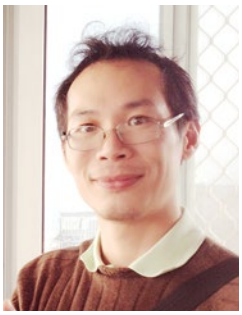

燃煤電廠排煙脫硫(FGD)廢水處理與回收技術

技術主編：張冠甫 K. F. Chang
現職：工研院(ITRI) 材料與化工研究所 水科技研究組 正工程師/副組長
學歷：國立中興大學(NCHU) 環境工程研究所 博士
專長：厭氧生物處理、水處理與水回收技術

燃煤電廠製程中所排出的空氣污染物質如SO_x、NO_x等，在嚴格的法規要求下，須妥善移除。以SO_x來說，國內電廠常以濕式洗滌方式，利用石灰將SO_x轉化成石膏，其過程所排出的廢水即為排煙脫硫廢水。排煙脫硫廢水的污染物組成，以氨氮、硝酸鹽氮、氟、硼以及微量重金屬等為主要物質。氟與微量重金屬可透過一般化學處理方式移除，於本期技術專題不做介紹。

氨氮與硝酸鹽氮，主要為前端NO_x防制設備，如選擇性觸媒還原(Selective Catalytic Reduction; SCR)所注入之氨或尿素未與NO_x完全反應而殘留，於後端FGD程序經水洗所形成。因此，其濃度與SCR觸媒的活性以及注入氨或尿素的量呈正相關，約介於數十至300 mg/L之間。氨氮與硝酸鹽氮的處理，可透過經濟有效的生物硝化脫硝程序將之轉化為無害的氮氣(N_2)而去除。然此生物處理最大的挑戰在於FGD廢水之導電度與其他污染物質之影響，同時硬度所造成的結垢也是處理過程中的隱憂。如何有效透過程序控制的方式及反應器的設計以針對氨氮與硝酸鹽氮進行處理，為系統成敗的關鍵。

硼的部分，與煤的來源有極大的差異，其濃度範圍由數十至千mg/L。由於我國放流水對於硼的管制嚴格(<5 mg/L)，因此處理技術的選擇與規劃需考量濃度，並確保處理後的水質。一般高濃度硼(>100 mg/L) 的處理可透過化學混凝法進行，根據文獻與實務經驗包含化學氧化沉澱法與螯合劑法皆可達到去除之目的。但上述處理方式受到離子強度、水質條件特性等影響各有優缺點。而低濃度的B (<100 mg/L)實務上直接透過選擇性離子交換樹脂進行為相對較佳的方案。除硼技術在應用上建議仍需透過事前的評估驗證，考量操作成本、藥劑來源等，始可確保整體性能。

氣候變遷導致缺水議題日益受到重視，發電業也逐漸有零排放或水回收再利用的考量。以FGD廢水來說，零排放技術選擇仍以薄膜脫鹽以及熱法蒸發結晶為主，此已是成熟技術，考量重點在於如何克服結垢以及節能。另外，選擇性電透析技術則可有效分離不同價數離子，如FGD廢水回收首要考量之氯離子等。研究團隊經實際廢水試驗發現，透過選擇性電透析技術將氯離子分離後，並將Ca^{2+}與SO_4^{2-}等離子留存於回收水中，可導回FGD反應器中再利用。此技術相較於傳統膜法或熱法，有操作成本與抗結垢的優勢，極具未來應用潛力。

本期技術專題所摘錄的相關技術與程序組合，均於國內發電業實際應用，學理與工程實務均可達到實際需求。由於燃煤電廠短期內仍需肩負國內電力要務，除了環境法規需要符合外，也應考量資源回收（如石灰、螯合劑、微量元素等）與水回收之效益。在資源匱乏的未來，透過新的研發與技術應用，可以確保燃煤電廠的運作並符合資源永續的目標。