

出國報告（出國類別：實習）

大林電廠更新改建計畫超臨界機組海水法煙氣脫硫系統及其附屬設備設計、製造、測試、運轉及維護訓練報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：蔡瑞中 大林發電廠 鍋爐主機課長

黃昭源 發電處 運轉專員

花敬翰 核能火力發電工程處 汽機課長

朱毅逢 核能火力發電工程處南部施工處 機械工程專員

蔡明堂 核能火力發電工程處南部施工處 機械工程專員

派赴國家：日本及馬來西亞

出國期間：104年08月31日至104年09月25日

報告日期：104年11月3日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：大林電廠更新改建計畫超臨界機組海水法煙氣脫硫系統及其附屬設備設計、製造、測試、運轉及維護實習報告。

頁數： 36 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) 2366-768

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

黃昭源/台灣電力公司/發電處/運轉專員/(02)2366-6526

花敬翰/台灣電力公司/核能火力發電工程處/汽機課長/(02)-23229561

蔡瑞中/台灣電力公司/大林發電廠/鍋爐主機課長/(07)-8711151*351

蔡明堂/台灣電力公司/南部施工處/機械工程師/(07)-8711100*268

朱毅逢/台灣電力公司/南部施工處/機械工程師/(07)-8711100*268

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：104 年 08 月 31 日至 104 年 09 月 25 日

出國地區：日本及馬來西亞

報告日期：104 年 11 月 3 日

分類號/目

關鍵詞：排煙脫硫、超臨界、鍋爐、海水脫硫法

內容摘要：

公司目前既有燃煤電廠皆採用石灰石-石膏溼式脫硫法，此脫硫方式需耗用大量淡水及石灰石，且其脫硫後副產品石膏常有去化不易問題。大林發電廠新1、2號機超臨界燃煤機組採單爐雙吸收塔並配置煙氣熱交換器(GGH)的海水法脫硫系統，藉由高效率氣液交換的填料吸收塔可將煙氣中的SO₂濃度由515ppm減少

至 23ppm 以下，脫硫效率達 95%以上。

由於海水法排煙脫硫系統在本公司尚無任何運轉維護經驗，此次赴日本神戶 ALSTOM 公司研習相關技術，以確保海水法煙氣脫硫系統運轉可靠及性能符合電廠運轉及維護需求，盼有助於減少因海水排煙脫硫系統引起的機組停機損失，同時增進機組運轉安全。另外參觀馬來西亞 Manjung 電廠海水法排煙脫硫設備，瞭解兩者設計相異之處及運轉維護經驗作為將來新機組海水脫硫設備的參考。

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

出國報告審核表

出國報告名稱：大林電廠更新改建計畫超臨界機組海水法煙氣脫硫系統及其附屬設備設計、製造、測試、運轉及維護訓練。

出國人姓名 (2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
黃昭源	運轉專員	發電處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	

出國期間：104年8月31日至104年9月25日 報告繳交日期：104年11月3日

出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.建議具參考價值
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正,原因:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表:
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式:

報告人：
 單位主管：
 主管處主管：


 總經理：
 副總經理：

說明：

- 各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

目次

一、研習目的與過程	2
(一)研習目的.....	2
(二)實習課程.....	2
二、研習內容	4
(一)前言	4
(二)海水排煙脫硫之理論.....	5
(三)系統流程及配置.....	6
(四)設備介紹.....	9
(五)海水排煙脫硫系統運轉介紹.....	25
三、MANJUNG 電廠見習.....	30
四、心得與建議	33

一、研習目的與過程

(一)研習目的

本次出國實習課程內容為大林發電廠更新改建計畫海水法煙氣脫硫系統及其附屬設備設計、製造、測試、運轉及維護實習。透過本次訓練，除瞭解海水法排煙脫硫系統之安裝、運轉、維護相關知識，亦學習該系統在運轉、維護時可能遭遇之問題，以確保新機組設備性能符合電廠運轉及維護需求，以利日後設備的運轉及維護，盼有助於減少因海水排煙脫硫系統引起的機組停機損失同時增進機組運轉安全。

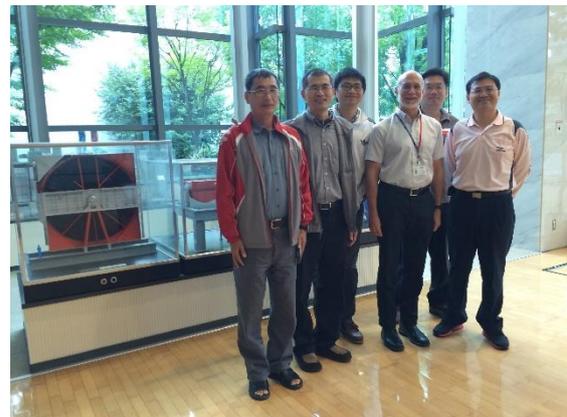
(二)實習課程

起 訖 日	機 構 名 稱 及 實 習 內 容
8 月 31 日	赴日本神戶 ALSTOM 公司
9 月 01 日至 9 月 04 日	海水排煙脫硫系統設計介紹
9 月 7 日至 9 月 11 日	海水排煙脫硫系統機械設備介紹
9 月 14 日至 9 月 17 日	海水排煙脫硫系統儀控設備介紹
9 月 18 日	赴馬來西亞吉隆坡
9 月 21 日至 9 月 23 日	赴 TNB 電力公司 MANJUNG 電廠見習海水排煙脫硫設備

9月24日	吉隆坡 ALSTOM 公司
9月25日	返台灣



室內上課討論情形



與講師合影



與講師合影



與 Manjung 電廠人員合影

二、研習內容

(一)前言

公司現有商轉之燃煤機組計有台中及興達電廠，更新改建中之燃煤機組則有林口、大林電廠。煤炭的成分除了有碳氫元素以外，還有一些少量的不純物，煤炭在爐膛內燃燒氧化後會產生二氧化碳(CO₂)、硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)等各種空氣污染物質。而二氧化碳、硫氧化物，氮氧化物等致酸物質，會在空氣中與水氣結合形成酸性物質，形成酸雨降落地面，造成環境惡化。

為了降低排放至大氣之燃氣內硫氧化物濃度，必須利用排煙脫硫系統(FGD, Flue Gas Desulfurization)。目前台中與興達電廠皆使用溼式排煙脫硫，而溼式排煙脫硫系統是以石灰石作為吸收劑，其特點為應用廣泛且有副產品石膏，但除硫過程中必須使用大量淡水，除硫後將產生大量廢水待處理。海水脫硫法使用機組冷卻海水除去煙氣的二氧化硫，除硫後海水經打入空氣曝氣後達到環保標準後排放至大海。相較於石灰石-石膏溼式脫硫法，海水脫硫法無石灰石開採運輸、廢水和石膏處置及大量使用淡水等問題，又建造及運轉維護費用較低等優點，成為臨海電廠煙氣脫硫不可或缺選項。

大林海水排煙脫硫是以海水做為吸收劑，其特點有：

1. 技術成熟，SO₂脫除效率高。
2. 系統簡單，運維成本相對較低，亦無需添加化學藥劑。
3. 無二次污染與副產品產生。

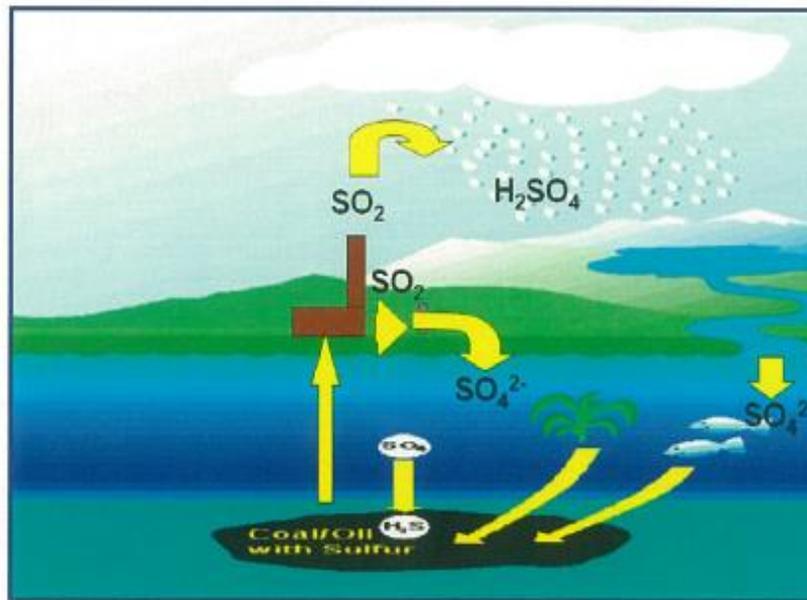
大林電廠 800MW 超臨界燃煤機組海水法排煙脫硫系統由 ALSTOM 公司設計，依合約要求採用雙煙路雙吸收塔並配置煙氣熱交換器(GGH)，脫硫效率達 95%以上設計，控制排放二氧化硫濃度在 23PPM 以下，曝氣池採用二級氣曝可將排放海

水 pH 值提高至 6.8 以上。

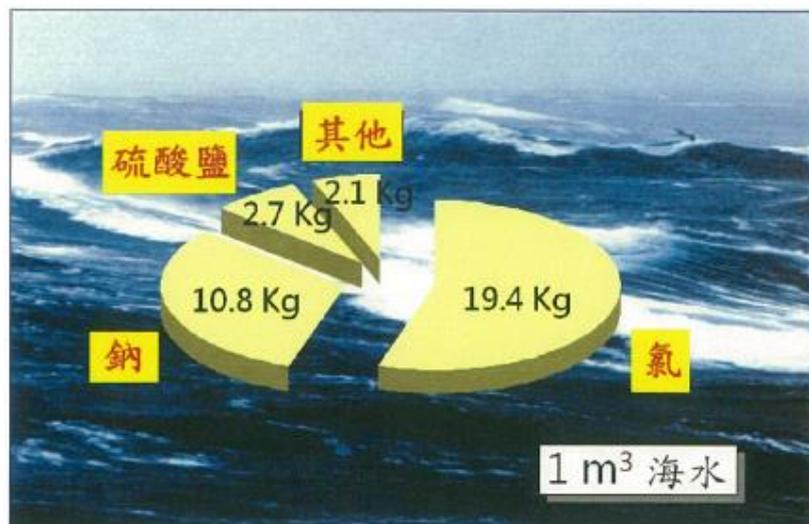
(二)海水排煙脫硫之理論

海水脫硫是利用海水的天然鹼性溶解和吸收煙氣中 SO_2 。正常海水中含有約 3.5%的鹽分，碳酸鹽約占海水中鹽分的 0.34%，海水不斷與海底和沿岸的鹼性沉澱物接觸來維持海水中碳酸鹽的平衡。河流不斷的將可溶性的石灰石送入大海，海水中的這種成分使得海水具有大量吸收和中和二氧化硫的能力。

自然界中硫的循環過程：

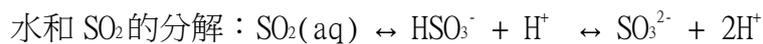
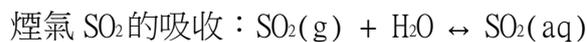


海水的組成分析：

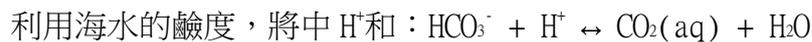


煙氣中的 SO_2 首先在吸收塔中被海水吸收生成 SO_2 水溶液，而 SO_2 水溶液分解亞硫酸根離子 SO_3^{2-} 和氫離子 H^+ 。而 SO_3^{2-} 不穩定，容易分解， H^+ 顯酸性，當海水中 H^+ 濃度的增加，將導致海水 pH 下降成為酸性海水。吸收煙氣中的 SO_2 後海水變化酸性海水後，必須加入部份鹼性海水利用海水的鹼度 HCO_3^- 來中和，氫離子 H^+ 成水合狀態二氧化碳。強制打入空氣後使水中 SO_3^{2-} 氧化成海水中原來就有的 SO_4^{2-} 硫酸根離子，並使水合狀態二氧化碳轉為氣態二氧化碳排入大氣，消耗氫離子 H^+ 提高酸性海水 pH 值，整體化學反應式如下所示：

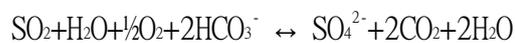
1. 吸收塔內的反應：



2. 在海水處理池的反應：

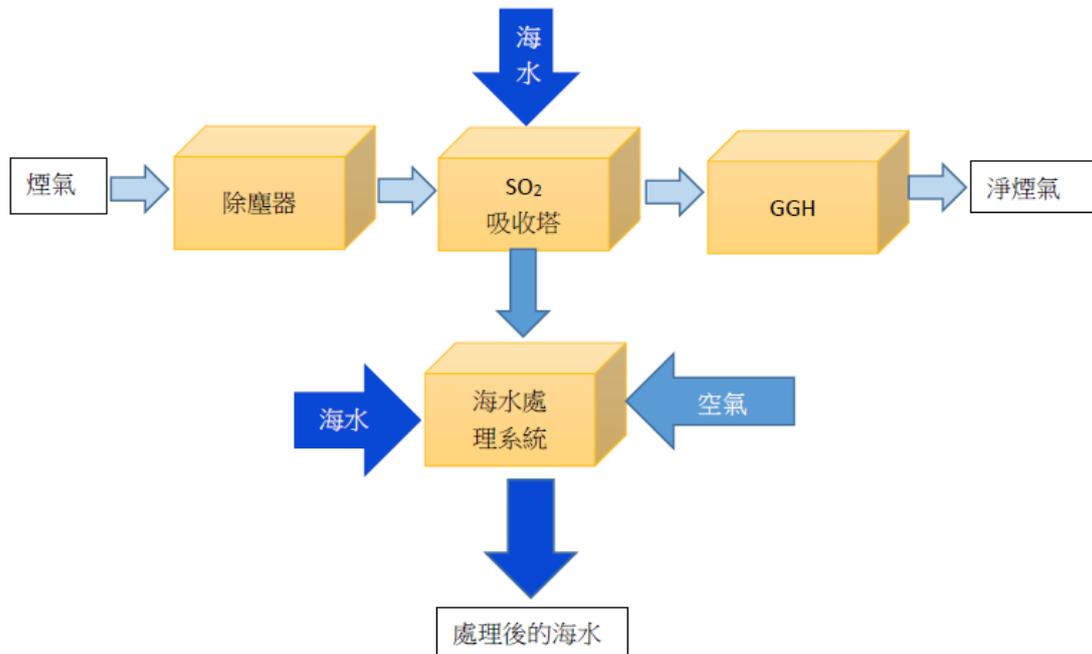


3. 總反應式：



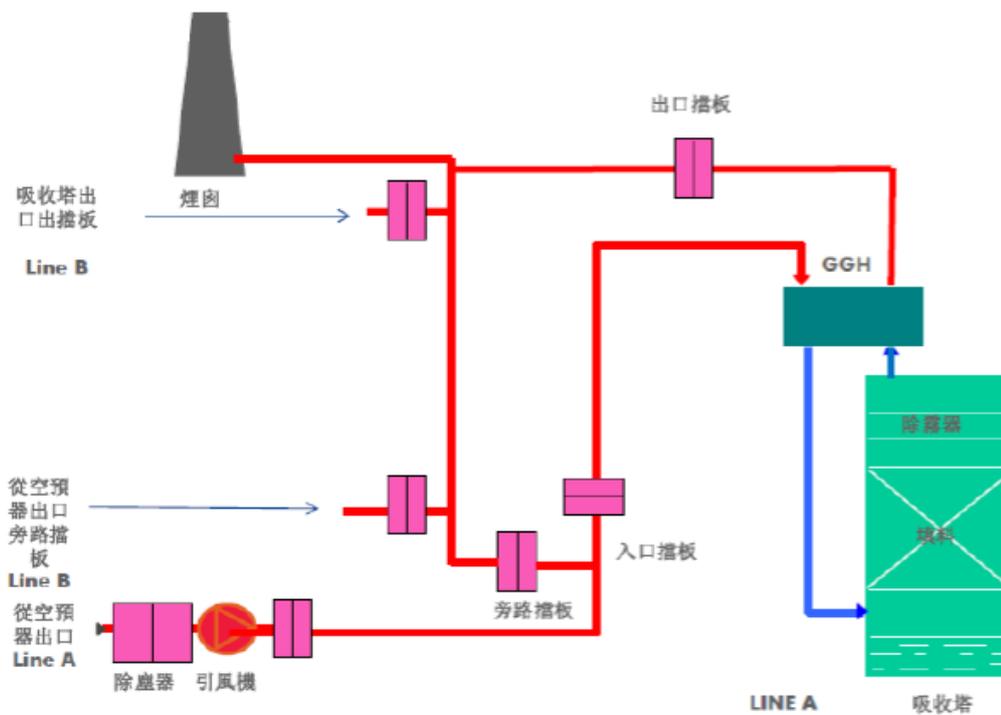
(三)系統流程及配置

煙氣流程簡圖：

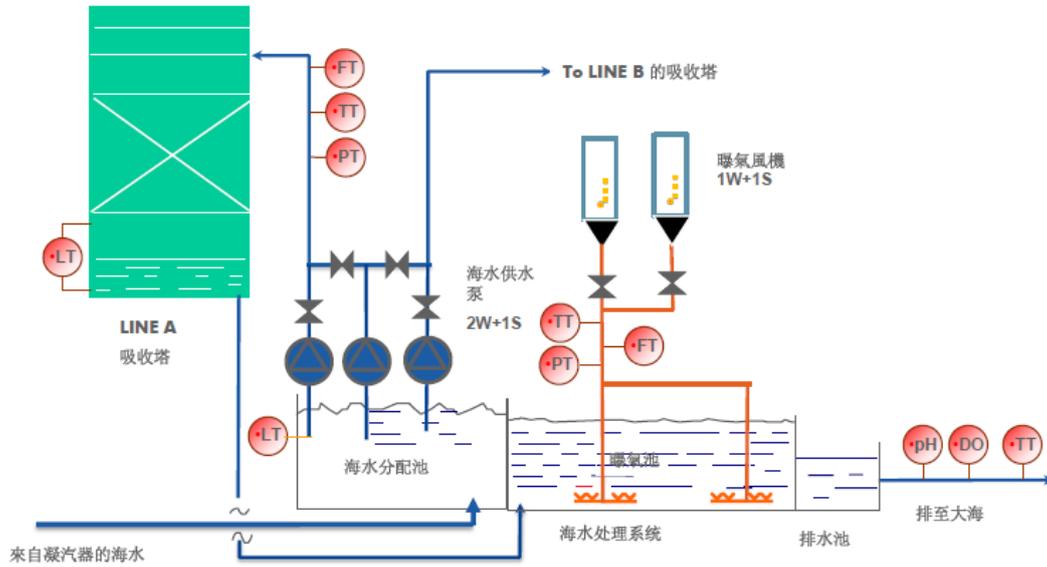


海水排煙脫硫系統介紹：

煙氣側系統流程圖：



海水側系統流程圖：



大林電廠海水脫硫系統設計基礎：

入口煙氣：流量：2,512,502Nm³/h (VWO/MCR)(@ wet, actual O₂)

SO₂: 522.2 vppm (@ dry, actual O₂)

灰塵：7mg/Nm³

海水：鹼度：110~137 mg/L as CaCO₃， pH: 8.0~8.1

鹽度：3.28~4.37%， 溶解氧：5.9~6.4 mg/l

海水法排煙脫硫系統在 100% MCR(Maximum Continuous rating)條件下之設計排放值：

1. 煙氣排放：

煙囪入口 SO₂：≤ 23(6% O₂, dry)

煙囪入口溫度：≥90°C (30%到 100% MCR 鍋爐負荷條件下)

2. 海水排放：

pH : >6.8

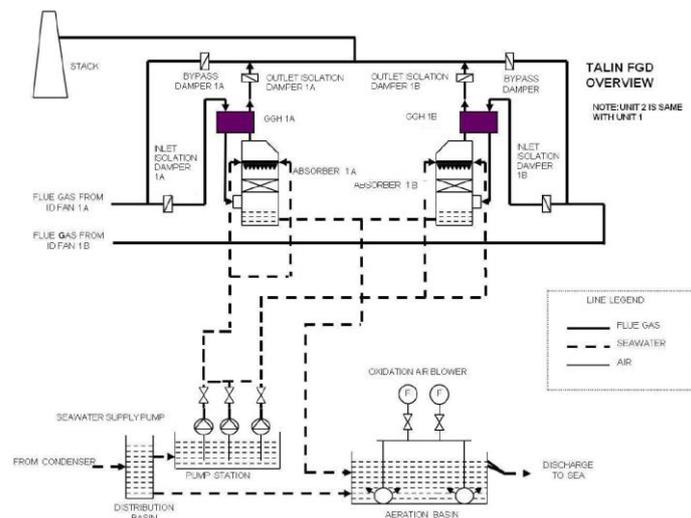
懸浮物增量 : ≤ 1.0 mg/l

化學耗氧量(COD)增量 : ≤ 2.0 mg/l

溶解氧(DO) : $\geq 80\%$ 。

大林電廠海水脫硫系統配置要求(如下圖)：

1. 每台機組的煙氣從空氣預熱器出來後分成兩路，分別進入各自的袋式除塵器、引風機和脫硫系統。每路脫硫系統設置一個吸收塔和 GGH。
2. 兩路從 GGH 出來的淨煙氣匯合成一路，進入煙囪，2 台機組的煙氣共用一根混凝土煙囪。
3. 煙氣系統不設增壓引風機，脫硫系統的阻力由引風機克服。
4. 每台機組的兩個吸收塔的海水排放到一個曝氣池後進行曝氣處理。

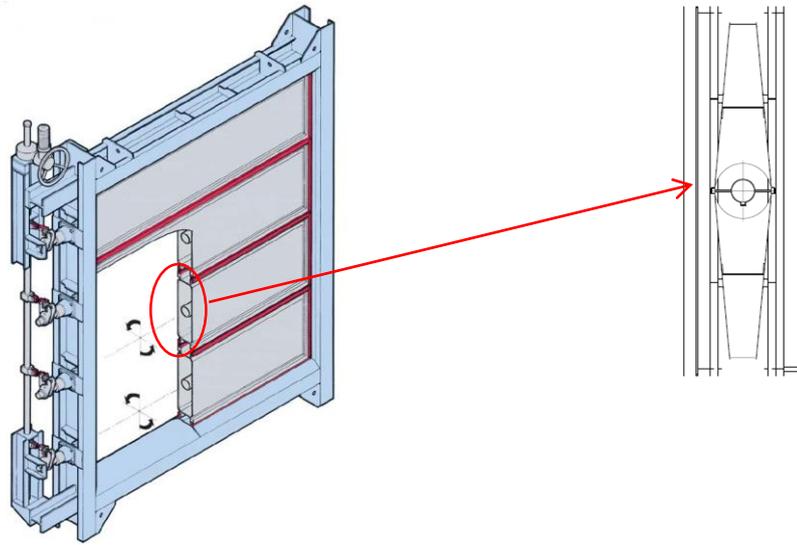


(四)設備介紹

- 機械設備介紹：

1. 煙氣擋板門：

主要功能為隔絕煙氣並且保護 FGD 系統，其類型為帶密封風的單軸百葉窗式擋板門，如下圖：



擋板門為帶密封風的單軸百葉窗式擋板門，2*100% 擋板門密封風系統。總計包含 12 台密封風機。FGD 入口和 FGD 旁路擋板門密封風系統包含加熱，FGD 出口擋板門密封風系統不包含加熱器，相關規範詳列於下表：

風門規範

	FGD 入口擋板門	FGD 旁路擋板門	FGD 出口擋板門
類型	帶加熱密封風的單軸百葉窗式擋板門	帶加熱密封風的單軸百葉窗式擋板門	帶加熱密封風的單軸百葉窗式擋板門
外部尺寸(W*H),mm	9,800*3,500	5,600*5,600	8,000*3,500
葉片數量	2+2	3	2+2
框架材質	A588	A588+C276 cladding	A588+C276 cladding
葉片材質	A242	C276	C276

密封片材質	C276	C276	C276
驅動器類型	電動驅動器	氣動驅動器	電動驅動器
供應商	CBPG	CBPG	CBPG
驅動器數量(每個風門)	1	2	2

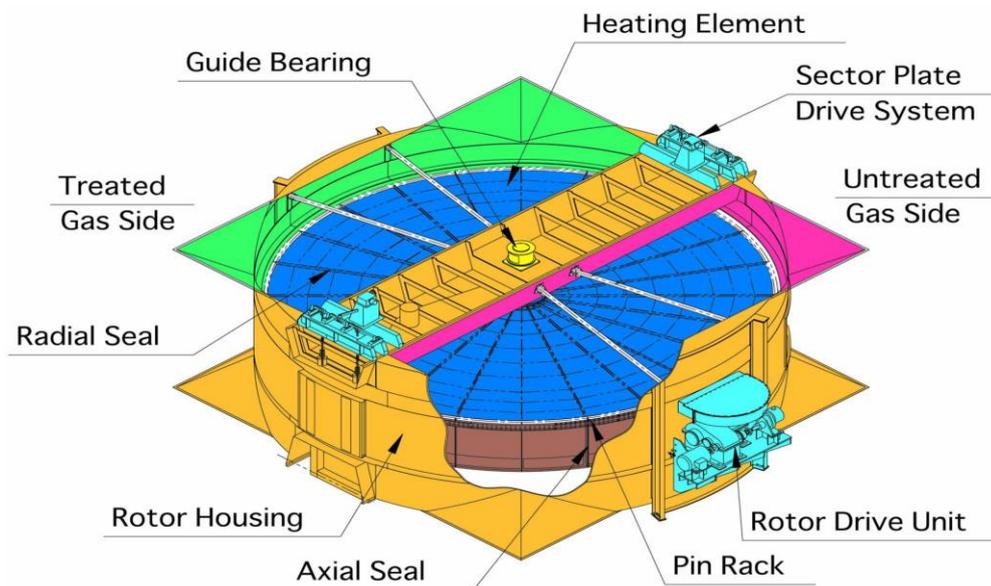
2. 煙氣熱交換器(GGH)

功用為降低進入吸收塔的煙氣溫度，同時加熱脫硫後吸收塔出口之煙氣。將溫度提高至 90°C 以上排放，以防止煙囪遭低溫煙氣腐蝕，並避免白色煙霧產生。

性能要求: 洩漏率<1%

形式: 容克式/迴轉式

廠牌: ARVOS



(1) GGH 主體材料：

轉子: A588，換熱元件盒: A588，殼體: A588

加熱元件: 1.0399 DC03ED acc. to DIN EN 10209

頂部扇形板：A588，底部扇形板：A588，軸向密封板：A588，環向密封板：
A588

(2) GGH 清洗系統：

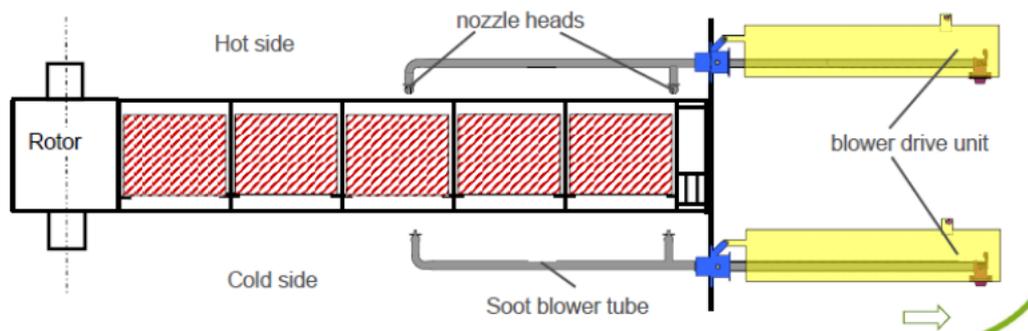
由兩套可完全伸縮的噴槍組成(在轉子兩側)，可以用 5.5~6.5Bar、溫度高於 293°C 的蒸氣吹灰和高壓水進行清洗。當 GGH 壓降達到 1.5 倍初始乾淨狀態壓降時，人員啟動高壓水清洗，清洗壓力大約為 100 bar，耗水量 7.5 m³/h，持續大約 11 hours；低壓水清洗為離線運行清洗壓力大約 2~5 bar，耗水量 27~42 m³/h。

CLEANING SYSTEM

Soot-blower

The soot blower devices (one at the cold side and one at the hot side) consists of:

- soot blower tubes
- HP tubes (parallel to the steam piping)
- nozzle heads with steam nozzles and nozzles for HP water
- blower drive units (inside the soot blower casing)



CLEANING SYSTEM

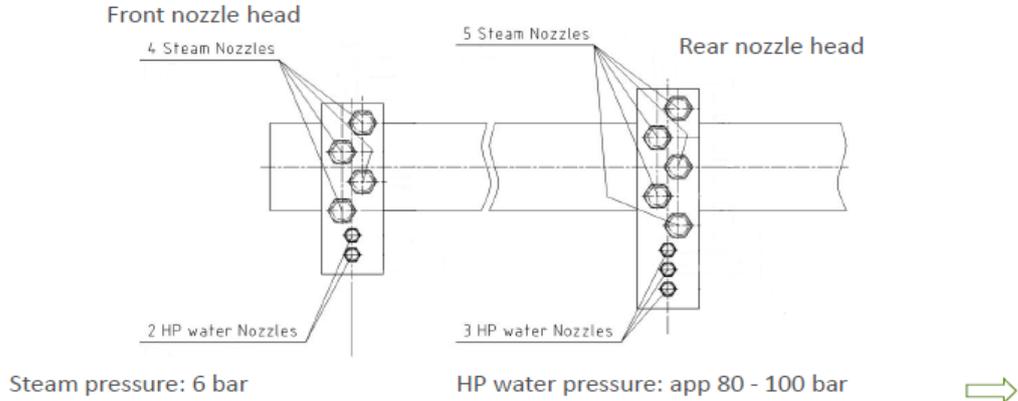
Soot-blower (nozzle heads)

Front nozzle head

Steam nozzles 4 x Ø 7 mm
HP nozzles 2 x Ø 1.46 mm

Rear nozzle head

Steam nozzles 5 x Ø 7 mm
HP nozzles 3 x Ø 1.46 mm



(3) 驅動裝置：

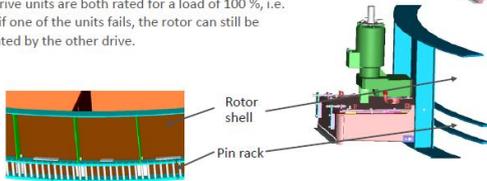
兩套各 100%之齒輪傳動交流電機驅動系統。

每套系統均可單獨運行，平時兩套齒輪傳動交流電機同時運轉。

DRIVE UNITS

General

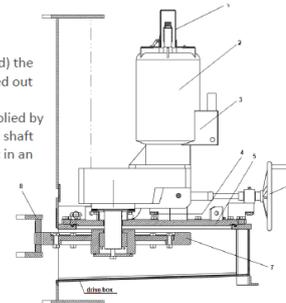
- The rotor is driven by two pole-changeable electro-mechanical drive units with a soft-start device.
- Both drive units consist of an electric geared motor and a gear rim which engages into the pin rack mounted on the rotor shell.
- The drive units are both rated for a load of 100 %, i.e. even if one of the units fails, the rotor can still be operated by the other drive.



DRIVE UNITS

- Each drive unit is mounted on a swivel plate. In case of a GGH shut-down (drive deactivated) the drive can either be engaged into or disengaged out of the rotor pin rack.
- The toothed wheel housing (drive box) is supplied by seal air. This seal air prevents the gear output shaft from being exposed to gas which might result in an overheating or corrosion to the gear output shaft.

- | | |
|------------------|-------------------------------|
| 1 protective cap | 6 hand wheel |
| 2 geared motor | 7 gear wheel |
| 3 terminal box | 8 pin rack on the rotor shell |
| 4 oil discharge | 9 safety switch |
| 5 swivel plate | |

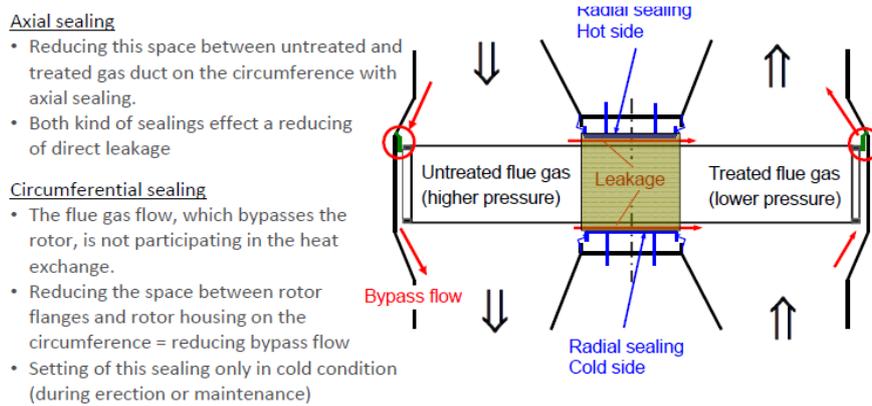


- For inspection and maintenance purposes the rotor can manually be turned with a hand crank or a wrench on the second shaft end of the electric motor.

轉子速度：1.5 RPM — 正常工作和吹灰，0.75 RPM—水沖洗時。

(4) 密封裝置：

GGH 為迴轉式煙氣熱交換器，以較高溫較高壓的未處理煙氣加熱儲熱元件後迴轉加熱較低溫低壓、脫硫後的煙氣，因此較高壓的未處理煙氣會由迴轉間隙向脫硫後的煙氣洩漏。為減少迴轉間隙以降低洩漏，裝設軸向氣封片及週向氣封片以減少軸向及週向迴轉間隙以降低洩漏。



徑向洩漏:以電動調整徑向密封板間隙系統，配合密封煙氣風扇抽取乾淨煙氣吹向徑向密封板以減少徑向洩漏。

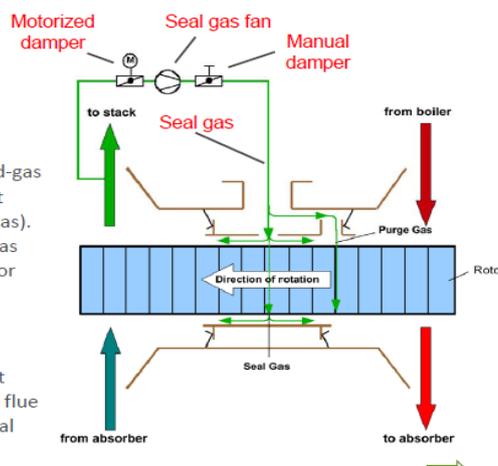
SEAL GAS SYSTEM

General

- Additional leakage reduction system
- Distinction two kinds of leakages
 - Direct leakage
 - Entrained leakage
- The seal gas is taken from the treated-gas duct downstream of the flue gas duct system (desulfurized, reheated flue gas).
- Via the seal gas system this treated gas is led to the respective connections for subsequent leakage minimization (entrained and direct leakage).

Reduction of direct leakage

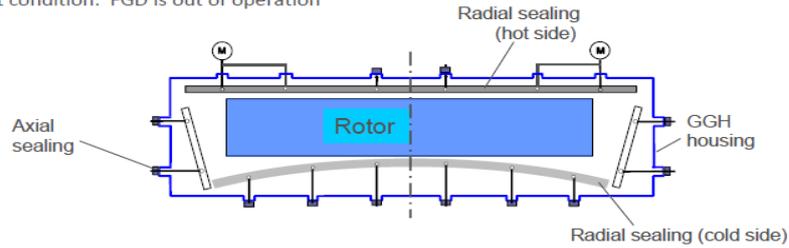
- In order to further reduction of direct leakage seal gas (reheated untreated flue gas) is used supporting the mechanical sealing.



ELECTRO-MECHANICAL SEALING SYSTEM TOP SIDE

Behaviour of rotor during operation

Plant condition: FGD is out of operation



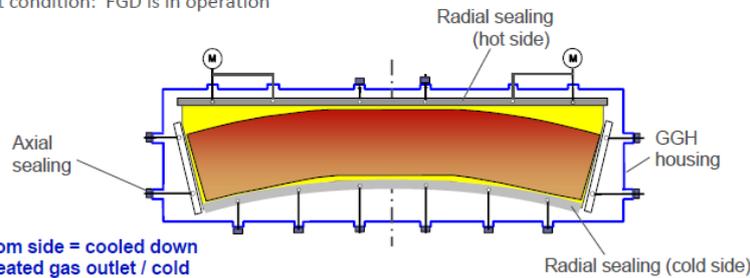
- The gaps between sealing plates (axial and radial sealing) and rotor are adjusted acc. the calculation.
- After take over flue gas the rotor shall turn in its housing contact free after dilatation.

ELECTRO-MECHANICAL SEALING SYSTEM TOP SIDE

Behaviour of rotor during operation

Plant condition: FGD is in operation

top side = hot untreated gas inlet from boiler / reheated treated gas outlet = hot side



bottom side = cooled down untreated gas outlet / cold treated gas inlet = cold side

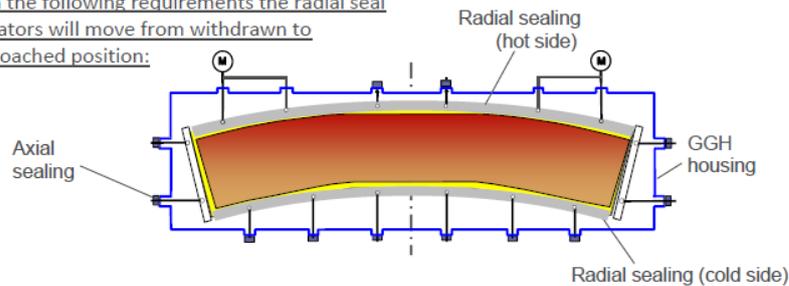
- Different temperature levels hot / cold side → different thermal expansion → dilatation of rotor
- During operation with flue gas the space between rotor and radial seal hot side is increasing.
- The space on hot side will be minimised by approaching the sealing via radial seal actuator.



ELECTRO-MECHANICAL SEALING SYSTEM TOP SIDE

Automatic operation

With the following requirements the radial seal actuators will move from withdrawn to approached position:



- Subgroup Radial Seal is switched ON
 - No withdrawing condition present
 - FGD in operation
 - Untreated flue gas inlet temperature > 120 C
- } Both conditions must be fulfilled for more than 1 hour



密封風機: 2 x 100% (在空氣加熱系統工作時, 兩台風機同時啟用, 平時 1 臺工作), 送風至各個密封點(吹灰器, 轉子輪轂)。僅 FGD 旁路接通時, 3 x 50 kW 加熱器啟用; 提供乾燥的熱保護空氣(電加熱器保證加熱空氣)。熱空

氣通過 GGH 原煙氣入口和淨煙氣出口進入 GGH 對內部進行乾燥。

(5) GGH 輔助設備：

HP pump/高壓水泵

Seal air fan + Conservation system /密封風機+空氣加熱系統

Seal gas fan(Low leakage fan)/低洩漏風機

Lube oil pump / 潤滑油泵

3.吸收塔：

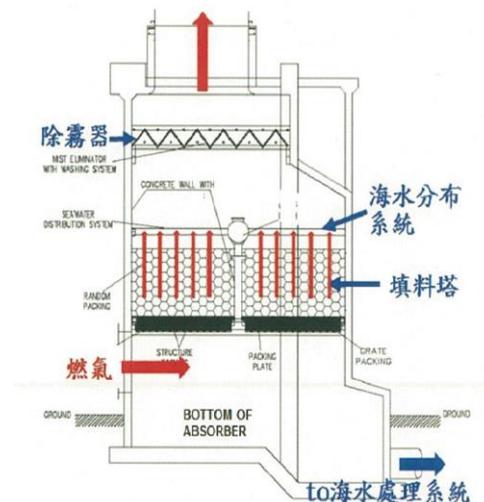
功能:引入海水吸收煙氣中的 SO₂。

吸收塔殼體材料：帶防腐襯裡的混凝土。

吸收塔尺寸(L*W*H) m: 11.5 × 14.5 × 17.5。



大林電廠#2 機吸收塔外觀



吸收塔填料：散裝和結構的聚丙烯填料。

安裝數量：2套/爐。

海水分配水系統材質：6-Mo。

除霧器材：FRP 和 PSU。

吸收塔為混凝土結構的填料塔，填料由 0.65 公尺厚的結構填料加上 3.25 公尺厚的散裝填料構成，海水噴淋管在散裝填料上方。結構填料功用為梳理煙氣使煙氣能均勻全面進入散裝填料中，散裝填料功用為使上面撒落的海水在其表面形成液膜分佈，以充份吸收煙氣中的二氧化硫，脫硫後的煙氣經除霧器除去水滴後，進入煙氣熱交換器(GGH)熱交換後將溫度提高至 90°C 以上排放。

(1) 防腐襯裡：

襯裡是幾層玻璃增強纖維樹脂材料，防止泄漏污染環境和腐蝕鋼筋。

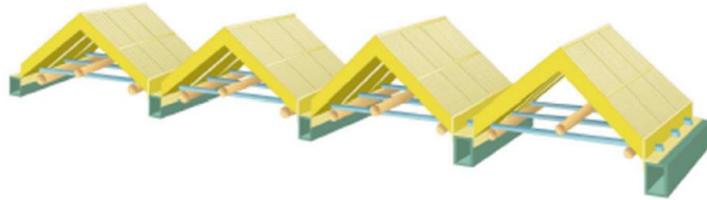
Layer	Materials	Thickness(DFT)
Primer	Oxydur VE-BL Laminating Sol.	0,05 mm
Scratch coat (0,5 kg / m ²)	Oxydur VE-BL Laminating Sol. / Oxydur WV Pc	0,25 mm
Primer (conductive)	Oxydur BL-SR LF Primer conductive	0,30 mm
Base coat	Oxydur VE-BL Laminating Sol. / Oxydur WV Pc	0,60 mm
Reinforcement	OXYDUR VE-BL Laminating Solution 1 x 450 gr, glass mat + 30 gr. Cloth	1,10 mm
Topcoat	STEULERFLAKE VSM	0,50 mm
	Total:	2,50 mm
	Minimum:	2,50 mm
	Maximum:	3,80 mm

(2) 除霧器：

當含有霧沫的氣體以一定速度流經除霧器時，由於氣體的慣性撞擊作用，霧沫與波形板相碰撞而聚集的液滴大到其自身產生的重力超過氣體的上升力與液體表面張力的合力時，液滴就從波形板表面上被分離。

除霧器波形板的多折結構增加了霧沫被捕集的機會，未被除去的霧沫在下一個轉彎處經過相同的作用而被捕集，如此反覆作用，從而大大提高了除霧效率。氣體通過波形板除霧器後，基本上不含霧沫。

主要參數:



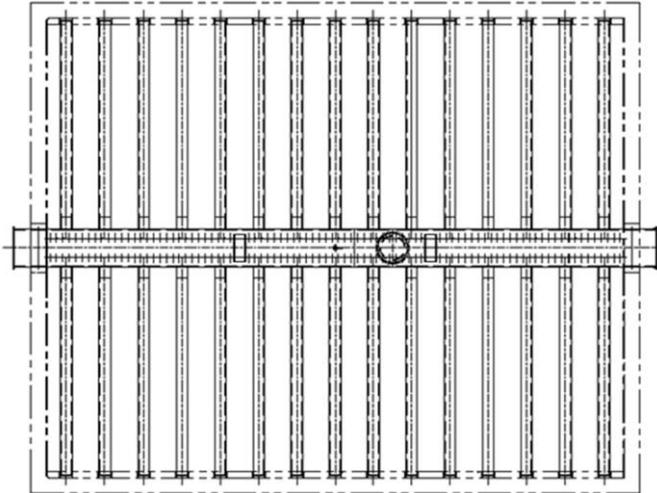
Supplier / Manufacturer		:	RPT
Type		:	MEV 32 roof, Chevron
Standard ME module dimension	mm	:	600 × 2500 (L × W)
Wall thickness	mm	:	1.9
ME module		:	Polysulfone
Support parts		:	C276
Cover plate		:	FRP
ME washing pipes		:	C276
ME washing nozzles		:	C276

除霧器需定期沖洗，至少一周一次。可以在低負荷狀態下進行。如系統停機或事故狀態，沖洗程序必須重複三次。

(3) 海水分配系統：

海水分配管主要功能為將海水均勻分配灑落至整個吸收截面散裝填料上。海水噴淋管的海水是抽取部分機組冷卻海水，進入吸收塔吸收 SO₂ 後成為酸性的海水，經由吸收塔底部排放管排放並與另一部份冷卻海水混合後進入氣曝池進行第一級氣曝後，再與其餘冷卻海水混合後進行第二級氣曝，使排放海水 pH 值達 6.8 以上。

3. ABSORBER SEAWATER DISTRIBUTION SYSTEM				
3.1	Description		:	Absorber seawater distribution system
3.2	Supplier / Manufacturer		:	Alstom
3.3	Dimension	mm		Header: ID900 Branch: ID263
3.4	Quantity (per SWFGD system unit)	Set	:	2
3.5	Material		:	UNS S31254
3.6	Location Area / Area Classification		:	Power station, inside of absorber



(4) 填料:

吸收塔填料是塔內件的重要部分，填料是由注塑成型為海水吸收煙氣中的 SO_2 提供較大的接觸面積，可分為結構型填料、散堆填料。

結構型填料：將吸收塔內的煙氣分佈均勻，材料為聚丙烯(Polypropylene)，高度 0.65m。



散堆填料：使淋落海水在其表面形成液膜分佈增大海水吸收煙氣的面積，材料為聚丙烯(Polypropylene)，高度 3.25m。



4. ABSORBER PACKING				
4.1	Description		:	Absorber packing
4.2	Supplier / Manufacturer		:	BIOBE AS
4.3	Type		:	Structure & Random
4.4	Quantity (per SWFGD system unit, 2 absorbers)	pcs	:	Structure packing: 48,000 Packing plate: 900 Bracket plate: 3600
		m ³	:	Random packing: 1220
4.5	Material		:	GRP for packing plate GRP for bracket plate PP for structure packing PP for random packing
4.6	Tolerance		:	DIN 16091
4.7	Design Load	KN/m ²	:	0.8 for Packing plate
4.8	Location Area / Area Classification		:	Power station, inside of absorber

性能及運轉要求：

- 吸收塔入口煙道的煙氣溫度，
- 吸收塔內填料所產生的壓降，
- 吸收塔內除霧器所產生的壓降，
- 吸收塔出口和入口之間的壓降。

4. 海水供水泵：

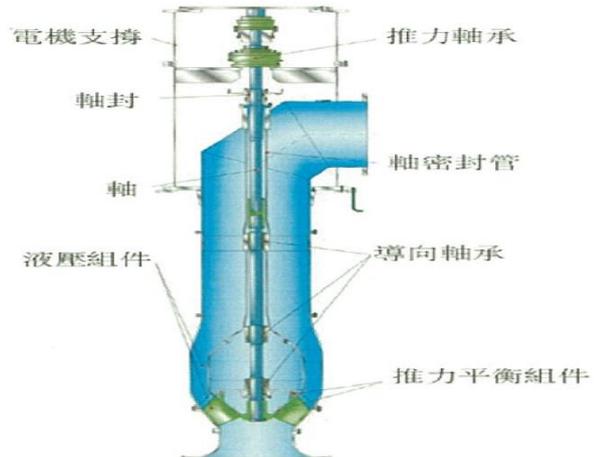
型式：立式混流式。

安裝數量：3 台（每部機組）。

運轉台數：2 台（每部機組）。

流量：8,000m³/h。

揚程：~14.5m。



將泵池之新鮮海水輸送至吸收塔，並從吸收塔兩側進入海水分配母管，三台立式混流泵供應二個吸收塔，其中一台備用。海水泵啟動為閉閥啟動，海水泵啟動後才逐漸打開出口閥門。

5. 海水閥：

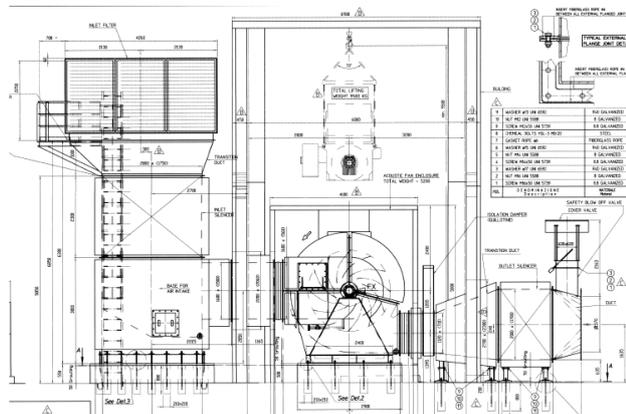
電液閥安裝在每台海水泵的出口處。

1	類型	電動液壓蝶閥
2	尺寸	DN1200
3	閥體	A536襯膠
4	閥板	A744 CF8M襯膠
5	供應商	CEPHAS

6. 曝氣風機：

型式：離心式。

安裝數量：2 台（每部機組）。



運轉台數：1 台（每部機組）。

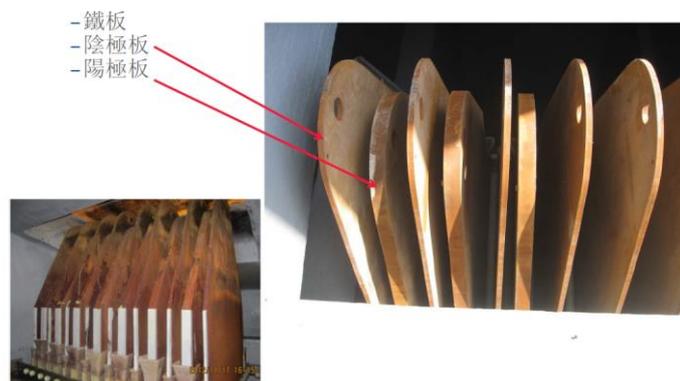
流量：112,000m³/h。

揚程：~27.9kPa。

7. 海水調質系統：

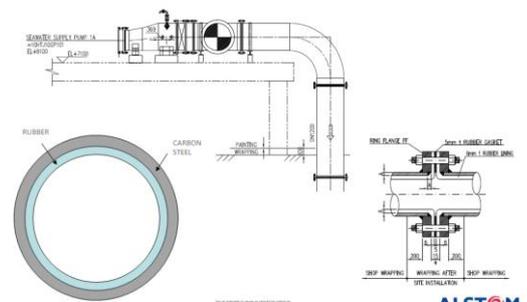
海水調質系統（SWCS, Seawater Conditioning System）海水加鐵離子的系統，提高海水鐵離子的濃度，可加速海水中亞硫酸鹽氧化的速率。大林電廠是使用直流電電解鋼板產生鐵離子。

海水調質系統是一個備用系統，當海水來水中的鐵離子濃度小於 0.1mg/l，排水水質不能滿足要求才正常運行否則以最低電流 7.5A 運行備用。



8. 海水管：

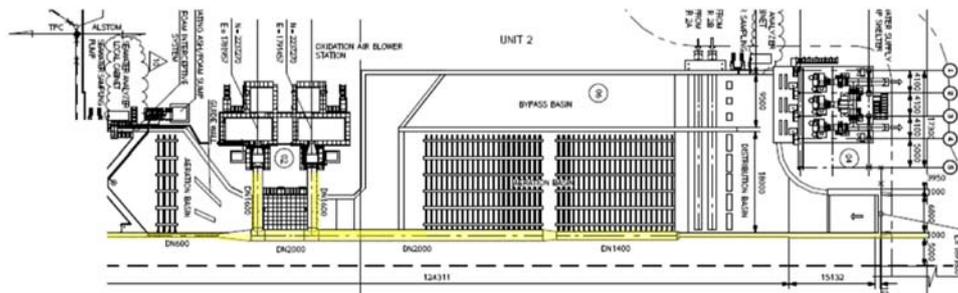
海水管為內襯橡膠鋼管（Rubber Lined Pipes），內襯耐磨、防腐以及耐高溫的橡膠作為襯裏層，通過橡膠自身物理和化學性能從而降低了管路輸送介質對外部結構的作用如沖擊力、腐蝕等，其由於橡膠的緩沖作用，大大延長了管路的使用壽命，降低的使用者的成本。



9. 海水處理系統：

主要是用來處理調控脫硫排放海水的 pH、DO 和 COD 值，脫硫酸性海水曝氣前必須與未用於脫硫的鹼性海水適量混合來調節至較適宜於亞硫酸根曝氣氧化的 pH 值，並配合合理的曝氣才能實現排放海水 pH 值要求 (pH≥6.8)。

大林電廠新建機組取部分冷卻海水 (約 12%冷卻海水總量) 進入吸收塔脫硫，脫硫後酸性海水曝氣前必須與未用於脫硫的鹼性海水(約取 31%冷卻海水總量) 混合後經第一級曝氣(約 92%總曝氣量)後再混合其餘冷卻海水(約 57%冷卻海水總量) 經第二級曝氣(約 8%總曝氣量)後將海水 pH 提高至 6.8-7，化學耗氧量 (COD) 增量: ≤ 2.0 mg/l，溶解氧 (DO) : ≥80%符合環保標準排放。



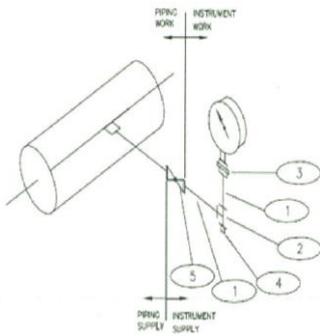
大林電廠海水曝氣池

10. 除泡系統：收集海水處理池中產生的泡沫。

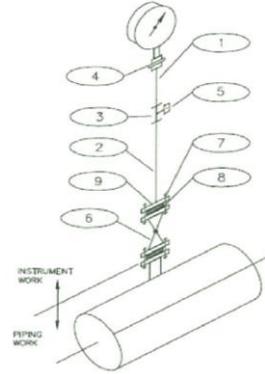
● 儀控設備介紹：

1. 壓力錶(pressure gauge)的現場安裝：

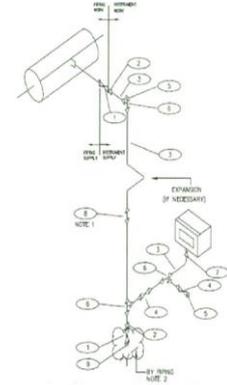
a. 介質為水的安裝方式



b. 介質為空氣的安裝方式

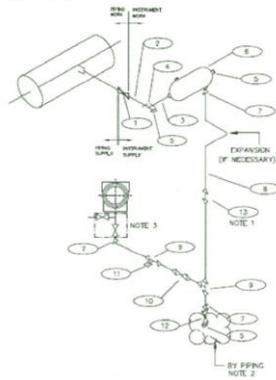


c. 介質為液體的安裝方式

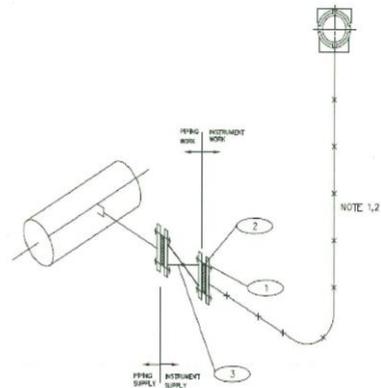


2. 壓力傳送器(pressure transmitter)的現場安裝：

a. 介質為蒸汽的安裝方式



b. 介質為海水的安裝方式



(五)海水排煙脫硫系統運轉介紹

- 海水排煙脫硫系統之啟動、停止及緊急停機條件：

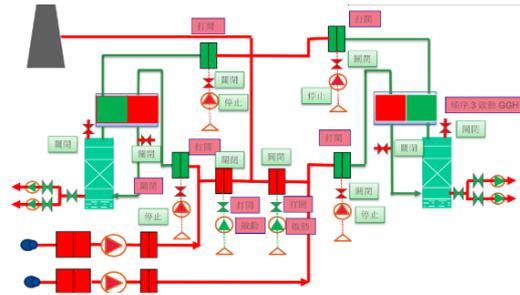
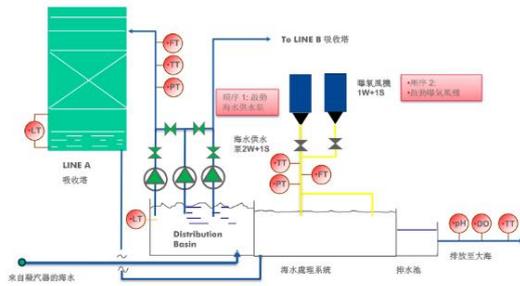
1. 本系統達到下列啟動條件得運行：

- 在海水脫硫系統中沒有緊急關閉信號和警報信號
- FGD 入口含塵量 $\leq 7\text{mg}/\text{Nm}^3@dry, 6\%O_2$
- 引風機正常運轉
- 至少有一台粉煤器運轉，收到 PASS 信號
- 入口煙氣溫度 $\geq 110^\circ\text{C}$ 並且 $\leq 160^\circ\text{C}$
- 儀用空氣和廠用空氣系統工作正常，壓力在設定點之上
- 曝氣池水位達到堰頂
- 冷卻水系統運轉正常

2. 啟動程序(如下圖所示)：

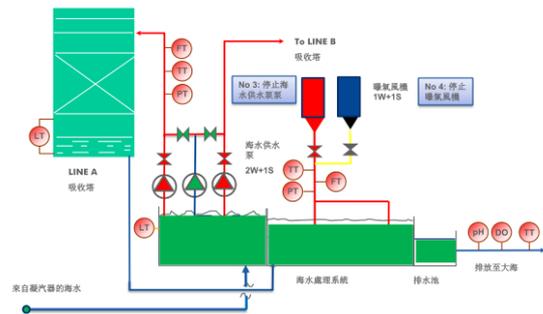
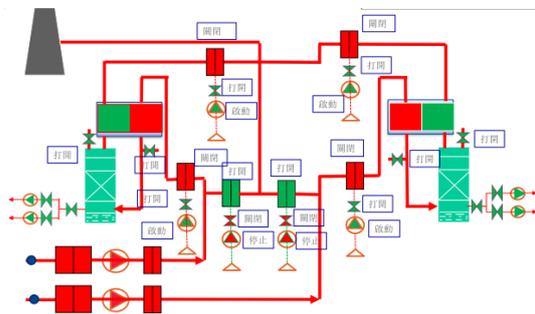
- 啟動海水側(海水供水泵)
- 啟動曝氣風扇
- 啟動煙氣換熱器(GGH)
- 啟動煙氣側

註：海水調質系統(SWCS，Seawater Condition System)為手動啟動，當曝氣池充滿水後 SWCS 整流器需投入最低電流。如水質無法滿足環保要求時整流器方才投入額定電流。



3. 停止順序：

- 停運海水調質系統
- 停運煙氣側
- 停運海水供水泵
- 停運曝氣風機



4. 旁通程序(為確保旁路擋板門能在緊急狀況下正常運轉,必須一個禮拜試驗一次)：

- 停用海水處理系統
- 停用煙氣側, 煙氣經由旁通系統進入煙囪
- 停用煙氣熱交換器(GGH)
- 停用曝氣風扇

- 停用海水側(海水供水泵)

5. 緊急停用(ESD, Emergency Shut Down)：本系統有兩種緊急停機，分別為 ESD1(關閉煙氣側)及 ESD2(關閉煙氣側及海水側)，概述如下：

ESD1 條件：

- 進口煙氣溫度 Hi -Hi (三選二)
- 進口煙氣壓力 Hi -Hi
- 進口含塵量 Hi -Hi
- 吸收塔進口煙氣溫度 Hi -Hi (三選二)
- 煙氣熱交換器(GGH)轉速 Lo-Lo
- 旁路擋版控氣源氣壓 Lo-Lo
- 一台引風機跳脫
- 鍋爐跳脫

ESD2 條件：

- 吸收塔內液位 Hi -Hi
- 海水供水流量 Lo-Lo

註：本系統備有事故冷卻系統，用以保護塔內件不被高溫煙氣損傷。

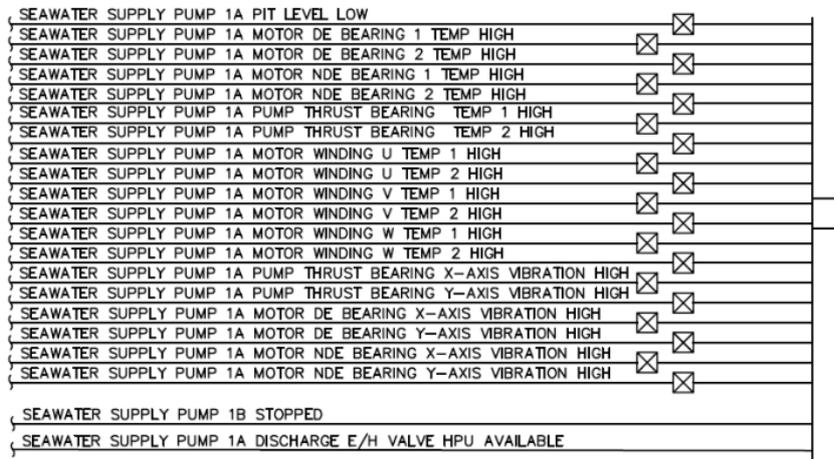
- 設備控制邏輯和設定點：

1. 海水供給泵：

➤ 說明：每一個鍋爐配有兩個吸收塔及三台海水供給泵，其中一台海水供給泵可作為另外兩台之備援。

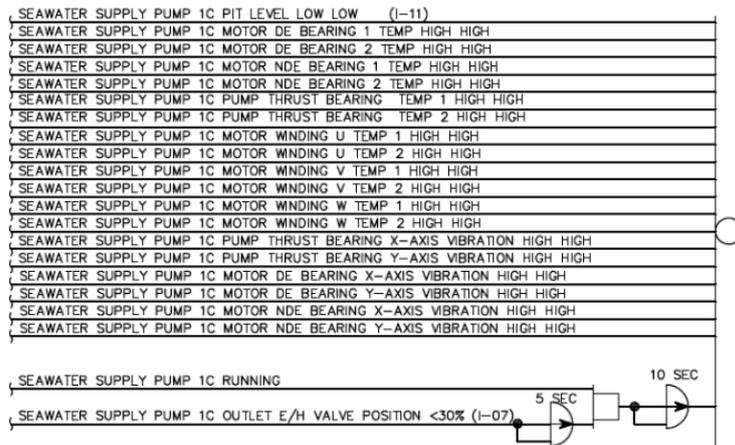
➤ 啟動(手動/自動)初始條件：

- ✓ 海水供給泵坑水位在最小值之上
- ✓ 海水出口閥在全關位置
- ✓ 出口閥之液壓驅動元件運作正常



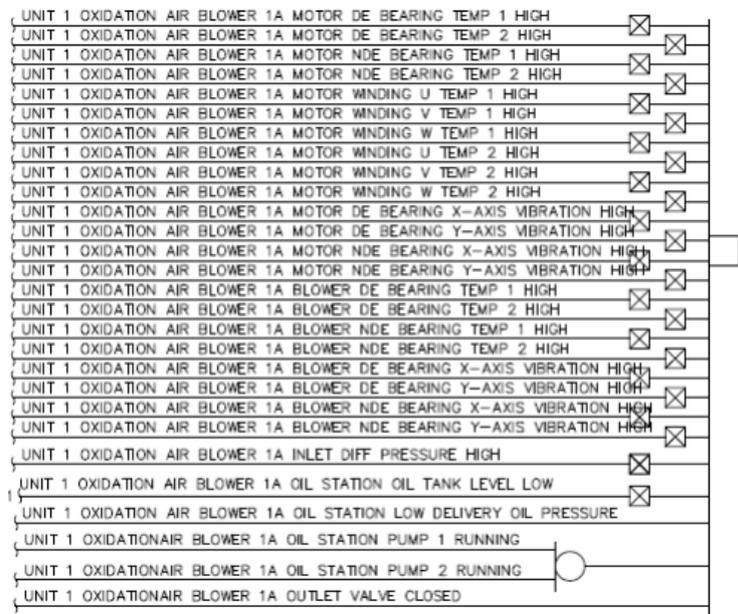
➤ 停止運轉邏輯：

- ✓ 自動停止-泵出口閥離開全開位置或藉由停止程序停機
- ✓ 連鎖跳脫
- ✓ 手動停止

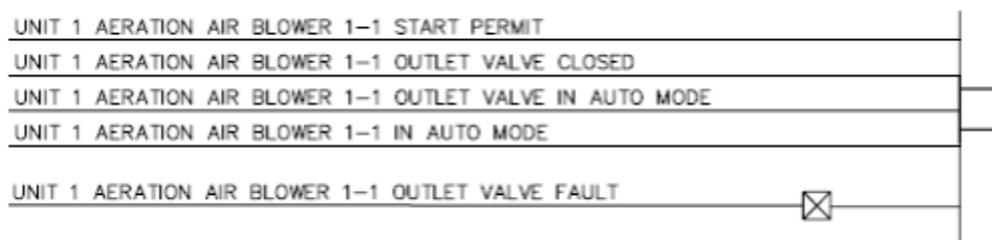


2. 曝氣風機：

- 說明：每一台鍋爐配備兩台，一台運轉一台備用。
- 啟動(手動/自動)允許條件：



- 自動啟動邏輯：



三、MANJUNG 電廠見習

本次出國訓練行程除室內上課外，尚有安排至馬來西亞 TNB 電力公司 TNB Janamanjung Sdn. Bhd 電廠參訪。Manjung 電廠為馬來西亞國營 TNB(Tenaga Nasional Berhad) Janamanjung Sdn Bhd 公司負責運轉的燃煤電廠，該廠位於 Perak 州 Lumut 鎮南方約 10km 處。TNB 電力公司為滿足日益升高之用電需求，同時降低對天然氣依賴、並使發電能源多樣化，遂委由 ALSTOM 及 PEREMBA 規劃、興建#1~#3 機，每部機裝置容量為 700MW 之亞臨界燃煤機組，而三部機於 2004 年進入商轉迄今。#4 機裝置容量為 1,000M，於 2011 年由 ALSTOM 開始規劃、興建，是目前東南亞(SE Asia)發電量最大，已於 2015 年 4 月開始商轉。總計 Manjung 燃煤發電機組有 3 部 700MW 亞臨界機組及 1 部超臨界機組商轉中，加上目前新建中的 5 號機，全廠總裝置容量為 4,100 MW。#4 機採用 Alstom Beizhong Power 公司生產的 STF-100 超臨界汽輪發電機，超臨界貫流式鍋爐主蒸氣產汽量為 3,226 噸/小時，壓力為 287.9 kg/cm²，主蒸氣溫度約 600°C。目前#1~#4 部機組均採用海水脫硫法，可提供本公司超臨界燃煤機組 SWFGD 之寶貴運轉維護經驗。

Manjung#1~#4 機海水脫硫系統設計特點：1.單吸收塔及單煙氣熱交換器 GGH，2.有增壓引風機，3.海水管及曝氣管都採用 FRP 管，4.吸收塔接近煙囪所以溼煙道較短，5. Manjung#1~#3 機是 ESP(靜電集塵器) + SWFGD，Manjung#4 機是 FF(濾袋集塵器) + SWFGD。

Manjung#1~#3 機海水脫硫系統運轉約 15 年運轉情況良好，海水管路及件都使用 FRP 材料無銹蝕破漏問題，參觀電廠時間恰好 Manjung#1 及#4 因機組燃用低硫煤，煙氣 SO₂ < 200mg/Nm³符合當地環保標準，所以不使用海水脫硫系統，煙氣可直接由旁通煙道排放。

MANJUNG #1~#3 機設計參數：

Key Data	
Output (MW)	3 x 700
Number of boilers	3
Live steam flow (t/h)	2,390
Live steam pressure (bar abs)	175
Live steam temperature (°C)	540
Feedwater temperature (°C)	277
Fuel	coal
Ignition fuel	light oil
FGD performance (%)	96% SO ₂ removal in absorber
Generator type	GIGATOP
Generator rating (MVA)	943
Power factor	0.85
Terminal voltage (kV)	23
Frequency (Hz)	50
Short-circuit ratio	0.51
Generator efficiency (%)	98.9
Excitation system	static
Generator Cooling system	hydrogen + water

MANJUNG #4 機參數：

MANJUNG 4 – TECHNICAL SPECIFICATIONS

TECHNICAL DATA OF STEAM GENERATOR	GUARANTEE		MODE OF OPERATION
Main steam flow	3226 metric tons/hr 7111 M Lb/hr		* Sliding pressure operation with daily load swings from 30% to 100%
Superheater outlet steam pressure	282 barg 4090 psig		
Superheat/reheat steam temperature	600 °C / 605 °C 1112 °F / 1121 °F		
FUEL (AS RECEIVED)	DESIGN	RANGE	AIR HEATER
Gross calorific value (kcal/ kg) (Btu/ Lb)	5200 9360	4500 – 5500 8100 – 9900	* 2x trisector semi-modular * Regenerative air heaters
Moisture content (%wt)	22.1%	8% – 30%	AIR AND FLUE GAS SYSTEMS
Ash content (%wt)	1.6%	1.5% – 13.9% 1.1% – 15%	* 2x 50% primary air fans * 2x 50% induced draft fans * 2x 50% forced air draft fans
Sulphur (%wt)	0.47%	0.1% – 0.94%	GRINDING AND FIRING PLANT
Volatile matter (%wt)	35%	22% – 45%	* 8 gravimetric raw coal feeders * 8 HP 1023 pulverisers with dynamic classifiers
Fixed carbon (%wt)	41%	35% – 58.1%	
FLUE GAS EMISSION LEVELS AT STACK	MG / NM ³ @ 6%O ₂		LB / MMBTU
Sulfur dioxide (SO ₂)	500		0.41
Nitrogen oxides (NO _x)	500		0.41
Carbon monoxide (CO)	200		0.16



至 Janamanjung Sdn. Bhd 電廠參訪並參觀#4 機控制室，與值班人員合影留念。



MANJUNG 海水曝氣池。

四、心得與建議

● 心得

本次林口、大林發電廠燃煤機組之更新改建計畫，排煙脫硫部份乃採用海水排煙脫硫系統，為公司首次採用；而台塑麥寮電廠及海外電廠則早已使用多年且脫硫效果良好，Alstom 公司對於海水排煙脫硫更有 40 年之設計建造經驗可供參考。

海水脫硫法具有建造及運轉維護費用較低、無須針對石灰石溼式脫硫法副產品石膏做處置及耗用大量自來水等優點，其脫硫效率可達 95% 以上，SO₂ 排放可達到 <23ppm，排放的海水經過適當的氣曝可達到環保標準，因此海水脫硫法應是本公司燃煤電廠排煙脫硫法不可缺少的選項。

Manjung 電廠目前多使用產自印尼的低硫份(<0.2%)煤，利用 15 萬噸級煤碼頭及輸煤皮帶機儲放於露天煤場，前三部機共用一鋼筋混泥土煙囪外筒，聘用約 280 個運轉維護全職員工(含 5 班制運轉人力，每班編制 24 人)，4 號機則獨立使用一煙囪，高度均為 200 公尺。該廠海水及曝氣管線均採用具有很好防腐性的 FRP 材質，從 Manjung 1~3 號機建廠運行近 15 年來看，FRP 管線於運轉時非常穩定，電廠表示尚未出現任何維護保養問題。

● 建議

環保署為降低電力設施空氣污染物對環境之影響，已於 103 年 12 月 1 日公告加嚴「電力設施空氣污染物排放標準」，既存污染源使用固體燃料之 SO_x 排放標準修正為 60 ppm 自中華民國一百零五年十二月一日施行，新設污染源則自發布日修正為 30 ppm。

本公司於 101 年 4 月決標的大林超臨界機組及馬來西亞 Manjung 電廠空氣污染物環評承諾如下排放量濃度一覽表所示：

空氣污染物	粒狀污染物	硫氧化物	氮氧化物
大林超臨界計畫排放濃度	25 mg/Nm ³	50 ppm	50 ppm
Manjung電廠排放濃度	50 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³ (70 ppm)**	500 mg/Nm ³ (244 ppm)**

** SO₂及NO₂之排放濃度係依 ppm 與 mg/Nm³轉換係數 2.86 及 2.05 計算。1 mole 理想氣體於 STP (Standard Temperature and Pressure)之體積為 22.4 L，Molar mass of SO₂ = 64.0638 g/mol，Molar mass of NO₂ = 46.0055 g/mol。

馬來西亞 Manjung 電廠表示因其鍋爐原始設計煤質規範即採用較低硫份、熱質較低與含水份高的印尼煤，燃燒含硫 0.2%以下的低硫煤機組仍可滿載運轉，於系統電力需求高與 SO_x低於排放標準 70 ppm 時，運轉人員可彈性停用海水脫硫設備以減少廠用電來提高其電力輸出。惟其主管表式迴轉機長期停用時將會有潤滑油膜不足的問題，建議本公司運轉部門宜加強備用機械設備的輪用，以免設備損傷。此外，為確保鍋爐及整廠效率最高並兼顧空污環保排放承諾，同時使環保設備投資能發揮最大功能效益，燃煤單純化確有其必要性，建議可在同時考慮燃煤供應安全、經濟性條件下，控制煤源含硫份在 0.47%以下，提供單一機組穩定煤值，使電廠得以長期運轉於更嚴的空污排放承諾值，不必擔心環保罰單，甚至勒令停工造成龐大損失。

Parameters	Design	Acceptable range
Gross calorific value (kcal/kg)	5200	5000–6600
Moisture content	26%	9–35%
Ash content	1.6%	1.5–13.9%
Sulphur content	0.47%	0.10–0.94%
Volatile matter composition	35%	24–43%
Fixed carbon content	41.34%	35.28–54.07%

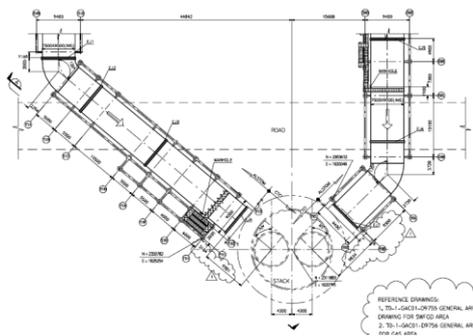
表、Manjung 電廠設計煤質規範

有關於未來新建超臨界火力發電機組的選用，經課堂中與 Alstom 公司設計工程師討論，分析如下：

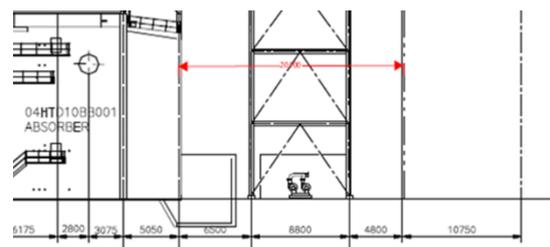
1. 因為海水脫硫的地域限制，即一定要在靠海邊的電廠才能使用，因此內陸電廠一定都是溼式脫硫。由於在東南亞國家沿海的新建電廠大型機組多採用海水法脫硫。使得海水脫硫的占比提升到 10% 左右。未來應付機組老化及環保加嚴，溼式法及海水法脫硫兩者原則上可以搭配使用，但因目前尚無實績故廠商不推薦採用。
2. 海水脫硫法具有建造及運轉維護費用較低又無石膏處置及無大量使用淡水等優點，又脫硫效率可達 95% 以上，SO₂ 排放可達到 <20ppm，排放的海水經過適當的曝氣可達到環保標準，因此海水脫硫法應屬本公司燃煤電廠排煙脫硫法不可缺少的選項。
3. 海水脫硫可保證除硫率 95% 以上，煤中的灰分對脫硫系統影響不大，對除塵系統的影響比較大，入口的灰塵含量控制在 30mg/Nm³ 以內，仍可正常運轉海水脫硫系統。目前雙吸收塔的設計，按入口煙氣 0.6% 的硫份進行設計時，出口 SO₂ 的排放濃度小於 23ppm。建議未來新設機組採用單塔設計，於單一吸收塔尺寸及海水泵容量增加後，可減少脫硫系統設備的佔地面積，SO₂ 的排放濃度可進一步再降至 15ppm，設備減少亦可減少故障率及維護成本。
4. 影響吸收塔效率的因素有：入口煙氣量、煙氣溫度、煙氣中的 SO₂ 濃度、海

水溫度、海水 pH 值、海水的鹼度、填料的性質、填料的高度、進入吸收塔的海水量及海水的分配等。冬天的時候海水溫度低，吸收塔的脫硫效率會較高，可以使用硫份較高的煤，惟如果煤中含硫量升高，吸收塔脫除的 SO₂ 會增多，進入曝氣池的 SO₂ 也會增多，需考量是否會造成曝氣池的處理能力不足，排放水之水質將無法符合標準。因此，建議脫硫系統最好在設計範圍內運行。此外，如果要想使海域之 pH 回到 7.5~8.5 甲級標準可以在海水排放之前，可添加 NaOH 或 Ca(OH)₂，但如果加 Ca(OH)₂，有可能會生成沉澱物，所以建議加 NaOH 較佳。惟在海水中添加鹼度，變成有添加劑的海水脫硫，這樣運行成本亦會增加很多，所以不推薦這樣做。以目前大林及林口既有的曝氣池為例，尚有 20~30% 的面積可供曝氣使用，建議增加 2 台曝氣風機，容量約為 30,000Nm³ (1,000kW)，含新設儀電、控制等設備之修改費用，初估所需增加的金額約新台幣 1 億元，pH 值將可由目前的 6.8 提升至 7.2。

5. 吸收塔建議盡量靠近煙囪，能節省合金煙道的長度，降低電廠成本。大林新建#1、2 機吸收塔至煙囪長度約為 50 米，而 Manjung 電廠 4 號機煙囪與吸收塔的距離則約 20M，如下方兩張圖：



大林的發電廠 P&ID 圖：MAIN DUCT TO STACK INLET。



MANJUNG #4 P&ID 圖。

6. 裝有煙氣熱交換器(GGH)及旁通煙道的吸收塔，常規設計無需緊急噴淋設備，因 GGH 為雙馬達驅動故障率低又有旁通煙道雙重保護以防止吸收塔受高溫煙氣損害，實無需緊急噴淋設備徒增建造及維修費用。