

空間資訊在區域水資源規劃上之應用

Application of Spatial Information on Regional Water Resource Planning

國立台灣大學生物環境系統
工程學系教授

蘇明道

Ming-Daw Su

國立台灣大學生物環境系統
工程學系碩士

許書偉

Su-Wei Hsu

國立台灣大學生物環境系統
工程學系博士班研究生

林俊宏

Chun-Hung Lin

溫在弘

Tzai-Hung Wen

摘要

傳統的水資源供需規劃常將河川入流量、地下水抽取量以及下游的需求量視為是一個固定的值，透過水工構造物之連結進行如水庫操作、越域取水或新水源的開發等相關之水資源規劃管理作業；而在用水之需求面上，經常以單位面積或每人每日用水量作為推估的基礎，忽略了用水需求之空間歧異度，但近來因環保意識抬頭及政府財政困難，新水源開發困難，水資源規劃將逐漸由供給面導向轉為需求面導向。

傳統的水資源規劃方式顯得缺乏彈性，無法反應如乾旱、經濟快速發展造成工商產業的發達、居民的大量移入以及用水習慣改變等水環境之變化。本研究乃嘗試建立一個區域水資源供需規劃決策支援系統之架構，利用地理資訊系統掌握影響水資源供需之相關因子在空間之歧異性，並引入決策支援系統之概念，結合資料庫、模式庫與使用者介面，提供決策者境況模擬的工具，期望透過這個彈性的系統架構，能整合水資源供需面資訊，並提供易於使用之介面設定各種情境，透過相關模式運轉所提供之資訊，可有效的協助決策者充分掌握區域內之資料及各種可能情境下之水供需概況，調整適合當時社會的情境做出適當的決定。

研究中並以台灣嘉南地區作為標的發展系統雛形，該區域擁有台灣最大的農業灌區，嘉義與台南兩個省轄市、高科技科學園區及傳統工業區，加上複雜的水工構造物群是一個適合研究探討區域水資源供需規劃決策支援系統架構的地區，研究結果顯示建構一個能掌握空間資料分佈之水資源規劃管理系統是可行而且確實能提升相關決策之效率與效能。

關鍵詞：區域水資源供需規劃，決策支援系統，地理資訊系統。

ABSTRACT

Traditionally, water demand is treated as a "given" that cannot be altered by the utility in water resource planning. The focus of regional water planning is mostly on water supply problems, such as reservoir operation, and supply developments. Demand on per unit area or per capita basis are usually used for regional demand estimations so that spatial variations of related factors are neglected. The recent trend shows that developments of new water supply become much difficult from the environmental awareness and the government budget deficits. Demand driven water resource planning becomes more important and attract more attentions.

Water resource planning based on preset target scenario, such as water master plan, is not flexible enough to respond to future challenges from abrupt changes such as severe droughts, rapid economic development and population growth that may alter the preset water demand patterns. These changes in water demand side cause more uncertainties in water resource planning. This research establishes a decision support system framework for regional water resource planning. Geographic Information System (GIS) was used for capture the spatial variation of the relevant factors in water demand estimation. Database, model base, and user interfaces are integrated into a system for scenario based planning environment. With impact information reported for different scenarios, effective decisions may become possible from the better understanding the complexity of water resource systems. A prototype of the proposed framework was also build for the pilot study area in Taiwan. The ChiNan area in southern Taiwan contains the largest irrigation command area of the island, two major cities, and industrial parks of both high-tech and traditional manufactories.

Keywords: Water demand and supply in a regional water planning, Decision support system, Geographic information system.

一、前言

過去有關區域水資源研究多偏重於供應面的研討，對於水的需求面較少著墨，因此 Baumann et al. (1997) 指出傳統的水資源規劃是以水工構造物的管理為重心，透過水工構造物彼此間的供水調配與開發例如水庫聯合營運、越域取水、興建水庫等達到水資源的有效利用，因為區域之用水需求推估涉及大量的空間變異資料，資料之掌握與應用均有其困難，因此一般區域水資源的研究均以每人每日用水量推估民生用水，以單位面積用水量作為推估農業用水與工業用水之基礎，在當今台灣面臨水源開發困難之際，應加重需水面之研討，必須更確切的推估區域需水量，以作為水資源規劃之依據。

由於水資源規劃常需針對未來十年甚或二十年之期間進行規劃，難免涉及對未來區域發展及其用水需求之推估，因此大部分之研究均有所謂「目標年」之研討，但因未來區域發展型態掌握不易，因此短期間內的推估或許尚無問題，但若涉及較長之時間，難免有偏離現實之虞。因此 Baumann et al.(1997) 指出隨著環保意識的抬頭、政府財政的困難、以及一些政治上的限制與考量，傳統的水資源規劃顯得缺乏彈性，無法反應未來多變化的改變，如乾旱突然的發生、經濟快速發展造成工商產業的發達、居民的大量移入以及用水習慣的改變。而這一些變化會造成在水資源規劃與管理上的不確定性 (Uncertainty)。

傳統的水資源規劃之研究提出在其設定狀況下最佳方案，然不同之研究方法可能產生不同

之最佳方案，常給予決策者決策的相當大之困擾。且一般模擬或優選方式，模式之設計耗時且彈性不大，許多影響因子在模式設計時被固定在模式中，當要改變決策因子時，便可能面臨必需重新修改甚或重新建構模式之問題，也因此水資源規劃必須每隔一段時間就進行一次研究，耗費相當多的人物力，Gert (2000) 因此指出水資源問題需要更有彈性的規劃的工具來改進用水的效能。

針對上述區域水資源供需規劃之兩大問題，本研究提出結合地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)，以及決策支援系統(Decision Support System, DSS)，建立區域用水規劃決策支援系統。水資源分佈及各標的需水量推估涉及大量具有時空分佈的資料，為有效的進行區域水資源供需規劃，必須整合大量的空間分佈之地理資訊以及社會經濟資料在地理上的分佈，如河川、各水工結構物的分佈，以及影響各需水量的相關因子，如土地利用、土壤、氣象、作物、灌溉管理方式、人口分佈、工廠家數等。這一些龐雜的資料加上其空間分佈的特性，近年來由於 GIS 之快速發展，彌補了以往空間資料整合應用的困難，確切掌握資料在空間上的變異性，加上 DSS 之發展，利用電腦科技整合資料庫、模式庫並建立人機互動介面，其主要之目的在提供使用者依其需要建構各種研討之情境(Scenario)，經由模擬各種情境下提供相關決策之影響結果的資訊，藉以進行更具效能(Effectiveness)之決策，而非提供一特定之決策方案，更非嘗試取代決策者。

利用情境式(Scenario-based)決策支援系統之運作，決策者可以模擬各種可能之區域發展狀況，包括：人口之成長與遷徙、工商業活動之消長、農業經營型態之改變等等，透過相關之區域資料庫與用水推估模式、用水調配模式之整合，藉由各種情境的設定與調整掌握區域內水資源與區域發展變化之動態關係，配合區域發展的需要而有效的規劃調配水資源，使區域水資源供需規劃更具效能、效率以及彈性。

二、系統架構

台灣當前水資源供需議題所面對之挑戰為需求量往往大於供給量，在需求之用水量不足之環境下，資源之配置與運用將牽動政府及社會發展之走向，政府部門如何調整資源配置之決策、如何平衡供需之間之差異，形成區域性水資源規劃之重要課題。而區域性水資源與土地利用型態之關係相當密切，當土地利用型態調整時，區域內對於用水量之需求，勢必會造成改變。區域之用水需求能否充分供應，影響區域發展甚鉅；以往產業發展之政策與水資源規劃經營，往往因未能有相互之政策搭配，導致政策間之矛盾與衝突；因此，水資源之經營與區域產業規模之成長，必須在區域規劃階段，一併考慮，才不至於造成區域水資源之供需調配失當。區域水資源供需問題相當複雜，且環環相扣，可說是牽一髮動全身，傳統針對目標年進行某些特定情境進行靜態研討之方式實無法勝任此一複雜之挑戰，因此本研究透過建立水資源供需規劃決策支援系統來面對此一複雜的挑戰。

(一) 系統架構

建立水資源供需規劃決策支援系統是檢討區域水資源供需之重要工具。一般之決策支援系統包括資料庫、模式庫、與使用者介面等三大部分，資料庫整合與系統運作之相關資料，模式庫提供推估相關決策所可能引生之結果所需之各項工具，而使用者介面主要提供使用者設定各種情境(scenario)之工具，決策者可以藉由各種情境設定與分析，探討相關決策可能產生之衝擊，協助有效決策之建立。本研究所建立之區域用水規劃空間決策支援系統架構與一般之決策支援系統相同(如圖 1)，但引入各項與用水規劃管理之空間分佈資訊(如圖 2)，使區域水資源規劃管理之決策更合理更有效能。

(二) 資料庫

為更合理的推估區域用水量，以便在區域用水規劃中達到供給面與需求面並重之目標，本研

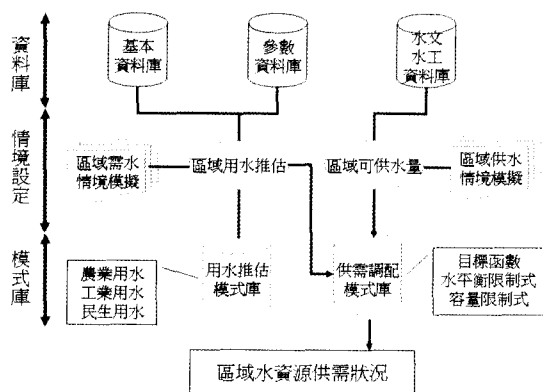


圖 1 區域用水供需決策支援系統架構

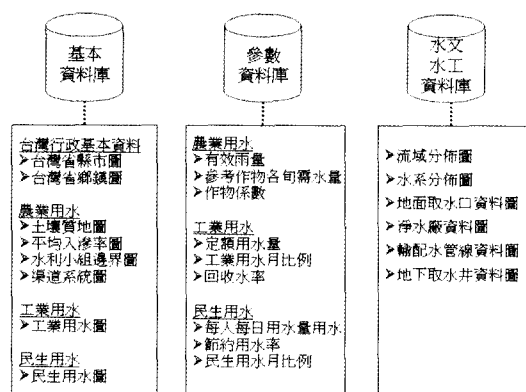


圖 2 區域用水供需決策支援系統相關資料庫架構

究建立用水推估相關之基本資料庫、參數資料庫、水文水工構造物資料庫。

基本資料庫

基本資料庫主要包含農業用水推估所需之土壤、氣候、作物制度、渠道以及灌溉管理行政區域等，推估民生用水所需之人口分佈、鄉鎮鄰里界、以及社會經濟相關因子，推估工業用水所需之工商業普查資料庫內之工商業類別、廠家數、資本額、營業額、廠房面積等相關資料。

參數資料庫

區域用水量推估包含了農業、工業與民生用水，本研究不以單位面積用水量或每人每日用水量作為估算基礎之方式，而是使用前項建立之基本資料，期能較合理掌握空間變化之用水推估，因此本研究中建立各類別用水推估所需之參數資料庫。使用者可以使用系統內建之參數值，亦可於日後加以變化調整，以掌握區域水資源供需隨時間變化之動態特質。相關之參數包括：與農業用水推估有關之作物係數、分季分區有效雨量、輸水損失率等。與工業用水推估有關之各工業類別各類別之用水量與工廠面積、樓地板面積、員工人數、營業支出等相關之推估係數、回收水率等。

水文水工資料庫

區域水源供給是區域供需調配重要之一環，研究中亦收集與建立區域內與水源供應相關之水文水工資料庫，包括水庫、淨水廠、取水口等相關設施之位置、容量、入流量等。

(三) 模式庫

未能及時反應區域內如改變農業耕作型態、加設工業區、或新水源開發等與水資源規畫管理之相關調整後，區域內水資源之供需概況，提供決策之參考，系統內建立了相關之用水推估模式、供水調配模式等。

區域農業用水推估模式

灌溉用水量源自田間用水量需求，包括作物耗水量、灌溉與輸水損失(如圖 3)；本研究中建立了常用之田間作物需水推估模式，如 Blanney-Cridle, Thorthwaite 等，供使用者選擇，與系統內建立之基本資料和相關參數進行區域農業灌溉用水推估。

區域工業用水推估模式

因工業用水具有業別間之差異(林建元 1997、虞國興 1999 等)與區域間之差異(如朱壽詮 1994、鄭欽龍 1991、鄭立民 1995、吳惠如 1996)，為了掌握業別間與區域間的變異，因此本研究採用楊麗鳳(2001)所建立的區域工業用水推估模式架構來建立本系統區域工業用水推估模式。其中結合每五年一次之工商業普查內之工廠面積、樓地板面積、員工人數、產值(營業支出)等與工業用水相關之因子，分區域及工業類別建立用水需求推估參數，進行區域工業用水需求推估。

區域民生用水推估模式

由於目前台灣之生活用水推估之相關研究較為缺乏，大多仍以每人每日用水量為基準，依

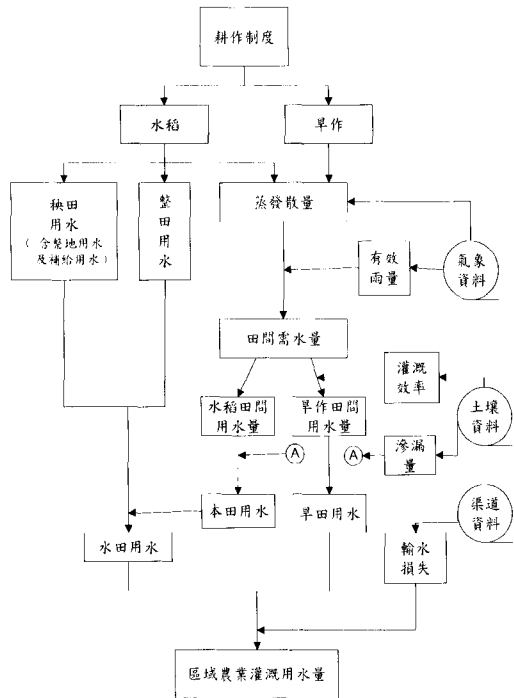


圖 3 灌溉用水量推估的流程

據水資局生活用水統計報告，台灣每年總用水量係以自來水供應量與自行取水量的總和計算，其中自來水供應量係指台灣省自來水公司所統計之一般用水量(亦即總自來水供應量扣除工業用水量之餘額)為估算之標準，此估算公式由下列式子計算而得：

$$PD = \frac{P \times U \times LPCD \times 365}{S} \dots\dots\dots(1)$$

式中：PD：生活用水需求量

P：人口數(人)

U：普及率(%)

LPCD：平均每人每日用水量(升/Day)

S：售水率

但是本系統中藉 GIS 處理空間分佈資料之特性，於系統中建立以鄉鎮為基礎之民生用水推估方式，使用者可以藉由設定不同區域之每人每日用水量或節約用水率等參數，來模擬與掌握民生用水之區域差異。

區域水資源調配模式

區域水資源調配模式一般常見的方法包括

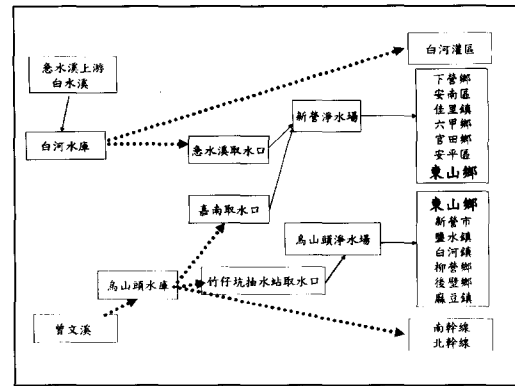


圖 4 水工構造物之間的複雜度-以東山鄉為例

線性規劃、動態規劃、網路分析等優選方法以及透過模擬的方式模擬。本研究目的在於建構區域水資源供需決策支援系統，而線性規劃模式在水資源應用中已相當的成熟、且有現成的套裝軟體可以整合應用，因此本研究在區域調配模式採用線性規劃進行分析。透過將水工構造物的物件化配合程式語言與資料庫自動產生線性規劃套裝軟體所需的語言格式，而達到整合分析之效。

區域水資源調配的結構相當的複雜，各水工構造物的相對關係為多對多的關係--水工構造物可以接受一個以上的上游水工構造物供水，亦可以供水給一個以上之下游水工構造物，如圖 4 來做說明。東山鄉的用水是由新營淨水廠與烏山頭淨水廠供應，而新營與烏山頭淨水廠又同時供應其他的鄉鎮。新營淨水廠是由白河水庫下游的急水溪取水口與烏山頭水庫下游的嘉南取水口取水，而白河水庫又同時供應白河灌區的農業用水，烏山頭水庫又同時供應烏山頭灌區南幹線與北幹線的用水以及烏山頭淨水廠的用水。而白河水庫屬於急水河流域，烏山頭水庫屬於曾文河流域，而整個流域還有其他的水工構造物，單單就一個東山鄉的用水就與相當多的水工構造物有關連。

由此可知整個區域水資源調配的結構相當複雜，因此本研究透過將水工構造物分為上游、水庫、分流(或匯流)取水口、淨水廠、用水需求節點等五類類別，這五類類別的資料使用資料庫來管理。在系統中所建立之線性規劃模式內，上

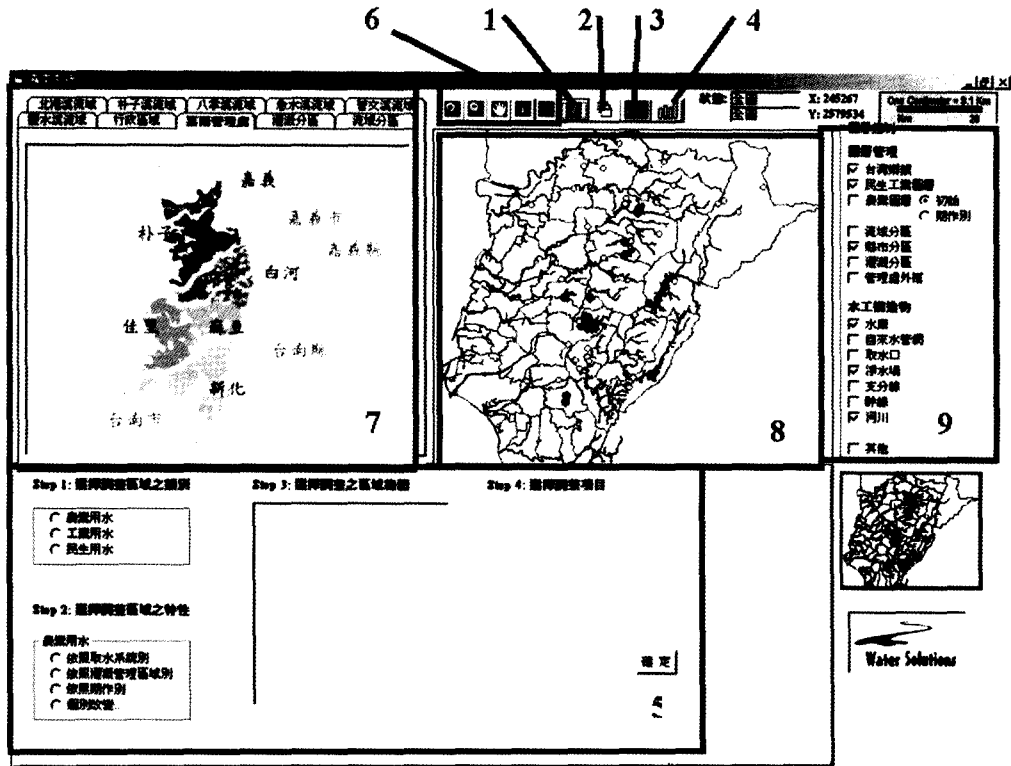


圖 5 系統操作介面

游類別之入流量可取自各主要水文站的流量觀測值或側流量之推估值；用水需求節點主要可分為農業用水需求節點與民生工業需求節點兩類，分別與系統中建立之區域用水量推估模式連結。水庫類別必須建立水庫節點蓄水平衡、水庫蓄水容量限制等限制式，分流(或匯流)取水口類別有分流（或匯流）取水口節點水量平衡限制式，淨水廠類別有淨水場需求節點水量平衡限制與淨水場容量限制式，用水需求節點類別有用水需求節點缺水計算式。

三、系統展示與情境模擬

為驗證前述區域水資源規劃管理決策支援系統之可行性，本研究利用台灣南部之嘉義與台南地區建立一個雛形系統，嘉南地區有全台灣最大之水利會灌區、台南與嘉義兩大會區、南部科學園區、及其他傳統工業區，區域內並有多個水庫、淨水廠等供水設施，複雜性足以作為雛形

系統之用。圖 5 為系統的介面，其中可透過功能鍵 1 為呼叫資料庫、功能鍵 2 為呼叫模式庫、功能鍵 3 為進行區域用水推估與供水運算、功能鍵 4 為顯示結果，而區域 5 為情境設定區，功能區 6 為地理輔助系統之功能—放大、縮小、平移、資訊查詢、顯示全區域，區域 7 為圖層輔助選取系統，例如在區域 7 中選取嘉義管理處再選取佳里則區域 8 就會顯示佳里管理處的實際圖層，區域 9 為圖層控制系統，勾選所需圖層則區域 8 會顯示所需圖層。

(一) 資料庫

用水參數、基本資料、水文資料為本系統內資料庫之三個主要部分，基本資料庫於地理資訊系統之 Arc/View 軟體建置完成，透過 MapObject 2.0 新增、讀取、修改資料，用水參數資料庫及水文資料庫則利用 Access 資料庫建置完成並可新增、讀取、修改資料。

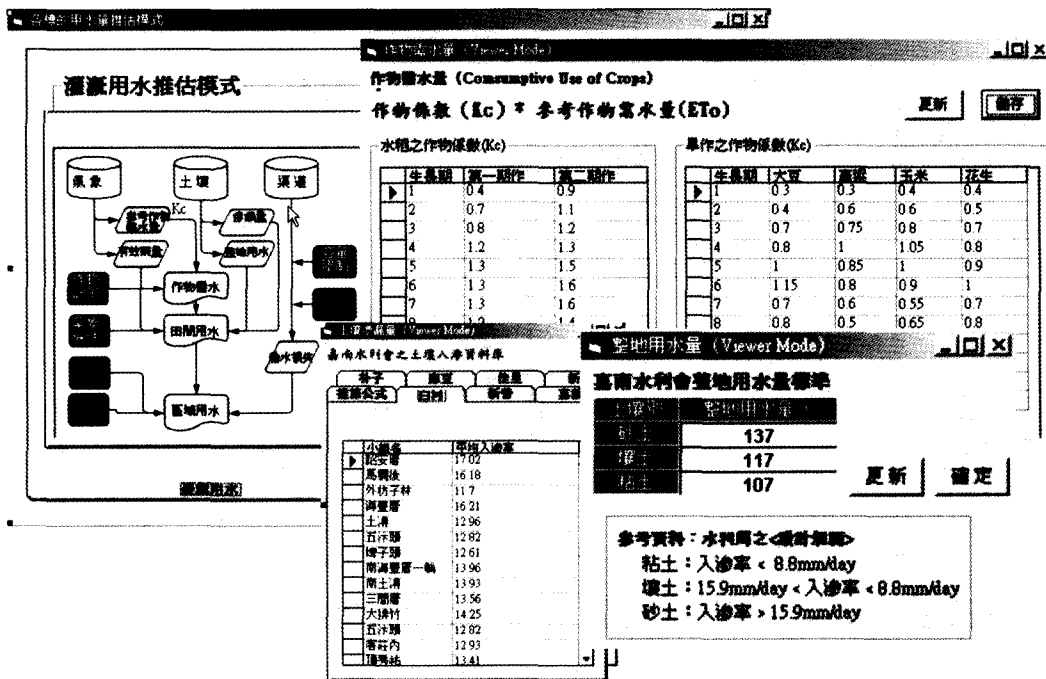


圖 6 農業用水推估相關參數設定

用水參數資料庫

用水參數資料庫中的農業用水參數有參考作物之作物係數、土壤平均入滲率及整地用水量(如圖 6)，而民生工業用水參數則包括工業用水量比例、各產業用水推估參數等。使用者藉由各用水推估相關參數之管理介面彈性調整，以因應各種現實的情況。

水文資料庫

水文資料包括水庫、取水口、淨水廠以及各項水工構造物連結關係(圖 7)，點選水工結構物(如烏山頭淨水場)，即會顯示相關屬性資料，使用者亦可新增新的水工構造物，或對屬性進行編輯與修改。

(二) 情境模擬與使用者介面

情境模擬是決策支援系統重要的特性，其目的是使決策者能依不同的考量，更改系統內相關之地理參數以進而推估區域用水量，因此系統內必須具備親切性的使用者介面提供使用者依需要彈性變更相關參數，或設定各種環境狀況。本

研究中所建立之系統雛形，即分別針對農業、工業及民生用水，以及供水設施間之連結等部分，提供易於使用之介面，讓使用者可以依需要設定情境，並計算模擬該情境下之用水。在農業用水部份，系統可以依照取水系統別(如圖 8)、灌溉管理區域別、期作別、以及個別點選等方式調整區域內之耕作型態，進而調整農業用水之使用。因工業用水特性具有業別間與區域間之差異，其情境模擬設定可以依照產業別變更回收水率，依鄉鎮別調整區域內之工商活動強度及相關之用水參數，來調整工業用水之情境。民生用水的部分，系統可以依照全區或者區域，變更節約用水率與每人每日用水量，或調整區域內人口之增減，以改變民生用水之情境。

(三) 區域供需水調配管理結果之輸出

當各影響因子設定好後，系統會依照所設定之情境重新進行區域內各標的用水需求的推估，並將估算之結果以圖表、曲線以及地圖之方式呈現(圖 10)，供決策者參考以進行區域供需

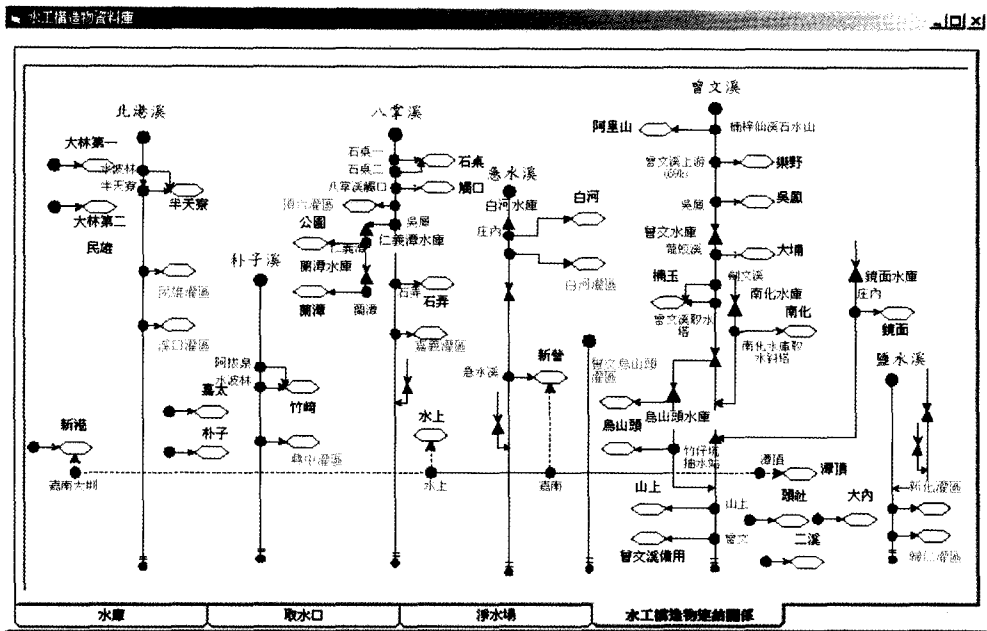


圖 7 水工構造物連結關係圖

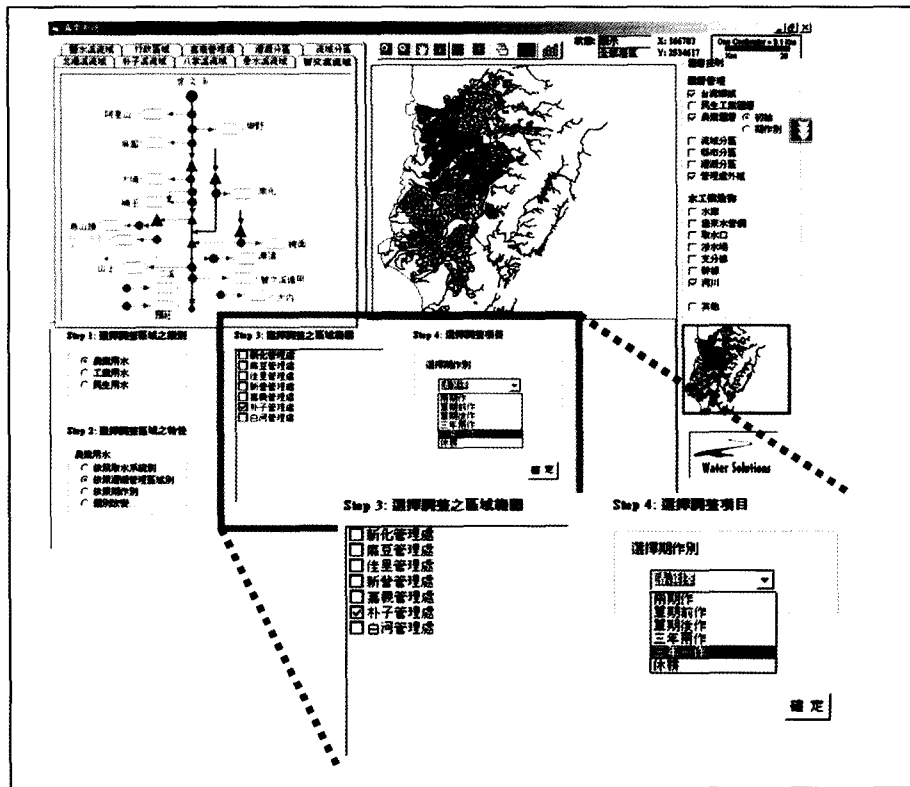


圖 8 農業用水情境設定

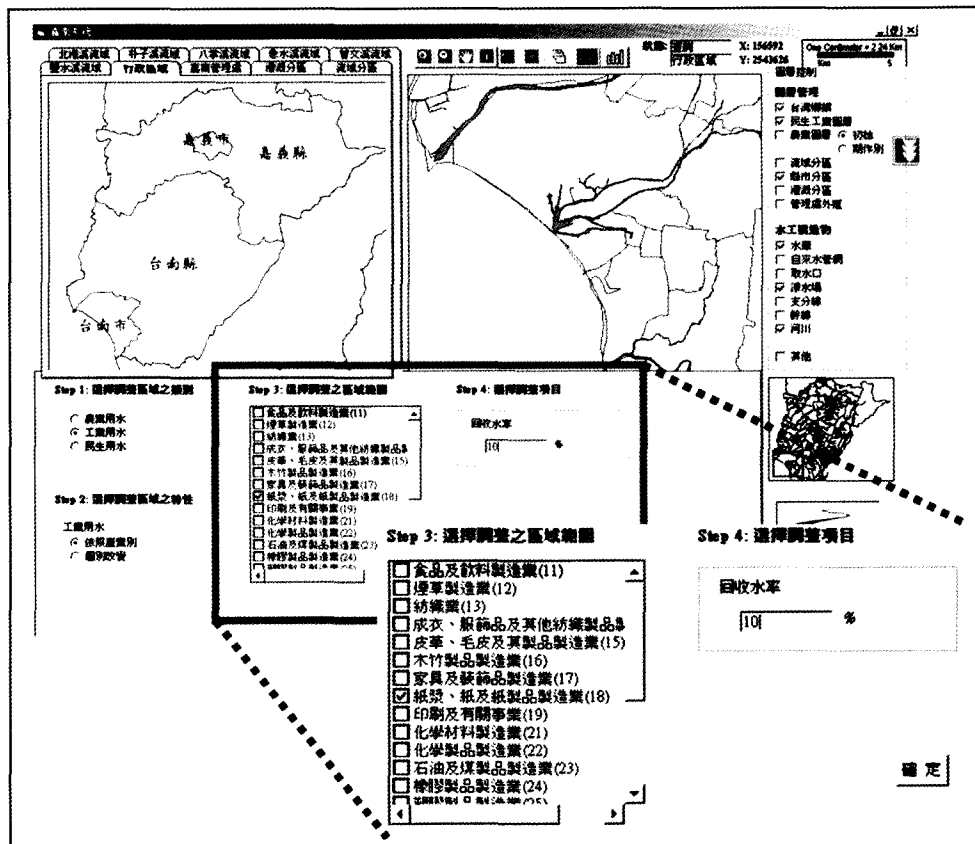


圖 9 工業用水情境設定

水調配管理之研討。相關之結果包括區域內農業、民生及工業等主要用水標之之需水量及缺水量。使用者並可依區域或使用標之進行水量供需之交叉查詢、瞭解區域內之水資源供需狀況。

(四) 情境設定與模擬

台灣由於降雨量在時空上分配之不均勻，豐枯之差距很大，水資源之調配經常面臨枯水之困境，假設遇到供水不足之枯水年，決策者該如何調配區域之供水？以往調配供水決策是一個複雜的過程，但是透過本系統，決策者可以設定各種可能之情境，並由系統所提供之相關資訊評估各方案的利弊得失，可以有效的協助決策者以因應乾旱缺水之挑戰。

假設決策者要檢討區域水資源的可靠性，檢討遇到枯水年時之水資源供需狀況，因系統內已

依區域之水文特性研析後，建立了豐水年、平水年、枯水年之供水資料，因此決策者可將系統設定為枯水年之情境，並於系統運算後檢視區域之用水調配，結果在工業與民生用水方面有梅山鄉與竹崎鄉缺水，在農業用水上民雄、頂六、白河三個農業灌區缺水，各旬的用水量(藍色粗線)與缺水量(紅色細線)如圖所示(如圖 11)。

由圖 11 所示，梅山鄉是由石桌淨水廠供水，對照系統圖(圖 7)，石桌淨水廠屬於八掌溪流域，圖 7 中亦顯示民雄灌區屬於北港溪流域、頂六灌區屬於八掌溪流域、白河灌區屬於急水溪流域。在四個流域面臨缺水的問題下，必須調整用水的結構以爲因應，假設決策者擬以農業用水休耕轉作的方式來解決缺水的問題，令民雄灌區進行全面性的休耕(如圖 11)、白河管理處進行全面的轉作成三年兩作、頂六灌區則將所有的單期

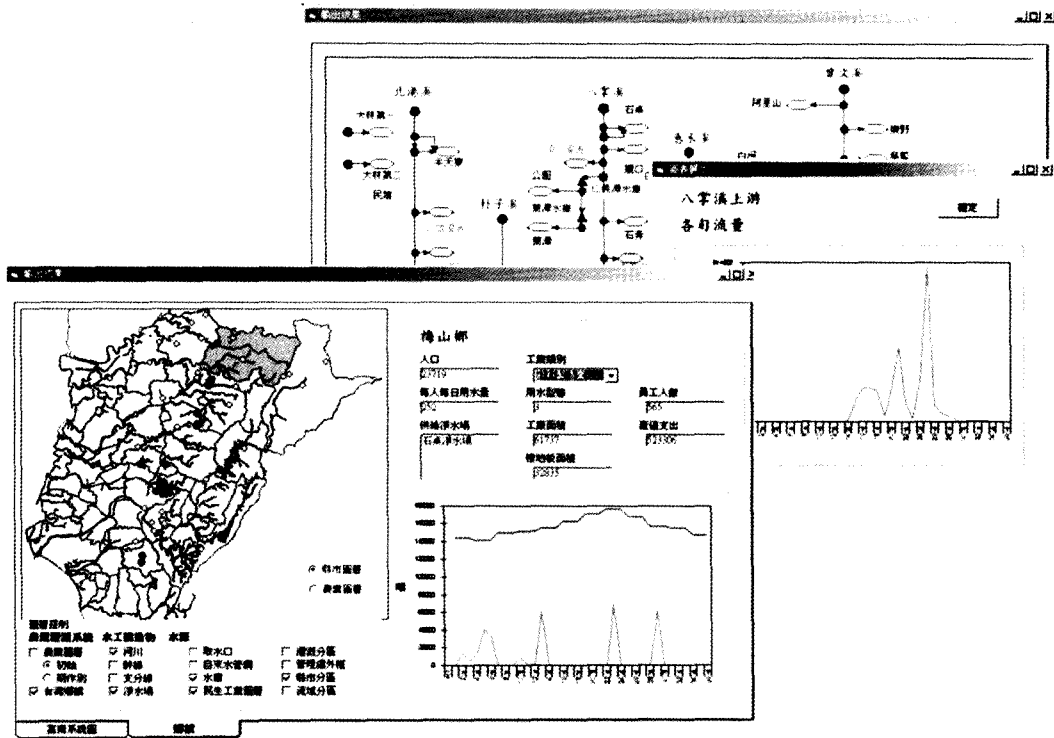


圖 10 區域供需求水調配管理結果

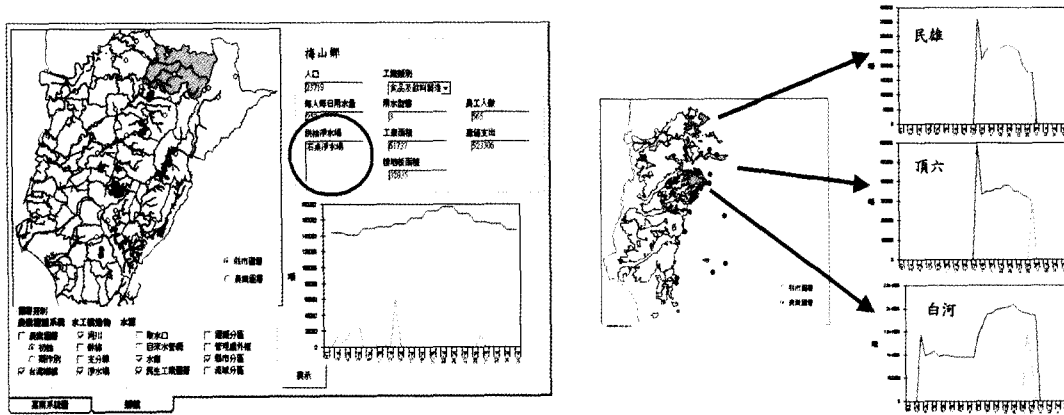


圖 11 枯水年情境下民生與農業之缺水狀況

後作變更成三年一作，則可以利用如圖 8 之介面加以設定後，系統進行供需求水運算可以檢視缺水狀況以得以解決；如果缺水情況尚未完全解決，決策者可以在作進一步之情境設定，進行相關之研討。

同一狀況下，決策者是否有其他的做法？是否可以透過節約用水政策來調整民生用水量來解決缺水的問題？為研討此一構想，決策者可以假設在嘉義縣與台南縣實行節約用水政策，其節約用水的節餘水量為 30%（如圖 13），於系統

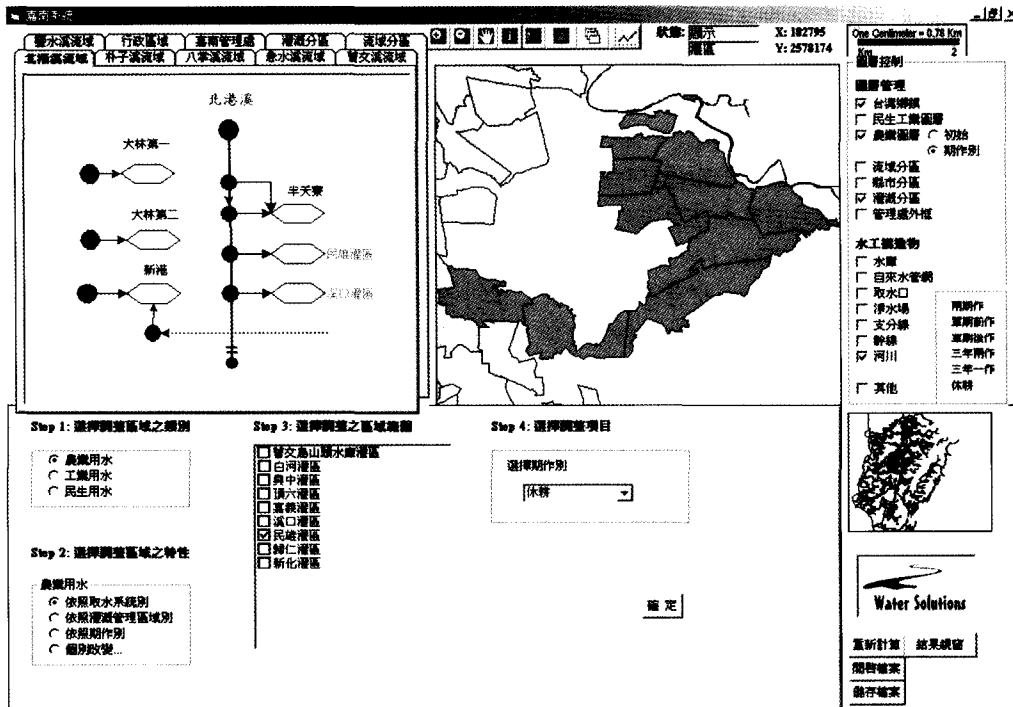


圖 12 設定灌區進行全面性休耕

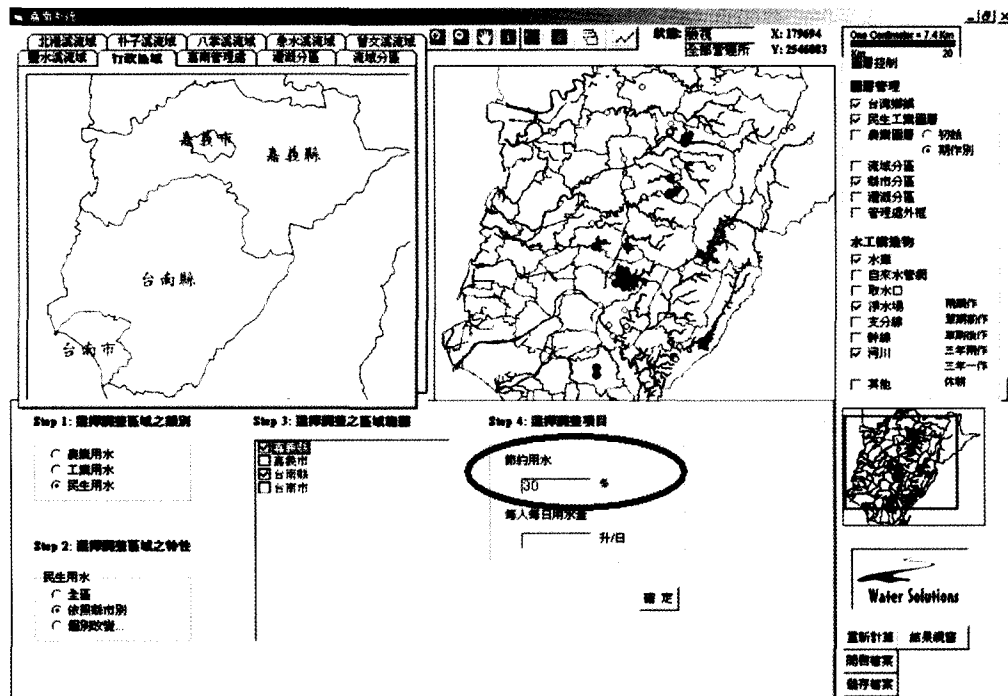


圖 13 設定民生用水之節約用水率

中之民生用水下設定情境後進行供需水量計算，亦可發現其結果農業用水、工業民生用水皆無發生缺水的情況。決策者是否還有其他的做法？是否不用進行全面的休耕轉作？是否可以依照土壤的入滲率，將入滲率大的農田先進行個別的休耕，是否可以透過調整水工構造物的調配來達到供需水間的平衡(將在下一個狀況中詳述)？決策者可以依照各種假設，設定各種可能的情境，透過系統的決策支援可以知道這個情境是否可以達成決策者的目的。這就是 DSS 與傳統水資源規劃的不同，傳統水資源規劃只能針對單一設定之情境進行研討，設若情境不同，則需在發大量的時間與人力，進行資料與系統之編整方能得出結果，但透過 DSS 靈活的情境模擬，決策者可以利用 What if 型態的分析，提升決策之效率 (efficiency) 與效能 (Effectiveness)。

四、結果與討論

本研究提出結合地理資訊系統與決策支援系統之概念建立區域性水資源規劃管理之空間決策支援系統，以改善以往區域水資源供需規劃決策上之幾個主要缺憾：1). 偏重於供給面；2). 忽略相關資料之空間變異性；3). 採用預設之情境作為未來水資源之規劃基礎。研究中並以台灣之嘉南地區做為先驅研討區域，建立系統雛形，證實此一系統架構確實可行，除能有效掌握區域內與用水相關便因之空間歧異性外，並可透過彈性之情境模擬與研討，解決以往水資源規劃缺乏彈性之問題，透過本研究所提出之系統架構，未來之區域水資源規劃可以達到下列之成果：

1. 利用地理資訊系統掌握資料之空間歧異度

以往水資源規劃中常以單位面積或每人每日用水量作為需水量推估之基礎，忽略了影響用水需求相關因子的空間變異性，例如不同之土壤、作物、氣候均會有不同之灌溉需求，不同地區之人口的生活用水需求會因社會經濟因子不同而異，不同之工商業類別，或不同區域的同一種工商業亦可能有不同之需水型態，因此以單位面積或每人每日用水量作為基礎推估需水量，常會造成誤差而導致供水不足或水資源的過度開

發。本研究提出利用 GIS 來掌握各項因子的空間變異，以達到更合理推估用水需求的目標。

2. 結合地理資料庫與用水推估模式，動態反應系統內之供水需求

一般水資源規劃常偏重供水面之研討，主要因為區域性需水量之推估相當繁雜，因此在區域水資源供需研討上，常將用水需求視為定值，或以一簡單的成長率來估算，如此亦會造成偏差，如以本研究所提出之系統架構，結合 GIS 與區域用水推估模式，則各個需水點上之供水需求可以動態的反映下由需水區域的改變(如人口成長、工商活動增減、或農業型態改變等)，則更能反應實際之概況，提升水資源規劃決策之效能。

3. 利用情境模擬之方式提升決策之效能

本系統引入決策支援系統內情境模擬之概念，讓決策者可以方便的調整區域內之供需狀況，設定各種情境，並立即由系統提供該情境下與用水供需之相關資訊，協助決策者瞭解區域內水資源之供需特性，並即時提供各種情境下之供需調配結果，供作區域發展規劃與水資源供需間之研討。此種以情境為基礎(scenario based)之決策支援模式，亦可緩解以往利用特定情況進行區域用水規劃(如 water master plan)所無法解決之不確定性問題。

本研究所提出之系統架構於實際建立雛形研究過程中，亦發現許多相關之議題，需要在日後進一步深入探討改善，以提升系統之實際可用性：

1. 結合水文模式的使用

在本研究中河川的流量是採用河川的歷史流量來作推估，但在研究中發現河川流量記錄的年限均較雨量記錄的年限短。因此建議往後的研究可朝向與水文模式的整合，亦即在供給面方面，亦如需求面一般，必須能反映集水區內狀況之改變(如集水區內土地利用狀況)。

2. 模式庫的擴充

模式庫為決策依據中相當重要的部分，目前所建立之雛形中在用水供需調配上僅使用線性規劃模式，未來應可將其他相關之調配模式(如系統動力模式、動態規劃法...等)加入以提升系統之

應用彈性。此外目前系統中有關水資源相關結構物之空間配置調整上，是採用表格填寫之方式，無法立即展現視覺之效果，未來應可嘗試建立水資源相關之地理物件，提升此一部份之操作介面的靈活度，當可使此一系統之效能大幅提昇。

參考文獻

1. 台灣省自來水股份有限公司，台灣省自來水事業統計年報第 21 期，1999。
2. 甘俊二等，灌溉排水原理，國立編譯館，1993。
3. 朱壽銓等，紡織、食品製造業區域用水特性比較分析，第七屆水利工程研討會論文集，C-25~C-32，1994。
4. 江秀娥，台灣南部地區工業用水需求及效率之分析，國立中興大學農業經濟研究所碩士論文，1992
5. 吳惠如，台灣地區工業用水需求模式之實證分析，台灣銀行季刊第四十七卷第一期，pp.253-275，1996
6. 李賢明，南化水庫與高屏溪攔河堰聯合運用研究，國立海洋大學河海工程學研究所，碩士論文，1999
7. 林俊宏，區域水資源調配空間決策支援系統建立之研究，國立台灣大學農業工程學研究所，碩士論文，1999。
8. 林建元，工業區公用設備需求推估之研究，中興工程顧問公司研究計畫報告書，1997。
9. 洪培浩，應用空間決策支援系統探討作物制度變更對農業灌溉用水之影響，國立台灣大學農業工程學研究所，碩士論文，1999。
10. 洪瑛琳，以作物需水量推估為基礎之氣象分區，國立台灣大學農業工程學研究所，碩士論文，1998。
11. 徐享崑、陳弘、張國強、虞國興，家用及公共給水合理用水量範圍之研究，第十一屆水利工程研討會，2000。
12. 徐享崑、陳弘、覃嘉忠、虞國興，工業用水合理用水量範圍之研究，第十一屆水利工程研討會，2000 年。
13. 徐享崑、陳弘、劉萬里、虞國興，農業用水合理用水量範圍之研究，第十一屆水利工程研討會，2000 年。
14. 徐享崑、馮德榮、蕭政宗、龔誠山、吳素禎，臺灣地區南部區域水資源綜合發展計畫，第十一屆水利工程研討會，2000。
15. 洪瑛琳、蘇明道、葉一隆，"以作物需水量為基礎之氣象分區研究"，台灣水利季刊 46(3):35-49 (1998)。
16. 張玉送，地理資訊系統及決策支援系統輔助水資源管理模擬研究，國立台灣大學地理學研究所，博士論文，1994。
17. 楊麗鳳，以 GIS 為基礎之區域工業用水需求推估模式之架構，國立台灣大學農業工程學研究所，碩士論文，2001。
18. 溫在弘、蘇明道、林俊宏、陳增壽，"以地理資訊系統建立區域灌溉用水推估模式"，台灣水利 46(3):12-23 (1998)。
19. 經濟部水資源局，公共給水震災復建資料更新及共享網站擴充建置，銳梯科技股份有限公司，2000。
20. 經濟部水資源局，台灣水文年報，1974~2000
21. 經濟部水資源局，台灣地區南部區域水資源綜合開發計畫-用水量分析，1998 年。
22. 經濟部水資源局，台灣南部區域水資源綜合發展計畫，中興工程顧問公司，1999 年 6 月
23. 經濟部水資源局，事業用水合理用水範圍之訂定-工業用水，淡江大學水資源及環境工程系，1999。
24. 經濟部水資源局，區域性水資源開發與調配基本計畫-嘉南高屏地區，中興工程顧問公司，1997。
25. 經濟部水資源局，嘉南地區農業用水節水他用之研究，國立台灣大學，2001。
26. 經濟部水資源局、台灣經濟研究院，水資源總體經濟模式研究成果發表會論文集，2001。
27. 經濟部水資源統一規劃委員會，台灣地區水資源經營綱領計畫-嘉南地區水資源規劃研究，1992。
28. 經濟部統一規劃委員會，台灣地區八十年工業面積與用水量估計，1993。
29. 經濟部統一規劃委員會，台灣地區民國八十四年工業用水統計報告，1996。
30. 經濟部統計小組，台灣地區各行業工廠名錄，1998 年。
31. 虞國興，事業用水合理用水量範圍之訂定(工業用水)，經濟部水資源局計畫報告書，1999。

32. 虞國興，事業用水合理用水量範圍之訂定，經濟部水資源局計畫報告書 1998。
33. 鄭立民，台灣地區用水需求之模式建立與預測，國立中興大學資源管理研究所碩士論文，1995。
34. 鄭立民，台灣地區用水需求之模式建立與預測，國立中興大學資源管理研究所碩士論文，1995。
35. 鄭欽龍，台灣地區工業用水需求及其經濟價值分析，經濟部水資源統一規劃委員會，1991。
36. 顏榮祥，台灣南部地區跨流域水資源統籌調配動態模式建立之研究，國立國立成功大學資源工程研究所，博士論文，2001。
37. 顏榮祥、陳家榮，國內生活與工業用水需求預測方法之探討，台灣土地金融季刊 36(2)，1999。
38. 農復會，烏山頭灌溉配水計畫與農業用水量推估之有關研究，農業工程研究中心，計畫報告，1974。
39. 蘇明道，地理資訊系統在水利會業務管理應用之研究，台灣水利，1993。
40. 蘇明道，地理資訊系統中地理資料庫輸入技術之研討，農工學報，1993。
41. 蘇明道，氣象資料管理系統之建立，台灣水利，1994。
42. 蘇明道等，水田休耕對農業用水量影響之研究，農工學報，1996。
43. Baumann, D. D., J. J. Boland and W. M. Hanemann, "Urban Water Demand Management and Planning", 1997.
44. Crosbie, P., "Object-oriented design of GIS: a new approach to environmental modeling", In GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues, edited by M. F. Goodchild et al., GIS World Book, Fort Collins, 383-386. 1996.
45. Davis, Kimberle M., "Object-Oriented Modeling of Rivers and Watersheds in Geographic Information System", B.S Thesis, The University of Texas at Austin, 2000.
46. Densham, P. J., and M. F. Goodchild, "Spatial decision support systems: a research agency." GIS/LIS'89 Proc. Vol2, American Congress on Surveying and Mapping, Bethesda, Md, 1989.
47. ESRI, ARC/INFO User's Guide, 1992.
48. ESRI, ArcView User's Guide, 1995.
48. ESRI, MapObjects GIS and Mapping Components, 1998.
49. ESRI, MapObjects Programmer Reference, 1998.
50. ESRI, Understanding GIS - The ARC/INFO Method, 1992.
51. Fedra, K. and D. G. Jamieson, "An object-oriented approach to model integration: a river basin information system example", Hydro GIS'96, IAHS publ. no 235, 669-676., 1996.
52. Goulter, I. C., "Systems analysis in water-distribution network design: From theory to practice", J. Water Resour. Plann. and Manage., 118(3), 238-248, 1992.
53. Loucks, D. P., P. N. French, and M. R. Taylor, "Development and use of map-based simulation shells for creating shared-vision models", HydroGIS'96, 695-702., 1996.
54. McKinney, Daene C. and David W. Watkins, "American Geophysical Union Recent Developments Associated with Decision Support Systems in Water Resources" ,U.S. National Report to IUGG, 1991-1994 Rev. Geophys. Vol. 33 Suppl., 1995.
55. Orlob, G. T., " Water quality modeling for decision making", J. Water Resour. Plann. and Manage., 118(3), 295-307, 1992.
56. Orlob, G. T., A. E. Bale, M. Malagoli, and H. Rajbhandari, "Computer graphics for assessment of eutrophication. Venice Lagoon: A case study, in Decision Support Systems: Water Resources Planning," edited by D. P. Loucks and J. R. da Costa, NATO ASI Series, Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 471-484, 1991.
57. Schultz, Gert A., "Potential of modern data types for future water resources management, Water international", vol 25, Number 1, 96-109 , 2000.
58. Walsh, M. R., "Toward spatial decision support systems in water resources", J. of Wat. Resour. Plng. and Mgmt. 109 (2): 158-169., 1992.

收稿日期：民國 91 年 10 月 30 日

接受日期：民國 91 年 11 月 20 日