



全球永續浪潮下能資源廠新設計思維 —以桃園市生質能中心為例

崑鼎綠能環保股份有限公司業務經理 / 古家宇
信鼎技術服務股份有限公司廠長 / 鄭健龍

關鍵字：能資源、TNFD、生質能中心、再生能源

摘要

近年來，隨著全球永續發展趨勢日益明確，環境治理思維已由傳統著重污染防治與法規遵循，逐步延伸至氣候變遷、自然資源及資源循環等整合性議題。從 TCFD 到 TNFD 的發展，顯示事業單位不僅須關注減碳議題，更應系統性檢視自身對自然環境之依賴、衝擊、風險與機會。將以桃園市生質能中心為例，說明在全球永續浪潮下，能資源廠之新設計思維及其具體實踐方式，本中心透過廢棄物前處理、雙貯坑設計、高效率焚化與鍋爐系統、廢熱回收、高效空氣污染防治、連續監測及導入歐盟運轉規範等措施，有效因應桃園地區高熱值廢棄物之特性，提升能源轉換效率並降低污染排放，展現由傳統末端處理設施轉型為兼具資源循

環、能源利用及環境友善功能之新世代基礎設施，並進一步降低對環境之衝擊與依賴，因此未來能資源廠之規劃與設計，皆應朝兼顧處理效能、自然環境保護、資源循環及永續治理之方向發展，以回應全球永續發展之要求。

一、前言

近年來，隨著全球氣候變遷日益劇烈，環境挑戰也愈發嚴峻，環保核心課題已由早期著重污染防治與法規遵循，逐步邁向以永續發展為核心的治理思維，許多事業單位已不再只是被要求降低環境污染，而是必須更全面且系統性地思考，面對氣候變遷、資源循環、自然環境及利害關係人等多元議題時，應如何建立相應的管理與因應機制。



在此趨勢下，國際間先由TCFD（氣候相關財務揭露）推動組織辨識氣候風險與機會，近年則進一步發展出TNFD（自然相關財務揭露），將關注焦點由氣候延伸至自然環境本身，要求企業檢視自身對自然的依賴、衝擊、風險與機會，並據以建立相應的治理、策略與管理架構。

從TCFD到TNFD，核心精神在於提醒事業單位自然不只是外部環境條件，更是生產、營運與社會發展所仰賴的重要基礎，故水資源、土地、生態系統、生物多樣性等自然資源，皆可能直接或間接影響企業的長期發展，因此，永續已不能再侷限於「減廢減碳」，而是進一步走向「降低對自然的負面衝擊，並提升與自然共生的能力」。

在此國際永續浪潮下，焚化廠過往常被視為高污染、高鄰避性的基礎設施；然而，若各地方政府想推動新設廠，其設計思維勢必無法再沿用傳統模式，而必須重新定位與面對再設計的挑戰。傳統焚化廠是將其當作「廢棄物的最終處理場」而設計的，設計重點主要在於焚化操作穩定性及污染排放符合法規要求，承接前述永續趨勢，新世代焚化設施應進一步思考如何降低對環境的依賴與衝擊，並朝向整合資源循環、能源回收、循環再利用、自然保護與生態共融等多面向價值發展。

以桃園市生質能中心的規劃理念為例，即可看出新世代熱處理設施的發展方向，透過廢棄物前處理、金屬回收、高效率發電、提升廢熱利用效率、低污染空污防制，展現由末端處理設施轉型為兼具資源循環、能源

利用與環境友善功能之新世代基礎設施的思維，也具體呼應TNFD所強調的整體性與自然資源等相關治理精神。

二、桃園市生質能中心簡介與新設計理念

桃園市生質能中心（以下簡稱本中心）為桃園市政府因應市內垃圾處理需求，並配合循環經濟及TCFD、TNFD等永續治理趨勢所推動之重要建設，依促進民間參與公共建設法以BOT方式辦理興建及營運。經公開招標評選後，由中鼎集團偕同旗下子公司崑鼎綠能環保股份有限公司（ECOVE）與長榮鋼鐵共組合作聯盟取得本案，並成立「榮鼎綠能股份有限公司」，由中鼎負責本中心之興建，崑鼎旗下之信鼎技術服務股份有限公司負責後續操作營運，本文將再進一步說明，於全球永續發展浪潮下，本中心（包含熱處理設施、厭氧消化設施、掩埋場）如何藉由整合性規劃與設計熱處理設施，降低對自然環境之負面衝擊，並朝資源循環與永續利用之目標邁進。

（一）提升廢棄物熱值、減少污染之廢棄物前處理系統

為了使廢棄物大小、成分均質化，並且進一步達到提升熱值及燃燒效率以及操作穩定度，本中心的熱處理設施設有廢棄物前處理系統，該系統採用兩線配置（2線×30噸／小時），廢棄物經由雙軸式破碎機將廢棄物破碎至約100 mm大小尺寸，並經由磁選機及渦電流分選機分選回收鐵及非鐵金屬，進一步排除金屬等不可燃物質，減少污



染、降低底渣產生量與減少底渣熱量損失等效益。

而本中心的廢棄物貯坑，係為全國首座採一前一後雙貯坑設計的設計（如圖1），前貯坑用於接收和貯存進廠廢棄物，後貯坑則用於貯存經廢棄物前處理系統後的廢棄物，再由垃圾吊車抓取後貯坑的廢棄物進行投料焚化處理，底部亦有塗覆多層之防水措施，以及垃圾滲出水收集系統（蒐集之滲出水將回送於熱處理設施噴燒），以確保垃圾滲出水不會污染珍貴的地下水資源。



圖1 本中心雙貯坑設計之垃圾貯坑

（二）高燃燒效率及高鍋爐效率的焚化及廢熱回收鍋爐系統

近年來，隨著臺灣社會生活型態快速轉變及產業蓬勃發展，廢棄物組成也出現顯著變化，外食以及外送文化日益普及、電子商務頻繁往來，以及包裝使用習慣改變等，都間接使廢棄物中塑膠及複合材料的比例逐年增加，進而帶動整體廢棄物熱值明顯上升。

以桃園市為例，作為工業大城，其相關工業及科技廠房密集、物流與商業活動呈現高度發展的狀態，其一般民生垃圾除塑膠含量偏高外，亦常夾雜製造業邊料、塑膠薄膜及包材殘料等高熱值物質，相關統計資料顯示，桃園市生活及商業廢棄物熱值普遍已達2,500至3,000 kcal/kg，對於過去依較早期設計標準興建、設計熱值約為1,600至2,300 kcal/kg的焚化爐而言，已經無法負荷現今的變更，若照過往經驗設計焚化爐，則高熱值廢棄物容易加劇焚化爐本體機械設備之耗損，亦可能造成鍋爐系統負荷過高而導致設備故障，甚至增加污染物排放控制之難度，然而高熱值廢棄物亦將進一步使焚化處理量下降，進而影響能資源中心的效能，可能導致廢棄物需額外尋找暫置處，致使衍生相關環境衛生及污染問題。

因此，本中心的核心任務，即在於導入先進設備與技術，以兼顧高能源轉換效率及污染物排放削減之雙重目標，有效處理此類高熱值廢棄物。

本中心熱處理設施採用日本先進技術廠商之焚化與鍋爐系統，並考量收受廢棄物特性，將設計熱值提升至3,000 kcal/kg，為因應此高熱值設計需求，我們須思考不同的設計來確保爐床不會因為高熱腐蝕損壞，因此本中心主燃段的爐床係採用新式水冷式爐床，可有效避免局部高溫造成爐條損壞，進而提升整體運轉率；同時搭配先進燃燒自動控制程序，透過低過量空氣操作達成更佳燃燒效果，並減少廢氣量及熱量損失。此外，水冷式爐床回收之熱水經由熱交換器用於一次風第一階段加熱，以有效回收餘熱，增加



圖 2 水冷式爐床及水冷壁

發電效率；爐床側牆則採用堆焊管式水冷壁（如圖 2），不僅可提升熱回收效率，亦有助於減少燒結物產生。另鍋爐蒸汽溫度亦由傳統設計之 400°C 提升至 430°C 以增加蒸汽熱焓並進一步提高發電效率。

（三）結合廢氣熱能回收的高效率廢氣處理系統

本中心的熱處理設施空污排放的部分需考量減排減廢，讓排放降低對環境的衝擊，並且須同步思考如何減少衍生廢棄物產量，降低飛灰最終處置後對環境的依賴程度。因此本中心空氣污染防治系統，係採歐盟標準設計（如下表 1 所示），選用德國先進技術系統，考量除酸效率及衍生廢棄物等因素，

採用低過量加藥之碳酸氫鈉乾式除酸處理製程，碳酸氫鈉經由磨粉機製成小粒徑，增加比表面積以提高除酸藥劑於煙氣反應塔內之反應速率，並且為進一步減少飛灰中未反應之碳酸氫鈉含量，增設反應灰循環再利用系統，有效降低廢氣中酸氣（HCl、SO_x）濃度及衍生廢棄物產量。本中心同時亦持續尋求其他有效之飛灰再利用方式，例如飛灰水洗以及飛灰熔融，以達到全循環再利用之精神。

本中心尚有設置選擇性非觸媒還原法（SNCR），搭配聲納測溫系統自動控制，可選擇不同高層及位置注入還原劑（液態尿素），使藥劑可於最佳反應溫度區間進行脫硝，達到 NO_x 最佳的去除效果。另外亦設置選擇性觸媒還原反應塔（SCR）（如圖 3），利

表 1 焚化爐排放標準與本中心設計排放值

項目	一般廢棄物焚化爐 (10 ton/hr 以上, 新設)	事業廢棄物焚化爐 (400 kg/hr 以上, 新設)	本中心
硫氧化物 (ppm)	80	150	10
氮氧化物 (ppm)	180	180	50
氯化氫 (ppm)	40	40	3.2
戴奧辛 (ng-TEQ/Nm ³)	0.1	0.5	0.06

備註：摘錄自廢棄物焚化爐空氣污染物排放標準／廢棄物焚化爐戴奧辛管制及排放標準



圖 3 選擇性觸媒還原反應塔 (SCR)

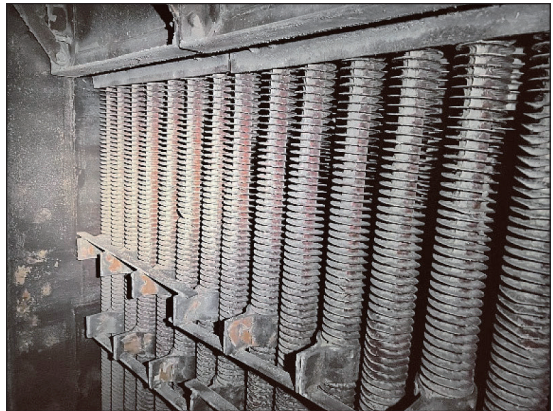


圖 4 煙道後段外部節熱器

用前述未反應完之餘氨進行還原反應，可同時去除戴奧辛及 NO_x，更進一步淨化廢氣，減少對環境之衝擊。

然而經乾式廢氣處理系統除酸後的廢氣均維持高溫約 185°C，因此採用低溫型 SCR，廢氣不需要再加熱，減少能源消耗，另於煙道後段增設一外部節熱器（如圖 4），將袋式集塵器出口廢氣降溫至 150°C，利用回收的廢氣廢熱對飼水溫度加熱，更進一步回收熱能。

(四) 高效率汽輪發電機及氣冷式蒸汽冷凝器

目前國內營運中的焚化廠發電效率偏低，平均設計約為 21% 左右，然而能資源中心若可提高發電效率，則可減少火力發電之使用需求，因此本中心熱處理設施必須朝向高發電效率的目標邁進，於設計時須將各系統的能源回收及用電量列為考量重點，並將廢氣的廢熱、蒸汽及其他能源的充分整合再利用。

鑒於前述目標下，本中心熱處理設施採用高效率汽輪發電機，出口蒸汽乾度大幅降低，回收更多蒸汽熱能，並採用高效率氣冷式冷凝器（如圖 5），設計大氣溫度採 34°C（國內其他焚化廠大多設計 28 ~ 32°C），汽輪機出口壓力降低至 0.15 kg/cm²A（國內其他焚化廠大多設計 0.18 ~ 0.2 kg/cm²A），回收利用更多蒸汽熱能，汽機餘熱則用於一次與二次空氣預熱。

經過各項效能提升的作法後，本中心發電效率大幅提高至約 28%，遠高於國內既有焚化廠暨再生能源廢棄物發電設備認定標準，成為現今全國發電效率最高的熱處理設施。

(五) 全臺首座符合歐盟運轉規範的熱處理設施

除相關硬體設計外，其營運管理模式亦為全國首座符合歐盟相關運轉規範，因此熱處理設施之控制邏輯以及管制措施亦扮演一



圖 5 高效率氣冷式冷凝器

個極為重要的腳色，以下是本中心主要管理及控制說明：

1. 運轉中如爐內溫度低於 850°C 時，輔助燃燒器自動啟動，確保廢棄物與廢氣中 VOC 可在完全燃燒狀態下處理。
2. 起爐爐內溫度升至 850°C 時，才可開始投料廢棄物。
3. 當運轉中發現爐內溫度未達 850°C ，自動化系統連控停止廢棄物進料。
4. 運轉中如廢氣處理系統設備故障並導致廢氣超過排放標準，自動化系統連控停止廢棄物進料。
5. 各項廢氣污染物排放監測，除啟爐和停爐時沒有焚燒垃圾時段外，只要爐內有焚燒垃圾就監測相關排放數據。
6. 在廢氣連續監測設施管理上，本中心額外設置一台線上備用廢氣連續監測設施供兩爐備用（總計三套監測設施），以保持全時連續監控。

(六) 廚餘生質能源化的厭氧消化設施

本中心除了前述高效的熱處理系統外，亦有針對廚餘生質能源而設置厭氧消化設施，其主要包含廚餘前處理、緩衝槽、消化槽、沼氣生物脫硫、沼氣發電、脫水機（分離沼液及沼渣）及燃燒塔等設施。本中心規劃接收廚餘、水肥等有機廢棄物，廚餘經前處理程序去除塑膠袋、砂石等無法被生物分解的異物，再經由鏈磨機以製漿泵送至緩衝槽進行酸化反應（水力停留時間約 2 日）；然後再以泵浦每小時定量泵送有機物至厭氧消化槽反應（消化槽水力停留時間約 30 日），採中溫操作（反應溫度約 36°C ），消化槽內係以攪拌器進行攪拌避免槽內死角或短流產生，有機物經由甲烷菌消化後產生沼氣，其將經由生物脫硫、冷凍乾燥及活性碳吸附，去除沼氣中的水氣及硫化氫氣後送至沼氣發電機進行發電（當發電機歲修時，沼氣送燃燒塔處理），沼氣發電機亦設置散熱水箱模組，進行廢熱回收用以維持消化槽的反應溫度。



消化槽污泥將泵送至脫水機固液分離，由於因沼渣及沼液為有養分的有機物質，本中心亦在持續尋找相關再利用方式（如農地再利用、液態肥料等），以達到完全循環再利用的目標；除再利用外，本中心目前係設計將其分別送至熱處理設施處理及本中心廢水處理設施處理，由於沼液氨氮及 COD 含量較高，因此需經由生物脫硝及芬頓法去除前述物質，處理至符合園區廢水排放標準，然後納管至桃科廢水處理廠。

三、結論

在全球永續治理由氣候議題逐步延伸至自然議題的趨勢下，能資源廠的角色已不再侷限於廢棄物最終處理設施，而是必須進一步承擔資源循環、能源回收、污染削減與環境友善等多重功能。從 TCFD 到 TNFD 的發展脈絡可知，未來有關能資源廠之規劃思維，除強調減碳與法規符合外，更需重視對自然環境之依賴與衝擊，並透過整合性治理與技術設計，降低對水、土地、生態及周邊環境之負面影響，並減少對環境的依賴。

以桃園市生質能中心為例，其在規劃與設計上已展現新世代能資源廠之發展方向，包括導入廢棄物前處理系統、提升設備對高熱值廢棄物之適應能力、強化熱回收與發電效率、採用高效率空污防制系統，以及建構符合歐盟規範之營運管理機制，不僅提升整體處理效能與運轉穩定性，亦有效降低污染排放與環境衝擊。其設計理念已由傳統「焚化處理」思維，進一步轉化為兼顧資源循環、能源利用與永續治理之整合型基礎設施模式。

綜上所述，面對高熱值廢棄物增加與永續治理要求提升之雙重挑戰，未來能資源廠之建設不應僅追求處理量能與設備穩定，更應朝向高效率、低污染、低環境衝擊及自然共融之方向發展，透過前瞻性規劃與先進技術整合，能資源廠得以從傳統鄰避設施逐步轉型為循環經濟體系中的重要節點，並成為回應全球永續浪潮之具體實踐。

參考文獻

1. 中鼎集團 ESG 電子報 No.017 桃園市生質能中心簡介