財團法人 中技社
用水合理化與新生水水源開發

氣候變遷下之水資源管理

發行人
潘文炎
財團法人中技社董事長

主編
歐陽嶠暉
台灣水環境再生協會名譽理事長

財團法人中技社 出版
2011年6月

發行者序

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爲宗旨」。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爲智庫的型態，藉由專題研究、研討會、論壇、及座談會等，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;間接促成產業之升級，協助公共政策之規劃研擬，達成環保節能與經濟繁榮兼籌並顧之目標。

2010 年財團法人中技社選定「用水合理化與新生水水源開發」作爲智庫研討議題之一，並與台灣水環境再生協會於 10 月間共同舉辦一場論壇，對用水之合理化及面對水資源不足下，有哪些新生水水源值得開發等議題，邀請到國內已投入相關領域多時的專家學者，以論文形式提出個人觀點，與參加會議者亦有深入的討論。爲將此完整之會議成果，廣爲周知，提供讀者參考，特發行此書。

財團法人中技社董事長
潘文炎
2011.3

編者序

台灣地區每年降雨量平均約 2,500 公厘，總降雨量約 900 億噸，但由於降雨時空分配不均，地形陡峻不利保水及可蓄水之水庫容量不足等，以致實際可用之水資源每年僅約 180 億噸，且又因氣候變遷異常旱災的循環，使得可靠的水資源更加不穩定。

近年來由於人口持續增加，耗水性高科技工業持續發展，用水量持續增加，而用水量中佔最大宗的農業用水可轉移使用之水量也有其限界。在用水量需求持續增加，但可供用的水源，又由於環保等因素無法增加開發水庫貯蓄豐水季雨量以增水源之下，能夠做的惟有推行水資源合理利用及開發新生水水源。

中技社爲一社會公益機構，每年投注關懷於社會發展的各種瓶頸問題，扮演聚集各領域菁英，以形成智庫之平台，提供建言及未來發展方向供爲政府擬訂政策之參考，長期貢獻至大。中技社林執行長志森有感於台灣面臨水資源不足的問題日趨嚴重，亟待突破，囑爲策劃專題論壇，以爲協助推動改善未來發展新水資源之方向。

論壇除敦請水利署楊署長偉甫針對台灣水資源現況問題做專題演講外，並規劃八項主題，涵蓋缺水風險與調適策略、水資源需求面管理政策工具、用水合理化之策略與措施、新生水水源調撥及發展潛力、海水淡化技術發展、經濟性及開發利用問題和對策、工業用再生水產業發展模式與推動之可行性、雨水貯留收集之水資源利用效益及策略和新生水水源發展及利用推動策略一系列議題，包括政策、策略、

技術及行政等範圍，邀請國內在各該領域長期投入之專家、學者及實務工作者，擔任引言人、與談人及主持人，感謝各位能共襄盛舉，熱心參與，貢獻經驗和心得，提出精闢的論文，使論壇得以順利爲社會提供建言。

論壇之舉行，甚獲各參與者的肯定，並期能擴大，增進各方面的參考和應用。特規劃將引言論文八篇集印成冊分享各界。另與談論文部份，限於篇幅，未能列入，謹向各與談人致歉。中技社鄒倫博士及陳潔儀組長在徵得各撰稿人之補充及同意，彙編成本書，在此感謝兩位從論壇的籌辦，至本書出版的投入和辛勞，特此感謝。

台灣水環境再生協會
名譽理事長
歐陽嶠暉
謹識
2011.3.1

目錄 Content

第一篇／用水合理化

氣候變遷下缺水風險與調適策略
楊錦釧、童慶斌
王文祿、張胤隆……3

台灣水資源需求面管理策略之探討
蕭代基、黃德秀……15

用水合理化之策略與措施
張添晉……29

第二篇／新生水水源發展

新生水水源調撥及發展潛力

朱敬平、江家菱……45

海水淡化技術發展、經濟性及開發利用問題和對策

張振章……67

工業用再生水產業發展模式與推動之可行性

陳筱華……75

雨水貯留收集之水資源利用效益及策略

廖朝軒……101

新生水水源發展及利用推動策略

莊順興……119

第一篇 → 用水合理化

氣候變遷下缺水風險與調適策略

楊錦釧[1]
童慶斌[2] 王文祿[3] 張胤隆[4]

[1]國立交通大學土木工程學系教授
[2]國立台灣大學生物環境系統工程學系教授
[3]美國太平洋大學國際水資源法博士
[4]國立交通大學防災與水環境研究中心博士後研究員

摘要

由於受到全球氣候變遷效應影響，洪旱災害發生頻率提高，而災害規模亦有激增之趨勢。雖然相關趨勢與氣候變遷效應間之關係仍未有定論，但在洪旱災情加劇之影響下，氣候變遷相關政策之研究，不分國內外均十分盛行。爲因應氣候變遷效應下所產生之水資源危機，調適政策架構 (adaptation policy framework, APF) 之建立，目前已成爲熱門議題。本文以討論我國現狀之缺水風險爲始，進一步闡述聯合國推動 APF 概念之梗概，並討論我國水資源政策架構如何具體研訂與體現。本文並引用現有水利法制與行政院經濟建設委員會相關之推動改革方案，說明我國目前水資源調適政策之內涵，期能爲我國尋找適當生存之道。

一、前言

近年來，氣候變遷相關政策之研究，不分國內外均十分盛行。而面對氣候變遷效應下所產生之水資源危機，更有未雨綢繆之必要。本文以討論我國現狀之缺水風險爲始，進一步闡述聯合國推動調適政策架構 (adaptation policy framework, APF) 概念之梗概，並討論我國水資源政策架構如何具體研訂與體現。本文並引用現有水利

法制與行政院經濟建設委員會相關之推動改革方案，說明我國目前水資源調適政策內涵，期能爲我國尋找適當生存之道。

二、台灣所面臨水資源衝擊概述

(一)台灣水文與水資源特性

台灣屬亞熱帶季風區，年平均雨量達 2,510 公釐，惟標高 1,000 公尺以上之山坡地即佔台灣本島總面積 31.5%，標高 100 公尺以下平地僅佔 37.2%，致使河川源短流急，降雨迅速排入海中;此外台灣地區降雨在時間與空間之分佈差異極大，5 月至 10 月夏秋兩季豐水期有颱風及雷雨帶來豐沛雨量，河川總逕流量 497 億立方公尺，達平均年總逕流量 (645 億立方公尺) 之 77%，11 月至翌年 4 月冬春兩季枯水期則較爲乾燥，總逕流量僅有 148 億立方公尺，占平均年總逕流量之 23%，此種降雨不均勻之現象愈往南部愈發嚴重，南部地區豐水期之降雨量更達其全年平均降雨量之 90%，凡此種種原因，皆導致水資源之擷取利用頗爲不易。

(二)水資源現況及問題

爲解決台灣坡陡流急以及降雨在時空分布不均勻所導致之水資源利用難題，近三、四十年來，水資源建設在台灣地區各種不同階段之經濟發展過程中，不斷突破困難以提供穩定供水，其中水庫之興建更爲穩定水資源供需之重大策略之一。截至民國 98 年底，台灣已興建大小水庫約 40 座，水庫總容量約 22.43 億立方公尺，有效容量約爲 20.51 億立方公尺，然而近年來水資源環境更趨複雜，除自然、地理環境限制外，極端氣候頻率增加、全球氣候變遷的威脅與人爲影響亦增，使得水資源經營更趨困難，在既有水庫蓄水容量有限，新水庫開發困難之條件下，使台灣雖有豐沛之降雨量，水資源實際利用量卻尚不足以應付日漸成長龐大之需水量。綜合台灣地區水資源經營所面臨之問題包含:

1.人口與經濟成長提高供水壓力：台灣地區人口成長快速，總人口數依內政部統計由民國50年之1,121萬增加至民國98年之2,312萬。由於台灣社會已邁入工業化，預估未來人口成長率不致再大幅攀高，惟因生活品質提昇所衍生用水需求增加之壓力仍會繼續存在，在水利蓄水設施興建不足的情況下，枯水期之水源調配將益形困難。

2.供水系統抗旱能力不足：台灣地區河川坡陡流急，水資源不易蓄存利用，且降雨豐枯差異明顯，故水資源的運用多須經由蓄水設施調節供應。目前台灣重要水庫如石

門、曾文、烏山頭、白河等之供水不僅供應生活及工業用水，尚需提供大量灌溉用水，若豐水期之蓄水有所不足，在龐大的農業、工業與民生需水壓力之下，則極易發生缺水之現象。然而近年來環保意識抬頭，以致水利設施興建較過去遭遇較大阻力，未來在供水系統抗旱能力不足的情況下恐無法提供穩定的供水。

3.水質污染降低水資源利用量：依民國98年統計資料，河川水質屬輕度污染占8.1%，中度污染占18.9%，嚴重污染占5.9%，致部分之河川水資源無法有效利用。未來若能有效改善水質，則可提升河川水源的利用率。另加強水庫集水區之永續經營管理，作好水土保持及減少優養化，以保持水庫提供質優量足之水資源亦是重要課題。

4.極端氣候與複合型災害：近年來氣候異常，颱風等極端氣候頻率增加，降雨強度和雨量也相對提高，洪水、土砂與浮木等結合產生的複合型災害則嚴重衝擊水資源系統。由於過往森林砍伐及山坡地濫墾情形嚴重，集水區水源涵蓄能力降低，致使上游集水區遇暴雨時，土質鬆軟易發生崩塌，暴雨洪水挾帶崩塌之土石以及浮木進入水庫，大幅減少水庫之有效庫容，長期而言對水庫之使用年限造成極大影響外，短期而言挾帶土石之洪水亦造成原水濁度飆升，供水系統因而無法正常操作，導致空有大量降雨卻無法供水的窘境。

5.地下水開發與管理問題：台灣西南沿海平原，如彰化、雲林、嘉南及屏東等地區，由於並無適當之壩址可供建設水庫以攔蓄雨季多餘水量，且位處於供水圳路末端，地面水源多受污染，故地下水成爲上述地區最主要且最方便之水源。然自1980年代起，沿海養殖業興起，地下水因而大量被抽取利用，遂造成地下水之嚴重超抽，衍生國土資源損害及其他社會問題。高屏地區在2009年莫拉克颱風重創水資源系統之後，供水問題已是捉襟見肘，而地下水資源便成了穩定高屏地區供水的重要來源。如何安全的開發並有效管理地下水，乃台灣水資源所面臨相當重要的課題。

(三)氣候變遷對水資源之衝擊

除了前段所述台灣目前所遭遇之水資源問題外，受未來氣候變遷影響，可能導致既有問題加劇之情形，例如降雨型態與水文特性之變化，將可能提高河川豐枯之差異，進而增加河川污染以及複合型災害風險，茲依據不同面向探討氣候變遷對水資源之衝擊如下。

1.水文衝擊：過去研究結果顯示，未來台灣降雨量、逕流量及蒸發散量受氣候變遷影

響而有增加的趨勢，而逕流量與蒸發散量增加的幅度大於降雨量增加幅度，因此地下水入滲量呈漸減的趨勢。

2.河川流量衝擊：氣候變遷的影響，將造成未來河川豐枯差異更加明顯。以數種GCM模式進行情境模擬結果顯示，豐水期(夏季)流量多爲增加趨勢，枯水期(冬季與春季)流量多爲減少趨勢(童慶斌與李明旭，2005)。

3.供水系統：因爲豐枯差異的增加，水庫供水及減洪能力皆受到影響(童慶斌等，2008；童慶斌等，2009)。供水系統也因爲氣候變遷造成豐枯差異增加，而影響供水能力，但會因爲各區供水能力的不同以及需水層面的不同，使得氣候變遷對其影響不盡相同。北部供水系統中，板新地區因爲豐枯差異的增加，使得供水承載力下降。而桃園地區除了氣候變遷影響，加上需水量成長的關係，面臨缺水的風險將會增加(童慶斌等，2007與2008；張良正，2009)。南部原本豐枯差異極大，氣候變遷下將使得豐枯差異更明顯，使得供水承載力降低，加上未來需水量增加，將使未來缺水風險提高 (童慶斌等，2009；游保杉，2009)。

4.複合型災害風險提高：氣候變遷下，水工結構物遭受大洪水侵襲之風險提高(張良正，2009)，顯示水工結構物遭洪水破壞造成供水困難之風險亦將提高。未來颱風等極端氣候頻率有可能增加，洪水、土砂與浮木等結合產生的複合型災害風險將相對提高，進而提高缺水風險。

5.農業灌溉型態衝擊：未來氣候變遷影響下導致氣溫及雨量的改變，因而影響灌溉需水量。模擬結果顯示氣候變遷影響下，水稻生長初期需水量有增加的趨勢，後期之需水量則是減少。而一期作初期恰逢枯水期，氣候變遷後枯水期流量可能減少，將使得水資源調配出現問題而帶來衝擊(周玫君，2004；童慶斌等，2009)。

6.河川污染問題：氣候變遷影響下，臺灣地區河川流量都有極端化的趨勢。枯水期時，污染物質排入河川中，但河川僅具備較低的流量，無法稀釋、淨化污染物質，導致污染濃度增加，河川自淨能力也因而降低，涵容能力亦隨之下降；豐水期時，河川雖然擁有較大的涵容污染能力，然而由於暴雨引發了流域內泥沙沖刷、土石崩坍等現象，且增大的流量也加強了河床沖蝕，反而使河流中懸浮微粒濃度及河川濁度增加，進而影響河川中的生態，也使得供水系統惡化(童慶斌等，2005及李庭鵑，2007)。此外，非點源污染與水文事件息息相關，暴雨導致逕流挾帶吸附於泥砂之磷酸鹽進入水體，進而影響水質，亦值得進一步注意，惟國內有關非點源污染

受氣候變遷影響之研究仍尚不足。

三、水資源調適政策之探討

(一)氣候變遷調適政策架構

雖然全球氣候變遷效應影響之下，缺水危機未來將如何變化，目前尚未能有絕對之定論;但對於缺水風險之恐懼感，已由近年屢屢發生之缺水事件，不斷放大而深植人心，進而產生建立完整調適策略之殷切需求。而針對整體氣候變遷效應下，人類應如何因應，國際上已有具體推動氣候變遷調適政策架構之作法，透過聯合國氣候變遷架構公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 之制定，將研訂 (formulate)、執行 (implement)、公告 (publish) 與更新 (update) 全國性或區域性氣候變遷調適方案，作爲該公約會員國重要任務之一 (Article 4.1.(b) of UNFCCC)。雖然研議制定 UNFCCC 時，如何減少溫室氣體 (green house gas, GHG) 以減輕 (mitigation) 氣候變遷效應，仍爲較受重視之主要目標，調適 (adaptation) 所受矚目之程度因而受到影響，但 UNFCCC 終於成功將調適之概念與目標予以體現，促使人類體認全球氣候變遷效應無論如何終將無可避免，因而未來調適政策將扮演重要角色 (Ford, 2008)。

APF 之推動，係在協助世界各國有效整合現有各種調適政策與措施，並將調適政策與國家開發結合，以面對氣候變遷效應對人類生存之挑戰 (Lim et al., 2004)。本世紀起，聯合國開發計畫 (United Nations Development Program, UNDP) 開始強調建立 APF 之重要性，並設定逐步由方法論推演進展至區域評估及以國家爲單位之評估，以達成全面推動實施之境界。2004 年，UNDP 開始全面推動 APF，目前已有許多會員國以類似於白皮書之形式，宣示開始推動 APF。而 APF 所採用之方法，係先就調適計畫之架構與範圍加以定位 (scoping and designing an adaptation project)，再評估現況脆弱度 (current vulnerability) 與未來氣候風險 (future climate risks)，以研訂調適策略 (formulating an adaptation strategy)，期以繼續進行調適行動程序 (continuing the adaptation process)，以據此評估與提升調適能力 (accessing and enhancing adaptive capacity)(Lim et al., 2004)。APF 所欲涵蓋之範圍，包括農業、林業、水資源、海岸管理、公共衛生、自然生態系統、公共建設與人類遷徙安居等，並全面性考量社經政策與天然災害 (如洪旱災與巨大熱帶氣旋所造成災害等) 政策，就全國性及地域性之

問題進行調適 (Burton et al., 2002)。因此，調適政策架構之建立，係兼具深度與廣度之考量，以求全面因應氣候變遷所帶來之衝擊。

(二)水資源調適政策與氣候變遷調適政策架構之關係

另一方面，水乃人類賴以生存之重要資源，如何與大自然共生，適度開發水資源，一直是人類奮鬥之主要課題。自工業革命以來，運用科技大幅改善生活環境，但同時也消耗更多水資源，因此必須開源節流以免無水可用，並且防止可用水源遭到破壞 (行政院經濟建設委員會，2010)。在 APF 之執行架構下，水資源調適政策自然必須納入其中;但如何方可研擬適切之水資源調適政策？由於 APF 僅提供整合之方法論，具體作爲上仍應以現有水資源法制與政策爲藍本。由經濟合作與開發組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 於 2006 年 所 提出之報告即指出，一個國家水資源部門之調適能力，仍在於該國現有之相關組織、法令、水資源管理實務與水利設施現況所能呈現之因應氣候現況之實力 (Levina and Adams, 2006)。因此，爲進一步研究水資源調適政策，此報告以芬蘭、英國、美國與加拿大四國現行水資源法制及政策體制作爲比較對象，分析其水權、水環境生態保護、飲用水、水資源相關環境影響評估、工業用水與排水系統、以及洪旱管理與其他水資源管理議題等，試圖呈現水資源調適政策於實務操作時之全貌，並提出水資源調適政策架構建立之建議 (Levina and Adams, 2006)。由此可見，水資源調適政策架構之建立，雖然不能自外於整體氣候變遷調適政策架構，但若干程度上，亦應保有其獨立性與國家或地域之特色，於實務執行面上方可具有針對並解決問題之效果。

(三)我國水資源調適政策目前發展

由目前常用之人類發展指數 (human development index) 評估可知，我國於 2005 年即排名第 23，早已進入已開發國家之林 (Taipei Times, 2007)。因此，無論國際局勢如何，我國國力與國家體制之評價，均應以已開發國家之標準爲之。而已開發國家就水資源調適政策之研擬，其國內法制現況應足以作爲藍本，而其他國家成功經驗亦有參酌效法價值。以我國現有水資源相關之法制與政策觀察，我國水利法自民國三十一年制定，三十二年施行以來，歷經數次修正，亦已臻成熟，亦具有前揭 OECD 報告所評估之主要元素。然我國並不以此爲滿足，水利主管機關仍循序提出更契合迎接未來挑戰之建議方案。我國於 2006 年 1 月提出之「新世紀水資源政策綱領」，以擘畫未來我國水資源業務推動之最高指導方針，其所提出之政策綱領如下:

1.推動流域綜合治水，減免淹水災害損失；
2.合理有效使用水量，確保水源穩定供應；
3.強化水土資源保育，健全水文循環體系；
4.落實水岸環境管理，營造生態親水環境；
5.推廣回收再生利用，蓬勃水利產業發展；
6.配合政府組織再造，健全水利行政體系；
7.通盤檢討水利法規，確保政策落實推動；
8.推動科技研究發展，促進國際合作交流。

由綱要與內容觀察，新世紀水資源政策綱領確已包含我國水資源調適政策所應具備之要素。因此，我國對於水資源調適政策之研訂，於推動 APF 前即具備相當程度之經驗與實績。然而在全球氣候變遷效應影響下，因應氣候變遷相關研究之推動已蔚爲風潮。我國亦在行政院經濟建設委員會主導下，進行 APF 之相關研究，並選定災害、水資源、維生基礎設施、能源供給、海岸、農業生產與生物多樣性、健康、以及土地使用等八個領域，以整合研擬氣候變遷調適政策綱領 (行政院經濟建設委員會，2010)。

就水資源調適政策之研訂，水利主管機關已有相當之經驗與成效;但在氣候變遷效應影響下，往往需要非常手段始能收調適之效。爲求有效調適水資源問題，必須引進國外相關成功經驗，如工業開發最早之歐洲先進國家，歷經諸如萊茵河嚴重污染與洪水災害併同肆虐之苦，早已亟思因應之道;歷二十餘年之努力，始令萊茵河流域逐漸恢復舊觀，並藉此經驗與教訓，於 2000 年建立歐盟體系下之水架構法 (Water Framework Directive) 制度。目前歐盟會員國對於水資源永續經營與利用，均以歐盟水架構法爲本，逐步達成新世紀之高標準要求。從而，歐盟各國研擬氣候變遷調適政策架構 (Adaptation Policy Framework, APF) 時，均以歐盟水架構法之規定，作爲該國水資源調適政策之藍本。因此，參考歐盟水架構法及於其架構下建立之歐盟洪水法 (EU Flood Directive)，與經濟合作與發展組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 於 2008 年以經濟觀點所提出之調適政策報告 (OECD, Economic Aspects of Adaptation to Climate Change)，提出以下政策方針，以指出目前世界水資源政策潮流，並結合新世紀水資源政策綱領之推動，爲我國建立整

合性之水資源調適政策架構 (行政院經濟建設委員會，2010)。茲將該計畫水資源調適政策綱領 (草案) 臚列如下：

1.水資源永續經營與利用爲最高指導原則

(1) 確立所有水資源管理政策之目標，均以維持水資源永續經營與利用爲目的。

(2) 爲促進水資源永續經營與利用，應進行河川流域整體治理規劃，並擬訂流域管理制度。

2.重視水環境保護工作，以維護水資源永續經營與利用

(1) 水環境保護應同時注重生態環境、生物多樣性維護與淡水水源之永續供應。

(2) 開發與建設行爲，應經相當之效益分析與環境影響評估，證明對於水環境之影響遠低於經濟開發之效益，並盡力避免造成水環境之衝擊。

(3) 實施河川流域管理時，應以各流域之特有條件爲基礎，將水環境污染控制、淡水水資源永續利用、生物多樣性維護與生態環境保護列入計畫範圍。

3.由供給面檢討水資源管理政策以促進水資源利用效能

(1) 活用現有之蓄水容量，適時更新水資源相關設施，以確保並延長其使用年限。

(2) 落實水庫集水區土地利用管理。

(3) 降低現有供水設施之漏水、輸水損失，減少水資源消耗。

(4) 強化跨區域地表、地下水資源聯合運用。

(5) 提高蓄水量並保育地下水水源。

(6) 推廣雨水收集系統，增加可利用之水資源。

(7) 推動新興水源開發，如海水淡化與廢汙水回收工程等。

(8) 強化異常缺水時之緊急應變措施。

4.由需求面檢討水資源管理政策以促進水資源使用效益

(1) 提昇節水意識，調整社會整體用水型態，並獎勵節水設施與裝置之設置，以達到節水之目的。

(2) 獎勵雨水、再生水等替代水資源之利用，減少自來水之使用，同時增加水源設施貯存量。

(3) 鼓勵低耗水產業之發展並考慮由其他不缺水國家輸入高耗水產品。

(4) 推廣精密灌溉技術，並獎勵利用雨水灌溉之農業，減少灌溉用水之消耗。

(5) 建立合理公平之用水轉移機制，使水資源調度更具彈性，提高經濟效益。

5.以聯合國推動之水足跡（water footprint）概念促進永續水資源經營與利用

(1) 參考水足跡概念，推動標示產品之耗水量，提供參考以減少高耗水產品之消費。

(2) 參考水足跡概念，推動產業建立節水製程，在單位產能下有效降低耗水量，並獎勵達成節水目標之企業。

6.建立風險管理與回饋改善回報機制

(1) 研究建立決策模式，以決定調適行動方案之優先順序與啓動時機。

(2) 建立評估指標以反應永續性、脆弱度、恢復度等，以做爲決策之量化依據。

(3) 降低脆弱度評估之不確定性，擬定監測計畫，以支持模式評估資料需求與模擬結果之綜合判斷。

(4) 調適行動方案推動應包括回饋改善機制，以確保有效降低氣候變遷帶來之衝擊。

(5) 研提跨部會共同合作之議題，並密切注意新類型或複合型災害之發生。

(四)我國水資源調適政策與其他氣候變遷相關調適政策之整合

由前節之討論可知，於法制與政策體制均已臻完備之國家，具體水資源調適政策之研訂，仍應以現有水資源法制及政策爲藍本，並試圖融合國外成功經驗，以增進水資源調適政策之內涵。惟因各領域調適政策本即有所淵源與依據，其相關法規與政策本即有競合問題存在，於使用 APF 作爲整合方法之同時，原有競合問題並不因 APF 之整合，即立刻消弭於無形，以致各領域之調適政策仍屬單獨個別體系，而無法整合成相互依存並相輔相成之整體架構。因此，無論是否以建立 APF 作爲進行水資源調適政策研擬之前提，我國水資源調適政策仍將保有其特殊性與獨立性，由目前提出之氣候變遷調適政策綱領 (草案) 觀察，亦可發現此種現象。因水資源問題對農、林、漁、牧、工業與民生等領域均有直接影響，爲有效達成建立水資源調適政策架構之目的，似宜先確保水資源調適政策得以建立並收其成效，競合問題則列爲未來整體氣候變遷調適政策架構改進之參考。

結語

我國由於地理環境特殊，水資源領域所面臨之問題與挑戰，亦具有相當特殊性，例如如何適度留下降雨所帶來之水資源，克服地形上容易流失水資源之弱點，

爲我國現況中需要謹慎面對之議題。因此，面對我國未來可能日趨嚴重之缺水危機，現有水資源相關法制不僅具有參考價值，更必須納入政策研訂之考量，如此方能建立適合我國之水資源調適政策架構，並爲我國未來針對氣候變遷下缺水危機之調適，提出適當方案以完成目標。

參考文獻

行政院經濟建設委員會 (2010)，氣候變遷調適政策綱領（草案），2010年4月。

周玫君，2004，「氣候變遷及乾旱灌溉用水移用對水稻潛能產量影響」，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。

游保杉，2009，「氣候變遷對乾旱期距衝擊與調適研究」，行政院農業委員會計畫。

張良正，2009，「氣候變遷對石門水庫供水風險之影響分析」，經濟部水利署水利規劃試驗所計畫。

童慶斌、李明旭，2005，「氣候變遷對水文環境及水資源管理之衝擊評估及因應策略研究」，國家科學委員會專題研究計畫。

童慶斌、吳明進、李明旭、曾昭衡、洪念明，2005，「氣候變遷對我國之衝擊影響與調適策略研究—總計畫暨子計畫一：氣候變遷對河川與空氣涵容能力衝擊與調適策略」，國家科學委員會專題研究計畫。

童慶斌、游保杉、李明旭、洪念民，2007，「強化區域水資源永續利用與因應氣候變遷之調適能力(1/2)」，經濟部水利署水利規劃試驗所計畫。

童慶斌、游保杉、張良正、李明旭、洪念民，2008，「強化區域水資源永續利用與因應氣候變遷之調適能力(2/2)」，經濟部水利署水利規劃試驗所計畫。

童慶斌、范正成、葉欣誠、李明旭、陳韻如，2008，「水庫系統在變遷氣候中之脆弱度評估與支援決策技術發展(II)」，國科會成果報告。

童慶斌、范正成、葉欣誠、李明旭、陳韻如，2009，「水庫系統在變遷氣候中之脆弱度評估與支援決策技術發展(III)」，國科會成果報告。

李庭鵑，2007，氣候變遷衝擊河川水質永續管理之長期預警機制，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。

童慶斌、游保杉、李明旭、洪念民，2009，「強化高屏溪流域水資源供水系統因應

氣候變遷之調適能力」，經濟部水利署水利規劃試驗所計畫。

Lim, B. et al. (2004), Adaptation Policy Frameworks for Climate Change, Cambridge University Press。

Ellina Levina and Helen Adams (2006), Domestic Policy Frameworks for Adaptation to Climate Change in the Water Sector, Part I: Annex I Countries, OECD, May 2006。

Burton, I. et al. (2002), From Impacts Assessment to Adaptation Priorities: the Shaping of Adaptation Policy, Climate Policy 2(2002) 145 -159。

Ford, J. (2008), Emerging Trends in Climate Change Policy: the Role of Adaptation, International Policy Review, Vol.3, No.2, March 2008。

OECD (2008), Economic Aspects of Adaptation to Climate Change。

Taipei Times (2007), DGBAS Calculates Taiwan's Place in Development Index, Dec 16, 2007, available at http://www.taipeitimes.com/News/biz/archives/2007/12/16/2003392809。

台灣水資源需求面管理策略之探討

蕭代基[1]　黃德秀[2]
[1]中華經濟研究院院長
[2]中華經濟研究院分析師

一、前言

根據聯合國統計，過去一世紀全球用水量增加的速度是人口增加速度的兩倍，越來越多地區面臨水資源短缺與長期缺水的窘境，至 2025 年，1800 萬人將居住在一定缺水的地區，三分之二的世界人口面臨缺水壓力（FAO, 2003）。目前世界上約有 20% 的人口生活在缺水的國家，11 億人缺乏獲得安全飲用水和 2.6 億人缺乏適當的衛生設施（WHO, 2007），水安全儼然已躍升爲糧食安全、能源安全、氣候安全、經濟發展和人類安全的重要關鍵要素。

台灣每年約降下 936 億噸水量，但因台灣山高坡陡、降雨分佈不均、無足夠水庫蓄存，這些水量流入海洋（569 億噸），及蒸發損失、入滲地表（243 億噸）等，導致可運用水量有限，僅約 124 億噸。在需求量方面，近 10 年（88~97 年）國內平均年總用水量約 180 億噸，其中生活用水 35 億噸（佔 20%）、工業用水 17 億噸（佔 9%）、農業用水 128 億噸（佔 71%），供需缺口的 56 億噸必須仰賴抽取地下水支應。

漸形惡化的缺水問題將會影響全球與台灣的永續發展，水資源短缺比任何其他自然資源（包括化石能源）不足的影響更劇。世界經濟論壇（World Economic Forum）在 2009 年度會議中提出嚴重警告:「倘若繼續以現在的方式消耗水資源，世界經濟會垮掉。」

一般而言，面對未來很可能的缺水與高水價的問題，解決方式有二:一是開源，即增加供給量;二是節流，即降低需求量。圖 1 爲政府可以採用的水資源管理工具之分類。增加供給量一直是台灣水資源政策的主要導向，在需求面管理這一端，台灣

已施行的措施包含水價優惠措施、發送節水墊片、加強節約用水宣導、補助民眾購置省水標章產品等等。根據世界食糧組織 (World Food Organization, FAO, 2006) 統計，1998 至 2002 年間各國每人每日平均公共給水系統引水量[1]（municipal water withdrawal）分別爲：美國 595 公升、日本 375 公升、德國 193 公升、英國 95.1 公升、中國大陸 91.6 公升，按照 FAO municipal water withdrawal 之定義，1999 年至 2008 年台灣每人每日平均公共給水系統引水量爲 679.2 公升[2]，遠高於美國、日本、德國，可見仍亟待加強過去較爲忽略的水資源需求面管理，因此本文專注分析台灣水資源需求面所面臨的課題，探討如何整合運用需求面的經濟工具與技術工具，以節約水資源需求量，提升水資源有效利用。以下先討論經濟工具之現況與課題，接著探討技術工具，主要是深入分析對水、能源及空間之需求量低之永續性衛生系統，最後提出政策建議。

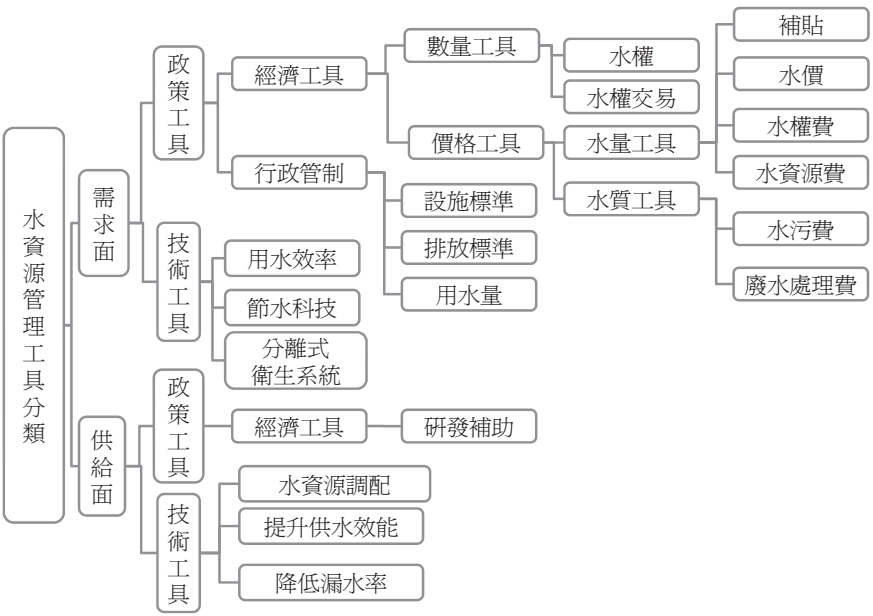


圖1 水資源管理工具分類

1 資料來源請見 http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html，公共給水系統引水量主要用於生活用水，也用於公共給水系統服務範圍內的工業與農業用水。FAO 使用此資料乃因各國的資料可及性較高，易於跨國比較。

2 假設台灣公共給水系統引水量用於生活用水與工業用水，因此將總用水量減去農業用水量，再除以總人口數而得。

二、 水資源需求面管理之經濟工具

根據圖 1 水資源管理工具的分類，政府可以運用多種政策工具與技術工具進行水資源需求面管理，政策工具主要可分爲經濟工具與行政管制兩大類。經濟工具可再分爲價格工具與數量工具兩類。價格工具包含水權費、水污費、水源保育與回饋費與污水下水道使用費等，數量工具包含水權制度與水權交易。行政管制包括限制用水量、規範必須使用省水標章產品。技術工具包含提昇用水效率、使用省水標章產品與衛生系統的設計。

經過多年法規建設工作，台灣水資源管理法規與制度已涵蓋前述所有的政策工具，其中各項經濟工具與法源依據請見圖 2。以下逐一分析各需求面經濟工具的現況與課題。

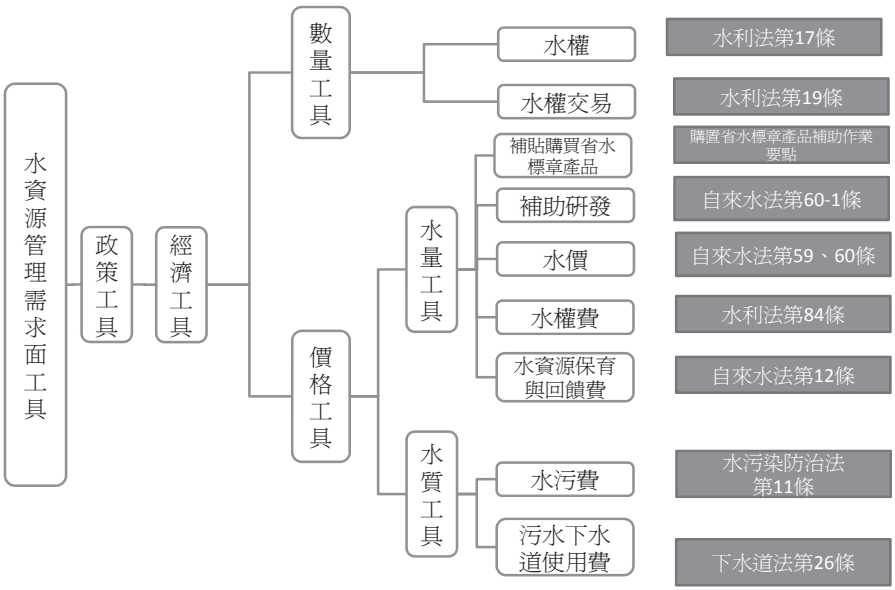


圖2 台灣既有水資源需求面經濟工具

(一) 數量工具

1. 水權

水利法第十五條規定「本法所稱水權，謂依法對於地面水或地下水，取得使用或收益之權」。水權之取得，依水利法第十六條規定，除民生所需部份外應向行政機關申請許可。據此可知，我國的水資源屬國家所有，水權（水資源使用及收益之權）

可經國家許可賦予人民，民生必須之水資源可自由使用，但超越民生必須以外而涉及整體公益與經濟考量時，則須先經行政機關之許可。另外，我國水權與土地所有權分開，水權的取得不因土地所有權而受影響。目前水權管理的問題包括:

(1) 水權管制與分配過於僵硬

水資源的財產屬於國家所有，人民依法僅取得使用或收益之權。水權有很多限制，首先，使用或收益權與土地所有權分離，而且不可移轉與交易，不得自由處分。且須申請，待批准後才可以取得水權。此外，水權業者須繳納水權費。

水利法第 17 條雖明定，取得水權其用水量應以事業所必需爲限，但水權量核發標準難訂定，執行確有很大的困難。估算各用水標的之實際事業所必需時有所困難，無法確實執行水利法第 17 條，將非事業所必需之多餘用水收回。

(2) 負責管理水資源與提供水服務的政府機關與公營事業通常行政程序較缺乏效率，管理與執法較不確實

水權機關事權未統一，事權機關包括經濟部、農委會、內政部、環保署，管理事權分隸，面臨各主管機關本位立場之衝突。地方政府與中央政府溝通不易，台灣受天然水資源區位環境條件之限制，水資源之開發利用多採區域聯合運用之策略，水資源的調配常需中央政府與地方政府共同配合，但溝通過程中常有困難產生。

(3) 有關的自治團體（農田水利會）之組織制度（農田水利會組織通則）易受政治力的影響。

以上這些問題對於用水效率低落、浪費及水資源耗竭都有所貢獻。

2. 水權交易

水權交易制度是將水資源視爲具有市場經濟價值的商品，而透過市場機制分配用水。水利法中關於水量移用及移用補償之規定包括第 19 條、第 19 條之一、第 20 條之一、第 22 條和第 26 條。其中第 19 條規定，在水源之水量不敷公共給水時，主管機關得停止或撤銷第 18 條第一項第一款以外之水權，或加使用上之限制，前項水權之停止、撤銷或限制，致使原用水人受有重大損害時，由主管機關按損害情形核定補償，責由公共給水機關負責之。本條規定顯示水權與公益關聯密切，主管機關需適時介入，顯見其傾向公法性質。第 19 條之一規定水權人交換使用全部或一部

分引水量者，應由雙方訂定換水契約，於報經主管機關核准後生效。時間超過三年者，雙方應依法辦理變更登記。第 26 條則規定主管機關在公共事業需水時，得停止或撤銷私人已登記之水權，兩者皆規定對移用所造成之損失需予以補償，由這兩條規定來看，主管機關基於公益之理由得適時介入強制水量移用，這種水量移用雖具有強制性質，卻有交易之實質內涵。由前述條文可知水利法未禁止水權交易，甚至已許可水權交易，但是由於存在諸多交易限制，尚非完整自由的水權交易制度。

(二) 價格工具

1. 水量面

(1) 水權費

我國水利法第 84 條規定政府爲發展及維護水利事業得徵收水權費，但迄今政府尚未徵收水權費。我國水利法並未明白規定水權費的費基，只規定徵收農業、工業與水力用水水權費的徵收起點[3]，但依水利法施行細則第 166 條之規定，水權費之費基應爲「總用水量」(以千立方公尺爲單位)，亦即『以水權登記之用水量，乘以用水期間』所得之用水量;但依法裝置量水設備者，應按『水權人填報之全年實用水量記錄表爲準』。由此可知，法定的費基端視水權人是否裝置量水設備而異;無裝置量水設備者，以核發之水權量爲準，反之，則以水權人填報之實用水量爲準。

(2) 水源保育與回饋費

經過增訂自來水法第 12 條之二，政府於 95 年 1 月 1 日起開徵水源保育與回饋費，水利署向水質水量保護區內取用地面水或地下水之水權人或臨時使用權人徵收回饋費，費率依用水標的而異，其中工業用水費率最高，每立方公尺 0.5 元爲最高，農用用水費率最低，每立方公尺 0.009 元。

現行水源保育與回饋費支用的問題主要是，支用的主要項目包括水利、保育、生態遊憩觀光設施興建與維護、及居民公共福利有關的款項（第二款與第八款）等，乍看之下以爲水資源保育、排水、水利、生態遊憩觀光等設施之興建與維護是有利於水資源保育的支出，實則不然，仔細檢視各鄉鎮之回饋計畫內容，大多數支出內容是興建水利設施與生態遊憩觀光設施，過多的觀光設施

3 水利法第 85 條規定，『水權費之徵收，農業工業用水以每分鐘一立方公尺之供水量為起點，水利用水以每秒鐘一立方公尺之供水量為起點，其費率由省（市）主管機關擬定，報請中央主管機關核定公告之』，其中所稱「供水量」，『係指水權登記之引用水量』（施行細則第 156 條）。

與水利設施反而不利於水資源涵養與保育，與回饋費的本意相背，此外，目前的回饋費分配方式，並無法反映出各鄉鎮對水源保育的公益貢獻多寡，以至於無法提供各區域積極參與水源保育的誘因，而僅有消極遵守法規限制之作用。

2. 水質面

(1) 水污染排放費

水污染排放費目的在於將水污染的外部成本內部化，以減少水污染。我國水污染排放費課徵收制度已籌備多時，雖然於法有據，但受限於外界壓力，遲遲尚未開徵。但由於民意輿情反映不應向家戶徵收、污水下水道系統尚未建置普及，以及部分業界表示若已符合放流水標準則不應再被徵收水污費，且司法院大法官會議亦認爲對於水污染防治費之徵收，應有明確之法律授權依據等原因，自 1998 年迄今，雖然環保署依法編列年度水污染防治基金預算送立法院審議，唯立法委員皆未審查通過預算。

(2) 污水下水道使用費

下水道法第 7 條規定公共下水道由地方政府或鄉（鎮、市）公所建設與管理，且「中央對直轄市及縣（市）補助辦法」規定中，中央對地方之補助未包括污水下水道之營運管理，另下水道法及地方制度法均已明訂可向用戶徵收污水下水道使用費，但目前僅臺北市徵收污水下水道使用費，按自來水度數每度徵收 5 元，不足之數由台北市政府編列公務預算支應。我國中央補助各地方政府污水下水道經費以建設費爲主，而大多數已完工之污水處理廠均在試營運階段，因此營管費目前大多仍由中央補助，地方僅編列配合款。

政府之配套政策應一方面向污水下水道用戶徵收污水下水道使用費，同時另一方面對未接公共污水下水道之家庭用戶徵收水污染防治費，惟水污費迄未徵收，致使各縣（市）議會大多未同意徵收污水下水道使用費。近來中央與各縣（市）政府雖積極推動污水下水道建設，惟仍遭遇許多問題與困難，影響建設推動，主要的問題仍在於經費無著之困境。

三、 台灣水資源需求面管理之技術工具

水資源需求面技術工具有許多種，例如各種節水產品，本節著重於生活用水中的廁所用水，因爲廁所用水量約占依據自來水公司售水量統計計算之台灣每人每日

生活用水量 271 公升的 20%，相當重要，且具有很大的節水空間。[4]

「創造未來世代的衛生科技」（Create the Next Generation of Sanitation Technologies）是去年（2010）8 月 19 日比爾與美琳達蓋茲基金會（Bill & Melinda Gates Foundation）向全球科研界公開徵求的五項全球健康研究課題之一，脫穎而出的研究計畫最高可以獲得 1 百萬美金研究經費。此基金會認爲衛生科技非常重要，但是長期受到忽視，他們認爲傳統衛生系統（sanitation system）（即沖水馬桶與公共污水下水道系統）都是仰賴水、能源及資本高度密集的處理設備攜帶及處理人體排泄物，此類系統面臨許多挑戰，包括對能源及水資源之高度需求、非常高的建設成本及不小的維護成本，但是對於許多開發中國家而言，能源、水資源及資金原來就是稀有的資源，以致於多數人民生活於不衛生的環境，造成嚴重的健康與環境污染問題，即使是已有完善下水道系統的已開發國家，也面臨全球氣候變遷與能源危機帶來能源危機及水資源危機的威脅，於不久的未來是否有足夠的水資源與能源以維持傳統的衛生系統，也是個必須回答的課題。

台灣的衛生系統處於先進國家與開發中國家之間，截至 97 年 12 月底止，全國公共污水下水道普及率爲 19.50%，其中台北市普及率爲 91.04% 爲最高，其次高雄市爲 53.73%、台灣省爲 6.69%、福建省 29.23%，台灣省仍有 9 個縣（市）之普及率爲 0%。

就傳統衛生系統所需的三個主要投入要素而言，雖然台灣資金較爲充足，但是面對全球能源危機與缺水危機之脆弱度甚高，首先，台灣每人平均 GDP 約 20,000 美元，介於先進國家與開發中國家之間。其次，台灣能源安全度低，進口依存及能源集中度偏高，2007 年臺灣的進口依存度爲 99.32%，高居第一位，能源集中度 61.4%，僅次於中國大陸（69.3%），在石油生產高峰（oil peak）不久將到來之前景下（Deffeyes, 2006，蕭代基、陳筆，2009），能源安全益形脆弱。

在此情況下，台灣未來應繼續使用傳統衛生系統，建設公共污水下水道與污水處理廠，或發展如比爾與美琳達蓋茲基金會所徵求與提倡的低成本、長效、容易使用、系統安全、滿足景觀與環境要求、以及對水、能源及空間之需求量低之永續性

4 成人每次上廁所排放約 150 克尿液或 200 克糞便，每人平均一天小便 6 次大號 1 次，一天平均沖水七次，沖水馬桶沖一次耗水約 6-8 公升，一天用水量約 50 公升，約佔 20%總家庭用水量（武嘉仁，2003；陳國帝、陳明德、陳文卿，2005）。武嘉仁（2003）認為一人一年約產生 500 公升的尿液和 50 公升的糞便，為了處理總共 550 公升的排泄物，一個人一年平均要用去 15,000 公升的清水。

衛生系統，是一個非常值得探討的議題，以下介紹幾個已經使用的永續性衛生系統，並進行一個簡單的成本效益分析，比較此二方案。

(一) 衛生系統的水資源利用模式

按照水資源使用模式，衛生系統使用的馬桶可分爲沖水馬桶與分離式馬桶（urine source separation（NoMix-technology））兩類。沖水馬桶應用水封設計，阻擋化糞池或管路臭氣擴散至廁所空間，將廁所污水排入污水下水道，和一般的生活污水（如淋浴）、雨水、和工業廢水混和進入污水處理廠，此即傳統衛生系統。台灣的絕大部分地區都是採用沖水馬桶。

由於沖水馬桶將糞便和尿液混和，並且用大量的清水混和，不只浪費水資源，更提高污水處理難度與處理成本，隨者水資源稀缺與價格日貴，許多學者專家提出源分離（source separation）或源管理（source management）的概念，設計出永續性衛生系統，即將高濃度的糞、尿與低污染的生活污水三者分別收集，經各自專用管線處理及循環再利用（見圖 1），尿液以容器承接，作爲液肥處理;糞便混合木屑，經由微生物醱酵作用達到減量及安定化目的，醱酵作用之最高溫度可達到 60-70℃，更維持 60-70 天之長時間腐熟，在此條件下對人體有害之微生物均已分解完成。

源分離方式的優點有三，一、按性質不同分別收集後，容易處理與回收再利用，降低處理成本;二、可以有效的節省水資源，三、可以將糞尿轉爲氮肥、磷肥。

武嘉仁（2003）根據近期學術文獻，介紹 10 種永續衛生設備與系統的新觀念，包括不需耗水的馬桶。在北京推廣的高效利用再生迴圈利用型節水模式就是應用源分離技術的永續性衛生系統，取代傳統沖水馬桶與污水下水道系統（杜鵬飛，2010），已近於符合比爾與美琳達蓋茲基金會所徵求的未來世代的衛生科技。

2001 年至 2004 年歐盟在德國進行新衛生系統示範計畫（EU Demonstration Project），比較六種衛生系統的生命週期永續性與成本，此研究發現，新的永續衛生系統在水再利用、節水、節能、養分循環等方面較具永續性，長期而言，永續性衛生系統的總成本較低，永續性衛生系統的操作成本較傳統式低 18%（Peter-Fröhlich, et al, 2007）。另外 Markus（2003）計算傳統衛生系統與永續性衛生系統兩種情境之成本與效益，永續性衛生系統的固定成本（包含下水道與污水處理廠）是傳統衛生系統的一半，而變動成本約爲傳統式的三分之二。

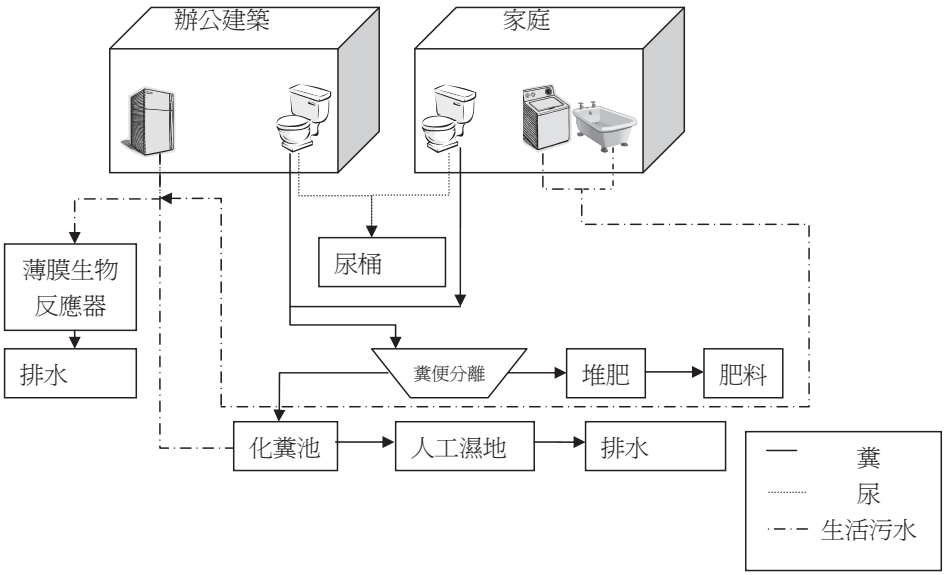


圖1 永續性衛生系統

(二) 衛生系統成本效益分析

假設政府要在台灣目前公共污水下水道普及率爲零的九個縣市進行衛生系統建設，可供選擇的衛生系統可先簡單地分爲傳統衛生系統與永續性衛生系統兩大類，因此需進行成本效益分析，以選擇較適當的衛生系統。表 1 爲此二系統的成本與效益項目，此二系統的成本與效益項目類似，在成本面，都有固定成本、變動成本與環境成本，但高低不同，在效益面，兩系統都可以妥善處理污水與糞尿，但永續性衛生系統還可以產出有機肥料，循環再利用有限的資源。

1. 固定成本

傳統衛生系統的固定成本包含沖水馬桶與下水道建設，由於全台灣幾乎都已經使用沖水馬桶，沖水馬桶的新增固定成本較小。下水道系統的功能是將生活污水經由主、支幹管收集後送到污水處理廠處理後再排放河川或大海，迄 97 年全國公共污水下水道普及率[5] 爲 19.50%，污水下水道系統包含三個主要部分:用戶接管、污水管線及污水處理廠。

5 公共污水下水道普及率、專用污水下水道普及率及建築物污水處理設施設置率三者合計稱為污水處理率。本文以討論公共污水下水道為主。

表1 成本效益分析

傳統衛生系統		永續性衛生系統	
效益	成本	效益	成本
妥善處理污水、糞尿 無臭	固定成本 建造成本 (1) 馬桶 (2) 污水下水道 (3) 污水處理廠 變動成本 (1) 用水量 (2) 污水下水道的營運與維護 (3) 污水處理廠的營運與維護 環境成本 (1) 開發水源與生產自來水之生產成本與環境成本 (2) 建造污水下水道系統的環境成本 (3) 污水排放造成的環境負荷	妥善處理污水、糞尿 無臭 有機肥料	固定成本 建造成本 (1) 馬桶 (2) 簡易污水處理廠的設置 變動成本 (1) 用水量 (2) 營運與維護成本 (3) 污水處理廠的營運與維護 環境成本 (1) 開發水源與生產自來水之生產成本與環境成本 (2) 污水排放造成的環境負荷

根據「污水下水道第四期建設計畫」，費用共計 2,047 億元，總接管 947,100 戶，推估平均每戶接管費用約爲 21 萬元（內政部營建署，98 年）。根據每戶接管費用約爲 21 萬元，若需將目前未接管之九縣市提升至 100% 接管，尚需要 2,924 億元的經費，倘若將全國接管率提升至 100% 則需要 1.3 兆元的經費。

永續性衛生系統的固定成本包含分離式馬桶與管線的建置成本與糞、尿與其他家庭污水的處理系統，分離式馬桶需要將糞、尿與其他家庭污水設置各自專用管線，因此成本較傳統衛生系統單一管線較高，但糞、尿與其他家庭污水處理較簡易，成本較低，且糞尿可循環再利用做爲有機肥料。由於沒有台灣的相關資料，無法估計永續性衛生系統的固定成本，惟根據 Markus（2003）的奧地利農村個案研究，永續性衛生系統的固定成本是傳統衛生系統的一半。

2. 變動成本

傳統衛生系統的變動成本包含下水道系統營運管理成本與沖水馬桶使用的水、電，下水道系統營運管理成本包含污水處理廠及污水管線的營運支出。依據台灣經

濟研究院（2008）的分類，「污水處理設施營管費」包含「維護費用」與「收集管線及用戶接管設備營運管理費用」。以 2005~2007 年統計資料計算，平均每戶每年維護費爲 1,232 元。據此，在目前未接管之九縣市，每年將需要近 16 億元的下水道系統營運管理成本。倘若將全國接管率至 100%，則每年需要 90 億元的維護費。

永續性衛生系統亦需要分離式馬桶與三種污水專用管線及處理設施之維護成本。台灣缺乏永續性衛生系統的相關資料，無法估計變動成本，根據 Markus(2003) 的奧地利農村個案研究，永續性衛生系統的變動成本約爲傳統式的三分之二。

3. 環境成本

傳統衛生系統耗費大量的自來水，成人每次上廁所排放約 150 克尿液或 200 克糞便，每人平均一天小便 6 次大號 1 次，一天平均沖水七次，沖水馬桶沖一次耗水約 6-8 公升，一天用水量約 50 公升，約占台灣人均生活用水量的 20%（武嘉仁，2003；陳國帝、陳明德、陳文卿，2005）。

爲提供此自來水量之機會成本包括其開發水源與生產自來水之生產成本與操作造成的環境損害成本，也包括爲處理污水而建造與營運污水下水道系統的建設成本與污水排放造成的環境負荷。

永續性衛生系統的設計可以做到無水或少水，因此其環境成本很低，可節省此佔生活用水三分之一的水資源，並同時可減少自來水開發與生產及污水處理的生產成本與環境成本。

根據上述簡單且尚不完整的成本效益分析可知，基本上，傳統衛生系統與永續性衛生系統相較，傳統衛生系統之固定成本與變動成本都較高，且耗費較多自來水，爲生產此自來水量與處理其衍生的污水，都需投入大量的資源，包括水資源、能源、人力、土木等等，亦造成較高的環境負荷。此外，雖然兩系統都可以妥善處理生活污水與糞尿，但永續性衛生系統還有較高的資源循環再利用之效益。

因此，我們應該重新思考污水下水道建設的政策是否符合水資源永續利用原則。以生活污水的組成來看，人類糞尿在總量上僅占生活污水總量的 1%，但是含有生活污水中大部分的有機物和絕大部分的氮、磷。尿液中的氮約佔生活污水中氮總量的 80%，而磷約佔 50%。如果把糞和尿分離，尿液單獨處理，尿素會在土壤中水解產生銨（NH_4^+）與碳酸根離子（CO_3^{2-}），這兩種物質都容易被植物吸收，不易造成環境問題。糞尿不進入污水處理廠，那麼廁所用水量可以大幅的降低，污水處理量

也隨之減少，進入污水處理廠的污水中氮、磷含量將大幅度削減，通過常規的二級處理就可以達到國家相關的排放標準，污水處理廠基本不需要設置氮、磷的設備，就能達到氮、磷的排放標準。事實上，不僅是人類使用的廁所應用源分離技術，國內已有糞尿分離的豬廁所，不僅減少處理成本，也同時降低環境污染與能耗。

四、 結論與政策建議

水資源需求面管理是我們面對水資源短缺無可避免且必須重視的課題，雖然新興水供給之科技都已經存在，但永遠受到水資源、能源與自然環境條件的限制，在水與能源都可能短缺的未來，我們應該優先進行需求面的管理。

台灣目前雖然各種水資源管理需求面政策工具齊備且均有法令基礎，但水資源管理者（包括行政與立法兩部門）對水資源有效利用與保育誘因不足，亦無法避免政治力的制約，因此造成管理及執法的不確實，例如迄今僅水源保育與回饋費與污水下水道使用費隨水費附徵，水污費、水權費迄未徵收，水權管理與交易亦存在許多問題，我們發現目前是市場失靈與政府失靈並存的現象。因此可知政府僅立法提供政策工具之法律基礎、執行機關預算與人力資源，並無法確保達成立法目的，落實水資源管理。主要的原因是缺乏管理誘因，因此，未來需求面的政策工具應從加強制度設計以提高誘因爲因應之道。[6]

水資源需求面的技術工具如衛生系統的設計，亦具有相當大的節水潛能及環境效益，但過去我們並未思考這類型的設計，一直追隨已有百年的先進國家傳統衛生系統模式，努力提升污水下水道的普及率，卻忽略台灣缺水與缺能源的現實條件，亦忽略古老科技之效益，更忽略此傳統污水下水道系統之巨大沈入成本可能造成之不可回復的系統性錯誤。

比爾與美琳達蓋茲基金會深感水資源與能源稀缺之威脅，關懷人民健康、環境安全，而向全球專家學者徵求「創造未來世代的衛生科技」研究，台灣早已被聯合國列爲全球排名第 18 位具缺水危機的國家，再加上石油危機與氣候變遷之陰霾，且全國公共污水下水道普及率爲 19.50%，這些都是我們應重新思考衛生系統之重要考量因素，若採用永續性衛生系統，不但可以促進需求面之技術創新，且可大爲降低水資源需求的壓力，相信比透過供給面的技術創新，更容易達到節約用水的目的。

6 詳見蕭代基、張瓊婷、郭彥廉（2003）。

以衛生系統節水的效能來說，各種水價優惠措施、發送節水墊片、加強節約用水宣導、補助民眾購置省水標章產品，可能都不如節省廁所用水量更能夠有效的達到馬總統訂定的每人每天生活用水量爲 250 公升的目標。

參考文獻：

台灣經濟研究院，2008，「我國污水下水道推動之整體財務機制與國際比較」報告，內政部營建署委託研究。

武嘉仁，2003，永續衛生設備，永續產業發展月刊第10期，第55-66頁.

郝曉地，衣蘭凱，仇付國，2010，「源分離技術的國內外研發進展及應用現狀」，中國給水排水。

陳國帝、陳明德、陳文卿，2005，「生態廁所新趨勢-廁所節水與污染處置技術」，節水季刊第45期，第41頁-45頁。

蕭代基、張瓊婷、郭彥廉，2003，「自然資源的參與式管理與地方自治制度」，台灣經濟預測與政策，三十四卷一期。

蕭代基，陳筆，2009，「永續發展的挑戰：能源環境與經濟的雙重危機」，中華民國經濟年鑑：中華民國九十八年，經濟日報社。

Deffeyes, Kenneth S. 2006. Beyond Oil: The View from Hubbert's Peak. Hill and Wang.

Dockhorn, T. and Dichtl, N. 2006. A Decision Support Tool for Implementing a Sustainable Resource Management in the Sector of Municipal Wastewater Treatment. 2nd IWA Leading - Edge Conference on Sustainability in Water-Limited Environments, (Water and Environmental Management Series No. 10), ed. M.B. Beck and A. Speers, IWA Publishing, London.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) and Jelle Bruinsma, eds. 2003. World Agriculture: Towards 2015/2030—An FAO Perspective. London: Earthscan.

FAO. 2003. 2006. The AQUASTAT Database. Rome. Available at www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbase/index.stm. July 2006.

Markus, L. and Günter, L., 2003, Cost Comparison of Conventional and Modern Sanitation Solutions, 2nd International Symposium on Ecological Sanitation.

Oldenburg, M., Peter-Fröhlich, A., Dlabacs, C., Pawlowski, L. and Bonhomme, A., 2007, EU Demonstration Project for Separate Discharge and Treatment of Urine, Faeces and Greywater – Part Ⅱ: Cost Comparison of Different Sanitation Systems, Water Science & Technology, 56(5): 251–257.

Peter-Fröhlich, A., Pawlowski, L., Bonhomme, A. and Oldenburg, M., 2007, EU Demonstration Project for Separate Discharge and Treatment of Urine, Faeces and Greywater – Part I: Results, Water Science & Technology, 56(5): 239–249.

UNDP (United Nation Development Project) 2006. Human Development Report 2006. United Nations, New York.

用水合理化之策略與措施

張添晉
國立臺北科技大學環境工程與管理研究所教授
兼台灣水環境再生協會理事長

前言

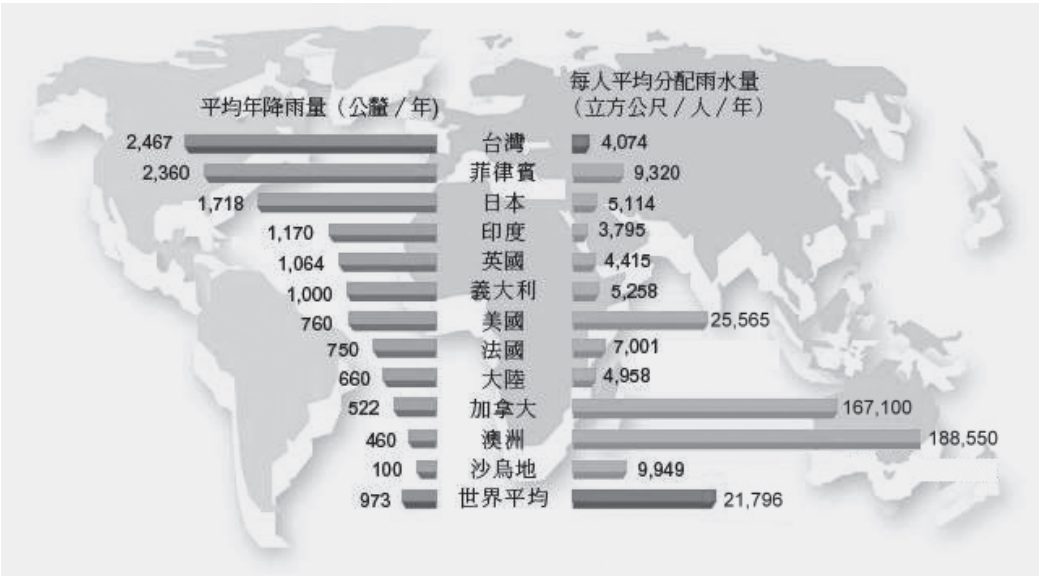
台灣地狹人稠，降雨分佈不均，屬於缺水國家，加上近年地球暖化導致氣候異常，國內降雨量之季節性水荒勢態擴大，北部及離島地區缺水更爲嚴重，常導致高科技科學園區面臨無水可用的困境，更加深社會大眾對於水資源調度與運用與水價合理化之關切，水資源應該如何管理分配，如何排定用水優先順位，以及如何強化水回收再生利用，爲國內目前最重要探討之關鍵課題。

水資源有效利用之用水合理化，分別爲供水效率化、強化用水管理及水回收再利用三大主軸作爲國內用水合理化之主要政策，而政府已針對不同行業別訂定回收率承諾之建議值，可作爲產業界掌握廠內水回收再利用標的之參考依據，藉由用水計畫書之查核亦可有效掌握國內用水量、水資源永續利用及落實總量管制機制，已爲我國當前政策重點執行方針之一，未來推動合理化用水之策略與措施勢在必行。

一、各國用水量現況

各國民生用水量來源主要來自於區域之水庫集水區，而水庫水來源來自於水文循環之降水。國內經濟部水利署統計顯示，台灣地區年降雨量爲世界平均值 2.6 倍，由於台灣人口密度高，地形限制以及季節分布不平均，平均每人每年的均配量僅爲 4,074 m^3，僅約全球平均值 1/5，屬於水資源匱乏地區。而澳洲雖然平均年降雨量僅 460 mm/ 年，但地形及氣候等因素，每人平均分配之雨水量多達 188,550 m^3/ 人年爲世界最高，而加拿大爲 167,100 m^3/ 人年及美國爲 25,565 m^3/ 人年次之，世界各國降

雨量比較圖如圖 1 所示。



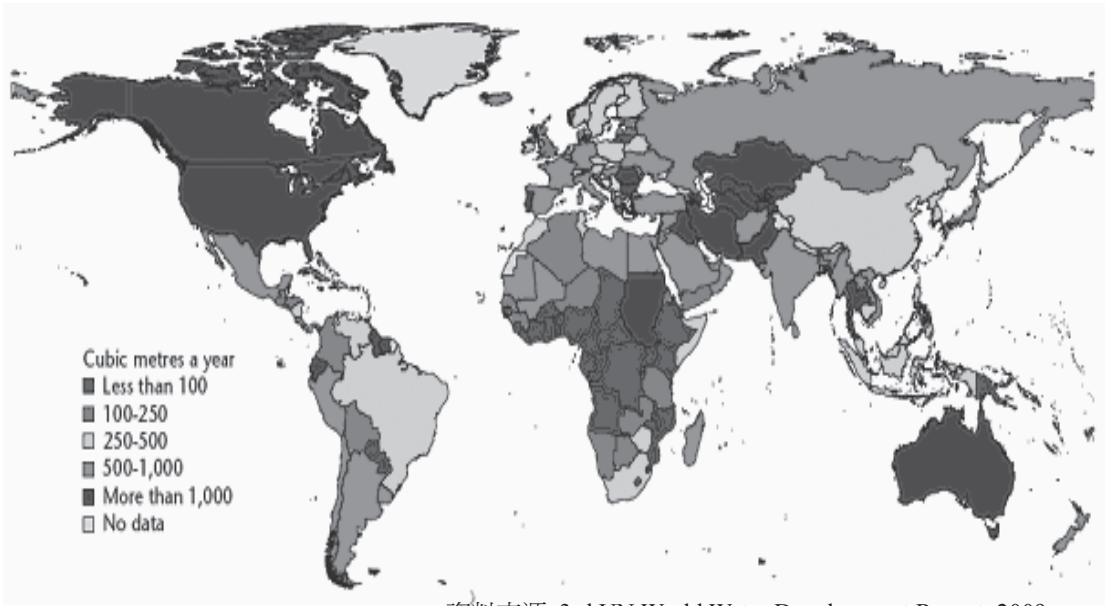
資料來源：經濟部水利署

圖1　世界各國降雨量比較圖

依聯合國水機制 UN-Water 之 2009 年報指出，世界各國每人每年用水量之全球分佈圖如圖 2 所示。由圖所得知，中非國家地區因降雨量少，每人每年用水量不到 100 m^3/ 人年，北美洲、澳洲、中西亞部分國家、泰國及非洲蘇丹共和國等國家每人每年用水量超過 1,000 m^3/ 人年。因非洲蘇丹共和國人口密度集中，加上世界上最長之尼羅河流域流經該國，而南蘇丹全年雨量 600 ～ 2,000 mm，地形坡度特小，河川流速轉緩形成大面積沼澤濕地，故該國每人每年用水量超過世界各國之平均值。

二、用水合理化策略

合理用水由永續發展與節約用水需求面管理之概念，包括供給面與需求面平衡之規劃、明智用水需求、提高用水效率、減少用水損失及有效使用等。依台灣經濟與環境現況提出之合理用水定義如下：「公用事業單位制定水價時須反應整體水資源供水成本，工業用水者確實有能力：(1) 符合當時之放流水標準；(2) 兼顧製程與回收技術之可行性；(3) 達到用水效率、公平取用與成本回收原則；滿足上述條件，並透過市場機制，所取得適量之用水稱『合理用水』」（陳亮清，2005）



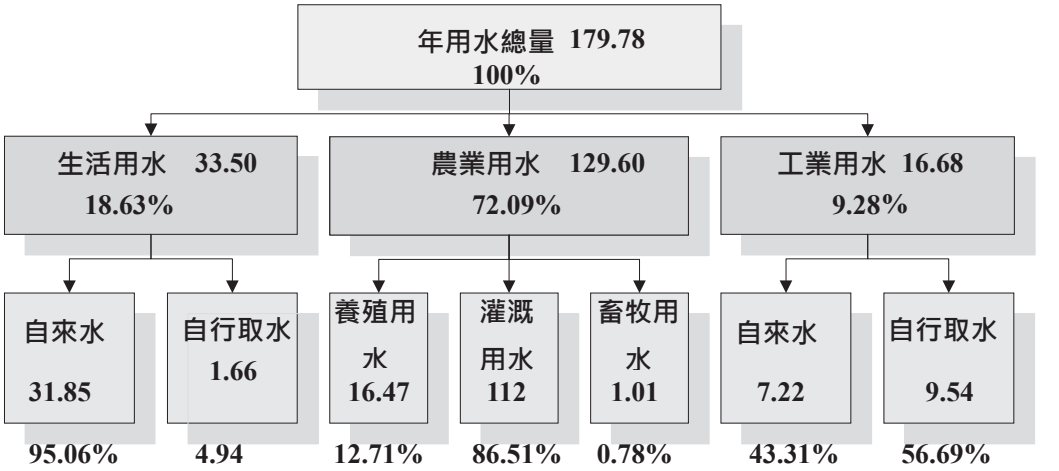
資料來源：3rd UN World Water Development Report, 2009

圖2　世界各國每人每年用水量分佈圖

台灣地區國人每人平均分配之用水量爲全國平均值 1/5，屬於缺水國家，加上近年地球暖化，國內降雨量之季節性水荒勢態擴大，北部及離島地區缺水更爲嚴重，造成高科技科學園區面臨無水可用的困境，更加深了社會大眾對於水資源調度與運用與水價合理化的關切。故台灣地區的水資源應該如何管理分配，以及如何排定用水優先順位，爲國內目前最重要探討之關鍵課題。

依經濟部水利署 97 年水資源年報台灣地區水資源應用標的統計資料顯示，農業用水佔 72.09 %、民生用水佔 18.63 %、工業用水佔 9.28 %，台灣地區各標的用水概況圖如圖 3 所示。各用水標的受水文條件或輸水及淨水能力所限制，隨著經濟發展，工業用水量與日俱增，工業用水常與農業及民生用水標的相互競爭用水。農業用水所佔比例最高，但其用水主要以河川引水，較少仰賴水庫蓄水及地下水，故農業用水之供水狀況較不穩定，若遇乾旱時，必須面臨休耕之困境。民生用水對於乾旱的耐受度最低，因此依賴水庫供水比例最高，爲所有標的總用水量 71 % 以上。工業用水整體所佔比例最低，用水比例僅 15 %，但因產業分布零散、不同用途所需水質而異，因此傳統型工業之程序用水多以抽用地下水爲主，以及地面水（包括水庫、

河川及農業移用水）。（胡思聰，2002）



註：單位爲億立方公尺
資料來源：經濟部水利署

圖3　台灣地區97年各標的用水概況

依據歐陽崎暉資深教授提出國內水資源有效利用體系，其水資源有效利用之用水合理化策略，可分別爲供水效率化、強化用水管理及水回收再利用三大主軸，如下分述。

1.供水效率化

(1) 提升自來水有效供水率（減少漏水、無費用水）

(2) 防止農業用水的損失（依灌溉需求，有效調節供需）

2.強化用水管理

(1) 家庭用水等之合理化（節水水栓、節水型馬桶及洗衣機）

A.推動訂定省水器材普及化之相關辦法：省水器材普及化、推動省水標章制度。鼓勵設置截留雨水設備。

B.生活用水中非飲用之雜用水（如洗滌、淋浴、清掃、消防用水等）污染濃低仍低，集中處理後可回收由專用之中水道系統提供爲工作雜用水或景觀綠化灌溉用水，可減少生活用水量35 %以上。

C.中水道系統因需新設管線、避免管線錯接、顧慮民眾接納度及成本高於目前自來水價等限制，又因我國中下水道之不普及，亟需政策推動及提供經濟誘

因。

(2) 工業用水合理化（節水生產設備、替代設備及冷卻水減少損失）

A.積極配合水利署「新興水源發展條例」之立法，鼓勵民間造水事業之建立。提升高級處理技術之應用研發推廣，使廢水回收再利用技術落實本土化。

B.考量排放率及用水回收率共同規範，提高廢水回收之經濟誘因，以價制量，促成提高用水效率之省水生產流程。

C.獎勵設置循環水之設施及其利用率。水源之分級系統設置及使用；嚴格執行污染處理，將污染清潔水源降至最低水平。

D.歷年推動工業用水政策目標彙整如表1所示。

表1　工業用水目標彙整

年度	政策依據政策	重點與目標
1994	「節約用水措施」	提高用水效率與效能 健全用水管理及制度
1995	「現階段工業用水發展政策綱領」	穩定供應工業用水
1998 2000	「全國國土及水資源會議」結論 「節約用水行動方案」	提升工業用水回收率 工業用水期於 2011 年達成平均回收率 65 % 之目標
2003 2004	「中長程工業用水發展政策綱領實施計畫」 「挑戰 2008 國家發展重點計畫—水與綠建築計畫」之「積極推動節約用水」分項計畫	注重工業廢水回收再利用及再使用 推動合理水價 節約用水 2003 至 2007 年達成 4,150 萬噸工業用水節水量
2005	水資源永續發展政策規劃	持續提升工業用水效率，擴大推動節水工作 訂定於 2021 年前持續提高現有用水回收率至少 10 % 節約用水量 4,600 萬噸
2006	新世紀水資源政策綱領	營造安全、生態、多樣的水環境 確保量足、質優、永續的水資源 建立知水、愛水、節水的水文化

資料來源:經濟部工業局，2006

(3) 農業用水及養殖用水的合理化（用水及排水設施的改善）

A.加強灌溉管理，依照水利及農業等相關法規，研擬最適水資源利用、調配方案。

B.以國家整體利益爲基礎，研提可行策略及必要之配套措施，減少耗水量多之淡水密集養殖及鼓勵養殖用水之循環利用。

C.從水資源主管機關（農田水利會）角度，評估分析水資源整體調配利用問題之所在，改善輸配水設施，減少輸配水損失；並加強灌溉配水設施管路化，灌排分離，防止水源污染，增加迴歸水利用率。

D.調整或改變耕作方式來改進用水效率低之灌區；機動調整田埂高度，增加有效雨量利用率。地面水及地下水有效聯合運用，降低對地下水之超抽。

E.貫徹養豬場及畜牧場之廢水處理，避免污染可利用水源。

3.水回收再利用

(1) 事業用水回收再利用(事業爲單位、單位產品用水量、製程循環再利用率及總回收率)

用水清查爲用水管理與推動用水回收再利用之基礎，包括供水來源、供水量、用水量及排放量等資料盤查建立。

(2) 生活雜用水回收利用（個別循環及地區循環利用）

A.個別循環方式

單一建築物內所產生之排水回收處理後，用於自身回用系統，即爲「個別循環式」方式。如建築物內所產生之雜排水、廚房排水、浴室排水等，經由生物處理或膜處理後，作爲沖廁或清洗等回收用途。

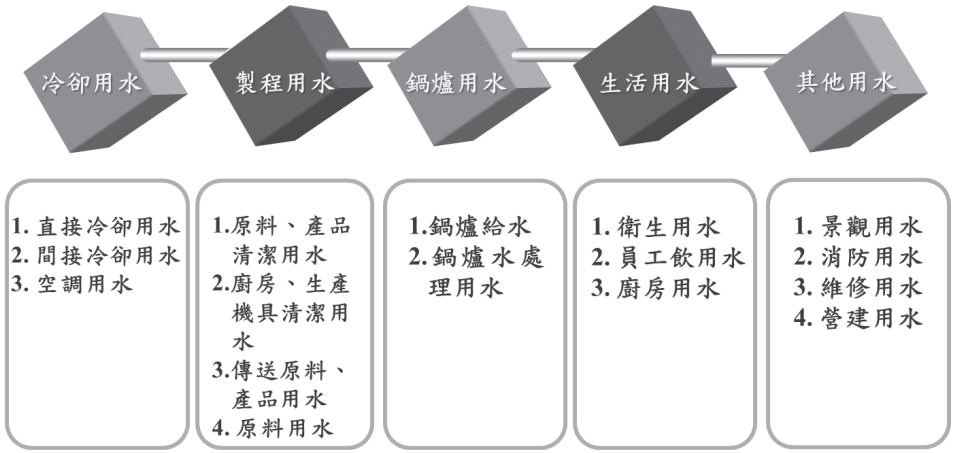
B.地區循環方式

大規模的集合式住宅，市地重劃再開發區、建築物共同下水道系統等收集回收系統，即爲「地區循環式」方式。數戶建築物之生活雜排水收集後，經由共同處理程序（生物處理或膜處理），作爲沖廁或清洗、澆灌等回收用途。

三、廠內循環利用

工業用水一般指在生產過程中用來製造、加工、冷卻、空調、洗滌、鍋爐及其

他用水之總稱。若依工業用水之用途及功能特性，在工業生產中大略包括 14 種。一般而言，工業用水分類概可歸納爲:冷卻用水、製程用水、鍋爐用水與生活用水及其他用水等五大類。如下圖 4 所示（水利署，2005）。冷卻水塔、鍋爐用水的原水水質要求並不高，可進行多次循環回收使用，以有效降低原水之需水量，提升工業用水回收率。（吳穗潯，2009）



資料來源:用水計畫審查作業要點，2005

圖4　工業用水種類示意圖

1.冷卻用水（Cooling Water Use）：指工業生產中，爲吸收或轉移生產設備及製品之多餘熱量，維持正常溫度下工作所用之水。可區分爲兩種：直接冷卻用水係指被冷卻物表面直接與水接觸達到冷卻效果；間接冷卻用水係指經過熱交換器而間接達到冷卻效果。此外，空調用水係指工作場所或製程中所需溫、濕度控制調節之用水，可歸類爲間接冷卻用水的一種。冷卻用水之應用中，以間接冷卻水最常被利用，其具備用量大、消耗少與污染輕之特色，故對工業節約用水之回收再利用有較大之功效。

2.製程用水（Process Water Use）：指作爲原料之水或製造過程中原料或半成品進行化學反應或物理作用所需之水。亦包括作爲原料、半成品與成品、機具、設備等與生產有關之清洗用水等等，均可歸納爲製程用水，此部份之用水通常須經由一定的處理後方可回收再利用。

3.鍋爐用水（Boiler Water Use）：指在工業生產中提供生產或發電所需蒸氣，在鍋爐

內進行汽化時所使用的水稱之，包括鍋爐給水及鍋爐水處理用水等，由於其蒸汽凝結水的水質較佳，故適合於回收再利用以增加用水效率。

4.生活用水（Sanitary Water Use）：指員工及工作環境所需飲用及衛生等用水。此部份用水與工廠生產較無直接關係。

5.其他用水（Miscellaneous Water Use）：包括景觀用水、防火用水等，對某些行業如製藥、電子或紡織等工業有較大之影響包含如擴建廠區時之營建用水、廠房維修所需之用水等等，其用水與生產或生活均較無直接之關係，使用之時間較不定，故可歸納爲雜項其他用水。

國內推動廠內用水循環利用已行之有年，並有許多成功案例，如:將純水系統排放水回用至水質要求較低之用水點如冷卻水塔，藉以降低用水量。在此整理國內部分廠內循環用水之作法，如下表 2 所示。

表2 國內工廠廠內循環利用作法

行業別	廠內循環利用作法
金屬表面處理業	反應式水洗：將表面處理清洗流程上未經處理的酸性清洗水，直接收集回補至鹼脫後水洗槽再用，除可提高製程清洗用水效率，還兼具延長酸洗槽槽液生命週期與更佳的中和效果。
石化業	製程冷卻排放水回收利用：可將製程冷卻水導入蓄水池，經砂濾槽過濾與冷卻水塔散熱，重新導入製程回收使用。 連續式水之過濾回收利用：如 PVC 聚合反應後，可以離心方式先脫水乾燥分離成品與水，經沉澱池後，再加裝連續式過濾器處理。如此可減低 SS 量，並儲存於緩衝池中利用泵送水，以做為製程管件清洗、下料沖水等用水。
食品及飲料業	純水系統排放水回用：至冷卻水塔可將純水系統排放水回用至水質要求較低之用水點，如冷卻水塔等。 廢水處理回收 : 食品業廢水水質單純，主要為生物無毒性有機物。可考慮將放流水處理後回收再利用於非製程用水，如冷卻用水、次級清洗用水及沖廁等。 鍋爐冷凝水回收 : 可收集冷凝水回收，做為冷卻用水或鍋爐用水。

行業別	廠內循環利用作法
印刷電路板業	於刷磨製程設置銅粉回收過濾機：製程單元產生含銅粉屑的廢水，佔製程總用水量的 10 % 以上。若經銅粉回收過濾機處理，可免除廢水污染的顧慮，且過濾後的水可再循環使用，節約大量用水。 含銅清洗廢水設置離子交換及電解回收系統：此等製程單元所排出之清洗廢水水質單純，僅含硫酸鹽、氯鹽、銅離子及微量 COD 等污染物，可使用離子交換及電解回收，進行此類清洗廢水之處理回收。

資料來源：樊運成，2004

行政院環保署訂有工業區開發環境影響評估審議規範，明確訂定工業區全區用水總回收率應至少達 70 % 之規定，供爲量化審查之依據。在新竹科學園區新開發案經一再檢討後，提出製程用水可回收再利用率 85 %、全廠可回收再利用率 75 % 之承諾，進而訂出傳統產業製程用水回收率 75 %、全廠或工業區全區總回收率 70 % 之審查標準，可見廠內用水循環再利用已爲必然趨勢。

四、用水計畫書

合理化用水管理中的關鍵，便是在新設置的大型開發案用水計畫進行用水合理性審查，因此，水利署研擬「用水計畫書審查作業要點」，其中明確闡述節約用水之重要性，第五條規定「用水計畫書之用水，合理性應符合推動節約用水之意旨，且計畫書內各項措施亦應確實可行;另其申請水源量則受限於總量管制」(水利署，2005)，並已據此擬定相關細項技術規範與填具標準格式提供用水計畫書申請單位及審查單位作爲撰寫之參考或審查之依據。

在掌握實際用水量情況下，應可適時反應開發單位現況用水可降低區域水源開發 / 調配之壓力，避免國家整體資源之浪費。而用水計畫書中並訂定節約用水計畫應撰寫之內容，包含以下兩點:

1.說明水量回收、重複再使用、廢水處理再利用、雨水貯留系統、中水道系統規劃或工業區（廠）內各廠用水聯合回用可行性評估等節約用水措施。

2.繪製用水平衡圖：一般開發案應包括生活用水、景觀用水及其它用水等項目；工業類開發案則應包括冷卻用水、製程用水、生活用水及其它用水等項目，並說明計畫製程用水回收率、全區（廠）用水回收率及全區（廠）用水排放率，其中排放水之

水質標準應符合放流水標準，其計算公式說明如下：

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

$$\text{回收率(不含冷卻水塔循環量)}=\frac{\text{總循環水量}+\text{總回用水量}-\text{總冷卻水循環量}}{\text{總用水量}-\text{總冷卻水循環量}}*100\%$$

$$\text{製程用水重複利用率}=\frac{\text{製程用水總重複利用水量}}{\text{製程用水總用水量}}*100\%\ \text{(工業類開發案適用)}$$

$$\text{排水率}=\frac{\text{總排放水量}}{\text{總原始取水量}}*100\%$$

此外水利署亦針對不同行業別訂定回收率承諾建議值，可作爲產業界掌握廠內水回收再利用標的之參考依據，同時爲達成政府提昇行政效率與便民之重要目標，完善現有用水量標準，並針對水利署已完成之相關技術規範建置用水計畫書資訊網，提供水利主管機關或是用水開發單位在用水計畫書相關資料審核或查詢之參考。

用水計畫相關法規除了「用水計畫書審查作業要點」明確規範用水計畫書之撰寫規定之外，另在「環境影響評估審議規範」，亦明確訂定水回收再利用之相關規定，以爲環評審查之依據，如下節中介紹。

五、環評承諾

過去國內各部會皆陸續委辦水再生利用相關計畫，經由多年之努力推動已有一番成果，尤其環境影響評估法於民國 84 年公告實施後，在環評過程中均透過環評承諾，要求開發者在水資源利用上，包括節約用水、雨水回收及污水回收再生利用，並達到實質推動水回收再利用之初級效益。民國 88 年環保署陸續訂定住宅社區、工業開發、高爾夫球場、文教醫療建設等之「環境影響評估審議規範」，明確訂定水回收再利用之規定，以爲環評審查之依據，並於 96 年公告「建築物污水處理回收再利用水質建議值」作爲回收標準。

在過去 10 多年間藉由環評審查較大規模之開發案，推廣水回收再利用，已超過 100 個實施案例，主要爲高爾夫球場、遊樂區、學校、大飯店、工業區、大醫院、政府訓練及檢驗機構、監獄等，其污水經收集處理再生後，提供作爲開發單位之廁所沖洗、澆灌、人工湖補充及清掃用水，其再生水之使用率各約佔總用水量 30 % ～ 50

%，總回收量約每日 20,000 m^3，每年約 700 多萬 m^3。水再生協會曾於民國 95 年進行全面問卷調查其實際設置及使用狀況，依至民國 94 年底承諾之 78 個單位，獲回收率 72.3 %，並就其使用狀況做分析，另針對回收再利用之 13 處場所進行實地調查並做效益分析及輔導，該 13 處之執行成效如表 3 所示。

表3 國內13處環評承諾執行水再生工作之執行成效彙整表

	環評要求事項	場所執行成效	環評結論執行符合程度	環評結論未符合項目	執行面臨之困境
小叮噹科學園區	中水回收率 40 % 回收用途：澆灌	佳	完全符合	無	無
三軍大學	中水回收率 100 % 回收用途：澆灌、沖廁 中水水質：BOD 10 mg/L、SS 30 mg/L、*E. coli* < 10 CFU/100 mL、NH_3-N 10 mg/L	佳	高度符合	尚未完工	原本預計今年完工，但因找不到工人因此延後一年完成
交通大學	中水回收率 50 % 回收用途：澆灌、沖廁 中水水質：BOD 22 mg/L、SS 20 mg/L	差	低度符合	目前正於規劃階段	目前正在評估規劃的階段，尚無法得知其面臨問題
明台高爾夫球場	中水回收率 100 % 回收用途：景觀池 中水水質：BOD 30 mg/L、SS 30 mg/L、E. coli 200 CFU/100 mL	優良	完全符合	無	因場所人員對中水再利用相關規定不了解，經由告知後，已能執行中水回收利用
動物檢疫局	中水回收率 100 % 回收用途：澆灌、沖廁 中水水質：BOD 10 mg/L、SS 33 mg/L、E. coli > 10 CFU/100 mL	佳	中度符合	尚待驗收後即可開始運作	無
寶山高爾夫球場	中水回收率 100 %	差	低度符合	中水回收率未達要求	成本過高

表3 國內13處環評承諾執行水再生工作之執行成效彙整表(續)

	環評要求事項	場所執行成效	環評結論執行符合程度	環評結論未符合項目	執行面臨之困境
明道管理學院	回收用途:沖廁、綠地澆灌、景觀湖泊 中水水質:BOD≦10 mg/L、SS≦10 mg/L、E. coli N.D. 設置中水回收系統	優良	高度符合	無	無
環球技術學院	中水水質:BOD≦30 mg/L、SS≦10 mg/L、E. coli≦2,000 CFU/100 mL	優良	完全符合	無	無
中科雲林基地	中水回收率 75 % 中水水質:BOD 30 mg/L、SS 30 mg/L、E. coli 200 CFU/100 mL	普通	中度符合	中水回收率未達要求	無
台大雲林分部	中水回收率 100 % 回收用途:供中水使用、農場澆灌用水及景觀用水 中水水質:符合中水道二元供水系統規劃技術審查原則 設置中水系統	普通	低度符合	場所處於低度開發,有詳細規劃中水設施但目前未建議動工	人員接受度、水質疑慮
泰雅	中水回收率 100 % 回收用途:澆灌、沖廁、景觀湖泊 中水水質:BOD 30 mg/L、SS 30 mg/L、E. coli 200 CFU/100 mL	普通	低度符合	中水回收率未達要求	無
慈濟台中分院	回收用途:沖廁、綠地澆灌、景觀湖泊 中水水質:BOD≦30 mg/L、SS≦30 mg/L、E. coli 200 CFU/100 mL 設置中水回收系統	優良	高度符合	場所興建中,未營運,中水系統有詳細規劃,但未建設完成	無
麥寮台塑	中水回收率 75 % 回收用途:澆灌、沖廁、景觀湖泊、工業	普通	中度符合	場所興建中,未營運,中水系統有詳細規劃,但未建設完成	增建不易、成本過高、法規限制、技術不足

結論

台灣地區降雨量雖爲世界平均值 2.6 倍，但因人口密度、地形限制以及季節分布不平均，平均每人每年的用水量僅約全球平均值 1/5，屬於水資源匱乏地區，故各用水標的之用水合理化政策爲目前重要之課題。台灣地區農業用水佔 72.09 %、民生用水佔 18.63 %、工業用水佔 9.28 %，各用水標的受水文條件或輸水及淨水能力所限制，隨著經濟發展，工業用水量與日俱增，常與農業及民生用水標的相互競爭用水，而農業用水之供水狀況較不穩定，若遇乾旱時，將面臨休耕之困境，因此訂定用水合理化之策略與措施已爲刻不容緩之課題。

水資源有效利用之用水合理化，分別爲供水效率化、強化用水管理及水回收再利用三大主軸作爲國內用水合理化之主要政策;而在廠內循環利用部分，工廠內水循環之冷卻水塔、鍋爐用水的原水水質要求並不高，可進行多次循環回收使用，以有效降低原水之需水量，提升工業用水回收率，行政院環保署明確訂定工業區全區用水總回收率應至少達 70 % 之規定，供爲量化審查之依據;水利署針對不同行業別訂定回收率承諾建議值，可作爲產業界掌握廠內水回收再利用標的之參考依據，藉由用水計畫書之查核亦可有效掌握國內用水量。

水資源永續利用及落實總量管制機制，已爲我國當前政策重點執行方針之一，推動合理化用水之策略與措施勢在必行，未來在「環境影響評估審議規範」之推波助瀾下，將可促使水再生利用受到重視，相信在國內持續推動供水效率化之措施、強化用水管理及節約用水概念及推動水回收再利用產業發展環境之情況下，應可有效營造國內用水合理化之環境，使我國水資源獲得有效分配及利用。

參考文獻

經濟部水利署，用水計畫審查作業要點，2004。

吳樅潯，利用製程用水整合技術提升工業用水利用率，台灣科學工業園區科學工業同業公會，2009。

樊運成，「產業廠內用水之再生利用」，經濟部工業局工安環保報導，第23期，2004。

胡思聰，「台灣地區水資源利用現況與自來水合理水價探討」，國家政策研究基金會，2002。

陳亮清，工業用水合理回收率與用水需求之研究，碩士論文，國立臺灣海洋大學河海工程學系，基隆，2005。

黃金山，二十一世紀台灣水資源永續經理的展望，中國土木水利學會，第十七期。

張添晉，台灣水再生產業之回顧與展望，「環境與發展」專輯，2010。

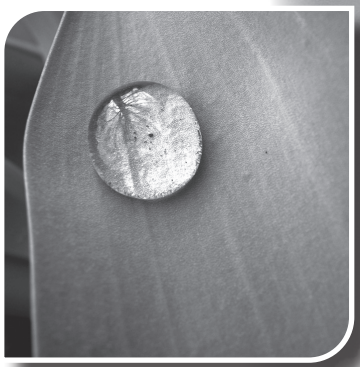
經濟部水利署，台灣地區水資源開發綱領計畫。

經濟部水利署各項用水統計資料庫網，97年水資源年報，2008。

經濟部水利署，水再生利用法令競合及國外相關制度研究(1/2)，2009。

Ban Ki-moon, Water in a Changing World, 3rd UN World Water Development Report, 2009.

第二篇 → 新生水水源發展



新生水水源調撥及發展潛力

朱敬平[1]
江家菱[1]
[1]財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心 研究員

前言

水資源爲社會大眾維生、產業生產、經濟發展與社會安定之關鍵因素。隨著我國人口成長、都市化發展與產業結構改變，我國用水需求總量逐年增加，尤以工業用水量增幅爲甚。過去水資源開發強調貯水、取水與輸水方面的功能，建設偏重於蓄水與輸水設施之興建，如水庫、攔河堰、輸水管線等，然設立大型蓄水設施有一定程度之環境衝擊，在永續發展、環保意識抬頭、民眾抗爭等主客觀因素影響下，傳統水源之開發愈顯困難，尋求替代性的新興水源，滿足各標的用水需求，以因應未來社會經濟用水需求，實爲當務之急。新興水源範疇包含海水淡化、雨水貯留，以及「新生水」之再生利用，包括工業區綜合廢水處理廠放流水、都市 (污) 水處理廠放流水與農業排放水等。本文即針對我國新生水的發展潛力，包括廢 (污) 水回收潛勢量、放流水水質狀況、適合調撥用途，以及再生處理程序建議等主題加以介紹，俾利作爲未來水資源開發、調配及供應之參考依據。

背景分析

(一)都市污水處理廠放流水再生潛勢

1. 全國污水下水道設置現況

政府自民國 73 年頒佈「下水道法」，77 年制訂「污水下水道發展方案」，將下水道建設提升爲國家級之重大公共基礎建設計畫，既有都市下水道之建設可分成三個階段，第一階段是污水下水道發展方案和第一期及第二期六年建設計畫 (民國 81 ～ 92 年)；第二階段爲「挑戰 2008：國家重點發展計畫」(民國 91 ～ 96 年)，該計畫將

污水下水道建設納爲第九項「水與綠建築」之子計畫，預計於六年內達成用戶接管普及率和整體污水處理率分別提高至 20.3 % 和 30.1 %;第三期實施計畫 (民國 91 ～ 96 年)，其成效至民國 97 年底，用戶接管普及率和整體污水處理率相較於 91 年分別提升 10 % 和 19 %，目前用戶接管率已達 19.2%，而整體污水處理率達 43%。營建署第四期下水道建設計畫 (民國 98 ～ 103 年)，計畫仍將延續污水下水道第三期計畫以政府自辦及民間參與兩種模式推動污水下水道建設，第四期政府自辦爲 60 處，民間參與爲 28 處，目標爲「每年提升污水下水道普及率 3%」。

截至 98 年 12 月底止，污水下水道用戶接管普及率爲 22.58%，污水處理率爲 47.79%，整體目標爲 98 至 103 年共可提升公共污水下水道普及率至 35.8%，且污水處理率達 64.5%。

2. 全國都市污水處理廠設置現況及放流水量統計

目前台灣地區都市污水處理廠主管機關包括縣 (市) 政府、台北水源特定區，及國家風景區管理處，依 99 年環境白皮書資訊顯示，截至 99 年 5 月運轉中都市污水處理廠共 61 座（圖 1），開發中共 4 座（圖 2），規劃中共 59 座（圖 2），現階段各縣市都市污水處理廠放流水量總計約 247 萬立方公尺（表 1），其中又以台北縣的八里污水處理廠及高雄市的中區污水處理廠爲最大來源，其值分別爲每日 91 萬立方公尺及每日 75 萬立方公尺，約占前述總量之 67%;未來會因現階段建設中及規劃中的都市污水處理廠陸續完工後其水量，增加至每日 300 萬立方公尺。不同於工業區廢水處理廠放流水，若未感潮或有鹽化地下水入滲，都市污水處理廠放流水之導電度一般低於 750 μS/cm，總溶解固體亦低於 500 mg/L，因此在運用上並不需特別除鹽，可再生放流水量幾乎即爲放流水總量。

3. 都市污水處理廠放流水水質分析與再生水處理程序建議

常見都市污水處理廠放流水中，除大腸菌類外，泰半能符合現行放流水標準，無重金屬殘留問題，油脂及界面活性劑濃度均甚低，表 2 即列出福田水資源回收中心及安平污水處理廠放流水水質，並與各種水質標準比對。都市污水處理廠之放流水典型水質綜合評析如下:

(1) 導電度及pH值方面，歷來調查顯示都市污水處理廠放流水pH值介於6.7～7.9，均屬中性，其中因部分污水處理廠有截流工業區廢水進行處理 (如林口南區及台中港特定區污水處理廠)，使其導電度和總溶解固體濃度略高，惟一般不超

過1,000 μS/cm；若有感潮則最高可能達2,000 μS/cm（如安平污水處理廠）。

(2) 有機物方面，放流水中BOD和COD濃度均遠低放流水標準管制限值，水中殘存有機物量已不多，多爲生物難分解物質。

(3) 含氮及含磷物質方面：除有截流工業區廢水之都市污水處理廠外，一般放流水總氮濃度約爲10 mg/L，總磷濃度則遠低於10 mg/L，其問題並不顯著，惟總氮中的氨氮濃度若超過1 mg/L，仍可能造成藻類孳生等問題，較適作法爲在前端使生物處理單元之硝化功能充分發揮（如延長污泥齡或曝氣強度等），使氨氮盡量轉換成硝酸鹽氮，則可解決大部分之問題。

(4) 微生物方面：放流水管制標準中僅管制大腸菌類濃度 (不可超過$2*10^5$ CFU/100 mL)，若各廠有確實執行排放前的加氯消毒程序，一般可降至10^4 CFU/100 mL以下（甚至低於10^3 CFU/100 mL）。

圖1 全國運轉中都市污水處理廠分布

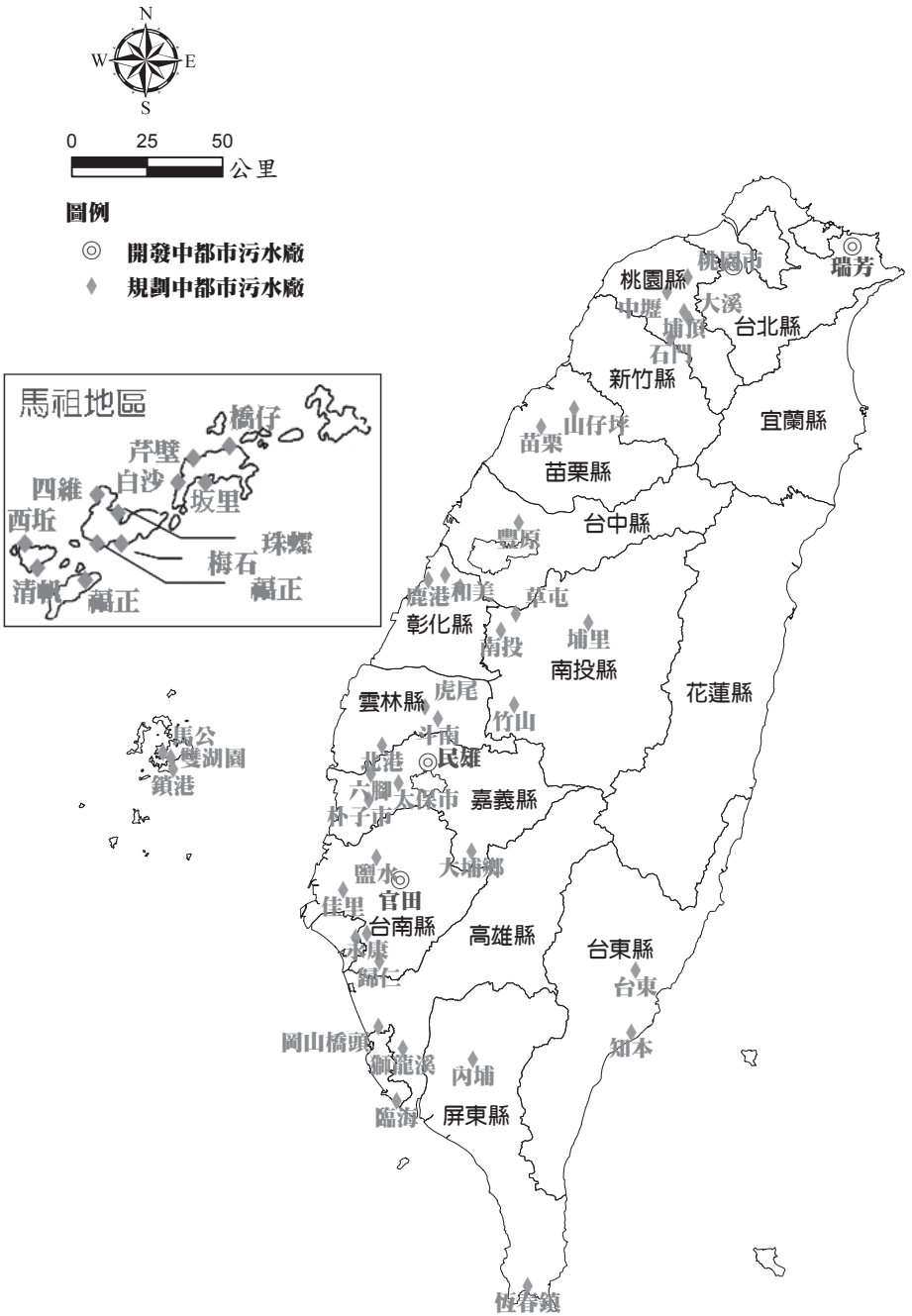


圖2全國開發中及規劃中都市污水處理廠分布

表1 各縣市已運轉都市污水處理廠放流水量估算

區域 / 縣市		該區域 / 縣市放流水量統計（CMD）
北部區域	基隆市	11,000
	台北市	510,185（三級：390,000，其餘二級）
	台北縣	927,539（初級：910,000)
	桃園縣	15,528
	新竹縣、市	0
小計		1,464,252
中部區域	苗栗縣	0
	台中市	52,000
	台中縣	3,972
	彰化縣	0
	南投縣	3,796
	雲林縣	11,000
小計		70,768
南部區域	嘉義縣、市	2,615
	台南縣、市	126,671
	高雄市	750,000（初級：750,000)
	高雄縣	19,208
	屏東縣	12,631
小計		911,125
東部區域	宜蘭縣	16,554
	花蓮縣	0
	台東縣	0
小計		16,554
離島地區	澎湖縣	0
	金門縣	3,919
	連江縣	390
小計		4,309
總計		**2,467,008**

備註：截至民國 99 年 5 月

(5) 重金屬與兩性元素方面：放流水以鹼土金族之鈉和鉀檢出濃度最高，其次則爲鋁、鐵和錳，各類有毒重金屬多半在放流水標準個別管制限值的1%以下或未測得，代表重金屬污染問題在此並不嚴重。

上述水質分析結果顯示，都市污水處理廠放流水水質佳，可採高比例回收；都市污水處理廠放流水可再生作爲多類用途，包括各類生活次級用途（澆灌、沖廁、景觀與親水）、農業用途、工業用途、注入地下水體等，參考國內外經驗，個別需注意之水質項目及處理程序分述如下，其常見放流水再生單元組合示意如圖 3 所示：

(1) 作爲澆灌、沖廁、景觀、親水等生活雜用：比較環保署「建築物生活污水回收再利用建議事項」水質標準，各廠放流水僅大腸菌類濃度較高，需進一步提升

殺菌效能，以符合水質標準要求，惟單以加氯程序恐難以達標，且過量餘氯會影響使用者之觀感，故搭配臭氧或紫外線消毒 (ultraviolet disinfection，「UV消毒」) 爲必要之方案；假若廢污水中若有濁度偏高之情形，建議可搭配化學混凝或砂濾，藉由化學混凝或砂濾等方式降低水中濁度或是以懸浮顆粒型態存在之有機物與氮磷物質，亦可以減少微生物後續孳生。

(2) 作爲農業用水：相較於「灌溉用水水質標準」，最主要問題爲含氮量偏高，會影響水稻等作物之生長，或造成水體缺氧等狀況，各廠放流水總氮濃度均遠高於「灌溉用水水質標準」規範之3 mg/L，可採用好氧-無氧方式 (Aerobic-Anoxic) 或生物膜等生物除氮法，以進一步脫硝降低NO_3-N之濃度外，或需和自然水體混合以降低之；此外，雖目前標準中並未規範總菌落數與大腸菌類，但若能進一步降低放流水中之菌類，可避免對栽種食物造成微生物污染。

(3) 作爲工業冷卻用水：於現代化工廠中，因節水之故，需使冷卻水於系統中循環3～6次，以達節水效果，因此十分注重進水水質之TDS (避免結垢或腐蝕)、硬度、電導度、有機物、氮與磷等項目的穩定度 (避免孳生菌垢)，建議可採用砂濾、活性碳之處理程序。

(4) 作爲注入地下水體之用：因目前各廠放流水仍有多項水質無法符合「污水經處理後注入地下水體水質標準」，其標準規範BOD_5濃度需小於1 mg/L、亞硝酸鹽氮不得檢出、氨氮濃度需小於0.1 mg/L、溶解性鐵濃度小於0.3 mg/L、溶解性錳濃度小於0.05 mg/L及大腸菌類濃度需低於50 CFU/100 mL等；故放流水需再搭配延長曝氣去除氨氮、以錳砂濾料之過濾去除鐵和錳、活性碳吸附去除有機物、以及提高殺菌劑量等多道程序。

(5) 作爲工業製程用水：台灣目前一般用水量較高的工廠多爲引入自來水或地下水後，經由以逆滲透膜 (reverse osmosis，RO) 爲主體的軟化或純水系統，產出軟水、純水或超純水，再作製程使用；一般廠商在設置軟化或純水系統時，進水水質多設定爲「自來水水質標準」，抑或爲當地自來水水質，故在探討廢(污)水再利用時，宜以「自來水水質標準」作爲探討基準，各廠再自行處理，建議可採用薄膜處理，如奈米過濾膜（nanofiltration，NF）或RO。

(6) 作爲間接飲用：台灣目前相關法規已明確規定，回收使用之廢(污)水應避免與人體接觸影響健康，故無此類用途，惟若參考國外之成功案例，建議可在除鹽

單元後，再採用高級氧化處理 (紫外光UV－雙氧水H_2O_2) 破壞微量有機物質。

表2 典型都市污水廠放流水水質與各類用途水質標準

水質項目	福田水資源回收中心	安平污水處理廠	景觀用水水質標準	灌溉用水水質標準	注入地下水水質標準	自來水水質標準	飲用水水質標準
導電度	427~459	1200~2000	--	750	--	--	--
TDS	216~354	944~2410	--	--	800	800	500
F^-	0.05~0.18	0.16~0.41	--	--	0.8	0.8	0.8
Cl^-	16.8~45.3	308~1080	--	175	250	250	250
$SO4^{2-}$	56~63	80~197	--	200	250	250	250
總硬度	81~168	293~527	--	--	--	400	300
濁度	1.2~4.3	1.2~2.2	< 5	--	--	2	2
總氮	17~20	10~14	--	3	--	--	--
NO_3-N	16.6~19.7	9.2~12.9	--	--	10	10	10
NO_2-N	< 0.01	0.01~0.03	--	--	不得檢出	0.1	0.1
NH_3-N	0.01~0.42	0.05~0.3	--	--	0.1	0.5	0.1
TP	1.46~3.49	*	--	--	--	--	--
As	ND	0.003~0.007	--	0.05	0.05	0.05	0.01
Cd	ND~0.001	ND~0.009	--	0.01	0.005	0.005	0.005
Cr	ND	ND	--	0.1	0.05	0.05	0.05
Cu	ND~0.005	ND	--	0.2	1	1	1
Ni	ND~0.009	ND	--	0.2	0.1	--	0.1
陰離子型界面活性劑	ND	ND~0.22	--	5	0.5	0.5	0.5
CN^-	ND~0.004	ND~0.002	--	--	0.01	0.05	0.05

註：1. 「*」無相關資料；「--」 未管制

2. 參考文獻：經濟部水利署水利規劃試驗所 (2005)；經濟部水利署水利規劃試驗所 (2007)

消毒※	除碳脫硝※	一般過濾※ (10μm以上顆粒)	精密過濾※ (10μm以下膠體)	除鹽	高級氧化
加氯 臭氧 紫外光	無氧/好氧法 土壤處理 人工濕地	砂濾 活性碳 表面過濾	外掛/沉浸式 微/超濾 薄膜生物 反應器	加藥軟化 奈米過濾 逆滲透 電透析 離子交換	$UV-O_3$ $UV-H_2O_2$

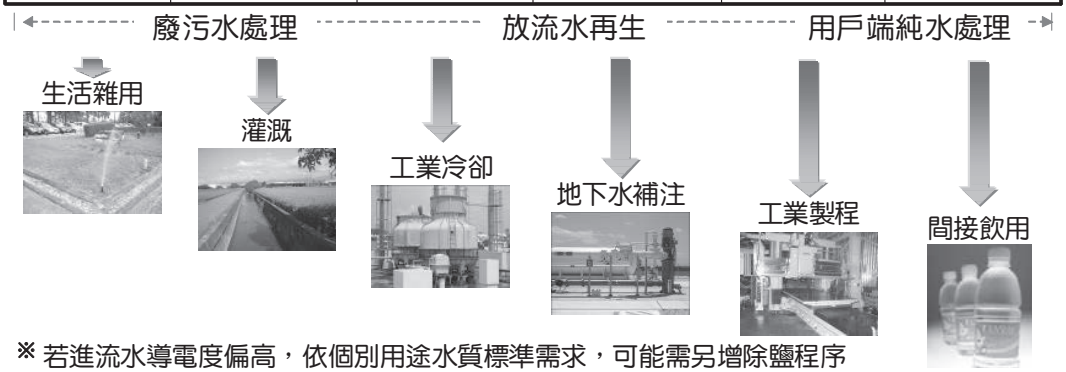


圖3 國外常見放流水再生單元組合示意圖

(二)工業區廢水處理廠放流水再生利用潛勢

1.工業區綜合廢水處理廠分類

我國現行工業區開發可分成一般工業區、加工出口區、科學工業園區、環保科技園區、農業生物科技園區、地方政府開發工業區或民間開發工業區等七類，截至民國 99 年 5 月的工業區廢水調查結果顯示，全國營運中之工業區共計 89 座，設有廢水處理廠者共計 56 座，其中「綜合工業區綜合廢水處理廠」有 39 座、「科學工業園區綜合廢水處理廠」有 7 座、「環保科技園區綜合廢水處理廠」有 1 座、「加工出口區綜合廢水處理廠」有 2 座、「農業生技園區綜合廢水處理廠」有 1 座、「縣市政府工業區綜合廢水處理廠」有 4 座、「民間開發工業區綜合廢水處理廠」有 2 座;全國運轉中工業區廢水處理廠普查結果及分布如表 3 及圖 4 所示。

2.工業區廢水處理廠放流水量統計

工業區廢水處理廠放流水總量與區內廠商生產量高度相關，隨社會型態改變，景氣週期榮枯，以及產業轉型外移等，國內各工業區廢水處理廠經常出現實際處理

水量與當初設計處理水量差異甚大之情形;若處理水量偏低，則可能需在較低負荷下運轉，或接收鄰近生活污水進行處理;若處理水量已接近設計水量甚至常有超出情形，則需進行擴建。

由於工業區廢水來源混雜，雖經三級處理，放流水中仍含高濃度鹽類、殘留製程化學物質以及高色度等特性，其放流水雖符合放流水標準，但對於後續的回收再利用還是有一定的限制;因此爲符合一般使用要求，必須進行除鹽使總溶解固體至少需低於 800 mg/L，且濃排水需符合放流水水質標準，因此並非所有放流水量均可使用，可再生水量往往只有放流水總量之 40 ～ 60%;各廢水處理廠之放流水量比較如表 4。

表3 工業區綜合廢水處理廠普查結果

分類	已運轉廠數	主管機關
綜合工業區綜合廢水處理廠	39	經濟部工業局
科學工業園區綜合廢水處理廠	7	國科會新竹科學工業園區管理局
		國科會中部科學工業園區管理局
		國科會南部科學工業園區管理局
環保科技園區綜合廢水處理廠	1	行政院環保署
加工出口區綜合廢水處理廠	2	經濟部加工出口區管理處
農業生技園區綜合廢水處理廠	1	行政院農委會屏東農業生物技術園區籌備處
縣市政府工業區綜合廢水處理廠	4	各縣市政府
民間開發工業區綜合廢水處理廠	2	經濟部工業局

圖4 全國運轉中工業區廢水處理廠分布

表4 各工業區廢水處理廠放流水量比較

區域	縣市	工業區名稱	實際放流水量（CMD）
北部區域	基隆市	大武崙工業區	961
	台北縣	土城工業區	6,632
		五股工業區	6,015
	桃園縣	大園工業區	12,138
		觀音工業區	30,500
		桃科技園區	400
		中壢工業區	24,326
		華亞科學園區	4,192
		龜山工業區	13,600
		桃園幼獅工業區	3,049
		平鎮工業區	15,214
		竹科龍潭基地	200
	新竹縣、市	竹科新竹園區	101,673
		新竹工業區	34,322
中部區域	苗栗縣	廣源科技園區	2,000
		竹科竹南	9,000
	台中縣、市	大甲幼獅工業區	3,992
		加工出口區中港園區	2,733
		中科台中園區	35,394
		台中工業區	13,767
		大里工業區	867
	南投縣	南崗工業區	6,828
	彰化縣	全興工業區	6,989
		彰濱線西工業區	4,061
		彰濱鹿港工業區	6,449
		芳苑工業區	5,575
	雲林縣	雲林科技工業區	7,035
		斗六工業區	6,607
		中科虎尾園區	300
南部區域	嘉義縣、市	民雄工業區	6,500
		嘉太工業區	758
	台南縣、市	新營工業區	4,500
		官田工業區	5,198
		樹谷園區	2,056
		南科台南園區	72,806
		台南工業科技	8,443
		永康工業區	1,600
		安平工業區	3,605
		柳營科技工業區	155
	高雄縣、市	南科高雄園區	1,326
		永安工業區	2,600
		岡山本洲工業區	1,500
		加工出口區楠梓園區	11,000
		仁武工業區	13,053
		鳳山工業區	160
		臨海工業區	22,855
		林園工業區	40,846
		大發工業區	16,257
	屏東縣	內埔工業區	823
		屏南工業區	1,575
		屏東農業生物科技園區	20
東部區域	宜蘭縣	龍德工業區	2,500
	花蓮縣	和平工業區	123
		光華工業區	300

備註：截至民國99年5月

3.工業區綜合廢水典型水質分析與再生水處理程序建議

歷來針對工業區廢水處理廠之水質調查顯示，若作爲工業用途，各廢水處理廠放流水 COD 和 SS 多半已接近冷卻用水標準要求，但硬度、鹼度與導電度往往偏高，若不進一步除鹽則無法再利用，使得再生成本偏高;惟相對於前述都市污水處理廠，因工業區廢水處理廠距離工業區內潛在使用者距離甚近，就近回送至工業區內作爲工業用途時，再生水配送管線成本相對較低，可補再生成本偏高之缺點，是爲工業區廢水處理廠放流水再生最主要之優勢。

茲將典型放流水水質綜合評析結果歸納如下（表 5）:

(1) 導電度與總溶解固體方面，因各廠製程與純水系統的再生清洗所使用的硫酸、鹽酸、氫氧化鈉等均排放至放流水中，使得導電度一般超過2,000 μS/cm（總溶解固體約1,000至1,500 mg/L），又以一價離子爲大宗，無法以加藥軟化或結晶軟化等方式去除，需採用逆滲透膜等方式除鹽，方可符合相關水質標準。

(2) 有機物方面：放流水BOD和COD濃度多低放流水標準管制限值，有機物主要以溶解性物質爲主，亦即經過生物處理而仍無法分解，必須透過高級氧化予以破壞，或逆滲透濾除溶解性物質。

(3) 含氮物質及含磷物質方面：部分工業區廢水處理廠總氮和總磷濃度偏高，總氮常見來源包含氨水、氟化銨、顯影劑、去光阻劑等含氮藥劑，總磷來源主要則爲鋁蝕刻液之磷酸，主要爲正磷酸鹽，少數爲電鍍用之焦磷酸鹽或聚磷系抗垢劑等。總氮之去除一般係透過生物處理（硝化－脫硝），但在放流水中因已無足夠碳源，難以再進行有效生物處理，多半也只能透過逆滲透膜除鹽時一併濾除；正磷酸鹽可透過化學混凝沉澱予以捕捉，焦磷酸或聚磷酸則需透過特定藥劑破壞（如Na_2S）後再以化學混凝沉澱捕捉之。

(4) 重金屬與兩性元素方面：相關研究顯示放流水中主要仍爲鹼金族之鈉、鉀和鹼土金族鎂檢出濃度最高，其次則爲鋁、鐵和錳，各類有毒重金屬之濃度一般都在放流水標準個別管制限值的10%以下；其去除仍有賴於逆滲透膜之除鹽。

(5) 微生物方面：廢水廠處理後放流水未必設有加氯程序，總菌落數一般介於$1.3*10^4$～$1.2*10^5$ CFU/100 mL，再利用前有待進一步消毒，以進一步降低微生物危害風險。

表5 典型工業區放流水水質與各類用途水質標準比較

水質項目	新竹工業區	中科台中基地	林園工業區	景觀用水水質標準	灌溉用水水質標準	注入地下水水質標準	自來水水質標準	飲用水水質標準
導電度	2700~3700	2630~3020	6680~6860	--	750	--	--	--
TDS	2000~2400	1380~1660	3300~3680	--	--	800	800	500
F^-	*	4.2~4.6	1.12~3.93	--	--	0.8	0.8	0.8
Cl^-	280~480	628~654	210~1190	--	175	250	250	250
SO_4^{2-}	520~880	70.5~207	17.46~943	--	200	250	250	250
總硬度	220~700	256~266	513~710	--	--	--	400	300
濁度	3.7~6.9	2.6~3.2	4.0~7.0	< 5	--	--	依水源而定	2
總氮	16~25	32.3~33	12.3~12.6	--	3	--	--	--
NO_3-N	15~23	13.9~15.4	8.1~10.0	--	--	10	10	10
NO_2-N	< 0.01	0.20~0.28	0.1~0.88	--	--	不得檢出	0.1	0.1
NH_3-N	0.08~0.12	16.3~18.8	1.1~2.5	--	--	0.1	0.5	0.1
TP	3.4~15	19.9~54.7	1.93~6.76	--	--	--	--	--
As	*	ND	ND~0.004	--	0.05	0.05	0.05	0.01
Cd	0.01	ND~0.0006	ND~0.0004	--	0.01	0.005	0.005	0.005
Cr	0.04	0.0027~0.0028	0.0038~0.0045	--	0.1	0.05	0.05	0.05
Cu	0.11	0.0044~0.0047	0.01~0.0487	--	0.2	1	1	1
Ni	0.18	ND~0.0152	0.0268~0.0272	--	0.2	0.1	--	0.1
陰離子型界面活性劑	0.2~0.32	ND~0.06	0.08	--	5	0.5	0.5	0.5
CN^-	0.008~0.01	ND~0.012	ND~0.009	--	--	0.01	0.05	0.05

註： 1.「*」代表無相關資料；「--」代表未管制
2. 參考文獻：經濟部水利署水利規劃試驗所 (2003)；經濟部水利署水利規劃試驗所（2009）

(三)農業排放水再生利用潛勢

1.農業排放水之定義及潛能量分析

一般所稱「農業迴歸水」可依在灌區內或灌區外利用，而有兩種不同定義（參見圖 5）：

(1) 灌區內利用：農業灌溉方式大多由上游高處開始往下游灌溉，上田多餘的迴歸水可由橫向水路直接攔取再向下田直接灌溉，或匯流農塘、河川，再取水灌溉下游灌區，過程中已多層次重複灌溉使用，此部分迴歸水已獲得實際運用，無法再提供其他標的使用，屬傳統灌溉的輔助水源，或可稱爲「傳統迴歸水」。

(2) 灌區外利用：水利署2009年「台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究」中，探討灌溉期間灌區內之灌溉水，在經由灌排兼用水路及排水路流返區域排水道、河川及海洋之前可供再生利用之水量，亦即農田水利會灌溉系統最下游灌區排出水量且不再被其他水權人使用之水；此一水量有別上述「傳統迴歸水」，故有「新興迴歸水」、「農業排放水」、「農業排水」、「農業廢水」與「灌區尾水」等稱謂，在此統一稱爲「農業排放水」。

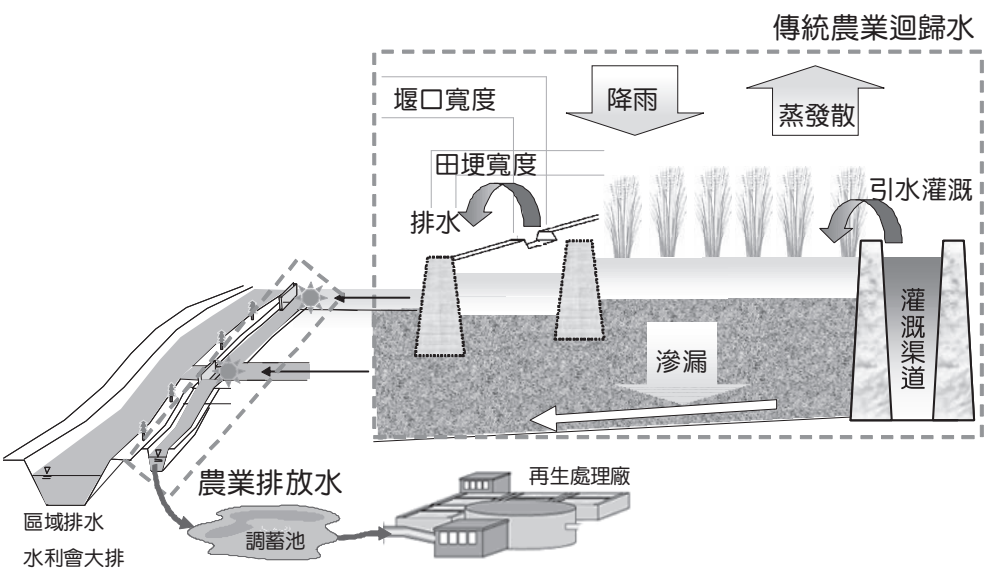


圖5「傳統迴歸水」與「農業排放水」示意圖

分析結果顯示（圖 6），台灣本島農業排放水潛能量估計每年約 18.2 億立方公尺，針對各農田水利會民國 91 年～ 96 年各旬農業排放水量進行超越機率統計後，發現各農田水利會 Q80 可靠度之農業排放水總量合計爲 2.9 億立方公尺，Q90 可靠度之農業排放水總量合計爲 0.88 億立方公尺，僅爲前述總潛能量之 4.8%，代表可穩定利用水量甚低，且農業排放水之水量又分散於灌區各排水路，極不易開發。

水利署在「台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究」裡曾針對多處農業排放水進行水量與水質量測，圖 7 爲針對四處農業排放水現地實測結果（各現地實測點位分布如圖 8），顯示在第二期作及第一期作間，因田地沒有耕作，農業排放水量均有偏低的現象，期作對農業排放水水量之影響相當明顯；另比對降雨亦可發現農業排放水水量明顯隨雨量增加而上揚（降雨增加了地表逕流或區域河川基流量）。上述兩點顯示農業排放水量受期作與降雨影響，灌區停灌或旱季時亦無充足水量可移作農業以外之利用，在在顯示農業排放水之利用不如前述之廢污水處理廠放流水穩定；在該調查中，亦曾就數處水量相對穩定並且鄰近具潛在使用者之渠道提出建議 (參見圖 8 中以方框標示地點)。

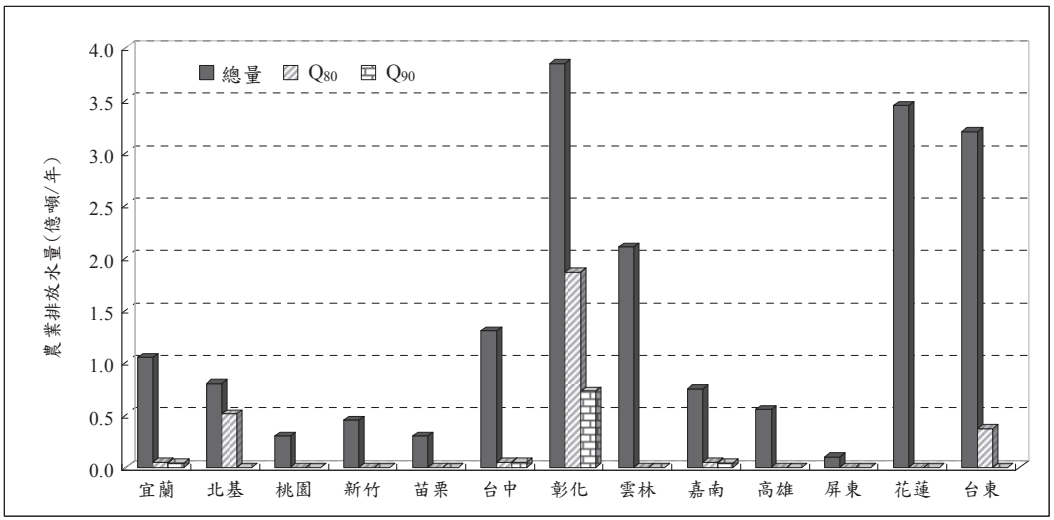
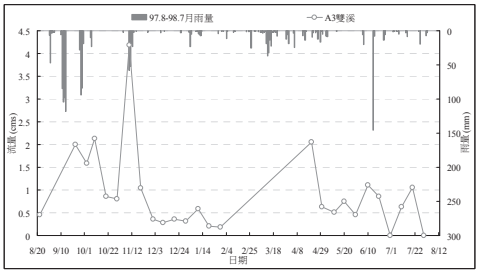


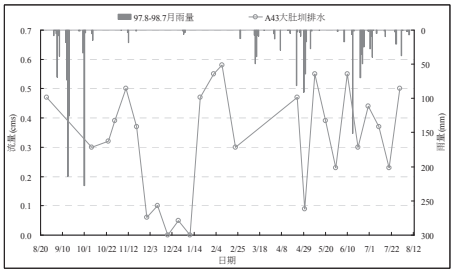
圖6 91年～96年各水利會農業排放水年平均量、Q_{80}流量與Q_{90}流量

註：1.Q_{80}流量係指每年80%之時間裡流量高於此值；Q_{90}流量係指90%之時間裡流量高於此值

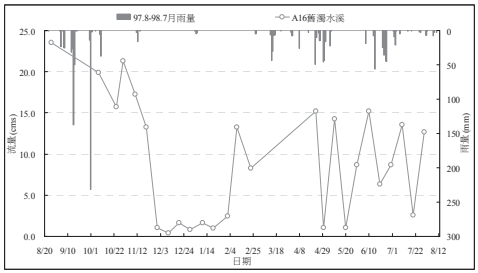
2.參考資料：水利署（2009），台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究(2/2)



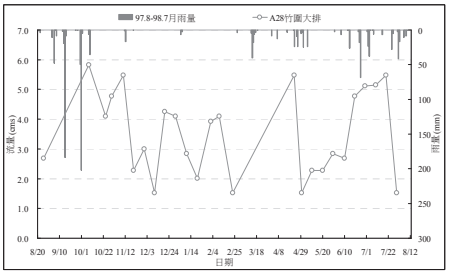
（a）桃園-雙溪



（b）台中-大肚圳排水



（c）彰化-舊濁水溪



（d）雲林-竹圍大排

圖7 97年8月至98年7月農業排放水測點觀測資料

註：資料來源：水利署（2009），台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究(2/2)

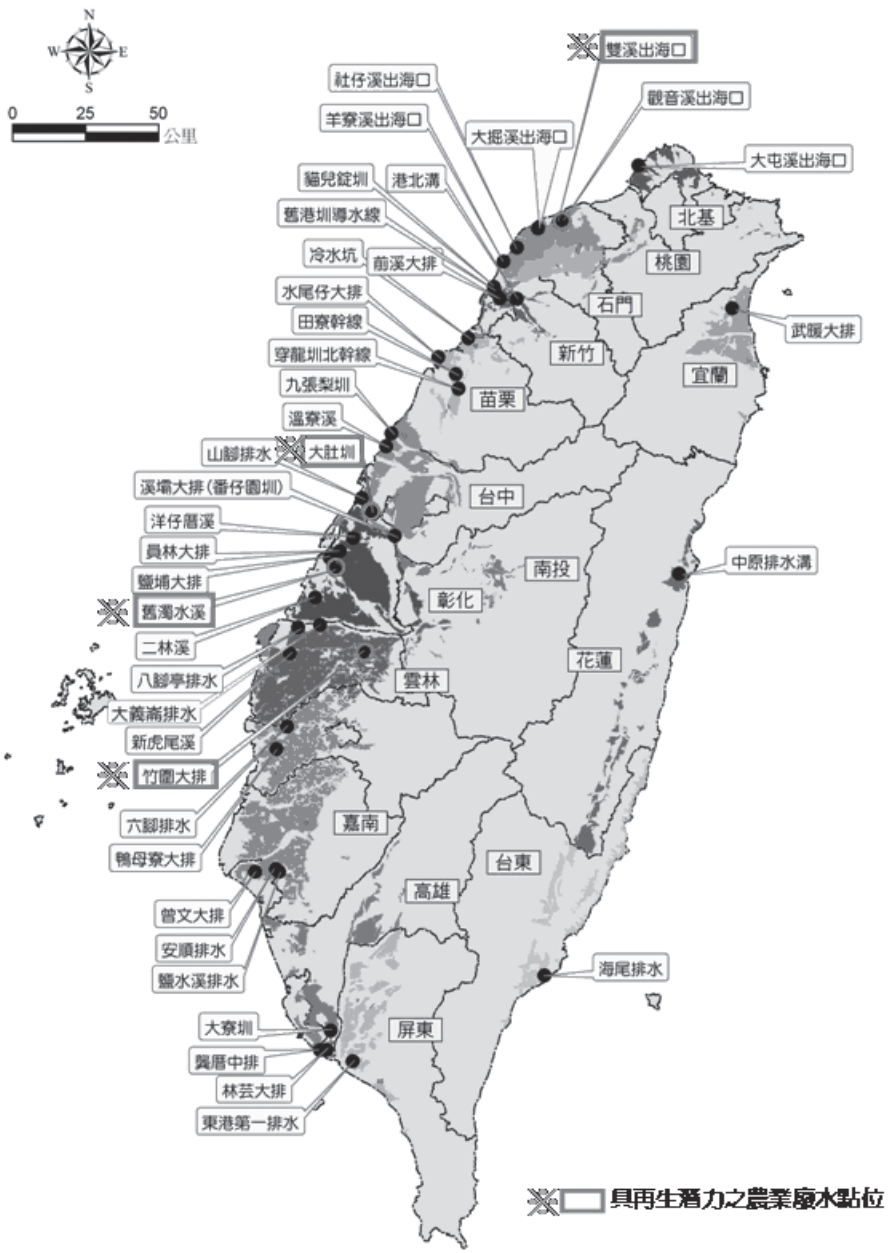


圖8 農業排放水實測點位分布圖

註：資料來源：水利署（2008），台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究(1/2)

2.農業排放水收集工程規劃

各農田水利會灌區其農田排水系統的型式均不同，但農業排放水必然位於各灌溉系統的末端，重點即爲如何將灌區末端分散流出的農業排放水截取彙集。農業灌溉水源經過灌溉系統進入灌區後，再由排水系統，由小排、中排逐漸匯集至大排，由於目前農田水利會大部份灌區之中排及大排已經匯入其他事業之排水，就排水分類屬二種以上排水匯流者，可能屬區域排水，且其水質可能遭其他廢 (污) 水污染，不適合進行農業排放水之收集，因此建議於農田水利會之農田排水道（小排或中排）末端（農田排水與區域排水之匯流點）截取農業排放水，重行設置一條排水路連結多條從農田排水道截取之水量，一併輸送至蓄水池，再進行水質淨化處理，整體構想如圖 5 所示。

3.農業排放水之水質分析與再生處理程序建議

水利署「台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究」調查全國多處農業排放水水質，結果顯示幾乎所有水路均有受生活及畜牧污染的跡象，又以南投、彰化、雲林及屏東地區有較明顯之農田施肥污染跡象，台南地區有受工業污染之跡象，茲將農業排放水水質綜合評析結果歸納如下:

(1) 導電度方面，該研究所調查之農業排放水上皆能符合灌溉用水水質標準，若於區域排水中則泰半無法符合標準，尤以彰化、嘉南及高雄地區之排水路測點最爲明顯，甚至超過1,400 μS/cm。

(2) 在膠體物質方面，該研究所調查之農業排放水懸浮固體及濁度普遍偏高，其中又以雲林、台東及花蓮地區之測值最高。

(3) 在含氮物質方面，隨各地土壤性質與作物情形而有甚大差別，台中以北及花東地區總氮之檢測結果較低，大致皆能符合灌溉用水標準的3 mg/L，但南投、彰化、雲林、高雄及屏東等地區總氮檢測結果遠高於灌溉用水標準，尤以彰化地區甚爲明顯。

(4) 在微生物方面，該研究所調查之各農業排放水測點大腸菌類與總菌落數檢測結果皆高於各類用途水質標準。

(5) 重金屬與兩性元素：該研究所調查之各農業排放水測點，常見重金屬污染包含砷、鎘、鉻、汞、鎳、鉛等項目皆非常微量或幾無檢出，皆可符合各類用途水質標準，農業排放水測點之重金屬污染並不明顯。

表6 台中大肚圳排水路農業排放水水質與各類用途水質標準比較

水質項目	大肚圳排水路	景觀用水水質標準	灌溉用水水質標準	注入地下水水質標準	自來水水質標準	飲用水水質標準
導電度	127~522	--	750	--	--	--
TDS	113~420	--	--	800	800	500
F^-	*	--	--	0.8	0.8	0.8
Cl^-	5.3~48.3	--	175	250	250	250
SO_4^{2-}	*	--	200	250	250	250
總硬度	46.5~183	--	--	--	400	300
濁度	17~31.2	＜ 5	--	--	依水源而定	2
總氮	2.07~6.07	--	3	--	--	--
NO_3-N	0.68~4.68	--	--	10	10	10
NO_2-N	0.02~0.31	--	--	不得檢出	0.1	0.1
NH_3-N	0.46~2.12	--	--	0.1	0.5	0.1
TP	0.03~0.64	--	--	--	--	--
As	ND	--	0.05	0.05	0.05	0.01
Cd	ND	--	0.01	0.005	0.005	0.005
Cr	ND	--	0.1	0.05	0.05	0.05
Cu	ND	--	0.2	1	1	1
Ni	0.01~0.02	--	0.2	0.1	--	0.1
陰離子型界面活性劑	*	--	5	0.5	0.5	0.5
CN^-	*	--	--	0.01	0.05	0.05

註：1.「*」無相關資料；「--」未管制
2. 參考文獻：經濟部水利署 (2009)

表 6 以台中大肚圳農業排放水水質爲例，並與各類水質標準比對，其農業排放水與廢 (污) 水處理廠放流水間較大的差別在於某些農業排放水多數水質可符合各項標準，僅有濁度與懸浮固體偏高問題，因此比照自來水廠處理程序，透過混凝沉澱＋曝氣＋過濾，或以沉浸式超過濾膜抽取出濁度甚低之濾液等方式，取得再生水即可多種利用，包括生活次級用途、工業用途或地下水補注等。

結語

工業區廢水處理廠放流水、都市污水處理廠放流水及農業排放水之再生循環利用在本文中合稱「新生水」，屬於新興水源之一環，若能擇定適當地點與再生程序，妥善作爲一種備用水源，可提高區域供水穩定性與餘裕量，降低各區域缺水之風險。都市污水廠放流水水質相對較佳，有再生成本較低之優勢，但因普遍位於高程較低處，往高處配送成本偏高，考量管線經濟效益，宜優先供給單一工業大戶，其次再考慮作爲鄰近區域之灌溉用水或地下水補注等保育用水。工業區廢水處理廠放流水則因導電度偏高，若不進行除鹽則難以利用，一般需運用逆滲透膜等較昂貴之工法，使得再生成本上升，但相對而言其配送至用水端距離短，預期管線成本偏低，再利用時建議短距離送回區內廠商作爲各類工業使用。農業排放水因水量穩定度低，若無適當貯留或有其他水源作爲備用，不易作爲工業運用，較適合作爲保育用途，或僅作爲鄰近工業的一種輔助水源。對於三種水源而言，未來若有可運用地點，均應於評估規劃階段，實際設置小型模廠進行長時間之水質監測及處理，評估其在時間與空間上之不確定性，深入評估產水水質穩定性，從而設計適當單元再生之。

在再生水不與人體接觸之前提下，目前在各規劃案上都是以單一使用者（或工業區），必須鋪設專管，只能在小區域內（如工業區）作點狀調撥，而使得其營管單位除必須支付建廠折舊費用與操作維護成本，尚需個案獨立攤還管線成本，以及鋪設時的風險，成本自然偏高;而在目前處理程序係「以電換水」的前提下，一旦能源價格有所波動時，自然會影響產水規模較小的再生水供應廠。爲能發揮再生水調撥潛勢，未來必須尋求各再生水供應點較有可能互相搭配之區域，則可減少個別水量較小或不穩定之狀況;而更長遠而言，應能形成供應網絡，抑或納入部分非與人體接觸之供水網絡中，除可降低成本，分散供應風險外，方可進行調撥，有效取代自來水之使用。

參考文獻

行政院公共工程委員會 (1998)， 公共建設工程經費估算編列手冊，行政院公共工程委員會。

經濟部水利署水利規劃試驗所（2009），廢(污)水廠放流水再利用潛勢及推動策略。

水利署（2008），台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究(1/2)。

經濟部水利署（2009），台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究(2/2)。

經濟部水利署水利規劃試驗所（2007），廢(污)水再生利用技術研究台中市福田水資源回收中心再生水試用計畫(1/2)。

經濟部水利署水利規劃試驗所（2009），廢(污)水再生利用技術研究台中市福田水資源回收中心再生水試用計畫(2/2)。

財團法人中興工程顧問社（2006），工業區污水處理廠放流水再生利用。

經濟部水利署水利規劃試驗所 (2005)，台南市安平污水處理廠污水再生利用研究。

經濟部水利署水利規劃試驗所 (2003) ，新竹工業區廢水回收再利用規劃。

海水淡化技術發展、經濟性及開發利用問題和對策

張振章
京華工程顧問股份有限公司

前言

海水淡化技術發展已超過 40 年，早期以多級閃蒸法 (MSF) 爲主，之後採用逆滲透法 (RO) 逐漸增加，後者已成爲目前主要工法。轉變之關鍵主要爲壓力能量回收技術自早期「踩水車同軸傳送」之觀念進化爲極高效率「精密陶瓷直接接觸回收」所致，因此操作營運造水成本大幅降低，也促成近幾年來海水淡化廠設置量成指數成長的熱絡現象。台灣因爲土地與能源成本較高，因此除了少數電廠有餘熱可以自足而採用加熱工法 (thermal process) 之外，大部份已設置之海水淡化廠皆採用逆滲透工法。

一、海水淡化逆滲透處理工法

圖 1 爲目前傳統前處理逆滲透工法之典型處理流程圖，前處理採用傳統 $FeCl_3$ 混凝沉澱方式，另外還有一種前處理方法是採用超過濾 (UF) 過濾方式，兩者各有優缺點，不過採用後者有愈來愈多的趨勢，尤其是超過萬噸級以上大規模 BOT 海水淡化廠。

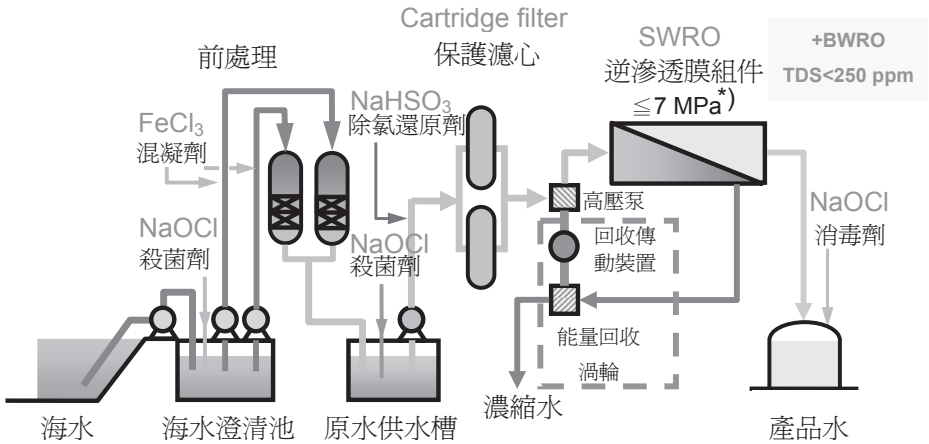
二、國際城市水價比較

表 1 爲 2006 年幾個國際城市水價比較表，右側是以 US$ 1.0 = NT$ 34 估算之數值。由表中數字可以瞭解，絕大多數的國家城市 2006 年水價都比我國高，只有大陸天津水價與我國相當。

表1 2006年國際城市水價比較表

城市 / 國家		2006 水價	
Paris	巴黎 / 法國	US$ 2.09	NT$ 71.1
London	倫敦 / 英國	US$ 2.01	NT$ 68.3
Berlin	德國 / 柏林	US$ 1.97	NT$ 67.0
Frankfurt	法蘭克福 / 德國	US$ 1.90	NT$ 64.6
Tokyo	東京 / 日本	US$ 1.86	NT$ 63.2
Amsterdam	阿姆斯特丹 / 荷蘭	US$ 1.79	NT$ 60.9
San Diego	聖地牙哥 / 美國	US$ 1.67	NT$ 56.8
Doha, Qatar	多哈 / 卡達	US$ 1.38	NT$ 46.9
San Antonio	聖安東尼奧 / 美國	US$ 1.29	NT$ 43.9
Orange County	橘縣 / 美國	US$ 1.22	NT$ 41.5
Barcelona	巴塞隆納 / 西班牙	US$ 1.22	NT$ 41.5
Kuwait	科威特 / 科威特	US$ 1.21	NT$ 41.1
Dubai	杜拜 / 阿拉伯聯合大公國	US$ 1.20	NT$ 40.8
Melbourne	墨爾本 / 澳大利亞	US$ 1.06	NT$ 36.0
Perth	柏斯 / 澳大利亞	US$ 1.00	NT$ 34.0
Phoenix AZ	鳳凰城 / 美國	US$ 1.00	NT$ 34.0
Sydney	雪梨 / 澳大利亞	US$ 0.94	NT$ 32.0
Malaga Spain	馬拉加 / 西班牙	US$ 0.94	NT$ 32.0
Cape Town	開普敦 / 南非	US$ 0.91	NT$ 30.9
Singapore	新加坡	US$ 0.90	NT$ 30.6
Tel Aviv	台拉維夫 / 以色列	US$ 0.90	NT$ 30.6
Honk Kong	香港	US$ 0.83	NT$ 28.2
Los Angeles	洛杉磯 / 美國	US$ 0.77	NT$ 26.2
San Francisco	舊金山 / 美國	US$ 0.70	NT$ 23.8
Muscat	馬斯喀特 / 阿曼	US$ 0.52	NT$ 17.9
Tianjin, China	天津 / 中國	US$ 0.33	NT$ 11.2

資料來源 : Global Water Intelligence October 2006 Update



*)僅限於捲式逆滲透膜元件

'TORAY'

圖1　傳統前處理逆滲透處理流程圖 (Toray公司提供)

表2 2008年國際城市水價比較表

城市 / 國家		2008 水價	
Paris	巴黎 / 法國	US$ 4.08	NT$ 138.7
Sydney	雪梨 / 澳大利亞	US$ 3.87	NT$ 131.6
Berlin	德國 / 柏林	US$ 3.00	NT$102.0
San Diego	聖地牙哥 / 美國	US$ 2.90	NT$98.6
Amsterdam	阿姆斯特丹 / 荷蘭	US$ 2.66	NT$ 90.4
Perth	柏斯 / 澳大利亞	US$ 2.62	NT$ 89.1
Las Vegas	拉斯維加斯 / 美國	US$ 2.50	NT$ 85.0
San Jose	聖荷西 / 美國	US$ 2.30	NT$78.2
Dubai	杜拜 / 阿拉伯聯合大公國	US$ 2.16	NT$73.4
Barcelona	巴塞隆納 / 西班牙	US$ 2.15	NT$ 73.1
Melbourne	墨爾本 / 澳大利亞	US$ 2.10	NT$ 71.4
Houston	休斯頓 / 美國	US$ 2.02	NT$ 68.7
Frankfurt	法蘭克福 / 德國	US$ 1.90	NT$ 64.6
Tokyo	東京 / 日本	US$ 1.81	NT$ 61.5
London	倫敦 / 英國	US$ 1.80	NT$ 61.2
Muscat	馬斯喀特 / 阿曼	US$ 1.53	NT$ 52.0
Tel Aviv	台拉維夫 / 以色列	US$ 1.30	NT$ 44.2
Orange County	橘縣 / 美國	US$ 1.22	NT$ 41.5
Kuwait	科威特 / 科威特	US$ 1.21	NT$41.1
Doha, Qatar	多哈 / 卡達	US$ 1.21	NT$41.1
Singapore	新加坡	US$ 1.20	NT$ 40.8
Cape Town	開普敦 / 南非	US$ 1.11	NT$ 37.7
San Francisco	舊金山 / 美國	US$ 1.10	NT$ 37.4
San Antonio	聖安東尼奧 / 美國	US$ 1.10	NT$37.4
Phoenix AZ	鳳凰城 / 美國	US$ 1.10	NT$37.4
Los Angeles	洛杉磯 / 美國	US$ 1.10	NT$37.4
Malaga Spain	馬拉加 / 西班牙	US$ 0.85	NT$28.9
Honk Kong	香港	US$ 0.83	NT$ 28.2
Tianjin, China	天津 / 中國	US$ 0.50	NT$ 17.0

資料來源: Global Water Intelligence Sep 2008 Update

表 2 爲 2008 年幾個國際城市水價比較表，右側也是以 US$ 1.0 = NT$34 估算之數值。由表中數字可以瞭解，經過兩年，水價漲了許多，巴黎漲了一倍，雪梨從不到 1 美元 /m^3 漲了將近 4 倍，因爲那兩年澳洲大旱所致。就連天津也漲了五成，比台灣水價還高。

三、國外海淡廠設置現況

表 3 爲 2008 年海水淡化廠依照產水量大小排序的統計結果，前幾名都在中東，採用 thermal process。北非阿爾及利亞是全世界最積極建置海水淡化廠的國家，預估將建置 20 幾座，目前正陸續發包興建中，第五名即爲阿爾及利亞 Mactaa，規模 50 萬噸 / 天，2005 年於 Hamma 興建 20 萬噸 / 天之海水淡化廠是由 GE 以 BOT 方式建置。

我們從表三中亦可發現新加坡 Tuas 海水淡化廠的操作營運費用於 2008 年修正爲 US$ 0.57，不過此一數據可能偏低。當年號稱“half dollar”的海水淡化廠還有 Tampa Bay 9.5 萬噸 / 天，該廠已於 2006 年重整，營運費用由 US$ 0.55 調高爲 US$ 0.84。至於以色列 Ashkelon 32.6 萬噸 / 天，2008 年營運費用也由 US$ 0.52 調高爲 US$ 0.78。因此推估 10 萬噸級海水淡化廠合理營運費用約 US$ 0.8 左右。其中日本 Fukuoka 5 萬噸 / 天，營運費用高達 US$ 1.84，據瞭解是因爲採用包括 UF 等多種設備所致。

四、國內海淡廠設置現況

台灣推動海水淡化已有多年，表 4 列出歷年來所設置海水淡化廠名單，其中有一些已經過重建，有的已變更爲半鹹水淡化廠，近年來所規劃建置比較大的桃園海水淡化廠，目前已經暫停。

五、中國海淡廠推行政策

中國國家發展改革委環資司楊尚寶處長於 2010 亞太脫鹽協會發表專文說明中國推動海水淡化產業發展的戰略思考。他認爲加快海水淡化產業發展是保障中國沿海地區經濟社會可持續發展的重要措施之一。海水淡化不僅是保障中國水資源持續利用的開源之舉，更是水資源保障的戰略儲備。因此，他提醒必須充分認識海水淡化

表3 國外海淡廠設置現況

	Process	Water Cost ($/m^3)	Capacity (m^3/d)	Date of Estimate
Ras Azzour, Saudi Arabia (bid avg)	Hybrid	1.09	1,000,000	2008
Shoaiba, 3 Saudi Arabia	MSF	0.57	881,150	2005
Marafiq	MED	0.83	758,516	2006
Fujairah 2, UAE	Hybrid	0.85	590,000	2007
Mactaa, Algeria (bid)	SWRO	0.56	500,000	2008
Shuweihat 2, Abu Dhabi	MSF	1.13	454,610	2008
Hidd, UAE	MSF	0.69	400,000	2008
Hadera, Israel	SWRO	0.60	330,000	2007
Ashkelon, Israel (update)	SWRO	0.78	326,144	2008
Ashkelon, Israel	SWRO	0.52	326,144	2001
Taweelah C, UAE (est)	SWRO	0.72	325,000	2000
Ras Laffan B	MSF	0.80	272,520	2008
Taweelah A1, UAE	MED	0.70	236,185	2001
Ad Dur, Bahrain	SWRO	0.93	218,000	2008
Shuqaiq, Saudi Arabia	SWRO	1.03	213,475	2006
Tenes, Algeria	SWRO	0.59	200,000	2008
Hamma, Algeria	SWRO	0.82	200,000	2005
Carlsbad (est)	SWRO	0.77	189,250	2007
Tianjin, China	SWRO	0.95	150,000	2007
Beni Saf, Algeria	SWRO	0.70	150,000	2005
Perth	SWRO	0.75	143,700	2006
Tuas, Singapore (update)	SWRO	0.57	136,360	2008
Tuas, Singapore	SWRO	0.48	136,360	2003
Gold Coast	SWRO	1.09	133,000	2007
Douaouda, Algeria	SWRO	0.75	120,000	2005
Carboneras, Spain	SWRO	0.57	120,000	2002
Point Lisas, Trinidad	SWRO	0.71	119,000	2002
Palmachim, Israel	SWRO	0.78	110,000	2005
Oued Sebt, Algeria	SWRO	0.68	100,000	2008
Chennai, India	SWRO	1.10	100,000	2007
Skikda, Algeria	SWRO	0.74	100,000	2005
Cap Djinet, Algeria	SWRO	0.73	100,000	2005
Tampa Bay (rehab)	SWRO	0.84	95,000	2006
Tampa Bay	SWRO	0.55	95,000	2004
Los Angeles (est)	SWRO	0.82	94,625	2005
Arzew, Algeria	SWRO	0.90	86,000	2005
Palmachim, Israel (update)	SWRO	0.78	83,270	2008
Sur, Oman	SWRO	1.20	80,200	2007
Larnaca, Cyprus	SWRO	0.76	54,000	1999
Jeddah Barge	SWRO	2.27	52,000	2008
El Tarf, Algeria (bid)	SWRO	0.89	50,000	2008
Fukuoka, Japan	SWRO	1.84	50,000	2005
Dhekelia, Cyprus (rehab)	SWRO	0.88	40,000	2007
Dhekelia, Cyprus	SWRO	1.19	40,000	1997
West Basin, California (est)	SWRO	0.64	37,850	2005
Blue Hills, Bahamas	SWRO	1.30	27,250	2006
Santa Barbara	SWRO	1.22	25,360	1991
Malta (various, avg)	SWRO	0.72	20,000	2007
Taunton, Massachusetts	SWRO	1.53	18,925	2008
Reliance Refinery, India	MED	1.53	14,400	2005
Bahamas	SWRO	1.28	9,840	1996

資料來源: Water Desalination Report, 15 Sep 08-Vol. 44, No. 33

表4 歷年來台灣所設置海水淡化廠

廠名	淡化水產量 (CMD)	淡化技術完工時間	營運管理單位	投資金額 (億元)
1. 台電核三廠海淡廠	981 / 1,041	蒸汽壓縮 , 78	台灣電力公司	2.06
2. 馬祖南竿海淡廠第一期	500	逆滲透 , 86	福建省連江縣政府	0.90
3. 澎湖虎井嶼廠 / 桶盤嶼廠	200 / 100 → 200 / 200	逆滲透 , 88 → 98	台灣省自來水公司	0.35
4. 馬祖南竿海淡廠第二期	500	逆滲透 , 89	福建省連江縣政府	0.69
5. 台電尖山發電廠海淡廠	300	逆滲透 , 89	台灣電力公司	0.82
6. 澎湖海淡廠第一期 (成功)	2,500 → 4,000	逆滲透 , 89	台灣省自來水公司 (變更爲半鹹水廠)	2.00
7. 澎湖海淡廠第二期 (烏崁)	7,000	逆滲透 , 89	台灣省自來水公司	3.68
8. 澎湖海淡廠第二期 (烏崁)	5,500 + (7,000 → 4,500)	逆滲透 , 98	台灣省自來水公司	6.50
9. 台電塔山發電廠海淡廠	600	逆滲透 , 91	台灣電力公司	0.46
10. 澎湖望安海淡廠	400 → 600	逆滲透 , 91 → 98	台灣省自來水公司	0.68
11. 馬祖北竿海淡廠	500	逆滲透 , 92	福建省連江縣政府	1.02
12. 馬祖東引海淡廠	500	逆滲透 , 92	福建省連江縣政府	1.20
13. 金門海淡廠第一期	2,000	逆滲透 , 94	福建省金門縣政府	1.48
14. 馬祖西莒海淡廠	500	逆滲透 , → 93	福建省連江縣政府	0.96
15. 澎湖海淡廠第三期 (烏崁)	3,000	逆滲透 , 93	台灣省自來水公司	保價保量
16. 西嶼半鹹水淡化廠	720	逆滲透 , 93	台灣省自來水公司	
17. 西嶼海水淡化廠	750	逆滲透 , 95, BTO	台灣省自來水公司	2.0, 先付設備費
18. 台電珠山發電廠海淡廠	100	Thermal, 98	台灣電力公司	
19. 馬祖南竿海淡廠第三期	950	逆滲透 , 99, BTO	水利署十河局 福建省連江縣政府	1.1, 20 年攤提
20. 小金門海淡廠	950	逆滲透 , BTO, 招商中	福建省金門縣政府	1.0 20 年攤提
21. 金門海淡廠第一、二期	4,000	逆滲透 , BTO	福建省金門縣政府	6.83?
22. 新竹海淡廠	30,000	模廠招標中	水利署北水局	0.5?
23. 桃園海淡廠	30,000	暫停 , BTO	水利署北水局 桃園縣政府	12.5 19 年攤提
24. 澎湖海淡廠第四期 (烏崁)	4,000	逆滲透	台灣省自來水公司	

的重要性和緊迫性，大力發展中國的海水淡化產業。

中國已具有自主研發的膜法和熱法海水淡化技術，並具備生產建設日產淡化水萬噸級的海水淡化工程的能力。浙江舟山六橫島 10 萬立方米 / 日的逆滲透海水淡化工程已開始建設，其中一期工程的日產淡化水 1 萬立方米的海水淡化裝置已建成投產，河北滄州黃驊電廠的 1.25 萬立方米 / 日的 MED 低溫多效海水淡化工程運行良好。

2005 年中國海水淡化產水能力約爲 3 萬立方米 / 日，2008 年約爲 20 萬立方米 / 日，2009 年超過 40 萬立方米 / 日。已建成投產的海水淡化裝置，主要分佈在天津、浙江、山東、河北和遼寧等地。

能量回收、變頻控制等技術的應用，使逆滲透海水淡化工程能耗大幅降低。中國具有自主知識產權的能量回收技術和裝置已進入開發階段。中國還自行研究和開發了連續微濾或超濾技術用於預處理中;在杭州、貴陽（北京）和葫蘆島等地建立了逆滲透複合膜生產線，設計膜生產能力達 300 萬平方米 / 年;研究開發了海水淡化複合膜組器;海水淡化用膜壓力容器已基本實現國產化;已具有了較強的海水淡化工程設計成套能力。

六、台灣供水問題

台灣近年來的問題:

1.水庫貯水空間急速減少；

2.新建水庫開發無望；

3.越域引水停擺，跨區調度不易；

4.水庫加高，增加風險；

5.氣候變遷造成旱澇兩極，造成未來水資源供應更不穩定、更困難；

6.水價偏低，只計算操作營運成本，不計入水源開發、環境保育與功能提昇設備投資費用，長期扭曲水價結構，造成民眾與廠商缺乏節約用水經濟誘因，也不利於相關水利產業之發展。

結論

1. 海水淡化廠的設置與操作一路走來雖然並不順利，但是基本上，海水淡化廠算是一座高科技的工廠，需要專業的工程師、專業的設計、細膩的操作與維護保養，

過去的問題是可以解決的。

2. 國外海淡技術發展近年來不斷創新與突破，已成功商業化運轉多年，成本也降低許多，市場一片看好，目前有許多大型海淡廠已完工或正在興建中。
3. 台灣四面環海，雖然台灣水價仍然極爲低廉，但是基於海淡水是唯一可大量穩定取得之替代水源，而且價格已屬於相對低價，預期未來海淡水將成爲台灣多元水資源開發之重要角色。
4. 如果能夠導入正確技術兼具合理利潤的BTO或BOT制度，將可有效解決台灣水資源開發問題，同時亦將開創龐大新興水利產業商機。

工業用再生水產業發展模式與推動之可行性

陳筱華
財團法人環境與發展基金會

前言

台灣地區之水資源缺乏問題嚴重且複雜。因受氣候、地形及地質等因素之影響，水資源儲存不易，降雨雖多，但分配不均，反造成災害及水庫淤積。水庫興建除工程費用龐大及費時外，亦常遭致保育團體質疑及抗議，另，超抽地下水又導致地層下陷，嚴重影響國土保育。此外，近年來因全球氣候變遷及工業發展迅速用水需求持續成長，導致水資源運用日益困難。在各種天然條件限制及環境保育政策考量下，政府乃著手尋求新興水源。民國 95 年 1 月 19 日行政院核定之「新世紀水資源政策綱領」，為我國目前推動新興水源開發利用之政策面依據。此綱領之明確提出，已導引水利署研訂「新興水源發展條例」，輔導與獎勵新興水源之事業興辦，有助於我國水源供給之穩定，解決長期潛在之產業缺水問題。

相對於「傳統水源」,「新興水源」包括:污 (廢) 水回收及再生、雨水貯留和海水淡化。其中，雨水貯留則因水源供應量較不穩定，其供水較受地域限制;而海水淡化受制於國內產業缺水之西部沿海水源水質不佳，淡化廠操作及穩定供水水質較有顧慮，因此海水淡化現行主要供應離島民生用水為主。而污 (廢) 水回收及再生利用因水源穩定，再生處理技術成熟，為現行全球公認最為經濟可行且具節能減碳效益之新興水源開發方式，亦為國內產業未來倚重之新興水資源。因此，本研究以探討污 (廢) 水回收及再生之產業新興水資源發展為主。

一、工業用水及廢(污)水再生使用

(一)國內工業用水量及缺水潛勢分析

根據水利署之統計 [1]，民國 95 年台灣地區之工業用水量 (包括自來水供應量及

自行取水量) 爲 18.72 億噸 / 年，即 512.9 萬噸 / 日 (CMD)。而自民國 95 年起，工業用水量逐年增加，民國 120 年時較民國 95 年時增加 12.57 億立方公尺，成爲 31.29 億噸 / 年，即 857.3 萬 CMD。即使實施擴大節水，民國 120 年時仍較民國 95 年時增加 12.24 億立方公尺，成爲 30.96 億噸 / 年，即 848.2 萬 CMD。

由於國內公共給水之供應以民生用水優先，工業用水居次，因此，根據經濟部水利署之估計，「假設水利設施如期完工」或「假設水利設施未如期完工」，國內各區域民國 120 年之缺水潛勢分別爲：

1. 北部區域 (宜蘭、基隆、台北、桃園、新竹)：缺水 15 萬 ~67 萬 CMD
2. 中部區域 (苗栗、台中、南投、彰化、雲林)：缺水 45 萬 ~203 萬 CMD
3. 南部地區 (嘉義、台南、高雄、屏東)：缺水 2 萬 ~92 萬 CMD
4. 東部和離島地區 (花蓮、台東、澎湖、金門、馬祖)：缺水 0~2.62 萬 CMD

上述民國 120 年缺水潛勢約爲 62 萬 ~365 萬 CMD，且主要爲工業用水不足。且，「假設水利設施未如期完工」之可能性遠高於「假設水利設施如期完工」。如：南部地區之水利設施主要爲「曾文水庫越域引水工程」，該工程因小林村事件完全停工，因此，預計民國 101 年完工，供應超過 100 萬 CMD 之計畫被迫停止。

上述約 62 萬 ~365 萬 CMD 之缺水潛勢將可能由「新興水資源」補充。

(二)工業廢水量和廢(污)水廠可再生水量

國內推動工廠廠內用水回收 (亦即後文所稱廢 (污) 水再生之「取用模式」) 已超過 15 年，其間各相關單位 (工業局、水利署、國科會、環保署等) 透過各式規範和鼓勵措施，使工廠達到各式要求之「製程回收率」及「整廠回收率」。根據估計[2]，國內科學園區廠商之廠內回收率已佔工業用水量之 50%，各式工業區廠商之廠內回收率約佔工業用水量之 30%，而工業區區外廠商之廠內回收率約佔工業用水量之 5%，因此，估計國內工廠廠內已回收利用之廢 (污) 水量超過 50 萬 CMD，約佔現行總工業用水量之 10%。

另根據工業區廢水處理廠之廢水排放量調查結果顯示[3]，全國營運中之工業區共計 89 座，其中 55 座具廢水處理廠 (示如圖 1)，截至民國 97 年，全國工業區廢水廠實際放流水量每日共計 581,989 立方公尺。經考慮工業區廢水廠放流水水質較差，濃縮排水必須符合放流水水質標準的前提下，考慮「潛在回收率」後，可估算而得現行 (民國 97 年) 可再生總量約爲 270,710 CMD，未來 (民國 110 年) 可再生總量約

爲 395,255 CMD。

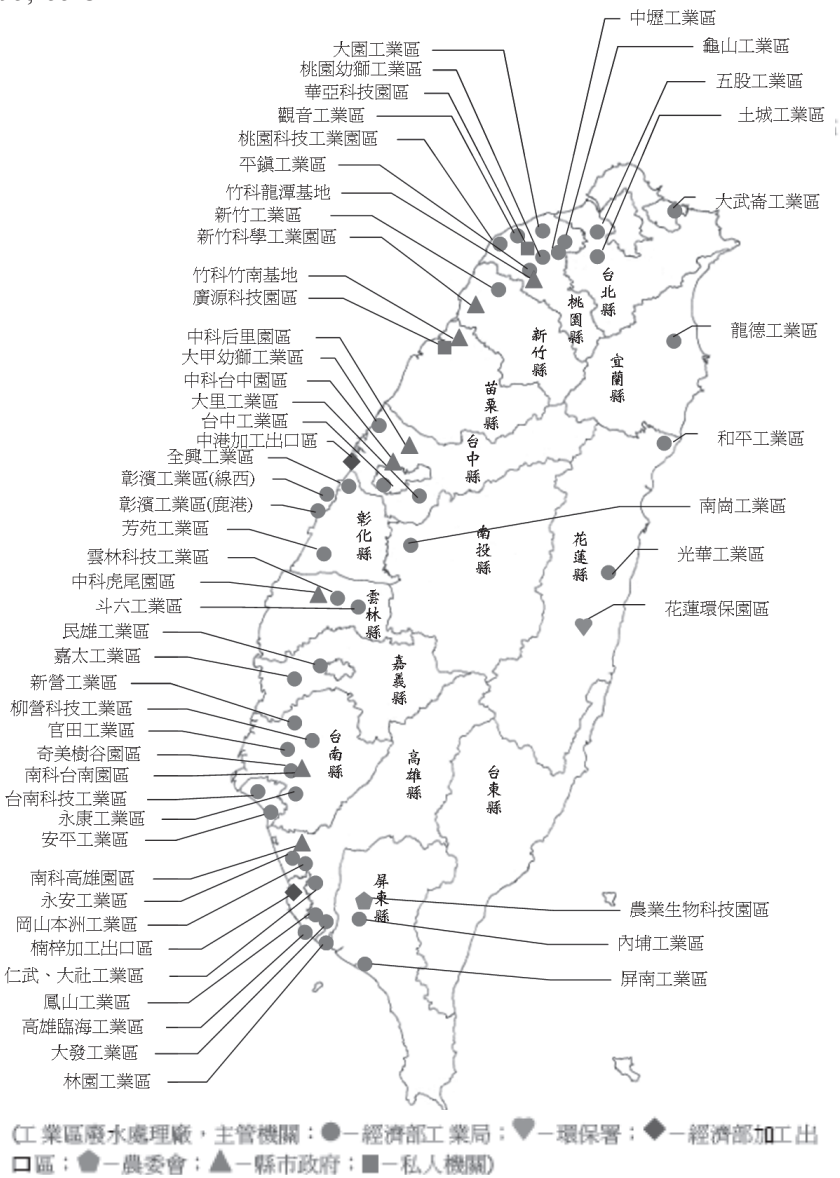


圖1 全國運轉中工業區廢水處理廠分布

(資料來源：經濟部水利署(2009).，”廢(污)水廠放流水再利用潛勢及推動策略”)

(三)都市污水廠再生水供給工業用水水量

根據統計[3]，現行國內已運轉都市污水處理廠計有北部 18 座 (示如圖 2，內含台北水源特定區內 12 座)、中部 6 座、南部 11 座、東部 1 座、離島地區 5 座及 8 座小型處理設施，現行 (民國 97 年) 運轉中之都市污水廠放流水約 228 萬 CMD。若加上現正建設中 (14 座)、規劃中 (58 座) 之污水處理廠，估計於民國 110 年，都市污水廠放流水將達 301 萬 CMD。若將放流水以薄膜方式再生，作爲高級工業用水，則再生水量以放流水量之 50% 估算，現行 (民國 97 年) 再生水可提供高級工業用途之水量約爲 1,140,000 CMD，未來 (民國 110 年) 可達 1,505,000 CMD。

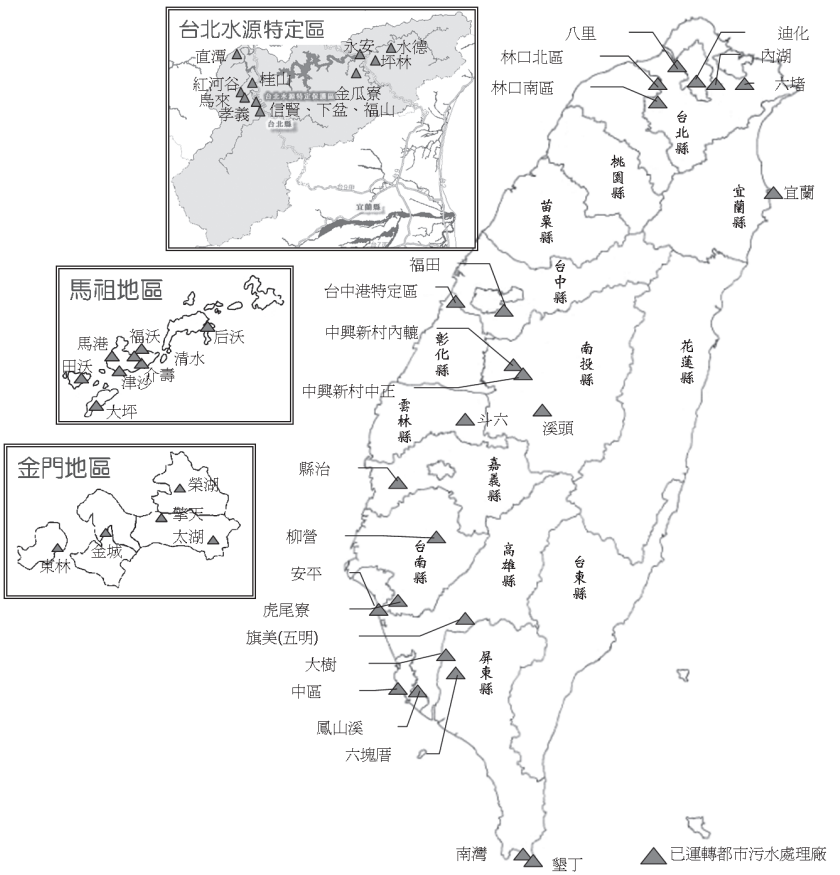


圖2 全國運轉中都市污水處理廠分布

(資料來源：經濟部水利署(2009).，” 廢(污)水廠放流水再利用潛勢及推動策略”)

(四)國內工業用再生水供需分析

1.供應端

由前節「工業廢水量和廢 (污) 水廠可再生水量」分析可知，現行 (民國 97 年) 工業區大型廢水廠可產再生水總量約爲 270,710 CMD，未來 (民國 110 年) 可再生總量約爲 395,255 CMD；另由前節「都市污水廠水再生及可供工業用水水」分析可知，現行 (民國 97 年) 都市大型污水廠可產再生水提供高級工業用途之水量約爲 1,140,000 CMD，未來 (民國 110 年) 可達 1,505,000 CMD。

因此，現行 (民國 97 年) 國內工業用再生水之可供水量 (供應面) 爲上述兩者相加 (270,710 CMD + 1,140,000 CMD)，約 1,410,710 CMD；未來 (民國 110 年) 國內工業用再生水之可供水量 (供應面) 約 1,900,255 CMD。另，未來取供模式 (定義參下節) 業者可由工廠直接收取放流水，再生後亦可提供 (供應面) 一定水量之工業用再生水，亦可成爲再生水供應者。

2.需求端

根據水利署前研究 [4] 預估，工業區再生水之可能最大需求量爲 40% 之總工業用水量，即 2,051,507 CMD (民國 95 年台灣地區之工業總用水量，包括自來水供應量及自行取水量，爲 5,128,767 CMD)，此需求量與民國 110 年國內工業用再生水之可供水量 (供應面)1,900,255 CMD 相當，表示水再生產業爲一供需量相仿，前景可期之產業。

另，由前水利署「缺水潛勢」分析之研究成果 (示如表 1) 可知，國內民國 120 年之「缺水潛勢」62 萬 ~365 萬 CMD，且主要爲工業用水不足。因此，民國 110 年國內工業用再生水之可供水量 (供應面) 水量 1,900,255 CMD 正好可彌補此一「缺水潛勢」。

表1國內水資源供需缺水潛勢分析表

用水分區		假設水利設施如期完工				假設水利設施未如期完工			
		目標年缺口量				目標年缺口量			
		100	110	120	備註 1	100	110	120	備註 2
北部區域	宜蘭地區	0	0	0	--	0	0	0	--
	基隆地區	0	0	1.2 萬	假設八堵抽水站及新山水庫改善作業如期於 98 年完工，其供水能力係以每日 52.5 萬立方公尺做估算	3.3 萬	4.7 萬	7 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 46.7 萬立方公尺做估算
	台北地區	0	0	0	--	0	0	0	--
	桃園地區	27.7 萬	0	3.9 萬	假設民國 102 年板新供水改善計畫二期工程、桃園海淡廠、中庄調整池如期完成，其供水能力係以每日 150 萬立方公尺做估算	27.7 萬	42.5 萬	49.9 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 104 萬立方公尺做估算
	新竹地區	3.7 萬	7.0 萬	9.6 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 61 萬立方公尺做估算	3.7 萬	7.0 萬	9.6 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 61 萬立方公尺做估算
中部區域	苗栗地區	2.4 萬	1.4 萬	2.5 萬	假設民國 105 年天花湖水庫如期完成，其供水能力係以每日 41.7 萬立方公尺做估算	2.4 萬	12.4 萬	13.5 萬	供水缺口係以供水能力為每日 30.7 萬立方公尺做估算
	台中地區	5.5 萬	12.4 萬	25.9 萬	假設大安溪大甲溪水源如期於民國 102 年聯合運用，烏嘴潭人工湖如期於民國 106 年完工，其供水能力係以每日 178 萬立方公尺做估算	5.5 萬	38.4 萬	51.9 萬	供水缺口係以供水能力為每日 152 萬立方公尺做估算
中部區域	南投地區	0	0	0	--	0	0	0	--
	彰化地區	4.1 萬	0	0	假設烏溪大度堰如期於 104 年完工，其供水能力係以每日 128 萬立方公尺做估算	4.1 萬	65.6 萬	73.9 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 38 萬立方公尺做估算
	雲林地區	22 萬	11.9 萬	16.9 萬	假設湖山水庫如期於 103 年完工並與集集堰聯合運用，其供水能力係以每日 101.4 萬立方公尺做估算	22 萬	58.3 萬	63.3 萬	供水缺口以目前供水能力為每日 55 萬立方公尺做估算
南部區域	嘉義地區	0	0	0.2 萬	假設曾文水庫越域引水工程如期於 101 年完工，其供水能力係以每日 51 萬立方公尺做估算	0	14.8 萬	17.2 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 34 萬立方公尺做估算
	台南地區	2.3 萬	0	1.5 萬	假設曾文水庫越域引水工程如期於 101 年完工，加上高屏地區水源支援，其供水能力係以每日 119 萬立方公尺做估算	2.3 萬	15.7 萬	21.5 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 99 萬立方公尺做估算
	高雄地區	17.5 萬	0	0	假設曾文水庫越域引水工程如期於 101 年完工，加上高屏大湖工程一、二期完工，其供水能力係以每日 213 萬立方公尺做估算	17.5 萬	36.6 萬	44.2 萬	供水缺口係以供水能力為每日 166 萬立方公尺做估算
	屏東地區	0.1 萬	0	0	假設士文水庫如期於 110 年完工，其供水能力係以每日 28 萬立方公尺做估算	0.1 萬	2 萬	8.7 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 16 萬立方公尺做估算
東部區域	花蓮地區	0	0	0	假設馬鞍溪水源如期於 110 年開發完工，其供水能力係以每日 27 萬立方公尺做估算	0	0.9 萬	1.7 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 21.6 萬立方公尺做估算
	台東地區	0	0	0	--	0	0	0	--
離島區域	金門地區	0	0	0	若「海淡二期」、「小金門海淡」及「大陸福建省引水工程」等計畫如期完成，其供水能力係以每日 4.16 萬立方公尺做估算	0.49 萬	0.90 萬	0.92 萬	供水缺口係以目前供水能力為每日 3.17 萬立方公尺做估算
	澎湖地區	0	0	0	供水缺口係以目前供水能力為每日 3.6 萬立方公尺做估算	0	0	0	供水缺口係以目前供水能力為每日 3.6 萬立方公尺做估算
	馬祖地區	0	0	0	供水缺口係以目前供水能力為每日 0.5 萬立方公尺做估算	0	0	0	供水缺口係以目前供水能力為每日 0.5 萬立方公尺做估算

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，”廢(污)水廠放流水再利用潛勢及推動策略”，民國98年3月。

二、工業用再生水產業發展規模分析

(一)國內工業用再生水供應產業型態

水再生利用之方式可分爲「取用模式」與「取供模式」，而國內之水再生利用之產業型態也與此兩種水再生利用模式息息相關:

1.取用模式(廢(污)水自行回收再利用)包括下列4類：

(1) 建築物污水「自行」再生回收利用

(2) 單一工廠廢(污)水「自行」再生回收利用

(3) 都市污水處理廠放流水「廠內」回收再利用

(4) 工業區聯合污水處理廠放流水「廠內」回收再利用、工業區內洗街及景觀澆灌。

2.取供模式(廢(污)水再生供應他人使用)包括下列3類：

(1) 單一工廠廢(污)水再生後供應他廠使用

(2) 都市污水處理廠放流水再生後供應外界使用

(3) 工業區聯合廢水處理廠放流水再生後供應區內其他工廠使用等

若再生水使用端 (需求端) 之用途作爲工業用水，則工業用再生水之產業型態縮減爲:

1.取用模式型態1類：

單一工廠廢水「自行」再生回收利用，作爲廠內工業製程使用、冷卻塔補充水。

2.取供模式型態3類：

(1) 單一工廠廢污水再生後供應他廠工業製程使用、冷卻用水補充

(2) 都市污水處理廠放流水再生後供應工廠工業製程使用、冷卻用水補充

(3) 工業區聯合廢水處理廠放流水再生後供應區內工廠工業製程使用、冷卻用水補充

基本上，再生水作爲工業用水之「取用模式」與「取供模式」於國外先進國家均已推動多時，然而，國內現僅有「取用模式」型態之工業用再生水處理利用產業，而無「取供模式」型態之工業用再生水處理利用產業。

國內具「取用模式」型態之工業用再生水處理利用產業乃因政府推動及鼓勵工業界達成「製程回收率」及「整廠回收率」歷時已超過 15 年，因此，工業業者和造水廠商已長期投入「取用模式」(即回收率提升) 之產業，估計現已回收約 50 萬

CMD 之工業用水，產業投資額超過新台幣 100 億元 (以 NT$ 2 萬元 /CMD 計)[2]。但是，對於「取供模式」型態之工業水再生利用，因長期受限於水價過低、水源管理紛亂、水質疑慮、法規不全等問題，目前僅停留在「模廠試驗」階段。然因國內新興水源需求孔急，「取供模式」型態之工業水再生利用未來必成爲政府推動之重點。

(二)國內工業用再生水產業投資潛勢

1.需求量調查分析

經濟部水利署前研究 [5][6] 曾以資源經濟學 CVM (Contingent Valuation Method) 方法設定不同之情境，並根據廠商五種不同之用水需求 (稱 contingent behavior，CB)，針對國內工業再生水「取供模式」需求面 (包括願用水量和願付價格) 進行調查和分析。

該研究選定以用水量較大之工業區及科學園區作爲調查對象，樣區包括：新竹工業區、中壢工業區、台中工業區、林園工業區、新竹科學工業園區、中部科學工業園區與台南科技工業區等工業用水量超過 200CMD 之廠商，調查之廠商家數爲 347 家，樣區之總工業用水量爲 578,900 CMD，調查時程爲民國 98 年 9 月至 10 月 (示如表 2)。

表2樣區廠商問卷寄發及回收統計表

家數 / 區別	寄發家數	回收家數
新竹工業區	20	5
中壢工業區	13	2
台中工業區	1	0
台南科技工業區	6	2
林園工業區	8	4
新竹科學工業園區	245	26
中部科學工業園區	54	8
總計	347	47
回收率	13.54%	

上述七大工業區廠商調查問卷假設之情境如下：

(1) 假設情境一

假設政府擔保再生水水質等同自來水 (專指工業區大型廢水廠放流水以逆滲透法產出之再生水水質，其水質等同於自來水)，且「全年無休、水質保證、缺水損失賠償」，並提供「再生水專管輸水、及免費接管服務」，且「使用再生水超過總工業用水量 40% 之公司，超過部份可等量減收 50% 廢水處理費」。

(2) 假設情境二

假設政府擔保再生水水質優於自來水 (專指都市大型污水廠放流水以逆滲透法產出之再生水水質，其水質 EC<10 μ S/cm)，且「全年無休、水質保證、缺水損失賠償」，並提供「再生水專管輸水、及免費接管服務」，且「使用再生水超過總工業用水量 40% 之公司，超過部份可等量減收 50% 廢水處理費」。

(3) 假設情境三

假設政府擔保再生水水質優於自來水 (指單一工廠放流水以逆滲透法產出之再生水水質，其水質 EC<1 μ S/cm)，且「全年無休、水質保證、缺水損失賠償」，並提供「再生水專管輸水、及免費接管服務」，且「使用再生水超過總工業用水量 40% 之公司，超過部份可等量減收 50% 廢水處理費」。

於問卷中，上述每一個假設情境均設定 12 種詢價金額 (示如表 3)，每一公司僅回答一組願購金額 (三種情境) 之意願。由此次工業再生水需求面之問卷調查結果可知 [5][6]，於「取供模式」之再生水供應下，廠商需求之再生水量可達樣區總工業用水量之 22.80% (假設情境一)、16.26% (假設情境二)、和 11.05% (假設情境三)。亦即，樣區廠商再生水總需水量分別爲 131,995 CMD (假設情境一)、94,133 CMD (假設情境二)、和 63,971 CMD (假設情境三)。而未來當樣區達 40% 再生水用量時，假設之三種情境再生水之需水量將達 231,570 CMD。

表3 假設情境之詢價金額 (單位：元/噸)

假設情境 / 問卷編號	假設情境一	假設情境二	假設情境三
A	3	9	13
B	5	11	15
C	7	13	17
D	9	15	19
E	11	17	21
F	12	18	22
G	13	19	23
H	15	21	25
I	16	22	26
J	18	24	28
K	20	26	30
L	24	30	34

2.產業投資額及水價

(1) 取供模式投資額及產水成本

根據水利署水利規劃試驗所前針對各大型污 (廢) 水處理廠放流水水再生規劃研究之成果可知 [7]~[10]，水再生廠建設 (含輸配水管線佈設) 之單位投資額可分別預估如表 4 所示。

表4 再生水產業投資潛勢分析之計算基準

項目	假設情境一	假設情境二	假設情境三
水再生廠建設單位投資額 (萬元 /CMD，含輸配水管線佈設)	以 4 萬元 /CMD 計 (工業區廢水再生廠區內取供)	以 6 萬元 /CMD 計 (都市污水再生廠外送取供)	以 4 萬元 / CMD 計 (私有工廠放流水再生取供)
水再生廠設備折舊及操作維護投資額 (萬元 / 年 /CMD)	以 0.4 萬元 / CMD/ 年計 (工業區廢水再生廠區內取供)	以 0.37 萬元 / CMD/ 年計 (都市污水再生廠外送取供)	以 0.3 萬元 / CMD/ 年計 (私有工廠再生取供)
再生產水單位成本 (元 / 噸，包含再生廠及管線建設、折舊、操作維護)	約 18 元 / 噸 (工業區廢水再生廠區內取供)	約 20 元 / 噸 (都市污水再生廠外送取供)	約 16 元 / 噸 (私有工廠再生取供)

由表 4 可知:

a. 工業區廢水廠放流水以逆滲透系統再生(假設情境一)：以4萬元/CMD計(工業區廢水再生廠區內取供)。

b. 都市污水廠放流水以逆滲透系統再生(假設情境二)：以6萬元/CMD計(都市污水再生廠外送取供)。

c. 單一工廠放流水以逆滲透系統再生水(假設情境三)：以4萬元/CMD計(私有工廠放流水再生取供)。

而水再生廠建設 (含輸配水管線佈設) 之設備折舊及操作維護投資額分別預估爲:

a. 工業區廢水廠放流水以逆滲透系統再生(假設情境一)：以0.4萬元/CMD/年 計(工業區廢水再生廠區內取供)

b. 都市污水廠放流水以逆滲透系統再生(假設情境二)：以0.37萬元/CMD/年 計(都市污水再生廠外送取供)

c. 單一工廠放流水以逆滲透系統再生水(假設情境三)：以0.3萬元/CMD/年 計(私

有工廠放流水再生取供)

另，再生產水單位成本 (元 / 噸，包含再生廠及管線建設、折舊、操作維護) 可分別預估爲:

a. 工業區廢水廠放流水以逆滲透系統再生(假設情境一)：約18元/噸(工業區廢水再生廠區內取供)
b. 都市污水廠放流水以逆滲透系統再生(假設情境二)：約20元/噸(都市污水再生廠外送取供)
c. 單一工廠放流水以逆滲透系統再生水(假設情境三)：約16元/噸(私有工廠放流水再生取供)

因此，本研究可計算出再生廠建設及管線建設預估投資額，可示如表 5。

表5「取供模式」水再生產業投資額分析 - 不同假設情景下

項目	假設情境一	假設情境二	假設情境三
廠商願意使用再生水佔樣區總工業用水量之比例 (%)	22.80%	16.26%	11.05%
樣區廠商再生水總需水量 (CMD) 推估	131,995 CMD	94,133 CMD	63,971 CMD
樣區水再生廠預估投資額 (億元)	52.8 億元	56.5 億元	25.6 億元
樣區達 40% 再生水用量時，水再生廠預估投資額 (億元)	92.6 億元	140 億元	92.7 億元
台灣地區工業達 40% 再生水用量時，水再生廠預估投資額 (億元)	821 億元	1,231 億元	821 億元
樣區水再生廠預估設備折舊及操作維護投資額 (億元 / 年)	5.28 億元 / 年	3.48 億元 / 年	1.92 億元 / 年
樣區達 40% 再生水用量時，水再生廠預估設備折舊及操作維護投資額 (億元 / 年)	9.26 億元 / 年	8.56 億元 / 年	6.95 億元 / 年
台灣地區工業達 40% 再生水用量時，水再生廠預估設備折舊及操作維護投資額 (億元 / 年)	82.1 億元 / 年	75.9 億元 / 年	61.5 億元 / 年

由表 5 可知:

a. 樣區水再生廠之預估投資額爲52.8億元(假設情境一)、56.5億元(假設情境二)、25.6億元(假設情境三)。

b. 樣區達40%再生水用量時，水再生廠預估投資額爲92.6億元(假設情境一)、140億元(假設情境二)、92.7億元(假設情境三)。

c. 台灣地區工業達40%再生水用量時，水再生廠預估投資額爲821億元(假設情境一)、1,231億元(假設情境二)、821億元(假設情境三)。

本研究亦可計算出再生廠及管線折舊、操作維護之預估投資額，包括:

a .樣區水再生廠預估設備折舊及操作維護投資額爲5.28億元/年(假設情境一)、3.48億元/年(假設情境二)、1.92億元/年(假設情境三)。

b. 樣區達40%再生水用量時，水再生廠預估設備折舊及操作維護投資額爲9.26億元/年(假設情境一)、8.56億元/年(假設情境二)、6.95億元/年(假設情境三)。

c. 台灣地區工業達40%再生水用量時，水再生廠預估設備折舊及操作維護投資額爲82.1億元/年(假設情境一)、75.9億元/年(假設情境二)、61.5億元/年(假設情境三)。

(2) 總投資額及需求端願付水價

由前「國內工業用再生水供應產業型態」分析可知，國內工廠現有「取用模式」之水回收設施已投資額約爲 NT$100 億元。而依據本研究針對工業區廠家再生水需求量調查之結果可知，若以都市污水再生廠取供模式 (假設情境二) 估算，現行之潛在投資額約爲 56.5 億元 (另加設備折舊及操作維護投資額 3.48 億元 / 年)。而未來 (台灣地區工業達 40% 再生水用量時) 可能吸引投資額達 1,231 億元 (另加設備折舊及操作維護投資額 75.9 億元 / 年)，未來投資額 (1,231 億元) 約爲現行潛在投資額 (56.5 億元) 之 22 倍。

另，由再生產水單位成本 (示如表 5) 及前研究 [5][6] 問卷調查需求端願付之價格 (示如表 6) 比較可知，除假設情境三 (私有工廠再生取供) 外，其餘情境之「再生產水單位成本」均較「需求端願付價格」高。亦即，於「工業區廢水再生廠區內取供」和「都市污水再生廠外送取供」之假設情境下，需要政府介入，以解決財務困境，包括:出資興設水再生設施和輸水管線、提供興設和操作維護之相關獎勵或補貼等。

表6 需求端廠商願付之再生水價格

項目	假設情境一	假設情境二	假設情境三
調查結果 - 用水廠商願付價格 (元 / 噸)	13.97 元 / 噸	17.8 元 / 噸	23.4 元 / 噸
再生產水單位成本 (元 / 噸，包含再生廠及管線建設、折舊、操作維護)	18 元 / 噸 (工業區廢水再生廠區內取供)	約 20 元 / 噸 (都市污水再生廠外送取供)	約 16 元 / 噸 (私有工廠再生取供)

三、工業用再生水產業發展模式及民間參與

(一)再生水產業興設模式

針對推動興設「取供模式」之水再生產業，主要須仰賴水利署之「新興水源發展條例」。於「新興水源發展條例」新法未通過前，國內乃以現行法令之「促進民間參與公共建設法 (簡稱:促參法)」和「政府採購法 (簡稱:採購法)」規範之。然而，上述現行二法主要爲鼓勵「都市污水處理廠放流水再生」和「工業區聯合廢水處理廠放流水再生」之大型水再生產業，而無法鼓勵如「單一工廠廢污水再生，供應他廠使用」之中小型水再生產業。亦即，現行法令 (促參法和採購法) 規範下，可行之水再生產業興設及營運推動模式包括:1. 獎勵民間參與投資興設營運 (促參法)、和 2. 政府投資興設營運 (採購法)。然而，若未來「新興水源發展條例」通過，則民間和政府公部門投資興設營運各式水再生事業之選擇方式將會大幅增加。

以下謹先就國內現行可行之水再生產業興設模式進行說明。

1.獎勵民間參與投資建設營運(促參法)

爲有效引進民間資金參與公共建設開發，進而利用民間經營效率，提升公共服務品質，政府於民國 89 年特頒訂促參法、促參法施行細則及其他相關子法等，以建構民間參與公共建設之基本法源。促參法對民間參與之範圍、方式、用地取得及開發、獎勵優惠等相關方式均有明確規定。

政府推動民間參與公共建設係以促參法及其施行細則爲主要法源依據;而按是項條例第三條第一項第三款:「本法所稱公共建設，指下列供公眾使用或促進公共利益之建設:三 . 污水下水道、自來水及水利設施。」暨其施行細則第六條之一:「本法第三

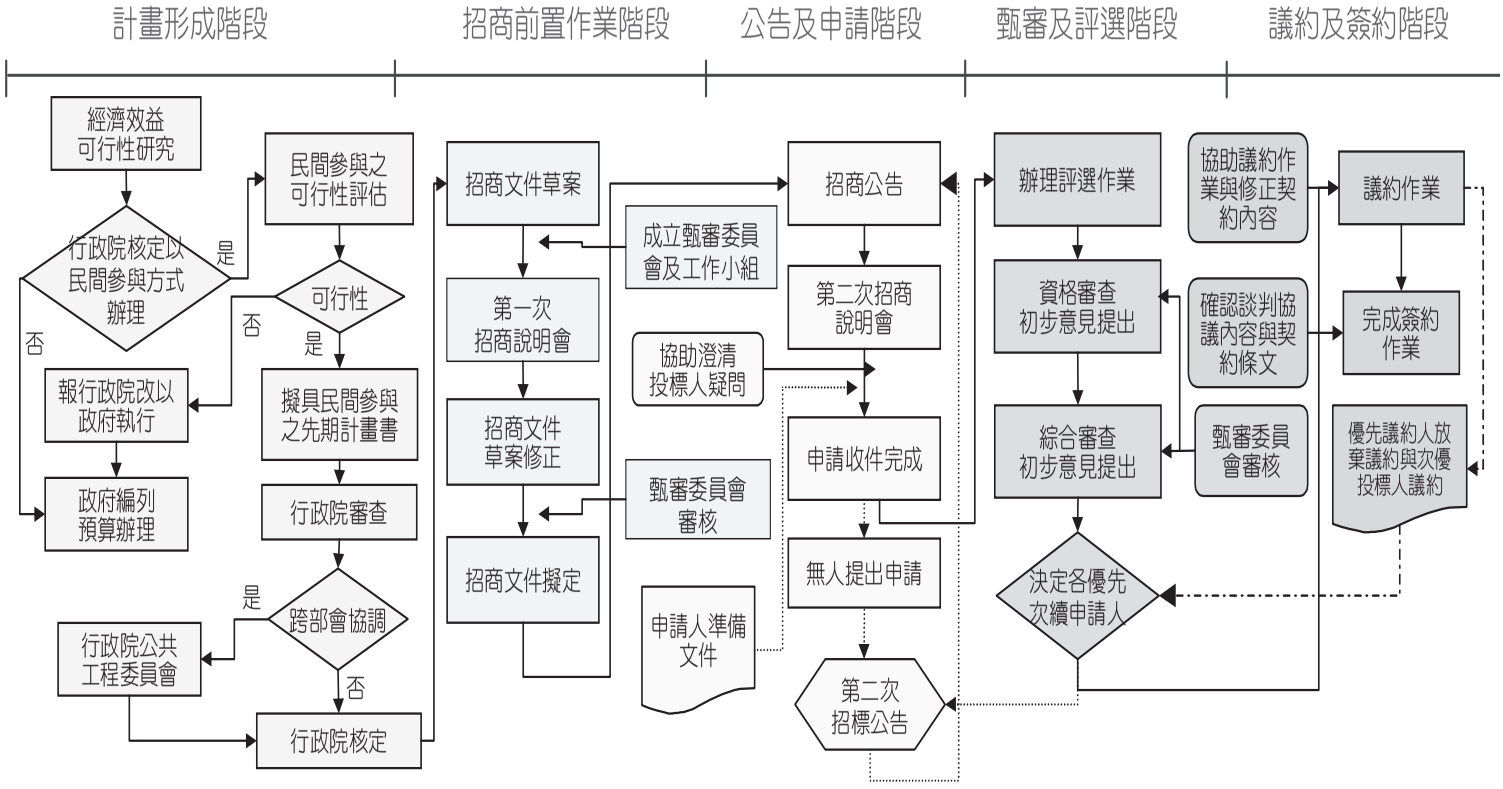


圖3 民間參與投資興建營運作業流程圖

條第一項第三款所稱水利設施，指水利法所稱之水利建造物及經中央目的事業主管機關認定之水再生利用、水淡化處理及地下水補注回用設施。」等規定，本「水再生利用設施」概屬政府獎勵民間參與之水利設施建設項目，因此，推動民間參與本建設案時，准依促參法相關規範辦理。

依「行政院所屬各機關中長程計畫編審辦法」規定，水再生案屬應報請行政院核定之計畫，未來若經核示以民間參與方式辦理建設，則依據「民間參與公共建設案件協調及列管作業要點」規定，其作業程序如圖 3 所示。

依「促參法」第八條規定，特許興建營運移轉模式可細分爲下列參與方式:

(1) 由民間機構投資新建並爲營運，營運期間屆滿後，移轉該建設之所有權予政府(BOT模式)。

(2) 由民間機構投資新建完成後，政府無償取得所有權，並委託該民間機構營運，營運期間屆滿後，營運權歸還政府(無償BTO模式)。

(3) 由民間機構投資新建完成後，政府一次或分期給付建設經費以取得所有權，並委託該民間機構營運，營運期間屆滿後，營運權歸還政府(有償BTO模式)。

(4) 由政府委託民間機構，或由民間機構向政府租賃現有設施，予以擴建、整建後並爲營運，營運期間屆滿後，營運權歸還政府(ROT模式)。

(5) 由政府投資新建完成後，委託民間機構營運，營運期間屆滿後，營運權歸還政府(OT模式)。

(6) 由民間機構投資新建，擁有所有權，並自爲營運或委託第三人營運(BOO模式)

2.政府投資建設營運(採購法)

若由政府編列預算，根據政府採購法發包施工及營運，其實施方法可包括:

(1) 傳統發包：由政府主導規劃並委由工程顧問進行初步及細部設計，爾後，則由營造包商興建施工。

(2) 統包(Turnkey)：基於工程特性，將工程、規劃、設計、施工及安裝等部份或全部作業，合併招標委由營造包商辦理。

(3) 廠商融資興建(BT)：透過前列傳統發包或統包程序，由廠商結合銀行提供資金進行工程建造工作，於工程完工後移轉所有權予政府，並由政府分期攤還建設經費。

(二)興設模式優劣分析及評選

1.再生水產業興設模式優劣分析

若就未來執行之權利義務關係、作業時程、工期掌控、政府財務負擔、應付業者利益、風險承擔、經營效率等指標加以分析，則前述各模式執行特點綜整如下 (如表 7 所示):

(1) 整體而言，傳統發包模式因係由政府主辦機關規劃、設計並編列預算再公開招標委託業者興建，於作業僅涉及興建事宜且相關制度運作成熟下，故有前置作業單純、迅速等優點，惟相對地政府卻需背負較爲沉重的財源籌措壓力與興建期間可能衍生之風險。

(2) 設計及興建作業統由營造商辦理之統包作業模式，除可透過固定成本、固定工期保證降低興建風險外，於依循現有採購程序辦理時亦可導入邊施工邊設計之併行作業，因此相對其他模式而言，可有效縮短建設期程，並適當分攤主辦機關於興建期間可能擔負之風險。

(3) 再就政府有償移轉之BTO模式以及民間參與作業僅限於前段興建或後段營運之BT、OT等模式觀察，由於政府於建設完成後需償還業者代墊之建設經費(BT及有償BTO模式)甚或於委託營運前需先行編列經費興辦建設工程(OT模式)，

表7 再生水產業民間參與方式之執行特性比較表

指標 / 模式		權益關係	作業時程	工期掌控	政府財務負擔	政府風險承擔	業者資金規模	業者獲利	經營效率	適用法規
傳統發包		單純	快	低	高；集中	高	低	低	-	政府採購法
統包		單純	快	高	高；集中	次高	低	次低	-	
BT		可	中	高	高；分散	次低	中	中	-	
特許興建營運移轉	BOT	複雜	冗長	高	次低	低	高	高	高	促進民間參與公共建設法
	無償BTO	複雜	冗長	高	低	低	高	高	高	
	有償BTO	複雜	冗長	高	高；分散	低	中	高	高	
	ROT	複雜	冗長	高	次低	低	次高	高	高	
	OT	可	中	-	高；集中	次低	中	中	高	
	BOO	複雜	冗長	高	次低	低	高	高	高	

故對政府財政壓力之分擔並無實質助益，惟政府仍可藉由民間效率之引進降低興建或營運風險。

(4) 至於BOT、無償BTO、BOO及ROT等模式因於公共建設興建、營運過程中，充分運用民間參與機制引進民間資金與效率，因而最具民間參與意義，惟因業者承擔之風險與資金需求相對沉重且權利義務關係複雜，致計畫推動之前置作業冗長且建設規模備受侷限。

因此，有鑒於公共交通建設常有投資龐大、回收緩慢、自償率低等財務特性，為有效吸引民間業者參與公共建設，政府亦可依據計畫財務特性以及「促參法」第九條規定，於民間參與公共建設新建、擴建、整建或營運工作時，就該公共建設之全部或一部甚至搭配其他計畫案以適當模式彈性配套組合，以提高計畫財務貢獻、強化民間參與誘因。

2.再生水產業興設模式評選

前述三種以「政府採購法」為依據之興辦方式，其「政府財務負擔」均「高」。而政府以特許興建營運移轉模式 (促參法) 推動大型污 (廢) 水廠水再生廠興設之可行性可分析如表 8 所示。

表8 促參法民間參與大型污(廢)水廠水再生廠興設之可行模式分析

模式	可行性分析	
BOT 模式	依據財務自償能力，大型污 (廢) 水廠水再生計畫營運淨收益償付投資經費之能力幾近為零，致此模式不具吸引民間參與開發之誘因	X
無償 BTO 模式	大型污 (廢) 水廠水再生計畫財務自償率偏低甚至為負，於計畫收益能力不高下，於新建完成後，即由政府無償取得所有權之可能性幾近為零	X
有償 BTO 模式	對民間機構而言，大型污 (廢) 水廠水再生計畫運作模式因可先行回收新建成本，於無資金回收疑慮下，執行可行性較高 對政府而言，政府取得所有權之過程因需編列預算支應，於其運作與政府遞延付款無異下，僅能減輕政府短期之財政負擔	O
ROT 模式	大型污 (廢) 水廠水再生計畫為新建而非舊有設施之擴建整建計畫案	X
OT 模式	大型污 (廢) 水廠水再生計畫財務自償率偏低，因此，由政府編列預算興闢相關設施，再以委託經營方式引進民間效率，不失為可行執行方案 惟此運作模式應就系統建造與營運之操作界面銜接課題予以特別關注	O
BOO 模式	大型污 (廢) 水廠水再生計畫係由政府提供土地辦理建設，於是項土地非民間機構自行取得下，此運作模式實不適合本案採行	X

另，依據民間參與水再生建設計畫之財務特性可知[10]，大型污 (廢) 水廠水再

生計畫之營運淨收益償付投資經費之能力幾近爲零，甚至爲負。因此:

(1) 若循BOT模式推動開發，並依據大型污(廢)水廠水再生計畫財務特性，由民間就自償部分進行投資，則政府投資額度恐將違反促參法施行細則第三十三條第二項之限制(亦即主辦機關就公共建設非自償部分投資建設之一部時，若併由民間機構興建，主辦機關投資額度不得高於民間投資興建額度…)。

(2) 無償BTO模式雖可有效利用民間效率，並具有充分移轉政府財務壓力之功效，惟因計畫自償能力不足，致大型污(廢)水廠水再生計畫循該模式執行之可行性亦不高。

(3) 於BOO及ROT模式之運用上，有鑒於大型污(廢)水廠水再生計畫建設需用之土地係由政府提供，因此無法執行BOO模式，而因大型污(廢)水廠水再生計畫水再生設施均爲新設，致ROT運作模式亦不適合本計畫採行。

整體而言，有償 BTO 及 OT 模式雖無助於分攤政府財政壓力，惟於大型污 (廢) 水廠水再生計畫自償率偏低下，若爲有效運用民間效率進而達成鼓勵民間參與水資源開發之政策，則各該模式因可降低先期投資無法回收之疑慮，而具吸引民間參與開發之可行性。

是以，因應大型污 (廢) 水廠水再生計畫財務特性及相關法令規範，研提之民間參與大型污 (廢) 水廠水再生廠建設方案如后，其方案內涵及作業主體界定如表 9 所示:

方案一：「民間業者投資興建污水再生廠，政府於再生廠興建完成後分期給付建設經費取得所有權，並委託該民間機構營運，特許營運期屆滿後，民間機構移轉營運權予政府，有償BTO模式」

方案二：「政府投資興建污水再生廠，再委託民間機構辦理營運作業；特許營運期滿，民間機構移轉營運權予政府，OT模式」

表9 民間參與建設內涵及作業主體界定表

參與建設方案項目		方案一	方案二
		有償 BTO 案	OT 案
方案內涵	建設標的	污水再生廠建設工程	-
	營運標的	污水再生廠營運作業	污水再生廠營運作業
	收益來源	政府於建設完成後分五年償還建設經費 (含貸款利息及代辦利潤) 污水再生廠營運收益	污水再生廠營運收益
作業主體	興建期間	資金：民間 工程：民間 興建後移轉	資金：政府 工程：政府
	營運期間	民間 營運後移轉	民間 營運後移轉

四、工業用再生水產業發展之推動進展

世界各先進國家均將污水再生利用之「取供模式」(尤其指將都市污水廠放流水回收處理，生產再生水) 產出之再生水視爲傳統水源外之第二水源，積極開發相關技術以及研制法規以鼓勵民眾接受及使用。根據統計 [11][12]，現行全球之污 (廢) 水再生之「取供模式」大都集中於將再生水使用於農作物灌溉 (約佔 80%)，其次使用於工業用途 (約佔 10%，以冷卻用水爲主)，第三大用量爲都市雜用、球場及景觀澆灌 (約佔 5%)，而使用於地下水補注防止海水入侵 (如荷蘭、美國、西北歐各國等) 之用量約佔 1%。而新加坡和美國可說是將再生水供應作爲工業使用之典範。

(一)國外工業用再生水產業發展政策

1.新加坡工業用再生水產業發展

新加坡以政策制定工業使用再生水之比例，再以鼓勵措施提供「再生水使用者」和「再生水供水者」需求和供應之誘因。對於再生水使用者 (工業用水戶) 提供之鼓勵措施爲 (1) 水價誘因 (高自來水水價政策，再生水價格低)，及 (2) 優質水質水量誘因 (水質優於自來水，水量穩定)。對於民間參與公共建設投資者 (如 Ulu Pandan 水再生廠 ，BOO 模式，約 145,500 立方公尺 / 日 ，2007 年 1 月運轉) 提供之鼓勵措施爲：(1) 政府協助提高客戶使用意願，(2) 政府提供前期水再生廠運轉及營運之成功模式，(3) 保價保量收購再生水合約，及 (4) 政府興建維護輸配水設施興建。

2.美國工業用再生水產業發展

爲解決乾旱問題，美國加利福尼亞州 (加州) 和佛羅里達州 (佛州) 均訂定水再生利用之政策目標，並交由各地方政府 (郡政府) 作爲推動之依據。以美國加州爲例，2010 年之再生水使用量爲 6.4 x 10^8 m^3/ 年 (175 萬 CMD)，而未來 20 年之推展目標已擬定爲：

(1) 2020年時額外增加1.23 x 10^9 m^3/年(338萬CMD)之再生水使用量

(2) 2030年時額外增加2.47 x 10^9 m^3/年(677萬CMD)之再生水使用量

(3) 2030年時再生水使用量應達3.11 x 10^9 m^3/年(852萬CMD)

在美國，水再生計畫均由政府推動，且再生水供應與自來水供應均歸同一單位管理。爲鼓勵工業使用再生水，已解決供水困境，再生水水價均較自來水便宜。

以低自來水水價的美國而言，純粹靠再生水費收入，很難達到收支平衡。因此，地方政府興建水再生設施的經費主要來自州政府撥付贈與性質之補助金 (grant)，而操作營運費用 (或水費) 之差額則由地方政府籌設之基金 (Fund，經費主要來自用戶水費) 中補貼 (subsidy)(圖 5 所示爲美國加州橘郡 Orange County 案例)。因此，在政府主動訂定水再生目標，水源供應端之再生水供應與自來水供應又統一調配之情形下，水再生技術和產業發展十分蓬勃。

(二)國內推動工業用再生水產業發展新作法

國內現行對水再生利用之相關法令分散於各部會 (環保署、經濟部、內政部、農委會及國科會)，目前並無以新興水源開發角度，鼓勵及規範水再生產業發展之專法。國內因自來水價過低，因此水再生推動之經濟誘因明顯不足，實有必要以法律明文強制措施，擴大市場規模，並輔以獎勵輔導措施，以有效推動污水、廢水、貯

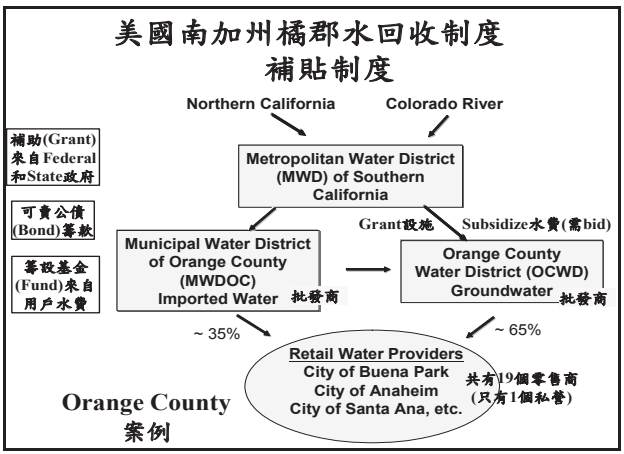


圖5 美國加州橘郡水公司OCWD的補貼制度

留雨水及海水等新興水源發展，作爲政府有效管理、民間業者經營及用水安全保障之法律依據。

工業用再生水產業包括:廠內自行回收 (取用模式) 水再生產業，和由其他水再生廠供應 (取供模式) 之產業。爲有效鼓勵和推動產業使用再生水，並鼓勵和推動「取供模式」水再生產業，經濟部水利署已提出之『新興水源發展條例 (草案)』[13]。該條例除將劃定「水源不足或有匱乏之虞地區」，優先推動新興水源供應及使用外，並特別針對「取供事業」之興辦及管理以專章規範之。另，經濟部工業局亦已於 99 年 4 月 23 日公告「水再生利用設備及應用服務」爲行政院「關鍵產品發展登峰造極計畫」(民國 98 年 7 月 7 日核定) 之關鍵產品項目，針對水再生利用設備之研發由政府提供研發及應用補助。

目前經濟部水利署提出之「新興水源發展條例 (草案)」爲鼓勵產業開發和使用新興水資源之上位法令，亦爲產業新興水資源發展之政策依據。「新興水源發展條例 (草案)」包括了新興水源之取得與利用、取供事業興辦及管理、輔導獎勵及監督、罰則等，其特色和規範可整理如下:

1.水再生屬新興水資源，由水利署(經濟部)主導其開發及使用

(1) 國內現行對水再生利用之相關法令分散於各部會(環保署、經濟部、內政部、農委會及國科會)，爲考量新興水源發展之權責一貫，故「新興水源發展條例」以特別法方式制訂。

(2) 本條例之制訂，除能提高整體供水可靠度，促進水資源永續發展外，並配合水利產業之發展，獎勵政府或民間投資新興水源取供與取用事業，建構國內水利產業之發展環境。

(3) 爲擴大水再生利用之範圍，考量未來缺水危機，明訂再生水水源之來源，包括未經處理及經處理後之污(廢)水皆可，以擴大水再生利用之適用範圍，提高水資源之永續利用性。亦即，因水處理技術之提升，目前已具將傳統污(廢)水處理廠及水再生廠合併之水處理技術，因此未經處理之污(廢)水應可作爲再生水水源。而符合放流水標準之水，因無污染環境之虞，亦可納入成爲再生水水源。

(4) 明訂再生水使用之用途限制。以生活污水爲水源所產出之再生水，其水質中具疑慮性之化學物質含量極微，潛在之人體健康風險較低，故其可再利用適用範

圍可較廣；以工業廢水爲水源所產出之再生水，因考量工業製程屬性複雜，再生水中可能含有潛在健康有風險化學物質之機率較高，爲避免或降低風險，故限制其使用用途。

2.鼓勵及規範公私部門辦理水再生「取供事業」

(1) 規定再生水取供事業自污水處理系統取水作爲水源之條件。取供事業應先取得下水道主管機關之同意文件後，才可向主管機關申請興辦再生水取供事業。

(2) 爲降低以生活污水及事業廢水爲水源之取供事業供水過程之污染風險，規定其相關輸水、配水管線及設施，應與自來水系統有明顯區別，並不得與以飲用用途之自來水系統連接，以免致公共危險。

(3) 鑑於新興水源取供事業係供應不特定人使用，可能涉及用水水質和公共衛生安全問題，其事業興辦之主管機關有必要予以審查，以規範取供事業之規模，計畫書撰寫人資格、計畫書撰寫之內容、格式、申請與變更程序、審議規範、核准文件、竣工查驗及營業文件等由中央主管機關訂定，俾利各主管機關與申請者有一標準程序可循。

(4) 爲確保新興水源取供事業設施之設計及監造水準，使取供事業之設施功能能達成公共安全與水質標準的要求，規定事業設施之設置應由水利工程技師、土木工程技師、環境工程技師、化學工程技師等相關專業技師執行簽證。

(5) 考量再生水處理之專業要求，確保再生水取供事業供水之安全衛生，規定再生水取供事業之操作須具備足夠之專業技術人員。

(6) 爲確保新興水源取供事業之供水品質，事業之營運管理單位應於定期進水與出水端設置監測設備進行監測及紀錄相關資料，且應保存之。

(7) 政府機關興辦之新興水源取供事業相關管線或設施之埋設，常須經過公有或私有土地，事業因埋設管線或其他設備而需用私有土地時，可依本法進行徵收之，其爲公有土地者，得辦理撥用。

(8) 鑑於引取生活污水或事業廢水之新興水源取供事業，若經營發生問題，往往衍生原引用之污水或廢水排放等問題。因此，對其所有之土地，明訂其處分、設定負擔或供非屬新興水源取供事業經營之使用應經主管機關同意，以確保取供事業能永續經營。

(9) 爲避免新興水源取供事業經營不善或重大違法造成用水人權益受損及水污染問

題，乃訂定改組條款，授權由主管機關介入協調改組或暫時接管。

3.劃定「水源不足或有匱乏之虞地區」，優先推動及鼓勵新興水源供應及使用

(1) 配合區域水資源未來發展趨勢與經濟規模，強制規範位於「公告水源不足或有匱乏之虞地區內」且「用水量達一定規模以上」之新開發之工業區、加工出口區、科學工業園區、環保科技園區、生物科技園區或社區，其興辦人於申請開發許可時，應依中央主管機關所定新興水源處理後利用水量之比例要求，於開發計畫之用水計畫書中敘明，向主管機關申請核准，以有效推動新興水源與水再生利用。

(2) 鑑於使用新興水源屬利他行爲，並非其國民義務，宜配合相關優惠措施鼓勵，對於設有新興水源使用設備之區域，其建物或土地得享有房屋稅或地價稅之減免。

(3) 爲促進新興水源之利用並扶植取供與取用事業之發展，乃訂定量化目標據以推動，主管機關得訂定其推動目標，並應實施補助、補貼及獎勵措施。並授權由中央主管機關訂定補助、補貼及獎勵之申請資格、規模、程序、項目及審議方式之辦法。

4.設置「新興水資源基金」，有效推動新興水源開發與利用

(1) 爲促進新興水源產業之發展，並協助水源取供發展初期所需相關獎勵優惠之考量，擬於水資源相關基金下設置專戶，並明定基金之來源，包括：主管機關預算編列、水資源作業基金、水污染防治費、各類型工業區開發管理基金、捐贈、罰緩收入及基金孳息等。

(2) 明定基金之用途，包括支應獎勵、辦理水源取供事業、協助融資及保證、水源取供獎勵等相關費用、新興水源政策與技術開發研究、政府接管之花費等用途。

因此，對於無法完整掌握「水源」和「水價」，且「水質管理」亦非其權責，卻想推動「水再生產業」的水利署而言，國內「新興水源發展條例 (草案)」可說是一部相當完整，且專注以「提振新興水資源開發產業」爲其立法宗旨之法規。此法涵蓋「產業應使用之再生水水量」、「再生廠興設之輔導、鼓勵、管理和罰則」及、「再生水使用者之輔導、鼓勵、管理和罰則」等，足以有效整合及領導各部會之法規，使國內「水再生產業」達到經濟規模。

五、結語

水再生利用不受天候影響，水量大且穩定、水質污染負荷低，世界各先進國家均已將其規劃爲專屬新興水源，以解決其現有缺水問題，並因應全球暖化造成之更嚴重水資源分配問題。對於水再生利用，先進國家均由政府主導整合自來水供應、污水處理、公共衛生、環境保護等單位，單一窗口 (或機關間有合作協議) 掌握「水源」、「水質」和「水價」，亦即掌握再生水之「供」和「需」，以高效率推動再生水使用，並帶動水再生產業發展。國內「水源」管理紛雜、「水質」管理嚴格、「水價」過低，水利署對於掌握「水源」、「水質」、「水價」均有其力有未逮之處。除鼓勵各相關單位 (如工業局、營建署) 自行推動外，經濟部水利署經長期之研究及協調，亦已擬定「促參法」和「採購法」之可行推動方案，現更擬定水再生利用專法「新興水源發展條例」，將再生水產業之推動明訂於水資源管理法規系統中。此外，經濟部工業局亦已將「水再生利用設備及應用服務」納入行政院「關鍵產品發展登峰造極計畫」之關鍵產品項目中。盼藉由上述強制及獎勵措施等作爲，未來可吸引投資額達 1,231 億元，另加設備折舊及操作維護投資額 75.9 億元 / 年，積極促使國內水資源之使用成爲完整之循環式水資源利用系統，逐步達成國內產業水資源永續供應及技術永續發展之目標。

參考文獻

1. 經濟部水利署(2008).，”區域水資源經理策略擬定之研究”，經濟部水利署委辦計畫報告，民國97年。
2. 陳筱華(2009). “氣候變遷對我國水再生產業發展之衝擊與商機”，論文集－因應節能減碳與氣候變遷調適衝擊之水利重點產業發展策略聯合論壇，11/04/2009，pp2-1~2-60.
3. 經濟部水利署(2009).，”廢(污)水廠放流水再利用潛勢及推動策略”，經濟部水利署委辦計畫報告，2009年3月。
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2004). “新竹工業區廢水回收再利用規劃延續計畫”，ISBN:957-01-9684，GPN:100-93-04326，296pp。
5. 經濟部水利署(2009). “水再生處理利用產業專業人才培訓發展策略之研究”，ISBN：978-986-02-1820-6，GPN：1009804212，pp181。

6. Chiueh, Y., Chen, H. H., Ding, C. F., Lu, H. C., Hsieh, P. C. (2010). “The willingness to pay of industrial water users for reclaimed water in Taiwan”, Proceedings of 1st Congress of East Asian Association of Environmental and Natural Resource Economics (EAAERE), August 17-20, Sapporo, Japan, pp121-130.
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2005). “台南市安平污水處理廠污水再生利用研究”，ISBN:986-00-3201-7，GPN:100-94-03850，266pp。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2005). “桃園地區工業區廢水處理廠廢水再生利用研究”，ISBN:986-00-3174-6，GPN:100-94-03832，284pp。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2007). ”工業廢水再生利用產業試驗研究－以台南地區爲例”，ISBN：978-986-01-1804-9，GPN：1009603468，377pp。
10. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2007). ”台南市安平污水廠放流水再利用規劃”，ISBN：978-986-01-1803-2，GPN：1009603469，511pp。
11. Asano, T. (2002). “Wastewater reclamation and reuse”, Water Quality Management Library Vol.10, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA, USA.
12. Jimenez, B, and Asano, T. (2008). “Water reuse, an international survey of current practice, issues and needs”, Science and Technical Report No. 20, ISBN: 1843390892, IWA Publishing.
13. 經濟部水利署(2009). “水再生利用法令競合及國外相關制度研究(1/2)”，ISBN：978-986-02-1662-2，GPN：1009804104，2009年12月，pp412。

雨水貯留收集之水資源利用效益及策略

廖朝軒
國立臺灣海洋大學河海工程學系雨水貯集與入滲研究中心教授
國際雨水利用協會 (International Rainwater Catchment Systems Association) 副會長

前言

隨著氣候變遷的影響，二十一世紀已成爲水資源短缺的時代，水庫供水的風險也逐漸增加，爲因應此問題行政院於民國 95 年 7 月及 8 月間召開「台灣經濟永續成長會議」，針對長期性、結構性、爭議性的經濟施政課題，邀集各界，廣泛徵詢意見，凝聚更大的共識，是項會議共達成超過 516 項共識。其中在提升產業競爭力議題，有關水資源保育方面共識之一爲「應訂定 2015 年自來水漏水率及雨水貯蓄利用目標」也說明了雨水再利用可有效的降低此一風險。

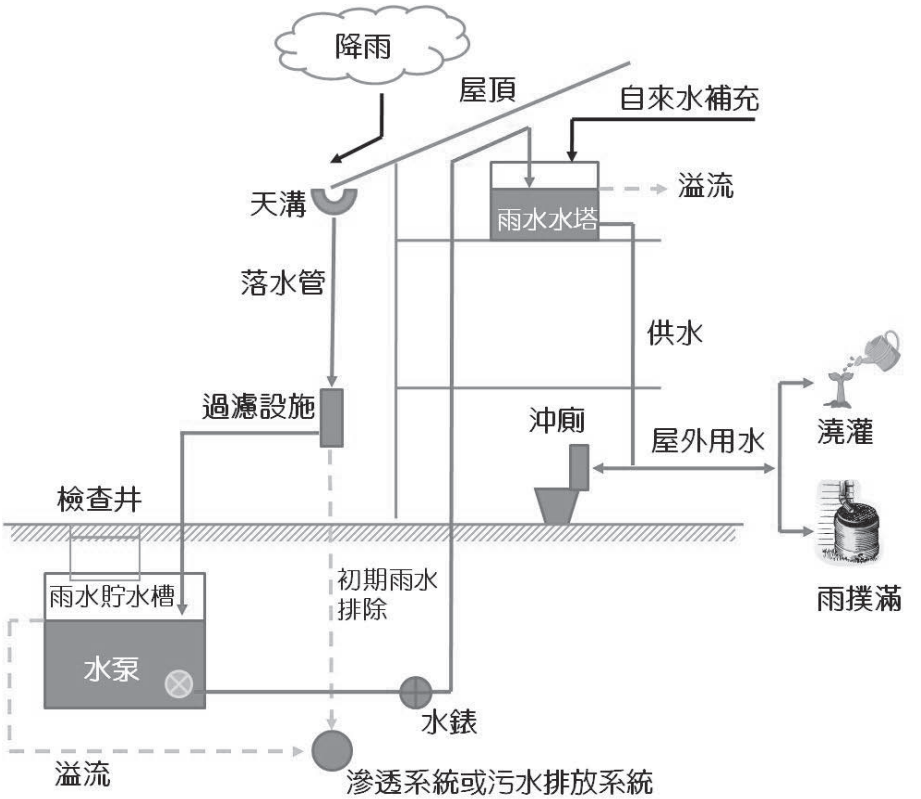
全球氣候變遷是人類所面臨最大的天然災害，而臺灣的情況較諸全球更加險峻；如果氣候變遷預測會帶來較少雨量，則可視氣候變遷爲「另一種耗水的新產業」；反之，其可視爲「另一種新水資源」。另外氣候變遷也會加重降雨在時空分佈不均勻的情形，而造成雨洪、乾旱與水質等的分佈改變，這使水資源事業面臨更大之危機風險，是以未來水資源事業的經營管理應逐步調整面對這種情形的改變。

台灣水利建設投資逐年降低，這顯示國內對水利建設的投資已趕不上經濟發展所需且國人已逐漸不支持大型水利工程的開發與建設，故未來水資源事業的經營應以加強管理以因應全球氣候變遷的問題。在此水資源管理新思維之下，利用雨水貯集再利用方式增加水量，實爲一有效解決水資源供需失衡之方案。

一、雨水再利用的概念

事實上雨水再利用是一種古老而又新興的水利技術，在國際上雨水再利用除了

以屋頂貯集爲家庭生活用水或工業區用水外，雨水貯集在農業、水土保持等方面也非常普遍，狹義的雨水再利用概念主要是指雨水貯集的家庭利用和養殖、農業應用，稱之爲雨水的「直接利用」，除雨水直接利用外，流域逕流匯集到河流、湖泊、水庫及地下水的水資源，即自然集水系統收集到的雨水，稱之爲雨水的「間接利用」，是廣義雨水資源的一部份，雨水資源的開發利用稱之爲「雨水資源再利用」，一般而言雨水資源可進行多次的再利用，雨水再利用範圍非常廣泛，在生活供水方面，雨水再利用尤其適合不宜集中供水的地區、偏遠山區及缺乏淡水的海島地區;在農業用水方面保水梯田與農塘等貯集灌溉設施的利用及水源地涵養;在都市地區可用於防洪減澇、消防備用水源、環境綠化、景觀植生、減少都市熱島效應及親水遊憩等機能。建築物屋頂雨水貯集再利用系統主要包含了下列六項主要子設施:集水設施、輸水設施、淨水設施、貯水設施、監測控制設施及動力設施，其系統組成示意如下圖所示:



二、雨水再利用的效益

雨水貯集利用在各項新水源開發方式中對環境之衝擊較小，並易於任何地點設置與方便收集利用，亦契合 2001 年 1 月 16 日第六次全國科學技術會議結論與建議「面對新世紀全球永續經營的新思維，水資源與海洋資源科技的研發必須重新調整，並積極研究替代水源，用水調配及水再生利用技術，以期達水資源利用、經濟發展、環境保育、共存共榮的目標」。

雨水再利用之必要性，從供給利用的層面考量，雨水資源極適合在分散供水的都市以及缺乏淡水的海島或偏遠地區等;在農業應用方面，保水梯田和雨水集流灌溉都是雨水再利用的方式;在都市地區，可以利用屋頂、路面等集水，提供家庭生活供水之補充水源、消防備用水源等;目前國內每當工業區的開發與設置時，屢屢面臨水資源的短缺，而雨水資源利用可提供製程中之替代用水，工業區之雜用水等方面，可抒解工業區開發對水資源的迫切需求;另外透過適當的雨水資源管理可使雨水再利用設施具有減低都市型洪澇、增強環境綠化、增加地下水補注及提供親水遊憩及等多重機能，爲多目標用途的利用技術。由此可知雨水再利用具有利水、治水、親水及保 / 活水等效益，其效益及其可解決之問題分別說明如下表所示。

雨水再利用效益		解決問題
利水	增加雨水攔蓄	水資源取用量低
	替代水源開發	水資源開發不易
	設置簡易	偏遠及缺水地區供水
治水	滯蓄洪（雨）水	調節洪峰、逕流體積
親 水		提供景觀及生態用水
保 / 活水	健全水循環	都市化效應
	增加地下水補注	地下水超抽

雨水再利用其還具下列特色:

(一)現地供水，不需要由遠地取水

世界上許多都市的供水都來自很遠的地區，甚至達到 100 km 遠地區，但是這樣

倚賴上游供水並非是永續的方式。

(二) 以分散生存點的方式，取代傳統生存線的方式

當都市對遠距離的供水倚賴程度增加時，需倚賴輸送的供水管線，一旦因不可抗拒之因素就會導致供水系統損壞，故在大規模自然災害發生時，由大型集中供水控制的供水系統，其供水能力將受危害。

(三) 都市水循環的恢復

因都市化的快速成長，許多世界上大都市面臨都市洪災的問題。不同區域的水文循環規模，倚賴氣候、地理和生物因子的不同而變化。降雨期間，雨水藉著滲透到地底而形成地下水，並補助溪流及湧泉的水量。都市的混凝土建物與瀝青地面破壞了水文循環，減少了地下水的入滲量，而使地表面的逕流量和流速加大，在短時間內就使排水系統與河道流量急遽增加。

三、台灣推廣雨水再利用可行性

台灣年平均降雨量爲 2,510 公釐，爲全球年平均降雨之 2.7 倍，台灣地區的降雨量分配相當的不平均，大多集中在 5、6 月的梅雨季及 7-9 月的颱風季，豐水期 (5-10 月) 降雨量佔全年 78%，降雨豐枯不均；台灣河川坡陡流急，加上水庫容量有限，所能貯存的水量並不多，約 80% 之河川逕流量直接流入海，逕流量被攔貯利用者僅佔年總逕流量的 18%而已，由此可見，台灣真正利用之水量比例相當的低。因此，在台灣每人每年平均可以分配到的水量，只有全世界平均雨量的六分之一而已，換算成每人每年可用水量大約只有 4,600 m^3，與世界各主要國家比較，台灣實爲一水資源缺乏的國家。

四、台灣雨水再利用潛能

雨水再利用潛能包含之範圍相當廣泛，舉凡供水、補助地下水、親水等皆可視爲雨水再利用之潛能，爲使雨水再利用潛能可更加明確不造成誤解，在此定義之雨水潛能主要是以供水爲目的，其他如防洪、補助地下水及調節微氣候暫不列入本文推估雨水潛能之範圍，此外雨水潛能定義可分爲下列三類，分別爲理論潛能、可利用潛能、實用潛能，而理論潛能爲理論上可以收集到的最大雨水利用量，不需考慮到人文特性、社會經濟及需水量等因子；可利用潛能爲實際上可收集到的最大雨水

利用量，需考慮土地使用類型之逕流係數，土地使用類型不同逕流係數也會跟者改變;實用潛能除考慮到實際上可使用的集雨面積、降雨量及土地使用類型之逕流係數外，尚考慮使用者之需水量及貯水設置容量等因素。

根據台灣地區年平均降雨量、集雨面積及降雨逕流係數，台灣地區平均每年可利用潛能爲 1,733.07 百萬 m^3（含各離島地區），若依建築物、公園、綠地及學校等土地使用類型分類，全台灣地區建築物可利用潛能爲 1,565.99 百萬 m^3/ 年;公園及綠地可利用潛能爲 65.22 百萬 m^3/ 年;學校可利用潛能爲 101.86 百萬 m^3/ 年，其詳細分佈結果如下表所示。

土地類型 / 縣市	建築物類雨水潛能 (10^6m^3/ 年)		非建築物類雨水潛能 (10^6m^3/ 年)		總計雨水潛能 (10^6m^3/ 年)
	建築物	學校	公園	綠地	
台灣省	1,552.23	101.15	57.44	7.19	1,718.00
北部合計	621.44	46.19	37.56	2.27	707.46
台北市	115.14	14.84	7.41	0.33	137.73
台北縣	169.24	11.22	17.52	0.67	198.65
基隆市	40.71	5.02	6.92	0.14	52.79
桃園縣	184.48	6.96	1.38	0.72	193.54
新竹縣	45.42	1.93	0.82	0.10	48.28
新竹市	16.97	2.61	0.59	0.15	20.31
宜蘭縣	49.49	3.60	2.92	0.15	56.16
中部合計	341.53	17.33	3.80	1.10	363.76
苗栗縣	47.62	1.48	0.20	0.13	49.43
台中縣	64.65	4.10	0.84	0.41	70.00
台中市	41.83	4.27	0.96	0.10	47.16
南投縣	49.54	2.27	0.76	0.27	52.84
彰化縣	107.60	2.95	0.84	0.08	111.47
雲林縣	30.30	2.26	0.20	0.11	32.86
南部合計	508.35	30.36	13.08	3.59	555.37
台南縣	133.45	4.76	1.81	0.49	140.50
台南市	42.13	4.71	1.83	0.81	49.47
嘉義縣	73.34	3.34	1.41	0.44	78.53
嘉義市	14.64	1.93	0.29	0.09	16.94
高雄縣	89.12	5.79	2.28	0.37	97.56
高雄市	50.95	6.23	2.14	0.93	60.26
屏東縣	104.72	3.61	3.32	0.47	112.11
東部合計	80.91	7.26	3.00	0.23	91.41
花蓮縣	49.94	5.13	2.23	0.20	57.50
台東縣	30.97	2.14	0.77	0.04	33.91

土地類型 / 縣市	建築物類雨水潛能 (10^6m^3/ 年)		非建築物類雨水潛能 (10^6m^3/ 年)		總計雨水潛能 (10^6m^3/ 年)
	建築物	學校	公園	綠地	
外島合計	13.76	0.71	0.58	0.02	15.07
台東縣	0.98	0.05	0.16	0.00	1.18
澎湖縣	1.54	0.22	0.10	0.00	1.86
金門縣	10.95	0.42	0.31	0.02	11.70
連江縣	0.29	0.02	0.01	0.00	0.33
總計	1,565.99	101.86	58.02	7.20	1,733.07

五、雨水再利用之用途

雨水再利用之應用範疇相當廣泛，舉凡確保供水、降低洪災、親水、活水及保水均是其範疇，因此近來雨水再利用技術逐漸受到世界各國的重視，由於它是一種經濟、實用的小型技術，不僅結合了防洪、環境、生態保育及土地有效利用等概念，產生巨大的環境和生態等效益，更能提高水資源有效利用。

從供給利用的層面考量，雨水資源極適合在分散供水的都市以及缺乏淡水的海島或偏遠地區等;在都市地區，可以利用建築物屋頂、路面等集水，提供家庭生活供水之補充水源、消防備用水源等;目前國內每當工業區的開發與設置時，屢屢面臨水資源的短缺，而雨水資源利用可提供製程中之替代用水，工業區之雜用水等方面，可抒解工業區開發對水資源的迫切需求;而透過適當的雨水資源管理可使雨水再利用設施具有減低都市型洪澇、增強環境綠化、增加地下水補注及提供親水遊憩等多重機能。

六、雨水再利用是國際潮流

國外許多先進國家對雨水再利用已推動多年，且涵蓋範圍廣泛舉凡供水、減災、親水、活水及保水均包含在內，其中不乏已將雨水再利用納入法制化，以下就目前所收集各國之資料做一說明。

(一) 國際組織

目前國際上有關雨水再利用的組織首推國際雨水利用協會 (International Rainwater Catchment Systems Association，IRCSA)，從事有關雨水再利用技術的發展，教育與合作，並出版雨水再利用相關技術的設計教育手冊，截至目前為止，已

成立了 8 個地區分會，包括:東亞、非洲、北美、拉丁美洲、中東、歐洲、南亞及澳洲等，同時也陸續舉辦了 14 屆之國際研討會。另外在歐洲最近也成立了國際雨水聯盟 (International Rainwater Alliance)，專門收集國際最新之雨水再利用動態包括:會議、技術、合作案、產品等等，最新之資訊提供參考。

而聯合國環境處 (United Nations Environment Programme) 最近也成立了 Rainwater Partnership Program 專門進行雨水再利用技術的推動，並補助開發中國家開發雨水資源、環境控制及全球氣候變遷之用。

(二) 美國

美國境內雨水再利用之發展首推德州，其約於 1994 年成立了美國雨水利用協會 (American Rainwater Catchment Systems Association, ARCSA) 後，才開始較有制度之發展，目前全美有過半數州也成立了分會而且雨水再利用產品也被大量研發，截至目前爲止，全國也共辦理了 5 次全國會議，各州推動的進度也不一致，以下就德州之雨水再利用發展與政策作一說明。

德州在美國雨水利用協會會長積極推動下，在州議會通過 2430 法案要求德州水資源發展委員會 (Texas Water Development Board,TWDB) 成立雨水貯集評審委員會（Rainwater Harvesting Evaluation Committee, RHE Committee），該委員會之成員主要由德州水資源開發委員會（TWDB）、德州環境質量委員會、德州健康局（Texas Department of State Health Service）、美國自來水協會（American Water Works Association）各派乙員參加，而美國雨水利用協會則有三人參加，由 Dr.Hari Krishna 擔任該評審委員會的主席，自 2005 年 9 月起每個月開一次會議，並於 2006 年 12 月 1 日前向德州州政府及眾議院主席繳交評估報告，該委員會的主要工作包括:

1.評估德州雨水再利用的潛能。

2.提出雨水在室內飲用水與非飲用水的水質標準與相關的指南。

3.提出住宅、工業區、社區及公共給水中，與現有供水系統結合雨水供水系統有關的水電系統配置。

4.提出德州能提升雨水再利用的政策與方法。

此外，德州由於過去的努力，雨水再利用已成爲一普及而且有時成爲增加供水的唯一途徑，因此 ARCSA 深信一般大眾或其他對興建雨水再利用有興趣的人需要有一些依據或標準能判定所選的顧問、建造者或專家能具有一些基本的能力與專業知

識。是以，ARCSA 決定提供一些訓練課程進而對雨水再利用系統建造者能獲取一些最基本的知識。

(三) 德國

德國的柏林則在市區中配合雨水排水道系統廣泛設置保水設施，具體降低了暴雨之逕流體積及洪峰流量，也減輕了地表逕流的污染程度。此外，在 1998 年 10 月，雨水再利用系統開始引進柏林且成爲大規模的都市發展計畫的一部分，Daimler Chrysler Potsdamer Platz 的雨水再利用提供都市雨洪控制、節省都市用水和創造一個較佳的微氣候條件。降雨在 19 棟建築物的 32,000m^2 屋頂上並被收集和貯存在 3,500m^3 的地下室水槽中，提供廁所沖水及澆灌用水 (包括屋頂花園) 及人工池塘的補充水。

在柏林的另一個工程 Belss-Luedcke-Strasse，雨水降落在屋頂 (大約 7,000m^2) 後流經公共雨水管並傳送到 160m^3 容量的貯水槽，再與街道上的停車場和人行道（面積約略有 4,200m^2）收集的逕流混合，這些水經過處理後提供廁所沖水與花園澆灌用水，這個系統使多數的污染物在初期時就被攔截後再流入污水下水道並經污水處理廠處理，估計約 58% 的雨水會被這個系統截留。在 10 年的模擬評估中發現每年因利用雨水而節省的自來水量達 2,430m^3，因此也相對減少了柏林的地下水抽取量。

另外，在德國的許多都市裡，深層地下水被用作都市水源。Osnabruck 市和 Erlangen 市都通過雨水再利用來保持深層地下水，因爲雨水再利用可以大大減少地下水的開採量。雖然德國的降雨量不多，但是民眾和政府都積極地推動雨水再利用，而且政府還爲雨水再利用提供經費補助，德國的雨水再利用系統基本上，是在地下修建一個容積大約 6m^3 的混凝土貯水槽，貯集從屋頂收集的雨水，並將其用來沖洗廁所、洗滌衣物及其他用途。此外，貯水槽儲存不下的雨水會流出來滲入到地下，回補地下水。

前述這些雨水再利用系統推動成功的案例與政策，不只是節省了都市的用水，也減少了污染物可能排到下游河段所造成的災害，利用這種方法控制非點源污染物是都市地區保護地面水水質的重要策略之一。

(四) 日本

日本於 1963 年開始興建滯洪和貯集雨水的蓄洪池，還將蓄洪池的雨水用作噴灑路面、灌溉綠地等都市用水。這些設施大多建在地下，以充分利用地下空間。而建

在地上的也儘可能滿足多種用途，如在調洪池內修建運動場，雨季用來蓄洪，平時用作運動場。近年來，各種雨水入滲設施在日本得到迅速發展，包括滲井、滲溝、滲池等，這些設施占地面積小，可因地制宜地修建在樓前屋後。

1989 年東京市墨田區「雨水工作小組」的成員們把他們對雨水再利用的構思編寫成「墨田區綠洲理念建設書」，提供給區政府的有關部門，讓相關單位作爲建設之參考，其中許多構想已經獲得政府部門的採納及實施，「墨田區綠洲理念建設書」其主要內容爲將墨田區管轄範圍內，大部分已經變成馬路的小河渠，恢復爲自然溪流的小河渠，並在河渠旁修建人行步道，讓人們重新享受親水的樂趣。並建議將「親水街區」作爲地區規劃的重點，從周邊的「兩國相撲競技館」等大型建築物、集合住宅、大樓和中小型建築物的屋頂、牆壁上所收集來的雨水，就會變成流水潺潺之小河及溪流的水源。另外其以實踐最著名的例子，爲「兩國相撲競技館」的興建工程中利用其建築物的屋頂來收集雨水，以補充自來水。截至 2007 年，縱使這部建議書已有近二十年的歷史，但是這雨水再利用的觀念，在今日仍是具有創新的思維和實際的意義。

日本於 1992 年頒布了「第二代都市下水總體規劃」，正式將雨水滲溝、滲塘及透水地面作爲都市總體規劃的組成部分，要求新建和改建的大型公共建築群必須設置雨水地下滲設施。其針對該雨水貯留政策採流域貯留滲透設施、國家融資制度;例如利率較低、融資比 50%、還款期限延長 5 年、對象爲民問機構及稅賦優惠例如所得稅減少、折舊費、相關特別許可、及經費補助措施。

1994 年 8 月在東京舉行的國際雨水利用會議，吸引了來自 16 個國家 8,000 多個會員參與，會議結束後，與會會員自訂每年 8 月 6 日爲「雨水節」。

「日本建築基準法」規定，新建建築物的建築容積率，雨水槽設置的部分 (約爲基準容積率的 0.25 倍) 可以抵免。也就是說，從容積率推算的建築樓地板面積中，雨水貯水槽的底面積可以抵免，不列入計算。

2001 年 5 月 14 日東京墨田區市政府，爲了推廣雨水再利用的優點，以廢棄的小學建造了世界第一座雨水博物館，提供雨水貯集利用的產品及方法等，供國內外之專業人士與民眾參觀，以達到雨水再利用政策之推廣。

(五) 韓國

韓國於 2002 年成立韓國雨水利用協會 (Korea Rainwater Catchment Systems

Association)，成立之後該協會獲韓國環境部的大力支持，陸續辦了數屆國際雨水再利用會議，並強力推廣雨水再利用理念，同年並在首爾大學成立 (Rainwater Research Center ,RRC) ，對雨水在防洪、乾旱、能源、河川水質及水質等方面進行研究，之後於 2006 年在 International Water Association (IWA) 下成立了 Specialist Group of Rainwater Harvesting and Management (RWHM) 企圖進入國際市場，另外在人員訓練方面，韓國教育部也提供開發中國家及全球兩類之外國博士後研究獎助學金。

韓國政府於法制化上亦大力提倡雨水再利用的規範條例，包含水資源、雨水再利用的獎勵辦法、雨水系統的設計、裝設和維持的重要指導原則，都納入此項新規範中。另外地方政府上首都首爾於 2004 年 12 月 20 日編定雨水管理新規則，宣布強制規定裝設雨水再利用系統。以下分別對韓國相關法令摘要說明。

1. 水資源法

根據「水資源法」屋頂面積超過 2,500 平方公尺的體育用建築物，應裝設雨水再利用設施;且政府將提供一些可能的經費補助。目前四個世界盃的體育場皆已裝設了雨水再利用的系統。

2. 雨水再利用的獎勵辦法

Kyoungki 省最近通過一但實施雨水再利用，每個都市可以自制規定降低水費的法令;於是，Eiwang 市、Paju 市以及 Anyang 市已規定，若建築物擁有者裝設並且利用雨水，水費最高可減少 65%。

3. 韓國首都漢城雨水管理新規則

2004 年 12 月 20 日，首爾宣布強制規定裝設雨水再利用系統。其主要用意在於減輕水災問題，次要則爲保存水資源。同時，首爾提供一個區域網路系統，讓所有雨水貯水槽的儲水狀況可以由中央防災機構所監控，防災中心可下達指令告知各個屋主是否該全部清空或是保留部分貯水槽中的水，也徵求市民自願在防災機構的指示下，不定期的加滿或清空雨水貯水槽，爲了落實以上的政策，政府已分別訂有獎勵及懲罰的計畫。必須裝設雨水貯水槽的建築物包括：

1. 所有新建的公共建築全部必須裝設，目前現存的公共建築物，則建議其儘可能裝設。
2. 新的公共設施區域（例如公園、停車場及學校等）應裝設雨水貯水槽，目前現存的公共設施區域，則建議儘可能裝設。

3. 私人建築物須取得許可方得興建(基地面積大於3,000 m^2)，建議其裝設雨水貯水槽。

4. 大型建設計畫，如新市鎮計畫，應將設置雨水管理系統列爲第一優先的考量。

諸多關於雨水系統的設計、裝設和維持的重要指導原則，都已經納入此項新規範中。在首爾這個於具指標性的都市引領下，韓國的其他都市都將一一跟隨首爾的腳步，在雨水再利用的新趨勢上邁進。

(六) 中國大陸

中國於 1996 年在中國水利學會下成立了雨水再利用專案委員會，不定期在全國各地舉行研討會，近年來甘肅、寧夏、內蒙古、陝西、河南及廣西等省 (自治區) 紛紛投入集雨工程之建設，之後各省水利廳也紛紛訂定了雨水貯集利用工程技術標準，另外近年來大陸各主要都市飽受缺水與淹水之苦，故紛紛投入雨水再利用技術之發展，中國水利學會成立了都市水利專業委員會，而北京市水利學會最近也成立了都市雨水專業委員會，對 2008 舉辦之奧林匹克運動會之數座運動場設置雨洪利用工程，顯示其對雨水再利用的重視與企圖。

(七) 斯里蘭卡

該國在 10 年前即已成立了斯里蘭卡雨水論壇（Lanka Rainwater Forum）專爲偏遠地區雨水供水系統的興建與興建人才的培訓工作，其在南亞地區也取得雨水再利用技術領先的地位。

該國並於 2005 年 9 月通過都市發展與供水部 (Ministry of Urban Development and Water Supply) 提出之國家雨水政策與實施策略 (National Rainwater Policy and Strategies) ，其內容包括雨水貯集與利用原則、政策目標及雨水管理技術實施策略等。

(八) 其他國家

新加坡 50%以上水源須從馬來西亞進口，不僅用水制肘，對於一個國家的存亡更有生死決定權，因此除了雨水資源的貯集利用外，並進行以大樓屋頂收集雨水使用的最佳化研究。

在印尼爪哇島上的一個都市，爲了保護都市地下水資源，用雨水回補地下水是強制性的。馬來西亞政府近年來推動減少非飲用水之自來水用量，並宣示雨水貯集與利用的立法工作將由 Housing and Local Government 部去執行，一但草案通過則會立即執行，該法考慮僅對屋頂面積大於一定標準之機關爲原則，對於較小及低價格

的建築物則因建設費用較高，故不考慮。

雨水資源對於泰國、巴西等公共供水系統不健全的國家而言，一直都是很重要的維生水源，故對雨水重視的程度不言可喻，並可從泰國推動大規模的「大水缸計畫」、巴西的「百萬雨水系統計畫」以提供居民較優質的雨水資源得到驗證，解決了當地鄉村的飲水問題。

七、雨水貯集利用設備規格標準

雨水再利用技術在台灣的發展已經有數十年的歷史，最近的十年已經由農業逐步擴展至大型建築物（綠建築）、防洪及工業使用等用途，是故雨水再利用爲國內新興水資源產業，政府單位目前雖積極進行推動雨水再利用相關技術、產業之法制化工作，但相關雨水再利用設備製造則尚處於萌芽階段，爲利雨水再利用推廣，相關設備生產、製造及操作管理等制度、標準建立勢屬必然。

在實務應用方面，雖然有許多建築或工程評估手冊提供詳細之建議構造圖說，但建築師仍缺乏相關產品可資利用;而產業界在研發相關產品上，亦無相關資料可資參考而處於摸索階段。使得有心提升雨水再利用之規劃設計者，無法藉由完整而可靠的產品資訊來對雨水再利用進行正確之設計，實屬美中不足。以下是日本所常用之雨水貯水槽型式:

目前國內雨水貯集利用系統相關示範點所採用之設備，均由系統規劃者於現有之產品選取較爲接近之設備，並未有專屬之產品及統一之標準。如此一來對於有意自行設置雨水貯集利用系統之民眾，若找不到適合之規劃設計師，將可能因無法準確推估集水量、需水量…等相關數據，產生設備規模設計錯誤之情形發生，如雨水貯水槽設置過大或是管線選擇過小，而造成設置之雨水再利用設施無法發揮其該有

之效益，如此將導致民眾之接受度越來越低，如此雨水貯集利用之推廣亦增加其困難性。因此若要有效推廣雨水再利用到達一般民眾可接受之程度，可朝訂定一套產品規格標準之目標進行，如一般家庭可根據其家庭成員數及其集水面積大小依循前述產品規格標準，選擇適當之雨水貯集利用系統規模以達設置系統之經濟效益，如此一來民眾於使用上有達到一定之效果，則雨水貯集利用系統之推廣自然容易進行。另外此一標準規格訂定後，亦可讓欲進入雨水再利用產業之業者，可據此生產相關設備，如此將可促進國內相關產業之興盛，提升國家之經濟與競爭力。

因此依據台灣地區降雨特性及國內外雨水再利用設備產業相關資料，訂定台灣地區雨水貯集利用設備規格標準，期能提供規劃設計師、一般民眾及廠商於設計雨水貯集利用系統或生產相關產品時有更廣泛、更適用之設備標準，另亦作爲政府日後推廣雨水貯集利用時之重要參考資料。

八、雨水再利用推動策略究

國外許多先進國家對雨水再利用已推動多年，且涵蓋範圍廣泛舉凡供水、減災、親水、活水及保水均包含在內，其中不乏已將雨水再利用納入法制化如:美國、德國、日本、韓國、中國大陸、斯里蘭卡及新加坡等國家。其相關法規、應用領域與方法等資料，可做爲評估國內雨水再利用推動策略之參考。

彙整國內相關之法規及參考國內外現況及配合國家等重大政策如防災體系計畫、易淹水地區整治計畫…等及水利署之水資源五大策略主軸，提出初步策略方向，主要分爲技術面及管理面兩方面，其相對內容說明如後 :

(一) 技術面對策

1. 既有建築物雨水再利用技術之研發

目前都會區內之建築物大多爲既有建築，因此若欲於既有建築物設置雨水再利用設施，必須對原有之排水管線等進行改裝，且都會區內土地寸土寸金，如何將雨水貯集利用推廣至佔大多數之既有建築，使其整體效能大爲提升，未來應朝此方面進行研發，以提高水資源利用之效益，並舒緩都市洪災之問題。

2. 新建建築物雨水再利用技術之研發

於高樓建築或一般住宅公寓的新建設計中，加入雨水再利用之概念，其雨水再利用管線不僅可不需改裝，另外貯水槽亦可利用新建建築物中之筏基或水塔於新建

工程中同時進行。

3. 學校及社區雨水再利用設計技術之研發

另外目前之住宅建築趨勢大多朝集合式住宅方向進行，如何將雨水再利用技術融合於整體建設中，使雨水再利用之成本可達經濟規模，亦爲重要之課題，故應以學校及社區之雨水再利用技術研發，爲優先執行之項目。

4. 多目標雨水再利用技術之研發

雨水再利用可應用範疇相當廣泛，供水、減低洪災、親水調節微氣候等均是，故應研發多目標之雨水再利用技術，如此無論是城鄉防災 (如減洪、消防) 或是民生、工業、農業的替代水源的功能上，都可以發揮出相當的功效。雨水貯集及入滲設施除可將雨水貯集利用外，亦可將地表雨水滲入地下，讓大地獲得水源的補充，改善微氣候，並間接防止地層下陷等。目前國內相關產品甚少，亦無相關研發之單位，應朝此方向鼓勵推廣研發，以開創雨水再利用相關產品之產業。

5. 自動監測與維護技術之研發

隨著科技之進步，目前許多監測工作多以自動化設備代替過去人工，若透過無線傳輸設備及網際網路之配合，更可達到即時監控與整合之目的。

(二) 管理面對策

1. 法制化政策制訂

目前我國的雨水再利用政策雖有相關法規，但並無明確定位，使得都市計畫及建築等專家亦無法源賦予規劃設置之義務。如建築技術規則雖已修訂完成，規定樓地板面積超過 30,000 m^2 應設置雨水貯集及生活雜排水利用設施，而相關水質標準經濟部水利署及行政院環保署皆以於民國 96 年底正式公告，故可全面推動。另外目前台灣之雨水再利用方式，尚無適於台灣水 / 地文條件之標準，影響了發展速度和工程品質。故應修改或草擬相關法規，以爲政府落實雨水資源管理之制度化，以使水資源永續發展之依據。

2. 教育訓練及宣導

有鑑於水利、建築等領域的專業人士，近年來逐漸瞭解雨水資源之重要性及其再利用之成效，但對於如何將雨水貯集利用規劃設計於其專案中，以達有效應用雨水資源仍感相當之困惑，因此宜不定期舉行相關之教育訓練。另外爲使雨水資源有效利用能達到全面推廣成效，教育宣導之工作亦需大力推動，應朝舉辦對居民、學

校、相關公務機關或相關產業之說明會、推廣研討會等來進行。

3. 雨水再利用諮詢服務

相關業界從事相關設計時，亦對此方面缺乏相關之諮詢對象，未來政府主管單位應建立相關技術服務管道，以使雨水再利用政策能落實於地方建設中，並可提供相關業界咨詢服務，以避免雨水再利用設計上之錯誤。

4. 合格雨水設備認證

目前國內雨水貯集利用系統相關示範點所採用之設備，均由系統規劃者於現有之產品選取較爲接近之設備，並未有專屬之產品及統一之標準，另外對於產品之安全性亦缺乏相關規範，故宜由專業單位對雨水再利用相關設備，訂定相關規格標準，並以此對各類產品進行檢測及認證工作，確保雨水再利用設備之使用安全。

5. 獎勵補助制度之研擬

目前國內並無長期性之獎勵法規，大多爲相關機構短期之獎勵措施如「教育部補助永續校園局部改造計畫作業要點」- 教育部、「民間既有建築物綠建築設計改善示範工作計畫」作業要點 - 營建署及「水資源作業基金公益支出經費編列及執行管考要點」- 水利署睦鄰補助等。未來應朝擬定長期性之獎勵補助辦法來進行。如設立雨水再利用基金，扶植雨水再利用產業發展。另外可設立獎勵基金補助民眾或企業設置雨水再利用之設備，以加速雨水政策之推動。

6. 國際雨水技術交流合作

爲提高國內雨水貯集利用技術水準，應落實與國際間之技術交流及推廣應用，首先可廣泛收集國外雨水再利用技術發展情形，並針對國內目前之需求進而與相關國際組織進行定期或不定期之交流，並可藉由相關之活動，以提升我國於雨水再利用領域之國際地位。

雨水貯集利用涉及層面廣泛，非單一學門可勝任;故前述各推動方向之推動宜藉由水利、土木、環境、建築及都市計畫等相關領域專家之長才共同推廣，使相關專業人士對於雨水再利用有高度共識，並認同此一技術，因而將雨水再利用融入其設計理念，並向下扎根落實雨水再利用觀念於社會大眾。且推動之同時需參考國內現況且配合國家等重大政策如防災體系計畫、易淹水地區整治計畫…等及水利署之水資源五大策略主軸。

九、結語

雨水再利用是一個綜合性的系統工程，它不僅是水利單位的事，而與都市計畫、市政、景觀、環保、公路、機關及學校等單位都有密切關係。雨水再利用不是一個純技術問題，它首先需要政策法規的支持，更需要全民參與，故它也是一門社會科學，需要百姓都能了解、支持參與雨水再利用的推動。另外，雨水再利用也是衡量國家、都市生態程度的指標，有些已開發國家並不缺水，也推廣雨水再利用，認爲這是節約資源、珍惜資源的生態社會、生態經濟的表現。我國長期以來，水價偏低，造成雨水再利用推動的不易，故在政策法規的配套措施與社會教育方面更需加強尤其是學校教育。

參考文獻

1. 內政部建築研究所，2009，綠建築解說與評估手冊（2009年版）。
2. 經濟部水利署，2004，雨水利用手冊。
3. 經濟部水利署，2005，雨水利用規劃手冊－琉球篇。
4. 經濟部水利署，2006，雨水利用規劃手冊－金門篇。
5. 經濟部水利署，2009、2010，結合學校教育設施之雨水及生活雜排水回收再利用模組研發。
6. 廖朝軒，2004，「健全水環境之策略－雨水資源利用」，新環境，pp. 3-15。
7. 廖朝軒、梁明德、劉冠廷、蔡燿隆、黃偉民，2005，「營建廢棄混凝土及陶瓷應用於人行透水鋪面之可行性研究」，土木水利學刊，32(6):64-69。
8. 廖朝軒，2005，「談雨水利用環境與趨勢」，節約用水，39:42-44。
9. 廖朝軒、蔡燿隆、黃偉民、陳茂松，2006，「雨水滯蓄措施在城區減洪之水文機制及容量分析研究」，水科學進展，17(4):538-542。
10. 廖朝軒，2007，「美國雨水利用現況與展望」，節約用水，47:47-50。
11. 廖朝軒、詹麗梅、陳家梁、邱奕儒，2008，「城區水循環機制與改善策略分析」，水科學進展，18(1)。
12. 廖朝軒、劉冠廷、蔡燿隆，2008，把雨水留下來-雨水利用百寶箱，詹氏出版社。
13. 廖朝軒、蔡燿隆、許鈺珍，2009，「綠建築基地保水設計與水資源節用的整合策略」，土木水利，36(2):89-101。

14. 廖朝軒，2010，「雨水再利用之觀念建立與教學設計」，教學天地，167:31-38。

新生水水源發展及利用推動策略

莊順興
朝陽科技大學環境工程與管理系副教授

前言

新生水之發展及利用在我國爲一新議題、新領域，我國緣於對新生水之陌生及自來水水價之低廉，社會及產業對於新生水之接受度並不高，然放眼於世界，當各國認真考量全球性氣候變遷將造成水源不穩定之趨勢、區域水源來自外部輸入之不可靠等因素時，水源穩定乃被提昇爲國家安全與社會發展之關鍵議題，新生水之發展因而在國家或地區政府強力推動下積極進行。

就我國而言，水源不穩定問題長期存在，然寶島氣候條件得天獨厚，大規模缺水並非經常性發生，缺水發生時亦經常以農業休耕、調撥灌溉用水至工業使用因應之，此雖非合理之常態作法，但政府與社會似乎逐漸認定其爲可行之作爲;因而，相關經濟開發行爲過度將農業用水或河川表面水規劃爲工業用水，造成用水分配爭議與河川基流量不足、生態及環境重大改變等嚴重問題。

嚴肅檢視我國之水源供給，現況爲傳統水源設施開發不易，既有水庫容量有限、抗旱能力不足，水庫淤積速率增加、庫容逐年降低，颱風豪雨後原水濁度高影響供水，水價偏低、用水浪費;因此，當氣候變遷趨勢加劇，缺水問題嚴重時，供水問題勢必非調撥方式所可完全解決。綜言之，長期之不穩定供水不應爲我國社會與經濟發展之常態，故追求國家之永續發展，水源穩定爲一必須急迫面對之重大議題。本文乃就我國新生水水源發展及利用推動策略提出建議，以期拋磚引玉，促動政府及社會積極重視新生水水源發展與利用之議題。

一、新生水水源發展潛勢

依據水利署擬定之「再生水」定義，其係指生活污水或事業廢水經處理產生可再利用之水，再生水合乎各用途別之水質標準後，即可加以回收利用。

由 99 年環境白皮書統計資訊，截至 99 年 5 月全國運轉中都市污水處理廠共 61 座，開發中 4 座，規劃中 59 座。經由全國已運轉污水廠之「實際放流水量 / 設計放流水量」平均值得知，其比值約爲 0.6。另由工業區廢水調查結果顯示，全國營運中之工業區共計 89 座，設有廢水處理廠者共計 56 座，其中「綜合工業區綜合廢水處理廠」有 39 座、「科學工業園區綜合廢水處理廠」有 7 座、「環保科技園區綜合廢水處理廠」有 1 座、「加工出口區綜合廢水處理廠」有 2 座、「農業生技園區綜合廢水處理廠」有 1 座、「縣市政府工業區綜合廢水處理廠」有 4 座、「民間開發工業區綜合廢水處理廠」有 2 座。

統計台灣每天約產生 228 萬 CMD 之生活污水、58 萬 CMD 之工業廢水及 476 萬 CMD 之農業廢水，但目前回收率尚不及 1%，如表 1 及表 2 所示，顯示水再生利用極具發展潛勢 [1]。

表1 水再生利用潛勢推估

類別	目前廢 (污) 水總量	成長率	105 年可再生總量	120 年可再生總量
工業	58 [a]	0.08%/ 5yr	70[a]	87
生活	228 [a]	0.08%/ 5yr	253[a]	340
農業	476 [b]	0	476	476

二、新生水水源利用用途

新生水用途包括生活次級利用、工業利用、農業利用及環境保育利用等四大類型。生活次級利用包括沖廁、景觀、澆灌、灑水抑制揚塵、洗車、街道或地板清洗等。工業利用可概分爲製程用水、鍋爐用水及冷卻用水。台灣的農業利用以水田灌溉爲主。環境保育利用在此包括地下水補注、河川生態保育及間接飲用等用途。新生水再生利用流程如圖 1 所示 [5]。

表2 預估水再生利用量

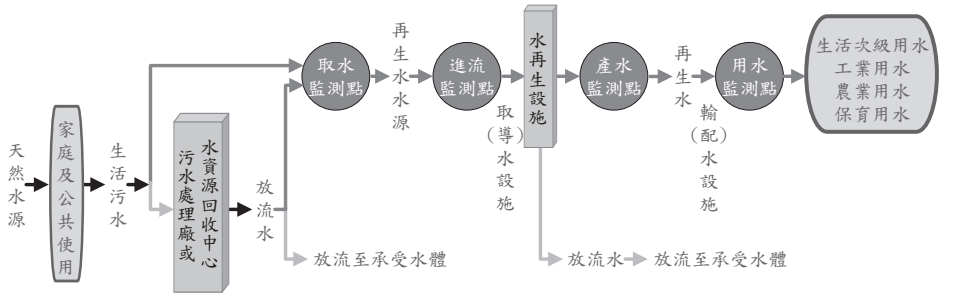
	現況 (2008)		105 年		120 年	
	再生利用量 (萬 CMD)	再生利用率 (%)	再生利用量 (萬 CMD)	再生利用率 (%)	再生利用量 (萬 CMD)	再生利用率 (%)
工業	17.4	30% [c]	52.5	75%	74.0	85%
生活	0.228	0.1%	12.7	5%	68	20%
農業	0	0%	9.5	2%	28.6	6%
總計	17.63		74.7		170.6	
比率 (未實施擴大節水措施) (100 年 6000 萬 CMD，105 年 6110 萬 CMD，120 年 6247 萬 CMD) [a]	0.3% (與 97 年 5973 萬 CMD 之比率)		1.2%		2.7%	
比率 (實施擴大節水措施) (100 年 5836 萬 CMD，105 年 5890 萬 CMD，120 年 5917 萬 CMD) [a]	0.3% (與 97 年 5973 萬 CMD 之比率)		1.3%		3.0%	
每天產值總計 (一噸水 10 元)	176 萬元		747 萬元		1,706 萬元	
每年產值總計 (一噸水 10 元)	6.42 億元		27.26 億元		62.27 億元	

資料來源:

a廢(污)水廠放流水再利用潛勢及推動策略，2009 [2]

b台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究(1/2)，2008 [3]

c台灣地區水資源開發綱領計畫，2002 [4]



註：監測點之監測項目-流量和水質；$\text{生活污水再生率} = \frac{\text{再生水}}{\text{生活污水}} \times 100\%$；$\text{水再生設施再生率} = \frac{\text{再生水}}{\text{再生水水源}} \times 100\%$

圖1 生活污水再生系統圖

(一) 生活次級利用

生活次級利用包括沖廁、景觀、澆灌、灑水抑制揚塵、洗車、街道或地板清洗等。環保署爲增進水資源利用，同時減低生活污水污染排放於 96 年 10 月 15 日公告「建築物生活污水回收再利用建議事項」，據以作爲建築物污水回收再利用設施設計及維護管理之參考。依據公告之內容，建築物生活污水回收再利用之用途不應與人體有直接接觸，而分別對沖廁使用與景觀、澆灌、灑水抑制揚塵、洗車或清洗地板使用等用途訂有水質建議值。

分析新生水於生活次級利用上之各種用途，沖廁爲最大單一用途用水，日本則爲使用新生水沖廁最成功之國家。由日本之推動經驗，其需配合新市鎮規劃時污水處理廠或水質淨化廠之興建與管線配置，方易於推動。景觀及澆灌利用，常用於草皮綠地維持之公園、球場及大型社區等，其使用上亦需藉由管線配置。對於灑水抑制揚塵、洗車、街道或地板清洗等則使用方式彈性較大。

(二) 工業利用

工業用水依其用途可概分爲製程用水、鍋爐用水及冷卻用水，此三類用水爲一般工業用水之大宗用途。製程用水水質因製程要求而異，其差異極大，因不同製程屬性所需水質清淨程度及所關心之水質項目不盡相同，各工業別常訂有不同製程之水質建議值。以國內一般工業而言，自來水水質標準爲各工業所能接受之製程原水水質標準，對於相關製程所需之更高水質要求，則以自來水進行更高級之處理程序，以符合其要求。鍋爐用水因考量其操作之安全性，故對水質要求甚高，常以自

來水經軟化後之水提供做爲鍋爐用水。而冷卻用水爲工業用水中需大量使用且對水質特定項目要求較少之用水類別，因其使用量大且用途單純，故各國常訂有工業冷卻用水標準以做爲工業使用規範。

以新生水回收於工業冷卻上使用，所須考量之重點在於結垢造成效率下降問題，就水質項目而言，pH、總鹼度、總硬度爲經常被規範之綜合性水質指標項目，硫酸鹽、氯化物、二氧化矽、鐵、錳等則爲經常被規範之特定性水質指標項目。無機物質濃度爲新生水回收至工業冷卻使用所需考量之重要項目，TDS 與導電度均爲規範整體無機成分之指標，經常擇一規範之。生活污水再生回收至工業使用時，TDS 與導電度較易符合水質標準之要求，但以工業廢水再生回收至工業冷卻使用時，離子成分之去除必須加以注意。

新生水回收於工業利用上，新加坡 NEWater 爲成功之知名案例，其以生活污水爲水源，經薄膜高級處理後應用至工業製程，爲全世界提供相當值得參考之實例。另美國加州洛杉磯 The West Basin Water Recycling Plant 亦以都市污水爲水源經薄膜處理程序後，提供給附近工廠作爲鍋爐用水與冷卻用水。

(三) 農業利用

台灣農業用水以水田灌溉爲主，我國「農田水利會灌溉排水管理要點」中訂有「灌溉用水水質標準」，以新生水作爲農業灌溉利用則水質需符合此標準。比較一般生活污水處理廠放流水水質與灌溉用水水質標準，一般性項目皆可合乎灌溉用水水質要求，但總氮、電導度、硫酸鹽、氯化物等爲必須加以特別考慮之項目，尤其總氮濃度限值 3 mg/L 將成爲再利用之限制條件。爲防止生活污水處理廠放流水轉移爲灌溉用水造成對農地和作物的影響，則可採下列策略配套因應之：

1.管制工業廢水流入污水下水道系統，尤其對於可能排出重金屬工業，應加以嚴格管制。

2.污水處理程序採用可降低總氮之程序，以避免處理水中殘留過高之氮化物。

3.放流水轉移爲灌溉用水，可視放流水中氮化物之濃度，配合農作物成長季節以及施灌用水量，與灌溉水以一定比率混合，替代原灌溉水水源，達到避免過肥，滿足用水量之目標。

新生水回收於農業利用上，國外有相當多之成功實例，就全球水回收再利用之水量而言，農業利用爲最大用途之量，包括美國、以色列、澳洲、西班牙等國家均

大量使用新生水於農業利用上，而其所使用之農作物則以果樹及旱作爲主，與我國以水田灌溉爲主之使用特性並不相同。

(四) 環境保育利用

環境保育利用包括地下水補注、河川生態保育及間接飲用等用途。依據水污染防治法第三十二條之規定，廢（污）水不得注入於地下水體或排放於土壤。但有下列情形之一，經直轄市、縣（市）主管機關審查核准，發給許可證並報經中央主管機關核備者，不在此限：一、污水經依環境風險評估結果處理至規定標準，且不含有害健康物質者，爲補注地下水源之目的，得注入於飲用水水源水質保護區或其他需保護地區以外之地下水體。

環保署依據水污染防治法第三十二條第二項，公告「污水經處理後注入地下水體水質標準」。在一般性水質項目中，二級處理放流水水質均能符合此標準，但二級放流水之總溶解性固體物濃度與管制標準接近，應加強檢測，而對於懸浮固體物項目，亦建議加強檢測。

有機物項目中，「污水經處理後注入地下水體水質標準」規定 BOD_5 及 ABS 濃度需分別小於 1 及 0.5mg/L，其較「放流水標準」之 BOD_5 30 mg/L 限值及 ABS 10mg/L 限值嚴格許多，以一般二級處理方式並無法達到此標準之要求。無機物項目中，亞硝酸鹽、硝酸鹽、氨氮及氟化物等項目，二級處理放流水水質，均無法符合注入地下水體之標準，需進行高級處理方能達到所需求之水質標準。

以新生水作爲地下水補注及間接使用或飲用之發展歷程，美國加州 Orange County 所進行之 Water Factory 21 計畫爲最早之案例，其將生活污水處理廠之放流水以薄膜高級處理後，補注入地下水層，經長期觀測已逐步達到阻擋海水入侵及提供自來水水源之目的。另以色列於新生水作爲地下水補注上亦有相當成功之經驗。此外，以污水處理廠放流水或新生水作爲河川生態保育用途，日本則有相當多之應用例。世界各國推動水再生利用可爲我國參考之特色如表 3 所示。

三、新生水源發展及利用推動策略

我國新生水發展及利用之推動面臨制度建立、水價結構調整與社會接受三大問題。目前社會上普遍對於氣候變遷及環境改變造成缺水問題已有深刻認知，亦體認到水之珍貴及水資源保育之重要性；然而，社會及產業對於新生水之使用並不積極，

表3 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)
美國 (加州)	生活污水	生活次級利用 (景觀、澆灌) 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)
澳洲	生活污水	生活次級利用 (景觀、澆灌) 農業利用

其關鍵因素除新生水水價較其他水源爲高外，另一重要原因在於對新生水使用之陌生，包括使用制度上之陌生與對水質認知上之陌生，無法確認其可作爲適當可靠之替代水源。

以生活污水再生作爲農業用途替代用水與作爲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，主管機關在缺乏廣大社會共識之情況下，必然無法有效推動。再以生活污水再生作爲工業用水替代水源而言，雖水質之疑慮問題較小，制度面及經濟面之問題卻成爲推動之阻礙。而以工業廢水再生作爲工業製程用水而言，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，故對新生水之使用僅侷限於最低階之清洗用途，新生水替代原水之成效因而受限。

凡此種種，均顯示出新生水之推動面臨供給端之制度及使用端之接受度問題，且新生水之水價於國內不具經濟誘因，更加深了推動之難處。就世界各國推動水再生利用之歷程與經驗加以分析，欲有效解決此問題，必須藉由政府主導制度建置、協助技術生根、公開檢討水價結構及持續教育與溝通著手，在此，乃就法規制度面、產業技術面、宣導推廣面及經濟市場面等四大面向提出八項執行策略，如圖 2 所示，以期能加速新生水使用之開花結果。

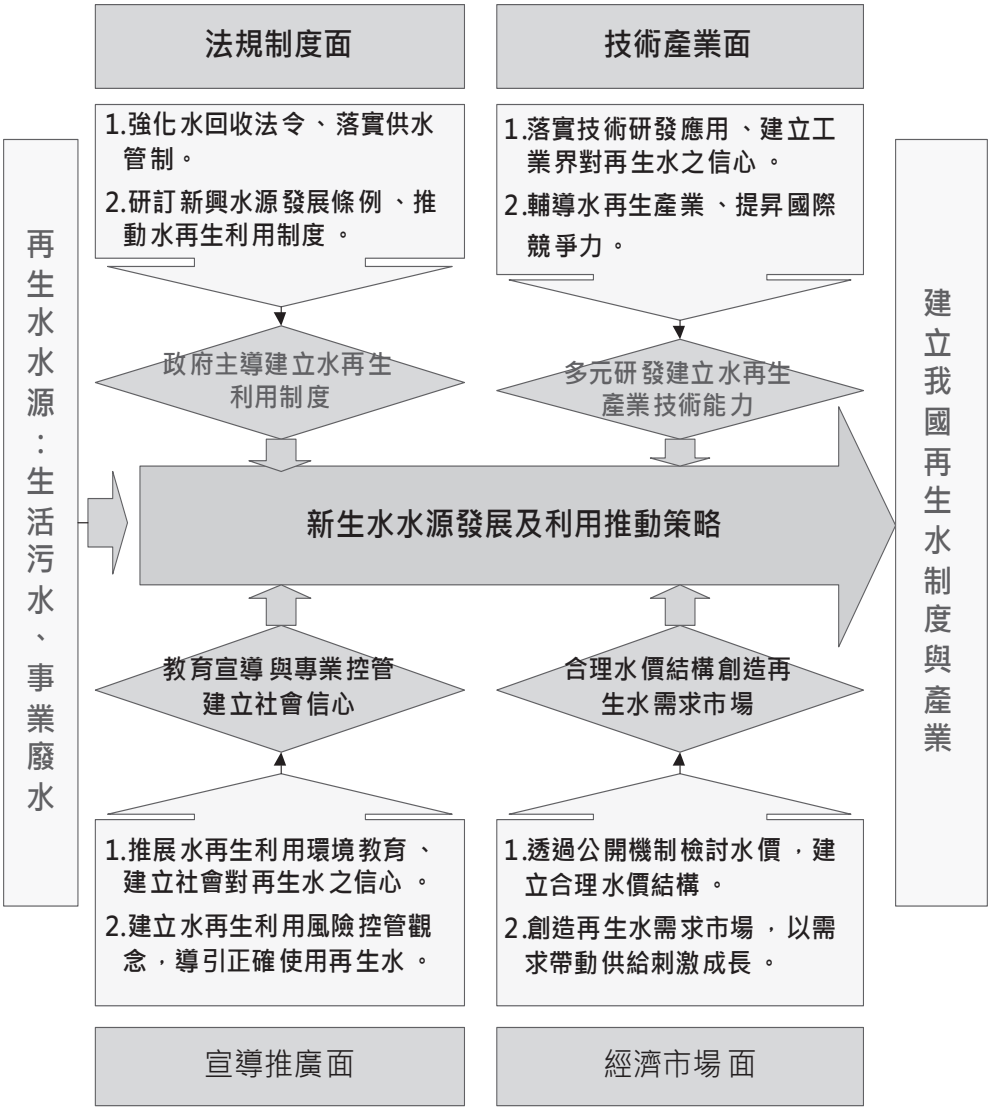


圖2 新生水水源發展及利用推動策略

(一) 法規制度面：強化水回收法令、研訂新生水法規推動水再生利用制度

1. 現行水回收再利用法規規範著眼於水回收率，強化落實有助於供水管制

我國目前與水回收及再生相關之法規分散於各相關主管機關中，包括經濟部、環保署、農委會、內政部及國科會等五部會，相關之法令條文中屬法律位階者，包括有水利法、水污染防治法等九部法律。相關規定均著眼於「水之節用與回收」，並

無推動「水再生利用」作爲替代水源之規定。

目前我國水資源使用及管理法規上對水回收及再生利用之規定，於用水管制端有部分零星分散之規定，強調用水回收率之要求。如用水計畫書審查作業要點所提之產業回收率承諾建議值、建築技術規則建築設計施工編第十七章綠建築基準所提之生活雜排水回收再利用率應大於 30%、園區事業投資計畫管理辦法所訂製程用水回收率達 85% 以上、園區全區用水回收率達 75% 以上、工業區開發環境影響評估審議規範規定之工業區全區用水總回收率應至少達 70% 等，現行法規對水回收率之規定整理如表 4 所示 [6]。爲強化供水管制與水資源之有效利用，於現行水回收再利用法規架構下，建議各主管機關可推行之作爲包括:

(1) 強化執行「用水計畫書審查作業要點」(經濟部水利署)

* 檢討回收率規定值。

* 追蹤用水計畫書落實程度。

(2) 強化執行「環境影響評估審議規範」(環保署)

* 查核工業區用水回收率。

* 查核環境影響評估審議承諾事項落實情形。

* 檢討環境影響評估審議規範 (文教、醫療建設、住宅社區、陸上土石及高爾夫球場等五項開發行爲) 訂定用水回收率。

(3) 檢討「建築技術規則建築設計施工編 (第一七章綠建築基準)」(內政部)

* 檢討降低建築物適用水回收系統設置之總樓地板面積規定。

就國內缺水隱憂擴大及水資源管理與利用之積極面而言，目前國內現有法規系統並不充分，權責主管機關分散，難以有效推動我國水再生利用系統，以現行水資源管理之法規系統而言，其係爲一單向式 (Linear system) 水資源利用系統，未能考慮水資源於使用末端之有效再生利用。目前我國於「水污染防治法」之相關子法「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」中，雖訂有回收使用專章，但水污法之法旨以污染防治爲標的，並無積極性鼓勵使用再生水資源之規定。因此，基於我國推動水源多元化之政策，將廢污水及其放流水視爲新興水資源，則必須加入新興水源發展專法於水資源管理法規系統中，藉由獎勵及強制措施等作爲，積極促使國內水資源之使用成爲循環式 (closed loop) 水資源利用系統，方能逐步達成國內水資源永續經營之目標。我國水資源使用歷程與相關法規整理如圖 3 所示 [7]。

表4 我國水回收及再生利用相關法規之回收率規定

主管機關	法規名稱	條文	主要內容之重點
經濟部	用水計畫書審查作業要點 (94.10.06)	附件六	產業回收率承諾建議值 (7-90 %)
內政部	建築技術規則建築設計施工編 (第一七章綠建築基準)(98.09.08)	316 條	建築物應就設置雨水貯留利用系統或生活雜排水回收再利用系統，擇一設置。設置雨水貯留利用系統者，其雨水貯留利用率應大於百分之四；設置生活雜排水回收利用系統者，其生活雜排水回收再利用率應大於百分之三十。
環保署	工業區開發環境影響評估審議規範 (89.04.19)	二十六	工業區全區用水總回收率 (含廠內用水回收，中水道系統回收及污水處理廠廢水回收等) 應至少達百分之七十。
國科會	南部科學工業園區用水計畫書撰寫綱要	三 (二)	用水量推估計算式 全廠回收率之計算 (全廠回收率需≧ 75%) 製程用水回收率之計算 (製程用水回收率需≧ 85%)
	科學園區用水計畫書撰寫綱要	三 (二)	用水量推估計算式 全廠回收率之計算 (管理局要求全廠回收率≧ 70%) 製程用水回收率之計算 (管理局要求製程用水回收率≧ 85%) 冷卻水塔濃縮倍數需提升至 6 倍以上或其排放水需回收再利用 70%以上，兩者擇一而行。

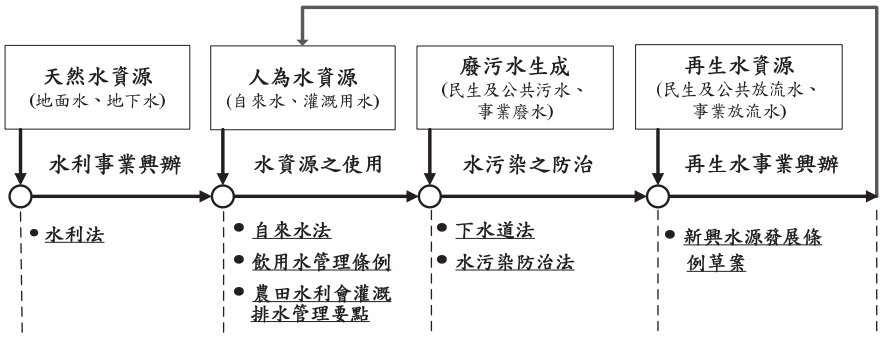


圖3 水資源使用歷程與相關法規示意圖

而為加速推動我國新興水源之開發與利用，經濟部水利署刻正積極研擬「新興水源發展條例草案」。新興水源發展條例草案立法目的在於推動新興水源發展，提高供水可靠度，減少天然水資源開發及污染排放，促進水資源循環永續利用及發展新興水利產業。研擬中之新興水源發展條例草案具有以下之特色。

(1) 設立「新興水源發展基金」，提供獎勵補助。

為促進生活污水、事業廢水、海水淡化及貯留雨水等新興水源產業之發展，並協助產業發展初期所需相關建設資金、融資保證及獎勵優惠之考量。授權中央主管機關得設置基金專戶，專用於新興水源發展之推動。

(2) 建立新興水源取供事業興辦監督管理制度，鼓勵民間投資新興水源開發。

新興水源之屬性為分散性水源，其特色為單一規模較小但數量多，其開發與建設將分散於各缺水區域，將民間廣大資源納入，建立「新興水源取供事業」產業，將能全面有效率推動新興水源發展。而鑑於新興水源取供事業係供應不特定人使用，故需對新興水源取供事業加強監督管理，以確保供水水質之衛生與安全。

(3) 公告水源不足或有匱乏之虞地區，優先推動新興水源發展。

針對國內嚴重缺水區域，公告為水源不足或有匱乏之虞地區，對於公告地區內用水量達一定規模以上之新開發行為，基於水源有限使用之原則，開發單位應使用一定水量或比例之新興水源。而對於公告地區內用水量達一定規模以上之現有工業區或社區，採用新興水源者，將透過減免稅賦方式予以鼓勵。

(4) 廢(污)水再生利用需符合水質基準，並限定非與人體直接接觸用途。

以廢 (污) 水水源所產出之新生水，考量民眾接受度與潛在之風險，故訂定新生水供水之水質基準，並考量分類分級使用用途;而為降低使用新生水之風險，將限制其用於「非與人體直接接觸」之用途。

就我國推動水回收及再生利用之組織而言，我國目前與水回收及再生利用相關之政府機關包括經濟部、環保署、內政部及農委會等，經濟部水利署掌理我國水利政策、法規擬訂及整體水資源之開發、利用、保育與經營管理及統籌調配事項。環保署設有水質保護處，施政目標在於防治水污染，確保水資源之清潔，維護生態體系，改善生活環境。內政部營建署掌理都市計畫地區及指定地區雨、污水下水道工程系統事項。農委會設有農田水利處，辦理灌溉、農田排水等農田水利計畫與重要

農業工程事項。

目前中央政府組織現況顯示，現行組織對水資源之規劃管理、農業用水管理、污水下水道建設與水污染防治分屬不同部會，不利於水回收及再生利用之推動與整體水資源之有效利用。就規劃我國水資源永續利用之角度而言，相關涉水部會之整合實有其必要。

(二) 技術產業面：落實技術研發應用、輔導水再生產業提昇競爭力

1.長期水再生技術之研發與應用，建立工業界對再生水之信心

水再生技術在國內目前發展現況爲採用傳統技術進行試驗與驗證階段，對水再生技術之發展而言，由於原水水質之變動性大，不確定性成分多，處理技術達成長期穩定之困難度增加，也造成工業界對新生水之使用信心不足。

推動水再生技術需由新生水水質標準之建立、長期之技術實證與前瞻技術研發與應用著手，以建立工業界對新生水之信心。由政府協助，透過相關部會與研究機構輔導，並創造技術競爭環境，爲加速建立本土技術競爭性之最佳策略。相關水再生技術之研發與應用應包括:

(1) 新生水各類用途水質標準之建立

由新生水各類用途之目的事業主管機關進行各類用途水質標準之建立，以作爲水再生產業與工業界推展水再生及應用再生水之依據。

(2) 新生水技術之試驗與驗證應用

由水再生產業主管機關進行水再生應用技術之研發與輔導相關計畫，配合相關所屬污水處理廠與工業區廢水處理廠進行實證探討，鼓勵納入水再生業者參與，並創造技術競爭環境，以協助國內水再生產業之技術深根與發展。

目前經濟部已有小規模試驗模廠進行中，已粗具基礎，但模廠規模較小，因此未來應繼續擴大成爲實廠規模，並建立安全驗證機制，使新生水之供應量穩定提升，並持續提供相關工業界使用，進行長期驗證評估。

(3) 新生水前瞻技術研發與應用

由水再生產業主管機關進行水再生前瞻技術之專案研究，配合其所屬相關研究單位進行應用探討，鼓勵納入水再生業者參與，以輔導國內水再生產業開發前瞻技術與材料，提昇技術競爭力。

水再生技術發展上，薄膜技術 (MF/UF/RO) 爲現行普遍接受之穩定成熟技術。於

水質前處理上，目前日本視 MBR 技術爲未來最具潛力之關鍵技術，我國雖已具有成熟之技術，包括 MBR、EDI 及 ED 等，但眾多技術缺乏整合且無完備之技術規格，未來應逐步建立各創新技術之設計操作及維護手冊供國內產業依循。

2.視水再生爲水資源開發之一環，以輔導產業提昇競爭力

以天然水源開發，由自來水系統供應生活用水、工業用水及水利灌排系統與部分地下水供應農業用水爲國內行之多年之穩定供水制度，社會亦已熟悉此制度之運作。然而，新生水源之開發與利用在國內屬新作爲，社會及工業界對此作爲相對陌生，在此情況下，政府勢必扮演關鍵之推動角色，以增加社會及工業界對新生水利用之信心。

(1) 建立主管機關協助水再生廠建置機制

將水再生視爲水資源開發之一環，由政府輔導協助加速水再生產業之建立，爲一制度前瞻之作法。在此制度下，政府與民間成爲合作夥伴關係，藉由民間廣大資源之投入，可協助政府加速進行新生水資源之開發。而政府應於法規及制度上協助水再生產業建立，協助處理相關需公權力執行之程序，如新生水管線系統之建置、協助取得公有用地等事項。

(2) 以獎勵輔導協助水再生產業提昇技術競爭力與技術輸出

水再生產業爲一具前瞻性及國際性之產業，由政府主導建置有利水再生產業之環境，對現階段缺乏對新生水信心之社會與工業具關鍵之重要性，同時，藉由主管機關以獎勵輔導措施協助，逐步建立證照制度，培育專業人才、發展具專業技術之水再生產業。並鼓勵組成產業聯盟，結合國內水再生利用產業力量，共同擴展水再生利用產業之版圖，期能將水再生利用技術行銷世界各國。

(三) 宣導推廣面：卸除民眾疑慮，廣為教育宣導

1.長期水再生利用環境教育之推展，可建立社會對再生水之信心

推動新生水之使用需民眾瞭解其水質之無害性與低風險，因此，除了新生水相關用途水質標準之訂定與推廣外，先進國家對新生水之使用經驗亦爲一有效之推廣教材。現階段新生水之用途僅作爲非接觸用水，未來如要擴大新生水之使用層面，可仿效新加坡及美國加州建立水再生利用展覽館，提供民眾近距離體驗新生水之特性，逐漸提升民眾接受程度，並可培育種子師資向中小學生宣導新生水之觀念。

推動水再生之相關宣導推廣包括水質風險評估、技術應用成果及環境教育。水

質風險評估由相關再利用用途主管機關推動宣導，技術應用成果之宣導由水再生主管機關就其利用成功案例推動，由實際應用案例強化成果宣導之說服力。另教育部於各級學校之環境教育或環境教育法令中，強化水再生及永續水資源之宣導。

2.建立水再生利用水質標準與風險控管觀念，導引正確使用再生水

風險評估與風險控管爲理性看待與管理水回收及再生利用不可或缺之科學工具，社會愈成熟愈理性，風險評估與風險控管觀念則愈易被接受。在我國之水再生利用發展上，風險評估與風險控管觀念尚屬萌芽階段，未被有效使用，亦缺乏有效之溝通，但就推動水再生利用而言，風險評估與風險控管需及早進行，以達到清晰掌握與有效溝通之目標。

污水處理廠再生水之利用必須就其安全性風險檢討適當之用途及應有之水質，並訂出完善的管理制度，以掌握廢水處理再生利用的機制。國內目前之污水處理廠放流水風險評估資料不足，且對危害性化學物質之調查較爲缺少，不易評估。風險評估與風險控管應與新生水各類用途水質標準相連接，同時，應強化新生水分類分級使用之觀念。執行風險評估與控管，完整資料庫之建立爲一基礎要件，且需藉由長期深入之研究支持，方能得到足夠有效用之資訊。

(四) 經濟市場面：建立經濟誘因、培養市場環境

1.由公正權威組織透過公開機制檢討水價結構，建立合理水價結構

再生水水價若不具經濟誘因，則推動成效將明顯受限。與世界各國比較，我國屬低水價國家，推動再生水利用相對不易，因此，水價檢討乃成爲我國欲有效推動再生水不可避免之過程。於作法上，由公正權威組織，透過公開機制檢討水價結構，爲獲得公眾認可之最佳方法。水價結構之檢討應包括天然水源與新興水源，藉由分析水資源投資成本與供水成本差異，並比較再生水之供水成本與取供事業合理營運利潤，建立國內合理水價結構;就制度面而言，依需求特性考量將再生水開發視爲基礎水源建設，可爲合理水價結構基礎。而於再生水合理水價尚低於自來水水價之情況下，階段性對新生水採獎勵政策，方能增加推動之誘因。

2. 創造再生水需求市場，以需求帶動供給刺激市場成長

目前國內水價偏低，水再生利用市場經濟誘因尚未成形，階段性作法，可藉由主管機關宣示水再生之政策目標，獎勵以新生水作爲替代水源開發之比例或水量，以需求帶動供給刺激市場成長。內政部、經濟部及國科會等用水目的事業主管機關

所屬之生活污水或工業區事業廢水之再生利用，可擇條件優者作爲推動之標的。

四、新生水水源發展及利用執行規劃

(一)新生水源發展及利用願景

就提高我國供水穩定度而言，在可預見之未來十年內，新生水水源發展及利用勢必扮演一重要之角色;尤其台灣全島各類型工業區林立，爲潛在大量用水之集中點，以新生水供應工業區使用，將可成爲產業穩定之永續水資源。新生水必須使用於有需求之處，方能顯示其珍貴，將新生水提供各類產業使用，爲新生水之最大量與最珍貴用途，將能創造出其價值。期盼，在產業與社會大眾支持下，能建設我國再生水供水系統成爲第二水資源，也爲我國之穩定供水做出貢獻。

(二)新生水源發展及利用執行規劃

我國新生水源發展及利用之執行核心架構應爲水資源主管機關主導與民間產業投入，由水資源有效運用與管理之角度，將我國自來水系統與再生水系統納入管理，推動成爲一元化水資源管理制度，將是我國成功推動再生水之關鍵。

就我國現行組織推動新生水水源發展及利用之執行規劃建議如圖 4 所示。

經濟部水利署負責全國水資源調配，由水資源整合運用之觀點，應將新生水水源列爲水資源調配政策之一環，除應制訂相關水再生政策與法令外，亦應推動水再生產業及技術輔導與獎勵計畫，並建立合理水價結構檢討機制，以提昇新生水利用之誘因。另應檢討訂定目標年度新生水使用量之政策目標，做爲我國水再生政策推動之依據。

內政部營建署負責全國公共污水下水道建設之政策擬定及規劃設計審核，並負責監督都市污水處理廠，以提供新生水水源。對於污水處理廠於規劃設計之初，應考慮未來水再生利用之用途，以配合後續水再生之設計與用地需求。另應檢討下水道法令，考量推動水再生之執行實務面，減少法令界面之競爭，增加下水道與水再生法規之合作，以推動我國新生水之發展。

環保署爲我國水污染防治主管機關，目前水污染防治法及其相關子法中，對於廢污水經處理後之放流水之回收再利用，訂有回收使用專章作爲管理依據，考量推動水再生之前瞻性，應加強水污染防治法與水再生法令之協合作爲。另環保署亦爲我國環境教育之主管機關，於水再生環境教育議題，應加強新生水環境風險評估工

作，並規劃長期教育宣導計畫，以建立社會對新生水利用之共識。並納入教育部既有之環保教育體系，加強新生水於校園利用之教育宣導與應用。

國內各類用途之用水單位目的事業主管機關包括經濟部、國科會、農委會、教育部等，各用水單位目的事業主管機關應就新生水之使用提出各該用途之水質標準或建議值，以供使用新生水使用者參考。

縣市政府爲水資源利用管理、下水道及水污染防治之地方實際主管機關，應依據相關法規、水質標準及設施標準，辦理及審核相關水再生實施計畫，並得接受需水單位之委託，辦理再生水供水設計、建造及營運計畫，提供合乎需求之新生水。

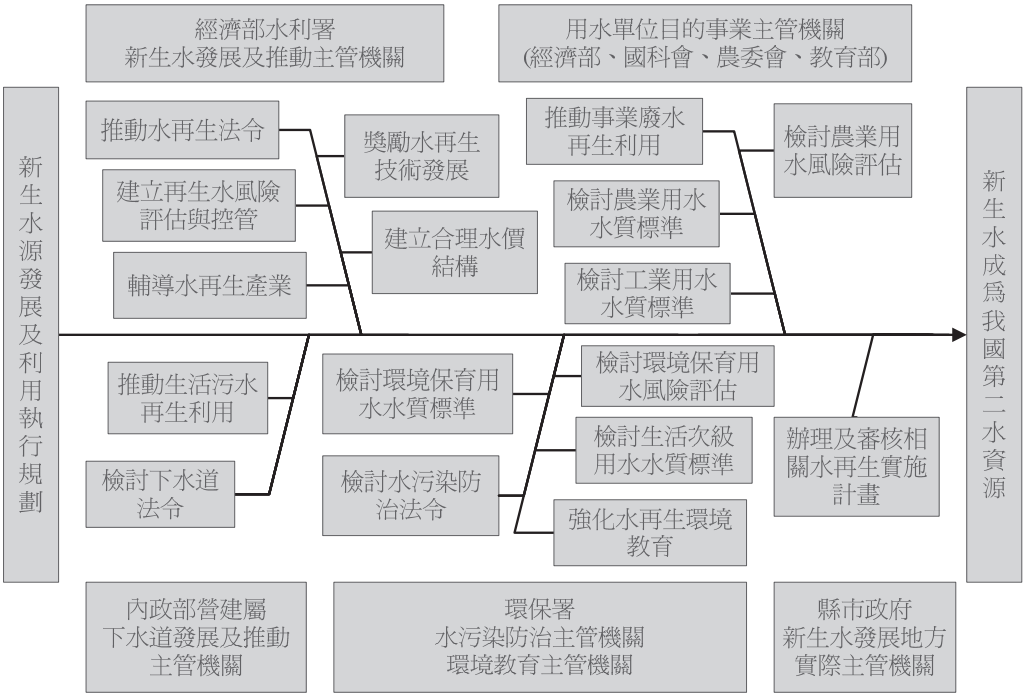


圖4 我國現行組織推動新生水水源發展及利用之執行規劃

結語

在氣候變遷及環境改變加劇之情況下，國內長期穩定供水之基本需求已逐漸受

到嚴峻挑戰，藉由前瞻性觀點，推動水再生利用，將新生水納入整體水資源體系，將能增進我國水資源供水之穩定與可靠度。而新生水水源具分散性水源特性，藉由水資源主管機關主導與民間廣大資源投入，將能全面有效率推動新生水之發展，期盼新生水系統之發展能爲我國穩定永續水資源之目標做出貢獻。

參考文獻

1.台灣水環境再生協會，水再生利用實務手冊，2010。
2.經濟部水利署水利規劃試驗所，廢(污)水廠放流水再利用潛勢及推動策略，2009。
3.經濟部水利署水利規劃試驗所，台灣地區農業迴歸水再利用調查潛勢分析與營運管理之研究(1/2)，2008。
4.經濟部水利署，台灣地區水資源開發綱領計畫，2002。
5.經濟部水利署，水再生利用法令競合及國外相關制度研究(2/2)，2009。
6.莊順興、王毓正、游勝傑、陳筱華、吳依芸、謝明昌、覃嘉忠，「我國水回收及再生利用法規評析與推動建議」，工業污染防治，112，頁107-121，2009。
7.莊順興、謝明昌，「台灣產業之永續水資源-新興水源之利用與推動」，永續產業發展雙月刊，No. 50, 頁 61-68, 2010。

Memo

Memo

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

氣候變遷下之水資源管理 : 用水合理化與新生水水源開發 / 楊錦釧等作.
-- 初版. -- 臺北市 : 中技社, 民100.06
148面 ; 17x23公分
ISBN 978-957-28813-3-0(平裝)
1.水資源管理 2.文集
554.6107 100007861

氣候變遷下之水資源管理－用水合理化與新生水水源開發

作　者：楊錦釧、蕭代基、張添晉、朱敬平、張振章、陳筱華、廖朝軒、莊順興 (依篇章排列)
主　編：歐陽嶠暉

發 行 人：潘文炎
出版者：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

印刷製版：信可印刷有限公司
出版日期：中華民國 100 年 6 月初版
ISBN 978-957-28813-3-0 (平裝)