

建立綜合考量氣候與能源之水資源規劃方法研究 (1/2)

The Study of Water Resource Planning Considering Climate and Energy

主管單位：經濟部水利署水利規劃試驗所

胡明哲¹

童慶斌¹

馬鴻文²

Hu, Ming-Che¹

Tung, Ching-Pin¹

Ma, Hwong-Wen²

周珏浩¹

林嘉佑¹

王怡心²

李大同¹

Chou, Chueh-Hao¹

Lin, Chia-Yu¹

Wang, Yi-Shin²

Lee, Ta-Tung¹

¹ 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

² 國立臺灣大學環境工程學研究所

摘要

鑒於氣候變遷對於供水系統的影響，需要有更多方法來填補水資源供需之間的差異，而這些方案需要有合理的能耗管理，以避免形成負面的回饋效應。今年度主要針對傳統水資源的部分提出能耗分析方法。

本計畫利用能值分析法，有別於過去能耗僅考量電力的觀點，廣泛地納入其他投入供水系統的能資源，利用太陽能值 (sej) 轉換的方式進行計算。除了計算單一措施提供單位水資源的能耗外，也可計算對於整體系統的能耗影響，以崇德水庫與高屏大湖為例，崇德水庫的單位供水能耗為 $1.67e+11$ (sej/m³)，而高屏大湖為 $3.71e+11$ (sej/m³)。當考量到系統時，以崇德水庫搭配崇德淨水場的方案而言，整體系統新增單位供水量的能耗為 $2.65e+11$ (sej/m³)，而高屏大湖為 $4.35e+11$ (sej/m³)，這些數據可以作為不同方案間多準則排序分析的其中一項分析依據。同時本計畫也針對現行水資源規劃規範 (草案)，提出納入氣候與能源考量的參考修正方法，分別可應用於初步規劃與可行性規劃階段。

關鍵詞： 水資源、供水系統、氣候變遷、能值分析、多準則分析

Abstract

Due to impacts of climate change on water supply system, there should be more ways to narrow the gap between water demand and supply. It needs rational energy consumption management to prevent negative feedbacks. In this year, methodology for calculating energy consumption of traditional water resources was proposed.

This project uses EMERGY analysis to include all energies and resources into consideration which is unlike those only considering electricity for water supply system. Not only energy consumption of single facility, but also its impacts on entire system would be calculated. For example, energy consumption of unit water resources for Chong De reservoir is $1.67e+11$ (sej/m³), which is $3.71e+11$ (sej/m³) for Kaopin lake. For a system's perspective, energy consumption of unit water resources for Chong De reservoir increases to $2.65e+11$

(sej/m^3) , which is $4.35\text{e}+11$ (sej/m^3) for Kaopin lake. Meanwhile, this project also proposed reference methodologies about adding climate and energy into consideration based on current water resource planning standard (draft) . These should be applied to stage of preliminary planning and feasibility study separately.

Keywords : water resources, water supply system, climate change, energy analysis, multi-criteria ranking analysis

一、前言

水資源、氣候、能源三者間密不可分，氣候變遷對於流量的衝擊以及造成需水量的改變，需要調適方案來彌補水資源供需間的差異（氣候影響水資源），當調適方案涉及水資源設施元件的新建、修復、復建時，勢必會投入更多能資源於其中，造成比現有水資源供水系統更多的能耗（水資源影響能耗），能耗增加可能提高溫室氣體排放，進而惡化氣候變遷（能耗影響氣候），形成回饋效應（圖 1）。如何評估水資源調適措施能耗乃本計畫之主要目的。

水資源、能源、氣候相互關係不僅於此，水資源供水系統同時也具有生產能源的效用，氣候變遷同時也會影響到產能的大小，然而基於三者間關係複雜，本計畫著重在氣候變遷調適方案新增原水或供水能力的能耗分析，輔以其他水資源、能源、氣候相關議題討論。

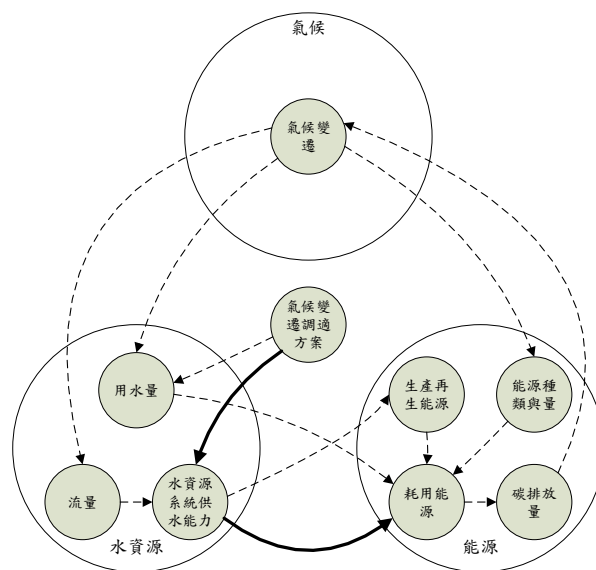


圖 1、水資源、氣候、能源之三角關係

隨著我國政府相關單位合併為環境資源部的到來，原先所提倡保護環境的政策定會更確實地實現於各項發展當中。在能源替代方案發展仍不足下，全球目前能源供給越來越受限，因應未來全國能源總量管制之必要性，相關發展計畫有必要分析其能源需求。過去水資源管理多強調在其產生能源之功能，在能源使用方面的考量甚少，或僅由轉換成成本來計算，然而能源與金錢不同的是，能源的來源除了再生能源外，大部份是倚靠化石燃料如原油、煤炭等有限的資源，而這些有限的資源卻也是我國能源使用的大宗，

並多為仰賴進口。水資源本身可藉由水力發電產生清潔能源，但水利措施本身卻會耗用能源，因此有需要發展研究方法釐清水資源措施所需之能耗。

水資源不管在儲水、供給、傳輸或處理過程中均需要能量，在氣候變遷考量下所擬定之調適策略與方案，雖然填補了水資源供需不足，但背後卻可能增加能源使用之疑慮，進而限制執行之可行性，因此納入能源的消耗計算勢必成為日後我國水資源管理不可忽略的考量因素。一個前瞻性的水資源調適策略，應該不只在於供給面的考量，而應該要積極探討各項因子間之相互關係，過去研究利用多準則分析調適措施之優先順序，考量效用性、即時性、永續性、與可行性之準則，為使調適措施推動更合理，本計畫藉由發展能值分析方法，提出能值分析之準則，支援氣候變遷調適方案之優先順序決策。

面對氣候變遷之高不確定性，前瞻水資源調適科技發展，應著重於多元化水資源發展與整合經營管理之策略科技研究。多元化水源發展除了傳統的水庫、地下水、以及攔河堰引水之外，還包括了新興水源之雨水貯集、農業迴歸水、海水淡化、都市污水回收、工業廢水回收等。傳統大型水利設施較能有效解決水資源空間與時間上不足的問題，但該類水資源在流動過程中往往距離較長，導致能源需求增加；相反地新興水資源供水規模較小，但考量其區域性可節省長程輸送之能耗。如何將效用、可行性、即時性、永續性，與能耗一併納入各項調適科技之評估因素，實為本計畫之重要議題。

納入能耗因素於水資源規劃與發展綜合評估方法均為目前國際重視之課題，本計畫希望針對多元化水資源規劃策略，發展前瞻水資源調適科技，探討多元化水資源的各項元件，在供水運用上之能耗評估分析，以期在水資源規劃同時，了解各項水資源方案之能耗，以達綠色水資源永續發展願景。本計畫預計分為 2 個年度執行，本（101）年度為第 1 年度。

二、文獻回顧

2.1 水資源、氣候、能源相互關係之相關研究

水資源、氣候、與能源之間的相互關係非常複雜 (DHI, 2007)，因各自為複雜的系統，此三個系統又同時存在於更大的系統架構內，並隨著時間各自、互相影響演變，同一時間內，整個大範圍的系統也在逐漸發展。由於水資源、氣候能源其相互之間的作用可能會產生正面的回饋 (Urry, 2005)，但也有可能出現非計畫的或是非預期性的反應 (Novotny, 2005)，已有系統學家研究此種動力系統，並認為其相互連結皆建立在非線性之關係上 (Harris, 2007)。

若將水資源、能源、與氣候之間的因果循環 (casual-loop) 關係藉由圖形化的方式加以展現，架構如圖 2 所示 (Proust, et al. 2007)，由圖中可看出大氣溫室氣體濃度上升將對全球氣溫產生正向回饋效應，進而導致天氣偏離正常型態；為減輕氣候異常，則導致水資源以及能源使用量之增加。

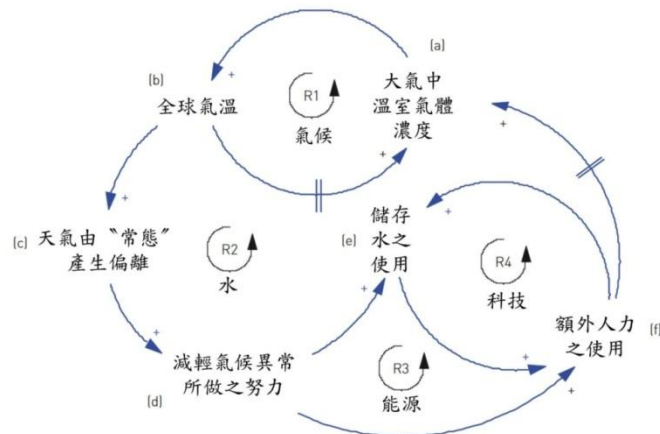


圖 2、水資源、能源、與氣候間之關聯架構
(資料來源：Proust, et al. 2007，本計畫翻譯)

2.2 水資源規劃與能源、氣候之關鍵議題

根據陸煜康（民國 99 年）在「水處理節能和新能源的應用」專書中指出，自來水系統主要能耗來自處理單元設備用電，自來水系統包含取水、淨水及輸配水三部份，而取水和輸配水單元之設備用電量，占整個系統能耗的 70%-80%。這兩階段設備的耗電，主要來自取水泵房和送水泵房之設備用電量，換言之當自來水抽取數越高或配水系統配水量越大時，因能耗使用產生的溫室氣體排放量也越大。

日本財團法人節能中心（The Energy Conservation Center Japan, ECCJ）曾針對水資源的開發、供給、與利用三階段進行水資源利用過程中的能源消耗統計。該機構認為由水資源設施的建設以及後續水道、排水設施的整備維護所耗用的資財為始，進而計算後續直接、間接能耗的耗用，要完整掌握其資訊是極其困難的。根據該機構於 1996 年的統計結果，日本水資源設施以及水道排水設施的建造以及後續利用時的直接、間接化石燃料消耗量，大約為 109 兆 kcal，約佔全國化石燃料使用總額之 2.9%。

國內目前仍較少相關研究討論水資源與能源關係，但國外近年來開始有不少研究探討能源議題，並提出在探討水資源永續發展同時亦須考量能源問題。本計畫整理國外相關能源與水資源研究，認為水資源規劃與能源、氣候之關鍵議題可概分為四大類型：

1. 氣候變遷對於水資源之衝擊影響：探討現有水資源系統於氣候變遷下是否可能因為環境變遷而遭受衝擊。
2. 水資源系統之能源耗用評估：著重於分析水資源系統中各項設施元件的能耗情形。
3. 評估工具或流程之應用：針對水資源系統與能源耗用之分析提出評估架構、分析流程、以及評估工具。
4. 結合水資源系統能耗分析與氣候變遷議題：探討水資源系統受到氣候變遷影響下之能源耗用分析與評估流程。

三、研究流程及架構

依照本計畫今年的研究流程，如圖 3，目前已完成首年工作項目，包括進行水資源、氣候、能源以及調適科技之能耗文獻回顧外，並根據結果建構整合傳統供配水系統之能耗分析架構，進而挑選高雄地區水資源供配水系統作為研究案例，以驗證水資源供配水系統能耗分析方法之可行性。

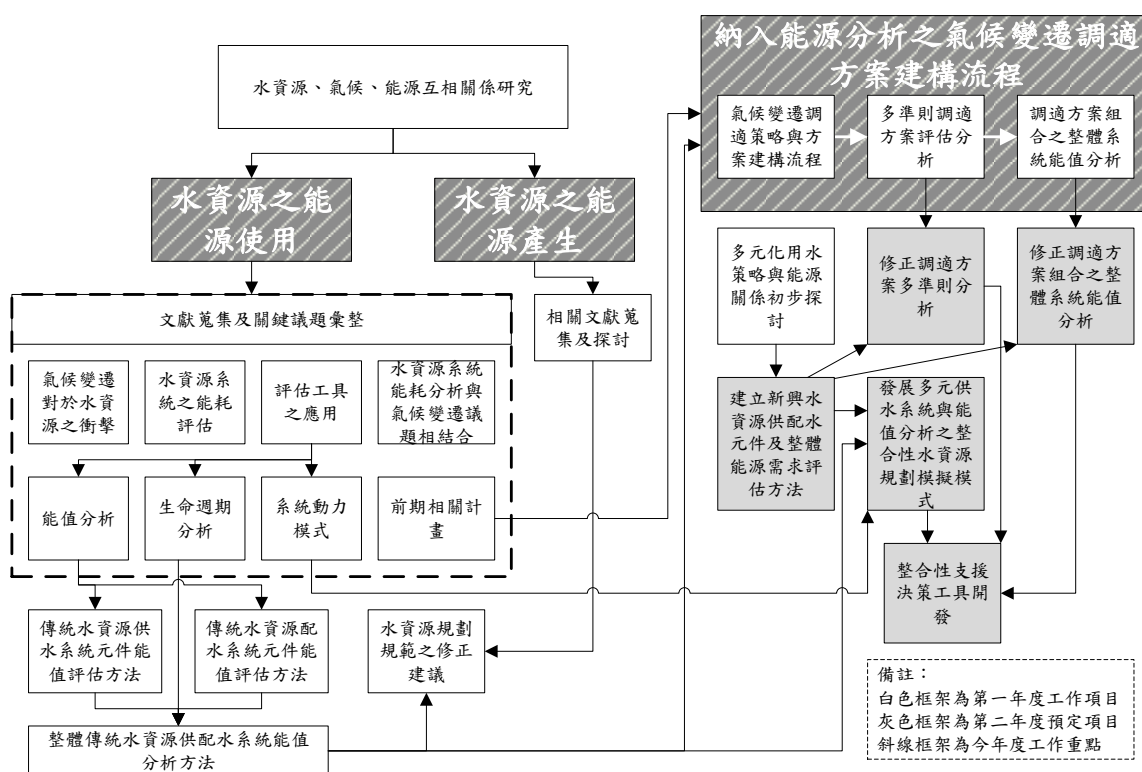


圖 3、本計畫之研究流程

本計畫採用近年來廣泛使用於各種研究領域之能值分析法，先將各水利設施視為獨立元件，並將元件能耗分為直接與間接能耗，計算個別元件單位出水之能耗情形，進而計算水資源流經路徑之累積能耗，以及整體水資源系統的能耗情形。基於以上評估流程結果，本計畫進一步探討如何結合能值分析法於水資源管理，根據不同生命週期階段計算各階段能耗，並檢視既有水資源開發規劃規範，提出整合能值分析之建議。

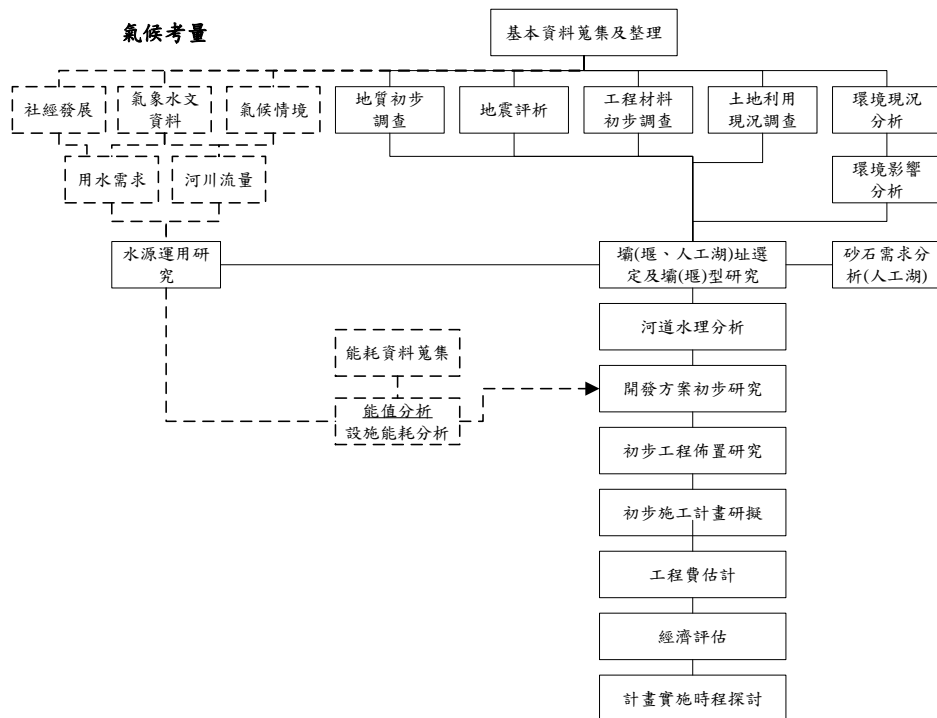
除上述工作成果外，本計畫亦進行多元供水系統之初步分析，探討國內外多元用水策略與能源之關係，包括探討新興水資源供配水系統之單元，以作為建構新興水資源系統能源分析架構之背景資料。預計於第二年研究中，根據本年度計畫對於新興水資源系統之資料蒐集結果，進一步廣泛蒐集並建構新興水資源系統之供配水能耗分析方式，並選擇國內相關新興水資源系統進行案例分析，而後採用系統動力模式建構研究區域水資源系統動力模型，模擬系統中水資源流動方式及伴隨的能值流。

3.1 建構水資源規劃與能源之關係與評估架構

本計畫希冀藉由納入氣候與能源考量因素至水資源規劃方法，找出在氣候變遷影響

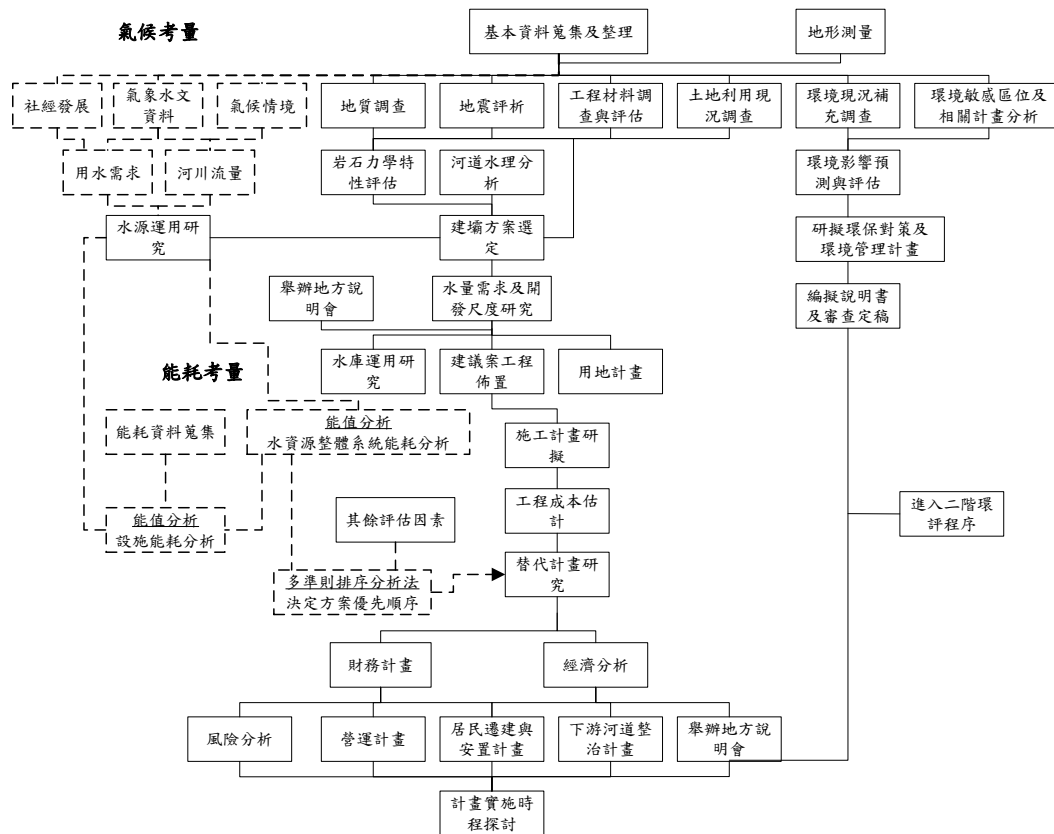
下，最小能耗卻具有最大水資源供給效用的方案。考量本計畫目的乃是發展水資源供配水系統之能源需求分析方法，以提供相關單位在進行水資源規劃決策時能納入能耗考量，本計畫針對初步規劃及可行性規劃階段提出修正，作為結合能源需求的探討。初步規劃階段先就提出方案進行元件能源需求分析，須確保能源需求在合理範圍。進一步於可行性規劃階段，探討不同替代方案之可能能耗，由於水資源供給除了元件本身能耗外，傳輸路徑過程中通過不同設施也會累積不同能耗，在可行性階段應納入比較。

另外不論是在初步規劃或可行性規劃階段，皆應納入氣候變遷影響考量，透過不同氣候變遷情境模擬未來水資源供需面的變化。藉由修正納入能源需求與氣候考量，本計畫藉由水庫、攔河堰及人工湖作為例子，提出綜合考量氣候與能源需求之水資源初步規劃架構（圖 4）與可行性規劃架構（圖 5）。



資料來源：依據「水資源規劃規範-水源開發規劃作業（草案）」（水利處，民國 90 年）繪製補充

圖 4、綜合考量氣候與能源之水資源初步規劃架構



資料來源：依據「水資源規劃規範-水源開發規劃作業（草案）」（水利處，民國90年）繪製補充
圖5、綜合考量氣候與能源之水資源可行性規劃架構

3.2 能值分析法介紹與水資源系統分析方法建立

Odum (1996) 從廣義的角度及系統觀點，探討生態系統與經濟系統之間能量流動的關係，並提出太陽能值的概念，認為各種資源、產品、或勞務的能量均直接或間接地起源於太陽能，由太陽輻射至地球的能量開啟地球內各類系統的運作，藉由能換率 (Transformity) 的轉換能夠將不同的能量轉換成相同基準之太陽能值作為比較：

$$\text{Solar energy (SE)} = \text{Energy} \times \text{Transformity} \quad (1)$$

其中 Solar Emery 為各類能量經由能換率轉換後之太陽能值，單位為 solar emjoules (sej); Energy 為各類能源，Transformity 為各類能量與太陽能值之間的轉換率關係，位在系統階層越高之組成分或作用，其具備的能換率也越高。

本計畫進一步將式 (1) 分成直接能耗 (式 2) 與間接能耗 (式 3) 部份，分別計算各元件投入的用電量及其他能資源所代表的太陽能值，並藉由能值圖例中交互作用的概念，分析供給水資源背後所需耗用的能值 (圖 6)。

$$\text{SE}(\text{direct, d}) = \text{Electricity} \times (3.606e + 6) \times 159,000 \quad (2)$$

$$SE(\text{indirect, ind}) = \text{Other resources} \times \text{Transformity} \quad (3)$$

式 (2) 中 Electricity 為電力使用量 (度)；3.606e+6 為度轉換成焦耳之比值；159,000 為電力使用之太陽能轉換率 (sej/J)。式 (3) 中 Other resources 為不包括電力之其他能資源；Transformity 為各類能量與太陽能值之間之轉換率關係。

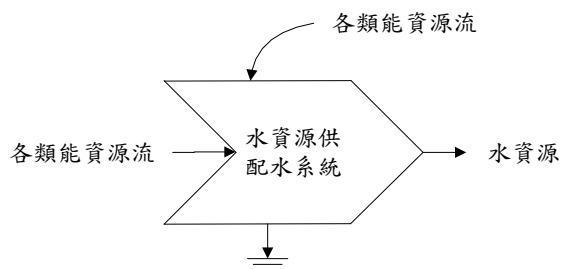


圖 6、水資源系統之能流交互作用示意圖

受限於水資源設施管理單位較不足各類能資源的詳細使用量資料，本計畫利用能源貨幣的觀念，計算出單位貨幣的太陽能值，使得資料缺乏的情形下，能夠利用成本支出的部份計算間接能耗 (式 4)，其中 Transformity 為表 1 的 (C) 欄。

$$SE(\text{indirect - cost, ind - c}) = \text{Cost} \times \text{Transformity} \quad (4)$$

表 1、近十年能源貨幣換算太陽能值

年份	國內能源消費 (千公秉油當量) (A)	國民生產毛額 (億 NTD) (B)	單位國民生產毛額之能源消費量 (以太陽能值表示) (sej/NTD) (C)
2011	118,671	141,900	1.64E+10
2010	120,308	140,439	1.68E+10
2009	113,085	129,304	1.72E+10
2008	115,701	130,131	1.74E+10
2007	119,175	132,433	1.76E+10
2006	113,738	125,552	1.78E+10
2005	111,143	120,311	1.81E+10
2004	108,766	117,374	1.82E+10
2003	104,371	110,251	1.86E+10
2002	100,495	106,541	1.85E+10

註：計算公式：

$$(C) = \frac{(A) \times 10^6 \times 37 \text{ (MJ/L, 原油能量密度)} \times 10^6 \times \text{原油太陽能轉換率(sej/J)}}{(B) \times 10^8}$$

藉由式(2)至式(4)可計算出水資源經過各設施元件時所耗用的能值，由於案例元件為已存在且運作中的設施，本計畫遂針對生命週期內使用管理階段進行評估，過程中分別就營運管理及更新改善的各項用電及成本支出進行太陽能值計算，除配水管網因同時連結傳統水資源與新興水資源，尚無法計算新興水資源能耗的情況下，會造成配水管網能耗上計算的偏差，其他元件的太陽能值計算皆整理於表2。除南化水庫為民國99年資料外，其他皆為民國100年資料。

表2、供配水系統元件案例資料統整表

元件種類	名稱	供水量 (m ³)	用電量 (度)	電力轉換率 (sej/J)	單位直接能耗 (sej/m ³)	成本支出 (NTD)	貨幣轉換率 (sej/NTD)	單位間接能耗 (sej/m ³)	
供水	水庫	南化水庫	3.15E+08	-	1.59E+05	6.1E+08	3.79E+08	1.68E+10	2.02E+10
	攔河堰	高屏堰	3.19E+08	3.40E+05	1.59E+05	6.1E+08	1.37E+08	1.64E+10	7.05E+09
	輸水設施	南化聯通管	4.29E+07	1.65E+05	1.59E+05	2.21E+09	1.45E+07	1.64E+10	5.55E+09
配水	淨水場	澄清湖淨水場	1.12E+08	3.15E+07	1.59E+05	1.62E+11	5.33E+08	1.64E+10	7.82E+10
	配水管網	部份能耗項目已包含在上述元件當中							

3.3 整合水資源供配水系統之整體能值需求

供水及配水系統元件能耗分析可以評估每單位水資源經過各元件時所消耗之能值，其中包括直接能耗及間接能耗兩個部份，然而考量到水資源管理之時間尺度，單就某一年的能值分析結果無法提供完善的評估依據，本計畫利用系統的角度整合各元件，並藉由能值流動的關係評估各項水資源管理行為所耗用之能值。圖7為本計畫建立水資源供配水系統之能值分析流程。

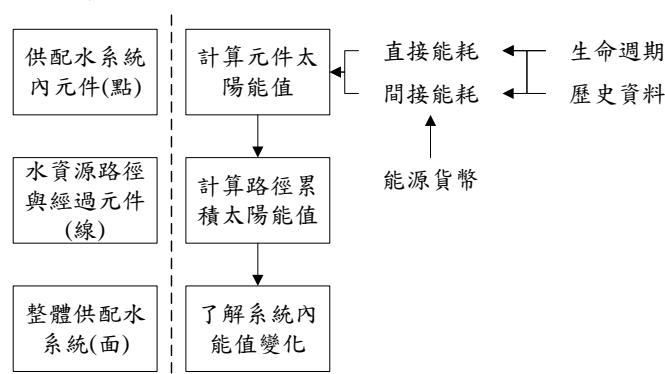


圖7、水資源供配水系統之能值分析流程

元件之直接能耗與間接能耗因在生命週期各階段耗用方式不同，可參考過去歷史資料進行設定，關於能耗於不同階段的計算內容整理如表3。

完成系統元件分類及計算各元件經過單位水資源所消耗太陽能值後，藉由水資源的流向與經過的元件，依序計算水資源經過元件時所消耗的總太陽能值並往下累加，當遇到水流分向時，依據各水流的水量照比例將總太陽能值分開計算，並繼續往下計算累加；而當遇到水流匯合時，則加總各水流至此所消耗之個別總太陽能值，並繼續往下計算累加，直到最終的元件並提供可用的水資源時便可知該路徑提供該水資源時所耗用

之總太陽能值。

表 3、直接與間接能耗於生命週期各階段的計算內容

	營建材料 生產	規劃 設計	施工	使用管理
現有 設施	過去式，直接與間接能耗 皆不予以考量			直接能耗：參考該元件過去歷史資料 間接能耗：參考該元件過去歷史資料，若有預期更新改善之成本支出，利用現值法轉換成年平均成本
新開發 設施	直接能耗：改由間接能耗 計算			直接能耗：參考種類性質與現有元件相類似之過去 歷史資料
	間接能耗：計畫成本、建 造成本、工程建造費等			間接能耗：固定年成本、年運轉維護費、不同時間 點執行之各項更新改善成本等，與前面三個階段之 成本一同利用現值法再轉換成年平均成本

四、研究成果

本計畫結合能值分析法於水資源系統之目的，乃是計算水資源系統提供水資源的同時耗用多少能資源，而因應氣候變遷調適方案之實施，勢必會投入額外的能資源，因此在進行氣候變遷調適方案對於水資源系統能值耗用的影響評估時，除現況的能值分析外，尚需要未來氣候變遷調適方案執行下預期的能值分析結果，才能用來進行比較。

4.1 結合能值分析法於水資源管理案例

案例的現況能值分析中，各元件單位太陽能值乃參考本計畫蒐集相關文獻或類似的元件資料所設定，由圖 8 可看出 (1) 水的流向及各路徑經過的元件；(2) 箭頭的屬性包括方向、水量以及伴隨之能值流。圖中白色長方形框架中為水經過該設施時的能耗，灰色長方形框架中則為水資源從上游流至此設施時累積的總能耗。案例分析下現況坪頂淨水場提供的 $1.9e+8$ (m^3) 水資源量一共累積消耗了 $4.42e+19$ (sej) 的太陽能值，而拷潭淨水場提供的 $5.1e+7$ (m^3) 水資源量一共累積消耗了 $2.46e+19$ (sej) 的太陽能值。

完成現況能值分析後，該結果可作為不同調適方案下能值變化的比較基準，而不同調適方案之屬性又可分為數種，例如強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫(民國 99-100 年)彙整相關資料將調適方案分成開源、備援、節流，其中開源的目的乃是增加供水來源並提升供水量，新增傳統水資源方案即為其中選項，並與本計畫於今年度所建立傳統水資源之能值分析相呼應，因此本節將採用「新增高屏大湖」(水利署，民國 99 年)及「新增崇德水庫」(南水局，民國 99 年)兩項調適方案作為案例解說。

加入高屏大湖後，其供水量將會透過南化聯通管分配給坪頂(10)與拷潭淨水場(1)進行處理。就能源耗用上，由於坪頂與拷潭淨水場的處理水量較現況有所變化，其能源耗用情形需重新計算，而系統中的其他既有元件之能源耗用則維持與現況相同之水準。

若加入崇德水庫，本計畫分析三種不同方案，其中兩個方案與現存既有設施之供水路徑無關，因此僅需針對崇德水庫與下游淨水場之新增能耗進行計算即可。剩餘的方案

則是不新增淨水場，直接利用現有路竹淨水場進行水處理。本計畫整理以上情形的資料設定，可得知不同方案下新增單位水資源所需耗用的太陽能值（表 4）。

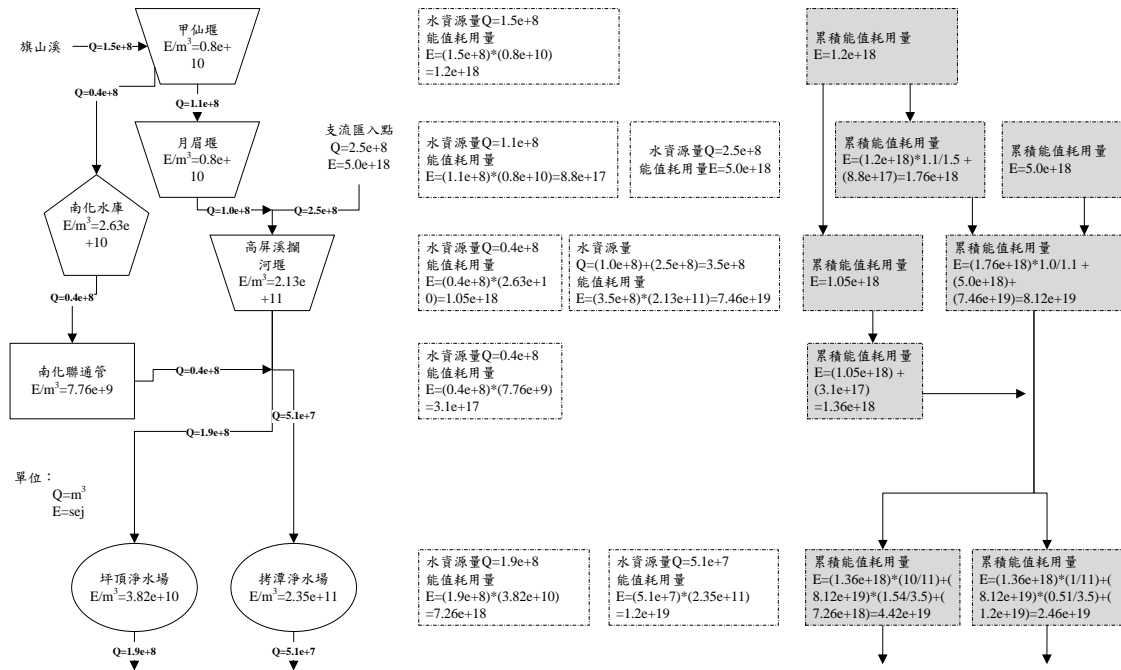


圖 8、案例現況能值分析計算流程

表 4、不同方案及組合下新增水資源能值變化及說明

方案	新增年 供水量 (m^3) (a)	新增年太 陽能值 (sej) (b)	新增單位水資源 的太陽能值 (sej/ m^3) (c) = (b) / (a)	說明
新增崇德水 庫-崇德淨 水場 (A)	$5.84e+7$	$1.55e+19$	$2.65e+11$	崇德水庫新增的水資源因與原先系統不連結，因此該水資源的能耗僅經過崇德水庫及崇德淨水場，配水不須加壓
新增崇德水 庫-新園淨 水場 (B)	$5.84e+7$	$2.74e+19$	$4.69e+11$	新增水資源通過崇德水庫及新園淨水場，但淨水場距離較遠，且配水至用戶端需加壓
新增崇德水 庫-路竹淨 水場 (C)	$4.38e+7$	$1.86e+19$	$4.26e+11$	新增水資源能耗通過崇德水庫及現有的路竹淨水場，但兩者距離更遠，輸水管線需要較長，且配水至用戶端需加壓
新增高屏大 湖 (D)	$8.76e+7$	$3.81e+19$	$4.35e+11$	高屏大湖新增的水資源，必須經過高屏大湖、南化聯通管，並以 10:1 分配給坪頂及拷潭淨水場，導致能耗增加

4.2 調適方案多準則分析比較結果

多準則分析乃是在考量決策問題有不同解決方案下，依照不同的評估準則進而評估出方案的執行優先順序，本計畫將方案的單位水資源能值耗用納入評估準則，以上述氣候變遷調適策略為例，A、B、C、D 四種方案在新增單位水資源時所耗用的太陽能值大小分別為 $B > D > C > A$ ，以單位能耗越小的目標下代表其優劣順序為 $A > C > D > B$ ，方案間的比較可得到一組優劣成對比較矩陣，每個方案皆有一個考量能值耗用的分數（表 5），除此之外綜合其他評估準則，包括效用、永續性、可行性、即時性，在各方案的五個準則得分統計下（即時性暫不評估），總分越高者代表其執行順序越優先（表 6）。

表 5、方案 A-D 能值耗用比較

能值耗用	A	B	C	D	得分	排序
A	0	1	1	1	3	1
B	0	0	0	0	0	4
C	0	1	0	1	2	2
D	0	1	0	0	1	3

表 6、方案 A-D 多準則排序分析

方案	能值耗用	效用	永續性	可行性	即時性	總分
A	3	2	1	3	-	9
B	0	1	0	2	-	3
C	2	0	2	1	-	5
D	1	3	3	0	-	7

藉由多準則排序分析的結果可以決定出方案優先順序及執行方案組合，假設決定出的調適方案組合為優先執行新增崇德水庫（A）以及高屏大湖（D），藉由能值分析法可以提供決策者在執行此組合時，與現況之間的能值變化差異，詳細計算情形請見圖 9。

另外基於不同權責分工（水利署、台灣自來水公司），各方案提供水資源經過路徑上的累積能耗，分別計算經過供水系統元件的累積能耗（水利署權責）、經過配水系統元件的累積能耗（台灣自來水公司權責），及整條路徑的累積能耗以供參考，如表 7。

表 7、各方案提供水資源於不同階段所累積的能耗

方案	供水元件累積能耗 (sej)	配水系統累積能耗 (sej)	整體累積能耗 (sej)
方案 (A)	9.75e+18	5.72e+18	1.55e+19
方案 (B)	9.98e+18	1.74e+19	2.74e+19
方案 (C)	8.23e+18	1.04e+19	1.86e+19
方案 (D)	3.25e+19	經坪頂淨水場： 3.66e+18 經拷潭淨水場： 1.93e+18	3.81e+19

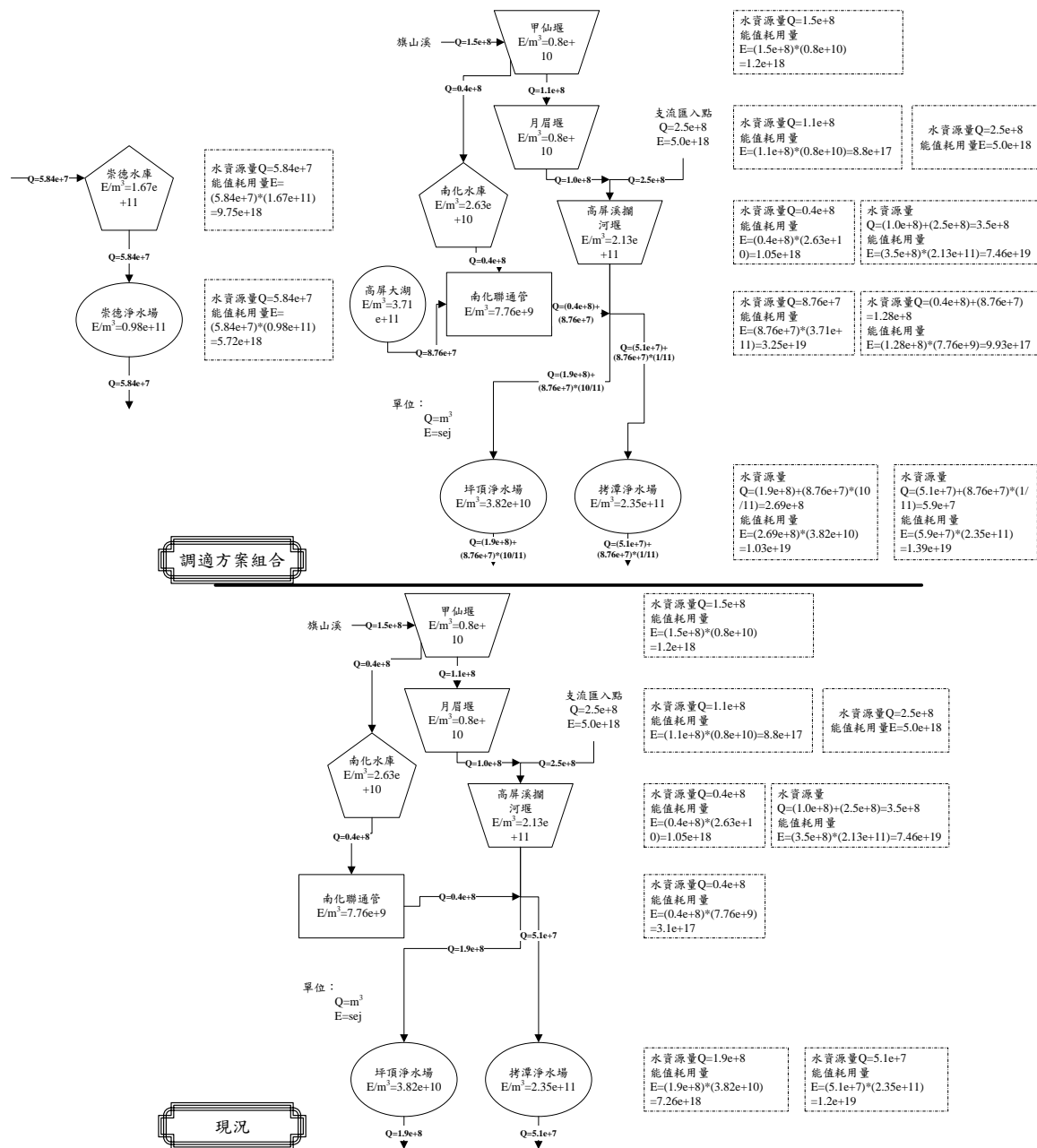


圖 9、調適方案組合（方案 A&D）與現況能值差異

五、結論與建議

5.1 結論

1. 本計畫報告建議氣候變遷影響評估與調適方案建立之五個主要評估步驟，簡述包括（1）界定水資源系統範疇與管理目的；（2）評估現況風險；（3）評估氣候變遷下風險；（4）檢視與評估可能調適方案；（5）監測與檢討修正。並建議於步驟（4）中應加入方案之能值分析，選擇低能耗（節能減碳）之調適方案，在考量調適措施時亦能兼顧減輕措施。
2. 本計畫分別針對個別設施、可能傳輸路徑、與整體系統提出能值計算方法。水資源

系統中個別設施提供單位水資源的能耗可視為「點」的計算；藉由串聯水資源輸送路徑可計算路徑上累積的能耗，此為「線」的計算；最後將各路徑組合成整體水資源系統，則可了解整體系統能耗的變化，此為「面」的計算。

3. 本計畫將氣候與能源因素納入「水資源規劃規範-水源開發規劃作業(草案)」當中，並提出修正建議。在水資源能源使用方面，考量到氣候變遷影響水源運用的情況下，初步規劃階段可增加氣候變遷資料之收集，探討受氣候變遷影響之敏感度。並藉由方案中對於設施變化所增加的能耗，評估該設施在單位水資源的能耗是否合理。可行性規劃階段時可進一步評估不同水資源路徑提供水資源時的累積能耗量以及整體系統的能耗變化，作為替代方案間比較的準則，再連同其他準則利用多準則排序分析決定方案優劣性。

5.2 建議

1. 因能耗計算方面須仰賴可靠的資料，如無記錄能資源使用量，建議於各自年報當中，加入水資源設施每年的用電量以及成本支出。並建議細分為不同的設施表列。
2. 根據今年案例分析結果，抽水機的能耗相當龐大，若在水資源規劃時將位能因素納入考量，如此便能利用重力作用傳輸水資源，而減少抽水機的使用，建議此部份可作為未來水資源設施位置優化的研究。
3. 本計畫目前採用電力的太陽能轉換率，係採用 Odum 過去提出的數據，然而不同地區的特性使得電力使用的太陽能轉換率不盡相同，建議未來可針對台灣地區各類能源與太陽能間關係進行研究，藉此推求台灣地區各類能資源的太陽能轉換率。

六、參考文獻

1. 陸煜康，民國 99 年，「水處理節能和新能源的應用」，化學工業出版社。
2. 經濟部水利處，民國 90 年，「水資源規劃規範 水源開發規劃作業規範(草案)」，經濟部水利處。
3. 經濟部水利署，民國 99 年，「高屏大湖整體規劃檢討及分期推動策略研訂」，經濟部水利署。
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99-100 年，「強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究」，經濟部水利署水利規劃試驗所。
5. 經濟部水利署南區水資源局，民國 99 年，「崇德水庫可行性規劃(4)」，經濟部水利署南區水資源局。
6. Danish Hydraulic Institute, 2007. Report for Vestas Wind Systems A/S on: A Water for Energy Crisis? - Examining the Role and Limitations of Water for Producing Electricity. Denmark: DHI Group.
7. Harris, G., 2007. Seeking Sustainability in an Age of Complexity. New York: Cambridge University Press.

8. Katrina Proust, Stephen Dovers, Barney Foran, Barry Newell Will Steffen and Patrick Troy, 2007. Climate, Energy and Water Accounting for the Links, Land & Water Australia.
9. Novotny, H., 2005. The Increase of Complexity and its Reduction: Emergent Interfaces between the Natural Sciences, Humanities and Social Sciences. Theory Culture Society; 22; 15, 15-31.
10. Odum, H. T., 1996. Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making. New York: John Wiley and Sons.
11. Urry, J., 2005. The Complexity Turn. Theory Culture Society 22; 1, 1-14.
12. 省エネルギーセンター (ECCJ), 2007, 「水資源の開発や利用等によるエネルギー消費の現状」:
13. <http://www.eccj.or.jp/leader/training/00/text/pdf/water03.pdf>