器和再熱器部分的熱量吸收。

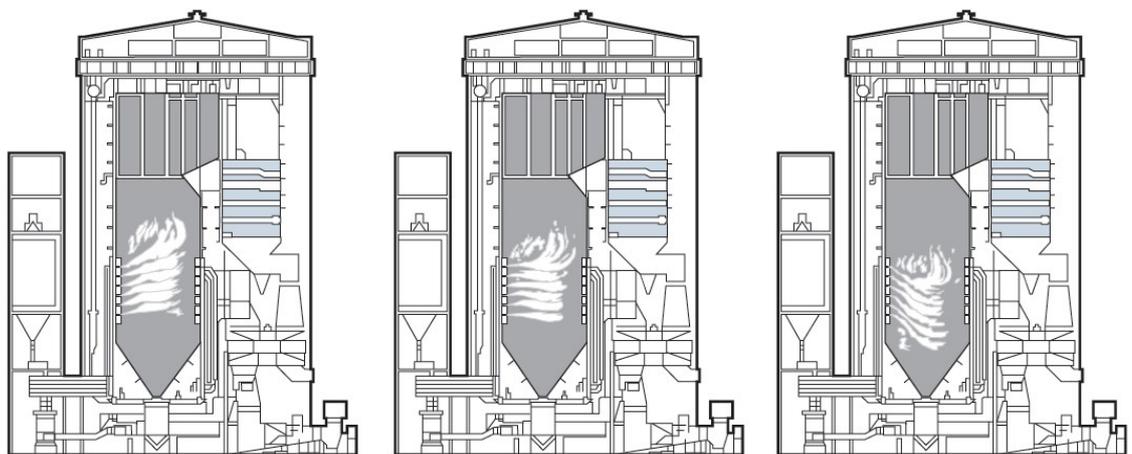


圖 3-2-5 可利用燃料噴嘴和空氣噴嘴共同傾斜達成控制蒸氣溫度

除了控制爐膛出口氣體溫度以適應負荷變化外，燃煤機組噴嘴的傾斜度還可以自動補償灰燼沉積對爐壁吸熱的影響。當壁式鼓風機清除爐壁上的灰燼沉積物時，由於整體爐吸收的增加，爐出口氣體的溫度趨於降低，然後風箱噴嘴將以受控的速率自動向上傾斜，並在爐中更高的位置完成燃燒，重新放置有效地減少了爐下部的吸收，並增加了爐出口氣體的熱量，以將蒸汽維持在設計溫度。相反的，由於爐灰再次被爐灰逐漸覆蓋，並且由於爐灰的隔熱作用，使鍋爐水管的熱吸收降低，因此傾斜逐漸減小，在爐中較低的位置完成燃燒，這會使熱氣體暴露在爐壁表面的較大部分，並有效地控制爐子出口氣體溫度和蒸汽溫度，直到灰燼再次從爐壁中清除。

鍋爐中 NO_x 的形成與控制

一氧化氮（NO）和二氧化氮（NO₂）幾乎是所有化石燃料燃燒過程的副產品。從過往鍋爐發展的歷史上來看，燃燒產物中這些無機化合物的數量不足以影響鍋爐的性能，所以很大程度上忽略了 NO_x 的存在。但是，現在美國的州政府和聯邦政府以及大多數已開發國家都對 NO₂ 和 NO 的排放（統稱為“NO_x”）進行了規定。為了減少空汙，NO_x 排放已成為燃料燃燒設備設計中的重要考慮因素。

燃燒過程中氮氧化物(NO_x)的形成通常用反應所需的氮源來解釋。N₂ 可以源自大氣，在這種情況下，該產品稱為“熱 NO_x (Thermal NO_x)”，或源自在所有煤和燃料油中發現的有機結合的氮成分，在這種情況下，該產品稱為“燃料 NO_x (Fuel NO_x)”。要注意的是，NO_x 通常由 95%NO 和僅 5%NO₂ 組成。

影響燃料燃燒設備設計的重要參數是，當燃料氮轉化的重要特性涉及氧氣與氣態燃料-氮化合物反應的可用性。簡而言之，從煤顆粒中析出的化合物（例如 HCN 和 NH₃）相對不穩定，在燃料豐富條件下會還原為無害的 N₂，在空氣豐富條件下會還原為 NO。

低 NO_x 煤粉燃燒系統的主要設計目的是通過使用空氣和燃料分級技術，建

立早期點火併控制 O₂ 的可用性，從而最大程度地減少將揮發性氮轉化為 NO_x 的可能性。

最初保留了完成燃燒所需的全部空氣的一部分，只有在消耗了第一級空氣的氧含量之後，空氣的其餘部分才與不完全燃燒的產物混合。通過改變第一階段的空氣量，由於缺氧，可以在反應的不同階段中斷煤粉或油滴的懸浮燃燒，然後在空氣平衡的情況下進一步進行（第二級空氣）被引入。對於 NO_x 控制，理想的第一級空氣量應足以產生驅動氣態所需的溫度，但不足以提供足夠的氧化劑以完成與 NO 的反應，另外，可能需要使用氧化劑來還原中間體 HCN，NH₃ 和其他自由基。

與燃煤熱和燃料 NO_x 的控制有關的最重要的設計標準可以歸納如下：

- 具有最低含氮量燃煤和最低燃料氧/氮比通常會產生最低的 NO_x。
- 通過控制燃燒初期允許與燃料混合的空氣量，可以最大程度地減少燃料 NO_x。
- 通過以最低的實際過剩空氣百分比運行，以及通過使用低紊流擴散火焰和大型水冷式爐將整個鍋爐內氣體溫度降至最低，可以減少熱 NO_x 對總 NO_x 的貢獻。

產生最少量 NO_x 的燃燒系統

主要是在最大程度減少 NO_x 生成的燃燒系統可以控制燃料豐富的條件。在這種氧氣不足的氣氛中，所產生的中間氮化合物向 N₂ 的分解速率最大。

進入剩餘空氣後，緩慢的燃燒速率會降低火焰峰值溫度，以減少燃燒後期的熱 NO_x 產生。對 NO_x 排放的早期研究，顯示所有類型的鍋爐使用切線燃燒器的 NO_x 排放大約是水平燃燒器的一半。

低 NO_x 的切線燃燒系統。

如下圖(圖 3-2-6)所示，第一個改裝增加了空氣室在最上方的風箱內煤噴嘴。稱為過度燃燒空氣 (OFA) 端口，這些隔室約佔總數的 20% 燃燒空氣進入燃燒

區在風箱上方，使風箱水平的火球達到或接近化學計量的空氣條件，這主要是由於減少靠近風箱的火球內的可用氧氣。

在恆定的風箱與爐膛之間的差異下，減少總過量空氣會增加在任何給定的 OFA 風門位置處 OFA 的比例，與總過量空氣的變化成比例地，這減少了 OFA 端口下方的可用氧氣。全部和局部空器注入分級技術已經逐步發展，並被設計為在形成揮發性氮物質時，在燃燒的關鍵早期階段使氧氣的可用性最小化。分階段燃燒使 NO_x 排放量降至最低，因為最初的富燃料條件促進了揮發性氮物質形成 N₂。

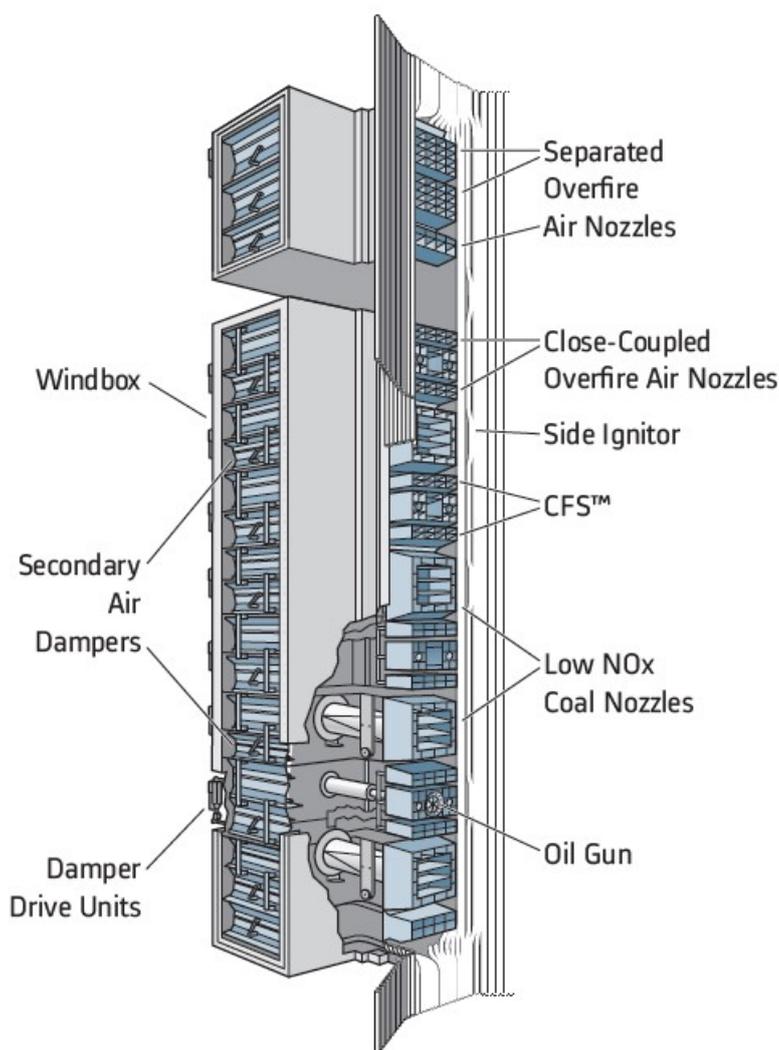


圖 3-2-6 低氮氧化物切線燃燒系統(燃燒器)

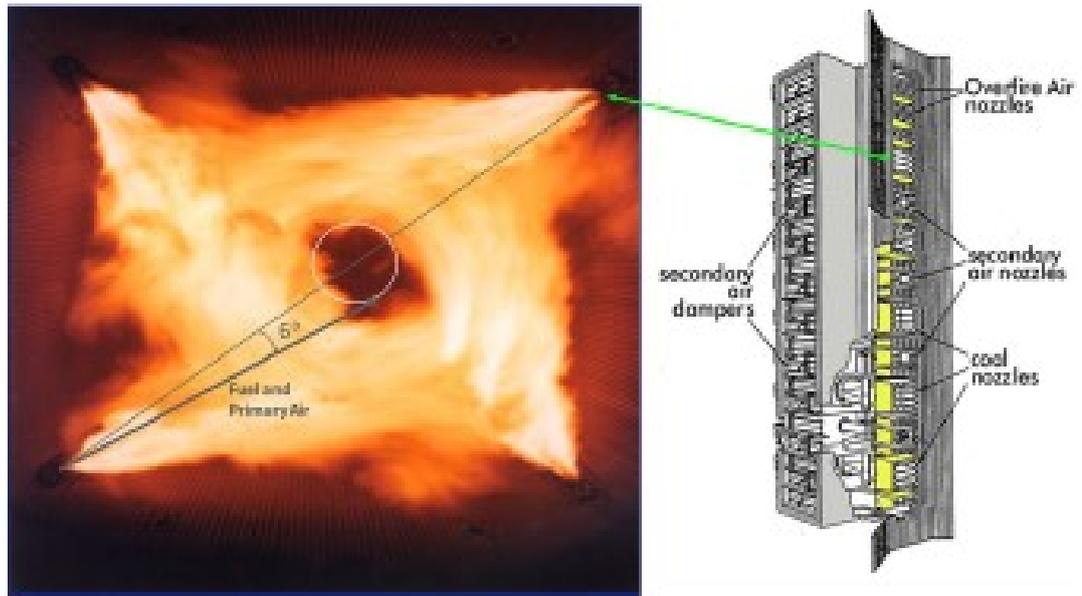


圖 3-2-7 高效能低氮氧化物切線燃燒系統(燃燒器)

GE 高效能低氮氧化物切線燃燒系統

1. 高效率燃燒→低一氧化氮排放
2. 低氮氧化物排放→先進的燃燒器設計及控制空氣分級供給
3. 減少爐管結渣維持鍋爐高效能並降低維護費用
4. 可彈性使用多種燃料
5. 可針對排放物調整燃料/空氣比例以達到排放標準

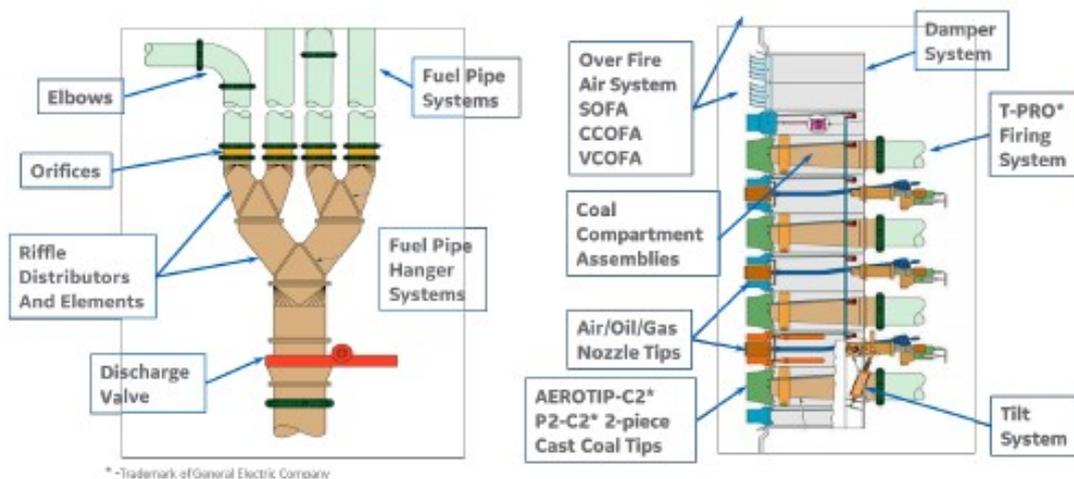


圖 3-2-8 高效能低氮氧化物切線燃燒系統(燃燒器)配置

一般來說，氮氧化物排放量可減少高達 20%。

系統表現取決於下列參數

- 現有燃燒系統的設計
- 燃料種類
- 運轉限制，氧含量，封門控制，傾斜限制等

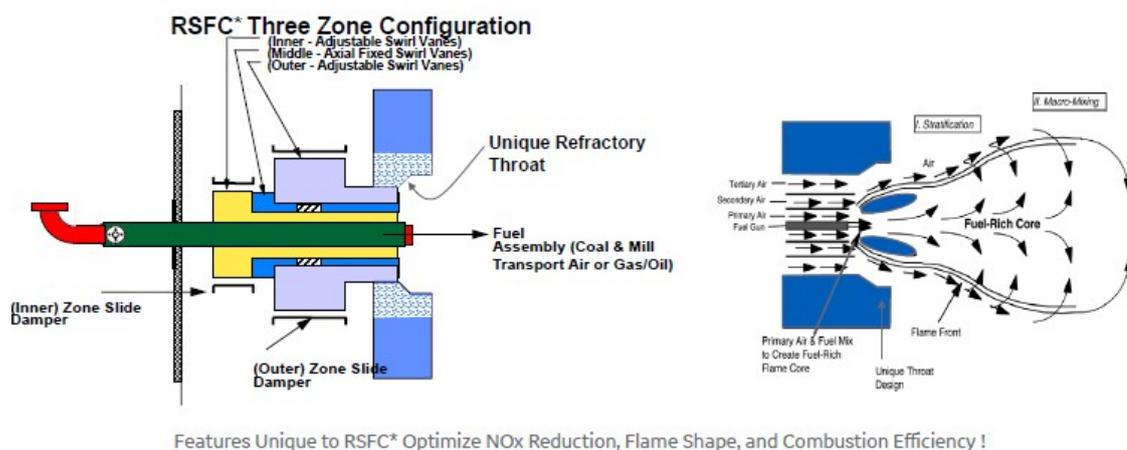


圖 3-2-9 燃燒器噴頭結構說明

GE 電漿點火系統介紹

該系統產生約 5000°C（電離的氣體，空氣，具有高導電性）的高能等離子體，該高溫高能等離子氣體可使燃料揮發物釋放和進行隨後的揮發物點火，燃料釋放的揮發物被點燃後，並產生更多熱量，以使燃料進一步揮發及燃燒，在爐膛燃燒器口處完全形成火焰。

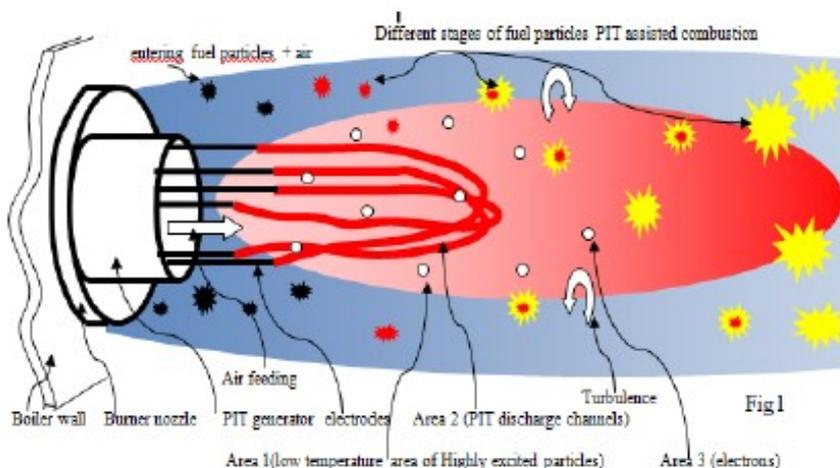


圖 3-2-10 電漿點火系統

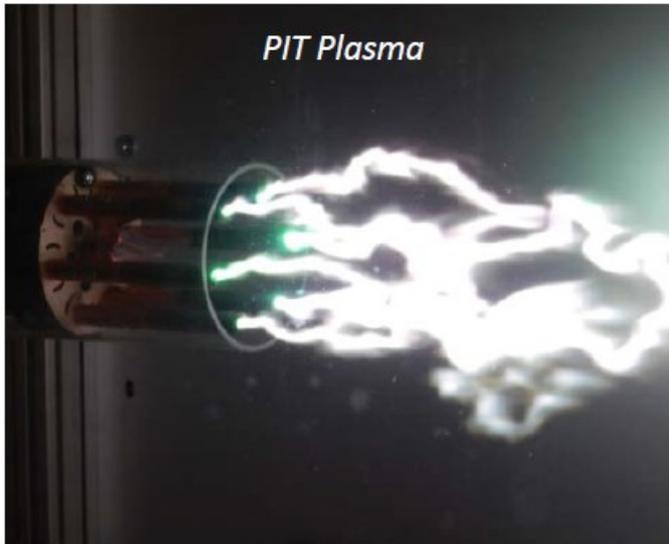


圖 3-2-11 電漿點火系統

降低燃油或天然氣消耗量，以實現燃煤電廠在低負載時的運轉穩定是一個全球性問題，隨著可再生能源在能源市場中佔比越來越大，原先作為基載電力的燃煤機組被迫頻繁地在降低的負載的條件下運轉，安裝電漿點火系統可使燃煤機組在降低的負載的條件下持續穩定運轉。

安裝電漿點火燃燒穩定係統的成本，可以通過以下方面的減少來衡量：

1. 煤炭消耗
2. 燃油或天然氣消耗

GE Umbrella-SNCR, GE 的傘型-選擇性非觸媒脫硝

SNCR 是一種高效率且有效的解決方案，用於減少化石燃料發電廠產生的氮氧化物。其基本原理是利用尿素與爐子/鍋爐中的氮氧化物反應，對於燃煤發電廠來說，如何將尿素的均勻分配在適當溫度下的煙氣區域是一項挑戰。

傳統的系統需要眾多穿過爐壁的噴嘴，並且安裝在多個高度，需要昂貴成本的以穿過水冷爐壁，且需要複雜的控制系統。

GE 傘型 SNCR (U-SNCR) 使用獨特技術，利用在鍋爐中帶有可調高度噴嘴噴灑尿素，該過程使用裝置在鍋爐中，經冷卻的可撓性管路，該技術不受限於鍋爐尺寸，而且易於控制。本技術另一個特點是使用較大的液滴，以降低反應區溫度的影響。

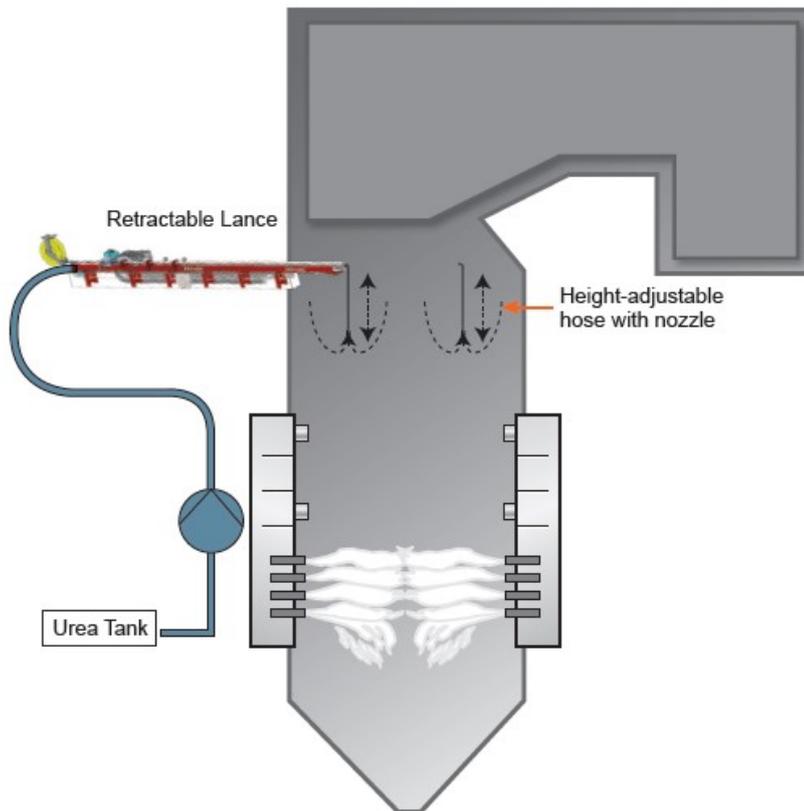


圖 3-2-11 GE Umbrella-SNCR, GE 的傘型-選擇性非觸媒脫硝

GE DB+ (Digital Boiler+) 鍋爐數位控制系統

GE 發展鍋爐數位控制系統 DB+，利用新增的先進傳感器和鍋爐優化功能可自動優化多餘的空氣，同時優化燃燒並確保火焰穩定性，可以提高效率並減少排放，減少合理的損耗，例如堆棧損耗和輔助功耗，減少需要燃燒的煤炭量，二氧化碳，灰分，汞，顆粒物和其他排放物的量成比例減少，通過更好地管理氧氣和火焰溫度來減少 NOx 排放。

- 先進的傳感器可提供有關火焰穩定性的更好信息，並檢測燃燒不平衡
- 通過分析生成火球穩定性指數和全球火焰穩定性指數
- 自動進行空氣分配並調節過量氣流，以確保火焰穩定
- 只要火焰穩定且沒有其他限制，可降低最低負荷。
- 可以改善效率節省燃油並降低排放

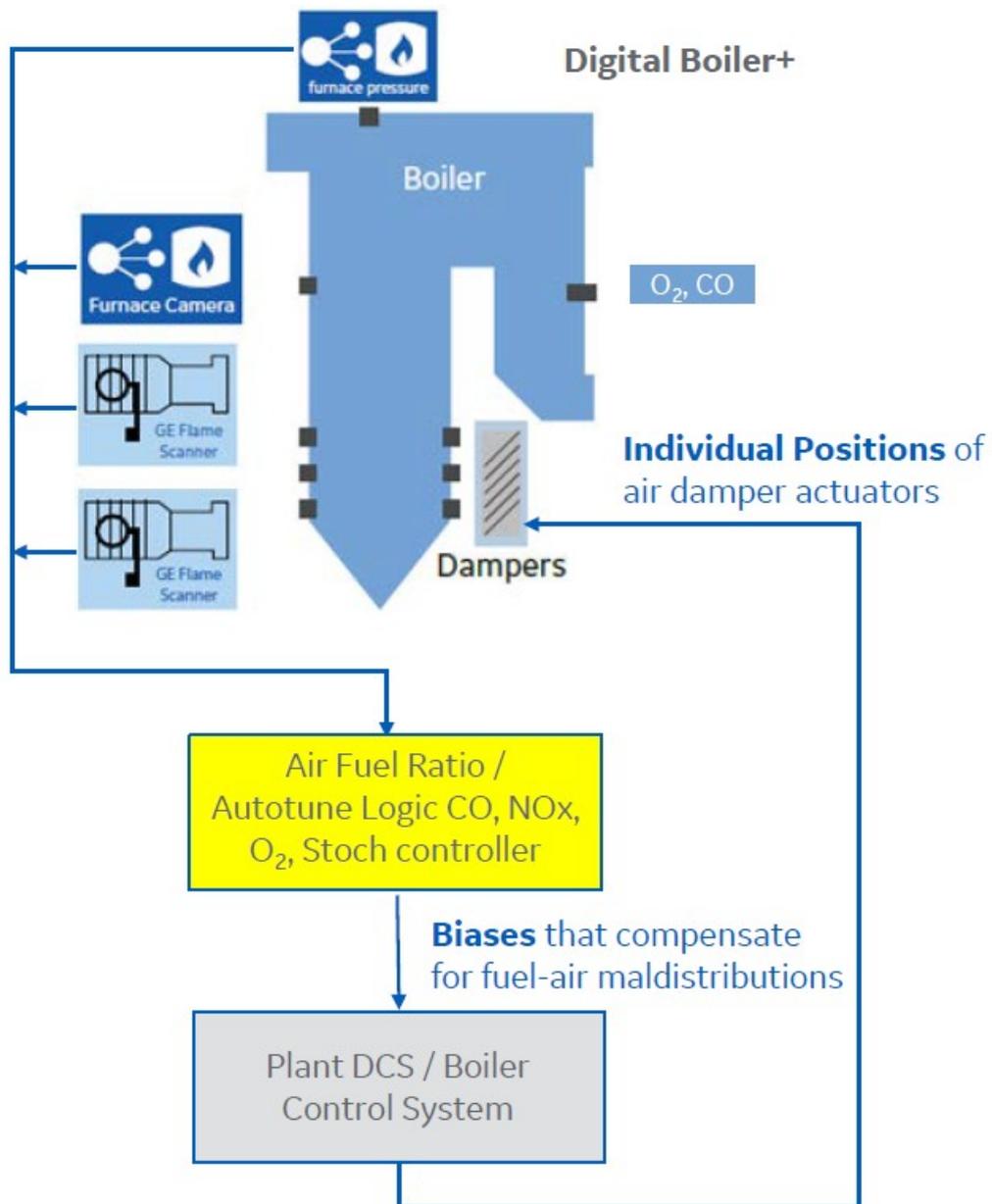


圖 3-2-12 GE DB+ (Digital Boiler+) 鍋爐數位控制系統

三、粉煤機改善運維技術

GE 在粉煤機設計及製造已經有 100 多年的經驗，現今大多數粉煤機製造商也都師承自 GE 的相關設計，下圖為 GE 粉煤機部門的全球服務網絡。

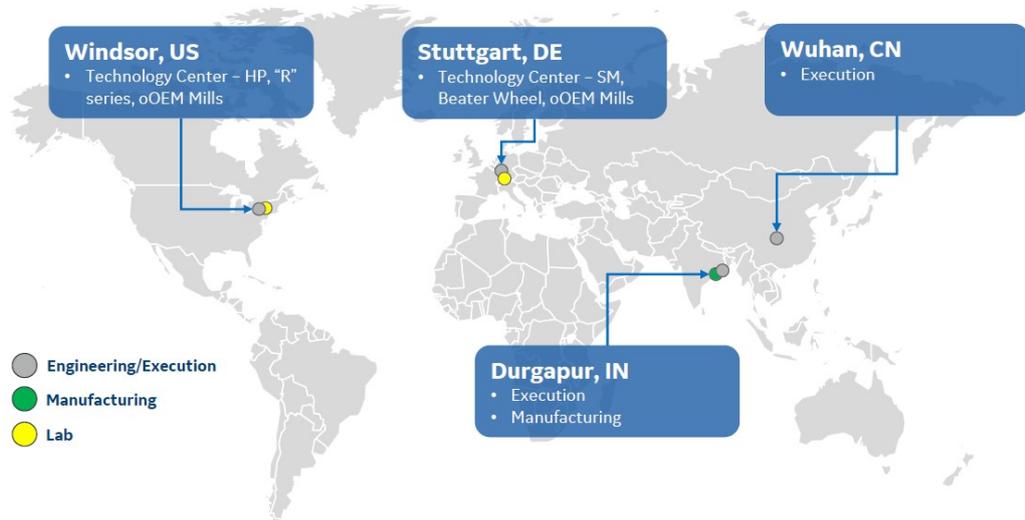


圖 3-3-1GE 粉煤機部門的全球服務網絡

GE 粉煤機的主要布置：

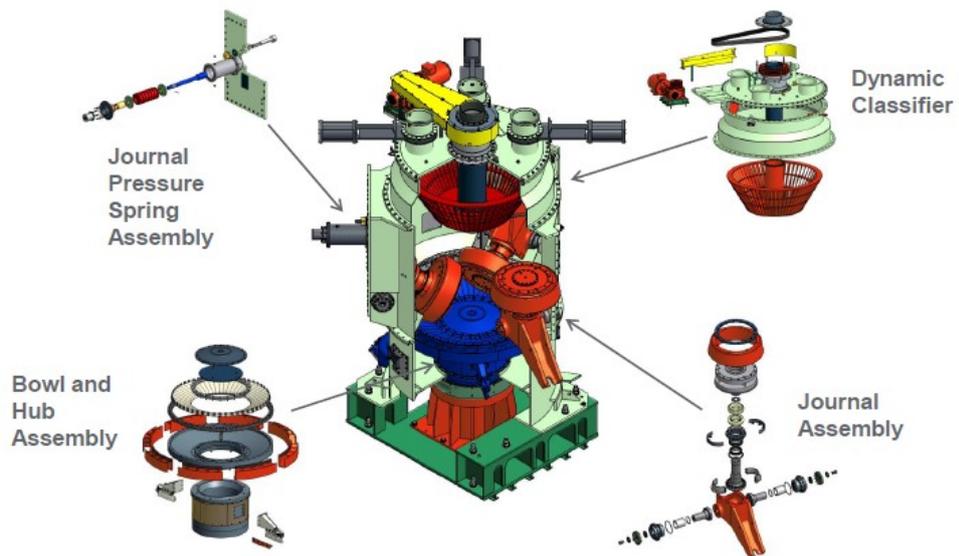


圖 3-3-2 GE 粉煤機的主要布置

特點：1. 可變速馬達 2.可變速驅動機構 3.多條 V 型皮帶驅動 4.正確角度齒輪箱 5.轉速由 34~102RPM 6.使用滾珠軸承(100,000 HRs AFBMA B-10) 6. 使用潤滑油脂潤滑 7.唇式油封 8.間隙形式氣封 9.轉子選擇- 兩件式 - 耐磨耗

GE(ALSTOM)的粉煤機設計

GE HP 型粉碎機的運作說明

原煤通過粉煤機的中心進料管進入粉煤機的中心後，落在旋轉的碗型研磨平台上，由於離心力，使煤從粉煤機中心向外移動，被三個大型磨輪磨碎。為了防止三個大型磨輪在運轉時沒有煤的情況下，和粉煤機的碗墊接觸，裝置有限位器，限制頸軸承向下方的移動量。將煤粉碎的下壓力量由頸軸承連接的彈簧提供，當煤的進料量增加時，頸軸承連接的彈簧被壓縮因而增加研磨煤炭的力量。

部分粉煤通過碗的邊緣並且被上升的氣流帶走並乾燥，生煤中混著黃鐵礦或鐵質或石頭順著一樣的路徑越過磨碗的邊緣，由於這些物質比煤粉重很多，無法被空氣氣流帶上去，所以掉到碗底，之後這些被排出的物料被旋轉刮刀掃到排渣槽的開口。這些被磨過的煤粉，部分先經由研磨區上方的葉片輪被作初步的分類，在這裡較重或帶有水分的顆粒掉回研磨區，而較輕的顆粒繼續被往上帶。

煤粉與氣流通過了分離器之後，在達到錐形分類器後，由於顆粒的大小及質量不同，還有氣流的作用，超過所需尺寸的煤顆粒又落下，通過這種方式，只有所需大小的煤顆粒可以離開粉煤機。最後離開粉煤機煤粉的細度受到下列條件影響，包括煤碳的可研磨性，煤碳及氣流的流量，粉煤機的機械設定，粉煤機內部的條件，錐形分類器的葉片位置及旋轉分類器的轉速。

GE HP 型粉煤機的基礎設計

粉煤機的基礎在設計上需考量在其混凝土基礎上的三種荷載：1.機器本身的靜態重量，2. 研磨過程中的動態載荷以及 3.由於一次風機的熱空氣對粉碎機的加熱造成的對混泥土基礎上的擴張力量的熱負荷，粉煤機的基礎設計必需考量上述的應力，包含卯釘螺栓和混凝土基礎尺寸及位置，將粉煤機與驅動馬達安裝在同一基礎上可減少因震動造成相關組件的位移。

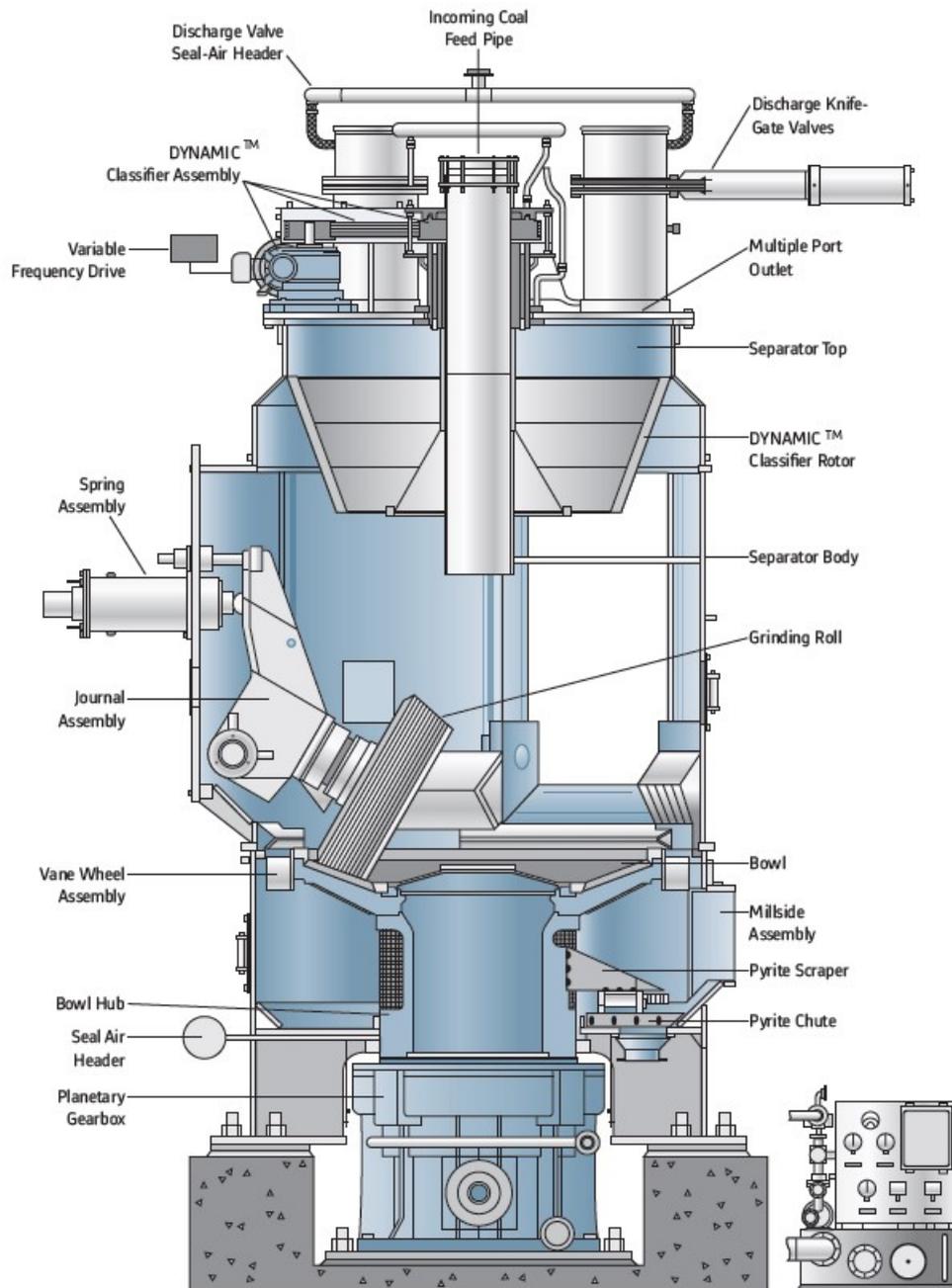


圖 3-3-3 GE (ALSTOM) HP 型粉煤機(使用動態的煤粉分離器)

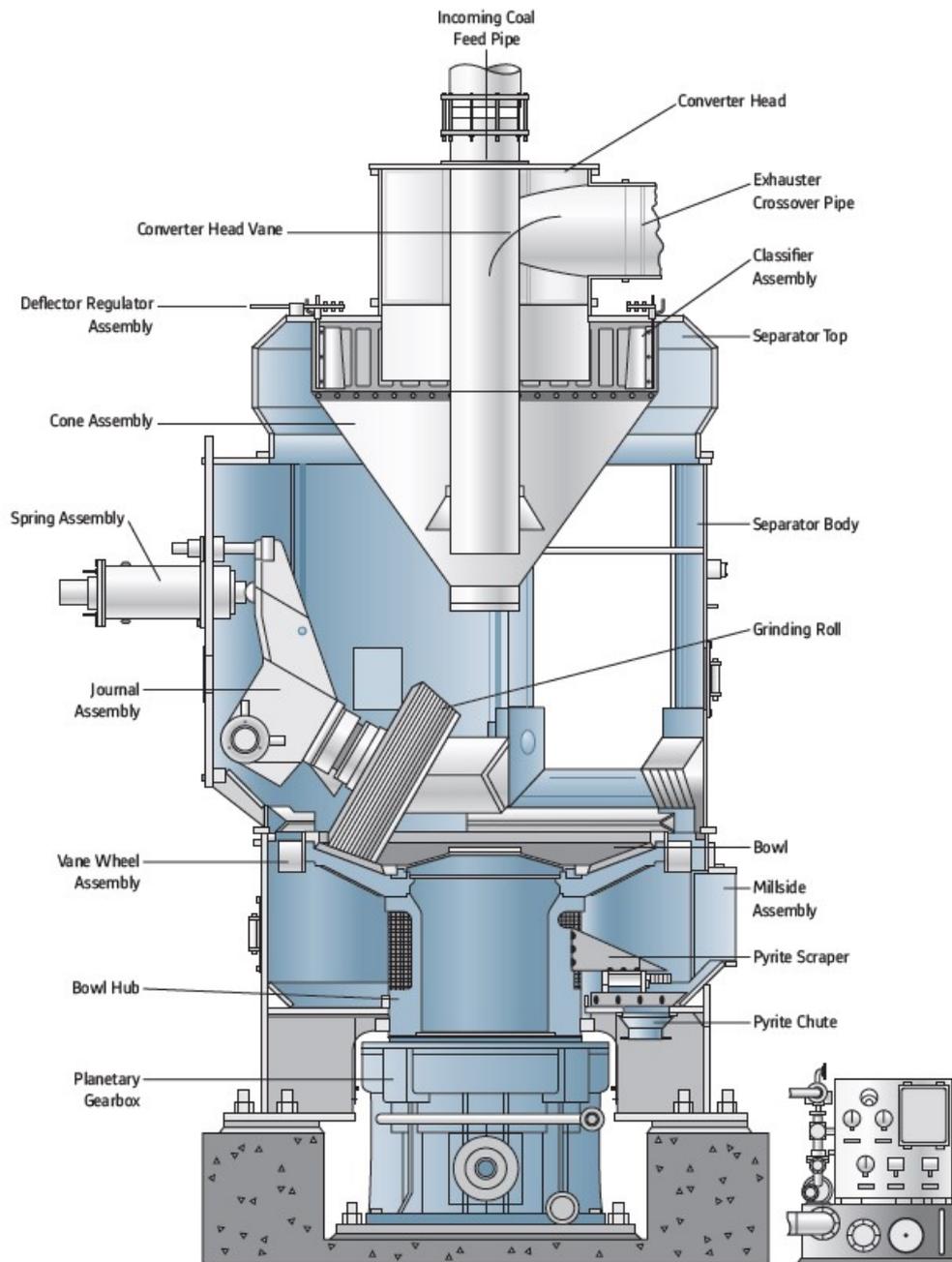


圖 3-3-4 GE (ALSTOM) HPS 或 HPPS 型粉煤機(使用靜態的煤粉分離器)

HP 型粉碎機使用可拆卸的行星齒輪驅動器

與類似容量的蝸輪蝸杆或三重減速螺旋錐齒輪，斜齒輪傳動相比，該驅動器重量更輕，但強度更高。HP 型減速器不受軋機機架結構的影響，可以拆卸下來進行檢查或維護，它的尺寸和重量使其可以容易拆下，並移至遠離粉煤機區域的地方進行維護。如果現場有備用設備，將備用設備換上後，則粉煤機維護停機時間將最可以大幅縮短。

由於齒輪箱被包覆在粉煤機的機架內，因此齒輪箱不會暴露在一次風所夾帶的煤粉中。輸入軸和輸出平台密封為非接觸迷宮式操作。磨機外殼的滲透密封件位於齒輪箱上方的磨輪支撐輪轂上，齒輪與熱空氣入口之間的物理隔離大大減少了齒輪上的任何熱負荷，從而使齒輪和軸承能夠以較低的溫度運行。

在內部，減速器由直角齒輪，錐齒輪，減速輸入級和行星減速輸出級組成。太陽齒輪通過冠齒輪型聯軸器連接到錐齒輪軸，以允許軸向和徑向運動。浮動的太陽齒輪和行星齒輪可確保嚙合齒上的載荷相等，這用來均勻分佈的三個行星齒輪之間的總馬力。輸入齒輪，錐齒輪和行星齒輪軸軸承均設計用於抗磨軸承製造商協會（AFBMA）B-10 壽命，至少 100,000 小時。粉煤機機的磨削力由位於行星齒輪架上方的液壓可傾襯墊，推力軸承組件承擔，有多個軸承襯墊，其中四個具有雙元素傳感器測量襯墊溫度，襯墊溫度與軋機的操作互鎖，以防止所述推力軸承損壞。止推墊的節圓直徑與齒輪箱外部結構壁的直徑相同，以最大程度地提高止推支撐並在不影響齒輪嚙合的情況下將磨削力直接傳遞至基礎。

潤滑系統

外部潤滑系統將冷卻和過濾後的機油供應給滾動軸承，齒輪嚙合和流體動力推力軸承。該系統的所有主要組件都在工廠組裝時安裝在獨立的基座上。在進行維護時，隔離裝置可在不排空較高位置的齒輪箱液壓軸承由儲存箱的情況下作維護，雙過濾器組件可在粉碎機運行時維護，切換至備用過濾器而不需停止運轉，潤滑油經過過濾後，潤滑油通過油-水殼管式熱交換器。電氣溫度和壓力傳感器監控潤滑系統。

粉煤機的啟動，運行和停止均互鎖，以防止在沒有適當潤滑的情況下運轉。

在粉煤機運轉前，要將安裝在油箱熱電偶套管中的低瓦特油加熱器啟動，將油升高到最低工作溫度。

磨盤(Bowl)，磨盤轂(Bowl Hub)和輪總成

位於變速箱上方的這些組件。旋轉的碗和碗轂帶有兩個刮板，葉片輪段和碗耐磨板，由於發生了磨削，因此會遭受磨料磨損，過度磨損時需要更換。旋轉葉片輪段由經過熱處理的耐磨鋼板製成，可以必要時易於焊接維修。葉片輪的開口形狀經過優化，可實現空氣動力學流型，同時促進混合和初級分類，同時將漏煤，壓力損失和局部磨損率降至最低。

排渣(Pyrite)料斗可以與磨機驅動馬達相對，左右兩邊分別成 90 度佈置。

這種靈活的安排能夠滿足任何工廠的維護要求。

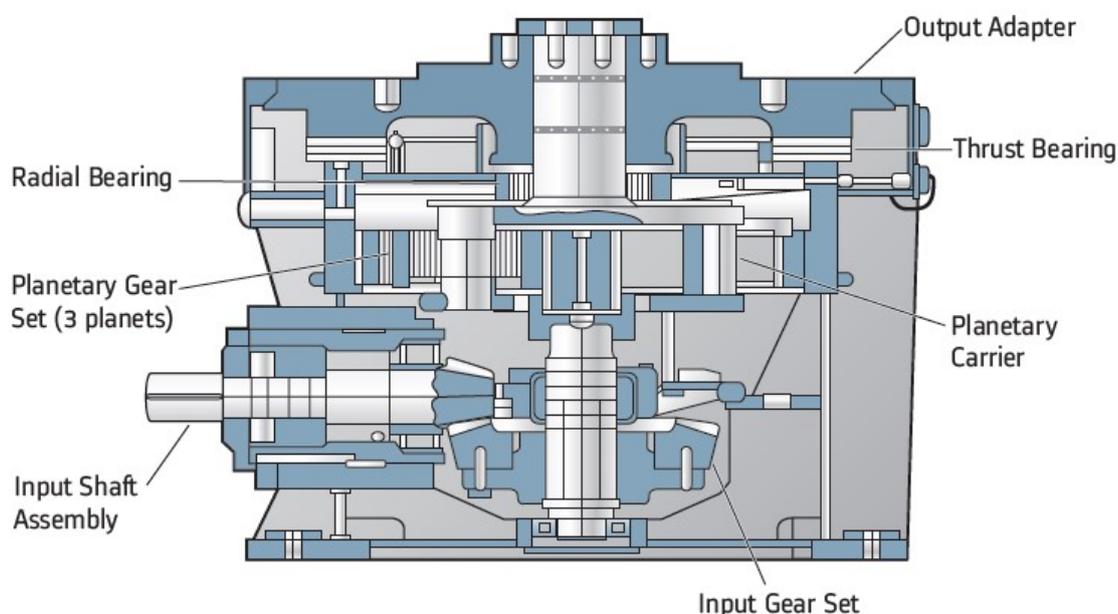


圖 3-3-5 HP 粉碎機使用可拆卸的行星齒輪驅動器

HP 型粉煤機軸頸組件

滾動組件軸承系統由兩個相同的圓錐滾子軸承以相對的方式佈置如下圖。該系統的設計要求在嚴格的佔空比下，AFBMA B-10 的最小使用壽命為 100,000 小時。使用自潤型磨輥軸承，為防止機油污染，密封空氣先通過耳軸末端，然後再向外通過滾動的空气密封，密封空氣供應系統的任何部分都不會暴露於煤炭主要氣流中。

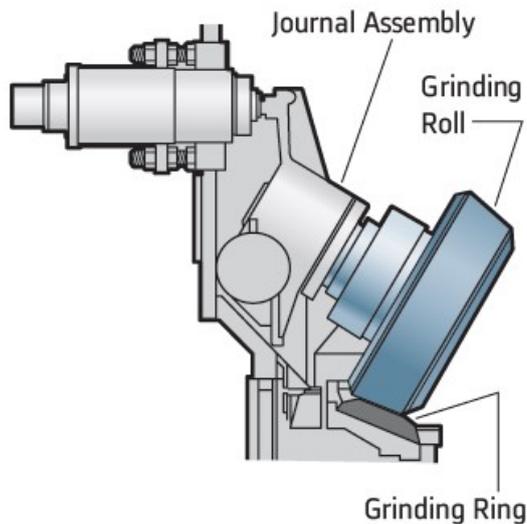


圖 3-3-6 粉煤機軸頸組件

HP 型粉煤機具有獨特的磨輥傾斜功能，如下圖所示。使用傾斜固定裝置和高架粉煤機提昇機或起重機，可以將每個輥輥組件在其耳軸安裝軸上旋轉出軋機。將輥輥鎖定在此垂直維修位置後，無需從軋機上拆下組件就可以執行多項檢查和維護任務：可以拆除磨損的輥輥並安裝新的磨輥，可以檢查和調整輥輥軸承的端部遊隙，並進行油封可以檢查更換或更換後，可以更換機油，並且可以拆下整個輥輥組件並將其帶到另一個區域進行軸承維護。

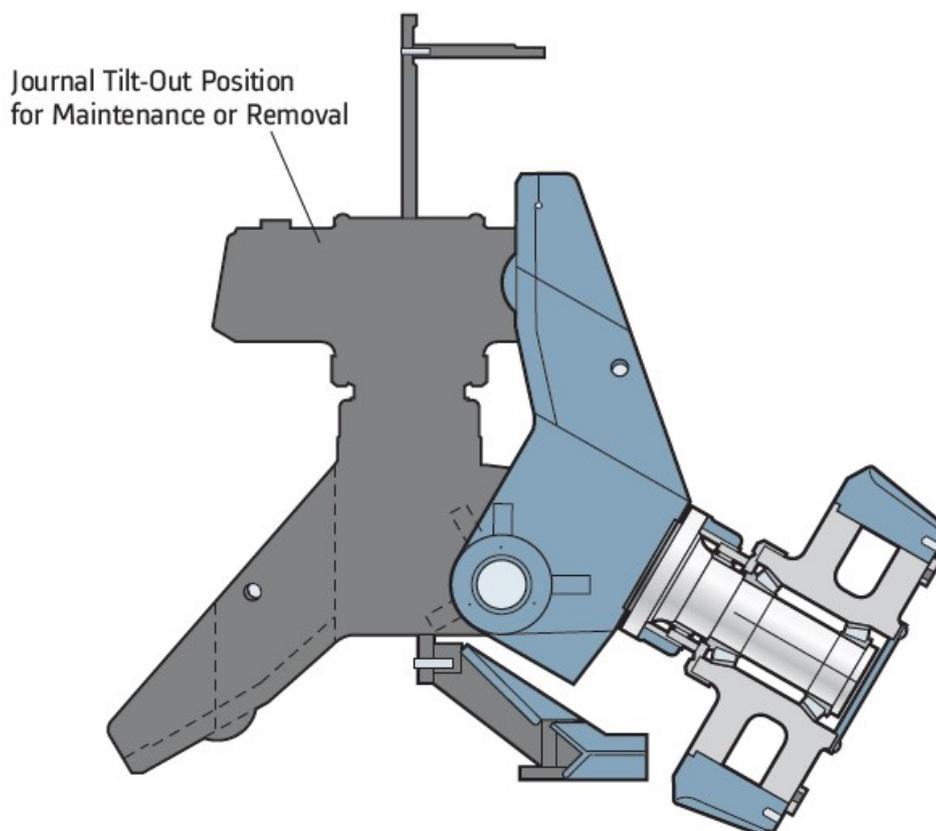


圖 3-3-7 粉煤機軸頸組件可傾斜移出

最長的磨輪壽命是 HP 行粉煤機設計的主要目標。

通過合併大型磨輪以增加可用磨損材料的總量，並通過使用具有高耐磨性的磨輪材料可以實現此目的。Combustalloy™ 耐磨材料是 GE 專有的堆焊層，有效磨損壽命是標準 NiHard 的五倍，並且在磨損時可以輕鬆地重新焊接。

外部安裝的彈簧組件具有一個主要優點，即維護人員無需進入粉碎機即可檢查或調節彈簧。由於組件的位置遠離煤流，因此消除了腐蝕。彈簧行程可以通過外部機構最大程度地發揮作用，以使大量不可磨碎的物料從軋輥下方通過，直到將其從軋機中剔除為止。可靠的彈簧預緊鎖定裝置可防止運行期間彈簧設置發生任何變化。整個彈簧組件是模組化類型，以減少更換時間，以便儲備備用組件，並便於檢查和翻新。

安全與控制

粉狀燃料的生產和處理可能很危險，由於懸浮或沉積中的細顆粒容易揮發並變得易燃，因此在某些條件下可能會發生爆炸。儘管存在這些危險，但自從粉煤燃燒開始以來，GE 粉煤機已取得了卓越的安全記錄，為了保護財產和生命，所有粉碎設備和相關輔助設備（包括設備強度，閥門和惰化裝置）均按照 NFPA 85 進行了詳細設計，為了使設備正確正確地操作，使用了各種控制裝置和安全裝置。

粉碎機的輸出通過響應負載信號調節進料速度來控制，氣流和空氣溫度通過自動控制與進料速度成比例。還包括允許設備正確順序運行的許可互鎖裝置，流量警報器，以指示進出給煤機的煤流停止，以及負載限制裝置，以防止磨機給料過多，粉碎機控制系統中的上述通常可能包含預期的動作和響應性更好的反饋。

粉碎機惰化和防火

為了補充上述操作控制，當前的做法是安裝系統以檢測和撲滅粉煤機火災，並減少發生火災的可能性。

理想的惰化系統可連續清除從粉碎機到熔爐的所有可燃揮發物，該系統可以使粉煤機在惰化後迅速恢復正常運轉。GE 粉煤機惰化和消防系統旨在為潛在危險情況提供預警。它使用現成的蒸汽作為惰化介質，因為與其他惰化介質相比，蒸汽對設備的損害較小，並使粉碎機更容易重啟。

粉煤機使用水作為滅火劑，噴嘴安裝在粉煤機中。

該系統的目的是：

- 有爆炸危險時稀釋磨機中的氧氣含量；
- 在空氣運輸危險的情況下，通過惰性介質清除燃料的粉碎機；和
- 撲滅粉狀燃料系統中的火。

系統設計功能

GE 粉煤機惰化和消防系統包括以下功能：

- 當存在著火或潛在爆炸的條件時，粉碎機將自動惰化。

- 蒸汽用作主要惰性介質，CO₂，水霧或其他冷惰性氣體用於冷卻粉煤機。
- 惰化系統能夠提供足夠量的蒸汽，以將粉煤機的可燃內容物輸送到熔爐，同時保持磨機內的惰性氣氛。

作為替代方案，可以使用水沖洗系統通過排渣系統清除，同時保持磨煤機的惰性。在粉碎機中策略性地安裝了多個噴水噴嘴，以提供完整的內部滅火覆蓋，

- 系統監控從供料器到燃油管道的整個粉狀燃油系統。
- 一旦發現危險情況，就會在所有關鍵區域和控制室中激活聲光警報。
- 可與現有工廠控制系統作連接。

四、GE 的除汞技術介紹

GE 排放控制系統部門的全球服務網絡如下圖。



圖 3-4-1 GE 排放控制系統部門的全球服務網絡

GE 排放控制系統對應燃煤電廠之主要運用，如下圖所示：

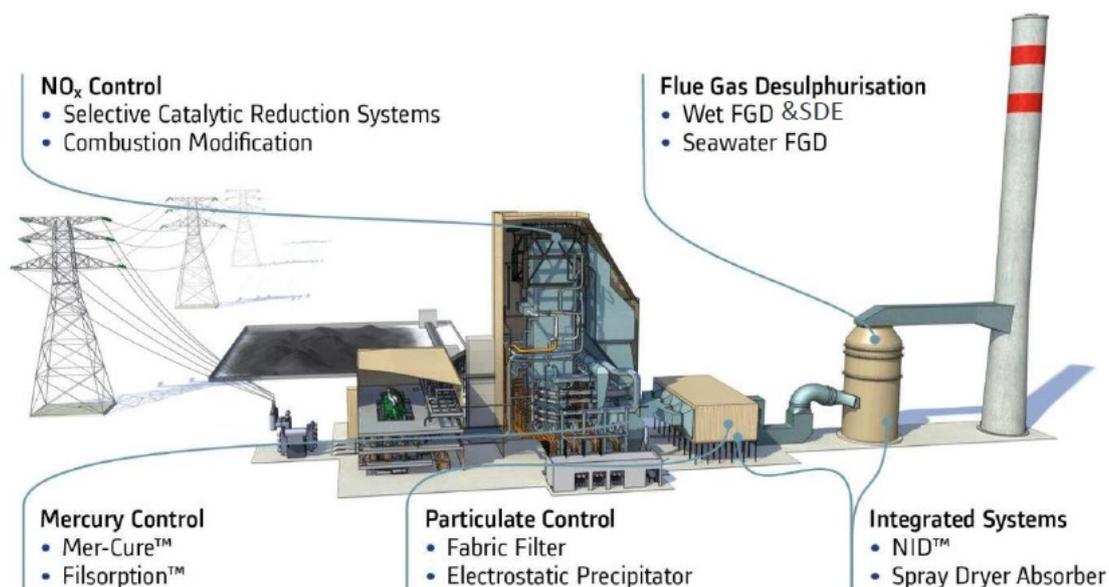


圖 3-4-2 GE 排放控制系統對應燃煤電廠之主要運用

對於汞排防控制技術，目前沒有單一完全通用的方案，因為：

1. 各電廠有其獨特的條件及要求
2. 各電廠之鍋爐類型、鍋爐運行方式、以及空氣品質控制系統(AQCS)的相關配置
3. 各電廠所需配合目前及未來的法規要求

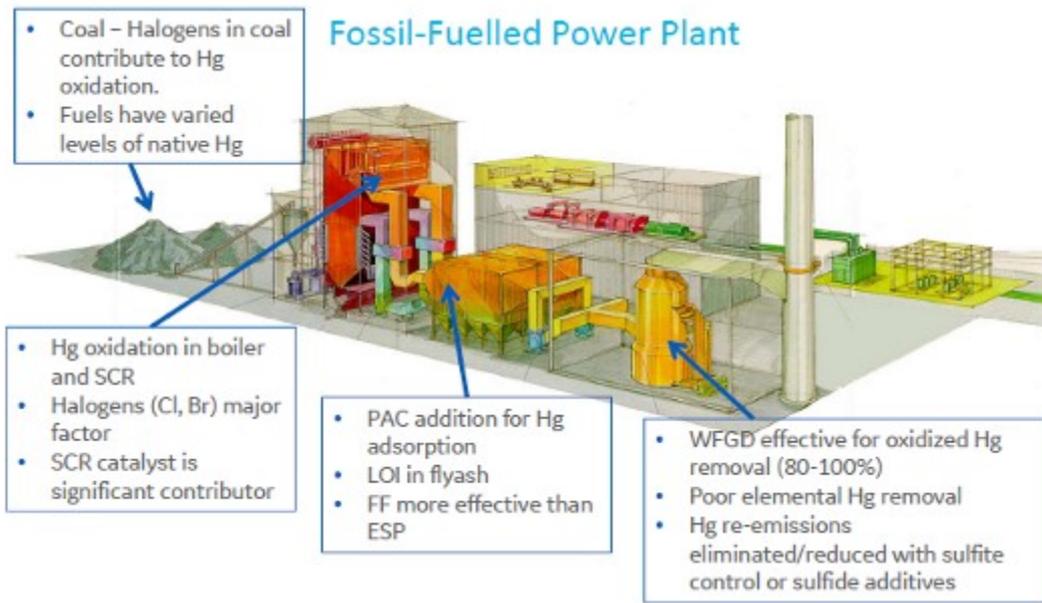


圖 3-4-2 燃煤電廠對於汞排防控制系統的考量

GE Mer-Cure™ Lite System Technology 除汞技術簡介

從空氣預熱器的上游均勻噴入處理過的吸附劑，GE 擁有相關技術的專利，吸附劑吸收煙氣中的汞成分，最後以飛灰混和的形式，和飛灰一同被收集起來。

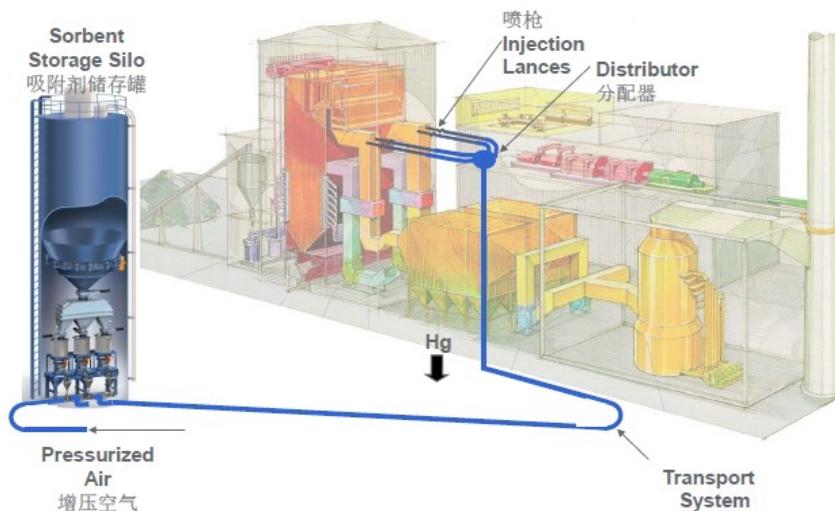


圖 3-4-2 GE Mer-Cure™ Lite System Technology 除汞技術簡介

五、實驗室參訪

這次在研習結束之後，由 GE 的人員帶領參訪其潔淨能源研究中心燃燒實驗室設備，其實驗室於 2016 年花了約美金 2000 萬元由原辦公室區域搬遷至新的地點，同時也升級部分實驗設備，其內部有一小型粉煤機，小型粉煤機除了用於測試不同粉煤機參數，所產生的煤粉也提供給實驗室內部的測試鍋爐使用，實驗室內也有一小型鍋爐，用以測試不同設計之燃燒器，也可以調整燃燒參數，測試時有數位化之控制室，其操作介面與實際電廠操控之介面相似，可以用以監控各項測試數據，同時也可以用以研發及測試相關控制軟體。

實驗室同時也有鍋爐水管材質實驗室，隨著超臨界鍋爐的溫度及壓力的提升，鍋爐水管的材質也不斷的改進，同時也要考慮設備製造及安裝所會遇到的問題，因此也設有焊接實驗室測試焊接參數，除了各項的模擬數據以外，GE 實驗室以實際的設備驗證其效果。另外，為因應環保潮流減低 CO₂ 排放量，也簡略介紹了 CO₂ 處理及儲存的設施。



圖 3-5-1 GE 實驗室的小型粉煤機



圖 3-5-2 GE 潔淨能源研究中心大門



圖 3-5-3 GE 潔淨能源研究中心內部俯視圖

肆、心得與建議

本次可以至美國奇異公司進行新型低氮氧化物燃燒器與粉煤機改善運維技術研習，首先感謝朱廠長、李副廠長、周副廠長及汪經理的提攜，讓我有這個機會可以去美國奇異公司實習，特別感謝賴課長協助安排與奇異公司聯絡，還有感謝黃課長及氣灰課同仁在出國期間工作上的協助，另外，也感謝總處長官及奇異公司人員的幫忙，才能順利完成這趟實習旅程。

本次至美國奇異公司位於康乃狄克州的溫莎鎮的奇異公司 GE POWER 實習，其前身為 Combustion engineering 的石化燃料鍋爐部門，後來被 ALSTOM 併購，於 2015 年時被奇異公司併購，因此本次實習所遇到的美國奇異公司關工程人員都是具有 30~40 年燃煤電廠相關資歷的工程師或研究員，可以看出奇異公司對技術方面的人員非常重視，而奇異公司的工程人員也沒有因為擁有旁龐大的技術資產而停滯懈怠，不斷的在現有的基礎上開發新的技術。

奇異公司一直不斷的在研發新技術及設備，雖然現在很多鍋爐或粉煤機新設計的開發過程大量的運用了電腦數位模擬的技術，來分析及評估，但是奇異公司也使用實驗設備進行驗證，看到實驗室內的奇異公司工作人員對相關技術的嚴謹態度，非常值得令人學習。

在與奇異公司工程人員討論的過程中，除了對奇異公司工程人員對先進技術開發的認真態度感到令人敬佩，他們對相關技術資料的收集、整理、及保存也是花了很多功夫，確保相關工作人員皆能即時取得及分享正確的數據及資料，也對新進人員有一套完整的教育訓練，讓所有的工作人員皆能在其職位上為公司發揮最大的功效。

伍、參考資料

- 1.美國奇異 GE 公司提供之訓練用講義
- 2.網路資料