



# 國內再生水推動：挑戰與新技術願景

經濟部水利署綜合企劃組組長 / 張廣智  
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心組長 / 黃欣翔  
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心研究員 / 黃育德  
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心研究員 / 林宜璇  
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心副主任 / 朱敬平

關鍵字：系統再生水、非系統再生水、環境友善水再生、水利產業

## 摘要

因應行政院設定「民國 120 年再生水每日使用量達 132 萬立方公尺」政策目標，經濟部水利署推動由再生水供應未來工業部門所增加之用水需求，包括持續推廣再生水使用觀念與供需媒合、跨部會合作，並透過節水三法完備相關法制面，增加大用水戶使用再生水之誘因。另再生水之產製在國內發展較晚，水利署自民國 90 年初開始投入，歷經多處模廠測試，累積相關設計、操作、水質之相關經驗，業界對於技術掌握亦漸臻成熟，從業人員數量持續成長，至民國 107 年國內第一座實廠鳳山再生水廠開始營運供水；因為再生水可能「以電換水」之爭議，水利署進一步投入科技專案計畫經費，發展節能水再生設備，期能使再生水產製更加環境友善。

## 一、前言：國內再生水推動背景

廢污水處理廠放流水因具水質穩定、水量較不受天候影響等特性，隨水處理技術日益成熟，已可將待排放的放流水水質提升至符合特定用途需求，產製「再生水」(Reclaimed Water) 並作常態性供應，得以減輕傳統水源開發壓力，提高整體供水穩定度；國外目前已有許多成功案例，如新加坡 NEWater、美國加州橘郡 GWRS 等，廣泛用於各類民生與工業用途，顯示大規模使用再生水以補傳統水資源缺口之可行性。

因應未來產業用水需求，推動再生水資源之利用實刻不容緩，經濟部水利署已將再生水視為水源開發重要一環，爰此設定政策目標，預定於民國 120 年達成全臺再生水利用量 132 萬立方公尺/日，相當於現有公共給水量的 10%。在此基礎之上，行政院在民國 104 年 4 月 10 日節水抗旱國安會議，指示

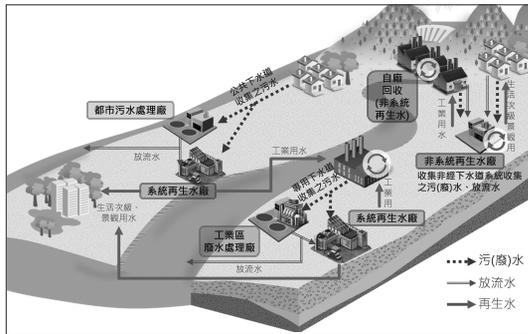


圖 1 系統與非系統再生水示意圖

「工業成長零增自來水」，要求工業用水優先使用再生水，未來增加的 3 億立方公尺 (約 82 萬立方公尺 / 日) 工業用水需求將以再生水補充，藉此兼顧經濟成長與節約用水。

再生水為「新興水源」的一種；有別於傳統水源 (地面水、地下水)，新興水源是目前無需辦理水權登記的其他水源，包括生活污水、事業廢水、尚未排入承受水體之放流水、海水、貯留雨水等。依「再生水資源發展條例」(民國 104 年 12 月 30 日公布) 第二條，再生水定義為「指廢 (污) 水或放流水，經處理後可再利用之水」，亦即由前述新興水源經再生處理所產製。依處理水源之不同，再生水可分為「系統再生水」與「非系統再生水」；系統再生水指取自下水道系統之廢 (污) 水或放流水，經處理後可再利用之水；非系統再生水則指取自未排入下水道系統之廢 (污) 水或放流水，經處理後可再利用之水。

綜合上述定義，再生水主要有四種來源，如圖 1 所示：

- (一) 都市污水處理廠之污水或放流水，專指取自「公共污水下水道系統」之系統再生水，目標使用量為 77 萬立方公尺 / 日。
- (二) 工業區廢水處理廠之廢水或放流水，專指取自「工業區專用污水下水道系統」之系統再生水，目標使用量 3 萬立方公尺 / 日。
- (三) 工業用水大戶將預定放流或納管之廢水加以回收所產製之水，亦即取自工業部門 (工廠、礦場等製造業) 的非系統再生水，目標使用量 50 萬立方公尺 / 日。
- (四) 生活污水大戶受環評或其他法規要求所需自行回收使用之水量，亦即取自住商部門 (社區、學校、政府單位、博物館等建築物) 的非系統再生水，目標使用量 2 萬立方公尺 / 日。

其中來源為都市污水處理廠放流水之再生水，水量穩定性較雨水貯留高，不易受枯旱季節影響；另在產水規模與水質相當時，再生水處理純化成本或認低於海水淡化。以用電為例，當再生水水源取自公共污水處理廠放流水，並處理至符合近自來水水質，耗電量約 1.5-2 kWh / 立方公尺，低於海水淡化廠的 3-5 kWh / 立方公尺，且隨技術進步與再生規模擴大，尚有下降空間，因此在電力供應趨緊的前提下，開發再生水以供給特定用途亦受到各國重視。

經濟部透過「再生水資源發展協調會報」作為系統再生水個案推動時之跨部會協調平台，於民國 104 年 12 月 30 日公告「再生水



資源發展條例」，並於民國 105 年 11 月 4 日陸續完成 9 項授權子法制定發布，賦予權責單位法源，重點立法精神包括：

- (一) 視下水道系統放流水為水資源開發之一環，明定其使用許可申請、管理規範，降低欲開發者面臨水源取得的不確定風險。
- (二) 在「水源供應短缺之虞地區」內，興辦或變更開發案，用水需求達一定規模者，應使用一定比率之系統再生水。如無足夠之下水道系統廢污水、放流水者，得以非系統再生水或其他方式替代之。
- (三) 為降低再生水水源取得成本，以及提升民間投入開發再生水之意願，賦權地方政府於一定期間無償提供所轄公共下水道系統之污水或放流水予再生水經營業及自行取用者。地方政府自行統籌興建及營運再生水開發案，或配合民間開發提供污水或放流水者，得由中央主管機關優先核定辦理該地區之公共下水道系統建設或申請中央補助建設經費。
- (四) 明確事權分工：系統再生水之推動，分別由管理水源之主管機關受理申辦；特定園區使用地方政府所辦之系統再生水者，由該特定園區之目的事業主管機關擔任統一用水窗口。
- (五) 再生水經營業主體可為政府機關或民間公司，政府機關可以成立公司或以基金方式運作，開發案應依條例規定於各階段取得籌設、興建、放流水使用、營運等許可。

- (六) 再生水處理成本包含建設及營運成本，依不同水源水質、供水水質及輸送距離，訂定再生水費計算準則，保障再生水經營業營運合理利潤及用水人權益。

再生水資源發展條例旨在將系統再生水納入大用水戶補充水源選項中。另為鼓勵工業部門與住商部門產製與使用非系統再生水，則有賴自來水法部分條文修正案，以及水利法部分條文案；未來此節水三法互相搭配，將提供水資源管理更有力的法源以及使用多元化水源的誘因。

## 二、再生水技術發展：從模廠試驗到實廠工程

鑑於社會大眾與工業界對於再生水認識不足，缺乏使用信心，經濟部水利署及所屬水利規劃試驗所（水規所）曾針對高雄、金門、新北、桃園、新竹、臺中、雲林、臺南、基隆等區域之公共污水下水道與工業區專用污水下水道之處理廠放流水再生工程進行評估。民國 93 年水利署於新竹工業區設置一座產水量為每日 20 立方公尺之放流水再生模廠，其再生處理程序為砂濾 - 超過濾膜 - 逆滲透膜，藉以評估產水水質、再生成本以及廠商製程試用可行性（圖 2(a)）。同時於八里污水處理廠設置中空絲薄膜生物反應器（Membrane Bioreactor, MBR）模廠，驗證其提升初級污水處理廠處理效能，轉作再生水廠之潛力（圖 2(b)）。

水利署另於民國 96 至 100 年間辦理「廢污水再生利用技術研究臺中市福田水資源回收中心再生水試用計畫」，於臺中市福田水

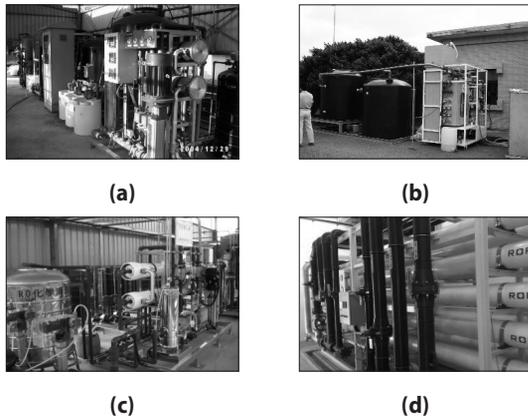


圖 2 水利署投入各再生水試驗模廠

資源回收中心設置放流水再生模廠，設計產水量為 100 立方公尺 / 日，進行超過三年之長期測試，了解產水水質，評估系統效能，以及再生水使用健康風險與生物毒性，並配合模廠參觀向大眾宣傳都市污水處理廠放流水再生可行性 (圖 2(c))。

另一更大規模試驗計畫為民國 99 年在高雄市楠梓加工出口區揚水站設置之工業廢水再生模廠，該廠於民國 100 年期間將工業廢水經纖維快濾、超過濾膜、逆滲透膜處理後，產水量達 1,800 立方公尺 / 日，供區內日月光與楠電等高科技製造廠試用，並導入製程端，廠商反應試用結果良好 (圖 2(d))。

技術進步與關鍵設備之價格降低，雖使再生水單價逐年下降，目前仍高於我國自來水水價，不易循「使用者付費」之一般市場機制覓得再生水使用者。目前內政部營建署規劃針對福田、豐原、安平、永康、鳳山溪與臨海等 6 座具有放流水再生潛勢且鄰近有潛

表 1 鳳山溪案預定供水水質 (節錄)

水質項目	經濟部水利署自來水水質標準	鳳山溪案設計供水水質
溫度 (°C)	-	15 ~ 35
pH	6.0 ~ 8.5	5.5 ~ 8
導電度 (μ S/cm)	-	<100
總有機碳 (mg/L)	-	<5.0
懸浮固體 (mg/L)	-	<3.0
濁度 (NTU)	<4.0	<0.2
總硬度 (mg/L)	<400	<20
氨氮 (mg/L)	<0.5	<0.5

在用水需求之污水處理廠，提出「污水處理廠放流水再生利用示範計畫」，補助縣市政府設置再生程序所需設備之費用，後續再生水廠隨污水處理廠一同轉交縣市政府管理，用水者僅需付予縣市政府污水處理廠二級處理、再生水廠與配送管線之操作維護費；循此模式，預期再生水價可低於 20 元 / 立方公尺，部分個案甚至可能低於 15 元 / 立方公尺。

在經濟部水利署與內政部營建署合作之下，國內第一座再生水實廠高雄市鳳山溪污水處理廠放流水再生，自民國 107 年 8 月起供應臨海工業區使用。第一期供水量 25,000 立方公尺 / 日，全期供水量 45,000 立方公尺 / 日，售水單價為 18.8 元 / 立方公尺，再生水廠連同污水處理廠由高雄市政府採 BTO 促參模式推動 (供水水質節錄如表 1)，由經濟部工業局臨海工業區服務中心與高雄市政府簽約，服務中心調配區內相關用水。希冀透過此一示範計畫，建構我國使用再生水之相關

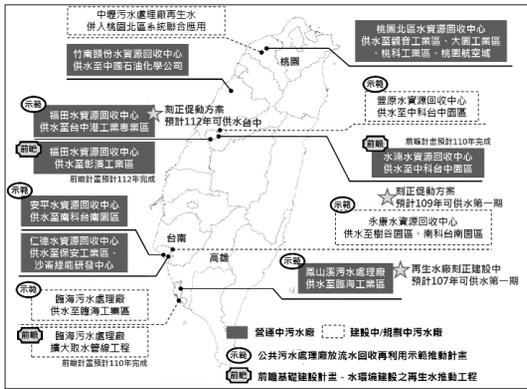


圖 3 近期具系統再生水開發潛勢之公共污水處理廠

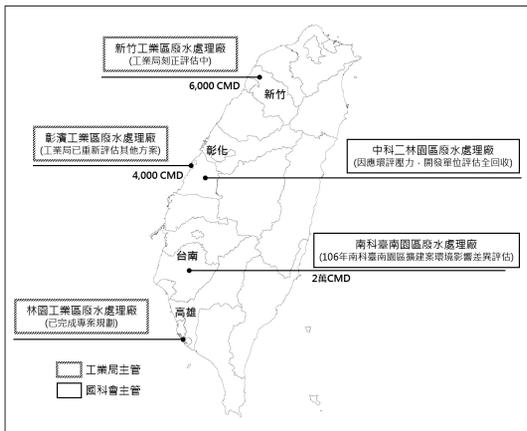


圖 4 近期具系統再生水開發潛勢之工業區廢水處理廠

工程經驗、商業模式與工業界使用經驗，促使相關產業能日趨成熟。

除前述示範案，尚有臺中市水滴水資源回收中心將另循前瞻基礎建設計畫之經費推動，以及桃園市的中壢與桃園北區兩廠或以原污水下水道 BOT 案之附屬事業形式推動；全臺具優先推動潛勢之公共污水處理廠分布與潛在媒合對象分布如圖 3 所示。

在工業區廢水處理廠中，除前述桶梓加工出口區之放流水模廠設備由用水者承租，持續產製再生水外，尚有彰濱工業區線西區、新竹工業區、南科臺南園區等因應大用水戶進駐、用水計畫書變更等相關因素，而啟動廢水處理廠放流水再生相關評估，未來如成案，則由工業區主管機關調配供區內事業使用；全臺具優先推動潛勢之工業區廢水處理廠分布如圖 4 所示。

### 三、再生水面臨技術挑戰與突破

水再生在國內屬先進議題，仍需持續投入研究，包括尋求回收率、除鹽率、抗污性、用電等較「雙膜法」更佳之處理技術。經濟部水利署目前持續投入除氮、節能(含再生能源、能源回收等)、零廢棄等技術，以及多種新型水再生設備，輔以技術輔導，協助研析更佳方案以降低再生水成本與單位產水耗電量；以下即分別對目前受到矚目之低耗能水再生利用技術進行介紹與討論。

#### (一) 電透析

電透析 (Electrodialysis) 技術是利用電場驅動的薄膜分離技術，可用在脫鹽、濃縮與純化等用途。電去離子技術 (EDI) 是結合陰陽離子交換膜 (Ion exchange membrane, IEM) 以及離子交換樹脂 (Ion exchange resin, IER) 的複合型分離技術。EDI 利用 IEM 對陰、陽離子的選擇性，以及 IER 的離子交換作用，在直流電場操作下進行離子分離程序。其原理係將 IER 置於陰陽 IEM 中間，通入高離子濃度之進流水，在直流電操作下產生電場作為離子驅動力，將目標離子由樹脂顆粒構成的離子傳輸通道遷移至 IEM 膜表面 (離子



遷移)，再透過離子交換進入濃縮室（離子交換），同時，存在於樹脂、膜與水相接觸的擴散層會產生極化作用，使水電解離為  $H^+$  和  $OH^-$  而對 IER 起再生作用（離子交換樹脂的電再生），進而達到去除水中離子之目的。由於上述離子遷移、離子交換以及離子交換樹脂的電再生可同時進行，因此 EDI 可連續產水而不中斷，故 EDI 又稱為連續去離子。

EDI 一般用於進水導電度在  $200 \mu S/cm$  以下的範圍，否則會影響電滲透膜之效果，鈣、鎂與硫酸根離子濃度過高會使濃縮側有嚴重結垢現象，使得除鹽無法進行。倒極電滲透 (Electrodialysis reversal, EDR) 即為因應此問題而開發，為避免離子交換膜片嚴重結垢，可透過自動清洗去除之，不僅能穩定系統操作，同時也增加膜片與設備之壽命。

## (二) 薄膜蒸餾技術

薄膜蒸餾技術 (MD) 的原理係利用熱能增加高鹽度進流水水體溫度，進流水流經多孔且疏水的薄膜一側，而另一側則以低溫水循環，控制薄膜兩側水溫高低差，以薄膜兩側流體接觸面的蒸氣壓差為趨動力，將水蒸氣分子經疏水性薄膜孔洞，由高溫側傳輸到低溫側後凝結成液體，而達到分離水分子之目的。

上述所使用熱能可利用廠內廢熱，且其操作壓力低，因此可在一個較低耗能的情況下進行，是一種創新的水分離技術。其具有下列六大特點：(1) 對於離子、巨分子、膠體、以及非揮發性物質具有 100% 的排除率；(2) 相較於傳統蒸餾技術具有較低的操作溫度與能耗，(3) 且可大幅降低蒸餾過程所需之空

間；(4) 和傳統壓力驅動之薄膜程序相比，有較低的操作壓力；(5) 對薄膜的機械強度要求較低；(6) 疏水性薄膜和待處理溶液間的化學反應作用較不顯著。

## (三) 電容去離子技術

電容去離子技術 (CDI) 是一種新穎的電化學處理程序，以奈米結構碳材 (Nanostructured carbon materials) 為基礎，利用電吸附 (Electrosorption) 原理來移除水體中的帶電荷污染物質或是離子。其原理係在兩側的多孔碳材電極之間施加外部電壓形成一個靜電場，由於必須維持溶液的電中性，帶正電荷的正極會吸引溶液中的陰離子，而負極則會吸引陽離子，所以水體中帶電荷的離子會往相對應的相反電荷電極材料移動，離子並進一步在電極孔洞內的比表面與水溶液的固液界面之間，形成電雙層 (Electrical double layer, EDL)，使得大量的離子能儲存在具奈米孔洞的碳電極材料中，達到移除水中離子與脫鹽之目的。

由於電吸附過程中，離子的儲存並非是依靠化學反應來進行，因此僅需將兩側電極上的電壓移除，原本儲存在碳材孔洞內的離子就會被重新釋放到水溶液中。電容去離子技術有別於一般耗能、高壓的傳統去離子之薄膜分離、電透析等程序，不需使用薄膜裝置，而是在水處理過程中採取通道式 (Flow-through) 結構，且可在低壓力 ( $0.2 \sim 0.3 MPa$ ) 與低電壓 ( $0.8 \sim 1.2 V$ ) 的環境下操作，系統亦具可逆性，無二次污染物的問題，故被視為一個清淨節能的創新技術，被認為最具有取代其他去離子技術之潛力。



#### 四、未來方向

國外水資源回收中心已逐漸朝向能資源整合方向規劃設計及維護管理，推動再生水時亦著重綠能與節能兩大趨勢。水利署自民國 104 年起，啟動「再生能源於再生水廠之應用研究」，首先投入太陽能與 MD 之整合，後續於持續擴大測試規模；106 年再持續投入「水及能資源回收低碳排系統」等研究，擴大 MD 與 CDI 自有技術模組之規模外，亦投入評估從廢污水中濃縮有色金屬之可能性，使造水、節能、資源等三大方向等一次到位，達到環境友善之目標。

經濟部水利署透過科技專案計畫之資源投入，以及水利產業計畫之輔導能力，期於十年內落實上述設備具國內自有技術，而能實廠應用於國內製造業非系統再生水之可行性，長期希望相關設備能與小型污水處理廠之水再生結合。 ◆

#### 參考文獻

1. 經濟部水利署，水利統計，2012 年。
2. 行政院農業委員會，農政與農情，第 211 期，2010 年。
3. 經濟部水利署，「水再生利用推動盤查與促動服務計畫」，2012 年。
4. 經濟部水利署，「水再生利用促動與技術服務計畫」，2016 年。
5. 經濟部水利署，「建置再生水媒合與稽核系統及產業推動服務」，2017 年。
6. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「新竹工業區廢水回收再利用規劃」，2003 年。
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「八里污水處理廠污水再生利用結合桃園人工湖規劃總報告」，2004 年。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「福田水資源回收中心放流水再生模廠效能與水質驗證」，2011 年。
9. 經濟部水利署，「楠梓加工出口區再生水模型廠建置及驗證計畫」，2011 年。
10. 內政部營建署，「公共污水處理廠放流水回收再利用示範計畫」，2013 年。