



技術報導(二)

都市垃圾焚化廠廢氣處理系統穩定度提昇實例

徐洪陞資深工程師、郭育誌廠長、蘇政隆助理總工程師、
藍聰榮廠長、朱沛峰協理、廖一久工程師/信鼎技術服務股份有限公司

摘要

本研究爲了改善酸性氣體控制設施之操作的穩定度，以台灣地區大型都市垃圾焚化爐，採用半乾式洗煙塔去除廢氣中酸性氣體做爲實廠研究對象，研究增設之冷卻水噴入系統及乾式消石灰噴入系統輔助之酸性氣體控制設施之設置參數，包括反應溫度及化學藥劑劑量比值，對於酸性氣體去除效率的影響，並以實廠進行改善實驗，取得提升廢氣處理系統穩定度的實例。

研究結果顯示，維持除酸系統功能穩定的策略，於正常操作狀況下，可藉由增設冷卻水噴入系統，將廢氣反應溫度控制在 140~150℃ 之間，以取得經濟之化藥消耗量，惟須注意煙氣中水分及酸氣含量對設備腐蝕率的影響；此外，多數焚化廠之廢氣處理採用將吸收劑(消石灰乳泥)自洗煙塔頂端以霧化轉輪噴入塔中的半乾式系統，於該設備檢修保養期間，增設之冷卻水噴入系統容量亦可將廢氣反應溫度控制在 160℃ 以下，以節省化藥用量。

增設一套乾式消石灰噴入系統，當廢氣中酸性氣體濃度大幅升高時，可以立即增加化學藥劑計量比，以提高酸性氣體的去除效率，同時避免於霧化轉輪檢修時，污染物排放濃度增加所導致之超出排放標準之風險。

另同時增設此兩套系統，可於原有處理系統量能到達上限或因設備異常而影響運作時，即時增加消石灰化學藥劑劑量比及冷卻水噴入量，藉以保持或提高酸性氣體之去除效率，達到提升廢氣處理系統除酸功能穩定度目標。

關鍵字：垃圾焚化爐、廢氣處理系統、半乾式、乾式、提高穩定度



一、前言

台灣目前已興建完成並持續運轉之大型都市垃圾焚化廠共有 24 座，其中多數焚化廠之廢氣處理採用半乾式系統，將吸收劑(消石灰乳泥)自洗煙塔頂端以霧化轉輪噴入塔中(林健三、林健榮，2007)(鄭宗岳、林鴻祥，1998)，廢氣則利用氣體分配器以渦流形式進入塔中，兩者得以完全混合與反應，使廢氣中之酸性氣體如(SO_2 、 HCl)等與消石灰發生中和反應達到去除目的。

半乾式系統大多係利用壓縮空氣透過噴嘴(Nozzles)，或藉由霧化轉輪(Atomizer)噴入消石灰乳泥及冷卻水；其消石灰乳泥的噴入量係藉由排放廢氣中酸性氣體 HCl 或 SO_2 之濃度回饋作自動控制，而冷卻水流量則係藉由排放廢氣溫度做回饋控制。近年來垃圾性質因強制分類、資源回收、一般事業廢棄物與一般廢棄物混燒、掩埋場活化之篩分垃圾處理等政策推動而產生重大變異，此一趨勢推估未來將更為明顯，當焚化之廢棄物因性質變異劇烈時，常會造成自動控制跟不上酸性氣體濃度之回饋值或超出控制範圍，另系統亦有可能因長期使用而發生效率降低等狀況，此時只能搭配降低負載來進行應變，進一步可能影響全廠之正常處理作業，以上為目前大型都市垃圾焚化廠，廢氣處理採用半乾式系統，普遍遭遇之操作困擾。因此，為了達到穩定之廢氣排放及避免焚化負載之急遽升降變化，特進行本研究計畫以提升廢氣處理系統之穩定度。

二、污染防制設備操作困境及操作參數最佳化策略探討

在實廠操作上，由於半乾式系統之霧化轉輪因消石灰沉積或雜質異常磨損，導致轉輪於高速轉動下產生受力不平均產生振動，導致系統跳脫，為避免此一現象，霧化轉輪需定期更換備機、檢修保養。於備機更換期間，由於無法藉由霧化轉輪提供化藥及冷卻用水，將導致污染物排放濃度及廢氣溫度快速上升。此外，長期使用消石灰沈積阻塞管路導致乳泥流量偏低而影響去除效率、或是由於垃圾性質變異大導致自動控制跟不上酸性氣體濃度之回饋值或超出控制範圍發生失控或臨時故障與例行維護時，其應變方式往往必須降低焚化負載來因應，無形中造成了鍋爐因負荷變動過大而影響了其操作穩定度及壽命，進一步影響全廠正常運作。

故維持現有污染防制設備半乾式洗煙塔的正常運轉，或是發生污染防制設備異常時，可以立即啟動另外一套備援系統，藉以確保廢氣污染防制設備，仍然維持在最佳化的操作參數下運轉，唯有如此才是提升焚化爐廢氣處理系統，除酸功能穩定度的最佳策略。而一般酸性氣體的排放控制主要是受化藥添加量以及反應溫度的影響，本研



究針對備援系統經濟的反應溫度與加藥量進行探討。

1. 最適當之廢氣反應溫度

相關文獻中（張乃斌，1999）（劉禎淑，2002）（Jozewicz et al.,1990; Weinell et al.,1992）均指出廢氣處理系統中，廢氣反應溫度會影響廢氣中，酸性氣體之去除效率，故以下將藉由操作參數的調整，控制半乾式洗煙塔及乾式洗煙塔的廢氣反應溫度，藉以探討廢氣反應溫度，對於化學藥劑與酸性氣體去除效率的變化關聯性，圖 1 為半乾式洗煙塔在不同反應溫度下，對於酸性氣體去除率的影響，當控制化學藥劑計量比固定在 2 的操作條件下，廢氣反應維持在 140℃~150℃時，對於廢氣中 HCl 及 SO₂ 去除率分別為 97.1%及 86.2%，均已經遠超過本案例廠之原始設計中，硫氧化物為 70%以及氯化氫為 95%之酸性廢氣去除效率，惟須注意煙氣中水分及酸氣含量設備腐蝕率的影響；在反應溫度控制在 160℃時則酸氣中 HCl 及 SO₂ 去除率，亦可達到 95.7%及 70.6%，尚可符合正常操作運轉所需求之酸性氣體處理效率；但當反應溫度升高到 170℃時則酸氣中 HCl 及 SO₂ 的去除率，只可達到 91.6%及 68.8%，而當反應溫度再升高到 180℃時酸氣中 HCl 及 SO₂ 的去除率，更下降到只有 86.8%及 64.4%。故建議備援系統之輔助反應溫度應維持在 160℃以下。

目前垃圾焚化爐對於燃燒後，鍋爐出口廢氣進入半乾式洗煙塔中溫度的控制，均是利用噴水進入半乾式洗煙塔中，來達到降低廢氣溫度的目的，而污染防制設備採用半乾式洗煙塔系統，則是使用霧化轉輪藉由高速旋轉，將冷卻水與消石灰乳泥透過分配器霧化成霧滴狀噴入，因此對於原來半乾式洗煙塔，所使用之廢氣冷卻相關設備，如冷卻水泵、冷卻水管線、霧化轉輪及相關系統等，皆須利用排訂之保養維護機制，維持其設備之妥善率及確保運轉狀態均符合需求之效能。

另外影響冷卻水流量的因素，則是霧化轉輪運轉的穩定度，冷卻水進入半乾式洗煙塔，是透過霧化轉輪的霧化，變成極細的霧滴狀水分子，噴入廢氣中與廢氣結合達到降低廢氣溫度的效果，故當霧化轉輪中的管線阻塞、縮管或是霧化轉輪設備異常時，均將使得冷卻水無法正常順利噴入半乾式洗煙塔中，達到降低廢氣溫度的功能，此時將使半乾式洗煙塔的廢氣溫度失去正常調控，偏離正常的操作範圍值，對此情況現行的處理機制，只能立即切換備用之霧化轉輪或是降低焚化爐的負載，減少廢氣流量及降低酸性氣體的濃度作為因應對策。



為此對於半乾式洗煙塔控制溫度的冷卻水系統，除了透過霧化轉輪噴入廢氣中外，另外在半乾式洗煙塔的塔頂設計安裝冷卻水的噴槍，如圖 2 所示，將冷卻水利用空氣霧化的方式，由半乾式洗煙塔的頂部噴入煙道廢氣中，作為備援的冷卻水供應系統，藉由此備援系統在廢氣反應溫度升高時，可以即時啟動噴入煙道廢氣中，將半乾式洗煙塔的廢氣反應溫度，維持在最適當的溫度反應區間內，即使廢氣溫度介於 140℃~150℃ 之間，除可以提升廢氣處理系統的穩定度外，尚可因為可維持較低的廢氣反應溫度提高酸性氣體的去除效率，進而可以降低化學藥劑計量比。

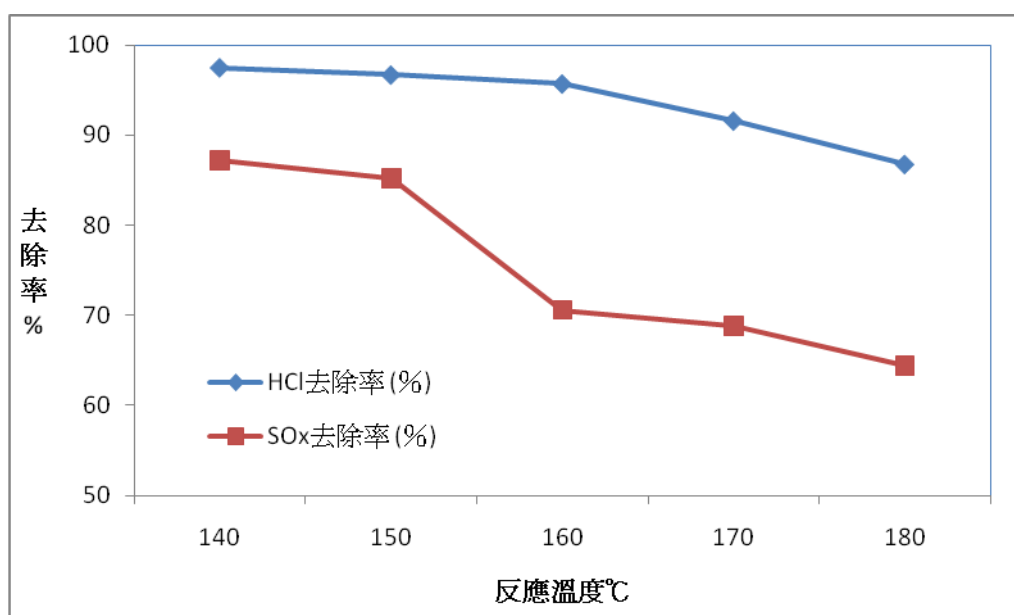


圖 1 半乾式洗煙塔廢氣反應溫度對於酸性氣體去除率的影響

2. 最佳化之化學藥劑計量比

而因應目前進入垃圾焚化廠，垃圾性質的變化差異較大，因應固定的排放標準值，不同性質之垃圾之最適化學藥劑計量比，並非定值或只是小範圍的調整控制，而是須能夠隨廢氣中酸性氣體濃度的變化，即時而迅速的調整化學藥劑添加量，故在平時酸性氣體排放濃度低於標準值 30%時，可以噴入較低量的化學藥劑，維持較低的化學藥劑計量比於 1.6~2.4 之間，而當酸性氣體排放濃度提升，高於標準值 30%時，可以瞬時提高化學藥劑計量比至 3.6 以上，使煙囪排放污染物酸性氣體的濃度，均符合法令規範的要求，並可達到酸性氣體排放濃度數值起伏變化較小的目標。

但是目前半乾式洗煙塔的廢氣處理系統，雖然消石灰乳泥的噴入流量可以藉由廢氣處理後端，酸性氣體排放濃度的高低數值變化，自動回饋控制消石灰乳泥流量的大

小，以維持穩定的酸性氣體排放濃度，但消石灰乳泥濃度受限於調配程序，無法即時作濃度的調整變化，因而在垃圾性質發生劇烈變化時，僅能增加消石灰乳泥流量，卻無法即時調整消石灰乳泥的濃度，藉以提高化學藥劑計量比。此外，過高的乳泥濃度，容易導致乳泥管線的堵塞，增加系統檢修的頻率，故一般操作上，並不希望以增加乳泥濃度的方式操作。

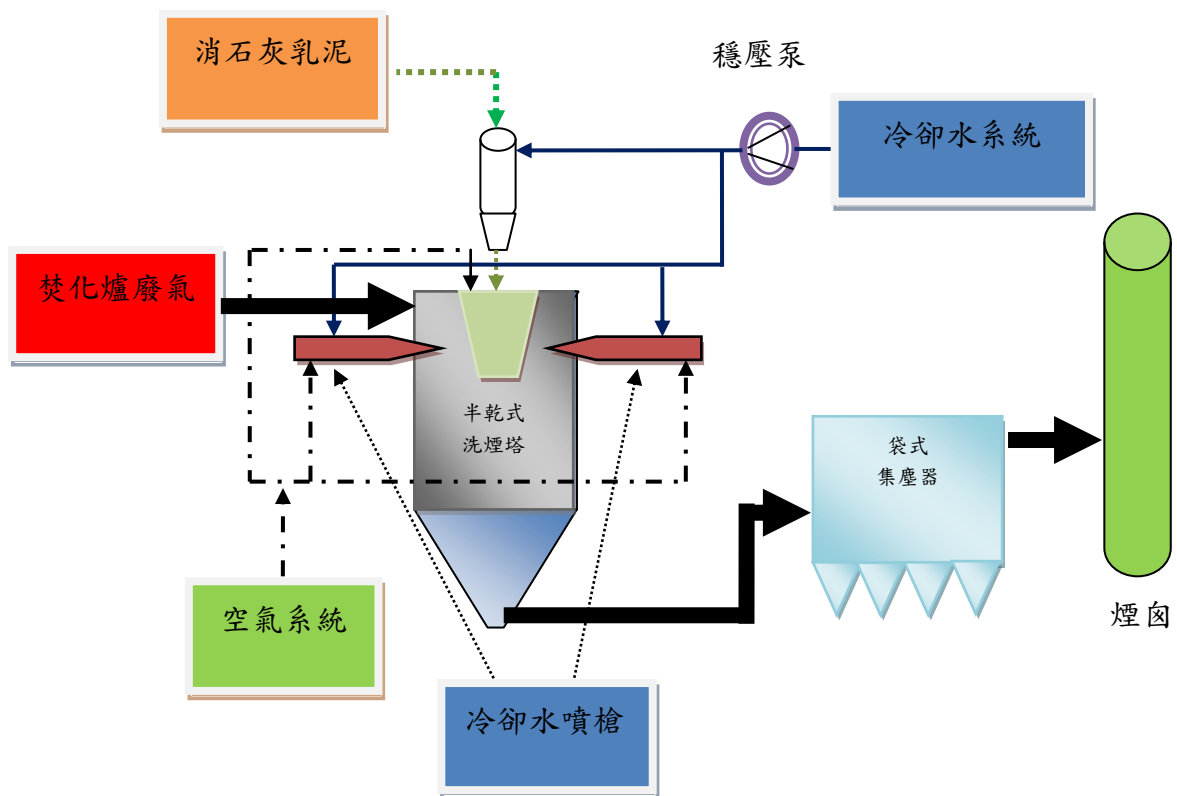


圖 2 增設冷卻水噴入系統

因此要能夠即時提高化學藥劑計量比，在現有半乾式洗煙塔的廢氣處理系統中化學藥劑的添加，除原來的消石灰乳泥透過霧化轉輪噴入半乾式洗煙塔外，另外增設一套乾式消石灰噴入系統如圖 3 所示，利用鼓風機將粉狀消石灰直接送入廢氣煙道中，藉由與廢氣中酸性氣體直接接觸進行反應，達到中和廢氣中酸性氣體的除酸功能。如此便可以在平時操作條件下，維持消石灰化學藥劑計量比在 1.6~2.4 之間，而在發生進料垃圾性質產生劇烈變化、廢氣反應溫度升高及乳泥流量偏低等情況，導致化學藥劑的化學藥劑計量比偏低或是半乾式洗煙塔相關設施異常，導致廢氣中酸性氣體排放

濃度異常升高，此時均可藉由啟動乾式消石灰噴入系統，即時增加化學藥劑計量比到 3.6 甚至於更高的加藥量，瞬間藉由增加化學藥劑計量比以提升酸性氣體的去效率，降低酸性氣體排放濃度。

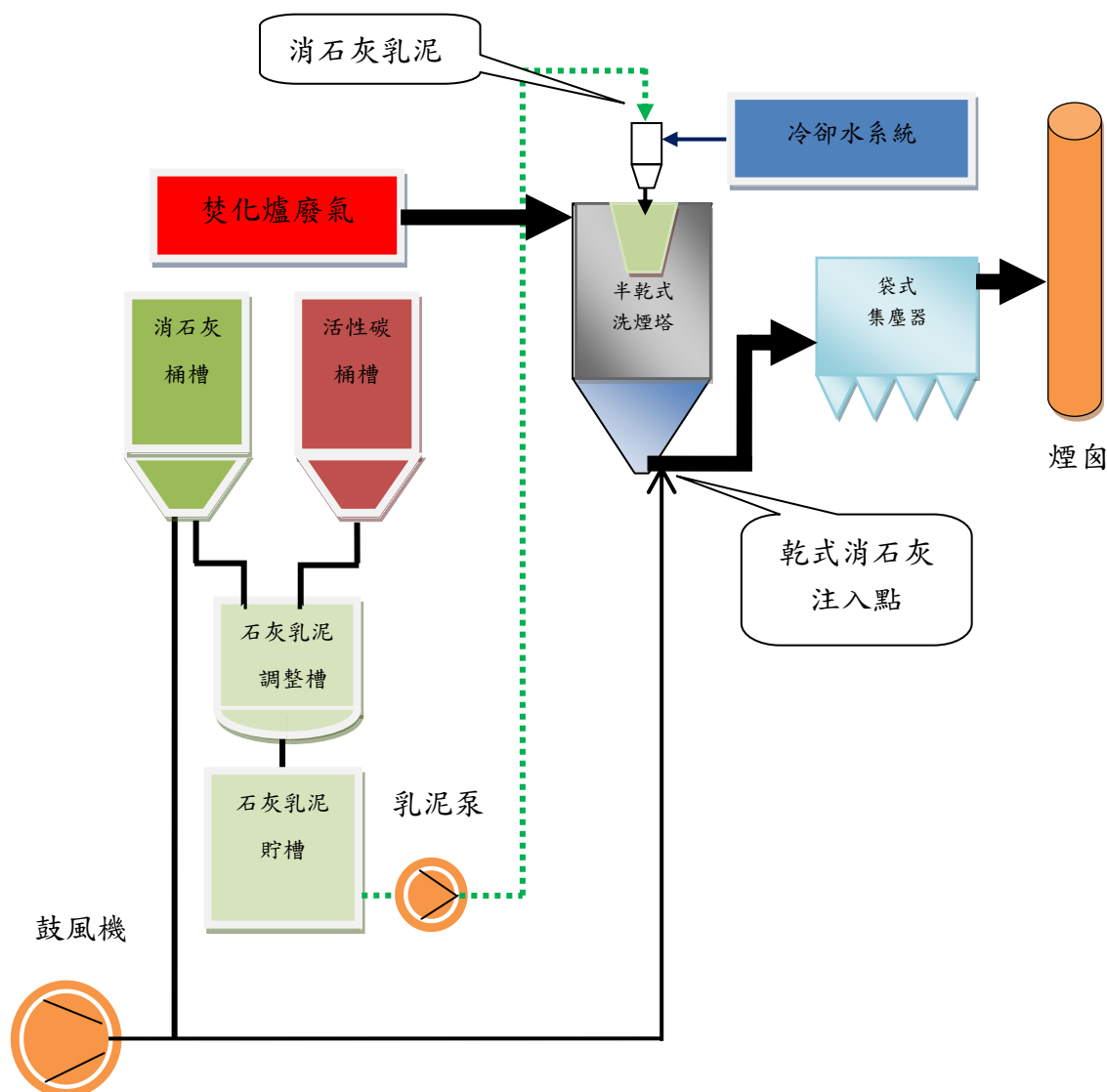


圖 3 增設乾式消石灰噴入系統

對於廢氣處理系統中相關污染防制設施，除需定期的執行維護保養，以確保目前污染防制設備所有設施運轉功能正常，此外在現有污染防制設備半乾式洗煙塔的架構下，透過本研究所得之影響酸性氣體去除率的關鍵因素，增設相關輔助之備援系統，作為提升廢氣處理系統穩定度的最佳策略。

因此當廢氣處理系統對於酸性氣體去除效率已達到極限，或污染防制設施有異常



狀況發生，對於酸性氣體之去除效率降低，導致酸性氣體排放濃度偏高的情況時，均可以藉由立即啟動輔助之備援系統，來達到提高酸性氣體去除效率的目的，而取代現行當發生上述情況時，為避免酸性氣體排放濃度偏高，只能採用焚化爐降載作為應變的方式。並且在平時運轉操作時，可視廢氣處理系統中相關操作參數條件之需要，隨時啟動輔助之備援系統作為協助半乾式洗煙塔，維持較佳的廢氣反應溫度，與提供最適當之化學藥劑計量比，除可以減少廢氣排放酸性氣體數值起伏過大之現象，進一步達到提升廢氣處理系統除酸功能穩定度之目標。

三、結論

1. 彙整案例廠之建廠設計資訊與目前實際運轉現況，對於去除酸性氣體使用的化學藥劑消石灰，近一年實際之化學藥劑計量比約等於 2，而在此化學藥劑計量比情況下酸性氣體的去效率，硫氧化物為 85.2%、氯化氫為 96.7%，均超過原始設計的去效率硫氧化物為 70%、氯化氫為 95%，可見污染防制設施相關效率並無明顯下降情況。

2. 對於去除酸性氣體之化學藥劑消石灰其最適合之反應溫度，為 $140^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 之間，依照藥劑特性控制廢氣反應溫度於最適反應溫度區間內，可維持在較低的化學藥劑計量比下，達到最佳的酸性氣體去效率。

3. 本案例廠之垃圾進廠性質的變化，近年來對於廢氣處理設施之除酸系統，已有處理瓶頸之現象產生，故為提升廢氣排放數值之法規符合度，並且降低污染排放濃度，減少酸性氣體高低起伏變化過大的情況，除對於既有廢氣處理設施提高其酸性氣體去效率外。新增設冷卻水穩壓泵及冷卻水噴槍，藉以控制廢氣溫度在最適當反應溫度區間 $140\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，以提高酸性氣體的去效率及降低化學藥劑計量比，單獨使用時可將廢氣冷卻至 160°C 以下。

4. 本案例廠半乾式洗煙塔之廢氣處理系統，因為係透過霧化轉輪將冷卻水及消石灰乳泥，霧化後噴入半乾式洗煙塔中藉以去除廢氣中的酸性氣體，因其流量及濃度均有其控制上限或因為設備異常所影響，發生冷卻水或消石灰乳泥噴入量不足的情形，導致廢氣反應溫度或酸性氣體排放濃度變化過大時，此時藉由新增乾式消石灰噴入系統，即時增加消石灰化學藥劑計量比由 1.6 到 3.6 甚至於更高的加藥量，來提高酸性氣體之去效率，達到提升廢氣處理系統除酸功能穩定度的目標。

參考文獻



1. Jozewicz, Wojciech, John Chang, and Charles B. Sedman, "Bench-scale evaluation of calcium sorbents for acid gas emission control," *Environmental Progress* , Vol.9,pp. 137-142 (1990).
2. Weinell, Claus E., Peter I. Jensen, Kim Dam-Johansen, and Hans Livbjerg, "Hydrogen chloride reaction with lime and limestone: kinetics and sorption capacity," *Industrial and engineering chemistry research* , Vol.31, pp. 164-171 (1992).
3. 林建三、林建榮，「固體廢棄物處理」，高立圖書有限公司(2007)。
4. 張乃斌，「垃圾焚化廠系統工程規劃與設計」，茂昌圖書有限公司(1999)。
5. 鄭宗岳、林鴻祥，「空氣污染防治理論與設計」，文京圖書有限公司(1998)。
6. 劉禎淑，「焚化廢氣中污染物控制之研究」，國立中興大學環境工程研究所博士論文(2002)。