

中華民國一〇四年八月・第四十二卷第四期

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

August
2015



淡江大橋 | Danjiang Bridge

中興工程顧問公司、德國Leonhardt公司、英國Zaha Hadid建築師事務所 提供

ISSN 0253- 3804



9 770253 380006

NT\$300



Volume 42, No. 4

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

綠色土木工程
綠色價值工程

永續水利
專輯
(下)



能源論壇研討會

能源發展與能源供應

- ◎ 主旨：我國能源供給先天條件脆弱，自有能源匱乏，九成八能源仰賴進口，供給結構以化石燃料為主，供應體系規模不小，有效能源備援系統卻不足，加上目前國內核能發電定位不明確及燃煤發電受限於環保法規與溫管法等規範，因此，能源開發倍加困難，未來能源供應勢必更加嚴峻。本次研討會以「能源發展與能源供應」為主題，內容包含台灣電源開發及發電技術趨勢探討、溫管法下之電源開發規劃、分散型能源之運維策略、離岸風電發展策略、海洋溫差發電效率探討及生質能發展趨勢及台灣中油公司的研究發展等主題，希望藉由國內產官學專家及工程人員集思廣益，兼顧國內經濟情勢及環保法規原則，探討現階段我國能源供應問題與因應措施，期待邁向正向優質的能源發展。
- ◎ 時間：104 年 10 月 14 日（星期三）
- ◎ 地點：台北市羅斯福路 3 段 242 號台電 208 會議室
- ◎ 主辦單位：社團法人中國土木水利工程學會能源委員會
- ◎ 協辦單位：台灣電力公司、台灣中油股份有限公司
- ◎ 費用：會員：新台幣 800 元（團體會員可享會員價 1 名）；非會員：新台幣 1200 元；本學會能源委員會委員：免費
- ◎ 人數：80 人（額滿提前截止）
- ◎ 報名方式：請於 104 年 9 月 30 日（星期三）前填妥報名表傳真至：(02) 2396-4260（報名表請上網 www.ciche.org.tw 下載）
承辦人：蕭妘帆小姐 電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260 e-mail: mandy@ciche.org.tw
- ◎ 備註：本研討會已申請技師訓練積分證明及登錄公務人員終身學習時數
- ◎ 議程表

08:00 - 08:50	報到（申請參訓證明及技師計點者必須簽到 4 次，台電及其他參加人員簽到 2 次）
08:50 - 09:15	開幕式 致歡迎詞：徐主任委員永華／貴賓致詞：本學會周常務監事南山
09:15 - 10:00	主持人：黃處長凱旋 台電公司營建處 台灣電源開發及發電技術趨勢探討／主講人：雷組長嘯 台電公司開發處
10:00 - 10:15	休息
10:15 - 10:25	主持人：黃處長凱旋 台電公司營建處
10:25 - 11:05	溫管法下之電源開發規劃／主講人：鍾組長輝乾 台電公司開發處
11:05 - 11:45	生質能發展趨勢及台灣中油公司的研究發展／主講人：康組長文成 台灣中油股份有限公司
11:45 - 12:00	問題與討論 主持人：黃處長凱旋 台電公司營建處
12:00 - 13:30	午餐（台電大樓副樓 11 樓）
13:30 - 13:40	主持人：黃處長凱旋 台電公司營建處
13:40 - 14:20	分散型能源之運維策略／主講人：陳處長一成 台電公司再生能源處
14:20 - 15:00	再論台灣離岸風電發展策略／主講人：盧董事長顯卿 怡興工程顧問有限公司
15:00 - 15:15	休息
15:15 - 15:55	海洋溫差發電之效率提升方式探討／主講人：賴融毅、蕭永盛 中興工程顧問公司
15:55 - 16:35	再生能源占比提高之電網規劃因應策略／主講人：黃課長子成 台電公司系規處
16:35 - 16:50	問題與討論 主持人：黃處長凱旋 台電公司營建處
16:50 - 17:00	閉幕 主持人：許處長順榮 中油公司
17:00 - 17:10	簽退並領取證明





淡江大橋橫跨淡水河口，主跨長450公尺，是全世界最長的單塔不對稱斜張橋，單塔位於夏至時夕陽沒入水中的淡水側，不僅保護八里端濕地不受影響，且提供最佳之淡水夕照景觀。單塔與燈柱造型整體設計構想，乃是發想自雲門舞者的舞姿；在夜間，由於燈光之特殊效果，大橋宛如「寧靜的舞者」，展現優美迷人的身影。又單塔造型有如雙手合十，象徵「祈福」。該橋是由中興工程顧問公司、德國Leonhardt公司、英國Zaha Hadid建築師事務所共同負責設計與監造。

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：10055 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

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

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

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(下)

- 📖 永續水利專輯 — 專輯序言 劉格非 3

水資源管理

- 📖 有效管理與效率用水 — 落實用水計畫審查 黃宏甫 4
- 📖 推動健全水權管理 張廣智 9
- 📖 健全國家水資源帳 江明郎 13

其他不同面向

- 📖 台灣水資源需求現況與管理策略工具 周嫦娥 19
- 📖 氣候變遷水資源風險評估與調適決策之探討 童慶斌/劉子明/林嘉佑/曹榮軒/李明旭 30
- 📖 水力發電開發現況、面臨環境與未來展望 吳明竑/王振勇/吳清敏 46
- 📖 人才培訓、傳承創新 李友平 52
- 📖 為永續，橋接水利與法律 李方中 56

綠色土木工程

- 📖 2015 不一樣的北京「綠色公路、鐵路建設技術研討會」預告 兩岸交流委員會 63
- 📖 綠色價值工程於臺灣軌道建設上之運用 賴建名 64

研究發展

- 📖 水庫潛在崩塌地調查研究 蔡宗翰 71

學會資訊看板

- 📖 工程會委託「土木基本法(名稱暫訂)立法可行性及其基本架構之研究」積極展開 秘書處 77
- 📖 「2015年亞洲土木聯盟國際會議暨韓國土木學會年會學生觀摩參訪活動」開始報名 78

~ 104 年獎學金開始接受申請 104.10.15 截止 ~

請各大學院校團體會員開始申請，請於 104 年 10 月 15 日前，將推薦書寄至

23146 新北市新店區中興路二段 190 號 11F

財團法人臺灣營建研究院焦光華小姐收，逾時不予受理。

(推薦書已寄發各大學院校團體會員，請洽系辦公室)

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。且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，往往用水量就越高，因此對水利事業本身而言，開發水資源以便「增供應需」，就是從事水利事業相關人員思考的方式。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為「以供定需」；更因全球暖化造成水資源空間與時間分布極端不均，河川中下游基本建設大致完成，防洪排水也面臨了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艱難挑戰。

上述的問題若處理不當，水資源的時空分布一旦改變，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。因此這本專刊固然談到許多使用水的相關問題，但同樣也注重水資源引發問題的相關探討。

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（未來）等三階段，從過去談到現在與未來，同時呼應環境、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說明清楚。

因為篇幅關係，因此專刊分上下兩集。上集先邀請

國內相關議題的巨擘與先進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、開源－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）、節流－節約用水行動、減漏（含農業、工業及公共給水）、蓄水設施再生（更新與改善）等方向，談永續水資源經營策略。在這些論述的定義下，相信讀者可以掌握永續水資源的整體架構與正確觀念。

但是有了架構與觀念，仍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，才能有效落實任何策略，所以這本下集接續邀請有實際經驗的專家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，提出針對永續利用水資源的方法與概念。

當然永續水資源不單單是管理，還要兼顧因水資源時間空間的改變所引發各方面的新問題。因此另外邀請學者專家就未來會遇到的水力能源、風險及不確定性方法在水資源規劃、人民與社區的參與、經濟與永續水資源，最後是人才培訓、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。

希望這兩本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，土砂對水資源之影響等重要議題，每個議題本身都值得以專輯呈現，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，能夠比較聚焦的把問題與可能解答呈現給讀者。

有效管理與效率用水 — 落實用水計畫審查

黃宏莆／經濟部水利署副總工程司

前言

103年9月至104年5月臺灣地區剛歷經一場十年大旱，是氣候變遷下極端水文事件的再一次警訊（103年10月至104年2月秋冬季降雨量為中央氣象局13個平地測站自民國36年有紀錄以來最少的一次），也是喚起全民重視臺灣水資源議題的一次重大轉機，政府與民間對於自來水價、耗水費徵收、用水管理、水庫清淤、傳統水資源建設（水庫）及新興水資源策略（再生水、海淡水）等議題均在此次抗旱過程獲得重視及討論的機會。

上述各項水資源議題，對於現況及未來水資源供需情勢的掌握實為關鍵因素之一，早期為促進工商業快速成長與民眾生活改善，水資源經營管理策略多採「以需定供」原則，配合用水需求以傳統水資源設施開發為主要手段，然而隨著開發量增加，用水時程變短且需求增加，而優良壩址越來越少，且隨著社會進步、環保及民眾對公共事務之關心，水資源開發規模及開發時程越來越難掌控，在整體開發難度越來越高下，政府政策上已逐漸調整為「總量管制」、「以供定需」、多元開發及加強用水管理為主。本文將針對臺灣地區用水管理措施中，目前作為水資源供需推估依據的「用水計畫書審查及查核」機制進行現況介紹及未來改進策略。

用水管理法規之演進

水權管理與用水計畫書審查

水利法規定，水為天然資源，屬國家所有，不因人民取得土地所有權而受影響。所稱水權，係依水

利法對於地面水或地下水取得使用或收益之權，其用水量應以其事業所必需者為限。水權核發之用水標的分為家用及公共給水、農業用水、水力用水、工業用水、水運、其他用途共六種。

自63年水利法開始施行水權登記制度以來，各農田水利會即按規定依灌溉系統規模與需水量向主管機關辦理水權申請，而早期家用及公共給水（生活用水）與工業用水之水量需求相對較少，因此農業用水水權量比例較高。

家用及公共給水（生活用水）與工商業用水，大部分是由自來水公司取得水權，經過自來水管線系統供應自來水使用，即用水者並未實質擁有水權，僅少部分工業用水自行取用地面水或地下水者擁有水權。

依據水利署103年度水權統計資料，總核發水權量為每年304億立方公尺，其中以水源可區分為地面水及地下水二種，分別為地面水253億立方公尺、地下水51億立方公尺；以用水標的區分，家用及公共給水54億立方公尺、農業用水222億立方公尺、工業用水26億立方公尺、其他用水2億立方公尺。由於總核發水權量遠大於每年約180億立方公尺實際用水量，近年已積極推動水權分配合理化，其中農業用水將配合國家整體農糧政策加以管理，朝減少水權5%之政策目標努力。

另根據水利署用水統計資料，農業用水之用水成長趨勢已呈現持平之情形；而生活用水則因人口成長趨穩，用水成長趨勢亦呈現持平狀況，但近年工業及商業用水則持續呈現正成長趨勢，因其受產業型態發展和景氣變動影響大，較不容易掌握中長期用水需求，尤其是用水量大且隨時間成長的新設工業區、科學園區或大型工廠等工業用水，如使用自來水者因無

水權無法直接管理，加上自來水公司為事業機構主要專注在取供水相關營業事項，因此逐漸發展出由經濟部主導的用水計畫書制度，來掌握區域用水供需成長變化的機制。

用水計畫書制度

1. 法源

用水計畫書審查法源，係由各不同目的事業主管機關就主管開發案件進行許可審議時，依據開發案件之適用法規情形，包括水利法施行細則第 46 條第 1 項、區域計畫法第 15 條之 2 第 1 項第 4 款、開發行為環境影響評估作業準則第 11 條或非都市土地申請新訂或擴大都市計畫作業要點第 6 點等規定（如表 1），需對開發案件之用水或供水來源加以確認，而商請經濟部基於水利主管機關協助進行審查，由經濟部訂定用水計畫書審查作業要點，授權計畫用水量達每日 3,000 立方公尺以上案件送由水利署審查，計畫用水量未達每日 3,000 立方公尺案件則由各區水資源局辦理審查作業。

表 1 用水計畫書審查法源依據

法規名稱	規定摘要
水利法施行細則第 46 條第 1 項	(93 年 11 月 17 日修正) 目的事業興辦或擴充，其用水量在一定規模以上者，目的事業主管機關核准目的事業興辦或擴充前，得商請主管機關審查同意其用水計畫書。
區域計畫法第 15-2 條第 1 項第 4 款	(89 年 1 月 26 日增訂條文) 規定申請開發案件（註：係指非都市土地開發），經審議與水源供應、鄰近之交通設施、排水系統、電力、電信及垃圾處理等公共設施及公用設備服務能相互配合者。
開發行為環境影響評估作業準則第 11 條	(86 年 12 月 31 日原條文) 開發單位於施工及營運期間之用水，應取得供水主管機關之同意，其因缺自來水供應而自行規劃取（抽）用地面水、地下水者，應向水資源主管機關提出用水方案申請同意；若作為飲用水水源者，其水質應符合飲用水水源水質標準。 (95 年 12 月 20 日修正條文) 開發單位施工及營運之用水，應先向水資源主管機關提出用水計畫書申請同意；若作為飲用水水源者，其水質應符合飲用水水源水質標準。
非都市土地申請新訂或擴大都市計畫作業要點第 6 點	(內政部 104.01.20 修正規定) 申請新訂或擴大都市計畫，本部應就下列事項徵詢有關機關提供意見： (一) 農地使用及變更。 (二) 以徵收或區段徵收作為開發方式，其土地徵收之公益性及必要性評估。 (三) 水資源供需情形。

整體制度上分為審查及查核兩大重點階段（如圖 1），在審查階段主要目的是審視開發案需用水量及用水時程之合理性，並確認在區域水資源「總量管制」及「以供定需」原則下是否有穩定水源可供應開發案之用水需求；在查核階段主要目的則是藉由查核掌握各開發案件之實際用水量與核定用水量之差異，避免政府資源之過早投入，並做為區域水資源調度及開發規畫之依據。

2. 審查機制

自 85 年起即陸續進行個別案件用水計畫書審查作業，原本目的在確認個案用水來源、作為水資源開發規劃參考或配合環境影響評估計畫審查需求。初期並未訂定作業規定，後為建立制度化的審查及查核追蹤制度，並掌握已開發案件之實際用水情形，經濟部於 92 年 3 月 5 日訂頒「用水計畫書審查作業要點」，後於 94 年 10 月 6 日進行第 1 次修正，明訂用水計畫書撰寫格式、審查流程、單位用水量與回收率建議值、開發單位回報用水量程序及查核等規定；經濟部並依據過去歷年執行實際經驗檢討，於 103 年 11 月 19 日完成「用水計畫書審查作業要點」第 2 次修正，整併各章節名稱內容、簡化民生用水開發案件審查強度、增訂未符用水期程用水量之退場機制及用水量核減變更原則；另納入歷年針對用水量及回收率研究結果作為水量核定依據，以健全整體審核機制。

審查用水計畫書時，將視開發案件用水量規模及性質，邀請開發單位主管機關、供水單位及學者專家召開審查會議，主要審查項目為其需用水量合理性、是否符合節約用水原則及計畫書內各項措施是否確實可行，另

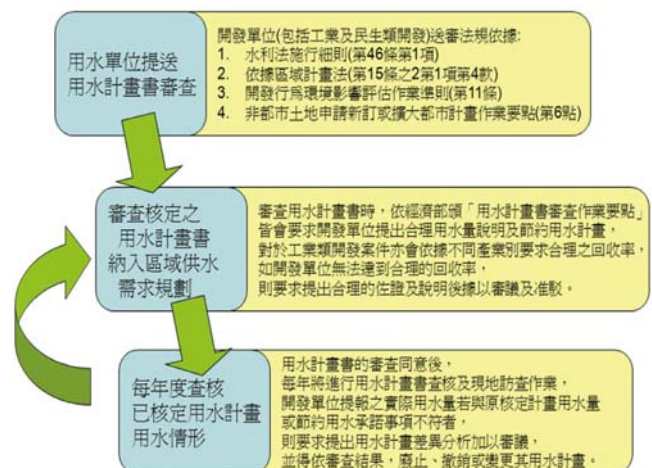


圖 1 現行用水計畫書審查及查核制度示意圖

確認在區域水資源「總量管制」及「以供定需」原則下是否有穩定水原可供應開發案之用水需求，其中對於工業類開發案件亦會依據不同產業別檢視其回收率之合理性，如開發單位無法達到合理的回收率，則會要求提出佐證說明，據以審議用水計畫書之准駁。

3. 查核機制

水利署為掌握各開發案件於開發期間及開發完成後之實際用水量與核定用水量之差異，自 92 年起開始便逐年辦理用水計畫書查核工作，藉由相關資料之回饋，避免政府資源之過早投入，並做為區域水資源調度及開發規畫之依據。

經查核分析後，篩選出開發中止、暫緩、用水量或用水期程變更及用水情形有疑義之開發案，由水利署邀集用水、供水相關單位（自來水單位、各區水資源局、開發單位）召開用水計畫書申報結果及差異分析審查會議，檢討個案用水與期程預估之合理性等，據以審核個別用水計畫書之廢止、撤銷或內容變更。

如經前述審查會議審議結果，認為開發案件用水時程、用水量、或用水期程預估尚有疑義，亦辦理現地訪查作業，確實掌握案件開發進度與實際用水情形，並據以評估及要求開發單位合理調整用水計畫書內容。

目前執行成果及檢討

歷年已審查案件統計

85 年至 103 年底為止，歷年經審查核定「用水計畫書」總計 689 件案次（工業類 269 件、民生類 420 件），經扣除相同查核廢止開發案 76 件案件及申請修正開發案 55 件，總計現行有效開發案數為 558 件（工業類 201 件、民生類 357 件）。

歷年用水查核結果

自 92 年開始用水計畫書查核以來，統計於 92 ~ 103 年度共針對 1,574 件案次進行查核（工業類 735 件、民生類 839 件），分析歷年查核結果，大多數案件實際用水量均未符預期（如表 2），主要原因多為開發案件尚未取得開發許可或雖已取得許可但實際發展不如預期。

表 2 歷年用水計畫書查核結果用水量差異統計

查核年度	查核案件數	當年度核定用水量 (CMD)	當年度實際用水量 (CMD)	差異量 (CMD)	實際/核定用水比例 (%)
92	54	383,621	11,712	371,909	3.05%
93	47	300,572	139,697	160,875	46.48%
94	44	156,223	35,491	120,732	22.72%
95	72	568,789	306,642	262,147	53.91%
96	147	818,705	402,668	416,037	49.18%
97	174	663,868	490,991	172,877	73.96%
98	180	864,724	533,999	330,725	61.75%
99	253	647,451	495,955	151,497	76.60%
100	115	645,977	605,525	40,452	93.74%
101	156	945,638	607,167	338,471	64.21%
102	162	1,125,904	676,933	448,971	60.12%
103	170	1,127,034	722,679	404,355	64.12%
總計	1,574	-	-	-	-

註：自 100 年起，終期計畫用水量 300 立方公尺/日以下案件不再納入查核對象。

開發案件如因故不再繼續進行開發，經查核發現確認後，廢止原核定用水計畫書，統計 92 ~ 103 年度共廢止用水計畫書案件 76 件（工業類 43 件、民生類 33 件），合計用水量達每日 56.2 萬立方公尺。另歷年查核認為用水量高估需核減用水量共 27 件，核減之計畫用水 合計達每日 31.7 萬立方公尺，總計已減少了每日 87.9 萬立方公尺水量，將近一座鯉魚潭水庫之供水量，節省了極大之水資源開發經費。

另經統計現行有效案件數為 558 件（工業類 201 件、民生類 357 件），總核定終期年計畫用水量達每日 234 萬立方公尺（工業類每日 201 萬立方公尺、民生類每日 33 萬立方公尺），依核定計畫用水量級距分類統計如表 3。

現行制度檢討

由表 3 可知，工業類有效案件數雖占總案件數 201 件僅 36%，但核定總用水水量約每日 200 萬立方公尺占總用水量約 86%。由於近年新興水資源設施開發案件推動不易，未來政策上已確認將推動再生水利用及工業用水使用自來水零成長目標，將以加強工業類用水計畫書之管理機制來達成，例如新開發案用水要求，一定比例再生水、規定回收比率必需達到一定之目標等。經檢討現行機制遭遇包括適用對象受限、用

表 3 有效用水計畫書案件水量級距統計 (截至 103 年底)

核定水量級距 (CMD)	案件數	案件數 比例	核定終期 用水量 (CMD)	用水量 比例	類別	案件數	核定終期 用水量	比例
	(件)	(%)		(%)		(件)	(CMD)	
100,001 以上	4	0.7	680,000	29.1	工業	4	680,000	100
					民生	0	0	0
20,001 ~ 100,000	28	5.0	1,200,753	51.4	工業	25	1,073,934	89
					民生	3	126,819	11
3,001 ~ 20,000	36	6.5	280,553	12.0	工業	26	196,304	70
					民生	10	84,249	30
301 ~ 3,000	140	25.1	135,152	5.8	工業	37	45,958	34
					民生	103	89,194	66
300 以下	350	62.7	40,622	1.7	工業	109	9,336	23
					民生	241	31,286	77
總計	558	100.0	2,337,080	100	工業	201	2,005,532	86
					民生	357	331,548	14

近年各類開發行為類別愈趨多元化，不同產業類別之用水型態與用水量均有所不同，開發單位於製作用水計畫書時之用水量多以最大產能推估，以致於實際用水量大多低於核定用水量。

歷年各年度用水查核均有類似情形，以 103 年度用水計畫書查核結果，全部（含工業及民生類）查核案件實際用水量每日 72.2 萬立方公尺，僅佔該年度核定用水量每日 112.7

萬立方公尺的 64%。終期用水量過於高估，將影響中長期水資源經營管理策略，需藉由查核機制持續滾動檢討調整。

1. 適用審查對象受限制

用水計畫書審查依據目前法規，屬被動審查，僅於開發計畫適用於水利法施行細則第 46 條第 1 項、區域計畫法第 15 條之 2 第 1 項第 4 款、開發行為環境影響評估作業準則第 11 條及非都市土地申請新訂或擴大都市計畫作業要點第 6 點等相關法規時才須提報用水計畫書審查。換言之，如有未達環評規模之新建廠商、既有工業區廠商擴充用水需求者，依現行法令均無法強制其提送用水計畫書審查。

除此之外，對於在用水計畫書作業要點 92 年公布前即已設立之開發案及個別廠商，多數未經用水計畫書審查，以工業及產業園區為例，統計現存已開發或開發中工業或產業園區合計 130 座，其中已提送用水計畫書並經審查通過者僅 43 座，亦即尚有 87 座為無用水計畫書者，水利署於 103 年針對前述 87 座工業園區（廠商數量約 1.7 萬家）進行用水量調查，用水量達約每日 200 萬立方公尺（自來水量每日 84 萬立方公尺、調用農業用水每日 11 萬立方公尺、自有水權量每日 105 萬立方公尺），已與目前用水計畫書工業類有效案件總核定用水量相當。

因此，現行法規就開發案之用水，仍未能全面涵蓋，造成管理上的盲點。

2. 核定用水量過於高估

萬立方公尺的 64%。終期用水量過於高估，將影響中長期水資源經營管理策略，需藉由查核機制持續滾動檢討調整。

3. 開發單位未必為實際用水單位

現行用水計畫書實際查核經驗，部分案件開發單位與後續實際管理單位或用水單位不同，例如縣市政府之開發工業區，雖由縣市政府提報用水計畫書審查，惟縣市政府於開發完成將土地售出後即退場不負責管理，故常有園區無管理單位，於查核時無法提報相關用水資訊之情形；亦有部分園區僅設有服務中心提供低強度的資訊服務而無實質管理權責，故無法針對區內廠商之實際用水進行管控。

4. 查核及退場機制須更具強制力

各區域水源供需情勢會隨社會經濟環境而改變，根據歷年用水查核經驗，部分用水計畫書案件雖已通過審查多年，但因後續相關審議程序未通過（如環評或用地變更等），遲遲無法取得開發許可，導致計畫時程延宕或暫停的情況，此類案件核定水量卻仍然有效，造成後續水資源供需分配困難。此外，亦有部分案件雖已取得開發許可，惟因開發計畫變更展延、招商不順、或產業景況不佳等因素，遲遲未有實質動工與用水情形。

現行用水申報查核遇有用水量明顯不符原預估者，是透過召開用水需求檢討會議或至開發案件現地

進行訪查，藉由開發單位就開發用水情形加以說明，與包括目的事業主管機關、供水單位等共同協商方式，請開發單位合理調降用水量或延後用水成長期程，依據過去執行經驗，開發單位均有各樣理由陳述，從開發審議階段延宕到產業景氣影響等，以致於核減用水量均以漸進方式進行，以致於核減量追趕不上成長量，造成中長期水資源管理壓力持續上升。

另外，現行用水申報查核機制於法制上屬行政規則位階，申報行為並無強制力及罰則的約束，對於不配合申報查核之案件並無更強力的工具。

改進策略

擴大並落實實施用水計畫書審查制度

以目前具急迫性的工業用水管理，所能掌握用水計畫書案件之實際用水量僅佔全臺工業用水統計總量的 16%，未來有需要進一步針對用水量達一定規模以上的工業類開發案件，均能納入用水計畫書審查及查核制度內，範圍亦應包括既設工廠或工業區，皆納入提送用水計畫書對象。

明訂開發延遲的水源供需定期檢討機制

針對用水計畫書通過審查後一定時間內，後續相關審議程序未能通過者（如環評或用地變更審查等），或開發案件雖已取得開發許可，但開發計畫變更或展延，遲遲未有實質動工與用水情形。鑒於水源供需情勢隨時空變化，原核定用水計畫書之水源供應內容有需要配合最新供需情勢檢討，將朝向明訂開發案件於一定期間若未能依原訂期程取得開發許可或進入實質開發階段者，將廢止其用水計畫書作為退場機制，如仍有開發及用水需求者，應於期限前提送用水差異分析重新檢視。

開發單位退場後，新進用水單位權利義務

針對開發案件取得許可後不負責後續營運管理之開發案，於退場或用地轉賣後，區內單一用水單位之用水量超過一定規模者，將要求其提送用水計畫書，並就原開發案件核定用水計畫書內容架構下予以審查列管。

修正水利法，賦予「用水計畫書」完整法源

前揭改進策略涉及人民之權利、義務，現行審查及查核制度的依據作業要點，屬於行政規則位階，在法律上的管制強度不足，亦無法進行全面性之管制。因此，提升法令位階與強制力、全面性管控、審查制度調整等，為目前優先推動用水管理制度變革之努力方向。為完備核定用水計畫之法律依據及法律效果，水利署已就前揭改進策略納入本年度水利法修正草案內，增訂用水計畫書審查、管理機制及開發單位或供水單位違反相關規定罰責之條文，並已於 104 年 4 月 17 日送立法院審議。

結論

1. 臺灣地區新興水資源開發不易，強化用水管工作形重要，隨著時代進步，主要用水需求之成長多為工商業用水，而其用水來源多為自來水且佔據很大比例，用水計畫書審查機制的改進，將更有利於工業及商業用水的管理。
2. 依目前法規，用水計畫書的審查屬被動受理審查制度，而更進一步將由水利主管機關核定用水計畫為開發許可要件視為要務，為取得法律授權依據，水利法修正工作刻不容緩。
3. 103 ~ 104 年枯旱，水利署提出再生水利用及提升工業區廢水回收率之政策建議，並獲得行政院及總統府國家安全會議通過至民國 120 一般工業區回收率需達 80%，民生汙水回收再生水供工業使用之水量須達每日 132 萬噸以上之政策目標，而目標之達成有賴於在各開發案於用水計畫書審查階段就必須要求回收率並媒合使用一定比率之再生水，並在查核階段落實，方能有效之控管得來不易之水量。

參考文獻

1. 水利法，102 年 6 月 11 日。
2. 經濟部水利署，產業合理用水量評估及用水計畫書審查機制探討，103 年 12 月。
3. 經濟部水利署，103 年度用水計畫書查核服務，103 年 12 月。
4. 經濟部水利署，用水計畫書審查技術規範之研擬，91 年 12 月。
5. 經濟部水利署，用水計畫書查核制度之建立規劃，92 年 12 月。
6. 經濟部水利署，製造業用水合理指標研擬與用水計畫書審查輔助查詢系統建立，92 年 12 月。
7. 經濟部水利署，用水計畫資訊系統建置計畫，93 年 12 月。
8. 經濟部水利署，用水計畫書查核服務系統作業（含工業用水量統計推估模式研究），95 年 12 月。

推動健全水權管理

張廣智 / 水利署水利行政組組長

現況分析

背景說明

水利法開宗明義：水為天然資源，屬於國家所有，不因人民取得土地所有權而受影響。水利法特訂定「水權」專章，以水權作為國家水資源管理之重要基礎。相關條文包括第三章「水權」及第四章「水權之登記」及水庫壩堰之水權總登記等合計 33 條，佔水利法總條文（99 條）之三分之一。

主管機關依申請人提出之用水範圍進行稽核作業、計算其事業合理用水量、核算地面水潛能水量，並參酌引水地點之各月水文狀況、其附近已核准水權水量、環保基流量及事業所需用水量覈實核給，使核發之水權總量不超過該水系之水源總量，以兼顧水資源之永續利用及環境保育。

上述水權登記核辦程序已經建構完整資訊化水權核辦管理系統，主要包括有用水範圍管理、事業用水合理用水量試算、取水點地理資訊查詢、地面水潛能水量計算、水井管理及用水範圍管理等系統，目前均以全面線上作業。

水權登記統計與水資源供給量比較

水利署過去對水權進行總清查與建檔，民國 87 年水權登記水量達 860 億立方公尺，近年來隨著管理工具之改善與精進，至民國 102 年已降至 333 億立方公尺，已合理調降約 60%。其中，地面水水權登記調整至約 270 億立方公尺（圖 1）；依各用水標的別，家用及公共給水（含其他用途）佔總水權登記量 17%、農業用水佔總水權登記量 76.6%、工業用水佔總水權登記量 6.4%。（圖 2、圖 3）

民國 101 年台灣地區地面水資源供給量約 116 億立

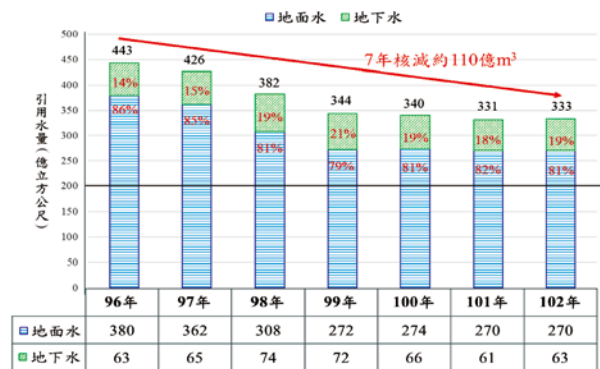


圖 1 歷年水權統計圖（不含水力用水）

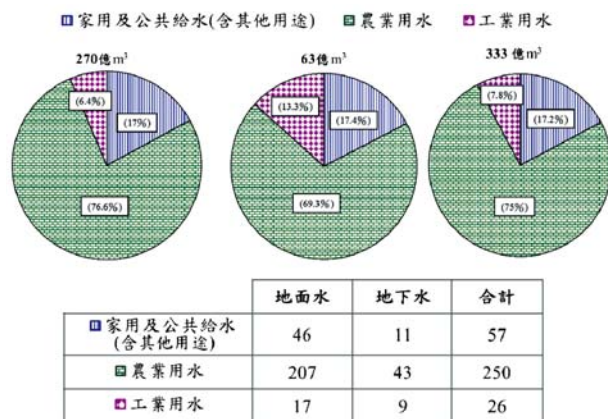


圖 2 102 年各標的用水水權百分比統計圖

方公尺，其中自河川取水約 75 億立方公尺（65%），水庫供水約 41 億立方公尺，與河川取水水權登記量 145 億立方公尺及水庫壩堰水權登記量 125 億立方公尺比較，二者之水權登記量與供水量相比，分別約為 1.9 倍及 3 倍。

當前水權登記所面臨課題探討

水權登記量仍超額核發

民國 58 年 8 月 5 日修正發布之水利法施行細則第 67 條規定，水源「通常保持之水量」為「逐年平均量」（約等同於流量超越機率 50% 之水量）。依據民國 87 年

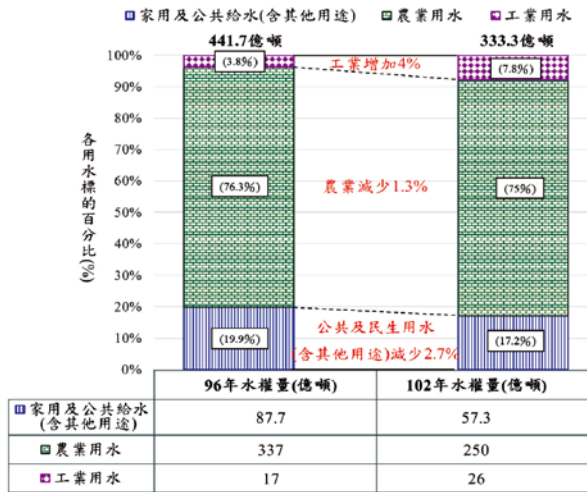


圖 3 96 與 102 年各標的用水水權百分比變化統計圖

研究，Q50% 水量約 548 億立方公尺。經統計，民國 87 年光是地面水水權登記量即已高達 706 億立方公尺（不含水力用水）。

有鑑於此，行政院民國 85 年核定「現階段水資源政策綱領」，採行「以定需」原則，其中水源需求面之量化目標為民國 110 年後台灣地區總用水量不超過於 200 億立方公尺，若考慮 10% 之餘裕水量，約為 220 億立方公尺，與民國 87 年研究推算 Q85% 水量約 223 億立方公尺相近；因此，民國 93 年 11 月 17 日修正發布之水利法施行細則第 15 條規定，遂將地面水之「通常保持之水量」修正為「流量超越機率 85% 之水量」，作為水權登記水源供給量上限。歷經多年努力，地面水水權登記量雖已由 96 年 380 億立方公尺合理調降至 102 年 270 億立方公尺，但仍超過前述上限值 1.2 倍。

茲進一步探討 26 條中央管及跨省市河川整體水源水量（流量超越機率 85% 之水量）為 167 億立方公尺，其中無水庫壩堰之 9 水系水源水量 63 億立方公尺，水權登記量 50 億立方公尺，約為水源供給量之 79%。有水庫壩堰的 17 水系水源水量 104 億立方公尺，當中受水庫壩堰控制 70 億立方公尺（67%），該水量有 13 億立方公尺屬於保留釋放下游水量；非水庫壩堰控制水源水量則有 34 億立方公尺，若不考慮前述所提保留釋放下游水量 13 億立方公尺，對照水權登記量 59 億立方公尺，約為水源水量之 1.7 倍，若考慮前述所提保留釋放下游水量 13 億立方公尺，水權登記量則約為水源水量之 1.3 倍（圖 4）。

綜合各水系總量統計，目前頭前溪、中港溪、後龍

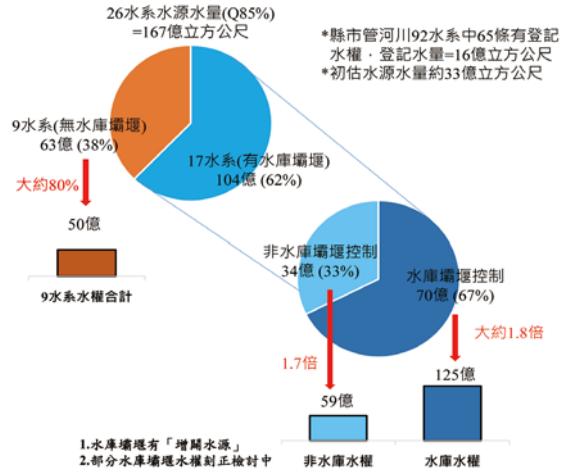


圖 4 26 水系水庫壩堰控制前、後之水源水量與水權登記量之關係圖

溪、大安溪、大甲溪、八掌溪、高屏溪等 7 水系之水權登記量超過天然流量（Q85%）約 2.17 ~ 6.97 倍，除頭前溪水權登記量由台灣自來水公司占 11%，致農田水利會掌握水量降至 90% 以下，餘 6 水系農田水利會皆占全水系水權登記量約 90% 以上（不含水庫壩堰）。

水庫壩堰水權課題

● 水權登記量未隨水庫壩堰實際庫容而有調整

水庫壩堰庫容及調節能力會隨水文情勢變化與水庫淤積而漸趨疲弱。例如石門水庫容量已剩 67%，倘依每年持續減少 1% 庫容推估，20 年後將無法調節現有水權人之需用水量。另外，目前水庫壩堰水權（含增闢水源）124.7 億立方公尺，約佔各水系地面水水權之 54%。其中除部分有重複登記之問題，尚有登記「逐年平均量」為水權量之情況。

● 水權引水地點登記爭議

臺灣的水庫壩堰隨著時代的演進及區域穩定供水調度需求，各種水利設施間之運用與調配已愈趨精細複雜。加以每座水利設施之定案規劃，各自內含不同歷史背景因素，以致水權登記方式均不盡相同；此外，近年幾座水庫水權展限時，即出現登記位置之爭議，例如寶山水庫與寶二水庫、烏山頭水庫與曾文水庫。綜上，為符合水利法規定引取水資源均需登記水權之精神，水庫壩堰之水權登記方式須重新檢討。

農業用水水權課題

● 現況水權登記內容與灌溉計畫或耕作制度無法相符

農業灌溉用水水權有其複雜的歷史演進歷程，囿於

臺灣農民自主性灌溉之特性，雖有灌溉計畫或耕作制度之擬定，然因農民自主選擇灌溉時間與作物類別，以致難以追蹤、掌握灌溉範圍與內容，造成水權登記量與灌溉計畫用水量不相符之情況，特別是水旱田混植灌區之配水規劃，用水量更易受旱田發生區位與面積之影響；此外，目前各水利會所提送之灌溉用水範圍，絕大多數係以水稻作為作物種類，與農委會備查之灌溉計畫及耕作制度並不相同。另水利署核算水權水量時，亦未考量耕作制度，係以全年供水之情況估算其需用水量。

● 用水範圍爭議問題

隨著水權管理資訊系統工具之發展與制度之健全化，水利署特別開發用水範圍管理系統，介接地政單位土地管理系統，針對申請人申請之用水標的別與地段地號之土地容許使用類別進行自動勾稽作業，然對於各個農田水利會轄管灌區而言，因各筆土地數量且因範圍內土地因灌溉面積改變或作物變更，以致於水權展限登記時進行水源別與用水量之重新覈實，水利會為維護既有水權，就部分遭核減水權量之案件提出訴願及行政訴訟。

用水紀錄取得及查核問題

水利法第 39 條規定：「水權人應在取水地點裝置量水設備，並將全年之逐月用水情形、實用水量，填具用水紀錄表報查。前項設備及用水情形，主管機關得隨時派員檢查。」目前除位於室內如家用及公共給水、工業用水等易於建築物內部裝置水錶外，農業用水包括灌溉、養殖、畜牧等事業範圍位於戶外，則較難裝置量水設備，造成難以記錄其使用水量。此外，已裝設量水設備者亦因缺乏追蹤機制，不易查核用水現況。

解決對策

針對上述當前水權登記所面臨課題探討，茲從制度面及技術面提出健全水權管理執行策略如下：

■ 精進水權水量核算技術

根據最新水文觀測資料，重新率定並檢討全台河川水系水文分析超越機率合理性，精進可核發水資源量之核算技術；重新檢討農業及工業用水各核算因子及計算公式，據以核算事業所需用水量，以符合水利法第 17 條事業所必須為限規定。

■ 落實用水紀錄填報及後續查核作業

優先針對大用水戶（如水公司、水利會及工業

區等）裝置量水設備，進行用水紀錄填報及稽核，再逐步推展至其他水權人；修法明訂不裝置量水設備罰則，逐步落實用水紀錄。

■ 逐步改善水權登記量超額核發問題

修正現行水利法施行細則第 15 條規定，明訂本施行細則修正發布時，各水系水權超額核者，主管機關應於十年內，於各水權展限登記時依超核比例調整之。

■ 研訂水庫壩堰之水權登記原則

修正水利法施行細則第 15 條，將攔蓄入流量、有效庫容及實際供水能力等因素納入考量，訂定水庫壩堰之水權登記量核算原則；為利水資源有效利用及符合水利法第 53 及 55 條精神，檢討水庫壩堰之水權登記方式。

■ 漸進式推動水權水量交易機制

- (1) 推動供水事業：(a) 於現行水利法規範下，透過於水權狀「其他應行記載事項」欄增列註記、由經濟部行文農委會轉請農田水利會協助辦理供水事業（水利法第 22 條及農田水利會組織通則第 10 條）及現行用水計畫書審查機制審查供水事業等彈性做法，主管機關依循現行行政作業或規範即可於過渡時期據以驅動現有水權人節約用水並有效管理。(b) 後續再由農委會修正農田水利會組織通則第 10 條規定，使農田水利會取得多元供水事業之法源，同時由經濟部修正水利法第 22 條規定，鼓勵各農田水利會改善其取水、用水方法或設備，將節餘水量轉供其他標的使用，並依法辦理水權變更及取得登記，以符法制。
- (2) 推動水量交易：先行逐年辦理水量交易制度之建構，俾能順利推動水量交易，以促進水資源之有效利用。
- (3) 推動水權交易：涉及研修整體水權登記制度及現有水權人與非水權人間之利益，建議檢討推動短、中期策略之執行情形後，並通盤考量國內法制環境與水資源利用背景，據以審慎規劃可行之推動機制。

■ 研議開徵水權費

- (1) 水利法第 84 條已明訂水權費之徵收法源，水利署已於 93 至 96 年度完成水權費開徵行政作業及政策評估等相關研究工作，並已擬訂水利法及其施行細則建議修正條文、「水權費徵收辦法」、「水權費收支保管

及運用辦法」、「水權費費率審議委員會組織規程」及「水權費基金管理委員會組織規程」等法規。

- (2) 區分引用水源、用水標的，分級訂定水權費費率。
- (3) 落實使用者付費、以價制量原則。

短中長期策略規劃

前述解決對策，依照執行之優先順序規劃短、中、長期策略，另依策略特性分成制度面、法規面及執行面等三面向探討，各面向涵蓋議題如下。

■ 制度面


- (1) 定期檢討事業所需水量計算標準（含環境或生態用水）。
- (2) 研討水庫壩堰水權登記原則。
- (3) 落實水資源供給面管理（各水系水權及臨時使用權核發標準）。

■ 法規面：研修水利法及施行細則

■ 執行面

- (1) 落實水權人填具用水紀錄表報查。
- (2) 推動水權費徵收。
- (3) 推動地面水水權超額核發水系調減。

結語

台灣當前推動健全水權管理首要關鍵為推動農田水利會發展多元供水事業。水利署規劃推動之具體作為為修正水利法第 22 條並配合農田水利會組織通則第 10 條修正，賦予水利會多角化經營及農業用水轉供其他標的使用之法源，未來水利會亦得擔任民生或工業用水之水權人。惟該修正條文因複雜的多重因素考量下，未能納入行政院核定之水利法修正案，送請立法院審議。後續水利署仍將持續加強溝通與說明，俾讓該法條修正能早日完成立法，讓活化水資源利用得以實現，進而實踐健全水權管理。 

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

健全國家水資源帳

江明郎／經濟部水利署水利規劃試驗所所長

前言

行政院國家發展委員會於去(103)年12月提出「智慧國土」推動構想，期以資通訊技術(ICT)提升政府治理效能及資源有效利用；經濟部水利署因應今年旱象發展，於3月提出「建構智慧管理的水資源政策」，以水資源的智慧管理呼應「智慧國土」，揭櫫了我國水資源管理時代的來臨。

管理靠數據，水資源管理更應如此。

長期以來我國重開發、輕管理的水資源政策，在隨著可建水庫越來越少、既有水庫淤積越來越嚴重、及產業用水需求越來越高的情況下，以水庫建設解決用水問題的作法幾已走到盡頭，此時思維由開發轉向管理，乃是情勢的必然，只是政策長期輕管理的結果，導致目前管理制度鬆散與關鍵數據殘缺不全或錯誤，欲依此遂行「智慧管理」，恐怕過於樂觀。

「智慧管理」不是口號，是紮紮實實的硬底子工作，是未來水資源必走之路；健全國家水資源帳，則是進入水資源智慧管理的基本功。欲建構完整可靠的國家水資源帳，首先須誠實面對現況的不足與不夠準確，下定決心作改變，以使後續工作可以務實展開。

現階段水資源統計問題

台灣地區各標的用水量，自民國80年代起始有較完整的「估算」，但由於缺乏計量設備與統計機制，又因供水壓力不大，對水量準確度要求不高，用水量估算

乃因陋就簡，實際稱不上「統計」。其估算方式為：農業用水以漁業署、水利會聯合會、台糖公司所提供者為準，生活用水則以水公司、北水處之資料為依據，工業用水則以工廠面積乘以經濟部水資會於民國72年所擬訂之二位碼行業別單位面積用水量求得，至於農民或工廠之自行取水量(多為地下水)，因無任何單位提供，一概不予納入。依此「統計」結果年用水總量為168~189億噸，(如表1)所示

表1 水資源供需概況
Table 1 Water Resources Demand and Supply
單位：億立方公尺
Unit: 10⁸M³

年 別 Year	年總供水量 Total Annual Consumption				年總用水量 Total Annual Consumption			
	總計 Total	地面水 Surface Water	地下水 Ground Water	其他 Others	總計 Total	農業用水量 Agriculture Consumption	生活用水量 Domestic Consumption	工業用水量 Industrial Consumption
民國 80 年 1991	176.75	...	...	...	176.75	135.54	24.93	16.28
民國 81 年 1992	178.39	...	...	...	178.39	135.02	26.03	17.34
民國 82 年 1993	171.06	...	...	...	171.06	126.51	27.71	16.84
民國 83 年 1994	175.96	...	...	...	175.96	131.75	28.20	16.01
民國 84 年 1995	189.19	...	...	...	189.19	145.46	27.47	16.26
民國 85 年 1996	181.23	...	...	...	181.23	134.97	28.61	17.65
民國 86 年 1997	180.34	...	...	...	180.34	135.07	29.13	16.14
民國 87 年 1998	168.82	...	...	...	168.82	122.55	29.25	17.02
民國 88 年 1999	168.71	...	...	...	168.71	120.52	30.96	17.23
民國 89 年 2000	178.20	121.46	56.74	...	178.20	123.17	36.33	18.70
民國 90 年 2001	184.86	129.98	54.88	...	184.86	130.12	37.34	17.40
民國 91 年 2002	187.01	132.64	54.37	...	187.01	134.10	35.25	17.66
民國 92 年 2003	176.01	122.19	53.82	...	176.01	124.34	35.59	16.08
民國 93 年 2004	177.90	122.47	55.43	...	177.90	126.04	35.32	16.54
民國 94 年 2005	179.58	124.29	55.29	...	179.58	128.81	35.32	15.44
民國 95 年 2006	174.12	118.95	55.16	0.00	174.12	122.38	35.98	15.75
民國 96 年 2007	185.77	127.42	58.34	0.00	185.77	133.59	35.73	16.44
民國 97 年 2008	179.85	121.52	58.32	0.01	179.85	129.60	33.57	16.68
民國 98 年 2009	180.92	122.75	58.16	0.01	180.92	131.70	33.70	15.51
民國 99 年 2010	170.72	113.35	57.36	0.01	170.72	122.05	32.64	16.03
民國 100 年 2011	172.25	115.01	57.15	0.08	172.25	124.35	32.38	15.52
民國 101 年 2012	173.17	116.28	56.81	0.08	173.17	125.14	31.93	16.10
臺灣省及直轄市 Taiwan Prov., Municipal Governments	173.10	116.25	56.78	0.07	173.10	125.14	31.86	16.10
福建省 Fuchien Prov.	0.08	0.03	0.04	0.01	0.08	-	0.08	-

資料來源：經濟部水利署，101年水利統計

前述用水量統計方式 20 多年來一直沒變，隨時間越久、社會對用水量之需求越高，該數據之可信度不足、甚或自相矛盾之情形愈發凸顯。另該水量起初並無區分地面水與地下水，直接以總用水量為總供水量，直至 89 年後才「勉強」區隔出地下水。謂其「勉強」，係因其算法以假定之抽水量、天然降雨量、地下水位觀測值與水文地質參數，以數值模式模擬推估，並未經實際用水量回饋與驗證，所推估年總地下水使用量約 57 億噸。

表 1、2 為經濟部水利署出版的 101 年水利統計內有關水資源統計之官方資料，也是政府對外簡報描述台灣水資源概況經常被引用者。由於用水統計方法因陋就簡與粗枝大葉，其衍生的問題與矛盾越來越大，原最足以描述社會變化或國家經濟發展的水資源供需統計值，恐已淪為政府統計數據中最不可靠者，如逕引用而與他國比較，恐誤導認知或錯誤決策。茲分析如下：

地下水用量是統計上不合理的根源

台灣水資源供水量於民國 89 年後明列地下水約 57

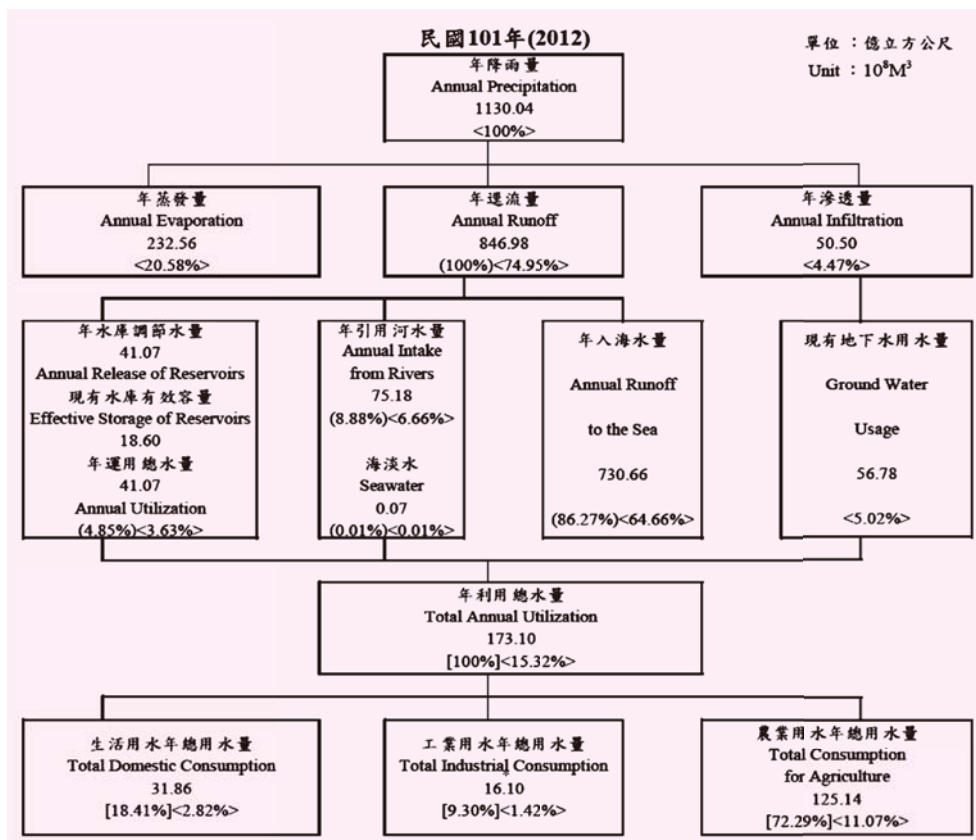
億噸，但總供水量依然維持約 178 億噸，與未區分地下水時並無區別。既然供應端明確了地下水使用總量，必需回答的問題是：需求端究竟如何用掉這 57 億噸？

以表 2 之 101 年用水資料為例，依自來水公司及北水處年報，全台自來水年配水總量 40 億噸中約僅 5 億噸為地下水，若按自來水中生活用水與工業用水之比例類推分攤，5 億噸地下水中生活用水約 4 億噸、工業用水 1 億噸。另以二位碼行業別單位面積用水量求得之工業用水總量 16.1 億噸中，扣除自來水系統供應的 8.1 億噸，餘 8 億噸推估為「自行取水」，假設其中一半（約 4 億噸）取自地下，則工業共使用 5 億噸地下水。另依農田水利會聯合會出版之「農田水利會資料輯」，水利會 101 年取用水 114.1 億噸中地下水僅約 6 億噸，加上漁業署推估養殖用水使用地下水量 10 億噸，則農業用水使用地下水量共約 16 億噸。以上生活用水 4 億噸、工業用水 5 億噸、農業用水 16 億噸，合計各標的之地下水總用量約 25 億噸。

如果前述各單位所提供或推估之數據可信，以數值模式模擬推估所得之年地下水使用量 57 億噸中，仍有 32 億噸不在統計值內，也就是農民私抽地下水量達 32 億噸。那麼表 1 所示 101 年度總用水量不應僅是 173.1 億噸，而是 205.1 億噸（如表 3）；但 205.1 億噸顯然未必合理，沒有任何證據顯示全台地下水總用量高達 57 億噸：從違法水井集中於彰雲嘉屏少數幾個縣，有限的耕作面積不可能有如此龐大一期作地下水需求，其水文地質條件亦不足以承受如此巨量的抽水行為。

地下水使用量 57 億噸，是目前我國水資源帳最大不確定數，而與可能之用水需求兜不攏，也是水資源統計的大矛盾所在。

表 2 水資源運用實況
Table 2 Utilization of Water Resources



* 工業用水中自來水供應者為 8.1 億 m³。
資料來源：經濟部水利署，101 年水利統計

農業不計私抽地下水量無法說明農業用水實況

農業用水主要為農田灌溉，表 1、表 2 中農田灌溉則以各水利會取水量之總和為準，並不合農民（無論是否屬水利會灌區會員）自行取水量（大部分為地下水），因此造成農業用水總量嚴重低估。若前述私抽地下水量 32 億噸存在，其大部分應屬農田灌溉用水，則我國生產糧食之農田用水量非僅是水利會所供水的 114.1 億噸，而應上修至 146.1 億噸，因此農業用水占全國總用水量比例將從目前的 72.3% 上修為 76.6%，如表 3。

表 1、表 2 中之農業用水無法說明農業用水實況，根源在於未納入農民自行取水之地下水量，農業用水占總用水量比例恐亦因此被低估。

工業用水不合理推估嚴重乖離事實

工業用水總量以廠區面積乘以二位碼行業別單位面積基準用水量求得，有面積即有用水，完全不考量是否有工廠實際運作生產，亦不考慮相同二位碼下不同行業別間用水差異甚大、及 20 多年來產業巨幅變化之情形，因此造就了表 1 中工業用水量 20 多年來不增反降之不合理現象，當然也無法據以解釋我國 20 多年來傳統產業的式微及電子產業的爆量發展。

工業用水量以廠區面積乘以二位碼行業別單位面積基準用水量之不合理可用表 4 作說明：

產業發展最重要兩要素為水與電，根據經濟部能源局網站能源統計年報，「電機電子業」用電 15 年來成長超過三倍，從 1998 年的 94.9 億度成長為 2012 年的 398.2 億度，其占全國工業總用電比例則從 13% 成長為 31%。用電成長直接呼應了產業結構變化，然用水統計卻完全不是這回事。根據經濟部水利署網站，僅 1,340 家（占總工廠家數 81,000 不到 2%）的「紙漿、紙及紙製品製造業」夕陽工業，2012 年總用水量

竟占工業用水總量的 15.5%，僅略遜於「化學材料製造業」（石化業）的 19.2%，卻幾乎是主力產業「電機電子業」總用水量的 3 倍！更奇怪的是「電機電子業」15 年來用水量竟是負成長，從 1998 年的 6.2% 下降為 2012 年的 5.6%，此與其用電量的高速成長背道而馳，完全無法反映高耗水的半導體與面板製造業的高度成長，對我國自來水供水壓力的重大「貢獻」。這一切的不合理，源於工業用水推估的便行事，及「堅持」採用水資會於民國 72 年所擬之二位碼行業別單位面積用水量所致。

生活用水未確切分離工業用水致嚴重高估

由於生活用水主要來自自來水，而自來水系統亦供應工業用水，全台約 8.1 萬家登記有案的工廠，於自來水公司用戶登記屬工業用水者卻僅 3.6 萬戶，即有 4.5 萬家工廠之用水，在水公司用戶資料中與一般個別

表 3 總用水量是否計入私抽地下水比較（101 年）

	不含私抽地下水			含私抽地下水		
	標的用水量 (億噸/年)	地下水 (億噸/年)	標的用水 占總用水比例	標的用水量 (億噸/年)	地下水 (億噸/年)	標的用水 占總用水比例
農業用水	125.1 (灌溉 114.1)	16.0 (註 1) (灌溉 6.0)	72.3%	157.1 (灌溉 146.1)	48.0 (註 4) (灌溉 38.0)	76.6%
生活用水	31.9 (自來水 31.9)	4.0 (註 2) (自來水 4.0)	18.4%	31.9 (自來水 31.9)	4.0 (自來水 4.0)	15.6%
工業用水	16.1 (自來水 8.1)	5.0 (註 3) (自來水 1.0)	9.3%	16.1 (自來水 8.1)	5.0 (自來水 1.0)	7.8%
合計	173.1	25.0	100.0%	205.1	57.0	100.0%

- 註：1. 農業用地下水含水利會抽水 6 億、漁業署推估養殖用水 10 億噸。
 2. 自來水總供水量 40 億噸（含地下水 5 億噸），其中生活用水 31.9、工業用水 8.1 億噸，自來水之地下水 5 億噸依比例生活用水 4 億噸、工業用水 1 億噸。
 3. 工業用水由自來水系統供應 8.1 億噸（含地下水 1 億噸），自行取水量 8 億噸中假定一半取自地下（約 4 億噸），則地下水共使用 5 億噸。
 4. 推估農田灌溉私抽地下水約 32 億噸。

表 4 二位碼行業別用水量與用電量比較

二位碼行業別	工業用水量統計			工業用電量統計		
	用水量 (百萬噸/年)	工業總用水量 (百萬噸/年)	占工業 總用水量比	用電量 (百萬度/年)	工業總用電量 (百萬度/年)	占工業 總用電量比
15 紙漿、紙及紙製品製造業	274.8 (1998)	1,701.9	16.5%	3,424.8 (1998)	71,931.0	4.8%
	249.7 (2012)	1,610.0	15.5%	3,424.5 (2012)	128,412.2	2.7%
18 化學材料製造業	221.8 (1998)	1,701.9	13.0%	13,490.7 (1998)	71,931.0	19.0%
	308.8 (2012)	1,610.0	19.2%	27,242.0 (2012)	128,412.2	21.2%
電機電子業 (註)	104.9 (1998)	1,701.9	6.2%	9,486.0 (1998)	71,931.0	13.2%
	90.4 (2012)	1,610.0	5.6%	39,817.2 (2012)	128,412.2	31.0%

- 註：1. 用電資料來源為經濟部能源局網站「能源統計年報」之電力消費統計表。
 2. 電力消費統計表中之「電機電子業」，行業內容包括二位碼行業別中的「26 電子零組件製造業」、「27 電腦電子產品及光學製品製造業」及「28 電力設備製造業」。

家戶同屬於「一般用水」，即自來水系統所供應工業用水量有低估之嫌。

另依「中華民國行業標準分類（第9次修訂）」，除有工廠登記證的「C 製造業」屬工業外，「B 礦業及土石採取業」、「D 電力及燃氣供應業」、「E 用水供應及污染整治業」、「F 營造業」亦均屬工業，其用水量亦混在生活用水中，也膨脹了國人每人每日用水量。再者，觀光旅館、遊樂區等純商業活動用水，是否應如工業用水從自來水系統供水量中分離，俾精準描述國人「生活用水」實情，值得進一步思考。

健全水資源帳具體措施與建議

標的用水之精準統計從自來水水權管理正規化做起

水利法並無「生活用水」，但該法第18條有「用水標的」之規定，屬消耗性用水標的者計有「家用及公共給水」、「農業用水」、「工業用水」、「其他用途」等4種。其中「家用及公共給水」，除少數個別家戶或簡易自來水用戶外，其水權幾乎全部登記於自來水事業單位。至於「工業用水」水權，主要登記於個別工廠，自來水事業單位之水權幾乎全部為「家用及公共給水」，甚少有登記「工業用水」者；近年來水利主管機關有感於工業用水與生活用水區隔之必要（依水利法用水標的優先性不同），逐漸要求自來水事業單位，自其所有之「家用及公共給水」水權中區分出「工業用水」，惟其分法仍過於粗略，且缺相關規範，可信度有限且仍未能明確區隔。

目前政府對外宣稱的自來供應工業用水量，係依自來水公司「台灣自來水事業統計年報」之統計值，北水處則無工業用水之分類。自來水公司之用戶計分：「一般用戶」（含商業）、「工業」、「船舶」、「機關及其他」等4大類，然水公司之工業用水戶之分類純粹公司營運考量，欠缺法令依據與嚴謹度。

欲精準統計各標的的用水，首先應對自來水系統所供應的工業用水與生活用水作明確區隔，即目前自來水事業單位籠統的「家用及公共給水」水權，應依實區隔出「工業用水」；依「中華民國行業標準分類（第9次修訂）」，凡屬礦業及土石採取業、製造業、電力及燃氣供應業、用水供應及汙染整治業、營造業者，其自來水水權亦應登記為「工業用水」。

另依經濟部統計處網站資料，全台現有工商業登記家數計約64.1萬家（含工業與商業），水公司640萬用水戶中屬工業用戶者約3.6萬家、商業者計約7.6萬家，北水處160萬用水戶中屬營業用水者14.1萬家，合計全台工商用戶共約25.3萬家，不到登記工商總家數之半。由於工商均屬營利事業，不像機關、學校等具「公共」性質，其水權自不宜全數保留於「家用及公共給水」中，以免過度膨脹了「生活用水」而扭曲後續相關統計分析。

現行自來水事業之標的水權量與其標的供水統計量有明顯落差，而標的供水統計量又與實際用戶供水量差距大，衍生後續統計分析之諸多不合理。以「每人每日用水量（lpcd）」為例，台北市為335公升，台北市境內雖無工業大戶，但商業用水比例甚高（依北水處年報商業用水占總用水高達21%以上），將高額商業用水量全數塞給台北市民，稱市民浪費水，實在不公平。若據以跟其他國家或城市比較，更恐誤導。

如欲將自來水「家用及公共給水」水權中之工業與商業全數分離，恐面臨以下二難題，建議之解決方案一併說明如下：

- 水利法中並無「商業用水」標的，分離出來的商業用水可改列於「其他用途」，如此可免高難度的修法。
- 許多家庭式商家或工廠，其用水與一般家戶無異，逕行分離恐亦扣掉該家戶之生活用水。此問題之解決，可設定一定用水量以上之商業用戶方計入商業用水統計，否則仍為生活用水；工業用水部分亦如是。前述「一定用水量」可定為2度/日；依水公司及北水處資料，全台約800萬自來水用戶（不含工業），在年原水總供水量32億噸下，每戶平均原水用水量為1.1度/日，若換算成清水約0.8度/日，故定2度/日/戶之自來水用量作為工商業用戶用水量是否計入生活用水或工商業用水之判準應屬合理。

以上係在既有法令基礎不修法情況下，訂定「水權登記審查作業規定」，要求自來水事業單位配合辦理即可；自來水事業單位所擁有之水權，將由單一「家用及公共給水」，增加「工業用水」及「其他用途」二水權，後續經由自來水用戶資料及準確水表紀錄之勾稽，可掌握真正生活用水量、及工商業使用自來水量，一方面落實水利法水權管理之正規化，另一方面可遂行數據加值分析與管理應用。

建立工業用水申報與稽核制度

工業用水成長量大，為自來水系統供水壓力之主要來源，亦為國家經濟發展之重要指標，掌握實際工業用水量，為水資源管理政策擬訂之重要資訊。

我國水利法訂定於民國 32 年，涉及水資源之條文甚少。為因應工業成長用水分配與管制需要，經濟部水利署於民國 92 年訂有「用水計畫書審查作業要點」，規定每日用水量達 300 立方公尺開發行為應提出用水計畫書送水利署審查，並訂有二位碼及四位碼行業別單位面積用水量參考表，以為開發行為用水計畫書用水量審查參據。

目前工業用水統計最大問題在於：逕以審查用水計畫書的行業別單位面積用水量作為實際用水量估算依據。欲改善此問題，目前作法必須徹底丟棄，第一步當然是前述自來水水權管理正規化、及自來水系統用戶資料與水表紀錄之連結勾稽統計，然這只是使用自來水部分，非自來水供應部分仍無從得知，為能掌握工業用水全貌，建立工業用水申報與稽查制度有其急迫性。

根據表 2，民國 101 年工業用水使用量為 16.1 億噸（依二位碼行業別單位面積基準用水量推估），但水公司年報工業用水配水量僅約 8.1 億噸，因此推估「自行取水」為 8 億噸。由於工業用水需求有如生活用水，供應必須高度穩定，高達 8 億噸（約 50%）不穩定的自行取水有違常理，但若忽略不計恐更不切實際。以雲林離島式基礎工業區為例，其年用水量超過 1 億噸係由集集攔河堰直接供應，屬於「自行取水」，由自來水系統供應者每天不到 1,000 噸（年計約 35 萬噸），其自行取水量占總用水 99% 以上，當然不能忽略。其他非經由自來水系統供水之工業用水（如向水利會調水者）究竟有多少，申報制度正可補齊其缺口。

工業用水申報制度有賴電腦網路系統之建立，過去做不到的，現今技術已不是問題。工業用水之申報，內容應包括：

- 自來水供水量及其水號。
- 自有水權之取水量及其水權狀態（含地面水及地下水）。
- 非自有水權之取水量及其來源資訊（如向水利會購水者，該會名稱及取水點等）。

申報制度只是起步，稽核制度的建立與落實才是真功夫。如何稽核，可由地方政府工廠登記證之用水量填報要求開始，接下來為自來水接水之用戶資料登載、廠商用水量定期申報、自來水用戶用水資料定期勾稽等。

經由工業用水申報與稽核，除真實勾勒工業用水全貌外，並可據以作行業別用水研究分析，回饋修正用水計畫書審查所訂行業別單位面積用水量參考表，俾用水計畫書審查更務實合理。

合理調整灌溉用水水權與建立查核管理機制

依表 3，農業用水占總用水量 70% 以上，其中 90% 以上為農田灌溉用水，若說農田灌溉用水為全國水資源帳最關鍵角色一點也不為過。目前水利署之用水統計（表 1、2），農田灌溉用水量以水利會取水量為準，此存在以下兩大盲點，造成水資源總量之極大不確定，如下：

1. 水利會帳面取水量難以代表灌區真正用水：

現行各水利會取水口，除由水庫攔河堰供水、以閘門開度控制取水量者外，幾乎均為無人駐守、及無量水設備，其實際取水量究竟多少只有天知道，至於所取水量是否灌區實際所需，亦令人存疑。根據農委會「農業統計要覽」，台灣主要農產品生產面積從民國 80 年的 111.6 萬公頃減少到 102 年的 68.6 萬公頃（如表 5），減少 38.5%。但依表 2 水利署的農業用水統計值，從 135 億噸下降為 125 億噸（其中水利會取水量為 108 億噸），僅減少 7.4%，與主要農產品生產面積減少的幅度完全不成比例（若把農民自行取水量納入，下降幅度恐怕更低），究竟是水利會灌溉效率逐年下降、或水利會只顧取水而與用水需求脫節，不得而知。

2. 農民自行取水量未納入：

農民自行取水量主要為地下水，區位集中於西南

表 5 歷年主要農產品種植面積

作物別	80 年	85 年	90 年	95 年	99 年	100 年	102 年
	(1991)	(1996)	(2001)	(2006)	(2010)	(2011)	(2013)
稻米	428 938	347 989	332 183	263 194	243 881	254 292	270 264
雜糧	166 486	142 442	72 060	60 709	54 402	58 511	57 466
特用作物	87 862	75 888	52 351	28 368	24 700	23 587	21 104
蔬菜	192 881	178 521	173 673	157 183	151 572	149 034	146 588
果品	226 143	229 972	222 413	217 174	199 658	193 806	187 934
花卉	6 629	9 911	10 866	13 358	13 175	12 670	13 268
合計(公頃)	1,116,485	988,813	867,799	740,862	688,091	692,602	686,624

資料來源：行政院農業委員會農糧署

平原的各水利會灌區，取水時間則以枯水期水稻一期作期間為主。據水利署統計，全台無水權水井約 40 萬口，扣除工廠與魚塢用水井，估計超過 36 萬口為農田灌溉水井，該水井對西南平原之農業生產發達功不可沒（但也帶來嚴重地層下陷），然其抽水量卻不在農田水利會聯合會之「農田水利會資料輯」統計值內，當然也不在表 1 水利署農業用水統計值內。

前述問題存在已久，解決方法無他，就是合理調整農田灌溉用水水權與建立查核管理機制，如下：

1. 務實檢討調整農田水利會灌溉用水水權：

目前全台 17 個水利會有效水權量達 208 億噸，多年平均取水量卻僅約 108 億噸，水權量遠超過取用水量；即便取水量僅約水權量之半，但多年來未隨耕地面積減少而減少，仍顯得用水過於浪費等，在在顯示係由於灌溉用水水權核給量過於寬鬆所致。為奠定全國水資源帳基礎，並符水利法第 17 條所稱「水權 … 以事業所必需者為限」之規定，避免水權規定與實際用水關係嚴重脫節，占水權總量比例最大的水利會灌溉水權，亟待大幅檢討改正。

2. 有條件輔導農民私井合法化：

數十萬口農民私井不僅取用國家資源未經許可，並導致地層下陷環境災害（當然其他標的之抽水井亦有貢獻），而由於各井均屬農田生產所需，欲兼顧農民生活與環境承载力，有條件輔導其合法化及後續強制管理，應為務實且必行之道。前述所謂條件，就是容許旱作、不許水田；所謂合法化，就是政府只核給旱作所需之水權。農民私井經輔導合法化並納管後，其抽水量即可併入農業用水統計，惟如何計量，最直接有效的自然是裝置智慧水錶（水錶有失竊風險），或者規定使用專用電表（由電量反推抽水量程序繁瑣），或者依作物需水量及實際種植面積扣除有效降雨量反推。

3. 建立農田灌溉用水查核管理機制：

水利法第 39 條規定：「水權人應在取水地點裝置量水設備，並將全年之逐月用水情形、實用水量，填具用水紀錄表報查。前項設備及用水情形，主管機關得隨時派員檢查。」

農田灌溉用水水權，無論是水利會或個別農民私井輔導合法化後核給者，均只是可取水量上限，不等於實際用水量。年總量約 108 億噸的水利會取水量，若其值之產出係由水利會以其「經驗」自由心證填報或以「計畫水量」代之，則國家水資源帳將造成誤導之後果。

要真正掌握農田實際用水情形，主管機關只要依法行政、堅持落實水利法第 39 條規定即可；目前農業用水取水行為與取水量之無管理狀態，亟需導正。

結語

台灣缺天然資源，唯一不缺的就是水。這是老天對我們特別的眷顧，而這樣的眷顧卻逐漸的走到了極限。

由於不缺水，長期以來水的量的管理一直被忽略，以至於迄今僅有占總用水量不到四分之一的自來水量相對可靠，若要進一步用水分析，就會發現資料不足或前後矛盾，也因此面對雲彰幾十年沉痾的地層下陷，依然提不出合理的水量資訊，所謂地層下陷防治，常顯得隔靴搔癢與流於道德勸說，效果有限，遑論需要更精準數據、涉及國家發展策略、分配正義與環境承载力的水資源總量管制。

台灣整體來說不缺水，係指平均狀況而言，但因時空分布不均及不利的地形因素，缺水陰影一直如影隨形存在，在氣候變遷影響下，情況將更形惡化。

面對不確定的水文條件，及逐漸惡化的蓄水環境，如何管理風險以降低缺水衝擊、合理分配以實現公平正義、有效管制以維護保育國土，首先必須掌握詳細水資訊，即建立完整可靠的國家水資源帳。欲建立完整可靠的國家水資源帳，須從健全水權管理做起；而水權的健全管理，則應從自來水水權正規化管理、及農業用水水權合理檢討調整開始。有了健全水權管理，搭配以工業用水申報稽核制度、及農業用水量水與查核機制，水量的準確掌握庶幾可達，現況問題與對策、未來風險與機會，將可客觀呈現，再經由理性討論以形成共識，則水資源以供定需、總量管制之智慧管理政策當如順水推舟、水到渠成。

參考文獻

1. 經濟部水利署，2013，中華民國 101 年水利統計。
2. 農田水利會聯合會，2012，中華民國 100 年農田水利會資料輯。
3. 臺北市自來水事業處，2011，中華民國 99 年臺北自來水事業統計年報。
4. 經濟部水利署網站「各項用水統計資料庫」。
5. 經濟部能源局網站「能源統計年報」之電力消費統計表。
6. 行政院農業委員會網站「農業統計要覽」之主要農產品種植面積。
7. 台灣自來水公司網站「台灣自來水事業統計年報」。



台灣水資源需求現況與管理策略工具

周嫦娥／台灣經濟研究院顧問

前言

台灣地處亞熱帶，雨量豐沛，年降雨量高達 2,500 公釐以上，常給人水資源充沛的錯覺。然而，事實上我國的降雨儲存不易，可供取用的水量非常少，台灣成為極度缺水的區域。傳統認為用水需求將因經濟成長和人口增加而持續成長，水資源供給則因受天然條件的限制而無法任意擴張。因此，過去政府多偏重水資源供給面的措施與規劃，試圖以增加供給來填補供需間的落差。

由歷年水資源相關的主要綱領計畫或政策規劃來看，政府多預測我國各用水標的之用水量將持續成長。為滿足用水需求的成長，因而有各種水資源開發計畫或措施，加強水資源的供給與運用。然而，台灣用水需求是否如政府所預測的一樣將持續成長？即使未來經濟持續成長，是否能透過需求面的管理來提升用水效率進而

降低用水需求？基於此，本文主要目的在於利用歷史資料深入探討台灣水資源需求趨勢，嘗試解析影響不同用水標的之影響因子，結果發現 10 多年來各用水標的之用水趨勢與過去 40 年的認知存有差異。

台灣水資源需求雖有減緩的情形，但在氣候變遷等諸多外在環境的影響下，台灣水資源供給面臨更嚴峻的挑戰。因此，本文根據台灣水資源需求和供給的現況，提出水資源需求面管理策略工具的建議。

台灣之水資源供給

台灣水源主要為地面水和地下水，供給比例約為 2:1。地面水又分為河川水和水庫水，其供給受限於降雨量。台灣的降雨量不論在季節時間上或地理空間上的分配都極度不平均，加上地形因素造成河川短促流

表 1 歷年水資源運用情形統計

年度	降雨量		蒸發量		河道逕流量		入海量		水庫供水量		河川引水量		地下水超抽量		地下水抽用量		總供給量
	億噸	%	億噸	%	億噸	%	億噸	億噸	%	億噸	%	億噸	億噸	%	億噸		
1986	904	100	193	21.35	671	74.23	528	38	20.65	105	57.07	1	41	22.28	184		
1987	901	100	220	24.42	641	71.14	497	36	19.46	108	58.38	1	41	22.16	185		
1988	901	100	220	24.42	641	71.14	497	36	19.46	108	58.38	1	41	22.16	185		
1989	901	100	220	24.42	641	71.14	497	36	19.46	108	58.38	1	41	22.16	185		
1990	1,132	100	230	20.32	862	76.15	727	47	24.10	88	45.13	20	60	30.77	195		
1991	762	100	191	25.07	531	46.99	426	55	31.25	50	28.41	31	71	40.34	176		
1992	905	100	198	21.88	667	59.02	535	47	24.48	85	44.27	21	60	31.25	192		
1993	592	100	197	33.28	355	59.97	255	43	25.15	57	33.33	31	71	41.52	171		
1994	592	100	197	33.28	355	59.97	255	43	25.15	57	33.33	31	71	41.52	171		
1995	592	100	197	33.28	355	59.97	255	43	25.15	57	33.33	31	71	41.52	171		
1996	1,030	100	257	24.95	733	71.17	611	37	20.44	85	46.96	19	59	32.60	181		
1997	786	100	188	23.92	558	70.99	440	36	20.00	82	45.56	23	63	35.00	180		
1998	786	100	188	23.92	558	70.99	440	36	20.00	82	45.56	23	63	35.00	180		
1999	749	100	177	23.63	532	71.03	420	48	28.40	64	37.87	17	57	33.73	169		
2000	840	100	201	23.93	599	71.31	478	50	28.09	71	39.89	17	57	32.02	178		
2001	1,107.7	100	232.6	21.00	824.6	74.44	694.7	47.9	25.92	82	44.37	4.4	54.9	29.71	184.8		
2002	565.9	100	93.1	16.45	422.3	74.62	289.7	39.9	21.35	92.7	49.60	3.9	54.4	29.11	186.9		
2003	608	100	92.07	15.14	465.47	76.56	343.32	37.47	21.30	84.68	48.13	3.34	53.8	30.58	175.95		
2004	925.92	100	243.61	26.31	631.81	68.24	509.38	36.59	20.57	85.84	48.27	4.91	55.41	31.16	177.84		
2005	1,284.48	100	248.97	19.38	985.01	76.69	861.76	46.11	25.83	77.14	43.21	4.76	55.26	30.96	178.51		
2006	1,023.84	100	264.76	25.86	708.58	69.21	589.67	51.65	29.68	67.26	38.65	4.63	55.13	31.68	174.04		
2007	1,166.76	100	177.72	15.23	938.54	80.44	811.16	43.47	23.41	83.91	45.19	7.81	58.31	31.40	185.69		
2008	1,089	100	253.68	23.29	784.82	72.07	663.33	34.24	19.05	87.25	48.53	7.79	58.29	32.42	179.78		
2009	896.04	100	232.68	25.97	612.86	68.40	480.37	48.86	25.63	83.63	43.87	7.63	58.13	30.50	190.61		
2010	852.48	100	177.11	20.78	624.87	73.30	511.55	34.57	20.26	78.75	46.15	6.82	57.32	33.59	170.64		
2011	828	100	191.48	23.13	586.02	70.78	470.96	41.14	32.06	73.84	42.89	6.62	57.12	33.17	172.18		
2012	1,130.04	100	232.54	20.58	846.98	74.95	730.56	41.07	23.71	75.36	43.51	6.28	56.78	32.78	173.2		

註：1988、1989、1994、1995 和 1998 年末執行水資源運用調查，故沿用前一年度資料。

資料來源：(1) 歷年水利統計年報，經濟部水利署，1997~2013。(2) 歷年台灣省水利統計手冊，台灣省水利局，1987~1994。

急，河川水量保持不易。每年逕流入海量和蒸發量約占降雨量的 80%，可用水量遠低於世界平均水準。

台灣地區的降雨量多集中於 5 月至 10 月，此期間降雨量約占全年的 3/4，為豐水期；11 月至翌年 4 月降雨量僅占 1/4，為枯水期。豐枯水期的降雨量差距頗大，且愈往南部差異性愈顯著，南部地區枯水期之缺水成為一種常態性的問題。

為蓄豐濟枯，過去多以興建水庫、攔河堰等大型蓄水設施加強蓄水功能，但既有設施之蓄水量無法完全支應用水需求，河川末端也因水質污染不堪使用，地面水供給與用水需求間之缺口以地下水支應。由表 1 可知，台灣水源主要為河川直接引水，其次為水庫蓄水和地下水。若由 2001 年至 2012 年的平均值來看，河川引水量占總供給量的 45.2%，水庫供水量占 23.4%，地下水抽取量占 31.4%。比較地下水抽取量與地下水滲透量可知，每年地下水平均超抽量約為 5.74 億噸。

相較於台灣地區的水文條件，現有蓄水設施之抗旱依然能力不足，只要在豐水期水庫攔蓄不足，若再加上次年的春雨或梅雨不夠豐沛，則極易發生乾旱現象。近年來因全球氣候變遷，乾旱和洪泛發生的頻率增加，強度亦加劇，水資源供給的挑戰性愈來愈高。舉例來說，今（2015）年度面臨 67 年來最嚴重的乾旱，主因為 2014 年夏季無颱風侵台，秋冬降雨量又少，今年春雨亦不足。

台灣水資源供給面臨的主要課題如下：

● 可用地面水不足，豐枯水期水量差異大

因可利用之地面水量不足，蓄豐濟枯成為台灣水資源供給面管理的必要手段。過去多以興建水庫、水壩、攔河堰等方式蓄水，然因環境保護意識提升，傳統蓄水設施興建不易；又因台灣地質脆弱、集水區管理和水土保持未能落實，造成現有水庫淤積嚴重，水質優氧化，嚴重影響水庫供水的質與量。如何加強現有集水區與水庫管理，延長水庫壽命與蓄水容量，是水資源供給面管理之基本工作。

此外，由於科技不斷創新，海水淡化、雨水貯留、廢污水回收再利用等已成為技術上可行的新興水源提供方式。政府近幾年也積極推動新興水源的開發與利用，期使水源多元化，分散水資源供給壓力。然因觀念、法規、制度等種種限制，目前新興水源多停留在模廠的建置階段，尚未能全面推動。

● 地下水過度抽用，衝擊自然環境與產業發展

因地面水不足，約有 1/3 水源來自地下水，地下水長期超抽的結果造成地層下陷的國土安全問題。特別是

西南沿海地區因地層下陷經常發生洪泛淹溢、海水倒灌、土壤鹽化、公共建設及民宅損毀等災害。究其原因乃資源分配不當與產業發展失衡所致，也就是地面水不足，產業發展又以耗水的養殖漁業為主，以致地下水超抽更形嚴重。然而，多年來政府地層下陷防治工作多由技術與管制的角度推動，以致無法徹底解決問題。本文認為根本解決之道必需由整體性的國土規劃、資源適度配置，以及調整產業結構等層面加以改善。

● 氣候異常造成乾旱和洪泛頻率激增，增加穩定供水的困難度

氣候變遷已是全球性的現象，水資源受其影響更顯脆弱。氣候變遷改變降雨強度、時間和型態，而溫度上升增加蒸發散量，使可供利用的水資源量首當其衝地受到影響。由表 1 可看出，自 2000 年以來，台灣年降雨量的變動幅度加劇，降雨量最少為 2002 年的 566 億噸，最大為 2005 年的 1,285 億噸，二者相差 2 倍以上。其結果不論是乾旱或洪災，台灣的缺水風險皆大大提升，如何因應缺水風險亦將考驗水資源供給面的管理能力。

● 水權量超核發，增加乾旱時水源調配之困難度

根據水利署的水利統計（見表 2），2007 ~ 2012 年家用及公共給水、農業用水、工業用水等水權登記引水總量雖逐年降低，但和水資源供給量（見表 1）相較高出 1 倍至 2 倍以上，顯示水權超核發情形相當嚴重。水權超核發可能使擁有水權者無法取得核發的所有水量，或上游水權人取得核發的水量後可能使下游水權人無水可取。此種狀況在缺水時將更為嚴重，加上我國水利法對用水標的有優先順序的規定，增加乾旱時水資源調配的困難。

表 2 一般水權登記引用水量

單位：億噸

年度	家用及公共給水	農業用水	工業用水	其他用水	總計
2007	86.46	337.14	17.43	1.74	442.77
2008	80.80	325.93	17.78	1.88	426.39
2009	83.96	274.05	22.38	1.89	382.28
2010	50.84	266.58	25.14	1.95	344.51
2011	69.64	243.06	25.65	1.97	340.32
2012	64.40	238.55	25.58	2.37	330.90

資料來源：中華民國 102 年水利統計，表 46，經濟部水利署，2014 年。

台灣地區之水資源需求

水資源需求主要包括農業用水、生活用水、工業用水和環境用水。環境用水指的是維護環境生態體系並保持一定質與量所需的流川水量，亦即維持河川正常機能所需要的水量，通常以河川基流量表示。確保環境用水是先進國家水資源管理的一項重要工作，但執行上相當困難，主因是河川的不確定性和環境生態的區域差異

性，不易訂出一致的河川基流量標準。國內水利署將環境用水稱為保育用水，並參考日本經驗，將每 100 平方公里河川生態基流量定為 0.135 噸/秒。估計我國全年保育用水量約 15 億噸，豐水期河川流量足可供應，但枯水期需由蓄水設施調節提供約 4 億噸（水利署，2002）。

以下本文將聚焦於生活用水、農業用水和工業用水等主要用水標的，探討台灣水資源需求狀況。農業用水長久以來是台灣地區用水的最大宗，不過隨著經濟發展與產業結構的改變，農業用水占總用水量的比例呈現下降趨勢。1970 年代農業用水占總用水量的 85% 以上，1980 年代平均降為 81.96%，1990 年代降幅更大，平均為 74.06%，2000 年代平均僅占 71.39%。然而，2011 ~

表 3 台灣各用水標的之用水結構

單位：億噸，%

年度	總用水量	農業用水量	生活用水量	工業用水量
1975	166.99	147.14 (88.1)	6.73 (4.0)	13.12 (7.9)
1976	165.66	144.75 (87.4)	7.25 (4.4)	13.66 (8.3)
1977	167.67	145.34 (86.7)	8.09 (4.8)	14.24 (8.5)
1978	171.68	146.59 (85.4)	9.07 (5.3)	16.02 (9.3)
1979	167.27	140.73 (84.1)	9.87 (5.9)	16.67 (10.0)
1980	160.44	132.69 (82.7)	10.49 (6.5)	17.26 (10.8)
1981	188.43	159.10 (84.4)	14.66 (7.8)	14.67 (7.8)
1982	194.04	163.51 (84.3)	15.58 (8.0)	14.95 (7.7)
1983	190.89	159.32 (83.5)	16.43 (8.6)	15.14 (7.9)
1984	183.55	150.90 (82.2)	17.04 (9.3)	15.61 (8.5)
1985	184.02	150.13 (81.6)	18.25 (9.9)	15.64 (8.5)
1986	181.64	149.02 (82.0)	19.00 (10.5)	13.62 (7.5)
1987	182.42	148.26 (81.3)	20.06 (11.0)	14.10 (7.7)
1988	182.59	146.76 (80.4)	21.40 (11.7)	14.43 (7.9)
1989	187.12	149.74 (80.0)	22.64 (12.1)	14.74 (7.9)
1990	192.78	153.93 (79.9)	23.84 (12.4)	15.01 (7.8)
1991	176.73	135.53 (76.7)	24.93 (14.1)	16.28 (9.2)
1992	178.38	135.02 (75.7)	26.03 (14.6)	17.34 (9.7)
1993	171.06	126.51 (74.0)	27.71 (16.2)	16.84 (9.9)
1994	175.96	131.75 (74.9)	28.20 (16.0)	16.01 (9.1)
1995	188.36	144.64 (76.8)	27.46 (14.6)	16.26 (8.6)
1996	181.23	134.97 (74.5)	28.61 (15.8)	17.65 (9.7)
1997	180.34	135.07 (74.9)	29.13 (16.2)	16.14 (9.0)
1998	168.82	122.55 (72.6)	29.25 (17.3)	17.02 (10.1)
1999	168.70	120.52 (71.4)	30.96 (18.4)	17.23 (10.2)
2000	178.05	123.09 (69.1)	36.26 (20.4)	18.70 (10.5)
2001	184.77	130.12 (70.4)	37.25 (20.2)	17.40 (9.4)
2002	186.95	134.11 (71.7)	35.18 (18.8)	17.66 (9.4)
2003	175.96	124.34 (70.7)	35.53 (20.2)	16.08 (9.1)
2004	177.84	126.04 (70.9)	35.26 (19.8)	16.54 (9.3)
2005	178.50	127.82 (71.6)	35.25 (19.8)	15.44 (8.7)
2006	174.04	122.38 (70.3)	35.91 (20.6)	15.75 (9.1)
2007	185.69	133.59 (71.9)	35.66 (19.2)	16.44 (8.9)
2008	179.78	129.60 (72.1)	33.50 (18.6)	16.68 (9.3)
2009	180.84	131.70 (72.8)	33.62 (18.6)	15.51 (8.6)
2010	170.64	122.05 (71.5)	32.56 (19.1)	16.03 (9.4)
2011	182.17	134.35 (73.8)	32.31 (17.7)	15.52 (8.5)
2012	173.10	125.14 (72.3)	31.86 (18.4)	16.10 (9.3)

資料來源：歷年水利統計年報，經濟部水利署，1975 ~ 2012。

2012 年二年平均又上升至 73.05%。生活用水由 1980 年代平均的 10.13%，上升至 1990 年代平均的 16.36%，其後持續上升至 2000 年代的 19.49%，2011 ~ 2012 年二年平均又下降至 18.05%。工業用水由 1980 年代的 7.92%，上升至 1990 年代的 9.60%，但 2000 年代卻小幅下降至 9.12%，2011 ~ 2012 年的平均更下降至 8.9%（見表 3）。

整體而言，過去 40 年來農業用水由 85% 下降至 71% 左右；生活用水由不到 10% 持續成長至將近 20%；工業用水的比例變化不大，由早期的 8% 左右成長至目前略高於 9%。

不過若將時間尺度縮短至過去 10 餘年，則各標的之用水趨勢和傳統上的認知頗不相同。由 2001 年至 2012 年來看（見表 3），生活用水量持續穩定下降，由最高點約 37 億噸下降至約 32 億噸；工業用水和農業用水則無明顯趨勢，前者浮動於 15-18 億噸之間，後者於 122 ~ 134 億噸間變動，總用水量介於 171 ~ 187 億噸之間。

大致上，生活用水與人口成長關連性較強，而農業用水和工業用水則受到產業結構和經濟發展之影響較深。以下本文由此角度探討不同標的之用水需求：

生活用水需求

生活用水包括家庭用水、商業用水、機關用水、公共用水和都市活動用水（如消防用水）等。水利署所統計的生活用水量為扣除工業用水後之自來水供水量加上自行取水量。

由表 4 可知，1980 年代和 1990 年代之人口成長率與自來水普及率增加速度較快，生活用水量的成長率亦較高，每人每日生活用水量呈現上升的趨勢。2000 年以後人口成長率和自來水普及率之增長幅度趨緩，加上節約用水措施已見成效，每人每日生活用水量由 2001 年最高的 470 公升/人日，下降至 2012 年的 383 公升/人日；生活總用水量亦由每年 37 億噸下降至約 32 億噸。

過去政府推估生活用水多以人口和經濟成長率做為主要的影響因子，且常見的推論是人口持續成長是生活用水需求增加的主因。然而，台灣的人口成長率逐年減緩，依國家發展委員會的人口推估，在高、中、低的假設條件下，人口高峰將分別出現於 2026 年、2021 年和 2019 年。屆時人口年成長率分別約為 0.2‰、0.1‰和 0.2‰，其後人口將出現負成長（國家發展委員會，2014）。由此初步判斷，生活用水中的家庭用水有可能在人口達高峰後呈現減緩情形，若再加上節水效果，未來生活用水量若僅考量人口因素將可能呈現負成長。

不過值得注意的是，未來人口雖可能出現負成長，但民眾生活型態的改變和服務業的成長皆可能為生活用水帶

表 4 歷年台灣地區人口成長率與自來水普及率

年度	人口數	人口成長率 (%)	自來水普及率 (%)	普及率增加百分點	生活用水量及成長率 (億噸, %)	每人每日生活用水量	每人每日自來水用水量
1987	19,725,010	1.11	80.20	-	20.06 (5.58)	302	260
1988	19,954,397	1.16	81.60	1.4	21.40 (6.68)	316	274
1989	20,156,587	1.01	82.70	1.1	22.64 (5.79)	331	287
1990	20,401,305	1.21	83.60	0.9	23.84 (5.30)	343	298
1991	20,605,831	1.00	84.20	0.6	24.93 (4.57)	355	309
1992	20,802,622	0.96	85.10	0.9	26.03 (4.41)	366	312
1993	20,995,416	0.93	86.20	1.1	27.71 (6.45)	386	323
1994	21,177,874	0.87	87.50	1.3	28.20 (1.77)	387	324
1995	21,357,431	0.85	88.01	0.51	27.46 (-2.62)	374	322
1996	21,525,433	0.79	88.80	0.79	28.61 (4.19)	386	338
1997	21,742,815	1.01	89.51	0.71	29.13 (1.82)	388	335
1998	21,928,591	0.85	90.03	0.52	29.25 (0.41)	385	324
1999	22,092,387	0.75	90.30	0.27	30.96 (5.85)	405	329
2000	22,276,672	0.83	90.48	0.18	36.26 (1.71)	461	344
2001	22,405,568	0.58	90.53	0.05	37.25 (2.73)	470	349
2002	22,520,776	0.51	90.79	0.26	35.18 (-5.56)	443	288
2003	22,604,550	0.37	90.92	0.13	35.53 (-0.99)	446	285
2004	22,689,122	0.37	91.30	0.38	35.26 (-0.76)	441	281
2005	22,770,383	0.36	91.60	0.30	35.25 (-0.03)	438	281
2006	22,876,527	0.47	91.86	0.26	35.91 (1.87)	453	284
2007	22,958,360	0.36	92.03	0.17	35.66 (0.70)	440	284
2008	23,037,031	0.34	92.20	0.17	33.50 (-0.48)	411	273
2009	23,119,772	0.36	92.21	0.01	33.62 (0.36)	410	271
2010	23,162,123	0.18	92.33	0.12	32.56 (-3.15)	396	271
2011	23,224,912	0.27	92.55	0.22	32.31 (-0.77)	391	270
2012	23,315,822	0.39	92.73	0.18	31.86 (-1.39)	383	268

資料來源：

1. 歷年全國人口統計資料庫，內政部戶政司，http://www.ris.gov.tw/zh_TW/346。
2. 76 年~101 年生活用水統計報告，經濟部水利署，<http://wuss.wra.gov.tw/snnuals.aspx>。
3. 97 年~101 年自來水生活用水量統計，經濟部水利署，<http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=42091&ctNode=4561&comefrom=lp>。

來變數。舉例來說，現代民眾因生活水準提高而重視休閒活動，我國國民在國內旅遊（稱國人國內旅遊）之總旅次在 2010 年突破 1 億旅次達 123,937,000 旅次後，其後快速成長至 2012 年的 142,069,000 旅次，平均成長率為 7.3%，平均旅遊停留天數為 1.47 天（交通部觀光局，2013a）。觀光用水量較每人每日自來水用水量高，根據周嫦娥（2014）對國際觀光旅館進行水足跡評估的結果，發現每人每夜住宿國際觀光旅館的用水量約 746 公升。假設住宿其他旅館和住宿國際觀光旅館的單位用水量相差不遠，則 2012 年國人國內旅遊的觀光住宿用水量高達 1.56 億噸。與每人每日自來水用水量 268 公升計算的用水量 0.56 億噸相較，相距甚遠。觀光旅館用水屬商業用水，包含在生活用水中，故國人國內旅遊的成長有可能增加生活用水需求。

影響商業用水的另一因素為服務業的成長，再以觀光為例，過去數年政府極力推展外人來台觀光，來台旅客由 2010 年的 557 萬次（停留夜數為 7.06 夜）增加至 2012 年的 731 萬人次（停留夜數為 6.87 夜）（交通部觀光局，2013b）。若以前述國際觀光旅館之住宿單位用水量計算，來台旅客的觀光住宿用水量由 2010 年的 0.29 億噸增加至 2012 年的 0.37 億噸。

綜言之，家庭用水將因人口成長率減緩而下降，商業用水可能因生活型態改變和服務業成長而增加。

生活用水量增減與否將取決於這些影響因子的強度，不過無論如何，節約用水確定可降低生活用水量，是決定未來生活用水量是否持續成長的重要因素。

工業用水和農業用水需求

由於水資源是生產過程中不可或缺的要害，產業結構的改變對工業用水和農業用水需求的影響包括：

- 用水需求結構改變：工業用水和農業用水的比重隨著經濟發展的程度而改變，先農業後工業的發展歷程，使得農業用水漸減，工業用水增多。不過農業用水仍略多於 70%，對缺水容忍度較低的工業而言，缺水時如何在用水標的間進行合理的配置與移轉，以取得其所需水量是重要的課題。
- 用水區位改變：大致而言，過去高科技製造業與服務業較集中於北部地區，傳統產業和農林漁牧業則集中於中部與南部地區。產業結構的改變，不僅會改變用水結構，亦會改變用水區位。舉例來說，南部和中部科學園區的推動，使得中部和南部地區的工業用水需求增加。
- 整體用水需求改變：一般而言，服務業用水較工業用水和農業用水少，如果服務業比重增加，工業和農業比重減少，整體用水量可能呈現緩增的狀況。

產業結構的變遷是經濟發展過程之必然現象，由先進國家的發展經驗可知，經濟發展過程通常是先農業而後工業，再由工業進展至服務業，台灣的經濟發展也循著相似的軌跡。日據時代我國以農業生產為主，

1950年代開始工業發展，1970年代工業 GDP 突飛猛進，至 1986 年達到 47.6% 的占比高峰，1980 年代後期服務業穩定成長且其 GDP 超過全國 GDP 的 50%，正式邁入以服務業為主的經濟體系（見表 5）。

表 5 我國歷年產業結構變遷

單位：百萬元，%

年度	名目 GDP			躉售物價指數	實質 GDP*		
	農業	工業	服務業		農業	工業	服務業
1975	72,034 (14.4)	203,666 (40.7)	224,166 (44.8)	51.62	139,547 (14.4)	394,549 (40.7)	434,262 (44.8)
1976	77,389 (12.9)	265,859 (44.3)	257,127 (42.8)	53.05	145,879 (12.9)	501,148 (44.3)	484,688 (42.8)
1977	85,350 (12.1)	318,294 (45.2)	301,190 (42.7)	54.52	156,548 (12.1)	583,811 (45.2)	552,440 (42.7)
1978	91,676 (11.0)	390,187 (46.6)	355,051 (42.4)	56.44	162,431 (11.0)	691,331 (46.6)	629,077 (42.4)
1979	100,995 (10.1)	469,613 (46.9)	430,541 (43.0)	64.25	157,191 (10.1)	730,915 (46.9)	670,103 (43.0)
1980	113,094 (9.0)	584,536 (46.4)	561,228 (44.6)	78.09	144,825 (9.0)	748,541 (46.4)	718,694 (44.6)
1981	128,008 (8.4)	701,417 (46.0)	694,040 (45.6)	84.04	152,318 (8.4)	834,623 (46.0)	825,845 (45.6)
1982	147,016 (7.7)	843,022 (44.4)	909,933 (47.9)	83.89	175,249 (7.7)	1,004,914 (44.4)	1,084,674 (47.9)
1983	153,289 (7.3)	944,691 (45.0)	1,002,025 (47.7)	82.90	184,908 (7.3)	1,139,555 (45.0)	1,208,715 (47.7)
1984	148,351 (6.3)	1,081,913 (46.2)	1,112,814 (47.5)	83.30	178,092 (6.3)	1,298,815 (46.2)	1,335,911 (47.5)
1985	142,999 (5.8)	1,144,824 (46.3)	1,185,963 (47.9)	81.13	176,259 (5.8)	1,411,098 (46.3)	1,461,806 (47.9)
1986	158,224 (5.5)	1,360,196 (47.6)	1,336,760 (46.8)	78.42	201,765 (5.5)	1,734,501 (47.6)	1,704,616 (46.8)
1987	171,728 (5.3)	1,510,912 (46.7)	1,554,411 (48.0)	75.87	226,345 (5.3)	1,991,449 (46.7)	2,048,782 (48.0)
1988	177,416 (5.0)	1,579,639 (44.8)	1,766,138 (50.1)	74.68	237,568 (5.0)	2,115,210 (44.8)	2,364,941 (50.1)
1989	192,872 (4.9)	1,666,633 (42.3)	2,079,321 (52.8)	74.40	259,237 (4.9)	2,240,098 (42.3)	2,794,786 (52.8)
1990	180,110 (4.2)	1,775,583 (41.2)	2,351,350 (54.6)	73.96	243,524 (4.2)	2,400,734 (41.2)	3,179,218 (54.6)
1991	182,356 (3.8)	1,975,634 (41.1)	2,652,715 (55.1)	74.08	246,161 (3.8)	2,666,893 (41.1)	3,580,879 (55.1)
1992	191,974 (3.6)	2,139,747 (40.1)	3,007,231 (56.3)	71.36	269,022 (3.6)	2,998,524 (40.1)	4,214,169 (56.3)
1993	215,333 (3.6)	2,328,822 (39.3)	3,374,221 (57.0)	73.15	294,372 (3.6)	3,183,625 (39.3)	4,612,742 (57.0)
1994	227,172 (3.5)	2,437,727 (37.7)	3,798,701 (58.8)	74.74	303,950 (3.5)	3,261,610 (37.7)	5,082,554 (58.8)
1995	244,265 (3.5)	2,552,997 (36.4)	4,220,671 (60.1)	80.25	304,380 (3.5)	3,181,305 (36.4)	5,259,403 (60.1)
1996	245,184 (3.2)	2,742,061 (35.7)	4,690,881 (61.1)	79.45	308,602 (3.2)	3,451,304 (35.7)	5,904,193 (61.1)
1997	211,419 (2.5)	2,933,912 (35.3)	5,159,936 (62.1)	79.08	267,348 (2.5)	3,710,056 (35.3)	6,524,957 (62.1)
1998	220,908 (2.5)	3,085,319 (34.7)	5,593,063 (62.8)	79.55	277,697 (2.5)	3,878,465 (34.7)	7,030,877 (62.8)
1999	237,253 (2.6)	3,072,555 (33.2)	5,934,630 (64.2)	75.94	312,422 (2.6)	4,046,030 (33.2)	7,814,893 (64.2)
2000	201,337 (2.1)	3,126,229 (32.5)	6,284,925 (65.4)	77.32	260,395 (2.1)	4,043,235 (32.5)	8,128,460 (65.4)
2001	185,167 (2.0)	2,945,227 (31.2)	6,317,255 (66.9)	76.28	242,747 (2.0)	3,861,074 (31.2)	8,281,666 (66.9)
2002	178,590 (1.7)	2,911,147 (28.3)	7,203,609 (70.0)	76.32	234,002 (1.7)	3,814,396 (28.3)	9,438,691 (70.0)
2003	174,665 (1.7)	2,941,639 (28.0)	7,403,270 (70.4)	78.21	223,328 (1.7)	3,761,206 (28.0)	9,465,887 (70.4)
2004	181,475 (1.6)	3,050,623 (27.6)	7,833,450 (70.8)	83.71	216,790 (1.6)	3,644,275 (27.6)	9,357,843 (70.8)
2005	189,759 (1.7)	3,098,734 (27.1)	8,166,234 (71.3)	84.22	225,314 (1.7)	3,679,333 (27.1)	9,696,312 (71.5)
2006	193,142 (1.6)	3,190,815 (26.8)	8,505,866 (71.5)	88.96	217,111 (1.6)	3,586,797 (26.8)	9,561,450 (71.5)
2007	191,886 (1.4)	4,504,852 (34.0)	8,537,881 (64.5)	94.72	202,582 (1.4)	4,755,967 (34.0)	9,013,810 (64.5)
2008	201,656 (1.5)	4,175,333 (32.1)	8,635,831 (66.4)	99.59	202,486 (1.5)	4,192,522 (32.1)	8,671,384 (66.4)
2009	215,109 (1.7)	4,096,400 (32.0)	8,495,170 (66.3)	90.90	236,644 (1.7)	4,506,491 (32.0)	9,345,622 (66.3)
2010	224,828 (1.6)	4,784,526 (34.0)	9,065,393 (64.4)	95.86	234,538 (1.6)	4,991,160 (34.0)	9,456,909 (64.4)
2011	245,783 (1.7)	4,725,408 (33.0)	9,341,009 (65.3)	100.00	245,783 (1.7)	4,725,408 (33.0)	9,341,009 (65.3)
2012	242,400 (1.7)	4,756,737 (32.7)	9,525,363 (65.6)	98.84	245,245 (1.7)	4,812,563 (32.7)	9,637,154 (65.6)

註：撰文期間，主計總處因重新以 100 年工商普查資料修正歷年名目 GDP 和實質 GDP，故暫將歷年名目和實質 GDP 統計資料由網站移除。另外，由於歷年紙本國民所得統計之實質 GDP 以不同基期計算。因此，本文由歷年紙本資料取得名目 GDP 資料，再以躉售物價指數（以 2011 年為基期）平減，計算各年實質 GDP。

資料來源：1. 名目 GDP 取自 72、73、78、83、88、93、95、102 年國民所得統計資料，行政院主計總處。

2. 消費者與躉售物價指數統計表，行政院主計總處，<http://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=35375&CtNode=2850&mp=1>。

1990年代因全球化和自由化的世界趨勢，加上國內勞動、土地等生產成本偏高，廠商對外投資增加。尤其是民生製造業大舉赴大陸投資設廠，產業外移造成國內工業整體GDP比重逐年下降，至1999年工業GDP比重僅占33.2%。為因應產業外移，此段期間政府推動傳統勞力密集產業升級，同時發展十大新興工業，結果電子電機業、機械與運輸工具業、金屬業等生產比重增加。其後，資訊電子產業興起，2000年後資訊電子產業為台灣產業發展轉型奠定基礎，配合政府的各項獎勵措施與輔導，資訊電子業逐漸取代鋼鐵、石化等產業成為台灣的重要產業（蔡宏明，1996；林芳一、劉筱慧，2002）。2000年代中期工業GDP下降至最低的26.8%後，比重又逐漸增加，目前穩定在33~34%之間。

由工業部門的實質GDP來看，從1975年一路成長至1999年最高峰的4.046兆元。其後持續下降至2006年，2006年後工業實質GDP呈現不規則變動。若比較表3和表5可發現，此期間工業用水量與其GDP的變化幅度和方向並不一致，可能是不同期間產業發展重點不一，不同產業之耗水程度不同所致（見表6）。2006年後工業部門的GDP比重有增加的趨勢，但工業用水無顯著變化，介於15~17億噸之間，可能和工業生產力提升，以及節水措施、廢水回收再利用的推動成效有關。

表6 我國製造業用水係數

部門	用水係數 (噸/萬元)	部門	用水係數 (噸/萬元)
礦產	10.34	石油煉製品	1.11
加工食品	0.81	非金屬礦物製品	1.35
飲料	8.59	鋼鐵	3.76
菸	6.17	其他金屬	0.59
紡織品	1.67	金屬製品	1.03
成衣及服飾品	0.47	機械	2.56
皮革及皮製品	3.38	家用電子電器產品	0.30
木材及木製品	1.52	資訊產品	0.30
紙、紙製品及印刷出版	4.88	通信產品	0.23
化工原料	3.59	電子零配件	5.15
人造纖維	5.80	電機及其他電器	0.36
塑膠	0.95	運輸工具	1.78
塑膠製品	1.67	其他製品	0.65
其他化學製品	10.65		

註：台灣經濟研究院調查1999年製造業用水量（包括地面水、地下水和自來水），為配合當時已公布的1996年產業關聯表，將其調查資料回推至1996年的用水量。本文將1996年產業關聯表中的產值除以各產業的用水量，並將其定義為產業的用水係數。用水係數愈高表示該產業愈耗水。

資料來源：

1. 台灣經濟研究院（2000），水資源總體經濟模式（四之一），經濟部水資源局委託。
2. 行政院主計處（2000），中華民國八十五年臺灣地區產業關聯表編製報告。

早期台灣的產業政策皆以追求經濟發展為主要考量，未將水資源的有限性視為發展產業的限制條件，往往在產業政策形成後才找水源。此種錯置的規劃方式導致水資源管理上的困難，且需支付極高的代價解決水源問題。近年來政府逐漸意識到水資源的侷限性，亦強調產業發展需考量水資源的可取得性。舉例來說，面對全球化的經貿競爭和區域經濟整合的潮流，經濟部提出優化產業結構的三業四化行動計畫（經濟部，2012）。該計畫示範推動的亮點產業包括紡織產業、物流產業、資訊服務業、資訊硬體產業，以及工具機整機設計製造與製造服務等。雖然其中仍不乏耗水性較高的產業如紡織業和工具機製造業（見表6），但可看出政府的產業政策方向漸由較耗水的製造業，轉向耗水較低的技術服務業與商業服務業。未來若能循此模式發展產業，加上節約用水和廢水回收再利用，應可大大降低工業的用水量和缺水風險。

事實上，為解決廠商投資或開發後找不到水源的困擾，經濟部水利署於2003年即根據水利法施行細則第46條以及都市計畫等其他相關法源，制訂「用水計畫書審查作業要點」。規定用水量在一定規模以上的開發計畫，需向主管機關提送用水計畫書，審查通過後方能進行開發。用水計畫書雖能確保廠商覓得水源後再行開發，然用水計畫的審查制度仍有諸如協調供水單位相當耗時、單位用水量之合理性、實際用水量稽核等執行面問題待解決。

在農業用水部分，1990年代我國為爭取加入WTO，被要求開放部分農產品進口。農委會為避免稻米生產過剩影響價格，因而實行休耕減少國內種稻面積。台灣休耕面積已高達20多萬公頃，占耕地約1/4。由表7可看出，我國耕地面積逐年減少，但灌溉面積則無明顯變化趨勢，農業用水比重一直維持在70%以上，且近幾年更有微幅成長的情況。

極端氣候不僅對水資源供給造成衝擊，對經濟活動也產生影響，尤其對農作物收成的影響更是劇烈。晚近國際上糧食欠收的消息頻傳，糧價亦大幅浮動，全球糧食危機的警語時有所聞。2011年的「全國糧食安全會議」將國內的糧食自給率由約1/3提高至40%。因此，休耕地的活化利用將成為未來重要農業議題，灌溉用水需求亦可能隨之增加。

表 7 歷年台灣地區耕地面積與灌溉面積

年度	耕地面積(公頃)	灌溉面積(公頃)
1997	864,817	445,488
1998	864,814	441,392
1999	855,072	443,058
2000	851,496	444,670
2001	848,745	370,406
2002	847,335	387,243
2003	844,095	368,508
2004	835,508	432,609
2005	833,179	336,734
2006	829,526	335,395
2007	825,949	353,930
2008	822,364	365,487
2009	815,462	343,721
2010	813,126	340,467
2011	808,294	309,496
2012	802,876	397,631

註：2006年前後的灌溉地面積統計範圍不同，2006年之前含私設埤圳。
資料來源：86~101年農業用水統計報告，經濟部水利署，2015，
<http://wuss.wra.gov.tw/annuals.aspx>。

若觀察農業用水量、工業用水量、農業和工業實質 GDP 等變數（見表 3 和表 5），並定義農（工）業用水生產力為農（工）業實質 GDP 除以農（工）業用水量，單位為元／噸（見表 8）。由表 8 可看出，農業用水的生產力在 2000 年以前呈現成長的態勢，但 2000 年後反而下降；工業用水之生產力則一路成長。比較農業用水和工業用水之生產力亦可觀察到，工業用水生產力成長率較農業用水生產力成長率高出甚多。由於農業用水除了生產效益外，尚具有生態和生活機能等三生功能，故本文不強調農業用水與工業用水生產力之差異。而由此二種用水自身的生產力可看出，工業用水效率長期以來持續提升，相對地，農業用水效率在早期雖有所提升，但 2000 年之後卻下降，顯示農業用水效率確實有待改善。

表 8 台灣地區農業用水與工業用水之生產力

單位：元／噸

期間	農業用水之生產力	工業用水之生產力
1975 年~1980 年	10.58	396.88
1981 年~1990 年	13.36	1,099.90
1991 年~2000 年	21.79	2,029.49
2001 年~2010 年	17.46	2,500.72

註：1. 農業用水之生產力 = 農業實質 GDP / 農業用水量。
2. 工業用水之生產力 = 工業實質 GDP / 工業用水量。
3. 實質 GDP 以 2011 年為基期計算。
資料來源：同表 3 和表 5，以及本研究計算。

由表 2 和表 3 可知，各用水標的核發的水權量皆較其用水量高出甚多，以致用水標的間常態性的水量移用時有所聞。尤其是農田水利會擁有大量水權及輸水渠道，常透過短期或長期契約，將水量移轉給自來水公司或私人企業使用，且多以「加強灌溉管理費」或「設備使用費」名義收取補償。而在乾旱時協調農業部門將水移轉予工業部門與自來水事業單位使用，是常見的水資源調度方式，但因農業用水優先順序在工業用水之前，常遭農業部門抗議。若缺水是未來台灣水資源必然面臨的問題，則協調農業停灌與休耕將是無法避免的作為，農業用水移用與補償必須建立更明確更有效率的機制。

綜言之，過去一般認為生活用水和工業用水將會持續成長，而農業用水會下降。此種趨勢在最近 10 多年已出現不同的變化：生活用水穩定下降，工業用水大體上也穩定在小區間內浮動，農業用水雖也呈現浮動不定的情況，但近幾年增長情形較為明朗。不過值得注意的是，雖然各標的用水趨於穩定，但前面探討之各用水標的之影響因子若產生變化即可改變用水需求量。舉例來說，過去 10 多年台灣的經濟成長力道較弱，工業用水量因而相對穩定，未來經濟若有所改善，則相信工業用水量會持續成長。

水資源需求面管理策略工具之建議

由水資源需求面的探討可知，各標的用水量雖趨緩和，但不表示未來用水量不會成長，特別是面對我國水資源不足和不均之根本課題，以及氣候異常帶來的缺水風險，提昇用水效率與水資源合理配置應是確保用水無虞的重要水資源需求管理工作。我國政府過去在提升用水效率方面，重技術面策略工具的推動，輕管理面策略工具的使用。舉例來說，政府多年來以推動節約用水、廢水回收再利用等技術工具來提升用水效率，其成效雖已顯現，但若搭配管理策略工具的使用，相信更能收事半功倍之效。至於水資源合理配置部分，應落實價格機制以達到水資源之最適配置。綜此，本文建議水資源管理策略及工具如下：

產業政策之擬定應符合水資源總量管制精神

產業和經濟政策之擬定除須考慮國際分工、社經條件、發展潛力等因素外，在資源使用方面必須符

合總量管制精神。簡言之，水資源的利用應考慮環境涵容能力，不應超限利用造成對國土或河川生態的危害。因此，產業或經濟政策規劃時必須考慮水資源供給的侷限性，以其為限制條件，研擬發展的最佳方案。

為達總量管制與管理目的，水政單位須建立完整和解析度較高的水文與用水資訊系統。水文資訊應包含降雨量、水庫蓄水量與存量、河川流量、可取水量、河川環境基本流量、地下水存量和安全出水量、滲透量與取水量等。用水資訊至少應有水權量、取水量、取水地點、取水單位、標的用水量和放流量等。目前經濟部水利署編印的「水利統計」雖有相對完整的水文和用水量資訊，但資料解析度不足，舉例來說，用水量以用水標的區分而無產業部門別和次部門別的水量資料。聯合國於 2012 年出版的水資源環境與經濟帳系統 (System of Environmental-Economic Accounting for Water, SEEA-Water)，以國民會計制度 (System of National Accounts, SNA) 的基本架構為基礎建置各類水資源帳，可解決國內水利統計解析度不夠的問題。若能以水利統計為基礎，配合 SEEA-Water 水資源帳內容，建立完整且高解析度的水文和用水資訊，則可提供決策所需之細部資訊，方能落實總量管制與管理。

根據 SEEA-Water，水資源是人類基本需求、社經發展、健全生態系統所必須，具有 (1) 提供人類生產和消費所需之投入，(2) 匯集廢棄物質，例如，廢水排放至水體，以及 (3) 做為各類生物之棲息地等功能。SEEA-Water 聚焦於水資源之前二項功能，提供環境體系和經濟體系的整合資訊系統架構。

水資源在環境體系和經濟體系的相互關係可以圖 1 說明，圖中區域的內陸水資源系統 (inland water resource system) 包含區域內所有的水資源，即地面水、地下水和土壤水 (soil water 或稱為綠水)，以及其間的自然流量；區域內的經濟體系為使用水資源的所有居民組成，水資源使用者為生產和消費目的取水，並以水利設施蓄水、淨水和配水；經濟體系可透過回歸水 (含排水) 讓水資源重返環境體系；圖中所指的特定區域可以是國家、流域或行政區域；區域間可透過水資源的進口和出口，或藉由集水區上游的水資源流入和對下游的水資源流出交換水資源；區域亦可透過降雨和蒸發散與大氣交換水資源。

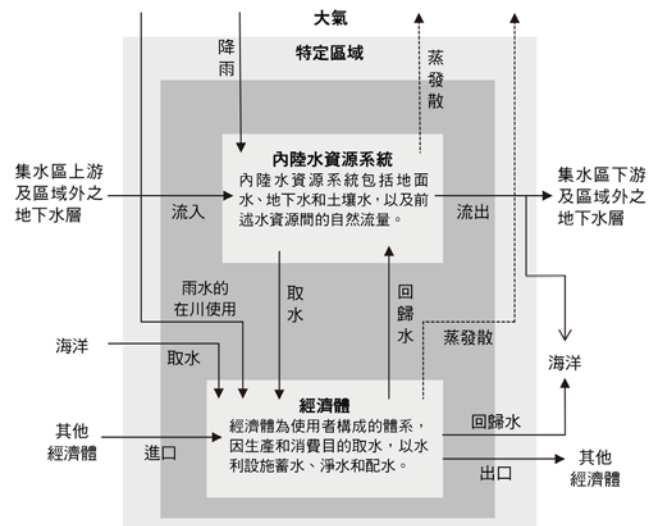


圖 1 經濟體系及環境體系之水資源流量
資料來源：SEEA-Water, 2012

SEEA-Water 認為水資源政策會影響一國的經濟發展，而一國的產業政策也會對水資源和環境造成衝擊。因此，SEEA-Water 以圖 1 呈現的關係為架構蒐集資料，包括 (1) 環境體系中水資源的存量與流量；(2) 經濟體系的取水和排放對環境體系產生的影響；(3) 水資源供給、生產與消費的水資源使用；(4) 經濟體系中水資源的再利用；(5) 水資源蓄存、淨化、配送和處理之成本，以及用水人支付的服務費用；(6) 前述成本的資金籌措；(7) 取水許可費用及廢水排放費；(8) 水力存量 (hydraulic stock) 及水利建設投資。其蒐集的資料可分以下 5 類帳表呈現：

- 水資源供給使用實物帳與排放帳 (physical supply and use tables and emission accounts)：「水資源供給實物帳」含 (1) 描述水資源在經濟體系內的流量，例如，水資源由某產業送至另一產業或家戶；(2) 描述水資源由經濟體系流入環境體系的流量，例如，將廢水排放至河川。
「水資源使用實物帳」含 (1) 描述由環境體系至經濟體系的流量，例如，工業部門的取水；(2) 描述經濟體系內水資源的流量，例如，產業部門由其他產業、家計部門取得水量。
「水資源排放帳」描述產業、家計、政府等部門排放廢水之污染物量。
- 水資源混合帳與經濟帳 (hybrid and economic accounts)：水資源混合帳係將水資源供給與使用的實

物和貨幣資訊同時呈現於一張帳表。此表可完整揭示水資源經濟面的所有資訊，並可以此建立評估水資源生產力和密集度等指標。

- 水資源資產帳 (water asset accounts)：通常資產帳會衡量資產的期初和期末存量，並記錄資料期間的存量變動。水資源資產帳中含有二種資產：人造資產 (produced assets) 與水資源資產。前者即取水、送水、水處理、排水之設施，屬固定資產，可提供經濟體系內調動水資源和處理水資源能力的相關資訊。水資源本身之資產帳呈現的是期初和期末水資源存量，以及期間的變動狀況。造成水資源的變動的原因有自然因素 (如，降雨、蒸發散、逕流等) 和人類活動 (如，取水與排水)。
- 水資源品質帳 (water quality accounts)：資產帳亦可以水質為基礎編製，即以水質呈現期初和期末的水資源存量。
- 水資源評價 (valuation of water resources)：評估水資源是否因過度使用而造成折耗。

以水足跡為工具評估用水標的之合理用水量

水資源管理需有準確的數據做為決策的依據，而我國目前各用水標的用水量之統計方式仍有不小可探討與改進的空間。水利署「水利統計」中的農業用水包括灌溉用水、養殖用水和畜牧用水。灌溉土地分農田水利會轄區及非轄區，轄區內之灌溉用水量係蒐集各農田水利會實際灌溉面積及引用水量計算，轄區外則無實際量測資料；畜牧用水量以各畜牧種類之單位用水量乘以實際畜養量計算；養殖用水量則以養殖面積乘以不同魚種養殖單位面積用水量計算。由此可知，灌溉用水以引用水量而非實際用水量估算，畜牧單位用水量和養殖單位面積用水量是否合理等諸多問題，皆值得進一步研議。另工業用水量以單位面積日用水量乘以工業面積，再乘以年工作日數計算。以單位面積用水量推估工業用水量，長期受到質疑且未見改善。

此外，前面提及為開發前能先覓得水源而執行的用水計畫書審查，受理機關需審查需用水量的合理性。然檢視用水計畫書審查作業要點之附件三，其中各部門別的工業用水量亦是以具爭議性的面積單位用水量估算。由此顯見部門別的合理用水量至今尚未有完

善的評估方法，針對此問題本文建議以水足跡 (water footprint) 為工具，確實評估農業用水和工業用水的合理用水量。

「水足跡」一詞為荷蘭教授 Hoekstra 於 2002 年提出 (Hoekstra, 2003)。Hoekstra 提出的水足跡原指產品水足跡，乃生產一產品之完整供應鏈耗用的淡水水量，即生產產品直接和間接的淡水耗用量。其後 Hoekstra & Chapagain (2008) 又加以衍生而包含藍水足跡 (blue water footprint)、綠水足跡 (green water footprint) 和灰水足跡 (grey water footprint)。藍水足跡為耗用的地面水和地下水量；綠水足跡為耗用的綠水 (蘊藏於土壤中的雨水) 水量；灰水足跡為虛擬水量概念，指耗用後的廢水在受水體水質標準下，吸收污染物所需的淡水水量。除產品水足跡之外，亦可評估消費者水足跡、國家水足跡、企業或產業水足跡，以及區域、集水區或流域水足跡。前述各類水足跡可提供不同層次水資源管理的相關資訊，舉例來說，流域水足跡以及流域內消費者和產業水足跡的評估結果，可供上位管理者檢視流域的水資源是否在環境涵容能力內合理有效利用，而個別企業亦可利用結果評估自身水資源的利用效率和用水的相關風險。

水足跡概念提出後，很快受到國際組織和國際大廠的重視與推廣，ISO (International Organization for Standardization) 更於 2014 年通過水足跡國際標準 ISO14046 Environmental management - Water footprint - Principle, requirements and guideline。水足跡被 ISO 界定為環境管理之一環，其評估之主要目的在於增加對水資源相關潛在環境衝擊的瞭解，並以生命週期做為產品和企業水足跡評估之基礎。ISO 14046 分別以水量和水質評估水資源利用的潛在環境衝擊，其對水量的評估可對應至 Hoekstra 的藍水足跡和綠水足跡，水質部分則可對應至灰水足跡。

Hoekstra 的水足跡強調供應鏈的概念，而 ISO 14046 則著重生命週期評估，二者皆須評估供應商的間接用水量。然而，實務上不易取得供應鏈廠商的用水資料，真正能掌握的為廠商自身的用水資訊，即廠商的直接用水狀況。廠商評估水足跡時需釐清其製程的水流向，並以此製作水平衡圖，呈現廠商完整的用水資訊。若廠商以此資訊檢視其製程之用水合理性，並改善和提升用水效率，則最終水足跡代表的是廠商有

效率的用水量（即合理用水量）。若能鼓勵廠商以水足跡評估用水量，再配合公正第三方的查證，確保評估結果的正確性，則可進一步整合廠商或產業的合理用水資訊。此外，廠商亦可以水足跡評估結果審視自身用水的效率，做為推動節約用水和廢水回收再利用等措施的參考依據。

利用價格機制提升用水效率

水資源管理上常藉由價格機制來提升用水效率，可影響價格的水資源政策包括合理水價、水權費徵收和水資源交易（或水量移轉）等。

合理水價可健全自來水事業的經營與管理，確保水質安全，提高節水誘因，達到水資源永續經營之目的。在使用者付費用的公平原則下，合理水價可使水資源配置達到最大效率。台灣自來水水價已超過 20 年未調整，長期偏低的水價對自來水事業之營運有不良影響，特別是管線無法及時汰舊換新，影響供水品質與效率。同時造成政府對用水的鉅額補貼，產生效率與公平問題，且過低的水價會減少產業提高用水效率和開發水源的科技創新誘因。整體而言，現行水價對提升用水效率有負面影響，間接造成諸多水資源政策推動上的困難。

事實上，自來水法對水價的訂定與調整有相關的規定。自來水法第 59 條「自來水價之訂定，應考量自來水供應品質，以水費收入抵償其所需成本，並獲得合理之利潤；…。」；第 60 條「中央主管機關應成立水價評議委員會，委員會由政府機關、學者專家、消費者團體等各界公正人士組成，負責水費之調整，其組織規程由中央主管機關定之。」由此可知，我國自來水採「反映成本（cost recovery）」的訂價方式，但並未明確規範應反映的成本內容。廣義的自來水成本可包括財務成本、環境成本和資源成本等，但實務上反映所有成本相當困難，故目前很多國家在自來水價上反映的多是財務成本（European Environment Agency, 2013）。

今（2015）年度由於我國面臨 67 年以來最嚴重的乾旱，水價偏低問題再度引起廣泛的討論。經濟部因而連續召開多次的自來水水價評議委會會議，討論水價公式，公式中的成本除了自來水事業的經營成本

外，亦包含了部分的水源保護費用，以及為提高供水效率的未來營運發展費用等。以此水價公式，建議自來水事業和其主管機關能儘速擬定水價調整方案，落實合理水價。

提到「水價」，國人一般的解讀多認為是自來水價，其反映的是自來水的使用成本。然自來水僅是水資源的一種型態，地面水和地下水更是水資源的大宗。嚴格來說，國內大部分地面水與地下水的使用並未付費。我國水利法以水權規範用水秩序，明文規定水利事業得徵收水權費。

水權制度是各國主導水資源分配與利用的主要管理制度，水權經過長時間的形成與發展，在各國有不同的定義和內涵。廣義的說，水權是水資源的取得、使用或享用的權利。全球大部分地區或國家都將水資源歸為國家所有，而水權則為水資源的「效益使用」之權利，並依此界定水資源的財產權，保障個別用水人的權利，規範水資源的分配，進而建立水資源的使用秩序。

各國水權費徵收的名目不一，但多為規費或行政成本的回收，徵收的費率多未達到可落實使用者付費原則的程度。其主要原因為水權費多被視為稅收，徵收的阻力很大。由使用者付費的角度來說，水權費的徵收除反映水利設施之投資成本和行政成本，也應包含水資源的使用價值。

我國水利法第 84 條明文規定，政府為發展及維護水利事業得徵收水權費，除支付管理費用外，撥充水利建設專款。雖於法有據，但水利法制訂數十年來一直未徵收水權費。依照黃宗煌（1999）的分析，水權費徵收在執行上面臨制度性和分配性障礙。前者乃因政府部門間的立場不同而產生，例如，工業局可能擔心水權費的徵收會增加工業部門的製造成本。至於分配性障礙指的是利益或成本分配上的衝突，造成利害關係人的反對。本文則認為用水人的心態是主要阻力，若「使用者付費原則」無法根植於用水人的觀念裡，則人人視水權為一種負擔，而非實踐用水公平的工具，自然會產生阻力。以目前國內政治的運作方式，主管機關多受制於民意，無法推動水權費徵收工作。觀念的改變需要時間，在徵收水權費之前，主事者應先進行政策影響評估，並積極與民眾進行觀念的溝通。

工業部門應有經常性移用農業用水的事實，然因農業部門害怕喪失水權，水量的移用一直無法檯面化，無法正常調度標的間之用水，提高水資源配置效率。從國外的經驗可知，水資源的調配與移轉為水權管理之重要一環，具有市場機制的水資源交易漸在國外成為重要且有效率的水資源配置措施。水資源交易雖能有效提升水資源配置效率，且目前法規並未禁止，周嫦娥等人之研究（台灣經濟研究院，2000）亦發現，台灣具有建構水資源交易的潛力（亦即交易後用水人之淨效益會提升），交際市場可能是獨賣和寡占買方之型態。然礙於對水資源交易的疑慮，以及實施水資源交易之相關法規與軟硬體條件的建構需長期規劃。國內若欲以水資源交易方式解決標的間用水不足的問題，僅能循序漸進先實行示範性交易，未來再逐步放寬至具彈性的水資源交易型態。

參考文獻

一、中文部分

1. 水利署（2002），台灣地區水資源開發綱領計畫，http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/WaterInfo/wrproj/main/main.htm。
2. 台灣經濟研究院（2000），水資源總體經濟模式（四之一），經濟部水資源局委託。
3. 林芳一、劉筱慧（2002），「民國 100 年台灣產業發展願景」，經濟研究，第 2 卷，P169-183。
4. 周嫦娥（2014），企業水足跡盤查機制建立及推動策略之研究（1/2），經濟部水利署委託計畫。
5. 黃宗煌（1999），「開徵水權費之意義與芻議」，國立清華大學經濟系，未發表論文。
6. 國家發展委員會（2014），中華民國人口推估（103 至 150 年），國家發展委員會。
7. 經濟部（2012），台灣產業結構優化 - 三業四化（製造業服務化、服務業科技化及國際化、傳統產業特色化）行動計畫（核定本）。
8. 蔡宏明（1996），「跨世紀產業政策的規劃架構」，經濟情勢暨評論，第 2 卷第 1 期。

二、英文部分

1. European Environment Agency (2013), Assessment of cost recovery through water pricing, EEA Technical Report No 16.
2. Hoekstra, A.Y. (2003), Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No.12.
3. Hoekstra, A.Y. and A.K. Chapagain (2008), Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources, Blackwell Publishing, Oxford, UK.
4. United Nations (2012), System of Environmental-Economic Accounting for Water, Department of Economic and Social Affairs, Statistics Division, United Nations, New York.

三、統計資料來源

1. 內政部戶政司（2015），歷年全國人口統計資料庫，http://www.ris.gov.tw/zh_TW/346。
2. 水利署（1997），水利統計年報，經濟部水利署編印。
3. 水利署（1998），水利統計年報，經濟部水利署編印。
4. 水利署（1999），水利統計年報，經濟部水利署編印。
5. 水利署（2000），水利統計年報，經濟部水利署編印。
6. 水利署（2001），水利統計年報，經濟部水利署編印。
7. 水利署（2002），水利統計年報，經濟部水利署編印。
8. 水利署（2003），水利統計年報，經濟部水利署編印。
9. 水利署（2004），水利統計年報，經濟部水利署編印。
10. 水利署（2005），水利統計年報，經濟部水利署編印。
11. 水利署（2006），水利統計年報，經濟部水利署編印。
12. 水利署（2007），水利統計年報，經濟部水利署編印。
13. 水利署（2008），水利統計年報，經濟部水利署編印。
14. 水利署（2009），水利統計年報，經濟部水利署編印。
15. 水利署（2010），水利統計年報，經濟部水利署編印。
16. 水利署（2011），水利統計年報，經濟部水利署編印。
17. 水利署（2012），水利統計年報，經濟部水利署編印。
18. 水利署（2013），水利統計年報，經濟部水利署編印。
19. 水利署（2015），歷年生活用水統計報告，<http://wuss.wra.gov.tw/annuals.aspx>。
20. 水利署（2015），歷年年自來水生活用水量統計，<http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=42091&ctNode=4561&comefrom=lp>。
21. 水利署（2015），歷年農業用水量統計報告，水利署各項用水統計資料庫，<http://wuss.wra.gov.tw/annuals.aspx>。
22. 行政院主計處（1983），七十二年中華民國國民所得。
23. 行政院主計處（1985），七十三年中華民國臺灣地區國民所得。
24. 行政院主計處（1989），七十八年中華民國臺灣地區國民所得。
25. 行政院主計處（1994），八十三年中華民國臺灣地區國民所得。
26. 行政院主計處（1999），八十八年中華民國臺灣地區國民所得。
27. 行政院主計處（2000），中華民國八十五年臺灣地區產業關聯表編製報告。
28. 行政院主計處（2005），民國 93 年國民所得統計年報。
29. 行政院主計處（2007），民國 95 年國民所得統計年報。
30. 行政院主計總處（2013），民國 102 年國民所得統計年報。
31. 行政院主計總處（2014），消費者與躉售物價指數統計表，<http://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=35375&ctNode=2850&mp=1>。
32. 交通部觀光局（2013a），中華民國 102 年國人旅遊狀況調查報告。
33. 交通部觀光局（2013b），中華民國 102 年來臺旅客消費及動向調查報告。
34. 台灣省水利局（1987）台灣省水利統計手冊，台灣省水利局編印。
35. 台灣省水利局（1988）台灣省水利統計手冊，台灣省水利局編印。
36. 台灣省水利局（1989）台灣省水利統計手冊，台灣省水利局編印。
37. 台灣省水利局（1990）台灣省水利統計手冊，台灣省水利局編印。
38. 台灣省水利局（1991）台灣省水利統計手冊，台灣省水利局編印。
39. 台灣省水利局（1992）台灣省水利統計手冊，台灣省水利局編印。
40. 台灣省水利局（1993）台灣省水利統計手冊，台灣省水利局編印。
41. 台灣省水利局（1994）台灣省水利統計手冊，台灣省水利局編印。



氣候變遷水資源風險評估與 調適決策之探討

童慶斌／國立臺灣大學生物環境系統工程學系教授

劉子明／國立臺灣大學生物環境系統工程學系博士後研究

林嘉佑、曹榮軒／國立臺灣大學生物環境系統工程學系博士候選人

李明旭／國立中央大學水文及海洋科學研究所教授

摘要

近年來氣候變遷議題備受矚目並影響水資源永續發展，從國家、政府單位到企業團體，無不開始著手於氣候變遷風險評估與調適策略之擬定。然而面對氣候變遷之威脅，政府單位往往不知如何才算是氣候變遷調適規劃，執行氣候變遷調適之專業團隊也可能面臨不知氣候變遷風險定義為何，以及如何評估氣候變遷或該使用那些資料才能擬訂完善之調適策略。站在學術立場，有必要以科學角度建立一套氣候變遷調適決策步驟，以利政府單位與專業團隊懂得如何評估與調適。本研究乃參考國際間針對氣候變遷所制定之調適步驟流程，擬定跨領域氣候變遷調適決策六大步驟，從問題界定與目標設定、評估與分析現況風險、評估與分析未來風險、界定與評估調適選項、規劃與執行調適路徑、到監測與修正調適路徑等六大步驟，適合所有領域面對氣候變遷之調適決策。並以水資源系統為案例，說明每一步驟之細節、使用工具與產出，以作為氣候變遷調適決策之參考。

Abstract

In recent years, issue of climate change was highly focused and influenced sustainable development of water resources. From nation, government agencies, to business groups, all began to develop climate change risk assessment and adaptation strategies. But facing of the threat of climate change, the government agencies often do not know how we can make the adaptation

plan to climate changes, the professional team which in charge of making climate change adaptation plan may also face the problem of not knowing the definition of climate change risk and how to assess climate change or what to use of those materials in order to improve the adaptation strategies. Standing in academic position, it is necessary to establish a scientific point of view of climate change adaptation decision steps to facilitate the government agencies and professional team knows how to evaluate and develop adaptation plan. This study referenced the international climate change adaptation steps to develop the six steps of making climate change adaptation strategies, from problem definition and goal setting, current risk assessment and analysis, future risk assessment and analysis, identifying and evaluating adaptation options, planning and implementing adaptation pathway, and monitoring and adjusting adaptation pathway. It is suitable for all areas on climate change adaptation decision-making. Using water resources systems as an example, details of each step, the use of tools and outputs are explained as a reference to climate change adaptation decision-making.

前言

近年來，由於全球氣候變遷導致氣候異常、極端化之現象，已於全球各地誘發各式災害，臺灣亦首當其衝、難以倖免。隨著學界對於氣候變遷研究的逐漸深化，人類對於氣候變遷的態度亦由最初的懷疑開始轉向確信，各界除了了解研究氣候變遷的成因與影響，也進一步始著手研究如何面對氣候變遷，甚至如何調適氣候變遷帶來的風險。相較於世界上的其他地區，臺灣於近年來已遭受多次極端天氣帶來之嚴重衝

擊，國人累積了豐富的承災經驗後，也深刻體認到如果要因應未來可能出現的更大挑戰，勢必無法憑藉著傳統的管理方式，而需推動具有系統性、整合性的管理與調適方案。

此外，氣候變遷會導致天氣極端化，極端天氣帶來複合性災害在近年來亦備受矚目，較著名的案例如 2009 年莫拉克颱風造成土砂災害，進而影響水資源與災區公共衛生等問題。由類似案例可看出氣候變遷衝擊會因區域而異，且不同空間系統需採取調適能力建構重點也不同，應儘速建立一套有彈性的分散式調適方法予以因應，考量系統整合，以切合地方狀態與國家永續發展目標。欲進行氣候變遷之管理與調適，其當務之急在於了解關注系統之脆弱度以及所承受的可能風險。然而，「脆弱度」卻是近幾十年來，最被科學社群廣泛應用與探討卻也最為模糊的概念之一。在氣候變遷領域，學界對於脆弱度的解釋往往會參考 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 評估報告書裡的定義。然而 IPCC 對於脆弱度之定義也隨著歷代報告書的出版而有所演進與修正。

IPCC 第三次報告 (IPCC, 2001) 對脆弱度的定義為「脆弱度乃系統易受或無法處理氣候變遷 (包括氣候易變性與氣候極端事件) 負面效應影響的程度，並脆弱度為定義為暴露度 (exposure)、敏感度 (sensitivity) 和調適能力 (adaptive capacity) 的函數來評估脆弱度。接續此版報告的定義，IPCC 第四次報告 (IPCC, 2007) 進一步說明「氣候變遷脆弱度是指地球物理、生物和社會經濟系統容易受到且無法應對氣候變化的不利影響」。然而，到了 2014 年所出版的第五次報告 (IPCC, 2014)，IPCC 報告內容從過去以脆弱度評估為重心，轉移到以氣候變遷風險評估為重心，並對風險、脆弱度、暴露度重新加以解釋與定義，其內容與 AR4 以及之前的報告有所不同。IPCC AR5 對於風險定義核心概念如圖 1 所示：

由圖 1 中可看出風險 (Risk) 是 IPCC 第五版報告書中最為核心的因子，認為風險乃脆弱度 (Vulnerability)、暴露度 (Exposure) 以及危害 (Hazard) 的相互作用而產生。其中，風險代表了氣候變遷造成有價值的事物處於險境且結果不確定的可能性，且通常為危害性事件或趨勢發生的概率乘以這些事件或趨勢發生造成的後果。脆弱度表示系統容易受到負面影響的傾向與本質，包括其敏感性、容易受災特性、以及缺乏應付與適應的能力。

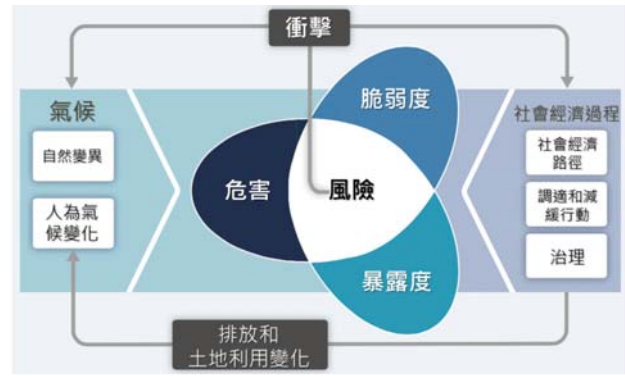


圖 1 IPCC 對於風險、脆弱度、暴露度與危害之核心概念 (IPCC, WGII, 2014)

暴露則為人類生命、生計、物種或生態系統、環境服務與資源、基礎建設、經濟、社會與文化資產處於有可能遭受不利影響的位置與設置。危害則表示可能發生的自然或人為物理事件或趨勢，或物理影響。它可造成生命損失、傷害或其它健康影響，以及財產、基礎設施、生計、服務提供、生態系統以及環境資源的損害和損失。而 IPCC 第五次報告以探討風險為主，並定義為：風險 = F (脆弱度，暴露度，危害)。

本研究將參考 IPCC 第五版對於風險的定義，發展一套系統性的氣候變遷評估調適流程。該流程將由最初的問題界定為始，並逐步評估現況與未來可能遭受之風險，進而針對風險的種類與屬性界定出適合的調適選項，並由眾多調適選項中擬定出適合之調適路徑，進而透過後續的監測以了解調適方案之執行情況，並作為未來修正之參考。

文獻回顧

國際間對於氣候變遷風險評估與調適擬定，不同領域一直都遵循著相同的架構與步驟進行分析。Meynecke et al. (2011) 針對漁產在氣候變遷影響議題下，界定相關問題，了解氣候變異造成的水溫劇變與降雨量的變化對澳大利亞昆士蘭州漁獲物組成、幼魚棲息地、魚群豐度的變化有相當之影響。在現況評估時則分析海水表面溫、降雨量對昆士蘭州的 7 個漁獲物種 (尖吻鱸、青蟹、烏魚、flathead、鱈魚、蝦虎、砂蝦) 的影響，未來風險評估則以降雨量、水溫與 CAE 為基礎，透過逐步迴歸模式 (forward stepwise regression model) 進行漁獲物衝擊與變動分析，並由風險分析結果，界定可行調適選項進行調適評估。Brenkert & Malone (2005) 從問題界定中了解印度人口

急速成長，氣候的多變性，在印度造成洪水及氣旋災害對印度具有相當之風險，現況風險評估了解到洪水及氣旋災害會破壞作物、財產、公共建設，對人及生物健康亦有負面影響。未來風險評估顯示山區及內陸的環境忍受度較優於海岸地區，而調適策略之擬定則建議高風險之海岸地區優先調適。

對於調適步驟之探討，Kwadijk 等人 (2010) 提出了調適決策 (The Adaptive Policymaking approach) 的概念，認為調適政策的產生應該是一個動態的過程，將該過程細分為五大步驟，包括：(1) 針對現況系統的情形進行分析，並設定目標未來的發展目標。(2) 擬定基本方案，針對步驟 1 所設定的發展目標擬定概略的達成方案。(3) 依據系統的脆弱度與機會，將步驟 2 的行動方案進一步細分為 I. 緩解措施 (actions to reduce the) II. 避險措施 (hedging actions) III. 掌握措施 (seizing actions) IV. 形成措施 (shaping actions)。(4) 設定一些追蹤用的指標 (signposts) 以了解各方案是否已滿足成功條件，以及方案面臨問題時該採行額外行動的觸發點 (triggers)。(5) 若上述的觸發點被啟動，則可採取四類不同的行動 (a) 防衛措施 (defensive actions)，釐清基本方案，確保利益並迎接外來挑戰。(b) 鄉政措施 (corrective actions)，針對既有方案進行調整。(c) 應急措施 (capitalizing action)，把握機會並改進現有方案之表現。(d) 重新評估方案 (reassessment of the plan)，計畫啟動時的分析與假設已經無效時採用。上述五大步驟中隱含了整個調適政策形成、執行以及修正概念。Haasnoot 則基於 Kwadijk 所提出的動態調適概念做延伸，提出了動態調適政策路徑 (dynamic adaptation policy pathway) 的想法。認為調適路徑的形成應包含以下流程：(1) 分析現況與不確定性；(2) 分析問題、脆弱度與可能機會；(3) 確定行動；(4) 評估前述行動的有效期限 (sell-by-date)；(5) 產生調適路徑圖；(6) 選擇偏好的調適路徑；(7) 決定調適行動計畫以及觸發時機；(8) 產生動態調適方案；(9) 實行調適方案；(10) 監測調適情形。

調適步驟架構研析

近年來臺灣乃至於全世界天氣誘發之災害不斷，提醒我們必須從過去衝擊評估之科學研究進展到推動調適行動之應用研究。然氣候變遷本身與其衝擊程度均具有相當高的不確定性，如何應用具有不確定性之

科學研究證據於實務調適能力建構，須發展與建立調適決策步驟之執行程序與可利用之工具、資料與方法等資訊，導引至正確調適行動。以下蒐集國際間相關之氣候變遷調適決策步驟與工具：

UKCIP 調適精靈

英國推動的氣候衝擊計畫 (UKCIP)，於 1997 年開始推動，由環境、食品與鄉村事務部 (Defra) 委託牛津大學執行，為英國國家整體因應氣候變遷議題之上位計畫，發展出「調適精靈」(Adaptation Wizard)，其調適步驟為：開始 (Getting Started)、評估現況脆弱度 (Current Climate Vulnerability)、分析未來脆弱度 (Future Climate Vulnerability)、評估調適選項 (Adaptation Options) 及監測與回顧 (Monitor & Review)。

UNFCCC 調適決策步驟

當前聯合國氣候變遷綱要公約 (UNFCCC) 進行全球因應氣候變遷機制與行動，以氣候變遷之減緩技術及衝擊調適為重點議題，影響未來世代之經濟、貿易、能源、環保等多面向的發展；而氣候變遷決策步驟上則建議以觀察 (Observation)、評估 (Assessment)、規劃 (Planning)、執行 (Implementation)、監測與修正 (Monitoring & Evaluation) 五步驟進行。

UNDP-APF 氣候變遷調適政策綱領

聯合國發展規劃署 (UNDP) 與全球環境基金 (Global Environment Facility) 於 2003 年提出氣候變遷調適策略綱領 (UNDP-APF)，協助各國政府將氣候變遷調適納入國家發展政策，訂定出調適決策五步驟，分別為：「調適計畫的範圍界定與設計」、「現況脆弱度之評估」、「評估未來氣候風險」、「建構調適策略」及「執行調適，持續評估與強化調適能力」，許多國家將其列為因應氣候變遷調適政策擬定的參考依據。

英國 NI188 指標

英國於 2008 年提出，2010 年完成之執政者自我評估 — NI188，是 198 個國家成效指標的其中一個，主要是針對各計畫執行進度與概況進行程序上的檢核，強調各種關係人、執行程序與共識形成的相關程序。NI188 之調適步驟分別為：開始 (Getting started)、公開承諾及評估衝擊 (Public commitment and impacts assessment)、全面風險評估 (Comprehensive risk assessment)、整體調

適行動計畫 (Comprehensive action plan)、執行、監測與持續檢討 (Implementation, monitoring and continuous review)。

NI188 除可檢視國家在氣候變遷調適的執行程序完成度外，也提供給地方政府用來檢視氣候變遷調適上有那些步驟該執行或尚未執行，及步驟中的細節該如何執行與克服困難，故 NI188 不僅為調適決策步驟，也可用來檢核各層級政府調適執行程序的指標。

Climate-ADAPT 歐洲氣候變遷調適工具

歐盟委員會 (European Commission) 於 2009 年提出歐盟層級調適做法白皮書 (Adaptation White Paper)，其中列出約 30 個應納入政策中的調適行動，如設立歐洲氣候變遷調適平台 (Climate-ADAPT)，除於平台中發布歐盟調適行動的最新資料及政策輔助工具外，還藉由 The Adaptation Support Tool，幫助使用者開發氣候變遷下的策略與計畫，該工具包含六大步驟，分別為：準備調適根據 (Preparing the Ground for Adaptation)、評估風險及脆弱度 (Assessing Risks and Vulnerabilities to Climate Change)、界定調適選項 (Identifying Adaptation Options)、評估調適選項 (Assessing Adaptation Options)、執行 (Implementation) 及監測與評估 (Monitoring and Evaluation)。

氣候變遷地方調適計畫

國內在國發會推動地方調適行動時，擬定氣候變遷地方調適計畫，以臺北市氣候變遷調適計畫為例，

該計畫為行政院經濟建設委員會於 2012 年委託辦理，協助臺北市延續 IPCC 氣候變遷調適基礎框架，並提出氣候變遷調適計畫推動架構作為調適步驟，其架構為：成立氣候變遷調適計畫推動工作小組、分析氣候變遷趨勢及影響、釐清氣候變遷衝擊關鍵領域與脆弱度概念、分析氣候變遷衝擊之脆弱度、分析關鍵議題、檢視既有政策與相關計畫及研提氣候變遷調適策略與行動計畫。

上述各單位之氣候變遷調適步驟彙整如表 1 所示，可以發現各單位之氣候變遷調適步驟有相同之架構與概念，但卻缺乏統一之步驟，以及切合 IPCC 第五次報告以探討氣候變遷風險來源為核心之精神。為此，本研究參考 UKCIP 的「調適精靈」(Adaptation Wizard)、UNDP 的「調適政策框架」(Adaptation Policy Framework) 及 Climate-ADAPT 的「調適支援工具」(Adaptation Support Tool)，發展出氣候變遷調適決策六大步驟，分別為：(1) 界定問題與設定目標、(2) 分析與評估現況風險、(3) 分析與評估未來風險、(4) 界定與評估調適選項、(5) 規劃與執行調適路徑、及 (6) 監測與修正調適路徑，其目的在於建立考量氣候變遷風險來源之調適決策步驟之執行程序，以提供決策者、一般民眾與執行團隊等了解氣候變遷調適該有之步驟，同時可作為檢核氣候變遷調適工作之參考依據。

研究方法

依循聯合國氣候變遷調適政策綱領 (UNDP APF)、英國氣候衝擊計畫的調適精靈 (UKCIP

表 1 各單位調適步驟比較

單位 步驟	UKCIP	UNFCCC	UNDP-APF	NI188	歐盟氣候調適平台	國內氣候變遷地方調適計畫
1	開始	觀察	調適計劃的範圍界定與設計	開始	準備調適的根據	成立氣候變遷調適計畫推動工作小組
2	評估現況脆弱度	評估	目前脆弱度之評估	公開承諾及評估衝擊	評估氣候變遷的風險與脆弱度	分析氣候變遷趨勢及影響
3	分析未來脆弱度	規劃	評估未來氣候風險	全面的風險評估	界定調適選項	釐清氣候變遷衝擊關鍵領域與脆弱度概念
4	評估調適選項	實施	建構調適策略	整體調適行動計畫	評估調適選項	分析氣候變遷衝擊之脆弱度
5	監測與回顧	監測與評估	持續調適過程	執行、監測和持續檢討	實施	分析關鍵議題
6					監測與評估	檢視既有政策與相關計畫
7						研提氣候變遷調適策略與行動計畫

Adaptation Wizard)、歐洲氣候調適平台的調適支援工具 (CLIMATE-ADAPT Adaptation Support Tool), 同時參考我國氣候變遷地方調適計畫, 本研究歸納之氣候變遷調適決策步驟包括: (1) 界定問題與設定目標; (2) 評估與分析現況風險; (3) 評估與分析未來風險; (4) 界定與評估調適選項; (5) 規劃與執行調適路徑; (6) 監測與修正調適路徑, 等六步驟。

界定問題與設定目標

主要目的在於界定氣候變遷下的關鍵議題並設定調適目標, 其下又細分為四個次步驟, 依序為: 1. 氣候變遷調適工作團隊之組成、2. 問題之界定、3. 跨領域關聯分析、4. 目標之設定, 詳細內容如後說明。

● 氣候變遷調適工作團隊之組成

欲組成氣候變遷調適工作團隊, 首先須確立主政部門與承辦人, 以避免後續執行時缺乏負責人主導。其次須組成負責之專業團隊, 藉由人才資料庫搜尋具備專業能力之團隊作為候選, 並藉由公開招標或遴選的方式, 組成專業團隊。建議可透過政府人才資料庫搜尋具備專業能力之團隊, 首要考量團隊是否具備具可信度之專業能力。確定負責之專業團隊後, 主政部門與承辦人須和負責之專業團隊進行權責分工以確認工作內容。最後必須組成參與的利害關係者, 後續決策時將考量利害關係者意見。籌組時可參考內部及外部利害關係者資料庫, 列出並邀請加入氣候變遷調適工作團隊; 內部利害關係者可能包含主政部門以外之其他部門, 而外部利害關係者可能包含當地居民、業者等直接受到影響者。

● 問題之界定

界定問題時, 首先須蒐集國內外氣候變遷關鍵議題, 包含文獻回顧及原有之規劃報告; 藉由國內外氣候變遷文獻可了解當前國內外主要關注議題及國際趨勢, 而參考原有之規劃報告可了解原有規劃內容及目標, 並依據執行成效評估是否需要修正既有規劃。建議可使用搜尋工具 (例如: TaiCCAT 知識平台) 搜尋國內外氣候變遷相關文獻, 原有規劃報告則建議參考歷年計畫或政策執行成果。其次為在地問題分析, 藉由歷史氣候災害資料庫、地方訪談、電話或民調等方式, 了解當地關心之氣候相關問題, 有助於直接解決燃眉之急。

接下來須界定擬解決的關鍵議題及系統範圍, 根據文獻回顧、在地問題分析結果, 了解規劃對象或領域之氣候變遷關鍵議題與在地關注議題, 並透過調適啟動會議來決定調適關鍵議題與系統範圍, 接著可進一步界定關鍵議題之危害、暴露與脆弱因子。專業團隊由界定之關鍵議題與系統範圍, 清楚界定出關鍵議題之危害、暴露與脆弱因子, 作為後續評估依據。

● 跨領域關聯分析

若欲分析之關鍵議題為跨領域範疇, 則須利用跨領域分析工具界定出關鍵議題之跨領域影響範圍, 建議可使用 TaiCCAT 跨領域系統動力模式分析各領域間關聯性。根據關鍵議題跨領域影響領域與因子, 檢討調適工作團隊之專業團隊組成名單是否具備跨領域評估能力, 以及受影響之利害關係者名單是否需要增減。

● 目標之設定

設定氣候變遷調適目標時, 首先須分析及檢討與關鍵議題相關之原有策略目標, 透過調適啟動會議, 回顧原有規劃及執行成效, 檢討與修正原有策略與目標, 以避免調適策略可和已有策略不連貫, 或無法妥善修正。透過與專業團隊及利害關係者會議, 有助客觀檢討原有策略目標。其次為建立策略目標之評估項目與可接受風險, 決定策略目標之評估項目、系統範圍與可接受風險後, 方能確定調適目標以及評估依據, 並藉由設定之可接受風險, 判斷調適成果是否符合預期。最後藉由策略目標之評估項目、系統範圍與可接受風險, 可確定調適目標, 並可客觀決定政策目標與目標年, 以確定達成調適目標之期限。

評估與分析現況風險

步驟二的主要目的是利用歷史資料與模式現況模擬結果, 評估目標領域所面臨之風險, 並探討風險之來源為何。其中分為三個次步驟, 分別為歷史事件之風險分析、評估模擬模式之驗證、利用現況氣象資料進行風險模擬。而各次步驟當中又有若干工作項目需要達成, 接下來將針對各個次步驟中的工作項目來進行介紹。

● 歷史事件之風險分析

欲了解現況之風險, 則必須先了解歷史事件之風險, 並進行分析與評估。評估歷史事件所需之工作項

目分為兩項，首先需蒐集關鍵議題相關之歷史事件風險評估結果。透過蒐集過去關鍵議題相關研究之風險評估結果，此結果可以是脆弱度分析、脆弱度地圖、危害分析、危害地圖，或是綜合脆弱度與危害之風險分析與風險地圖。若缺乏研究相關資料，可以地方經驗作為歷史事件之風險分析參考。在資料的蒐集上，需要歷史極端氣象災害事件資料，並建立歷史事件鑑別熱點及風險成因分析表，以利後續能夠產出歷史極端氣象災害事件風險評估陳述與結果。若無法取得關鍵議題之歷史事件風險評估結果，則無法了解歷史事件之風險，同時缺乏後續參考或佐證資料。

再來可進而鑑別熱點及風險成因（危害、暴露或脆弱度）。由過去關鍵議題相關之歷史事件風險評估結果，鑑別高風險地區（熱點），說明各熱點之風險主要來源為何？分屬危害、暴露度或脆弱度？因此需要各領域主要問題類型資料來幫助判斷歷史事件鑑別之熱點及風險成因，若是未能鑑別熱點及風險成因（危害、暴露或脆弱度），則可能在後續導致調適決策方向錯誤。

● 評估模擬模式之驗證

完成關鍵議題之歷史事件風險分析與鑑別熱點及風險成因後，便能著手評估模擬模式。首先蒐集模擬模式所需之歷史觀測資料，如氣象、水文、土地利用、經驗參數以及驗證所需資料，並將後續所需之各領域評估模式進行驗證，產生經過驗證後之模式參數。接著檢定模式參數與驗證模式，利用模擬模式所需之歷史觀測資料進行檢定，最後產出通過驗證之模擬模式，若是模式未經驗證可能導致模擬結果誤差，進而影響調適之決策。

● 利用現況氣象資料進行風險模擬

首先，需要定義評估之指標，回頭參考第一步驟所定義之評估項目，定義風險模擬所需之指標，如脆弱度、回復力及風險指標，如為跨領域問題，則須以被影響之領域定義評估指標。找出策略目標之評估項目、系統範圍與可接受風險，並對於評估指標有著清楚的定義，若是對評估指標沒有清楚的定義，則會缺乏風險評估之依據。接著便可將已通過驗證之模式參數代進模式當中，並輸入歷史資料進行模擬與分析。

有了現況之模擬結果，便可藉由歷史資料模擬結果，進一步分析及量化評估指標，並產出由歷史資料模擬結果與分析之量化指標結果，若是缺乏此量化指標結果則會缺乏歷史資料模擬指標可能忽視模式誤差所造成

之現況分析之不確定性。最後再利用現況資料模擬與輸出危害、脆弱度與風險地圖，鑑別空間高風險地區（熱點），說明各熱點之風險主要來源為何？分屬危害或脆弱度？並比對歷史事件與現況模擬之風險分析結果。需要根據前面產出的歷史分析量化指標來進一步找出現況分析之熱點與風險成因，因為缺乏現況分析之熱點與風險成因很有可能導致調適決策之方向錯誤。

評估與分析未來風險

步驟三主要的目的是利用模式與氣候情境評估基期與未來之風險，由基期與未來風險之差異探討氣候變遷所增加之風險，並探討風險來源為何。其中包含四個次步驟，分別為情境設定、評估基期風險、評估未來風險及比較基期與未來之風險差異。而各次步驟當中又有若干工作項目需要達成，接下來將針對各個次步驟中的工作項目來進行介紹。

● 情境設定

氣候變遷衝擊評估由於並無未來氣象紀錄資料，故須建立未來氣候可能之情境，才能進一步探討氣候改變之衝擊。由大氣環流模式透過降尺度過程設定預設情境，輸入氣象資料合成模式產生評估模式所需要之氣象資料，最後由評估模式分析得知衝擊影響。全球大氣環流模式（General Circulation Model, 簡稱 GCM）以物理性評估大氣溫室氣體增加導致全球暖化之特性，模擬分析包括大氣、海洋、冰、陸地系統間之交互作用。而 IPCC 預測全球未來可能之經濟、人口、工業與環境的發展，提出數種可能溫室氣體排放的趨勢（即為預設情境）。

在 IPCC 第五次評估報告中，是以「代表濃度途徑」（Representative Concentration Pathways, 簡稱 RCPs）來定義四組未來變遷的情境，並以輻射強迫力在 2100 年與 1750 年之間的差異量當作指標性的數值來區分之。被命名為 RCP2.6 的情境意味著每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 2.6 瓦，而 RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5 則代表每平方公尺的輻射強迫力分別增加了 4.5、6.0 與 8.5 瓦。在這四種情境中，RCP2.6 是個暖化減緩的情境（輻射強迫力在 2100 年呈減少趨勢）；RCP4.5 與 RCP6.0 是屬於穩定的情境（輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態）；RCP8.5 則是個溫室氣體高度排放的情境（輻射強迫力在 2100 年呈持續增加趨勢）。相較於第三次評估報告與第四次評估報

告所考慮的情境，這四種情境所能涵蓋層面更廣。除了設定了逐年的溫室氣體濃度，根據整合評估模式、簡化氣候模式、大氣化學模式以及全球碳循環模式的組合計算，每個RCP可以估算出人為溫室氣體排放量，並提供土地利用變遷的空間分布以及各區域空氣污染物的排放量。雖然這些RCP情境已經涵蓋了相當廣的輻射強迫力範圍，但仍有其不足之處，特別是與氣溶膠相關的部分。

在未來氣候情境的設定上，首先必須選定適合之GCM模式，再以選定GCM之氣候情境來進行氣候變遷模擬運算。而選定的方式可分為兩種，自行分析選定或是參考國內先前與相關研究所挑選之GCM進行分析。若是自行分析選定，要先訂定挑選原則，接著分析IPCC所釋出之GCM模式的基期資料，與歷史資料進行分析，挑選其氣候特性與台灣相近之模式進行後續分析。IPCC提供40多個GCM的RCP情境，雖然

每個GCM都經過驗證，然而對於台灣氣候特性之模擬表現，並非所有的GCM都有好的模擬結果。因此，使用不適合之GCM容易增加評估結果之不確定性，唯有挑選在台灣地區模擬表現較好之GCM，才能降低GCM所造成之不確定性。

IPCC提供RCP情境中適合台灣GCM之挑選報告提及利用中央氣象局測站資料，分析同時具有RCP8.5、6、4.5、2.6的GCM與台灣降雨之相關性與模擬表現度。依照降雨季節分布特性之不同，將台灣分成七個分區，以利使用者針對其研究區域挑選適合之GCM。結果如表2所示，每個分區前五名GCM依序列如表2，表3為各GCM之所屬單位與國家，而各氣候分區對應中央氣象局測站名稱如表4所示。

選定GCM模式後，接著需要設定氣候情境。氣候情境指的是未來相對於歷史某個時期，未來氣候的改變量，而此歷史某個時期即為情境時期基準，稱為

表2 研究區域落在台灣七個分區以及全台灣所適合之GCM列表

Rank	1	2	3	4	5
西北部	HadGEM2-AO	CCSM4	CSIRO-Mk3.6.0	NorESM1-ME	MIROC5
東部	CESM1-CAM5	GISS-E2-R	CCSM4	bcc-csm1.1	CSIRO-Mk3.6.0
恆春半島	MIROC5	GISS-E2-R	CCSM4	CSIRO-Mk3.6.0	HadGEM2-AO
南部	HadGEM2-AO	MIROC5	bcc-csm1.1 (m)	CCSM4	CESM1-CAM5
北部山區	bcc-csm1.1	CESM1-CAM5	NorESM1-ME	HadGEM2-AO	MRI-CGCM3
中部山區	MIROC5	CCSM4	HadGEM2-AO	CESM1-CAM5	MRI-CGCM3
西部離島	HadGEM2-AO	MIROC5	CESM1-CAM5	bcc-csm1.1 (m)	CCSM4
台灣	HadGEM2-AO	CESM1-CAM5	CCSM4	MIROC5	GISS-E2-R

表3 各GCM之所屬單位與國家

研發單位	國家	單位簡稱	模式
Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	中國	BCC	BCC-CSM1.1 BCC-CSM1.1 (m)
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation in collaboration with the Queensland Climate Change Centre of Excellence	澳洲	CSIRO-QCCCE	CSIRO-Mk3.6.0
The First Institute of Oceanography, SOA, China	中國	FIO	FIO-ESM
Institut Pierre-Simon Laplace	法國	IPSL	IPSL-CM5A-LR IPSL-CM5A-MR
Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	日本	MIROC	MIROC5
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies	日本	MIROC	MIROC-ESM MIROC-ESM-CHEM
Meteorological Research Institute	日本	MRI	MRI-CGCM3
NASA Goddard Institute for Space Studies	美國	NASA GISS	GISS-E2-H GISS-E2-R
National Center for Atmospheric Research	美國	NCAR	CCSM4
Norwegian Climate Centre	挪威	NCC	NorESM1-M NorESM1-ME
National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration	韓國	NIMR/KMA	HadGEM2-AO
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	美國	NOAA GFDL	GFDL-CM3 GFDL-ESM2G GFDL-ESM2M
National Science Foundation, Department of Energy, National Center for Atmospheric Research	美國	NSF-DOE-NCAR	CESM1 (CAM5)

表 4 對應分區之氣象站分區表

分區	分區包含測站
西北部	台北、淡水、新竹、梧棲、台中
東北海岸	基隆
東部	宜蘭、花蓮、成功、台東
恆春半島	大武、恆春
南部	嘉義、台南、高雄
北部山區	鞍部、竹子湖、蘇澳
中部山區	日月潭、玉山
南部山區	阿里山
北部外島	彭佳嶼
西部外島	澎湖、東吉島
東部外島	蘭嶼

基期。以 IPCC 第五次報告而言，多以 1986 ~ 2005 年為基期。氣候變遷情境可由 IPCC 資料發布中心 (Data Distribution Center) 取得，然而 IPCC 提供之情境為全球環流模式所模擬出之結果，因此包含全球各地之氣候情境，且尚未進行降尺度至臺灣的動作。我國科技部有鑑於此，乃委託國家災害防救科技中心 (NCDR) 執行 TCCIP 計畫，將 IPCC 所提供之氣候情境，利用統計降尺度至臺灣地區，並提供國內相關研究申請使用。另外，相關研究單位亦取用 IPCC 與 TCCIP 的情境，將情境資料內含在評估模式當中，使用者可以直接透過評估模式取得氣候變遷情境，相關模式如 TaiWAP (Liu et al. (2009); 劉子明 (2010); Tung, et al. (2014); TaiWAP 網站)。最後則需要確定影響未來風險之社會發展因子並設定社會經濟發展情境，如 GDP、人口、工業發展、農業發展、土地利用變化等，同時考量氣候情境以及社會經濟情境以利後續未來風險分析與評估。

● 評估基期風險

以氣象合成模式合成出基期氣象資料，或利用大氣環流模式產生出較小時間尺度之基期氣象資料，並代入基期之社會經濟參數進行模擬，以分析與評估基期風險。最後再模擬與輸出危害、脆弱度與風險地圖，鑑別空間高風險地區 (熱點)，說明各熱點之風險主要來源為何。基期以氣象合成資料模擬目的在於跟未來風險比較時有相同之模式基準，避免合成模式與歷史資料之間的誤差影響結果。

● 評估未來風險

評估未來風險的流程與前面評估基期風險的流程相似，一樣運用前面設定之基期統計氣候特性參數與未來氣候情境，以氣象合成模式合成出未來氣象資

料，或利用大氣環流模式產生較小時間尺度之氣象資料。產出合成的未來氣象資料，並代入未來之社會經濟參數進行模擬，以分析與評估未來風險。最後再模擬與輸出危害、脆弱度與風險地圖，鑑別空間高風險地區 (熱點)，說明各熱點之風險主要來源為何。

● 比較基期與未來之風險差異

分別產生基期與未來的風險地圖之後，便可比較基期與未來風險地圖之差異，找出風險增加之區域，並說明造成風險增加之原因來自於危害、暴露或脆弱度。如為跨領域問題，則須考慮風險成因與主要影響領域之關係。經過比較基期與未來模擬指標結果，以及基期與未來的風險地圖後，便能得到未來風險差異之空間熱點，及未來風險成因 (危害、暴露或脆弱度)，作為後續調適決策之參考依據。

界定與評估調適選項

步驟四主要目的在於分析風險來源，擬定與評估可用之調適選項，藉此選出與排序可行之調適選項。本步驟可細分為兩個次步驟：(1) 界定調適選項、(2) 評估調適選項，詳細內容如後說明。

● 界定調適選項

首先須針對風險來源蒐集可能的調適選項，建議針對可行調適選項進行對應問題或風險類型 (危害、暴露或脆弱度) 之分類，以作為調適策略之選擇依據，並藉由分析未來風險差異之空間熱點，及未來風險成因，配合調適策略列表彙整出對應風險成因之調適選項列表。此外，必須考量當地智慧調適選項，並分析其所對應解決之風險來源，建議可透過利害關係者會議蒐集在地調適選項以擴充調適選項列表。最後可依據上述步驟，挑選所列調適選項進行後續評估，彙整出可行之調適選項。

● 評估調適選項

於擬定調適選項評估準則時，可參考 UKCIP 所建議之評估準則，或增加團隊認為必須考慮之準則。如為跨領域問題，則建議將調適選項與其他領域之競合關係作為評估準則之一，此項作業可透過政府部門及專家學者問卷調查來決定，評估準則如跨領域影響、效用、可行性、不確定性等。接著須決定評估準則之權重，建議可參照 AHP 層級分析法或專家建議決定各評估準則之權重，以作為後續排序之加權依據。

最後依據各準則評估調適選項或組合，優選出合適之調適選項或組合。建議利用多準則排序評估法、層級分析法或其他有依據之評估、決策方法，由調適策略列表中找出適合之調適選項。若無法找出適用之調適科技、缺乏調適選選項組合，將無法產生調適路徑。

規劃與執行調適路徑

此步驟的目的在於規劃與制定調適選項的執行路徑，並且制定出實際執行的順序與時程，其基本的步驟可分為：(1) 規劃調適路徑、(2) 執行調適行動兩部分。

● 規劃調適路徑

在規劃調適路徑的過程中，首要工作乃基於調適選項之組合制定出調適路徑圖。在第四步驟中已針可能採用之調適路徑進行排序與優選，找出較佳之調適選項組合，而各種調適選項之組合，即代表後續執行調適方案時的「路徑（即可能採用之調適選項組合及其順序）」。

由於可採行的調適選項往往具備複數種類，因此可能產生的「路徑」亦可能具備多種選擇，若將可能的路徑繪製成圖，則將產生類似大眾運輸路線圖的調適路徑圖。

圖 2 為本研究參考 Haasnoot 等人之研究 (Haasnoot et al. 2013) 所繪製之調適路徑圖示意架構，該調適路徑圖由 A~D 四項調適路徑所構成，圖中的「○」符號表示調適行動方案的轉換點，而「|」符號則表示系統之臨界點。圖 2 縱軸為調適選項，橫軸為時間，若持續採行現行政策，則系統很可能將遭遇臨界點，此時氣候變遷對系統產生的衝擊將超越系統自身的調適能力，使系統面臨過大之風險。為了不使系統遭遇臨界點，可於遭遇臨界點之前轉換至 A、B、C、D 任意調適選項，以延長系統遭遇臨界點之時間。若採行調適選項 A 或調適選項 B，系統將能持續運作，若採行選項 B 獲選項 C，則系統仍會因為選項無法執行而必須再次轉換到其他策略。事實上調適路徑圖的目的在於清楚呈現所關注系統或是

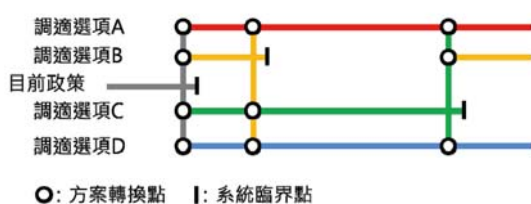


圖 2 調適路徑之示意圖 (Haasnoot et al. 2013)

議題可能採取的調適選項種類，以及由不同選項組成的調適路徑，因此並未具備特定的形式或是規範。

調適路徑圖中的路徑均經過前置分析，各策略背後所包含的調適選項或是方案組合皆為可行，僅需由多條路徑中選擇其條即可付諸實行。然而，就現實執行面來說，不同的調適選項組合，其背後對於其他領域所產生的影響層面或是衝擊程度不盡相同，因此本研究建議在調適路徑的選擇階段，應再次召開利害關係者討論會議，藉由不同的觀點重新審視調適路徑途中的各種可能路徑選項，以挑選出適當之調適路徑。而一旦確立調適路徑後，為了日後能有效確保調適路徑中的各項調適方案皆能有效執行，應針對各項調適方案預先設定程序指標與成效指標。

● 執行調適行動

由於單一調適路徑中可能包含多項調適選項，而各選項所牽涉到的負責部門或是執行單位有可能因政府組織權責的分工而有所差異，因此本研究認為在執行調適行動階段，其首要工作乃確認各項調適選項的分工以及其執行單位。唯有預先確定各調適選項皆有負責執行的部門或單位，後續方能按照計畫逐一施行而不至產生斷層。而一旦調適選項開始依照計畫啟動時，負責各項調適選項的執行單位則需要依據所執行方案的特性擬定執行計畫，並依照執行計畫逐步完成調適選項之內容。

監測與修正調適路徑

監測與修正調適路徑為六大步驟的最後一個環節，其主要目的在於監測與評價調適選項之執行成果是否符合預期，是否走在原定之調適路徑上，並提出調適路徑的修正建議或方向。此步驟之細部流程可劃分為：(1) 確認氣候與環境變化趨勢、(2) 評估調適方案之執行程度、(3) 評估調適方案之執行成效、(4) 修正調適計畫。

● 確認氣候與環境變化趨勢

在步驟三中，為了評估系統於未來可能遭受之風險，必須先針對未來可能之氣候情境或是社會經濟情境進行假設。然而，無論是氣候變遷情境或是社會經濟情境均為相關領域學者之推定，實際上的氣候變化或是社會經濟發展未必會遵循此預測趨勢變動。因此本研究建議應定期監測氣候、環境以及社會經濟情

勢之變化情形，並與步驟三所假設之預設情境比對，一旦實際之氣候或是社會經濟變化情形偏離預設情境時，則需考慮是否重新進行未來風險分析，甚至於重新規劃調適選項與調適路徑。

● 評估調適方案之執行程度

在步驟五中已針對調適路徑中的各項調適選項設定了檢核用的程序指標，而在第六步驟中由於調適選項已進入執行階段，需定期以各項調適選項的程序指標進行檢核，以了解各調適選項是否有按照原先預定的程序與進度順利執行。

● 評估調適方案之執行成效

同上，利用步驟五設定檢核用的成效指標，定期檢核各項調適選項成效，以了解各調適選項是否有符合原先氣候變遷風險評估下之效用。

● 修正調適計畫

若是程序與成效指標的評估結果顯示出調適選項的執行明顯不如預期，則執行團隊應進一步檢討其背後的可能原因，並設法提出修正改善計畫。綜上，調適計畫的修正可能是因為步驟三所假設之氣候變遷或是社會經濟情境已被離現實發展之趨勢，亦可能是由於程序或成效指標無法滿足檢核需求而必須做修正調整。

案例分析

前節所述之氣候變遷調適決策六大步驟，提供了氣候變遷調適決策的系統性流程，可協助決策者由界定問題與設定目標開始，到最後的調適路徑監測與修正，其間的所有流程均有詳細步驟與工作項目羅列說明，讓整體調適流程更加明確化與制度化，以利所有領域與部門進行氣候變遷調適之工作。本節將以高雄地區水資源供水系統為例，說明氣候變遷調適決策步驟一至四，以了解氣候變遷下水資源供水系統所面臨之風險與調適決策步驟。

界定問題與設定目標

● 氣候變遷調適工作團隊之組成

針對高雄地區水資源供水系統面對氣候變遷之風險與調適擬定，本研究案例假設主政部門為經濟部水利署水利規劃試驗所，主要掌控我國水資源之開發與規劃，而承辦人員則為水利規劃試驗所水源課研究員。氣候變遷調適之工作由此起頭，藉由公開招標與遴

選，挑選出適合之專業團隊。再挑選與高雄地區水資源供水系統之利害關係者，以此組成工作團隊，作為後續工作推動的基本組成。水資源的利害關係者首先為不同用水需求者，分為農業用水者、民生用水者、及工業用水者，而農業用水的管理者為高雄農田水利會，民生與工業用水管理者則為台灣自來水公司，其他 NGO 單位則有中華民國自來水協會、台灣環境保護聯盟、社團法人台灣永續生態工法發展協會、綠色和平基金會等，提倡永續經營、和平發展以及節約水資源等概念加強民眾的基礎教育使得社會更和諧。

● 問題之界定

本研究以高雄地區為研究區域，供水系統如圖 3 所示。主要跟供水系統有關之支流包括高屏流域的旗山溪、美濃溪、荖濃溪、濁口溪以及隘寮溪。高屏溪為臺灣流域面積最大河川，年平均逕流量 8,455 百萬立方公尺，其中豐水期 7,694 百萬立方公尺約佔總逕流量之 91%，枯水期約 761 百萬立方公尺約佔總逕流量之 9%（經濟部水利署全球資訊網）。高屏溪流域內並無水庫，只有離槽水庫 - 南化水庫屬於曾文溪流域。南化水庫上游入流河川為後堀溪，然而主要蓄水來源乃利用甲仙攔河堰越域引旗山溪水，再利用輸水管引水至坪頂淨水場，以蓄豐濟枯的方式供應大高雄地區之供水。另於下游處有高屏攔河堰引水至坪頂、澄清湖、翁公園以及拷潭淨水場供應大高雄供水。高屏溪流域背負著供給高雄地區民生與工業用水之重責大任，對水量需求十分殷切，同時亦供給高雄水利會灌區以及部分屏東水利會灌區（如圖 3 編號 11~16 圳路）（童慶斌等，2013）。

藉由文獻蒐集與分析，可了解全球溫度有上升趨勢，未來氣候變遷可能導致無法預料的降雨或極端事件影響水資源甚鉅（游保杉，2001），南部地區豐枯差異大，水資源管理困難，氣候變遷將會加劇影響（童慶斌等，2007；童慶斌等，2009；許泰文等，2009），而水資源又影響社會經濟發展、糧食系統等（童慶斌，2012）。面對此氣候變遷的威脅，在對應不同系統本身的調適能力下，需評估系統風險並制定適合的調適決策因應。

分析現有水資源系統，可以了解水資源系統所面臨的問題包括：水源不足、水需求成長、水資源設施不足、整合性管理彈性不足、及氣候變遷調適決策能力不足，各項問題類型與說明如表 5 所示。

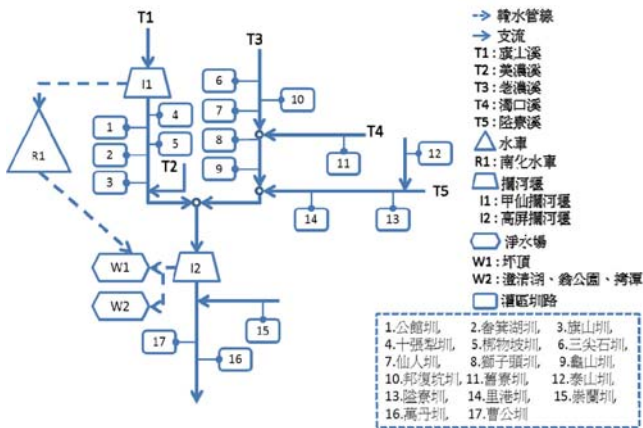


表 5 氣候變遷下水資源系統之問題界定

水資源系統問題	說明	風險來源
水源不足	水源不足的問題，可以從河川流量及地下水補注量去探討，此為水資源系統主要之供水來源。	危害度
水需求成長	水需求成長，主要來自於人口增加造成生活用水量增加、工業用水量增加以及農業需水量改變去探討。	暴露度
水資源設施不足	即使擁有充沛的水源，水資源利用率不足仍會造成水資源供給之缺乏，而水資源利用率主要決定於水資源設施，如水庫、淨水場等蓄水與取水設施，在界定水資源問題時，了解水資源設施是否不足亦為重要之一環。	脆弱度
整合性管理彈性不足	在面對未來供水可能不足的情況下，如何加強常態供水、備用水源與緊急水系統之管理整合，抑或是如何強化緊急用水時之用水彈性調度機制，在未來可能不足的情況下，加強各種水源之即時及彈性調度亦為一重要的課題。	脆弱度
氣候變遷調適決策能力不足	面對氣候變遷的威脅，缺乏針對氣候變遷進行衝擊評估，或評估氣候變遷資訊具有高度不確定性，對於水資源規劃都是具有相當之威脅，一旦發現此部分之決策能力不足，則有必要強化氣候變遷調適決策能力。	脆弱度

● 跨領域關聯分析

水資源在面對氣候變遷之威脅下，可能導致缺水問題加劇。缺水問題可能直接影響農業生產以及工業製造，另外也可能間接影響河川生態。因此，工作團隊應檢討是否有農業生產、工業發展以及生態維護之利害關係人。

● 目標之設定

在了解高雄地區水資源供水系統在面對氣候變遷可能之關鍵問題與風險來源之後，本研究參考水資源經理計畫，以水資源永續發展為目標，以民國 120 年為目標年，評估未來之缺水風險、供水承载力，分析風險來源，以利後續之調適策略之擬訂。

評估與分析現況風險

● 歷史事件之風險分析

蒐集高雄地區因極端事件（如極端降水或乾旱）等造成之台南地區水資源之衝擊，分析事件發生的風險來源，以及整理當時政府之應變措施，如表 6。由歷史事件分析結果得知，高雄地區水資源風險主要來源包括極端氣候之影響（危害度），此部分包括連續不下雨天數增長，以致備援供水無法應付極端氣候（脆弱度）以及洪水（危害度）損壞供水系統（脆弱度）或造成高濁度引發淨水處理困難問題（脆弱度）。而整體系統抗旱能力不足，原因來自於高雄地區需水量（暴露度）高於可供水量（調適能力），備援系統（調適能力）無法應付極端氣候所造成之乾旱。

● 評估模擬模式之驗證

本研究利用由康乃爾大學所發展之集水區通用水文傳輸模式 GWLF (Generalized Watershed Loading Functions) (Hath et al., 1992) 中的水文模式進行集水區流量推估，隘寮溪以及美濃溪因觀測資料不足，於模擬過程將利用荖濃溪模擬結果，以面積法推估其流量。供水系統主要河川後堀溪、旗山溪以及荖濃溪，將分別以南化水庫、楠峰橋以及阿其巴橋測站進行驗證，利用 2 種評鑑指標，分別為模擬與觀測流量體積比 (Vs/Vo)、相關係數 (coefficient of correlation, CC) 來評鑑驗證之結果，相關係數越接近 1 越好，模擬與觀測流量體積比越接近 1 越好，結果如表 7 所示，除了荖濃溪因為受取水影響而結果較不理想之外，其餘各支流均有不錯之模擬結果。

水資源供水模擬乃利用美國 Ventana 系統公司發展之系統動力學 (System Dynamics) (Forrester, 1961) 應

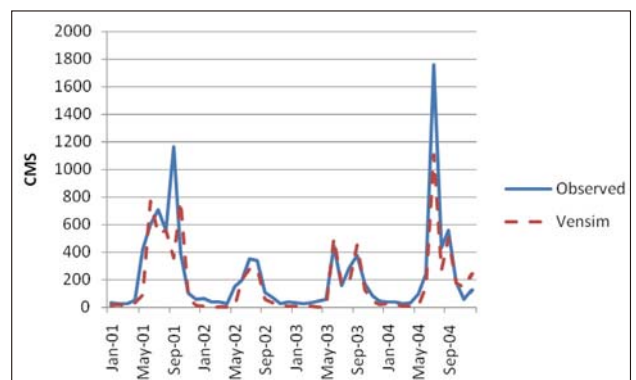


圖 4 系統動力模式於里嶺大橋之驗證

表 6 歷史事件之衝擊與風險來源

發生時間, 事件	衝擊 (包含影響空間)	風險來源 屬危害、暴露或脆弱度?
2003 年, 旱災	2003 年 7 月, 全台 7 月份平均雨量為 53 年來最低, 缺水日漸嚴重, 南化水庫蓄水率 44%, 曾文與烏山頭水庫聯合蓄水率 12.5%, 各標的用水實施減壓供水, 停灌各期甘蔗雜作, 一期稻作採加強灌溉管理, 以通水七日間斷九日方式供應。	枯水期末水資源漸漸不足, 進入豐水期又沒有明顯補注, 乾早期距拉長, 使得用水調度困難。 危害 — 豐枯水期分配不均
2009 年 8 月 9-14 日, 莫拉克風災缺水	莫拉克颱風挾帶豪雨, 沖毀南化 - 坪頂淨水場聯通管路, 甲仙攔河堰閘門取水設施損毀, 加上南化水庫原水濁度飆高, 高屏攔河堰亦被洪水淹沒, 嚴重影響大高雄供水	極端事件造成供水系統損毀, 高濁度下處理不及以致無法正常供水。 危害 — 極端氣候 脆弱度 — 極端氣候影響供水系統
2009-2010 年, 莫拉克風災過後南部乾旱	莫拉克過後, 台南地區久未降雨, 曾文水庫因八八水災嚴重淤積, 曾文與烏山頭蓄水約兩億噸, 其中自來水公司移用 6000 萬噸, 而嘉南地區 2010 年 1 期作全面休耕, 僅春季雜作灌溉, 以確保工業及民生用水不被限制。而之後的梅雨季降雨不甚理想, 南部供水吃緊, 決定將南部 2 期稻作灌溉時間延後半個月。	枯水期末水資源漸漸不足, 進入豐水期又沒有明顯補注, 乾早期距拉長, 使得用水調度困難。 危害 — 豐枯水期分配不均 脆弱度 — 供水系統抗旱能力不足、極端氣候影響供水系統
2011 年 5 月, 乾旱	2010 年 10 月 23 日梅姬颱風侵臺後, 臺灣地區進入約半年的枯水期, 降雨偏少之地區 4 月則向南延伸至南部高雄。	乾旱發生期距拉長, 使水資源利用困難。 危害 — 豐枯水期分配不均 脆弱度 — 供水系統抗旱能力不足
2014 年 3 月, 乾旱	高雄地區則因近期降雨不佳, 影響作物生長、產量降低, 曾文 — 烏山頭水庫蓄水情形較歷年同期減少 1 億 1882 萬噸, 降雨情況不如預期, 造成水庫蓄水容量不足。	乾旱發生期距拉長, 使水資源利用困難。 危害 — 豐枯水期分配不均 脆弱度 — 供水系統抗旱能力不足
2015 年 3~5 月, 乾旱	全台降雨量不足, 由以南部地區更為嚴重。	乾旱發生期距拉長, 使水資源利用困難。 危害 — 豐枯水期分配不均 脆弱度 — 供水系統抗旱能力不足

表 7 GWLF 使用參數與驗證結果

支流	出口流量站或水庫集水區	驗證年份	CN 值	退水係數	Vs/Vo	CC
後堀溪	南化水庫	1990~2007	74	0.121	1.08	0.89
旗山溪	楠梓橋	1997~2008	72	0.092	1.18	0.77
荖濃溪	阿其巴橋	1994~2009	75	0.045	1.22	0.67

用軟體 Vensim (Vensim 網站), 建立結合曾文溪水資源系統之高屏溪水資源系統動力模式進行水資源系統模擬。利用 2001-2004 年之里嶺大橋流量 (2005-2006 年流量缺測) 進行驗證, 結果如圖 5, 里嶺大橋在經過上游取水, 以及兩大支流匯流後, 仍有不錯的模擬結果, 相關係數有 0.85。顯示本研究之高屏溪水資源系統可以合理模擬整個水資源供需水的模擬。

● 利用現況氣象資料進行風險模擬

依照現況之計畫需水量進行模擬與分析, 生活需水量採用「水資源開發利用總量管制策略推動規劃」(經濟部水利署, 民國 101 年) 之數據進行模擬與分析, 工業需水量則採用最新報告「曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析」(水規所, 民國 102 年) 之計畫需水量, 農業用水則以高雄水利會民國 102 年計畫需水量

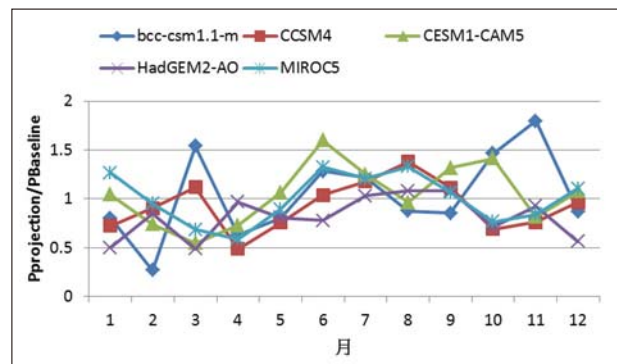


圖 5 高雄地區五個 GCM 之 RCP8.5 降雨情境 (旗山溪為例)

進行模擬。高雄地區現況水源供給能力約每日 152.8 萬噸 (水利署, 2011), 本研究推估現況之供水承載力為 152.67 萬噸, 相當接近。然而現況高雄之需水量約為每日 172 萬噸, 需水量遠超過系統可供水量, 可知高雄地區已經暴露在相當之缺水情況。以現況風險評估結果分析, 高雄地區現況主要問題在於需水量遠高於可供水量, 此風險來源雖然可視為調適能力不足引致之高脆弱度, 但以水資源總量管制的角度思考, 反而應該檢討高需水量導致之風險, 應該降低暴露於此風險下之各標的需水量, 以降低暴露度的方式降低系統風險。

評估與分析未來風險

● 情境設定

為了評估未來氣候變遷下之最大可能風險，本研究以排放情境最嚴重之 RCP8.5 進行評估，採用適合台灣南部的五個 GCM，HadGEM2-AO、MIROC5、bcc-csm1.1 (m)、CCSM4、CESM1-CAM5 (請見表 2)，並以民國 120 年為目標年，採用民國 120 年之人口預估、每人每日用水量預估、工業用水中成長等作為未來社會經濟情境。民國 120 年對應氣候情境則為 2021~2040 年之氣候情境。在此僅列旗山溪之降雨情境 (未來雨量/基期雨量) 如圖 5 所示，縱軸為未來相對於基期之降雨量倍數，亦即大於 1 表示增加，小於 1 表示減少。每個情境在豐枯水期的變化上可能影響供水系統之供水能力，然而實際影響仍需藉由模擬才能評估出來，光由降雨量之豐枯變化，是難以斷定對水資源供水之衝擊的。

● 評估基期風險

基期之公共用水缺水分析如表 8 所示。由於模擬過程並不考慮農田休耕以及備援供水等措施，此模擬結果乃沒有彈性之供水系統模擬結果，亦即沒有緊急與備援措施條件下之缺水分析。結果顯示，在沒有備援措施條件下，高雄地區年缺水率為 11.5%，相當於缺水指數 SI = 1.32，缺水事件之平均缺水日數為 66 日，缺水事件最大缺水率為 67.4%。以現況供水設施進行評估，當 SI 為 1 之條件下，基期供水能力為 152.03 萬噸/日，基期供水缺口約每日 20 萬噸。

表 8 基期高雄地區公共用水缺水分析

年缺水率	SI 缺水指數	平均缺水日數	最大缺水率	供水缺口 (萬噸/日)
11.5%	1.32	66	67.4%	20

● 評估未來風險

高雄地區未來供水能力模擬結果如表 3 所示，高雄地區在民國 120 年無氣候變遷下，生活需水量為每日 106.2 萬噸，工業需水量為每日 93.5 萬噸，換算公共需水量為 199.7 萬噸/日，供水缺口 43.37 萬噸/日，顯示現況設施無法滿足未來需水條件。氣候變遷評估中，工業需水量維持民國 120 年之計畫需水量每日 93.5 萬噸；生活需水量為每日 101.9 萬噸。承载力評估結果顯示氣候變遷影響下，供水能力為每日 145.36~163.95 萬噸，供水缺口約每日 31.45~50.04 萬噸 (表 9)。

● 比較基期與未來之風險差異

將有氣候變遷下之供需缺口減去無氣候變遷下之供需缺口，便可以推求出因為氣候變遷影響所造成之供需缺口，如表 9 所示。結果顯示氣候變遷影響所造成之供水缺口可達每日 6.67 萬噸，同時有結果顯示氣候變遷可增加供水能力，至多可達每日 11.92 萬噸。在風險管理與考量之下，仍以最大可能風險進行評估，而 CCSM4 評估結果為未來最負面之結果，後續將以 CCSM4 之結果來探討調適方案是否能夠因應未來氣候變遷與需水壓力。

由 CCSM4 之評估結果進行風險來源探討，得知未來水資源風險來源包括 (1) 危害度的增加，此部分即為氣候變遷所造成豐枯變化加劇，因而降低水資源系統供水能力，提高缺水風險；(2) 暴露度之增加，此部分即為需水量之增加，所造成暴露於缺水系統程度的增加。另外，對於缺水事件較敏感之工業，屬於系統較脆弱之一面，然而未來經濟發展之需求，增加工業之發展，同時也是提高系統之脆弱度。

表 9 民國 120 年考量以及未考量氣候變遷影響之供需水模擬結果 (單位：萬噸/日)

民國 120 年無氣候變遷	(1) 生活需水量	106.2				
	(2) 工業需水量	93.5				
	(3) 公共需水量 ((1)+(2))	199.7				
	(4) 供水能力	152.03				
	(5) 供需缺口 ((3)-(4))	43.37				
民國 120 年 RCP8.5 情境	GCM	Bcc-csm1.1(m)	CCSM4	CESM1-CAM5	HadGEM2-AO	MRCGCM
	(6) 生活需水量	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9
	(7) 工業需水量	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5
	(8) 公共需水量 ((6)+(7))	195.4	195.4	195.4	195.4	195.4
	(9) 供水能力	152.57	145.36	163.95	161.84	145.82
	(10) 供需缺口 ((8)-(9))	42.83	50.04	31.45	33.56	49.58
氣候變遷造成供需缺口 ((10)-(5))		-0.54	6.67	-11.92	-9.81	6.21

界定與評估調適選項

● 界定調適選項

我國「國家氣候變遷調適政策綱領」中水資源調適策略以「在水資源永續經營與利用之前提下，確保水資源供需平衡」為總目標。依此目標擬定之水資源調適策略包括：(1) 穩定供水能力；(2) 確保合理用水需求負荷；(3) 強化彈性管理能力；(4) 掌握水資源資訊與不確定性；(5) 集水區保育與合理土地利用規劃及 (6) 其他（社會經濟、產業與科技發展）等（經濟部水利署水利規劃試驗所，2012）。由觀察與評估的水資源問題與脆弱度，可以擬定對應之調適策略以及調適方案選項。

● 評估調適選項

前一節所界定之調適選項，有些目的在於降低危害度，有些是降低暴露度，有些在於降低脆弱度。依據本研究從問題界定到評估與分析現況與未來風險，了解高雄地區未來主要風險來源來自於高暴露度以及高危害度。推動節水措施雖然可以降低暴露度，但考量未來經濟發展與糧食安全問題，仍須提出降低危害度之調適方案。根據台灣南部區域水資源經理計畫（經濟部水利

署，2011），高雄地區為了補足供需缺口，擬推動高屏大湖一期與二三期，高屏大湖一期將增加每日 14 萬噸供水量。高屏大湖二三期若於民國 120 年完工，將提供每日 28.6 萬噸供水量，共增加每日 44.6 萬噸。然而在氣候變遷影響下，供水能力可能遭受影響。如表 11 的 CCSM4 結果顯示，民國 120 年在氣候變遷影響下，可能仍有每日 5.44 萬之缺口。面對氣候變遷的不確定性，未來氣候變遷可能增加供水缺口，也有可能降低缺水風險，如為了此氣候變遷可能缺口 5.44 萬噸/日，再以穩定供水能力之策略，增加水源來降低危害度，也有可能造成過度調適與資源浪費等問題。因此，面對此缺口，宜考量不後悔或環境低衝擊之調適方案，以避免因為提升水資源調適能力，反而消耗社會成本與環境資源。

結論與建議

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，面對氣候變遷的風險，如何滿足當代與未來的需求，對於決策者而言充滿了許多變數，並影響原有之決策與評估方法。從 IPCC 第五次報

表 10 對應不同調適策略與降低風險方式之調適選項

調適策略	對應問題類型	降低風險方式	措施
穩定供水能力	水源不足	降低危害度	增建水庫或蓄水設施
			設置地下水水庫
			水庫淤積清理
			人工湖
			埤塘
			伏流水
			雨水儲集系統
			地下水井新增
			地下水井復抽
	海水淡化廠		
設施不足	提升調適能力（降低脆弱度）	淨水場供水能力增加	
確保合理用水需求負荷	加強管理	降低暴露度	生活節水方案
			工業節水方案
			農業節水方案
			農業耕作制度調整
			建立初始水權分配制度
			建立水權轉讓制度
	汰換舊漏自來水管線		
設施不足	提升調適能力（降低脆弱度）	降低灌溉渠道輸水損失	
強化彈性管理能力	加強管理	降低暴露度	新增輸水管線
	設施不足	提升調適能力（降低脆弱度）	廢汙水回收、循環利用
掌握水資源資訊與不確定性	加強管理	降低暴露度	跨流域引水
			加強供需情勢監測
集水區保育與合理土地利用規劃	加強管理	降低暴露度	非氣候因子之資料收集與分析
			土地利用改變
			加強水庫上游集水區水土保持
			下游生態基流量之分析
其他（社會經濟、產業與科技發展）	加強管理	降低暴露度	工業區之規劃與調整
			建立水資源災害保險制度

表 11 民國 120 年加入高屏大湖一期、二期、三期後之供水模擬結果 (單位：萬噸/日)

	GCM	Bcc-csm1.1 (m)	CCSM4	CESM1-CAM5	HadGEM2-AO	MRCGCM
民國 120 年 RCP8.5 情境	公共需水量	195.4	195.4	195.4	195.4	195.4
	供水能力	197.17	189.96	208.55	206.44	190.42
	供需缺口	-1.77	5.44	-13.15	-11.04	4.98

告 (IPCC WGII, 2014) 可以了解到，氣候變遷影響下之風險來源可以歸類為暴露度、危害度以及脆弱度，唯有了解未來氣候變遷風險類型，那些來自於氣候所造成之危害度，那些來自於系統於危害下之暴露度，以及那些來自於系統本身之脆弱度，才能針對風險來源，提出適當之調適策略與方案。國際間氣候變遷調適方法雖有完整之架構，但卻缺乏一致的步驟與詳細的說明，國內在氣候變遷調適研究與工作上，也因為缺乏標準流程，以及如何由氣候變遷風險評估到調適策略擬定之詳細說明，而出現主政機關不知如何審視委託之專業團隊進行之調適規畫，以及專業團隊盲目的從廣泛與深淺不一的前人研究中，找尋適當卻不一定專業之調適研究方法。有鑑於此，本研究參考國際間主要之氣候變遷調適步驟與架構，擬定氣候變遷調適決策六大步驟，詳細說明每一步驟應使用之資料或工具，應有之產出與完成內容，並說明如何由氣候變遷風險評估結果，擬定適當之調適方案與策略，以作為國內氣候變遷調適工作推動參考。以下幾點結論與建議：

1. 必須評估氣候變遷風險才能擬定調適策略。國內地方政府調適工作報告，常見的問題在於並未真正利用模式評估氣候變遷風險，或是未利用氣候情境進行評估。這樣的氣候變遷調適結果是建立在定性的描述與假設，缺乏風險評估與分析，將無法對症下藥，以科學方式提出適當之調適策略與方案。
2. 應考量氣候變遷不確定性進行規畫。氣候變遷評估具有相當之不確定性，然而國內政府單位或是相關研究，往往希望以氣候變遷評估結果之數據做為設計依據，忽略了這些數據背後之極大假設性以及不確定性。面對氣候變遷評估不確定性，在評估上之變化趨勢結果可以作為規畫參考，例如了解到氣候變遷可能提高風險或是降低風險，而非由風險評估結果之數據當作規劃設計依據。
3. 本研究提出之六大步驟，可以做為地方政府調適工作之參考，也可以做為學術與專業團隊進行氣候變遷風險評估與調適規畫之參考，同時也可以作為關心氣

候變遷調適工作之 NGO，了解氣候變遷調適該怎麼做，以本研究方法去檢核政府單位擬定之調適計畫是否符合正確之調適規畫方法。

4. 本研究雖然以水資源供水系統為例說明調適決策步驟，但本研究提出之氣候變遷調適決策步驟可適用於其他各領域、系統或團體在氣候變遷調適決策之擬訂。

誌謝

本研究承蒙科技部計畫「氣候變遷調適科技整合研究計畫-跨領域脆弱度評估與回復力建構科技發展計畫 (I~III)」(NSC 101-2625-M-002-018; MOST 103-2621-M-002 -002-; MOST 104-2621-M-002 -002-) 之經費支持，以及台灣大學生物環境系統工程學系研究助理吳淑涵、趙怡璇、及彭柏文協助資料整理，特此感謝。

參考文獻

1. 游保杉, (2011), 氣候變遷對水旱災災害防救衝擊評估研究計畫, 經濟部水利署。
2. 許泰文、陳憲宗, (2009), 氣候變遷對乾旱早期期衝擊與調適研究, 行政院農業委員會。
3. 童慶斌、李明旭、游保杉、陳思璋, (2007), 強化區域水資源永續利用與因應氣候變遷之調適能力, 經濟部水利署。
4. 童慶斌, (2012), 韌性理論應用於氣候變遷對灌溉系統之影響評估, 行政院農業委員會。
5. 童慶斌, 劉子明, 李明旭, 洪念民, 宋睿唐, 林嘉佑, 曹榮軒, 2013, 氣候變遷下區域水資源供水承載力整合評估之研究。台灣水利, 61(3), 1-13
6. 經濟部水利署, 2011, 「臺灣南部區域水資源經理基本計畫」, 經濟部水利署。
7. 經濟部水利署, 2012, 「水資源開發利用總量管制策略推動規劃」, 經濟部水利署。
8. 經濟部水利署全球資訊網, 「高屏溪-經濟部水利署全球資訊網」, <http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=20007&ctNode=4550>。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所, 2012, 「強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究」, 經濟部水利署水利規劃試驗所。
10. 經濟部水利署水利規劃試驗所, 2013, 「曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析」, 經濟部水利署水利規劃試驗所。
11. 劉子明, 2010, 「氣候變遷對區域水資源衝擊評估整合系統之研究」, 國立台灣大學生物環境系統工程學系博士論文。
12. Brenkert, A. L., & Malone, E. L. (2005). Modeling vulnerability and resilience to climate change: a case study of India and Indian states. *Climatic Change*, 72(1-2), 57-102.
13. Burton, I., & Development Programme United Nations. (2005). Ad-

- adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures (p. 258). B. Lim (Ed.). Cambridge: Cambridge University Press. UNFCCC. FOCUS: Adaptation. Retrieved June 9, 2015, from <http://unfccc.int/focus/adaptation/items/6999.php>
14. Field, C. B., Barros, V. R., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Abdrabo, M. K., Adger, N., ... & Porter, J. R. (2014). Summary for policymakers. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part a: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 1-32.
 15. Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics. Waltham, MA: Pegasus Communications. 464 pp.
 16. Kwadijk, J. C., Haasnoot, M., Mulder, J. P., Hoogvliet, M., Jeuken, A., van der Krogt, R. A., ... & de Wit, M. J. (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1(5), 729-740.
 17. Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. Global Environmental Change, 23(2), 485-498.
 18. Haith, D. A., Mandel, R., & Wu, R. S. (1992). GWLF, generalized watershed loading functions, version 2.0, user's manual. Dept. of Agricultural & Biological Engineering, Cornell University, Ithaca, NY.
 19. Liu, T. M., Tung, C. P., Ke, K. Y., Chuang, L. H., & Lin, C. Y. (2009). Application and development of a decision-support system for assessing water shortage and allocation with climate change. Paddy and Water Environment, 7(4), 301-311.
 20. McCarthy, J. J. (2001). Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
 21. Meynecke, J. O., & Lee, S. Y. (2011). Climate-coastal fisheries relationships and their spatial variation in Queensland, Australia. Fisheries Research, 110(2), 365-376.
 22. Parry, M. L. (Ed.). (2007). Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 4). Cambridge University Press. Field, C. B., Barros, V. R., Mastrandrea, M.
 23. Tung, C. P., Liu, T. M., Szu-Wei, C., Kai-Yuan, K., & Ming-Hsu, L. (2014). Carrying Capacity and Sustainability Appraisals on Regional Water Supply Systems under Climate Change. British Journal of Environment and Climate Change, 4(1), 27.
 24. Climate-ADAPT. Adaptation Support Tool. Retrieved June 9, 2015, from <http://climate-adapt.eea.europa.eu/adaptation-support-tool/UKCIP>
 25. IPCC DDC 網站,「IPCC Data Distribution Center」, <http://www.ipcc-data.org>
 26. TaiCCAT 知識平台,「台灣氣候變遷調適科技知識平台」, <http://taiccat.ncu.edu.tw>
 27. TaiWAP 網站,「氣候變遷下區域水資源整合評估系統 TaiWAP」, <http://sdl.ae.ntu.edu.tw/TaiWAP/>
 28. UKCIP. About the Wizard Tools portfolio. Retrieved June 9, 2015, from <http://www.ukcip.org.uk/wizard/future-climate-vulnerability/>
 29. Vensim 網站,「Vensim」, <http://vensim.com>
 30. Your Climate. NI 188 Guidance. Retrieved June 9, 2015, from <http://www.yourclimate.org/pages/ni-188-guidance>



社團法人
中國土木工程學會
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

敬邀您加入本學會會員



www.ciche.org.tw

學會是 ...

一個凝聚產官學土木專業知識的團體
一個國際土木組織最認同的代表團體

一個土木人務必加入的專業學術團體
一個最具歷史且正轉型蛻變中的團體

會員可享多項優惠 ...

申請學生獎學金
得到國際專業組織承認
參加國際交流活動
免費贈送一年六期會刊

本會出版品七折優待
本會學刊訂閱優惠
主辦研討會優先參加及大幅優惠

水力發電開發現況、 面臨環境與未來展望

吳明竝／台灣電力公司研究員

王振勇／台電電源開發處處長

吳清敏／台電電源開發處副處長

前言

台灣地區雨量充沛，地形陡峻，水力發電成為最主要之自產能源；且水力為清潔、非耗竭性的再生能源，其開發、利用、更新、再利用的過程，循環不息，是水資源的永續利用。全世界最早水力能源雖曾用在推動水車進行灌溉、磨麵粉等活動，但最主要的利用仍在於水力發電，所以，現在稱水力就是指水力發電。溯自光緒三十一年（1905年，民前7年）開發台灣北部新店溪上游之龜山水力發電廠迄今，水力發電利用在台灣已超過百年歷史。

水力開發現況

依據台電公司103年長期電源開發方案資料顯示，統計至民國102年底，全台水力發電廠總裝置容量468.33萬瓩，其中，抽蓄水力有明潭及大觀二廠2座電廠，合計裝置容量260.2萬瓩。慣常水力包含大、小水力電廠計有44座；依發電方式區分，有水庫式154.42萬瓩、調整池式33.19萬瓩及川流式20.52萬瓩，合計裝置容量為208.1萬瓩，詳表1。

早期國內水力發電大多由國營之台電公司進行規劃開發，但政府開放民間設置發電廠後，民間亦陸續投入水力發電開發的行列，並獲致成果詳如表2。

表1 民國103年底抽蓄及慣常水力電廠供電能力表

單位：萬瓩

廠別	裝置容量	淨尖峰能力	廠別	裝置容量	淨尖峰能力
抽蓄水力			川流式：		
大觀二廠	100.00	94.68	烏來	2.25	0.62
明潭	160.20	144.48	桂山	1.30	0.44
小計	260.20	239.16	粗坑	0.50	0.40
慣常水力：			軟橋	0.02	0.02
水庫式：			后里	0.10	0.04
大觀一廠	11.00	10.50	后里小水力	0.01	0.00
鉅工	4.35	4.35	社寮	0.09	0.05
萬大#2	4.04	1.75	北山	0.43	0.17
石門(購)	9.00	0.00	萬大	1.53	0.46
曾文(購)	5.00	2.54	濁水	0.15	0.00
翡翠(購)	7.00	7.00	六龜	0.45	0.30
德基	23.40	20.00	圓山	1.80	0.47
青山#1	36.00	0.00	天埤	0.84	0.26
谷關	21.78	18.00	龍溪	0.47	0.19
天輪	19.50	20.35	水簾	0.95	0.95
馬鞍	13.35	13.35	清水	0.70	0.23
新武界隧道及栗栖溪引水	0.00	0.69	清流	0.42	0.18
小計	154.42	98.53	銅門	2.10	1.14
調整池式：			榕樹	0.27	0.16
龍澗	9.72	9.72	初英	0.20	0.07
立霧	3.20	2.45	溪口	0.27	0.06
義興(購)	4.00	3.88	東興	0.08	0.01
卓蘭	8.00	8.00	竹門	0.27	0.20
水里	1.28	0.00	松林	2.09	0.92
烏山頭(購)	0.88	0.38	卑南(購)	0.20	0.16
碧海	6.12	5.25	西口(購)	1.15	0.77
小計	33.19	29.68	名間(購)	1.67	0.30
慣常水力合計	208.13	136.94	小計	20.52	8.73
水力發電總計	468.33	376.10			

- 註：1. 由於93年7月2日敏督利颱風後連續豪雨及8月25日艾莉颱風造成大甲溪系列電廠：德基、青山、谷關、天輪、馬鞍等電廠均受損（有哪些？），目前尚有青山電廠未修復完成
2. 水庫式萬大（包括萬大#1、#2、#4）及川流式奧萬大（萬大#3），計算電廠時，兩者以1座計；萬大電廠松林分廠以1座計。
3. 石門、曾文、翡翠及義興等廠為台電公司承攬營運；后里小水力屬台中農田水利會；烏山頭、卑南、西口及名間等則屬民營電廠。
4. 小數點誤差係四捨五入之故。

表 2 民間開發營運之水力電廠

廠別 (位置)	裝置容量 (瓩)	完工 (年月)	備註
烏山頭 小水力電廠 (台南)	8,750	91.06	嘉南實業公司興建國內 第一座民營水力電廠
卑南 小水力電廠 (台東)	1,980	93.10	聚電企業開發公司修復完成
西口 小水力電廠 (台南)	11,520	96.03	嘉南實業公司興建
名間 水力電廠 (南投)	16,700	97.07	名間電力公司興建完成國內 第一座 BOT 模式經營之 水力電廠
合計	38,950		

目前正施工中之水力發電工程僅有大甲溪發電廠
青山分廠復建計畫，其有關之數據如表 3。

表 3 施工中之水力發電工程

計畫名稱	裝置容量 (萬瓩)	開工 (年月)	預計商轉 (年月)	備註
大甲溪發電廠 青山分廠復建計畫	36.8	99.8	104.12	台電公司所有

國內水力開發潛能

水力蘊藏量

前經濟部水資源統一規劃委員會（水資會）與台灣電力公司於民國 84 年 6 月完成「台灣地區水力普查總報告」。理論水力部分包括淡水河等 76 條河川；但因受自然條件限制，技術可行水力部分則選擇其中較重要之 30 條河川進行調查。評估結果顯示，76 條河川之理論水力蘊藏量達 1,173 萬瓩，電能 1,027.3 億度；30 條較重要河川之技術可行水力蘊藏量則為 504 萬瓩，電能 201.5 億度。詳表 4

表 4 台灣地區 76 條河川理論水力蘊藏量

河 流	流域面積 (平方公里)	理論水力蘊藏量 (千瓩)	河 流	流域面積 (平方公里)	理論水力蘊藏量 (千瓩)	河 流	流域面積 (平方公里)	理論水力蘊藏量 (千瓩)
磺溪	53.00	17.89	溫寮溪	32.00	0.52	枋山溪	129.00	35.34
雙溪	144.00	10.82	大甲溪	1,244.00	882.84	楓港溪	105.00	15.53
淡水河	2,728.00	652.09	烏 溪	2,065.00	423.44	四重溪	125.00	11.04
南崁溪	211.00	4.03	鹿港溪	65.00	0.21	保力溪	107.00	5.28
老街溪	81.00	4.18	沙山溪	103.00	0.19	立霧溪	612.00	370.06
大堀溪	47.00	0.96	濁水溪	3,941.00	1,888.57	大清水溪	53.00	21.01
得子口溪	131.00	8.84	新虎尾溪	115.00	0.54	三棧溪	122.00	29.62
社子溪	75.00	3.14	北港溪	684.00	26.81	美崙溪	73.00	18.27
福興溪	34.00	0.51	朴子溪	463.00	23.62	吉安溪	40.00	1.88
新豐溪	88.00	2.05	鹿草溪	36.00	0.03	花蓮溪	1,497.00	805.61
蘭陽溪	963.00	337.58	龍宮溪	46.00	0.03	豐濱溪	89.00	9.04
鳳山溪	259.00	17.21	八掌溪	612.00	56.05	秀姑巒溪	1,774.00	909.83
冬山河	112.00	7.39	急水溪	424.00	17.68	富家溪	27.00	4.56
頭前溪	565.00	136.50	七股溪	44.00	0.04	水母溪	45.00	6.92
新城溪	47.00	19.30	曾文溪	1,186.00	239.87	馬武溪	151.00	11.45
寧雅溪	57.00	0.61	鹽水溪	225.00	1.47	卑南溪	1,607.00	1,153.65
鹽港溪	42.00	0.31	二仁溪	955.00	2.97	太平溪	92.00	8.54
蘇澳溪	28.00	5.30	岡山溪	134.00	1.83	利嘉溪	175.00	47.10
南澳溪	329.00	162.54	典寶溪	100.00	1.15	知本溪	177.00	73.77
和平溪	578.00	450.41	後勁溪	61.00	0.40	太麻里溪	255.00	71.24
中港溪	451.00	61.99	高雄川	104.00	0.13	金崙溪	151.00	56.44
後龍溪	547.00	73.87	高屏溪	3,290.00	1,846.56	大竹溪	130.00	25.72
西湖溪	115.00	5.06	東港溪	428.00	9.33	大武溪	109.00	25.32
通霄溪	81.00	1.42	林邊溪	338.00	81.46	安朔溪	55.00	11.75
房裡溪	36.00	0.91	港口溪	99.00	6.41			
大安溪	751.00	474.62	率芒溪	91.00	29.37			
合 計				33,138.00	11,730.02			

資料來源：台灣電力公司，「台灣地區水力普查總報告」，84 年 6 月

表 5 台灣地區 30 條重要河川技術可行水力蘊藏量

河流	技術可行蘊藏量(千瓩)	河流	技術可行蘊藏量(千瓩)	河流	技術可行蘊藏量(千瓩)
淡水河	456.4	烏溪	72.8	三棧溪	22.5
蘭陽溪	69.6	濁水溪	647.6	花蓮溪	293.2
鳳山溪	4.6	北港溪	21.7	秀姑巒溪	412.7
頭前溪	26.9	朴子溪	1.2	卑南溪	245.1
南澳溪	40.1	八掌溪	1.8	利嘉溪	13.2
和平溪	146.7	急水溪	2.9	知本溪	22.0
中港溪	7.5	曾文溪	117.0	太麻里溪	29.1
後龍溪	15.3	高屏溪	484.8	金崙溪	11.4
大安溪	174.3	林邊溪	6.6	大竹溪	4.3
大甲溪	1,404.0	立霧溪	291.6	大武溪	4.0
合計	5,048.26				

可開發潛能推估

台灣地區技術可行之水力蘊藏量約 504.8 萬瓩，至 103 年底已開發利用共約 208.1 萬瓩（已含青山 36 萬瓩，但不計抽蓄），故仍有技術可行尚待開發之水力發電潛能共計約 296.7 萬瓩，其中非位於國家公園且較具技術及經濟可行之水力潛能約有 191.2 萬瓩。

水力推動目標

依據政府於民國 100 年 11 月 3 日宣布之「確保核安，穩健減核，打造綠能低碳環境，逐步邁向非核家園」政策，經濟部能源局於民國 103 年 5 月檢討修訂「全力推動再生能源」願景與目標，加速開發我國再生能源潛能及擴大各類再生能源推廣目標，詳如表 6。規劃至民國 119 年我國再生能源裝置容量達 13,750 千瓩，其中，水力目標為 2,200 千瓩。

表 6 政府擴大推廣再生能源分年規劃目標

年度能源別	裝置容量(千瓩)					
	102年	104年	109年	114年	119年	
風力	陸域	614	814	1,200	1,200	1,200
	離岸	0	15	320	1,520	3,000
水力	2,081	2,089	2,100	2,150	2,200	
太陽光電	392	842	2,120	4,100	6,200	
地熱能	0	4	66	150	200	
生質能	740	745	768	813	950	
再生能源合計(全國)	3,828	4,509	6,574	9,933	13,750	

當前水力發電面臨之環境特性

台灣河川短促且流域面積小，可供興建大型水庫之地點有限，未來水力發電開發以中、小型機組居

多。此外，台灣的水力因受河川流量豐枯懸殊的影響，過去 5 年（99 年 ~ 103 年）慣常水力平均每瓩每年可產生的電量約 2,280 度，發電容量因數僅有 25.8%，本質上無法提供鉅額穩定的電力。然因社會及經濟仍持續成長，資源高度開發利用，土地及勞力獲得困難，投資成本大幅增加，復以民意高漲，環境品質要求提升，水力發電計畫開發益加困難。檢視過去國內水力發電推動遭遇之諸多問題，約可歸納出當前水力發電發展面臨之環境特性如下：

水力發電技術

水力發電機組啟動迅速、運轉靈活、故障少、可靠性大。川流式水力 24 小時運轉為基載機組；水庫式與調整池式可調節天然流量於尖峰時段發電為中、尖載機組，能順應負載瞬時變化，調節系統電壓與頻率，對電力系統調度甚為重要。

水力發電成本趨勢

一般中、大型水力發電計畫初期投資費用較大，投資回收期較長，對民間投資者誘因較小。惟營運不需燃料成本，使用年限長達 50 ~ 100 年，故發電成本低廉。根據台電發電成本分析資料顯示，現有（102 年）慣常水力發電成本為 1.22 元/度，規劃中水力發電成本介於 2.5 ~ 3.0 元/度。

水力發電效益

民國 102 年台灣地區進口能源依存度為 97.58%，自產能源貧乏。惟水力發電為潔淨自產再生能源，配合政府能源多元化及節能減碳政策，除供應電力系統負載及電力需求外，可減低對進口能源依賴度，達到抑制二氧化碳排放、迎合全球氣候變化綱要公約之要求。水力發電計畫之減碳效益顯著，將有助計畫之開發。能源局公告 102 年度電力排放係數為 0.522 公斤 CO₂e / 度，另外，台電公司「共用碳價之作法及原則」103 年度共用碳價為 789 元/公噸。

此外，水力計畫投資約 80% 以上於國內採購，對地方經濟發展、增加就業具有實質效益。

水力發電計畫土地面積需求與土地取得

一般中、大型水力計畫大都地處偏僻，交通不便，且係以引水路獲取落差發電，故自堰壩、引水路至廠址工區範圍較大，所需面積約 20 ~ 40 公頃；惟大

多為林班地或河川地，可依相關規定取得土地管理機關同意。僅少部份為私有或原住民保留地，約佔 3 ~ 5 公頃。若屬原住民保留地，需按原住民族基本法第 21 條相關規定辦理，並需取得計畫所在地原住民部落會議同意。若係利用灌圳發電等微型或小水力計畫，則除灌圳水域外僅控制設備需少量用地，須洽商農田水利會以繳交租金或水權費方式辦理。

水力開發需因應氣候變遷問題

水力計畫工程結構物規劃設計需將氣候變遷等因素納入考量，將水文流量、洪水量等資料均增補至最新年度，以流域數十年長期之水文站實測流量記錄資料，分析壩址、廠址之天然流量、各洪水頻率對應之洪水量及最大可能洪水量，並大幅提高堰、調整池及電廠地震、防洪等設計標準。

水力開發需預為因應國土復育問題

因應未來國土復育條例草案或國土計畫法草案通過實施，水力計畫需將其影響納入考量。未來水力開發將以標高 500 公尺以下的低海拔山區為主；且除了堰壩調整池外，其餘如水路、廠房等發電設施儘量設置於地下，並儘量利用現有道路及河床便道施工，減少施工道路開闢。開挖之土石於計畫本身儘量加以利用，仍有剩餘再運至民間合法土資場處理，儘量不設置土石堆積場。

需維持水力計畫電廠於經濟壽齡內正常運轉

川流式水力於緊鄰取水口設置一底檻較低之排砂道，於平常及洪水時排砂操作，即可維持取水口正常取水。調整池式水力於洪水時閘門全部開啟，高於堰頂之淤砂將被沖刷至下游河道；緊鄰取水口亦設置排砂道操作排砂，上游來砂不會影響取水功能。上述攔河堰或調整池需定期進行清淤，此種規劃及營運操作方式可確保電廠長期營運。

水力開發也需要有區域性開發思維與策略

長期以來，推動電源開發遭受各式各樣的困難後，台電公司長官的一段話可提供省思與幫助：「由於時代進步和政治環境改變，環保意識高漲及地方政府的態度已成為影響電源開發的關鍵因素，所以在電源規劃及廠址勘選階段，除了純技術考量的調查工作外，須有區域性開發策略，應廣泛且持續蒐集地方政府的政策和意見，並將環保及地方溝通等策略納入考量，也要主動公開資訊供公眾充分討論，並保留調整之彈性，以提高計畫的可行性。」水力亦屬電源開發重要一環，自當適用。

國內外發展競爭力分析 (SWOT)

依據前述目標及面臨之環境特性，分析國內水力發電之 SWOT 分析如表 7：

表 7 國內水力發電 SWOT 分析

優勢 (Strength)	弱勢 (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> • 發電技術成熟 • 國內開發應用經驗豐富 • 應載迅速，最佳尖峰電源 	<ul style="list-style-type: none"> • 優良廠址尋覓不易 • 水力資源多位於偏遠地區，開發成本過高 • 開發規劃及工期較長
機會 (Opportunity)	威脅 (Threat)
<ul style="list-style-type: none"> • 國際油價不穩定 • 政府政策積極推動 • 長期優惠收購電價鼓勵小水力發電投資 • 水資源問題具迫切性 	<ul style="list-style-type: none"> • 環境爭議、民眾抗爭 • 集水區過度開發，嚴重影響水庫壽命 • 申設行政程序複雜冗長，影響業者開發意願

國內外技術發展指標比較

水力發電技術在國內外的技術發展指標之比較如表 8 所示。

表 8 水力發電技術國內外的技術發展指標之比較

技術項目	國外技術發展指標	國內技術發展指標
水輪機組	<ol style="list-style-type: none"> 1. 歐美日等國具備自行製造水輪機之能力，價格便宜，且採用標準化機組，施工容易、機組效率高，故投資成本降低。 2. 超導可變速發電機使體積與重量均大幅減少。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國內無製造水輪機能力，需仰賴進口且水力發電其主要成本機電部份所占比率高，因此投資成本高，回收年限較長，故投資意願不高。 2. 由於國內水力發電市場需求不大，因此無朝此方向製造水輪機。
規劃設計 施工技術	水力發電已近百年，規劃、設計、施工等技術相當成熟，自行規劃、設計、施工無問題。	水力發電已近百年，國內對規劃、設計、施工等技術相當成熟，自行規劃、設計施工無問題。

未來發展重點

104年1月第4次全國能源會議「供給穩定開源」主軸，有關「再生能源-1.5水力」核心議題總結報告：

「1.5.1. 開發對環境友善之水力資源為推廣目標：以川流式水力為推廣目標，並責成台電公司增加川流式水力開發計畫。(台電公司)」

「1.5.2. 公民營齊力開發水力資源：目前水力開發以台電公司為主，民間為輔；未來推動措施將雙管齊下，協商相關部會法規之規範，提供民間業者合理經濟誘因，並責成台電公司增加水力開發計畫。(能源局)」

「1.5.3. 訂定合理川流式水力躉購費率，輔以提高業者設置意願：檢討川流式水力躉購費率是否區分級距訂定。(能源局)」

為突破水力發電開發之瓶頸，國內水力開發策略必須有所調整，考量溫室氣體減量之全球趨勢，小水力發電是最佳的電源開發選擇之一。且徵諸歐美及日本之經驗，小水力發電最具發展前途。

104年2月間台電公司舉辦記者年終座談會，揭示積極開發水力：「擬利用既有水利設施，設置簡易小水力機組，節省廠房及引水設施相關土木工程費用，簡化作業流程，快速增加再生能源開發亮點」。

綜合能源局擴大再生能源推廣目標與第4次全國能源會議之政府政策，以及台電公司揭露之開發原則與建立全方位綠色企業之方向，並考量台灣地區因地形、地質及水文氣象等天然條件之限制，優良之水力地址不多，且大都已開發利用之現實，未來開發應以小型與微型水力機組為主，以及對環境友善之中型水力機組為輔。說明如下：

● 利用現有水利設施全面推動小型／微型水力發電

現有水利設施，包括堰壩水庫、灌溉渠道、電廠水路等，全面檢討設置小型／微型水力發電之可行性。

(1) 水利署所屬北、中、南三個水資源局管轄之堰壩水庫

該等現有堰壩水庫多以農田灌溉與公共給水為主，有必要重新檢視配合設置水力發電之可行性，例如中區水資源局所轄之鯉魚潭水庫、湖山水庫、集集攔河堰、石岡壩等。

(2) 全國各農田水利會所轄灌溉渠道

該等灌溉渠道或有跌水、或具備流速可以開發利用，應進一步檢視設置小型或微型水力機組之可行性。而且灌溉渠道中設置之圳路水力屬再生能源發展條例獎勵開發之川流式再生能源發電設備，更應積極開發利用。

(3) 改良型水輪機與流速型水輪機之測試與運用

傳統之管狀式(tubular)、燈泡式(bulb)水輪發電機組等，經廠商進行改良後，已能適應更低的水頭與更小的流量，更能適合在灌溉渠道裡設置使用。甚至，流速型的水輪機組，雖然效率低，單價亦不便宜，但以其安裝快速且容易、土木工程甚少、環境影響很小等優點，亦可考量引進採用。

事實上，已有國內製造商或大專院校在進行此類機組在灌溉渠道安裝與試驗。因此，在灌溉渠道大量開發設置小型／微型水力機組之前，須要積極測試流速型水輪機與改良後之水頭型水輪機之運轉效能與發電成本。新型機組 R&D 測試費用，符合「再生能源發展基金收支保管及運用辦法」中有關「再生能源之示範補助及推廣利用」基金用途規定，應可向能源局申請「再生能源發展基金」補助辦理。

(4) 快速有效執行

執行上需要進行大規模潛能調查與可行性研究，就可以就北部、中部、南部以分區包裹方式推動；作業流程及專案計畫報告內容宜精簡，俾獲實益及快速開發利用。而全國小水力調查暨可行性規劃研究結果，可提供能源局訂定川流式水力躉購費率劃分級距之參考，應有助於小型／微型水力推動。

● 老舊水力發電機組更新

水力電廠之經濟壽齡 50 年，實際運轉年限可達八、九十年，甚至百年以上，更新後仍可繼續運轉發電，所以，老舊水力發電機組更新後繼續運轉，最能代表水資源永續利用的真諦。台電公司既有水力電廠，運轉時間超過 50 年以上者有 6 廠 26 部機組，詳如表 9，這些機組應適時逐步予以更新，以達成永續利用。而已經完成更新者包括粗坑、北山、高屏、社寮、軟橋、竹門及濁水等機組。

表 9 台電公司運轉超過 50 年之水力發電廠

電廠	機組	所在	機組 編號	裝置 容量 KW	商轉 年月	運轉 年數
大甲溪電廠	后里	台中市后里區	1	475	01.07	103
			2	475	01.07	103
蘭陽電廠	天埤	宜蘭縣三星鄉	1	2,125	11.05	93
			2	2,125	11.05	93
			3	2,125	11.05	93
			4	2,000	11.05	93
	圓山	宜蘭縣三星鄉	1	9,000	30.12	74
			2	9,000	30.12	74
大觀電廠	大觀 (一)	南投縣水里鄉	1	22,000	23.07	81
			2	22,000	23.07	81
			3	22,000	23.07	81
			4	22,000	23.07	81
			5	22,000	23.07	81
明潭電廠	鉅工	南投縣水里鄉	1	21,750	26.08	78
			2	21,750	26.08	78
東部電廠	清水	花蓮縣秀林鄉	1	2,500	28.06	76
			2	2,500	28.06	76
			3	2,000	28.06	76
	初英	花蓮縣吉安鄉	1	2,000	30.02	74
			2	16,000	33.04	71
	立霧	花蓮縣秀林鄉	1	16,000	33.04	71
2			16,000	33.04	71	
桂山電廠	桂山	新北市新店區	1	6,500	30.12	74
			2	6,500	30.12	74
	烏來	新北市新店區	1	11,250	39.12	65
			2	11,250	43.06	61
萬大電廠	萬大	南投縣仁愛鄉	3	15,300	32.03	72

● 持續開發自然河川中環境友善之新興水力發電計畫

根據民國 84 年 6 月完成之「台灣地區水力普查總報告」，30 條較重要河川之技術可行水力蘊藏量為 504 萬瓩，電能 201.5 億度，其中，裝置容量低於 2 萬瓩以下技術可行之小水力計畫共有 65 處，總裝置容量為 634,400 瓩，年發電量為 3224.37 百萬度，詳如表 10。對於自然河川中之環境友善小水力計畫亦為未來水力開發之重點之一。

表 10 自然河川中之小水力計畫

河系	小水力計畫地點(處)	裝置容量(瓩)	年發電量(百萬度)
淡水河	8	49,070	234.86
蘭陽溪	2	17,020	101.07
頭前溪	2	15,200	82.26
南澳溪	4	36,400	177.88
後龍溪	1	5,200	18.26
大安溪	3	52,500	277.50
大甲溪	3	20,160	90.29
烏溪	3	36,450	198.60
濁水溪	11	155,660	769.32
八掌溪	1	340	2.07
急水溪	2	2,600	10.21
高屏溪	6	66,040	355.48
林邊溪	1	2,480	14.15
三溪	3	22,390	109.90
花蓮溪	5	58,100	317.22
秀姑巒溪	3	19,900	99.75
卑南溪	3	30,940	169.06
知本溪	2	17,500	94.49
太麻理溪	2	26,450	101.10
合計	65	634,400	3,224.37

然而，小型／微型水力容量小，故仍需積極推動調整攔河堰式新興水力計畫，補足尚需開發的水力發電

缺口。能源局規劃 119 年水力開發目標為 220 萬瓩，電力系統目前裝置容量為 208.1 萬瓩，故尚須開發 11.9 萬瓩。針對水力普查結果，選擇技術可行而經濟性較佳之計畫進行可行性規劃研究與開發。

考量東部地區水力資源豐沛，潛能仍有約 673MW，加上當地自有電源不足，故優先推動東部新興水力發電計畫開發如萬里 49MW、清昌暨文蘭 34MW、北克萊 36MW 等計畫，應屬可行方向。

● 協助民間業者開發水力資源

為加速開發台灣之水力資源，以及增加民間企業投資管道，小水力發電計畫可採用 BOO 或 BOT 方式由民間投資興建，而民間水力電廠可將所發之電力躉售予台電公司。

台電公司為配合政府政策躉購小水力電能，於民國 85 年發布「台電公司收購小水力電能實施辦法」，適用對象包括裝置容量未滿二萬瓩之小水力發電系統。最新費率為 102 年 10 月 2 日公布之收購費率表，其中可提供可靠出力且適用高壓之購電費率者，其費率為：容量費率 2,230 元／瓩；能量費率夏月尖峰 2.7476 元／度、半尖峰 2.7476 元／度、離峰 1.7675 元／度；非夏月半尖峰 2.6756 元／度、離峰 1.6975 元／度。

另外，「再生能源發展條例」於民國 98 年 7 月 8 日公布施行後，經濟部能源局每年都會檢討再生能源收購費率並予公告。援引 104 年公告之說明例子：「再生能源（太陽光電除外）發電設備之設置，符合「再生能源發展條例」第九條第四項規定，其設備未運轉者，自中華民國一百零四年一月一日起至中華民國一百零四年十二月三十一日止，與電業簽訂購售電契約，其電能按附表二費率躉購二十年」，其中，川流式水力之躉購費率為 2.6338 元／度，為單一費率，未分級距。

台電公司在水力發電工程之規劃、設計、施工已累積數十年之經驗，亦可作為民間業者開發水力資源之借鏡或提供技術協助。

參考文獻

1. 台灣電力公司電源開發處，103 年長期電源開發方案（2014）。
2. 台灣電力公司電源開發處，水力發電計畫規劃資料。
3. 經濟部水資源統一規劃委員會會、台灣電力公司，台灣地區水力普查總報告（1995）。
4. 經濟部能源委員會，新能源及潔淨能源研究開發規劃總報告（1999）。
5. 台灣電力公司，99 年～103 年度統計年報。
6. 台電公司經營理念。

人才培訓、傳承創新

李友平／水利署綜合企劃組組長

前言

管子《權修篇》：「一年之計，莫如樹穀；十年之計，莫如樹木；百年之計，莫如樹人」，人才培訓是經驗傳承及永續發展的百年大計。為提升水利人員的知能及潛力，使其具備能適應不斷變化的環境，並勝任愈來愈複雜的角色的能力，進而能有效處理及協調各項工作挑戰，水利署在不同時期均推出百年樹人的人力培訓希望工程。

為提高水利工程人員素質，增進工作效率，前台灣省政府水利局於民國 47 年開設防洪工程訓練班（俗稱烏溪大學），專業訓練水利局在職工程人員，至民國 56 年訓練五期後停辦。迨至民國 64 年，因應事實需要恢復舉辦，截至民國 70 年舉辦十二期並接受代訓各有關機關與防洪工程業務相關人員每期十至十五人，民國 68 年舉辦中級班一期，調訓職位學歷較高人員，除課程外並注重研討專題、分組討論及綜合討論，以提高參訓人員對理論之了解及實際作業之相互印證，計先後訓練 500 餘人。教材編制部分，民國 58 年編印防洪工程設計手冊，並有鑑於科技日新月異，為更新觀念及技術，於民國 70 年特聘國內外學者及教授人員重新編印。另於民國 71 年編印水資源工程規劃講義提供教學之用。

各時期所培訓的水利精英為國家推動各項水資源工程、防洪禦潮工程、港灣工程等水利建設，帶動了經濟快速成長，使外匯存底不斷創新高，這都是水利前輩們胼手胝足，深耕台灣，打造出的璀璨史詩，展望未來，我們不僅要傳承學習前人經驗，更要站在前人豐碩成果的肩膀上不斷創新，攜手為土地種一個希望，邁向與水共存的水水台灣。

經驗傳承

養成教育

水利人才的養成教育，在國內各大學土木、水利、水資源、環工、海洋等相關科系及研究所均有優質的課程，提供水利人才的養成教育完整扎實。

實務訓練

1. 政府部門水利人員培訓

人力資源是組織計畫執行與決策的主要成分，因應知識經濟時代的來臨及外在環境的快速變化，水利人才培訓體系必須持續進行滾動式檢討修正，近年已逐漸發展出一套穩定的學習模式，整體而言，水利人才培訓體系分為通識、專業、管理、國際、其他等部分，依其規劃及辦理形式可分為 5 大類，說明如下（如圖 1）：

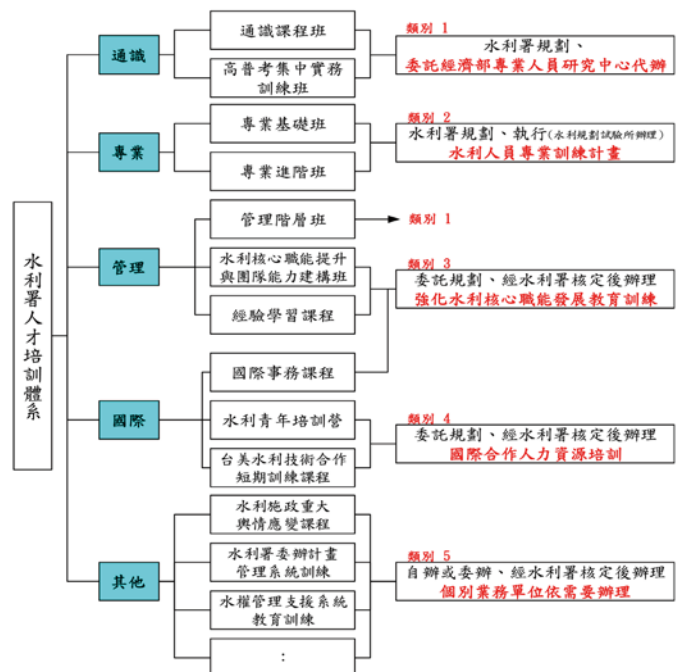


圖 1 水利人才培訓體系架構圖

- 類別 1 委託經濟部專業人員研究中心代辦課程：辦理通識課程班、高普考集中實務訓練班及管理階層班等 3 項課程，提供通過國家公務人員考試，分發服務於國內各中央或地方政府機關的初任公務人員進行水利工作的通識訓練，針對高普考集中實務訓練班課程表（如表 1）。
- 類別 2 水利人員專業訓練計畫課程：水利人員專業訓練計畫為專業課程，分為專業基礎及專業進階班，各班再依據專業性質分為水資源及河海 2 類，學員為水利署各組室及所屬機關推薦調訓（如表 2）。
- 類別 3 強化水利核心職能發展教育訓練計畫：由水利署主辦之「強化水利核心職能發展教育訓練」，包含水利核心職能提升與團隊能力建構班、經驗學習課程及國際事務課程，主要是前述兩項基本與專業技術以外之必要課程（如表 3）。
- 類別 4 國際合作人力資源培訓：在既有國際合作相關計畫下，水利署開辦水利青年培訓營及臺美水利技術合作短期訓練課程（如表 4）。
- 類別 5 個別業務自辦訓練課程：水利署各組室因應業務需求，個別辦理之教育訓練課程如經濟部水利署委辦計畫管理系統教育訓練、水權管理支援系統教育訓練、輿情應變、氣候變遷... 等（如表 5）。

2. 業界水利人員培訓

國內各大學土木、水利、水資源、環工、海洋等相關科系及研究所碩士在職專班，提供在業界服務的水利人員進修，另於各大學研究機構（例如台大水

工試驗所、成大水工試驗所等）及民間各學會、基金會（例如土木水利工程學會、農工學會、水土保持學會、防災學會等）不定期辦理各項研習會、研討會、訓練班等，提供在業界服務的水利人員或土木、水利、水保技師回訓。

表 2 水利人員專業訓練計畫

課程別	分類	培訓人數	時數
專業基礎班	水資源班	30-40 人/梯	92 小時
	河海班	30-40 人/梯	94 小時
專業進階班	水資源班	30-40 人/梯	44 小時
	河海班	30-40 人/梯	44 小時

表 3、強化水利核心職能發展教育訓練

課程別	分類	學員	培訓人數	時數
水利核心職能提升與團隊能力建構班	管理課程	所屬機關主管	20 人/梯	7 小時
	業務座談/檢討會議	水利署各組室主管與所屬機關主管	合計 14 場次	4 小時
經驗學習課程	管理經驗、跨領域知識	水利署各組室及所屬機關副工程司以上人員為主	40 人/梯	各主題 2~3 小時
國際事務課程(語文強化)	基礎、進階	水利署各組室及所屬機關擇優異英語能力同仁推薦	30 人/梯	21 小時(連續 3 天)
環境教育	跨領域知識	水利署各組室及所屬機關同仁	合計 560 人次	3 小時
深化團隊合作訓練課程	工程觀摩/檢討會議	水利署各組室及所屬機關同仁業務相關人員為主	合計 84 人次	8 小時
水利專業簡報表達技巧班	口語表達	水利署內部講師	合計 46 人次	8 小時

表 4 國際合作人力資源培訓

課程別	學員	培訓人數	時數
水利青年培訓班	各大專院校水利相關系所推薦具優異英語能力之同學	35 人/梯	24 小時(3~4 天)
第 8 號附錄臺美水利技術合作短期訓練課程	水利署及所屬機關人員、國內產官學、水利相關單位人員	60 人/梯	10-12 小時(1.5 天)

表 5 水利署個別業務自辦訓練課程

課程別	學員	培訓人數	時數
水利署委辦計畫管理系統教育訓練	委辦計畫受託單位	30 人/梯	3 小時
水權管理支援系統教育訓練	水權核辦人員	30 人/梯	4 小時
氣候變遷教育訓練	水利署及所屬、顧問公司、研究生等	60 人/梯	6 小時
輿情應變課程	水利署業務組副組長及所屬機關新聞發言人	50 人/梯	3-6 小時
個別業務自辦訓練課程	依個別業務需要規劃辦理		

表 1 高普考水利工程類科集中實務訓練班課程表

日期	時間	課業名稱
第一天	30 分鐘	開訓
	50 分鐘	班務介紹
	180 分鐘	水資源開發調度簡介
第二天	180 分鐘	水利法規
	300 分鐘	河川管理業務簡介
	180 分鐘	氣候變遷對水環境之衝擊與調適
第三天	180 分鐘	防洪治水業務簡介
	180 分鐘	排水治理業務簡介
	120 分鐘	水旱災防救業務簡介
第四天	180 分鐘	水資源經營管理簡介
	180 分鐘	水文業務簡介
第五天	180 分鐘	節水、溫泉與保育業務簡介
	180 分鐘	工務行政業務簡介
	60 分鐘	課程總論及溝通互動

創新課程

因應自然及社會環境快速變化，單一學科的知識及技術已無法解決問題，因此，國家水利人才除了前述水利專業科目的訓練外，更需要有跨域整合、創新、溝通協調等等的知能。國際上評估一個人有沒有潛力，由下列 5 個指標評斷：

- 正確的動機：對於非利己的目標，具有熱情的使命感，自私的人無法成為好的領導人。
- 好奇心：永不滿足的追求新的知識、經驗並回饋分享，且以開放的心面對變化和學習。
- 洞見：能從蒐集來的資訊中，看出別人看不到的關連及機會。
- 認真投入：善用情感和邏輯，傳達具有說服力的願景，與他人建立連結。
- 決心：即使遭遇挫敗也要達成困難的目標，從逆境中重新振作。

針對水利人才的培訓，應有創新思維進行規劃。

1970 年代 McClelland 首先提出職能 (competency) 的概念，強調職能比智商更能影響學習績效。2001 年 Hellrigel, Jackson & Slocum 提出「職能」為一組知識、技能，行為與態度的組合，能夠幫助提升個人的工作成效，進而帶動組織對經濟的影響力與競爭力。最早提出核心職能 (core competency) 這項名詞的 Prahalad 與 Hamel 兩位學者，在 1990 年發表於「哈佛管理評論 (Harvard Business Review)」的「公司核心能力 (The Core Competence of the Corporation)」一文中，認為核心職能乃是一組特殊的技能或科技，使公司能為客戶創造利益、產生創新的產品、延伸市場佔有率、創造競爭優勢，同時塑造企業文化及價值觀；特別在企業轉型時，核心職能能夠培育學習的環境、影響工作流程及行為，甚至調整經營策略，引導企業邁向成功之途。

經分析臺灣行政院所屬機關核心價值及中高階主管職務管理核心能力選定分析及美國聯邦政府人事管理局 (Office of Personnel Management)、英國國家政府學院 (National School of Government)、加拿大文官委員會 (Public Service Commission)、澳洲公務人

員暨功績保障局 (Public Service and Merit Protection Commission)、新加坡公務員訓練學院 (Civil Service College) 等之核心職能後，規劃出未來核心職能如表 6 所示，並規劃未來的培訓課程預計強化之職能如表 7 所示。

表 6 核心職能及定義

分類	核心職能	定義
前瞻規劃	1. 洞察力	察覺問題與議題的關係、正確判斷環境的變化，由上而下帶動單位採取必要的調整措施。
	2. 號召力	整合國家的主要計畫目標、優先次序、價值和其他因素後，發展組織願景，讓組織成員具有共同目的，並鼓勵其考慮不同議題的優先次序，作出周全的決定，進而達成目標。
	3. 應變力	能預見危機並採取有效的防範措施；危機發生時能正確應對，減少負面影響。
	4. 思考力	以系統性、整體性之思維分析環境變化及相關因果關係，評估策略實施可能的影響，據以規劃有效的策略。
	5. 創造力	開發自己及部屬的創意，設計具有創意的業務以實現願景，並能以有效的措施鼓勵創新。
	6. 決斷力	作成及時和有效的決定，並經由策略規劃與計畫之執行與評估，產生成果。
人際互動	1. 溝通力	(1) 維持和諧的工作氣氛，避免衝突對業務推動的負面影響。 (2) 能經由媒體或向利益團體、高階行政人員成功地演說報告。明瞭表達重點、溝通的型式、所面對的聽眾等，皆決定溝通的良莠，聆聽、瞭解他人的訊息也是必要的，還須促進公開、坦白且健康的溝通環境。
	2. 組織力	把背景不同、各自具有差異性的部屬凝聚成一個整體，有效整合智慧與力量，發揮最大的可能性。
	3. 傳承力	在工作經驗的傳授、工作重點的設定、工作方向的引導上，能給予部屬指引與忠告。
	4. 協調力	具備與其他部門溝通協調的能力，拋棄本位主義，在業務推動的過程中，如有需要，能迅速獲得其他部門的支援。
執行實踐	1. 服務力	對顧客的偏好、需求以及意見，必須能重視並有效的回應。
	2. 執行力	(1) 具有績效的觀念，凡事講求效果，以工作的成敗確定責任，以實際的工作表現對部屬施予獎懲。 (2) 注重流程與時間控管，以最簡化的流程完成工作，以最少的成本及最短的時間完成政策執行的任務。
	3. 專業力	熟稔業務並能持續學習。
個人品格	1. 自制力	自省是否符合組織的價值，同時提升組織內的文
	2. 意志力	官價值，並形塑信任、接納和尊重的環境。
	3. 行動力	掌握時間點與迅速地回應。
	4. 包容力	有效地接觸不同型態、不同機關的人，在互動情境下調整自己的行為。
	5. 抗壓力	使自己和共事的人保持積極的展望，同時維持高度精神狀態的能力，瞭解壓力和焦慮、處理壓力。

表 7 培訓課程強化之水利核心職能

班別	核心職能	
國際事務培訓班	專業力：水利業務國際交流能力	組織力：有效整合國際上之技術與應變智慧，發揮最大的可能性
風險管理及內部稽核課程	執行力：因應環境改變定期評估風險，防止可能不法或不當情事發生。	洞察力：因應環境改變定期評估風險，防止可能不法或不當情事發生
水利經驗學習課程	應變力：透過過往經驗，學習預見可能之危機並採取有效的防範措施	傳承力：工作經驗之傳授
水利專業簡報表達技巧班	專業力：進一步掌握課程規劃及教學引導的技巧，將自身經驗轉化為教案	溝通力：提升掌控會議或教學現場的能力，及教學互動能力

結語

近年來在氣候變遷衝擊下，全球旱澇頻繁交替、各國天災頻傳，臺灣降雨量更形極端化，呈現豐愈豐、枯愈枯的趨勢，臺灣水資源短缺、降雨集中導致的淹水、土砂災害、地層下陷及環境污染等水太多、水太少、水

太濁、水太髒等問題，已是刻不容緩之迫切議題，亟需同整產官學研宅鄉婉各界跨域的知識及經驗，為臺灣擘劃全方位整合調適對策（Total solution）。

未來水利培訓課程將因應社經及自然環境的變遷，滾動檢討並開設相關課程，使水利同仁成為能適應不斷變化的環境，並讓自己擁有勝任愈來愈複雜的角色的能力，而成為國家水利優秀人才。

參考文獻

1. DeSimone, Werner & Harris, "Human Resource Development", 2002.
2. Liu, G-Z, "An Instructional Design Theory for Teaching Freshman English in a Hybrid Web-Based Instruction Course in Taiwan", 2003.
3. 公務人力發展中心，公務訓練機構訓練業務人員所需職能及在職訓練課程之研究，民國 92 年。
4. 公務人力發展中心，公務人員訓練求評估之研究，民國 90 年。
5. 公務人力發展中心，公務人力訓練績效評估研究，民國 88 年。
6. 考試院，強化文官培訓功能規劃方案，民國 99 年。
7. 經濟部水利署，深化水利核心職能發展及團隊合作教育訓練，民國 103 年 12 月。



ACECC 亞洲土木聯盟

亞洲土木工程聯盟 Asian Civil Engineering Coordinating Council (ACECC)，1998 年由三組織倡議：菲律賓 PICE、美國 ASCE、及日本 JSCE，1999 年正式成立，有五個創始組織，CICHE 為其一（CICHE、JSCE、KSCE、PICE、ASCE），目前 ACECC 有 12 個成員組織。

CECAR 亞洲土木工程大會

Civil Engineering Conference in the Asian Region (CECAR)，由 ACECC 每三年舉辦一次，為亞洲土木界的盛事，各屆主辦國家有

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| CECAR1 (1998), Philippines | CECAR4 (2007), Taiwan |
| CECAR2 (2001), Japan | CECAR5 (2010), Australia |
| CECAR3 (2004), Korea | CECAR6 (2013), Indonesia |

CECAR7 將於 August 30 ~ Sept. 2, 2016 在夏威夷盛大舉辦

徵求論文摘要 Call for Papers, CECAR7 會議主題

- Applications of information technology in civil engineering
- Building Information Management
- Civil engineering materials
- Climate changes
- Construction management
- Disaster planning and mitigation
- Education and professional training
- Flood management
- Foundations
- Geohazards
- Ground improvement and soil stabilization
- Hazardous and municipal waste management
- High speed rail
- High tech civil engineering facilities
- Human interactions in civil engineering projects
- Infrastructure asset management
- Innovative water treatment
- Planning and implementation of mega projects
- Professional ethics
- Public transportation in urban area
- Remediation of contaminated land and groundwater
- River training and restoration
- Stormwater and wastewater management
- Structural analysis and design
- Sustainable designs of civil engineering projects
- Traffic management
- Transportation planning
- Use of recycled materials
- Water resources management
- Wetland management and restoration

投遞摘要截止時間
104 年 (2015 年) 10 月 23 日

歡迎學術界、工程界踴躍投稿！

為永續，橋接水利與法律

李方中／國立臺灣大學水工試驗所專案計畫研究員兼永續水利事業策略與技術研發中心執行長

前言

今(104)年2月4日甫完成立法程序的《海岸管理法》，是我國法制史上，第一部將「因應氣候變遷」列為立法目的的法律¹。這個立法動作顯示，經過多年的研究後，我國行政及立法兩院已有共識，認為「氣候變遷」是一個國家必須面對，並提出具體作法的重要課題。除了影響海岸管理工作，「氣候變遷」對水利工作的挑戰更大。而除了「氣候變遷」長期的威脅社會永續生存與發展，水利事業短期內本身也有重要的議題要面對，主要是：流域內的持續土地開發及水庫淤積對於防洪事業的不利影響，及水資源開發腳步放緩及水庫淤積對於水資源供應的不利影響。如何修正水利相關法規，調整相關工作，以「水利永續」支持國家面對短期及長期的挑戰，達成「社會永續」的任務，是本文所要探討的。

水利法規與一般法律在本質上有所不同。蓋水原為自然存在之物質，其降雨、流動、蒸發等都是自然現象。水文現象原本即極為複雜，而由於人類對於水的利用及避災的種種行為，並因而產生法律關係，愈增加其複雜性。此點由比較各國的水法可以看出，水水量、地理條件、人口密度、經濟發達程度及特色等都明確地影響水利法制的規範內容。本文的二、三、四節將先探討現行水利法制的發展歷程，以期鑑往知來，而後在最後三節嘗試釐清在未來50年或更長的時間內，要達成社會永續的目標，水利法制的發展方向及時機。

現行水利法規的淵源及發展歷程

《水利法》的立法雖在大陸，其實踐主要是在台灣。《水利法》自民國31年公布(以下稱為原始版)，民國32年施行至今，共計修法12次，條文數由原始的71條增加為139條。與其他法律比較，《水利法》修法次數並不算特別多；整部法中，章的架構改變也不多。但逐條比較現行條文與原始版的內容，在139條條文中，從未經過修正的條文僅有20條，其中包括奠定《水利法》水權制度及防洪作業基礎的核心條文，例如：第17條²、第27條³及第74條⁴，也包括在台灣無從應用的第62條⁵。顯見《水利法》在台灣實踐過程中適應的很辛苦。如以結果論成敗，至目前為止，台灣的整體水利事業建設是很有成就的，《水利法》雖苦猶榮，功不可沒。

民國34年台灣光復後，《水利法》在台灣施行。4年後，由於中華民國政府實際管轄範圍的限縮，《水利法》的實際施行範圍在台澎金馬。《水利法》的第1次修正是在民國44年，由此可以了解，《水利法》的歷次修正，都是為了適應台灣地區的條件與問題而進行的。

本節特別說明《水利法》在台灣施行所碰到與日本法接合的問題及影響。《水利法》在台灣碰到的與日本法制接合的問題，主要是水利組合及河川治理。社會是一個有生命的有機體，必須維持社會有秩序的運作，台灣光復時，雖然因為主權變更，法律也必然隨之變更，

1. 《海岸管理法》第1條：「為維繫自然系統、確保自然海岸零損失、因應氣候變遷、防治海岸災害與環境破壞、保護與復育海岸資源、推動海岸整合管理，並促進海岸地區之永續發展，特制定本法。」

2. 《水利法》第17條：「團體公司或人民，因每一標的，取得水權，其用水量應以其事業所必需者為限。」

3. 《水利法》第27條：「水權之取得、設定、移轉、變更或消滅，非依本法登記不生效力。」「前項規定，於航行天然通航水道者，不適用之。」

4. 《水利法》第74條：「主管機關應酌量歷年水勢，決定設防之水位或日期。」「由設防日起至撤防日止，為防汛期。」

5. 《水利法》第74條：「有關特殊航運之水道，主管機關得酌量限制開渠及使用抽水機。」

但是水利組合的實體仍然存在及運作，河川治理工作也不能停頓。然而，原始版《水利法》並沒有關於水利組合及河川治理的規定。水利組合是日人沿用日本國內水利組合的概念，將歷經明、清兩朝，主要是人民自行投資開發的灌溉用的埤、圳，其中清代開發者就有 966 處，經過《公共埤圳規則》、《官設埤圳規則》及《臺灣水利組合令》三個階段的法令推動，逐漸的合併與改組，至光復前水利組合數為 38 個。對於這個《水利法》中所沒有的組織，在法律上的處理方式，是在民國 44 年修正原始版《水利法》第 3 條（民國 52 年再次修正為現行第 12 條），將原「水利組合」正名為「農田水利會」，並參考《臺灣水利組合令》第 1 條⁶規定，給予「農田水利會」法人的地位，並提升為「公法人」⁷。

河川治理的處理更為複雜。原始版《水利法》第七章「水道防護」規範的重點在歲修及防汛，並沒有河川治理的內容，對於河川管理，也較為粗放。相對的，在光復前，台灣正開始依據台灣版《河川法》推動台灣河川的高水位治理工作，而台灣版《河川法》的內容大多數是原始版《水利法》所沒有的。在此必須先說明台灣版《河川法》的由來。為因應明治維新繁榮所衍生的水患損失大幅升高，而要求進行河川高水位治理，日本國內在 1896 年即通過並施行《河川法》。相對的，在當時，日本剛取得台灣，在政治上剛開始軍事高壓，台灣的社會經濟也還未達到需要高水位治理的階段。同年，日本第 16 屆國會通過的第 63 號法《關於施行於台灣的法律》，簡稱《六三法》，給予臺灣總督近於臺灣皇帝的權力，有權決定日本國內法律以完整的或一部分的，以

及何時在台灣施行。遲至 1929 年 1 月，當時的台灣總督川村竹治根據台灣狀況修改日本《河川法》部分條文後，在台灣施行，本文稱之為台灣版《河川法》。

光復前，台灣總督府已大致初步完成台灣各重要河川的治理規劃。光復後，台灣省政府持續進行相關的治理工作。然而，台灣版《河川法》於民國 35 年 10 月 24 日廢止，而原始版《水利法》又無相關規定，關於河川治理的法規處於空窗期。此時，台灣省政府是以行政命令的方式發布相關管理命令，維持治理工作的持續進行，並在民國 54 年依據《水利法》第 10 條⁸公布《臺灣省河川管理規則》。而後由於精省，於民國 91 年由經濟部發布《河川管理辦法》，並廢止《臺灣省河川管理規則》。

上述的說明，是在表述現行的水利法制，除了是以原始版《水利法》為基礎，並進行了大量的修正外，在河川治理，甚至管理內容上，都明顯的承繼了台灣版《河川法》的精神。具體的例證是現行《河川管理辦法》第 2 條第 1 項關於河川的定義：「本辦法所稱河川，指依中央主管機關認定其屬於水資源開發或國土保育或區域發展關係重大之水系，並經公告之水道。」與台灣版《河川法》第 1 條：「本法所稱河川，指對於公共利害有重大關係，經臺灣總督核定者。」是一致的。其他例如「河川區域」的管理概念（《河川管理辦法》第 7 條第 1 項⁹、台灣版《河川法》第 2 條¹⁰）、「防洪記載表」的製作（《河川管理辦法》第 15 條¹¹、台灣版《河川法》第 14 條¹²）。這種關於河川法制的發展歷程，顯示出水利前輩們以務實的態度，以完成防洪事業為使命，運用高度

6. 《臺灣水利組合令》第 1 條：「為灌溉排水或水害預防必要時，得設置水利組合。」水利組合為法人。

7. 44 年版《水利法》第 3 條：「本法所稱主管機關，在中央為中央水利主管機關；在省為省政府在市為市政府在縣為縣政府。」主管機關得視各地方區域之需要，核准設立地方水利自治團體，協助政府推行水利事業。」前項水利自治團體為公法人其組織規程由省府擬訂，呈請行政院核定之。」

8. 52 年版《水利法》第 10 條：「省（市）縣（市）各級主管機關辦理水利事業，於不抵觸本法範圍內，得制定單行章則，但應呈報上級主管機關。」（於 92 年 2 月 6 日刪除）

9. 《河川管理辦法》第 7 條第 1 項：「河川區域之劃定及變更，除前條第一款第三目外，由管理機關測定，報主管機關核轉中央主管機關核定後，由主管機關公告並函送有關鄉（鎮、市、區）公所揭示及公開閱覽；中央管河川由水利署測定，報中央主管機關核定公告，並函送當地直轄市、縣（市）主管機關轉由有關鄉（鎮、市、區）公所揭示及公開閱覽。」

10. 台灣版《河川法》第 2 條：「河川區域應由臺灣總督核定。」在流水河川區域以外，其河川區域變更有永久性者，臺灣總督得認定之。」

11. 《河川管理辦法》第 15 條：「管理機關經辦完工之河防建造物，應列冊並附圖管理；其他機關或公、私法人或自然人依河川治理計畫線及管理機關許可經辦完工河防建造物，應檢附有關資料及圖說，列冊移交管理機關接管。」

12. 台灣版《河川法》第 14 條：「臺灣總督應編製臺灣河川管理清冊。」關於清冊之編製、保管、記載事項等規程，以命令行之。」有關清冊記載事項，不得違反，但清冊編造後，得證明需要變更之事實。」

的智慧，將台灣版《河川法》的優點融入了水利法制，是值得讚許的。但是，也要因此而理解，在以管理及發展所有水利事業於一身為目的的《水利法》及以河川治理及管理為出發點的《河川法》之間的矛盾，在不經意間會冒出水面，特別在水利事業之間以及與其他事業之間的管理問題在河川或河川區域中浮現之時。水利事業管理權限集中的《水利法》，其現行條文對於事實問題集中的河川或河川區域無法提供有效完整的管理權限。

現行水利法及相關水利事業的法體系

現行《水利法》第3條明定了12種水利事業，包括：「防洪、禦潮、灌溉、排水、洗鹹、保土、蓄水、放淤、給水、築港、便利水運及發展水力」。為了綜攬性的規範水利事業，《水利法》以第三章及第四章等兩章的空間規範了水權及水權登記、以「水道」這種概括性的名詞描述所有欲規範的對象¹³、及以抽象的方式規範了水利建造物¹⁴。在第五、六及七章分別規範「水利事業之興辦」、「水之蓄洩」及「水道防護」，也有許多原則性、抽象性的規範，例如第66條：「由高地自然流至之水，低地所有權人不得妨阻。」。按，法律原本就是要採用原則性、抽象性的規範，這樣的規範方式，需要很多的補充性規範，甚至經由司法訴訟過程來確認若干有爭議性的見解。特別是面對原本即為相當複雜的水文現象及每個人都有對水的利用與避災的行為，更需要大量的補充性規範。只是面對的是複雜的水文現象及人類行為，又牽涉到水利及法律兩種專業，在實務上，補充性規範不容易充分的產生，這是水利法制的本質性問題。這樣的本質在遭遇現代行政法對於「法律明確性原則」及其他行政法原則的重視，更凸顯完善水利法制的難度。

除了盡力完善相關的補充性規範，與上述現象有關的一種改進方式，是另立相關法律，並以特別法優於普通法的法理優先適用。現行法制中，《下水道法》是「排水」事業關於市區排水的特別規定、《自來

水法》是「給水」事業的特別規定、《水土保持法》是「保土」事業的特別規定，而《商港法》及《漁港法》是「築港」事業的特別規定。最新的發展是今年通過的《海岸管理法》，是「禦潮」事業的特別規定。此外，行政院農業委員會也在草擬《農田水利法草案》，如完成立法，將是「排水」及「灌溉」事業的特別規定。上述各法的發展，其動力是因為社會的快速發展，問題的範圍擴大，原先的法律不足以規範，產生新的政府分工，因而有新的法律需求。

如《農田水利法草案》未來能完成立法，則防洪、禦潮、灌溉、排水、洗鹹、保土、蓄水、放淤、給水、築港、便利水運及發展水力等12種水利事業中，僅有防洪、排水、洗鹹、蓄水、放淤、便利水運及發展水力等7種事業還沒有特別法的立法，而其中洗鹹、放淤、便利水運及發展水力等4種事業在《水利法》中並沒有特定的條文規定。4種事業中，洗鹹及放淤目前沒有實際應用，但放淤是對治地層下陷的良好手段，甚至未來面對海平面上升也會用得上；便利水運的航道疏濬及標示工作，目前並非完全不需要，只是應用不多，且經濟部與交通部之間對於主管權責似仍在討論；發展水力目前僅存水力發電，由於台灣電力公司是國營事業，守法且自主管理意識高，因此管理上並未出現特別的問題。而剩下的防洪、排水、蓄水則是現行《水利法》規範的重點。這時，很自然的產生一個疑問，這個趨勢繼續發展下去，《水利法》是否會被架空而喪失存在的價值？

仔細比較上述各法與《水利法》，雖然已各自有進一步訂定事業法，這些單獨的事業法在適用範圍上，並不一定有完全替代灌溉、禦潮、排水、保土、給水等5種事業規範的效果。例如：《下水道法》只規範了市區排水，而未及於農田排水及事業排水、《自來水法》管理自來水事業，但不及於其他可能的給水事業、《海岸管理法》第14條¹⁵雖然規定了水利主管機關要對若干區域訂定海岸防護計畫，但並未替代

13.《水利法施行細則》第4條：「本法所稱水道，指河川、湖泊、水庫蓄水範圍、排水設施範圍、運河、減河、滯洪池或越域引水路水流經過之地域。」

14.《水利法》第46條第1項：「興辦水利事業，關於左列建造物之建造、改造或拆除，應經主管機關之核准：一、防水之建造物。二、引水之建造物。三、蓄水之建造物。四、洩水之建造物。五、抽汲地下水之建造物。六、與水運有關之建造物。七、利用水力之建造物。八、其他水利建造物。」

水利機關在《水利法》中關於海堤區域的管理權限。總之，做為這些特別事業法的普通法，這些特別事業法的訂定，雖然有相當的部分影響到《水利法》的適用，但不影響《水利法》對於特別事業法未規範部分的管轄，無礙於《水利法》獨立存在的價值。也不因《水利法》第 78 條之 4¹⁶ 但書排除了對農田、市區及事業排水的適用而有影響。

綜上所述，《水利法》集合 12 種水利事業綜合規範的優點，是將所有的水利事業都納在同一法典之下，即使沒有其他進一步的規範，最基本的水利建造物，也可以根據第 46 條加以管理。另一個優點，是將所有水權的規定統一規範於《水利法》，避免了類似日本在明治至昭和年間，其內務省、農林省及遞信省等三省之間對於水權爭權對抗的過程。因此，《水利法》在我國法體系中的地位難以替代，不宜廢止，但可以修正，甚至大幅修正。且若干不屬於個別事業法內容的修正，將修正條文納入《水利法》仍是重要選項。必要時也可以新訂獨立的事業法或管理法。

曾提出的修法建議

水利署曾於民國 91 年，研提水利法整體修正案，經行政院通過送立法院審議，因立法院屆期不續審退回。後再於民國 93 年將水利法整體修正案提報行政院審議，惟再未送入立法院。可能的原因是當時的水資源議題非社會聚焦點，且水利法過於專業、議題龐雜、牽涉議題多，以致修法困難。而後水利署內部復於民國 100 年前後，討論是否有訂定《水資源條例草案》及《河川排水條例草案》的可能，類似於前節所述法律，相對於《水利法》，以特別法優於普通法的法理適用。惟由相關意見反映出對於兩條例草案內容範圍的看法仍相當分歧，相關立法工作還有進一步討論的空間。

再次強調，即使未來持續推動類似於《水資源條

例草案》及《河川排水條例草案》的立法工作，也就是如前節所述，現行《水利法》規範的重點：防洪、排水、蓄水，也因此有了特別規定的事業法，但都不會影響《水利法》繼續存在的價值。

永續發展、水利挑戰及修法重點與方向

以上將現行《水利法》的主要脈絡、水利法制體系等加以說明。本節將在此基礎上探討水利永續的內涵及法律對永續水利可發揮的功能及重點。

聯合國環境與發展世界委員會（WCED）於 1987 年對於「永續發展」概念提出一個限制條件是「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」。其中，「後代」（future generations）一詞並無明確定義其年限，本文認為「後代」不論多遠，仍然要從當代出發，相關情境的演變才比較實際。因此，本文先定義 1「代」為 20 年。相同的，「當代需求」及「後代需求」也需要定義，本文定義「當代需求」及「後代需求」指的是對水利系統的需求。

也必須指出，水利系統，不論是防洪系統或水資源系統，的興衰、存廢，以函數來比喻，都不是自變數，而是應變數。自變數主要是人口及產業。流域開發所造成的地文因子改變、二氧化碳增加所形成的地球暖化、氣候變遷，仍然是人口及產業的應變數。至於地文因子改變及氣候變遷的現象與水利系統之間，並不是直接的自變數與應變數關係，仍要與人口及產業放在一起看。水利系統要因應地文因子改變及氣候變遷，仍是因為有人口與產業要保護與維護。如果人口與產業有限或剩餘有限，可以如歷史上的許多大型災害事件，直接以避災的方式應對，必要時可以放棄調整水利系統。

以下嘗試從現況、當代需求、當代挑戰、後代需求及後代挑戰等幾個角度，以有限的資料，非常粗略的認識台灣的永續水利的可能情境，逐漸展開如下。

15. 《海岸管理法》第 14 條：「為防治海岸災害，預防海水倒灌、國土流失，保護民眾生命財產安全，海岸地區有下列情形之一者，得視其嚴重情形劃設為一級或二級海岸防護區，並分別訂定海岸防護計畫：一、海岸侵蝕。二、洪氾溢淹。三、暴潮溢淹。四、地層下陷。五、其他潛在災害。」前項第一款至第四款之目的事業主管機關，為水利主管機關。」第一項第一款因興辦事業計畫之實施所造成或其他法令已有分工權責規定者，其防護措施由各該興辦事業計畫之目的事業主管機關辦理。」第一項第五款之目的事業主管機關，依其他法律規定或由中央主管機關協調指定之。」
16. 《水利法》第 78 條之 4：「排水集水區域之劃定與核定公告、排水設施管理之維護管理、防洪搶險、安全檢查、設施範圍之使用管理及其他應遵行事項，由中央主管機關訂定排水管理辦法管理之。但農田、市區及事業排水，由目的事業主管機關依其法令管理之。」

1. 現況，也是當代需求，是情境發展的起始條件。台灣的現況，人口 2340 萬，防洪系統的重要部分大致完成，水資源供應量約 200 億噸／年，其中，農業用水、公共及家庭用水及工業用水的比例分別約為 70%、18% 及 12%。
2. 當代挑戰：過去流域長期開發造成的逕流係數及洪峰量的增加；水資源開發受限；水庫淤積嚴重，全國 94 座水庫原設計容量 28.5 億立方公尺，至 103 年底淤積率 29.5%；降雨量極端化。
3. 人口變化，依據國家發展委員會對 103 年至 150 年的中推計人口數，我國人口在民國 110 年到達頂峰，約 2350 至 2360 萬，至民國 125 年（一代後）約 2280 萬、145 年（二代後）約 1900 萬、150 年（二代後還多）約 1800 萬。但世界人口仍在成長，現況約 70 億，不同的推估顯示在 2050 年（不到二代）約在 90 至 100 億左右。
4. 產業部分，參考歐美國家發展歷程，我國工業仍將逐漸外移至其他發展中國家。
5. 後代需求：我國人口數逐漸減少，對公共及家庭用水需求逐漸減少，對工業用水的需求也可能會逐漸減少，但隨著世界人口增加而對糧食需求增加，農業用水會逐漸增加。人口數逐漸減少，伴隨著建築高度提高的趨勢，對於建築土地的需求降低。
6. 後代挑戰：氣候變遷對水利的影響主要呈現兩個面向，包括水文事件極端化持續及海平面上升。政府間氣候變遷專家小組（IPCC）「第五次評估報告」指出，在最糟的情況下，本世紀末（約四代後）海平面上升 82 公分。水文事件極端化持續的影響是旱澇情況會加劇，防洪保護標準降低及水資源供應困難；後者則是沿河及沿海土地利用及防洪系統的被重新調整。但要特別注意，水文事件極端化持續及海平面上升這兩個趨勢是同時呈現的，而在現象上不是在短期間內快速發生的。在這個長期的過程中，由於海平面的逐漸上升，在水理上形成河川下游邊界條件的抬高，河川感潮段流速降低，所攜帶的泥砂在河口前提早沉降，逐漸的形成與海平面的重新平衡。換言之，當海平面抬高 82 公分時，感潮段河川的底床也大致相應的提高至相若的高度，也就是堤防的出水高被抵銷了相若的程度，或可以說河川溢堤的風險明顯增加了。若再加上水文事件極端化所反映的颱風暴雨的增加，如此則洪災必然頻繁

且嚴重，對人民生命財產及糧食生產都產生明顯危害。許多氣候變遷報告提及海平面上升的情境時，都著重在淹沒範圍，但從水利觀點，那已經是悲劇的結果。真正的傷害是在過程中，社會還沒有理解此種災害的殺傷力而及早或及時應對前，一次又一次的水患所造成的損害，還要加上可能增加的土石災害。中國大陸對水利史的研究成果，具體的指出在人類歷史上地球溫度是變動的，往往水患最頻繁的時期是在溫度上升的初、中期。一個令人難過的相應現象是，此時由於人口減少、生產能力降低而削弱社會經濟，應對水患的能力也降低，形成惡性循環。若再加上旱象隨之加劇，水資源供應能力降低，導致糧食減產、經濟受創，會更進一步的強化惡性循環。雖然我們對於海平面上升的情境何時達到何種程度，無法準確預測，但何種程度的海平面上升對於防洪系統的影響程度是可以預先推估，並遇謀對策的。

整體水資源情勢及對策粗略評估

1. 當代水資源的挑戰，在過去長期的以開發水資源及對水資源採取粗放管理的情況下，藉由管理手段，或尚可應付。
2. 由於水庫的快速淤積，如不及早清淤，一代以後，水庫供水能力會受明顯影響，在這 20 年間，也是我國用水的高峰。
3. 二代以後，家庭及公共用水及工業用水會明顯減少，農業用水需求會提升，灌溉技術的改進及效率提升應會比水資源開發的總體成本及環境成本為低。農地需求增加。

整體防洪情勢及對策粗略評估

1. 當代所累積流域開發導致的逕流量增加趨勢，可以經由土地開發出流管制、整體流域綜合治水及局部集水區加強管理得到控制而減緩。
2. 一代以後，人口開始減少，雖然水文事件極端化導致的淹水情形可能增加，但水災損失的增加趨勢可能開始減緩。在這 20 年間，也是防洪操作壓力最大的時期。
3. 二、三代後，水文事件極端化加上海平面上升的綜合效果，會明顯的降低河川排水的保護效果，需要加高堤防或增加河寬以擴大通洪斷面，順利排洪；需要放淤或填土以墊高地層下陷地區土地；需要重

新調整沿河及沿海土地利用。更嚴重時，居住區域需要適度的往較高地區轉移。

必須修法或新增法律的理由

1. 長期以來，由於興辦水利事業人大多是機關、公營事業或公法人，因此關於水利事業間的爭議，許多是透過水利主管機關的出面協調而解決，也形成了一些法外操作的事實。然而，涉及各目的事業主管機關間的協調就相對的困難，而涉及人民權益的問題更必須有法律為基礎，依法行政。在這兩種情況下，就必須考慮修法或新增法律。即使是上述興辦水利事業人間的爭議，也應以法律為基礎，而不應在法外藉由主管機關的影響力操作，否則若處理不當引發訴訟時，法院依法審判，水利主管機關恐無立場。
2. 水資源管理事關人民的取用水秩序及利益，加強及調整水資源管理的內容，其作法會影響人民權益，應有法律支持。
3. 水庫清淤工作，清淤泥砂的處理受到其他法律的限制，應予排除，否則可能因為工作受限而影響目標的達成。除了行政協調之外，以法律排除其他法律規定是一種合法且有效的方式。
4. 土地開發出流管制、整體流域綜合治水、局部集水區加強管理、加高堤防或增加河寬、放淤或填土、調整沿河及沿海土地利用，以及居住區域轉移等，都牽涉到私有土地，現行法律中已有若干規定。但有以下原因必須修法或新訂法律：(1) 現行法律規範範圍不完整或強度不足，例如土地開發出流管制相關各法規定不同；(2) 主管機關與目的事業主管機關間的合作方式需要更快速而有效，以法律規定工作關係及以法定計畫先行訂定工作內容，可以有效提升效率；(3) 目前制度不足以快速的處理較大的災難或明顯快速的趨勢變動，前者是近年來數個特別條例立法的原因，後者在面對二、三代後劇烈變動時有特別的需要。

修法時機及方向

1. 在當代，修正水利法制，對現行水資源管理作為尚未入法者，例如：用水計畫書管理制度、限制高耗

水量產業、主管機關得協調休耕及自來水停止及限制供水、統籌調度區域間水資源之權、目的事業主管機關應會商水利主管機關事項及範圍等，修正納入《水利法》或新訂相關法律，給予全盤的法律支持；強化水庫通砂及清淤工作的法律強度，排除或減少其他法律，例如：廢棄物清理、土地管制、環境影響評估及水土保持等法之限制；及應增加河川管理機關對水庫通砂或清淤後以車輛回放泥沙至水庫下游河道等行為的管理手段及權力，以避免河川砂源增加的現象造成對防洪事業的不利影響。對於防洪工作，推動及確保土地開發出流管制、整體流域綜合治水及局部集水區加強管理相關法規。

2. 一代後，注意水資源轉往農業用水移動的趨勢，排除移動的法律障礙，注意灌溉技術的改進及效率提升的入法時機，重視整體流域防洪聯合操作的規定。
3. 二代後，注意農地需求增加及農業水資源的運行範圍擴大所需要的法律支持，增加關於放淤事業的詳細法規，以都市計畫或區域計畫手段，逐漸調整沿河及沿海土地利用，減少洪災損失，並取得加高堤防或增加河寬所需之用地。
4. 三代以後，海平面上升及水文事件極端化現象嚴重時，以避災的角度調整整體國土利用計畫，高強制性的推動土地使用管制，留意土石災害與排除，加強水庫安全維護。

近年修法趨勢

我國長期以來，維持著一部行政行為法由一個部會擔任中央主管機關的體制，其他相關機關則以目的事業主管機關表示，各機關之間以會商的方式進行業務協調。例如，《水利法》第 63 條規定：「興辦水利事業涉及其他目的事業主管機關職掌者，由水利主管機關會商辦理之。目的事業機關興辦目的事業涉及水利者，應商得水利主管機關同意。」。但近年來的修法趨勢逐漸轉變，立法技術也在進步。民國 89 年《災害防救法》除了以內政部為中央主管機關，還於法內以「中央災害防救業務主管機關」的名義明定其他部會之責¹⁷，並訂定「災害防

17. 《災害防救法》第 3 條第 1 項：「各種災害之預防、應變及復原重建，以下列機關為中央災害防救業務主管機關：一、風災、震災、火災、爆炸災害：內政部。二、水災、旱災、公用氣體與油料管線、輸電線路災害、礦災：經濟部。用氣體與油料管線、輸電線路災害、礦災：經濟部。三、寒害、土石流災害、森林火災：行政院農業委員會。四、空難、海難、陸上交通事故：交通部。五、毒性化學物質災害：行政院環境保護署。六、其他災害：依法律規定或由中央災害防救會報指定之中央災害防救業務主管機關。」

救基本計畫¹⁸」經中央災害防救會報核定後，由行政院函送各中央災害防救業務主管機關據以辦理災害防救事項。

民國 103 年公布施行的《流域綜合治理特別條例》，規定中央主管機關經濟部應會同各中央目的事業主管機關依流域整體規劃及綜合治水原則、政策及優先秩序，擬訂「流域綜合治理計畫」¹⁹。

今年公布施行的《海岸管理法》，進一步的規定主管機關內政部得要求軍事、海關、港務、水利、環境保護、生態保育、漁業養護或其他目的事業主管機關協助辦理本法所定事項²⁰。同時，《海岸管理法》規定中央主管機關內政部應擬訂「整體海岸管理計畫」，並要求各中央目的事業主管機關依據「整體海岸管理計畫」擬訂「一級海岸保護計畫」或「一級海岸防護計畫」²¹。

總之，原本各本行政職權的中央部會，是透過行政協商或執行行政院通過的行政計畫來進行合作。目前的立法趨勢，則是尊重現有的分工體制，但透過法律的規定，而能在法定計畫的約束下，因為執行法定計畫而共同辦理完成計畫目標，是一種值得學習的立法技術。對於未來水利法制的修訂，不論在防洪或水資源工作，面對愈來愈複雜的情勢，在法制上都有明確可借鏡之處。

結論

《水利法》自大陸來台，納入日本法制，維持農田水利事業及推動高水位治理，同時辦理水權登記，奠定了台灣水利事業發展的基礎。經過陸續修正，支撐近四代的生存及經濟發展。預期在未來的二代左右，尚可經由繼續修正加上適度的訂定新的水利事業法，利用要求協助及法定計畫等新的立法技術，大致足以維持現行整體水利法制架構。但在管理強度及密度上會明顯增加，這個現象在《海岸管理法》相當明顯。

但在三、四或更多代以後，如果海平面上升明顯，水文事件極端化現象嚴重，而又無法預測氣候變遷的趨

勢何時達到平衡點或轉捩點，類似大禹時代的情境有可能再現。這個過程中，永續的重點由「發展」逐漸向「生存」傾斜，此時國家需要強力的動員及管制權力以應付頻繁且嚴重的災難；相對的，人民的自由權利會受到明顯的限制。若如此，現行的水利法制架構必然無法應付此等情況。剛開始，尚可以緊急命令及特別法案來應付短期的衝擊；長期而言，國家整體法制會被迫大幅調整，而水利法制會被強調防、避災及求生存，強化政府權力的法律所取代。願此情此境，能不發生！

參考文獻

1. 徐世大，臺灣省通志稿經濟志水利篇，臺灣省文獻委員會，臺北，民國 44 年。
2. 朱啟勳，日本水利法制之研究，明治大學碩士論文中文版，民國 56 年。（日文版係於日昭和 37 年在日本東京明治大學所提出）
3. 曹永和，臺灣早期歷史研究，聯經，台北，民國 68 年。
4. 經濟部水利司，水利法通盤檢討修正之研究計畫報告，民國 84 年。
5. 陳鴻圖，水利開發與清代嘉南平原的發展，國史館，臺北縣，民國 85 年。
6. 蔡志展，明清水利開發研究，臺灣省文獻委員會，南投，民國 88 年。
7. 經濟部水資源局，配合政府再造水利法修正，民國 89 年。
8. 吳建民總編纂；臺灣省文獻委員會採集組編輯，臺灣地區水資源史第三篇，臺灣省文獻委員會，南投市，民國 89 年。
9. 經濟部水利署，水利法中央地方許可權及水權相關爭議問題之研究，民國 92 年。
10. 經濟部水利署，配合國土復育方案檢討修正水利法 (1/2)，民國 96 年。
11. 經濟部水利署，配合國土復育方案檢討修正水利法 (2/2)，民國 97 年。
12. 經濟部水利署，水權登記相關法律問題研究，民國 98 年。
13. 李惠宗、吳明孝，我國水權登記制度的檢討，水權登記相關法律問題研究-學術研討會論文集，台中市，2009 年，第 79-98 頁。
14. 陳宏圖，臺灣水利史，臺北，2009 年。
15. 經濟部水利署，水利相關條例到期因應策略研析 (1/2)，民國 101 年。
16. 林建村、李源泉、陳信雄編著，探索台灣農田水利組織與制度，農田水利會聯合會，2013 年。
17. 詹道江、謝悅波，古洪水研究，中國水利水電出版社，2001 年。



18. 《災害防救法》第 17 條第 1 項：「災害防救基本計畫由中央災害防救委員會擬訂，經中央災害防救會報核定後，由行政院函送各中央災害防救業務主管機關及直轄市、縣（市）政府據以辦理災害防救事項。」

19. 《流域綜合治理特別條例》第 3 條第 1 項：「本條例之中央主管機關為經濟部，中央主管機關應會同各中央目的事業主管機關依流域整體規劃及綜合治水原則、政策及優先秩序，擬訂流域綜合治理計畫。」

20. 《海岸管理法》第 4 條第 2 項：「主管機關及海岸巡防機關就前項及本法所定事項，得要求軍事、海關、港務、水利、環境保護、生態保育、漁業養護或其他目的事業主管機關協助辦理。」

21. 《海岸管理法》第 10 條第 1 項：「第八條第七款所定計畫擬訂機關如下：一、海岸保護計畫：（一）一級海岸保護計畫：由中央目的事業主管機關擬訂，涉及二以上目的事業者，由主要業務之中央目的事業主管機關會商有關機關擬訂。…二、海岸防護計畫：（一）一級海岸防護計畫：由中央目的事業主管機關協調有關機關後擬訂。…」

綠色公路、鐵路建設技術研討會

今年兩岸交流委員會參訪北京，與北京茅以升科技教育基金會以及中國交通運輸部科學研究院，於2015.9.9 合辦一場「綠色公路、鐵路建設技術研討會」。會議資訊如下：

會議時間：2015年9月9日

主辦單位：中國土木水利工程學會 / 兩岸交流委員會（台）

北京茅以升科技教育基金會

中國公路學會公路環境與可持續發展分會

承辦單位：交通運輸部科學研究院（中）

發表論文

道路生態學研究進展

王雲副研究員 / 中國交通運輸部科學研究院

綠色土木工程 — 從漢長城談起

周南山常務監事、兩岸交流委員會主任委員 / 中國土木水利工程學會

高速鐵路無砟軌道曲線超高調整技術

肖俊恒研究員 / 中國鐵道科學研究院

臺灣台9線南迴公路工程碳足跡盤查計畫介紹

黃炳勳協理 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司

資訊時代交通工程的綠色思維與技術創新

夏海山院長 / 北京交通大學

綠色價值工程於臺灣軌道建設上之運用

賴建名計畫經理 / 中興工程顧問股份有限公司

（本期特別刊出此篇，以饗讀者。）



2015 不一樣的北京

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。



在此先介紹其中台灣工程師其中一篇論文，讓讀者能夠一同參與這個研討會。

綠色價值工程於臺灣軌道建設上之運用

賴建名 / 中興工程顧問股份有限公司計畫經理



節能減碳的趨勢

- ❏ 世界的脈動
 - 京都議定書(2009年183國簽訂)，碳交易(二氧化碳的排放量)
 - 2009年12月哥本哈根會議，未來氣溫的增幅控制在攝氏2度以內。全球二氧化碳的排放量必須在2050年時減至1990年時的一半
- ❏ 台灣的努力
 - 2008年6月5日通過「永續能源政策綱領」揭示目標：2020年回到2008年排放量的水準、2025年回到2000年排放量水準

簡報內容

- ❏ 綠色價值工程概念
- ❏ 綠色價值工程執行方式
- ❏ 綠色價值工程於軌道建設上之運用實例
- ❏ 結論與建議



落實永續公共工程之概念措施



中興工程顧問股份有限公司 6

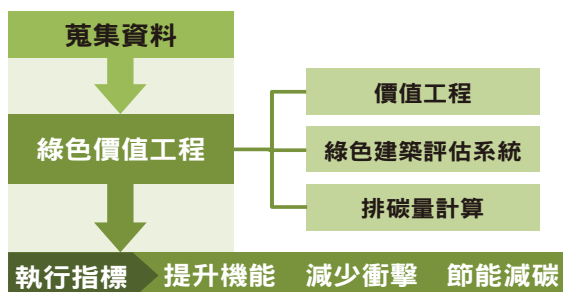
價值工程納入風險考量，降低社會成本

以工程全生命週期考量，提列可能造成危害之風險工項，並檢討各階段可採取之因應對策



中興工程顧問股份有限公司 10

價值工程與節能減碳結合執行概念



中興工程顧問股份有限公司 7

軌道系統全生命週期風險矩陣表

融合機率與衝擊程度，風險矩陣法(Risk matrix)將風險等級分為4類，各別為R1、R2、R3及R4

風險矩陣圖	等級	嚴重性 結果 (I)				
		I1	I2	I3	I4	I5
職工/承包商安全	死亡	微不足道	可以忽略	輕微	嚴重	重大
	輕傷	< 3日病假	< 5	< 5	< 5	> 5
施工進度	工期延誤	3天	3天-14天	14天-2個月	2個月-6個月	6個月-2年
	承包商的財務損失	損失費用以下	1萬-10萬	10萬-100萬	100萬-1000萬	1000萬-1億
旅客/大眾安全	死亡				< 5	5-50
	輕傷				5-50	51-500
營運服務	系統中斷	< 20分	20分-60分	60分-1天	1天-1週	1週-1個月
	車站關閉	< 20分	20分-60分	60分-1天	1天-1週	1週-1個月
發生機率 (P)	P6 每週發生數次	超過100	R3	R1	R1	R1
	P5 每年/每月發生數次	1 - 100	R4	R2	R1	R1
	P4 數年/數十年發生一次		R4	R3	R2	R1
	P3 本世紀可能發生		R4	R4	R3	R2
	P2 很少或未必會發生		R4	R4	R4	R3
	P1 難以置信會發生		R4	R4	R4	R4

本表附為中興工程顧問股份有限公司研究報告 11

綠色價值工程 vs 風險管理

降低工程費及排碳量時，施工或營運風險是否會增高？



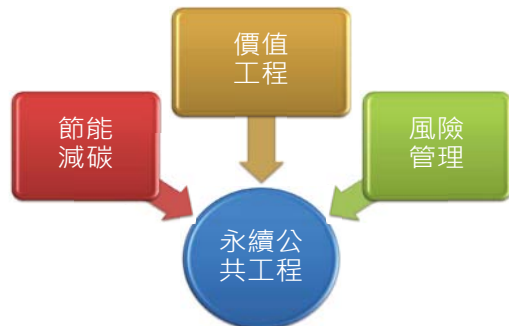
中興工程顧問股份有限公司 8

綠色價值工程執行方式



中興工程顧問股份有限公司

落實永續地下捷運設計概念之措施

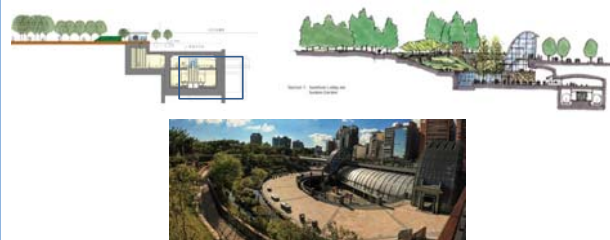


中興工程顧問股份有限公司 9

價值工程執行歷史

價值工程於台灣執行已超過25年，節省200億以上費用

- PHASE I : 技術移轉與合署辦公 (1987-1992)
- PHASE II : 技術生根與自強自主 (1989-1995)
- PHASE III : 技術深耕與全面創新 (1992-1997)
- PHASE IV : 技術推廣與縱深擴伸 (1993-now)



中興工程顧問股份有限公司 13

價值工程於捷運執行成果摘錄(中興)

計畫名稱	研析時間	建議案數	接受案數	節省費用(百萬元)	佔總工程費百分比	減碳量(噸)
板南線177細設標	1989.12	17	3	12.6	0.33%	-
板南線176細設標	1990.2	11	2	19.6	0.32%	-
中和線190細設標	1990.4	8	1	24.4	0.30%	-
土城線188細設標	1992.6	11	5	27.3	0.91%	-
土城線189細設標	1997.3	11	9	304.1	6.27%	-
新莊線192細設標	1998.4	12	10	126.4	1.30%	-
新莊線194細設標	1999.5	9	7	369.6	3.08%	-
信義線147細設標	2003.4	11	7	408.0	4.67%	-
松山線168細設標	2004.7	10	5	625.7	7.58%	-
環狀線111細設標	2009.1	9	9	613.0	10.46%	-
	2012.1	12	11	1306.0	15.36%	30,601
Total		120	68	3837.1	6.64%	30,601

中興工程顧問股份有限公司

14

綠色價值工程執行小組成員建議

- 具有十年以上設計經驗之資深工程師
- AVS證照及多次參與價工研析的經驗
- 因應節能減碳的加入增列具有LEED證照之建築師、BIM應用之日照、通風模擬工程師、排碳量估算工程師以及具有ISO 14064及14067證照之碳排放查證員。

綠色價值工程研析小組

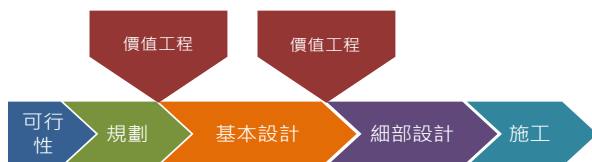
VE01 領隊(資深)	VE09 環控工程(資深)
VE02 施工規劃(資深)	VE10 施工估價(資深)
VE03 建築設計(LEED證照)	VE11 排碳量估算工程師
VE04 結構工程(資深)	VE12 ISO14064查證員
VE05 大地工程(資深)	VE13 BIM日照模擬工程師
VE06 隧道工程(資深)	VE14 BIM通風模擬工程師
VE07 土木工程(資深)	VE15 協調人
VE08 電氣工程(資深)	

中興工程顧問股份有限公司

18

綠色價值工程執行階段

- 工程全生命週期各階段均可導入
- 政府採購法第35條(機關得於招標時規定.....)
- 透過價值工程創新工程設計技術，及節省工程經費

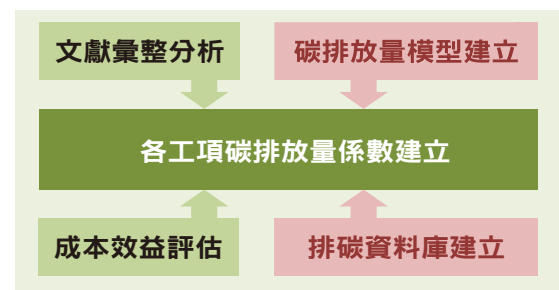


中興工程顧問股份有限公司

15

本土化碳排放係數的建立

碳排放量減少之估算方式



中興工程顧問股份有限公司

19

綠色價值工程研析構想及目標

研析目標：

- 機能維持或增加
- 節省成本約總工程經費5~10%
- 節能減碳量總排碳量5~10%



中興工程顧問股份有限公司

16

本土化碳排放係數的建立

溫室氣體排放量評估與計算：排放係數法

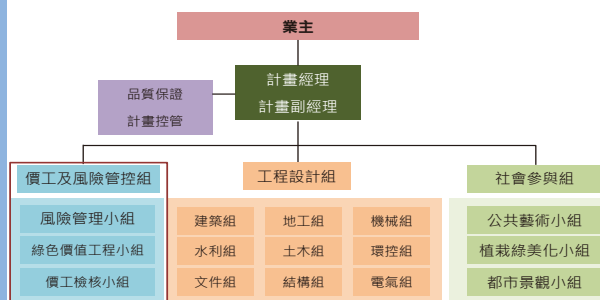
- 溫室氣體排放量(二氧化碳當量)=Σ排放強度(排碳活動量)×排碳係數
- 以工程數量為活動量，透過單價分析表(人工、機具、材料)之分析
- 排碳係數
 - 引用運研所「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」
 - 引用工程會「電腦估價系統(PCCES)架構估算工程二氧化碳排放量委託研究」



中興工程顧問股份有限公司

20

綠色價工及風險組織架構



中興工程顧問股份有限公司

17

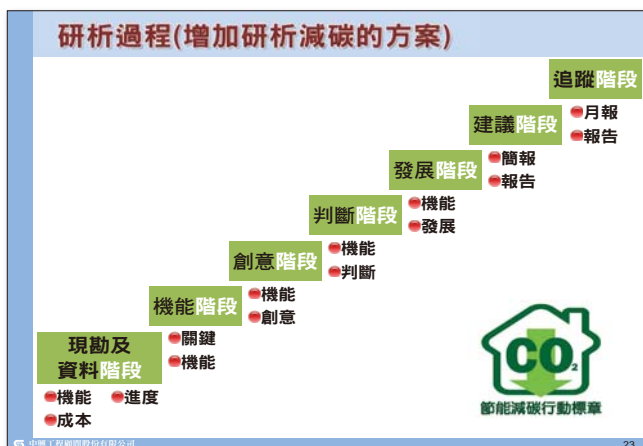
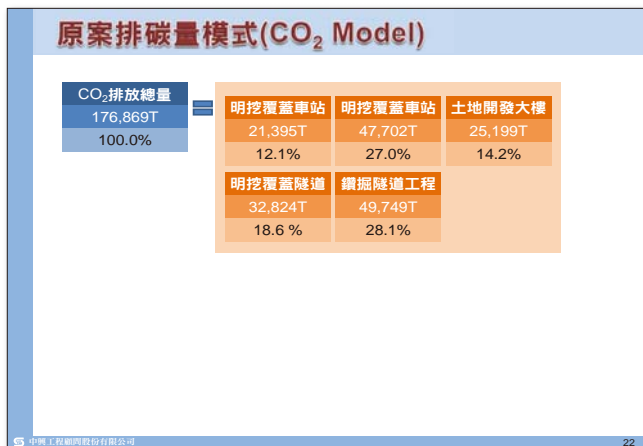
原案成本模式(Cost Model)

工程成本	8,765,918,670	100%
直接費用	7,389,760,517	84.3%
間接費用	1,376,158,153	15.7%
工區作業費	796,253,002	10.8%
明挖覆蓋車站	783,144,696	10.6%
明挖覆蓋車站	1,714,621,312	23.2%
土開大樓	690,980,070	9.4%
明挖覆蓋隧道	943,610,477	12.8%
鑽掘隧道工程	1,799,824,730	24.4%
標誌景觀工程	11,066,730	0.1%
配合機電設施	5,869,000	0.1%
水電工程	256,075,000	3.5%
環控工程	319,381,000	4.3%
電梯電扶梯	66,000,000	0.9%
植栽移植工程	2,934,500	0.1%

金額數字僅為示意

中興工程顧問股份有限公司

21



研析成果示意

編號	設計替代案	預估節省金額(百萬元)	預估節省碳排放量(噸)
CC-01	隧道平面線形截彎取直，縮短路線(風險減緩)	4.7	50
CG-01	隧道縱面線形調整，避免與堤防衝突(風險規避)	565.0	1138
CG-02	明挖覆蓋車站將臺式月台改為島式月台(風險減緩)	510.0	12252
CT-01	明挖覆蓋車站縮短明挖覆蓋隧道長度(風險減緩)	402.0	11342
CG-03	明挖覆蓋通風豎井深度檢討(風險減緩)	76.0	2135

編號	設計建議案	預估節省金額(百萬元)	預估節省碳排放量(噸)
A-3	設置植生綠牆(濾牆)，淨化室內空氣		0.739/年
E-2	車站設置採光通風井及採光通風廊設置		161.5/年
G-3	地下水冷卻空調之構想		6.7/年



風險對策效益評估

- 風險對策以價值工程技術進行評估
- 風險對策執行效益指數達10以上，對策才具有經濟效益

$$\text{風險對策執行效益指數} = \frac{R(\text{對策執行前}) - R(\text{對策執行後})}{\text{風險對策執行費用}}$$

風險對策執行費用範圍	風險對策執行效益指數	備註
5000萬以上	>10	風險對策執行效益佳
1000~5000萬	5~10	風險對策初步再評估
500~1000萬元	<5	提出替代風險對策並再行檢討其適切性
100~500萬元		
50~100萬元		
10萬以下		



案件編號:C-G01 設計階段 施工階段 營運階段

案號：C-G01
 項目：潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突
 內容摘要：潛盾隧道與基樁衝突，施工過程須破堤托底，若遇汛期時，恐會造成大規模之淹水，經調整縱斷面線形，潛盾隧道於兩側堤防基樁下方通過，避免衝突，故不需破堤或改建，且經分析環片仍可維持長期安全性，除可節省造價外，另可大幅免除破堤風險。

風險規避 費用降低 節能減碳

風險規避：由原破堤高風險改為不破堤
 節省金額：565百萬元
 減少CO₂排放量：1138公噸

中興工程顧問股份有限公司 30

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

設計階段因應對策

- 經三維分析確認基樁下方環片之安全性

中興工程顧問股份有限公司 34

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

原案

- 堤防基樁與潛盾隧道衝突，須以破堤托底切樁方式通過

堤防 溪 堤防
 車站
 堤防基樁
 坡度約2.7%
 疊式隧道，堤防基樁與潛盾隧道衝突

中興工程顧問股份有限公司 31

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

施工階段因應對策

- 潛盾環片安裝自動安全監測系統
- 現場的安全監測訊息，即時傳送至潛盾操作室及相關單位

監測儀器 規格

混凝土應變計	最大應變範圍：±1000微應變 (1000 Micro-mm/mm)。 非線性度：±2% R.O. 遲滯效應：±3% R.O. 適用溫度範圍：-20至+50 (需透過預鑄環片之混凝土澆置、蒸氣貫注、運送安裝等過程)
環片混凝土應變計 自動化擷取系統	<ul style="list-style-type: none"> 系統內容應包含 <ol style="list-style-type: none"> 資料記錄器 (Data Logger) 多工擷取器 (Multiplexer) 控制終端電腦 UPS不斷電系統及穩壓器 雷射印表機 監測資料庫存取、資料處理軟體

環片內混凝土應變計與資料擷取系統

中興工程顧問股份有限公司 35

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

建議案

- 調整縱面線形，於堤防基樁下方通過，避免破堤托底切樁

堤防 溪 堤防
 車站
 堤防基樁
 坡度約5.2%
 水平隧道，由基樁下方通過，避免衝突

中興工程顧問股份有限公司 32

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

建議案

- 節能減碳計算(摘錄)

材料	原案	建議案	減少	單位	原案	建議案	減少	單位
鋼筋	125,300 kg	117,700 kg	7,600 kg	kg	117,700	110,100	7,600	kg
高強度預力鋼筋	300 m ³	298 m ³	2 m ³	m ³	298	296	2	m ³
砂	181,134 m ³	181,134 m ³	0 m ³	m ³	181,134	181,134	0	m ³
碎石	280,330 m ³	280,330 m ³	0 m ³	m ³	280,330	280,330	0	m ³
水泥	18,121 m ³	18,121 m ³	0 m ³	m ³	18,121	18,121	0	m ³
碎石	1,706 L	1,706 L	0 L	L	1,706	1,706	0	L
碎石	181,134 m ³	181,134 m ³	0 m ³	m ³	181,134	181,134	0	m ³
碎石	280,330 m ³	280,330 m ³	0 m ³	m ³	280,330	280,330	0	m ³
碎石	18,121 m ³	18,121 m ³	0 m ³	m ³	18,121	18,121	0	m ³
碎石	1,706 L	1,706 L	0 L	L	1,706	1,706	0	L
碎石	181,134 m ³	181,134 m ³	0 m ³	m ³	181,134	181,134	0	m ³
碎石	280,330 m ³	280,330 m ³	0 m ³	m ³	280,330	280,330	0	m ³
碎石	18,121 m ³	18,121 m ³	0 m ³	m ³	18,121	18,121	0	m ³
碎石	1,706 L	1,706 L	0 L	L	1,706	1,706	0	L
碎石	181,134 m ³	181,134 m ³	0 m ³	m ³	181,134	181,134	0	m ³
碎石	280,330 m ³	280,330 m ³	0 m ³	m ³	280,330	280,330	0	m ³
碎石	18,121 m ³	18,121 m ³	0 m ³	m ³	18,121	18,121	0	m ³
碎石	1,706 L	1,706 L	0 L	L	1,706	1,706	0	L

中興工程顧問股份有限公司 36

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

破堤與否比較表

	原案(需破堤托底及拔樁)	建議案(調整線形直接下方通過)
隧道縱坡	○ 約2.7%	○ 約5.2%，符合機電系統規定
成本	× 破堤或托底費用高	○ 無須破堤，節省工程費約10,100萬
工期	× 破堤需於非汛期且界面複雜	○ 無須破堤，節省工期6個月
應辦事項	× 河川公地申請、水理分析、交通影響分析	○ 傳統潛盾施工，簡易水理分析
交通影響	× 施工期間嚴重影響堤外道路交通	○ 全程於地下施工，不影響交通
施工風險	× 臨時堤防需於非汛期施作，破堤、拔樁並改建堤防時風險高。	○ 全程於地下施工，不影響防汛安全

中興工程顧問股份有限公司 33

C-G01:潛盾隧道與兩側堤防基樁衝突

結論

- 不需破堤、切樁及托底，降低施工風險及節省施工工期，節省1.01億及縮短6個月工期。

發生機率	經常	P6	R2	R1	R1	R1	R1	R1
	有可能	P5	R2	R2	R2	R1	R1	R1
	偶爾	P4	R3	R3	R2	R2	R2	R1
	絕少	P3	R4	R3	R3	R3	R2	R2
	不太可能	P2	R4	R4	R4	R3	R3	R3
	非常不可能	P1	R4	R4	R4	R4	R4	R4
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	
		輕微	不嚴重	嚴重	重大	災難	大災難	

衝擊程度

風險對策執行效益指數 = $\frac{R(\text{風險對策執行前}) - R(\text{風險對策執行後})}{\text{風險對策執行費用(較原案節省經費)}} = \infty$

中興工程顧問股份有限公司 37

案件編號: C-G02 設計階段 施工階段 營運階段

案 號: C-G02
 項 目: 明挖覆蓋車站開挖過深
 內容摘要: 原案為地下4層疊式月台車站, 開挖深度達36m, 工程造價及施工風險高, 工期長, 旅客搭乘便利性不佳。替代案改採地下3層島式月台車站, 開挖深度減為25m, 工程造價及風險相對大幅降低, 易便利於旅客搭乘, 並創造節能減碳地下車站。

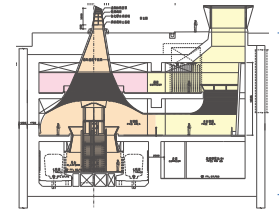
風險減緩 費用降低 節能減碳

風險減緩: 由R1降至R3
 預估節省金額: 510百萬元
 預估減少CO₂排放量: 12,252公噸

中興工程顧問股份有限公司 38

建議案

為三層島式月台, 並創造引入風光的條件



- 1 改為地下三層島式月台車站, 便利營運管理及旅客使用性
- 2 減少車站覆土, 開挖深度減少11m, 大幅節省造價
- 3 將風、光、綠引入車站, 塑造節能綠意之車站

25m

中興工程顧問股份有限公司 42

C-G02: 明挖覆蓋車站開挖過深

替代方案說明

原案 為地下4層疊式月台車站, 開挖深度達36m



疊式隧道 R=60m

7.7m

覆土深, 車站開挖深, 工程造價高

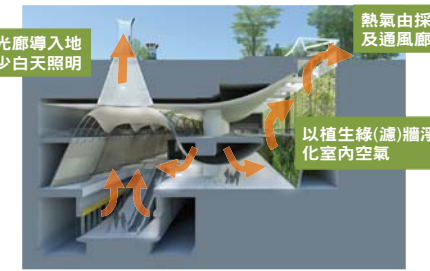
36m

中興工程顧問股份有限公司 39

創造環境

引風導光、創造室內舒適環境

於秋冬外氣溫度較低時, 開啟採光通風井及採光通風廊, 同時月台層及穿堂層送全外氣, 回風機運轉。



光線由光廊導入地下, 減少白天照明

熱氣由採光通風井及通風廊排出

以植生綠(牆)牆淨化室內空氣

中興工程顧問股份有限公司 43

C-G02: 明挖覆蓋車站開挖過深

替代方案說明

替代案 調整線形, 改為地下3層島式月台, 開挖深度減少11m



水平隧道 車站移動角度微調 R=57m

3m

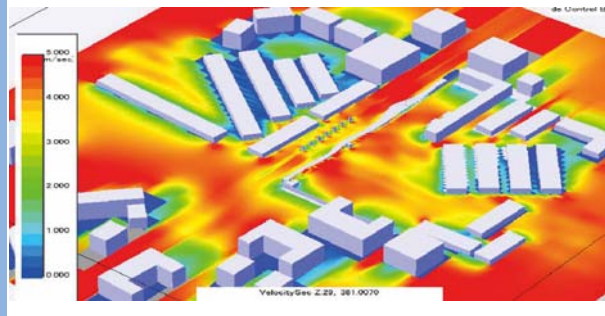
減少覆土深, 減少開挖深度, 大幅節省造價

25m

中興工程顧問股份有限公司 40

物理環境分析-環境通風及出入口方向分析

車站出入口通風環境分析



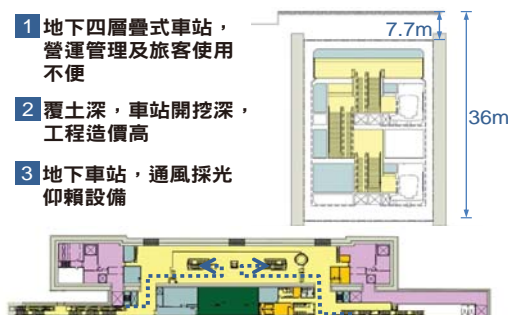
Velocity: 2.29, 281.0070

中興工程顧問股份有限公司 44

原案

為四層疊式車站, 開挖深使用不便

- 1 地下四層疊式車站, 營運管理及旅客使用不便
- 2 覆土深, 車站開挖深, 工程造價高
- 3 地下車站, 通風採光仰賴設備

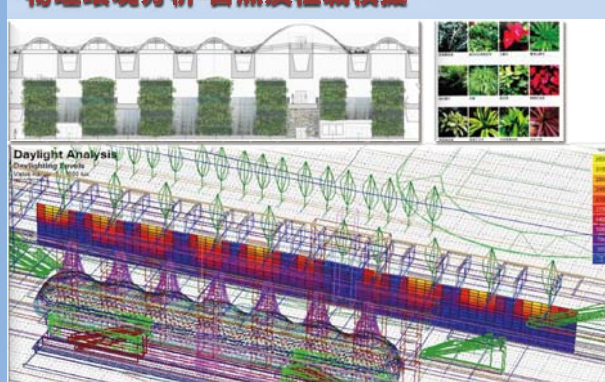


7.7m

36m

中興工程顧問股份有限公司 41

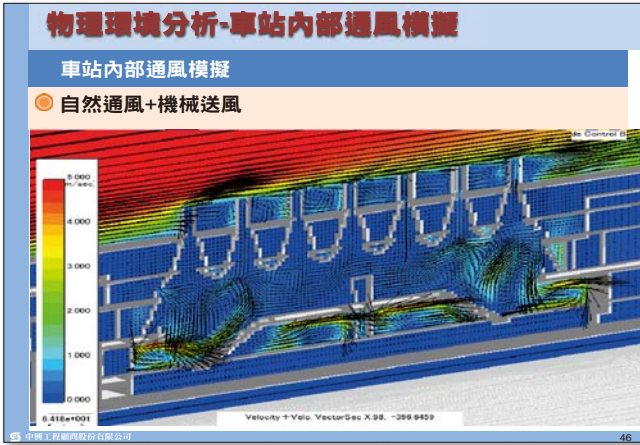
物理環境分析-日照及植栽模擬



Daylight Analysis

Daylighting Levels

中興工程顧問股份有限公司 45



全生命週期節能減碳效益

階段	具體作法	節省CO ₂ 排放量(噸)
設計施工	透過價工程序，減少車站開挖深度	12,252
階段	具體作法	每年節省CO ₂ 排放量(噸)
營運階段	採用採光通風井，於秋冬季採用自然機械通風時，不開啟回風機，每年節省使用電能約25萬度	275
	車站使用高效率之變頻空調，每年節省使用電能20萬度	
	開光井引進自然光源至穿堂及月台層，每年減少白日照明使用之電能約35,027度	227
	使用自動啟閉系統照明(LED燈具)，每年節省電能約33萬度	
	給水	採用省水衛生設備，每年可省水1500度	0.4
再生能源	採用26KW BIPV太陽能發電，每年可產生電能23,345度	15
合計		517.4

中興工程顧問股份有限公司 50

創造室內自然淨化空氣-吸收二氧化碳

植生綠(濾)牆淨化空氣能力

地下植物園

室內植物在24小時內可以排除87%的室內污染物

- 淨化有毒物質
- 吸收CO₂
- 捷運芬多精
- 降低室內溫度
- 減少落塵汙染

中興工程顧問股份有限公司 47

C-G02:明挖覆蓋車站開挖過深

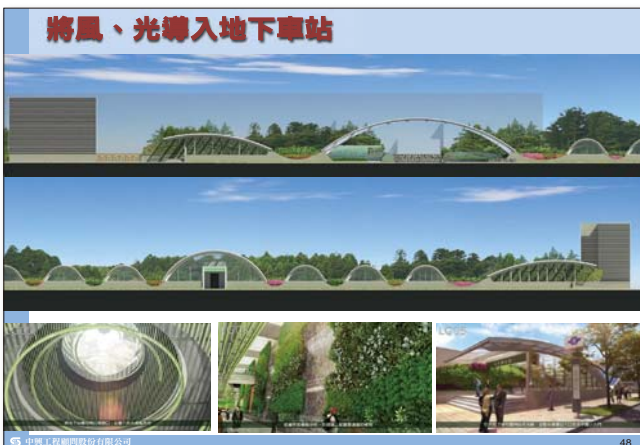
結論：開挖深度由原先36M，透過平面及縱面線形調整，將車站開挖深度減為25M。

發生機率		P6	R2	R1	R1	R1	R1	R1
		經常	P6	R2	R1	R1	R1	R1
有可能	P5	R2	R2	R2	R1	R1	R1	R1
偶爾	P4	R3	R3	R2	R2	R2	R2	R1
絕少	P3	R4	R3	R3	R3	R2	R2	R2
不太可能	P2	R4	R4	R4	R3	R3	R3	R3
非常不可能	P1	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	I6
		輕微	不嚴重	嚴重	重大	災難	大災難	

衝擊程度

風險對策執行效益指數 = $\frac{R(\text{風險對策執行前}) - R(\text{風險對策執行後})}{\text{風險對策執行費用(較原案節省經費)}} = \infty$

中興工程顧問股份有限公司 51



施工中節能減碳之計算

建議案：開挖深度減少11m

項目	單位	數量	單位消耗	總消耗	單位消耗	總消耗
鋼筋	kg	13,214	0.0001	1.3214	0.0001	1.3214
水泥	m ³	1,321.4	0.0001	0.13214	0.0001	0.13214
砂石	m ³	13,214	0.0001	1.3214	0.0001	1.3214
電力	kWh	13,214	0.0001	1.3214	0.0001	1.3214
水	m ³	13,214	0.0001	1.3214	0.0001	1.3214
柴油	kg	13,214	0.0001	1.3214	0.0001	1.3214
汽油	kg	13,214	0.0001	1.3214	0.0001	1.3214
天然氣	m ³	13,214	0.0001	1.3214	0.0001	1.3214
其他	kg	13,214	0.0001	1.3214	0.0001	1.3214

中興工程顧問股份有限公司 49

結論與建議

- 節能減碳與價值工程結合為目前世界潮流與趨勢，透過綠色價值工程研析，可達到經實節省及降低碳排放量的目標。
- 於設計階段即以全生命週期概念將風險管理與綠色價值工程結合，除可規避或減緩風險外，另可降低工程費用，運用此技術使工程更有效益。
- 未來兩岸工程所面對的困難與挑戰日益增加，透過不同專業的整合與創新，讓工程與環境共存，邁向永續。

中興工程顧問股份有限公司 53

水庫潛在崩場地調查研究

蔡宗翰／經濟部水利署水利規劃試驗所工程師

摘要

水庫上游邊坡穩定性影響水庫安全甚鉅，本研究以規劃中之土文水庫上游側右山脊疑似潛在深層滑動（具有滑動徵兆但未全面崩壞）為案例，利用地表地質、現況調查及地物探查手段確認是否有潛在滑動可能，並利用軟體模擬各種情境下的邊坡安全係數及滑動情形，評估可能滑動破壞的機制。

關鍵字：深層滑動、邊坡穩定分析

前言

水庫上游集水區若存在深層滑動，將影響到水庫興建、營運與維護，同時未來若產生大量土體滑落庫區，亦將使水位瞬間高漲而產生溢頂破壞，因此對於臨近壩址上游附近的潛在崩場地確有其必要加以調查釐清。根據「水庫蓄水區邊坡深層滑動」報告，利用航照與數值地形，結合有利崩塌發生之各項地質及地形因子，集水區內指出離規劃中土文水庫壩址 500 公尺內存在具滑動地形特徵之潛在深層滑動區（編號：CS03），如圖 1。因此本研究以該疑似深層滑動區為例，進行細部調查研究。

基本資料蒐集與地表地質及現況調查

CS03 位處率芒溪流域，為河道凹岸側，唯一交通路線僅邊坡上下兩條產業道路，保全對象為臨近的土文四號橋。地形以 40~50 度陡坡傾向河谷，相對位置示意圖如圖 2。區域地質上，本區屬於中新世晚期的牡丹層，屬於台灣南部亞變質岩區地層，以硬頁岩與薄層變質砂岩之互層，及厚層至塊狀變質砂岩為主，如圖 3。

CS03 由於本身植生茂密，陡坡加上出露岩盤不多，地表地質初步調查以上下邊坡產業道路及臨近河

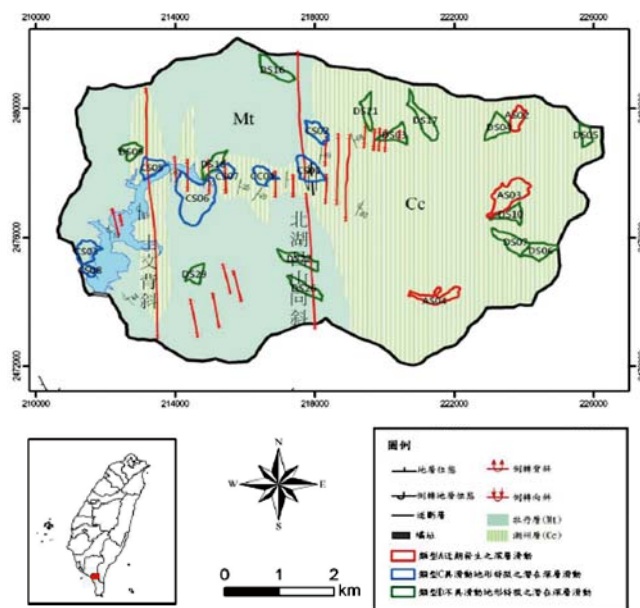


圖 1 士文水庫集水區疑似深層滑動目錄（摘自 100 年度，經濟部水利署水利規劃試驗所，「水庫蓄水區邊坡深層滑動」報告）

床為主，CS03 表土層以高風化的棕色硬頁岩崩積岩塊居多，河床出露的岩盤漸以頁岩偶夾砂岩為主。本區段主要岩性為硬頁岩，岩性受變質作用影響較為軟弱，因此表面受風化後常呈現黃棕色，層面走向變化情形大，可由上邊坡產業道路 NE 走向變化至下邊坡側 NW 走向，甚至部份岩盤伴隨出現明顯的局部小褶曲，顯示早期擠壓大、地質構造複雜且較無一致性；位態傾角約 40~50 度，高角度岩塊易產生翻倒墜落情形，同時節理面也呈現不規則分佈，無一定趨勢，調查之位態繪製與岩性說明，如圖 4 與表 1。

為瞭解崩積層厚度及岩盤位置分佈情形，進行 1 孔 30 公尺深地質鑽探及 3 條地電阻二維測線試驗，孔位及測線佈設位置如圖 4。

鑽探成果可發現，地表下 0~26 公尺以褐色粉土質



圖 2 CS03 相對位置示意圖 (底圖摘自 Google)

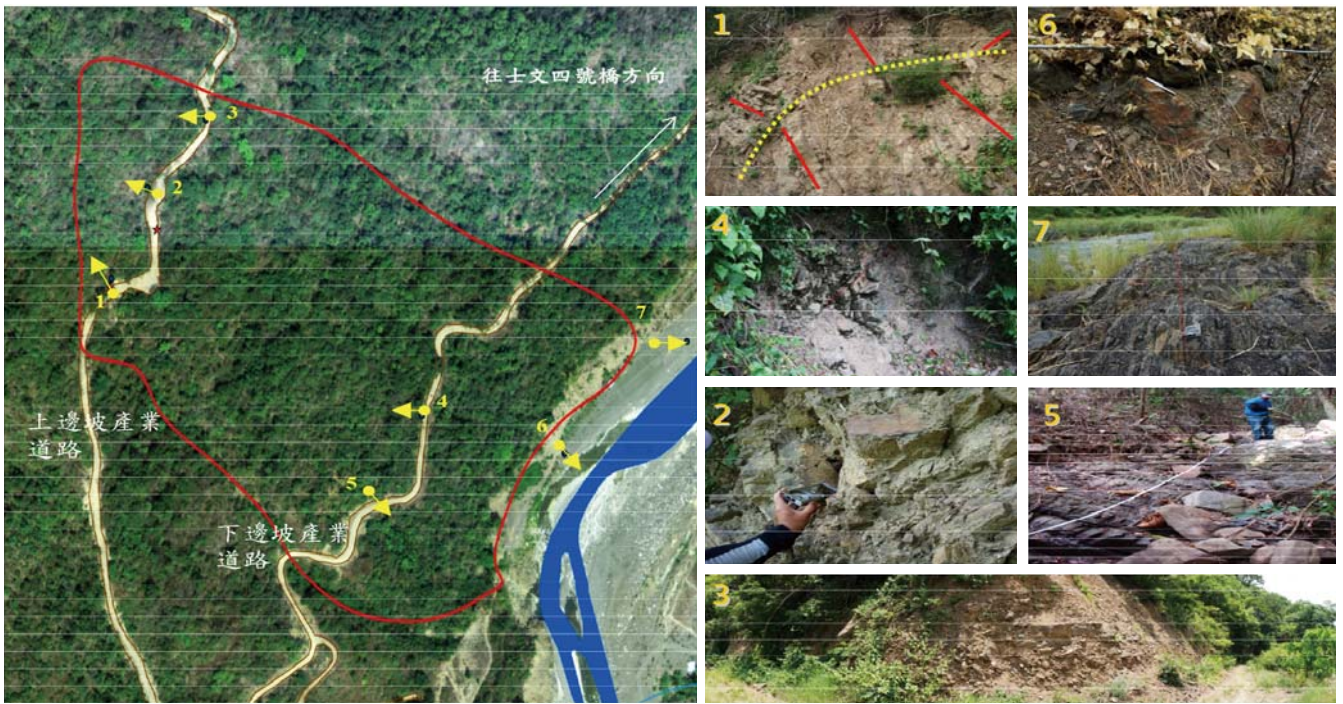


圖 3 現地露頭調查位置及現況

砂夾變質砂岩塊為主，破碎，多節理，節理內鏽染，26 公尺以下，屬於較具完整的岩層，如岩心照片及判釋之柱狀圖 (圖 5)。

地電阻成果說明如下，為瞭解深層垂直向變化，於上邊坡產業道路測線 (E1) 及下邊坡產業道路測線 (E2)，電棒採用 Pole-Pole 的排列方式進行佈設，山溝測線 (E3) 初步現場研判已接近岩盤，因此該處改以淺層解析能力較佳的 Wenner 排列方式進行，各電阻率並

以鑽探成果進行分析比較，反算結果如圖 6 至圖 8。電阻率配合鑽探成果比較，約略可以率定出 50ohm-m 以上屬於風化程度高的硬頁岩或砂岩塊所組成之崩積層，50ohm-m 以下為硬頁岩或變質砂岩為主，可視為岩盤。綜上，本區崩積層厚度由上邊坡產業道路為 26 公尺~45 公尺變化到下邊坡產業道路約 25 公尺~10 公尺，並延伸至河床，E3 測線結果大部分為岩盤，可視為崩塌範圍左邊界。

表 1 現地露頭岩性描述

露頭點編號	岩性描述
露 1	出露以黃棕色硬頁岩為主，呈現中高度風化情形，有部份岩屑堆積，有明顯岩塊出露，層面走向變化由 N4W~N14E，傾角約 50 度，該處有明顯的小褶曲出現，並伴隨錯動產生，可見早期擠壓情況大
露 2	露頭點位於上邊坡道路上，以黃棕色硬頁岩為主，主要節理位態約 N50W/N62，間距 10~30 公分，持續性不佳，現況乾燥無滲水現象
露 3	露頭點位於上邊坡道路上，以黃棕色硬頁岩為主，以中高度風化為主部份呈現岩屑崩落現象
露 4	露頭點位於下邊坡道路上，出露以灰色硬頁岩為主，層面位態約 N88E/SE46
露 5	露頭點出露於沖蝕溝上，有完整岩盤出露，以頁岩及變質砂岩為主互層為主，層面位態為 N40E/40W，且有地下水滲出現象
露 6	露頭點位於河道右岸，出露以黃棕色硬頁岩為主，層面位態約 N36W/E38，有明顯銹染痕跡
露 7	露頭點位於河道右岸，出露改以砂頁岩型態出現，層面約 N18W/W82，部份屬於膠結不佳易破碎現象



圖 4 露頭位態及鑽探孔位與試驗測線分佈圖

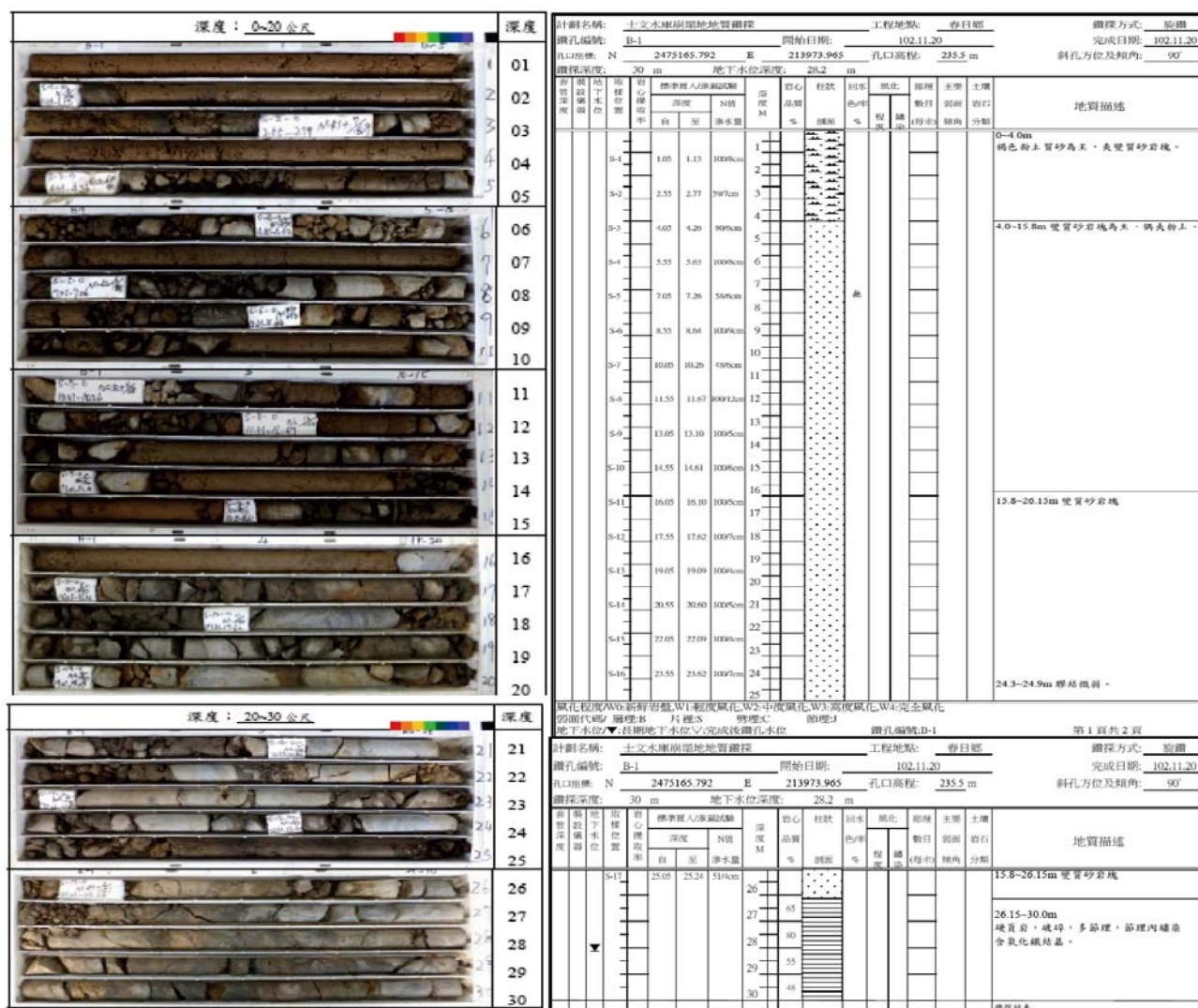


圖 5 地質鑽探岩心照片及柱狀圖

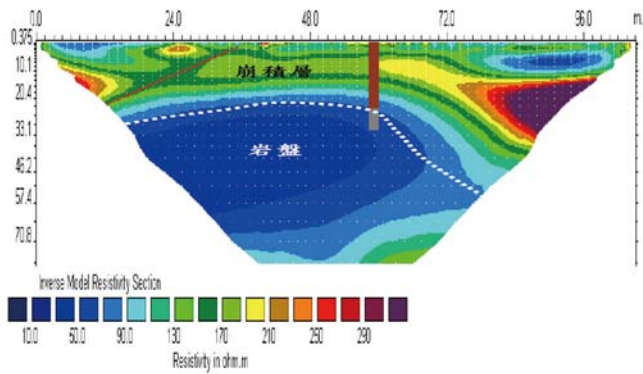


圖 6 上邊坡產業道路 (E1) 地物成果圖

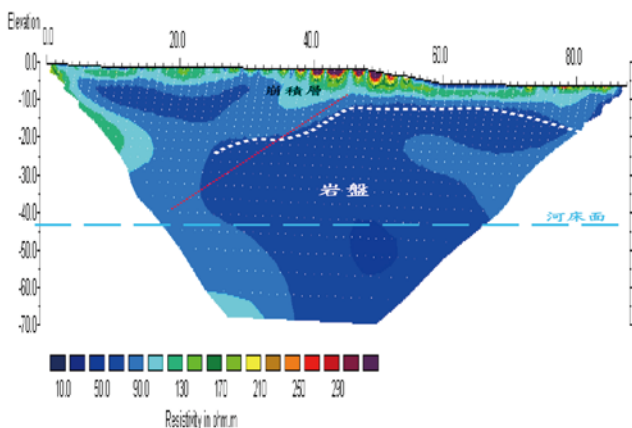


圖 7 下邊坡產業道路 (E2) 地物成果圖

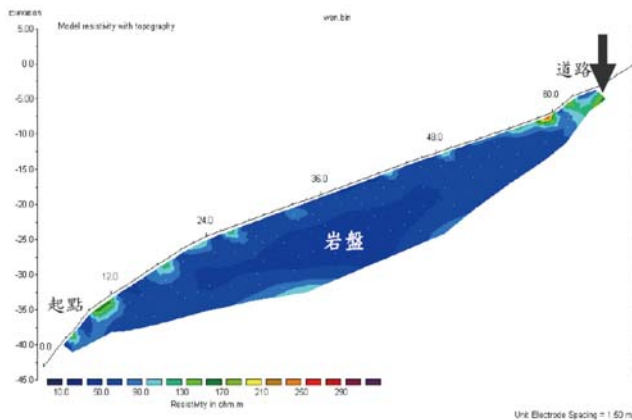


圖 8 山溝測線 (E3) 地物成果圖

數值穩定分析模擬

本區研究範圍由現地調查，可能滑動機制屬於淺層崩積層之潛移 (creep)、滑移 (slide) 導致翻落 (toppling) 為主，為進一步確認崩塌地滑動潛能與滑動破壞面，遂邊坡穩定性分析。參考該範圍內高精度數值地形模型 DEM 及配合現況調查，圈繪可能較具

滑動潛勢的滑動體位置 (如圖 9 紅線位置)，遂選擇以 A-A 剖面線進行分析 (如圖 9 黃線位置)。考量現場地形坡度及植生關係，無法全斷面於 A-A 剖面線上進行相關試驗佈設以了解其分層狀況，因此在既有的條件下，邊坡幾何及材料特性之假設說明如下。

配合鑽探孔及地電阻影像資料投影與現地出露的岩盤狀況、量測之地下水位作剖面分層模擬，A-A 剖面線之建模如圖 10。材料分為保守分為崩積層及岩盤兩層，依據歷年文獻報告取其強度參數，如表 2，其中崩積層係為模擬現地狀況，利用重模土模擬現地密度及含水量，進行直剪試驗求取強度參數；岩盤則根據該區右山脊歷年調查試驗資料，以統計機率方法求取之平均值。本研究之崩塌地類型屬於岩石坡，因此採用 FLAC^{2D} 進行模擬，該軟體採剪力強度折減方法，逐步的折減剪力強度參數 (c, ϕ) 值，直至邊坡破壞發生 (即產生大變形) 為止，因此可輸出剪應變等值區與位移向量場，明顯看出破壞區域與趨勢。

在上述假設條件下，分別針對常時、暴雨 (抬高地下水水位面) 及地震 (採用 102 年，經濟部水利署水利規劃試驗所，「土水水庫可行性規劃 - 強地動儀維

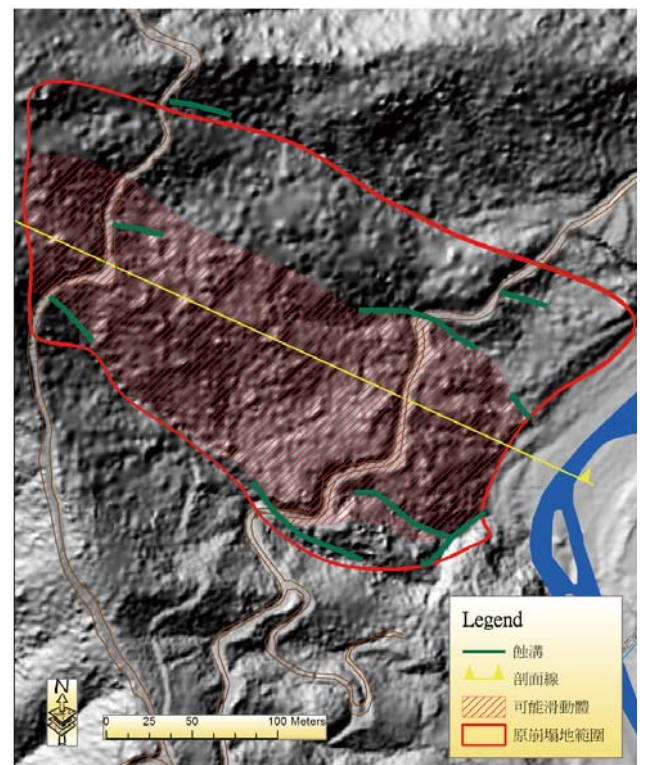


圖 9 可能滑動體位置圈繪示意圖 (陰影底圖摘自 100 年度，經濟部水利署水利規劃試驗所，水庫蓄水區邊坡深層滑動潛勢評估分析)

表 2 分層材料一般物理性質及強度參數表

分層	岩性	含水量 (%)	單位重 $rt, (t/m^3)$	凝聚力 (kpa)	摩擦角 (degree)	備註
崩積土	粉土質或黏土質砂土夾變質砂岩塊	9.5	2.02	0	39.0	摘自「士文水庫上游右山脊邊坡調查」, 102 年
岩盤	硬頁岩	0.97	2.69	10200	39.5	摘自「士文水庫可行性規劃—地質(五)專題右山脊地質補充調查」, 96 年

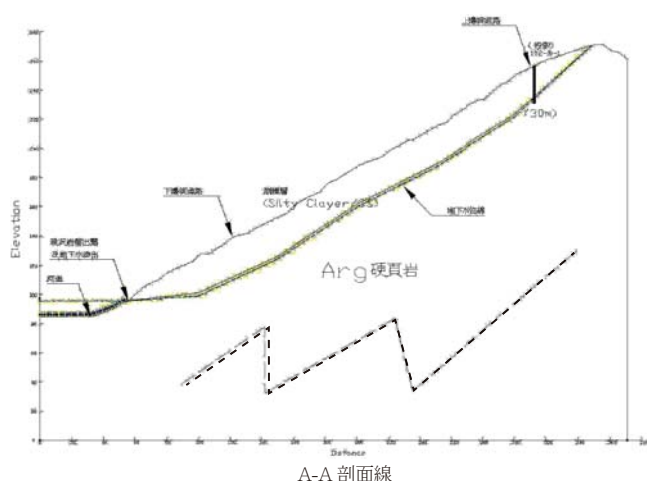


圖 10 A-A 剖面線建模示意圖

護及觀測及地震危害度分析檢討」回歸計算建議值， $K_h = 0.16$ ， $K_v = 0.11$) 情境下進行模擬，同時並針對水庫蓄水後 (滿水位標高 170 公尺) 進行模擬分析，分析成果之安全係數值整理如表 3，坡面破壞之形狀如圖 11 及圖 12。

綜合模擬成果發現，一般情境下 (常時、暴雨及地震) 主要由接近上邊坡產業道路開始向下滑動產生破壞，但整體而言，都僅是小規模局部淺層滑動，無大規模深層滑動之情形；而蓄水後則以接近臨水面位置為較脆弱之滑動區。安全係數雖一般情況之地震及蓄水後皆小於 1.0，但其影響範圍仍有限。

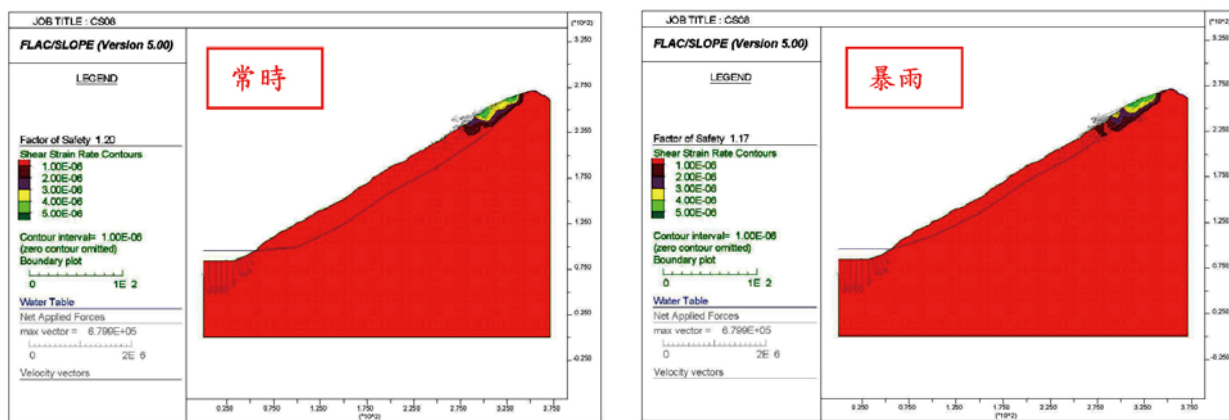


圖 11 常時及暴雨情境下穩定分析模擬成果圖

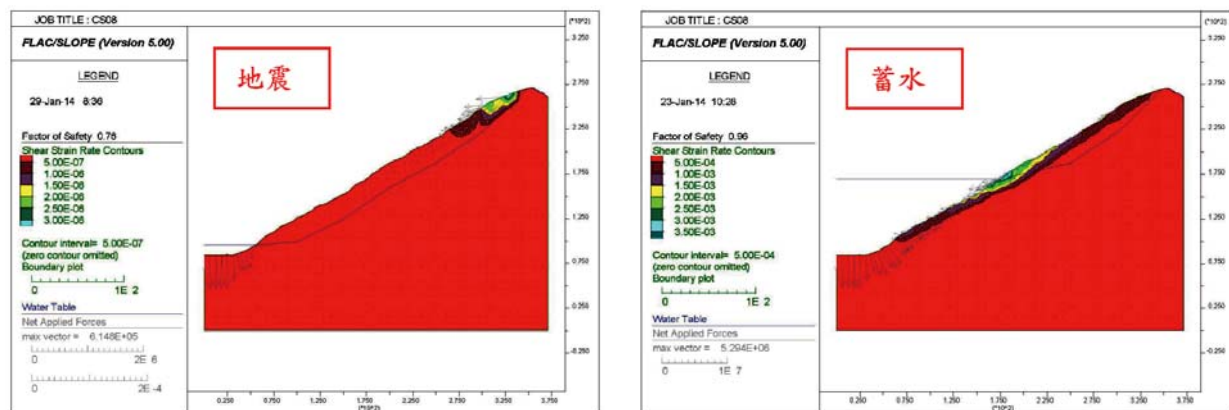


圖 12 地震及水庫蓄水情境下穩定分析模擬成果圖

表 3 不同情境下各安全係數表

不同情境	常時	暴雨	地震	水庫蓄水
安全係數值	1.20	1.17	0.76	0.96

結論

- (1) 由地地地質調查及鑽探結果，調查區域崩積層的組成為變質砂岩塊與粉土質及黏土質砂互層，多屬較破碎之岩塊，豪雨後地面滲流入滲，引起地下水位上升，易使剪力強度降低；地質層面變化情形大，顯示地質構造複雜，較無一致性；傾角約 40 ~ 50 度，高角度岩塊易產生翻倒墜落情形。
- (2) 由地電阻剖面判釋，大致以 50 ohm-m 作為沿盤與崩積層分界，電阻率值在 50 ohm-m 以上屬於風化崩積層，50 ohm-m 以下為硬頁岩所組成的岩盤為主。
- (3) 推估 CS03 崩塌地之崩積層厚度，由上邊坡厚度約為 26 公尺 ~ 45 公尺不等，往下邊坡逐漸縮減為 10 公尺 ~ 25 公尺不等，崩積層厚度漸薄，岩盤面並延伸至河谷。

- (4) 數值穩定分析結果，可能的破壞面至多位於表層的崩積層及風化破碎的岩層為主，尚不至於發生大規模深層滑動，初步建議坡頂及坡面可採取表面剝除、整坡，坡趾採培厚邊坡處理並配合適當的截水與土工方式加固，現階段建議可考慮埋設傾斜管加以定時監測。
- (5) 本次數值穩定分析為二維分析結果，分析範圍有限且受邊界效應影響較大，未來建議進一步可採用三維分析模式進行模擬分析。

參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃所，「土石水庫可行性規劃 — 三、地質專題（五）右山脊地質補充調查專題報告書」，2007。
2. 經濟部水利署水利規劃所，「水庫蓄水區邊坡深層滑動潛勢評估分析」，2011。
3. 經濟部水利署水利規劃所，「土石水庫可行性規劃 — 強地動儀維護及觀測及地震危害度分析檢討」，2013。
4. 經濟部水利署水利規劃所，「土石水庫上游右山脊邊坡調查」，2014。



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，中國土木水利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。

工程會委託「土木基本法（名稱暫訂） 立法可行性及其基本架構之研究」積極展開

～ 土水學會願為推動土木與水利奉獻 ～ 願為工程與制度發聲 ～

工作說明

行政院公共工程委員會之「土木基本法（名稱暫訂）立法可行性及其基本架構之研究」案，經過公開招標、資格審查及簡報與答詢之程序，由土水學會承辦。

本案規劃工作內容為：(1) 研究國內外相關土木法；(2) 研擬我國現行土木工程相關法規沿革與其架構分析（含管理範圍、主管機關、政府與民間權責等）；及(3) 邀請專家學者、相關公（學）會、中央機關、直轄市及縣（市）政府等，進行討論及意見交流。本案預期成果，期藉由本研究，探討我國目前土木工程所面臨的問題及對策，並配合檢視國內外的法令架構，評估建立整合性上位法令之可行性及基本架構，以為未來法制修正或新訂之重要參據。

工作團隊及顧問群

呂理事長對本案非常重視，除親自擔任計畫主持人，並邀請陳清泉教授為協同主持人，工作團隊邀請宋裕祺教授、李咸亨教授、周南山常務監事、高銘堂董事長及謝佳伯律師（朋博法律事務所）共同參與。面對這個議題，工作團隊非常慎重，每項資料都盡量反覆求證，多方徵詢，絲毫不敢大意。在研究時間與經費諸多限制之下，整個團隊不計酬勞，竭盡心力，甚至連颱風天都排入工作會議。工作團隊齊心努力做到公正客觀，期能不負所託，不辱使命。

除工作團隊外，理事長更敦請多位專家顧問提供意見諮詢。專家顧問有（依姓氏筆劃）：朱台森（新亞建設總經理）、李建中（台灣世曦董事長）、張荻薇（台灣世曦副董事長）、廖宗盛（營造公會秘書長）、歐善惠（成功大學名譽教授）、鄭文隆（營建院董事長）、顏清連（台灣大學名譽教授）。他們都對於本案執行提供很多寶貴的經驗與意見。未來將持續邀請更多顧問專家指導。

舉辦座談會

本案將舉辦三次座談會，邀請各相關單位出席座談。計有中央機關（包括交通部、內政部、經濟部、法務部、教育部、文化部、農委會、人事行政總處、主計處、國發會）、各直轄市及縣（市）政府、及相關公（學）會（包括土木技師公會全聯會、大地技師公會、工程技術顧問公會、水土保持技師公會全聯會、水利技師公會全聯會、建築師公會、結構技師公會全聯會、環境技師公會全聯會、及中工會等）。第一次座談會已於 104.7.17 舉辦，各與會單位互動熱烈、反應良好，為接下來的工作奠定良好的基礎。

工程會規劃本研究案為兩年期，104 年設定在可行性與基本架構，第二期（105 年）工作主要則是法案的衝擊性評估與法規內容的調和。土水學會將集合眾人智慧，願為推動土木與水利奉獻，願為工程與制度發聲！



104.7.17 上午 9:00 ~ 11:30 假台大土木系館召開第一次座談會合影留念

第二次座談會定在 104.9.16（三）下午 2:00 ~ 4:30 於工程會第一會議室召開
第三次座談會定在 104.11.10（二）下午 2:00 ~ 4:30 於工程會第一會議室召開

歡迎各界、各位會員踴躍參加、蒞臨指導！

（秘書處報告）

中國土木水利工程學會

2015年亞洲土木聯盟國際會議 暨韓國土木學會年會觀摩參訪活動



有鑑於近年來工程產業國際化人才的需求，並提升各大學土木及營建相關學程中學生的國際視野，中國土木水利工程學會青年工程師委員會辦理 2015 年 10 月 27 至 11 月 1 日，前往韓國群山和首爾參加國際交流，報名參加同學不但能夠親自出席參與「亞洲土木聯盟會議」，並且在韓國群山所辦理「2015 年韓國土木工程學會年會」國際論壇，與來自世界各地在韓國的留學生互動。

亞洲土木工程聯盟 (Asian Civil Engineering Coordinating Council, ACECC) 於民國 87 年在菲律賓成立，台灣從創始的會員國開始，獲歷任學會理事長支持和投入，曾於民國 96 年在台北辦理第四屆 CECAR 國際會議。ACECC 至今有我國、美國、日本、韓國等 12 個國家會員，每年兩度定期在各地會員國召開執行委員會 (Executive Committee Meeting, ECM) 會議，共同為亞洲土木工程領域持續在技術發展、專業人才培訓交流而努力。今年 10 月 28-30 日於韓國群山 (Gunsan) 舉行第 29 屆執行委員會 (ECM) 會議，並且由主辦的韓國土木工程師學會 (KSCE) 結合學會年會，預期年會期間將邀請在韓國之各國外籍留學生出席，我國亦受邀參加，由青年工程師委員會籌備組團參加，機會難得！

時 間：2015 年 10 月 27 日 (星期二) 出發至 11 月 1 日 (星期日) 返台

報名方式：請於 10 月 1 日 (星期四) 前填妥報名表傳真至：02-2598-0500 安亨旅行社

地址：10364 台北市大同區承德路三段 143 巷 21 號

聯絡人：謝玉珊小姐 E-MAIL: miffy03262009@gmail.com SKYPE: miffy7403

電話：02-2597-0700 (手機 0978-370-700)

費 用：會員 25,000 元 / 非會員 26,000 元 (含韓亞航 OZ 機票含稅、群山 The Savills Hotel Gunsan*3 晚 + 首爾 Richen County Hotel*2 晚、二人一室 (單人房價差 \$5,000/1 人)、10/30-11/01 旅遊之車資 / 導遊 / 門票、團體保險費：保額 200 萬主險 + 10 萬醫療)

人 數：16 人 (10/01 前報名截止，額滿提前截止)

行程表

日程	行程摘要	備 註
10/27 (二)	台北 (桃園機場) / 仁川機場，韓亞航 OZ-712 桃園 13:50 起飛 - 仁川 17:10 抵達 大會接駁車 (仁川機場 19:00 接駁) 晚間抵達群山	The Savills Hotel Gunsan
10/28 (三)	整天出席觀摩 ACECC 會議 (上午 10:00 開始)	BEST WESTERN Gunsan Hotel
10/29 (四)	上午 ACECC 會議；下午 KSCE 國際論壇	BEST WESTERN Gunsan Hotel
10/30 (五)	KSCE 大會安排當地參訪活動	晚間抵達首爾 (明洞商圈) Richen County Hotel Seoul
10/31 (六)	首爾一日遊 (漢陽大學交流 / 北村韓屋村 / 三清洞 / 泡菜 DIY / 戰爭紀念館 / 未來居家展示館 / 仁寺洞)	Richen County Hotel Seoul
11/01 (日)	土產店，仁川機場 / 台北 (桃園機場) 韓亞航 OZ-711 仁川 13:50 起飛 - 桃園 15:30 抵達	

姓名	(英文)	身份證號碼	(辦理保險用)
學校系所 / 職稱	大學	系	出生年月日 (辦理保險用)
連絡電話	手機： 電話：	分機	餐飲 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 素食
通訊地址	□□□□		
E-MAIL			





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：

42.5 42.6 43.1 43.2 43.4 43.5 共 次
(10月) (12月) (2月) (4月) (6月) (8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	佰	拾	萬	萬	仟	佰	拾	元
------	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)		收款戶名 社團法人中國土木工程學會	
報名費 <input type="checkbox"/> 繳納 _____ 研討會 報名費 _____ 元	寄款人		主管：
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	姓名		經辦局收款戳
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	地		
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	址		
電話			

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/m² 模) 保管五年 (拾大)

第九屆(2015)公共工程非破壞檢測技術研討會

公共工程非破壞檢測、監測與診斷

主 旨 本屆研討會以「公共工程非破壞檢測、監測與診斷」作為主題，並訂定三個子主題，分別是橋梁檢測、監測與診斷，管線檢測以及水利設施之檢測與監測。透過學術界及工程實務在學理及實際運用的現況介紹，提供業界及各工程設計、施工、檢測評估養護工作執行單位對於土木非破壞檢測技術之功能與限制有一確切的認識，以確實達到控制工程品質及有效管理之目的，進而保證其符合維護設計及需求的安全性與服務性。

時 間 104 年 10 月 29 ~ 30 日（四、五）

地 點 國家地震中心一樓演講廳

主辦單位 社團法人中國土木水利工程學會、朝陽科技大學非破壞檢測中心、國立中央大學橋梁工程研究中心

共同主辦單位 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心、國立台灣大學土木工程系

協辦單位 中華民國非破壞檢測協會

名 額 100 人

時 數 12 小時（技師及公務員可申請時數）

費 用 會員：2,500 元（團體會員可享會員價 1 名）
非會員：3,000 元
學生：1,000 元（請檢附學生證影本）

報名期限 即日起至民國 104 年 10 月 20 日止（額滿提前截止）。

報名方式 請將報名表填妥後、傳真至 Fax: (02) 2396-4260、並與承辦人確認。（報名表請上網 www.ciche.org.tw 下載）
承辦人：蕭妘帆小姐 電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260 e-mail: mandy@ciche.org.tw

注意事項 本研討會已申請納入行政院公共工程委員會「技師執業執照換發辦法規定」之訓練課程；公務人員需登錄終身學習時數者，須全程參加並提供身分證字號，由本學會上網登錄。

議 程

- Keynote: Health monitoring technologies for high-speed railway. 倪一清 教授（香港理工大學土木及結構工程學系）
- Keynote: Corrosion Monitoring of Concrete Structure by Electrochemical Method 黃啟遠 博士（香港技術顧問）
- 吊橋的監測與診斷 王仲宇 教授（國立中央大學土木工程系）
- 放射線應用於吊橋鋼纜之檢測 彭朋畿 博士（中龍鋼鐵公司冶金技術處組長）
- 橋梁健診系統建置與評估 張嘉峰 博士（財團法人臺灣營建研究院研究員兼工程技術一組組長）
- 光纖光柵感測技術在橋梁安全監測與管理上的初步應用 李政寬 博士（財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心副研究員）
- 下水道缺失之多源非破壞檢測 楊明德 教授（國立中興大學土木工程學系）
- 非破壞檢測方法於公共工程檢測之應用時機與實務案例 許耿蒼 博士（朝陽科技大學非破壞檢測研究中心副主任）
- 國內外管線檢測方法介紹 江支弘 教授（朝陽科技大學營建工程系）
- 導波在管線檢測的應用 楊旭光 教授（國立中山大學機械與電機工程學系）
- 光達（LiDar）與影像技術於圍阻體結構之裂縫監測 林詠彬 博士（財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心副研究員）
- 山坡地滑動監測技術開發 林宜清 教授（國立中興大學土木工程系）
- 地球物理探測在地工的應用與挑戰
(Applications and Challenges of Geophysical Exploration in Geotechnical Engineering) 林志平 教授（國立交通大學土木工程學系）
- 地電阻影像法／震波層析成像法在水庫滲漏、壩體安全檢測應用 胡志昕 總經理（新中光物理探測股份有限公司）
- 壩體與堤防非破壞檢測原理及案例介紹 鄭家齊 教授（朝陽科技大學營建工程系）
- 綜合討論 主持人：鄭家齊





Please join us

敬邀參加

(10月8日開始報名)

迎接 大未來

Friday, Nov. 20, 2015

第一天：104 年 11 月 20 日 (星期五)

International Forum

Anticipating a Grand Future Experience Sharing of Megaprojects

14:00 ~ 15:20 Session 1: Taiwan, Japan, China

15:40 ~ 17:00 Session 2: Korea, Mongolia, Taiwan

Venue: **Liang Kuo Shu International Conference Hall**,
College of Social Sciences, National Taiwan University

國際論壇 迎接大未：重大工程案例分享

14:00 ~ 15:20 台灣、日本、中國

15:40 ~ 17:00 韓國、蒙古、台灣

地點：台灣大學社科院 梁國樹國際會議廳 (台大校總區, 近辛亥路校門)

Anticipating a Grand Future

第二天：104 年 11 月 21 日 (星期六) Saturday, Nov. 21, 2015

- 09:00 ~ 09:45 相見歡 (註冊、報到與領取資料)
- 09:45 ~ 12:00 **年會大會** 集思台大會議中心 國際會議廳 (羅斯福路四段 85 號 B1)
致詞：主席致詞、貴賓致詞、外賓致詞
頒獎及授證：工程獎章、程禹傑出工程師獎、文化資產認證、會士授證
專題演講
頒獎：論文獎、獎學金、工程美化得獎、BIM 優良工程、工程創意優勝
報告：年會籌備報告、會務報告
第 22 屆理事長交接
- 12:00 ~ 13:30 午餐 (會員代表大會)
- 13:50 ~ 15:30 **工程建設論壇、工程美化論壇、資訊論壇** 台大土木系館 (台大校總區, 椰林大道上)
工程美化得獎工程發表 104 年 BIM 技術優良獎優勝發表
- 15:50 ~ 17:30 **水利工程論壇、文化資產論壇、學生論壇** 台大土木系館 (台大校總區, 椰林大道上)
2015 大專學生工程創意競賽優勝發表
- 18:00 ~ 20:30 **晚宴** 公館水源福利會館 玫瑰廳 (台北市中正區思源街 16 號 2F)

