

廢(污)水處理類

都市污水處理廠放流水以不同再生程序 因應工業再利用之處理技術

侯清文*、王朝民**

摘 要

鑑於傳統水源供應穩定性常受限於氣候變遷影響，開發更穩定的新興水源日益重要。人類日常活動產生之生活污水，若能經過適當處理後轉變為再生水，不失為另一種穩定的新興水源，且相較於海水淡化每產 1 噸水約耗電 4 度左右，生活污水再生處理每產 1 噸水約耗電 1.0~1.5 度左右，將更為經濟。水處理技術日新月異，不同處理技術效率及成本(含能耗)大不相同，因此進行都市污水處理廠放流水回收再利用評估時，應依照再生水用途，選擇節能、有效之處理程序及技術，方能達成綠色永續循環目標。

本文以北部 A 廠、中部 B 廠及南部 C 廠，較具規模之都市污水處理廠為例，探討因應回收用途不同所對應之放流水再生處理程序。其中，A 廠放流水回收再利用計畫第一期工程，擬供應再生水至桃園龜山地區、觀音工業區及南崁工業區附近之工廠，再生水主要用於製程、鍋爐及冷卻用水，其處理程序為放流水經濾布濾池、超濾(UF)、逆滲透(RO)等再生處理單元，因其處理等級較高，操作成本相對昂貴。而 B 廠放流水回收再利用擬供應再生原水至臺中港工業專區，其處理程序為放流水經快濾及加氯等再生處理單元，避免長距離輸送時管線內產生沉積或滋生細菌，因處理單元簡易，

130 都市污水處理廠放流水以不同再生程序因應工業再利用之處理技術

操作成本相對便宜。C 廠放流水回收再利用擬供應鄰近工廠再生水，以取代部分自來水用量，被取代之自來水用量則交換至南科園區供半導體廠商使用，充分達到水資源經濟有效分配，同時符合南科園區使用一定量再生水之環評承諾。

【關鍵字】 污水處理廠、水資中心、再生水、再生水廠、換水、節能減碳

* 環興科技股份有限公司水務工程部

計畫主任

** 環興科技股份有限公司水務工程部

協理

一、前言

根據國外成功推動污水回收再利用案例，再生水大致分成 5 大用途，分別為工業用水、農業灌溉用水、生活雜用水、景觀用水與地下水補注等。以目前台灣需求特性而言，農業灌溉用水因涉及灌排渠道取水點分散、水質需求與安全風險議題，現階段污水處理廠放流水用於農業灌溉用水前，需較長時間試驗，確保放流水重金屬等污染物濃度穩定達標；生活雜用水如澆灌、沖廁用水，除需佈設中水道管線外，尚需建築物內設置二元供水系統配合，較適合小規模案；至於地下水補注，因面臨水質要求嚴格及環保議題推動不易，故現階段以工業用水與景觀用水為較能推廣且可行之用途。

國內每年約有 16 億噸之工業用水需求量，考量處理生活污水之污水處理廠（以下簡稱水資中心）放流水水質及水量穩定，經再生處理後作為工業用水具有供水穩定之優點，且較無人體健康風險之疑慮；此外工業用水具有需水量大、用水集中之特性，採專管供水具經濟效益。行政院除 102 年核定「公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動方案」，106 年及 109 年陸續核定「前瞻基礎建設計畫-水環境建設（水與發展）再生水工程推動計畫」及「公共污水處理廠再生水推動計畫」，由經濟部水利署、內政部營建署、相關地方政府及特定園區（含工業區或科學園區）主管機關等單位，於桃園、新竹、臺中、臺南及高雄等地區共同推動 12 座再生水示範計畫（分布如圖 1 所示）。即便示範計畫均取用水資中心放流水作為再生水原水，因再生水用途不同，各示範計畫所設計之再生水處理流程亦有所不同。

北部某水資中心（以下簡稱 A 廠）放流水回收再利用計畫，供水用戶主要為桃園龜山地區、觀音工業區及南崁工業區附近之工廠，用途為製程、冷卻、鍋爐用水。

中部某水資中心（以下簡稱 B 廠）放流水回收再利用計畫，用水簽約對象雖然為臺中港工業專區，但提供再生原水過程中須避免長距離輸送中產生 SS 沉積及滋生細菌。

南部某水資中心（以下簡稱 C 廠）放流水回收再利用計畫，由台南市政府與 C 廠鄰近之工廠簽訂再生水用水契約，同時與南科園區內半導體廠商簽訂再生水使用量交換契約，由南科半導體廠商補貼負擔再生水與自來水水價差額。C 廠再生水用途為製

程、冷卻、鍋爐用水，因非直接供半導體高階製程使用，故無需針對尿素、硼加強去除。

由以上 3 種案例可知，因用途不同，所需再生水處理程序及成本也不同。

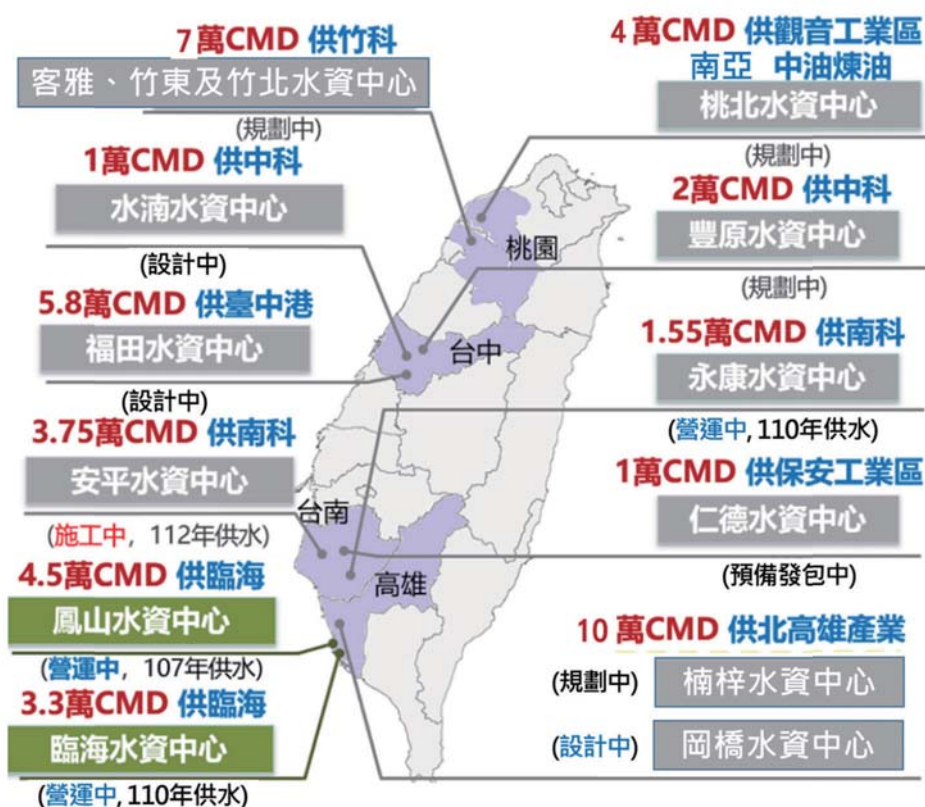


圖 1 台灣推動中再生水開發案例示意圖

二、廢(污)水回收處理技術

廢(污)水處理技術基本方法，為使水與污染物分離，因此設計處理單元應先針對欲去除之污染物特性，再決定採用物理性、生物性或物化性單元或其組合，污水處理廠同時涵蓋物理性的攔污、沉砂、沉澱、過濾、濃縮、脫水，生物性的氧化、吸附、吸收，物化性的中和、混凝、加氯等單元。隨著科技及法令進步，污水處理逐步進化為回收再生層次，須結合到早期造水技術，例如微濾(MF)、UF、納濾(NF)、RO、

高級氧化、臭氧、消毒 (HOCl、紫外線 UV)、活性炭 (AC)、離子交換 (IE)、電透析 (ED)、倒極式電透析 (EDR)、電容去離子 (CDI) 等，或者與傳統生物處理結合，例如：薄膜生物反應器 (MBR)、BioNET、流動床生物膜反應器 (MBBR)、膜曝氣生物反應器 (MABR) 等，各類再生水利用類別所需水再生處理技術單元如表 1 所示。

表 1 各類再利用類別所需之水再生技術單元

	去除標的	去除 SS 及膠體		去除溶解性有機物		去除 SS、膠體、溶解性有機物及生物有機物			去除生物性有機物
		技術單元	過濾	MF/UF	吸附	氧化	RO	ED	
工業用水	冷卻用水	○	※	※	※	※	※	※	○
	鍋爐用水	※	○	○	○	○	○	○	○
	製程用水	○	※	※	※	※	※	※	○
農業用水	灌溉用水	○	※	※	※	※	※	※	○
	養殖用水	○	※	※	※	※	※	※	○
環境補注	河川	△	△	△	△	△	△	△	△
	水庫	※	○	※	※	○	○	○	○
	地下水	※	○	※	※	○	○	○	○
生活雜用	沖廁用水	○	※	△	△	△	△	△	○
	景觀澆灌	○	※	△	△	△	△	△	○

○：表示欲符合再利用標的水質之基本技術單元

△：表示欲符合再利用標的水質之非必要技術單元

※：表示欲符合再利用標的水質之必須考量選用之技術單元

資料來源：財團法人中技社 100 年「推動新生水水源開發成功案例分享 (2011)- 廢污水回收再利用技術評估 (莊順興)」

134 都市污水處理廠放流水以不同再生程序因應工業再利用之處理技術

綜整目前台灣已發包之再生水示範計畫，其再生水處理流程及成本彙整如表 2 所示。

表 2 再生水示範計畫處理流程及成本彙整表

用途	水質需求	再生程序	售水價格	案例
再生水原水	濁度:2NTU BOD:15mg/L 氨氮:5mg/L		3.5 元/m ³	福田 ↓ 台中港
鍋爐製程用水	濁度:0.2NTU TOC:0.5mg/L 氨氮:0.5mg/L TDS:100mg/L		19.28 元/m ³	臨海 ↓ 中鋼
			18.8 元/m ³	鳳山溪 ↓ 中鋼
高科技製程用水	濁度:0.3NTU TOC:1.0mg/L 硼:0.1mg/L 尿素:5μg/L		23.67 元/m ³	永康 ↓ 南科
			30.92 元/m ³	安平 ↓ 南科

註 1：實際決標營運費率高於售水價格，售水價格係參考「公共污水處理廠再生水推動計畫(110 至 115 年度)」

註 2：高科技製程用水尿素水質要求係參考經濟部水利署 108 年「臺南地區仁德再生水廠開發可行性規劃」

三、北部 A 廠放流水再生案例

A 廠為國內污水下水道 BOT 案所興建之水資中心，占地面積約 15.3 公頃，全期設計處理量每日 20 萬立方公尺，配合污水下水道接管進度分成 4 期興建，處理流程如圖 2 所示，污水經過初級處理、分水後，一部分採去氮除磷活性污泥法程序 (TNCU) 處理，二沉池出水經過 UV 消毒後直接放流；另一部分則採 AO-MBR 處理程序，MBR 之產水經過消毒後可供廠內回收使用 (清洗、消泡、景觀用水)，回收剩餘後水再溢流至放流池，與二沉池出水一起放流。

TNCU 係中央大學針對 A2O 程序採迴流硝化混合液以致增加操作上的動力和設備、降低脫硝槽反應時間之缺點所開發出來。為提供碳源供脫硝所需部分進流水引入各脫硝槽供利用，本程序分 3 段進流，各段進流流量比 Q1 : Q2 : Q3 以 70% : 20% : 10%，迴流污泥比以 0.2Q~0.5Q，而處理水出流之前再予提升溶氧，則其放流水之硝酸鹽可被充分去除排出，同時可達避免迴流污泥影響釋磷之現象。

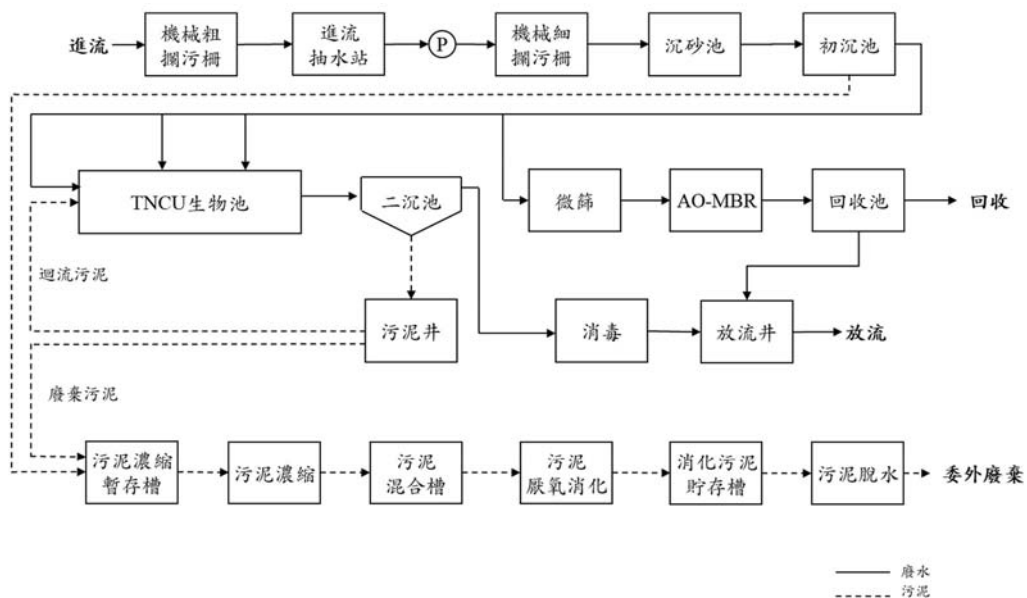


圖 2 A 廠處理流程示意圖

136 都市污水處理廠放流水以不同再生程序因應工業再利用之處理技術

A 廠第二期興建工程已於 109 年底完成，目前設計處理量提升至每日 10 萬立方公尺，其中可以 MBR 處理之污水量達每日 3.1 萬立方公尺，截至 111 年 7 月統計平均放流量約每日 7 萬立方公尺。

A 廠雖然未納入內政部營建署 102 年「公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動方案(核定本)」6 座示範廠之一，但所屬地區為工業科技大市，近年因升格為直轄市，大量人口及產業進入，使該地區工業需水量增加，為避免未來氣候變遷影響無法提供工業戶穩定用水，市政府 105 年曾辦理該市再生水評估規劃，先行調查水資中心臨近工業區之再生水需求量，並擬定 A 廠放流水回收再利用供給觀音工業區內使用為優先推動方案。行政院 110 年並核定 A 廠再生水 BTO(Build-Transfer-Operate 建設-移交-營運)計畫之先期計畫，同意引進民間資金、技術及效率，參與放流水再利用計畫之建設。

依照 A 廠再生水 BTO 計畫招標文件內容，再生水廠位於 A 廠用地範圍內，其中再生水廠用地面積占 2.5 公頃，全期設計量每日 11.2 萬立方公尺，第一期至少提供每日 4 萬立方公尺之再生水。預計 113 年 6 月開始供應桃園龜山地區煉油工廠每日 1 萬立方公尺再生水、114 年 6 月供應觀音工業區內石化廠每日 1.5 萬立方公尺再生水及南崁工業區附近工廠每日 1.5 萬立方公尺再生水。

依照 A 廠放流水回收再利用可行性評估及後續作業委託專業服務案，調查桃園地區工業用水需求主要仍以製程、鍋爐及冷卻用水為主，再生水廠出水允收標準如表 3 所示。

表 3 北部 A 廠現況放流水質及再生水廠產水允收標準

項目	現況放流水質	放流水標準	再生水水質標準	允收標準
SS(mg/L)	3.6~15.8	≤ 30	-	< 3
COD(mg/L)	11.5~36.6	≤ 80	-	< 10
pH	6.7~7.1	6.0~9.0	6.0~8.5	6.0~8.5
濁度 (NTU)	1.5*	-	≤ 5	< 0.2
總有機碳 (mg/L)	3.6*	-	≤ 10	< 5
氨氮 (mg/L)	5.75~9.15	≤ 30	≤ 10	< 0.5
導電度 (μS/cm)	440~532*	-	-	< 100

註：現況放流水質，除 * 者截錄自 A 廠放流水回收再利用可行性評估報告放流水質補充調查表，其餘截錄自「全國公共污水處理廠資料管理系統」

再生水廠配合前述產水水質及產水率至少 66% 以上之要求，設計處理程序如圖 3 所示，原水自 A 廠放流水出流井取水，設置管線連接至再生水廠原水池，再以抽水機將原水送進入濾布濾池過濾，出流水以重力流方式流入 UF 進流水貯池，後續以抽水機泵送至 UF 過濾系統處理，隨後進入 UF 產水池，最後以抽水機泵進 RO 處理系統完成再生程序，再生水於 RO 產水池內加氯暫存，之後再以抽水機經輸水管線泵送至再生水用戶。

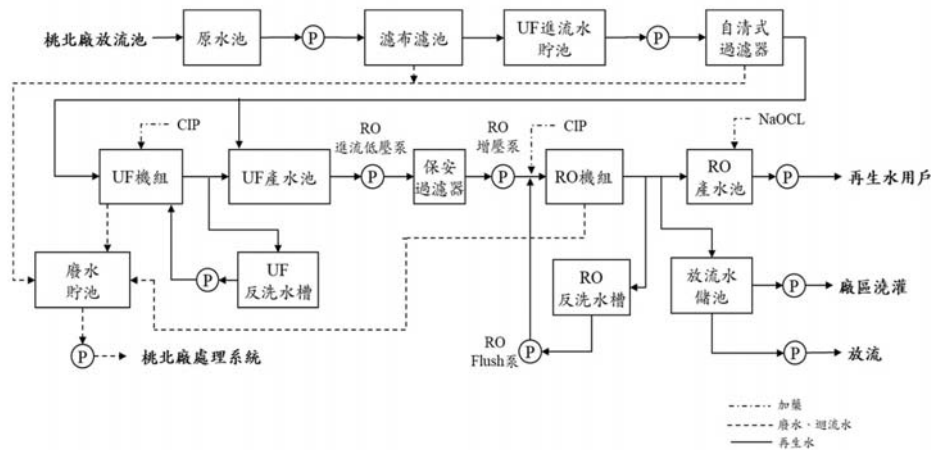


圖 3 A 廠再生水處理流程圖

RO 處理系統排出之濃排水則用於再生水廠區及 A 廠澆灌，澆灌剩餘之濃排水若符合放流水標準就直接排放；若不符合放流水標準，則送回 A 廠處理。UF 處理系統所產生廢水及濾布濾池反洗廢水，則收集於廢水貯池後送回 A 廠處理。

再生水原水取自 A 廠放流水，為符合前處理單元產水水質污泥阻塞指標 (Silt density index, SDI) ≤ 3 、濁度 ≤ 1 之要求，前處理單元設計上採用占地小、易維護之濾布濾池 (濾速 8~16 m/hr) 作為 UF 預處理。在 UF 系統前端並設置可自動反洗之自清式過濾器 (過濾精度 250 micron) 保護後端正壓式 UF 薄膜 (0.1~0.01 μm ，通量 ≤ 60 LMH)，UF 本身可濾除原水中大部份 SS、膠體，提供 RO 最佳進水條件。

UF 產水後設有保安過濾器，又稱為精密過濾器，可對進 RO 前再做 1 次濾前安

全保護，採兩段式 RO 提高回收率，第一段 RO 分離後之濃縮液接續第二段 RO 系統進行第二次分離與濃縮；第一段 RO 與第二段 RO 總產水率達到 75%，即符合用戶要求之水質水量。由於前段 UF 產水中 SS 趨近於零，故 RO 濃縮液可用於沖廁用水等非人體接觸用水；剩餘符合放流水標準直接排放至放流井，不符合則導入 A 廠污水收集系統返送處理。

依照市政府估算，再生水廠因為產水水質要求較高，每噸回收水處理成本約 15 元(含人事費、電費、藥品費、設施維護費、營運管理費、營業稅等)，若單純以增設再生水處理廠，估計增加主要設備包括濾布濾池進流泵 2+1 台(100 Hp/台)、UF 進流泵 8+2 台(50 Hp/台)、RO 進水泵 8+2 台(60 Hp/台)、RO 加壓泵 8+2 台(225 Hp/台)，若再加計加藥系統、公用設施及管理中心，水再生處理廠電力耗能約為 4,200 Hp。每年增加用電量導致碳排放量增加 10,230 噸 CO₂e(產水量每日 4 萬立方公尺)。

四、中部 B 廠放流水再生案例

B 廠為中部地區大型水資中心，占地面積約 13.6 公頃，原規劃全期設計處理量每日 20.2 萬立方公尺，預計分 4 期興建，處理流程如圖 4 所示。第二期興建工程 105 年底完成，目前設計處理量每日 15.2 萬立方公尺，截至 111 年 7 月平均每日放流量約 9.9 萬立方公尺。

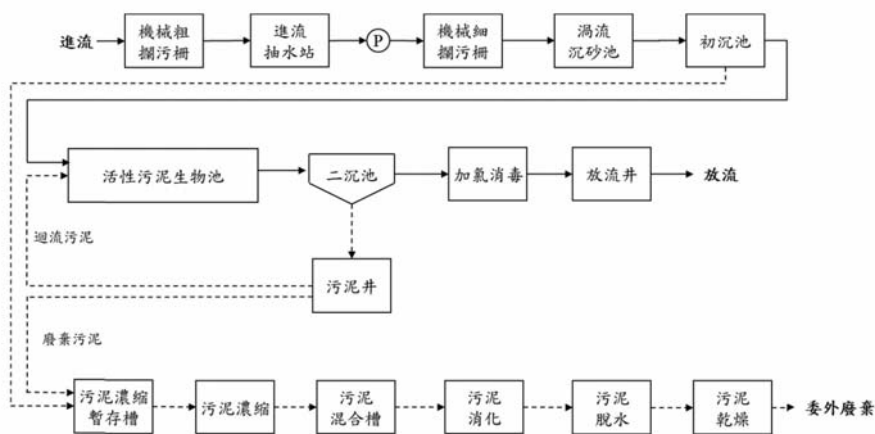


圖 4 B 廠處理流程示意圖

由於臺中港工業專區內鋼鐵公司 101 年環境影響差異分析報告承諾每日利用水資中心 5.8 萬立方公尺放流水供冷卻水塔之補充用水，營建署在 106 年提出，由公務預算出資辦理 B 廠放流水回收再利用統包工程，將原本 B 廠放流水經過快濾及消毒後送至臺中港工業專區內。市政府分別與臺中港工業專區、統包商完成簽約，預計 114 年底提供臺中港工業專區每日 5.8 萬立方公尺放流回收水，由於該水質條件尚無法滿足所有工廠製程使用，若臺中港工業專區有廠商對水質有更高要求，再另由臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司自行辦理再生水廠興建以提供部份廠商較嚴格的要求，使能源有效利用。

考量預留臺中港工業專區用水需求，B 廠放流水回收再利用統包工程規劃用地 0.6 公頃，再生水前處理設施全期設計處理量每日 10.5 萬立方公尺，興建內容至少包含抽水井、重力式快濾池、出水池及機房等土建設施，及相關機械設備管線與機電儀控設施，其處理流程調整如圖 5 所示。放流水回收再利用工程目前快濾採多層濾料定濾率快濾池，並以無煙煤及濾砂作為濾床，濾水器則採雙通道濾水器或長頸濾水器。

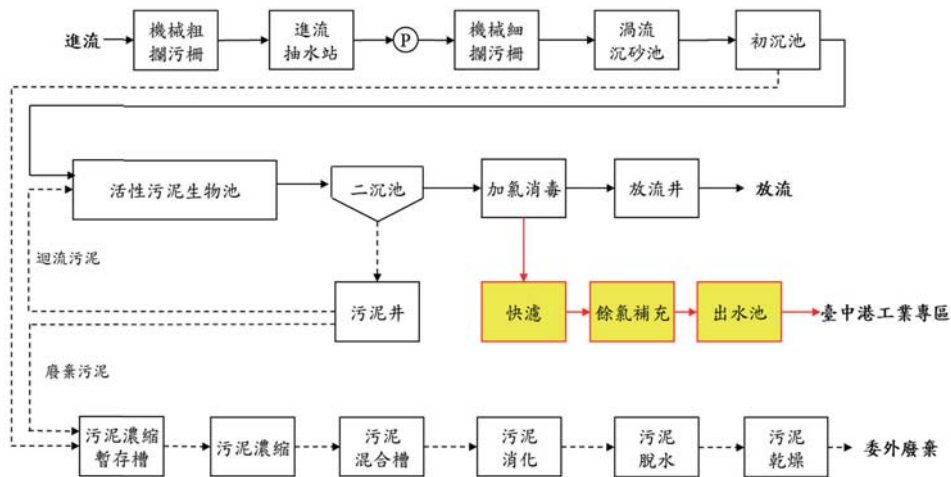


圖 5 B 廠再生處理流程示意圖

B 廠現況放流水質及回收再利用統包工程要求水質整理如表 4 所示，其中現況放流水氨氮濃度仍高於臺中港工業專區再生水前處理設施允收標準，由於 B 廠營運已超

過 20 年以上，廠內設備如生物池鼓風機、散氣設備等已面臨老舊需汰換問題，後續統包商未來除增設快濾單元及加氯系統外，恐須透過既有設備汰換更新，以提高既有生物處理硝化功能，方能符合於臺中港工業專區用水水質要求。

表 4 中部 B 廠現況放流水質及再生水前處理設施允收標準

項目	現況放流水質	放流水標準	再生水水質標準	允收標準
SS(mg/L)	2.5~5.8	≤ 30	-	≤ 13
BOD(mg/L)	4.6~8.7	≤ 30	-	≤ 30
pH	6.7~7.2	6.0~9.0	6.0~8.5	6.0~8.5
濁度 (NTU)	2.1~4.6	-	≤ 5	≤ 5
總有機碳 (mg/L)	2.7~5.8	-	≤ 10	≤ 10
氨氮 (mg/L)	10.2~27.9	≤ 75(截流 > 20%)	≤ 10	≤ 10

依照市政府估算，B 廠因應臺中港工業專區再生用水所辦理回收再利用統包工程，每噸回收水處理成本約增加 3~3.5 元 (含人事費、電費、藥品費、設施維護費、營運管理費、營業稅等)，若單純以增設再生水前處理設施 (不含既有設備因老舊汰換)，估計增加設備包括快濾池進水泵 5+1 台 (40 Hp/台)、快濾池反洗水泵 1+1 台 (75 Hp/台)、快濾池反洗鼓風機 1+1 台 (75 Hp/台)、出水池攪拌機 1 台 (3 Hp/台)，每年增加用電量導致碳排放量增加 1,177 噸 CO₂e (處理量每日 5.8 萬立方公尺)。

五、南部 C 廠放流水再生案例

C 廠占地面積約 10 公頃 (含徵收用地後)，全期設計處理量每日 5.88 萬立方公尺，預計分 4 期興建，第一期處理流程如圖 6 所示，第一期設計處理量每日 1.55 萬立方公尺。

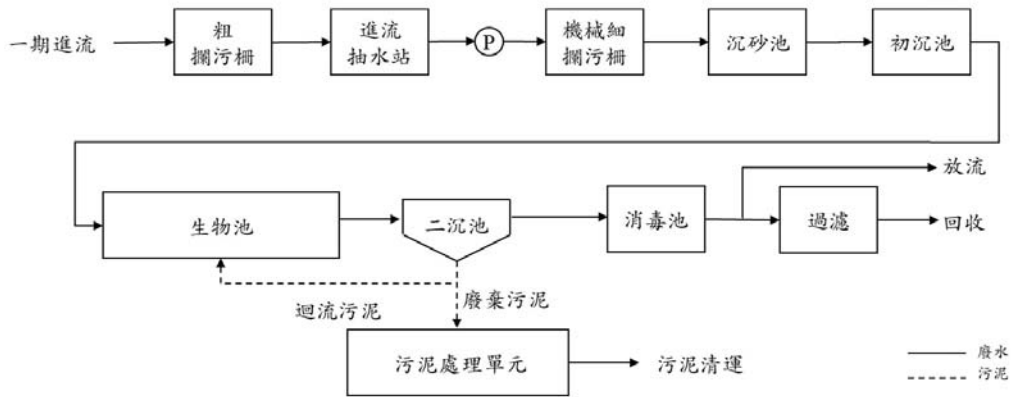


圖 6 南部 C 廠處理流程 (第一期) 示意圖

截至 111 年 6 月 C 廠平均每日放流水量約 0.7 萬立方公尺。

由於南科半導體產業發展迅速，用水量大增，在南科用水計畫第二次修正，要求南科使用再生水量為每日 8.3 萬立方公尺，113 年後由永康、安平、南科自設等 3 座再生水廠每日只能供應 7.3 萬立方公尺，因南科再生水供應量尚有缺口，有必要積極開發新興水源，故 108 年行政院通過「前瞻基礎建設計畫 - 水環境建設 (水與發展) 再生水工程推動計畫」，並核定 C 廠之再生水廠每日可提供最大再生水量為 1 萬立方公尺。

由於 C 廠距離南科至少 30 公里以上，再生水若供應到南科，其輸水管線建設及營運成本皆高，整體經濟效益偏低，且管線施工對環境影響較大。而離 C 廠約 3 公里處之某石化廠有意願使用再生水，因此透過臺南市政府、南科管理局、石化廠及南科半導體廠商，4 方共同簽訂再生水使用量交換契約。亦即原本以自來水為水源供給石化廠，部分水源改用再生水，空餘出來的自來水額度則透過台南地區既有自來水管網系統輸送至南科，大幅降低輸水管線建設成本、營運成本及環境影響，成為國內第一次「以水換水」模式案例，相關用水端與供水端位置如圖 7 所示。



圖 7 南部 C 廠再生水與自來水換水機制四方相對距離示意圖

另外因南科半導體高階製程所需水質有嚴格的硼 ($<0.1 \text{ mg/l}$)、尿素 ($<5 \mu\text{g/l}$) 項目要求，一般自來水可符合，而該石化廠所需再生水質項目並無尿素一項，且硼濃度較為寬鬆 ($<1.0 \text{ mg/l}$)，因此再生水廠僅需設置 1 階 RO 即可，處理流程如圖 8 所示，亦降低未來再生水廠建設成本及營運成本，創造雙贏結果。

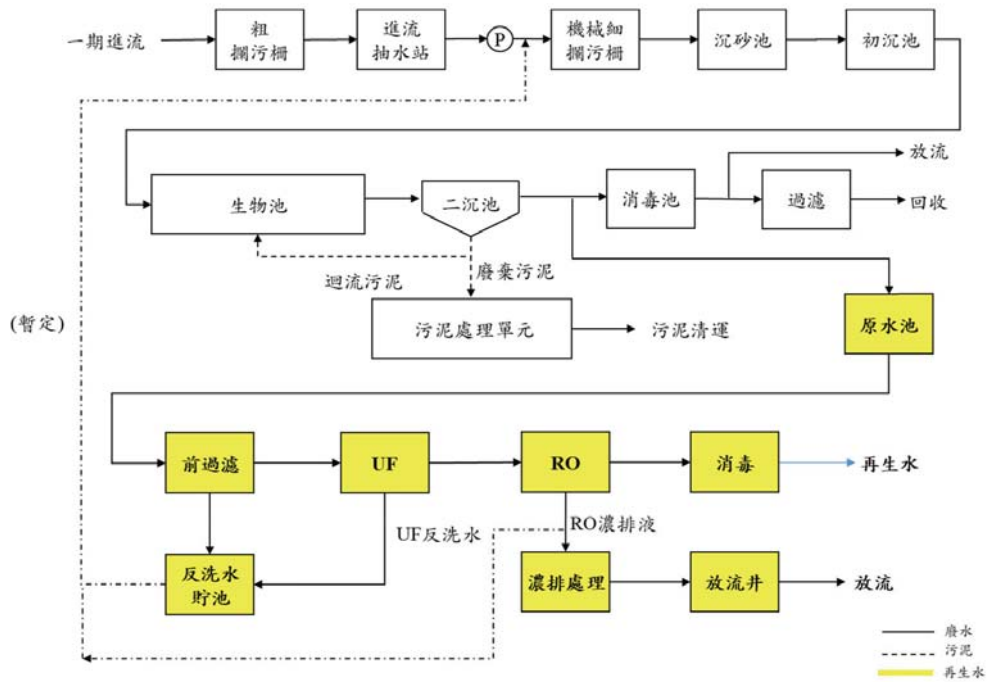


圖 8 C 廠再生處理流程示意圖

六、結語

由於全球面臨氣候變遷影響，傳統水源的供應日益缺乏穩定性，發展新興水源實為刻不容緩之課題。水資中心放流水因具有水量穩定、水質容易處理之特性，若能透過成熟處理技術產出再生水，即可取代一定比例之自來水用量。惟水處理技術本身大多耗能，為兼顧節能減碳，除了研發更高效率處理設備外，放流水回收再利用規劃時，應依照再生水用途評估適合之處理流程，避免浪費能源，增加建設及營運成本。

另外，不同用水戶如果水質要求不同時，能透過協商達成用水交換，縮短輸送及處理成本，雙方各自以較低的能耗成本取得適用水來源，更能有效利用資源，不失為後續積極推動水回收再利用的另一種作法。

雖然水資中心放流量水質具有穩定性，回用於工業用途已成為國內水資源循環再利用之推動政策，但再生水推動與污水下水道發展密不可分，再生水原水來自於水資中心放流水，水資中心放流水又來自於污水下水道接管收集之污水，因此透過污水下水道接管率的提升，方能使水資中心處理量增加，再生水量亦將有所提升，因此未來在進行再生水計畫推動時，應一併考慮污水下水道普及及接管興建期程，方能妥適媒合水資中心及工業用戶用水供需平衡。

參考文獻

財團法人中技社 (2011)，推動新生水水源開發成功案例分享。

經濟部 (2020)，公共污水處理廠再生水推動計畫 (110 至 115 年度) 核定版。

內政部營建署 (2016)，臺中市福田水資源回收中心放流水回收再利用可行性評估及後續作業委託技術服務案第四階段成果報告概念設計報告 (定稿本)。

臺中市政府 (2017)，臺中市福田水資源回收中心放流水回收再利用推動計畫 (核定本)。

臺中市政府水利局 (2020)，臺中市福田水資源回收中心放流水回收再利用統包工程 (含營運維護) - 概念設計報告。

臺中市政府水利局 (2021)，臺中市福田水資源回收中心放流水回收再利用統包工程 (含營運維護) - 基本設計報告書。

桃園市政府 (2021)，桃園北區水資源回收中心再生水 BTO 計畫先期暨建設及財務計畫 (定稿本)。

桃園市政府 (2019)，桃園北區水資源回收中心放流水回收再利用可行性評估及後續作業委託專業服務案可行性評估報告 (定稿本)。

經濟部水利署水利規劃試驗所 (2011)，福田水資源回收中心再生水供應台中港工業專區可行性規劃。

內政部營建署 (2014)，公共污水處理廠放流水回收再利用推動計畫期末報告書 (修正稿)。

寶鼎再生水股份有限公司 (2022)，桃園市政府桃園北區水資源回收中心再生水 BTO 計畫基本設計報告書

臺南市政府水利局 (2021)，仁德再生水廠新建工程統包計畫委託專案管理 (含監造) 技術服務推動計畫

