
排煙脫硝 SCR 系統操作 運轉最佳化以提升能源 使用效率

總管理處安衛環中心

壹、前言

選擇性脫硝觸媒還原反應器 (SCR) 為世界電廠在空污防制上所採用之最佳可行控制技術 (BACT) 之一，本企業燃煤發電機組為符合環評承諾之要求 (NO_x : 40~60ppm)，燃煤鍋爐皆配有 SCR 設備，雖然 SCR 設備具有高處理 NO_x 的效率，系統穩定性高且技術純熟，但仍會發生觸媒反應器內積灰堵塞及燃氣沖蝕、觸媒反應器下游空氣預熱器阻塞、注氨管路及其噴嘴堵塞、觸媒活性降低等問題，造成脫硝效率降低，影響機組運轉，必須停車清理積灰或進行水洗，不但影響系統供電的可靠性，且降低能源使用效率，增加 CO₂ 排放量，因此本文針對這些問題進行探討，以改善脫硝效率降低的情形，確保機組運轉最佳化，並提升能源使用效率，減少 NO_x 及 CO₂ 排放量，符合環評承諾。

貳、燃煤鍋爐之 SCR 設備操作運轉問題及其改善

本企業燃煤鍋爐 SCR 設備操作運轉問題綜合說明如下：

(一) SCR 觸媒反應器積灰堵塞及燃氣沖蝕問題：

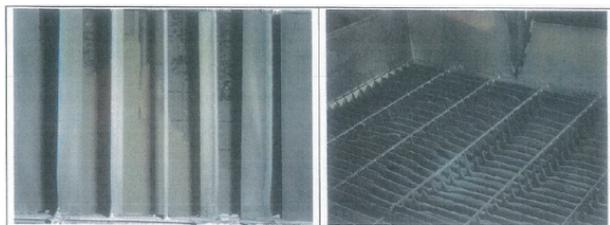
本企業 SCR 設備於建廠時已裝設導流板 (Guide Vane) 以及網孔板 (Screen Plate)，使燃氣能平均流佈通過觸媒層確保反應效率，設備裝設完成後並配合原廠於歲修後即進行 SCR 調試測試，以調整鍋爐的燃氣氣流分佈能夠均勻，惟於性能測試完成一段時間後發生下列問題：

1. 煙道氣流因鍋爐燃燒操作條件改變的影響而發生偏流或紊流現象，且煙道氣中大量的粉塵和飛灰亦會堵塞觸媒表面的孔洞，造成積灰而降低觸媒活性。
2. 觸媒表面的活性物質往往因為燃氣的飛灰沖蝕而減少。

經調整每一氨氣注入格柵上的控制閥，使注氨儘可能與發生偏流之煙道氣混合均勻以達到最高脫硝效率及降低氨氣溢漏量；另參考某 A 廠作法，以飛灰負壓傳送系統將顆粒較大之飛灰清除以避免積灰堵塞觸媒反應器。



▲ SCR 觸媒反應器積灰情況

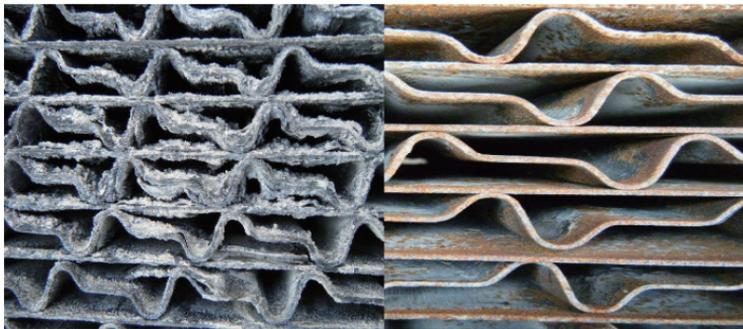


▲觸媒層積灰情形

▲入口格柵板燃氣飛灰沖蝕及觸媒層

(二) SCR 觸媒反應器下游空氣預熱器阻塞問題：

本企業某些廠為達到環評要求之標準，遂以煙囪 NO_x 濃度為注氨的主要依據，這種注氨的操作方式極易造成注氨過量而使氨的溢漏量 (NH₃ Slip) 增加，未反應的氨會與下游空氣預熱器內燃氣中的氧化硫 (SO₃) 反應生成黏稠的硫酸銨 ((NH₄)₂SO₄)、硫酸氫銨 (NH₄HSO₄) 等鹽類，附著於下游空氣預熱器之熱交換片上，外加所累積之飛灰黏附其上，造成空氣預熱器阻塞，使運轉中的空氣預熱器 (AH) 差壓升高，每季 1~2 次停車清理積灰或進行水洗，影響系統供電的可靠性；並使 IDF 風車運轉電流負載上升，降低能源使用效率，增加 CO₂ 排放量。



▲ 硫酸氫銨黏附於空氣預熱器熱交換片上的情形，主要造成阻塞及差壓上升問題。

▲ 空氣預熱器熱交換片水洗清理後



▲ 黏附在空氣預熱器熱交換片之硫酸氫銨

現於注氨時參考既有監測設備，如注氨差壓計數值、NO_x 入口濃度及煙囪 NO_x 濃度，並量測氨溢漏量 (NH₃ Slip) 數值來判斷注氨量。



▲參考現有監測設備 - 注氨差壓計數值、NO_x 入口濃度及煙囪 NO_x 濃度等數值來判斷注氨量。

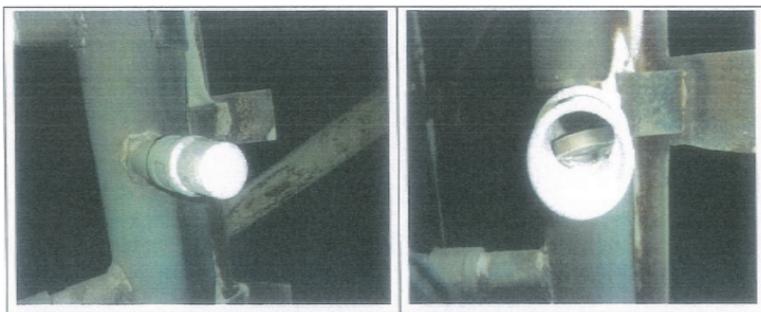
另為防止空氣預熱器因黏稠的硫酸銨 ((NH₄)₂SO₄)、硫酸氫銨 (NH₄HSO₄) 等鹽類附著於其熱交換片上而阻塞，採用下列設計來改善阻塞問題：

1. 換熱材之形狀。
2. 產生之黏稠的硫酸銨 ((NH₄)₂SO₄)、硫酸氫銨 (NH₄HSO₄) 等鹽類應控制其附著在同一層換熱材。
3. 於適當使用時機使用清洗設備，如吹灰器 (使用高壓蒸汽)、水洗設備及高壓水刀設備 (使用過濾水) 清除空氣預熱器之附著物。
4. 吹灰器噴嘴設計。

(三) 注氨管路及其注氨噴嘴堵塞問題：

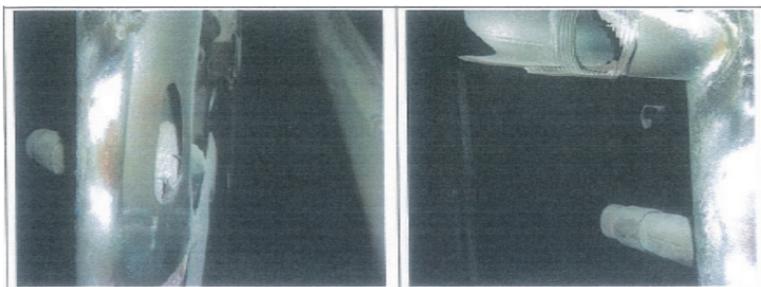
某 A 廠及某 B 廠之 SCR 設備的注氨噴嘴皆曾遭飛灰沖蝕破損或遭飛灰、鐵屑阻塞致注氨霧化不均情形發

生，造成 SCR 脫硝效率降低與發生氨溢漏量 (NH₃ Slip) 的問題，因此利用停車及歲修時檢查注氨格柵上注氨噴嘴，以某 A 廠之 A1 機組為例，發現反應器注入管上許多的注氨噴嘴遭灰堵塞，其中堵塞率為 29%，破損率為 24%，且注入管及集管內亦積堵許多鐵屑。



▲噴嘴阻塞

▲噴嘴流孔板因安裝不良而脫落



▲注氨支管沖蝕破損

▲噴嘴破損

為確保注氨分佈平均有效，注氨設備改善說明如下：

1. 各機組注氨噴嘴管路上方增設保護片，避免遭燃氣沖蝕破管；同時更換噴嘴材質（不鏽鋼材質）加強抗磨耗度，使注氨分配均勻。
2. 注氨噴嘴模組化設計，於遭飛灰沖蝕嚴重時迅速更換檢修。

3. 注氮噴嘴管路材質由碳鋼改善為 SUS304 不鏽鋼材質
以避免因銹蝕鐵屑阻塞噴嘴。

除此之外，亦於定檢時彙整注氮管線及隔柵噴嘴阻塞比例及損壞比例調查結果，將減少阻塞的情形量化，逐步改善。

參、改善效益

經某 A 廠、某 B1 廠及某 B2 廠改善後之改善效益說明如下：

(一) 以某 A 廠 A1、A2、A3 等 3 套發電機組為例，經前述之改善後，各機組空氣預熱器阻塞停車水洗頻率及 IDF 風車電流負載改善情形摘要說明如下表：

項目 機組	空氣預熱器差壓		停車水洗頻率		IDF 風車電流		CO2 減排量 (噸 CO2-e)	節電量 (萬度)
	改善前	改善後	改善前	改善後	改善前	改善後		
A1	260~270 mmAq	175~185 mmAq	每 2 個月 水洗 1 次	每 6 個月 水洗 1 次	540A~ 550A	470A~ 480A	1,675	196
A2	250~260 mmAq	175~185 mmAq	每 2 個月 水洗 1 次	每 6 個月 水洗 1 次	535A~ 545A	470A~ 480A	1,555	182
A3	270~290 mmAq	90~110 mmAq	每 3 個月 水洗 1 次	每 6 個月 水洗 1 次	570~ 590A	460A~ 480A	1,974	231

(二) 以某 B1 廠 #3 發電機組為例，經改善後，空氣預熱器阻塞水洗頻率由每 3 個月一次延長至 5 個月一次，IDF 風車電流負載降低 80 安培，共節電 112 萬度，CO₂ 減排量約 957 噸 CO₂-e。

(三) 以某 B2 廠 #1、#2、#3、#4 及 #5 等 5 套發電機組為例，經前述之改善後，各機組空氣預熱器阻塞停車水洗頻率及 IDF 風車電流負載改善情形摘要說明如下表：

項目	空氣預熱器差壓		停車水洗頻率		IDF 風車電流		CO2 減排量 (噸 CO2-e)	節電量 (萬度)
	改善前	改善後	改善前	改善後	改善前	改善後		
#1,#2 及 #3	270~280 mmAq	200~210 mmAq	每 3 個月 水洗 1 次	每 8 個月 水洗 1 次	240A~ 250A	220A~ 230A	1,794	210
#4 及 #5	270~280 mmAq	150~160 mmAq	每 8 個月 水洗 1 次	每 12 個月 水洗 1 次	220~ 230A	200A~ 210A	957	112

說明：#1、#2 及 #3 機組與 #4 及 #5 之空氣預熱器為不同製造商，故差壓有所不同。

肆、維持 SCR 觸媒活性對 SCR 設備運轉操作最佳化很重要

前述 SCR 設備之問題雖有改善，惟各廠仍需於各發電機組之空氣預熱器阻塞時進行水洗，因此，這些問題的改善僅能將空氣預熱器因阻塞、差壓升高而需停車水洗的頻率往後延長 2~5 個月的時間，為使停車水洗的週期能更加延長，並提升 IDF 風車的能源使用效率，SCR 觸媒活性的改善是主要關鍵，以某 C 廠為例 (如下表)，如 #4 發電機組於 101 年 3 月更換第二觸媒後，De-NO_x 效率提升至 87.3%，至今 (102 年 10 月) 已有 1 年 8 個月未因空氣預熱器阻塞、差壓升高而需停車水洗的問題。

機組別		#1	#2	#3	#4	#5	
原觸媒	安裝日期	102.03	102.09	101.04	94.041	95.12	
	效率 (%)	上層	85	85	86.8	48.7	-
		下層	85	85	86.8	53.8	-
第一觸媒	安裝日期	93.03	93.05	93.05	96.01	101.07	
	效率 (%)	下層	55.4	52.8	51.0	52.4	87.6
第二觸媒	安裝日期	95.03	95.05	95.10	101.03	-	
	效率 (%)	上層	66.2	60.5	47.6	87.3	-
至 102 年 10 月 已延長水洗的時間 ²		8 個月	3 個月	1 年 7 個月	1 年 8 個月	1 年 4 個月	

說明：

1. #4 機組之原觸媒經性能檢測後因效率不佳，預定於 103 年 3 月更換。

2. 表示自更換日至 102 年 10 月期間，若一有停車，則會順便進行空氣預熱器熱交換片水洗，但不是空氣預熱器因阻塞、差壓升高而需停車水洗。

觸媒在使用一段時間後會因老化 / 燒結、表面遮蔽、孔隙阻塞和磨蝕等原因而失去活性，這些造成觸媒失去活性的原因應如何排除呢？說明如下：

- (一) 防止觸媒在長期高溫作用下，表面的活性物質發生變化，致觸媒活性降低而老化，或避免觸媒操作溫度過高（超過 400°C 以上）造成觸媒的燒結現象。
- (二) 防止觸媒在反應中，因觸媒的活性基會受廢氣的影響而在觸媒表面形成很穩定的化合物，將觸媒的活性基遮蔽 (Masking) 而改變觸媒本質，造成活性降低，這些廢氣物質吸附在觸媒的活性位址，如果吸附力不很強，則於進料中除去這些廢氣物質後，已吸附的這些物質會逐漸脫附，那麼觸媒的活性基遮蔽的現象就只是暫時性的，但是若吸附作用很強，這些物質的影響就會是恆久的，惟強的吸附作用有時可以利用化學反應來促使其脫附，如常利用金屬觸媒進行的加氫反應：這種強吸附可以利用和氫氣反應形成氫化物來加強脫附。
- (三) 如採用前述方法來防止觸媒孔隙被煙道氣中的粉塵阻塞和被飛灰磨蝕而降低觸媒活性。

為瞭解觸媒活性狀況，需定期進行觸媒取樣及觸媒活性效能測試，並定期更換觸媒以管控觸媒品質，目前觸媒活性效能測試及更換皆全權由國外技術廠商提供，建議能建立觸媒評核機制，針對觸媒的活性進行性能測試和分析，以作為判定是否更換觸媒之標準，掌握觸媒是否達到原廠要求值 48%，測試及分析的項目如下：

- (一) 實驗室 (Bench-scale) 反應器測試。
- (二) 壓降 (Pressure drop) 測試。

-
- (三) 觸媒的化學和物理性質測試。
 - (四) 觸媒最初活性 (K_0) 與實際 (Actual) 活性 (K) 測試。
 - (五) SO_2/SO_3 轉化率 (Conversion rate) 測試。
 - (六) 熱重分析 (Thermo-gravimetric analysis) / 差示掃描量熱法 (Differential scanning calorimetry)。
 - (七) 表面積分析 (Surface area analysis)。
 - (八) 電子顯微鏡掃描 / 能譜儀分析。
 - (九) 孔徑分佈 (Pore size distribution) 量測。
 - (十) 過熱 (Overheating) 分析 / 主要雜質 (Major impurities) 分析。

觸媒活性經上述性能測試及分析，判定未達原廠要求值 48% 或已失去活性，則可進行廢觸媒再生，一般再生程序的步驟摘要說明如下：

- (一) 附著在廢觸媒上之半液體或蠟質等物質之處理。
- (二) 造成觸媒毒化之抑制物的移除。
- (三) 藉由氧化反應、Boudouart 反應或是將焦碳與水反應生成 CO 和水煤氣 (H_2+CO) 將焦炭移除。
- (四) 以惰性氣體將累積在觸媒上的液體或半液體污染劑移除。

伍、結論

雖然 SCR 設備為世界電廠在空污防制上所採用之最佳可行控制技術 (BACT) 之一，具有高處理 NO_x 的效率，系統穩定性高且技術純熟，但仍會因設備阻塞、磨蝕等因素而使脫硝效率降低、氨溢漏量 (NH_3 Slip) 增加，造成觸媒反應器下游空氣預熱器阻塞而需停車水洗的問題，並降低 IDF 風車的能源

使用效率，各廠雖已針對各問題點進行改善，如注氨均勻分佈、空氣預熱器之熱交換片材質與清洗等改善措施，惟改善僅能將空氣預熱器因阻塞、差壓升高而需停車水洗的頻率往後延長 2~5 個月的時間，為使空氣預熱器停車水洗的週期能更加延長，並提升 IDF 風車的能源使用效率，除實施前述的改善措施以降低對觸媒活性的影響之外，如觸媒反應器積灰清除、觸媒操作溫度適度控制等措施，有效的維持 SCR 設備的觸媒活性是主要關鍵，這可由前述某 C 廠各發電機組 SCR 設備的觸媒更換後，觸媒脫硝效率提升，空氣預熱器皆未因阻塞、差壓升高而需停車水洗之改善效果獲得證實。

觸媒是 SCR 設備的心臟，觸媒活性的好壞影響 SCR 設備脫硝效率甚鉅，若能藉由建立觸媒評核機制，定期進行觸媒取樣及觸媒活性效能測試，並定期更換觸媒以確保觸媒品質管制，不但能排除降低觸媒活性的原因、持續有效的維繫觸媒活性，而且可減少注氨量、降低注氨成本，並相對降低氨溢漏量 (NH₃ Slip)，避免空氣預熱器發生阻塞而須停車進行水洗的問題，確保 SCR 設備與發電機組操作運轉最佳化，並提升能源使用效率，減少 NO_x 及 CO₂ 排放量，不僅可符合環評承諾，亦收節能減碳之功效。