

出國報告（出國類別：實習）

氣渦輪機組增設選擇性觸媒轉化器之 運轉及維護等技術研習

服務機關：大潭發電廠

姓名職稱：蔡見林 機械經理

派赴國家：日本

出國期間：101.10.22~101.10.28

報告日期：101.12.24

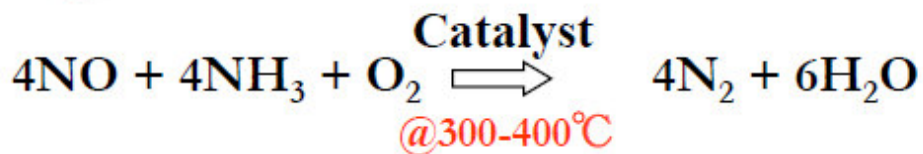
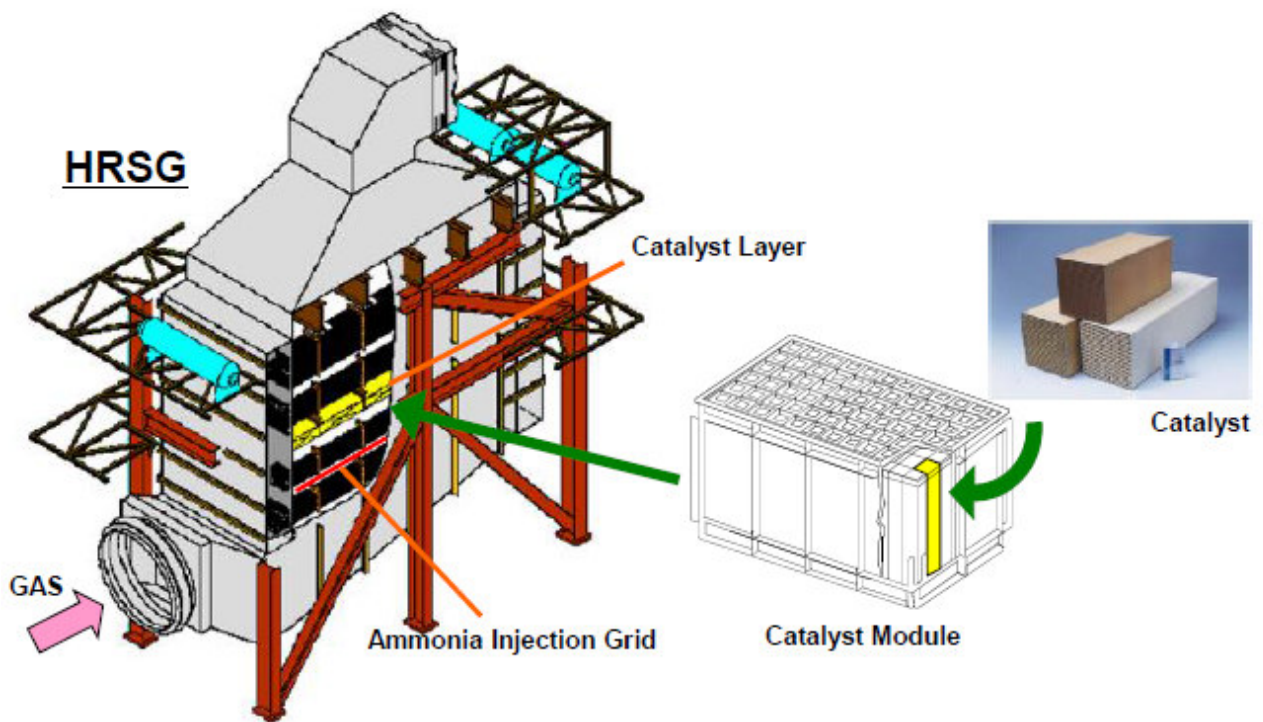
摘要

大潭電廠氣渦輪機組原設計並無裝設選擇性觸媒轉化器即可達到空氣品質管制標準，然而為因應日趨嚴格之環境空氣品質要求，且未來增設機組後之空污排放總量管制，必須建立更佳之空氣品質控制系統(AQCS)的規劃，在原機組增設選擇性觸媒轉化器為重要之選項。

選擇性觸媒轉化器之運轉及維護等技術對提升整體機組效能有重大影響，研習了解此技術有助於將來增設機組後之電廠營運。

研習內容包括三菱重工製造之廢熱回收鍋爐 HRSG(Heat Recovery Steam Generator)簡介、大潭機組增設選擇性觸媒轉化器 SCR(Selective Catalytic Reduction)之運轉溫度及最適位置初步規劃、SCR 系統組件及運作原理、流程介紹、SCR 控制程序及維護、運轉管理等技術說明。

註：本研習報告參考資料及圖片來源為日本三菱重工業株式會社



目 次

	頁 次
壹、出國研習目的-----	3
貳、出國研習過程-----	4
參、研習內容與心得	
一、三菱重工製造之廢熱回收鍋爐 HRSG(Heat Recovery Steam Generator)-----	5
二、SCR 運作原理、流程及系統組件-----	8
三、大潭機組增設選擇性觸媒轉化器 SCR(Selective Catalytic Reduction)之運轉溫度 及最適位置初步規劃-----	14
四、SCR 控制程序及維護、運轉管理等技術-----	15
肆、出國期間所遭遇之困難與特殊事項-----	23
伍、結論與建議-----	24

壹、出國研習目的

依據「空氣污染防治法」規定，火力電廠空氣污染物排放濃度除須符合「固定污染源空氣污染物排放標準」外，環保署亦針對電力設施排放另訂定一套較嚴格之「電力設施空氣污染物排放標準」，作為管制電力設施空氣污染物排放之規章。各縣市環保單位針對各地情況及空氣品質要求，可加訂其地方電力設施空氣污染物排放標準。大潭電廠所處之桃園縣已訂定加嚴標準，將於 102 年開始實施。

大潭電廠既有機組主要排放之空氣污染物為氮氧化物(NO_x)，依目前機組設計及運轉情況，尚能符合現行排放限制標準(40ppm)，但依據最新之固定污染源最佳可行性控制技術修正草案(新設機組)，NO_x 排放標準須 $\leq 18\text{ppm}$ 或脫硝效率 $\geq 80\%(\text{dry}, 15\%O_2)$ 。未來因應核能電廠除役所產生的電力缺口，大潭電廠計劃增設四部複循環機組，空氣污染物排放將適用新標準，如以空污排放總量管制，既有機組未改善 NO_x 排放濃度則無法達到環保要求。

大潭電廠氣渦輪機組原設計並無裝設選擇性觸媒轉化器即可達到空氣品質管制標準，然而為因應日趨嚴格之環境空氣品質要求，且未來增設機組後之空污排放總量管制，必須建立更佳之空氣品質控制系統(AQCS)的規劃，在原機組增設選擇性觸媒轉化器為重要之選項。

本次出國研習目的即針對未來大潭既有機組 增設選擇性觸媒轉化器 之運轉及維護等相關技術做概略性了解，以做為將來 SCR 設備之運轉與維護之參考依據，茲分述出國目標、緣起、實施要領及要求成果如下：

- 一、目標：瞭解和熟悉大潭氣渦輪機組增設「選擇性觸媒轉化器(SCR)」之運轉及維護等技術。
- 二、緣起：大潭未來增設機組後之空污排放總量管制，必須建立更佳之空氣品質控制系統(AQCS)的規劃，在原機組增設選擇性觸媒轉化器為重要之選項。
- 三、實施要領：赴日本三菱重工(M.H.I.)研習、蒐集選擇性觸媒轉化器之運轉及維護等技術，並赴廠家製造工廠瞭解其設備製造、組裝、維護保養及測試程序方法。
- 四、要求成果：瞭解選擇性觸媒轉化器之運轉及維護等技術，提供大潭氣渦輪機組增設選擇性觸媒轉化器之規劃參考。

貳、出國研習過程

- 一、101年10月22日：由桃園機場搭機赴日本福岡機場，再轉車至長崎。
- 二、101年10月23日至10月27日：於三菱重工長崎廠研習 HRSG 課程、SCR 課程，參觀 Turbine 工廠、三菱重工史料館、Boiler 工廠，並就大潭氣渦輪機組增設 SCR 議題進行討論。
- 三、101年10月28日：由長崎搭車至福岡機場，再搭機返回桃園機場。



長崎位於日本九州



參、研習內容與心得

一、三菱重工製造之廢熱回收鍋爐 HRSG(Heat Recovery Steam Generator)

(一).三菱重工製造之鍋爐包括下列型式：

1.以鍋爐型式區分：

- (1)傳統鍋爐。
- (2)廢熱回收鍋爐(HRSG)。
- (3)鹼回收鍋爐(Chemical Recovery Boiler)。
- (4)流化床鍋爐(Fluidized Bed Boiler)。
- (5)燃氣-蒸汽聯合循環鍋爐(PFBC)、整體煤氣化聯合循環鍋爐(IGCC)。

2.以流動系統區分：

- (1)超臨界貫流式鍋爐。
- (2)亞臨界強制/自然循環鍋爐。

3.以燃料別區分：燃煤、燃氣、燃油…等。

複循環機組之熱回收鍋爐(HRSG)包括垂直燃氣流(Vertical Gas Flow)及水平燃氣流(Horizontal Gas Flow)二種，自本世紀開始，垂直燃氣流之 HRSG 已成為主流，而水平燃氣流之 HRSG 則不再成長，圖 1 為三菱重工製造之 HRSG 發展情形。

MHI has supplied more than 190 units since 1963.

(As of May 18, 2008)

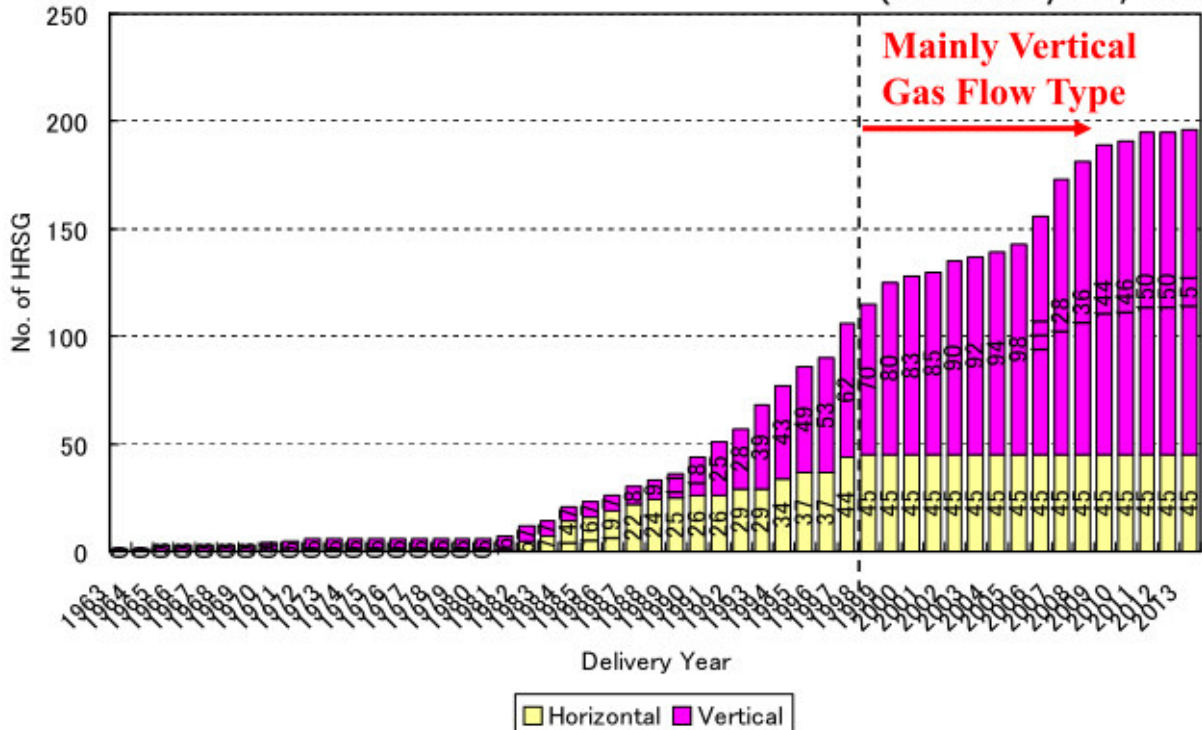


圖 1 三菱重工 HRSG 發展歷史

(二)垂直燃氣流 HRSG 相較水平燃氣流 HRSG 有下列優勢：

- 1.結構較簡單：集管及閥較少。

- 2.佔地較小：煙囪可設計於鍋爐上端。
- 3.檢查及維護較簡單：容易接近集管端，檢查維護不須搭架。
- 4.熱應力較低：頂端支撐，熱膨脹不受拘束。

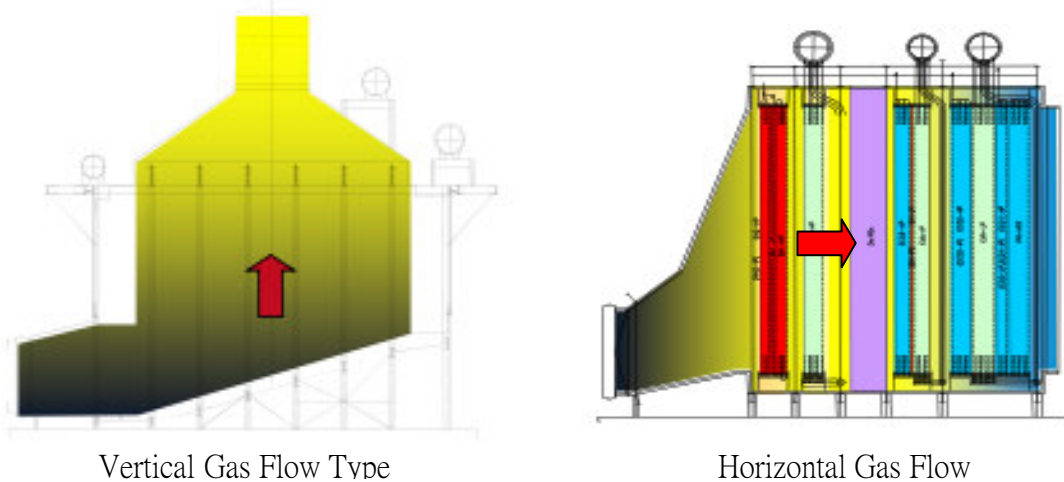


圖 2 垂直燃氣流 HRSG 與水平燃氣流 HRSG

(三)自然循環原理：上升管與降水管內工質比重的差異而產生循環力量。

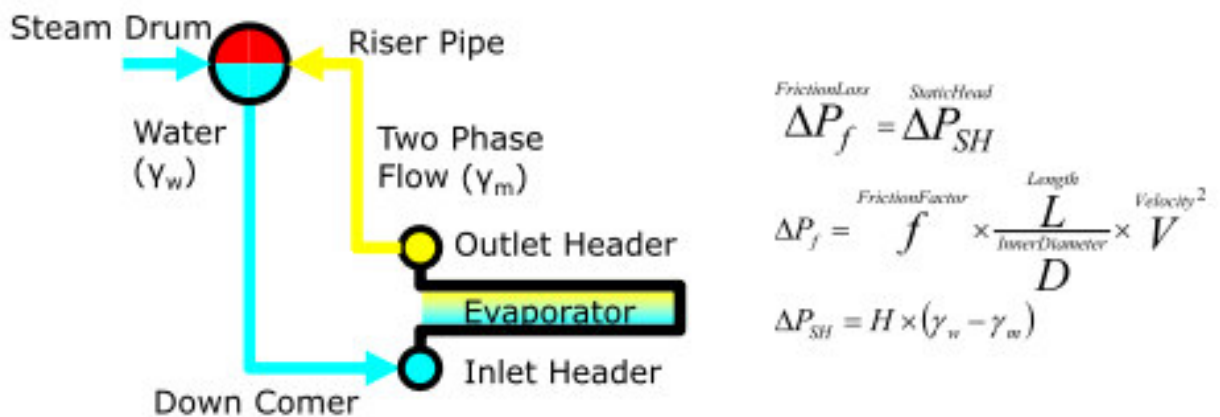


圖 3 爐水自然循環原理

(四)垂直燃氣流 HRSG 應用自然循環系統，其優勢如下：

- 1.具有高信賴度：沒有鍋爐循環泵(BCP)的麻煩。
- 2.消耗較少電能：不必使用鍋爐循環泵(BCP)。
- 3.初始及維護成本小：省去鍋爐循環泵(BCP)的建造及維護費用。

大潭電廠 Stage I 複循環機組共二部機(#1,#2 機)，每部機以三台氣渦輪機各對三座熱回收鍋爐(HRSG)，蒸汽管經連通供汽至一部汽輪機組；氣渦輪機屬燃油、燃氣雙燃料設計，熱回收鍋爐為無點火、垂直燃氣流、自然循環式鍋爐。

每座熱回收鍋爐以功能分成四個系統，分別為冷凝水預熱器系統及高壓、中壓、低壓等四系統，每個系統設備組成分別如下：

1. 冷凝水預熱器系統：預熱器管排、預熱器循環泵。
2. 低壓系統：低壓汽水鼓、低壓飼水泵、低壓省煤器管排(一段)、低壓蒸發器管排、過熱器管排(一段)。
3. 中壓系統：中壓汽水鼓、中壓飼水泵、中壓省煤器管排(二段)、中壓蒸發器管排、噴水減溫、再熱器管排(二段)。
4. 高壓系統：高壓汽水鼓、高壓飼水泵、高壓省煤器管排(三段)、高壓蒸發器管排、噴水減溫、過熱器管排(二段)。

Stage II 複循環機組共四部機(#3~6 機)，每部機二台氣渦輪機各對二座熱回收鍋爐(HRSG)，蒸汽管經連通供汽至一部汽輪機組；氣渦輪機屬燃氣單燃料設計，熱回收鍋爐為無點火、垂直燃氣流、自然循環式鍋爐。

每座熱回收鍋爐以功能分成三個系統，分別為高壓、中壓、低壓等三系統，每個系統設備組成分別如下：

1. 低壓系統：低壓汽水鼓、低壓飼水泵、低壓省煤器管排(一段)、低壓蒸發器管排、過熱器管排(一段)、低壓省煤器循環泵。
2. 中壓系統：中壓汽水鼓、中壓飼水泵、中壓省煤器管排(二段)、中壓蒸發器管排、噴水減溫、再熱器管排(二段)。
3. 高壓系統：高壓汽水鼓、高壓飼水泵、高壓省煤器管排(三段)、高壓蒸發器管排、噴水減溫、過熱器管排(二段)。

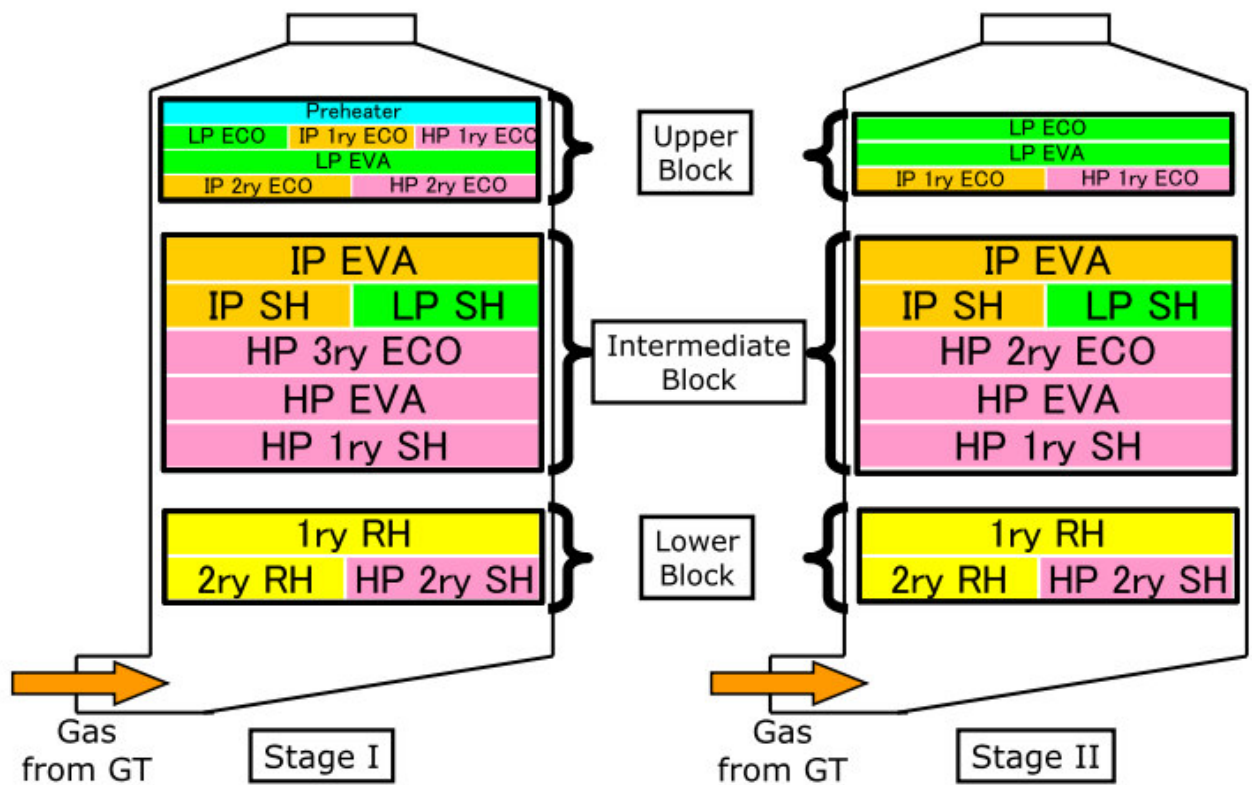


圖 4 大潭電廠 Stage I/Stage II 熱回收鍋爐(HRSG)

Basic System Configuration

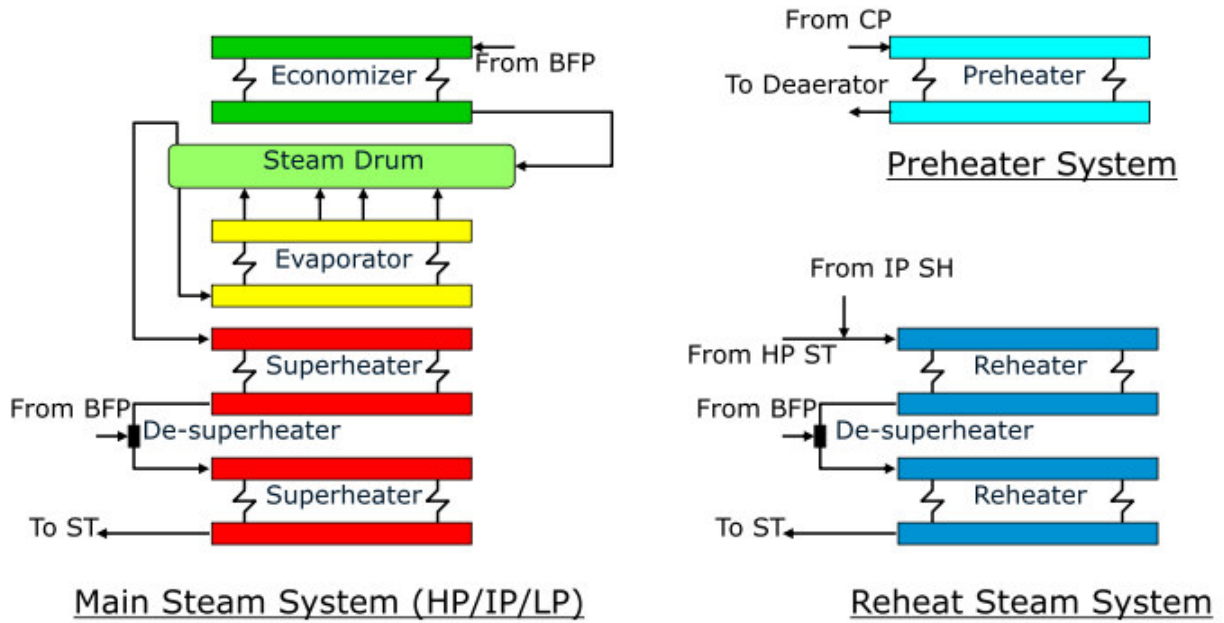


圖5 HRSG 蒸汽系統示意圖

二、SCR 運作原理、流程及系統組件

SCR 主要係利用氨(NH₃)或其化合物(氨水、尿素等)作為還原劑，依煙氣量之多寡及 NO_x 濃度之高低，將適量之還原劑均勻地混入煙氣中，經過觸媒催化作用將煙氣中 NO_x 還原為 N₂ 及 H₂O 後隨煙氣排入大氣中。

(一).SCR 運作原理

一氧化氮(NO)在觸媒中與氨氣(NH₃)反應，轉換成無害的氮氣(N₂)與水蒸汽(H₂O)，其反應方程式如下：

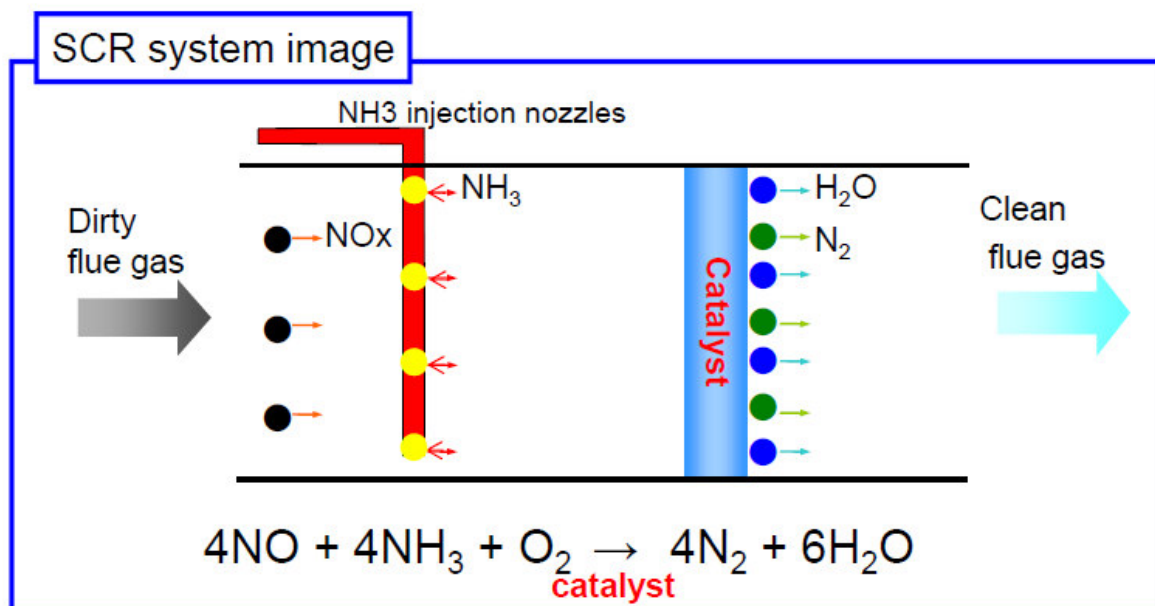


圖6 SCR 系統反應過程示意圖(A)

<Chemical Reaction>

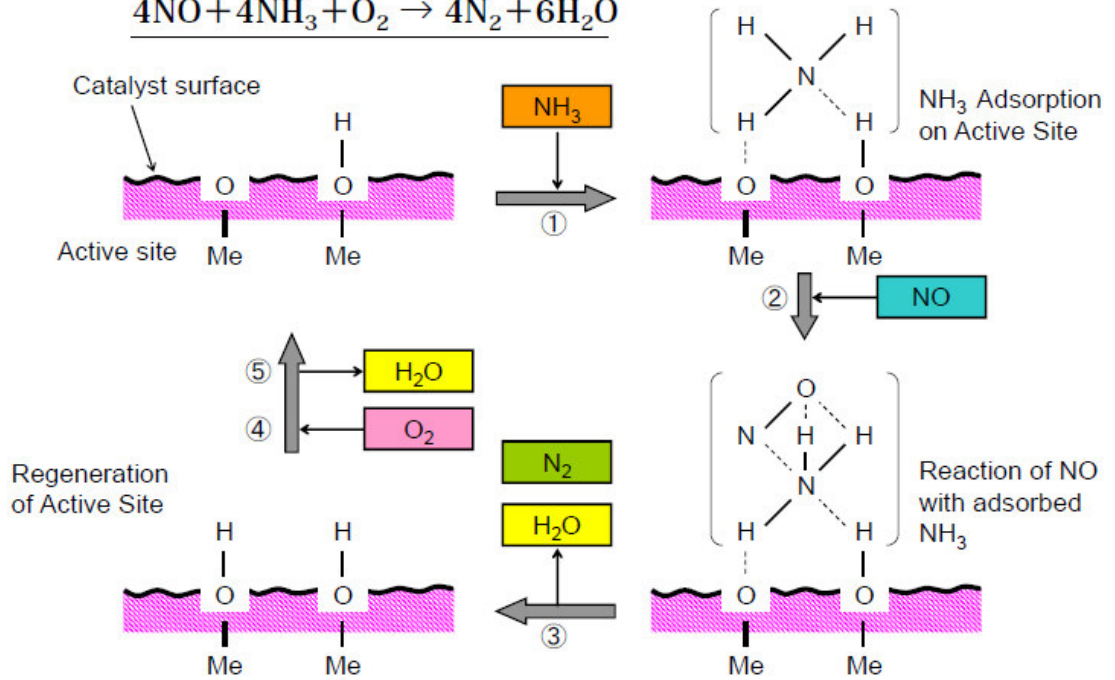
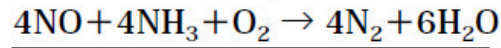


圖 7 SCR 系統反應過程示意圖(B)

(二)SCR 流程介紹

圖 8 為 SCR 系統流程，主要分為煙氣與氨氣流程。

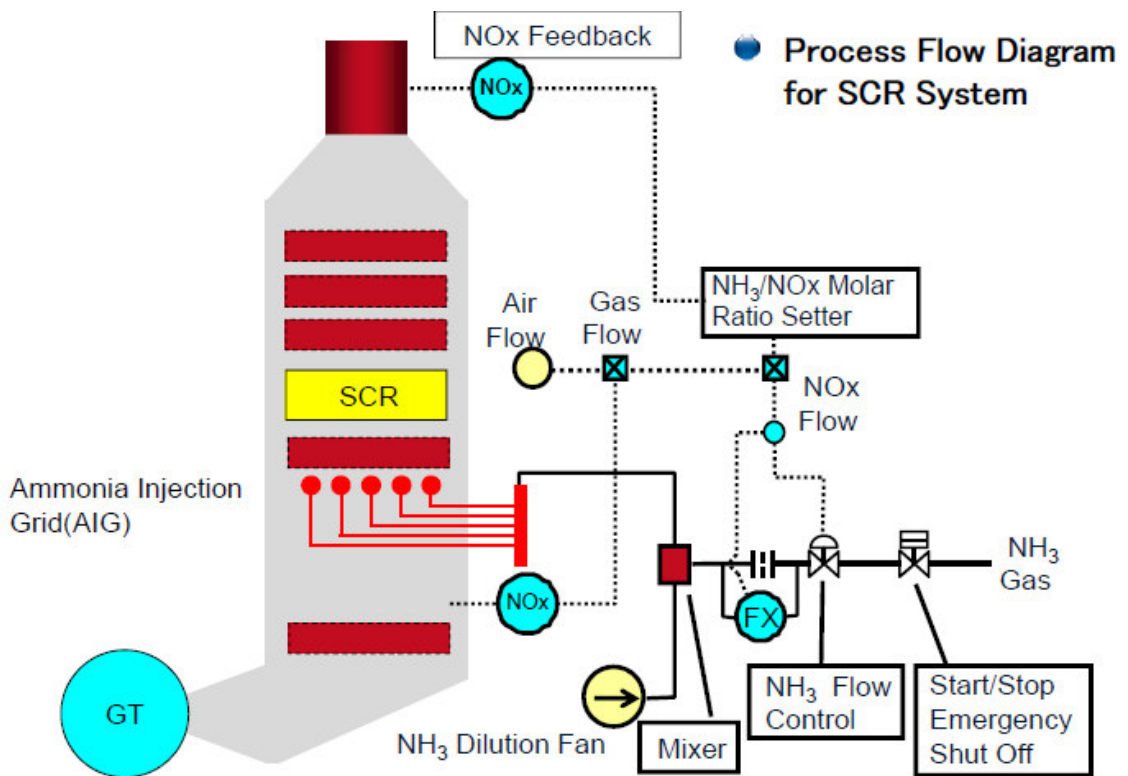


圖 8 SCR 系統流程

空氣由氣渦輪機壓縮、燃燒做功後成爲帶有氮氧化物的煙氣，流經 HRSG 入口，與稀釋氨氣混合，於 SCR 觸媒元件中反應產生無害的氮氣及水蒸汽，再由煙囪排出。

氨氣自液氨儲槽流至液氨蒸發器，經關斷閥及流量控制閥、縮孔，再與氨氣稀釋風扇來之空氣混合，進入注氨格柵，經噴嘴與煙氣混合。

(三).SCR 系統組件

SCR 系統組件包括下列設備：

- 1.觸媒反應器(Catalyst Reactor)、觸媒(Catalyst)及其維修吊裝設備及支撐鋼構。
- 2.液氨系統(含液氨儲槽)、液氨蒸發器、氨氣蓄壓器、氨氣/空氣混合器、稀釋空氣風扇、洩載壓縮機及馬達。
- 3.氨氣注入格柵(Ammonia Injection Grid,AIG)
- 4.液氨、氨氣及空氣輸送管路。
- 5.監視設備及控制系統。
- 6.液氨洩漏稀釋系統。

觸媒多製造成蜂巢型式，密度(pitch)約 2.1mm~10.0mm，觸媒元件大小爲 150mm[□]×1350mmL(max.)，觸媒模組由觸媒元件外加鋼框組成，以方便裝設、更換及運輸，觸媒模組則裝設於觸媒反應器，如圖 9~11。

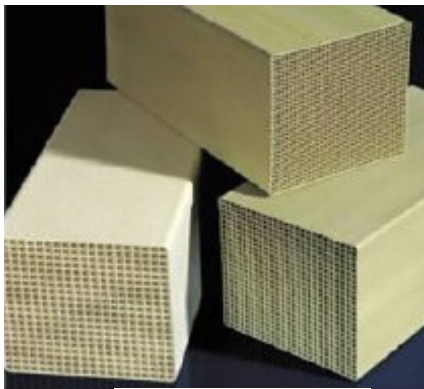


圖 9 觸媒元件

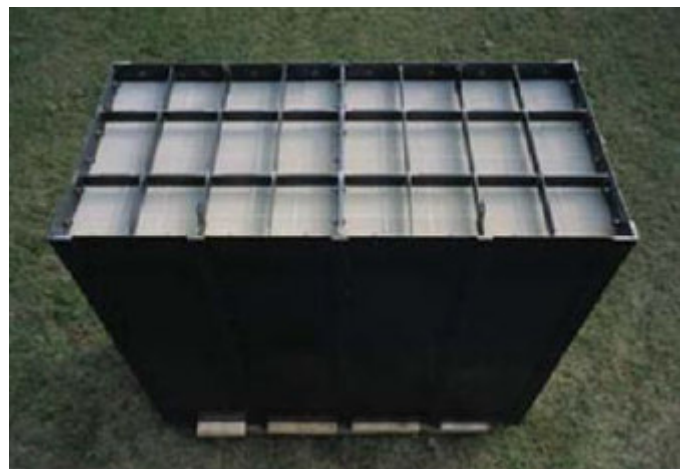


圖 10 觸媒模組

觸媒層之間隙須加悶封，以避免煙氣洩漏降低 SCR 脫硝效率



圖 11 觸媒反應器

- 蜂巢式觸媒有以下優點：
- 1.高脫硝(NO_x 移除)效率。
 - 2.熱穩定性佳。
 - 3.無副產物。
 - 4.抗 SO_x 及煙塵佳。
 - 5.抗腐蝕性佳。
 - 6.具有再利用性。

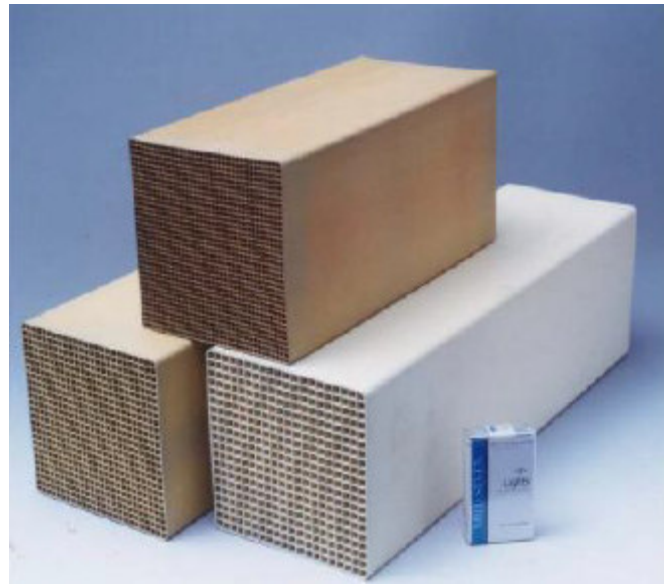


圖 12 蜂巢式觸媒

蜂巢式觸媒密度依鍋爐中煙塵多寡選擇使用(圖 13)，在低煙塵設備中可選擇小格距 (pitch)之觸媒，以提高轉化效率；高煙塵設備則須選用大格距觸媒，以防止觸媒元件堵塞。大潭電廠既有燃氣複循環機組因煙氣中塵粒較小，宜選用 3~4mm 格距(pitch)之觸媒，縮小 SCR 觸媒模組體積。

● Catalyst pitch selection

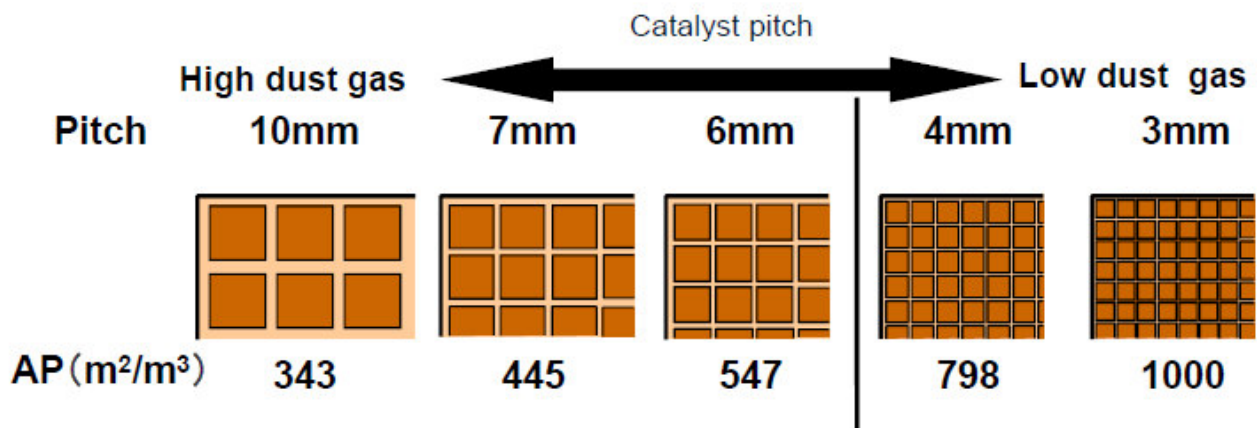


圖 13 蜂巢式觸媒選用原則

SCR 系統包括液氨儲槽、液氨蒸發器、氨氣蓄壓器、氨氣/空氣混合器、稀釋空氣風扇等設備，氨氣與一氧化氮於 300~400°C 的觸媒反應器環境中轉化為氮氣及水蒸汽，如圖 14。

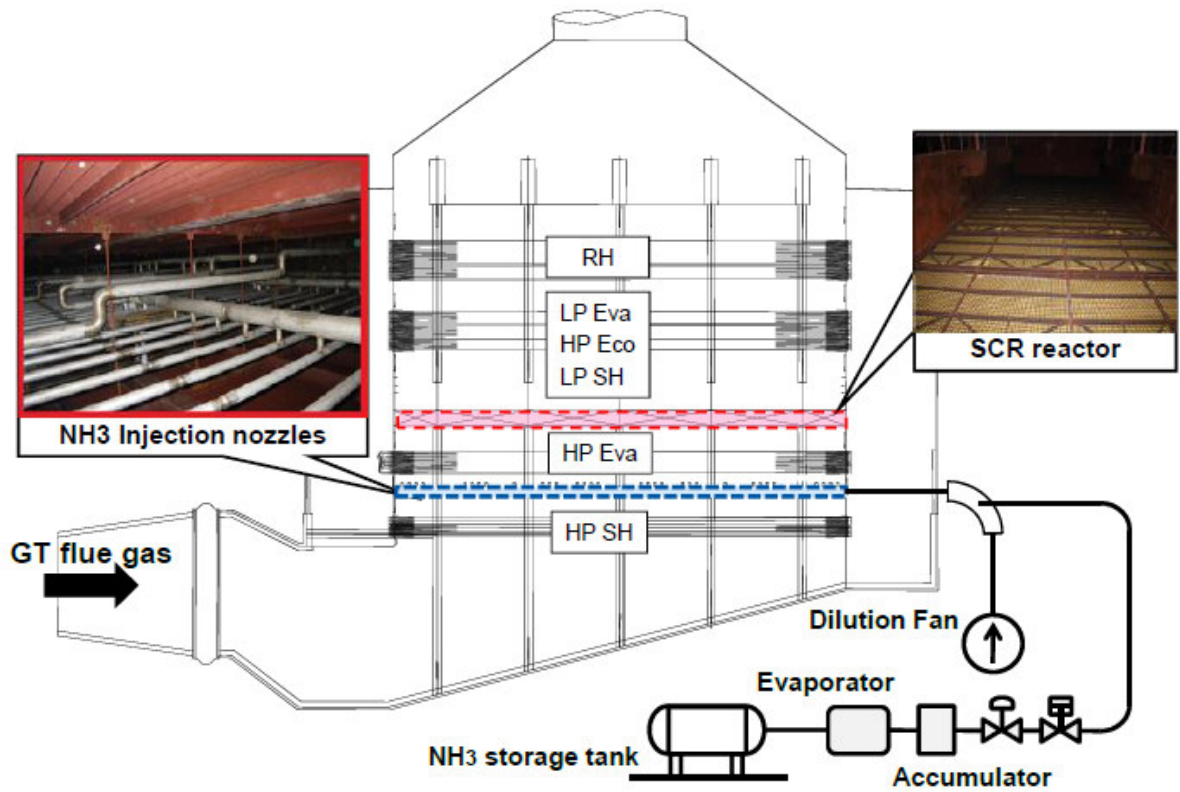


圖 14 SCR 系統概觀

注氨格柵(AIG)包括氨氣注入噴嘴和氨氣分配集管(圖 15)，每一區塊皆裝設蝶閥(圖 16)以調整氨氣分配量，在第一次效率試驗中，蝶閥開度已調校完成。

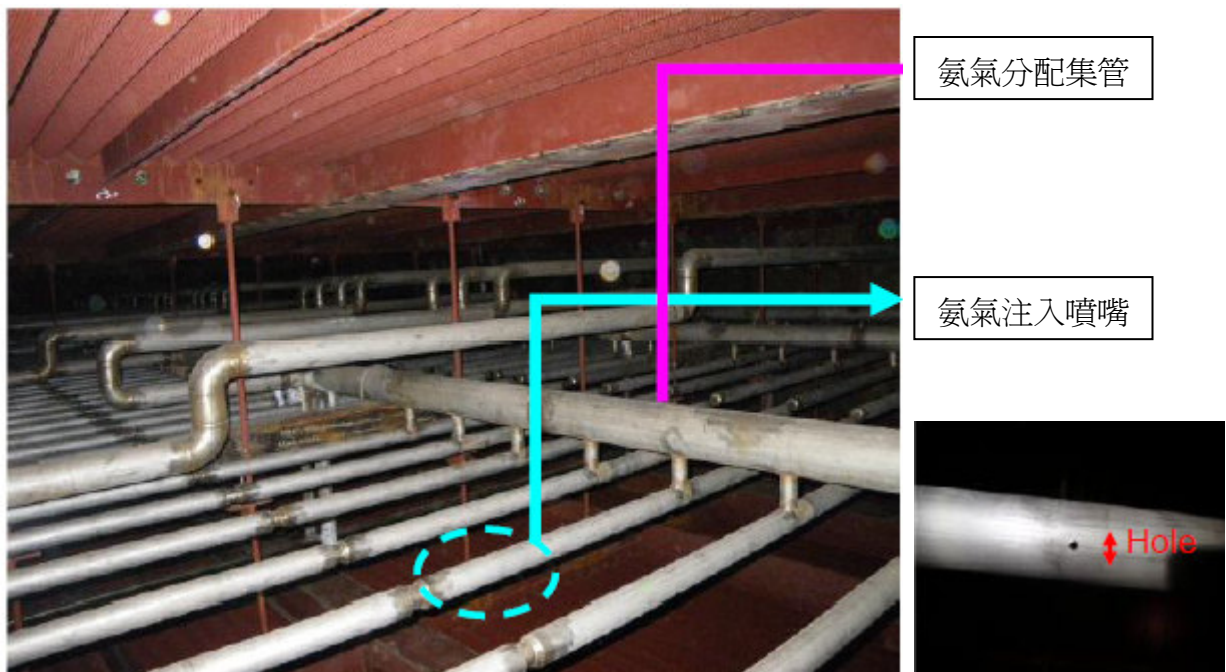


圖 15 注氨格柵(AIG)

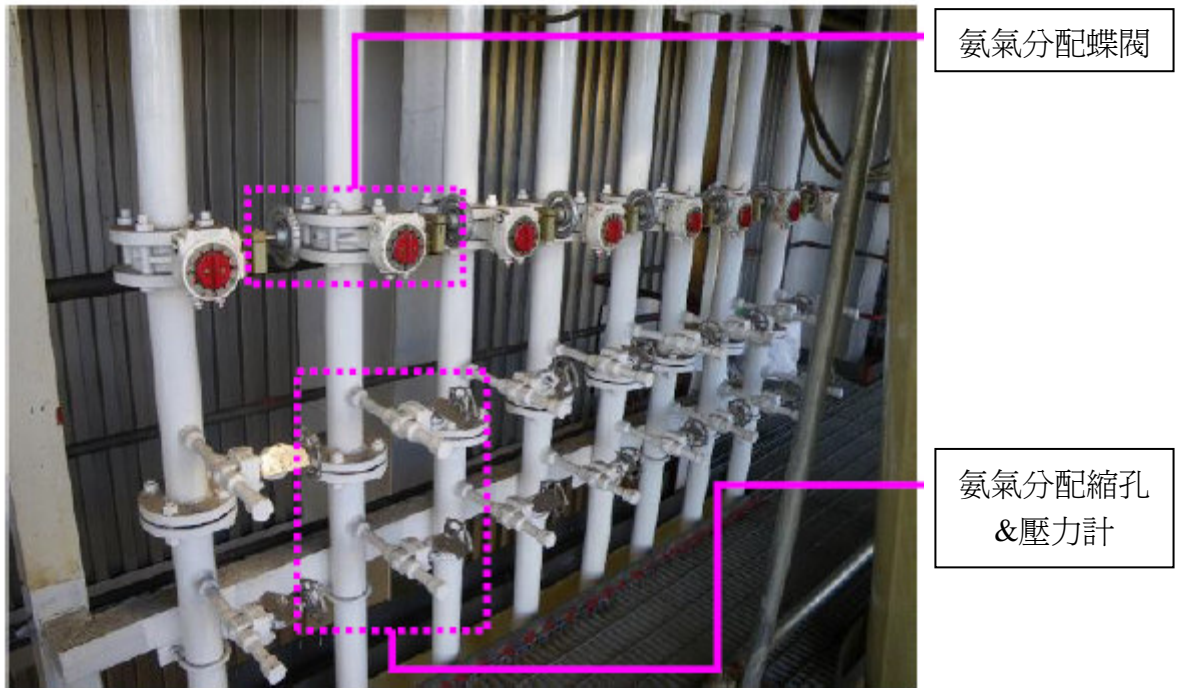


圖 16 氨氣分配蝶閥及縮孔

SCR 觸媒模組安裝步驟：(1)開啓安裝門，(2)以吊車吊起觸媒模組，(3)放置平台上以輸送轉子運送觸媒模組，(4)以吊鏈吊起觸媒模組，(5)固定觸媒模組，(6)關閉安裝門。(如圖 17)

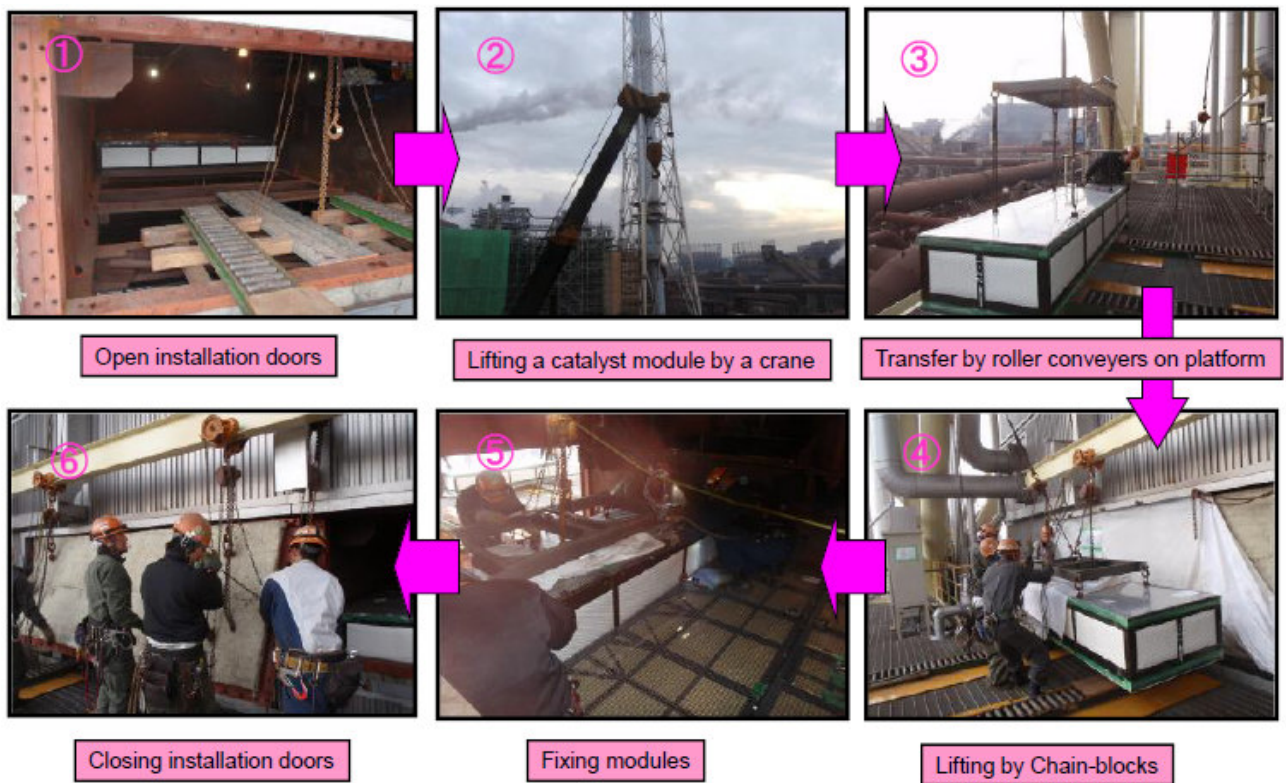


圖 17 SCR 觸媒模組安裝工作

三、大潭機組增設選擇性觸媒轉化器 SCR(Selective Catalytic Reduction)之運轉溫度及最適位置初步規劃

一般而言，當氣渦輪機發電機組以天然氣作為燃料時，裝設 SCR 系統可將煙氣中之氮氧化物減少達 90%以上，然而脫硝效率取決於觸媒之反應溫度、反應時間、煙氣&氨氣流速、觸媒結構與配置、NH₃/NO_x 莫耳比、觸媒使用時間，其中選擇 SCR 最適安裝位置以取得最佳運轉溫度則是既有機組增設 SCR 之前應優先考慮的課題。

(一)選擇性觸媒轉化器之最佳運轉溫度

SCR 依觸媒溫度可分為高溫觸媒、中溫觸媒及低溫觸媒，其最適反應溫度如下：

高溫觸媒：450~600°C (沸石觸媒)

中溫觸媒：350~450°C (鈦鈦氧化物觸媒)

低溫觸媒：175~260°C (貴重金屬觸媒)

(二)大潭電廠氣渦輪機組增設觸媒轉化器之最適位置初步規劃

由於大潭既有機組並未規劃預留增設 SCR 之空間，因此增設選擇性觸媒轉化器之位置只能依 HRSG 現有設備空間規劃出最適位置。

SCR 系統主要設備除了觸媒反應器及氨氣注入格柵須安裝於 HRSG 內部之外，其餘設備均在 HRSG 外側，廠區內現有空間即可供使用。安裝 SCR 之觸媒反應器及氨氣注入格柵安裝位置應仔細評估，方能使脫硝效率達到要求。

以大潭既有機組不修改 HRSG 爐管情況下規劃，可以增設 SCR 之空間有(A)高壓第二段過熱器上游(底層管排下方)、(B)高壓第一段過熱器上游(底層與中層管排中間)、(C)高壓第二段省煤器上游(上層與中層管排中間)、(D)HRSG 出口。

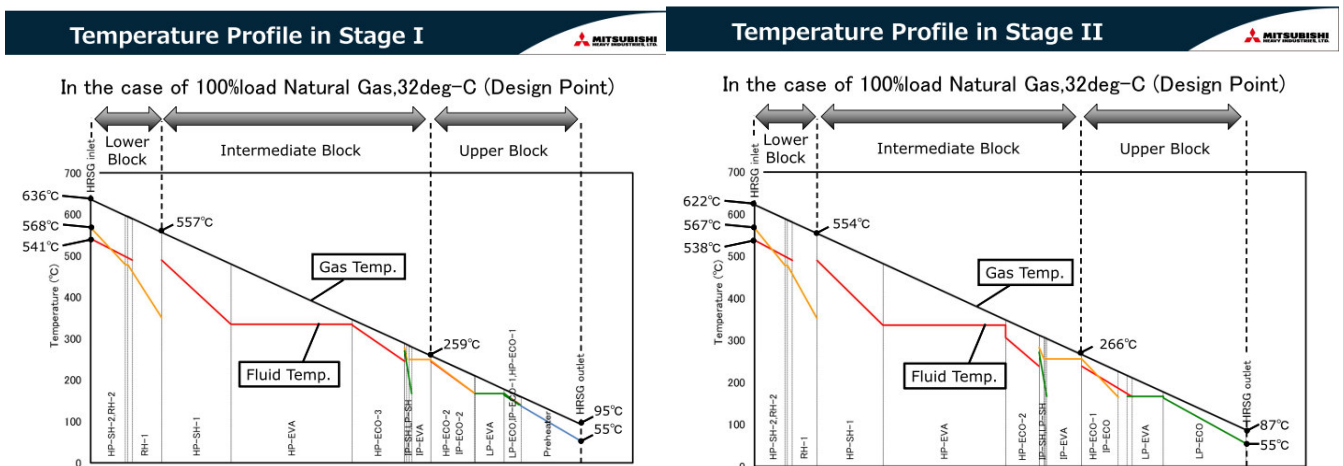


圖 18 大潭電廠 HRSG 煙氣&流體溫度

如圖 18 HRSG 之煙氣溫度分佈圖所示，空間(A)高壓第二段過熱器上游(底層管排下方)接近氣渦輪機排氣出口，滿載時燃氣溫度約為 636°C (Stage I)/622°C (Stage II)，超過高溫觸媒最適化操作溫度，活性及脫硝效率低，又高溫觸媒壽命較短，更換頻率較高，使觸媒費用相對提高，故此區不適合。

空間(B)高壓第一段過熱器上游(底層與中層管排中間)滿載時燃氣溫度約為 550

°C，為高溫觸媒適合之運轉溫度，但相配合之注氨格柵(AIG)須設在 HRSG 入口處，會造成氨氣流經高溫管排氧化分解問題，故此區亦不適合裝設高溫觸媒。

空間(C)高壓第二段省煤器上游(上層與中層管排中間)滿載時燃氣溫度約為 260 °C，適合裝設中低溫觸媒，相配合之注氨格柵(AIG)可裝設於高壓第一段過熱器上游(底層與中層管排中間)。

空間(D)HRSG 出口燃氣溫度約為 87°C，低於低溫觸媒最適化操作溫度，影響觸媒活性及效率，故此區不適合。

綜上所述，以不修改爐管考量之下，SCR 最適之空間為高壓第二段省煤器上游(上層與中層管排中間)，相配合之注氨格柵(AIG)則裝設於高壓第一段過熱器上游(底層與中層管排中間)。

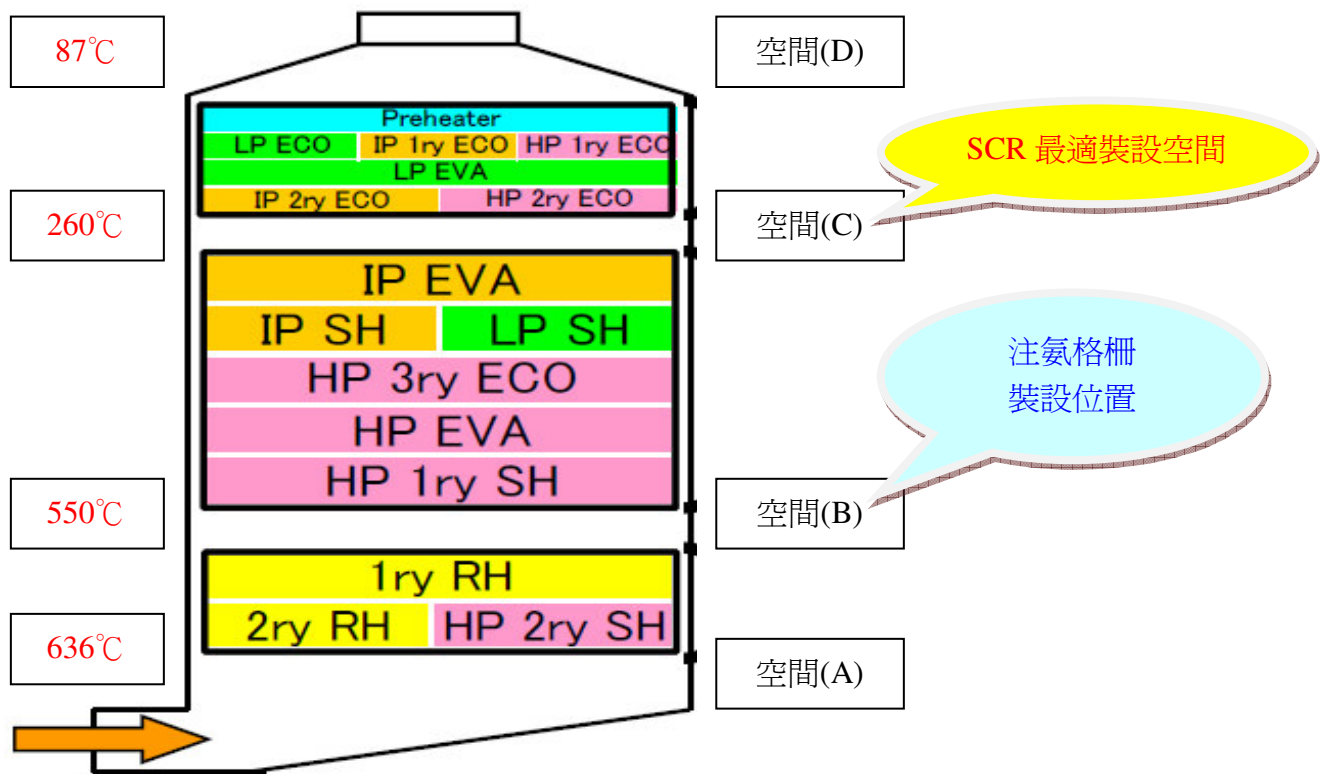


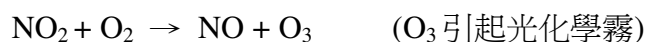
圖 19 SCR 最適裝設空間

四、SCR 控制程序及維護、運轉管理等技術

(一).HRSG 之 SCR 控制系統功能描述

1.SCR 脫硝效率

NO_x 被公認為大氣之污染源，此化合物會引起酸雨以及促成大氣中臭氧和霧的形成。大部份 NO_x 於燃燒過程中形成，即氮與燃燒空氣中過剩氧氣於高溫中反應產生。



NO_x 產生量依時間、溫度與擾流而定。選擇性觸媒轉化系統一般應用於 GT，以氨氣作為降低 NO_x 產生之媒介，SCR 轉化程序包括 NH₃ 氣注入 GT 燃氣，使與 SCR

觸媒反應，將 NO_x 轉變成氮和水蒸汽。

脫硝效率如下列公式：

脫硝效率 η (%)

$$= \left[\text{入口 NO}_x \text{ 濃度(ppm)} - \text{出口 NO}_x \text{ 濃度(ppm)} \right] / \text{入口 NO}_x \text{ 濃度(ppm)} \times 100$$

例：若 SCR 入口 NO_x 濃度為 25ppm，出口 NO_x 濃度為 10ppm，則脫硝效率

$$\eta = (25-10)/25 \times 100 = 60\%$$

SCR 反應器下游燃氣中未作用之 NH₃ 稱為氨逸失，使氨逸失量低於 5ppm(最佳 2~3ppm)是極為重要的，目的在避免產生硫酸氫銨(NH₄HSO₄)，以免堵塞與腐蝕下游元件。

氨氣爆炸上下限值約為 15%~28%，為避免產生爆炸，氨氣被空氣稀釋濃度應低於此爆炸限值。

2. 控制程序

SCR 控制系統主要為注氨控制，在注氨控制系統中，氨氣被空氣稀釋後從噴嘴注入 SCR。SCR 有一組注氨管線，注氨管線連接至 SCR 噴嘴集管，氨氣由氨槽供給，氨稀釋空氣風扇(100%×1 組；AF111)用以供應稀釋空氣至氨氣混合器，氨氣管線中配置 1 只氨氣流量控制閥(FCV-261)及氨氣關斷閥(SV-261)，氨氣流量控制閥(FCV-261)控制氨氣流量(NH₃-FT-200)，此訊號由氨氣壓力(NH₃-PT-200)和溫度(NH₃-TE-200)訊號所補償。

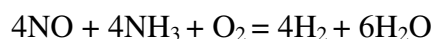
在 SCR 入口端需測量 3 項數據：NO_x 濃度、O₂ 濃度、SCR 入口燃氣溫度；在 SCR 出口需測量 3 項數據：NO_x 濃度、NH₃ 濃度、SCR 入出口差壓。

3. 注氨控制

SCR 控制系統目的在降低煙囪出口氣之 NO_x 濃度，經由此控制系統使 SCR 出口之 NO_x 濃度控制於特定值以內。

(1) 原理

注氨控制系統位於反應器上游，扮演降低 NO_x 濃度的角色，NO_x 移除反應如下列方程式，NO_x 移除效率隨 NH₃/NO_x 莫耳比而變化，故移除效率由 NH₃/NO_x 莫耳比所控制。



SCR 入口之 NO_x 含量計算式如下公式(穩態運轉所需數值依比例計算)：

SCR 入口 NO_x 含量(kmol/h)

$$= \text{GT 出口燃氣流率(乾基, m}^3\text{N/h)} \times \text{SCR 入口 NO}_x \text{ 濃度(乾基, ppm)} \times 10^{-6} / [22.4(\text{m}^3/\text{kmol})]$$

所需注氨率(kg/h) = NO_x 含量(kmol/h) × 莫耳比(α)(NH₃/NO_x) × 17(kg/kmol)

因此，注氨率最初由以下公式計算：

$$\text{NH}_3 = G \times \text{NO}_x \times 10^{-6} / 22.4 \times \alpha \times 17 \quad (\text{公式 A})$$

其中，

NH₃：所需注氨率(kg/h)

G：GT 出口燃氣含量(m³N/h)，GT 出口燃氣含量由 GT 控制系統計算(乾基)

NO_x：SCR 入口 NO_x 濃度(ppm) (乾基)

α ：NH₃/NO_x 莫耳比=SCR 入口 NH₃ 濃度(ppm)/SCR 入口 NO_x 濃度(ppm)

由程式提供且依據 GT 負載自動設定

計算實例：

GT 出口燃氣量(乾基)=600,000(m³N/h)

SCR 入口 NO_x 濃度(乾基)=300(ppm)

莫耳比(α)(NH₃/NO_x)=0.920

因此，所需注氨率(kg/h)=600,000×300×10⁻⁶/22.4×0.920×17=125.6 kg/h

(2)注氨先期控制

氨氣流率控制由流率需求與流率反饋之間取得修正。

主要注氨率由飼氨先期控制決定，飼氨先期控制由 SCR 入口實際 NO_x 濃度、GT 出口燃氣流率以及 NH₃/NO_x 莫耳比組成，注氨率最初由公式 A 計算而得。

SCR 入口 NO_x 含量乃燃氣流率乘以 SCR 入口 NO_x 濃度而得，NO_x 濃度由 NO_x 分析儀測得，燃氣流率由 GT 控制系統計算而得。

(3)注氨控制(莫耳比之增補控制)

基本上而言，注氨控制由飼氨先期控制決定，然而因為 GT 負載改變或 GT 燃燒改變使 NO_x 變化，提供三個補充的控制。

A.SCR 出口 NO_x 修正之增補控制

於負載變化期間，為穩定 SCR 出口 NO_x 含量，SCR 出口之 NO_x 偏差將被提供做為反饋控制。

從 SCR 出口 NO_x 分析儀(16%O₂base)所得之信號被利用作為反饋信號來調整 NH₃/NO_x 莫耳比，由設定值(在操作站螢幕上 SCR 出口 NO_x 的設定函數)和 SCR 出口 NO_x 測量值之偏差來計算增加或減少 NH₃/NO_x 莫耳比。

B.SCR 入口 NO_x 修正之增補控制

當負載變化時，燃氣流率及 SCR 入口之 NO_x 含量亦隨著變化，換句話說，SCR 反應時間也相對拉長，為避免 SCR 出口 NO_x 含量高警報於負載變化時出現，比例(P)和微分(D)控制信號被加入 NH₃/NO_x 莫耳比中，設定值(靜態 NO_x 負載程式)和 SCR 入口 NO_x(16% O₂base)之測量值之間的偏差被用來計算增加或減少 NH₃/NO_x 莫耳比。

C.莫耳比偏移(BIOS)

莫耳比偏移在 OPS(操作站)設定，亦被加入莫耳比設定中。

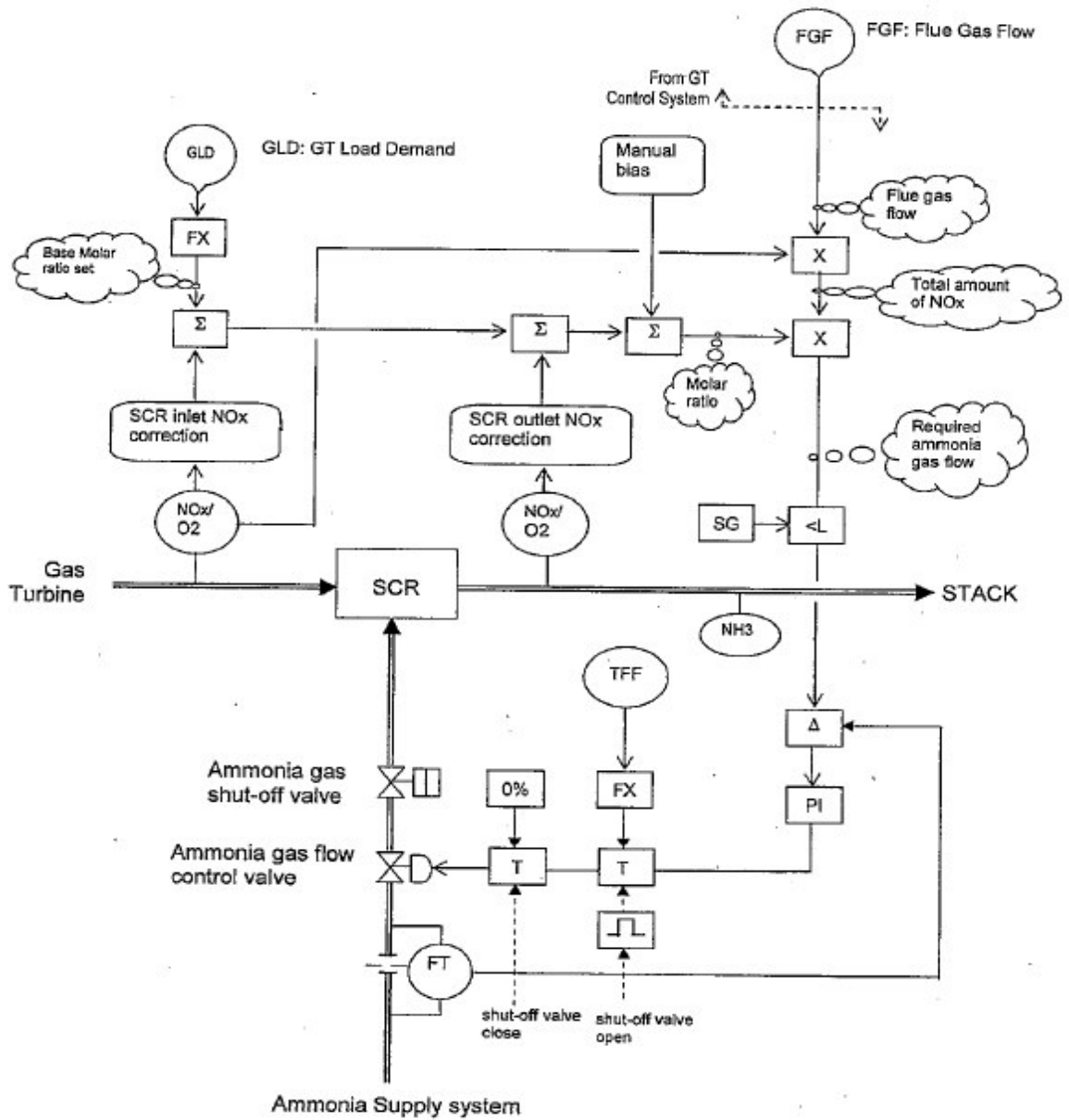


圖 20 注氨控制系統

(二)SCR 維護

HRSG 觸媒不需特別維修，不像燃油、燃煤火力機組有飛灰而導致觸媒腐蝕及阻塞問題。

SCR 性能隨運轉時間逐漸退化，氨逸失量亦隨之增加，依據 SCR 性能曲線圖(圖 21)，使用全新觸媒時可提高 NH_3/NO_x 莫耳比，以獲取較高之脫硝效率；但 SCR 性能退化時，應注意氨逸失問題，以避免產生硫酸氫銨(NH_4HSO_4)，而堵塞與腐蝕下游元件。

若以同樣脫硝效率而言，新觸媒所需之 NH_3/NO_x 莫耳比較使用年久之觸媒小，因而節省氨使用量，相對的節省費用。究竟何時該更換觸媒，則應詳細計算比較更換觸媒成本與觸媒老化所增加之液氨成本來決定。

- Input : NH₃/NO_x Molar ratio
- Output : Outlet Nox, Slip NH₃

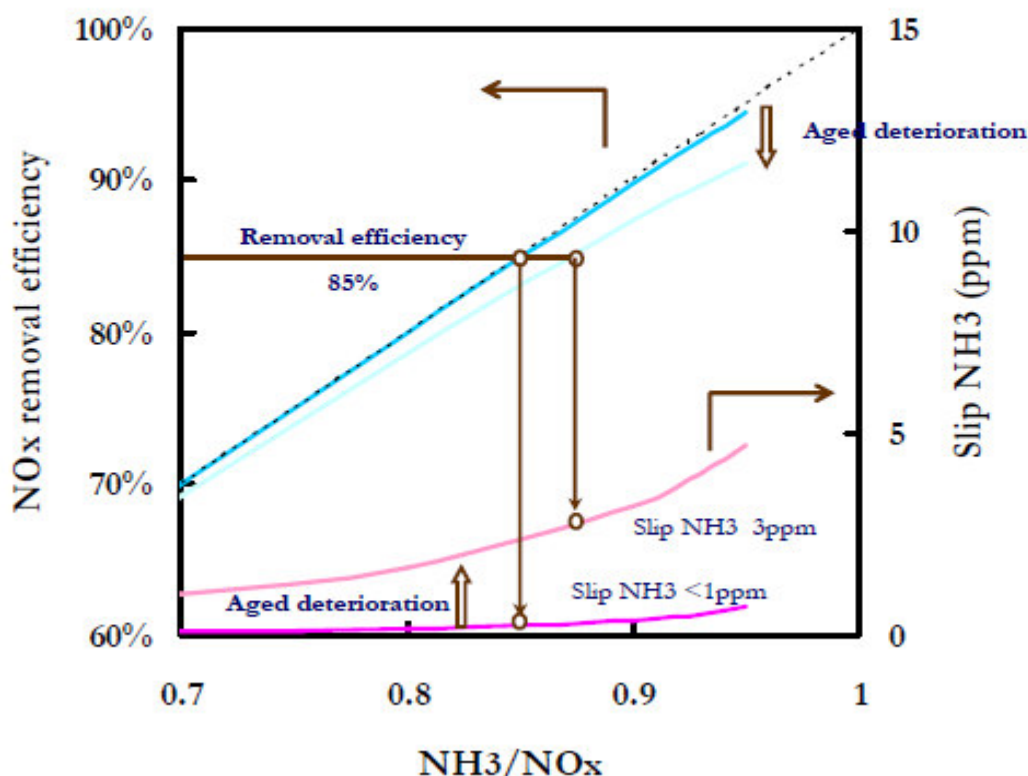


圖 21 SCR 性能曲線

MHI 建議下列方式維護 SCR：

1.經由 DCS(Distributed Control System 分散式控制系統)做性能監視。

系統性能的定期監視評價乃識別設備是否需要維護或修理的最佳方法，因此運轉中某些參數須經常測量及監視以了解 SCR 性能。

下列參數須監視：

- (1).廠出力(僅參考)。
- (2).SCR 入口燃氣溫度(僅參考)。
- (3).氨氣消耗(指示觸媒退化及封材損失程度)。
- (4).SCR 入口氧氣(僅參考)。
- (5).SCR 入出口氮氧化物(指示 SCR 退化程度)。
- (6).氮氧化物移除效率(指示 SCR 退化程度)。
- (7).NH₃ 逸失濃度(指示 SCR 退化程度)。
- (8).SCR 壓降(指示觸媒堵塞程度)。

假如入/出口 NO_x 濃度(NO_x 移除效率)、氨逸失及氨消耗量與最初效率比較已改變，且達到容許控制值或設備效能，表示觸媒退化或封材損壞；如果觸媒壓降增加，表示隔離材料或其他物質導致不預期的阻塞已發生。

圖 21 為鍋爐之 SCR 運轉曲線圖，從運轉數據可檢視是否偏離排放標準。

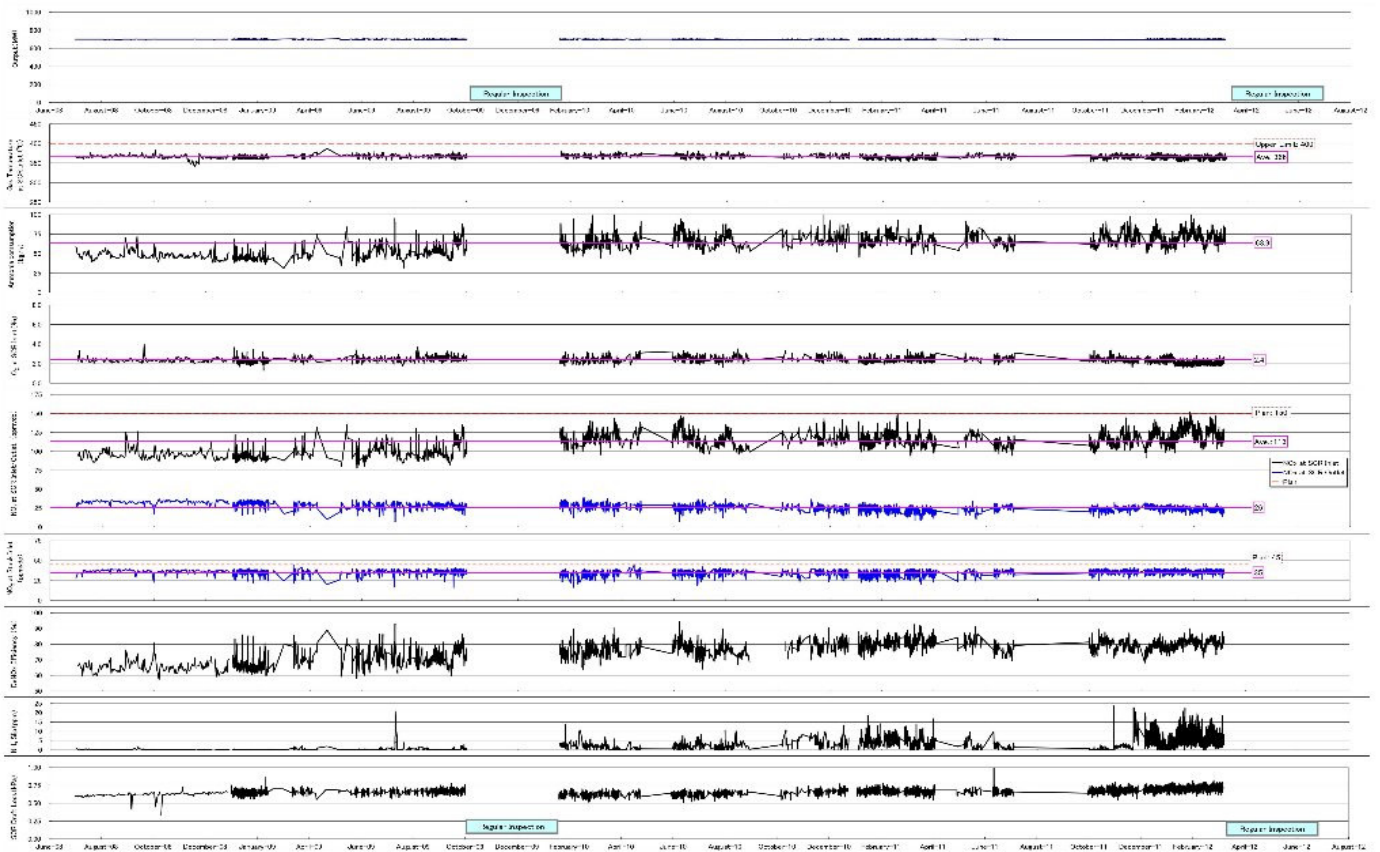


圖 21 SCR 運轉曲線圖

2. 目視檢查(停機時)

注氨格柵(AIG)是一序列的管排，位於 HRSG 之觸媒上游，每一管排鑽有許多小孔(約 3~4mm 孔徑)，孔目排列須做規劃俾使注氨效果達到最佳狀態。

由氨流控制機構控制氨/空氣混合氣進入集管，再流入許多歧管，每一歧管配置一只手動蝶閥以使流量平衡，且每一歧管供給相同數目之氨管。因此，注氨格柵(AIG)為 SCR 系統之重要設備，於停機時須做目視檢查。另一方面觸媒塊無須目視檢查，除非運轉參數超限。根據經驗 HRSG 之 SCR 可運轉許多年，性能不會產生變化。

注氨格柵(AIG)檢視項目如下：

- (1). 噴嘴是否堵塞。
- (2). 管件是否龜裂。
- (3). 管件及支撐架是否變型。

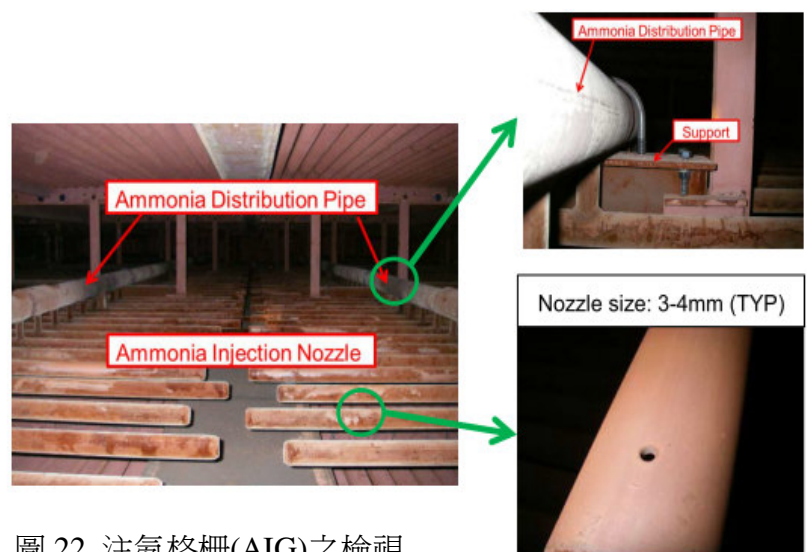


圖 22 注氨格柵(AIG)之檢視

(三)SCR 運轉

1.SCR 運轉溫度限制

(1)最低運轉溫度：200°C

避免產生硝酸銨(NH₄NO₃)。硝酸銨是一種白色結晶固體，通常使用在農業高氮肥料上，同時也是爆炸裝置之引爆媒介。

(2)最高運轉溫度：400°C

避免降低觸媒性能，或高溫損壞觸媒框架。

2.起動與停機操作

(1)起動

SCR 運轉前先備妥氨供給系統，巡視氨槽、管路是否通暢，起動任一氨稀釋空氣風扇。

下列 3 個情況建立之後，才允許開啓氨氣關斷閥。

C1：於 GT 起動後，SCR 入口燃氣溫度升到 205°C(最小開啓溫度為 200°C)。

C2：氨供給系統已準備妥。

C3：任一氨稀釋空氣扇起動。

在氨氣關斷閥開啓之後，氨氣流量控制閥被設定於一特定值(依總燃料流量程式設定)，以自動模式待機 300 秒(因為氨與 NO_x 之化學反應需要一些時間)，待穩定之後，注氨流率控制自動起動。

(2)標準停機：氨氣關斷閥關閉。

(3)緊急停機：下列情況下會緊急自動停止運轉。

- SCR 入口燃氣溫度低於 200°C。
- 氨氣稀釋風扇停止運轉。
- 氨氣濃度過高(達到爆炸限值)。

3.警報

警報系統的目的是通知操作員不正常情況，以便採取適當行動。

- SCR 入口燃氣溫度正常(>205°C)

此溫度乃設定起動注氨系統之最低運轉溫度(200°C)加 5°C。

- SCR 入口燃氣溫度低(<200°C)

此溫度設定最低允許運轉溫度。

- SCR 入口燃氣溫度高(>400°C)

此溫度設定最高允許運轉溫度。

- SCR 差壓高(>AAAkPa)

此警報通知操作員 SCR 堵塞，此值設定於最初壓降之增額 20%，因此，AAA 由下列公式計算：

$$\text{AAA kPa} = (100\% \text{ 負載之最初實際運轉差壓}) \times 1.2$$

- 稀釋空氣流量低(<***m³N/hr)

此流量設定在 10%的氨稀釋濃度，此時氨流動率為最大值。

- SCR 出口 NO_x 濃度高(>BBB ppm)
此警報設定值由鍋爐系統供應商決定。
- SCR 出口 NH₃ 濃度高(>3 ppm)

4. SCR 控制及監視儀器：如下表

位 置	分析儀器	功 能
HRSG 入口	NO _x /O ₂ 分析器	NH ₃ 注入率控制及監視
SCR 入口	溫度計(熱電偶)	SCR 溫度監視
	壓力計	SCR 壓損監視
SCR 出口	壓力計	
煙囪入口	NO _x /O ₂ /NH ₃ 分析器	NH ₃ 注入率控制及監視

四、出國期間所遭遇之困難與特殊事項

感謝廠長的推薦及公司各級長官的厚愛，方能有這次的出國研習機會，這是我第一次公務出國，諸多出國程序及應辦事項皆在同仁的協助下順利辦妥。

初次出國，到達人生地不熟的國度，日本三菱重工及台灣三菱商事給予協助與安排，尤其感謝三菱商事的武井先生，從福岡機場接機，陪同搭車到目的地長崎，住進旅館，第二天從旅館到三菱重工造船所，全程給予導引，才能順利完成此項任務。

研習期間，參觀了 Turbine 工廠、三菱重工史料館、Boiler 工廠，印象最深的是 Boiler 工廠的參觀中，得知爐管製造是以機器人從事銲接作業，機器人穩定度高，可在特殊環境下工作，可惜參觀時未目睹機器人銲接進行情況，而且因為廠區太大，全程乘坐車內只聽到模糊的解說，未能實地觀摩實作製造過程是其遺憾之處。

研習課程雖然只有一位學員，三菱重工仍然於百忙中，派出多位 HRSG 及 SCR 主管及技師特地為我解說，其熱情與親切的招呼實在讓我覺得承受不起，只能感謝再感謝，也感受到台電公司與日本三菱公司長期合作所建立的良好關係，而我卻享受著前人種樹的成果，此次出國研習令我畢生難忘。

另外，出國最大的障礙則在語言，在國內沒有溝通的困擾，出國在外才感覺聽懂對方語言的重要，很多時候無法聽懂對方在講什麼，只有用心靈去體會，也多半能猜出幾成意思。回國後，除勉勵自己加強外語能力之外，也鼓勵同仁儘早充實自己，書到用時方恨少，常言道：多一分準備，則多一分成功機會。



五、結論與建議

(一)結論

- 1.大潭電廠既有機組之 SCR 觸媒塊最適合裝設位置，以不修改爐管考量之下，SCR 最適合之空間為高壓第二段省煤器上游(上層與中層管排中間)，相配合之注氨格柵(AIG)則裝設於高壓第一段過熱器上游(底層與中層管排中間)。
- 2.大潭電廠既有燃氣複循環機組因煙氣中塵粒較小，宜選用 3~4mm 格距(pitch)之觸媒，以提高轉化效率，縮小 SCR 觸媒模組體積。
- 3.SCR 最終產物為 N₂與 H₂O，因 H₂O 排放量與煙氣排放量比較，其佔比小可以忽略，推論排煙不會有白色水氣發生。
- 4.氨逸失量低於 5ppm(最佳 2~3ppm)是極為重要的，目的在避免產生硫酸氫銨(NH₄HSO₄)，造成下游元件堵塞與腐蝕。
- 5.脫硝效率 η (%) = $\frac{[\text{入口 NO}_x \text{ 濃度(ppm)} - \text{出口 NO}_x \text{ 濃度(ppm)}]}{\text{入口 NO}_x \text{ 濃度(ppm)}} \times 100$
6. SCR 入口端需測量 3 項數據：NO_x 濃度、O₂ 濃度、SCR 入口燃氣溫度；在 SCR 出口需測量 3 項數據：NO_x 濃度、NH₃ 濃度、SCR 入出口差壓。
7. NO_x 移除效率隨 NH₃/NO_x 莫耳比而變化，故移除效率由 NH₃/NO_x 莫耳比所控制。
8. SCR 所需注氨率(kg/h) 計算公式

$$\text{NH}_3 = G \times \text{NO}_x \times 10^{-6} / 22.4 \times \alpha \times 17$$

其中，NH₃：所需注氨率(kg/h)

G：GT 出口燃氣含量(m³N/h)，(乾基)

NO_x：SCR 入口 NO_x 濃度(ppm)，(乾基)

α ：NH₃/NO_x 莫耳比 = SCR 入口 NH₃ 濃度(ppm) / SCR 入口 NO_x 濃度(ppm)

9. 氨氣爆炸上下限值約為 15%~28%，為避免產生爆炸，氨氣被空氣稀釋濃度應低於此爆炸限值。
10. 以同樣脫硝效率而言，新觸媒所需之 NH₃/NO_x 莫耳比較使用年久之觸媒小，因而節省氨使用量，相對的節省費用。究竟何時該更換觸媒，則應詳細計算比較更換觸媒成本與觸媒老化所增加之液氨成本來決定。

(二)建議

- 1.大潭電廠既有機組之容量因素與未來新增機組之容量因素不同(既有#1~6 機容量因素為 78.4%，新增機組容量因素預計為 85%)，若空污排放量採整廠不增加時，則增設 SCR 後之 NO_x 容許排放濃度應依實際運轉情況詳細評估。
- 2.SCR 注氨率受 HRSG 入口及煙囪入口 NO_x 濃度控制，運轉控制應儘可能減少氨氣洩漏，以免產生臭味影響周圍環境或引起民眾抗爭問題。
- 3.觸媒塊尺寸及重量應請顧問公司精確評估計算，尺寸小雖有較大之維修空間，但須注意堵塞問題。

- 4.大潭電廠#1,2 機若燃用柴油時建議停用 SCR，以免因柴油含硫份在 SCR 注氨時會產生硫酸氫銨固體堵塞觸媒塊，且造成爐管腐蝕。
- 5.若燃用天然氣時使用 SCR 則無產生硫酸氫銨問題，為符合環保規定必需使用 SCR 時，建議#1,2 機停用輕柴油，以天然氣為主要燃料。
- 6.既有機組增設 SCR 應考量最佳化原則，招標規範應符合需求性、必要性及電廠營運模式，避免造成投資浪費。
- 7.大潭電廠舊有機組煙囪高度僅 60M，為避免 SCR 之氨洩漏造成電廠周界生異味，NH₃ 之逸失濃度應控制在 5ppm 以下。
- 8.既有機組增設 SCR 後可能影響 HRSG 之維修空間，因此觸媒層人孔位置及數量應再仔細評估。