

出國報告（出國類別：洽公）

桃廠新建高壓鍋爐  
煙道氣污染物減量設備

服務機關：台灣中油股份有限公司

服務單位：興建工程處

姓名：藍坤煌

職稱：組長

派赴國家：日本

出國期間：2010年6月2~8日

報告日期：2010年9月5日

# 目 錄

一、目的.....	2
二、過程.....	2
1. 行程概要.....	2
2. 煙道氣脫硝裝置(DeNO <sub>x</sub> )設計及 SCR 觸媒 供應廠商：BHK.....	3
3. 排煙脫硫裝置(DeSO <sub>x</sub> ，或稱 FGD)設計 廠商：FKK.....	7
三、心得與建議.....	10
1. 煙道氣脫硝裝置(DeNO <sub>x</sub> ).....	10
2. 排煙脫硫裝置(DeSO <sub>x</sub> ).....	11
四、附錄.....	12

## 摘 要

此行拜訪煙道氣脫硝裝置(DeNO<sub>x</sub>)設計及 SCR 觸媒供應廠商 Babcock-Hitachi K.K. (簡稱 BHK)公司以及排煙脫硫裝置(DeSO<sub>x</sub>，或稱 FGD)設計廠商 Fuji Kasui Engineering Co. Ltd.(簡稱 FKK)公司。兩家公司產品的裝置數量在工業界皆已達到相當的規模。BHK 公司對於其脫硝裝置有完整而全面的說明資料，且詳細記載相關規定及注意事項。在設計上促成 NO<sub>x</sub> 與 NH<sub>3</sub> 的充分混和，且提供充足的 SCR 觸媒，得以維持良好的脫硝性能，操作及維護上則需長期記錄與追蹤觸媒性能上的表現，以及對觸媒樣品的定時檢視與觀察。排煙脫硫裝置係採用 FKK 的 Moretana 專利，本案屬於容易操作及保養簡單的 NaOH 法，制訂有安裝及試車前檢點與測試項目，並由 FKK 台灣分公司的人員實地檢查及記錄測試結果，確認功能正常。為維護脫硫效果的正常運作，操作後停爐期間的檢視重點可以沿用試車前的檢點事項。

## 一、 目的

桃廠四號鍋爐統包工程之統包商選擇煙道氣脫硝裝置(DeNO<sub>x</sub>)及排煙脫硫裝置(DeSO<sub>x</sub>)之設備廠商分別為 Babcock-Hitachi K.K. (簡稱 BHK)及 Fuji Kasui Engineering Co. Ltd. (簡稱 FKK)，兩家皆為日本公司。

此行前往上述兩家公司拜訪，向上述設備之原始設計/開發者探詢設計、操作與維護等多面向且有助益於使用者之資訊，以利於本案裝建品質之保障、試車階段工作內容之掌握以及操作與維護經驗之瞭解。

## 二、 過程

### 1、 行程概要

本次出國期間為 99 年 6 月 2 日出發前往日本，於 99 年 6 月 8 日返國。其間之行程如下：

日期	到達地點	詳細工作內容
99.6.2.	廣島	啟程 (台北飛福岡、搭車至廣島)
99.6.3.	廣島	拜訪 BHK 公司討論 DeNO <sub>x</sub> 觸媒之設計、操作 與維護
99.6.4~7.	東京	拜訪 Fuji Kasui 公司討論 DeSO <sub>x</sub> 設施之設計、操作 與維護
99.6.8.	台北	返程 (東京飛台北)

以下將分別說明至兩家公司拜訪之情形。

## 2、煙道氣脫硝裝置(DeNO<sub>x</sub>)設計及 SCR 觸媒供應廠商：

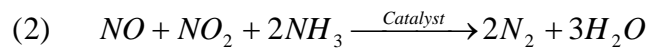
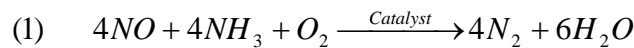
### Babcock-Hitachi K.K. (簡稱 BHK)

拜訪 BHK 公司時，BHK 製造部部長(General Manager) Koichi Mitsuhashi、工廠技術本部副技師長(Chief Engineer) Masato Mukai 及副參事(Senior Engineer) Katsuhiko Yashiro 出面接待。先觀賞該公司之簡介短片，而後 Katsuhiko Yashiro 介紹脫硝裝置之設計與觸媒，接著雙方進行討論。討論結束後，再前往其 SCR 觸媒之生產工場(Akitsu Works)，在工場長(General Manager) Takashi Michimoto 的親自解說下，參觀 BHK 公司 SCR 觸媒之生產情形，而後 BHK 公司派駐 Akitsu Works 的副技師長(Chief Engineer) Isato Morita 及該工場製作課的 Yuji Kobayashi 再介紹該工場及觸媒的特點。

BHK 公司係 1953 年由 Toyo Babcock Ltd.及 Hitachi Ltd.共同投資成立，當時主要是生產工業用鍋爐；1987 年改由 Hitachi Ltd.全資擁有。BHK 公司肇始於鍋爐之製造，鍋爐之各種裝置包括厚壁壓力容器、燃燒器，乃至煙道氣之污染減量設備之設計與製造(包括脫硫及脫硝裝置)皆是其營運之範圍，並進而擴充至生產核子反應爐、石化業之裂解爐與反應器、蒸汽重組爐、焚化爐以及相關之維護保養技術。

在許多煙道氣脫硝的方法之中，SCR 是 Selective Catalytic Reduction 的縮寫，代表它是選擇性觸媒還原的方法(Process)：

- ▽ 所謂 Selective(選擇性)，是指這種方法只對氮的氧化物作用，而不對碳或硫的氧化物有作用；
- ▽ Catalytic(觸媒)，它只是促成上述反應的進行，本身並不參與反應，因此基本上不會因這些化學反應而消耗掉；
- ▽ Reduction(還原)，則是指它把煙道氣中的氮氧化物(NO 及 NO<sub>2</sub>)還原成氮氣(N<sub>2</sub>)及水，反應方程式如下：



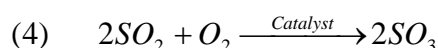
燃油鍋爐的煙道氣所含的氮氧化物主要是 NO，因此反應式(1)是主要反應；反應式(2)的反應速率則最快；兩種反應的 NO<sub>x</sub>：NH<sub>3</sub> 比都是 1：1；反應式(3)只在 NO<sub>2</sub> 濃度高於 NO 時扮演較重要的角色<sup>(8)</sup>。

<sup>(8)</sup> 整體而言，在設計上，No<sub>x</sub>：NH<sub>3</sub> 的比例大約是 0.85：1，因為實際發生的化學反應通常不會是那麼完美的進行，會有部分 NH<sub>3</sub> 未參與作用而直接從觸媒「溜走」，術語上叫做“NH<sub>3</sub> Slip”。NH<sub>3</sub> Slip 的量大約有 5%，所以實務上會讓 NH<sub>3</sub> 多一些。

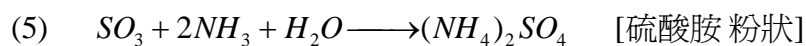
上述反應中的 NH<sub>3</sub>，來自 20% 的氨水溶液。氨水經過蒸發器，被熱空氣加熱蒸發後，在 SCR 的上游，注入煙道氣中，流向與煙道氣相同。NH<sub>3</sub> 的注入裝置分成兩組，兩組互相垂直，共同均勻分佈於煙道的通道中。這

些氮氧化物的還原反應在 800°C 以上的溫度可以輕易進行，1100°C 以上時則 NH<sub>3</sub> 被氧化成 Nox 要比把 Nox 還原還來得多。經過節煤器(Economizer)換熱之後的煙道氣溫度已經被降低許多，所以，這些反應要能進行，必須藉助於觸媒。

除了上述反應之外，觸媒還會促進另外一種反應：

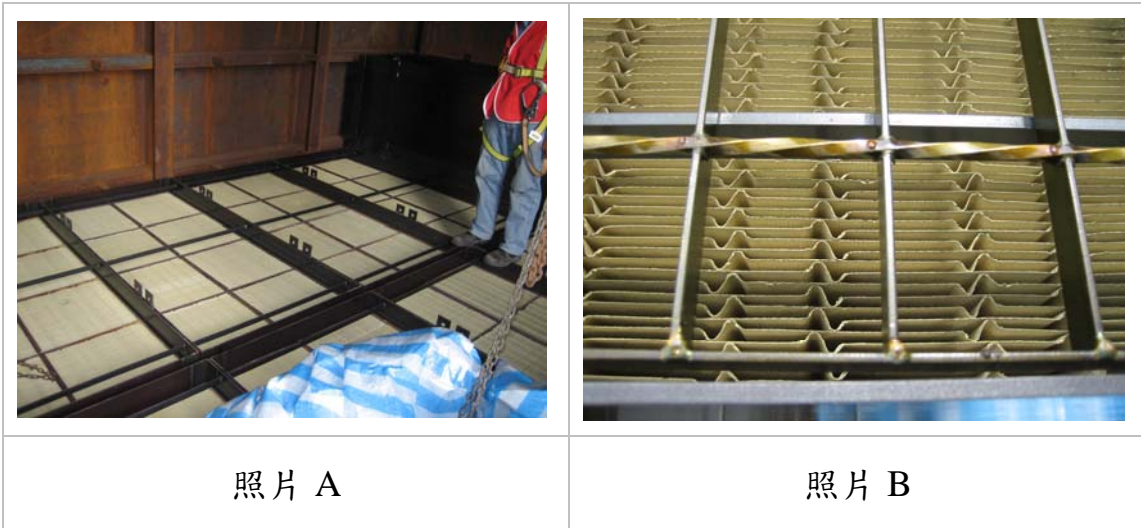


反應所產生的 SO<sub>3</sub> 還會與 NH<sub>3</sub> 形成胺鹽：



黏稠狀的硫酸氫胺會造成觸媒所謂的阻塞現象。只是，這種現象在低付載操作時才會出現；在鍋爐接近滿載的情況下，因為溫度夠高，通常不會在觸媒上面產生而出現問題。煙道氣本身所帶來的 SO<sub>3</sub> 在此無法避免，能作的只有控制 NH<sub>3</sub> 的量：那就是保持充足的觸媒，使溜走的 NH<sub>3</sub> 降到非常低。因此，觸媒性能的追蹤對於脫硝的效果及後端設備的保護是十分重要的。

BHK 的 SCR 觸媒為片狀(Plate Type)，底材是不銹鋼網。觸媒的基底是 TiO<sub>2</sub>，薄薄的壓在不銹鋼網兩面，經加熱硬化後成形。片狀觸媒平行排列，組合成大約 50cm 見方的小區塊，再由數個小區塊堆疊，填滿事先設計好的箱型櫃子內，如照片 A、B：



本案已預留未來煙道氣 Nox 標準從 50ppm 降到 25ppm 需要增加兩層 SCR 觸媒的空間。

互相平行的兩片 SCR 觸媒間間隙，就是煙道氣流通的空間。這種設計的差壓較小，相對的亦較不會有沖蝕(Erosion)的問題。但是，撞擊、髒污、濕氣對 SCR 觸媒都是有害的，所以，搬運上及存放超過兩個月的管理上，需要特別遵守其規定。此外，鍋爐緊急停爐、破管、燃料成分改變或煙道氣含有過多可燃性物質時，對於觸媒都會造成相當的傷害。所以 BHK 在其所提供的使用及操作手冊中，對於這些異常狀況之下所應該採取照護 SCR 觸媒的程序與注意事項，都有詳細的規定。但是統包商原先所提供的書面版本是掃描後的影像檔，共有 165 頁之多，要找到所關注的議題，十分困難且費時。所以，利用此次拜訪 BHK 的機會，向其提出提供方便搜尋的操作使用手冊電子檔的要求，也獲得 BHK 同意。事後取得該批電子檔，經過彙整成完整的一個檔案後，已提供給使用部門，方便日後必要的翻閱。

SCR 觸媒除了上述堆疊成箱型安裝於煙道上，還在 SCR 觸媒箱的上游及下游分別設置較小而長形的「樣品」(Catalyst Samples，如照片 C)：



本系統停止操作期間，可將這些觸媒樣品從煙道中抽出來檢視，看看使用過一段時間後，觸媒表面的乾淨狀況(包括顏色)。拜訪時曾向 BHK 要求提供一些代表性的照片，供本公司相關人員自行參考，但 BHK 只接受必要時可以將有疑問的一些觸媒樣本寄去讓其研判。

BHK 公司的 SCR 觸媒從 1970 年代至今，已供應超過 750 座裝置以上。根據 BHK 的經驗，日後觸媒性能不足時，採用增加一層的方式較為經濟，且較能發揮 SCR 觸媒的功能。本案由於已預留未來環保法令轉趨嚴格、Nox 排放標準進一步降到 25ppm 的能力，尚有再堆疊兩層的空間，因此日後在 SCR 觸媒性能衰退不足時，將可採用增加一層的方式補充新觸媒。

### 3、排煙脫硫裝置(DeSO<sub>x</sub>，或稱 FGD: Flue Gas Desulfurization)

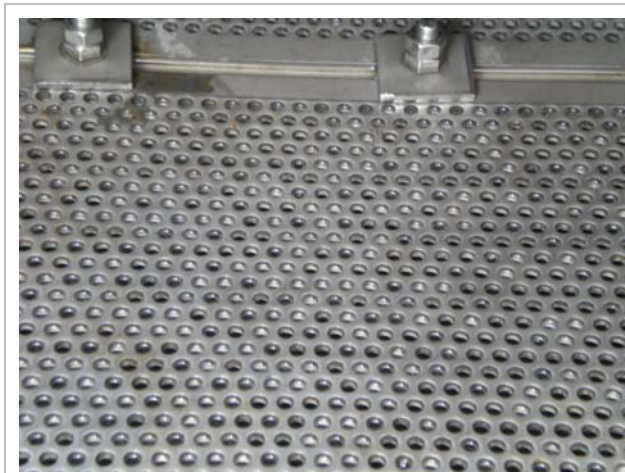


設計廠商：Fuji Kasui Engineering Co. Ltd.(簡稱 FKK)

拜訪 FKK 公司時，FKK 的工程部門部長(General Manager, Engineering Department) Katsuo Oikawa 及東京技術中心主任技師(Chief Engineer, Tokyo Technology Center) Takayoshi Harimoto 介紹其排煙脫硫系統，隨後即討論本案之裝建、測試及操作等議題。

FKK 公司成立於 1957 年，始於井水之處理，目前已具備純水及廢水處理以及水資源回收等領域之技術，包括研發、規劃、設計、裝建及維護等業務。

本案的排煙脫硫系統是採用 FKK 的 Moretana 專利設計。Moretana 是日文「漏棚」的讀音，是指鑽有許多孔洞的平板，如照片 D。

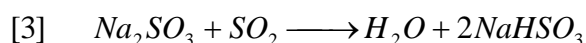
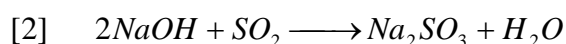
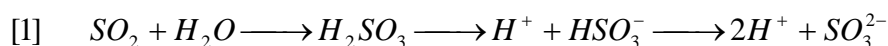


照片 D

煙道氣從平板下方上升，鹼性液體從平板上方流下，透過氣液兩相的充分接觸，使煙道氣中的 Sox 被吸收，達到脫硫的效果。這些 Moretana Plate，近似於一般化工操作上的 Sieve Plate。Moretana Plate 設計的開孔面積選在

25~60%，使氣液兩相在經過 Moretana Plates 時，可以充分接觸與產生反應，超過 95% 的脫硫反應是在此進行完成的。每層 Moretana Plate 的壓降大約 20~30mm H<sub>2</sub>O。

本系統的化學反應如下：



煙道氣先經過預冷區(Pre-quench Section)，溫度從 124°C 降到 90°C，同時，也可以把粉塵帶下來。然後，氣體進入吸收塔後，含有 NaOH 的塔底溶液從 Moretana Plates 的下層下方及最上層的上方噴淋而下，進行所有的反應(反應式[1]~[4])。接著，脫硫後的廢氣經過 Demister 後，再從煙囪排放到大氣。Demister 的下方有定時噴灑水霧、清洗表面積垢、維持氣體流暢的設計。

第一個反應(反應式[1])發生後，Ph 會值下降，這有利於反應向右進行。同時，由於  $\text{SO}_3^{2-}$  具有緩衝劑(Beffer agent)的功能，可以減少 Ph 值的驟降所引發操作控制上的困難。 $\text{SO}_3^{2-}$  及  $\text{HSO}_3^-$  再經過 Oxidation Blower 送進吸收塔底部的空氣，曝氣氧化成  $\text{H}_2\text{SO}_4$  及  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ，所以吸收塔底部的 Ph 會下降，再藉由 45%NaOH 加以中和。一般 Ph 大約控制在 7~8 之間，但是若長期大於 7.5，由於  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  的溶解度偏低，會造成在系統內部沈澱而產生積垢(尤其是在 Moretana 盤上)的不良現象。

預冷區(Pre-quench Section)的溫度較高，所以使用的材質較為特殊：首先，噴嘴採用鈦質(Titanium)金屬，由 FKK 直接供料。其次，煙道本身的母材採用 Coten 材質(一種為應付煙道露點腐蝕的環境而開發的鋼材)，先襯上耐酸的 Flake Lining，厚度 1.5mm，然後再加上含花崗石成分加工而成的 Kokastone Lining 耐熱層內襯，厚度達 100mm。Kokastone Lining 本身十分耐用，即便厚度剩下 60mm 仍然堪用。倒是填縫材料可能會剝落，如果縫隙填料剝落的深度已經達到 20mm 以上，可以進行填補；如果超過 10mm，就可以先進行籌料，準備下次停爐時進行修補。

依據 FKK 提供的資料，該公司的 FGD 裝置已超過 130 套，絕大多數在太平洋西岸的亞洲地區。國內南部地區的友廠、麥寮地區的電廠、民間石化業者均有採用，只是採用的方法不盡相同(FKK 的脫硫設計還有 Limestone 法、 $Mg(OH)_2$  法、Seawater 法等)。曾有一例：某廠之裝置出現煙道氣硫份過高的現象，對 FGD 裝置進行檢查，沒有發現異常。後來進一步檢討，發現是旁通的煙道氣擋板(Damper)沒有關死，產生洩漏所致。

### 三、心得與建議

#### 1. 煙道氣脫硝裝置(DeNOx)

脫硝裝置的主要反應中， $NO_x$  與  $NH_3$  的理論比例為 1：1，所以在 SCR 觸媒區域兩者的比例能否均勻，是脫硝效果的關鍵。為了要使比

例均勻，NH<sub>3</sub> 注入煙道氣位置的決定就很重要，這叫 NH<sub>3</sub> Mixing Distance，使 NH<sub>3</sub> 與煙道氣在到達 SCR 觸媒之前能夠先充分混和。此外，還在 SCR 觸媒的上游裝設了 Screen Plate，使煙道中的氣流分佈與流速能夠均勻。剩下的就有賴維持 SCR 觸媒的性能了。

SCR 觸媒要保持乾燥與乾淨，以維護其性能。不論是安裝之前的保存、操作中或是停爐期間，原廠之操作及維護手冊都有詳細的規定。如果操作中發生異常狀況，不論是油料改變、緊急停爐、或是爐管破裂等，基於對 SCR 觸媒的維護，相關的因應措施與作法也有完整的交代。熟悉這些規定，是維護 SCR 觸媒的關鍵。必要時，藉由彙整完成的完整 PDF 檔案，亦可以迅速的找到需要的解答。

掌握觸媒的性能狀況與趨勢是另一要件。除了從操作紀錄與數據去瞭解之外，定時抽出觸媒樣本，檢視其外觀是否乾淨、正常，如果有可疑現象，可以取出幾片觸媒，送給 BHK 研判，同時提供籌料的建議。BHK 表示，SCR 觸媒的交貨時間半年，緊急時可以縮短至三個月。

## 2. 排煙脫硫裝置(DeSOx)

本案的排煙脫硫裝置運轉前的檢點工作包括下列幾項：

- 1). 先從 M-2 人孔看曝氣裝置，查看空氣分佈的效果是否均勻。
- 2). 檢查進入預冷區(Pre-quench Section)的 UW 水量與壓力，觀察噴霧狀況是否能涵蓋整個空間，必要時加以調整。

- 3). 查看 Moretana Plates 下方 Spray Nozzles 的噴灑情形。
- 4). 依據相關安全規定，備妥通訊設備，2~3 人一組，從 M-8 人孔進入，從散水管上方查看 Moretana Plates 上方的噴淋狀況，有無阻塞的情形。
- 5). 查看 Moretana Plates 有無異物阻塞或變形(如果施工或安裝品質品質不佳，除了變形，還有可能 Moretana Plates 鬆動、平整度不佳、操作時液相層厚度不一、氣液接觸不完全的情形)。
- 6). 相關儀控設備事先測試完成，以便利用清水進行上述的運轉測試及檢點。

這些項目，近日由 FKK 的台灣分公司技術人員實地進行檢點與確認完成，整個過程又稱為清水試驗，並做成相關的書面紀錄。

本案的排煙脫硫裝置採用 NaOH 法，根據 FKK 的經驗，最容易操作，維修工作不多。相較於  $Mg(OH)_2$  法，NaOH 法的操作成本較高，但效果較好，亦較不易結垢。即便如此，上列事項雖然是啟用前的檢點內容，操作以後，在適當的停爐期間，或是操作中出现異常的情形，都可以進行相同的檢視與查證，找出問題所在。

Pre-quenth Section 的內襯在停爐期間可以進行目視檢查，瞭解 Kokastone 耐溫層的損壞程度及填縫劑的剝落情形。

#### 四、 附錄

1. 拜訪 BHK 公司生產 SCR 觸媒的工場---Akitsu Works，與 BHK 公司

人員合影：



前排由左至右分別為：筆者，工場長(General Manager) Takashi Michimoto，BHK 退休員工 Hiroshi Toyota；

後排：該工場製作課 Yuji Kobayashi，副技師長(Chief Engineer) Isato Morita

2. 拜訪 FKK 公司，與 FKK 公司人員合影：



由左至右分別為：FKK 東京技術中心主任技師(Chief Engineer, Tokyo Technology Center) Takayoshi Harimoto，筆者，FKK 工程部門部長 (General Manager, Engineering Department) Katsuo Oikawa