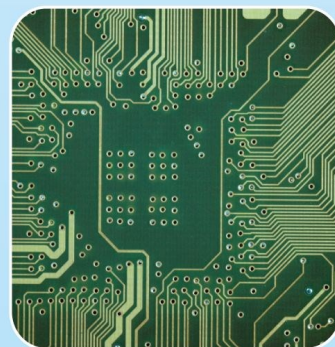


財團
法人

中技社

台灣推動再生水利用所 面臨的新挑戰及因應策略

CTCI FOUNDATION



財團法人中技社 (CTCI Foundation) 於 1959 年 10 月 12 日創設，以「引進科技新知，培育科技人才，協助國內外經濟建設及增進我國生產事業之生產能力為宗旨」。初期著力於石化廠之設計與監建，1979 年轉投資成立中鼎工程，承續工程業務；本社則回歸公益法人機制，朝向裨益產業發展之觸媒研究、污染防治與清潔生產、節能、及環保技術服務與專業諮詢。2006 年本社因應社會環境變遷的需求，在環境與能源業務方面轉型為智庫的型態，藉由專題研究、研討會、論壇、座談會等，以及發行相關推廣刊物與科技新知叢書，朝知識創新服務的里程碑邁進，建構資訊交流與政策研議的平台；協助公共政策之規劃研擬，間接促成產業之升級，達成環保節能與經濟繁榮兼籌並顧之目標。

本著創社初衷，為求對我們所處的環境能有更深的貢獻以及協助產業發展，對國內前瞻性與急迫性的能源、環境、產業、社會及經濟等不同面向議題，邀集國內外專家進行研究探討，為廣為周知，特將各議題研究成果發行專題報告，提供產官學研各界參考。

本專題報告在社團法人台灣水環境再生協會協助下完成，包括歐陽嶠暉名譽理事長、莊順興理事長、臺北科技大學環境工程與管理研究所張添晉教授、中原科技大學環境工程學系游勝傑教授、經濟部水利署綜合企劃組張廣智組長、交通大學環境科技及智慧系統研究中心陳筱華博士、財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心朱敬平博士、工研院材化所水科技研究組梁德明博士，極具參考價值。

發行人：潘文炎

主編：鄧倫、歐陽嶠暉

編撰小組：台灣水環境再生協會、陳潔儀、黃玠然

發行單位：財團法人中技社

地址 / 106 台北市敦化南路二段 97 號 8 樓

電話 / 886-2-2704-9805

傳真 / 886-2-2705-5044

網址 / www.ctci.org.tw

本社專題報告內容已同步發行於網站中，歡迎下載參考

ISBN：978-986-97218-0-6

序

臺灣地區全年的降雨量雖然有全球平均值的二倍半，惟因雨量於時間及空間上分佈極為不均，致使經常性發生區域缺水問題；而根據國際水協會(International Water Association, IWA)評估，氣候變遷使臺灣年均雨量每年降低0.9%，乾旱週期由17年降為9至10年，預估至2050年豐水期雨量增加與枯水期雨量減少比例將達5~10%。顯見，未來30年台灣將持續面對穩定供水之挑戰。

歷經多年水資源發展規劃，推動再生水為我國多元化水源之一環，目前我國已有「再生水資源發展條例」，作為推動之法制基礎。行政院並已核定執行「公共污水處理廠放流水回收再利用推動計畫」(總經費152億元)，以臺中市豐原廠、福田廠，臺南市永康廠、安平廠，高雄市鳳山溪廠及臨海廠等六座示範案例為辦理主軸。此外，2017年核定「前瞻基礎建設計畫」於水環境建設項下框列再生水工程(總經費約36億元)，展現我國於水再生之重視與決心，2018年更進一步提出穩定供水策略，改善對策為「開源、節流、調度、備援」，其中「節流」對策，目標設定為工廠整體用水回收率從70%至120年可提升至80%，上述示範廠及前瞻計畫中的再生水可達到節省自來水每年1億噸。

然而經過上述政策與法規的執行，是否已解決台灣各區域及各時間之缺水問題，仍待盤點確認，且我國推動再生水利用之環境與其他國家或區域不同，尤其是水資源珍貴之觀念並未受到社會重視，以及自來水價未反應實際成本。由國際經驗顯示，推動再生水利用並非一蹴可幾，但再生水確實為高潛勢缺水區域貢獻極佳之穩定水源，且再生水之使用方式亦極為多元。衡諸我國社會接受度與推動再生水之各種條件，在不同階段仍將面臨不管在技術面、經濟面、

及消費者面向之各種挑戰，所需因應之策略亦將有所不同。爰此，本社今年針對台灣推動再生水利用將面臨的新挑戰及可能之因應策略進行探討，從目前台灣水資源特性、管理問題與再生水利用之挑戰談起，再研析國際推動水再生利用可供我國參採之策略與措施，並分別就公共污水處理水再利用、農業效率化用水及再生水利用、及工業節水與水回收再利用之新挑戰提出因應策略，以及盤點與再生水品質確保最重要之水再生技術研發與產業發展之瓶頸，提出因應策略，最後綜整出台灣推動再生水利用之政策建議與策略。本報告從技術、經濟可行、供水者及使用者心態及政策管理等面向討論國內再生水發展與使用之機會與挑戰，提出深入且前瞻之說明與具體建議，提供政府主管機關及相關產業參酌，期能為台灣永續水環境之發展共同努力。

本報告特別感謝社團法人台灣水環境再生協會歐陽嶠暉榮譽教授、莊順興理事長及其所邀請之6位國內專業學養及經驗俱豐專家學者，張添晉教授、游勝傑教授、張廣智組長、陳筱華博士、朱敬平博士，梁德明博士共同參與研討與撰寫，發揮團隊精神，讓一切順利完成。

財團法人中技社 董事長
潘文炎
2018 年 12 月

目錄

序		I
執行摘要		1
第一章	台灣水資源特性、管理問題與再生水利用之挑戰	5
第二章	國際推動水再生利用可供台灣參採之策略與措施	15
第三章	台灣推動公共污水處理水再利用之新挑戰與因應策略	27
第四章	台灣推動農業效率化用水及再生水利用之新挑戰與因應策略	39
第五章	台灣推動工業節水及水回收再利用之新挑戰與因應策略	49
第六章	水再生技術研發與產業發展之瓶頸與因應策略	71
第七章	台灣推動再生水利用之政策建議與策略	85
參考文獻		97

執行摘要

一、前言：問題及目標

臺灣全年降雨量雖有全球平均值的二倍半，惟因雨量於時間及空間上分佈極為不均，致使經常發生區域缺水問題；面對逐步嚴峻之缺水危機，行政院提出穩定供水策略，改善對策為「開源、節流、調度、備援」，其中「節流」，目標為工廠整體用水回收率從 70%至 120 年可提升至 80%，亦推動六座再生水廠示範案例，展現對於水再生之重視與決心。然而，我國再生水推廣已久，現階段仍未擴大使用，除了台灣推動的環境與其他國家或區域不同，尤其對水資源珍貴之觀念並未受社會所重視外，是否於技術面、經濟面，及消費面向面臨瓶頸，又能否轉換為機會及挑戰，亦是值得深入探討的問題。本專題報告將從國際經驗解析值得台灣參採之處，並檢視水再生利用之新挑戰及技術研發與產業發展之瓶頸，提出建議。

二、研究範圍及內容

本專題報告以探討台灣推動再生水利用所面臨的新挑戰及提出因應策略為研究範圍，內容包括研析台灣水資源特性、管理問題與再生水利用挑戰、國際推動經驗及可供參採之處、台灣推動公共污水處理水再利用挑戰、農業效率化用水及再利用挑戰、工業節水及再利用挑戰、水再生技術與產業發展之瓶頸等議題，最後並提出綜合建議，提供政府及產業界參考。

三、結論

研究發現台灣年平均降雨量可達 2,500 公釐，但降雨之時間及空間分布極不均勻，且河川坡陡流急留水不易，而大型水庫庫容有限與持續淤積，使得全台水庫平均需運轉 2 次，才能滿足供水需求。受到全球氣候變遷影響，降雨量已呈現豐水年愈豐，枯水年愈枯情勢，加上水資源開發及庫容保持不易；農業用水效率待提升；自來水漏水率待改善；及自來水價未實際反應成本等問題，使得台灣水資源管理不管是水源開發、調度之困難度皆很高。

綜合日本、美國加州、以色列、新加坡、澳洲再生水推動的成功經驗，可得知推動再生水需搭配行政組織調整、制度與法規、民眾宣導、技術研發、風險管控等，並有系統地推動。

台灣推動公共污水處理水再利用已有「再生水資源發展條例」做為推動依據，但在目前政策下，落實於民國 120 年達 77 萬 CMD 之長程願景，極具挑戰性。建議 1) 政策面向：降低再生水使用成本；推動實證案例，擴大使用範圍與對象；規劃再生水

教育；2)技術面向：整合產學研界國家科專計畫，發展先進水再生技術；建立大型驗證場域，積極扶植本土再生水產業；發展智慧型再生水廠及監測營運系統。3)管理面向：建構自來水與再生水一元化供水管理體系，提升彈性供水機制。

目前台灣農業用水面臨之挑戰包括提升用水效率、供水納入氣象因素、妥善規劃管理用水、及水質管理等。可藉由 1)灌溉渠道上游適度混合污水處理廠放流水來使用；2)參考美日等國建立智慧化用水管理制度；3)「灌溉用水水質標準」與「放流水水質標準」標準一致，降低農民擔心產品檢驗不合格的疑慮。

自來水水價偏低、地下水抽取管制不易、缺水期農業用水移轉、超量用水但無有效管制等因素干擾，使得廠商進行節水、水回收及使用廠外再生水之意願普遍不高。加上，台灣規劃於民國 120 年工業用水回收率提升至 80%，未來 14 年回收率每年需成長約 0.65%。建議 1)引進省水型製程，推動先進水回收技術，推廣排水依水質分流收集；2)提升工業冷卻水之利用率。經評估，若將工業冷卻水之蒸發部份回收 20%，約可取代 6%之工業總取水量。

水再生廠投資額龐大，操作費用仍偏高，產業界對於製程廢水回收再利用躊躇不前；由於再生水系統之薄膜材料與模組仍以國外大廠品牌為主，加上市場壟斷，使建置與操作維修成本居高不下；另由於水再生程序缺少或使用不適當的前處理流程，造成薄膜設備負荷加重甚至使用壽命縮短，增加操作成本。

四、改善對策及建言

我國推動再生水已逾 20 年，目前使用量已逾每日 50 萬噸，相當於 200 萬人的用水量，但對水利署訂下民國 120 年再生水供應量達 132 萬噸/日之目標，仍有一段距離，在此從技術、經濟、使用者及政策面提出我國推動再生水使用之改善對策與建議，期能協助我國盡早達成目標。

(一)整合新穎科技，研發自有再生水技術，提升產業之國際競爭力

1. 研發水再生、省水型製程及工業節水等先進技術。另應加強推動產業間之跨廠用水媒合，對於提升產業節水之效果尤為顯著。
2. 提供驗證廠址與測試專案計畫，供本土再生水系統業者、薄膜製造業者與技術開發者進行測試與驗證，達成再生水上、下游技術與產業鏈整合。以建立本土再生水關鍵技術與自主性薄膜產業為主軸，開發創新膜材、模組與系統技術，提升國內再生水產業技術能量及附加價值。
3. 配合資通訊創新應用科技及資料加值應用，針對再生水處理及需求端研究智慧化管理。

(二)提升再生水利用之經濟誘因，擴大使用範圍

1. 政府應將再生水工程視為國家公共工程建設，將再生水廠及取供水管線列為水資源開發基礎工程，降低再生水使用成本。對於國內水價結構亦應進行合理化檢討，以提升再生水使用誘因。
2. 再生水之利用應依水質特性考慮擴大多元使用。經脫鹽處理之再生水，水質極佳，適合利用於工業製程；未經脫鹽處理之再生水，供水成本低，再利用具經濟誘因，適合利用用途包括工業清洗用水、農業補充用水、生態用水、都市雜用水等。

(三) 宣導再生水循環利用與產業保險用水觀念，加強消費者使用信心

1. 與環保署及教育部合作，透過政策引領及再生水教育，宣導再生水循環利用觀念，並強化國家多元水源之全民教育，塑造愛水惜水的文化。
2. 與科技部及工業局合作，透過技術研討及實場案例觀摩，加強產業對再生水水質之信心，並加強宣導再生水作為產業保險用水觀念。
3. 嚴格規範再生水水量及水質之穩定性，確保用水端安心無虞使用再生水。

(四) 完備法規與調整供水政策，朝向建構一元化供水管理體系，提升再生水使用效率

1. 全面評析水資源開發及使用之法令與制度，善用供水行政管理策略，如豐枯水季差別水價、彈性費率、優先供水順位、穩定水量誘因及減免污染費等行政管理工具，以增加再生水使用誘因，擴大再生水使用效率。
2. 自來水與再生水均屬計價供水之水源，建構一元化供水管理體系，由主管單位統一調度管理多元水資源，能提升溝通效率，有助於彈性供水機制之運作。

第一章 台灣水資源特性、管理問題與再生水利用之挑戰

台灣四面環海，氣候溫暖潮濕，雖然年平均降雨量可達 2,500 公釐，但是降雨型態之時間及空間分布極不均勻，且河川坡陡流急，降雨後即迅速流入大海，而大型水庫庫容有限與持續淤積，使得全台水庫平均需運轉 2 次，才能滿足供水及發展需求。另受到全球氣候變遷及極端氣候影響，降雨量已呈現豐水年愈豐，枯水年愈枯情勢，這些特性與客觀環境條件，使得國內水資源利用及調度的困難度加劇。本章乃綜整台灣水資源管理遭遇之關鍵問題並對再生水定位及使用現況加以說明，以利讀者瞭解台灣再生水利用之挑戰。

一、台灣水資源特性

水、空氣及陽光為人們賴以維生的重要元素，其中水資源相較於其他天然資源，如石油、天然氣、貴金屬...等，更為不可或缺，它關係著我們生命的延續，也影響了我們的社會及經濟發展，從先人們畔河而居到現代沿河、沿海發展的各國重要城市，足可見水資源對於人們生活一切所占的份量，倘無充足水資源供應，一個國家的經濟及社會的發展將面臨瓶頸。根據世界經濟論壇(World Economic Forum, WEF)2018 年 1 月發布「2018 年全球風險報告書」，就指出極端氣候和水資源危機的嚴重性，詳圖 1.1，水資源已是 21 世紀重要的課題。

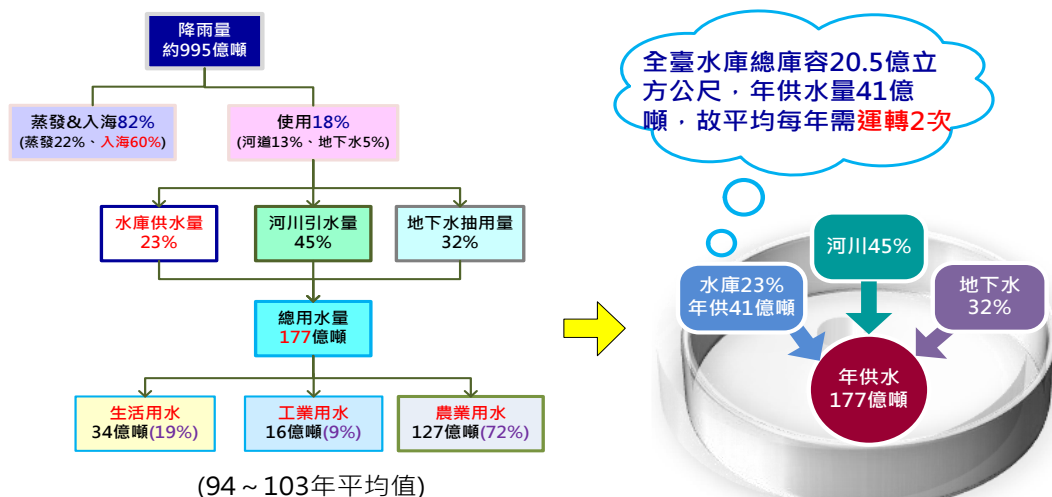


Source: World Economic Forum 2008-2018, Global Risks Reports.
 Note: Global risks may not be strictly comparable across years, as definitions and the set of global risks have evolved with new issues emerging on the 10-year horizon. For example, cyberattacks, income disparity and unemployment entered the set of global risks in 2012. Some global risks were reclassified: water crises and rising income disparity were re-categorized first as societal risks and then as a trend in the 2015 and 2016 Global Risks Reports, respectively.

資料來源：世界經濟論壇(WEF)

圖 1.1 全球面臨前五大風險項目

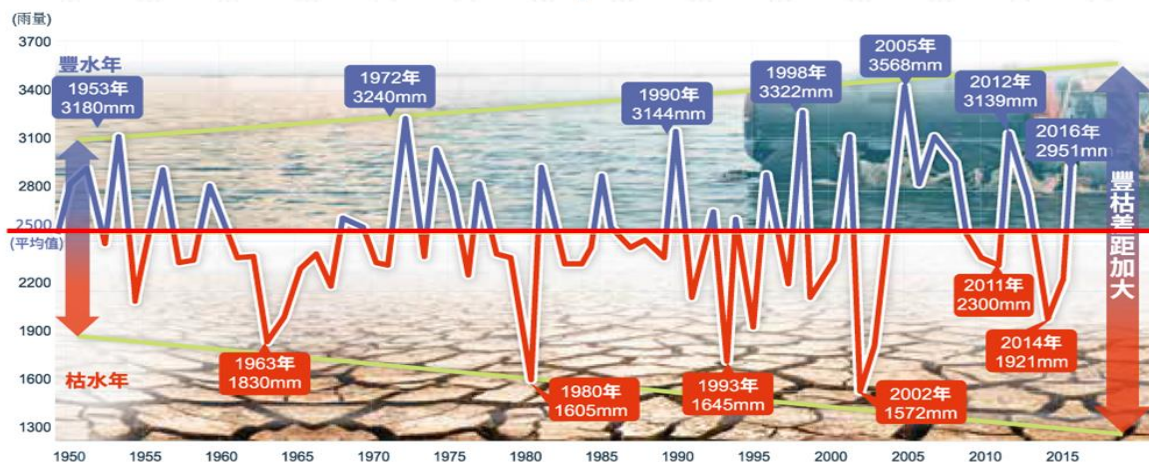
台灣四面環海，氣候溫暖潮濕，5~6 月份有梅雨、夏季有颱風、冬季有東北季風，均可為台灣帶來可觀的雨量，根據統計台灣年平均降雨量可達 2,500 公釐，約為世界平均值的 2.6 倍，但是因為降雨時空分布不均、地形條件限制及氣候變遷極端氣候影響，使得每人每年可分配雨量僅約 4,000 立方公尺，不到世界平均值 21,796 立方公尺的五分之一。



資料來源：經濟部水利署，全國水論壇正式大會引言報告

圖 1.2 台灣水源架構與用水概況圖

隨著全球氣候變遷及極端氣候影響，台灣也無法倖免於外，根據水利署統計 1960 年至 2016 年台灣各年平均年雨量，已呈現豐水年愈豐，枯水年愈枯情勢，且枯水年周期有縮短趨勢，詳圖 1.3，此現象可從台灣近幾年水情看出端倪，民國 104 年上半年台灣剛適逢 67 年來最大的乾旱，而民國 106 年春季又逢 70 年來第 2 少的冬雨，且 8 月以後已無颱風過境，造成國內部分地區用水亮起警戒燈號，也增加國內水資源利用及調度的困難度。



資料來源：經濟部水利署

圖 1.3 台灣 1960 年至 2016 年各年平均年雨量

二、台灣水資源管理問題

台灣因水文及地文特性，雖然降雨量豐沛，但是國內水資源利用仍面臨諸多考驗，再加上全球氣候變遷及極端氣候影響，使得乾旱缺水風險逐漸增加，為穩定供水，以滿足各界用水需求，避免因缺水問題而造成社經發展受損，國內現階段水資源管理關鍵問題如下：

(一) 水資源開發及庫容保持不易

臺灣地質構造複雜且地層年淺質弱，適合天然水資源開發壩址有限，再加上民眾環保意識抬頭，水庫興建需與民眾長期溝通，民國 90 年以後完工的大型蓄水設施僅有寶山第二水庫、湖山水庫、中庄調整池、集集攔河堰、士林攔河堰、羅東攔河堰、南溪壩等，為滿足國內用水需求，水資源開發必須朝向多元水源供應方式，除水庫、攔河堰及地下水等外，新興水源開發也為必要手段，包含雨水貯留、海水淡化及再生水等。

全臺公告水庫原總容量 28.9 億立方公尺，目前總庫容為 20.5 億立方公尺，淤積量達 8.4 億立方公尺，淤積率達 29%。臺灣總水庫容量逐年降低影響調蓄能力，且近年高強度降雨事件衍生水質惡化、原水濁度遽增及淤積造成庫容驟降，已明顯衝擊整體供水穩定。傳統清淤工作受限水庫水位影響、淤積物處置不易、脫水處理成本高、清淤影響交通致民眾抗爭等困難，均使清淤量能受限。

(二) 農業用水效率待提升

我國農業用水占比約 72%（包含灌溉、畜牧與養殖等用水），其中灌溉用水占比約 63%，與鄰近氣候相近或以稻米為主食之國家比較，接近日本的 62%，尚低於中國的 68%，亦低於亞洲平均的 81%，但因國內水資源有限且珍貴，推廣農業節水仍有必要性，透過提升農業用水效率，一方面避免水資源浪費，另一方面可將節餘的水資源用於其他用途。灌溉部分，可強化灌溉管理、推廣旱作節水管路灌溉設施、推廣農田轉旱作及平地造林、圳路更新改善降低漏水率、設置埤塘設施...等；養殖部分，可辦理海水統籌供應系統、發展鹹水養殖、加強循環養殖等；畜牧部分，可推廣畜禽生產源頭節水及畜牧廢水循環再利用。

(三) 自來水漏水率待改善

早期自來水事業為配合政府提高供水普及率政策，其埋設之自來水配水管多採價廉質輕、運裝施工便利之塑膠管，然其耐久性、抗壓性較差，歷經 40 餘年的使用，業已超過其管材壽齡，又因台灣地震頻繁及常有重車輾壓等因素，造成自來水配水管線漏水問題。近年來，在台灣自來水公司及臺北自來水事業處努力進行自來水漏水改善下，台灣自來水公司自來水漏水率已由民國 93 年底 23.78%，逐年降至民國 106 年

底 15.49%，總計降低 8.29%；臺北自來水事業處漏水率則由民國 93 年底 26.70%，逐年降低至民國 106 年底 14.32%，總計降低 12.38%，漏水情形雖已有大幅改善，約與世界平均 15%相當，惟與政策目標於民國 120 年降至 10%，仍有持續改善的空間。

(四) 自來水水價偏低

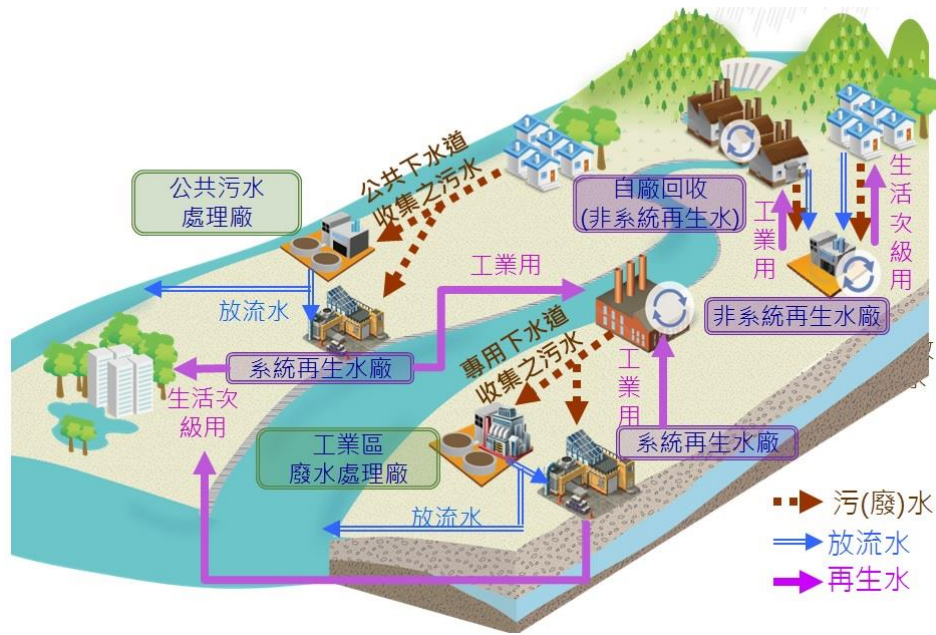
自來水為民生基本物資，因受到社會環境等因素影響，台灣自來水公司水價調整自民國 83 年 7 月 1 日調整迄今，水價均無調漲，平均一度 10 元上下的水準，已逾 24 年未調整，跟國際相比，日本每度水價 46 元、德國每度水價 38 元、澳洲每度水價 24 元，而新加坡每度水價也有 20 元。台灣低廉水費導致浪費習慣，加上現行水價級距價差不明顯，價格無法對高用水量用戶產生制衡效果，導致民眾雖有節水意識，但實際落實比率仍待提昇，對於產業投資節水設備亦不具經濟誘因，不利提升用水效率。

三、再生水定位及使用現況

為穩定社會及經濟持續發展需求，國內水資源利用必須透過多元水源供應方式，以滿足各界用水需求。水利相關單位一方面持續開發水庫、攔河堰及地下水等傳統水資源，另一方面也積極評估開發新興水源，例如雨水貯留、伏流水利用、再生水利用、海水淡化…等，其中再生水主要來自公共污水處理廠放流水再生利用，相較於其他水源，在水質及水量上更具有穩定性，為目前新興水資源開發重點之一。

立法院已於民國 104 年通過「再生水資源發展條例」，根據條例對於再生水之定義，再生水係指廢（污）水或放流水，經處理後可再利用之水；依其處理水源不同，可區分為系統再生水及非系統再生水。而系統再生水與非系統再生水兩者差異，在於廢（污）水或放流水取用前，是否曾排入公共污水下水道系統或工業區專用下水道系統。

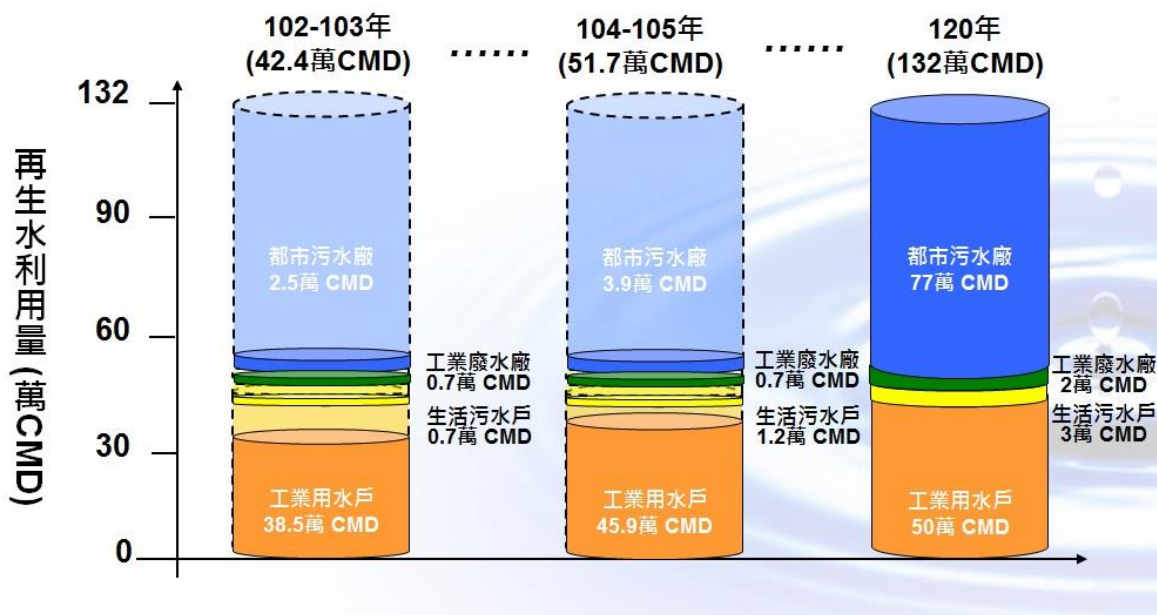
我國再生水主要水源可分為四大類型，其中系統再生水部分，包含公共污水處理廠放流水回收利用及工業區廢水處理廠放流水回收利用；非系統再生水部分，包含工業用水大戶廢水自行回收利用及民生用水大戶污水自行回收利用，如圖 1.4 所示。



資料來源：經濟部水利署

圖 1.4 國內再生水四股水源

國內再生水利用預計於民國 120 年達到每日 132 萬噸目標量，將從上述四股水源著手，並已個別設定目標值：(1)公共污水處理廠放流水回收利用量為每日 77 萬噸；(2)工業區廢水處理廠放流水回收利用量每日 2 萬噸；(3)工業用水大戶廢水自行回收利用量每日 50 萬噸；(4)民生用水大戶污水自行回收利用量每日 3 萬噸。根據水利署民國 103 年「水再生利用推動盤查與促動服務計畫(3/3)」調查統計，國內再生水使用量約為每日 42.4 萬噸，其中以工業用水大戶廢水自行回收利用量所占比例最高，其次為都市污水處理廠之放流水再生利用；另近期水利署民國 105 年「水再生利用促動與技術服務計畫(2/2)」再次調查，結果顯示，國內再生水使用量已提升至每日約 51.7 萬噸，相較前期調查每日增加 9.3 萬噸，如圖 1.5 所示。公共污水處理廠放流水回收利用量為每日 3.90 萬噸，其用途主要以提供外部單位取水，作為灑掃、清洗之用；工業區廢水處理廠放流水回收利用量為每日 0.71 萬噸，其用途主要作為廠內設備清洗水；工業用水大戶廢水自行回收利用為每日 45.94 萬噸，其中，有採行廠內水再生利用措施之產業，仍以電子零組件製造業為最大宗，其次則為基本金屬製造業及化學材料製造業；民生用水大戶污水自行回收利用量為每日 1.14 萬噸，再生水之利用，多為大專院校等具有污水處理量大、校地占地廣大，沖廁、景觀及澆灌用水量之大之單位。因此，國內再生水利用量仍集中於於工業用水大戶廢水自行回收利用，約占總使用量 88%，主要是因為過去環評法規及用水計畫審查要求，以及工業用水大戶基於企業社會責任、缺水風險及減少廢水排放成本等，提升廠內用水回收率所帶來的成果。



資料來源：經濟部水利署

圖 1.5 國內再生水利用現況及發展趨勢

公共污水處理廠及工業區廢水處理廠放流水，其水量大且水質已符合放流水標準，具有高度再生利用潛勢，尤其是公共污水處理廠放流水具有水質單純且穩定之特性，目前國內公共污水處理廠之污水處理量高達平均每日約 300 多萬噸，如表 1.1 所示，惟公共污水處理廠放流水回收再利用量僅 3.9 萬噸，尚具有高度開發潛力，如能將該股水源充分開發，將可有效挹注國內水資源總量，因此，公共污水處理廠放流水回收利用為國內再生水推動主軸，其目標量為每日 77 萬噸，約占總目標量 58%。但是，再生水開發及再生水廠興建，必需考量污水處理廠是否有充足污水量可供再生，且鄰近是否有工業區使用者，再生水廠與使用者間之輸送距離及相對高程，以及再生水開發是否有足夠經濟規模等因素，進行綜合性評估而定，因此，雖然國內有每日 300 多萬噸污水，但是現階段並非全數可供開發，以台北地區八里污水處理廠為例，該廠污水處理量每日達到 100 萬噸，已占全國污水處理量三分之一，為現階段國內最大污水處理廠，即因鄰近無工業區存在，或是距離遙遠致輸送成本高昂，使得再生水價不易為消費者接受，因此實務上不易推動。

水利署為達成國內再生水利用，預計於民國 120 年達到每日 132 萬噸目標量，民國 105 年即著手國內公共污水處理廠放流水回收利用潛勢調查，依照污水廠之處理水量、建設規劃、高程，以及需水端之需水量、高程、距離等，進行再生水利用量開發評析，以提供國內長期推動再生水利用參考。該次調查依據再生水資源發展條例相關授權子法「水源供應短缺之虞地區使用再生水辦法」規定，開發單位位於有水源供應短缺之虞之地區，且計畫用水量達每日 3,000 噸以上者，強制使用一定比例系統再生水。考量再生設備有效造水率約 50%，故篩選全期處理量達每日 6,000 噸以上之都市

污水處理廠，作為優先評估對象；另需水端之再生水利用量，則考量供水集中可減少輸水管線配置，以及具有一定用水規模可提高用水效益，故以工業區較具有優先推動潛力，且考量各類型產業用水型態，製程用水約占 50%，冷卻及其他次級用水約占 40%，以廠內用水合理調度而言，需水端之再生水利用量以長程用水量的 40% 估算之。此外，為避免輸送距離過長，造成一定程度之管線成本及動力成本過高，故供水端及需水端距離以 20 公里為上限。

上述調查結果顯示，國內共計有 26 座公共污水處理廠具有開發潛勢，詳表 1.2，其中台中地區福田、水湳及豐原，台南地區安平及永康，高雄鳳山溪及臨海等廠址，已列入內政部「公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動方案」及「前瞻基礎建設計畫-水環境建設計畫-再生水工程推動計畫」，由中央相關單位(包含水利署、工業局、營建署、中科管理局及南科管理局)與臺中市政府、臺南市政府及高雄市政府等地方政府共同推動，預計民國 112 年使用量可增加每日 26.1 萬噸，並帶動業界後續投入開發，達到民國 120 年使用量每日 132 萬噸目標。

表 1.1 全國廢污水處理廠處理水量及放流水再生利用統計

區域／縣市		公共污水處理廠			工業區廢水處理廠		
		設計處理水量 (噸/日)	實際處理水量 (噸/日)	放流水再利用量 (噸/日)	設計處理水量 (噸/日)	實際處理水量 (噸/日)	放流水再利用量 (噸/日)
北部 區域	基隆市	85,500	19,478	733	1,750	920	2
	台北市	650,000	548,015	5,778	-	-	-
	新北市	1,379,570	1,335,004	5,377	30,285	15,000	172
	桃園市	99,785	31,869	1,514	175,415	109,131	948
	新竹縣、市	60,500	31,677	1,832	235,450	145,048	550
小計		2,275,355	1,966,043	15,234	442,900	270,099	1,672
中部 區域	苗栗縣	25,325	12,918	384	66,000	20,000	0
	台中市	107,510	97,689	545	202,000	98,400	839
	彰化縣	6,200	2,140	10	43,000	27,800	1
	南投縣	8,200	3,147	0	16,000	10,000	0
	雲林縣	20,000	6,996	150	35,500	19,322	0
小計		167,235	122,890	1,089	362,500	175,522	840
南部 區域	嘉義縣、市	30,000	13,773	131	14,500	7,271	0
	台南市	168,600	170,548	535	208,985	130,450	620
	高雄市	950,600	931,802	20,100	241,430	135,781	3,277
	屏東縣	72,600	29,002	27	15,600	3,540	710
小計		1,221,800	1,145,125	20,793	480,515	277,042	4,605
東部 區域	宜蘭縣	45,000	52,915	1,428	5,000	3,500	0
	花蓮縣	50,000	44,233	205	5,500	100	0
	台東縣	5,400	1,381	0	-	-	-
小計		100,400	98,529	1,633	10,500	4,600	-
離島 地區	澎湖縣	-	-	-	-	-	-
	金門縣	12,188	7,173	215	-	-	-
	連江縣	1,450	448	102	-	-	-
小計		13,638	7,621	317	-	-	-
總計		3,778,428	3,340,208	39,066	1,296,415	739,263	7,116

資料來源：經濟部水利署，民國 105 年，「水再生利用促動與技術服務計畫(2/2)」

表 1.2 公共污水處理廠放流水再生利用潛勢廠址

地區	污水廠	供水目標工業區
桃園	桃園北區	大園、桃園航空城、北部特定區
	中壢*	觀音、中壢、桃園科技
	龜山	華亞科技園區
	楊梅*	桃園幼獅、平鎮
新竹	竹北	新竹
	竹東	竹科新竹園區
	客雅	
苗栗	苗栗	西山
	竹南頭份	竹南、頭份
台中	石岡壩	中科后里園區
	臺中港	加工出口區中港園區
	福田	臺中港專區、彰濱
	豐原*	中科台中園區
	文山	臺中
	水湳	中科台中園區
	新光*	大里
	潭子*	加工出口區臺中園區
彰化	二林	芳苑
	和美*	全興
雲林	斗六	雲林科技
	虎尾*	中科虎尾基地
嘉義	擴大縣治	馬稠後
臺南	柳營	臺南環保科技園區
	安平	南科台南園區、安平
	永康*	南科台南園區、樹谷園區
	安南	臺南科技
	仁德	臺南保安
高雄	鳳山溪	臨海、大發
	臨海*	臨海
	楠梓	加工出口區楠梓園區、大社
	路竹*	南科高雄園區
	林園*	林園
屏東	六塊厝	加工出口區屏東園區、屏東

資料來源：經濟部水利署，民國 105 年，「水再生利用促動與技術服務計畫(2/2)」、內政部營建署
「全國公共污水處理廠資料管理系統(107 年)。

註：「*」記號為建設規劃中污水廠、底線標記為內政部「公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動方案」及「前瞻基礎建設計畫-水環境建設計畫-再生水工程推動計畫」七座污水廠之一。

第二章 國際推動水再生利用可供台灣參採之策略與措施

許多國家面臨水資源危機，在嚴峻的水資源環境背景下，如何妥善利用再生水，尤其是再生公共污水下水道系統污水處理廠（或簡稱「都市污水處理廠」）放流水以補充區域用水供應缺口，包括生活、工業、農業等，對於國計民生發展至為重要。本章即簡介日本、美國加州、以色列、新加坡、澳洲等國之再生水利用案例。

一、日本

(一) 現況

日本都會地區人口密集，水資源供給問題相當嚴重，推動都市污水處理廠放流水再生利用為解決缺水問題以及減抽地下水之長期策略，全國設置放流水再生回用設施者有超過 300 處之都市污水處理廠，以及約 100 處之社區污水下水道系統，目前每日產製約 60 萬立方米之再生水。再生水的用途，51%做為環境用水（保育、親水、景觀、澆灌等），其次分別為沖廁所(18%)、工業(11%)、溶雪(14%) 以及灌溉(6%) 等。此外，以東京及福岡為例，雜排水再生利用主要應用在商業大樓之廁所沖洗水、河川整治及復原、增加河川流量等，大部分規劃作為非飲用之都市雜用水再利用。

以最早全面推動使用再生水的福岡市為例，自 1978 年嚴重乾旱缺水，造成產業損失及生活上的不便後，便積極推動再生水，逐步於該市「中部水處理中心」與「東部水處理中心」設置再生處理設施供給再生水，供應市中心包括沖廁、澆灌等各類雜用，至今已有數十年之歷史（圖 2.1）；以福岡市中部污水處理中心為例，其放流水再生流程為「二沉池放流水→混凝沈澱→臭氧→砂濾→加氯消毒→纖維過濾(Fiber Filtration)」，再生量約 8,000CMD，是日本各都市污水處理廠放流水再生時經常使用的流程，並未使用逆滲透膜與超過濾膜等高級處理設施。

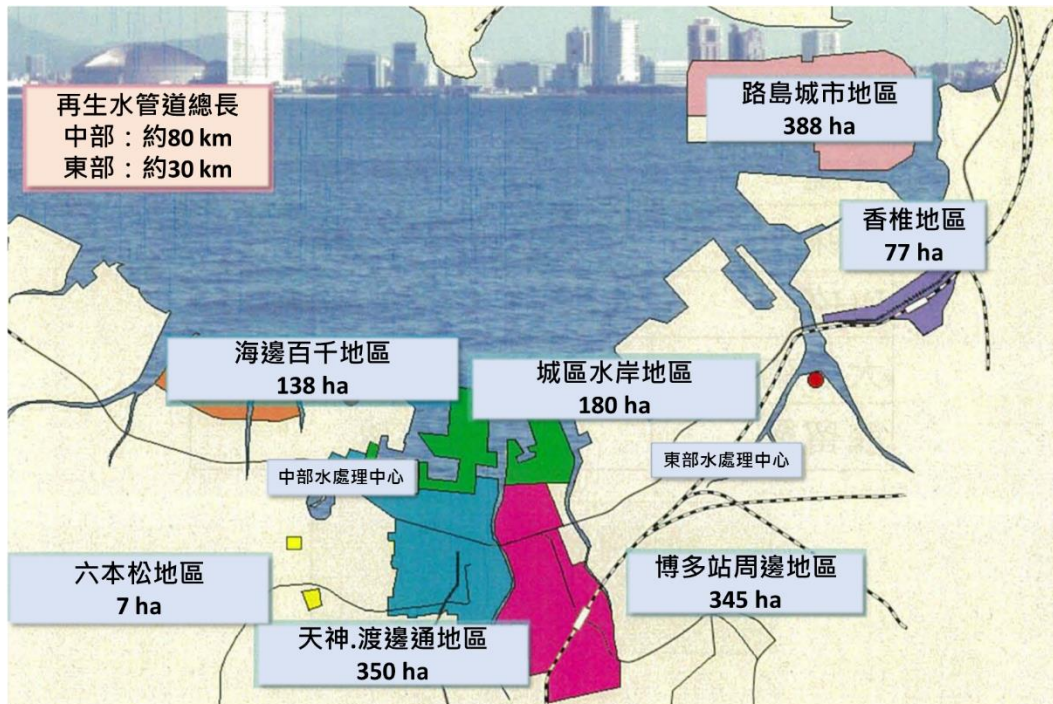


圖 2.1 福岡市中部、東部兩水處理中心再生水供應計畫

(二) 可供參採策略

在大方向上，過去半世紀以來，日本許多都會區均面臨人口高度密集，自來水供應壓力大，大量超抽地下水導致海水入侵等問題；此外由於高度集中的人口產生大量污水排放，各地方政府加速興建污水下水道系統的同時，將放流水予以高級處理後再生利用，可同時減少污水排放至地面水體，改善水環境，亦解決缺水、地下水超抽等問題。

高自來水價是另一個促使日本再生水快速發展的重要因素。日本自來水水價由各地方政府依據實際水資源開發成本與供需狀況個別訂定。包括東京、福岡在內的大都會平均自來水價都將超過新臺幣100元（包括下水道使用費），隨用水量增加尚有累進計價之機制，大用水戶用水成本高，反觀在一般建築沖廁、澆灌等用途之再生水價格則約只有自來水的三分之一到二分之一，自然促成再生水需求持續增加。

在主管行政機關體系上，整體而言，水再生推動屬於地方政府之權責，中央政府負責制定規範與經費補助。日本公共下水道管理之中央主管機關為國土交通省，該省之業務包括水資源與再生水推動，因事權歸於統一而易於整合，有利一致性的政策與相關協調。在地方政府內，「水道局」和「下水道局」之運作有密切關聯，或合併為「上下水道局」，自來水水價包含下水道使用費，支撐下水道之運作，亦可與再生水水價之訂定有一致趨勢，較容易提供大用水戶使用再生水之誘因。

(三) 可供參採措施

在再生水水質標準方面，國土交通省公告「再生水水質及再生處理準則」、「厚生勞動省」公告「建築物水回收衛生確保施行令」，可作為各都道府縣制訂再生水水質準則或標準之依據，包括沖廁、噴灑、景觀、親水等用途；各都、道、府、縣制定之再生水水質準則或標準須與其相等或較其嚴格。另一方面，各都道府縣政府也會對應地加嚴建築法規，要求大於某面積之建築物強制建置二元供水設施(如福岡市訂有「設置綱要」)，而有利於在都市內大幅推動使用再生水。

相對於其他國家，日本並未大量將再生水用於灌溉或工業，而是作為各類市政利用，以及作為各類親水使用；而尚未進一步再生的放流水，亦會大幅導入作為下水道管線、設施和道路清洗(多稱為「處理水」)。

另污水處理和水再生設施興建確有部分經費為中央補助，但日本整體的水價較高，附加於其上之下水收集處理費和再生水水費足以支撐下水道系統與再生水廠的營運，基本上可達自主財務平衡。

二、美國加州

(一) 現況

加州為美國乾旱問題最嚴重的區域之一，也是最早開始使用再生水的州。北加州年降雨量最高達 2,000mm，南加州則低於 400mm，但人口更密集，自二十世紀初就開始「北水南運」；1970 年代後，加州北部與南部用水量都持續增加，但因長程管線維護成本高、傳統水資源設施供水量減少、海水入侵地下水造成鹽化問題，再生水之使用已成為解決水資源供需缺口的重要關鍵。

位於南加州的橘郡水區(Orange County Water District, OCWD)自 1975 年起推動之 Water Factory 21 計畫(WF-21)，為加州最早也是最知名的再生水計畫。OCWD 水再生廠的進流水為鄰近污水處理廠之放流水，經過逆滲透膜(RO)等高級處理後的再生水直接注入沿海地下水層防止海水入侵，另輸送到 23 個補注井網補注到地下四個含水層(圖 2.2)。WF-21 也是世界上第一個使用 RO 膜之水再生廠，在 1993 年後導入微過濾膜(MF)作為 RO 之前處理，後續並擴大規模，自 2008 年後 OCWD 新建成再生水地下水補注系統(Groundwater Replenishment System, GWRS)，該系統除微過濾膜 MF、超過濾膜 RO 外，再導入高級氧化系統(UV-H₂O₂)，以去除水中新興污染物；GWRS 初期提供約 236,600CMD 之再生水，待 2020 年後，最終可供應約 492,000CMD 符合當地飲用水水質之再生水。

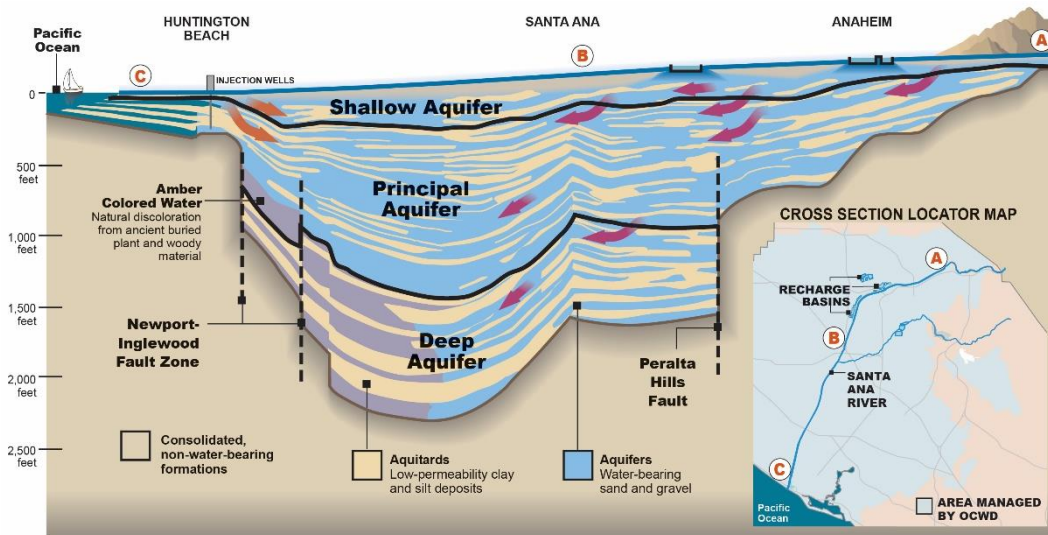


圖 2.2 GWRS 供水計畫

(二) 可供參採策略

加州為美國最富裕的州之一，其 GDP 持續增加，若加州是一個獨立經濟體，目前已是全球第五大的經濟體；隨之而來的除生活用水量大增外，農業灌溉和景觀澆灌之需求亦激增，在傳統水資源開發無法短時間達成的前提下，再生水的使用無疑較半世紀前更加重要，而加州政府所設定的再生水總使用量，也從十餘年前的 200 萬 CMD，成長到目前約 300 萬 CMD，並預期逐年增加，最終將超過 600 萬 CMD。

水再生計畫牽涉領域許多，包括自來水供應、水質、水權、公共衛生等，美國環境保護署（USEPA）於 2004 年出版「水再生指導方針(Guidelines for Water Reuse)」，包括再生水品質與設施規格建議等，然後再由各州依其特殊之用水需求自行規範州內之水再生推動及鼓勵水再生事業；而在各州中，加州遠遠領先於此，自 1978 年加州就已建立全球第一個嚴謹的污水再生及使用法規系統，包括健康與安全準則(Health and Safety Code)、水準則(The Water Code)、加州法規準則第 22 章和第 17 章(Titles 22 and 17 of the California Code of Regulations)等。

就行政組織，在加州政府層級，自來水供水由水資源局負責，水質和水權管理由加州水資源管制委員會(SWRCB)及供水區水質管制委員會(RWQCBs)負責，公共衛生管理方面則由公共衛生局負責。而各再生水計畫的推動與個別供應總量等政策目標，仍由各市郡所屬水區(Water district)自行推動，較著名的包括位於南加州的洛杉磯、橘郡、聖地牙哥，近年來連水資源較為豐富的北加州，亦有舊金山、矽谷等地啟動相關再生水計畫；水源開發、建設、維護（包括地下水、海淡水、再生水）在水區的層級則是整合管理的，再統籌委由當地之批發商(Wholesaler)去負責輸配水，而到鄉鎮則有零售商(Retailer)負責售水收費。

就水價而言，West Basin 等部分再生水計畫（如 Edward C. Little 水再生廠）採多

種不同再生水程序，供應個別對象時，會依水質的不同區隔計價，其他將再生水入注地下水層的計畫，則統合作為水源，在供應時並未區分自來水與再生水之價格差異；整體而言，加州各城市水價差距頗大，每噸從 20 餘美元至近 50 美元不等；惟在此水價結構下，再生水之產製成本預期仍遠低於售水價格，使得水區在衡量自其他郡長距離輸水以及開發海淡水時，仍願意投入開發再生水此一選項。

(三) 可供參採措施

加州的再生水除有相當比例供給工業大戶，以及搭配河水補注地下水，涵養地下水層外，透過入注以阻隔海水入侵，以保護地下水源亦為之重點。惟隨再生水注入地下水體再轉作灌溉等用途持續增加，是否產生哪些效應，加州水資源管制委員會也以州的高度，關注各再生水計畫推動後可能產生的問題，例如污水處理廠處理效能是否維持或提升、地下水庫是否因為再生水的注入而有水質變化(如鹽份、氮、磷濃度等)、灌溉區是否因為再生水的使用而有地表逕流情況變化之異常情況、以及新興污染物與藥物殘留等問題；除此之外，也透過削減排放地面水體(河川、海洋)負荷總量之作法，促使操作污水處理廠的各市郡政府與各水區合作，將放流水轉作再生水等引導措施，以減少污水之排放。

另因為在加州體制下，污水處理廠屬市郡政府或衛生區(Sanitation District)，而再生水廠則是屬於水區，故仍存在水區向污水處理廠主管機關購買放流水之費用(小於每噸一美分)，所以污水處理廠與再生水廠仍有界面問題，因此強化允收標準之訂定與線上監測等作為責任釐清，仍為必須之措施。反之，水區也會從售水費用形成一項基金，以及發行公債籌款，搭配聯邦政府與州政府的專案補助，作為改善污水處理廠操作、興建水再生廠與管線、設備換新之經費需求。

三、以色列

(一) 現況

以色列年平均降雨量約 350 毫米，南部降雨又遠少於北部，缺水狀況嚴重；從用水標的來看，以色列總用水量 600 萬 CMD 中，農業占 57%，民生占 36%，工業用水占 7%。因此自 1970 年代起，在施政方向上，以色列的再生水幾乎全數作為農業用水之補充，40 年來，目前取自傳統水資源約為 70%，15%來自再生水(約 90-100 萬 CMD)，以及海水、半鹹水之淡化；長期目標則要將傳統水資源供應比例降至 50%。

以國家水公司(Mekorot)為例，其目前操作 6 座污水處理廠，並將再生水長距離配送進行地下水補注以及灌溉等(圖 2.3)，供應量約 60 萬 CMD。其中最大的為但區污水處理廠(Dan Regional Wastewater Treatment Plant，又稱 Shafdan)，約占前述供應量的三分之二，其運作歷史也最悠久，自 1970 年代末期就已開始，一部分的二級處理放流水經超過濾膜(UF)-逆滲透膜(RO)後，直接作為灌溉；另一部分則以管線輸送至

放流水注入池(recharge basins)，藉重力自然注入地下，經砂質土壤處理，停留地下 8 日之後，先流經水質觀測井(observation wells)，再由外圍之抽水井(pumping well)抽出符合水質標準之再生水，再以管線輸送作為灌溉。該計畫有四個補注區，總占地約 80 公頃。

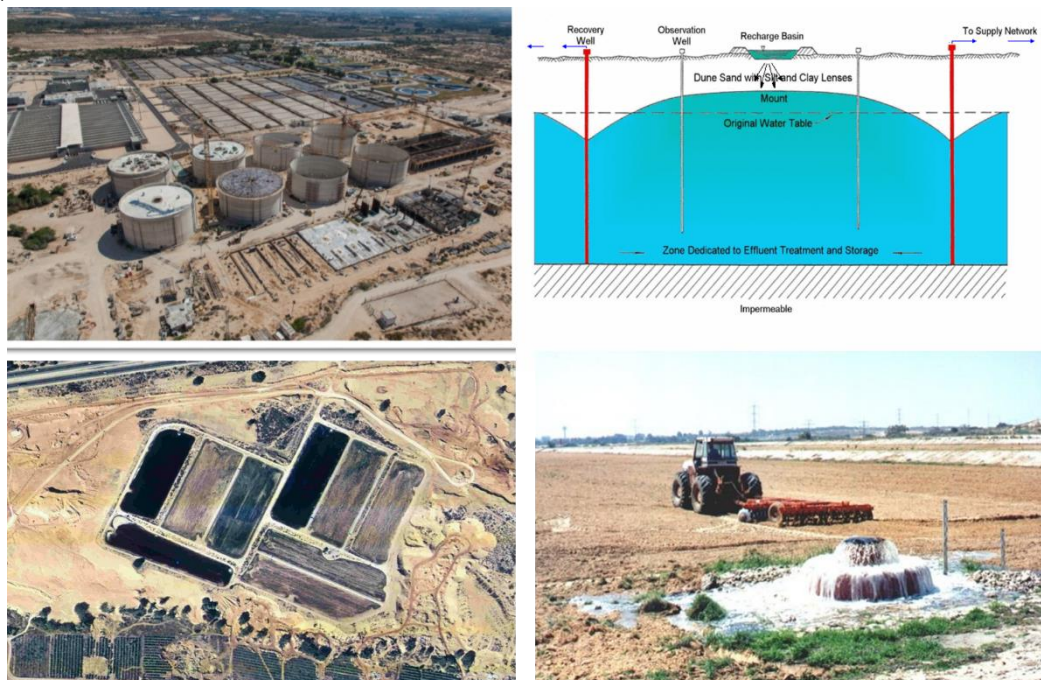


圖 2.3 以色列國家水公司(Makorot)之 Shafdan 污水處理廠及地下水補注計畫

(二) 可供參採策略

以色列為絕對乾旱國家，將水資源視為戰略物資，因此生活污水 100%回收為政府既定之水資源政策，為求整合涉及之複雜界面，其推動亦力求行政組織單一化。以色列將下水道建設、生活污水處理、放流水再生等政務均納入「國家公共建設部」(Ministry of National Infrastructures)管理；該部下轄之「國家水利委員會」(Water Commission, 後續更名為「國家水及污水委員會」, Council of the Governmental Authority of Water and Sewerage)負責制定水政策，以及調節水價、分配水源、保護土壤、防止污染及廢水回收和再利用。

另外 2001 年頒布的「水與污水公司法(Water and Sewerage Corporations Law)」，要求所有自來水和污水處理(再生)之事務由地區政府移轉給國家水公司(Mekorot)，負責管理及販售各種用水(包括再生水)；目前 Makorot 供應以色列 70%的用水(約 411 萬 CMD)，涵蓋民生、農業和工業用水；操作 31 座海水(及半鹹水)淡化廠(產出約 100 萬 CMD 的淡水)和 6 座污水處理廠，並協助多座污水處理廠進行地下水補注及再利用。

水價誘因亦為其重要推動策略。以色列將水源分為天然淡水、淡化海水、半鹹水、再生水和雨水貯留等類別，水價亦有不同。約略而言，Mekorot 之批發水價分為四種：民生用水、商業用水、工業用水和農業用水，其中以農業和工業用水最便宜。民生用水則高出許多，並實行浮動制。舉例來說，用水在規定額度 60%以內的價格較低，約為 1.2 美元/噸，超過額度 80%後，水價攀升至約 5 美元/噸，甚至更高。此外為鼓勵使用再生水，以色列政府以「水價」及「水量」雙重誘因搭配以吸引農民使用，一般而言，再生水之價格約為一般公共給水的 30%，也因此可以分配到較多的再生水量。

(三) 可供參採措施

目前以色列放流量進行再生的比例已超過 90%，用作農業灌溉之總量亦已超過 90 萬 CMD。要穩定供應再生水，公共污水下水道建設必須更加完整，處理效能亦需提高；以色列目前污水處理廠絕大多數已提升為二級或三級污水處理廠處理污水，為提高再生效率，以色列將其生活污水處理廠分為兩種：二級處理（去除有機碳）目前約占 70%，而約有 30%採三級處理（除氮磷），再依水質需求，將不同水質的再生水供為果樹、橄欖樹、棉花田等各類旱作灌溉用途。

如前述，除透過污水處理廠三級處理與薄膜處理外，二級處理放流水經過土壤處理，再由地下水層中抽回水質合格的再生水，成本較低，成為重要的再生處理手段(SAT, soil aquifer treatment)，並兼具調蓄地下水水位之功能；地下水層於豐水期時，補注池維持高水位狀態，以重力方式達到天然入滲，為了維護土壤入滲率，補注池採用豐枯交替使用，在枯水期，補注池底放乾，以機械方法翻鬆土層，增加土壤孔隙率，而能長期維持補注池的效率，目前這也是以色列再生水的主流。

四、新加坡

(一) 現況

新加坡國土狹小，降雨集水面積不足，但高度都市化與積極發展製造業，使得用水量持續增加。1961 年，馬來西亞與新加坡簽署兩個協議，一個協議為期 50 年，另一個協議為期 100 年；按照協議規定，馬來西亞以低價（約新台幣 0.54 元/噸）向新加坡提供水源，惟因後續爭端，馬來西亞可能調漲原水價格，或於前述協議終止後不再續約。為擺脫對馬來西亞的用水倚賴，新加坡自 1990 年代起即積極強化自有水源，除在馬來西亞購水外，擴大自有集水區、推動再生水 NEWater 與海淡水，合稱「四大水龍頭」(Four National Taps)。其中 NEWater 之發展受到全球關注，自 2003 年起第一座再生水廠完成，15 年間已建置超過 6 座再生水廠，設計供水量超過 50 萬 CMD，已占全國用水量 150 萬 CMD 的近三分之一，且還持續配合深隧道污水下水道工程計畫(Deep Tunnel Sewage System, DTSS)擴改建中，預期最終在 2060 年前能供應 50%以上的用水。

NEWater 計畫是新加坡公用事業局(Public Utilities Board, PUB)供水的一環，其主要以雙薄膜技術（微過濾 MF/超過濾 UF，搭配逆滲透 RO）及紫外光消毒程序，將都市污水處理廠的放流水處理為高級工業再生水，供應製造業廠的製程用水、發電廠、商辦大樓之冷卻空調等用水之補充，並回注至集水區的蓄水池，作為非直接飲用 (Indirect potable use, IPU)。目前 PUB 已建成 Bedok、Kranji、Seletar、Ulu Pandan、Changi、Jurong 等 NEWater 再生水廠（圖 2.4），其供水導電度低於 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，尚低於自來水之 350 ~ 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，對於工業使用而言更可省卻軟水之費用。

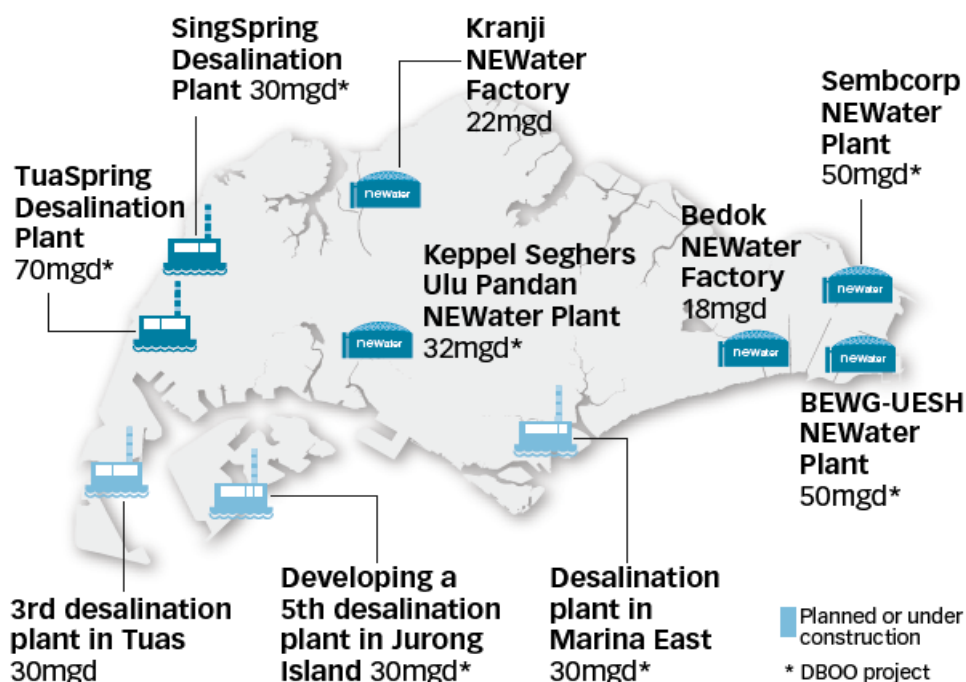


圖 2.4 新加坡水再生廠與海淡廠現況與規劃

(二) 可供參採策略

新加坡為降低對國外供水之倚賴，有著非常明確的國家水資源永續管理政策，一為節約用水，降低人均用水量與強化工業廢水自行回收；另一為水資源供應多元化，降低對傳統水資源之倚賴，而 NEWater 即為多元化水源的重要支柱。事實上除了節水與擴大新興水源（再生水與海淡水之應用），新加坡也持續擴大集水區面積，包括新建 Marina Barrage 等河口壩，亦即「有效節流，積極開源」；總體而言，新加坡的水再生推動並非獨立推動，而是包裹於水資源改革中的其中一項系統性作為，各式節水、新興水源開發和集水區重劃同步推動且互相搭配。

在行政組織方面，新加坡的水資源開發策略及用水管理也是採一元化管理，2001 年，新加坡政府成立公共設施局 PUB，隸屬於環境水資源部(Ministry of Environment and Water Resources, MEWR)，統合上、下、中水設施的建設、維護管理以及供應販售；當然也包括對再生水影響甚鉅的售水費率的決策。新加坡為高水價國家，一般自來水供應價格約新臺幣 40 元（包括污水處理費），而再生水水價約為前述之一半，且

不需支付污水處理費，自然形成事業選擇使用再生水的巨大誘因。

(三) 可供參採措施

新加坡大幅擴張新興水源的使用一定會影響人民生活，尤其涉及再生水作為間接飲用之水庫回注作為，因此必須每項措施均透過組織和制度、教育和推廣，逐步讓先進技術和永續觀念獲得民眾之認同。PUB 在宣傳時，有所謂的 3P Approach：結合 3 個族群（人民、政府和私人企業，people-public-private），方可使計畫有效推動。這一系列的包括教育宣導、水費計價、法令規章、省水器材強制安裝、水量稽核、水再生利用及替代水源開發與鼓勵措施等 7 大項，讓民眾了解水資源的永續不只是政府單方面的事，民眾亦將一起負責，了解自己也是推動時不可或缺的一環。整體而言，民眾對於 NEWater 之認知已逐年提升。

另外，考慮 NEWater 在供應工業與大型商辦用水，總不免因景氣榮枯而用量有所波動，因此將再生水回注集水區，除了補充蓄水池供水量外，也是調節 NEWater 供水量之重要措施；目前再生水回注量雖然僅數萬 CMD，惟要作到此點，除了 500 萬名國民本身的認知，技術上也要能夠更加完善，以提升使用者的信心，俾利持續放大規模直至最終目標（回注量達總用水量之 15%）。新加坡政府自 1970 年代起即開始研究以薄膜技術作為高級水處理之方法，從學術研究到實廠間，透過模廠試驗了解設計與操作參數，並透過與主要工業用水者（半導體廠、石化廠）之積極溝通與試用，逐步擴大試驗模廠的規模，以掌握實廠工程推動重點。位於石化工業重鎮裕廊工業區，以及東側的半導體園區，均為 NEWater 用戶；目前設有 NEWater 訪客中心的 Bedok 廠即為最初之模廠所擴張而來。

在 NEWater 再生水廠的推動中，最初的三間廠係由 PUB 自行操作，自第四座 Ulu Pandan 即採類似我國促參模式，採 DBOO（Design Build, Own and Operate）進行，開放民間投資興設，民營公司以保價與保量之方式將再生水賣給政府，由政府輸送及售水；後續的 Changi 廠與 Bedok 廠擴建等，亦採類似模式，藉此一模式善用民間企業的優勢，優化廠的設計、建設與操作，並導入市場機制，透過競爭讓 NEWater 的建設更有效率，成本也可以更低。另外污水處理廠部分則仍由 PUB 自行操作，因此必須透過允收標準與監測設備，共同監督，若確實由污水處理廠部分排放造成再生水廠產水成本增加，則由 PUB 負責賠償，以確保民間業者之信心。

五、澳洲

(一) 現況

澳洲降雨原集中於北部和東部沿海地區，然而近年來全球氣候變遷，已使澳洲北部地區降雨增加，東部（昆士蘭省以南）和西部沿海地區反而降雨大幅減少，造成沿海許多大城市缺水嚴重。此等嚴重缺水且日益惡化之現象，促使澳洲政府自 1990 年

代起開始推動幾個較大型的再生水計畫，並應用於各式標的。目前約有 10% 的都市污水處理廠放流水獲得再生，有相關計畫的地區包括布里斯本(Brisbane)、雪梨(Sydney)、墨爾本(Melburne)、阿得雷德(Adelaide)、伯斯(Perth)等。最初之用途主要為旱作灌溉、澆灌與工業，惟隨水資源缺乏日趨嚴重，目前亦開始評估作為間接飲用的可能性。

以澳洲昆士蘭省於布里斯本推動之 Western Corridor Recycled Water Project 為例，大規模再生都市污水處理廠放流水（再生比例約占全量的 17%）作為電廠冷卻、工業用水、生活雜用（澆灌、沖廁和洗地）、農業灌溉和水庫回注，該計畫包括建立 Bundamba、Gibson Island 和 Luggage Point 等三座水再生廠（放流水則來自 6 個都市污水處理廠），2008 年 12 月完工後，將產出超過 23 萬 CMD 再生水供應布里斯本地區（圖 2.5）。

以 Luggage Point 再生水廠為例，其程序包括 MF（去除顆粒物質、病原體、微量污染物等）、RO（去除溶解鹽類、病毒、殺蟲劑及大部分的有機化合物）、高級氧化程序（去除難分解的微量有機污染物及少數病原體）以及加氯程序（維持水中一定的餘氯量，抑制後續輸配過程中微生物之生長）。



圖 2.5 Western Corridor Recycled Water Project 示意圖

(二) 可供參採策略

澳洲總管全國水資源政策者為「氣候變遷與水事務部」(Minister for Climate Change and Water)，其下的「國家水利委員會與國家資源管理委員會」(Natural Resource Management Ministerial Council)管理自來水供應，「國家水利委員會」(National Water Commission)執行水資源管理；惟因澳洲幅員較廣，中央單位僅限於政策指導，水資源開發、維護、自來水與再生水供應等，則由各省自行整合推動，因此澳洲各省均有其水資源開發策略，且獨立進行。為因應氣候變遷，聯邦政府已於2006年完成各省共同簽署的「國家水倡議(National Water Initiative)」，藉以整合各省推動水資源建設與管理之步調。在倡議中與水再生相關者為「城市水改革(Urban Water Reform)」，其鼓勵具經濟效益之污水回收，大目標包括雨水貯留回收作為地下水補注，以及污水進行高階再生作為其他類用途等。

另一方面，關於自來水價與再生水價，聯邦政府則授權各地方政府(以市為單位)依其缺水之實際狀況調漲其供應價格，並訂定新興水源開發之目標。澳洲整體仍屬於高水價國家，各大城市之自來水水價均不同，最高與最低間可能差到兩倍。讓自來水價回歸市場機制與天然水資源開發條件之限制，是有利於再生水之推動。

(三) 可供參採措施

為使民眾對於應用日廣的再生水安心，澳洲最新通過的國家水質管理策略為「國家飲用水規範」與「國家水回收規範」，後者包括第一階段的环境與健康風險管理計畫，以及第二階段的再生水間接飲用計畫。目前再生水多用於各類工廠(尤其是石化廠、化工廠、鋼鐵廠)，一般民眾感受較不直接，惟間接飲用是未來推動目標，為因應再生水使用將擴大至地下水層之補注與水庫之回注等間接飲用之目標，澳洲各界對於再生水所含有新興污染物非常重視，這包括對於可能物種濃度的深入調查、去除技術效果之評估；也包括嚴格管控可能之污染源進入污水處理廠，以及放流水端的強化監測。這些牽涉到界面的問題，都有賴於再生水廠與污水處理廠管理單位的良好統合。另外，各主要大學之水資源相關研究單位也都進一步成立水再生技術研發研究所，並於國內外大量招募人才，使未來相關系統的建設與操作維護將更具品質及保障。

六、結語

綜合日本、美國加州、以色列、新加坡、澳洲等再生水推動的成功經驗，可得知推動再生水需搭配行政組織調整、制度與法規、民眾宣導、技術研發、風險管控等，並有系統地推動。以下歸納成幾項特徵，作為國內未來推動之參考：

1. 在嚴峻的水資源供應現況下，社會各界(一般民眾、工業部門、農業部門等)均已獲得充份資訊，理解面臨的水危機，並對再生水作為調配水源之一，以降低水源供應風險，形成共識。

2. 當地自來水價已合理化，可充分反映傳統水資源開發成本與淨水場之建設、維護等；在此基礎上，使得再生水在推動上，可循一般市場機制，由使用者加以選擇，使得再生水產業可以順利發展。
3. 水資源管理機關事權統一，尤其是在地方政府的層級更為重要。一元化的機關體系，能綜合考量上水、下水與中水，將再生水自來水進行統一調配，搭配相關法規（包括總量管制、水質標準、使用規定、設施規範等），有效地推動特定建設計畫。
4. 再生水之生產、儲存、輸送和使用之管理，採公營方式辦理，或委託民間企業產製再由公部門配水。
5. 從污水處理到放流水再生，都需要紮實的處理技術與充足的人才，使得再生水供應之量與質均能穩定；這有賴於持續投入研究、精進設計與設備、累積經驗，以及從業人員素質的提升。

第三章 台灣推動公共污水處理水再利用之新挑戰與因應策略

公共污水處理屬國家基礎建設之一環，且為國家開發程度之指標，其主要目的在防治水污染、改善水體環境。而當一個國家之下水道普及率提高，污水處理廠集聚大量污水進行處理，將污水轉化成清水成為潛在水源，而污水處理廠轉化成為水資源回收中心時，再生水將成為多元水資源之一環。本章將針對台灣公共污水處理水再利用之現況、新挑戰及因應策略等加以論述，以利讀者瞭解台灣公共污水處理水再生利用之機會與發展趨勢。

一、現況

民國 77 年行政院核定「污水下水道發展方案」，台灣自此開啟全面推動污水下水道建設之門，至目前總共推動五期建設計畫(計畫期程起自民國 81 年迄至 109 年度)，污水下水道(包括公共下水道及專用下水道)普及率由 5% 提升至 40% 以上，目前公共污水處理量可達 310 萬 CMD (民國 105 年)，可謂成效卓著。而隨著污水處理量的增加，公共污水處理水成為潛在水源，污水處理廠放流水之再生與再利用逐漸成為我國於水源調度上之重要資源，尤其在氣候變遷加劇，缺水威脅愈來愈嚴峻的環境下，於乾枯水期無表面水可取用時，更顯示出其作為穩定水源之重要性。

經多年水資源發展規劃，推動再生水利用為台灣多元化水源之一環，目前台灣已有「再生水資源發展條例」，作為推動之法制基礎。對於公共污水處理水再利用，行政院並已核定執行「公共污水處理廠放流水回收再利用推動計畫」，以臺中市豐原廠、福田廠，臺南市永康廠、安平廠，高雄市鳳山溪廠及臨海廠等六座示範案例為辦理主軸。另於民國 106 年「前瞻基礎建設計畫」於水環境建設項下，推動台中水楠廠水再生等相關計畫，顯現近期推動之魄力。

而在再生水利用長期發展之願景上，行政院已設定民國 120 年再生水每日使用量 132 萬立方公尺之政策目標，其中包括公共污水處理水再利用量為 77 萬 CMD，展現台灣對持續推動水再生政策之重視與決心。

表 3.1 整理台灣公共污水處理水再利用之現況、中程與長程規劃資訊，目前之再用水量為 3.9 萬 CMD，約為污水廠處理水量之 1.16%，主要用於生態景觀、澆灌、洗街或民眾取水(做為工地抑制揚塵)等生活雜用。預估至民國 112 年，建設完成 6+1 廠示範計畫，再利用量可達 27.4 萬 CMD，再生水利用率 7.4%，主要用途為提供作為工業用水，包括冷卻及製程用水等。至於長程願景(至民國 120 年)，污水廠處理水再利用量設定目標為 77.0 萬 CMD，再生水利用率將達到 19.2%，用途則尚未確定。

綜合上述資料，顯見台灣對於公共污水處理水再利用已漸受重視並落實推動中。

表 3.2 為預訂民國 112 年前推動完成之再生水發展計畫現況，中程計畫之推動案例中，部分已順利完工，通水日期指日可待，然部分目前亦遭遇一些挑戰，在克服行政與技術挑戰後，成果將逐步展現。而對於長程願景之落實，如何擴大再生水之利用量，成為具替代能力之穩定水源，則尚有一段距離，而目前正處於關鍵階段，且極具挑戰性。

表 3.1 我國公共污水處理水再利用之現況、中程與長程規劃

年度	污水廠處理水量 (萬 CMD)	水再生利用量 (萬 CMD)	再利用率 (%)	用途
107(現況)	308	3.9	1.3	都市雜用水 為主
112(中程)	370	30.0	8.1	工業用水為 主
120(長程)	400	77.0	19.2	(未定)

表 3.2 台灣公共污水處理水再利用推動狀況

污水處理廠		再生水供水狀況			備註
名稱	現況	供應量 (萬CMD)	供水對象	預定供水期程	
鳳山溪	運轉中	4.5	臨海工業區	108年 (107年供2.5萬噸)	107年9月通水使用
福田	運轉中	13	台中港工業專區	112年	106年7月7日核定
永康	建設中	1.5	南科台南園區	112年 (109年供0.8萬噸)	106年5月16日核定
豐原	建設中	2	中科台中園區	109年	預計107年底完工。
安平	運轉中	6	南科台南園區	109年	內政部營建署評估 替代媒合方案
臨海	建設中	3	臨海工業區	109年	106年7月10日核定

二、新挑戰

國際上許多面臨缺水威脅之國家，均積極投入公共污水處理水再利用之建設，並展現極佳成效，如新加坡、以色列、日本、美國加州、西班牙及澳洲等，但不同國家或區域，因其氣候條件、水文環境及社會文化之不同，有不同問題需被克服。各國之經驗雖然可貴，值得參考，但並無法全盤移植至我國使用。

與國際上其他國家或區域比較，台灣在推動公共污水處理水再利用所面對之問題有許多不同之處，綜合其差異，其中最大差別在於經濟面向，主要是水價結構；其次，在於多元供需面向，主要是再生水之用途與水質之要求；再則，在於水源管理之面向上，主要是用水習慣與水資源之效率化管理。以上之差異，對於台灣推動公共污水處理水再利用將面臨新的挑戰，綜論如下。

(一) 經濟面向

水價結構為台灣推動再生水利用之最關鍵核心議題，調整水價議題長久以來一直是持續被提出之老問題，遲至今日，仍是一大挑戰。長年以來偏低的自來水(portable water)水價，是推動公共污水處理水再利用最大挑戰。

放眼全世界，在推動再生水的國家或區域，其再生水價格必然低於來自淨水廠之自來水，要在低水價之地區推動再生水，並不容易。雖然自來水之淨化過程遠比再生水 RO 處理程序單純，處理成本亦較低，但因其來自天然之屬性，社會及產業接受度高，故其價格高於再生水為社會認定合理之共識。而當一個國家之自來水水價長期受政府補貼，而未能反應其實際成本時，再生水之推動更是困難重重。

表 3.3 為 Global Water Intelligence Water Tariff Survey 2016 之國際城市水價比較表，其中我國之水價約為 NT 14.13 元/m³，低於南韓、香港、新加坡、日本等亞洲鄰近國家，其水價約在於 NT 23-59 元/m³ 之間。我國之水價低於鄰近國家，實際之成本並未被充分反應。

在推動再生水利用經驗成熟之國家中，有關再生水水價之訂定，須考慮其與自來水水價比較後是否具競爭性，如表 3.4 為新加坡 2017 年 2018 年各類用水水價，表中顯示，2018 年自來水水價依使用量介於 SGD 2.74-3.69 元/m³ 範圍，再生水水價則固定為 SGD 2.33 元/m³，當用水量低時(0 - 40 m³)，自來水水價略高於再生水水價，再生水價約為自來水價之 85 折；而當用水量高時(>40 m³)，使用再生水則展現極高之經濟誘因，再生水價約為自來水價之 63 折。另外，值得注意的是工業用水水價為 SGD 1.58 元/m³，遠低於一般家用自來水水價，展現鼓勵工業投資之作為。

顯而易見，當自來水水價高於再生水之供水成本時，經濟誘因形成，再生水之使用當更順理成章。而由近年我國推動水再生利用評估公共污水處理水經 RO 處理至純水等級之成本約為 NT 20-25 元/m³，水再生成本高於自來水水價，使得我國再生水之推動不具經濟誘因。

檢討水價、調整作法並搭配適當之政策或法令配套工具，或創造低成本之再生水使用機會，為達成長期願景目標之一大挑戰。

表 3.3 國際城市水價比較表

Country	Potable Water Price per m ³ (NT \$)	Used Water Price per m ³ (NT \$)	Total Water Price per m ³ (NT \$)
Copenhagen	103.97	84.11	188.08
Berlin	65.78	116.11	181.90
Melbourne	82.78	93.82	176.60
Amsterdam	85.87	62.03	147.90
Paris	67.99	48.57	116.56
London	60.26	51.88	112.14
New York City	40.40	64.24	104.64
Stockholm	72.63	n/a	72.63
Jerusalem	39.74	22.74	62.47
Tokyo	32.23	26.71	58.94
Lisbon	35.76	20.75	56.51
Rome	19.65	29.36	49.01
Singapore	35.98	11.04	47.02
Sao Paulo	22.74	22.74	45.47
Hong Kong	18.32	9.71	28.04
Seoul	15.45	7.73	23.18
Beijing	16.78	6.18	22.96
Taipei	6.18	7.95	14.13

註 1. Source : Global Water Intelligence Water Tariff Survey 2016 (Based on USD/SGD = 1.359, USD/NTD = 30.0 and monthly water consumption of 15m³.)

註 2. 資料來源：PUB, Singapore National water Agency, Ministry of the Environment and Water Resources.

表 3.4 新加坡 2017 與 2018 各類用水水價

	From 1 July 2017		From 1 July 2018	
	0-40 m ³	>40 m ³	0-40 m ³	>40 m ³
Domestic Potable Water Prices	2.39	3.21	2.74	3.69
Non-domestic Potable Water Prices	2.39		2.74	
Portable Water Prices for Shipping	3.37		3.80	
NE Water Prices	2.19		2.33	
Industrial Water Prices	1.44		1.58	

註 1. 水價單位為 SGD per cubic meter.

註 2. 資料來源：PUB, Singapore National water Agency, Ministry of the Environment and Water Resources.

(二) 多元供需面向

都市污水處理廠放流水作為替代水源，其供給面向應該是多元且因地制宜的。國際上再生水使用之統計資料顯示，農業、景觀澆灌及工業用水為使用之主要用途，如表 3.5 所示。而在各國實際之推動案例中，再生水使用面向常因各國家或區域之特性而異，如新加坡之再生水主要用於工業使用與環境保育及間接飲用；日本使用再生水則主要用於生活次級使用及環境保育上；以色列使用再生水主要在於農業利用及地下水補注上，如表 3.6。各國對再生水之發展，均以解決本身國家或地區之缺水問題為主要考量。

以美國加州 West Basin 區域為例，其推動都市污水處理水再利用已有數十年之經驗，其再利用之用途，除一般家庭澆灌雜用外，尚有工業利用、農業利用及地下水補注，主要使用對象及使用再生水量如圖 3.1，其中工業用戶使用水量占 53%，其次為地下水補注與農業灌溉，分別占 36%及 10%之用水量；而針對不同類型客戶不同用途之再生水其所要求之水質標準(如表 3.7 所示)並不相同，因此處理程序亦不相同。

再生水水價之訂定，常因其處理程序不同而有不同的收費標準，以 West Basin 污水處理廠為例，除提供經基本處理之再生水外，並依用水客戶需求，提供 4 種不同水質之再生水，供應不同目的使用，包括海岸屏障用水、硝化處理水、低壓鍋爐用水與高壓鍋爐用水等，各類再生水的收費標準也不相同，如表 3.8 所示，於污水處理服務區域內再生水之基本價格約為 NTD 27.1–28.1 元/m³，低於自來水價格；而用於海岸屏障用水之水價約為 NTD 21.3 元/m³；用於工業上高壓鍋爐用水之水價約為 NTD 43.0 元/m³，水價相差達 2 倍以上。不同之水質於價格上展現差異，讓該廠能長期穩定運作，為一經營績效顯著之水再生廠。

我國目前都市污水處理廠放流水之使用以景觀澆灌、都市清洗等雜用為主，使用量僅為處理量之 1.16%，而中期規劃再生水使用之主要目標對象為工業用水，以再利用率 27.4 萬 CMD，再利用率 7.4 %為目標。就我國用水需求特性而言，工業用水為缺水耐受度最低之類別，於每年枯旱季節，工業用水即面臨缺水之潛在危機，因此，提供穩定之都市污水處理廠再生水，可為工業提供枯旱之穩定水源。惟產業界部分廠商仍對再生水水質之使用有所疑慮，深怕影響其製程與品質，進一步推展再生水利用仍具挑戰。

然而，以污水處理廠再生水提供工業使用，需有適當規模之處理廠，且於適當區位有適當使用對象，方能有效媒合成功。在無適當工業使用之條件下，考量再生水之多元供需、考量處理水就近因地制宜之回收再利用方式，及考量如何擴大使用對象等，實為再生水長期願景推動之挑戰。

表 3.5 國際上再生水之使用情況

用途	比率(%)	用途	比率(%)
農業	32.01	遊憩用水	6.39
景觀澆灌	20.01	非直接飲用	2.3
工業用水	19.32	地下水補注	2.1
都市非飲用水	8.25	其他	1.5
環境用水	8.04		

資料來源：Global water intelligence, GWI, 2010

表 3.6 世界各國推動水再生利用之特色

國家	污水類別	新生水用途
新加坡	生活污水	工業利用 環境保育利用（間接飲用）
日本	生活污水	生活次級利用（沖廁、景觀、清洗） 環境保育利用（河川保育） 生活次級利用（景觀、澆灌）
美國（加州）	生活污水	工業利用 農業利用 環境保育利用（地下水補注）
以色列	生活污水	農業利用 環境保育利用（地下水補注）

表 3.7 美國加州 West Basin 各類再生水之水質標準

			Demineralized Product Water				Nitrified Product Water				
Constituent	Unit	T22	WCB	CLP	CHP	BPRO	EMRO	EMN	BPN	CNF	LAHN
TSS	mg/L	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	5	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾
BOD	mg/L	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	90 ⁽⁴⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾
NH ₃	mg/L	NA ⁽¹⁾	5 ⁽³⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	4	1.9	1.6	0.1	NA ⁽¹⁾	0.1
TDS	mg/L	1000 ⁽²⁾	500	60	5	35	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	350	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾
Hardness	mg/L as CaCO ₃	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	0.3	0.03	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	360	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾
Cl	mg/L	NA ⁽¹⁾	250	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	450	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾
Ca	mg/L	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	1	NA ⁽¹⁾	80	60	NA ⁽¹⁾	60
Mg	mg/L	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	1	NA ⁽¹⁾	40	24	NA ⁽¹⁾	24
Conductivity	µmho/cm	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	50	3000	1000	NA ⁽¹⁾	1000
SiO ₂	mg/L	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	1.5	0.1	1	1	35	22	NA ⁽¹⁾	22
TOC	mg/L	NA ⁽¹⁾	0.5	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	0.7	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾	NA ⁽¹⁾

Notes

- (1) No applicable water quality restriction.
- (2) Assumed customer acceptance limit of 1000 mg/L.
- (3) Measured as total nitrogen.
- (4) As COD, mg/L.
- (5) Customer Abbreviations : T22 – Title 22 ; WCB-West Coast Barrier ; CLP-Chevron Low Pressure Boiler Feed, CHP : Chevron High Pressure Boiler Feed, BPRO-bp Reverse Osmosis System, BPN – bp Nitrified Water System, EMRO-ExxonMobil Reverse Osmosis System,EMN- ExxonMobil Nitrified System, CNF-chevron Nitrified Water System, LAHN-LADWP Harbor Nitrified System

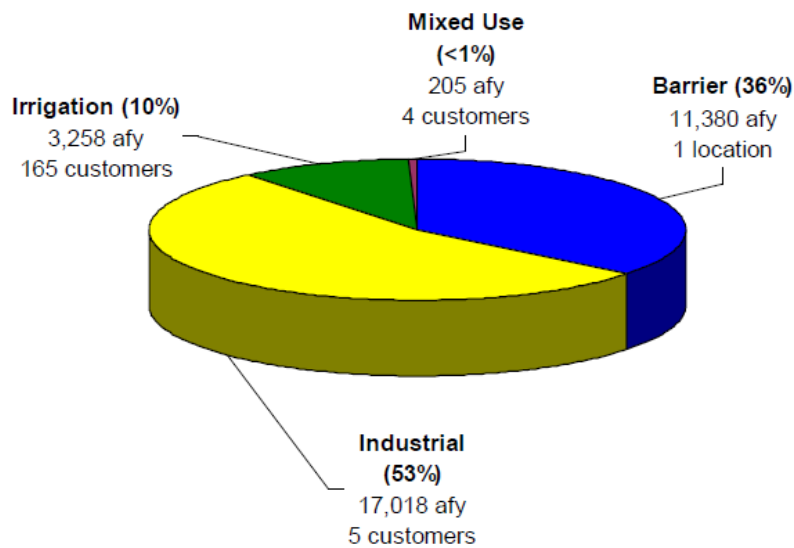


圖 3.1 美國加州 West Basin 2017 再生水之主要用途與用水量比例

表 3.8 美國加州 West Basin 2017 再生水水價

Recycled Water Rates (Effective July 1, 2017)				
Volume (AF/Month)	WBMWD Service Area (\$/AF)	Outside Service Area (\$/AF)	Designer Recycled Water	Per AF
0-25	1,105	1,147	West Coast Barrier	836
25-50	1,095	1,137	Nitrified	1,085
50-100	1,085	1,127	Low Pressure Boiler Feed	1,333
100-200	1,075	1,117	High Pressure Boiler Feed	1,689
200+	1,065	1,107		

註 1. 單位換算 US\$1,000/AF = NT\$ 25.5/m³, based on US\$/NT\$ = 30.0。

(三) 水源管理之面向

水源管理之面向為公共污水處理水再利用最具彈性之面向，其挑戰在於再生水利用於水資源之定位、管理制度之建立及用水習慣之改變。針對公共污水處理水再利用長期願景目標之落實，具體挑戰包括 1. 持續擴大公共污水處理水再利用量，2. 公共污水處理水再利用合理化管理，3. 公共污水處理水納入水資源管理計畫。

1. 持續擴大公共污水處理水再利用量

公共污水處理廠之規模將影響再利用方式之選擇，目前全國已完工運轉之污水處理廠計 57 座。就水再生利用而言，中大型污水處理廠，其處理水之再生利用較

具多元利用之潛力，部分中大型廠如福田廠、豐原廠、安平廠、鳳山溪廠及臨海廠等均已納入中期建設。對於八里、中區等初級處理廠及中小型廠處理水之再利用方式，如何依地域與用水產業需求特性加以規劃，為擴大公共污水處理水再利用量之挑戰。

2. 公共污水處理水再利用合理化管理

台灣地區每年枯旱季節約為 4-6 個月，非枯早期目前藉由灌溉及自來水供水系統都能提供足夠的水，供農業、工業及民生使用，且尚有許多工廠擁有合法之地下水使用權。對於再生水供給之管理重點，主要在於再生水供給者與使用者間，是採契約供水方式或水表計費方式。再生水供給者以穩定供水量為原則，生產之再生水完全供給使用者，有利於再生水廠之經營。但於豐水期間，使用者之水源來源穩定，無缺水情況，再生水使用之優勢不再，使用者將使用其他水源。再生水產業委由民間經營方式時，採保價與保量作法為確保其投資所必須之經營方式。而對我國非全年缺水之產業界而言，採水表計量收費為其合理之使用要求，故在推動模式，政府扮演之中介角色將更顯重要。

3. 公共污水處理水納入水資源管理計畫

公共污水處理水納入水資源管理計畫之意含，在於將公共污水處理水之供水量納入整體水資源調配之一環，對於枯早期缺水潛勢大之區域，提供公共污水處理水為其水源，並將此水源與其他水源調配一併管理。以公共污水處理水作為農業用途替代用水與作為地下水補助用途而言，雖然已有相關水質標準與許多國外成功案例，惟國內社會接受度並不高，在缺乏廣大社會共識之情況下，推動之挑戰度高；再以公共污水處理水再生作為工業用水替代水源而言，雖水質之疑慮問題較小，產業界許多廠商仍對水質之使用有所疑慮，深怕影響其製程與品質，故對再生水之使用仍未有足夠信心，亦為推動時所需面對之挑戰。

三、因應策略

經多年之努力，推動公共污水處理水再利用成為多元化水源一環之觀念，已逐漸為社會大眾所接受，並已有「再生水資源發展條例」做為推動依據。在目前政策下，我國公共污水處理水再利用之推動，中程成果將於民國 112 年前逐步展現。而對於民國 120 年，公共污水再利用量 77 萬 CMD 之長程願景之落實，使其成為具替代能力之穩定水源，則極具挑戰性，圖 3.2 為水再生長期願景我國再生水多元供給示意圖。對於長程願景之推動，目前正處於關鍵階段，以下為推動之策略建議。

(一) 政策面向

1. 檢討水價且降低再生水使用成本，增加再生水之經濟誘因

我國水價應合理化檢討，水資源開發屬國家基礎建設，合理之自來水價應能確保經常性操作維護與老舊管線汰換率達到國際水準，以確保用水水質安全。當再生水被納入為水源供給之一環，作為穩定供水之角色時，其供水成本亦應與自來水相同，應合理檢討各類再利用用途之水價，促使再生水在推動上，可循一般市場機制，由使用者加以選擇，期盼再生水產業可以順利發展。

2. 推動實證案例，擴大再生水之多元使用範圍與對象

再生水之利用應考慮依水質特性來擴大多元使用。經脫鹽處理之再生水，水質極佳，適合利用於工業製程，初期推動成效顯著，建議選擇適當對象持續辦理。未經脫鹽處理之再生水，供水成本低，再利用具經濟誘因，適合利用用途包括工業清洗用水、農業補充用水、生態用水、都市雜用水等，建議選擇適當對象加強推動，如灌溉渠道上游適度混合再生水之試辦計畫，對於農業擴大使用再生水是個契機。

3. 規劃全國再生水教育，宣導再生水循環利用與產業保險用水觀念

環保署及教育部合作，透過政策引領及再生水教育，宣導再生水循環利用觀念，並強化國家多元水源之全民教育，塑造愛水惜水的文化；科技部及工業局合作，透過技術研討及實場案例觀摩，加強產業對再生水水質之信心，並加強宣導再生水作為產業保險用水觀念，避免枯旱季無水可用之困境，達到產業全年用水無虞之目標。

(二) 技術面向

1. 積極扶植本土再生水產業，建立大型驗證場域

提供場址與驗證專案計畫，讓本土再生水系統與薄膜製造業者進行測試與驗證，達成再生水上、下游技術與產業鏈整合；以建立本土再生水關鍵技術與自主性薄膜產業為主軸，開發創新膜材、模組與系統技術，降低再生水的處理成本，提升國內再生水產業技術能量及附加價值。

2. 發展智慧型再生水廠及監測營運系統

配合資通訊創新應用科技及資料加值應用，針對再生水處理及需求端研究智慧化管理。納入電子水表與線上水質長時間監控變動資訊，搭配技術參數研判模組開發，建構智慧型再生水處理及監測營運系統。

(三) 管理面向

1. 建構一元化供水管理體系，提升再生水資源使用效率

自來水與再生水均屬計價供水之水源，建構一元化供水管理體系，由主管單位統一調度管理多元水資源，能提升溝通效率，有助於彈性供水機制之運作。善用供水行政管理策略，如豐枯水季差別水價、彈性費率、優先供水順位、穩定水量誘因及減免污染費等行政管理工具，以增加再生水使用誘因，擴大再生水使用效率。

2. 依據處理廠之規模與區位特性，發展再生水利用特色

依據公共污水處理廠之規模與區位特性，選擇適合之再利用方式。對於初級處理之污水廠，可先評估提升處理等級後之再利用機會；對於中大型污水處理廠，則評估其處理水之多元利用潛力；對於小廠（處理水量小於 10,000 CMD）之水回收再利用，應考慮就地屬性，採用低成本之處理技術，以提高回收水使用之機會，達到以回收水替代傳統水源之目標為最大原則。

四、結語

經多年之努力，推動公共污水處理水再利用成為多元化水源一環之觀念，已逐漸為社會大眾所接受，並已有法源「再生水資源發展條例」做為推動依據。在目前政策下，我國公共污水處理水再利用之推動，中程成果將於民國 112 年前逐步展現；而對於民國 120 年，公共污水再利用量 77 萬 CMD 長程願景之落實，使其成為具替代能力之穩定水源，則極具挑戰性。對於長程願景之推動，目前正處於關鍵階段，推動之策略建議包括(一) 政策面向，檢討水價且降低再生水使用成本，增加再生水之經濟誘因；推動實證案例，擴大再生水之多元使用範圍與對象；並規劃全國再生水教育，宣導再生水循環利用與產業保險用水觀念，塑造愛水惜水的文化。(二) 技術面向，積極扶植本土再生水產業，建立大型驗證場域；並發展智慧型再生水廠及監測營運系統。(三) 管理面向，建構自來水與再生水一元化供水管理體系，提升彈性供水機制；善用管理策略，提升再生水資源使用效率。並需依據處理廠之規模與區位特性，發展再生水利用特色。

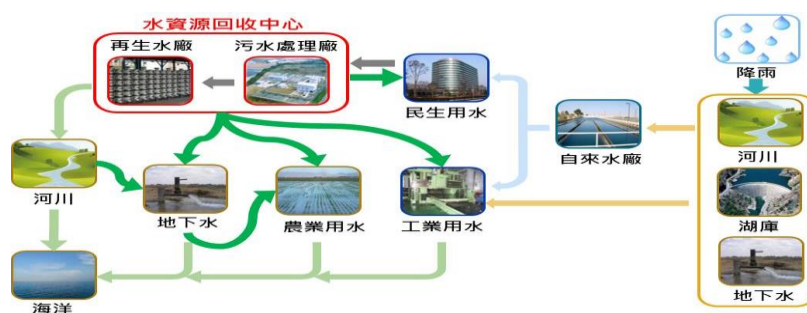


圖 3.2 水再生長期願景-我國再生水多元供給示意圖

第四章 台灣推動農業效率化用水及再生水利用之新挑戰與因應策略

台灣受全球氣候變遷影響，豐枯期更加明顯，加上台灣地形留水不易，使台灣成為易缺水國家之一。農業用水常因缺水嚴重而被調度至民生及工業用水上面，使得民眾有了農業灌溉用水過量的刻板印象；然而，農業用水使用量雖占總用水量約 70%，但其取自水庫及地下水僅約 30%，其餘皆取自河川及地面水等不利用可能流入大海或蒸發之水體，已屬善用水資源之作法。本章節將找尋提升農業用水效率之方式，以減少水庫及地下水使用，使缺水期間農業可減少與民生及工業用水爭水利用，並就台灣農業用水之主要面臨問題、新挑戰及因應策略一一探討，以利讀者瞭解農業上再生水利用之機會與發展趨勢。

一、現況

(一) 台灣農業用水效率待提升

目前台灣農業旱作灌溉方式多採傳統澆灌，其優點為灌溉技術門檻低，不必投資費用，然而勞力付出高、灌溉時間長，且用水量偏高，用水效率不彰，若改為管路灌溉將大幅提升用水效率，在我國青壯年人口比例降低的情況下，管路灌溉可以大幅降低勞力付出，進而減少人力成本，且利用智慧化管理可以定時定量灌溉，增加灌溉均勻度及產量產值。不同作物用傳統灌溉及管路灌溉之省水量如表 4.1 所示。近年來，農委會針對旱作作物進行管路計畫補助，其補助計畫尚未周全，導致部分偏鄉地區無法享有補助，2018 年年初高雄市成為先例，提供更全面補助，以協助農友克服灌溉水源不足之苦。

表 4.1 管路灌溉與傳統灌溉比較

灌溉型式	用水量 (m ³)	節省水量		常用作物
		每期每公頃 省水量(m ³)	%	
傳統溝灌	2,200	1,200	55	玉米、蔬果類
穿孔管	1,000			
傳統溝灌	3,050	1,850	61	高粱、小麥、 花生、果樹類
噴灌	1,200			
傳統溝灌	2,900	1,750	60	果樹類、花卉 類
微噴	1,150			
傳統溝灌	1,500	690	46	蔬果類、花卉 類
滴灌	810			

(二) 供水未考慮氣象因素

農業用水需求主要隨溫度及降雨等天氣因素而有所改變，其中水害占農業氣象災害中的 20%，有此可知氣候對於農業之影響非常龐大，在供水方面也需依據氣候來做調整，為因應氣候變遷帶來之影響，學者提出以下對策供農民參考：

1. 推廣節能高效及防逆境等栽培技術，加速推動合理化施肥與施藥，研發節水、防寒與降溫技術；
2. 灌溉技術的研發（如用水策略、節水技術等）；
3. 透過傳統及現代生物科技進行新品種培育，諸如低用水需求、耐旱、高光輻射利用效率、高光合作用效率等項目；
4. 調整耕作期，避開乾早期，避免缺水導致農作物損失，同時避免與民生、工業用水搶水。

(三) 未妥善規劃與管理

1. 灌溉用水再生利用之現況

農業灌溉用水主要來自河川引水及地面水抽水，目前政府只推廣農業灌溉用水回收之輔導，尚未實際執行農業灌溉用水回收之計畫。而為了因應我國加入世界貿易組織後，農業用水需求量減少，可移用部分農業用水供其他標的使用，增進水資源聯合運用效率。此外，雖然超抽地下水是造成台灣地區地層下陷的主因，不過在適度範圍內抽取地下水，仍為補充灌溉水源不足時，快速且有效之方法。

2. 畜牧用水再生利用之現況

根據農委會統計，民國 103 年度畜牧類 5,739 千頭，其用水達 0.67 億噸，占總體農業用水之 0.38%，為整體農業標的用水量最低者。畜牧用水量中以養豬為最大宗，然而產生之畜牧廢水含有高量的有機物、懸浮固體物、營養鹽及大腸菌等，其有機污染物濃度高，若不妥善處理將污染河川及水資源。

畜牧用水回收之輔導為目前政府所推廣，尚無實際執行畜牧用水回收再利用之計畫。依據農委會畜牧統計報告，若將廢水回收再利用，將可減緩畜牧用水之需求量。

3. 養殖用水再生利用之現況

台灣地區養殖技術由粗放轉變為高密度集約式養殖。因此魚塢中飼料殘存及生物排泄物濃度大增，造成氨氣及亞硝酸氮濃度提高，致養殖生物不易存活，因此，養殖池水必需不斷地更換，使得用水需求量不斷增加。政府只推廣養殖用水回收之輔導，尚未實際執行養殖用水回收之計畫。而為有效地推動養殖循環用水淨水系統，進而達到減少地下水抽用量及提升養殖生產效率，農委會已積極規劃高經濟、低淡水消耗之海水養殖及發展水產種苗事業，並輔導養殖業者設置循環水設施，推動養

殖節水措施，以減少地下水抽用量，且辦理養殖漁業生產區之進排水設施水路整建、養殖漁業生產區海水統籌供應系統及陸上供水管路。

二、新挑戰

因應國內目前現況進行可調整之方式及增加新技術增加農業用水之效率及減少新興水資源開發上之壓力：

(一) 有效管理制度

本章節由「從農業內部用水管理之改進」及「農業外部用水競爭之化解」等二方面，提出農業用水策略及有效管理制度：

1. 政府輔導相關政策，並提供設備更新及維護技術

研究指出，農業用水可藉由灌溉農田來補注地下水，達到環境保護之效，故政府可鼓勵農民於雨季時利用休耕水田實施「種水」措施，利用休耕水田蓄水調洪並補注地下水，發揮兼顧生態功能。農業用水之營運配合各農業不同生產結構進行調整，藉由農田水利設施之更新改善、灌溉營運管理技術之改進及維護灌溉用水水質等措施，有效提昇灌溉水資源之使用效益，提供農民較可靠灌溉水源，增加農業競爭力。並從整體水資源循環系統觀點營運灌溉用水，兼顧生態環境保育，生態環境保育之重要性及施行措施須加強宣導，讓民眾更瞭解環保觀念並加以支持。

2. 推廣節水旱作管路灌溉，配合精緻農業發展

加入 WTO 後，為增加國內農業之經濟價值，政府積極輔導農民設置省水管路灌溉設施，提升旱作農場經營技術，促成農場共同經營之實現及擴大其規模，達提高市場競爭、農產品品質及降低農業生產成本，同時達成節約農業灌溉用水、提高農業用水之效率及水土資源有效利用之目的。水田地區轉種旱作物，灌溉供水較無問題，為減少雨季淹水損害須注意排水問題；農田排水改善措施須加強辦理。

3. 加強維護灌溉用水水質，確保農產品品質

鑒於台灣工商業快速發展，部分工廠毗鄰農業地區或位於農業地區上游，其所排放廢污水常影響灌溉水源水質，估計灌溉用水量受污染致超過灌溉用水水質標準者達 5%，若長期施灌，污染物質累積將造成土壤劣化，經作物吸收後再循食物鏈到人體，致影響食用衛生與身體健康，故如何有效防止灌溉用水受污染，是當前重要課題之一。政府須持續輔導加強灌溉水質監視管理，限制廢水擅自排入灌排渠道，規定申請搭排者需符合規定水質標準，不得影響灌溉用水水質；對有重金屬污染之廢水應嚴格管制，協調排洩戶改道，不得流入農田。

4. 優先確保農業灌溉用水量

當工業用水或民生用水不足時，常向農田水利會調度用水列為優先方案，而外界對於水利會將農業用水挪抬至其他標的使用及給水價格不透明，也常有檢討之聲音；建議相關部會盤點農業用水使用情形，將農業用水作更有效率使用，逐步擴大農田水利會供水服務範圍，因應未來農田水利會事權統一，調度更透明，在外部團體之監督下，將農業用水調度予工業區將越來越困難。

(二) 豐枯期操作模式調整

乾旱時期各標的用水均告匱乏之際，基於農業用水之缺水容忍度較高，及依據水利法第十八條及第十九條「家用及公共給水」有優先使用權，農業用水自然配合予以移用支援，而公共給水部門亦應依據水利法第十九條給予原用水人，按其損害情形給予補償；此外，雖工業用水之用水順序，依水利法第十八條規定，次於農業用水，即使面臨乾旱缺水情況，依法亦無優先移用農業用水地位；考量當前工業及科學園區用水對於台灣經濟發展之影響非常龐大，農業部門在產業用水不足時，均適時配合支援移用，有效避免經濟成長受到水資源開發供應不足之影響。

1. 移用農業用水作業應依法辦理

民生及產業部門一旦發生缺水現象，應依經濟部 90 年 7 月所訂定之「農業用水調度使用協調作業要點」規定，將所需水量精算後，及早洽當地農田水利會就有關調用水量、調用期限、補償金額及補償之給付方式等，先行與被調用水量者（91 年桃竹地區缺水移用對象為石門及新竹農田水利會）進行協商辦理。被調用水量者則可依據該數據進行內部之加強灌溉營運措施，包含大區域輪灌、減水深灌溉、滑流灌溉、抽取地下水或補助水源等，倘以上措施仍無法克服，再考慮進行局部地區停灌休耕措施，應可使農業、農民及生態環境所受損失降至最低程度，對社會之衝擊最小，此外，補償經費之負擔，亦不致過於龐大，可達到多贏之局面。

2. 移用水者應確實依法負擔補償費

公告停灌休耕，應依據「農業用水調度使用協調作業要點」規定辦理。依該要點規定，應由需水單位（自來水公司）就調用水量、調用期限、補償金額及補償之給付方式等先行與被調用水量者進行協商辦理，有關之經費則由需水單位負擔。

未來基於「受益者付費」原則，有關移用農業用水之補償費，應責由民生及產業部門確實負擔。

3. 用水管理單位應加強水源掌控

以水庫供應民生、農業灌溉及工業地區，在一期作之前一年底，各用水管理單位應及時檢討次年雨季來臨前之用水狀況，採取適當因應措施；一般而言，水庫供水地區，較河川及地下水供水區域，對於水量之盈缺最易掌握，農業部門在水庫供灌一期作耕作前一年之 11 月間，即已視水庫蓄存可用水量，決定次年耕作用水情

形，民生及產業部門倘有用水不足之慮，則應及早洽相關農田水利會，研議採行相關因應節水措施，預作規劃準備，減少各產業之損失及民怨。

4. 公告停灌休耕之發布應與農作時機配合

農業耕作隨作物不同及地區氣候之差異，有不同之耕作適當時機。例如：桃園、新竹地區水稻之耕作，秧田期間為每年之2月1日至2月28日，整田及插秧日期為2月下旬至3月下旬；因此，如有缺水疑慮，必需考量停灌休耕時，最遲應在1月底以前做成決議，俾避免農民投入育苗、整田、插秧及施肥等投資後，驟然發布公告停灌休耕，造成農民及農業之巨額損失，並易引起農民普遍之不滿後果。

(三) 智慧化供水技術

智慧水務是通過數採儀、無線網絡、水質水壓表等在線監測設備實時感知城市供排水系統的運行狀態，並採用可視化的方式有機整合水務管理部門與供排水設施，形成「城市水務物聯網」，並可將海量水務信息進行及時分析與處理，並做出相應的處理結果輔助決策建議，以更加精細和動態的方式管理水務系統的整個生產、管理和服務流程，從而達到「智慧」的狀態。在水資源短缺、水污染加劇的形勢下，智慧水務正成為市場的熱點。

利用物聯網(Internet of Things, IoT)配合大數據分析及資料增值應用，提供人們更多元、便利之優質環境。針對自來水供給及需求端進行智慧化管理研究，藉由電子水表裝設、資料傳輸方式選擇、通訊設備及雲端資料庫建置、大數據分析以及資料增值應用，提出建構都會智慧水的初步原型。

智慧水務所涉及的領域眾多，舉凡一切水資源管理範疇皆可以進行智慧化，諸如智慧灌溉、智慧地下水、智慧水庫、智慧防汛、智慧公共給水等，搭配不同監測器，進行即時監控及數據傳輸，並配合專業數據解讀分析，進行決策判斷，各國發展智慧水務的重點強調建立監控智慧水網，進而解決水資源調配問題。而針對在自來水智慧化的發展上，目前世界各國所聚焦的則是在監控及資料獲取(supervisory control and data acquisition, SCADA)的建置，搭配自來水管網的分區計量(District Metering Area, DMA)及自動讀表系統(Automated Meter Reading, AMR)來建置完整的智慧水網，其主要解決問題以管網漏水為主，進而對小區的劃設、智慧水表不斷進行研發。物聯網雲端架構規劃如圖 4.1 所示。

建議政府給予獎勵，如搭配智慧用水小管家分析節水成效，給予水費優惠補助等措施，提升民眾自發性節水意願，進而建構智慧水管理的優質城市。

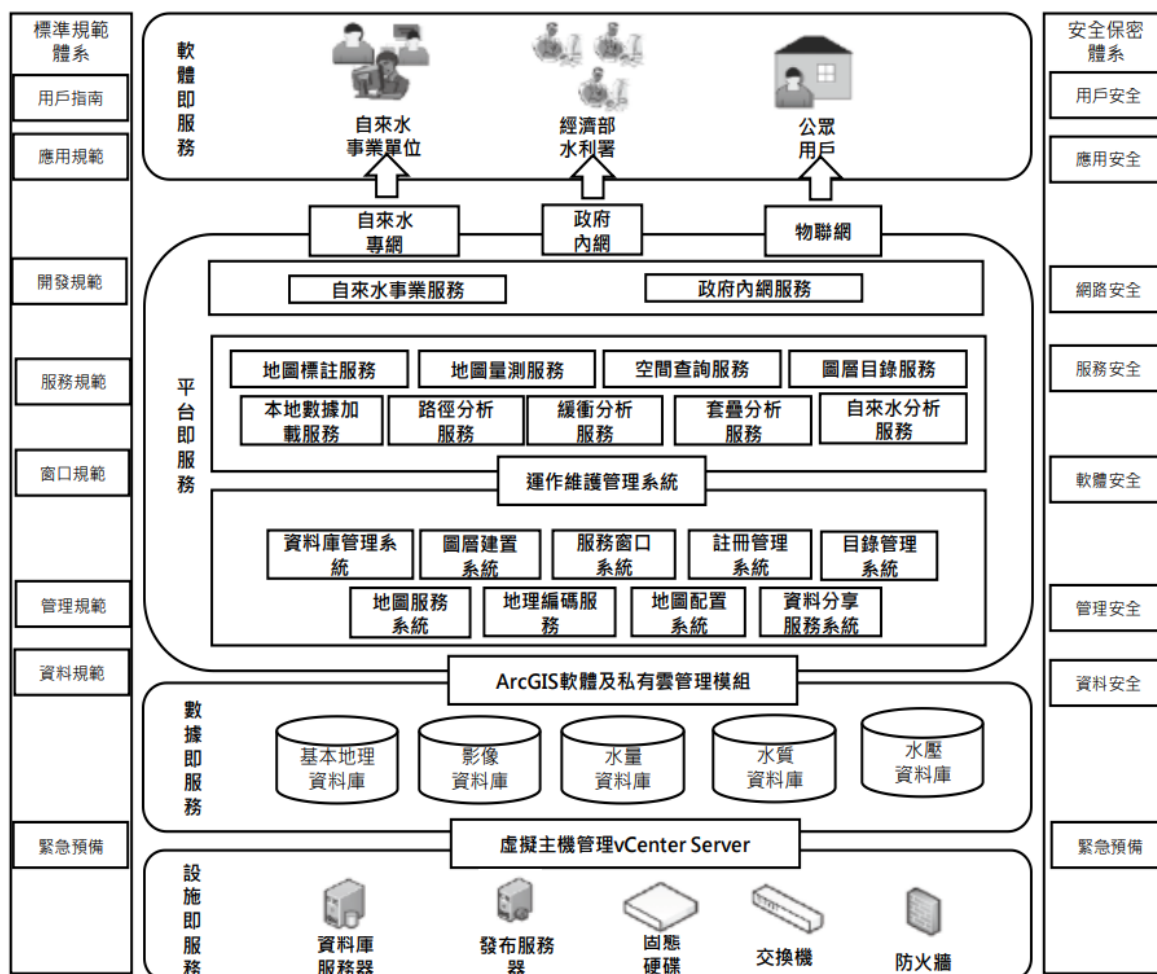


圖 4.1 物聯網雲端架構規劃

(四) 智慧水網管理

1. 智慧水網的簡介

智慧水網的建置是利用當代資訊科技發展與 IOT 物聯網的串聯，透過智慧電子水表將用水資訊傳訊至遠端水資源管理系統，透過授權保密的方式，管理者可遠端監測用水概況並調配水資源。由單點（個別用戶）到線（鄰近事業/家庭用戶）至面（大區域整體用戶），構成一個智慧水網，都市首長團隊可透過水網觀察城市各個角落的用水概況，更適宜的調配水資源。因此，智慧水網的建置不單單僅只限於工廠個體、家戶單位，而是涵蓋整個用水範圍，包含供水系統、工廠用水、商業大樓、學校、公共建設、一般家戶及地下水等。自動讀表功能，依循國家標準 CNS14273 自動讀表系統（如圖 4.2）之通訊介面單元的標準，範圍包含讀表介面單元(meter interface unit, MIU)之網路架構、傳輸網路種類、實體特性、及相關控制功能等。透過該技術標準規範，水表中的資訊可有效利用，相關資訊安全也可受到保障。

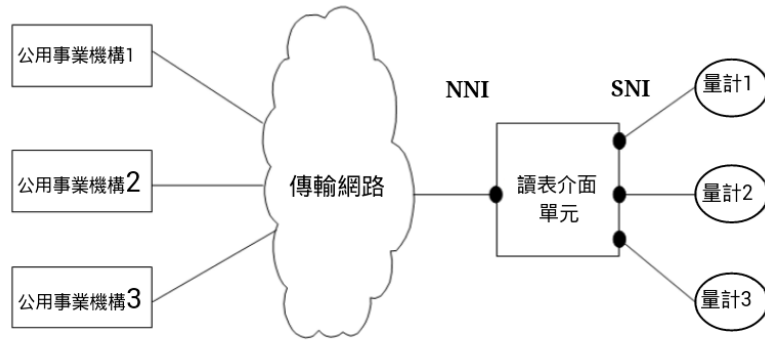


圖 4.2 自動讀表之網路架構（經濟部標準檢驗局，2015）

智慧水網的優勢顯現於提升水資源管理效能，無須耗時費力的取得用水資訊，於監測系統中便可即時獲得資訊與監測，降低水資源浪費，提升售水率。另外，亦可於系統中進行分析或是透過數據建立用戶用水分析，依照用戶的用水習慣調配水資源，幫助用戶了解用水習慣減少浪費行為。智慧水網更有助於達到水資源利用上良性循環，是國際水資源發展趨勢。試想像，於未來生活裡，用水資訊可輕鬆掌握在彈指之間，提高自來水事業單位管理效益，用戶端亦可更了解自身用水習慣，整體降低水資源浪費。針對異常狀況，智慧水網可以發出警訊給授權方，錯誤即時處理。整體用水資訊皆由系統自行感測主動告知，減少人力物力的耗損，達到最佳的資源調配。

2. 智慧水網的建置要素

物聯網的基本架構如圖 4.3，可分為感應層、網路層、應用層，將其作一項簡易比喻，將物聯網比喻為人體，感知層則是為人類的五感，通訊層是為人類內的神經，管理層則是為人體大腦。本概念與智慧水網的建置作為結合，可發現有其類似之處。



圖 4.3 智慧水網的物聯網三層適用

感應層的主要核心是為偵測當前資訊，通訊層則是確保資訊毫無阻礙的傳遞，管理層則是對於資訊進行智能反應，主動告知管理者目前概況以及應變措施。套用

到智慧水網中，透過智慧電子水表作為感應層，由於智慧電子水表的穩定性與計量程度，可精準偵測流量變化，且其具備的智慧管理功能，可先將水流量資訊作最初步的紀錄，方便後續的分析管理。

網路層的部分，透過具數位通訊資料格式的感測（與通訊設備的結合應用，建構無線或有線的傳訊架構，使智慧電子水表內的數據可傳遞到遠端水資源管理系統中，最短每 10 秒鐘進行一次資料回傳。最後由應用層進行各種情境分析，將水表中的資訊轉換成水資源管理的數據基礎，管理者在應用層中，可進行進階的管理分析模式，例如用戶用水模式分析，除了可以發現異常用水狀況（漏水、管線異常等），更可作為未來決策上的依據，適宜的調配水資源；用戶亦可在應用層中，了解自身用水模式，發覺用水浪費行為並進行調整。

智慧水網的建置（圖 4.5）涵蓋整個用水範圍，且包含供水系統、污廢水管理、工廠用水、商業大樓、公共建設、一般家戶及地下水等等。綜上所述，智慧水網之建置依靠智慧電子水表及通訊設備才得以完成，為一套全方位水資源管理的解決方案。

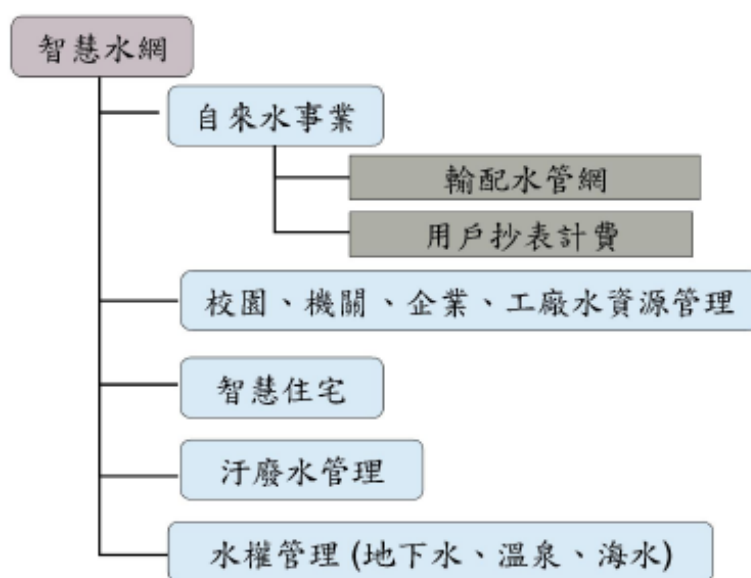


圖 4.1 智慧水網的架構

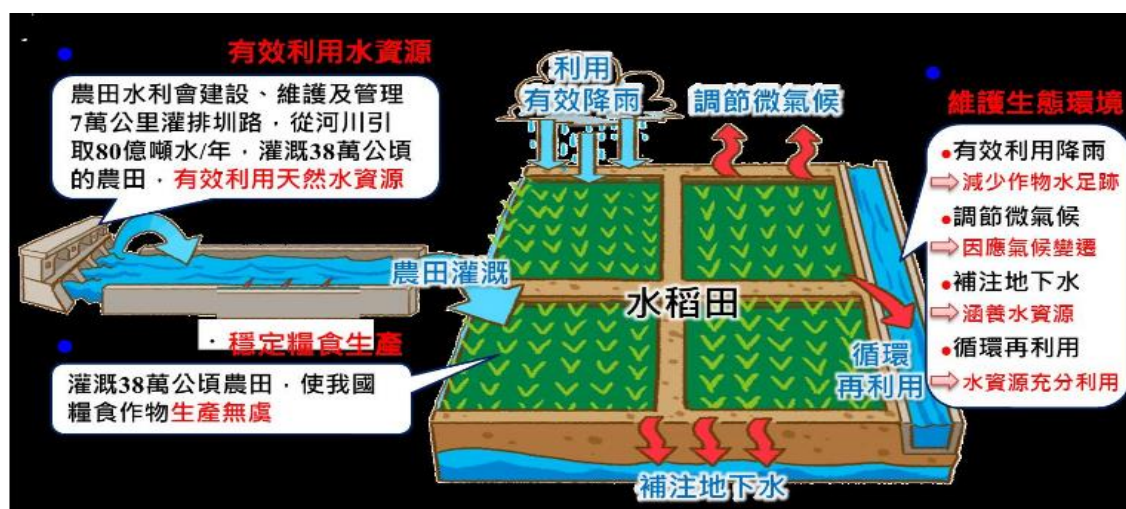
三、因應策略

(一) 加速推動再生水多方利用

面臨詭譎的氣候所造成豐枯期水量不均的問題，擁有長期穩定且不受氣候影響的再生水可說是現今缺水國家的救命丹，加速推動再生水多方利用，為提升水資源利用效率之最佳做法。在農業部份上，灌溉渠道上游適度得混合污水處理廠的放流水混合來使用，根據目前農委會的試辦計畫，可提供水污法、農業用水灌溉標準裡的水用途，對於農業可擴大使用再生水是個契機；近期嘉南水利會利用嘉義市水資源回收中

心之放流水，做為灌溉補助水源之規劃，如未來能克服水質問題，或許可以做為示範點，另於台北市瑠公農田水利會 107 年在金門金沙鎮官嶼規劃約 25 公頃作為管路灌溉示範區，此水源以榮湖汙水廠放流水加以淨化再利用，並配合興建農塘調蓄灌溉用水，供灌小麥、高粱。

政府推動再生水多方利用政策可望舒緩各方用水之壓力，也可降低將農業用水移用的程度，雖農業用水相較於工業用水之經濟效益及民生用水之受重視程度都來得低，但農業用水不單單只是簡單的農作價值，農業用水之澆灌提供優渥的地下水補注，並達到調節微氣候之功效。圖 4.5 為農田灌溉所產生之益處。



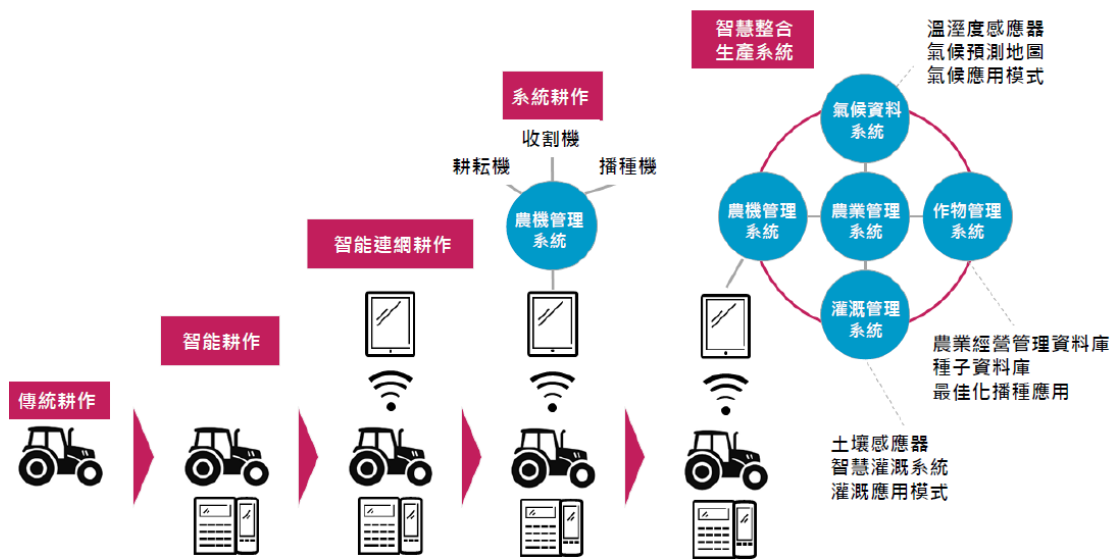
資料來源：行政院農委會

圖 4.5 農田灌溉對環境之貢獻

(二) 建立智慧化用水管理制度

智慧水錶是水資源管理轉型的重要核心，國內企業致力於開發智慧電子水錶，其具備漏水偵測、逆流警示、防竊水管理及進階流量紀錄等功能，用戶可利用上述功能來了解自身用水習慣及模式，並從中減少水資源浪費，期許成為打造完善國內智慧水管理系統的第一步。

此外，智慧管理在農業上應用也十分廣泛，參考美國智慧管理應用(圖 4.6 所示)已由傳統自動化農耕進階至整合物聯網及大數據智慧整合平台系統；日本因應高齡化的社會，政府斥資 40 億日圓推動農耕自動化，並透過大數據分析偵測土壤濕度及肥力等，利用智慧管理田間灌溉有效利用水資源及節省人力。



資料來源：行政院農委會

圖 4.2 美國耕作模式轉型

四、結語

本章節就台灣農業用水之主要面臨問題、新挑戰及因應策略一一探討，並歸納出以下結論：

1. 台灣農業廢水面臨之問題多為用水策略及分配上尚有改進空間，且因水價低廉及地下水容易取得，導致農業用水效率低，以致枯水期時，被各方放大檢視，使得農業用水被冠上浪費水資源污名，導致枯水期間常有農業用水被過度調撥至工業及民生用水。
2. 農業為國家興旺之基礎，各國為了平衡水資源利用及農業發展下了許多功夫，不僅技術及設備之提升，管理制度及法律調整也可提供國內參考，望藉本章節所蒐集之新穎資料可提供各方參考並研析未來農業用水效率提升之新方向。
3. 再生水利用於農業最大難處歸於水質管理議題，依目前「灌溉用水水質標準」與「放流水水質標準」在 EC、總氮及重金屬等項目，其標準並不相同，致使使用再生水來灌溉，其水質尚有疑慮，農民擔心產品檢驗不合格的情況下接受度不高。

第五章 台灣推動工業節水及水回收再利用之新挑戰與因應策略

台灣自 1970 年代快速工業化迄今已超過 40 年，期間由傳統產業逐漸轉型為高科技產業，工業發展帶來產值及國民所得增加，也增加了工業用水量之需求。然而，因台灣傳統水源開發遭遇抗爭、原有各標的水資源分配調整不易，工業用水分配量受限，工廠新設屢屢遭遇無水可配之困境，其現況為：(1)工業產值占總產值的 50%以上，但用水量分配約為 10%。(2)工業需用水量逐年增加，然水利法規定供水優先順序為：家用及公共給水、農業用水、水力用水、工業用水、水運及其他，使得工業用水之供應相當吃緊。

縱使工業用水供應吃緊，然因自來水水價偏低、地下水抽取管制不易、缺水期農業用水移轉、超量用水但無有效管制等因素干擾，使得廠商進行節水、水回收及使用廠外再生水之意願普遍不高，工業節水及水回收推動較為遲滯。本章乃就台灣工業節水及水回收再利用之現況、新挑戰及因應策略加以探討，以利讀者瞭解於工業上節水及水回收利用之機會與發展趨勢。

一、現況

(一) 工業產值與取水量

經比較台灣與日本之工業產值及取水量（示如表 5.1）可知，工業產值台灣與日本相比為 1：6.46，而工業取水量為 1：6.19。經比較單位產值之取水量，台灣較日本稍多。亦即，台灣仍有推動工業節水及水回收提升之空間，此舉除可減輕供水壓力外，亦可舒緩後續污水處理之負擔。

表 5.1 工業產值及工業取用水量分析(台、日比較)

國家	工業（製造業）產值 (NT\$兆元)	工業取水量 (億噸/年)
台灣	13.1	16.4
日本	84.7	101.6
比例	1：6.46	1：6.19

註：產值為 2017 年資料，日元匯率以 1 日元\$ = 0.27 NT 計算；取用水量為 2016 年資料。

資料來源：日本經產省、行政院主計處、經濟部統計處、經濟部水利署。

(二) 各行業用水標的比例不同

表 5.2 為台灣各工業別用水標的（製程用水、鍋爐用水、冷卻用水、民生用水）占總取水量之比例。由表中可知，台灣工業取水量最大宗為製程用水。製程用水、鍋

爐用水、冷卻用水、民生用水占總取水量之比例分別為 48.22%、7.98%、40.49%、3.31%。基本上，26 個製造業中有 21 個的製程用水占比最高，但值得注意的是，26 個製造業有石油及煤製品製造業、化學材料製造業、化學製品製造業、基本金屬製造業之冷卻用水取水量大過製程用水。

表 5.2 台灣各工業別用水標的占總取水量之比例

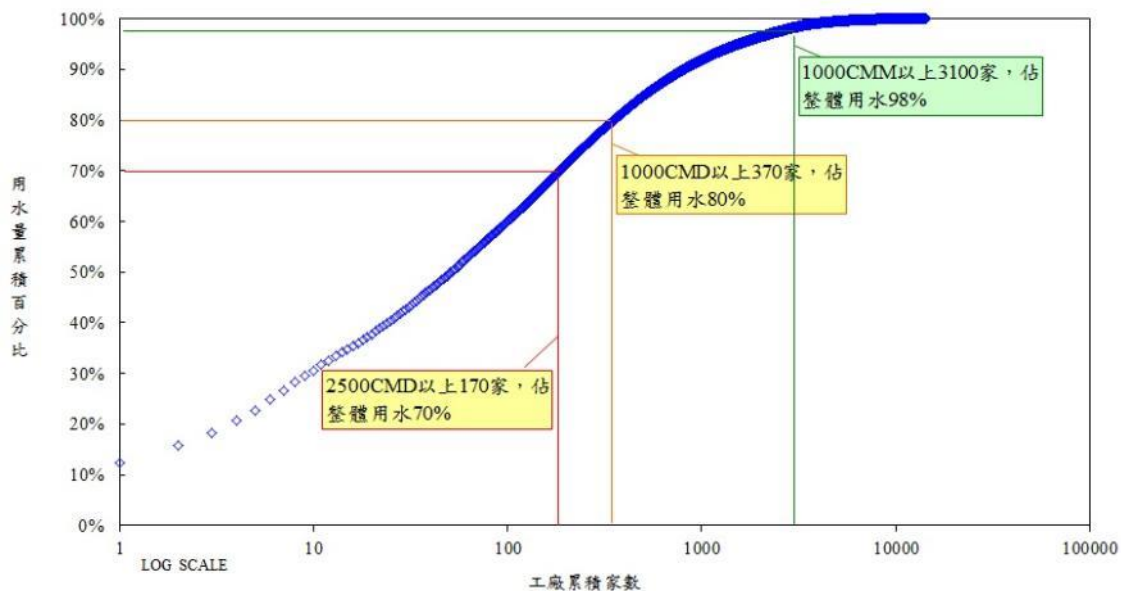
項次	二位碼	產業別名稱	用水標的占總取水量百分比(%)			
			製程用水	鍋爐用水	冷卻用水	民生用水
1	08	食品製造業	74.77	10.36	11.73	3.13
2	09	飲料製造業	83.57	9.14	3.48	3.81
3	10	菸草製造業	56.47	21.99	10.46	11.08
4	11	紡織業	87.96	3.87	5.35	2.82
5	12	成衣及服飾品製造業	83.98	7.43	0.00	8.59
6	13	皮革、毛皮及其製品製造業	88.52	1.54	0.18	9.76
7	14	木竹製品製造業	100.00	0.00	0.00	0.00
8	15	紙漿、紙及紙製品製造業	93.72	4.86	0.59	0.84
9	16	印刷及資料儲存媒體複製業	98.26	0.00	0.00	1.74
10	17	石油及煤製品製造業	2.12	47.48	47.69	2.72
11	18	化學材料製造業	36.96	14.81	45.73	2.50
12	19	化學製品製造業	28.22	0.40	68.98	2.40
13	20	藥品及醫用化學製品製造業	88.09	6.18	0.51	5.21
14	21	橡膠製品製造業	-	-	-	-
15	22	塑膠製品製造業	47.83	2.99	42.24	6.94
16	23	非金屬礦物製品製造業	96.03	0.29	2.77	0.91
17	24	基本金屬製造業	6.83	6.34	83.79	3.05
18	25	金屬製品製造業	80.21	2.54	11.95	5.31
19	26	電子零組件製造業	80.64	0.12	12.91	6.33
20	27	電腦、電子產品及光學製品製造業	61.88	1.55	21.53	15.04
21	28	電力設備製造業	72.28	2.73	8.23	16.75
22	29	機械設備製造業	92.10	1.46	1.19	5.25
23	30	汽車及其零件製造業	65.96	5.37	19.49	9.19
24	31	其他運輸工具及其零件製造業	47.24	5.69	40.11	6.96
25	32	家具製造業	86.48	0.00	4.06	9.47
26	33	其他製造業	97.20	0.50	1.48	0.82
合計			48.22	7.98	40.49	3.31

資料來源：經濟部工業局，2014~2016，本報告整理。

(三) 工業取水量集中於大用水戶

根據經濟部調查報告之統計，全台灣營運中之工廠約 83,500 家 (2015)，將各廠商之用水量自大到小排序，並進行累積分析，如圖 5.1 所示。由圖中可知，每月用水

量 1,000 噸以上工廠有 3,100 家，占整體用水量的 98%；每日用水量 1,000 噸以上工廠有 370 家，其累積用水已占總用水量達 80%；每日用水量 2,500 噸以上工廠有 170 家，其累積用水占總用水量達 70%。因此，若能有效掌握上述門檻值以上之工廠，則可有效掌握全台產業用水耗用情形。



資料來源：經濟部工業局，2014~2016，本報告整理。

圖 5.1 工業用水量及廠家數累積分析圖

(四) 工業取用水量集中於特定產業

經分析，台灣六大取用水工業為：化材業、電子業、造紙業、基本金屬業、紡織業、石油業（示如表 5.3）。而化材業、電子業取用水量占總取用水量超過 50%。六大取用水產業之取用水量約占總工業取用水量之 85%，用水量 > 2,500 CMD 之大用水戶占總工業取用水量之 65.6%。

表 5.3 台灣前六大用水產業分析

二位碼	行業別	占總取用水量比例		
		合計	1,000CMD 以上用水戶	2,500CMD 以上用水戶
18	化材業	30.8%	29.5%	27.9%
26	電子業	22.5%	16.5%	11.3%
15	造紙業	12.2%	11.9%	11.4%
24	基本金屬業	8.4%	7.6%	7.0%
11	紡織業	6.2%	4.5%	3.2%
17	石油業	4.9%	4.8%	4.8%
小計		85%	74.8%	65.6%

資料來源：經濟部工業局，2014~2016，本報告整理。

二、新挑戰

(一) 工業需水量之定義與管理

根據經濟部水利署「用水計畫審核管理辦法(106.06.08 公告)」之定義，工廠總用水量(GW, Gross Water)為原始取水量(IW, Intake Water)與重複利用水量(RW, Return Water)之和。而重複利用水量(RW)為循環水量(RCW, Recycling Water)與回用水量(RUW, Reuse Water)之和。因此，工業總用水量、原始取水量、重複利用水量、循環水量和回用水量的關係為：

$$\text{工業總用水量(GW)} = \text{原始取水量(IW)} + \text{重複利用水量(RW)} \quad (1)$$

$$\text{重複利用水量(RW)} = \text{循環水量(RCW)} + \text{回用水量(RUW)} \quad (2)$$

由式(1)可知，工業總用水量即為工業總需水量，原始取水量僅為需水量之一部份。透過重複利用（水回收）之手段，或以其他手段補充原始取水量，均可降低政府供水之壓力。因此，若工業完全未進行重複利用（水回收），則工業生產之總用水量即為取水量。然而，一旦工業進行水回收，則工業生產之取水量則可減少（因總用水量不變）。另，若工業進行雨水貯留、冷凝水收集、海淡水等新興水源使用，則可減少原始取水量。當然，若工業進行節水（如：更換節水製程、冷卻水循環次數增加），亦可減少原始取水量。

表 5.4 為考慮納入重複利用水量後，台灣各工業別用水標的占工業總用水量之比例。由表中可知，製程用水、鍋爐用水、冷卻用水、民生用水占總取水量之比例分別為 2.18%、0.37%、97.37%、0.09%。

表 5.4 台灣各工業別用水標的占總用水量之比例

項次	二位碼	產業別名稱	用水標的占總用水量百分比(%)			
			製程	鍋爐	冷卻	生活
1	08	食品製造業	3.16	0.76	95.93	0.15
2	09	飲料製造業	1.31	0.20	98.42	0.07
3	10	菸草製造業	0.93	0.41	98.47	0.18
4	11	紡織業	6.28	0.43	93.12	0.18
5	12	成衣及服飾品製造業	3.27	0.23	96.22	0.27
6	13	皮革、毛皮及其製品製造業	13.44	0.27	84.82	1.48
7	14	木竹製品製造業	99.00	0.00	0.00	1.00
8	15	紙漿、紙及紙製品製造業	82.06	5.21	12.50	0.23
9	16	印刷及資料儲存媒體複製業	1.98	0.00	97.98	0.04
10	17	石油及煤製品製造業	1.55	19.11	78.63	0.72
11	18	化學材料製造業	1.51	0.58	97.86	0.04
12	19	化學製品製造業	0.67	0.39	98.90	0.04

項次	二位碼	產業別名稱	用水標的占總用水量百分比(%)			
			製程	鍋爐	冷卻	生活
13	20	藥品及醫用化學製品製造業	4.76	0.26	94.76	0.22
14	21	橡膠製品製造業	—	—	—	—
15	22	塑膠製品製造業	4.26	0.28	94.98	0.48
16	23	非金屬礦物製品製造業	13.72	0.03	86.15	0.10
17	24	基本金屬製造業	1.22	0.14	98.59	0.06
18	25	金屬製品製造業	5.30	0.25	94.20	0.25
19	26	電子零組件製造業	2.77	0.00	97.00	0.23
20	27	電腦、電子產品及光學製品製造業	1.71	0.03	97.85	0.41
21	28	電力設備製造業	0.87	0.04	98.89	0.19
22	29	機械設備製造業	13.60	0.22	85.40	0.78
23	30	汽車及其零件製造業	1.45	0.18	98.09	0.28
24	31	其他運輸工具及其零件製造業	1.84	0.00	96.90	1.26
25	32	家具製造業	23.22	0.00	75.36	1.41
26	33	其他製造業	8.85	0.08	89.18	1.90
合計			2.18	0.37	97.36	0.09

資料來源：經濟部工業局，2014~2016，本報告整理。

經與前節表 5.2 比較可知，因台灣工業冷卻用水之循環水量非常大，導致工業總用水量的 97.36% 均為冷卻用水，而其他標的用水所占之比例則顯得微不足道，亦即，此一「工業總用水量」定義對於管理工業用水參考價值不高。

另，上述之「取水量」僅代表總水資源開發單位重視之「供水量」，並非工業需用水量。而「總用水量」將冷卻循環水量納入，乃為計算「水回收率」，亦無法準確展現工業需用水量。亦即，上述「取水量」及「總用水量」僅提供工業用水管理之部份參考。基本上，一旦工業進行節水及水回收利用，應定義「工業總需用水量(NW)」以利工業用水管理。工業總需用水量包括總取水量(IW)及總回用水量(RUW)，亦即：

$$\text{工業總需用水量(NW)} = \text{原始取水量(IW)} + \text{總回用水量(RUW)} \quad (3)$$

(二) 工業用水回收率檢討

台灣水利署用於管理工業用水之水回收率有兩種，R1 與 R2。其定義與總用水量(GW)、總循環水量(RCW)、總回用水量(RUW)及總冷卻水循環量相關。

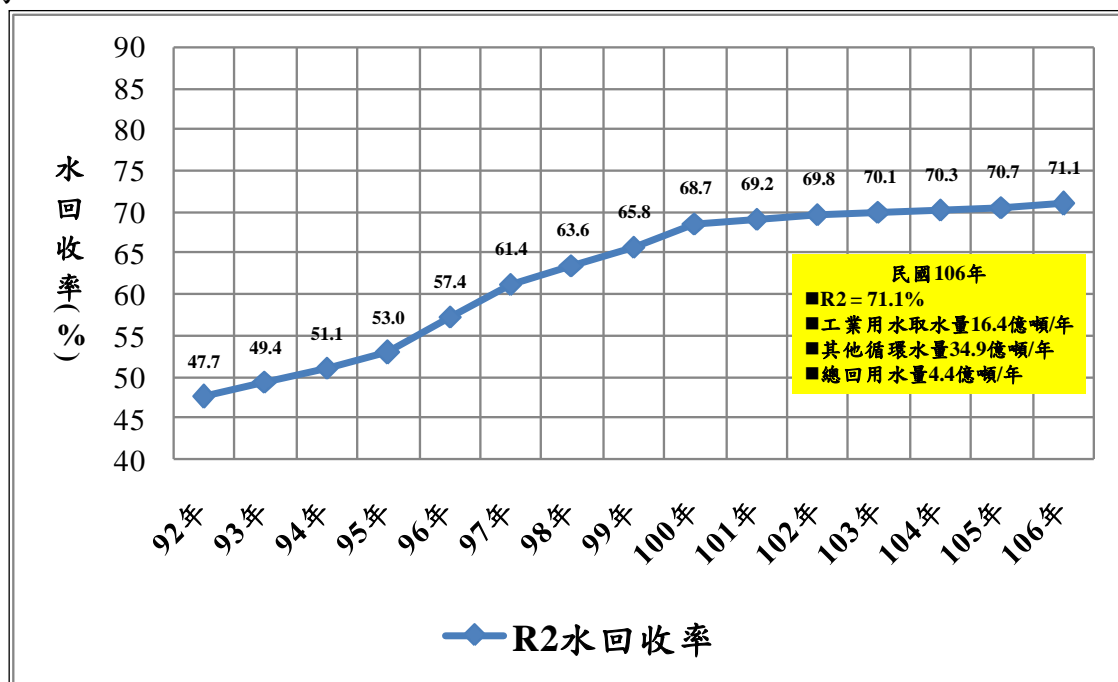
$$\text{回收率R1(重複利用率)} = \frac{\text{總循環水量(RCW)} + \text{總回用水量(RUW)}}{\text{總用水量(GW)}} * 100\% \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{回收率R2(不含冷卻水塔循環量)} \\ = \frac{\text{總循環水量(RCW)} + \text{總回用水量(RUW)} - \text{總冷卻水循環量}}{\text{總用水量(GW)} - \text{總冷卻水循環量}} * 100\% \end{aligned} \quad (5)$$

由上式可知：

- (1) R2 與冷卻循環水量無關，但與其他循環水量（製程循環水量、鍋爐循環水量等）有關。計算 R2 時，乃將其他循環水量外加於總回用水量之上。
- (2) 若冷卻循環水量遠大於其他循環水量及總回用水量，則 $R1 \gg R2$ 。

圖 5.2 為台灣工業用水 R2 水回收率之進展情形。由圖可知，若納入其他循環水量，現行 R2 水回收率為 71.1%。若再納入工業冷卻循環水量，則水回收率 R1 將提升為 97.71%。



資料來源：經濟部工業局，2018。本報告整理。

圖 5.2 台灣工業用水 R2 水回收率之進展情形

若以工業總需用水量之觀念考慮總回用水量與工業總需用水量、總取水量之關係，本報告可定義修正型水回收率(R^*)。 R^* 不考慮循環水量(RCW)，僅考慮回用水量(RUW)，可定義如下：

$$R^* = \frac{\text{總回用水量(RUW)}}{\text{總取水量(IW)} + \text{總回用水量(RUW)}} * 100\% \quad (6)$$

本報告比較台灣及日本之修正型水回收率(R^*)，其結果可示如表 5.5。

表 5.5 台灣與日本各產業用水回收率(R*)比較

項次	二位碼	產業別名稱	工業用水回收率(%)	
			R* (%)	
			台灣	日本
1	8	食品製造業	8.98	20.96
2	9	飲料製造業	6.00	5.83
3	10	菸草製造業	2.64	4.38
4	11	紡織業	14.07	9.41
5	12	成衣及服飾品製造業	-	0.81
6	13	皮革、毛皮及其製品製造業	1.33	3.5
7	14	木竹製品製造業	-	15.08
8	15	紙漿、紙及紙製品製造業	24.09	37.59
9	16	印刷及資料儲存媒體複製業	-	14.04
10	17	石油及煤製品製造業	8.07	33.6
11	18	化學材料製造業	20.90	34.03
12	19	化學製品製造業	26.26	31.29
13	20	藥品及醫用化學製品製造業	-	23.76
14	21	橡膠製品製造業	-	23.46
15	22	塑膠製品製造業	13.65	19.48
16	23	非金屬礦物製品製造業	25.42	37.87
17	24	基本金屬製造業	12.12	51.68
18	25	金屬製品製造業	25.62	21.51
19	26	電子零組件製造業	11.01	41.11
20	27	電腦、電子產品及光學製品製造業	17.21	32.54
21	28	電力設備製造業	8.31	28.47
22	29	機械設備製造業	0.72	34.1
23	30	汽車及其零件製造業	15.20	81.92
24	31	其他運輸工具及其零件製造業	15.20	36.58
25	32	家具製造業	-	1.05
26	33	其他製造業	20.46	28.18
		合計	17.29	44.96

資料來源：經濟部工業局，2014~2016，本報告整理。

由表 5.5 可知，台灣 R*水回收率約為 17.29%，遠低於日本的 44.96%，乃因台灣工業執行之回用水量(RUW)較少。

基本上，水回收率 R1 越高，表示冷卻循環水量越大，但冷卻循環水量大對於節水之貢獻有限。而台灣水回收率 R2 雖高（民國 106 年為 71.1%），但其主要來自其他循環水量（製程循環、鍋爐循環等純水循環），總回用水量（主要為自來水排水再生使用）仍低（參看圖 5.4），對於降低自來水供水壓力之貢獻仍然有限。

(三) 冷卻用水效率待提升

根據表 5.2 及表 5.4 可知，現行工業冷卻用水取水量占工業總取水量約 40%，但冷卻用水用水量（取水量+循環水量）占工業總用水量之 97.37%，亦即工業冷卻循環水量為冷卻用水取水量的數十倍，由表 5.4 可知，台灣工業冷卻用水取水量占比最高的產業為基本金屬製造業，其次為化學製品製造業、石油及煤製品製造業、化學材料製造業、塑膠製品製造業等。

台灣工業冷卻循環水量占比遠高於日本，甚至高於地處熱帶之新加坡，造成冷卻用水量占比高於各國。冷卻循環水量過高之結果為冷卻水蒸散量大，而冷卻水蒸散比例過高亦需以提高取用冷卻用水量因應。

經與新加坡（較台灣更為潮濕炎熱）的電子業比較，台灣工廠冷卻水蒸散比率偏高（示如表 5.6 及圖 5.3）。而經由調查冷卻用水大戶之結果可知，近年來工業冷卻水蒸散比率平均達 84.97%（示如表 5.7），值得注意。

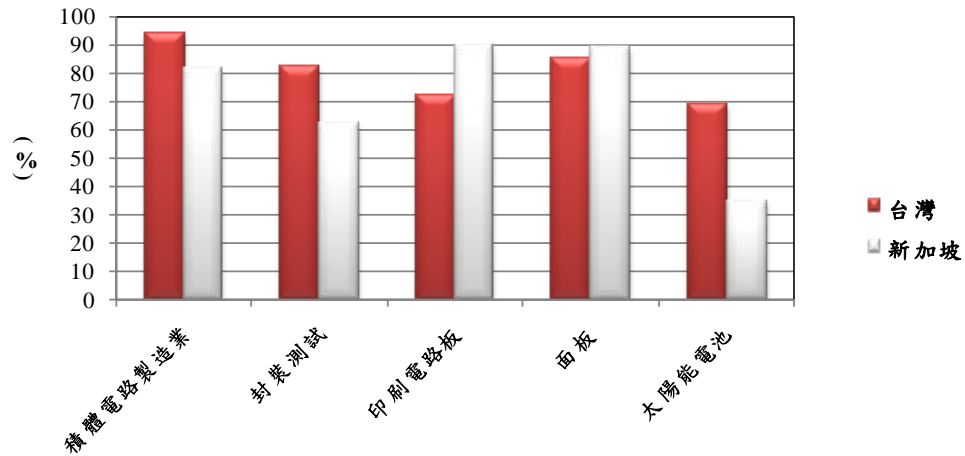
基本上，冷卻循環水量大，除造成大量冷卻水蒸散，需增加冷卻取水量外，亦反應出冷卻水利用效率的問題，包括：散熱效率待提升、控制系統待優化等。台灣地區工廠冷卻系統之冷卻循環水量大、冷卻取水量大，對於工業用水供應之影響甚鉅，因此，台灣地區提升冷卻循環水再利用效率甚為重要。

表 5.6 台灣與新加坡工廠冷卻水蒸散比率之比較

項目	名稱	水量(CMD)						冷卻水蒸散比率(%)	
		補充水量		蒸散量		排放量			
		台灣	新加坡	台灣	新加坡	台灣	新加坡	台灣	新加坡
1	積體電路製造業	3,020	2,469	2,831	2,016	189	480	93.74	81.65
2	封裝測試	450	869	370	540	80	329	82.22	62.14
3	印刷電路板	598	264	430	237	168	26	71.91	89.77
4	面板	305	1,109	260	989	45	120	85.25	89.18
5	太陽能電池	458	1,385	317	480	141	905	69.21	34.66

資料來源：本報告整理。

冷卻水塔蒸發比率



資料來源：本報告整理。

圖 5.3 台灣與新加坡工廠冷卻水蒸散比率之比較

表 5.7 台灣各工業冷卻用水蒸散比例調查成果

項次	二位碼	產業別名稱	102年				103年				104年			
			冷卻水量(CMD)			蒸散比率 (%)	冷卻水量(CMD)			蒸散比率 (%)	冷卻水量(CMD)			蒸散比率 (%)
			補水量	蒸散量	排放量		補水量	蒸散量	排放量		補水量	蒸散量	排放量	
1	08	食品製造業	2,080	1,545	535	74.28	158	141	17	89.24	-	-	-	-
2	09	飲料製造業	363	240	123	66.07	-	-	-	-	-	-	-	-
3	10	菸草製造業	75	75	0	100.00	-	-	-	-	-	-	-	-
4	11	紡織業	1,513	221	1,292	14.57	3,620	17	3,603	0.47	5	5	0	100.00
5	12	成衣及服飾品製造業	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	13	皮革、毛皮及其製品製造業	10	8	2	80.00	-	-	-	-	-	-	-	
7	14	木竹製品製造業	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	15	紙漿、紙及紙製品製造業	5	5	0	100.00	-	-	-	-	-	-	-	
9	16	印刷及資料儲存媒體複製業	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	17	石油及煤製品製造業	-	-	-	-	24,394	20,018	4,376	82.06	-	-	-	-
11	18	化學材料製造業	10,160	7,460	2,700	73.43	2,183	1,534	649	70.27	34,652	29,873	4,779	86.21
12	19	化學製品製造業	2	2	0	100.00	60	45	15	75.00	114	107	7	93.86
13	20	藥品及醫用化學製品製造業	30	28	2	93.33	49	9	40	18.37	-	-	-	-
14	21	橡膠製品製造業	104	102	2	98.46	78	70	8	89.74	-	-	-	-
15	22	塑膠製品製造業	-	-	-	-	153	152	1	99.35	-	-	-	-
16	23	非金屬礦物製品製造業	818	664	154	81.17	89	64	25	71.91	359	280	79	78.01
17	24	基本金屬製造業	706	695	11	98.44	1,176	1,028	148	87.41	105	105	0	100.00
18	25	金屬製品製造業	1,856	1,298	558	69.94	77	50	27	64.94	670	590	80	88.06
19	26	電子零組件製造業	2,097	1,554	544	74.08	4,121	2,455	1,666	59.57	2,175	1,398	777	64.28
20	27	電腦、電子產品及光學製品製造業	-	-	-	-	40	15	25	37.50	-	-	-	-
21	28	電力設備製造業	104	68	36	65.38	582	540	42	92.78	116	97	19	83.62
22	29	機械設備製造業	13	9	4	69.23	129	127	2	98.45	-	-	-	-
23	30	汽車及其零件製造業	3	3	0	100.00	420	275	145	65.48	-	-	-	-
24	31	其他運輸工具及其零件製造業	-	-	-	-	700	565	135	80.71	-	-	-	-
25	32	家具製造業	22	3	19	13.64	-	-	-	-	-	-	-	-
26	33	其他製造業	-	-	-	-	271	271	0	100.00	-	-	-	-
合計			19,961	13,979	5,982	70.03	38,300	27,376	10,924	71.48	38,196	32,455	5,741	84.97

資料來源：經濟部工業局，2016，本報告整理。

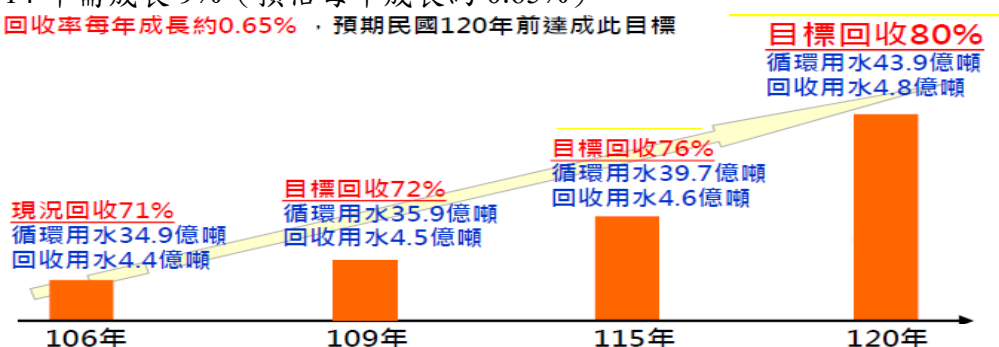
三、因應策略

(一) 台灣工業用水回收目標之達成

為因應產業永續發展，雖水價誘因低，回收率不易達到日本水準，但仍需持續提高用水重複利用率，降低總用水量。

經十餘年之推動(92年~106年)，工業用水 R2 回收率已由 47.7% 提升至 71.1%。而節水推動於 R2 回收率接近 70% 時遭遇瓶頸。民國 100 年~106 年，R2 回收率由 68.7% 成長至 71.1%，平均每年成長約 0.4% (示如圖 5.2)。工業單位預估於民國 120 年將工業用水回收率持續提升至 80% (示如圖 5.4)。為達成此目標，預計 R2 回收率於未來 14 年需成長 9% (預估每年成長約 0.65%)。

- 回收率每年成長約 0.65%，預期民國 120 年前達成此目標



資料來源：經濟部工業局，2018。本報告整理。

圖 5.4 台灣工業用水 R2 回收率提升目標

(二) 用水回收目標達成之可行性評估

根據圖 5.4，工業主管部門統計及規劃由民國 106 年至 120 年，R2 水回收率、回收用水量、循環用水量可列示如表 5.8。由表中可知，106 年台灣工業回用水量為 1.21 百萬 CMD (4.4 億噸/年)，目標為 120 年達 1.32 百萬 CMD (4.8 億噸/年)。106 年台灣工業回用水量+循環水量為 10.77 百萬 CMD (39.3 億噸/年)，目標為 120 年達 13.35 百萬 CMD (48.7 億噸/年)。

表 5.8 台灣工業用水回收率提升目標

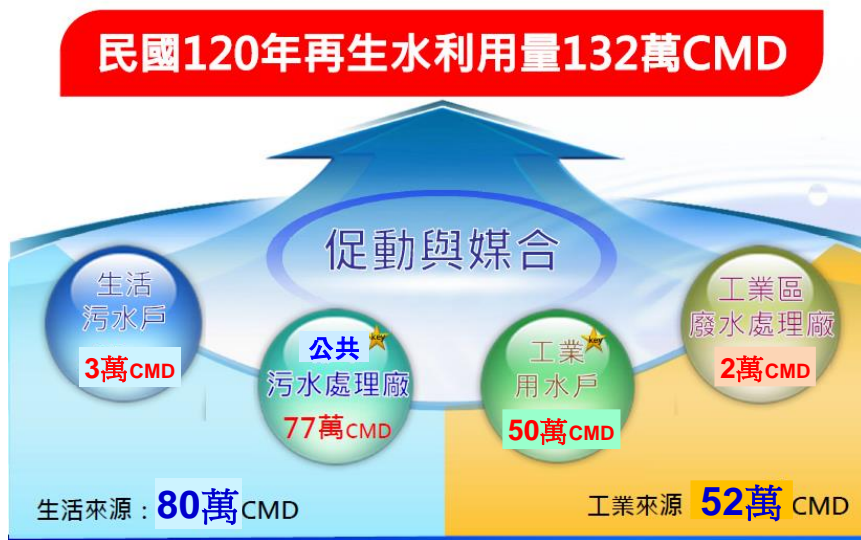
民國年 項目	106 年	109 年	115 年	120 年
R2 水回收率	71%	72%	76%	80%
循環利用 水量	34.9 億噸/年	35.9 億噸/年	39.7 億噸/年	43.9 億噸/年
	9.56 百萬 CMD	9.84 百萬 CMD	10.88 百萬 CMD	12.03 百萬 CMD
回收利用 水量	4.4 億噸/年	4.5 億噸/年	4.6 億噸/年	4.8 億噸/年
	1.21 百萬 CMD	1.23 百萬 CMD	1.26 百萬 CMD	1.32 百萬 CMD
合計	10.77 百萬 CMD	11.07 百萬 CMD	12.14 百萬 CMD	13.35 百萬 CMD

資料來源：本報告整理。

另，經濟部水利署規劃之水再生推動目標為：民國 120 年再生水使用量達 132 萬 CMD，取代 10% 公共用水量 (示如圖 5.5)。而水利署水再生推動可由 4 個面向著手，

包括：1.公共污水處理廠放流水回收再利用；2.工業用水戶廢水再生利用。3.工業區廢水處理廠放流水回收再利用；4.生活污水戶污水再生利用。

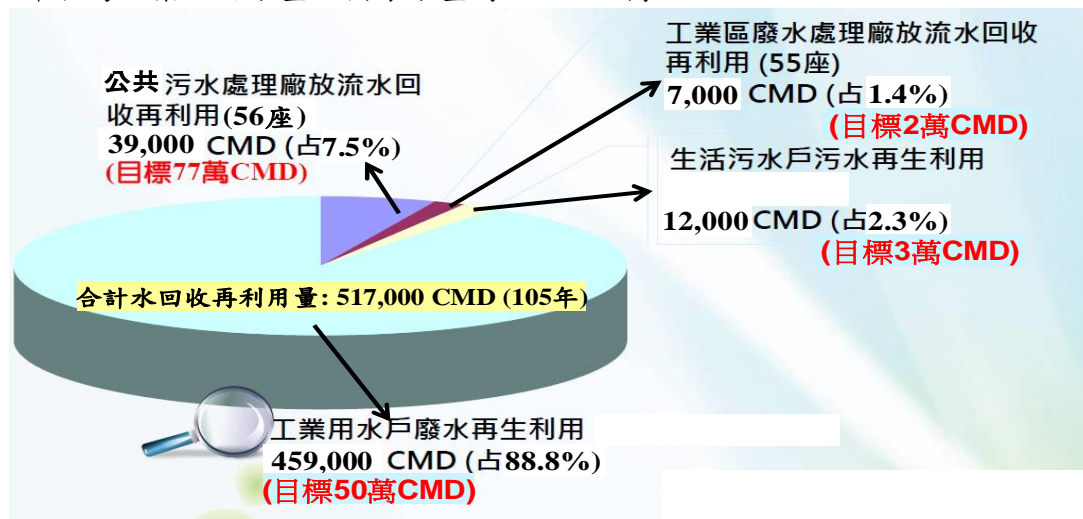
再生水利用量目標



資料來源：經濟部水利署(2018)

圖 5.5 台灣推動再生水使用之目標

上述四大推動面向之 105 年水回收再生利用量及目標利用量比較可示如圖 5.6。由圖 5.6 可知，經水利署統計，105 年工業用水戶廢水再生利用量為 459,000 CMD (0.459 百萬 CMD)，僅約為表 5.8 統計 106 年回用水量 1.21 百萬 CMD 之 38%，為 106 年台灣工業回用水量+循環水量為 10.77 百萬 CMD 之 4.3%。



資料來源：經濟部水利署(2018)

圖 5.6 台灣推動再生水使用之現況及目標

另，由圖 5.4 可知，工業單位預估於民國 120 年將工業用水回收率持續提升至 80%。為達成此目標，預計 R2 回收率於未來 14 年需成長 9%(預估每年成長約 0.65%)。然而，由圖 5.2 台灣工業用水 R2 水回收率之進展情形可知，由民國 100 年~106 年，

台灣工業用水 R2 水回收率由 68.7% 上升至 71.1%，平均每年成長 0.4%。如何能使 R2 水回收率以每年成長 0.65% 且持續 14 年，實為工業節水及水回收推動相當大的挑戰。

(三) 大用水戶及產業篩選策略之訂定

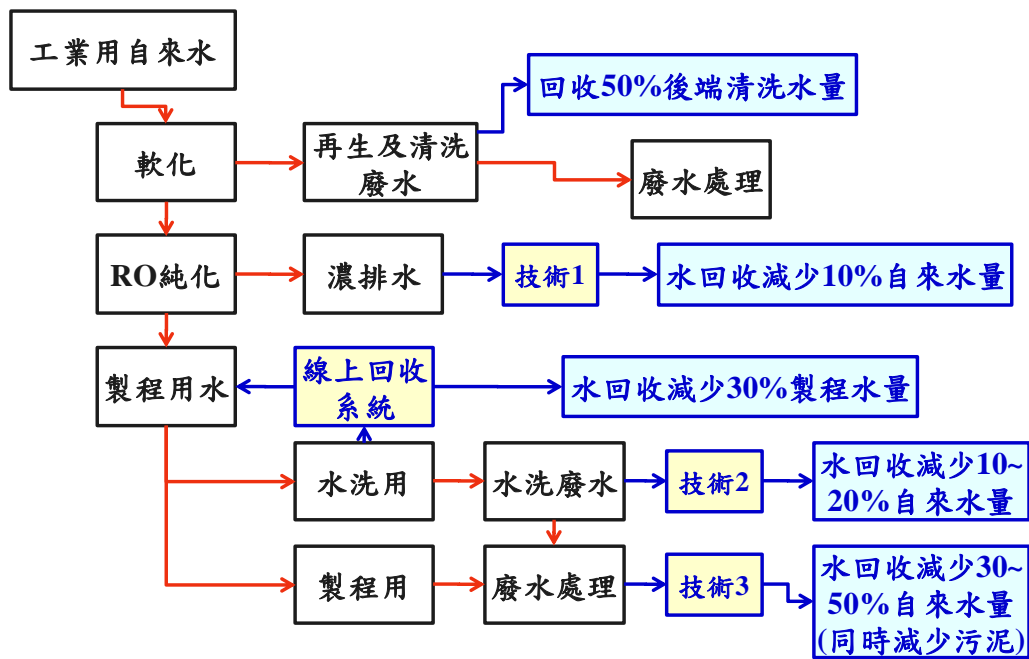
由前述分析可知，台灣每月用水量 1,000 噸以上 (>1,000 CMM) 工廠有 3,100 家，占整體工業用水量的 98%；每日用水量 1,000 噸以上 (>1,000 CMD) 工廠有 370 家，其累積用水已占總工業用水量達 80%，而每日用水量 2,500 噸以上 (>2,500 CMD) 工廠有 170 家，其累積用水占總工業用水量達 70%。亦即，節水及水回收推動可研擬三階段，分別針對 170 家、370 家、3,100 家研擬不同之節水目標及推動策略。

另，台灣六大取用水工業中，化材業、電子業取用水量占總取用水量超過 50%。六大取用水產業之取用水量約占總工業取用水量之 85%。六大取水工業用水量 > 1,000 CMD 之大用水戶占總工業取用水量之 74.8%。六大取水工業用水量 > 2,500 CMD 之大用水戶占總工業取用水量之 65.6%。

亦即，台灣每日用水量 > 1,000 CMD 的 370 家工廠 (累積用水占總工業用水量達 80%)，其中六大取水工業已占 74.8%；台灣每日用水量 > 2,500 CMD 的 170 家工廠 (累積用水占總工業用水量達 70%)，其中六大取水工業已占 65.6%。因此，節水及水回收推動可先選擇取水量 > 2,500 CMD 之大用水戶和六大取水工業取水量 > 1,000 CMD 廠家。

(四) 節水及水回收機會之先進技術引用

近年來，省水型製程不斷推出，提供工業生產製造之節水機會。然而，由於台灣開發節水製程之產業與引進先進節水製程之產業有限，現行台灣推動工業節水和水回收仍以現有製程操作節水和水回收為主。圖 5.7 為工業製程相關水回收之空間與機會。由圖上可知，透過技術 1~技術 3 之水回收技術，R2 水回收率可達成 80% 之目標。



資料來源：本報告整理。

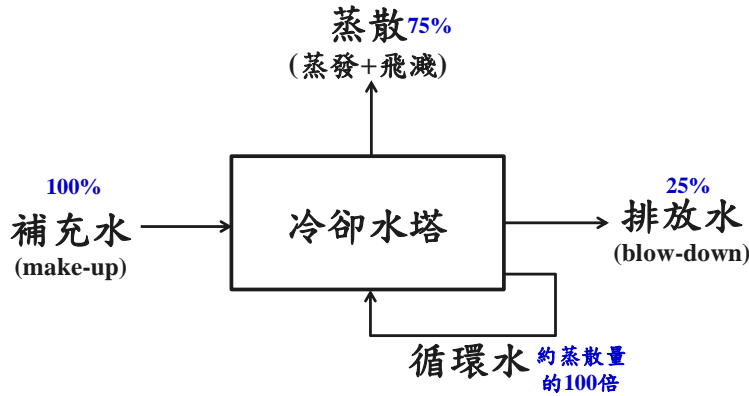
圖 5.7 工業製程相關水回收空間與機會

現行使用於工業排放水（廢水）去離子、去除有機物之回收之新型技術包括：(1) 新穎 RO 模組：低壓逆滲透(LPRO)與超低壓逆滲透(ULPRO)、中空絲 RO、16 吋~18 吋直徑 RO、奈米結構碳管(carbon nanotubes)及無機/有機奈米複合材(nanocomposites) 薄膜 RO、高通量 RO、低結垢 RO、抗氯 RO 等；(2)正滲透(FO)技術；(3). 薄膜蒸餾 (MD)技術；(4) FO/ MD 組合技術；(5)電容去離子(CDI)技術；(6)流體化床-Fenton 技術；(7)電解還原-Fenton 技術等。

(五) 冷卻水循環利用效率提升

為提升冷卻循環水利用效率，經整理可行技術包括：(1)散熱效率提升技術、(2)冷卻水濃縮倍數提升技術、(3)減少冷卻循環水量及減少冷卻水蒸散(蒸發及飛濺)技術、(4)冷卻排放水回收技術、及(5)冷卻蒸發回收技術等。上述(1)、(2)、(3)屬於傳統冷卻節水技術，可有效節水和減排，而(4)和(5)之節水效果尤為明顯。

工業冷卻水系統水平衡如圖 5.8 所示，由該圖可知，台灣工業冷卻取水量（占工業總取水量之 40%）約有 75%蒸散至大氣中，有 25%直接排放。經評估，若將工業冷卻水之蒸發部份（約 75%）回收 20%，約可取代 6%之工業總取水量，此回收水量對於紓解台灣枯水期（10 月~4 月，亦為氣溫較低、回收率較高之時段）之缺水危機助益甚大。另若將冷卻排放水(25%)回收 60%，則亦可取代 6%之工業總取水量。



資料來源：本報告整理。

圖 5.8 工業冷卻水系統水平衡圖

另若將工業冷卻水之蒸發回收，回收水為蒸餾水；若將冷卻排放水回收，回收水水質亦優，均可有效減少冷卻系統循環水濃縮之藥劑使用量，其節水及經濟效益相當可觀。

1. 傳統冷卻節水技術精進

(1) 散熱效率提升

工廠冷卻系統分為空調塔與工業塔，空調塔根據冰水主機冷凍噸(RT, Refrigeration Ton)進行散熱設計，工業塔則根據製程產生餘熱量進行散熱設計。冷卻系統之鰭片散熱效率越好，熱交換效率越高，則可大幅減少水量蒸散。散熱效率降低起因於熱交換器或填充材表面結垢及生物積污，結垢通常會使空氣或水之通道受阻，其結果是冷卻水塔能力迅速降低，而且所增加之額外重量亦會使支撐結構受損。若結垢形成，即使事後清洗亦常會導致熱交換器或填充材受損，故需經常性保養及預防。另冷卻水塔灑水系統之檢修亦十分重要，噴嘴或水盤之檢查及清洗可避免阻塞、腐蝕或其他機構之損壞。另出口端之過濾器亦須經常性清洗或排除污染物，以保護循環水幫浦。

(2) 濃縮倍數提升

現行台灣工廠以提升冷卻水濃縮倍數作為冷卻節水之主要手段，因提升濃縮倍數能降低冷卻水排水量及取水量(假設蒸散量不變)。然而，為提升冷卻水濃縮倍數，冷卻水中需添加各式防垢、防蝕及防生物滋長之化學藥劑，或引入物理防垢技術，另亦須搭配過濾裝置，以過濾空氣溶入雜質、生物及化學沈澱物。

冷卻水濃縮倍數提升可降低排放水量，達到節水之目的。除引用海水冷卻之一次通過(one-through)冷卻系統外，引用淡水冷卻之冷卻系統均會以幫浦將排放水抽回循環使用。排放水量節省比率與原始冷卻水濃縮倍數及提高後之濃縮倍數有關。若原始濃縮倍數為3倍，額外加藥使濃縮倍數提升至6倍，可額

外節省 20%之排放水量（示如表 5.9）。然而，若原始濃縮倍數為 5 倍，額外加藥使濃縮倍數提升至 10 倍，可額外節省之排放水量降為 11%。

因此，使用冷卻水濃縮進行節水須注意：(1)原始濃縮倍數越高，即使濃縮倍數提高，排放水減量的效果亦不易發揮；(2)提高後之濃縮倍數越高，排水減量增加效果越小。

表 5.9 提高冷卻水濃縮倍數節省之排放水量比率
提高後之濃縮倍數

原始濃縮倍數	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10
1.5	33%	44%	50%	53%	56%	58%	60%	61%	62%	63%	64%
2.0		17%	25%	30%	33%	38%	40%	42%	43%	44%	45%
2.5			10%	16%	20%	25%	28%	30%	31%	33%	34%
3.0				7%	11%	17%	20%	22%	24%	25%	26%
3.5					5%	11%	14%	17%	18%	20%	21%
4.0						6%	10%	13%	14%	16%	17%
5.0							4%	7%	9%	10%	11%
6.0								3%	5%	6%	7%

資料來源：本報告整理。

(3) 冷卻水蒸散及循環減量

台灣工廠冷卻水蒸散量大，除散熱效率差外，主因尚包括：(1)冷卻循環水量超量抽送及(2)風扇送風量超量等。根據前研究（邱政勳等, 2005；許顯志等, 2006）分析，典型開放式冷卻水塔耗水量之大小依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。從節水的觀點來看，減少不必要的蒸發損失具有相當大的節水空間。利用偵測大氣溫溼度及實際負荷，藉由變頻馬達，自動或手動調整扇葉轉速，降低水塔之循環水量及送風量，減少通過塔內的空氣流率，可大大地減少非必要的蒸發耗水，同時也可節省風扇所需的用電量。

前研究（邱政勳等, 2005）引用台南地區某工廠之空調系統冷卻水塔操作條件，經考慮大氣溫溼度偵測及變頻馬達引用之最佳操作條件，經模擬可知，在最佳操作條件下，全年可減少蒸發水量約 46.2%（夏季減少蒸發約 24.2%，冬季減少蒸發約 59%，示如表 5.10）。

表 5.10 冷卻水塔之節水節能模擬成果表

月份 \ 項目	溫度	相對濕度	節能百分比	節水百分比
	(°C)	(%)	(%)	(%)
一	17.4	78	93.1	59.0
四	24.5	77	84.0	45.7
七	29.0	79	56.4	24.2
十	25.9	77	79.6	41.1
全年	24.1	78	84.4	46.2

資料來源：邱政勳等，2005

註：以 100 噸冷卻水塔為例，針對該水塔在台南市春夏秋冬四季中，能夠節省的蒸發損失，作一理論上的估算。而相關假設條件有：冷卻負載為 100 冷凍噸、冷卻前後水溫分別為 37°C 及 32°C、水塔的額定送風量為 700 m³/min。

另根據台灣良機實業公司之研究，以大氣濕球溫度及出水需求水溫控制，進行風扇馬達變頻或兩段式設計，可有效減少冷卻塔蒸發水量。因此，建議可行之蒸散減量方案包括：

- a. 降低水塔之循環水量及送風量，利用偵測大氣溫溼度及實際負荷，透過降低水塔之循環水量及送風量，有效地減少非必要的蒸發耗水。
- b. 裝設變頻馬達，減少通過塔內的空氣流率，藉由變頻馬達，自動或手動調整扇葉轉速。

基本上，冷卻循環水減量可使蒸發減量而達節水效果。然而，台灣工廠冷卻循環水量乃由工廠決定，再提供給冷卻塔廠商進行冷卻水塔設計。為求安全起見，工廠設定之冷卻循環水量普遍採超量設計。然而，根據國外工廠之實務操作經驗顯示，抽回過多的冷卻循環水反而造成散熱效率下降，因可能將高溫冷卻水回抽，反抵消散熱效率，有時，較少的循環水量反而具較高的降溫效率。

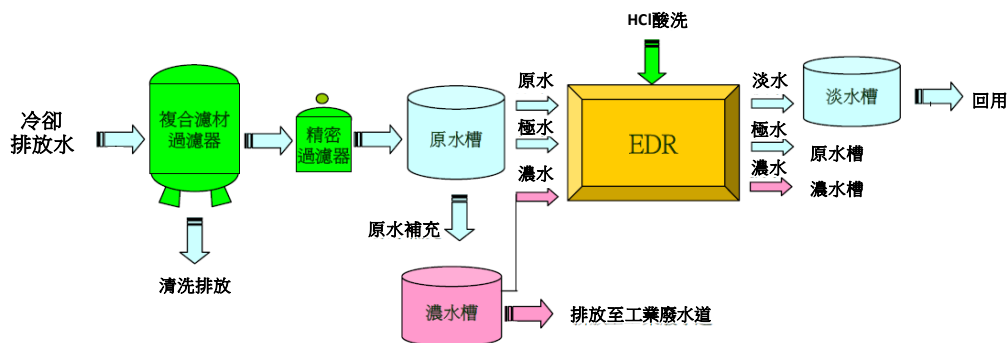
因蒸散水量與循環水量成正比關係，因此降低循環水量，可降低蒸散量，亦可節省取用水量。經與台灣冷卻水塔廠商討論，針對舊廠，建議加裝循環抽水水溫監控設施，將循環水抽水幫浦改為變頻，透過水溫監控訊號及變頻幫浦予以調節抽取水量，避免將高溫水回抽，以大幅降低冷卻循環水量。至於新設工廠，建議可將冷卻循環抽水系統及冷卻水塔系統一併交由冷卻塔專業廠商進行設計及整合監控，並訂定操作規範，以期透過高效率操作維護，有效降低冷卻循環水量及蒸散水量。

2. 冷卻排放水回收

工業冷卻排放水之特色為水質導電度高，若採濃縮加藥方式，冷卻排放水之導電度可達 4,000 μS/cm。且於濃縮倍數高，有時會添加硫酸，以減少散熱材結垢之機會。然而採加藥方式提升濃縮倍數節水量有限，且加藥成本高。因此，先進之冷卻水節水不採濃縮加藥方式，而將冷卻排放水之一部份以電透析(ED)、倒極式電透

析(EDR)或逆滲透(RO)處理再生回收後，回補至冷卻水塔，此舉可免除加藥，並可大量節水。

國內外均有大用水工廠以 EDR 或 RO 進行冷卻排放水回收(EDR 回收流程可示如圖 5.9)，使用 EDR 除可回收約 75%冷卻排放水外，亦可有效減少冷卻系統循環水之藥劑使用量。表 5.11 為冷卻排放水以 EDR 回收後，產出優質再生水之案例，表 5.12 為冷卻排放水以 EDR 回收之成本分析例。



資料來源：本報告整理。

圖 5.9 冷卻排放水以 EDR 進行回收再利用流程

表 5.11 冷卻排放水以 EDR 回收產水水質例

項目	pH	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	鈣硬度 (mg/L as CaCO_3)	鎂硬度 (mg/L as CaCO_3)	Cl^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)
冷卻排放水	8.0~8.5	1,520±30	275±25	30±5	250±30	290±30
再生水	5.0~6.2	295~315	20~27	0.5~1.4	9~12	91~112

資料來源：本報告整理。

表 5.12 冷卻排放水以 EDR 回收之成本分析例

項目	費用	單位
電費	1.41	NT\$/立方公尺
藥費(HCl)	0.66	
藥費(NaOH)	0.06	
換膜費用	2.62	
洗膜費用	2.00	
折舊費用	4.83	
操作維修費用	1.00	
產水成本	12.58	NT\$/立方公尺

資料來源：本報告整理。

由上表可知：

- (1) 排放水導電度為 $1,520\pm 30\mu\text{S}/\text{cm}$ ，再生水導電度為 $320\pm 20\mu\text{S}/\text{cm}$ ，脫鹽率達 80%

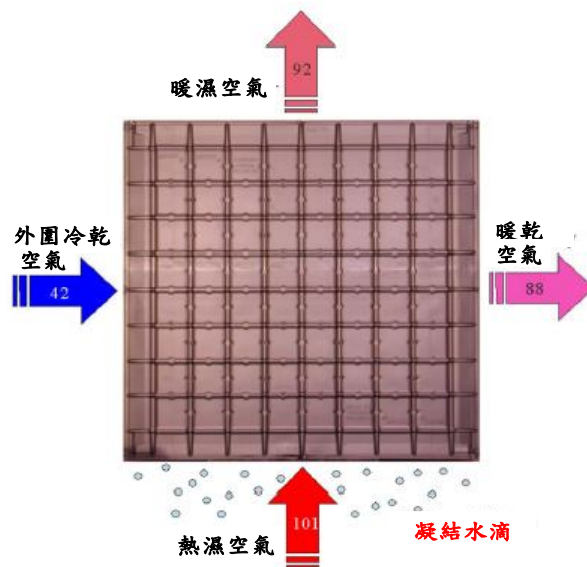
(連續操作)，再生水可作為冷卻水補水之用。

(2) 鈣硬度、鎂硬度及 Cl- 去除率可達 90% 以上，硫酸根離子去除率達 65%，適合作為冷卻水補水之用。

(3) 以 EDR 進行冷卻排放水回收之成本與現行工業用自來水之成本相似，但再生水水質較自來水佳，更適合作為冷卻水塔補充水。

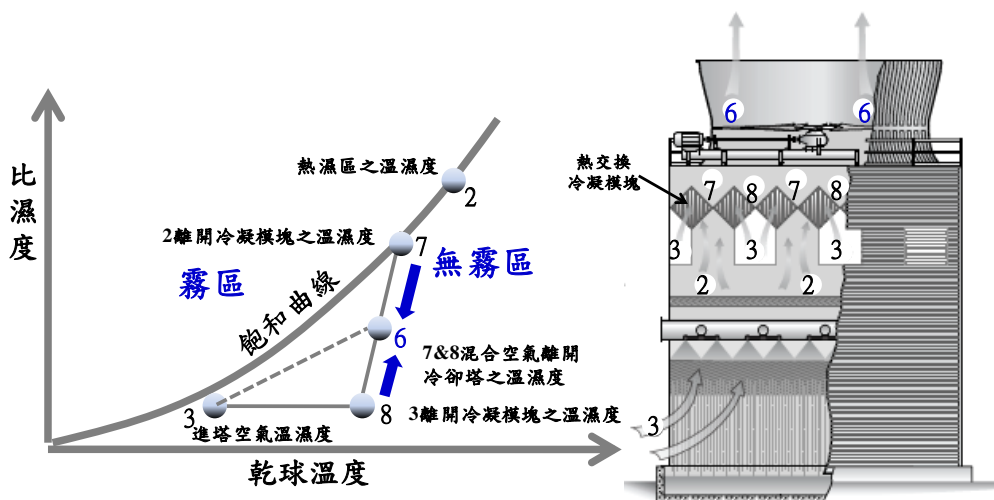
3. 冷卻水蒸發回收

國外研發的蒸發回收系統以周圍較冷空氣進行濕熱水蒸汽大幅降溫，於返回大氣前即將蒸汽凝結成為水滴回收，其概念可示如圖 5.10，而蒸發回收系統的運作流程可示如圖 5.11。由圖 5.11 可知，該系統除可去除水霧（混合乾低飽和無霧空氣離開冷卻塔）外，並透過熱交換，可使飽和水滴凝結，滴落集水池回收，提供低導電度優質冷卻水。



資料來源：本報告整理。

圖 5.10 冷卻水塔蒸發回收系統概念圖



資料來源：本報告整理。

圖 5.11 冷卻塔蒸發回收系統運作說明

台灣之工業用水主要缺水期（即枯水期，每年的 10 月～4 月）為氣溫較低之季節，亦為冷卻水塔可高效率回收蒸發水量之時段。

表 5.13 及表 5.14 為台灣中、南地區冷卻水塔蒸發水量於全年各月份可能回收比例之分析結果。由二表可知，中部地區於缺水期間（11 月～4 月）冷卻水蒸發回收率介於 18.5～21.6%之間。南部地區稍低，缺水期間（11 月～4 月）冷卻水蒸發回收率介於 13.1～20%之間。亦即台灣冷卻水蒸發回收的空間大，且可有效補充缺水期間的需水量。

表 5.13 台灣中部地區（台中）冷卻水塔蒸發回收分析

月份	濕球溫度(°C)	乾球溫度(°C)	原蒸發量(m ³ /h)	可回收量(m ³ /h)	蒸發水量(m ³ /h)	風門開度	水回收率
一月	13.9	16.6	11.5	2.5	9.0	100%	21.6%
二月	14.8	17.3	11.5	2.5	9.0	100%	21.6%
三月	16.9	19.6	12.0	2.5	9.5	100%	20.8%
四月	20.3	23.1	12.2	2.3	9.9	100%	18.5%
五月	22.9	26.0	12.7	1.8	10.8	45%	14.3%
六月	24.6	27.6	12.7	0.0	12.7	0%	0%
七月	25.1	28.6	12.9	0.0	12.9	0%	0%
八月	25.1	28.3	12.9	0.0	12.9	0%	0%
九月	24.0	27.4	12.7	0.0	12.7	0%	0%
十月	21.6	25.2	12.7	1.8	10.8	70%	14.3%
十一月	18.5	21.9	12.2	2.3	9.9	100%	18.5%
十二月	15.0	18.1	11.8	2.5	9.3	100%	21.2%

註：計算基準：150 馬力風扇，降溫 37.5～32°C，冷卻循環水量 1,576 m³/h。

資料來源：本報告整理。

表 5.14 台灣南部地區（高雄）冷卻水塔蒸發回收分析

月份	相對濕度(%)	乾球溫度(°C)	原蒸發量(m ³ /h)	可回收量(m ³ /h)	蒸發水量(m ³ /h)	風門開度	水回收率
一月	73	19.6	101.9	20.3	81.6	100%	20.0%
二月	73	22.6	103.3	17.4	85.9	60%	16.8%
三月	72	23.8	103.7	16.3	87.5	50%	15.7%
四月	78	25.1	103.7	13.6	90.2	40%	13.1%
五月	81	27.4	104.0	1.4	102.6	0%	1.3%
六月	74	29.6	106.9	1.1	105.8	0%	1.1%
七月	74	29.2	106.7	1.4	105.3	0%	1.3%
八月	82	28.4	104.6	1.4	103.3	0%	1.3%
九月	77	28.2	105.3	1.4	104.0	0%	1.3%
十月	71	26.1	105.1	12.7	92.4	40%	12.0%
十一月	72	23.9	103.7	16.3	87.5	50%	15.7%
十二月	69	19.4	101.9	20.1	81.8	100%	19.7%

註：計算基準：300 馬力風扇，降溫 41~33°C，冷卻循環水量 8,955 m³/h。

資料來源：本報告整理。

表 5.15 為根據表 5.13 之條件，於台灣中部地區建置一座 150 馬力風扇逆流式冷卻水塔，於每年 11 月~4 月缺水期間運作之產水成本分析。由表中可知，加裝冷卻蒸發回收系統的單位產水成本約為 11.16 元/m³，低於現行工業用水之水價，但回收水水質遠較自來水為佳。

表 5.15 台灣中部地區冷卻蒸發回收之成本分析例

項目	蒸發回收冷卻水塔	傳統冷卻水塔	加裝蒸發回收差異
風扇馬達功率	110kW(150 馬力)	93kW	17kW
建造成本(CAPEX)	NT\$ 22,000 千元	NT\$10,000 千元	NT\$ 12,000 千元
回收水量 (11 月~4 月)	58,240 m ³	0	58,240 m ³
營運成本(OPEX) (11 月~4 月)	NT\$ 1,100 千元	NT\$ 930 千元	NT\$170 千元
單位產水建造成本(25 年折舊)(NT\$ 元/m ³)			8.24
單位產水營運成本(NT\$ 元/m ³)			2.92
單位產水成本(NT\$ 元/m ³)			11.16

註：計算基準：建造成本折舊年限 25 年，電費 NT\$ 2.5 元/度。

資料來源：本報告整理。

(六) 工業節水及水回收推動方案建議

為達成上述目標及可能的因應策略，本報告建議工業節水及水回收之可能推動方案可分為兩大類，包括：節水輔導與基礎建構類及水源開發及管理類(示如圖 5.12)。

節水輔導與基礎建構包括：廠商用水效率提升能力強化、廠商用水現況盤查及資料庫建置。而水源開發及管理包括：工廠用水媒合節水及減排、都市/工業污水回收再利用模廠試驗及推動、高缺水風險地區用水管理等。



資料來源：本報告整理。

圖 5.12 工業節水及水回收推動方案建議

四、結語

因水價長期偏低、地下水抽取管制不易、缺水期農業用水移轉、超量用水但無有效管制等因素干擾，使得廠商進行節水、水回收及使用廠外再生水之意願普遍不高，工業節水推動較為遲滯。然而經比較國內外工業產值與取水量，台灣仍有推動工業節水及水回收提升之空間。台灣工業取水量集中於大用水戶，且工業取用水量集中於特定產業，節水推動可由大用水戶及特定產業著手。台灣工業用水回收率雖宣稱已達70%，但其主要來自估算之循環利用水量，實際回收利用之水量仍低，對於降低自來水供水壓力之貢獻仍然有限。

台灣規劃於民國 120 年工業用水回收率提升至 80%，為達成此目標，規劃於未來 14 年回收率每年需成長約 0.65%。然而，由過去之推動進展和經驗可知，此目標之達成實為相當大的挑戰。為有效推動工業節水，除建議引進省水型製程外，推動先進水回收技術，推廣排水依水質分流收集，於製程及管末進行水回收亦為重點。此外，提升工業冷卻水（占工業用水量之 40%）之利用效率，尤其引用冷卻蒸發回收技術及冷卻排放水(blow down)回收技術節水效果尤為明顯。經評估，若將工業冷卻水之蒸發部份（約占冷卻補水量之 75%）回收 20%，約可取代 6%之工業總取水量，此回收水量對於紓解台灣枯水期之缺水危機助益甚大。

另，若將冷卻排放水（約占冷卻補水量之 25%）回收 60%，則亦可取代 6%之工業總取水量。為有效提升工業節水及水回收，推動方案可由節水輔導與基礎建構及水源開發及管理兩大方向著手。

第六章 水再生技術研發與產業發展之瓶頸與因應策略

水再生視用途而定需要的水質，通常需要使用薄膜技術去除水中固體物達到所要的水質目的。主要關鍵技術會在於薄膜去離子技術，通常是指逆滲透(RO)、NF 與倒極式電透析(EDR)技術。在這些技術之前須使用微濾膜(MF)或超濾膜(UF)作為前處理技術，將水中微小粒子先行去除，以降低薄膜阻塞的清洗頻率。本章乃就台灣水再生技術研發與產業發展之現況、新挑戰及因應策略加以分析，以利讀者瞭解台灣水再生技術發展機會與趨勢。

一、現況

(一) 前處理技術

全球主要的中水處理與回收的超濾膜(UF)製造商包括 Dow, GE, Siemens, Asahi Kasei, Pentair 等國際主流大廠，產品主要是 PVDF 或 PES/PVP 材質的中空纖維膜，膜孔孔徑介於 0.03~0.1 μm ，最大膜過濾通量介於 120~200 LMH。預估目前國內每年工業製程用水與中水處理與回收操作維修需更換之 UF 膜(不含新建再生水系統部分)需求量約為 220,000 平方米，市場規模超過 4 億元，供應商大部分為國外薄膜大廠。在薄膜過濾技術方面，國內薄膜產業主要是以微濾膜(MF)、超濾膜(UF)膜材與過濾模組製造為主，惟作為 RO 薄膜前處理的 UF 超濾模組，國內廠商仍以薄膜生物反應器(MBR)與商用淨水膜組製造為主，對於工業中水處理與回收的應用，皆無大型的應用實績。目前本土平板 UF 薄膜製造在孔徑與通量上已能達到國際水準，且在廢水處理技術用上，已有非常好的應用實績，但對於高性能中空纖維膜生產技術，目前台灣仍未有此量產製程技術。

(二) 去除水中溶解固體

1. 逆滲透法 (RO)

逆滲透法係利用半滲透膜(semipermeable membrane)和靜水壓(hydrostatic pressure)將溶劑例如水從鹽液中分離。由於溶質的濃度不同，兩端之濃度梯度產生化學勢能之不平衡，溶劑經過半透膜向溶質高方向流動，稱為滲透(osmosis)，最後系統將達到平衡，此時的靜水壓差稱為滲透壓(osmotic pressure)。若於溶質高(鹽水)側利用活塞對水施加大於滲透壓之壓力，鹽水中的溶劑將經過半透膜逆向流動，利用半透膜及靜水壓的溶劑質量傳送方法稱之為逆滲透。逆滲透法因可使水通過半透膜而排斥其他分子或離子，成為一種極有用的分離方法。

逆滲透膜去除機制為篩除作用(sieve)及溶解擴散效應(solution-diffusion)，另有

提出界面現象(interfacial phenomenon)，被視為逆滲透膜主要之去除機制，由於逆滲透膜對於水分子具有強烈之滲出選擇性(permeability)，而對水中溶質具排斥力，因此在膜面形成一界面層，使膜表面充滿水分子，而溶質則被排斥於外層，導致原水受壓後，水分子不斷的通過逆滲透膜至另一側，而溶質則被排斥阻留在膜的進流側，即原進流溶液中，因而達到分離去除與濃縮之效果。由於傳統逆滲透的最大致命傷是高操作壓力(~600 psi)，成為高操作成本的主因。

RO 應用於水回收再利用之脫鹽係一種整合性系統，技術關鍵包含前處理單元設計、薄膜積垢(fouling)問題及藥洗策略與頻率等，而系統產水率與耗能率將是直接影響操作成本的關鍵因素。

水中懸浮物、膠體物質和其他溶解性有機高分子雖經過前處理後，可以去除多數污染物，但殘留極少量污染物會累積在逆滲透膜表面形成濃度極化(concentration polarization, CP)現象，而在薄膜表面累積的有機物或營養鹽將誘發微生物和細菌大量滋長，造成生物積垢(biofouling)，更甚者，聚集微生物和細菌加上無機性結垢物如鈣或鎂之作用下，更加速薄膜結垢(scaling)形成，而造成薄膜阻塞。其他回收水的水質特性如矽，在濃度極化作用下，容易在 RO 薄膜表面形成其結垢物，一旦形成幾乎是不可逆結垢，並無法利用藥洗方式加以去除，進而造成 RO 薄膜永久性阻塞。但很不幸，許多高科技產業如半導體業及 TFT-LCD 等，在進行水回收再利用時均面臨此問題，甚至有些高科技廠商僅能使用純水系統淘汰 RO 膜管，以期降低 RO 膜管耗損率，而限制了 RO 技術應用面。因此，RO 系統應用回收再利用時，雖可以獲得良好回收水水質，但其操作成本高及積垢與結垢造成膜管阻塞的操作問題，仍限制技術應用之廣泛性。

2. 電透析/倒極式電透析

電透析脫鹽原理是利用陽離子只能穿透陽離子交換膜，而陰離子只穿透陰離子交換膜的特性，在外加直流電場的作用下，水中的陰離子移向陽極，陽離子移向陰極，最後得到淡水及濃水，達到淡化除鹽之目的，水中離子的移動則是靠正負直流電來當吸引的驅動力。倒極式電透析(electrodialysis reversal, EDR)是將電透析裝置的直流電正負極和內部管線控制閥定時切換，如此反覆操作，能自動清洗離子交換膜表面上的結垢，來減少薄膜阻塞發生與清洗頻率，可增加電透析系統的操作穩定性及壽命，並減少化學藥品使用量。

隨著薄膜材質不斷的改良，電透析薄膜之性能、化學穩定性皆大幅提昇，因此 EDR 在水處理上應用愈來愈廣泛，目前已商業化運用在脫鹽處理，也用在純水預處理、飲用水處理、廢水回收與電鍍廢水回收處理等。除了用在水的淡化處理上，尚可用於無機酸、有機酸及重金屬的回收。

EDR 在水回收應用上最需要考慮三項因素(Allison, 1995; Van der Hoek et al.,

1998)，分述如下：

- (1) 膠體積垢(fouling by colloidal materials)：增加流速配合定期的倒極操作，使膠質積垢較不易發生，不過一般原水的 SDI₅ 最好控制在 12 以下。
- (2) 有機物積垢(fouling by natural and man-made organics)：由於小分子量的有機物可以透過膜，大分子量的有機物可以在倒極時被洗出，因此最容易造成膜積垢的是中分子量的有機物(MW=250-700)，且因天然水中有機物所帶電荷多為負，故陰離子交換膜較容易產生有機物積垢的問題。
- (3) 生物積垢(biofouling)：一般可連續加次氯酸鈉(自由餘氯=0.5 mg/L)或加 H₂O₂ 即可避免發生此問題。

ED 膜較 RO 膜有較好的物理性及抗化性(含抗 SiO₂)，EDR 對雜質、膠質及細菌的容忍度較 RO 為更高，高水回收率及低能源消耗是 ED 的兩大優點。EDR 的總效益與優點如下：

- 高濃水濃度：EDR 處理的濃水濃度可達 TDS 100,000 mg/L。
- 排放水溫可達 45°C，且溫度提高可增加 EDR 的效率。
- 耐化學性優：pH 1-10，可用 5 % HCl 清洗膜表面結垢或用 H₂O₂ 及氯殺菌。
- 原水淤泥阻塞指數(silt density index, SDI)要求較低：RO 為 SDI₅<2，EDR 為 SDI₅<12。
- EDR 膜面不易積垢及結垢(fouling & scaling)，CaSO₄ 飽和度可達 175 %，若添加抗垢劑於 EDR 濃縮迴流中，CaSO₄ 飽和度更可達 400 %。
- 能源消耗低：低壓(45-90 psi)操作，動力消耗低。
- 水回收率高：EDR 的迴流設計可達 95 % 的水回收率。
- 清洗維修週期長。
- 壽命長，操作管理簡單。

電透析或倒極式電透析進水水質不及 RO 嚴格，且其操作壓力較 RO 低許多，故一般 RO 缺點如操作費用高及薄膜積垢問題在電透析或倒極式電透析應用時較不會發生，但電透析或倒極式電透析處理水，基於操作成本考量其導電度仍有數百(μS/cm)左右，可以直接做為冷卻水塔補充水或做為純水單元之前處理，其水質導電度較 RO 為高，此將限制 ED 或 EDR 水回收再利用之使用對象與應用層面。

二、新挑戰

水回收再利用之脫鹽技術以薄膜為主，其中主要包括 RO、ED、正向滲透及薄膜蒸餾法等。表 6.1 中所示為各種脫鹽技術的比較，薄膜蒸餾法特點除常壓操作、操作

與場地空間需求遠小於傳統設計、安全係數高的好處外，更具有淨水能力高、膜材穩定性佳與不易結垢的優點。越來越多的研究投注於 MD 技術上，再配合廠內廢熱利用將更具能源效益。以下針對各種脫鹽技術特性加以說明。

表 6.1 各種脫鹽技術特性比較

技術別	薄膜蒸餾 (MD)	正向滲透 (FO)	逆滲透 (RO)	電透析 (EDR)
機制	以水蒸氣壓差為驅動力，使水蒸氣通過疏水性薄膜進行脫鹽	以滲透壓為驅動力，水通過薄膜後再分離滲透劑 (draw agent)	施加壓力通過高分子薄膜進行脫鹽	電驅動與陰陽離子膜阻隔去除離子
優缺點	使用具孔洞的薄膜，常壓操作，需提供熱源，發展中技術	常壓操作，但需分離滲透劑，發展中技術	耗電量高 (1.5~1.85 Kwh/m ³), 技術成熟	耗電量中 (1.1~1.35 Kwh/m ³), 技術成熟
應用對象	適合各種鹽度之離子分離	可用於各種鹽度之離子分離	用於高鹽度水質脫鹽	低鹽度水質分離離子

(一) 薄膜蒸餾

薄膜蒸餾技術早期應用在製程產品濃縮程序上，後來在脫鹽及淨水處理方面漸漸受到重視。此技術於 1963 年 Bodell(1963)首次以專利發表問世，其後 Weyl(1967)與 Bodell(1968)積極將薄膜蒸餾技術應用在脫鹽程序上，Findley(1967)發表首篇薄膜蒸餾論文探討薄膜熱傳與質傳現象。到 1980 年代初期，伴隨著高分子薄膜材料研發與製造技術的進步，薄膜蒸餾技術又逐漸受到矚目，相關的發表文獻也逐年增加。於 1985 年，Gore and Associates(USA), Enka AG(Germany)與 Swedish Development Co. 等公司嘗試將薄膜蒸餾技術商業化，但尚未有研發出具工業規模的薄膜蒸餾程序，在學術領域方面，許多學者持續研究薄膜蒸餾技術中的薄膜材料、熱傳與質傳理論機制及處理操作條件，雖然薄膜蒸餾技術已被熟知超過 40 年並且已應用於脫鹽程序，但將其推廣至工業規模應用仍有許多待發展的空間，可以透過調控薄膜的孔徑、孔隙度、厚度與材料微結構的設計，提升薄膜質傳效率與薄膜分離效率，配合模組設計研發，可縮短薄膜蒸餾技術商業化的時程（黃盟舜等，2011）。

薄膜蒸餾是利用具微孔洞疏水性薄膜隔開高溫與低溫溶液，傳輸機制中，先使高溫進水溶液移動到疏水且非濕性的薄膜表面，以溫度梯度造成薄膜兩側流體接觸面的蒸氣壓差為趨動力，使蒸氣分子經由高溫側薄膜孔洞傳輸到低溫側，然後在低溫側凝結成液體，如圖 6.1。

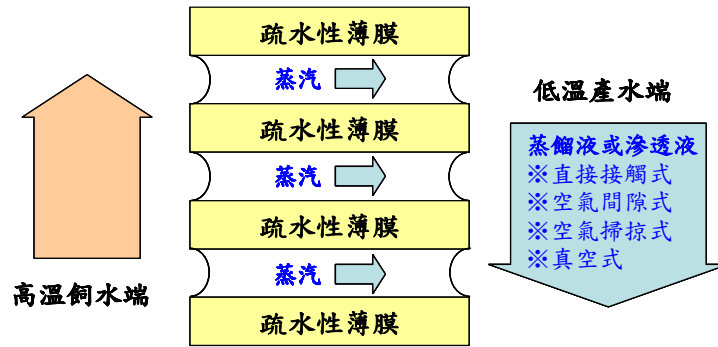


圖 6.1 蒸餾技術原理示意圖

Lawson et al. (1997)將薄膜蒸餾裝置依其低溫產水端的技術差異分為直接接觸式薄膜蒸餾(Sirkar et al., 1992)，如圖 6.2(a)空氣間隙式薄膜蒸餾(Andersson et al., 1985)，如圖 6.2(b)，空氣掃掠式薄膜蒸餾(Schneider et al., 1998)，如圖 6.2(c)及真空式薄膜蒸餾(Banat et al., 1998)，如圖 6.2(d)，分別簡述如下：

1. 直接接觸式薄膜蒸餾(direct contact membrane distillation, DCMD)

利用兩種不同的溶液直接接觸於薄膜兩側同向或逆向流動，藉由薄膜兩側的溫度差產生蒸氣壓差，驅動高溫液體的水分子於進水端蒸發，蒸氣通過薄膜並直接凝結在低溫溶液中，此種裝置簡單且操作方便，適合應用於脫鹽及水溶液濃縮等以水溶液為主的薄膜分離程序。

2. 間隙式薄膜蒸餾(air gap membrane distillation, AGMD)

與直接接觸薄膜蒸餾不同之處在於薄膜與冷凝板間加入空氣間隙，進流水溶液在流動中產生的蒸氣透過薄膜直接凝結於冷凝板上，同時冷卻水在冷凝板的另一側流動帶走凝結熱，凝結後的滲透液可單獨收集，故其應用範圍較多，包括製造純水、濃縮非揮發性溶質等。

3. 空氣掃掠式薄膜蒸餾(sweeping gas membrane distillation, SGMD)

進水溶液在薄膜一側流動，在另一側注入流動的氣體(通常用空氣或水蒸氣等)，將蒸氣帶走，帶離的蒸氣再經由分離器進行分離並通過外部冷凝，適合應用於溶質濃度低的溶液中。

4. 真空式薄膜蒸餾(vacuum membrane distillation, VMD)

與空氣掃掠薄膜蒸餾相似，將流動氣體取代為真空狀態，使水汽分子更易進行傳輸，具有產水量較高的優點，過程中必須持續維持真空，較適用於有機揮發物或溶解氣體移除。

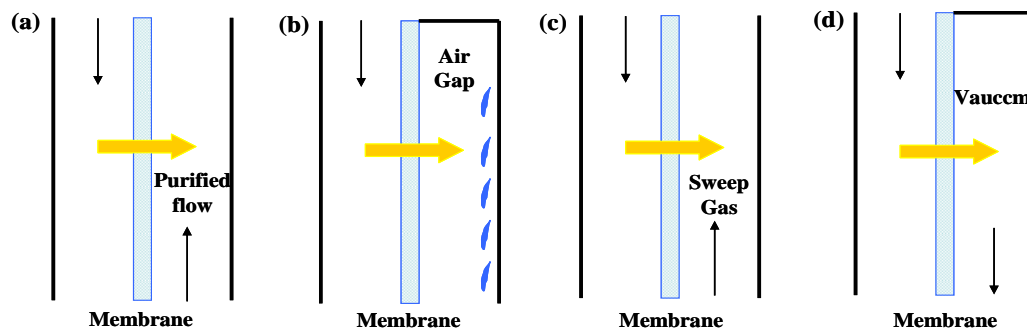


圖 6.2 薄膜蒸餾裝置示意圖

由於直接接觸式薄膜蒸餾的蒸氣冷凝程序是在模組內進行，操作較為容易，因此超過 60%的薄膜蒸餾是使用 DCMD 系統，相較之下，空氣掃掠式與真空式分別需加裝外部冷凝器與真空裝置，故系統設計較為繁複，成本亦較高。薄膜蒸餾裝置中分隔高、低溫溶液的薄膜屬於微孔疏水性高分子結構，其主要特性為液體無法透過而蒸氣可以穿透的半透膜，由於液體水分子本身的表面張力作用，使水分子被隔絕在薄膜單側，薄膜蒸餾即利用溶液分子在液汽介面達平衡的原理產生分離的效果，通常薄膜孔徑須在 $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 間，且薄膜疏水性要高，液體的表面張力要大。薄膜蒸餾常用的薄膜材料包括聚偏二氟乙烯 (polyvinylidene fluoride, PVDF)、聚四氟乙烯 (polytetrafluoroethylene, PTFE)、聚乙烯 (polyethylene, PE) 與聚丙烯 (polypropylene, PP) 等，型式則有管式、毛細管式、中空纖維、捲繞式或平板式等。一般而言，薄膜蒸餾用薄膜，特性上需具有低質傳阻力與低熱導性，以減少防止薄膜兩側間的熱損，也要避免薄膜孔洞潤濕，同時可加強薄膜材料的疏水性，藉以維持高過膜通量。此外，薄膜材料須具熱穩定性佳及抗化學藥劑性高等特質，以應付極高溫與高酸鹼度進料的環境 (Khayet, 2011)。

在水資源應用方面，主要以海水淡化 (Feng et al., 2008) 及半鹹水 (Gryta et al., 2006) 之研究及應用為主，有別於 RO 系統，其特點除具有操作壓力低、外加能源供給低、操作與場地空間需求小與安全係數高的好處外，更有淨水能力高、膜材穩定性與不易結垢的優點。而在其他應用方面物質濃縮方法如果汁 (Ortiz de Zarate et al., 1998) 及貴重金屬等提濃及蒸發方法用於溶劑回收 (Boi et al., 2005)。當水或是廢水中，同時含有有機及無機性物質或污染物時，薄膜蒸餾是可以達到濃縮有機物效果，但由於有機物無法以薄膜蒸餾方式加以去除，使其濃度不斷增加，使薄膜蒸餾的薄膜表面形成濃度極化 (concentration polarization, CP)，而造成薄膜積垢現象發生 (Gryta et al., 2001)。因此，在進入薄膜蒸餾之前，將水中或廢水中有機物去除，可以大幅降低薄膜蒸餾之薄膜積垢現象發生，並能夠獲得穩定操作通量及減少化學清洗頻率。近年來，Mozia et al., (2006) 提出光觸媒結合薄膜蒸餾方式以處理低濃度有機廢水，受限於光觸媒反應速率限制，並無法處理高濃度有機廢水。

因應全球高油價來臨，行政院指示加強推動廢熱回收再利用，避免產業受衝擊，並可望帶動新能源商機，相關部會應共同加強推動廢熱轉化為新動能研發。環保署指出廢熱回收再利用是全球趨勢，並舉丹麥為例，所有焚化爐的廢熱回收後再利用，都可產出熱量再轉賣，可提高能源效率，但台灣的加工出口區、工業園區等產生之廢熱未能充分回收再利用。以鋼鐵業為例，其廢熱來源如表 6.2，可以區分高溫(650°C)、中溫(250-649°C)及低溫(<250°C)。其中中及高溫廢熱(400°C)具有經濟效益，多數已回收再利用，而中及低溫者，目前利用比例並不高。以鋼鐵業為例，約僅有 30 % 廢熱回收率(表 6.3)，工業部門總能耗約 6,474 萬公秉油當量(KLOE)，約占全國 53.8 %。而其中的中低溫廢熱量就有約 900 萬 KLOE，約占工業部門之 14 %。廢熱回收應用是全世界能源管理部門第一優先推薦之節能手法。薄膜蒸餾能夠利用 250°C 以下之廢熱（這些廢熱通常很不易應用而排放到大氣），使廢熱發揮最大效益，並能夠產生高水質（接近蒸餾水）之回收水，可以達到一舉兩得之效益，尤其在這高油價時代。

表 6.2 廢熱來源及排放溫度表

廢熱溫度別	高溫(>650°C)	中溫(>250~651°C)	低溫(<250°C)
廢熱生產來源	熔爐	乾燥爐廢氣	冷卻水
	電弧爐	氣渦輪機廢氣	乾燥箱
	加熱爐	熱處理爐廢氣	製程烘乾
	退火爐	氣電鍋爐廢氣	蒸汽冷凝水
	旋轉窯	往復式引擎廢氣	蒸汽鍋爐廢氣
	焚化爐	催化裂解塔廢氣	熱媒鍋爐廢氣
	精煉鋁爐	蒸汽渦輪機廢氣	射出成型機廢氣
	精煉高爐	VOC 燃燒設備廢氣	蒸汽鍋爐爐水排放
	熱處理爐廢氣	柴油引擎發電機廢氣	VOC 燃燒設備廢氣

資料來源：詹益亮(2010)

表 6.3 鋼鐵業廢熱量及其回收率

廢熱源	廢熱量 ($\times 10^9$ kcal/年)	回收量 ($\times 10^9$ kcal/年)	廢熱量 (KLOE/年)	回收量 (KLOE/年)	回收率 (%)
燒結製程排氣廢熱	2,644	441	293,778	49,000	16.7
鍋爐排氣廢熱	2,523	1,413	280,333	157,000	56.0
爐渣顯熱	1,823	0	202,556	-	0.0
焦炭顯熱	1,747	811	194,111	90,111	46.4
鋼胚顯熱（熱進爐）	1,362	408	151,333	45,333	30.0
加熱爐排氣顯熱	1,188	617	132,000	68,556	51.9
鋼成品顯熱	818	0	90,889	-	0.0
熱風爐排氣廢熱	637	428	70,778	47,556	67.2
轉爐氣廢熱	646	0	71,778	-	0.0
總計	13,388	4,118	1,487,556	457,556	30.8

資料來源：蕭輝煌(2009)

(二) 正向滲透

正向滲透係由緻密性(dense)正向滲透薄膜、滲透劑(osmosis agent 或 draw solution)及滲透劑分離區等三部分組合而成。其操作原理如圖 6.3 中所示，被處理水如海水或高鹽類廢水，放置於正向滲透薄膜之一側，而在正向薄膜另一側放置更高滲透壓之滲透劑，藉由正向滲透薄膜兩側滲透壓不同，使低滲透壓端之被處理水經由可透水薄膜滲透流向高滲透壓區，主要趨動力為滲透壓，而非一般薄膜使用水壓(hydraulic pressure)，故可以大幅節省操作費用及避免積垢現象發生。而高滲透壓之滲透劑會隨操作時間增加而減少其滲透壓，故必須進行滲透劑與水分離，經分離後滲透劑經由回收再利用方式回到系統之中，處理水則排出系統，做為飲用水源或其他用途（張敏超等，2010）。

耶魯大學的 Menachem Elimelech 教授及其研究團隊(Cath et al., 2005& 2006, McCutcheon et al., 2006, McCinnis et al., 2007)，使用正向滲透作用(forward osmosis)原理，將鹽水中水分子通過一種半滲透膜的自然擴散，吸引(drawn)至較高濃鹽滲透劑中，濃鹽滲透劑含有加熱可分解為氣態化合物的電解質如碳酸銨 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ，於經過適當時間後，可將濃鹽滲透劑中的鹽類化合物在某一溫度下加熱分解揮發而出，而得到淡水，而且這可分解為氣態化合物的電解質是可以回收再利用。因此，正向滲透脫鹽技術是一種以少量的能量輸入而有效地脫鹽或從水中移除污染物的技術。耶魯大學目前正透過一家新成立的公司 Oasys，將此技術商業化。此方法所需的電力僅有傳統脫鹽技術的 1/10。由於正向滲透技術被視為大幅降低海水淡化操作成本之技術之一，除美國耶魯大學外，其他國家研究單位重視及投入，其中新加坡大學(Tang et al., 2008)研究團隊相當積極投入廢水處理與海水淡化方面研發，而美國 NASA 及 Nevada University 專注於太空維生系統之建立及用於個人飲水器開發，以因應國防及戶外活動之需求。表 6.4 中所示為正向滲透技術在廢水處理及海水淡化方面研究重點歸納。

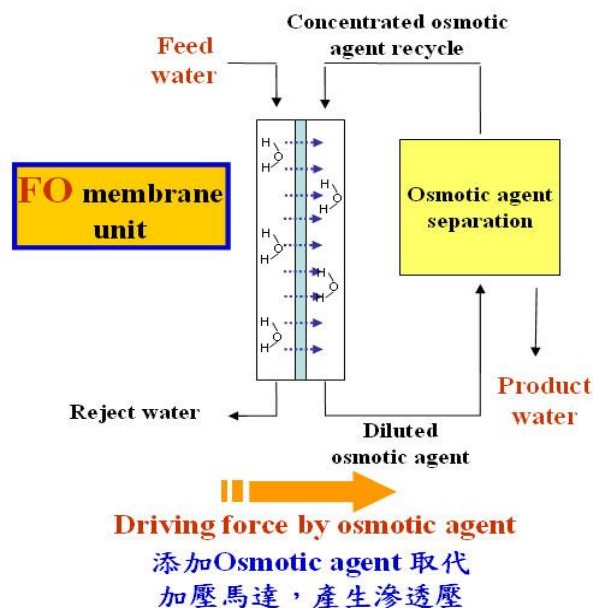


圖 6.3 正向滲透法原理示意圖

表 6.4 正向滲透技術廢水處理與海水淡化之比較

研究團隊	正向滲透薄膜	滲透劑	滲透劑分離區	技術特徵
新加坡大學	不同材質半滲透膜	NaCl	RO	著重於各種不同性質正向滲透薄膜篩選。
耶魯大學	半滲透膜	CO ₂ +NH ₃	加熱+ 氣提	模仿海洋魚類（如鯊魚）從海水中”喝水”方式，選擇碳酸銨(NH ₄) ₂ CO ₃ 為滲透劑，並利用加熱方式進行滲透劑分離及回收再利用，使技術具有革命性發展，但仍有氮氣殘留水中問題，可用農業灌溉，較不適合直接飲用水源。

表 6.5 中所示為正向滲透技術中使用滲透膜材質、滲透劑種類及滲透劑分離方式等關鍵技術歸納。基本上，正向滲透使用薄膜為透水膜或半透水膜均可以使用，故與一般逆滲透使用材質類似，但由於正向滲透使用滲透壓取代水壓，故其強度要求較逆滲透薄膜為低。另外，近年來逆滲透薄膜材質發展相當成熟，這些薄膜可以直接應用於正向滲透技術，故正向滲透技術開發過程中，滲透膜材質選用之問題不大。

表 6.5 正向滲透關鍵技術歸納

滲透劑	滲透劑分離方式	薄膜形式與材料
NaCl	Liquid/liquid separation	Type :
NH ₄ HCO ₃	RO separation	Flat membrane
SO ₂		Hollow fiber membrane
H ₂ SO ₄	Liquid/gas separation	Membrane bag
Na ₃ PO ₄	Heating (60°C) -NH ₃ , CO ₂	
KNO ₃	Air stripping	Material :
Aluminum sulfate		Cellulose acetate
Aliphatic alcohol	Liquid/solid separation	Polyamide
Precipitable salt	Magnetted nano-particles	Polysulfone
Glycerol		Ceramic
Gum arabic Glucose		Polyacrylonitrile
Fructose		Poly(butylene succinate)
Glycine		Polypropylene
Sugar		PTFE
Cane sugar		Cellulosic in nature
Lactose		

滲透劑選用是正向滲透之技術核心，適當滲透劑不但可以增加薄膜通量(flux)，而且可以降低滲透劑分離成本，對於正向滲透技術未來發展及應用具有舉足輕重之角色。早期使用滲透劑以 NaCl 或糖為主，近來許多物質如表 6.5 中所示亦為研究對象。滲透劑性質與水本身或環境因素如溫度或 pH 值等，將直接影響滲透劑之分離方式，目前液/液、氣/液及固/液等方式均有其應用面，但同時，此三種方式仍存在缺點，此部分正是限制正向滲透技術發展及應用之關鍵點。

三、因應策略

(一) 濾膜開發

1. 抗污奈米濾膜開發

利用抗污分子修飾奈米濾膜表面，以達到抗污成效。抗污分子選用雙性離子高分子(zwitterionic molecule)，雙性離子高分子為具有正電與負電基團，因此具有高極性，而水分子屬於極性分子，會在雙性離子高分子周圍聚集形成水化層，而水化層的形成就可使濾膜表面具有抗水中污染的效果。

將 HNF 高產水通量系列之 1812 膜管進行抗汙修飾並進行效能評估；操作參數為進水壓力 4~7 kgf/cm²、進水量為 3 LPM，並以標準水樣 2000 ppm MgSO₄ 及 500 ppm NaCl 進行測試。測試結果顯示，隨著壓力的上升，改質前後之膜管，其通量

皆隨之上升，而二價離子及一價離子之阻鹽率增幅不大。進一步比較在固定 7 kg/cm^2 操作壓力下，經抗污修飾後的膜管，其阻鹽率較未改質膜管有略微上升的趨勢；造成此現象的原因為薄膜表面導入抗污修飾分子之同時，也增加了膜材通透上的阻力。膜管抗污效能測試，操作壓力固定為 7 kg/cm^2 ，進水量控制為 3 LPM，觀察改質前後膜管清洗通量回復率及其運行時間。測試結果顯示當通量衰減至約 80% 時，未改質膜管運行時間約為 20 小時，而經抗污修飾之膜管，其運行時間可延長至 45 小時後通量才明顯降低。整體運作時間來看，改質後之膜管運行時間增加了 125%。之後以純水沖提膜管 24 小時後，改質後通量恢復率為 92.8%。

2. EDR 膜材開發

EDR 膜材分為陰離子及陽離子交換膜，各使用不同技術進行開發合成。

陰離子交換膜的部分，使用 RAFT 聚合技術調控各單體基團及離子基團最大化之比例，同時導入實驗室特殊設計之含氮介穩態聚合物，於漿料內作為高分子型交聯劑搭配使用。為了達到膜材的厚度、均勻度、機械強度、導電度、IEC、尺寸安定性、耐化性及耐久度等，將膜材經由 EDR 批次試驗進行脫鹽性能驗證，同時導入支撐材，以增加膜材的機械強度及加強尺寸安定性，後端可應用之膜材機械強度可來到 30 MPa，尺寸安定性小於 10%，此兩項 EDR 關鍵數據皆優於日商的競爭品，且具有較佳的柔軟性，乾濕重覆使用及價格優勢，唯獨過濾一價(90%)略低於日商(93%)，只比大陸競品相當。目前片狀式膜材面積可達 $20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ ，將持續導入連續式塗佈，期望能放大量生產，並產出效能及良率佳的陰離子交換膜。

陽離子交換膜的部分，以架橋改質膜材技術為開發，離子交換樹脂以耐化、耐熱結構作為主鏈段，導入具陽離子基團、親/疏水官能基，搭配架橋系統達到網狀結構，以提高膜材耐化性及尺寸安定性，再以支撐材(non-woven、玻纖布)為骨架，優化膜材之物性性能。合成含離子基團且具有親水結構之陽離子交換樹脂，親水性幫助膜材親水以利於降低膜面電阻；再利用反應交聯特色提升膜材結構強度，因離子官能基導入、親疏水調控、反應交聯設計以及支撐材的篩選，開發設計高效率之陽離子交換膜材，藉由以上的參數及實驗調整，使陽離子交換膜材持續優化，進而設定與製作規格化的陽離子交換膜。

從含水量與離子交換容量數據中比對觀察，陰離子交換膜因其為聚合含陽離子基團之共聚高分子，其離子交換容量受分子量的調控、反應條件及溶劑揮發度影響；而所製備之含高離子鏈段之高分子膜材，由於高分子間所形成的互穿網絡，使其含水量達到 47.2%，離子交換容量 1.93 mmol/g 。陽離子交換膜開發程序由膜材壽命發想，基本上顯現離子交換容量與含水特性相反的趨勢。其製備程序基本為離子化環氧樹脂搭配加長分子支鏈，或是增加親水官能基，增進其親水架橋功能，所製作的膜材含水量達 30%，離子交換容量 1.60 mmol/g 。

3.正滲透 FO 膜材開發

為降低薄膜內部濃度極化問題，開發膜材選用親水材料作為支撐材材料。商售膜材支撐層常用為聚砜高分子材料，接觸角約為 85° ，而聚丙烯腈 polyacrylonitrile 作為支撐材的基礎材料，其接觸角約為 64° ，相對於聚砜 polysulfone 高分子材料較為親水，所製作的支撐材純水比通量為 436 LMH/bar，是聚砜所製成支撐材的 2.2 倍。

薄膜性能測試條件為膜面積 $8\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ ，提取液為 1.0 M NaCl 水溶液，純水做為進流水，膜兩側掃流速度為 25 cm/s。所製成 FO 膜材在實驗室經過 120 分鐘測試，水通量維持穩定，平均水通量為 5.3 LMH，離子反滲透量為 9.0 gMH，對比傳統以聚砜 polysulfone 高分子材料製作的逆滲透膜（商售 Dow filmtech, TW-1812-50），以相同參數進行測試，所製作膜材通量為其 3 倍。

(二) 國產百噸級 NF 模廠測試結果

在北部水資源再生中心產水 100 噸/天 NF 國產模組，操作於固定進流流量以及總水回收率 75%之條件下進行。針對 NF 水回收模場廠址水質進行分析， $\text{COD} \leq 40\text{ mg/L}$ ， $\text{SS} \leq 2\text{ mg/L}$ ，導電度 $< 500\ \mu\text{S/cm}$ ，評估需採用砂濾及 MF 等前處理單元，以提供 NF 系統合適的進流水水質，使水回收系統能長時間操作，符合處理回收效益。在連續 700 天的操作下，除了濃水導電度差異較大以外，各程序之產水導電度差異極小，表示 NF 水回收系統之運作相當穩定。其中，第 1 段 NF 程序 3 組 NF 模組之產水導電度主要介於 $250\text{-}280\ \mu\text{S/cm}$ 之間；第 2 段 NF 程序之產水導電度介於 $320\text{-}350\ \mu\text{S/cm}$ 之間，而前述 2 段 NF 程序之產水匯流後，水回收系統整體之產水導電度則可 $< 300\ \mu\text{S/cm}$ 。

在高雄地區污水處理廠建置產水 100 噸/天 NF 驗證廠一座，預期在試運轉期間可以透過 NF 模型廠將民生廢污水回收再利用，導電度水質項目達自來水標準，導電度小於 $300\ \mu\text{S/cm}$ 。NF 模廠是由 2 個前處理單元及 2 階段 NF 程序所組成。前處理單元則以砂濾與微過濾(MF, Microfiltration)為主要設施，其目的在於降低後續 NF 系統之負荷，減少薄膜阻塞的機會，以及提高進流水水質的穩定度；而在 NF 程序部份，則使用兩階段式回收，第一階由 3 路並聯之 NF 模組所組成，而每一路有 2 組模組串連，本系統設置每一 NF 模組由 3 支 NF 膜管串聯組成；第一階所產之濃水將匯集進入第二階的 NF 回收程序，第二階的部分則為 2 模組串連而成；第二階的處理程序目的在於提升整個 NF 系統之水回收率。

本試驗每日處理 210 CMD 以上的水量，並且達到約 50%的回收水量，操作壓力維持 7 kg/cm^2 ，相較一般 RO 系統的處理量大，操作壓力遠低於一般 RO 系統。楠梓污水處理廠導電度約為 $800\ \mu\text{S/cm}$ ，所使用的膜管為國內自製且經由特殊設計的 NF 膜管，對於一價離子有相當去除率，由實驗數據顯示，會造成水中硬度之 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}

及二價離子 SO_4^{2-} 平均皆有 98% 去除效率，一價離子約有 50% 去除率，使產水水質平均導電度低於 $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，相較於 RO 膜系統，NF 膜在需求面上可因應較高通量與低操作成本而使用。

四、結語

水再生廠投資額龐大，操作費用無法降低，因此產業界對於製程廢水回收再利用躊躇不前；由於國內使用水再生系統之薄膜材料與模組仍以國外大廠品牌為主，而美、日等外商壟斷市場，不單獨供應膜材，使建置與操作維修成本居高不下，因此亟需精進薄膜分離技術、培植本土薄膜製造及水再生產業，使水再生建置與操作維修成本大幅降低；另由於水再生程序缺少或使用不適當的前處理流程，造成薄膜設備負荷加重甚至使用壽命縮短，增加操作成本，並將影響再生水質及其去化。

1. 水再生系統之薄膜材料與模組仍以使用國外大廠品牌為主，而薄膜市場為國際大廠所壟斷，使本土薄膜產業長久以來受到排擠與壓迫。本土水再生系統與薄膜製造業者，亟需政府補助藉由場域測試與驗證，整合水再生上、下游技術與產業鏈連結，期能建立本土水再生關鍵技術產業。
2. 處理廠商屬小型企業，資本額及營收皆不大，而本技術開發受到法規影響，具有時限性，藉由政府補助，必能提高開發效率及品質，且能節省技術研發時程，符合產業需求。
3. 以自主性薄膜為主軸，建立創新膜材、模組與系統技術，降低再生水及海淡水的處理成本，除能提升國內水產業技術能量，有效整合上中下游水資源產業鏈，以提昇產業技術能量及附加價值，即時爭取國內日益成長之水資源市場
4. 大規模的技術驗證，亟需政府引導投入與支持，引領再生水產業的發展新契機，從膜材端、模組端到系統端整合，以提升國內水產業的能量。

第七章 台灣推動再生水利用之政策建議與策略

隨著全球氣候變遷及極端氣候影響，國內缺水風險逐漸增高，例如民國 104 年國內發生 67 年以來大旱，緊接著民國 106 年又面臨春雨的短缺，氣候異常不斷地挑戰國內水資源供應及調度的能力，為確保國內社會及產業發展所需用水，以及回應國內相關產業公會所提疑慮，行政院於民國 106 年 11 月份召開五缺議題-缺水因應記者會時，即說明國內水資源供應將透過(1)開源：增加供水能力；(2)節流：提高用水效率；(3)調度：增加區域支援能力；(4)備援：降低缺水風險等四個策略面因應，詳圖 7.1 所示。

其中開源部分強調多元水源供應能力，一方面持續興建水庫、改善既有水庫庫容、開發地下水及興建大型攔河蓄水設施等傳統水源；另一方面也積極開發伏流水及再生水，其中再生水部分，包含台中水湳、福田及豐原，台南永康、安平及仁德，高雄臨海及鳳山溪，也就是說再生水已納入國內水資源供應一環，且定位為常態供水性質，而非備援水源。由於再生水水源來自於國內公共污水處理廠，水質及水量相對其他水源不易受天候影響，具有穩定供水特性，再加上國內公共污水處理廠污水處理量目前即高達 300 萬噸，如能積極開發利用，將成為國內水資源生力軍，對於緩解國內水資源開發及供應幫助極大，可謂「都市小水庫」。

我國推動再生水已 20 餘年，目前使用量已逾每日 50 萬噸，相當於 200 萬人的用水量，但對水利署訂下民國 120 年再生水供應量達 132 萬噸/日之目標，仍有一段距離，在此整理我國已規劃之再生水使用量提升措施，與營造再生水產業環境之改善對策，最後整理前述章節所提出之建議，期能協助我國盡早達成目標。

一、國內再生水使用量提升措施

為有效提升國內再生水使用量，水利署分別就訂定法令規範，確保安心使用；降低再生水價，減輕用水者負擔；降低整體用水成本，增加使用誘因；以及宣導保險用水觀念，穩定產業發展等四項措施著手，期能從法規、政策、經濟以及宣傳等面向誘導廠商，以提升我國之再生水使用量。

產業缺水現況與對策				
產業用水現況	<ul style="list-style-type: none"> 氣候變遷影響供水穩定：氣候變遷改變降雨型態，缺水風險相對增加，因應未來可能缺水風險及產業用水需求增加，須提出有效策略及具體行動方案。 全國各區域用水供需情勢不同：北部區域整體水量雖可滿足使用需求，但須加強區域間調度；中南部區域產業需求成長快速，供水壓力較大，至於東部區域供水穩定充足，離島地區於增設海淡廠後供水亦相對穩定。 新產業投資案須確保供水安全穩定：過去桃園、新竹及高雄等地區因長期水源不足，包括中國醫藥大學新竹園區及新竹交流道特定區等投資案因無法取得供水同意文件而受影響，影響區域整體發展。 			
面臨課題	產業用水持續成長	輸水用水效率偏低	區域水源分布不均	備援供水質量不足
改善對策	開源 確保產業用水供應穩定安全	節流 加速減漏及農業節水，減輕水源開發負擔	調度 建置區域支援調度幹管及產業園區供水管網	備援 加強供水韌性及有效備援，降低枯水期缺水風險
具體行動方案 <small>(單位：萬噸/日)</small>	短期計畫(108年前完成) <ul style="list-style-type: none"> 北部：中庄調整池(2.4) 中部：湖山水庫(43.2)；借道福馬圳供水(彰濱工業區5) 南部：曾文水庫蓄水水位提升(增加庫容5,500萬噸)、臺南高雄水源聯合運用(10)、高屏水井新鑿(4)及鳳山溪再生水(臨海工業區4.5)。 中長期計畫(109~120年) <ul style="list-style-type: none"> 北部：雙溪水庫(12.6)、天花湖水庫(9) 中部：烏儒潭人工湖(25)、大安大甲溪水源聯合運用(25)、豐原、水滸再生水(台中科園區2)及福田再生水(台中港工業專區6.1及彰濱工業區3.9)、天花湖水庫(17) 南部： <ol style="list-style-type: none"> 白河水庫更新改善(2.8)、永康、安平再生水(南科7.5)及臨海再生水(3) 待檢討推動方案：鹿寮溪水庫更新改善(5)、南化第二水庫(17)及高屏大型蓄水空間(10)等其他可行方案。 	短期計畫(108年前完成) <ul style="list-style-type: none"> 持續辦理降低漏水率計畫(102-111年)於109年降至14.25%，相當於節水北部(16)、中部(2)、南部(1) 加強灌溉管理(掌水工)及用水查核 提升農業用水效率(相當於節水5)： <ol style="list-style-type: none"> 多標的水庫灌溉節水推動一期作轉作北部：石門水庫(2)、中部：明德水庫(1)及南部：曾文水庫(2)等。 辦理圳路更新改善及管路灌溉。 鼓勵工業用水循環利用 中長期計畫(109~120年) <ul style="list-style-type: none"> 加強辦理降低漏水率二期計畫(112-120年) <ol style="list-style-type: none"> 全國漏水率以民國120年降至10%為目標，相當於節水北部(17)中部(20)南部(15)。 用水成長較高南部區域，集中資源加速辦理，於111年降至10%。 提升農業用水效率(豐水期節水6.2億噸，枯水期節水1.8億噸) <ol style="list-style-type: none"> 對地綠色環境給付。 農業生產結構調整及發展節水栽培技術。 持續圳路更新改善及管路灌溉。 工業優先使用再生水及提升回收率 	短期計畫(108年前完成) <ul style="list-style-type: none"> 增加調度彈性 <ul style="list-style-type: none"> 北部：板新供水改善二期計畫(調度輸水101) 盤點重要大型工業區規劃增加複線 強化輸水幹管計畫：管徑大於800mm、送水量每日20萬噸以上及使用超過20年者共15條，長度約132公里，於107年2月研訂安全評估計畫。 中長期計畫(109~120年) <ul style="list-style-type: none"> 增加調度彈性 <ul style="list-style-type: none"> 北部：桃園支援新竹幹管(調度輸水20) 南部：曾文南化聯通管(調度輸水80) 檢討農業用水調度機制 	短期計畫(108年前完成) <ul style="list-style-type: none"> 南部： <ol style="list-style-type: none"> 大樹伏流水(備援水源10) 新烏山嶺隧道(備援輸水400) 高屏溪伏流水(備援水源15) 中長期計畫(109~120年) <ul style="list-style-type: none"> 北部： <ol style="list-style-type: none"> 翡翠輸水專管(備援輸水270) 防災備援水井(備援水源7) 中部： <ol style="list-style-type: none"> 湖山水庫第二原水管(備援輸水86) 防災備援水井(備援水源15) 後龍溪、濁水溪伏流水工程(備援水源7) 南部： <ol style="list-style-type: none"> 防災備援水井(備援水源3) 大泉伏流水工程(備援水源15) 改善東港溪水質(備援水源10) 東部： <ol style="list-style-type: none"> 利嘉溪伏流水工程(備援水源3) 離島： <ol style="list-style-type: none"> 離島二期(水庫浚淤及地下水涵養)
	預期效益	<ul style="list-style-type: none"> 北台灣：北水南送，翡翠水庫支援新北市、石門水庫支援桃園、新竹縣市。桃園新竹地區至目標120年將不足5萬噸/日，經由109年完成桃園支援新竹幹管工程(20萬噸/日)，可滿足如：中國醫藥大學新竹園區、新竹交流道特定區及其他產業投資案用水(約5萬噸/日)，至120年桃竹地區供水有13萬噸/日備用水量(供給207萬噸/日、需求194萬噸/日)，可滿足桃竹地區產業用水。 中臺灣：啟動臺中彰化生活污水及農業尾水再利用。苗栗台中彰化地區至目標120年將不足46萬噸/日，經由108年完成借道福馬圳供水工程(5萬噸/日)，可解決彰濱工業區中期用水需求，至120年苗栗台中彰化供水有32萬噸/日備用水量(供給254萬噸/日、需求222萬噸/日)，可滿足苗栗台中彰化地區產業用水。 南台灣：啟動高雄開發30萬噸伏流水工程，強化高雄、台南水源互調之能力。南部區域至目標120年將不足65萬噸/日，108年臺南高雄水源聯合運用工程(增供10萬噸/日)完成，配合已完成之曾文水庫蓄升增加5,500萬噸庫容，可因應南科中期用水需求，至120年南部有8萬噸/日備用水量(供給341萬噸/日、需求333萬噸/日)，可滿足南部區域產業用水。 		

資料來源：經濟部水利署

圖 7.1 產業缺水現況與對策

(一) 訂定法令規範，確保安心使用

「再生水資源發展條例」於民國 104 年 12 月 30 日總統令公布施行，經濟部亦於 105 年 11 月前將條例 9 項授權子法全數發布，也促使國內再生水發展往前邁向一步，建構國內再生水友善發展環境，確立再生水之開發、供給、使用及管理等相关事宜。其中「再生水經營業籌設許可及再生水開發案興辦許可辦法」明確規範再生水經營業籌設、興建、營運等各階段應辦理之事項，此外，「再生水水質標準及使用遵行辦法」、「再生水開發案取水構造物與水處設施及供水設施專業技師簽證規則」、「再生水經營業收取再生水費計算公式準則」及「再生水設施檢查及水量申報辦法」等子法，除給予再生水經營業合理利潤外，亦規範再生水經營業於營運供水期間水量及水質之穩定性，保障用水端之權益，讓用水端使用再生水安心無虞。

此外，「水源供應短缺之虞地區使用再生水辦法」，針對用水量每日 3,000 噸以上且位於有水源供應短缺之虞之地區開發行為者，於用水計畫審查過程，要求其工業用水應使用 50% 以上之系統再生水，以確保系統再生水有去化對象。

(二) 降低再生水價，減輕用水者負擔

國內再生水推動現階段最大阻力，在於國內自來水水價偏低，整體而言，再生水供水標的以工業用水大戶為主，而目前台灣自來水股份有限公司的平均水價每噸水約新台幣 11.5 元，相較於再生水水價每噸水約新台幣 25~35 元以上的產水成本，實有不小的差距而影響廠商使用意願，雖然目前許多產業用水成本占總生產成本不到千分之一，但是多數廠商仍不願意負擔更高價格的再生水。

因此，自來水價尚未合理調整前，影響產業界使用再生水意願，為使再生水具有市場競爭力，「再生水資源發展條例」第 5 條及「公共下水道系統污水或放流水無償供應之一定期間及計費準則」已明定，地方政府於 10 年內無償供應系統污水或放流水予再生經營業及自行取用者，且中央目的事業主管機關經濟部可視國內再生水發展狀況得公告延長無償期間，而現階段無償供應期間自民國 105 年 8 月 16 日起至民國 115 年 8 月 15 日止，可使再生水經營業降低產水成本，以及減少後端用水者水費負擔。

另政府現階段為帶動國內再生水發展，現由經濟部水利署、內政部營建署與相關地方政府等單位共同推動福田、豐原、水湳、安平、永康、鳳山溪及臨海等 7 座再生水示範案，其中再生水廠及輸水管線的建設經費全數由中央政府補助，實未攤提於再生水價，可明顯降低再生水價格，縮短與自來水價差距，提高產業使用意願。如以產業用水水質為純水等級為例，目前政府推動 7 座示範案之再生水水價，甚至可低於產業用水戶自行將自來水自行處理至 RO 純水之成本。

(三) 降低整體用水成本，增加使用誘因

民國 105 年 5 月 25 日通過水利法修正案，其中第 84 條之 1 增修條文「為水資源有效及永續利用，中央主管機關得向用水超過一定水量之用水人徵收耗水費。但已落實執行節約用水措施者，得於百分之六十範圍內，酌予減徵。」。經初步瞭解現階段耗水費開徵規劃，再生水使用量原則不計入耗水費開徵項目，此外再生水使用量達一定規模，其他水源用量之耗水費，得予減徵百分之五至十的幅度，也就是說使用再生水部分除無須繳納耗水費外，對於使用其他水源部分也有減徵效果，透過耗水費開徵機制，可降低整體用水成本，增進廠商使用再生水及辦理廢水回收之意願，其相關措施詳圖 7.2 所示。

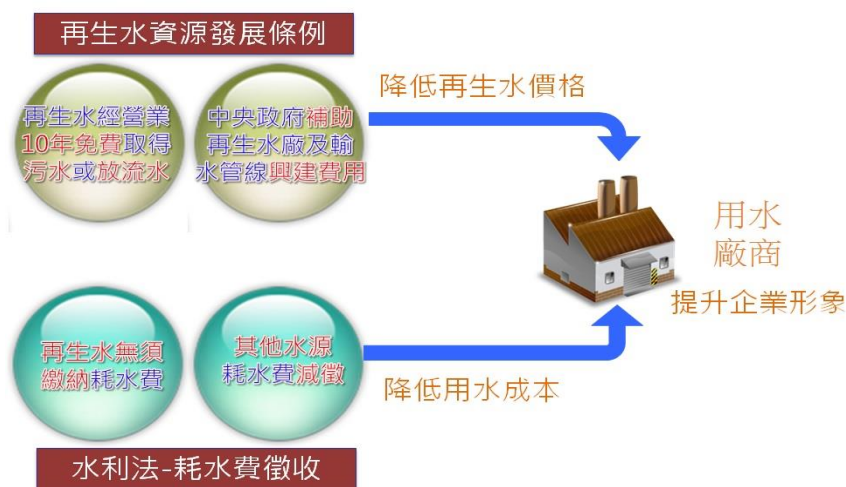


圖 7.2 降低再生水使用者用水成本措施

(四) 宣導保險用水觀念，穩定產業發展

再生水水源來自於公共生活污水，相較於水庫、川流水及地下水等傳統水資源，較不易受天候因素影響，為一股穩定水源，使用再生水如同保險用水。以高雄日月光公司為例，該公司於參與經濟部水利署楠梓加工出口區之再生水模廠試驗後，深深感受再生水所帶來之益處，而投資 7 億元自建中水回收中心，雖造水成本每噸 25 元，高於自來水價每噸 11.5 元，惟於民國 104 年全台大旱期間，該公司即免於缺水之苦，且所產製之再生水與自來水混合後，亦降低後續產製純水及排放放流水成本。整體而言，該公司認為再生水極具投資效益（詳圖 7.3 所示），並規劃興建中水回收中心第 2 期。如從風險管理考量，根據經濟部水利署「水再生利用經濟效益評估模式研究」評估成果，當工業用水之缺水率達 20%，將可能使 50% 之製程停止導致產能損失，而占國內產業大宗之高科技、石化及金屬製造產業，大多具有用水量大而集中、缺水容忍度低的特性，若能將各種放流水回收再生供園區使用，無論從經濟效益、民眾接受度、風險管理等面向考量，均為較佳選項。因此，政府單位宜加強與業界溝通，宣導保險用水概念，以提高廠商之使用意願。



資料來源：日月光公司簡報

圖 7.3 日月光公司自行設置中水回收中心整體成效

二、營造再生水產業發展環境之改善對策

本章最後就自來水價合理調整以協助再生水產業發展、協助產業市場開發以創造水處理實績、研發自有技術以提升國際競爭力等執行策略，以達到營造再生水產業發展之目的。

(一) 自來水價合理調整以協助再生水產業發展

一般科學工業園區或工業區用水大戶而言，其用水成本包括水費、原水處理費、廢水處理費以及水污染防治費等四項，其中水費又依其是否有水權而從每噸 2 元到 11.5 元不等，而原水處理費亦有直接使用、過濾、離子交換、活性炭吸附、逆滲透等製程而異，其原水處理費約為每噸 0 元到 15 元不等，廢水處理費亦視其廢水水質狀況而不同，一般水質多採用生物處理法、混凝沉澱、過濾、活性炭吸附等單元，其成本約在每噸 10-25 元不等，水污染防治費所占比例較低，約在每噸 1-2 元之間，因此整體用水成本約為每噸水 10-50 元。如以台灣平均每噸水創造工業產值 2,000 元來看，用水成本僅占其產值的 0.5%-2.5% 不等。

由以上數據看來，用水成本相較於再生水 25 元新台幣以上的產水成本而言，對於半導體等對用水水質要求較高的某些產業其實是具有競爭性的，而用水量大的鋼鐵、石化業等用水水質不若半導體業要求高的產業，如能藉由合理化水價的調整，使其用水成本介於 25 元上下，基於缺水風險的考量，這些產業就會轉向使用大量的再生水，而國內的再生水市場便能順勢而起，且參考國外相關案例，在新加坡自來水價格為每

噸 45.5 元，再生水價格則為每噸 29.28 元；日本自來水價格為每噸 140 元，再生水價格則為每噸 110 元；澳洲自來水價格每噸 50.4 元，再生水價格為每噸 25.2 元，該等國家之自來水價格大都遠高於再生水價格，而有助於該國再生水之推動，國內外再生水水價詳表 7.1 所示。

表 7.1 國內外再生水水價統整表

再生水廠	國家	規模 (CMD)	處理方式	用途	水價 (元/噸)	設置方式	自來水價 (元/噸)
中鋼工業廢水回收廠	台灣	13,500	UF/RO	冷卻水	20.6	廠商自辦	11.5
日月光中水回收廠	台灣	10,000	UF/RO	製程、冷卻水	26	廠商自辦	11.5
高雄水再生廠(已發包)	台灣	45,000	UF/RO	製程	18.81	有償 BTO	11.5
Bedok	新加坡	587,000	RO	晶圓工業、冷卻系統及其他工業製程	29.28	DBOD	45.5
Kranji							
Seletar							
Uln Pandan							
Jurong Island		3,000	RO	石化工業			
清河再生水廠	中國	80,000	MBR	景觀澆灌、道路沖洗及廁所	52	政府自辦	25
門頭溝第二再生水廠	中國	80,000	MBR	澆灌、沖廁、灑掃及景觀用水	-	政府自辦	25
有明水再生中心	日本	30,000	生物膜過濾	廠內使用、區外沖廁、地鐵清洗、洗車	110	部分有償 BTO	1403
南加州橘郡	美國	236,600	MF/RO	補注地下水	20.8	政府自辦	23.7
美國佛羅里達州 Davie 郡再生水廠	美國	14,800	RO+MBR	補注地下水、生活用水	-	-	-
Dan Region	以色列	347,000	土壤水層處理	高級農業灌溉	8.45	發包	43
韓國湖項再生水廠	韓國	100,000	UF/RO	工業使用	15.5	BTO	12.4
Palm Jumeirah 污水處理廠	阿拉伯聯合大公國	18,000	MBR	沖廁、澆灌及灑掃	-	-	88
Wollongong 污水廠回收水再利用	澳洲	20,000	MF-RO	鋼鐵業用水	25.2	-	50.4

資料來源：經濟部水利署，國際水再生利用推動經驗評析

(二) 協助產業市場開發以創造水處理實績

1. 市場開發

台灣本土市場相對較小，如以民國 120 年達到每日 132 萬噸的再生水使用量推估，假設所有再生水均以雙膜過濾(UF+RO)方式處理，由於 RO 膜製造相關專利已歸屬國外大廠，目前我國僅可製造 UF 膜，而每日 132 萬噸則代表的是需要 264 萬平方米的薄膜，如以目前市面上保固期五年的汰換率，推估每年所需薄膜約為每年 52 萬平方米，目前市面一平方米之薄膜約為新台幣 2,000 元，亦即每年薄膜的本土市場約為新台幣 10.4 億，即使將所有土木機電系統等均由我國本土製造，每噸水建設費 2 萬新台幣，如以 15 年攤提建造費用，建設費市場約為每年 17.6 億，因此在未含操作營運的前提下，包括建設費攤提及薄膜耗材更換等製造業每年市場規模約為 28 億新台幣，可看出再生水屬於單價偏低的產品，因此即使有廠商具備相關的製造能力也多無意願將產能投注於再生水上。

在國內市場部分，如前所敘，在再生水資源條例尚未通過之前我國工業用水大戶使用自廠再生水即能達到 38.5 萬 CMD (104 年統計資料)，因此，如何加強用水大戶使用自廠再生水之稽核與輔導為國內市場開發的一個關鍵。有了國內市場為基礎，國內再生水相關廠商即可形成產業鏈，較容易開拓國外市場。

而在國外市場方面，如將再生水市場依地緣關係分成歐洲、北美、南美、日、韓、大陸、東協、西亞與非洲等區域，可大致上分成三部分，地一部分為技術領先我國的歐洲、北美、日本等國；第二部分為技術與我國相當的韓國、大陸；第三部分為技術落後我國之南美、東協、西亞與非洲，因此，我國可行之市場為第二部分與第三部分，惟韓國與大陸又因各種保護政策甚難進入，又南美、非洲等我國接觸甚少，因此較為可行的推動市場為西亞與東協國家。西亞諸國(尤其是阿拉伯半島)多為世界上極端缺水國，因此水資源的開發異常重要，目前該等國家在波斯灣與地中海沿岸已經建造了超過 1,500 座海水淡化廠，約占全世界淡化水的 2/3，透過加熱、汽化、過濾等耗能程序取得淡水，但也同時排放高鹽濃度的濃排水，使得某些地區的鹽含量已經比正常值高出了 8 倍。因此，使用再生水成為農業灌溉用水為上述國家未來的重要發展方向。我國中鼎工程在阿拉伯半島耕耘已久，中鼎公司與欣達公司亦為鳳山溪再生水廠的特許公司，因此，未來中鼎公司可以鳳山溪再生水廠經驗為基礎，以老鷹帶小雞的方式提攜我國再生水相關產業的中小企業至上述國家開發再生水市場。

另在東協國家方面，與阿拉伯半島不同，東協國家降雨量大、經濟落後、水處理等水利設施缺乏，因此東協國家可開發的市場為如何將水留下來、如何不淹水以及如何把水處理乾淨。我國中興工程是世銀及亞銀的合格廠商，在水利工程擁有專業和價格的競爭優勢，也結合國內廠商參與投資計畫，目前中興工程集團在新南向

政策目標市場的 18 個國家中，已爭取到越南、泰國、菲律賓、印尼、緬甸等國家不少基礎建設相關業務。另中興工程集團自 1976 年於雅加達設立辦事處，開始在印尼地區提供工程顧問服務，初期以承接亞銀、世銀貸款灌溉計畫為基礎，逐漸發展至都市排水（防洪）、污水、自來水、電力等領域，因此未來為國內工程顧問業赴印尼發展之佼佼者。因此，東協國家可由中興工程領軍，由其與協力廠商組成之國家隊共同開發東協市場。

此外，數十年來我國高等教育策略中的僑生政策亦可提供我國再生水產業在東協國家的堅強後盾。據統計，目前在亞洲具我國國籍之華僑計有 61 萬人、華人則有 3,200 萬人，另外教育部統計每年來台求學之東協國家僑外生約有 3.8 萬人之譜，詳圖 7.4 所示，該等學生在台灣留學數年後已了解我國之語言、文化甚至工業產品品質，因此返國後較易以親近台灣的觀點進行決策，此亦為我國再生水產業外銷東協國家之重要優勢。



說明：新南向區域包含東協十國（印尼、馬來西亞、菲律賓、泰國、新加坡、汶萊、柬埔寨、寮國、緬甸及越南）、南亞六國（印度、巴基斯坦、孟加拉、斯里蘭卡、尼泊爾及不丹）及紐澳兩國。

資料來源：教育部 107 年 2 月 8 日教育統計資訊

圖 7.4 近 10 年新南向區域境外生人數

2. 創造實績

我國再生水處理業多屬於中小企業，目前的營業範圍多屬每日數十到數百噸之小規模工業廢水廠，雖然其設計、建造、營運及維護之能力均佳，但因其操作規模較小，多無法提出千噸級以上的實績，再加上政府為確保公共工程營運正常，往往要求投標廠商提出千噸級的水處理設計、興建或營運實績，而增加廠商投資門檻，因此無論在國內或國外競標時皆會碰到業務拓展困境。

我國再生水處理業目前業績多小於每日數百噸之工業廢水廠，因此對於小規模廠具有設計、建造、營運及維護之能力，惟再生水廠之規模多在日產量千噸以上，因此上述經驗尚無法直接轉換成大型廠規模之經驗，無論在國內或國外競標時皆會碰到業務拓展困境。

因此，如依日產水量大小將再生水分為小於 500CMD、500-5,000CMD 以及大

於 5,000CMD 三個等級，我國再生水相關業者目前亟需有日產水量大於 500 噸以上的實績經驗，其中日產水量 500-5,000 噸規模多屬於工業廢水廠，目前包括康淳、聯純、兆聯、中宇、水之源…等均有該等規模之工業區純水系統或再生水系統之設計與建造經驗，該等公司亦有相關之實績，因此可以此為基礎由市場經濟決定何者勝出。而在日產水量大於 5,000 噸者則多為都市再生水廠，目前我國僅有藍鯨公司取得鳳山溪再生水廠的實績經驗，另有中鼎、中興、台灣世曦、萬銘、式新、大陸工程、山林水、惠民、中欣行、上水、煒盛…等公司具有萬噸級大型污水廠之設計、建造、營運與維護之經驗，又如李長榮公司正開發具本土智財權的薄膜系統，惟上述公司尚無再生水廠之相關經驗，且其使用之設備亦未必為國產品，建議未來我國各再生水示範廠招標時應以考量建立本土產業為前提，在不違反相關國際貿易之前提下，優先讓我國具有大型污水廠相關實績之廠商參與，並在合乎產品規格之前提下，要求其使用一定比例之關鍵國產設備，如此方能協助我國產業建立大規模再生水廠之實績。

3. 產業鏈結

再生水產業鏈可大致上分為設備商與非設備商，其中設備商又可分為取水、淨水、輸水單元三大類，淨水單元又可再細分成前處理設備、精密薄膜過濾、除鹽設備、輸送元件、儀器、泵浦、加藥設備、系統整合，而非設備商包括負責設計、建設、操作與維護的工程顧問公司、水務公司以及代操作公司等。一般而言，再生水廠的興建多由工程顧問公司設計後，再由水務公司依設計規範選擇符合設計規範的設備進行施工，完工試運轉一定期限後再交由代操作公司進行後續的操作與維護。因此，如擬發展我國的再生水產業，除本身技術的強化外，建立國家級的工程顧問公司-水務公司-設備商-代操作公司產業鏈即為關鍵的課題。

由於我國機械、化工、電子電機、紡織、塑膠、土木水利、環工等工業基礎紮實，因此在自來水工程（上水道）或污水工程（下水道）已有上述完整的產業鏈，再生水（中水道）實屬水處理工程之一環，因此上述產業鏈可直接移植至再生水產業，以整體之力量進軍國際市場。

(三) 研發自有技術以提升國際競爭力

1. 加強研發

目前已商業化的再生水關鍵技術包括有(1)薄膜類，如逆滲透膜、超濾或微濾膜、電透析膜；(2)非薄膜類，如選擇性離子交換樹脂、高效率變頻泵、超微細曝氣系統、整合型機電控制設備、臭氧設備等。其中逆滲透膜由於包括海水淡化、自來水純化、廢污水再生等均會用到，因此美、日等國已有相當多的專利佈局，我國甚難切入。而其他產品我國均有一定的工業基礎，目前也有相關設備或材料的開發，只是效能

略差於歐美日領導品牌。

因此，我國可藉由政府單位之輔導或扶植，藉由設定議題及相對欲達成之目標或規格，並以應用於商業化運轉的前提下，藉由企業創新研發專案、法人科技專案、以及學界科技專案等經費的補助，以 3-5 年的時間引導原本已有相當基礎產、學、研單位共同投入再生水關鍵技術的開發。

2. 前瞻技術

前瞻技術即為 10 年內可商業化之技術，而非目前已商業化之技術。由於我國再生水產業多為中小企業，因此多為自國外引進相關設備或技術進行生產，自行研發之能力較低，雖亦有部分公司已有相關之基礎，但亦僅能投入再生水紅海市場，毛利率甚低，因此如何列出我國 10 年後擬商業化之再生水技術，並投入相對應的資源進行技術開發以提升我國再生水之前瞻技術使其進入藍海市場便相當重要。

目前世界各國再生水發展趨勢有正滲透、薄膜蒸餾、奈濾膜、壓力延遲滲透、支撐式液態薄膜、高通量與低阻塞薄膜、電容去離子、有價資源回收技術等，該等技術在國內之學、研界亦有專家學者進行開發，惟我國長期以來水科技開發著重在論文之發表，對於實際應用所需之經濟效益評估、長效性測試、操作維護策略等較為缺乏，建議科技部應以再生水之基礎研究為主要補助方向，而經濟部水利署負責可產業化技術之開發，最終落實到經濟部技術處進行萬噸級實廠驗證。

因此，前瞻技術的發展應由科技部及水利署在以落實再生水事業產業化為方向下共同推動，推動之成果再由經濟部技術處以上述企業創新研發專案、法人科技專案、以及學界科技專案等經費的補助，以 3-5 年的時間引導原本由科技部及水利署研發之再生水成果投入再生水關鍵技術實廠化的開發。

此外，再生水係多為以電換水之產水程序，再生水廠亦有諸多有價物質可回收再利用，因此我國未來宜發展節能、創能、產水、資源回收之再生水技術，政府亦應以能資源整合型之再生水廠為我國再生水產業推動方向，藉由建立再生水廠永續循環效率指標 (Sustainable Circular-Efficiency Indicator, SCI)，並將該指標列入各再生水廠設計準則與營運操作評鑑內，藉此提高我國再生水產業之技術門檻，自僅為產水之污水處理廠，提升為節能、創能、產水、資源回收之都市能資源循環中心，以做為我國再生水產業之技術特色。

3. 參與水展

我國再生水產業多屬中小企業，因此國際能見度低，國外大廠如法國的 Veolia；日本的 Toray、Mitsubishi、Hitachi、水 ing、Kubota、Metawater、栗田、積水等；美國的 GE、AECOM、Koch；新加坡的 Hyflux 等，該等公司均為大公司，能見度高，如以 2017 年 11 月於荷蘭阿姆斯特丹舉行之水展而言，其參展家數共有超過 900 家，其中參展家數在我國以上者依序為中國大陸(154)、荷蘭(116)、義大利(103)、

德國(101)、英國(77)、美國(53)、西班牙(42)、韓國(34)、台灣(29)，另亞洲區新加坡與日本各為 2 家與 4 家參展，實與其國內本身已具有相當規模之國際水展有關。由上述資訊可看出國內已有 29 家廠商開始走向國際市場，遠赴歐洲參加相關水展，未來可做為我國再生水產業組成國家隊的成員候選人，與其共同推動各國水展之參展。

目前東協各國亦有該國各自與水處理產業相關展覽，如泰國的 Thai Water Expo、印尼的 Indo Water Expo & Forum、柬埔寨的 CamWater、馬來西亞的 Water Malaysia Exhibition、緬甸的 Myanmar Water、越南的 VietWater、汶萊的 Brunei International Water Expo、菲律賓的 Water Philippines、新加坡的 Singapore International Water Week，如以國際注目程度、市場大小、該國收入高低等，建議未來應以新加坡的 Singapore International Water Week、泰國的 Thai Water Expo、菲律賓的 Water Philippines、越南的 VietWater 以及印尼的 Indo Water Expo & Forum 為未來我國可組團參加的水展，以提高參展效益。

4. 公眾行銷

我國在再生水技術的研發雖仍落後於歐、美、日等國，但與韓國、新加坡等仍在伯仲之間，甚至工業基礎還領先新加坡，然而，現在世界各國談到再生水產業，第一個想到的既非是法國的 Veolia、也不是日本的 Kubota 或美國的 GE，大多數人都會說是新加坡的 NeWater 及其以國家之力扶持的 Hyflux。由此可看出藉由國家力量進行公眾宣導，並以喊出足夠吸引人的口號對於該國發展產業相當重要，而這一點恰好是我國最缺乏的部分，建議國內以英文思考定調我國再生水發展的英文 Slogan，如新加坡的 Newater，以作為統一形象廣告，經年累月的推廣後，台灣的再生水也可站在國際間的舞台。

三、台灣推動再生水利用之政策建議

綜整本報告前述之分析及所提之策略，從技術、經濟可行、供水者及使用者心態及政策管理各面向提出對我國推動再生水利用之建議，分述如下。

(一) 整合新穎科技，研發自有再生水技術，提升產業之國際競爭力

1. 研發水再生、省水型製程及工業節水等先進技術，尤其鎖定冷卻排放水再生技術及冷卻蒸發回收技術，可大幅提升水資源及綠能利用效率。另應加強推動產業間之跨廠用水媒合，對於提升產業節水之效果尤為顯著。
2. 為促進本土再生水產業深耕茁壯，提供驗證廠址與測試專案計畫，供本土再生水系統業者、薄膜製造業者與技術開發者進行測試與驗證，達成再生水上、下游技術與產業鏈整合。以建立本土再生水關鍵技術與自主性薄膜產業為主軸，

開發創新膜材、模組與系統技術，提升國內再生水產業技術能量及附加價值。

3. 配合資通訊創新應用科技及資料加值應用，針對再生水處理及需求端研究智慧化管理。納入電子水表與線上水質長時間監控變動資訊，搭配技術參數研判模組開發，建構智慧型再生水處理及監測營運系統。

(二) 提升再生水利用之經濟誘因，擴大使用範圍

1. 再生水屬台灣多元水源供給之一環，具穩定供水之特性，建議政府將再生水工程視為國家公共工程建設，將再生水廠及取供水管線列為水資源開發基礎工程，降低再生水使用成本。對於國內水價結構亦應進行合理化檢討，以提升再生水使用誘因。
2. 再生水之利用應依水質特性考慮擴大多元使用。經脫鹽處理之再生水，水質極佳，適合利用於工業製程，初期推動成效顯著，建議選擇適當對象持續辦理。未經脫鹽處理之再生水，供水成本低，再利用具經濟誘因，適合利用用途包括工業清洗用水、農業補充用水、生態用水、都市雜用水等，建議選擇適當對象加強推動，如灌溉渠道上游適度混合再生水之試辦計畫，對於農業擴大使用再生水是個契機。

(三) 宣導再生水循環利用與產業保險用水觀念，加強消費者使用信心

1. 與環保署及教育部合作，透過政策引領及再生水教育，宣導再生水循環利用觀念，並強化國家多元水源之全民教育，塑造愛水惜水的文化。
2. 與科技部及工業局合作，透過技術研討及實場案例觀摩，加強產業對再生水水質之信心，並加強宣導再生水作為產業保險用水觀念，避免枯旱季無水可用之困境，達到產業全年用水無虞之目標。
3. 藉由嚴謹管理制度之落實，嚴格規範再生水水量及水質之穩定性，確保用水端安心無虞使用再生水。

(四) 完備法規與調整供水政策，朝向建構一元化供水管理體系，提升再生水使用效率

1. 全面評析水資源開發及使用之法令與制度，善用供水行政管理策略，如豐枯水季差別水價、彈性費率、優先供水順位、穩定水量誘因及減免污染費等行政管理工具，以增加再生水使用誘因，擴大再生水使用效率。
2. 自來水與再生水均屬計價供水之水源，建構一元化供水管理體系，由主管單位統一調度管理多元水資源，能提升溝通效率，有助於彈性供水機制之運作。

參考文獻

1. 伍浩廷，台灣水再利用技術及推廣之挑戰，2015年1月。
2. 邱政勳、謝博丞、林政德(2005)，冷卻水塔之節水策略，國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126。
3. 陳國珍(2002)，冷卻塔撰鑑，良機國際集團。
4. 許顯志、莊嘉琛(2006)，冷卻水塔水資源節能管控對策探討(上、中、下)，中華水電冷凍空調月刊，2006年6月~8月，(上) p81-91，(中) p65-78，(下) p83-94。
5. 郭儀煒、黃孟楛(2010)，工業冷卻水塔節水設計之研究，2010廢水處理技術研討會，中華民國環境工程學會，p1-18。
6. 蘇文達、郭萬木、王國樑、蔡宗賢、許裕雄、曾雅婕，都會智慧水務技術之研究，第23屆水利工程研討會，2017。
7. 黃盟舜、鐘珣菁、劉柏逸(2011)，薄膜蒸餾技術於水處理中的應用，自來水會刊，第30卷第4期，63-71頁，2011。
8. 蕭輝煌，經濟部工業局98年度擴大「製造業節能減碳服務團」輔導，鋼鐵業節能管理技術介紹，48(2009)。
9. 詹益亮，工業節能技術與案例介紹，工研院綠能所，24，2010。
10. 張敏超、莊順興，水淡化用脫鹽技術的現在與未來，環境工程會刊，第21卷，第四期，20-27頁，2010。
11. 天下雜誌陳良榕，台灣的水出了甚麼問題，2012年7月
12. 日本經濟產業省(2014)，平成24年(2012年)工業統計表用地・用水編。
13. 日本經濟產業省(2016)，平成26年(2014年)工業統計表用地・用水編。
14. 台灣水環境再生協會(2016)水高級處理及再利用
15. 台灣自來水公司第一管理處，未來水價調整的基本原則，2018年
16. 農委會，農業水資源維護保育及永續利用，2018年
17. 黑水變藍金-鳳山溪污水處理廠水再生利用，於望聖、陳志偉、顏慧敏、康文璋、郭欣昌、劉穎川、杜晨豪，工程 Vol.91, No.1, pp.43-59.
18. 經濟部水利署(2017)，用水計畫審核管理辦法(106.06.08公告)。
19. 經濟部水利署(2018)，再生水廠智慧管理科技應用探討及規劃，2018年5月。
20. 經濟部水利署(2010)水再生利用法令競合及國外相關制度研究
21. 經濟部水利署(2010)國際水再生利用推動經驗評析
22. 經濟部工業局(2003)，冷卻水塔用水管理於工業節水之實務應用。
23. 經濟部工業局(2014)。“產業用水效能提升計畫”，2014年12月。

24. 經濟部工業局(2015). “產業用水效能提升計畫”, 2015 年 12 月。
25. 經濟部工業局(2016). “產業用水效能提升計畫”, 2016 年 12 月。
26. 經濟部工業局(2018). , 產業用水效能提升計畫第一次策略會議資料, 2018 年 3 月。
27. 經濟部水利署, 能資源整合循環型水資源回收中心規劃之研究, 2018 年 5 月。
28. 經濟日報吳馥馨, 台灣缺水價格卻全球第三低, 2017 年 2 月。
29. Allison R.P. (1995) Electrodialysis reversal in water reuse applications. *Desalination* 103, 11-18
30. Andersson, S.I., Kjellander, N., Rodesjo, B., Design and field test of a new membrane distillation desalination process, *Desalination*, 56, 345–354 (1985).
31. Banat F.A., Simon, J., Desalination by membrane distillation: a parametric study, *Separation Science and Technology*, 33, 201-226 (1998).
32. Bodell, B. R., Silicone rubber vapor diffusion in saline water distillation, United States Patent Serial No. 285,032 (1963).
33. Bodell, B. R., Distillation of Saline Water Using Silicone Rubber Membrane, US Patent 3,361,645 (1968).
34. Boi, C., Bandini, S., Sarti, G. C., Pollutants removal from wastewaters through membrane distillation, *Desalination*, 183, 383-394 (2005).
35. Cath, T. Y., Adams, V. D., Childress, A. E., Gormly, S. J., Flynn, M. T., Progress in the development of direct osmosis concentration wastewater recovery process for advanced life support systems, *Proceedings of the 35th International conference on environmental systems*, Rome, Italy, 2005.
36. Cath T. Y., Childress, A. E., Elimelech, M., Forward osmosis: principle, application and recent developments, *J. of membrane Science*, 281, 70-87 (2006).
37. Feng, C., Khulbe, K. C., Matsuura, T., Gopal, R., Kaur, S., Ramakrishna, S., Khayet, M., Production of drinking water from saline water by air-gap membrane distillation using polyvinylidene fluoride nanofiber membrane, *J. of Membrane Science*, 311,1-6 (2008).
38. Findley, M. E., Vaporization through porous membranes. *Ind. Eng Chem Process Des Dev*, 6, 226–37 (1967).
39. Gryta, M., Tomaszewska, M., Grzechulska, J., Morawski, A. W., Membrane distillation of NaCl solution containing natural organic matter, *J. of Membrane Science*, 181, 279-287 (2001).
40. Gryta, M., Tomaszewska, M., Karakulski, K., Wastewater treatment by membrane distillation, *Desalination*, 198, 67-73 (2006).

41. Kang, K.S.(2007), Recovery System for Cooling Water at Cooling Tower,Capable of Reducing Water Consumption by Improving Recovery Ratio of Vapor and Mist, Korea Patent 10-0756384.
42. Kim, C.S. (2009), Increasing Cooling Tower Water Efficiency, Research Paper of California Institute of Technology.
43. McGinnis, R. L., Elimelech, M., Energy requirements of ammonia-carbon dioxide forward osmosis desalination, *Desalination*, 207, 370-382 (2007).
44. McCutcheon, J. R., McGinnis, R. L., Elimelech, Desalination by a novel ammonia-carbon dioxide forward osmosis process: influence of draw and feed solution concentrations on process performance, *J. of membrane science*, 278, 114-123 (2006).
45. Global Water Intelligence Water Tariff Survey 2016. [http : //www.waterwastewaterasia.com/en/news-archive/results-of-the-2016-global-water-tariff-survey/537](http://www.waterwastewaterasia.com/en/news-archive/results-of-the-2016-global-water-tariff-survey/537).
46. PUB, Singapore National water Agency, Ministry of the Environment and Water Resources. [https : //www.pub.gov.sg/watersupply/waterprice](https://www.pub.gov.sg/watersupply/waterprice).
47. Global water intelligence, GWI, 2010. [https : //www.globalwaterintel.com/](https://www.globalwaterintel.com/)
48. Lawson, K. W., Lloyd, D. R., Membrane distillation, *J. Mem. Sci.*, 124, 1–25 (1997).
49. Mozia, S., Morawski, A. W., Hybridization of photocatalysis and membrane distillation for purification of wastewater, *Catalysis Today*, 118, 181–188 (2006).
50. Ortiz de Zarate, J.M., Rincon, C., Mengual, J. I., Concentration of bovine serum albumin aqueous solutions by membrane distillation, *Sep. Sci. Technol.*, 33, 283-296 (1998)
51. Schneider, K., Holz, W., Wollbeck, R., Membranes and modules for transmembrane distillation, *J. Mem. Sci.*, 39, 25–42 (1988).
52. Sirkar, K.K., Winston Ho, W.S., *Membrane Handbook*, van Nostrand Reinhold, New York, 899–904 (1992).
53. Tang, W., Ng, H. Y., Concentration of brine by forward osmosis: performance and influence of membrane structure, *Desalination*, 224, 143-153, (2008).
54. van der Hoek J.P., Rijnbende D.O., Lokin C.J.A., Bonne P.A.C., Loonen M.T., Hofman J.A.M.H. (1998) Electrodialysis as an alternative for reverse osmosis in an integrated membrane system. *Desalination* 117, 159-172.
55. West Basin Municipal Water District, 2015 Urban Water Management Plan. [http : //www.westbasin.org/sites/default/files/documents/uwmp-2015.pdf](http://www.westbasin.org/sites/default/files/documents/uwmp-2015.pdf).

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

台灣推動再生水利用所面臨的新挑戰及因應策略

/ 鄒 倫、歐陽嶠暉主編.

-- 初版. -- 台北市：中技社，民 107.12

103 面；21×29.7 公分. -- (專題報告；2018-03)

ISBN 978-986-97218-0-6(平裝)

1.水資源 2.水資源管理 3.水循環

554.61

107021874

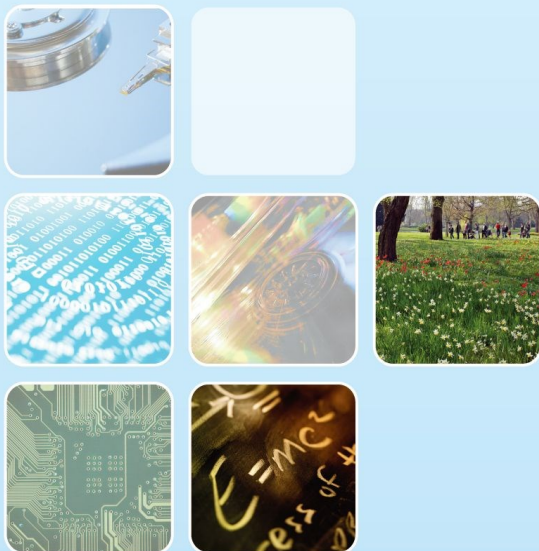
版權聲明©財團法人中技社

本手冊用於教育或非營利目的時，得在未取得原版權所有人允許下複製全部或部分內容，唯須註明出處。財團法人中技社感謝您提供給我們任何以本手冊做為資料來源出版的相關出版品。

未取得財團法人中技社書面同意，禁止使用或轉售本手冊於其他商業用途。

免責聲明

本出版品所提及的實體名稱和資料之表示，並不代表財團法人中技社的觀點：包括不同國家、領土、城市或區域的法律地位及其地位的權威性，以及國與國之間邊界和臨界的界定。此外，文中觀點與所提及的貿易名稱或商業程序，並不代表財團法人中技社的觀點或政策。



財團 中技社
法人

CTCI FOUNDATION

106 台北市敦化南路2段97號8樓

Tel : 02-2704-9805~7 Fax : 02-2705-5044

<http://www.ctci.org.tw>



使用再生紙印製