

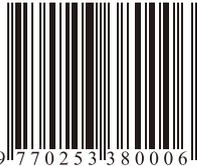
# 土木水利

*The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering*

August  
2021



ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 48, No. 4

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

工程技術及發展

伸縮縫滲漏水漬  
監造科技管理

社會、經濟、產業  
與土木水利工程的  
關聯及連結

專 輯

鹽下微言

共同或聯合承攬

9 770253 438000 6

- 刊行工程科技技術書刊 / 專題研究、工程技術書刊編撰、翻譯
- 工程科技及學術交流活動 / 專題演講、參訪交流
- 工程建設研參活動 / 工程技術現地觀摩活動、海外重要工程現地見習活動
- 提供獎助學金 / 國內研究生獎助學金及其他具體贊助、培養本國高階工程建設人才

# 科普 / 獎學 / 工程交流

## Sinotecf



### ◆ 創設宗旨

中興工程科技研究發展基金會係由中興工程顧問社  
捐助成立之非營利、經濟事務財團法人。  
以提升我國工程科技水準，配合國家政策  
促進經濟建設之發展及科技之普及推廣為宗旨。



財團法人  
中興工程科技研究發展基金會  
SINOTECH FOUNDATION FOR RESEARCH & DEVELOPMENT  
OF ENGINEERING SCIENCES & TECHNOLOGIES

10595 臺北市松山區南京東路四段186號4樓之9

電話: (02) 2577-4567 傳真: (02) 2577-3667

E-mail: sinotecf@ms32.hinet.net http://www.sinotecf.org.tw





寶山第二水庫

# 土木水利



社團法人中國土木工程學會會刊

## 土木水利半月集

### 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
- 綠管建工程
- 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

- 中國土木水利工程學刊
- 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

發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：劉格非（國立臺灣大學土木學系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯）

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800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二十四屆理監事（依姓氏筆劃排序）

理事長：宋裕祺

常務理事：李順敏 高宗正 張荻薇 楊偉甫

理事：王宇睿 余信遠 林呈 林曜滄 邱琳濱 胡宣德 胡湘麟

高銘堂 張政源 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 黃慧仁 壽克堅

廖學瑞 鄭燦鋒 賴建信 謝啟萬

常務監事：王昭烈

監事：呂良正 李建中 沈景鵬 林其璋 楊永斌 謝佳伯

## 中國土木工程學會任務

1. 研究土木工程學術。
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

## 鹽下微言

- 📖 共同或聯合承攬 高銘堂 3

## 「社會、經濟、產業與土木水利工程的關聯及連結」專輯 (客座主編：游景雲教授)

- 📖 專輯序言：社會、經濟、產業與土木水利工程的關聯及連結 游景雲 17
- 📖 建構水-糧食-能源智慧調控模式之永續發展城市 張斐章/李孟信/黃安祺/邱普運 19
- 📖 臺灣水資源利用效率初探 周嫦娥 23
- 📖 國際水利產業發展趨勢與台灣水利產業推動策略 洪志銘 33
- 📖 能源轉型下儲能應用模式及發展潛力 蕭宇喬 39
- 📖 經濟成本效益概念探討及水利工程分析架構 游景雲 45
- 📖 整合性水資源管理 — 台灣水資源的價值評估及其在水資源管理之意涵 闕雅文 65
- 📖 電動車時代：機會、挑戰與展望 謝依芸 79

## 工程技術及發展

- 📖 臺中捷運烏日文心北屯線 — 高架橋梁伸縮縫滲漏水漬探討與改善 陳俊宏/周延聲/李臺生/謝文凱 88
- 📖 從公共工程之監造科技管理 — 淺談數位轉型 林芳輝/郭鴻祥/黃正緯 95

## 廣告特搜

- 根基營造股份有限公司 — 國內首家通過循環經濟BS 8001最高等級認證 封底
- 財團法人中興工程科技研究發展基金會 — 科普·獎學·工程交流 封面裡
- 奇博科技股份有限公司 — 光纖光柵感測技術領導者 封底裡
- 巨廷工程顧問股份有限公司 — 品質·效率·溝通·協調·負責 18
- 安固工程股份有限公司 — 建築修復結構補強 44
- 上菱工業股份有限公司 — 三菱重工空調KXZ 旗艦·智造 102
- 泰興工程顧問股份有限公司 — 全方位統包工程服務 103
- 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 用心 做好每一件事情 104



# 共同或聯合承攬

## Understanding Joint Venture

高銘堂 MT Kao / 財團法人中興工程顧問社 執行長 President, Sinotech Engineering Consultant, Inc.

### 公共工程招標的歷史背景及其演進

#### The Historical Background and Its Evolution, Public Works Tender in Taiwan

政府公共工程招標，原本「設計」與「施工」、「本業（土木）」與「異業（機電）」，必須分開，且限制廠商共同投標。其歷史背景起源於早年國家經費有限，大型基礎建設所需要的資金必須靠外援或貸款，技術要向先進國家學習。國內廠商能力有限，大家都希望按圖施工，平行包商間的協調，由業主單位來做，甚至連水泥、鋼筋等大宗材料都由政府來供應，以減少廠商的資金負擔。

There were days construction resource scarce and the companies small and weak in Taiwan; the government decreed that “design” should be separated from “construction”, “civil” from “electrical/mechanical”, for local public works tenders. Build according to the drawing provided by the consultants through the owner was the norm, and the contractors welcome the owners to supply bulk material like cement and rebar to relieve financial overburden.

隨著國家經濟持續發展，工程建設變得龐大複雜，社會環境也不再像從前一樣單純，政府單位面對日趨繁瑣、嚴苛的開發與採購法規，必須重新思考工程招標辦法，就契約範圍、競爭模式、風險分擔比例等，依照現實需求做合理調整。也因此在近二、三十年公共工程招標，出現了異質結合、共同投標、統包、BOT，或各種 PPP（Public Private Partnership）等承攬方式。

Public works then become sizable and sophisticated, concerned authorities busy to untie knotty regulations to balance development initiated by government have to revise the tenders for extended premise, varied evaluation

modes and risk sharing schemes to smooth projects execution in a society presumed to build Tower of Babel. So, only in recent decades the tender laws are changed for more options such as joint tendering (by different business line, or the same line), turnkey, BOT, or various kind of PPP.

但緊緊盯住政府建設的社會大眾卻認為，脫離非傳統最低標的招標方式，都可能存在弊端，所以會放大審視採購過程與結果。任何改變，只要造成局部缺失，就要追究。這種獵巫壓力的存在，會造成業主單位對於引進國外先進技術，或在設計與施工上協助國內工程業，感到猶豫。所謂改革難，創新危險。不能負任何誤失責任的業主單位，終究還是不會讓工程採購與管理制度，向前走得太快。

However, a mistrustful public, preoccupied with the populist idea that the lowest tender should win, will not be happy to see anyone awarded the contract through evaluation process stray from the conventional way. As long as there would be witch hunts following misses in public works, the officials will become hesitate to try new ideas, including to import advanced technologies from the international firms for foreign-local venture. It's the reason why the change in government procurement law and public work management system is slow.

### 「共同或聯合承攬」廠商實務操作時要解決的難題

#### The Difficulties that a Joint Venture May Have Encountered

我們可先定義「共同承攬」是異業廠商的結合，「聯合承攬」則是同業廠商。而不論「共同」或「聯合」（以下統稱為「Joint Venture」），廠商為單一工程投標與執行的結合，在國際上都是常見的商業行為。但

在台灣，人們會先從「聯合行為」的角度，來檢視廠商的結合，會不會是壟斷、圍標？所以在招標時，業主單位會很小心的去限制參加者的家數、規範資格，並要投標者簽署、遵守，載有若干制式化規定的共同投標協議書，做為他們已經盡到當所注意，不會容許與廠商有不正当連結的證明。

According to the procurement laws in Taiwan, the Joint Venture means the Joint Tendering by suppliers (or contractors) of the same line of business or those of the different line. While it remains ordinary commercial decisions for international firms, the authorities in Taiwan are careful and only to allow joint tendering before he's sure there won't be any concerted action taking place in the industry. Usually the tenderers are requested to sign a Joint Tendering Agreement with a given form to reaffirm the authorities that they will abide by the laws.

共同投標協議書所規定的這些要廠商簽署、遵守的簡明條款，主要是去規範「Joint Venture」的大框架，如承商的基本資格、彼此的分工、承攬的比例等。至若執行階段對「Joint Venture」的管理，則大致回歸到契約本身。與針對單獨廠商的傳統工程契約相比，「Joint Venture」廠商除了要負更多的介面協調責任外，並沒有什麼不一樣。但是廠商在漫長的履約過程中可能面對什麼樣的風險或問題，在投標時就必須要看明白，更要了解將來「Joint Venture」遇到問題後，業主依「工程契約」或「採購法」冷硬的規定裁決事項，相較於傳統工程會不會更嚴苛？

The given clauses in the Joint Tendering Agreement direct the tenderers to fill in their qualification, scope of undertakings and proportionate share in the project, which, the owners considered as fundamental. Anything that the tenderers wish to explain for their approach will be regarded as deviation and the tender rejected. Questions made to the Owner at or post the tender will be answered with interpretation in conformity with the "Procurement Law" and the "Contract" (between the Owner and the JV). Such a practice suggest that the Joint Venture have to assess all the risks implied in the future during performance within short tender period. Also, it is noted that the decimation of interfaces and uncertainties between the partners means the Joint Venture always will have more problems in execution compared to the traditional contracts administered by the Engineer or the Owner themselves.

採行「Joint Venture」履約方式的工程，通常會是較大、較複雜，本身就有較多的問題。一般人誤會這或與「Joint Venture」有關，其實並不蘊涵因果關係

(correlated but not causation)，所以我們不必去討論。真正因為「Joint Venture」的型態，廠商可能遭遇的問題大致有兩類：

Usually, projects eligible to allow the Joint Tendering must be big and complicated, and by nature tend to have more problems. People may have impression that Joint Venture will bring in more problem is not true, there may be correlation but not causal. So, it's not necessary for the owner and the contractors to avoid JV. Two categories of problems are often seen in a Joint Venture:

- (1) 兩家（以上）制度、經營理念不一樣的公司，因為要完成一個大工程所產生的合作問題，包括效率的損失等。
- (1) companies of different systems and ideas have to work out a grand project, and the problems of efficiency loss emerged and must be managed.
- (2) 工程本身或市場形勢發生變更，個別的「Joint Venture」成員，無法或不願意承擔原來分擔的風險。
- (2) the project, the market or the members themselves change, the result can be that one or several of the Joint Venture member(s) won't bear the consequence stemmed from the risks appeared.

「Joint Venture」的法律地位，應適用於台灣民法的第 667 條至第 699 條「合夥」等規定。要注意的是它只以「短期」的方式存在。如果希望長期運作，就是要登記公司。就營造業來說，必須取得特許，實績也要重新計算。換句話說，登記公司的業務承攬與執行，法律上與原公司無關；而又因為成員廠商參與的是個別工程，與其他成員的結合也是臨時的，卻要針對工程與其他成員一起，對業主共負永久責任。所以實務上也要注意某種程度的切割：法律與契約責任、稅負、資產處理、JV 人員聘僱法律義務、銀行帳戶、執照、准證、智慧財產權，以及 JV 協定終結前無法避免的相互保證等，也就是前面所談到合作與風險問題的處理。相較於傳統工程契約，這些新問題更需要智慧與經驗來協助解決。

The legal status of Joint Venture is mentioned in clause 667 to 699, Civil Code. But in Taiwan, Joint Venture is permitted to exist on temporary basis. For construction industry the effort to register it as a new company has no meaning as license to do construction work is difficult to apply without any completion records. The contractual requirement to accept Several and Joint liability toward the owner despite how small scope of undertaking will be will haunt the members for participation. The same reason for the minor partner that it has to clear carefully the responsibility in the Joint Venture

for big project: contract, tax, asset, employment, bank account, license, intellectual property right etc., particularly for people accustomed to conventional single responsibility contract.

## 「共同或聯合承攬」對公共工程推動有正面效果

### The Benefits Brought by Allowing JV Formation in the Tender

容許廠商組成「Joint Venture」方式承攬工程，業主單位也蒙受利益，因為有完整的工程團隊接手，他們可以減輕介面管理工作，等同間接減低工程成本、增加預算。當今工程發包常遇到困難，若允許廠商自行選擇團隊成員，可以提升發包成功率，對工程推動大有助益。所以機關不能因這種履約方式、契約規定較傳統發包來得繁瑣，而不去考慮。尤其有些工作，因國際廠商認為土洋合作會增添許多溝通工作，技術轉移更對他們無益，機關就遷就他們，只在招標時做一些鋸箭似的規定，減省一時工作，其實是損及政府發展產業的更長遠構想。

If the owner accepts companies of the same or different business lines to form Joint Venture for tendering and contracting, work load and cost for interfaces coordination can be relieved. The liberty to allow companies to select partners further lower down the possibility that one of them may not perform the works as people know each other will form a team now. Sometimes international companies complain to the owners that in order to include local partners for technology transfer they need to manage the inefficiency arising out of Sisyphus communication, it can be convincing that the owner will listen and consider also to save additional travail required for Joint Venture tendering so as to omit the policy to allow foreign-local Joint venture in the tender. Regrettably it will hurt the opportunity that an industry will undergo a metamorphosis.

所以一個有效的「Joint Venture」管理機制，應該可以嚴格、明確的要求承攬團隊，在既定的框架下實踐承諾（至少是投標時所做的），讓業主可以隨時了解契約的執行是否能達成實體目標，並符合政府栽培本國人才、發展產業等招標原意。這些管理機制要有效運作，除了要與實質罰則緊密連結，也要允許誠實的廠商遭遇突發困難時，有彈性與空間來解決問題。

Joint Venture can be an effective regime to supervise foreign and local cooperation allowing the owner to moni-

tor the progress and understand whether or not the natives will be trained properly conforming to the government policy budded in the tender stage. Mechanism that combine severe penalty and the outcome will be useful; but flexibility shall be given to help the Joint Venture to solve the problem when it's proven that they're sincere to advance the technology transfer.

要更進一步探討「Joint Venture」組織的特質，以及它進入公共工程究竟會發生什麼作用，可以先了解個別廠商參加「Joint Venture」有什麼好處？首先異業廠商之間的合作，如前所說，可以減輕業主介面管理整合工作、降低工程風險。如果團隊是由廠商主動組成，大家可以找制度、經營理念比較相近的公司，以避免未來的糾紛與效率損失；而且因為彼此熟悉，對另一成員承擔風險能力的評估會比較實在。反之，如果業主就各異業分別招標，廠商會更加擔心平行承攬施作不良的牽累，投標時需要將此機會成本堆疊上去。

It will be useful to explore the structure and operation styles of a Joint Venture for the benefit they may have brought to public works; and it will be more evident to know the reasons why companies want to join the team as a member for various reasons. For Joint Venture allowing contractors from different business line to tender, the liberty for companies to select partners will be advantageous to the owner to avoid efficiency loss and unnecessary dispute; meaning tremendous price down.

再其次，就同業廠商的合作，許多業主單位受傳統觀念或社會大眾的成見影響，總認為此舉減少競爭者數目，徒然降低競爭態勢，沒有必要。但對一般的承攬而言，卻相信與同業廠商共同承攬對他們有利：藉另一成員分擔承攬金額，可降低在單一工程資金與風險的負擔、學習其他成員可能較佳之技術與管理能力、擴展採購與發包接觸對象，未來得以增加本身競爭力；或者本身實績不夠時，藉聯合承攬以取得投標資格；甚或充份運用閒置資源等。

For Joint Venture consist of contractors from the same business line, many owners become meticulous thinking of reducing of the number of qualified tenderers if some of them permitted to group together. But it's not a justifiable decision because many of the companies prefer to: share both the capital and risk with others, learn from partners to improve their technical and managerial skill, know different vendors/subcontractors in the market, fortified itself with other's completion records, and make additional usage of resources that will otherwise going idle.

但就業主單位而言，開放「共同或聯合承攬」的直接效益，如減低工程成本，社會大眾不一定從標價上就看得出來而給予正面評價，反而會指謫這是把借牌漂白，所以有時業主單位會比較保守。而就成本與進度而言，除非工程夠大，可以抵消「Joint Venture」組織通常會有的成員合作不易，效率不彰等問題，業主單位總希望面對的是單一窗口。所以數年前有不只一家業主單位，曾因 Joint Venture 成員不願蓋章計價，實際已支付款項的廠商領不到錢，並且無法辦理驗收，造成困擾，所以幾年間不再允許廠商共同投標。

The owners feel that the watchful public may not appreciate the cost saving harvested from the liberalization allowing contractors associated with each other as it won't be shown on the tender opening price record, and instead, they fear doubt will be casted against any relaxation of qualification through joint tendering. There had been episodes justifying the banning of joint tendering as some of the Joint venture members intentionally sluggish the application of certificates halting the contractual process. The annoyed owner shut the door for collaboration for years and still on vigilance.

台灣工程市場過度切割，營建業規模與能力變得有限，許多大型工程必須靠廠商協力合作、共同承擔，才能完成；有些工程又需引進先進施工技術或特殊工程設備，與國外公司組成「Joint Venture」承攬工程，共享施工資源，的確是最方便可行的辦法。或許有人擔心國際廠商意見太多，不易管理，寧願他們以本國廠商次層承攬商身分承擔工作責任，其實這反而會製造更多問題。只要業主單位能肯定自己的裁量權，不去迴避國際廠商一直拋出來的問題，積極溝通，採購目標，無論是直接或間接，一定可以圓滿達成。

The construction market in Taiwan is highly fragmented and the contractors aren't big and strong; so for sizable projects the collaboration between the companies is essential. Forming Joint Venture with foreign companies sharing equipment, technologies and talents shall be the easiest and cheapest way. Many owners would rather ask the local contractor to sign the main contract and request the foreign company to be the second-tier contractor. The arrangement is costly and induce more communication problem, but, a determined owner can solve with calm discretion.

## 「Joint Venture」的型態 — 「聯營組織」(Consortium)

### Type of “Joint Venture” — Consortium

異業廠商為某特定工程結合，而參加投標，得標後執行契約，我們稱之為「聯營組織」(Consortium)，採用這種型態是因成員廠商只能，且只願意，負責自己專業與營業範圍的工作。把成員廠商提供的工作或服務加在一起，才能回應業主對招標工程的整體需求。舉例來說，如統包電廠中供應發電機、鍋爐或土建基礎的廠商各不相同，結合在一起，組成 Consortium，才能參加電廠投標。

We may name it as Consortium if the contractors of different business line bind themselves together for the performance of particular project. The members in such a formation will be and only can offer the works/service according to their expertise and usual business. They form Consortium to tender because the owner's want to have offer “complete”, for example, a total power plant consisting of turbine generator, boiler, facilities and civil foundation suppliers.

雖然業主會要求 Consortium 的成員廠商必須個別 (severally) 與共同 (jointly) 對他負責 (liable)，但實務上，工程所有的工作都為成員廠商所「認養」，只剩下很少量有共同性與一般性的工作，如保險、保證、工務整合 (進度表、發票)、代理費用、風險準備金等，會歸為「共同項目」，由成員按其在直接工作上的「承攬比率」來分擔；也有為了希望工作劃分更簡單、明確，這些約占全部工程金額兩、三個百分點的共同項目工作，在某些 Consortium，會由個別廠商，或代表廠商來承擔。

Though the tender will request all the Consortium member to bear Several and Joint liability toward the owner, each party will divide the works apparent in the total project. Only items have common characteristics and not involve big money (normally, 2 or 3 percent of contract amount) will remain as “common items”, of which, the cost will be shared by the members according to share of participation, assigned to the Leader of the Consortium, or individual member.

Consortium 組合各成員的工作責任範圍應該明白，可以各自負責成敗、盈虧；理論上任何成員不必為其他成員的錯誤，或欠佳的運氣去賠錢；但它還是有介面與協調問題。不只是在實體工作的供應範圍，在施

作的空間與時間上，從設計、供應、施工到試車，彼此要有承諾，特別是現代的工程都是急迫且複雜，每一成員都有可能在壓力下犯錯，必須支付受影響後的趕工費用，負擔整體工程的逾期違約金。另外因無法證明某些延遲是某廠商的責任，在無法釐清實況情形下，有時候自認為無辜的廠商，須按「承攬比率」來分擔整體工程的逾期違約金。所以 Consortium 的運作實際上並不容易，成員間協調不佳，常轉為法律爭議。這對東方人來說，會很不習慣。

In theory, the Consortium member wouldn't be responsible for loss and profit resulted from the mistake, bad luck and poor performance by other members. But in practice, there will be interfaces in the scope of supply between the members. Work sequence and accessibility will always be the subject of argument, and money required for acceleration of disturbed work and additional interface management shall be paid by the faulting party. However, the responsibility of delay, if not found and corroborated properly, costs and ultimately penalties imposed by the owner should be distributed according to the Share of Participation. Disputes among the members need to be addressed from time to time.

另一種情形是某些工作項目，可能不屬於各成員廠商的專業與營業範圍，為了要有投標機會，只好找第三者來擔當，但因這個項目的金額不一定大，或這廠商有類似寡斷等優勢地位，不願意擔任成員廠商。但因這工作或服務是整體工程所不可或缺，如特殊材料、設備，或施工機隊等，Consortium 只好同意列為「共同項目」，因採購、發包，而產生的成本與變數，則由全體成員來承擔。

In practice, sometimes there will be work items for which the undertaking requiring a party other than the members of the Consortium, it can be special material, facilities, or construction fleet belonged to an "influential" party, etc. And it will become one of the "common items" to the Consortium for many reasons, among them, that third party may have privileges or simply feel the risk is enormous. So, the Consortium will have to take the risk and place the works as common item.

也有一種可能，大廠商考慮到小廠商因遲延或其他過失，必須賠償的趕工費用，或負擔整體逾期違約金會很高，甚至超出小廠商在工程的承攬金額。在權衡輕重後，認為小廠商犯錯的機率不大，不必為此而失掉組成 Consortium，喪失承接大工程的機會，在合作協定中會同意減少小廠商的賠償風險。比如說，以

承攬金額的百分之十為個別廠商賠償的上限，超出的部分再由全體廠商按工程「承攬比率」分擔，這是比較明智的做法。因為以列為「共同項目」及發包的方式去找廠商，遲延或做不好的風險可能還在，而且大多數情況下，業主單位可能招標時即要求這部分要由有機具、有實績，並願負共同責任的包商來參加。

Another possibility the Consortium must have provisional sums for the items which bear the same nature of "common", is the situation that a company who has to undertake works of which the total value is small related to the total contract price. But when this small partner is liable for the delay causing related party acceleration cost or/and having to undertake the total penalty according to the logic, the total indemnified amount could be unproportioned to their undertakings. An arrangement can be made for the members to bear the cost beyond the initial amount, say 20% of the smaller partner's undertaking, according to the Share of Participation. It can be fair to the small partner and will attract them to perform specialty work; and the Consortium can tender and contractors with big stake in winning the tender may proceed to compete.

所以廠商要組成 Consortium，或受邀加入一個組合時，就要去了解其他成員廠商的規模、在未來標案擔任的角色、競爭力與協調能力等。因為成員廠商的專業與營業範圍不一樣，取代性很低；在台灣又要考慮具同樣資格，但曾經參加過競標的廠商依法又不會被核准，選擇很有限。

Considering the stipulation above, when a company want to organize a Consortium, or is invited to participate in an association, he has to do due diligence work about the future partners for their role, competitiveness and the willingness to cooperate. In Taiwan, attention shall be given to the possibility of replacement, even it's years away, because when the original one quit the JV for whatever reasons, the substitute will only be approved if they have the same qualification, and also have not participated in the same competition.

Consortium 型態的合作，還有一些缺點，就是會把標價堆到高於預算、或其他競爭者的標價。因為從人性出發，個別成員看到的都是圖說規範不利於自己工作的部分，認為業主這部分的預算是偏低的。同時大家都希望別人減價，也知道別人會要自己減價，所以會在算出來的成本上，再加一個「前置量」，做為開會減價的準備。有經驗的代表或領導廠商會要求各家減價，吵到最後，常是要求大家按照預算以同一比例減

價。但業主的預算有時不準，就會引起爭論。更有些廠商認為自己工作的金額占總價的比例不高，高出行情也不會影響得標，不理會其他廠商減價的要求，認為減價是主要廠商的事，與他無關。所以決定標價的會議常有紛擾，與會者彼此可能產生心結，這種猜忌造成的因，可能會種下日後執行工作影響合作的果。

The final price submitted by a consortium could be staggering high by its nature. The individual member, for estimators they appointed, will see the specified requirement and contract conditions for their part is stringent. They also complain the budget as established by the Owner and the Engineer is low for the very scope they're assigned; it's human nature that people understand everybody will cut their price significantly. So, the price presented to the leader or for final meeting will be marked up for an amount that the tenderer expects others request him to cut. Trimming of total price in a consortium is painful and takes an experienced and capable leader, however, there could be hangover hurting the people until after the tender that the same people need to work together for a big project.

## 「Joint Venture」的型態 — 「合資經營」 (Integrated J. V.)

### Type of “Joint Venture” — Integrated Joint Venture

相對於 Consortium 成員把所有的工作幾乎「分光」，「合資經營」(Integrated Joint Venture)是兩家(以上)的公司，不分工作，而是依投標時承諾的「出資比例」，共同負責成敗、盈虧。這個 Integrated JV 如同一家新公司，設立經理人，從成員廠商調集資源，包括資金、保證、重要幹部、機具設備、技術、財產、管理軟體，並依 JV 合作協定向市場採購、發包，取得要完成工程所需要的資源。

Contrary to the Consortium operation that the members always divide the works to last items, the Integrated Joint Venture will implement the works as an entity. The members invest the “new company” with the capital according to the “Share of Interest”, i.e., the percentage, agreed in the tender. There will be managers assigned by the partner in line with the “Joint Venture Agreement” as if it were a new “Company”. Resources such as working capital, guarantees, staffs, equipment, technology, property, soft wares will be solicited from the partners or the markets. Profit and loss will be borne by the partners according to the “Share of Interest”.

Integrated JV，在估價投標階段，是要提出一個最具競爭力的標價，對第三者在材料、施工與設備的報價，以及規範圖說可能有的問題等，立場一致，不會像 Consortium 的情況，各成員會有不相信對方的負面情緒。在最後的標價決定會議，成員廠商也應只是彼此提醒要去注意的風險，或發表對競爭情形的判斷。對組織 Integrated JV 的代表廠商，選擇成員會比較重視與他的互補性、商譽，以及財務狀況。

Since tendering stage, people assigned to work for the Integrated JV from the partners may enjoy congenial work spirit for the common good to finalize a competitive price. Most of them have identical discipline, i.e., civil, M/E or HVAC, to check the same quotation offered by subcontractors or vendors; they've no reason not to trust each other. And in the final meeting, they can identify the risk amicably to obtain the lowest possible tender price. For Integrated JV, the leader wants to have the lowest cost, shall consider to select the members complementary with each other in expertise, high company reputation and good financial capability.

但在某些狀況下，工程中某些工作需要特殊技術或施工機械設備，JV 團隊中的某一個成員可以提供，從市場和成本的角度來看，應該由他來承攬這個工項並負責盈虧成敗，較為合理。所以這些項目應該算是共同項目，這個成員就是 JV 的小包。這種情形很多，比如說，在 EPC 合約，JV 雖然是以 Integrated 的形式經營，但把其中的設計交給某一具此能力的成員；或是說某個港灣工程，其中的浚挖作業要交給有船機的成員，然後大家再以 Integrated JV 的經營方式，執行整個工程。

There can be situation when one member of the JV is in an advantageous position (to him and to the JV) to offer special technology or construction machine required for certain important items; then it will be fairer to ask this member to undertake the work items for market availability and cost implication. The situation may be exemplified by the cases that one JV member shall undertake design work in an EPC contract; or one member with dredging fleet shall be assigned for the reclamation works in a sea port construction works. It means that a Joint Venture, actually operate as a consortium, with one member exclusively work for that independent work and all the member also work as Integrated Joint Venture members for other work items.

如前文所說，在台灣「Joint Venture」的法律地位，準用於民法中的「合夥」等規定，並受保障，但它只以「短期」的方式存在，不是像許多國家可以申

請用一個稅籍帳號，就是說可以獨立開發票，適用幾個工程的承攬。在 Consortium 的情況，個別成員在銷項方面會依自己承攬的工作的計價金額，開設發票給代表廠商，再由代表廠商彙總，開設發票予業主；對成本進項的處理，則和個別成員承辦一般工程一樣，不會與 JV 有關係，也就是說在財務、會計與成本管理，可以維持原來的做法。

As expressed in the previous paragraphs, the legal status of Joint Venture is mentioned as partnership in Taiwanese Civil Code but only for temporary existence. It distinguishes from the situation in some other countries that the Joint Venture are given an invoice number valid for several projects. In the case of Consortium, the individual member will open its invoice for each certificate with the amount equal to what they're entitled in the performance and contract price; the Leader summarize the invoices and doesn't need to take care of the expenditure part of the cost. And the member company will not be disturbed in terms of financing, accounting and cost control.

但在 Integrated JV，銷項金額與 Consortium 的情況差不多，是按照「出資比例」由各成員開銷項發票給代表廠商彙總；但成本進項一般是由代表廠商與供應商／小包等訂約，加上成員廠商經授權的對外採購支出、派遣至 JV 人員的薪資、專利權利金，或小額費用等，再依「出資比例」與實際的成本，開立進項發票給成員廠商。銷項與進項發票的差異，就是盈虧。這類型的 JV，會計與成本控制較複雜，實務上應注意三個問題：

In the case of Integrated JV, the invoices shall be opened by the Leader, who represent the association, for each certificate to the Owner; and the individual member shall open the invoice according to their Share of Interest in the project. For the part of cost input management, the expense will include the cost paid to the vendors/subcontractors, which the JV leader or in less frequent cases the members signed with, the salaries of those seconded to the JV, patent fees, and minor expense handled by the members. The Leader will collect and manage the ledgers and open the voices of the same amount to the follow members. There will be balance between the outgoing and incoming invoice for each member, then that's the loss or profit.

(1) 與供應商／小包的簽約，以及進項憑證的處理是委託代表廠商，這對台灣廠商是較新的經驗。因為除了彼此必須信任，還有帳冊要交由其他公司處理的問題。一般的小公司在做帳方面的透明度是有限的。所以在台灣，為承攬工程所作的短期

結合，如果工作不能分清楚，共同投標會有困難的。

- (1) It can be new to Taiwanese companies for Joint accounting and cost control in an Integrated JV, and maybe difficulties. Because usually the leader will be authorized to sign the sub-contracts, and receive the invoices accordingly. The books shall be managed by one party, supposed to be a stranger, and naturally not appreciated by small companies as ledgers and expense shall be most sensitive part of construction business. Maybe it's also the reason company in Taiwan, either doing design or construction works, will prefer consortium type of work division.
- (2) 代表廠商要負責財務、會計與成本管理，所以這方面的流程與系統應該與代表廠商一致，其他成員廠商必須去適應，做正確的解讀。在大方向上，如年度盈虧申報與繳稅策略、單據與各項作業電腦化程度、成本控管，成員與代表廠商的差異不能太大。
- (2) The Leader shall be responsible for financing, accounting and cost control; there will be procedure adopted for JV operation. Normally it has to be identical with what is using in the Leader's head office; and the member companies has to be adaptable. Also the members have to discuss common strategy for taxation, process for receipts and invoices, extent and system of computerization, interpretation of cost monitor and control report, inventory and warehouse management; so that the difference should be minimized.
- (3) 在與外國廠商的合作，還有總公司管理費、智慧財產權利金匯出，JV 是否同意認列為有效成本、他國與我國是否已簽署雙邊協定避免重覆課稅，以及後續執行是否會有問題等，在某些國家此部分金額要求的幅度會比較大。而總公司管理費方面，許多歐洲公司會認為這是一種必要成本，在 Integrated JV 投標前，應先澄清。
- (3) Many foreign companies regard head office overhead is a cost item, and the remittance for granted, the same also considered for patent or any other intangible service. Amount about the range under which tax exemption or duplication can be applied shall be clarified, and more important whether the bilateral agreement between Taiwan and that foreign government entered or not. It is understood, some companies from Europe need higher margin for overhead; and when we go out to countries like India, head office overhead will be charged at the same rate as profit tax.

Integrated JV 的經營管理，不是如 Consortium 只要擔任聯合組織對業主的窗口，而是要完成工程。所以經理必須由代表廠商派任，副手則由各成員廠商派任。重要幹部與技術人才，各廠商都必須支援。然而 Integrated JV 出狀況最多的就是這一部分。因為大家是同業，專業與營業範圍都差不多，所謂天塌下來有人頂，有些成員廠商人才不足，或想把較好的人派到較重要的工程，就讓代表或最大廠商去煩惱。也就是這樣，許多業主單位認為同業承攬，專業太近，幾家廠商組成一家投標，對執行完工又沒幫助，徒然減少競爭態勢，所以反對開放共同投標。

The purpose of Integrated JV operation/management is to complete the works and secure profit, not like the case of Consortium mainly to serve the owner no more than communication; so the Leader is responsible to assign the project manager and other members shall second deputy or assistants. The elite staffs required to carry out the tasks also better to be sent by JV members and their availability shall be checked before the tender. However, the members in Integrated JV usually are coming from the same business line and their staff supposed having similar background; there's possibility that a member irresponsible or incapable may send unqualified persons onto positions and cause problems. And it happens among the local contractors who never have enough engineers but eager to take much work and risk; typical entrepreneurs. The malingering hurt the project very much and even will remind the owners that allowing Joint Tender is not a right thing.

對人員的派任，本國廠商常欲簡化作業，而有些奇怪的詮釋。首先，派員，特別是派資深、有經驗的人，是成員廠商的權利，也是義務。人員的成本，薪資、加班、獎金、休假、動員等費用都是由 JV 負擔，但不允許加上管理費與利潤。但在與先進國家如日本的合作，因薪資水平差太多，所以會出現「包」的概念，沒有按照真正的人數與費用來計算。因不定數太多，會衍生出許多問題。合作廠商在將來談判這方面的追加減時，必須準備很大的彈性。

Taiwanese companies for all its desire to simplify the future transaction, have odd interpretation about the assignment of persons to JV organization. First, it shall be the members' right and obligation to send the right persons for the positions, the costs including salary, overtime, bonus, vocation, and mobilization shall be paid by JV, but overhead and profit shall not be added. But the cooperation with advanced economies like Japan, the idea of "wrap up" that the foreigners to offer lump sum is used for the personnel assignment because the fundamental difference

in manning cost is so much. The lack of preciseness for numbers and expense of the assignment will oblige the JV member to talk in the future with flexibility; and only they have mutual trust they can conclude it.

為了鼓勵大家派員到 JV 工作，並符合 JV 分擔風險的本意，任何成員都不應為他們派任人員的犯錯而背負過失責任。但如果成員發現 JV 工作人員有不適任，市場上或各成員有更佳人選，可以要求 PM 同意置換。又，為保護較弱廠商，通常在 JV 合作協定會有一條，在工作中，或完工後若干時間，成員廠商不能聘僱另一成員的員工。

Second, the companies shall not be responsible for any mistake and losses made by the persons assigned to JV positions. If persons working for JV in any position are found not competent for the duties, the PM shall agree the replacement from any other person from the market or the member. Also, for the reason often the minor partner needed, the JV member shall agree not to employ persons having been working in the other member during JV proceeding or/and until sometime after.

## 與外國人的 Joint Venture Joint Venture with Foreign Companies

各種建設工程，包括附屬於其中為齊備、維持機能必要的電氣、機械、設備、建築、結構物等，是經濟發展的基礎。台灣自 1950 年後，無論是規劃、設計或施工，不斷向先進國家學習，現在相當多領域中，我們能力已不遜於他們。甚至在若干高技術的工程，如捷運、電廠、石化工業等，我們都有能力輸出國外，最關鍵的就是，從過去與國際廠商的 Joint Venture 中得到了實作經驗。

Man built environment, including electrical, mechanical, equipment, building and structure pertaining to it, is the foundation of economic development; Taiwan is quite successful in learning the advanced construction and engineering technology from top notch countries and now export them for projects such as subway, power plant, or patrol-chemical industries thanks to the experience obtained from working with them in Joint venture.

自 1980 年以來，國家政策要求，外國廠商承攬重大工程，無論是設計或施工，都要找本國廠商合作，本國廠商從做占比相對少的小包開始，到聯合承攬、技術合作，終究取得主導地位。例如只允許外國廠商（根據 GPA）有限度的參與，且都要求由本國廠商做為代表廠商。雖然，因為台灣的工程造價歷經完全競爭後，幾乎是全世界最低，使得國際營建業者無法長期、支配性的參與。但相對於許多國家，我們營建產業的自由度還是

很高，只要他們有特殊技術、在特定項目、可以克服本土業者的競爭，在台灣還是可以扮演活躍的角色。

It's the policy of the country since 80's, the foreign companies undertaking critical civil engineering contracts, design or construction, would be requested to commit fixed percent of the total contract amount to the locals, in the form first as sub-contract, then JV partnership, or technical advisory. Now, in most of the foreign-local cooperation the international companies can only be participated according to GPA signed between Taiwan and their country. But the reason for such reversal may be that the rates and prices for civil work in Taiwan are almost the lowest in the world, which, discourage the outsider for permanent and dominating participation. But construction market in Taiwan is still free for firms from advanced economies to be active if they possess unique and competitive technology.

以施工來說，就外國營造廠參與台灣的工程，自早期的北二高、台北捷運初期網路、電廠、超高大樓、高速鐵路，至 LNG 儲槽，以及最近的離岸風電工程，本國廠商從完全接受他們的指揮，到以次包身分，或 Consortium Partner 獨立承攬某一部份工作，其實路走得很艱辛。因為台灣承包商競爭意識太強，長期降價搶工作，公司靠少數幾個能幹的幹部，就能降低成本，承攬大工程。這種經營方式，老闆只能容許即刻可以發揮生產力，替公司賺錢的工程師。公司沒有餘裕留置人才、也無暇追蹤新的或複雜的業務，結果會是，在與國際公司談判時居於劣勢。

As construction work in past decades is concerned, foreign constructors participated in the 2nd freeway, phase 1 Taipei MRT, power plant, skyscrapers, high speed rails and until recently the off shore wind mill projects, many as main contractors while the locals started following their whole direction, acted as sub-contractors and finally consortium partner working side by side with them have factually to take the brunt because the low price they used to offer. The low price has forced the bosses only to reward the employees who are able to make imminent contribution for plucking low hung fruit, and nobody has leisure to study the new technology in negotiation with international companies for new type of projects. The market fragmentation trims the companies to pygmies.

相對於國際公司組織嚴密及分工精細，用人簡約或專業不足的台灣公司，不得不以鬆散結盟方式找下包或合作夥伴，一同與外國人談判，或是幫忙計算獻策，求能應付一時。但過度依賴外部資源的結果，遇變化常反應不及，讓外國談判代表以為本土公司能力有限。遑論缺乏談判經驗，拙於表達，常導致最後談

成的契約，不論是聯合承攬或下包，不能達成談判目標，或只能將戰線延長至標後，甚至到要履行契約時，已經同意過的事又要重談，讓對方驚訝。

The international companies have rigorous organization and subtle work division among their staffs; contrast to this, Taiwanese construction companies stranded long for low overhead have to ask the sub-contractors, vendors or any sort of business partners to join the negotiation more than back up. It's a loosen form of consortium by entrepreneurs by nature is impatient for detail discussion and serious clarification. So, there could be possibility the cooperation agreement concluded but the local party would revisit the parts they've pledged hastily before the tender to the astonishment of foreign partner.

其實與國際廠商進入實質的合作，某些徒有其名或工作只靠發包的本國廠商才會了解到，專業分工並不是徵募幾位考上執照的工程師，派遣他們到工地應卯就算了。最近許多公司無法招聘到理想質量的工程師，進而造成履約問題，在某種程度上是一種淘汰，因為只有夠實力的廠商才能取得資源。的確有些大型工程，只有國際營造商或開發商才能居於主導地位。與他們的合作，或許能讓台灣的施工廠商，因較合理的單價與契約條件，擺脫在低價、得過且過間徘徊的長期困境。

In JV organization with international contractors, many well branded local companies are now waking up to know the true professionalism isn't equal to the recruitment and assignment of persons with licenses required by the project. Instead, they must have experience and really are engaged in the works. Recently, many contractors have problems to carry out the contract because they fail to recruit sufficient qualified engineers in a tightening market. It's a weeding, however, the contractors who may be working with the international developers or contractors may free themselves from the plight always trapped in the low prices and get by with shabby resource. We presumed that the professionals will have bigger say in the projects that the foreign companies will have participated, so as to have reasonable prices and contract terms in the works.

工程設計的發展，在人才資本均匱乏的時期，都是由國家集中有限人才，然後靠美國政府或國際開發組織等，派遣顧問指導，轉移技術。後來又要求國外顧問公司必須將設計工作交給本國設計廠商，他們提供的服務讓業主覺得方便並有信心，因而持續茁壯。台灣設計廠商的能力與成本，在國內外足以與外商競爭，像捷運、橋梁、工業區，與水利等工程，我國業者還能在東南亞取得工作，即為例證。

The nation had to put talents and capital available together to learn from the more advanced foreigners for the design capability at days the country was backward and technology transfer most important. The locals' ability gained ground when measures such as forcing the international companies to sub-let part of the works to them taken hold by the government. Gradually, the owners prefer the locals to do the design work as immediate response are expected. Until now, Taiwanese engineering firms also are encouraged for the success in the competition in Southeast Asia for the design service like MRT, bridge and viaduct, industrial park and hydraulic structures, it confirmed that they can do the works as good as Westerners.

但就設計工作來說，與國外廠商的合作，如果用 Consortium 垂直分工的方式，像公路或軌道工程以里程碑來分，就表示國外或國內廠商都有單獨完成工作的能力，只是某一時間內能夠完成多少工作的能量問題。但如果以 Integrated Joint Venture 的觀念來分，就有主、有輔，其中的一家來做大部分的工作，另外一家提供諮詢、查核或其他工作。各廠商間的工作項目及承攬比例會先談定，並在共同投標協議書中載明。承攬比例應以「金額」，但也可以用其他認定方式來做基準，以適應產業的發展狀況，或權責單位的查核特殊需求。

But for design works, should they be divided vertically between the two companies, e.g., according to the mileage in the cases of railroad or high way projects, it implied that each party can do the jobs alone. The consortium type of work division is only meaningful when both parties are locals and there won't be any issue regarding technology transfer. Design companies forming an Integrated JV may try to merge themselves, but can be hard between the learning local company and foreign firm with manifested better know-how. The compromise can be one party performing as main designer while the other to provide advice or checks. And under the scheme, the Share of Interest shall be measured by undertakings in money term; or other means adapt to the technological maturity of the industry or the owner's requirement to check for the tender or contract.

表面看來無瑕的合作協定，都可能淪為一方的借牌，尤其是設計工作，承攬比例可能只用來分配最後的盈餘。大部分的銷項費用，可以用其中一方人員的薪資費用，或發包給第三者的契約價金來充抵。這種情形，當外籍設計公司找不到，或不願意去找，真正做設計工作的本土廠商做為合作對象，就會發生。如果有不具備實力的公司願意配合，做為傀儡夥伴時，會有非之無刺的情形發生。如果政府主管機關在決標前，或執行中的查核，能夠詢問競標者他們的工作細節，特別是薪資及

賦稅資料，並保留核可權，直至工作完成，外國廠商是不會踩紅線的。

Any JV agreement following the tender stipulation superficially, can be used by the major partner to sidestep the minor, usually the local party, in the case of design service. The Share of Interest entered into the formal agreement will only be applied at the moment to distribute the profit, which, as predetermined officially is a small percentage of the total amount after deducting the actual expense going to the major partner for execution. Though cumbersome to check, the owners can request the competitors to submit execution plan before award, and check details including the salaries and tax filing for expatriates during the execution (though need to find a balance with relevant privacy right), hold the approval until design completed. The international companies will not cross the line.

## 「共同或聯合承攬」，市場形勢與成員相對實力

### Joint Venture, the Market Situation and Strength of the Members

「共同或聯合承攬」的構成與運作有一定的原則，遵循法律規定，不去對抗市場與常識，是 JV 廠商們應有的自我要求。但工程的承攬與經營，雖大致須運用工程與邏輯思維，實質上還是要受商業、人文因素的影響。有時只能妥協於現狀，故理性必須包容人性，先進不能即刻除代舊習，所以：

JV formation and operation shall follow principles to work under existing laws and regulations; and never try to do opposite against the market and common sense. We recognize the tendering and execution of the construction contracts shall be guided by engineering and logic, however, most of the times affected by commerce and humanity, having to compromise with the status quo. The rationality has to contain human nature; and the progress cannot be the reason to eliminate the common practice, so:

- (1) 規模較大或承攬工作較多公司的權威與影響力
- (1) Size does matter with regard to JV member's capital and Share of Interest

JV 組織做決定，理論上要有共識決，而非如一般公司是以股權表決。實際上，在聯合經營體承攬的工作較多、投入的資源較多，應該就是 JV 的 Leader，人事上有權派任專案經理。在 Integrated JV 中工程的執行，實際上是做為 Leader 的大公司以他派任的專案經理，以及工程師群來完成工作，不可能事事徵詢其他成員的意見。

In theory, JV organization reach decisions through unanimity, not majority votes as in the case of permanent company. If a JV member undertakes more shares than the others and most likely he'll be the Leader of the JV, having the privilege and responsibility to assign the Project Manager. The execution of the works, particularly in the integrated JV will be carried out by PM and staffs most of them also come from the Leader "following the direction from mother company". There won't be any leisure to consult with the member for every detail.

小公司固然可以針對某些意見，有所保留，但如 Leader 以聽他的話不成功後，他須負責後果；或不聽他的話卻成功但因遲滯決定，造成 JV 效率的損失，也要賠償，這與情況相反時，分配到他所獲得的賠償，不成比例。所以有些小公司，特別是與 Leader 不一樣國家的成員廠商，以為「共識決」在某種程度上會等同「否決權」，想要脅大公司屈服，這是危險的概念。

The minor member can of course have different opinion against the Leader, however, any insistence resulted in indemnification including loss of efficiency and time can be borne reverse to the Share of Interest for a minor member of the JV. There is possibility that a minor partner, often the company in different country with the Leader, mistakenly to interpret the unanimity as a veto to extort the major partner is actually dangerous.

在某些國家，產業內各廠商的互動還是要看公司的相對規模，或業務或生產鍊上的層級關係（hierarchy）。像日本廠商的 JV，是不講民主與法制，壓制的味道很重，是不會容許類似「下剋上」的抗議情形發生的。但任何牽涉到台灣廠商的 JV，則可能完全相反。主辦廠商或專案經理可能要花更多的時間對內解釋，他為什麼對業主、第三者，要做如此的反應。在不同的文化，大家對「權力距離」的解讀不一樣。

In certain countries, the companies in the industry have to interact with each other according to their relative sizes and business relationship whether one usually will be the other's underling in the hierarchy. So, in the JV though alienated from the other business in home country, the less sizable company needs to submit to the apparent oppression disregard the principles of "democracy" and "rule based" operation. And in any JV involving Taiwanese members, The Leader and the Project Manager always need to spend more time and effort explaining for the responses to third parties or the owner. There is different interpretation to "Power Distance" under different culture.

(2) 對成員廠商基本利益的尊重

(2) Respect the JV Member's fundamental Right

JV 是短期結合，成員廠商的基本利益並不能以「多數決」做減損，更不能以專案經理以例行手段來妨害或限制。所以一個 JV，專案經理由 Leader 派任，副經理就要由其他成員來派任，組成工地委員會來行使共同權力。成本、會計的主管也要有同樣的安排，如果工程或專案規模不夠大，無法支援這些人員的永久性進駐，也要安排成員公司不定期查帳或稽核。業務性質較敏感的部門，如採購、發包等，各成員可能也會要求派員，或至少要求某些較重要的項目，要由成員公司複核、同意。信任關係建立後，這些步驟可以簡化，但基本上這是成員的權利，Leader 與專案經理必須尊重。

JV works on temporary basis, and the member's right can't be determined by majority votes, nor can the exercise of them be impeded or restrained by the deeds by project manager and his staffs. Deputy and assistant managers shall be assigned by other members and in theory they'll have similar power with PM; together they will organize the Site Committee for quotidian JV works. Cost and account department shall have the same arrangement allowing experts for stationing or checks. The members may also be interested in sending people for department responsible for procurement or to request the PM to submit cases of detail to each member for review and approval before trust established between JV office and them.

如同一般公司，Integrated JV 會依合作協定規定組成董事會，決定組織、規章、核定成本、進度、同意重大人事、採購、對業主報價（變更）、訴訟，與財產處理案件等，此為採行「共識決」。對 Integrated JV 而言，除非 Leader 業務上具分量、能拿到工程、執行時大家可預見有豐厚利潤、指派的 PM 具領導力，否則在最關鍵的權力機關董事會開會時，Leader 要接受挑戰。

Just like ordinary company, integrated JV will have to set up the Board according to the agreement entered between the parties. The Board meetings will decide the project organization, operation rules, approve reports from Project Management for assignment of persons, procurement, and proposal to the Owner, cost, litigation, asset management, etc. The Board meetings can be confrontational and critical to JV operation unless the Leader is the one bring the business and profit for members, and the PM assigned is intact for performance.

在 Consortium，董事會最關心的是進度，與之有關的介面協調事項會是討論的焦點。

In the case of Consortium, meetings will focus on the progress and clarify any problem that may appear in the interfaces between works taken by different members.

但不管是那種形式的 JV 組織，成員的投資或承攬比率如何，在 JV 中，沒有一個成員的權利或地位能高於其他成員。

High above anything, no JV member is said to be superior to the other members disregard the Share of Participation.

(3) 工程所在國廠商的特殊地位

(3) The standings of local JV members

工程所在國政府為扶植國內業者，不論是設計或施工，通常會要求國際廠商將部份工作以 Consortium 或 Integrated JV 方式交給業主認為夠資格之本土廠商。但資格與技能、競爭力並不一定等同，尤其在投標前相對為短的時間，國際廠商認為其做評估會有風險，所以就會產生只想付出有限費用，找不實際參與的廠商來合作 (sleeping partner) 之念頭。以離岸風電設計為例，投標規定國外與本土承攬比率必須在一定數字以上，但查核只在投標時做一次，細節等實做時才見分曉，這樣的執行可能無法符合招標原意。

There may be requirement from the host government that the foreign participants of the project have to form JV with local companies, either in Consortium or integrated JV. But as aliens, the international companies feel it too risky within short tender period to decide a known amount can be undertaken by strange companies, so they prefer to go for a sleeping partner just paying puny fees for a legitimate participation. Take offshore wind mill design works as example, the paper will show the Share of Participation adherent to the tender stipulation, and the international contractors will gain the freedom to do what they want in the future for the limited risk. It's because the checks will only be done once in tender stage, and won't expose the actual work details carried out in the far future.

其實不論是設計或施工，較弱的一方會希望得到保障。如本土廠商相對於開發商與具技術經驗的國際廠商，他們希望站穩了後有機會做真正的工作，因此開始學習。但因要實際參加工作，需要有人才、經歷，最嚴重的是可能面對失敗，所以如果無法說服對方交付工作，只好繼續配合國際廠商，做不到真正的工作，只等著依照承攬比例分配利潤。前一節中已提到，看來無瑕的設計工作合作協定，所載的承攬比例只是籠統的承諾，真正的銷項費用流向在招標查核時尚不知往何處行去，在無法掌握之下，最後可能淪為借牌。

When cooperation between foreign and native companies is enforced for design or construction of wind mill works, most of the locals want to be guaranteed for

success. The international companies, high fly developers or contractors, for the requirement in schedule and project financing would like to find maximum freedom in their future actions. And it's possible for local companies to offer minimum fees to woo the foreigners and wait to get the final dividend according to the Share of Participation appeared on the paper. We said about this in section above, stressing the checks by the owner done only once at tender stage when where the actual design cost goes is unknown can be misleading.

在某些情況下，當地廠商範圍甚至可以縮小到同一國家的不同縣市。以台灣來說，在花蓮、金門、馬祖或澎湖，某些廠商具壟斷性施工資源，或社會關係，在台灣本島，可能就不明顯。舉例如日本，全國性的公司到北海道或沖繩，要與當地的廠商合作，並以當地廠商做為 JV 的 Leader，這就是憑著地域的特殊關係取得的地位。在組織 JV 邀請成員時必須注意這一點。

There are companies getting clout by their origin, and the companies from outside not necessarily from foreign have to recognize it. For example, there will be local companies cornered special construction resource, or social relationship, like in Hualien, Kinmen, Matsu or Penghu in Taiwan. It can be more apparent in Japan, larger than Taiwan, the so called big five going to Hokkaido or Okinawa has to ask the locals to join the team and sometimes even ask them to be the Leader. When people want to organize JV, he has to consider the point.

(4) 「共同或聯合承攬」中的異議與偏執者

(4) The Dissenter and Paranoid as the JV Member

「共同或聯合承攬」常有成員持反對意見，或發生於外國廠商因文化上的成見，在篩選本土合作對象與組成團隊時，即誤導或激怒本土廠商；也有本土廠商因欠缺與異國合作經驗，並對大型工程設計、施工感到陌生，故對國外領導成員所採措施感到疑懼，而有抗議甚至抵制行動發生。但這些都必須以耐性來解決，在順利完成工作的共同目標前提下，只要相關人員回到理性，「個人化」的問題都容易解決。

It's not unusual that in a Joint Venture the members could be antagonistic against the Leader and cause troubles from time to time. It happens when a dominant foreign company mislead or irritate the natives for the unnecessary cultural prejudice; or in the other way that the locals are not knowledgeable about international cooperation and the execution of a gigantic project, so in addition to casting doubt about the JV decisions they may protest and act not in congeniality with the team. The problem supposed to be temporary and personal, when the concerned party have

common goal to complete the works, patience can work out to solve the problem.

但有時某些成員，或因老闆或做決定者成見太深，並主觀相信異國大公司會遷就，所以會往敵對與偏執的方向走。諷刺的是這時前面所說：規模較大，或承攬工作較多公司的權威與影響力較大的這個觀念，他們的見解卻是「同歸於盡，是誰損失比較大」。再加上視國際廠商「非我族類」，可恣意欺侮，道德上他們不以為有任何欠缺的錯誤想法，讓人束手無策。台灣這 20 年工程承攬史上，不只是發生在與外國廠商的 JV，小公司與大公司的結合也出現這種情形。

If the bosses or the decision makers believe that the big international company will give way to what they want, they will be more eccentric and paranoid so as to cause big problem for JV. Ironically, when we deem that the JV member's capital and Share of Interest is bigger, his influence and power may be more convincing, is now totally wrong under the notion "If the contract suffers the big share participant will suffer most". There will also be dark side of "nationalism" embraced by those paranoids telling them bullying on the foreigners is complete amoral. The short construction history witnessed the bad stories not only locals harassed foreign, and also the small companies torment the bigger ones.

工程承攬有專業與商業兩種成分，但對某些公司而言，追求利潤是一切。在 Consortium 的情形，他們從報價開始就有強烈保護自己的想法，認為我的承攬比率低，能否得標和我減價沒有關係。得標後要別人片面讓步，不肯承受任何風險等偏執，常造成 JV 的困擾。在 Integrated JV，這類型的公司要求 Leader 分配利潤，但當 JV 遇到任何風險，如果 Leader 或 PM 有可指謫，他們就忘記 JV 的設立目的，是在承擔風險、任何成員都不應為他們派任人員犯錯，背負成本上的責任。問題是他們的抗爭可以無限上綱，自傷傷人，如拒絕簽字請款，或拒絕業主要求每一個成員都要簽署的作業表單。遇到這種情形，考驗 Leader 的智慧。

The contracting business has elements in both professionalism and commercial consideration, but for some company, pursuance of profit shall be above everything. In the case of Consortium, the egoistic boss will leave the responsibility for tender price deduction to the companies with bigger Shares of Participation; and during execution, they will ignore the situation that each member has to accommodate for the ambiguity found in interface and shoulder any risk brought by changes. In the case of Integrated Joint Venture, the eccentric will request the Leader to

bring profit for the JV or they will pinpoint the Leader and PM for any bad judgement or fault made in carrying out the works. They don't go back to the point that the purpose of JV is members to share the risk; and the companies assigned the persons to JV positions shall not be responsible for any mistake and losses those people will make. They will select the right moment to deter the JV proceeding for refuse to sign on any format requiring them to endorse. The leader is tested when the member become erratic.

## 「共同或聯合承攬」，從準備到完工的階段性工作

### Stages of Joint Venture, from Inception to Works Completion

「共同或聯合承攬」的第一階段，是「備忘錄」階段。當某一公司對某工程研究後，覺得從技術轉移、增強實績、改善競爭力、財務、施工資源、法律與規定等觀點，認為這個工程可以參加，他可以進一步研究未來的組織架構，JV 夥伴要找誰，投標成本等問題。這時候他可以與可能共同投標的夥伴簽訂「備忘錄」，但只僅於表達興趣，並沒有說一定要參加。

The first stage of Joint Venture, can be called "Stage of Memorandum". When a company feel it will be able to tender a project through forming Joint venture with other friendly company for benefits like technology transfer, enhance work experience, improve competency, better financing, make good usage of resource and from legal point of view, etc. He can study for the JV formation, future partners and tendering cost, and accordingly invite the partners for Memorandum of Understanding, however, at stage it's not binding for tendering.

「共同與聯合承攬」的第二階段，是「標前協議」階段。這時組織架構，包括成員與分工要做決定，規劃、估價與標單製作的任務分派、相關法律的研究，未來運作的行政流程，以及正式合作協定的草擬。

The second stage of Joint Venture, can be called "Stage of Pre-bid Agreement". The decision has to be made for JV formation, members to be invited and the work division. The assignment to finish the tender such as project planning, estimation and documentation will be allocated to the team with precise schedule. The study will also include contract and law, internal procedure, draft of a formal Joint venture agreement.

「共同或聯合承攬」的第三階段，是「JV 正式運作」階段。當得標後，就要有正式合作協定，依其規定成立管理委員會，開始調度、徵募人員、管理資產、資本與財務、採購、發包，把工作完成。

The third stage of Joint Venture, can be called “Stage of JV proceeding”. After the award there should be formal JV Agreement established. The Supervisory Committee set up accordingly, start to assign persons to senior positions and recruit staffs, manage the asset, capital and financing, procurement and subcontracting, complete the works.

「共同或聯合承攬」的最後階段，是「JV 結束」階段。一般來說，當工作完成，盈虧大致決定後，這時要做的工作很容易被忽視：成本清算、財產處理（資金、材料、機具、智慧財產）、人事（歸建與資遣），及 JV 的正式解散。

The final stage of Joint Venture, can be called “Stage of JV Wind up”. After work completed, profit or loss determined, the remaining works for wind up can be overlooked: there should be liquidation, asset handling (working capital, material, equipment, intangible property), personnel issues (return to the original companies and lay off), and formal closure of JV.

## 結論 Conclusions

熟悉工程公司總體經營管理的人可以了解「共同或聯合承攬」是很單純、普遍的商業行為。要談妥它的組織、運作以及成員互動的原則，又要在很短的時間內完成，這就需要將來的夥伴與自己公司要互通信息，坦誠以告，所以出去談 JV 的人要有些視域、高度與智慧。談 JV 的人，在中、小型公司就是老闆或有決定權的人，這是正常的。「共同或聯合承攬」協定，沒有標準形式或條款，所有的一切都是談出來的；當然，與其他人合作，或自己單獨承攬工程的經驗，都應該做為參考。

People familiar with the governance of construction company or engineering firm understand JV operation is simple and common in the commercial world; and the confusion, if any, may come from that the people sent for negotiation with potential collaborators don't present the company well within short time frame and collect the information reciprocally from the counterpart. Therefore, people sent to conclude agreement with potential members must be the guy with vision, position, and intelligence; not bad in Taiwan that the bosses or people have the same power will participate the discussion. No standard clauses or form of agreement can be followed as each work and cooperation shall be unique.

JV 的組織、權力制衡與行政流程，幾十年來，並沒有什麼更易，因為人性未變。然在管理方面，因各種軟、硬體以及通訊技術的精進，JV 運作的效率提高，成員要取得工程執行各種數據，並給予回饋，更為方便。國家與公司或有界限，但不應再是問題。

For many years, it doesn't change for the part of JV formation, balance of power, and internal process, because the ultimate requirement is to exercise control for the company participated in the organization; the human nature behind it is not different. However, there're various soft and hard ware for administration and the skill and speed form communication are much improved. That a Board member now can obtain more in-depth information and ask many questions based on the data extracted; the border and the company line shall not be the problem.

若干高科技公共工程，政府藉要求國際與台灣廠商合作，以推動進度、降低成本，並植根台灣的政策美意，不能糟蹋。而如前面文章所說，共同承攬是最有效、便捷的方式。

The government has firm policy to solicit the successful technology transfer from international companies to Taiwanese firms in public works with high technical content to push the construction, lower the cost and groom the industry. JV between the foreign and the local will be the most effective and convenient mean to realize the policy for all its importance.

國際廠商在尋找合作對象方面有時間的壓力，工程業界必須主動，提供客觀資料，並防制短視近利的廠商，以變相的低額佣金來扭曲招標機制希望達成的目標。當然我們相信廠商本身的自律最為重要，但科技進步，資料與數據的保存不是問題，經過還原，一個 JV 的運作是否符合訂約本意，其實無所遁形。所以只要政府的關心，能延長至契約工作完成階段，並保留審議判斷的權力，能達成技術轉移的 JV 一定可以組織成功，不論施工或設計。

We understand the international company will have time pressure to seek the partners within tender period, and there is possibility that a short-sighted company will offer the lowest possible price for commission to elicit the foreigner for their freedom of actions. Under the circumstance, the company determined to reach to the modern technology shall be active to illustrate his ability to work in all rigorous conditions. We trust it's critical that the companies in the industry must be disciplined so as not to spoil the government policy, however, checks is important and the modern JV organization will be able to provide so much in-depth information and data as described above. The Owner shall be in good position to judge whether or not the technology transfer as mandated in Joint Tendering Agreement is followed as the truth can be revealed to show the real situation. So, it means if in the tender the owners reserve their right to supervise the implementation of contract or agreement until the work is finished, the JV operation can be organized to receive the technology transfer; for construction or engineering. 



# 社會、經濟、產業與 土木水利工程 的關聯及連結

專輯序言

專輯客座主編 游景雲／國立臺灣大學土木工程學系 教授、水工試驗所 主任

土木水利工程目的是為了幫助人類改善生活，其內容內含均與人們生存、生活息息相關，除了在技術面提供食衣住行等基本需求，也在更進一步的在安全、舒適、認知、理解、美學等提供支持，利用應用自然界廣大能源，創造人類福祉。人類文明表現在生活品質的進步提升，自人類有史以來，人們生活相關活動似乎無不與土木構造直接或間接相關。科技始終來自於人性，科技是一種工具，所以自始至終都應該為人所用，目的是為了幫助人類改善生活。在不同領域然而技術與人的結合互動都是決定是否可以實際發揮影響、落實的重要因素，人類生理與心理上的反應必須在與技術面的互動中扮演關鍵的角色。

實際上土木水利工程、防災工作受到許多社會經濟活動的影響或制約，單純考慮技術面之發展而忽略人群、社會的需求、觀感或反應會導致許多計畫面可行性未能實際探討，在加上民主社會人民意識抬頭，民智大開，土木水利工程又常牽涉到眾多社會群體的利益分配，因此思考生態、社會、經濟、政治等的跨領域影響，將會是未來決定土木水利工程是否良好運作重要環節。土木水利工程一直都是跨領域的議題，在水利領域，眾人所熟知的 Jules Dupuit 提出垂直二維模式地下水模型，但其同時也是近代正式提出公共工程建設成本效益分析方法的先驅。水利與經濟領域的合作最著

名的則是西元 1955 年由哈佛大學開始的 Harvard Water Program，這個計畫是想要藉由結合不同領域的學者的參與，來建立完整的多目標水資源系統分析規劃的方法，許多著名的學者參與其中，包括了來自工程背景的 Gordon Fair, Harold Thomas Jr.，經濟領域的 Robert Dorfman, Otto Eckstein, John R. Meyer，及公共政策的 Arthur Maass, Maynard Hufschmidt 等，當時參與的學生像是 Stephen A. Marglin 跟 Myron B. Fiering 等，之後也都在經濟跟水文的領域佔有相當重要的地位。

臺灣這幾年來，土木水利與社經領域的對話日趨頻繁深入，當年自美返台服務，顏清連教授感於相關水利相關問題涉及廣泛，牽涉社經複雜面向，鼓勵個人投入這方面的實務工作，就水利事業相關政策發展、經濟評估等層面支援相關單位決策參考依據，返校服務十年餘受台灣大學水工試驗所歷任主任所提攜鼓勵，敦促投入運用相關研究成果於實務問題進行產學合作，協助政府機關解決各項問題。在過去數年與社經界不同單位、諸位先進前輩相互對話學習探討，也略有成果。時值今日，即將接任台大水工所主任，回首來時，思考如何促進土木水利工程與社會經濟議題的銜接，增加溝通，進行跨領域的合作解決國家的面臨問題、增加社會福利，更是誠惶誠恐，深覺任重而道遠。

土木水利工程學會會刊總編輯劉格非教授的邀請

擔任八月份之客座主編，專刊涵蓋資源、經濟、工程的跨領域議題，承蒙領域內重要相關單位及聲望卓著之學者賜稿與目前工程業界分享相關研究領域跟方向及新知，至誠感謝。本次專刊邀請到臺灣大學生物環境系統工程學系張斐章特聘教授就其主持的科技部貝蒙論壇重點計畫，跨界探究氣候環境和社會變化如何影響水－糧食－能源鏈結系統，也邀請到臺灣經濟研究的三個重要智庫、台灣經濟研究院、中華經濟研究院、台灣綜合研究院、就其領域專長撰文。台經院顧問周嫦娥老師長年深耕投入水資源經濟領域，於本刊中嘗試討論水資源效率指標、評估台灣水資源利用情形和使用效率，提出深入的看法與建議。中經院洪志銘博士、近年來協助政府多項產業規劃工作，其就國際水利產業發展趨勢與台灣水利產業推動策略進行分析，台綜院的蕭宇喬研究員則是針對儲能設備於再生能源發電端、電網端及消費端的應用，及於電力系統結構改變下之發展潛力進行探討。此外，於本刊中，本人也將過去協助水利署擬定之成本效益分析相關探討再行介紹。清華大學環境與文化資源

學系教授關雅文教授在效益評估領域上學有專精，也從台灣水資源整合性水資源管理，並探究台灣水資源之價值與價格、及其在水資源需求面管理政策之意涵提出見解。台大土木系的新進老師謝依芸教授，自麻省理工學成而本系有幸延攬加入，其研究也在電動車的技術面、社會面、經濟面多有深入探討，也就針對電動車目前面臨的機遇、挑戰與未來展望進行回顧與概述。

相較於過去，土木水利工程現在面臨越來越多的挑戰，問題的維度與深度更甚於以往，許多時候，工程技術大多已經不是主要限制條件，對於技術面遭遇到的困難，大多能盡力去克服，工程遇到經濟、社會及政治屬性也日益表現出來。不同計畫牽涉到不同的利益關係者，牽涉到人的問題、往往比單純的工程問題更加難解，如何藉由工程與社會、經濟、管理科學的合作、建立誘因、規範，以減少與目標的差距，常成為現在土木水利領域重要課題。基於此一考量，本刊希望能在這個面向對於讀者有所助益，不敢自專但求藉由作者們的拋磚引玉，與工程界的同儕與先進共同省思相關課題。



**台北公司** 台北市中山區南京東路三段  
 215號2樓  
 (02)8712-8966

**台中公司** 台中市西屯區大墩十九街  
 186號2樓之1  
 (04)2328-3866



服務領域

防災預警  
 水質處理  
 水文技術  
 設施營運

管路系統  
 綜合治水  
 施工管理  
 河道治理

永續水庫  
 防洪排水  
 海綿城市  
 水力發電

環境影響  
 水資源規劃  
 水環境營造  
 集水區治理



# 建構水-糧食-能源智慧調控模式 之永續發展城市

張斐章／國立臺灣大學生物環境系統工程學系 教授

李孟信、黃安祺、邱普運／國立臺灣大學生物環境系統工程學系 博士班研究生

本研究係國際貝蒙論壇與科技部重點支持項目，跨界探究氣候環境和社會變化如何影響水-糧食-能源鏈結系統，以創新科學技術結合大數據分析，開發新穎人工智慧預測與優化模式、系統動態模式等管理工具，考量資源分配權衡及效益，提出新利基以達到消耗最少的水、提升能源和糧食生產的合宜解決方案，促進水-糧食-能源鏈結協同效益和提高全流域資源整體效益，協助政策制定符合社會和環境期望的永續經營管理策略，分享研究成果提升台灣學術國際影響力。

## 前言

水、糧食及能源（Water-food-energy, WFE）是維持生命與都市穩定發展最重要的自然資源。聯合國於「世界人口展望」中推估全球人口在 2050 年將升高至 98 億，而人口成長使水、能源、農業與運輸等部門間的資源競爭更加激烈，對人類生存與環境將帶來不可預測的影響<sup>[1]</sup>。面臨需求不斷增加但資源供應有限，如何妥善管理水-糧食-能源鏈結（WFE Nexus），避免資源不當應用造成生態環境的衝擊，維持永續發展目標，是很重要的工作<sup>[2,3]</sup>。此外，聯合國推測全球都市將會是資源的最大需求中心，面對都市化與氣候變遷的乾旱及水患風險，如何維繫都市的穩定成長，確保國家的經濟發展，提供都市糧食生產所需的水資源和能源的環境承載力與供應能力，係巨大的挑戰<sup>[4-6]</sup>。由於自然資源相互依存鏈結之緊密關聯，創建智慧供應鏈之合宜管理工具，改善傳統供應與消費鏈結，提升資源整體效益，有其迫切性與重要性<sup>[7-9]</sup>。聯合國相關

研究機構透過 WFE Nexus 的研究，希望能找出維持資源穩定並兼顧生態永續利用的都市發展解決方案；貝蒙論壇（Belmont Forum）致力推動跨學科的發展，通過國際跨學科研究，提供可普及且適應全球環境變化的知識（<http://www.belmontforum-most.url.tw/>），倡議國際合作計畫（Sustainable Urbanisation Global Initiative Food-Water-Energy Nexus (SUGI-FWE Nexus)），科技部重點支持該研究並為捐助國之一；吾等籌組研究團隊，成員囊括水資源經營管理（張斐章）、農糧政策技術（盧虎生）、能源環境管理（胡明哲、范致豪）、都市化發展（黃泰霖）等學者，於 2016 年起共同執行科技部水-糧食-能源鏈結跨領域整合型研究計畫，並攜手合作，由台灣主導（計畫總主持人，PI）與美、日、巴西等國學者共組國際研究團隊，以「智慧城市代謝系統面向未來綠色城市－Intelligent Urban Metabolic Systems for Green Cities of Tomorrow: an FWE Nexus-based Approach」為題，獲得該國際合作研究計畫，提昇台灣學術研究於國際的能見度與影響力。

為達成跨領域全方位解決都市化複雜且具高度不確定性的 WFE 鏈結問題，本研究整合國內及國際團隊資源，以都市代謝系統為基礎，進行廣泛且深入的交叉-互動-連結-整合研究，分析彼此相依程度建立鏈結關係，闡述各資源如何進入及排出城市，考量資源分配之權衡性及安全性，將資源做最佳分配與運用，確認都市代謝 (Urban Metabolism) 的關鍵因子，建立系統動態模型，進行衝擊性、脆弱度及風險評估，尋求資源間最佳分配及協同效益，提出整體資源競合的解決方案。本研究蒐集淡水河流域不同尺度之異質資料，依據各資源使用情況及供給需求，以跨領域系統動力模型為基礎，各資源為整體系統驅動核心，利用人工智慧、大數據、系統動力、生命週期評估等先進技術，建立各資源鏈結關係並解析供需的連動模式，深入探討都市化資源鏈結之動態關係，結合智慧多目標資源永續管理，針對有限自然資源進行有效的運用，提升 WFE 協同效益，模擬不同情境的資源供需情況，評估整體系統之承载力與回復力，進而提出整體解決方案，打造智慧綠色城市邁向永續綠色經濟與和諧安康社會，整體研究架構如圖 1。

### 主要研究成果

本研究透過整體策略思考及規劃，建立資料庫進行大數據分析，開發智慧優化模型，深入探討在確保滿足各個部門的用水需情況，尋求增加糧食產量與增加能源產量的最佳可行方案，透過情境分析掌握各資源於供應鏈中生產、分配、利用之動態變化及相互影響，研擬解

決策略，創建整合性 WFE nexus 之整體解決方案<sup>[10,11]</sup>。因應全球對綠色能源的需求不斷增長以降低碳排放，立法院通過再生能源修正草案，確立 2025 年我國再生能源發電佔比達 20%，因此各種形式的綠電發展，皆有助於此一政策的發展。為有效管理資源以因應都市化趨勢，我們提出的整體解決方案，能促進綠色能源發展並結合到現有的供水系統中增加糧食產量，對城市化發展有深遠的影響，開發的工具與成果可分享推廣應用於全球關注之永續發展議題，有助於提升人類福祉及永續綠色經濟。針對水-糧食-能源鏈結於綠能發展的主要研究成果簡要說明如下：

### 聯合石門水庫和灌溉池塘的短期 / 長期聯合運行操作

台灣因山高水急，降雨集中颱風季節，水資源儲存不易且調配困難。石門水庫為一多功能水庫，依據水庫防洪操作數據，排出的棄水量相當大，往往導致水電資源的浪費<sup>[6,12]</sup>；颱風帶來豐沛的雨量，對於水庫操作相當重要，最近研究顯示類神經網路可依颱風路徑提早兩天準確預測颱風之降雨雨量及全洪程，對水庫操作有極大助益<sup>[13]</sup>。本研究以石門水庫和下游的 745 口灌溉池塘為研究案例，藉由水庫與灌溉池塘的短期 / 長期聯合運行結合以應對城市化，優化 WFE 的協同效益。分步實施：(1) 優化短期 (日規模) 水庫運行，實現颱風季節水力發電和水庫最終蓄水量最大化；(2) 考慮非颱風季節農業灌溉池塘的多用性，模擬長期 (旬尺度) 缺水率；(3) 整合短期優化和長期模擬作業，從全年角度促

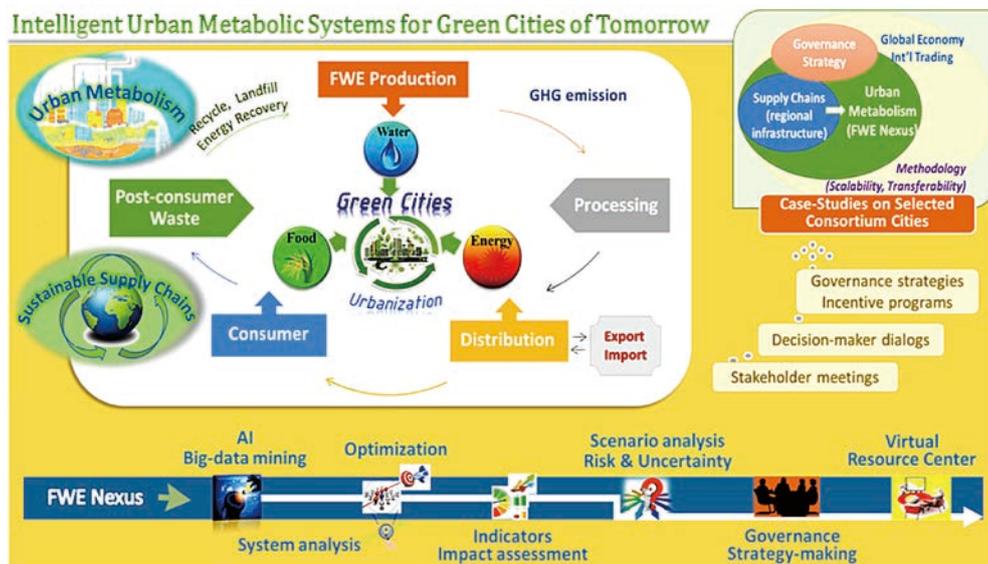


圖 1 貝蒙論壇之都市化水糧食能源跨領域研究架構

進 WFE Nexus 的協同效益。結果顯示，非支配排序遺傳算法 II (NSGA-II) 得到的最優短期水庫運行可以大幅提高水力電量，且供水僅有些微影響。水庫與灌溉池塘的聯合操作和不包括灌溉池塘的操作結果相比，聯合操作可以顯著降低農業和公共缺水率，平均分別為 22.2% 和 23.7%。而常年短長期聯合運行結果表明，缺水率最多可降低 10%，糧食生產率最高可提高 47%，水電效益最多可提高 933 萬美元 / 年（潮濕年份）。因此，本研究提議的水庫與灌溉池塘短期 / 長期聯合運行係促進 WFE Nexus 協同效益的有效可行方法，分析結果提供了科學根據，有助於利益相關者和政策制定者推動相關法案與執行策略，以尋求可持續的城市發展計劃<sup>[6]</sup>。

### 小水電系統提供綠能絕佳機會

小型水力發電廠屬於低成本的可再生能源，對於環境的衝擊影響小，應對蓬勃的城市化發展，加入小型水力發電方案，能使系統運行產生深遠影響。本研究將 AI 技術應用於優化集水區現有供水系統和未來小（微）水電系統，模擬優化加入小水電安裝於石門水庫集水區，深入探討北部地區 WFE Nexus 的協同效益。研究結果指出，推導出的最優水資源配置不但可以大幅緩解缺水狀況，改善水庫蓄水；而且小水電安裝方案可以在不減少對需求部門供水的情況下增加水水力發電量。以 M-5 操作規律模擬為基準，對比結果顯示，配合小水電安裝協同下的多年聯合優化可為 WFE Nexus 帶來互惠互利的結果，大幅減輕每年水資源短缺指數高達 40.0%（水務部門），年均糧食產量提升高達 10.6%（糧食部門），水電年均產量提升 7.5%（1,700 萬美元 / 年；能源部門）。這項研究開闢了再生能源的新視角，為小水電實踐提出可行的戰略建議，並讓實踐安裝小水電方案有科學根據，有助於實現未來綠能源需要<sup>[14]</sup>。

本研究計畫所提之小水力系統解決方案不僅提高綠色能源產量與穩定性，而且透過水庫操作提高供水效率和糧食生產產量，研擬的方法與成果方案提供有關小水力建置的政策建議，維持永續發展。台灣有高山及豐沛的雨量，從水庫、河川、渠道各階段，都有豐富水力發電可以利用，可惜長久以來小水力發電未受重視，如何善用豐富的水力資源，有很大努力的空間，台灣正處於能源轉型的過程，太陽光電及風力發電存在間歇性問題，無法全日全時發電，我們的研究成果說明加入小水力發電是有效可行解決方案，讓綠電（水風光電）互補，值得大力推廣。

### 魚塘上部署浮動光伏的潛力很大

不斷增長的能源需求和減少溫室氣體排放的壓力，導致全球太陽能顯著增加。浮動光伏（FPV）系統的發展為土地稀缺地區提供新的契機。本研究提出一個數學動態模型，模擬受 FPV 覆蓋的虱目魚（MILKFISH）池塘中的主要生化過程。根據在兩個生產季節（冬季和夏季）從有和沒有覆蓋 FPV 的池塘收集的實驗數據，以驗證該模型的真確性與合宜性，並用該動態模型對不同覆蓋程度的生態影響進行了蒙特卡羅模擬分析。結果顯示，在魚塘上安裝 FPV，對池塘的水質影響微小，僅造成溶解氧水平降低，對魚類產生些微的負面影響，惟能源方面的大幅收益（容量約為 1.13 兆瓦 / 公頃）彌補了魚類產量的損失。台灣約有 40,000 公頃的水產養殖池塘，若能於台灣魚塘部署 FPV，估計可容納的裝機容量是政府到 2025 年達到 20GW 太陽能發電目標的兩倍。這項研究開闢了再生能源的新視角，為魚塘上部署浮動光伏提出可行的戰略建議，並讓實踐 FPV 有科學根據，有助於相關部門更新有關 FPV 在魚塘中整合的法規，以充分發揮這種新綠色技術的潛力。

### 應用浮動光伏與水力發電互補方案促進水糧食能源協同效益

混合水力發電和浮動光伏發電對水、糧食、能源鏈結關係有深遠影響，但在水文氣象條件高度不確定的情況下，WFE 互補運行具有極大挑戰。本研究以石門水庫流域系統為案例，提出人工智慧的 WFE nexus 總體解決方案，由混合水力和浮動光伏發電驅動，促進 WFE nexus 協同效益；開發 Grasshopper 演算的多目標優化模型，以同時最大化水力和浮動光伏發電輸出、蓄水與水庫容量的比率，及供水與需水的比率。結果顯示 AI-based 優化模型可以顯著提高 WFE 協同效益，在蓄水、糧食生產和發電輸出方面分別達到 13%、13.3% 和 15.1%。這項研究擴大大綠色能源生產開闢了新的視角，同時促進 WFE 協同效益，減輕有關水文氣象不確定性對 WFE 關係管理的影響，讓決策者制定可行的浮動光伏部署計劃，以實現社會可持續性。

### 結論與未來展望

面對都市化、人口成長及有限的資源，本研究透過不同面向探討都市化下水、糧食、能源鏈結之議題，透過永續評估指標、系統動態模型、水資源優化、埤塘與

小水力等運用，有效分析整體水-糧食-能源鏈結之議題，整合水庫、圳路與埤塘系統，使水資源調配具有更多彈性並滿足需水標的，同時發揮綠能的潛力，研擬於埤塘系統建置太陽能板，開拓綠色能源，以提升整體環境之協同效益。此外，將資源以生命週期的概念拆解，以物質流分析結合大數據與資料探勘等技術，結合智慧水資源/綠色能源供需預測系統與調配系統模型，開發有效率及合宜應用各項資源的方案，作為資源管理決策的參考，協助政府推 WFE 資源管理政策，促進綠色經濟之永續發展；研究成果陸續發表於國際 SCI 頂尖期刊，提升台灣學術國際影響力。

未來我們將延續先前之研究成果，整合已開發機器學習技術及資通科技，深入且完整地探討都市化下水、糧食、能源鏈結之議題，主要努力方向將包括 (1) 資訊平台建置以提供研究使用、藉由資料分享機制能吸引不同領域的研究者進行跨領域合作研究，獲致更有效率的資源調配管理政策；(2) 開發「智慧農業資源管理系統」，整合農業技術、機器學習及資通技術至資源管理資訊平台，將水、能源、土地利用作更有效率的應用，降低生態衝擊；(3) 整合綠能系統，發展多目標生態養殖系統，妥善研擬輔導計畫，以促進台灣西部海岸養殖業產業昇級，增加水、糧食及能源的供應，並可為漁村再造，永續發展目標貢獻心力。

## 誌謝

感謝科技部補助本跨領域研究計畫 (MOST-107-2627-M-002-012, MOST 107-2621-M-002-004-MY3)；特別感謝台灣大學盧虎生院長、胡明哲教授、范致豪教授、周研來博士、蔡文炳博士、林恒玥、溫庭玄、成功大學黃泰霖助理教授及農業試驗所姚銘輝博士等於本計畫研究中的貢獻與協助。

## 參考文獻

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2014). The Water Energy Food Nexus: a New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture.
2. Chang, N.B., Hossain, U., Valencia, A., Qiu, J., and Kapucu, N. (2020). The role of food-energy-water nexus analyses in urban growth models for urban sustainability: A review of synergistic framework. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102486.
3. Helmstedt, K.J., Stokes-Draut, J.R., Larsen, A.E., and Potts, M.D. (2018). Innovating at the food, water, and energy interface. *Journal of Environmental Management*, 209, 17-22.
4. Broto, V. C., Allen, A., and Rapoport, E. (2012). Interdisciplinary perspectives on urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology*,

- 16(6), 851-861.
5. Huang, L.C., Chen, Y.H., Chen, Y.H., Wang, C.F., and Hu, M.C. (2018). Food-Energy Interactive Tradeoff Analysis of Sustainable Urban Plant Factory Production Systems. *Sustainability*, 10(2), 446.
6. Uen, T.S., Chang, F.J., Zhou, Y.L., and Tsai, W.P. (2018). Exploring synergistic benefits of Water-Food-Energy Nexus through multi-objective reservoir optimization schemes. *Science of the Total Environment*, 633, 341-351.
7. Auerswald, P., Branscomb, L.M., La Porte, T.M., Michel-Kerjan, E., and MICHEL-KERJAN, E. R. M. A. N. N. (2005). The challenge of protecting critical infrastructure. *Issues in Science and Technology*, 22(1), 77-83.
8. Smajgl, A., Ward, J., and Pluschke, L. (2016). The water-food-energy Nexus-Realising a new paradigm. *Journal of Hydrology*, 533, 533-540.
9. Zhang, C., Chen, X., Li, Y., Ding, W., and Fu, G. (2018). Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. *Journal of Cleaner Production*, 195, 625-639.
10. Chang, F.J., Wang, Y.C., and Tsai, W.P. (2016). Modelling intelligent water resources allocation for multi-users. *Water resources management*, 30(4), 1395-1413.
11. Chang, F. J. (2018). Optimizing Water Resource Allocation for Food and Energy Linkages under Urbanization. *Impact*, 2018(6), 20-22.
12. Tsai, W.P., Cheng, C.L., Uen, T.S., Zhou, Y. and Chang, F.J. (2019). Drought mitigation under urbanization through an intelligent water allocation system. *Agricultural water management*, 213, 87-96.
13. Chang, L.C., Chang, F.J., Yang, S.N., Tsai, F.E., Chang, T.H., and Herricks, E. E. (2020). Self-organizing maps of typhoon tracks allow for flood forecasts up to two days in advance. *Nature Communications*, 11, 1983.
14. Zhou, Y., Chang, L.C., Uen, T.S., Guo, S., Xu, C.Y. and Chang, F.J. (2019). Prospect for small-hydropower installation settled upon optimal water allocation: An action to stimulate synergies of water-food-energy nexus. *Applied Energy*, 238, 668-682.
15. Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., ... and Yumkella, K. K. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*, 39(12), 7896-7906.
16. Château, P.A., Wunderlich, R.F., Wang, T.W., Lai, H.T., Chen, C.C., and Chang, F.J. (2019). Mathematical modeling suggests high potential for the deployment of floating photovoltaic on fish ponds. *Science of the total environment*, 687, 654-666.
17. Cristiano, E., Deidda, R., and Viola, F. (2021). The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review. *Science of the Total Environment*, 756, 143876.
18. Kao, I.F., Zhou, Y.L., Chang, L.C., and Chang, F.J. (2020). Exploring a Long Short-Term Memory based Encoder-Decoder framework for multi-step-ahead flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 583, 124631.
19. Kow, P.Y., Wang, Y.S., Zhou, Y.L., Kao, I.F., Issermann, M., Chang, L.C., and Chang, F. J. (2020). Seamless integration of convolutional and back-propagation neural networks for regional multi-step-ahead PM2.5 forecasting. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121285.
20. Yuan, M.H., Chiueh P.T., and Lo, S.L. (2021). Measuring urban food-energy-water nexus sustainability: Finding solutions for cities. *Science of the Total Environment*, 752, 141954.
21. Zhou, Y.L., Chang, F.J., Chang, L.C., Lee, W.D., Huang, A., Xu, C.Y., and Guo, S.L. (2020). An advanced complementary scheme of floating photovoltaic and hydropower generation flourishing water-food-energy nexus synergies. *Applied Energy*, 275, 115389.





# 臺灣水資源利用效率初探

周嫦娥／台灣經濟研究院 顧問

面對愈來愈嚴峻的水文條件，臺灣在水利建設和水資源政策上需持續出陳布新因應挑戰。為設定政策目標，監控和評估政策成效，本文參考歐盟國家常用的水資源效率指標，配合國內水資源現有資料，初步選定水資源利用指數、水資源生產力（國家和部門別）和人均生活用水量為水資源效率指標，並以 2000～2019 年台灣水資源資料計算指標值。

由計算結果可知，水資源利用指數 I 顯示台灣水資源利用狀況逐漸改善，但仍處於「水資源具壓力」狀態。水資源利用指數 II 雖逐步下降，但指數居高不下，除顯示地下水長期超抽外，也表示水資源的蓄留能量仍不足以支應水資源需求。

整體用水生產力、工業用水生產力、生活用水效率雖仍有改善空間，但皆有明確的效率提升跡象，此與政府部門推動多年的節約用水、廢水回收再利用等政策有關。農業用水生產力無明顯趨勢，表示其用水效率無明確提升現象，未來加強提升農業用水效率將是降低臺灣水資源壓力的重要環節。

## 前言

台灣主要水源為地面水和地下水，二者的供水比例約為 2：1，其供給受限於降雨量。台灣之降雨量不論是在時間或空間之分配皆不平均，加上地形因素造成河川短促流急，河川水量保持不易，每年逕流入海和蒸發散量高於總降雨量的 80%，可用水量相對稀少。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能力。然與台灣面臨之水文條件相較，既有蓄水設施之抗旱能力依然不夠，只要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。2021 年的「百年大旱」即起因於 2020 年梅雨季節短且雨量少，加上無颱風侵台，形成西半部水庫蓄水量偏低，2021 年春雨量又是有紀錄以來最低，且梅雨偏北發展。事實上，2015 年的「67 年來最嚴重乾旱」亦是因 2014 年夏季無颱風接近臺灣，秋冬降雨少，2015 年春雨又不足所造成。

氣候變遷是全球性的問題，水資源受其影響更顯脆弱，因為氣候異常改變了降雨強度、時間和型態，乾旱和洪災發生的頻率將更高。以台灣本身的水資源環境而言，提供充裕穩定的用水本就是一種挑戰，加

上強度愈來愈大的抗旱防洪需求，無不時考驗著政府之水資源經營管理能力與政策。事實上，政府部門早已意識到在氣候變遷的影響下，維持穩定供水將是愈來愈艱難的任務。因此，近年來不斷地推出強化蓄水能力、區域調度、備源能量、科技造水、保育治理等措施，此些措施於此次抗旱亦發揮了極大效益。而在乾旱稍微緩解之際，水資源主管單位即提出相關檢討，規劃如何精進水資源經營管理策略，擬由建設面、管理面和制度面提出精進作法，以達充足穩定供水和促進水資源永續利用之目標。

臺灣的水文條件愈來愈嚴峻，水資源政策目標和內容勢必要因應外在環境改變而隨時機動調整，政策推動成效亦需適度監控和評估，然國內目前尚缺乏合適的工具設定合理之政策目標並評估政策推動成效。大致上，任何水資源相關政策之最終目的不外乎是合理有效且永續的利用水資源。因此，若能由水資源利用效率的角度來審視台灣水資源利用情形並界定相關效率指標，即可初步檢驗台灣水資源經營管理相關政策的成效。

由於資源效率政策執行較徹底的是歐盟國家，本文首先整理水資源效率指標在歐盟國家的建置情形；其

次，由水文循環的角度說明水資源供給和使用關係，並說明計算指標值所需的各種水量之定義和意義；繼而說明台灣水資源供給和使用情形，配合現有資料，初步選定台灣水資源效率指標，包括水資源利用指數及整體用水、農業用水、工業用水和生活用水等使用效率指標，並估算各指標值，初步評估台灣水資源利用情形和使用效率；最後，提出本文之看法與建議。

### 歐盟水資源效率指標

由於全球人口和經濟持續成長，對水資源之需求日益增長，用水需求結構也因經濟部門間的消長而不斷改變。同時因傳統水源開發困難，水質又不斷惡化，水資源供給面臨極大的壓力。為解決逐漸嚴重的水資源供需失衡問題，各國亟需調整水資源的規劃和管理策略。

早期水資源管理側重於供給面管理，著重於水利工程建設的規劃、興建與管理，特別是蓄水、引水、淨水到輸水等系統的興建和操作。水資源需求多是透過水利工程建設與操作來因應，追求的是供水效率之提升，然對環境生態的關懷較為不足。

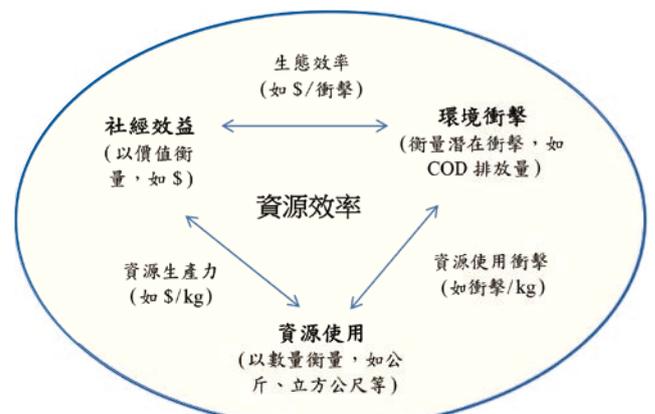
其後，水資源供給面臨傳統水源開發不易，水利建設成本大幅上升，政府財政日漸緊縮等問題。然而在用水需求方面，人口和經濟持續成長，農業用水雖有下降趨勢，工業和生活用水卻大幅提升，加上河川水質惡化，水資源供需失衡的情況愈來愈嚴重。面對此種發展趨勢，水資源供給面管理再也無法單獨解決日趨嚴重的水資源稀少性課題。於是國際上自 1990 年代開始轉而推動水資源需求面管理，期能解決全球性的水資源危機，並確保水資源之永續性。大致上來說，水資源需求面管理著重於提升水資源使用效率和促進水資源合理分配，以降低水資源需求來緩和和資源供給壓力。

當前對水資源影響最深的當屬氣候變遷，全球氣候異常對人類和環境生態所需的水資源系統有著破壞性的衝擊。氣候變遷改變了整體水文條件，水旱災發生的頻率、範圍和強度急遽增加，各地水量因極端氣候而變得極不穩定，氣溫上升使水質更加惡化，對可用水量 (water availability) 產生嚴重衝擊。為確保穩定充足的水資源供給，各國相繼投入龐大資金，加強原有水利建設的更新、擴充和管理，更結合創新科技開發新水源 (例如，廢水回收再利用、海水淡化等)

並改善水質<sup>[1]</sup>。然而，極端氣候造成的水資源供給不確定性和風險有增無減，面對愈來愈高的水資源供給成本，國際上形成的共識是，將水資源政策聚焦為提升用水效率、降低水資源使用的需求面管理措施。

與此同時，國際上 (特別是歐盟國家) 的環境政策亦由以污染防治為主的環境保護，轉為提升資源效率 (resource efficiency) 的資源保育。其主要邏輯為改善資源使用效率可減少資源使用量，保存自然資源存量，降低對環境的衝擊，是兼顧經濟發展和健全自然生態的重要手段，也是永續發展的必要措施。近年來，不少國際組織 (如，聯合國、歐盟、OECD) 為確保經濟、環境、社會和制度等層面是朝向永續發展的方向進展，陸續建構可呈現經濟活動和環境體系因果關係之指標系統做為監控與評估工具，此類指標稱為永續發展指標。

根據永續發展指標的主要精神，歐盟定義 3 種衡量資源效率的指標類型<sup>[2]</sup>，分別衡量 (1) 資源使用效率 (如資源生產力)；(2) 資源使用對環境之衝擊 (如資源使用之特定衝擊)；(3) 資源使用對降低生態壓力之進展 (如生態效益)，如圖 1 所示。資源使用與生產或消費等經濟活動有關，故可由生產面或消費面建構資源使用指標，生產面指標如資源密集度和資源生產力，消費面指標如人均資源消費量。使用自然資源會改變自然環境的狀態，最終可能對環境和人類健康造成負面影響，環境衝擊指標常以資源投入 (如用水量) 和產出 (如廢水排放量) 表示其對特定環境類型 (如優氧化) 之潛在影響。社經效益為資源使用所創造的價值，也是資源使用之原始目的，傳統上多以市場價格衡量。然因資源使用之最終目的在於增進人類福祉並提升生活品質，以市場價格衡量無法顯現資源使用的真正價值。



資料來源：EC<sup>[2]</sup>

圖 1 衡量資源效率之永續指標類型

完整的資源效率指標系統應可同時評估資源使用、環境衝擊和社經效益，以及三者間相互的關連性。然因社經效益和環境衝擊指標涉及資源使用與環境狀態改變的因果關係和外部性，量化方法上尚有諸多困難待克服。在無法完整量化資源效率指標系統的前提下，若假設資源使用效率能持續改善，且能與經濟成長和環境衝擊脫鉤，某種程度上可確保資源使用對社經產生應有之效益，則提升資源使用效率仍可達到資源永續利用目的。因此，在資料有限的情况下，若以資源使用指標（即圖 1 中的資源生產力）來代表資源效率程度，亦可用以評估資源利用是否遵循永續發展原則。

由資源使用效率角度，歐盟提出「資源效率指標框架」將資源使用區分為國內資源使用（domestic resource use）和資源總需求（global resource demand），分別建置指標追蹤歐盟國家資源使用效率的進展<sup>[2]</sup>。國內資源使用指的是國內生產和消費直接使用的資源；因生產產品以資源做為投入，當產品交易時，隱含著同時交易了產品中所具涵（embedded）的資源使用量，也就是間接使用的資源量。資源總需求即是考慮資源的直接和間接使用狀況，定義為國內資源使用量與具涵於國際貿易產品的資源使用量之和。此外，歐盟的資源效率指標框架中，另以資源過度使用會造成資源耗損之概念，將資源使用指標延伸為一種環境衝擊指標。

在前述框架原則下，歐盟建議之水資源使用指標，如表 1 所示。其中，國內水資源使用指標因用水量資料不易取得，以取水量代替；水資源總需求量以水足跡為指標，因為水足跡係由生命週期的角度評估產品之直接和間接用水量。國內水資源利用之環境衝擊指標定為水資源利用指數，該指數為用水量和可再生水量之比。可再生水量（詳見下一小節說明）可視為天然水資源供

給之上限。依定義水資源利用指數通常應小於 1，若大於 1 或指數偏大，則表示水資源壓力過大，甚至有超限利用之疑慮。總水資源利用之環境衝擊指標，以水資源總消費指數代表。

歐盟是最早推動資源效率政策的區域，但推動初期各國並未特別界定「資源效率」之意涵，資源效率經常與「減少資源使用」、「資源永續利用」、「脫鉤」等名詞併用或互用。直至 2015 年歐盟才比較明確定義，資源效率為以永續方式使用自然資源，也就是以更少的資源生產更多的產出，或以明智的方式消費，減少對環境的衝擊<sup>[3]</sup>。學界部分，Dawkins 等人<sup>[4]</sup>由供給面定義資源效率為，使用更少的資源生產相同的產出，並建議以消費者水足跡做為水資源效率指標。

實務上，歐盟環境署（European Environment Agency, EEA）於 2010 年調查包含歐盟國家在內之 31 國發現，由於受限於資料，各國最常用的水資源使用效率指標，包括可再生水資源利用指數、水質和用水量（總量或部門別）<sup>[5]</sup>。其後，歐盟又建議以水資源利用指數和水資源生產力做為水資源效率指標<sup>[3]</sup>，界定水資源利用指數為淡水資源年取水量與長期平均可取得淡水資源量之比，取水量包括農業用水、工業用水和生活用水。水資源利用指數愈大表示用水壓力愈大，表示水資源稀少程度愈高或水資源過度使用；水資源生產力定義為單位取水量生產的產值。

資源效率政策推動至 2015 年，歐盟<sup>[6]</sup>再度將政策重心轉為範圍更廣的循環經濟（circular economy）。循環經濟之基本精神是設法將產品、物質（materials）和資源的價值盡可能保留於經濟體系之內，並盡量減少廢餘物的產生，其政策內容和推動措施因而有些轉變，然而資源效率依舊是循環經濟追求之目標之一。提升水資源使用效率更是部分歐盟國家（如，荷蘭）

表 1 EC 建議之水資源使用指標

資源使用導向（resource use-oriented）		環境衝擊導向（environmental impact-oriented）	
國內水資源使用	水資源總需求	國內水資源使用之環境衝擊	水資源總需求之環境衝擊
水資源消費量 （water consumption）	水資源總需求量 （global water demand）	國內水資源利用 （domestic water exploit）	總水資源利用 （global water exploit）
取水量* （water abstraction）*	水足跡 （water footprint）	水資源利用指數 （water exploitation index）	水資源總消費指數 （global water consumption index）

註：\* 為代理「用水量」之指標。

資料來源：EC<sup>[2]</sup>

的重要政策目標，其所使用之相關水資源指標並無太大差異。

由以上探討可知，國際上（特別是歐盟國家）大致上將資源效率界定為：資源使用應同時增加社經效益並減少環境衝擊，若由生產角度來看，則資源效率為以最少資源生產最多產出。在不考慮水質的情況下，水資源效率指標可歸納為水資源使用效率指標和環境衝擊指標二類，前者包括水資源生產力、水足跡、取水量（總量或部門別）；後者為水資源利用指數或水資源消費指數。

## 水資源之供給與使用

水資源是地球上所有生物賴以維生的最重要資源，可供人類使用的淡水資源卻遠不及地球水資源總量的 1%。與其他不可再生自然資源不同，透過無止境的水文循環，地球上水資源總量一直維持於平衡狀態。海洋、湖泊、河川、土壤及動植物透過蒸發散，將水傳送至大氣，大氣中的水汽凝結成小水滴後形成雲，飄浮於上空，再以降雨、冰雹或降雪等方式，於不同時間回歸至地表上。降回陸地的水資源，部分儲存於湖泊、河川、高山、土壤之中；其餘為植物吸收、補注地下水或逕流入海。如此周而復始的循環，全球水資源總量雖保持不變，但因降雨和降雪的區位和時間不同，水資源在地球上的分布在時間和空間上皆不同。

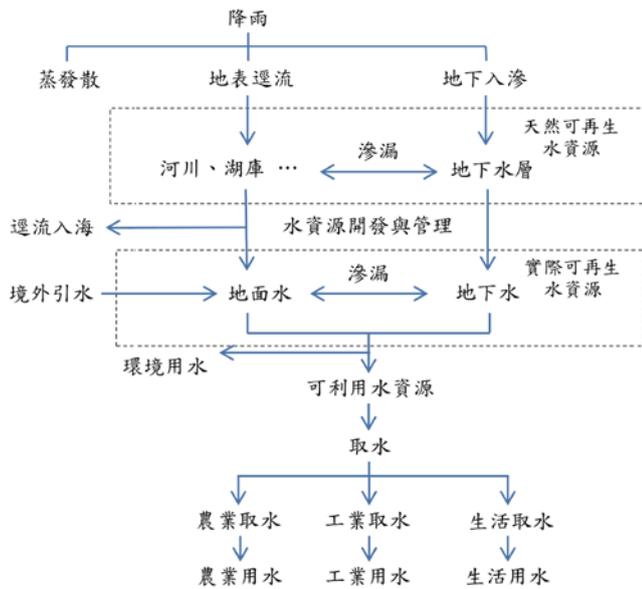
地球表面的水大致上分為海水、半鹹水、地面水和地下水。地面水和地下水統稱為淡水資源，是人類最重要的水源。淡水資源依其與水文循環關係的密切程度進而分為可再生水資源（renewable water resources）和不可再生水資源（non-renewable water resources）。可再生水資源為地面水及可補注之地下水；不可再生水資源為深層地下水（例如，化石水），其補注速度非常緩慢，以人類時間尺度來看，幾無補注可言。可再生水資源透過水文循環不斷再生，與森林、漁類等可再生資源相似，若管理與利用得宜，應生生不息。深層地下水因補注幾近於零，與其他不可再生自然資源類似，若持續汲取使用，終有耗盡之時。

本文所探討之水資源為可再生水資源，亦即排除深層地下水之地面水和地下水，也就是一般所稱之淡

水資源。地球上的水資源透過水文循環，在量的方面可不斷再生達到平衡。然而，水資源被使用後會被污染變為廢污水，無法直接為人類使用，也會對環境生態造成嚴重損害，降低其生態服務功能。水質是水資源利用的關鍵因素，特別是當水資源日益稀少時，廢水的回收再利用成為解決缺水問題的重要措施。然因國內之水質和水量分屬不同部會管轄，相關統計數據的定義和範圍不一定相互吻合，整合不易，故本文僅由水量角度探討水資源效率相關課題。

根據聯合國 FAO（Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003）<sup>[7]</sup>，可再生水資源又分為天然可再生水資源（natural renewable water resources）和實際可再生水資源（actual renewable water resources）。天然可再生水資源為由水文循環產生的地面水和地下水，為一個國家自然產生的水資源總量。實際可再生水資源為考慮周邊國家相連水系與水資源共用情況後（如，上游國家的取水、為下游國家保留的河川水量）之水資源總量。內部可再生水資源（internal renewable water resources）為一國內部降雨所產生的地面水和地下水；外部可再生水資源（external renewable water resources）為上游（或鄰近）國家經由河川或地下水層流入境內的水資源。台灣為一島國，無陸地相連之鄰國，因而無天然流量產生之外部水資源，亦即內部可再生水資源等於實際可再生水資源，也等於天然可再生水資源。但需特別說明的是，台灣雖無天然流量產生之外部可再生水資源，但透過協議自 2018 年 8 月起由大陸境外引水至金門地區，因目前境外引水量與國內總取水量相比，比例甚低，且僅有 2 年份數據，故本文於計算水資源效率指標時略而不計其水量。

降於地表的水資源並非皆可供人類利用，因氣候、地形、地理位置、人口聚集型態、經濟發展程度等因素，降雨需經過水利設施之截流、儲存、取水、淨水和送水等過程後方能為人類使用。換言之，天然可再生水資源需經過水資源開發與管理過程才能成為可利用水資源（exploitable water resources）。因此，一個國家之可利用水資源遠少於天然可再生水資源，也較實際可再生水資源少。圖 2 以臺灣為例，呈現水資源之供給與使用狀況，降雨量扣除蒸發散量後為天然可再生水資源量，即等於河川逕流量加上水資源入滲量。台灣因山高地



資料來源：本文繪製

圖 2 台灣水資源之供給與使用狀況

狹，地形陡峭，依賴水庫壩堰等大型蓄水設施蓄集部分地表逕流，其餘大部分的地表水量逕流入海。根據水利署的統計，地下水入滲量為淨入滲量，亦即已扣除河川和地下水的側滲透量（交換量），故河川和水庫等地面水加上地下水入滲量即為可利用水資源量。

水資源使用主要包括農業用水、生活用水、工業用水和環境用水，環境用水指的是為維護健全生態體系所需的留川水量，也就是維持河川正常機能所需之水量，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，水利署將此種環境用水稱為保育用水，曾將每 100 平方公里河川生態基流量定為 0.135 立方公尺 / 秒。然近年水利署的「水資源運用狀況圖」已無保育用水量之統計，因資料受限，本文無法另行估算保育用水。因此，假設保育用水已先保留於河川，則可利用水資源量最後僅提供農業用水、生活用水和工業用水。

可再生水資源可說是天然條件賦予的水資源供給總量，可利用水資源是在特定水資源開發與管理能力下的最大水資源供給量，取水量則是在特定水資源開發與管理能力下的實際水資源供給總量。取水量和可利用水資源占可再生水資源量之比可呈現一國的水資源管理與利用能力，亦可用以判斷水資源是否過度利用而對環境造成衝擊。

經濟體系內的用水大致上可分為農業用水、工業

用水和生活用水，其用水量總和稱為水資源需求量。地面水和地下水汲取後，需經過送水、淨水、輸水等過程方能被用水人使用。因此，取水量與用水量並不相等，但因用水量數據取得不易，本文循國際習慣以取水量替代。

## 台灣水資源效率指標之擇定與計算

台灣地區降雨多集中於 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。台灣降雨量不論在時間或空間的分配皆不平均，加上河川短促流急，水量保持不易。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能力，但既有設施之蓄水量仍無法完全支應用水需求，河川末段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補足。

自 2000 年至 2019 年台灣平均年降雨量為 933.1 億立方公尺（見表 2），最低為 2002 年的 565.9 億立方公尺，最高為 2005 年的 1,284.5 億立方公尺，各年間變動幅度相當大。資料期間之平均年蒸發散量約占平均年降雨量的 22%，入海量約占 60%，可供利用水資源占比不高，約占 18%。取水量依序來自於河川引水量、地下水抽取量和水庫供水量，各占總取水量之 45.7%、29.6% 和 24.7%。各年總取水量皆高於可供利用水量，資料期間之平均年地下水超抽水量約為 5.77 億噸。

根據前述 FAO 對各種水資源量之定義，以及表 2 之台灣水資源供給和取水量數據，台灣之可再生水資源量、可利用水資源量和取水量，可以下列各式計算：

可再生水資源量

$$\begin{aligned} &= \text{天然可再生水資源量} \\ &= \text{內部可再生水資源量} \\ &= \text{河道逕流量} + \text{地下水入滲量} \end{aligned}$$

可利用水資源量

$$\begin{aligned} &= \text{河道逕流量} + \text{地下水入滲量} - \text{入海量取水量} \\ &= \text{水庫供水量} + \text{河川引水量} + \text{地下水抽用量} \end{aligned}$$

表 3 為 2000 年至 2019 年台灣可再生水資源量、可利用水資源量、取水總量和各人均量之計算結果，其中，人均水量係以各類水資源量除以主計總處用以估算

表 2 台灣水資源供給與取水概況

單位：億立方公尺

年度	降雨量	蒸發量	河道逕流量	入海量	水庫供水	河川引水量	地下水入滲量	地下水超抽量	地下水抽用量	海淡水	境外引水	總取水量
2000	840.00	201.00	599.00	478.00	50.00	71.00	40.00	17.00	57.00			178.00
2001	1,107.70	232.60	824.60	694.70	47.90	82.00	50.50	4.40	54.90			184.80
2002	565.90	93.10	422.30	289.70	39.90	92.70	50.50	3.90	54.40			186.90
2003	608.00	92.07	465.47	343.32	37.47	84.68	50.46	3.34	53.80			175.95
2004	925.92	243.61	631.81	509.38	36.59	85.84	50.50	4.91	55.41			177.84
2005	1,284.48	248.97	985.01	861.76	46.11	77.14	50.50	4.76	55.26			178.51
2006	1,023.84	264.76	708.58	589.67	51.65	67.26	50.50	4.63	55.13			174.04
2007	1,166.76	177.72	938.54	811.16	43.47	83.91	50.50	7.81	58.31			185.69
2008	1,089.00	253.68	784.82	663.33	34.24	87.25	50.50	7.79	58.29			179.78
2009	896.04	232.68	612.86	480.37	48.86	83.63	50.50	7.63	58.13			190.61
2010	852.48	177.11	624.87	511.55	34.57	78.75	50.50	6.82	57.32			170.64
2011	828.00	191.48	586.02	470.96	41.14	73.84	50.50	6.62	57.12			172.18
2012	1,130.04	232.54	846.98	730.56	41.07	75.36	50.50	6.28	56.78			173.20
2013	985.60	225.28	709.88	593.03	42.66	74.19	50.52	5.55	56.07	0.07		172.99
2014	691.56	179.99	461.05	347.65	43.44	69.96	50.52	4.64	55.16	0.07		168.64
2015	794.16	201.43	542.21	437.24	28.76	76.21	50.52	4.67	55.19	0.07		160.25
2016	1,180.08	249.01	880.55	769.69	41.59	69.27	50.52	4.00	54.52	0.07		165.46
2017	936.36	154.35	731.40	619.40	42.34	69.66	50.61	3.76	54.37	0.07		166.45
2018	872.28	207.03	614.73	501.93	42.54	70.26	50.52	3.72	54.23	0.07	0.01	167.13
2019	882.00	182.27	649.21	535.58	41.00	72.63	50.52	3.11	53.63	0.09	0.04	167.39
平均	933.01	202.03	680.99	561.95	41.77	77.28	49.98	5.77	55.75			174.82

資料來源：經濟部水利署，水利統計年報，2001~2014；2014~2019年資料由水利署提供。

表 3 台灣之可再生水資源、可利用水資源和取水量

年度	可再生水資源		可利用水資源		取水量	
	總量 (億 M <sup>3</sup> )	人均量 (M <sup>3</sup> /人/年)	總量 (億 M <sup>3</sup> )	人均量 (M <sup>3</sup> /人/年)	總量 (億 M <sup>3</sup> )	人均量 (M <sup>3</sup> /人/年)
2000	639.0	2,880.39	161.0	725.73	178.0	802.36
2001	875.1	3,916.99	180.4	807.48	184.8	827.17
2002	472.8	2,104.78	183.1	815.11	186.9	832.03
2003	515.95	2,286.65	172.61	765.02	175.95	779.83
2004	682.30	3,012.83	172.93	763.59	177.84	785.28
2005	1,035.51	4,555.75	173.75	764.42	178.51	785.36
2006	759.08	3,325.88	169.41	742.26	174.04	762.55
2007	989.04	4,315.66	177.88	776.18	185.69	810.26
2008	835.32	3,632.19	171.99	747.86	179.78	781.73
2009	663.36	2,874.38	182.99	792.91	190.61	825.92
2010	675.37	2,918.51	163.82	707.92	170.64	737.39
2011	636.52	2,744.39	165.56	713.82	172.18	801.55
2012	897.48	3,856.75	166.92	717.31	173.20	742.36
2013	760.40	3,257.27	167.37	716.95	172.99	744.03
2014	511.57	2,185.86	163.92	700.40	168.64	720.57
2015	592.73	2,526.24	155.49	662.71	160.25	682.99
2016	931.07	3,959.31	161.38	686.26	165.46	703.61
2017	782.01	3,319.86	162.61	690.33	166.45	706.63
2018	665.25	2,821.24	163.32	692.62	167.13	708.78
2019	699.73	2,965.46	164.15	695.67	167.39	709.40
平均	730.98	3,173.02	169.03	734.23	174.82	759.48

資料來源：1. 經濟部水利署，水利統計年報，1998~2014；2014~2019年資料由水利署提供；  
2. 主計總處，國民所得統計常用資料，2021；  
3. 本文計算。

人均 GDP 的各年「期中人口數」。可再生水資源不論是總量或人均量之變動幅度皆較大，主要原因是可再生水資源深受降雨影響。除 2005 年可再生水資源量超

過 1,000 億立方公尺外，其他年度約介於 473 至 989 億立方公尺之間。可再生水資源量低於 600 億立方公尺的 2002 年、2003 年、2014 年和 2015 年皆是台灣乾旱嚴

重的年份，對蓄水不易的台灣而言，水資源之管理與利用確實面臨愈來愈頻繁且嚴峻的挑戰。台灣之可利用水資源和取水量則相對較為穩定，表示以當前的水利設施和管理策略，每年可由大自然汲取並利用的水量較天然降雨量的變動幅度穩定，同時也顯示水資源需求量（用水量）也相對穩定。資料期間平均約有 24.12% 的可再生水資源成為可利用水資源，但降雨較少年份（如，2002 年、2003 年、2014 年和 2015 年）此比例則較高（2002 年為 38.73%、2003 年為 33.45%、2014 年為 32.05%，2015 年為 26.23%），顯示乾早年需以強度更大的水資源措施或作法才能滿足用水所需水量。

由表 2 可看出，自 2013 年起海淡水成為台灣的水源之一，海淡水和再生水皆是透過科技產生的新水源，與傳統水源不同，稱為非傳統水源。衡量非傳統水源之使用效率需考慮的因素與傳統水源不同，且因目前其水量仍偏小，故本文暫不考慮此類非傳統水源。因而部分水資源供給量和取水量因不納入非傳統水源和境外引水，可能有些許誤差，然比例很小對指標值的影響不大。

理論上，取水量應小於可利用水資源量，但資料期間台灣每年取水量皆高於可利用水資源量，主要因為地下水抽用量超過地下水入滲量，也就是地下水有超限利用的情形。台灣地下水長期處於超抽狀況，是導致西南沿海地區和屏東沿海地區地層持續下陷的主因。表 2 顯示 2000 年之後地下水超抽量大幅下降，然因地下水抽用量並無太大變化，由資料上判斷，應是地下水入滲量估算造成的差異。

本文參考國際上的水資源效率指標，並檢視台灣可供量化此類指標之水資源相關統計資料後，暫選定水資源利用指數（又分指數 I 和指數 II）、水資源生產力（國家和部門別），以及人均生活用水量為水資源效率指標。水資源利用指數可用來評估水資源使用壓力，甚至審視是否超限利用，故可視為一種資源使用對環境衝擊指標；水資源生產力為生產面水資源使用效率指標；人均生活用水量為消費面之水資源使用效率指標。前述各項指數 / 指標計算方式界定如下：

水資源利用指數 I = 年取水量 / 長期平均可再生水資源量

水資源利用指數 II = 年取水量 / 長期平均可利用水資源量

全國用水生產力 = 全國 GDP / 總取水量（元 / 立方公尺）

農業用水生產力

= 農業 GDP / 農業用水取水量（元 / 立方公尺）

工業用水生產力

= 工業 GDP / 工業用水取水量（元 / 立方公尺）

人均生活用水量

= 生活用水取水量 / 人口數（立方公尺 / 人 / 年）

需特別說明的是，本文以取水量替代用水量，後續說明此二名詞將互用。另外，生產面水資源使用效率指標亦可以國家或部門別之用水密度表示，用水密度為生產單位 GDP 所需使用的水量，為生產力的倒數。

以 2000 ~ 2019 年 20 年間之平均可再生水資源量和平均可利用水資源量，做為水資源利用指數公式中的長期平均可再生水資源量和長期平均可利用水資源量，即可計算台灣的水資源利用指數 I 和水資源利用指數 II，結果如表 4 所示。依照定義，取水量應小於可利用水資源量，可利用水資源量小於可再生水資源量。因此，若水資源利用合理，原則上水資源利用指數 I 和水資源利用指數 II 通常皆小於 1（100%）。

表 4 歷年台灣水資源利用指數值

年度	水資源利用指數 I	水資源利用指數 II
2000	0.2435 (24.35%)	1.0531 (105.31%)
2001	0.2528 (25.28%)	1.0933 (109.33%)
2002	0.2557 (25.57%)	1.1057 (110.57%)
2003	0.2407 (24.07%)	1.0409 (104.09%)
2004	0.2433 (24.33%)	1.0521 (105.21%)
2005	0.2442 (24.42%)	1.0561 (105.61%)
2006	0.2381 (23.81%)	1.0296 (102.96%)
2007	0.2540 (25.40%)	1.0986 (109.86%)
2008	0.2459 (24.59%)	1.0636 (106.36%)
2009	0.2608 (26.08%)	1.1277 (112.77%)
2010	0.2334 (23.34%)	1.0095 (100.95%)
2011	0.2355 (23.55%)	1.0186 (101.86%)
2012	0.2369 (23.69%)	1.0247 (102.47%)
2013	0.2367 (23.67%)	1.0234 (102.34%)
2014	0.2307 (23.07%)	0.9977 (99.77%)
2015	0.2192 (21.92%)	0.9481 (94.81%)
2016	0.2264 (22.64%)	0.9789 (97.89%)
2017	0.2277 (22.77%)	0.9847 (98.47%)
2018	0.2286 (22.86%)	0.9888 (98.88%)
2019	0.2290 (22.90%)	0.9903 (99.03%)
平均	0.2392 (23.92%)	1.0343 (103.43%)

資料來源：表 3，本文計算。

水資源利用指數可評估水資源壓力和水資源是否超限利用，可視為水資源利用對環境影響之指標。歐盟 [2] 建議取水量占可再生淡水資源之比（即水資源利用指數 I）應小於 20%。同時建議：水資源利用指數 I 在 10% ~ 20% 間為「低度水資源壓力」(low water stress)，20% ~ 40% 為「水資源具壓力」(stress on water resources)，大於 40% 為「嚴重水資源壓力」(severe water stress)。若以此為標準，台灣屬指數介於 20% ~ 40% 的「中度水資源壓力」地區。水資源利用指數 I 於資料期間雖有浮動，但長期來看有漸減之趨勢，表示水資源壓力漸減，此可能與水利署推動新興水源和節約用水措施有關。

台灣水資源利用指數 II 長期來看有下降趨勢，但指數偏高且在 2014 年以前各年甚至大於 1，如前所述，主因為地下水超抽。2014 年之後水資源利用指數 II 雖小於 1，但仍然極度偏高，顯示水資源壓力仍頗高，未來需持續增加水量蓄留能力或由使用端促進用水效率提升。大致上，台灣地下水資源利用仍處於一種不永續狀態，地下水的有效管理和管制仍是政府應當持續著力改善之處。

水資源使用主要包括農業用水、生活用水、工業用水和保育用水。台灣全年的保育用水量估計約 15 億立方公尺<sup>[8]</sup>，但水利署歷年之水利統計並未單獨估算保育用水量，判斷其水量應是合併於河川流量。因而台灣之取水量僅供農業、生活和工業使用，以下本文繼續以 3 大用水標的探討並計算相關效率指標值。台灣歷年農業用水、生活用水、工業用水之取水量與取水量占比，如表 5 所示。

整體而言，資料期間台灣總取水量介於 160 ~ 191 億立方公尺之間，各年取水量雖起伏不定，但長期呈現緩步下降的趨勢。若將資料期間進一步切割為前後各 10 年，則 2000 ~ 2009 年之平均總取水量為 181.21 億立方公尺，2010 ~ 2019 年為 168.43 億立方公尺，下降幅度更為明顯；農業取水量呈現與總取水量類似的走勢，亦有下降趨勢，但占總取水量比例穩定偏高，多介於 70% ~ 72% 之間；生活取水量自 2001 年達到高點的 37.3 億立方公尺後，持續穩定下降至近年略低於 32 億立方公尺，占總取水量的比例自 2006 年起皆在 20% 以下；工業取水量呈現微幅浮動而無明顯趨勢，介於 15 ~ 19 億立方公尺之間，取水比例自 2000 年起皆在 10% 以下。

表 5 台灣各用水標的之用水結構

單位：億立方公尺(%)

年度	總取水量	農業取水量	生活取水量	工業取水量
2000	178.00	123.00 (69.10)	36.00(20.22)	19.00 (10.67)
2001	184.80	130.10 (70.40)	37.30 (20.18)	17.40 (9.42)
2002	186.90	134.11 (71.75)	35.18 (18.82)	17.70 (9.47)
2003	175.95	124.34 (70.67)	35.53 (20.19)	16.08 (9.14)
2004	177.84	126.04 (70.87)	35.26 (19.83)	16.54 (9.30)
2005	178.51	127.82 (71.60)	35.25 (19.75)	15.44 (8.65)
2006	174.04	122.38 (70.32)	35.91 (20.63)	15.75 (9.05)
2007	185.69	133.59 (71.94)	35.66 (19.20)	16.44 (8.85)
2008	179.78	129.60 (72.09)	33.50 (18.63)	16.68 (9.28)
2009	190.61	141.48 (74.22)	33.62 (17.64)	15.51 (8.14)
2010	170.64	122.05 (71.52)	32.56 (19.08)	16.03 (9.39)
2011	172.18	124.35 (72.22)	32.31 (18.77)	15.52 (9.01)
2012	173.20	125.25 (72.32)	31.86 (18.39)	16.10 (9.30)
2013	172.99	124.68 (72.07)	31.92 (18.45)	16.39 (9.47)
2014	168.64	120.31 (71.34)	31.97 (18.96)	16.36 (9.70)
2015	160.25	112.82 (70.40)	31.42 (19.61)	16.01 (9.99)
2016	165.46	117.34 (70.92)	31.83 (19.24)	16.29 (9.84)
2017	166.45	118.43 (71.15)	31.47 (18.91)	16.54 (9.94)
2018	167.13	118.90 (71.14)	31.56 (18.88)	16.67 (9.97)
2019	167.39	118.82 (70.99)	31.86 (19.03)	16.71 (9.98)
平均	174.82	124.77 (71.37)	33.60 (19.22)	16.46 (9.42)

資料來源：同表 2。

表 6 台灣各用水標的水資源使用效率

年度	整體用水生產力 (元/立方公尺)	農業用水生產力 (元/立方公尺)	工業用水生產力 (元/立方公尺)	人均年生活用水量 (立方公尺/人/年)
2000	554.1	29.9	1,350.6	162.3
2001	526.2	27.1	1,370.5	167.0
2002	548.9	28.2	1,488.6	156.7
2003	607.6	30.0	1,794.2	157.5
2004	643.0	28.0	1,935.2	155.7
2005	675.0	26.4	2,237.2	155.1
2006	732.3	30.8	2,353.2	157.3
2007	733.4	28.2	2,539.8	155.6
2008	763.6	29.1	2,509.8	145.7
2009	708.6	25.9	2,631.1	145.7
2010	872.6	30.7	3,092.6	140.7
2011	896.6	31.5	3,381.7	139.3
2012	911.1	30.3	3,411.1	136.9
2013	934.8	30.9	3,452.3	136.7
2014	1,004.2	32.7	3,779.4	136.6
2015	1,072.3	32.1	3,896.9	133.9
2016	1,061.0	27.9	3,973.1	135.4
2017	1,089.6	29.9	4,098.9	133.6
2018	1,115.4	31.2	4,170.7	133.8
2019	1,146.7	30.6	4,227.0	135.0
平均	829.9	29.6	2,884.7	146.0

資料來源：1. 經濟部水利署，歷年水利統計年報，1998~2014年；2014~2019年資料由水利署提供；  
 2. 行政院主計總處，國民所得統計常用資料，2021；  
 3. 行政院主計總處，歷年國內各業生產與平減指數，2021；  
 4. 本文計算。

以台灣用水數據、全國實質 GDP、農業實質 GDP、工業實質 GDP 和各年「期中人口數」等資料，可計算生產面效率指標：整體用水生產力、農業用水生產力和工業用水生產力，以及消費面效率指標人均年生活用水量，結果如表 6 所示。

除 2001 年、2002 年和 2009 年短暫下降外，整體用水生產力長期呈現上升趨勢，表示國內整體用水效率逐步提高；農業用水生產力短期波動較為頻繁，長期趨勢較不明顯，大致上農業用水效率並無明確提升趨勢；工業用水生產力於資料期間呈現穩定上升趨勢，顯示用水效率明確提升；人均年生活用水量除 2000 年和 2019 年之外，與工業用水生產力之走向雷同，呈現明確的下降趨勢，表示生活用水效率持續提高。不過由於生活用水包含家庭用水、商業用水、機關用水、公共用水和都市活動用水等，受到人口成長、經濟發展、生活型態、天候氣溫等因素影響。其中，經濟成

長會導致商業用水量增加，與節約用水對用水量之影響有反向關係，解讀上應特別謹慎。綜言之，整體用水效率、在資料期間雖偶有浮動，但長期呈現用水效率提升的現象；工業用水效率和生活用水效率明確提升；農業用水效率則無明確提升狀況。

特別需提醒的是，用水效率不宜跨部門比較，以農業用水和工業用水為例，資料期間工業用水平均生產力約為農業用水平均生產力的 10 倍。此結果不能做為認定農業用水較工業用水不效率的判斷基準，因為農業部門肩負糧食安全、三生功能、生態環境、傳統文化等其他功能，其重要性不能僅以生產力表示。相對地，水資源使用效率較適用於部門內評估，以審視部門用水效率隨時間變化情形。在政策制定時整體或部門用水效率指標值亦可用來設定政策目標，例如，政策目標為於特定時間點，工業用水效率提升 20%，生活用水量減少 10% 等。

## 結語

本文參考國際上常用的水資源效率指標配合國內水資源現有資料，選定包括水資源利用指數 I、水資源利用指數 II、水資源生產力（國家和部門別），以及人均生活用水量為水資源效率指標，並以 2000 ~ 2019 年資料計算指標值。由水資源利用指數 I 之計算結果來看，長期而言台灣水資源利用狀況有逐漸改善的情形，但仍處於水資源具壓力狀態。台灣的水資源利用指數 II 雖亦逐步下降，但指數值居高不下，其原因除地下水長期超抽外，也表示台灣水資源的蓄留能量仍難以支應水資源需求。

水資源使用效率部分，整體用水生產力、工業用水生產力和生活用水效率雖仍有改善空間，但已有明確效率提升的跡象。工業用水效率逐年提升，應與政府持續推動用水計畫審查制度、節約用水措施，以及廢水回收再利用等措施有關。另自 2000 年之後台灣人均年生活用水量持續下降，但若換算成每人每日平均用水量，接近 400 公升，與世界各國比較仍偏高。主要和台灣水價無法充分反映真正供水成本可能有關，過低的水價容易予人水資源非珍貴資源的錯覺，更遑論提供節水誘因。占比超過 70% 的農業用水長久以來一直是各方關切的焦點，計算結果顯示台灣農業用水效率並無明確提升的狀況。若能加強提升農業用水效率，對降低台灣水資源壓力將有莫大幫助，亦是解決台灣水資源問題不可忽視的重要環節。

水資源效率指標僅能初步提供用水效率狀況和趨勢等資訊，若要真正提高水資源效率，則需繼續探討效率偏低的原因，特別是評估目前台灣水資源使用是否與經濟成長和環境衝擊脫鉤，以確認水資源利用符合永續發展原則。另外，台灣水資源利用之根本課題在於區域性水資源不足和不均，以及氣候變遷帶來的缺水風險。在水資源供給面管理無法單獨解決這些課題時，提升用水效率與水資源合理配置應是確保水資源無缺的重要工作，甚至是提高國家經濟競爭力和綠色競爭力的根本要求。

本文所計算的水資源效率指標值使用的是全國資料，無法反映區域或流域不同水資源壓力狀況，也就是這些指標無法反映水資源在時間和空間上不平均所產生區域性壓力。另外，目前選出的指標雖可做為政策目標設定的工具，但尚無法提供政策監控和細部評

估功能。欲達這些目的，水政單位需建置更完整且解析度更高的水文和用水統計系統。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、滲透量與取水量等之外，尚須有非傳統水源的來源與去處之相關資訊；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、放流量和放流地點等。聯合國於 2012 年出版的水資源環境與經濟帳系統（SEEA-Water），以國民會計制度（System of National Accounts）的基本架構為基礎建置各類水資源帳，描述傳統和非傳統水資源於經濟體系、環境體系，以及經濟體系與環境體系間的流量和存量。未來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，方能提供落實水資源經營管理和規劃所需之細部資料。

## 參考文獻

1. EEA (2007), Climate Change and Adaptation Issues, Technical Report No. 2/2007, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
2. EC (2012), Assessment of Resource Efficiency Indicators and Targets, prepared by BIO Intelligence Service, Institute for Social Ecology and Sustainable Europe Research Institute, European Commission, DG Environment.
3. EU (2015), EU Resource Efficiency Scoreboard 2014, European Union.
4. Dawkins, E., K. Roelich, J. Barrett, and G. Baiocchi, (2010), Securing the Future – The Role of Resource Efficiency, WRAP, UK.
5. EEA (2011), Resource Efficiency in Europe: Policies and Approaches in 31EEA Member and Cooperating Countries, EEA Report No.5/2011, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
6. EEA (2020), Resource Efficiency and the Circular Economy in Europe 2019 – Even More for Less, EEA Report No.26/2019, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
7. FAO (2003), Review of World Water Resources by Country, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
8. 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](http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/WaterInfo/wrproj/main/main.htm) 

歡迎加入學會



www.ciche.org.tw  
下載入會申請書



中國土木工程學會  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

e-mail: service@ciche.org.tw  
電話：(02) 2392-6325  
傳真：(02) 2396-4260



# 國際水利產業 發展趨勢與 台灣水利產業 推動策略

洪志銘／中華經濟研究院第三研究所 助研究員

本文針對水利國際發展趨勢進行整理，從聯合國 2030 年永續發展目標（SDGs）對於水資源的規劃目標，與國際水協會（IWA）提出未來 10 年的水利產業趨勢，以及近年水利相關國際會議的議程，總結得到氣候變遷、循環經濟與數位科技應用，是全球水利產業面臨的三大發展趨勢；再從英國公布的 2050 創新策略，瞭解英國如何應對其所面臨的水利挑戰。其次，本文說明了臺灣水利產業的調查研究成果與現況。最後，結合國際水利發展趨勢，提出了臺灣水利產業發展的願景與四項發展策略的建議。

## 國際水利發展趨勢

聯合國於 2015 年宣布的「2030 年永續發展目標」，將「淨水與衛生」設定為其中一項核心發展目標。為達到乾淨、永續的水資源利用，具體行動除了協助發展中國家的衛生與水利基礎設施工程興建外，更鼓勵對低耗能、高用水效率的技術研發進行投資，以及探索替代水源、增進水資源的循環利用，降低環境變遷對水源獲取的影響。

Water Europe (2017) 指出歐洲水資源利用的願景是以「水資源多元開發利用」為核心，透過研發新的水處理技術，降低開發替代水源的成本（替代水源包含鹹淡水、海水、雨水，以及汙廢水），提升替代水源的市場競爭力，並適時地補充天然水源的儲存量，最終達到降低對淡水等天然水源的依賴性，有效降低氣候變遷造成的損失，並因水利工程、技術的提升對整體經濟環境產生正面的影響。此外，隨著水處理技術的提升，技術上已可以從廢汙水中提取稀有化學物質、礦物肥料（如：廢汙水中的磷酸鹽等礦物肥料），為回收資源開拓新市場。

全球水情報組織（Global Water Intelligence, GWI）（2018）在每五年一次的水利市場投資成長率預測，指出在 2017 至 2022 年各國公部門與企業對於替代水源與智慧解決方案的投資有較高成長率，其中又以有關水務資料的管理與分析的投資成長率最高（圖 1），反映了水利部門對物聯網應用的高度期待。

為因應「2030 年永續發展目標」與水利產業的發展趨勢，Water Europe 在 2019 年《Water and Agenda 2030》明確指出水資源管理之目的為實現社會公平，提供具備持續性和對經濟有益的用水環境，企業營運將設法減輕用水風險，促進社會經濟發展與保護環境。因此，商業投資和創新之重點將側重於降低成本與提高用水效率，例如投資水循環利用技術或探索替代水源。

此外，國際水協會（International Water Association, IWA）於 2020 年指出水利產業未來 10 年所面臨的五大趨勢，包含應對極端氣候之影響、保護農業生產、以客戶為導向的經營模式轉變，以及告別以往取水利用至廢水排放的線性用水模式，朝向廢水再利用的循環經濟邁進，最後為智慧資訊技術的應用（表 1）。

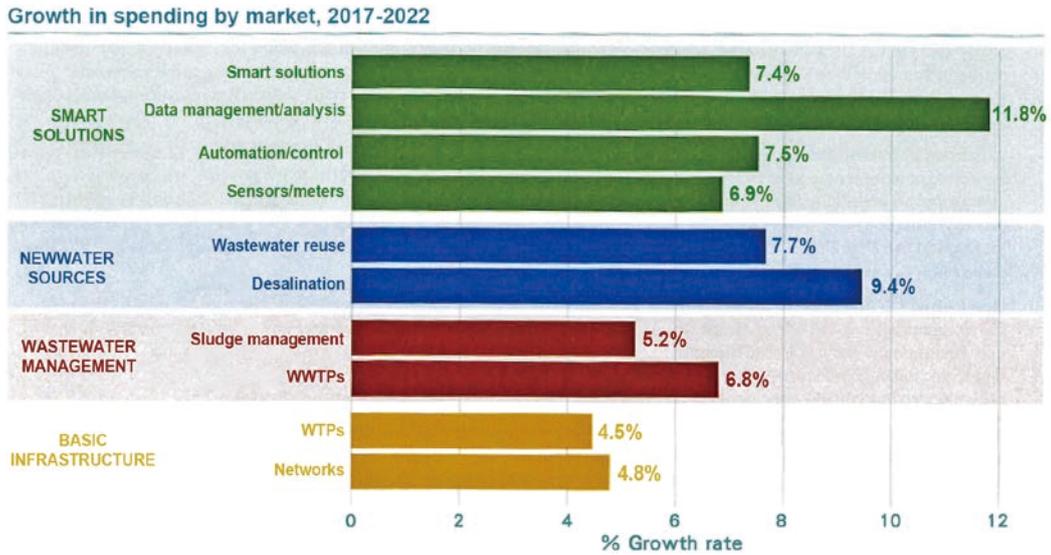


圖 1 GWI 2017 至 2022 水利市場投資成長率預測  
資料來源：The Global Water Market in 2018

關於水位資訊對於水利市場的影響，Water Europe (2020) 指出引入數位資訊技術對於歐洲的水利應用，確實能有效提高用水效率與降低損耗、防止故障、提高工業和公共事業部門成本效益。對於提供數位資訊技術的業者來說，未來水利產業市場具有龐大的商機，但隨著水務相關資訊的雲端數位化，亦衍伸出資訊安全的問題。未來為實現具備安全與永續性的智能水社會，商業投資和創新的重點在於能降低成本和提高用水效率的智慧技術相關領域。

再從今年 (2021) 與明年舉辦的水利國際會議觀察，國際水協會 (IWA) 在今年舉辦的「2021 年世界

數位水利會議」(IWA Digital World Congress) 主題，針對水資源的管理結合了傳統既有議題，分成「公共供水事業」、「汙水處理與資源回收」、「廢水可飲用設計」、「都市水資源規劃」、「利益關係人溝通」、「水源開發與管理」探討如何結合資訊數位科技，提升水資源的使用效率。

同樣在今年舉辦的「新加坡國際水週」(Singapore International Water Week, SIWW)，在會議安排上分別以水利產業的創新到實踐系列議題 (Innovation to Practice (I2P) Series)，以及主題網路研討會 (Thematic Webinars (TW))，探討公營事業供水與私部門的水營

表 1 五大影響水利產業未來 10 年之發展趨勢

	趨勢	內容
1	應對極端氣候	應對日益嚴重的極端氣候所引發的乾旱與洪災，對農業生產、沿海居住地區造成危害，急需建立防災預警模型。
2	保護農業生產	至 2050 年世界人口將超過 90 億，全球糧食產量需增加 70%，需更多的農業用地與精確的耕作系統，以及有效的水資源灌溉管理技術，使用最少的水量優化農業生產。
3	以客戶為導向	於當今資訊社會，客戶多少掌握產品資訊，並力求更廣泛的客製化產品與服務，以優化整個生產過程之操作與管理。因此，水利產業須拉近與客戶的距離，並創造客製化的解決方案、維持與客戶的長久關係。
4	廢水再利用支持循環經濟	視汙水為珍貴的資源，包含其中的氮、磷、等物質，可以在循環經濟中進行回收再利用。為邁向循環經濟這一目標，企業須重新思考傳統的廢水處理模式。
5	智能網絡技術	智慧水網為通過有效地收集和分析數據，提高設備的可靠性。透過物聯網 (IoT) 設備和數據分析的使用，達到更有效的管理基礎設施、減少耗能與損失，同時也改變水利產業營運方式，提高企業生產效率。

資料來源：<https://iwa-network.org/five-major-challenges-and-emerging-trends-impacting-the-water-industry-in-the-next-decade/>

運管理之外，薄膜技術在水質處理上的應用、智慧技術、防災、水資源回收也是會議的重點。另外，此次會議新加坡說明了新加坡生態系統如何支持水利業的企業家精神和創新，並介紹新創企業在智慧水務的發展。

全球水情報組織（GWI）將於 2022 年舉辦的「全球水利高峰會 2022」（Global Water Summit），針對水資源管理與水科技網絡技術進步所帶來的影響與經濟效益，將議題分為「水金融」、「水利工程」、「水策略」、「水技術」、「公用事業創新」、「企業用水戰略」、「廢水與循環經濟」、「海水淡化與再利用」、「水務數位化」、「水與氣候變遷」，以及探討聯合國 2030 年永續發展目標內的「淨水與衛生」之現況與達成方式。

針對上述的水利國際發展趨勢進行整理，聯合國 2030 年永續發展目標（SDGs）對於水資源的規劃目標，與國際水協會（IWA）提出未來 10 年的水利產業趨勢，以及近年水利相關國際會議的議程，可瞭解氣候變遷、循環經濟與數位科技應用，是未來水利產業面臨的三大發展趨勢。在此趨勢下的數位科技應用，將深入且廣泛的應用於防災（水旱災）、水資源開發利用、廢水及相關資源回收再利用，與供水需水的組織管理上。在應對氣候變遷方面，為了降低其所造成的經濟損失，以「水資源多元開發利用」為核心，廣泛使用替代水源，其中包含鹹水、雨水、廢水的再利用，以減少對淡水的依賴性，並投資高端水處理技術的研發，降低替代水源的使用成本，提升其市場競爭力。在循環經濟的議題上，除了提升廢汙水的處理技術與再生水的回收利用之外，更為前瞻的議題是，如何從汙廢水中提取稀有的化學物質與礦物肥料，從而達成零排放與資源再充分利用，將是未來水利產業與技術發展的新方向。

最後，在回頭看台灣的水利產業發展時，我們可以再看看英國是如何應對其所面臨的水利挑戰。英國在 2020 年公布的「英國 2050 水利創新策略」（UK 2050 Innovation Strategy），是由 19 個英國水公司、水利管制機構（Ofwat）與水利智庫 UKWIR 等共同參與提出的，其目的是藉由開放討論、合作，提出顛覆性創新方案以處理水利部門面臨的挑戰。該策略的願景是：「為水利部門所有參與者創造一個開放協作的機會，驅動革命性的創新，為消費者與環境帶來更高的價值。」並由 4 個原則來指導創新策略，以 7 個主題來標誌出創新的對象。簡單說明四個原則，讓我們認識英國是秉持何種信念開展水利創新策略。

### 原則 1：開放與合作

使整個水利相關的公司、供應商、利益關係人、水利管制機構、中小企業、新創、學界、公眾、創意家能夠共同參與、共同創造、共同完成任務。

### 原則 2：以數據與新方法來促成創新

以數據開放（open data）、知識分享、技術分享鼓勵創新。

### 原則 3：為創新文化注入所需的能量與空間

需要為創新提供資金、技術與時間，並為創新活動提供實質與虛擬的空間。

### 原則 4：為環境、社會與經濟而創新

以增進環境、社會與經濟的最大價值，處理水相關問題。

我們看到英國 2050 年的水利創新策略願景，是以達成 SDGs 的目標做為其上層目標，並以開放式創新為原則，廣納水利部門與非水利部門，運用網路世界的開放特性，讓資訊與想法匯集成為提供水利問題解決的重要途徑，值得台灣借鏡參考。

## 臺灣水利產業現況

### 水利產業範疇與定義

水利產業或是水產業，目前在國際間沒有一致的定義與範疇界定，因此也沒有國際公認的水利產業統計。臺灣過去對水利產業的定義，有的是為了配合推動與執行水利政策，而定義了水利產業，如臺灣水利產業發展促進協會（2004）將水利產業定義為：「以降低淹水災害、確保水源穩定供應、改善河川環境、促進水源供應多元化、涵養水土保育地下水為政策方向，由政府或民間參與興辦水利事業而衍生從事經營相關之調查研究、技術顧問、工程建設、營運管理、工業製造、商務企業、資訊科技以及創新研發等領域之經濟事業（產、官、學、研）通稱為水利產業。」台灣經濟研究院（2010）主要考量水利廠商的產業性質，認為「水利活動」包含「傳統水資源利用」、「新興水源利用」、「節約用水」和「降低水患」，將水利產業定義為「提供水利活動之廠商所集合而成的產業」，並參考國外水利產業將涉及產業類別歸納為「水供應業」、「下水道工程與相關技術服務及製造業」、「水處理與輸配相關技術服務及製造業供應業」及「水資源管理服務業」等四大類。

近年成功大學水工試驗所(2017)則嘗試重新建構水利產業，以解決「水太多、水太少、水太髒、水利能」等問題為導向，將產業分別歸入「水質」、「水量」、「防水旱災」、「水能」與「工程及技術服務」類別之中。商業發展研究院(2019)執行水利署計畫時，蒐集整理了水利產業的廠商名單，並以工程生命週期與水循環建立相關的產業分類，分別為「調查服務」、「規劃設計」、「設備製造與銷售」、「營建工程」、「操作維護」與「附加價值」等六大類。

### 水利產業特性

#### 水利廠商行業類別

中華經濟研究院(2020)根據商業發展研究院(2019)建立的水利廠商名單，將水利產業名單中的742家水利廠商，透過主計總處的協助，與105年工商普查的廠商資料進行比對，獲得了廠商在中華民國「行業標準分類(第10次修訂)」中所屬的細類別分布(圖2)。

觀察民國105年比對到的679家廠商的行業分布(圖2)，依廠商數排序，前五名依序是「公用事業設施工程業(4220)」有61家、「其他機械器具批發業(4649)」有52家、「工程服務及相關技術顧問業(7112)」有39家、「污染防治設備製造業(2937)」有34家，與屬於產業用飲水設備製造的「其他通用機械設備製造業(2939)」有34家。由此可知目前國內水利廠商所從事的業務可能多以政府所主導的大型水利工程建設。再依照「中華民國稅務行業標準分類

(第8次修訂)」的子類來更細部的察看前兩項廠商主要集中的行業類別，即「4220公用事業設施工程業」與「4649其他機械器具批發業」(表2)，可以觀察到其與傳統對於水利產業的認知一致，如4220-11的渠道構建、4220-12污水處理廠營建等。

### 水利廠商營業抽樣調查

另外，再對水利廠商進行抽樣調查的271份有效問卷結果顯示：

- 1.目前國內水利產業多無從技術或產品的外銷，是以內需市場為主的產業。另外，廠商多無上市上櫃。
- 2.水利廠商所從事的主要業務多與污水處理相關技術與設備有關，前五項主要營業項目表3所示。

表3 廠商主要營業項目

廠商營業項目	回應數	觀察值百分比(%)
水處理技術	45	16.6
污水設備	32	11.8
污水處理監測	30	11.1
水處理工程	26	9.6
水資源再利用	25	9.2

註：由於此題為複選題，受訪者可回答多個答案，百分比加總可能不為100%。

資料來源：本文整理

- 3.國內水利廠商的營業規模多以「未達5千萬」居多，占45.4%；其次為「5千萬~未達1億元」，占26.2%；「1億元~未達5億元」，占19.6%。
- 4.水利廠商所從事的水利相關業務占比，以營業額50%為界，高於50%稱為水利「核心廠商」，低於但不包含50%稱為水利「關聯廠商」。在此分類之

表2 廠商主要集中的前2項行業類別

細類	稅務行業標準分類子類
4220 公用 事業 設施 工程業	4220-11(渠道構建)
	4220-12(污水處理廠營建)
	4220-13(市區下水道土木工程)
	4220-15(自來水總管及市區管線營建)
	4220-17(水井鑽鑿工程)
4649 其他 機械 器具 批發類	4220-99(其他公用事業設施工程)
	4649-14(量測設備批發)
	4649-19(產業用飲用水設備批發)

資料來源：本文整理

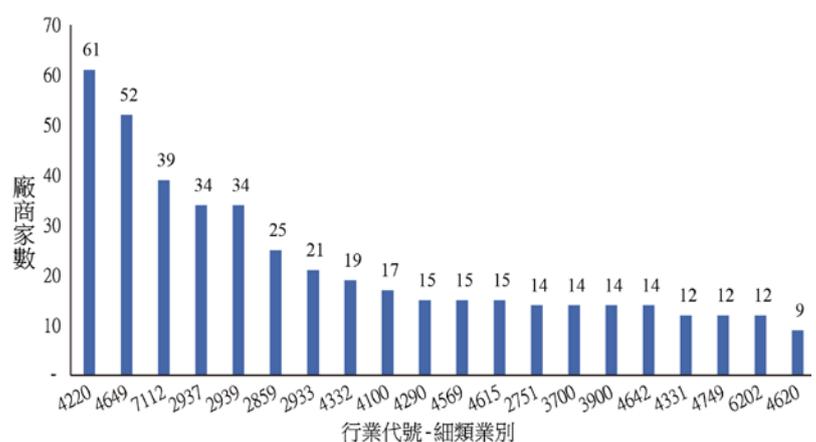


圖2 105年水利廠商所屬行業家數分布

資料來源：本文整理

下，調查的廠商中以核心廠商占多數，有 177 家（65%），說明了這份水利名單的代表性；關聯廠商有 94 家（34.7%），呼應了水利關聯廠商營業項目的多樣性，表示關聯廠商營收的來源雖不以水利業務為主，但又可提供水利活動所需（表 4）。

表 4 公司營業額與水利有關的比例

	次數	有效百分比 (%)
關聯廠商 (營業額 49% 以下)	94	34.7
關聯廠商 (10% 以下)	52	19.2
關聯廠商 (10~29%)	23	8.5
關聯廠商 (30~49%)	19	7.0
核心廠商 (營業額 50~89% 以上)	177	65.3
水利廠商 (50~69%)	28	10.3
水利廠商 (70~89%)	16	5.9
水利廠商 (90% 以上)	133	49.1
總計	271	100.0

註：各選項可能因四捨五入進位之關係，總計百分比高於或低於小數點後一至二位之情形。

資料來源：本文整理

## 水利核心與關聯廠商營業額

依據同樣的水利廠商名單，再透過財政部的財政資訊中心取得的水利核心與關聯廠商 108 年 650 家的營業額資訊，推估平均每家核心廠商的營業額為 3.84 億元（總額為 1,447 億元），關聯廠商為 31.7 億元（總額為 8,653 億元）。關聯廠商的營業額明顯高於核心廠商，主要原因在於關聯廠商的營業額不僅包含了與水利有關的項目，還包括更多其他的營業項目。因此，為了真實呈現水利產業的營業表現，本文建議未來水利產業的調查對象與水利產業政策推動的主體，應以

核心廠商為主。圖 3 同時也呈現了水利核心與關聯廠商在營業額表現的差異，核心廠商的平均每家營業額成長相對穩定，關聯廠商波動較大，平均營業額呈現下降趨勢。

## 臺灣水利產業發展推動建議

### 臺灣水利產業特性

臺灣水利產業的範疇很廣，主要為公用事業設施工程業、工程服務及相關技術顧問業、污染防治設備製造業，是以國內市場為主的內需型產業。政府部門是水利市場主要的需求者，大型工程案由資本額較具規模的工程與技術顧問業主導，其他中小型業者較難以競爭。中小型業者以成為大型工程顧問公司的配合廠商以取得業務，或是為私人企業提供產品或服務，如污水處理業務。

政府在水利產業推動的角色向來保守，傳統上政府的水利活動是維護人民基本生活、農業耕種、經濟發展的支援性地位。相似的，滿足水利需求的商品、設備與服務的企業也很自然被視為是為基本服務而存在的。水利工程師的天職也是解決水利問題，如何發展水利產業往往不在水利界的思考範疇之內。因此，水利產業的發展往往取決於政府的需求與經費規模，不像其他與全世界高度競爭的高科技產業，需要政府不斷的提供產業發展所需的政策支援。然而，在全球自然環境的巨變、全球科技環境的改變，臺灣水利產業的市場有機會放眼全球，臺灣可以採取更為主動與跨部門的水利產業政策，在解決臺灣、世界問題的同時，水利產業也跟著成長茁壯。

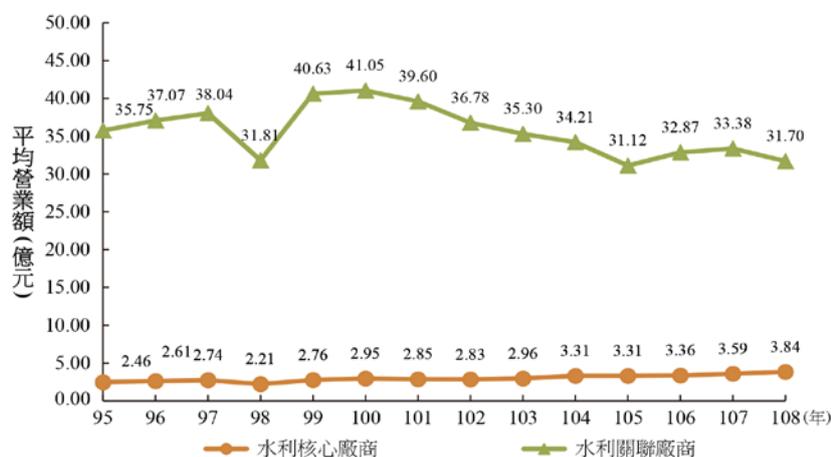


圖 3 水利廠商營業額

資料來源：本文整理

## 水利產業發展願景

我們認為水利產業存在的目的是為了服務社會，為社會帶來價值，價值包括經濟、環境與社會面向，不僅要盡可能創造價值也要能讓價值公平的分享。呼應英國 2050 水利創新策略的願景，本文提出臺灣水利產業的願景為：「為社會創造高價值與公平分享機會的創新型水利產業」。這需要一個持續創新的產業與制度才能做到，我們進一步提出四項達成願景的策略主軸。

## 水利產業發展策略主軸與策略作法

四項水利發展的策略主軸，包括：厚植技術能量、擴大水利市場規模、強化私部門角色、制度調整。

首先是**厚植技術能量**。我們期待水利產業具有創新性，因此要透過持續的水利技術創新來達成。策略作法包括運用一般性的政府研發與輔導資源來幫助水利產業進行研發，也建議政府採取策略性產業發展策略，針對前瞻水利技術而採取適合的研發補助與輔導等。另外，對於新創企業的鼓勵與扶植已是我國與世界各國共同的趨勢，新創企業為運用新興科技的創業家，新加坡在今年水展的議程安排，也針對扶植水利新創有專題的介紹，因此我們將培育新創企業也納入。再者，給創新研發測試的空間也是當前推動重要科技實踐的重要手段，因此空間開放也應納入策略作法裡。最後，人才為技術與創新的根本，特別是在 IOT、AI 等技術浪潮下的時代裡，智慧水務已是國際會議主題中的主題，我們需要數位時代下，能夠開發與建構水利智慧化的優秀人才。

其次是**擴大水利市場規模**。產業的收益來自於市場，鑑於水利產業市場仍以內需市場為主，政府為主要的買者，政府在短期內仍是市場主要的支撐者。政府當藉此主導地位引導產業與技術的發展方向，建議以再生水工程，與置入智慧元素的政府計畫來拉動再生水產業與智慧水務的發展。增強水利相關法規的管制程度亦有推動水利產業的效果。同樣的，可建立政府資源橋接平台，傳遞政府在生產、銷售等補助與輔導資源給水利廠商，水利機關也可針對再生水產業與智慧水務產業，建立專屬的補助與輔導資源。特別地，為了讓中小型的水利業者，能獲得參與部分公共工程、獲得增加實績的機會，可在招標設計上給予中小企業、新創業者實際參與政府新興水利計畫（如再生水、智慧水務）等機會，例如給予這類廠商加分的空間。

再來是**強化私部門角色**，公協會一向是產業界與政府的橋樑，公協會可以扮演政策傳遞、意見上達，與

引領產業政策走向的舵手。因此，強化私部門角色，特別是公協會，將有助於政策的推動、技術的擴散與市場的開拓。例如，再生水廠的興建是水利署短中期重要的施政計畫，而再生水計畫中，最重要的是使水再生的技術，而各種薄膜的技術更是關鍵，而再生水薄膜供應商，可能來自於國外大廠。鑑於未來再生水計畫的推動，與提高廢污水的回收利用率，將使得薄膜技術的開發與市場應用成為巨大的商機。國內尚未有以市場為導向的薄膜產業發展協會，建議可成立薄膜產業發展協會，配合政府施政，推動薄膜產業發展。另外，國內已有水務產業發展協會，其也正將「智慧水務」納入協會活動之中，因此應強化與其關係，推動智慧水務發展。另外，小型水利業者一般無法順利切入國際市場，而大型顧問公司因為具有較雄厚的資本、國際連結與實績，相對小型業者較有機會。政府若能與國內大型工程顧問公司達成默契，鼓勵其在國際案中帶出國內優質中小型水利廠商參與，幫忙臺灣優質水利廠商爭取曝光與獲得實績的機會。最後，以國外市場開拓所籌組的民間產業聯盟仍是重要的政策工具之一，雖然這幾年遭遇困難，未來仍有機會重振旗鼓，帶領臺灣水利產業走出去。

最後是**制度調整**。為實現水利產業帶來的價值分享，水市場建構、彈性水價調整機制的建構有其必要。有效率、公平的水交易市場，能夠讓供水、需水雙方依照合理的規則獲得相應的滿足。合理的水價也是再生水及其他產業能夠加速發展的重要助力，只要看看國外的水利產業分析報告，水價分析與其相關之財務分析都是報告中必要的章節。此外，產業的發展包括了多個面向，包括技術、生產製造、市場、法規、國際商情等，不是一個單一的政府單位能夠做的來。因此，為了推動水利產業，水利署除了要與其他部會合作，利用其既有補助與輔導資源推動水利產業的發展，也可以建構自己的智囊團，網羅相關領域智庫，持續發展出具有臺灣特色與利基的策略性水利產業。

## 參考文獻

1. 中華經濟研究院 (2020)。水利產業市場調查研析計畫。臺北市：經濟部水利署。
2. 台灣經濟研究院 (2010)。水利產業育成網路之整體規劃。臺北市：經濟部水利署。
3. 成功大學水工試驗所 (2017)。水利產業多元推廣計畫。臺北市：經濟部水利署。
4. 商業發展研究院 (2019)。水利產業創新發展推動及市場行銷。臺北市：經濟部水利署。
5. 臺灣水利產業發展促進協會 (2004)。水利產業之範疇。取自 <http://www.water.org.tw/simply/ut3.htm>



# 能源轉型下 儲能應用模式 及發展潛力

蕭宇喬／台灣綜合研究院 高級助理研究員

近年來隨著氣候變異，極端氣候災難頻傳，在 2050 年達成淨零碳排放目標已成為全世界最關注的議題，更加速再生能源的發展。許多國家再生能源發電量已超越傳統火力電廠的發電量，國際能源署（International Energy Agency, IEA）於 2020 年的報告顯示，雖然負載有了大幅度增長，但全球煤炭和石油需求已經達到頂峰，未來再生能源的占比將不斷提高。台灣自 106 年電業法修正通過後，政府積極推動能源轉型，目標提高再生能源於能源配比中之占比，與世界能源發展趨勢接軌，同時推動相關綠能產業發展。為達成能源轉型與降低溫室氣體排放目標，須搭配許多前瞻技術之發展與部署，如智慧電網、儲能設備、電動車等。

當電網發生突發電力變化時，傳統作法多由大型發電機組提供輔助服務如自動發電控制功能（Automatic Generation Control, AGC）或自動調頻功能（Automatic Frequency Control, AFC），以維持電網頻率；另外，為因應系統偶發事故，造成較大電能短缺之情況，某些機組則提供即時備轉（Spinning Reserve）或補充備轉（Supplemental Reserve or Non-Spinning Reserve）等輔助服務（Ancillary Service）。儲能設備具有快速充放電之特性，可有效率提供電力系統輔助服務，以維持系統穩定。

本文將於此背景下，首先針對儲能設備於再生能源發電端、電網端及消費端的應用，以及其於電力系統結構改變下之發展潛力進行綜合性的概述，接著依照我國積極推動且即將上線「輔助服務及備用容量交易平台」之架構下，進行儲能設備投資者參與輔助服務市場之成本效益案例分析。

## 前言

隨著再生能源設置量不斷成長，其發電特性對電力系統之影響將逐漸顯現，主要出現以下兩點問題：第一，太陽光電集中於白天發電，隨著陽光接近中午越強，出力越大，到了傍晚日落則出力驟降，導致扣除再生能源發電量的淨負載存在顯著的「鴨子曲線」效應，如圖 1 所示。第二，不論太陽光電或風力發電都屬間歇性發電資源，因其會受到光照或風速的迅速變動，而有出力不穩定的情形。

為了補足再生能源供電不穩定的情形，並降低其大量併網對電力系統之衝擊，電力系統將需要更多靈活且可供調度的資源，以隨時維持電力的供需平衡並確保供電安全。其中，儲能設備可快速反應之特性，適合用以提供調頻備轉輔助服務，或是執行再生能源輸出平滑化；而其可

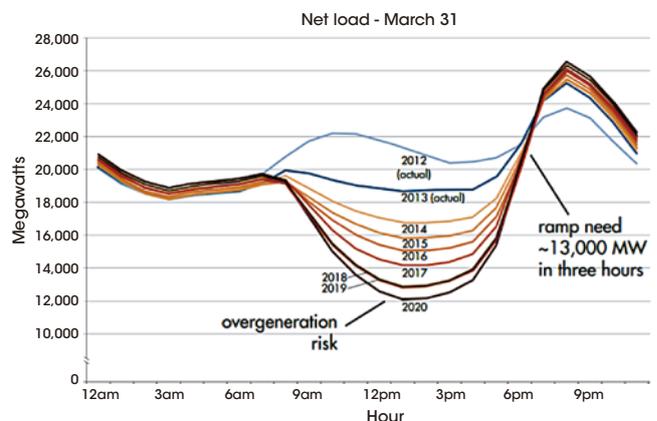


圖 1 因太陽光電滲透率提升而形成的鴨子曲線<sup>[1]</sup>

大量儲存電能之特性，則適合用以削峰填谷、避免棄風棄光效應等，稍後我們將進一步從電力系統中各參與者的角度，介紹儲能設備常見的商業模式及應用。

## 儲能設備常見的商業模式及應用

### 發電端：穩定發電輸出、避免「棄風棄光」

歐美等先進國家因再生能源滲透率較高，其間歇性發電特性會影響電力系統之穩定運行，又考量其綠能產業發展趨於成熟，部分地區亦會要求或鼓勵再生能源之出力須符合平滑化限制。平滑化限制乃是規定再生能源的發電變動率在一定的時間內，不可超過某個上限值（如：5% / 分鐘、10% / 分鐘），這就必須透過將發電資源結合儲能設備才能達成。

以太陽光電平滑化為例，業者設定一太陽光電輸出變動率上限值後，若其瞬時輸出太多或太少，則會透過儲能設備儲存多餘電量或輸出應補足的電量平滑化其輸出，以滿足目標之輸出變動率，經過結合儲能設備實施平滑化的太陽光電輸出如圖 2 所示。

當再生能源輸出變動率過高時，區域的饋線容量可能無法承受其輸出量，而必須將部分的電給捨棄（Curtailment），而造成了「棄風棄光」情形。事實上，棄風棄光效應主要來自於兩個因素的影響：第一，該地區的再生能源瞬時出力超越饋線容量，造成電網壅塞而必須捨棄；第二，當電力系統中的再生能源滲透率過高，而造成系統慣量不足時，其於第二尖峰（即鴨子曲線上接近傍晚的時段）用於替補太陽光電消失的火力機組升載速度過慢，而必須提前安排調度時，都可能使調度單位在中午至下午時段捨棄大量的太陽光電。

圖 4 以太陽光電為例，顯示棄光的可能路徑及原因，前者是源於電網因素，而後者是有關整體電力系統之穩定及調度考量。由於棄光量最大的時段約為正中午附近，藉由儲能設備整合太陽光電之輸出（如圖 3），在棄光機率最高的時段抑制太陽光電之輸出水平，使儲能設備之 SOC 不斷上升，待太陽下山時段再釋放儲存的電能，便可獲得原本可能被棄光電之電能收益。

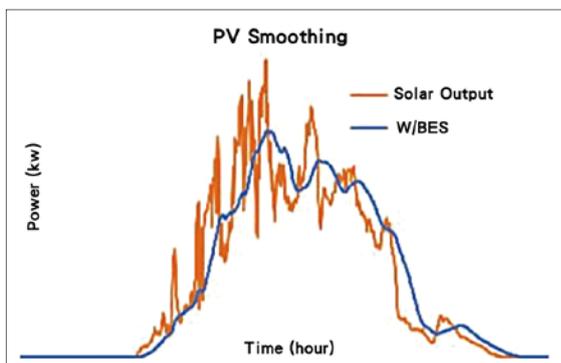


圖 2 儲能設備結合太陽光電實施平滑化 [2]

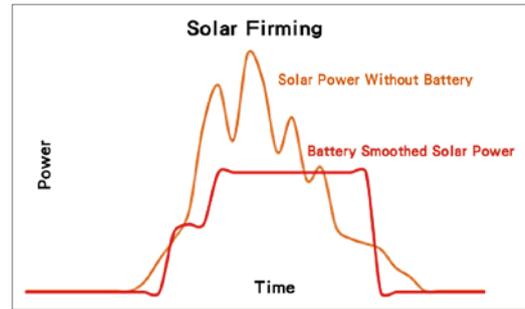


圖 3 儲能設備應用於避免棄光之輸出情形 [2]

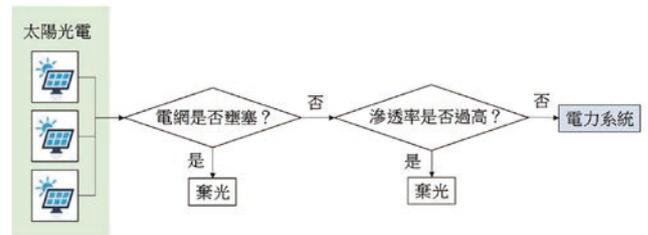


圖 4 影響棄光的原因及路徑

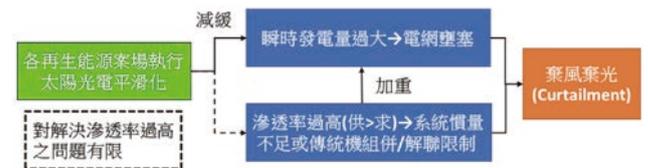


圖 5 執行再生能源輸出平滑化及棄風棄光效應之關係  
資料來源：台灣綜合研究院繪製

以再生能源發展著名的加州為例，其 2020 年平均再生能源滲透率已達 27%，其中太陽光電約占 2/3、風力發電約占 1/3。在再生能源發電充裕且負載較低的時段，其瞬時功率可達負載之 80%，此時棄風棄光量亦可達發電量的 10% 至 15%。目前台灣再生能源滲透率仍較低，且有綠電先行政策鼓勵再生能源發展，如未來滲透率逐漸提升，則借鏡國外經驗，政府可能首先會要求再生能源業者輸出平滑化，再者於調度單位考量系統安全及穩定供電之下，亦有可能於中午時段執行大量的棄風棄光，此時再生能源業者若已裝置儲能設備因應各項輸出限制，將可獲得額外的收益。

### 電網端：增加電網彈性、延緩電網開發成本

儲能設備具有快速充放電之特性，對於電力系統即時的供需平衡、頻率穩定有重大功用，適合用來提供電力系統所需的調頻服務輔助服務。調頻備轉輔助服務係指透過不斷調整電力系統能量供需平衡，以維持其頻率穩定。在傳統電力結構中，主要由傳統具備 AGC 功能之火力機組來進行調頻備轉輔助服務，然而儲能設備之執行效率優於傳統火力機組。

隨著再生能源併網比例逐步提高，電力系統的等效短期負載變動加劇、調頻需求增加，而儲能設備資源的加入將更可快速的平衡供需，增加電網運轉彈性。

如前述一些要求再生能源發電業者必須符合輸出平滑化限制的地區，通常其輔助服務成本的支出也較高，故將部分維持電力系統穩定之責任轉由再生能源發電業者負擔。

此外，負載隨著經濟、人口、氣溫等各樣因素而變化，長期之下通常會不斷上升，且不同區域負載的成長情況有所不同。在傳統「發電－輸電－配電」的電網路架構下，有時某些負載成長較高的地區，會迫使原有的輸配電網路必須重新佈署或是進行升級（即擴大電網容量），此時若在合適的區域設置儲能設備，就可以延緩升級輸配電網路的投資成本。

那麼為什麼要「延緩」投資輸配電網路資產呢？這是因為雖然可以預測到某些地區的負載會增加，或已經觀察到它正在穩定增加中，但卻不確定需要將輸配電網路升級到何種程度、會不會因為預測失準而過度投資、又或是投資不足而常常需要重新施工，這些都是很挑戰的問題。因此，若能夠等到負載變化的趨勢更為明確以後，再進行投資輸配電資產的決策，就得以解決上述問題；而在短期之內，我們可以透過於輸配電網路中設置儲能設備，解決局部性容量不足的問題。

假設傳輸到某地區的饋線容量有限，如圖 6 所示，在每日 12 至 20 時之間該地區的負載量會超越其輸線容量上限值，我們可以將儲能設備設置於該地區的系統中，預先在區域負載量較低時儲存電量，待午後負載升高時再釋出電量，便可以達到暫緩升級輸配電網路容量的目的。

觀察圖 6 可以發現利用儲能設備延緩升級輸配電網路投資的操作模式，其實就是對地區性的負載曲線進行削峰填谷；擴大來看，儲能設備亦可以對全國性的負載曲線進行削峰填谷。由於調度單位必須於尖峰時啟用較昂貴的發電資源，若能減少供電結構於尖峰及離峰的差異，便可以減少平均供電成本，甚至避免掉尖峰的電源開發成本、提升每日尖峰的備轉容量率、減少缺電事件的發生。

## 消費端：優化用電品質及用電成本

國外已開放電力市場的地區，市場參與者可以透過市場的電能價格訊號來決定是否投資儲能設備，以

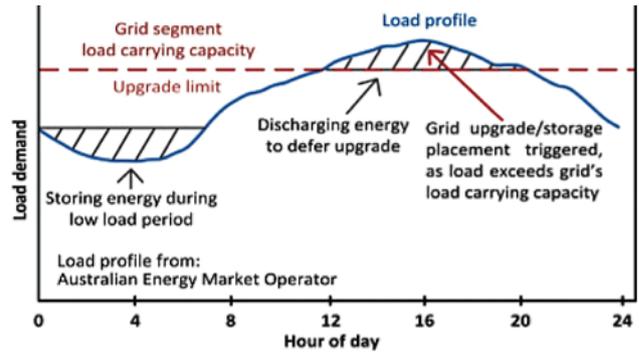


圖 6 利用儲能設備延緩升級輸配電網路投資的運作情形<sup>[3]</sup>

進行電能套利並轉移電能的供需時段。台灣目前並未開放電力市場，若要推動儲能設備應用於削峰填谷的發展，需求面管理是不可或缺的一環；現階段台電公司有以下兩種需求面管理措施<sup>[4]</sup>：

1. 價格型 (Price-Based)：台電公司根據各個時段之供電成本訂定各種隨時間變動之差別費率，使用戶可根據台電公司公布之不同時段費率，調整其不同時段之用電行為（如抑低尖峰用電或移轉至離峰時段），以減輕電費負擔，如現行之季節電價、二段式及三段式時間電價、尖峰時間可變動電價等。
2. 誘因型 (Incentive-Based)：用戶與台電公司透過事先約定之方式，於電力系統尖峰期間或調度需要時，配合降載以獲得電費扣減，如現行之各類減少用電措施、需量競價措施、空調週期性暫停用電措施等。

上述需求面管理之目的為了能夠對負載曲線進行削峰填谷。要符合其獎勵措施，用戶除了可以改變自身的用電習慣外，亦可透過儲能設備調節各時段的用電量，以維持原本的用電模式，即所謂的表後型 (Behind the Meter, BTM) 用戶側儲能。

近年來政府鼓勵太陽光電發展，並積極推動公民參與再生能源設置（如公民電廠），有越來越多的工廠、農業設施、商用及民宅開始大量建置屋頂型太陽光電。有別於以往傳統集中式發電之結構，上述新的發電結構使得部分用戶也可以自己產生電能、消費電能，並得將剩餘的電力售予其他消費者，而其他消費者取得的電力管道也不局限於台電公司，形成了一種新的商業模式，如圖 7。再這樣的架構下，由於電力供給來自於許多分散式資源，必須透過儲能設備、智慧電表等硬體設施，



圖 7 結合綠能屋頂、區域儲能及智慧電表的推動模式<sup>[5]</sup>

才可以更好的整合電力供需資訊給能源技術服務業、聚合商等營運平台，以達成該商業模式的運作。國外亦有許多文獻探討在分散式發電結構下，儲能的重要性及其扮演的角色。

### 我國儲能產業發展之契機與展望 輔助服務及備用容量交易平台之產業商機

過去儲能設備多以需量反應的方式（即用戶側儲能）參與至電力系統的調度，然而在政府不斷推動再生能源發展及促進電力自由化的背景下，未來儲能設備設置者將擁有另一種的選擇。經濟部已於 109 年 12 月 24 日公告「輔助服務及備用容量交易試行平台設置作業要點」，未來不論是國營發電業或是外部業者欲提供輔助服務，每日都必須於平台上投標，台電公司亦將於該平台取得每日所需的輔助服務準備量；其中，為鼓勵儲能設備資源加入，特別設置了「併網型儲能設備」之交易態樣：只要是通過併網審查程序、獨立併網、且只參與輔助服務市場交易的儲能設備，就不需如用戶側儲能之態樣負擔契約容量費用，僅需繳納以淨計量計算之流動電費。此外，儲能設備參與交易而獲得的輔助服務價金並非以電費扣抵之方式結算，而是採實際金流給付，這將大幅提升各方業者投資儲能設備的意願。

台電公司於日前輔助服務市場規劃之交易商品依功能分為調頻備轉容量、即時備轉容量及補充備轉容量，各項商品及其技術規格如表 1 所示。調頻備轉容量主要

用於修正電力系統頻率偏差，或用以減緩系統頻率的變動幅度。台電公司參考北美、愛爾蘭等電力市場之商品技術規格，規劃推出動態調頻備轉容量（Dynamic Regulation, dReg）及靜態調頻備轉容量（Static Regulation, sReg）兩種規格。提供調頻備轉容量的交易資源，並不會接受台電公司之調度，但必須具備主動偵測電力系統頻率之能力，在得標時段據此自動響應提供服務，反應時間依商品規格要求而定。即時備轉容量及補充備轉容量則為於電力系統發生事故或短期電能不平衡時，提供電能補充之商品。提供即時備

表 1 日前輔助服務市場之交易商品<sup>[6]</sup>

項目	調頻備轉輔助服務		即時備轉輔助服務	補充備轉輔助服務
	dReg	sReg		
反應時間	≤ 1秒 (AFC) 每 4秒 (AGC)	≤ 10秒	≤ 10分鐘	≤ 30分鐘
持續時間	追隨系統頻率 進行上下調頻	追隨系統頻率 進行向上調頻	1小時以上	2小時以上
最小報價區間	1小時		1小時	1小時
容量費	競價		競價	競價
電能費	無		依日前邊際價格結算	依日前報價結算
效能費	依資源反應效能給定		依資源反應效能給定	無

表 2 各項交易商品價格表<sup>[6]</sup>

交易商品項目	容量價格上限 (新臺幣/MW-h)	效能價格 (新臺幣/MW-h)			電能價格 (新臺幣/MWh)
		調頻備轉 效能級數	效能價格	適用規格	
調頻備轉容量	600	1	350	dReg <sub>0.25</sub> dReg <sub>0.5</sub> 、sReg (其他火力機組)	無
		2	275		
		3	200		
		4	125		
		5	50		
即時備轉容量	400	即時備轉 效能級數	效能價格	反應時間測試	依日前電能邊際價格結算
		1	100	<1分鐘	
		2	60	<3分鐘	
3	40	<5分鐘			
補充備轉容量	350	不適用			依實際報價結算 上限為10,000

轉容量或補充備轉容量的交易資源，於得標時段處於待命狀態，當接獲調度指令時，則須在指定反應時間內，提供電能輸出以協助系統恢復穩定。

台電公司目前規劃併網型儲能設備可參與表 1 中的交易商品為調頻備轉容量及即時備轉容量輔助服務；其中，調頻備轉容量所競價之容量費，以及另給予依調頻效能表現而訂定之效能費，皆高於即時備轉輔助服務，從而提供了儲能設備投資者足夠的誘因選擇參與調頻備轉容量輔助服務。

表 2 為各項交易商品之價格訊號。調頻備轉容量輔助服務又分為 dReg<sub>0.25</sub>、dReg<sub>0.5</sub> 及 sReg 三種商品規格，由於 dReg<sub>0.25</sub> 之反應速度及充放電頻率高於 dReg<sub>0.5</sub> 及 sReg，因此具有較高的效能價格。

### 投資儲能設備參與輔助服務市場之效益評估

為了解開放輔助服務市場對於儲能產業發展的影響，本文將以一案例試算投資儲能參與輔助服務市場的成本效益。由於儲能設備應用於調頻備轉容量輔助

服務之作動方式為淺充淺放、充放電頻率高，考量適合上述運作條件且技術較為成熟之儲能電池，本文以 1MW/1MWh 之鋰電池參與 dReg<sub>0.25</sub> 調頻備轉容量輔助服務作為分析假設，其建置成本及營運成本資訊如表 3。

收益方面，台電公司於 109 年 11 月 11 號第二次公開說明會所提供之調頻備轉容量輔助服務價金結算公式如下：

調頻備轉容量月結算價金

$$= \sum_{d=1}^{\text{當月天數}} \sum_{h=1}^{24} (\text{容量費}_{d,h} + \text{效能費}_{d,h}) \\ \times \text{服務品質指標}_{d,h}$$

本文假設容量價格為過去台電公司內部日前競價市場之歷史平均價格 450 元 / MW-h，調頻備轉 dReg<sub>0.25</sub> 效能價格為 350 元 / MW-h。此外，服務品質指標為一檢視交易資源之執行實績是否符合商品規格要求之指標，若交易者未能達到規格要求，其所得價金將被打折或倒扣；在此假設交易者皆符合規格要

表 3 鋰電池之建置成本及營運成本

項目	說明	參數估計值	單位
電池成本	有關電池之能量儲存相關之建置元件，如：儲能電池模組及電池櫃等。	8,130,000	元 / MW · h
PCS <sup>1</sup> 相關成本	PCS、電池管理系統、保護設備、高低壓配電盤、主變壓器、輔助變壓器、保護電驛、控制及量測用電表等。	8,640,000	元 / MW
配套設備相關成本	聯網測試、變壓器互聯、EMS 能源管理系統建置、電網控制系統建置與整合測試、軟硬體架構整合測試、運轉功能測試等	3,000,000	元 / MW
施工與測試成本	高低壓配電及配線設計、機電配管配線、空調及消防設計與施設、土建基礎(座)建置、隔間工程、吊裝、顧問費、併聯審查工程等。	3,990,000	元 / MW · h
期初總成本估計 (1MW/1MWh) <sup>註</sup>			23,760,000 元
營運成本	每年須經常性支用之固定費用，與充放電能量無關，包含專案管理、EMS 系統管理、系統維護、技術顧問費用、場地租金、公共安全保險等。	1,240,000	元 / 年
電損成本	以台電歷史頻率資料推估儲能參加 dReg <sub>0.25</sub> 每年等效全充全放電次數約為 785 次，假定其充放電效率為 85%、台電平均購成本為 2.5 元 / kWh。	346,324	元 / 年
每年固定成本估計			1,586,324 元

註：使用 2019 美國能源部 (DOE) 公布之資料，並以匯率 30 NTD/USD 計算。

<sup>1</sup> PCS：Power Conditioning System 電力調節系統，亦稱功率調節系統。

表 4 儲能參與輔助服務市場之成本效益試算案例

期間 (年)	收益	成本	淨額	累積淨現值	內部報酬率
0	0	23,760,000	-23,760,000	-23,760,000	
1	7,008,000	1,586,324	5,421,676	-18,444,631	
2	7,008,000	1,586,324	5,421,676	-13,233,486	
3	7,008,000	1,586,324	5,421,676	-8,124,519	
4	7,008,000	1,586,324	5,421,676	-3,115,729	
5	7,008,000	1,586,324	5,421,676	1,794,850	4.56%
6	7,008,000	1,586,324	5,421,676	6,609,143	9.79%
7	7,008,000	1,586,324	5,421,676	11,329,039	13.29%
8	7,008,000	1,586,324	5,421,676	15,956,387	15.72%

求，服務品質指標為 1。

由於容量價格之結清方式為系統邊際價格 (System Marginal Price, SMP)，且市場開設初期外部資源較少，業者只要有投標幾乎都可以得標。綜上所述，儲能投資者每小時可獲得 800 元之調頻備轉輔助服務價金，一年之收益為 7,008,000 元。

假設鋰電池運轉壽命為 8 年、計算投資案淨現值之折現率為 2%，表 4 為該案例試算之成本效益分析簡表。如表所述，以 1MW/1MWh 之儲能設備參與輔助服務市場，回收年限約為 5 年，投資案之內部報酬率為 15.72%，淨現值達 15,956,387 元，方案應具可行性。

### 結語

儲能設備應用於大量電能移轉時，不僅可以平均降低整體的供電成本及用電成本、延緩輸配電網路的升級投資、減少棄風棄光之情形，其快速充放電的特性亦可維持電力系統頻率穩定，有助於提升再生能源滲透率；尤其未來將不斷地走向分散式電力系統，屆

時電力供需界線變得模糊，而儲能則成為提供電網彈性及具有緩衝作用的重要資產。

### 參考資料

1. Paul Denholm, Matthew O'Connell, Gregory Brinkman, and Jennie Jorgenson (2015). Overgeneration from Solar Energy in California: A Field Guide to the Duck Chart. National Renewable Energy Laboratory
2. NC State Senior Design (2017). Battery Storage Utility Grid Controller. Retrieved from [https://caper-usa.com/wp-content/uploads/2017/11/Session-I-SDP1-NCSU-Team\\_11-8-17.pdf](https://caper-usa.com/wp-content/uploads/2017/11/Session-I-SDP1-NCSU-Team_11-8-17.pdf) (2021/6/7)
3. Markos Katsanevakis, Rodney A. Stewart, Junwei Lu (2016). Aggregated applications and benefits of energy storage systems with application-specific control methods: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
4. 台灣電力公司，什麼是「需量反應」？檢自 [https://www.taipower.com.tw/tc/faq2\\_info.aspx?mid=80&id=197&chk=02717373-b7ca-4d5c-b877-1bfa514155df&param=pn%3D7](https://www.taipower.com.tw/tc/faq2_info.aspx?mid=80&id=197&chk=02717373-b7ca-4d5c-b877-1bfa514155df&param=pn%3D7) (2021/6/7)
5. 經濟部能源局 (2017)。綠能屋頂全民參與行動方案。「加速投資臺灣專案會議」第 3 次會議
6. 輔助服務及備用容量交易試行平台第三次公開說明會 (2021)。檢自 <https://sites.google.com/tri.org.tw/platform0505> (2021/6/7)
7. K Mongird V Fotedar, V Viswanathan, V Koritarov, P Balducci, B Hadjerioua, J Alam (2019). Energy Storage Technology and Cost Characterization Report. Hydrowires. 



**A & GOOD**  
A & GOOD CONSTRUCTION PRODUCTS

**安得固**

**AD減隔震系列**

**AEC 碳纖維**

**AEG錨固系列**

**建築修復結構補強**  
STRUCTURE REPAIR & REINFORCE SYSTEM

**AE結構補強系列**

**AM智能監測**

**AC無收縮水泥**  
**AEX 樹脂砂漿**

**A 安固 ANCHORS**  
專業·品質·服務

免費服務電話 台北 02-29813223 台中 04-23810055 高雄 07-3500090  
0800-009-666 桃園 03-4022192 雲林 05-5967603 上海 021-54370088  
更多的資訊請上安固官方網站 [www.anchors.com.tw](http://www.anchors.com.tw)





# 經濟成本效益 概念探討及 水利工程 分析架構

游景雲／國立臺灣大學土木工程學系 教授、水工試驗所 主任

建設投資帶動經濟成長並提升國民生活品質，公共建設因牽涉到國家資源投入與社會民眾福祉的影響，在資源有限情況下，有賴周延完整的經濟效益評估及財務規劃，以妥適分配國家資源，發揮公共建設計畫效益，達成經濟成長與社會發展目標。公共建設影響範疇涉及多層面向，因此必須針對此些面向進行可行性分析評估。水利工程建設投資，屬公共建設之一環，基於國家發展立場，必須評估其經濟可行性，但由於經費與時間的限制，在執行上經常有所限制，再加上工程人員於財務分析與經濟分析概念間常有混淆，致分析時常有誤用之情形。經濟分析乃是水利工程規劃過程的關鍵要素之一，其不僅可以評估替代計畫的經濟合理性，還可以幫助制定計畫。雖然傳統上經濟分析是由經濟學家進行的，但透過瞭解經濟分析的內涵、概念、方法與工具，也可以使其他參與可行性分析的專業人員、需要進行決策管理人員、以及參與決策的利害關係者瞭解此一程序。

隨著時代演進、水利工程牽涉面向日益廣泛且複雜，經濟分析也相對困難，單一工程項日常帶有多種用途與目的，影響許多不同的利益相關單位，因此嚴謹地進行經濟分析也相對重要。過去筆者曾在 2017 年於會刊發表「水利工程規劃決策評價概念探討成本效益分析、風險分析架構及風險控管」，就水利工程成本效益的相關問題進行討論，本文於先前基礎上，就相關問題及架構的釐清上，再予以著墨，希望可以給讀者於作法上有更明確的瞭解。

## 成本效益分析基礎、原理與常見問題

### 成本效益分析基本概念

常見經濟分析方法包括成本效益分析 (Cost-Benefit Analysis, CBA)、經濟衝擊影響分析 (Economic Impact Analysis) 與成本有效性分析 (Cost-Effectiveness Analysis)，成本效益分析、經濟衝擊影響分析及成本有效性分析，概念上有所差異，常有混淆誤用情形，過去有當多探討，在操作時應審慎避免誤用。政策的評估通常採用成本效益分析，相關法規規定也多要求進行經濟成本效益評估，成本效益分析是為了決定計畫是否可行以及作為選擇之用，而進行計畫成本與效益的計算，以社會整體的觀點來考慮，比較計畫經濟成本和效益，衡量能否增進整體福利作為決定是否推動公共投資的準則，成本效益分析是站在決策者觀點，通過比較項目的全部成本和效益來評估項目價值

的一種方法，以公共工程而言，決策觀點應該站在社會規劃者的角色，追求社會效益最大化，理論上也是政府應該扮演的角色。由於公共工程基於國家立場規劃進行，因此所討論的福利變動面向，主要是考量國內不同利益關係群體的福利變動總和，非針對特定利益關係，也不考慮群體間的利益交換，用於評估需要量化社會效益的公共事業項目的價值。

成本效益分析需考慮計畫的規劃分析期間的社會效益是否超過社會成本，分析範疇需包括社會內的一切實際的社會效益及投入的資源。權衡有限的資源機會成本與實際產生的效益之間的關係，在效益與成本的比較之下，計畫產出的價值必須大於投入的價值，使社會財富及福利因有計畫而增加，則該計畫方具有經濟合理性。由成本效益分析乃為透過貨幣化確定衡量計畫的不同收益和成本，透過效益與成本加總後，比較各替選案之益本淨值、益本比等，對效益與執行

需要之成本做評比後，以作為計畫選擇之依據，比較以確定經濟可行性的程序。一般而言，除估計總收益超過估計的總經濟成本，也希望在各可單獨項目效益（例如，供水、發電、洪水災害減少、生態系統恢復等）提供的利益至少與其成本相等，且計畫規模可以提供最大的淨收益，並確定沒有其他更經濟的手段來達成同樣目標。成本效益分析是針對計畫執行帶來之效益與執行需要之成本做評比後，以作為計畫選擇之依據，然而，通常計畫之某些效益是很難具體量化成貨幣值，如人命、健康、醫療等，這些效益可能難以評估，或是評估結果會引起比較大之爭議。

各種經濟方法下，還是以成本效益分析為主要且必須的決策工具，以下主要說明成本效益分析的相關概念。

### 成本效益分析概述

成本效益分析是一個可以用於所有決策的工具，包括私人事務與公共事務的決策。對於私人決策者來說，比如個人或民營公司，成本和效益的形式是該公司的財務成本和收入，但另一方面，對於一個社會的公共事務之決策，我們應該考量一個計畫或政策對該社會所有成員所導致的所有效益和成本，無論該社會中誰得到這些效益或誰承擔這些成本，所以又稱為「社會成本效益分析 (social benefit cost analysis)」。一個計畫或政策的成本效益分析是評價與整個社會有關的總效果，成本是指社會所有成員所承擔該計畫或政策之執行會造成的機會成本，故稱為社會成本，包含內部成本及外部成本二部份。效益是指該計畫或政策之執行對社會所有成員之福利改善的影響，故稱為社會效益，也包含內部效益及外部效益二部份。

內部與外部成本或效益之分類與定義乃根據外部性理論，在任何生產與消費過程中，都會產生一些廢棄物，假設在高屏溪上游的一個工廠排放其廢棄物於河流中，這些廢棄物會減少河中魚群數目，降低漁民漁獲量，迫使下游河岸與海岸遊憩區關門，因為游泳、釣魚、泛舟等活動皆不適宜了。在該工廠之生產決策中，並未考慮到排放廢棄物到河中對下游漁民與遊憩區所造成的成本，這種情況就是外部性，當某人 (A) 不論是個人或廠商的福利水準會受到別人 (B) 的影響，而此人 B 並不在意他對 A 的福利之影響時，就存在了外部性。外部性可能是負面的，亦可能是正面的，上例的水污染是負面的外部性，稱為公害，正面的外部性通稱為公益，

植花、種草、修剪整齊的私人庭院即提供公益給過往的路人。負面的外部性會造成下列的後果：(1) 產量過多，(2) 排放過多廢棄物，(3) 產品價格過低，(4) 廠商沒有誘因去減少廢棄物之排放量，(5) 廠商亦無誘因回收與再利用廢棄物，因為排放於河中是免費的。這些無效率的市場配置效果會經由產品市場與投入市場逐漸波及整個經濟系。公益的效果與公害正好相反，因此在一個不受管制的市場中，會生產過多的公害，但過少的公益，這都是資源配置無效率的現象。

在上例中，上游的工廠對下游的漁民與遊憩區造成外部性，外部成本 (external cost) 就是下游的漁民與遊憩區所承受的損失，而此工廠為了經營管理此工廠所有的支出為內部成本 (internal cost)，包括建廠與營運成本，也包括汙染防治成本，內部成本與外部成本之和為經營此工廠的社會成本 (social cost)。就上述正面外部性的例子而言，一個人 (或廠商) 植花、種草、修剪整齊的私人庭院即提供外部效益 (external benefit) 給過往的路人，此個人 (或廠商) 自己欣賞其私人庭院所到的快樂就是內部效益 (internal benefit)，二者之和就是此庭院的社會效益 (social benefit)。

任何國家與經濟體系為達成環境與經濟永續發展的目標，會制定相關的環境保護政策，並且進行不同類型的開發計畫案。然而在尋求經濟發展之際，投資者本身、受開發計畫影響的利害關係人或是許可開發的決策單位，都想知道各種公共事務的決策是否能增進社會整體福利，換言之，公共工程建設等開發計畫或公共政策，除了帶來經濟成長外，是否能兼顧環境保護、資源保育，預防、減輕開發行為對環境之不良影響，使社會整體因為政府公共事務獲得正面的淨效益，都是決策者首要之考量。

在各種經濟分析方法中，成本效益分析是廣泛應用於分析政府公共事務如公共投資計畫以及公共政策的工具。成本效益分析之優點在於，可將開發計畫對社會所有成員的影響納入，有別於一般的私人決策，只計算單一生產者或消費者受到的影響。相較於較一般性、概念性的環境政策或開發計畫目標，使用成本效益分析可以用具體的指標，衡量政策或開發計畫執行對社會福利的影響。另外就成本與效益的種類來看，成本效益分析亦能同時計算有市場價值與無市場價值的成本與效益，也就是將環境、生態與健康等非市場型態的財貨與勞務價值同時納入決策之考量。

整體而言，成本效益分析是基於社會整體考量的

一種公共決策工具，可做為具備公共性質的環境政策與開發計畫是否應執行的參考。

### 機會成本

如前所述，成本效益分析的概念為社會需要投入多少資源以創造希望的效益，因此成本部分則是資源的投入價值。因此，在討論成本時，基本上應該去分析投入資源的機會成本。機會成本是經濟分析裡重要的概念，也是成本效益分析的基礎。機會成本一般定義為：將資源用於某一種用途的機會成本，是這些資源本來可以做的其他用途中，最有價值的那個用途的價值，為用來生產特定財貨的生產資源之次佳替代方案代價。

簡而言之，如果是無其他用途的資源，實際上對於社會並無實際的成本，將其投入在相關建設中，社會並無實際的支出或損失。換言之，其機會成本為零，而當資源有其他實際用途，將其轉移到規劃的建設方案中，對於社會而言則會排擠到原來其他用途，也為社會實際付出的成本，即為他的機會成本。舉例而言如果你有三個工作機會（A、B、C），同樣工作一個月，其他條件一樣，A 職位可得三萬元，B 職位可得四萬元，C 職位可得五萬元。則選擇 A 或 B，其所放棄的最有價值的工作都是 C，因此機會成本都是五萬元；選擇 C 則只有四萬元的機會成本。再舉一個例子，假如張三以 2,000 元買到一張炙手可熱且已經售完的演唱會門票，如果你的好友李四，願意以 4,000 元跟張三買手上的門票，另一位朋友王五，願意出價 3,500 元，幾經掙扎，張三最後還是去看了演唱會，沒把票賣給任何人。這時張三看演唱會的機會成本就是放棄原本可以轉售的 4,000 元，這即是真正的成本。

成本效益分析的成本需要以機會成本的概念衡量，機會成本所指的機會必須是決策者可選擇的項目。若不是決策者可選擇的項目便不屬於決策者的機會。雖然大部分的情形下，資源的機會成本會等於其價格成本（dollar cost），然而在水利工程部分，需要實際思考其放棄價值（value forgone），才是成本效益在乎的機會成本。

### 邊際效益與成本，與市場供需

邊際分析（marginal analysis），是經濟學的基礎概念，邊際在經濟學的定義中，是在某個基礎上，增加一單位的財貨或服務，其他變數變化的程度。在市場供需的分析中，需求曲線上任何一點表示在給定的財貨數量下，消費者對於獲取該單位財貨最高的願付價值，其中，每增加一單位財貨或勞務消費，帶來的滿足程度變化，可稱為邊際效用（marginal utility）或是邊際效益

（marginal benefit），而人們對每增加一單位財貨與勞務消費，願意支付的代價（價格）則稱為邊際效益（marginal benefit）。隨著財貨或勞務的消費量增加，人們可獲得的邊際效益逐漸遞減，因此消費最後一單位的財貨或勞務，可獲得之邊際效益最少，人們心中的願付價值隨財貨或勞務消費量增加而降低，故需求曲線呈現負斜率，就是常說的邊際效益遞減。假設其他人對某財貨的需求，都可以以需求曲線表示，每個人的需求曲線可能相同或不同，那麼在任一個價格下，將所有的需求水平加總，就可以獲得市場對某商品的總需求曲線。所以，多一單位的財貨，總需求曲線反映的是所有人對這商品的效用變化，也反映出所有人對這商品的邊際願付價格。

相同的邊際成本的意思為，生產者每多提供一個商品或服務，其所增加的成本為何。對追求最大利潤的生產者而言，生產者只有在市場價格高於每單位財貨或勞務的邊際成本時，才會願意生產與出售該項產品，所以生產者的邊際成本線可視為其提供財貨的供給曲線。經濟學中一般均假設財貨每單位產出的邊際成本呈遞增，故其供給曲線為正斜率。經濟分析注重邊際效果，在邊際收益等於邊際成本的情況下，收益會達到最大化。邊際成本是指將產量增加一個單位所導致的總成本變化，邊際效益是指將產量增加一個單位所帶來的總收益變化，當邊際成本與邊際效益相等，邊際淨效益為零，代表增加規模不會增加任何效益。供給曲線上任一點為表示每單位產出的邊際成本，與總需求曲線之概念相同，總供給曲線也是透過對個別生產者供給曲線水平加總而來，故總成本即為總社會供給曲線下的陰影面積。

### 市場均衡與經濟效率

一般而言，在完全競爭市場的假設下，藉由市場機能自由運作，財貨或勞務會達成均衡（equilibrium），決定了市場均衡價格與數量。若是市場不在均衡狀態，例如某財貨的市價在某時高於平常的價格，市場上沒那多的需求，產生了過多的商品，生產者會想辦法將商品賣出去，降價是其中一種方法，直到價格降低到將產品賣完。反之，若財貨的市價在某時低於平常的市場價格，市場上的出現大量需求，產生供不應求的現象，生產者會想多提供財貨，因為要多生產，因此提高了生產成本，售價跟著提高，消費者也因為價格的提高而減少了需求，逐漸市場到達一個供需相等的狀態，亦即均衡。圖 1 說明供需均衡的情況，此時社會均衡的財貨或勞務之數量為  $Q_e$ ，均衡的財貨或勞務之價格則為  $P_e$ ，隱含社

會邊際效益 (MB) 等於社會邊際成本 (MC)，在此條件下，增加生產或減少生產，都只會讓整體淨效益下降，也是數學上最大值必須要滿足一階微分為零的充要條件。在有效率的市場中，透過市場價格機能自由運作決定的產出量與價格，具有經濟效率 (economic efficiency)。具體而言，經濟效率是指商品與生產分配到「不可能使每個個體皆更好」的狀態，隱含社會資源同時達成消費效率 (consumption efficiency)、生產效率 (production efficiency) 以及配置效率 (allocation efficiency)。對生產者而言，經濟效率可應用於決定最適的生產要素投入量；而對消費者來說，經濟效率則可應用於決定消費者的最適消費量，也就是生產者的最適生產量。

執行相關公共政策或開發計畫時，若想比較社會執行前後的優劣情況，可使用柏瑞圖準則 (Pareto criterion) 做為價值判斷標準。柏瑞圖準則是決定資源重新配置是否有效的判斷標準，取決於資源重新配置後，社會是否能達到經濟效率。當社會達到經濟效率時，表示此時社會福利達到最大，此狀況亦稱為柏瑞圖最適境界 (Pareto optimum)。當社會處於柏瑞圖最適境界時，表示社會的邊際願付價值與社會的邊際成本相等，在供給需求沒有改變下，此時決定的財貨產出水準，對社會整體來說最具經濟效率，社會福利也最大。以圖 1 為例，如前節所述，當社會的均衡產出水準為  $Q_e$  時，總社會效益是從原點累積至  $Q_e$  時社會邊際願付價值曲線以下的面積，即  $A + B + C$  以下區域，而總社會成本是社會邊際成本曲線以下  $C$  的區域，此時社會福利為總社會效益減去總社會成本、即是  $(A + B + C) - C = A + B$  的範圍。由上可知，社會均衡產出水準  $q_e$  以外的任一產出水準社會福利均小於  $(A + B)$ 。在經濟理論上，而圖 1 中  $A$  的部分也被稱為消費者剩餘 (consumer surplus)，而  $B$  的部分也被稱為生產者剩餘 (producer surplus)，兩者合起來即為社會福利。

### 社會福利的衡量指標：消費者剩餘與生產者剩餘

執行開發計畫可能會直接對財貨或勞務的供給或需求造成影響，此時為評估開發計畫對社會整體福利的影響，可以消費者剩餘 (consumer surplus) 與生產者剩餘 (producer surplus) 衡量福利變動，也可進一步分析願付價值 (willingness to pay, WTP) 及願受價值 (willingness to accept, WTA)。在公共工程規劃中，一般而言，消費者剩餘與生產者剩餘可做為消費者與生產者的福利衡量指標，消費者剩餘與生產者剩餘的合計值即為社會福利。消費者

剩餘為消費者在購買商品時所願意支付的價格與實際支付價格之間的差額。若消費量為  $Q_e$ ，則消費者願付的總額是圖 1 中  $A$ 、 $B$  與  $C$  總和的面積，與實際所支付金額之間的差額 (圖 1 的  $B$ 、 $C$  總和)，即為消費者剩餘 (圖 1 的  $A$  部分)。消費者剩餘可以解釋計畫產生的中間或最終財貨於供給的數量或品質上變化造成願付價格的改變，而增加的社會福利。以圖 2，假設一個地區的航運市場，其需求曲線為  $D$ ，也為其邊際效益函數，而假設航運的供給其單位價格不隨數量而改變，其供給曲線為水平為  $S$ ，表示航運的供應成本函數為常數  $P_d$ 。供給需求曲線相交為市場均衡條件，其價格為  $P_d$  會有  $Q_d$  的需求，因此消費者剩餘則為價格線上方和需求函數下方標記為  $A$  的三角形區域，也就是說，它代表了托運人的駁船運輸願付價格，超出了他們實際使用這些服務所支付的費用。

假設現在政府考慮進行一個運輸水路改善的計畫，將會使得船運的成本降低，供給曲線會由  $S$  下降為  $S^*$ ，如附圖 4 表示，運輸成本的降低導致托運人支付的船運的市場價格從  $P_d$  降至  $P_d^*$ ，而運輸總量從  $Q_d$  至  $Q_d^*$ ，因此消費者剩餘會增加梯型的  $A_+$  的區域變為  $(A + A_+)$ ，因此  $A_+$  為本計畫造成消費者剩餘增加量，也可以代表為社會效益的增加。

生產者剩餘概念與消費者剩餘相似，是指生產要素所有者、產品提供者由於生產要素、產品的供給價格與當前市場價格之間存在差異而給生產者帶來的額外收益。因此，當市場價為  $P_e$ ，供給量為  $Q_e$  時，生產者的生產成本總額為圖 1 的  $C$ ，收益總額為  $B$ 、 $C$  總和，生產者的供給價格為  $C$ ，而  $B$  即為生產者剩餘，也就是生產要素所有者、產品提供者因擁有生產要素或提供產品，在市場提供產品獲得的淨收入。因為公共建設或計畫，造成生產條件改變不只會增加消費者剩餘，也會影

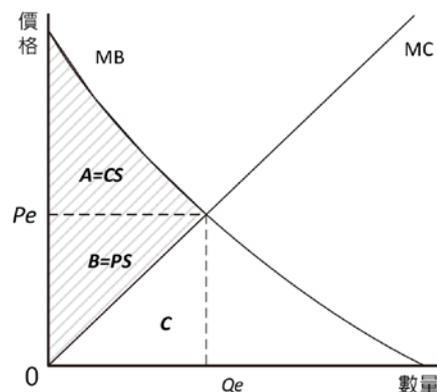


圖 1 市場均衡及社會福利

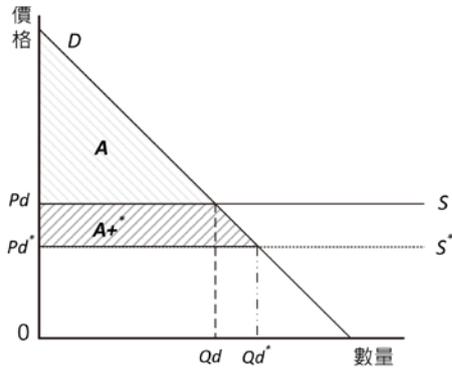


圖 2 消費者剩餘改變增加社會福利

響生產者剩餘，增加社會福利。而以圖 3 來解釋，假設一個灌溉排水改善計畫，可以減少作物生產成本，而使生產增加。原來的供給曲線  $S$ ，會下移到  $S^*$ ，代表了生產者在相同產量下減少灌溉的成本，在其他情況不變下，作物供給增加。在沒有計畫下，原來的市場均衡為價格  $P_d$ 、供給量  $Q_d$ ，而有灌溉排水改善計畫後，均衡價格降為  $P_{d^*}$ 、供給量增為  $Q_{d^*}$ 。就有無計畫來說，原來消費者剩餘為  $A$  的區域，增大為  $A^*$ 。然而除了消費者剩餘之外，生產者剩餘也從  $B$  的區域、增加  $B^*$ 。因此，若比較消費者剩餘與生產者剩餘前後的總量差別，其為  $(A^* + B^*) (A + B)$ ，即是增加的社會福利。

消費者剩餘與生產者剩餘可做為消費者與生產者的福利衡量指標，消費者剩餘與生產者剩餘的合計值即為社會福利，社會福利的變動是一種效益，因此衡量公共工程開發計畫效益時，需將消費者剩餘與生產者剩餘變動納入考量。當政策或計畫影響到供需曲線與均衡狀況，消費者剩餘與生產者剩餘就會變動，社會福利可能會隨著變動，而變動的正負效果及大小，可作為計畫決策的依據。然而，並不是任何計畫對社會整體福利水準的變動都能用消費者剩餘與生產者剩餘變化顯示。對有市場價格的財貨或勞務而言，社會福利水準變動，可透過消費者剩餘與生產者剩餘變化表示，但是當受到計畫影響的是無市場價格環境資源之品質或數量的變動時，對此類無市場價格的財貨，在沒有供需曲線、或是供需曲線難以估計的限制下，將無法利用需求與供給曲線計算消費者剩餘與生產者剩餘，為解決這個問題，此時須改以願付價值與願受價值做為衡量社會福利水準變動的指標。

### 成本效益分析比較情境： 有 vs. 無 (with vs. without)

進行成本效益分析，必須找一個基準情境 (baseline) 並與此計畫做比較，才能反映出有這個計

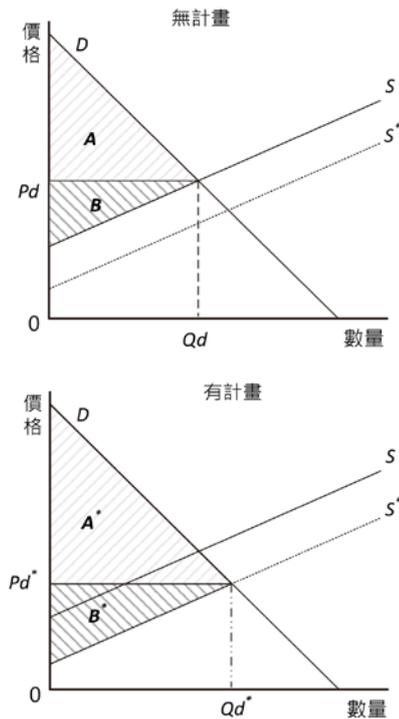


圖 3 計畫前後的消費者剩餘、生產者剩餘改變情形

畫的成本與效益。成本效益分析必須確認基準情境定義與概念架構，就定義上來說，不執行計畫的情境稱為基準情境 (baseline) 或是零方案。基準情境可定義為未實施計畫 (without the project) 的情況下，對未來可能情境的最適切假設。設定基準情境之目的是為了提供一個參考點，藉由基準情境與新計畫情境的比較，決策者可以藉此估算執行新計畫額外增加的社會效益及社會成本 (incremental benefits and costs)，並進一步衡量總社會福利變動量，以做為制訂決策參考。因此，為了解執行新計畫對社會成本與社會效益帶來的增額衝擊 (incremental impacts)，分析人員應比較有、無新政策下的增額成本與效益，且在估算社會成本與社會效益時，只須將受新計畫影響的社會成本與社會效益項目納入計算。

### 經濟分析與財務分析

經濟分析與財務分析有許多不同，經濟分析 (特別是成本效益分析) 的目的在於判斷用於計畫的資源是否有效率，也就是經濟可行性 (economic feasibility) 分析；而財務分析的目的在於分析是否有足夠的資金來提供計畫所需，稱為財務可行性 (financial feasibility)。

### 經濟分析與財務分析觀點差異

經濟效益分析乃針對社會效益與社會成本之觀點進

行，評估計畫對整體社會與民眾可能產生之效益，衡量其經濟合理性；經濟分析目標乃是要確定一個計畫是否為分析期內資源的最佳利用，如果項目產生的總收益超過項目產生的收益超過項目成本，則可通過經濟可行性評估。而其中需要分析有無計畫的差異，因為部分效益即使在無計畫下也會發生。財務效益分析則針對營運收支之觀點進行，從財務角度對該計畫分析，衡量財務盈利能力。雖然財務與經濟效益分析均可採成本效益之定量分析方法，然此兩種分析方法在定義成本與效益之內涵上有些差異，例如財務效益分析可從不同參與者角度分析財務之報酬率，如以民間投資者觀點、政府觀點等來分析其所關心的報酬率指標；經濟效益分析則從社會整體之觀點，估計該計畫對整體國民經濟或整個社會可產生之效益；另估算淨收入之差異，財務效益分析乃估算計畫參與者產生之財務淨效益，而經濟效益分析是估算計畫之社會淨效益。

經濟效益分析乃針對社會效益與社會成本之觀點進行，是從總體經濟與社會角度對項目分析，衡量項目的經濟合理性；而財務效益分析主要係針對營運收支之觀點進行，是從財務角度對項目分析，衡量項目的財務盈利能力，此兩種分析方式評價角度不同導致了差異，所以評估項目也會有所不同。如成本效益對項目只是在部門間移轉，卻未涉及社會資源使用，則不納入經濟效益分析中（如稅或就業），財務成本則可能納入。財務分析與經濟分析之差異比較，列於表 1 供參。公共工程計畫可能在經濟上可行，但在財務上是不可行的，反之亦然。例如，一個計畫可能帶來正的社會淨效益，但可能沒有足夠的資金以營運。另一方面也可能在財務上具有可行性，然而卻無法證明計畫對國家社會有淨經濟效益。

### 基期、複利與折現率

無論在評估公共工程計畫時，或是進行財務投資時，時間的差異是一個很重要的因素，因為在不同時間的貨幣有不同的價值，其原因眾多，包括未來的不確定性，市場技術的差異，價值關的改變等等。我們不確知在未來某時點這個世界是否還存在？以及我個人是否還存在？手上的資源是否還有相對的價值。因此我們現在對於十年後的 100 萬元所賦予的價值會低於現在手中的 100 萬元的價值。換句話說，十年後 100 萬元的價值，可能僅等於現今 90 萬元的價值，這就是折現（discounting）。一般而言，大型的公共工程會有較長的施工期，完工後的效益也會延續很長的時間，而不同的時間點的成本與效益的貨幣價值不能直接比較與加減，那麼，如何進行成本效益的計算？答案是先處理時間差異的因素。第一步作法是先決定基期（base year），再決定將基期之後的成本與效益的價值折現（discount）至基期，同時也要將基期之前的成本與效益換算到基期時的價值。

價值或金錢的轉換，以折現（discount）來處理基期之後不同時期貨幣價值時間差異的方法，折現是將不同時期下的貨幣價值，換算成基期的貨幣價值。折現需要使用折現率（discount rate），以整體社會觀點下所採用的折現率，稱為社會折現率，其實就是利率。舉例來說，假設年利率為  $i$ ，在第一年存款  $x$  元，到了第  $T$  年，貨幣價值為  $x(1+i)^T$ ，此值稱為後值（future value），這就是以利滾利或複利（compound）的作法。 $x$  稱為現值（present value），因為在  $T$  年後的後值  $x(1+i)^T$  元，換算成現在（或基期）的價值，也只有  $x$  元，也就是等於  $(x(1+i)^T) / (1+i)^T$ 。基期之後將

表 1 經濟與財務分析之差異

	經濟分析	財務分析
觀點	社會觀點	計畫的投資者
分析期間	經濟壽齡	經費償還期
通貨膨脹的調整	一般不考慮通貨膨脹效果；除非計畫分析期間，物價有異於通貨膨脹率	考慮通貨膨脹效果
投入於資源價值的計算	用機會成本計算，即用於此計畫投入的人力、物力，若投入於其他用途的成本	用支付的經費來算
折現率	用實質折現率（已排除通貨膨脹影響）	一般用名目利率（未排除通貨膨脹率）
隨時間調整的成本與效益	用實質利率，採現值法來反映時間變化下的成本與效益	用名目利率，同樣以現值法來反映時間變化下的成本與效益
融資的利息支出	不計算	計入
資源用於此計畫，所失去用於其他投資機會的報酬	計入	不考慮

不同時間貨幣價值轉換至基期的作法，就是折現。無論在比較不同計畫或同一計畫的跨期成本效益時，需要將未來的成本與效益折為現值，得以在相同的時間點進行比較與加減，這就是現值的觀念。折現率就是利率，折現率的數字要用哪一個，有以下的說法。若為一般私人企業的投資，折現率可以採用市場利率、預期投資報酬率，或是企業的借款利率。若是攸關公眾利益的計畫，折現率就可依據計畫影響的主要對象來做選擇，一般將社會上的群體簡單分為兩類，一是消費者，一是生產者（或投資者）。消費者關心的是放棄今日一單位的消費，心中希望未來能獲得多少補償。生產者關心的是今天投資一塊錢，未來能獲得多少報酬。理論上，在沒有課稅與市場失靈（market failure）之下，透過市場機能，消費者與生產者的利益可獲得調和，市場利率可充分反映這兩類個體的希望，所以社會折現率可由市場利率來選取。

國內外文獻對社會折現率的探討，以「社會機會成本」及「社會時間偏好」為主要論點，前者認為若資金用於政府投資，即無法為民間部門使用，民間投資報酬率即為公共投資的社會機會成本；後者則建議以跨期消費、儲蓄決策所考慮的利率，即顯示現在與未來消費偏好的時間偏好率作為社會折現率。整體而言，目前折現率多少還牽涉到人為判斷。我們團隊綜合國內的研究報告與美國水利計畫的政府規定，建議以政府長期公債利率作為社會折現率的選取。以公債利率而非債券殖利率做為社會折現率的理由在於，政府基於財政考量，以公債融通公共建設所需資金而發行不同年期的公債，以標售方式由債券交易商投標並以決定債券發行的票面利率，未來即以此利率付息。而債券殖利率為投資人在債券次級市場投資的報酬率，目的在於獲取投資的報酬，與政府發行公債的目的並不一致。因此，本計畫以政府發行公債的目的，採用公債利率（即票面利率）做為公共工程的社會折現率；同時依據多數文獻的建議，採行發行期數較長的公債，我國最長年期為 30 年，做為公債利率計算的標的。依據中央銀行中央公債標售概況表，2001 年至 2019 年 30 年期公債發行的次數有 32 次，平均名目公債利率在這期間呈現減少趨勢，從 2004 年的 3.875% 減少至 2019 年的 1.125%，年平均名目公債利率為 2.255%。若考慮發行年的通貨膨脹率，2001 年至 2019 年 30 年期公債的年平均實質公債利率為 1.257%。因此，如前所述，進行成本效益分析的計算若未考慮物價上漲率（通貨膨脹率），可以採用 2.255% 的名目公債利率做為社會折現率；然而，若是分析項目的貨幣值已

經過物價調整，那麼可取 1.257% 的實質公債利率做為社會折現率。未來政府若持續發行 30 年期公債，可再納入公債發行的票面利率再次更新社會折現率。

另外施工期間利息多建議納入成本考量，「公共建設工程經費估算編列手冊」也如此建議但並未明確說明施工期間利息歸屬於經濟成本的原因，一般而言利息屬內部移轉不應納入成本計算。個人見解建議不需分別計算「施工期間利息」，因其可能因循為會計上利息資本化之處理，乃為設備資產之購置或建造，須經一段期間始可完成，則此購置或建造期間為該資產所付款而負擔的利息，轉列為資產成本的會計處理過程。另外一個概念為若改以施工起始日為基期，分析上就不會有「施工期間利息」之出現，其之項目引含為現值之轉換，換言之施工期間利息其實就是施工期間成本的一部份，已內含在成本效益淨現值中，無須刻意再額外增列出來，容易重複計算之嫌。

### 物價上漲與利率

前文提到使用折現率的理由，而這裡在於提醒折現率所採用的利率，是實質利率（real interest rate）還是名目利率（nominal interest rate）。物價水準並不會永遠固定不變，會隨著時間有所不同，若我們考慮不同期間物價的變動並加以調整，我們可以獲得實質價格（real dollars）。反之，若是不考慮價格的調整，我們在任一時間點上觀察到的價格為名目價格（nominal dollars）。同樣的，利率也有名目與實質之分，在進行成本效益分析時，不論是成本、效益或是做為折現的利率（discount rate），皆應保持一致，使用名目（實質）單位就全部用名目（實質）單位。成本和效益可能隨時間而有不同變化，因此有必要計算不同時間的成本與效益的現值，也就是將不同時間的成本與效益折現至同一時點，始能進行成本與效益的比較。由於未來的成本與效益都需要折現，故沒有必要預測通貨膨脹率，因為若未來成本與效益的預測內含物價上漲率，則折現率亦需含物價上漲率，此二種方法最後得到的現值是相同。成本效益分析真正關心的是資源的有效配置問題，較不關心價格變化等名目因素，所以較偏好使用實質變數，如實質利率等。

### 常見成本效益分析問題

#### 移轉性支付（transfer payment）

經濟分析是以社會的角度來討論實際消耗資源的機會成本與增加的社會福利，當社會內資源的使用權從某部門移轉到另一部門，此內部移轉或是移轉性支付的現

象，對社會資源的使用或福利的增加均沒有任何影響，故不可納入成本或效益的增加（或減少）。例如以一個家庭的角度來看，家庭內的成員將 1000 塊交給另一成員，對於這個家庭來說，家庭內的總效益與支出並沒有實際的變化，因此以家庭的觀點只能算是一種家庭成員間資源的移轉，成本效益並沒有產生實際的變化。

依據此一觀點思考，經濟分析中，稅收、利息、補貼、貸款返還，均視為移轉性支付，而非真正使用資源所發生之成本。由開發單位將資金交給政府或銀行，並無實際使用資源，只是在社會內進行資源使用權利的轉換。若民營企業進行成本效益分析時，未來工廠營運之後所繳交的稅，從廠商的角度而言是一種成本，但從整體社會的角度而言，則不能視為成本，因為繳稅的效果，對整體社會而言，只是內部的所得重分配而已，並未對整體社會帶來福利改善或機會成本。

社會內不同團體內的利益轉換也需視為內部轉移，舉例而言例如透過公共建設，促進周邊土地開發，是否應計算為社會的經濟效益。然而如果在相同條件下，社會本來就有成長的需求，透過建設將其他區位的開發需求轉移到附近，那其實週邊土地開發的效益實質上可能是另一區位開發效益的減損。因此，在無外部資源額外投入下，觀光效益、土地開發效益、產業效益、就業效益等，都可能應該視為內部移轉，因此美國工兵團的評估作法，基本上對於所謂的產業效益經常不予計算，而觀光效益則需針對價值的增加及或區域旅次的轉換，進行分析，避免重複計算。

## 就業

一般概念上，常將一個開發計畫所增加的就業視為該計畫的社會效益，然而就業增加帶來的貨幣效益計算，需視情況而定。

### 1. 受僱者來自於失業者

- (1) 增加的就業不計效益：這是在失業很嚴重時，而一旦有機會去工作時，幾乎不會排擠失業時所要做的事，亦即機會成本幾乎為零，所以貨幣效益為零。
- (2) 增加的就業要算效益：一般情形下，失業者再就業也會有機會成本的損失，例如放棄在家休息或與家人相處的機會，因此開發計畫支付的薪資至少要滿足其放棄其他機會的成本，所以機會成本精確的作法，應計算每位受聘人員對接受此工作的願受價值（即機會成本），但實務上較難做到。因此有文獻認為在特定假設下，可以以市場薪資水準的 1/2 做為

所有新增受僱者的平均機會成本，之後再乘上增僱就業人數，即為此開發計畫的新增就業貨幣效益。

### 2. 受僱者來自於其他工作的移轉

在接近完全就業的狀況下，開發計畫所聘僱的就業者一定來自於其他的工作，只是一種工作的移轉，實際上並無創造任何的工作，既無任何就業的創造，也就沒有任何效益的產生。但是要去分辨此計畫的受僱者在接受此工作之前是屬於失業狀態，還是從其他工作轉換而來，可能有些困難。建議可採以下作法：

- (1) 增加失業者的就業機會是開發計畫重要的目的，就該計算就業效益。以失業者也有機會成本的假設下，進行計算。
- (2) 增加就業機會不是開發計畫所關心的，就不計就業效益。可以假設受僱者是來自於其他工作的移轉，所以無新工作的創造。

一般條件下，不考慮就業為效益，避免估計概念混淆，直接將就業人數乘上薪資，絕對是錯誤的計算方式，應該予以避免。如就業影響重大，應進行完整之就業條件分析，在水利工程中較為少見。

## 沉沒成本 (sunk cost)

進行成本效益分析時，應該以前瞻的方法評估社會成本，因為沉沒成本（過去已發生的成本）之機會成本為零，所以過去已發生的成本或影響應該被忽視，只有未來的或新增的成本才是相關的。舉例來說，如果某人預訂了一張電影票，已經付了票款且假設不能退票。此時付的價錢已經不能收回，就算不看電影錢也收不回來，電影票的價錢算作沉沒成本。如果人是理性的，那就不該在做決策時考慮沉沒成本。以看電影的例子中，會有兩種可能結果。一是付錢後發覺電影不好看，但忍受著看完、二是付錢後發覺電影不好看，中途離開退場去做別的事情。兩種情況下都已經付錢，所以不應該考慮退錢這件事情。如果後悔買票了，那麼當前的決定應該是基於是否想繼續看這部電影，而不是為這部電影付了多少錢。此時的決定不應該考慮到買票的事，而應該以看免費電影的心態來作判斷。以公共工程計畫而言，在計畫初期提出成本效益分析時，後續可行性研究的成本和之後規劃成本視為計畫成本的一部分。然而如果經濟成本效益分析在相關初期研究之後才進行，初期研究中已經投入的成本理論上不應視為規劃成本的一部份，由於這些成本實際上已經發生，目前的決策是在既有研究的基礎

上，探討是否需要進行此一項目，因此過去的投入為沈沒成本，不再包括在計畫成本中。類似的情形，如可行性研究完成後進行成本效益分析，可行性研究成本也不應視為成本的一部分。

### 外部性 (externality)

基於外部性理論，計畫所產生的外部成本與外部效益都應納入考量，再加上內部成本與內部效益，求得較完整的成本與社會效益，以公部門計畫而言，計畫所計算的社會的成本與效益雖然許多外部成本與外部效益源於無交易市場之財貨，雖然其價值較不易估計，但仍須根據具有一致性理論的方法，對社會成本以及社會效益進行估計。

### 貨幣效果 (pecuniary effect)

計畫執行可能造成的另一種效果稱為貨幣效果，有別於計畫的實質主要效果 (primary effect)，故亦稱為次要效果 (secondary effect)。例如，計畫之執行，可能會使投入於該計畫之生產要素 (土地、房價) 的價格上漲，而使與計畫有替代性之產出的價格下降。然而，一個運作完全的市場，計畫對這些相關產出與投入之正負向影響應會互相抵銷。因此，一般認為這種次要效果不必包括在成本效益的分析中。由於這種在私有市場的相對價格改變，所牽涉的只是一種重分配的效果 (redistribution effect)，對於社會整體而言，沒有淨的利得或損失，為了避免重覆計算，這些次要效果不應包括在成本或效益的計算中。

## 經濟成本效益分析流程

經濟分析各項工程工程規劃流程的一環，水利工程也並不另外，與其他水文水理分析等步驟互有關聯，很難明確區分步驟。不同性質的工程計畫其規劃流程可能略有不同，舉例而言，美國工兵團、墾務局等各單位都會有部分差異，臺灣河川治理及區域排水整治也各有規範其作業流程。就規劃流程，大致可歸納為下列步驟。

1. 釐清規劃問題
2. 確立計畫目標
3. 對於外在條件進行蒐集、評估與預測
4. 研擬相關方案
5. 評估比較選擇方案
6. 選擇替代方案

經濟成本效益分析主要用於「評估比較選擇方案」此一步驟，但與其他步驟彼此有相關，因此很難獨立出來，本手冊雖然獨立說明經濟成本效益分析的操作流程，但實際執行上仍需配合相關規劃流程進行。單就經濟分析而言，本團隊過去在彙整相關步驟流程，於「水利工程經濟效益分析作業流程及參考手冊」中建議將其區分為：(1) 界定計畫範疇；(2) 選定相關參數；(3) 確定評估之成本效益項目；(4) 量化成本效益與計算現值；(5) 最後依據決策準則評估計畫可行性；(6) 敏感度分析等步驟。整體流程如圖 4 所示，相關流程因分析者觀點會略有差異，步驟也可以參考環保署 (2012)「環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊」或其他經濟分析相關手冊。

### 界定計畫範疇

計畫分析首先需明確設定其規劃範圍、規劃目的、計畫目標以及其影響範圍。雖然經濟成本效益分

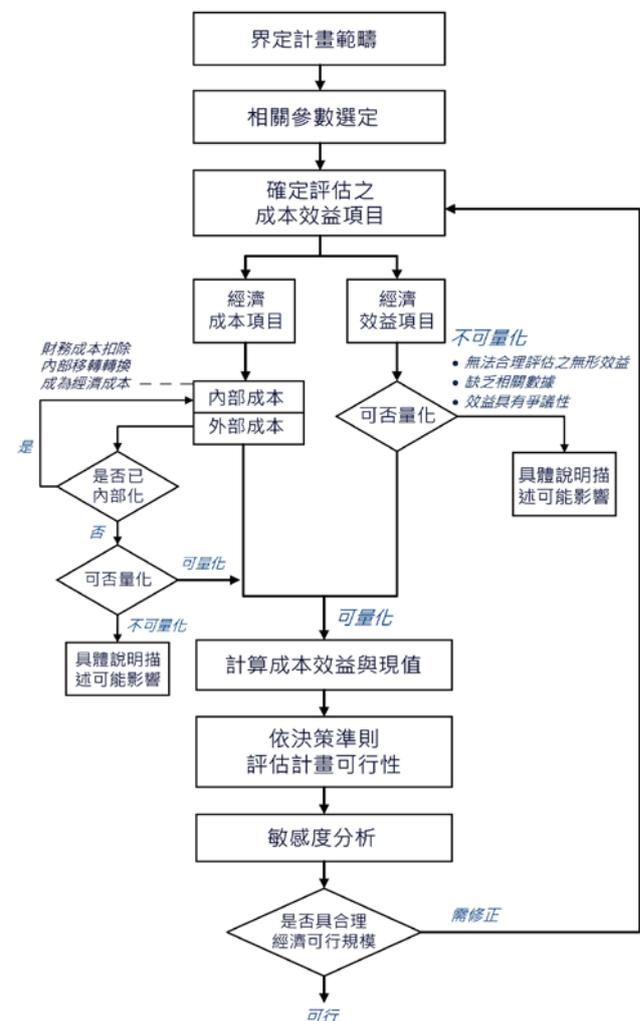


圖 4 成本效益分析計算流程

析是站在社會的角度進行評估，而界定相關影響評估範圍，通常係視該計畫或政策之決策者而定，也依據工程的規模而有所差異，分析人員必須界定評估範疇，包括界定社會範疇、空間範疇以及時間範疇，範疇外的部分就不予以考慮，以避免發散。

界定社會範疇是為了明確指出社會成本與社會效益須計算的範圍，以藉此確定成本與效益的擁有者。一般而言，水利工程建設多基於國家角度進行，其次界定空間範疇有助於釐清工程建設的影響範圍，所以在範疇的認定上，開發計畫的空間範疇則是相對明確的。時間範疇的界定與成本效益分析須涵蓋的期程有關，依據不同的水利工程建設，會有採用不同的經濟週期，以防洪工程而言，建議經濟分析年期採 50 年為基準，與使用年限一致，大型水資源設施如水庫等，建議也採 50 年為基準，部份小型設施年限較短，則依據實際狀況考慮其經濟年限。

### 假設與參數設定

由於經濟效益評估係以社會觀點，透過經濟分析方法，評估計畫之成本與效益，以確定計畫妥適性及提高公部門資源使用效率，使有限資源達到最適配置，其基本假設與參數設定，部分與財務評估有所差異，經濟分析所需要的相關參數大致如下：

#### 基礎年

評估基礎年是設定一基礎年期，將各項開發計畫之經濟成本與效益以設定之評估基礎年幣值為基準推估計算，利用社會折現率折算為基礎年的價值。

#### 分析年期

防洪工程經濟效益評估年期，係以計畫對社會整體可產生經濟效益之年限為依據。個案分析時採用時依據不同的水利工程建設，會有採用不同的經濟週期，以工程而言，建議與預估使用年限一致。

#### 折現率

折現率前節已有討論，行政院公共工程委員會研究報告（2012）建議公共工程的社會折現率為 6%，經濟部水利署水庫、人工湖可行性規劃報告多以內部資本報酬率 6% 作為折現率，經建會（2004）建議水利建設的折現率為 6.91%，臺經院（2012）參考國內中長期公債利率與相關文獻的建議折現率參考區間約為 5.2% ~ 5.5%。本團隊建議應以當時實質折現率進行分析做為參考，2001 年至 2019 年 30 年期公債的年平均實質公債利率為 1.257%。

### 其他參數

國發會「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」在經濟分析上也要求列出物價上漲率、工資上漲率、經濟成長率等。物價上漲率、工資上漲率 f 此多屬於名目而非實質成長，一般來說也不受水利工程計畫之影響，因此在經濟分析時，並未實際採用。經濟成長率可用於衡量對於整體經濟的影響，然而如前述，一般水利工程計畫難對總體經濟產生效果，而一般的經濟成長率該反映於社會折現率來計算時間偏好，一般也不會使用於經濟成本效益分析。

### 評估之成本效益項目

本步驟是確定水利工程計畫所牽涉的所有成本與效益項目，水利工程相關的成本與效益之項目繁雜，然而由於各計畫不同，並非每項計畫均涵蓋所有相關項目，分析者應就個案計畫評估效益項目的重要性及分析資源，確定需進行評估之經濟成本與經濟效益項目，儘可能在有限資源下，能以最佳的認知進行合理評估，儘量完整包含計畫範疇內各面向之影響。

前節有強調經濟分析與財務分析的差異，雖然財務與經濟分析均採成本效益之定量分析方法，也都追求投資計畫效益最大化，但因財務與經濟分析所引用之理論基礎不同，此兩種分析方法在定義成本與效益之內涵上也有差異，也常導致許多評估者在進行經濟效益分析時常發生錯誤，甚至混淆財務與經濟之觀念。經濟成本主要為實際的資源投入或減損，然而實務上因財務成本較易取得，故通常是由財務成本轉換為經濟成本。

在公共工程的成本效益分析上，其範疇通常是基於國家角度，在成本效益所討論之成本為前述的經濟成本。成本又包括內部成本與外部成本，內部成本一般於計畫內所產生，進行相關公共工程建設的實質成本投入，比如水資源設施興建等工程所需的費用，整體而言，開發計畫的內部成本又可區分為總投資成本與總營運成本二大類。外部成本開發計畫的外部成本，也就是開發計畫導致的環境損害，舉例而言，水資源工程如對現有河川生態造成危害，水資源工程成本效益分則須生態外部成本納入考量。

估算經濟成本之步驟是以財務分析中之成本作為基礎，將財務價值轉換為經濟價值，然經濟成本與財務成本的最大差異在於，經濟成本不包含內部移轉，也需考慮外部成本，因此其步驟為先重新定義計畫的成本，將屬於或不屬於經濟成本之因素從財務帳中予

以納入或排除，再加入外部成本。

### 財務成本－工程預算編列

公共工程計畫之財務成本編列，主要依據「公共建設工程經費估算編列手冊」相關規定辦理，該手冊於民國 82 年初始編撰，92 年由工程會進行通盤檢討修訂，後隨著各類工程內容的演化與工程實務的精進，及因應相關法規的變動，於 106 年度再次就總則篇辦理檢討修訂，在財務成本項目部分，公共建設工程計畫成本可分為規劃作業費用（含可行性評估及綜合規劃）、用地取得及拆遷補償費、建造成本（工程經費）、利息、營運及維修成本等五項，其內容及架構如圖 5 所示。

相關工程預算編列，工程會也建構有「公共工程技術資料庫」（網址：<http://pcces.pcc.gov.tw/>），其中包含「價格資料庫」、「施工綱要規範」、「工程編碼及細目碼」及「公共工程經費電腦估價系統（PCCES, Public

Construction Cost Estimating System) 等，透過公共工程預算編列軟體之資訊應用平台，可做為中央、地方機關及工程業界編製工程預算書等，對縮短預算編製時間、增加預算精準度及節省公帑，甚有助益，相關工程預算編列再請參閱其他相關資料。

### 經濟成本

#### 經濟內部成本

經濟內部成本，主要為於計畫內所產生，進行相關公共工程建設的實質成本投入，因此就前述財務成本的内容予以檢視，探討是否需要納入。

#### 規劃階段作業費（含可行性評估及綜合規劃）

本費用為公共工程計畫或工程自籌備開始至規劃階段作業所需要之一切費用，編列此階段作業費用，以支應規劃階段必要之作業及實質投入，如在進行成本效益時尚未發生，及應該納入，如已發生之費用，應視為沈沒成本排除。

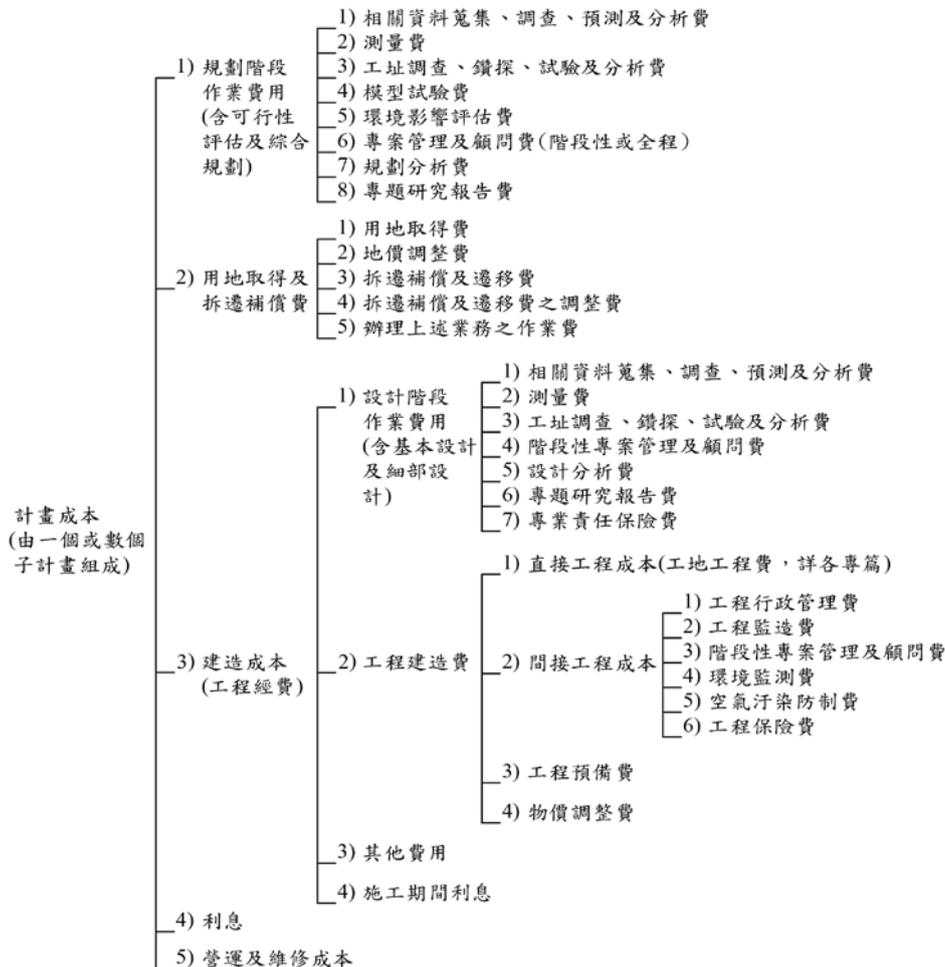


圖 5 公共建設工程計畫成本

資料來源：公共建設工程經費估算編列手冊（106 年版）

**用地取得費及拆遷補償費**

用地取得及拆遷補償費包括用地取得費、地價調整費、拆遷補償及遷移費、拆遷補償及遷移費之調整費、辦理上述業務之作業費等五大項，各項內容依本手冊本次編修時（106年10月）之相關法規（如土地徵收條例、各級政府機關互相撥用公有不動產之有償與無償劃分原則等），雖然其為財務成本，但可以視為該用地使用於計畫的機會成本，故應納入為經濟成本。

**建造成本（工程經費）**

防洪工程如堤防、分洪隧道、滯洪池等屬於公共工程建設之一環，水資源計畫包括水源開發、取水、原水輸水、淨水處理及輸配水等設施，均需當依規定辦理各部分的成本估計。建造成本（工程經費）由設計階段作業費用、工程建造費、其他費用、施工期間利息等四大項所組成，多數屬經濟成本，詳細原因可另做探討。項目中施工期間利息有其模糊地帶，已於前節討論。另外物價調整費乃因工程計畫施工通常會延續數年，其未來所投入的資源成本也會有所變化，物價調整費的目的即是為了反映資源成本的變化所做的推估，因此是經濟成本；但也有包含物價因素的名目效益，在實質成本與實質效益進行計算時，就無須使用物價調整費進行調整。所以物價調整費要依照是否採用名目或實質單位來決定，是屬於經濟成本計算的考量範圍。一般水利工程，主要考慮應為實質部分，而非名目上之效益成本，因此物價調整費一般不建議納入作為經濟成本，建議予以剔除。另外利息是為推動公共工程計畫，以借貸融資方式取得資金之財務成本，而此成本與主辦機關之財務調度方式、資金來源及借貸比例等因素相關（與工程實體建造成本無關），應配合公共工程計畫之財務規劃所研擬之財務方案進行估算，以供財務評估及財務計畫使用。利息之編列方式屬財務分析範疇，不應納入成本效益的分析項目中。

針對財務成本轉換成經濟內部成本的部分進行說明，如表 2 就相關成本轉換列表供分析參考，環境社會外部成本部分於後節討論。

**經濟外部成本**

經濟外部成本是由於工程建設，對社會內第三者產生負面影響，主要是開發計畫導致的環境損害，財務成本分析時並不會考慮，因此在經濟分析應編列納入水利工程建設對環境產生之負面影響（成本）項目。環境外部成本主要探討的是非透過市場行為所產生的

表 2 財務成本與經濟成本轉換列表

項目		財務成本	經濟成本	
規劃階段作業費用		○	○	
拆遷補償及遷移費		○	○	
建造成本	設計階段作業費用	○	○	
	工程建造費	直接工程成本	○	○
		間接工程成本	○	○
		工程預備費	○	○
	物價調整費	○	○	
	其他費用	○	○	
施工期間利息		○	○	
利息		○		
營運及維修		○	○	
環境社會外部成本			○	

環境面之外部成本效益。環境面的成本是指公共政策或投資對環境體系所產生的負面影響，若因水利工程建設或管理方案而改變環境或自然資源的服務的質或量，減少者稱為環境成本。以興建水庫為例環境成本為水庫建設對附近生態棲地之影響、地形地貌的改變及興建期間所造成的污染等。但對於現在的水利工程而言，目前要求必須對於環境的影響降到最低，在生態保育及策略手法上，依據下列策略來降低開發造成的影響，包括迴避、縮小、減輕、補償。在這些環境為主考量下，基本上工程理應滿足各項生態要求，方能適當執行，相關環境影響部分由環境影響評估相關法規所規範。假設水利工程透過上述策略，改變相關設計或增加因應設施，我們稱為外部成本內部化的過程，代表相關外部影響已經在工程內部成本反映，將大部分的環境成本已納入工程費中，如對於環境的污染衝擊，已將其納入施工前、施工中及完成階段環保經費中，也將為保護水源區、改變土地利用型態納入總工程費中，或是前述所的空氣污染防治費，也是透過定價方式，將工程期間對於空氣污染的部分，內化成內部成本，反映在工程成本上。

執行上建議首先列出影響項目並看是否能被內部化或減輕。接著將過於不確定或無法量化之項目予以個案研究，或以定性之方式描述。最後將可量化與貨幣化之項目予以計算，評估其成本。

當外部成本有重大影響，又未被內部化時，理論上還是必須對其進行分析，然而對於這種環境成本，將其量化或貨幣化評估相對困難，其牽涉到不同價值的權衡考量，建議另案委由相關單位進行經濟評價。如果相關的外部成本、效益可以合理的進行評價，以

納入成本效益分析。相關作法有相當專業程度，建議另行分析。

### 經濟效益

水利工程產生的效益的部分，來自潛在損失的減少及相關社會成本降低，以及提供相關的經濟服務，增加社會福利。從計畫所能增加之財貨、服務價值，亦包含成本、災害、損失減少的價值；財貨、服務價值即等同民眾願意放棄之其他財貨之最大量值以換取該項財貨服務並予以估計，水利工程大致可以分為防洪與水資源工程等，相關效益的項目與計算於後章再行討論。

### 計算成本效益與現值

根據前項步驟所認定的成本與效益項目，本步驟將對可量化各項目進行評估，對於無法量化或不適合量化的項目，建議以文字方式敘明其影響，說明不可量化項目因素及是否對計畫評價會以所影響。若是可量化分析的項目，則需明確說明計算採用之數據及來源，清楚呈現相關計算流程。可量化分析的項目，將依該項目是否具市場價格決定評估方法，再進一步貨幣化價值。若為市場財貨，可採用「市場價值評估法」透過詢價等方式進行評估。若為非市場財貨，則可以「替代市場價值評估法」或是「假設市場價值評估法」進行評估，如無相關經濟專業背景，應審慎運用相關方法進行評估，可以諮詢相關經濟背景專家以免產生錯誤。

### 計算經濟成本

依據前節所描述方法，先就原有財務效益項目進行檢視，如項目內有內部轉移項目、物價調整費等，則予以扣除，如無明確資訊，則需瞭解成本可能有高估之虞，規劃上較為保守，本益比或淨效益都會較實際上較為低估。考慮社會環境外部成本是否已經予以內部化，如未予以內部化，則考量是否需要進行進一步的計算，如不需進一步計算，需說明相關理由。如需進行進一步的計算，先行蒐集文獻，瞭解是否有可靠可供參考之數值，如無相關數據資料，則需委託進行相關研究，量化其影響。

### 各種經濟效益及計算總成本與總效益現值

根據所評估出來的各成本與效益價值，分析上需要依據折現的概念，計算可能會產生的成本與效益項目，並折現至基礎年之成本效益現值。因公共工程建設的使用與效益往往具有長時間的影響，故應將計畫後的各期成本效益經過折現換算現值。

在確定水利工程計畫的所有相關資訊後，決定折現率與基礎年，逐年列出計畫年期內之各年期的成本與效益，再以折現率將每年成本效益計算為現值，最後將各年期成本現值或效益現值加總後，即為總成本現值與總效益現值。貨幣價值在時間上之轉換，概念不算複雜，但計算上需根據分析參考點進行轉換，屬於分析尚須具備之基本能力，此一部份如使用者較不熟悉請參閱相關之工程經濟教科書或資料。

### 依據決策準則評估計畫可行性

依據前一計算出的總成本與總效益現值，選定適當的評估準則，一般而言常見的採用的經濟效益評估準則主要為淨現值與益本比，說明如下。淨現值法是一般投資計畫獲益性評估常用的方法，為一種考量貨幣時間價值的折現現金流量法，係將投資計畫年期中各項支出與收入折現後評估其現值總額。此法係將投資計畫或方案在未來服務年限內的成本與效益估計值的差額，益本比法係將投資計畫未來服務年限內所有的效益與支出，但務必注意在決策上，益本比大於一即可，益本比的計算有部分操控的空間在。但淨現值較為客觀，基本上選擇淨現值越大越好，某些條件下，過大的益本比也可能隱含計畫規模可能並不適宜，應該可以再予以檢討。

另外如有需要也建議執行敏感度，分析之目的乃是進一步檢視具有風險與不確定性的變數對成本效益分析結果的影響，所以各種變數如有不確定性之考量均可視分析者之需要執行之，因為進行成本效益分析時，有許多狀況是無法事先完全掌握，各種風險與不確定性都將對成本效益分析結果造成影響，所以應該將風險與不確定性，以適當的方式納入成本效益分析中，增加成本效益分析之完整性，傳統的敏感度分析可將風險與不確定性納入成本效益分析的方法。

### 選擇方案與編製報告

前述透過經濟分析，可以依據淨現值或益本比依據規劃考量選擇適當方案。相關在經濟分析過程中的資料搜集、分析及相關建議，都需要經過報告撰寫，呈現適當資訊，經濟分析報告必須將整個經濟分析流程中的不確定性、分析時採用的重要假設，以及效果雖然難以量化但是卻極其重要的項目，有效且完整的呈現出來。是故，釐清經濟分析報告撰寫的基本原則、報告須揭露的內容，均為不可忽略的重要環節。

報告在呈現經濟分析的估計結果時，除了可以被貨幣化的效益與成本都必須揭露外，報告中也應該納入無法被量化及與無法被貨幣化的效益和成本，以提供更整體且豐富的訊息。簡言之，撰寫經濟分析結果報告時務求清楚、詳盡，藉由評估報告之內容，應該提供以下的資訊：

- (1) 摘要、問題背景描述、定義政策目標
- (2) 經濟分析的主要結論
- (3) 進行經濟分析使用的效益與成本估計方法，包括描述分析架構極重要參數
- (4) 重要且無法被量化或是貨幣化的效果
- (5) 進行成本效益分析時使用的重要假設
- (6) 分析過程中主要的不確定性因素
- (7) 不確定性因素對成本效益分析結果的可能影響

在不同的計算之後，透過詳實的報告資訊呈現，方能成為完整的經濟分析成果。

## 水利工程經濟效益項目

### 防洪工程、水資源工程、集水區保育工程經濟效益項目及估計

由於各項工程可能回有不同考量及規劃設計，因此效益面向也可能不盡一致，然過去經濟成本效益分析之操作流程未臻明確，成本效益項目不明確，個案無法一致，因此無法合理進行的問題存在，再加上經濟成本效益分析常主要由主辦工程師進行，然因為訓練背景不一，經濟成本效益分析上之概念或操作常有錯誤情形發生。因此為增加經濟成本效益執行上之可行性，需要為由相關主管機關標準化相關流程，以供規劃者參考。再加上水利工程有其共同性，因此建議就項目上將常見的項目予以率定釐清，有助於實際操作。如參考美國陸軍工兵團經濟效益分析手冊主要工程類別，主要分為航運、洪災消滅、水力發電、休閒以及供水，然對應國內相關工程項目大致為防洪工程、水資源供水工程。水利工程產生的效益的評估，也主要基於願付價格的概念，對於計畫實施後，社會對這項工程產生影響對應的支付意願，也就是對應的願付價格。

防洪計畫係指透過工程或非工程手段，降低以有效減輕淹水災害，保障人民生命財產安全，提升居民生活品質及土地利用價值，並維護生態環境，確保區域產業

之發展與自然資源之永續利用之相關規劃。相關規劃可能包含河川治理、區域排水整治、都市排水改善、農田排水、坡地排水等。以水資源相關計畫而言，相較於防洪面向，其牽涉更為廣泛，除民生工業供水外，舉凡環境營造、遊憩休閒、生態服務、社會影響等，均包括在內。水資源計畫多數需要進行經濟效益分析依其計畫項目之效益與成本來評估其是否具可行性，亦即研究水資源供水計畫之可行性時不僅需要評估農業、工商業及公共用水之需求，也需要分析河川之用途，傳統上即分析河川應用如發電、航運，而近年來多重視非傳統的用水評估，如休閒娛樂、水質等非使用（nonuse values）之價值；因此，Economic Nonmarket Valuation of Instream Flows (2001) 著重娛樂性與非使用價值之評估，娛樂之價值評估是一個廣為接受的概念，然非使用價值之評估仍有些爭議，非使用價值之評估主要參考願付價格（willingness to pay），即為社會保護資源所付出的價值。

防洪工程之主要效益來自潛在損失的減少及相關社會成本降低，本手冊整理淹水損失相關項目，以實際淹水損失與其他淹水損失分類，實際淹水損失為淹水直接造成的災損；其他淹水損失包括應變成本、復舊成本、產業活動中斷損失等，淹水損失的減少視為防洪工程的直接效益，其他效益還包括可能附加的遊憩效益、生態價值等。防洪工程效益項目列如表 3。

水資源工程計畫所帶來的經濟效益不單只是供水而已，在興建與營運階段公共投資的建設亦會帶動周邊經濟發展，在暴雨來臨時可利用水庫操作達到蓄洪之效果，降低洪峰流量減低下游易淹水地區之淹水情形。而水資源工程計畫主要效益來自於該計畫所能增加之財貨、服務價值，亦包含成本、災害、損失減少的價值；財貨、服務價值即等同民眾願意放棄之其他財貨之最大量值以換取該項財貨服務並予以估計。參考工兵團 P&G 以及 ER 1105-2-100 之規定，衡量工程計畫之經濟可行性時，主要評估直接、有形效益，表 4 羅列不同水資源工程計畫可能之經濟效益項目。

另外一項具有特殊性的為水庫集水區的相關保育工作經濟效益如何評估，水庫集水區保育計畫之主要效益來自於該計畫所能增加之財貨、服務的價值，也包括了成本、災害、損失減少的價值。台灣水庫集水區保育治理計畫之執行策略為「植樹防砂保土」、「監測巡查護水」、「削污減肥保源」和「強化民眾參與」，以期減少水庫集水區土砂災害和改善集水區水體水質。而水庫集

表 3 防洪工程效益項目表

效益	項目		計量方式	單位	說明
實際 淹水 損失	結構物損失		各損失建物實際價值 × 損失比例	元	1. 依可能損失比例與實際價值予以估算，如淹水未造成結構物損害，則不計算其損失。 2. 如有明確建物脆弱區域，依據市場價格估計
	附屬 內容 損失	建物	淹水深度 - 損失曲線 單位損害面積 - 損失曲線	元	1. 可參考水利規劃試驗所 (104 ~ 105 年)「洪水災害損失區域調整機制及系統建置之研究 (1/2)」其評估淹水深度 - 損失曲線之方法，進行分析相關淹水損失。
		公共			
		工商業 農業			
車輛損失		車輛數目 × 折舊市價 × 深度損失比例	元	1. 可依據監理所統計之車輛數目、或依據戶數估計車輛數目。 2. 車輛折舊市價可參考二手車折舊市價表 3. 參考「USACE, 2006」車輛深度 - 損失曲線，唯需調整市場車價係數	
減少 淹水 損失 效益	應變 成本	安遷	戶數 × 安置時間 (日) × 每日安置費用	元	1. 可依現況安置情形予以估計，可依據市面保單之生活不便險予以估計。 2. 投入人力、機具未有實際參考之資料，可依災後現況予以估計
		投入人力、機具	評估未有防洪工程而事後所需投入之人力、機具	元	
	復舊清理成本		受淹水影響面積 × 單位面積清理費用	元	1. 住宅、工商主要項目包含汗水抽除、傢俱擦拭、牆面清潔、地板清潔，清理費用可參考市價依坪數大小進行估計 2. 農業，可依據「水災災害生活救助金核發標準」或依行政院農業委員會公告之「農業天然災害救助辦法」 3. 若農地、魚塭有受土砂問題影響，應將納入成本予以估計 4. 需避免重複計算之情形，釐清淹水之損失、清理復舊之成本等項目
	產業活動中斷損失		1. 國民生產毛額 × 受影響比例 2. 受影響人口 × 平均薪資 × 時間	元	1. 針對淹水造成無法移轉經濟活動中斷之成本予以估計 2. 主要評估區間為復舊期間受影響人口之薪資或 GDP 3. 依平均薪資評估則會有低估之情形，若依 GDP 進行計算有高估之趨勢
其他 效益	休閒遊憩效益		增加之觀光遊憩區之遊客人天次 × 單位人天遊憩價值	元	單日價值法，可參考手冊 (防洪篇) 整理表 3 ~ 5
	生態系統服務效益		單位面積 × 每人願付價格 區域人口數	元	願付價值，本計畫參考內政部 (2017)「105 年至 106 年度國家重要濕地社會經濟價值評估計畫成果報告」

表 4 水資源工程建議之效益項目及計量方式

效益	計量方式	單位	說明
增加 供水	<p>計算有 / 無計畫不同風險條件下之社會剩餘，可分為下列幾種情形：</p> <p>1. 無供水可靠度曲線 (Reliability Yield Curve)，僅知水資源工程計畫之供水量，假設均為常態供水：</p> $B_S = (Q_{T2} - Q_{T1}) \times P_{ave}$ <p><math>B_S</math>：水資源工程計畫增加供水量效益；  <math>Q_{T1}</math>：無水資源工程計畫時之供水量；  <math>Q_{T2}</math>：有水資源工程計畫之供水量；  <math>P_{ave}</math>：平均水價；</p> <p>2. 無供水可靠度曲線 (Reliability Yield Curve)，但可推估乾旱或緊急供水風險：</p> $B_S = R \times (Q_{T2} - Q_{T1}) \times P_{ave}$ <p><math>R</math>：發生乾旱之風險、或需緊急供水之風險</p> <p>3. 有供水可靠度曲線 (Reliability Yield Curve)：</p> $B_S = \int_0^R [Q_{T2}(R) - Q_{T1}(R)] \times P_{ave} dR$ $= \sum_{i=1}^N P_{ave} \times \frac{1}{2} \times (R_{i+1} - R_i) \times \{ [Q_{T2}(R_{i+1}) + Q_{T1}(R_{i+1})] - [Q_{T2}(R_i) + Q_{T1}(R_i)] \}$ <p><math>R_i</math>：供水可靠度 <math>i</math>；</p>	元	<p>1. 若有水量之需求曲線：</p> $P_{ave} = \frac{P(Q_{T1}) + P(Q_{T2})}{2}$ <p><math>P(Q_{T1})</math>： 無水資源工程計畫供水量之水價  <math>P(Q_{T2})</math>： 有水資源工程計畫供水量之水價</p> <p>2. 供水可靠度曲線、缺水情形，主要依據水資源供水條件相關分析推估。</p> <p>3. 若為濁度過高造成缺水，其需以區域自來水廠供水百分比作為評估之依據。</p> <p>4. 如水資源工程計畫之定位含常態供水及緊急備援供水，應避免重複計算。</p> <p>5. 水資源工程計畫所增加之庫容可以增加供水量之效益計算，增加供水量： 水庫平均運轉次數 × 水資源工程計畫目標增加庫容</p>
發電	$B_p = Q_p \times WTP_p$ <p><math>B_p</math>：水資源工程計畫發電效益；  <math>Q_p</math>：水資源工程計畫可增加之發電量；  <math>WTP_p</math>：發電願付價格</p>	元	發電願付價格評估建議參照臺灣電力公司所提供之報表，臺灣一直都處於電力剛好或不足的狀態，因此，實際供電邊際效益應大於其邊際成本，本計畫以每度售電成本替代願付價格。

表 4 水資源工程建議之效益項目及計量方式 (續)

效益	計量方式	單位	說明
替代高環境社會成本水源	$B_{GW} = Q_{GW} \times P_{GW}$ $B_{GW}$ : 水資源工程計畫替代高環境社會成本水源效益; $Q_{GW}$ : 水資源工程計畫可減少地下水抽取量; $P_{GW}$ : 地下水影子價格	元	地下水影子價格, 本計畫參考 Huang (1990) 針對屏東區之地層下陷作為分析範圍, 然因區域性之問題, 每單位水量抽取所影響之物理條件因地下集水分區之不同而有極大差異, 且不同區域社會環境問題不一樣, 故此參數值引用上需多加考量。
砂源	$B_{VS} = Q_{VS} \times P_{VS}$ $B_{VS}$ : 水資源工程計畫砂源效益; $Q_{VS}$ : 水資源工程計畫可增加之有價砂原量; $P_{VS}$ : 單位有價料之價格	元	單位有價料之價格可參考經濟部礦物局調查各縣市所產各類砂石之價格, 如「106 年度砂石產銷調查報告」(2018)。另外, 無價料效益如防淤工程之洩水所挾帶之泥砂, 補充下游河川砂源, 其對於河道的沖刷與海岸的沖蝕將有所助益。砂石可視為成本, 亦可視為效益, 須依分析案例而定。
生態系統服務效益	$B_H = \text{單位面積} \times \text{每人願付價格} \times \text{區域人口數}$ $B_H$ : 水資源工程計畫生態系統服務效益	元	本計畫建議參考內政部營建署城鄉發展分署「105 年至 106 年度國家重要濕地社會經濟價值評估計畫成果報告」
休閒遊憩	1. 增加之觀光遊憩區遊客人次 $\times$ 單位人天遊憩價值 2. 水資源工程計畫所增加休閒遊憩面積 $\times$ 單位面積休閒遊憩願付價值	元	單位人天遊憩價值可參考本計畫整理「每人旅遊價值費用」。單位面積休閒遊憩願付價值建議可參考「105 年至 106 年度國家重要濕地社會經濟價值評估計畫成果報告」相關研究。
減輕災害風險	$B_{DB} = D \times \left( \frac{1}{T_{after}} - \frac{1}{T_{before}} \right)$ $B_{DB}$ : 水資源工程計畫減輕災害風險效益 $D$ : 特定重現期距下水庫集水區保全對象之災害損失; $T_{after}$ : 水資源工程計畫下同災害強度之重現期距; $T_{before}$ : 零方案時原災害強度之重現期距	元	可針對不同災害進行評估, 計算有 / 無水資源工程計畫下減輕之災害風險效益: 潰壩風險 淹水災害風險 即可參考 107 年度「水利工程經濟效益分析方法研究 (1/2)」所建議之防洪工程效益項目及其計量方式 土砂災害生命財產保護

水區保育計畫治理面向所對應之效益, 主要效益項目為減淤增加庫容、水質提升、減輕天然災害、水源涵養、集水區內產業發展、遊憩觀光和生態服務, 本文將較明確的效益項目計量方式整理如表 5 所示。

本文以通案性質進行各項效益之討論, 本節所列出的為一般性列出之具有之可能經濟效益。然對於具有特殊情形之個案, 應不侷限於上述效益, 仍應視計畫內容, 就其影響層面, 基於相關經濟理論, 探討相關對於社會福利改變情形, 評估可能之效益, 必要時可另案辦理相關經濟評估工作, 以臻完善。

### 效益計算

就前節所述之相關效益計算, 均有其依據與論點, 受限於本文篇幅無法逐一介紹, 細節內容在請參閱「水利工程經濟效益分析方法研究」、「水利工程經濟效益分析作業流程及參考手冊(稿)」、「水庫集水區保育計畫之經濟效益評估研究架構」、「108 年度水庫集水區保育計畫之經濟效益評估研究」等計畫報告, 並有相關案例可供參考, 而本文希望供水量增加之效益

計算上進一步就其觀念進行探討。

水資源開發計畫核定或規劃之計畫供水量(出水量)與需求量透過水資源系統分析之供需模擬可計算出年缺水量值, 選定區位之供水潛能限制及蓄水設施之供水量、供水穩定度存有相互影響之關係。水利署之「水資源規劃規範」中規定, 水源運用需對計畫範圍內用水現況及未來用水成長充分瞭解, 再依水文資料, 分析不同設施規模下之供水潛能以及區域水源調度, 滿足計畫供水區域內用水需求。依據水利署擬具之「臺灣地區水資源開發綱領計畫」中說明, 水資源開發計畫供水量評估係使用可容忍缺水為條件來計畫其出水量, 此一可容忍缺水之條件即為水資源設施供水規劃之準則。近年來, 臺灣進行水資源規劃時, 多採用缺水指數 (Shortage Index, SI) 作為供水潛能設計準則, 然一般常以缺水指數  $SI = 1.0$  之供水標準為計畫供水量(出水量)訂定之準則, 但受水文年豐枯之影響, 在各時段並無一致之缺水狀況, 因此會有不確定性存在而造成供水之風險, 故在各區域內供水設施供水標準均採與原規劃或檢討報告相同。缺水指數之優

表 5 集水區保育效益項目記量方式

效益項目	計量方式	單位	說明
<b>減淤增加庫容</b>			
(1) 供水	一般：增加的水庫庫容*水庫運轉次數*供水願付價格；緊急：單位間提供水效益*年用水量*缺水機率	元	
(2) 發電	減淤可供發電之水量(水庫增加容量*發電庫容比例)*發電願付價格	元	
(3) 防洪	-	N/A	考量淤積對於防洪庫容之影響並不顯著，且可透過調整操作規線減少衝擊；對防洪庫容影響小於30%，則建議不予估計；對防洪庫容有顯著影響(>30%)，則建議以個案檢討
<b>水質提升</b>			
(4) 避免高濁度	濁度過高造成無法供水 維持原有供水需增加之替代方案成本，或失去原有供水造成損失	元	
	濁度不佳增加處理成本 當淨水設備充足時，每噸原水所需增加投藥的處理成本	元	注意避免與水量有重複計算問題
	當淨水設備不足時，擴充淨水設施所需之替代成本	元	
(5) 一般水質維護	水質不佳造成無法供水 維持原有供水需增加之替代方案成本，或失去原有供水造成損失	元	
	水質不佳增加處理成本 當淨水設備充足時，每噸原水所需增加投藥的處理成本	元	
	當淨水設備不足時，擴充淨水設施所需之替代成本	元	
<b>減輕天然災害</b>			
(6) 河道變遷淹水災害風險	以疏浚替代成本估計	元	一般而言上游集水區保育計畫與下游生命財產保護較不相關，如有明確關連方與計算
(7) 土砂災害生命財產保護	保護標的生命財產價值*(執行計畫前機率-執行計畫前機率)	元	
(8) 水源涵養	增加利用水量*供水願付價格	元	
(9) 集水區內產業發展(限制)	-	N/A	《水庫集水區治理辦法》、《山坡地保育條例》、《水庫集水區保育綱要》、集水區內應擬定「長期水土保持計畫」，禁止任何開發行為
(10) 遊憩觀光	增加之觀光遊憩區遊客人天次*單位人天遊憩價值	元	
<b>生態服務</b>			
(11) 生態多樣性	-	N/A	濕地：參考內政部營建署城鄉發展分屬(2017)「105年至106年度國家重要濕地社會經濟價值評估計畫成果報告」
(12) 減碳	林地復育面積*林地單位面積二氧化碳固碳量*碳匯價格	元	

點為可以顯示長期之缺水狀況，有明確之規範包含缺水程度、發生頻率、及缺水嚴重性等意義；反之，缺點則無法瞭解某一年內之缺水程度及所持續的時間。因此，本計畫參考 Hashimoto, *et al.* (1982) 提出之可靠度 (reliability)、恢復度 (resiliency)、以及脆弱度 (vulnerability) 三風險指標做為評估供水系統之特性標準；可靠度主要是利用頻率或者機率的角度來看系統滿足需求的情況；而恢復度主要描述一旦系統發生失敗情形時，多快能從失敗的情況中恢復到正常狀態；脆弱度則是反應系統發生失敗情況時所帶來的最大損失有多大。

進行供水相關規劃時，其供水量並非一定，以增加水庫庫容而言，在豐水年可能並無多大效益，因本來水量即已足夠，在枯旱年可能也落入巧婦難為無米之炊的困境，有庫而無水。因此探討不同風險條件下的供水量能是有其必要。圖 6 表示供水量 ( $Q$ ) 與可靠度 ( $R$ ) 之關係； $R_T$  為有 / 無計畫下目標供水量之可靠度； $Q_{T1}$  為零方案時之目標供水量； $Q_{T2}$  為水資源工程計畫之目標供水量； $\Delta Q$  為有 / 無計畫下之目標供水量之差。由圖可知，當供水量減少的情況下，可靠度會提高，意思是越容易達成。然在目標供水量下，不同的供水程度，反

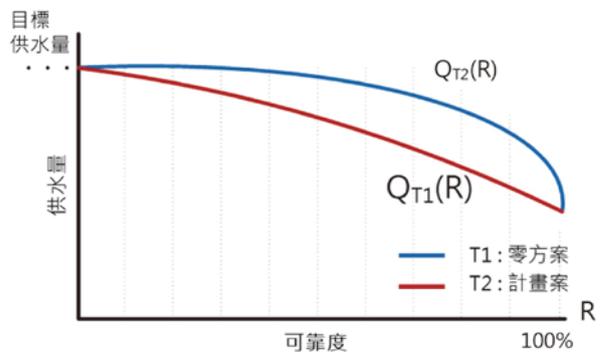


圖 6 供水量與可靠度之關係示意圖

應其滿足目標得程度，以該圖為例，在同一個超越機率下 (可靠度)，會有不同  $Q_{T2}$  與  $Q_{T1}$  即是不同風險條件下之供水量，其均與目標供水量有所差異，為在既有設施下之供水程度。

因次在分析效益時，進行水資源工程計畫可行性評估時應針對不同風險程度下之供水量及其價值進行相關分析，先不考慮風險程度，考慮因為有無計畫，造成供水量  $Q_{T2}$  與  $Q_{T1}$  的差異，而  $Q_{T2}$  與  $Q_{T1}$  又反應不同的缺水比例，因此價值上也會有所差異，供水比例高及缺水率低，因次單位價值會較低，供水比例低而缺水率高，則單位價值會偏高，其反映在需求函數上，因此，因為

增供水量造成之效益可以如圖 7 所示藍色梯形部份，以差分概念可以估計為方程式 (3)，可以解釋為增加水量之平均價值。

$$\begin{aligned}
 & [Q_{T1}(R) - Q_{T1}(R)] \times \frac{P(Q_{T1}(R)) + P(Q_{T2}(R))}{2} \\
 &= [Q_{T1}(R) - Q_{T1}(R)] \times P_{ave}(Q_{T1}(R), Q_{T2}(R)) \\
 &= [Q_{T1}(R) - Q_{T1}(R)] \times P_{ave}(R) \quad (1)
 \end{aligned}$$

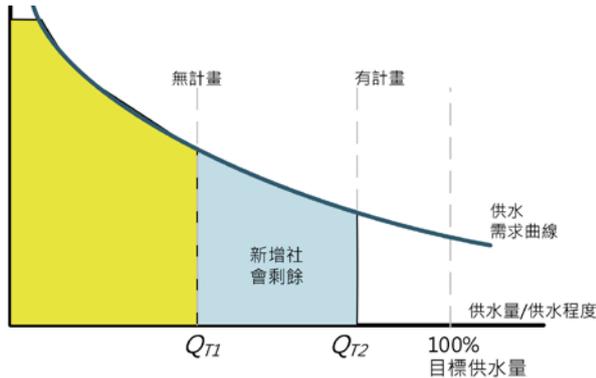


圖 7 增供水量造成新增社會剩餘

當考慮不同可靠度下之供水差距時，就需依據不同可靠度之供水條件進行推估，實際上當可靠度低代表供水量大時，會發生有無計畫，其實都很難達到此一目標之情形，當供水量小時代表枯旱嚴重，也會發生有無計畫其實差距不大的狀況。因此而供水之潛能即水資源工程計畫在不同風險條件下，可增加之供水量效益 ( $B_S$ )，即為方程式 (3) 依據不同條件逐次積分，可表示如下：

$$\begin{aligned}
 B_S &= \int_0^R [Q_{T2}(R) - Q_{T1}(R)] \times P_{ave}(R) dR \\
 &= \sum_{i=1}^N (R_{i+1} - R_i) \\
 &\quad \times \frac{P_{ave}(R_{i+1})(Q_{T2}(R_{i+1}) - Q_{T1}(R_{i+1})) + P_{ave}(R_i)(Q_{T2}(R_i) - Q_{T1}(R_i))}{2} \quad (2)
 \end{aligned}$$

其中  $R_i$  為供水可靠度或風險程度  $i$ ； $P_{ave}$  為該條件下計畫供水量之平均水價，乃由無水資源工程計畫供水價與有水資源工程計畫供水價取平均； $Q_{T1}$  為無水資源工程計畫時之供水量； $Q_{T2}$  為有水資源工程計畫時之供水量。

理論上各水資源系統分析均需要有供水 - 風險可靠度曲線 (Reliability-Yield Curve)，如此才能完整分析。然但現有相關分析報告此一部份常未完整呈現，考量可操作性，故若水資源工程計畫缺乏不同可靠度之供水量之相關資料 (即  $\int_{R=R_i}^1 Q_{T2}(R) - Q_{T1}(R) dR$ )，但可推估乾旱或緊急供水風險時，則可以簡化分析：

$$B_S = R \times (Q_{T2} - Q_{T1}) \times P_{ave} \quad (3)$$

若僅知水資源工程計畫之供水量，假設均為常態供水：

$$B_S = (Q_{T2} - Q_{T1}) \times P_{ave} \quad (4)$$

如能同時考量，也可以根據不同風險及條件依據此原則進行推估

$$\begin{aligned}
 B_S &= R_1 (Q_{T2} - Q_{T1}) \times P(R_1)_{ave} \\
 &\quad + R_2 (Q_{T2} - Q_{T1}) \times P(R_2)_{ave} \quad (5)
 \end{aligned}$$

而供水效益則可透過增加之供水量與願付價格進行評估，然在經濟學用語中，水的願付價格即以用水者的觀點給予水的評價，這通常可以用經濟學中的需求曲線來表示，亦即給予不同的使用水量給予不同的貨幣評價，此需求曲線通常是負斜率的，也就是用水越多，給予的價值越低，願意支付的價格也就越低。若在一定水量範圍下，願付價格不變，或是缺乏供水願付價格之需求曲線，則可假設 WTP 為定值，進行分析供水效益 (BS)。

過去 Hung, et al. (2017) 之臺灣家戶用水需求之相關研究，其中整理臺灣自來水公司 (TWC)、臺北自來水事業處 (TWD) 之水費統計資料平均水價為每噸 14.182 元，此平均水價包含淨水成本等，而非原水之成本。本團隊建議可以參考「水資源規劃經濟效益分析與評估」，依據經濟部水利署水庫資料冊之營運中水庫單位原水成本予以分析增加供水量之效益，此概念即以願付價格大於單位售水成本的概念來評估，其以社會折現率進行轉換，故民國 108 年單位原水成本為每噸 11.90 元，也可視各區域不同採用適當參考值。

較為完整的用水需求曲線估計，團隊過去採取臺灣自來水公司與臺北自來水處的一般用水戶的資料，推估自來水需求函數。估計結果大致符合理論預期，亦即自來水需求函數多數區域符合價量為負向關係的判斷，另外考慮自來水處理成本，及供水率之關係。其立論為自來水公司為用水需求之代理人，可以反應其市場偏好，但須加入水公司之輸水損失及相關成本，進而推求臺灣地區不同供水條件之需求曲線，下圖 8 為本計畫蒐集臺水公司相關用水資料所推估之用水需求曲線，本計畫假設供水可靠度 100% 為供水目標達平均水量。另外，此需求曲線之水價為原水之單位成本，以扣除淨水成本等相關費用。

雖供水應透過水資源模式於不同水文風險下進行供水能力推估，但實際上部分計畫並為進行此一分析，如水資源工程計畫之目標為擴充水庫等蓄水設施現有之防淤能力，使其可持續利用，如排砂工程設施等。考量可行性，其相關效益主要效益為增加庫容、降低潰壩之風險。然增

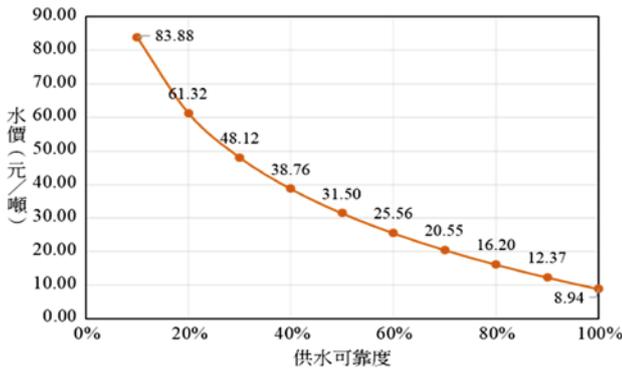


圖 8 原水需求曲線估計結果

加庫容亦屬於增加水庫等蓄水設施可供水量，並可以平均水庫運轉次數、水之願付價格進行評估，如式 (8)。

$$B_s = \text{增加水庫庫容} \times \text{平均水庫運轉次數} \times WTP \quad (8)$$

本計畫蒐集民國 90 年至 106 年 18 座重要水庫蓄水設施調節量統計表。平均水庫運轉次數即以歷年水文量、有效蓄水量和總用水量（包含農業、生活及工業用水等）進行評估（式 (9)），結果如表 6 所示。

$$\text{平均水庫運轉次數} = \frac{\text{總用水量 (m}^3\text{)}}{\text{有效蓄水量 (m}^3\text{)}} \quad (9)$$

依民國 106 年其量測翡翠水庫等重要水庫有效容量合計為 18 億 5,072 萬立方公尺，占 40 座主要水庫量測有效容量 19 億 992 萬立方公尺之 96.90%、占 95 座公告水庫量測有效容量 19 億 5,074 萬立方公尺之 94.87%。本計畫主要探討分析此 18 座重要水庫之平均各標的供水，希望藉由各水庫供水情形提供未來開發

新興水庫參考。

### 經濟成本效益分析運用觀點

然我國成本效益分析方法的應用，主要規範於我國的預算與審計法規體系中以「預算法」為主，因此國內相關分析仍以基於成本效益分析進行，水利相關指導手冊包括經濟部水利署（民國 96 年）「水資源建設與管理環境成本評估手冊」、行政院經濟建設委員會「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊（97 年版）」、經濟部水利署（民國 95 年）「區域排水整治及環境營造規劃技術手冊」、經濟部水利署（民國 95 年）「河川治理及環境營造規劃參考手冊」，在前兩年，團隊則完成「水利工程經濟效益分析方法研究」、「水利工程經濟效益分析作業流程及參考手冊（稿）」、「水庫集水區保育計畫之經濟效益評估研究架構」、「108 年度水庫集水區保育計畫之經濟效益評估研究」等，希望能在相關基礎上建構更完整的成本效益分析架構。

工程人員應該如何看待成本效益分析呢？過去成本效益常被視為計畫所必需、但多為上級單位所要求，必須呈現出想要的預期結果的一項工作，因此常見難為之處常是如何在帳面上調整使計畫看起來可行，因此也常被質疑。然而，成本效益分析應該用更為正面的態度去檢視，分析者應該從不同的面向去看計畫是否值得進行，舉例來說如果一項供水工程結果其土砂的效益過高，或是防洪工程結果大部分的正面效益皆為提供環境正向服務，就有檢視相關計畫定位的問題，透過成本效益分析，可以用於自己檢

表 6 北中南水庫單位庫容供給量統計數值

區別	水庫名稱	每單位有效庫容供給水 + 灌溉		每單位有效庫容供發電	
		平均 (m <sup>3</sup> )	標準差	平均 (m <sup>3</sup> )	標準差
北部	新山	0.79	0.20	-	-
	翡翠	0.68	0.73	2.61	0.56
	石門	3.55	0.75	2.64	1.17
	寶山	6.35	1.80	-	-
	寶二	1.59	2.29	-	-
中部	永如山	2.09	0.64	0.17	0.67
	明德	2.64	0.59	-	-
	德基	-	-	5.59	2.44
	霧社	-	-	8.74	3.90
	日月潭	0.01	0.01	8.80	11.11
	鯉魚潭	3.82	5.29	-	-
	湖山水庫	0.68	-	-	-
南部	仁義潭	2.42	0.72	0.16	0.65
	蘭潭	2.74	0.84	-	-
	曾文	1.29	0.36	2.63	1.04
	烏山頭	-	-	-	-
	南化	1.87	0.60	-	-
	牡丹	1.74	0.41	-	-

資料來源：經濟部水利署各項用水統計資料庫

視計畫的內涵，也可以用來與民眾溝通，而非僅為呈報上級單位審核而已。過去一年我們面對大旱，民眾對於各項工程多有期盼，如海水淡化、污水回收在利用等。在有限資源下，並非所有事情都是有備無患，備則牽涉到多少資源的投入、而患的機率、影響等等，均應仔細檢視。舉例來說，如果相關的備援措施，耗費鉅資、但未來僅僅數十年才啟用一次，則站在國家立場，都需要思考是否有更合理得替代方案。

檢視國內目前重大水資源工程相關建設，雙溪水庫預計增加供水量 12 萬 CMD，經費約為 120 億元。板新地區供水改善計畫預計增供水量 105 萬 CMD，經費目前約為 160 億元。臺南海水淡化場興建成本約 93 億元，且單位營運成本約為 17.47 元 / 噸，但第一階段僅增加 5 萬 CMD、第二階段約為 10 萬 CMD，烏嘴潭人工湖約可供水 18.7 ~ 25 萬噸，計畫經費約為 199 億元。曾文水庫越域引水工程計畫（風災前規劃），增供水量 60 萬 CMD，經費約為 243 億。曾文水庫防淤隧道工程（以減淤庫容之實質效益計算），第五十年可增加 7,300 萬立方公尺供水量、換算約為 20 萬 CMD，操作期間平均可考慮為 10 萬 CMD，所需經費約為所需經費為 57 億。由上述資料可以大致推估，國內原水開發成本，10,000 CMD 大約介於 1.5 ~ 10 億元間。如單純以水資源之價值推估，假設單位水之價值為 10 元 / 噸，每年 365 天、50 年期折現率 3%，10,000 CMD 供水其現值約為 9.67 億元，依此可作為一初步判斷標準。有此可見各項計畫的成本差異，相較於其他工程，海淡為相當昂貴的水資源，本文未探討廢水再生之計畫，但其是否值得大量開發，或是在那個條件下的乾旱是不可或缺的，都需要仔細探討。然此一部份討論單純以相關成本與供水條件進行探討，非完整之成本效益分析計算，當成本面有所變動，或效益面不單純以供水為主時，相關計畫評價會有所改變。

成本效益分析基本上需要協助決策者客觀的檢視相關政策、計畫、方案，來進行對於國計民生最有利的選擇。不管對於政府或民眾，各項主張都不宜主觀認定，基於相關量化分析基礎更能協助來思考各項利弊得失。成本效益分析即以整體社會的角度分析、評估各替代方案或計畫，對社會所有產生的一切效益及成本予以估計分析，並以作為計畫選擇之依據。而經濟影響分析是一種用以了解政策計畫執行後，損失與受益於不同利益關係群體之間分配情形的分析方法。本計畫建議水利工程相關評估，或是國內相關評估，仍須以成本效益分析為

主，主要評估公共建設、政策等方案，如何最大社會整體福利，並於考量國家資源與社會公益上，討論是否有其必要性及優先性。團隊過去就水利工程所需要提出之相關架構提出建議，包含各項成本效益，執行上而言，需對可量化之項目予以估計，然對於不可量化之項目，為避免造成資訊或數據的扭曲而影響決策，建議以文字定性說明。價值的估計仍有一定複雜性，可以依據有無市場存在進行研究，有市場價值可依市場之資訊進行評估，若無市場存在則利用替代市場或是建立一個假設的市場來評估其價值，雖假設市場價值評估法為普遍使用方法，由於其常使用問卷之方式進行調查，資料取得或是樣本數仍有些爭議，故在效益有貨幣化之困難時，可以不將效益全部貨幣化；亦即並未將相關環境效益量化。

本文就成本效益的一些面向進行論述，並以水利工程為主體進行探討，希望能給相關工程從業人員對於成本效益分析有進一步的認識，瞭解其內涵，可以合理運用於相關計畫評價與分析上，避免誤解或誤用。經濟成本效益分析屬於事前之評估，以目前國內條件，全國相關的經濟參數、資料仍相當缺乏，需要相關資料庫之調查與建立，未來希望逐年更新相關資料庫與案例，協助各項分析日臻完善。

## 誌謝

本文主要內容來自水利署研究計畫「水利工程經濟效益分析方法研究」及「108 年度水庫集水區保育計畫之經濟效益評估研究」，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. Ming-Feng Hung, Bin-Tzong Chie, Tai-Hsin Huang. (2017). Residential water demand and water waste in Taiwan. *Environmental Economics and Policy Studies*.
2. 行政院經濟建設委員會 (2008), 「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊 (97 年版)」。
3. 經濟部水利署 (2007), 「水資源建設與管理環境成本評估手冊」。
4. 經濟部水利署 (2008), 「水患治理之經濟效益評估」。
5. 經濟部水利署 (2018), 「水庫集水區保育計畫之經濟效益評估研究架構」。
6. 經濟部水利署 (2019), 「108 年度水庫集水區保育計畫之經濟效益評估研究」。
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2004), 「水資源開發經濟分析財務計畫評估手冊」。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2013), 「水資源規劃經濟效益分析與評估」。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2019), 「水利工程經濟效益分析方法研究」。
10. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2019), 「水利工程經濟效益分析作業流程及參考手冊 (稿)」。



# 整合性水資源管理 — 台灣水資源的價值評估及 其在水資源管理之意涵

闕雅文 / 國立清華大學環境與文化資源學系 教授

水資源與環境、經濟、社會之永續發展環環相扣，牽動生存、生計與環境問題。應進行整合性水資源管理，在自然與人類系統，整合上下游流域、淡水和沿海地區、水與土地資源、地表水、地下水、水量、水質等，以現行最佳技術發展兼顧環境永續的水資源開發利用辦法。並有合宜的政策、立法、制度、機構保護水資源之公共資產，能使用經濟工具，且提供充足資訊管理水資源。另外合理水價機制應能考量配置效率原則、公平原則、財務需求原則、公共健康及公共衛生原則及環境效率原則。而乾早之下標的間調度水資源，應考量公眾利益，在留存生態環境用水前提下，依據使用者付費機制建構合宜規範以反應水資源的稀缺狀況，更需考量環境、公眾等第三者之損失。環境是社會經濟發展之基石，應明確定義與規範環境用水權，規範留存適當比例環境用水。應設置環境用水權，並設置合宜環境用水管理機構。確保水資源之分配利用不會破壞環境系統、造成不可逆轉的環境傷害，方能保育水資源、確保水資源永續利用。

## 緒論

水資源與環境、經濟、社會之永續發展環環相扣，牽動生存、生計與環境問題。1992年聯合國都柏林會議上，水和環境會議主席阿爾科特·拉馬昌德蘭博士曾說：人們很快就能看到，缺乏水資源將制約著一國發展的腳步<sup>[1]</sup>。1998年在德國波昂召開之「全球水資源政策跨國水資源管理合作會議」中明確昭示：「二十一世紀是爭水的世紀」。水資源的供給與需求，具有區域性，在特定時間和地點，水資源短缺已是一個嚴重的問題，水資源之分配確實在肯亞、南非、印度、蘇丹、伊拉克與敘利亞等國家引發衝突。2021年中亞的塔吉克和吉爾吉斯即為了爭奪水源而戰。藍色的地球表面有71%的面積被水覆蓋，卻只有2.5%是淡水，其中僅有1%可供人類和生態系統使用。經濟合作發展組織（Organization

for Economic Co-operation and Development，簡稱OECD）指出2030年全球水需求將會是2005年的兩倍，若沒有合宜水資源管理政策，將影響農作物的生產、也影響野生動物生存。水資源為可補充但會消耗的資源（Replenishable but Depletable Resources），當區域水資源的使用超過補充將使該區水資源不可逆轉地耗盡<sup>[2]</sup>；世界經濟論壇<sup>[3]</sup>在2009年度會議中警告：「若持續以既有的方式耗用水資源，世界經濟將因缺水而崩潰」。為能有效調整水資源供需，水資源政策必須有周詳的規劃與管理，方能邁向永續發展。

水資源管理是多維（multidimensional）、多部門（multisectoral）和多區域（multiregional）的，更是多利益（multi-interests）、多議題（multi-agendas）和多起因（multi-causes）<sup>[4]</sup>。1992年都柏林原則（The Dublin

Principles) 以及 21 世紀議程 (Agenda 21) 指出應採行整合性水資源管理 (Integrated Water Resource Management, IWRM) 來協調整合水資源之分配利用。2015 年聯合國永續發展目標 6: 確保所有人都享有水及衛生設施 (Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all) 即為整合環境、經濟、社會之整合性水資源管理於 2020 ~ 2030 年期望達成之永續發展目標<sup>[5]</sup>。

整合性的水資源管理政策, 以達到經濟與社會福利極大化並確保環境生態永續之水資源開發、保育與管理議題; 在確保永續水資源之供給下, 亦使用各類型之需求面管理政策工具, 維繫有效率的用水與社會公平。整合性的水資源管理政策在多維度的執行層面上, 可大分為供給面與需求面兩面向。供給面政策基本上是提升或維護「水量供給」之「開源」政策, 其管理視資源稟賦與技術能力, 戮力發展兼顧環境永續的水資源開發利用辦法。傳統水資源管理從服務的角度出發, 早期重要基礎建設 (Infrastructure) 之水資源開發, 首重提供滿足基本需要 (needs) 的水資源; 而隨者社會經濟的發展, 水資源不僅僅是生存之所必須, 亦是發展之所必要。然而有限的水資源面對慾望無窮的人類與持續擴增的產業, 窮盡科技開發新的水源來滿足人類社會經濟持續成長的想望 (wants), 終將會面對自然資源稟賦的極限, 尤以氣候變遷之下, 氣候風險提高, 無法僅依賴供給面政策來管理水資源滿足水資源之需求 (demand)。需求面管理則重視水資源「經濟財 (economic good)」的特性, 而非僅為傳統的服務性角色<sup>[6]</sup>; 主要是設計各項政策以「調整需求」改變「用水行為」, 亦即以政策機制促使用水人經濟行為改變。OECD 於 1997 年在澳洲召開水資源永續發展會議, 揭橥: 結合法規之制定、合理水價及費率之訂定、教育宣導、及節水技術之研發與推廣等, 改善用水行為之需求面管理為有效率的水資源管理政策。

台灣的水資源有區域性、季節性與產業別缺水現象, 亟需整合性水資源管理 (Integrated Water Resource Management, IWRM)。再且隨者氣候變遷, 旱澇交替頻繁, 水資源患寡又患不均, 水利署雖積極開源、節流、調度及備援, 台灣水資源政策仍偏重供給面管理, 包括: 水庫清淤、增加庫容、造水、留水, 增加人工湖、伏流水、海淡水與再生水等都為重要供給面政策。供給面之開源政策有其必要, 而面對極端氣候與既定資源稟賦, 需求面管理政策之施行亦具重要性。本文簡介整合

性水資源管理, 並探究台灣水資源之價值與價格、及其在水資源需求面管理政策之意涵。

## 整合性水資源管理

整合性水資源管理 (Integrated Water Resource Management, IWRM) 可以追溯到 1933 年田納西河流域管理局的成立<sup>[7]</sup>, 該管理局整合了導航、防洪和電力生產的功能<sup>[4]</sup>, 並管理田納西河流域之侵蝕控制、娛樂用水和公共健康用水<sup>[8]</sup>。1977 年在阿根廷馬德普拉塔 (Mar del Plata) 舉行的聯合國水資源會議 (Water Conference) 首次提出了人人應享有充足供水、促成了聯合國對滿足基本飲用水質與量需求之人權承諾, 該會議闡明了水管理措施應與其社會、經濟、環境影響聯繫。其中包括透過水價機制反映經濟成本等<sup>[7]</sup>, 亦主張水政單位應協調不同的與水有關的功能<sup>[9]</sup>。

1992 年在愛爾蘭都柏林舉行的水與環境會議, 指出倘若僅從經濟開發角度管理水資源而未進行整合管理, 易引發多面向的問題包括: 水質議題 (quality issues)、過度開發 (overexploitation) 和生態系統退化 (ecosystem degradation) 或社會問題<sup>[7]</sup>。都柏林水與環境會議制定都柏林原則 (The Dublin Principles, 1992) 如下:「原則 1 生態 (Ecological): 淡水是一種有限且脆弱的資源, 對於維持生命, 發展和環境至關重要。原則 2 機構 (Institutional): 水的開發和管理應以公眾參與方法為基礎, 使各級用戶、規劃者和決策者都參與進來。原則 3 性別 (Gender): 婦女在水的供應、管理和維護中起著核心作用。原則 4 經濟 (Economic): 水在所有競爭用途中均具有經濟價值, 應被視為經濟財。」四項原則之多維度 (multidimensional)、多利益 (multi-interests)、多議題 (multi-agendas) 的考量為整合性的永續水資源管理奠定基礎。

1992 年於里約熱內盧舉行的聯合國環境與發展會議之 21 世紀議程第 18 章 (Agenda 21, Chap.18) 說明:「世界許多地區的淡水資源普遍稀缺、逐漸破壞和污染加劇, 以及各不相容活動競用侵蝕水資源, 須對水資源進行整合規劃和管理。整合性水資源管理必須涵蓋所有類型且相互關聯的淡水水體, 包括地表水和地下水, 同時考慮水量和水質。必須體認在社會經濟發展下, 水資源開發需考量多部門 (multi-sectoral) 的需求, 以及水資源的多利益 (multi-interest) 的使用。」

全球水合作夥伴關係（Global Water Partnership, GWP）於 2000 年定義：「整合性水資源管理（IWRM）是促進水、土地和相關資源協調開發和管理的過程；須在不損害重要環境生態系統永續下，以公平的方式極大化水資源開發利用之經濟和社會福利」。整合性水資源管理（IWRM）考量社會、環境和經濟之永續發展，包含自然與人類系統的整合<sup>[10]</sup>，分別說明如下：

#### 自然系統的整合（Natural system integration）

- 淡水和沿海地區的整合管理：上游淡水的管理必須考慮沿海地區的要求與影響。
- 水土資源的整合管理：土地利用影響水的分配和水質。此外，水是生態系統特徵的關鍵決定因素。
- 區別綠水（green water）和藍水（blue water）。
- 地表水和地下水的整合管理。
- 整合水質與水量之管理。
- 整合上下游與水相關的利益：需權衡上游和下游利益相關者之間衝突及利益，必須確定能平衡的使用水資源。

#### 整合人類系統（Human system integration）

- 以水資源為主（Mainstreaming of water resources），亦即自然界之水資源涵容為人類活動之主導與依歸，人類社會經濟活動必須考量自然系統的涵容量、脆弱性和限制。
- 跨部門整合的政策制定：水資源政策與經濟政策必須整合。經濟和社會政策需要考慮其對水資源的影響。水資源政策之環境經濟社會影響是環環相扣的。
- 水資源開發對總體經濟之影響須加以評估。整合性決策的基本原則為：在水資源投資前評估其對總體經濟之影響，對於政策預期之成本及外部成本（external costs）與利益及外部利益（external benefits）需賦予權重。須能權衡短期與長期之抵換。必須對經濟影響進行評估，了解政策決策對用水需求、水資源可用性、和對水質之影響。
- 在水資源政策之規劃和決策過程中整合所有利益相關者（stakeholders）：讓利益相關者參與水資源的管理和規劃以處理利益相關者之間的利益衝突。
- 整合水和廢水（wastewater）管理：水是可重複使用（reusable）的資源，廢水在適當處理下可成為有用的額外資源。

國際水協會（International Water Association, IWA）與聯合國環境規劃署（UN Environment Programme, UNEP）指出整合性水資源管理的原則（IWRM principles）如下<sup>[11]</sup>：

- 整合水和環境管理。
- 遵循系統性方法。
- 所有利益相關者的充分參與，包括勞動者（worker）和社區（community）。
- 關注社會層面。
- 能力（Capacity）建構。
- 資訊的可用性和使用它來預測發展的能力。
- 完全成本定價（Full-cost pricing），輔以有針對性的補貼（subsidies）。
- 中央政府創建和維護良好環境。
- 採用現有最好的技術與執行方法。
- 可靠和持續的金融支持。
- 公平的分配水資源。
- 認知水是一種經濟商品。
- 加強婦女在水資源管理中的作用。

整合性的水資源管理政策在自然和人類系統的整合之下，其執行層面可大分為供給面與需求面。供給面政策基本上是在自然系統整合上下游流域、淡水和沿海地區、水與土地資源、地表水、地下水、水量、水質等，以現行最佳技術發展兼顧環境永續的水資源開發利用辦法。然而有限的水資源面對慾望無窮的人類與持續擴增的產業，窮盡科技開發新的水源來滿足人類社會經濟持續成長的想望（wants），終將會面對自然資源稟賦的極限，尤以氣候變遷之下，氣候風險提高，無法僅依賴供給面政策來管理水資源，滿足水資源之需求（demand）。因此人類系統之整合是以水資源涵容為人類活動之主導與依歸，人類社會經濟活動必須考量自然系統的涵容量、脆弱性和限制，並評估水資源開發或管理政策、和執行需求面管理工具，與建構良好機制與適宜環境以公平有效率的配置水資源。Ezenwaji *et al.*<sup>[12]</sup> 建立需求面管理（Water Demand Management, WDM）策略來管理尼日的用水，並指出需求面管理可以提高用水效率。蕭代基、黃德秀<sup>[13]</sup> 分析水資源需求面管理工具包含：經濟工具中的價格機制與數量管制、行政管制、及技術工具等。闕雅文<sup>[14]</sup> 指出需求面管理政策範疇相當廣泛，包括水資源的移轉和交

易、價格策略、水市場、水量管制策略、用水技術的改善，及水資源保育之宣導與教育等，為透過各用水部門內之用水效率改善與調整、及各用水部門間的調配，達成有效分配之水資源管理制度。

全球水合作夥伴關係 (Global Water Partnership; GWP) 說明 IWRM 的實踐，需仰賴「適宜環境 (enabling environment)」、「機構角色 (institutional roles)」和「管理工具 (management instruments)」<sup>[10]</sup>。其中，「適宜環境」是指能保護所有利益相關者的權利和資產，亦能保護公共資產，包含合宜的政策、立法，及良好國際合作。「機構角色」指提供制度架構或框架之決策思維的正式規則的規範、習俗和慣例，及利益團體及社區團體網絡之想法和資訊。「管理工具」，包括有效監管的操作工具，監督和支持決策者，而能使用經濟工具，提供充足資訊，有效率分配水資源，評估計畫<sup>[10,15]</sup>。如圖 1 所示。

Postel<sup>[16]</sup> 指出整合性的水資源管理的三個關鍵政策目標是社會公平 (Social Equity)、生態永續 (Ecological sustainability) 和經濟效率 (Economic Efficiency)。Meran *et al.*<sup>[7]</sup> 說明社會公平意指：水是基本需求，因此每個人都有獲得足夠數量和質量的水之基本權利。生態永續是指：足夠數量和足夠質量的水應該在環境中持續存在。應該以可持續的方式使用水資源，以便後代能夠以類似於當代的方式使用水資源。經濟效率則說明：由於水的有限性和脆弱性，必須以盡可能高的效率使用水；且應實現供水服務的成本回收；水資源應根據其經濟價值定價。

經濟工具為整合性水資源管理的重要工具。聯合國水與可持續發展會議之都柏林原則四：經濟 (The Dublin Principles No. 4: Economic) 指出水資源應被視為經濟財。聯合國永續發展委員會及二十一世紀議程 (Agenda 21) 宣示：「水將從服務的角色，轉變為商品的性質。」視水為經濟財所強調的是水資源的多面向功能與競爭使用下的稀少性，水資源之管理與完全競爭市場下財產權完備且無外部性之私有財產的一般經濟財並不相同。水資源依不同取供水與使用特性、及各國之水資源法規與制度規範，有不同經濟特質與財貨特性，應有不同的管理方法。Young and Loomis<sup>[17]</sup> 依據美國水資源規範彙整不同取供水之財貨特性如表 1 所示。

Young and Loomis<sup>[17]</sup> 提出警語：承認水資源為經濟財不意味著放任市場是分配這種資源的唯一機制；因市場失靈下倘若完全仰賴看不見的手之資源配置恐將導致效率與總體社會效益的損失<sup>[18]</sup>。依據經濟學理

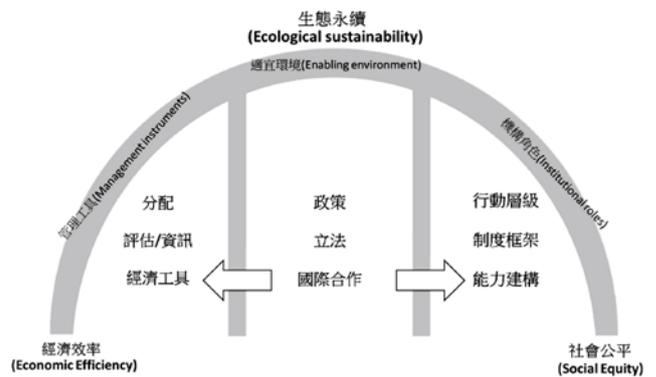


圖 1 整合性的水資源管理的執行架構  
資料來源：GWP<sup>[10,15]</sup>

表 1 美國不同類別取供使用水資源之經濟特質與財貨特性

供應面	經濟特質	財貨特性
■ Withdrawal 地表水	敵對性 (Rival) 河岸水權：無排他性 (Riparian: Nonexcludable)	共有資源 (Common Pool)
	專屬水權：排他性 (Appropriative: Excludable)	俱樂部財 (Club Good)
地下水	無敵對性，無排他性 (Nonrival, Nonexcludable)	共有資源 (Common Pool)
■ Instream		
	無敵對性，無排他性 (Nonrival, Nonexcludable)	公共財 (Public Good)
■ Demand side		
公共用水 (管路輸水)	敵對性，排他性 (Rival, Excludable)	私有財 (Private Good)
工業用水 (管路輸水)	敵對性，排他性 (Rival, Excludable)	私有財 (Private Good)
農業用水 1	敵對性，排他性 (Rival, Excludable)	私有財 (Private Good)
環境用水 2	無敵對性，無排他性 (Nonrival, Nonexcludable)	公共財 (Public good)
	或 無敵對性，排他性 (Nonrival, Excludable)	俱樂部財 (Club good)

資料來源：Young and Loomis<sup>[17]</sup>

註：1. 台灣水資源與農業用水之財產權設定異於美國。

2. 台灣水利法並未設定環境用水。美國環境用水則依其財產權特性有公共財及俱樂部財兩類型。

論，市場交易將促進完全競爭市場下財產權完備資源之使用效率，增加經濟剩餘（economic surplus）與福利效果；但水市場不完全，水資源有其不同於私有財之財貨特性，因而造成市場失靈（market failures），需要設計相關法規機制或是政府介入管制<sup>[19-23]</sup>。如環境外部性（environmental externalities）<sup>[14,24]</sup>、有限制之水權（limited abilities to enforce water rights）<sup>[25-27]</sup>、公平分配之考量<sup>[28,29]</sup>等因素，均使未完善規畫管理下的水市場無法達到公平與有效率的配置。

若談到以市場為基礎的珍稀水資源分配與管理制度之建立，理應將澳洲視為全球佼佼者之一，Australian Government National Water Commission 於 2011 年撰寫澳洲水市場歷程（Water Markets in Australia – A Short History）指出：澳洲水市場緣起於當地居民與政府深刻面對水資源在生產、生活與自然環境的稀少性；1980 ~ 1994 年因應週期性的乾旱開始發展水市場，1994 ~ 2007 年在一連串的水資源管理與水市場政策實踐、試誤與修訂的過程，發現水市場可以提升效率，但水環境的維護方能確保水資源永續利用，2007 開始邁向環境永續為依歸以支持永續的水市場<sup>[30-32]</sup>。澳洲 NWI 之「水資源規劃與管理政策綱領」<sup>[33]</sup>說明：水資源規劃之目的應能達到 (1) 環境與公共利益之維護。(2) 資源安全（resource security）。亦即合宜的水資源規劃應能維護水資源體系的环境與其他公共效益，以確保環境社會經濟之永續發展。而澳洲一系列的水政改革與水市場交易制度奠基於「總量管制與交易制度（cap and trade）」之基本概念，Australian Government National Water Commission<sup>[30]</sup>說明所有可交易水資源之總量管制之設定必須考量長期的環境永續發展（long-term environmentally sustainable）。而「具永續性的抽取程度（Sustainable levels of extraction）」，意味在使用水資源時，不得超過整體社會與環境之可容許程度。

澳洲政府在澳洲 2007 水法（WATER RESOURCE ACT 2007）及 2009 水資源改革（Australian water reform 2009）中重新規範水權與水市場，並於國家水市場系統（National Water Market System, NWMS）計畫下建構國家水市場網站（The National Water Market website）以提供水交易者必要的訊息。尤以農業用水之交易，亦訂定下列規範，可為台灣乾旱期水資源交易或農業用水移用時制訂相關規範之參考。包括：

(1) 水交易或農業用水之移用應考量最小成本及環境限制。(2) 水交易或農業用水之移用應於競爭性之中介市場發生，並應使交易成本最小；所謂的成本包含財務成本、取得成本、處理成本、登記成本、及中介成本。(3) 水交易或農業用水之移用應可接受各種因應不同用水需求而衍生之具變化性之水交易產品，例如可以全部或部分交易水權或水分配權，可以使用租賃或其他交易方式等。應因應乾旱水資源稀少之需求，精細規範與定義各類型於乾旱時可移用之水權、或分配水量。(4) 水交易或農業用水移用不能引至不能接受之第三者權利受損（unacceptable third-party impacts）；例如環境的損害、或損害其他用水者之權益。Australian Government National Water Commission<sup>[30]</sup>指出實施水市場制度，水市場之設計與組成中所不可或缺的要素，即其必要條件須包括：(1) 能夠確保消費性與環境用水利用間的平衡。(2) 定義完整、安全、可執行、可移轉的水權，亦即參與交易之用水應設計符合經濟學上完整財產權定義之水權。(3) 需具備完備的市場法規。(4) 需設立公開公平的交易平台。(5) 需有嚴格而完整的登記註冊、水資源會計（water accounting）之規範、及 (6) 必須明確定義角色、責任、與權益之合理體制與治理措施。

水資源的管理、分配、利用都需考量環境、社會、與經濟因子。Canelas de Castro<sup>[34]</sup>指出國際水法發展趨勢朝向環境化，人性化，經濟化（environmentalization, humanisation, economicisation）以有效因應當前全球缺水危機所面臨的挑戰。Loftus<sup>[35]</sup>說明人類制度與環境之關聯仍是影響水資源配置效率的重要原因。Roozbahani *et al.*<sup>[36]</sup>亦發現水資源分配須考量環境，社會和經濟效益（economic, social and environmental benefits），並使用多目標模型（multi-objective model）分析伊朗的水資源配置效率，並透過實證分析指出環境效益目標的達成，會提高水資源整體的配適效率。Zhuang<sup>[37]</sup>指出加州流域間的水移轉不可避免的會影響環境生態。Pan and Han<sup>[38]</sup>針對瀋陽水資源環境承載能力使用水資源綜合模糊模型進行評估，發現隨者水資源供需的日趨失衡，水環境承載力日趨下降。Rajesh *et al.*<sup>[39]</sup>在印度的研究亦指出跨流域的水移轉應評估對環境的影響。Chaturvedi *et al.*<sup>[40]</sup>指出水資源調配應考慮水資源之價值與產值、水資源之需求、及使用水資源可能造成之汙染。Onencan and Van de

Walle<sup>[41]</sup>以尼羅河流域水資源的分配利用，說明公平合理利用是水資源分配的核心原則。Farriansyah *et al.*<sup>[42]</sup>發現在印尼用水戶之間的水資源分配不平衡正在擴大，並指出應依據：可持續性、效率、與公平三個最重要的準則訂定水資源配置規範。Gimelli *et al.*<sup>[43]</sup>對於印度城市法里達巴德，德里和孟買的水資源配置，指出公平是水資源分配的重要指導原則。Chen and Pei<sup>[44]</sup>說明跨流域調水具有準公共利益特徵，其運作應考慮水的環境效益和社會福利最大化。Mass *et al.*<sup>[45]</sup>使用回歸模型找出水資源保育動機對公共用水需求之影響。Truong<sup>[46]</sup>指出澳洲 Murray Darling Basin (MDB) 的環境用水邊際效益有時比灌溉用水的邊際效益高。Namara *et al.*<sup>[47]</sup>闡述無效率的水資源管理與貧窮的連結，並更進一步說明忽略環境生態的水資源管理，將導致貧窮的惡性循環。Ho *et al.*<sup>[48]</sup>指出澳洲近年來面臨嚴峻的乾旱，然而在缺水之下卻發現環境生態的保育亦應重視，方能維繫水資源永續。

澳洲水法 (Water Act, 2007) 針對環境用水建立立法治下的保護規範。Australian Government<sup>[30]</sup>說明澳洲是世界上少數使用水市場機制來管理環境用水的國家，提撥計畫經費採購環境用水以確保環境所需。林冠好和闕雅文<sup>[49]</sup>彙總 The Australian Water Partnership<sup>[50]</sup> 澳洲管理環境用水之重要性相關規範，其要項如表 2 所示。

Gallaghera *et al.*<sup>[51]</sup>指出水資源之分配利用應著重經濟活動、生態系統功能、和社會福祉之維繫，以維持人與環境和諧相處之綠色成長 (green growth) 目標。Johnston<sup>[52]</sup>說明為了避免迫在眉睫的水資源短缺和糧食安全危機，許多國家正在重塑淡水資源管理的

優先事項，建構制度並具體實踐，以邁向永續發展；水資源、與文化多樣性、和全球環境變化之間具緊密聯繫，Johnston<sup>[52]</sup>認為，要實現可持續發展目標，解決複雜而持久的衝突，就需要 (1) 在管理和使用河流系統中需要更尊重和承認不同文化的人民之權利、價值、和貢獻，(2) 建構新興水資源管理機制應優先建置滿足環境和文化用水之機制。Adamson and Loch<sup>[53]</sup>則說明公共財之維繫會增加國民福利，並且與這種想法一致的是：澳大利亞的默里達令盆地 (MDB) 使用公共財增購方式買進環境水權。公平 (Equitable) 與合理 (reasonable) 分配利用水資源是水資源管理之核心。闕雅文編譯<sup>[54]</sup>之「澳洲環境用水管理規範與環境用水採購概況」敘明：澳洲管理環境水權，保育環境用水的方法，可為台灣管理水權與設定水權之參考，例如：

- (1) 台灣水利法中對於水權之設定應獨立設定屬共有財之環境水權 (commonwealth environmental water)。
- (2) 台灣應設法釐清水法中農業用水水權與環境用水水權之設定，但對於農業用水衍生之環境外部效益應審慎研析其規範與管理方法。
- (3) 澳洲對於環境用水的保育與採購機制與規範，頗值得台灣相關單位持續觀察與研析。
- (4) 澳洲不同類型之環境用水交易機制，頗值得台灣相關單位持續觀察與研析。

2015 年聯合國永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) 整合環境、經濟、社會之永續發展，其目標 6：確保所有人都能享有水及衛生及其永續管理，即為整合性水資源管理於 2020 ~ 2030 年應達成之永續發展目標<sup>[5]</sup>。綜觀其目標需於 2030 年達成

表 2 澳洲的環境用水之重要性與規範

環境用水的重要性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 環境用水是人們維持環境系統健康的重要基礎，而環境系統的健康可廣泛的維持社會和經濟的運作，環境系統的健康可實現永續發展目標，亦可加速社會和經濟的進步。</li> </ul>
環境用水管理所帶來的效益	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 有效的管理環境用水可能有利於貧困者，因貧困者往往更加仰賴健康的環境來維持生計，因此環境用水管理可能對他們生活產生積極正面的影響。</li> </ul>
管理環境用水須考量的事情	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 權衡可用的備選方案對環境用水所維繫的價值可能造成的影響。</li> <li>● 確保水資源的抽取不會破壞環境系統的限制、與不可逆轉的破壞環境系統的健康並且使所有仰賴水所產生的價值受到威脅。</li> </ul>
有效率的管理環境用水框架	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 確認水管理的願景與水的價值</li> <li>● 了解不斷變化的水供應與需求</li> <li>● 在不同用途之間分配水資源</li> <li>● 確保管理機制與機構的有效</li> <li>● 發展具韌性的水基礎設施和服務</li> <li>● 追求日益提升水管理與使用效率</li> </ul>

資料來源：The Australian Water Partnership<sup>[50]</sup>、林冠好和闕雅文<sup>[49]</sup>

者為：(1) 讓全球的每一個人都有公平的管道，可以取得安全且負擔的起的飲用水。(2) 讓每一個人都享有公平及妥善的衛生，特別注意弱勢族群中婦女的需求。(3) 改善水質，減少污染，將未經處理的廢水比例減少一半。(4) 大幅增加各產業用水。(5) 全面實施整合的水資源管理，包括跨界合作。(6a) 針對開發中國家的水與衛生有關活動與計畫，擴大國際合作與能力培養支援。(6b) 支援及強化地方社區的參與，以改善水與衛生的管理。其中唯一在 2020 年以前迫切要達成的則為：(6) 保護及恢復跟水有關的生態系統，包括山脈、森林、沼澤、河流、含水層，以及湖泊。環境是永續發展的基石，顯見在整合性水資源管理中水環境保育、及環境用水維護是當務之急，此可為台灣水政機關參考；尤以環境用水之設立，於台灣水利相關法規中尚未具明確定義，為台灣相關規範亟待調整之處。

## 台灣水資源的價格和價值分析

### 合理的水價原則

合宜水價機制是提倡改善水分配、用水效率、公平和可持續性的水需求管理重要工具之一。Heino and Takala [55] 指出水價的公平性是一個重要的議題。Favre-Marine and Montginoul [56] 針對突尼西亞 (Tunisia) 的水價制定政策，指出財務 (實現全額成本回收)、社會 (確保所有人獲得用水) 和環境 (激勵用戶節省稀缺資源) 是水價制定最重要的三項原則。Zaied *et al.* [57] 則建議突尼西亞 (Tunisia) 應採行季節性水價、及累進性水價，以實現環境保護和社會公平的目標。Ojha *et al.* [58] 指出尼泊爾加德滿都的水價制定，應能考量供水的可持續性、民眾可負擔、與公平。Ballesteros [59] 則指出透過水價機制可提升用水效率以促進節約用水之行為。

合理的水價，黃宗煌等 [60] 及 闕雅文 [61] 指出不同政策目標下，合理水價之定價原則包含：配置效率原則、公平原則、財務需求原則、公共健康及公共衛生原則及環境效率原則。闕雅文 [61] 說明：配置效率原則下，水資源的定價方式應能反映水資源成本或價值。對於民生基本生活用水，需以公平原則為首要考量，以保障不同所得者之民生基本用水權益。對於工、商業用水與超出基本需水量之用水，則基於公平原則，可有下列三種定價方式：(1) 依消費者付費能力定價。(2) 依受益原則定價，即依消費者用水所產生之效益加以定價。(3) 依消費者

機會成本大小定價，以確保公平定價之達成。再者水資源之定價需能滿足自來水公司財務需求目標，且合理的水價，應可使消費者經濟的使用水源，並能夠提供社會大眾合乎公共健康、公共衛生安全之潔淨用水。而闕雅文 [61] 對於環境效率原則之看法與 Young and Loomis [17] 相同，指出自然資源之生態環境效益 (life-support function and ecological services that environment capacity generates) 與美質效益 (amenity) 等使用價值 (use value) 與非使用價值 (nonuse value) 之非市場價值 (non-market value) 逐漸為人們重視。為合理利用與保護生態環境資源，水資源價格訂定應能適切反應水資源之環境成本。

IWA and UNEP [11] 指出整合性水資源管理下水價應該採行完全成本定價 (Full-cost pricing)，輔以有針對性的補貼 (subsidies)。Giwa and Dindi [62] 指出確保阿聯酋用水安全和可持續性用水的可能解決方案之一是引入反映成本的水價。Romano *et al.* [63] 指出依據水資源的取用成本制定水價，是一合宜的水價制定方式。Kanakoudisa-Vasilis *et al.* [64] 彙總 The Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC 指出：歐盟成員國都應制定並實施可收回全額水成本，亦即包含：直接成本，環境和水資源成本之水價政策。Kejser [65] 針對歐盟之水價策略研究亦指出：有效率之水價應將所有水成本，包括環境和資源成本內部化。整體而言，水資源的管理與水價制定，應滿足環境、社會、與經濟之永續發展需求。Rogers *et al.* [66] 及 Meran *et al.* [7] 整理：供應水資源的成本，包括營運成本、資本費用、機會成本、經濟外部性、環境外部性，而總和這些成本為其全部成本，從供給面分析水價若能滿足全部成本方可達水資源永續，故為其永續的使用價值 (Sustainable value in use)。如圖 2 所示。

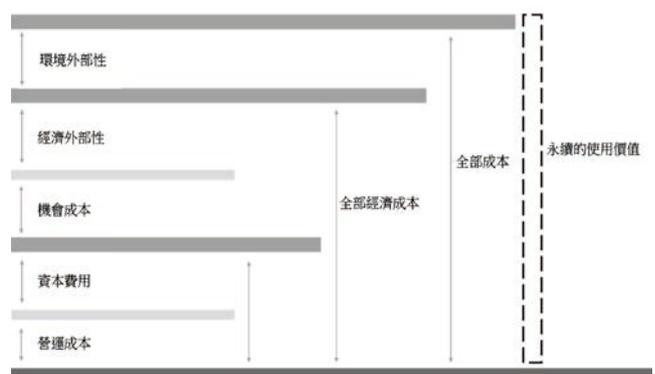


圖 2 水資源成本面計價原則

資料來源：Rogers *et al.* [66]、Meran *et al.* [7]

闕雅文於 1998 年<sup>[61]</sup>指出台灣水價機制有以下問題：(1) 水資源定價低廉而僵固，無法達成水資源之配置效率。(2) 採統一水價，有違合理水價訂定之公平原則。(3) 現行水價未反應水資源環境成本，有違環境效率原則。並建議：(1) 改革水價調整制度，成立水價評議委員會、(2) 取消統一水價，依不同用水標的制定合宜水價機制、(3) 訂定國民基本生活用水量，在水價制度中設計合宜機制維持國民生計基本需求、及 (4) 調高現行水價反應水資源成本等<sup>[61]</sup>。這些議題中，現行的自來水法（民國 110 年 02 月 03 日修訂版）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；其計算公式及詳細項目，由主管機關訂定；其由直轄市或縣（市）主管機關訂定者，應報請中央主管機關核定之」。自來水法第 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」。現行水利法（民國 110 年 05 月 26 日修訂版）第 84-1 條：「為水資源有效及永續利用，中央主管機關得向用水超過一定水量之用水人徵收耗水費」。從法規之修正看來，闕雅文<sup>[61]</sup>所建議之水價評議委員會已有法治基礎，水價機制似乎是可具彈性的；應修訂之統一水價在耗水費徵收下似稍有改善。但目前台灣水價仍低廉且僵化，氣候風險提高之下更凸顯水資源之有限性，台灣的水價機制尚有許多亟待改革之處；然而在台灣現行水價下，不易由水資源價量變動之關聯找出水資源需求特性，需使用經濟分析與實證方法找出水資源需求特性，或評估水資源價值以襄助訂定合宜水價。

### 台灣水資源之需求價格彈性與價值評估

水資源需求與水價相關研究中，Ekeland and Djitte<sup>[67]</sup>認為若可獲取交易價格，則直接蒐集交易之價量資訊，以回歸方法估算需求曲線（demand function）或反需求曲線（inverse demand function），為一較為精確之需求預測方法。Lin and Liao<sup>[68]</sup>也認為對市場交易情勢越了解、越能提供詳實之市場資訊，並可進一步使用所推估之反需求曲線分析獨占或寡佔市場之競爭型態。Qi and Chang<sup>[69]</sup>曾蒐集 2003 年到 2009 年 Manatee Country, Florida 的公共用水資料，預測公共用水需求。

Babel *et al.*<sup>[70]</sup>使用 multi-scale relevance vector regression（MSRVR）預測生活用水需求，提升預測的準確度。Ben Zaied and Binet<sup>[57]</sup>應用突尼斯（1980 ~ 2007 年）的需水資料，使用季節性整合方法（model seasonal patterns）模擬住宅用水需求的季節性模式，並依據研究結果提出可誘導節水之 multi-step pricing scheme 水價方案。Tsur *et al.*<sup>[71]</sup>亦使用引伸需求函數，計算農業用水於不同規模與不同作物別農戶之用水需求函數，期望有助於提升農業部門之用水效率。而 Khawam *et al.*<sup>[72]</sup>指出所推估之需求函數有助於巴貝多制訂水資源需求面管理之價格機制。

水資源需求價格彈性研究是水價機制設計之重要資訊，Nauges and Thomas<sup>[73]</sup>計算法國的生活用水需求，並分析生活用水需水者與供水單位之談判力量，該研究並發現生活用水者之議價能力、與談判力量取決於其需求函數特性。Dalhuisen, *et al.*<sup>[74]</sup>則根據交易水價、水量之日、月、季資料，分別以回歸方法推估用水需求函數，計算水資源之日、月、季需求彈性。Wichman<sup>[75]</sup>引入 quasi-experiment 評估北卡羅來納州提升公共給水區段價格之影響，發現平均價格彈性估計從 -0.43 到 -1.14 不等，指出水價彈性可為水價機制設計之參考。Garrido<sup>[76]</sup>則指出可依據所推估之反需求曲線建立適當決價方式。Renzetti<sup>[77]</sup>使用引伸需求理論蒐集加拿大製造業的抽取量（intake）、處理量（treatment）、再循環（recirculation）及排放量（discharge），並計算其需求函數。發現加拿大製造業的用水需求彈性介於 -0.1534 到 -0.5885 之間。Renzetti<sup>[77]</sup>並指出計算製造業的用水需求彈性有助於水價政策設計。Bontemps and Couture<sup>[78]</sup>則使用動態規劃模型計算灌溉用水的需求函數，並發現灌溉用水需求不具價格彈性。Hansen<sup>[79]</sup>則計算丹麥（Denmark）家庭用水（Residential）需求彈性，發現丹麥家庭用水需求不具彈性，介於 -0.003 到 -0.10 之間。Strand and Walker<sup>[80]</sup>則指出需求彈性的計算有助於適當價格政策之規劃，並蒐集美國中部（Central American）城市的家庭用水價量資訊及家計單位的社會經濟變數，計算家庭用水的需求彈性，發發現美國中部家庭用水需求不具彈性為 -0.1 到 -0.2 之間。Khawam *et al.*<sup>[72]</sup>搜集加勒比海上水資源匱乏之巴貝多（Barbados）之 136 個家計單位，自 1987 到 2001 年之家庭用水用量、所付出之水價、所得、雨量等資訊，估

計需水函數，並推估巴貝多居民家庭用水需求彈性為  $-0.18$  到  $-0.29$ 。家庭用水所得彈性為  $0.81 \sim 0.94$ 。顯示水資源需求不具彈性。

水資源應根據其經濟價值定價<sup>[7,10,16]</sup>；但對於自然資源而言，反映稀少性並成功用於指導私營部門投資和資源分配的價格信號通常不存在或被扭曲，從而使與自然資源相關的公共部門決策複雜化<sup>[17]</sup>。水資源除了投入產業生產衍生市場財效益外，水資源在環境、經濟、與社會面向均具功能與效益，如：個人生存、公共衛生、生態維護、環境美質等均屬非市場價值（non-market value）；需綜合考量市場與非市場價值，水資源才能公平與效率的配置。雖然市場價格會在水資源配置中發揮越來越大的作用，但因水資源之財貨特性，市場的功能受到限制；因此，應用經濟評估程序：如非市場財效益評估方法了解需求面對水資源之價值評估，可以在水資源相關的公共政策方面發揮重要作用<sup>[17]</sup>。

非市場效益評估常為環境溝通與政策設立之基礎，Mayer<sup>[81]</sup>指出環境社會學之研究與環境溝通應輔以條件評估法（Contingent Valuation Method, CVM）之評估，增進利害關係者之相互理解。條件評估法廣泛用於各項非市場財評估：Hundie and Abdisa<sup>[82]</sup>使用 CVM 評估 Jigjiga city 供水改善之效益。Jin *et al.*<sup>[83]</sup>應用 CVM 評估瀾江保護區的支付意願（WTP）。Jones *et al.*<sup>[84]</sup>評估科羅拉多河上最大的水利發電格倫峽谷大壩（Glen Canyon Dam）之綠色發電減碳之效益、Lee<sup>[85]</sup>則評估民眾對汙水處理之願付價格、Tonin<sup>[86]</sup>評估保育海洋生物多樣性之效益、Tussupova *et al.*<sup>[87]</sup>評估哈薩克斯坦的帕夫洛達爾地區公共用水者對整合性水資源供給改善之支付意願（WTP）、Wang, Song and Chen<sup>[88]</sup>評估江蘇省霧霾防治的非市場價值、Xie and Zhao<sup>[89]</sup>評估天津居民對綠色電力之水利發電願付價格、及 Aoun<sup>[90]</sup>使用條件評估法衡量受訪者為保育保護區願意支付的費用（WTP）均使用條件評估法評估上述各項非市場財。

針對台灣水資源之經濟分析，闕雅文<sup>[91]</sup>建構區域水管理者之隨機動態之跨期決策模式，應用獨佔廠商之存貨模型，在水資源供給面與需求面均不確定的情形下，考量跨期儲水、與越域引水，建立區域水資源調派管理行為分析之理論模型，並使用動態跨期選擇方法分析最適決策行為。模型分析結果發現：(1) 水

政單位不應設計僵固之水價，以免妨礙水資源之配置效率。(2) 區域水資源調配管理機構在無法建造大型水庫之環境限制下，應設法挖埤塘蓄水、租用水田並將其休耕蓄水、或建構人工湖儲水，以提高跨期儲水比例。(3) 若能有正確之氣象與雨量預測，或各行業之水資源需求函數，將有助於水資源之分配更趨效率。此可為台灣乾旱缺水調配之參考。

台灣水資源需求與價格彈性研究中，Huang and Chiueh<sup>[92]</sup>蒐集 1989 年 1 月至 2006 年 12 月台灣工業用水與生活用水部門移用農業用水之水資源交易月別資料，共計 1,233 筆，資料內容包括：交易水價量、賣方水利會別、買方行業別中分類、乾旱或非乾旱、交易區位平均每人每月用水量、買方當月平均工時等資料，以縱橫資料（Panel Data）迴歸分析中隨機效果模型（Random Effects Model），推估 Model A: 1989 ~ 2006 年所有期間、及 Model B: 2002 年、2003 年、2004 年、及 2006 年之乾旱年移用農業用水之反需求函數（Inverse Demand Function），發現乾旱年不同行業別對交易水價格之影響不相同，交易價格於旱季較高，可為制定旱季水價之參考。買方產業別之受雇員工每人每月平均工時越高，則對水價有正向影響。交易灌區平均每人每月用水量與交易水價呈現正相關。Chiueh<sup>[93]</sup>曾蒐集 1998 年到 2008 年間非乾旱期之台灣工業用水者移用農業用水之交易月別資料，共計 1087 筆月別資料，以縱橫資料（Panel Data）迴歸分析中隨機效果模型（Random Effects Model），推估工業用水部門於平時移用農業用水之需求函數（Demand Function），發現交易區位、買方產業別、交易明目、交易價格、送水方式、取水來源、水利會是否進行加強灌溉管理、躉售物價指數及台灣交易區位人口數對交易水量有顯著影響，並計算台灣工業用水者移用農業用水之需求價格彈性為  $-0.368$ ，為無彈性之需求。需求彈性之計算在台灣合宜水價機制之制定應具參考價值。

關於台灣的水資源之價值評估，Chiueh *et al.*<sup>[94]</sup>針對用水量較大之工業區及科學園區，包括新竹工業區、中壢工業區、台中工業區、林園工業區、新竹科學工業園區、中部科學工業園區與台南科技工業區之廠商，使用條件評估法（Contingent Valuation Method, CVM）針對廠商對再生水評價議題進行研究，將條件評估法運用於再生水評價議題，並能了解產業界對再

生水使用意願與願付價格，同時指出具誘因機制之水資源管理政策設計提升水資源之分配利用效率。Chiu<sup>et al.</sup> [94] 之研究發現：(1) 政府擔保再生水水質等同自來水，且「全年無休、水質保證、缺水損失賠償」，並提供「再生水專管輸水、及免費接管服務」，且「使用再生水超過總工業用水量 40% 之公司可以減收 50% 廢水處理費」之條件下，工業用水戶願意負擔 13.97 元 / 噸購買再生水。(2) 在政府擔保再生水水質優於自來水「全年無休、水質保證、EC < 10  $\mu$ S/cm、缺水損失賠償」，並提供「再生水專管輸水、及免費接管服務」，且「使用再生水超過總工業用水量 40% 之公司可以減收 50% 廢水處理費」，工業用水戶願意負擔 17.8 元 / 噸購買再生水。(3) 在政府擔保再生水水質優於自來水「全年無休、水質保證、EC < 1  $\mu$ S/cm、缺水損失賠償」，並提供「再生水專管輸水、及免費接管服務」，且「使用再生水超過總工業用水量 40% 之公司可以減收 50% 廢水處理費」，工業用水戶願意負擔 23.4 元 / 噸購買再生水。

為了解工業用水者對於乾旱與非乾旱對其生產使用之原水價值評估，Chiu<sup>et al.</sup> [95] 假設政府擔保農業用水水質等同原水，選定用水量較大之工業區及科學園區作為調查對象，使用條件評估法 (Contingent Valuation Method, CVM) 訪問工業用水者對於移用農業用水之願付價格 (WTP)，訪問新竹工業區、中壢工業區、台中工業區、林園工業區、新竹科學工業園區、中部科學工業園區與台南科技工業區之廠商。研究結果發現：(1) 假設政府擔保農業用水水質等同原水，且「全年無休、水質保證、缺水損失賠償」，並提供「農業用水專管輸水、及免費接管服務」，工業用水者願意以每噸水 13.33 元 / 噸，於平時移用農業用水。(2) 在乾旱缺水時，假設政府擔保農業用水水質等同原水，且「水質保證、缺水損失賠償」，並提供「農業用水專管輸水、及免費接管服務」，工業用水者願意以每 28.63 元 / 噸於缺水時移用農業用水。(3) 假設政府擔保農業用水水質等同原水，且可於氣候變化之前，先與農田水利會簽訂農業水資源移用契約，約定若乾旱發生農田水利會需擔保「水質保證、缺水損失賠償」，並提供「農業用水專管輸水、及免費接管服務」，工業用水者願意於氣候變遷前預先支付每噸農業用水移用預付金 1 元 / 噸，確保乾旱時能夠以事

先談定的合理價格購得水資源。但是若未發生乾旱，實際並不需要移用農業用水，此預付金亦不反還。

Paarlberg [96] 指出應評估農業多功能性之外部效益，以提升農業補貼政策之政策效率。Cocklin and Mautner [97] 亦指出農業土地會影響環境的多功能性。Bateman *et al.* [98] 亦指出氣候變遷改變農業土地使用，對環境、生態產生影響，因而影響人類社會福祉。Singh [99] 說明在印度能持續的進行農作生產來自精細的水資源管理；然而往昔忽略環境與生態系統的水資源管理造成現今農業生產的困境與傷害，因此農業的永續需依存於環境生態的永續。Knox, Kay and Weatherhead [100] 指出世界的農業用水都面臨嚴峻的競爭使用的壓力，農業部門面臨提升用水效率的考驗與壓力，環境生態之用水常因而成為農業部門提昇效率的受損者，也因此政府相關單位更需要制訂良好的農業用水管理政策以維繫環境生態。對水田灌溉衍生的環境、糧食、文化效益評估。Chang and Ying [101] 曾經評估民眾對水田的水土保持功能的願付價值 (willingness to pay, WTP)。Aizaki *et al.* [102] 也曾經使用擬真 (realistic assumption) 的假設性問題評估日本水稻田的多功能價值。Kallas *et al.* [103] 結合 CVM 與決策理論中 Analytical Hierarchy Process 評估農業之多功能性。Chiu<sup>et al.</sup> [104] 使用條件評估法評估台灣專家學者及都會地區民眾對水田的環境保育之願付價值。

Chiu<sup>et al.</sup> [105] 嘗試應用效益與價值評估方法，結合條件評估法 (Contingent Valuation Method, CVM) 及分析網路程序法 (Analytic Network Procedures, ANP)，藉由問卷調查的方法，評估國人對農業用水所提供環境與生產效益之偏好結構與相對權衡尺度，及農業用水之整體生產與環境多功能效益。發現水稻田之非市場效益與稻穀生產產值之比值則為 3.756，顯示若僅計算市場財產值，將低估水稻田休耕移用農業用水對全體社會之福利減損。Chiu<sup>et al.</sup> [105] 之研究發現台灣民眾心中農業用水的使用與非使用價值之總效益為 31.96 元 / 噸，其中農業用水衍生之生產產值效益為 6.72 元 / 噸、糧食安全效益為 10.24 元 / 噸、環境生態保育效益為 7.27 元 / 噸、文化傳承與社區營造效益為 4.02 元 / 噸、及休閒遊憩及景觀美質效益為 3.70 元 / 噸。本文彙整 Chiu<sup>et al.</sup> [105]、Chiu<sup>et al.</sup> [95]、Chiu<sup>et al.</sup> [94] 針對台灣水資源非市場價值評估結果如圖 3 所示。

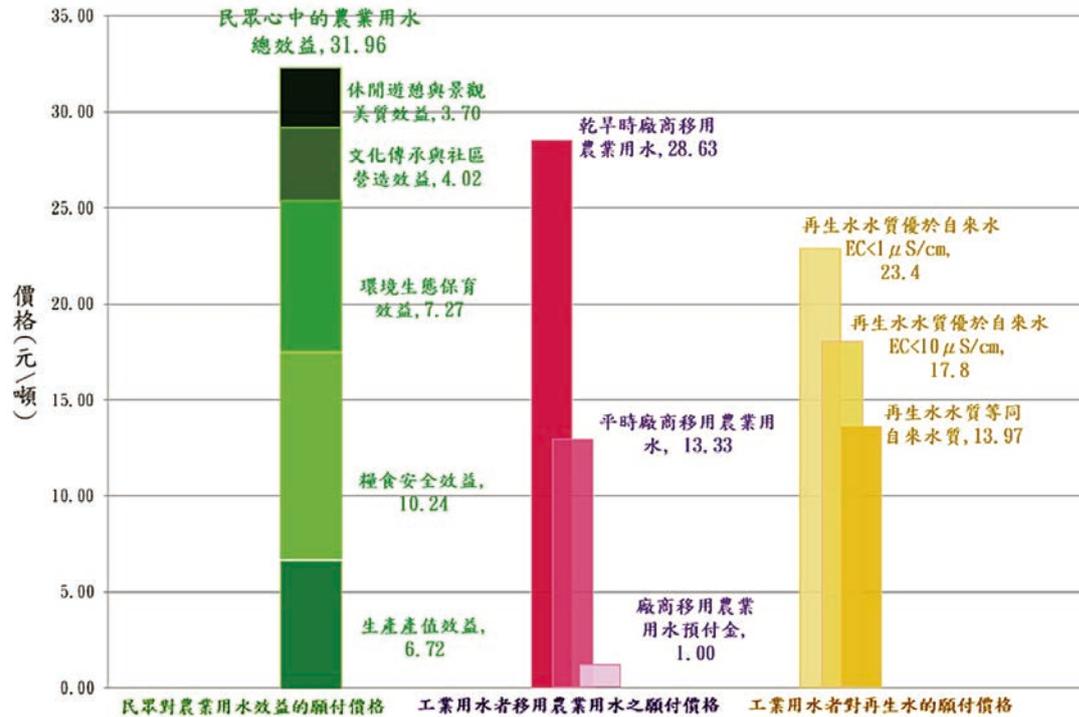


圖 3 台灣水資源之價值分析相關實證結果匯總

資料來源：整理自 Chiueh<sup>[105]</sup>、Chiueh and Huang<sup>[95]</sup>、Chiueh *et al.*<sup>[94]</sup>

為權衡生態環境基盤的維護、社會公平、及經濟效率，水資源的環境、經濟、與社會之非市場價值評估在政策設計中具重要性。由圖 3 Chiueh *et al.*<sup>[94]</sup>：工業用水對再生水的願付價格之評估結果，可發現隨著再生水質提高，工業用水者願意負擔越高的再生水價；且再生水價在穩定供水的保證下，尚高於現行自來水價，顯見自來水價有其上漲空間。再者由 Chiueh and Huang<sup>[95]</sup>：工業用水者移用農業用水之願付價格之研究發現工業用水者具使用者付費之意願。且在穩定供水的保證下，對於等同原水水質之農業用水願付價格亦高於現行自來水價，顯見現行自來水價過於低廉，低於工業用水者對其生產使用之原水價值評估。加以 Chiueh<sup>[93]</sup> 分析台灣工業用水者移用農業用水之需求價格彈性為  $-0.368$ ，顯見此水價仍有上漲之空間。調配水之計價機制應能適切反應當時水資源稀缺狀況。再者工業用水者於乾早期願付價格為  $28.63$  元/噸與非乾早期之願付價格為  $13.33$  元/噸，可見其願付水價較現行自來水價能反映水之珍稀狀況，於缺水時願意負擔兩倍高之移用水價；且為了降低氣候風險，維持穩定供水，願意於平時簽訂如選擇權般的契約以確保缺水時之穩定供水。其實證結果之管理政策意涵為：應能夠明確定義與規範使用者付費的緊

急調配機制以反應當時水資源稀缺狀況。

另一方面，Chiueh<sup>[105]</sup> 針對民眾對農業用水之生產與環境多功能效益之願付價格評估可知：Chiueh<sup>[105]</sup> 評估之民眾心中農業用水的總效益其實是高於 Chiueh and Huang<sup>[95]</sup> 使用一樣的方法（條件評估法）所評估之工業用水者願意負擔的移用水價。為利於分析說明，將農業用水總效益  $31.96$  元/噸，區分為：屬於生產產值效益  $6.72$  元/噸、及屬於環境多功能效益之  $25.24$  元/噸（包含：糧食安全效益、環境生態保育效益、文化傳承與社區營造效益、及休閒遊憩及景觀美質效益）；若僅考量農業用水生產產值效益而未考量農業用水之環境多功能效益，則農業生產產值效益低於工業用水之願意負擔之移用水價。然而農業的生產與環境效益是聯產品，農業生產同時會衍生農業之環境效益<sup>[106]</sup>；農業用水亦然，同時具備生產與環境效益（Chiueh<sup>[105]</sup>）倘若僅關注比較工業用水與農業用水之生產產值效益決定水資源調度，則恐會發生資源無效率之配置。因此乾早之下標的間調度水資源，應學習澳洲與美國之規範，考量公眾利益，在留存生態環境用水前提下，考量環境、公眾等第三者之損失，且應明確定義與規範環境用水權，規範留存適當比例環境用水。

## 結語

環境是社會經濟發展之基石，水資源之管理需要政策機制與經濟工具相配合，以減少政府失靈與市場失靈，提升水資源配置之公平與效率<sup>[27]</sup>。本文僅就整合性水資源管理、水資源價格與價值分析與環境用水之設定提出以下建議：

1. 應進行整合性水資源管理，在自然與人類系統，整合上下游流域、淡水和沿海地區、水與土地資源、地表水、地下水、水量、水質等，以現行最佳技術發展兼顧環境永續的水資源開發利用辦法。並有合宜的政策、立法；制度、機構保護水資源之公共資產，考量利益團體及社區團體網絡之意見和資訊，並能使用經濟工具，提供充足資訊管理水資源。
2. 合理水價機制應能考量配置效率原則、公平原則、財務需求原則、公共健康及公共衛生原則及環境效率原則。且水政單位不應設計僵固之水價，以免妨礙水資源之配置效率。
3. 乾旱之下標的間調度水資源，應考量公眾利益，在留存生態環境用水前提下，依據使用者付費機制建構合宜規範以反應水資源的稀缺狀況。且需考量環境、公眾等第三者之損失。若有正確之氣象與雨量預測，精確之水資源供給分析、或各行業之水資源需求函數，將有助於水資源之分配更趨效率。
4. 環境用水是維持環境系統健康的重要基礎，而環境系統的健康方能維持社會和經濟的運作。應明確定義與規範環境用水權，規範留存適當比例環境用水。應修訂水利法設置環境用水，並設置合宜環境用水管理機構。確保抽取水資源不會破壞環境系統、造成不可逆轉的環境傷害，方能保育水資源、確保水資源永續利用。

## 誌謝

本文主要內容來自科技部研究計畫 106-2625-M-007-002- 及 108-2625-M-007-001-，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. Bulloch, J. and Darwish, A., "Water Wars: Coming Conflicts in the Middle East," Victor Gollancz Ltd, (1994).
2. Tietenberg, T. and Lewis, L., "Environmental Economics: The Essentials," Taylor & Francis eBooks, (2020).
3. World Economic Forum, "The Global Competitiveness Report 2009-2010," (2010). [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalCompetitivenessReport\\_2009-10.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2009-10.pdf)
4. Biswas, A.K., "Integrated water resources management: A reassessment - A water forum contribution," *Water International*, 29(2), pp. 248-256 (2004).
5. United Nations, "Department of Economic and Social Affairs-Sustainable Development," (2021). <https://sdgs.un.org/goals>
6. World Bank, "The Demand-Responsive Approach," (1999). <http://www.wsp.org/English/Conference/key.html>
7. Meran, G., Siehlow, M., von Hirschhausen, C., "The Economics of Water- Rules and Institutions," This Springer (2021).
8. Mitchell, B. (Ed.), "Integrated water management: International experiences and perspectives," London: Belhaven Press (1990).
9. Snellen, W.B. and Schrevel, A., "IWRM: for sustainable use of water: 50 years of international experience with the concept of integrated water management," In: *Proceedings of the Netherlands Conference on Water for Food and Ecosystems*, vol. 31, (2004).
10. GWP, "Integrated water resources management," Technical advisory committee (TAC) background paper no. 4. Stockholm, Sweden: Global Water Partnership (2000).
11. IWA, UNEP., "Industry as a partner for sustainable development: Water management," London: Beacon Press (2002).
12. Ezenwaji, Emma E., Bede M. Eduputa Joseph E. Ogbuozobe, Employing "Water Demand Management Option for the Improvement of Water Supply and Sanitation in Nigeria," *Water Resource and Protection*, 2015, 7, pp. 624-635 (2015).
13. 蕭代基、黃德秀，「台灣水資源需求面管理策略之探討」(2008)。 <https://www.ctci.org.tw/media/2254/%E5%8F%B0%E7%81%A3%E6%B0%B4%E8%B3%87%E6%BA%90%E9%9C%80%E6%B1%82%E9%9D%A2%E7%AE%A1%E7%90%86%E7%AD%96%E7%95%A5%E4%B9%8B%E6%8E%A2%E8%A8%8E%E6%9C%AC%E6%96%87-%E5%BC%95%E8%A8%80%E4%BA%BA%E8%95%AD%E4%BB%A3%E5%9F%BA.pdf>
14. 闕雅文，「農業用水移用之經濟效益分析與補償標準之研議」，*經社法論叢*，第 22 期，第 331-360 頁 (1998)。
15. GWP, "Catalyzing change: A handbook for developing integrated water resources management (IWRM) and water efficiency strategies," Technical advisory committee (TAC) background paper no. 5, Stockholm, Sweden: Global Water Partnership (2004).
16. Postel, S., *Last oasis: Facing water scarcity*, New York: W.W. Norton (1992).
17. Young, R.A. and Loomis, J.B., *Determining the economic value of water: concepts and methods*, Routledge (2014).
18. Scitovsky, T. "The meaning, nature, and source of value in economics," *The Origin of Values*. New York: Aldine de Gruyter, pp. 93-106 (1993).
19. Chiueh, Y.W., "Evaluation the compensation to farmers for paddy irrigation water transferring in Kaohsiung area," *Journal of Hsinchu University of Education*, 2008, 1, pp. 133-146 (2008).
20. Burness H.S. and J.P. Quirk, "Appropriative water rights and the efficient allocation of resources," *The American Economic Review*, 69, pp. 25-37 (1999).
21. Howe C.W., D.R. Schurmeier, and J.W. Douglas Shaw, "Innovative approaches to water allocation: the potential for water markets," *Water Resources Research*, 44, pp. 439-445 (1986).
22. Caswell M., E. Lichtenberg, and D. Zilberman, "The effect of policies on water conservation and drainage," *American journal of Agricultural Economics*, 72, pp. 883-890 (1990).
23. Rosegrant, M.W. and H.P. Binswanger, "Markets in tradable water rights: potential for efficiency gains in developing country water resource allocation," *World Development*, 22, pp. 1613-1625 (1994).
24. Chakravorty U.E. Hochman, and D. Zilberman, "A spatial model of optimal water conveyance," *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, pp. 25-41 (1995).
25. Young, R.A., "Why are there so few transactions among water users?"

- American Journal of Agricultural Economics, 68, pp. 1143-1151 (1986).
26. Rhodes, G.F., Jr and Sampath, R.K., "Efficiency, equity and cost recovery implications of water pricing and allocation schemes in developing countries," *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 36, pp. 103-117 (1988).
  27. 闕雅文, 「市場失靈還是政府失靈? 台灣農業用水移用市場分析」, 高應科大人文社會科學學報, 第四期, 第 309-338 頁 (2007)。
  28. Howitt, R. E., "Empirical analysis of water market institutions: the 1991 California water market," *Resource and Energy Economics*, 16, pp. 357-371 (1994).
  29. Miller, K. A., "Water banking to manage supply variability," *Advances in the Economics of Environmental Resources*, Vol.1, pp. 185-210 (1996).
  30. Australian Government National Water Commission, "Water Markets in Australia – A Short History," (2011). <https://apo.org.au/sites/default/files/resource-files/2011-12/apo-nid27438.pdf>
  31. Musgrave, W., "Historical development of water resources in Australia: Irrigation policy in the Murray-Darling Basin," *Water policy in Australia: The impact of change and uncertainty*, pp. 28-43 (2008).
  32. Watson, A., and Cummins, T., "Historical influences on irrigation and water policy in the Murray-Darling Basin," In *Network: a publication of the ACCC for the Utility Regulators' Forum*, 38, pp. 1-7 (2010).
  33. Council of Australian Governments, *NWI Policy Guidelines for Water Planning and Management 2010*, (2010). <https://www.coag.gov.au/node/461>
  34. Canelas de Castro, P., "Trends of Development of International Water Law," *Beijing Law Review*, 2015, 6, pp. 285-295 (2015).
  35. Loftus, A., "Water (in) security: securing the right to water," *The Geographical Journal*, 2015, 181(4), pp. 350-356 (2015).
  36. Roozbahani, R., Schreider, S., and Abbasi, B., "Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences," *Environmental Modelling & Software*, 64, pp. 18-30 (2015).
  37. Zhuang, W., "Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review," *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(13), pp. 12867-12879 (2016).
  38. Pan, J., and Han, C., "Fuzzy assessment of water resources-environmental carrying capacity of Hunnan New District in Shenyang," In *2012 International Symposium on Geomatics for Integrated Water Resource Management* (p.1-4), IEEE (2012).
  39. Rajesh, S. V. J. S. S., Rao, P., and Niranjana, K., "Inter-Basin Water Transfer Impact Assessment on Environment of Pennar to Cauvery Link Canal," *International Journal of Technology & Engineering*, 2016, 3(3), pp. 175-194 (2016).
  40. Chaturvedi, N. D., Manan, Z. A., Alwi, S. R. W., and Bandyopadhyay, S., "Effect of multiple water resources in a flexible-schedule batch water network," *Journal of Cleaner Production*, 125, pp. 245-252 (2016).
  41. Onencan, A. M., and Van de Walle, B., "Equitable and Reasonable Utilization: Reconstructing the Nile Basin Water Allocation Dialogue," *Water*, 10(6), pp. 707 (2018).
  42. Farriansyah, A. M., Juwono, P. T., Suhartanto, E., Dermawan, V., and Alyaminy, R. S., "The Performance of Equalization Model of Water Allocation Inter Irrigation Areas in River System," In *MATEC Web of Conferences*, 147, 03005, pp. 1-9 (2018).
  43. Gimelli, F. M., Rogers, B. C., and Bos, J. J., "The Quest for Water, Rights and Freedoms: Informal Urban Settlements in India," *International Journal of Urban and Regional Research*, 42(6), pp. 1080-1095 (2018).
  44. Chen, Z. and Pei, L., "Inter-Basin Water Transfer Green Supply Chain Equilibrium and Coordination under Social Welfare Maximization," *Sustainability*, 2018, 10(4), 1229 (2018).
  45. Maas, A., Goemans, C., Manning, D., Kroll, S., Arabi, M., and Rodriguez-McGoffin, M., "Evaluating the effect of conservation motivations on residential water demand," *Journal of environmental management*, 196, pp. 394-401 (2017).
  46. Truong, C. H., "A Two Factor Model for Water Prices and Its Implications for Evaluating Real Options and Other Water Price Derivatives," *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 62(1), pp. 23-45 (2014).
  47. Namara, R. E., Hanjra, M. A., Castillo, G. E., Ravnborg, H. M., Smith, L., and Van Koppen, B., "Agricultural water management and poverty linkages," *Agricultural water management*, 97(4), pp. 520-527 (2010).
  48. Ho, C. K., Armstrong, D. P., Doyle, P., and Malcolm, L. R., "Impacts of changing water price and availability on irrigated dairy farms in northern Victoria," *Australian Farm Business Management Journal*, 2(2), 96 (2005).
  49. 林冠好、闕雅文, 「臺灣水資源交易機制與環境用水標的設置分析」, 第 23 屆海峽兩岸水利科技交流研討會, 金門 (2019)。
  50. The Australian Water Partnership *Environmental Water*, (2019). <https://waterpartnership.org.au/our-offering/environmental-water/>
  51. Gallagher, L., Laflaive, X., Zaeske, A., Brown, C., Lange, G. M., Ahlroth, S., ... and Miralles-Wilhelm, F. R., "Embracing risk, uncertainty and water allocation reform when planning for green growth," *Aquatic Procedia*, 6, pp. 23-29 (2016).
  52. Johnston, B.R., "Human needs and environmental rights to water: a biocultural systems approach to hydrodevelopment and management," *Ecosphere*, 4(3), 39 (2013).
  53. Adamson, D., and Loch, A., "Achieving environmental flows where buyback is constrained," *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 62(1), pp.83-102 (2018).
  54. 闕雅文編譯, 「澳洲環境用水管理規範與環境用水採購概況」, 農委會農業政策網頁: 主要國家農業政策法規與經濟動態, (2011)。
  55. Heino, O., and Takala, A., "Social norms in water services: Exploring the fair price of water," *Water Alternatives*, 8(1), pp. 844-858 (2015).
  56. Favre, M., and Montginoul, M., "Water pricing in Tunisia: Can an original rate structure achieve multiple objectives?" *Utilities Policy*, 55, pp. 209-223 (2018).
  57. Ben Zaied, Y., and Binet, M. E., "Modelling seasonality in residential water demand: the case of Tunisia," *Applied Economics*, 47(19), pp. 1983-1996 (2015).
  58. Ojha, R., Thapa, B. R., Shrestha, S., Shindo, J., Ishidaira, H., and Kazama, F., "Water price optimization after the Melamchi Water Supply Project: Ensuring affordability and equitability for consumer's water use and sustainability for utilities," *Water*, 10(3), 249 (2018).
  59. Ballesterio, A., "The ethics of a formula: Calculating a financial-humanitarian price for water," *American Ethnologist*, 42(2), pp. 262-278 (2015).
  60. 黃宗煌、傅祖壇、吳慧瑛、蕭代基、李堅明、杜拓亨、葉淑琦、鄭凱倫、倪惠燕、蘇明達, 「水權費率之訂定及其經濟問題之研究 (一)」, 經濟部水利司委託專題研究計畫 (1996)。
  61. 闕雅文, 「促進水價合理化政策之評議」, 自由中國之工業, 第 88 卷, 第 9 期, 第 79-95 頁 (1998b)。
  62. Giwa, A., and Dindi, A., "An investigation of the feasibility of proposed solutions for water sustainability and security in water-stressed environment," *Journal of Cleaner Production*, 165, pp. 721-733 (2017).
  63. Romano, G., Guerrini, A., and Campedelli, B., "The new Italian water tariff method: A launching point for novel infrastructures or a backwards step?" *Utilities Policy*, 34, pp. 45-53 (2015).
  64. Kanakoudis, V., Tsitsifli, S., Gonalas, K., Papadopoulou, A., Kouziakis, C., and Lappos, S., "Determining a socially fair drinking water pricing policy: the case of Kozani, Greece," *Procedia engineering*, 162, pp. 486-493 (2016).
  65. Kejser, A., "European attitudes to water pricing: Internalizing environmental and resource costs," *Journal of environmental management*, 183, pp. 453-459 (2016).
  66. Rogers, P., Bhatia, R., and Huber, A., *Water as a social and economic good: How to put the principle into practice*, Stockholm: Global Water Partnership/Swedish International Development Cooperation Agency

- (1998).
67. Ekeland, I., and Djitté, N., "An inverse problem in the economic theory of demand," In *Annales de l'Institut Henri Poincaré © non linear analysis*, Vol. 23, No. 2, pp. 269-281 (2006).
  68. Lin, C.C. and Liao, C.H., "The computation of Cournot–Nash equilibria for the time-definite freight delivery industry under an oligopolistic market," *Computers & operations research*, 33(2), pp. 328-344 (2006).
  69. Qi, C., and Chang N.B., "System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts," *Journal of Environmental Management*, 92, pp. 1628-1641 (2011).
  70. Babel, M.S., Maporn, N., and Shinde, V.R., "Incorporating Future Climatic and Socioeconomic Variables in Water Demand Forecasting: A Case Study in Bangkok," *Water Resources Management*, 28(7), pp. 2049-2062 (2014).
  71. Tsur, Y., Dinar, A., Doukkali, R.M., and Roe, T., "Irrigation water pricing: policy implications based on international comparison," *Environment and Development Economics*, pp. 735-755 (2004).
  72. Khawam, W., Virjee, K., and Gaskin, S., "Water demand management measures: Analysis of water tariffs and metering in Barbados," *Journal of Eastern Caribbean Studies*, 31(2), pp. 1-25 (2006).
  73. Nauges, C. and Thomas, A., "Privately operated water utilities, municipal price negotiation, and estimation of residential water demand: The case of France," *Land Economics*, pp. 68-85 (2000).
  74. Dalhuisen, J.M., Florax, R.J., De Groot, H.L., and Nijkamp, P., "Price and income elasticities of residential water demand: a meta-analysis," *Land economics*, 79(2), pp. 292-308 (2003).
  75. Wichman, C.J., "Perceived price in residential water demand: Evidence from a natural experiment," *Economic Behavior & Organization*, 107, pp.308-323 (2014).
  76. Garrido, R., "Price Setting for Water Use Charges in Brazil," *Water Resources Development*, 21(1), pp. 99-117 (2005).
  77. Renzetti, S., "Estimating the structure of industrial water demands: the case of Canadian manufacturing," *Land Economics*, pp. 396-404 (1992).
  78. Bontemps, C. and Couture, S., "Irrigation water demand for the decision maker," *Environment and development economics*, pp. 643-657 (2002).
  79. Hansen L.G., "Water and energy price impacts on residential water demand in Copenhagen," *Land Economics*, 72(1), pp. 66-79 (1996).
  80. Strand, J. and Walker, I., "Water markets and demand in Central American cities," *Environment and Development Economics*, pp. 313-335 (2005).
  81. Mayer, A., "Contingency, cost, and a fracking ban: Extending sociological research with the contingent valuation method," *Methodological Innovations*, 11(2), pp. 1-11 (2018).
  82. Hundie, S.K. and Abdisa, L.T., "Households' willingness to pay for improved water supply: Application of the contingent valuation method," *Evidence from Jijjiga Town, Ethiopia*, *The Romanian Economic Journal*, 19(62), pp. 191-214. (2016).
  83. Jin, M., Juan, Y., Choi, Y., and Lee, C. K., "Estimating the Preservation Value of World Heritage Site Using Contingent Valuation Method: The Case of the Li River, China," *Sustainability*, 11(4), 1100 (2019).
  84. Jones, B.A., Ripberger, J., Jenkins-Smith, H., and Silva, C., "Estimating willingness to pay for greenhouse gas emission reductions provided by hydropower using the contingent valuation method," *Energy Policy*, 111, pp. 362-370 (2017).
  85. Lee, J., "Income and distance-decay effects on willingness to pay estimated by the contingent valuation method," *Journal of environmental planning and management*, 59(11), pp. 1957-1981 (2016).
  86. Tonin, S., "Estimating the benefits of restoration and preservation scenarios of marine biodiversity: An application of the contingent valuation method," *Environmental Science & Policy*, 100, pp. 172-182 (2019).
  87. Tussupova, K., Berndtsson, R., Bramryd, T., and Beisenova, R., "Investigating willingness to pay to improve water supply services: Application of contingent valuation method," *Water*, 7(6), pp. 3024-3039 (2015).
  88. Wang, G., Song, Y., Chen, J. and Yu, J., "Valuation of Haze Management and Prevention Using the Contingent Valuation Method with the Sure Independence Screening Algorithm," *Sustainability*, 8(4), 310 (2016).
  89. Xie, B.C. and Zhao, W., "Willingness to pay for green electricity in Tianjin, China: Based on the contingent valuation method," *Energy Policy*, 114, pp. 98-107 (2018).
  90. Aoun, D., "Who pays more to preserve a natural reserve, visitors or locals? A confidence analysis of a contingent valuation application," *Environmental Economics and Policy Studies*, 17, pp.471-486 (2015).
  91. 闕雅文, 「區域水資源調配管理之行為分析模型」, *農業與資源經濟*, 第六卷, 第一期, 第31-46頁 (2009)。
  92. Huang, C.C., and Chiueh, Y.W., "Estimating the inverse demand function for transferring agricultural water in Taiwan," *Paddy and Water Environment*, 8(1), pp. 99-104 (2010).
  93. Chiueh, Y.W., "The price elasticity of transferring agricultural water to industrial water during non-drought period in Taiwan," *Paddy and Water Environment*, 10(1), pp. 41-47 (2012).
  94. Chiueh, Y.W., Chen, H. H., and Ding, C. F., "The willingness to pay of industrial water users for reclaimed water in Taiwan," *Current Issues of Water Management*, pp. 261-270 (2011).
  95. Chiueh, Y.W., and Huang, C.C., "The Willingness to Pay by Industrial Sectors for Agricultural Water Transfer During Drought Periods in Taiwan," *Environment and Natural Resources Research*, 5(1), pp. 38-45 (2015).
  96. Paarlberg, R., *Governance and food security in an age of globalization*. Political Science (2002). <https://www.semanticscholar.org/paper/Governance-and-food-security-in-an-age-of-Paarlberg/f7eab6217b8d26d4968dcdff60a3f2cc1b8fb518>
  97. Cocklin, C., Dibden, J., and Mautner, N., "From market to multifunctionality? Land stewardship in Australia," *Geographical Journal*, 172(3), pp. 197-205 (2006).
  98. Bateman, I.J., Harwood, A.R., Mace, G.M., Watson, R.T., Abson, D.J., Andrews, B., ... and Termansen, M., "Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom," *science*, 341(6141), pp. 45-50 (2013).
  99. Singh, A., "Decision support for on-farm water management and long-term agricultural sustainability in a semi-arid region of India," *Journal of Hydrology*, 391, pp. 63-76 (2010).
  100. Knox, J.W., Kay, M.G., and Weatherhead, E.K., "Water regulation, crop production, and agricultural water management—Understanding farmer perspectives on irrigation efficiency," *Agricultural water management*, 108, pp. 3-8 (2012).
  101. Chang, K., and Ying, Y.H., "External Benefits of Preserving Agricultural Land: Taiwan's Rice Fields," *The Social Science Journal*, 42(2), pp. 285-293 (2005).
  102. Aizaki, H., Sato, K., and Osari, H., "Contingent valuation approach in measuring the multifunctionality of agriculture and rural areas in Japan," *Paddy and Water Environment*, 4(4), pp. 217-222 (2006).
  103. Kallas, Z., Gómez-Limón, J.A., and Hurlé, J. B., "Decomposing the value of agricultural multifunctionality: combining contingent valuation and the analytical hierarchy process," *Journal of Agricultural Economics*, 58(2), pp. 218-241 (2007).
  104. Chiueh, Y.W., and Chen, M.C., "Multifunctionality of paddy fields in Taiwan- an Application of Contingent Valuation Method," *Paddy and Water Environment*, 6, pp. 229-236 (2008).
  105. Chiueh, Y.W., "Environmental Multifunctionality of Paddy Fields in Taiwan- A Conjunction Evaluation Method of Contingent Valuation Method and Analysis Network Procedures," *Environment and Natural Resources Research*, Vol. 2, No. 4, pp. 114-127 (2012).
  106. Jordan, N., and Warner, K.D., "Enhancing the multifunctionality of US agriculture," *BioScience*, 60(1), pp. 60-66 (2010). 



# 電動車時代： 機會、挑戰與展望

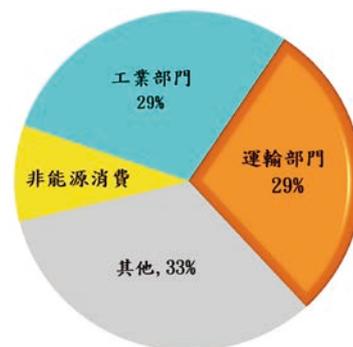
謝依芸／國立臺灣大學土木工程學系電腦輔助工程組 助理教授

全球暖化造成的極端氣候現象日益加劇，提高了人們的環保意識，也推動了移動零排放的電動車聲勢與銷量。近年來，電動載具的市場正快速的成長：2020年，全球電動車保有量已超過一千萬輛；儘管受到新冠肺炎疫情的衝擊，電動車銷售量仍達到每年三百萬輛，市占率約4.6%。現今不論是經濟性或是便利性皆有利於傳統燃油車的持續發展，因此政府的引領及決策對於運輸電動化轉型扮演著至關重要的角色。相比於燃油車，電動車能提供多項潛在社會效益，包含提升運輸能源效率、保障國家能源安全、對抗氣候變遷、改善空氣品質與促進經濟發展等。然而，電動車要被廣泛採用與普及化目前仍存在著重大阻礙，包括購買價格、行駛里程焦慮和充電方便性。本文針對電動車目前面臨的機遇、挑戰與未來展望進行回顧與概述；文章旨在提供基於科學研究為基礎的指南資訊，幫助讀者與產業轉型的利害關係人了解未來電動化世代的關鍵面向。

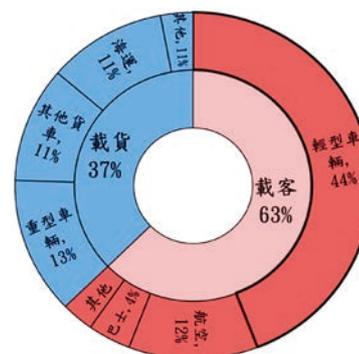
關鍵詞：電動車、能源轉型、電池材料資源、技術經濟分析

## 前言

隨著全球人口的膨脹、經濟收入的增加與都市化的進展，人類對機動化程度的需求提升和對能源的需求達到了前所未有的水平；交通運輸部門約占世界能源消耗總量的29%（圖1(a)），而載客運輸（尤其是輕型車輛）占交通能耗的絕大部分（圖1(b)）<sup>[1]</sup>。由於全球交通能源消耗主要來自於汽油和柴油兩種石油燃料（汽油主要用於載客運輸，而柴油主要用於載貨運輸），使逐日增長的運輸需求與車輛使用量對環境造成負面衝擊。燃燒汽柴油的車輛在行駛中會產生二氧化碳和其他會進一步生成懸浮微粒和臭氧的化學物質：二氧化碳為溫室氣體，將導致全球暖化與氣候變遷，而運輸部門現今約占全球二氧化碳排放量的四分之一；懸浮微粒與臭氧則會導致都市空氣污染問題，對當地人體健康造成傷害，車輛的廢棄排放在世界的各大城市（如北京、新德里、巴黎、墨西哥城等）被認定為造成空污的主要原因。為實現巴黎氣候協議之目標（即將全球平均氣溫升幅，在本世紀末之前控制在與工業化前相比攝氏2度的範圍



(a) 全球能源消耗按部門分



(b) 運輸能源消耗按模式分

圖1 2017年 global (a) 各部門能源消耗比例與 (b) 運輸部門內的細項組成

內，以減少氣候變遷的風險和危害）與創造永續的宜居城市，世界各國政府推動各項減排行動，而交通運輸系統的能源轉型成為必須經歷的過程。

當今全球政府推進運輸能源之綠色轉型的手段為引導高能耗高排放的傳統內燃引擎汽車逐步退出市場，並同步鼓勵發展低油耗低排放的先進車輛動力技術及替代燃料。

(1) 近年來，各區域對傳統燃油汽車退出市場的規劃與新能源為綠色運輸工具的使用之風氣不斷提高，加速了全球對電動車佈局與發展的腳步。自 2016 年開始，越來越多的國家、省和州政府已相繼製定了全面禁售燃油車的時間表（大多數目標集中在輕型車，尤其是乘用車），以達到其碳排放和空氣品質之目標。表 1 列出了各地政府宣佈新銷售乘用車輛電動化之目標與年分<sup>[2]</sup>：十多個國家（主要是歐洲國家）提出了在 2025 及 2040 年之間禁售燃油車的時間表，其中又以挪威的目標最為雄心勃勃，目標是在 2025 年全面銷售零排放車型電動車輛。

(2) 依照動力系統（或動力來源）之不同，市場上常見的車輛大致可分為四種類型：傳統內燃引擎車（Internal Combustion Engine Vehicle, ICEV）、油電混合車（Hybrid Electric Vehicle, HEV）、插電式油電混和車（Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV）和純電動車（Pure Battery Electric Vehicle, BEV）。中短期內要降低運輸部門對石油的依賴以及減少機動車輛的排放，較有效的方法為內燃機引擎搭配混

合動力系統與車輛節能技術；中長期來看，發展新能源汽車（即電動載具）是必須且至關重要的。

隨著永續運輸發展的意識抬頭，新能源汽車成為全球性的熱門議題。電動車（Electric Vehicles, EV；包含 PHEV 和 BEV）被認為是能取代傳統燃油引擎的一低碳道路交通工具。近十年電動車銷售強勁成長，2020 年整體車市雖然受新冠肺炎疫情影響，但全球電動車銷售份額卻持續增長至 4.6%（等同於 300 萬輛/年）；截至 2020 年底，全球電動車保有量已超過 1,000 萬輛（市占率約 1%）。值得注意的是，歐洲在 2020 年首次在電動車銷售數量方面超越中國，以單年 140 萬輛新註冊電動車的成績位居世界第一，中國則是以單年 120 萬輛緊追在後，全球的銷售市場仍然不成比例地集中在少數幾個地區，如圖 2 所示。以電動車普及率來看，挪威依舊遙遙領先他國，在 2020 年銷售份額達到 75%，較 2019 年增長約三分之一<sup>[3]</sup>。

表 1 國家 / 省 / 州級政府宣告之燃油乘用車退出時間表

國家 / 省 / 州	禁止銷售燃油車之目標年分	國家 / 省 / 州	禁止銷售燃油車之目標年分
挪威	2025	蘇格蘭（英國）	2032
瑞典	2030	英國	2035
丹麥	2030	加州（美國）	2035
荷蘭	2030	加拿大	2040
愛爾蘭	2030	法國	2040
冰島	2030	西班牙	2040
斯洛維尼亞	2030	新加坡	2040
海南（中國）	2030	哥斯大黎加	2050

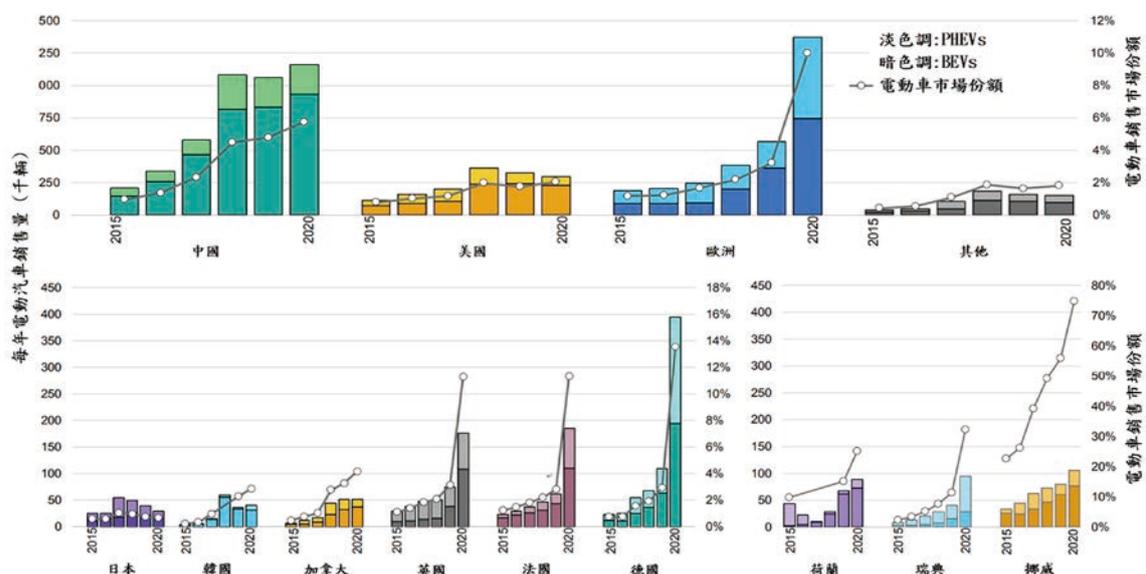


圖 2 2015 ~ 2020 年全球電動汽車銷售和市場份額；圖改編自國際能源署<sup>[3]</sup>

車輛電動化具有多項優勢且能為社會帶來多面向的效益，包含改善道路運輸能源效率（EV 的能源轉換效率高達 80%，遠高於 ICEV 的 12% ~ 30% [4]）、減少國家的石油進口量以提升國家能源安全性、對抗全球氣候變遷（如伴隨低碳電力系統更能發揮其減碳效益）、改善城市空氣品質、新產業發展與促進經濟成長。儘管車輛電動化提供了巨大的潛在效益，但當今的電動車尚未被廣泛採用，其普及化仍受到科技、社會和經濟上多方面的障礙，包括較高的車輛成本、較低的行駛里程、較長的充電時間以及對充電基礎設施的需求。除此之外，民眾對於從內燃機引擎轉型過渡至電動車的未來存在著巨大的不確定性，進而降低了消費者對電動車的接受度。本文針對電動車目前面臨的機遇、挑戰與未來展望進行回顧與概述，以供讀者與利益相關方（包括政府和私人企業）決策參考。

## 電動車產業發展之挑戰與機會

### 電動車（電池）售價高

電動車的售價主要因為電池的高製造成本，使其相較同規格的傳統燃油車價錢高上許多；而高購買價格被認為是當今電動車普及化的最大阻礙 [5]。一台電池容量為 60 千瓦時（續航力約 380 公里）的電動車 Chevrolet Bolt 電池組約占總成本的三分之一 [6]。電池組（battery pack）是由多個單電池（cell）串聯或並聯所組成。2017 年的電池組價格約為 200 ~ 300 美元 / 千瓦時；美國能源局製定了在 2022 年低碳運輸的電池組價格目標價為 125 美元 / 千瓦時 [7]，也表明了大幅度的降低電池價格是使電動汽車具有經濟吸引力的必要條件。高價格的電池組被認為是當今電動車製造商獲利能力的一大障礙；根據研究指出，在電池組價格降至 100 美元 / 千瓦時之前，若沒有政府補貼或是政策執行，電動車製造商將無法真正的獲利，達成商業化 [8]。

現今電動車的生產與銷售主要是由各國政府的政策所推動，常見的相關財政激勵措施包含購車補助、免稅和稅收抵免，以降低電動車的前期購置成本。在美國，購買電動汽車有資格獲得最高 7,500 美元的聯邦稅收抵免（額度取決於電池容量和車輛總重額定值）。在歐洲，法國和挪威是電動車獎勵措施最多的國家 [9]；挪威政府更是自 1990 年代起，持續對電動車購置提供

補貼（如免徵 25% 的增值稅），使其穩居全球新能源汽車普及率龍頭之地位。在中國，政府為解決國內的空氣污染問題，並欲在新能源技術領域保持競爭力，從 2014 年以來一直為本土電動車產業提供大量補貼；原預計在 2020 年底要完全取消補貼 [10]，但因 2019 年國內電動車銷量首次出現負成長，加上疫情衝擊，補貼政策延遲至 2022 年底，以提振新能源汽車市場 [11]。除了各種財政戰略之外，中國近年推出的「雙積分政策」將促進汽車節能與新能源車之協調發展，且專家預期此管理辦法將大幅增加電動車的銷售與電池產量。根據學習曲線理論 [12]，隨著累計產量的增長，製造技術與效率提升，規模經濟的產生將會使每千瓦時的電池生產成本成指數性下降。然而現實生活中，電池價格不會如同傳統的學習曲線所指示：隨產量增加，電池成本無止盡地降低。相反的，電池的價格除了取決於製造成本，也受材料成本所影響；現今電動車電池市占率最高的鎳錳鈷三元鋰電池（Lithium nickel manganese cobalt oxide, NMC）所使用的原物料 — 昂貴的鋰（Lithium; Li）、鎳（Nickel; Ni）和鈷（Cobalt; Co）金屬元素 — 最終將限制電池組生產成本下降的速度，並為電池的最終價格設定了下限值（或底價）。

Hsieh *et al.* 於 2019 年提出二階段學習曲線，將電池成本依照供應鏈架構劃分為兩個獨立階段（圖 3）。第一階段：材料製造商向礦產公司購買礦物原料並合成製造為電池的活性材料；第二階段：電池組製造商購買活性材料，製成單電池並組裝為電池組。在第一階段，礦物原料成本將做為活性材料的價格下限，第二階段則以活性材料成本做為電池組的價格下限，透過分別在兩階段設定下限，藉此解決傳統學習曲線的不足 [13]。

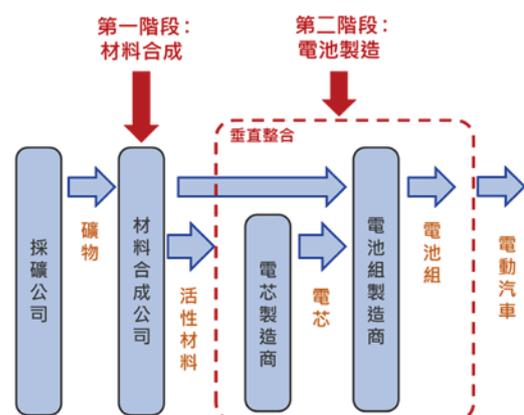


圖 3 電動汽車電池供應鏈架構；圖改編自 Hsieh *et al.* [13]

NMC 電池因為原材料包含鈷金屬，而全世界近 60% 的鈷供應量來自剛果民主共和國；此意味剛果國的社會政治不穩定，將導致全球鈷供應中斷的可能性，因此其市場價格波動幅度較大。目前整個新能源產業正積極研發將鋰電池的正極材料朝向能量密度更高、鈷含量更低的高鎳三元材料發展，以進而降低對鈷金屬的依賴性以及提高電動車的續航力；三元鋰電池的三相圖與各元素分別代表的電池組特性如圖 4 所表示。

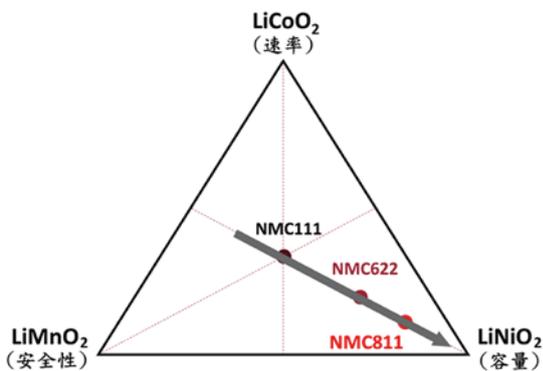


圖 4 鎳錳鈷三元鋰電池的三相圖；其中的數字表示 鎳、錳、鈷的莫耳比例

二階段學習曲線模型研究指出活性材料成本最終將會影響鎳錳鈷鋰電池組價格的下限，使 100 美元 / 千瓦時的價格目標即使到 2030 年仍不太可能實現，除非礦物原料的價格持平在 2016 年的水準（圖 5）。然而，隨著需求和供應的不斷增加，未來鈷的穩定價格仍存在很大的不確定性。2030 年全球新電動車銷售對鈷的需求預估將約達到 2016 年全球鈷總產量的 80%。考慮到 2017 年全球鈷需求中只有 15% 用於新能源車電池，

未來因車輛電動化造成的鋰電池需求量的快速增長可能導致關鍵原物料的價格上漲。因此，汽車製造商為了避免原材料的短缺和價格波動，需要轉向對鈷依賴性較低的電池材料<sup>[13]</sup>。

### 車用電池關鍵原料的潛在資源供應緊缺

隨著電動車的崛起，全球運輸部門對鋰電池的需求不斷增長，促使新能源產業開始擔憂未來電池關鍵原材料的供應是否會出現緊缺現象。圖 6(a) 表示了電池關鍵原料在不同年度（2005 年、2010 年和 2015 年）的儲量（以每年開採產量做標準化後），與其在最大生產國完成的開採比例之比較。圖 6(a) 中鋰、鈷、天然石墨（Natural Graphite）的箭頭方向表示時間的推進（錳和鎳的時間趨勢沒有方向性）；縱軸（y 軸）被稱為靜態損耗指數（Static Depletion Index），對於所有被分析的原料，該數值皆大於 30 年。對於市場更大、更成熟、更多元化的鎳和錳，靜態損耗指數會較低，平均約 45 年。沿圖 6(a) 的橫軸（x 軸）往左（或較小數值）表示這些原料的供應在地理上更加多樣化。隨著時間的推移，可以觀察出鈷金屬的供應來源越來越集中，當今最大的鈷生產國（即剛果共和國）已貢獻超過 50% 的全球產量；天然石墨的供應來源更為集中，全球超過 65% 的產量集中在單一國家（即中國）。根據 2015 年的產量，圖 6(b) 繪製了各關鍵原料在前三大產量國的集中度；資源地理集中性被認為是一潛在因素導致關鍵原料因某生產大國的政府政策或社會政治不穩定而導致全球供應短缺與中斷。透過對鋰電池關鍵原料供應鏈的追跡與產量潛能的推估，大多數的

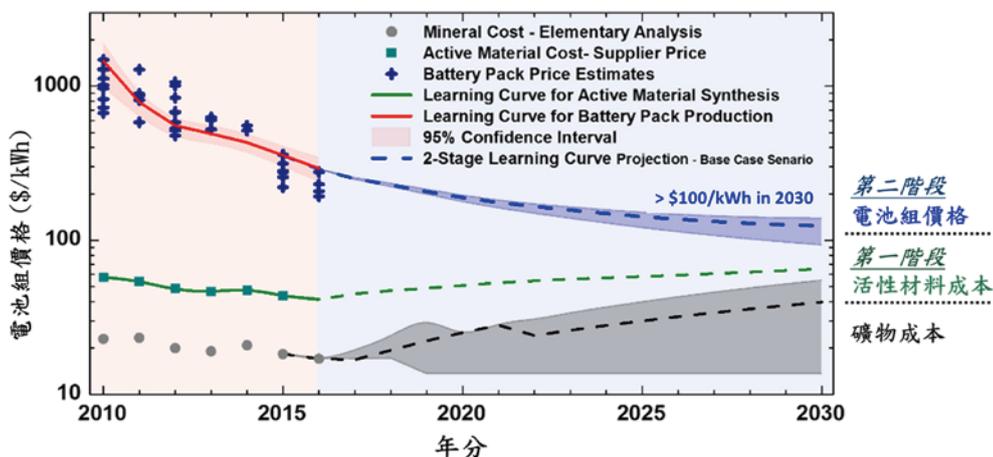
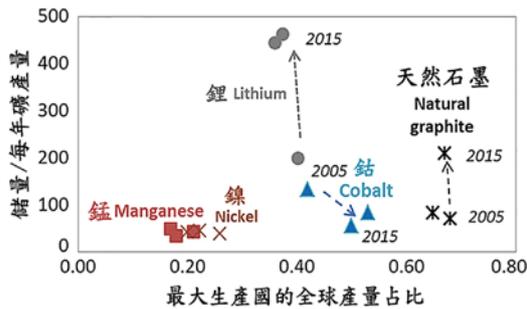
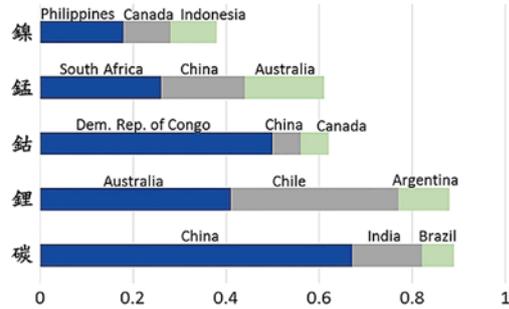


圖 5 鎳錳鈷三元鋰電池組過去和未來預測的價格趨勢；圖改編自 Hsieh et al.<sup>[13]</sup>



(a) 靜態損耗指數的歷史趨勢



(b) 前三大生產國的產量占比

圖 6 鎳、錳、鈷、鋰和天然石墨資源的資源使用狀況 (圖改編自 Olivetti *et al.* [14])

原料，包括鋰、鎳、錳和天然石墨，短期內都將會有足夠的供給來滿足預期成長的鋰電池需求。然而鈷的供應卻存在著緊缺風險，這風險主要來自於鈷產能的地域性集中度：鈷礦產量集中在政治不穩定的剛果民主共和國，而鈷的精煉加工能量則主要集中在中國 [14]。

### 電動車輛的續航力與充電時間

電動車普及的另一個障礙是潛在的購買者對電動車在充電之間行駛的距離（稱為里程焦慮）和電動車充電所需的時間之擔憂。「里程焦慮」(Range Anxiety) 是指駕駛電動車者因擔心電池剩餘的電量或續航無法使車輛順利抵達目的地或充電站，所產生的內心焦慮與不安情緒。里程焦慮之所以會產生的根本原因之一是續航里程不長；確實，如圖 7 所表示，在電動車剛開始發展的時候（即 2010 ~ 2015 年），因受電池技術限制，電動車續航里程基本上只有一兩百公里，僅能

作為城市內代步使用。然而，在 2017 年之後，隨著電池技術的發展，電動車續航里程出現了大進步；近年來主流的電動車續航力已達到 350 公里以上，甚至部分車型續航里程更突破 500 公里；這樣的續航力即使會受城市車況與空調使用而下降，但也已足夠完成城市與城市之間的旅行，也就是說里程焦慮對現今的電動車型已經大為緩解。

即便如此，駕駛電動車者在長途旅行產生里程焦慮的根本原因，除了車輛續航里程不長之外，更重要的是充電的不方便性。表 2 整理出電動車充電的主要三種級別：(1) 一級充電（家用標準的 120 伏插頭）：充電速度非常慢，大約需 20 到 40 個小時，才可將電池充滿；(2) 二級充電（240 伏特）：一般能在一小時內能提供約 40 公里的續航力，將電池容量充滿的時間約需 8 小時，在家裡，二級充電可以使用與乾衣機或電烤箱相同的插座類型；(3) 三級直流快速充電：通常僅需 30 分鐘

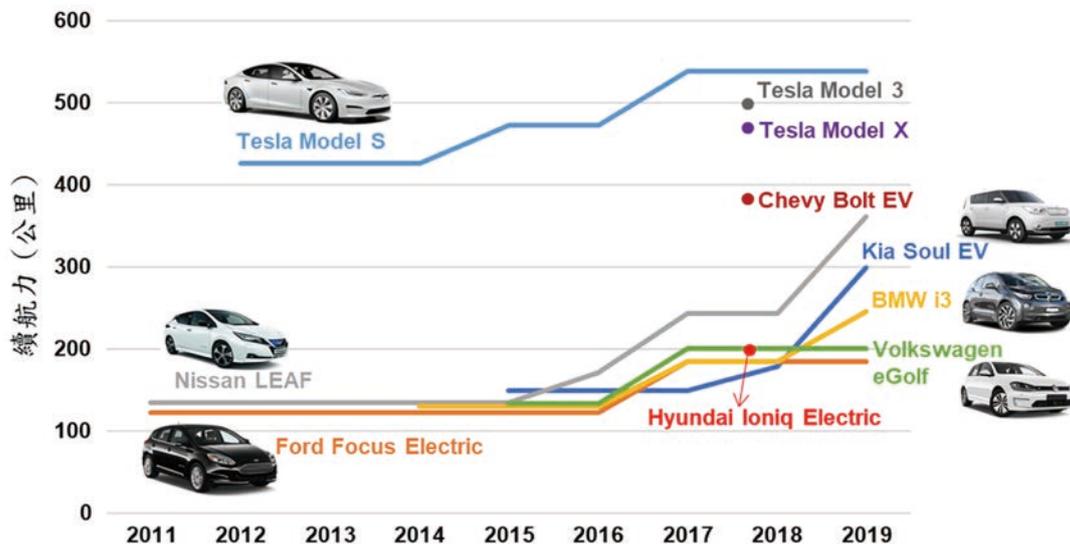


圖 7 電動車電池續航里程的演進

表 2 電動車充電的主要三種級別之比較

級別	一級充電(家用)	二級充電(慢充)	三級直流充電(快充)
充電速度	1.4-1.9 kW	3.7-19.2 (7 kW 最常見)	> 22 kW (50 kW最常見)
里程補給速度	~ 8 公里/時	~ 40 公里/時	電池容量的80%/半小時

即可將電池容量充滿 60% ~ 80%，即每十分鐘最快便能增加 100 公里左右的續航里程。然而如要將電池電量完全充滿，直流快充的充電級別也需要至少一個小時，這與燃油車加油只需五到十分鐘相比，還是相差甚遠，使充電速度仍是當今電動車普及的一大障礙。不僅如此，充電站基礎建設的缺乏更加劇了電動車相對較低的行駛里程和較長的充電時間所引起的里程焦慮。如果充電站密度不足，電動車的續航里程無論再長，電池電量也會有耗盡的時候。燃油車之所以不會產生里程焦慮，其根本原因就在於加油站數量眾多且加油速度很快。

要解決電動車里程焦慮的阻礙，一方面必須解決能源補給問題：首要的是完善充電設施的布局，以解決目前充電站數量不足和過於集中的問題；其次則是在確保安全性的前提之下，提升充電的速度以降低目前較長的充電時間。一方面則是可以透過加大電池容量，使電動車本身具備更長的續航力；然而電池容量的增加常會伴隨著電動車製造成本的增加與售價的提升，這是消費者較無法接受的。除了上述兩項技術面的解決方法之外，另一方面非科技面向的管道則是消費者教育：對於私人乘用車來說，在能進行家用充電（無論一級或二級）甚至目的地充電（如賣場、百貨公司、遊樂場、公司等常配有二級充電）的情況之下，現今的充電設備與電池技術其實是足以滿足大多日子每天所需的里程數。以台灣為例，根據統計，自用小客車平均每次開車行駛里程約 36 公里 [15]，這是一級充電五小時（更何況是下班回家停一整晚能補給的里程數）或二級充電一小時即能夠補足的續航里程。

### 換電模式應用在商用客車的經濟性

對於（多元）計程車車隊來說，電動車較長的充電時間尤其是一個問題，因為儘量避免或減少車輛閒置的時間對於他們的利潤最大化至關重要，也因此現今的商用車隊在沒有任何外力（如政府法規）之下，大多會繼續使用燃油車，而非電動車輛。這種偏好的後果並非微不足道：與私人乘用車輛相比，計程車由於行駛距離更遠（根據統計，台灣全體計程車每天平均行駛里程為約 140 公里 [16]），即消耗更多化石燃料，使其對空氣污

染的貢獻（不成比例地）較大。即便使用快速充電，現今的充電速度還是無法與燃油車加油相比，且快充被認為會縮短電池的壽命，這些問題導致目前商用客車對電動化轉型的意願很低。相反的，換電模式（Battery Swapping）可能會是一個可解決目前充電難題的選項；換電的機制如圖 8 所表示。電池交換技術可以將耗盡的電池在五分鐘內更換成滿電的電池，這是任何快充或是超級充電皆無法達到的速度與效率。在 2017 年，全球最大的換電站網絡系統在中國北京開始運營；北汽新能源汽車聯合各方，成立蔚藍生態聯盟，且在政府的支持下，將換電服務進行商業化 [17]；目前的換電模式主要針對計程車運營車輛，未來隨著電池交換站的配套基礎設施日趨成熟，北汽新能源規劃將換電服務拓展至共享汽車、網約車，最終至私人乘用車市場。

儘管電動車提供多面向的社會利益，但充電時間對應的高機會成本仍是目前商用運營車輛電動化的障礙。為了提高電動計程車車隊的經濟性，Hsieh *et al.* 以北京計程車產業為案例，提出了一技術經濟分析框架，計算了各種充電系統的商業模式（即結合充電方式與計程車



(a) 示意圖



(b) 實際運作圖

圖 8 電動車換電模式（圖取自 Wang [18]）

運營的商業模式之生態系統)的成本競爭力<sup>[19]</sup>；可行的生態系統如圖9所示且如下所描述。充電方式包含了二級充電(慢充)、三級充電(快充)和換電；運營的商業模式包含了傳統的二級充電策略、二級充電搭配額外電動車的購置(即透過購買額外的電動車輛，使車隊擁有足夠充滿電且隨時可以被使用的多餘車輛來避免二級充電產生的長時間閒置；當電動計程車電量不足時，駕駛司機可以前往充電站換成另一台充滿電的車輛；此策略使雙班計程車能持續在道路上行駛並產生收入)、傳統的二級充電策略、三級充電(快充)和換電模式。以中國充電設備的固定成本來說，二級充電(慢充)一組大約一千美金、三級充電(快充)一組大約兩萬美金、電池交換站(換電站)一座大約一百萬美金。因為需要大約三十組的電池組儲備，導致換電站的前期投資成本相比快速充電站要高上許多；高建設成本使換電站的普及化更為困難。然而在考慮充電系統可提供的充電服務次數(依充電所需的時間不同而不同)之後，研究指出在每提供一公里的續航里程基礎上(圖10)：(1) 儘管換電站需要更高的前期投資成本來滿足其電池儲備的需求，但因為換電站能比二級或三級充電器

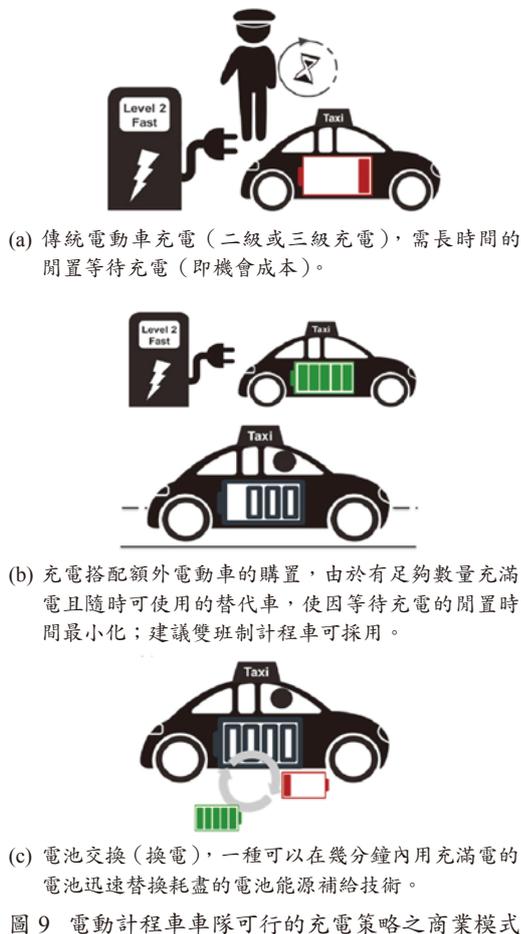


圖9 電動計程車車隊可行的充電策略之商業模式

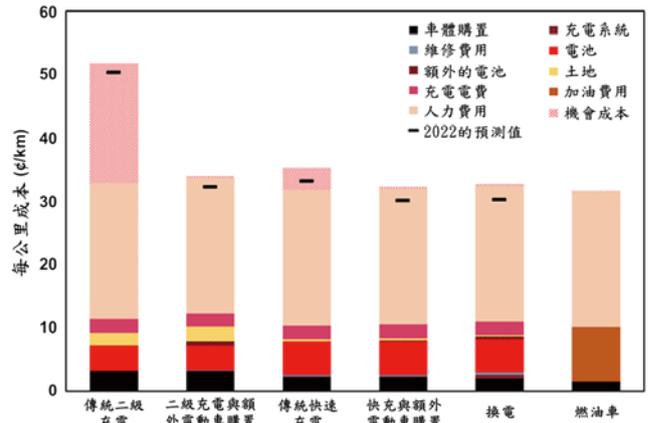


圖10 中國北京雙班計程車在不同充電商業模式與加油方案下每公里的成本細分；為了滿足市場消費者需求，雙班制的電動計程車如果依賴傳統充電，則需要購置額外車輛，否則有些車輛會因為需要充電而被迫停止使用。圖改編自 Hsieh *et al.* <sup>[19]</sup>

提供更多電動車輛充電的服務，使換電模式屬於成本效益高的運營方式；(2) 購置額外電動車提高了雙班制計程車電動化的經濟可行性：儘管這種策略會帶來更高的投資成本，但有助於避免充電相關的高機會成本，進而顯著提高整體生態系統的經濟效能。迄今為止，燃油計程車在經濟上對車隊運營商更為有利，但隨著電池科技變得更加成熟，這相對的成本優勢將會發生逆轉。研究預測在2022年，選擇適當的充電系統與商業模式之電動計程車車隊將可以實現與燃油車隊的成本平價；對於雙班制的運營車隊，仰賴快速充電搭配額外車輛的購置或是電池交換技術皆能以較具成本經濟性地方式完成電動化轉型。

## 總結與展望

全球對使用傳統內燃機車輛造成的環境負面影響認知日益增長，加強了各國政府對電動車推行的力度。截至2020年底，全球公路上已有1000萬輛電動車。儘管全球汽車銷量因新冠肺炎疫情的衝擊而下滑(全球汽車銷量下降了16%)，但當年度的電動車登記數卻增長了41%，電動汽車銷量約為300萬輛(銷售份額為4.6%)。歐洲也在這年，首次超越中國成為全球最大的電動車銷售市場。現今的情勢，不論是經濟性或是便利性皆有利於傳統燃油車的持續發展，因此政府的引領及決策對於運輸交通系統的能源轉型至關重要。電動車能在疫情爆發、全球經濟活動放緩的時期依舊維持其銷售力道的主要原因為：

1. 政府強制性規定：燃油經濟性標準 (Corporate Average Fuel Economy, CAFÉ) 規範全年銷售新車油耗均值、零排放汽車 (Zero Emission Vehicle, ZEV) 計劃要求汽車製造商每年需生產一定數量的零排放汽車、近幾年中國實施的乘用車企業平均燃料消耗量與新能源汽車積分並行管理辦法 (簡稱雙積分政策，借鑒了美國的 CAFE 標準和加州的 ZEV 法規)，和中國一些大城市 (如上海、北京、廣州、天津和杭州) 實施的汽車保有量控制政策，將電動車之購買排除在限牌之外，使當地對電動載具的需求遠大於國內其他區域。除此之外，已有十多個國家宣布在 2025 及 2040 年之間開始禁止銷售燃油車。
2. 財政激勵措施：一些歐洲國家 (如德國、法國、西班牙和英國) 新增購買激勵措施一包含購車補助、免稅和稅收抵免；中國新能源車補貼延後退場。
3. 全球電動汽車型數量增加，且電池成本持續下降。

現今全球的電動車推廣主要是由中國所主導：從 2008 年開始，中國已成為全球最大的汽車市場，銷售量超過美國與日本兩國之總和；國內城市嚴重的空氣污染、溫室氣體的大量排放，以及國家對石油進口的依賴性 (原油對外依賴度已達 70%)，促使中國政府發布多款政策推廣新能源汽車，包含電動車購置補助、雙積分政策，與大城市的內燃機車牌發放限制等。中國在電池技術和電動汽車生產處於全世界領先之地位；產業優勢除了有龐大的國內消費市場支撐外，其關鍵零組件的生產也是未來主導產業走向的重要力量。目前看來，中國極有可能會繼續帶領全球未來電動車的發展。電動載具是否將能成為主要的零排放運輸選擇，有待時間證明，但可以確定的是如果沒有中國政府對電動車產業推行的一系列政策，全球的電動化轉型發展將會更加緩慢。

從低碳與環保的角度來分析電動化轉型：電動車避免了來自化石燃料燃燒所產生的二氧化碳和空氣污染物之直接廢氣排放，卻可能會因為發電上游階段的排放而導致車輛能源轉型造成更多全生命週期排放的現象。在電動車的全生命週期裡，最大的排放源來自於行駛上的用電，因此發電結構是仰賴化石燃料、還是以再生能源為主，會決定電動車是否比燃油車還低碳與環保。從能源開採、生產、運輸、儲存、分配以及汽車使用等之過程的能耗和排放具有明顯的地域性，受不同地區的資源、能源來源和技術等條件制約。在中國，燃煤發電一

直是國家的電力供應支柱，因此汽車電動化能對抗氣候變遷之效益並不明顯：2017 年的中國，每公里電動車的平均二氧化碳全生命週期排放量約為傳統內燃機汽車排放量的 71%，相較於美國此比值為 55%，這意味著車輛電動化在美國會有較大的減碳效益。政府在推行車輛電動化的同時，不應該只是強調直接廢氣排放或都會區空氣污染之改善，也應當將其他如上游發電廠以及電動車電池製造的廢氣排放納入政策評估的考量之內，以進一步更加瞭解替代燃料車輛對氣候變遷和空氣品質相對於傳統內燃機的好處。電動車在製造過程與充電所需的電力生產中仍會產生碳排放，但其能源效率的提高確保了車輛電動化可帶來明確的國家能源安全效益。儘管如此，電動車要被廣泛採用與接受目前仍然存在著重大阻礙，包括價格、行駛里程焦慮和充電方便性；相關的轉型挑戰已在本文詳細探討，接下來針對可能發展的對策與未來展望進行討論。

電動車的前期購買價格較燃油車來的高是目前其普及化最主要的障礙之一，高售價的主要原因來自於當今電池組的高製造成本。儘管電池組成本在過去十年內從超過 1,000 美元 / 千瓦時下降到 200 美元 / 千瓦時，在沒有任何財政補助的情形下，緊湊型純電動車 (鎳錳鈷鋰電池且行駛里程為 350 公里) 的價格仍比同規格燃油車高出約 50% ~ 60%。即使隨著產量增加與製造效率提高，電池組的成本會持續下降，但搭載鎳錳鈷三元鋰電池的乘用電動車售價很有可能到 2030 年前仍會繼續高於燃油車 (即電池組價格仍高於 100 美元 / 千瓦時)。目前商業化的鋰電池正極材料除了鎳錳鈷 (NMC)，尚包含鋰鈷氧化物 (LCO)、磷酸鋰鐵 (LFP)、錳酸鋰 (LMO) 及鋰鎳鈷鋁氧化物 (NCA) 等。不使用鈷金屬元素的電池製造成本較低，故其電池組價格很可能較早能降低至 100 美元 / 千瓦時以下，但目前的技術與市場正朝向能量密度高且鈷含量低的高鎳三元材料電池發展，以解決續航力與鈷金屬元素的成本問題。因此在可遇見的未來，NMC 電池將持續主導電動車的電池市場。這意味著，電動乘用車除非能繼續獲得政府政策的大力支持 (包含高燃油稅、購置補貼、強制規範與命令)，否則不太可能在 2030 年前因達到與燃油車的購置成本平價而主導全世界的汽車市場。因此，我們除了需穩定電池關鍵原材料的供應之外，更必須加速在電池化學方面的研發與創新，以進一步降低電池組的底價。

雖然電池動力系統的製造成本高於內燃機，但電動車的車輛運行成本通常較低。前期購買價格並不能全面反映消費者的總持有成本（Total cost of ownership, TCO）；電動車有很大的潛力可以節省燃料和維護費用。消費者總持有成本是指在汽車擁有期間發生的成本，包括車輛購買成本、燃油成本和非燃油運營與維護成本；當地的稅率、補貼、法規限制會大大改變消費者的擁有成本。相較於美國和台灣，許多國家徵收很高的燃油稅使燃油車的加油成本變得很高：美國 0.92 美元 / 升、台灣 1.06 美元 / 升、中國 1.15 美元 / 升、德國 1.8 美元 / 升、挪威 2.11 美元 / 升、香港 2.55 美元 / 升。這將會導致，隨著電池成本的持續降低，在沒有補貼的情況下，未來電動車將有可能在高燃油稅的國家中與內燃車相比具有 TCO 競爭力。然而，TCO 只是影響消費者購買決定諸多因素的其中一項；電動車產業還必須克服其他障礙，以實現電動載具的大規模普及。政府應給予足夠的激勵措施以支持早期電動車市場之部屬，也應當加強相關產業間的溝通與協調，使電動車推廣力道更加有效。

在消費電子和電動車需求不斷增長的推動下，全球鋰電池市場之需求大幅增加，進一步加劇了對原物料短缺的擔憂。除了擴大生產能力和減少使用稀有金屬在電池的含量之外，此潛在供應風險也可以透過電池回收加以改善。但相比於鋰電池的發展，電池回收產業的發展卻落後許多。過去十幾年的鋰電池大多用於可攜式電子產品，絕大多數的電池與裝有鋰電池的設備一同被丟棄（很少電池被回收利用）。全球車輛電動化將帶動在未來的三十年內，汽車行業成為汰換電池中增長最快的來源類別；相關的環保法規和有限的電池關鍵金屬材料將會推進全球鋰電池回收市場的建立，而一項具有經濟效益、低成本且可商業化的回收技術是現今我們迫切需要發展的。當電動車電池衰退至原先能量密度的 70% ~ 80% 以下時，除了直接丟棄或被回收之外，它們可以再被使用於第二生命（Second-life）應用，如電網級儲能。第二生命應用可以延長電動車電池組的使用壽命；延長的壽命長取決於其應用領域：從區域調節電網服務的六年到電動車快速充電相關基礎設施建設應用的三十年。然而，即使可推行第二生命應用，電動車汰換下來的電池最終也必須被回收或妥善處理。政府應當協助整體相關產業鏈的串聯，從汽車製造商、電池生產商、二

手車經銷商到報廢處理公司，使汰換下來的電池不再是有毒有害的廢棄物，而是成為循環經濟的一部分。在接下來的十年，鋰電池回收仍將會是一個全球性的挑戰——在科技、經濟和政策面向皆具困難性的課題。

## 參考文獻

1. International Energy Agency, (2019). Key World Energy Statistics 2019.
2. Cui, H., Hall, D., and Lutsey, N., (2020). Update on the global transition to electric vehicles through 2019. International Council on Clean Transportation: Beijing, China 15.
3. International Energy Agency, (2020). Global EV Outlook 2020. IEA, Paris.
4. U.S. Department of Energy, (2020). All-Electric Vehicles [WWW Document]. URL <http://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml> (accessed 2.28.20).
5. Singer, M.R., (2017). The Barriers to Acceptance of Plug-in Electric Vehicles: 2017 Update. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
6. Hummel, P., Lesne, D., Radlinger, J., Golbaz, C., Langan, C., Takahashi, K., Mulholland, D., Stott, A., Haire, G., and Mittermaier, M., (2017). UBS Evidence Lab Electric Car Teardown—Disruption Ahead. UBS report, Basel.
7. Chu, S., Cui, Y., and Liu, N., (2017). The path towards sustainable energy. Nature materials 16, 16-22.
8. Knupfer, S.M., Hensley, R., Hertzke, P., and Schaufuss, P., (2017). Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability. McKinsey.
9. European Alternative Fuels Observatory, (2018). Compare the Market - Electric Vehicle Incentives across Europe [WWW Document]. URL <https://www.comparethemarket.com/car-insurance/content/electric-vehicle-incentives/> (accessed 2.29.20).
10. Zhang, X., Liang, Y., Yu, E., Rao, R., and Xie, J., (2017). Review of electric vehicle policies in China: Content summary and effect analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews 70, 698-714. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.250>
11. 財政部、工信部、科技部、發改委（2020），關於進一步完善新能源汽車推廣應用財政補貼政策的通知。
12. Nykvist, B., Nilsson, M., (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. nature climate change 5, 329.
13. Hsieh, I.-Y.L., Pan, M.S., Chiang, Y.-M., and Green, W.H., (2019). Learning only buys you so much: practical limits on battery price reduction. Applied Energy 239, 218-224. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.138>
14. Olivetti, E.A., Ceder, G., Gaustad, G.G., and Fu, X., (2017). Lithium-ion battery supply chain considerations: analysis of potential bottlenecks in critical metals. Joule 1, 229-243.
15. 交通部統計處（2019），108 年自用小客車使用狀況調查報告。
16. 交通部統計處（2016），104 年計程車營運狀況調查結果統計表（全體計程車）。
17. 新華網（2017），北汽新能源發布「擎天柱計劃」，五年內建 3000 座光儲換電站 - 新華網 [WWW Document]. URL [http://www.xinhuanet.com/auto/2017-11/06/c\\_1121909993.htm](http://www.xinhuanet.com/auto/2017-11/06/c_1121909993.htm) (accessed 7.5.21).
18. Wang, T., (2020). EV battery-swapping finds new life in China [WWW Document]. URL <https://news.cgtn.com/news/2020-08-16/EV-battery-swapping-finds-new-life-in-China-SWZQhFZoEE/index.html> (accessed 7.5.21).
19. Hsieh, I.-Y.L., Nunes, A., Pan, M.S., and Green, W.H., (2020). Recharging systems and business operations to improve the economics of electrified taxi fleets. Sustainable Cities and Society 57, 102119. 



# 臺中捷運烏日文心北屯線 — 高架橋梁伸縮縫滲漏水漬 探討與改善

陳俊宏／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 處長

周延聲／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 幫工程司

李臺生／中興工程顧問股份有限公司軌道二部臺中捷運DJ103標 計畫經理

謝文凱／中興工程顧問股份有限公司軌道二部臺中捷運DJ103標 排水工程師

臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線建設計畫（下稱本計畫）東起自臺中市北屯區松竹路二號橋附近，以高架型式沿松竹路西行跨越臺鐵再左轉至北屯路，沿北屯路至文心路4段路口前右轉文心路，經文心南路由中山醫學大學後方轉至建國路，沿鐵路北側跨越筏子溪進入高鐵烏日站區。路線全長約16.71公里，其中高架段約15.94公里，地面段約0.77公里，設置18座車站，並於北屯區旱溪西側設置北屯機廠。路線經臺中市精華路段，高架橋梁及墩柱混凝土表面外觀對市容影響甚大，本文即以捷運施工後觀察滲漏水所產生之水漬來檢討，除研析其滲漏水之成因，並提出改善對策，觀察實際改善後防止滲漏水之效果良好，故期望由本次施工改善經驗中回饋日後設計，以作為後續類似高架捷運工程之參考，讓日後之高架橋梁工程品質能夠更加精進。

## 高架橋之規劃考量

高架橋結構系統的構成元素由下而上可分為基礎、橋墩、帽梁、橋梁結構。橋梁結構型式的選擇除考量工程範圍內之各項必要資料，如水文、既有構造物、鄰近相關工程、地質鑽探試驗及其結構行為等分析資料外，尚需考慮整體高架橋之經濟效益，以提供民眾更為舒適、安全、高品質「行的享受」。依本計畫之特性，橋梁結構配置規劃考量說明如下：

### 1. 符合本捷運車輛及軌道系統之需求

橋梁系統須有充份之強度及勁度，提供足夠之空間及淨空以滿足車輛運轉，維修及安全逃生等需求。

### 2. 符合長焊鋼軌特性及軌道布置之需求

配置適當之橋梁跨徑及結構系統予以搭配。

### 3. 降低對環境的衝擊

高架橋結構型式對捷運列車運轉所產生之噪音及振動具有良好的隔絕效果，並降低施工時對交通之影響，及完成後橋梁量體對視覺之衝擊。

### 4. 施工迅速且造價經濟

橋梁結構型式以墩柱標準化及上部結構制式化兩大原則作考量，期能透過簡化施工方式，達成縮短工期與節省成本之目標。

本計畫於進行高架橋梁型式規劃時，從橋梁結構型式及造型規劃兩個面向進行研析，茲就其考量重點及結論簡述如下：

1. 高架橋結構型式，大致分 U 型梁及箱型梁：

進行捷運高架橋結構型式研擬時，應考慮安全性、功能性、施工性、經濟性、景觀性、噪音震動影響及未來檢視維修方便性等因素，因本計畫高架橋大部分均沿既有道路中央前進，依沿線路段地形與地物特色，主要橋梁結構型式配置原則整理如表 1。

2. 高架橋造型規劃

高架橋造型規劃需有新思維與其搭配，規劃重點如下：

- (1) 上構，輕、巧 — U 型梁，採用斜面線角造型，創造悠美之光影效果。
- (2) 下構，簡、約 — 圓形柱，線條柔順、簡單。
- (3) 帽梁兩側配合 U 型梁造型，以向外延伸之斜弧面設計，與上構大梁相呼應，詳如圖 1。
- (4) 上部排水管理設於帽梁內，下部設置於墩柱外，兼顧維修與美觀，詳如圖 2。

高架橋梁帽梁墩柱水漬原因探討與改善方案

本計畫高架段採 U 型梁，其排水無法像箱型梁於箱體內設置排水管，僅能由 U 梁兩端之伸縮縫排水，排水路徑較長，故比較容易造成塞管而造成髒污，經探討水漬形成之可能原因如下：

- 1. 原因①：伸縮縫落水管脫落，導致雨水漫流至帽梁頂。
- 2. 原因②：當伸縮縫排水孔堵塞時造成積水，導致雨水從排水帶兩側流出。
- 3. 原因③：若墩柱清潔孔堵塞時造成積水，導致雨水從鋼質落水斗或排水帶兩側流出。
- 4. 原因④：高架橋外胸牆處，雨水沿著此處外胸牆造型垂流。
- 5. 原因⑤：高架橋面中央走道處，此處雨水沿著橫向、縱向 10 公分寬縫滲流。

表 1 橋梁結構型式配置原則一覽表

結構型式	位置	施工法	橋梁照片
預力混凝土小 U 型梁	1. $R \geq 800$ m，且跨距小於 27 m 之路段 2. 與托架式橋墩搭配之路段	整跨吊裝工法	
預力混凝土大 U 型梁	$R < 800$ m，且跨距小於 27 m 之路段	場鑄工法	
預力混凝土 U-BOX 箱型梁 (1)	1. 跨距大於 27 m 之路段 2. 道岔段 (橫渡線)	場鑄工法	
預力混凝土 U-BOX 箱型梁 (2)	跨路口地區 (有交維問題)	場鑄懸臂工法	
鋼箱型梁橋	1. 跨路口地區 (有交維問題) 2. 道岔段 (橫渡線) 3. 曲率半徑小者 4. 鄰近車站	吊裝工法	

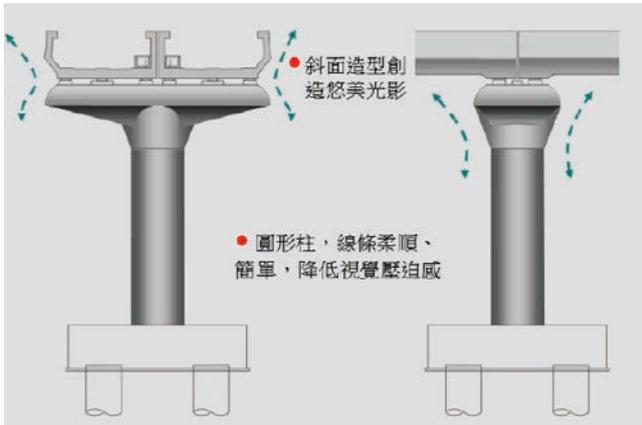


圖 1 標準跨預鑄預力混凝土 U 型梁造型示意圖

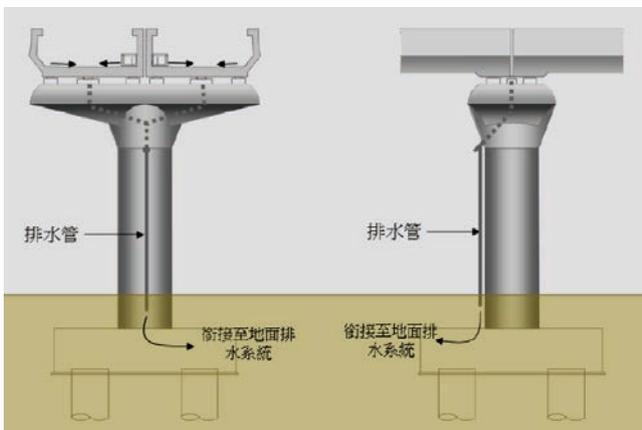


圖 2 標準跨預鑄預力混凝土 U 型梁排水系統示意圖

- 6. 原因⑥：高架橋面底板伸縮縫鋁擠型與 RC 界面處，兩者為相異材質無法完全密合仍有縫隙。
- 7. 原因⑦：伸縮縫排水帶，此處為非連續，當水量大於排水帶排水容量時，導致排水帶積水由兩端溢流出。

上述可能造成高架橋梁帽梁、墩柱表面濕漬髒污之原因，其中第④點原因除會造成高架橋梁帽梁、墩柱表面髒污外，同步亦會造成高架橋梁胸牆表面髒污。經檢討造成髒污主要係因空氣中粉塵及空污微粒附著於隔音牆上，下雨時雨水將隔音牆面上之空污帶下，形成積水，因受隔音牆阻擋無法流入 U 型梁內，積水經太陽曝曬風乾後變成灰塵，風將這些灰塵吹至隔音牆立柱附近角落區域集中，後續再經雨水沿著隔音牆立柱附近將髒污沖刷而下，進而造成高架橋梁隔音牆立柱下方之胸牆表面產生一道道髒污情形（詳如圖 3），而高架橋梁無隔音牆阻擋之部分，積水因梁胸牆頂面設計為具有向內斜坡度，雨水可以流入梁內不外溢流，胸牆表面即無此種現象可證（詳如圖 4）。



圖 3 設置隔音牆胸牆表面狀況

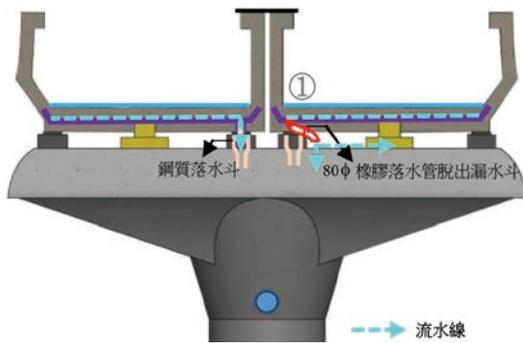


圖 4 無設置隔音牆胸牆表面狀況

另第⑦點可能原因，經探討高架橋面排水設計結果，伸縮縫排水帶管徑 80 mm 之排水立管，需排放約 25.794 m<sup>3</sup>/hr 逕流量，管徑 80 mm 排水管於速度 1.4 m/sec ~ 1.6 m/sec 之流量，應尚符合需求（依本計畫「土建設計規範」（版次：01 版）規定，雨水排水系統內之流速不得低於 0.8 m/sec，亦不得大於 3.0 m/sec），以及本計畫採用降雨強度 171.95 mm/hr 大於當地歷年最大時雨量 120 mm/hr，亦應排水量符合需求，故第⑦點可能原因應可予以剔除，除最大時雨量超過設計容許降雨強度 171.95 mm/hr 之時雨量時，此點原因才有可能發生。

以下僅就第①項 ~ 第⑥項可能造成高架橋梁帽梁、墩柱表面濕漬髒污之改善方案逐項說明如下：

原因①：伸縮縫落水管脫落，導致雨水漫流至帽梁頂造成帽梁、墩柱表面濕漬示意圖



80 φ 橡膠落水管自鋼製落水斗脫落



80 φ 橡膠落水管與伸縮縫排水帶接頭脫落

改善方案

加強伸縮縫橡膠排水帶與落水管銜接處接合處理方式，且接至落水斗之落水管採用較硬材質或增設環形固定架，以避免大風或落水時大幅度擺動移位出落水斗，而造成積水漫流於帽梁上。

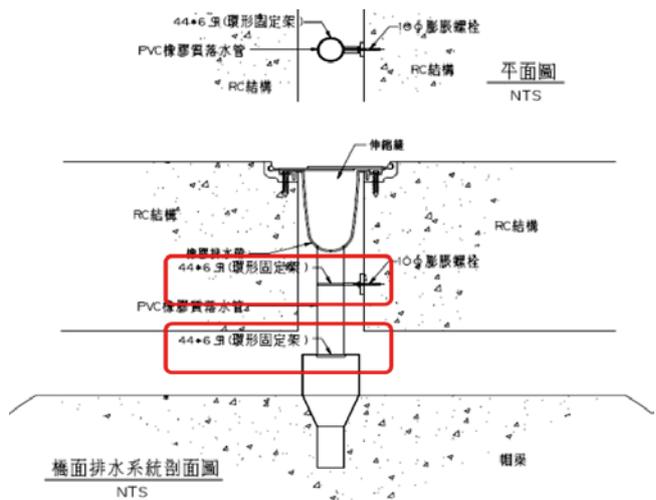
1. 加強伸縮縫橡膠排水帶與落水管銜接處接合處理方式



改善前

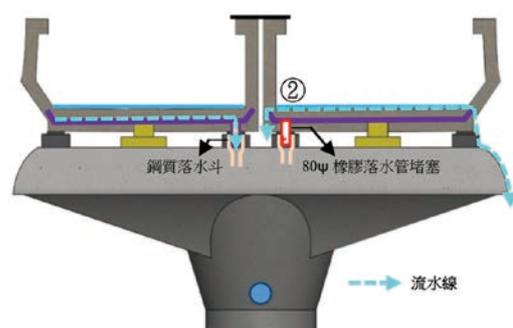
改善後

2. 增設落水管環形固定架



原因②：當伸縮縫排水孔堵塞時造成積水，導致雨水從排水帶兩側流出

造成帽梁、墩柱表面濕漬示意圖



80 φ 橡膠落水管俯視圖 (堵塞時)

### 改善方案

因捷運高架橋梁為開放空間，空氣中灰塵、飄落物、電聯車行駛鋼輪鋼軌磨擦鐵屑 … 等，經雨水沖流至排水系統導致堵塞，此點應於橋梁維護手冊詳述伸縮縫橡膠排水帶及排水孔巡檢清理頻率，建議每年防汛期前、後各 1 次及颱風過後 1 次。



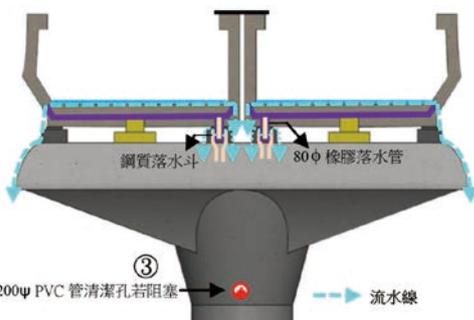
定期派人巡檢及清潔



定期派人巡檢及清潔，並可用手電筒照射檢視有無積水造成的反光狀況

**原因③：若墩柱清潔孔堵塞時造成積水，導致雨水從鋼質落水斗或排水帶兩側流出**

造成帽梁、墩柱表面濕漬示意圖



200 φ PVC 管清潔孔堵塞

### 改善方案

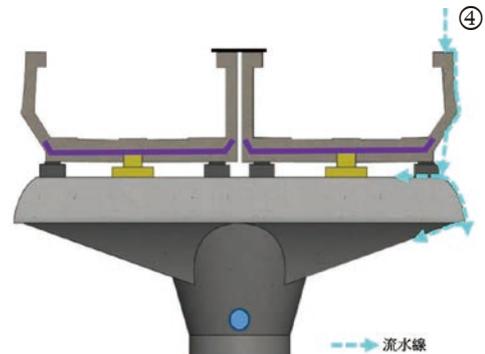
因捷運高架橋梁為開放空間，空氣中灰塵、飄落物、電聯車行駛鋼輪鋼軌磨擦鐵屑 … 等，經雨水沖流至排水系統導致堵塞，此點應於橋梁維護手冊詳述墩柱清潔孔清理頻率，建議每年防汛期前、後各 1 次及颱風過後 1 次。



定期派員巡檢墩柱清潔孔及清潔

**原因④：高架橋外胸牆處，雨水沿著此處外胸牆造型垂流**

造成帽梁、墩柱表面濕漬示意圖



雨水沿著外胸牆造型垂流至帽梁外緣

### 改善方案

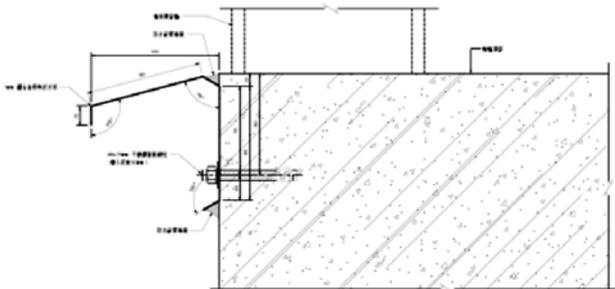
在本計畫橋梁造型外胸牆，建議設計隔音牆結構系統時加設泛水板，讓雨水不會垂流至胸牆造成混凝土面髒污。後續設計標案除設計帽梁外緣結構線造型應內縮或改變胸牆造型，避免雨水垂流至帽梁結構表面而造成髒污。



無設置泛水板  
有設置泛水板  
隔音牆有無設置泛水板成果比較



設計隔音牆結構系統時加設泛水板



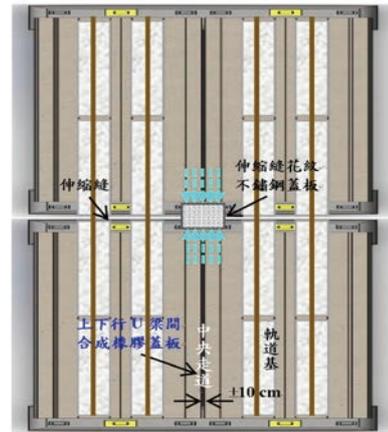
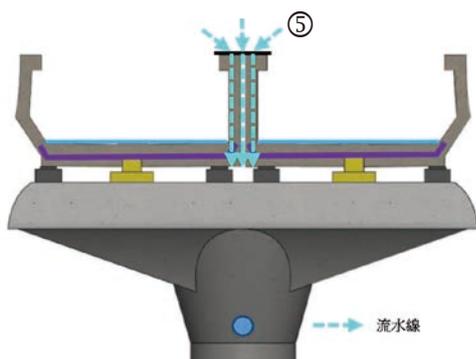
泛水板剖面示意圖



帽梁結構線內縮或改變胸牆造型

原因⑤：高架橋面中央走道處，此處雨水沿著橫向、縱向 10 公分寬縫滲流

造成帽梁、墩柱表面濕漬示意圖



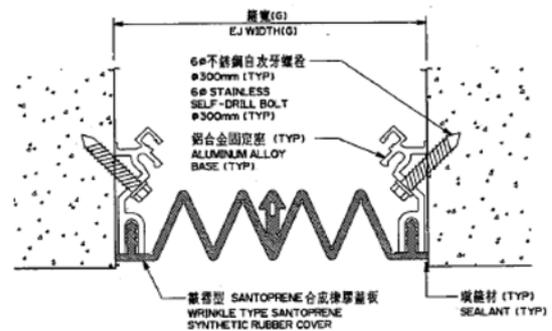
橋梁軌道平面示意圖



雨水可能滲流途徑

### 改善方案

可於中央走道伸縮縫處下方增設囊袋或口型橡膠蓋板，將水導至橋面板上。



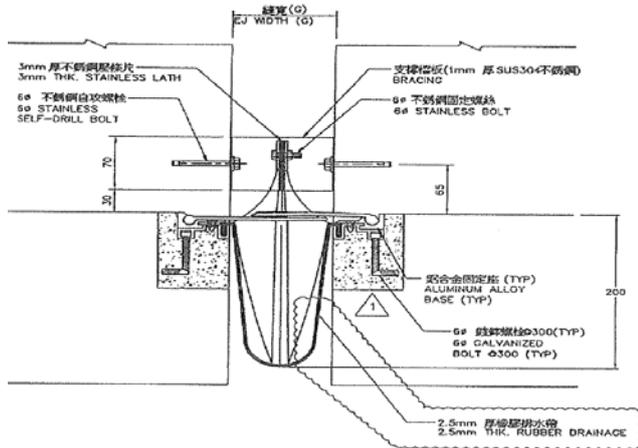
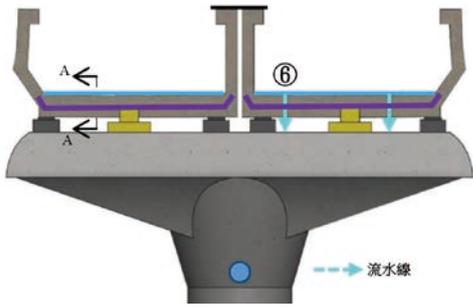
增設囊袋或口型橡膠蓋板



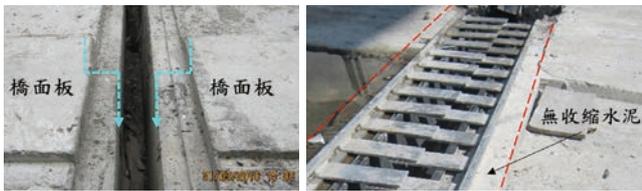
增設囊袋或口型橡膠蓋板

原因⑥：高架橋面底板伸縮縫鋁擠型與 RC 界面處，兩者為相異材質無法完全密合仍有縫隙

造成帽梁、墩柱表面濕漬示意圖



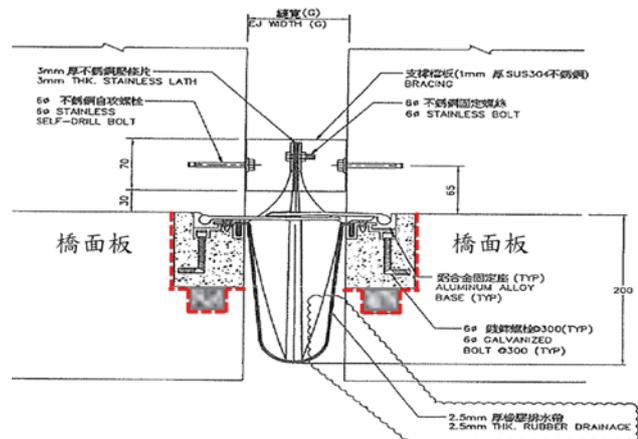
A-A 剖面示意圖



橋面板伸縮縫安裝處 伸縮縫鋁合金活動蓋板安裝完成

### 改善方案

此項造成漏水原因較為輕微，除應注意該處無收縮水泥施工品質外，DDC 設計時應可考量兩種不同材質間增加一個 Key，延伸加長滲水消能路徑，以儘量阻隔滲水。



橋面板伸縮縫安裝處可增設凹槽，延伸加長滲水消能路徑，以儘量阻隔滲水示意圖

### 結論與建議

以往國內外高架橋梁工程皆常發生高架橋梁滲漏水問題，雖無涉於橋梁結構之安全，但影響市容美觀，不容忽視。本文嘗試藉由臺中捷運烏日文心北屯線工程高架橋梁於實際施工後之經驗，徹底研析檢討滲漏水原因，並研擬改善對策。經由臺中捷運烏日文心北屯線工程實際改善作為後，再觀察高架橋梁滲漏水狀況皆已有明顯改善，效果良好，證明當初所推測之滲漏水原因正確，改善之對策也十分有效。故期望經由本次施工改善經驗中回饋日後設計，以作為後續類似高架捷運工程設計與施工之參考，部分精進作為亦已納入臺北捷運萬大線二期工程設計規劃考量，期讓日後之高架橋梁工程品質能夠更加精進。

### 誌謝

感謝本處臺中捷運監造工務所同仁、台灣世曦工程顧問股份有限公司、中興工程顧問股份有限公司軌道一部臺中捷運 DJ103 標林志豪計畫副理兼橋梁結構組組長、遠揚營造股份有限公司 CJ920 區段標、大陸工程股份有限公司 CJ930 區段標等相關單位人員協助提供相關資料，使本案原因探討與改善精進方案研究得以順利進行。

### 參考文獻

1. 臺北市政府捷運工程局 (100)，臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線建設計畫 — 土建設計規範 (版次：01 版)。
2. 臺北市政府捷運工程局 (100)，捷運技術半年刊第 44 期，捷運系統高架橋樑結構型式之探討 — 以臺北捷運環狀線 DF113 標為例。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司 (102)，臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線建設計畫 DJ102 設計標 — 設計報告 (土建 / 水電 / 環控 / 電梯 / 電扶梯)。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司 (102)，臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線建設計畫 DJ102 設計標 — 設計計算書 (定線、排水)。
5. 中興工程顧問股份有限公司 (102)，臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線建設計畫細部設計顧問服務 DJ103 標 — CJ930 區段標 G10 至 G17 站工程設計報告 (土建)。
6. 中興工程顧問股份有限公司 (102)，臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線建設計畫細部設計顧問服務 DJ103 標 — CJ930 區段標 G10 至 G17 站工程設計計算書 (定線及排水)。
7. 大陸工程股份有限公司 (109)，臺中捷運 CJ930 標墩柱帽梁滲水報告書。



# 從公共工程之 監造科技管理 — 淺談 數位轉型

林芳輝／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 協理

郭鴻祥／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 工程師

黃正緯／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 工程師

近年來我國在電子化政府國際評比中表現不凡，其中數位治理的推動，更是改善政府施政效能的關鍵。在公共工程方面，主管機關「行政院公共工程委員會」配合電子化政府倡導管理資訊化，已要求各機關加強落實執行公共工程工地管理資訊化等相關作業。中興工程顧問有鑑於三級品管之監造工作繁瑣，紙本紀錄眾多，遂進化專案管理資訊系統（PMIS）品質管理功能，藉由監造科技管理，為推動營造業數位轉型拋磚引玉。

監造工作之科技應用，主要目的是提升整體工作效率，減少人力需求，而查驗工作自動化，即為數位化先行工作，透過實際計畫執行結果評析，自動化確可提升監造效率 43%，而作業過程資訊共享，可即時透明管控計畫，也因數位作業無紙化，達到節能減碳效益，為數位轉型提供初步運行架構及經驗。

為使數位轉型效益最大化，單位間之資訊共享需具宏觀視野，摒除本位主義，律定共通的數位協作方式，制定資訊傳遞機制，以推動營造業數位轉型。

關鍵字：專案管理資訊系統（PMIS）、監造科技管理、數位轉型、三級品管制度、查驗表單自動化、資訊傳遞機制

## 背景及緣由

隨著資訊科技的日新月異，公共工程主管機關「行政院公共工程委員會」（以下稱工程會）自民國 106 年即推動公共工程履約文件電子化，啟動電子化開端，於 108 年遵行電子化政府政策，推展工地履約管理資訊化，希望藉由行動裝置，將品質管理、施工管理及進度管理等文件紀錄存於雲端，乃至 110 年 2 月為改善營造產業勞工短缺現象，倡導機關將「營建自動化」納入技術服務案評選項目。

近十年我國政府及民間投入公共工程之建設金額每年平均約 6,757 億<sup>[1]</sup>，為營建業投資重要占比，時逢營建業人力短缺，政府推動前瞻建設方興未艾，如何利用科技管理及自動化以減少人力需求，為目前公共工程推動重要課題，而公共工程品質管理係依循工程

會三級品管制度遂行，其政策方向動見觀瞻，引領業界跟隨，綜覽時局，三級品管之數位化，實已刻不容緩。

## 監造工作之科技管理

中興工程顧問股份有限公司（以下簡稱中興公司）企業 e 化行之有年，早已應用資訊科技管理員工出勤、考核、財務、業務及人資等企業經營相關資料。由於主要業務係承攬國內外重大工程之設計監造工作，為能有效管控多元且複雜的計畫資訊，於 87 年研發專案管理資訊系統平台（Project Management Information System, PMIS）<sup>[2]</sup>，作為監造計畫管理工具，該系統具備：(1) 人資管理：與駐外人力調度平台串流，提供計畫成員即時人事資料。(2) 品質管理：提供監造（專

管)計畫有效執行業務工具(如施工抽查及材料抽驗等作業平台)。(3)文檔管理:文件紀錄管理,利於後續資料搜尋。(4)資訊共享平台:與設計單位平台串接,達成設計監造一元化管理作為(如招標文件自動導入、BIM模型預覽、元件共享等)。

另建置統合管理介面,擷取各計畫執行情況數據(如工程進度、估驗進度及服務契約執行進度等)提供管理階層掌控計畫。鑑於公共工程三級品管監造工作之查驗項目繁瑣、紙本紀錄眾多,遂於109年進化PMIS品質管理功能,增設工程查驗自動化等功能,詳述如后。

### 查驗自動化(無紙化)

為提高現場工程師查驗工作效率,將傳統查驗作業,從紙本的填寫、掃描、上傳至文件歸檔流程進行優化及簡化,改採於平台作業填報逕自歸檔模式,並本於科技管理始終不離人性,訂定以下功能目標:(1)建置共同作業平台,資訊透明化,減少重工;(2)以作業流程(Work Flow)控制程序;(3)以下拉式選單控制數值規格;(4)依據三級品管體系精神,尊重各層級各自數位化發展,再予介接整合。而建構施工查驗自動化作業平台,其流程可概分5個階段:(1)建置查驗表單資料庫。(2)建置承包商查驗申請介面。(3)建置查驗填報介面。(4)簽核資安確保。(5)制定紀錄上傳介面及規格<sup>[3]</sup>。初步架構及功能需求,經向交通部重大工程督導會報請益,獲得支持與鼓勵,並得於所轄管之公路總局淡江大橋新建工程、公路總局台9線道路及橋梁拓寬工程、高公局國道1號汐止系統交流道增設南入匝道改善工程(未開工)及臺鐵局宜蘭線雙溪橋改建工程等4個計畫試行,俾憑執行結果評估成效,並據以全面推展。

### 建置查驗表單資料庫

經蒐集中興公司既有資料並綜整歸納後,將紙本表單文字內容數位化建置於資料庫,同時,為方便使用者搜尋及數據擷取,將資料庫內容依據工程特性分類成交通、水利、環工、開發及未分類等五大分類,並依照工程屬性分成機場、橋梁、隧道、捷運系統等27類(圖1查驗表單資料庫)。

功能區塊分為維護與使用兩項;前者主要功能是持續擴增資料量、精確表單內容及維護資料庫;後者為提供使用單位依據計畫特性選擇資料庫表單匯入該計畫資料庫並進行編輯成為該計畫專用表單(圖2)。

### 查驗流程自動化

依據公共工程三級品管制度,施工查驗有其系統流程(圖3),PMIS平台(圖4)據此規劃每一步驟操作流程:(1)查驗申請作業介面,讓承包商於系統上提出查驗申請,介面具自主檢查資料上傳功能(圖5)。(2)E-Mail及平台通知確認承包商查驗申請。(3)搜尋雲

六大分類	工程分類	數量	詳情	工程項目	數量	詳請
交通類	機場	21	詳情	跑道	8	詳情
交通類	橋梁	56	詳情	橋樑	11	詳情
交通類	隧道	64	詳情	橋樑	11	詳情
交通類	環工	41	詳情	橋樑	10	詳情
交通類	捷運系統	52	詳情	橋樑	10	詳情
交通類	環工	29	詳情	橋樑	10	詳情
交通類	環工	25	詳情	橋樑	10	詳情
水利類	大型水利	1	詳情	橋樑	10	詳情
水利類	河川整治	1	詳情	橋樑	10	詳情
水利類	灌溉排水	1	詳情	橋樑	10	詳情
水利類	水處理	22	詳情	橋樑	10	詳情
環工類	海岸防沖	13	詳情	橋樑	10	詳情
環工類	防化防	1	詳情	橋樑	10	詳情
環工類	海堤防	1	詳情	橋樑	10	詳情
環工類	下水溝	12	詳情	橋樑	10	詳情
環工類	防沖水	1	詳情	橋樑	10	詳情
環工類	土地整理	11	詳情	橋樑	10	詳情
環工類	山坡地開發(水保)	11	詳情	橋樑	10	詳情
環工類	無廢棄	1	詳情	橋樑	10	詳情

圖1 查驗表單資料庫

圖2 編輯表單介面

端資料庫之規範、圖說確認申請資料及查驗時間(圖6)。(4)可利用行動裝置下載施工圖說及規範等資料,提升查驗便利性(圖7現場查驗實況),使用介面具拍照留存功能(圖8)。(5)查驗完成現場簽核上傳。



圖3 查驗流程



圖7 現場查驗實況



圖4 PMIS 平台介面



圖5 查驗申請介面



圖6 查驗填報介面



圖5 查驗申請介面



圖8 查驗填報介面

簽核資安確保

現場監造人員簽署查驗表單後,系統自動通知主管簽核(圖9),經主管勾選完成,資料即無法隨意更改,且文件逕行歸檔,平台係以個人專屬帳號及密碼防止盜用,親簽防偽,採信用卡等級方式維護資安。

圖6 查驗申請一覽表



圖 9 主管簽核欄

### 文件歸檔

作業平台各功能介面之紀錄可串接匯出檔案，表單格式符合工程會於 109 年 4 月 27 日發布之「監造計畫暨品質計畫製作綱要」（圖 10 輸出之查驗表單），並存放於雲端之文件樹資料夾。

**中興工程顧問股份有限公司**  
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.

P03-1 全套管基樁施工抽查紀錄表

編號：CL2-G-C-187

工程名稱	鐵路行車安全改善六年計畫-宜蘭線第三雙溪及新社橋改建工程		
分項工程名稱	P03-1 全套管基樁		
檢查位置	P03-1-1 全套管基樁搖管機定位	檢查日期	110 年 04 月 01 日
施工流程	<input checked="" type="checkbox"/> 施工前 <input type="checkbox"/> 施工中檢查 <input type="checkbox"/> 施工完成檢查		
檢查結果	<input type="checkbox"/> 檢查合格 <input checked="" type="checkbox"/> 有缺失需改正 <input type="checkbox"/> 無此檢查項目		
管理項目	抽查標準 (定量定性)	實際抽查情形 (敘述抽查值)	抽查結果
樁心檢測	水平位置偏差<7.5cm, 高程如圖說規定	偏差 0.5cm(=100.5-100cm)	○
基樁套管直徑	外徑□200cm	200cm	○
基樁套管壁厚	管厚□16mm	30mm	○
沉澱池設置	是否設置沉澱池	有設置沉澱池	○
取土	用取土筒或鯊魚頭取土	以鯊魚頭取土	○
套管接合情形	鎖緊	套管接合鎖緊	○
1. 抽查結果不合格者;填至「不合格追蹤管制表第 項」進行追蹤改善 2. 缺失複查結果 <input type="checkbox"/> 已完成改善(檢附改善前中後照片) <input type="checkbox"/> 未完成改善,再填至「不合格追蹤管制表第 項」進行追蹤改善 複查日期: 年 月 日 複查人員職稱: 簽名:			
備註:			
1. 抽查標準及實際檢查情形應具體明確(例:磚砌完成後須不透光)或量化尺寸(例:磚縫 7mm-10mm)。 2. 抽查結果合格者註明「○」,不合格者註明「×」,如無需檢查之項目則打「/」。 3. 本表由監造現場人員實地檢查後嚴實記載簽認。			
監造工地負責(授權)人: 翁身魂		監造現場人員簽名: 黃靖翔	

圖 10 輸出之查驗表單 (樣張)

### 安衛及品質管制功能串接

監造工作除執行工程查驗外，追蹤不合格事項改善情形、職安衛抽查及材料抽(查)驗管控等亦是必要工作，爰此，增設 PMIS 相關功能介面，並具彼此串流功能，以周全業務需求，提升監造管理效率。

### 不合格追蹤機制

當查驗發現缺失時，於查驗專區之管理項目填寫不合格後，該項目即列入不合格追蹤流程進行管制（圖 11），相關資料串接至不合格追蹤介面平台，由承包商於缺失類型欄填報改善前、中、後說明及檢附照片後，由監造工程師確認改善結果，再經監造主管確認簽結。



圖 11 不合格追蹤管制介面

### 安衛抽查填報功能

於工地查驗功能增列安衛查驗選項，如施工查驗時需辦理安衛查驗，監造工程師可勾選安衛查驗進入安衛查驗介面，填寫安衛查驗情況（圖 12），後續程序與工程查驗同。

### 材料抽驗管制功能

材料的品質管控是三級品管重要一環，為管控承包商檢送之相關材料及設備送審情形，於 PMIS 平台建立材料管理介面，透過管理清單（圖 13），確保一級及二級材料提審時程及試驗結果符合契約要求。

### 數位化表單應用

表單數位化主要目的在於表單內各項數值可以進行擷取、串流、分析運用，以提高工作效率，減少現場工程人員文書作業，及避免抄錄產生人為錯誤，並可透過數位傳輸達成資訊共享。



## 初步執行成效

中興公司推行監造科技應用，冀望透過數位化作為減少生態環保的衝擊，提升整體工作效率，減少人力需求，經前開所提 4 個計畫執行結果，檢討初步成效以提供業界參考。

### 無紙化、環保減碳

監造查驗因數位作業而無紙化，以「淡江大橋及其連絡道路新建工程（第 3 標）」為例，單支全套管基樁施工查驗作業，整份三級品管查驗紀錄約需 57 張 A4 紙張，該案全套管基樁工程數量共 796 支，完整查驗紀錄約需 45,372 張，以整個專案共有 35 個分項工程，推算完成時恐需約 159 萬張 A4 紙張，依據環保署顯示紙張碳計算為 10,000 張 A4 紙張  $\times$  0.018 kg = 180 kg，如該案採無紙化，約可減少 28,620 kg 碳排量。

### 作業效率提升

查驗自動化之效益，以臺鐵局宜蘭線雙溪橋改建工程全套管基樁為例，經統計執行結果，傳統模式查驗作業時間約 72 分鐘，查驗自動化整體花費時間約 41 分鐘，作業效率約提升 43%，大型計畫效益更形卓著，此分析尚未包含串接其他功能平台及後續智慧化帶來的效益。

### 資訊透明共享

PMIS 作業平台開放所有計畫成員登入，可擇適當訊息連接外網公告，由於所有作業活動皆於平台執行，相關資訊及時透明，平台管理員可依需求及職務身分設定適當權限管制，防止資訊不當外流，並可串接公司內部人力資源平台、預算規範審查等平台系統，使資訊共享效益最大化。

### 雲端科技運用

計畫資料上傳雲端，可做異地保存，提升資料的安全性，且不受時間地域查詢所需資料，再者，雲端資料透過大型伺服器的運算功能，降低資料保存成本，更可利用 IoT 技術及 5G 大寬頻環境，快速運算及傳輸工具，提升競爭優勢。

## 推行歷程

企業數位化的推行，除主事者的決心外，成敗與否取決內外環境主客觀因素，如企業內部的科技專業

能力及人才，外在的環境制度是否有利於數位化推動。以下僅概述中興公司推動公共工程三級品管數位化的歷程，供業界卓參。

### 內部技術整合及內部文化養成

數位轉型，即是結合數位科技與既行營運系統的過程，作業流程中組織單位間的資訊交換，透過數位化，將流程數據化、規格化，讓不同單位間能更有效率地合作，且又能各取所需的獲益，達成資訊共享<sup>[4,5]</sup>。中興公司 PMIS 推行多年，監造同仁多已養成平台作業習慣，在此前提進化 PMIS 功能達到查驗自動化，並於 109 年年底開始推動應用試行，計畫包含臺鐵局宜蘭線雙溪橋改建工程、公路總局台 9 線道路及橋梁拓寬工程及淡江大橋新建工程等三個計畫，藉由計畫不同的工程狀況及規模，提供多面性意見，利用繪製分鏡圖和研發人員討論使用者介面需求，據此優化使用介面。工地、工管部及研發人員三方以腦力激盪方式激發創意，經過無數次技術整合，方具目前查驗自動化初步成果。

### 外部機關制度的兼容及溝通

政府自 87 年開始肇劃電子化，乃至目前推行「服務型智慧政府 2.0 推動計畫」，已有多項改革及便民措施，例如工程會於 109 年 4 月 27 日頒布新版的施工抽查表單，以簡單化陣列方式建置表單，有利電子化推動。惟仍有機關因個別需求及單位特性，發展出各種格式之表單，但因數位化後產出表單與既有格式不完全相符，而仍要求檢附大量紙本資料，造成數位化推行遲緩。所幸，經與交通部重大工程督導會報說明報告後，獲得認同；並於 110 年 3 月 16 日「鐵路行車安全改善六年計畫－宜蘭線第三雙溪及新社橋改建工程」接受交通部施工查核，經委員驗證查驗自動化成效，給予查核成績高分肯定，這也說明，必須捨棄本位主義，放眼數位化格局，才能推動數位轉型。

## 建議及展望

近年來政府積極倡導數位轉型，營造業數位化勢在必行。公共工程三級品管數位化的啟動，將有效引領業界跟進，中興公司雖已在公司數位化的基礎上，完成查驗自動化初步工作，但在推行過程中，卻也發

現部分廠商及業主對於營造工程數位化的觀念尚待強化。由於營造工程涉及事項廣泛，目前大多數機關尚處於表單電子化階段（紙本填報掃描後傳遞儲存雲端），查驗紀錄之數據因未數位化，無法進行自動化及數值再利用，有些較具遠見之機關，於專案建置作業平台，要求各級單位於平台作業，藉此管理專案相關資訊，但若要形成數位文化乃至數位轉型，尚待群策群力商討建置模式。

為利後續公共工程數位化推動，僅就中興公司推行數位化經驗提供以下建議：

### 推行數位化表單

為使數位化表單之資訊能相互串接多元利用，紀錄表格輸出格式應予放寬自主。避免各機關自訂輸出格式限制，導致為因應輸出格式要求，而將心力花費於調整作業平台，阻礙數位化推行意願。

### 營造數位化有利環境

工程承攬契約及技術服務契約載入數位化鼓勵條文並給予實質給付，例如採用數位化作業平台及行動裝置設備，編列獨立計價項目等。

### 制定公共工程資訊交換機制

針對如何推動公共工程三級品管數位化，採行之策略影響深遠。當專案（計畫）建立作業平台，所有成

員皆於平台作業，數位化似乎立竿見影，但就以三級品管精神，及三級單位各有需求及特性之客觀因素，採單一專案平台作業，較會遏制承包商數位化發展動力，難以成就全面數位轉型格局；若能推動各級單位同時數位化，再經由各機關訂定需求資料格式，資料傳遞雲端，各機關平台擷取所需，其優點為各單位可依據自身條件發展企業數位化，初期推動或許較為遲緩，但配合鼓勵措施及制度調整，長期對於營造業全面數位轉型反而較為有利。爰此，因應單位間數據應用的宏觀視野，制定最佳的數位化資訊應用格式，律定各單位通用數位資訊語言，相互交換彼此所需的資訊，以儘速達成營造業數位轉型。

### 參考文獻

1. 吳澤成 (2020)，產官學研攜手共築工程未來，社團法人中國土木水利工程學會 109 年年會大會及土木水利工程論壇。
2. 李明哲、林冠成、黃志民 (2020)，工程監造資訊管理系統之發展與運用 — 以三鶯捷運計畫為例。
3. 張建信 (2021)，以工程實務面探討公共工程施工三級品質管理制度之執行成效 [未發表之碩士論文]，國立臺灣大學土木工程學系。
4. 大數據來臨～大數據時代的來臨，你準備好要數位轉型了嗎？  
<https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10216715> (Sept.18.2019)
5. 數位轉型如何做？企業成功轉型五步驟。[https://ttmarketing.1111.com.tw/knowledge/detail/48?now\\_page=3](https://ttmarketing.1111.com.tw/knowledge/detail/48?now_page=3)



## 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](mailto: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。

# KXZ

VRF Inverter Multi-System Air-Conditioners

## 旗艦 · 智造

極致耀眼 空氣美學  
 高性能變頻多聯中央空調



**CSPF**  
**全面一級**  
 (20HP 二級)  
 業界領先CSPF\*



**4~60HP**  
 連接最高容量可達



**-20°C~50°C**  
 \*KXZ Lite  
 業界最廣溫度運轉範圍\*

### 室外機規格陣容

Micro model側吹式			KXZ Lite 側吹式	
4HP	5HP	6HP	8HP	10HP
•	•	•	•	•

KXZ 單模組室外機						
10HP	12HP	14HP	16HP	17HP	18HP	20HP
•	•	•	•	•	•	•

KXZ 雙模組室外機									
22HP	24HP	26HP	28HP	30HP	32HP	34HP	36HP	38HP	40HP
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

KXZ 三模組室外機									
42HP	44HP	46HP	48HP	50HP	52HP	54HP	56HP	58HP	60HP
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Micro KX系列

業界最小台VRF

845mm



### KXZ 系列

### KXZ 系列



\*極端氣候下也能穩定安全運行，冷氣在零下15°C至零上50°C(視系列有所不同)，暖氣在零下20°C至零上15.5°C，應對各種嚴苛的室外環境。

代理商 **上菱工業股份有限公司**

免付費服務專線：0800-77-3030 [www.kamibishi.com](http://www.kamibishi.com)



泰興工程顧問

# 全方位 統包工程服務

We Connect People,  
Transform Lives and  
Help Communities to Thrive.



台北市敦化南路二段333號14樓

TEL:(02)2376-8000

FAX:(02)2738-2000

<https://www.pecl.com.tw>



化工與環保



交通與通訊



再生能源



電力



工業科技



貝泰國際專案



匯通藝文新地標／大港橋

全臺首座水平旋轉橋梁，串聯亞洲新灣、駁二、蓬萊商港區，完備港灣環鏈遊憩線，點亮港都海灣觀光新廊道。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號  
 No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN  
 Tel:(02)8797-3567 Fax:(02)8797-3568  
 E-mail:pr@ceci.com.tw

用心  
 做好每一件事情

匠心，才得以淬煉「專業」品質  
 誠心，才足以貫徹「人本」信念  
 悉心，才可以恢宏「關懷」情操  
 台灣世曦永遠以「心」為出發  
 持續履行對土地、對人民不變的承諾  
 一個環境永續的生態樂園  
 一個幸福溫馨的生活家園



# 光纖光柵感測技術領導者



捷運隧道施工期間之地層下陷監測-  
分層孔隙水壓計及分層沉陷計實際安裝應用：  
優勢：  
1.感測器可多個串接  
2.減少鑽井數量  
3.抗水抗雷擊



水庫防淤設施監測-象鼻鋼管安裝側傾儀、  
閘門支撐結構安裝速度計實際應用：  
優勢：  
1.抗水抗雷擊  
2.安裝深度可達水下40M  
3.抗電磁波干擾



軌道交通路堤改善工程之低壓灌漿期間軌道板  
不均勻沉陷監測-差異沉陷計實際安裝應用：  
優勢：  
1.高精度(解析度：0.05mm；精度 $\leq$ 0.5mm)  
2.最佳化之溫度效應補償校正  
3.抗電磁波干擾



新加坡隧道環片監測-  
埋入式應變計實際安裝應用：  
優勢：  
1.耐高溫養護  
2.最佳化溫度補償  
3.耐用長達15年以上



預力防護網工程監測-岩栓安裝應變計實際安  
裝應用：  
優勢：  
1.一體化的岩栓鋼筋應變計  
2.抗潮、抗雷擊  
3.最佳化之溫度效應補償校正

本公司產品：  
加速度計、差異沉陷計、分層孔隙水壓計、  
側傾儀、沉陷計、應變計、地中傾斜管





# 根基營造

## 國內首家通過英國標準協會 循環經濟 BS 8001最高等級認證

- ✓ 股票上市甲級營造公司(股票號碼2546)  
第一家發行CSR社會責任報告書
- ✓ BIM國際標準\_台灣第一家  
(2018\_PAS1192/2019\_ISO 19650)
- ✓ 雙職安 OHSAS 18001 & TOSHMS  
ISO 45001\_台灣第一家
- ✓ 循環經濟標準\_最高等級(2019\_BS 8001)
- ✓ 榮獲2020臺灣循環經濟獎  
創新服務獎\_傑出獎及供應鏈獎\_傑出獎 獎項



根基營造股份有限公司

KEDGE CONSTRUCTION CO.,LTD.

誠信 品質 服務 創新 永續

統包工程/醫院工程/指標性工程/高科技廠房/土木橋梁

<https://www.kedge.com.tw/> 台北市大安區和平東路三段131號