

內政部國土管理署

公共污水處理廠營運管理減碳作業指引

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	II
第一章 前言.....	1
第二章 適用範圍	2
第三章 溫室氣體盤查	4
第四章 基準年設定	6
第五章 溫室氣體減量目標	7
第六章 減碳策略與落實執行	8

圖目錄

圖 4-1 污水處理廠溫室氣體盤查邊界.....	4
圖 4-2 雲平台「公共污水處理廠溫室氣體盤查管理系統」.....	5

第一章 前言

隨著全球氣候變遷日益嚴峻，減少溫室氣體排放已成為各國政府及產業界的首要課題。聯合國《巴黎協定》要求各締約國承諾達成全球氣溫升幅控制在 2°C 以內，並努力將升幅限制在 1.5°C 內。我國於 2023 年通過《氣候變遷因應法》，明確訂定 2050 年淨零排放的目標，並透過國家淨零碳排戰略強化行動方向，制定各部門之溫室氣體減量策略。

公共污水處理廠為公共工程基礎建設之重要組成，隨著持續開辦污水下水道系統及推進接管率之同時，也亟需思考如何提升營運中公共污水處理廠的能資源使用效率，優化污水處理程序，降低溫室氣體排放，內政部國土管理署（以下簡稱本署）為提供各污水處理廠操作單位辦理減碳作業時有所依循，爰制定「公共污水處理廠營運管理減碳作業指引」（以下簡稱本指引），涵蓋行政設施、處理程序、機械設備、操作維護及開創綠色能源等面向，並結合污水處理廠溫室氣體盤查之概念，協助污水處理廠達營運減碳目標，呼應我國 2050 淨零排放之政策及落實環境永續發展。

第二章 適用範圍

2-1 適用對象與執行領域說明

本指引適用於營運中公共污水處理廠之營運管理、操作與維護，重點在於透過實務策略提升設備運行效率、降低能源消耗，並實現節能減碳目標。本指引涵蓋下列領域：

- 一、節能減碳操作模式：提供針對泵浦、鼓風機、曝氣設備及機械潤滑等關鍵耗能單元的操作與維護建議，包括設備選型、負載調節及維護保養等，以提升設備效率並減少碳排放。
- 二、材料選擇與應用：鼓勵選用合用、耐用的綠色低碳材料，以降低頻繁維修與汰換所帶來的隱形碳排放，並兼顧環保與運營效益的平衡。
- 三、綠色低碳處理工法：引入能效高、排碳低的新技術工法，如厭氧氨氧化（ANNAMOX）、移動床生物膜反應器（MBBR）等，適用於新設或擴建的污水處理設施，幫助實現能源與碳中和目標。
- 四、綠色環境與能源發展：推動綠化設施建置及再生能源應用，包括沼氣發電、太陽能發電及微水力發電，結合現有設施條件，提升能源自給率與減碳效益。

2-2 架構說明

本指引係依循 ISO 14064-1 國際標準精神所編撰，導入具科學性、系統性與可驗證性的溫室氣體管理架構，作為公共污水處理廠推動減碳行動之核心依據。該標準強調，組織於進行溫室氣體管理時，應建立明確步驟與資料基礎，確保盤查成果具備一致性、透明性與可追溯性，以利後續減量作為與外部查證。

因此，本指引以「量化（盤查）→基準（設定）→目標（減量）→行動（策略）」為推動主軸，逐步建立自現況盤點至策略落實的減碳管理框架。透過明確識別與量化排放來源、設定具代表性之基準年、訂定具體可衡量的減量目標，並搭配技術導入與管理作為，可有效協助污水處理廠從「單點節能」邁向「系統減碳」，與我國 2050 年淨零排放政策目標深度銜接。

為強化指引的可操作性與現場應用性，本指引亦依據減碳行動之施行屬性，

將具體措施區分為下列四類型：

一、行政設施（管理大樓節能）

聚焦於污水處理廠內非處理設施部分，特別是管理與行政設施之節能措施，如照明、空調、建築節能設計及綠建築導入。透過提升行政空間能源效率，有助於整體碳排放總量控管。

二、處理程序（處理流程最佳化）

著重於污水處理流程管理、排程與營運邏輯之優化，例如減少空轉設備運作時間、合理調度人力資源與設施使用頻率，提升系統整體效率，降低能源浪費。

三、機械設備（高效設備導入）

聚焦於引進節能設備與高效率技術，包括高效馬達、變頻鼓風機、微孔曝氣設備、太陽能板等，藉由汰換或升級舊有設備，以達節能減碳之效。

四、操作維護（操作維護優化）

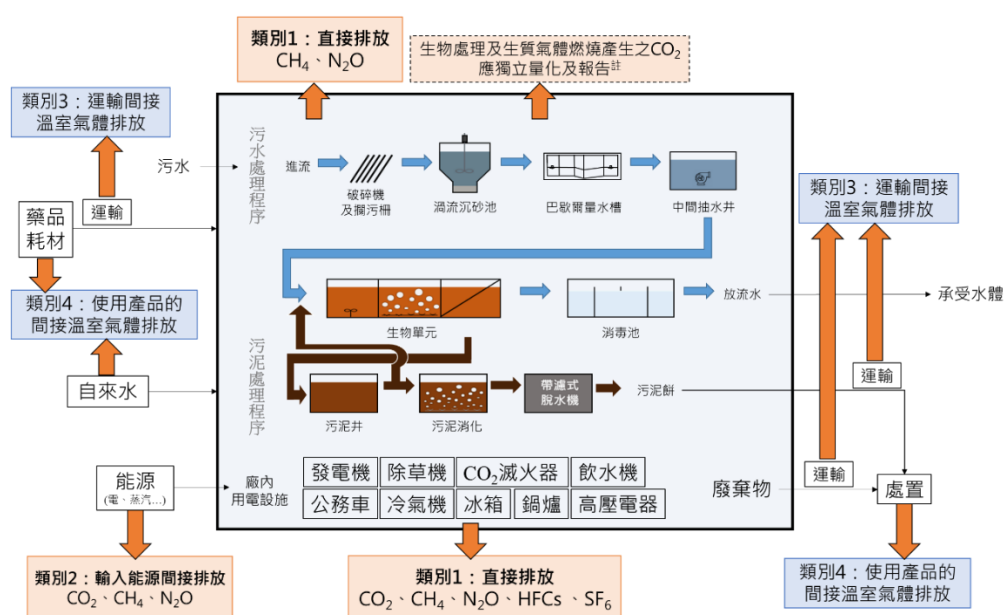
針對現場操作與日常維護流程提出優化建議，例如依水量調整風量、定期保養減損元件、潤滑油管理等，以降低設備耗能與故障率，確保系統穩定高效運作。

第三章 溫室氣體盤查

節能減碳是污水處理廠實現永續運營的核心目標，傳統的節能數據多以用電度數帳單或用油紀錄為基礎，缺乏整體量化的評估方式。透過溫室氣體盤查，可將廠區內所有溫室氣體排放來源統一量化，涵蓋用電、用油及其他間接排放，為制定減碳策略提供科學依據。不僅能協助污水處理廠更精準地識別排放熱點，亦能透過數據對比評估節能措施的實際效果，達到精準管理的目的。

本署已於 2024 年頒佈「公共污水處理廠溫室氣體盤查管理作業要點」，規範我國公共污水處理廠應辦理溫室氣體盤查事宜，並提供附冊「營運中公共污水處理廠組織型溫室氣體盤查作業手冊」供各污水處理廠操作人員可參考施行盤查作業，此外，本署公共污水處理廠智慧管理雲平台已設置「公共污水處理廠溫室氣體盤查管理系統」，可協助各廠站辦理溫室氣體盤查（盤查邊界如圖 4-1 所示、系統畫面如圖 4-2 所示），作為未來污水處理廠溫室氣體減量推動基準。

透過溫室氣體盤查，可了解各溫室氣體排放來源與排放量占比，而電力通常為污水處理廠最大的碳排來源，各污水處理廠可進一步針對廠內主要設備進行運轉耗電分析，量化各單元（如曝氣系統、污泥處理系統）的能耗與排放比例，識別高耗能設備，並定期評估操作維護策略優化對於節能減碳的效果。



資料來源：國土管理署，營運中污水處理廠組織型溫室氣體排放調查作業手冊

圖 4-1 污水處理廠溫室氣體盤查邊界

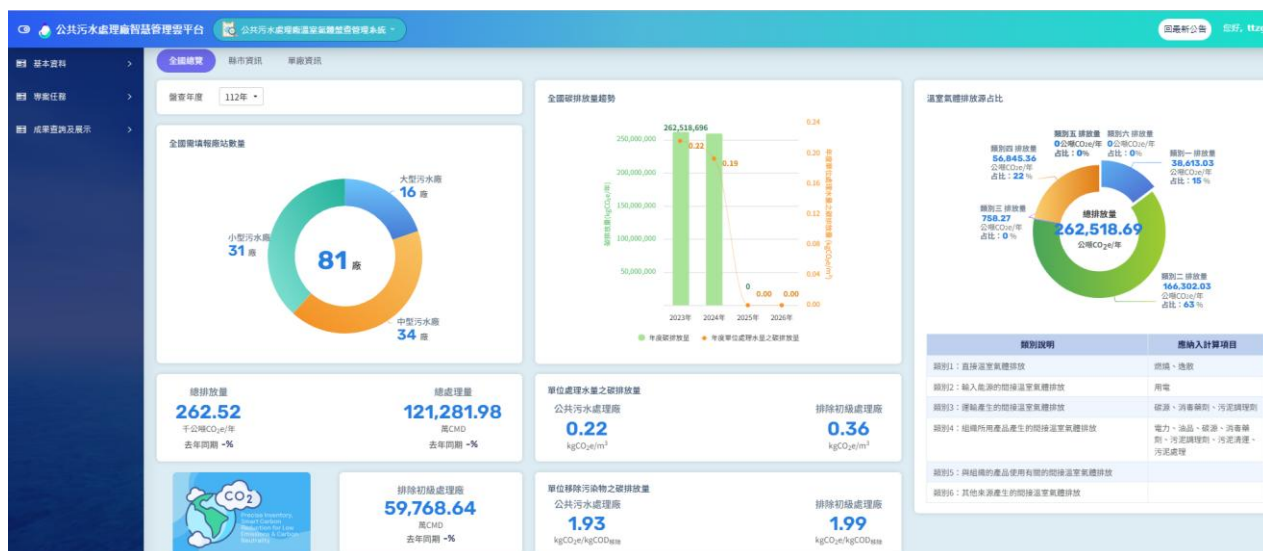


圖 4-2 雲平台「公共污水處理廠溫室氣體盤查管理系統」

第四章 基準年設定

基準年指用以比較歷年溫室氣體排放量變化趨勢，或減量成效展現的歷史期間，為碳排放量化與目標管理的起點，透過盤查與數據整理，明確定義特定年份的碳排放量作為參考基準，並以此基準年排放量設定未來減量目標。基準年的設定須具備代表性、可追溯性及一致性，以確保數據的科學性和後續減量績效的可比較性。

- 一、基準年選定：本署於 2024 年公布「公共污水處理廠溫室氣體盤查管理作業要點」及「公共污水處理廠溫室氣體盤查作業手冊」，內容依循 ISO 14064-1 國際標準精神設計，要求全國各污水處理廠落實自主性溫室氣體盤查。作業要點規定當期設計平均日污水處理量大於 250 立方公尺/日之公共污水處理廠，應每年完成前一年度溫室氣體盤查資料填報。爰此，設定基準年為 2023 年。
- 二、盤查範圍：依循 ISO14064-1 國際標準精神，盤查類別包含類別 1~類別 6，類別 1 必須量化，類別 2~6 則係依預期用途辨別重大性間接溫室氣體排放評估鑑別。以公共污水處理廠常見溫室氣體盤查項目為例，盤查項目原則包含類別 1 直接溫室氣體排放（如：處理單元水體逸散、汽柴油燃燒使用）、類別 2 輸入能源間接溫室氣體排放（如：外購電力）、類別 3.1 上游原料運輸產生之排放（如：碳源、消毒藥劑、污泥調理劑購買之運輸）、類別 4.1 組織購買原料開採、製造與加工過程所產生之排放（如：碳源、消毒藥劑、污泥調理劑購買之製造），以及類別 4.3 處置固體與液體廢棄物產生之排放（如：污泥清運及處置）。
- 三、基準年排放量：參考各廠站填報結果，全國公共污水處理廠之 2023 年營運階段溫室氣體排放量合計為 26.3 萬噸 CO₂e。

第五章 溫室氣體減量目標

考量營運階段之溫室氣體排放，主要來自於電力使用、處理單元水體逸散及其他維護活動（藥品與耗材使用）間接排放，因此，本階段的核心在於透過永續維護策略，優化資源使用降低能源需求，汰換老舊動力設備及導入低耗能水處理技術，並妥善維護處理單元以降低水體逸散排放量。考量污水處理量隨用戶接管進度而提升，整體溫室氣體排放量在未導入相關減量策略的情境下，預期將隨用電量增加而漸增，然而，妥善的污水處理需要能源投入，故最適化的能源使用應為減量策略重點，減量目標應視實際達成狀況進行滾動修正。本指引設定溫室氣體減量目標預計至 2040 年較基線情境減少 15%，分階段減量目標如下：

一、短期（2025-2030）減量目標：2030 年較基線情境減少 5%

污水處理廠應優化能源使用，提高設備效率，如更換高效曝氣系統以減少電耗，並透過綠電的導入，例如建置太陽能光電系統來降低碳排放。同時，可藉由改善污泥處理方式，例如提升厭氧消化技術來降低甲烷排放。

二、中期（2030-2035）減量目標：2035 年較基線情境減少 10%

引進先進處理技術，如 AO/A2O、生物膜技術，以減少污水處理過程中的碳排放，並探索污水源回收技術，提高資源循環利用率。此外，透過數位監測與智能管理來提高能源效率亦是中期減碳目標的關鍵。

三、長期（2035-2040）減量目標：2040 年較基線情境減少 15%

污水處理廠應朝向低碳循環系統發展，如全面使用再生能源，降低對傳統能源的依賴，並積極參與碳權交易與碳中和計畫，確保達成淨零碳排放的目標。

第六章 減碳策略與落實執行

污水處理廠之溫室氣體排放以能源使用造成之間接排放為主，其次為污水處理過程產生之逸散性排放源（例如：甲烷、氧化亞氮），前者占比可達污水處理廠溫室氣體排放總量 7 成以上，故改善污水處理設備能源使用效率，以及引進低度能源使用之工法，將有助於降低污水處理過程溫室氣體排放量，另一方面精進污水處理操作與維護品質，避免處理過程產生溫室氣體逸散，亦有助於達成前述目標。減碳策略說明如下：

6-1 行政設施（管理大樓節能）

污水處理廠除設有主要水處理設施外，亦包含廠區管理大樓、行政區、實驗室及控制中心等建築空間。雖非主要排碳來源，然其用電及設施運作亦占整體能耗一定比例，特別是空調、照明及資訊設備等，長時間運作下不容忽視，期能建構節能舒適、智能永續的行政運作空間。

在選擇材料時，應優先評估其性能是否符合實際需求並具備足夠之耐用性，以減少維修和汰換頻率，其次才是比較碳足跡數據（材料碳足跡資訊可參考環境部之產品碳足跡資訊網）。合用、耐用之材料不僅能提升設備運行效益，還能更有效地降低材料全壽命週期內的碳足跡，實現污水處理廠營運效益與環保效益之平衡。反之，若材料不合用或不耐用，將導致頻繁的維修與汰換，不僅增加運營成本，更會因生產、運輸及廢棄處理過程累積額外的碳排放。例如廠區因採用耐用性不足的綠色材料，造成維修頻繁、材料汰換率過高，不僅增加操作維護工作負擔，亦降低設備運行效率，對整體系統的穩定性產生不良影響。

污水處理廠行政設施減碳策略可透過四大方向推動，包括空調系統方面、照明系統、事務設備管理及其他設施改善，分別說明如下：

一、空調系統

空調系統的節能應用上，應優先從設備選型與系統設計著手。包括空調主機應選擇具節能標章且符合高效率 CSPF 等級（1 級）之機種，以確保冷房效能與能源使用效率並重；對於大坪數或多房間之辦公區域，則建議導入變頻冷氣或可變冷媒流量系統（VRF/VRV），以利依不同區域負載彈性調控，

達到分區節能效果。

在溫度設定與控制方面，應將冷氣溫度設定於 26 至 28°C 之間，避免過度冷卻所造成的能源浪費。同時，對於人數變化大、進出頻繁的區域如會議室等，宜配備自動溫控器與人感裝置，使冷房功能依實際使用情況自動開關，有效降低空調閒置耗能。

針對分區控制與運轉管理，應依使用時段與人員分布配置空調，例如下班時段或例假日應關閉未使用區域空調系統，避免不必要的持續運轉。可進一步透過時程控制器或建築自動化系統（BAS）進行冷房運作排程，強化空調設備管理彈性。

綜上，在維護管理方面，為確保系統長期保持高效率運轉，建議每月定期清洗空氣過濾網，並於每季進行冷凝水排水管與熱交換器檢查。溫控器等感測設備亦應定期校驗，以確保溫度控制之準確性，避免造成系統誤啟或負載偏差之情況。

二、照明系統

在辦公空間與公共設施中，照明系統為常態性用電設備，其效率與控制方式對整體能耗影響顯著。因此，照明節能策略應從設備汰換、照度設計與智能控制三方面同步推動。

在照明設備更新方面，建議全面淘汰傳統 T8 燈管，改採發光效率達 100 lm/W 以上的高效能 LED 燈具，以提升照明效率並降低電力使用。LED 燈具具備壽命長、啟動快、維護簡便等優勢，對於需長時間照明的辦公空間尤為適用。此外，如走廊、樓梯間等公共區域，建議安裝具人體感應功能的 LED 燈具，可依人員進出自動啟閉，減少長時間無人狀態下的不必要耗能。

在照明設計與調光方面，應依據國家標準 CNS12112 進行照度配置。例如，一般辦公區照度應維持在 500 Lux，會議室等需精細視覺作業區域則應提升至 750 Lux，以維持良好視環境與工作效率。同時，靠窗區域可根據自然採光強度調整燈具亮度，避免白天光源重疊造成浪費，並提升室內整體光感舒適度。

針對照明控制，應結合時間與感應系統提升使用效率。建議裝設時序控制器，針對上下班、午休等特定時段自動開關照明系統，減少人為操作疏忽導致的長時點燈問題。針對茶水間、廁所等短時或不連續使用空間，則應優先安裝紅外線人體感應開關，可於無人時自動關燈，有效降低待機能耗與使用浪費。

透過上述照明更新、科學化設計與智能控制措施，將可顯著降低辦公區域照明耗電量，達到節能減碳目標，並營造更友善與高效的光環境。

三、事務與資訊設備

在辦公室日常營運中，事務設備如電腦、影印機、印表機等雖屬單一設備耗電量不高，但因使用數量多且長時間運作，累計之用電總量亦相當可觀。為有效降低這類基礎用電所帶來的能源浪費，建議從節電模式管理與設備汰換選購兩個層面著手。

在節電模式管理方面，應全面啟用電腦與影印機等設備內建之自動休眠與省電功能，於閒置或長時間未操作狀況下，自動切換至低功耗模式，避免待機期間不必要的能源消耗。此外，建議資訊單位或管理單位可設定設備在下班後自動關閉，或推動使用者養成下班關機的操作習慣，以落實日常節電行為。

在設備汰換與選購方面，辦公室事務機具應優先選擇具備節能標章或環保標章之產品，確保產品本身在耗能、材料、壽命及後端處理方面皆具環境友善特性。並應適度控管非必要用電設備的使用，例如個人電暖器、小冰箱或其他高耗能、低使用率之設備，應透過內部規範或引導減少配置，以避免不當的個別用電行為對整體節能成效造成影響。

透過設備節電模式的設定、使用習慣的改善以及設備採購策略的調整，不僅可有效降低辦公空間整體耗電，亦有助於建立節能文化與推動永續辦公之目標。

四、其他設施與管理措施

除空調與照明外，辦公大樓內其他生活與公共設施亦為節能管理的重

要環節，特別是飲水機、電梯與人員用電行為的管理，均可進一步提升整體能源使用效率，落實節能減碳目標。

在飲水設備管理方面，建議優先選用具節能標章之省電型直立式飲水機，並設定於夜間或非上班時段自動關閉加熱或保溫功能，以降低待機能耗。此外，應定期進行除垢與內部清潔保養，避免因水垢堆積導致加熱效率下降，進而造成能源浪費。

針對電梯使用與節能控制，可於非上班高峰時段自動切換至待機模式，避免長時間無乘載時仍持續耗能運轉；若建築物為多樓層設計，亦可導入「分區停靠」與「錯峰啟動」機制，將電梯依樓層區段或時段彈性分配，有效減少重複調度與能源消耗，並提升使用效率。

在能源管理與行為引導層面，應透過簡單明確的視覺提醒方式，例如張貼節電標示於空調控制面板、照明開關或設備使用區域，提醒使用者隨手關閉未使用設備，建立節能意識。另可每月統計用電量，將各單位或樓層之節電成果定期公布，鼓勵內部良性競爭，進一步提升全體人員對節能減碳的參與度與自主管理意識。

透過上述日常設施管理與行為引導措施，即便為低耗能項目，也能逐步累積顯著的節能成效，形成全面性的節電文化，強化污水廠辦公空間永續營運的基礎。

綜上所述，污水廠行政辦公區雖非高強度耗能單元，然其運作時間長、設備密集，具有相當的節能潛力與示範價值。透過系統性設備升級、行為管理與智慧控制策略，將可有效降低電力消耗，落實低碳營運，進一步提升廠區整體永續發展績效。

6-2 處理程序（作業流程優化）

一、採用低碳污水處理技術

早期污水處理廠以處理有機物 BOD 和 COD 為出發點，多採活性污泥或氧化渠等程序，近年配合放流水標準氮氮和總氮管制，新建公共污水處理廠多採用具除氮功能之 MLE 或 AO 等程序為主；惟採用好氧為主軸處理技

術，能源耗用相對較高，目前國際已開始研發與導入低能耗、低溫室氣體排放之新興處理技術，此類技術具較佳的能源利用效率，污水處理廠藉由評估採用此類技術以達節能減碳之目標，茲說明如下：

(一) 厭氧氨氧化 (ANAMMOX)

厭氧氨氧化技術係利用厭氧氨氧化菌將氨氮及亞硝酸鹽直接轉換為氮氣，相較於傳統硝化-脫硝程序，省略脫硝與硝酸化過程，可節省約 60% 曝氣量、80% 污泥量及 100% 額外添加碳源，大幅降低曝氣與污泥處理過程消耗能源，及化學品使用造成之溫室氣體排放量。厭氧氨氧化技術可分為單段式與雙段式，前者可應用於氨氮負荷較低情境；後者可應用於氨氮負荷濃度較高、且氨氮濃度介於 100 mg/L ~ 1,000 mg/L 情境。另應注意高有機質濃度環境會抑制厭氧氨氧化反應，另一方面厭氧污水處理技術需妥善規劃，避免過程產生之 CH_4 與 N_2O 等逸散源排出。

(二) 膜氧傳輸生物膜反應器 (Membrane Aerated Biofilm Reactor, MABR)

膜氧傳輸生物膜反應器係以中空纖維膜膜體外側作為微生物載體、內側腔室則通入空氣，藉由壓力調整空氣量，形成自膜體內至外遞減之氧氣濃度梯度及自膜體內至外遞增之 COD 濃度梯度。是以硝化反應生物膜形成於內側好氧區、脫硝反應生物膜形成於外側缺氧區，並與高濃度 COD 進行反應。此技術具有氧傳效率高（節省曝氣能耗）、提升氨氮、總氮去除效率、所需池槽空間小、處理效率高等優勢。另一方面，由於反應過程中氧氣濃度呈現穩定梯度變化，可削減硝化副產物 N_2O 之生成，降低去氮過程產生之逸散性溫室氣體排放。此技術所需空間較小，可應用於具提升氨氮及總氮去除功能需求卻缺乏腹地之場域。膜氧傳輸生物膜反應器適用之有機負荷範圍較廣，本署 (2023) 研究指出污水碳氮比 (COD/TN) 介於 3~5.25 時 COD 和 TN 去除率分別可達 80% 以上及 70% 以上，COD/TN 在 3.75 時 TN 去除率最佳。

(三) 移動床生物膜反應器 (Moving Bed Biofilm Reactor, MBBR)

移動床生物膜反應器係以生物載體為核心，其上附著微生物膜，藉由載體之結構提供高表面積，提升微生物接觸污水中有機物機會，增加污水處理

成效；另一方面，由於載體可以提供微生物穩定附著，其對有機質濃度變化等環境衝擊之容忍度較高。移動床生物膜反應器之優勢在於生物膜固定於載體，不易因排泥損失，可減少污泥迴流，進而降低污泥迴流泵之操作壓力，或可降低能耗；然仍須維持生物處理槽體之曝氣。此技術可應用於既有活性污泥法提升除氮效果，惟仍需綜合評估污水處理之效率與溫室氣體排放之關聯性。

二、處理流程控制優化

(一) 投入變頻設備

於污水處理廠營運初期或接管率尚未提升階段，處理水量普遍偏低，設備常處於低負載運轉狀態，導致馬達效率下降與能源浪費。此階段建議針對抽水泵、鼓風機等馬達驅動設備，適度導入變頻控制（Variable Frequency Drive, VFD），透過變頻器調整馬達轉速，配合實際進水量進行動態調整，以降低設備過載與待機耗能。

導入變頻控制後，馬達輸出可與處理負荷相匹配，避免頻繁啟停或長時間低效率運轉，不僅可穩定流程控制，亦有助於延長設備壽命。根據實廠節能案例，於營運初期導入變頻設備並進行水量回饋控制，其整體能耗平均可降低約 10%至 20%。當處理水量逐步穩定或提升後，再依實際負載情況檢討是否轉換為定速運轉，以維持長期運轉效率與操作經濟性。

(二) 精準加藥控制

藥劑使用為污水處理過程中常見之間接排放來源，若未依實際水質負荷精準控制，易造成藥劑浪費與過度碳排放。針對碳源（如甲醇、乙酸、糖蜜等）之添加，應依據進流水中總氮（TN）、氨氮（ NH_4^+ ）濃度及放流水脫氮目標，設定脫氮所需之最小碳氮比（C/N），並透過自動監測或操作經驗回饋調整添加量，避免過量投加，降低藥劑成本與後續污泥負荷。

同時，針對消毒單元使用之氯錠、次氯酸鈉等消毒劑，建議依放流水中大腸桿菌群檢測結果動態調整加藥量，以「符合放流水標準」為原則，兼顧公共衛生與化學使用最小化，避免餘氯濃度偏高對下游水體造成二次污染。

落實精準加藥控制策略，可有效減少藥劑製造、運輸與使用所產生之間接溫室氣體排放，提升處理效能與碳管理效益。實務經驗顯示，透過加藥優化可降低碳源消耗量 10% 以上，為節能減碳與作業優化兼具之關鍵措施。

(三) 抽水站水位控制

抽水站為污水處理廠高耗能單元之一，其抽水泵之運轉效率與水位控制策略密切相關。為降低單位抽水能耗，建議優化抽水井水位控制方式，避免依賴恆定高水位模式透過頻繁調整轉速進行控制，因過度變頻操作將導致泵浦效率下降。實務案例顯示，若能善用抽水井及匯流井之蓄水容量，允許水位於一定範圍內自然變動，並維持泵浦於額定效率區間進行定速運轉，可提升運轉效率並降低耗能。經實測驗證，抽水站改採依進水流量選擇最適泵浦組合並搭配定速運轉後，其單位抽水能耗可降低約 15% 至 25%。

針對具多台泵浦系統，建議依流量進行組合調度，例如於夜間或低流量時段使用小容量泵浦單機運轉，高峰時段則改以大容量泵浦，以避免泵浦長時間低負載或頻繁啟停，確保能效最適化。另可結合簡易電錶或監控系統進行單位抽水耗能分析，量化不同運轉條件下之效率差異，作為作業流程最佳化與節能策略調整之依據，邁向智慧化與低碳化管理目標。

三、推動下水污泥再利用

污水處理廠內污泥處理能耗約占全廠 15% - 40%，貢獻溫室氣體排放，而污水處理廠將污泥送往處理機構處理，亦需考量運輸過程之溫室氣體排放，以及間接處理/最終處置造成之碳排放（目前污泥處理方式係以焚化、熱處理或掩埋為主）。鑑此，目前國內外已開始發展各種低碳污泥再利用技術，除可降低污泥處理過程之排放，亦可產生額外之效益，例如經處理後製成低碳建築材料或作為鍋爐燃燒之輔助燃料，有利於產品使用端之減碳。

現地污泥再利用技術可直接於污水處理廠內設置，不須運往他處，降低運輸過程之溫室氣體排放，例如污泥堆肥化、黑水虻、蚯蚓等生物處理等方式目前亦刻正研發評估中。

污水處理廠推動污泥再利用過程，應綜合評估採用污泥再利用技術後

能耗及溫室氣體排放變化情形。理想情境下，採行之再利用技術後增加之溫室氣體量應低於原污泥處理過程因運輸、間接處理或最終處置造成之排放量，且確保再利用產品之去化管道無虞。

6-3 機械設備（高效能設備導入）

本署針對污水處理廠節能操作維護已出版「污水處理廠最適化節能技術手冊」，供現場操作維護單位參考使用，茲將泵浦、鼓風機、曝氣設備和機械潤滑等節能減碳操作模式摘述重點說明如下：

一、高效能泵浦

進流抽水站為污水處理流程中關鍵之動力設備，其抽水機耗電量約占全廠 10%至 20%，為節能減碳的重要單元。

- （一）依合適的泵浦負載需求選用合適的馬達：當馬達負載從滿載降至半載時，效率可能降低約 5%。馬達容量應與負載匹配，不會過小造成超載，或是過大降低效率。針對低水量時，建議改用小型高效率馬達替代過大的設備，避免低負載運行的高能耗。
- （二）選用高效能馬達：高效能馬達的效率比普通馬達提升約 3~5%，然而高效能馬達的價格通常比普通馬達高出 15~25%，採用前需進行經濟性評估。
- （三）加裝電容器調整功率因數：於功率因數低的馬達加裝電容器組，使功率因數提高至 95%，減少無效電力。
- （四）泵浦葉輪和磨損環保養與更新：葉輪耗損可能導致效率降低 10~20%，磨損環間隙增大可能導致效率降低 5~12%，應定期於葉輪表面塗層保護或更新。

二、鼓風機

鼓風機耗電量約全廠的 50%，是全廠節能的關鍵。鼓風機節電措施包含風量調整與效率提升兩方面。風量應配合操作實際負荷調整，因過多的風量無法增進處理效果，僅是能源的浪費，甚至可能使污泥破碎，影響放流水質。效率提升則包含降低鼓風機房環境溫度、供氣管線冷凝水排除。

- (一) 依負載需求選用合適的鼓風機：污水處理廠的實際進流水量可能低於原設計值，原本配置的鼓風機對於實際水量可能造成風量過大的浪費，或是低負載運行的高能耗，建議不同處理線各自選用容量匹配的小鼓風機，而非一台大容量的鼓風機供各線使用。
- (二) 依曝氣池溶氧(DO)濃度控制風量：通常曝氣池出水端 DO 在 0.5~2.0 mg/L 即可滿足曝氣池微生物之需氧量，過高的 DO 僅是能源的浪費。國外案例顯示，以 DO 控制風量可節電 10~30%。
- (三) 降低鼓風機房環境溫度：鼓風機出氣管段加裝保溫層，減少熱輻射使環境溫度升高，提升鼓風機效能並避免跳機；改善機房通風與換氣機制，減少因通風不佳導致的運行溫度過高，確保鼓風機運行穩定與能效提升。
- (四) 供氣管線冷凝水排除：供氣管線分支低點設置冷凝水排除機制，避免冷凝水累積縮減通氣斷面。

三、高效能散氣設備

高效能散氣設備為提升曝氣單元能源使用效率之重要措施，其透過提高氧轉移效率與降低運轉壓損，能有效減少鼓風機送風量與運轉負荷，達成節能與減碳目的。

- (一) 應用對象與操作重點：高效能散氣設備主要適用於生物處理單元之好氧槽，包括傳統活性污泥法及具除氮功能之 AO、A2O、MLE 等系統。導入時應特別考量與鼓風機、反應槽結構及既有散氣系統之壓力平衡與安裝相容性，以確保整體氧傳效能與節能效益最大化。
- (二) 高效能散氣設備技術特性：低壓損型膜式散氣設備為提升污水處理廠曝氣效率與實現節能減碳目標的重要技術。該設備透過特殊氣孔與薄膜設計，在清水條件下可達 28%至 35%的氧溶解效率，且運轉壓損僅約 6 kPa，遠低於傳統膜式散氣設備約 11 kPa 的水準，能有效降低鼓風機送風所需壓力，減少能源消耗。其模組化構造可與現有散氣板或鼓泡器混合使用，無需降低曝氣水深，亦適用於間歇曝氣及高負荷變動場域，利於結合自動控制系統（如 DO 感測與氨氮控制）進

行智慧化操作。導入後預估可節省 10%至 30%的送風動力，並因用電減少而降低間接碳排放，亦可強化系統穩定性與降低設備跳機風險。整體而言，低壓損型膜式散氣設備兼具高效率、低能耗與良好適用性，應列為污水處理廠曝氣系統節能改造與低碳營運推動之優先選項。

(三) 曝氣效率取決於氣液接觸面積及停留時間，小氣泡比大氣泡的傳氧效率更好，傳氧效率提升可減少曝氣風量、達到節能。例如將多孔管換為微孔曝氣器，可節約風量，節電約 20%。

四、污泥濃縮設備

導入節能型濃縮設備，取代傳統高耗能之離心式濃縮機。實廠經驗顯示，差速旋轉螺旋濃縮機、帶濾式濃縮機（不鏽鋼或樹脂濾帶）等機型，於處理生活污水廢棄污泥時，能以較低的電力消耗達成穩定濃縮成效，相較傳統離心濃縮機約可節省 30%至 40%的能耗。以差速旋轉螺旋濃縮機為例，其利用內外螺旋轉動差異，促進污泥絮體均勻壓縮與脫水，同時篩網具自清效果，能有效延長運轉穩定時間並降低操作負擔。

五、污泥脫水機

根據污泥特性（如有機質比例、纖維含量、含砂量等）選擇適合之脫水機型。傳統離心式脫水機雖脫水率高，惟其運轉耗能相對較高，適用於大流量高濃度系統；相較之下，帶濾式脫水機與螺旋壓榨脫水機等低速機型，於中小型廠操作上具備低能耗、低噪音與維護簡便等優勢，可視場域條件加以選用。節能型機種通常可節省 20%~40%的用電量，並降低操作人力與故障率，提升整體營運效益。

6-4 操作維護（操作維護優化）

一、機械潤滑

機械設備因摩擦問題耗電量約占 50~60%。日本透過節能潤滑措施，成功降低機械磨損，例如使用抗磨處理劑，機械節省 5~10%的燃油、3~7%的電力，潤滑油的選用需考量用油環境與油料特性，茲說明如下：

(一) 用油環境：根據機械設備周圍的溫度、濕度和空氣品質選擇合適的潤

滑油。例如，在高溫環境下，應選擇黏度較高的潤滑油，以確保油膜的穩定性。

- (二) 油料黏度：潤滑油的黏度必須與機械設備的運轉速度、負荷和潤滑部位的間隙相匹配。黏度過低會導致油膜破裂，增加摩擦和磨損；黏度過高則會增加油料內部的阻力，降低機械效率。
- (三) 潤滑油或潤滑脂：根據機械設備的設計和工作條件選擇使用潤滑油或潤滑脂。潤滑油具有散熱快、帶走雜質能力強、摩擦係數小等優點；而潤滑脂則適合於不滴油、不易漏失、高溫下不易變薄的潤滑部位。
- (四) 齒輪油性能需求：現代機械設備對齒輪油的性能要求越來越高，包括適合的黏度、良好的黏溫性、足夠的耐極壓和抗磨性、良好的氧化穩定性和耐熱穩定性、良好抗乳化性和抗泡沫性、良好防銹性和防腐蝕性。

二、厭、缺氧槽攪拌設備

為提升厭氧與缺氧單元之能源效率，建議攪拌設備採用間歇運轉模式並評估導入節能型攪拌器，如雙曲面或螺旋槳型設計，以降低攪拌動力密度與整體能耗。透過適當操作週期控制與日常維護管理，不僅可維持良好混合效果，亦有助於節省 30%以上之電力消耗，實現穩定處理與減碳目標並行。

- (一) 導入間歇運轉：對於缺氧及厭氧槽之攪拌設備，建議可由傳統 24 小時連續運轉模式，調整為具節能效益的間歇操作方式。實務操作中，如採用每運轉 4 小時後暫停 2 小時的循環策略，不僅能有效降低設備連續運轉所帶來的能源消耗，亦有助於延長設備使用壽命。根據實廠案例經驗顯示，此類間歇式操作可節省約 30%以上的攪拌電力，且經觀察並未對反應槽內混合效果或水質處理效能產生不良影響。此顯示在確保處理穩定的前提下，透過簡單運轉模式調整，即可達到良好的節能減碳成效，為提升系統整體能源效率之可行策略。
- (二) 控制策略設計：透過定時器或簡易 PLC 控制系統，預先設定每日固定的啟停時段，避免人工操作誤差及攪拌機頻繁啟動所造成之電機磨損與壽命縮短。初期階段，應密切觀察反應槽內水質參數變化，如

溶氧濃度（DO）、氧化還原電位（ORP）及硝酸鹽氮濃度等指標，同時評估混合均勻度與反應狀態，作為後續調整間歇週期與運轉時間設定的依據。藉此可兼顧處理效能與節能效果，並提升系統運轉的穩定性與反應效率。

- （三）混合效果檢核：在間歇運轉模式下，為確保缺氧與厭氧槽內混合效果維持穩定，建議定期進行現場巡檢，觀察是否出現局部污泥沉積或浮渣累積等現象。上述情形可能代表攪拌均勻度不足，進而影響反應效率與處理效能。因此，應持續確認攪拌效果是否能達成既定處理目標，並視現場情況適度調整運轉週期或攪拌強度，以維持良好反應環境與穩定出流水質。

三、污泥濃縮操作

搭配自動投藥系統與污泥濃度監控裝置，確保絮凝劑添加量與濃縮效率間的最佳平衡，避免藥劑過量造成資源浪費與污泥負荷增加。濃縮機可依處理量分段運轉，並於低負荷時段實施間歇操作或降速調整，以降低無效能耗。同時，應評估濃縮後污泥濃度與後段脫水設備之適配性，減少因污泥含水率過高導致後續脫水耗能上升，造成「碳排轉移」效應。

四、污泥脫水機操作

脫水機之進泥條件對能源使用影響甚鉅。前端應確保污泥濃縮單元效率穩定，避免進泥含水率過高導致脫水時間延長與脫水效率下降。建議搭配自動加藥系統，依進泥濃度與絮凝效果即時調整藥劑投加量，避免過量浪費並降低藥劑生產與運輸間接碳排。脫水機運轉時，應視污泥處理量彈性調整操作時段，於非尖峰時段進行批次處理，或透過變頻控制調整機組速度，避免長時間待機耗能。

6-5 開創綠色能源

公共污水處理廠具再生能源發展潛力，藉導入綠色能源提高能源自給率，可減少電力使用、降低污水處理廠溫室氣體排放量。

綠色能源之選擇，應先行盤點污水處理廠之能資源利用情形、所在位置及地理特性，再依此擇定合適之發展選項，如生質能、太陽能、微水力、氫能及儲能

裝置等，促使污水處理廠從能源消耗型轉變為資源利用型設施，實現高效低碳的營運模式。茲說明污水處理廠綠色能源發展選項如下：

一、生質能

部分污水處理廠設有污泥厭氧消化設備，產生富含甲烷之沼氣，經純化後可作為發電之燃料，以日本橫濱污水處理廠為例，該廠將下水污泥消化過程中所產生之沼氣進行發電，每日約產生 15,000 kW 的電力，以提高污水處理廠能源自給率。

依據國際能源署（IEA）於 2015 年發布之手冊，都市污水處理廠生物氣體生產之最佳化操作參數「總氣體產量（Gross gas production）」為每公斤有機物乾重（Organic dry matter）產生 450 至 550 公升之氣體，其中甲烷含量為 63%至 67%，其中每公斤有機物乾重即揮發性有機物（VSS），可將此視為污水處理廠是否具沼氣發電效益之參考指標。消化槽之有機負荷率（Organic loading rate, OLR）表示日進流之揮發性固體物量（VSS），單位為 $\text{kg VSS/m}^3/\text{d}$ ，較高之有機負荷率將提升沼氣產量，然有機負荷率過高時將使系統中水解菌與酸化菌活性過高，與甲烷菌產生拮抗，降低沼氣產量，故須控制消化槽之有機負荷率，美國之設計負荷量為標準法：0.5-1.7 $\text{kg VSS/m}^3/\text{d}$ 、高效率法：1.7-6.7 $\text{kg VSS/m}^3/\text{d}$ 。

二、太陽能發電

太陽能發電屬成熟再生能源技術，目前每 1 kWp 裝置容量約需 5~10 萬元設置費用不等，已廣泛推動於污水處理廠場域，設置太陽光電系統，可達成減少化石燃料使用及溫室氣體排放、發展再生能源多元化、建立分散式電力網路區域、提高供電自主比例、促進太陽光電產業發展等效益。為達成優先提升各廠能源自給率及淨零碳排之目標，建議優先評估將廠內設置之太陽光電用於自身使用。目前太陽能裝置多設置於污水處理廠管理中心與廠房之屋頂，為進一步提升能源利用效率，亦可評估於適當位置設置棚架型太陽能裝置，例如：停車空間、戶外區域。

三、微水力發電

近年水力發電技術逐漸進步，發電機效率提高，使裝置容量未達 20,000 kW 的小水力發電系統逐步被重視，因其可安裝在各式小型流道，且不致造成生態環境變化。污水處理廠因其放流水口與放流渠道間具高程落差，具發展微水力發電設施之潛力，污水處理廠發展微水力發電主要考量水位差與水量兩大因子，需評估污水處理廠放流池設置方式、放流水池常態水位高度、污水處理廠廠內處理單元常態水位高度、發電設備可行之設置區位、適用之銜接設備區位以及重點處理單元進出流水質資料等。至於機組類型之選用，參考經濟部水利署《河川水力發電開發參考手冊》，小水力發電常用川流式水力發電、調整池式水力發電及水庫是水力發電等，由於放流水流量持續固定不變，建議採用川流式水力發電，其發電量受流量大小而定。

四、氫能

隨淨零碳排之推動，各國已陸續發展氫能策略，預期氫能將成為未來 20 年內之重要能源，由於污水處理廠具處理有機廢污水之特性，可從污水或污泥中回收氫能。例如日本福岡市中部污水處理污水沼氣產氫示範廠，將污泥消化所產生之沼氣轉化為氫氣燃料，每日可產生 3,300 m³ 之氫氣，可供應 65 輛氫能車使用，另收集之 CO₂ 可進一步儲存或再利用。

五、儲能

隨著再生能源發展的加速，儲能技術為能源管理重要工具。污水處理廠可於閒置空間評估設置儲能系統，除作為本身再生能源高峰時儲存能源，亦可納入我國能源備轉輔助服務，協助於電網系統供需不平衡時提供系統額外能源需求，促進能源永續目標的達成。