

燃煤鍋爐排煙脫硝效率提昇改善

歐正章*

摘 要

本文針對動力工場燃煤鍋爐既有 SNCR 排煙脫硝系統進行效率提昇改善探討，期望將燃煤鍋爐 NO_x 排放濃度穩定降低至擬議中的法規標準以下，確保設備未來仍能穩定操作、運轉。經調整 SNCR 操作參數後，結果顯示，當上/下層均噴且增加 Urea Solution 用量至 260 L/hr，燃煤鍋爐脫硝效率可高達 52%，此時 NO_x 排放濃度可降低至 102 ppm。如要在短期間內順利通過新環保法規標準，可再增加 Urea Solution 用量，但是此一作法會造成高濃度 Ammonia Slip，無法長時間採取此一操作模式運轉。

若要確保燃煤鍋爐高脫硝效率且又要避免 Ammonia Slip 困擾，建議在 Primary Super Heater 及 Secondary Heater 之前加裝 MNL (Multi Nozzle Lance) 並在 Air Heater 前加裝 SCR，只要 SCR 脫硝效率高於 40%，SCR 利用排氣中殘存之 Ammonia，可將廢氣之 NO_x 濃度進一步降低至目標值。

【關鍵詞】 燃煤鍋爐、鍋爐、排煙脫硝、操作調整

*中國鋼鐵股份有限公司新材料研究發展處能源與空污防制組 副研究員

一、前言

動力工場燃煤鍋爐為符合日益嚴苛的 NO_x 環保法規，通常會裝設排煙脫硝系統。本文所探討之動力工場燃煤鍋爐，於民國 84 年已增設以尿素水溶液為還原劑之選擇性非觸媒還原法(SNCR, Selective Non-Catalytic Reduction)排煙脫硝系統，將 NO_x 排放濃度由 350ppm 降至 200ppm。為進一步探討降低此一燃煤鍋爐 NO_x 排放濃度之可行性，本文乃針對既有 SNCR 排煙脫硝系統，提昇其脫硝效率，期望將燃煤鍋爐 NO_x 排放濃度降低至 80 ppm 以下。

二、文獻蒐集與分析

選擇性非觸媒還原法(Lyon, 1975, 1976, 1987)，是將尿素或氨等氮基化合物溶液注入高溫的煙道氣中，還原 NO_x 為 N₂ 及 H₂O。由於此法不需藉由觸媒的作用，可以避免觸媒毒化或堵塞的問題發生，還原劑(或稱藥劑，大多使用尿素水溶液)可直接藉由爐內高溫環境來造成還原反應的條件，減少採購觸媒的成本。(黃自立，1992；張君正等，1994)

但 SNCR 脫硝效率會受到(1)反應溫度區、(2)還原劑(例如尿素水溶液)注入量與濃度、(3)還原劑霧化情形、(4)還原劑與燃燒廢氣之混合情形等因素影響。(Chen, 2001)其中，以反應溫度區最為敏感，過高或過低的溫度，不但無法去除排氣中的氮氧化物，反而會生成更大量的 NO_x。另外，還原劑注入量多寡，亦會影響到其處理效率。當注入量不當，除影響 SNCR 脫硝效率外，更會造成未經反應之氨氣直接排放(Ammonia Slip)，而污染環境。

綜上所述，SNCR 操作時，注入藥劑的溫度區間、藥劑量、藥劑與燃燒廢氣混合情形是左右 SNCR 脫硝效率的重要因素。注入較多的藥劑量，雖有助於提高去除效率，但同時也會造成 Ammonia Slip 污染，且浪費藥劑成本。為確保 SNCR 系統脫硝效率及避免 Ammonia Slip，SNCR 在操作上必須確實掌握噴藥點溫度區間及噴藥技術。(Chen, 2001；Nalco Fuel Tech, 1990)。

三、研究方法與步驟

為提昇燃煤鍋爐既有 SNCR 排煙脫硝系統之脫硝效率，達到 NO_x 排放濃度低於 80 ppm 之目標。本研究之研究策略規劃如下：

1. 探討既有 SNCR 系統之最佳脫硝效率及其操作條件。
2. 如果既有 SNCR 系統在最佳脫硝情況下，仍無法將 NO_x 濃度下降到 80 ppm 以下，則探討增設 SCR 系統之技術可行性及其脫硝效果。

依上述研究策略，本研究之方法與步驟如下：

1. 在經過燃燒調整，將飛灰中 LOI (Loss on Ignition) 值降到最低值之最佳燃燒條件下，以 Suction Pyrometer 測量 SNCR 噴藥口附近之鍋爐爐內溫度及 NO_x 濃度分佈。(歐正章，2005)
2. 以噴藥口附近所測得之鍋爐爐內溫度與 NO_x 濃度，當成”燃煤鍋爐爐內溫度分佈與 SNCR 脫硝效率理論分析”之邊界條件 (Boundary Condition)，理論分析鍋爐燃燒流場、溫度場及 SNCR 之最佳條件。SNCR 之操作參數包括 Urea Solution 濃度，Urea Solution 用量，噴嘴角度與上下二層噴嘴之 Urea Solution 分配量等。
3. 依據上述理論分析分析結果，調整 SNCR 諸操作參數，尋求 SNCR 最佳脫硝效率值。
4. 若 NO_x 濃度仍無法降到 80 ppm 以下，則進行探討增設 SCR 之技術可行性。自現場 SNCR 之後抽出部份廢氣，送入 SCR Pilot 設備內，進行探討 Hybrid SNCR+SCR 之脫硝效果。

四、結果與討論

1. 探討既有 SNCR 系統之最佳操作條件

- (1) 燃煤鍋爐在 SNCR 噴藥點之溫度分佈

針對 SNCR 尿素水溶液噴藥口 C 與 I (噴藥口分佈如圖 1 所示)，進行溫度量測，結果顯示，爐氣溫度分別為 1150 °C (離爐壁 1.0 公尺) 與 1200 °C (離爐壁 0.75 公尺)。理論分析乃以此爐氣溫度測值為邊界條件，進行爐內溫度場與流場計算。

- (2) 理論分析 SNCR 之最佳操作條件

由 SNCR Baseline 理論分析結果顯示，

- (a) 如果只噴上層 Injectors，未蒸發、反應完全之 Urea Solution 顆粒會碰到 PSH (Primary Super Heater) 之管群。

- (b) 考慮 10 支 Injector 均噴之情況。且改變：

- (i) 上層 Urea Solution 噴量偏流 (I 與 J Injectors 多噴、G 與 H Injectors 少噴 Urea Solution)，

- (ii) 上/下層 Urea Solution 顆粒分佈不同 (上/下層 Urea Solution 粒度分別為 200/500、250/450、200/500 Micron)，

(iii) NSR (Normalized Stoichiometric Ratio, 分別使用 1.0、1.66 等), 結果 SNCR 脫硝效率介於 21.3-34.4%, 並未顯著改善。

究其原因, 可能為煤種改變後, Furnace Gas 溫度分佈已經改變所致; 且所噴注 Urea Solution 並未打入煙道內 NO 濃度較高之區域, 無法讓 Urea Solution 所釋放出來的 Ammonia 與煙道氣中之 NO 即時且有效地反應。

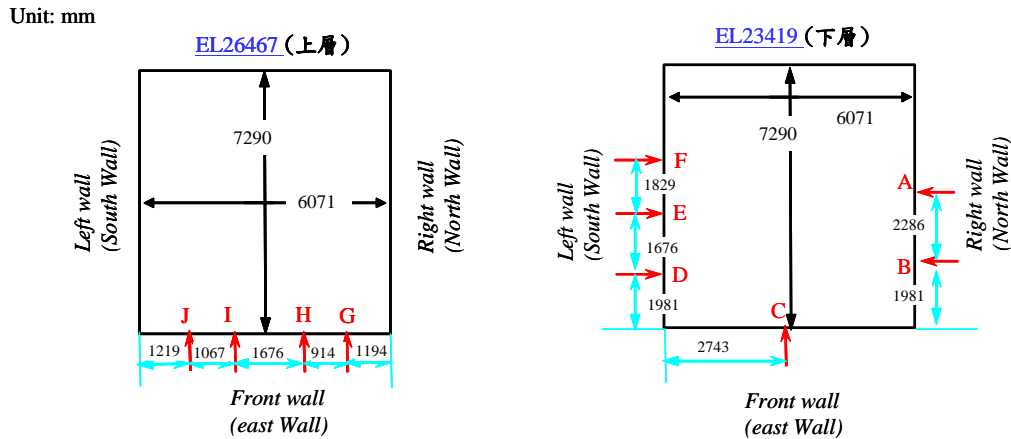


圖 1 SNCR 噴藥口分佈圖

(3) 實驗調整 SNCR 操作條件降低 NO_x 排放濃度

SNCR 之脫硝步驟為 (a) Urea Solution 先行解離, (b) Ammonia 與煙氣之 NO 在適當溫度區間充份混合與產生反應。

影響 SNCR 效率之變因包括: (a) 反應溫度區間、(b) Urea Solution 霧化粒度、(c) 噴嘴型態與噴霧角度、(d) Urea Solution 用量、(e) 噴藥偏流等。針對上述變因, 在既有 SNCR 系統, 可以改變之操作條件為 (a) 上/下層噴藥量、(b) 稀釋水量/水壓、(c) Urea Solution 用量等。

SNCR 操作參數調整測試期間, 鍋爐操作條件, 如下所示。

(a) 100% MCR

(b) 全燃煤運轉

測試結果, 彙整如表 1。由以上 SNCR 操作調整測試結果顯示, 當 SNCR 系統上/下層同時噴之脫硝效果最佳, 且 Urea Solution 噴藥量及稀釋水量增加, 均有助於脫硝效果。最佳操作條件為上/下層均噴注 Urea Solution, 稀釋水壓力設定為 850 kPa, Urea Solution 用量設定為 260 L/hr。此時, NO_x 排放濃度可降低至 102 ppm, 脫硝效率大於 52%。

表 1 調整 SNCR 操作條件之脫硝效果

上/下層均噴					
稀釋水壓設定 kPa	實際水壓 kPa	實際水流量 (LPM)	Urea Solution 用量(LPH)	脫硝效率	NOx 排放濃度 ppm
850	833	29.77	100	34.2%	141
	820	27.62	180	45.2%	118
	833	26.73	260	52.7%*	102
725	708	23.84	100	34.1%	142
	707	22.46	180	44.4%	120
	709	20.92	260	52.1%	103
600	585	17.40	100	28.4%	154
	595	16.32	180	40.5%	128
	603	15.23	260	46.7%	115
只噴下層					
稀釋水壓設定 kPa	實際水壓 kPa	實際水流量 (LPM)	Urea Solution 用量(LPH)	脫硝效率	NOx 排放濃度 ppm
850	834	16.11	100	26.8%	157
725	708	8.74	260	41.4%	126
600	641	10.42	180	34.8%	140
只噴上層					
稀釋水壓設定 kPa	實際水壓 kPa	實際水流量 (LPM)	Urea Solution 用量(LPH)	脫硝效率	NOx 排放濃度 ppm
850	834	10.61	180	36.8%	136
725	707	8.64	100	25.7%	160
600	稀釋水系 統會當機	水流量偏低	260	N.A.	N.A.

*：Ammonia Slip 實驗量測值為 30 ppm，理論分析預測值 > 100 ppm。

2. 探討增設 SCR 系統之技術可行性

(1) 以 SCR Pilot 實驗設備至現場實測脫硝效率

SCR Pilot 實驗設備，如圖 2 所示。



圖 2 SCR Pilot 實驗設備

裝置此一 SCR Pilot 實驗設備於現場燃煤鍋爐 EP 下游，利用 SNCR 未反應完之殘餘氨，在 SCR Pilot 實驗設備內，進行 SCR 觸媒脫硝反應測試。測試結果，如表 2 所示，其脫硝效率可達 80%。

表 2 SCR Pilot 實驗之脫硝效果

量測點	SCR 反應溫度入口/出口()	SNCR 噴入量(L/hr)	殘餘氨/NO _x 莫耳比*	空間流量(hr-1)	NO _x 入口濃度(ppm)	NO _x 出口濃度(ppm)	脫硝效率(%)
EP 後	278/260	264	0.5~0.6	5,000	122.9	24.3	80.2
EP 後	315/285	264	0.5~0.6	5,000	122.9	17.1	86.1
EP 後	345/315	264	0.5~0.6	8,000	122.9	24.9	79.7

*: 數據可能偏低，為避免 Ammonia Slip，一般 SCR 設計 NH₃/NO 均取 0.8，但此 Hybrid 系統可稍不同。SNCR 設計 NSR 取 1.0。

(2) 工程上探討加裝 SCR 之技術可行性

由以上 SCR Pilot 測試果證明，只要廢氣中有足夠殘餘氨，SNCR+SCR 應屬可行之脫硝技術。

脫硝效果隨著殘餘氨濃度而定，只要廢氣中殘餘氨濃度夠高(高達廢氣中 NO_x 濃度之 80%)，Hybrid SNCR+SCR 脫硝效率應可達 60-70% 以上。廢氣中殘餘氨除利用現有 Urea 噴嘴噴注較高之噴藥量來達成外，也可藉由 MNL (Multi Nozzle Lance) 在接近 Super Heater 之反應溫度區間噴入 Ammonia 或 Urea Solution 來釋放出反應所需的 Ammonia，但前者噴注均勻性較低對於殘餘氨濃度增加較為有限。

因此，若要確保燃煤鍋爐高脫硝效率且又要避免 Ammonia Slip 困擾，建議在 Primary Super Heater 及 Secondary Heater 之前加裝 MNL (Multi Nozzle Lance) 並在 Air Heater 前加裝 SCR，只要進入 SCR 前之廢氣殘餘氨濃度達到 $102 \text{ ppm} \times 0.8 = 82 \text{ ppm}$ ，SCR 脫硝效率應會達到 60-70%。若脫硝效率以 40% 來估計，廢氣之 NO_x 濃度應有潛力由 102 ppm 繼續降低至 60 ppm 以下。

五、結論與建議

由 SNCR 操作參數調整測試結果顯示，當上/下層均噴且增加 Urea Solution 用量至 260 L/hr，燃煤鍋爐脫硝效率可以大於 52%，此時 NO_x 排放濃度可降低至 102ppm。如要在短期間內降到 80ppm 以下，可再增加 Urea Solution 用量，但是此一作法會造成高濃度 Ammonia Slip，無法長時間採

取此一模式操作。

當上/下層均噴、增加 Urea Solution 用量至 260LPH，且將稀釋水量增加均有助於 SNCR 脫硝效果。此一操作條件可能會造成 Ammonia Slip 濃度增加，長期運轉，恐會增加發生 ABS (Ammonia Bi-Sulfate) 堵塞 Air Heater 及飛灰資源化之困擾。若要確保燃煤鍋爐高脫硝效率且又要避免 Ammonia Slip 困擾，建議在 Primary Super Heater 及 Secondary Heater 之前加裝 MNL (Multi Nozzle Lance) 並在 Air Heater 前加裝 SCR，只要 SCR 脫硝效率高於 40%，可將廢氣之 NO_x 濃度由 102 ppm 繼續降低至 60 ppm 以下。

六、參考文獻

1. 黃自立(1992)，”空氣污染物收集系統規劃與設計”，空氣污染控制技術講習訓練班講義，中山大學，民國 81 年 8 月 10 日。
2. 張君正、張木彬(1994)，”氮氧化物生成機制與控制技術之探討”，工業污染防治，第 50 期，P.19-35，民國 83 年 4 月。
3. 歐正章(2005)，”自行設計製作外徑小於一英吋之抽取式高溫計”，中鋼公司嘗試實驗研究報告，TE-94627，2005。
4. Chen, S.L. (2001), “NO_x Reduction 技術介紹”，燃燒廢氣脫硝除塵設計、操作與維護實務講習會，中華民國燃燒學會，中國鑛冶工程學會，民國 90 年 11 月。
5. Lyon, R.K. (1975), “U.S. Patent No. 3,900,559”, 1975.
6. Lyon, R.K. (1976), “Int. J. Chem. Kinetics”, No.8, P.315, 1976.
7. Lyon, R.K. (1987), “Environmental Science Technology”, Vol.21, P.231-236, 1987.
8. Nalco Fuel Tech (1990), “Technical Report NFT-13”, Naperville, Illinois, U.S.A., 1990.