



# 我國未來生活垃圾處理設施發展之淺析

信鼎技術服務股份有限公司企劃室技術經理 / 張君偉  
信鼎技術服務股份有限公司專案一部資深經理 / 施瑞卿  
信鼎技術服務股份有限公司技術開發部資深經理 / 紀茂樹  
信鼎技術服務股份有限公司台南廠工程師 / 蘇敬智  
信鼎技術服務股份有限公司企劃室經理 / 林珮好

關鍵字：焚化處理、氣化處理、能源效率、多元化垃圾處理

## 摘要

我國廢棄物採焚化處理已超過 26 年時間，全國垃圾焚化廠開始陸續進入延役及整改的時程。對於國內一般垃圾之處理，政府於多元化垃圾處理政策中，規劃焚化廠升級整備及提升環保設施效能等面向。其中焚化處理設施及氣化處理設施同時具備能源回收的功能，被列為重點的執行項目。

隨著近年來焚化技術的進步，已大幅降低焚化過程中衍生的污染物排放如戴奧辛、氮氧化物等，同時藉由提升鍋爐熱回收效率以及改善廠內發電設施效率，焚化處理設施的發電效率已可提升至 25% 以上，可符合我國「再生能源發電設備設置辦法」中對於廢

棄物發電設備發電效率之規定。惟鍋爐效率的提升牽涉到鍋爐及焚化爐床的變更，對於老舊廠的升級有一定的困難度。

垃圾氣化處理設施雖然污染排放低於焚化處理技術，但受限於氣化處理設施對於廢棄物性質穩定度及投料入爐均質性要求很高，目前多用於處理穩定性較高的生質燃料，單獨用於處理垃圾的大型成功案例不多，其整體的經濟效益仍較焚化處理技術為差。但由於其合成氣有較高的能源利用價值，各國近年來仍積極地推動該項技術。而本土技術與國外差距有限，於政府扶持產業發展的角度，建議可試行於無焚化處理設施且廢棄物性質單純地區或用於處理性質相對單純的事業廢棄物上。



## 一、前言

我國垃圾焚化處理從台北市內湖焚化廠商轉開始至今已超過 26 個年頭，最新的苗栗廠及永康廠商轉也已經超過 10 年。根據日本的操作經驗顯示，焚化廠主要設備的平均壽命約在 15 ~ 20 年左右【1】，進入這個週期的焚化處理設施需透過一定程度的整改，以維持其操作效能。表 1 顯示我國有 19 座焚化廠營運時間已超過 15 年，顯示未來幾年，全國有多座焚化廠將陸續因屆齡而進入延役及整改的高峰期。

隨著各縣市焚化廠逐漸老化，加上廢棄物熱值提升的影響，近年來全台焚化廠每年總垃圾處理量以 2% 速度下降，全國焚化廠垃圾處理餘裕量逐漸吃緊，使得許久未出現的垃圾處理議題又開始佔據新聞版面。

政府為因應我國未來的廢棄物處理需求，遂於 106 年 7 月提出多元的廢棄物處理政策，其中針對一般家戶垃圾的處理，除計畫提升既有焚化處理設施的效能（處理量及能源回收率），對無焚化處理設施地區擬試行引進能源利用效能更高的氣化處理設施。

由於近來循環經濟逐漸成為世界的潮流，垃圾發電扮演循環經濟最末端的能源循環角色，其能源轉換效能逐漸被各國所重視，近年各國在廢棄物熱處理發電技術上有了明顯的突破，其中以垃圾焚化及氣化為發展主流。本文針對我國一般都市垃圾性質，依據崑鼎投資旗下信鼎技術服務股份有限公司在此領域 20 多年的實務經驗，探討焚化處理設施效能提升的可行方向以及氣化處理設施於我國發展潛力。

表 1 我國各焚化廠商轉時間概況<sup>[2]</sup>

商轉時間	廠別
11 ~ 15 年	包含基隆、苗栗、利澤、烏日、永康廠共 5 廠。
16 ~ 20 年	包含北投、八里、桃園市、新竹市、后里、溪州、嘉義市、鹿草、城西、高雄中區、高雄南區、仁武廠、岡山、崁頂廠，共 14 廠。
21 ~ 25 年	包含木柵、新店、樹林、文山廠共 4 廠。
> 25 年	內湖 1 廠。

## 二、台灣地區廢棄物處理現況

根據環保署民國 106 年的統計資料，全台灣垃圾焚化處理噸數為 624.9 萬噸。其中一般廢棄物約 508.8 萬噸（佔總進廠量 81.4%），事業廢棄物約 116.0 萬噸（佔總進廠量 18.6%）。24 座焚化廠平均負載率約 92%，扣除因設備效能不佳的廠別後，各廠平均負載率已超過 95%，顯示各廠的負載均已接近滿負荷狀態。而岡山廠及崁頂廠於 106 年底完成效能提升後，預期於 107 年兩廠可以增加約 10 ~ 15 萬噸的處理量。

依據 106 年環保署統計資料，每噸垃圾平均發電量為 509 度，以垃圾平均熱值 2,300kcal/kg 計算，全國焚化廠平均發電效率為 19%，低於 ISWA (International Solid Waste Association) 於 2013 年發行的垃圾發電指南【3】，如圖 1 所示。其效率最高的是桃園市廠，發電效率可達 23.2%，最低的為台北市內湖廠。依據我國「再生能源發電設備設置辦法」中對於廢棄物發電設備發電效率規定需大於 25%，顯示我國焚化廠發電效率能有不少的提升空間。尤其是早期設計的焚化廠，不論在鍋爐設計效率、氣冷式冷凝器設計效率及蒸汽品質上，都有很大的改善空間。

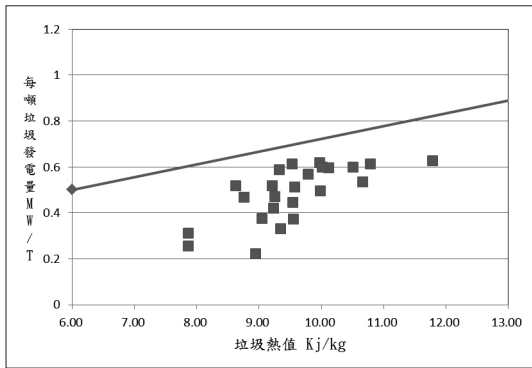


圖 1 我國各焚化廠單位垃圾發電效率分布圖

### 三、焚化處理技術近年發展介紹

焚化處理技術目前在市場上有超過 1,300 項實績(機械式爐床),已是十分成熟的技術。以往,焚化處理設施較為人擔心的是諸如戴奧辛等空氣污染排放問題,不過近年來各家焚化爐製造商已持續改善燃燒控制技術,透過更精準的燃燒空氣量控制,可有效地抑制戴奧辛及氮氧化物排放,如鍋爐出口戴奧辛排放濃度已可控制在  $2\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$  以下,較以往技術降低 50% 以上;氮氧化物部分,新

式的燃燒控制技術搭配 SNCR 加藥控制技術的改良,可將氮氧化物排放濃度操作在  $70 \sim 80\text{ppm}$  以下,較目前台灣主流技術減少約 20% 的排放量(圖 2)【4】。

於能源回收議題方面,近期焚化處理設施發電效率已大幅提升,歐美新設置的焚化廠其發電效率多已超過 25%,甚至可達 30% 以上。其主要技術突破點在於提升廢熱回收鍋爐效率以及提升廠內發電效率兩個部分,並詳述如下:

#### (一) 提升鍋爐效率

影響焚化處理設施鍋爐效率的因子包含過剩空氣比的設計以及鍋爐出口廢氣溫度兩個部分並詳述如下:

##### 1. 降低過剩空氣比設計值

早期焚化處理設施為確保廢棄物燃燒完全,於燃燒過程中會供給較高燃燒空氣量,其過剩空氣供給量需為理論空氣用量的  $1.8 \sim 2.0$  倍,遠高於一般燃煤電廠的 1.2 倍。過高

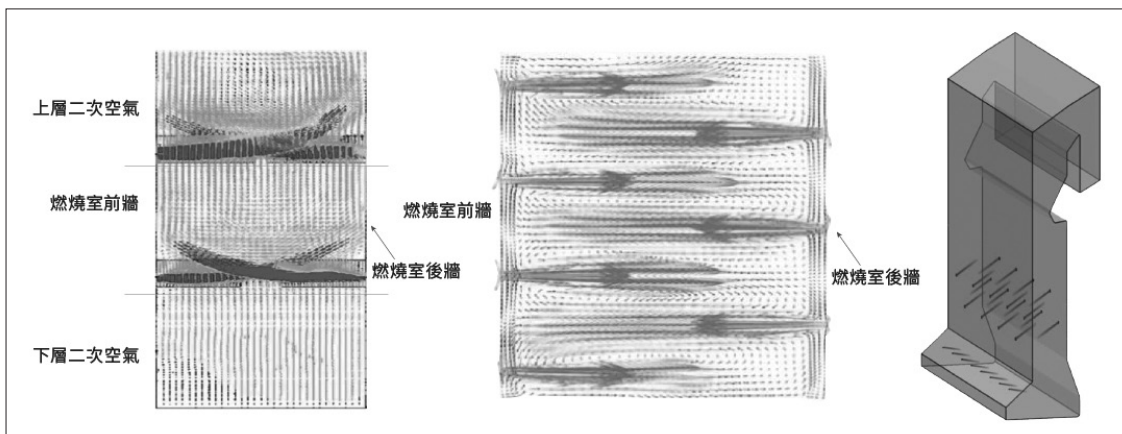


圖 2 新式的燃燒模擬有助於風量的分配設計,藉以提升焚化效率,減少污染排放。【4】



的燃燒空氣量，除增加了焚化廢氣排放量，導致下游空氣污染防治設備負荷的增加外，也會降低鍋爐的熱回收效率，使得早期焚化處理設施鍋爐效率多低於 80%。隨著燃燒控制技術的改善，以及爐床冷卻方式由風冷改為水冷式爐床，燃燒空氣需求大幅下降，目前焚化所需過剩空氣供給量已大幅降低到約 1.4 倍左右【4,5,6,7】。低燃燒空氣量需求可同時降低廢氣排放量，減少下游防治設備負荷及能源消耗，同時提升鍋爐效率，增加蒸汽產量。

惟我國受限於戴奧辛排放法規中規定鍋爐出口濕基廢氣含氧量須高於 6%，相較國外控制技術已可將廢氣含氧量控制在 4 ~ 5%，該限制無形中也抑制了鍋爐效率提升的空間。但該法規中也提及，若可證明污染控制可達該法令相同處理效果者，可另檢具證明文件，向主管機管申請依不同條件操作運轉。

## 2. 降低鍋爐出口廢氣溫度

以往焚化廠為了避免節熱器水管的腐蝕，鍋爐出口廢氣溫度得控制在 220 ~ 260°C 之間；新型焚化廠因節熱器管材質改善，其操作溫度已可逐步降低到 180 ~ 200°C。

透過前述的降低燃燒空氣量及鍋爐出口廢氣溫度，新式焚化廠鍋爐效率已可由 78% 提升至 85% 以上。惟此一部份牽涉到爐床冷卻方式及鍋爐的設計變更，需同時考量焚化爐區空間及停爐施工、安檢時程對垃圾調度的影響。其所需施工時程往往需超過半年，對於既有焚化廠而言，有一定的困難度，需政府政策的支持。

## (二) 提升發電效率

目前焚化處理設施常見提升發電效率的方式包含提升蒸汽溫度與壓力、降低汽輪發電機出口蒸汽溫度及乾度以及蒸汽再加熱技術，分述如下：

### 1. 提升蒸汽溫度及壓力

蒸汽溫度及壓力越高，於汽輪機回收的電能也越高。惟由於垃圾焚化後廢氣中含有高濃度的酸性氣體，蒸汽溫度提升會大幅增加爐管的熱腐蝕速度，目前新的焚化處理技術多控制在 420 ~ 440°C 之間，並搭配高合金爐管。部分廠商結合其他發電設施，利用較乾淨的尾氣餘熱提升過熱蒸汽溫度至 500°C 以上，以提升發電效率，成功避免高溫腐蝕的問題。惟蒸汽溫度及壓力的提升，除須確認鍋爐修改所需的空間及工期外，須同步確認汽輪發電機的設計參數，以確認是否須同步更換發電機。

### 2. 降低汽輪發電機出口蒸汽溫度及壓力

目前常見的技術可將真空度提升至  $-0.85\text{kg/cm}^2\text{G}$  以下。由於國內焚化廠多採氣冷式冷凝器，該設備設計的大氣溫度對於發電效率影響很大。早期設置的焚化廠因設計大氣溫度偏低，導致熱交換能力不足，以至於實務操作上汽機出口蒸汽溫度及壓力偏高，發電效率較差。適度的提升氣冷式冷凝器的設置容量，將有助於整體發電效率的提升。

隨著氣冷式冷凝器工藝的進步，多數廠可於既有的設置空間內修改設備，達到效能提升的目的。





### 3. 使用蒸汽再加熱技術

此技術一般用於大型的電廠，將作功後蒸汽再加熱，進入第二段汽輪發電機發電以提升發電效率。荷蘭第四代焚化廠也採用了本項技術，使得其整廠發電效能高達 30% 以上 (圖 3)，其單位垃圾發電量可達 830 度以上 (以垃圾熱質 2,300 kcal/kg 計算)【8】。

## 四、氣化處理技術近年發展介紹

氣化技術的原理係在限量供應氧氣及高溫的條件下，將有機質與水蒸汽進行反應，把有機質轉換成合成氣 (一氧化碳、氫氣及甲烷氣)，主要優點在於製造比原來燃料使用效率高的合成氣，除了可用於發電外，經加工處理可成為合成燃料。由於合成氣經過純化處理去除造成設備腐蝕的酸性氣體及導致設備阻塞的焦油等雜質後，可應用於效率較高之燃氣鍋爐、內燃機或燃氣渦輪機以回收電力。故此，氣化處理技術已廣泛的應用於燃煤電廠、生質能發電等燃料性質單純的發電設施。

除合成氣的使用效率較原燃料高的優點外，合成氣經適當的處理後，於後續利用上較無戴奧辛的再合成問題。文獻顯示，在相同的戴奧辛處理技術下，廢棄物氣化處理設施戴奧辛排放濃度 (約介於 0.002 ~ 0.01 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>) 較焚化處理設施為低【9】。故近年來氣化技術也逐漸應用於廢棄物處理的領域。

由於氣化反應含括上百種複雜的氧化、還原反應，為確保合成氣的產量與品質，對於操作溫度、空氣供給、燃料性質 (組成及

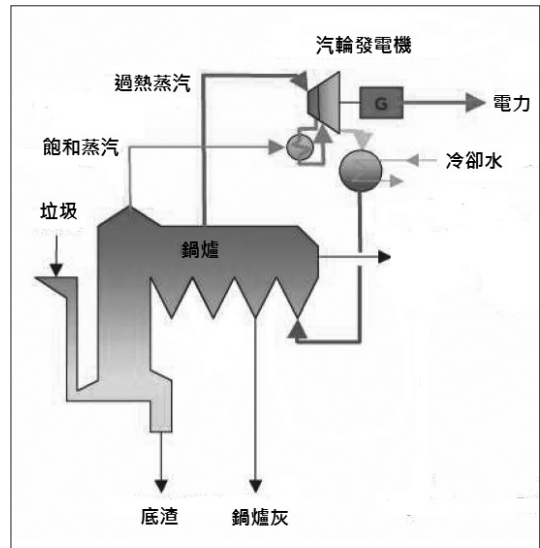


圖 3 荷蘭第四代焚化廠蒸汽發電流程【8】

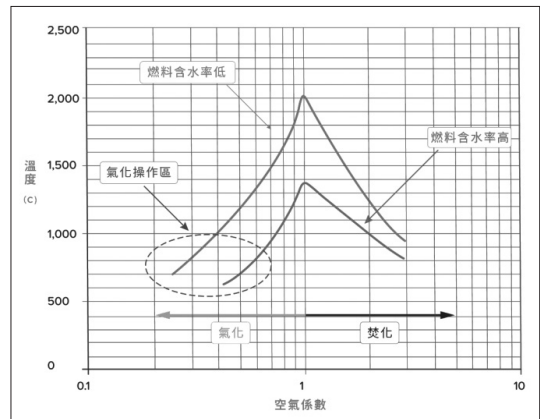


圖 4 空氣量與氣化反應溫度關係圖。【9】

含水率) 都有著嚴格的限制，圖 4 顯示當空氣供給量越高，氣化反應溫度也越高，當空氣供給量到達理論量時，即變成焚化處理。圖 5 顯示了反應溫度對於合成氣熱值、焦油產量、焦炭轉換率及氣化操作穩定性的影響，從圖中可看出，反應溫度越高，氣化的副產物焦油會降低，但對應的合成氣熱值下降，

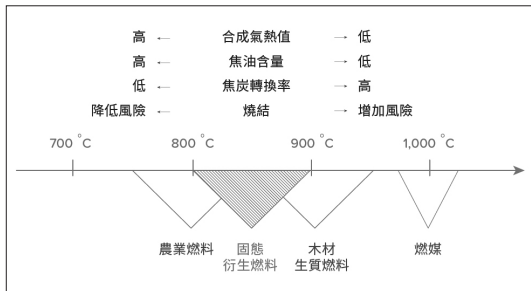


圖 5 氣化反應溫度對於氣化產物的影響圖。【10】

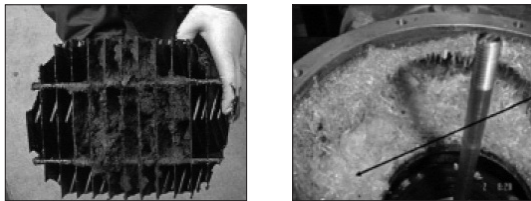


圖 6 焦油於設備上凝結狀態【11】

利用性降低。故氣化處理對供氣及反應溫度要求十分嚴格，不同的氣化原料有著各自的最適氣化反應溫度範圍，其意謂著氣化技術用於廢棄物處理時，對於入爐廢棄物穩定性要求很高，入爐廢棄物性質波動過大時，將不利於系統操作及合成氣品質的穩定，廢棄物需透過一定程度的前處理如破碎、分選、乾燥處理後，才能進入氣化爐處理。部分氣化爐型（如流體化床氣化爐）更要求入爐的金屬物含量需低於 2%。

此外，氣化過程中所產生副產物「焦油」對於後端的空氣污染防治設備以及燃氣渦輪發電機操作有很大的影響。由於焦油的性質十分複雜，包含多種有機化合物，通常由多個芳香環所組成，可簡易的分為重質焦油跟輕質焦油。重質焦油會隨著廢氣溫度下降而凝結，導致設備嚴重的結垢問題，如圖 6；

而輕質焦油有些具有水溶性及毒性，將增加水處理的難度，有些輕質焦油如萘，可能會在燃氣發電機產生結晶，降低效率。目前較常見的焦油處理方式分為冷凝洗滌及採燃燒法方式，將合成氣直接燃燒回收熱值。冷凝洗滌的好處是經處理後的合成氣可用於發電效率較高的內燃機或燃氣渦輪機，其缺點為焦油性質過於複雜，設備操作技術高，且有廢水處理的問題；而採用熱處理方式，將合成氣直接焚燒回收熱能，雖可避免處理焦油的問題，但其發電效能較焚化處理設施提升有限，同時須考量其嚴格的前處理需求所衍生的額外的操作成本。

目前市面上氣化技術之反應溫度區分為「氣化熔融」及「氣化燃燒」兩類。

氣化熔融實績廠大多位於日本，有近百座設置實績，其單爐每日最大的處理能力為 265 公噸，但受限於操作成本高及高溫操作的影響，設備故障率較焚化設施高出許多，年運轉率通常低於 80%，近年來新設施成長趨於保守【7】。

氣化燃燒操作溫度較氣化熔融為低，其產生的合成氣熱值較高，近期在歐美有許多案例在推動，不過實際在商轉的大型設施（每日處理量大於 300 公噸的單爐）僅有一座，整體發電效率逾 30%，該廠利用高溫過濾除酸技術，於高溫下去除合成氣中酸性氣體及粒狀污染物後，進入燃氣鍋爐回收熱能。而依據 104 年的操作資料顯示，該座廠年運轉時數仍低於 7,000 小時，其主要瓶頸也在於合成氣純化處理設施，顯示在合成氣的純化處理設施上仍有不小改善空間。



## 五、結論

焚化處理技術經過長期的發展與改善，其能源回收效率已大幅提升，同時在污染物抑制方面亦有顯著的進步。由於其對於廢棄物性質的波動性忍受度較高，可同時處理多種廢棄物（固體廢棄物、污泥、廢液等）且操作技術成熟，為許多國家對於廢棄物處理優先評估的主流處理設施。

另一方面，氣化燃燒技術發電效率雖略高於焚化處理設施，但其對於廢棄物性質波動性忍受度低，廢棄物需經嚴格的前處理後才能投料，對於前處理設施的能源損耗需再評估。除此之外，氣化技術也較不適用於處理含水率過高之廢棄物（水分過高合成氣熱值將過低，不利於使用），其對於進料廢棄物高均質性的要求，無法像焚化處理設施可同時混和處理多種廢棄物，國外廢棄物氣化處理實績多集中在小型的廢棄物處理設施，大型化的處理設施仍有相當的努力空間。◆

### 參考文獻

1. 環境省大臣官房廢棄物・リサイクル対策部廢棄物対策課，「廢棄物處理施設長壽命化計畫作成の手引き」，2010。
2. 行政院環境保護署焚化廠營運管理資訊系統統計資料。
3. ISWA GUIDELINES, “WASTE TO ENERGY IN LOW AND MEDIUM INCOME COUNTRIES.”,2013.
4. J.B. Kitto, “World-Class Technology for the Newest Waste-to-Energy Plant in the United States-Palm Beach Renewable Energy Facility No. 2”, Renewable Energy World International, December,2016.
5. Hitachi Zosen 公司技術簡介。
6. Martin 公司技術簡介 (Global Use and Future Prospects of Waste to Energy Technologies.)
7. 林信一，“固體廢棄物先進能源化技術之探討”，2016「海峽兩岸四地固體廢物管理論壇」，Nov. 2016, pp.56-66，澳門。
8. AEB 公司技術簡介。
9. Juhani Isaksson, Valmet Technologies, “Commercial CFB Gasification of Waste and Biofuels – Operational Experiences in Large Scale” 2015 Gasification Technologies Conference.
10. Anouk BOSMANS, Shivanand WASAN and Lieve HELSEN, “WASTE TO CLEAN SYNGAS: AVOIDING TAR PROBLEMS” 2nd International Enhanced Landfill Mining Symposium,2013.
11. Jan-Willem Könemann, Dahlman, “OLGA Tar removal-4 MWt commercial demonstration biomass gasification in France”, Gasification Technology Conference San Francisco 2007.