

公務出國報告  
(出國類別:實習)

富氧燃燒技術及相關控制系統研習

服務機關:台灣電力公司

出國人職稱:台中發電廠

儀電工程師

姓名:藍啟裕

出國地區:德國

出國期間:100.6.23-100.7.7

報告日期:100.8.19

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：富氧燃燒技術及相關控制系統研習

頁數 62 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

藍啟裕/台灣電力公司/台中發電廠/儀電工程師/04-263902123ext3621

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：100/6/23-100/7/7

出國地區：德國

報告日期：100/8/19

分類號/目

關鍵詞：Carbon Capture and Storage、Capture Ready、Oxyfuel

Combustion、Vattenfall、Schwarze Pumpe Power Plant、Oxyfuel Pilot

Plant、二氧化碳儲存場、DCS、SPPA-T3000

內容摘要：

人為排放溫室氣體的增加，使溫室效應更趨嚴重，是造成地球暖化並引起極端氣候的主要原因，二氧化碳是溫室氣體中的最大宗，近年來各項 CCS(Carbon Capture and Storage)的技術理論紛紛的被提出及探討，全球第一座 CCS Oxyfuel Combustion 機組於 2008 年 8 月於德國 Schwarze Pumpe Oxfuel Pilot Plant 正式運轉，此次研習主要地點為 Schwarze Pumpe Oxfuel Pilot Plant，在此了解 Oxfuel Combustion 機組的運轉現況，並取得相關資料及數據深入了解各項設備的功能、機組

效率、運轉成本。另外，鄰近的 Schwarze Pumpe Power Plant 使用高效率的超臨界鍋爐，為未來興建火力電廠的趨勢，因此順道前往參訪。

二氧化碳的儲存是 CCS 最重要的一環，在 Schwarze Pumpe Oxfuel Pilot Plant 協助安排下得以前參訪位於 Ketzin 的二氧化碳儲存場。

Schwarze Pumpe Oxfuel Pilot Plant 所使用的控制系為西門子公司的 SPPA-T3000 系統，本次研習也對該系統有深入的了解。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

## 目錄

壹、 出國目的 .....	5
貳、 出國日期及行程 .....	6
參、 內容與過程 .....	7
一、 CCS 和 Capture Ready .....	7
二、 Vattenfall 能源集團及 Schwarze Pumpe Power Plant ...	17
三、 富氧燃燒技術及運轉資料 .....	19
四、 Schwarze Pumpe Power Plant (超臨界鍋爐機組) .....	38
五、 二氧化碳儲存場 .....	44
六、 富氧燃燒鍋爐及超臨界鍋爐電廠控制系統 .....	48
肆、 心得與建議 .....	60

## 壹、出國目的

人為排放溫室氣體的增加，致使溫室效應更趨嚴重，是造成地球暖化並引起極端氣候的主要原因，已成為世界各國的共識，1992年聯合國通過氣候變化綱要公約(United Nation Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)，1997年UNFCCC的締約國制定京都議定書(Kyoto Protocol)，目的在「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水平，進而防止劇烈的氣候改變對人類造成傷害」，台灣雖然不是京都議定書締約國，卻不可能置身於事外，位於氣候詭譎多變的西太平洋熱帶地區，台灣可能成為全球暖化的最大受害者之一。

二氧化碳是溫室氣體中的最大宗。而大量排放二氧化碳的燃煤發電是台電公司重要的電力來源之一，雖然台電公司已致力於降低污染排放物、提昇燃煤機組效率，然而大量的二氧化碳排放仍無可避免，如何抑制二氧化碳排放，是台電公司永續經營所必須克服的最大課題。

近年來各項 CCS(Carbon Capture and Storage)的技術理論紛紛的被提出及探討，然而至今卻仍少有真正付諸實行的大型機組。全球第一座 CCS Oxyfuel Combustion 機組於 2008 年 8 月於德國 Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Plant 正式運轉，裝置容量 30MW，雖仍是測試階段，卻為全球煤燃火力工程踏出一大步。

此次研習重點為了解 Oxyfuel Combustion 機組的運轉現況，及取得相關資料及數據並深入了解各項設備的功能、機組效率、運轉成本等等。另外，富氧燃燒機組控制系統負責全廠設備控制及資料蒐集，希望藉由此次研習了解該機組各項控制系統及設備於設計上的考量，及目前維護作業所遭遇的問題，除了可供未來興建類似機組時作為參考外，於現有機組的維護也能有所助益。

該電廠同時有兩座 800MW 超臨界鍋爐機組，超臨界機組具有高效率、低排放的優點，台電公司未來火力機組的興建也以此為考量，因此也順道前往參訪，了解其機組運轉情形並研習其控制系統。

## 貳、出國日期與行程

本次研習參訪國家是德國，主要研習地點為 VATTENFALL 能源集團所屬的 Schwarze Pumpe Power Plant 及 Oxyfuel Pilot Plant，詳細行程如下表：

日期	地點	訓練進修機構 及訪談對象	目的及討論主題
100/6/23~ 100/6/24	台北→法蘭克福 →柏林	往程	
100/6/25~ 100/6/27	柏林&施普倫貝格 Berlin&Spremborg	Siemens Mr. Dirk Richter	富氧燃燒機組控制系統及 相關儀控設備研習
100/6/28	柏林&施普倫貝格 Berlin&Spremborg	Siemens Mr. Dirk Richter	超臨界鍋爐控制系統研習
100/6/29~ 100/7/3	柏林&施普倫貝格 Berlin&Spremborg	Oxyfuel Pilot Plant Schwarze Pumpe Mr. Lutz Picard	富氧燃燒技術及運轉機組 現況研習
100/7/4	柏林&施普倫貝格 Berlin&Spremborg	Schwarze Pumpe Power Plant Mr. Lutz Picard& Mr. Weber	超臨界鍋爐機組運轉現況 研習
100/7/5	柏林 Berlin	Deutsches GeoForschungsZentr um-GFZ Mr. Fabian Moller	二氧化碳儲存場參訪
100/7/6~ 100/7/7	柏林→法蘭克福 →台北	回程	

## 參、內容與過程

### 一、CCS 和 Capture Ready

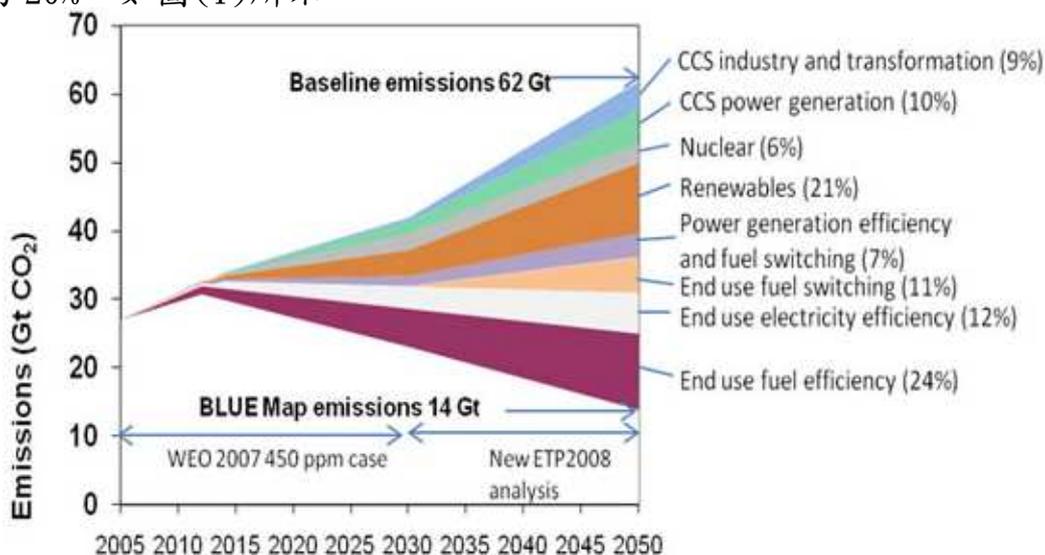
#### (一)何謂 CCS(Carbon Capture and Storage)?

CCS 意指將工業或能源產業所排放的二氧化碳在還未進入大氣前加以收集並壓縮後，注入結構安全的地表下並確保這些二氧化碳能永久的被儲存的一連串技術。

#### (二)為何需要 CCS?

大量的二氧化碳排放所造成的溫室效應是全球氣候劇烈變化的主因，然而由於新興國家的崛起，全球對能源的需求不斷的快速增加。根據諾貝爾獎得主全球氣候變遷小組(Intergovernment Panel on Climate Change, IPCC)的報告，在 2050 年之前如果全球二氧化碳的排放量無法減少 50%~80%人類將無法避免氣候劇烈變化所造成的毀滅性傷害。

諸多的預測及證據顯示，再生能源仍無法於短期內取代石化燃料能源。由於能有效降低使用石化燃料所產生的二氧化碳排放，CCS 於未來的能源業將扮演重要的角色。根據國際能源總署(International Energy Agency)2008 年能源科技展望的報告(Energy Technology Perspectives)中指出，以 2050 降低全球二氧化碳排放量 50%的目標中，CCS 將貢獻其中的 20%，如圖(1)所示。



圖(1)GHG Emissions Reductions: Resolution for 2050

### (三)何謂 Capture Ready?

二氧化碳排放的來源中，使用石化燃料來發電的火力電廠，為其中的大宗。目前全世界雖然已有許多 CCS 示範電廠正式運轉或正在興建，然而因為現有技術、經濟效益及法規等各方面的問題，CCS 能正式被運用在大容量的商業運轉機組還需要一段時間。

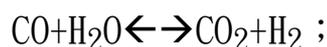
國際能源總署 2007 年 CO<sub>2</sub> Capture Ready Plants 的報告中建議，未來新建的火力電廠(尤其是燃煤電廠)，應具有 Capture Ready 的條件，以避免這些電廠持續的排放大量的二氧化碳而無法改善，也就是說 Capture Ready 電廠是指在未來法規或經濟效益條件到位時，能夠被改建為使用 CCS 技術的電廠。

興建一個 CAPTURE-READY 電廠應對將來可能使用的碳捕捉方式及可能需要的投資進行評估，在設計上必須預留將來碳捕捉設備所需的空間及可能需要的基礎設施，如冷卻水系統、電力系統、儀控系統及管路等，另外，碳捕捉設備所需的能量消耗相當大，可能降低機組電力輸出達 20% 以上，因此必須保留足夠的裝置容量，並且對於二氧化碳從電廠運送至儲存場址的路徑及運輸方式(船運、陸上交通工具或由管路)要有詳細及合理的規劃。

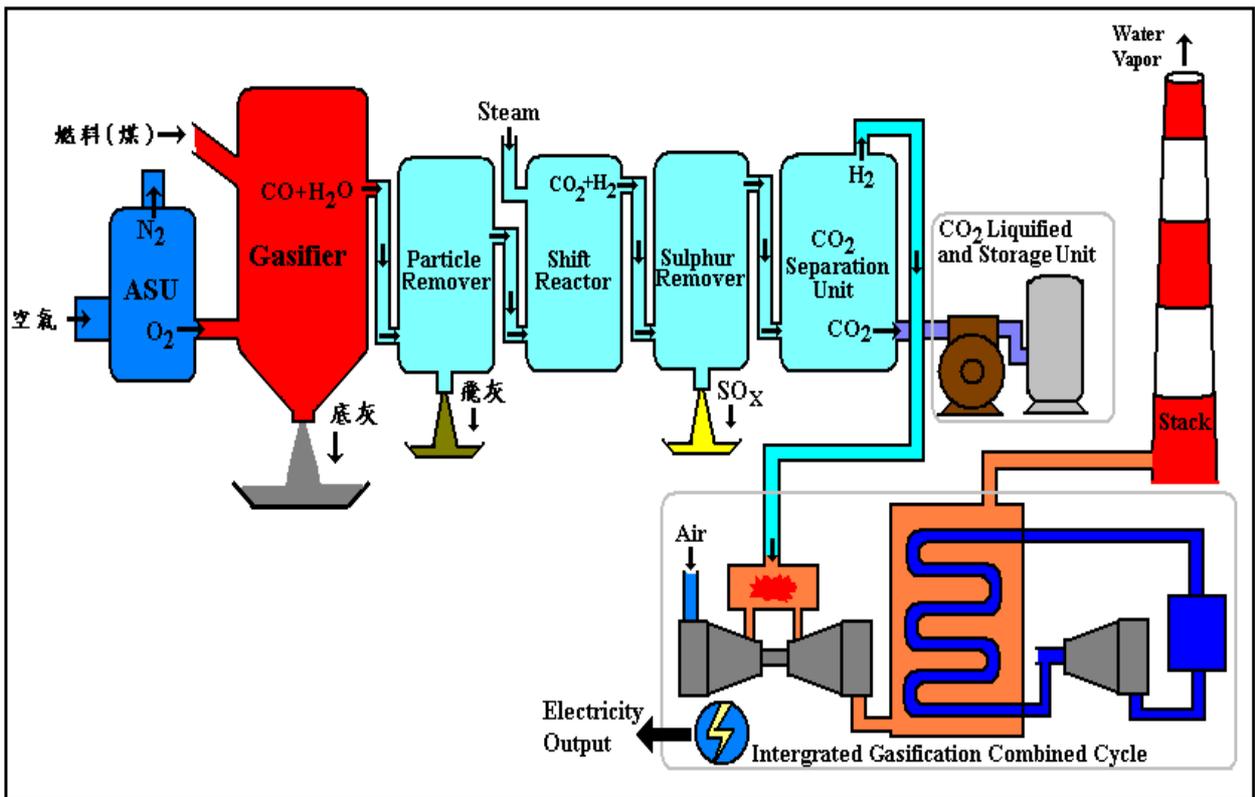
CCS 並沒一定技術方式，就碳捕捉(Carbon Capture)而言，目前主要有三個主流，分別為燃燒前處理(Pre-Combustion)、燃燒後處理(Post-Combustion)及本次參訪的德國 Schwarze Pumpe Power Plant 所採用的富氧燃燒(Oxyfuel Combustion)。另外，一項新的技術-化學循環燃燒(Chemical Looping Combustion)也逐漸受到重視。

#### (四)燃燒前處理(Pre-combustion)

燃燒前處理的碳捕捉方式，通常搭配氣化複循環(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle)系統使用。首先利用空氣分離設備(ASU, Air Separation Unit)將氧氣自空氣中分離出來，將氧氣及燃料(煤炭)送入氣化爐(Gasifier)，利用熱分解及化學的方式使燃料氣化成為CO(一氧化碳)及H<sub>2</sub>O(水蒸汽)的合成氣體；將這些合成氣體送入集塵設備(Particle Remover)，以清除氣體中的飛灰，這些氣體中的雜質務必清除乾淨，否則將造成Gas Turbine的損害；接著將合成氣體送入轉化反應器(Shift Reactor)並加入高溫蒸汽，使合成氣體中的CO與高溫蒸汽反應生成CO<sub>2</sub>(二氧化碳)和H<sub>2</sub>(氫氣)：



接著繼續將合成氣體送至脫硫設備(Sulphur Remover)去除合成氣體中的硫氧化物後，送至二氧化碳分離設備(CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> Separation Unit)分離合成氣體中的二氧化碳及氫氣，此項分離技術目前有使用高溫吸收劑、分子篩、薄膜反應器等不同方式；分離出之二氧化碳予以壓縮液化後封存，氫氣則送至氣渦輪再循環機組燃燒發電。Pre-Combustion碳捕捉方式發電機組流程如圖(2)，Pre-Combustion的發電機組，如果不使用CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>分離設備及CO<sub>2</sub>壓縮液化設備即是一般的IGCC系統，因此，設置以Pre-Combustion碳捕捉方式為前提的Capture-Ready電廠時，應以建立IGCC系統為基礎，並先預留設置CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>分離設備及CO<sub>2</sub>壓縮液化設備所需要的空間、基礎設施及機組裝置容量。



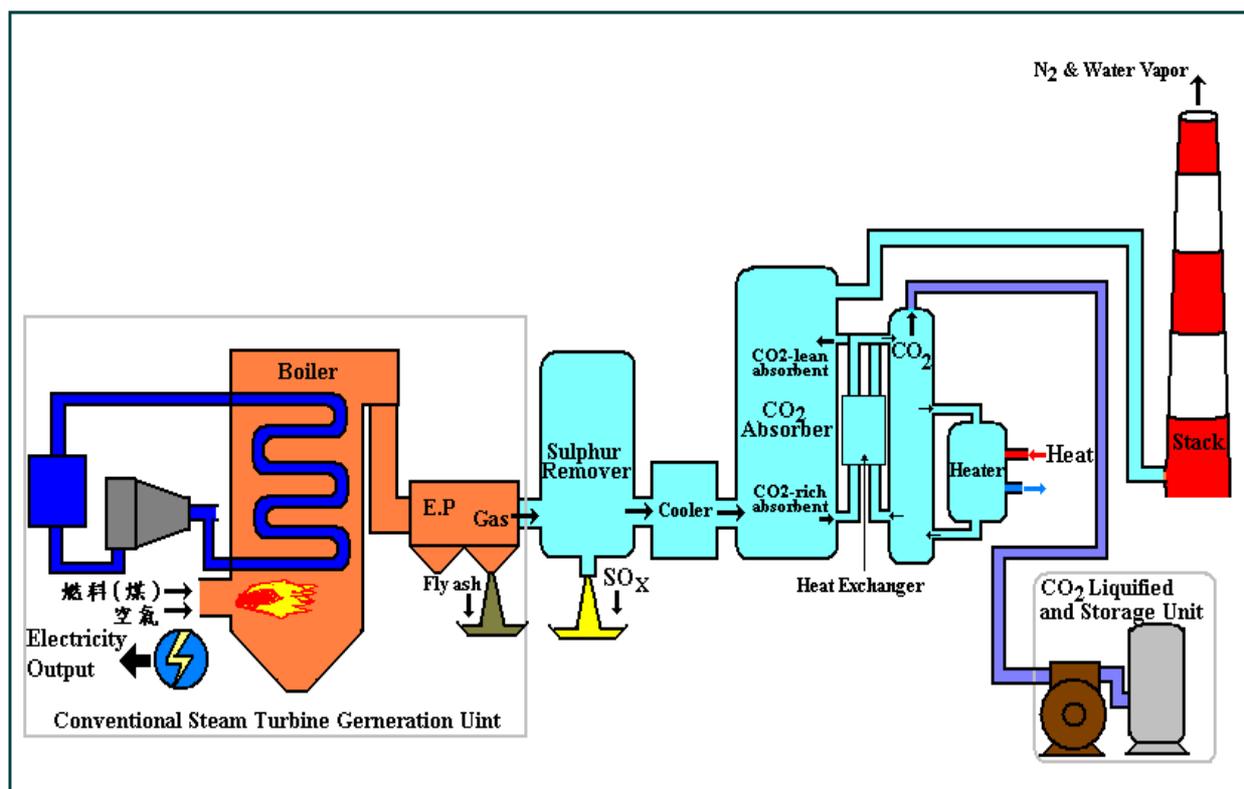
圖(2)Pre-Combustion 碳捕捉方式發電組機流程圖

### (五) 燃燒後處理(Post-combustion)

燃燒後處理碳捕捉方式可以配合現有慣常火力發電機組使用，收集鍋爐燃燒後所排出煙氣中的二氧化碳予以壓縮儲存。

慣常火力發電機組鍋爐排放的煙氣，先經過集塵設備(EP)、排煙脫硝(SCR)、排煙脫硫(FGD)去除煙氣中的氮氧化物與硫氧化物，煙氣再進入冷卻器(Cooler)降低溫度，然後送至二氧化碳吸收塔(CO<sub>2</sub> Absorber)，在二氧化碳吸收塔中使用化學溶劑(例如：胺)與煙氣中的二氧化碳進行化學反應，含有二氧化碳的化學溶劑(CO<sub>2</sub>-rich absorbent)送至加熱器加熱以釋出其中的二氧化碳，二氧化碳加以收集、壓縮液化後予以封存，而釋出二氧化碳的化學溶劑(CO<sub>2</sub>-lean absorbent)再循環回二氧化碳吸收塔繼續吸收二氧化碳，去除完二氧化碳後的煙氣由吸收塔排放至煙囪，在理想的狀況下，此時的煙氣中應只有氮氣及少量的水汽，燃燒後

處理碳捕捉方式發電機組流程如圖(3)。



圖(3)Post-Combustion 碳捕捉方式發電機組流程

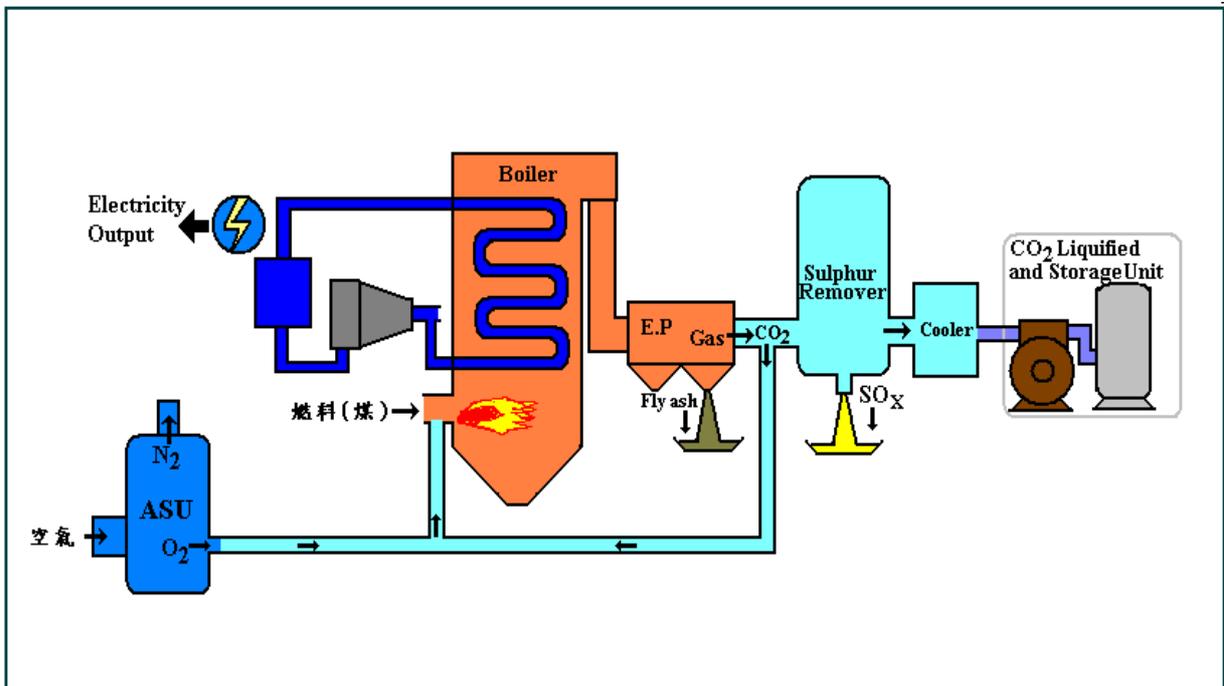
一般而言，這個碳捕捉方式可適於現有的慣常火力發電機組，然而因為慣常火力機組排放的煙氣中的二氧化碳濃度不高，因此碳捕捉的效率較差，而且其中加熱化學溶劑以釋放二氧化碳的過程需要大量的熱能，因而降低了機組整體的效率。另外，以胺類做為化學溶劑的機組，對於脫硫設備有極高的要求，煙氣中的  $SO_x$  必須降至  $30 \text{ mg/Nm}^3$  ( $10.5 \text{ PPM}$ )(@  $O_2$  6% v/v dry)，否則化學溶劑將與  $SO_x$  產生化學作用，而降低了吸收二氧化碳的效率。除此之外，化學溶劑揮發的損耗及對設備的腐蝕也大幅的增加了碳捕捉所需的成本。

採以 Post-Combustion 碳捕捉方式為的 Capture-Ready 電廠，可以建立慣常火力發電系統為基礎，並先預留設置二氧化碳吸收塔、冷卻器及  $CO_2$  壓縮液化設備所需要的空間、基礎設施及機組裝置容量，目前既有慣常火力電廠要改建成 CCS 電廠，也是以 Post-Combustion 為主要選擇。

## (六) 富氧燃燒(Oxyfuel Combustion)

富氧燃燒的碳捕捉方式是將空氣中的氮氣排除，使燃料於幾近純氧的氣體狀態燃燒，燃燒後排出的煙氣是高濃度的二氧化碳，因此易於二氧化碳的收集及後續處理。

首先使用空氣分離設備(ASU, Air Separation Unit)將氮氣從空氣中分離出來剩下高濃度的氧氣，將氧氣與燃燒後排放的二氧化碳混合，使氧氣濃度約 40%左右，送入爐膛與燃料一起燃燒，燃氣經集塵設備及脫硫設備排除雜質後，剩下高濃度的二氧化碳，部份送回與氧氣混合，其餘則經過冷凝器冷卻後，予以壓縮液化後封存。富氧燃燒碳捕捉方式發電機組流程如圖(4)。富氧燃燒碳捕捉方式需要高純度的氧氣以供燃燒，空氣分離設備的高耗能是最大的缺點，本次參訪研習的 Schwarze Pumpe Power Plant 的示範機組即是採用此種方式，詳細的設備功能及運轉資料在後面的章節有詳細的介紹。



圖(4)Oxyfuel Combustion 碳捕捉方式發電機組

設置以 Oxyfuel Combustion 為碳捕捉方式的 Capture-Ready 電廠，可以建立慣常火力發電系統為基礎，並預留空氣分離設備及二氧化碳壓縮液化設備所需的空間、基礎設施及機組裝置容量，然而 Oxyfuel Combustion 鍋爐與慣常火力發電機組鍋爐於燃氣及空氣風道的設計上有很大的不同，並且因為富氧燃燒下所產生的高溫，對於爐膛爐管金屬材質的要求也不同於慣常火力發電機組，因此於鍋爐設計時就應以傳統空氣燃燒及富氧燃燒並用為考量，以利日後的改建工作。

#### (七) 化學循環燃燒(Chemical Looping Combustion, CLC)

不同於傳統鍋爐由空氣與燃料燃燒的方式產生熱能，化學循環燃燒以載氧體(Oxygen Carrier)載運氧分子，與燃料(煤)進行氧化作用，避免了空氣與燃料的直接接觸。

在化學循環燃燒方式中有兩個反應器：

(1)空氣反應器(Air Reactor)：在空氣反應器中，載氧體與空氣中的氧氣進行氧化作用，氧化後的載氧體送至燃料反應器，而空氣反應器因氧化作用產生的高溫氣體(包含氮氣及少量的氧氣)被送至加熱器以做為發電使用。

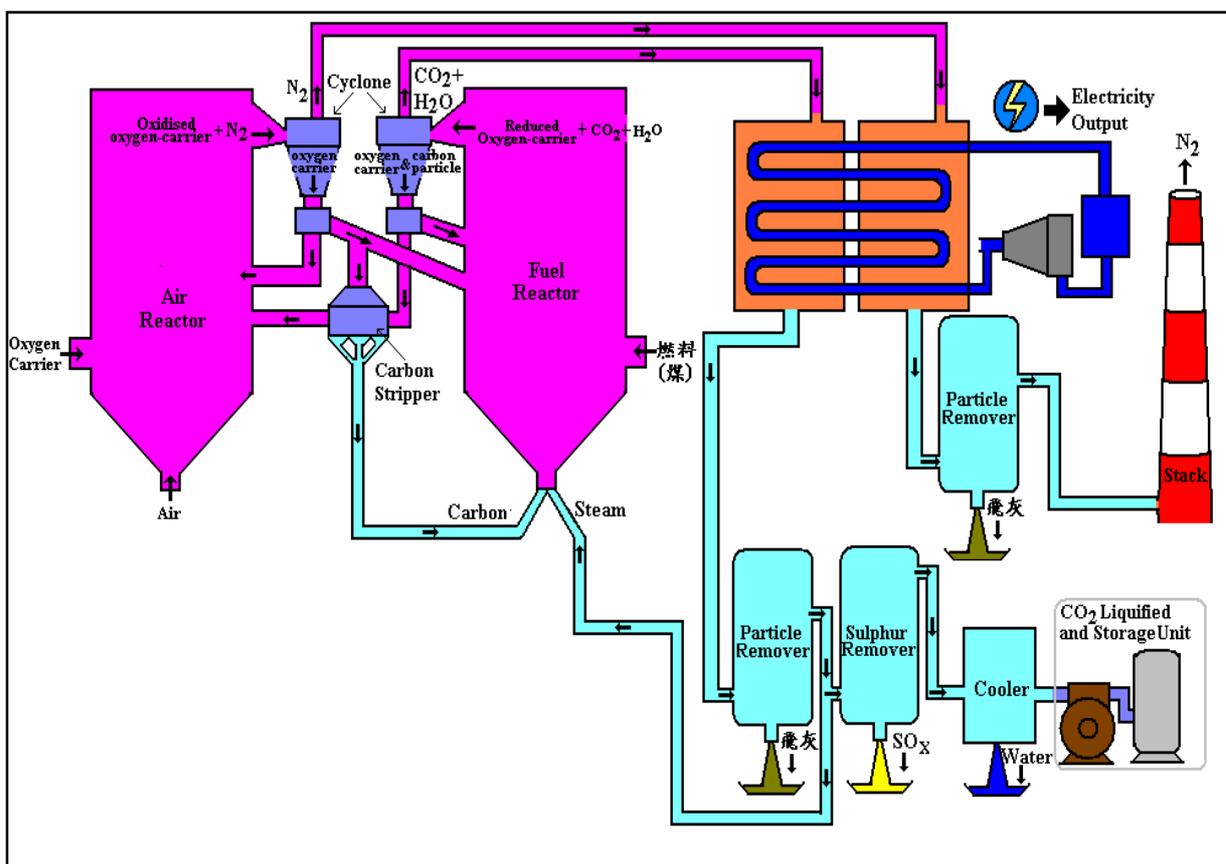
(2)燃料反應器(Fuel Reactor)：在燃料反應器中，燃料(煤)首先與回收的熱蒸汽作用氣化成可燃性氣體，接著與含氧的載氧體反應產生二氧化碳及高溫蒸汽，這個高溫氣體被送至加熱器以做為發電使用，而載氧體因還原作用釋出氧分子可繼續回收使用。

在燃料反應器中部份燃料的碳未能完全氧化成為二氧化碳，這些未燃碳的細微顆粒，隨著載氧體由燃料反應器輸出，為了避免這些未燃碳進入空氣反應器中，再使用一個碳過濾器(Carbon Stripper)將未燃碳顆粒從載氧體中分離出來並回收至燃料反應器中。另外，每個反應器的出口都安裝有離心式分離器(Cyclone)，其目的是要使燃氣循環並將燃氣中的顆粒(載氧體或未燃碳顆粒)分離出來並回收使用。化學循環燃燒碳捕

捉方式發電機組流程圖如圖(5)。

載氧體的工作效率是影響化學循環燃燒程序整體效率的主要因素，金屬氧化物被認為是最佳的載氧體，在燃煤的化學循環燃燒方式中鐵礦砂或鐵的氧化物製品經測試都可成為良好的載氧體。

在各種碳捕捉方式中化學循環燃燒是耗能最少、最有經濟效益的，因此近年來有許多相關的研究，然而，目前仍沒有大規模的測試機組，是否真能實際商業運轉仍有待觀察，目前國際能源總署的對碳捕捉方式的各項評估及對 Capture-ready 條件的建議都尚未將化學循環燃燒列入其中。



圖(5)Chemical Looping 碳捕捉方式發電機組流程圖

## (八) 二氧化碳的存儲

二氧化碳的存儲目前趨向於地下儲存，事實上百萬年來地殼之下即存有大量的二氧化碳，自 1970 年代開始，人類開始以人工的方式將二氧化碳注入地殼下，目的是為了增加石油開採量 (Enhanced Oil Recovery)，歐洲北海油田及加拿大都已有成功的案例，初步證明了二氧化碳地下儲存的可行性。

大氣中的二氧化碳是相當穩定氣體，重量比大氣稍重，在將二氧化碳注入地質結構中儲存前必須先將二氧化碳壓縮成液體，液化後的二氧化碳體積不到氣態二氧化碳的百分之一，這將節省大量的儲存空間。

二氧化碳注入地下的天然儲存池後，因為許多地質作用將使二氧化碳無法再度回到大氣中。天然的地質機制有下列幾種抑制作用：

1. 物理抑制作用：天然的儲存池上方的岩層必須是堅固而不可滲透的，如此可以有效的抑制二氧化碳再度回到大氣中，蓋岩層 (Cap rock) 是最佳的選擇，天然氣或油氣礦田通常都位於蓋岩層下方。
2. 溶解反應抑制作用：二氧化碳將溶入岩層間的地下水中，而無法再度回到大氣。
3. 礦物抑制作用：二氧化碳長期封存於岩層中將與岩層中的礦物質發生化學反應，而變成固態的碳酸鹽，而永遠的存在於岩層之間。

在自然的環境中經常可以發現二氧化碳像石油或天然氣一樣存在於岩層的地質結構中，因此二氧化碳儲存的構想就是複製這樣的二氧化碳儲存環境，因此的地質結構封存可以有以下幾種選擇：

1. 現存的油田：石油開採業者，多年已利用注入油田二氧化碳以增加石油開採量 (Enhanced Oil Recovery)，目前全球有約 70 處油田採用此方法，將電廠產生的二氧化碳注入這些油田中可幫助石油的生產，待油田枯盡後二氧化碳則永久的封存於此地層

中。

2. 已枯盡的油田及天然氣礦:全球有多處的油田及天然氣礦已油源或氣源採盡，這些都是理想的二氧化碳的永久儲存地點。
3. 深地下鹽水層:許多地下岩層之間富含鹽水，地下 800 公尺以下的鹽水層，也是理想的二氧化碳儲存地點，將二氧化碳儲存於此岩層間，二氧化碳將溶入鹽水中，並慢慢地與地層中的礦物質發生化學反應而成為碳酸鹽，而永久的封存於鹽層中。

選擇二氧化碳永久儲存場址，必須經過長久的地質調查，並且得到當地居民的同意，二氧化碳是沒有毒性的氣體，但是空氣中二氧化碳濃度過高時將稀釋氧氣濃度造成窒息，因此二氧化碳注入期間及永久封存後須建立長期的安全監視系統，以監視二氧化碳儲存情形及週圍環境空氣品質。

## 二、Vattenfall 能源集團及 Schwarze Pumpe Power Plant

Vattenfall 成立於 1909 年，是瑞典政府全資擁有的能源公司，公司總部位於瑞典首都斯德哥爾摩，在瑞典文中” Vattenfall” 是” Waterfall” 也就瀑布的意思，故名思義 Vattenfall 是以水力發電起家的。

Vattenfall 公司於 2010 年發電量為 172.5TWh，瑞典國內排名第一，是歐盟國家中第五大電力能源公司，在德國則是排名第三，同時該公司也以蒸汽的型式出售熱能，2010 共出售熱能 44.5TWh，年度稅後獲利約為 597 億台幣，發電設施分布及售電範圍包括瑞典、芬蘭、丹麥、德國、波蘭、荷蘭、比利時及英國。Vattenfall 公司發電機組裝置容量與台電公司之比較(以 2010 年底為基準)如表(1)：

Vattenfall 能源集團過去大量在德國和波蘭的投資興建燃燒褐煤的火力發電機組，因燃燒褐煤極具污染性，因此倍受環保團體所指責，近年來該公司致力於推動各項減碳工作，除了本次參訪的 Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Plant 外，在荷蘭北部的 Willem-Alexander Power Plant，一部以 Pre-Combustion 為碳捕捉方式的示範機組也開始於 2011 年 4 月開始正式運轉。在德國布蘭登堡的 Janschwald 則計劃興建一部 250MW 的 Oxyfuel 發電機組，預計於 2015 年興建完成開始運轉。在丹麥北部的 Nordjyllandsværket Power Plant 則計劃將其中一部現有機組改建為 Post-Combustion 碳捕捉機組，並以臨近的海床為二氧化碳儲存場址，目前正進行地質調查中。於再生能源方面，該公司正於英國外海建立世界最大的離岸風力發電廠，對於生質能發電及潮汐發電等也都有多項發展計劃。

Vattenfall 對於潔淨能源的推動可謂不遺餘力，投資經費應是全歐電力公司之冠。Vattenfall 計劃於 2050 年達到對氣候零影響(Climate Neutral)的目標。

	Vattenfall		TPC	
	裝置容量 (MW)	佔總裝置容 量百分比(%)	裝置容量 (MW)	佔總裝置容 量百分比(%)
水力機組	11,103	29.3%	4,539	13.7%
核能機組	6,114	16.1%	5,144	15.5%
燃煤機組	12,349	32.6%	8,800	26.6%
燃油機組	1,843	4.9%	3,625	10.9%
燃氣機組裝	4,755	12.6%	10,584	32.0%
風力機組	1,290	3.4%	423	1.3%
其他(生質及太陽能)	425	1.1%	1	0.01%
總裝置容量(MW)	37,879		33,116	
2010 年度 總發電量(TWh)	172.5		162.5	
員工人數	38,179		26,921	

表(1) Vattenfall 公司發電機組裝置容量與台電公司之比較表  
\*資料來源:Vattenfall Annual Report 2010、台電調度處 2010 年統計

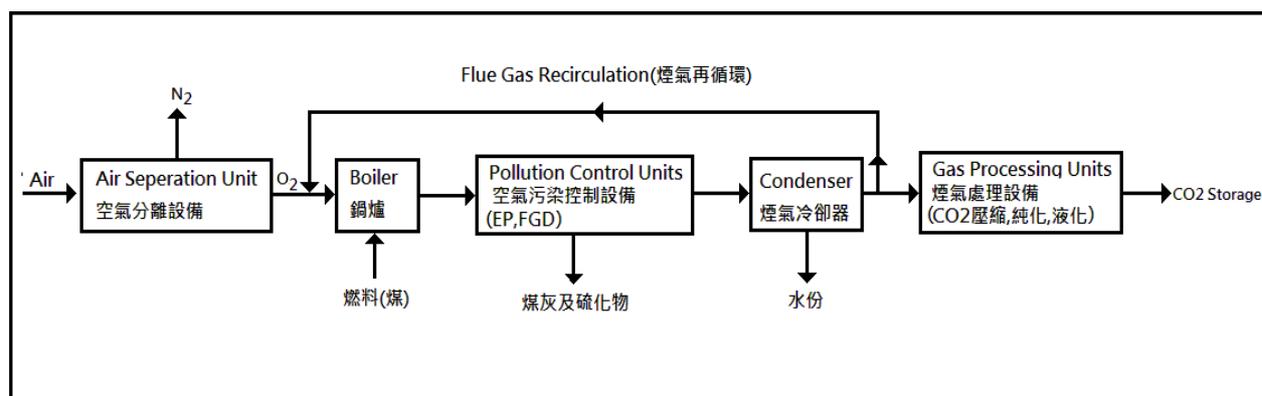
Schwarze Pumpe Power Plant 隸屬於 Vattenfall 能源集團，位於德東的布蘭登堡州 Spremberg 市的 Schwarze Pumpe 區，Schwarze 於德文為黑色的意思，Pumpe 則是泵浦(Pump)，於 1997 年開始發電運轉，有兩部 800MW 的超臨界鍋爐機組，燃料來源為臨近的露天煤場的褐煤(Lignite)。

Vattenfall 能源集團於 2005 年開始計劃於 Schwarze Pumpe 興建 Oxyfuel-Combustion 的 CCS 示範電廠，裝置容量為 30MW，於 2006 年開始動工興建，德國總理梅克爾特來參加動工典禮，以表示對這世界上首座的 CCS 電廠的重視。2008 年 9 月該機組開始正式運轉。

### 三、富氧燃燒技術及運轉資料

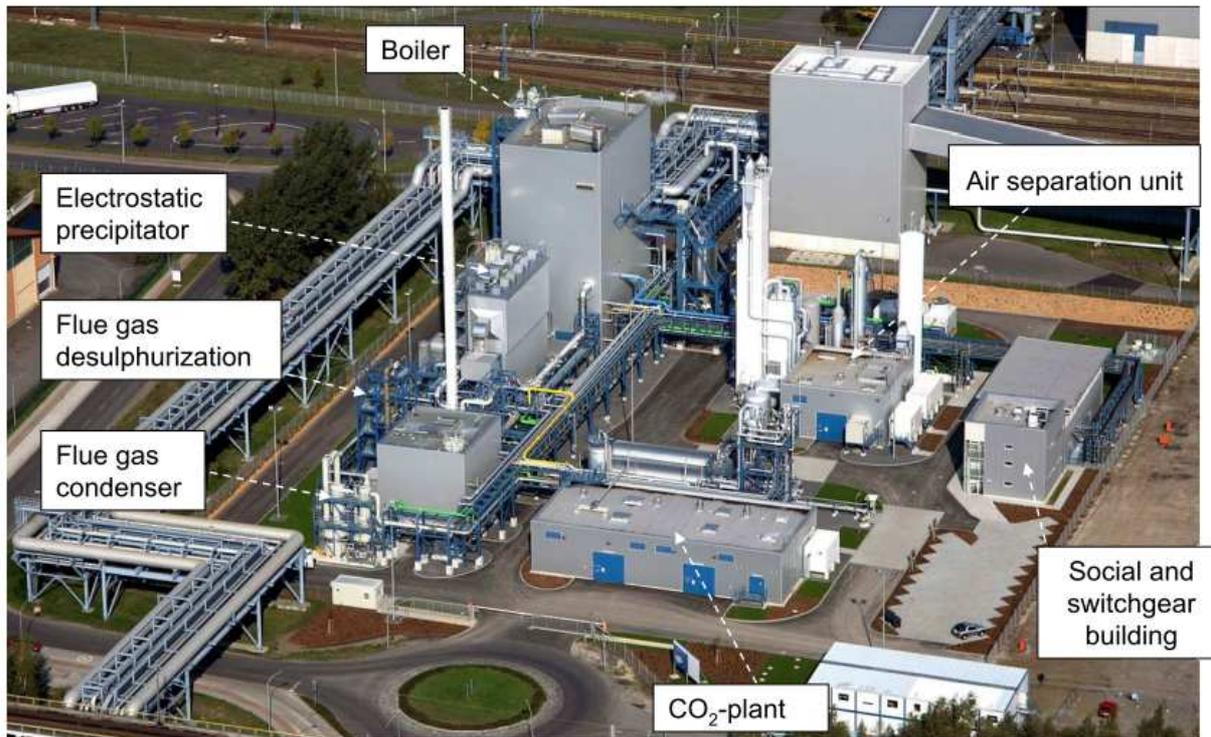
在可見的未來石化燃料仍將是發電業界主要的能量來源，尤其是煤因為礦藏量豐富、價格穩定，燃煤發電廠短期內勢必無法被取代。為減少因排放二氧化碳對全球氣候的影響，燃煤發電廠必須採用有效率且經濟的碳捕捉及後續處理技術以降低二氧化碳排放，Oxyfuel-Combustion 是近期內可採行的技術，Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Plant 是全球以商業運轉為目標而採用此項技術的首座機組，該部機組雖然主要仍以各項測試工作為主，並且所生產的蒸汽並非發電用，而是販售給附近的工廠使用，但仍堪稱全球 CCS 進展的一個重大里程碑。

Oxyfuel-Combustion 的基本概念為：以純氧混合鍋爐出口回收的二氧化碳取代為鍋爐燃燒所需的空氣，因此鍋爐所排出的煙氣為純度極高的二氧化碳，其基本概念如圖(6)：



圖(6)Oxyfuel Combustion 程序概念圖

Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Plant 將這個概念實際的付諸於實行，並於 2008 年 9 月施工完成並開始運轉，全廠佔地約 14,500 平方公尺，投資金額約 8 仟萬歐元(約 35 億台幣)，全廠各項重要設備實際配置如空照全視圖(7)，目前 Vattenfall 公司每年仍編列約 3 百萬歐元的預算以供該廠進行各項測試工作。另外德國聯邦政府贊助投資金額中 1.5 百萬歐元，獎勵意義大於實質意義。全廠員工 35 員，12 名為操作員，其餘則為研究及行政人員，全廠設備都由合作廠商負責保養維護。



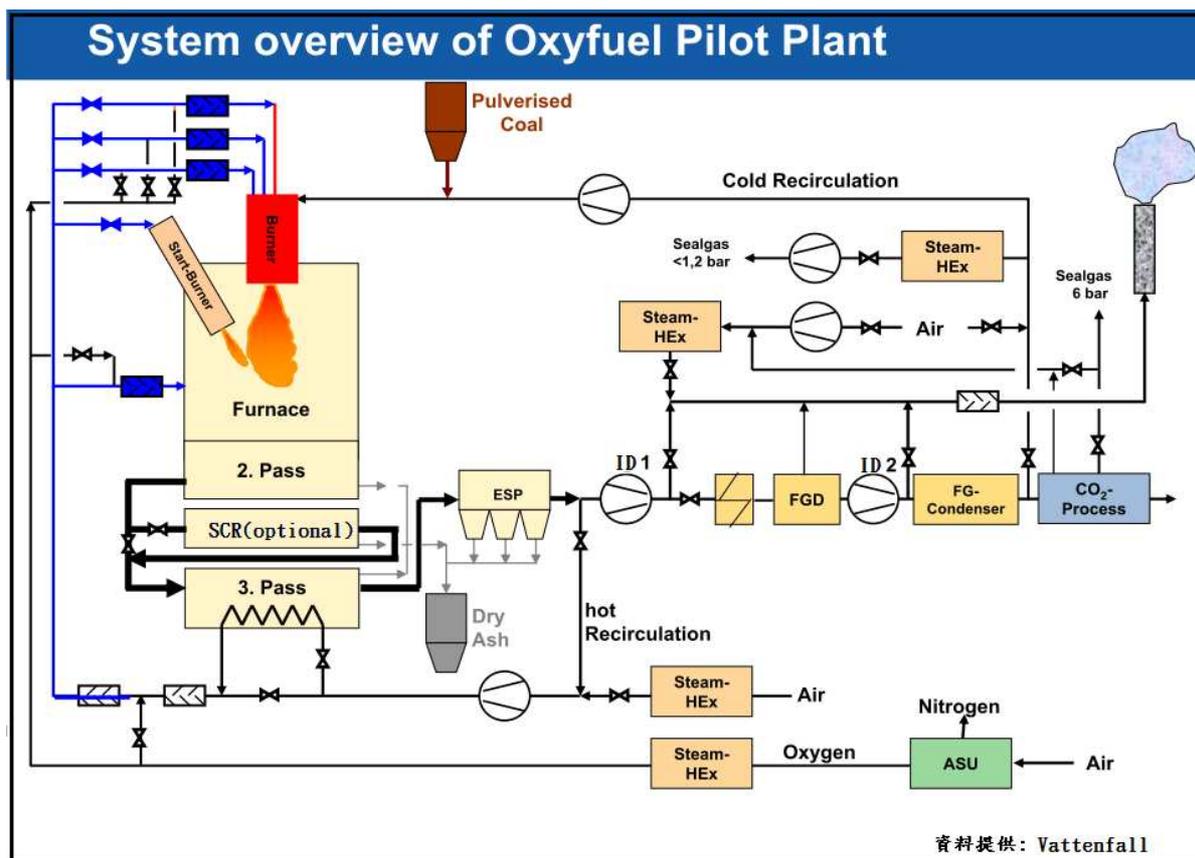
資料提供：VATTENFALL 

圖(7)Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Plant 全視圖

該廠主要是由鍋爐製造廠家 Alstom 負責規劃及施工建造，燃料來源則為附近露天煤場的褐煤(Lignite)，LHV(低熱值)約為 5016kcal/kg(21MJ/kg)，水份含量約為 10%，灰含量 6%，建廠時設計上的考量有以下三點：

1. 取得實際操作的數據資料，以做為將來興建 600MW 以上大型 Oxyfuel-Combustion 機組的參考，因此，從空氣分離到二氧化碳的壓縮處理，整個完整的流程必須建立
2. 同時能夠運轉於富氧燃燒模式和傳統空氣燃燒模式，並且都能夠達到滿載運轉
3. 同時能夠使用褐煤及煙煤(bituminous coal)作為運轉燃料

該廠系統流程圖如圖(8)：



圖(8)Oxyfuel Pilot Plant 系統流程圖

以下就各項重要設備逐一說明：

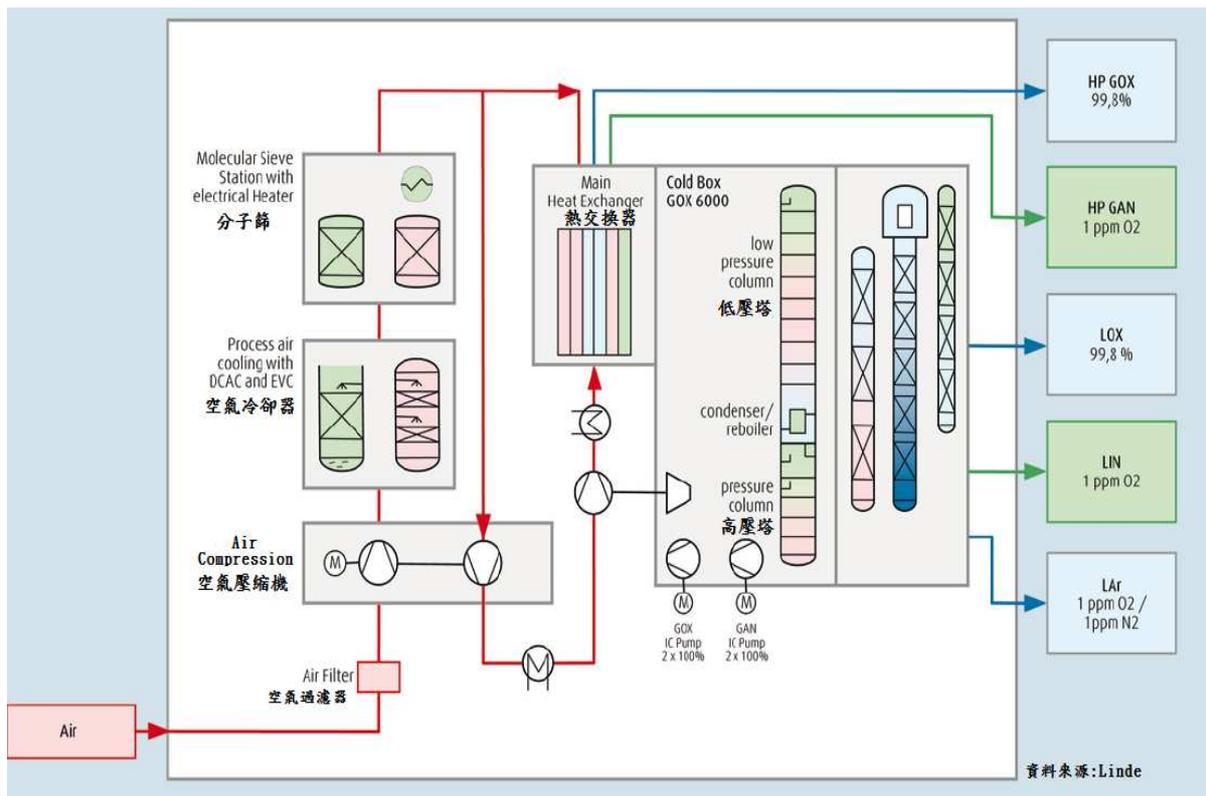
(一) 空氣分離設備(Air Separation Unit)

功能:自大氣中取入空氣，將空氣中的氮氣及氧氣分離，以提供氧氣給予鍋爐燃燒使用，氮氣則排至大氣中。

製造廠家:Linde

型號:GOX6000

在 Oxyfuel-Combustion 機組中，氧氣的來源十分重要，取得純氧需要消耗大量的能量，因此空氣分離設備的工作效率，是全廠是否能符合一定經濟效益的重要關鍵，GOX6000 每小時最高可生產 6600 立方米的氣態純氧 (6600Nm<sup>3</sup>/hr)，每立方米純氧消耗電能約 0.68KWH，GOX6000 空氣分離工作流程圖如圖(9)：



圖(9)空氣分離設備流程圖

空氣從大氣中取入後經空氣過濾器(Air Filter)濾除空氣中的灰塵等細小雜質後進入空氣壓縮機(Air Compression)加壓，接著進入空氣冷卻系統，空氣冷卻系統包括直接接觸冷卻器(Direct Contact AfterCooler)及蒸發式冷卻器(Evaporative Cooler)，直接接觸冷卻器以冷卻水直接清洗壓縮空氣達到冷卻的效果，這個步驟同時移除了壓縮空氣中的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{NH}_3$  等有害物質。之後，壓縮空氣進入分子篩(Molecular Sieve)篩除水汽、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  及潛藏的碳氫化合物，分子篩有 2 組，當一組操作中，另一組則進行還原備用。

通過分子篩後壓縮空氣直接進入熱交換器(Heat Exchanger)中，當空氣通過熱交換器時，其溫度下降。另一部份氣體會抽取出來，流入膨脹引擎。當空氣通過熱交換器時，其溫度下降，然後進入高壓塔。高壓塔的功能，可將氣體分離成不同的成份，主要為氧與氮。兩道成份不同的蒸汽從高壓塔流經節流閥到上層的低壓塔。其中一道蒸汽從下面的高

壓塔流出富含氧的液體，另一道富含氮的液體流入次冷卻器，整個分離流程在低壓塔完成。液態氧從上方低壓塔的底部輸出，另外剩下的氮氣會從塔上方輸出。液態的氮氣及氧氣分別儲存於液態氮槽及液態氧槽，再由分別由泵浦送至主熱交換器以冷卻剛進入熱交換器的壓縮空氣，而液態的氮氣及氧氣則接收熱量而蒸發成氣態純氧及氣態的氮氣。純氧經由一個 GOX-buffer 供給鍋爐燃燒使用，壓力控制於 2.5 和 1.0 bar。

ASU 於常溫下起動必須以手動的方式啟動，由於低溫建立速度緩慢，從啟動到能提供適量的純氧供鍋爐使用，需耗時 60-72 小時，因此 ASU 於設計上是連續運轉的，於鍋爐短期的停機期間，ASU 仍持續生產氧氣並加以儲存。為降低耗電，ASU 的控制具有自動負載切換(Automatic Load Change)的功能。另外，若 ASU 如停機未超過 3 日，因為低溫條件仍存，可以使用自動啟動功能(Automatic Start-up)以簡化人力的操作。機組長時間的停機，ASU 停用超過 5 日時，需將高、低壓塔清空以防碳氫化合物累積。



圖(10)空氣分離廠外觀

空氣分離設備最大的問題在於它的高耗能，以 Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Power Plant 來說，鍋爐 30MW 滿載運轉時需要純氧 8.5t/h=5950Nm<sup>3</sup>/hr，ASU 的耗電量為 0.68KWH/Nm<sup>3</sup>，亦即於滿載時需耗電:0.68 X 5950=4.046MWH，已佔了鍋爐生產能量的 13%，如用於汽力發電機組，則整個廠效率將大幅降低，因此，如何增加純氧來源的效率是今後 Oxyfuel Combustion 電廠的發展重點。

## (二) 鍋爐(Bolier)

功能:又可稱為蒸汽產生器，燃料燃燒產生熱能，透過金屬壁面加熱爐管內的水，使產生蒸汽。

製造廠家:Alstom

裝置容量:30MW

滿載時蒸汽產生量:40T/hr

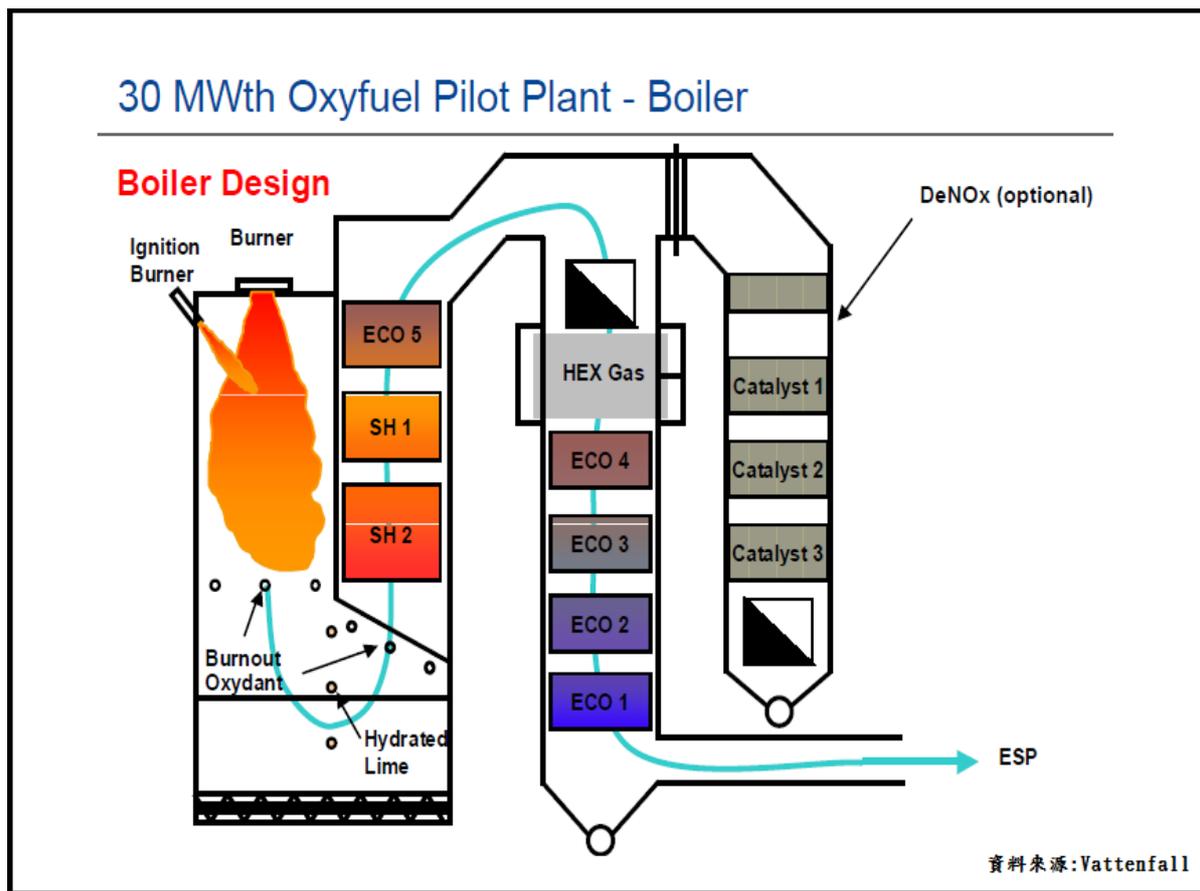
蒸汽品質:25bar, 350°C

滿載時燃料需求:5.2T/hr (Lignite)

滿載時氧氣需求:8.5T/hr (純度 99.5%以上)

鍋爐設計如圖(11)，為自然循環鍋爐，鍋爐主體主要可分為四個通道區，第一區為爐膛，為燃料燃燒以產生熱能的區域，採垂直式燃燒方式，設有一支燃燒器及點火炬，現階段主燃燒器的主要燃料為乾褐煤，點火炬燃料則為天然氣。第二、三區為熱交換界面區，為加熱飽和蒸汽和飼水的區域，設有 2 個過熱器及 5 個省煤器，第四個區域則為排煙脫硝設備(DeNO<sub>x</sub>)預留之區域目前並未使用。

二次再循環燃氣(Secondary Flue Gas Recycle)由 ESP 出口取出，為主要的再循環燃氣，燃氣溫度維持在 170°C 至 250°C 之間，二次再循環燃氣送至燃燒器與純氧氣混合做為燃燒用。一次再循環燃氣(Primary Flue Gas Recycle)則由燃氣冷凝器(FGC)抽出，溫度約為 30°C，用於傳送乾褐煤至主燃燒器。除再循環燃氣外，大部份的燃氣則是經 ESP、FGD、FGC 後送至二氧化碳壓縮冷凝裝置處理。



圖(11)Oxyfuel Pilot Plant 鍋爐設計圖

在 Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Plant 鍋爐功能測試有兩個主要的目的，首先當然是獲得富氧燃燒模式的經驗，另外就是以不同的操作模式來區別並量化在空氣燃燒模式(一般模式)及富氧燃燒模式的差異。燃燒器是富氧燃燒鍋爐最重要的設備，為達到燃燒最佳化，經各種模式不斷的測試，至目前為止，Oxyfuel Pilot Plant 的鍋爐已更換並測試過三種燃燒器，第一、二代都是鍋爐原廠 Alstom 的產品，第三代是 Hitachi Power Europe 的 DST-burner。燃燒器裝置於鍋爐頂端，其外觀如圖(12)，火焰由上往下射出，煤粉係由空氣或再循環燃送至燃燒器，點火炬以天然氣為燃料。

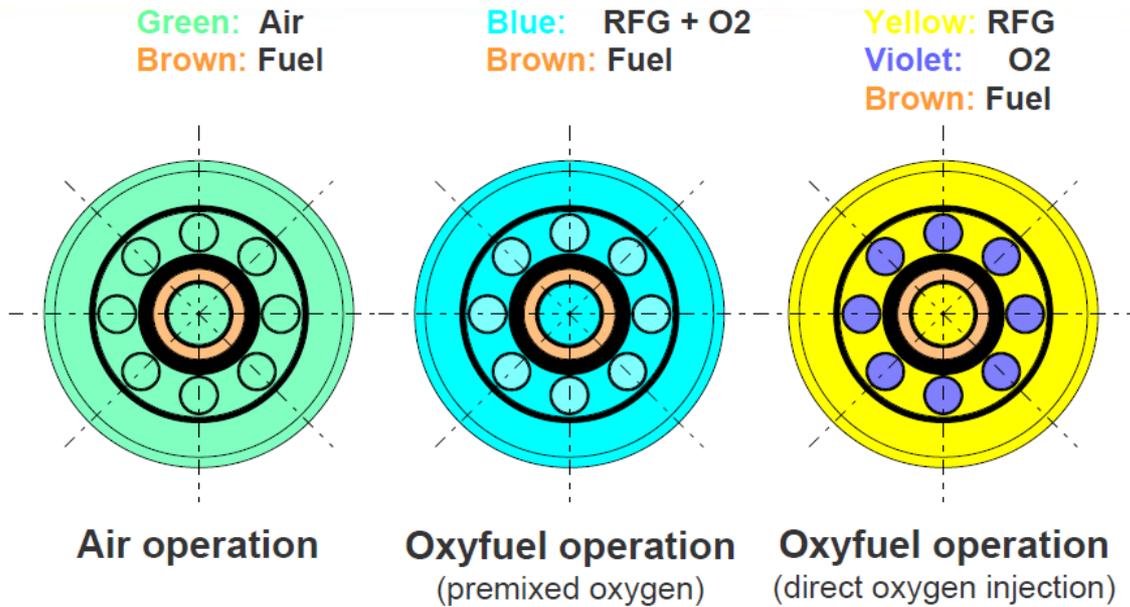


資料來源:Vattenfall

圖(12)第一代鍋爐器燃燒器外觀

燃燒器設計上有三種運轉模式，在這三種模式下，燃燒器的運作方式如圖(13):

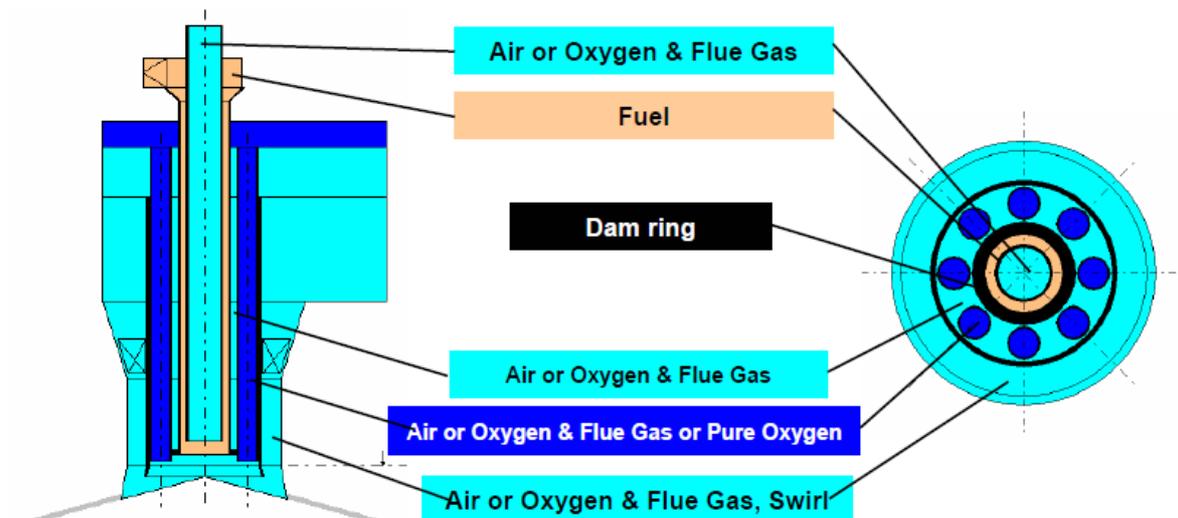
- (一). 空氣燃燒模式(Air Operation):在鍋爐啟動初期因尚未有再循環燃氣，或其它因素而不使用純氧燃燒時，可運轉於空氣燃燒模式，由大氣中取入空氣，經空氣預熱器送至燃燒器燃燒。
- (二). 富氧燃燒預先混合模式(Oxyfuel Operation premixed oxygen):在富氧燃燒下有兩種不同的供氧方式，第一種為預先混合方式，純氧於送至燃燒器前先與二次再循環燃氣混合再送至燃燒器燃燒。
- (三). 富氧燃燒直接注入模式(Oxyfuel Operation direct oxygen injection):第二種富氧燃燒模式，直接將純氧送至燃燒器直接注入爐膛，而二次再循環燃氣則由另一管路經預熱器送至燃燒器。



資料來源:Vattenfall

圖(13)燃燒器的三種操作模式

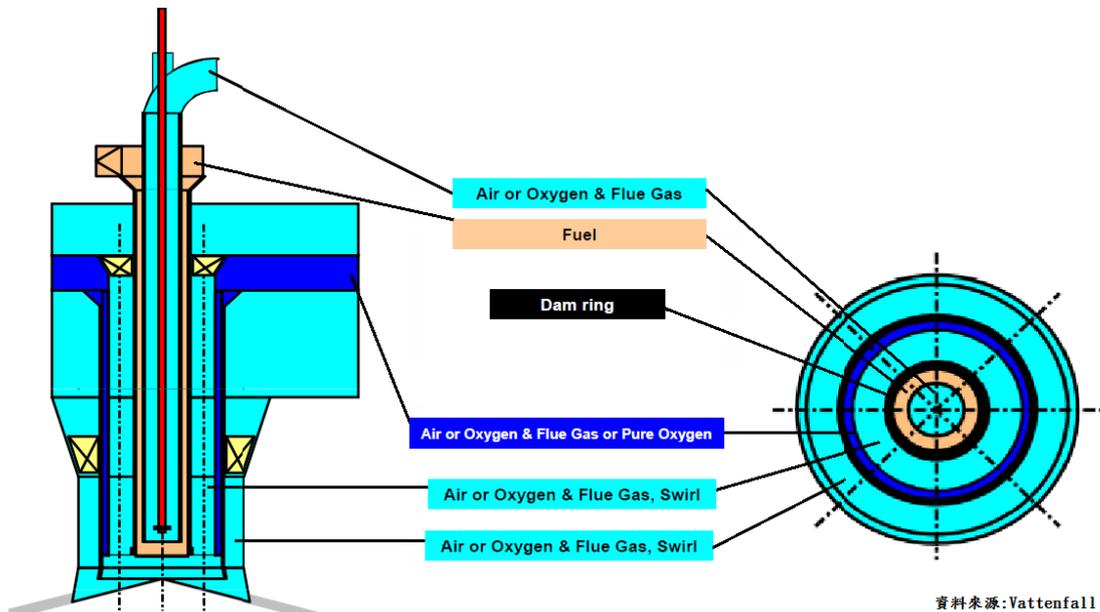
第一代燃燒器自建廠以來使用至 2009 年 9 月，是渦漩噴射複合型 (Combined swirl-jet burner)，點火炬安裝於燃燒器外部，於直接注入模式時，純氧分散由八個圓孔注入，如圖(14)，第一代的燃燒器只有一個 Swirl 無法同時配合富氧燃燒模式及空氣燃燒的需求，並且在富氧燃燒模式下，點火炬因為高粉塵量而效果不佳，因此更換為第二代燃燒器。



資料來源:Vattenfall

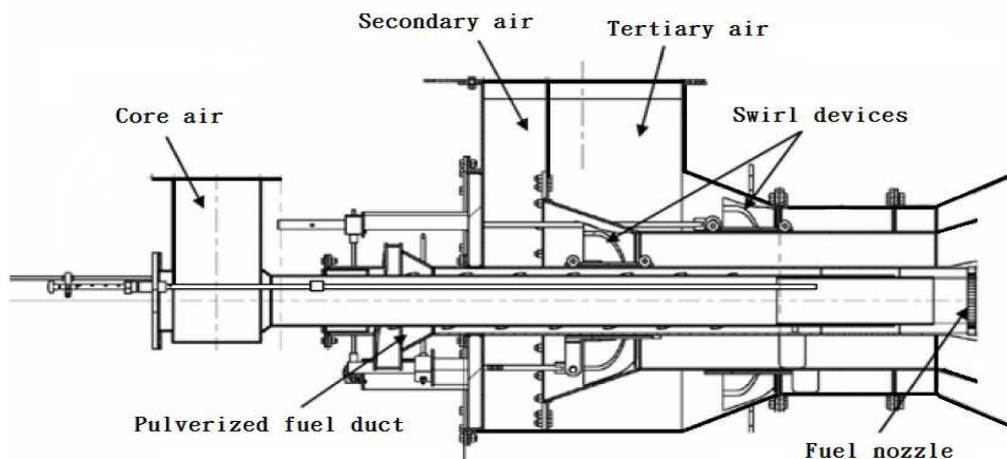
圖(14)第一代燃燒器

第二代燃燒器同是由 Alstom 生產製造，將點火炬安裝於燃燒內部，在二次燃氣的保護下，不受粉塵的干擾，同時有二個 Swirl 可以配合富氧燃燒模式及空氣燃燒模式，於直接注入模式時，純氧由環型管路進入燃燒器，如圖(15)。



圖(15)第二代燃燒器

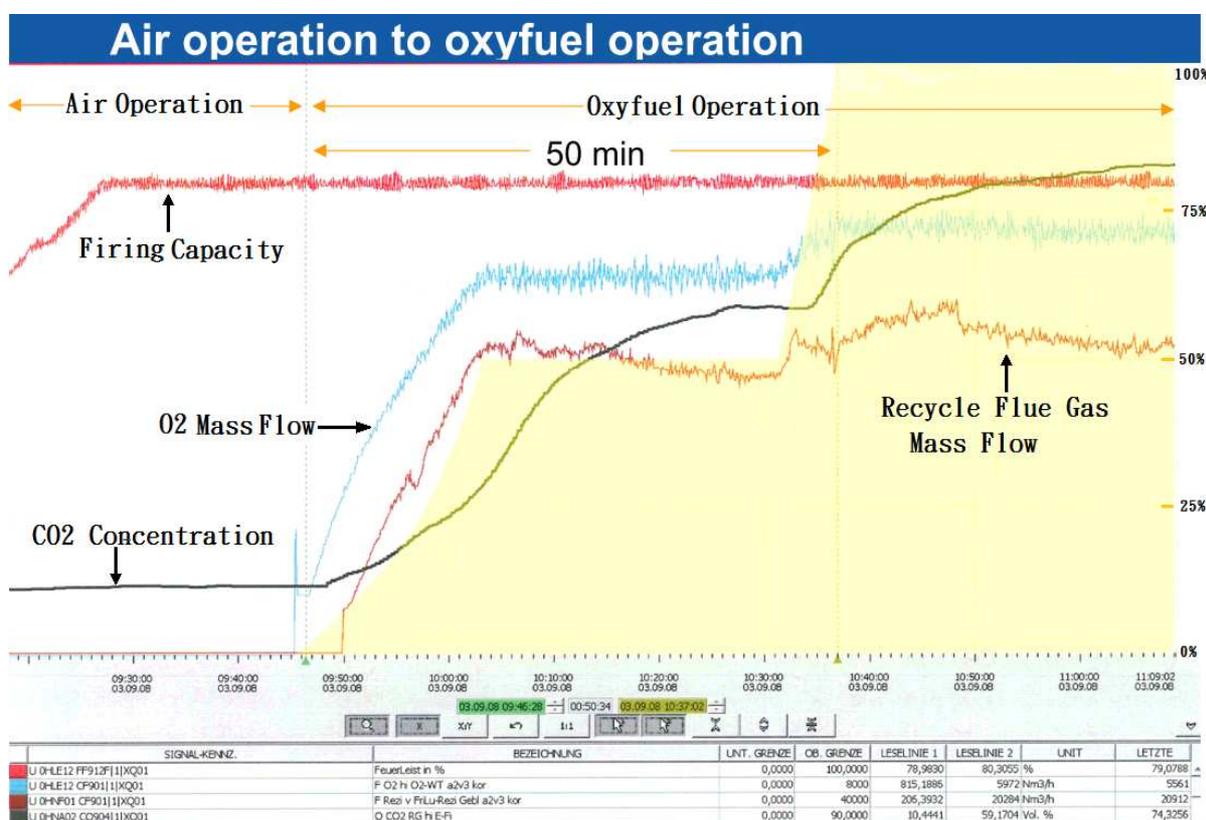
為測試各種燃燒器於富氧燃燒下的適應能力，2010年3月更換燃燒器為 Hitachi Power Europe 生產製造的 DS-T 燃燒器，此型燃燒器是由 DS 型燃燒改良，此型燃燒器的優點是具有相當的靈活性，可以調整許多的機構以配合各種燃燒模式，並且可調整為最佳化，例如 Core Air Tube 及 Swirl 都是可調整的，DS-T 燃燒器如圖(16)。



圖(16)第三代 Hitachi DS-T 燃燒器 資料來源:如註(1)

至目前為止，雖然有小部份問題，基本上這三種燃燒器的運作情形都相當的穩定可靠，在各種操作模式下，火焰的形狀及穩定度都相當良好。造訪期間，第三代 Hitachi 燃燒器已功成身退，該廠正在進行由韓國斗山公司所提供的第四代燃燒器的更換工作。

圖(17)是 Oxyfuel Pilot Unit 從空氣燃燒模式切換至富氧燃燒模式的趨勢圖，從空氣燃燒模式到完全的富氧燃燒模式(二氧化碳達最大濃度)，大約僅 1 小時，從圖上可看到煙氣的二氧化碳濃度達 85%，而 ASU 的供氧情形也可配合鍋爐的需求。



資料來源:Vattenfall

圖(17)Air Operation to Oxyfuel Operation趨勢圖

### (三)靜電集塵器(Electrostatic Precipitator, ESP)

靜電集塵器的功能是除去鍋爐出口煙氣的飛灰，ESP 出口煙氣將被再循環回鍋爐，或送經 FGD，FGC 後壓縮液化收集，因此 ESP 的效率攸關鍋爐整體效率及液態二氧化碳純度。

ESP 全載時功率為 41KW，最大電流 240 毫安培，入口煙氣溫度約為 175°C，設計煙氣流量為 39000Nm<sup>3</sup>/h，在 ESP 入口粉塵濃度達 11200 mg/m<sup>3</sup>，經 ESP 後降至 20 mg/m<sup>3</sup> 以下，除塵率達 99%以上，在富氣燃燒模式時因為煙氣濕度較高，因此除塵效率更高。

#### (四)排煙脫硫設備(Flue Gas Desulpherisation, FGD)

FGD 的功能是除去煙氣中的硫化物，採用濕式石灰石除硫法，由 Babcock & Wilcox 生產製造，以噴灑石灰石溶液的方式吸收煙氣中的硫化物及其他污染物質，具有 3 台噴灑泵，吸收塔內有三個石灰石噴灑層，及一個外部的氧化槽以防止空氣進入，進口煙氣溫度約為 170°C，出口溫度約 70°C，煙氣流量約為 8000Nm<sup>3</sup>/hr。

和慣常火力電廠的 FGD 比較，最大的不同在於處理的煙氣成份不同，為了符合下游的二氧化碳處理廠的需求，Oxyfuel 系統的 FGD 除了對 SO<sub>2</sub> 必須有更高的移除率，並且要能移除煙氣中的酸性物質，例如：SO<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、HCl 和 HF 等。另外，必須防止外部的氣體洩入系統內，而降低了二氧化碳處理廠的效率，經三年以來的測試結果，FGD 運作功能良好，各項煙氣污染物的移除率均達到目標，各項操作數值如表(2)：

Oxyfuel pilot plant FGD 煙氣污染物質移除情形			
煙氣污染物質	進口含量	出口含量	移除率
SO <sub>2</sub>	11500 mg/m <sup>3</sup>	<100mg/m <sup>3</sup>	>99%
SO <sub>3</sub>	50 mg/m <sup>3</sup>	<20mg/m <sup>3</sup>	>50%
HCl&HF			>95%
Ash	20mg/m <sup>3</sup>	<10mg/m <sup>3</sup>	>50%

表(2) Oxyfuel Pilot Plant FGD 煙氣污染物質移除情形

在富氧燃燒模式和空氣燃燒模式下，石灰石的需求量大致相同，可生產石膏 100kg/hr，所生產的石膏純度皆達到 95%以上，符合需要的標準。高純度的二氧化碳煙氣對 FGD 也沒造成負面的影響，吸收塔底部也無累積沈澱物的現象，運作情形可以說十分良好。FGD 外觀如圖(18)



資料來源:Vattenfall

圖(18)排煙脫硫設備外觀

#### (五)煙氣冷凝設備(Flue Gas Condensation equipment, FGC)

FGC 的主要功能是降低煙氣的溫度及除去煙氣中的水份，以利後續的二氧化碳壓縮及液化工作。採用二階段噴灑直接接觸冷卻方式，為了更進一步的除去煙氣中的酸性物質，在第二段的冷凝水中添加了中和劑 NaOH。在操作上，可藉由調整冷凝水的流量及 NaOH 的濃度來調整冷凝效率及酸性物質的移除率。

在 FGD 的出口煙氣溫度約為 70°C，經 FGC 冷凝後出口溫度約 29°C，FGC 各項有害物質移除情形數值如表(3):

Oxyfuel Pilot plant FGC 煙氣有害物質移除情形			
有害物質	進口含量	出口含量	移除率
H <sub>2</sub> O	30 Vol-%	4 Vol-%	>85%
SO <sub>2</sub>	100 mg/m <sup>3</sup>	<20mg/m <sup>3</sup>	>80%
SO <sub>3</sub>	20 mg/m <sup>3</sup>	<5mg/m <sup>3</sup>	>75%
Ash	10mg/m <sup>3</sup>	<1mg/m <sup>3</sup>	>90%

表(3)FGC 煙氣有害物質移除情形

FGC 操作較大的問題是 NaOH 的消耗量偏高，研判是因為部份高濃度的二氧化碳煙氣溶於水轉為酸性而消耗了部份的 NaOH。煙氣冷凝設備外觀如圖(19)



資料來源:Vattenfall  
圖(19)煙氣冷凝設備外觀

#### (六)二氧化碳處理設備(CO<sub>2</sub> (Gas) Processing Unit, GPU)

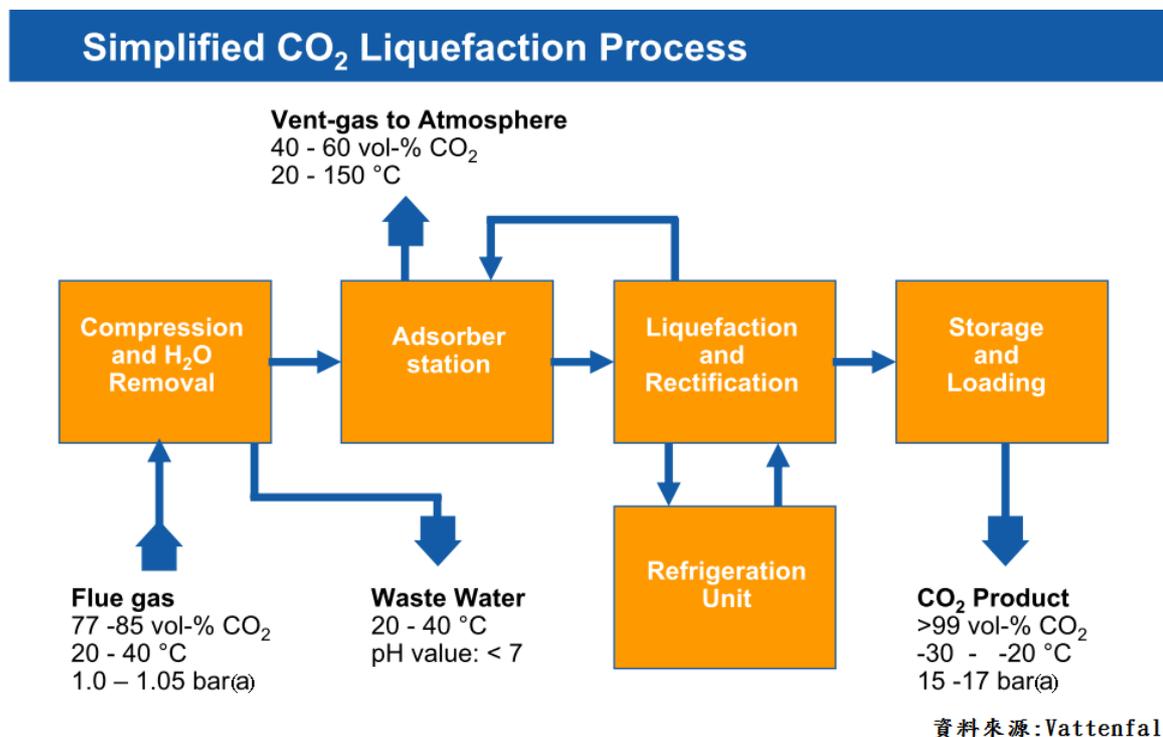
一個 CCS 電廠除了產生電力之外，仍須將發電過程中產生的二氧化

碳加以收集並予以液化以縮小體積，便於運輸及儲存。因此無論是在 Pre-combustion、Post-combustion 或 Oxyfuel-combustion 的 CCS 電廠，二氧化碳處理設備都是必要的設備。

在 Oxyfuel Pilot Plant 中鍋爐所產生的煙氣是高濃度的二氧化碳，但是仍不免殘留其他的氣體，煙氣組成的成份約為：90% CO<sub>2</sub>、6% O<sub>2</sub> 及 N<sub>2</sub>、4% H<sub>2</sub>O(水汽)及其他少量氣體。

GPU 的功能是將煙氣中除二氧化碳外的氣體排除，再將二氧化碳壓縮液化。GPU 和 ASU 一樣都是由德國 Linde 公司製造，設計最大煙氣輸入量為 6600Nm<sup>3</sup>/hr，最大液態二氧化碳輸出量為 9.5t/hr。

二氧化碳處理設備簡易流程如圖(20)：



圖(20)二氧化碳處理設備簡易流程圖

GPU 進口 CO<sub>2</sub> 濃度約為 85%，溫度約為 27°C，壓力約 1bar 絕對壓力。煙氣首先經過第一段氣水分離器後進入活性炭過濾器(Activated Carbon Filter)濾除金屬成份後，進入二段式壓縮機加壓並移除水份，第一段加壓至 6bar，第二段加壓至 20bar。加壓後的煙氣送至吸收塔

(Adsorber)，因為  $\text{CO}_2$  分子量較大，利用分子篩(mol screen)篩除  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{O}_2$ 、及  $\text{N}_2$  等氣體。

接著繼續將煙氣送至冷凍廠(Refrigerating Plant)，利用液態氨( $\text{NH}_3$ )將煙氣冷凝成液體。液化後的煙氣再送至 Adsorber regeneration stack，利用各種氣體揮發點不同的原理再精製液化的煙氣，使成為高純度的  $\text{CO}_2$ ，其他的氣體則由排氣管排出，最後高純度的  $\text{CO}_2$  送至二氧化碳儲存，此時液態  $\text{CO}_2$  純度為 99.7%，溫度為  $-40^\circ\text{C}$ ，壓力為 20bar。

二氧化碳處理設備外觀如圖(21)



資料來源:Vattenfall

圖(21)二氧化碳處理設備外觀圖

(七)整合式煙氣處理設備( $\text{CO}_2$ -Plant with integrated flue gas cleaning)

Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot 為全球首座的大規模富氧燃燒鍋爐，因為全球各大相關廠商均在尋求合作的機會，以測試自我的設備功能，美商 Air Products 於今年(2011)於該廠設置了整合的煙氣處理設

備，對該設備進行測試，投資金額 1 仟萬歐元。設計煙氣處理能力為 224 Nm<sup>3</sup>/hr，約只佔總煙氣流量的 3%。其功能整合了 FGD、FGC、GPU 所有的功能，測試的目的在尋找一個能源消耗較少，而二氧化碳捕獲率更高的煙氣處理系統。

此系統和原有設備最大的不同在於使用聚合物薄膜的技術來分離 CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub>，分離出的 O<sub>2</sub> 可回收再使用，也因此需要將煙氣加壓至較高的壓力 (50bar)，於訪問該廠期間仍於試運轉階段，是否能有較好的效率仍待後續觀察。整合式煙氣處理設備外觀如圖(22)

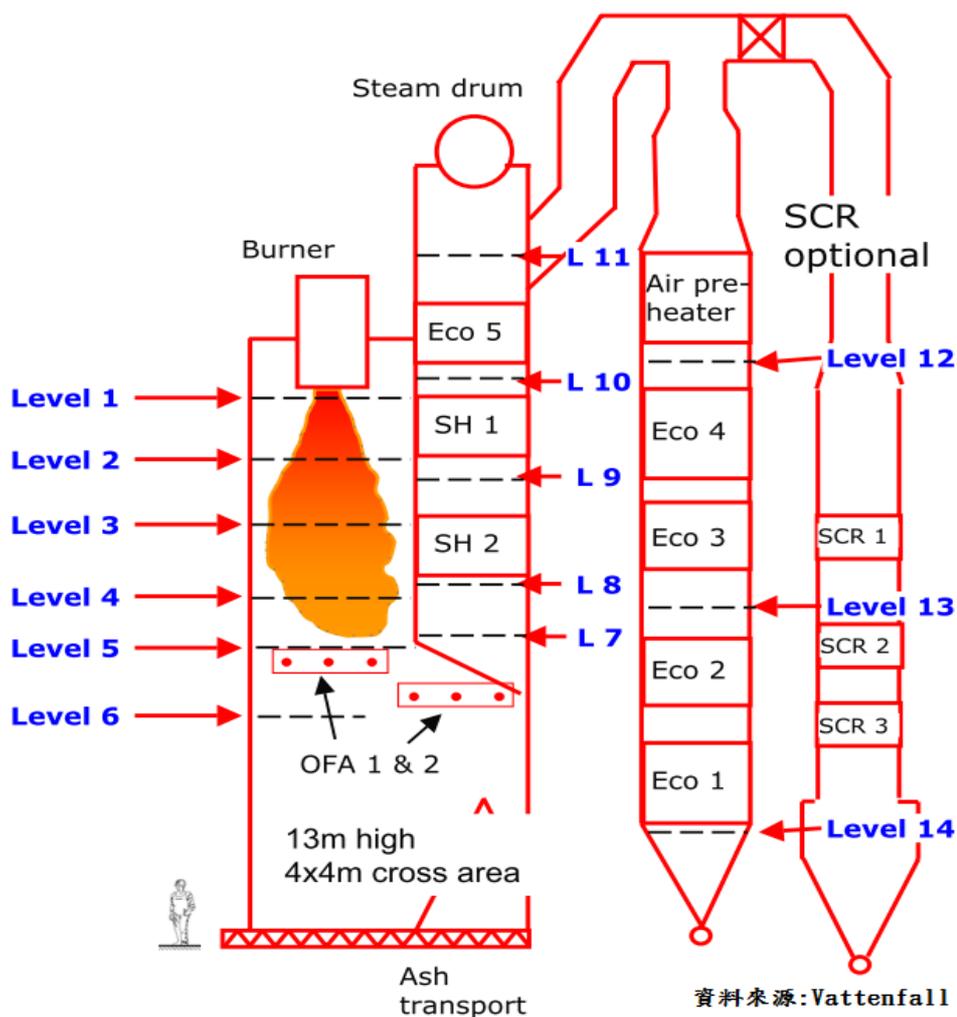


圖(22)整合式煙氣處理設備外觀

#### (八)儀控設備

Schwarze Pumpe Pilot Plant 運轉主要的目的是為進行各項測試，取得測試數據結果，以作為大型 Oxyfeul-Combustion 電廠的參考，因此在機組裝置了很多的監視設備。

在鍋爐的部份共計有 16 個監視層(Level)，每層有 9 個監視孔，鍋爐監視孔分布如圖(23)。



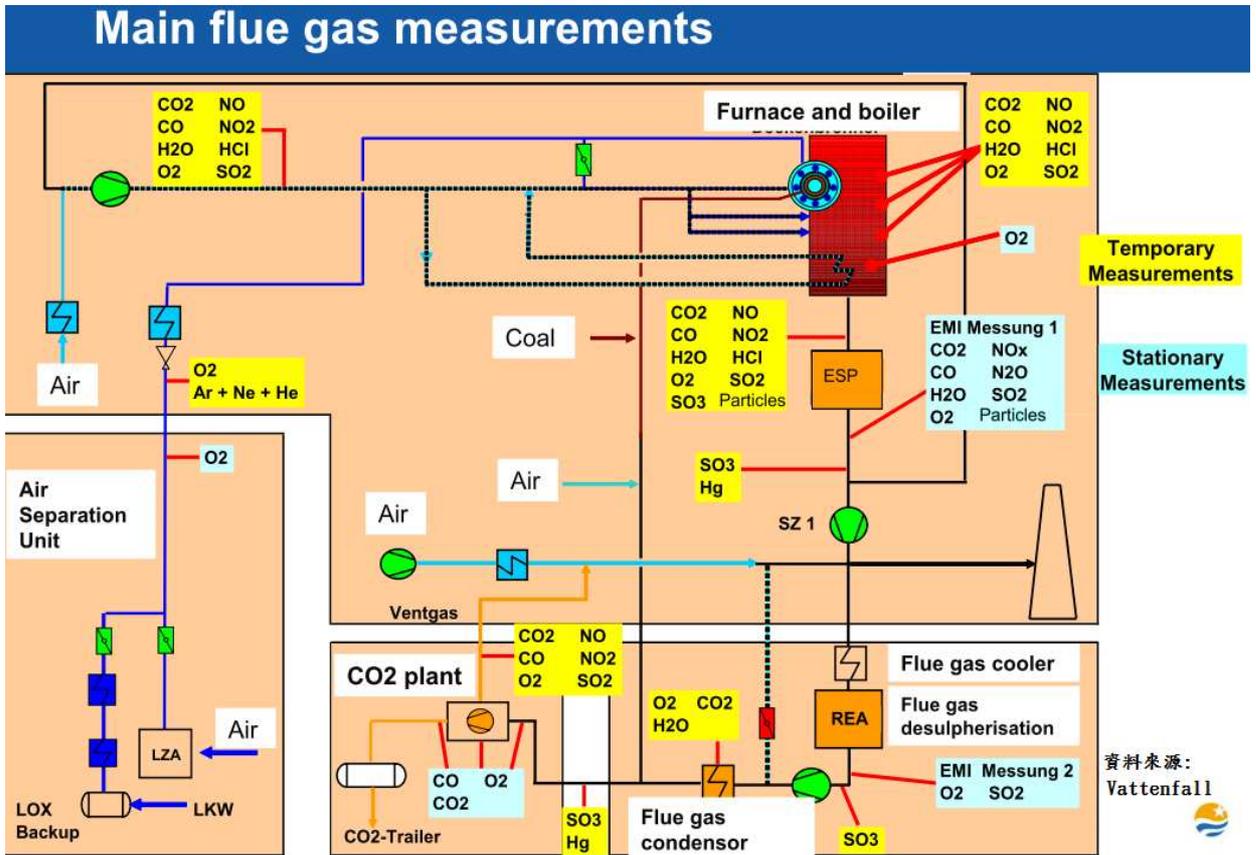
圖(23)鍋爐監視系統分布圖

並不是個監視孔都有安裝監視儀器而是依各項測試需求而安裝，監視儀器有溫度監視、煙氣監視、及攝影機等，鍋爐監視儀器外觀如圖(24)。



圖(24)鍋爐監視設備外觀圖

另外為監視煙氣於各階段氣體成份的變化，於煙道設有多處取樣點作長期及不定期的取樣測試，各量測點分佈如圖(25)



圖(25)煙氣監視分佈圖

全廠主要控制及資料收集系統(DCS)為西門子公司的 SPPA-T3000 系統，對於該系統於第六單元將有詳細的述敘。

註(1):圖(16)Hitachi DS-T 燃燒器 資料來源: Sebastian Rehfeldt, Christian Kuhr, Franz-Peter Schiffer, Patrick Weckes, Christian Bergins, "First test results of Oxyfuel combustion with Hitachi' s DST-burnerat Vattenfall' s 30 MWth Pilot Plant at Schwarze Pumpe" , 2011, 取自 <http://www.sciencedirect.com/science>,

#### 四、Schwarze Pumpe Power Plant (超臨界鍋爐機組)

Schwarze Pumpe Power Plant 隸屬於 Vattenfall 能源集團，於 1993 年開始動工興建，1997 二部機組皆興建完成，1998 年正式商業運轉。在地理位置上，該廠一半位於布蘭登堡州(Brandenburg)，一半則屬於薩克森州(Saxony)，也因此該廠必須同時接受兩州政府的法規限制，根據該廠員工所述，如該廠因違反環保或其他法規必須同時繳交兩州的罰款。

之所以選擇 Schwarze Pumpe 為建廠廠址是因為附近煤源豐富，附近開採中屬於 Vattenfall 集團的褐煤礦場有 Janschalde mine、Cottbus-Nord mine、Welzow-sud Mine、Nochten mine 及 Reichwalde mine。褐煤存量足以提供該集團包括 Schwarze Pumpe Power Plant 在內的三座燃煤電廠未來二百年使用。

褐煤開採後經密集的鐵路網由火車運抵該廠，如圖(26)，氣溫較低時於加熱室先將煤加熱後再卸煤至煤倉，經兩組相互備援的輸煤皮帶送至機組發電用，因為煤源供應無虞以及環保考量，廠區內未另設堆煤場，建廠至今亦未發生過因缺煤而停機的事件。



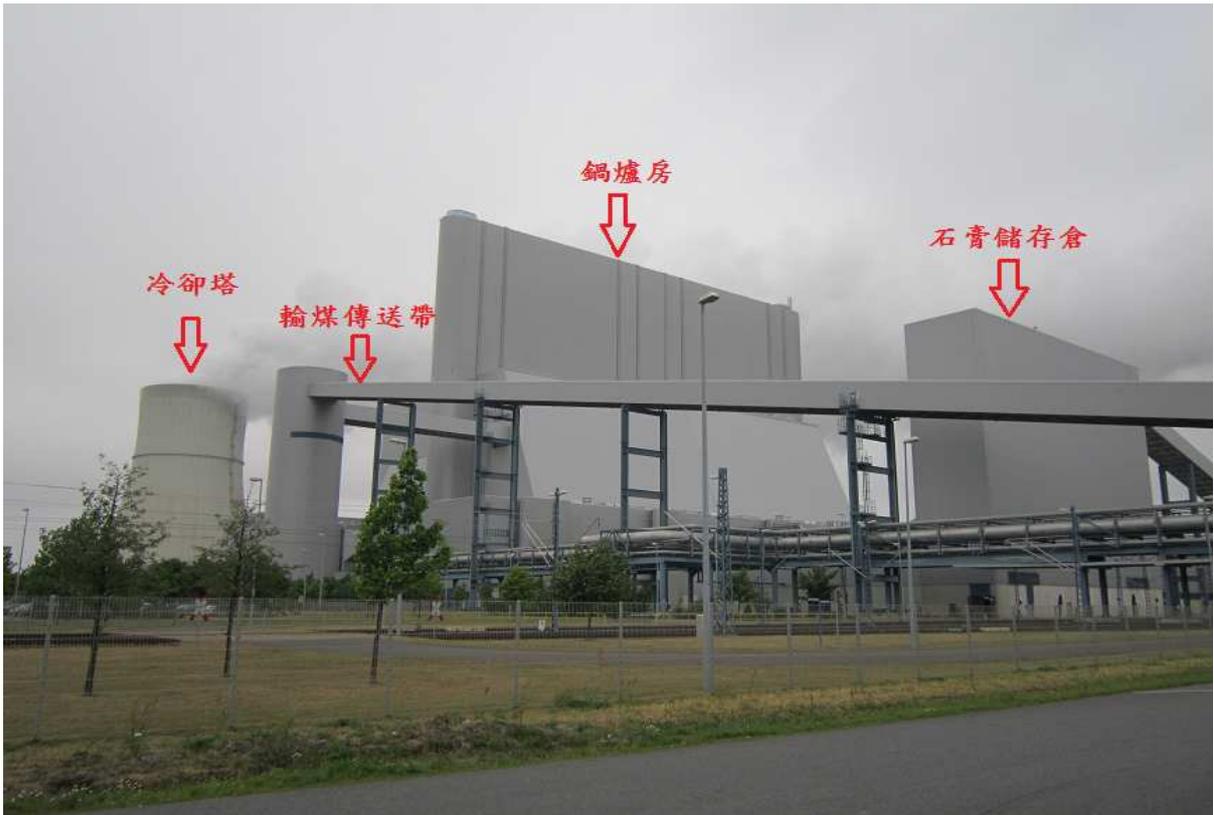
圖(26)運煤火車及加熱室

該廠設有二部超臨界鍋爐，除供給二部 800MW 的汽力發電外，並銷售熱蒸汽予附近的工廠及社區，另外排煙脫硫設備所生產的石膏也售予臨近的石膏板工廠，各項輸出產品及輸出對象如表(4)：

輸出產品	輸出對象	輸出量
電力	Transmission Net VE Transmission Graustein substation	800MW*2
熱蒸汽	Schwarze Pumpe Briquette factory	210t/hr*2 (140MW*2 thermal)
熱蒸汽	Spremberg Paper factory	Max. 95t/hr (63.5MW Thermal)
熱能	City of Hoyerswerda City of Spremberg Schwarze Pumpe community	60MW*2 thermal
石膏	Knauf Plaster boards	1600t/day

表(4)Schwarze Pumpe Power Plant 輸出產品

Schwarze Pumpe Power Plant 廠房設計非常流線型，極富美感，外觀為銀白色，如圖(27)，為保持清潔美觀，會定期以吸塵器的方式實施外部清潔工作。所有的迴轉機設備、輸煤皮帶及灰倉等均安裝於廠房內，因此廠區內不見粉塵飛揚，又廠房隔音良好，廠區內噪音低於 40db，置身於廠區一點都沒有來到了一個大型的煤燃電廠的感覺。電廠開放供民眾參觀，由專人導覽，並且不定期為當地藝術家舉辦展覽，電廠也收集了許多藝術家作品，辦公室走道就像是個畫廊，如圖(28)，對於敦親睦鄰的工作可以說做的十分徹底，根據廠方人員表示，自建廠以來從未有群眾圍廠抗爭的事件發生。



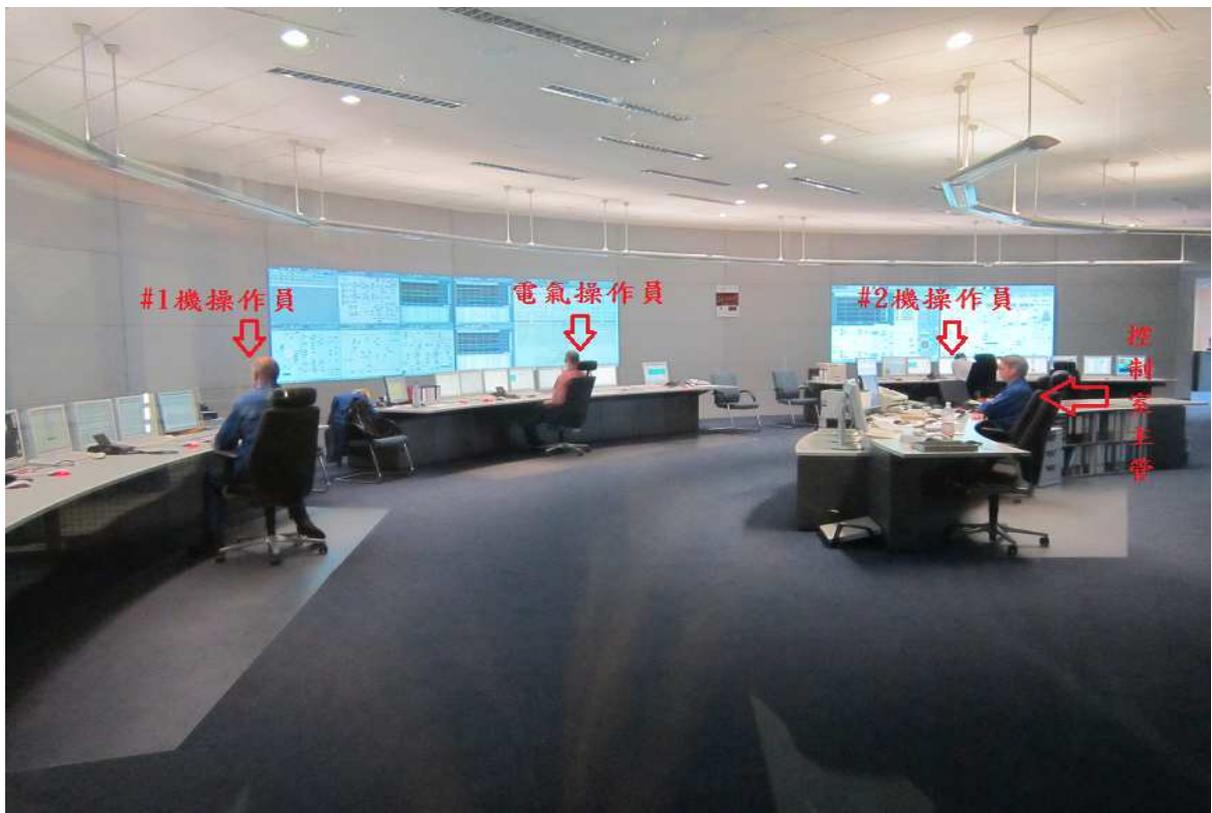
圖(27)Schwarze Pumpe Power Plant 全廠外觀圖



圖(28) Schwarze Pumpe Power Plant 辦公室走廊

全廠員工總共 310 名，其中 120 位是操作員，其他則為行政及管理人員，操作員則依工作崗位有分為三班制、二班制及正常班操作員，控制室中，如圖(29)，人員非常精簡，一個控制室主管，一部機一個操作員以及一個電氣操作員，控制室門禁管理十分嚴格，進出都要刷卡，非相關人員不能隨意進出。

操作員也負責日常的維護工作，而故障修護及年度維護工作則交由合作廠商負責，全廠負責控制系統管理人員只有三名，主要的工作是行政管理，實際的維修作業是由西門子公司負責。



圖(29)Schwarz Pumpe Pilot Plant 控制室

各項主要設備介紹：

鍋爐：

為貫流式超臨界鍋爐，由 Alstom 公司設計製造，鍋爐房高度 161.5 公尺，鍋爐高度 154 公尺，鍋爐懸吊於鍋爐房共有 276 個固定點，鍋爐於冷爐和運轉中有 85 公分的高度差，每部鍋爐有 8 台粉煤機，滿載時運

轉 6 台，BFP 出口壓力為 320bar，飼水於加熱器出口(省煤器入口)溫度為 275°C，過熱蒸汽壓力 285bar，溫度 547°C，滿載流量 2420t/h，再熱蒸汽壓力 55bar，溫度 565°C，滿載流量 2178t/h。

設計燃料為 Welzow-Sud 煤礦的褐煤，熱質為 8800kJ/kg，水份含量約為 55%，灰質含量為 3-7%，硫份含量為 0.3-1.4%。鍋爐效率約為 90%，廠效率約為 41%。

### 汽機及發電機

汽機及發電機由 Siemens 公司生產製造為 SST-6000 系列，如圖(30)，汽機轉速 3000RPM，發電機裝置容量 1000MVA，為氫冷式發電機，氫氣壓力為 5.5bar，主蒸汽溫度 547°C，壓力 285bar，低壓段汽機排汽溫度約為 30°C，排汽壓力約為 0.05bar(a)。



圖(30)Schwarze Pumpe Power Plant 汽機及發電機

排煙脫硫設備(FGD)：

採用石灰石除硫法，進口煙氣溫度約為 135°C，出口溫約為 45°C，每部機有兩個吸收塔，全廠所需石灰石約為 1000t/day，可生產石膏約為 1600t/day，除硫率可達 98.5%。

冷卻塔：

每部機各有一個自然通氣冷卻塔高度 141 公尺，用來冷卻循環水，循環水再送至冷凝器冷卻汽機低壓段做完功後所排放出的蒸汽，循環水則取自附近的淡水湖，因為該廠沒有設置煙囪，因此冷卻塔的另一個目的是用來排放來自 FGD 出口的煙氣。

## 五、二氧化碳儲存場

經由 Vattenfall 公司 Oxyfuel Pilot Plant 的 Mr. Lutz Picard 的協助安排之下，得以參訪位於 Ketzin 的二氧化碳儲存場，這座二氧化碳儲存場，隸屬於德國地質科學研究中心(German Research Center for Geosciences, GFZ)，GFZ 自 2008 年 6 月即開始二氧化碳地質儲存作業，剛開始來源來自食品業所生產的二氧化碳。自 2011 年 5 月起和 Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Plant 進行合作，預計在該場址儲存 2000 噸的二氧化碳。Ketzin 位於柏林附近的波茨坦市的郊區，該儲存場址原來是一個天然氣井，目前天然氣已經採盡，Ketzin 二氧化碳儲存場外觀如圖(31)。

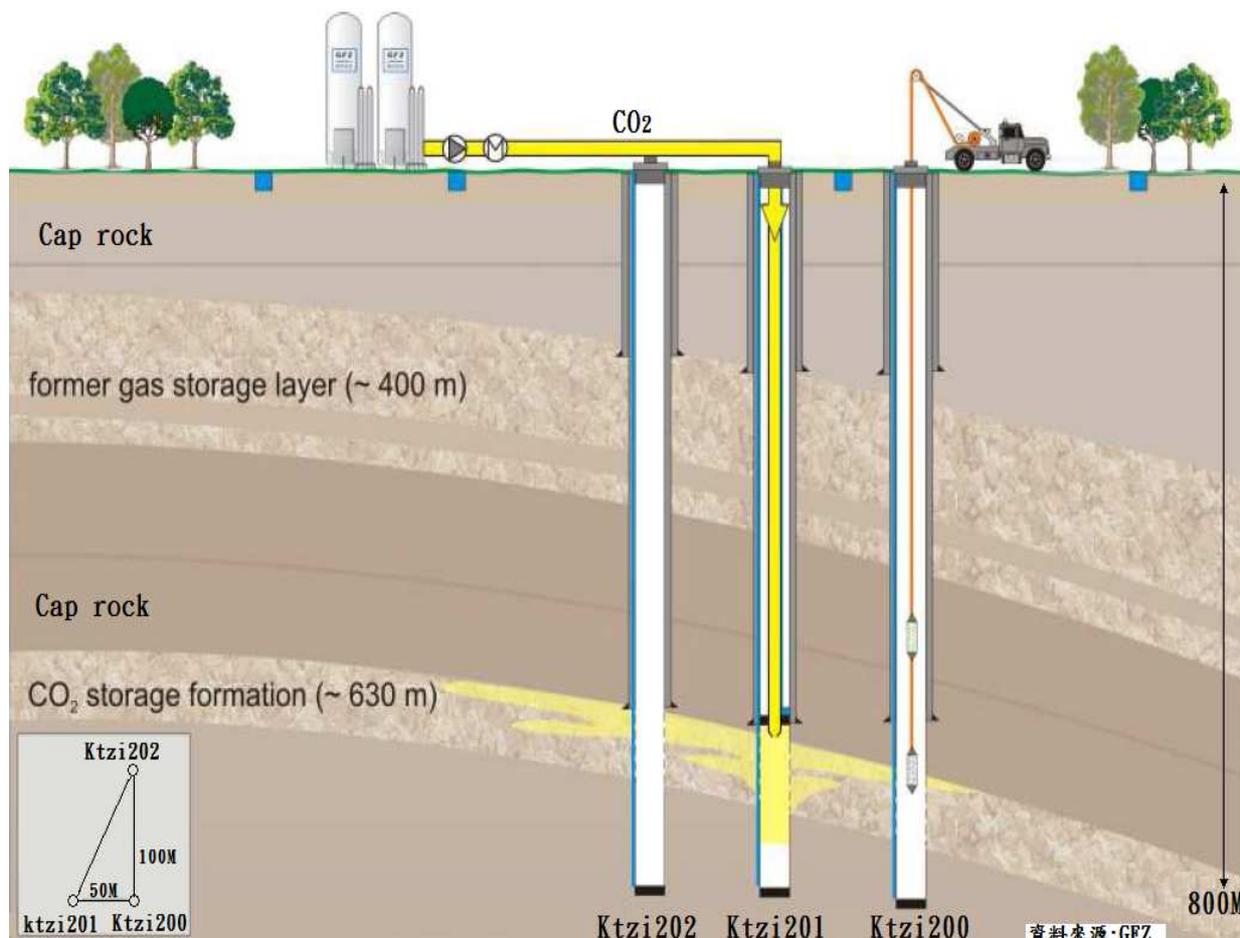


圖(31)Ketzin 二氧化碳儲存場外觀

二氧化碳是一種無毒、無臭而略重於大氣的氣體，在大氣中比例約為 0.038%(380ppm，因為更多的二氧化碳排放這個數字仍在上升中)，雖然對人體無直接的傷害，但如果空氣中二氧化碳濃度高於 6%以上將致使氧氣濃度下降，造成缺氧性的窒息，因此二氧化碳儲存選址十分重要。

一個理想的二氧化碳儲存地形是所謂的蓋岩地形(Cap Rock)，一個

堅固而結構緊密的帽子形狀的泥岩(Mudstone)層的下方為有間隙可供二氧化碳儲存的砂岩(Sandstone)層，Ketzin有良好的蓋岩地形，並且在二氧化碳儲存層上方為舊天然氣田的另一個蓋岩層，因此具有雙層的保險，也就是說萬一所儲存的二氧化碳從地層洩漏，上方仍有一蓋岩層防止二氧化碳回到大氣中如圖(32)。



圖(32)二氧化碳儲存場地質剖面圖

液態二氧化碳從 Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot Plant 運抵 Ketzin 之後，儲存於兩個儲存塔，如圖(33)，儲存塔中的二氧化碳溫度為 $-18^{\circ}\text{C}$ 壓力為 19bar，共有 6 台二氧化碳注入泵，再注入地層下之前需經加熱器加熱至  $30^{\circ}\text{C}$  左右，有兩個空氣加熱器及一個電熱器，於氣溫較高時只要使用空氣加熱器，不須使用電熱器。儲存的深度約為 800 公尺儲存壓力介於 70-76bar，約相當於二氧化碳的臨界壓力(二氧化碳臨界壓力

73bar，臨界溫度 31°C)，二氧化碳介於氣態及液態之間，體積約為地表的 0.32%，根據該場研究人員表示，儲存壓力過大可能會破壞蓋岩結構，使二氧化碳洩漏回地表，如壓力太低則無法減小二氧化碳的體積，目前的壓力是經測試後最佳的儲存壓力。

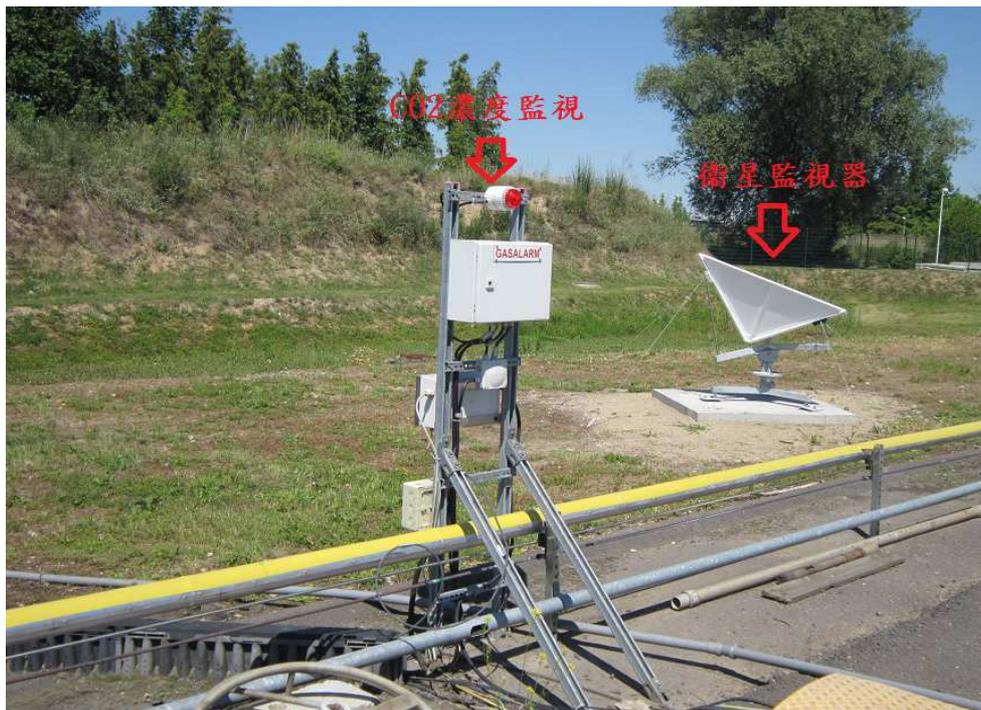


圖(33)二氧化碳儲存塔及空氣加熱器

Ketzin 二氧化碳儲存場，目前有三個鑽井，一個為二氧化碳注入井，如圖(34)，其它二個為觀測井，裝設有探測器用來探測二氧化碳儲存情形。另外在地表也設有二氧化碳濃度儀及衛星監視器，除了做為實驗數據參考，也提供當地居民最嚴密的安全保障，如圖(35)，目前該場正在開挖第四號井，目的是要探測蓋岩上方的二氧化碳濃度，檢查是否有洩漏。



圖(34)二氧化碳注入井



圖(35)二氧化碳濃度監視設備

該儲存場開始二氧化碳地質儲存作業已超過三年，二氧化碳地下儲存量已超過 48000 噸，一切運作情形良好，從目前的監視結果未發現有任何二氧化碳洩漏回大氣的情形，待四號井開挖完成如測試結果良好，將在原址進行更大規模的儲存作業。

## 六、富氧燃燒鍋爐及超臨界鍋爐電廠控制系統

在 Oxyfuel Pilot Plant 及 Schwarze Pumpe Power Plant 所使用的 DCS 控制系統為西門子公司的 SPPA-T3000 系統，此處所稱的 DCS 事實上涵蓋了全廠的控制系，包括了 DCDAS、BMS、PIS、汽機控制及 FGD 控制等，也就是說全廠的控制全在一個網路上使用同一系統。

SPPA-T3000 系列為西門子公司目前最新也是最先進控制系統產品，在歐洲已有上百個 Project 的使用案例，在世界其它各地也有相當多的使用者，根據 Oxyfuel Pilot Plant 及 Schwarze Pumpe Power Plant 的工程師表示，至今未有因 DCS 系統故障而造成的機組事故，可也說是非常成熟且穩定的一個 DCS 產品。

SPPA-T3000 號稱是全方面整合性的系統，所有的功能都建構在相同的框架之下，沒有所謂的次系統(Sub-system)。所有的資料存取工作例如:Operation、Engineering、Alarm 甚至現場設備的管理都是透過一個統一的中央資料庫管理(如圖 36)。

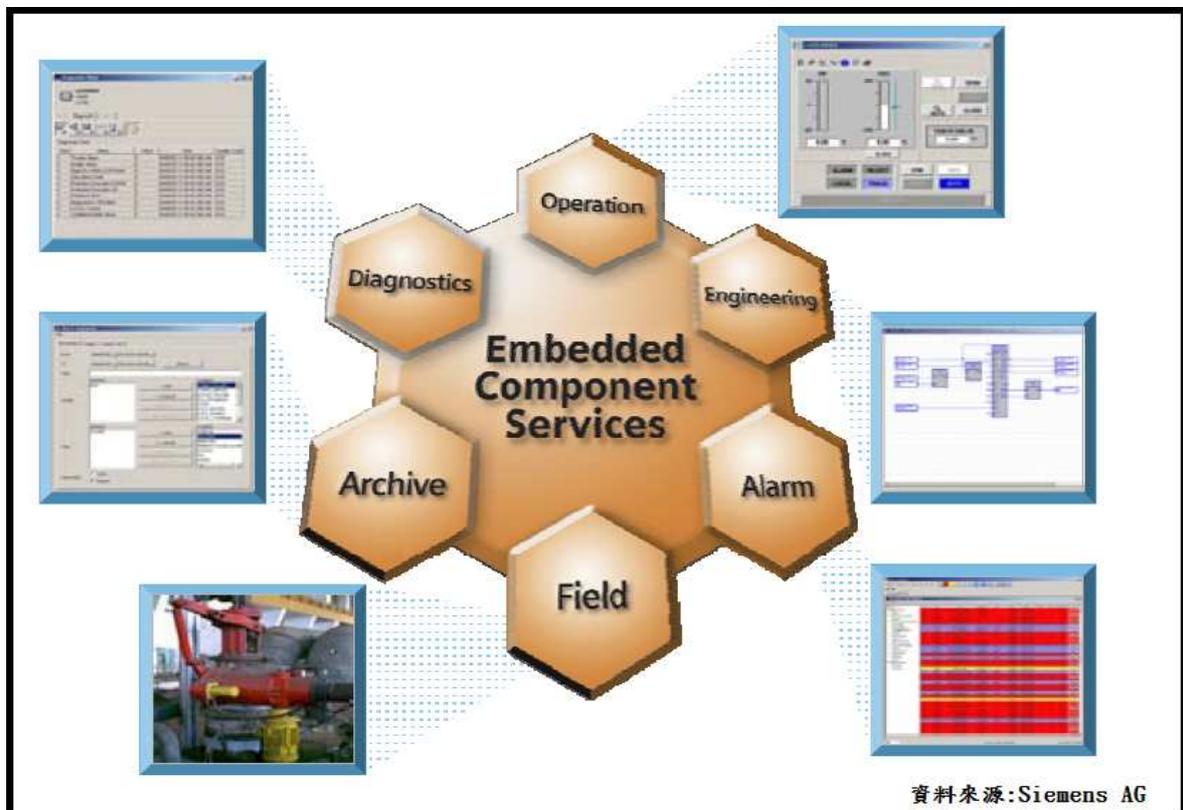


圖 (36) 全功能整合的 DCS SPPA-T3000

## 硬體架構:

SPPA-T3000 硬體層級架構如圖(37)，一個獨立的 SPPA-T3000 系統硬體，以網路區分可分為應用網路(Application Highway)和自動化網路(Automation Highway)兩個主要網路系統。

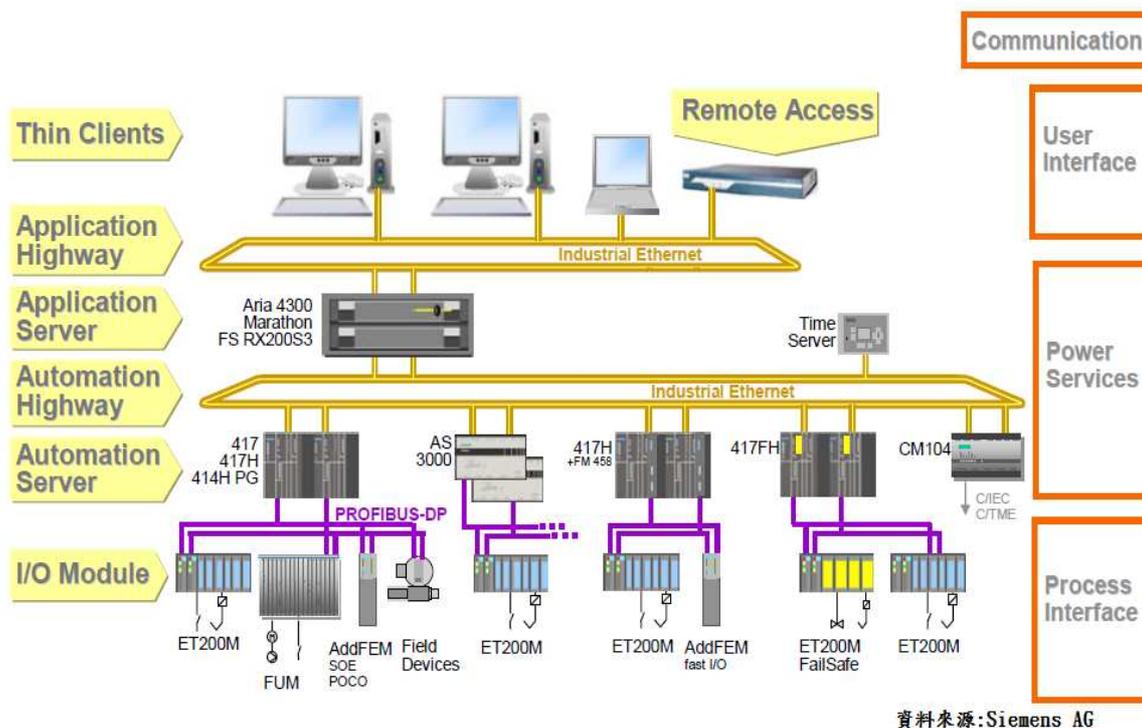
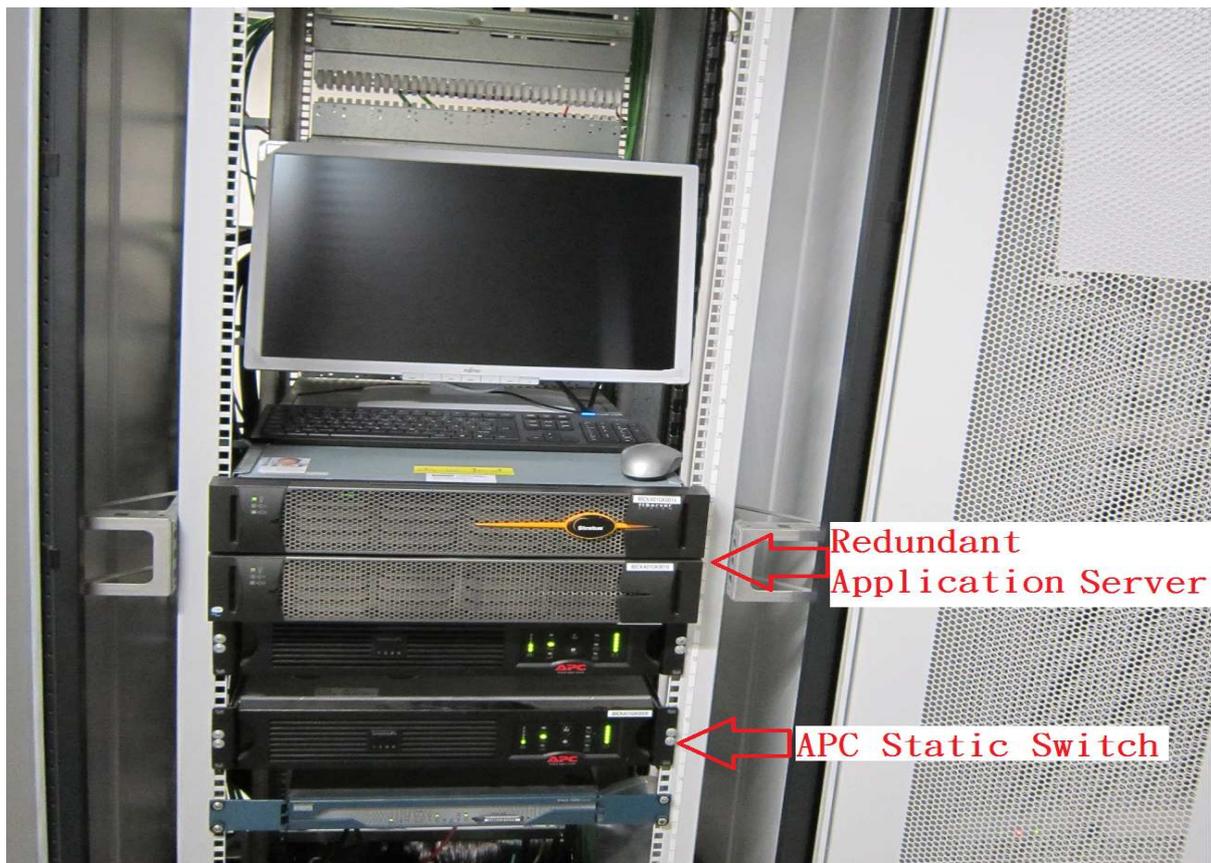


圖 (37) SPPA-T3000 硬體層級架構圖

在 Application Highway 上主要為各個操作員站及工程師工作站等各個應用程式界面工作站所組成，在 Application Highway 中最重要元件是應用程式伺服器(Application server)。Application Server 是應用網路上各工作站(Thin Client)的伺服器，基本上整個 Application Highway 是一個主從式(Client-Server)的系統架構，整個專案的資料庫都建構在 Application Server 上，所有工作站上的應用程式都由 Application Server 提供，所有工作站操作也是透過網路而在伺服器上進行，也因此 Application server 另一個重要的任務也就是 Application Highway 和 Automation Highway 的界面工作站。

Application Server 是 window base 的伺服器，因為它對整個系統的重要性，因此必須有相當高的工作效率及安全性，它採用 Redundant 的架構，兩組 Controller 相互備援，具有 Fault tolerant 的功能，也就是說任何一組 Controller 故障也不會對系統造成影響。Application server 實體圖如圖(38)，在 Application server 的下方是 APC 的電源靜態切換開關，以雙迴路供電以確保 Application Server 工作電源。

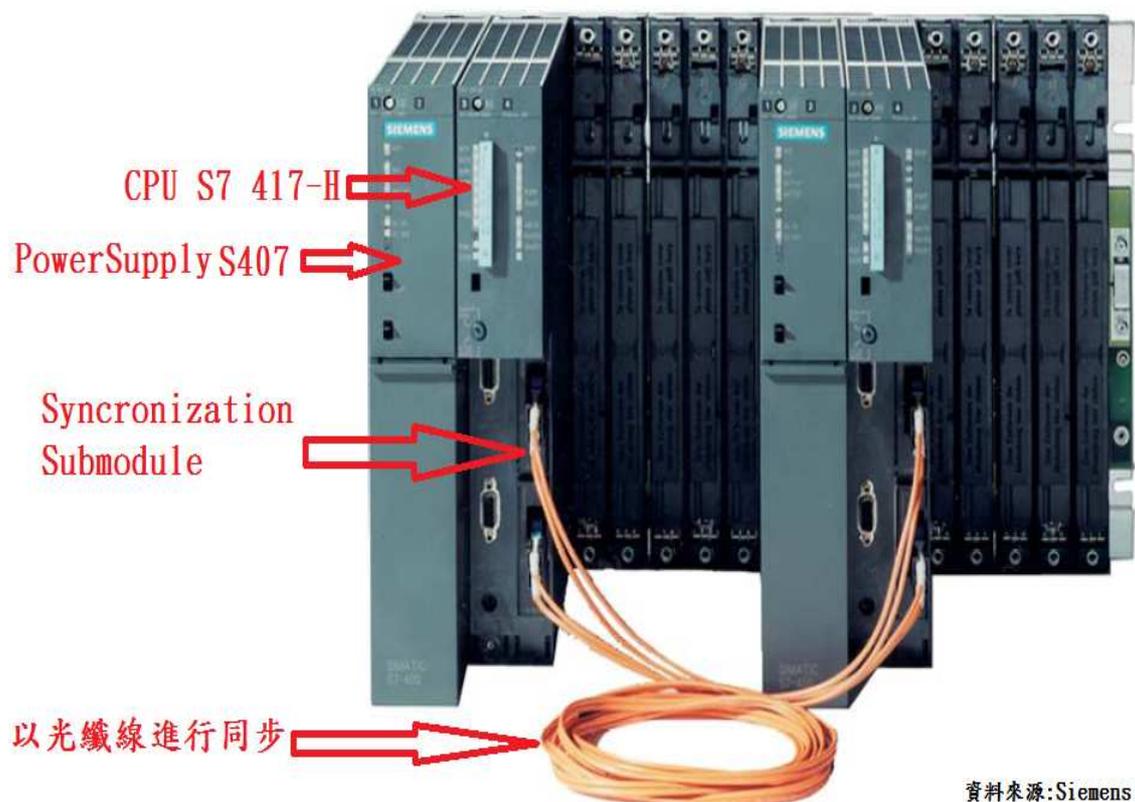


圖(38) Application server 實體圖

在 Automation Highway 上最主要的元件就是 Automation Server，Automation server 透過 PROFIBUS DP INTERFCAE 經由 I/O 卡片執行對現場設備控制，監視，資料蒐集等功能。Automation server 也具有 Redundant 的功能，控制中的控制器和備援的控制器經由光纖線進行資料同步工作如圖(39)，當控制中的控制器發生故障，備援的控制器馬上接手控制，不會對系統或控制設備造成任何影響。當故障的控制器故障

排除後，可以再重新啟動成為備援控制器，也就是具有 On line hot swap 的功能。

所有的控制器都可以透過網路向一個時間伺服器(NTP Server)對時，因此所有控制器都是時間同步的。



資料來源:Siemens AG

圖(39)Automation Server S7 4000

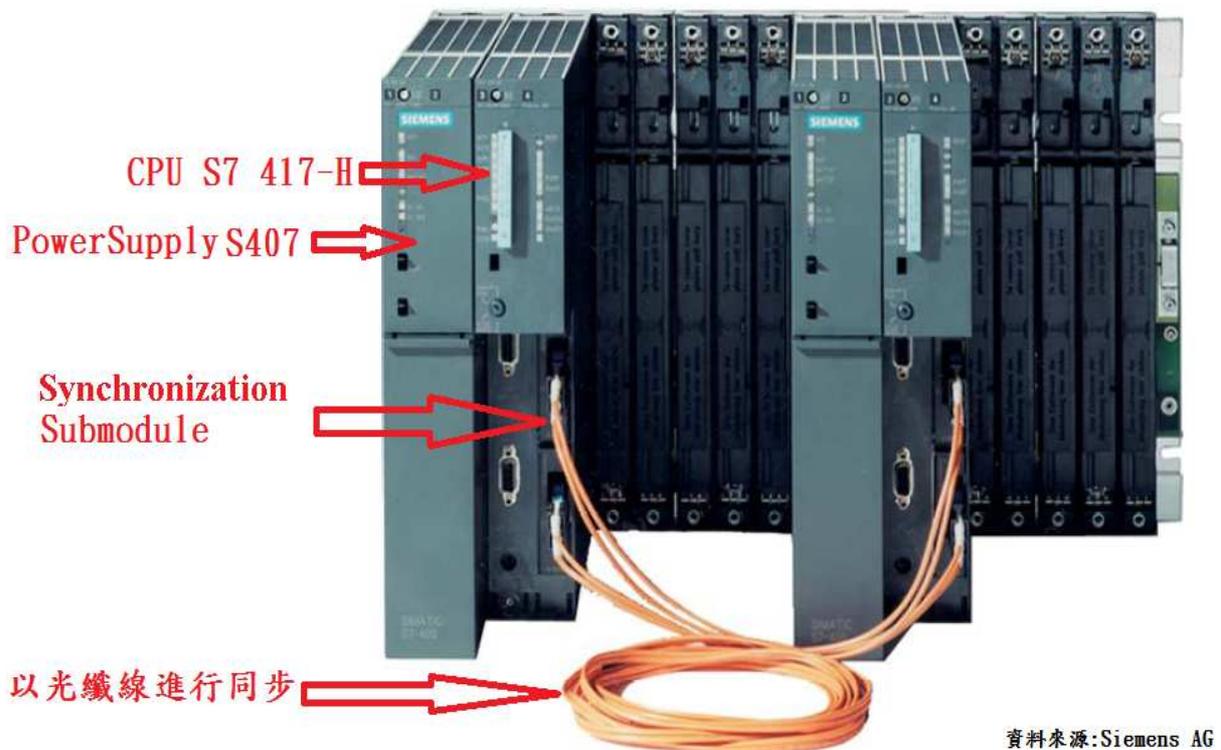
Power Supply S407 為 Automation Server 的電源供應模組，提供 Automation server 所需要的工作電源，具有短路保護的功能，它安裝有備援電池，當萬一系統電源消失時可提供 Automation Server 儲存工作程式及即時資料所需的電力，當電源恢復重新啟動時不會因為資料消失而造成控制誤動作，也不需要重新 Download 程式。

CPU S7 417-H 是整個 Automation Server 的心臟，所有的控制程式在此執行，記憶體儲存控制邏輯程式及即時的參數資料，有兩個 PROFIBUS DP Interface 插槽，可直接由此插槽連接至 I/O 模組，另有

兩個同步模組(Synchronization Submodule)卡槽用來安裝同步模組，同步模組的功能就是使控制中和備援的控制器保持資料同步狀態。

Ethernet module CP433-1 則是 Automation server 的 Ethernet 網路卡，在此卡片上設定 Automation server 網路位址，並透過此卡片連接到整個 Automation Highway。

除了上述必須的模組卡片外，在實際的一個 Automation Server 上，如圖(40)，還會使用許多的 I/O 延伸卡片 CP433-5EXT 來擴充 I/O 卡片的使用數量，一個 CP433-5 EXT 可擴充 2 組的 FUM I/O 模組。



資料來源:Siemens AG

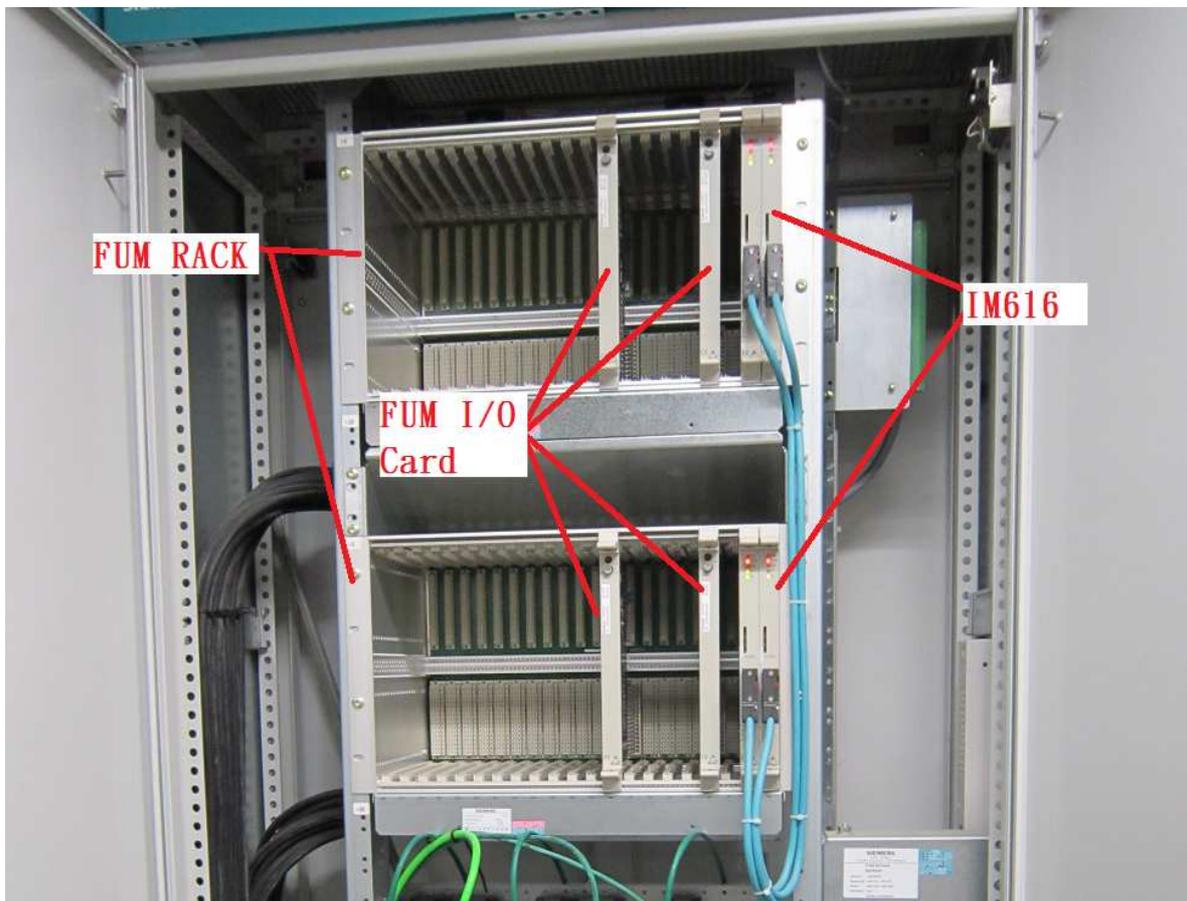
圖(40)實際的 Automation Server 架構

FUM 是 SPPA-T3000 的 I/O 模組，一個 CPU417H 卡片可以經由 PROFIBUS DP 串接四組的 FUM 模組，一個 CP433-EXT 則可充擴 2 組的 FUM 模組。

一個 FUM Rack，如圖(41)，有 21 個卡槽(Slot)，第 1 至 19 Slot 可供 FUM I/O 卡片使用，第 20，21 則必須保留為 Redundant 的 IM616 卡

片所使用。IM616 為 Automation Server 和 FUM 模組之間的介面卡片，將 FUM 模組上 Input 卡片接收到的信號經由 PROFIBUS DP 傳遞給 Automation Server，並接受 Automation Server 的控制指令傳達至 Output 卡片。

IM616 同樣具有 Redundant 的功能，2 張 IM616 卡片正常時只有一個運作中執行 I/O 介面工作，當發生故障時可以 bumpless 的切換至備援的卡片。



圖(41) FUM I/O RACK

SPPA-T3000 系統的 FUM I/O 卡片有下列幾種：

1. FUM210 系列：

- (1) FUM210DCM: 趨動控制卡片，有 28 個 Binary Input，16 個 Binary output，3 個 fault alarm output，5 個 check command

output。所謂 fault alarm output 是用來偵測系統的電源，因為 redundant 電源的關係，當一路電源消失時並不會對系統造成影響，但唯恐未即時察覺，可用 fault alarm out 來監視系統的故障訊息。而 check-command output 則是用來 check output 的 command 是否正確的趨動 Relay 線圈。

(2) FUM210BT: 有 28 個 Binary Input，14 個 sensor supply output，sensor supply output 是用來提供 contact sensor 所需要的+24V 電源。另有 FUM210BTI 卡片提供高速的存取功能，工作速度約 2-3msec，適用於需快速反應的設備。

(3) FUM210I0: 有 28 個 Binary Input，16 個 Binary Output。

2. FUM230: 有 16 個 Analog Input，每個 Input Channel 都可帶 24V DC Power Supply 以供傳送器使用。

3. FUM232: 可選用 28 個 Thermocouple 信號或 14 個 Pt100 RTD 信號，也同時分配各 Channel 混合使用監視 Thermocouple 和 RTD 信號。

4. FUM280: 為單迴路控制卡片，有 6 個 4-20MA Analog input，13 個 Binary Input，6 個 4-20MA Analog output，13 個 Binary Output。

除了 FUM I/O 模組外 SPPA-T3000 系統有多的獨立卡片模組，在電廠中常使用的有：

AddFEM SOE：為 SPAAT3000 的 SOE(Sequence Of Event)卡片，直接連接至 PROFIBUS DP，每個卡片有 31 個 Digital Input Channel，時間準確度達 1mSec，在 AddFEM SOE 卡片上有一個 Time sync connection，可由光纖線連接至 NTP SERVER 做時間同步。

FM485：為汽機控制卡片，必須安裝於 Automation server 的第 8 個 Slot，具有 Fast Process、Fast I/O Operation 的功能。

### **網路系統：**

在 SPPA-T3000 的網路系統可分為 Ethernet 及 PROFIBUS DP。Automation Highway 及 Application Highway 為 Ethernet 網路，Ethernet 網路提供 Application Server 和使用者界面間基本的資料傳輸，也可以直接安裝網路印表機提供各工作站的各項列印服務。

SPPA-T3000 網路系統使用 TCP/IP 通訊協定，通訊速度可達 100Mbps 以上。網路可選用光纖網路或電氣銅絞線網路，所有的網路線連接至 Switch，利用 Switch 的數據交換技術，不會有資料封包碰撞的情形產生，資料可確保在時間內送至指定的目標。

PROFIBUS DP 使用於 Automation Server 和 I/O 設備之間的通訊，PROFIBUS DP 是一種通訊協定，許多控制設備的製造商都支援這項通訊協定。PROFIBUS DP 符合 EN 50170 和 IEC 61158-3 Ed 兩項標準，具有高度的安全性及可靠性，可使用雙絞線或光纖線做為通訊線。

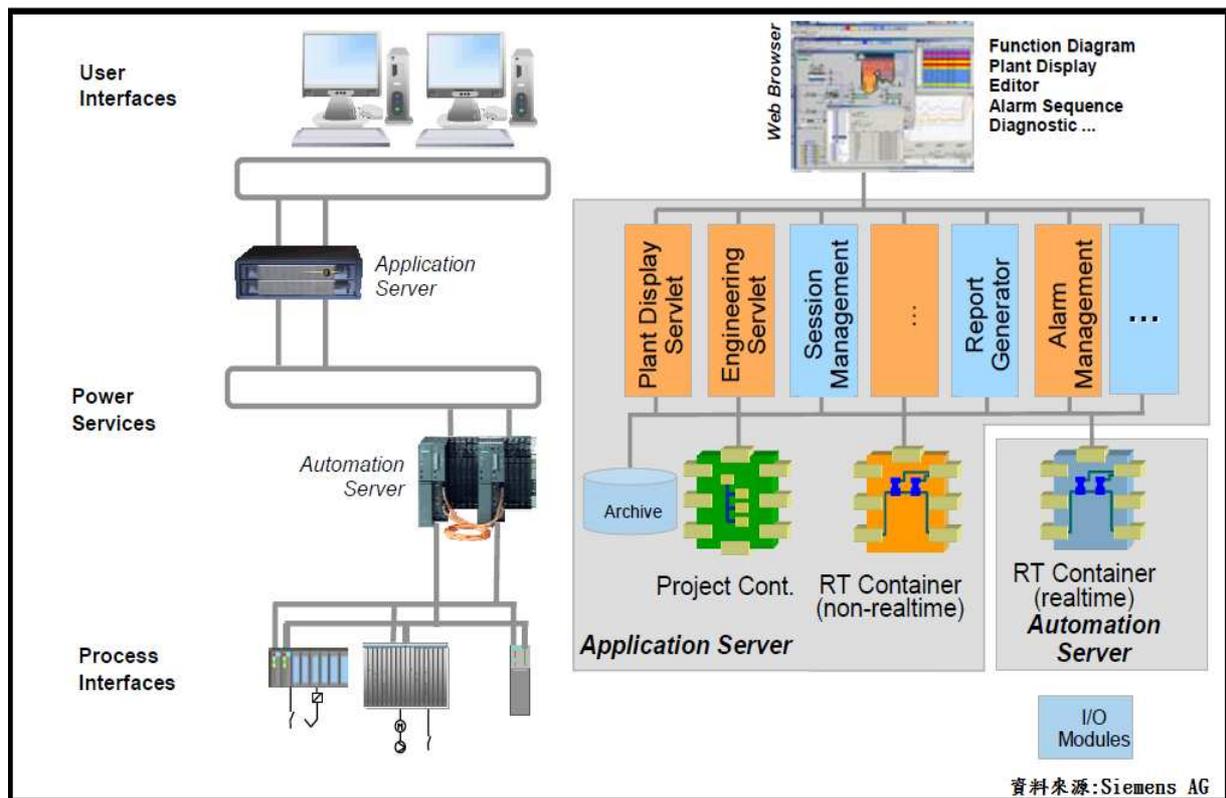
### **軟體架構：**

SPPA-T3000 軟體元件架構借由 JAVA 的通道程式設計，分布在不同的硬體作業平台上的，基本上可區分為使用者介面軟體(User Interfaces)，應用程式伺服器軟體(Application Server)和自動控制伺服器軟體(Automation Server)。系統的自動控制邏輯是由控制程式(Automation Functions)及硬體驅動設定程式(Hardware Proxies)兩個部份所組成的。Automation Functions 及 Hardware proxies 由使用者依需要的程序及順序來設計，並在 Automation server 上以即時(real time)的方式執行以達成各項所需的控制功能。在 Application Server 上也可以設計並執行非即時(Non real time)的控制邏輯，例如效率計算程式等。

Runtime Container 是在 Automation Server 和 Application Server 上執行的管理程式，負責 Automation Functions 和 Hardware Proxies

的執行順序、執行週期及執行管理等工作，並負責 Automation Functions 和 Hardware Proxies 之間的銜接工作，它賦予了控制邏輯模組相同的介面和特性。

SPPA-T3000 軟體架構如圖(42)



圖(42)SPPA-T3000 軟體架構

Application Server 提供工作站(Thin Client)資料存取控制等主要的系統服務功能。所有工程師或操作員與系統的互動都必須經過工作站，工作站是單一的使用者界面(Single User Interface)。當操作者的操作使自動控制的功能改變時，透過 JAVA 通道程式，直接改變了在 Application Server 上的中央資料庫，受到影響的元件也將自動的繼承這些改變。因為所有的資料變動都在 Application Server 執行，所以工作站可以只是一台只安裝有作業系統及網路程式的個人電腦，不須安裝其它的軟體。

在工作站上依權限的不同可登入為工程師(Engineer)，操作員

(Operator)或其他設定的使用者，而操作員又可依權限有不同的操作等級，例如只有電氣操作員可以操作 Breaker 的投入或切斷，而機械操作者則無此權限，而電氣操作員的權限則不能操作機械作員負責操作管理的設備。

在 SPPA-T3000 的工作站上，操作員可以編輯自己的操作畫面，將自己常用的操作面盤、趨勢圖或流程圖編輯在同一個畫面，然後加以存儲，下次要使用時可再點出此畫面，在不違反系統安全的原則下，給予操作員在使用上相當多的便利性。

以工程師權限登入時，可進行 ON-Line 的控制邏輯修改，修改完成後由系統進行 Comprehensive test，檢查是否有錯誤或不合理的設定，檢查完成後可進行模擬測試以檢查控制邏輯是否符合所需的功能。完成所有邏輯修改程序後，不需進行 Source code Download，只要執行 Activate，實際的控制邏輯即變更為修改過的控制邏輯。在修改的過程中甚或修改完成之後，若發現錯誤或想停止修改，只要執行 Rollback 的功能，就能立刻恢復原有的設定。SPPA-T3000 控制邏輯 Function Diagram 範例如圖(43)。

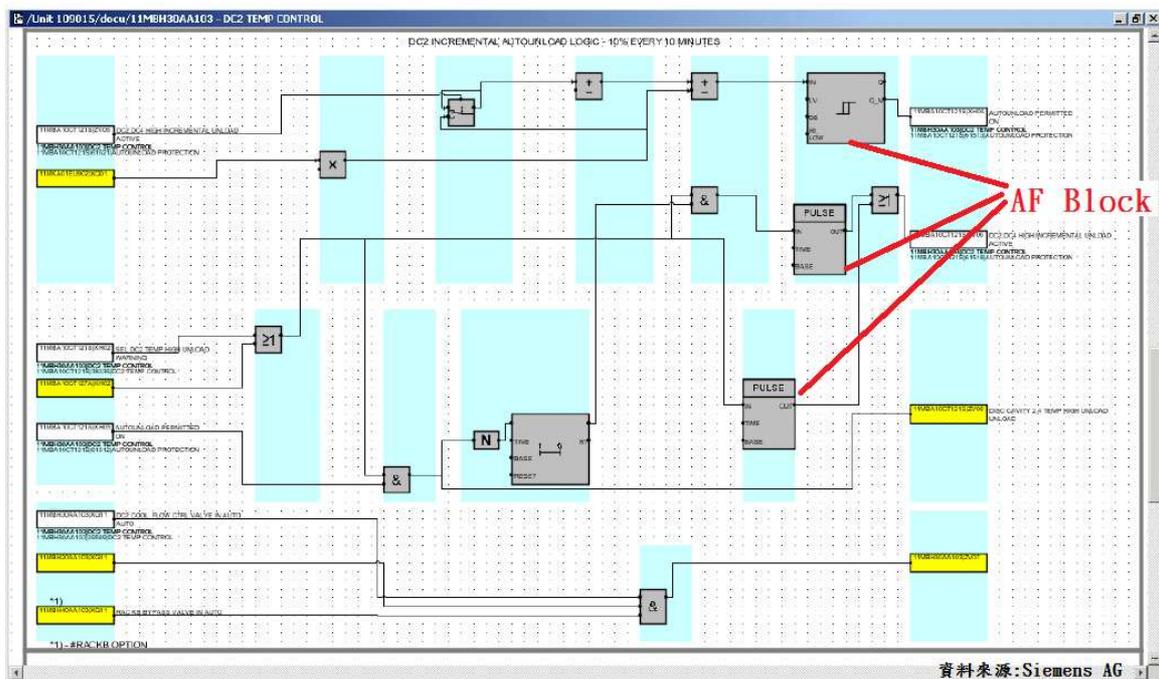
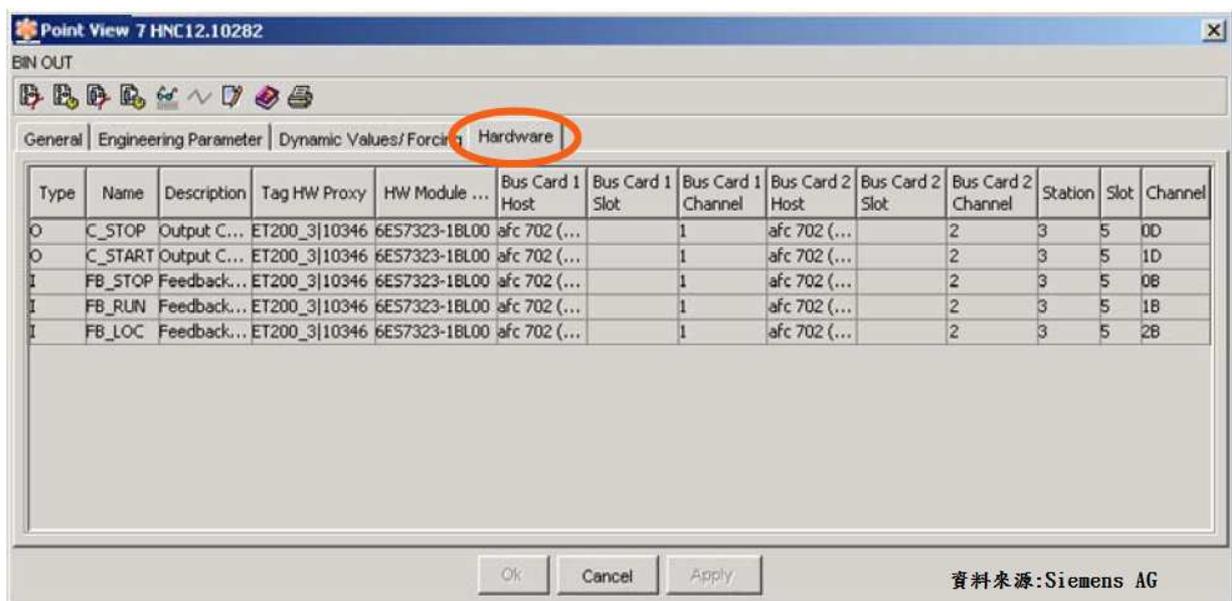


圖 (43) SPPA-T3000 Function Diagram

Point View 是一個可監視控制邏輯中的 Automation Function block (AF block) 動態資訊的一個應用程式，在流程圖上點選一個 AF block，再點選 Point View，即可進入 Point View 監視該 AF block 的各項即時資料、各項參數設定、執行時間、硬體連接設定等，若有足夠的權限也可以調整參數設定，如果這個 AF block 有連接至實體 Hardware 的 Input 或 output 也以 Force 這些點，以配合檢修工作，Point View 畫面如圖(44)。

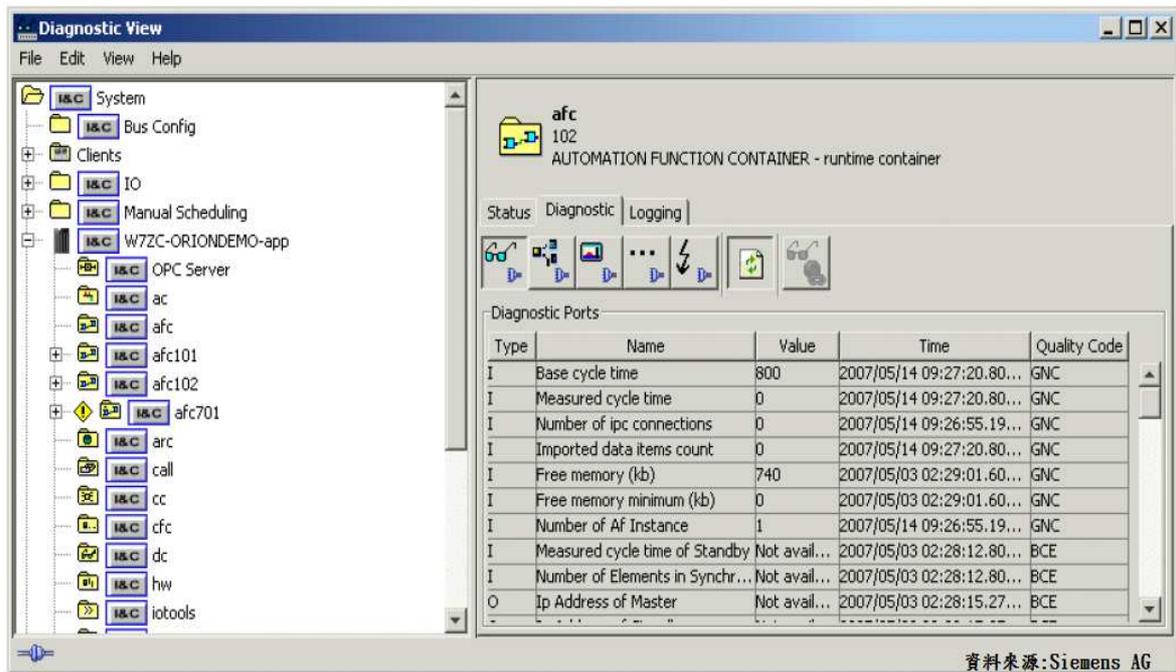


圖(44) Point View

系統監視是 SPPA-T3000 整體功能的一部份，可以即時且快速的對系統元件進行系統診斷，而不需要另外的安裝其他元件或設定，這裡所指的系統元件包括 DCS 元件，I/O 卡片及現場傳送器及控制元件。診斷的錯誤訊息相當詳細，足以提供維護人員參考，快速的排除故障情形。

當系統元件發生異常時，首先出示警報以提醒操作人員，操作人員可開啟 Diagnostic View(如圖 45)查看詳細的故障訊息，Diagnostic View 所提供的訊息包括有該元件的 Quality Code(Good, Bad or Fair)、Redundant 狀態、診斷故障情形(wire break, tag out……)、故障時間、硬體元件製造商及 Part number、軟體元件的版本等，並提供 On-Line

檢修手冊以供操作及維護人員參考。



圖(45)Diagnostic View

## 肆、心得與建議

1. 近年來各種 CCS 示範電廠如雨後春筍般的在歐、美、日、澳以及中國大陸成立，然而因為投資金額龐大、經濟效益不佳的關係目前尚無大規模的運轉機組。以台電公司目前的狀況不宜貿然推動如 Schwarze Pumpe Oxyfuel Pilot 這樣龐大的計劃，可行的作法是效法 Vattenfall 公司先和國內學術機構合作(Vattenfall 公司在 Oxyfuel Pilot Plant 計劃前即和 Brandenburg Technical University、Technical University of Dresden 等合作)，進行 1MW 以下的小型機組實驗測試，或是從現有的燃煤機組抽出部份燃氣進行 Post-combustion 的碳捕捉測試，重點是必須自己掌握核心技術。
2. CCS 於碳捕捉的技術除經濟效益的問題外，已算有一定的技術水準及實際的工作效果，然而最重要也是最困難的一環二氧化碳儲存尚無任何實際成果，根據 2007 年經濟學人(Economist)的一篇報導，1986 年在美国曾進行將 1600 噸二氧化碳注入地表下 1500 公尺的測試，結果數年之後，大部份的二氧化碳都回到了大氣之中，在 Ketzin CO<sub>2</sub> Storage Site 和研究員 Mr. Moller 討論這個問題時，他認為注入二氧化碳壓力太大可能是主要的原因，以在 Ketzin CO<sub>2</sub> Storage Site 的測試結果，他對二氧化碳地下儲存在德國的前景還是相當樂觀的。

Mr. Moller 曾和台灣的學術機關合作過，相較於德國穩定的地質結構，他對於台灣地震頻繁及斷層密集有很深刻的印象，他一再提醒二氧化碳地下儲存是否適用於台灣必須比德國做更多的研究和調查。二氧化碳捕捉的技術及設備或可由國外廠商提供，二氧化碳儲存場址的選用則必然是台電公司的責任，如果台電公司有意進行 CCS 的推動，必須及早進行全國性的地質調查，尋找可行的場址、調查可能潛在的可儲存量，並且進行實地的小規模、長時間觀察及測試。如果在台灣無法找到適當的場址或容量不足，則必須尋找國外可以合作的國家，或進行外海海底儲存。

3. 目前台電現有的燃煤機組都不具備 Capture Ready 的條件，除了所需相關的基礎設施不足外，排煙脫硫設備 FGD 也無法達到 Post-Combustion 二氧化碳捕捉機組所要求的高標準，在未來興建新機組或舊機組改建時，可能要考慮到這個問題。
4. CCS 只是將二氧化碳集中儲存，並不能減少二氧化碳，相反的在 CCS 的過程中製造了更多的二氧化碳，在地下岩層儲存數千年後，二氧化碳才能變成固體的礦物質，對環境不再有威脅。真正的低碳或無碳電力來源只有再生能源和核能，而再生能源如風力和太陽能受天候及地理環境影響並無法穩定供電，只有核能能提供真正低碳而穩定的電力，在人類還沒有找到其它可行的替代能源又必須減緩全球氣候變遷的前提下，不應輕言廢核。
5. 德國是相當重視環保的國家，再生能源發電佔全國發電量約 6%，在各國中算是比重較高的，即使有自產煤礦，德國的電價在歐洲各國中是偏高的，但也因為有高電價做為後盾，德國才能開發更多的再生能源，並積極的推動能商業運轉的 CCS 機組。歐洲各主要國家及台灣電價比較如表(5)，相較之下能源必須仰賴進口的台灣，電價低的實在不合理，即使以國民所得為基準來比較，只有法國和芬蘭稍低於台灣，而法國核能發電佔全國發電量的 77%，芬蘭除仰賴核能外，還有豐沛的水力資源。合理的調漲電價，可以達到以價制量的效果，台電公司也才有更多資源在環保減碳上做更多的努力。

	台灣	德國	法國	英國	荷蘭	芬蘭	義大利	西班牙	捷克
家庭用電電價(新台幣元/kwh)	2.6	10.6	5.6	6.3	7.5	5.9	8.3	8.0	5.9
年平均國民所得(美元)	18458	40631	41019	36120	47172	44489	34059	30639	18288

表(5) 台灣及歐洲各國電價比較表

\*資料來源:Europe Energy Portal 2011 年 7 月

國際貨幣基金 IMF 2010 年

\*台幣/歐元換算匯率:1/41

6. 從對參訪機組的了解及 Siemens AG 所提供的資訊，目前各新電廠控制系統的設置都傾向於單一而整合的控制系統，也就是說一部機所有的控制系統包括目前的 DCDAS、BIS、PIS、汽機控制、FGD 控制其它如水廠、出灰、吹灰控制等也都是使用同一系統且建構再同一網路上，以目前的網路科技能力足以應付這樣的系統資料流通量，單一系統具有下列的優點：

- (1) 維護人員不必花費太多的時間去認識不同的系統，而且可以相互支援，所以可以使用較少的維護人力。
- (2) 備品可以通用，可以減少備品的存量。
- (3) 操作員使用的操作介面皆相同，操作易容，且不會因為混淆而誤操作。
- (4) 可以整合全部控制系統的警報、歷史資料、操作事件等，方便管理。
- (5) 所有的信號資料都在網路流通，可以大量減少各系統間信號交換所需要的硬線。

以上係個人派赴德國研習富氧燃燒技術及相關控制系統之心得報告與建議，希望可提供台電公司做為將來新建電廠或更新舊電廠時的參考。