

水資源管理會刊

第十七卷第二期 2015. 12

ISSN : 1606-2604

行政院新聞局局版

北市誌第2415號

發行人：楊偉甫

發行所：中華水資源管理學會

總編輯：張敬昌

副總編輯：蘇明道

出版委員會委員：毛振泰 王藝峰
 何逸峯 李振誥
 林岳 林國華
 林鎮洋 張良正
 張尊國 陳清田
 陳榮福 簡昭群

本期企劃：張良正
 王藝峰、何逸峯

執行編輯：倪佩君

會址：淡水郵政1-616信箱

電話：(02)8631-1279

電話傳真：(02)2621-0370

電子信箱：

cwrms@water.tku.edu.tw

承印者：晟傳文化事業有限公司

地址：台北市中正區和平西路
2段141號4樓之6

電話：(02)2314-1423

目錄

特別企劃

臺灣潛在缺水危機之因應 黃煌輝 02

專論

多元化水資源永續發展策略-藏水於農
..... 張敬昌、何逸峯、鄭友誠 09

氣候變遷下水資源經理策略 林元鵬 24

水資源調配系統思維與地下水庫 張良正 36

臺灣乾旱防災應變能力探討 童慶斌、李明旭 51

面對必然到來的乾旱-化解反水庫情結 虞國興 58

學會動態

會務報導.....秘書處 66

新聞瀏覽

編輯室 70

臺灣潛在缺水危機之因應

黃煌輝

國立成功大學水利及海洋工程學系
宇泰海洋科技 講座教授

一、前言

2013年世界經濟論壇(WEF)的全球風險報告(Global Risks Report)中，已將水資源危機列為影響全球經濟發展評比排序的第2名。2015年更被評比排序為第1名，可見水資源問題已受到世界各國高度的重視。其原因乃在於沒有量足、質優的水資源提供基本民生需求與工業生產之所需，怎可能有穩定的經濟發展呢？就以國內高科技新竹科學園區為例：竹科只要因水量不足或水質不合工業生產之品質而停工一天，不但造成高達臺幣30億元以上之損失外，對於營運管理亦將衍生諸多的困擾。由此可見缺水問題對於社會百姓的生活與經濟發展之影響至鉅，不能不嚴肅的面對此危機。

臺灣因擁有年平均約2,500 mm的降雨量，因而造成一般人認為臺灣不會有

有缺水的錯誤概念。事實上，由於地形環境特殊，再加上洪枯降雨量差距大，水資源蓄留不易，因而有效的地表水可用水量乃不及每年降雨量的15%。不足之水量只得由地下抽水量填補，造成超抽地下水，導致部分國土沈陷，造成區域性的排水與土地鹽化之問題，實應檢討改善，以維護國土環境安全。

二、缺水危機分析

日本河川環境管理財團於2004年出版一冊“變革與水的21世紀”(由財團法人中興工程科技研究發展基金會譯印，2011.)，其中論及從水的使用率看乾旱危險性的增大，如圖1所示。由圖中顯示關東地區之枯水年的水資源使用率達66%，即提出警訊，認為該地區已變成對乾旱極為脆弱的體質，對於未來的水資源運用與管理應特別用心，而日

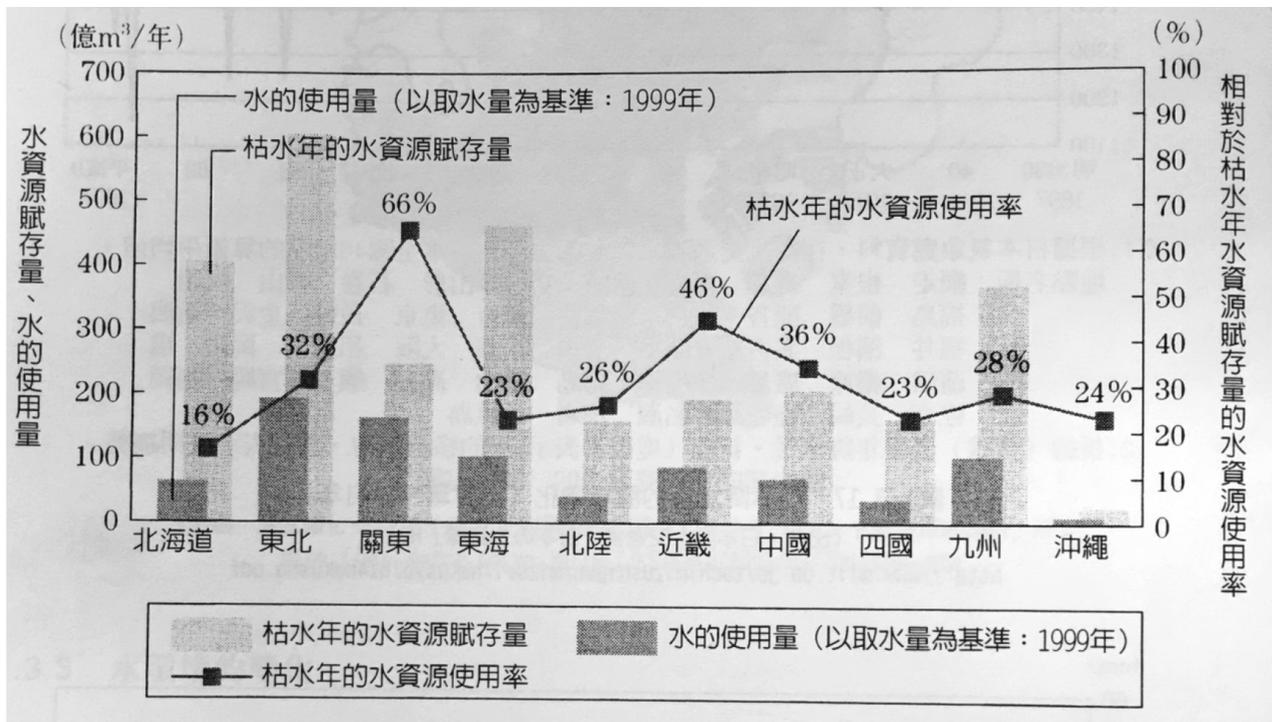


圖1 日本枯水年水資源賦存量的水資源使用率
(出處:日本國土交通省土地·水資源局水資源部)

本全國平均之枯水年的水資源使用率約為30.8%。圖中之“水資源賦存量”為「(枯水年降雨量-蒸發量) x 流域面積」之值表示。

今若以日本對乾旱缺水危機的判定標準審視國內的狀況，當更能顯示臺灣潛在缺水的危機：根據經濟部水利署之水資源白皮書(2005)指出臺灣四面環海，每年受到季風、梅雨及颱風帶來的降雨，豐、枯水年的降雨量約從1,600mm至3,200mm，堪稱雨量豐沛的地區。且年平均雨量(1949~2003年)高達2,452mm，約為世界平均值的2.5倍。然因地小人稠，平均每人每年分配雨量約3.905立方公尺，不但低於日本的

5,214立方公尺，且僅為全世界平均值的1/5。而且受到特殊的地文與水文環境的影響，降雨型態在時空分佈極不均勻，豐、枯水期相差懸殊，平均約有78%的降雨集中於5月至10月間，所剩的22%降雨則分佈於11月至次年4月的枯水期。至於降雨的空間分佈亦有差異：北部地區豐水期降雨量約63%、中部地區豐水期約77%、南部地區豐水期約88%、東部地區豐水期約78%，由此可見愈往南部豐、枯水期之差異愈大，因此水資源的蓄留與經營管理難度愈高，導致潛在的缺水危機也愈大。再者，由經濟部水利署(2005)之臺灣水量使用表，如圖2所示。

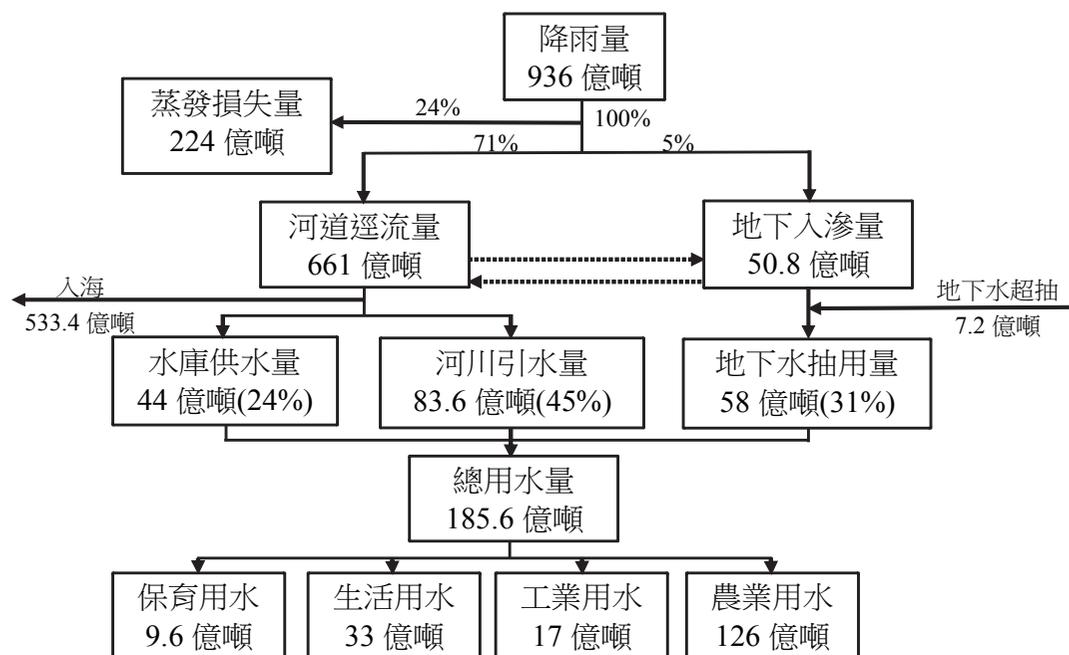


圖 2 臺灣水量使用表 資料來源：經濟部水利署（2005）

從圖中顯示，在正常的年平均降雨量(2,600mm)條件下，臺灣一年總降雨量約936億噸。其中蒸發損失量約24%，達224億噸。雖然所有河道的逕流量高達661億，然因河川坡陡、流急，留水不易，因此導致533億噸的降雨都直接流入大海。一年中臺灣境內所有水庫的蓄留量僅44億噸，再加上幾條主要河川引水量約84億噸，尚不足全部臺灣一年的總用水量186億噸，為能獲得不足的水量，只得由地下水抽水量58億噸補足。因此由上圖中已顯露出，以目前的工程技術與水庫基礎設施所有獲得的水量剛好可以平衡目前臺灣總用水量之所需，其中有任何環節發生問題都可能造成大小區域的缺水危機。

然而水資源不但是民生基本需求，亦是社會經濟發展最重要的因子。因此為能保障水資源永續供應，對於缺水危機之評估，應以最保守的狀況進行檢視。猶如日本對於枯水年水資源賦存量使用率一般，若臺灣境內的枯水年降雨量為1,600mm計算時，則臺灣地區平均枯水年的水資源使用率達42.4%，遠比日本全國平均的30.8%為高。此乃說明臺灣全國的乾旱缺水危機遠比日本為大。再者，由於臺灣降雨量之時空分佈差異較大，因此中、南部缺水的危機更高。此等潛在的危機，不可不積極的面對因應！

三、潛在缺水危機之因應

臺灣地區的水資源幾乎百分之百來自降雨，而降雨的多寡乃取決於每年的天候狀況。從以往 50 餘年的降雨資料分析得知，豐、枯水年降雨量約從 1,600mm 至 3,200mm 之間。由此顯示豐、枯水年的降雨量差異頗大，而且不是政府部門或工程技術可以控制改變的。這是自然現象的演替，而這種不確定性的演替就是臺灣地區水資源供需的潛在危機，應積極的從各種面向思考，以提出有效的因應對策，逐步檢討修正，才能讓潛在的缺水危機逐漸降低。以下謹將個人數十年來的觀察心得整理如下，供政府主管部門及社會百姓的參考：

(1) 政府部門心態的改變與執行部門的

決心：縱使是受過水資源專業訓練的專家都認為臺灣降雨量那麼多，洪患的機會較多，缺水的危機不太可能。更何況是一般沒有水資源專業知識的政府官員與社會百姓。因此可以說是國人幾乎是沒有缺水危機的潛在意識。難道，每次遇到缺水、限水時才驚覺臺灣有缺水的問題？此時，政府部門或社會大眾並未積極檢討因應對策及日後的改善措施，而時常看到的畫面是政府官員或民間團體前往寺廟祈雨，真是令人啼笑皆非。經過一段時日，下了雨、解了荒，所有缺水的問題都

拋諸腦後，一切當作沒發生過的一般，這就是臺灣缺水潛在危機的主要罩門。唯有政府主管部門改變心態，確實瞭解臺灣雨量雖多，但缺水的危機高，才會用心思考因應改善之道，才能逐步遠離缺水危機的夢魘。而執行部門亦應就專業的立場提出完整的數據與說帖，讓決策部門多加了解，才能配合所需，增編預算經費，從事各項因應缺水危機的措施進行改善，如此雙管齊下、持之以恆，才會有實效。

(2) 評估潛在缺水危機應以保守的態度

深入檢視：誠如上節所述，每年降雨量係取決於天候的狀況，不但降雨量每年多寡不一，而且差異頗大。根據劉紹臣(2015)的資料顯示：由 1961 年至 2011 年，每年的無雨日數增加(趨勢為每十年增加四天)，且短暫強降雨也增加。因此水資源的儲蓄與調控更為艱困。再者，整個臺灣的用水需求量亦持續增大，在此降雨與用水消長的情況下，臺灣的缺水危機自然也升高。因此主管水政的部門機關，應就實際的資料深入分析檢討，為確保有效的因應可能潛在的缺水危機，實應以較為保守的降雨量評估未來可能的缺水狀況，才能針對不同的條件，提出因應解決之道。

(3) 國土規劃應與區域水資源的運用有效結合：黃煌輝(2015)已指出，我國的國土規劃與水土災害防治實為土地利用的一體兩面，必需有相輔相成的考慮。臺灣境內的土地開發利用與產業經濟的發展均應與各區域水資源可運用的總量作時空分佈的深入分析，估算各區域的最少安全可用蓄水量及區域的最大使用水量，才能達到各區域供需水量平衡，始能減少區域缺水的風險。

(4) 區域性淹水與滯洪區蓄水的綜合治理：臺灣境內不僅約有900平方公里的地層下陷區外，亦有部分地區因地勢與排水問題，時常發生區域淹水之災害。為有效解決淹水問題，地方政府宜檢視相關環境條件後，選擇適當地點關建大型滯洪池，導引淹水地區之過量雨水，不但可以直接有效減少水患外，又能增加區域水資源之蓄留，甚至可在滯洪池附近配合興建用水處理場，增加可有的水資源，作為環境保育、甚至區域的公共用水。此等綜合治理已有臺南、高雄的成功案例。中央主管機關應積極推動，協助地方政府一起解決區域淹水與增加可用水資源的問題。

(5) 合理調整水價、加強水資源基礎建設、提升供水質量：根據臺灣經濟研究院2007年研究彙編統計資料顯示，臺灣自來水的平均單位水價為10.84元/立方公尺，為二十個先進國家中之第二低(高於韓國)，因而無法養成國人自然節約用水的觀念。甚者，黃煌輝(2015)亦曾以2007年、2008年之水價估算，每戶一年繳交的水費僅佔每戶平均國民所得的0.26%，而傳統工業區的用水費僅佔全部工業產值的0.054%。至於高科技科學園區之水費亦僅佔生產總值的0.083%。由此分析顯現，合理調整水價，基本上對民生或企業經營的影響實是微乎其微。當然，如何調漲才能為百姓與企業所接受，那是技術層次的問題，然而政策性決定乃是關鍵。調整水費後將有較充裕的經費從事水資源的建設與維護，甚至可立即把臺灣目前高達22.1%的漏水率之輸水管線汰舊換新。此可在近期內增加巨量的可用水量，相對也可以降低臺灣的缺水危機。近年來臺灣的油價、電價都能調整，為何政府遲遲未能積極推動水費調整呢？再者，水價的調整亦能強化百姓與企業對節水、省水觀念的建立，可謂一舉數得。

(6)水權應透過立法程序，回歸國家管控，以有效解決缺水危機：臺灣的水權早在日治時代為便於籠絡地方仕紳，乃在各地成立水利會，而將大部分的水權釋出。時至今日，全國17個農田水利會尚擁有幾近70%的水權。雖然中央水利主管機關為經濟部，然而負責民生及公共給水與工業用水屬臺灣自來水公司和臺北自來水事業處，農業用水則掌控在農田水利會聯合會及17個農田水利會。此乃顯示臺灣境內水權管理各有山頭。正常狀態下之運作順暢，然在缺水期間欲作調度營運時，自然有許多介面會一一出現。吾人都瞭解水資源乃是公共財，不應屬於個人、團體或特定區域獨自擁有。對於水資源的調控運用，應由國家整體需求作為考慮的基礎，如今臺灣內部水權分散在不同部會，而且農田水利會的水權早已歸屬在各水利會，為能解決日後臺灣面臨缺水危機之因應，實應將水權的調控回歸至國家層級的統一調度，而非今日由部會機關的協調。為達此目的，即應透過立法程序，訂定落日條款，假以時日即可將水權回歸中央，對於日後缺水危機才能更有效率的調控因應。

四、結語

臺灣的降雨量雖是世界數一數二的地區，然因地小人稠，每個人分配的可用水量是世界平均值的1/5，再加上地形環境的因素，降雨蓄存不易。因此只要遇到枯水年，就會面臨缺水的威脅。可惜，長期以來政府部門並未深入體認臺灣潛在的缺水危機，時常抱著看天喝水的心理，因此至今尚未提出具體的因應對策！此等現象猶如每年都賺進很多錢的商人，由於疏於財務管理，任由家庭揮霍浪費，雖然每年都還過得去，但也總會碰到財務捉襟見肘的時候。如果這位商人肯用點心，平常到郵局、銀行存點錢，建立起儲蓄的好習慣外，也做好金錢進出的管控，就能解決突來缺錢的狀況。因此為徹底解決臺灣的缺水危機，唯一之道就是中央政府下定決心要解決因應缺水的問題，責成主管水利部會提出具體可行方案、編列經費、徹底執行，本人相信，五年十年後就能顯現成果。讓臺灣遠離缺水危機的夢魘！

五、參考文獻

- (1) 財團法人中興工程科技研究發展基金會(2011)。《變革與水的21世紀》。日本財團法人河川環境管理財團2007.5.15授權譯印。
- (2) 經濟部水利署(2005)。水資源白皮書。臺北：經濟部水利署。
- (3) 劉紹臣(2015)。《氣候變遷與臺灣的水旱災》。高雄：2015南方治水論壇。
- (4) 黃煌輝(2015)。《水之禪》。(通識教育叢書18)。臺南：成大出版社、國立成功大學通識教育中心。

多元化水資源永續發展策略—藏水於農

張敬昌
行政院農業委員會農田水利處 處長

何逸峯
行政院農業委員會農田水利處 科長

鄭友誠
行政院農業委員會農田水利處 薦任技正

一、前言

近年來全球受氣候變遷、國際物價上漲及人口增加之影響，對各區水資源及糧食市場之供應量造成衝擊，並引發國際對農業水資源及糧食安全之高度重視，我國亦推動節水灌溉及休耕地活化等措施，冀以增加國內糧食的生產。而農業灌溉水資源作為糧食生產的重要基礎，面對當前水資源開發瓶頸與各標的用水競用，加之氣候變遷加劇灌溉管理難度等挑戰，皆突顯提升灌溉用水效率與管理效能之重要性。

然而臺灣在地形坡陡流急、降雨時空分布極度不均之天然條件限制下，水資源較不易蓄存利用。自民國91年以來，旱災頻傳，已辦理過6次大規模休耕停灌作業以因應乾旱。公告停灌對於農業經濟將產生後遺症，停灌期間農民、代耕業者、農機業者、儲運業者及加工

業者之工作權益皆深受影響，停灌補償造成財政的龐大負擔。此外，大面積停灌致水田無法維持其三生功能，亦導致渠道及河川水質因流量減少而變差，對於流經市區之水路的環境衛生及周邊生態造成嚴重破壞，如本年度停灌造成新竹農田水利會停灌造成竹北工作站汀浦圳水質惡化，導致附近居民抗議事件。且農地缺乏水分滋潤將喪失地下水補注功能，估計本（104）年度一期作停灌期間約減少地下水補注1.12億噸^a，實際損失及環境成本難以估算。

聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）的評估指出，極端天氣將成為常態；據此可預知，臺灣地區乾旱週期

^a 由劉振宇教授之研究顯示，以入滲理論數學模式及現有灌溉制度進行推估，台灣地區水田地下水補注量每年達20億立方公尺，本年度停灌面積以43,659公頃計，則估計地下水補注量將減少1.12億噸。

會逐漸縮短，枯旱勢必經常發生。若年復一年都以分區供水及停灌休耕等方式因應，整個社會不但付出了金錢、人力、物力，及犧牲水田三生（生產、生態、生活）功能等代價，對長期穩定供水能力也毫無幫助，因此，我們應圖以治本之道，以「藏水於農」之策略來提升我國因應好發且嚴重乾旱風險之調適能力。

二、臺灣農業水資源運用現況與困境

(一) 農業用水特性及效益分析

1. 農業水資源運用現況

根據經濟部水利署近幾年

(97-101年) 用水統計資料，全臺年總用水量平均為177.3億噸，其中農業用水有128.6億噸（占72.5%）、生活用水32.8億噸（18.5%）、工業用水15.9億噸（9.0%）；而農業用水包含了灌溉用水115.6億噸、養殖用水12.2億噸及畜牧用水0.8億噸，如圖1所示。雖然農業灌溉用水量佔占總用水量的65%，但水源來自供水穩定之水庫僅占約1成，8成以上的水源為河川攔水，其受豐枯季節影響而極為不穩定，且部分區域水質不佳，因此除農業灌溉用外，實不易為民生與工業使用。

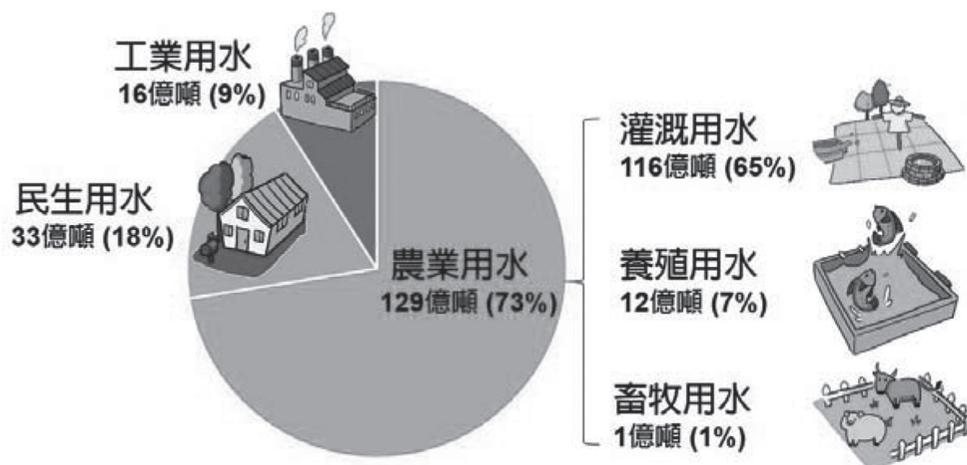


圖1 各標的用水量

2. 灌溉用水特性分析

(1) 時間特性

台灣地區近十年平均降雨量約為 2,494 mm^b，其中枯水期（11-4 月）六個月內累積雨量約 584 mm，不到年雨量的四分之一；而豐水期（5-10 月）則降下 1,910 mm 雨量，為枯水期雨量的 3.3 倍，可見台灣地區降雨時間分布極為不均，且越往南部枯豐差異越大。而灌溉用水主要取自天然河川，具有隨降雨豐枯情勢落差極不穩定之特性（如圖 2）。

因此水資源之調配成為重要課題，枯水期在缺乏調蓄設施的情形下，部分灌區須採大區輪灌方式並加強灌溉管理以因應用水短缺情勢；豐水期則可超量引灌，將水蓄存於田間，增加土壤含水並涵養地下水，發揮藏水於農之功能。

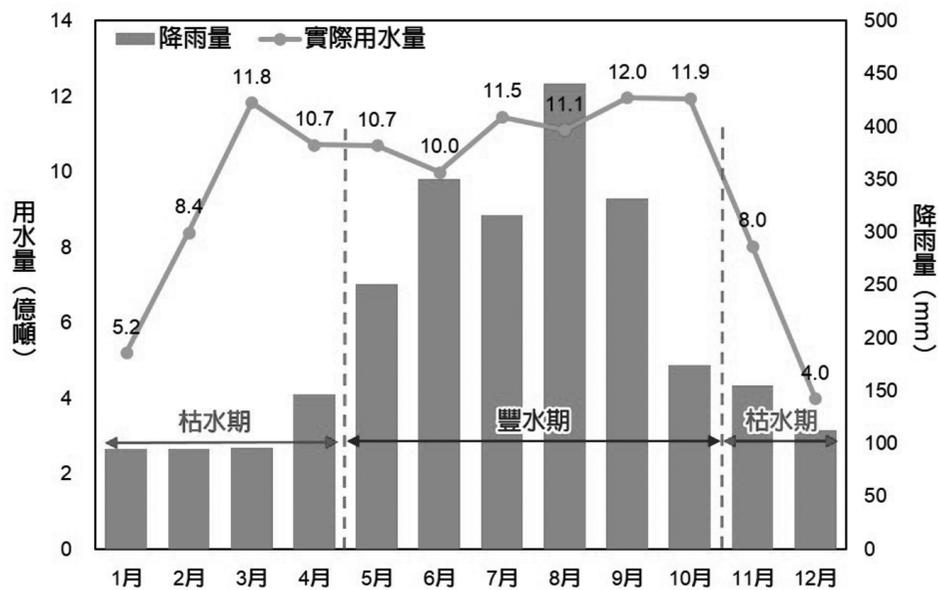


圖 2 各月實際用水量與降雨量分析

^b資料來源：經濟部水利署水利統計簡訊「臺灣地區降雨量概況」（93-102年）

(2) 空間特性

分析各農田水利會歷年供水滿足度^c（如圖 3 所示），顯示西部地區之灌溉供水滿足度普遍較東部為低，而東部地區因天然降雨降為豐沛且較無其他標的用水之需求，灌溉滿足度多高於 90%。進一步探究區域水源之供水特性，水庫型灌區之用水因常須滿足多標的之用，農業灌溉用水常面臨其他標的用水需求競用壓力，故水庫型灌區之灌溉供水滿足

度通常較河川型灌區低。其中嘉南會更為全臺供水情勢最為緊絀之農田水利會，年平均灌溉供水滿足度不足六成，凸顯其必須倚賴眾多掌水工進行精密配水方能滿足作物生長所需。由此顯示，臺灣西部多數灌區灌溉用水已相當吃緊，能夠再節約灌溉用水的空間恐已相當有限；東部及北海岸地區灌溉水量相當豐沛，具有移轉空間，惟對於西部平原之水資源調度並無幫助。



圖 3 各農田水利會灌溉滿足度分析示意圖

3. 灌溉用水效益分析

(1) 生活環境效益

臺灣農業灌溉用水約占總用水量 65%，與鄰近的其他亞洲主要稻米生產國相近^d（日本 63%；中國 64%），且農業灌溉用水具有生產、生態與生活三方面的價值與效益，除農作物生產之直接經濟價值外，在生態層面尚包含調洪減災、涵養地下水、減緩地層下陷、防止土壤沖蝕及維護生物多樣性等間接功能，而在生活層面則具有調節微氣候、吸收二氧化碳、水質淨化、自然生態教育、景觀與傳統文化保存及休閒遊憩等外部效益。依據臺灣大學劉振宇教授研究，我國每年農業灌溉用水之外部環境效益為 886 億元，與日本及韓國所做之評估

結果接近。

(2) 維護糧食安全效益

糧食生產攸關國家興衰與國民生計至深且鉅，值此天災發生愈趨頻繁、劇烈且難以預測之際，各國糧食生產已面臨空前之威脅，今年聖嬰現象已將開始造成世界糧食作物開始減產，能否因應此全球危機而使民眾生計無虞，健全且能配合國家糧食政策之灌溉管理規劃工作至為重要。我國 103 年稻米產值達 415 億元，占農業生產總值 9%，是國內農業經濟產值相當重要的一部分，此外也最主要的糧食作物，供應國人每日所需熱量的 1/6。

2011 年世界糧食自給率（以熱量為基礎）之統計結果如圖 4 所示，美國為 127%、德國為 92%

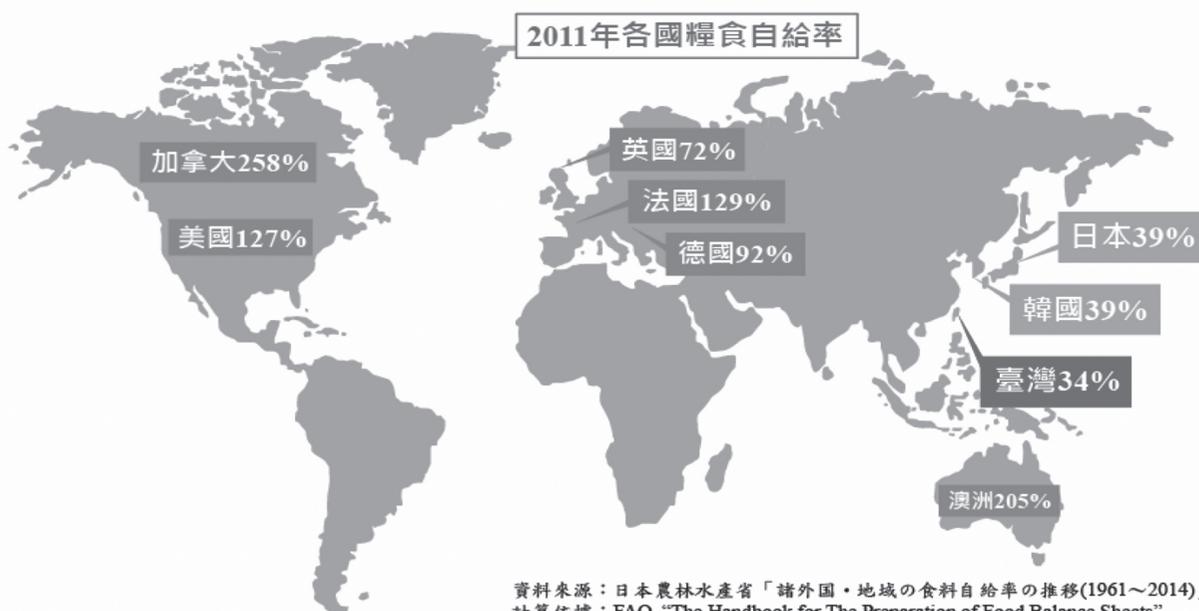


圖 4 世界各國糧食自給率

^d資料來源：

1. Bos, M.G. and Nugteren, J., (1990). On irrigation efficiencies, International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI.
2. 中國部分：2009年中國灌溉排水發展研究報告，中國灌溉排水發展中心。

，日本目前雖僅39%，但其規劃於2025年提高至45%，而臺灣目前糧食自給率僅34%而已。全球氣候暖化不斷加速，糧食生產因而減少，加上近來新興國家經濟發展，對於糧食需求大增，屆時出口國不願出口、進口國則不斷搶奪，二十一世紀將會因乾旱造成全世界搶糧的情況。為因應可能的糧食危機，應分配合理且足夠的水量供農業使用，確保國家安全及國民生計。

(3) 支援其他標的效益

隨氣候變遷及我國經濟發展，民生及工業用水需求量急速上升，然臺灣地區水資源分配原已趨近飽和，且民生及工業對於供水穩定要求高，因此新增的用水

需求缺口僅能尋求開發新的蓄水設施。但在各項蓄水設施建立完備前，這些需水量缺口往往需仰賴各農田水利會在不影響農民權益下進行水量調配支援，近5年平均調用灌溉餘水量達每年2億噸以上。

遭遇乾旱時，更往往需以停灌休耕的方式來因應：91、92、93、95、99年及104年間，北部桃園及新竹地區、中部苗栗及臺中地區、南部嘉南地區，均曾辦理大規模停灌以調用農業用水，支援民生及工業用水之不足，據統計6次停灌共計20.9萬期作公頃稻作、調用18.3億噸之灌溉用水（如圖5），對於社會經濟發展用水之支援具有重要貢獻。

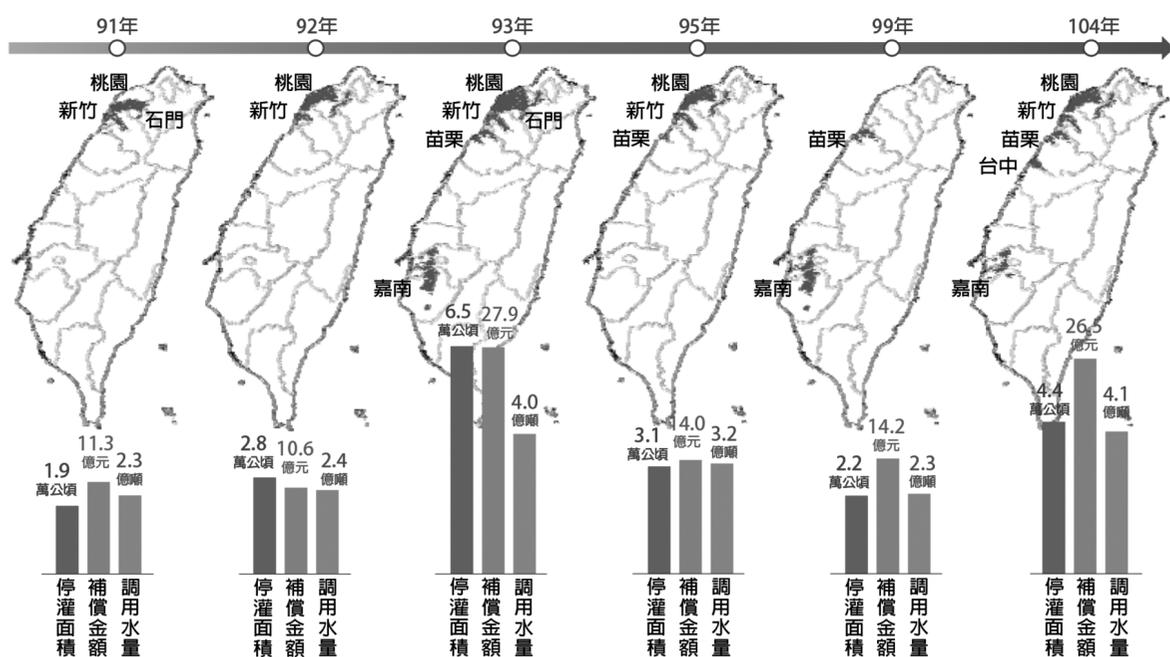


圖5 近年農業灌區大規模停灌事件統計

(二) 灌溉用水管理所遭遇問題

1. 水資源調蓄設施不足

臺灣年降雨量 980 億噸，然而因調蓄設施容量有限（如圖 6），約 600 億噸的水並未被貯留利用就直接流入海中，也就是 60% 以上的降雨量流失了。反觀氣候條件與臺灣相近的日本，在 1975 年即擁有 1,378 座水庫，總蓄水容量 134 億噸已達年用水量 850 億噸的 1/6。即使如此，日本仍不曾停止或減少興建水庫，近 20 年來共竣工了 412 座水庫，增加了約 58.6 億噸的蓄水容量，總容量提高至總用水量的 1/3，傾全力為降低缺水風險而努力。

臺灣目前大小水庫（含攔河堰）計有 96 座，有效容量 19 億噸，只占年用水量 177 億噸的 1/9，可見蓄水設施明顯不足，且近年鮮少再開發水資源，民國 82 年至今僅興建了寶山第二水庫、湖山水庫及些許攔河堰等，約增加蓄水容量 9,000 萬噸而已（如圖 7）。我國從民國 90 年以來已經歷 6 次大規模停灌事件，在未來極端氣候將成為常態下，水利主管機關應積極增闢水資源調蓄設施，掌握更多水資源。

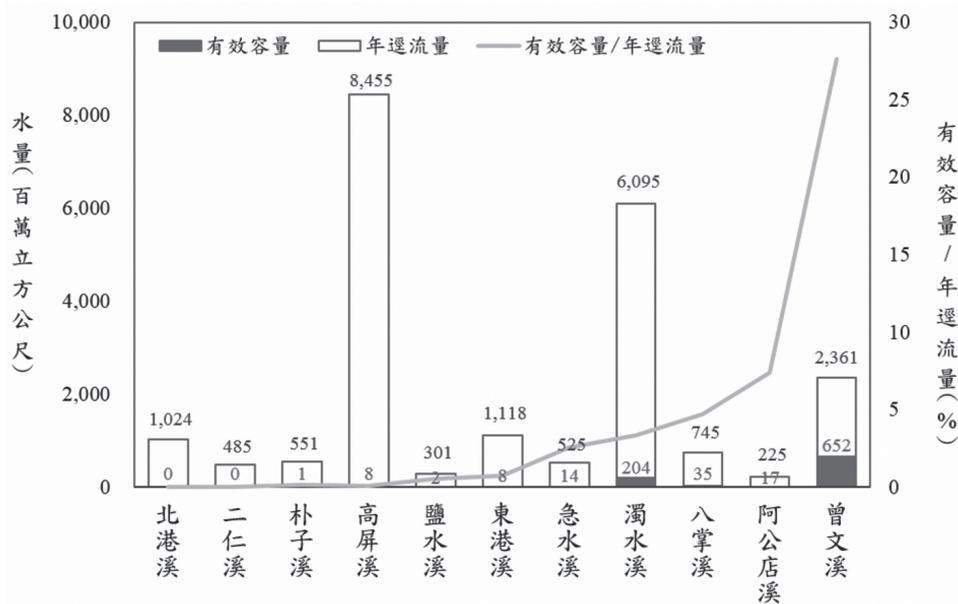


圖 6 河川逕流量與蓄水設施容量比較

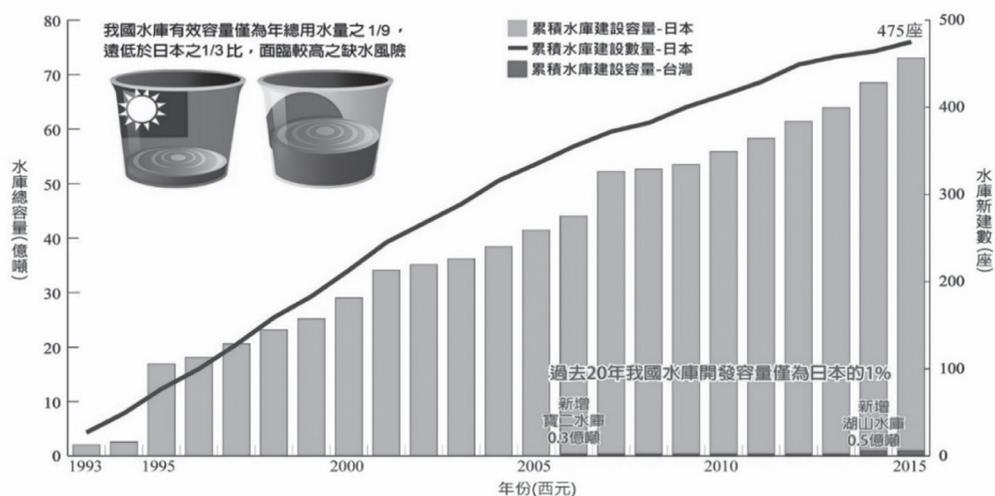


圖7 臺灣與日本近20年新建水庫統計

2. 農業灌溉用水時間與空間問題

台灣主要缺水地區為北部石門水庫及南部之曾文、烏山頭水庫為主，惟該地區有「新竹科學工業園區」、「桃園工業區」及「南部科學工業園區」等高度集中工業區，並因此匯集眾多人口及產業。近20年來已有9億噸農業灌溉用水移轉供民生及工業使用，每年剩餘灌溉水權量約13億噸，該水權量尚需灌溉桃園、石門及嘉南等3個農田水利會共11.6

萬公頃農田，假設剩餘灌溉水權量等於各農田水利會實際可取得之灌溉水量，且每年僅耕種1次，則每公頃年平均灌溉水量仍只有1.12萬噸，遠低於臺灣農田年平均灌溉水量每公頃3萬噸（桃園及石門農田水利會大多為雙期作田，若兩期作皆種植水稻，則每期作公頃之年平均灌溉水量將低於6,000噸），顯示該地區農業用水之不穩定性極高（詳參表1）。

表1 桃園、石門及嘉南農田水利會灌溉用水削減情形

水庫名稱 (相關水利會)	完工年份 (民國)	原有 灌溉水權量 (億噸)	已移轉民生 工業水量 (億噸)	剩餘 灌溉水權量 (億噸)	現有 灌溉面積 (公頃)
石門 (桃園、石門)	53	7.83	4.0	3.83	36,806
曾文、烏山頭 (嘉南)	63	14.40	5.4	9.00	79,458
合計	-	22.23	9.4	12.83	116,264

目前全國17個農田水利會中，依賴河川引灌之東部（宜蘭、花蓮、台東）及北部（北基）等4個農田水利會，其年灌溉水量較為充裕，合計每年灌溉水量共35億噸，所灌溉面積為5萬742公頃，每公頃年平均灌溉水量達6.89萬噸，高於年平均水量3萬噸一倍有餘，此一區域之灌溉水量相對較為豐沛，具有移轉空間，惟各區域間因缺乏相互連通之輸水系統及蓄水設施，難以跨區域調度，對於西部平原之水資源調度並無幫助。

3. 提升糧食自給率所需之灌溉用水需求

面對國際糧食供需情勢緊絀，農委會於100年召開全國糧食安全會議，針對國人主食稻米，將每年5月底安全存量提升至40萬公噸糙米量，並配合推動提振米食消費措施，適度活化休耕地種植稻作，以提高國內自給率。此外，倘若國際糧食安全出現重大問題，農委會亦已考量若因緊急狀況而無法進口糧食，為維持國民基本營養所需2,000大卡熱量之情況，及規劃國內生產最大化對策，將必須維持132萬期作公頃之作物生產（耕地面積71萬公頃）。因此在國家用水零成長

政策下，未來須保障低標灌溉用水量每年106億噸，以確保我國之糧食安全。

4. 競用核心區灌溉用水移用需求

農業灌溉用水由於擁有完整供水設施及具備用水彈性，在當前水資源開發不易的情況下，常須肩負適時支援其他標的用水之任務。農田水利會由水庫壩堰供灌之區域特別容易受到受各標的用水競合之影響，水資源核心競用區範圍如圖8所示（依據歷年各農田水利會停灌範圍繪製而成），總計約7萬公頃。

104年適逢水情不佳而辦理一期稻作停灌休耕，但本次停灌區域未來仍具高缺水風險，且面臨各種用水標的競用之勢。以桃園地區為例，雖然已辦理2萬多公頃之停灌，但仍發生進入三階限水事件，顯示我國水資源調蓄設施之蓄水能力，恐已不足以因應現階段所面臨之缺水風險。調用農業用水僅為短暫性權宜措施，建議水利主管機關積極辦理水庫清淤與工程改善，需水單位應自行規劃長期用水計畫。在氣候變遷衝擊、降雨豐枯情勢愈發極端的趨勢下，檢討並建立完善之抗旱機制及停灌決策、相關作業流程與補償機制，已成為當前刻不容緩之重要工作。

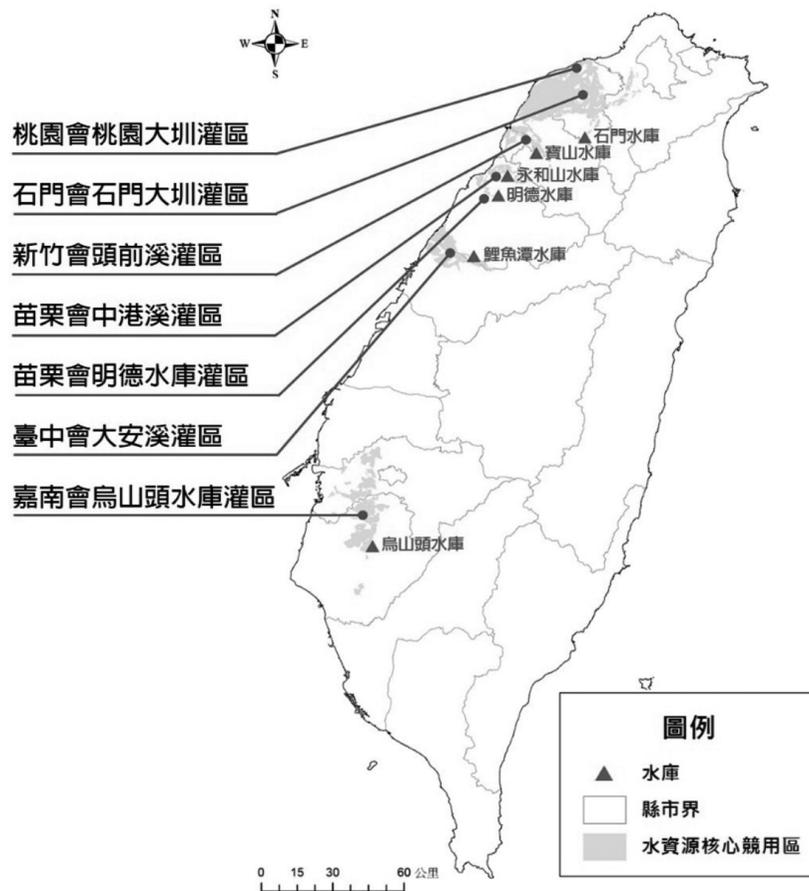


圖 8 水資源核心競用區

5. 灌溉回歸水之水質議題

農業灌溉用水中約有 15.7 億噸以上的灌溉水源取自區域排水及農田排水，意即屬回歸再利用之水源，顯示農業用水已長年積極推動水資源之回歸再重複利用。目前各農田水利會共計監測 996 條圳路之水質，可即時監測以控管圳路水質變化。近年農地污染事件及農作重金屬含量超標事件頻傳，而回歸水水質主要與其他標的用水所排出的水有關，若民生與工業的大排並無管制水

質，且排水直接進入灌溉圳路，農業用水水質勢必受到影響，因此應管制水質使其符合灌溉用水標準。

三、多元化水資源永續發展策略

在面對氣候變遷、極端旱澇無常交替的今天，興建大小型水資源調蓄設施應是最好的投資與防禦作為。但面臨愈來愈高的缺水風險，除須持續提升灌溉用水效率外，也須適度開發除了河川水庫外之多元化水源，如田間降雨有效利

用、回歸水再利用、伏流水、埤塘及水庫等，方能滿足未來滿足糧食安全及社會發展之用水需求，茲將多元化水源運用現況及未來發展策略分述如下：

(一) 灌溉用水多元化水源運用現況

1. 有效降雨

目前部分農田水利會在灌溉規劃階段，已預先估算有效雨量，並配合降雨之枯豐調整水門配水量，預研擬更高效益之灌溉計畫。此外，彰化農田水利會荊仔埤圳已著手發展智慧管理監測埤圳水量及灌區有效雨量（如圖9所示），提升灌溉水資源使用效率。

2. 回歸水

全國農田水利會灌溉系統內，回歸再利用水量每年約為6.6億噸，另引自區域排水系統之回歸水每年約為9.1億噸，總計回歸利用水量約15.7億噸，占總灌溉用水14%，顯示農業灌溉用水自體節水循環再利用之比例相當高。惟部分回歸水水源為上游灌溉圳路之餘水排入排水圳路之水量，因此農田水利會在記錄實際用水量時，同一批水源往往在上游河川引水量記錄後，下游回歸水引水又再重複記錄，導致農業用水登記量較實際用水量大。

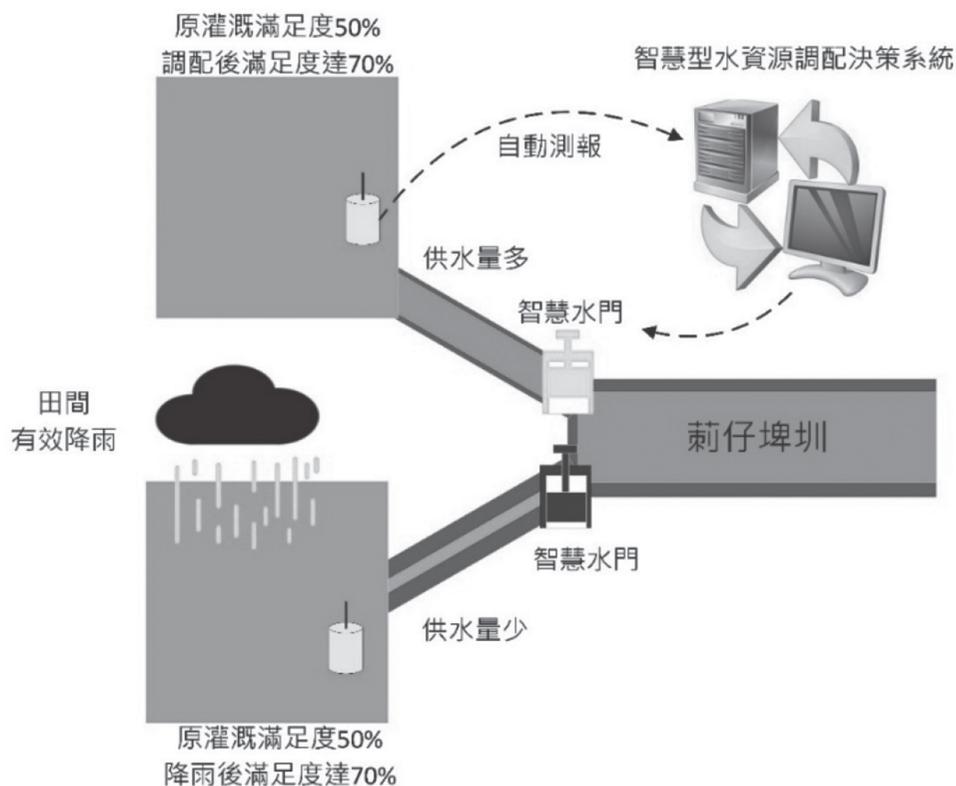


圖9 有效降雨運用效率提升機制概念圖（以荊仔埤圳為例）

3. 伏流水與地下水

國內利用伏流水之歷史相當悠久，最著名之案例為屏東林邊溪之二峰圳，該工程以地下集水廊道方式，每天提供 8.2 萬噸灌溉用水引灌下游 3,000 多公頃之農田。水田灌溉用水滲入地下後，約有 1/4 的水量可垂直補注至地下水含水層，其餘大部分以伏流水的形式橫向朝下游移動（如圖 10 所示），據估計每年臺灣農業灌溉用水貢獻了約 30 億噸之伏流水，應該善加利用。

目前全臺農田水利會有紀錄之地下水使用量每年約 4.5 億噸（97-101 年之平均值），占農業灌溉用水量的 4%。除了地下水管制地區為防止地層下陷而配合地下水減抽，其餘地區應可適度開發地下水源，以因應枯水期地面水不足的問題。今年旱災期間南投、彰化、高雄、屏東農田水利會皆適時啟用會有地下水井作為抗旱措施，有效利用地下水源補充灌溉用水，使一期作供灌區作物得以順利收成。

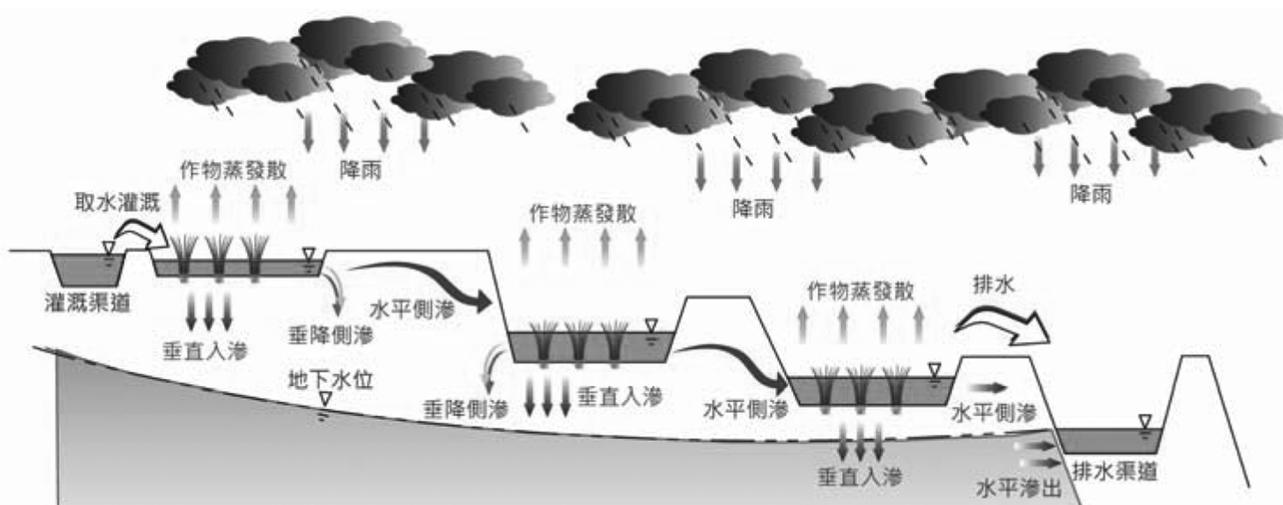


圖 10 灌溉用水補注地下水機制示意圖

4. 埤塘與水庫

以桃園地區為例，674 口埤塘總有效容量約 0.5 億立方公尺，據統計桃園埤塘一年約可運用 2 次，意即具有 1 億立方公尺可調蓄運用水量，約為石門水庫有效容量（2.01 億立方公尺）之 50%

，顯示埤塘具有提升灌溉用水效率之功能，桃園及石門農田水利會之年計畫用水量為 8.75 億噸，如有效運用埤塘約可提升桃園地區灌溉滿足度 11%。一般而言，埤塘皆從支線取水並放水至下游各田區，並無法放水回原支線供

下游埤塘調蓄，因此埤塘須特別施作工程才得以單向串聯，使地勢高之埤塘可直接放水至地勢低之埤塘蓄存。埤塘目前較缺乏串聯之輸配水設施，乾旱時期僅能支援周邊農地之灌溉，需研議建立完善之埤塘串聯供水系統與上游水庫聯合運用機制。

(二) 多元化水源聯合運用機制

多元化水源聯合運用機制概念為豐水期時因地面水源過量，須鼓勵農田灌區多引地面水源，除灌溉目的之外，亦可涵養地下水源，即所謂豐水期超量灌溉之觀念。枯水期時必須視水文狀況機動調整水稻、旱作的配置及分區輪作以達到水土資源的永續利用，降低旱災對

農民之衝擊；另對於水庫型灌區，可有效延長水庫供水時程，除達成穩定民生與工業之用水外，亦可讓一期稻作免於休耕或減少休耕面積，以在乾旱時有效調配各種水資源，多元化水源聯合運用機制概念如圖11所示，茲將各項策略分述如下。

1. 建立埤塘與水庫最佳調配機制

為因應氣候變遷造成之乾旱風險，農委會將調查各農田水利會間可相互調節灌溉用水之區位、水量及豐枯水期之分配情形，評估各會間灌溉用水調配支援之可行性，輔導農田水利會強化埤塘蓄水之抗旱備援機能。豐水期時利用水田及埤塘蓄洪，可降低下游洪災損失，且蓄存之水量可

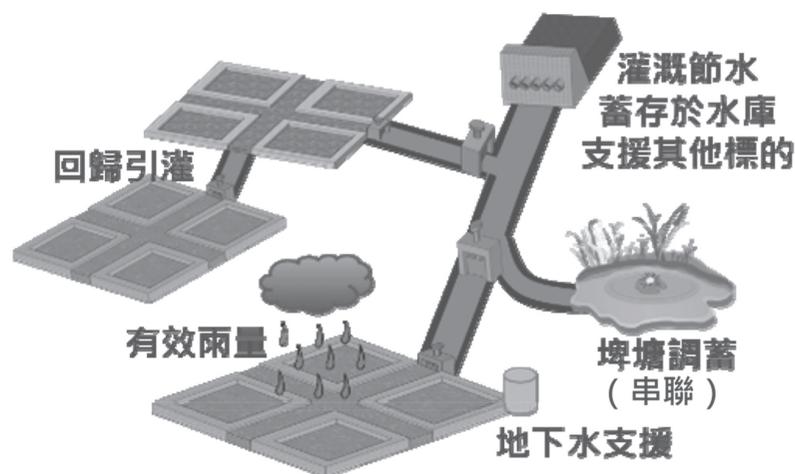


圖 11 多元化水源聯合運用機制概念圖

補注地下水或做為下一期稻作之整田用水；枯旱期間則優先使用埤塘水源供灌並提前打折供水，以有效節省灌溉用水於上游水庫中。透過圳路連結水庫與埤塘，利用現有埤塘蓄留餘水發揮灌溉用水及水田調豐濟枯之特性，增強各標的用水應變旱災能力及容受程度，落實「藏水於農」之目標。

2. 建立水田補注與地下水備援機制

評估灌溉用水於水田補注地下水含水層之最佳區位，應用空間分析技術評估各區位之水文地質、地下水位、土壤質地、耕作特性及水源豐枯等因子，提升豐水期水田種水與水資源保育之效能，維持地下水高水位；枯水期則適度引用地下水支援各標的用水。

3. 依據各地區農田水利會灌區特性，建立相關提升水資源調配機制

與經濟部跨部會合作，於水庫型農田水利會建立常態性掌水工模式以加強灌溉管理節水，減少水庫灌溉供應水量，將所節餘水量寄存水庫，增加支援民生及工業用水之能力，可緩和 water 資源需求壓力。上述掌水工加強灌溉管理行政作業費之支出費用可依經濟部頒布之「石門及曾文水庫農業用水加強灌溉管理經費支出

執行注意事項」支應。除了石門水庫及曾文水庫水庫供灌區域，為配合當地區域水資源調度，倘用水管理單位（經濟部水利署）要求農業用水提前打折，可思考比照石門及曾文水庫加強灌溉管理支出執行機制，由使用節餘水之受益人（台水公司、工業單位）分擔費用。

4. 建立有效降雨運用效率提升機制

設置田間感測器及自動測報系統，以即時取得各灌區之溫度、土壤濕度和降雨量等物理及環境變數資料，再運用智慧水門結合自動測報系統，即時調配灌區間之配水量，提升田間有效降雨利用率。

四、結論

台灣擁有多元化且豐沛的水資源，為因應氣候變遷造成之乾旱風險，除了節約用水、加強灌溉管理外，尚應適度開發新水源並有效利用多元化水源，例如增加調蓄設施加強利用有效降雨、再生水、地下水、海水淡化及伏流水等，枯旱時期引用多元化水源可補充農業用水以維護國家糧食安全，並同時具有環境與生態效益。

在現階段水資源開發面臨瓶頸的限制下，唯有農業灌溉用水能夠配合枯豐水期彈性調整用水，未來將調查各農田水利會間可相互調節灌溉用水之區位、水量及豐枯水期之分配情形，建立各河川型農田水利會間之灌溉用水調配支援之機制（如彰化及雲林會跨會支援），並輔導桃園及石門等水庫型農田水利會強化埤塘蓄水之抗旱備援機能，規劃埤塘於豐水期蓄滿，至枯水期則優先以埤塘水量供應灌溉使用，配合掌水工模式加強灌溉管理，有效運用灌溉系統提前打折供水以減少水庫灌溉供應水量，所節餘之水量可蓄存於水庫，延後或避免下游民生用水進入第三階段限水，因此農業用水之開源與節流將增加支援民生及工業用水之能力，有效落實農業水資源「調豐濟枯」、「藏水於農」之功能。

氣候變遷下水資源經理策略

林元鵬

經濟部水利署水源經營組 組長

摘要

104年上半年臺灣遭遇了近67年來整體降雨量同期最低的枯旱供水緊張情勢，經由中央、經濟部、水利署及各區域水資源局均成立旱災應變小組，積極採取適當措施因應下，旱情得以控管，將災害影響降至最低。

有鑑於此，本文首先說明臺灣水資源環境與所遭遇相關課題，接續說明政府對於未來在兼顧產業發展、糧食安全、社會正義之情況下，強化「節約用水」、「有效管理」、「彈性調度」及「多元開發」等四大經理策略，其中將進一步落實「節水常態化」、「清淤最大化」及「工業優先利用再生水」等策進作為，來強化我國因應氣候變遷的調適能力，穩定水源供應。

一、前言

104年上半年臺灣遭遇近67年來整體降雨量同期最低之枯旱狀況，經統計104年1月至4月期間，全臺各重要水庫降雨量均偏低，桃園石門水庫約僅歷年同期間平均降雨量的43%，臺南南化水庫約僅同期平均的20%，由於旱情加劇，新北市板新、林口及桃園市等地區於枯旱期間一度實施第三階段限水措施。

鑑於水資源為國家永續發展重要基石，為降低氣候變遷對供水穩定之影響，需以本次枯旱為鏡，通盤檢討我國水資源策略方向，以調適或避免發生枯旱缺水風險。

二、臺灣水環境的挑戰

(一) 每人每年可分配雨量少

臺灣四面環海，氣候溫暖潮溼，年平均降雨量約2,500公釐，雖雨量豐沛，約為世界平均值的2.6倍，但因地狹人稠，每人每年可分配雨量僅約4,000立方公尺，約世界平均值五分之一。(如圖1)

(二) 地形條件限制明顯

臺灣本島總面積約3.6萬平方公里，惟標高1,000公尺以上的山區佔總面積32%，100~1,000公尺的坡地也高達31%，100公尺以下的平地不過佔37%，山區有中央山脈南北縱走，造成臺灣河川東西流向分別注入太平洋及臺灣海峽，又因河川坡陡流急(如圖2)，降雨後逕流迅速入海，甚難蓄存，且河谷狹窄，庫容有限，水庫雖多，總容量卻不大。



圖1 世界各國年降雨量及人均分配雨水量比較

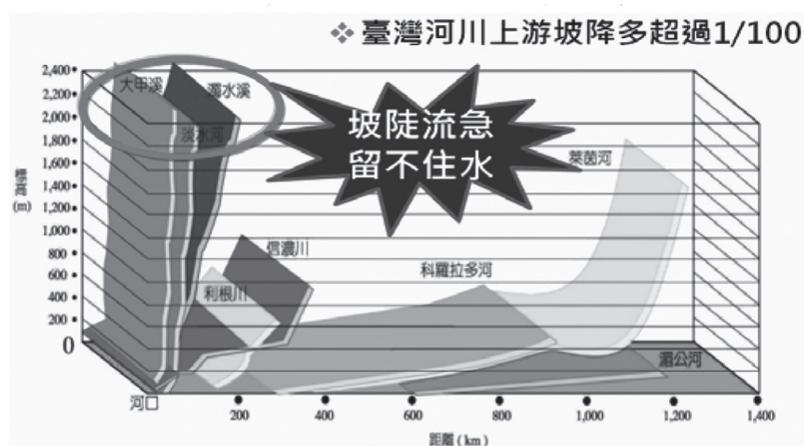


圖2 世界各國河川坡降比較

(三) 降雨時空分佈不均勻

臺灣雖降雨豐沛，惟在時間及空間上的分佈極不均勻，每年5~10月期間的雨量約占全年總雨量的8

成(如圖3)。豐、枯水期雨量差異懸殊，導致枯水期長達6個月期間水量無法供應用水需求，需透過水庫蓄存豐水期水量。

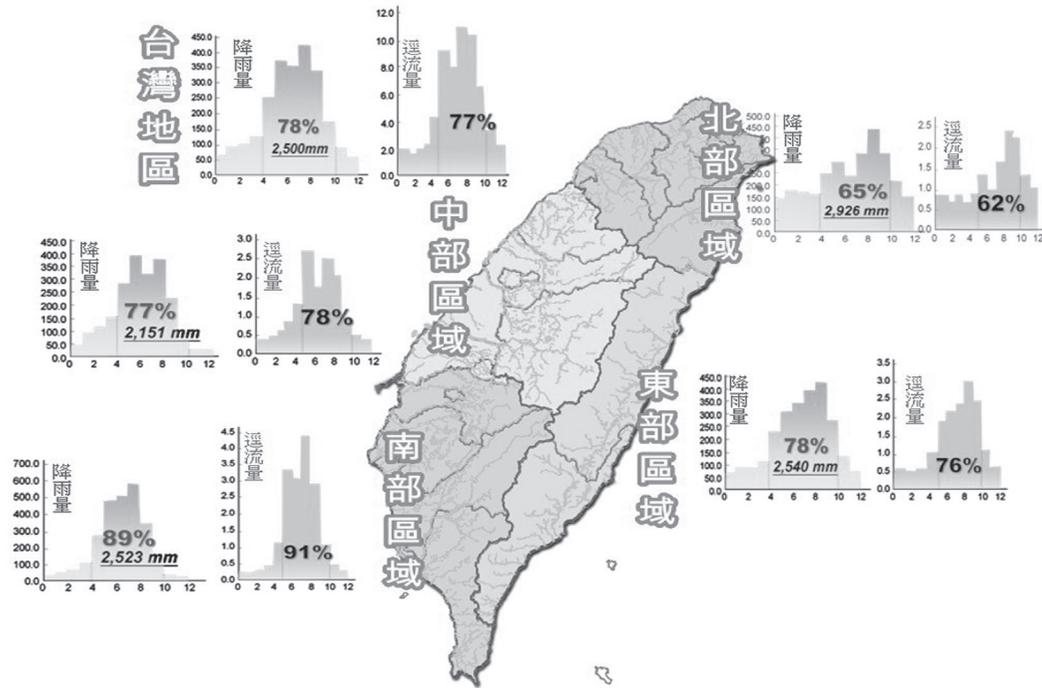


圖3 臺灣本島豐水期雨量及逕流量佔全年總量百分比示意圖

(四) 乾旱與洪水劇烈發生

受近年來全球氣候變遷影響，臺灣降雨集中，強度增強，不降雨

日數增加，澇旱循環加劇，使缺水風險日益升高，降雨量豐枯差異愈加明顯。(如圖4)

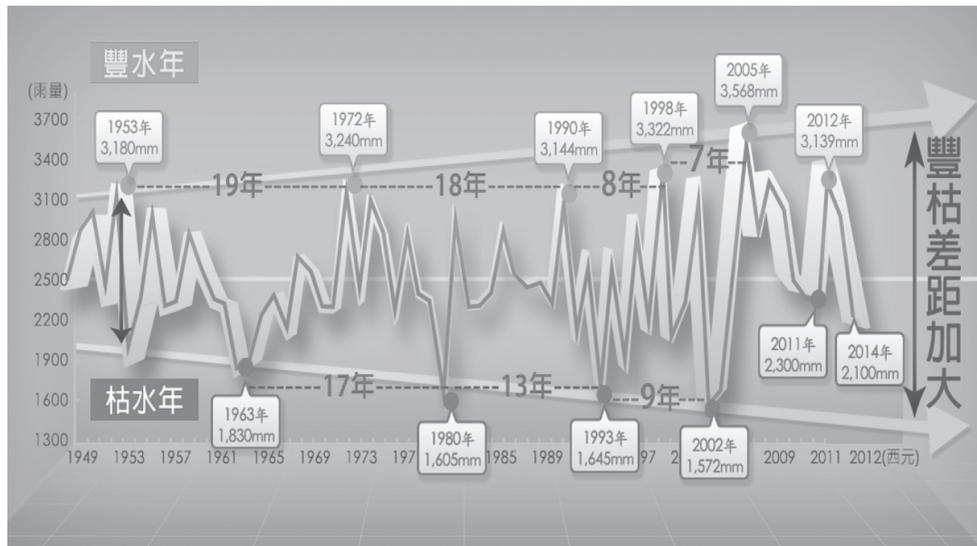


圖4 臺灣年降雨趨勢圖

三、臺灣水課題

(一) 水太多

近年來極端氣候致颶洪異常水文事件頻繁，高強度長延時的降雨導致河川水位暴漲，下游河道及都會排水系統宣洩不及，造成地勢低窪區域嚴重淹水，為水資源運用所面臨的關鍵課題。

(二) 水太少

臺灣近十年年平均總降雨量約 980 億噸，扣除蒸發損失量 208 億噸及逕流入海 573 億噸後，現況可被利用的水量僅約年總降雨量的 20% (如圖 5)。臺灣年總用水量約 177 億噸，由水庫供水量約 40 億噸；惟目前水庫有效容量 19 億立方公尺，平均水庫每年運轉需達 2 次

，石門水庫更需達 4 次以上，因此若氣象水文情況不佳，即顯現缺水危機。

(三) 水太濁

臺灣經歷 921 地震後，水土流失問題加劇，颱風豪雨即造成原水濁度飆升，影響供水，又因集水區沖蝕及崩塌增加，巨量泥砂沖入水庫，造成水庫淤積遽升。例如 93 年艾利颱風造成石門水庫濁度飆升，桃園地區停水 19 天，營業損失及增加用水成本約 48 億元。98 年莫拉克颱風期間高屏攔河堰抽水設備遭洪水泥砂及漂流木淹沒，且原水濁度飆高，影響高雄縣市約 30 萬戶用水。104 年蘇迪勒及杜鵑颱風降雨量，亦導致南勢溪原水濁度飆高並影響大台北地區供水。

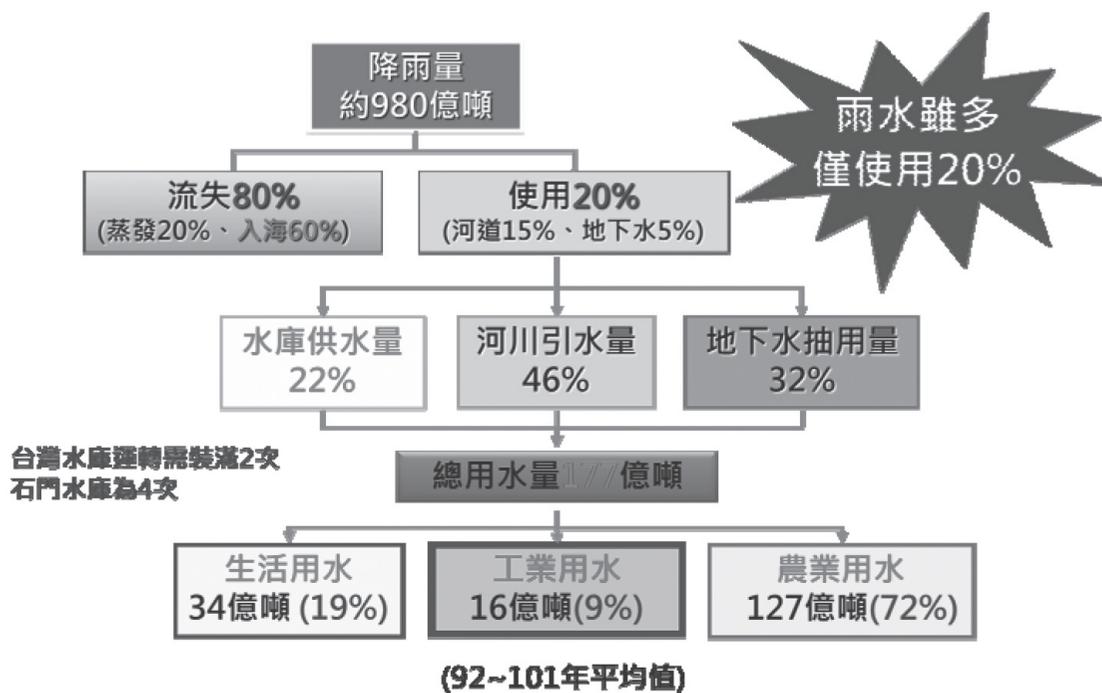


圖 5 臺灣本島水資源利用概況(92~101年平均値)

四、水資源經理四大策略

依據「新紀元水利政策綱領」，已進一步整合研擬臺灣北、中、南、東部區域水資源經理基本計畫(如圖6)，其內容著重於各區域水資源有效利用與供水之穩定，作為區域水資源總體藍圖及推動落實區域整體性水資源策略措施之指導。

前述各區域水資源經理基本計畫係考量區域水資源環境特性，通盤檢討水資源管理整體政策，在兼顧產業發展、糧食安全與社會正義的前提下，提出「節約用水」、「有效管理」、「彈性調度」、「多元開發」等四大策略，以調適與因應我國供水環境限制與氣候變遷衝擊。

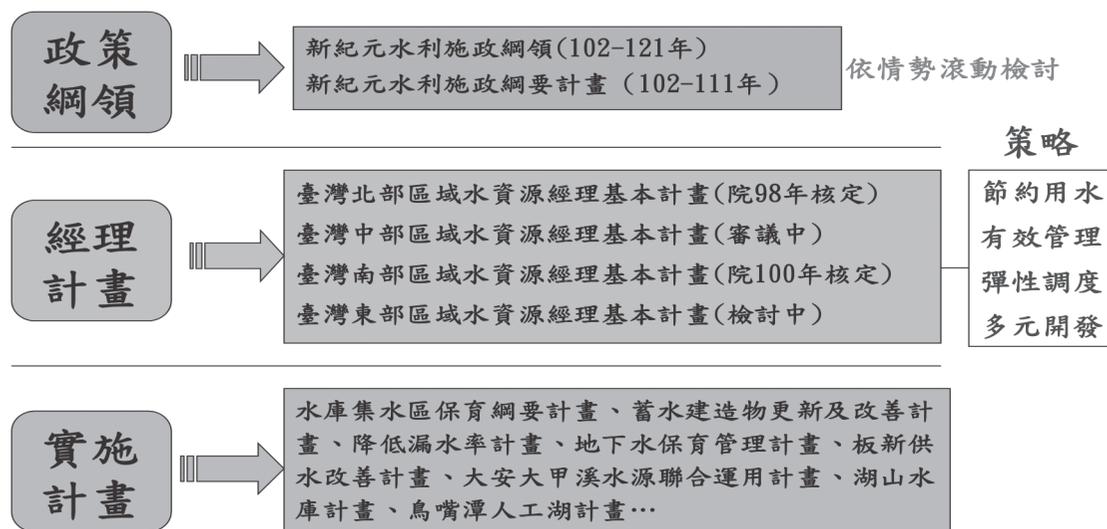


圖6 水資源各水資源各項計畫方案相關性之系統架構圖

(一) 節約用水

1. 生活節水

近年為了建構「節水型社會」，透過推廣省水標章、普及省水器材、推廣雨水貯留再利用、辦理大用水戶節水輔導及加強節約用水教育宣導等工作推動，每人每日生活用水量已由90年285公升降至103年272公升。

並於每年枯水期間對自來水系

統進行夜間常態減壓供水，預估可節約1~2%供水量，估計每年可節約3,000萬噸水量。另由自來水事業單位(台水公司及北水處)持續執行與落實自來水管線降漏工作。並持續辦理各機關節約用水評比，由機關學校部隊帶頭節約用水。於枯旱時期發放紅布條及配合刊登節水標語及推廣愛水節水歌曲MV等擴大宣導民眾節水觀念。為了讓使用

省水器材成為常態，將修訂自來水法，按用水設備種類，逐年禁止非省水器材產品之銷售與裝置。

另為推動水價合理化，經濟部已成立統一水價專案小組，研議統一水價及水價調整方案，並將旱季水價精神納入考量。此外將敦請內政部持續檢討建築技術規則，擴大建築物設置雨水及生活雜排水回收系統範圍，將更多新建大樓納入規範標的，讓全民共同來節水。

2. 工業節水

92~103年經濟部工業局共輔導882家工業用水大戶，每年可節約6,700萬噸用水量，後續該局將持續輔導工業區協助引進低耗水性製程、水回收循環再利用、節水技術諮詢等措施，提昇工業用水整體回收率。另為追蹤與查核已核定用水計畫用水現況，促進工業節水與有效利用，已提案修正水利法，針對一定規模以上開發個案均要求提送用水計畫書審查之增修條文，來強化用水管理。

3. 農業節水

行政院農業委員會為落實改善營農環境，解決農民於旱季期間無水可灌之窘境，已積極輔導農民施設旱作管路灌溉設施，每年以推廣約2,000公頃為目標。並將依據各地區灌區特性，補助水利會或農民辦理灌溉節水設施(如滴灌、噴灌或管

路灌溉)，並補助農田水利會等辦理渠道更新改善，同時推廣掌水工制度或建置智慧水門控制系統，以提高灌溉效率。

(二) 有效管理

1. 自來水減漏

台水公司歷年執行「降低漏水率計畫」，其轄區平均漏水率已由93年23.78%降至101年19.55%(如圖7)，已減少每年1.2億噸漏水量。該公司後續執行「降低漏水率計畫(102至111年)」，預計至112年將漏水率降至14.25%(如圖8)。此外，在大臺北地區，北水處正執行「供水管網改善及管理計畫」(95~114年)，預定於115年將轄內漏水率降至10%。

後續政府將視台水公司及北水處執行前述計畫之成果，於計畫結束前，研提可行之延續性計畫，並以120年臺灣地區自來水漏水率降至12%以下作為努力目標。

2. 水庫庫容維持

為水資源永續利用，行政院於95年核定「水庫集水區保育綱要」，依管理權責分工制定水庫保育實施計畫並推動，以減少上游來砂量，維護水庫功能。另針對重要供水水庫均每年持續執行清淤工作，以維持水庫蓄水容量及延長壽命。98年莫拉克風災造成水庫大量淤積，



圖7 台水公司執行至101年降低漏水率計畫成效

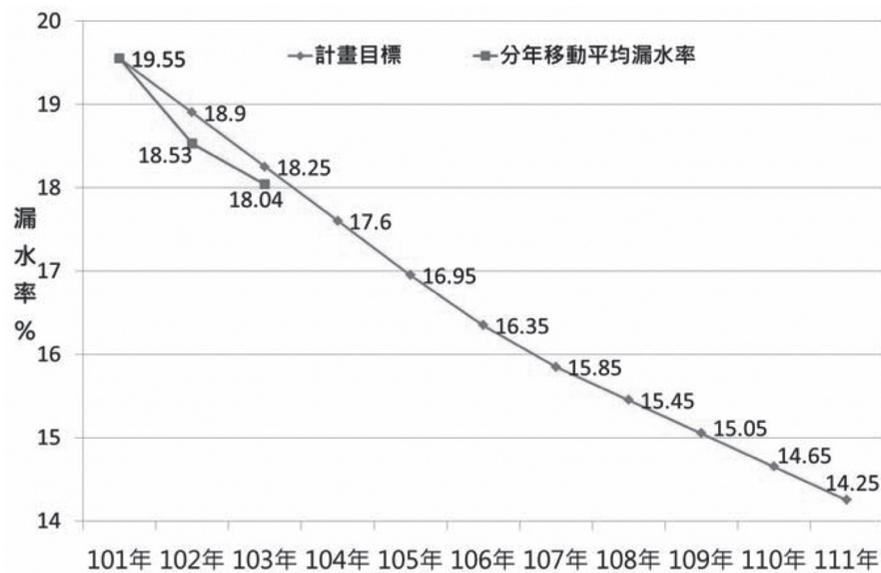


圖8 降低漏水率計畫(102至111年)執行目標與進度

各水庫管理單位積極以陸域機械清淤、水域抽泥及水力排砂等方式，至103年底清淤量已達6,831萬立方公尺。

經評估全臺95座水庫，屬重要供水且淤積較為嚴重者為石門等13

座(如圖9)，為有效減緩水庫淤積速率，維持水庫供水機能，需採取由上游集水區保育減淤、中游導淤、庫區排淤(陸挖、抽泥及排砂)，乃至下游土砂回歸河道等專案推動整體防淤策略(如圖10)。

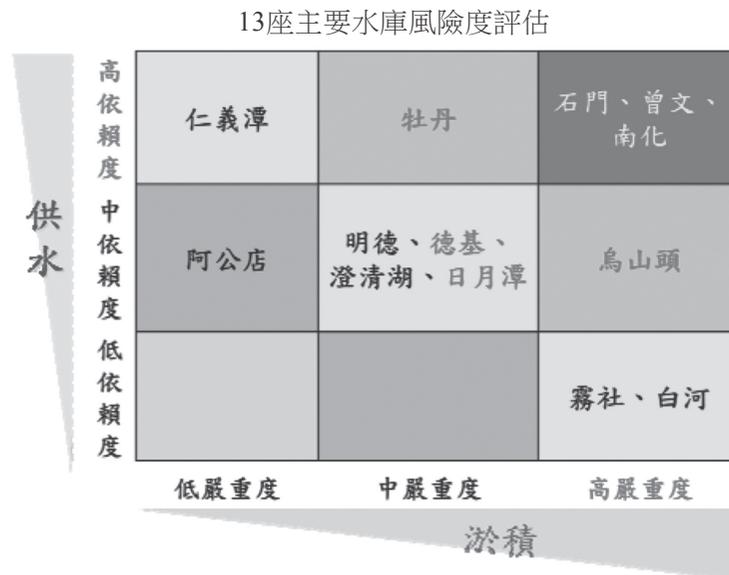


圖9 全臺13座主要水庫供水風險評估

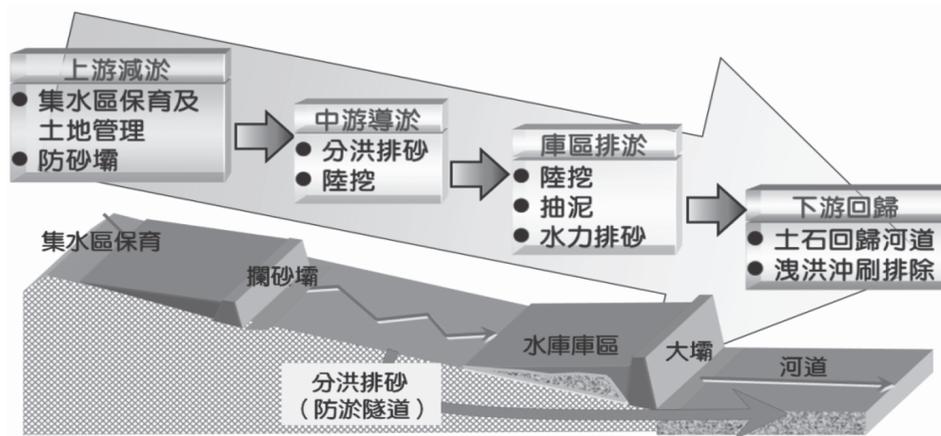


圖10 水庫整體防淤策略

為落實整體防淤策略，政府已推動重要水庫集水區保育實施計畫，並成立水土林流域土砂經理聯繫會報，建立跨單位土砂防治協調機制平台，共同推動流域整治措施。

此外，為利重要水庫防淤活化，將持續推動執行石門、曾文及南化等水庫之防淤隧道工程，以利水力排砂操作，減緩水庫淤積情況並增加防洪功能。

(三) 彈性調度

近年來我國面臨水資源短缺及開發困難之困境時，透過農田水利會以加強灌溉管理方式節餘灌溉用水，支援民生及工業用水，以102年為例，調度節餘農業用水支援其他標的水量為2億7,539萬噸(民生75%，工業25%)。

另為提升區域水源調配及支援能力，政府刻持續推動板新地區供水改善計畫二期工程、中庄調整池工程、大安大甲溪水源聯合運用、臺南高雄水源聯合運用調度輸水工程等計畫，以提升區域供水穩定度。

(四) 多元開發

1. 水再生利用

內政部已規劃臺中、臺南、高雄等高缺水風險區的福田、豐原、安平、永康、鳳山溪及臨海等6座污水廠作為再生水示範推動案例(如圖11)。目前推動首例為高雄市鳳山溪污水處理廠放流水回收再利用供應高雄臨海工業區，108年完成後將可提供每日4.5萬噸再生水。

至於天然水資源不足地區如新增工業用水需求，除開發單位需配合區域水資源供需情勢，於必要時自覓水源外，在用水計畫書審議程序亦將要求開發單位除人員飲用水外，其餘工業製程(食品、藥品除

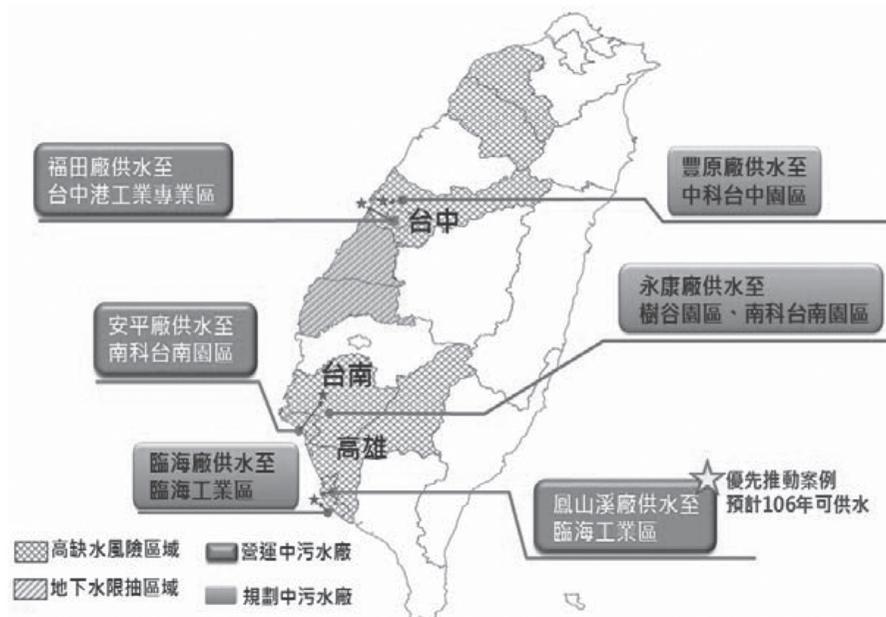


圖 11 6 座再生水廠示範推動案例位置圖

外)用水或澆灌、冷卻、沖廁等次級用水，須優先使用再生水或海淡水等新興水源作為中長期水源，並依使用者付費原則負擔用水成本。

統計現況生活污水再利用量約每日3萬噸，工業自廠回收再利用每日約39萬噸，每日共計42萬噸。未來配合工業用水整體回收率由現況69.8%提升至80%及生活污水

回收利用，合計以每日132萬噸(約為自來水總供水量12%)作為未來長期願景目標(如圖12)。就相關法令配套部分已研提「再生水資源發展條例」(草案)，經行政院通過後送立法院審議中，如能儘速完成立法，將可讓寶貴的水資源多次使用，提高水資源利用效率。

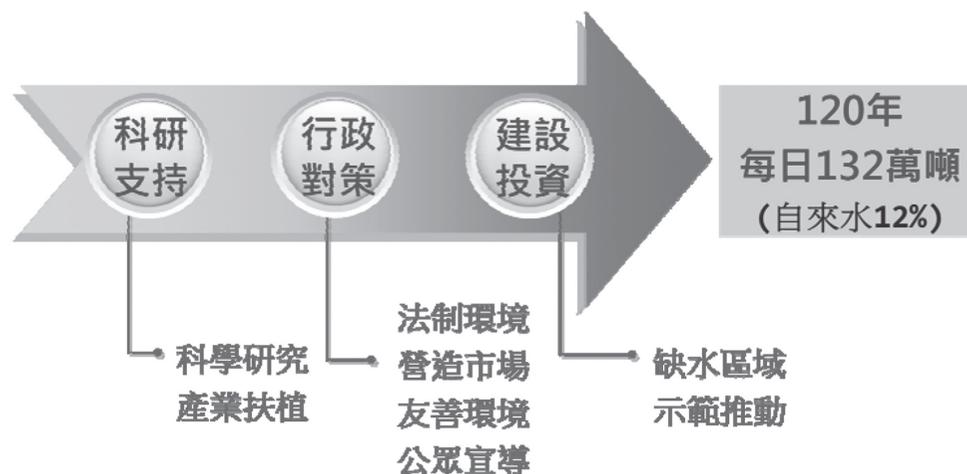


圖 12 水回收再生之配套措施及目標

2. 海水淡化

目前臺灣離島地區已有18座營運中海水淡化廠，政府並刻執行「大金門海水淡化廠功能改善暨擴建工程」及「馬公增建4,000噸海水淡化廠」2項計畫。

至於臺灣本島地區則已陸續辦

理5座海淡廠規劃(如圖13)，惟因海淡成本高於現行自來水水價，現階段供水對象係以高缺水風險地區之自來水系統及高產值科技產業為主，除建設成本外並以使用者付費原則由台水公司或工業區開發單位(或用水人)負擔後續營運費用。

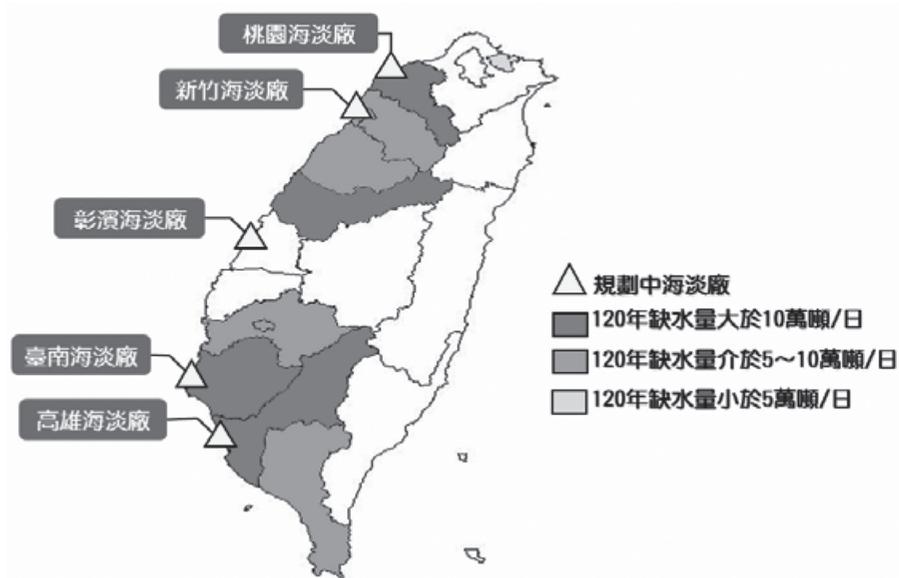


圖 13 臺灣本島規劃中海水淡化廠

3. 伏流水

近年來傳統攔河堰原水高濁度現象頻繁，影響正常取水量及區域供水穩定度。因伏流水具有可取得較潔淨水源之優勢，又國內外伏流水工程在集水管使用材質、設施維護管理及反沖洗技術上已有提升，因此，水利署近年來積極推動如高屏溪（竹寮、翁公園、大樹）伏流水開發等工作，以期能更全面及有效運用伏流水取水之優勢。

惟伏流水與地面、地下水之關係密切，以伏流水取水設施取河道下之伏流水，其供水能力在枯水期間會因河川流量減少而受影響，且取水後可能影響鄰近地下水位或鄰近取水設施，故須考量合法水權人之用水權益及對環境之影響。因此

，新增之伏流水設施於供水定位上，多以豐水期備援供水為主以因應高濁度情況，若要作為長期常態供水，未來須進一步配合鄰近地下水位觀測井監控水位（或河川流量監控），以避免伏流水抽取時造成鄰近地下水位下降過大的情形發生。

4. 傳統水資源開發

除透過前述節流手段降低用水需求及積極開發再生水、海淡水及伏流水等新興水源外，為確保各區域供水穩定及因應未來用水成長需求，政府已持續檢討推動如鳥嘴潭人工湖、湖山水庫等地面水及高屏地區地下水等傳統水源開發工作，期增加穩定供水潛能。

五、水資源願景

為因應氣候變遷對於水資源穩定供應之衝擊，在前述水資源經理四大策略下，將以120年農業用水122.2億噸(節

水約5億噸)、工業用水19億噸(含使用再生水3億噸)、生活用水30億噸以下(節水4億噸)為我國水資源願景。(如圖14)

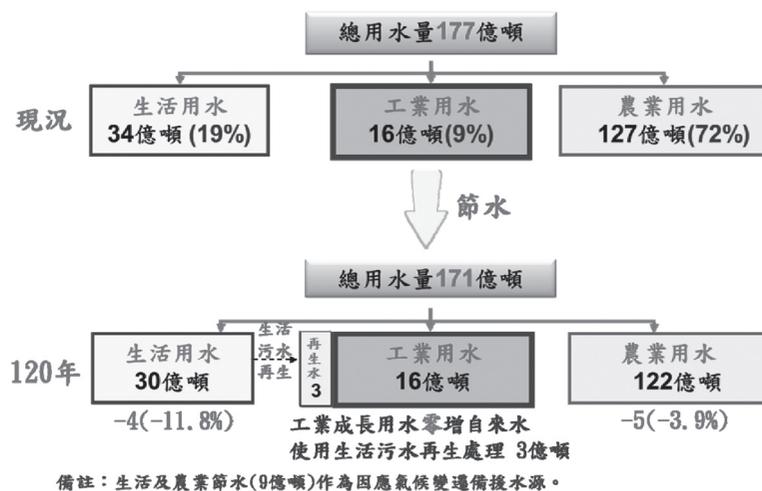


圖14 臺灣用水結構願景圖

六、結語

臺灣地區降雨量雖多，但由於人口密度高、地形高差大及降雨豐枯不均等特性，再加上近年來因氣候變遷的影響愈加明顯，颱風高強度降雨事件及枯旱事件交替愈發頻繁，我們居住的臺灣面臨了水太多、水太少、水太濁等水課題。

為能降低前述課題可能引發的供水風險，政府各相關單位將以「節約用水」、「彈性調度」、「有效管理」及「多元開發」等四大策略為基本方略，朝

具體量化目標積極共同推動，尤奉行政院毛院長指示，以「節約用水常態化」、「清淤最大化」及「工業優先利用再生水」等三大水源重點工作，共同邁向未來生活、農業持續節水，工業成長用水零增自來水的願景，以穩定我國水源之穩定供應，奠定國家永續與社會經濟持續發展的基礎。

水資源調配系統思維與地下水庫

張良正
國立交通大學土木系 教授

一、前言

絕大部分的水利人皆知，台灣易發生強度大而集中的降雨，加上河川陡急，以致容易發生洪泛，而降雨的時空分布不均、短而急的河川使水資源容易流失，加上人口密度高等，卻又使台灣容易發生乾旱，亦即台灣地區同時具有水太多及水太少的問題。另外，陡急的河川加上脆弱的地質與高強度雨量，使的台灣地區又易發生山崩及土石流等，這種種不利的自然條件，使的我們要安居樂業在這片土地上，必需要投入龐大的資源與努力。

乾旱問題為水資源調配所必須面對的問題之一，在臺灣的自然條件下要滿足用水的需求，大量的水利設施是必須的，而水庫更是其中的關鍵，目前台灣地區供水有關之水庫約40座，水庫總有效容量約為20億噸，每年必須供應

約44億噸水量，平均每座水庫年運用次數需超過2次以上才能滿足需求，其中曾文水庫年運用次數為2.3次，而石門水庫甚至超過4次。由此可看出，整體而言台灣水庫的負擔是相當重的，此種高運轉次數，不但考驗著水庫操作，更使水資源供應的穩定性，在面對水文不確定時相對脆弱。

民國103年10月至104年2月間，台灣地區降雨量創下臺灣地區有完整降雨記錄67年以來最少的一年，期間經濟部曾召開中央級跨部會之「旱災災害緊急應變小組」工作會議，並決議移調用農業用水，第一期稻作部分區域辦理停灌作業並給農民適當之補償。表一為各停灌地區及面積，停灌範圍包含桃園、新竹、苗栗、臺中及嘉南等5個農田水利會部分灌區，停灌面積共4萬3,659公頃。

表 1 104 年第一期稻作公告停灌面積

農田水利會	停灌區域	停灌休耕面積 (公頃)	備註
桃園	大漢溪流域	22,677	104.1.9 公告
新竹	鳳山溪及頭前溪流域	4,606	104.1.9 公告
苗栗	明德水庫	1,175	103.12.31 公告
	中港溪流域	2,083	104.2.14 公告
臺中	大安溪北岸灌區	4,625	103.12.31 公告
嘉南	曾文-山頭水庫 嘉義地區(含白河水庫)	8,493	104.1.9 公告
總計		43,659	

(資料來源: 104 年農業抗旱應變措施及停灌補償, 中華水資源會刊 17 卷 1 期)

另外為因應此次乾旱, 台灣自來水公司亦自 103 年 11 月 27 日起陸續對新北、桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、雲林、嘉義、台南及高雄等 10 個地區

實施各階段限水措施, 直至 104 年 6 月 8 日才完全解除限水措施, 表 2 為各階段分區限水實施期程。

表 2 自來水公司應 104 年乾旱各階段分區停水時程表

限水地區	第一階段限水	第二階段限水	第三階段限水
新北市板新地區	103.12.8~104.2.25 104.5.22~104.6.7	104.2.26~104.4.7 104.5.12~104.5.21	104.4.8~104.5.5 分區輪流供水
桃園	103.11.27~104.2.25 104.5.22~104.6.7	104.2.26~104.4.7 104.5.12~104.5.21	104.4.8~104.5.5 全區定時停止供水
新竹	103.12.1~104.2.26	104.2.26~104.5.21	—
苗栗	103.12.1~104.2.25 104.5.22~104.6.7	104.2.26~104.5.21	—
台中(含北彰化)	103.12.1~104.2.25 104.5.22~104.6.7	104.2.26~104.5.21	—
南彰化	104.2.26~104.5.21	—	—
雲林	104.2.26~104.5.21	—	—
嘉義	104.2.26~104.6.7	—	—
台南	103.12.1~104.2.25 104.5.25~104.6.7	104.2.26~104.5.24	—
高雄	103.12.8~104.2.25	104.2.26~104.5.24	—

(資料來源: 104 台灣西部地區旱災期間自來水公司之因應作為, 中華水資源會刊 17 卷 1 期)

前述相關單位的應變措施可看出乾旱的嚴重性，其中經濟的損失及生活的不便乃是必然，而此種乾旱情形隨著氣候變遷導致之豐枯加劇，後續必然會再發生，而水庫的大量淤積將使情況更為嚴峻，表3為台灣重要水庫淤積情形，由表中可知除翡翠水庫外其餘超過億噸

庫容的7座水庫中，有6座的淤積量已超過庫容的1/4，其中曾文水庫淤積37%、石門水庫淤積33%皆已超過1/3。面對此種嚴峻的挑戰，本文特從基本的系統規劃面至實質的應對策略進行探討與建議，希望能有拋磚引玉之效。

表3 重要水庫淤積一覽表 (資料來源: 水利署)

水庫名稱	原庫容 (10 ⁴ m ³)	目前庫容 (10 ⁴ m ³)	淤積率
曾文水庫	74,840	47,331	37%
石門水庫	30,912	20,669	33%
德基水庫	26,221	19,485	26%
日月潭水庫	17,162	14,359	16%
南化水庫	15,805	9,793	38%
烏山頭水庫	15,415	7,982	48%
霧社水庫	14,860	4,727	69%
牡丹水庫	3,118	2,679	14%
仁義潭水庫	2,911	2,712	7%
白河水庫	2,509	970	61%
阿公店水庫	1,837	1,669	9%
明德水庫	1,770	1,285	27%
澄清湖水庫	530	393	26%

二、水資源調配之系統思維 - 緊急應變與長期方案

基本上水資源設施或方案皆是長期性的措施，多數的水資源設施其供水能力，受水文變化之影響而變化，此使得水資源系統之供水穩定度有一定的不確

定性。圖1所示為區域水資源系統需求與供水方案關係示意圖，圖中黑色實線為用水需求量，藍色實線為長期(常態性)方案供水能力，一般長期方案除海水淡化及污水回收外，其他如水庫或攔河堰等之供水能力，皆會直接受水文豐枯的影響而有季節性變化，若遇乾旱時

期則如圖所示，其供水能力將大為降低而發生缺水情形，不足之缺水量則需由緊急應變方案處理，對此情形之另一種選擇，為增加系統長期供水能力，如圖中虛曲線所示，進而降低在乾旱時之缺

水量，而不足之缺水量再由緊急應變方案處理。圖中供水能力有時會超過需求量，此時系統將僅供應需求量而不會超額供水。

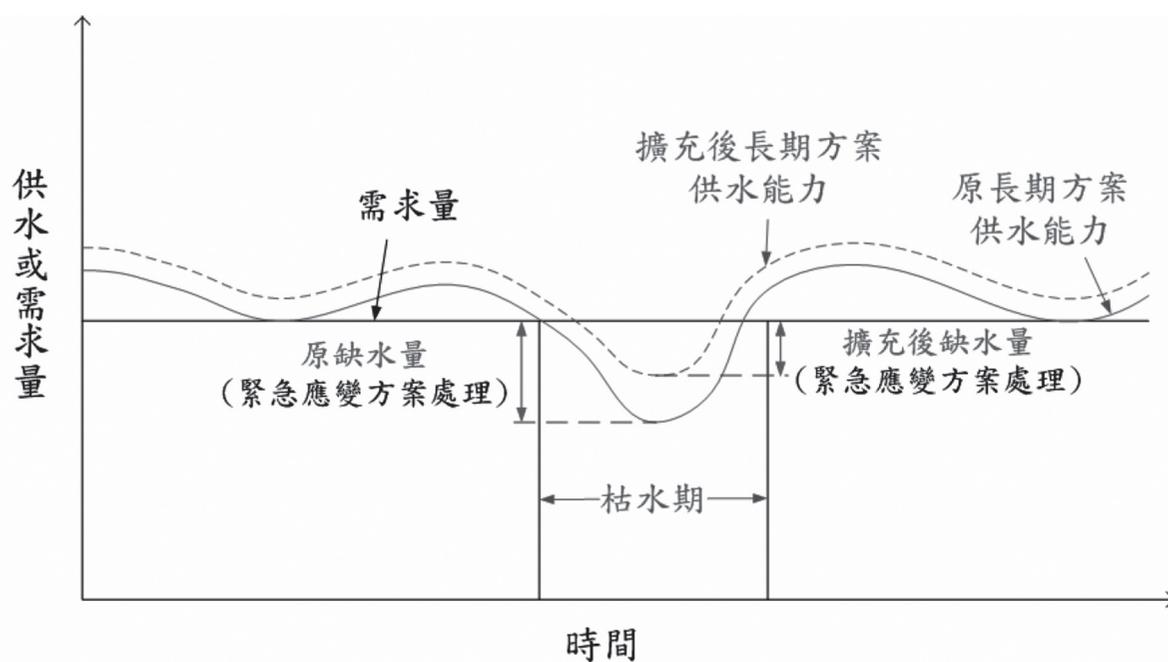


圖1 區域水資源需求與供水方案示意圖

另外，由圖1可看出，若長期方案供水能力大，則將來的緊急應變方案之供水量即可較小，反之亦然。因此，此兩種方案可互相替代，若欲得到整體性的合理方案組合，應將此兩種方案同時考量。長期方案一旦實施則固定成本即已產生，另外其供水能力雖會受水文豐枯影響，惟其營運成本變化不大，總而言之，長期方案一旦採行其成本即存在且較易估計。緊急應變方案則視方案的性質，可能需有一些基本措施及成本以支持未來方案的執行，惟其多數的成本

將在方案實施時產生，因此緊急應變方案的實施，乃視乾旱是否發生而定，因此其發生乃是不可預期，亦即其成本帶有隨機性，而這也是緊急應變方案與長期方案最大的不同。以往因為前述兩種方案成本發生本質上的不同，多是各自規劃分析而鮮少同時考量，若欲將此兩種方案同時考量，必須先有一個共同的成本計算基準。

在水資源規劃分析時，任何方案的選擇皆必須以長期的角度去衡量。就成本計算而言，前述長期方案成本的估計

較為單純，以一般的方式計算即可，惟緊急應變方案由於其發生的隨機性，因此若欲將緊急應變方案亦視為未來方案的選擇之一，則必需找出一種共同意義的”長期”標準，去衡量緊急應變方案長期而言所需付出的長期成本，如此才能將此兩種方案同時考量。欲考量具隨機性的緊急應變方案之長期成本，可以統計上的期望成本計算之，而長期方案之期望成本，較簡單的方式可以將其發生機率視為1，即若選擇某一長期方案則其成本必然發生，如此則長期方案及緊急應變方案皆可以在”期望成本”的

基礎上一同衡量。

為進一步說明此種觀念，茲以本人所執行的(石門水庫調蓄潛能檢討及跨水系經營策略規劃，北區水資源局，民國104年)成果為例進行說明。該計畫以大漢溪流域為研究範圍，主要供應桃園及板新地區之公共用水與石門及桃園水利會農業用水，大漢溪系統調配圖示如圖2。大漢溪水源運用原則考量「板新地區供水改善計畫二期工程」完工後，板新地區改由新店溪供應，若有不足再由大漢溪支援，在不考量水庫淤積影響下進行最佳水資源方案組合分析。

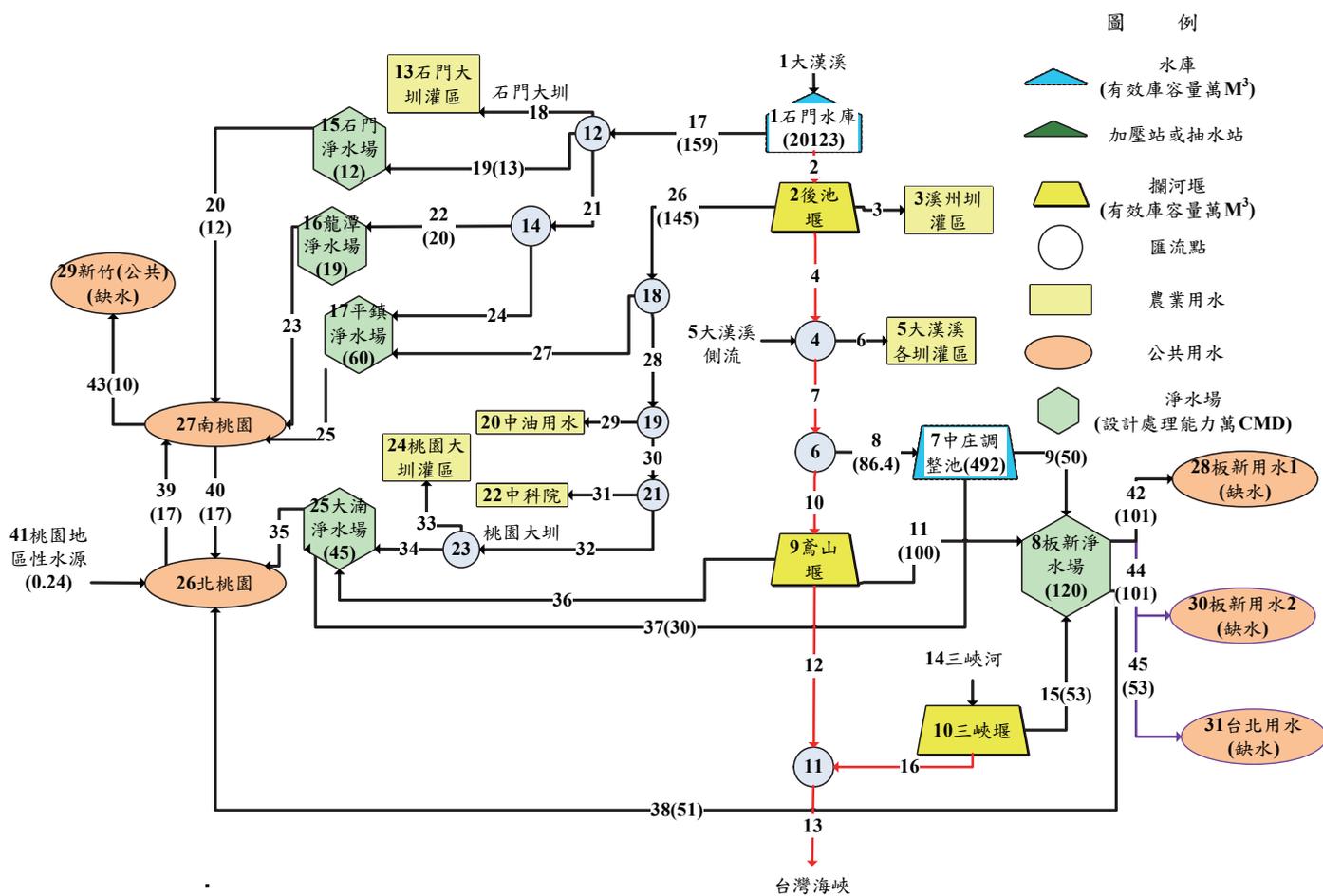


圖2 桃園地區水資源系統圖

表 1 桃園地區可能之長期及緊急應變方案

方案		年計成本 (百萬元)	增供水量或節省水量 (萬 CMD)	
長期 方案	高台水庫	1,411	34.80	
	石門水庫集水區治理	496	2.49	
	石門水庫庫區排砂隧道	357.8	1.49	
	航空城埤塘活化	29.3	1.60	
	桃園航空城 雨水貯集設施	6.7	1.33	
方案		單位成本 (元/立方公尺)	最大增供水量或節省水量 (萬 CMD)	
緊急 應變 方案	水車備援	150	0.88	
	休耕停灌	31.96	石門水利會	19.45
			桃園水利會	33.91
	加強灌溉管理	15.96	石門水利會	4.86
			桃園水利會	25.43
	第一階段限水	1.07	7.09	
第二階段限水	39.38	14.18		

該區規劃中之各種可能的長期及緊急應變方案如表 4 所示，此計畫目的為如何在表 4 的各種方案中，找出那些方案的組合，是最好的選擇(期望成本最小)。此問題的目標函數可表示為：
 最小期望成本 = Min(長期方案成本+緊急應變方案期望成本) (1)

(1)式的計算可分兩大步驟，第一步驟中，緊急應變方案期望成本的計算，需先計算各緊急應變方案實施的機率，而緊急應變方案乃因應乾旱缺水而啟動，因此其執行機率即是缺水機率，而此缺水機率則可由水量調配模式，模擬在現況系統(未加任何表 4 之方案)下所得結果，再經統計分析而得(圖 3、缺水

事件發生機率圖)。圖 3 中之缺水事件乃是由缺水天數及缺水率共同定義，即不同的缺水天數及缺水率定義不同的缺水事件，由圖中可看出多數缺水事件之缺水率皆小於 1%。接著第二步驟，由(1)式計算出具最佳期望成本的方案組合，(1)式最佳方案組合的計算，在前述研究中，乃是以線性規劃求解。表 5 即是桃園地區最佳的方案組合，其建議的最佳方案組合中，長期方案為航空城埤塘活化、航空城雨水貯集設施，其搭配的緊急應變方案則可採用一階及二階段限水與加強灌溉等措施。

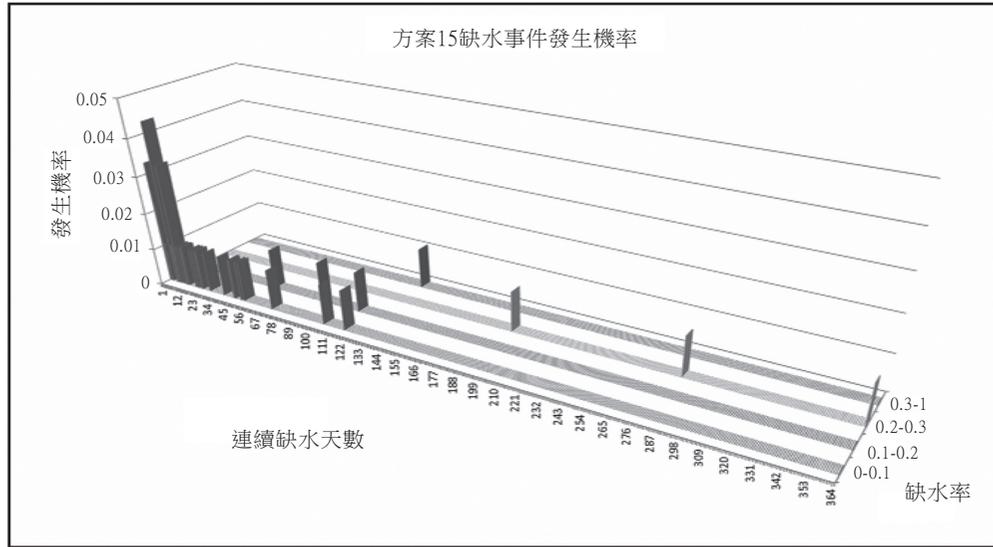


圖 3 缺水事件發生機率圖

表 5 桃園地區水資源系統最佳方案組合

方案別		採用與否 (Yes or no)	增供(或節省)水量 (萬 CMD)	期望年計成本 (百萬元/年)
長期 方案	高台水庫	N	-	-
	石門水庫集水區治理	N	-	-
	石門水庫庫區排砂隧道	N	-	-
	航空城埤塘活化	Y	1.6	29.3
	航空城雨水貯集設施	Y	1.33	6.7
	合計	-	2.93	36
方案別		缺水發生時之 啟用次數	期望增供(或節省)水量 (萬立方公尺/年)	期望年計成本 (百萬元/年)
短期 方案	第一階段限水	31	149.55	1.60
	第二階段限水	30	119.62	47.11
	水車備援	-	-	-
	停灌休耕	-	-	-
	加強灌溉管理	4	251.66	40.17
	合計	-	520.84	88.87
最佳方案組合(含長、短期)之 期望年計成本(百萬元/年)		124.87		

三、地下水(庫)管理的再省思

前述內容為說明一個區域水資源系統整合性規劃的概念，以下將說明及建議一個一直以往被誤解及不夠重視的可能方案，即地下水(庫)的永續運用。如前所述，台灣地區地質的沖蝕及沉積劇烈，且河川含沙量高，使的地表水工結構物壽命短及維護成本高，惟在此同時，卻也造就了台灣地區多個豐厚的地下含水層。亦即台灣的水文及地質環境在造成災害之餘，亦給予我們寶貴的資產。

惟這些寶貴資源的利用，必需有良好的規劃與管理，才能永續利用不造成災害，以往雖然地下水的供水不少，佔全國所有供水量的1/3，但是相關單位對地下水管理上的投資，相對於地表水而言並不成比例，以致部分地質條件不宜大量抽水的地區，產生超抽而造成地層下陷等災害。經過多年來相關單位對地層下陷的宣導，目前在一般人的觀念中，使用地下水已等同破壞環境的行為，而持反對的態度。事實上，不管是以前的「濫用」至目前的「不用」都是不正確的作法，都未能善用大自然給予我們的寶貴資產。

目前與地下水使用有關，且較為一般人可接受的，為「伏流水」的開發，為能順利推動，避開一般人對使用地下水的刻板觀念，相關單位將伏流水定義為地表水。事實上，伏流水仍是淺部循環且與河川密切互動的地下水，它的使

用確有其優點，惟其僅限於河床附近，對於大區域系統化的管理使用地下水仍有其限制。至目前為止，國內對地下水的使用，大都為鑽井取水及少數以廊道或寬口井等取用河床下的地下水，並無以流域為範圍的大型地下水使用管理的計畫實施。因此本文在此簡單介紹全世界最著名的地下水營運管理範例，美國加州橘郡的地下水管理，以為國內地下水管理之參考與借鏡。

加州橘郡地下水管理單位為「橘郡水管理區」(Orange County Water District)，如圖4所示，整個橘郡地下水區面積約700平方公里，而地下水供應了整個郡二百四十萬人約70%的用水。在此區域內約有200口深度約300至400公尺之抽水井，全區約有500口地下水位觀測井。

圖5顯示加州橘郡地下水主要之地表人工補注區位於東北部區域，由地下水位線可看出地下水主要由東北往西南太平洋海岸方向流動。圖6為以河床進行人工補注之地表補注設施照片圖，為延長地表水流徑增加入滲量，特在河床中修築T及L型的土堤。圖7則為人工補注池，需定期清理以維持入滲率。

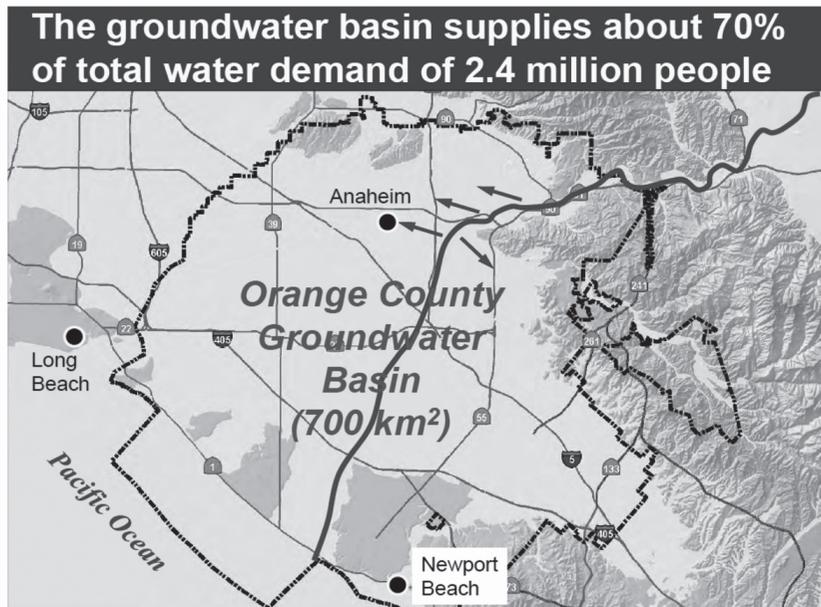


圖 4 美國加州橘郡地下水區圖

(資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)

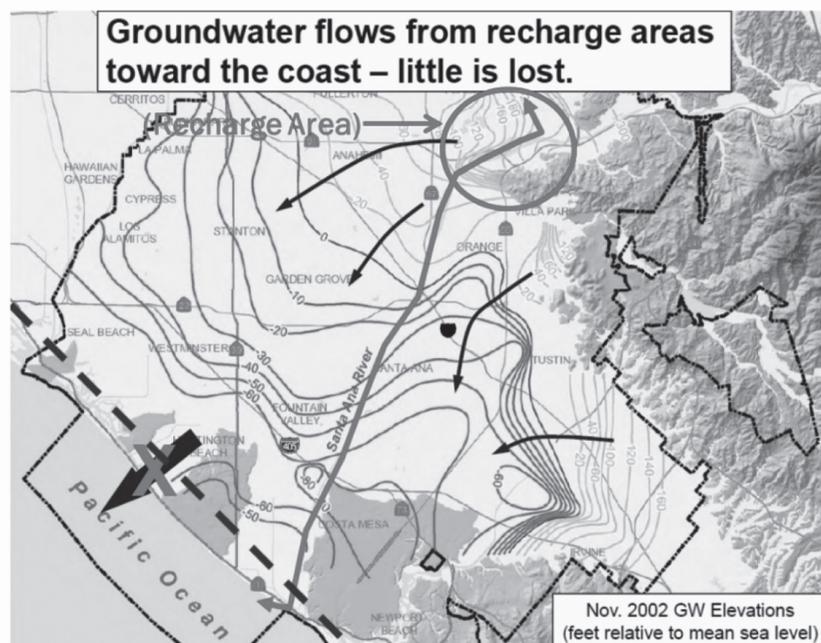


圖 5 加州橘郡地下水主要地表人工補注區位與地下水位圖

(資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)



圖 6 加州橘郡河床地下水補注設施照片圖

(資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)

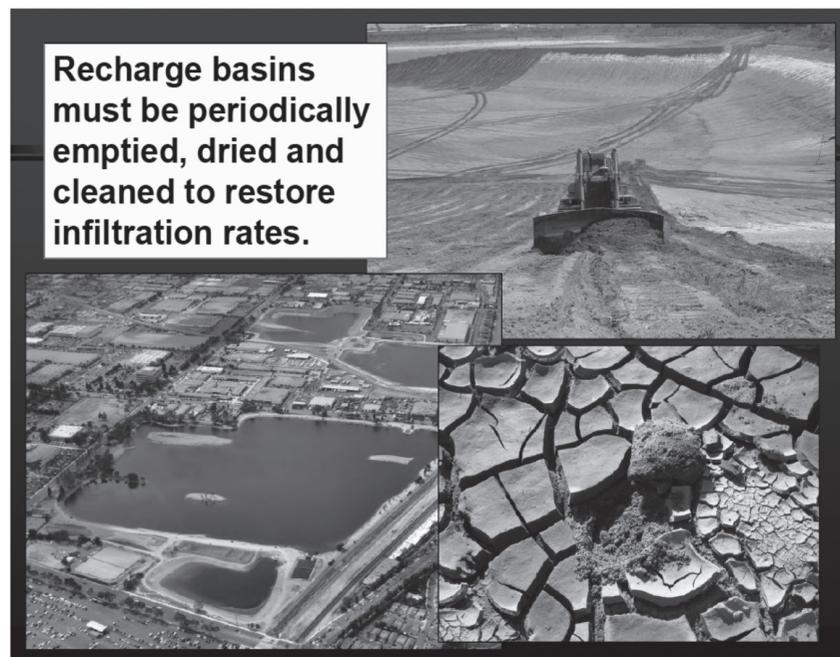


圖 7 加州橘郡地下水人工補注池照片圖

(資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)

圖8為從上游東北部至下游西南沿海走向的含水層剖面示意圖，剖面圖之右邊為地下水區之上游，左邊則為地下水區下游海岸區，從圖上可看出，上游補注的地下水提供中下游地區水井之抽

水，在系統長期平衡的原則下，人工補注的地下水恰可提供地下水的使用。圖9為該區長期的地下水蓄水量變化，圖中顯示早期此區亦曾因大量抽水而使地下水蓄水量(地下水位)大為降低，亦可

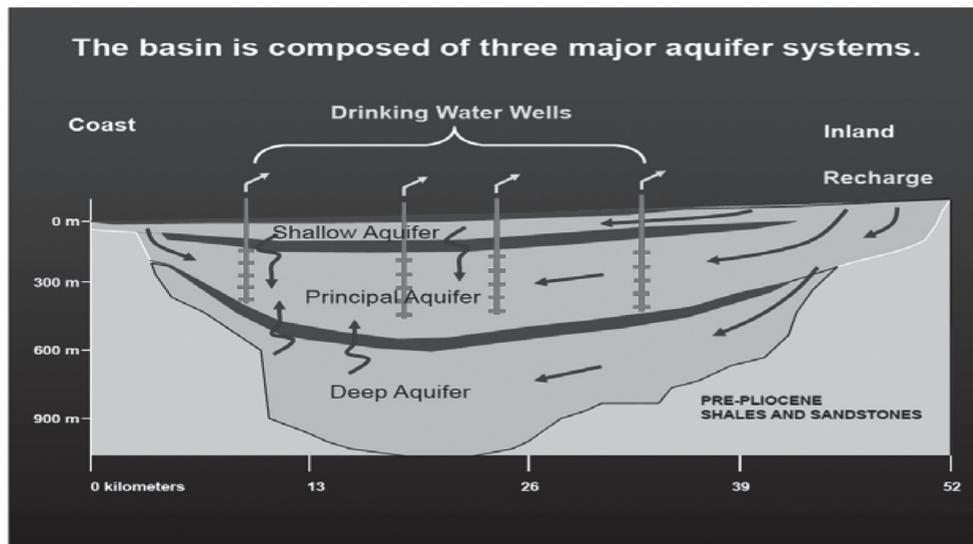


圖8 加州橘郡地下含水層剖面示意圖

(資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)

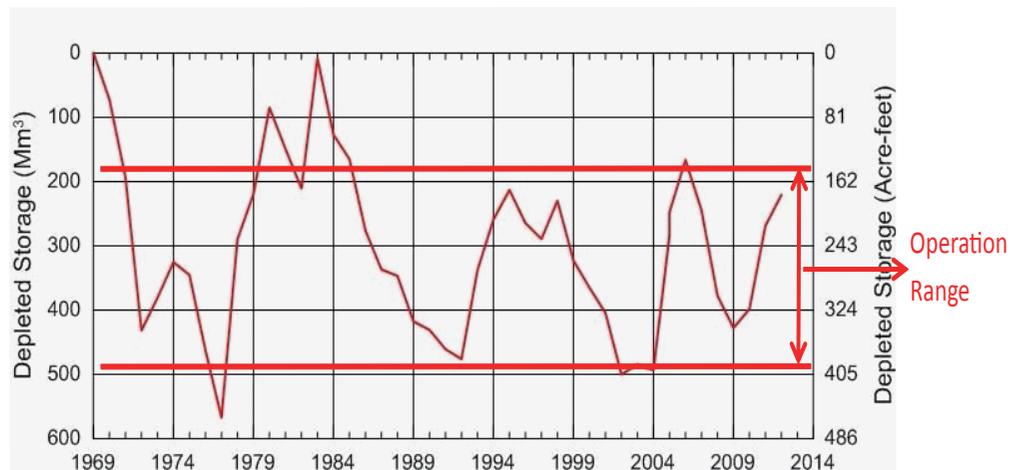


圖9 加州橘郡地下水庫容量(水位)變化示意圖

(資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)

能造成地層下陷等災害，惟相關單位並未因此而放棄地下水之使用，反而更積極的投入地下水的管理，在防止地下水位進一步長期下降的原則下，積極使用的含水層空間(地下水庫)進行水量的調配，圖中之操作空間(Operation Range)即為可使用的儲存空間(庫容)，此操作空間亦可對應至可操作的地下水位範圍(管理水位)。

一般而言，海岸地區常是沖積平原下游，因此細顆粒多而常有泥層沉積，橘郡海岸亦大致如此，惟部分區域因地層活動而有間隙(Gap)存在(圖10)，若

陸地地下水位低於海平面，則海水可從此間隙處入侵至內陸含水層，因此除了上游的地表補注設施外，在西南部下海岸地帶的間隙區域，為防止海水入侵，「橘郡水管理區」在海岸間隙區域，以一系列的補注井形成水力屏障(Hydraulic Barrier)，防止海水入侵(圖11)，圖11中綠色地區即為補注井位置。圖12則為海岸地區補注井設立剖面示意圖，由於內陸地區地下水位較水力屏障的地下水位低，補注下去的地下水流向內陸地區再被抽取使用。

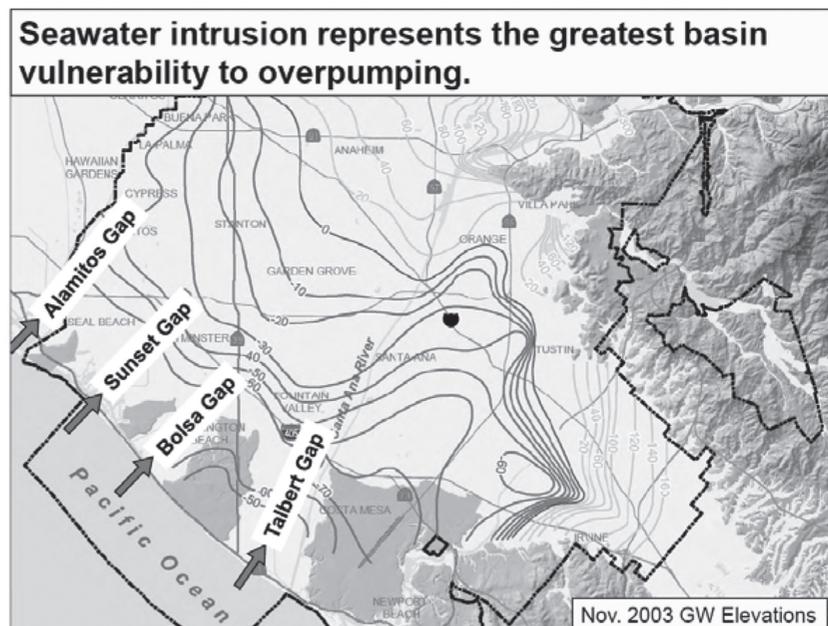


圖 10 加州橘郡海岸發生海水入侵之間隙地區

(資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)

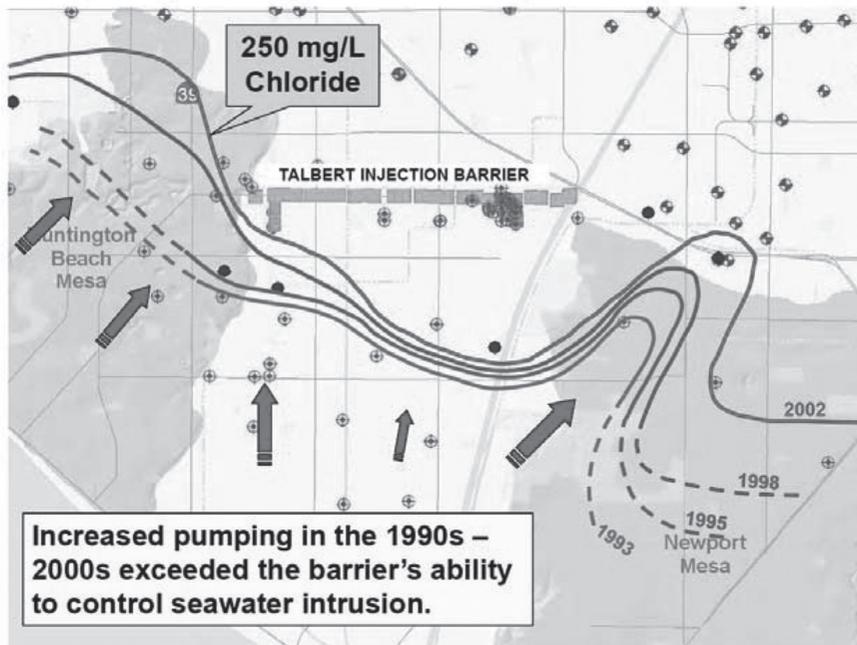


圖 11 加州橘郡海岸間隙地區之水力屏障位置示意圖
 (資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)

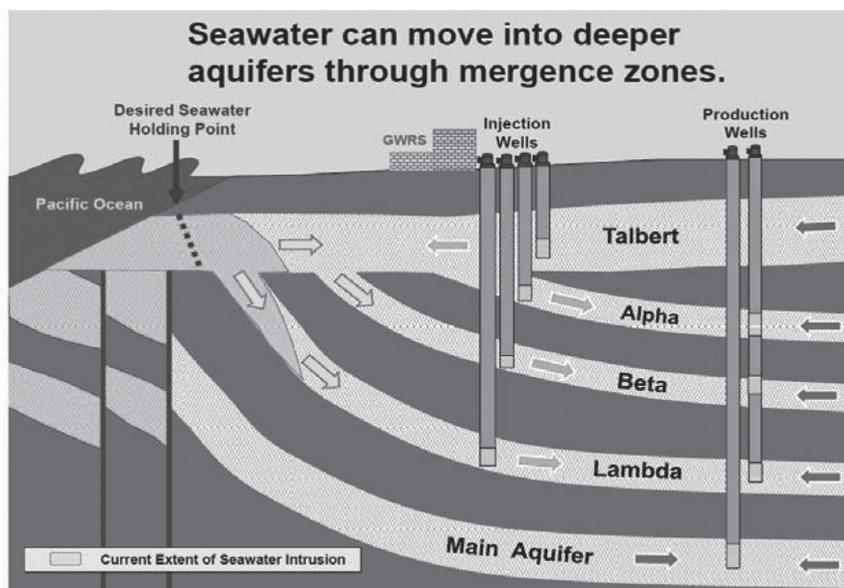


圖 12 加州橘郡地下含水層海岸地區剖面示意圖
 (資料來源: 簡報資料, Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015)

橘郡地下水營運的精神為「橘郡水管理區」主要在進行地下水的補注及管控，而地下水的抽用則由私人或市政府進行，每口抽水井必需依抽水量大小向「橘郡水管理區」繳納水費，目前每噸水約0.36美金，而這些費用專款專用維持著整個系統的營運。從另外的角度而言，「橘郡水管理區」為地下水的供應商，透過整個地下含水層配合補注供應地下水，而其他用水者包括私人及市政府則為其客戶，透過自行抽水使用地下水，並向其繳納費用，其地下水的使用費並不高，顯示其管理效率高，就管理角度而言，專款與專責是其成功的關鍵。

四、結論

水資源系統調配在面臨重大乾旱時，實務上已經在進行各種緊急調配方案，以度過缺水難關，因此，就長期而言緊急調配已是整體水資源調配之一部分，且緊急調配方案與長期方案存在競爭關係，亦即若可接受較大規模且實施較頻繁的緊急方案，則長期方案的容量可較小，反之亦然。惟以往在規劃實務上，由於緊急調配方案的實施乃因應乾旱而生，其發生時機不定，成本計算與長期方案不同，因此並未將其與長期方案一起考量。本文建議以期望成本的方式將兩者一起考量，不但原則上可獲得較成本上較合理的方案組合，且可更清楚的了解，就區域水資源調配長期規劃的

角度而言，各種不同方案的角色與定位。

台灣地區水文與地質的變動頻繁，沖蝕與沉積活動劇烈，因此地表水工結構物壽命短且維護成本高，目前多數水庫淤積嚴重，此種大自然的現象，並不易以人力扭轉。惟在此同時，大自然亦給予台灣地區寶貴的地下水資源，若以前述長期方案與緊急調配之系統觀點而言，地下水視其地質條件可同時為長期方案或緊急應變方案。雖然過去對地下水大多僅是抽水使用，而未有良好的管理，導致一些問題的產生。惟解決之道應是加強管理而非僅是管制而已。以加州橘郡地下水管理為例，其過去亦有地下水超抽的問題發生，惟其相關單位並未因此而僅是限制地下水的使用，反而投資更多的設施進行更高強度的管理與運用，在良好的管理下，不但解決超抽的問題，更提供了相對穩定而經濟的水源，雖然客觀條件不同，不能照單全收，其地下水庫的許多管理作法足以為我們借鏡與學習。

五、參考文獻

- 1.北區水資源局，石門水庫調蓄潛能檢討及跨水系經營策略規劃，民國104年。
- 2.水利規劃試驗所，整合性水資源經理方案決策模式研究(1/3~3/3)，民國100~102年。
- 3.經濟部水利署，「北部地區水資源供應風險管理機制探討與建立-總報告」，民國100年。
- 4.經濟部水利署，「台灣北部區域水資源經理基本計畫」，民國98年。
- 5.104年農業抗旱應變措施及停灌補償，中華水資源會刊17卷1期。
- 6.104年台灣西部地區旱災期間自來水公司之因應作為，中華水資源會刊17卷1期。
- 7.簡報資料，Manage the orange county groundwater basin, Tim Sovich, 2015

臺灣乾旱防災應變能力探討

童慶斌

國立臺灣大學生物環境系統工程學系 教授

李明旭

國立中央大學水文與海洋科學研究所 教授

生活在洪水與乾旱頻繁的臺灣，我們有許多災害的經驗，也根據此經驗建立有效的防災措施，但我們真的準備好面對未來的挑戰了嗎？旱澇交替雖是自然現象，但氣候變遷可能激化變化的幅度與頻率。有更極端降雨導致淹水，就可預期有更嚴重之乾旱可能發生。乾旱問題除了缺水量嚴重程度外，另一個重點是會缺水期延續多久。面對未來極端天氣的挑戰，我們應該思索過去的防災經驗是否足夠，是否做好面對更嚴峻的挑戰。2002年北區的乾旱事件達到第三階段限水，促使政府與科學界針對乾旱預警與應變程序與措施進行研究，因而建立適當的應變機制，也順利解決隨後發生的乾旱問題。2015年的乾旱與2002年相似，且有更加嚴重之勢，應變措施亦面臨更嚴峻的考驗，不禁思考我們準備好了嗎？美國加州在2015年還在處理已經連續四年的嚴重乾旱，而且在2015

年末雖然預期有強聖嬰效應，但對結束乾旱仍然不樂觀。我們準備好面對跨年或多年的連續嚴重乾旱了嗎？

一、臺灣之乾旱經驗

臺灣近年來分別在2002年、2003年、2006年、2011年、與2015年發生乾旱，對不同地區帶來顯著的衝擊（如表一所示），但水利單位對處理乾旱問題已有相當經驗，所以在採取適當因應措施下，多能有效化險為夷，表現優良的抗旱能力。然近年來乾旱頻率增加，強度亦有增加的趨勢，臺灣是否瞭解未來可能的極端乾旱事件？是否已做好充分的準備？2015年初開始的乾旱一路提高抗旱措施的強度，北部部分區域在4月初進入第三階段限水，採取供水五天停水二天之減供措施。南部地區於四月下旬宣布5月初也將採取第三階段限

水，但因即時降雨，解除旱象，供水恢復正常。根據經濟部分析若減供30%，則新竹科學園區產值將減少50%，其影響十分重大。

根據水利署網站資料顯示2001年11月北部地區因降雨量偏少，約僅歷年同時期平均值之33%左右，各河川流量亦同時減少，加上2002年4、5月梅雨季節並無有效降雨適時補充河川及水庫水源，遂造成2002年北部地區發生乾旱。2015年之乾旱亦是肇始於2014年秋冬低於過去67年之降雨量，圖一顯示在2014年7月累積到11月雨量比歷史平均減少約750mm（60%），可預期此累積雨量會顯著影響後續春季的基流量。雖然春雨與年初水庫水位都還算正常，但隨後入流量的不足，導致水庫水位急速下降，如圖二所示。兩次的主要乾旱事件均導因於前一年秋冬的雨量不足，進而影響來年春季之河川流量。集水

區水文特性說明不降雨或少雨時，河川流量主要來源為淺層地下水排出之基流，而淺層地下水儲存量則受前幾個月之降雨入滲補注。秋冬季節之降雨量過低，即易導致隨後春季之流量不足。根據水利署報告（2011）美國採取的乾旱預警指標包括降水量、地下水水位、河川水位、與水庫水位，但臺灣乾旱管理決策時一般以參考當期河川水位與水庫水位為主，但如此就無法反應之前降雨可能對河川流量之影響。如2013年11月石門水庫水位接近下限，就開始啟動旱災應變小組，但水位還在較高位置，並未因為累積雨量減少60%而馬上採取積極管制措施，導因於缺乏過去累積降雨減少對未來入流量之衝擊影響。此外，在乾旱時期地下水可做為備用水源，但如無將地下水水位納入預警考量，可能會過度樂觀地下水的可供水量，也會對未來帶來長遠之影響。

表1 近年主要乾旱事件彙整

年度	應變小組 最早成立時間	旱災結束	限水階段	發生地點
2002	2/20	7月	第三階段	北部地區 (臺北、桃園、新竹、苗栗)
2003	3/4	9月	第二階段	北部地區
2006	2/16	7月	第二階段	桃竹苗地區
2011	2/21	5月	第一階段	北部與中部地區 (板新、桃園、新竹、苗栗、 臺中及彰化地區)
2015	103年底	5月	第三階段	新北市(板新、林口)、 桃園、新竹、苗栗、臺中、 彰化北部、臺南及高雄

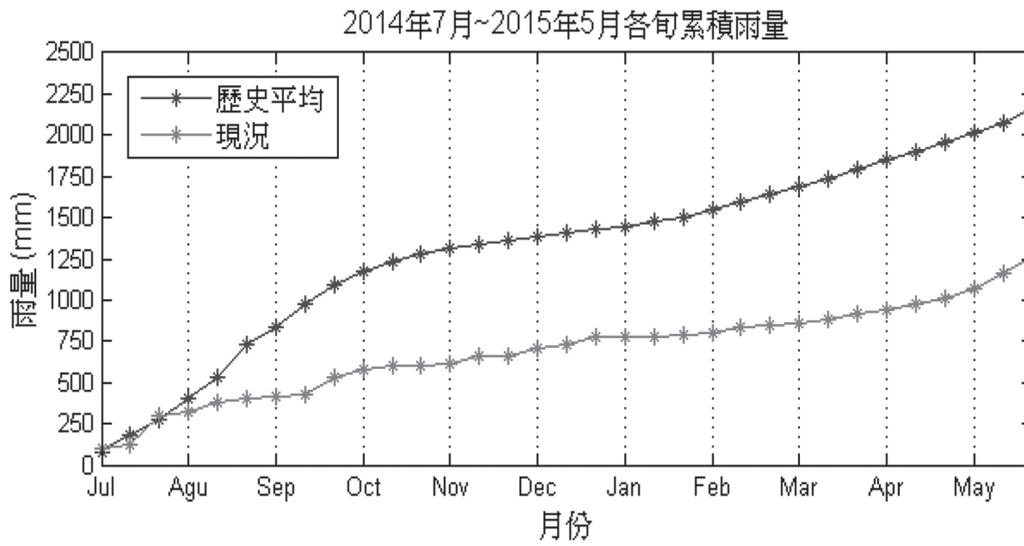


圖 1 石門水庫集水區累積雨量

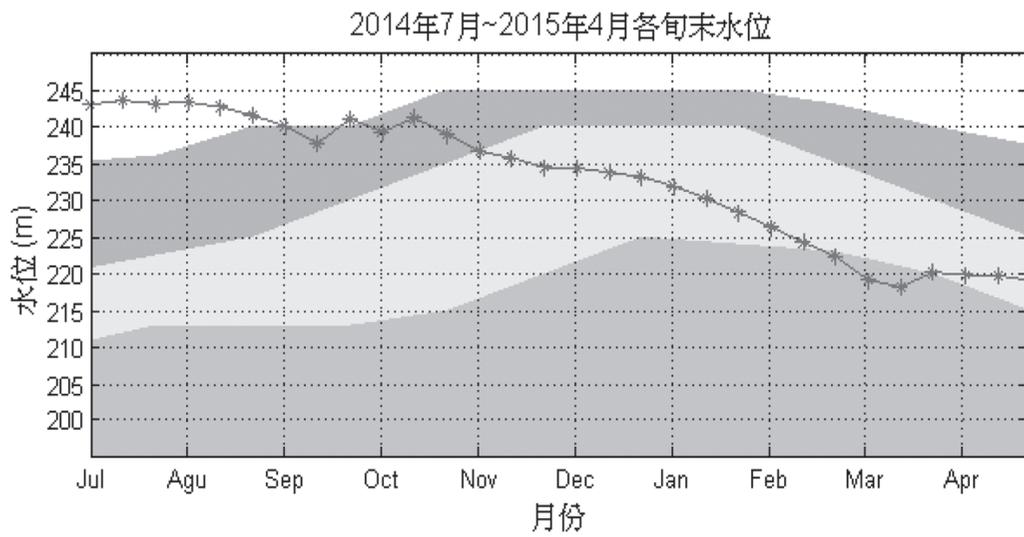


圖 2 石門水庫水位變化

二、美國加州之乾旱經驗

美國加州在 2015 年末已遭受連續四年的乾旱，受到影響的層面十分廣泛。農業生產是加州非常重要的經濟來源，然農業對乾旱的敏感度相對高。所以這些年來加州農業生產因為乾旱受到嚴重的衝擊，農民生計受到顯著影響，州政府還編列預算補貼；另一方面，州政府在財稅的收入也大受影響，對社會經濟發展也帶來影響，如許多州立大學的人事與經費受到顯著消減，其影響的是加州後續解決問題的研究能量與人才培育品質的下降。此外，在自然層面，由於長時間下雨不足，許多區域開始大量抽取地下水，各地地下水位均顯著下降。地下水雖可提供備用水源，但其補注不易，地下水位顯著下降，同時也降低未來對乾旱的應變能力與可能進一步導致地層下陷。在河川生態部分，由於長期下雨不足，地表無法提供河道逕流，加上大量抽取地下水可能導致河川基流銳減，綜合結果就是河川流量極度下降，進而影響魚類生態。加州宣布將彩虹鱒魚從它的棲地遷移到鄰近湖泊，以降低低流量與高水溫之影響。乾旱對經濟社會與生態環境的影響是緩慢與長期，即使乾旱結束，嚴重乾旱事件仍會帶來持續的影響，值得關注。

美國加州在面對長期乾旱所採取的一些措施是值得思考與參考：（1）地下水是乾旱時期非常重要的補充水源，

所以加州在乾旱時期結合觀測資料與發展地下水區邊界界定工具，即時分析地下水可利用量；（2）在嚴重乾旱時期針對為配合節水之使用者採取罰款，以達嚇阻的作用；（3）成立專屬網站，彙整乾旱資訊，包括主要管理措施、水利設施蓄水量、地下水位等，提高民眾的乾旱認知與危機意識，以力政策的推動；（4）採取措施避免無謂的水資源損失，如在蓄水庫放入大量漂浮黑球，阻絕大氣與水體的交互作用，減少蒸發損失；（5）除了水資源，建立跨領域的問題分析與因應措施，如乾旱可能提高森林大火的風險或低流量高水溫對冷水性鱒魚的衝擊等，都有相對措施。

除了美國加州的應變措施，澳洲之前亦曾遭受嚴重乾旱，澳洲一方面在乾旱時傳播大量資訊給民眾提供風險認知，另一方面也提出解決之道，如建立污水處理廠以重新利用一個污染過高之水庫。在長期規劃管理上，以重新思考水權分配與操做方式，讓水的使用者不單是使用者，也是水利事業的投資者與參與者，以提供全體用水合理化與效率。美國加州與澳洲的農業均是經濟主要的來源，受乾旱的影響卻是直接與顯著。臺灣農業用水佔很大的比例，其雖然非主要經濟來源，在乾旱時期常扮演休耕支援其他用水的角色，但乾旱對農業與其他產業的衝擊，甚至生態環境的影響必須提高警覺。

三、乾旱之預警與應變機制探討

臺灣長期面臨災害的威脅，已累積相當多之經驗，並有系統性的應變機制，所以發生與歷史上相當規模之旱災，應已具備良好之處理能力。未來旱災應變能力之提升，應思索更大規模、更持久、與影響更廣泛之大型或複合型災害之挑戰。

大規模災害之協調應變能力

水利署提出依據供水區水情燈號來決定開設各級旱災應變組織之時機，並在2014年5月21日由中央災害防救會報通過修正案。臺灣的乾旱應變機制在旱象顯現之第一級時即在區域水資源局成立「旱災緊急應變小組」，分析水情與水資源調配方案，若乾旱嚴重程度增強到第二級則提高層級到水利署與經濟部，再嚴重則於中央成立「旱災中央災害應變中心」。限水措施則配合乾旱分級進行第一階到第四階限水，過去十多年來最嚴重缺水乾旱只到第三階段限水，並未進入第四之階段之定點、定時、定量供水。2003年艾莉颱風造成石門水庫上游大量崩坍，進而因為原水濁度過高，桃園地區曾連續缺水17天，所以採用定點供水。未來極端乾旱事件若發生，屆時不管生活用水或工業用水均可能需要透過水車運水與供水，大規模運水車的定點、定量供水是否有充分安排與模擬作業？

乾旱預警能力之強化

抗旱關鍵除了乾旱時期之救災外，另一個重要的課題是對未來水情的分析與預警。根據經濟部「旱災災害防救業務計畫」說明，應結合氣象雨量預報及水庫、河川、地下水水情，對未來三個月進行分析，並根據水源供需現況，適時公布各地區水資源及乾旱情勢。然目前之推估方式主要依據水庫水位來判斷水情燈號，做為預警之指標，臺灣水庫容量小，蓄水量對入流量多寡的敏感度很高，如圖一所示，石門水庫在十月底十一月初水位還未達下限，但到二月底卻已到達嚴重下限的邊界，顯然入流量不足，所採取水資源節水調配措施亦不夠，導致後續供水限制顯著提升。由過去經驗來看，合理的預警應該考量前一年秋冬觀測的累積雨量、未來三個月的雨量預報、推估未來可能之流量、與水庫水位。未來的降雨預報對舒緩未來乾旱有重要之參考性，惟目前中央氣象局發展季長期氣候預報仍有相當高之不確定性，但應用季長期預報資料在水資源管理方面的不少（Hamlet et al., 2002; Wood et al., 2004; 童慶斌等，2006；曾馨儀，2015），因此在預報技術上仍需積極發展。此外，為確保地下水扮演備用水源，且避免過度超抽地下水，地下水水位與可抽水量分析應納入預警系統。

複合型災害之應變能力

「旱災緊急應變小組」或是中央「旱災中央災害應變中心」主要目的在解決水資源短缺之問題。近年來，嚴重乾旱以逐漸衍生其他問題，如美國遭遇到的森林大火危機與鱒魚之生態衝擊；臺灣亦曾因為分區供水，停水後再恢復供水導致透過傳輸管線污染自來水，進而造成社區公共衛生之問題。此外，乾旱時期最主要的調配方式是農業停灌，以將灌溉用水轉移他用，然此措施會導致灌排溝渠與田區水量枯竭，對農村生態亦可能產生衝擊，值得注意。所以未來旱災的緊急應變應提升處理複合性災害之能力。

乾旱情勢宣導與政策推動

面對乾旱事件必須全民參與與配合，若要民眾參與就必須充分傳達乾旱資訊，提高民眾對乾旱的認知與危機的意識。目前在「旱災災害防救業務計畫」中清楚說明如何一層一層的上報到上級單位，甚至包括行政院與國家安全單位。但對如何清楚、充分傳達資訊到民眾卻無清楚規範。雖然在乾旱期間，政府透過新聞媒體發佈相關資訊，亦有專門網頁提供資訊，但對民眾的滲透性可能仍然不足。眼見為憑，水庫水位、河川流量、與降雨量是影響乾旱之重要關鍵，應可考量在顯著地點透過大幅視覺化螢幕的顯示及時資訊，再輔以未來衝擊影響，直接傳達水資源狀態，讓民眾能

時時警覺缺水危機，並能支持採取之節水措施。另一方面，缺水時期亦應避免非直接相關議題之論述，如2015年乾旱發生，調整水價與徵收高耗水費以節約用水之議題也被提出來討論，然臺灣水價調整主要問題是在反應成本，民眾大致無法相信調整水費就能大幅節約用水，何況水價調整亦解決不了當時之乾旱情況，政府如在乾旱時期提出水價調整以節約用水，不僅時機不對達不到效果，更可能模糊了焦點，使民眾忽視了其他有效的節水措施。乾旱時期應清楚的傳達水資源狀態、可能衝擊、與需配合解決此次乾旱之措施。

四、結語

乾旱的發生是緩慢的程序，往往在確認為乾旱事件時，均已產生顯著衝擊，並常因水源不足，導致應變彈性小，所以預警與應變能力的提升就很重要。解決乾旱問題，除了乾旱發生時的應變措施外，應在平時就進行研究探討如何調整用水結構，如農業灌溉為水資源之主要用途，如何決定合理灌溉用水量與建立善用水資源之耕作制度即為調整用水結構非常重要之一環，另外，農業為國家根本，探討農業水資源時，還需小心維持糧食生產之永續性。旱澇交替是自然現象，氣候變遷可能使其更極端化，行政院在2014年核定經濟部水利署提出之「流域綜合治理計畫」，期望在未來治水思維上，除了傳統快速排水外，亦能開始發展結合分散滯留，進行旱澇同治。最後，乾旱需要全民參與，民眾的參與不應僅限於節約用水等消極措施，應在以社區為單元，探討如何結合減洪之低衝擊開發措施，如綠屋頂與雨水儲集系統等，做為社區新興供水來源，並推動需求管理。

五、參考文獻

- 1.童慶斌、李明旭、劉子明，2006，應用季節性氣候預報於水庫蓄水量預測，農業工程學報，52卷2期：51-66。
- 2.曾馨儀，2015，結合季節性氣候預報發展新型水庫運用規線-以石門水庫為例，臺灣大學生物環境系統工程學系碩士論文。
- 3.經濟部，2014，旱災災害防救業務計畫，台北市。
- 4.經濟部水利署，2011，氣候變遷北部地區乾旱預警與應變措施規劃分析，台北市。
- 5.Hamlet, A.F., D. Huppert, D.P. Lettenmaier, 2002, Economic Value of Long-Lead Streamflow Forecasts for Columbia River Hydropower, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.128 (2): 91-101.
- 6.Wood, A.W., L.P. Leung, V. Sridhar, D.P. Lettenmaier, 2004, Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs, Climate

面對必然到來的乾旱-化解反水庫情結

虞國興

淡江大學水資源管理與政策研究中心 主任

一、前言

水為生命的泉源、工業的血液，更為農業的命脈，是地球上一切生物賴以生存，人類生活和生產不可缺少的基本資源。然而當今世界各地極端氣候頻傳，泰國遭遇 50 年來最嚴重的乾旱，河川發生斷流；美國加州亦面臨連續四年的乾旱，為 120 年來最嚴重之旱災。且美國總統歐巴馬於今年 8 月 3 日宣布「潔淨電力計畫」，言明氣候變遷是美國最緊迫的挑戰，在在顯示氣候變遷的事實已昭然若揭。據聯合國政府間氣候變遷小組（IPCC）有共識的進一步認為，氣候變遷將導致本世紀大部分亞熱帶地區的可再生地表水與地下水資源大幅下降，未來農業、工業等各部門之間的水資源競奪，可能會越演越烈，甚或引發國家間為水爭奪之戰爭。旱災與其他極端事件特性大不相同，如颱風災害來的

急去得快，應變歷程大都為幾天甚少至數週之歷程，反觀乾旱的發生為漸進式、長時間，以致可能造成無法挽救之水煮青蛙式的災難。亦即嚴重的乾旱更會導致國家的衰敗，甚至是文明的滅亡，在世界上就曾有許多民族因遭受乾旱的衝擊，而導致璀璨的古文明如曇花一現般地消失，如古印度、埃及、希臘以及位於美索不達米亞的古阿卡德帝國等 (Keys, 2014)，都曾有過相當顯赫的文明，也都因為乾旱問題而衰亡消失，僅僅留下被淹沒在綿密森林中或深埋在滾滾砂土裡，供人憑弔的殘垣古蹟。此印證乾旱不只是現在進行式，更是過去難以抵擋之大災難，我們必須正視其隱性成因，以圖治本之道。

二、臺灣水資源現況與開源節流之迷思

然而臺灣真的缺水嗎？臺灣地區年平均降雨量約2,510公釐，為世界平均值的2.6倍，與2014年聯合國世界農糧組織（FAO）公布180個國家的降雨量相較，臺灣可排名於第13，毫無疑慮的，臺灣屬於降雨量豐沛的地區。臺灣大小水庫（含攔河堰）計有96座，有效蓄水量僅約19億噸，但絕大多數都是在民國82年以前興建，更早在民國61年以前興建的水庫主要用以灌溉，如石門及曾文水庫等；民國62至82年間興建的水庫則主要供給民生與工業之用，如翡翠及南化水庫等。惟民國82年以後，環保意識逐漸提升，水源開發計畫面臨阻力，不易推展，政府轉而以水資源管理調配為優先政策，鮮少再開發水資源，民國82年至今僅興建了寶山第二水庫、湖山水庫及些許攔河堰等，約增加蓄水量9000萬噸而已。

換言之，臺灣今天所掌握的水資源量是靠至少20多年前興建完工的水庫蓄水，及自河川取水與抽用地下水，並普遍認為只要採行永久性移用農業用水及透過其他管理手段，如節約用水、廢污水回收利用及海水淡化等，即可滿足各標的用水需求。有此思維乃因我們存在下列兩大迷思：

迷思一：農業產值低且農業用水量十分龐大，只要能節水5-10%，

即可減少開發至少6-12億噸以上的水資源，並可永久性轉供民生及工業使用？

臺灣地區農業用水於民國71年達到高峰164億噸後，即逐年下降至民國101年之125億噸。就以最近3年平均價值與民國74至76年的平均值比較，隨著農業產值減少，現有農業用水已較30年前約減少25億噸。茲就民國92至101年間平均農業用水中畜牧、養殖及灌溉等用水的水源結構加以剖析：第一，畜牧用水約1億噸，幾乎全部來自地下水，無法移用；第二，養殖用水約14億噸大部分來自地下水，無法移用，小部分約2億噸來自地面水，由於缺乏輸水系統，也無法移用；第三，灌溉用水約88億噸來自川流水及9億噸來自攔河堰，其受豐枯季節影響而極為不穩定，且部分區域水質不佳。因此除農業灌溉用外，實不易為民生與工業使用。此外，約4億噸來自地下水，無法移用。灌溉用水中約11億噸來自水庫，其肩負著灌溉臺灣糧倉地區的重責，必須要維持。此情況下，若仍一再永久性移用農業用水，將重創臺灣農村與農業，影響十分深遠。

根據資料顯示，全球氣候暖化不斷加速，不論乾旱的規模、強度及頻率都將持續嚴峻，對農業生產帶來衝擊，糧食生產因而減少，屆時出口國不願出口，進口國則不斷搶奪，二十一世紀將會因乾旱造成全世界搶糧的情況。根據世

界農糧組織（FAO）的資料，先進國家都掌握相當程度的糧食自給率，如美國為124%及德國80%等，而日本目前雖僅40%，其規劃於2020年提高至50%。臺灣目前糧食自給率僅32%而已，再下降恐危及國家安全，況且FAO近年來更一直呼籲世界各國必須大量增闢水利設施，增加灌溉用水與耕作面積，以因應可能的糧食危機。

迷思二：我們已掌握了足夠的水資源量？

臺灣年降雨量980億噸，其中約600億噸流入海中，也就是60%以上的降雨量流失了。目前臺灣水庫總蓄水量

約19億噸，只佔年用水量178億噸的1/9，每年抽取57億噸的地下水，較天然補注50億噸，每年已超抽7億噸；過去14年中即有7年因缺水辦理停灌休耕。此情況下，臺灣是否真的已掌握了足夠的水資源量？

反觀日本擁有2,267座水庫，總蓄水量達265億噸，占年用水量1/3；美國水庫計有75,591座，蓄水量占年用水量達4/5(如圖1)；更令人驚奇的是，澳洲的年用水量與台灣相近197億噸，但其擁有564座水庫，蓄水量竟高達948億噸，為其年用水量的4.8倍，顯示各國無不盡其可能把水留住，以降低缺水風險。

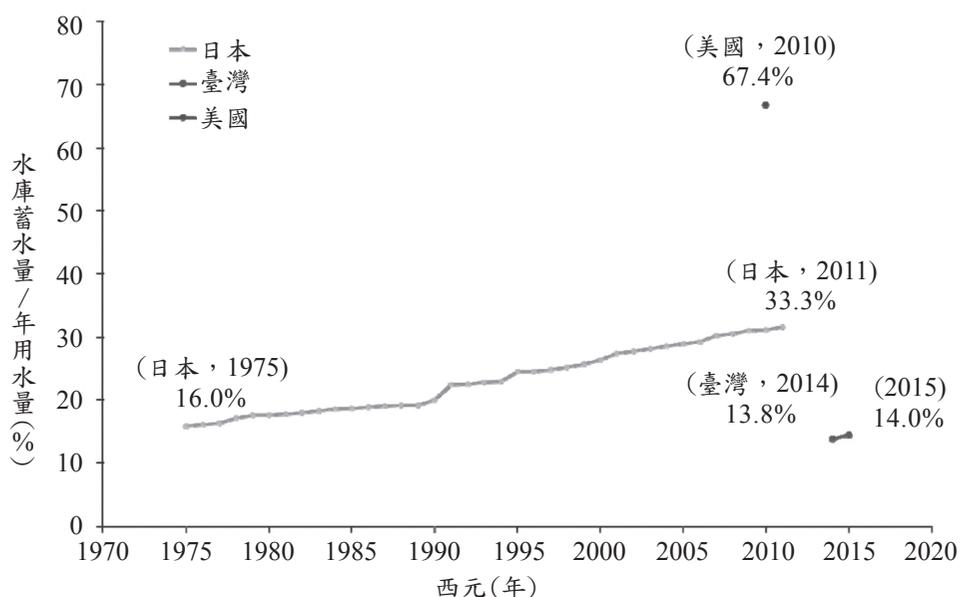


圖1 各國水庫蓄水量占年用水量之比例

今年臺灣遭逢了近 68 年來最嚴重的乾旱，所幸 5 月 24 至 26 日一場梅雨，全臺各水庫蓄水量大增，旱象隨之解除。回顧 5 月 24 日之降雨，霧社水庫上游區域雖非流域最大降雨中心所在，但三天內仍為水庫帶來逾 3,700 萬噸的入流量，反觀濁水溪其它支流，如陳有蘭溪、清水溪等，流域面積廣且其降雨甚大，但目前沒有水庫將水留住（湖山水庫尚未啟用），粗估這三天至少就有 3 億噸水從濁水溪流入海中，可見臺灣不是沒有水，問題在於蓄水設施太少，沒有把水留住。

當我們掌握的水資源量不足時，即使全力推動節水、廢污水回收、清淤等管理手段的作為，也終將因其緩不濟急或杯水車薪，而無法解決用水吃緊的問題。臺灣現況就像是水資源的過路財神，坐擁豐沛的天然財庫卻不知道如何運用？再加上先天就有複雜與不確定的自然環境風險，且在後天基礎建設與設施不足下，水庫淤積、河川污染、自來水滲漏、農水圳路渠道損失等等問題，更使我們猶如坐擁金礦的貧乏者，不僅口袋變小而且還有漏洞。水資源為國家整體發展的元氣促動國家身體的運轉，在國際競爭激烈的大數據 (Big Data) 時代，亦有可能因錯失先機而淪為世界舞台的淘汰者。假若臺灣地區水庫有效蓄水量與年用水量之比，也和日本一樣達到 1/3，即增加了 38 億噸的水庫蓄水量，試想於此情境下，臺灣還會動輒缺水嗎

？所以政府應詳加評估各區域所需之基本水庫庫容量，適度開發水資源，打破管理手段為萬能之迷思，以避免陷於巧婦難為無米之炊的窘境。

三、他山之石與策略學習

然而，每當一有水資源開發計畫提出時，隨即引來抗爭，除其環境生態訴求易獲得共鳴外，也因計畫區域內居民多屬經濟的弱勢者，較易獲得同情，而導致計畫終止。此現象中外皆然，但為何日本卻能在過去 40 年竣工了 962 座水庫，且 2012 至 2014 年也興建完成 28 座水庫？

日本的做法值得我們深思，尤其日本沒有因其年用水量逐年下降，而減少或停止興建水庫。日本十分努力說服民眾同意興建水庫，即使耗時甚久，仍不放棄。日本自第二次世界大戰後至 1970 年代，處於高度經濟成長期，國土開發為首要任務，於 1962 及 1967 年分別制定「一般補償基準」及「公共補償基準」等法規，水庫興建的對策以補償為主。於 1973 年水庫興建轉以生活重建為優先，遂通過「水源區特別措施法」，工程單位除非取得水源區當地居民的同意，否則水庫建設不得進行。更隨時代變遷、居民要求逐漸升高，於 1984 年制定「環境影響評估實施指針」，以緩和與水庫興建影響水源區域的社會及自然環境，並設置「水源地域對策基金」以協

助水庫淹沒區居民事業的重建及淹沒區域事業的振興。日本特別重視規劃階段的工作，除落實資訊公開，也鼓勵居民的參與，以充分溝通讓民眾了解。將管理與營運設施予以統整，以免日後損及自然生態，重視保育及整治自然環境，推展生物棲地維護與活用自然材料等，

以保護整體流域資產。

日本也和臺灣相同，有許多水庫自規劃階段起即遭受民眾強烈抗爭。日本有94座水庫從規劃至完工長達25年以上，如表1所示，其中正在施工中的水庫也有30座，其過程大都一波三折。

表1 日本興建期程逾25年之水庫數

興建年數	已完工之水庫數	預計興建年數	目前施工中之水庫數
25~29	32	25~29	7
30~34	18	30~34	6
35~39	10	35~39	4
40~44	3	40~44	7
45~49	0	45~49	3
50~	1	50~	3
合計	64	合計	30

舉自1952年規劃至2019年完工，將歷時67年的八場水庫為例：八場水庫位於利根川流域的支流吾妻川的中部，因1952年超級颱風侵襲，下游東京都區遭逢重大災情，而提出興建計畫。其河水有強酸性，透過「吾妻川總合開發事業」計畫，水質大幅度改善，遂於1967年決定興建。由於水庫將淹沒全日本非常知名的「川原溫泉」與吾妻峽的天然景觀，且有340戶居民必須遷移，故引發居民頑強的抵制，認為不應為了東京圈，犧牲當地居民權益。在歷經21年長期的調查及協調居民的生活重建方案後，於1986年開始施工。2004年決

定新增水庫功能，反對派批評含利息後經費將增至8800億日圓，成為日本水庫建造經費最高的，遂向水庫5個有關的都縣地方法院分別提起訴訟，當時若有任何一案勝訴，水庫即須停工。2009年當民主黨成為第一大黨時，首相鳩山要求停工，幸得居民陳情，支持水庫繼續興建。2010年千葉縣律師會發表聲名，要求停工，經國土交通省及5都縣首長檢驗，認定興建水庫是適合的。同時曾任國土交通省首長的民主黨政調會，會長前原誠司一改反對態度，轉而支持興建，國土交通省於12月22日宣布繼續興建，並預計2019年完工。八場

水庫興建歷程中分別克服了壩址水質不佳、淹沒了全國知名的溫泉區、居民為生存權而抵制及政治力（甚至有多名重量級政治人物）的介入等等眾多棘手問題，水庫才能得以興建，筆者認為主管官署鍥而不捨的努力最為關鍵，故建議台灣可考慮於主管部會中設立與民眾溝通之專責單位，長期有系統地及有毅力地不斷與民眾及政治人物溝通，以尋求他們支持。

四、改變的契機：無遠慮者必逢近憂，化危機為轉機

「水」為全世界共通的難題，今年1月世界經濟論壇將「水危機」列為影響衝擊的第一位，包括美國加州、巴西、澳洲、俄羅斯等國家和臺灣相同，今

年均承受到乾旱之苦。面對未來的不確定，讓國家承受的風險愈來愈高。世界各國政府都要面對無法重頭再來的嚴峻挑戰，不能再寄望一場雨就可以逆轉勝的空想了。面對近十年來愈趨明顯的乾旱事件，我們不能每次都靠運氣，「福享盡了，禍將現前」。是故面對全球氣候變遷之不確定性的風險，臺灣應借鏡日本執行經驗「適度開發水資源」。

猶記得40年前翡翠水庫尚未興建前，大臺北地區常實施每週輪流供水，當時因為缺乏地面水的供應，而大量抽取地下水使地層下陷達2公尺以上，衍生出許多嚴重問題。雖然翡翠水庫在規劃興建之初，也面臨民眾強烈抗爭，但並未因而停止興建；終於在民國76年開始供水，不但使大臺北地區地層下陷獲得控制、不再持續惡化（如圖3），用

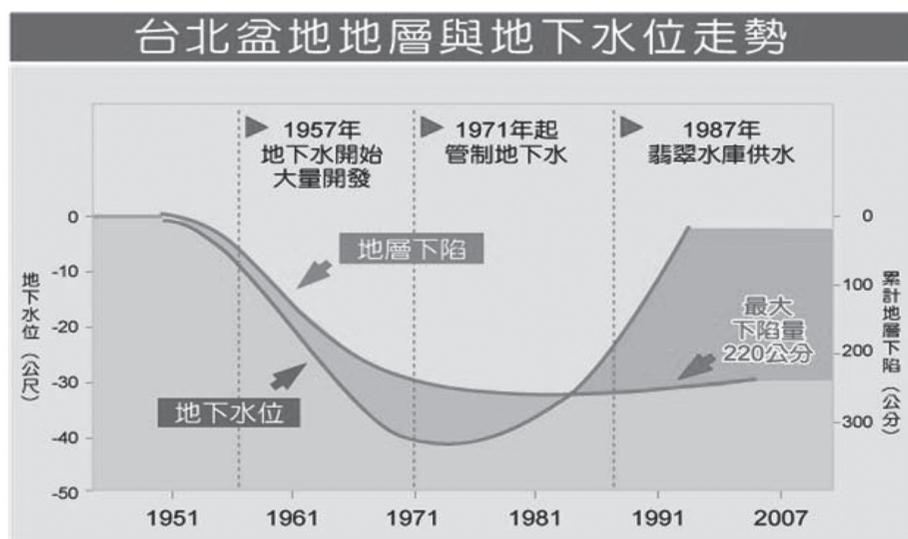


圖3 翡翠水庫興建前後台北盆地地下水位與地層下陷變化情勢

水需求也從此不虞匱乏。過去多年來，臺灣每遇乾旱，獨獨大臺北地區得已倖免，這就是翡翠水庫的功勞。此外，水庫不只是滿足用水需求的功能，當暴雨侵襲時，位處下游的民眾之所以能免於水患，也是受惠於上游水庫發揮了蓄水防洪的功能所致。

在氣候變遷衝擊下，未來必然會不斷發生乾旱，我們需要認真檢視目前所擁有的，是否足以防禦可能的苦旱？我們如果再不改變認知，將會疲於抗旱，且最終勢必引發各用水標的間的水權紛爭。多把水留住的好處遠大於任水流走，不但能穩固生活品質及產業發展，對環境、生態與防洪也都較為有利。

然而「適度開發水資源」仍非完整解決乾旱的萬靈丹，同時還是需要政策配套調整合理水價促使節約用水三全化(全國、全民、全面)及伏流水、再生水、海淡水等其他多元供水方案之整合實施。另針對不利開發之敏感區域可透過新興科技的運用，例如彰雲高鐵沿線之「黃金廊道」專區，透過新產業、新技術、新農民的政策推動，以達節水、節能目的，降低當地對地下水之依賴並創造翻轉農業之新契機。此外，從流域綜合治理之整體概念，從河川源頭到出海口之流域系統化規劃治理，具足適當水資源設施及搭配會呼吸的海綿城市，掌握流域至各大區域之水源供需平衡等，並仿效日本「里山倡議」之水源區友善環境共生方式，營造臺北水源特定區為

標竿學習典範區域，推廣落實至全臺灣各大水質水量保護區，妥善維護水源地集水區域，共創與水和諧共生之臺灣水文化。

五、結語

水資源對國家的整體發展具有舉足輕重的地位，故如何深謀遠慮為國家找尋合宜之乾旱治理策略實在刻不容緩。傳統上我國處理災防相關議題時，常被詬病仍存在頭痛醫頭，腳痛醫腳的被動式搶救思維，未來應強化主動式(proactive)思惟管理與預評估(Pre-assessment)政策方向的規劃，並強化民眾風險溝通(Risk Communication)的機制，以達「防患未然」與「制敵於先」的整體性解決方案的提出(IRGC, 2012)，也就是面對乾旱應要採取風險治理的觀念對策，而非危機管理的作為。故如何強化乾旱對策之風險治理作法，本文建議如后：當前困境期盼透過加強推動水庫開發與生態環保間競合論證的工作，尋求民眾認同水庫開發的重要與必要。政府可透過水庫展覽教育中心及其他各式宣傳媒介，蒐集彙整民眾於各水庫規劃建設過程中所提出的疑慮與反對訴求，並利用水庫完工後之實際情形，來說明政府對民眾疑慮的重視以及評估執行改善替選方案的努力，使問題得以解決。藉由實際案例，較易扭轉民眾認知、提高民眾對政府興建水庫之信心，能

以理性合作回應來協助政府推動水庫興建。同時於主管部會中設立與民眾溝通之專責單位，長期有系統地及有毅力地不斷與民眾及政治人物溝通，尋求他們支持。期盼臺灣的民眾有朝一日也能如同日本八場水庫當地居民一樣，由初期的激烈抗爭轉而支持興建水庫。

六、參考文獻

1. 虞國興，2015，「臺灣真的缺水嗎」，科學月刊，544期，第252-253頁。
2. 虞國興，2015，「為當前台灣水資源情勢把脈」，農訓雜誌，304期，第10-123頁。
3. 虞國興，2015，「免除台灣缺水壓力的不二法門—把水留住」，農訓雜誌，3073期，第320-233頁。
4. 虞國興，2015，「面對氣候變遷臺灣應有的防禦作為」，第22屆水利工程研討會，台南：成功大學。

會務報導

秘書長 虞國興

一、第七屆理監事會及各委員會會議

會議名稱	時間	地點	討論事項與重要決議
理監事聯席會議 第一次會議 第二次會議 第三次會議	104.02.11 104.06.24 104.12.18	淡江大學台北校園	1.選舉常務理事、監事及理事長，組織各委員會。 2.通過第七屆第二次年會暨研討會主辦單位。 3.通過104年工作計畫及經費預算。 4.通過104年度各獎項得獎人員。 5.通過104年決算及105年預算。
會務發展委員會 第一次會議 第二次會議	104.05.27 104.10.22	淡江大學台北校園	1.新人會員審查。 2.評選104年卓越貢獻獎、傑出水資源成就獎、資深人員獎及青年工程師獎等得獎人員。 3.決議105年工作計畫。
出版委員會 第一次會議 第二次會議	104.05.21 104.06.19	淡江大學台北校園	1.決議第17卷第1期及第2期會刊主題。 2.決議第17卷會刊各期企劃委員。 3.討論會刊邀稿對象。
學術活動委員會 第一次會議 第二次會議 第三次會議	104.06.12 104.09.24 104.11.26	淡江大學台北校園	1.決議第七屆第二次年會暨研討會之座談會主題。 2.評選104年優良論文獎得獎人員。 3.決議105年工作計畫。
財務委員會 第一次會議 第二次會議	104.05.13 104.12.15	淡江大學台北校園 農田水利會聯合會	1.決議104年經費收支決算。 2.決議105年工作計畫及經費預算。
技術服務委員會 第一次會議	104.05.29	臺灣嘉南農田水利會	1.討論104年爭取委託計畫案件事宜。
第七屆第二次年會暨 研討會委員會會議	104.05.29	淡江大學台北校園	1.決議大會辦理時間地點。 2.決議年會收費標準。 3.建議募款單位。



第七屆理監事會議・楊偉甫理事長(中)及理監事



第七屆財務委員會議・林文瑞主任委員(左2)主持會議



第七屆第二次年會暨研討會委員會・籌備會議
范世億主任委員(中)主持會議

二、辦理各項文件申請

辦理文件	核發日期	主管單位	說明
第七屆理事長 當選證書	104.05.06	內政部	●申請核發
換發第七屆法人 登記證書	104.06.10	台北地方法院	●辦理變更登記
第七屆第二次 水資源管理座談會 技師參訓證明文件	104.12.19	行政院公共工程 委員會	●申請授權核發

三、會員

會員類別	合計會員人數
永久個人會員	220
一般個人會員	677
永久團體會員	28
一般團體會員	21
學生會員	2
總計	948

新入會員名單

【永久團體會員】

證號	單位	負責人	職稱
G20030	經濟部水利署水利規劃試驗所	江明郎	所長

【一般團體會員】

證號	單位	負責人	職稱
G10034	臺灣花蓮農田水利會	溫芳榮	會長

【永久個人會員】

證號	會員姓名	服務單位單位	職稱
P20260	周坤賢	台灣世曦工程顧問股份有限公司	計畫經理

【一般個人會員】

證號	會員姓名	服務單位單位	職稱
P11579	旋子徽	中興工程顧問股份有限公司	技術經理
P11580	蔡宇龍	中興工程顧問股份有限公司	工程師(二)

新聞瀏覽

守住氣溫上升2度C的上限 有困難

2015/8/4 (聯合報)

德國一項最新研究說，吸掉大氣中的二氧化碳可能減緩地球暖化，但已無法大幅挽回氣候變遷對海洋的傷害。法國一項研究則說，聯合國年底的巴黎氣候會議即使達成最積極的減碳協議，也需要最好的除碳科技輔助，人類才有辦法使地球不走上增加攝氏2度的絕路，問題是這些科技的效驗至今未明。以目前的排碳速率而言，地球註定增溫萬物滅絕的攝氏4度。

曾文水庫設防淤隧道 世界首創難度高

2015/8/5 (聯合報)

為解決淤沙問題，曾文水庫增設的「防淤隧道」，必須在水中進行巨型象鼻鋼管安裝，是全世界首創的工法，因無適當吊具吊裝，水中作業危險性高、定位困難，完工後1年可節省近7億元清淤成本，受到國際矚目，已有不少國

外專家表達想來觀摩。

水污法 將改以水量裁罰

2015/8/31 (自由時報)

環保署修正違反「水污染防治法」的裁罰標準，將從過去用五種「行為模式」的計算方式，改根據排放「水量」多寡為主，受罰金額將提高30多倍。此外，過去追討不法利得對象只限企業，未來還會延伸到企業的污水處理代操作公司。

超強聖嬰 太平洋破天荒3颱並列

2015/9/3 (中國時報)

美國航空暨太空總署(NASA)新發布的最新衛星影像發現，太平洋上史無前例並排著3個大型颱風和颶風。專家認為，這種破天荒的現象可能和超強聖嬰活動有關；而聯合國世界氣象組織也表示，今年的聖嬰現象將比過去更強勁，強度創60年來新高。氣象學家表示

，太平洋上同時出現3個颶（颶）風的奇景可能受是由聖嬰現象引起，聯合國世界氣象組織警告，今年的聖嬰現象預計將比以往強勁，創下1960年以來新高，並在10月下旬至明年1月間達到頂點，南、北美洲將降下超高雨量，亞洲和非洲則將籠罩在高溫下。世界氣象組織指出，東至中太平洋部分海面溫度預料將比平時提高攝氏2度，早就高於聖嬰現象的門檻。

搶救石門水庫 清淤大作戰

2015/10/1 (聯合報)

供應大桃園地區用水的石門水庫，有三分之一的容積都是淤泥。蓄水量下降的結果是，就算颱風帶來大水，水庫也留不住。今年初大旱，四月時因水庫見底，桃園地區全面實施供五停二限水，更凸顯淤積問題嚴重。北水局表示，石門水庫的陸挖、抽泥、水力排砂工程，每年可清除二〇七萬立方公尺淤泥，但年入庫砂量約三四二萬立方公尺，每年仍淤積一三五萬立方公尺淤泥。北水局說，為讓出入庫砂量達到平衡，石門水庫已規畫阿姆坪、大灣坪兩個防淤隧道，大灣坪隧道可藉由水力排砂，阿姆坪隧道則可供運砂及抽砂。阿姆坪隧道預計七年後可完工，大灣坪隧道還沒經行政院核定；若兩者完工，就能達到出入庫砂量平衡。

南化水庫防淤隧道 預計2018完工

2015/10/2 (聯合報)

供應台南、高雄公共給水的南化水

庫淤積嚴重，高雄市長陳菊昨要求中央儘速完成清淤作業，避免南部缺水危機。經濟部水利署副署長王瑞德說，增加南化水庫排砂能力的防淤隧道工程已動工，預計2018年完工。王瑞德說，將在南化水庫增設防淤隧道，將砂土排出，增加水庫排洪排砂能力，提升蓄水量。陳菊、屏東縣長潘孟安也指出，可在不造成地層下陷情形下，有效利用伏流水、地下水，增加用水來源，建議中央制訂政策，鼓勵企業多使用再生水。

翡翠專管要蓋了2023年完工

2015/10/14 (自由時報)

近幾個月風災，供應大台北地區自來水的南勢溪水色數度濁黃，北市府啟動計畫耗費廿億、耗時七年的接專管應變。該計畫名為直潭二原延伸段工程，要在翡翠水庫下游增設取水口，設置專管至粗坑堰附近，全長二·五公里，管線得通過原水隧道，出水口設施則要取得私有地同意。前期規劃加上環評四年、工期三年。北水處簡報，今年十一月將發包可行性評估報告，二〇二三年十二月施工完成。

海綿城市 防洪散熱 讓土地呼吸

2015/11/2 (聯合報)

面對極端氣候乾旱、洪澇頻繁，除了節能減碳外，「海綿城市」是因應氣候危機的良方。台灣最早研發「會呼吸」的海綿道路工法，全球五十餘國要求授權；遺憾的是，當各國極力推廣時，台灣停滯不前。新北市汐止區禮門里的

中正社區有條一百廿公尺長的「海綿道路」，能在雨天儲水、晴天散熱，路底下是蚯蚓和微生物的快樂天堂。這條會呼吸的「海綿道路」工法問世十多年，拿遍國際發明金獎，五十餘國要求專利授權，在台灣卻乏人問津，僅少數地區試辦。

「伏流水是未來顯學」 多元取水不怕高屏溪水濁

2015/11/4 (聯合報)

近年颱風暴雨後，高屏溪濁度動輒飆高，影響供水穩定，經濟部水利署為此推動高屏堰多元取水政策，經與地方化解歧見，已決定動支4億元在高屏堰伏流水模場上游，建置兩處取水井，推估單日可取水10萬噸，有利於解決高屏溪濁度偏高時的供水問題。南水局表示，高屏區包括高屏堰、翁公園、竹寮、九曲堂等地伏流水豐沛，水質乾淨，整個系列可供水3、40萬噸，高屏溪濁度飆高時，約一周時間可取用伏流水。目前經濟部已通過建置2座伏流水取水井預算，最快年底或明年初發包。

最快5年！台中、南、高缺水高風險區

2015/11/6 (聯合報)

水利署研究顯示，最快五年後台灣西部重要城市，除台北都將成為缺水高度風險區，並以人口密集的高雄、台南與台中最嚴重，但台南曾文溪、高雄高屏溪又將成為全台最危險河流，旱澇分明的情況愈來愈明顯。水利署副署長曹華平昨到成功大學參加水利工程暨氣候變遷研討會時表示，受氣候變遷影響，

台灣旱澇分明的頻率愈來愈密集，今年上半年還在對抗六十年來最嚴重的旱象，下半年就受到颱風嚴重侵襲。

地球升溫攝氏兩度 大城市遭殃

2015/11/9 (聯合報)

聯合國195個會員國本月30日到12月11日將在巴黎舉行氣候高峰會，目的是達成減碳協議，避免地球溫度比工業革命前上升攝氏兩度，但美國智庫Climate Central(中央氣候)8日公布研究報告說，高峰會縱使將地球溫度的升幅上限定為攝氏兩度，上海、孟買、紐約等大城市的大片地區仍然會被海水淹沒，影響2億8000萬人。

若氣溫上升2度 台灣這些地區也會泡在水裡

2015/11/11 (聯合報)

根據法新社報導，英國氣象局指出全球平均溫度，較工業化前超過攝氏一度。到底全球暖化會對人類帶來什麼影響？根據美國研究機構「氣候中心」(Climate Central)所製作名為「Surging Seas」的網站，他們利用數位地圖，模擬顯示地球的均溫若上升攝氏兩度和四度的比較，可移動地圖找找你所居住的地方，還會跟現在一樣嗎？根據這份氣溫地圖顯示，上升攝氏四度後，包括台北、宜蘭、高雄、屏東等部分地區，都會將上升的海平面淹沒。北部地區包括近淡水河區、關渡平原、社子島、圓山美術館、濱江街，還有新北市三重、蘆洲、新北大道沿線、新莊思源路沿線等都被泡在水裡。