



碳中和污水處理廠的實踐與展望

國土管理署科長 / 鄭惠君
環興科技股份有限公司工程師 / 張育齊
環興科技股份有限公司工程師 / 葉品君

關鍵字：氣候變遷、污水處理廠、碳中和

一、前言

隨著氣候變遷影響著人類生存和國家安全的威脅愈來愈大，2015 年聯合國宣布「2030 永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs)，共有 17 項涵蓋經濟、社會、環境的目標，其中 SDG 6 更直指水資源，目標確保所有人都能獲取可持續的水資源和衛生設施。2018 年發布 1.5°C 全球暖化特別報告(Global Warming of 1.5°C)，提出在增溫不超過 1.5°C 的目標下，於 2050 年前達到溫室氣體淨零排放。據此，各國皆積極提出淨零排放進程。

我國也在 2023 年 2 月 15 日公布氣候變遷因應法，除正式將 2050 年淨零排放之長期願景納入法條外，並強化跨域治理及政府機關溫室氣體減量權責、增訂氣候變遷調適專章、強化減量對策及徵收碳費等相關規定，顯示我國邁向淨零排放之決心。

依據 2024 年國家溫室氣體排放清冊報告指出，環境部門 2022 年廢污水處理與放流排放量為 1,048 千公噸 CO₂e，占環境部門總排放量 38.83%。為此，污水下水道系統肩負我國民眾生活污水處理、改善水環境及水資源循環之任務，因應我國淨零排放之長期願景，污水下水道系統亦須推動淨零排放。

我國在推動過程上，挑選國內一處污水處理廠作為碳中和示範案例，並透過建立基線排放量、實施改善工程及推動太陽光電技術，使國內未來污水處理廠及水資源回收中心可參考本案成果，作為後續污水處理廠溫室氣體盤查、減量及程序參考依據。

二、碳中和的概念與目標

2-1 碳中和介紹

因應減碳議題發燒，與溫室氣體減量相



關的名詞及目標相繼出現，如「碳中和」、「氣候中和」及「淨零排放」，「碳中和」係指人類活動產生的碳排放通過各種方式得到補償，使得大氣中的二氧化碳排放量達到零增長；「氣候中和」除碳排放外，亦包含其他溫室氣體（如甲烷與氫氧碳化物等），努力降低環境衝擊；「淨零排放」在特定一段時間內，人為造成的溫室氣體排放量與人為移除量相減後等於零，依此前提下，各國也陸續提出國家的減量目標，截至 2024 年 12 月，共計 198 個國家提出減量目標，其中包含碳中和 25 個、氣候中和 15 個、淨零排放 105 個及無目標 4 個等（如下圖）。

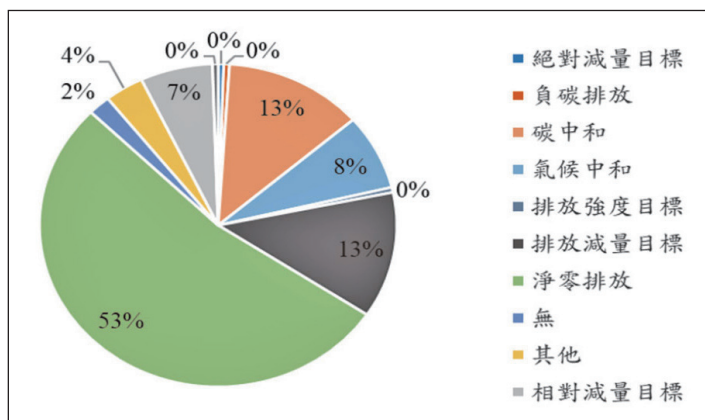
為達碳中和目標，除積極減碳外，亦須採取「減量額度」進行「抵換」，面對各類型減量專案宣稱的減量成效及減量額度日漸搶手，減量額度的品質也逐漸受到大家的重視。為避免漂綠行為，同時因應淨零排放的趨勢，國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）制定新的碳中和標準 ISO14068-1:2023，用以取代

既有標準 PAS2060:2014，ISO14068-1:2023 中強調使用者碳中和承諾、持續減量措施與目標，亦針對減量額度的品質進行要求，以達成 2050 淨零目標的決心。

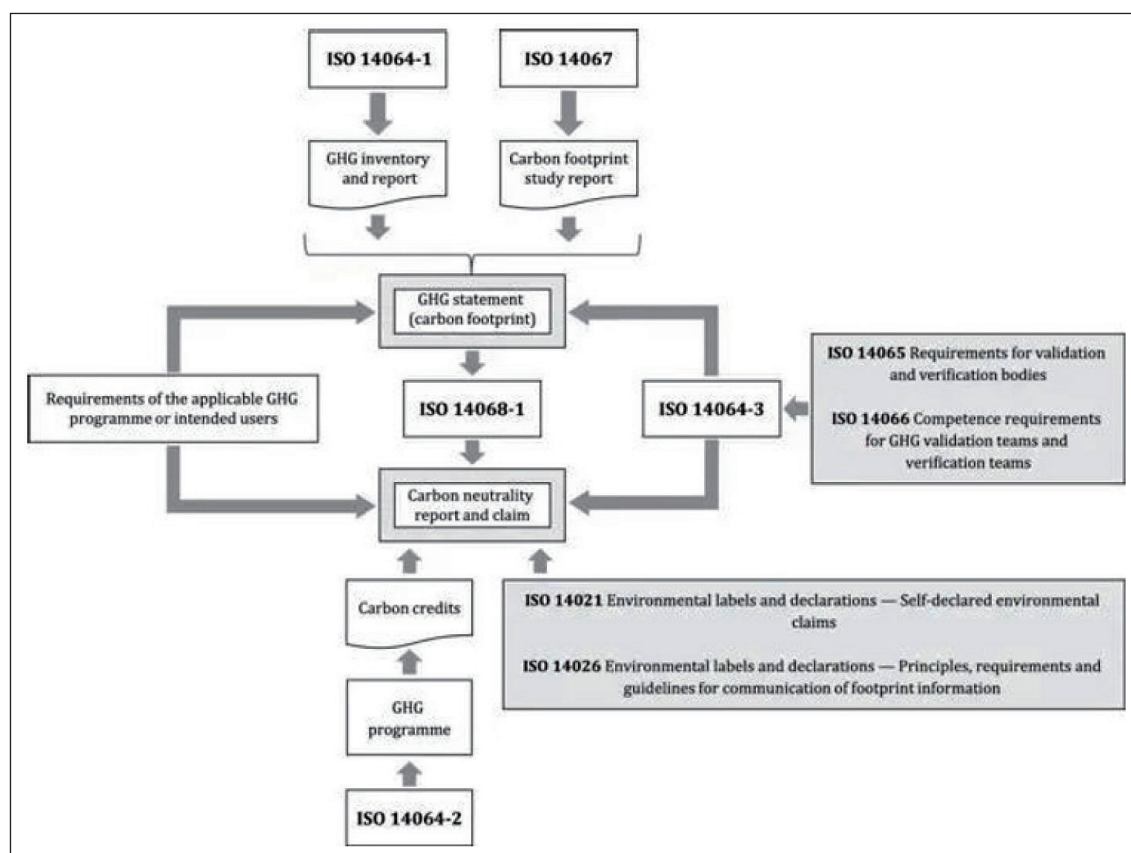
2-2 碳中和標準說明

辦理碳中和作業應先根據 ISO14064-1 或 ISO14067 等相關量化排放量標準進行「盤查」，執行「減量」措施後，使用依循 ISO14064-2 標準量測、報告與驗證（Measure, Report, Verification, MRV）取得之減量額度（Credit）進行「抵換」，最後使用符合 ISO14064-3 標準規範之查驗機構進行外部「查證」（如圖 1），並完成文件化報告，以達成 ISO14068 碳中和作業。

相較於過往的碳中和執行流程，ISO14068-1 更加強調「持續性」的減量作為，並以淨零排放為願景，因此需規劃短期（至 2030 年）及長期（至 2050 年）的減量路徑及策略，確保使用者已有積極減少溫室



資料來源：NET ZERO TRACKER，<https://zerotracker.net/>



資料來源：International Organization for Standardization, 2023

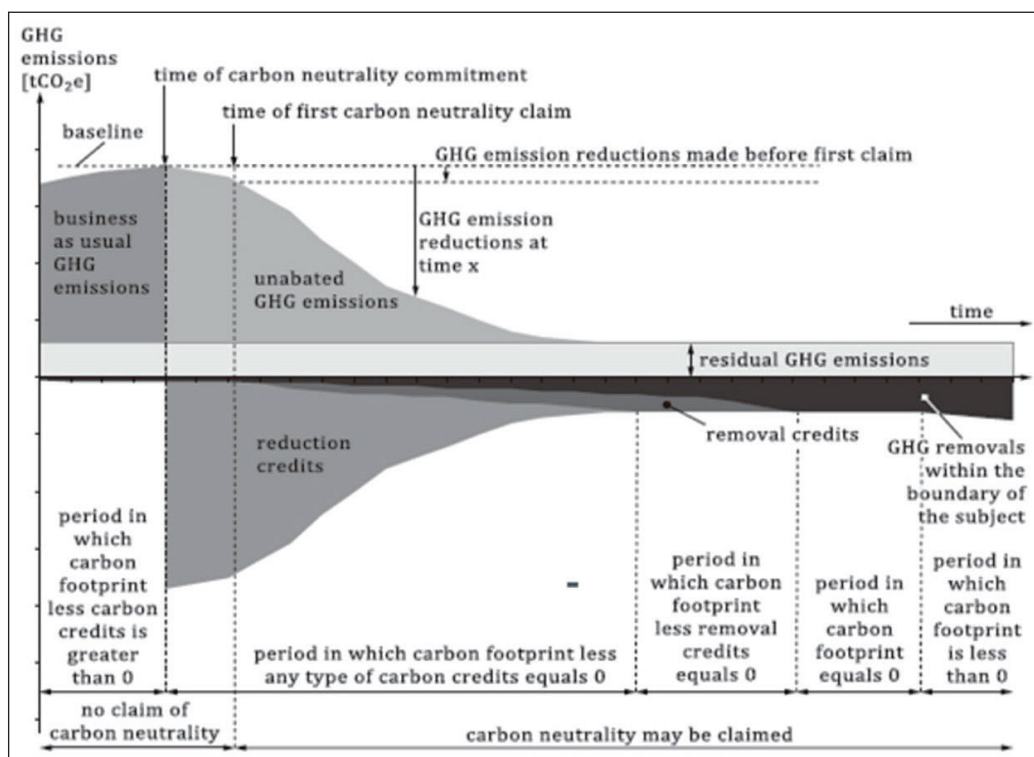
圖 1 ISO14068-1:2023 系列框架

氣體排放，而非為了漂綠執行碳中和；在減量額度的使用上亦有相關規範，國內外使用之減量額度普遍分為減少排放類型（如能源效率提升）及移除類型（如：碳匯）兩種，ISO14068-1 規範短期可使用減少排放類型或移除類型的減量額度進行抵換，但對於長期僅能以移除類型進行抵換（如圖 2），且在使用年限上規範僅能使用聲稱碳中和前五年的減量額度，此外，ISO14068-1:2023 亦針對減量額度、碳中和產生負面影響及達成碳中和的財務與人力資源規劃等條件進行要求。

依循 ISO14068-1 條文標準，我國環境部發行企業宣告碳中和指引（以下簡稱指引），該指引針對 ISO14068-1:2023 條文內容進行詳細說明，提供我國企業在執行碳中和之參考依據。

2-3 碳中和與污水處理的關聯性

污水下水道系統肩負我國民眾生活污水處理、改善水環境及水資源循環之任務。依據 2022 年版國家溫室氣體排放清單報告，環境部門廢污水處理與放流排放量為 1,048 千



資料來源：International Organization for Standardization, 2023

圖 2 ISO14068-1:2023 減量路徑圖

公噸 CO₂e，占環境部門總排放量 38.83%。除污水處理過程之直接碳排放外，污水處理廠用電為主要間接碳排放源，為污水處理廠減碳量之重點。此外，依據產生之 CH₄ 可依處理途徑不同，分為未妥善處理（化糞池與開放水體）和妥善處理（污水處理廠處理）兩大類。自 1991 年開始推動污水下水道設計計畫以來，污水處理率已由 1990 年之 2.6% 提升至 2022 年之 68.6%，而隨著污水處理率的提升，有助於降低整體污水處理產生之碳排放量。因應我國淨零排放之長期願景，污水下水道系統亦須推動淨零排放，惟淨零排放並非一蹴可成，需分階段達成，因此短期先以碳中和污水處理廠為目標。

三、污水處理廠溫室氣體排放說明

3-1 溫室氣體排放邊界

因應未來全球溫室氣體排放管理與減量需求，ISO 14064-1:2018 組織層級溫室氣體新版標準已納入全生命週期管理概念，擴大至組織上下游價值鏈關係。污水處理廠溫室氣體排放邊界，係指該組織具有權力主導營運政策，故邊界為污水處理廠（污水／污泥處理設施及機電設施運作等區域）、服務提供範圍（行政管理大樓）與污泥及廢棄物處理委外清運等程序，如圖 3，而以揭露溫室氣體排放量及減量策略擬定為主要目的，至於



來自土地使用、土地使用變更及林業之統計資料未完備，故暫不納入溫室氣體移除量之計算。

3-2 溫室氣體排放類別說明及排放源鑑別

依據 ISO 14064-1:2018 溫室氣體盤查類別包含直接及間接之溫室氣體排放量與移除量、分為第 1 ~ 6 類，參考標準之附件 B，摘述說明如下表 1，鑑別污水處理廠廠之排放源鑑別如表 2 所示：

3-3 污水處理廠排放熱點

污水處理廠主要溫室氣體排放組成中，一般能源使用及水體排放可達 98% 以上，其中又以能源使用佔 75% 為大宗。以一座具有完整污水及污泥處理流程之二級污水處理廠（活性污泥法），其各處理單元之典型能源消耗比例，如圖 4 所示，可知生物處理曝氣單元占 54.3%、抽水泵浦占 14.0% 與厭氧單元占 14.0% 為最大用電單元。

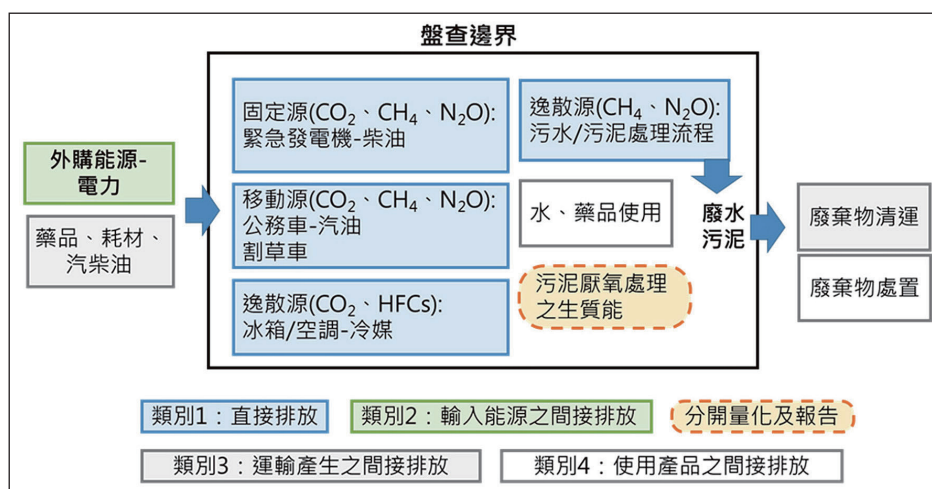


圖 3 污水處理廠溫室氣體排放邊界

表 1 ISO 14064-1:2018 溫室氣體排放源分類說明

直接／間接	類別
直接排放	第 1 類：直接溫室氣體排放量和移除量
間接排放	第 2 類：輸入能源的間接溫室氣體排放量
	第 3 類：運輸產生的間接溫室氣體排放量
	第 4 類：組織使用產品的間接溫室氣體排放量
	第 5 類：與組織的產品使用相關連之間接溫室氣體排放
	第 6 類：其他來源的間接溫室氣體排放量

資料來源：本公司整理。



表 2 生活污水處理廠排放源鑑別

類別	細項	對應活動設施或排放源
1. 直接排放	1.1 固定式燃燒	發電機、割草機
	1.2 移動式燃燒	公務汽機車
	1.3 產業過程	污水處理逸散
	1.4 人為系統逸散	製冷設備冷媒逸散、氣體鋼瓶、滅火器逸散
2. 能源間接	2.1 電力	外購電力
3. 運輸	3.1. 貨物上游運輸和貨物配送	耗材或藥品等之運輸
	3.2. 貨物下游運輸及貨物配送	一般廢棄物清運、污泥清運、廢液清運
	3.3. 員工通勤產生	—
	3.4. 客戶與訪客產生之排放	—
	3.5. 業務旅運	—
4. 組織使用產品（上游）	4.1. 採購貨物相關	自來水、油品燃料、電力、耗材（藥品、手套）
	4.2. 資本財	如購買設備、機具運具、電腦等
	4.3. 廢棄物處置	一般廢棄物處理、廢液處理、污泥清運
	4.4. 資產使用	如租用設備
	4.5. 服務使用產生	如諮商、清潔、銀行、郵件等
5. 組織產品使用（下游）	5.1. 產品使用階段	—
	5.2. 下游租賃資產	出租資產給他人使用
	5.3. 產品生命終止階段	—
	5.4. 投資	如加盟、投資
6. 其他來源		—

資料來源：本公司整理。

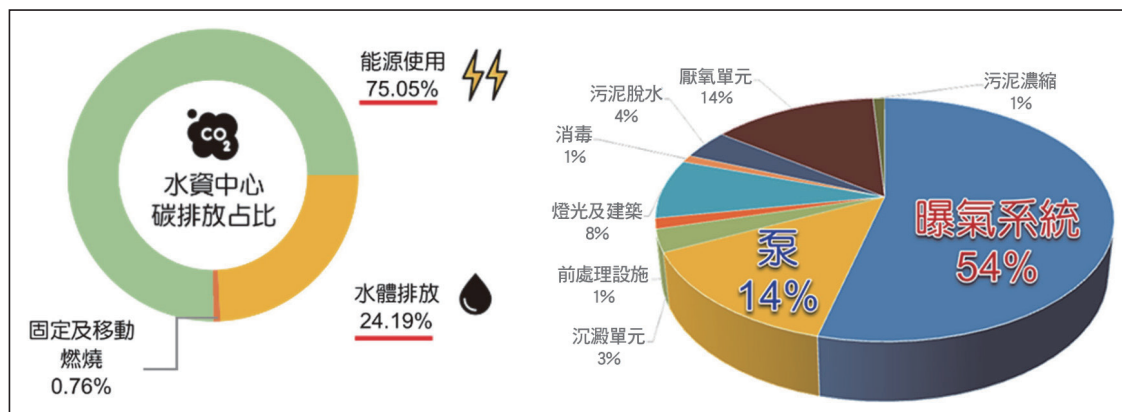


圖 4 污水處理廠溫室氣體排放及能耗組成



我國公共污水處理廠普遍皆無設置能源管理系統，缺乏能耗即時監控之機制，無法得知實際用電分布、用電流向及建立能耗基線，欠缺推動節能措施之判斷基準。污水處理廠運轉初、中期時，常見使用大設備運轉小水量造成功率浪費的情形發生，以致設備運轉效率偏低。

根據污水下水道統計要覽資料，全國污水處理廠平均日進流量及單位處理水量用電度數如圖 5，呈現進流量越大，單位用電度數越低的趨勢。

四、污水處理廠碳中和的技術與策略

污水處理廠電力消耗為主要溫室氣體排放來源，可透過節能設計六大面向考量：(1) 合理規模、(2) 再生水需求、(3) 降低能耗措施、(4) 減廢、(5) 用藥量、(6) 工法材料，如圖 6。

以下主要針對污水處理廠，排放熱點之溫室氣體減量適用技術做說明。

4-1 能源效率提升

污水處理廠的能源消耗主要來自電力，且是營運中最大的支出。節能技術包括改進操作管理和引進高效設備，旨在降低能源消耗和減少溫室氣體排放，同時不影響水質。以下介紹幾種節能方法：

一、進流抽水機節能：通過分析各泵浦的運行狀況與耗電量，採取最佳泵浦組合運行，並使用變頻器（VVVF）調整運轉方式，根據最佳效率點運行，達到節能效果。

二、水處理設備節能：

（一）初級沉澱池：提高去除率可減少生物池曝氣量，降低能源需求。

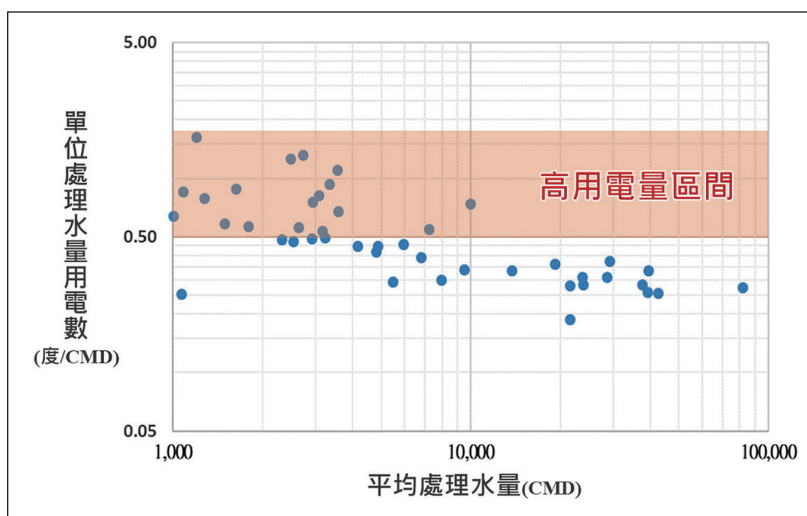


圖 5 國內污水處理廠平均進流量與單位處理水量用電度數關係

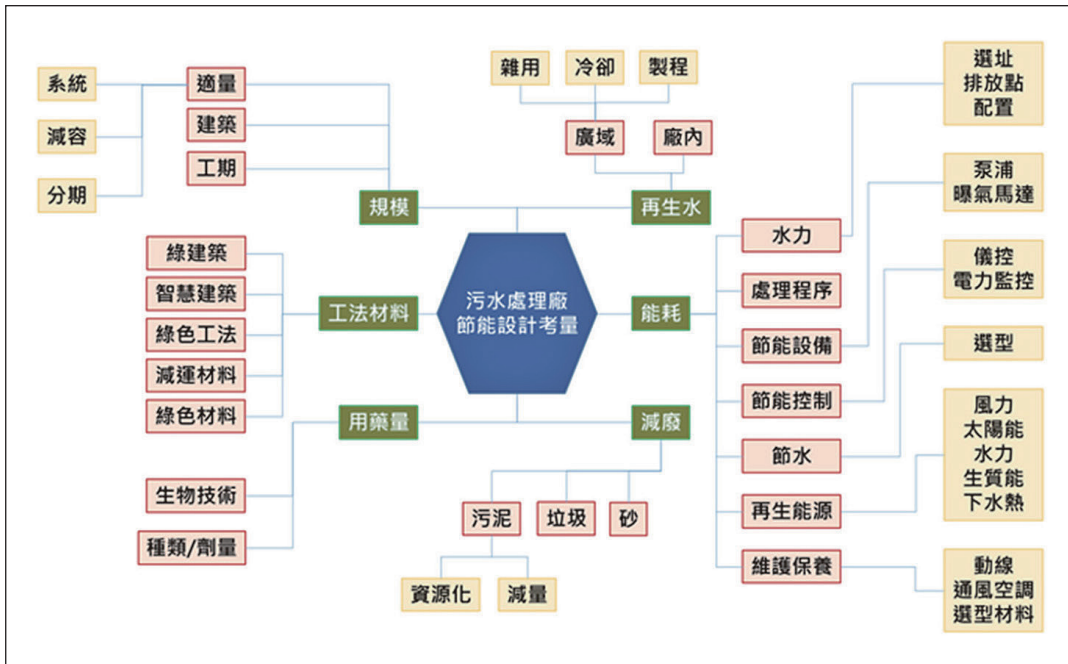


圖 6 污水處理廠工程應考量之節能減碳面向

- (二) 鼓風機：根據送風量調整運行模式，達到最佳節能效果。
- (三) 高效能散氣設備：減少壓損並調整水深，提升節能效果。

三、污泥處理設備節能：

- (一) 攪拌機：採取間歇運轉方式提高節能效率。
- (二) 節能濃縮及脫水設備：選用高效設備可節省20% ~ 60% 能源，並考慮污泥性質對脫水效果的影響。

以上這些措施均能有效降低污水處理廠的能源消耗。

4-2 可再生能源的應用

在污水處理廠內尋求創能的可行性，可有效減少廠內用電產生之間接排放，也是能達成減碳的重要路徑，但再生能源躉售台電或申請再生能源憑證予以售出雖可創造經濟效益，惟再生能源產生之減碳效益將無法計入該污水處理廠，需視為灰電。

以下介紹現今常見之創能技術優勢與困境：

一、太陽能光電

太陽能為目前較成熟之再生能源技術，且我國已有多座污水處理廠建置太陽能光



電，太陽能設置類型普遍採用屋頂型或地面型，屋頂型同時具有遮蔭降溫之效果，惟發電量受天氣及各地區日照時數等因素影響。

二、小水力

小水力發電係指 20,000 瓩以下之水力發電系統，對既有水源的再利用；若是對發電量 100 瓩以下，一般會稱為微型水力發電。小水力發電，較不受天氣影響，可 24 小時發電，容量因素高於太陽能光電。另亦具有運轉壽齡長、用地面積小、對環境與生態影響小之優勢。

小水力發電核心設備為發電機與水輪機，並依據發電原理可分為流速型及落差型。流速型小水力發電裝置無須水頭落差，直接利用水流的流速產生動能，轉動水輪機，帶動發電機運轉，將動能（機械能）轉成電能。落差型小水力發電則係利用地勢高低或具落差之管路，使水的位能轉成動能（機械能），經由水輪機帶動發電機運轉，將動能轉成電能，此種方式一般工程建設費用較高。

4-3 污泥處理回收再利用

污水處理廠常利用沼氣作為再生能源，沼氣主要成分為甲烷，其溫室效應是二氧化碳的 28 倍。回收沼氣不僅能減少溫室氣體排放，還可透過熱能或發電減少化石燃料使用。以下是幾種提升沼氣產量的方式：

一、污泥厭氧消化處理：污泥厭氧消化約可提供污水處理廠 25% ~ 50% 的能源。初沉污泥因含有較高有機物，沼氣產量較高，經過濃縮後的污泥可提高消化效率，降低能源消耗。

二、提升沼氣產量方法：

- （一）增加初沉池處理效率：提高初沉池去除懸浮固體的效率，減少後續生物處理程序能耗，增加沼氣產量。但需注意 BOD 濃度變化，確保後續處理不受影響。
- （二）廚餘共消化：將廚餘與污泥共消化可增加沼氣產量，研究指出可達到兩倍的能源回收效果，但需先進行廚餘的處理，如篩分和破碎。
- （三）增加污泥前處理效率：通過水解等前處理方式破壞污泥細胞壁，可縮短消化時間，提高沼氣產量。

沼氣的甲烷含量通常為 50% ~ 80%，熱值約 9,000 kcal/m³，適合用於發熱或發電。若只是將沼氣燃燒，雖可減少甲烷排放，但無法創造能源，進一步降低電力或燃料消耗的溫室氣體排放。

五、我國碳中和污水處理廠實踐案例

推動污水下水道淨零排放策略，以高雄市旗美污水處理廠（以下簡稱旗美廠）作為全國污水處理廠碳中和改善示範廠。

為達成碳中和，旗美廠首要確立基線排放量，以利進行工程改善評估規劃、熱點掌握與改善執行。透過設備汰舊換新、創造新能源及智慧控制等三方面執行，然而行減量措施後仍然會有殘餘排放量，因此需採取減量額度抵換，透過交易減量額度達到碳中和（如圖 7）。

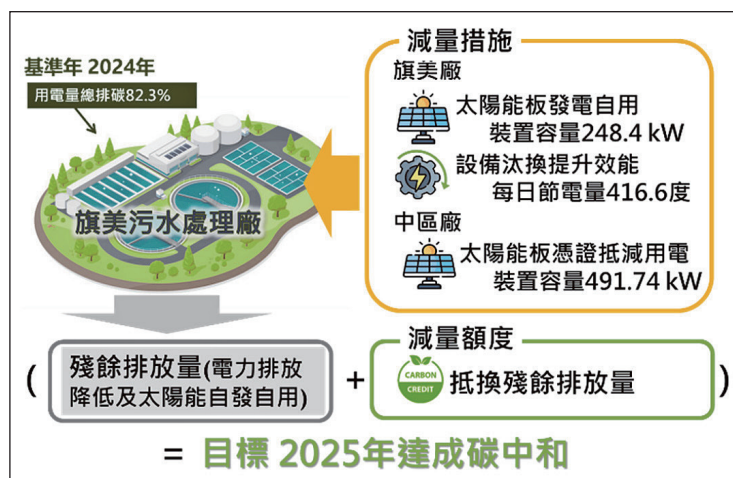


圖 7 旗美廠碳中和策略

六、未來發展趨勢與挑戰

6-1 技術創新

污水處理廠面臨的主要問題包括能源使用、污泥處理和再利用、創能技術發展及運輸問題。隨著科技進步，國際上已逐步開發污水處理廠達成碳中和的方式。

- 一、導入監測系統：能源使用佔污水處理廠碳排放的 70% ~ 80%，導入能源監控系統可分析能耗，找出高能耗設備和時段，進行有效操作，減少不必要的能源消耗。
- 二、微生物燃料電池（MFC）：MFC 利用厭氧微生物將有機物轉化為電能，可回收用於廢水處理，但因成本高且效能差，尚未廣泛應用。
- 三、厭氧氨氧化（anammox）：該技術無需添加有機碳源，減碳效益高，但可能排放氧化亞氮，且沼氣回收過程可能

產生甲烷，從生命週期檢視並非完全零碳。

- 四、再生能源使用：污水處理廠已使用太陽能、小水力發電和沼氣發電，並利用太陽能電力和沼氣製氫，為氫能車提供能源。

此外，內政部國土署已推出「污水處理廠設計及施工階段排碳減量作業參考指引」，旨在設計階段納入碳預算管理，使用低碳材料，實現綠色工程目標。

6-2 政策與法規的演變

為有效管控溫室氣體排放，我國已發布相關法規，並加強排放單位的減量義務。環境部於 2023 年修正《溫室氣體減量及管理法》為《氣候變遷因應法》，並納入淨零排放目標，規定排放量達 2.5 萬噸以上的單位需進行溫室氣體盤查登錄，預計自 2025 年起徵收碳費。



在能源管理方面，經濟部於 2023 年修正再生能源發展條例，要求契約容量達 5 千瓩以上的用戶設置再生能源設備，但政府機關不受規範，污水處理廠因此暫不列管。同時，能源署要求契約容量達 800 瓩以上的用戶需提報節電措施，節電目標為每年 1%。

儘管現行法規尚未涵蓋污水處理廠，隨著國家減碳目標及法規加嚴，污水處理廠應提前規劃減量措施，展現減碳決心。

6-3 結論

溫室氣體減量應涵蓋整個生命週期，從設計階段引入碳預算管理，使用低碳排放材料，營運階段監管排放並減少廢棄物產生。各國在氣候變遷壓力下，透過科技創新與法規加嚴，積極推動碳中和目標。

參考文獻

1. International Organization for Standardization, 2023, ISO14068-1:2023 Climate change management Transition to net zero.
2. L. Li, X. Wang, J. Miao et al., 2022, Carbon neutrality of wastewater treatment - A systematic concept beyond the plant boundary, Environmental Science and Ecotechnology, 11.
3. Koch K. et al., 2016, Co-digestion of food waste in a municipal wastewater treatment plant: comparison of batch tests and full scale experiences. Waste Management, 47:28-33.
4. Carlos Munoz-Cupa, Yulin Hu. et al., 2021, An overview of microbial fuel cell usage in wastewater treatment, resource recovery and energy production, Science of The Total Environment, Volume 754.
5. 張朝欽與于昌平 (2018), 污水能資源回收—微生物燃料電池技術之應用。土木水利, 45 卷 4 期 Pp. 43-47.