

主編的話

為了持續因應世界淨零碳排的趨勢，臺灣也於 2021 年宣示 2050 淨零轉型為目標，並於 2022 年提出國家 2050 淨零排放路徑圖。其中節能戰略為重要推動項目之一，國際上也因應趨勢發展許多先進節能技術，在水資源管理的領域中，智慧水管理即為其中關鍵解決方案之一，結合先進的資通訊、人工智慧、數據分析等技術，整合水廠各項相關監測資訊，可提供最佳化操作、節能減碳、自動化控制、降低控管風險、決策支持等重要功能。然而，國內大部分下水道系統或都市污水處理廠多數目前並無設置智慧水管理系統，現階段仍多處初期建置研發階段。為協助國內下水道系統與污水處理廠持續提升管理效能，本期期刊以「污水廠智慧管理」為主題，蒐集彙整國內外最新相關研究資訊，以供相關業界與管理單位作為參考。此外，政府單位為穩定供水近年全力推動再生水資源相關建設與營運，為使再生水廠或相關處理設施可持續擴大應用，逐步推展到各類型用水應用，智慧水管理技術將扮演關鍵的角色，惟有持續提升管理效能，以更高效率低碳排方式產出水質水量穩定之再生水，才能確保穩定供應於各用水標的，協助創造污水下水道系統的最大價值。

在策略研析方面，日鼎水務股份有限公司胡念英總經理所主筆之「以水質風控觀點之微型智能化專家系統」，提出水廠未來建構一個能夠即時分析預測水質風險的 AI 引擎，並結合工業 4.0 智慧製造的管理架構之智能化專家系統，對水廠風險控管非常關鍵，AI 新技術讓此專家系統微型化變為可能，也讓未來發展高效能全自動化的水廠帶來新的契機。工業技術研究院羅英維技術經理與婁明煌特聘研究合著之「水處理產業智慧化管理-從 OT、IT 到 AI」，詳細的描述資通訊科技發展之歷程與在水處理產業之應用，逐步讓水處理產業從自動化提升到智慧化階段，建議以 MIS 為水處理智能化管理框架，整合各廠既有的資訊系統，再進一步在此架構下依據使用單位的特性及需求，繼續展開各個子系統，以逐步建立水廠智慧化之解決方案。中興大學環境工程學系陳浸暄助理教授所主筆之「ICT 應用於提升下水道系統效能之技術研析」，分享了國際應用智慧水管理技術於下水道系統與水廠提升管理效能最新研究成果，如日本霞ヶ浦淨化中心技術應用的經驗指出，平均氨氮濃度可降至 0.33 mg-N/L，所需風量可減少 16.9%，相當於節電 12.9%；IWA 期刊研究則提出可應用人工智慧學習模型，協助下水道系統快速因應強降雨事件，進行上下游抽水站聯合操作，最大化減少溢流而降低區域淹水事件；美國研究則指出應用智慧水管理技術可有助於提升逆滲透系統之效能，並已逐步發展為可自動化系統調整之功能。以上國際發展經驗均可作為國內後續提升下水道整體系統效能之參考方向。

主編的話

在技術推廣的部分，由工業技術研究院材料與化工研究所團隊共同著作的「廢 / 污水生物處理單元曝氣節能控制技術」專文，提供三種有效可以降低污水處理廠能耗的節能技術研究成果，包含日本 ICT/AI 控制單槽硝化/脫硝深度處理技術、國內自行開發之鼓風機節能優化技術（連續曝氣 / 風量控制）與最具節能減碳優勢之單槽式半亞硝化 / 厭氧氨氧化系統供氧控制技術（間歇曝氣 / 時間控制）等，並提供各類技術之實證試驗結果，可提供產業廢水處理之節能參考。而由昕傳科技股份有限公司團隊所著之「物聯網新型雷達波水位計在都市下水道系統應用」專文，分享新型雷達波水位計搭配低功耗窄頻網路與雲端大數據架構技術之應用，在雨水、污水下水道系統場域，可完成監測資料大數據與深度學習演算，為下水道系統的管理應用層面，提供即時監測、快速通報應變外，更可依據不同面向需求，逐步推動廣泛應用而邁向都市總合治水的目標願景。

在實務經驗分享的部分，由臺北市政府工務局衛生下水道工程處程培嘉處長等所撰寫的「迎接臺北市水資源新世代-再生水智慧管網」專文，分享臺北市民生水資源再生中心建置再生水智慧管網之經驗，透過智慧水管理技術應用，讓再生水水質水量可即時監測，而再生水之供應與取用資訊亦可即時蒐集，以作為未來推廣調整之參考及依據，後續北市計畫由目前 3 萬 CMD 產量提升至 2030 年達成 13.6 萬 CMD 之產能，其推動經驗值得提供給未來再生廠建設之重要參考案例。而新北市政府水利局團隊則透過撰寫「臺北大學特定區薄膜生物處理廠-操作經驗分享」專文，分享臺北大學薄膜處理廠實務操作經驗，該場域為全臺第一座大型用於處理生活污水之薄膜生物處理廠(MBR)，在目前缺乏參考案例狀況下，透過場域實務操作經驗成功努力克服各項問題，如前處理細篩渣處理、MBR 薄膜阻塞等。該場域具佔地面積小及設施地下化的優點，並結合周邊環境共融友善設計，實現回收水再利用營造永續環境，其寶貴經驗可供未來建設相關處理設施之重要參考。桃園市政府水務局劉振宇局長所撰寫之「桃園市次世代污水下水道系統統合運籌雲端平台」專文，分享桃市府發展次世代下水道系統統合平台之歷程與經驗，包括應用物聯網技術處理單元儀控及感測器即時監控數據，建立人工智慧模型，以獲得各處理單元最佳化之操作參數，以達水質處理最佳化；另也藉由即時的預警系統建立，達到設備妥善率達 99%，設備節能 75 萬元 / 年之目標。桃園市發展數位轉型之實務經驗，非常值得提供給後續下水道系統開發案推動之參考，有助加速提升國家下水道之管理效能。

主編的話

為因應國內外環境保護、能資源循環再利用、淨零碳排等趨勢，水資源回收中心所扮演角色日漸重要，未來除了淨化水質保護水體環境外，還增加可提供潔淨再生水水資源之功能，甚至可發展為供應能源、肥料、燃料等多項能資源的永續循環型能資源中心，因此整體下水道系統或水資中心管理效能之提升十分關鍵。為逐步達到整廠效能提升，智慧水管理技術與系統研發將發揮關鍵的功能，且在因應國家淨零政策的執行下，水廠提升效能以節能減碳已是必然趨勢，本期從研發水廠微型專家系統與推動水處理產業智慧化策略研擬、曝氣節能控制與新型智慧水位計技術應用之推廣、水廠操作、智慧化與建設再生水智慧管網實務經驗分享、國外最新技術應用經驗分享等，完整建構本期污水廠智慧管理之主題，期能作為未來下水道系統管理效能提升之重要參考外，也能在發展智慧型下水道系統推動上提供一些靈感。

日鼎水務股份有限公司總經理 胡念英

目錄

策略研析

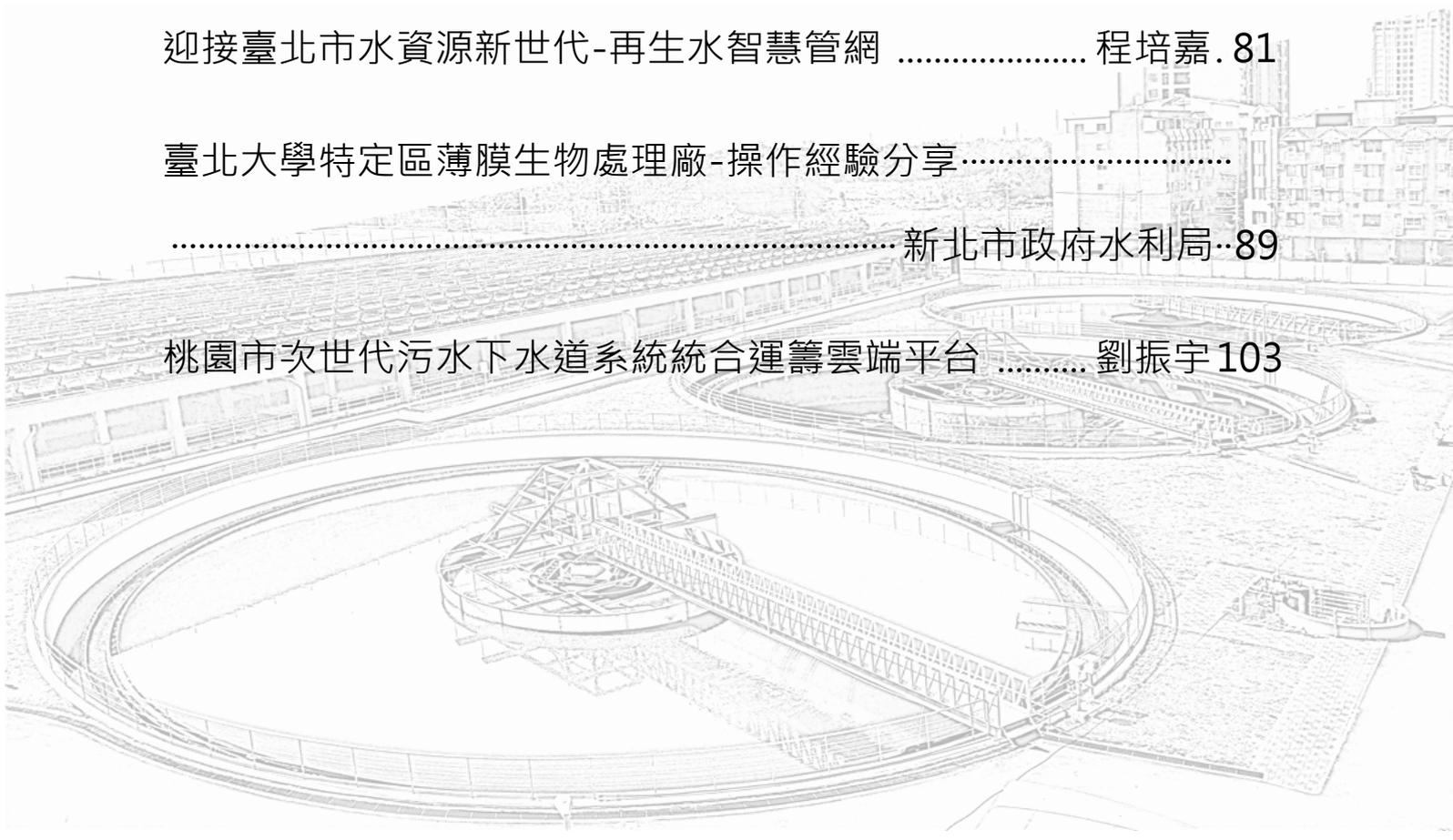
- 以水質風控觀點之微型智能化專家系統 胡念英. 1
- 水處理產業智慧化管理-從 OT、IT 到 AI 羅英維. 15
- ICT 應用於提升下水道系統效能之技術研析 陳漫愷. 31

技術推廣

- 廢/污水生物處理單元曝氣節能控制技術 林翰璘. 53
- 物聯網新型雷達波水位計在都市下水道系統應用 許庭嘉. 71

政策推動

- 迎接臺北市水資源新世代-再生水智慧管網 程培嘉. 81
- 臺北大學特定區薄膜生物處理廠-操作經驗分享.....
..... 新北市政府水利局..89
- 桃園市次世代污水下水道系統統合運籌雲端平台 劉振宇 103





摘要

所有的污水處理廠都有一個共同目標，就是必須讓排放水質能夠符合放流水標準，但這件事情牽涉到每個污水處理站點的水質調控，也考驗每個污水處理環節的管控機制是否即時且正確。這需要建構一個能夠即時收集、彙整水質大數據、即時分析預測水質風險的 AI 引擎，並結合工業 4.0 智慧製造的管理架構之智能化專家系統。有鑑於過去的專家系統過於龐大且複雜，導致開發週期過長，投資成本與失敗風險過高，因此應該有效地運用現今成熟且開放性高的資料湖設計概念與 AI 深度學習模型，針對關鍵之水質控制主題進行研發，必然可以大幅降低系統開發成本、規模與複雜度，達到專家系統微型化的目的，並快速地達成污水處理廠最關鍵的水質風險控管需求與效益。

以水質風控觀點之微型智能化專家系統

胡念英¹、王道榮²

1.日鼎水務股份有限公司 / 總經理

2.日勝生活科技股份有限公司 / 資深副總經理

壹、前言

日勝生集團下的日鼎水務是桃園北區水資源回收中心 BOT 計畫的主要負責廠商，從興建、營運、移轉至今超過 10 年有餘，計畫區佔地約 7,610 公頃，桃園地區接管超過 25 萬戶，污水主次幹管約 25 公里，分支管網約 260 公里，設計污水處理量規劃約每日 20 萬噸，但峰值達到每日 30 萬噸。整個廠區從進流污水，依序經過進流泵站、初沉池、二沉池、微篩設備、MBR、A₂O 等過濾設備與站點進行污水處理，達到法規之放流水標準，或進行回收水處理與利用。如果以工廠製造管理的角度來看待污水處理的製程，其實相似於所謂的流水線式的生產管理模式，就是整個污水淨化的過程站點，依照固定的「污水處理（加工）」路線跟一致性的加工速度，讓污水能夠持續不間斷的流經每個污水處理池（加工站點與製程設備），最後達成水質淨化（產品產出）的目的。而流水線生產管理的特點與優勢包括：「延續性」、「平行性」、「比例性」、與「均衡性」等等，因此我們可以透過相對發展成熟的工廠管理手法，來思考水廠各類的管理與風險預測之作為。

另外，對於水質的管理目標與作為，不應該只是在水質的變化預測上做觀察，而是要做到更積極的水質的即時風險控管，與更有效、更快速的智能化建議。因此，可以透過參照智慧製造的六大應用場

景（如圖 1），運用其相關技術核心與架構，整合多元的資料科學手法與機器學習、深度學習模型或演算法，將可以完整打造出一個可以對污水廠水質風險控管的全方位微型智能化專家系統。而這樣的專家系統為何加上「微型」兩個字？主要的原因在於過去打造專家系統，大多需要投入非常多的軟、硬資源與成本，並且要持續投入非常大量的人力建置專家知識庫與文件，導致整個專家系統的規劃與建置時間非常之耗時，失敗率較高，成本效益不彰。但由於現在資料科學與人工智能發展迅速，軟硬體工具與資源不僅多元豐富、成本相當低，但成熟度與可用性卻相當高。只要能夠適當地進行規劃，將可大幅縮減系統建置的資源投入與時間成本，讓專家系統變得「微型化」，但是功能性、效能與彈性卻遠超過去的專家系統。



智能設備

引進智能化的機器設備，隨時利用數據掌握情況，最佳化設備的生產效率。



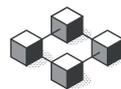
智能員工

利用穿戴式載具，可以增進員工在工作時的效率與效能，也可確保員工勞動時的安全。



智能產品

裝載物聯網技術的新產品將能夠創造新型服務，以提升現有產品的價值與收益。



物流整合

從產品生產到包裝、運送、輸出，可完全掌控存貨的流動與狀況。



聯網製造

利用網路串連工廠中的所有設備，管理階層甚至能夠遠端遙控、監看設備的生產作業。



維修預測

追蹤生產設備的即時狀況，掌握零組件與系統的生產效能，並及時汰換失效零件與更新系統。

圖 1 智慧製造六大主要應用場景

貳、績效指標與水質風控指標

一、各廠績效指標

對於水廠的風險管理策略而言，究竟要以什麼樣的角度跟初衷，才是對水廠有所助益，或是正確的管理方向？其實我們可以把污水處理廠的績效管理指標當成風險管理的一個目標與策略規劃的方向。基本上績效指標可以概略分成下列幾大類型：1.管理績效指標、2.操作績效指標、3.維護績效指標、4.水質檢驗績效指標等類型，而這些指標除了作為污水處理廠當年的執行目標以外，也會視水質處理後的排放法尊之依歸。依照過去研究結果顯示，污水處理的水量越多，相對於其收費的水量也會增加。雖然這樣水廠收費並不是依照「SS 收費率」或是「COD 收費率」來計價，但如何透過智能化的風控機制，來維持放流水的品質穩定地達標，並提前預測（預測性維護）水質的變異機

轉，並且提前進行水質改善作為，將會是污水處理廠績效與污水處理廠穩定獲利與競爭力的關鍵。此外，污水處理廠操作電力，在目前在全球能源吃緊，ESG 永續經營的理念下，電力費用的樽節，必然也會成為污水處理廠的重要績效之一。

二、水質監測報告

針對水廠的風控指標與績效指標連動與勾稽後，我們最重要的工作便是要掌握進/出流水的水質檢測項目，確保這些指標出現異常前，能夠有一個提前預警系統，或是模擬預測的機制。而這些指標包括了：(1)污水量(CMD)、(2)水溫 (攝氏°C)、(3)pH 值、(4)BOD 指標、(5)SS 懸浮固體物指標、(6)COD 指標、(7)氨氮指標、(8)硝酸鹽氮指標、(9)總氮指標、(10) 總磷 指標、(11) 大腸桿菌群 (CFU/100ml)等監控數據 (如表 1)。

表 1 桃園北區水資源回收中心官網進/出流水報告
桃園北區水資源回收中心 2023 年 02 月報表

檢測項目	進流水			出流水		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
污水量(CMD)	74,388.91	78,356.5	73,143.5	71,648.64	75,520	70,408
水溫(°C攝氏)	18.73	23.2	15.4	21.56	23.3	18.1
pH	7.32	7.7	7	6.94	7.3	6.6
BOD	153.46	203	118	7.94	10.3	4.5
SS	148.11	189	119	9.64	14.3	5.3
COD	301.36	368	246	28.88	38.3	19.1
氨氮	39.59	51.4	29.8	7.88	9.1	4.63
硝酸鹽氮	1.62	2.66	0.51	6.63	16.6	4.29
總氮	42.17	52.89	32.21	14.9	21.5	12.76
總磷	3.84	4.84	2.99	1.64	2.54	0.96
大腸桿菌群(CFU/100ml)	4.1E+7	4.7E+7	3.5E+7	1.9E+4	5E+4	1E+1

基本上這些監控數據，並非全部都透過物聯網的傳感器收集得到，其實有一部分是透過水質監控實驗室的實驗人員，定期採樣紀錄的數據。而這些數據除了是法尊的重要依據，雖然這是最終觀測水質「良率」的落後指標，但是我們如何透過整理這些落後指標的時間序列歷史數據紀錄，將其當作機器學習或深度學習模型的「訓練資料集(training datasets)」與「基準真相(ground truth)」，從而訓練出一個具有參考價值的水質變化風控指標，並且透過與不同污水處理站點的關聯分析模型，找出水質變異的要因，並及時加以處置，將會是微型專家系統解方的重要核心能力。

三、水質風控指標

對於微型智能化專家系統來說，要先

盤點污水廠處理過程中，所有影響水質的風險指標，並針對關鍵風險指標進行即時預警與改善作為的智能化建議，進而達成水質風控的目標與成效。然而，污水處理廠的監控範圍與指標非常多，其實不需要一開始就把所有可能指標都囊括進專家系統，而是要依循 80/20 法則，將污水廠中主要造成風險的指標進行管控與預測。所以，除了參考上述法尊與管理績效的指標外，我們也需要檢視整廠水質處理端到端(end to end)的過程中，必要的管理指標。

以日鼎水務為例(如圖 2)，廠區面積：約 16 公頃，全期規模為：200,000 CMD，分期規模為：50,000 CMD。而依照廠區的單元配置分別為：1.進流抽水站、2.管理大樓、3.初沉池、4.生物反



圖 2 水資源回收中心處理單元平面配置圖

應池、5.二沉池、6.鼓風機房、7.維修機房、8.厭氧消化槽、9.消毒、放流機房、A.污水處理機房、B.活動中心、C. MBR (薄膜生物反應器) ，在這樣的污水回收處理廠區範圍內，從進流到出流，依照管理需要配置了許多不同類型的傳感器，甚至在廠區外的人孔中也有液位計這類的傳感器配置，這樣做的目的就是希望，從外部管網污水收集開始，匯流到廠區，進入廠區內進行回收處理，一直到放流出廠，都可以得到完整的水質狀態即時變化資訊，以便透過數據分析進行管理監控與進一步的預測分析。

污水處理的系統流程大致上包括幾個主要站點 (如圖 3)：進流泵站、渦流沉砂池、初沉池、MBR、二沉池、產水槽、量水槽、匯流井，然後進行重力放流。這些流程與處理站點，會依照實際需要進行監控與水質數據量測，而這些監控的指標與傳感器的配置，會依照放流水的法尊與水質變化追蹤的角度來設置，這些監控的指標也就是水質風控的主要指標。而這些指標有些可以直接從物聯網的傳感

器發送的數據進行監測，有些則是透過實驗室的水質研究人員進行量測，但不論數據如何取得，這些被關切的數據與指標，將會是智能化微型專家系統建置的時候，所需要考量的系統設計策略核心。

參、從智慧製造角度實現水質風控

1. 智能設備：

其實對於污水處理廠的設備相較於高科技產業來說，相對的單純許多，所以我們可以考慮的智能化設備大多在減少耗能或是智能監控上，但是如果達到像是製造工廠的生產參數設定智能化，其實是不切實際的，因為污水處理廠的處理週期較長，不太需要在極短的周轉時間內來進行處理，而是需要進行持續的監控與不定期的調整設備或是生物池的藥量控制等等作為，而這些功能大多可以透過 AIoT(智慧聯網)的整合來達成。

2. 智能員工：

這一部分的應用場景，主要是在員工

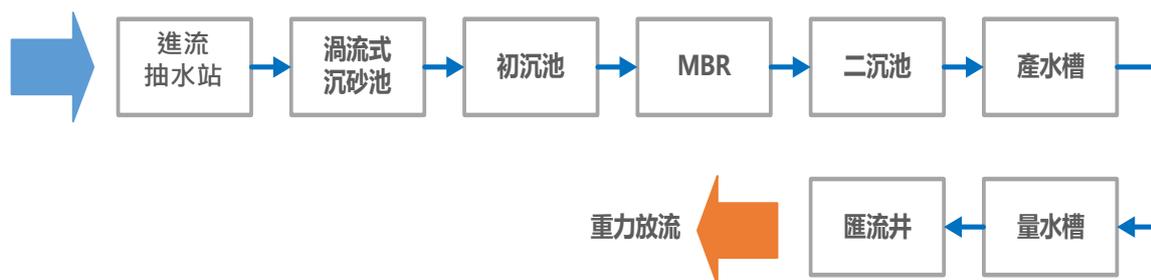


圖 3 污水處理系統簡化流程

如何透過穿戴式、或是行動設備，結合行動式 APP 或是智能系統整合，來對水廠員工提供精準與高效的建議與行動決策輔助。而在這一部分，我們可以提供處理站點的 QR CODE 巡檢掃描，加上智能化專家系統回饋資訊，讓巡檢員工可以快速且即時的獲得專業的處理指引。例如：透過工作平板掃描 QR CODE 之後，系統除了自動提示該巡檢站點之工作指示外，也會將後台 AI 演算法的設備維護預測結果提供給工作人員，並依照預測結果提供維護與操作建議，讓員工透過專家系統的智能運算，獲得水質管理的最佳執行作業方式。

3. 智能產品：

對於水廠而言，傳感器的物聯網功能特性，將可以提升水質原始數據資料的收集與即時監控能力與效能。但因為每個水質處理站點的原始數據，需要進行較多的運算資源，並且需要與其他數據進行關聯運算，以找出水質風險的要因分析架構，所以比較不需要在邊緣設備上進行獨立的智能化運算，所以只要能夠穩定的將數據傳送回資料中心（資料湖），便能夠達到第一階段的智能化需求，也可以達到智慧製造的智能產品概念。

4. 物流整合：

因為水廠的物料主要就是進流水，所以我們會在進流水的監控上進行分析與異

常預測，此外也會針對放流水的水質進行預測監控，希望對於水質異常發生能夠提前進行預測並於放流水超標前能夠進行調控。

5. 聯網製造：

針對廠區內的所有傳感器，或是電腦視覺影像辨識的 CCD，即時聯網將會是水廠智能化風控的一個基本需求（基礎建設），所有的數據透過網路即時進行傳輸，未來廠區風控達到自動化階段時，也可以透過完善穩定的聯網架構，進行即時的水質設備控制參數傳遞，達到更高效率的水質管理與風險控制優化的目的。

6. 維修預測：

為了提升工廠生產的良率，維持穩定的產能與成本控制，在智慧製造的解決方案當中，非常注重設備的正常運作監控，並且希望能在設備發生異常前，就可以進行前期維護，讓設備生產的良率可以達到一定的水平。然而對於水廠而言，並不像一般製造業有多道工序，每個工序都有對應的機台，反而是每個站點與污水處理池，或是監控位置，有許多的傳感器，而這些傳感器的運作是否正常，相當關鍵的影響到水質的風控與預測分析的成效。過去對於傳感器是否正常運作的邏輯，可能只會著重在傳感器有無送出檢測數據，但無法理解這些數據是正確與否？但我們利用微型專家系統理面的機器學習或深度學

習的異常偵測演算法(anomaly detection)·例如：高斯混合模型這類的非監督式學習(如圖 4)·將可以有效地知道目前送出來的數據自動分群·透過設定異常門檻值(λ)·便可以看出傳感器目前是否有異常的可能?而這個智能化的應用·將會關鍵的影響水廠水質風控的效能與成果。

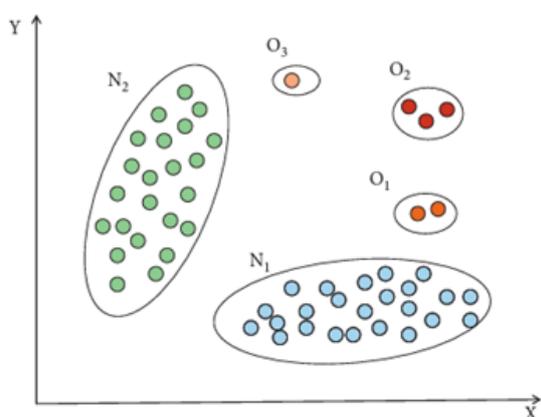


圖 4 監督式學習之異常偵測分群 (anomaly detection clustering)

肆、水質風控微型智能化專家系統

一、資料科學與專家系統

其實專家系統看起來像是以專家的專業領域經驗或是專家的智能化建議為核心·但實際上這些智能化核心的根本·都是來自於水廠長時間累積的數據與實驗室的分析資料·透過資料科學的手法·逐步建構出一個自動化的智能代理人·提供水廠不同角色的員工與操作員·一個快速且具備智能化建議的決策情報。而這些有價值的產出·從原始數據到落地成為具有參考價值的指標·其實是有其生成的過程與生命週期(如圖 5)·而這每一個關鍵過程·都會影響整個智能化專家系統的預測能力與效能。

針對資料科學生命週期的幾個關鍵步驟·茲說明如下：

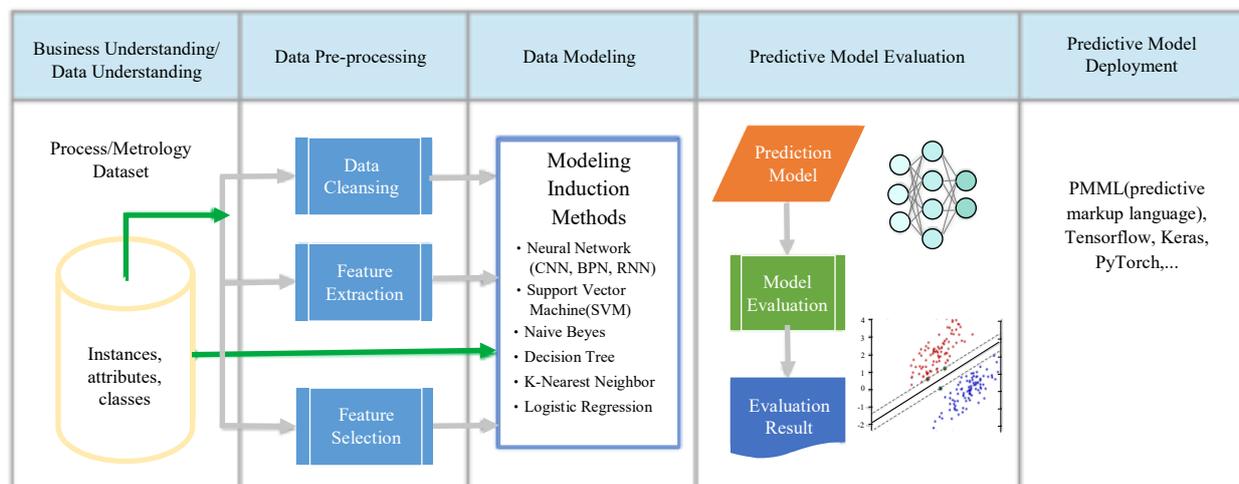


圖 5 資料科學的生命週期

1. 業務與資料理解過程 (business & data understanding) :

當我們進行任何資料科學專案或預測分析之前，一定要先釐清與確認主題與目標，依止於這樣的主題與目標，分析要收集的原始數據方式與來源（可以先以經驗法則），然後進行資料採集與彙整。當我們收集了一定數量的資料之後，必須要有一個資料理解的過程，例如透過資料品質驗證(data profiling)，或是資料品質檢查等等的過程，理解每一批收集的資料，是否正確到足夠進行後續的分析與進行模型的訓練。除了進行資料品質的處理外，我們也可以透過整理過濾過的資料進行簡單的敘述統計，來理解水質處理某個站點的原始數據，呈現出什麼樣的趨勢與行為表象？以及理解數據之間交互的關聯性強度，以便後續可以進行 AI 模型訓練前的特徵工程(feature engineering)，所以通常在這第一階段所投入的時間成本，往往占了整個生命週期的 50%以上的分量，由此可見其重要性與關鍵性。

2. 資料前處理與特徵工程 (data pre-processing/featur engineering) :

其實水質監控的原始數據大多是時間序列(time series)的數據與資料類型，這類的數據無法直接交付 ML 或 DL 模型進行訓練，而必須進行時間序列資料的處理，必須先決定是多屬性或是單屬性的分析，然後進行不同時間分段視窗(time

slicing window)的設定與資料轉換或是利用差補法將缺漏的資料補足之後，才能成為後續 AI 模型的正規化訓練 / 測試資料集(training datasets)，而特徵工程則是決定要參考那些屬性數列，或是要怎麼進行資料轉換的解決方案與演算法，所以此一階段對於後續 AI 模型的訓練結果影響甚鉅，必須要多做斟酌。

3. 資料與 AI 建模過程 (data modeling) :

其實經過前述兩個過程後，大概水質預測分析的資料科學生命週期就已經度過了 70%以上，這個階段只需要選擇一個適當的模型來進行訓練，要用機器學習(ML)或是深度學習(DL)模型來進行風險預測分類或是週期性的水質變化輸出分析，模型的架構與超參數要怎麼設定？要執行多少次的訓練週期？學習率(learning rate%)要設定多少？...等等。通常這個階段我們會用試錯(trial & error)的方式來進行整個模型的驗證與選取，最終找到一個最佳的 AI 模型為止。

4. AI 模型驗證 (predictive model evaluation) :

經過上述的訓練過程，我們會得到一個訓練的結果，通常是損失率(loss rate)或是準確率(accuracy)，並且可以透過混淆矩陣來觀察訓練資料的特性，是否導致了模型預測的偏差與異常。此外，也可以觀察 ROC 曲線來確認模型的好壞，最終

確定訓練出的模型對水質預測有效益後，便可以進行後續的模型部署。

5. AI 模型部署 (predictive model deployment) :

所謂的 AI 模型的部署，指的是將訓練模型(training model)，變成一個可以提供服務的推論模型(inference model)，並且將這樣的推論(預測)模型，建構成一個提供微服務的智能代理人或智能機器人(Intelligent Agent)-IA，然後將這樣的 IA 透過虛擬化的部署方式，配置在專家系統的平台架構當中。

二、水質風控的 AI 致能(AI-Enabled)

對於任何一個污水處理廠來說，一定有其標準的作業程序，或者我們稱為作業 SOP。而這樣的 SOP 當中，一定有非常多的人工處理環節，例如要對 pH 值進行檢測、判斷、並實施對應的 pH 調整作業流程。在這樣的過程當中，我們如果可以將其中無法量化的決策，或是需要經過專業人員的思維判斷的重要環節，轉化為智能化的 AI 服務，不管是利用資料科學的統計手法，或是 ML 或是 DL 的演算法模型，把這樣原本是「工人智慧」轉化為「人工智慧」的過程與結果，便稱之為 AI 智能。其實常常有人會問，到底哪些工作可以用 AI 取代？其實這個答案真的很簡單也很困難，簡單的說，只要是過去的作業，無法用傳統系統去取代的環節，就有 AI 發揮的機會，但是困難的地方在

於，不管運用哪一種 AI 模型或是演算法，究竟是否能達到一個具有成本效益的程度，這件事情都是在實作之後，經過多次的驗證才能確知，而沒有辦法在事前就能確知完整的效益，這雖然是 AI 的風險，但也是其有趣的地方。

三、自動化機器學習(autoML)

不管是污水處理廠或是任何場域，如何能夠有效率的使用機器學習或是深度學習？或是如何能夠縮短智能化落地的時間週期？又或者如何能夠讓非 AI 專長的水質處理專家，可以提供他們在專業領域(domain expert)的知識與經驗，讓資料科學家或是 AI 專家可以快速有效的建置出一套接近這些專家經驗的 AI 智能化系統？基本上最有效的解方，就是有效的利用自動化機器學習平台(autoML platform)來進行專家經驗與 AI 的階段整合。

因為自動化機器學習平台，通常是一個不需要撰寫程式碼(no code)的一個 AI 或是資料科學的工具，我們只要清楚目前遇到的問題，經過與資料科學家的討論與理解，確認與實施資料收集的動作，這些水質專家便可以透過友善的人機介面，將這些資料上傳到自動化機器學習平台，透過平台的微服務，進行資料的前處理，自動由系統依照設定進行特徵工程然後生成嚴謹且符合標準的訓練與測試資料集，然後水質專家只要依照指引，去選取適合分析的模型，而這些模型除了參考 ML 或

DL 的成熟模型外，也會參考目前水質研究相關的預測演算法與模型進行設計。所以選定好適合的模型後，接著設定好訓練參數（系統會有最佳的預設參數），就可以交給系統進行訓練，然後可以很快地看到模型訓練的結果，並且依照其準確率等資訊，來確認是否要將這個模型進行部署，或是重新準備資料或是修改參數，再來進行一次完整的訓練（請參考圖 6 的完整實務案例）。由於這樣的動作與流程操作週期很快速且自動化，所以可以節省非常多試錯與實驗的時間，而這樣的平台，對於水廠的智能化與專家系統的 AI 智能化，有著絕對的效益與幫助。

四、水質風控微型專家系統架構

其實針對水質風控的微型專家系統設計，並沒有一個絕對的做法與架構，有時候會跟污水處理廠的管理策略與目標相結合，以達到一個最具有效益的做法。而為了達成水質風控的目標，我們建議這樣的專家系統必須具備下列幾個主要特性：**1.智能化、2.SOP 自動化、3.開放式 API、4.資料視覺化**等功能特性。基於這樣的需求，若從模組的角度來設計規劃，應該包括下列幾個區塊（如圖 7）：



圖 7 專家系統模組架構圖

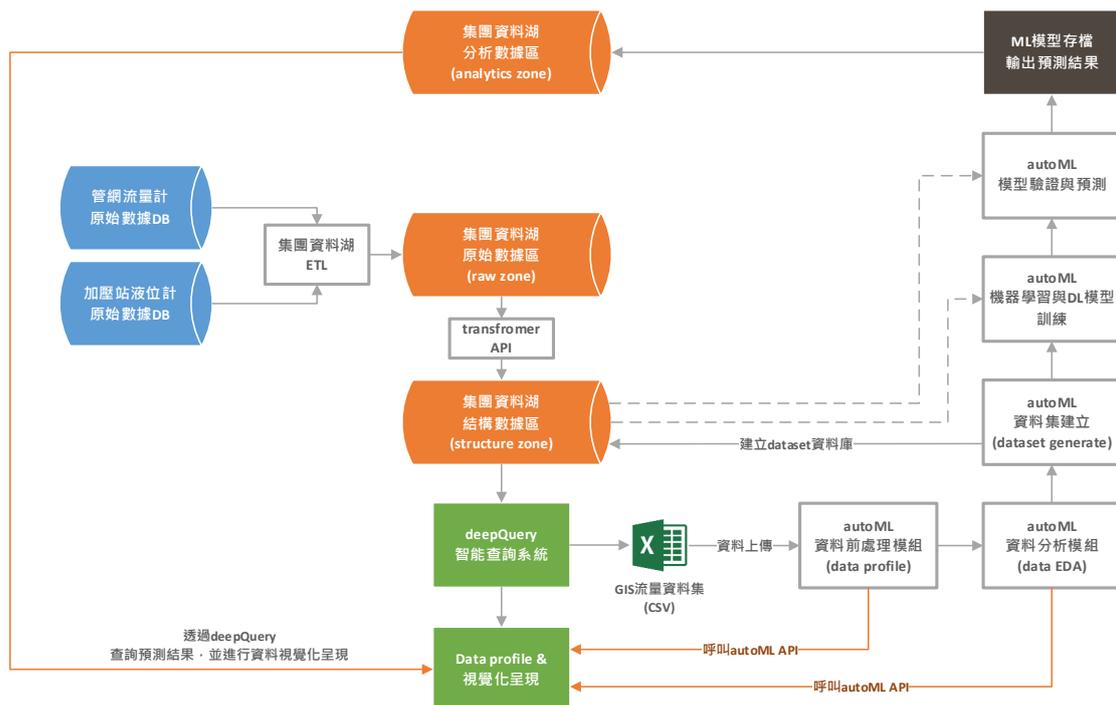


圖 6 水質預測應用自動化機器學習的流程範例

1. 水廠管理 SOP 資料模組：

透過此模組，將水廠的主要管理 SOP 與流程，透過資料建模或流程建模的方式，進行系統化的建置，建構專家系統與智能化的基礎骨幹。

2. 自動化機器學習模組：

如同前面章節所述，此模組會是專家系統當中的一個核心功能模組，這也是生成 AI 智能專家意見的核心，所以不管是進水洪峰預測模型、設備異常訊號預測、水質變化風控分類...都會透過整合這個模組來完成。

3. 資料視覺化模組：

其實資料視覺化，一直都是數位化與自動化的必要體性，所以透過資料湖整理過的原始數據，轉換為即時監控趨勢圖、相關性分析熱力圖、模擬趨勢預測折線圖等等，都可以透過資料視覺化的樣板模組來達成。

4. 工作流程引擎與自動化模組：

在智慧製造當中，電腦整合製造 (CIM) 解決方案，會將工廠流程的每個產品對應的生產流程，流程當中的每個步驟，以及每個步驟所需的機台都一一勾稽對應，當物料經過該站點時，便可以自動且即時的下載製程參數(recipe)，並進行加工生產。如果從污水處理廠的角度來看，我們則是可以將污水處理的一條龍處理建立流程模型，針對每個站點需要監控與控制的設備進行系統化建模，這樣便可以將 SOP 落實在系統中，提升自動化水平與水質風控的瓶頸管控。

5. 資料湖整合與應用模組：

對於結合物聯網設備資料收集的系統來說，幾乎大量的資料彙整與處理，是一個再普通不過的日常，但是當我們面對這麼大量的數據時，需要有一個像是資料湖 (data lake) 這樣清晰的資料治理與管控架構，尤其是微型智能化專家系統，AI 致

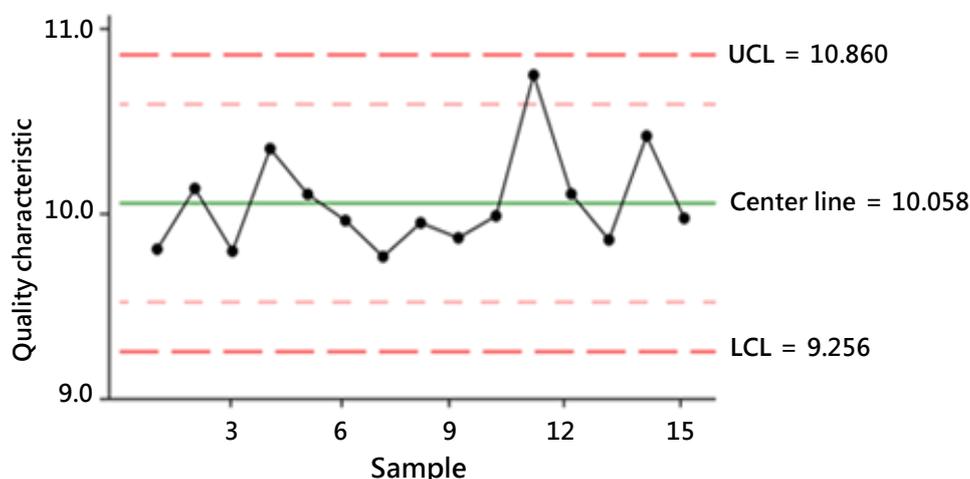


圖 8 SPC 管制圖範例

能的關鍵就是資料的整理與分析，所以在資料的管理與治理上，資料湖的架構絕對是必要的核心技術。

6. SPC 模組 (如圖 8) :

對於水質的處理，除了離線(offline)的資料分析以外，即時的線上(inline)分析功能也是非常必須的作業，所以我們可以導入 SPC 的概念，對關鍵的水質監控指標進行連續型的資料統計與分析，並且設定 SPC 管制規則(SPC control rule)與界限(upper/lower limit)，便可以在水質變異前，提前通知水廠同仁進行調整與處理。

伍、結論與建議

一、專家系統建置建議

對於微型智能化專家系統的功能需求，前面章節已經清楚的說明，但是要建置一個具有前瞻性、有效益的專家系統，我們有幾個規劃與建置重點，第一、專家系統必須是開放式系統，也就是說可以透過安全認證的機制，讓這個系統可以與其他系統進行整合與協作，藉此提升專家系統的應用場域與價值。第二、專家系統應該考慮以混和雲(hybrid-cloud infrastructure)的基礎架構來進行規劃與設計，這樣的設計有助於整合內外部的系統，提升專家系統的擴充性與競爭力。第三、必須將資安規劃當成系統建置的一個必要實作重點，尤其是資料安全性(data

security)在雲端平台或是開放式架構，是必要的一個開發重點，除了可以保護廠區系統持續運作，也可以讓寶貴的水質數據得以有效穩定、安全的被利用。

二、專家系統效益分析

針對專家系統導入後的效益，基本上可以歸納成下幾點：

1. 提升水質穩定度並符合法尊規範
2. 降低設備異常維修耗費的成本
3. 降低水廠巡檢 / 管理人員的時間成本
4. 降低水廠電力與能耗成本
5. 提升預知水質 (潛在) 異常風險之能力 (如圖 9)
6. 提升水廠整體競爭力
7. 提升污水處理的排放水品質良率

其實一個完善的智能化專家系統的導入，可以為水廠 (企業) 帶來的效益，除



圖 9 GIS 尖峰流量預測分析

了顯性的成本降低與營收提升外，也會為水廠帶來像是 AI 智能數位轉型、以及系統化管理等等的隱性優勢。

三、未來發展與長期規劃

專家系統的導入，初期大多著重在決策的輔助與作業建議上，專家系統的資訊與建議，需要人工去執行與調整，但未來應該要往水廠管理「全自動化」前進，將每個控制環節，透過驗證與專家經驗的整合，建構出高可信度的智能代理 (Intelligent Agent-IA)，並且將原本手動控制的設備，更換為自動化設備，並且透過 IA 與專家系統連線，自動依照現況監控數據或標準 SOP 進行水質處理與調控，成為一個全自動化的關燈水廠，讓污水處理更有效率且水質更良好，而這也是投入微型專家系統的未來目標。

參考文獻

1. 張敏超、洪仁陽、梁德明、李宗銘 (2018). 水處理科技的現在與未來，科學發展專題報導，543 期，第 30-35 頁
2. 鄭明瑜 (2017). 工業區污水處理廠績效管理指標相關性之探討，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文
3. 陳大為 (2012). 倒傳遞類神經網路於淨水混凝自動加藥前饋控制應用之研究-模廠試驗，國立交通大學工學院永續環境科技學程碩士論文
4. 陳幸德、朱振華、何啟賢、周震江、林世專、鄒文源、陳誼彰 (2015). 超音波污泥水解線上監控系統之開發
5. Mengyuan Zhu, Jiawei Wang, Xiao Yang, Yu Zhang, Linyu Zhang, Hongqiang Ren, Bing Wu *, Lin Ye (2022). A review of the application of machine learning in water quality evaluation. Eco-Environment & Health, State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Re-use, School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210023, China
6. 王若樸(2019). 「工研院發表AI智慧工廠服務一條龍服務，來克服傳統工廠轉型三大痛點 (原文網址: <https://www.ithome.com.tw/news/132189>)」，iThome
7. 旭日東自動化設備工程(2019). 「工廠生產流水線與皮帶式設備提高生產整體效率 (原文網址: <https://kknews.cc/news/vl3xy2a.html>)」，頭條新聞
8. John Hagel III, John Seely Brown, Duleesha Kulasooriya, Craig A. Giffi, Meng Meng Chen (2018). Deloitte產業報告-智慧製造

大解讀・第1-33頁

9. ChuanleiZhang, JiangtaoLiu, WeiChen, JinyuanShi, MindaYao, XiaoningYan, NenghuaXu, and DufengChen(2021). Unsupervised Anomaly Detection Based on Deep Autoencoding and Clustering, Hindawi Security and Communication Networks Volume 2021, Article ID 7389943, 8 pages <https://doi.org/10.1155/2021/7389943>
10. Deepti Aggarwal, Vikram Bali, Sonu Mittal (2019). An Insight into Machine Learning Techniques for Predictive Analysis and Feature Selection, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), ISSN: 2278-3075, Volume-8, Issue -9S, July 2019



摘要

臺灣進入新一波的產業升級，從原本以傳統製造及代工為首的產業進入到高產值的高科技產業。對於水資源的觀念也逐漸產生改變，廢污水經處理後，成了替代水源的重要來源，是產業運作的重要基礎。近年政府政策積極發展物聯網及人工智慧產業，促進了百工百業的數位化轉型及智慧管理，水處理產業也面臨從自動化提升到智慧化的階段。如何發展出一套完整而適合本產業性質的智慧管理系統，是各界思考的議題。綜觀業界常用的商用資訊管理系統繁多，本文從性質相近的製造業智慧化發展過程探討水處理產業智慧化的可能做法，從營運技術 (OT, Operation Technology)、資訊科技(IT, Information Technology)到人工智慧(AI, Artificial Intelligence)。文中介紹並比較其中普遍使用的三個資訊系統：製造執行系統 (MES, Manufacturing Execution System)、企業資源規劃系統 (ERP, Enterprise Resource Planning)及管理資訊系統 (MIS, Management Information System)。建議以 MIS 為水處理智能化框架，以它來整合各廠既有的各自獨立的資訊系統。進一步在 MIS 架構下依據使用單位的特性及需求，繼續展開各個子系統。並分享工研院水科技組推廣水處理智能化的經驗，針對水處理廠智慧化管理提出建議的解決方案。

1.工業技術研究院 / 技術經理

2.工業技術研究院 / 特聘研究、中原大學/兼任助理教授、安瑞汎德/技術總監

壹、前言

全球暖化所造成的氣候變化，對全球降雨的型態造成相當的影響。台灣地形陡峭，河川流湍急，貯水不易，氣候變遷所造成的降雨不均，更對水資源造成莫大衝擊。都市廢污水的產生，有其穩定性，可作為重要的補助水源。新加坡的 New Water 為眾所皆知的案例，過去該國長期仰賴馬來西亞輸入原水，在需水量持續增加及用水安全的考量上，以污水回收與海水淡化，預期在西元 2061 年達到全量自給自足的目標，不再依靠馬來西亞輸入水源。我國內政部營建署（現為國土管理署）在推動污水下水道興建同時，將污水處理廠定名為水資源回收中心，污水經過適當的處理後，提供後續再利用的機會。近年來再生水廠的興建，更進一步淨化水質，供應各類需求替代水源。臺南科學園區再生水廠，甚至供應半導體先進製程產業高純度用水。再生水所用的技術、設備價值不斐，而產品的品質更受到用戶需求的嚴格要求，後續影響的產值更為驚人。製造業營運管理系統由來已久，近年的物聯網(IoT)、人工智慧的發展及運用，更將其導入智慧製造的新領域。傳統的水處理產業正面臨轉型之際，援用相關製造業的營運管理模式，可進一步促進該產業的升級。本文將介紹與營運技術 (OT, Operation Technology) 直接相關的製造執行系統 (MES, Manufacturing Execution Sys-

tem)、企業資源規劃系統 (ERP, Enterprise Resource Planning) 與透過資訊科技(IT, Information Technology) 執行的管理資訊系統 (MIS, Management Information System)，以及人工智慧(AI, Artificial Intelligence) 在水處理產業的運用。

貳、MES、ERP 與 MIS

一、製造執行系統 (MES, Manufacturing Execution System)

製造執行系統從其名稱可以知道這是一套運用於生產製作的管理工具，協助企業從接獲訂單、原料管理、流程控制、機台設備管理一直到產品完成出貨。該系統主動收集及監控製造過程中所生產的資料，以確保產品品質，並進一步優化生產過程。MES 可提升投資報酬率、利潤、改善現金流及庫存周轉率、確保如期如質出貨。透過與 IoT 技術的結合，能將 MES 的功能發揮的更淋漓盡致(Gao, Li, et al., 2015)。

為推動 MES 的運作，國際製造業企業解決方案協會(MESA, Manufacturing Enterprise Solutions Association) 將 MES 的主要面向定義如下：

1. 營運管理：

為員工提供規劃生產訂單及生產路線方面的全局視角。

2. 遞送生產：

在企業與廠方之間管理生產資料的流動，確保生產資料準確及一致。

3. 產品追蹤：

將最終成品或中間產品及其所有對應的製造資料組合起來，涵蓋從原材料到組件裝備，到成品的各個環節。

4. 人力管理：

投入產品及 / 或營運的人員管理，並追蹤他們需要的技能或工作授權。

5. 品質管理：

管理製造流程與裝置的品質，此功能可直接整合至 MES 軟體中，亦可使用外部軟體。

6. 設備維護管理：

準確地規劃預防性維護，從而減少停機對生產造成的干擾。

7. 資料收集與採集：

追蹤及收集重要資料，在有需要時輕鬆找回資料。

8. 流程管理：

提供生產流程規劃及營運排程，包括整個生產過程的可追溯功能。

9. 績效分析：

合併資料以計算關鍵績效指標，能知道生產過程的效率如何，以及如何加以改善。

10. 文件控制。

11. 資源分配與狀態：

定義及追蹤資源的狀態，以及資源在生產過程中的使用情況。

在 MES 中幾種常用的生產製造管理的方法及工具介紹如下，這些方法及工具適合應用至水處理產業轉型的過程中，可以適當的導入：

1. 品質管理系統 (QMS, Quality Management System)：

在品質方面指揮和控制組織的管理體系。為資源與生產過程結合的管理系統，一般包括與管理活動、資源提供、產品實現以及測量、分析與改進活動相關的過程，涵蓋了從確定顧客需求、設計研製、生產、檢驗與銷售，包括規劃、實施、監控、修正與改進等步驟，一般以資訊化的方式進行。

2. 統計製程控制 (SPC, Statistical Process Control)：

使用測量和控制品質的技術來監控製造過程。統計製程控管資料以兩種方式收集：第一種是特定產品的測量值，通常由品管實驗室分析而得，第二種是製程儀表

讀數，可透過 SCADA 系統獲得即時數據。資料可為量化數據或質化的屬性資料，可以是單個值，也可以是一組讀數的平均值，取決於使用者的需求。這些資料使用多種控制工具進行追蹤，目前常使用的是物聯網技術的可視化數位儀表板。再透過品質管制工具，包括魚骨圖（因果圖）、檢查表、直方圖、柏拉圖（因素分析排列圖）、散佈圖、流程控制圖、缺陷地圖、事件日誌等，得以掌握影響品質的因素並提供優化改進的方案。該系統適合運用在水處理品質控管上，從統計分析的角度，配合品質控制工具，歸納造成水質變異的原因，進一步透過專家系統進行改善建議。

3. 工廠資訊系統 (PI System, Plant Information System) :

PI 系統是一組專為整個工廠監控和分析而設計的軟體模組，AVEVA、OSIsoft 為國際間領導品牌。PI System 數據貯存歸檔是該系統的基礎。它處理數字和字符串數據的收集、存儲和檢索。操作員、工程師、管理階層等可同時使用查看存儲在資料庫中的工廠數據。目前，在國際間也有軟體公司開發專為污水處理廠的 PI 軟體。它的主要功能包括：

(1) 在複雜的工廠數據傳輸型態環境中，提供可接受數據形式百態的強大功能。

- (2) 能接收即時數據並將原始數據貯存於資料庫中，隨時查詢歷史資料。
- (3) 藉由加入直觀的標籤與詮釋資料，讓數據更加有意義，並制訂出反映實際運作環境的資料層級。
- (4) 數據的可視化呈現。
- (5) 數據整合、分享與運用。

二、企業資源規劃系統 (ERP, Enterprise Resource Planning)

ERP 是一種綜合性的管理軟體解決方案，目的是協調、整合和自動化企業內各項業務流程，以提高效率和增強管理決策的資訊基礎。ERP 系統通常集成多個子模組，涵蓋企業內各個部門，例如人力資源、財務、會計、製造、銷售、採購和庫存等，讓這些部門之間的資訊共享更加流暢，達到整體效率的提升。

ERP 系統通常包含多個功能模組，涵蓋企業各個部門和業務流程。以下是一些常見的 ERP 功能模組：

1. 人力資源管理 (HRM) : 包括員工資訊、招聘、薪資、培訓、考核等功能，幫助企業有效管理和利用人力資源。
2. 財務會計管理：負責處理企業的財務業務，包括帳務記錄、資產管理、成本控制、財務報表、稅務管理等。

3. 供應鏈管理 (SCM)：管理整個供應鏈運作，包括採購、庫存管理、物流、供應商管理等，確保供應鏈的高效運作。
4. 生產和製造管理：涵蓋生產計劃、生產過程監控、資源分配、品質控制等，幫助企業優化生產流程。
5. 銷售和客戶關係管理 (CRM)：追蹤客戶訂單和需求，管理客戶資訊，提供更好的客戶服務和銷售支援。
6. 專案管理：用於規劃、監控和執行企業的專案，確保專案按時完成和預算控制。
7. 庫存管理：追蹤庫存水平，協助企業進行庫存預測和管理，避免庫存短缺或過量庫存。
8. 資產管理：追蹤企業的固定資產，包括購入、折舊、維護等。
9. 品質管理：幫助企業建立和執行品質標準，追蹤產品和服務的品質。
10. 分析和報表：提供各種分析工具和報表功能，幫助企業從大量數據中獲取有價值的資訊和見解。
11. 企業績效管理：用於制定和實施企業的績效目標，並追蹤企業的實際績效。

12. 市場銷售：支援企業的市場銷售活動，包括線上銷售、電子商務、市場推廣等。

ERP 系統的功能可以根據企業的需求和行業特點進行定制和擴展。企業可以根據自身的業務模式和目標選擇相應的功能模組，以確保 ERP 系統能夠最大程度地滿足其管理和運營需求。ERP 系統的功能可以根據不同的供應商和版本而有所差異，企業應根據自身需求選擇最適合的 ERP 系統，或根據實際情況進行功能定制和擴展。正確地選擇和應用 ERP 系統對企業的運營和管理有著深遠的影響，能夠提高企業的效率、效益和競爭力。對於水處理產業而言，ERP 系統應用的角度會有所不同。水處理產業可以運用 ERP 系統來提升其運營效率和管理水平。

三、管理資訊系統 (MIS, Management Information System)

MIS 是是一種用於支持企業管理和決策制定的資訊技術系統。它是一套軟件和硬件組合，用於收集、處理、儲存、分析和呈現企業內部和外部的資訊數據。學術發展過程上，管理資訊系統是用來指那些和決策自動化或支援決策者做決策有關的資訊管理方法的統稱，後來因應系統整合之需要，知名的 SAP 公司創立了 ERP 的名稱，將企業經營相關性的 MIS 整合成現今所謂的 ERP 系統，而 MIS 現在則常被

限縮於其他獨立的資訊系統的概括稱謂，與今日一般企業與電腦、內部網路、網際網路及 IT 工作內容混為一談。MIS 的主要目的是為管理層提供即時、準確的資訊和報告，幫助他們更好地理解企業的運營狀況，做出明智的決策，並監督業務運作的進展。MIS 系統可以涵蓋多個功能和部門，例如銷售、庫存、財務、人力資源等。它們可以從內部和外部的資料源中提取數據，將這些數據進行加工和整合，然後通過各種形式的報告、資訊視覺化等方式呈現給管理層使用。

本文由於著眼於討論污水廠內之資訊系統，因此以內政部營建署（現為國土管理署）所提出之 MIS 系統版本於後續第三章節加以描述。

四、MES、ERP 與 MIS 之差異與整合

資訊界往往根據特殊的需求開發不同的資訊系統，導致使用者對於許多資訊系統之間的相關性感到困惑。至實際運用時，過多且過於複雜的資訊系統，可能導致使用者疲於應付，終究導致將之束之高閣，回歸到原來未資訊化前以人工抄寫的文字圖表的管理方式。上述幾個與製造業相關的資訊系統，相關性簡述如下：

1. MES vs. ERP

MES 以製造生產管理為主要目的，可以深入分析人員、產品品質、機械設備稼動率、材料損耗狀況、作業效率等細節，

以利管理者進行工廠生產管理與決策，有效平衡產能達成生產績效與目標。相較於 ERP 則以企業為目標，提供所有企業營運中所需的採購、財務、人資管理、銷售、生產訂單管理、物料及資產管理等營運計劃層面的資訊。以實際的生產過程來說，ERP 較缺乏工單派發、生產履歷追蹤、SPC 品質分析、設備稼動率分析、機台預修保養等現場執行面的資訊蒐集，這些部分，一般在 MES 系統中達成。

透過整合 MES 與 ERP 系統，將產品生命週期中各階段的資訊流串聯接軌，才能發揮其綜合效果，協助企業邁向智慧製造進程。

2. ERP vs. MIS

MIS 是一門企業管理或資訊管理的學科，是一種資訊系統的整合，範圍包括很廣很有彈性，可隨組織特色而調整。而 ERP 原先是一種應用系統的名稱，後來也演變為一種企業管理的實踐。而現在，在企業組織內部，MIS 常被用來指有關整合及管理公司電腦資源的專業單位。

回歸原本功能的定義，ERP 是電子資料處理裡的大宗，涵蓋企業營運電子資料處理的資訊管理系統，旨在促進日常運營，同時提供預測和計劃，有效強化組織的運作並減緩危機所造成的衝擊。

MIS 代表管理信息系統，用於為管理者提供更好地管理組織所需的信息。MIS

存儲有關組織每個部門的所有信息，並使員工可以輕鬆取得這些信息。MIS 是一個更大的信息系統，通常包括 ERP，可為更專業的任務而設計。

3. 依導入者特性，以 MIS 作為整合

MIS 及 ERP 有很多的商業套件，各有其優勢，而由於涵蓋面廣，它們的成本也很高。然而，MIS 和 ERP 是可以根據使用機構的要求進行開發，為組織的需求設計需要的功能。如果 MIS 的對象為污水處理廠，則 MIS 的內容可以製造執行系統 MES 為基礎，根據水處理產業的特性，經過調整而開發，其中更可以納入品質管理的內涵；如果使用對象為代操作廠商，除了 MES 的考量外，基於企業的需求，可以進一步將部分企業資源規劃系統 ERP 的內容納入，如：財務管理、人資管理等；如果是促參特許公司或主管機關，MIS 系統可以進一步擴大，納入資產管理、公共關係、研發、工程等部分；倘若業務涵蓋面包含了污水下水道系統，還可以將下水道部分的相關資訊系統納入。

目前污水下水道系統及污水處理廠的管理，在不同階段配合不同的需求，設置了許多的資訊系統，有的部分內容及功能重疊，有的數據來源不一致，常有資訊顯示不一的情況，操作上也出現重工的現象，造成使用上的不便。透過 MIS 可以進一步加以整合，將各個資訊系統成為該架構下的子系統。其中尤為重要的是透過

共同資料庫的數據分享，讓各個子系統之間達到數據串聯及互通的目的，發揮更靈活強大的功能。

4. 納入其他管理系統

依企業組織的需要，還可以納入其他相關管理系統，如 ISO-9000、ISO-14000、職安、溫室氣體管理、ESG 等。這些系統各有不同的要求，彼此不見得相容，尤其在表單及報告書的形態上，各有規範，然而底層數據及資訊內容可以透過 MIS 共通的數據中心妥為整合並互通。

參、水處理的 MIS - 內政部營建署 (現為國土管理署) 版本(施工 規範第 13803 章)

在營建署(現為國土管理署)所規劃之概念，污水廠應建置之 MIS 系統涵蓋 10 個子系統模組及 2 個資料更新功能，概述如下：

1. 綜合績效管理子系統

綜合績效管理是指一種管理方法或系統，旨在幫助組織有效地追蹤、衡量和提高其整體績效。它將不同部門和業務功能的績效數據整合在一起，使組織能夠全面了解其營運狀況，並且能夠做出更明智的決策。其主要包含數據整合：收集來自污水廠各工作部門和過程的資料數據，包括處理水量、污染物降解效率、減碳節能效

率、用藥效率、以及個人工作績效等等。這使管理層能夠即時了解污水廠的關鍵績效指標，並根據這些數據做出明智的決策。綜合績效管理允許污水廠管理方設定明確的目標和指標，然後監控這些目標的實現情況。如果某個工作過程偏離了預期的目標，管理層可以迅速採取措施加以調整。

2. 處理流程監控子系統

處理流程監控子系統應考慮實驗室的檢測數據包括水質、流量、水位，歷史資料存取，以及即時監控各水處理設備運轉狀態、發出異常警告、並列印操作維護保養表單以供參考。其中可考慮設計以下功能：水質數據擷取及呈現，如進出流水質水量、各處理單元水質項目、流量、液位等以及設備操作狀態。數據呈現及查詢能力，如各式處理單元的運轉運作狀態，以及處理後水質狀態的數據結果呈現。

3. 操作巡檢資訊子系統

利用自動化監控子系統之操作維護保養表單及標準操作程序表單，執行每日完整之檢測、操作維護保養紀錄，包括檢測數據、操作步驟、維護保養記錄等，無法連線之相關數據由專責人員負責輸入資料庫，設計上可考慮填報項目包括下列各項：年度保養維護計畫、月保養維護計畫、停機待修資料、故障待更新資料、備

品及耗材進場管理、設備校驗時程管控、異常填報等。

4. 電力品質分析子系統

在污水廠區建置之智慧型電錶收集相關電力資訊並進行相關電力分析，包含總用電量分析、區域用電量分析、重要單元設備電力分析，當短時內用電情形出現超標、故障及危害設備狀況時，能提前設置警報標準，以期能提前預防設備造成重大性損害。並在固定時間能自動產生分析報表，提供包含年、月、日報表，電力分析報表內容需求。

5. 設備管理子系統

此系統管理程序、表單填寫、相關品質管理報表送至資料庫中，以供操作月報、操作聯繫、品管紀錄查詢之用，並設計各處理單元機械相關保養、設備維護、設備使用狀況、備品及相關藥品耗材進場、檢驗設備校驗管理之時程控管。並可以下列資料之管理為主要範疇：各處理單元機械設備基本資料、各處理單元機械設備使用狀況、保養維護計畫與實際施作比對分析、各機組及設備保養維護歷史資料查詢分析、異常聯繫單與後續處理計畫比對分析。

6. 物料管理子系統

針對污水廠區內的物料（備品、物品）的採購、庫存、使用和出庫等基本情

況進行管理與查詢，物品進出與資源配置，有效利用物料資源，為採購提供精準的數據，並由系統可列印機關所必需的每月物料增減結存表、各部門領用物料統計表、物料收發月報表、與物料收發分類帳等報表。

7. 人員定位及巡檢子系統

建置適合該廠區之職業安全衛生管理系統，內容包含危險機械、危險設備、危害及可燃氣體、危險化學品、危險場所、人員管理、保全等項目，並建置相關之政策、組織設計、規劃與實施、評估、改善措施等。並涵蓋智慧人員安全定位管理平台及智慧巡檢管理平台。可結合定位平台結果，依定位之位置，以電子化網路化方式自動帶入巡檢表單，進行人員巡檢作業，並可離線作業，待有網路時才進行紀錄上傳。

8. 實驗室資訊管理子系統

實驗室資訊管理系統應記錄廠區實驗室或化驗室之樣品、實驗室人員、儀器、標準品、庫存和其他實驗室相關活動，可建立文檔、執行排程、以取代實驗筆記本、確保實驗室檢驗執行合規性及正當性。

9. 知識管理子系統

此系統提供相關工程技術資料（文件管理）、各處理單元機械設備基本資料

（含動力設備規格清單）、操作維護資訊（訊息管理）、異常事件（包括水質及設備）紀錄及處理情形、常見問題及解答（公告管理），以方便水務人員隨時查詢與線上查閱，也能成為教育訓練之教材庫。

10. 資訊系統維護管理子系統

主要功能設計以使用者權限管理以及資安控管為主軸思考，使用者介面上則以網頁技術來達成，建議具備以下功能：提供完整系統之權限設定及相關系統維護所需之功能、系統依使用者之使用權限、以瀏覽器為系統應用程式介面。

11. 污水處理廠網頁系統資料更新

公共污水廠通常都具備對外公開之網頁系統，因此也需要考量設計後維護更新問題，在適當時機進行資訊上或網頁安全技术提升後可能形成的資訊安全漏洞進行修補。如果是內部使用之網頁系統，更該對廠內設備使用之相關資訊更新而進行網頁。

12. 對機關指定位置資料傳遞更新

此類系統功能需求主要針對公務機關或法規上之需要而建立，在公立污水廠內則以廠區內監管之水質或處理設備的操作資訊上傳到主管機關為主，該系統資料傳遞方式，須因應資訊安全之變化進行傳遞功能之更新。私人企業通常為 CWMS 系

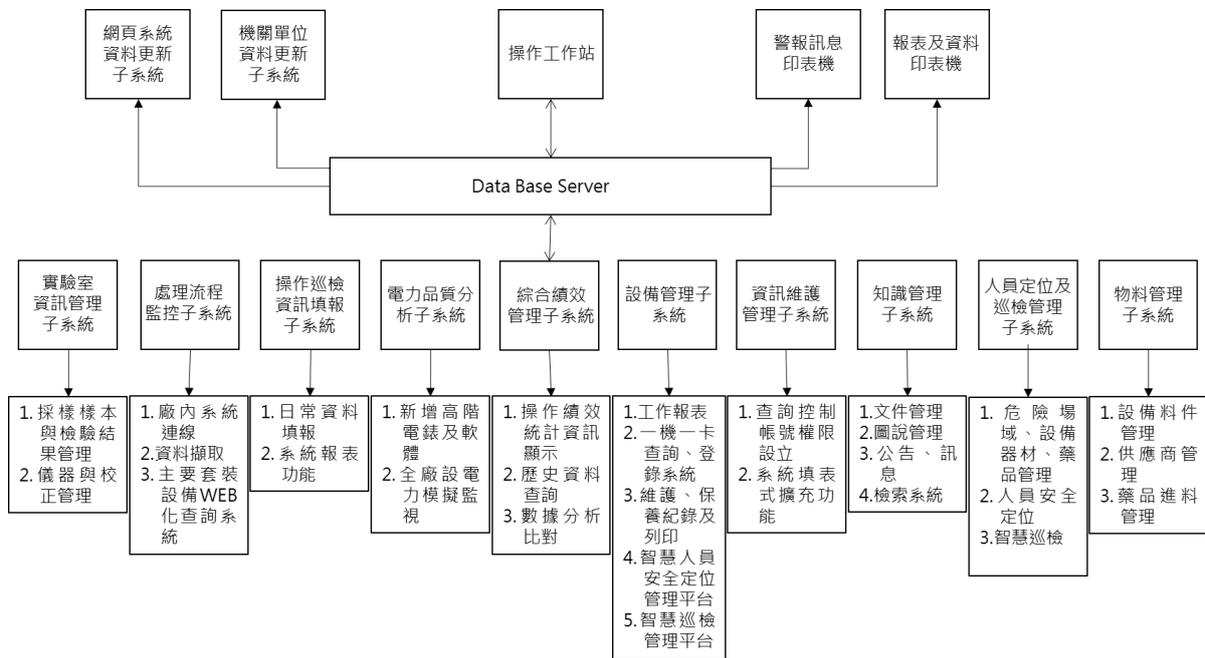


圖 1 內政部營建署 (現為國土管理署) 營運資訊管理系統(MIS)-施工規範第 13803 章

統會遇上類似之問題，放流口排放之水質數據上傳功能亦須配合傳輸軟體之更新而進行更新維護。

肆、水處理管理的智慧化提升

MIS 主要功能在於各個資訊系統的整合，透過 IoT 可以達到即時數據的收集及資訊可視化的傳達及報表輸出。一旦數據收入資料庫中，除了分析及圖表呈現的功能外，更可以透過數據科學甚至 AI 達到智慧化管理的目的。以下將列舉幾個智慧化的方法，供作讀者參考：

一、處理流程智能化操作

1. 水質預測：

水處理的特色之一為進流水的水質及水量變異相當高，是操作上的一大挑戰，為了克服這個變異的特性，常在硬體設備上加入安全係數，或是在操作時以趨於保守的方式進行。若能對於水質水量進行預測，再加上最適操作條件的搜尋，可以節省操作成本，達到品質穩定的出水。水質的預測可以包含兩個部分，一是進流水的預測，透過歷史數據的收集，經 AI 模組的運算，可以預測時水量及水質的變化，包括白天及夜間，相對於以平均水質進行操作，更為合適。數據收集的時間夠長、涵蓋面夠大，還可以隨加入一般工作日、假日、連續假日、降雨及季節變化等數入項目，得到更完整的預測結果。另一個水

質預測的地方為最終放流及各單元出流水預測，放流水及出流水質，除了受進流水的影響，也與操作條件息息相關。當處理流程中的操作參數採擷至數據庫中，可以納入 AI 模型中，經演算預測出流水的水質。該水質 AI 預測系統，提供了早期預警的功能，有效降低異常排放的風險，並大幅減輕現場人員面對出流水超標的壓力（羅英維、婁明煌，2021）。水質預測的進階運用，可以先設定出水水質，再以最佳操作參數組合的搜尋，反向推求當下水質狀態下的操作條件。

2. 生物處理單元（戴元良、羅英維等，2023）：

並非所有的智能化提升均使用 AI 演算，有些因考慮 AI 開發及 data 取得成本高，以進階邏輯控制方式進行相對較屬合理。

- (1) 曝氣量控制：除了溶氧(DO)控制外，可利用不同生物代謝所需要的氧化還原電位(ORP)不同，作為控制的原理，ORP 上升或下降的趨勢，可以做為減少或增加曝氣量的依據。透過 on-line sensor 收集水質水量資訊，傳輸至依照學理所推導的曝氣量公式中，也可即時依水質水量的變化算出實際所需曝氣量作為操作參考(Chiavola, Romano, et al., 2017)。此外，AI 模型從該生物處理系統長期所收集的進出流相關數據，以及實廠各操作參數，進行演算，輸出最適曝氣量作為操作的依據 (Keskitalo and Leiviska, 2015)。
- (2) 迴流污泥控制：生物反應槽中的 MLSS，靠污泥迴流來維持，迴流污泥流量不足，將會造成污泥累積在終沉池，造成生物反應槽內 MLSS 偏低，以及放流水 SS 過高。然而，迴流流量若過大，則造成能源浪費。迴流污泥濃度也直接影響污泥的沉降性，如果希望污泥沉降指數 SVI 維持在適當值以下，以獲得好的出水懸浮固體物 SS，則迴流污泥濃度需控制在一定的濃度以下，以此據以調整迴流污泥的流量。
- (3) 廢棄污泥控制：有兩種控制模式，一為 MLSS 控制模式，一為 SRT 模式。廢棄污泥泵的啟停及排泥時間長短，可依據 MLSS 濃度變化的趨勢而定。廢棄污泥量亦可根據系統所預定的平均污泥齡（或稱平均污泥停留時間 SRT），透過學理公式計算而得，藉以控制廢棄污泥泵的做動。
- (4) 除氮系統硝化液迴流控制：缺氧脫硝作用，也有它適合的 ORP 範圍，如果迴流量過大，將造成缺氧槽的 ORP 過高，反而阻礙了脫硝作用。利用 ORP 來控制硝化液迴流，確保

缺氧槽能充分發揮功能，讓硝酸鹽得以被還原。

- (5) 除氮系統碳源控制：與前述以氧化還原電位控制曝氣量類似，利用脫硝作用生化代謝的 ORP 特性，作為調控甲醇（碳源）加藥機流量大小的依據。或以透過即時水質數據透過計算，輸出最適的加藥量。

3. 混凝沉澱：

若污水處理後做為再生水水源，水中細小懸浮固體的移除，常由混凝沉澱或浮除來達成，其中包含快混及膠凝兩個階段。傳統混凝加藥量的決定以 Jar Test 進行，由於試驗相當耗時及能掌握的變數相當有限，無法達到精確加藥及即時控制的效果。智能化的作法，主要是以人工智慧演算法，將包括進出流水質多維度的參數納入，在以反向預測的方式，得到最佳的化學藥劑包括 PAC 或 Polymer 助凝劑等之添加量（張哲銘等，2020）。另一個影響混凝沉澱的操作因素為慢混池攪拌機的操作，透過影像分析的運用，對膠羽的形成進行觀察，並將影像加以分析並數值化，成為 AI 模型中的輸入項目，可以進一步對慢混機轉速進行控制，達到最適合固液分離的膠羽。

4. 薄膜過濾：

有些處理流程以薄膜過濾的方式替代固液分離，固定的濾膜清洗及藥洗是必要

的維護保養措施，可透過 AI 預測過濾膜進行清洗及藥洗的最佳時機，以達到最大產水量。

5. Sensor 智慧管理：

數據的收集對智慧化管理至關重要，系統若輸入不準確、不具代表性的數據，或數據經常中斷，非但資訊系統無法順利運作，還可能導致錯誤的分析及運算結果，導致處理單元或整廠、機構的失靈，反而成為一個風險因子。現有污水處理廠 online sensor 維護使用的情況普遍欠佳，操作人員多半以手持式的 sensor 至現場量測抄寫後，成為主要的操作依據。昂貴的水質監測器材因缺乏適當的管理，未能發揮功能，相當可惜。工研院水科技智能化團隊，有鑑於此，開發 Smart Sensor Management 軟體，將每處 sensor 加以固定位址，主動提示清潔保養及校正時機，並記錄相關資訊，經分析後建議該 sensor 的狀態，並對數據進行清整，以提高數據的可用度，使 sensor 能發揮正常功能，延長使用壽命。

二、設備智慧化管理

設備正常運作，才能獲得合乎規格的放流水或產水水質。因此維持設備的良好狀態，成為處理廠重要的工作。一般設備保養可分為故障保養、定期保養及依設備狀態進行保養。可於水處理廠中的重要設備加裝數位型監測儀器，如數位電表、震

動規、溫度計、壓力計、流量計等，從數據中判斷設備的狀態，並預測及建議保養時機，可避免重要設備因故障停機所造成的衝擊。

三、人員安全

科技的發展源自原人性，人員的安全及操作上便利為資訊系統開發的核心。污水處理廠相對於其他高風險的營建工程及化工廠等相對安全，但仍涉及危險機械、危險設備及局限空間等職安議題。人員定位系統對於人員的動向可以有效掌控。影像辨識系統可以在危險作業環境中，對於人員的異常姿態或過長時間靜止不動發出警訊，以進一步了解狀況，及時搶救，降低人員傷亡。人臉辨識系統可以強化門禁、區域限制的管制。甚至個人護具，市場也有相關的 IoT 產品，可以得知人員穿戴是否確實。

四、E 化巡檢

除了傳感器外，設備也可以透過一維條碼、QR code 標定固定位址，與資料庫互聯。相關設備的基本資料、操作維護手冊、故障排除、維修保養記錄、操作狀態等，均可電子化。以行動載具如平板電腦、智慧型手機等進行現場巡檢，相關表格設計可透過行動載具輸入，省卻人員以手抄後再輸入電腦系統的步驟，以減輕人員工作負荷，同時降低人工輸入過程可能

產生的錯誤。巡檢紀錄進入資料庫中，可與上述的設備智慧化管理互連共用。

五、專家資訊系統

水處理是一個相當專業的領域，牽涉眾多的處理單元，其中的影響因子更為複雜。如何透過資訊系統從出流水的異常中找出肇因，並提出建議改善對策，可說是智慧化的極致表現。專家資訊系統為數據、文字甚至影像的整合，難度也相當高。除了對學理的深入了解外，同時也需要融入操作人員的實際經驗。從各單元開始，再連接各單元，擴充到全廠，會是較容易著手達成的方式。由於少子化加上勞動市場結構性的變化，年輕人不願長期久待，加上老師傅的退休，經驗傳承問題已開始浮上檯面。完整的智慧化水處理專家資訊系統運用，目前尚未有實際案例，尤其是在 IoT 及 AI 技術引導下的專家資訊系統，是一個可以進一步探索開發的領域。

伍、結論 - 成功的關鍵

1. 產業型態的定位：

水處理產業的定位，影響資訊化的程度。當污廢水處理業者不再將視自身為廢棄物的處理業者，而進一步定義為水資源產品的製造業者，導入智慧製造的觀念，會是邁向水處理智慧化管理的第一步。

2. 系統建置費用：

資訊系統的建立與推行，總是在願付價格及 IT 的開發成本之間擺盪。近年由於台灣高科技產業的發展，IT 人才各界競相爭取，在供需拉鋸之間墊高了該領域人員的酬勞，相對造成各個資訊系統的價格上漲。若以各廠個別的需求進行客製化的 MIS 系統，價格不見得比標準化的產品低廉，而泛用的商業 MIS 系統，也未必能符合水處理產業的需求。國內水處理業者可聯合資訊業者，以百分之七十標準化、百分之三十客製化的方式進行開發，以降低管理資訊系統的開發費用並提高 IT 廠商參與的意願。我國水處理產業規模不大，可進一步發展國際版本，擴大經濟規模，進一步使售價降低，提高水處理產業使用意願。

3. 物聯網 IoT 的充分運用：

近年來受惠於 IoT 技術的普及，使得 MIS 推行的便利性提高。如果操作 MIS 系統，數據的來源仍需透過第一線人員進行人工抄寫，再上機填入系統，在增加現場工作人員工作負擔的同時，降低使用意願。同時也增加一層人為誤差產生的機會。透過現場傳感器，直接擷取數據進入 MIS 而降低人力的投入，是成功因素之一。

4. 數據的收集成本 / 準確性 / 維護：

數據的來源主要來自於實驗室分析及 online sensor，兩者都需投入相對的成

本。Online sensor 的硬體投入，往往是一筆沉重的負擔。水質分析傳感器，由於量測的位置常為髒污的環境，為了維持數據的準確性，清潔保養及校正至為重要。不正確的數據，成為營運管理的風險之一。

5. MIS 系統運作的管理監督：

MIS 系統如果直接交第一線操作人員使用，而缺乏一個監督管理的機制，當人員未能妥善運用，終將導致失效甚至閒置。系統本身應建置一個監督機制，於操作異常時，主動警示，並建立推播功能，分層向上通知。

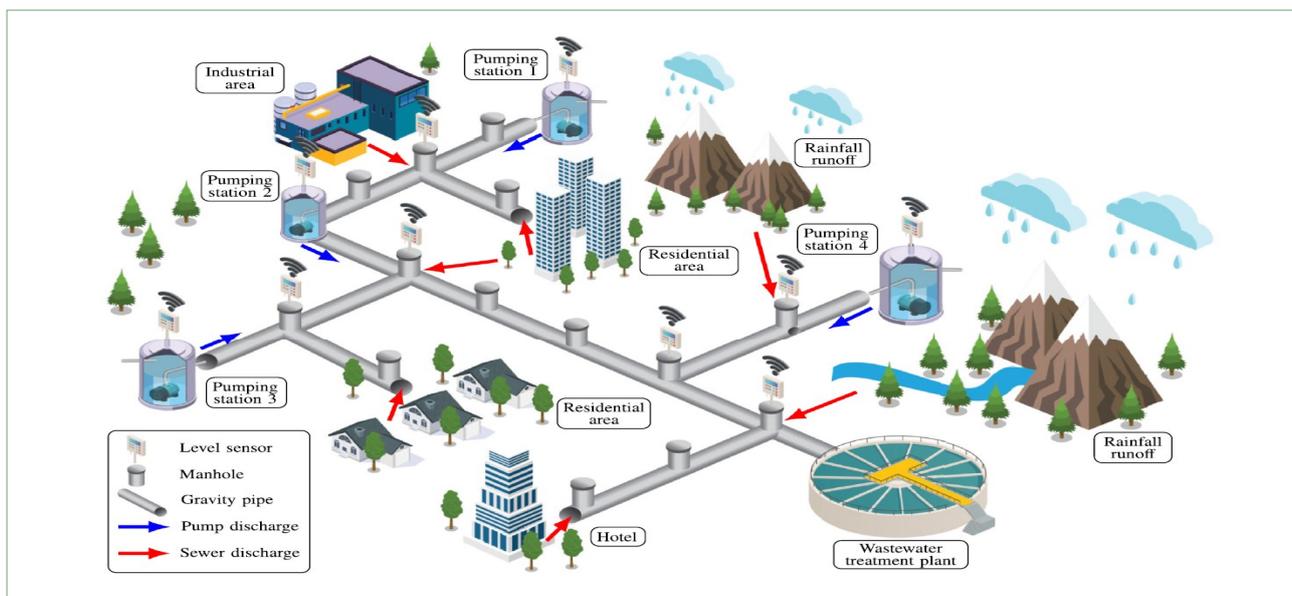
6. 接受程度，人員資訊化程度：

污水處理廠營運模式，大都以公開招標的方式由代處理商執行，發包預算及投標價格往往影響業者的經營模式及招聘人員的考量。筆者在業界觀察，操作人員薪酬範圍不高，環境欠舒適，長久穩定的操作人員的年資多半偏高，而資訊化的程度相對較欠缺。這樣的情況造成水處理產業資訊化的一個障礙，許多業者投資了資訊管理系統或提升智慧化操作管理，而操作人員卻未能順暢使用，導致系統閒置、效果未能發揮。數位轉型，第一線人員的使用意願及本身資訊化程度往往是關鍵因素，而其根本的原因在於業者是否有能力及意願提升員工待遇招募具 IT 背景的員工，或有計劃的培植 / 訓練員工能熟稔資

訊系統。而業者的意願直接受合約內容及價格左右，若溯及其源，與台灣自來水低水價政策息息相關，它直接間接影響了相關產業的營收、利潤及發展。

參考文獻

1. Gao, Q., Li, F. and Chen, C., Research of Internet of Things applied to manufacturing execution system, onference: 2015 IEEE International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), 2015.
2. 羅英維、婁明煌，智慧水務AI運用範例介紹，台灣水務發展研討會，2022年12月。
3. 戴元良、羅英維、李庭熙，從自動化到智能化-以AIoT促進水處理產業轉型，工業材料雜誌，440期，2023年8月。
4. Chiavola, A., Romano, R., Bongiorlami, S. et al. Optimization of Energy Consumption in the Biological Reactor of a Wastewater Treatment Plant by Means of Oxy Fuzzy and ORP Control. Water Air Soil Pollut 228, 277, 2017.
5. Keskitalo and Leiviska, Artificial neural network ensembles in hybrid modelling of an activated sludge plant, Springer International Publishing, Advances in Intelligent Systems and Computing 322, 2015.
6. 張哲銘、黃廷涵、黃智、羅英維，水資源與水處理產業智能化應用，工業材料雜誌，401期，P.108-116. 2020年5月5日。



摘要

臺灣於 2021 年宣示 2050 達成淨零轉型之目標，並於 2022 年提出國家 2050 淨零排放路徑圖，為因應淨零路徑與節能關鍵戰略，各公共污水處理廠應加速節能減碳之工作，以符國家政策路徑要求並持續協助改善水體環境與品質。本研究彙整國際水協會、美國水協會、日本下水道協會所出版期刊之最新相關研究，國際水協會收錄研究指出可應用人工智慧學習模型，協助下水道系統快速因應強降雨事件，進行上下游抽水站聯合操作，以提升下水道水量管理效能，最大化減少系統溢流情形，而降低區域淹水事件。研究並以 1/80 現地模型進行模擬，在 18 天暴雨事件模擬下，下水道系統可有效降低溢流情形發生。而美國水協會收錄研究則指出應用智慧水管裡技術可有助於提升逆滲透系統之效能，逆滲透已廣泛應用於污水處理廠，且其能耗亦為水廠整體營運之關鍵角色。透過智慧水管理技術驗證研究持續發展，已逐步從操作人員輔助型系統，發展為可自動化系統調整之功能。日本下水道協會所收錄研究則研發利用智慧水管理技術，優化水廠鼓風機操作，以更節能的情境下提升氨氮處理效能，研究單元風量、水溫、懸浮固體濃度、初沉氨氮濃度、傳感器誤差等操作因子對氨氮去除效率的影響，研究成果並於日本霞ヶ浦淨化中心進行實際驗證，成功達成並超越預定目標，平均氨氮濃度可降至 0.33 mg-N/L，所需風量減少 16.9%，相當於節電 12.9%。藉由本研究所蒐集彙整之最新研究，可做為國內下水道系統未來處理升級或程序優化之參考，以持續提升系統效能協助邁向淨零碳排之路徑。

1. 國立中興大學環境工程學系 / 助理教授

2. 中原大學環境工程學系 / 助理教授

壹、前言

為了持續因應世界淨零碳排的趨勢，臺灣也於 2021 年宣示 2050 淨零轉型為目標，並於 2022 年提出國家 2050 淨零排放路徑圖，包括四大轉型與十二項關鍵戰略（國發會，2022）。其中節能戰略為重要推動項目之一，國際上也因應趨勢發展許多先進節能技術，在水資源管理的領域中，智慧水管理即為其中關鍵解決方案之一，例如智慧控制鼓風機節省能耗即為重要研究項目之一（国土交通省水管理，2019）。本研究彙整國際重要學術單位之最新研究成果，以供國內下水道系統升級或操作優化之參考。研究中共計彙整國際水協會（International Water Association, IWA）、美國水協會（American Water Works Association, ARWA）、日本下水道協會（Japan Sewage Works Association, JSWA）等重要國際組織之收錄研究。在 IWA 期刊的研究中，丹麥研究團隊研發應用最新人工智慧學習模型技術，以提升下水道系統在暴雨事件下管理能力。在美國水協會的期刊研究中，美國團隊嘗試應用智慧水務技術，以進一步提升逆滲透系統效能。

在日本的研究中，以去除氨氮為目標，透過應用智慧水務控制系統，優化公共污水處理廠風量控制，提升系統處理效能，並應用可視化功能設計，讓操作人員可更簡便掌握水廠最新操作情形，保持水

廠操作在最佳狀態。

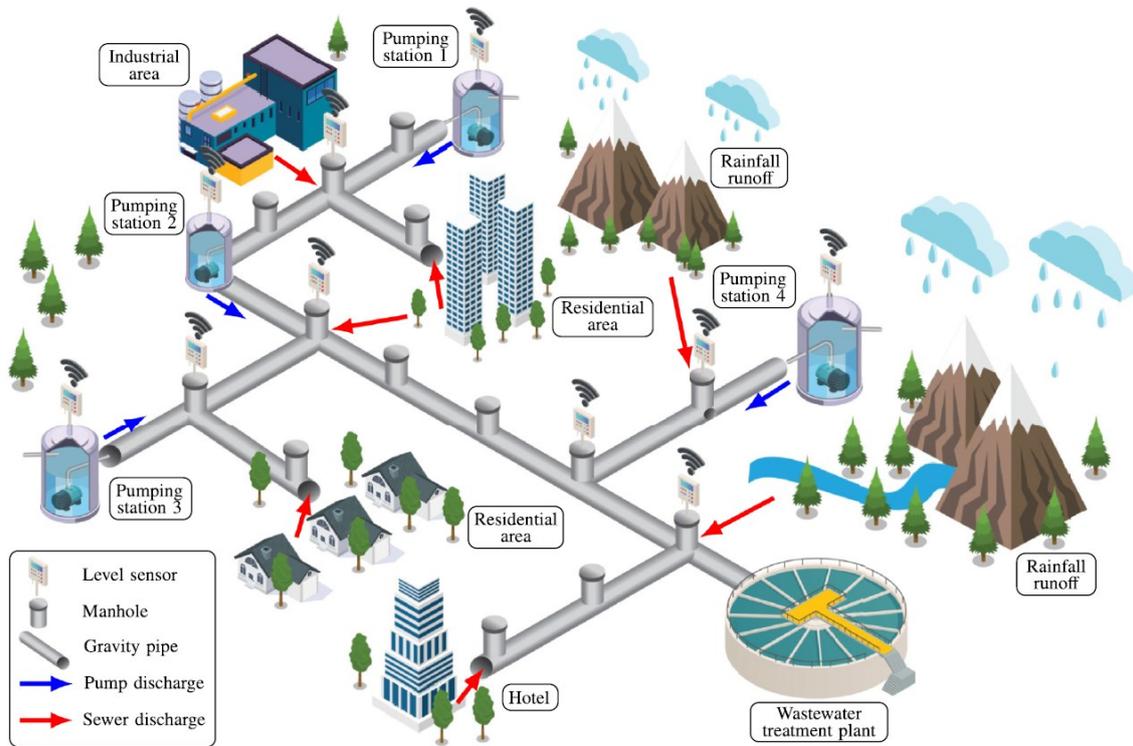
貳、研究方法

本研究透過彙整國際代表性重要學術單位之最新研究成果，包括國際水協會、美國水協會、日本下水道協會等代表性國際組織，研究最新有關應用 ICT 技術提升下水道系統管理效能相關研究，分別以各組織所發表之代表性期刊 Water Research、Journal of the American Water Resources Association、下水道協會誌之收錄學術文章作為蒐集範圍進行研析，相關成果可提供做為國內後續下水道系統提升處理效能或是新建處理設施之參考。

參、研究成果分析

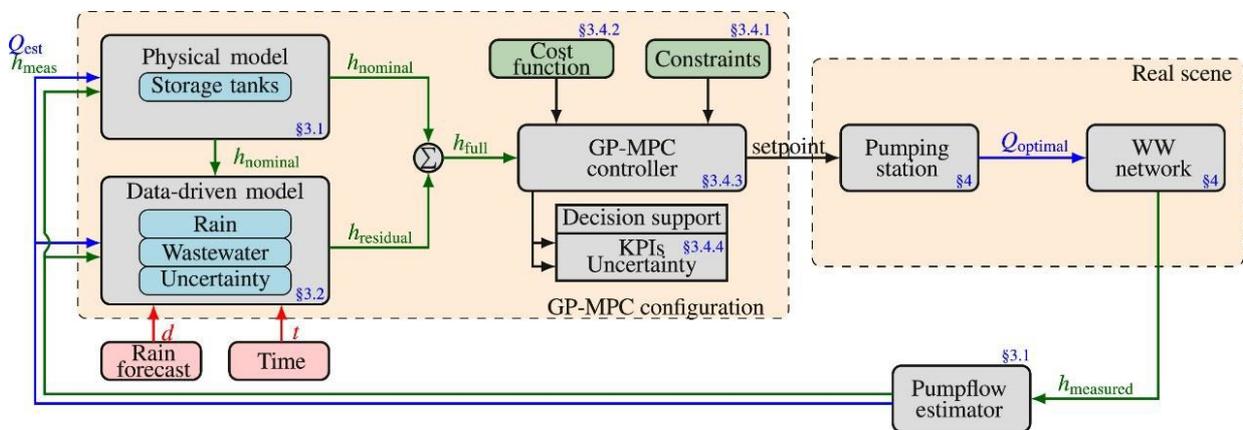
一、國際水協會發表研究成果

國際水協會收錄了應用智慧水務科技於污水管網管理的研究成果，可應用於改善老舊下水道系統基礎設施管理效能，透過大數據分析與系統優化技術，最大化利用可儲存之容量，以協助因應高強度暴雨事件之衝擊。研究中所建立之下水道系統網絡概念如圖 1 所示，本系統假設為合流式下水道系統，只考慮抽水站間主要輸水管線，在簡化後可建立模型如圖 2，研究主要可分為物理模型與數據驅動模型（data-driven model），物理模型包含如流域空間維度等資料，數據模型包含感測器、估算、雨量預報等資料。模型計算並聯運作



資料來源：Balla et al., 2022.

圖 1 智慧下水道系統示意圖



資料來源：Balla et al., 2022.

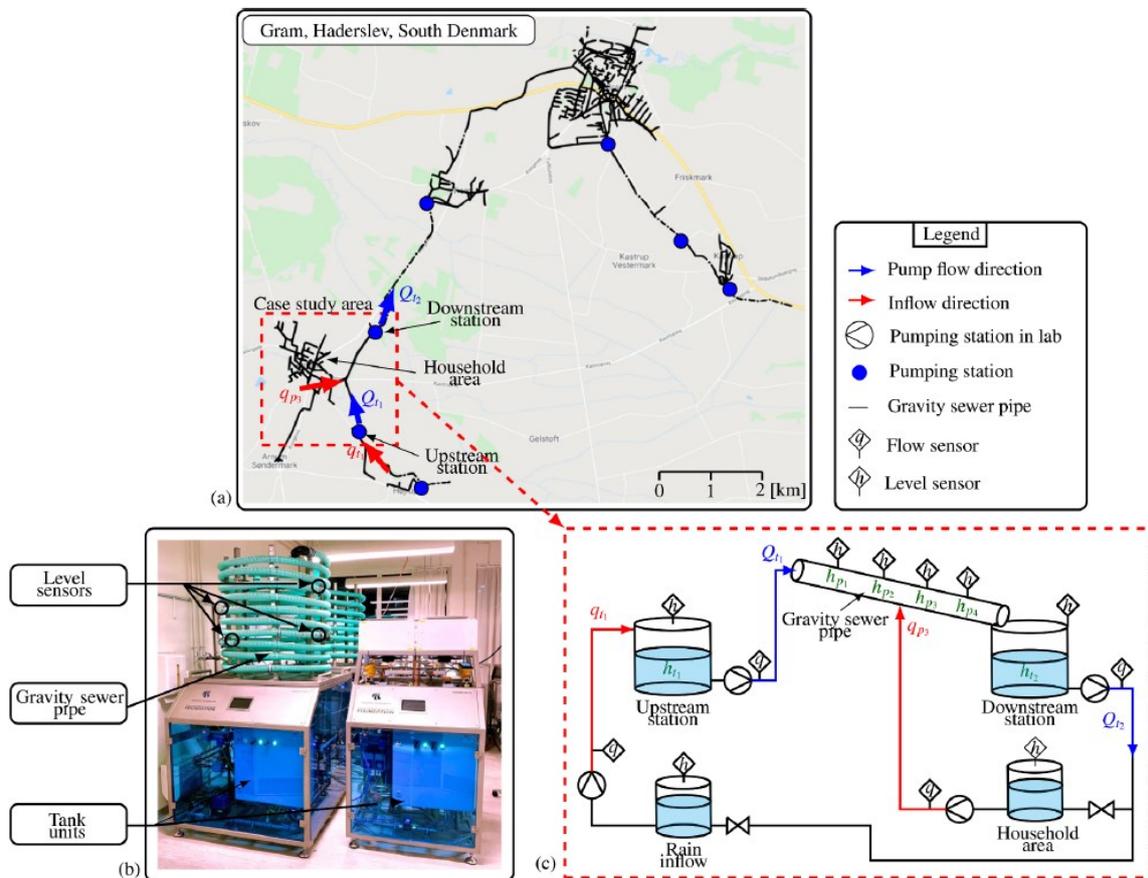
圖 2 智慧下水道建模模型示意圖

的抽水站以取得最佳流量，採用變化的污水泵操作而非定量型操作，透過節點水位感測器布設，蒐集水位資訊以進行估算。

研究在完成數學建模後，在實驗室以丹麥革蘭鎮(Gram)污水管網製作 1/80 縮小模型進行試驗 (如圖 3)，而因為縮小模型的關係，時間尺度也被等比例縮小，模型 19 分鐘約等同實際系統一天的運作，研究以每 0.5 秒蒐集一筆數據，控制

時長為 10 秒，等同實際系統每 12 分鐘傳送一次訊號。而雨量與廢水量均根據歷史流量紀錄進行模擬，模型細部流體動力學並非該研究討論之範圍。

本研究主旨為展示水位感測器分布結合 GP-MPC (高斯模式預測控制) 模型，模擬暴雨期間對下水道系統之衝擊，研究中模擬遭遇 18 天暴雨事件，超過下水道系統容量而產生溢流的情形，模擬結



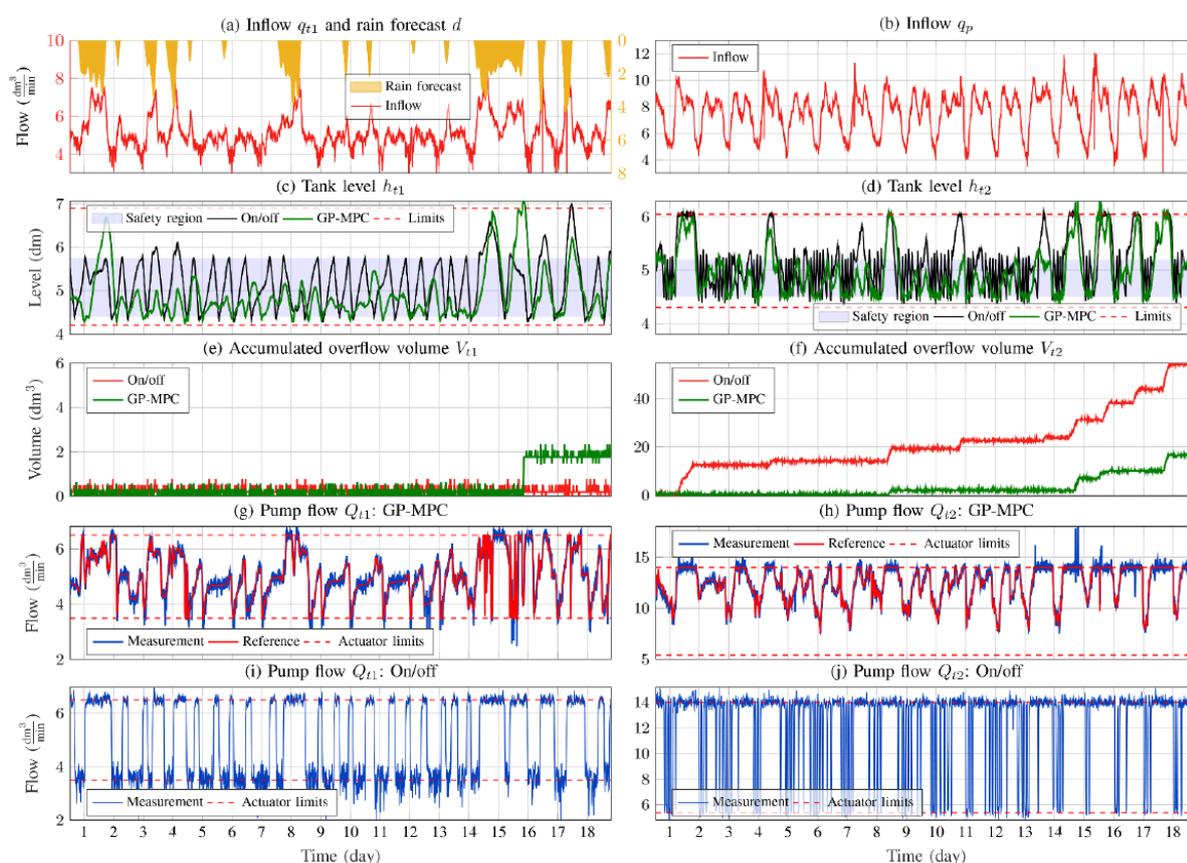
資料來源：Balla et al., 2022.

圖 3 智慧下水道實驗室模型示意圖

果如圖 4 所示，研究將 GP-MPC 模型與傳統常用的標準基線控制器 (standard baseline controller) 進行比較，結果顯示標準控制器因上下游抽水站未連結協作，導致多次產生溢流；而 GP-MPC 模型則因上游水位控制得宜，延遲下游洪峰讓系統避免產生溢流的情形。而研究中也發現智慧模型的限制，例如模擬上游站第 16 天仍發生溢流情形，可能原因為第 14 天的強降雨預測，短期的高不確定性導致系統表現的不穩定性，因此仍需要進一步研究提升系統穩定性。

二、美國水協會發表研究成果

美國水協會期刊收錄了美國應用智慧水務技術的研究成果指引，研究中主要為結合智能水管理與大數據分析技術，利用機器學習技術，提高逆滲透 (RO) 系統管理效能，包括能源、耗材 (化學品、濾心、膜材等) 與成本的管理。於 RO 系統管理議題上，降低薄膜結垢問題為主要研究標的之一，若能盡可能減少結垢產生，可降低化學清洗頻率亦可降低整體操作成本。在機器學習技術應用上，可設定特定水質水量參數對應緊急條件，在系統發生此條



資料來源：Balla et al., 2022.

圖 4 GP-MPC 在 18 天暴雨期間操作性能比較 (上游 (左) 與下游 (右) 抽水站)

件時，自動暫時降低回收率以減少可能的阻塞，藉此降低薄膜結垢產生。實務應用上重要議題為可讓系統自動化產生調整，或是僅提供經驗豐富操作人員警示或操作建議，目前大部分應用多介於兩者之間，但隨著驗證研究漸趨成熟，系統可提供的選項將更趨豐富。

除了降低薄膜結垢影響外，智慧水務技術也被廣泛應用於 RO 系統優化，常見優化目標可整理如表 1，雖然表中有些目標為互斥特性，但智慧水務系統可在使用者定義特定條件下，進行系統平衡優化以改善系統效能，例如在減少抗垢劑使用

下，可能會減緩系統的恢復過程，但在智慧水務系統的輔助下，可以針對此情形進行評估分析，可在維持系統設定效能前提下減少抗垢劑量的使用。而在數據持續累積分析下，智慧系統可在不增加成本的前提下，對營運的參數提供建議以提升系統效能，如化學品的使用量、化學清洗頻率等參數建議。

現有的智慧水務 RO 系統技術，大多以系統營運參數與結垢管理為基礎進行研究與應用，但在薄膜物化特性的部分，若能補充有關於結垢對薄膜材料之定量定性影響資訊，如有研究指出不同程度薄膜結

表 1 RO 系統優化目標範例

目標	功能目的
減少前處理化學品使用量	<ul style="list-style-type: none"> ● 降低操作成本 ● 改善設施安全 ● 降低化學品運送頻率 ● 達到永續發展目標
提升能源效率	<ul style="list-style-type: none"> ● 降低操作成本 ● 改善設施安全 ● 達到永續發展目標
強化回收率	<ul style="list-style-type: none"> ● 降低操作成本 ● 增加產水量 ● 達到永續發展目標
降低化學清洗頻率	<ul style="list-style-type: none"> ● 減少停機時間 ● 增加產水量 ● 降低操作成本 ● 延長薄膜壽命 ● 減少化學品使用量 ● 改善設施安全 ● 達到永續發展目標
降低操作成本	<ul style="list-style-type: none"> ● 符合預算目標

資料來源：Alspach et al., 2023.

垢對薄膜 Zeta 電位有顯著影響 (如圖 5) , 增加進一步薄膜特性資訊的建立將可有助於智慧系統分析與優化。

三、日本下水道協會發表研究成果

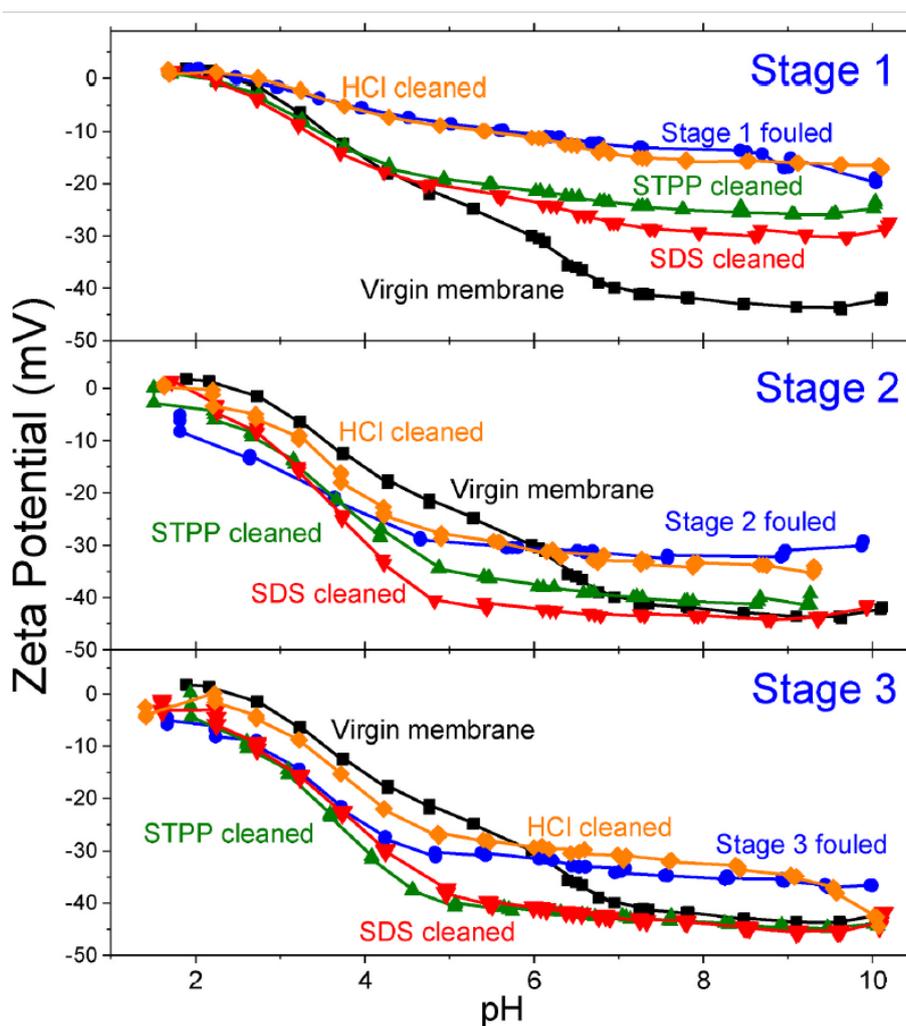
(一) 開發水廠管理系統

1. 特點與功能

為了優化風量控制和提高維護管理效

率，開發的控制系統具備以下三項功能：

- (1) 結合了前饋控制和反饋控制的風量控制功能，其同時擁有前饋控制和反饋控制的特點，能夠應對流入負荷的變動，實現對目標值的準確追蹤，從而穩定處理水質並抑制過度曝氣。
- (2) 微生物處理特性的可視化功能，其以處理特性為基礎，將兩個 $\text{NH}_4\text{-N}$



資料來源：Abada et al., 2022.

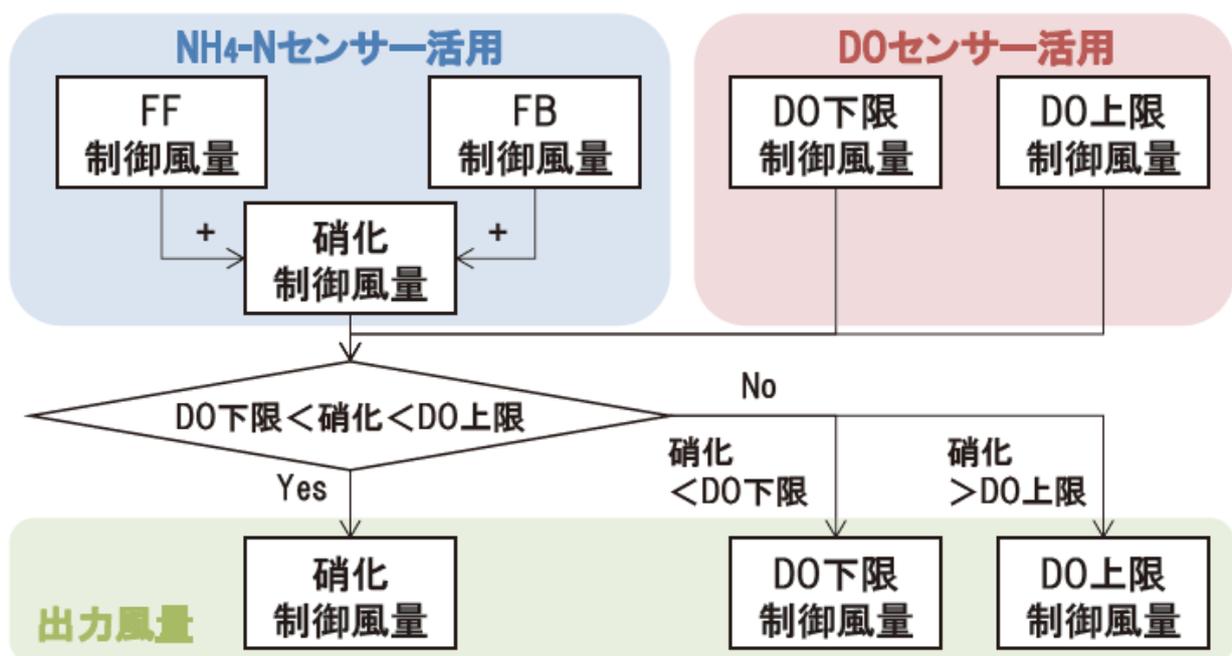
圖 5 不同程度薄膜結垢污損之 Zeta 電位測量

傳感器之間的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度減少量和累積風量之間的關係在圖表上繪製，並推導出近似方程式（即處理特性模型）。透過觀察圖表數據的分佈和處理特性模型的時間變化，可以及早發現處理異常等趨勢。

- (3) 風量計算模型的自動更新功能，定期更新處理特性模型，並將其應用於前饋控制中。這樣可以將最新的處理特性納入前饋控制中，自動維持控制精度。

2. 風量控制方式

開發的控制系統主要根據 $\text{NH}_4\text{-N}$ 傳感器進行風量控制，並結合了以往的經驗要素和穩定的運轉紀錄。為了將這些要素納入控制中，設定了 DO 下限值和 DO 上限值作為目標值，並同時計算 DO 下限控制風量和 DO 上限控制風量，然後選擇輸出風量（見圖 6）。例如，當流入負荷較低且硝化控制風量低於 DO 下限控制風量時，將選擇 DO 下限控制風量作為輸出風量。



資料來源：西田佳記等，2021。

圖 6 開發控制系統的風量計算模型概念圖

(1) 利用 NH₄-N 傳感器進行控制

A. 前饋控制和反饋控制概述

圖 7 顯示了前饋控制和反饋控制的概要。在前饋控制中，使用好氧池上游反應池或最上游好氧池的第一台 NH₄-N 傳感器來計算前饋控制風量。在反饋控制中，為了減少控制延遲時間，使用比好氧池末端或最終沉澱池更上游的好氧池中間的第二 NH₄-N 傳感器來計算 FB 控制風量。以下，將第二台 NH₄-N 傳感器的位置作為分界線，將上游好氧池和下游好氧池劃分為兩部分。

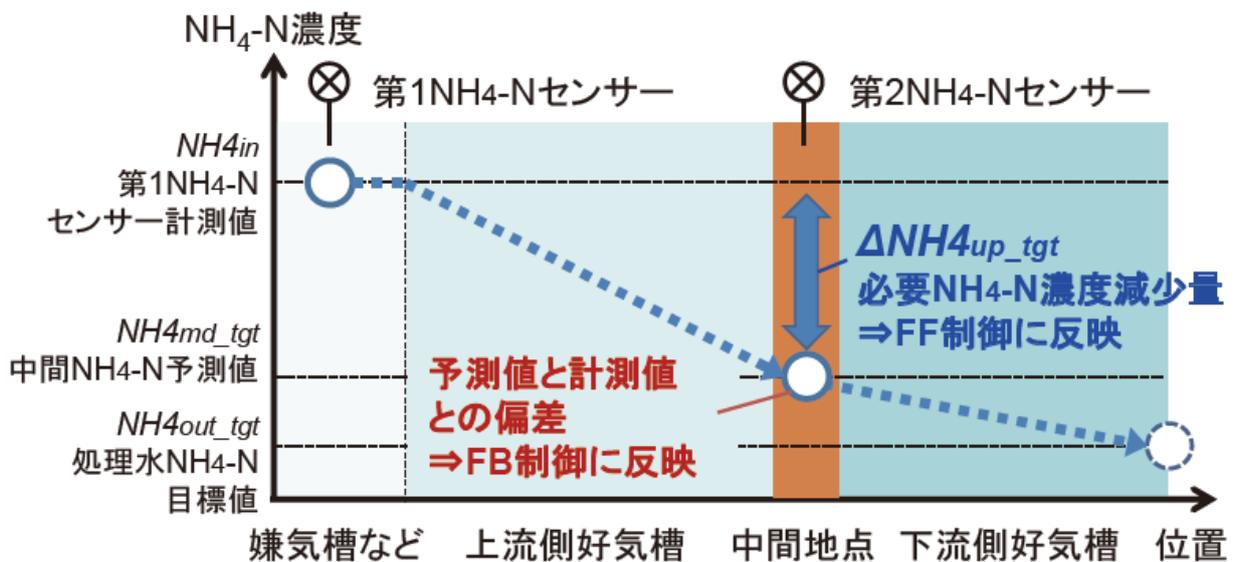
在前饋控制和反饋控制中，根據第一 NH₄-N 傳感器的測量值，設定在好氧池中間位置達到處理水 NH₄-N 目標值之前

的應到達 NH₄-N 濃度（中間 NH₄-N 預測值）（參見方程式(1)和(2)）。中間處理率 R_{up} 是一個調整參數，根據槽容積和風量分配，估計上游好氧池和下游好氧池 NH₄-N 濃度減少量的比率並進行設定。需要注意的是，透過較高設置中間處理率，可以降低中間 NH₄-N 預測值，從而達到處理水 NH₄-N 目標值。

$$NH_{4md_tgt}(t) = NH_{4in}(t) - \Delta NH_{4up_tgt}(t) \dots \dots \dots (1)$$

$$\Delta NH_{4up_tgt}(t) = R_{up} \cdot (NH_{4in}(t) - NH_{4out_tgt}(t)) \dots \dots \dots (2)$$

$NH_{4md_tgt}(t)$ [mg-N/L]表示中間 NH₄-N 預測值， $NH_{4in}(t)$ [mg-N/L]表示第一 NH₄-N 傳感器的測量值， $\Delta NH_{4up_tgt}(t)$ [mg-N/L]表示所需 NH₄-N 濃度的降低值量， $R_{up}[-]$ 表示中間處理率， $NH_{4out_tgt}(t)$



資料來源：西田佳記等，2021。

圖 7 前饋控制·反饋控制及控制目標值的概述

[mg-N/L]表示處理水的 NH₄-N 目標值。
(t)表示 t 時刻的值，並在後續說明。

B. 前饋控制風量的計算方法

在前饋控制中，為了充分供應所需的氨氮濃度減少量 ΔNH_{4up_tgt} 所需的風量（以下稱為必要累積風量），需要在上游的好氧槽中供應已經提供的累積風量，並計算剩餘停留時間內應該供應的風量。計算方法如下：首先，假設兩個 NH₄-N 傳感器之間的反應槽每單位時間內進入的活性污泥混合液被虛擬地看作一個流體塊，並保存表 2 中所示的 NH₄-N 濃度和風量的資訊。表 2 中的必要累積風量 $V_{B_tgt_1}$

(t)根據處理特性模型（式 3）計算得出。

$$V_{B_tgt_1}(t) = a \cdot \Delta NH_{4up_tgt_i}(t) + b \dots \dots \dots (3)$$

$\Delta NH_{4up_tgt_i}(t)$ [mg-N/L]表示流體塊 i 的必要 NH₄-N 濃度減少量，a、b 為係數。公式(3)考慮了硝化和有機物氧化所需的風量，並將係數 b 反映為進流水質和處理目標無關的內生呼吸所需的風量。

接下來，根據公式(4)計算從上游的好氧槽流入時間 t_{0_i} 到當前時間 t 為止所供應的累積風量 $V_{B_i}(t)$ 。其中，風量分配密度 $D(X_i(t))$ 是表示風量在上游的好氧槽中分配比例的函數，將整個上游的好氧槽

表 2 在反饋控制風量計算中保留流體塊 i 的相關資訊

流體塊資訊	標號	單位	i=1 (最上游)	i ≥ 2 (最上游以後)	備註
長度	$L_i(t)$	m	$(Q_{all}(t) \cdot \Delta t)/S$	$L_{i-1}(t-\Delta t)$	Q_{all} [m ³ /h] 反應槽流入污水量 Q_{in} [m ³ /h] 回流污泥量 Q_r [m ³ /h] 循環污泥量 Q_c [m ³ /h] 反應槽斷面積 S [m ²] 控制週期 Δt [h] 第一 NH ₄ -N 傳感器測量值 NH_{4in} [mg/L] 中間處理率 R_{up} [-] 處理水 NH ₄ -N 目標值 NH_{4up_tgt} [mg/L] 處理特性模型的斜率 a [m ³ /(mg/L)] 處理特性模型的 y 截距 b [m ³]
位置 (起點：第一 NH ₄ -N 傳感器)	$X_i(t)$	m	$L_1(t)$	$X_{i-1}(t-\Delta t) + X_1(t)$	
流入 NH ₄ -N	$NH_{4in_i}(t)$	mg/L	$NH_{4in}(t)$	$NH_{4in_i-1}(1-\Delta t)$	
必要 NH ₄ -N 濃度減少量	$\Delta NH_{4up_tgt_i}(t)$	mg/L	$R_{up} \cdot (NH_{4in}(t) - NH_{4out_tgt})$	$\Delta NH_{4up_tgt_i-1}(t-\Delta t)$	
中間 NH ₄ -N 預測值	$\Delta NH_{4md_tgt_i}(t)$	mg/L	$NH_{4in}(t) - \Delta NH_{4out_tgt_1}(t)$	$NH_{4md_tgt_i-1}(t-\Delta t)$	
必要累積風量	$V_{B_tgt_i}(t)$	m ³	$a \cdot \Delta NH_{4up_tgt_1}(t)$	$V_{B_tgt_i-1}(t-\Delta t)t$	

的分配比例平均值設為 1。

$$V_{B_i}(t) = \int_{t_{0,i}}^t QB_{up}(t) \cdot D(X_i(t)) \cdot \frac{L_i(t)}{L_{up}} dt \dots\dots\dots(4)$$

$VB_i[m^3]$ 表示流體塊 i 在時刻 t 之前的累積風量， $QB_{up}(t)[m^3/h]$ 表示供應至上游好氧槽的曝氣風量， $D(X_i(t)) [-]$ 表示位置 $X_i(t)$ 的風量分配密度， $L_{up}[m]$ 表示上游好氧槽的總長度， $L_i(t) [m]$ 表示流體塊 i 的長度。

將必要累積風量 $V_{B_tgt_i}(t)$ 與累積風量 $V_{B_i}(t)$ 之差除以預測滯留時間到第二 NH_4-N 傳感器位置的值，即為應該供應給流體塊 i 的單位時間風量。這些值在式(5)中進行總計，並在式(6)中轉換為整個好氧槽的風量，成為反饋控制風量 $QB_{FF}(t+\Delta t)$ 。

$$QB_{up_tgt}(t+\Delta t) = \sum_{i=1}^N \frac{V_{B_tgt_i}(t) - V_{B_i}(t)}{S \cdot (L_{up} - X_i(t)) / Q_{all}(t)} \dots\dots\dots(5)$$

$$QB_{FF}(t+\Delta t) = QB_{up}(t+\Delta t) / D_{up} \dots\dots\dots(6)$$

$QB_{up_tgt}(t+\Delta t)[m^3/h]$ 表示應該供應給上游好氧槽的風量， $N[-]$ 表示流體塊的數量， $Q_{all}(t)[m^3/h]$ 表示進入反應槽的污水流量、回流污泥量和循環水量的總和， $QB_{FF}(t+\Delta t)[m^3/h]$ 表示反饋控制風量， $D_{up}[-]$ 表示上游好氧槽風量佔整個好氧槽的比例。

C. 反饋控制風量的計算方法

反饋控制風量是基於 PI 控制，用於修正位於第二 NH_4-N 傳感器位置的流體

塊 N 的中間 NH_4-N 預測值 $NH_{4md_tgt_N}(t)$ 與第二 NH_4-N 傳感器的實際測量值之間的偏差而計算的。

D. 硝化控制風量計算方法

硝化控制風量的計算方法是將前饋控制風量和反饋控制風量分別加權相加，根據公式(7)進行計算。公式(7)中的前饋控制比率 α 是權重係數，在實證實驗中設置為 0.5。

$$QB_{NF}(t+\Delta t) = \alpha \cdot QB_{FF}(t+\Delta t) + (1-\alpha) \cdot QB_{FB}(t+\Delta t) \dots\dots\dots(7)$$

$QB_{NF}(t+\Delta t) [m^3/h]$ 表示硝化控制風量， $\alpha[-]$ 表前饋控制比率($0 \leq \alpha \leq 1$)。

3. 處理特性模型的推導與更新方法

處理特性模型是根據過去特定時間段的實際數據，對於兩個 NH_4-N 感測器之間的 NH_4-N 濃度減少量和累積風量進行近似的一次函數模型。該模型以固定週期進行更新。 NH_4-N 濃度減少量是指到達第二 NH_4-N 感測器位置的流體塊 N ，考慮時間延遲，透過計算第一 NH_4-N 感測器測量值和第二 NH_4-N 感測器測量值之間的差異得出。累積風量則是根據公式(4)計算，表示到達第二 NH_4-N 感測器位置的累積風量。

處理特性模型的導出可以根據特定目的應用任意期間的實際數據。例如，在實證實驗中的前饋控制中，考慮到週間變

動，以最近一週的實際數據作為充足的數據量，每天更新一次處理特性模型（用於前饋控制）。此外，在本論文中關於處理特性模型的研究中，為了精確評估處理特性的變化，使用根據每天實際數據的處理特性模型（用於變化評估）。

(二) 開發控制系統的實證方法

1. 實證實驗

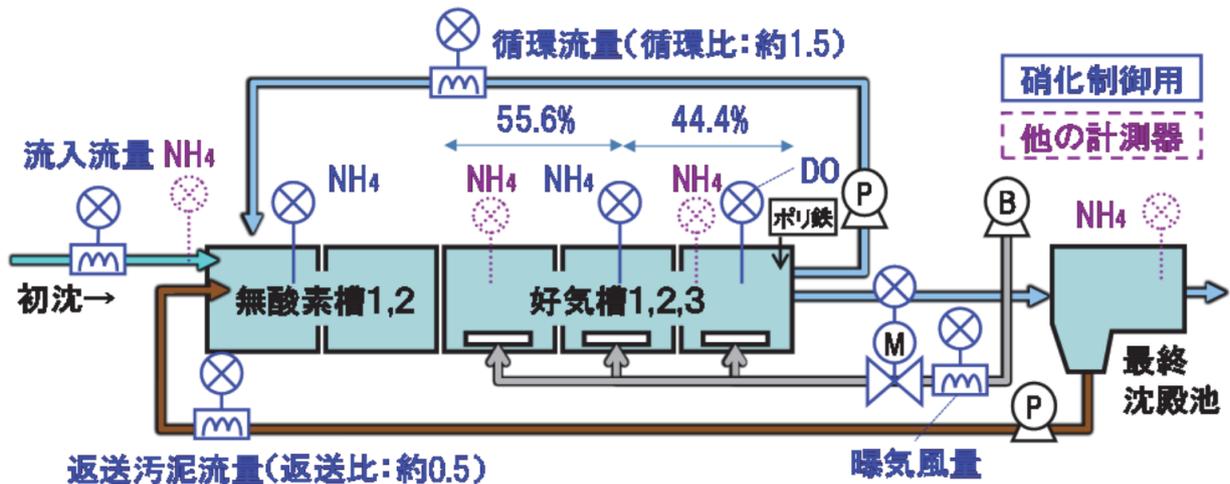
(1) 概要

開發控制系統是根據日本國土交通省的下水道革新技術實證計畫（簡稱 B-DASH 計畫）中的「利用 ICT 實現高效硝化運營控制的技術實證研究」（2014 年至 2015 年），以及自主研究期間（2016 年）進行實證。在實證實驗中，設定了控制水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度（在實證期

間的平均值）控制在 1.0 mg-N/L 以下的目標，同時相較於 DO 恆定控制，目標是實現 10% 以上的風量減少。

(2) 實證設施

在實證實驗中，選擇了茨城縣流域下水道事務所霞ヶ浦淨化中心的處理系統中，具有相同凝聚劑併用循環式硝化反硝化、流入水量和 MLSS 濃度相似的第 5 池和第 6 池進行實證系列和對照系列的比較實驗。圖 8 顯示了第 5 池實證設備的配置，該設備採用了開發控制系統，包括各種流量計、溶氧測量儀、第一 $\text{NH}_4\text{-N}$ 傳感器（厭氧槽 1）以及安裝在好氧槽 2 中離起始端 55.6% 位置處的第二 $\text{NH}_4\text{-N}$ 傳感器。對照系列的第 6 池則繼續採用 DO 恆定控制（好氧槽 3 的 DO 目標值： 2.0 mg/L ），以達到處理水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度低於 0.1 mg-N/L 的目標。



資料來源：西田佳記等，2021。

圖 8 實證設備的架構（實證系列：第 5 池）

(3) 運轉條件

根據實證系列 (第 5 池) 的操作條件, 如表 3 所示。平均值除了 B-DASH 計畫的目標值為 1.0 mg-N/L 外, 還設定了多個處理水 NH₄-N 目標值, 包括與對照組相同的 0.1 mg-N/L, 並評估其控制效果。值得注意的是, 在實證實驗中, 為了穩定實現處理水 NH₄-N 目標值, 中間處理率 R_{up} (式(2))被設置為 0.79 作為標準。然而, 為了提高風量削減率, 也進行了將中間處理率設置為控制參數的驗證, 例如降低設定值等。

2. 處理特性模型的討論

在本論文中, 對於處理特性模型的研究考慮了可視化處理能力的功能, 包括顯示處理效果數據和追蹤處理特性模型的變

化, 對於檢測處理異常是否有效。同時, 透過模型自動更新功能, 驗證處理特性模型是否能隨著水溫變化等因素的需要風量增減而相應變化。在驗證過程中, 將處理特性模型計算值作為處理特性風量, 並定義為對於特定 NH₄-N 濃度減少量所需的風量, 這成為衡量處理特性模型變化的定量指標。

(1) 處理特性模型的影響因子

表 4 中列出影響處理時所需風量和從處理特性模型計算得出的處理特性風量的因素。根據初次沉降出水的 NH₄-N 濃度和 MLSS 濃度的增加, 以及水溫的降低, 所需風量會增加, 從而使處理特性風量增大。此外, 如圖 9 所示, 由於 NH₄-N 傳感器測量誤差的影響, 表面上的 NH₄-N

表 3 實證實驗的運轉條件及控制結果的總結(實證系列、平均值)

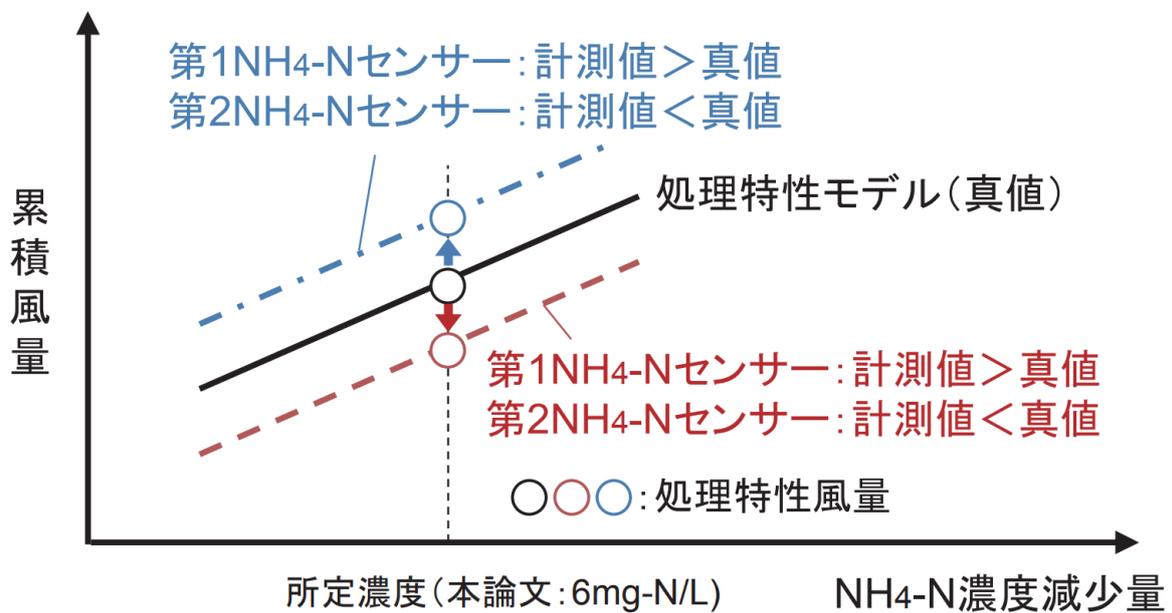
年	Run	期間	水溫	HRT	MLSS	中間處理率設定值	DO(mg/L)			NH ₄ -N(mg-N/L)			風量削減率 (%)	備考
							上限設定值	下限設定值	實測值	初沉流出水	處理水目標值	實測值		
2015	1	1/27-4/24 (76 日)	18.9	12.0	2,261	0.77-0.92	2.5	0.5	0.62	19.3	1.0	0.4	18.9	-
	2	4/25-5/27 (18 日)	22.9	13.6	2,062	0.79-0.85	2.5	0.5	0.74	21.6	0.5	0.20	23.0	-
	3	5/28-7/15 (41 日)	24.3	14.2	2,203	0.74-0.90	2.5	0.5	0.85	18.2	0.1	0.09	12.9	處理系列從 12 池增加到 13 池
	4	7/18-12/31 (98 日)	24.3	14.8	2,304	0.65-0.81	2.5	0.5 - 0.3	0.52	19.8	1.0	0.33	16.9	因 13 池運轉降低負荷量, DO 下限值降低(8/4)
2016	5	1/1-2/3 (19 日)	19.2	14.7	2,396	0.79	2.5	0.3	0.70	23.	2.0	1.19	20.2	-
	6	2/4-3/11 (9 日)	19.0	14.2	2,451	0.79	2.5	0.3	1.45	21.1	1.0	0.65	9.9	-
	7	3/12-3/31 (20 日)	19.	15.1	2,95	0.79	2.5	0.3	1.27	19.0	0.5	0.44	11.0	NH ₄ -N 傳感器誤差導致處理水濃度上升(圖-9)
	8	4/1-12/5 (91 日)	25.2	14.9	2,209	0.68-0.84	2.5	0.3	0.72	18.4	1.0	0.48	17.7	-
2017	9	1/6-1/24 (17 日)	19.0	15.3	2,209	0.68	2.5	0.3	0.75	22.6	1.0	0.72	21.0	-
10	3/4-3/31 (26 日)	19.2	16.3	2,070	0.73-0.76	2.5	0.3	0.54	25.2	0.5	0.62	28.1	-	

資料來源: 西田佳記等, 2021。

表4 處理時所需風量與處理特性風量的影響因子

影響因子	處理時所需風量與處理特性風量的影響
水溫	當水溫降低時，微生物的活性會下降，因此需要的風量會增加。
初沉流出水 NH ₄ -N 濃度	當 NH ₄ -N 濃度升高時，有機物濃度也會增加，需要用於有機物氧化的風量會增加。
MLSS 濃度	當 MLSS 濃度升高時，內生呼吸所需的風量也會增加。
NH ₄ -N 傳感器誤差	表面上的 NH ₄ -N 濃度減少量（實際值）會發生變化，導致處理特性風量與實際值不一致。

資料來源：西田佳記等，2015。



資料來源：西田佳記等，2021。

圖9 因 NH₄-N 傳感器誤差，導致處理特性模型的變化

濃度減少量也會發生變化。例如，如果第一 NH₄-N 傳感器的測量值大於實際值，則預計處理特性風量將小於實際值。值得注意的是，在 B-DASH 計畫期間，根據 NH₄-N 傳感器校正時手動分析值和傳感器測量值之間的誤差關係推導出近似直線，測量誤差為手動分析值的平均值的 10% + 0.2 mg-N/L，並且測量值傾向於大於手動分析值。

(2) 各因子對處理特性模型的影響度評估

為了定量複數因子對處理特性模型的影響度，進行了多元迴歸分析，將目標變數設定為處理特性風量，解釋變數為表 4 中列出的各因子，並計算出標準偏迴歸係數。

目標變數處理特性風量是以預定的 NH₄-N 濃度減少量為 6 mg-N/L，輸入處理特性模型 (公式(3)) 計算而得。在實證中的前饋控制中，使用根據一週的實際數據建立的處理特性模型 (用於前饋控制)，而在本次評估中，使用根據一天的實際數據建立的處理特性模型 (用於變動評估)。

解釋變數中除了 NH₄-N 傳感器測量誤差外，其他因子都使用每日的平均值。NH₄-N 傳感器測量誤差根據公式(10)計算，將手動分析值視為實際值，計算測量誤差率，然後根據公式(11)假設測量誤差率在校正間隔期間內呈線性變化，根據距

離上次校正的天數進行線性插值計算。同時，對於流入停止等難以進行適當評估的期間進行排除。

$$NHA_{err_cal} = (NH_{4m} - NH_{4t}) \cdot 100 / NH_{4t} \dots(10)$$

$$NHA_{err_i} = (i/k) \cdot NHA_{err_cal} \dots\dots\dots(11)$$

NH_{4err_cal} [%]表示校正時的測量誤差率，NH_{4m}[mg-N/L]表示校正時的測量值，NH_{4t}[mg-N/L]表示校正時的手動分析值，NH_{4err_i}[%]表示從校正日起 i 天後的估計測量誤差率，k[d]表示校正間隔。

(三) 開發控制系統的實證結果

1. 開發控制系統的控制結果

作為開發控制系統的控制結果示例，下圖 10(a)和(b)分別顯示了 2015 年 11 月 16 日至 12 月 23 日 (Run 4 的一部分) 的 NH₄-N 濃度、曝氣風量和 DO 濃度的變化。在實證系列中，對於初沉流出水的 NH₄-N 濃度變動，我們控制處理水的 NH₄-N 濃度以平均值為目標，使其低於目標值，同時相對於對照系列減少了曝氣風量。此外，透過與 DO 下限控制的結合，DO 濃度沒有明顯低於 0.3 mg/L 的下限值。

實證實驗結果如表 3 所示。首先，關於評估目標為 B-DASH 計畫下的處理水 NH₄-N 目標值為 1.0 mg-N/L 的結果，在 2015 年度評估期間 (Run 4 : 98 天) 的平均值中，處理水 NH₄-N 濃度為

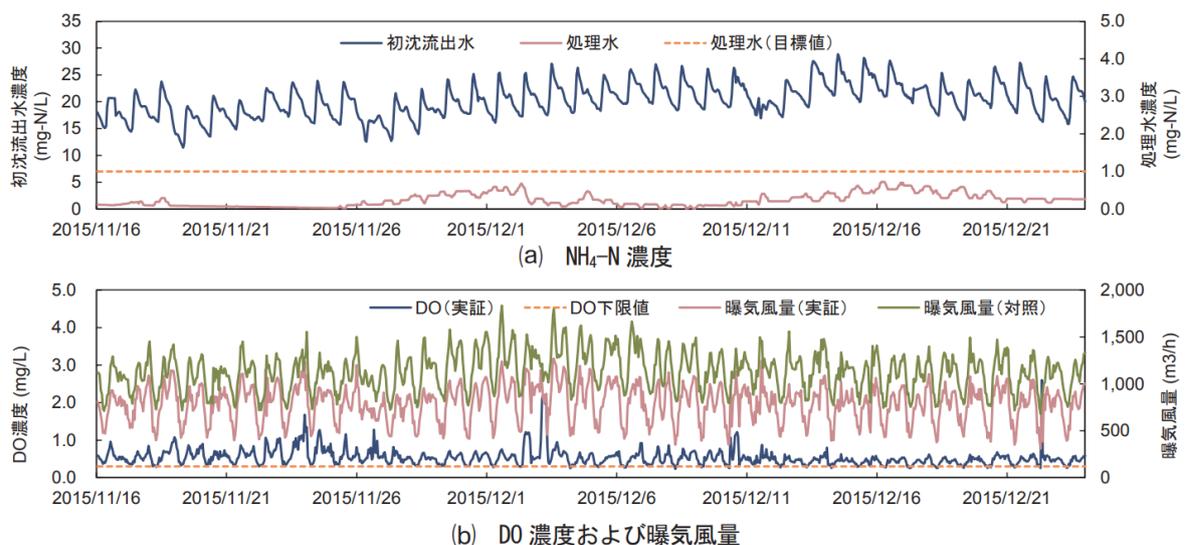
0.33 mg-N/L (標準偏差為 0.32 mg-N/L) , 風量削減率為 16.9% (目標: 10% 以上) , 成功實現了目標。整個實證實驗包括自主研究期間 (Run 1, 4, 6, 8, 9 , 共計 291 天) , 處理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度為 0.43 mg-N/L (標準偏差為 0.37 mg-N/L) , 風量削減率為 17.7%。此外, 對於模擬處理場 (處理規模為 50,000 m^3/d , 循環式硝化脫氮法, DO 恆定控制) 的案例研究結果顯示, 2015 年度的實證成果 (風量削減率 16.9%) 相當於消耗電力量減少了 12.9% (国土技術政策総合研究所, 2016)。

在其他處理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標值的控制結果方面, 對於設定為 0.1 mg-N/L (與

對照組相同) 的 Run 3 , 透過風量調節實現了 12.9% 的風量削減率。此外, 比較將處理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標值設定為 0.5 mg-N/L 的 Run 2、7 和 10 , 可以觀察到 Run 10 在較低的中間處理率下運行。由此結果, 儘管初沉流出水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度上升或傳感器測量誤差導致超過目標值的數據, 但仍能將平均處理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度控制在接近目標值的範圍內, 同時增加風量削減率。

2. 對照結果討論

為了討論開發的控制系統的控制結果, 分析了在指定操作條件下的實驗結果 (處理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 目標值: 1.0 mg-N/L , DO 下限: 0.3 mg/L , 中間處理

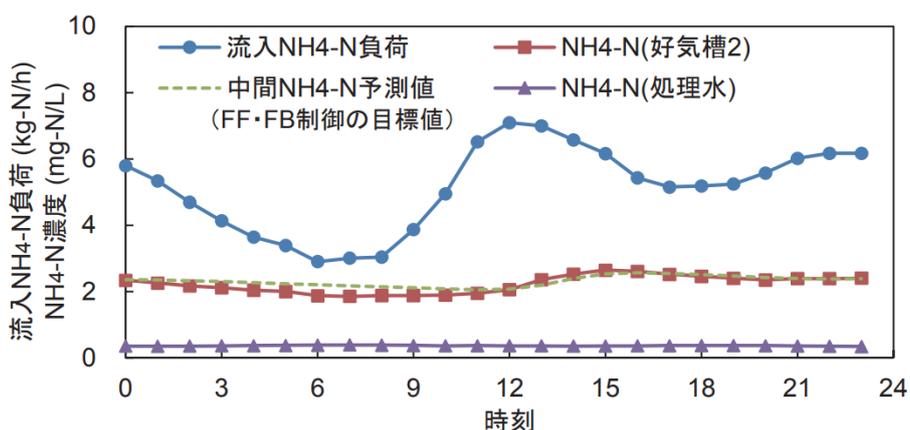


資料來源: 西田佳記等, 2021。

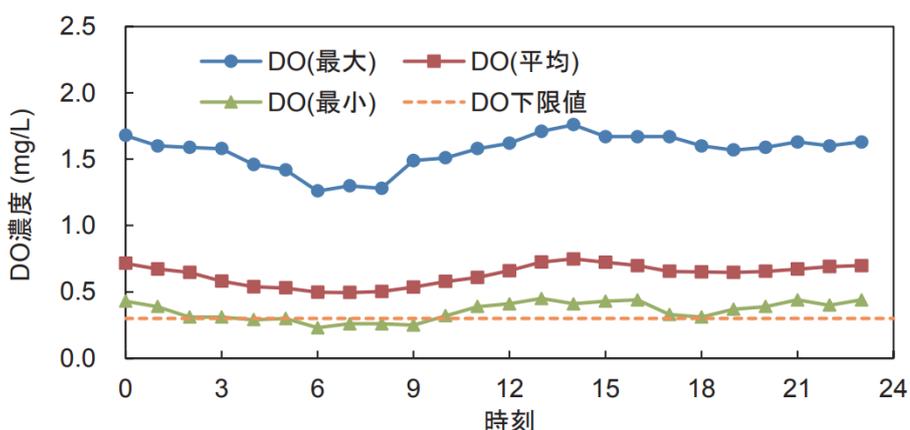
圖 10 使用開發的控制系統連續運行的結果

率：0.79)。圖 11 顯示了進水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度和中間 $\text{NH}_4\text{-N}$ 預測值（前饋控制和反饋控制的目標值）。進水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷在 8 點至 12 點之間有明顯變化，但透過結合前饋控制和反饋控制，好氧槽 2 的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度跟隨中間 $\text{NH}_4\text{-N}$ 預測值，處理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度在時間上基本保持穩定的水質。在進水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷較低的 4 點至 9 點之間，觀察到與中間

$\text{NH}_4\text{-N}$ 預測值之間的偏差，這是由於硝化控制風量的降低導致 DO 下限控制風量的輸出時間較多。事實上，從圖 11(b) 的 DO 濃度結果（包括每個時間點的最大值和最小值）可以看出，在 4 點至 9 點期間，DO 濃度下降，但並未明顯低於 DO 下限值。這是因為根據處理場的運營經驗設置了 DO 下限控制風量，防止了過度低的 DO 運營，並有助於確保處理的穩定



(a) 流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、中間 $\text{NH}_4\text{-N}$ 預測值



(b) DO 濃度 (DO 下限值：0.3 mg/L)

資料來源：西田佳記等，2021。

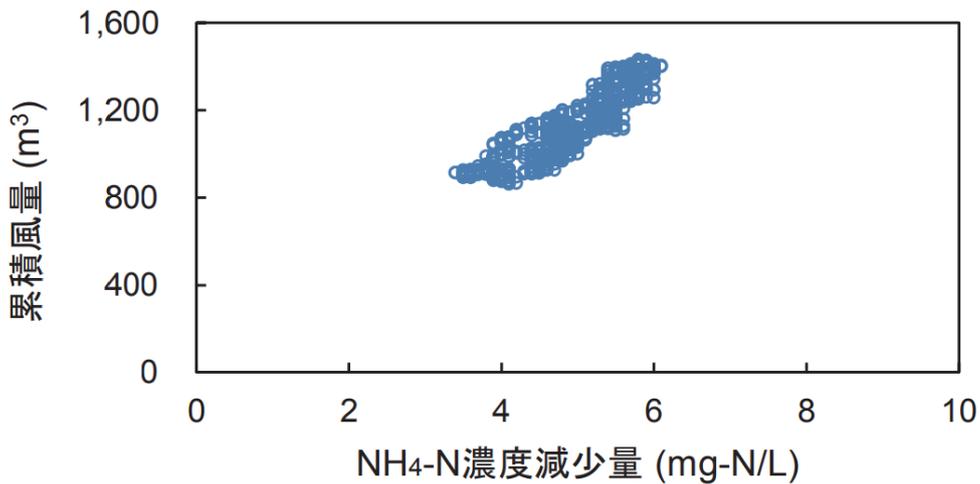
圖 11 實證實驗 (2015 年 1 月至 2017 年 3 月) 的時間平均值 (目標值 1.0 mg-N/L，中間處理率 0.79)

性。從以上結果可以確認，透過組合使用 NH₄-N 傳感器的前饋控制和反饋控制以及 DO 下限控制，可以實現穩定的處理水質。

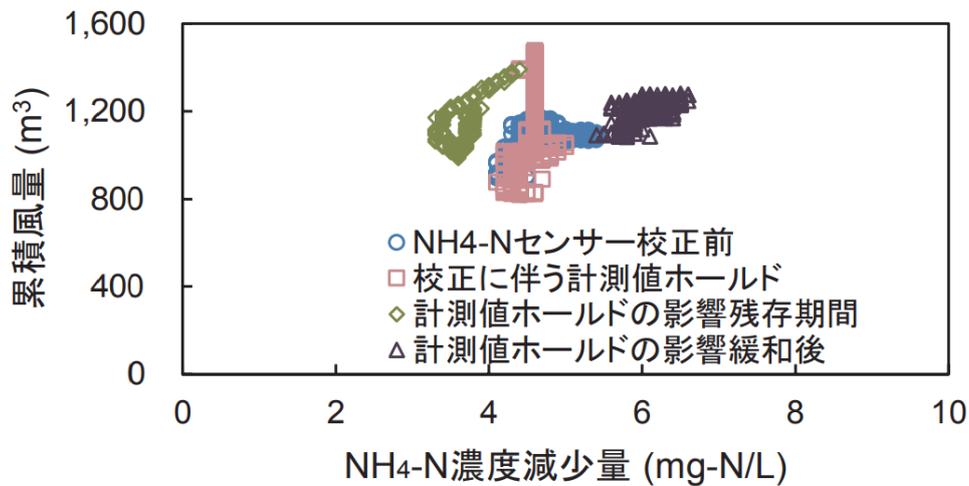
3. 處理特性模型的研究結果

(1) 透過顯示實際處理值檢測處理異常

以實證實驗中的兩個運營日為例，在圖 12 中將 NH₄-N 濃度的每分鐘減少量和累積風量的實際數值繪製出來。圖 12 (a)是正常運營日的結果示例，可以看出 NH₄-N 濃度的減少量與累積風量成比例增加。另一方面，圖 12(b)是異常數據的示例，顯示了 NH₄-N 傳感器校正日的結果（未反應在處理特性模型（前饋控制



(a) 通常の運転日 (2015/12/1)



(b) NH₄-N センサー校正日 (2015/12/10)

資料來源：西田佳記等，2021。

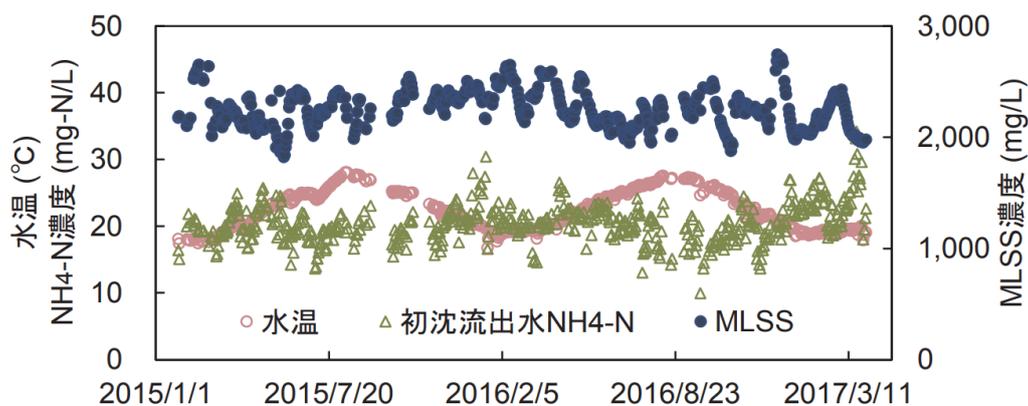
圖 12 NH₄-N 處理實際數值的繪圖示例

用) 中)。這些數據呈現出與正常範圍明顯偏離的分布，包括測量值保持期間等與校正相關的因素。透過將涉及 $\text{NH}_4\text{-N}$ 處理的實際數值繪製並顯示，可以識別出與正常情況不同的數值分布，有助於早期檢測處理異常情況。

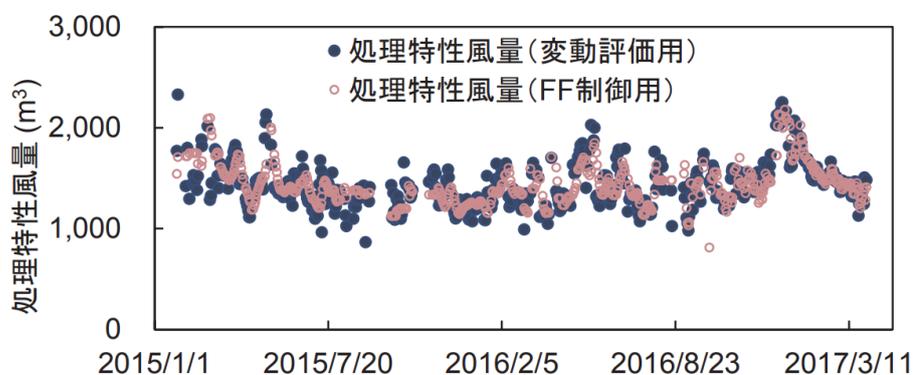
(2) 處理特性模型的時間變化

在實證實驗中，水溫、初沉出水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、MLSS 濃度和處理特性風量的每日平均值的變化趨勢如圖 13 所

示。在約兩年的實驗期間，由於季節和流入條件的變化，每個指標都有所波動。此外，在圖 13(b)中，除了根據處理特性模型(變動評估用)的處理特性風量外，還顯示了根據處理特性模型(前饋控制用)的處理特性風量。雖然數據建立的時間間隔為 1 天和 1 週，但特性變化的過渡期並不劇烈，趨勢基本一致。在後續的驗證中，將使用根據處理特性模型(變動評估用)的處理特性風量。



(a) 水溫、初沉流出水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、MLSS 濃度



(b) 處理特性風量

資料來源：西田佳記等，2021。

圖 13 實證實驗過程中各因素及處理特徵風量的波動

根據表 4 所示的影響因素，為評估其對處理特性模型（用於變動評估）的影響程度，進行了以處理特性風量作為目標變數的多元迴歸分析，結果如表 5 所示。觀察每個項目的標準偏迴歸係數，與表 4 和圖 9 中的假設一致，水溫和第一氨氮(NH₄-N)傳感器的測量誤差的標準偏迴歸係數為負值，而 MLSS 濃度和第二 NH₄-N 傳感器的測量誤差的標準偏迴歸係數為正值。在所考慮的影響因素中，第一 NH₄-N 傳感器的測量誤差的標準偏迴歸係數，也就是影響程度較大。然而，在初沉流出水的 NH₄-N 濃度方面，其 P 值超過了常見的 5% 標準，因此沒有顯著的影響。隨著 NH₄-N 濃度的增加，有機物濃度會上升，進而增加所需風量，但由於硝化液循環、污泥回流的稀釋效應以及脫氮消耗，流入有機物濃度對系統的影響得到了緩解。另外，各因素之間的相關性大小

由方差膨脹因子(VIF : Variance Inflation Factor)表示，其值小於 2，表示多重共線性較小。

根據表 5，推測第一氨氮(NH₄-N)傳感器的測量誤差對於處理特性模型（處理特性風量）的影響較大。以 Run 7（2016 年 3 月 12 日至 31 日）為例，該時期第一 NH₄-N 傳感器由於電極劣化而導致測量誤差增加，圖 14 顯示了第一 NH₄-N 傳感器測量值和處理特性風量的變化。從 3 月 17 日開始，無氧槽 1 中的 NH₄-N 濃度逐漸上升，但是無法單獨判斷是由於流入（初沉流出水）NH₄-N 濃度的增加還是由於傳感器的測量誤差。然而，觀察處理特性風量，其值下降，根據表 5 的結果，標準偏迴歸係數為負值且絕對值較大，可以懷疑第一 NH₄-N 傳感器的測量誤差是造成下降的原因。在此示例

表 5 各因子對處理特性模型的影響度評價結果

項目	標準偏迴歸係數	標準偏差	t 值	p 值
水溫	-0.24	0.04	-5.90	0.00
初沉流出水 NH ₄ -N 傳感器誤差	0.00	0.04	0.10	0.92
MLSS 濃度	0.11	0.04	2.89	0.00
第一 NH ₄ -N 傳感器誤差	-0.42	0.04	-11.6	0.00
第二 NH ₄ -N 傳感器誤差	0.14	0.04	3.63	0.00

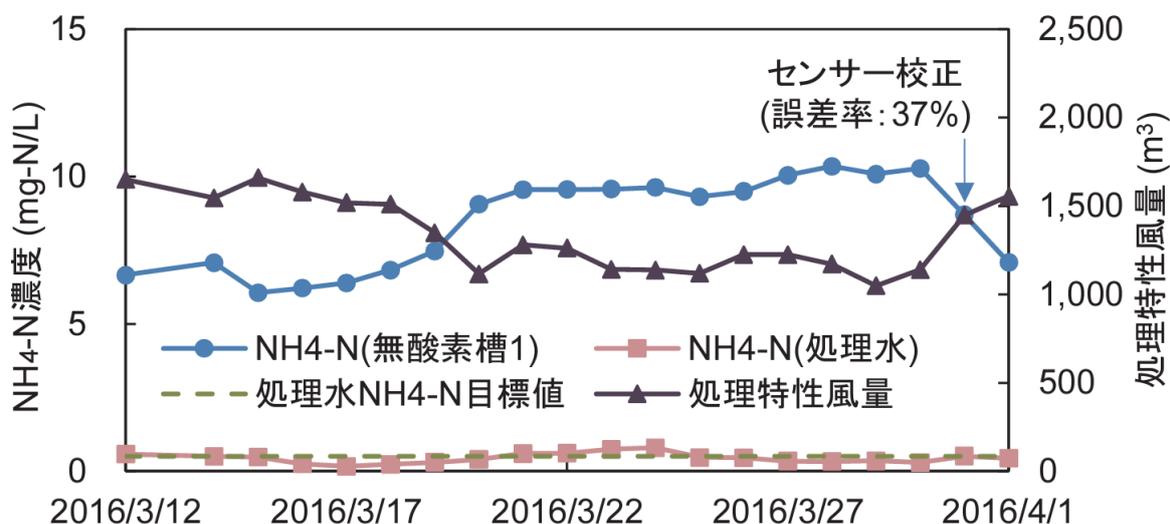


圖 14 NH₄-N 濃度傳感器測量值與處理特性風量的變動

中，校正時（3 月 31 日）的測量誤差率實際上達到了 37%，並且該期間中間處理率設定為 0.79，因此隨著 NH₄-N 傳感器的測量誤差，處理水的 NH₄-N 濃度上升，但平均濃度 0.44 mg-N/L 可以控制在目標值 0.5 mg-N/L 以下（參見表 3）。

從上述結果可以看出，處理特性模型受到 NH₄-N 濃度傳感器的測量誤差影響較大。因此，根據處理特性可視化功能的處理實際成果值的分佈以及處理特性模型（處理特性風量）的監控，可以被用於檢測 NH₄-N 濃度傳感器的異常等。此外，在實證實驗中，受到水溫和 MLSS 濃度的影響，NH₄-N 處理所需的風量會增減，推測處理特性模型也會發生變化。

肆、結語

本研究彙整國際對應用智慧水管理技術於下水道系統提升效能最新研究進行彙整，國際水協會發表研究針對應用人工智慧學習技術，進行下水道系統流量管理研究，可利用感測器布設結合人工智慧模型，依據雨量與流量資料協作上下游抽水站聯合操作，於暴雨事件衝擊下最佳化水站之操作，將系統溢流情形降到最低，降低地區淹水災害發生之機率。美國水協會發表研究應用智慧水管理技術，來優化現有逆滲透處理系統，可以達到減少薄膜結垢與系統優化的目標，而其降低薄膜清洗與化學品使用頻率，也有助於優化水廠營運成本。日本下水道協會發表研究應用智慧水管理系統來優化鼓風機的節能操作，以提昇氨氮處理效能為目標，更節能的操作下提昇效能。研究並以霞ヶ浦淨化中心驗證技術之可行性，在氨氮出流濃度 1mg-N/L、減少風量 10%目標下，成功

獲得處理效能提升的效果，平均氨氮濃度可降至 0.33 mg-N/L 並達成節電 12.9% 之效果。藉由國際最新相關研究的整理，可作為臺灣未來下水道系統提升管理效能之重要參考。

參考文獻

1. 日本下水道協會：下水道統計（平成28年度版）（2019）。
2. 西田佳記, 山野井一郎, 中村信幸, 片倉洋一, 辻井優樹, 道中敦子, 2021。ICTを活用した効率的な硝化運転制御システムの実証。下水道協会誌 58 卷 702 号, p. 78-86。
3. 西田佳記・山野井一郎・武本剛・中村信幸・豊岡健司・小泉洋人・道中敦子, 2015。アンモニア計を活用した効率的な硝化制御システムの実証研究・Vol.20・No.2/3・pp.31-35。
4. 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル（案）（概要版）（2019）。
5. 国土技術政策総合研究所, 2016。国総研資料第 938 号B-DASH プロジェクトNo.14 ICT を活用した効率的な硝化制御技術導入ガイドライン（案）。
6. 國發會, 2022。十二項關鍵戰略。
7. Abada, B., Safarik, J., Ishida, K. P., & Chellam, S. (2022). Surface characterization of end-of-life reverse osmosis membranes from a full-scale advanced water reuse facility: Combined role of bioorganic materials and silicon on chemically irreversible fouling. *Journal of Membrane Science*, 653, 120511.
8. Alspach B., Abada B., & Chellam S. (2023). The Future of Reverse Osmosis Optimization, Part 1: Intelligent. *Journal of American Water Works Association*, January/February, p. 42-47.
9. Alspach, B., Zachman, B., Johnson, B., & Stevens, C. (2011). Characterizing RO fouling potential of brackish surface water. *IDA Journal of Desalination and Water Reuse*, 3 (1), 36-41.
10. Balla, K. M., Bendtsen, J. D., Schou, C., Kallesøe, C. S., & Ocampo-Martinez, C. (2022). A learning-based approach towards the data-driven predictive control of combined wastewater networks—An experimental study. *Water research*, 221, 118782.



摘要

國內產業廢水及生活污水處理廠目前多以活性污泥處理單元或相關衍生程序作為廢污水中有機物及氨氮處理使用，以達到維護自然水體環境安全之目標。一般來說，活性污泥法需透過鼓風機將大量空氣導入生物處理槽內，經驗上每去除 1 kg COD 需耗用 0.8-1.0 kWh 之電力（約 0.4-0.5 kg CO_{2e}）；而若須達到總氮去除時，生物硝化程序每 kg N 需另外增加 2-3 kWh 之電力以供應足量氧氣（約 1.0-1.5 kg CO_{2e}）。經統計曝氣能耗約佔廢水處理廠總能耗約 50-60%，因此，可以優先考量導入節能技術之應用。本文介紹整理了三種有效可以降低污水處理廠能耗的方式，包含日本 ICT/AI 控制單槽硝化 / 脫硝深度處理技術、國內自行開發之鼓風機節能優化技術（連續曝氣 / 風量控制）與最具節能減碳優勢之單槽式半亞硝化/厭氧氨氧化系統供氧控制技術（間歇曝氣/時間控制）等。可提供產業廢水處理之節能參考。透過導入相關技術有效降低廢水處理場能耗，並有機會達成能源中和 (energy neutral)，進一步優化為正能源產出 (energy positive) 之廢水處理廠，以符合未來淨零之最終目標。

廢/污水生物處理單元曝氣節能控制技術

林翰璘¹、張冠甫¹、黃廷涵¹、黃智¹

1. 工業技術研究院材料與化工研究所

壹、背景

隨著氣候變遷的影響加劇，已引起世界各國高度重視並且陸續提出「2050淨零排放」的宣示與行動，我國亦於2021年宣示淨零轉型為近年首要的目標（國家發展委員會，2021）。其中，取得永續及潔淨的水資源亦為淨零轉型中不可缺少的一環，因此廢/污水處理廠扮演十分重要的腳色，除了滿足使用者的需求外，廢/污水處理廠還必須面對複雜的環境條件以及愈加繁瑣的法規標準，惟有升級基礎設施方能應對不斷提升的需求標準。近年得利於物聯網與人工智慧的快速發展，相關技術的研究與開發於廢/污水處理廠近年來亦急遽增加，其技術開發的

訴求不外乎圍繞著降低資源的浪費，例如：節省能耗、減少人力（含避免人為操作錯誤）、降低成本及用藥等等，其中又以即將消耗殆盡的能源為最上位的問題，因此本文主要針對三種有具體實施例（i.e. 並非將數據丟入黑盒子，完全交由電腦來產生新模型者）廢/污水處理節能技術的案例進行回顧。

一、廢/污水處理廠能耗分析

圖1是一項關於國內廢/污水排放量調查的報告指出（環保署，2011），國內污水排放最大量為家庭污水高達568萬CMD，其中納管與未納管分別為355萬及213萬CMD；次大量為工業廢水為185萬CMD；最後為畜牧廢水為申報與

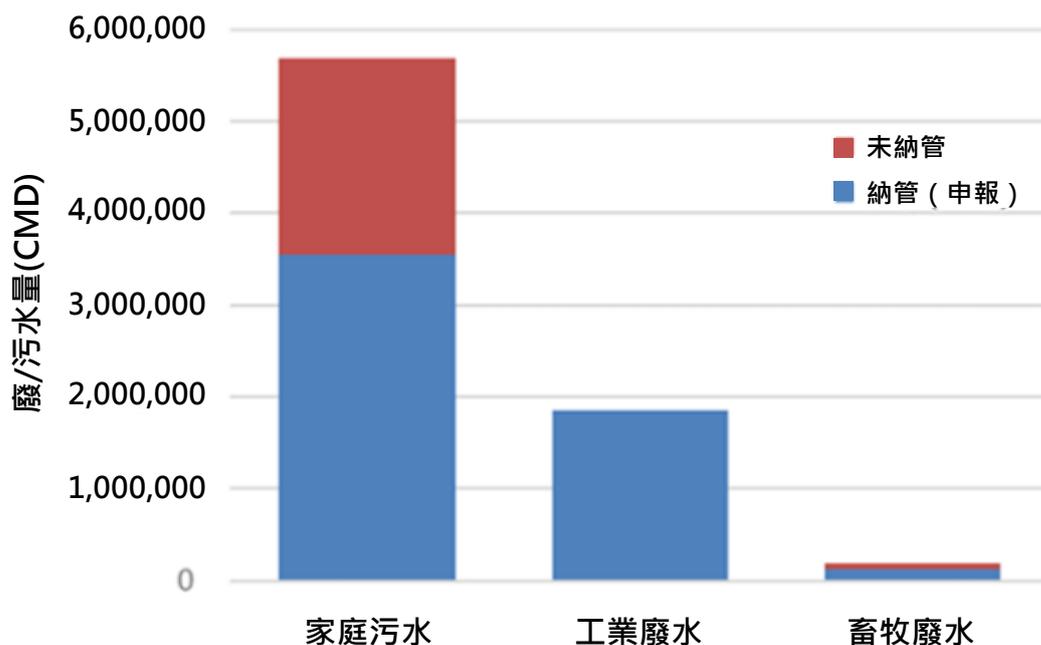


圖1 國內廢/污水排放量調查

未申報共 18 萬CMD，由此可發現即便僅納管家庭污水依然是國內最大宗污水排放。

此外依營建署（現為國土管理署）統計資料顯示（圖 2），國內生活污水處理廠主要能耗依據處理單元整理，以生物處理單元中活性污泥法或類似程序之鼓風機能耗為大宗，占全廠能耗 40-50%；其次則為廠區內各式輸送泵之能耗，占比約 10-20%（營建署，2011）。

雖然工業廢水（及畜牧廢水）一方面因水量相對較小，另一方面工業廢水處理廠能耗分析因不同產業有不同處理流程，其處理流程不如家庭污水具標準化之處理流程，故分析上較不客觀，但由於處理成

本之考量，曝氣生物系統仍佔工業廢水處理中佔相當大比例，因此，曝氣單元包含二級生物處理（e.g. 活性污泥法）及三級生物處理（硝化程序）可視為廢/污水處理首要解決能耗的對象，而目前曝氣單元又以鼓風機為主流，因此如何搭配廢/污水特性連結鼓風機設計與操作為其節能的重點。

二、廢/污水特性與如何節能

廢/污水一般具有兩種特性：(1)操作污水量遠低於設計值；(2)污染水量及濃度變異大。第一種情況「污水量低於設計值發生的情況」一般發生於新設都市污水處理廠，主要是由於該污水處理廠納管區域接管率未設計達標，或是該地區人

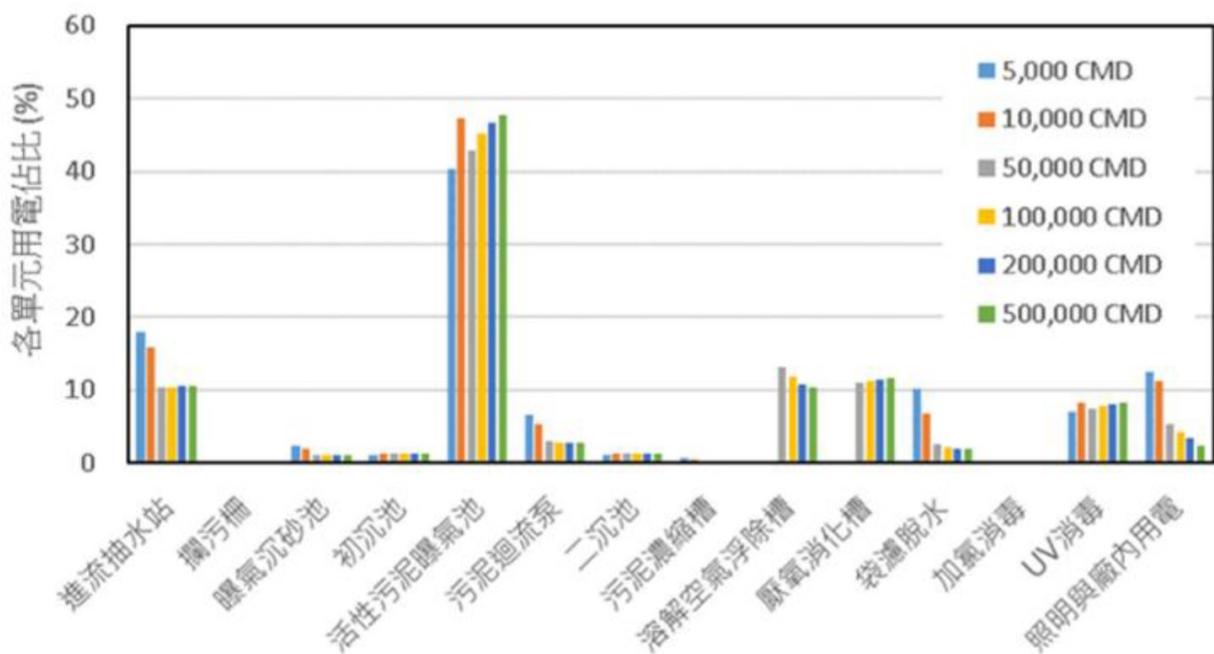


圖 2 不同污水量下都市污水處理廠各單元能號比較

口數未達預測的人口增長率。舉例來說：一污水處理廠設計年限為 20 年，設計處理水量為 50,000CMD，然而當污水處理廠開始運轉的第一年污水量可能只有 3,000 CMD（污水量會伴隨接管率增長，以臺北市為例如圖 3 所示），但是污水處理廠的鼓風機傳統設計上，多採用可處理設計年限 50,000 CMD 的最大規格進行設計，因此往往發生以過大規格的設備操作在遠低於設計負荷的污染量，進而導致過度曝氣及不必要的能源浪費。

第二種情況「污染物水量及濃度變異大」，則是由於民眾生活習慣或是產業製程改變所導致的廢 / 污水濃度改變，家庭

污水與工業廢水皆經常發生，以家庭污水為例（如圖 4 所示），濃度與水量高峰期一般多發生在晚間 7 時到 10 時（i.e. 民眾下班後煮飯及洗澡），而離峰期則是半夜 2 時之後到凌晨 6 時（i.e. 民眾多數在睡眠中）。若以尖峰期的設備規格在離峰期甚至平均時期操作，同樣會導致能源浪費。

總和上述情形，國內生活污水處理上面臨濃度低、單日水質水量變異問題，若可透過鼓風機優化操作，可以有效降低處理系統能耗。雖然變頻操作或是不同大小性能設備組合可部分降低部分浪費的情形，但是機械設備變頻的範圍有限，加上

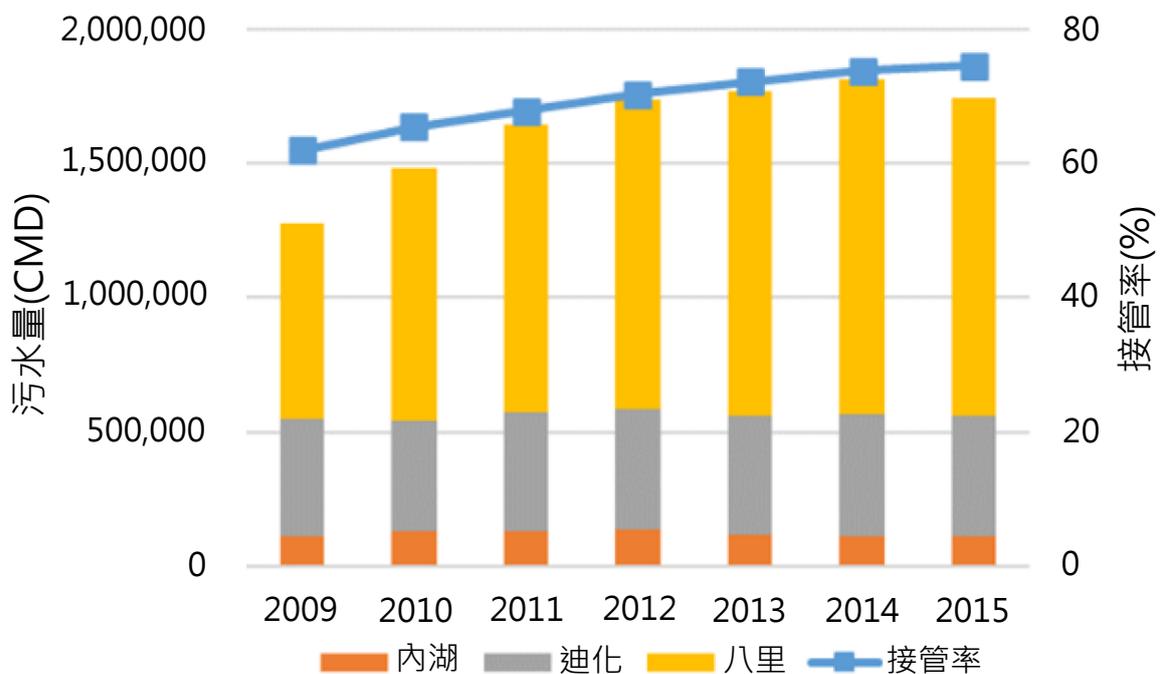


圖 3 臺北市污水管接管率與污水量變化圖

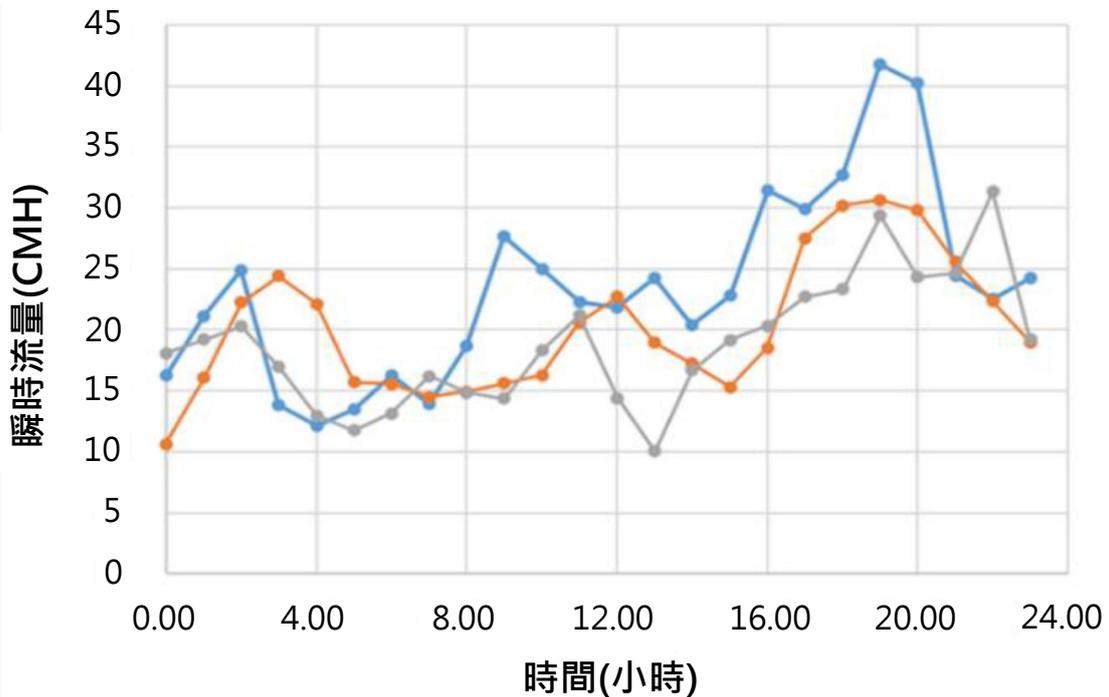


圖 4 中部某都市污水廠實際瞬時進流量變化圖

每種鼓風機設備性能曲線並聯的特性不同，操作不慎可能並不具節能效果，嚴重可能會導致設備傳震跳車甚至損壞，因此鼓風機節能技術主要仍仰賴提供決策判斷的運算軟體，提供污水廠進行即時設備的變頻及不同規格鼓風機設備排列組合操作，最終達到能源使用效率最佳化之結果。以下將進入本文之主題，主要介紹三種技術包括：日本 ICT-AI 技術、我國營建署（現為國土管理署）與工研院合作開發之鼓風機節能優化技術及單槽式半亞硝化 / 厭氧氨氧化系統之供氧控制技術。

貳、曝氣節能控制技術

一、ICT/AI控制單槽硝化/脫硝處理技術

1. 技術說明

ICT/AI控制單槽式硝化 / 脫硝處理技術，是由日本國土交通省國土基礎設施管理研究所所開發的污水處理技術（日本國土交通省，2022），其含主要以信息與通訊技術(ICT, Information and Communication Technology)收集即時污水變化數據，以及人工智慧(AI, Artificial Intelligence)進行立即性運算，並即時回饋最佳操作參數給單槽硝化 / 脫硝系統以

達到高能源效率與類似A2O程序的處理水質，本技術概念主要包含三種主要關鍵技術（如圖5所示），以及基礎物理模型：
 (1)綜合運算控制系統；(2)單槽式硝化脫

硝技術 (3)負荷變異隨動式鼓風機組以，以下將針對此三種主要關鍵技術特點說明之。

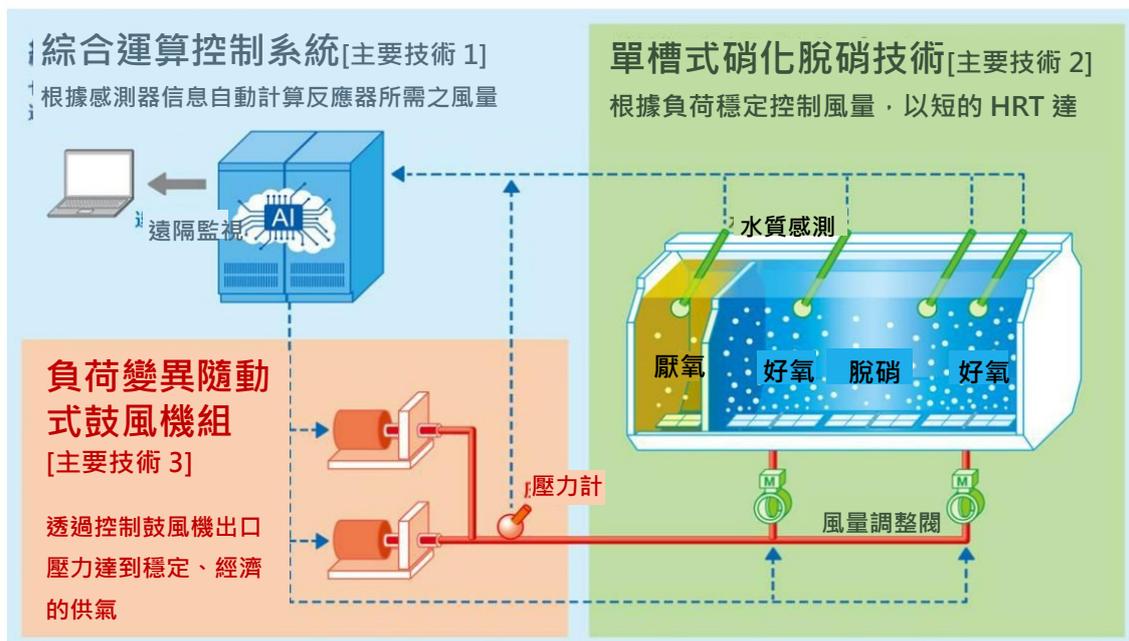


圖5 ICT/AI單槽硝化/脫硝深度處理技術概念圖

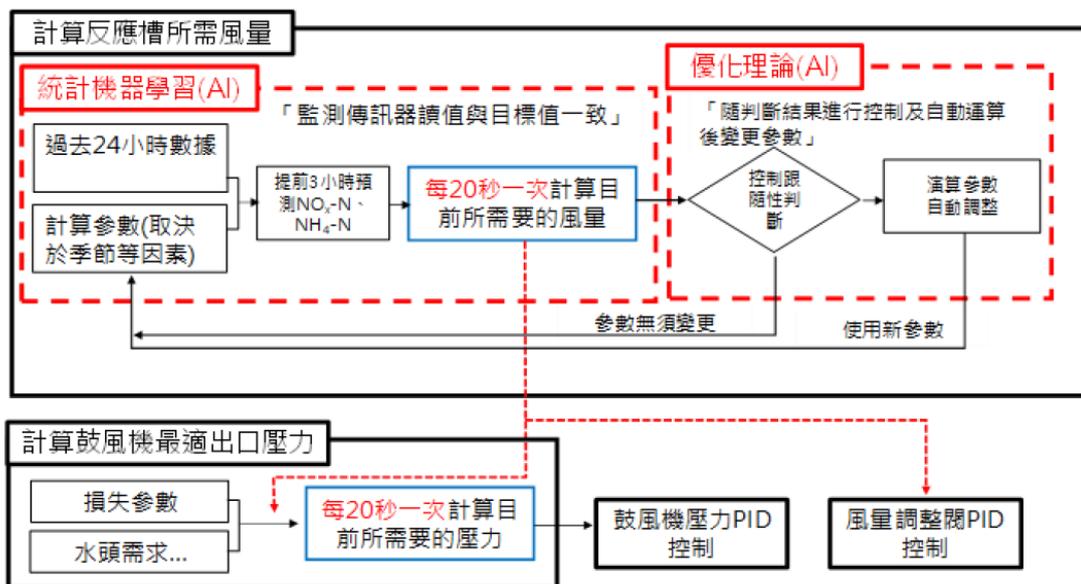


圖6 綜合運算控制系統演算流程圖

(1)綜合運算控制系統

綜合運算控制系統邏輯概念如圖 6 所示，ICT/AI技術主要是計算「反應槽所需風量」及產出「鼓風機最適供氣壓力」來因應水質變異，以達到最適合的操作（避免過度曝氣或曝氣不足）。「反應槽所需風量計算」係透過大量數據進行機器學習（AI技術），依據流入反應槽的負荷波動及利用水質監測器的監測數值，計算反應槽所需風量及預測未來水質。當進水水質發生明顯變異時，AI系統會依據基礎物理模型進行運算，自動調整計算參數選擇最優的新參數繼續運轉；「鼓風機最適化供氣壓力計算」係結合反應槽所需風量演算來決定並計算出鼓風機最適供氣壓力及風量。一般鼓風機運轉係採用定壓，但透過

「鼓風機最適化供氣壓力計算」可以依據所自動計算調整的所需空氣量來控制鼓風機出處口壓力，進而提升效率。

(2)單槽式硝化脫硝處理技術

A2O程序是傳統常用的去氮除磷方法，其中包含厭氧槽(釋磷)、缺氧槽(去除BOD及脫硝)與好氧槽(硝化及蓄磷)，其中脫硝槽與硝化槽是由隔牆獨立分開，而此單槽式硝化脫硝系統概念如圖 7 所示，採用沒有隔牆的單槽反應槽以形成最佳的好氧-缺氧區（若欲除磷，則另設置厭氧段隔牆）。

而系統配置的關鍵在於反應槽分前 / 後段好氧分別以鼓風機進行供氣，前段好氧區由 $\text{NO}_x\text{-N}$ 感測器回傳調控以維持 NO_x

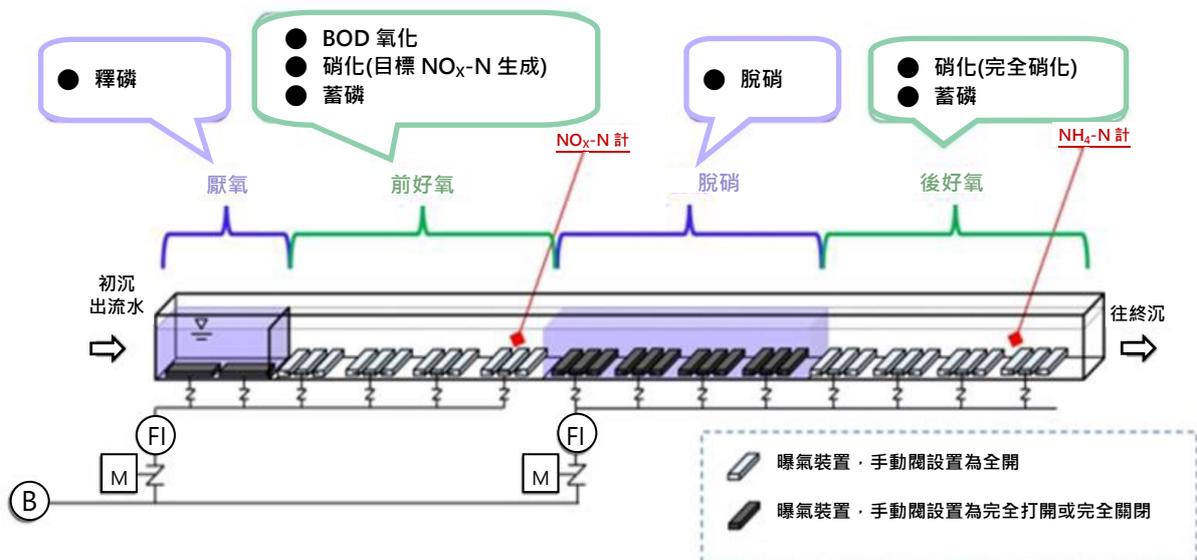


圖 7 單槽硝化-脫硝系統處理原理

-N數值保持在預定值，其產生的 $\text{NO}_x\text{-N}$ 則流入缺氧區進行脫硝；後段好氧亦透過 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 測值調整空氣流量，以便可在反應槽末端完成完全的硝化反應（圖8），此外可透過手動閥調整兼用區以增減前好氧區、缺氧區及後好氧區的池槽比例，以修正達到最佳處理效果。

(3) 負荷變異隨動式鼓風機組

鼓風機與反應槽進流與迴流設備在傳統上為分開獨立控制，而本技術針對鼓風機與反應槽提供連動的控制方式（圖9）。依據綜合運算控制系統計算出反應槽流入的負荷波動，根據所運算出最佳的

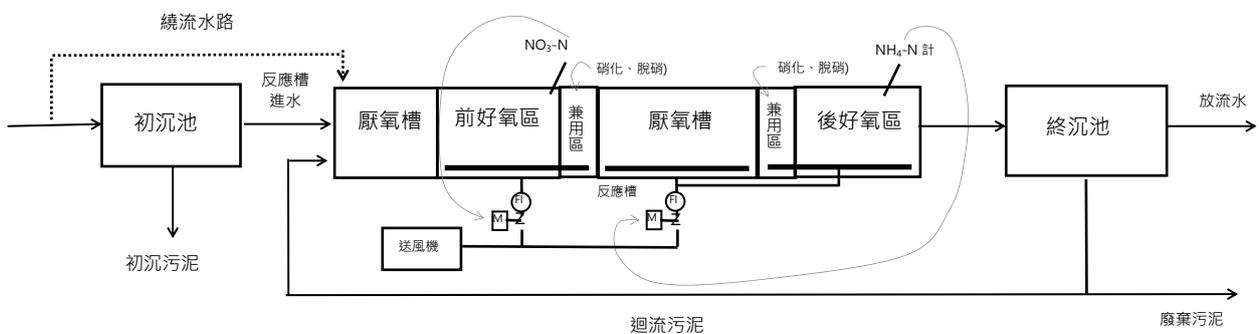


圖8 單槽硝化-脫硝系統硬體配置

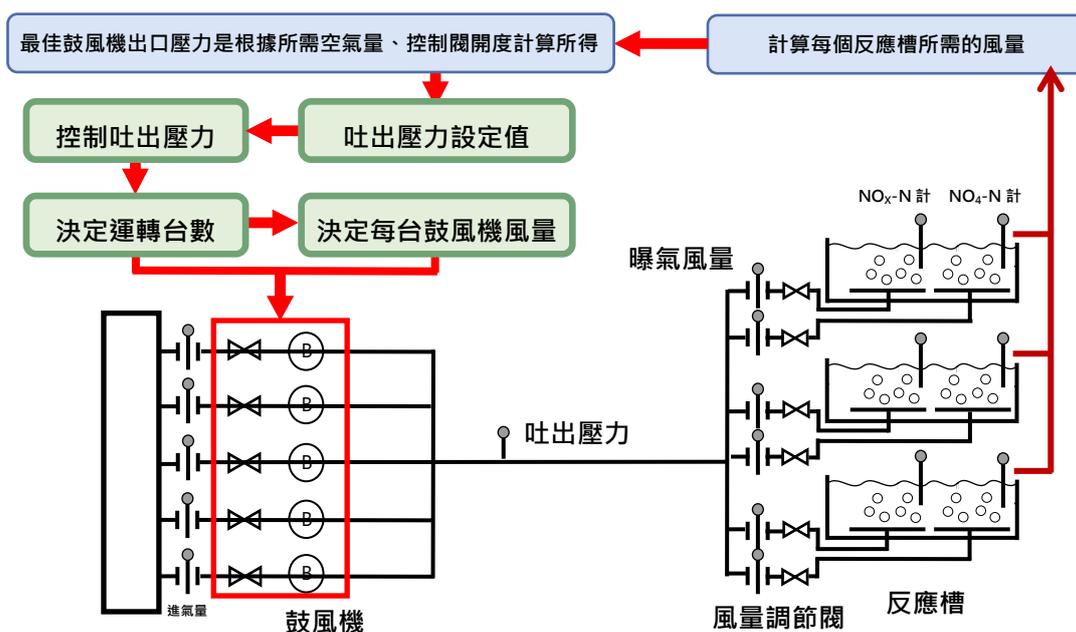


圖9 負荷變異隨動式鼓風機示意圖

鼓風機壓力，來調整控制出口風壓。

一般的「定壓控制」與此技術「變壓控制」概念示意圖如圖 10。定壓控制是無論流入負荷與所需風量波動如何，出口風壓都保持恆定，因此當實際所需風量較低的時段內，則導致曝氣電力的浪類。變壓控制則透過流入負荷和所需風量的實時計算和控制壓力的設定，來減少鼓風機能耗，達到節能運轉目標。

2. 基礎物理模型

本技術用來進行機械學習的物理模型，其統御方程式與模型如下列所示，其

■ 統御方程式

$$f_a = \left[(NH_4s - NH_4p) - \left(\frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right) f_i + \left(\frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right) l + \left(\frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right) m + \left(\frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right) f_r \cdot \right] \left(\frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right)$$

風量 NO_2-N 或 NH_4-N 偏差值 流入水質 水溫 MLSS濃度 迴流污泥量 NO_2-N 或 NH_4-N

■ 模型公式

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts}$$

K: 進水量、溫度等影響風量的控制參數
 T: 當操作風量受進水流量變化時，應變數達飽和反應的時間
 L: 當操作風量受進水流量變化時，應變數開始反應的時間

統御方程式主要考量之控制參數包括 NH_4-N 、 NO_x-N 、進水量、水溫、MLSS 及迴流污泥量。

本技術主要根據上述一階數學方程式模型進行機械學習，以對未來的目標控制參數(NO_x-N 、 NH_4-N)進行預測，其計算產生的操作參數主要基於維持預設目標控制參數(NO_x-N 、 NH_4-N)的數值，以適當調整當前應輸出的所需風量。

圖 11 為本技術預測控制概念圖，如果當系統判斷當下風量無法維持在目標值

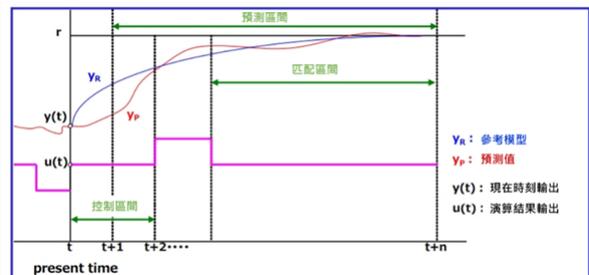
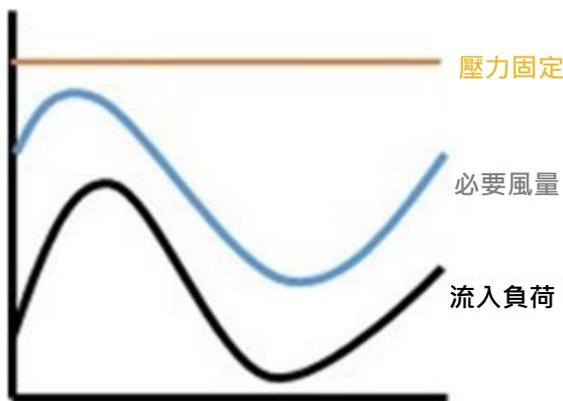


圖 11 預測控制概念圖

[恆壓控制示意圖]



[變壓控制示意圖]

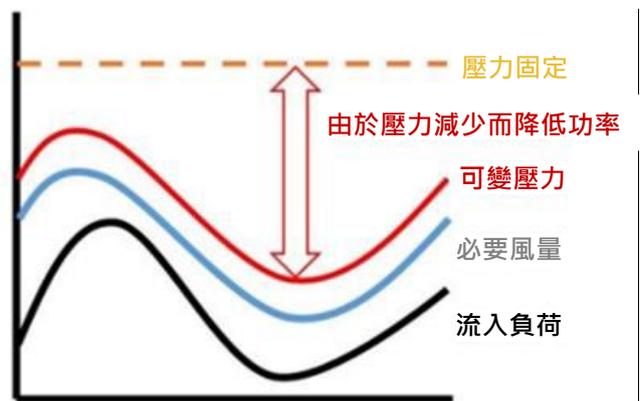


圖 10 鼓風機恆壓控制與變壓控制示意圖

附近時，則提前在計算當下之風量應增加或減少之理論模型為 y_R ，圖中橫軸為時間 (t ：當前時間)，縱軸為操縱變量 (u ：風量) 和控制目標參數 (y ： $\text{NO}_x\text{-N}$ 或 $\text{NH}_4\text{-N}$)，操縱變量 (風量)、控制目標參數 (y ： $\text{NO}_x\text{-N}$ 或 $\text{NH}_4\text{-N}$) 與其他參數 (進水流量等) 各種操作參數，透過上述統御方程式產生其預測的曲線為 y_P ，可以發現經一段時間後 y_P 逐漸近參考模型 y_R 的目標控制參數，最終修正產生最適的鼓風機操作風量。

3. 實廠驗證節能效果

由於此技術為不需隔牆的「單槽式」反應槽，因不需要攪拌器與循環泵，故相

對節省所需之用電量。此外，鼓風機方面為交替採用定壓控制與變壓控制時 (圖 10)，鼓風機出口壓力 (紅色線條， $[\text{kPa}]$) 與鼓風機單位用電量 (藍色線條， $[\text{kWh}/\text{Nm}^3]$) 的變化。透過變壓控制，每單位鼓風機能耗可隨出口壓力下降而降低。由圖 12 比較定壓控制與變壓控制的鼓風機能耗，變壓控制的能耗降低了 16.2%，證明此技術應用在鼓風機節能的結果。

二、污水鼓風機節能優化技術

1. 技術說明

污水鼓風機節能優化技術主要由營建署 (現為國土管理署) 與工業技術研究員

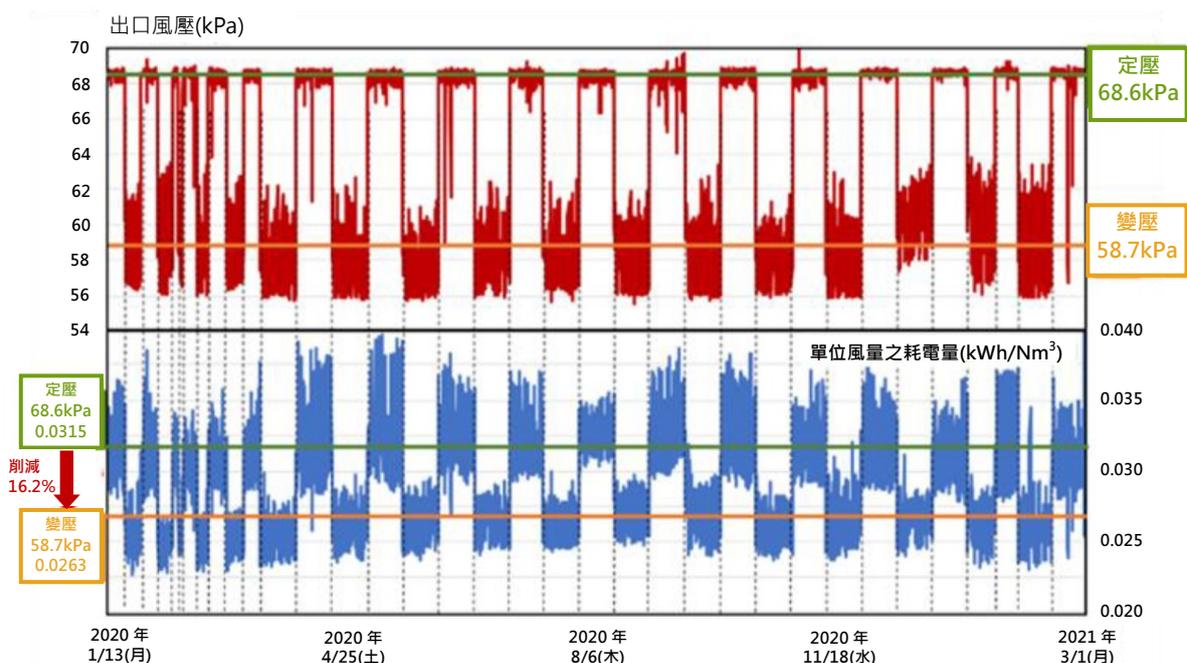


圖 12 變壓控制下耗電量削減情形

合作開發 (營建署, 2021), 主要針對常使用的標準活性污泥系統、MLE (或稱 AO) 系統及 TNCU 系統進行曝氣節能優化, 其概念本文以 MLE 系統為例 (如圖 13), 本技術主要是透過好氧槽進出流水濃度及水量 (以及其他參數) 計算產

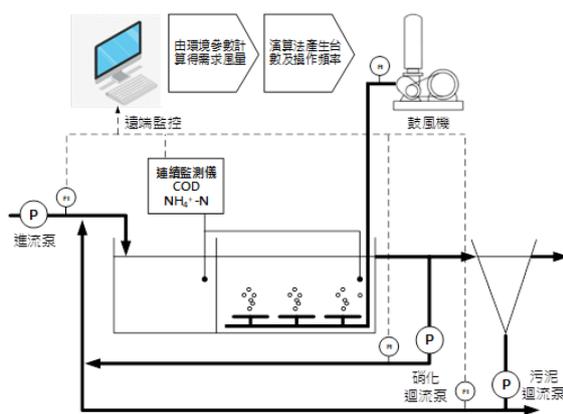


圖 13 污水鼓風機節能優化技術示意圖 (以 MLE 為例)

生系統需求風量, 再以鼓風機性能及系統曲線為基礎, 經基因演算法產生最佳鼓風機台數及操作頻率, 以達到最佳能源利用效率的曝氣。

本技術運算邏輯如圖 14 所示, 首先需取得一污水廠之水質 (有機物與氮) 與水量資料 (若是設計新設污水廠則需預設水質水量), 透過水質水量資料求得所需氧氣重量, 接著由污水廠槽體條件 (如水深及散氣盤效率等等) 計算所需空氣流量, 再透過空氣流量選擇合適範圍的多種鼓風機, 對照鼓風機原廠提供之性能曲線與污水廠管線資料 (系統曲線), 經過基因演算法反覆淘汰不適合的排列組

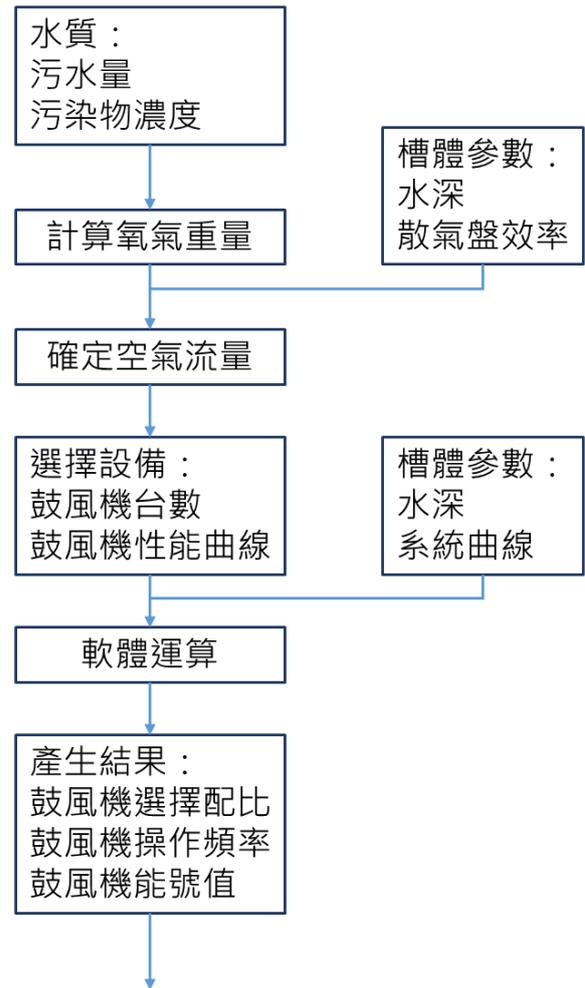


圖 14 好氧系統節能技術運作流程

合與變頻值, 根據所選定的鼓風機範圍產出多種較佳組合與操作變頻值下的能耗大小, 最後依現場條件選擇最有利的鼓風機組合及操作頻率。

2. 基礎物理模型

一般污水處理廠之鼓風機廠商會提供特定轉速下風機之性能曲線, 或是提供機械操作點再透過曲線擬合出近似二次曲線, 式(1)為以桃北廠驗證所使用的鼓風機性能曲線, 其中 P 為壓力(m-aq)、 Q

為風量(CMM)：

$$P=-0.0033Q^2+0.236Q+3.4397 \quad \text{式(1)}$$

以現今流體機械而言，多會加裝變頻器來控制來操作進流抽風量，同時頻率也是本模型最佳化參數之一，依照相似定理可得到頻率比與轉速比關係，修正後性能曲線以式(2)表示，其中馬達全頻 $f_{max}=60\text{Hz}$ ，變頻頻率為 f ：

$$P=-0.0033Q^2+0.236Q\left(\frac{f}{f_{max}}\right)+3.4397\left(\frac{f}{f_{max}}\right)^2 \quad \text{式(2)}$$

在曝氣池中，風機通常會以並聯形式使用，以達到目標風量，而並聯台數亦是本研究最佳化參數之一，對於同一形式風機，並聯後單台流量將是目標流量平均值。若是選用不同形式流體機械，分別流量將不會是目標流量平均值。在並聯系統中各台風機之壓力將視為定值。為了避免產生逆流現象，需先計算整體曝氣槽目標風量之壓力阻抗，假若個別風機在對應壓力阻抗時，最大風量之總和無法達到目標風量時，此組合便無法執行。對於同一形式的流體機械，並聯後的性能曲線以式(3)表示，其中並聯台數以 n 表示：

$$P=-0.0033\frac{Q^2}{n}+0.236\frac{Q}{n}\left(\frac{f}{f_{max}}\right)+3.4397\left(\frac{f}{f_{max}}\right)^2 \quad \text{式(3)}$$

曝氣抽風站的阻抗曲線主要有系統管路阻抗與曝氣池水深等組成，可經由實驗取得並同樣利用曲線擬合出近似多項式曲線，阻抗曲線與性能曲線交錯點即是流體機械操作點，本研究阻抗曲線為一條二次

多項式曲線以式(4)表示：

$$P=-0.0001Q^2+4 \times 10^{-16}Q+5.5 \quad \text{式(4)}$$

在實務上鼓風機廠商所提供之性能曲線皆為入口處流量與壓力之曲線，由於空氣為可壓縮流體，在經過鼓風機後空氣溫度及壓力的改變也會造成密度的變化而影響流量。為了使阻抗曲線可搭配性能曲線進行操作點的計算，需對阻抗曲線的壓力進行修正如下式， T_{pump} 為風機出口溫度， P_{pump} 為風機出口壓力， P_{atm} 為大氣壓力。

$$Q_{mod}=Q_{system} \times \frac{(T_{20^{\circ}\text{C}}+273.15)}{(T_{pump}+273.15)} \times \frac{P_{pump}}{P_{atm}} \quad \text{式(5)}$$

3. 實場驗證節能效果

(1) 污水廠基本資料

模擬測試時期桃園北區水資源中心系統共包含一期+二期污水處理廠，每期皆包含 4 條並聯 TNCU 系統，各系統進流量分配以手動閥門調控如圖 16 所示。其中，一期+二期好氧槽體積總和為 $20,000\text{m}^3$ ，平均廢水量約 $50,000\text{CMD}$ ，其他基本資料輸入軟體介面如圖 15 所示（因測試期間實場尚未配置 COD 及氨氮連續監測儀，故為手動輸入實際分

SOTR: <input type="radio"/> MLE法 <input checked="" type="radio"/> 三段AO法 <input type="radio"/> 活性污泥法				
T(水溫)(°C)	飽和溶氧(mg/L)	曝氣槽總體積(m³)	曝氣槽溶氧(mg/L)	曝氣槽MLVSS
25	8.25	20000	2	2000
COD濃度(進流水)(mg/L)	COD去除率(%)	氨氮濃度(進流水)(mg/L)	氨氮去除率(%)	硝態氮去除率(%)
80	70	35	85	75
進水量(CMD)	廢棄污泥量(CMD)	總進水量(CMD)	污泥總流量(CMD)	總進污泥濃度(mg/L)
50000	100	0	45000	10000
水深(m): 7	數風機數風效率: 0.2	計算總流量 清除		

圖 15 運算軟體介面：污水場基本資料

析值)。

(2)鼓風機設備資料

由污水廠基本資料計算出需求風量為 168.3CMM，搭配該廠所配置的 2 台 A 鼓風機及 3 台 B 鼓風機(共 5 台)，其性能曲線與效率曲線軟體介面分別如圖 16A 及圖 16B，另外系統阻抗曲線則以水深 7 m+0.8 m 計算(未來實際應用建議應實際量測管路的系統曲線與阻抗曲線，模擬結果將更為精準)。

(3)節能運算結果

透過軟體運算結果如圖 17 所示，可知該廠最節能的匹配結果為操作三台鼓風機 B，建議操作頻率為 60 Hz×0.916 約 55 Hz 時，具有最佳的能耗 222.9kW；次之為 1 台鼓風機 A 及 2 台鼓風機 B，建議操作頻率分別為 52.4Hz 與 57Hz，能耗約 233.1kw；再次之的操作為 2 台鼓風機 A 及 1 台鼓風機 B，建議操作頻率分別為 54Hz 與 53.2Hz，其能耗約 241.8kw。本測試時期正值二期功能試車時期，因 2 台鼓風機 B 維修中，故現場操作最後實際操作為 2 台鼓風機 A 與 1 台鼓風機 B，試車期間槽內溶氧皆可維持



圖 16A 運算軟體介面：
鼓風機 A 性能曲線與效率曲線資料



圖 16B 運算軟體介面：
鼓風機 B 性能曲線與效率曲線資料

分析													
組合	A 類風機台數	B 類風機台數	C 類風機台數	D 類風機台數	A 類風機運轉比例(%)	B 類風機運轉比例(%)	C 類風機運轉比例(%)	D 類風機運轉比例(%)	A 類風機流量(CMM)	B 類風機流量(CMM)	C 類風機流量(CMM)	D 類風機流量(CMM)	總耗電量(Kw)
組合 1	0	3	0	0	0	91.6	0	0	0	168.5	0	0	222.9
組合 2	1	2	0	0	87.4	94.9	0	0	41.1	127.4	0	0	233.1
組合 3	2	1	0	0	90.2	88.7	0	0	120.9	47.5	0	0	241.8

圖 17 運算軟體介面：鼓風機匹配結果與能耗排名

於溶氧 2mg/L 以上，此外，放流水 COD 與氨氮連續採樣平均分別為 18mg/L 及 4.9mg/L，皆遠小於放流水標準，結果顯示透過節能軟體運算，確實可以提供代操單位選擇操作的鼓風機種類、數量與變頻範圍，進而達到最佳能源利用效率。

(三) 單槽式半亞硝化/厭氧氨氧化系統 供氧控制技術

1. 技術簡介

國內生活污水普遍具有溶解態 COD 濃度低，衍生出 C/N 比不足情形。因此，二級處理單元在考量總氮去除設計常用之 MLE (硝化/脫氮或 AO) 程序以及 TNCU 程序上，為維持良好的總氮去除率，必要手段為添加合適之有機物如甲醇等以增加脫氮效能。

單槽式半亞硝化 / 厭氧氨氧化生物除氮系統的概念由荷蘭 Delft 科技大學所提

出，該技術由醱酵工業廢水逐步應用至處理都市污水厭氧消化上清液 (Side-stream)，隨著各種曝氣智慧控制的方法與技術逐年成熟的情況下，實務上以可應用於生活污水主系統 (Main stream) 進行除氮 (營建署，2023)。此系統概念主要以生物膜 (Biofilm) 形式，整合生物膜表面之氨氧化菌群 (Ammonia oxidation bacteria, AOB) 以及生物膜內之厭氧氨氧化菌群 (Anaerobic ammonium oxidation, ANAMMOX) 在微氧環境下將水中氨氮部分由 AOB 部分氧化為亞硝酸鹽氮 (NO_2^- -N) 再由 Anammox 將一定比例之氨氮與亞硝酸鹽氮降解為氮氣 (N_2) 與部分硝酸鹽氮 (NO_3^- -N) 達到去除總氮之目的 (如圖 18)。由於此系統理論上僅需將污水中之氨氮部分氧化為亞硝酸鹽氮且所應用之微生物菌群均屬於自營性微生物，因此在節能上以及甲醇添加量上具有絕對優勢，相當適合應用於國內低 C/N 比之生活污水總氮去除。

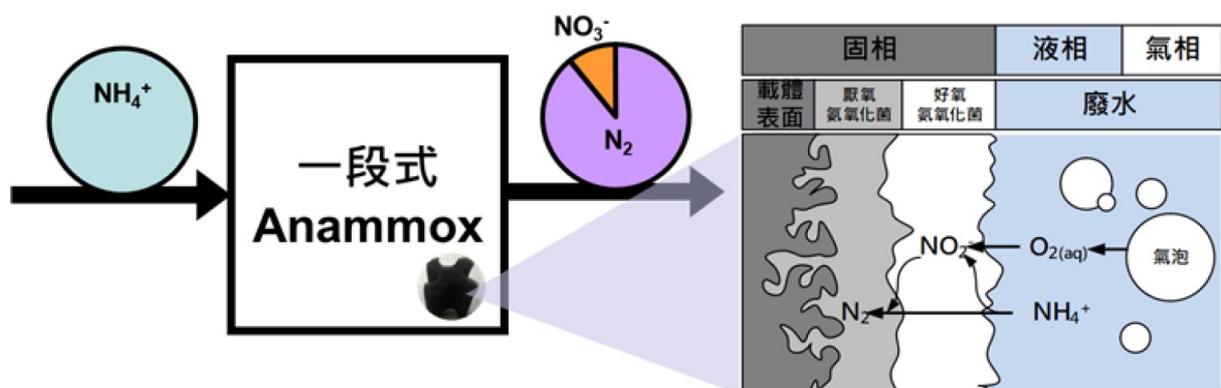


圖 18 單槽式厭氧氨氧化系統示意圖

而此技術中，半亞硝化反應為厭氧氨氧化反應必要的前置步驟，但生活污水的氨氮濃度相對低（一般多介於 20~35 mg N/L），因此在控制半亞硝化反應時，無法仿照傳統方法在高氨氮濃度下，以 pH 值調整來提高分子氨(NH₃)在水中的分率來抑制亞硝酸氧化菌群(Nitrate oxidation bacteria, NOB)。因此，若欲應用厭氧氨氧化反應在生活污水中，唯一的手段就是透過精準的供氧來達成穩定半亞硝化反應，也因為避免發生過度氧化反應，精準的控制供氧同時達到節省曝氣能耗的目的。單槽式系統配置關鍵如圖 19 所示，該系統中主要透過厭氧甲烷化槽最大化的

將生活污水中的有機物分解掉，一方面避免殘留 BOD（或 COD）造成脫硝反應與厭氧氨氧化菌競爭 NO₂-N，亦同時可避免需額外監測 BOD 濃度造成需氧負荷的誤差，以減少供氧上計算上的複雜程度；隨後經厭氧處理後的出流水（水中主要以 NH₄⁺-N 為主），可透過 NH₄⁺-N 連續監測與進流量計算出系統整體的需氧負荷，隨後再依據實地量測的 K_La 係數與環境參數供應對應的空氣量，再透過運算產生間歇曝氣的週期，以供需平衡的關係下達到精準供氧控制，同時節省曝氣能耗。

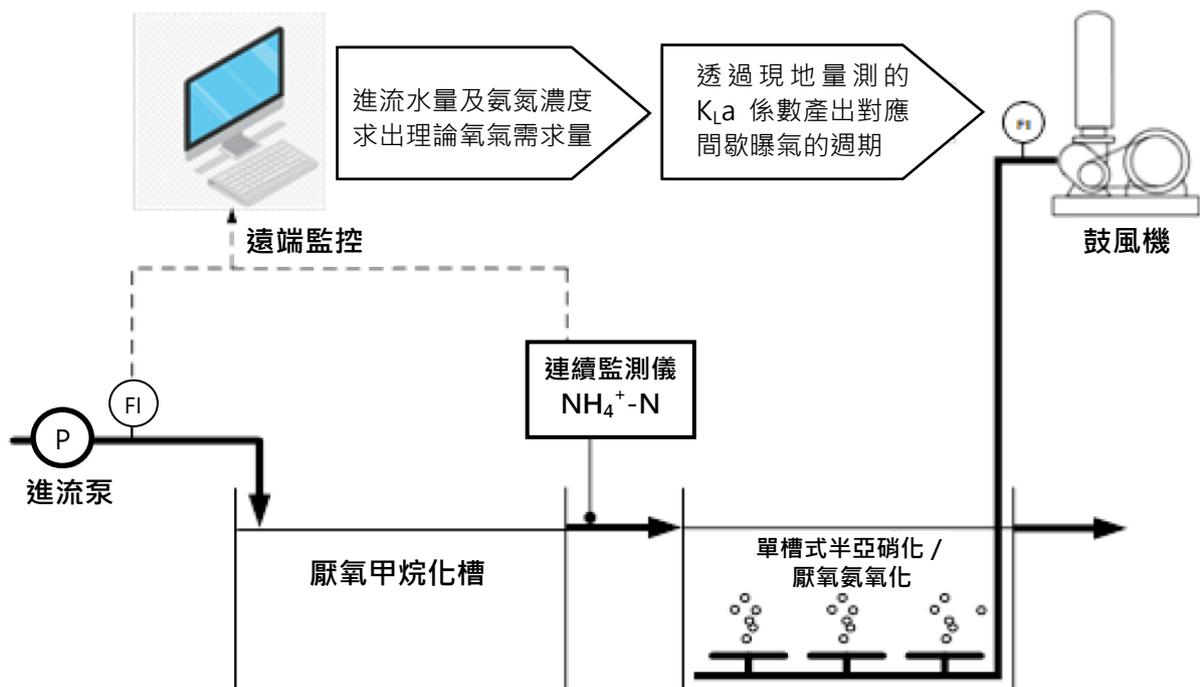


圖 19 單槽式半亞硝化 / 厭氧氨氧化系統精準供氧技術示意圖

2. 物理模型

本單槽式半亞硝化/厭氧氨氧化系統主要就是透過即時監測進流量與 NH_4^+-N 濃度構成的需氧負荷，再依據實地量測的 K_{La} 係數與環境參數供應對應的空氣量，再透過運算產生間歇曝氣的週期，以供需平衡的關係下達到精準供氧控制，其系統的統御方程式如下所示：

$$\text{供氧負荷} = \alpha \frac{K_{La}}{1.024^{20-T}} \left[\beta \text{DO}_{ss,T} \times \left(1 + \frac{H}{20.7} \right) - \text{DO} \right] \times$$

需氧負荷 = 進流氮濃度 × 進流量 × 半亞硝化莫爾比

供氧負荷 = 需氧負荷

K_{La} ：氧傳係數，清水試車期間取得該參

數

α : 廢水修正係數 (修正 K_{La})

β : 鹽度修正係數 (修正飽和溶氧)

T: 水溫($^{\circ}\text{C}$)

H: 水深(m)

3. 實場驗證節省曝氣效果

本技術驗證主要於南投中正路污水廠設置了一座 100 m^3 之單槽式半亞硝化/厭氧氨氧化生物除氮系統，此系統操作已為期 1 年以上，期間經過微生物植種、微生物馴養、逐步提升處理負荷 (需搭配氧氣供給速率提升) 至目前操作穩定等，此外，圖 20 為該系統供氧負荷與需氧負

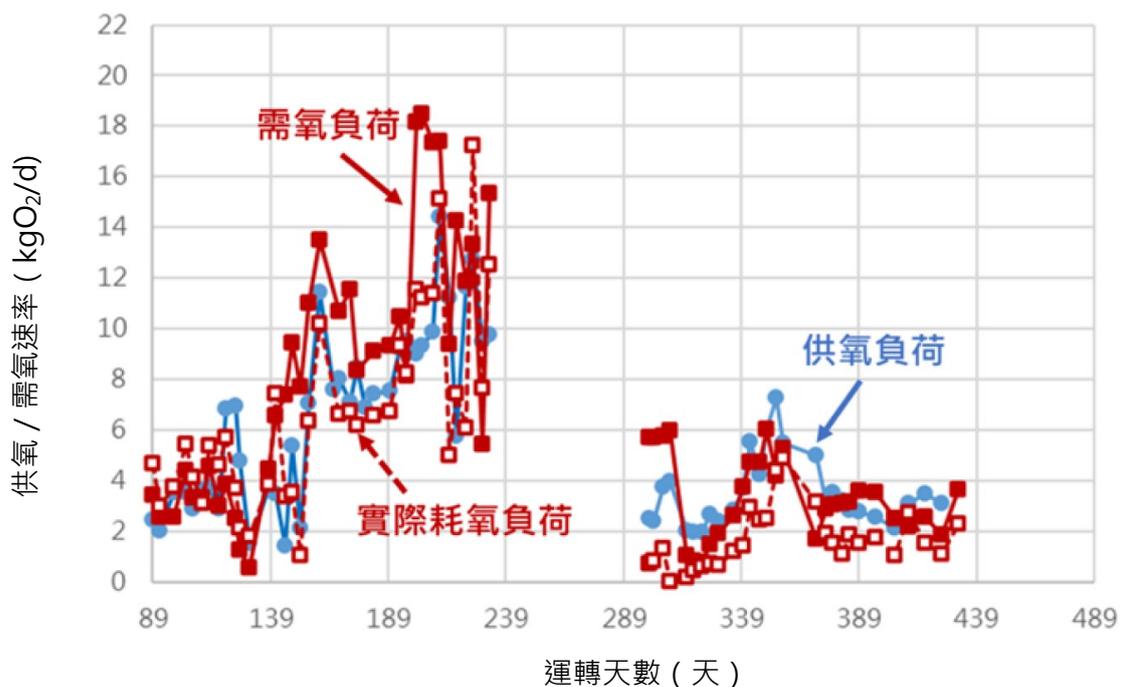


圖 20 單槽式半亞硝化 / 厭氧氨氧化系統 供氧 / 需氧 / 實際耗氧負荷變化圖

荷的變化圖，由圖可發現該系統供氧可對應需氧負荷（氨氮濃度變異）下，產生應對的供氧負荷（曝氣時間與週期），以及實際透過生化反應消耗掉的氧氣，因此確實本技術可以做到避免氧氣過度氧化及過度供氧造成的能源浪費。整體而言，由圖 21 可發現該系統整體需求與供應的氧氣比值斜率約 1.19（供應略小於實際的需求）；實際消耗的氧氣負荷與供應的筆直斜率約 0.97（供應十分接近消耗的氧氣量）。

參、結語

水與污水處理系統為維護水體環境安全之重要設施，國內公部門以及產業上均

投入大量能耗進行廢（污）水處理，以美國為例目前水與廢水處理廠能耗佔全國公部門總能耗之 3-4 %，約 0.27~0.62 kWh/m³ (USEPA, 2013)，相當於 45 mtons GHGs 排放。因此，如何有效在維持同樣去除效能之狀況下進行廢污水處理節能技術與方法為公部門以及產業上急需要達成未來淨零目標的手段。本文整理了三種有效可以降低污水處理場能耗的方式，包含日本 ICT/AI 控制單槽硝化 / 脫硝深度處理技術、國內自行開發之鼓風機節能優化技術（連續曝氣 / 風量控制）與最具節能減碳優勢之單槽式半亞硝化 / 厭氧氨氧化系統供氧控制技術（間歇曝氣 / 時間控制）。透過上述方法與技術，均可

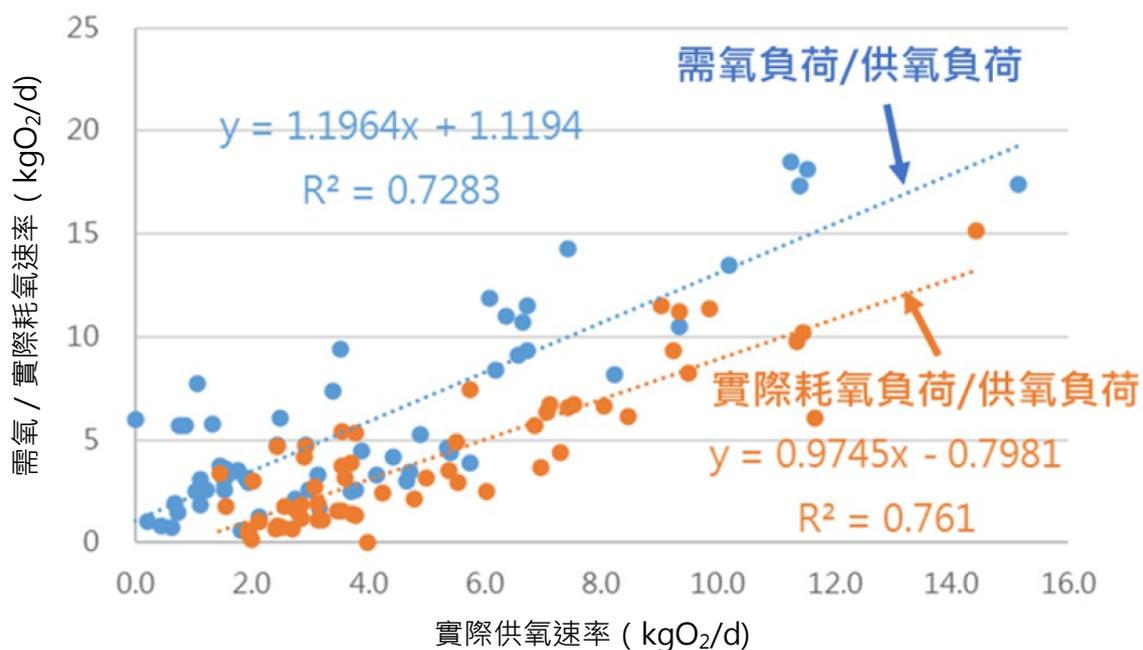


圖 21 需氧負荷/供氧負荷之氧氣質量回收率

有效降低未來污水處理廠能耗達 10-50 % 以上。以實務應用上，本文建議以既設廠來看，可以優先透過鼓風機節能優化技術（可應用於所有程序）計算提供既有單元與設備之重要操作指標來達到節能之目的；而日本 ICT/AI 控制單槽硝化 / 脫硝深度處理技術因牽涉到處理流程之差異可能須做額外修正，建議可應用於相近之處理程序如 TNCU 法等；而厭氧氨氧化技術為具最佳節能與減碳效益，除可由既有程序改建外，建議可於後續廠區擴增或新建廠時直接採用，以達最佳減碳效果。

參考資料

1. 國家發展委員會，台灣 2050 淨零排放路徑，https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=FD76ECBAE77D9811
2. 環保署(2012)，事業廢水特性調查及污染管制措施研議計畫。
3. 陳永輝(2018)，台北市污水下水道系統建設情況與精進方向，民國 107 年。
4. 國土技術政策綜合研究所(2022)，ICT/AI控制單槽硝化/脫硝深度處理技術，日本國土交通部。
5. 污水處理廠節能改善方案與能耗模擬技術開發計畫期末報告書(2022)，內政部營建署，民國 111 年。
6. 胡念英、林翰璘、陳建谷、劉振揚、廖峴寬、梁德明、鄭淑蕙 (2021) TNCU程序結合BioNET與MBR系統應用於都市污水處理之研究-以桃園北區水資源回收中心為例，第三十一屆下水道與水環境再生研討會，台北市。
7. 污水厭氧氨氧化菌培養中心應用開發計畫期末報告書(2023)，內政部營建署，民國 112 年。



摘要

國內自動化監測設施的水位計，偏向為觀測儀器的硬體設備定位，產品自主能量較低、並缺乏資料整合應用的商業模式。隨著物聯網時代技術，新型雷達波水位計強調微型化、低功耗與輕量化，搭配低功耗窄頻網路與雲端大數據架構，在水情監測管理領域，已取得許多應用實績與成功案例。

如今新型雷達波水位計運用在雨水、污水下水道系統場域，完成監測資料擷取傳輸至雲端應用平台，經過大數據與深度學習演算，為下水道系統的管理應用層面，提供即時監測、快速通報應變外，更開啟了融合資料與模式、資訊與知識、常時與緊急不同面向需求，逐步推動邁向都市總合治水的目標願景。

物聯網新型雷達波水位計

在都市下水道系統應用

許庭嘉¹、吳文峰²、李成偉³

-
1. 昕傳科技股份有限公司 / 經理
 2. 昕傳科技股份有限公司 / 副總經理
 3. 昕傳科技股份有限公司 / 總經理

壹、前言

在台灣，水情自動化監測設施 (Automatic Hydrological Monitoring System) 早已導入中央與地方機關管轄的河川、排水系統、灌溉圳路與各式渠道管路等管理標的或水工設施。在河川、區排監測部分，主要應用於觀測並記錄水位，遇有強降雨現象時，面對水位迅速上升，即時的水位監測能力與資料傳輸通報，夠提供預警警戒的資訊，幫助下游保全對象居民疏散、防汛應變相關操作與調度，期減輕災害程度。至於在灌溉圳路部分，則可透過水位監測數據率定流量，掌握農業灌區輸水路的水資源調度與管理成效。

此外，近幾年透過低功耗廣域網路 (Low Power Wide Range Network) 技術整合，路面淹水感測器可即時取得因降雨而導致積淹水的實際水位高度；雨水下水道箱涵，則掌握出雨水幹線匯流或出口水位變化，確保下水道系統有效地處理排水，防止堵塞和溢流風險。近來，水位計的應用場域，更深入了具備降低都市洪水的尖峰流量，減少逕流量體積透水保水設施場域，可用來記錄追蹤相關設施在雨水滯洪、貯留或地下水補注等水循環的實際效益。

然而，過去的水位計設備在採購成本、長期維護與產業應用商機等不同面向，仍偏向為水文觀測儀器的硬體設備定位，多以外國產品品牌、國內代理與技術

支援等方式提供商業服務，政府機關主要以水資源監測為主，至於國內產品或技術自主能量較低、缺乏整合性的應用服務模式。

貳、雷達波監測的優點

廣泛而言，水位計主要區分為接觸式及非接觸式水位計，其中，接觸式水位計利用接觸進行量測，如氣壓式及浮球式，非接觸水位計則有超音波及雷達波水位計 (如圖 1)，運作方式簡要說明如下：

一、壓力式水位計

利用壓力變化來測量液體的高度。通常在水位計的底部有壓力傳感器，當水位上升時，液體的壓力增加，通過傳感器可以轉換成電信號或數字信號，以顯示或記錄液體水位的變化。

二、浮球式水位計

透過浮板或浮球機構設計，浮球會隨著液體的水位變化而上升或下降，透過機械連接或電信號，可將浮球的運動轉換為水位變化的信息。

三、超音波水位計

利用超聲波脈衝的傳播時間來測量液體水位高度。將超聲波脈衝發射到液體表面，然後接收反射波的信號，通過計算超聲波往返時間，可以得到液體水位高度。

四、雷達水位計

利用電磁波經天線向被測的液面發射，當電磁波到達液面後反射回來被同一天線接收並檢測出發射波及回波的時差，從而計算出液面高度，在不同條件下取得相對優勢的表現，例如干擾低、距離長、精度高等特色，雷達波水位計已在上述水情監測場域中廣泛使用，茲整理其優點如下：

一、精度和穩定性

提供高度精確測量結果，較不受環境條件影響（如溫度、壓力、濕度）和污水水質等因素，相對於其他水位測量技術（如壓力式水位計），在面對雜訊和干擾時表現出色，因此表現出穩定可靠的特性。

二、可用程度高

由於採用非接觸式設計，不需要直接接觸液體表面或水體本身，因此不會受到污染、堵塞或腐蝕等問題直接影響，因此，可使用的場域更多，可用程度更高。

三、多種材質適應性

雷達波水位計在測量時不受安裝位置之材質的直接影響，可安裝固定在混凝土、塑料或金屬等材質，只要確保其支撐穩固性與不易搖晃。

四、遠端監測即時資訊

這方面不限於雷達波水位計，目前透過資料傳輸記錄器通訊模組運用電信公司 LPWAN 無線傳輸或 4G、5G 寬頻甚至是實體網路訊號線、自建無線電通訊網路等

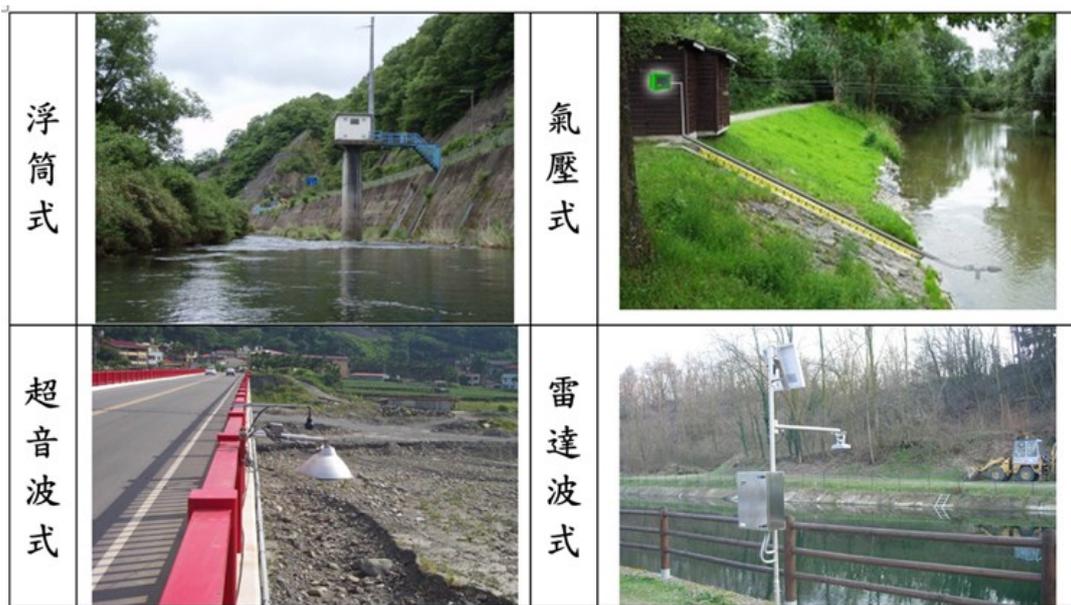


圖 1 常見河川區排水位計樣式

方式，皆可建立即時自動化監測網，取代人工觀測或是現場紀錄等勞務外業，節省人力成本和提高工作效率。同時，搭配資料傳輸能力與工業化通訊介面，可同時測量現場包含溫濕度、氣壓、表面流速等多樣物理量，甚至水體本身的水質變化、一舉達成多功能數據與管理預警等應用的目標。

如前所述，過去所建置之水位監測站，主要監測河川排水或是明渠灌排等水路，對於短延時強降雨所形成之路面積水、下水道管涵等安裝、傳輸、保養等環境受限的場域，較少有雷達波水位計表現的機會。

參、物聯網時代科技因緣際會

究其原因，在於傳統上雷達波水位計感測器與無線資料傳輸通訊技術，對於戶

外監測站耗電量需求相當高，因此往往需增設太陽能電力系統輔助設備，以確保長期運轉，因此，無法有效縮小監測站體積、設備配置，造成整體建置與維運成本居高不下，導致無法大量生產符合預期成本、自主技術與廣為佈建效益的雷達波水位計產品。

然而，隨著物聯網 (Internet of Things, IoT) 時代技術的演進，感測器強調微型化、低功耗與輕量化，搭配趨近成熟低功耗窄頻網路與雲端大數據架構 (如圖 2)，物聯網特性被廣泛運用，發展出結合雲端運算(Cloud Computing)、大數據分析(Big Data)「雲端物聯網水管理」 (Cloud & IoT water stewardship) 應用。而過去常用的雷達波水位計也受益於以下主要關鍵技術的推出與配套成熟，透過市場機制與政策引導，逐步發展出適合



圖 2 雲端物聯網產品技術背景

台灣地區的新型雷達波水位計產品。

一、毫米波雷達技術普及

毫米波雷達(mmWave Radar)是介於波長 1~10 毫米，頻率在 30~300GHz 間，由於其在天氣險惡條件下有優異的穿透表現（例如：大霧或大雨），過去應用在氣象、太空通訊與天文學等專業，近年來被廣泛用在車聯網與先進駕駛輔助系統（Advanced Driver Assistance System, ADAS）領域，面對的是數量龐大的自駕車(autonomous car)市場。因此，國際間從上游晶片到雷達模組等產品皆已建立完整供應鏈，且具備價格競爭力，有助於應用在水情監測等領域。同時，高頻率的毫米波雷達具備體積小、發射角小，聚焦性佳與功耗省電等特點，不易受到安裝位置周邊壁面或桶槽環境干擾影響，更可降低供電系統的成本與體積。

二、低功耗傳輸網路覆蓋率

近年來，水情監測應用考量傳輸封包小、傳輸穩定與電信級頻譜低干擾，皆以電信公司提供之NB-IoT、LTE Cat-M1 為主低功耗廣域傳輸服務，以確保訊號傳輸的涵蓋性與穩定性。其中LTE CAT-M1 相對而言具備較高頻寬與傳輸速率以及較低的費率，遠低於 4G、5G無線寬頻的功耗需求，可透過內建電池方式自主供電機制，即可確保長時間運轉，同樣有效降低設備的整體成本。

三、配套技術相輔相成

除了上述主要監測技術成熟與市場價格等條件外，包含鋰離子電池符合環保、使用壽命、可充電、重量與效率高等水情監測需求；高增益天線(High Gain)的形式、材質等在射頻輔助材料提高了資料傳輸的穩定與可靠度；諸如MQTT等物聯網標準通訊協定、Open API與相關軟體套件問世，甚至是 3D列印技術、深度學習演算法(Deep Learning)，皆助長了新型雷達波水位計產品的實用性與資料取得傳遞的開放性及應用可能性。

四、完整的產業生態系與基礎建設

值得一提的是，台灣地區在電機電子、資通訊系統、硬體設計與生產製造、設備測試認證、電信公司低功耗網路覆蓋率等關鍵物聯網(IoT)技術產業的生態系(Ecosystem)相對完整，同時，各項涉及政府施政的基礎建設完善到位，因此，創出具備國內外的市場機會與潛勢，並且結合技術服務產業界的自主能量、豐沛的市場商機以及政府機關的施政革新想法與具體作為，在在推動了雷達波水位計產品更新與應用服務創新與茁壯的商業機會。

肆、新型雷達波水位下水道應用

結合前述技術發展與優勢的雷達波水位計，不但在物聯網時代擴大了水情監測的場域與聯網大數據的豐富應用，更挑戰過去難以企及的監測場域，從而得以展現

創新的應用服務。

謹就幾項新興監測應用，略述如下：

一、都市計畫區雨下水道監測

內政部營建署(現為國土管理署)推動「都市綜合治水建設計畫」建置智慧警戒系統，辦理下水道即時水位監測並銜接相關防災監測資訊，掌控即時淹水災情資訊，迅速精確投入救災資源，為都市排水分析驗證及淹水提供探究改善原因的實際物理數據，了解排水設計與運作瓶頸，期以尋求改善與突破。

過去下水道監測受到壓力式水位計安裝位置可能淤積、雷達波單價高、散射干擾以及無線網路傳輸限制、安裝工法與維護經費等因素，僅有部分都市雨水道採用即時監測傳輸方式取得水位資料。

然而，物聯網雷達波水位計產品以整

合毫米波雷達、壓力式探頭、低功耗傳輸、資料處理與儲存模組為主，配合IP68防護與抗酸鹼材質保護箱體，及專用高增益天線與可拆卸支架設計，可滿足雨下水道水位監測的環境與資料品質需求。

自111年度起，六都首次採用「複合式」水位計進行雨下水道水位監測，在目前的應用情境，當水位達到半滿管或滿管時，自動調整資料傳輸頻率並透過系統觸發各項通報，且持續監測至溢流至路面的水位高。管理單位運用整合雲端與運算資源的雨水道監測系統平台，不但完整掌握水位變化，降雨量與整合影像畫面，並透過高精度數值地形模型(digital terrain model)資料圖資，快速推估都市淹水範圍與深度，進行必要的交通、民政、弱勢影響分析，提供智慧城市管理決策輔助資訊(應用情境如圖3)。



圖3 雨水道水位計安裝與應用

此外，通過連續監測水位、雨量及歷史淹水紀錄，機關可進行雨水下水道警戒管理訂定，透過雨水幹線即時水位資訊，掌握都市內、外水位變化，提前抽水站待機與啟動因應，降低積淹水風險，確保下水道系統運作。

二、智慧警戒與管理分析

目前各縣市積極推動雨水下水道即時水位監測能力，設備上線後可採用雨水下水道半滿管、滿管或人孔最大深度等作為溢淹警戒指標。然而，此方式並未考量未來降雨條件，對於雨水下水道通洪的影響，仍有持續精進的空間。

為增取防災預警時間並提供正確可能溢淹路段或人孔，應用方面可透過都市地區水文-水理模式，以水文事件進行模式檢定與驗證，並使用如ANN (Artificial

Neural Network) 機器學習建立分類、回歸 (監督式學習) 建立並優化雨量水位之關連性，結合中央氣象局QPESUMS定量降水預報，以不同降雨情境，產生多組警戒水位與降雨強度關係預警結果，推估監測人孔未來發生溢淹的機率，提早預警時間與準確性 (如圖 4)。此外，雨水道水位監測不僅提供防汛應變即時資訊，由於掌握雨水道水位數據、晴雨天降雨量、相對水位起伏等實測資料，可以綜合研析判斷是否有淤積的趨勢、或是異常水流的時間位置，針對異常水流重點時間加強管理，透過智慧分析方式有效強化雨水道系統的維護管理，對於易淤積、常有滿管之管段或是淹水致災原因推估研判，皆有輔助參考的依據效益。

三、污水下水道系統監測與應用

都市污水下水道系統的水量與水質往



圖 4 智慧警戒分析流程示意圖

往因為用戶接管、幹線系統複雜或老舊，發生暴雨時污水量負荷異常或是滿流氣衝彈跳事件，對於已超過管線及廠站之設計污、城市衛生與安全和環境保護方面，往往帶來威脅與風險。因此，污水系統截流站、揚水站、主次幹管匯流處或是曾發生氣衝漫流的人孔井，皆可進行水量監測，以掌握晴雨天污水量變化，適當進行疏（繞）流設施操作，減少設施負擔或滿流事件的發生。

然而，嚴苛的下水道環境對於感測儀器需求規格極高，同時下水道感測設備的安裝工法與現場工安的高度要求，都使得污水管網監測系統的建置維護成本不符成本效益。然而新型雷達波水位計有效解決了聚焦性、穿透性、低功耗等物聯網設備特色，能夠在污水系統管網的重要節點位置，扮演起監測水位的角色，從而提供管

網必要的水量資訊，可針對污水道系統提供常時的監測數據，有助於推動污水下水道系統防災應變中心之智慧化目標。

大型污水處理系統管理單位需要整合操作管線系統設施即時數據監控系統 (supervisory control and data acquisition, SCADA) 資訊並透過介接降雨預報資訊，經輔助操作管理系統進行污水下水道系統之監測與流量預報，以爭取應變時間，以利於後續緊急應變操作調度。透過下水道管網進行污水下水道水理模擬演算與即時水位監測，針可能發生雨污混流現象之地區管段，進行監測與研判可預估未來可能冒水之人孔位置，進行透過地理資訊分析上游住戶、民政、工業使用情形，協助研判雨污接管錯誤或是偷排偷倒等情事。污水下水道系統水量水質綜合應用如圖 5 所示)。



圖 5 量監測與污水下水道管網應用構想

伍、結語

綜上所述，新型雷達波水位計強調微型化、低功耗與輕量化，搭配成熟低功耗窄頻網路與雲端大數據架構，如今陸續被運用在下水道系統場域，透過整合毫米波雷達、低功耗傳輸、斷訊補傳模組，配合防潮防護與抗酸鹼材質及高增益天線與等設計，完成監測資料擷取傳輸至雲端應用平台，經過大數據資料庫與深度學習演算，下水道系統的管理應用正逐步邁開大步，迎向融合資料與模式、資訊與知識、常時與緊急不同面向的應用，聯網數據與人工智慧真正得以結合AIoT (Artificial Intelligence of Things)，推動邁向都市總合治水的目標願景。

參考文獻

1. 經濟部水利署，第十河川局水情監測設備智慧化應用及效能提升先期規劃，2018年。
2. 張順欽，物聯網在環境管理之發展與應用，Sustainable Industrial Development Journal，Vol.83，2019年。
3. 陳志偉等，公共污水下水道與智慧管理，Sustainable Industrial Development Journal，Vol.83，2019年。
4. 內政部營建署，污水下水道第六期建設計畫(核定本)，2020年7月。
5. 內政部，都市總合治水建設計畫(111至115年度)，2021年5月。
6. 蔡長展、顏慧敏、黃靖修，國首件都市污水回收再利用計畫-鳳山水資源中心推動經驗分享，審計季刊專題第43卷第1期，2022年。
7. 臺中市政府水利局，111年臺中市雨水下水道即時水情監測系統建置計畫成果報告書，2023年。



摘要

由於臺灣地勢陡峭高聳、河川短小急流，導致雨水留不住，發生乾旱的頻率漸增，已成為全國重要的議題，而水資源回收再利用的議題也相對備受重視。臺北市重視環境永續發展，希望養成民眾愛惜水資源，進而提升可供使用之再生（回收）水的使用量，並以民生水資源再生中心為起始點，以民生社區為示範，擴大給水管網規模進行「管網鋪設、主動供水、智慧取水」，化被動為主動模式，讓取用更加便利，同時導入智慧化管理，於管網沿途設置水質監測點、智慧取水站及澆灌取水點，即時監測水質水量，管控給水之水質，以電子憑證系統（如智慧 IC 卡或 QR CODE 等）為取水方法，管理端收集取用資訊，作為推廣調整參考。本市目前回收水產量總計為 3 萬 CMD（含迪化、內湖廠），未來計畫將再加入民生水資源中心（1 萬 CMD）、濱江水資源再生中心（6 萬 CMD）、社子島水資源再生中心（3.5 萬 CMD），預計 2030 年達成臺北市污水完全自主處理，且三級處理比率達到 50%，全期再生水（含回收水）產能可達 13.6 萬 CMD。

迎接臺北市水資源新世代，再生水智慧管網

程培嘉¹、李光軒²、林佳雯³、周書瑋⁴、曾靖雅⁵

- 1.臺北市政府工務局衛生下水道工程處 /處長
- 2.臺北市政府工務局衛生下水道工程處 /副總工程司
- 3.臺北市政府工務局衛生下水道工程處 /正工程司
- 4.臺北市政府工務局衛生下水道工程處/股長
- 5.臺北市政府工務局衛生下水道工程處 /主任

壹、前言

根據德國 Kassel 大學環境系統研究中心針對西元 1961~1995 年全球水文數據所作之統計，臺灣是世界第 19 位缺水國家，顯示臺灣為水資源匱乏地區，而隨著氣候變遷導致旱澇極端氣候頻率驟增，自西元 1990 年起，臺灣地區每 9 年就會發生一次嚴重的旱災（如圖 1）。臺北市仰賴翡翠水庫水源供水，早期與缺水限水發生機會相較於全國並不明顯，惟為因應氣候變遷趨勢並防患未然，臺北市在工務建設願景白皮書中已提出多元活絡水利用願景，期望利用再生水做為市區新生水源之策略。

公共污水下水道系統建設不僅具有提昇居家環境品質及改善河川水質的功能，若收集之污水能妥善處理且運用，亦同獲

有源源不絕的水源；臺北市目前收集處理之民生污水及截流水總計約有 100 萬 CMD，經過處理後大部分皆直接排放至河川，僅少部分產製為回收水，供廠區、機關與民眾取用；臺北市在民生供水無虞的現階段下，仍希望超前部屬規劃再生水之產量提升並推廣使用，當發生旱災缺水時，民生所需用水須受到最優先保障，而污水處理廠之放流水水量大且水質穩定，若能有效回收利用，將能開拓替代水源，調配水資源供給，舒緩旱情壓力。

以目前而言，就再生（回收）水直接供應民生使用雖具挑戰性，但可持續推廣供應做為民生次級用水，如街道清洗降溫、公園綠地澆灌及景觀生態池用水、工地清潔用水或工業生產使用等，減少自來水使用量，提高民眾對環境永續的意識。

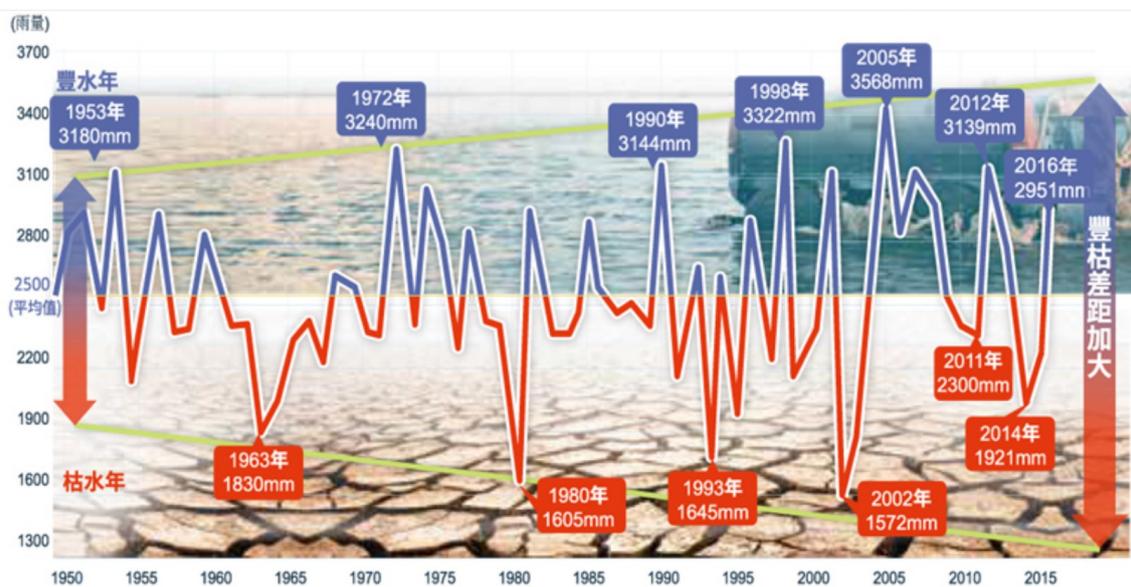


圖 1 臺灣豐枯水年雨量紀錄^[1]

貳、打造再生水循環示範區

位於臺北市民生社區的民生水資源再生中心前身為民生污水處理廠，也是全臺第一座採活性污泥法之污水處理廠，原已於 2002 年除役關廠，為實現 2030 工務願景及結合傳統與永續的思維，故以此為原點重新出發，除開啟新世代水處理理念，同時串聯民生社區、河濱公園、松山機場國際貨運站佈設再生管網與智慧取水站之設置，建構全國首例之智慧水循環示範區。

民生水資源再生中心（以下簡稱水資中心）設計處理水量為 4 萬 CMD，採用

三級處理流程，並以 MLE-MBR 的處理流程配置（如圖 2），放流水質針對主要污染物如生化需氧量(BOD₅)、化學需氧量(COD)、懸浮固體物(SS)、總氮(TN)、氨氮及大腸桿菌等，均遠優於國家放流水標準，甚至優於經濟部「再生水資源發展條例」所訂定的再生水標準（如表 1），

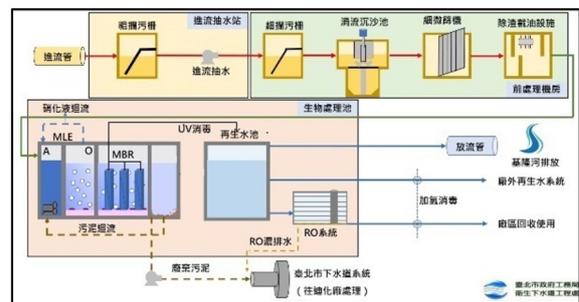


圖 2 民生水資源再生中心處理流程

表 1 民生水資源再生中心設計水質表^[2]

項目	放流水水質	智慧水循環再生水質	再生水+RO 水質
水量(CMD)	40,000	10,000	50
BOD ₅ (mg/L)	≤ 8	≤ 8	-
COD (mg/L)	≤ 30	≤ 30	-
SS (mg/L)	≤ 4	≤ 4	-
TN (mg/L)	≤ 15	≤ 15	-
氨氮 (mg/L)	≤ 5	≤ 5	≤ 0.5
大腸桿菌 (CFU/100mL)	≤ 200	≤ 200	不得檢出
濁度(NTU)	≤ 2	≤ 2	≤ 1
總有機碳(mg/L)	≤ 10	≤ 10	≤ 10
結合餘氯 (mg/L)		≥ 0.4	≥ 0.4
自由餘氯 (mg/L)		≥ 0.1	≥ 0.1

足以作為替代水源。

一、智慧水循環再生水供應系統

經 MLE-MBR 系統處理後之再生水除提供水資中心清洗、植栽澆灌外，在民生社區設有 3 處智慧取水站便於民眾取水，另也於社區之公園綠地、道路綠帶、河濱公園等設置 13 處設置之澆灌取水處使用。

再生水管網由水資中心往南沿塔悠路經三民公園（民權東路 104 巷、富錦街 562 巷）、富民生態公園（撫遠街 300 巷、三民路 130 巷）、三民路及鄰近民生圓環旁成帶狀配置，（往西）沿民生東

路四段、民生東路五段至敦化北路後沿其綠帶往北佈設至民權東路口，再由民權東路四段往東佈設至民權東路五段銜接回水資中心，形成一個環狀再生水配水管線系統。此外，管網還增設分支管配置至松山機場國內貨運站及堤外的錫口濕地、觀山河濱公園，總長達 6,600 m（如圖 3）。

(一)首創智慧取水站

臺北市既有的回收水取用點設於污水處理廠旁，民眾取用較不便利，未來新建之水資中心除了在水資中心旁邊設置再生水智慧取水站外，同時分別在距離水資中心 500 m 外的三民國小及 1,500 m 外的

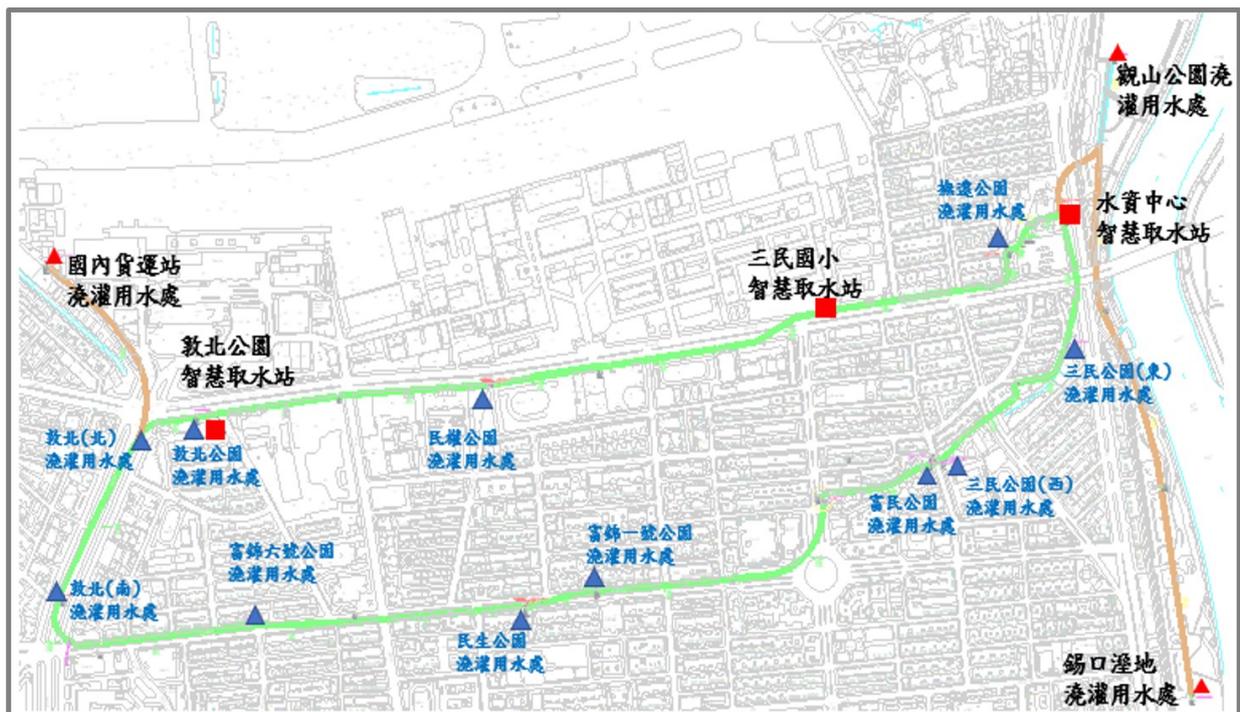


圖 3 再生水管線配置成果^[3]

敦北公園增設智慧取水站，並提供多元取水快速接頭，可做為一般民眾、普通水車、消防車輛取水使用（如圖 4）。



圖 4 智慧取水站

智慧取水站之取水採記名之電子憑證（如 IC 卡或 QR CODE 等為載具），以自動化即時回報並紀錄取水人、時間、取用水質、水量等資訊，在水質未達標準的情況下即停止供水，藉由長期回傳累積之數據，可分析各取水站用水量及用途，做為未來推廣作業之重要參考，也是臺北智慧城市的一環。

（二）水平鑽掘(HDD)工法

考量再生水輸送水管分布於道路，避免大面積封路開挖，可降低施工對交通與環境之影響，及避免居民抱怨之情形，故多數採行水平鑽掘工法，僅部分公園綠地因埋設淺不符鑽掘之下地角度，故採明挖工法。

水平鑽掘工法（如圖 5），它是橫向水平施工法，係運用潛鑽機完成鑽掘並擴孔達設計管徑後，再利用鑽機從出坑口之

管端與預計埋設之管線銜接，沿原孔洞拖曳拉回進口坑；施工過程須審慎適當引力之鑽機，避免拖曳 HDPE 管線時造成管線磨損，並全程以管道閉路電視檢視查核全線管壁、接頭處。

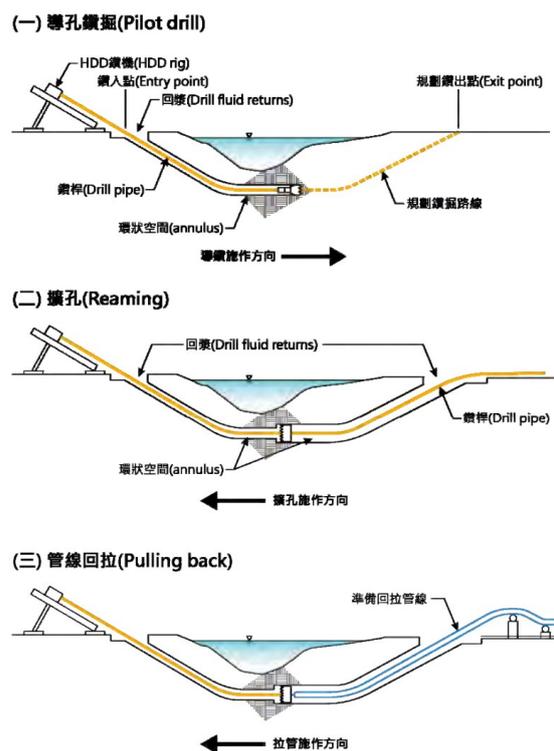


圖 5 HDD 施工流程示意圖^[4]

二、RO 再生水供應系統

水資中心所含之操作空間、辦公大樓、環境教育館均設有中水道系統，污水經 MLE-MBR 系統處理後，再經逆滲透 (RO) 膜系統高級處理後產製再生水，主要供應水資中心園區內各建物之沖廁用水、及環境教育展示用水、污水處理設備用水。

參、再生(回收)水現況及取用情形

臺北市雖然擁有全國最完整的污水下水道系統，惟水情穩定、自來水價低廉，現階段免受缺水的苦，故大眾對於取用再生水的觀念及意願尚未普及，然而近年極端氣候旱澇加劇的影響下，如何節約用水，創造水源是重要課題，且北部 2 座水庫間的供水調度在氣候變遷條件下，更顯重要，現階段本市秉持「臺北市省一滴水，臺灣就多一滴水」的理念，逐步推動及提升再生水使用量。

一般污水經過二級生物處理及消毒後可達到國家放流水標準，臺北市的民生污水目前經過處理至符合標準後，大多數皆直接放流承受水體，僅少部分回收再用，其中迪化污水處理廠及內湖污水處理廠之回收水設計量分別為 1 萬及 2 萬 CMD，目前除了供污水處理廠內系統用水外，亦提供臺北市政府各局處及民間使用，大致上用途為廠區用水、沖廁、公園綠地澆灌、街道清洗降溫及工地清潔用水等。

2022 年統計平均總使用約 1 萬 2,000 CMD，相對於設計量 3 萬 CMD，其回收水使用率尚有提升空間。故規劃採「由內而外」、「先公後私」之推廣策略，具體措施為：

1. 提升廠內使用量：用於池槽清洗、設備維護、沖廁清潔及除臭設備等。
2. 加強跨機關合作，用於街道清洗降

溫、公園綠地澆灌、環境清潔等作業。

3. 修訂臺北市公共工程契約範本，要求公共工程於工地清潔灑水、車輛沖洗及公園路樹澆灌需使用回收水，並搭配設置車輛辨識 E 化系統，便於查詢及統計。
4. 利用社群媒體及官網發布相關回收水再利用之訊息，並設立回收水專區，供民眾查閱相關資訊。
5. 辦理環境教育課程，宣導使用回收水的方式及注意事項，以推廣節約用水及水資源循環再利用之觀念。
6. 推動污水小尖兵校園深耕領航計畫，與周邊 4 所學校合作，透過校園深耕及戶外學習體驗，將環境教育推廣至校園學習，讓學生能獲取污水收集處理及回收水再利用等知識。
7. 設置校園回收水使用設施，目前主動提供 7 所學校用於教學、補助生態池與澆灌、清洗地面等。

透過上述推廣作為，2022 年總計使用量達 422 萬 2,794 噸，較 2021 年增加約 66% (如圖 6)，相當於節省約 1,689 座奧運標準游泳池 (2,500 噸) 的自來水用水量。



圖 6 臺北市回收水使用量成長趨勢

肆、臺北市污水資源化之願景

水資源回收再利用，是時代的潮流，更是國際趨勢，如聯合國永續發展指標 SDG6 主要目標「確保所有人都能享有水及衛生及其永續管理」項下之相對應執行策略，即是「提高水資源回收與再使用率」以及「提高廢污水經三級處理比率」，這也跟世界城市數據委員會(WCCD)的廢水層面相關指標相呼應。

臺北市為確保污水處理量能無虞、分散操作風險、友善水域環境及推動水循環再利用，以接軌聯合國永續發展及世界城市數據委員會等施政目標，規劃興建 3 座三級處理等級之水資源再生中心，除前述民生水資源再生中心外，另有濱江及社子島水資源再生中心，其污水處理能量各別為 4 萬 CMD、16 萬 CMD 及 3.5 CMD。俟各廠完成後，可將本市污水處理量提升至 97.5 萬 CMD。

除既有污水處理量之提升，針對再生水（回收水）總產量亦規劃提升至 13.6

萬 CMD，其中既有迪化污水處理廠將增設 500 CMD 再生水產量；內湖污水處理廠則將原有 200 CMD 再生水產量提升至 500 CMD；民生水資源中心之再生水產 1 萬 CMD；濱江水資源再生中心規劃再生水產量 6 萬 CMD（第一期先設置 6,000 CMD，後續視需求滾動檢討提升）；社子島水資源再生中心規劃再生水產量 3.5 萬 CMD（第一期設置量規劃中）。

綜上，目前本市規劃預計於 2030 年達成臺北市污水完全自主處理，且三級處理比率達到 50%，全期再生水（含回收水）產能可達 13.6 萬 CMD（如圖 7）。



圖 7 臺北市再生水（含回收水）未來規劃願景

伍、結論

民生水資源再生中心的再生水以管網佈設進入民生社區，更首創智慧取水站結

合自動監測，達到即時獲得再生水管網內之水質水量等相關數據，並瞭解再生水之供水情況，減少維護人力，建立長期數據資料庫進行分析，供日後推廣方向參考。

隨著再生水管網走入社區，期待逐步與民融合改變民眾用水習慣，若成效良好，未來將擴大供水範圍，亦可與其它廠(如濱江、內湖)建立聯通管網互援調度供水。

民生水資源再生中心是臺北市第一座 MEL-MAR 處理流程之水處理中心，除了提升處理功能外，對於操作環境將更為友善；環境教育館與辦公大樓為雙金級綠智慧建築，以水資源、綠化及節能減碳等核心，採退縮、透空等方式引入自然採光及視覺穿透風格，搭配綠棚架、垂直綠化、綠屋頂等大面積綠化，再融合於周邊撫遠公園及民生自來水加壓站，形塑臺北上、中、下水的永續示範區，成為時尚且綠美化的城市新地標，建構與民眾共榮發展的新世代水資中心(如圖8)。



圖8 民生水資源再生中心園區模擬

參考文獻

1. 行政法人國家災害防救科技中心氣候變遷災害風險調適平台，台灣乾旱災害特性網頁，2023年04月下載。
2. 聯合水業股份有限公司，「民生水資源再生中心暨下水道環境教育館新建工程」統包案細部設計成果報告書，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，第四章(2021)。
3. 聯合水業股份有限公司，「民生水資源再生中心暨下水道環境教育館新建工程」統包案細部設計成果報告書，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，第六章(2021)。
4. 黃榮裕、高偉騰、李文鐸、陽偉文、江承家、余明山，「長距離大口徑水平導向鑽掘工程案例探討」，地工技術，NO.158(2018)。



摘要

臺北大學社區特定區，簡稱臺北大學特定區、北大特區等，橫跨新北市三峽區及樹林區，因應臺北大學特定區人口不斷增加而上升之污水量，新北市政府於 104 年設立臺北大學特定區薄膜生物處理場 (Membrane Bioreactor, 以下簡稱北大 MBR 場)，作為全臺第一座大型用於處理生活污水的薄膜生物處理場，在實務操作階段沒有太多可參考的案例，只能透過操作人員在問題發生後，努力克服並調整代操作模式因應，北大 MBR 場的營運才能逐漸步入正軌，其佔地面積小及設施地下化的優點，也透過設置的綠地、綠建物、生態池等，與周邊環境共融友善，並透過回收水再利用營造永續環境。

臺北大學特定區薄膜生物處理場¹

操作經驗分享

新北市政府水利局¹

壹、前言

臺北大學特定區橫跨了新北市三峽區及樹林區，由於臺北大學周圍學術風氣良好環境優美，因此提升在此定居之意願，大樓如雨後春筍般大肆興建，但隨著人口不斷的增加，原本設立在學府路及大有路邊的北大特區礫間淨化場（圖1下）漸漸無法負荷日益增加之污水量，為此必須加以提升污水處理量，以防止污染當地環境生態。因此新北市政府運用原有礫間淨化場的基地，增設一座每日污水處理量達7,000噸的薄膜生物處理場（圖1上）。

北大 MBR 場坐落於臺北大學特定區東北角，相關設施大部分採地下化方式建置，上方設有廣闊的綠地或綠建物，增加臺北大學特定區的美好景色與促進空氣清新。新北市政府亦將場內原有空間做為綠地開放，與鄰近之萬坪景觀公園串連，創造景觀多元性並可提供民眾運動休憩，塑造兼具人文與自然的活動特區（圖2）。景觀公園及休閒步道提供了森林般的享受外，讓現代人在結束一天繁忙的工作後，可調劑身心，繼續迎接第二天的挑戰。

北大 MBR 場為全臺第一座大型處理



圖1 北大特區礫間淨化場及薄膜生物處理場空拍圖

生活污水的薄膜生物處理場，主要是透過薄膜過濾及生物處理技術加以淨化臺北大學特定區之污水，目的是為了將臺北大學特定區域的家庭生活污水進行水資源回收再生，提升居民生活品質，同時在北大 MBR 場外設置回收水的供應站，提供市

民清洗車輛、澆灌花木、草皮等等使用（圖 3、4），賦予污水新的生命，也將新北市水資源循環再利用推向新的里程碑。



圖 2 北大 MBR 場綠美化成果

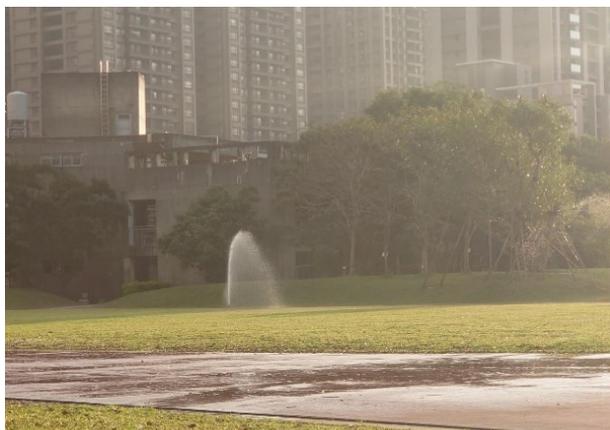


圖 3 桃子腳國中小回收水再利用



圖 4 場外供應站回收水洗車

貳、薄膜生物處理介紹

薄膜生物處理 (Membrane Bioreactor, MBR) 是結合生物處理與薄膜過濾技術的一種高效率的污水處理工法。一般由薄膜模組和生物反應槽二部分組成。當生活污水進入 MBR 場後，透過調節池調整水質，再利用細篩設備將污水中大型顆粒加以移除，接著透過缺氧、好氧及薄膜設施將污水加以淨化，而淨化後的回收水經消毒後，將會進一步的回收利用及放流，使原來的生活污水不再污染我們生活環境，更進一步提昇我們的生活品質。

北大 MBR 場處理流程大致分為三部分：1 前處理、2 生物處理、3 放流處理（處理流程圖如圖 5、圖 6）。

前處理階段（流程如圖 7），從臺北大學特定區公共污水下水道所收集之生活污水，進入場區內之進流抽水站經由 50mm 粗攔污柵去除大顆粒的雜質，經抽水機輸送至 6mm 及 3mm 細篩機去除

顆粒小的雜質後流入調勻池中，利用定量泵將調勻池的污水抽到 1mm 細篩機再次過濾後，流往三池區（生物處理）。

生物處理階段（流程如圖 8），經前處理完畢後之生活污水先流入缺氧池，在缺氧環境中進行脫硝（除氮）作用，再進入曝氣（好氧）池，藉由散氣盤提供池中微生物氧氣，進行硝化分解水中有機物質後，於薄膜生物反應池（薄膜池），利用活性污泥處理污水並以薄膜將污泥以及其他殘渣過濾，達到淨化水質的作用（生物處理池現況如圖 9）。

放流處理階段（流程如圖 10），經薄膜池過濾後的水，再經由紫外線(UV)消毒，就可以直接放流或回收再使用。

參、操作經驗分享

因北大 MBR 場為國內首座用在民生污水上的 MBR 系統，並無實務可參考或提早避開可能之問題，只能透過操作人員

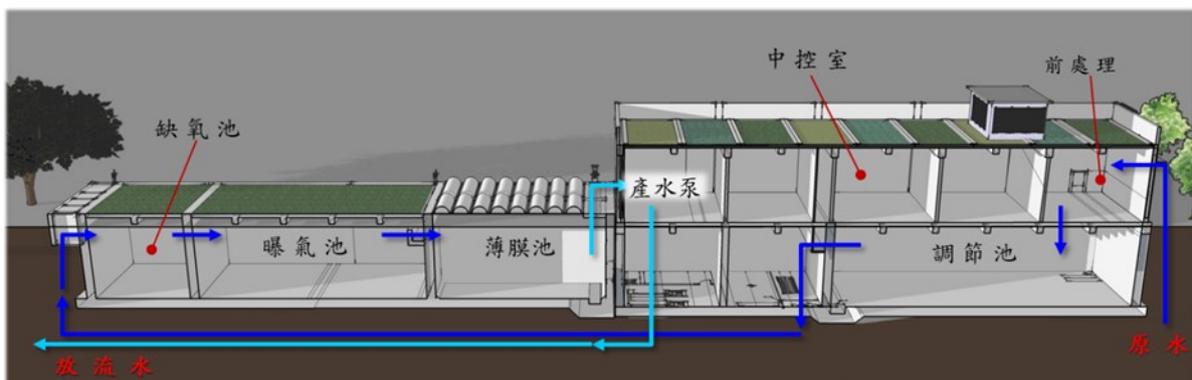


圖 5 北大 MBR 場處理流程

污水處理流程 (Wastewater Treatment Process)

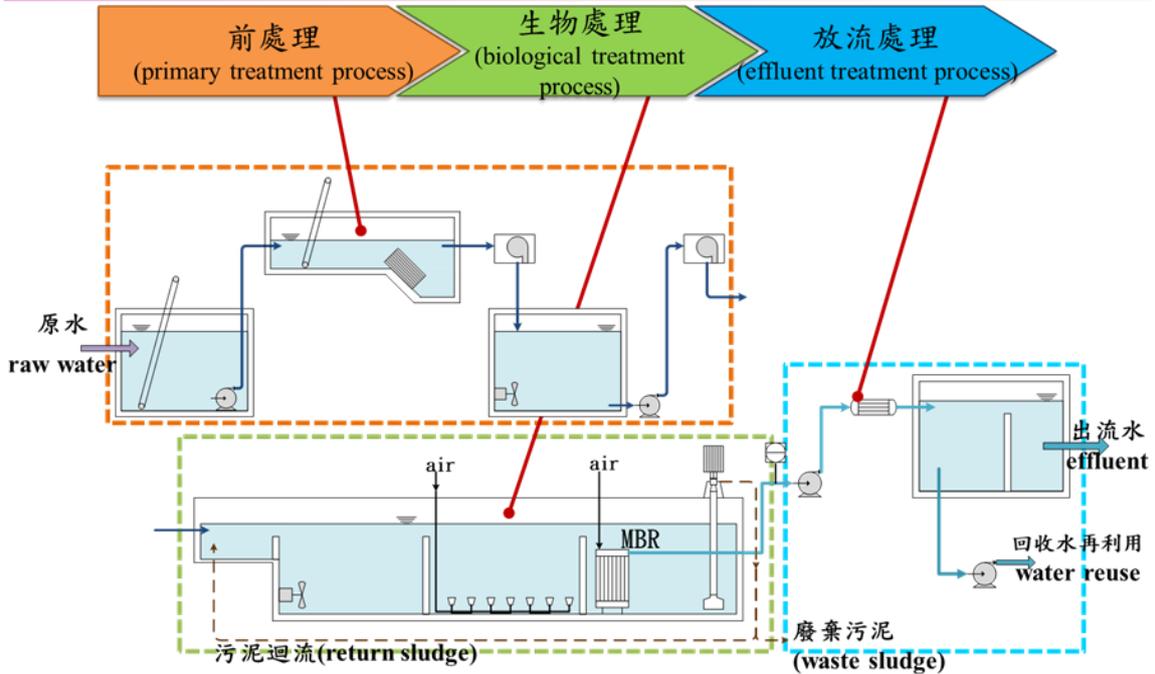


圖 6 北大 MBR 場污水處理流程圖

前處理 (Primary Treatment Process)

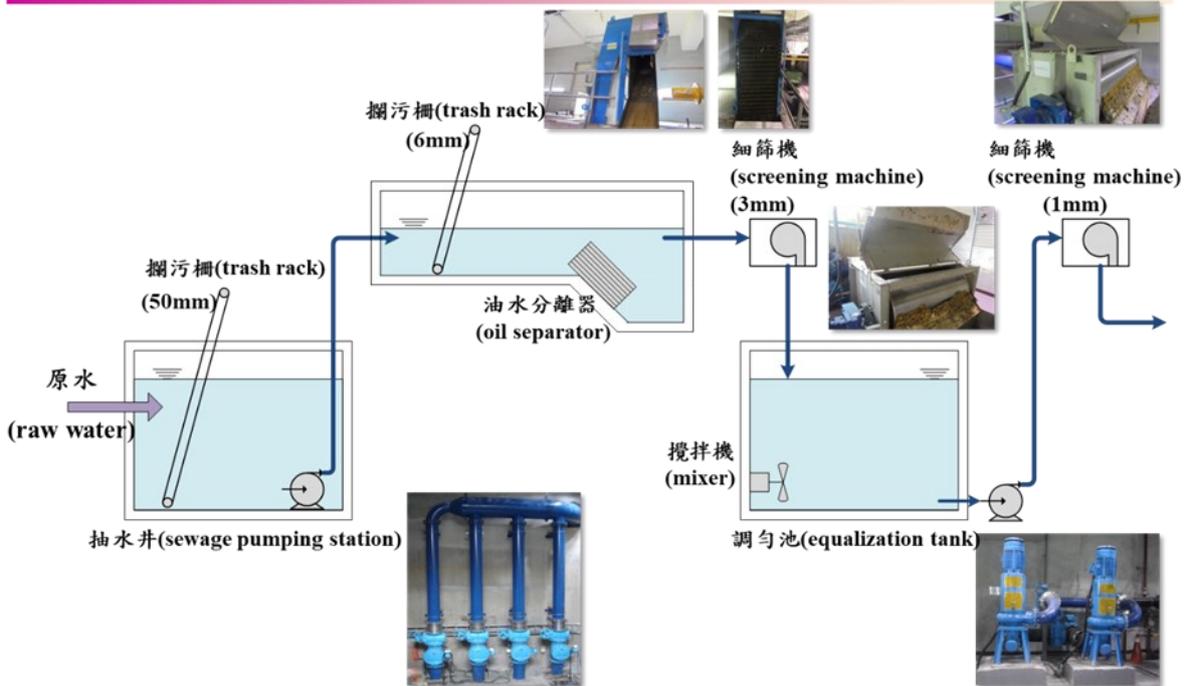


圖 7 北大 MBR 場前處理流程圖

生物處理(Biological Treatment Process)

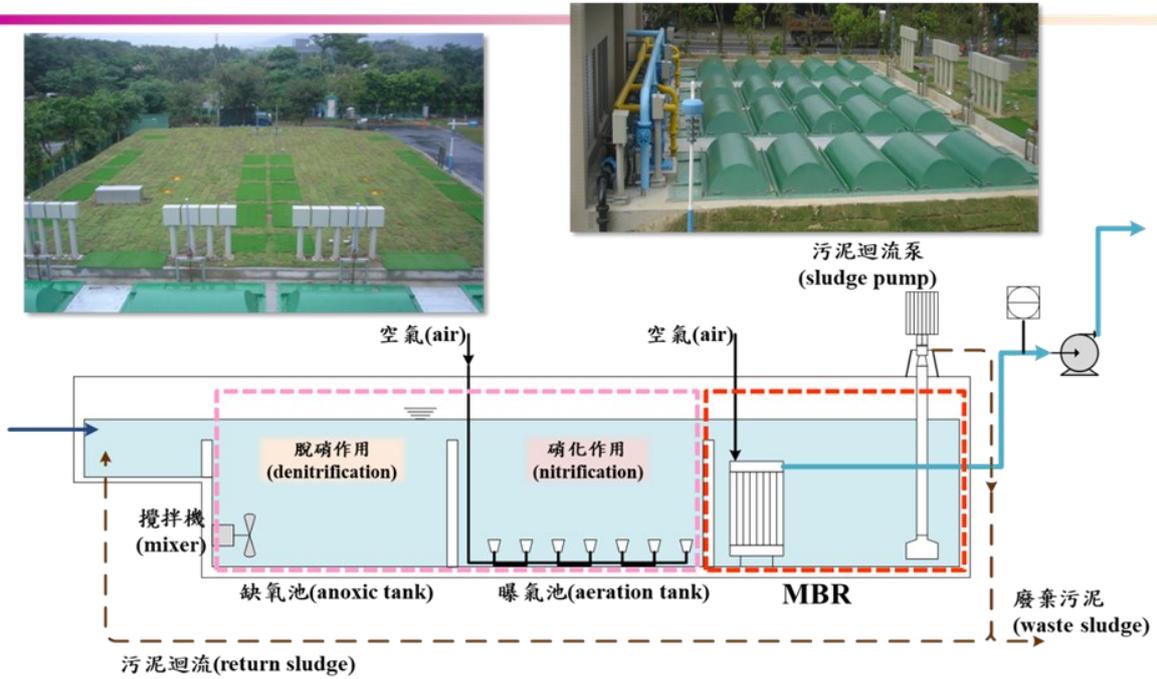


圖 8 北大 MBR 場生物處理流程圖



圖 9 北大 MBR 場生物處理池上方綠美化

放流處理(Effluent Treatment Process)

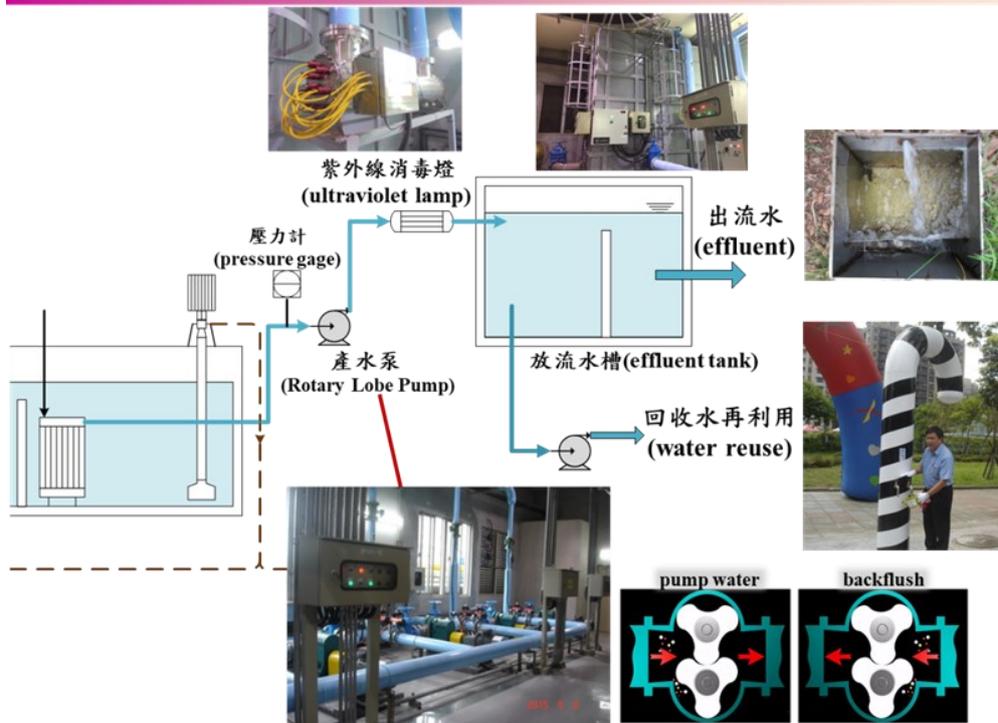


圖 10 北大 MBR 場放流處理流程圖

在問題發生後，努力克服並調整代操作模式因應。

因 MBR 系統針對前處理端撈污系統有較多要求，才能保護後端薄膜設備並延長該設備之壽命，除了在進流抽水站即以粗攔污柵初步攔除大型顆粒外，北大 MBR 場設置在防止較細微的固體物進入缺氧池、曝氣池及薄膜池，細攔污柵之柵距則以 6 mm 為設備選用規格，細篩機則為 3mm 和 1mm，並輔以水位差、時間控制及液位為其自動清除之連續控制。而經過攔污柵及細篩機所篩除掉之固體物，以垃圾子車方式進行收集及定期清運。在

細攔污柵 6 mm 之後也設置了 CPI 高效斜板除油器，CPI 高效斜板除油器與水面呈 45°，水由上往下流，油水分離後，浮油上浮，再經由油水管收集，達到分離油水之目的。

在細節機、細攔污柵及 CPI 高效斜板除油器三者相輔相成的設計下，形成一條能有效清除篩渣物及油污的清除鍊，除了可以防止篩渣物進入缺氧池、曝氣（好氧）池及薄膜池，更大的功效是能保護好薄膜池中的薄膜，不讓篩渣物堵住薄膜中的微小細孔導致產水量不佳，在處理污水時能更有效率的發揮其功能，也能使薄膜

延長其使用年限。

實務操作後發現前處理單元之 3mm 細篩機及 1mm 細篩機攔除之固體物數量相當龐大，為了解決進流水篩渣過多的問題，導致操作人員幾乎定點在前處理端進行人工撈除篩渣及清潔環境(如圖 11)。

此外，篩渣內容物以肉眼目視疑似為榨菜，經代操人員初步判斷懷疑附近可能有大型榨菜工廠或不肖餐廳業者偷排至公共污水下水道，北大 MBR 場為此調查篩渣來源，利用蝦籠作為攔截工具，放置於



圖 11 細篩機篩除物清理



上游人孔內部導溝，放置時間為 24 小時，收籠觀察菜渣數量來判定篩渣來源端(如圖 12)。

第一階段針對臺北大學特定區之公共污水下水道系統的 3 個水系，放置蝦籠於水系末端匯集點，調查三個水系榨菜數量加以比較，後續在針對其水系調查來源是否大型工廠或是餐廳排放榨菜。

1. 水系末端放置攔除結果：在 3 個水系末端人孔放置蝦籠，經放置 24 小時後取出，初步觀察比對並無大量榨菜。
2. 餐廳密集區域攔除結果：針對臺北大學附近餐廳密集地區進行調查，蝦籠取出後並無發現大量榨菜蹤跡，且攔除結果與水系末端攔除結果肉眼判別幾乎相同。
3. 水系攔除結果與場內攔除物分析比較：北大 MBR 場利用清水將攔除物稍作沖洗後發現各水系攔除物與場內



圖 12 水系調查篩渣(放置蝦籠)

攔除物幾乎相同，且經過清水沖洗後，發現都是菜渣與棉絮纏繞在一起（如圖 13），當兩者分開後能明顯發現菜渣顆粒變小，就是一般人體無法消化之排泄物，也因為跟棉絮纏繞後，肉眼目視才會誤認為榨菜。

而大量攔除物的成因係社區多裝設鐵胃（食物垃圾處理機）處理廚餘並直接排入公共污水下水道，又因臺北大學特定區管線自用戶端至北大 MBR 場之距離不長，無法透過管線運送過程將雜質磨碎，導致本場篩渣數量遠超出原設計數量。

因此，北大 MBR 場加裝篩渣物收集口並於下發設置垃圾子車，避免浪費人力

一直在處理篩渣，讓人力用在其他設備保養維護上。

污水超出原設計預期的雜質，不僅影響前處理系統，也對前後端系統的操作造成負擔。

在進流抽水站部分，過多的雜質造成抽水機內部磨耗比正常使用更加嚴重，進而致使抽水效率降低，亦會堵塞於抽水機內部。

為了維持抽水機之效能，除了加強於前端的粗攔污柵及進流井的清理外（圖 15），北大 MBR 場也將原抽水機清理(吊洗)頻率自每半年 1 次提升到每季 1 次，以維持抽水機之正常功能（圖 16）。



圖 13 攔除物(上為蝦籠、下為細篩機)



圖 14 進流抽水井漂浮雜質

圖 15 粗攔污柵清理

而在薄膜系統部分，不同於一般應用在工業廢水處理，北大 MBR 場處理臺北大學特定區之生活污水，即使前端已設有 1mm 之細篩機，但仍有部分細小的雜質無法完全去除，其中毛髮及棉絮等通過的雜質進入薄膜系統後，會與薄膜之膜絲纏繞在一起，造成薄膜阻塞。

在北大 MBR 場薄膜的維護上，為防薄膜阻塞，定期以氣洗、加藥反洗及浸泡式藥洗等三種方式清洗。其中，氣洗之頻率為每 9 分鐘停止運轉抽水泵 1 分鐘，透過壓縮空氣引起震動，剝落附著在薄膜上之污染顆粒；加藥反洗則以每 12 小時使用次氯酸鈉，進行反洗 45 分鐘，藉由

反向通過薄膜進到污水一側，除去孔隙中的污染顆粒；浸泡式藥洗為每半年使用次氯酸鈉或檸檬酸，浸泡 2 小時，能更徹底地清除薄膜上的積垢。此外，若薄膜壓差較大時，則安排槽體人工清洗(圖 17)。

然而，在棉絮等雜質纏繞在薄膜上之情況下，上述的清洗方式的去除效果有限，在北大 MBR 場平均處理水量逐漸下降的情況下，只能編列相關維護作業預算，將薄膜設備陸續運回原廠，進行人工清洗、剔除雜質及薄膜維護作業，來確保薄膜設備功能及延長薄膜設備之壽命(圖 18、19)。



圖 16 進流抽水泵清理 (吊洗)



圖 17 人工清洗薄膜



圖 18 薄膜設備吊離槽池



圖 19 薄膜送回原廠修復

薄膜送回原廠清洗後膜壓有明顯的降低，流量有大幅上升（表 1、圖 20），但與 MBR 薄膜 104 年啟用時相比，當時膜壓 0.3 流量即可達到 100 m³，與清洗後相比，膜壓 0.3 流量只剩下 82 m³ 有很大的差距。主因在於雜質過多且纏繞在薄膜上，無法有效發揮薄膜之功效，造成薄膜在阻塞的狀況下產水導致壓力過大產生斷絲之現象，而清理纏繞在薄膜上之雜質

表 1 送原廠前後薄膜膜壓流量紀錄表

薄膜系統 第一池 膜壓流量紀錄表			薄膜系統 第二池 膜壓流量紀錄表		
日期	產水泵(P-751)		日期	產水泵(P-752)	
	膜壓	流量		膜壓	流量
108/12/20	0.36	58.4	109/5/3	0.35	76.3
108/12/21	0.36	58.3	109/5/4	0.35	76.0
108/12/22	0.36	58.5	109/5/5	0.35	76.1
原廠送修			原廠送修		
109/2/11	0.32	85.6	109/6/15	0.30	89.2
109/2/12	0.30	83.2	109/6/16	0.29	83.6
109/2/13	0.31	83.3	109/6/17	0.27	84.0
薄膜系統 第三池 膜壓流量紀錄表			薄膜系統 第四池 膜壓流量紀錄表		
日期	產水泵(P-753)		日期	產水泵(P-754)	
	膜壓	流量		膜壓	流量
109/3/1	0.46	67.2	109/4/5	0.40	63.9
109/3/2	0.44	67.7	109/4/6	0.37	64.3
109/3/3	0.42	67.9	109/4/7	0.37	64.5
原廠送修			原廠送修		
109/4/16	0.31	88.7	109/5/14	0.26	84.3
109/4/17	0.30	87.5	109/5/14	0.28	84.0
109/4/18	0.30	87.9	109/5/16	0.26	84.1

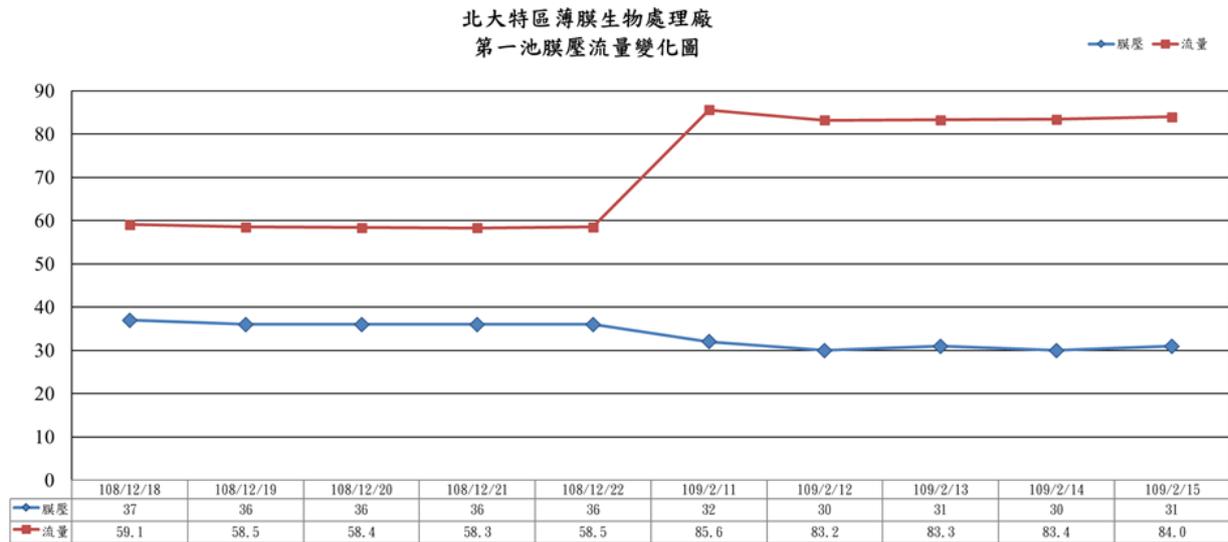


圖 20 第一池送原廠前後薄膜膜壓流量圖

也需要將部分膜絲割除，都會對薄膜造成不可逆的耗損。

為了減緩薄膜的耗損，北大 MBR 場除定期以氣洗、加藥反洗及浸泡式藥洗之方式，來維護保養薄膜單元，也會定期請操作人員穿著青蛙裝進入薄膜池使用高壓水槍進行人工清洗。

北大 MBR 場設計初期，考量經費及占地面積...等因素，在設備設計上無法有效增加設備備用機組，在長期 24 小時運作下，設備端一旦損壞需停機時，除了影響水量外，有時更會造成整場需停機檢修及維護，增加其他廠區負荷及提升操作風險，所以只能盡可能提早判斷及預測設備端可能之磨耗，提前請相關協力廠商因應或備料，並且加強維修人力之投入及維修力度，避免場區停機太久，但也大幅增加營運成本及提升一定的操作風險。

肆、永續發展

目前三鶯水資源回收中心已經啟用，可逐步分擔北大特區的污水，設備較為老舊之礫間場已陸續安排退場，目前辦理 MBR 場設備更新修繕，以延長設備之使用年限。

為了推廣新北市水資源回收再利用，新北市政府除了在北大 MBR 場舉辦相關環境教育參訪，向周邊民眾、學童宣導水資源永續之觀念外（圖 21），亦有媒合周邊政府機關，辦理相關回收水再利用示範工程。

新北市政府與周邊之桃子腳國民中小學、柑園五里聯合活動中心及萬坪公園合作，打造新北市第 1 處專管供應公有建築物使用回收水之示範（圖 22），提供北大 MBR 場處理後回收水作沖廁、植物澆

灌、生態池補注使用，每月可節省約 2,000 噸自來水，並透過活水流動減少病媒蚊孳生，營造更優良生態環境。同時於桃子腳國民中小學及活動中心內設置相關解說立牌（圖 23），從日常生活學習水資源回收再利用的永續環保觀念，養成珍

惜水資源之習慣，塑造愛水惜水的文化。

未來可將退役的處理設備及場地再利用，規劃如環教中心等污水處理示範場所，提供大眾認識污水相關知識的管道。



圖 21 北大 MBR 場環境教育



圖 23 教育解說立牌



圖 22 回收水推廣工程配置介紹



摘要

生活中產生的污水藉由公共污水下水道系統收集到水資源回收中心處理後，將乾淨水資源回收再利用及返還大自然，而良好的污水處理有賴於妥善的操作處理程序及處理設備定期保養，並須隨時監控各項操作參數。

桃園市政府水務局為提供水資源回收中心複雜的操作程序一個完善且便於管理的分析系統，我們建置「桃園市次世代污水下水道系統綜合運籌雲端平台」，由物聯網 (Internet of Things，簡稱 IOT) 處理單元儀控及感測器即時監控數據，建立歷史數據訓練人工智慧模型，模擬在不同監測條件下各處理單元最佳化之操作參數，以達水質處理最佳化；另也藉由設備保養、維修自動排程及即時的預警系統建立，確保設備運轉功能正常順利，設備妥善率達 99%，並達到設備節能 75 萬元 / 年之目標；透過數位轉型，使水資源回收中心等傳統代操作模式也達到能資源循環、具韌性且安全的永續經營之目標。

桃園市次世代污水下水道系統

綜合運籌雲端平台

劉振宇¹

1.桃園市政府水務局/ 局長

壹、前言

桃園市是北台灣的工業大城，在重要貿易運輸樞紐的桃園國際機場加持之下，吸引許多企業將總部、聯絡處進駐，創造更多就業機會，緊接著人口快速成長，許多大型的建設，像是捷運、航空城專區等陸續展開。然而，發展迅速伴隨而來的是耗用水資源及環境問題遽增，面臨環境污染及水資源不足情況，如何有效處理都市污水及管理水資源即是現階段亟待解決的課題。

為提供水資源回收中心複雜的操作程序一個完善的分析系統，我們透過物聯網(IOT)、建築資訊模型(Building Information Modeling, 簡稱 BIM)、人工智慧(Artificial Intelligence, 下稱 AI)等技術導入，充分掌握下水道系統整體的即時監控數據，達到下水道管線、水資源回收中心及未來之再生水廠的水質流量等即時資訊串聯，建立歷史數據訓練人工智慧模型(監督式、非監督式)，模擬在不同監測條件下各處理單元最佳化之操作參數，以達水質處理最佳化；另也藉由設備保養、維修自動排程及即時預警系統建立，確保設備運轉功能正常順利。

貳、問題與困境

桃園市快速發展的過程伴隨都市計畫區眾多(33 區)且零碎分布，市府既有與新增共規劃 12 個污水系統加 3 個集污

區，包含公辦系統：龜山、復興、大溪、石門、楊梅、航空城、新屋觀音、小烏來及桃園機場捷運 A7 站等 9 處；以促參方式推動為桃園 BOT、中壢 BOT 及埔頂 BOT 等 3 個系統；另有龍潭平鎮(山仔頂)、大竹及龍壽迴龍等 3 處集污區。市府的維護管理單位所需管理之水資源回收中心機械設備達 2,500 台以上、基本運作訊號達 10,000 組以上，下水道管線超過 340 公里、超過 7,700 座人孔設施、以及全市超過 20 萬戶的民眾的用戶接管。在縣市層級水資源回收中心的管理過程中，都遭遇各種不同的困難：

一、廠區零散分佈

因廠區零散分佈於桃園市各處，甚至於水質水源保護區等偏遠地區，機關各承辦人員僅能開車交通往返，時間管理成本高昂，且效率不彰。

二、廠區物聯網基礎環境不足

主要為網路覆蓋率不足及儀控點位訊號(Input/Output list, I/O list)連線不良等兩大問題。

在網路覆蓋率不足層面，多數舊廠廠區有線網路與光纖佈建，多以當時廠區建置儀控及機電等訊號點位為考量，缺乏水質水位感測、智慧影像辨識，甚至到全廠區智慧巡檢及 AR 應用網路需求為考量。而衍伸出網路覆蓋率不足，及廠區頻寬不夠的情形，以致廠區智慧化受阻。

此外，早期光纖受限於早期施作工法以及舊製程材質，目前也已無法負荷額外高傳輸流量設備加入。

在儀控點位訊號 (Input/Output list, I/O list) 連線不良層面，舊廠廠區儀控設備 I/O 點位連接至資料採集與監視系統(Supervisory Control and Data Acquisition, 以下簡稱 SCADA)的訊號線，部分會因年久未查修，而導致訊號連線不穩定或數值呈現錯誤等狀況。而這類情況，相當仰賴平臺即時監測與趨勢圖呈現，以檢視前端儀控設備及其他相關物聯網設備是否完善。

三、設施多樣類型

既有與新增水資源回收中心、聚落型無人污水處理廠及再生水廠，建置年份不同、處理程序不同、處理量體亦不同。而目前下水道管線、水資源回收中心與再生水廠，資訊管理系統分開考量，並無統合管理，每當有新的水資源回收中心興建時，都將重新建置一套廠務管理系統及搭配的儀控設施。

四、維運各自獨立

各水資源回收中心營運使用各自系統或記錄方式，表單資料格式不盡相同，難以資訊化整合或進行數據分析，造成操作維護工作的精進受阻。

五、問題無法即時掌握

各水資源回收中心設施操作紀錄未上線，相關問題無法即時掌握。此外，遭遇突發或緊急事件時，下水道即時監測與水資源回收中心預警勾稽十分重要，由於污水異常水質及水量會透過下水道管線進入各水資源回收中心，若水資源回收中心無法第一時間收到異常預警，異常水量及水質將都會造成水資源回收中心處理單元超負荷甚至使生物處理癱瘓造成無法處理污水之窘境。

面對數以萬計的設施及訊號、舊有基建的更新困難，原有的公共服務不僅要維持原來的水準，更要隨著民眾生活水準的提升日益求新。這些都是全球各地的水資源回收中心都會遇到的困境及挑戰。如今，隨著科技的進步發展，人工智慧及物聯網技術的成熟，許多公共領域也開始陸續導入相關科技，智慧化應用讓舊有的服務與設施，有了新的生命。因此，科技產業也開始探索水管理系統的科技導入。

參、執行方法

「桃園市次世代污水下水道系統統合運籌雲端平台」之建置，以標準化、雲端化、物聯網、行動化、視覺化、數據化、智慧化及自動化等八大創新作法，讓各廠區不再各自為政，未來新建置的水資源回收中心都能統一管理，無須重覆投入管理平台的建置費用。實際解決方案，如下所述：

一、標準化

針對既有與新增水資源回收中心管理、操作、維護、水質等各項資訊，提供標準化表單、標準化功能介面及物聯網規範，不管有多少廠區或未來興建多少新的廠區，都可用同一個介面共同管理。此外，透過開放地理空間協會 (Open Geospatial Consortium，以下簡稱 OGC) 的應用程式介面 (Application Programming Interface，以下簡稱 API) 格式提供資料服務，也強化了資料的整合性和流通性。

二、雲端化

透過把平台搬上雲端，將平台雲端化可以更有效調閱及管理各廠區的營運資料，也讓過去的紙本月報來往簽核，變得更快速與簡單，大幅加速行政效率及無紙化的進程。

三、物聯網

基於舊廠區網路覆蓋率不足的問題，本局應用網路熱感圖技術，根據廠區現況網路設備位置，如下圖 1 所示，辨別廠區網路頻寬強度，以作為後續無線網路路

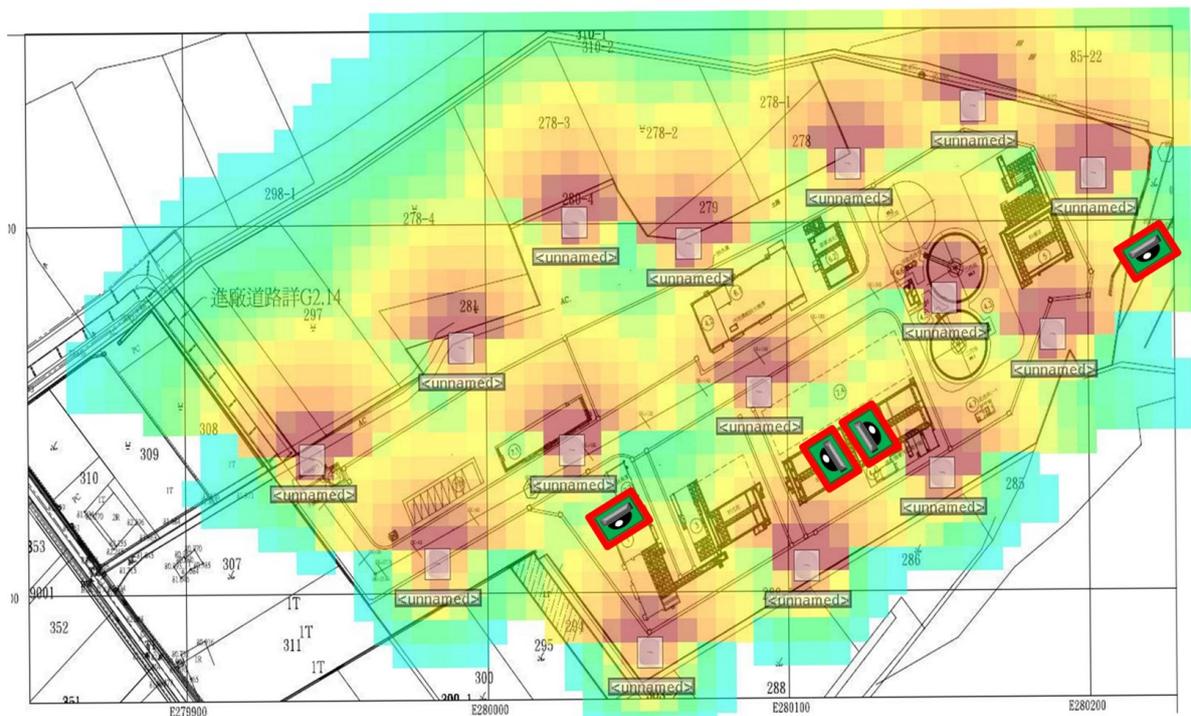


圖 1 廠區網路熱感圖

由器(Access point · AP)佈建點位參考，進而達到全廠區網路化的場域。

結合物聯網技術，提供各水廠的進放流水質水量、水處理單元監測及即時監控(Closed-Circuit Television，以下簡稱CCTV)等即時動態資訊及異常預警功能。此外，機械設備可透過一機一卡的方式進行維護修繕並紀錄，達到設備生命全週期的有效管理，如同健保卡使用概念，在機械設備有狀況時，維護修繕人員能透過歷史紀錄，更有效率的推斷出病因。並透過運用邊緣運算主機在水資源回收中心現地進行各項監測數據之匯流及數據清洗，可提高數據匯流之效率，並可監測各項數據傳輸時之連線狀態與服務狀態，防範傳輸斷線之疑慮。

四、行動化

智慧化巡檢功能可讓操作巡檢人員透過智慧感應標籤，搭配手邊的行動裝置，確實進行每日到點操作巡檢與即時訊號確認，如下圖 2 所示，利用應用程式(Application，以下簡稱App)輸入或



圖 2 智慧巡檢搭配 MIS 廠區狀態顯示

確認所對應之巡檢設備與項目，即時感應讀取，就可即時線上填報營運紀錄，管理中心亦可即時通知維護人員，前往察看與處理異常，並將必要資訊提供給現場做綜合判斷，減少相關書面陳核，縮短紙張往返時間，大大提高管理成效。

五、視覺化

物聯網融合建築資訊模型(BIM)的3D立體影像應用，系統可自動化提示設備運轉狀態，如下圖 3 所示。使水資源回收中心人員能即時追蹤設備故障情況，並精確瞭解設備所處位置，立即做維修改善。



圖 3 MIS 廠區異常狀態顯示

六、數據化

在各廠水務聯網(IOT)處理單元儀控及感測器即時監控數據逐步完備的條件下，就可利用此平台收集歷史數據，藉此進行巨量資料統計，訓練人工智慧模型，模擬在不同監測條件下各處理單元最佳化之操作參數。

七、智慧化及自動化

透過前端物聯網感測器及系統平臺數位營運資料，匯流至水質模擬軟體運算後，自動回饋水質達成預估狀態與可調整操作參數於本系統中，並將相關資訊整合於各廠智慧廠務儀表板頁面，呈現水質模擬成效、設備可降低運轉時數等參考值，可做為後續操作參數調整之決策輔助參考。

使用情境主要為進流水質數據從感測端(Sensor)可透過 API 介接，水質模擬軟體平行於系統外的模型計算模組(Model Calculation Module)，例如早上 6 點進流水質數據收到，經程式模擬後，告知放流水質是否達標、建議設備操作參數可如何調整，且因有設備起停數據，可以告知若依據操作參數調整鼓風機當天可縮短兩小時，則可節省多少用電量，除達到模擬成效之外，亦可結合節能成效展現。

肆、實證成效

本系統現階段已正式上線 17 處。包括桃園北區、龜山、楊梅、文青水園、大溪、石門、復興、三民、羅浮及義盛等 10 座水資源回收中心；百吉及順時埔 2 處聚落式污水處理設施，以及月眉人工溼地、員樹林礫間、朝陽礫間、南崁溪上游礫間、水汴頭礫間淨化設施等 5 處現地處理設施。

截至目前為止，已正式導入 5 座水資源回收中心（大溪、石門、龜山、文青

水園及桃園北區等）全廠區設備及訊號，包括儀控設備、水質水量及智慧電錶等。對縣市層級各營運管理單位提升大量工作的效益。

本局污水設施管理工程科股長葉柏緯提到，過去每座水資源回收中心（下稱水廠）不僅得花費幾百萬打造資訊系統，還得委託廠商操作和維護，因各水廠廣布，讓管理疲於奔命，且各水廠系統跟規格有異，加上各水廠處理流程和設備種類不盡相同，實在難以統合管理；「桃園市智慧水資源回收中心雲端統合管理平台」透過科技進程，透過 5G 克服傳輸導入物聯網監測及系統雲端化、行動化，幫助日常操作紀錄、即時溝通，亦大幅提升管理效率，也逐步透過雲端紀錄及 AI 演算同步催生本土大數據，即使人員更迭，也能讓平台協助決策輔助，使水廠永續經營。

水資源回收中心委外監督顧問環工技師陳一銘也提到本平台針對監督顧問人員的效益，主要在於由電腦完成各項數據統計以及縮短審查時間，比如通過本平台中的「水質數據下載」，即可獲得所選定區間內的各項數據，且相關數據已自動產生相關圖表，不需要再進行作圖。同時，以往監督顧問人員在進行月報審查時，需由各廠郵寄月報；審查完畢後，再由監督顧問人員寄回審查意見，各廠修正完後再郵寄.....，這一來一往之間，又浪費了許多寄送時間。現在透過本平台可通過線上審查功能進行審查，提升整體的工作效率，

也有利於機關各項工作的執行效率表現。

案例一：文青水園水資源回收中心

依據現場處理流程，進行數位化後，據以建置水質模擬模型，圖 4 為建置完成之文青水園水資源回收中心水質模擬模型。

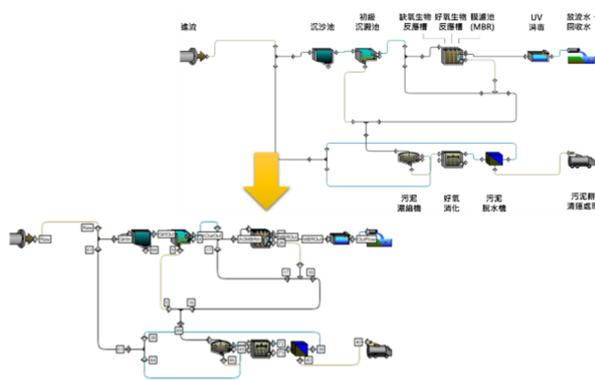


圖 4 水質參數模擬建模過程

透過參數設定與調適，模擬模型各項參數設定，如下圖 5 所示。

Variable Name	Unit	Value	Variable Name	Unit	Value
influent COD	gCOD/m ³	484.7	total suspended solids	g/m ³	72.8
influent NH ₄ -N	gNH ₄ -N/m ³	88.4	total suspended solids	g/m ³	72.8
influent phosphorus	gP/m ³	4.1	total organic suspended solids	g/m ³	21.8
influent nitrate	gNO ₃ -N/m ³	0.0	total nitrogen	gN/m ³	88.4
influent nitrite	gNO ₂ -N/m ³	0.0	total phosphorus	gP/m ³	4.1
influent nitrate	gNO ₃ -N/m ³	0.0	total nitrogen	gN/m ³	88.4
influent nitrite	gNO ₂ -N/m ³	0.0	total phosphorus	gP/m ³	4.1
influent nitrate	gNO ₃ -N/m ³	0.0	total nitrogen	gN/m ³	88.4
influent nitrite	gNO ₂ -N/m ³	0.0	total phosphorus	gP/m ³	4.1
influent nitrate	gNO ₃ -N/m ³	0.0	total nitrogen	gN/m ³	88.4
influent nitrite	gNO ₂ -N/m ³	0.0	total phosphorus	gP/m ³	4.1

圖 5 各項參數設定

接著，分別進行進流水與放流水質校驗與預測：依據匯入模型之設計值與大數據導入分析。進流與放流之各項水質，於模型中已校驗與現況趨勢一致。如下圖 6：以文青水園水資源回收中心進流為例。

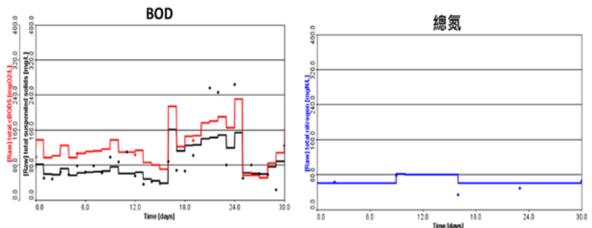


圖 6 水質參數調整與校驗證

透過上述模型模擬，已可透過平臺提出告警與建議，包括系統智慧告警，當放流水質超過預測值，應注意操作參數變動（非日常操作現況、進流水質異常...等），如圖 7 所示；設備節能建議自動化告警，當放流水質低過預測值，可考量進行設備運轉降載，達節能功效。



圖 7 MIS 自動化告警顯示

案例二：龜山水資源回收中心

運轉優化設備節能，應用物聯網數據累積，找出前五名重大耗能設備，進行升級汰換（例如：加裝變頻器），如圖 8 所示，或操作模式調整，設備節能在汰換前後年度節電差異量約 1,335,024 度 / 年，如表 1 所示，乘以 2.7 元 / 度後，約 360 萬 / 年。



圖 8 MIS 設備耗能統計

表 1 年度節電量統計

項目	數量	汰換前(天)		汰換後(天)		年度節電量 (度)/(年)			
		功率	時數	功率	時數				
水平式曝氣機汰換為沉水式 推進機	3	45	12	1,620	4	4.8	12	230	507,204
水平式曝氣機加裝變頻器	6	45	12	3,240	6	13.5	12	972	827,820
總計 1,335,024									

並應用平台大數據持續累積運轉與操維紀錄，掌控設備健康度，設備妥善率達 99% (註：設備總台數×總天數-故障數量×故障天數) / (設備總台數×總天數) ×100%，如表 2 所示。至開始使用局端系統後，即時設備故障通知，電子化維護維修派工作業，管理廠區各項設備更有效率，也從 109 年設備妥善率 95.49% 提升至 111 年 99.56%，如圖 9 所示。

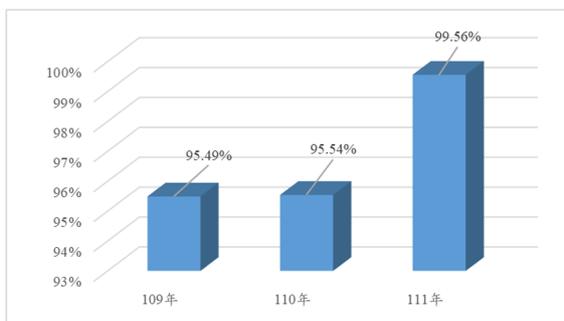


圖 9 每月設備妥善率趨勢圖

表 2 年度節電量統計

	109年	110年	111年
1月	96.24	98.49	99.24
2月	93.98	95.48	99.24
3月	95.48	94.73	100
4月	96.24	93.23	100
5月	94.73	93.98	100
6月	96.24	93.98	99.24
7月	97.74	95.48	98.49
8月	96.99	97.74	99.24
9月	94.73	94.73	100
10月	92.48	95.48	100
11月	93.98	96.24	100
12月	96.99	96.99	99.24
平均	95.49%	95.54%	99.56%

神通資訊科技股份有限公司業務副理郭南廷提到，「桃園市次世代污水下水道系統統合運籌雲端平台」的困難與價值，提出三種務聯網至雲端數據橫縱整合之模式，說明如下：

在於 PLC 設備訊號數據轉譯至雲端平台標準化的過程，包括資料格式、命名規則、擷取頻率等，將數據依據訊號編碼解譯原則編譯。

後端資料庫具備可擴充設計，訂定資料標準作為標準資料庫的基礎，各廠繼承標準資料庫屬性，接續擴充實務需求欄位，彈性化設計各廠儲存單元資料庫，以解決全市各大小廠資料差異的問題，達到全市廠區整合管理。

雲平臺資料面實作採標準化 OGC API，針對資訊化程度不同使用者提供服務，將資料標準化整合格式將後續導入的水廠設施都有所依憑，不再雜亂無章。

伍、結語

「桃園市次世代污水下水道系統統合運籌雲端平台」的建置，我們能透過分層管理即時追蹤關鍵營運績效，各水資源回收中心的智慧廠務儀表板可呈現該水資源回收中心的各項水質水量、用水用電、設備運作監測數據及進放流口與廠區 CCTV 影像等資訊，讓廠區管理人員隨時掌握水資源回收中心營運狀況。局端則可透過擴充優化後之智慧儀表板所呈現的總和性數據分析，追蹤全市轄下所有水資源回收中心的綜合營運績效。同時發揮總體計畫綜效減輕人員負擔，本系統透過平臺大數據分析功能，提供管理人員更為全面的全市水資源管理樣貌，以減少重複投資，發揮總體計畫綜效。亦將全市水資源回收中心的營運管理資料與內政部營建署系統進行介接，減輕操作人員重複輸入的負擔，讓本平臺成為水資源回收中心更為便利的管理工具，並逐步朝水資源回收中心節能延壽邁進，並切合我國 2022 年 3 月正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑藍圖」，期許未來水資源回收中心能透過數位轉型，達到能資源循環、具韌性且安全的永續經營目標。

「桃園市次世代污水下水道系統統合運籌雲端平台」建置後，成功證實透過數位科技提升水資源管理效率，打造智慧韌性城市，我們的努力收穫豐碩的果實，並且將會不懈地持續精進，讓科技演進的同

時，也讓水資源回收中心的管理大躍進。

參考文獻

1. 污水下水道第六期建設計畫 (110 至 115 年度)，內政部營建署，第 5-1 頁~第 5-10 頁，(2020)。
2. 桃園市水資源回收中心廠務管理系統建置計畫，桃園市政府水務局，(2019)。
3. 桃園市智慧水資源回收中心雲端統合管理平臺擴充及維護資訊計畫，桃園市政府水務局，(2021)。

[第 4 期] 期刊勘誤公告

《下水道·水再生期刊》第4期出現錯誤，編輯部深感愧疚，在此向作者及所有讀者致歉。

第62頁「我國公共污水處理廠再生水之推動與展望」文中，「圖3 雷尼替丁在不同加氯方式與無機氮污染條件下之二甲基亞硝胺(NDMA)生成情形。結果顯示氯胺消毒將大幅提高雷尼替丁在消毒過程的亞硝胺轉換生成率^[12]。」，因疏忽誤植為「圖3 生活污水處理率及污水處理甲烷排放量歷年趨勢(1990~2020年)^[7]」，在此致上萬分歉意。

下水道·水再生期刊稿約

壹、誠徵稿件

- 一、本期刊為內政部國土管理署針對下水道領域所發行之期刊，每年三、七、十一月下旬出版，誠徵稿件。
- 二、歡迎下水道從事人員以及設計、產銷有關下水道工程之器材業者提供相關文稿，如創見或新研究成果；國外新知或工程報導；下水道工作現場發表感想；國內有關下水道發展之研究計畫；國內、外與下水道相關之新書介紹等。
- 三、惠稿每篇以伍千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，本期刊對於文稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明；無法出刊之稿件將儘速通知。
- 四、惠稿（含圖表及著作權讓渡同意書，並請提供一張圖片作為封面圖片）請用電子檔寄至 twea900606@gmail.com，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 五、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。

貳、稿件格式

- 一、版面設定：頁面紙張請以 A4 規格 21cm * 29.7cm 直式編排；本文版面規格：版面上下左右邊界各為 1.27 cm；內文段落採單行間距，並設定左右對齊。除摘要，其餘皆以兩欄型式呈現。內文首行需位移 2 字元。
- 二、字型設定：字體中、英文請採微軟正黑體字型。字體大小：頁首頁尾及頁碼採 12 號字，標題採 18 號粗體字（置中）作者姓名、任職單位及職稱採 12 號字（置右），“摘要”標題採 14 號粗體字（置中），各章節標題採 14 號粗體字（置左），內文採 12 號字，圖表標題採 11 號字。
- 三、文章篇幅：每篇文章以 10 頁為限（含所有內容及圖表）
- 四、文章架構：
 - ◆中&英文標題：宜簡明
 - ◆作者姓名、任職單位及職稱：請以置右方式依序條列
 - ◆中文摘要(300 字為限)

◆英文摘要(300字為限)

◆本文（章節之編序以：壹、一、(一)、1、(1)、… 為原則）

◆參考文獻

五、圖表配置：本文中之圖表請隨文插入（與文字排列），圖表之編號一律以 1,2,...等阿拉伯數字表示，圖標題請以置中方式標註於圖下方；表標題以置中方式標註於表正上方。

六、數據規範：內文中之數字請以阿拉伯數字呈現，並採用半型，可量化數字超過 3 位數請以逗號區隔，如 1,234；年份請以西元紀年；文中所使用數據單位請以公制單位，如：min、°C、mg/L 等，數字及單位之間請空半形 1 格。

七、參考文獻格式

期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。

書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。

機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。

【參考文獻 格式範例】

1.歐陽嶠暉，下水道工程學，長松出版社，增訂版，第 45-56 頁，臺北(1992)。

2.黃國文、李方中、於望聖、陳志偉、顏慧敏、施上粟、林旺德、林佳薇 (2017)，公共污水下水道維護管理訪評計畫之研訂與推動，農業工程學報，63(2)，第 1-10 頁。

3.陳余育、劉振宇、鍾淑女、李金靖、陳怡寧、游勝傑，“臺灣地區性水資源回收中心新冠肺炎病毒檢測初探”，中華民國環境工程學會 2021【廢水處理技術研討會】研討會，110 年 8 月 19 日，第 132 頁(2021)。

八、文章內文格式範例（請洽本期刊編輯組）

參、本期刊內容將刊載於內政部國土管理署資訊入口網歡迎各界參閱。



著作權授權使用同意書

_____(作者/機關名) 保證除本次投稿至「下水道·水再生」期刊之
文章 _____(文章名) _____，相同內容未專屬授權至國內外其他有版
權之期刊或有抄襲之情事，若有涉及著作權之侵權或其他不法行為，本人
願負相關之法律責任。

_____(作者/機關名) 同意將本篇文章之著作權自接受刊登日起，授
權內政部國土管理署有重新編排並將本篇文章置於所屬網站及刊物等刊載
供外界查詢之權利，但需註明本文章作者。

此 致

內政部國土管理署

立 書 人 ：

通 訊 處 ：

聯 話 電 話 ：

(親簽後掃描為電子檔與文稿一併寄送至編輯組)

中 華 民 國 年 月 日

中華民國 一百一十二年十一月出刊

第 2 卷第 3 期

中華民國 一百一十一年七月創刊

發行人：吳欣修

指導委員：宋德仁、於望聖、邱忠川、范世億、陳志偉、黃一平、劉振宇、
蔡長展 (依姓氏筆畫順序)

編輯委員：王朝民、朱錫麟、阮春騰、邱敏錦、周黎明、林舜宏、侯嘉洪、
洪俊雄、胡念英、康世芳、張添晉、莊順興、陳立儒、黃成龍、
黃良銘、黃靖修、楊仁彰、廖宗銘、鍾志成、蘇玫心 (依姓氏筆
畫順序)

總編輯：曾淑娟

副總編輯：周世銘、鄭惠君

執行編輯：游勝傑

出版單位：內政部國土管理署

地址：臺北市松山區八德路 2 段 342 號

電話：(02)8771-2345

網址：<https://www.nlma.gov.tw/>

執行單位：社團法人台灣水環境再生協會

地址：臺北市松山區復興南路一段 1 號 1204 室

電話：(02)2777-2675

網址：<https://www.twea.org.tw/contact.html>

GPN:2011100010 ISSN:27913805

★☆☆本刊文章版權所有，非經同意不得轉載★☆☆

★本刊文章屬個人學術發表，不代表內政部國土管理署立場★