

# 土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

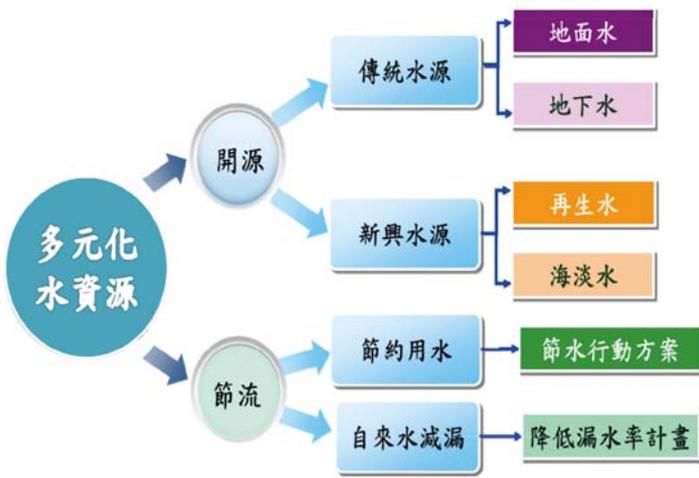
June  
2015



曾文水庫



石門水庫



多元化水資源策略



現階段節約用水推動策略

ISSN 0253- 3804



NT\$300



9 770253 380006



Volume 42, No. 3

社團法人  
中國土木水利工程學會 發行  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

專家見解  
能源政策  
非核家園

永續水利  
專輯  
(上)

# 中國土木水利工程學會

## 104年各獎項評選公告

### 社團法人中國土木水利工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路二段一號四樓  
聯絡人：蕭妘帆  
聯絡電話：(02) 2392-6325

日期：中華民國 104 年 5 月 11 日  
字號：(104) 土水 (21) 發字第 033 號  
主旨：公告辦理本會 104 年度「土木水利」工程獎章受獎候選人提名推薦。

依據：本會「土木水利」工程獎章頒發辦法。

#### 公告事項：

- 一、為獎勵對土木水利工程學術或事業有特殊貢獻之會員，本會特訂定「土木水利」工程獎章頒發辦法(如附件)。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度「土木水利」工程獎章受獎候選人提名推薦日期。
- 三、推薦書須有會員五人連署推薦。
- 四、工程獎章計五類：終身成就、學術研究、工程事業、優良設計、及優良施工獎，推薦書應載明推薦之工程獎章種類。
- 五、候選人推薦書及候選人相關資料乙份，請以掛號郵寄台北市仁愛路二段一號四樓本會收，並請註明「土木水利」工程獎章候選資料。
- 六、空白推薦書如附件，如需電子檔請上本會網站([www.cicche.org.tw](http://www.cicche.org.tw))下載。

理事長



工程獎章推薦 (截止日期：104 年 7 月 31 日)

### 社團法人中國土木水利工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路二段一號四樓  
聯絡人：蕭妘帆  
聯絡電話：(02) 2392-6325

日期：中華民國 104 年 5 月 11 日  
字號：(104) 土水 (21) 發字第 034 號  
主旨：公告辦理本會 104 年度「程禹傑出工程師獎」候選人提名推薦。  
依據：本會「程禹傑出工程師獎」設置辦法。

#### 公告事項：

- 一、為紀念程禹先生，並表彰本會從事土木與水利等工程實務優異之工程師會員，本會特訂定「程禹傑出工程師獎」設置辦法(如附件)。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度「程禹傑出工程師獎」候選人提名推薦日期。
- 三、候選推薦須由任職或曾任職之服務單位及本學會理事或監事 3 人以上推薦。
- 四、推薦表及相關資料乙份，請以掛號郵寄至台北市仁愛路二段一號四樓本會收，並請註明「程禹傑出工程師獎」候選推薦。
- 五、空白候選推薦表如附件，如需電子檔請上本會網站([www.cicche.org.tw](http://www.cicche.org.tw))下載。

理事長



程禹傑出工程師獎推薦 (截止日期：104 年 7 月 31 日)

### 社團法人中國土木水利工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路二段一號四樓  
聯絡人：蕭妘帆  
聯絡電話：(02) 2392-6325

日期：中華民國 104 年 5 月 11 日  
字號：(104) 土水 (21) 發字第 035 號  
主旨：公告辦理本會會士候選人提名推薦。  
依據：本會「會士」設置辦法。

#### 公告事項：

- 一、為表彰本會會員在土木、水利工程及相關工程領域之傑出工程人員及傑出學者，並對本會有重大貢獻者，本會特訂定「會士」設置辦法(如附件)。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度會士候選人提名推薦日期。
- 三、推薦書須由會士五人以上連署推薦。
- 四、請填具推薦書及會士資料表乙份，請以掛號郵寄台北市仁愛路二段一號四樓本會收，並請註明「會士」候選人提名資料。
- 五、空白推薦書暨會士資料表如附件，如需電子檔請上本會網站([www.cicche.org.tw](http://www.cicche.org.tw))下載。

理事長



會士推薦 (截止日期：104 年 7 月 31 日)

### 社團法人中國土木水利工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路二段一號四樓  
聯絡人：蕭妘帆  
聯絡電話：(02) 2392-6325

日期：中華民國 104 年 5 月 11 日  
字號：(104) 土水 (21) 發字第 036 號  
主旨：公告辦理本會 104 年度榮譽會員候選人提名推薦。  
依據：本會「榮譽會員」舉薦辦法。

#### 公告事項：

- 一、為尊崇對土木水利工程事業、學術或教育方面有公認卓越成就之傑出人員，本會特訂定「榮譽會員」舉薦辦法(如附件)。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度榮譽會員候選人提名推薦日期。
- 三、推薦書須有會員二十人以上之連署。
- 四、填具推薦書乙份，並檢附論文或著作、研究報告或事蹟報告，以郵政掛號寄台北市仁愛路二段一號四樓本會收，並請註明「榮譽會員」舉薦候選。
- 五、空白推薦書如附件，如需電子檔請上本會網站([www.cicche.org.tw](http://www.cicche.org.tw))下載。

理事長



榮譽會員推薦 (截止日期：104 年 7 月 31 日)



# 土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



發行人：呂良正  
 出版人：社團法人中國土木工程學會  
 主任委員：宋裕祺（國立台北科技大學土木工程系教授）、（兼總編輯）、（編輯出版委員會）  
 副主任委員：王華弘（明新科技大學土木工程與環境資源管理系副教授）  
 委員：王昭烈、李維森、周中哲、周功台、周頌安、徐景文、高邦基、張添晉、劉格非、陳立憲（依姓氏筆劃排序）

定價：每本新台幣300元、每年六期共新台幣1800元（航郵另計）  
 繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會  
 會址：110055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓  
 電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260  
 網址：http://www.ciche.org.tw  
 電子郵件信箱：service@ciche.org.tw



www.ciche.org.tw

## 先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

## 永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

## 國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

## 教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

## 學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

## 出版活動

- 中國土木工程學會會刊
- 土木水利雙月刊

## 分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

## 社團法人中國土木工程學會第二十一屆理監事

理事長：呂良正

常務理事：曹壽民 沈景鵬 張荻薇 陳仲賢

理事：莫若楫 曾大仁 楊偉甫 歐來成 歐善惠 龔誠山 王昭烈  
 李咸亨 周永暉 鄭國雄 馬俊強 黃洪才 丁澈士 張武訓  
 蔡清標 吳瑞賢 陳存永 鄭文隆

常務監事：周南山

監事：楊永斌 李建中 張培義 許俊逸 黃燦輝 賴世聲

秘書長：倪惠妹

副秘書長：賴勇成

## 中國土木工程學會任務：

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

## 永續水利專輯(上)

📖 永續水利專輯 — 專輯序言	劉格非	4
<b>永續水資源緒論</b>		
📖 論永續水利事業	顏清連	6
<b>水資源環境現況與未來挑戰</b>		
📖 台灣水資源及其環境的永續經營	黃金山	12
📖 環境變遷對永續水資源之挑戰	簡俊彥	20
📖 倡導水環境保育的綠色思維 — 從連續性國際節慶談起	於幼華	24
<b>永續水資源總論</b>		
📖 循環永續水資源政策	楊偉甫	28
<b>多元化水資源策略</b>		
📖 多元化水資源策略下之傳統及新興水資源開發	賴伯勳	37
📖 水庫設施更新與改善	許勝田	43
📖 節約用水 — 我們這一代共同的責任	王藝峰/陳宜欣	53
📖 建設海綿保水臺灣	陳弘函/楊松岳/陳葦庭	58



# 2015 不一樣的北京

敬邀參加! 歡迎報名!

## 綠色公路鐵路建設技術研討會 (2015.9.9)

主辦：兩岸交流委員會、茅以升基金會。

協辦：中國交通運輸部科學研究院、  
中國鐵道科學研究院、  
北京建工集團建築技術公司等。

2015.9.5(六) ~ 9.13(日) 邀您同遊北京、承德、天津

參訪清華大學、北京大學、探索古長城慕田峪、香山公園、承德避暑山莊、天津之眼，入住萬達索菲特酒店或同等級，帶您體驗不一樣的北京。

團費每人 \$45,800元(現金價) 或 \$46,700元(刷卡價)  
費用含領隊、司機、導遊小費，機場燃料稅及團體責任險  
不含護照、台胞證等個人費用。 承辦：東南旅行社

報名詳情請洽土水學會 蕭煥帆  
電話：(02) 2392-6325



## 專家見解

- 📖 台灣能源政策之建言 — 從能源安全角度談起 廖惠珠 64
- 📖 非核家園後果 — 缺電 / 漲價 / 增碳 陳立誠 68

## 工程觀摩

- 📖 台電林口更新擴建工程觀摩活動報導 陳怡如 72

## 成果報導

- 📖 臺北市智慧洪災管理的推動 — 以抽水站自動化監控系統建置為例 彭振聲 / 張凱堯 / 劉彥均 75

## 榮譽事蹟

封底裡

# 曾文水庫

防淤隧道做得好  
水力排砂沒煩惱  
南區水資源局  
用心珍惜水資源

防 淤 隧 道 工 程



經濟部水利署 經濟部水利署南區水資源局廣告

# 永續水利 專輯

專輯客座主編 劉格非／國立臺灣大學水工試驗所主任、土木工程學系教授

人類生存不可一日無水。人類族群利用水的方式，更會主導或影響這個族群的未來，因此當一個社會要能永續發展，就必須有永續經營水利事業的觀念。聯合國環境與發展世界委員會（WCED）於 1987 年對於「永續發展」的概念，提出一個重要限制條件是「能滿足當代的需要而同時不損及後代，滿足其本身需要之發展」。而水利事業的特性正是不論從工程的調查、規劃、設計、施工或是管理的策略、法制、執行，都需要長時間的發展，因此水利事業不僅是應付目前的需求，還需要為後代子孫預為謀劃，更是「前人種樹，後人乘涼」的事業，故有編輯此「永續水利」專刊之構想。

目前水利事業的服務對象僅為了人類需求，一方面人類生存需要用水，另一方面人類生產更需要用水，而人類文明越進步，往往用水就越多，因此對水利事業本身而言，開發水資源以便「增供應需」，就是許多水利從業人員與相關研究的思考方式，但是現在人類漸漸已經沒有更多的水資源可以開發，因此水資源使用的觀念將趨於「循環利用」和「以供定需」；而極端氣候導致水資源空間與時間分布極端不均，防洪排水則面臨台灣河川中下游基本建設大致完成，防洪排水

必須在此條件下應付流域持續開發，造成洪水量增加而威脅既成防洪系統的挑戰。

上述的問題處理不當，水資源的時空分布改變，都會直接影響人類的生活習慣與權力分布，因此要談永續水利，絕不是只單單談水量的多寡，而是要同時考慮當水量增減變化時，人類與自然環境間的互動，會影響未來人文社會，因此這本專刊固然談到許多使用水的許多相關問題，但同樣也注重水資源引發的問題在永續概念下的相關解決方式的探討。因此在思考這本專刊該以何面向呈現時，便與本校多位老師，和水利署長官們討論，經過四個月的規劃與邀稿，才產出了這針對「永續水利」的上、下兩本專刊。

這專刊先從觀念上來談永續水資源是什麼及要注意的方向，然後從整體概念再分成目前水資源環境與使用概況（現況）、未來水資源發展需求（未來）、挑戰環境劣化與氣候變遷（挑戰未來）等三階段，再呼應環境、生態與生活的新觀念，把永續水資源的整體正確觀念與架構講清楚。

有了永續水利的整體觀念，這本專刊接著才從比較實務與落實的角度來談該如何去執行做，才能落實永續水利的目標。首先由永續水資源總論開始，勾勒



整個因應永續水資源利用的架構，再以多元化水資源策略的角度，自國土與產業佈局規劃、建設海綿城市保水台灣、傳統水資源（地面水、地下水、伏流水）、新興水資源（再生水、海淡水）、節約用水行動、減漏（含農業、工業及公共給水）、水庫設施再生（更新與改善）等方向，談永續水資源經營策略。

具有完善策略還不足以保證落實與執行上不會產生問題，必須配合行政管理的手段，接著就必須從有效管理與效率用水的角度，自健全水權管理制度、健全國家水資源帳、落實用水計畫審查、建立合理收費制度等面向，建立支持永續利用水資源的力量。

當然永續水資源不僅是水量與水質的管理，還要兼顧因水資源時間與空間分布的改變所引發各方面的問題。所以另外就水力能源、土砂經營對水資源的影響、水資源規劃的風險及不確定性、經濟法律與永續水資源、人才培訓、傳承創新等方面談新的做法，如此方能讓人類社會的思維跟上水資源的改變，從而達成永續水資源利用的目標。因題材包含面向頗多，因此專刊分為兩集，上集先談概念性問題與部分落實方法，下集再繼續談到除了直接針對水資源外，其他面向的整體思考。

希望這專刊能夠讓土木水利相關從業人士，對永續水利的觀念與做法，有更深入的認知，更希望能讓大家了解，人是要跟著環境改變，才有可能達到任何資源的永續利用，否則不尊重大自然，最後吃苦的，將是您我的下一代！

另外與永續水利相關的議題，還包含永續水利教育，天然災害防治與新水資源開發、水利生態、水文觀測等，這些議題本身都值得以專刊呈現，限於篇幅，只能忍痛割愛，雖然相當可惜，但是希望這兩本專刊，以目前的內容，能夠比較聚焦的把問題與可能解答呈現給讀者。

這本專刊的形成，我特別要感謝我的老師臺灣大學顏清連教授與經濟部楊偉甫次長的支持與協助。同時我也要感謝專刊中這麼多學者專家，都能在短短時間內，協助本專刊撰寫文章，更對審查意見毫無怨言的修改甚至重寫，在此獻上我至高的謝意。臺灣的水利事業，就是因為有這麼多無怨付出的專業人士，才能在今天社會大眾使用水資源時，完全感受不出我們環境的嚴苛，所以我更相信，在這批專業人員與新生代的努力下，臺灣水利事業，將會越來越好。

2015.6.20 於 台大水工所

# 論 永續水利事業

顏清連／國立臺灣大學土木工程學系名譽教授暨水工試驗所特約研究員

## 摘要

水的過度利用對生態環境造成不可忽視的衝擊已受到普遍的關注，如何減緩負面衝擊變成今後水利事業的一項重要課題。本文首先從永續概念切入，簡要說明自然資源的利用必須要能達成的目標；其次，就永續水資源的意涵加以闡明，並指出在循環型社會，水資源的利用必須兼顧水量、水質與水環境三者之間的和諧；繼而，探討永續水利事業的經營策略，特別指出水利設施功能維護與強化、跨流域水圈管理、親水文化重建等三項重點；最後，提出為落實經營策略，在技術、制度及法規等方面必須建立的配套措施。

## 永續概念

### ■ 基本理念

回顧廿世紀人類社會的最大變化，可以說是利用科技發展成為高經濟成長的大量生產、大量消費型社會。經過不斷的財富累積與福祉擴大的歷程，追求富裕而便利的個人生活變成這個社會多數人的目標。

由於經濟成長的支撐，於是就更進一步開發各種越來越大的設備與裝置，消耗更大量的水、能源與物質，以求創造更大量的生產與消費。生產與消費所消耗的水、能源與物質最後轉換成廢水、廢熱與廢棄物，顯然已經危及全人類及其他生物的生活環境。這也就表明了全球規模的大量消費型社會的極限即將來臨。當消費型社會受到地球環境的制約時，人類為保有持續的活力，必須從大量生產、大量消費的思維所構成的消費型社會體系轉變成循環再利用的循環型社會體系。

就理念上而言，循環型社會就是要符合 1987 年聯

合國發表的「我們的共同未來」報告中<sup>[1]</sup>所定義的永續概念：永續發展為滿足當世代自身的需求，而不損及未來世代滿足其需求的能力。此一定義涵蓋二個關鍵思維，其一為「需求」係針對所有的人而言，不論族群與貧富；其二為藉由科技與社會的調節，可使環境具有滿足各世代需求的可能性。

聯合國環境與發展大會於 1992 年通過「21 世紀議程」<sup>[2]</sup>，闡明了人類社會在環境保護與永續發展之間應作出的選擇與行動方案；該文件對於如何加強環境永續問題的國際合作具有積極的指導意義。由此可見，環境永續是一個全球性的課題，而水資源永續是其中的重要部分，需要水利事業從業者的特別關注。

### ■ 行動原則

從消費型社會轉變成循環型社會必須秉持二個基本的行動原則，其一為利用自然資源的過程要能達成循環利用的目標；其二為資源利用的效益要能做到族群間以及世代間之公平正義。

為達成上述之循環利用及公平正義，首先必須能確實掌握水、空氣、生物、礦物、能源等自然資源的狀況，並且將利用效益作合理的分配，使人類活動（包括經濟與文化等）與自然之間能夠和諧以利永續發展。在利用資源並尋求與自然和諧的過程中，人類社會必須有各種資本投入，從事硬體與軟體建設。前者包括維生線、水利、電力、交通等各類基礎設施；後者包括經營運用這些基礎設施所需之法規、制度、教育及行政等各類措施。雖然這些自然與社會因素之間的關係甚為複雜，但可以用一個化繁為簡的流程方式來表示其與達成循環利用及公平正義的關聯概念，如圖 1 所示。

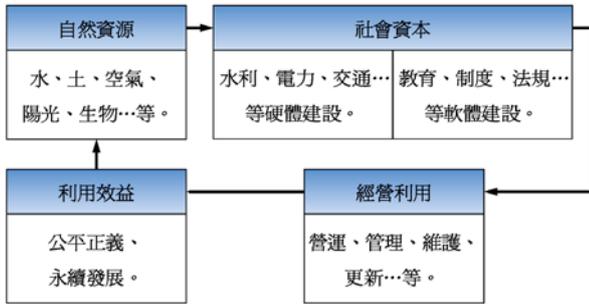


圖 1 資源循環利用之自然與社會因素關聯性

在廿世紀消費型社會的中心思維之下，由世界各國為利用自然資源所投入社會資本的成長趨勢可知，在本世紀循環型社會中，這種趨勢是難以持續的。換言之，未來對於自然資源利用的社會資本投入不可能在廿世紀的延長線上持續進行，而必須作大幅度的修正<sup>[5]</sup>；修正不僅要在空間上而且亦要在時間上作考慮。在空間上應該從村落、城市、都會區、流域到全國，甚至全球的各種不同空間尺度去作思考；在時間尺度上則要從日、月、季、十年乃至世紀都必須涵蓋。從這兩個向度切入思考，可交織成各種可能情景並進行檢討後，再據以形成各種具體的行動調整方案。

從水系統來看，就空間尺度而言，台灣本身範圍雖然不大，但因地形變化劇烈，以致在小範圍內的水文循環受地形之影響幅度甚大。同時，全球性的氣候變遷亦對台灣整體的水文循環有一定程度的影響。因此，在空間尺度上的思維必須擴大至全台、東亞甚至全球。就時間尺度而言，要準確預測未來十年甚至百年可能發生的情況雖然有極高的難度，但是仍可設定各種可能發生的情境，然後再依實際發生情況逐步修正各種情境以方便應用。

## 水資源之永續

### 自然界之大循環

在自然界，水系統與生物系統構成一個密切關聯的大循環系統。植物吸收地球環境中的水、二氧化碳、無機物及太陽能，進而合成碳水化合物，並將此過程中所產生的氧氣、水蒸汽及熱能排放至大氣中。動物則以植物為主要食物，並於其食物鏈中消化分解碳水化合物，且在各個階段呼吸植物所排出的氧氣；最後排放二氧化碳、無機物及熱能至環境中，二氧化碳及無機物再為植物所利用，而熱能則透過大氣中的水循環回到太空中。整個關聯的大循環概念如圖 2 所示。

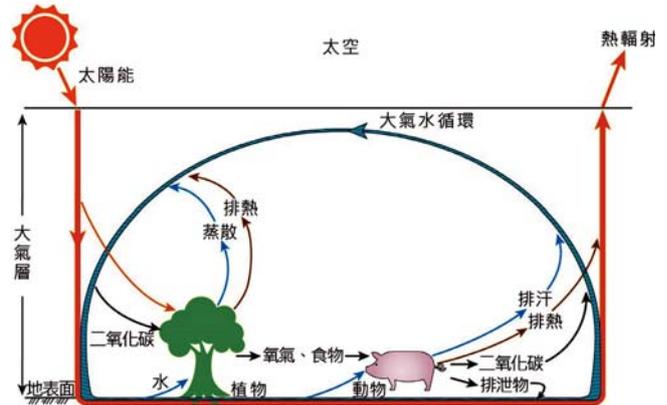


圖 2 水系統與生物系統大循環概念圖

由以上所述的大循環來看，包括人類在內的各種生物至今能夠在地球上生生不息，顯然是因為水系統在大循環中與生物系統維持一個平衡狀態所致。換言之，如果此一平衡狀態遭受到嚴重破壞，則生物系統的生生不息將難以為繼。

地球接收到的太陽能大半是用於系統大循環及伴隨而來的能源與其他物質的移動。水與其他物質在地表上是通過河系從上游地區移至下游湖泊、水庫及海岸地區。水與以水為媒介而移動的泥砂、營養鹽類以及生物從河系上游到下游連續遷移，並維持彼此間的互動關係；因而將林地、農地、水庫、湖泊及海岸地區連結成一體，成為健全的生態體系。因此，深切體認到這樣的河系連續性，並設法予以維持，對於營造地球環境之永續性至為重要。

### 人類活動對水系統之影響

由於消費型社會對於水的利用是以水量為主要考量進行水資源利用計畫之建設與營運，故多為成長效率化的價值觀所主導。然而在循環型社會，價值觀趨於多元化，因此水資源利用計畫必須朝著水量、水質與水環境三者兼顧的方向作調整，才能符合多元化的價值觀。水質的劣優一般是依水體中所含有的化學物、微生物及固體物等不純潔雜質之多寡而定。水質劣者不僅會導致可供利用水量的減少，而且還會造成水環境及生態系統的破壞。另外，水域及水岸的出現與否對於環境景觀之美感有密切關係，而且其存在可孕育出人們鄰近水邊生活的親水文化。這也就是說，以一個地區固有的水域為背景，該地區居民經過長時間與水的互動而形成共有的生活方式、生產方式及價值觀，並且在地區內部長久傳承。然而現今日常生活的用水已大都變成由自來水所供應，而且大量耗水與

排放污水，再加上防洪設施的隔絕，使人們的親水文化逐漸消失。顯然重新建構親水文化是水資源利用的另一項重要課題。

如前所述，生物系統（含人類）在大循環中，利用水以維持其生命而能生生不息，其前提是兩者之間達到一個平衡狀態。然而消費型社會造成水系統的過度負荷，引起各式各樣的問題。這些不良後果都將對生物系統造成致命性的影響。

### ■ 循環型社會之水系統

顯然在消費型社會，水資源利用的思維是以「水量」為主導的，其特性是將原來水系統在大循環中的地面逕流作了大幅度的空間平均化與時間平均化，如圖 3 所示。以一個流域為單元的水系統來看，若需求用水量越大，則逕流被平均化的程度越高，亦即水系統大循環受到的干擾（或破壞）越嚴重。這當然也會改變蒸發散水汽、熱能及物質的移動。因此在循環型社會，水資源利用的思維轉變成水量、水質與水環境兼顧的意義，就是要將水系統大循環的干擾減至最低程度，而且必須具有可操作性。在水系統大循環中，地面水是有它可操作性的部分，包括用水計畫的規劃、設計、營運與管理。

絕大部分的地面水都必須經過林地及農地，以台灣的情況而言，林地面積約佔 60%，而林地加農地合計超過 80%。林地處於上游部位，在降雨到達地面之後，一部分滲入土壤中再慢慢釋放出來，另一部分則經由漫地流很快地進入河系。一般而言，從林地流出的水含有維持生物系統所需要的若干物質，而且具有較高位能，因此林地在水系統大循環中，不論水量、

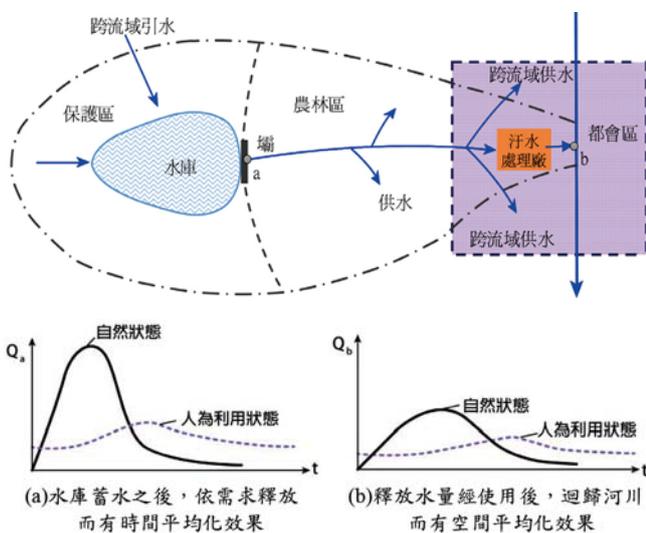


圖 3 水量利用之空間及時間平均化示意圖

物質、能量的傳輸都扮演著重要的角色。

農地的灌溉操作，除維持較佳的水稻生產環境之外，亦能控制微生物活動而可使土壤成為還原狀態；其次水田在反覆灌溉、蓄水、排水的操作過程中，有補注地下水、抑制鹽害的功效；另外，由於水的熱容量甚大，故適當地配置水田、池塘、渠道等設施可以緩和都會區的熱島效應，具有維持、改善環境的功能。

總而言之，循環型社會對於水的利用必須以永續的理念為出發點，設法使水量、水質與水環境三者之間和諧相容，以尋求水系統與生物系統的平衡。

### 永續水利事業之經營策略

水利法第三條所定義之水利事業為：「謂用人為方法控馭，或利用地面水或地下水，以防汛、灌溉、排水、洗鹼、保土、蓄水、放淤、給水、築港、便利水運及發展水力。」此一定義之內涵有兩個重點，其一水利事業係公用事業，以公眾利益為主要考量，這一點至今仍然維持不變；其二為水利事業的主要課題為水流與水量的控制，以促進水的利用及水害的減輕，這一點在現今的永續理念驅動之下勢必要作調整，以使公眾利益達到最佳狀態，而這裡所謂的最佳狀態的意涵為符合公平正義、循環利用的最大利益。在這樣前提之下，水利事業的經營策略應包括下列三個面向：

#### ■ 水利設施功能之維護與強化

歷年來政府以龐大的經費從事水利、防洪相關的公共建設，完成為數眾多的各種設施，包括大堤、隧道、渠道、堤防、電廠、水廠、自來水管網... 等等。這些設施多年來都發揮了一定的功能，對經濟發展及社會民生作出了巨大的貢獻。然而由於設施受到種種不利因素的影響，以致減損了其應有功能，而有待維護或改善。同時，為因應循環型社會的新需求，而必須將原有的功能予以強化或擴大。

事實上，台灣水利事業所要面對的諸多問題，包括水之供需預測、用水調度與節約、水源開發與利用、水環境保育、水經濟與法制... 等等，早先已有相當詳盡的研析報告<sup>[3]</sup>。本文因限於篇幅，僅就當前最值得關注的數項簡要說明如下：

#### ■ 全面推行水利建造物之診斷與補強

水利建造物隨著時間逐漸老化或遭逢天災受損，以致無法充分發揮其應有功能，因此必須全面性地定期對建造物結構體作健康檢查及診斷，並在必要時予以補強。另外，由於氣候變遷因素，可能水文條件起了變

化致使建造物的安全受到威脅，故亦須定期對其安全加以檢討，如有需要亦應予以加強。這些檢查、診斷、補強、檢討、加強的工作必須有完善的技術作後盾，但有些技術仍待積極研發。

**加強水庫清淤技術之落實應用**

由於地理與地質環境的關係，台灣的水庫泥砂淤積相當嚴重，對於水利事業的經營非常不利，因而是一個必須嚴肅面對的重大課題。水庫清淤的工作難以推動的主要原因有二，其一為環保主管機關認為清出之泥砂為廢棄物，不可傾倒於河川內，而事實上，清出之泥砂本應迴歸下游河川，以保護河床免於過度沖刷，並可減輕海岸線退縮；其二為清淤成本仍然偏高，清淤技術水準有待提升。目前石門已開始水力排砂（改稱為水庫通砂應較符合環保概念）的嘗試，曾文水庫亦正進行規劃研究 [6]，均值得肯定。未來除應加快步調推動技術水準之提升外，更應加強推行落實應用。

**促進水利事業經營之企業化**

目前主要供水機構為農田水利會及自來水公司，但兩者經營績效均欠佳。長期以來水價偏低，未能真正反映成本與經濟成長的通貨膨脹，導致水利事業機構的財務困難，因而衍生用水浪費等諸多問題，亦成為供水機構無效率的遁詞。水價若能反映真實成本，則不僅可發揮以價制量的效果，更可作為水利事業經營績效評量時之參考市場價格，使經濟效益分析合理化，進而可促進其經營邁向企業化。企業化之水利事業可區分成原水供應、水處理及配水等三個部分；農田水利會可轉型為原水供應者，與其他供水者同時提供水源，可在市場競爭機制下提升其經營績效。

**跨流域水圈管理**

對水利事業的經營而言，若要符合永續理念，則流域中的空間及水流管理至為重要。在過去，水利事業所涉及之水源與供水雖然偶爾有跨流域的情形，但傳統上其經營的基本思維多以單一流域為對象。然而在經濟成長及社會發展的需求壓力之下，跨流域的引水與供水幾乎已成為不可避免的事實，而且其範圍越來越廣大。因此，跨流域的部分必須納入作整體的管理，才能使永續水利事業的經營順暢有效。本文將這種本流域加上跨流域部分空間及水流的總和稱為跨流域水圈（或簡稱為水圈），如圖 4 所示。換言之，跨流域水圈的空間及水流必須作整體考量納入管理。

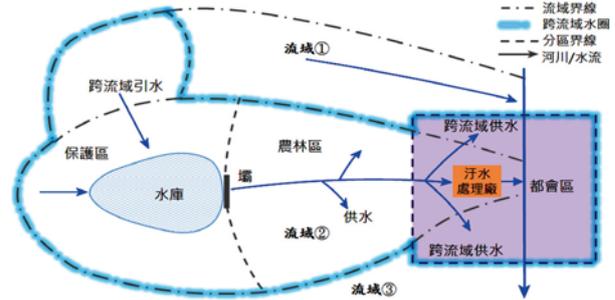


圖 4 跨流域水圈概念示意圖

水圈的空間管理基本上可說是國土利用的管理，可依土地利用方式分成都會產業區、農林生產區及生態保護區<sup>[5]</sup>（或簡稱為都會區、農林區及保護區）。在這三大分區中，由於土地利用密度不同，人類活動對於自然水系統的干擾程度有別，可依序以高、中、低來表示其定性上之差異。就土地利用的管理而言，對於干擾程度高者，要設法使其降低；而對干擾程度低者，要盡量防止其升高。就水流管理而言，要使每個大分區的水量使用、環境品質維護及相關物質輸送所消耗能源為最小。以下就這三個大分區的管理策略分別作簡要說明：

**都會產業區**

主要的土地利用為住宅、文教、工業及商業等相關活動密集、人口密度甚高的區塊，所消耗的水、能源及物質等之量體均甚大，對於水系統大循環的干擾程度極高。因此，從空間管理的角度來看，這個大分區不僅一方面應盡量限制其擴張，甚至另一方面還要設法使其逐步縮小，進行都市改造；在都市改造時納入治水因素，並考慮氣候變遷引起海平面上升之不利情勢，將低窪地區居民遷移至安全地帶。從水流管理的角度來看，都會區人口眾多，且多數居住或使用高樓，其用水量及污水量大且集中，供水及污水處理消耗大量能源。因此，如何降低能源消耗量而將污水處理回收再利用，就成為水流管理的一個重要課題。還有，如何降低自來水管網的漏水率也是一項值得重視的挑戰。

另外，關於都會區熱島效應的減輕對策也應多加重視。植物茂盛的綠色地帶、以及開放式水面空間對於緩和都會區的熱島效有很大的助益。因此，都會區內的綠地公園與周邊農林地面積的確保甚至擴大、被暗渠化或管道化渠道水面的恢復、開放式貯水空間的增加…等措施亦應積極投入。這些不僅可以緩和熱島效應降低空調用電量，而且亦可有效地提升生態環境品質。

**農林生產區**

為能建構人類與其他生物共存共榮的循環型社

會，包括都會、農林及保護區在內的整個跨流域水圈的水循環必須是健全的。因此，在農林區從事農業、林業及畜牧業的生產過程中，環境保護與環境品質提升的考量至為重要。例如農地具有蓄洪與補注地下水、林地具有保水與防止沖蝕、水田具有調節生態系統…等多種公益性功能。事實上，這些公益性功能的維護被認為是農林生產活動的副產品，顯得較為消極。若這些生產活動之評價持續偏低，以致其相關公益性功能難以維護，則應採取積極的作法；考慮將公益性功能內部化為農林生產價值的一部分，而非僅為副產品。如此才有助於在空間管理上維持農林區的穩定，以確保這些公益性功能的存在。

在農林區的水流管理上，不論是從水量、水環境生態、物質或能源的變化及移動的觀點來看，首先應將水及物質輸送系統健全化。這個系統必須具有的特色包括：(1) 改善水質所消耗能源為最少，(2) 創造優質的水環境，(3) 確保生物棲息場所及遷徙路徑，以及(4) 確保泥砂及營養鹽類運移暢通無阻。其次，應建構氮、磷再利用系統，將畜牧業排出富含氮、磷成分之污水處理並回歸農地，既可作為肥料又可避免水系統遭受污染。另外，為配合建構潔淨能源系統，利用小型水力發電及其他廢棄熱能，也是值得關注的項目。

### 生態保護區

在人類活動極少而未造成明顯干擾的地區，生物系統與水系統所構成的大循環系統早已達到自然的平衡狀態。對於這一部分水圈的空間及水流管理應以維持此一平衡狀態為最高原則。換言之，在生態保護區的土地利用與水資源利用均應予以嚴格限制，以避免破壞經長期自然演進而成的平衡狀態。

### 親水文化重建

長年以來由於水利設施興建與水利事業經營的結果，水的穩定供應及水害的逐步減輕已有顯著的進展，再加上人口朝向都會區集中，絕大多數的人們和水的接觸逐漸僅限於日常生活中不可或缺的自來水以及偶爾遇到的洪水事件。因此，對於水所帶來的恩惠與威脅幾乎變得沒有什麼感覺，也可說是喪失了大部分的親水文化。在這種情況下，不僅難以期待人們對水利事業的支持，更不用說對水資源的珍惜或對水環境的保護。這個困境必須予以突破，重新建立親水文化；其內涵包括認識水的價值、體會有水邊的生活、養成與水互動的意識…等。

親水文化的重建工作應從教育著手，可以分成學校

教育及社會教育等二個部分；前者是以未來世代的中小學生為對象的紮根工作，強調基本知識的學習；後者是針對社會大眾的推廣工作，強調實際生活的體驗。至於教材內容可包括永續理念、循環型社會概念、水與生物的大循環系統、水利設施、水圈管理、親水文化…等重點。社會教育部分因涉及社會大眾價值觀的重新形塑，故宜考慮事先培養地區性領導人，由其帶動日常生活體驗，自然而然養成新的價值觀。

## 配套措施

以上所述係就理念、價值及相關策略加以闡明，然而策略推行仍需有完備的配套措施，各種方案才足以實踐落實。依台灣的實況來看，配套措施大致可依技術、制度及法規<sup>[4]</sup>等三個面向來思考，分別說明如下：

### 技術面

在永續理念與循環型社會價值觀的導引下，原來以供水防洪為目標的水利事業將逐漸擴大其範圍與尺度，因而在傳統上應用的技術顯然有許多不夠完備，需要提升加強，甚至有開發新技術的需求，例如：

- 水利設施之安全檢查、診斷及補強技術，包括大堤、隧道、堤防、閘門、淨水廠、污水處理廠、水力電廠、輸水系統及配水系統等。
- 泥砂產出、傳輸及沖淤等之監測與模擬，包括短期現象與長期演變等。
- 水庫通砂技術水準之提升，包括在台灣落實應用的實踐。
- 水系統大循環模式之建立，包括水汽、地面水、地下水、以及相關聯之物質及熱能傳輸。
- 水利事業經營績效率量化評估模式之建立，包括水量、水質與水環境之經濟、社會與環境效益。

### 制度面

為維持自然界水系統與生物系統的平衡狀態，並維護社會的公平正義，永續水利事業的經營所涉及的業務跨越政府體系的不同部門與不同層級，並且與許多民間機構有關。各個相關單位基於其分工職責，提出不同看法或意見雖是正當而且健康的，但顯然這些看法或意見的溝通與整合的機制有待建立。例如：

- 跨流域水圈及分區劃設機制之建立，包括都會區、農林區及保護區。
- 水圈中各分區管理機制之建立，包括空間管理及水流管理。
- 各部門之水圈基本資料產出與運用機制之建立，包括

水文、地文、人文、生態、污染... 等各類基本資料。

- 跨政府部門與民間機構溝通機制之建立。

### ■ 法規面

永續水利事業經營是一個長期而且辛苦的工作，有許多上述所要建立的技術與制度都是新的嘗試，必須經過一段時間的磨合、驗證、試用、改善之後才能確定其可行性。確定可行之後的每一項技術或機制就應予以法制化，成為相關機關、機構或個人遵循的依據。這裡所謂法制化主要是指行政機關訂定的規範、規則、辦法... 等。例如：

- 各類技術規範
- 水圈及分區劃設辦法
- 各類管理辦法

### 結語

1. 由於永續理念的帶動，原為消費型的社會正逐漸轉變成循環型的社會。在此情況下，自然資源的利用被嚴格要求必須達成循環利用與公平正義；水資源的利用亦不例外。
2. 在自然界水系統與生物系統所構成的大循環系統中，二者是互相依存且維持平衡狀態的；水資源的

過度利用將嚴重破壞此一平衡狀態，而致生物系統難以永續，因此維持水資源的永續至為重要。

3. 永續水利事業經營的主要策略有二，其一為水利設施效能維護與強化，包括營運、管理、維修、更新等，其二為跨域水圈管理，包括空間管理及水流管理等。
4. 經營策略之推行落實需要技術、制度及法規等方面的配套措施，例如建造物之診斷與補強技術、模擬與評估模式、水圈劃設及跨部協調機制、技術規範、管理辦法... 等的建立。

### 參考文獻

1. Brundtland Comission, 1987, Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development, United Nations.
2. 聯合國環境與發展大會，1992，21世紀議程，中國環境科學出版社譯。
3. 顏清連等，2002，台灣水資源問題之研析(二)，國立台灣大學水工試驗所，研究報告第149號。
4. 徐義人，2006，日本水資源之經營管理，中興工程科技研究發展基金會，SFRDESTE-06-HY-01-02。
5. 日本河川環境管理財團，2011，變革與水的21世紀，中興工程科技研究發展基金會譯，SFRDESTE-11-HY-01-1。
6. 顏清連，2014，莫拉克颱風災後國土保育治理思維－水利/水害觀點，土木水雙月刊，第41卷第4期。

# 曾文水庫防淤隧道工程

永續經營舉步艱  
曾文水庫防淤隧道工程  
共創水庫新未來

# 台灣水資源及其環境的永續經營

黃金山／行政院政務顧問

## 前言

嚴格講起來，台灣是一個自然資源非常貧乏的海島，只有 3.6 萬平方公里的國土，一年平均有 2,500 毫米，但不論時間或空間的分布都不平均的天賦降雨，承載著 2,300 萬的國人在此地安身立命。1895 年台灣割讓給日本時，台灣的人口約 300 萬人，至 1945 年二次大戰結束，50 年間日本大力地開發台灣，其目的為增加米、糖的生產以補充其本國的需求。1945 年台灣光復之後，短短 4 年，至 1949 年大陸淪陷，中華民國政府於 1950 年遷至台北，為因應一時之間從大陸撤退至台灣約 200 萬軍民糧食的需求，增加糧食生產為當時的國策，因此而有石門及曾文水庫的規畫興建。其實不論日本人的開發與建設台灣，或光復後中華民國政府為增加糧食生產的水資源開發建設，都未考慮到台灣的永續發展。

典型的水庫規畫興建，如 1930 年日本人興建完成了台南的烏山頭水庫，中華民國政府於 1963 年及 1974 年分別於台灣北部及南部興建完成了石門及曾文水庫，其興建的思考邏輯都是師承美國 1930 年代興建水庫的哲學，不考慮水庫的淤沙對水庫功能的傷害。在美國可以，因為美國大部分是上億年的老陸塊，集水區土沙生產量非常的輕微，如有名的田納西河谷，於 TVA 的 48 座水庫，其集水區的平均年土沙生產量僅相當於一年沖蝕 0.25 毫米。但是在台灣，從北到南泥沙的生產量可以從一年沖蝕 2 毫米到 36 毫米，其生產量愈往南台灣愈大。因此在美國 TVA 的水庫，其壽命可上千年；但在台灣，一個水庫之可用壽命（Usable Life）最長不過百來年，短則數十年則會被泥沙所埋沒。台灣水資源之開發利用成本很高，又無法或難以達到可持續利用水資源之方式。

台灣早期的發展都集中在農業，因此早期的水資源開發也以農田灌溉為主，例如早期的埤圳，甚至於光復後興建的石門及曾文水庫也是以農田灌溉為主。一直到 1970 年代，台灣的工商業逐漸發展之後方有為工業用水標的所規畫興建之水庫，如新竹的寶山、苗栗的永和山、嘉義的仁義潭、高雄的鳳山等水庫，以及 1980 年代籌建，陸續於 1990 年代完成的苗栗縣鯉魚潭、台南的南化及屏東南端的牡丹水庫等。因此台灣的水權大部分掌握在農業的標的上，經營管理及有效調度上增加不少的難度。

台灣的水資源本來就豐枯不均，又因台灣工業的發展及人口集中於都市，造成水污染問題日益嚴重，枯水期可用水量本來就不多，又因污染的嚴重而使得可用的地表水日益減少。如何使得台灣的水資源能達到可持續為吾人及吾人後代之子子孫孫所利用，必須倚賴我們這一代的積極努力從水資源及其環境的保育、水質的改善，水害的防治，甚至於各標的用水，包括農業用水及公共給水之輸配水系統之漏水改善以達到提高水資源的利用效率等；僅有的水庫如何防止其被泥沙所淤埋，使其可持續為吾人蓄豐濟枯；生活環境的改善，尤其是易淹水地區為防洪排水改善等，都涉及到水資源及其環境之永續或可持續之發展，有賴我們這一代積極地用心努力來達成。

## 國土及水資源

正如前文所述，台灣是一個 3.6 萬平方公里，自然資源非常貧乏的海島，海拔 100 公尺以下之可利用的平地僅有國土的 29%，約 1.04 萬平方公里，為吾人生存發展的根基，其他 71% 的國土或為海拔 1,000 公尺以下的丘陵或 1,000 公尺以上的山區。其實如此的

配置，一分的土地為吾人生存發展之用，而有二分的土地為我涵養水資源，豐富不同氣候帶的森林、自然生態，更藉此淨化及涵養吾人生存所不可或缺的水資源，真是天賦異稟，我們不能怪老天太苛薄，如何善用天賦的土地及水資源應該是我們自己的責任。

其實土地及水資源之可持續的利用必須遵守幾項基本原則：其一，順應自然，不能強調人定勝天；其二為細水長流，不能貪得無厭，如此才能可持續與永續。例如我們約 80 萬公頃的農地，其利用必須順應自然，豐水期，也就是所謂第二期作，必須種植水稻，天然降雨的有效雨量多，必須人工補充的灌溉水量少。相反地，枯水期老天給我們的水量少，必須種植旱作，如此所耗的水量少，不能硬是違反自然種植水稻，其用水所必須付出去的代價一定很高。因此台灣的農地最好的耕作方式必須是水旱作輪耕，除東部之外，最好不要鼓勵雙期作水稻。

城市及工業區用地的發展必須秉持著二千多年前春秋時代管仲所主張「高勿近旱，而水用足；下勿近水，而溝防省」的基本原則。檢討過去的發展案例，常因開發後發現容易淹水而又投入巨額經費改善防洪排水系統，或因位於缺水地區而又必須投入大量的水資源開發經費，未能符合上述之造址原則。開發的方式也要遵循所謂的 LID 原則，不但對本身的衝擊少，如用水足及溝防省，對週遭及其下游也不能因開發而造成災害的加劇。

## 水權及水資源的有效經營管理

目前台灣的水權大部分掌握在農業標的手上，不論早期的埤圳如瑠公圳、曹公圳、八堡圳、葫蘆墩圳等，或光復後所開發的石門及曾文水庫都有農民投入的資金及心血。以民國 50 年代末期籌劃興建的曾文水庫為例，水庫建設經費的 56% 係由收入微薄的農民省吃儉用出錢所興建，反倒是民國 70 年代以後，政府為促進經建發展，為工業所專用的水庫反而均由政府全額出資興建，工業用水戶一分錢的水庫興建工程費都沒負擔。就社會公平正義的觀點而言，收入微薄的農民為了開發灌溉水源必須分擔開發工程費，而獲利豐厚的企業大老闆卻不必負擔任何工程費，要窮苦的農民如何能心服？

民國 90 年代初期，經濟部公布了農業用水調度協調作業要點，其主要的考慮為以有限的水資源能得到最大的經濟產出。因此，如遇缺水可協調農民停灌，移撥農業用水以供應對國家經濟產出較大的工業用水，但農民的損失必須由工業用水人支付補償，不能由政府負擔才算合理。因此，水權必須能非常機動地調度，以有限水資源能造就國家最大經濟產出為基本原則，但由於水權之調度而造成原水權人之損失則必須由實際用水人負擔。

台灣國土雖不大，但各地之水資源分布都不平均，因此水資源必須做區域性之有效調度。當然，如果能各縣市用水都在各自的行政區內取用當然最理想，不過傳統上行政區之地界與流域之邊界並不一致，如果能將行政區之分界與流域之分界調整為一致，不但是水資源，所有自然資源之經營管理與利用都可以各自做主。然而，這種理想難於短期內做到，可做為國家遠程可持續發展目標逐步調整修正。

在行政區與河川流域之邊界 (boundary) 尚未能一致的行政管理體系下，以區域聯合調度的方式經營管理有限而珍貴水資源為必要之手段。而一區域可能涉及若干行政區 (縣市)，因此水資源之區域統籌調度及經營管理必須由上一級政府之專業主管機關負責。以下分別依北、中、南、東部區域分析其統籌的系統架構，以及目前已經進行中的進度。

### 北部地區、宜蘭

北部地區依水資源分區的系統架構可再分為宜蘭地區、北北基及桃園地區、新竹地區，茲分別敘述其基本架構。宜蘭地區為一完全獨立之地區，可以自行成為一個水資源分區，其用水之基本原則為地表地下水聯合運用。過去主要依賴地下水供應，但目前已完成有羅東攔河堰，可控制及引取地表水及伏流水以與原有之地下水水源聯合運用。

### 北北基桃地區

目前北北基之主要水源由北往南為雙溪水源、新山水庫、基隆河抽水站及西勢水庫，以上之水源主要供應基隆地區之用水。除東湖及汐止地區可局部的與大台北之水源互通有無之外，主要為一獨立之供水系統。

其次為北北桃地區，目前主要依賴翡翠、石門兩水庫調節及青潭、直澤、鳶山堰及三峽河幾處川流引水及少量之蓄水調節。桃園地區並有數百口埤塘輔助蓄水供應灌溉用水。新店及大漢溪水系並有板新一期及板新二期之區域聯管計畫，前案已完工，必要時可由新店溪水源支援板新地區，每日可達 53 萬 CMD。板新二期計畫目前尚在執行中，如果完成之後，必要時一天可由新店溪水源支援板新地區 102 萬 CMD，原供應板新地區大漢溪水源則供桃園地區。

新竹為北部地區另一比較獨立之供水區，主要依賴頭前溪水源，包括寶山第一及第二水庫。另外，川流可自頭前溪隆恩圳引水併入使用。除頭前溪水源之外，新竹地區尚依賴苗栗地區之永和山水庫，最大一日可支援 10 萬 CMD。另與石門水庫供水區有一互相可以雙向支援的管路，最大一日可達 8 萬 CMD。

## 中部地區

中部地區包括苗栗、台中、南投、彰化及雲林縣。目前其主要水源除依賴地下水之外，從北到南有永和山、明德、鯉魚潭、石岡、集集共同引水堰，及興建中的湖山水庫。上述水源之上游尚有大安溪的士林堰；大甲溪之德基、青山、谷關、天輪及白冷圳的控制用水系統；濁水溪則有霧社、萬大及日月潭等系統，上游之用水主要為水力發電。下游西螺河段之河床，經研究蘊藏有一日可生產數十萬噸伏流水之潛能，值得研究開發利用。

南投地區主要依賴地下水，彰化地區除一天由鯉魚潭支援 8 萬 CMD 之外，主要仍依賴地下水。苗栗地區則依賴永和山、明德及鯉魚潭，目前其水量自用外，北邊支援新竹，南邊支援台中彰化。雲林目前除由濁水溪引用每日 10 萬 CMD 之原水外，其餘均依賴地下水。湖山水庫完工供水之後，除可供應雲林縣之需求外，也可支援北邊的彰化及南邊的嘉義。為更進一步減少南投及彰化地區之地下水使用量，烏溪烏嘴潭蓄水池計畫目前推動中，其主要目標為減少彰化對地下水之依賴。

其實地下水不能完全忽視不用，只要其使用不造成地層下陷的威脅而有循環補注的功能，可規劃建立生產井系統以與地表水聯合運用，如台中盆地、彰

雲地區濁水溪沖積扇之扇頂地區，以及苗栗河谷平原等，均可研究利用。

## 南部地區

南部地區北自嘉義南迄屏東，其主要水源在嘉義有傳統的竹崎水源，蘭潭及於民國 70 年代興建完成的仁義潭，但其水源仍不敷使用。除農業用水依賴曾文烏山頭系統之嘉南大圳灌溉外，民生及工業用水仍必須依賴曾文及烏山頭水源供應，分別由北幹線水上抽水補充以及由烏山頭專管送義竹以供應嘉義沿海地區。雖然如此，但嘉義地區之供水仍然比較嚴峻，待湖山水庫完工後，由北邊可獲少量的每日 3 萬噸之支援協助。原納入曾文水庫老濃溪越域引水的完工可充裕嘉義的不足，但因目前停工，除非早日復工，否則從嘉義、台南到高雄，缺水恐怕在所難免。

從嘉義、台南甚至於到高雄主要都依賴著曾文烏山頭系統，不過因為曾文越域引水停工，此一系統目前尚無法支援高雄，僅靠南化水庫支援，若遇異常乾旱如今（2015）年，高雄之用水困難必定發生，因為高雄地區本身並無大型水庫可供蓄豐濟枯，僅靠高屏溪攔河堰川流引水，一遇枯旱，大高雄地區之缺水就在所難免。屏東地區地下水豐富，除屏南及恆春地區依賴牡丹水庫之外，隘寮溪水源及地下水可使屏東地區較難發生嚴重缺水的困難。

## 東部地區

東部地區包括花蓮及台東，雖然並無水庫，但花東縱谷為一極為良好之地下水庫，其補注迅速，地質構造又為一優良砂礫河谷，並無地層下陷之顧慮。因此，花東地區可規劃為一良好的雙期作水稻有機栽培生產區，如實施嚴格的地表地下水聯合運用制度的話，公共給水也無缺水的顧慮。

## 水資源環境的保育

所謂水資源環境從上游的河川流域集水區一直到下游人們生活地區的污染防治均會影響水資源的水量及水質。集水區人類的活動主要影響著地表水的水量及水質。下游吾人生活地區之污染則影響著地下水的水量及水質。

水源集水區的保育，除依賴傳統的水土保持之外，如何廣植森林，增加水源水質的涵養能力為經常性必須重視的工作，下游民眾的生活區必須有良好的生活習慣，包括垃圾等任何的汙染物均必須不落地，應適當收集，妥善處理。

下游的河川環境向來都是垃圾及各種廢棄物的丟棄場所，近年來對於此種習慣已有改善，但目前反而是枯水季河川飛塵對於附近城鎮人民生活環境的汙染造成對住民生活的不便。對於這一點，水資源管理單位也必須設法改善，減輕民眾生活的不方便及其痛苦。其基本的做法可以考慮水覆蓋及高灘地植生的方式。在台灣河川揚塵受害最大的是濁水溪南岸林內、荊桐及西螺等鄉鎮、台東縣卑南溪南岸的台東市。揚塵比較輕微者如高屏溪南岸及新竹頭前溪南岸各市鄉鎮。

綜之，水資源環境從山上集水區的加強植生造林，城鄉生活地區加強環境的保護，避免任何汙染地表及地下水源，河川環境的改善以減少揚塵汙染及妨礙人們的生活空間，在在都必須水資源部門用心全力以赴。

## 水庫的永續利用

嚴格講起來，水庫實在難以永續利用，不要說水庫，宇宙萬物均無法永續，或也難以可持續地利用，只是時間相對或長或短而已，成、住、壞、空，萬物皆難逃此法則。例如本來沒有水庫，我們興建，形成了一個水庫，讓它存在了，之後因為泥沙的淤積容量暫減，各種設施也逐漸老化而崩壞，最後水庫被泥沙所淤滿功能盡失，又恢復到全無一物的狀況。

前文已經提過，台灣水庫的興建都師承美國的作法，在台灣泥沙生產量驚人的環境下，台灣所有可用水庫的可用壽命都很短。但在台灣的降雨豐枯分佈懸殊不均的自然環境，無水庫蓄豐濟枯，台灣很難度過漫長的枯水期。

美國興建水庫的邏輯係任由水庫自然淤積，淤滿失去功能則放棄不用，其功能則另建一個新的水庫替代。但在台灣地狹人稠的環境下根本不可能。因此如何能維持水庫功能的存在，下列二件事必須認真地思考：

## 現有水庫的防淤更新改善

除了目前將要完工的雲林縣湖山水庫，是一個最

年輕，剛剛將要生成的水庫之外，其他水庫可以區分為青壯年的水庫如寶山第二水庫；中年的水庫如鯉魚潭、南化、牡丹、寶山、永和山、仁義潭及鳳山等；老年的水庫如石門、曾文及烏山頭等水庫，尤其烏山頭最老，已經 80 多歲了。

如果以其性質分，有在槽水庫如石門、翡翠、曾文及牡丹等；其次有離槽水庫如鯉魚潭、烏山頭及南化等。在槽水庫受到泥沙的危害較大，一般的可用壽命約有百多年或甚至不到一百年的；離槽水庫壽命較長，一般都會超過百年，或數百年。例如苗栗縣的鯉魚潭，依其淤積速率，即使不做任何防淤處理也可使用數百年。

目前水庫已有防淤改善者首推高雄市的阿公店水庫，該水庫是日本人於 1930 年代積極籌畫南進，於岡山興建其海軍航空隊的基地，但設置後發現岡山是一個很容易淹水的地方，航空隊的機隊設置後才發現事態嚴重，除整治阿公店溪之外，另外規劃於阿公店溪上游興建滯洪水庫 (flood retarding reservoir)。格於當時的技術水準 (state of the art)，不但對於洪水的估算非常粗略，對於水庫可能會淤沙也完全未加考慮。開工後又遭遇多次大洪水，使得水庫的興建工程於 1945 年第二次世界大戰結束後，除僅完成了一支排洪管之外，主要的工程都尚未著手興建。

民國 36 年阿公店水庫工程由中華民國政府派員接手，對於日本人的規劃也未做檢討，就按原設計興建，於民國 42 年，1953 年完成蓄水。當時在台灣省建設廳之下成立了水利局，並於燕巢工地成立了阿公店水庫工程處，負責施工的還是朱鎔基的堂哥，上海交通大學畢業的朱鎔堅先生。

水庫於民國 42 年完工後，經過十多年的營運，發現水庫淤沙嚴重，每年約有 50 萬立方公尺的淤沙，於是趕快進行水庫更新改善的規劃研究，但因經費所限，於民國 59 年僅先進行水庫溢洪管的加高，未能進行徹底的更新改善。一直到民國 83 年，岡山地區大淹水，當時的李登輝總統到現場，當場決定以 100 億元新台幣徹底更新改善阿公店水庫，並以空庫防淤的方式減輕水庫的淤積。如能配合每年將未能排除之泥沙於空庫時間予以清除，此水庫確可達成永續利用的目的。

除阿公店水庫之外，近年來有鑑於重要水庫的淤

積嚴重，終有一天會完全被泥沙所埋沒，又因新建水庫之可能性很低，因此從北部最重要的石門水庫於民國 93 年艾莉颱風之後，政府核定 250 億之更新改善計畫，其中包括有水庫防淤以達到永續利用之目標，目前正執行中。南部的曾文及南化水庫於民國 98 年莫拉克風災後也積極進行水庫防淤的工程計畫。

尚未進行防淤改造的水庫，應依其淤積之速率，積極辦理水庫防淤改造，使其能達到永續利用為目的。

### 廣設農塘藏水於農，充裕可靠水資源

天賦的水資源必是豐枯分佈不均，因此必須要有水庫能將降雨一時用不完的水加以儲存以供枯水期老天不下雨的時候利用。台灣河川坡陡流急，河谷又狹窄，良好之水庫地形不多，能做的已大致興建了水庫，但因天然條件不佳，總數約 40 多座的大小水庫，其可儲水量不夠 20 餘億立方公尺。依目前的社會氛圍規劃興建新水庫可能性甚低，如果能立法規範農民能以其自身農地三分之一開挖農塘，其深度以 2 公尺計算。若以全國 80 萬公頃之農地三分之一開挖農塘蓄水，其總水量約為全國水庫的 2 倍以上，本小利大，為最佳的增加水資源策略。

### 廢污水回收再利用

廢污水回收再利用最積極的國家為新加坡，並賦予再生水 (Reclaimed water)、新生水 (New water) 之美名。美國對於廢污水態度也是 “waste water is water too”、“waste water is water resources too”。國際上對於水資源之永續利用更提倡「ZID」(zero liquid discharge)，強調用水後無液體排放，因為用過的廢污水係原來乾淨的水有了雜質，只要把雜質去除又是乾淨，也可以再利用。

在台灣於民國 91 年北部大乾旱時曾經核定桃園平鎮工業區的廢水回收再利用計畫，但於旱象解除之後工業用水人拒絕使用回收再生水而又取消該計畫。今 (2015) 年又遇旱情，南部尤其高雄地區又積極的檢討廢污水回收處理再利用之議，鳳山溪之於高雄，永康污水回收於台南等又見積極檢討推動。其實國家對於廢污水回收必須早日完成立法，讓制度朝向 ZID 的國際目標邁進才是正途，不能一遇枯旱缺水就要，旱

象一解除或緩和又說不要。

其實早在內政部營建署層報污水下水道建設計畫到行政院即曾核示：(1) 污水之處理必須達到二級之放流水標準。(2) 所有污水處理廠用地取得時必須一併取得回收處理廠用地。(3) 當時也將污水處理到二級處理之經費由內政部負責籌編，二級處理後之放流水由經濟部水利署接收，在已備妥之回收處理廠之用地進行處理，依各標的之水質標準完成再生處理 (reclamation) 後提供各標的使用。

事隔多年，經濟部水利署及內政部之污水下水道工程部門都將併到環境資源部，今後之推動應該會更為順暢。但重要的事為有效執行廢污水回收利用，其專法必須儘快完成立法，並且宣示各明確之政策目的，以邁向 ZID 的國際目標為宗旨訂定之。

### 加速推動海水淡化以併入多元供水系統

台灣為一四面環海之海島，即使在氣候變遷的壓力下，亢旱可能經常發生，而且會有很嚴重的乾旱，但海水就在四週，取之不盡用之不竭，問題是海水含有 33,000 ~ 35,000 ppm 的鈉鎂等礦物質，不適合吾人使用，如果要將海水中的水與礦物質分離必須耗費能源。台灣為一個能源缺乏的國家，如果以民國 99 (2010) 年的能源消耗，99.39% 的能源係依賴進口，僅有 0.61% 石油當量的能源係國內自產，實在是微乎其微。因此解決國內能源問題同時也可以解決水資源的問題。

傳統上台灣一遇缺水就以興建水庫解決，但是到了民國 80 年代，在推動鯉魚潭、南化及牡丹水庫時，尤其恆春地區之牡丹水庫，水庫興建之總成本愈來愈高。如不考慮能源的問題，僅以金錢計算，海水淡化之成本很快會比水庫興建更便宜。因為如果某一種商品或產品，其價格是受限於資源之有無及多少，那麼此種物品必然會因資源愈來愈少而愈來愈貴；如果此種物品的價格受限於技術能力的好壞，那麼由於技術能力的改進，此種物品必然會因技術改進及進步而愈便宜。

水庫產水及海水淡化正是上述兩種產品，能興建水庫之地點不多，而且一個比一個條件差因此水庫產水成品會愈貴。海水淡化則因技術及耗能的改進其成本會愈來愈便宜。1988 (民國 77 年) 評估時，海淡尚貴很多，單位產水耗電量約 7.5kwh，但今天海淡已比

水庫便宜，耗電也從 7.5kwh 降低到 2 ~ 3kwh，問題只是台灣的可再生能源的發展，尤其海洋能源的開發更是重要，必須加速推動。

因此如果能將海洋能源的發展與海水淡化一起考慮，一起積極推動，不但解決台灣能源的問題，同時也解決了水資源的問題。

## 地下水的保育、利用及補注

地下水是台灣非常寶貴的天賦水資源，僅以中部濁水溪沖積扇而言，其面積約 10 萬 ha，依據台灣水利局於 1990（民國 80 年）年代建置全台灣地下水站網時，其鑽井深度都超過 200 公尺，發現全部都是河川沖積層，並無所謂母岩之岩盤。又根據中國石油公司早期在雲彰地區的油氣探查，其深度達到 1500 公尺仍未發現岩盤。如果以雲彰濁水溪沖積扇約 10 萬 ha，以 1000 公尺之深度計算，其體積達到 10,000 萬 ha-m，亦即一萬億立方公尺。雲彰沖積扇地層之孔隙率可以從 10% 到 19%，如果以最低 10% 計算，其蓄水量就高達 1,000 億立方公尺。

惟地下水之取用必須考慮：(1) 不能有地層下陷之顧慮。(2) 不能有海水入侵之威脅。(3) 不能集中於一點抽取地下水。(4) 可迅速自然補注。因此，如以濁水溪沖積扇為例，其地下水庫之總體積為 10,000 億立方公尺，其蓄水孔隙率如以最低 10% 計算，水量達到 1,000 億立方公尺，其水量為台灣所有水庫總和將近 50 倍。

不過在上述限制條件下，以濁水溪沖積扇之條件即可訂定所謂安全出水量 (safe yield)，並從扇頂至扇尖依其地質水文條件規劃布設地下水生產井，與分佈在此沖積扇上之彰化及雲林二水利會之灌溉系統搭配，妥善訂定地表地下水聯合運用系統及運用操作規則，地下水抽用及停抽並可依據地下水觀測站網就近之地下水位變動決定其水位起降 (fluctuation)，避免因地下水之抽用而造成上述之負面影響。

濁水溪沖積扇為台灣最大的地下水區，但並非最佳的地下水區，上文已提到如台中盆地、花東縱谷等都是良好的地下水區。其實台灣 11 個地下水區均可各依據其各自不同的地質水文條件，與其區內的地表水研訂地表地下水的聯合運用系統及其操作運用規則，有效而妥善地使用台灣天賦的珍貴地表及地下水資源。

## 水價合理反應成本，使用者付費

民主法治的國家，涉及人民公用的所謂公用事業費率，均是以使用者付費或受益者付費為基本原則。愈落後、愈未開發的國家，政府補助的比例會愈高。3、40 年前在美國上課時，有關自來水的相關工程，授課教授都會強調自來水的用水量高低代表一個國家進步的程度。但是近一、二十年來，所謂永續，或可持續發展 (Sustainable development) 的觀念抬頭，強調一個國家進步的指標，已變成人均自來水用水量愈少就愈進步。

台灣 2012 年人均日用水量台北市為 268 公升，台灣省地區為 375 公升。反觀歐洲各國，德國 2010 年為 121 公升；英國 2007 年為 148 公升；法國 2007 年為 164 公升；丹麥 2012 年為 104 公升，我們人均日用水量是歐洲各國 2 倍多，也是新加坡 2012 年人均 152 公升的 2 倍左右。

除用水的浪費之外，水價 20 多年來一直偏低，表 1 為台灣家庭用水佔消費支出比率的統計表：

表 1 我國家庭用水費佔消費支出比率統計表

年度	人均 GDP (美元) 註 1	平均每戶消費支出 (萬元新台幣/年)	家庭用水費佔消費支出比率 註 2
2007	17,154	71.6	0.38%
2008	17,399	70.5	0.38%
2009	16,359	70.6	0.37%
2010	18,503	70.2	0.37%
2011	20,057	72.9	0.35%
2012	20,423	72.8	0.35%

註：1. 中華民國統計資訊網「國民所得統計常用資料」  
2. 根據台水公司普通及軍眷用戶水費之資料換算

如果以人均 GDP，水價所佔比例仍然是偏低，詳可參閱表 2：

表 2 國際水協會 (IWA) 統計各國 2011 年平均水價及水費負擔率

國家	人均 GDP (美元)	平均水價 (新台幣元/度)	水費負擔率 (%)
比利時	37,600	57.2	1.01
芬蘭	383,00	48.0	0.83
德國	37,900	70.7	1.23
香港	49,300	17.3	0.23
日本	34,300	49.6	0.96
澳門	33,000	16.8	0.34
韓國	31,700	15.2	0.32
西班牙	30,600	33.3	0.72
英國	35,900	67.6	1.25
台灣	37,900	9.2 (註 2)	0.16

註：1. GDP 為換算各國物價後之實質 GDP 比較  
2. 為台北及台灣兩自來水單位水價平均值

台灣的水價偏低造成國家的損失不計其數，以鄰國日本為例，日本自來水平均水價折合新台幣每度自 1975 年的 68.8 円（新台幣 22.9 元）至 2011 年的 176.78 円（新台幣 59 元），26 年間增加了 1.6 倍。水價之中於 1975 年包含有 11.9 円，約 17.3% 之更新維護費用，而且隨著管線之老化，計畫性更新及維護費持續提高，至 2011 年水價為每度平均 176.78 円，其中更新及維護費用比重增加至 32.7%，亦即反應成本，每度水中更新及維護費增加到 57.8 元，增加達 4 倍，折合新台幣 19.3 元。

日本光是更新維護的費用就是台灣目前水價的 2 倍，顯見其供水效率得以每年提升是有原因的。台灣水價不但已廿多年未加調整，而且水價結構中未有更新改善的經費，水源的開發成本也未能全都由使用者負擔包含於水價之內。政府負擔水源的開發成本及自來水系統的更新改善及維護費用，造成大水量用水戶獲得政府補助愈多，愈少的用水戶獲益愈少的不公不義之現象。

任何負責任之政府都必須以合理化水價，完全朝受益者、使用者付費的方向訂定政策，徹底執行。

## 永續的水資源經營必須是多元化的管理方式

近年來國際水協會（World Water Council，W.W.C）一再鼓吹水資源的經營管理及決策方式必須是多元化的、整合式的方式（Integrated Water Resources Management，IWRM），內容包括水源的多元化取得、有限水資源之利用必須多元化考慮、以單位水量之使用所能獲得之經濟價值最高，或對環境保育之價值最高為優先考慮。水資源事務之決策不再僅由政府負責部門決定，而必須廣徵社會的參與，與利害相關者（Stakeholders）共同商議決定。以下分別依水源、用水及決策三方面敘述之。

水的來源可以區分為地表水、地下水、河床下的伏流水、廢污水回收再生水、海水淡化等。依照 IWRM 的原則，各種水資源必須整合使用，因為世界上任何的國家都很難僅依靠一種水就可以滿足各標的需求。整合式的原則必須依照其取得的難易度、取得的成本、其取得是否會對生態環境造成負面的衝擊

來訂出其優先次序，並以區域為單位訂定使用規則，其區域可如前文三所劃分的區域加以研議。分區訂定取得水源之優先次序，不論豐枯期均有可靠之水源，問題只是其水源可能因豐枯不同而變異，依序執行，不會造成缺水的恐慌及不知所措。

水源可能或多或少，其取得成本可能或高或低，在成本較低者已難以取得，或因氣候變遷的影響可能發生乾旱時，僅有的水到底何者可優先使用，我國水利法第 18、19 至 21 條都定有原則性的規定，但執行時也常發生問題。如民國 90 年代經濟部所頒發的農業用水協調作業要點明定接受由農業用水所調度支應的用水人必須負擔農民的損失，但一直到今天尚難明確的制度化，政府必須明確依照單位水資源生產價值的高低明定順序，但也必須讓受水者支付農民之損失，不能由政府，也就是人民來支付此項成本。

任何涉及民眾權益之水資源措施，包括工程、非工程，都必須有社會公眾的參與（public participation）才能做成決定。不論有無水可用，或是否會遭受水災都與民眾之福祉息息相關。參與時可由利害相關之民眾推舉代表人參與討論決策，不能由政府單方面決策。

## 防洪排水整治及安全舒適的生活環境

水是財也是災，適當的降雨量是甘霖，超量的降雨量是洪水猛獸，洪澇的問題自古以來就跟隨著人類的發展如影隨形，古今中外皆然。我國有大禹治水，國外有諾亞方舟的傳說。1966 年美國國會文獻有載：“floods are an act of God, flood damages result from act of men.”，前文也提到春秋時代齊國名相留下了「凡立國都，非於大山之下，必於廣川之上；高毋近旱，而水用足；下毋近水，而溝防省」之名言。

美國在 1993 年密西西比河發生大水災，當時柯林頓總統下令成立調查及檢討委員會，負責追查檢討原因，並提出對策。該委員會於 1994 年 6 月提出調查報告，其對策為“Minimize the Vulnerability”，其精神正符合 1966 年美國國會文獻記載，如何減輕土地及環境使用的脆弱度才是根本之道。以下分別依河川防洪、區域排水及都市下水道，與防浪禦潮三個面向加以敘述。

## 河川防洪

早期台灣的河川分為主要河川及次要河川，於民國 80 年代為落實中央地方權責的劃分改為中央管河川及地方管河川。中央管的河川為原來的的主要河川，地方管的河川為原來的次要河川及普通河川。中央管的河川目前都由經濟部水利署及其 10 個河川局負責整治、維護及管理。其防洪系統包括必要的堤防護岸大致已完備，主要的工作為歲修及經常的維護管理，由於在中央行政院之公共建設預算之內有固定的河川排水次類別經費，大致尚無大問題。

只是在面臨氣候變遷的壓力下，防洪的設計標準是否提高正困擾著治水單位。如民國 98（2009）年莫拉克颱風的暴雨洪水，在高屏溪、曾文溪及太麻里溪均造成超標的溢堤（overtopping）現象，必須慎謀對策。

至於地方管河川治理的完成率普遍偏低，近十幾年來均併入從 95 年開始的水患治理計畫以及 103 年又持續辦理的所謂流域綜合治水計畫，雖然名稱不同，但其目的都是為了減輕易淹水地區人民水患的痛苦，讓民眾有一安全舒適的生活環境。

## 區域排水及市區下水道

區域排水之權責始為地方政府，雖有少數的區域排水涉及兩縣市者由經濟部水利署負責整治及管理，但為數不多。於民國 95（2006）年水患治理計畫核定預算時也核示，如果涉及兩縣市之區排以水患治理之經費整治完成必須依地方制度法第 21 條之規定，由中央主管機關指定由涉及較多之地方政府負責管理。

區域排水之整治率普遍偏低，雖經 8 年的整治，完成比例仍低，應持續地辦理。除區域排水之外，都市地區之下水道系統於民國 97（2008）年卡玫基颱風之後更發現嚴重淹水情況。第一次的水患治理計畫雖列有項目，但經費不多。此次流域綜合治水增加經費額度，市政單位必須整體的規劃之後，有效地治理。

農業部門主管的集水區，農田排水以及魚塢地區排水均列在持續辦理的流域綜合治水計畫之內。其實魚塢地區之排水只要針對魚塢之構造略加統一整理，自備出水高，不但自己無水患之虞，更可作為週遭相關地區的滯洪池，減輕鄰近地區的水患。

## 海岸地區的防浪禦潮

台灣海岸線長達 1100 多公里，自民國 60（1970）年代開始，受到潮浪威脅的地區就開始分期分年興建海堤。截至目前為止，有保全對象，必須興建海堤加以保護之海岸均已完成施設，今後之重點工作為海岸生態環境之營造，使得海岸地區為民眾樂於遊憩之地點。

## 結論與建議

檢視台灣的水資源及其環境，天賦之資源及環境條件均不差可以說老天待我們不薄。過去因為各個不同時代的社會需求，未能完全依照水資源及其生態環境能永續發展的原則，規劃利用我們珍貴的自然資源，今後必須完全遵循永續或可持續發展之原則，規劃我們賴以安身立命的寶島上之水資源及其生態環境的使用，以達到可持續利用之目標。因此，以下各項必須認真的制訂策略目標，有效推動達成。

- 研訂以流域邊界為行政邊界，提高資源使用效率。
- 水權統一調度，有效管理。
- 加速建立水資源區域調度利用系統。
- 推動水庫更新改善，增加防淤功能，達到永續利用。
- 水價合理反應成本，提高用水效率。
- 積極推動廢污水回收利用。
- 加強地下水保育，人工補注及地表地下水聯合利用。
- 積極推動海水淡化，並與海洋能源同步開發。
- 積極推動藏水於農的政策。
- 研究各個水庫之補充水源計畫。
- 重要河川伏流水利用計畫的規劃。
- 強化現有各河川防洪體系以因應氣候變遷的壓力。
- 持續辦理水患治理計畫。
- 土地開發計畫必須以 LID 之原則研提排水計畫書。
- 本受益者付費原則，檢討現行農田水利會用水付費制度。
- 建制魚塢地區之滯洪功能。
- 研究實施增加翡翠石門及曾文水庫之補充水源計畫。
- 研究石門水庫之分洪計畫，早日實施。
- 依永續發展原則訂定台灣糧食自給自足政策，積極推動實施。

# 環境變遷對永續水資源之挑戰

簡俊彥 / 全國水利技師聯合會理事長

水資源是可再生資源，但再生水量多寡與環境及氣候條件有關；包括集水區狀況、地形地質、森林覆蓋情形、人為產業活動強弱、地面水地下水管理、地層下陷及氣候變遷等因素都有影響。台灣水資源環境的劣化，已是數十年的長期趨勢，加上近年來氣候變遷降雨變異日益明顯，形成永續水資源的極大挑戰。以下由水庫淤積、地層下陷及氣候變遷三個面向切入，闡述環境劣化對水資源的關鍵影響及背後意義的個人淺見。

## 水庫淤積影響及其相關觀察

台灣水庫的淤積情形如表 1 及圖 1 所示。該圖表除顯示水庫淤積外，其背後所代表的意義更值得關注。

### 現有水庫年年淤積，有效庫容漸減難以永續

台灣水庫的淤積是長期普遍現象。表 1 統計主要 20 座水庫累計淤積量約 8 億立方公尺。若水庫運用率每年以滿庫 1.5 次估計，則因淤積減供的水量，每年可達 12 億立方公尺，數量極為驚人。另根據經濟部水利署的統計資料（圖 1），民國 92 年全台水庫實際總有效容量約 21.84 億立方公尺，為原始總有效容量的 91.08%，至民國 102 年實際總有效容量減為 18.95 億立方公尺，有效容量維持率下降至 77.40%，平均每年約減 2,890 萬立方公尺，約每年淤積報銷一座中小水庫規模的庫容，情況令人憂慮。由於水庫入砂量始終遠大於清淤量，未來水庫仍將繼續淤積，對水資源的永續利用是很負面的因素；也就是說，我們這一代能夠留給下一代的水庫水資源資產，正在隨時間增長而年年減損中。

### 離槽水庫是台灣較佳選擇

表 1 顯示建於主河道的在槽水庫淤積率明顯偏

表 1 台灣主要水庫淤積情形

水庫名稱	竣工年份	迄今水庫壽齡 (年)	原始總容量 (萬立方公尺)	現況有效容量 (萬立方公尺)	淤積率 (%)	備註
* 新山	1980	34	1,009	1,002	0.07	
石門	1963	51	30,910	20,123	34.90	
翡翠	1987	27	40,600	33,551	17.36	
* 寶山	1985	29	547	538	1.64	
* 寶山第二	2006	8	3,218	3,134	2.61	
永和山	1984	30	2,958	2,809	5.04	
明德	1970	44	1,770	1,244	29.72	
* 鯉魚潭	1992	22	12,612	11,546	8.45	
德基	1974	40	23,200	15,000	35.34	
石岡壩	1977	37	184	113	38.59	
霧社	1959	55	14,600	4,726	67.63	
* 日月潭	1934	80	17,162	13,124	23.53	
* 仁義潭	1989	25	2,731	2,580	5.53	
* 蘭潭	1942	72	972	923	5.04	
白河	1965	49	2,509	969	61.38	
* 烏山頭	1930	84	15,416	7,980	48.24	
曾文	1973	41	74,840	47,330	36.76	
南化	1993	21	15,800	9,793	38.02	
阿公店	1953	61	4,500	1,646	63.42	
牡丹	1995	19	3,119	2,643	15.26	
合計			268,657	188,774	29.73	

註：1. 資料來源：經濟部水利署網站。

2. \* 為離槽水庫。

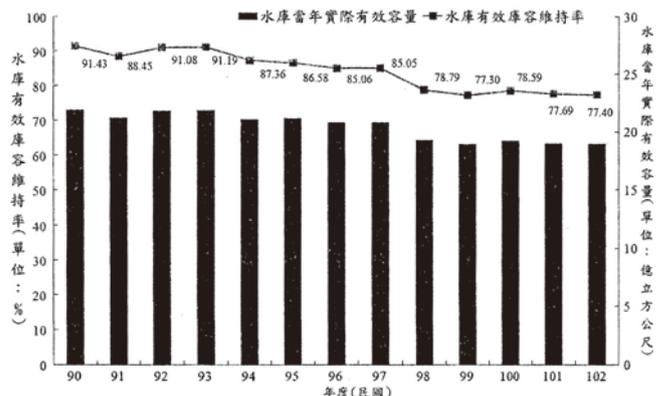


圖 1 台灣水庫有效容量維持率

資料來源：經濟部水利署台灣地區水資源投資分析 102 年度報告

高，例如石門、曾文、德基、南化、霧社、白河及阿公店等水庫。相對的，不在主河道的離槽水庫淤積率則偏低。典型的離槽水庫如日月潭與烏山頭水庫，歷經逾 80 年使用，目前仍保有可觀的有效容量。水庫淤積是必然現象，每座水庫都有其階段性的功能壽命，因應水庫淤積延年益壽最好的辦法就是慎選位置以離槽方式興建水庫。這是台灣地理環境下必須面對的現實，值得決策者深思。

水庫淤積老化過程中，供水能力降低，水庫階段性功能已有改變，用水計畫勢需適時因應調整

一座水庫的經濟效益分析，一般以 50 年為有效功能年期。也就是說，壽齡超過 50 年的水庫，其所殘存的蓄水功能可視為淨賺效益。目前台灣有多座早期水庫已達成或接近此種狀態。80 高齡的日月潭及烏山頭水庫仍然強勁的發揮功能，壽命 40 ~ 50 年的石門、德基、曾文三座大型水庫，現況淤積率約三成，尚有約三分之二容量繼續發揮重要功能。就經濟效益而言，已超越當初計畫預期目標。

但就水資源永續及產業與民生長期需水觀點，則除經濟效益計算之外，尚有其他不同面向課題需要未雨綢繆及早因應。當初伴隨水庫完工新增供水發展出來的各種產業及民生用水型態，在水庫淤積供水能力減退之後，用水計畫是否有調整因應空間，調整因應方法為何，及調整之後的社會經濟衝擊能否承受等等，在在都是巨大的課題與挑戰。台灣過去的水庫建設，比較著重工程規劃、設計、施工及維護操作，對水庫大幅淤積萎縮及功能改變之後的用水結構性調整，及需要重大決心與魄力的措施作為，較少這方面的經驗。但現在問題已在眼前，亟需要審慎考量適時因應調整。

以事關重大的石門及曾文兩水庫為例。當年水庫完成，灌溉水量充沛，種植水稻面積大增，得以增產糧食供應軍民所需。現今水庫供水能力降低，稻米需求也大減，需以休耕減產因應，而都會區生活用水及工商業用水激增，紛紛競向水庫要水，水庫階段性供水功能已有改變。在此情境下，嘉南平原及桃園台地的耕作制度能否適度調整，將水資源分配做結構性的改變，值得政府相關部門好好思考研究。

水庫蓄豐濟枯功能不可或缺，現有水庫為寶貴水資源資產，清淤活化需以視同新建水庫的魄力與投資規模從事，並需以創新性作法產出經濟誘因

台灣降雨的時間分布很不平均，約八成雨量集中在 5 月 ~ 10 月的豐水期，11 月至次年 4 月僅有二成。而集水區涵養水源能力不佳，枯水期河川基流量低落甚至斷流，所以枯水期的用水須賴水庫蓄豐濟枯支應。今年旱災特別嚴重，許多地區限水供應，僅能依賴水庫少量存水苦撐度日，社會大眾應是印象深刻超有感覺。因而，水庫雖有嚴重淤積難以永續的缺點，但仍是台灣不可或缺的水資源重要設施。

受到天然條件限制及社會環保意識影響，今後再新建水庫的機會很小。現有水庫的有效容量如何維持，已淤掉的部分如何清淤活化，實為今後重要而迫切的課題。下面幾個面向值得思考：

1. 水庫的清淤活化並非廉價簡易工作，清淤土石方如何處理，無論是運輸或堆置都有重大的環保課題待克服。必須以視同新建水庫的魄力與投資規模從事較能成功。
2. 清淤土石方如不能產出經濟誘因，國家財力恐難長期負荷，亟待研究規劃創新性作法；填海造陸、土地改良及供做產業用材等均為可能方向。現有法規適用性及開創性均不足，亟待解套。
3. 處理水庫淤積正本清源之道在於減少水庫入砂量，水利主管機關亟應積極介入水庫集水區的管理事宜；包括土地合理使用、防淤緩衝區的劃設、水源涵養林擴充以及水土保持相關事項等，均需積極尋求法規著力點。

## 地層下陷影響及其相關觀察

台灣地層下陷主要緣於地下水超抽引起地層壓密所致。對水資源的影響及相關觀察如下：

台灣的地層下陷由來已久，已歷半世紀，台北市中心及台灣中南部沿海都曾是下陷嚴重區

目前台灣地層下陷情形示如表 2，曾發生地層下陷的面積約 1,700 平方公里。最早發現地層下陷是在台北市，可能是許多人料想不到的。民國 40 年到 50

年代，台北市聚集眾多人口及工商業，在地面水源不足的情況下大量抽取地下水，於台北車站至忠孝東路與新生南路口一帶形成下陷中心，最大下陷量達 2 公尺。當時水利局正在規劃研究淡水河防洪計畫，覺察地層下陷對防洪安全的威脅而將此因素納入考量。幸而民國 76 年翡翠水庫完工，地面供水解決，加上不少製造業工廠遷離台北市，終使地層下陷漸趨和緩下來。

台灣中南部沿海的地層下陷，與魚蝦養殖業大量抽水有關，民國 60 年代至 70 年代最嚴重。迄今最大下陷量，彰化縣 2.5 公尺，雲林縣 2.47 公尺，嘉義縣 1.5 公尺，台南市 1.02 公尺，屏東縣最大達 3.4 公尺；由彰化縣至屏東縣沿海形成帶狀嚴重下陷區。近年養殖業不如從前興旺，部分養殖區取用海水減抽地下水，地層下陷趨於緩和。雲林縣及彰化縣仍有相當程度下陷尚在進行，雲林縣土庫虎尾一帶的地層下陷，甚至已威脅到台灣高鐵的行車安全。內陸地區的地層下陷通常與工廠製造業抽水有關，這是繼沿海養殖業造成地層下陷之後另一種下陷型態。雖然下陷規模較小，但因接近城鎮人口聚集地區，對環境劣化的影響不容忽視。

表 2 台灣地層下陷情形

地區	歷年累計最大下陷量 (公尺)	目前仍在下陷面積 (平方公里)	最近下陷率 (公分/年)
宜蘭	0.47	0	2.8 (101 年)
台北	2.11	0	2.4 (101 年)
桃園	0.12	0	0.2 (99 年)
苗栗	0.02	0	0.4 (101 年)
台中	0.02	0	0.4 (101 年)
彰化	2.50	19.9	5.4 (101 年)
雲林	2.47	261	7.4 (101 年)
嘉義	1.50	5.57	4.2 (101 年)
台南	1.02	0	2.4 (100 年)
高雄	0.25	0	1.8 (100 年)
屏東	3.40	0	1.9 (101 年)

資料來源：經濟部水利署地層下陷防治資訊網

地層下陷的惡果，導因於土地使用與用水型態欠缺國土規劃統合，未以水資源為限制條件，地下水管理不佳無節制的抽取地下水。

台灣地層下陷的形成，幾乎都依循下列軌跡進行：

1. 在地面水源不足但地下水相對豐富的沖積平原地區，民生及各項產業以地下水為常態水源，地下水位長期下降，是地層會下陷的基本要素；但在初期

因抽水量不大，地層下陷尚不明顯。

2. 接著，由於經濟獲利產業規模及用水需求大增，加上地下水管理不佳或根本沒有管理，任由業者無節制抽水，終於形成明顯的地層下陷。
3. 最後，或因地層下陷使生產環境惡化，養殖魚蝦疾病，生產成本增加，外銷市場萎縮無利可圖等因素，企業規模縮小，降低地下水抽水量，使地層下陷漸趨平息。也有比較正面的少數例子，因地面水源改善，土地用水型態改變而減抽地下水使地層下陷停止。但無論如何，上述情形都留下不可逆且難以恢復原狀的地層下陷狀態。

由上述過程可知，地層下陷是土地使用、產業配置與地下水資源應用三個環節不協調的結果。三個環節的產生都因經濟活動需求而起，本應在國土規劃整體架構下做適當的安排，但現在「國土計畫法」尚未立法，國土規劃無法規可循。在此情況下土地地主以謀生為理由自行抽取地下水發展產業，政府很難拒絕或取締。而眾多合法及違規水井數量及抽水量，政府迄無精確掌握，管理技術上也有困難。

就水資源永續觀點，地層下陷現象所暴露的地下水廉價濫用，及未能把地下水定位為備援及救旱的有效水源，是最為可惜之處，亟待適當補正。

地下水（井水）自古即為生活用水所依賴。當枯旱季節河溪流量及地面水庫逐漸乾涸，即需地下水應急。這種可以救旱甚至救命之水，在極端枯旱年分具有無比價值。亦即，地下水庫比地面水庫可貴，可惜台灣社會普遍忽視。地下水應定位為備援及救旱水源，不應做為產業的常態性水源，尤其是產業長期廉價大量抽水耗盡地下水千百年蘊藏量，不但目前造成地層下陷，當極端枯旱來臨時將無地下水可用最為可惜。為謀補正之道，下列面向可供思考：

1. 以主要地下水產區深層含水層為水源，應建立一定能量的備援救旱系統，由中央政府以開發地下水庫的概念投資開發。
2. 管理地下水的重點應由管水井抽水量轉向管制耗用地下水的產業。產業抽取的地下水量可由其產品生產量與單位耗水量反向稽核推估；大量消耗地下水的產業種類及規模，可經由立法管制。

## 氣候變遷影響及其相關觀察

近年來實際天候狀況及相關調查研究，都顯示異常水文事件發生頻率日益頻繁。以下探討氣候變遷異常水文事件對水資源永續可能影響及因應之道。

降雨日數減少，降雨集中在少數日期，及局部地區異常強降雨，是近年來發生較多的異常水文狀況。

根據中央氣象局的資料，1911年至2013年全台灣平均溫度，每10年上升攝氏0.14度，約為全球平均攝氏0.074度的2倍左右。暖化現象相當明顯，助長極端氣候的發生。而近年來的降雨情形，台灣年總雨量平均值尚無明顯變化，但年降雨日數減少約40天，降雨不平均是造成乾旱的主要原因。估計各地將經常面對「不是不下雨就是強降雨」的氣候。

以民國98年莫拉克颱風為例。該颱風具有「高強度、長延時、大面積」的罕見降雨特性，降雨中心附近許多雨量觀測站的單日降雨量都超過1,000毫米，幾天之內幾乎把平時一年的總雨量下完。尤其是高強度長延時的超大豪雨，集水區脆弱地質無法承受，大量山崩及土石流，造成空前的複合型災害。所以「強降雨」是異常水文事件最大特色，無論是長延時或短延時，都可能帶來重大災害，在水資源利用方面也需注意防範。

異常水文事件使可用的水資源更難掌握，水庫加速淤積，各項蓄水堰壩及輸配水設施易遭沖毀，乾旱缺水的風險增加。

異常水文事件短時間內大量集中的流量，就川流取水而言，受限於進水口取水能力固定，無法大量引入，另因洪水濁度大，也不見得是可引取的水量。就在槽水庫而言，大洪水固然可把水庫蓄滿，但通常產生大量的洪水溢流，很快奔流入海，難以掌握變成可用的水資源。台灣年降雨量長期平均約2,500毫米，折合降水量約900億公噸，現有取水設施合計約可掌握其中二成，約180億公噸。異常水文事件將使有效掌握率降低，也就是說，以後每年經常能夠取到的水量預估將低於目前的180億公噸。

異常水文事件對水資源設施最大的威脅在於對水庫的殺傷力。民國98年的莫拉克颱風，大量砂石淤積，曾文水庫有效庫容減損9,108萬立方公尺，佔水庫原始總容量約12.17%；南化水庫有效庫容減損1,706

萬立方公尺，佔水庫原始總容量的10.80%，可謂殺傷力驚人。民國92年至102年台灣水庫有效容量平均每年淤積減少2,890萬立方公尺（圖1），主要即因幾次大颱風加速淤積所致。如果任此高淤積速率持續，不出10年，由於水庫調蓄功能降低，縱使在平常年分台灣即有很大的缺水風險；20年後台灣將有難以解決的缺水危機，屆時農田休耕及工廠停工恐成常態，經濟及民生將大受影響。水庫淤積使潰堤機會增加是另一個風險。淤積嚴重的阿公店、白河、霧社等水庫均面臨此項課題，其原有的供水或發電功能已成次要，如何預防潰堤成災變得更重要，目前已施行一些必要工程對策，類似這樣的水庫將會愈來愈多。

因應異常水文事件的要領在於分階段推行避災減災的調適措施，而非以工程措施對抗。

1. 異常的旱澇常非人類所能應付，過去「人定勝天」觀念今後宜修正為「順天應人」，以避災減災及災害分散分擔為首要，不能一味以工程對抗。
2. 氣候變遷是隨時間進程而逐漸加劇，並非一夕即來。所以我們仍有相當時間採短、中、長程措施分階段應變；在水資源因應措施方面，因為需要較長時間始見成效，所以應盡早開始行動。
3. 氣候變遷下可掌握的有用水資源變少，應變之道亟應提高用水效率建立節水型社會，減少對天然水資源的依賴程度。這種重大變革影響層面深遠，需要大決心、大魄力與長期努力。
4. 水庫淤積活化及建立地下水備援水源，是因應氣候變遷的重要措施，目前台灣雖有些措施進行，規模仍很不足，亟待強化努力。

## 參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國99年，台灣河川水庫總覽。
2. 行政院國科會，台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫，許晃雄等，台灣氣候變遷科學報告2011。
3. 經濟部水利署，民國102年，各項用水統計資料庫—蓄水設施水量營運統計報告。
4. 經濟部水利署，民國103年，台灣地區水資源投資分析102年度報告。
5. 經濟部水利署，民國103年，中華民國102年水利統計—水庫堰壩。
6. 經濟部水利署，民國104年，台灣水庫蓄水量，水利署全球資訊網。
7. 經濟部水利署，民國104年，台灣地層下陷現況，水利署地層下陷防治資訊網。

# 倡導水環境保育的綠色思維—— 從連續性國際節慶談起

於幼華／國立台灣大學環境工程學研究所名譽教授

## 前言

每年自三月至六月，國際間的環境節日計有：

- 世界水日 (World Water Day)，3/22；聯合國藉此節日呼籲世人重視並珍惜水資源。
- 世界健康日 (World Health Day)，4/7；聯合國盼各國藉此展開宣導，增進人們對衛生領域的認識以提高其素質。
- 地球日 (Earth Day)，4/22；此環保節日原起源於1970年代的美國校園，1990年後節慶活動擴展至全世界。
- 世界環境日 (World Environment Day)，6/5；聯合國是在1972年舉辦的第一屆人類環境會議後，要求各成員國應在每年該日開展環保的宣揚活動。
- 世界海洋日 (World Oceans Day)，6/8；聯合國科教文組織於1977年認定海洋是人類共同遺產，特訂此節。自2008起，聯合國正式設定每年6/8為節慶日。

從以上連續的五個紀念日裡，我們可以察覺：

- 專為強調「水環境」永續發展者佔了其中五分之二比例，此比例已超過大家所熟知的「水」乃生命三要素之一的比重。
- 五個紀念日中，除「世界健康日」設定於五十年代外，其餘四者皆乃成立於七十年代之後。可見二戰後初期的人類環境難題僅止於「衛生」(Sanitation)，而後才有明顯的擴張。至於擴張軌跡，我們很可以從「衛生工程」學門如何演進至「環境工程」的近代史裡去追尋，且俟下文觸及時再議。

## 首論「綠色思維」的一己之見

土木水利學會要趁這季節編製「永續水資源」專

刊，筆者相信這個行動本身即是源自於所謂「綠色思維」的催生。專刊盼我能從環保/生活/生態的三大面向切入，談論「永續水利」的相關課題。筆者深感範圍過廣，且個人能力僅能自當今時髦的「永續發展」辭義為探討起點，試將「永續」(Sustainability)與所謂的綠色思維意涵加以聯結。此外，按本文文題，討論對象亦以不超過「水環境」(Water Environment)的領域為宜。

圖1是世人目前普遍知曉的「永續發展」示意，在此圖形中，環境、經濟以及社會乃是三個各踞一方，有待並進發展的等圓。但，當綠色思維開始興起後，原本的等圓群就成了如圖2中的單一同心圓形象，亦即自然環境最廣，類同地球本身的平面投影，而其中人類社會圈其次，而社會圈中之經濟乃至於政治，其範圍則更按序遞減。

確實，若同時以立面圖(圖3)來看待人類社會，我們這個圈圈是唯藉地球的存在始不至於無所附著的，它正如孫大聖脫不出如來佛的掌心；或者說，發展迄今，我們還算幸運，依舊是覆巢前的一粒「完卵」！

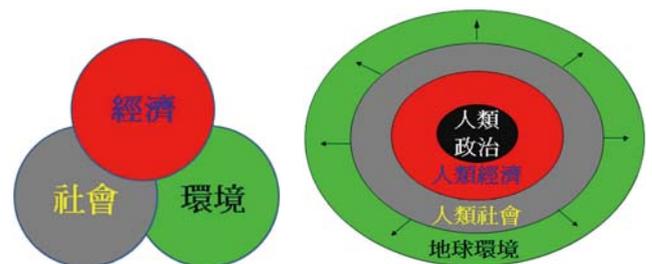


圖1 以人類為中心之永續發展概念

圖2 以生態為中心之永續發展平面圖(綠色思維)

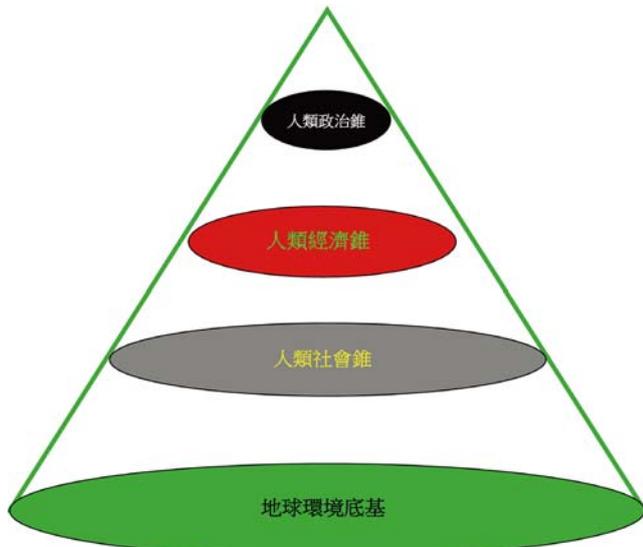


圖 3 以生態為中心之永續發展立面圖

只可惜，直到九〇年代前，人類社會一直自視過高，總以自我為中心，以至有如圖 1 的三圓分踞的思維。而，確是在這種將人類社會托大思想的導引下，我們的發展—不論社群擴張、經濟成長或政治掛帥等等。完全未慮及我們的載體—地球的安危。也因此，按圖 2 顯示者，若人類的圈圈仍繼續不思自我節制 (Self-Regulation)，那麼原本共生於球體上的其他生物夥伴或非生物性成員 (Abiotic Components)，其有限棲地自將更加緊縮，及至它們被逼至「退無可退」時，所謂「窮寇」的反撲，亦即就是今日所言的「大地反撲」的局面就勢必出現，而這不就是我們今人所正面臨中的恐怖局面嗎？！

過去多少世紀前，以「地球」為天體中心的謬思曾是多麼地普遍，但於今早已成為陳年笑談！同樣的，以人類為中心的地球觀也幸好在全面退位之中，近人所倡導：一切應以「生態」為中心，來檢視我們人類的所作所為是否符合保育原則，筆者認為，這應該就是所謂「綠色思維」的要旨。

## 次論「水環境」的分類敘述方式

延續上文「以生態為中心」的環保說法，以下即按「水生態」、「水資源」、「水污染」、「水景觀」等次序，對諸課題的全球與台灣現況略加回顧，繼而再據以提出未來展望。唯因篇幅所限，筆者無法像過去開授通識課程，「認識水環境」<sup>[1]</sup>那樣，廣邀各方專人來

助講或助寫，所以對自己的能耐不足處，只能以短文來求取最少的失誤。

## 水生態的既存知識不足

「生態學」自十九世紀中葉於德國發衍以來，直至上世紀的六、七〇年代始獲知識界的青睞，逐漸蔚為國際顯學。

該學門主旨在探索生物物種、社群與它們四周環境間的依存關係。但因所涉生物之對象繁浩、且所謂環境之範圍又如此多樣，以致資料收集與調查作業每每困難重重，費時耗力。尤其，自工業化的後遺引發水陸空皆有的各色生物浩劫以來，國際關注與研究團隊的毅力終於在此近五十年間，發揮了初步的開花結果作用。只是，這些少數成績對生態知識界而言僅代表了工作的開始，但相對的，對於應用實務界而言，生態資訊的缺乏往往即構成其作業需求上的最大致命傷。

就以國人所較熟知的「環境影響評估」報告為例，在目前已多如牛毛的評估報告書中，通常最常見的資料不足處，可謂十九皆屬「生態影響」的章節，其中能潦草了事者已還算不錯的了，作假與抄襲則更是普遍！

費時耗力的「資料庫」建檔工作，在各地尤其台灣，原即不易討得研究人員的歡心，以及，政府相關單位的長期資助的。回顧農業社會時代，當時雖然「生態學」字眼尚未出現，但向天地直接討生活的祖先們，卻以親身觀察而累積有一定程度的生態常識、甚至知識，單憑經驗所得，他們對「自然循環」與「生生不息」等道理的瞭解，以及應用，實已足夠讓我們汗顏，更遑論此刻我們適逢器材與電腦遠較過去齊全，卻竟刻意選擇不搞資料庫，誠然可嘆！

感嘆之餘，筆者不禁憶起三十五年前曾在土木系顏清連主任領隊下，完成過「翡翠水庫」興建的環境影評估案<sup>[2]</sup>。那時全憑本校動植物系的老師們相助，才能對興建前的「水環境」做了生態調查與其影響預估。提此舊案的重點有二，一是自彼時起始陸續引導出後繼的不少水生態團隊研究，二則是比較令人遺憾的未竟構想，那便是工學院的土機電化元老系所，似乎並未特別受到此案的啟發，比如開始多加強訓練未來工程師們的基本生態通識。

展望未來，個人認為大學各學院的通識教材中，爾後必將少不得要增添基礎生態學科，俾好為各行各業的人才打底，而尤其是為我們工學院的新兵們打底。因為，他們勢須雪恥，好為上世代的工程師們所獲的「生態殺手」的污名，討回顏面。

## 水資源的前景堪憂，總量與分配管理兩皆失靈

追溯世界水日，3/22的起源，因1992年巴西里約聯合國第二次人類與環境會議後所產出的「廿一世紀議程」<sup>[3]</sup>，其中正式提議將從翌年（1993）開始，應為全球的「淡水資源及其管理」設定節日並舉辦活動。自彼時以來，水節或水資源節的年度性議題已按年更換過廿餘次，唯真實的會議後效果似乎一直難以彰顯，各國對其自己的水資源問題，仍然是國國有本難唸的經，只是難唸的程度各有差異罷了。

在東南亞單以華人地區言，無論中國大陸、新加坡、香港或我們台灣，大家所經常要面對的共同難題便是：「缺水」，不論區域性或季節性者。然而頗有趣的是：明明華人都熟知「飲水思源」這句成語的意涵，但一般人卻只有在逢水荒時才開始懂得怪這怨那，平常日子則那會去想「龍頭水究自哪兒來」？！

筆者在近廿年前即去觀摩並飲用過新加坡的「污水再製水」，或叫之「新水」(New Water)；又對別人引用海水沖廁的作為也專訪過香港大學的同業，至於之前攔江發電的三峽大壩，或者近期「南水北調」的中線輸水工程，除了實地參訪外，更還隨團繳過心得報告。在此，無妨再度簡言一次自己的感想，僅有三句話：(1) 受西方訓練較早與較深的地區，比較能有通盤及配套規劃的實踐，(2) 攔水與運水遠比「搬人」容易，因為水是死東西而人才是會造反的；(3) 剩下「欠規劃」、「少實踐」、另加上「膽大妄為」，才可能是唯一向上天討救兵的辦法，但真的是如此即可行嗎？！

近日，當「限水」在我們中南部又嚷得有模有樣時，果然就讓上天聽到，似有準備送點颱風的小禮的意思。這次，在年度性的議論紛云裡，有專業人士語重心長，呼籲政府不一定要堅守「不作為」原則，或許可以對「水資源的管理策略做些全盤規劃」的導引。另外，竟然還有本地的第一個企業家，引出「一

噸自來水與一瓶瓶裝水的價格比對」，認為目前過賤的水資源必須要有個長期調漲的時程表，時程須長達三、五十年！也許，這個時程表會符合我們決策者的需求，因為「政治」乃最不永續的一環，時間拖得愈長，決策者的責任負擔就愈小…。

## 水污染舊疾未了，卻是新病連連

前文中曾指出：土木工程學門中的「衛生工程」學科乃於五〇年代漸臻成熟，許多經典書籍與專業人才皆始自美國東岸的名校，而後才逐漸西移，並且隨後普遍發揚光大，其成就很快即超越了他們最初的取經地，英國。

英國當年所發生的大規模井水污染，其警惕性乃造就了都市地區必須建設上、下水道系統的由來。然而，一窩蜂地向英美學步自也大有弊端；像我們台灣，一方面任令都會區無所節制地向其外緣擴張，肇致地下管線愈鋪設愈艱難且愈耗資，另一方面，我們所重視的往往只是表面性的數字指標，如「飲用水普及率」或「下水道鋪設率」等，但對西方國家或日本所執著於工程的細膩與透澈，則自始即抱持「差不多」主義，尤其當管線都是深埋在誰都看不見的地底時，那「差不多」心態所產出的情況當然更糟，於是，所謂迄今自來水管的「高漏水率」，以及，無污水管不有的「地下水入滲率」，兩者全代表了咱們地下工程馬馬虎虎的代價。

另外，談及飲用水的不安全性，這乃是如今第三世界國家的普遍夢魘，台灣當然很早即被歸類為新興國家行列，但遠離飲用水污染的舊疾之後，或者說，自從咱們的飲用水已近似安全以來，卻是此地工業稠密帶的水體，其所快速增加中的污染物，竟同樣有個聽來頗相似的名稱，叫做「『新興』污染物」。

凡碰過這些「新興污染物」研究者，大抵都知道，不論農地、醫院、工廠，甚至一般住戶全都脫不了是排放源之一的嫌疑。而最令人驚恐的問題是：這些最後出現於河川中下游或地下水體的微量物質，往往就都是致癌性的所謂「環境賀爾蒙」。談癌色變是現代文明人所最感無奈之處，但於無奈之餘，商業社會卻仍不斷推出新產品，而工業界更常藉保護商業隱私之名，讓多種完全難明究裡的複雜污染物出現在其排

放的廢污之中。比如根據筆者經驗，當前紅透半邊天的半導體代工行業，其工廠外表固然較之傳統者光鮮華麗得多，唯事實上其所排廢水之處理困難度亦同樣遠超以往的老舊行業，其中最主要的緣故便是：連代工地的老闆本身也都被技術輸出國的真正頭頭們蒙在鼓裡了，因為一旦製程中所用藥物不再是機密的話，那麼神奇的市場當然也就不能再被獨佔！

總而言之，資本主義社會的唯利是圖觀，是他們不可能更動的金科玉律，至於第二、三世界因而所承受的公害則必也頻繁如前，永無止日。只是害了其他國家就如同慢慢整垮人類的其他生物夥伴那樣，其反撲效果在國際間早造就了愈形尖銳的彼此仇恨，當局面擴大至無國界可言的地球生態領域，那麼單以氣候變遷課題為例，它的骨牌效應當然指日可待。

哀哉，污染物的傳輸原來就是在不分你我的狀態下逐漸在媒介中流佈的，所以，大地之母所提出的真正警訊是：我們人類社會發展的核心思維只有先摒除過去的自私自利，而後始可能有機會談「永續」！

## 水景觀莫忘卻自然，水靈性多親近河海

上文三節次所述者皆以物質觀點來討論水環境的相關內涵，而本最末一節，筆者進而要在它的精神層面上獻個醜。

「水景觀」(Waterscape) 在我們古人的詩畫裡，它的傳神處往往是在藉文字與畫作來對對象加以描摹，而其寫真功夫或者進而加以渲染的能力則更左右了欣賞者的認同與感受。隨後，當攝影業興起，「水環境」的意象則更是常被取材的對象，它的表裡與動靜在藝高者的捕捉下，往往更具震撼力。只是，美感一向是見仁見智的領域，常常最後都採「多數決」來判定作品的高下。

筆者頭一次遭遇要為水景觀打分數，恰好也是在當年翡翠水庫的案例上。蓋水庫前，北勢溪猶是道潺潺的澗水，而當時預料庫成後的景觀則將轉為靜態的類湖面，只是，在此一動一靜之間，大家又該如何評分是好呢？

從純環境主義者的立場言，任何對大自然的更動都是種瀆褻，而今日所謂「生態工法」的興起流行，其著想處也部份來自「多相信自然，少迷信人工」的思潮。

但頗諷刺的是：迷信人力勝天者歷來都大有人在，且看看缺水如拉斯維加斯或杜拜城者兩例，它們在沙漠中居然被硬撐出「水的世界」意象，這就充分說明了人造主義者的絕不甘休或肯臣服。

提到「自然」與「人造」主義總是各拜各的「神」，所以筆者節末要談的便是「水的靈性」課題。自從日本作家江本勝博士，在1990年末發表了他的系列實驗報告後，即為水環境的精神層面多添了一章。不相信連「水」都可以有所謂的「特異功能」者，最直接的排斥方法自不外是稱其為「偽科學」，但問題是：否認萬物有靈的堅持本身，是否就屬真科學的態度呢？！我個人認為：在兩極意見中，如相信萬物有靈的「淨空法師」，其見解之最詼諧處即在頗有咱們的哲人老莊之風，他的間接答案其實就可以從古哲與他朋友在討論「魚快不快樂？」那一段對話裡去尋找。

同理，若想去感悟我們台灣的「水」的喜怒哀樂，我們此地則多的是河與海，所以，要「親水」不正可從我們的周圍做起嗎？若人人都能先有親近自然之心，相信我們另一法師（聖嚴）所倡議的「心靈環保」，其「思與行」的整體效應應即近在咫尺了！

## 結語

綠色思維可謂是近代人類為達成與地球共生理想的唯一指導原則，因為自工業社會誕生迄今，人類不知節制的擴張以及對科技發展的偏向迷信與誤用，確已造成地球萬物生存環境的飽受威脅，若仍依然故我、不思警惕，非僅「永續發展」會淪為空談，來自天與地的反撲更將導致人類本身的浩劫。

在水環境範圍，當今我們最須把緊的三項要務是：(1) 生態的認知與保育、(2) 資源的節用與管理，以及 (3) 污染的預防與遏止。

## 參考文獻

1. 於幼華「認識水環境」課程大綱(2004~2011)。
2. 顏清連、於幼華、王鴻楷、沈世傑、黃增全等，翡翠水庫環境影響初步評估之研究，國立台灣大學土木工程學研究所水利工程組研究報告，水利7004，民國70年7月。
3. 「廿一世紀議程」(Agenda 21)  
<http://www.ier.org.tw/GreenEco/viewtopic.php?f=4&t=43>



# 循環永續水資源政策

楊偉甫／經濟部常務次長兼水利署署長

## 前言 洞悉情勢 謹慎布局

「水」，是亙古以來人民賴以維生之源，其於時空上之分佈及量之多寡，常影響人民生命財產安危、糧食安全、生態系統穩定與國家社會經濟發展。臺灣先天地形、水文條件不佳，且因集水區過度開發、人口與產業過度集中、全球異常氣候漸趨常態等因素，使臺灣水資源情勢愈趨嚴峻，致水所衍生的災害不斷接踵而至且損失益加嚴重。以每年產值上兆的新竹科學園區為例，缺水量達 15%，其產值可能損失三分之一，缺水量達 50%，可能完全停產<sup>[1]</sup>。

從臺灣年降雨量資料觀之，在 65 年紀錄中年降雨量於平均值 2,500 公釐間劇烈震盪（如圖 1），如 92 年 1,572 公釐、94 年 3,568 公釐及 103 年 1,643 公釐，氣候變遷在臺灣顯然已是進行式，不僅旱澇頻率加劇，旱澇程度亦顯著加劇，旱澇同時出現的情況亦已習以為常，如今年 5 月梅雨鋒面來臨，一方面旱象未解，一方面又得防範強降雨所帶來的淹積水衝擊，然而淹水會在短時間內消退，旱象長時間的無解，卻是水利人的無奈，無怪乎聯合國氣候變遷專門委員會第 5 次評估報告（AR5）：「氣候變遷已是進行式，水資源為最重要議題之一」<sup>[2]</sup>。最近亦有研究指出「全球暖化造成海洋表面和 underwater 溫度梯度變化大，反而間接抑制颱風發展。」<sup>[3]</sup>，此結果，對十分依賴颱風豪雨而獲取水資源的臺灣，無疑是沉重打擊。

積極落實水資源有效管理，以解決水資源不足問題，是水利機關責無旁貸的責任與努力的目標。事實上，為因應今年旱災，行政院已下達「在全球氣候變遷下，水資源政策不僅要注重開源與節流，更應『歸零思考』，在兼顧產業發展、糧食安全與社會正義的前提下，規劃具前瞻性且務實可行的水資源配置、循環利用與管理架構」等指示，爰此，本文秉院指示，並參考國外政策（措施）與考量臺灣在地的適用性，據

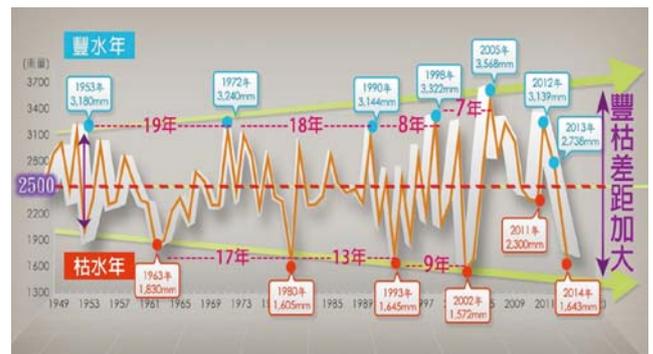


圖 1 降雨量豐枯圖

以提出循環永續水資源之政策，以落實從根本解決以往水資源所面臨的問題，俾有效減輕旱災災損，促進國家經濟發展；另配合目前行政院組織改造，淺談組改前後水資源管理組織。

## 國際抗旱措施與水資源政策 他山之石 精益求精

水焦慮正在全世界蔓延，包含中國、巴西、美國和印度等地近年旱災頻傳，報導更指出連續第 4 年出現乾旱的美國加州，已有居民開始出現缺水焦慮症的病情。國際專家也警告，缺水已經成為國安威脅，部分地區恐出現搶水大戰。今年 1 月的世界經濟論壇發表全球風險報告，更把「水危機」列為 10 年內影響全球穩定最迫切的危機之一<sup>[4]</sup>。故本文蒐集前述國家之旱災處理措施與水資源政策（如表 1），以為國內研擬水資源政策之參考。

## 國內抗旱措施 未雨綢繆 共度旱關

臺灣年平均降雨量雖高達 2,500 公釐，約為世界平均值的 2.6 倍，毫無疑慮的，屬於降雨量豐沛的地區，但因山高坡陡流短且急，降雨很快流入海中，據統計，80% 降雨量蒸發或流入海，僅 20% 約 177 億噸

表 1 其他國家之旱災處理措施與中長程政策

	抗旱措施	中長程政策
中國 [5] [6] [7] [8] [9]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 設立「國家防汛抗旱總指揮部」，具體工作則由水利部「國家防汛抗旱總指揮部辦公室」執行</li> <li>• 推動「全國抗旱規劃實施方案(2014~2016年)」，抗旱應急水源工程包括小型水庫310座，抗旱應急備用井4791，引調提水工程3331處，中央總投資299.8億元。</li> <li>• 由應急水源與常規水源組成完整供水體系；工程與非工程措施互補並重，提昇監測預警技術與設施建置。</li> <li>• 因地制宜，優先考慮群眾生活用水保障率較低的地區，建設抗旱應急備用水源工程；例如對有水源工程的地區，要優先考慮修建配套設施或連通工程，擴展現有工程的覆蓋範圍和抗旱功能；對於附近沒有水源工程的地區，可因地制宜地新建抗旱應急水源工程，提高抗旱供水保障能力。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 由水利部負責保障水資源的合理開發利用，擬訂水利戰略規劃和政策</li> <li>• 設定2030年水資源「三條紅線」目標：</li> <li>• 水資源開發紅線——全國用水總量控制7000億m<sup>3</sup>以內。</li> <li>• 用水效率控制紅線——2030年用水效率達到或接近世界先進水準，萬元工業增加價值用水量小於40m<sup>3</sup>以下，農田灌溉水有效利用係數大於0.6。</li> <li>• 水功能區限制納污紅線——主要污染物入河湖總量控制在水功能區納污能力範圍內，水功能區水質達標率提高到95%以上。</li> <li>• 「國家農業節水綱要(2012~2020年)」，目標完成灌區續建配套與節水改造、農田有效灌溉面積達到10億畝，新增節水灌溉工程面積3億畝、農田灌溉水有效利用係數達0.55以上；全國旱作節水農業技術推廣面積達到5億畝以上，高効用水技術覆蓋率達到50%以上等。</li> <li>• 南水北調，從中國中部和西南部調運目標約450億m<sup>3</sup>的水量以增加黃河的流量並滿足北京至天津地區城市群的用水需求。</li> <li>• 推動水權制度、水權試點、水權交易市場建置與監管；其水資源為國家所有，用水單位需獲許可以取得水權，其藉由水權交易提高水資源利用效益。</li> </ul>
美國 [10] [11] [12] [13] [14]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 加州抗旱措施</li> <li>• 水資源管理委員會(State Water Resources Control Board)實施25%減量供應，並對高耗水用戶額外收費。</li> <li>• 持續推動乾旱協助計畫(Drought Assistance Programs)</li> <li>• 核准1900萬美金之臨時緊急飲用水與乾旱相關計畫。</li> <li>• 准許河岸農民自願減少25%水權，以交換避免生長季節時河岸土地縮減。</li> <li>• 補貼節水設備，宣導適應乾旱的生活模式，如保水措施與聰明用水庭院，包含草皮改採耐旱植物，推廣庭園滴灌系統等。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水資源管理以州為主，無全國統一的水資源管理法規，以州法及州際協議為管理依據。</li> <li>• 州水務局管理供水、排水、污水、再生水。聯邦機關則負責調查、開發水資源、管理水庫，並協助州處理水資源需求問題。</li> <li>• 聯邦淨水法案(Clean Water Act, CWA)，確保地表水品質，</li> <li>• 水資源分配在東部主要由行政機關或法院實施，在西部則主要藉由水權交易制度推動，包含水權轉換、水銀行租賃、包裹式買賣、再分配協議等。</li> </ul>
印度 [15] [16] [17]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 推行耐旱稻米品種、滴灌技術，降低農業需水量。</li> <li>• 鼓勵乾旱調適技術。</li> <li>• 社區參與研擬因應乾旱行動計畫。</li> <li>• 設置乾旱監測及預警系統，並建立乾旱指標以盡早因應乾旱災害。</li> <li>• 建立跨部會合作機制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 國家水資源審議會(National Water Resource Council)許可國家水資源委員會(National Water Board)擬定政策，水利部(Ministry of Water Resources)實際執行，並於地方政府設水資源管理機關。</li> <li>• 推動「國家遠景計畫(National Perspective Plan)」，連結河網系統，解決水資源調度問題。</li> <li>• 依「國家水資源政策」(National Water Policy, 2012)，建立水資源設施、推動管理制度，確保滿足飲用淨水需求。</li> <li>• 加強水資源回收再利用。推動水足跡與水審計制度，以提高用水效率。</li> <li>• 給予水資源使用者協會法定權力，以收取水費、管理分配水量及維護分配系統。</li> </ul>
巴西 [18] [19] [20] [21]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 減少用水10~15%，水費減收10%。</li> <li>• 減少用水15~20%，水費減收20%。</li> <li>• 減少用水20%以上，水費減收30%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 聯邦與州二級管理，全國12個水文區設立了29個聯邦流域委員會和164個州立流域委員會，實行分散化和參與式管理。最上級是全國水資源委員會(NCWR)，其下是國家水務局、流域委員會、流域水務局、水資源公民組織。</li> <li>• 用水採許可制，水資源是有經濟價值的自然資源，是國家的資產；部分地區收取河川取水費，所收費用用於水資源保護。</li> </ul>

可留存使用，其中可使用之水，22% 由水庫供應、46% 由河川取水、32% 抽用地下水（如圖 2）。因降雨時空分布不均，7~10 月降雨量約占全年總降雨量 5 成，顯示嚴重依賴颱風降雨，因此，汛期颱風降雨若不如預期，或汛期結束前水庫未能有效蓄滿，即可預知來年春旱象之必然，尤以春耕大用水季更是雪上加霜，因此，在 5 月梅雨季前，審度用水，銜銖必較，啟動備用水源，是維持台灣各方面一定發展所必要的作為。

由圖 3 可知臺灣近年來重複性小旱的頻繁，也造就了國內抗旱應變作業制度化及不斷精進的能力，以今年旱象為例，自去年鳳凰颱風過後，降雨量未如預期，經濟部為因應後續降雨可能仍不如預期，即嚴密監控各水庫蓄水率，並自去年 9 月起即要求各水庫管理機關採取水庫限量管制出水、加強區域調度用水、地面及空中人工增雨（自 103 年 11 月起，地面增雨作業合計施作 14 次，空中增雨作業與國防部合作進行 4

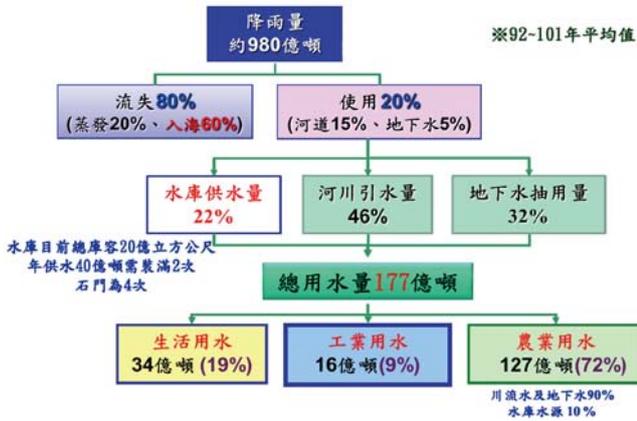


圖 2 臺灣水資源結構

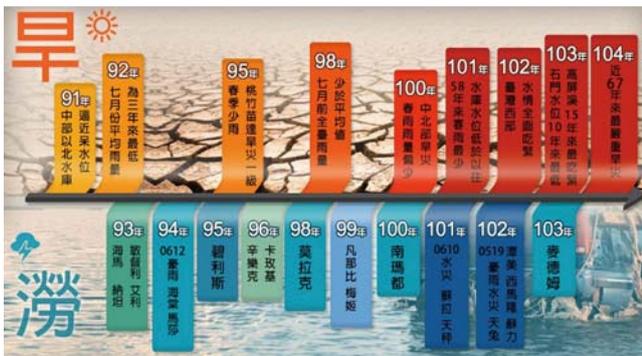


圖 3 臺灣近年來旱澇概況

次（另演練 6 次）、加強水庫清淤疏濬、啟動抗旱戰備水井、埤塘水過濾使用等，另亦請農田水利會加強灌溉管理與完成二期稻作收割，及於 12 月起啟動夜間減壓供水，今年 2 月底起對民生用水大戶減供 20% 水量，工業用水大戶逐步調整至減供 10% 水量，隨即也在 4 月 8 日起針對水情最為嚴峻的新北市板新地區、林口區及桃園市全區採取第 3 階段限水。

至今年 5 月 20 日第一波梅雨鋒面來前，全臺各地降雨零星，資料顯示本次旱象是 67 年來最嚴重旱災，至 4 月底主要水庫蓄水率皆未達 3 成，如 4 月 30 日石門水庫為 22.61%、曾文水庫為 16.21% 等，然而也在及早監控、因應，及全民配合節水之下，在有限的蓄存水量中，安然度過了這一次的旱象。

## 循環永續水資源政策 多管齊下 統籌兼顧

臺灣降雨雖多，但時空分佈不均，加以蓄水設施有限，穩定供水實為一艱難任務。早期水資源政策以滿足利用、加強開發為主軸，然隨著社會經濟發展的需求，水資源政策也隨之調整，如 70 ~ 80 年間，受產

業快速發展與都市化等的影響，水資源污染、超抽地下水問題逐漸浮現，爰 85 年起開始納入生態保育、地層下陷防治等重要策略，水資源利用策略則從積極開發水源調整為以區域水資源調度為主；80 ~ 90 年間，則因環保、民意與媒體意識抬頭，95 年後各項策略內積極納入民眾參與機制，水資源利用策略調整以加強已開發水源運用為主，且開始納入營造水岸環境及水文化等重要策略。

除臺灣氣候與環境條件不利水資源的蓄留利用外，近年來隨著科學證據的強化，氣候變遷的存在已被全球多數科學家所認定，且研究顯示未來氣候將呈現豐越豐、枯越枯極端化現象，豐枯加劇固然造成洪、旱災害交替發生，然而，洪災可以避災、離災因應，旱災卻是退無可退、避無可避，因此在氣候變遷衝擊下，水資源問題的因應與調適將是台灣未來發展最需嚴肅面對的課題。

經盤點我國天然環境所面臨的主要水資源關鍵問題如下：

- 水庫老化及淤積，有效蓄水量降低、
- 區域地下水水量減少、
- 水源開發困難，水源供應能力待提升、
- 水權登記量分配不合理、水權重分配困難、
- 用水需求持續成長、
- 水源調度機制尚待健全、
- 供水調度及備援系統尚待加強、
- 水質劣化降低可用水資源量、
- 水源濁度易飆升，影響供水穩定、
- 既有設施老舊、自來水管漏水率高、
- 自來水普及率尚待提升、
- 水價偏低影響水資源開發與節流推動、
- 人均用水節水目標尚未達成、
- 工業及農業用水效率仍待提升、
- 新興水源亟待持續推動、
- 氣候變遷導致極端降雨，豐枯震盪加劇。

為解決相關問題及因應氣候變遷的挑戰，經濟部水利署近年來持續採取多元化水資源政策，從開源與節流各種可能的管理措施全面執行，並參酌前述國外經驗，如中國抗旱井、應急與備用水源、灌區節水改造、水權制度；美國實施 25% 減量供水、徵收高耗水用水、推動再生水與保水措施；印度推行耐旱稻米、滴灌、加強水資源回收再利用、連結河網系統、水足

跡與水審議制度及巴西階梯式減量供水水費減收等，研提循環永續水資源政策，期在大型水資源建設停滯後，仍能因應各方用水需求。

多元化水資源政策的長期推動目標將透過節流措施，達成民國 120 年，民生節水 4 億噸（每人每日用水量降低至 240 公升、管線漏水率 12%）、農業用水 120 億噸以下、工業節水 1 億噸（工業製程用水回收率達 80%），藉由節水型行為的養成，降低對水資源的過度依賴，並透過區域條件，開發各種可能水源以滿足所需用水，其具體策略（如圖 4）分述如下：

### ■ 開源部分

a. 傳統地面水及地下水資源的開發：為利傳統水資源量可持續擴增，將視各地條件進行包含水庫活化、新建與清淤、區域調配支援、地面地下水聯合運用及推動伏流水等策略之運用：

- 水庫活化：如阿公店水庫自 41 年完工運轉以來，日漸淤積，影響重要設施與下游民生安全，經辦理水庫更新工程（濬渫及設施改建），除提供防洪及穩定農業灌溉用水外，並增加公共給水每年 2,900 萬噸；另外，石門水庫既有設施防淤功能改善工程完工後也發揮排放水庫底層之渾水及沉木，有效降低水庫淤積量及各進水口堵塞損害機會之功能，並已持續進行曾文、南化、烏山頭水庫之防淤功能改善工程中，未來各相關經驗將陸續複製至其他水庫，以利維持既有水庫庫容，甚且延長其壽命。
- 水庫新建：在環保意識高漲之下，水庫新建不易，近年難得仍獲支持的蓄水設施計畫僅湖山水庫及烏溪鳥嘴潭人工湖工程計畫，相關計畫為獲取支持，在生態、環境保護上規劃更為細緻精密，期待二計畫的推動經驗，能有效證明人、環

境、生態可以融合兼顧，並由科學數據證明大型水資源設施除了設施安全無虞、用水問題得以解決外，政府將更積極進行當地文化保存及環境生態保護，也將持續溝通，爭取支持興建必要水資源設施。

- 水庫清淤：全臺水庫原庫容 28.5 億噸，因地質年輕、易破碎、處環太平洋地震帶且集水區過度開發，使蓄水設施淤積相當嚴重，迄今剩餘庫容僅 20.1 億噸。目前針對主要水庫進行供水與淤積的風險評估顯示石門、曾文及南化屬高度風險水庫（如圖 5）；水庫淤積整體改善作法包含上游減淤，如森林保育、集水區水土保持、設置攔砂壩；中游導淤，如分洪排砂與陸挖；庫區排淤，如陸挖、抽泥與水力排砂；下游回歸，如河道復育與放流排砂（如圖 6）。據研究，以水力排砂效果最好，惟僅能於颱風期間執行，故目前已積極推動石門水庫防淤工程（阿姆坪防淤隧道）及曾文南化烏山頭水庫防淤工程（曾文及南化防淤隧道），完工後，將能延長前述水庫的壽命，而各水庫之清淤作業也將本此原則全面性推動，以清淤最大化目標前進。
- 區域調配支援：在北區部分，將建立臺北、板橋及桃園供水系統之聯合供水管網與調度機制，目前已完工有板新地區供水改善第一期計畫；在中區部分，則建立苗栗、臺中、彰化供水系統之聯合供水

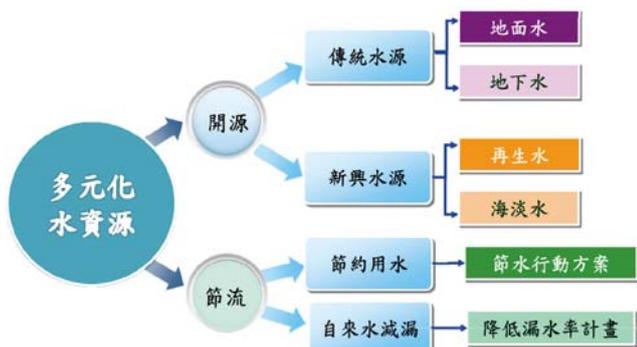


圖 4 多元化水資源策略

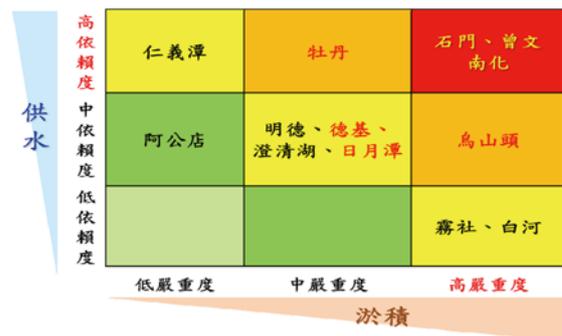


圖 5 主要水庫風險評估



圖 6 水庫淤積整體改善作法

管網，目前已完工有臺中支援彰化管線；在南區部分，將建立臺南與高雄供水系統之聯合供水管網，目前已完成有南化水庫與高屏溪攔河堰聯通管路，其餘計畫將依規劃期程持續推動落實。另農業用水、民生用水及工業用水等不同標的用水相互支援調度亦將持續依需要及條件推動辦理。

- 地面地下水聯合運用：目前部分地區地下水已超限利用，衍生地層下陷問題，未來開發利用先考量地下水補注受時空限制及坡陡流急降雨逕流迅速入海等因素，因地制宜進行地面水地下水聯合運用。
- 伏流水：目前高屏伏流水每日 10 萬噸、羅東堰伏流水每日約 0.3 萬噸等備援水源，已於此次旱災發揮功效，伏流水之利用區位與時機，未來將更積極進行深度評估後規劃推動。

b. 新興水源：

- 再生水：依行政院指示為避免每次乾旱發生，工業與農業搶水的議題就被挑起，應試著朝向「工業零增用水」規劃，工廠製程廢水回收再利用應訂定最高標準，朝零排放方向發展，需補充之水量則盡可能以廢污水回收再利用之再生水為水源，爰依此原則，水利署業已訂定 120 年再生水開發目標為每日 132 萬噸。未來再生水開發將以 (1) 公共污水下水道系統污水或放流水；(2) 工業區專用下水道系統廢水或放流水；(3) 工業用水大戶預定放流或納管之廢水；(4) 生活污水大戶的污水等 4 類水源，經再生處理後符合各類用途水質標準後再行利用，各水源之目標分別為 77 萬、5 萬、45 萬、5 萬噸／日等，其中，公共污水下水道污水或放流水水量大、水質單純為最具推動優勢之水源，已列為主要推動標的。經考量輸配成本、用水健康風險、水價負擔能力等因素，再生水之使用已定調為供應工業用水為主（冷卻、鍋爐、製程）、民生次級用水為輔（沖廁、非食用植栽澆灌用水），爰再生水廠之設置宜以就近供應工業用水為首要推動方向，並以高缺水風險地區或地層下陷區、鄰近具穩定大用水戶者為優先推動標的。推動策略上，再生水廠興建未來以全自償為原則，由用水者負擔興建及營運成本，俾未來民間全面投入經營，惟因目前自來水水價偏低，再生水使用意願不高，爰初期由內政部營建署推動示範案，建設補助，一方面降低購水成本，促

進使用意願，一方面藉示範案累積再生水廠建設營運及再生水使用經驗，可為全面推動再生水資源利用奠定重要發展基礎。示範案係擇定豐原、福田、永康、安平、臨海與鳳山溪等 6 座再生水示範廠，由內政部營建署籌措建設經費、經濟部水利署進行供需媒合、用水端之產業特定園區管理機關進行區內用水整合及園區內輸配基礎設施建設、地方政府辦理再生水系統之興建與營運，預計於 110 年完工後可開發 28 萬噸／日之再生水量，並帶動其他民間再生水之興辦。

- 海淡水：台灣四面環海，海水取之不竭，因此，海淡可以有效因應氣候不確定性衝擊，惟因屬高耗能設施，能源限制其發展，加以企業期待水價補貼，致使臺灣本島推動不易，目前運轉中之海水淡水廠以馬祖、金門、澎湖等離島共計 18 廠，每日產水約 2 萬噸，證明確實充分發揮離島地區供水成效；至於臺灣本島部分，目前已進行桃園、新竹、彰濱、台南及高雄設置海淡廠之規劃，以作好準備，等待需求時機，即刻投產為原則。

■ 節流部分

a. 節約用水：以節水行動常態化為目標，並採擴大減漏常態化、全民節水教育常態化、機關學校部隊節水常態化、提升用水效率常態化、省水器材使用常態化等 5 化：

- 擴大減漏常態化：本次旱季進行夜間減壓供水、節水風水師到府查漏等，證實可使自來水系統節水 1 ~ 2%，經本年旱災應變後，該等措施將不限於旱季啟動，未來將常態性施行。
- 全民節水教育常態化：如擴大節水愛水月宣導各級學校節水課程，可提升節水意識認知普及率 > 90%。
- 機關學校部隊節水常態化：持續推動四省方案、節水抗旱行動原則、節水獎懲原則化等，可使早期機關學校各單位累積節水 12%。
- 提升用水效率常態化：推動雨水及生活雜排水利用、農業提升用水效率、產業提升用水回收率等，可提升產業節水 6%、生活節水 2%、農業節水 5.5%。
- 省水器材使用常態化：推動修正自來水法、強制使用省水器材，可提升省水器材市佔率 100%、生活節水 2%。

b. 自來水減漏

- 台灣自來水公司自 102 年起執行降低漏水率計畫，預定投入 769 億元，採行自來水管網圖資建置、分區計量管網、檢修漏作業、汰換舊漏管線、水壓管理等 5 項措施，預定於 111 年將漏水率降至 14% 以下，每年可節省水量 1.6 億噸。
- 臺北自來水事業處自 95 年起執行供水管網改善計畫，預定投入 200 億元，預定於 114 年將漏水率降至 10% 以下，每年可節省水量 1.4 億噸。

c. 更精進作為

- 民生用水：推動智慧水表全面裝設，有效監控用水概況，適時提供用水異常資訊，以利用水智慧管理。
- 工業用水：推動產品水足跡揭露，以利工業更精確管理用水風險及用水配置；建置產業園區各廠基本資料，利用大數據進行能資源整合回收循環運用。
- 農業用水：以以色列滴灌為例，較噴灌節水 20%，爰將強化精密灌溉管理技術及推廣應用。
- 打造海綿臺灣：以流域綜合治理原則，逕流分擔與出流管制為手段，當水太多時，藉由相關設施留住水，以減少水患，待水少時，再釋放，以供水資源使用。

除上述政策的研訂與落實外，政策的推動更必須搭配現行法規的修正或新法規的制（訂）定，爰為有效推動循環永續水資源政策，經濟部（水利署）刻推動水利相關法規修正與制（訂）定，惟參酌以往經驗，如一次性且全面性提出，恐無法達到預期目標，需採用系統性且逐步漸進式策略，故近期修正水利相關法規優先聚焦用水管理、省水器材及再生水使用等法制化，若能順利完成修法、立法，將有助於水資源更有效率的使用及有利於再生水此一水源的發展，茲將水利法、自來水法與再生水資源發展條例等法規修正與制定之理念分述如下：

1. 水利法部分：水利法自 31 年 7 月 7 日制定公布，32 年 4 月 1 日施行以來，歷經 12 次修正。惟鑒於水資源有限及開發計畫不易推動，水資源管理策略必須由過去之「增供應需」轉而為「以供定需」，在現有可供應水量範圍內，滿足現有及新增用水需求。因此，必須以增加高用水人之用水成本，來推動節約用水，

並加強用水管理及強化對於地下水的管理保育，故已擬定 9 條修正條文（包含第 42、47 之 1、54 之 3、84 之 1、93 之 6、93 之 7、93 之 8、97 之 1、98 等），業經行政院 104 年 4 月 16 日第 3444 次院會會議決議「通過，函請立法院審議」，立法院刻正審查中。

2. 自來水法部分：自來水法自 55 年 11 月 17 日制定公布以來，歷經 12 次修正。近年因國民生活提升，商業活動頻繁及氣候變遷之影響，臺灣地區水資源日益困窘，節約用水政策之推動日形重要，目前國人每人每日用水量（LPCD）已由 85 年之 291 公升降至 102 年之 268 公升，雖有一定成效，惟其中家庭人均用水量約 173 公升，如換裝省水器材則可降至 158 公升，接近新加坡等先進國家水準，為推動強制裝設省水器材，故擬定新增 3 條條文（包含第 95 之 1、95 之 2、98 之 1 等），業經行政院 104 年 4 月 16 日第 3444 次院會會議決議「通過，函請立法院審議」，立法院刻正審查中。
3. 再生水資源發展條例部分：傳統水源供水穩定度備受挑戰，尋求替代水源有其必要。廢（污）水水量穩定不受天候影響，隨著水處理技術日益成熟，以再生水作為替代水源，也是將來常態性節水之一環，可減輕傳統水源開發壓力，並提高供水穩定度。惟現行水利法、下水道法及水污染防治法均未規範下水道系統廢（污）水或放流水之使用及取得、再生水供水行為，且目前再生水產水成本高於自來水水價，確有透過立法促進再生水發展與利用之必要。爰制定「再生水資源發展條例」草案，推動立法，以營造再生水友善發展環境，促進水資源永續發展及產業發展。草案共計 28 條，業經行政院 104 年 5 月 28 日第 3450 次院會會議決議「通過，函請立法院審議」。

## 水資源管理組織現況與未來規劃 以蛻為進 開創新猷

為落實循環永續水資源政策，必須搭配有效水資源管理組織，指揮一體，目標一致，惟水資源涉及範圍相關廣泛，如水源涵養、集水區保育、水權、水污染與糧食等，事權分散，各有本位，難以同心齊力。為減少水資源領域治理歧見，已設置各種跨域整合協調之任務編組，其執行成效雖大有進展，惟仍難達理想境界。本次行政院組織改造，各界對環境及資源之

表 2 水利相關法規修正（制定）概念

法規名稱	修正（制定）法條	修正（制定）理念
水利法	42	加強用水管理，修正免為水權登記之範疇。
	47-1	修正地下水管制區之劃定目的。
	54-3、93-7、93-8	增訂用水計畫書之審查、管理機制及開發單位或供水單位違反相關規定之罰責。
	84-1	為促使耗用水資源者採取節約用水行動，增訂得對用水人徵收耗水費，但已落實執行節水措施者，得予減徵。
	93-6	配合用水計畫及耗水費開徵之推動，修正主管機關或水利機關得依執行該等業務所需進行行政檢查。
	97-1	增訂主管機關得委任所屬機關或委託水庫管理機關（構）核發土地使用現狀未違反本法規定之證明文件，以簡政便民。
	98	為行政簡化，修正施行細則由中央主管機關定之。
自來水法	95-1、98-1	增訂法人、團體、個人於國內銷售或裝設使用中央主管機關指定之用水設備、衛生設備或其他設備之新產品，該產品應具省水標章，以及違反該規定之罰責。
	95-2	配合新增「節約用水」專章，鼓勵民間參與節水技術研發規定移列該章規範。
再生水資源發展條例（主要核心條文）	4	興辦或變更開發行為位於水源供應短缺之虞地區者，應使用一定比率之系統再生水。
	5	位於水源供應短缺之虞地區之直轄市、縣（市）主管機關應積極興辦系統再生水開發案或得無償提供所轄公共下水道系統之污水或放流水予再生水經營業及依規定申請取用者。
	6	位於水源供應短缺之虞地區之直轄市、縣（市）主管機關興辦之再生水開發案，或非位於水源供應短缺之虞地區之直轄市、縣（市）主管機關，自提再生水開發案之再生水，經中央主管機關同意納入區域水源者，中央主管機關或中央目的事業主管機關得補助部分建設費用。
	7	再生水使用用途及其水質限制。
	8	直轄市、縣（市）主管機關及特定區域目的事業主管機關應依再生水開發案之水源來源，分別辦理再生水開發案及廢（污）水或放流水使用之審查、許可、廢止、變更；再生水開發案建設及經營之監督、查核事項；再生水經營業之水價核定等事項。另並規定特定園區使用直轄市、縣（市）主管機關所辦再生水開發案之再生水者，由該特定園區之目的事業主管機關辦理區內用水需求整合與分配、區內相關設施配置之審核。
	9、10	定明再生水經營業之組織與籌設程序、再生水開發案之申請與變更程序及再生水經營業之興建與營運階段之管理。
	11	定明供自行使用之再生水取用案申請與變更程序及管理規範。
	14	政府機關興辦再生水開發案之廠站所需私有土地取得方式及管線穿越私有土地上空或地下之地上權取得方式。
	16	再生水費之計算及其調整或爭議處理方式。
	19～25	違反本條例相關規定之罰責。

永續管理均寄予厚望，特將水、土、林、氣所涉機關盡可能改隸於環境資源部，期呈現更友善環境資源及效率之管理組織。經濟部（水利署）參考前述國際水資源管理組織趨勢，已充分於所參加之組改會議（如環境資源部籌備小組會議）表達，惟各國政府機關組織架構皆有其整體與在地之通盤考量，故以下僅針對現有水資源管理組織與行政院對於此次組改之水資源組織規劃進行說明。

### 現況

1. 水資源管理涵蓋水利、環境保護、林地及坡地保育、污染源管制及土地管制等，涉及中央各部會署及地方政府之權責（如表 3）。事權分散於各部會署，造成管理範圍及依法所劃設之各項管制區域、保護區層層疊疊，管理法規相互競合，執行不易，以及事權難以明確劃分等，復因水源、水質與水量

分屬不同機關主管(如表4)，各機關常基於本位主義導致決策相左或未能配合，故必須確實橫向縱向整合協調，才顯實質管理成效。

2. 目前為有效加強水資源工作之聯繫協調功能，俾促進水資源工作之執行成效及協調、整合國家重要河川流域內之水、土、林資源永續運用、集水區保育、重要河川流域治理與環境營造及土地利用等事項，政府業分別於83年設置水資源協調會報、90年設置高屏河流域管理委員會、95年設置石門水庫及其集水區整治推動小組、98年設置重要河川流域協調會報、99年再設置曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫推動小組，透過協調整合機制，其執行成效雖大有進展，惟仍需藉此次組織改造予以整合。

表3 水資源管理之重要事權及分工

重要事權	辦理事項	管理機關(構)
水利	水資源開發、調配及管理	經濟部水利署
	水資源利用	自來水公司(處)、農田水利會、台灣電力公司
環境保護	水質監測及管理	環保署、地方政府
	水污染防治	環保署、地方政府
林地及坡地保育	集水區森林保育及經營	農委會林務局、地方政府
	集水區坡地保育	農委會水土保持局、地方政府
污染源管制	污水下水道系統建設營運	內政部營建署、地方政府
	垃圾廢棄物清運及管制	環保署、地方政府
	畜牧場管理	農委會畜牧處、地方政府
	工業區事業廢棄物及污水處理	經濟部(工業局、加工出口區管理處)、科技部(科學園區管理局)、地方政府
	污染源管制及污水排放許可管理	環保署、地方政府
土地利用管制	原住民保留地管理	原民會、地方政府
	都市、區域計畫及建築管理	內政部營建署、地方政府

表4 中央各部會涉及水資源管理之水利事權

中央各部會	主管業務	涉及之水資源事權		
		水源	水質	水量
經濟部	水資源開發利用、河川治理與管理、防洪排水、水利及自來水事業等。	✓		✓
內政部	國土規劃利用(都市計畫及區域計畫)、雨水及污水下水道等。	✓	✓	
農委會	森林經營與保護、水土保持、農田水利會營運等。	✓		✓
環保署	水質監測及保護、水污染防治等。		✓	

### 組織改造後(規劃中)

1. 行政院於98年4月9日第3139次院會會議通過「行政院組織法」修正草案，並函送立法院審議；隨後，立法院於99年1月12日三讀通過前述法案，故未來行政院新組織架構為14部、8會、2處、1行、1院及3獨立機關，其中原分屬不同部會之水利、水土保持、林務、下水道及環境保護等業務一併改隸環境資源部。
2. 行政院已於101年2月16日將環境資源部暨所屬機關組織法草案函送立法院審議。前揭草案業於102年5月29日完成朝野協商程序並送院會處理中，依前揭協商初步共識未來環境資源部下設氣象局、水利署、森林及保育署、水保及地礦署、國家公園署、下水道及環境工程局、化學品及污染管制局、森林及生態保育試驗所、生物多樣性研究所與環境教育及訓練所等7個署(局)、4個機構。其中森林及保育署、水保及地礦署、水利署、下水道及環境工程局則分別承接原農委會林務局、水保局、經濟部水利署與內政部營建署下水道業務，並已規劃水及流域司處理跨署局水資源管理與集水區保育之協調整合事項，另設置水資源管理會與淡水河五大流域管理會處理跨部會水資源管理與集水區保育之整合協調事項。

### 結語 一步一印邁向未來

近日(104年5月20日後)梅雨帶來豐沛雨量，共計為臺灣水庫增加約3.5億噸水量，使得主要水庫蓄水率提升至40%以上，更解除新北市板新地區、林口區、桃園市、臺南市及高雄市等三階限水措施(停二供五)。然而，我們不能每次冀望「天佑臺灣」，在旱象緩解後心存僥倖，事實上，全球氣候變遷影響，枯旱、缺水發生機率正在增加，因此，我們應該更積極落實水資源有效管理與利用，並藉由此次組織改造，更加強化水資源管理組織架構與跨域整合機制，讓水資源管理制度更加完備，落實中央各部會、地方與全民分工合作，建構循環永續水資源政策。

環境保護與資源永續利用是目前國際關注之重大議題，而此次組織改造，行政院已規劃成立環境資源部，其成立目的為整合水、土、林及空氣等環境資源，強化其保護、保育及永續利用，以提升環境品質，維持生態平衡，保障民眾生命財產安全，促進國家永續發展，且掌理環境保護、水利、下水道、礦業、地質、國家公園、林務、氣象、水土保持、生態保育及天然災害防治等業務，與其他部會相較業務十分龐雜，因此，其啟動除了是各界期待之外，其未來順利的運行，更攸關民眾福祉。目前組織法草案停滯於立法院，致使改隸單位不論在政策訂定、業務推動、預算編列都出現前途未知的茫然，實非組改推動所期見的發展，期待近期朝野立委能儘速完成組織法案的審查，讓環資部儘速成立後，確立上位政策，改隸的各單位儘速調整腳步並磨合合作，以利環境與資源得以朝跨域治理及永續發展的方向大步邁進。

世界各地陸續出現缺水，亦衍生相關問題，如 102 年印度因缺水而關閉一火力發電廠，103 年馬來西亞、美國加州與南部、巴西、澳洲等地嚴重乾旱，皆影響其農作物、畜牧業的產能，104 年臺灣缺水進行大面積休耕及可能引發缺電問題等。能源、水資源和糧食供應，是地球面臨的三大難題，過去由主管部門分別解決，然而近來世界各國已倡議應要尋求整合方案，以利解決後續的環境、貧窮、人口成長和疾病等問題。中國水權交易市場與水功能區限制納污紅線；美國水權交易制度；印度社區參與研擬因應乾旱行動計畫與巴西收取河川取水費用於水資源保護等皆是重要的方法，另日本大壩委員會（JCOLD）指出：「大壩建設和管理將持續為解決水、食物、能源和洪水管理等問題的最有效的手段之一。」<sup>[22]</sup> 面對現況與氣候變遷的挑戰，解決水的問題，我們是應該要更多元思考，在科學論證基礎上理性討論，取得主要策略、次要策略及環境補償之共識，俾全方位開展各項行動計畫，但非一味堅持或反對特定策略之立場，如近年來減漏與再生水似成為水資源政策的顯學，獲得一致性支持，此即有過度期待之虞。減漏與再生水確可使有限水資源延長供應使用之時間，然資源畢竟有用罄之時，如何把水資源留蓄在這片土地上也是不可迴避的重要策

略。臺灣在水資源議題上，並無太多籌碼，氣候威脅如影隨形，我們實禁不起內耗、虛耗造成的政策空轉，期待水資源專業問題回歸專業理性的討論，循環永續水臺灣的願景得以實現。

## 參考文獻

1. 經濟部水利署民間參與新竹海水淡化廠可行性評估，2004 年。
2. 聯合國氣候變遷專門委員會第 5 次評估報告，2013 年。
3. 自然通訊期刊，2015 年。
4. 遠見雜誌第 346 期，2015 年 4 月。
5. 中國水利部「解讀《實行最嚴格水資源管理制度考核辦法》」([http://www.mwr.gov.cn/zwzc/zcfg/jd/201301/t20130107\\_336153.html](http://www.mwr.gov.cn/zwzc/zcfg/jd/201301/t20130107_336153.html))
6. 中國國家防汛抗旱指揮總部辦公室「在抗旱規劃實施方案編制工作啟動暨培訓會上的講話提綱」([http://fxkh.mwr.gov.cn/ztbd\\_1/2009slkhgh/201209/t20120926\\_329839.html](http://fxkh.mwr.gov.cn/ztbd_1/2009slkhgh/201209/t20120926_329839.html))
7. 中國水利部「解讀《國家農業節水綱要》出臺背景和重要意義」([http://www.mwr.gov.cn/zwzc/zcfg/jd/201212/t20121213\\_334891.html](http://www.mwr.gov.cn/zwzc/zcfg/jd/201212/t20121213_334891.html))
8. 中國中央政府「水利部大力推進水權交易市場建設 提高水資源利用效率」([http://big5.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/2015-03/31/content\\_2840732.htm](http://big5.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/2015-03/31/content_2840732.htm))
9. Brookings Institution 政策簡報：中國水資源問題、政策和政治 (<http://www.brookings.edu/zh-cn/research/papers/2013/02/water-politics-china-moore>)
10. U.S. Department of the Interior (<http://www.doi.gov/whatwedo/water/index.cfm>)
11. CA Drought.com (<http://www.cadrought.com/>)
12. California Drought (<http://ca.gov/drought/topstory/top-story-35.html>)
13. 美國水權交易制度研究 (<http://doc.mbalib.com/view/0b8abce05a1bc028f1629f9919315c0c.html>)
14. US TODAY ([http://www.mwr.gov.cn/zwzc/zcfg/jd/201301/t20130107\\_336153.html](http://www.mwr.gov.cn/zwzc/zcfg/jd/201301/t20130107_336153.html))
15. 中時「抗旱稻拯救米農」(<http://www.chinatimes.com/newspapers/20140907000151-260209>)
16. Ministry of Water Resources「NationalWaterPolicy 2012」(<http://wrmin.nic.in/forms/list.aspx?lid=1190>)
17. National Water Development Agency (NWDA) (<http://www.nwda.gov.in>)
18. 新華網「巴西巧用收費制管理江河水資源」([http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/energy/2011-10/14/c\\_122157184.htm](http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/energy/2011-10/14/c_122157184.htm))
19. Wikipedia -Water resources management in Brazil ([http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_resources\\_management\\_in\\_Brazil](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_resources_management_in_Brazil))
20. National Water Agency (ANA) (<http://www2.ana.gov.br/Paginas/EN/default.aspx>)
21. Sabesp Investors Relations (<http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=investorsnew&pub=T&par=rel&db=&docidPai=91C33B4B9535F81283257690007528B8&docid=979CC2F5F341EFC783257D78007E1269>)
22. JCOLD - Response to the Final Report of the World Commission on Dams (<http://www.unep.org/dams/documents/default.asp?documentid=470>) 

# 多元化水資源策略下之 傳統及新興水資源開發

賴伯勳／經濟部水利署副署長

## 前言 當前水資源供應主要課題

台灣本島每年降雨量雖高，惟時空分布不均致流量豐枯懸殊，加上特有坡陡、河短、流急等不利水資源蓄存地文環境限制，每年可利用天然水資源相當有限，且近年來極端氣候造成豐枯更趨明顯、未來產業用水需求仍持續成長，在傳統天然水資源開發計畫推動不易、台灣西半部平原部分地區長期大量使用地下水造成地層下陷嚴重（以雲彰地區為最），及氣候變遷造成極端降雨加遽水庫淤積，使得水資源供應日趨困難，每遇降雨異常即需面臨嚴重的缺水威脅。依據水利署「氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究（99-102年）」指出，在上述不利水資源供應環境、產業用水需求持續成長及氣候變遷影響條件下，民國120年桃園、台中、台南及高雄等地區供水每日供水缺口將高於17萬噸以上（詳圖1），顯示該等地區未來水源供應相當嚴峻，須未雨籌繆因應。

## 天然水資源利用總量管制目標

為滿足台灣各地區各標的用水需求，水利署已依據行政院民國95年1月19日核定「新世紀水資源政策綱領」所揭櫫「合理有效使用水量，確保水源穩定供應」策略與措施，考量未來經濟發展、環境永續、全球氣候

變遷等對水資源經營管理之影響，將台灣本島分為北、中、南、東四區並依各區水資源供應條件、未來人口及產業成長用水需求，分別研提水資源調配及開發利用經理計畫，並在「天然水資源開發利用總量管制」及「枯水期天然水資源取水量零成長」策略下，推動「節約用水」、「有效管理」、「彈性調度」與「多元開發」等水資源經理措施，滿足各標的至民國120年用水需求，提高人民生活品質，促進國家經濟發展。

在總量管制方面，為使環境永續發展，考量河川潛能、未來需求量、減抽地下水、增加備用水量、新水源開發計畫期程、地區水源供需情勢及避免在這一代將天然水資源開發殆盡等因素後，已規劃每年以200億噸作為現階段台灣本島天然水資源開發利用總量管制之目標（詳圖2），其中在水源供給部分，以地下水源每年最大40億噸、水庫調節每年最大50億噸及河川取水每年最大110億噸為目標控管；另在需求部分，農業用水需求以每年最大120億噸、生活用水需求以每年最大35億噸、工業用水需求每年最大30億噸及保育用水每年最大15億噸為目標控管，並視用水供需平衡情形予以調整，而超出上開天然水資源利用總量管制目標之產業用水需求，則以開發新興水源優先因應（圖2）。



圖1 氣候變遷影響下民國120年台灣各地區可能缺水情形



圖2 台灣本島天然水資源利用總量管制示意圖

## 水資源開發策略 多元化水源開發

為達成前述天然水資源利用總量管制目標，已透過中央與地方政府協力推動「全國」、「全民」、「全面」之「三全」節約用水運動並形塑節水型社會。惟近年台灣各地區產業群聚發展致用水需求快速增加，加上全球降雨異常加遽，造成旱澇災害交替頻繁，水文極端現象明顯且強度增高，受災範圍與程度均較過去重大，導致缺水風險已逐漸影響經濟發展，並對國家永續發展造成威脅。在氣候變遷水文狀況不確定，且現有各種條件限制與保育自然環境前提下，為滿足民國120年各地區用水需求，除持續推動「節約用水」、「有效管理」及「彈性調度」相關工作降低用水需求及提高用水效率外，不足用水或備援水源仍有必要以多元方式開發新水源因應，以降低缺水風險。

除水庫、攔河堰及人工湖外，現階段已朝推動雨水收集貯留、農業回歸水、河川伏流水、海水淡化、都市污水與工業廢水回收再利用等多元水源開發方向規劃，俾以提供安全的基礎用水並分散天然水資源供水風險及提升供水穩定（詳圖3），多元化水源特性評估及主要供水對象詳表1。在水再生推動方面，水利署已以民國120年再利用率達成每日132萬噸為推動目標，並成立「水再生利用推動專案小組」針對推動水再生利用策略、法令及配套措施等不定期進行研商。另海水淡化不受乾旱影響，係未來因應氣候變遷不可缺少的水源，但因目前再生水及海淡成本仍高於傳統水資源（自來水），經評估新興水源將優先供應用水需求較為迫切且集中之大型工業區。

### 傳統水資源推動狀況

傳統水資源主要包括地面水及地下水，目前台灣本島每年平均用水量約177億噸（91年至101年平均

值），其中40億噸（22.6%）由水庫供應、另56億噸（31.6%）由地下水供應，其餘81億噸用水由河川直接取水供應（45.8%），顯示現階段台灣本島用水來源仍高度仰賴傳統水源供應。近年因適合開發大型蓄水設施位址已逐漸減少，且民眾自主及環保意識高漲，新建大型蓄水設施相當不易，現況傳統水資源推動多已結合在地生態、親水、滯洪及水源供應等需求採多目標方式開發，施設形式包括：水庫更新改善、離槽水庫、攔河堰、人工湖、池埤、農地迴歸水、雨水貯留及伏流水等，主要工作推動情形如下：

### 水庫活化及新建

台灣地形陡峭，地質脆弱，集水區人為開發頻繁，歷經921地震及莫拉克等颱風，導致土石崩塌及沖刷，造成水庫嚴重淤積及降低水庫供水能力與使用年限。因新建水庫不易且時程冗長，故以活化既有水庫及延長使用年限為現階段首要工作，其中，水利署已於民國88年完成新山水庫加高工程、民國94年完成阿公店水庫更新改善，且經分析全臺94座水庫淤積狀況屬急迫優先改善者，為石門、曾文及南化水庫，水利署已依「石門水庫及其集水區整治計畫」、「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」及「石門水庫防淤隧道工程計畫（第一階段）」等整體防淤計畫，從上游集水區到下游水庫庫區整體考量，持續推動集水區保育、清淤、改善既有設施排淤功能，並規劃興建排砂隧道，以期減少上游來砂與增加水庫排砂，減緩淤積速率，維持水庫庫容及延長水庫使用年限，及降低水源開發壓力。其中，石門水庫更新改善工作已完成增設水力排砂設施，水庫整體平均水力排砂比可由9%提升至29%，大幅提升水庫防淤能力，

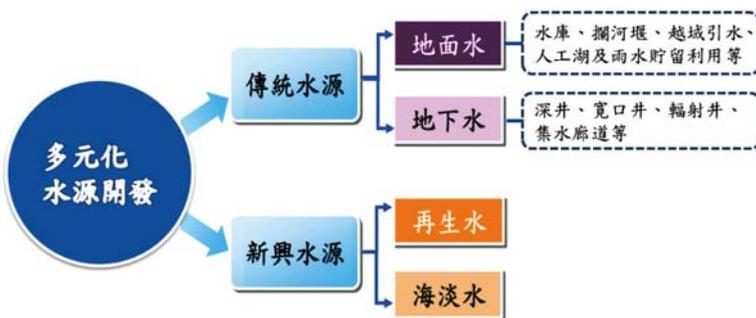


圖3 多元化水源開發示意圖

表1 多元化水源基本特性及主要供水對象

多元化的水源開發方式	供水量	水源穩定性	水質	供水對象				
				民生	工業	農業	保育	
天然水資源	水庫水	大	豐枯年變化	佳	●	●	●	
	川流水	大	季節變化	可	●	●	●	●
	地下水	中	相對穩定	佳	●	●	●	
	人工湖	小	豐枯年變化	可	●	●	●	
	農地迴歸水	小	季節變化	差	●	●	●	●
	雨水收集貯留	小	季節變化	可	●	●		
新興水資源	海水淡化	小	穩定	可	●	●		
	再生水	小	穩定	可	●	●		

且於民國 102 年潭美及蘇力颱風水力排砂共計 101 萬立方公尺，另經加強辦理集水區保育治理、加上水庫抽泥及水力排砂等工作，石門水庫總容量由民國 96 年 2.14 億立方公尺至民國 102 年 2.17 億立方公尺，水庫入砂與出砂幾乎達平衡狀態，確實已有初步成效。

在新建水庫部分，為確保各區域供水穩定及因應未來用水成長需求，除目前施工中湖山水庫外，將持續配合各地區用水需求滾動檢討評估推動雙溪、天花湖及士文等水庫。其中，已屆完工之湖山水庫蓄水營運後可與集集攔河堰聯合運用每日供應 69.4 萬噸水源，可降低雲林及彰化地區地下水抽水量，減緩地層下陷。

### 伏流水

伏流水相較水庫堰壩設施雖無法大量供應水源，惟仍具有：(1) 構築方式對環境生態衝擊較小、(2) 水質較潔淨、(3) 施工期短等優點，集水方式主要包括集水暗渠、輻射井及寬口井等方式（詳圖 4）。目前除二峰圳、南和圳及六龜淨水場等具伏流水開發利用案例，並已於高屏溪河畔採用伏流水設施作為備援用水，如竹寮、翁公園及興田伏流水工程等，以增加區域水源備援能力，後續將持續檢討評估推動具開發潛能之伏流水，以增加區域供水備援能力。



圖 4 伏流水集水方式

### 人工湖

台灣早期人工湖主要作為農業灌溉使用，且大部分利用天然窪地鑿深、原有小湖擴建或築堤蓄水方式而成，如高雄市澄清湖、恆春龍鑿潭皆屬之，至於桃園台地一帶，因地形氣候的限制，早期為了灌溉用水需求，大量挖掘埤塘儲蓄水源，形成所謂「百里埤塘」，其皆為早期配合農業灌溉水源需求之人工湖開發案例。

近年來因合適興建水庫壩址難覓且配合地方環境營造需求，水利署已於各地區檢討推動人工湖，包括中庄調整池、鳥嘴潭人工湖及高屏大湖等，其中已施工之中庄調整池工程，其有效蓄水量 492 萬立方公尺，除可利用大漢溪側流量外，其功能主要為於石門

水庫進行水力排砂期間可替代下游鳶山堰供水每日 80 萬立方公尺約 6.8 天（工程模擬如圖 5），讓水庫排砂不受限制。另鳥嘴潭人工湖及高屏大湖，其水源主要分別引取烏溪及荖濃溪剩餘未利用水源蓄存，開發後每日各可增供 25 萬噸及 34 萬噸水源，並可結合在地特色營造親水環境及促進地方繁榮。

### 雨水貯留回收利用

為推廣雨水貯留回收再利用，及協助公立機關、學校節約用水宣導，水利署已於民國 98 至 103 年度補助 45 個公家單位設置雨水貯留設施及相關教材。以民國 103 年為例，已補助連江縣自來水廠、連江縣政府、金門縣政府、新北市（4 所國中小）、苗栗縣（1 所國小）、宜蘭縣（3 所國中小）、台南市（1 所國小）、嘉義縣（大埔鄉）等計 15 件設置雨水貯留利用系統。而為擴大推動獎勵建築物設置雨水回收系統，將協調營建署修訂規範建築物需設置雨水貯留回收規定，並持續辦理機關學校雨水貯留回收宣導，及推廣農業、工業等用途之雨水利用技術研究與輔導，落實多元水源科技發展。在雨水貯留回收利用推動案例成效部分，包括：台北市立木柵動物園雨水貯留水源使用於溫帶動物區四周廁所用、動物池水及花木澆灌用水等，整體自來水替代率達 10% 以上；國父紀念館於 93 年 11 月興建完成「建築物屋頂雨水收集再利用系統工程」，可集雨水量 300 噸，每年約可儲集雨水 5,000 噸，節省自來水用量。



圖 5 中庄調整池工程模擬圖

現階段台灣各區傳統水資源開發計畫（增供水源設施）主要如表 2。

表 2 現階段台灣各區傳統水資源開發計畫

區域	水源設施	推動情形	供水能力 (萬噸/日)	計畫完成時程
北區	中庄調整池	建設中	2.4	105 年
	雙溪水庫	檢討中	6.5	115 年
中區	湖山水庫	建設中	43.2	104 年
	大安大甲聯合運用輸水工程	檢討中	28.0	111 年
	烏嘴潭人工湖 (分 2 期開發)	設計中	25.0	113 年
	天花湖水庫	規劃中	23.0	116 年
南區	高屏溪原水水井復抽工程	建設中	10.0	106 年
	士文水庫	規劃中	20.0	111 年
	高屏大湖 (分 3 期開發)	檢討中	34.0	115 年
	鹿寮溪水庫改善工程	檢討中	5.4	115 年
	曾文越域引水工程	檢討中	59.8	115 年
	南化第 2 水庫	規劃中	14.0	115 年

## 新興水資源推動狀況

新興水源主要包括再生水及海水淡化，其水源不受氣候豐枯影響，水源穩定，亟具開發潛力，惟因新興水資源開發及供水成本遠高於傳統水資源，在使用者付費原則下用水成本較高，工業用水戶使用意願較低，惟為兼顧環境保護、經濟發展及社會正義並重之永續發展目標，水利署已對於水源不足地區之新增工業用水需求，則於用水計畫審議程序要求開發單位必須自行開發取得水源或優先使用再生水或海淡水等，以提高產業使用新興水源，相關工作推動情況如下：

### 再生水

#### ● 污廢水回收再生利用

污廢水回收再利用使用標的可概分為工業利用、農業利用、環境利用及生活次級利用等 4 大標的，其中工業利用主要作為冷卻、鍋爐及製程用水；農業利用主要作為灌溉及養殖用水；環境利用主要作為河川補充、水庫補充及地下水補注，生活次級利用主要作為沖廁及澆灌洗車等用水（詳圖 6）。

依據水利署民國 98 年 12 月「廢污水廠放流水再利用潛勢及推動策略」普查結果，民國 98 年 1 月份台灣地區每日約產生 148 萬噸初級都市污水處理廠放流水、80 萬噸二級都市污水廠放流水，以及 58 萬噸工業區綜合廢水廠放流水（多為三級處理）；上述放流水如可回收再生利用，除可降低承受水體污染，並可提高水資源利用率，提供多元水資源利用。惟因污廢水回收再生利用成本較自來

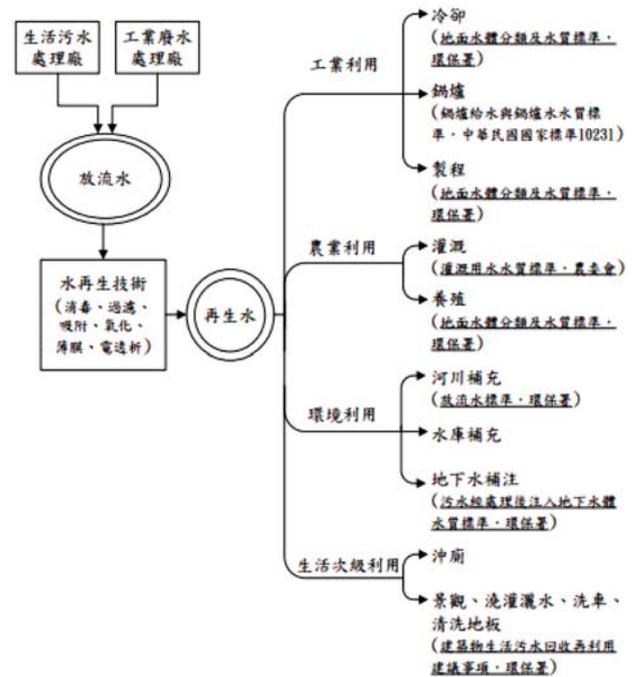


圖 6 再生水用途分類圖（資料來源：[41]）

水價較高且需設置二元供水系統，工業用水戶使用意願較低。目前工業廢水回收再生利用部分，用水單位主要多依「用水計畫書」及「環境影響說明書」等審查決議配合辦理內部節水措施，並由其用水回收一定比例水量後再生利用，以降低外部水源需求量。其中至民國 101 年工業大戶自設再生水廠運轉者，計有中鋼、中龍、台化纖維（麥寮）、友達（中科后里）等 19 廠，每日約計 10 萬 8,477 噸。另經前述計畫評估結果，台灣地區工業區具大規模開發廢水回收再生利用潛勢者包括：新竹工業區廢水回收、桃園地區工業區廢水回收、大園工業區廢水處理場放流水再生利用，其再生處理規模為每日的 4,200 噸至 15,000 噸，回收再生水供應標的均為工業用水，再生處理成本 21.6 元/噸至 39.4 元/噸。

#### ● 生活污水回收再生利用

依據水利署民國 98 年 12 月「廢污水廠放流水再利用潛勢及推動策略」調查評估結果，台灣地區污水回收再生利用較其開發潛力者包括：八里污水廠、中壢水資源回收中心、安平污水廠、台中市福田水資源回收中心、台南永康污水處理廠、台南水資源回收中心、彰化市水資源回收中心、高雄中洲污水處理廠、鳳山溪污水處理廠等。內政部已規劃在台中、台南、高雄等高缺水風險區之福田、豐原、安平、永康、鳳山溪及臨海等 6 座污水廠（表 3 及如圖 7）作為再生水示範推動案例，目前推動首例為高雄市鳳山溪污水處

表 3 內政部推動 6 座再生水廠示範推動案例時程表

污水廠	污水廠現況 (萬噸/日)	再生水量 (萬噸/日)	供水對象	計畫 供水期程
鳳山溪	3.1	4.5	臨海工業區	108 年
福田	6.0	13.0	台中港工業專區	109 年
臨海	建設中	1.0	臨海工業區	108 年
永康	設計中	1.5	南科園區	108 年
安平	12.8	6.0	南科園區	108 年
豐原	設計中	2.0	中科園區	108 年
合計		28.0		



圖 7 內政部推動 6 座再生水廠示範推動案例位置圖

理廠放流水回收再利用供應高雄臨海工業區，預計於 106 年完成第一期工程，每日約 2.5 萬噸之再生水，終期（108 年）可供應 4.5 萬噸。

### 海水淡化

台灣四面環海，具有豐沛海水資源，海水淡化具有水源不受乾旱影響、供水穩定、興建時程短、擴充容量彈性大及佔地面積少等優點，雖台灣本島地區海淡成本目前高於傳統水資源，但西部地區水資源愈來愈吃緊，新興產業開發案件幾已無餘裕水量可供核配，海淡水已成為必要選項之一，且隨著調度農業水源成本增加（如南科調度農業用水成本〔原水 + 處理費〕約 18 ~ 20 元/噸），且後續推動耗水費後，亦將提高現有自來水購水成本，因此海淡水被接受度已有提高之條件。

目前水利署已完成桃園、新竹、彰濱、台南等海淡廠興建調查及規劃，另高雄海淡廠規劃調查則進行中（103 ~ 104 年）。而為釐清用水人對於海淡水水質之疑慮，並且已持續於新竹設置海淡模廠進行水質及產水穩定性試驗（詳表 4 及圖 8）。

表 4 水利署已規劃台灣本島海水淡化廠

海淡廠	產水能力 (萬噸/日)	供水對象
桃園	3.0	桃園科技工業區
新竹	3.0	竹科園區
彰濱	25.0	彰濱工業區
台南	10.0	南科園區及區域用水
高雄	20.0	規劃中
合計	60.0	-

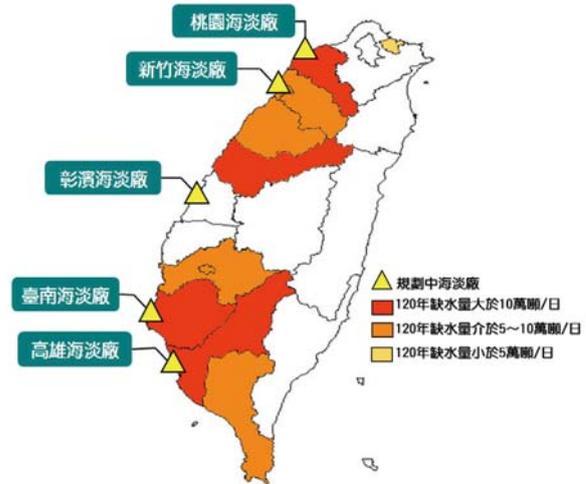


圖 8 台灣本島已規劃海水淡化廠

上述已規劃海淡廠主要供應對象多為用水需求較為迫切且集中之大型工業區或高度缺水地區，包括桃園海淡供應桃園科技工業區、新竹海淡供應新竹科學園區、彰濱海淡主要供應彰濱工業區等。因海水淡化供水成本（含建設及營運成本）約 30 ~ 36 元/噸，如依使用者付費原則，該用水成本遠高於現行自來水價平均 10.7 元/噸，致使工業用水戶大規模投資海水淡化廠及使用海淡水意願較低。台灣本島目前僅有台灣電力公司所投資開發之核三廠海水淡化廠 1,130 噸/日供應電力用水外，其餘本島地區尚無成功推動營運案例。

因海淡成本高於現行水價，未來台灣本島地區推動興辦海淡廠案例將研議比照內政部營建署推動水再生利用示範廠模式，由政府投資海淡示範廠建設經費，並由地方政府、自來水公司或開發單位（工業區）負擔後續營運費用；至於海淡水供應方式，則可評估專管供應或納入自來水系統供應，並視用水需求與用水單位共同研商檢討推動。

### 強化區域水源調度能力

限於台灣本島降雨時空分配不均，及各地區用水需求不同，水源供應狀況均所有不同，而受氣候變遷致降雨異常加遽及南北水資源豐枯差異更趨懸殊，後續需要持續強化區域間水資源調配能力，建置水源及自來水備援供水系統，以於枯旱時期或緊急情況進行區域間備援調度供水，且可將水源較充裕地區之餘裕水源作中長期調度支援鄰近水源較為缺乏之地區，將剩餘水量作區域水源相互調度，可促進區域間水源互相支援，以有餘補不足，讓水資源供水效率與利用效能達到最大化。

在執行面部分，水源調度可概分為：上游水源透過水庫聯合運用、下游透過自來水幹管相互聯通以提升水源利用效率、設置中、下游調蓄水設施。例如，新店溪翡翠水庫水源因較為充沛，經評估檢討餘裕水源可調配供應至石門水庫供水區之板新地區，降低石門水庫供水負擔，並可提高桃園地區供水能力及降低缺水風險。

目前台灣本島自來水供水系統可概分為台北市、板新、桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及屏東、台東、花蓮、宜蘭、基隆等分區，由於各地區水源供需不一，現階段水利署及台灣自來水公司已檢討台灣各地區水資源供應條件及用水需求，持續辦理區域水資源調配及供水管網系統建置（詳表 5）。其中，在北部地區已推動板新地區供水改善計畫（101 萬噸／日）、大漢溪水源南調桃園工程（51 萬噸／日）、南北桃連通管（17 萬噸／日）、及桃竹雙向供水管線（10 萬噸／日）等，未來全數完成後可將水源較充裕之新店溪翡翠水庫餘裕水源供應至石門水庫新北市供水區（含板橋、泰山、五股及新莊）等，並將石門水庫水源儘可能控留供應桃園地區，且未來桃園及新竹地區亦可透過已完成之桃竹雙向供水管進行相互支援調配，達到互通有無及調配供水功能。另中部地區已推動永和山水庫送新竹管線（12 萬噸／日）、大安大甲溪水源聯合運用輸水工程（最大調度能力 150 萬噸／日）及台中支援彰化管線（9 萬噸／日）等；南部地區已推動烏山頭淨水廠經北幹渠支援嘉義（10 萬噸／日）、南化水庫與高屏溪攔河堰聯通管路（50 萬噸／日）、台南與高雄地區清水輸水管線（南高一線，40 萬噸／日）及台南高雄水源聯合運用調度輸水工程（25 萬噸／日）等。

而透過上述跨供水系統之水源及自來水連通工程將各區水源逐步串接，可擴大各水源設施調配供水範圍，並可與鄰近水源設施進行總體調配運用，於枯水期或緊急情況下，作短期備援供水或中長期聯合調配運用，且在氣候變遷影響下局部性或地區性強降強雨發生預期會更加頻繁，未來更有需要透過相關水源及自來水設施將無法蓄存於水庫之河川剩餘水量調配至鄰近地區之水庫

表 5 台灣本島區域水源及自來水調度工程計畫推動情形

區域	調配工程（設施）	調配水量（萬噸／日）	推動情形
台北、板新、桃園	板新地區供水改善計畫一期工程	53.0	已完工
	板新地區供水改善計畫二期工程	48.0	建設中，預計 104 年第 1 階段通水 19 萬噸／日，107 年第 2 階段通水能力提升至 48 萬噸／日。
	大漢溪水源南調桃園工程	51.0	建設中，預計 104 年完工
桃園、新竹	南北桃聯通管線	17.0	已完工
	桃竹雙向供水管線	10.0	已完工
新竹、苗栗	永和山水庫送新竹管線	12.0	已完工
苗栗、台中	大安大甲溪水源聯合運用輸水工程	150.0	二階環評中，預計 111 年完工
台中、彰化	台中支援彰化管線	9.0	已完工
彰化、雲林、嘉義	湖山下游自來水工程	2.0	建設中，預計 105 年完工
		35.2	
		5.0	
嘉義、台南、高雄	烏山頭淨水廠經北幹渠支援嘉義	10.0	已完工
	烏山頭淨水廠至嘉義義竹管線	7.7	已完工
	台南與高雄地區清水輸水管線（南高一線）	40.0	已完工
	南化水庫與高屏溪攔河堰聯通管路	50.0	已完工
	台南高雄水源聯合運用調度輸水工程	25.0	推動中，預計 108 年完工
高雄、屏東	東港溪攔河堰送鳳山淨水場管線	50.0	已完工

供水區作最佳利用，以儘可能減輕水庫供水負擔並蓄存留待枯水期使用，提升枯水期水庫供水能力。

### 結語

1. 水資源建設是提升國民生活品質及促進社會經濟持續發展的關鍵基礎建設，尤其在氣候變遷異常水文條件衝擊下，台灣水資源經理將透過推動「天然水資源開發利用總量管制」手段，落實多元化水資源開發策略，達成水資源永續利用目標。
2. 透過擴大多元水資源利用，可降低天然水資源供給壓力、分散供水風險並提升供水穩定，亦可藉由廢污水回收再生利用可減少污染排放並增進環境保育，及帶動國內水利產業發展、培植造水技術與維護國家經濟生產競爭力。
3. 位處高缺水風險地區及鄰海之大型工業區，包括桃園科技工業區、新竹科學園區、台中港區、彰濱工業區及台南科學園區等，未來新增產業用水須以區域再生水、海水淡化為優先供應，以解決天然水資源不足問題，並兼顧產業發展與水資源供需平衡。

### 參考文獻

1. 經濟部水利署，廢污水廠放流水再利用潛勢及推動策略，民國 98 年 3 月。
2. 經濟部水利署，氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究，民國 99-102 年。
3. 莊順興，廢污水回收再利用技術評估推動新生水成功案例分享，財團法人中技社，民國 100 年 10 月。
4. 黃宏甫、江俊生，臺灣地區多元化水資源開發策略，水資源管理會刊，民國 101 年 12 月。



# 水庫設施更新與改善

許勝田 / 巨廷工程顧問股份有限公司董事長

## 台灣水庫設施的需求

根據民國 38 ~ 95 年統計的降雨資料，台灣年平均降雨量約 2,515 mm，相當於每年平均總降水約 900 億 m<sup>3</sup>，但此降水時空分佈不均。在時間方面，每年 5 至 10 月為豐水期，其餘月份為枯水期，在空間方面，南部枯水期與豐水期的差異遠較北部為大。圖 1 及圖 2 分別顯示北、中、南、東四區年均豐水期降水與逕流百分率，可見北部地區豐水期的逕流佔約 64%，但南部則高達 90%，在此自然條件下，為穩定供水必須有水庫設施以達「蓄豐、濟枯」之效。

參考文獻 [1] 的調查顯示，台灣目前年用水量約 180 億 m<sup>3</sup>，其中約 77 億來自地表逕流，57 億來自地下水，46 億來自水庫。依民國 98 年莫拉克颱風後的調查，台灣 17 座主要水庫的總容量如表 1，共 17.8 億 m<sup>3</sup>，即年水庫用水量約為水庫總容量的 2.6 倍。若以北部石門水庫為例，目前容積約 2 億 m<sup>3</sup>，但年供水量卻高達 8 至 10 億 m<sup>3</sup>，顯示其年使用次數需達庫容的 4 ~ 5 倍，方能滿足用水的需求。

## 台灣水庫面臨的問題及改善方針

依多年執行台灣既有水庫更新改善的經驗，筆者認為台灣水庫設施面臨下列問題：

### 庫容萎縮，供水能力降低

台灣由於地質年輕、脆弱，加上山高、集水區坡度陡峭，且主要降雨來自颱風、強度大、沖刷量高，容易造成崩塌，故颱風期間入庫水流含砂量高，又因水庫並無大型洩水底孔，多餘的入庫流量僅能經由水庫上層的溢洪道排放，由於重力作用，自然形成「水庫蓄渾水、溢洪道排清水」的現象，此即所謂「蓄渾

排清」的運轉，所得的結果是水庫淤積量大，庫容萎縮，供水能力降低。

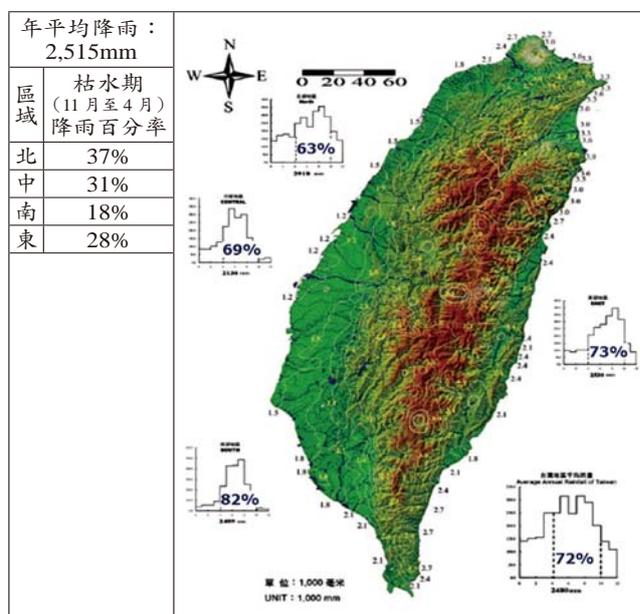


圖 1 台灣民國 38 ~ 95 年平均降雨分佈

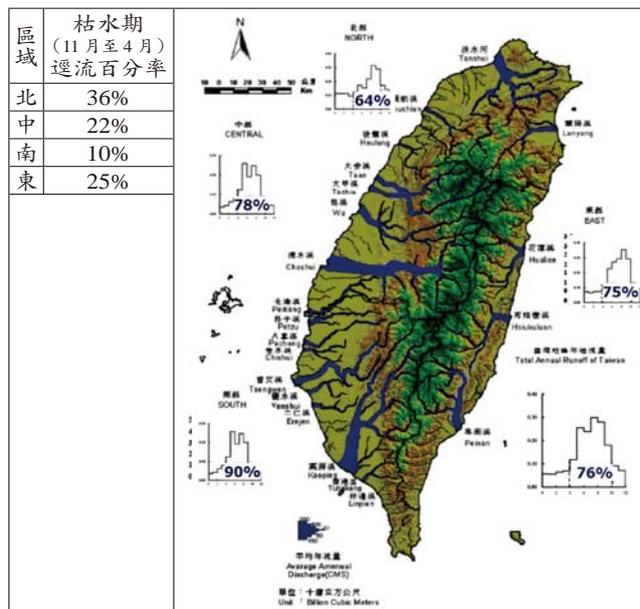


圖 2 台灣民國 38 ~ 95 年平均逕流分佈

表 1 台灣地區 17 座主要水庫容量統計

地區	編號	水庫名稱	完工當年總容量	98 年量測容量	98 年量測有效容量	標的	位置	備註
North 北區	1	新山	10.00	10.00	9.75	公共給水	基隆市安樂區	
	2	翡翠	406.00	382.87	335.51	公共給水、發電	台北縣新店市	
	3	石門	309.12	221.14	206.01	灌溉、公共給水、發電	桃園縣龍潭鄉	
	4	寶山	5.47	5.39	5.38	公共給水	新竹縣竹東鎮	離槽
Central 中區	5	永如山	29.58	28.67	28.10	灌溉、公共給水	苗栗縣頭份鎮	離槽
	6	明德	17.70	12.85	12.76	灌溉、公共給水	苗栗縣頭屋鄉	
	7	德基	262.21	201.37	152.03	發電	台中縣和平鄉	
	8	霧社	150.00	54.40	51.10	發電	南投縣仁愛鄉	
	9	日月潭	171.62	146.46	133.56	發電	南投縣水里鄉	離槽
	10	鯉魚潭	126.07	119.17	115.62	灌溉、公共給水	苗栗縣三義鄉	離槽
South 南區	11	仁義潭	29.11	27.10	25.81	公共給水	嘉義縣番路鄉	離槽
	12	蘭潭	9.80	9.78	9.25	公共給水	嘉義市	離槽
	13	曾文	712.71	491.59	491.59	灌溉、公共給水、發電	台南縣楠西鄉	
	14	南化	154.41	96.81	96.81	公共給水	台南縣南化鄉	
	15	烏山頭	168.83	80.23	80.23	灌溉、公共給水	台南縣官田鄉	
	16	牡丹	31.18	27.93	27.93	灌溉、公共給水	屏東縣牡丹鄉	
澎湖地區	17	成功	1.08	1.22	1.16	公共給水	澎湖縣湖西鄉	
合計			2,544.89	1,916.98	1,782.6	—	—	—

水庫的供水能力一般是指在某一缺水指數 SI (Shortage Index) 的供水量，近年來台灣新建或規劃中的水庫皆以 SI = 1.0 為評估依據，SI 之定義為：

$$SI = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i - X_0}{X_0} \right)^2$$

式中， $X_i$  為年供水量， $X_0$  為年計畫供水量， $n$  為年數。

圖 3 取自參考文獻 [2]，該圖顯示南化水庫與高屏溪攔河堰聯合運用時庫容對供水能力的影響，可見在啟始庫容約 1.5 億  $m^3$  之情況下，其供水能力約 115 萬 CMD，目前庫容約 1.0 億  $m^3$ ，其供水能力降至約 80 萬 CMD，若水庫持續淤積，庫容降至約 5,000 萬  $m^3$ ，則供水能力將降至約 45 萬 CMD。圖 4 則顯示曾文水庫容與各期作供水量之關係 [3]，可見曾文水庫庫容對二期作供水量之影響較小，但對一期作則相當明顯，故若曾文水庫容持續萎縮，一期作休耕將經常發生，進而影響嘉南地區農業產值與社會經濟的發展。

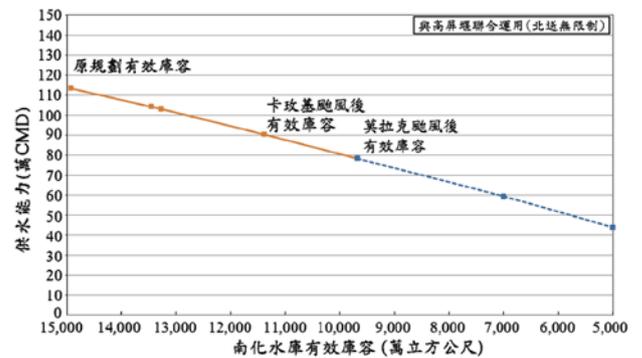


圖 3 南化水庫庫容對公共給水供水能力的影響

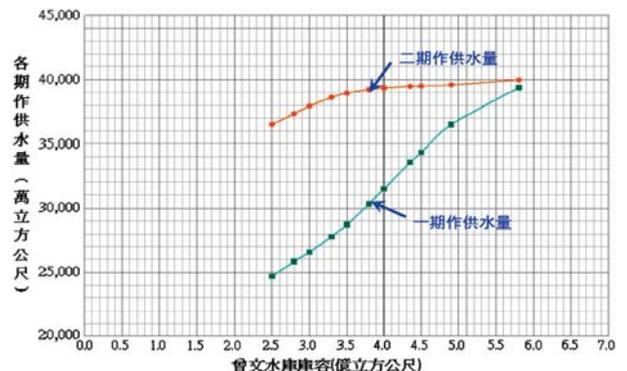


圖 4 曾文水庫庫容與各期作供水量關係

排洪能力不足

由於氣象資料的累積及計算方法的更新，台灣較早興建的水庫都面臨洩洪能力不足以排放最大可能洪水(PMF)的困境，而形成水庫安全的隱憂。

進水口堵塞

為防止大型異物進入取水口，水庫取水塔的進水口都裝置有攔污柵，經驗顯示若淤積面高於攔污柵，則水中潛流的樹枝或雜物，將聯同淤泥封堵攔污柵而降低水流断面，若淤積高程達攔污柵頂部亦可能妨礙取水功能甚或危及攔污柵的安全。石門水庫永久河道放水口(Permanent River Outlet, 簡稱 PRO)共有四片攔污柵(由底部 EL.167.50m 至頂部 EL.180.50m, 單片面積 3.60 m (W) × 3.70 m (H)), 攔污柵因堵塞而持續放水操作導致壓差過大而遭破壞，頂部三片攔污柵扭曲變形的情况如照片 1 (至民國 104 年 6 月底第四片攔污柵尚待打撈上岸)。



照片 1 石門水庫 PRO 進水口攔污柵受損情形

進水口閘門啟閉及止水效能無法確保

水庫放水路進水口閘門的啟閉是水庫營運的重要設施，其止水效果的良窳亦是一重要、但平時易忽視的細節，閘門及其提吊設施屬機械設備，其生命期遠低於土木結構，但相關的更新改善卻不多見。

以上所列四個問題中，以水庫庫容的萎縮所影響的層面最廣。由於台灣可興建水庫壩址已為數不多，加上反對興建新水庫的民意高漲，故水利界倡議以 1987 年 The World Commission on Environment and Development “Our Common Future” 所提 “Sustainable Development Is Development That Meets The Needs of The Present Without Compromising The Ability of Future Generations to Meet Their Needs” 的理念為指導方針，即水庫應以維持可持續利用的庫容為長期目標。

庫容維持策略

降雨造成集水區沖刷及崩塌，泥砂經由河川帶至下游沖積扇及河口是一種自然現象，為「蓄豐、濟枯」達到穩定供水而興建的水壩，亦攔住上游集水區挾帶的泥砂，形成淤積。如圖 5 所示，若欲減緩水庫淤積或維持庫容的，則必須進行水庫防淤/清淤操作，該圖顯示，防淤及清淤可包括下列三種方式：

集水區砂源控制

以集水區管理、集水區保育及興建攔砂壩等措施降低入庫砂量。

水力排砂

在入庫泥砂尚未落淤之前以繞庫或異重流/渾水潭方式隨洪水排至水庫下游，若泥砂已落淤亦可以降低水位空庫溯源沖刷方式排除沉積之泥砂。

機械清淤

依水庫水位機械清淤可採陸域開挖，水下機械挖泥或水力抽泥方式清除水庫中的淤泥。

民國 93 年艾利颱風過後，相關單位曾執行石門水庫及其集水區治理計畫，經濟部水利署亦辦理該等治理計畫成效及績效評估，詳參考文獻 [4]。前期計畫及該評估所得之主要結論如下：

- 入庫泥砂約 75% 來自於坡地崩塌，25% 來自坡地及河道沖刷。
- 集水區治理對降低崩塌擴大及對邊坡之土壤沖蝕有良好成效。
- 集水區治理工程雖可有效降低的崩塌裸露地擴大之機率，但在極端降雨事件下崩塌土砂產出量仍以新增崩場地為主，推估集水區保育工程平均降低 6.7% 之崩塌土砂量。

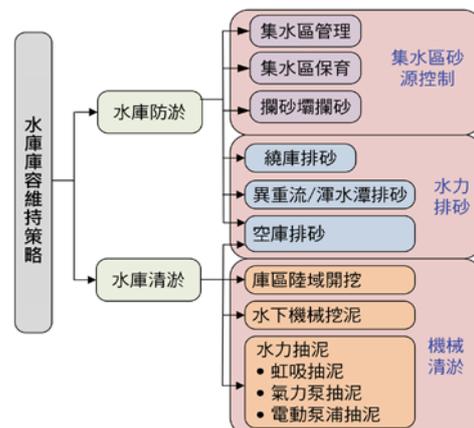


圖 5 維持水庫庫容策略

雖然石門水庫集水區治理為個案，但依上述成果就維持庫容目標而言，工作重點似應集中於庫區的水力排砂及機械清淤。

### 入庫泥砂運移的現象與其沉積物特性

在洪水期間，河川輸砂分為河床載 (bed load)，懸浮載 (suspended load) 及沖洗載 (wash load) 三大類，而其中懸浮載在部份條件下為河床質載 (bed-material load) 或為懸移質載 (suspended-material load)。入庫水流因挾帶一定量的懸移質載故其比重較水庫中既有清水為高，由於比重上的差異，如圖 6，渾水就會潛入清水，沿庫底向壩前運行，而形成水庫泥水異重流。在一定條件下，異重流可以流到壩前。如果能及時開啟排砂底孔閘門，異重流渾水即能排出庫外。

異重流潛入庫底後，只有具備一定條件才能持續不斷地向前運動。因為異重流是由水和泥砂組成的兩相混合流體，且因含有泥砂使這個混合流體產生有效重力，才可能使異重流產生運動。同時，異重流也只有有在運動中才能持續使泥砂保持懸浮狀態。因此，異重流內的泥砂和水是在運動中互相依存，只有在運動中才組成一個統一體。當流速足夠小時，泥砂就會逐漸沈積，異重流也就會形成渾水水庫而停止運動。換言之，並不是所有形成的異重流都能運行到壩前，因為運動中的渾水需要有足夠流量、濃度與能量坡降配合。若水庫接近大壩庫床幾近淤平，動能不足，以致形成的異重流沒有運行到壩前就擴散稀釋，最後沉澱成水庫淤積物。

到達壩前的異重流，經常不能及時地全部排出庫外，結果在清水下面滯蓄形成渾水水庫，渾水水庫內的泥砂若濃度高沈澱很慢，使渾水水庫內有相當長時間保持較高的含砂濃度。即使在入庫異重流消失後，仍能延續排洩高濃度渾水的時間。

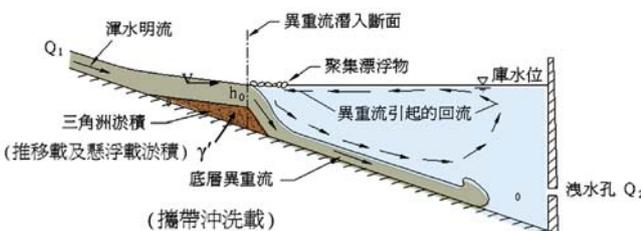


圖 6 水庫異重流示意圖

由國立交通大學防災及水環境研究中心開發的 TDR (Time Domain Reflectometry) 泥砂量測系統利用偵測電磁波輸送至水域及反射時差的原理可以求得水域中含砂濃度 (目前偵測精度為 1,000 ppm)，其圖 7。該設備曾用於石門水庫在颱風期間偵測庫中水平與垂直方向的泥砂運移現象，圖 8 顯示其測站佈置及民國 97 年與 98 年四場颱風的背景資料，圖 9 則表達在羅浮，斷面 24 及壩前於鳳凰颱風泥砂濃度隨時間的變化。可見在壩前的尖峰流量較尖峰濃度早到約 9 小時，一般而言，在石門水庫泥砂運移速度約 0.5 m/s，該速度約與泥砂濃度的平方根成比例。圖 10 則示 TDR 測得鳳凰颱風位於攔污索站泥砂濃度之空間與時間變化。以上成果大幅增進工作人員對石門水庫泥砂運移現象的瞭解。

有關 TDR 及石門水庫泥砂量測相關資料請參閱參考文獻 [5] 及 [6]。

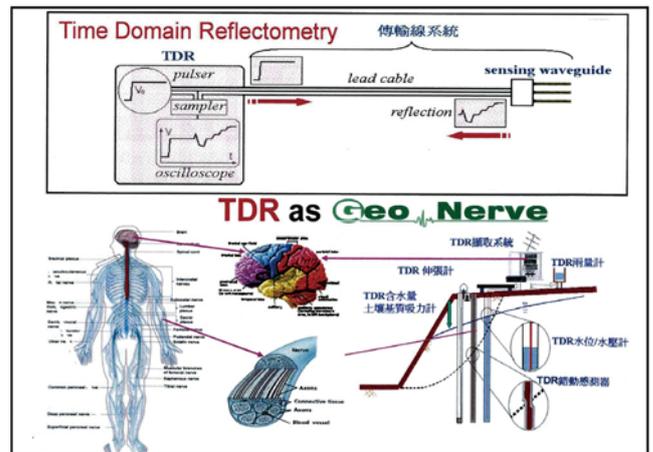


圖 7 TDR 系統示意圖

**石門庫區泥砂觀測作業測站**

**民國97年及98年颱風基本資料**

年度	颱風名稱	觀測期間	降雨量(mm)	尖峰流量(cms)	尖峰流量發生時間(hr)
97	鳳凰	7/27/18:00~7/31/00:00 (羅浮站至8/5/18:00)	273.9	2,040	7/28/09:00
97	辛樂克	9/12/18:00~9/17/21:00 (羅浮站至9/21/18:00)	965.2	3,447	9/13/22:00
97	蕾蕾	9/27/09:00~10/1/00:00 (羅浮站至10/3/06:00)	427.1	3,292	9/28/19:00
98	莫拉克	8/6/18:00~8/10/02:00 (羅浮站至8/14/06:00)	471.3	1,838	8/8/00:00

圖 8 民國 97 年及 98 年石門水庫泥砂運移監測站佈置及颱風資料

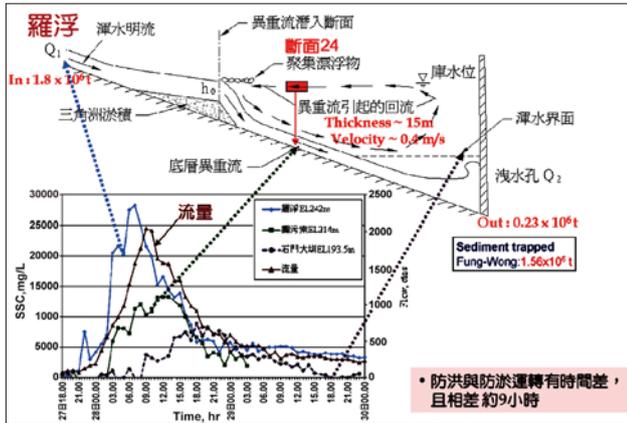


圖 9 鳳凰颱風石門水庫泥砂運移特性

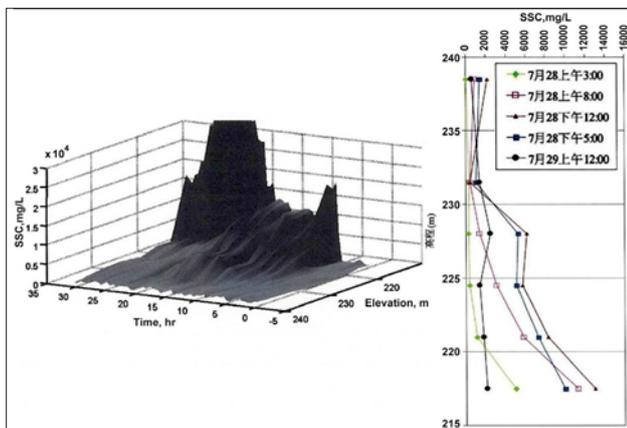


圖 10 鳳凰颱風偵測石門水庫攔污索站含砂濃度空間與時間變化

文獻上的資料顯示，在較為大型水庫的環境，由上游渾水明流及入庫後異重流的運動可歸納出下列入庫泥砂沉積的機制及可能粒徑：

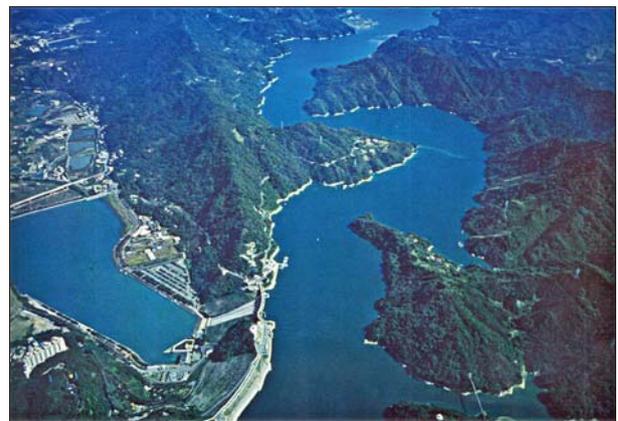
- 水庫上游三角洲淤積：此為推移載及懸浮載的淤積，其粒徑約在 0.04 mm 以上。

- 水庫沿程淤積：此為異重流挾帶之泥砂，在往下游運動過程中之落淤質，其顆粒約在 0.02 mm 左右。
- 壩前淤積：此為渾水潭淤積，其粒徑細為細坩土與黏土的結合，以台灣水庫可能細至 0.005 mm，黏滯性高。

以上淤積常挾有流木，尤其是壩前淤積物，淤泥的黏滯性使流木的打撈相當困難，打撈時需有潛水伏的協助，費用高。

## 石門水庫更新改善工程

石門水庫鳥瞰及原有洩水結構平面位置如照片 2 及圖 11，民國 93 年艾莉颱風過後，除大量淤積外，石門水庫亦面臨颱風過後取水濁度過高無法供水及水流挾帶大量漂流木封堵攔污柵甚至造成攔污柵破壞及入侵流木影響電廠 PRO 機械設備之運轉等問題，為解決上述問題，經濟部水利署北區水資源局辦理一系列的更新改善工程，工程內容如表 2，可分為既有設施改善與新建設施兩類，簡要說明如下：



照片 2 石門水庫鳥瞰

表 2 石門水庫更新改善工程一覽表

設施類別	設施名稱	設施功能	設計排洪量 (cms)	執行狀態	備註
A. 既有設施改善	A1. 永久河道放水口閘閘室改善	出水口之何本閘改為全斷面的射流閘閘以利排淤操作。	—	民國 97 年完工	—
	A2. 電廠一期改善工程	#2 電廠壓力鋼管改建為排砂道，增加排砂量。	300	民國 102 年完工	—
	A3. 電廠二期改善工程	#1 壓力鋼管銜接一分歧管，使該鋼管可供水至二部機組，恢復原電廠功能，並增設複葉閘供隔離操作。	—	預計民國 105 年完工	—
B. 新建設施	B1. 設置攔木索於断面 24 及 27	攔阻集水區部份漂流木進入庫區，並便利清理。	—	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 断面 24：民國 95 年完工</li> <li>● 断面 27：民國 97 年完工</li> </ul> 巴陵壩在民國 96 年韋帕颱風期間崩潰，原攔蓄約 1 千多萬 m3 泥砂輸入石門水庫，使水庫上游河床抬高，断面 27 攔污索因而失效拆除。
	B2. 增設取水工程	由水庫表層取水確保颱風期供水無虞，設計取水量 140CMD，可供應南北桃園民生及工業用水。	—	民國 98 年完工	—
	B3. 大灣坪防淤隧道工程	於大灣坪上游彎道處水力排砂至後池	1,600	規劃於民國 100 年完工	已經水利署核可執行
	B4. 阿姆坪防淤隧道工程	於阿姆坪興建抽泥通道至 10 號沉澱池，泥砂可飾分有價與無價料，有價料出售，無價料利用庫水於排洪期間沖至大漢溪。	600	基設民國 104 年完工，工程預計於民國 110 年完工	已經行政院核可執行



既有設施改善

● 永久河道放水口閘閥室改建

原永久河道放水口出口是以何本閘 (Howell-Bunger Valve) 控制水流，該閘門在水流中有「十字」型筋板，該筋板曾多次因阻擋流木，可能因水流振動而龜裂。本改建工程為將何本閘改建為全水流斷面的射流閘門 (Jet-Flow Gate)，以防流木堵塞並利排淤操作，本工程於民國 97 完工。

● 電廠一期改善工程

如圖 12，石門水庫有二支壓力鋼管供水至二部水力發電機組，但除颱風期外，一部機處於備用狀態。本工程為將 #2 鋼管改建為排砂道，轉換水力發電機的位能為動能，設計流量由原 68 cms 增至 300 cms。圖 13 及 14 分別顯示改建後排砂道平面佈置及透視圖，本工程於民國 102 年完工。照片 3 顯示蘇力颱風期間排砂道出口深褐色水流與溢洪道乳白色水流對照，顯示良好的排砂效果。

● 電廠二期改建工程

本工程為將 #1 壓力鋼管銜接一分歧管，使該鋼管可供水至二部機組，恢復原電廠功能。此外，為利於



照片 3 石門水庫排砂道蘇力颱風運轉成果

維護，亦於分歧管的下游端增設複葉閘供隔離操作。本工程預計於民國 105 年完工。

以上既有設施改善工程規劃細節請參閱參考文獻 [7]。

新建設施

● 水庫中游

照片 4 顯示民國 94 年颱風過後石門水庫內累積流木的情景，為利於流木的清理，於民國 95 年在斷面 24 設置一攔木索。

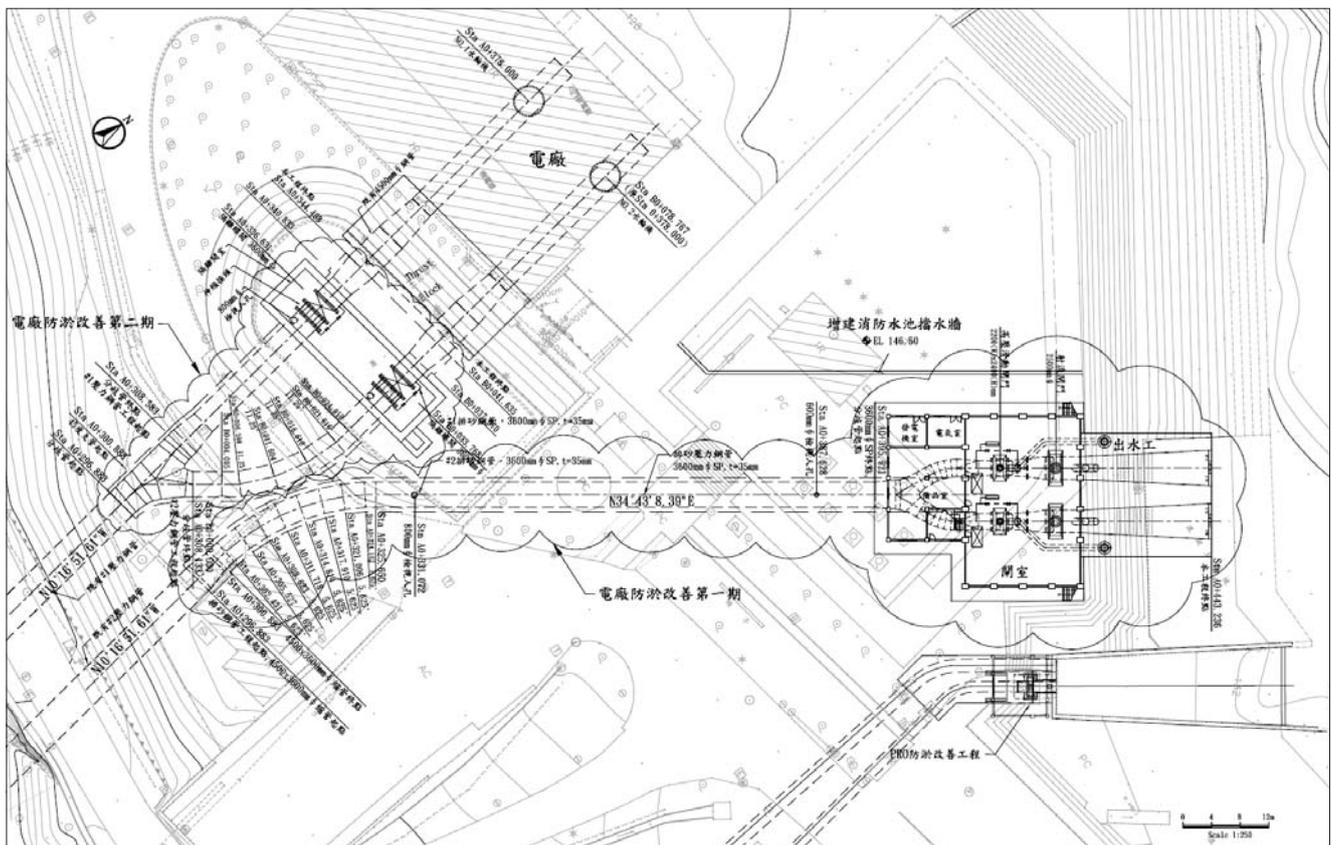
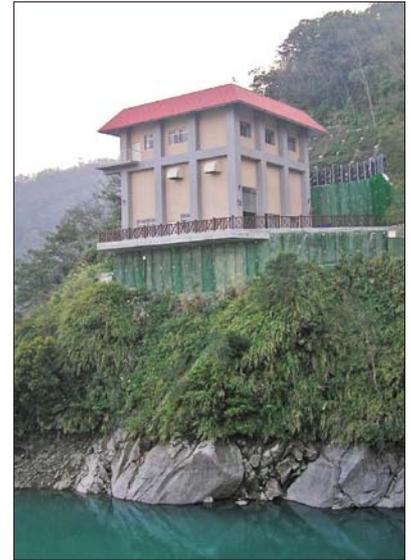


圖 13 石門水庫壓力鋼管改建平面圖



照片 4 颱風後石門水庫流木情景



照片 5 分層取水工監控室

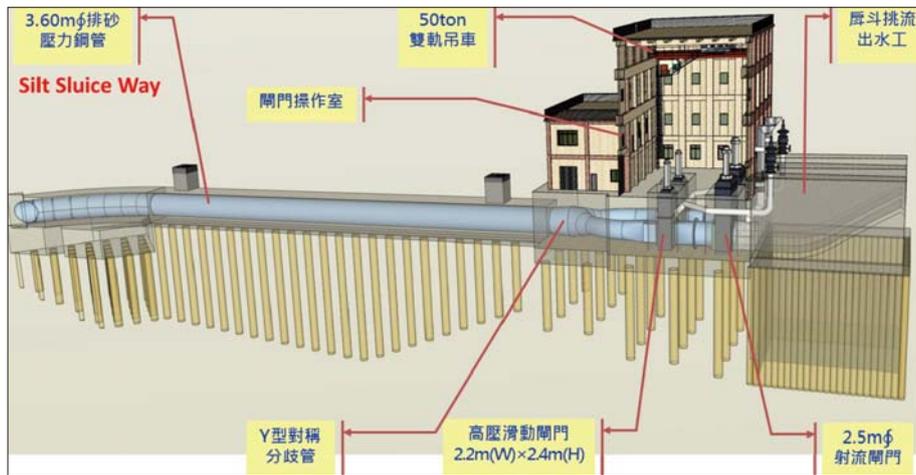


圖 14 石門水庫排砂道透視圖

有鑑於斷面 24 攔木索的功能良好，亦於民國 97 年在斷面 27 設置第二道攔木索，但民國 96 年巴陵壩崩潰後原阻止 1 千多萬方之泥砂流入石門水庫，抬高水庫上游河道高程使該攔污索失去功能而拆除。

● 增設取水工工程

為確保颱風期供水無虞，設計增設分層取水工取得泥砂濃度較低的水源。本工程可分別由 EL.236、EL.228 及 EL.220m 的取水口取水，所得取得之水源亦可銜接自來水公司既有管路並供應石門大圳及後後池，設計取得水量為 140 萬 CMD，可滿足南、北桃園民生及工業用水。本工程於民國 98 年完工，照片 5 顯示，完工後位於大壩左壩肩之分層取水工監控室。工程細節請參閱參考文獻 [8]。

● 大灣坪防淤隧道工程

經數值模擬及水工模型試驗得知欲增加石門水庫水力排砂效率以大灣坪上游彎道取水為最佳位置，依此，於該處規劃一設計流量  $Q = 1,600 \text{ cms}$  的水力排砂道並將水流排入後池，圖 15 及圖 16 分別顯示此排砂道的平面與縱斷面圖。本計畫已經水利署審查認可，但開發期程未定，計畫詳情請參閱參考文獻 [9]。

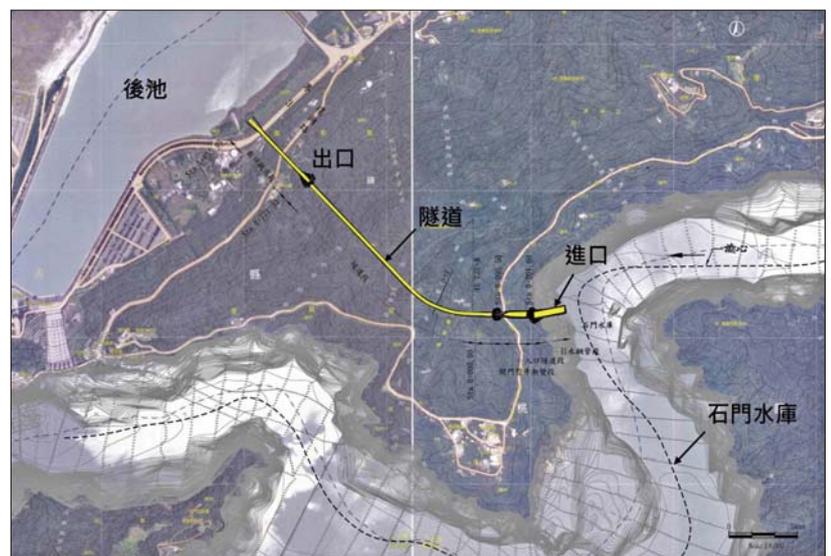


圖 15 大灣坪排砂隧道平面圖

● 阿姆坪防淤隧道工程

根據入庫泥砂運輸特性，較為粗顆粒泥砂將在水庫上游堆積成三角洲，無法以水利排砂機制而必須以抽砂的方法去除。本工程將解決水庫中上游淤積問題，工程包括：

1. 進水口結構
2. 門型隧道：寬 8 m、高 9 m、長約 3,560 m，上半部裝置輸泥管，下半部可輸送 600 cms 流量供沖刷放置於存池中的淤泥。

3. 儲存池：設計儲存體積 16 萬 m<sup>3</sup>。

4. 泥砂篩分設施。

篩分設施擬以機械方式將 D = 0.01 mm 之粒徑篩選，D > 0.01 mm 為有價料，可供砂石業使用，D < 0.01 mm 為無價料，該無價料將暫存於儲存池，颱風季節利用水庫多餘水量沖刷至大漢溪排放。

本工程之隧道平面位置如圖 17，本工程開發已經行政院核可，預計於民國 104 年下半年進入工程招標文件準備，工程可行性規劃請參閱參考文獻 [10]。

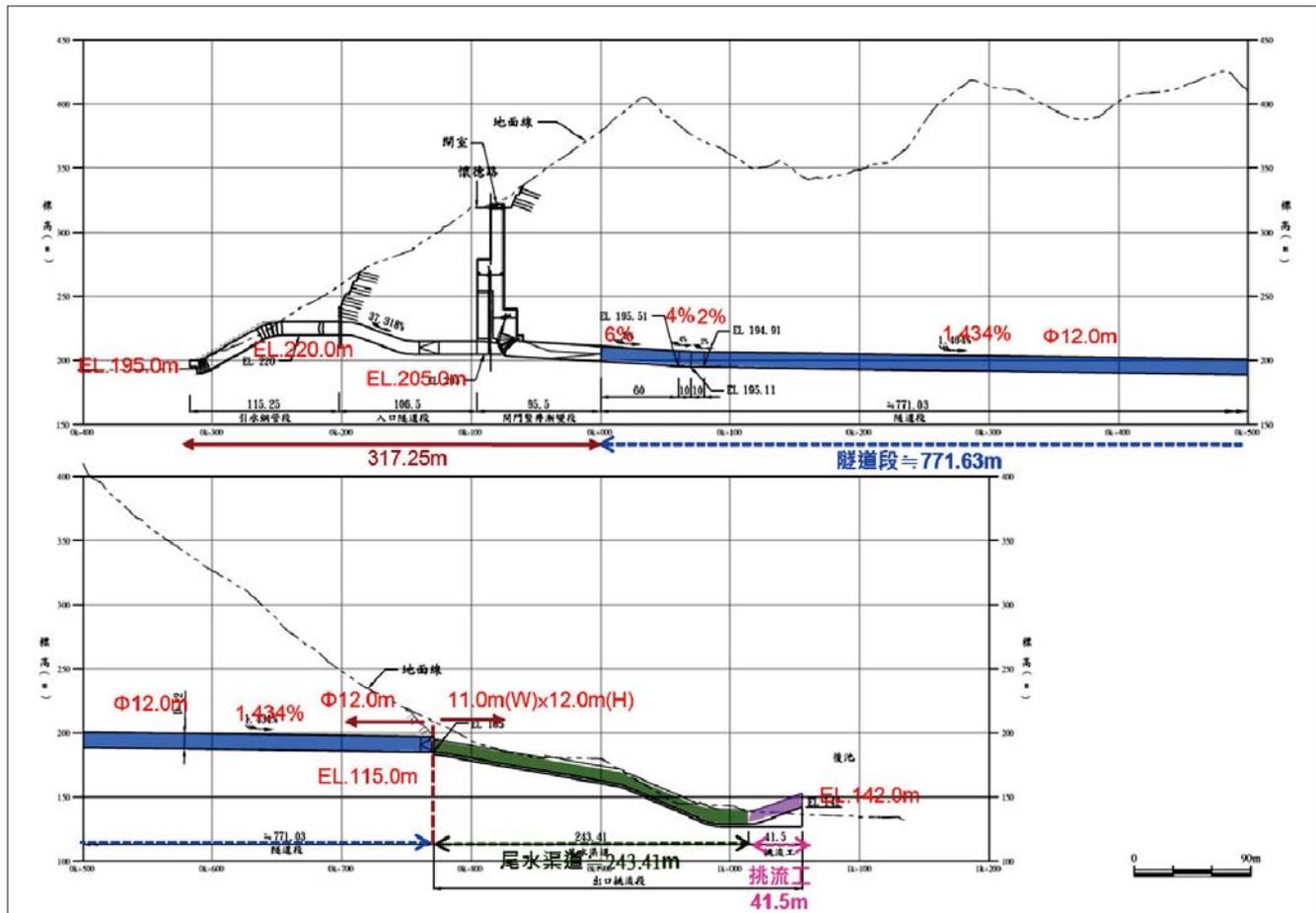


圖 16 大灣坪排砂道縱斷面

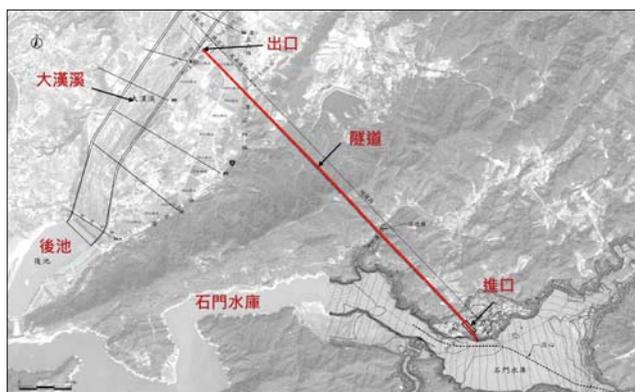


圖 17 阿姆坪抽砂通道平均圖

表 3 石門水庫維持庫容出入泥平衡表

單位：10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>

年平均入庫砂量	年平均出庫砂量						合計
	水力排砂			機械清淤			
	PRO排砂道	電廠改建排砂道	大灣坪水力排砂道	經由阿姆坪隧道淤	大壩前淤澱	水庫上游疏浚	
3,420	150 (4%)	1,020 (30%)	710 (21%)	640 (19%)	500 (15%)	400 (12%)	3,420
	55%			45%			100%

**更新改善後石門水庫維持庫容規劃**

表 3 顯示石門水庫長期平均入庫砂量為  $3.42 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，以上述排砂設施估計長年平均由永久河道放水口 (PRO)，電廠排砂道及大灣坪排砂道合計之水力排砂量約佔入庫砂之 55%，加上水庫上游陸挖量 12%，壩前浚淤量 15% 及阿姆坪浚淤量 19%，合計浚淤出庫砂量 45%，如此石門水庫可達長期無淤積量的可持續利用。

**水力排砂設施對石門水庫防洪的貢獻**

表 4 顯示在上述規劃的水力排砂設施完成後，石門水庫總洩水量達 16,300 cms，此值大於民國 103 年第三次安全評估之入庫 PMF 尖峰流量 14,500 cms，故石門水庫洩洪安全亦得到保障。

表 4 石門防淤改善前後洩水量與入庫 PMF 比較表

年度	PMF (cms)	洩流能力 (cms)					合計
		溢洪道	電廠排砂道	排洪隧道	大灣坪排砂道	阿姆坪抽砂通道	
48 年 (原規劃)	10,900	11,400	—	—	—	—	11,400
52 年 (葛樂禮颱風後)	11,750	11,400	—	2@1,200	—	—	13,800
103 年 (第三次水壩安全評估)	14,500	11,400	300	2@1,200	1,600*	600*	16,300

**維持庫容措施對環境的衝擊**

任何一項改變現狀的工程都將對既有環境產生衝擊，水庫的興建提供穩定的水資源及降低下游地區洪災，對人們生活及工商業發展存有正面影響，但也造成淹沒土地及阻隔泥砂入海，海岸退縮等不可避免的負面衝擊。近年來為求水庫的可持續利用水利署及其下屬單位已對石門、曾文、南化、白河、尖山埤、牡丹等既有水庫做規劃研究，尋求解決之道。雖各水庫因自然條件不同解決方案有差異，但所得到的共識是水庫因集水區匯集入水庫的泥砂量過多，淤泥資源利用無經濟價值，淤泥填築低窪地區或山谷工程費過高，且土地難覓等因素，較為可行的方案為於颱風期進行水力排砂，於枯水期進行抽泥，暫存於下游河道，並利用颱風溢流水源沖刷至下游河道，並補充河口砂量，以達到「還砂於河」的運轉，如此既可維持庫容亦可提供穩定河口海岸的必要砂源。

與既有環境相比較，上述水力排砂及河道放淤操作將大幅度的提升颱風期水庫下游河道的泥砂濃度，而可能影響水中生物的生存，水利署北區水資源局正對石門水庫排砂對下游魚類生物可能的影響做研究<sup>(11)</sup>，

雖目前因資料有限，容許的泥砂濃度與魚種或泥砂所存在時間的長短等因子之相關性，仍不得而知，但可確定民國 102 年排砂期間基隆河魚類死亡與排砂操作無關，應是水中溶氧過低所致。根據石門與曾文水庫實測入庫泥砂濃度資料，尖峰泥砂濃度達 50,000 ppm 者，並不罕見，但卻沒魚類死亡的記錄。另初步估算艾莉颱風在石門水庫及莫拉克颱風在曾文水庫過程的平均泥砂濃度雖分別達約 30,000 及 56,000 ppm，亦無魚類死亡的報導，可見水力排砂或河道放淤對魚類生態的衝擊有多大有待更多的研究調查。

**結語**

近年來水利主管單位已普遍採取水庫必須可持續利用的政策，在重要水庫也已執行大量工作，但因水庫之更新改善所涉及的層面很廣，包括需政府高層、各部會與地方政府的支持，另防淤設施建造完成後水庫的運轉也將比目前複雜，筆者認為在執行力道上應積極加強否則難以改變目前持續淤積的局面，也因此水庫可持續利用的前景仍令人堪慮。

**參考文獻**

1. 「台灣地區民國 101 年各標的用水統計報告」，經濟部水利署，民國 101 年。
2. 「南化水庫上游設置第二水庫調查規劃報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年 12 月。
3. 「維持曾文水庫有效庫容之整體規劃報告」，經濟部水利署南區水資源局，民國 103 年 1 月。
4. 「石門水庫及其集水區治理計畫執行成效及績效評估報告」，經濟部水利署，民國 101 年。
5. Lin, C.P. Chung C.C, Wu, L.L., Wu, P.L., Lin, C.H. and Wu, C.H., <sup>2</sup>Extensive Monitoring System of Sediment Transport for Reservoir Sediment Management<sup>2</sup>, Advances in Water Resources Management, Ed. by C. T. Yang and L.K. Wang, Handbook of Environmental Engineering, Springer Science, U.S.A., 2014.
6. Chung, C.C. Lin, C.P., Wu, P.L., Hsien, S.L. and Wu, C.H. <sup>2</sup>Monitoring of Sediment Transport in a Reservoir Using Time Domain Reflectometry<sup>2</sup>, 35th IAHR World Congress, Sept. 8-13, 2013, Chengdu, China
7. 「石門水庫既有設施防淤功能改善工程計畫可行性規劃報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 95 年。
8. 「石門水庫增設取水工程計畫綜合報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 96 年 10 月。
9. 「石門水庫大灣坪防淤隧道工程可行性規劃總報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 100 年 12 月。
10. 「石門水庫阿姆坪防淤隧道工程可行性規劃總報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年 9 月。
11. 「石門水庫排洪減淤操作對下游河道生態影響及改善方案研究期中報告」，水利署北區水資源局，2015 年。

# 節約用水 — 我們這一代共同的責任

王藝峰／經濟部水利署保育事業組組長

陳宜欣／經濟部水利署保育事業組助理工程師

## 節約用水 水資源管理關鍵的一哩路

穩定供應質優量足的用水、維護保育水環境及發展水資源事業是水資源管理主要的任務。在年平均降雨量高達 2,500 mm 的亞熱帶台灣，水資源管理總會以「開源」作為優先選項。長久以來，我們興建埤塘、水庫以蓄豐濟枯；運用越域引水以調配區域水資源；開發地下水以聯合地面水運用；興建海淡廠以降低離島供水風險。迄今台灣已擁有完善的水利設施，似乎得以因應豐枯不均的降雨特性，足供質優、量足的水源，奠定台灣社會與經濟發展的基礎。

然而時代在變，環境生態保護意識漸成為社會重要價值，興建水庫不易，過去 15 年僅新建 2 座水庫、更新改善阿公店水庫、修復因 921 地震損毀的石岡壩（圖 1）；都市化快速、人口老化、高科技產業崛起，用水地區與型態迅速改變（圖 2），常使水資源開發不及，水利署預估民國 120 年高雄、台南、台中、桃園等地供水缺口可能高達 120 萬 CMD。

環境也在變，全球氣候變遷的效應日趨明顯，台灣水文豐枯頻率加劇（圖 3），今年我們面臨了 67 年來最枯旱的一年<sup>[1]</sup>，4 萬 3 千公頃農地休耕、板新及桃園供水區實施第三階段供五停二限水措施，116.4 萬戶受影響，實施第二階段減供措施地區則高達 8 縣市。

「臺灣面臨限水危機，世界更缺水！在全球水資源問題最嚴峻的非洲，一口乾淨的水泉，能為當地居民的生命，帶來超乎想像的全面改變。」<sup>[2]</sup>，在美國亦何嘗不是如此，加州的百年大旱，迫使州長下令<sup>[3]</sup>減少生活用水 25%，農業水權人必須自願休耕 1/4 或減少取水 25%，才能換取水權展限<sup>[4]</sup>。2012 年全球水論壇指出 2040 年以前，淡水供應量無法滿足全球需求，將拖垮經濟成長和危及世界糧食安全，恐將成真。

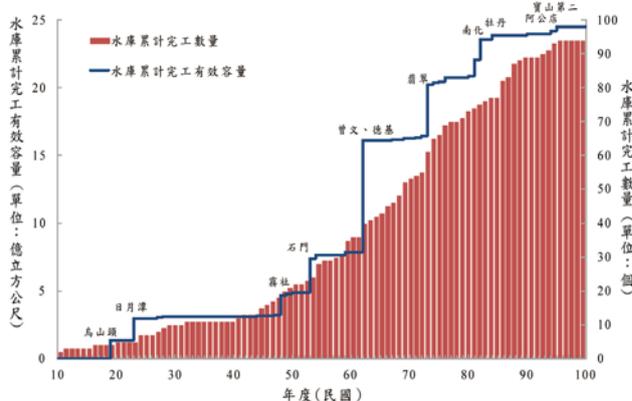


圖 1 台灣水庫建設歷程圖

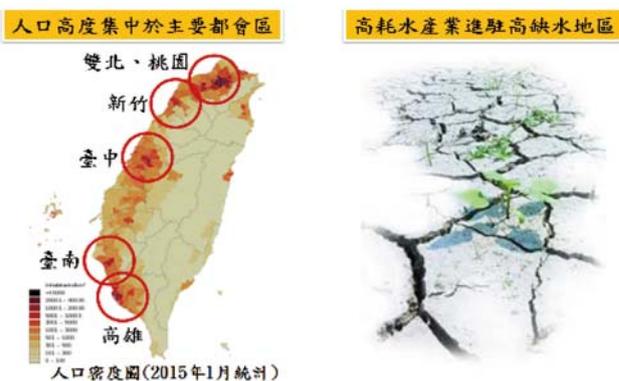


圖 2 人口產業集中於都會區缺水風險增加

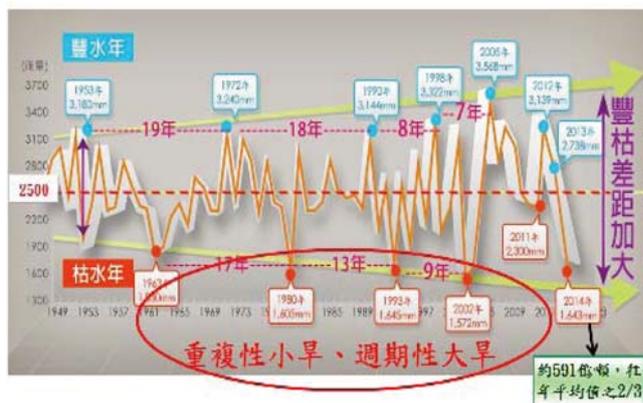


圖 3 氣候變遷讓台灣豐枯震盪加劇

臺灣水資源政策不能以不變應萬變，必須調整傳統的「開發與調配」策略，深思「分配與有效管理」課題。而推動節約用水將是下一個世代水資源政策，最重要的一哩路。

## 成效浮現 回顧節水政策二十年

我國節約用水政策肇始於行政院 83 年 2 月核定的「節約用水措施」<sup>[5]</sup>。該措施揭櫫「提高用水效率與效能」及「健全用水管理與制度」兩項政策總目標，並明定「效率管理」、「獎勵優惠」、「修訂法令」、「合理水價」、「教育宣導」五大推動策略（圖 4）。

20 年來，政府陸續推動「推動節約用水措施實施計畫」<sup>[6]</sup>、「推動節約用水措施第二階段實施計畫」<sup>[7]</sup>、「挑戰 2008 國家發展重點計畫 — 積極推動節約用水計畫」<sup>[8]</sup>、「2008 年 ~ 2012 年積極推動節約用水計畫」<sup>[9]</sup>及「中長程工業用水發展政策綱領實施計畫」<sup>[10]</sup>等施政計畫。節約用水的政策成效（圖 5）已初步浮現。平均每人每日用水量由過去最高的 291 公升，降至最低 268 公升；省水器材的市占率也由以往 14.5% ~ 68.5% 擴大到 72.5% ~ 86.8%；工業廢水回收率則由 47.7% 提高為

69.8%；自來水漏水率（台灣自來水公司及台北自來水事業處）由 23.68% ~ 26.7% 降低為 18.04% ~ 16.72%。

在 104 年的抗旱過程中，水利署更深化執行各項節水措施，包括發放「愛水節水月家庭作業」，讓中小學生帶動家庭節水（近 1,700 所學校 26,000 個班級參與）；提供「十大省水好習慣」，指導民眾採行省水行為；推廣愛水節水歌曲及發放節水文宣，提升民眾節水意識；啟動「水價優惠折扣」，鼓勵民眾省水；訂定「機關學校部隊抗旱節水行動原則」及「行政院與所屬中央及地方各機關學校節水行動獎懲」，要求機關學校帶頭節水。統計 104 年 1 ~ 4 月用水，機關學校總用水量降低 1.86%，文宣下載高達 50 萬餘次，節水愛水甚至成為學生科研的主題<sup>[11]</sup>，確實發揮協助抗旱的成效。

## 歸零思考 節水常態化政策藍圖

但我們也注意到，平均每人每日用水量近年來都在 270 公升上下浮動，無法進一步下降。工業區的開發因為用水問題引發的環評等各項爭議，明顯增加。在乾旱時期，慣常採用的「以農業支援工業的政策」，引發用水正義的抗爭，備受挑戰。

下一階段的節約用水推動方向，必須與多元化水資源政策結合（圖 6），在水資源使用分配結構中（圖 7），扮演合理需求、降低風險及提高使用效率的角色。現行道徳性、志願性的節約用水政策必需調整。

參考澳洲及新加坡<sup>[12,13]</sup>強制性的節水政策，我們歸零思考，以下列思維擘劃「節約用水常態化」政策藍圖：

- 讓節水的角色由因應枯旱的緊急措施，轉型成為建構永續水資源的常態作為；
- 建立強制規範，推動節水三法 — 耗水費徵收、強制使用省水器材及水再生利用，讓實踐節水成為國民義務；
- 提升用水效率，落實一滴水使用二次，善用大數據，建立智慧水管理機制；
- 政府帶頭行動節水及教育宣導從心態扎根。

節水常態化方案將以「強制使用省水器材」、「提高產業用水效率」、「建構智慧水管理」、「政府學校部隊帶頭節水」及「紮根節水教育宣導」五大面向完整型塑。各項行動措施包括：



圖 4 現階段節約用水推動策略

	過去	現在
平均每人每日用水量	291公升	268公升
省水器材市佔率	省水馬桶 68.5% 省水洗衣機 14.5% (民國96年)	省水馬桶 86.8% 省水洗衣機 72.5%
工業用水回收率 (R2回收率)	47.7% (民國92年)	69.8%
自來水漏水率	北水 26.70% 台水 23.78% (民國92年)	北水 16.72% 台水 18.04%

圖 5 節約用水推動成效

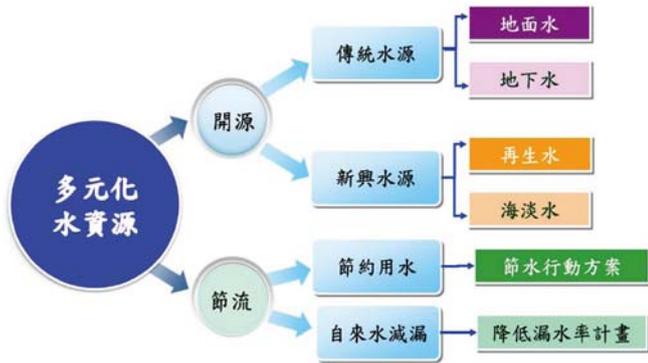


圖 6 多元化水資源政策示意圖

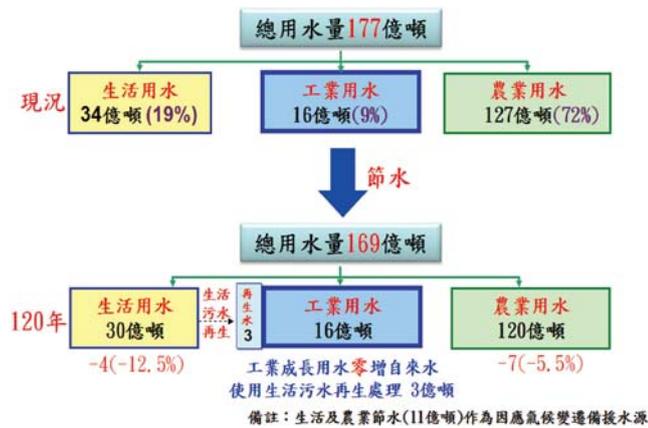


圖 7 未來各主要標的用水分配結構變化

## 強制使用省水器材

### (1) 禁止非省水器材銷售與裝置

- 修正自來水法，強制銷售或裝置省水標章馬桶、洗衣機與感應式小便斗、自閉式水龍頭與感應式水龍頭等省水器材。
- 視政府財政狀況（或耗水費開徵進度）與水情需要，辦理「鼓勵民眾汰換非省水器材獎勵計畫」，提高省水器材普及率。
- 預期效益：生活用水年節約水量 630 萬噸；民國 110 年累積年節水量約 3,500 萬噸、民國 120 年累積年節水量約 1 億噸。

### (2) 推動省水器材分級制（金級及普級）

- 103 年實施省水馬桶分級（普級大號 6 公升，金級 4.8 公升），105 年起推動洗衣機省水器材分級（普級洗 1 公斤衣服 20 公升及金級洗 1 公斤衣服 17 公升）。
- 預期效益：110 年金級省水器材市占率 40%、民國 120 年金級省水器材市占率 60%。

## 提高產業用水效率

### (1) 促進工業節水

- 推動耗水費開徵

促進廠商投資節水設備、使用再生水並分攤乾旱移用補償費用，費率採 3 級累進，對節水優異的廠商規劃優待減徵最高 60%。水價合理化後，自來水之耗水費將融入水價，不致產生重複課徵問題。

- 發展再生水資源

以「民國 120 年時，再生水供應量達 132 萬噸/日」為目標，推動將都市污水處理廠放流水、工業區廢水處理廠放流水、工業用水大戶預定放流或納管之廢水、生活污水大戶的污水等，再生處理後符合所需水質標準後再行利用。

- 加強用水計畫書審查及查核機制

修正水利法，賦予用水計畫書審查法源，並落實用水計畫書查核作業，除審查時針對區域供水能力、合理用水需求、回收節水措施時加以把關外，建立查核機制，合理滾動檢討用水供需。

在自來水系統水源需求大於供給且無跨區或跨標的調度供水的地區，將要求新增產業用水由用水單位自行規劃設置海水淡化廠或污（廢）水再生利用作為主要供水來源。

- 輔導提升工業用水回收率

經濟部、科技部與地方政府加強輔導所轄工業節約用水，協助引進低耗水性製程、水回收循環再利用、節水技術諮詢輔導及獎勵措施，俾提昇工業用水回收率至 75%，科學園區製程用水回收率則應達 85% 以上。（執行時依各產業之特性再細分目標）

- 預期效益：工業用水民國 110 年節水量約 4,000 萬噸、民國 120 年節水量約 9 千萬噸。民國 120 年新增工業用水使用再生水約 4.8 億噸。

### (2) 落實農業節水

- 農田水利會轉型多元化給水事業

目前農業用水水權大部分為農田水利會所有，未來將配合農糧政策的方向，鼓勵農田水利會主動採行節水措施，逐步轉型為多元化給水事業。

- 推廣農業節水技術及落實灌溉渠道漏水改善

依據各灌區特性，補助水利會或農民辦理各種灌溉節水設施（如滴灌、噴灌或管路灌溉）。結合監測土壤資訊及研究農作物需水規律，實現區域最佳水份調控。

持續推動「加強農田水利建設（中長程）計畫 102 至 105 年度（第四期）」，補助農田水利會、直轄市及縣（市）政府共同推動渠道及構造物等設施更新改善、農地重劃及早作節水推廣等工作。

• 推動埤塘再生活化與回歸水運用

推動「埤塘再生活化計畫」，缺水地區更新、改善或新建埤塘，建立聯合埤塘、水庫及川流水之區域水資源調度模式，以延長枯水期水庫運轉時間並充足灌溉水源。

建立「灌區回歸水再利用原則」，由多元化給水事業供水予其他產業用水人。

• 擴大黃金廊道節水型農業計畫

參考行政院 102 年核定之「黃金廊道農業新方案暨行動計畫」，以發展低耗水農業、提高農民收益、提升糧食自給率及促進產業多元發展為目標，透過設立省水農業生產專區、導入綠能節水科技與資訊等措施，達成農業節水的效果。

擴大計畫範圍由黃金廊道至全國各農田水利會轄下地層下陷及水源水量不足區域。

• 維持掌水工制度或推動智慧水門控制系統

依據各農田水利會灌區特性，維持恢復掌水工制度或推動智慧水門控制系統，提升灌溉用水效率。

• 預期效益：每年可減少灌溉渠道滲漏量 2.5 億噸。

(3) 推動海綿台灣基地保水措施

• 研修建築技術規範

為推動建築物雨水貯留，供生活次級用水使用，內政部於建築技術規範建築設計施工篇第 316 條規定，10,000 平方公尺以上之新建築物，雨水貯留利用率應大於用水量 4%。未來將進一步推動修正，規範 6,000 平方公尺以上之新建築物均須設置雨水貯留設施。

• 訂定基地保水或雨水貯留自治規章

建築物貯留之雨水可減少都市洪災，且可供生活次級用水使用，如沖廁、澆灌與不與人體接觸相關用水，有利於節水。目前台北市（基地開

發雨水逕流量標準）、新北市（都市計畫）及台南市（低碳城市自治條例）均已訂有雨水貯留相關自治規章。將推動各地方政府比照訂定。

## 建構智慧有效的水管理

(1) 推動水價合理化

近期將成立推動水價統一作業平台，研商與檢討「水價計算公式及詳細項目」，依據檢討成果，啟動合理水價規劃，研議－統水價調整方案。

(2) 枯水期自來水常態減壓供水

- 修正「自來水停止及限制供水執行要點」，枯水期夜間常態減壓供水。
- 預期成效：每年枯水期節水量約 1 ~ 2%，約 3 千萬噸水量。

(3) 常態辦理「自來水節約用水優惠獎勵措施」

- 每年 11 月至 4 月常態辦理自來水節約用水優惠獎勵措施。
- 預期成效：每年枯水期節約 1% 用水量，約 2 千萬噸水量。

(4) 擴大自來水管汰換檢漏

- 台灣自來水公司持續執行「降低漏水率計畫（102 至 111 年）」，預定於 10 年內汰換管線長度 6,000 公里及建置 3,428 個分區計量管網。
- 台北自來水事業處則將持續推動「供水管網改善及管理計畫」（95 ~ 114 年）。
- 效益：114 年台灣自來水公司漏水率降至 12% 以下、台北自來水事業處漏水率降至 10% 以下。生活用水年節水量約 1 億噸。

(5) 智慧水管理平台

- 推動智慧水管理（Smart Water）示範計畫：建構智慧水管理平台，更新設置智慧化自來水管網及換裝智慧水表。即時掌握用水情況，據以提升水壓管理精準度、快速評估自來水管網漏水點及降低有效無計費水量。
- 預期效益：提高示範地區自來水事業售水率，減少自來水管爆管事件。

## 政府學校部隊帶頭節水

(1) 常態實施行政院「機關學校部隊抗旱節水行動原則」

- 5 年內完成全國機關學校部隊省水器材換裝。
  - 8 年內落實全國機關學校部隊生活次級用水均設置雨水或再生水設施。
  - 預期效益：較 96 年節省 12% 用水，年節水 1,600 萬噸。降低每人每日用水量 2 公升。
- (2) 常態實施行政院「行政院與所屬中央及地方各機關學校節水行動獎懲原則」
- 機關學校部隊持續節水，累積成效較 96 年節約用水一定程度以上者，予以獎勵。
  - 機關學校部隊持續節水，累積成效較 96 年增加用水一定程度以上者，予以懲處。
- (3) 推動節水城市查核
- 加強地方政府節水行動之推動，每年辦理節水評核作業。查核地方節水行動落實情形、節水成效及抗旱作為。
  - 對表現優異地方政府，由行政院公開表揚。

## 紮根節水教育宣導

- (1) 節水教育：
- 推動節水知識融入各級學校教材，節水宣導成為校園及環教常態課程。
  - 每年辦理節約用水績優單位及節水達人選拔，推廣全民節約用水教育。
- (2) 節水宣導：
- 深化「愛水節水月」宣導活動：每年 3/22 ~ 4/22 定為愛水節水月，4 月第 2 個週日定為全民節水日，經濟部與全國各地方政府共同辦理宣導系列活動。
  - 建立節約用水資訊網站：提供節約用水知識、教材、影片及文宣等，並成立政府及機關節約用水資訊專區，定時查填節水相關設備措施之使用情況。
  - 辦理節約用水環境教育活動：結合地方政府、企業、NGO 團體及學校，推動辦理節約用水環境教育機構、場域、人員及活動。

我們期待透過節水常態化政策的落實，民國 110 年每人每日平均用水量（家庭、商業及辦公場所用水）可降至每人每日 250 公升；自來水管線漏水率低於 14%；省水器材市佔率 100%；工業水回收利用率高於 75%（圖 8）。

	現在	民國110年	民國120年
平均每人每日用水量	268公升	250公升	240公升
省水器材市佔率	省水馬桶 86.8% 省水洗衣機 72.5%	100%	100%
工業用水回收率 (R2回收率)	69.8%	75%	80%
自來水漏水率	北水 16.72% 台水 18.04%	14%	12%

圖 8 節水常態化政策目標

## 節約用水 我們共同的責任

永續、效率、公平的水資源管理，讓個人與家庭可以享受水帶來的舒適生活；讓產業有能力以水創造夢想與經濟奇蹟；讓環境得以因水而豐富與多元美麗。這是我們希望為下一世代的台灣，所描繪的願景。賈伯斯認為蘋果公司的使命是「把科技變成容易使用的工具，讓人們藉由這些工具，實現夢想，把世界變得更美好」<sup>[14]</sup>。無疑地，節約用水將是台灣水資源願景的關鍵工具，實現她將是我們的共同責任。

## 參考文獻

1. 楊偉甫，「台灣水資源管理策略」（簡報），中油永續經營推動委員會，104 年 4 月 27 日。
2. 「一杯水轉變的人生」，世界展望會，展望會訊，第 180 期，104 年 5 月。
3. "EXECUTIVE ORDER B-29-15", Executive Department, State of California, April 1, 2015.
4. 「加州連年大旱，農民提節水 25% 換未來灌溉水權」，The News Lens, <http://www.thenewslens.com/post/167285/>，104 年 5 月 23 日。
5. 「節約用水措施」，經濟部，行政院台 83 經 04764 號函核定，83 年 2 月 3 日。
6. 「推動節約用水措施實施計畫」，經濟部，行政院台 86 經 08449 號函核定，86 年 2 月 26 日。
7. 「推動節約用水措施第二階段實施計畫」，經濟部，行政院台 87 經 40254 號函核定，87 年 8 月 14 日。
8. 「挑戰 2008 國家發展重點計畫 - 積極推動節約用水計畫」，經濟部，行政院臺經字第 0930001528 號函核定，93 年 2 月 13 日。
9. 「2008 年 ~ 2012 年積極推動節約用水計畫」，經濟部，97 年 8 月。
10. 「中長程工業用水發展政策綱領實施計畫」，經濟部，行政院臺經字第 0960013393 號函核定，96 年 4 月 13 日。
11. 聯合報，「找缺水原因，她們畫全校水線圖」，記者林麒璋，104 年 6 月 7 日。
12. "Water Efficiency Labelling Scheme (Voluntary & Mandatory)", PUB, Republic of Singapore, March, 2013.
13. "Briefing on Mandatory Labelling of Clothes Washing Machines under MWELS", PUB, Republic of Singapore.
14. 庫克，「找到人生方向的北極星」，吳怡靜編譯，天下雜誌，573 期，18 ~ 20 頁，2015 年。

# 建設海綿保水臺灣

陳弘由／經濟部水利署副總工程司

楊松岳／經濟部水利署水利規劃試驗所正工程司

陳葦庭／巨廷工程顧問股份有限公司經理

## 摘要

依據不同國際組織單位評估氣候變遷所造成之現象與衝擊，結果均指出氣候變遷促使極端氣候發生頻率增加，其與近年短延時強降雨事件頻傳之現象不謀而合。臺灣因土地開發及經濟發展，導致灰色基盤增加，土地漸漸喪失原有保水機能，也大幅降低了都市的防洪韌性。有鑑於此，政府積極推動相關治水措施，包括民國 95 ~ 102 年間以流域綜合治水概念所執行的「易淹水地區水患治理計畫」，以及為延續政策效果，103 ~ 108 年則推動「流域綜合治理計畫」，其除了辦理水患治理計畫相關治理工程外，並以國土規劃角度推動逕流分擔及出流管制等創新作為，主要以土地開發出流管制措施消減土地開發所增加之逕流量，並透過土地管理方式增加都市防洪空間，同時配合內政部刻正推動之低衝擊開發（Low Impact Development, LID）的概念，以建設海綿保水臺灣，強化都市的防洪韌性。

## 前言

依據不同國際組織單位評估氣候變遷所造成之現象與衝擊，結果均指出氣候變遷促使極端氣候發生頻率增加，其與近年短延時強降雨事件頻傳之現象不謀而合。臺灣過往多數都市計畫以土地開發及經濟發展為導向，自然環境限制、災害潛勢及防災需求等面向未納入考量，導致灰色基盤增加，土地漸漸喪失原有保水機能，也大幅降低了都市的防洪韌性，此亦為國際各國所共同面臨的問題，各國也對此紛紛提出了調適與因應策略。

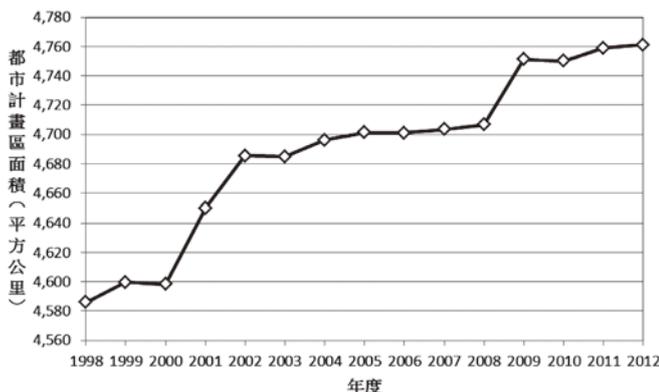
有鑑於此，政府積極推動相關治水措施，包括民國 95 ~ 102 年間以流域綜合治水概念所執行的「易淹水地區水患治理計畫」，以及為延續政策效果，103 ~ 108 年則推動「流域綜合治理計畫」，其除了辦理水患治理計畫相關治理工程外，並以國土規劃角度推動逕流分擔及出流管制，加強非工程措施與水共存等治水新思維，以跨域協調整合概念推動後續工作。而逕流分擔及出流管制即屬創新作為，其為因應全球氣候變遷與避免都市化導致地表逕流增加，避免造成已完成整治之防洪設施無法承納，一旦各目的事業主管機關於治理規劃檢核時權責區域內之水道系統匯入之尖峰流量超過河川排水之計畫流量，應由各目的事業主管機關自行採取滯蓄洪等手段，以達到匯入河川排水之尖峰流量不超過計畫流量之目標，其主要以土地開發出流管制措施消減土地開發所增加之逕流量，並透過土地管理方式增加都市防洪空間，同時配合內政部刻正推動之低衝擊開發（Low Impact Development, LID）的概念，以建設海綿保水臺灣，強化都市的防洪韌性。

## 未來環境變化與威脅

國科會 2011 年提出「臺灣氣候變遷科學報告」顯示臺灣與其他國家相較，受氣候變遷影響程度甚高。臺灣年均溫在 1911 年至 2009 年間上升了 1.4°C，近 30 年增加幅度是百年來增幅的 2 倍。全島極端高溫日數全部呈現明顯上升趨勢，寒潮發生日數呈現下降趨勢。全島總雨量呈現稍微上升趨勢，但在統計上並未有長期顯著變化，然而，年總降雨日數卻明顯下降，降雨強度則增加；豪雨（日雨量  $\geq 130$  mm）和大豪雨（日雨量  $\geq 200$  mm）的發生日數，近 50 年與近 30 年

亦明顯增加；此外，影響臺灣的颱風數量亦有增加的趨勢，近30年來颱風數量增加速率為近50年來的3倍，其中輕度颱風的增加趨勢並不顯著，中度以上則明顯增加，而強烈颱風增加趨勢顯著，颱風所造成的極端降雨事件在2000年後增加更為顯著。

自2010年12月25日五都改制以來，目前全臺6個直轄市的總人口約佔全國69%，都市化程度快速發展。根據行政院主計總處資料顯示我國依法完成法定程序的都市計畫區域範圍之總面積，由1998年的4585.98平方公里逐漸攀升至2012年的4761.12平方公里（如圖1所示）。由於土地利用型態的改變，原有天然的土地利用狀態將逐漸轉變為人工的土地利用狀態，增加地表不透水面積，將導致降雨期間降雨入滲減少，地表逕流體積增加及洪峰到達時間縮短等現象，增加下游排水系統負擔。



資料來源：行政院主計總處

圖1 1988年至2012年全臺都市計畫區面積示意圖

## 逕流分擔與出流管制推動架構

逕流分擔與出流管制工作推動應由水道管理機關依流域土地利用現況完成水文分析、現況通洪能力檢討、治水方案擇定、計畫流量分配工作，並完成治理計畫。水道治理機關則依據治理計畫的成果，辦理河川綜合治水措施，例如水道拓寬、加高及疏浚增加水道可通洪能力，或採分洪或疏洪等水道對策及設置中大型滯蓄洪設施。而核定之治理計畫除作為各機關執行治理工程之依據外，即可依其計畫流量據以推動後續出流管制相關工作，包含各類排水及土地開發之出流管制。此外，針對超越設計基準之極端事件，應搭配防災避難之非工程措施，如圖2所示。

出流管制精神在維持水道治理成果之永續，故各類排水出流管制意義在於確保逕流排放量小於允許排放量（出流管制量）；而土地開發出流管制目的則在於確保土地開發逕流零增量且小於允許排放量。然而，國內河川、區域排水、都市排水、坡地排水及農田排水等排水設施主管機關不一，故各類排水出流管制目標仍需透過各目的事業主管機關協商，以逕流分擔的措施與手段達成。以中央而言，考量各部會間之權責分工，為利逕流分擔與出流管制落實，應由水利部門訂定出流管制量與相關作業流程，作為地方政府及各目的事業主管機關執行逕流分擔與出流管制之依據，並依法要求地方政府及各目的事業主管機關配合，研擬合理的逕流分擔因應措施，包括工程措施及非工程措施，而中央水利部門可提供專業的協助。

## 各類排水出流管制

目前河川與各類排水設計基準並不一致，且計算方式亦不相同，為避免上游計畫流量大於下游計畫流量，並考量實務操作便利性與可行性，基於支流排出水量不可肇致主流防洪負擔之原則下，各類排水出流管制檢核之適用對象如表1所示。各類排水出流管制包含3個主要步驟：(1) 初步設計；(2) 出流管制檢核；(3) 逕流分擔規劃。以雨水下水道系統為例，其概念如圖3所示。當雨水下水道系統依據其設



圖2 逕流分擔與出流管制推動總體架構圖

計基準（5年重現期距／集流時間內降雨強度）完成初步設計後，應釐清其出流量是否大於下游承受水體（以區域排水為例）之計畫流量（ $Q_{allow}$ ）。此時，為使雨水下水道與區域排水之比較標準趨於一致，應以區域排水之設計水文條件（10年重現期距/24小時降雨延時），檢核下水道系統出流量（ $Q_{check}$ ）是否大於出流管制量（ $Q_{allow}$ ）。若出流量（ $Q_{check}$ ）小於出流管制量（ $Q_{allow}$ ），則無需進一步規劃逕流分擔方案；若出流量（ $Q_{check}$ ）大於出流管制量（ $Q_{allow}$ ）則應規劃逕流分擔方案，並重新檢核所擬定之方案是否可達到出流管制目標。

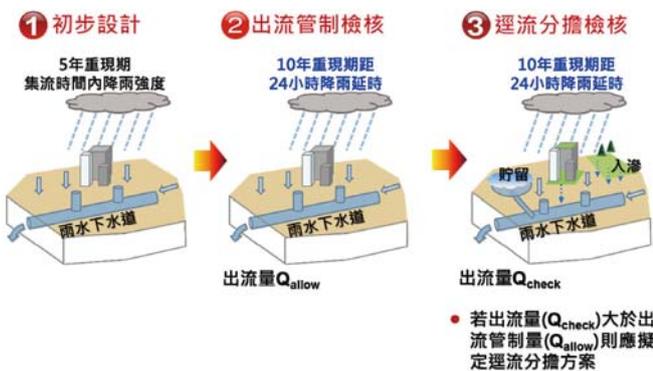
### 土地開發出流管制

由於土地之開發利用常導致水道逕流增加，超過原設計基準，導致整體防洪能力下降，增加淹水風險。因此，需透過土地開發出流管制措施有效管理土地開發

表 1 各類排水出流管制檢核之適用對象

流入對象	流出系統	是否需要出流管制檢核
河川	支流河川（設計基準與主流相同）	是
	支流河川（設計基準低於主流）	否
	區域排水	否
	雨水下水道（市區排水）	否
	坡地排水	視河川設計基準而訂
	農田排水	否
區域排水	排水支分線	是
	雨水下水道（市區排水）	是
	坡地排水	是
	農田排水	否

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，因應氣候變遷下逕流分擔機制之研究－以大里溪為例。



資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，因應氣候變遷下逕流分擔機制之研究－以大里溪為例。

圖 3 各類排水出流管制概念示意圖（以雨水下水道系統為例）

所增加的逕流量，以維持水道設施的有效性。國內目前土地開發管制法規包含「都市計畫農業區變更使用審議規範」針對都市土地之農業區變更；「非都市土地開發審議作業規範」針對非都市土地之開發許可；「開發行為環境影響評估作業準則」針對達到環境影響評估規模之開發行為；「水土保持技術規範」針對位於山坡地或森林區內開發行為。「排水管理辦法」第 11 條規定於排水集水區域內辦理土地開發利用、變更使用計畫或其他事由，致增加排水之逕流量者，應將排水計畫書送該排水之管理機關審查同意後始得辦理。經濟部水利署已於 103 年 8 月 28 日修訂「中央管區域排水計畫書審查作業要點」，提出兩階段審查流程，要求土地開發單位於土地開發利用計畫核定前，應先提交排水計畫書第一階段，於實質開發時再提出更為詳細之排水計畫書第二階段，避免實質開發時，開發基地卻無法覓得合適區位與面積之滯蓄洪空間之窘境。

對於建築管理部分，內政部已於 102 年 1 月 17 日修正「建築技術規則」建築設計施工編第四條之三。都市計畫地區新建、增建或改建之建築物，除山坡地建築已依水土保持技術規範規劃設置滯洪設施、個別興建農舍、建築基地面積 300 平方公尺以下及未增加建築面積之增建或改建部分者外，應依規定設置雨水貯集滯洪設施，其雨水貯集設計容量不得低於基地面積乘以 0.045（立方公尺／平方公尺）。

### 落實海綿城市之都市防洪空間規劃具體措施

由於防洪設施完成後，防洪能力僅能合理調適增加，無法隨著氣候變遷或土地開發不斷擴充，故在透過集水區逕流分擔的方式以減少水路排洪負擔之原則下，都市防洪空間規劃更為重要，亦為落實海綿城市之基礎。其原則包括都市空間規劃設計納入防洪考量、土地變更或開發需負擔都市防洪之義務及責任、以貯留與下滲為主軸之土地使用規劃及防洪空間規劃應以就源處理為優先等理念。（如圖 4 所示）

臺灣都市計畫區主要透過土地使用分區、公共設施用地、土地使用分區管制、都市設計準則與建築管理等 5 個面向進行空間規劃，故都市防洪空間規劃具體措施如圖 4 所示，在土地使用分區計畫部分，包括

農業區或保護區變更為滯洪池用地、閒置空間變更為滯洪池用地等 2 項措施；公共設施用地計畫部分，包括公共設施用地多目標使用、變更非屬以調洪功用為主之公共設施用地、利用道路排水滯洪等 3 項措施；土地使用分區管制要點部分，包括增加法定空地面積比例、土地開發捐贈或回饋之公共設施用地需具滯洪空間或功能、限制地下室開挖率、土地高程管理等 4 項措施；都市設計準則部分，包括提高法定空地透水面積、導入 LID 設施、地面樓層採開放空間設計等 3

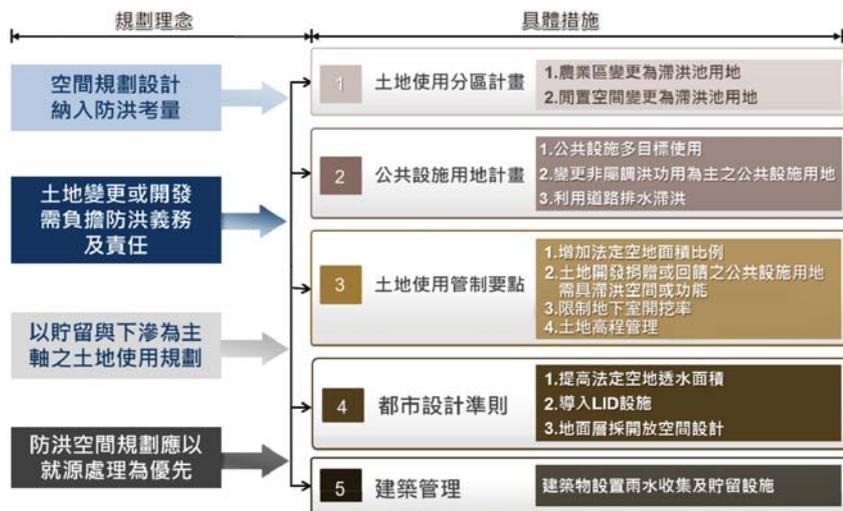
項措施；建築管理部分，主要透過建築物設置雨水收集及貯留設施以增加都市區滯洪與保水能力。都市地區可透過上述作為，強化都市防洪韌性，以建設海綿保水臺灣。

## 案例研究

### 基本背景說明

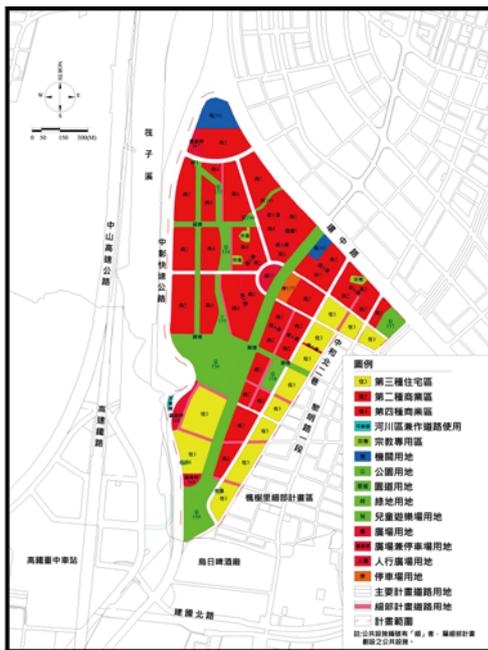
臺中市高鐵路門戶區位於臺中市南屯區筏子溪下游處，行政區域屬臺中市南屯區鎮平里及中和里，計畫面積約 154.18 公頃。

本案例參考該案民國 103 年 9 月「變更臺中市都市計畫主要計畫（配合高鐵臺中車站門戶地區整體開發）書」及「擬定臺中市都市計畫（配合高鐵臺中車站門戶地區整體開發）細部計畫書」成果，作為海綿城市規劃案例探討。土地使用分區與可設置防洪空間公共設施用地（包括公園、兒童遊樂場、園道、綠地、廣場等）分布詳圖 5 與圖 6 所示。



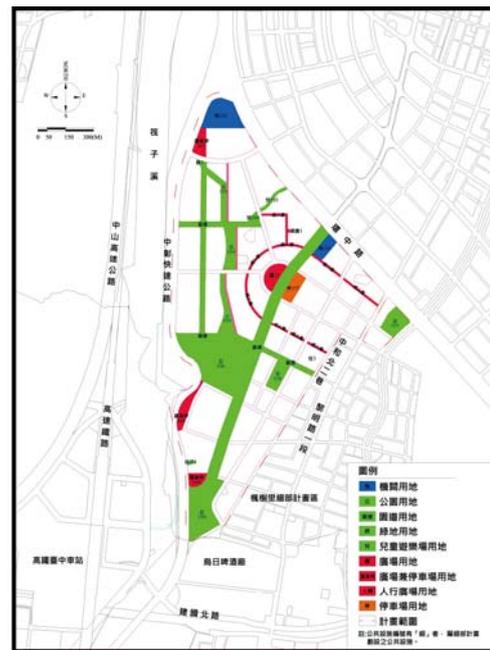
資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，都市防洪空間規劃與管理之研究 (2/2)。

圖 4 落實海綿城市之都市防洪空間規劃具體措施示意圖



資料來源：臺中市政府，2014 年 9 月，擬定臺中市都市計畫（配合高鐵臺中車站門戶地區整體開發）細部計畫書公開展覽草案。

圖 5 高鐵路臺中車站門戶地區整體開發案土地使用分區



資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，都市防洪空間規劃與管理之研究 (2/2)。

圖 6 高鐵路臺中車站門戶地區整體開發案可設置防洪空間公共設施分布圖

## 排水系統現況

本都市計畫區左側為筏子溪，右側為南屯溪排水集水區。計畫區共有 3 個子集水區，分屬南屯溪排水集水區 0.04 平方公里，劉厝排水集水區 0.6 平方公里與中和排水集水區 0.91 平方公里，目前區內無雨水下水道系統。

## 案例研究說明

本案例導入策略詳表 2 所示。由於本區地勢相對低窪，可設置兼顧遊憩與排洪功能之帶狀街心綠道，平時作為休閒遊憩之用，暴雨時則具有貯洪與排水之功能，以減緩雨水下水道系統的負擔；此外，可依據計畫區不同土地使用分區之活動特性，給予不同之整地高程標準，例如綠地、公園、廣場與停車場等公共設施可降低高程增加滯蓄空間；住宅區、商業區、避難據點與重要維生道路則提昇高程以避免淹水，確保一定重現期距洪水事件下建築物免受洪水漫溢，亦可增加都市觀景層次；並於增加法定空地面積比例、提高法定空地透水面積、限制地下室開挖率、導入 LID

設施等。最重要是透過公共設施多目標使用，將滯洪池設置於區內公園用地，如利用公 156、公 159、公 157、廣兼停 169 等用地設置離槽式滯洪池（面積 7.6 公頃，容量 12.2 萬立方公尺），削減因開發行為而增加之逕流量。高鐵臺中車站門戶地區各集水區出流管制量如表 3 所示，其目標為將開發後 100 年重現期距洪峰流量削減為開發前 10 年重現期距洪峰量。集水區分區分布與運用 SWMM 模式計算所得各集水分區入滯洪模擬結果如圖 7 所示，分析結果顯示設置滯洪設施後可滿足出流管制目標。

## 結語

1. 經濟部水利署近年來推動相關治水計畫，已逐漸降低河川排水因洪水溢堤而產生淹水之情形。然而，近年來在全球氣候變遷影響下，極端降雨事件頻仍，加上都市急遽發展，不透水面積持續增加，導致水道逕流增加，造成已完成整治之防洪設施無法承納增加之逕流量，水道治理需由線的治理擴展至面的治理。以流域綜合治水為理念，讓土地恢復天

表 2 高鐵臺中車站門戶地區案海綿城市規劃與管理策略一覽表

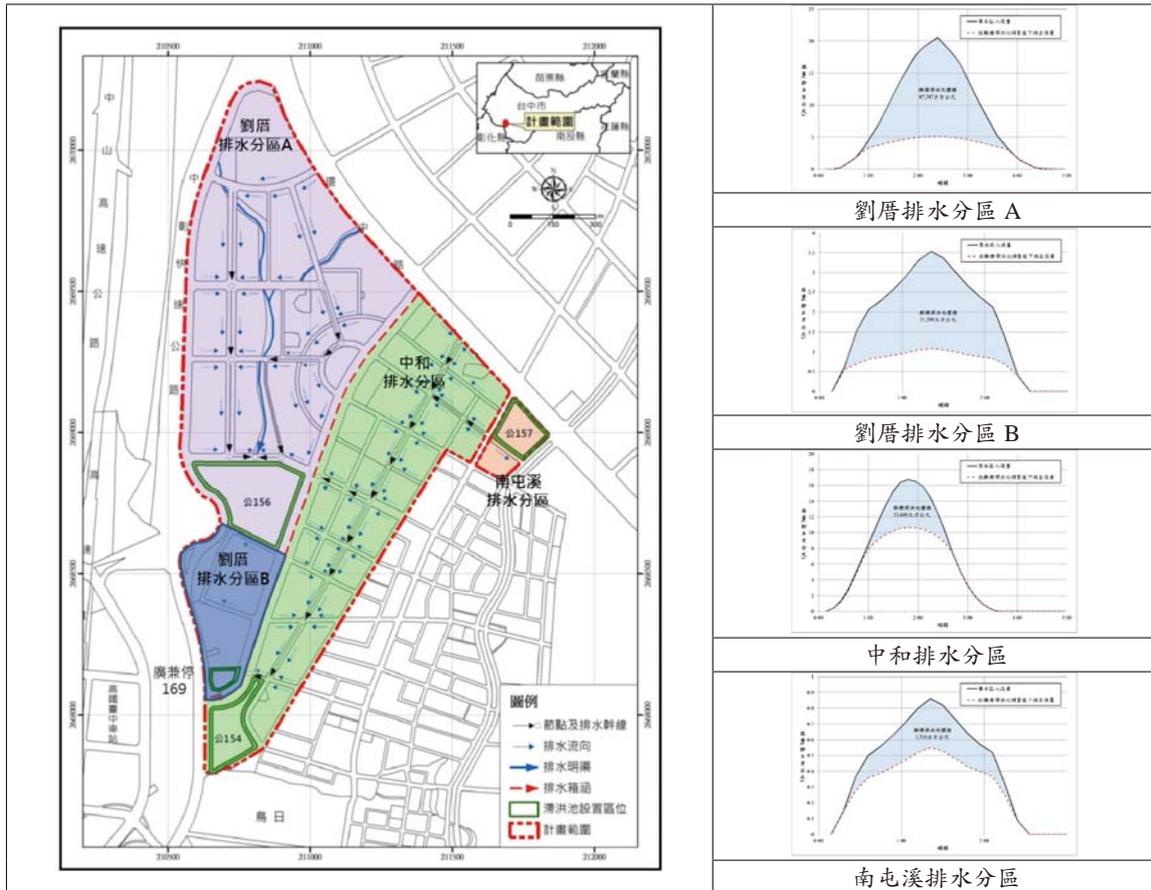
規劃策略	分項	執行優序	管理策略
公共設施 用地計畫	公共設施用地多目標使用	短期策略	由公部門負責操作管理
	集雨綠園道	短期策略	由公部門負責操作管理
土地使用 管制要點	增加法定空地面積比例	短期策略	由公部門制訂相關規範於都市計畫書內
都市 設計準則	提高法定空地透水面積	短期策略	由公部門制訂相關規範於都市計畫書內
	限制地下室開挖率	短期策略	
	導入 LID 設施	短期策略	公部門制訂相關規範於都市計畫書內，私部門由其負責維護管理，公部門負責監督考核
	土地高程管理	短期策略	由公部門制訂相關規範於都市計畫書內，
	地面樓層採開放空間設計	長期策略	
建築管理	建築物設置雨水收集及貯留設施（含 LID 設施）	短期策略	由公部門制訂相關規範於都市計畫書內，私部門由其負責維護管理，公部門負責監督考核

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，都市防洪空間規劃與管理之研究 (2/2)。

表 3 高鐵臺中車站門戶地區各集水區出流管制量

排水分區		開發後洪峰流量 -100 年重現期距 (cms)	出流管制量 -10 年重現期距 (cms)
劉厝排水	分區 A	20.55	5.11
	分區 B	3.55	1.01
	合計	24.10	6.12
中和排水		16.74	10.54
南屯溪		0.86	0.42

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，都市防洪空間規劃與管理之研究 (2/2)。



資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，都市防洪空間規劃與管理之研究(2/2)。

圖 7 高鐵臺中車站門戶地區各集水區 SWMM 分析成果圖

然雨水蓄留功能，並透過流域內上、中、下游及都市與非都市之滯蓄洪池及保水設施，蓄留洪水，增加入滲，回復流域原有的水循環功能。

2. 內政部已研訂「都市總合治水綱要計畫」，提出都市總合治水架構及策略，強化都市防洪能力，並將以低衝擊開發的概念，推動都市防洪的相關工作，以改善都市水環境，維持水文循環功能，降低都市化的衝擊。
3. 近年配合都市防洪空間的規劃，公部門所設置的許多滯蓄洪設施，不但發揮防洪的功能，更改善周邊的生活環境，增加土地的附加價值，例如高雄市典寶溪 A 與 B 區滯洪池、臺南市仁德滯洪池、臺中市秋紅谷滯洪池、高雄市本和里及寶業里滯洪池等，已深獲民眾肯定。
4. 因此，為因應未來水環境的變化，現有的水資源管理系統需要進行調整。臺灣應啟動以流域為單元，包含水量、水質、生態系統與防災的水資源綜合管理，積極推動都市防洪空間的規劃，包括 LID 設施

的導入，建設海綿保水臺灣，以作為面對未來氣候變遷的調適策略。

### 參考文獻

1. 行政院水患治理檢討專案小組，2013，「易淹水地區水患治理計畫（95 至 102 年）」檢討報告。
2. 行政院國家科學委員會，2011，臺灣氣候變遷科學報告。
3. 經濟部，2010，易淹水地區水患治理計畫第 3 階段（100 ~ 102 年）實施計畫（核定本）。
4. 經濟部，2013，流域綜合治理計畫（103 ~ 108 年）（核定本）。
5. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012，集水區洪水出流管制制度之研究。
6. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2013，流域綜合治水對策整合與相關法規修訂之研究(2/2)。
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2013，都市防洪示範區之研究—以臺南市為例(2/2)。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2013，易淹水地區防洪設計保護標準研究(2/2)。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，都市防洪空間規劃與管理之研究(2/2)。
10. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，因應氣候變遷下逕流分擔機制之研究—以大里溪為例。

# 台灣能源政策之建言

## — 從能源安全角度談起

廖惠珠／淡江大學經濟系教授

### 全球都關心能源安全

國際上定義能源安全有二，一個是能源開發與使用所衍生之工安與環境安全（energy safety），另一則是能源穩定供應之能源安全（energy security），本文內容採用後者之定義，探究能源穩定供應安全議題。雖然美國頁岩革命帶來全球化石能源（石油、煤炭與天然氣）價格的下跌，但多數權威性機構仍多認為此波能源價格下跌屬短期性，化石能源仍將日趨枯竭。由於目前全球化石能源仍高居全球能源總供應量近 8 成，因此未來其他能源若未及時補足，全球能源的供應仍將有短缺之虞。就算短期內，化石能源暫無匱乏之慮，但化石能源所帶來的空氣污染已日益嚴重，最近大家很關心的 PM2.5 問題最主要就是來自於煤炭的燃燒。另外，化石能源的使用也產生了大量的 CO<sub>2</sub>。IPCC 的報告指出能源相關活動所產生之 CO<sub>2</sub> 占全球 CO<sub>2</sub> 總排

放量的 84%。換算下來，約占全球溫室氣體的 65%。由於溫室氣體乃全球氣候變遷的主因。隨著全球氣候變遷日益明顯，如何降低化石能源的使用，而改用其他低碳能源，實乃世界各國的當務之急。就算是原油生產與出口大國的挪威也大力推動節能減碳的電動車（如圖 1）。

### 台灣能源安全令人憂心

相較於全球化石能源倚賴所衍生的能源安全問題，台灣的能源安全議題更是嚴峻許多。以下逐一論述說明。

### 近 98% 倚賴進口不利能源的穩定供應

由圖 2 右圖 2013 年的數據可觀得，煤及煤產品、原油及石油產品、天然氣，以及核能乃台灣能源供應的最主要來源。這四者除了極少部分的天然氣由國內



圖 1 挪威奧斯陸街上的電動車（筆者拍攝於 2014 年 7 月）

生產外，其餘的能源幾乎 100% 仰賴進口。2013 年台灣的進口能源依存度高達 97.58%。偏偏原油與天然氣的進口又多集中於全球火藥庫之中東地區（2013 年資料顯示約 50% 的天然氣，以及超過 80% 的原油來自中東國家）。這些現象，不利能源之穩定供應。過去以來，中東戰爭，澳洲水災與中國大陸的雪災都曾帶來境內能源供應的緊張。

### 90% 化石能源占比衝擊環境

再就整個能源供給結構來看，圖 2 右圖 2013 年的數據顯示，90% 的能源供應來自於化石能源，其中，煤及煤產品占 30.15%，原油及石油產品占 47.60%，而天然氣則占 11.97%。如此高的化石能源占比，不僅帶來大量的空氣污染，也產生了相當多量的溫室氣體。空氣污染與溫室氣體所引發之氣候變遷皆大大的衝擊我們的居住環境。

### 98% 倚賴進口深化國際高能源價格風險

過度倚賴進口能源，也讓台灣經濟幾乎完全曝露於國際高能源價格的風險。以表 1 第四列最右邊一欄，2013 年能源進口值占總進口值比率而言，24.11% 代表台灣總進口值中就有將近 1/4 用來支付能源進口費用。此一巨額的支出大幅增加國人的生產成本與生活支

出。台灣的能源進口主要來自於兩大國營事業：台灣中油公司（以下簡稱中油）與台灣電力公司（以下簡稱台電）。早年中油與台電財力雄厚尚可吸收高漲之國際能源價格，扮演緩漲調節角色。不過，持續緩漲，使得兩家公司財務狀況日益惡化，截至 2012 年底，中油的負債比高達 71.9%，其累積負債為 6,149 億；而台電公司的負債比 82.6%，其累積負債 1 兆 3,416 億。此惡劣狀況，讓兩家公司喪失緩衝國際價格衝擊的能力。因此，近年油電價格已陸續依浮動方式來反映國際價格的行情變化。未來，國際能源價格若再大漲，國人就需直接面對能源成本上升之壓力。

表 1 台灣能源安全相關指標

	1998	2005	2008	2013
能源進口依存度	97.69	97.79	97.50	97.58
石油進口值與 GDP 比值	1.63*	6.08	11.68	9.90
能源進口值占總進口值比率	6.24	15.96	25.55	24.11
能源進口值與 GDP 比值	2.38	7.91	15.40	13.25

資料來源：數據綜整自能源統計手冊，經濟部能源局 103 年，p18/p19。  
註\*：此數據計算方式為（2013 年石油進口值）/（2013 年的 GDP）。

### 能源政策建議一 善用每一種能源

上面的論述指出了，台灣目前正面對著嚴峻的能源安全問題，偏偏國人對核能又不放心，許多人士不僅要廢除核四，更不願意接受核一、核二與核三廠的延役。果若核能完全廢除，那麼圖二另一個占比較高的核能（8.42%）又將消失。再就台灣的最終能源消費而言，將近 50% 的消費由電力供應。2013 年，燃煤發電占比為 48.06%，燃油、燃氣與核電各占 2.35%、27.55% 與 16.5%，而包括水力發電在內的再生能源發電僅占 4.28%。最近中南部多個縣市，擬祭出不准燒生煤的措施。由於台電的燃煤大廠近 8 成分布於中南部且民營燃煤電廠多分布於中南部，若此 8 成的燃煤電力消失，再加上 16.5% 的核電也消失，整個台灣的電力供應將進入一個高度缺電的狀態。考諸國際能源供應議題，先進諸國深知每一種能源都會以不同的型式破壞環境，想要利用能源所帶來的便利性，就必須忍受能源帶給環境的破壞。只是盡量善用技術，將各種環境破壞控制在民眾可以接受的範圍，並合理補償民眾所遭受之損失。絕大多數國家的能源政策都主

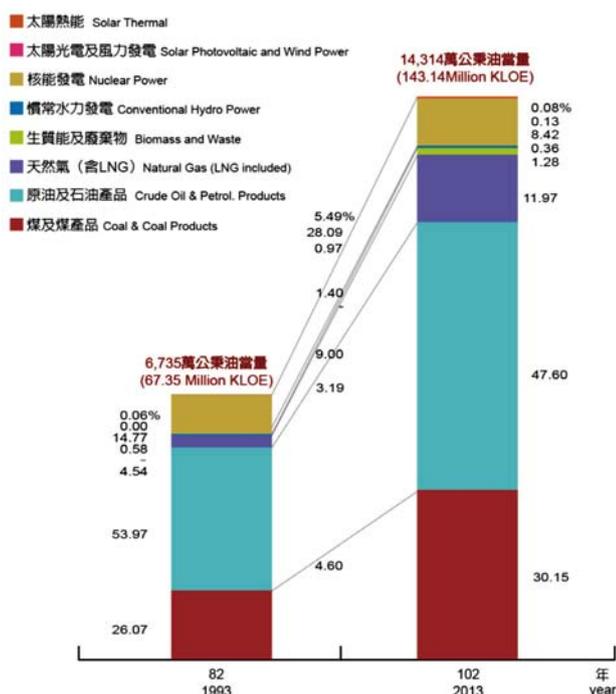


圖 2 台灣能源供應約 90% 來自化石能源

資料來源：圖形取自能源統計手冊，經濟部能源局 103 年，p27。

張善用每一種能源，少數如德國廢核或瑞典脫油政策（2030年起不再使用任何油品），也都有長期的規劃與漸進的因應政策。建議政府不應輕易廢核，就算想要跟隨德國的廢核政策，也應該有類似德國政府長期的因應方案，在維持能源穩定供應的前提下，逐步緩慢的讓核電退場。

## 能源政策建議二 節能減碳是商機

面對化石能源日益耗竭，且污染排放與溫室氣體過多之問題，國際能源總署擬出多個能源解決方案。其中提升能源效率以降低碳排放量乃是一大重要政策。簡言之，就是要好好節能減碳。由於節能減碳耗資不斐，企業界排斥聲音多，近年又逢國際經濟景氣欠佳，不少企業更是延宕更新省能或低碳之設備。其實，只有符合國際社經環境發展趨勢的企業方得永續經營。企業若只追求短期的低成本，一旦下一波國際化石能源價格再高漲，或先進諸國全面要求減碳而反映溫室氣體的排放成本時，未落實節能減碳的企業將難以生存。反之，及早因應問題，大幅降低化石能源使用量的業者，則可順利渡過難關。由於，節能減

碳已是國際發展主流，國人應亟思落實節能減碳的方案。若及早熟悉節能減碳的相關技術與產業活動，往往可創造不少商機。建議政府仍應努力推動節能減碳政策。例如仿效加州的脫鉤政策（decoupling plus）利用誘因制度多多推動各式各樣節能減碳方案。

## 能源政策建議三 再生能源極大化

再生能源的發展也是解決國際能源安全議題的重要方案。不過，再生能源的發展仍受限於一些技術發展困境，目前先進諸國再生能源占各自國家的供電比例仍多偏低。以目前最具成本競爭力之風力發電而言，因其『有風才有電』的發電特色，造成電力調度問題。台灣因風力與太陽光電（有太陽光才有電）這些靠天吃飯的不可調度電力占比仍低，目前對電力的穩定供應仍無問題，但風力發電占比已逾 20% 的德國則深受其害，近年經常停電或斷電，電力供應可靠度大降。先進諸國克服再生能源高占比，所衍生之供電不穩定問題的主要方案有三：智慧電網的架設、大型儲能系統的建立，以及需求面管理方案。建議我國政府，除延續目前再生能源極大化之政策外，更需落實



圖 3 台灣液化天然氣進口成本特高  
資料來源：BP Statistical Review of World Energy, 2014, p29。

上述三個先進國家的因應方案，除了持續推動智慧電網外，也可考量翡翠水庫大型儲能系統的建設，並好好推動需求面管理方案。

## 能源政策建議四 兩岸氣管與電纜的興建

雖然天然氣也是化石能源的一種，但相對於石油與煤炭則乾淨許多，因此先進諸國在再生能源尚無法大量取代化石能源之際，仍選擇多多使用天然氣。台灣自產天然氣的比例僅約 2%，98% 的天然氣來自於進口的液化天然氣。台灣地區所購置液化天然氣的價格多依日本 JCC (Japan Customs-cleared Crude) 訂價，由圖 3 最上面的線條可觀得台灣所支付之天然氣的價格特高 (2013 年間約 15.5 美元/百萬 btu)，遠高於國際多數國家。目前台電為了降低空氣污染與溫室氣體的排放，而大量增加燃氣機組及其發電量。此一減碳的措施也大大拉高其發電的總燃料成本。相較於日韓與台灣之高天然氣價格，中國大陸則因拉自俄羅斯與中亞之天然氣管線，而得以享受較便宜的天然氣價格。中技社出版於 2014 年 3 月，由中華經濟研究院梁啟源董事長之團隊進行相關之研究，估計出來兩岸若興建天然氣管線，則進口之天然氣價格隨進口地區之差異

可縮小至 6.45 ~ 14.75 美元/百萬 btu 之間。設若未來中國大陸可順利開發出便宜的頁岩氣，則兩岸氣管將有大利多，值得台灣政府多多考量。當然，想降低台灣發電之天然氣成本，也可直接由福建拉一條電纜過來。有了兩岸電纜也可緩和再生能源供電不穩定的議題，利用兩岸電力的互通有無，當台灣再生能源電力過多時可售給對岸，當電力不足時再由對岸輸入，如此仿效德國與鄰近國家充分買賣電力之方式，方可降低再生能源占比過高所經常出現的停斷電現象。

## 結語

檢視台灣能源供應安全問題，可發現台灣未來所面對之能源安全議題令人十分憂慮，其中尤以電力的穩定供應議題更令人憂心忡忡。近年來隨著台電多個老舊電廠的除役，以及核能發電的爭議，缺電的風險日益提高。建議政府的能源政策不宜隨民情輿論而隨意更迭，而應有清楚明確的政策方向來確保能源的穩定供應。另外，考諸未來全球能源的發展趨勢，政府除應說服民眾善用所有的能源外，仍應勵行節能減碳政策，並促成再生能源配套之智慧電網、大型儲能系統與需求面管理政策，最後也可考量兩岸天然氣管線與電纜的興建。 



# 土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木工程學會編輯出版委員會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1 ~ 2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。

# 非核家園後果 — 缺電 / 漲價 / 增碳

陳立誠 / 吉興工程顧問公司董事長

無可諱言，今日台灣社會反核是主流民意，政府也「順應民意」而有所謂「非核家園」政策。兩大黨的政策不同之處也只在於「立即廢核」或「緩步減核」。但台灣真有條件廢核嗎？本文試以不同角度討論此一棘手議題。

全球政府製定能源政策都是基於 3E 考量，3E 即為 Energy Safety (能源供應安全)、Economics (能源成本) 及 Environment (環境保護)。說白了就是有沒有，貴不貴，好不好。無庸置疑其中以有沒有最為重要。台灣能源供應將要面臨的是「有沒有」的挑戰，尤其是首善之區的北部地區，如執行「非核家園」政策，更將會面臨全面限電的危機。

## 電力建設停滯

先以全國角度考量，台灣目前電力系統裝置容量約 41GW。1GW 為 1 百萬瓩，約為一個核能機組或兩個大型燃煤機組的裝置容量，台灣多年來每年尖峰電力平均成長都高於 3%，以 41GW 為基準，表示每年應增加 1.2GW 的裝置容量方足以應付每年的用電成長。

圖 1 為過去 24 年間三任總統任內每年完工的機組。由 1992 到 2010 幾乎每年都有機組完工。

圖 2 為每任總統任期 (4 年) 平均完工機組，由圖可見在李登輝後八年任期及陳水扁八年任期每年完工機組都約 100 萬瓩。但馬總統任內前四年每年完工機組已降為不足 70 萬瓩，後四年則是掛零。

為何四年電力建設掛零台灣也未限電？原因也很簡單，在馬總統任內恰逢全球金融風暴及歐債危機，在其八年任內尖峰電力史無前例的發生了三年負成長 (2008, 2009, 2012)，三年負成長可抵銷三年正成長，所以有六年電力成長幾乎歸零，所以在其任內八年間雖然電力建設停滯也未發生大規模限電。但台灣電力備用容量也由 2008 年的 21.1% 降為 2014 的 14.7%。2015 年情勢極為嚴峻，因為林口兩部機於 2014 夏季尖峰後除役，若保守估計明年電力成長 2%，則 2015 年備用容量將降為 11.1%，較 2008 年馬總統初上任時低了一半，也遠低於台電備用容量安全目標 (15%)。

電廠建設時程與捷運相當，均為十年大計，都是屬於「前人種樹後人涼」的國家重大基礎建設。圖 2 亦顯示 1992 ~ 1996 李登輝任內完工電廠是由蔣經國時代的規劃，陳水扁及馬英九任內電廠幾乎均為李登輝時代規劃。馬英九任內最重要完工的大潭電廠在 1998 年李登輝當政時已由工程顧問公司開始規劃設計。台

單位：萬瓩

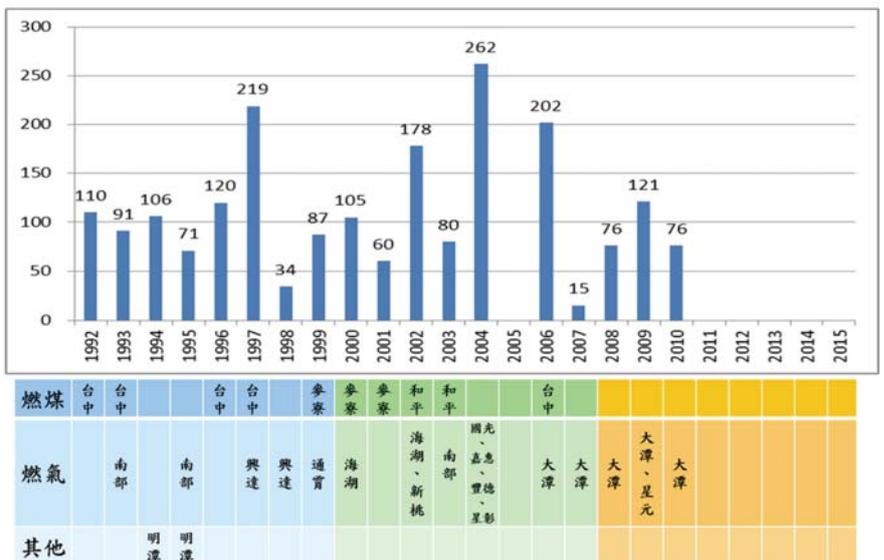


圖 1 1992-2015 完工機組

單位：萬瓩



圖 2 1992-2015 每年平均完工機組

灣二十年來電力建設還在吃李登輝時代的老本，對此一現實國人應有所認知。

## 北部限電無可避免

以上是由全國角度討論，北部情勢尤其嚴峻，吾人可以以用電度數及尖峰負載兩個角度考量。全國用電度數約 2,100 億度，其中北部約 900 億度。既有三座核電廠，有二座在新北市，核一、二廠每年發電度數約 250 億度。核四廠也位於新北市，每年可發電 200 億度。換句話說，依台電原規劃，如核四依原進度完工，在新北市的三座核電廠共可供應 450 億度電，約為北部用電之半。但如今核四封存，核一、二的四部機將於 2018/2019/2021/2023 距今八年內全部除役，台電原先規劃北部用電半數由核電提供的大計完全落空。如前所述加蓋電廠是十年大計，如何在八年內填補原先規劃由核電提供北部地區 50% 以上電力的缺口，是極為嚴重但甚少民眾知道的重大危機。

由上述用電度數數據討論，大家可能會體會到問題「不簡單」，但一般電力是否足夠是由電力系統尖峰能力是否大於尖峰負載判定，吾人可進一步檢視若執行「非核家園」政策，八年後（2023）北部尖載能力／尖載負載情勢。

圖 3 為北部的電廠分佈。其中林口、協和、核一、核二、大潭為台電電廠（深澳已除役），國光、長生、新桃、和平為民營電廠。四座民營電廠較晚完工，2023 年仍將繼續供電，但五座台電電廠中，有許多機組均將屆齡除役。



圖 3 北部的電廠分佈

表 1 為除役機組之裝置容量及其除役時程（機組若於 9 月後除役會影響次年之尖峰供電能力）。依台電 10302 電源開發計畫，目前到 2023 年北部地區預定完工商轉機組其裝置容量及商轉時程列於表 2。

表 1 北部除役機組（2015~2023）

單位：萬瓩

年 / 月	機組	裝置容量	淨尖峰能力
2014 / 09	林口 #1、2	60	48.2
2017 / 11	協和 #1、2	100	97
2018 / 12	核一 #1	63.6	61.0
2019 / 07	核一 #2	63.6	61.7
2021 / 12	核二 #1	98.5	97.1
2023 / 03	核二 #2	98.5	97.5

表 2 北部新增機組（2015~2023）

單位：萬瓩

年 / 月	機組	裝置容量	淨尖峰能力
2016 / 01	林口 #1	80	75.2
2017 / 01	林口 #2	80	75.2
2019 / 07	林口 #3	80	75.2
2022 / 01	大潭 #7	90	88.0

表 2 中林口電廠三部機已正式動工，完工應無懸念。大潭電廠七號機計畫尚未核准，天然氣接收站及輸電線等重大配合工程能否如期完工亦未可知，變數較大。如表 2 新機組均依規劃完工商轉，則 2014 年依北部地區尖峰能力為 1,388 萬瓩，尖峰負載為 1,358 萬瓩及北部地區尖峰負載每年以 2% 緩慢成長推估，並考量除役及完工機組，則未來 8 年北部地區尖峰供電缺口將如表 3 所示。

表 3 北部地區備用容量 (2014 ~ 2023)

單位: 萬瓩

年	尖峰負載	尖峰能力	除役機組	新增機組	備用容量
2014	1358	1388			30
2015	1385	1340	48		-45
2016	1413	1419		79	6
2017	1441	1494		75	53
2018	1470	1397	97		-73
2019	1499	1349	123	75	-150
2020	1529	1349			-180
2021	1560	1349			-211
2022	1591	1340	97	88	-251
2023	1623	1243	98		-380

由表 3 可看出在三年後，北部地區尖峰能力已無法應付尖峰負載。此外電力系統若負載大於供電就會跳電，嚴重時造成連鎖反應，系統崩潰。為避免這種現象，除電網設計要能即使反應防止連鎖崩潰外，就是要有足夠的備載容量。目前台電的備載容量是訂在除排定期歲修外還可忍受兩部火力機組臨時跳機，所以表 3 電力缺口至少還要考慮約 100 萬瓩的備載容量。

北部供電不足將極度依賴南電北送，但目前南電北送輸電能力不到 300 萬瓩，五年後北部供電缺口接近甚至超過南電北送能力，整個北部地區籠罩於限電危機。此外極度依賴南電北送還要確保地震颱風不要對高壓輸電線路及鐵塔造成損傷，否則即使中、南部有多餘電力也無法支援北部，將會造成北部地區大停電。

核一、二廠是否延役，核四是否商轉對保證北部地區穩定供電關係重大。

### 電價上漲，減碳破功

以上討論能源政策 3E 考量中最重要的能源供應安全 (energy safety) 一項，以下將簡略討論廢核對另外兩個 E，economics (成本) 及 environment (環境) 的衝擊。

由於未來各類電廠的固定成本、燃料成本、利率走向等變數太大，在不同假設條件之下，有許多不同發電成本數據。但爭議較小的就是暫以過去 5 年各種電廠每度電的平均成本為比較基礎：核能 0.8 元，燃煤 1.52 元，燃氣 3.34 元。核四廠因需要加上固定成本，

假設每度電固定成本為 1 元，則其總成本為 1.8 元。

排碳成本也有各種推估，每噸碳排 500 元應是合理的估計。

以下即依上述假設估計核四不商轉，現有核電廠不延役的成本衝擊。因政府「節能減碳」，「燃氣最大化」政策，廢核後最可能取代核電的就是最貴的天然氣電廠，以下暫以天然氣取代核能估算廢核的成本衝擊。

#### (1) 廢核四的成本

核四兩部機每年可發電 200 億度，如廢核四而以燃氣發電取代，每年增加成本 (含碳權) 為 350 億元。核四原訂於 2016 完工商轉，所以這筆額外成本將由 2016 年起持續 40 年。

#### (2) 核一至核三不予延役的成本

依上述發電及碳排成本估計，2018 年核一廠 1 號機除役發電成本將增加 150 億元一直到 2025 年核三廠 2 號機除役，發電成本將增加 1150 億元，成本衝擊將持續 20 年。

(1)、(2) 兩項數據相加可得圖 4。

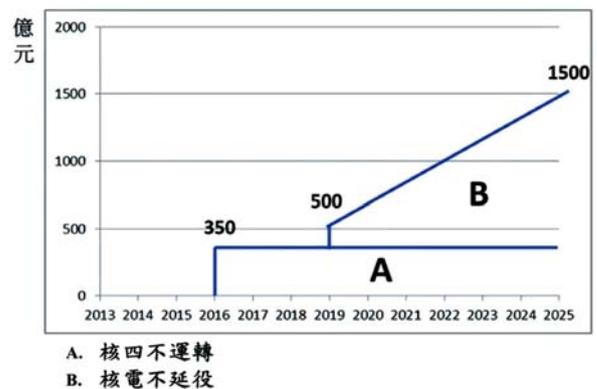


圖 4 非核家園發電成本衝擊

廢核的代價是在 2025 年每年發電成本將爆增 1,500 億元。

3E 中的環保考量 (environmental) 涵蓋很廣，但以電廠而言，環保考量以往重視的是「傳統」空污，如懸浮微粒、硫氧化物、氮氧化物等。當然與火力電廠相較，核能電廠不以化石燃料發電，所以就「傳統」空污天生佔有優勢。但目前全球對電廠的環境考量聚焦於碳排，因火電廠排放之溫室氣體 (主要為二氧化碳) 可能導致全球暖化，目前如何降低碳排已是

全球重大課題。核能電廠沒有碳排，對抗全球暖化又是一張王牌。

目前三座核能電廠每年發電 400 億度，核四兩部機可發 200 億度，這 600 億度的無碳能量若由燃煤及燃氣取代，則每年碳排將分別增加 5,400 萬噸及 2,700 萬噸。目前全國每年交通碳排約 3,300 萬噸，表示若全國交通停擺，其減碳量尚少於以燃煤發電取代核能所增加的碳排，略大於以燃氣發電取代核能所增加的碳排。

## 核安疑慮

由以上討論可知，核能電廠在 3E 考量之供電安全、發電成本、環境保護三項都有極明顯的優勢。為何在今日台灣反核民意如此強大？甚至形成所謂的「非核家園政策」？主要原因在於一般民眾對核能安全的疑慮。本文最後對民眾最為擔心的三個核安問題做一解說，以解除民眾疑慮。

### 核能電廠為可不可能發生核爆？

核電廠和原子彈同樣都是利用「連鎖反應」產生能量，但核電廠鈾燃料中能發生連鎖反應的鈾 235 濃度極低（只佔 3%，原子彈佔 90%），除非有「緩衝劑」將中子減速否則連鎖反應不能持續。原子爐中是以「水」作為緩衝劑，原子爐中有水則連鎖反應可持續，但水會將熱能移除，電廠正常運作。若原子爐內缺水，連鎖反應立即自動停止。核燃料棒在原子爐中缺水時，因衰變熱無法移除，可能融毀，發生核災。但因連鎖反應停止，所以絕對不會發生原子彈般的「核爆」，目前世界上發

生過的三次核災，都不是「核爆」。

### 台灣核電廠可不可能發生類似車諾堡的核災？

前蘇聯的車諾堡核電廠不是純粹的發電廠。除發電外車諾堡電廠還肩負製造原子彈原料（鈾 239）的重大任務，其電廠設計和西方水冷式的原子爐完全不同。不但沒有封閉式的原子爐（鋼板厚 20 公分），更沒有圍阻體（厚達 1.2 公尺的鋼筋混凝土結構），所以核災一發不可收拾。三哩島核電廠有封閉式的原子爐和圍阻體，雖燃料棒融毀發生核災，但放射性物質全都封閉在原子爐內，未洩於外界。

### 台灣可不可能發生如日本 311 規模之地震及海嘯？

地震規模與斷層長度有絕對關係，311 地震發生於日本外海長達 500 公里的斷層。台灣斷層最長不過 100 公里，921 地震當 100 公里長的车籠埔斷層錯動時地震規模為 7.6，其能量不及日本 311 規模 9 地震的百分之一。此外，台灣外海斷層與本島垂直，即使發生海嘯其前進方向與本島垂直，海嘯造成災難的機會極小。

由以上解說可知一般民眾最為擔心的核安疑慮實為誤解。

## 結語

核能發電完全符合能源政策的 3E 考量，核能電廠也極為安全，這就是為何全球多將發展核電列為國家重大能源政策。台灣反核民意恐違反世界潮流，對國家造成重大傷害。深盼民眾在深刻了解核能相關議題後，能做出明智的抉擇。🇧🇪



社團法人  
中國土木水利工程學會  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

電話：(02) 2392-6325

傳真：(02) 2396-4260

e-mail: service@ciche.org.tw

一個凝聚產官學土木專業知識的團體  
一個土木人務必加入的專業學術團體  
一個國際土木組織最認同的代表團體  
一個最具歷史且正轉型蛻變中的團體

歡迎加入學會



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

請上網下載入會申請表

# 台電林口更新擴建工程 觀摩活動報導

陳怡如／中國土木水利工程學會能源委員會幹事

本學會能源委員會於 5 月 26 日舉行台電林口更新擴建工程觀摩，由徐主任委員永華率六十多位學員參加。林口電廠原有二部 30 萬瓩燃煤機組，於民國 57 年開始營運到 103 年 8 月 31 日止共 47 年，共發出 1,450 億度電。林口更新擴建以先建後拆方式改建為三部 80 萬瓩之超超臨界燃煤機組。本工程之特色很多、特別值得提的有：

1. 機組效率高、LHV 約為 44.93%，比台中九、十號機

高、每度電之用煤量降低為 0.366 公斤。

2. 地下輸煤廊道管幕段之施工成功案例介紹。

3. 環保電廠：每度電之 CO<sub>2</sub> 排放降低為 0.789 公斤、NO<sub>x</sub> 及 SO<sub>x</sub> 排放 ≤ 23 ppm、粒狀污染物 ≤ 10 mg/NM<sup>3</sup>、水資源回收再利用、附近社區環境美化。輿論所關切的 pm2.5 主要貢獻者為交通工具而不是燒生煤的火力電廠。為了電力供應請大家支持火力電廠。



本次工程觀摩在徐主任委員永華的領導下、台電核火工處、北部施工處、發電處積極配合學會籌劃辦理，使本次觀摩活動順利成功。

本次工程觀摩安排參觀之項目有：

1. 控制室及汽機廠房：1號機預計民國 105 年 7 月 1 日商轉，控制室各系統在測試中。



2. 筒式煤倉：預計興建 10 座各 7 萬噸之筒式煤倉，A、B 組各 5 座，我們參觀 B 組煤倉。



3. 出水口導流堤、碼頭工程：於廠區北側海域興建專用碼頭卸煤，經密閉式輸煤皮帶機輸送至煤倉。



在參觀前安排之簡報有：

1. 題目：林口電廠更新擴建計畫現況介紹 報告人：黃全華經理 台電北部施工處工管組
2. 題目：主發電設備統包（EPC）工程介紹 報告人：黃明貴經理 台電北部施工處鍋爐組
3. 題目：筒式煤倉、出水口導流堤、碼頭工程介紹 報告人：鍾永結經理 台電北部施工處水工組



本次工程觀摩有很多值得看的項目，在北工處的解說和導覽之下，大家的收穫非常豐富，真是不虛此行！

所有工作人員齊聲呼籲：電力工程建設不易，請 **節約用電**！

# 臺北市智慧洪災管理的推動 — 以抽水站自動化監控系統建置為例

彭振聲／臺北市政府工務局局長

張凱堯／臺北市政府工務局科長

劉彥均／臺北市政府工務局技士

## 摘要

臺北市政府近年來積極推動「智慧城市」發展，強化「智慧洪災管理」，面對全球氣候變遷帶來極端水文條件之挑戰，透過水利防災科技應用於都市洪災管理，以資通訊技術的優勢，彌補傳統都市洪災管理應變能力之不足，本文說明利用水利防災科技與資通訊技術之結合應用，包含內水、外水之監測（視）、預報與控制、水情資訊管理與災害決策支援、資訊公開與回饋等層面，架構「智慧洪災管理」體系，另以臺北市建構抽水站自動化監控系統為例，說明智慧洪災管理大幅提升抽水站操作效能與管理維護品質，並強化應變指揮能力，利用自動化機組操作，避免人為操作錯誤，降低可能發生之積淹水危害，更可降低操作及管理人力需求，讓人力資源運用更有效率。而未來臺北市政府亦將持續提昇對於都市區降雨之空間變異、河川及下水道水位等水情的監測品質與精度，及加強水情資訊公開與利用，為智慧洪災管理及防洪抽水站自動化操控效能提昇建立基礎，使臺北市未來在應對颱風或暴雨侵襲，能更有效率、更準確、更安全地完成防救災任務。

## 前言

隨著城市人口密集成長所帶來的諸多問題，如能源消耗、環境保護、交通運輸、健康醫療、災害防救等，使城市治理面臨系統性變革的壓力，智慧城市（Smart city）策略之發展便是用以解決城市所面臨的特殊議題，尤其在資訊數位化及創新知識經濟的時代

下，發展智慧城市已是全世界先進國家必然之趨勢。智慧城市之推動是以資通訊基礎建設與公開資料平台為基礎，透過政府有效規劃都市發展願景，結合市民實質需求驅動智慧城市解決方案產生<sup>[3]</sup>。而智慧城市之推動，透過智慧政府、智慧市民、智慧公共基礎建設與服務、智慧治理（Smart governance）、智慧交通、智慧能源及智慧水資源等發展要素，期待善用資訊通訊技術優勢，於各方面帶給市民最大的便利，解決城市問題，使城市成為更安全、便捷、宜居之城市。

近年來，由於全球氣候變遷，加上臺北市高度開發之影響，都市原有排水抗洪能力應付極端氣候侵襲有其極限，因此，臺北市政府積極推動「智慧洪災治理」體系，透過水利防災科技應用之導入，結合資訊通訊技術（ICT），強化「智慧洪災管理（Smart flood management）」技術，提昇既有排水抗洪設施效能。臺北市目前透過建置完善之內、外水水情監測（視）系統、河川與市區水位預警預報系統、雨水抽水站（Pumping station）自動化管理監控系統及水情資訊管理系統等方式，有效發揮都市排水防洪（Flood control）設施功能，並於設施超過其服務能力時，對市民提出預警，進行必要之防範疏離措施，減少社會成本及民眾生命財產之損失。

「抽水站自動化監控」於「智慧洪災管理」中尤其扮演重要角色，過去抽水站管理係以人為操控為主，雖臺北市早期已建立標準作業程序及編製操作手冊，平時亦加強防災應變演習演練，然於緊急水災發生時，仍有人為疏失的風險，而長期亦將面臨操作人

員老化、技術斷層及經驗難以傳承等問題。隨著科技進步，抽水站透過「智慧治理」策略進行全面自動化監控管理，不僅大幅減少人力負荷及時間成本，更可有效降低人為疏失機率，更準確、安全、效率、智慧化地進行抽排水作業。

## 臺北市水利建設現況

臺北市地勢低窪，淡水河、新店溪、基隆河環繞匯流，於颱風暴雨來襲，河川水位高漲易發生積淹水情形，為解決防洪排水問題，臺北市依行政院核定之「臺北地區防洪計畫」，以築堤為主，配合河道整治、疏浚，於堤內市區佈設雨水下水道系統，並於雨水下水道幹線出口設置抽水站，以抽除市區無法藉由重力排出之雨水，經多年基礎工程建設推動，目前各項防洪排水設施完成率極高，詳如表 1。

表 1 臺北市防洪排水設施建設現況

	規劃長度(座)	已完成	完成率(%)
堤防	131,231 公尺	109,141 公尺	83.16
雨水下水道	540,000 公尺	522,158 公尺	96.7
抽水站	74 座	65 座(另 21 座臨時)	87.84

## 河川防洪 (Flood control) 建設

臺北市轄內涵蓋之溪流包含「跨省市河川」：淡水河、基隆河、新店溪、景美溪、「直轄市管河川」：雙溪、磺溪、貴子坑溪、水磨坑溪、磺港溪、指南溪及大坑溪、四分溪、內溝溪等「區域排水」，計畫興建堤防 131 公里，已興建完成 109 公里，其餘約 22 公里為風險較低及需配合都市計畫開發區，如關渡、洲美、社子島等地區，完成率達 83.16%。臺北市轄河川堤防建設於跨省市河川係以 200 年重現期之洪水為保護設計標準加 1.5 公尺出水高；直轄市管河川及區排除雙溪為 100 年加 1 公尺出水高外，其餘河川及區域排水皆以 50 年重現期之洪水為保護設計標準加 0.8 公尺出水高。圖 1 為臺北市堤防分布圖。

## 雨水下水道系統建設

臺北市雨水下水道目前設計容量係以 5 年重現期暴雨排水保護標準，計畫興建總長度約 540 公里，目前已興建完成約 522.16 公里，完成率達 96.7%，並自民國 88 年起

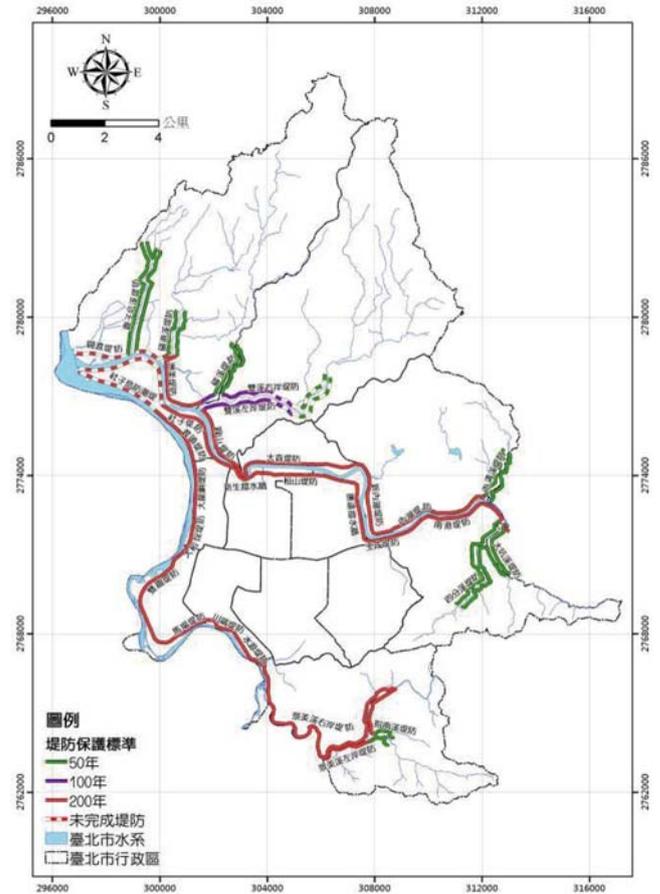


圖 1 臺北市轄堤防分布圖

分區進行下水道縱走調查作業，94 年完成 GIS 系統開發及資料建檔，透過資訊化管理提高設施維護效率。102 年再重新全盤縱走調查、檢討及更新擴充 GIS 資料庫。

## 雨水抽水站 (Pumping stations) 建設

當河川水位高漲時，堤內降雨無法重力排入河川，需仰賴抽水站動力抽排水，當抽水站抽排不及或機組故障將立即造成市區積水問題。臺北市雨水抽水站設計量係以 5 年重現期颱風雨為設計標準，規劃建置 72 座抽水站，計畫抽水量 2,402CMS，目前已完成 65 座永久抽水站及 21 座臨時抽水站，總計 86 座抽水站，全市總抽水機組數量為 409 台，總抽水量約 2,130CMS，完成率 87.84%。

## 氣候變遷對於防災應變的挑戰

### 極端水文事件發生頻繁

近年來，由於氣候變遷，旱澇災害交替頻繁，水文極端現象顯現，不僅每年颱風侵襲臺灣的次數增加，

即使非颱風季節，短時間出現異常降雨的頻率也較過去明顯增加，根據統計資料顯示，臺灣每年平均遭受 3.53 個颱風侵襲，主要集中於 7 至 9 月，臺北市位於臺北盆地，面積 272 平方公里，年總降雨量 2,400 mm，年降雨日數 165 日，相較早期 1911 年代，年總降雨量增加 268 mm，年降雨日數減少 27.8 日，平均日暴雨量增加 30%。臺北市因地形及氣候影響，先天即是一個多雨易積水的城市，近年更因高都市化發展及熱島效應影響，降雨集流時間縮短，逕流係數增加，致原有設施設計容量難以應付，效能備受挑戰，尤其在遭遇諸如象神、桃芝、納莉颱風及 911 暴雨等事件後，人民對都市水患治理之期許及要求自然更高了。

### 傳統防災措施不足以應付

除了水文條件變得更加惡劣，傳統之都市防災應變能力、效率及準確性亦顯得不足，如降雨空間資訊的難以掌握、水情資訊無法即時偵測或不可靠、抽水站機組設備運轉狀態掌握度低、操作人員經驗不足、人為操作疏失、災害潛勢無法即時推估提供預警防範、水情資訊無法有效管理與傳遞、民眾無法獲得有用資訊亦無法立即防範災害危害等種種原因皆可能導致政府防災決策者無法全盤分析、研判及下達防災應變措施，民眾亦無法即時掌握防避災資訊預為因應。

### 智慧洪災管理體系的建構

臺北市早期之防洪思維是以築堤、河川疏濬、雨水下水道及抽水站排水等方式，運用工程性之防堵策略保衛城市免於洪泛災難，但隨著極端性氣候的發生，短延時強降雨事件頻率增加，雨水下水道系統及抽水站設計容量已難以應付，有感單純工程防護方式僅能達到一定保護程度，且受限於環境條件，防洪排水設施難以再透過工程措施再加以提升功能。因此，臺北市進入 21 世紀後，隨著資訊科技快速發展，於「智慧城市 (Smart city)」之「智慧治理 (Smart governance)」理念下推動「智慧洪災管理 (Smart flood management)」體系的建構，透過資訊通訊技術與水利防災科技結合，導入臺北市的水利防災工作，進行氣象資料蒐集分析，即時監測河川及雨水下水道水位，評估預測積淹水潛勢，全程自動化監控抽排水設備運轉狀態，強化水情資訊之管理、傳遞及共享，除供作

市府內部機關防救災決策支援使用，另開放民眾查詢及主動推播最新防災及避災資訊。

臺北市之「智慧洪災管理」架構如圖 2 所示，主要藉由水利防災科技及資通訊技術之結合應用，就內外水加強水情之「監測」與「預測」、設備之「監控」、防救災之「管理與決策」及「資訊公開與回饋」。就市區內水而言，「監測」面包含雨水下水道水位之監測及市區積水之監視，「預測」面為市區淹水潛勢地區之預測，「監控」面為雨水抽水站自動化監控；就外水而言，「監測」面包含河川水位之監測及河川水情之監視，「預測」面為河川水位預測及河川各級警戒值之預警，「監控」面為河川疏散門及閘門啟閉狀態之監控；就「管理與決策」面而言，所有雨量、水情監測及設施操作等數據資料皆整合於「水情監測資訊平台」及「臺北市水情資訊 APP 平台」，不僅第一線防救災人員可於第一時間掌握正確可靠之資訊，亦可應用於「災害決策支援系統」作為決策者分析、判斷及下達防救災應變決策；就「資訊公開與回饋」面而言，一般民眾可於臺北市政府消防局「臺北市防災資訊網」、「地圖化資訊系統」等網站或於手機下載「臺北市行動防災 APP」查詢最新、最正確之防災及避災資訊，勘災人員則可利用「臺北市行動勘災 APP」上傳回饋災情資訊。以下就臺北市智慧洪災管理架構各項組成加以說明：

### 內水防災監測、監控與預報

#### ■ 雨水下水道水位監測及預警<sup>[5]</sup>

為掌握市區降雨時雨水下水道水位變化情況，臺北市政府評估各下水道系統低窪區及易冒水人孔點位，陸續建置 156 處雨水下水道水位監測站，進行雨水下水道即時水位變化監測，並訂定三級警戒值，做為防救災作業參考，另擇定 9 處歷史積水低窪區設置水位顯示器，將即時水位資訊傳遞至附近里辦公處，以利地區里長及民眾隨時掌握水情，提早預防水患。

#### ■ CCTV 市區重點水情監視

降雨時為觀察市區重要水利設施之水情變化狀況，臺北市政府於大湖公園、碧湖公園、南港公園等滯洪池閘門控制點、大溝溪生態治水園區滯洪池渠首工及壩頂平台等 5 處設置 CCTV 影像監視站，並持續進行更新維護作業，強化並提升監視系統品質與效能，隨時掌握市區滯洪池水情狀況。

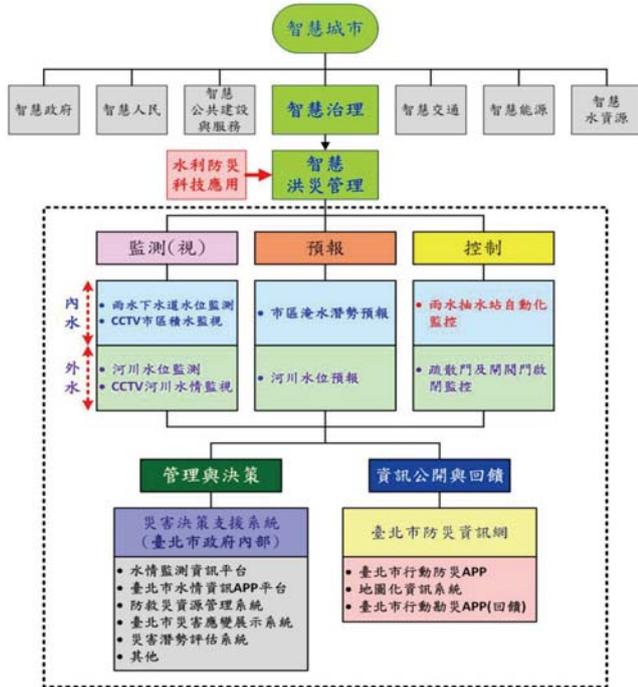


圖 2 臺北市「智慧防災管理」架構圖

### ■ 市區淹水潛勢分析與預測 [6]

為充分瞭解臺北市之降雨特性及針對境內各行政區訂定適宜之雨量警戒值，臺北市政府辦理淹水潛勢圖製作及淹水預報系統建置工作，完整蒐集集水區雨量站降雨資料及歷年臺北市積淹水資料，分析降雨特性並應用適當模式進行市區雨水下水道系統水理演算，模擬不同降雨強度下市區可能積水潛勢，並以重現期 200 年降雨之平均淹水深度為基準，劃分高、中及低積水潛勢區域，作為評估防救災規劃的參考。

另整合水情監測系統功能，建立臺北市即時淹水預報系統，推估未來數小時降雨量，透過即時淹水預報及預警通報，對降雨警戒之地區提出防救災應變決策支援。圖 3 為臺北市不同降雨強度之淹水模擬潛勢。

### ■ 抽水站 (Pumping stations) 自動化監控

臺北市地勢低窪，市區排水於河川外水位達一定高程後，即無法藉重力自然排出，此時，抽水站即扮演用動力將內水排放至河川之重要角色。臺北市政府依河系、地域及操作特性將全市抽水站劃分 6 個分區，建置全市 86 座抽水站自動化監控系統，並以群組化方式分區管理，各群組進行遠端監控及影像監視，大幅提升抽水站操作及管理效能，再由總管理中心及防汛指揮部遠端監視，強化整體應變指揮能力。

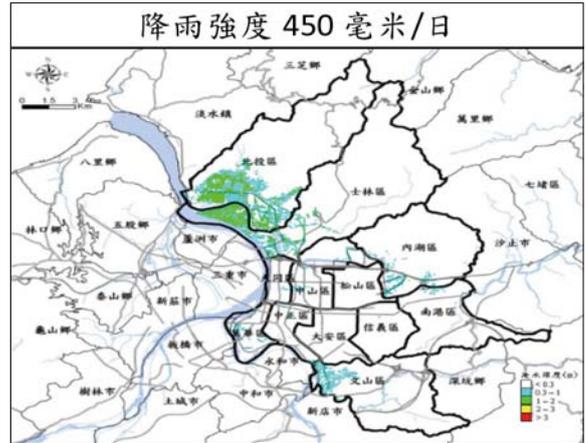


圖 3 臺北市不同降雨強度之淹水潛勢模擬示意圖

## 外水防災監測、監控與預報

### ■ 河川水位監測 [7]

臺北市政府目前已自設 19 處市管河川水位站，加上經濟部水利署第十河川局設置 33 處中央管河川水位計、翡翠水庫管理局 3 處、石門水庫管理局 1 處，總計 56 處水位站，監測河川水位，並計畫於 104 年再新增 7 處市管河川水位站，以有效掌握河川水位變化，支援防救災應變決策需求。

### ■ CCTV 河川水情監視

颱風豪雨期間為正確掌握河川及高灘地水位上漲情形、防止民眾發生危險及防範危害防洪安全行為，臺北市政府沿淡水河、基隆河、新店溪及景美溪評估合適地點設置 CCTV 監視系統 (圖 4)，利用 CCTV 監視河川高灘地臨時設施撤離狀況及民眾與停駐河濱車輛撤離情形，目前已完成 24 處，加上經濟部水利署第十河局設置 5 處，總計 29 處，並計畫於 104 年底再新增 14 處 CCTV 河川監視站。



圖 4 CCTV 河川水情影像監視設備建置

■ 河川水位預測<sup>[8]</sup>

臺北市政府透過蒐集、分析降雨與河防安全等資料，進行降雨預測評估，研擬適用臺北市市轄河川之洪水預報模式，並以極端降雨條件模擬分析可能發生河川溢堤及溢淹範圍，並將模擬淹水潛勢回饋至水災

危險潛勢區保全計畫。另同時整合淹水預報、市轄河川水位預報及淡水河防洪指揮中心對淡水河之洪水預報等，建立臺北市河川「水情預警測報系統」(圖 5)，迅速提供水災危險潛勢地區之監測及預報資訊，以作為防災及救災參考。

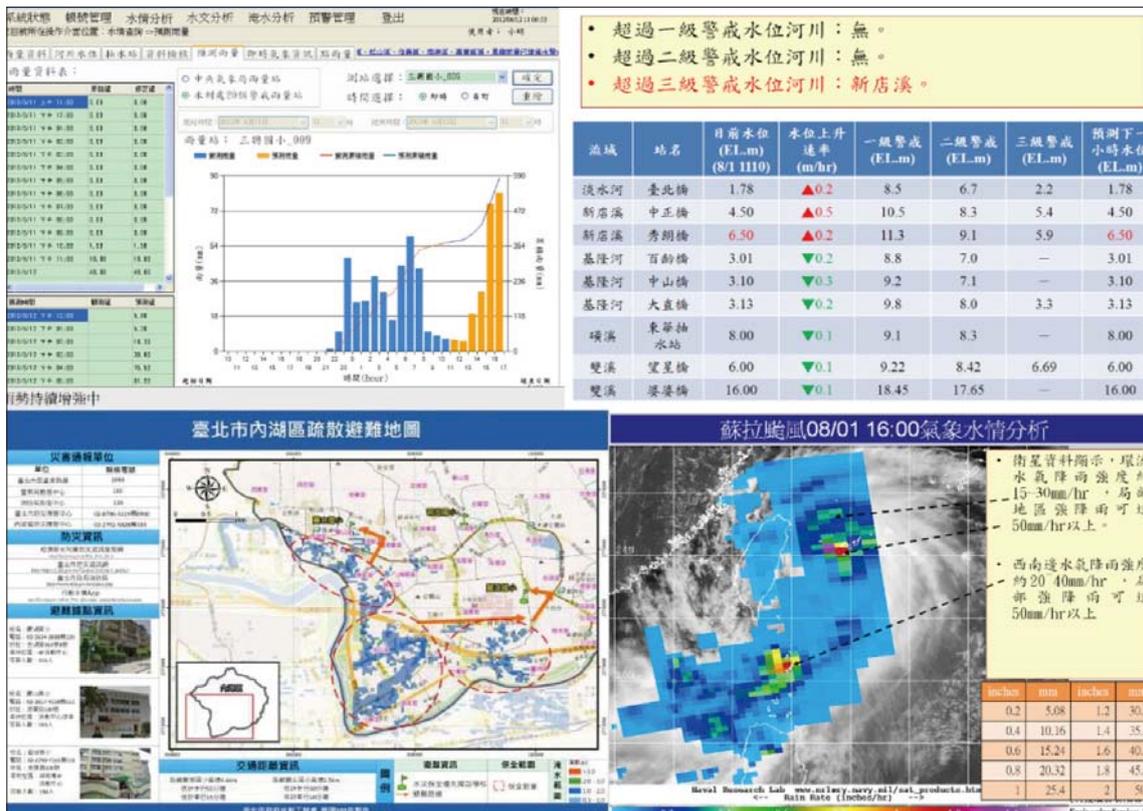


圖 5 臺北市河川「水情預警測報系統」示意圖

### ■ 疏散門及閘門啟閉監視<sup>[9]</sup>

臺北市政府目前正辦理疏散門及閘門啟閉管理系統建置工作，針對市轄 36 處疏散門、106 處河川獨立閘門及 4 處湖泊獨立閘門建置啟閉管理監視系統，並將資料傳輸整合至水情資訊平台，透過值勤人員即時掌握疏散門及閘門啟閉狀況，避免防汛缺口的產生，如有緊急性狀況亦可立即發現及處理。

### 水情資訊管理

為達確實、統一、有效管理水情資訊及資訊共享，臺北市建置「臺北市水利處水情監測資訊平台」（圖 6），整合所有系統開發及介接成果，包含中央氣象雷達資料、雨量站、河川水位站、雨水下水道水位站、河川及滯洪池 CCTV 監視站、抽水站抽水機運轉狀況、閘門啟閉狀況等資料，以利市政府相關防救災人員於防汛期或執勤時能夠即時掌握水情資訊，立即做出應變及決策支援。另配合現代智慧型手機普遍使用，進一步開發「臺北市水情資訊 APP 平台（IOS 及 Android）」（圖 7），以更迅速橫向傳達水情資訊。

### 防救災決策支援

洪災發生時，為利決策者通盤分析災害情勢，於最短時間下達最適當之防救災應變決策，臺北市政府應用資通訊科技及地理資訊系統，整合跨單位豐富之監測及監視資料，建立災害相關決策所需之資料庫，並建置「災害決策支援系統」，以作為災害應變中心研判決策及指揮調度之重要依據，同時，也開放一般民眾查詢防救災所需相關資訊，提升其災害防範知識及警覺。此系統資料庫建置完整，包含氣象圖資、颱風地震、河川與水庫水位、雨水下水道水位、潛勢溪流、土石流災害等，另提供災情事件地理座標定位、災情警示與相關災情資訊，使用者可馬上清楚掌握分散之防救災資訊資料，另充分應用多媒體展示介面，決策人員可即時接收動態資訊，即時發布預警預報，及時因應災害發生（圖 8）。

### 資訊公開與回饋

颱風暴雨來臨前，為及早通知民眾水情訊息及宣導防、避災行動，臺北市政府除於電視、廣播、公共場所跑馬燈及相關網站首頁公布即時最新消息外，另開發手機使用之「臺北市行動防災 APP」（圖 9），除具即時水情資訊、定點災情查詢功能外，亦能主動推播災情訊息、防災宣導、1991 報平安等功能。另民間勘災人員專用之「臺北市行動勘災 APP」，新增災情資訊上傳功能（圖 10），以回饋第一線防救人員，達到政府與民間群策群力、全民合作防、救災目的。

### 臺北市抽水站自動化監控系統建置

#### 傳統抽水站操作所面臨的問題<sup>[4]</sup>

隨著氣候的變遷，臺北市常因颱風或暴雨帶來大量降雨量，近年屢有釀成積淹水災害情形，為避免民眾受到積淹水損失，降低區域積淹水風險，建構完善之防洪排水體系，為都市治水的必要手段。而就高度



圖 6 水情監測資訊平台



圖 7 臺北市水情資訊 APP 平台

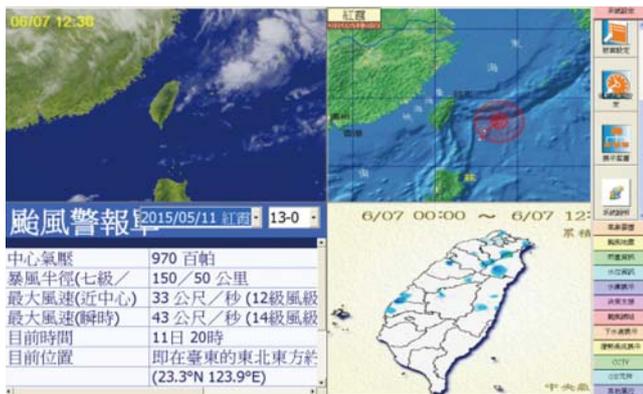


圖 8 災害決策支援展示系統

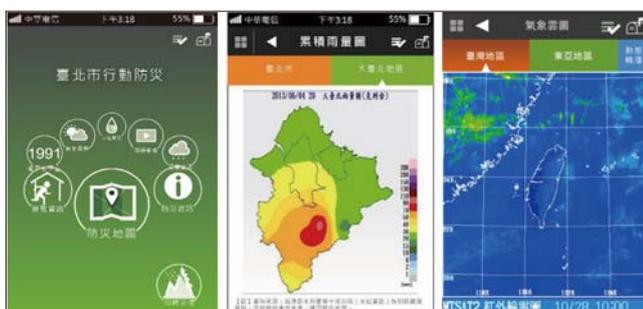


圖 9 臺北市行動防災 APP



圖 10 臺北市行動勘災 APP

開發且位屬低窪的臺北市，抽水站係屬市區防洪排水體系的最後一道防線，臺北市計有 86 座抽水站，409 台抽水機組，傳統抽水機組之啟動、停機及重力排水閘門啟閉等操作，大多憑藉現場操作技工之經驗，藉由雨量站降雨量監測及抽水站前池水位高低及變化速率，研判決定抽水機啟動時機及啟動機組數量，以控制前池水位在安全範圍內。因此，操作技工的經驗及判斷，成為抽水站運轉成敗之關鍵，如果人為操作稍有差錯，即可能造成市民

生命財產的嚴重損失。然而，未來水文條件變得更加惡劣，傳統人為操作難以配合降雨空間變異資訊進行抽水操作，加上操作人力老化，人員更替頻仍，人員素質不齊，經驗傳承不足造成操作及管理經驗流失，及管理階層對抽水站機組設備運轉狀態難以即時掌握等問題，勢必造成防洪體系最重要防線被突破的風險提高。

臺北市抽水站除加強排水機組設備功能及抗洪保護設施外，如何運用已建置完成之雨水下水道監測系統及水情整合監視系統之即時資訊，結合自動化監控系統的建置，藉由即時水情資訊串聯自動化操作控制，以期提升抽水站管理效能及操作準確性、強化應變指揮能力、減少系統負荷、降低發生積淹水風險、並減少人為因素導致操作失敗情形之發生等目標，提升市區防洪排水保護，確保護市民生命與家園免於水患是為當前急要之課題。

### 抽水站自動化操控構想

臺北市已於市區建置 36 處雨量站、156 處雨水下水道水位站，並已將水情整合至臺北市水情整合監視系統，即時提供將各抽水站集水區內之降雨量、雨水下水道水位、河川水位等監測資料。而抽水站自動化監控系統具備依內、外水位變化自動操控抽水機組及閘門啟閉之功能，透過水情整合監視系統，即時將各抽水站集水區內之降雨量、下水道水位、河川水位等即時監測資料，作為自動操控之依據。自動化操控系統構想如圖 11，其具體作法說明如下：

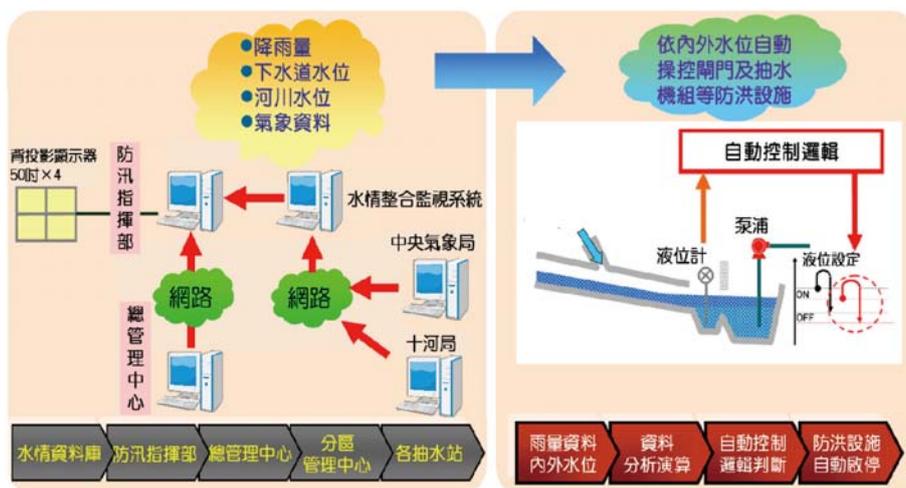


圖 11 抽水站自動化操控構想示意圖

將抽水站集水區內代表雨量站之降雨量或下水道水位資訊納入自動化操控策略，當該集水區之即時降雨強度超過某一設定值時（如 10mm/10 分鐘），系統自動由一般降雨模式操作表切換至豪雨模式操作表，以設定不同前池水位高程及啟動抽水機組數量來因應不同降雨量度及潮汐影響因素之操控需求。

現有抽水機組引擎依前池水位啟動後自動加速至一定轉速後，尚需由操作人員手動調速，即納入比例 – 積分 – 微分控制器（proportional-integral-derivative controller, PID）控制策略進行抽水機組自動加減速控制，當抽水機組引擎以自動加速至一定轉速後，依前池水位與其個別抽水運轉水位之差值調控抽水機組轉速至額定轉速，若前池水位低於其個別抽水運轉水位，則抽水機以一定轉速持續運轉至停機。

### 抽水站自動化監控系統管理架構<sup>[10,11]</sup>

民國 90 年臺北市歷經納莉颱風之侵襲，當時因降雨來得既快又強，雨量過度集中，抽水站抽排水不及，不僅造成低窪地區嚴重水患，且導致部分抽水站抽水機組受創。為防範類似事件再度發生，臺北市政府除陸續辦理抽水站提高抗洪檢討評估以提升自我保

護能力外，更積極擴建抽水站及提升既有抽水機組排水容量，以因應日益增加之排水需求，並於 91 年及 92 年兩度派員至國外考察先進國家總合治水對策與防洪抽水站自動化操作管理的成功案例，當時，日本東米花谷抽水站已可遠端監視管理及操控鄰近小型抽水站。

臺北市政府師法國外經驗進行抽水站自動化監控系統建置之評估規劃，就臺北市各抽水站所在河川感潮特性、組織人力及管控性進行評析後，依河系、地域及操作特性劃分 6 個分區，進行分區群組化管理，抽水站位置及分區分布如圖 12。

而全市抽水站自動化監控系統，由下而上計分為四個層次，分別為各抽水站監控系統、分區管理中心、總管理中心及防汛指揮部（防颱中心），第 1 至第 6 分區管理中心係屬維護核心，常駐抽水站管理人員，分別監控所屬雨水抽水站，並負責各抽水站之管理、操作及維護，而抽水站總管理中心（包含總一及總二管理中心）係屬決策核心，主要為任務導向，監視各分區管理中心及抽水站之水情、水位及機組、閘閥門操作情形，並接收防颱中心之訊息，指揮各分區管理中心，層級管理示如圖 13。各層級須提供之監控功能說明如下：

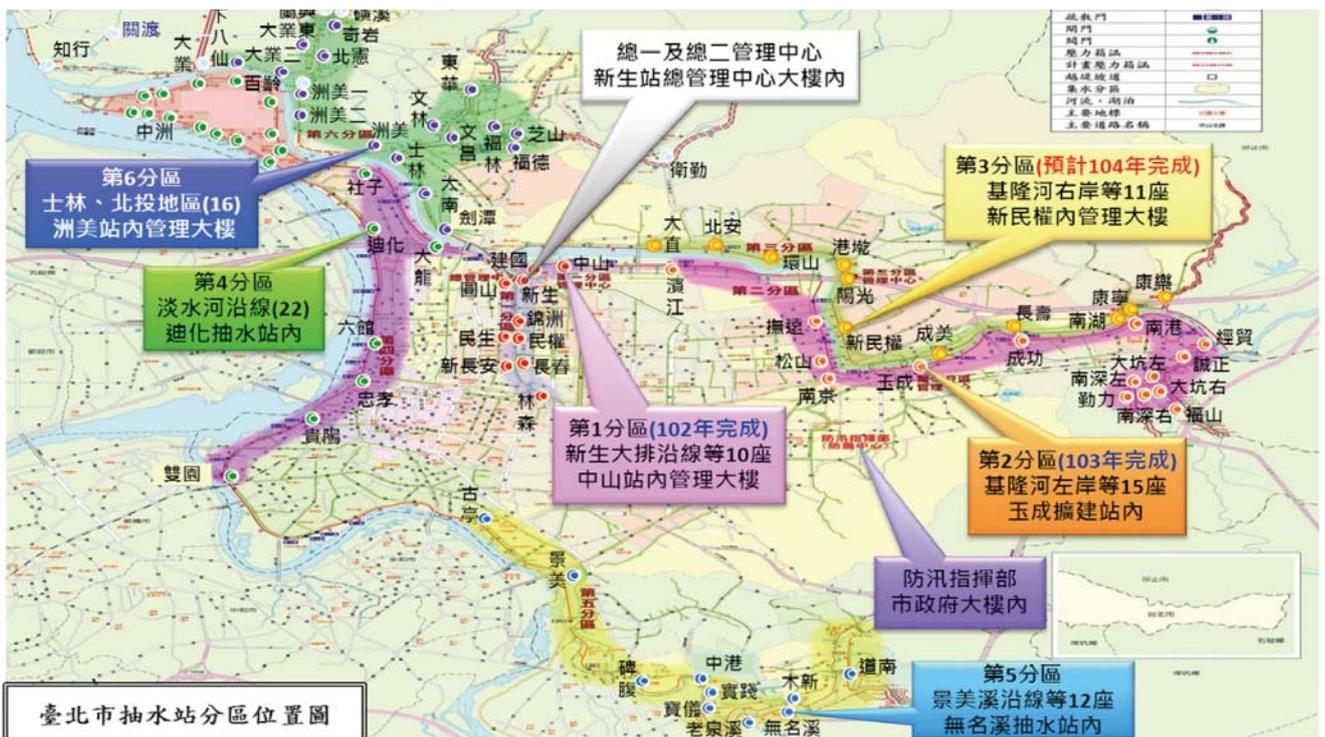


圖 12 臺北市抽水站自動化監控分區位置圖

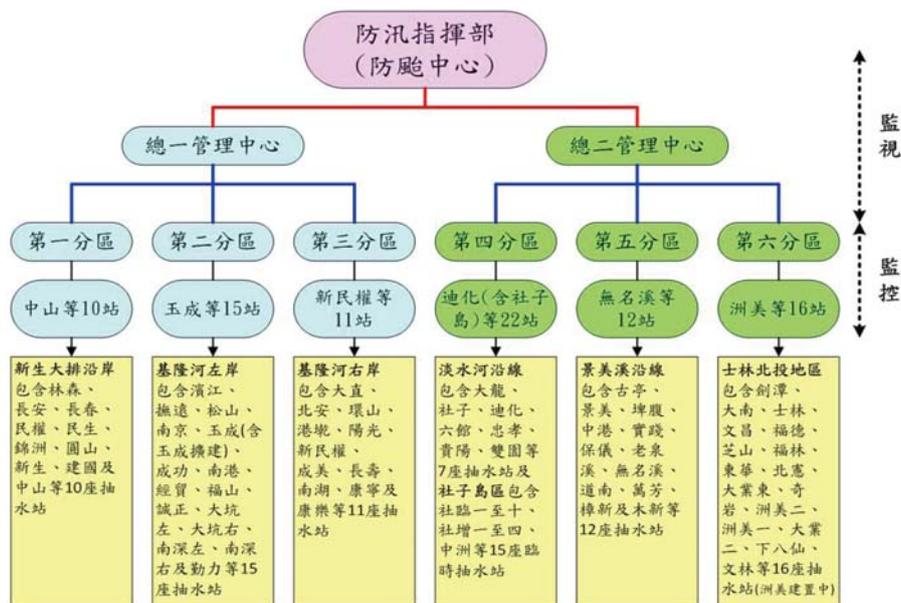


圖 13 臺北市抽水站自動化監控系統群組化管理層級圖

各抽水站自動化監控：各抽水站設置專屬工作站，可遠端操作及監視該站內之抽水機設備、儲油設備、供電設備、撈污機設備、閘門設備、門禁保全設備、照明設備、火警受信設備及其它輔助設備。

分區管理中心遠端監控：遠端遙控其所轄管之抽水站內抽水機及相關防洪設施，並藉由光纖網路傳回各抽水站機組實際運轉狀態及現場即時影像畫面。

總管理中心遠端監視：遠端監視轄管各分區管理中心之防汛設施實際運轉狀態、圖控操作畫面及現場即時影像畫面，並提供防汛指揮部（防颱中心）所有抽水站防汛設施相關操作畫面及資訊。

防汛指揮部（防颱中心）遠端監視：由總管理中心提供各分區管理中心所有抽水站之防汛設施相關操作畫面及資訊至防汛指揮部（防颱中心）。

### 臺北市抽水站自動化監控系統整合規劃

#### ■ 抽水機組自動化運轉

在各抽水站建構中央控制系統及設計自動運轉程式，使各抽水站能依照前池水位，自動啟動或停止機組抽水，示如圖 14，並可依水位設定不同高程啟動抽水機，或停止抽水機運轉，並依水位變化類推，以減少人為疏失，同時節省電源，達到最有效的運作功能。

#### ■ 設備操作遠端監控功能

為達成抽水站遠端監控功能，在各抽水站利用複聯式 PLC 控制器將抽水機組、發電機、閘門、撈污機及相關附屬設施納入監控，除可於各抽水站自動操控抽排水設施外，藉由中央監控系統的工業級電腦（IPC），以及人性化的圖控軟體、路由器（Router），

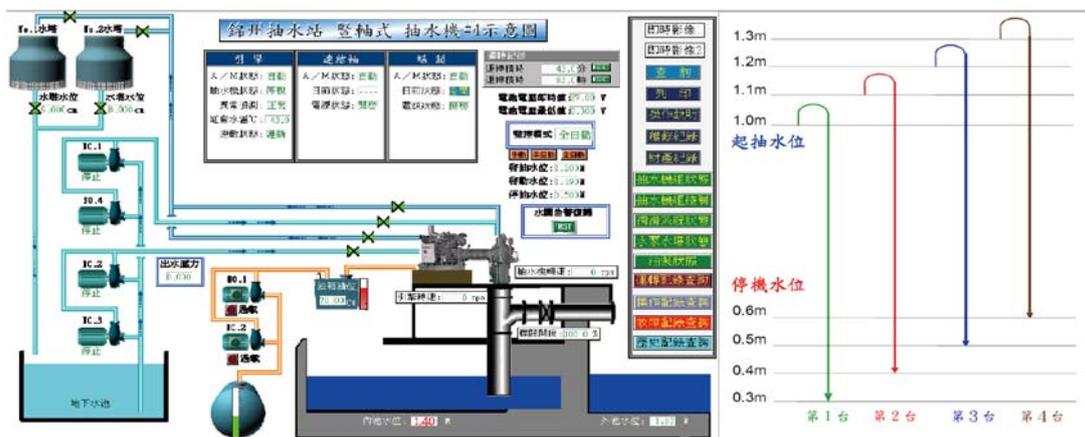


圖 14 抽水機組自動運轉程式示意圖

經由專用網路，將抽水站控制系統資料上傳至分區管理中心，遠端直接監控各站的抽水機、發電機、閘門等設備。另外，為避免主控電腦發生故障時，影響救災指揮調度，抽水站的中央監控系統，另外設置有監控主機及備援系統，以確保系統持續運轉，監控系統架構，示如圖 15。

■ 抽水作業遠端監視功能

為使分區管理中心確認抽水站實際運作情形，

在各抽水站抽水機組、發電機組、撈污機、閘門、水位計以及重要出入口設置攝影機監視，除了在各抽水站可依保全警報事件鎖定目標即時監視及現地儲存影像，在分區管理中心也可以進行 24 小時遠端及時監視及操控攝影機組，即時掌握機組與水位狀況，若遇到緊急事件，可在第一時間應變處理，另外在總管理中心及防汛指揮部也可以遠端調閱各抽水站的即時影像，監視系統架構，示如圖 16。



圖 15 臺北市抽水站自動化監控系統架構圖

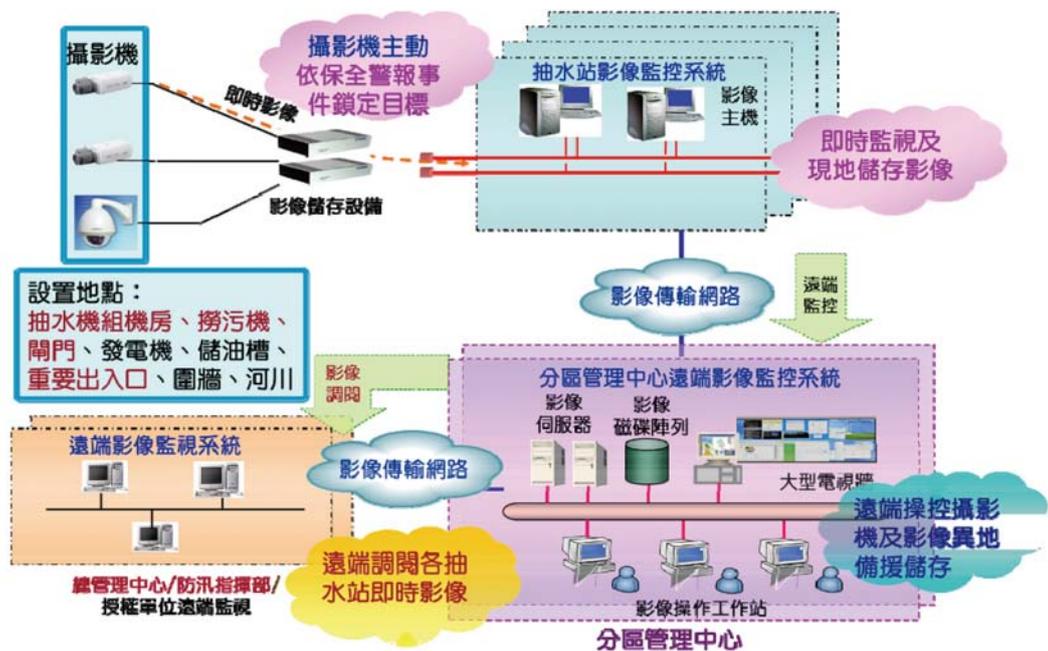


圖 16 臺北市抽水站影像監視系統架構圖

### ■ 站區保全防盜功能

在抽水站周邊架設室外型全功能攝影機，並加裝對照式紅外線偵測器及紅外線人體感測器，同時在各主要門窗加裝磁簧開關，另為確保油料安全，將油槽液位信號等，亦一併納入系統監視確保站內設施的安全。保全警告發生，警告畫面及即時監視影像立即在監視螢幕跳出。

### ■ 站內消防告警功能

在抽水站內，還設置有溫度差動式探測器、定溫式探測器與偵煙探測器等，具有消防預警的功能，可即早偵測到災害發生的訊號，為達到有效預防的效果。探測信號亦一併納入系統監視確保站內設施的安全。消防告警發生，警告畫面立即在監視螢幕跳出。

### 抽水站自動化監控系統建置期程

為提升抽水站管理效能、降低人力及強化應變指揮能力，臺北市政府逐步對全市 86 座抽水站建置自動化監控系統進行自動化操作管理。首先，自 92 年起即辦理「抽水站自動化監控系統建置工程」的評估規劃，並先行擇定第 1 分區新生大排沿線等 9 座抽水站試辦建置自動化監控系統，該自動化監控系統於 96 年 11 月建置完成，歷經 97 至 100 年之颱風暴雨考驗，系統調校至穩定可靠。因第 1 分區自動化監控系統試辦成效良好，亦累積相當經驗，遂於 100 年後擴大對全市所有抽水站建置自動化監控系統。抽水站總管理中心（圖 17）及第二、三分區管理中心（圖 18）均已完成管理大樓建築工程，第 2 分區於 103 年完成，第 3

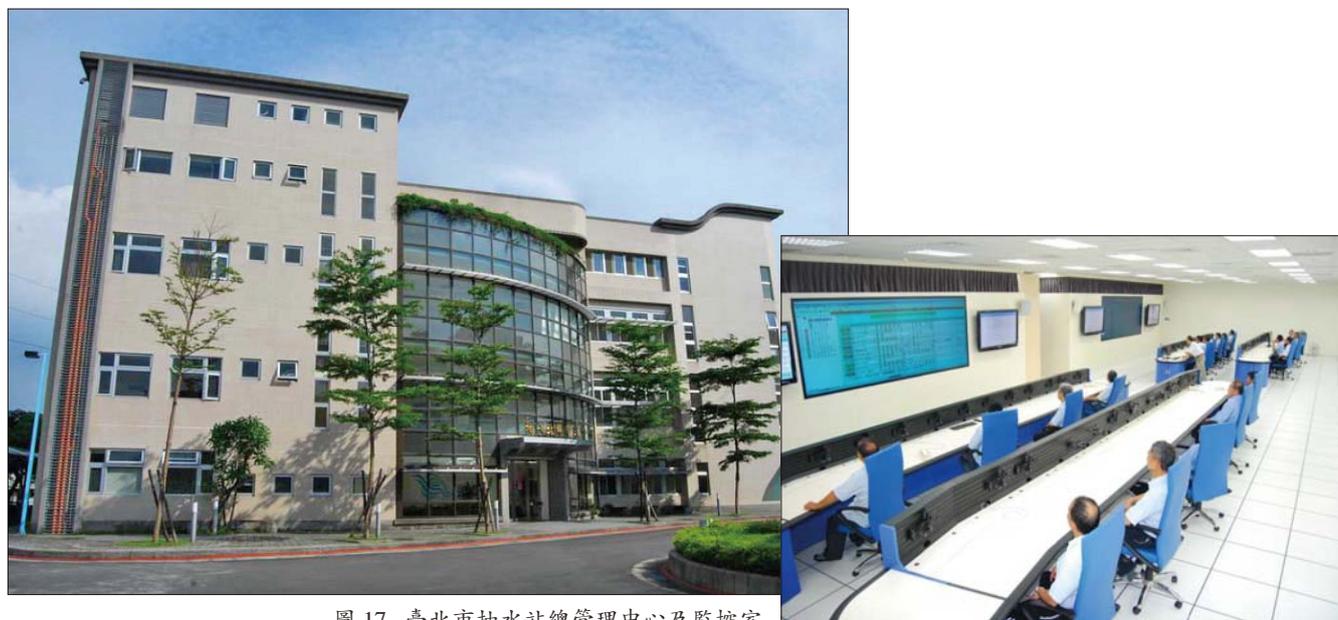


圖 17 臺北市抽水站總管理中心及監控室



圖 18 第三分區管理中心及監控室

分區預定於 104 年完成，第 4 至 6 分區計畫於 105 至 108 年辦理完成。

## 抽水站自動化監控系統建置效益

臺北市推動抽水站自動化監控，預期可達成之功能效益如下：

- 提升管理效能：抽水站集中監控後，抽水站之管理將由點（站）延伸為線（分區）、由線（分區）延伸為面（總分區），讓管理者利用系統即時資訊做全面性的統合作業。
- 強化應變指揮能力：藉由系統之集中監控，即時掌握各站之機組與水位狀況，若遇緊急事件，可於第一時間應變處理，較利於指揮調度。
- 優化機組性能提高自動運轉功能：利用系統整合相關水域水情資訊，提供相關站區閘門設備與抽水機設備運轉之依據，依各站需求設計自動控制策略，使各抽水站能依前池水位、雨量及下水道水位等資訊自動啟動機組抽水。
- 提高維護品質：系統能長時間記錄機組運轉狀態及故障因素，可提供設備維護人員維護保養之參考，提早發現設施異常情形，提高機組之妥善率，使抽水站於颱風豪雨期間能順利發揮抽排水功能，確保本市之防汛安全。
- 降低人力需求、減少人力費用支出：抽水機組能依前池水位自動啟動或停止、人力可集中調度及輪值，因此可降低人力需求。
- 避免人為疏失，提高防洪操作安全：抽水機組及閘門依前池水位、雨量及下水道水位等資訊自動啟動，並由分區管理中心遠端監控，避免人為疏失所引致之操作失敗。

## 結論

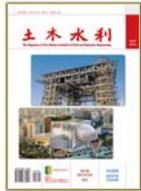
全球氣候變遷影響下，加上臺北市高度開發之影響，都市原有排水抗洪能力應付極端氣候侵襲有其極限，因此，臺北市政府積極推動「智慧城市」，建構「智慧洪災治理」體系，透過水利防災科技應用之導入，結合資訊通訊技術，強化「智慧洪災管理」技術，提昇既有排水抗洪設施效能及防救災能力。

「抽水站自動化管理監控」為「智慧洪災管理」

體系重要的一環，臺北市政府逐步建構全市抽水站自動化監控系統，並透過已完成之抽水站自動化監控分區歷經多年汛期颱風暴雨事件之實證，抽水站自動化監控系統確實大幅提升抽水站操作效能與管理維護品質，並強化應變指揮能力；再者，利用自動化機組操作，不僅可因應水情變化提早抽排水，避免人為操作錯誤，降低可能發生之積淹水危害，更可降低操作及管理人力需求，讓人力資源運用更有效率。而未來臺北市政府亦將持續提昇對於都市區降雨之空間變異、河川及下水道水位等水情的監測品質與精度，及加強水情資訊公開與利用，為智慧洪災管理及防洪抽水站自動化操控效能提昇建立基礎。

## 參考文獻

1. 林欽榮，2013，「智慧城市國際發展趨勢與國內邁向智慧城市發展策」，國土資訊系統通訊，第 86 期，第 10 至 22 頁。
2. 林顯明，2015，「全球智慧城市發展新趨勢：臺灣的機會與挑戰」，中華經濟研究院 TWO 及 RTA 中心，1 月 15 日專欄。
3. 陳建助、高雅玲、陳文棠，2014，「未來，智慧城市引領風騷 — 臺灣智慧城市產業挑戰與機會」，思潮季刊，第 12 期，第 26-29 頁。
4. 張凱堯，2009，「人工智慧於都市防洪排水系統控制之研究」，國立臺灣大學生物環境系統工程學研究所博士論文。
5. 臺北市政府工務局水利處，2007，「臺北市雨水下水道監測系統規劃建置（第一期）— 96 年度監測資料分析報告」。
6. 臺北市政府工務局水利處，2011，「臺北市淹水潛勢圖製作及淹水預報系統建置工作」報告。
7. 臺北市政府工務局水利處，2013，「臺北市 CCTV 河川水情監控設備建置工程委託規劃設計工作」報告。
8. 臺北市政府工務局水利處，2013，「臺北市水災危險潛勢地區保全計畫檢討工作」報告。
9. 臺北市政府工務局水利處，2014，「疏散門及閘門啟閉管理系統建置工程委託規劃設計工作」報告。
10. 臺北市政府水利工程處，2009，「基隆河抽水站管理中心委託規劃工作 — 抽水站自動化監控系統規劃設計第一階段（總一範圍）規劃作業成果」報告。
11. 臺北市政府水利工程處，2010，「基隆河抽水站管理中心委託規劃工作 — 抽水站自動化監控系統規劃設計第二階段（總二範圍及防汛指揮部）規劃作業成果」報告。
12. Chang, F. J., K. Y. Chang, L. C., Chang, 2008, "Counterpropagation fuzzy-neural network for city flood control system", Journal of Hydrology, 358: 24-34.
13. Cembrano G., Quevedo J., Salameo M., Puig V., Figueras J., Marti J., 2004, "Optimal control of urban drainage systems. A case study" Control Engineering Practice, 12(2004) 1-9.
14. Fi-John Chang, Kai-Yao Chang, 2006 "Counterpropagation Neural Network for Pumping Operation", 2006 Water Pacific Geophysics Meeting. 



茲附上廣告式樣一則  
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致  
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊  
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登地位	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

42.4  42.5  42.6  43.1  43.2  43.4 共 次  
(8月) (10月) (12月) (2月) (4月) (6月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；  
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據  
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)  
商號

負責人：

地址：

廣告聯絡人：

電話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: ciche@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款帳號	0	0	0	3	0	6	7	8	金額 新台幣 (小寫)	仟	萬	拾	萬	仟	佰	拾	元
------	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

報名費  
 繳納 \_\_\_\_\_ 研討會  
報名費 \_\_\_\_\_ 元

繳納會費  
 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本)  
 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版)  
 初級會員年費 300元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期  
 新台幣 1,800元  
自第 \_\_\_\_\_ 卷第 \_\_\_\_\_ 期起，\_\_\_\_\_ 年期雙月刊 \_\_\_\_\_ 份

訂閱中國土木工程學刊，一年四期  
 國內·會員 新台幣 800元  
 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元  
 國外·個人 美金 40元  
 國外·機關團體 美金 100元  
自第 \_\_\_\_\_ 卷第 \_\_\_\_\_ 期起 \_\_\_\_\_ 年期學刊 \_\_\_\_\_ 份

收款戶名	社團法人中國土木工程學會	
姓名	寄款人	
地址	主管：	
電話	經辦局收款戳	

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

◎ 寄款人請注意背面說明  
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

# 社團法人中國土木工程學會

## 信用卡繳納通知書

姓名		款別 注：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費，入會費一人僅需繳交一次	報名費 <input type="checkbox"/> 繳納_____研討會 報名費_____元
會員證號碼			繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本) <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版) <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元
身分證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
卡別 <input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB			訂閱中國土木工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
信用卡卡號			白天聯絡電話
信用卡簽名欄最後三碼			通信地址
信用卡有效期限 (月/年)			
信用卡簽名			
繳費金額			

注：僅接受VISA, MASTER CARD, JCB

請傳真回覆：(02) 2396-4260

社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260 email：service@ciche.org.tw 地址：100 台北市仁愛路四段一號四樓

### 郵政劃撥存款收據 注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

### 請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m<sup>2</sup> 模) 保管五年 (拾大)

# 榮譽事蹟

# 恭賀

國道 1 號五股至楊梅段拓寬工程計畫，榮獲國際道路協會 (IRF) 2015 全球道路成就獎 GRAA !



中國工程師學會 104 年土木水利領域獲獎名單

**工程獎章：**陳振川（臺大土木系特聘教授）

**傑出事業機構：**宇泰工程顧問有限公司、財團法人中興工程顧問社

**傑出工程教授：**黃兆龍（臺科大營建系教授兼系主任）

**詹天佑論文獎：**

槽接式與薄型挫屈束制支撐構架耐震設計與擬動態試驗

林保均、王孔君、游宜哲、魏志毓、吳安傑、蔡青宜、林志翰、陳家乾、蔡克銓

**工程論文獎：**

振動台多層剪力砂箱實驗模擬橋梁基樁位於乾砂與飽和砂動力行為之分析與探討

宋裕祺、張國鎮、陳正興、翁作新、劉光晏、陳家漢、董學宜、王修駿、邱毅宗

臺灣水資源乾旱預警系統建置之研究

陳柏蒼、周乃昉

根據力平衡與圓弧滑動面之邊坡有限變位分析

黃景川、謝宏毅、謝永倫

**傑出工程師：**

余信遠（中興工程顧問股份有限公司協理）

曾榮川（臺灣世曦工程顧問股份有限公司經理）

**優秀青年工程師：**

呂斌豪（景興營建股份有限公司經理及主任技師）

劉醇宇（臺灣世曦工程顧問股份有限公司第一結構部正工程師）

**工程優良獎：**

高雄市立圖書館總館新建工程

CL114 標愛河段臺鐵鐵路地下化（明挖覆蓋）工程

臺北都會區大眾捷運系統松山線 CG590C 區段標

中國信託商業銀行新總行大樓新建工程

東西向快速道路北門玉井線台 61 至國 1 段 E707 標新建工程

大甲溪發電廠青山分廠復建計畫

臺北都會區大眾捷運系統信義松山線機電系統

（CR580S/CG590S 標）供電系統（CR383/CG393 標）

榮  
譽  
榜

# 從這裡 臺灣起飛



## 臺灣桃園國際機場園區 Taiwan Taoyuan International Airport Terminal 3 Area 第三航站區 **國際競圖** International Design Competition

邀請

因應桃園國際機場航空客運量之快速成長，且亞太地區經濟及航空客貨運量之發展迅速，為強化服務能量、提昇服務品質，積極推動第三航站區(T3)之建設，T3位於桃園國際機場第二航廈(T2)及華航園區之間。本案基地面積約640,000 m<sup>2</sup>，其設計容量2042年服務每年4,500萬旅客人次為目標。主要開發內容，在建築物部分將包括第三航廈及登機廊廳、多功能大樓等，基礎建設部分將包括勤務道路系統、停機坪與相關滑行道、自動旅客運輸系統、站區聯外道路等相關設施。

桃園國際機場以成為服務東亞航空市場的大型樞紐機場為目標，將以多功能大樓(MFB)串連第二航廈，形成Mega-Terminal概念，以Smart, Green, Culture為設計主軸，高效能地作業方式、提供旅客優質服務與交通功能外，更將進一步發展成為永續經營的智慧機場，同時成為集觀光、購物、人文、藝術為一體之綜合性設施，打造全新的旅行經驗。

本案將以國際競圖方式，向全世界優秀之專業團隊徵求傑出之設計方案與專業服務，不但滿足快速成長之客貨運量需求，將引進旅客自助報到、自助行李托運、建築資訊模型及能源管理系統等新技術，打造一座令人驚豔的航廈。

竭誠歡迎您參與競圖，臺灣桃園國際機場也期待與您並肩在這個舞台上綻放光芒！

### 興建預算

暫估本案建造費用約新臺幣 488 億元  
(換算美金約 16.26 億元)

### 技術服務費用

約新台幣 35.48 億元整 (換算美金約 1.18 億元)

### 投標方式

我國廠商單獨或共同投標  
外國廠商單獨或共同投標  
外國廠商與我國廠商共同投標

### 投標資格

15 年內曾獲得設計容量至少達到每年 1,800 萬旅客量國際機場單一航廈設計契約。

### 重要時程

第一階段  
繳交投標文件截止日期 2015/08/21  
第一階段  
評選日期 2015/08/25 ~ 2015/08/28  
第二階段  
繳交投標文件截止日期 2015/10/26  
第二階段  
評選日期 2015/10/28 ~ 2015/10/30

### 領標 (預計 2015 年 6 月 16 日開始提供下載)

政府電子採購網: <http://web.pcc.gov.tw/>  
國際競圖網站: <http://www.T3.com.tw>

(資料僅供參考，詳情以正式公告之招標文件為準)

主辦單位



桃園國際機場股份有限公司  
Taoyuan International Airport Corporation Ltd.

本案連絡人

國際競圖行政顧問：鄭明裕建築師  
地址：桃園市 33758 大園區航站南路 9 號  
電話：03-273-3226 手機：0937-213454  
傳真：03-273-3268  
電子郵件：T3@mail.taoyuan-airport.com