

資源循環與再利用類

提升垃圾焚化廠運轉效益 - 突破瓶頸減少歲修次數

葉平堯*、王志豪**、洪建皓***

摘 要

營運中的焚化廠往往因所處理的垃圾成分複雜，且長時間於高溫、高負載的條件下操作，當連續運轉接近半年時，易發生煙道積灰阻塞、耐火材料脫落、爐內燒結物增生、機械設備磨耗等問題，導致運轉效能下降，須透過較長時間的計畫性檢修 - 歲修，進行設備的全面維修及保養，以恢復正常處理效能，故焚化廠一般需規劃每年 2 次歲修。然而，受近年垃圾熱值不斷升高、焚化廠逐漸老舊等因素影響，焚化廠的處理量能逐年下降，且需要較運轉初期更長的時間才可完成歲修作業；又因各掩埋場逐漸飽和，一年 2 次歲修期間的垃圾調度也成為各縣市政府的棘手難題。

信鼎技術服務股份有限公司憑藉長期操作維護各類型焚化廠的經驗，持續導入新的技術工法，評估於轄下焚化廠將每年 2 次歲修縮減為每年 1 次歲修的可行性，透過導入高合金披覆爐管以降低鍋爐第一煙道高風險區域破管機率、調整爐床檢修工法以避免爐條運轉中脫落、提升移動式震波清灰頻率以減少煙道積灰阻塞等工法改善，成功於 111 年度將苗栗縣垃圾焚化廠從過往的一年 2 次歲修，縮減為一年 1 次歲修，於 111 年 3 月至 112 年 3 月期間，亦無再因前述瓶頸而導致非計畫性停爐，111 年度在垃圾進廠量、垃圾處理量、鍋爐運轉率及焚化熱能負載率等關鍵績效指標，皆創下近 5 年新高，透過技術導入及維護工法調整，成功提升運轉效益，深化綠色低碳營運。

【關鍵字】歲修、高合金披覆爐管、移動式震波清灰、提升運轉效益

- | | |
|------------------|-----|
| * 信鼎技術服務股份有限公司 | 工程師 |
| ** 信鼎技術服務股份有限公司 | 廠長 |
| *** 信鼎技術服務股份有限公司 | 工程師 |

一、前言

台灣地區的廢棄物處理政策早期以掩埋為主，然而伴隨人口增長、產業發展及環保意識抬頭，民國 75 年時行政院已將焚化列為垃圾中長程處理方案，並由前行政院環保署於民國 79、85 年分別訂定「台灣地區垃圾資源回收廠（焚化廠）興建計畫」、「鼓勵民營機構興建、營運垃圾焚化廠推動方案」，推動焚化廠的興建及鼓勵民間機構參與投資及營運。相較於掩埋處理有占地面積大、容易因沼氣而引發自燃等問題，焚化處理可有效減少垃圾體積，將垃圾轉化為可再利用的底渣及安定的飛灰穩定化物，而焚化過程產生的熱能則可轉換為電力轉售予台電公司，因為具有前述優點，焚化處理遂成為台灣目前主要的垃圾處理方式。

垃圾焚化流程係將垃圾車清運進廠之廢棄物，集中傾卸至焚化廠之貯坑，經由抓斗攪拌後投入焚化爐內，於燃燒室內經由 $850\sim 1,050^{\circ}\text{C}$ 的高溫燃燒，廢棄物燃燒後則產生底渣與飛灰等副產物，經分別收集、處理後再轉送至再利用機關進行再利用及掩埋場進行掩埋，燃燒過程中所產生的廢氣則透過水牆式鍋爐進行熱交換，再經由半乾式洗煙塔去除廢氣中的 HCl 、 SO_x 等污染物質，並透過袋式集塵器收集反應灰後，經由煙囪排放至大氣。水牆式鍋爐中的鍋爐水則透過廢氣加熱轉換為蒸汽，用於焚化廠汽、水系統的預熱以及推動汽輪發電機產生電能，剩餘的蒸汽則透過冷凝器回收至鍋爐系統中循環再利用。焚化廠全廠製程可參考圖 1 之示意圖。

鍋爐設備長期於高溫高壓條件下連續操作、加上廢棄物成分複雜，焚化廠製程前段的爐床、鍋爐水管牆等設備，容易受到熱腐蝕及廢氣沖蝕而變形、減薄，而製程後段的蒸發管、過熱器管亦容易因為長時間操作，積灰過多阻塞，使誘引式風機加重負載，難以維持燃燒室內正常燃燒狀況所需的負壓條件，造成處理量下降。受限於設備因長時間運轉而導致的效能衰退，焚化廠的機組約莫在連續運轉半年時就會發生處理量、發電量下降等問題，甚至可能發生鍋爐破管或機械故障等事故，需透過計畫性停爐檢修，進行維護保養如設備清潔、耗材零件更換，維持正常處理效能。此例行的計畫性停爐維修作業，即所謂的“歲修”。

國內焚化廠多採行一年 2 次歲修之維護保養模式，惟因各縣市焚化廠皆已近屆齡延役整改期，又受廢棄物熱值升高之影響，處理效能已不若營運初期，甚至有逐年緩降之趨勢，各縣市之掩埋場亦漸趨飽和，因此歲修期間的垃圾調度往往成為讓地方主管機關困擾之難題，若能將焚化廠例行之歲修減少為一年 1 次，應可適度減緩所屬縣市之垃圾處理壓力。

信鼎技術服務股份有限公司（以下簡稱信鼎公司）為專業之垃圾焚化廠操作營運廠商，具有多年的焚化廠歲修工作經驗，擅長依不同焚化廠的特性安排適當的工法，為了導入一年 1 次歲修之維護保養模式，積極評估轄下焚化廠執行之可行性，綜合檢視各焚化廠的鍋爐形式、歲修關鍵工作項目、可採行之改善工法等條件後，選定苗栗縣垃圾焚化廠（以下簡稱苗栗廠）為試行焚化廠，於 111 年度達成一年 1 次歲修，有效提升苗栗廠運轉效益，減少碳排，優化實踐循環經濟。

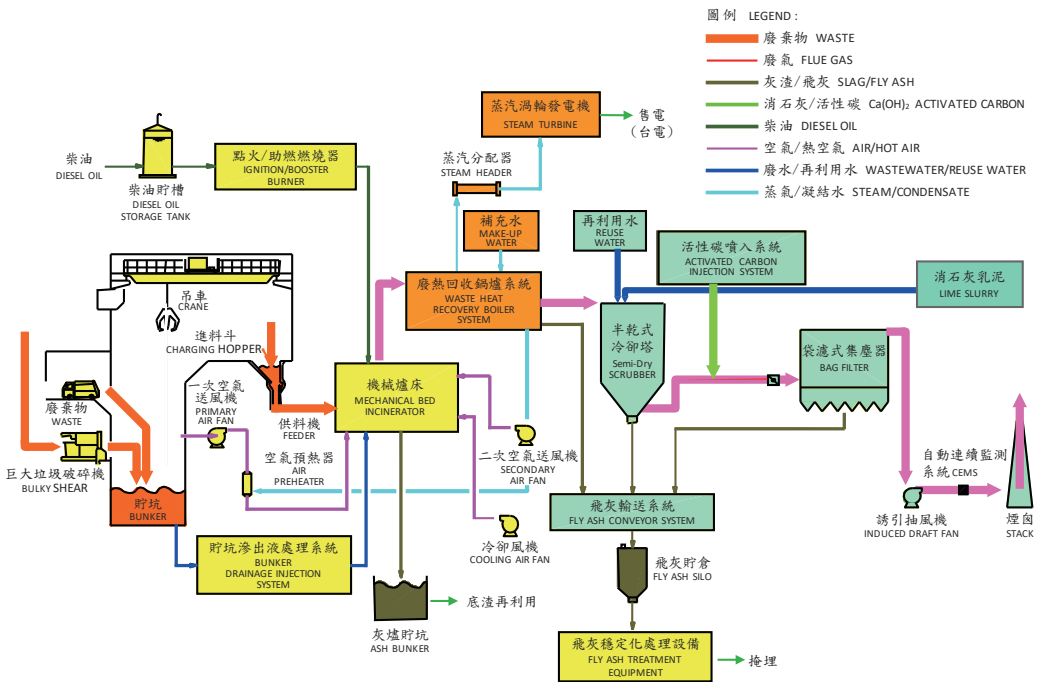
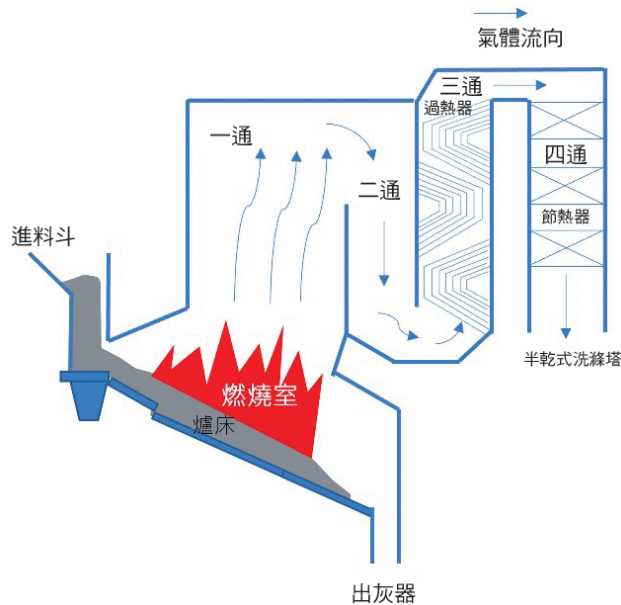


圖 1 垃圾焚化廠製程說明

二、工法改善

欲將一年 2 次之歲修縮減為 1 次，信鼎公司以既有掌握的各焚化廠的設備形式、歲修工作計畫，篩選出需要改變保養或施工方法之設備，並選定適用的新設備或工法，克服運轉半年需停爐檢修之瓶頸。以苗栗廠為例，需克服瓶頸之設備主要為爐床、第一煙道（一通）水管牆以及第三煙道（三通）過熱器管，前述 3 項設備於運轉時所遭遇之瓶頸可見圖 2 說明。透過工法改善，成功使苗栗廠於 111 年開始執行一年 1 次之歲修模式，以下為關鍵工法簡介：

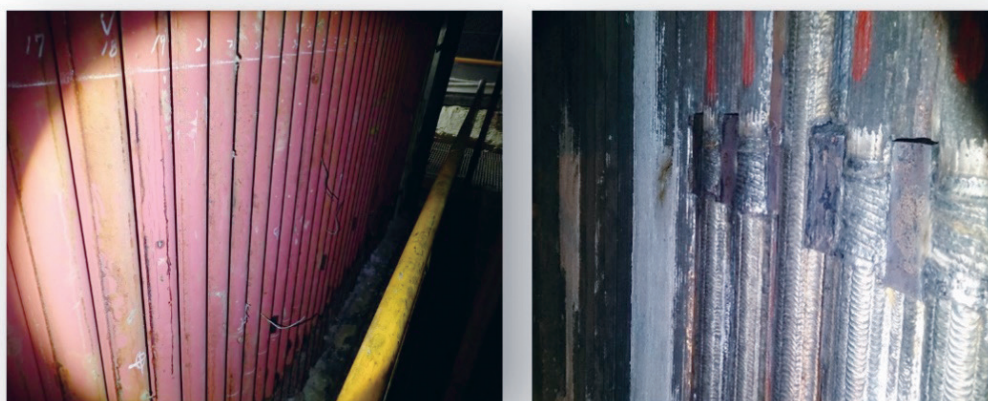


- * 爐床：由固定件與移動件組成，負責垃圾的移動及翻攪，因作動頻繁且直接與垃圾接觸，容易發生脫落或是變形，常態需於歲修時進行保養。
- * 一通：位於燃燒室正上方的第一條廢氣通道，直接受到高溫及氣流影響，為爐管破管的高風險區域。管厚減薄率高，需於歲修時密集量測檢查。
- * 三通：鍋爐過熱器管的所在位置，因為過熱器管密集分布與溫度較高的特性，導致鍋爐灰容易於過熱段堆積甚至於形形成燒結物附著，運轉經過一段時間後容易阻塞，影響鍋爐內的負壓條件，進而導致鍋爐降載。

圖 2 1 次歲修需克服工作瓶頸之關鍵設備

2.1 第一煙道高風險區域採用高合金披覆爐管

由於燃燒室及第一煙道的爐管最先承受高溫燃燒廢棄物產生的熔融態飛灰、 SO_x 及 HCl 等氣體以及高溫氣體沖蝕，成為鍋爐破管的高風險區域，歲修時需要架設施工架對此區域的耐火材料與爐管進行密集檢查，且因碳鋼管容易減薄，亦需要較頻繁的重新灌注耐火材料及更換爐管。透過在碳鋼管材上預先披覆具有耐腐蝕、耐氧化及耐磨特性的鎳基超合金材料 - 英高鎳 (Inconel) 合金，可有效提升第一煙道爐管對高溫環境的耐受度，歲修時即可免除此區域的搭建檢查及爐管更換。高合金披覆爐管與一般碳鋼爐管對照如圖 3 所示。



未披覆英高鎳合金之碳鋼管

堆焊披覆英高鎳合金之碳鋼管

圖 3 一般碳鋼管與堆焊處理後之碳鋼管對照

2.2 增加移動式震波清灰頻率

廢氣進入半乾式洗煙塔與袋式集塵器等污染防制設施前，會經過鍋爐中數組的過熱器管排，並與管排中的鍋爐水進行熱交換，降低廢氣溫度並產生推動汽輪機所需的過熱蒸汽。由於需在有限的空間內完成熱交換，過熱器管排以密集排列的方式設置於煙道中，加上焚化廠處理的廢棄物性質複雜，導致鍋爐運轉一段時間後容易於此處發

生積灰阻塞，使得熱交換效能下降，過往於半年 1 次的歲修時需要進行清灰、管壁厚測等保養作業，導致作業時間拉長。移動式震波清灰技術係在鍋爐正常運轉期間，將前端裝有特殊氣體之燃料袋，以專用設備伸入過熱器管排間，藉由鍋爐內的高溫點燃氣體，產生小規模的爆炸將過熱器管排間的積灰震落，讓爐管可恢復原先的熱交換效能，而積灰清理後亦可讓燃燒室維持良好的負壓，使焚化廠可以保持正常的處理效能，待一年 1 次的歲修時再行清潔。執行移動式震波清灰前後過熱器管排對照如圖 4 所示。

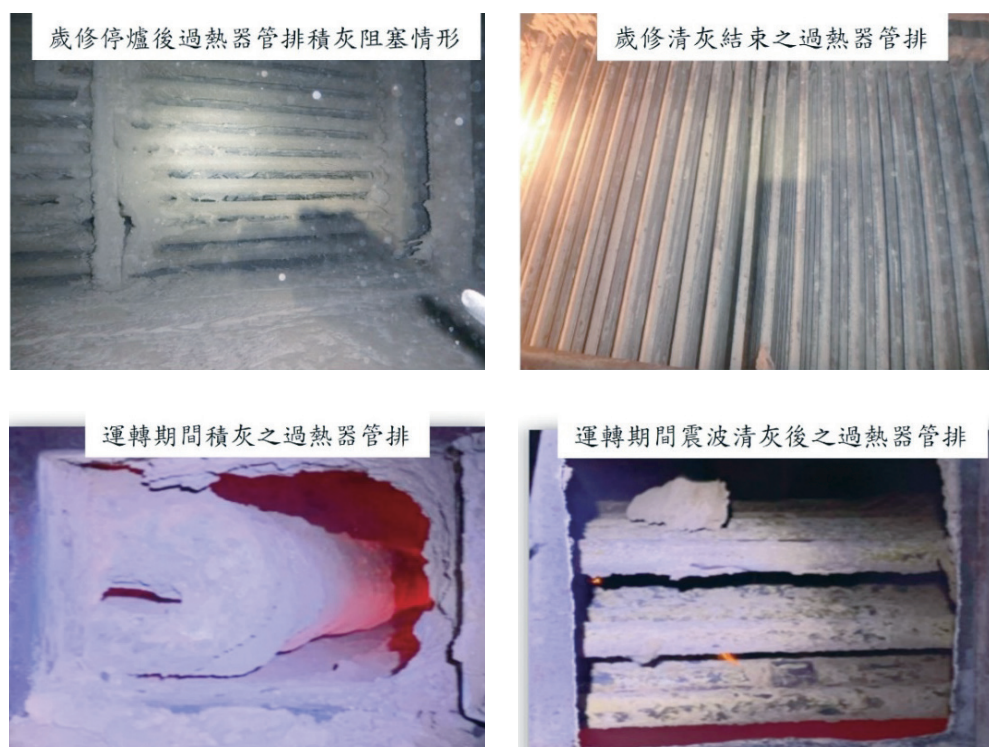


圖 4 積灰過熱器管組與清灰後過熱器管組對照

2.3 爐床易損壞區域加強焊接

爐床是焚化廠處理垃圾的關鍵單元，主要功能係讓垃圾可以在有限的空間內進行乾燥、燃燒，而燃燒後剩餘的底渣則掉落至出灰器，集中於底渣貯坑收集。為使垃圾

以一定的速率移動，爐床設計為一個具有 30 度角，由可動部分、不可動部分之構件組成的大型機械設備，由於長時間在高溫環境中作動，歲修時會視磨損情形作執行爐條的局部更新，但並非採爐條 1 次全面更新的作法，故新舊爐條間的公差以及卡樺的強度將會產生落差，若需連續運轉近 1 年，可能於運轉期間中發生故障而導致停爐。為避免前述風險，透過檢視苗栗廠過往的歲修紀錄，規劃出爐床高風險損壞區域，於歲修期間將該區域的爐條更新，並加強側邊固定卡樺之穩定度，減少因爐床故障造成需停爐的狀況發生。

三、一年 1 次歲修效益說明

藉由前述 3 項工法改善，苗栗廠已於民國 111 年開始，成功達成一年 1 次歲修之目標（111 年 3 月歲修後，可維持足夠良好之運轉效能持續至 112 年 3 月歲修），因減少歲修次數，焚化爐起爐前進行水壓測試確認爐管焊接良好所需之純水，以及起爐停爐期間用於持溫及降溫之柴油等原物料皆可減少使用；另外受惠於運轉天數增加，處理量、發電量及減碳量皆有顯著提升，一年 2 次歲修與 1 次歲修之效益差異比較如表 1 所示：

表 1 一年 2 次歲修與一年 1 次歲修之效益差異比較

效益指標	2 次歲修	1 次歲修	效益
歲修工作日數（天）	22	16	減少工作天數
爐管壓力測試用水（公噸）	240	120	減少純水使用量 120 噸 / 年
起 / 停爐助燃柴油（公秉）	48	24	減少柴油使用量 24 公秉 / 年
廢棄物處理量（公噸）	169,700	172,668	增加處理量 2,969 公噸 / 年
年發電量 (MWh)	80,344	81,749	增加發電量 1,405 公噸 / 年
減少用柴油減碳效益 （公斤 / 年）	-	64,320	減少碳排放量約 64 公噸 / 年
增加發電量減碳效益 （公斤 / 年）	-	695,689	減少碳排放量約 695 公噸 / 年

四、結語

以苗栗廠一年 1 次歲修模式的成功經驗，信鼎公司將持續精進技術整合應用，搭配內部歲修施工關鍵作業要點及管理作為，積極於其他焚化廠導入此一次歲修模式，亦持續審慎評估其他新技術應用於縮短歲修工期之可行性，降低環境衝擊並最大化焚化廠的運轉效能，達到珍惜每一分資源的目標，深化綠色低碳營運。

參考文獻

謝錦松、黃正義 (1988)，固體廢棄物處理，淑馨出版社。

魏豐義 (1992)，焚化爐較低溫部之腐蝕與耐蝕鋼材的發展，防蝕工程，6 卷 4 期，P 37-55。

施瑞卿、紀茂樹、蘇敬智、楊建邦 (2018)，焚化爐鍋爐管材被覆技術探討與應用，化工，65(4)，P 46-50。

曹師維 (2024)，導入清灰技術提升資源循環效能，崑鼎電子報 No.025，<https://www.ecove.com/e-newsletter/?l=CH&no=025&cat=key-technology&article=01>。

