

☒公開

☐密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：120101b108

行政院農業委員會九十六年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**農業用水於區域多元化水資源調配之動態影響評估 (第1年/全程1年)**

(英文名稱) **Assessment of the dynamic impact of agricultural water use on the diversified water resources management**

計畫編號：96農科-12.1.1-利-b1(8)

全程計畫期間：96年6月23日至96年12月31日

本年計畫期間：96年6月23日至96年12月31日

計畫主持人：張良正

執行機關：國立交通大學



963461

農業用水於區域多元化水資源調配之動態影響評估

Assessment of the Dynamic Impact of Agricultural Water Use on the Diversified Water Resources Management

計畫編號：96 農科-12.1.1-利-b1(8)

執行期限：96 年 6 月至 96 年 12 月 31 日止

計畫主持人：張良正 教授

研究人員：朱宏杰

執行機關：交通大學土木工程學系

摘要

農業用水一向佔整體用水之大宗，且隨著社會的發展及WTO的加入，面臨著降低農業用水以支援其他用水標的之壓力，本計畫目的即在以區域水資源調配的角度，應用系統動力學考量其他水資源開發的可能性(多元化水源)，藉此探討評估節約農業用水與其他水資源策略間之動態影響與經濟效益評估。

Abstract

Agricultural water is a large amount of total demand. After joining the WTO, the impact on agriculture will affects the agriculture demand. Other demands are still increasing and it occurs in response to water-deficit stress in the future. The objective of the project is to emphasize on regional planning of diversified water sources management. This study uses the system dynamic method (SD) to develop a regional water resources strategy planning model. This project proposes a methodology of combining system dynamics to evaluate water strategy systematically with other strategies and assess the financial analysis.

一、前言

近年來，隨著生活及工業用水需求的持續上升，現有供水系統的有效利用與多元化水源開發的工作已是刻不容緩，然而水資源之相關策略推行無論是結構性或非結構性都將對供水量與政府財務造成一定程度的影響和衝擊，所以如何規劃合適的供水策略來避免缺水事件的發生是十分重要的工作。農業用水一向佔整體用水之大宗，且隨著社會的發展及WTO的加入，面臨著降低農業用水以支援其他用水標的之壓力，但解決缺水問題所施行的策略常會受到政府的預算而有所限制，而且供水量與成本之間往往是複雜且非線性的關係。因此本研究以系統動力學的方法，建立一兼顧水量調配與財務之區域水資源策略分析模型，以期在面對複雜的動態水資源管理問題，能提供整體、長期且較周延的分析方法。

二、文獻回顧

本計畫目的即在以區域水資源調配的角度，應用系統動力學考量多元化水源策略的可能性，藉此探討評估節約農業用水與其他水資源策略間之動態影響與經濟效益評估。

為釐清各水資源策略間之動態關係，本研究利用系統動力學為工具，系統動力學是處理訊息回饋系統之動態行為的一種方法論，它提供一種實驗的、定量分析的方法，因此對於極複雜的動態、回饋且具時間滯延(Time Delay)的問題，能提供整體、長期且較週延的解決方法。由於系統動力學與時間演進具有密切的連動關係，因此非常適合於應用在與時間演進有密切關係之課題研究。

近年來系統動力學應用日益廣泛，應用之課題包括了模擬地表水污染、模擬水庫供水系統、生態系統族群變化、大氣化學與污染傳輸、溫室氣體與全球暖化和現金流量的問題。現今水資源管理的問題，已具備了所謂時間動態複雜的特性，因此適合利用系統動力學來解決此類問題。因為系統動力學模擬使用帶有滯延的微分方程組，能夠方便地處理非線性與時間變化的關係，能夠做長期的、動態的分析與研究，適合大尺度、大範圍的系統模擬。另外，摘入幾篇國內外學者應用系統動力學於水資源管理之研究如下：

- 1.劉弘雁(1997)以整體流域整體資源利用的觀點擬定水資源政策，利用系統動力學模擬出自然地區、土地使用、都市地區與水資源經營管理等系統之間的相互關係。
- 2.詹麗梅、廖朝軒(2001)利用系統動力學理論建立區域供水系統之模擬模式，其中包含需水量預測與用水調配模擬模式，並建立永續性評價指標體系與評價方法，以探討不同供水策略對供水系統永續性之影響。
- 3.張婉如(2006)研究應用系統動力學建立多元化水資源策略分析模型，以台中地區大甲溪與大安溪流域作為研究區域，分析各種供水策略並探討缺水量與成本之間相互影響。

三、研究方法

3.1、考量多元化水源策略

以往解決水資源供需平衡只注重在供給面的策略，尤其供給面的策略大部份為一永久結構物的建造，這種策略容易遇到用地取得不易及造成環境破壞等因素而無法順利推動。有鑑於此，本計畫加入需求面策略如農業用水加強管理之策略，以及其他策略如人工湖、越域引水等。

3.2、蒐集現有水資源調配系統資料

本計畫考量之水資源調配系統主要是供應大台中地區之需求，主要供應來源為

大甲溪德基水庫及大安溪鯉魚潭水庫，因此水源調配所考量之系統必須包含大甲溪、大安溪流域才算完整。其中大甲溪系統包含德基水庫、石岡壩、豐原淨水場，大安溪包含鯉魚潭水庫、士林堰、鯉魚潭淨水場。

3.3、建立模擬模式

在此步驟中，為了評估多元策略，將建立系統動力學模式，經由模式之建立，可作為之量化評估工具。詳細建置流程如第四章所述。

3.4、評估各種策略之效益

選用系統動力學所建置的系統動力模型將可算出各種策略組合下的缺水指數，藉此可觀察不同的策略對水量所造成的回應。

四、結果與討論

4.1、分析台中地區大甲溪與大安溪聯合營運情況：

德基水庫與石岡壩皆位於大甲溪流域，德基水庫另自大甲溪支流志樂溪越域引水，經輸水隧道流入水庫。鯉魚潭水庫位於大安溪支流景山溪，為一離槽水庫，為補充本身水源之不足，另自大安溪士林攔河堰越域引水，經輸水隧道流入水庫。

圖 1 為台中地區水源調配系統圖，主要供給水源為大甲溪、大安溪兩大水源，其中大甲溪系統包含德基水庫、石岡壩、豐原淨水場，大安溪包含鯉魚潭水庫、士林堰、鯉魚潭淨水場。

大甲溪主要蓄水設施為德基水庫、石岡壩，農業用水依各圳路取水位置予以合併考慮用水需求，區分為大甲溪上游灌區(白冷圳、大茅埔圳、老圳、東勢本圳、八寶圳)、八寶堰灌區(葫蘆墩圳、八寶堰中下游灌區)、大甲溪下游灌區(埤頭山圳、內埔圳、虎眼一圳、虎眼二圳、五福圳、高美圳)等三個農業需求予以計算，公共用水主要經由石岡壩進入豐原淨水場再配送至大台中地區。

大安溪主要蓄水設施為士林攔河堰、鯉魚潭水庫、景山溪攔河堰等。農業用水則依特性區分為士林堰灌區(卓蘭圳、埔尾橫圳、矮山圳、口潭圳、石壁坑、新店圳、頂店圳、后里圳、七公圳、城圳)、鯉魚潭灌區(鯉魚潭圳)、三灌圳(苑裡圳、日南圳、九張犁圳)，公共用水則是由鯉魚潭水庫直接輸送至鯉魚潭淨水場再配送至大台中地區。

另外關於策略之調配系統，人工湖水源是由石岡壩取水，然後引至后里淨水場再配送至大台中地區；越域引水水源亦是由石岡壩取水，然後供應給后里淨水場、鯉魚潭淨水場與后里圳，后里淨水場之原水管路除了來自於人工湖和越域引水外，部分亦須由鯉魚潭水庫提供。

4.2、現況地表水源調配之運用原則

大甲河流域相關水資源運用原則包含德基水庫、石岡壩、豐原淨水場等相關運用規則敘述如下：

(1)德基水庫運用要點規定

當水庫水位高於運用規線(如圖 2)時，以發電為主，當水庫水位等於或低於運用規線時，除電力系統處於緊急狀況外，應配合下游各標的用水需求放水。因此公共用水需求之保留量，當德基水庫蓄水在運用規線以下時，採用該運用要點訂定時(民國 92 年)對下游公共用水之放水量以目前豐原淨水場處理能力 85 萬 CMD 為限。故公共用水取水之順序為優先利用大甲溪之未控制流量及剩餘流量，若不足的部分，由德基水庫放水補足，但其放水量以不超過 85 萬 CMD 為限。

(2)石岡壩運用原則

大台中地區之公共用水係透過南幹渠向石岡壩取水，石岡壩水量之來源如下：

- 1.上游德基水庫至石岡壩間之未控制流量。
- 2.德基水庫配合供水計畫，為滿足需求所釋放之水量。
- 3.德基水庫依照台電公司發電計畫而發電之尾水量。

(3)豐原淨水場運用原則

豐原淨水場 921 震災前目前設計處理能力為 130 萬 CMD，九二一震災後為穩定供水目前處理能力為 85 萬 CMD，因此本計畫之模擬皆以處理能力 85 萬 CMD 為其模擬條件。

大安河流域相關水資源運用原則包含士林堰、鯉魚潭水庫、鯉魚潭淨水場等相關運用規則敘述如下：

(1) 士林攔河堰之操作原則

士林堰應依下列規定辦理：

- 1.天然進流量扣除下游保留流量後小於 302.4CMD 時，依台電公司調度處之調度作每日調節運用，配合發電引水。
- 2.天然進流量小於 6,912 萬 CMD 並扣除下游保留流量後大於 302.4 萬 CMD 時，得視需要調節士林壩水位，以設計引水量 302.4 萬 CMD 引水。
- 3.天然進流量大於 6,912 萬 CMD 時，應停止引水。
- 4.鯉魚潭水庫進行檢查、維修時，應配合減少引水或停止引水；鯉魚潭水庫進行防洪運轉或緊急操作時，應停止引水。
- 5.壩、引水隧道及相關設施，因維修、檢查、緊急事故或天災等，本壩得停止蓄水或引水。

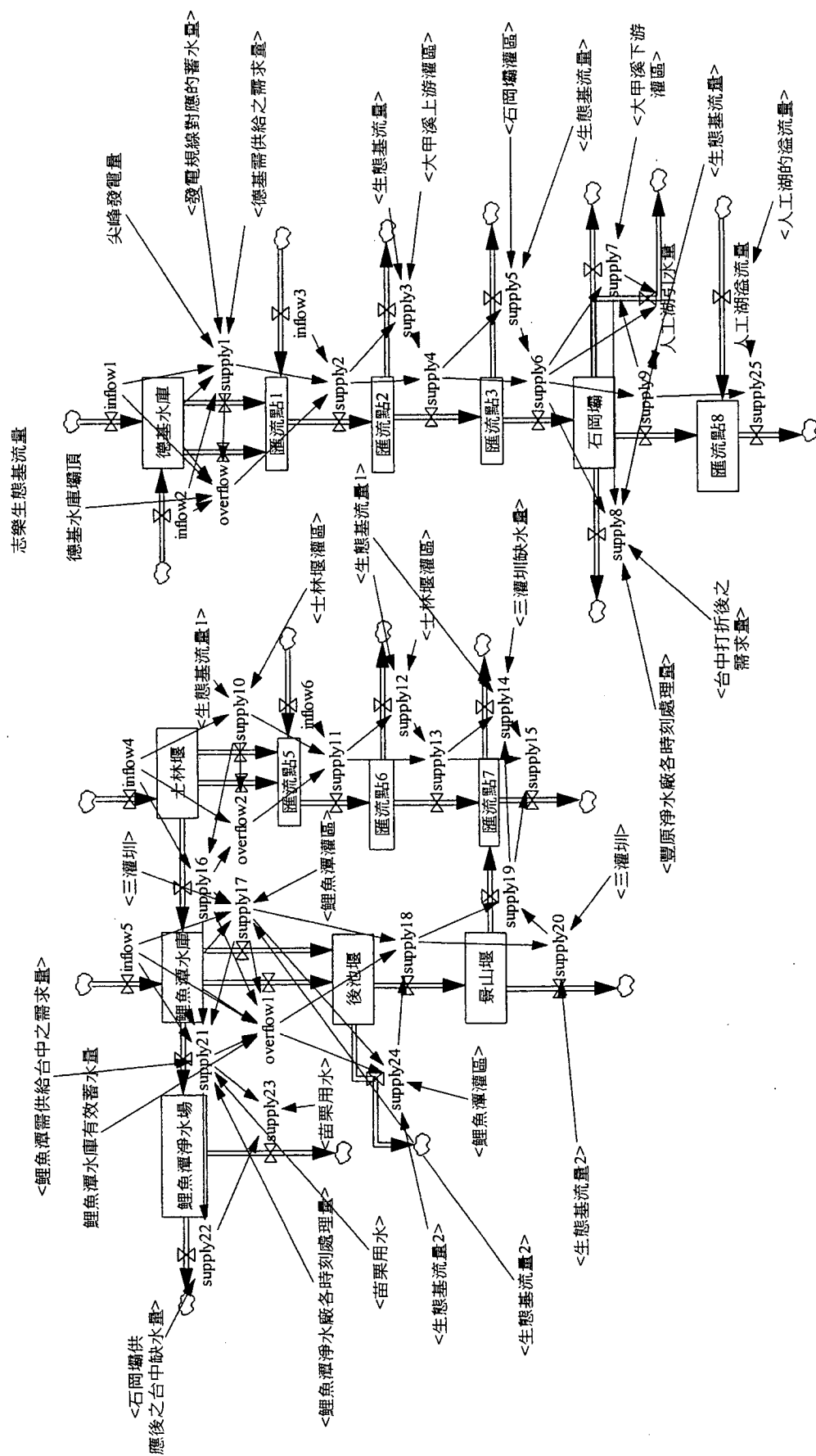


圖 1 大甲溪與大安溪水源調配之 Vensim 模型

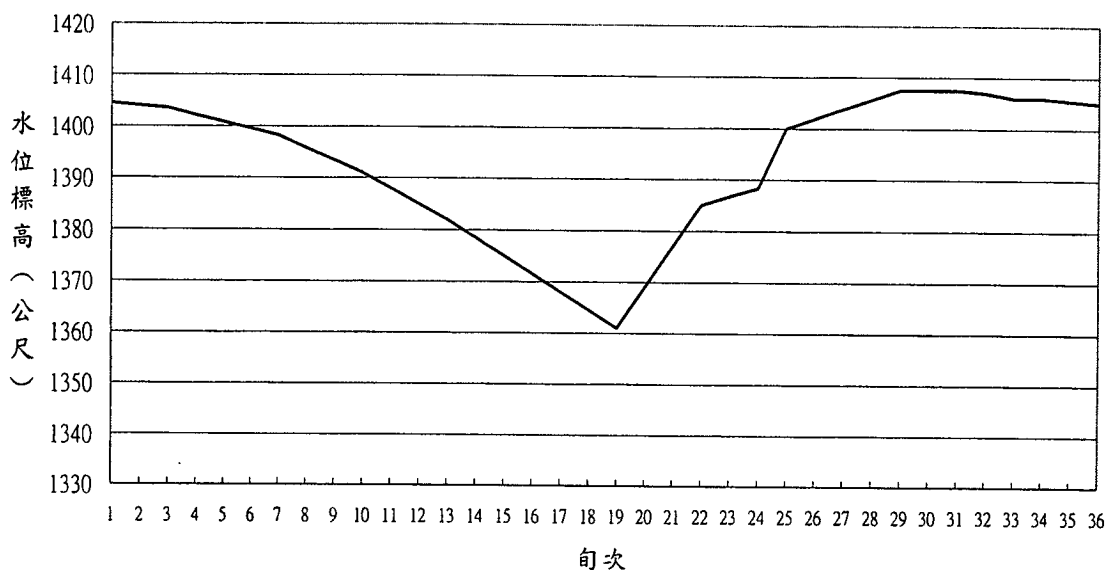


圖 2 德基水庫運用規線圖

(2) 鯉魚潭水庫營運操作原則

鯉魚潭水庫主要透過專管將水送至鯉魚潭淨水場以供應大台中地區公共用水，以供給公共用水為主，不提供農業用水，其下游農業用水僅能引取天然流量。

鯉魚潭水庫水源來自景山溪及大安溪越域引水，但由於農業各圳路對於天然流量有優先使用之權力，因此鯉魚潭水庫僅可蓄存天然流量滿足農業需求後之剩餘流量。由於該系統之農業需求量在天然(水庫位於圳路取水口上游)或人為(未增加發電效益，將三灌圳之權益量以越域引水方式送進鯉魚潭水庫)條件影響下皆需經過鯉魚潭水庫，因此鯉魚潭水庫除每日供應大台中公共用水外，亦須將農業需求之權益水量放出，其放水原則如下：

1. 每日供應景山溪各灌溉圳路需水量，惟依各圳計畫用水量供應，但以該日景山溪之天然流量與各圳水權量兩者中較小者為限。

2. 水庫每日供給苑裡圳、日南圳、九張犁圳需水量，惟依各圳計畫用水量供應，但已由士林調整池引入該三圳之權益引水量與水權量兩者之小者為限。

4.3、多元化水源策略：以區域水資源調配的角度，應用系統動力學考量包含了人工湖、越域供水、農業用水加強管理等多元化水源策略，並以搭配各設計方案等複合策略，來進行案例情境分析。

(1)、人工湖水資源調配之運用原則

人工湖係指在平原之地面上或地面下建造之人為蓄水設施，一般位於地勢較平坦之平原區，係以挖掘或挖掘與填築的方式興建，因其深度不如山區水庫需要廣大的面積，且兼具供水防洪、觀光與地下水補注的功能故可為一可行的多元化水源開發之策略。為因應日後中科三期用水遽增(預估最大約為 17.1 萬 CMD)，須另覓新水源供應。但因現階段水資源政策在考量環保意識高漲，及水庫推動不易情形下，水利署擬於大甲溪中下游利用休耕農地或公有地興建平地水庫(人工湖)，擬定台中人工湖策略與初步規劃方案，以因應台中地區未來之用水需求。

其計畫工作範圍為大甲溪流域中下游，主要行政區域包含台中縣石崗鄉、后里鄉及外埔鄉，初步設計的面積約 313.4 公頃，總蓄水體積約 2,800 萬噸，保留蓄水體積 262 萬噸，有效庫容 2,577 萬噸，年供水量 7,300 萬噸。台中人工湖水源演算模擬之系統架構如圖 3 所示。

台中人工湖引水來源為石岡壩剩餘流量，配合大甲大安之水源運用，供應給台中地區生活用水和工業用水，其供水順序應在現有水源系統(大甲大安系統)之後。另外考量人工湖之興建所需時間以及人工湖工程壽命後，人工湖模擬模式如圖 4 所示。模式重要變數之關係可表示如表 1 所示。

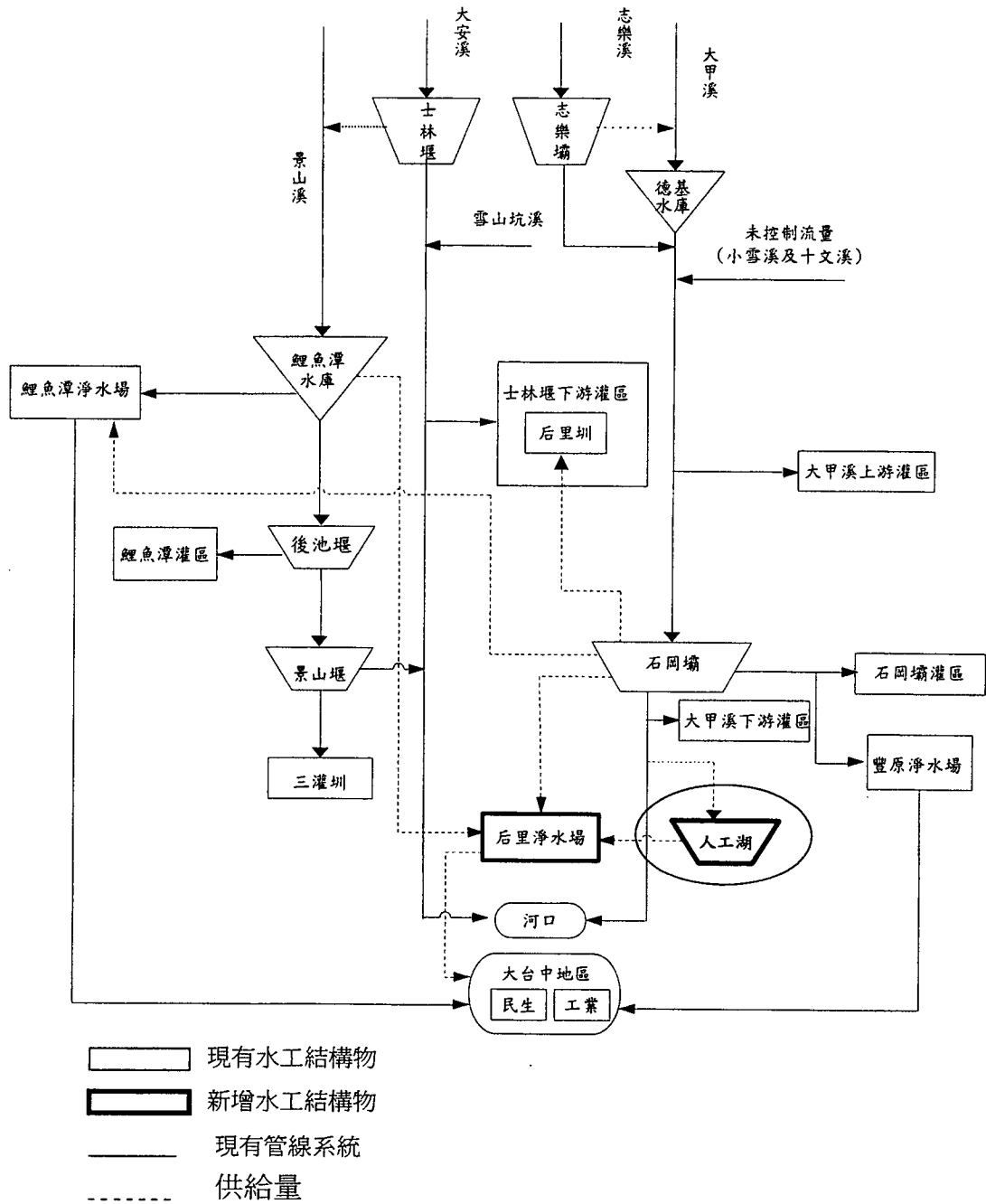


圖 3 台中人工湖水源演算模擬之系統架構圖

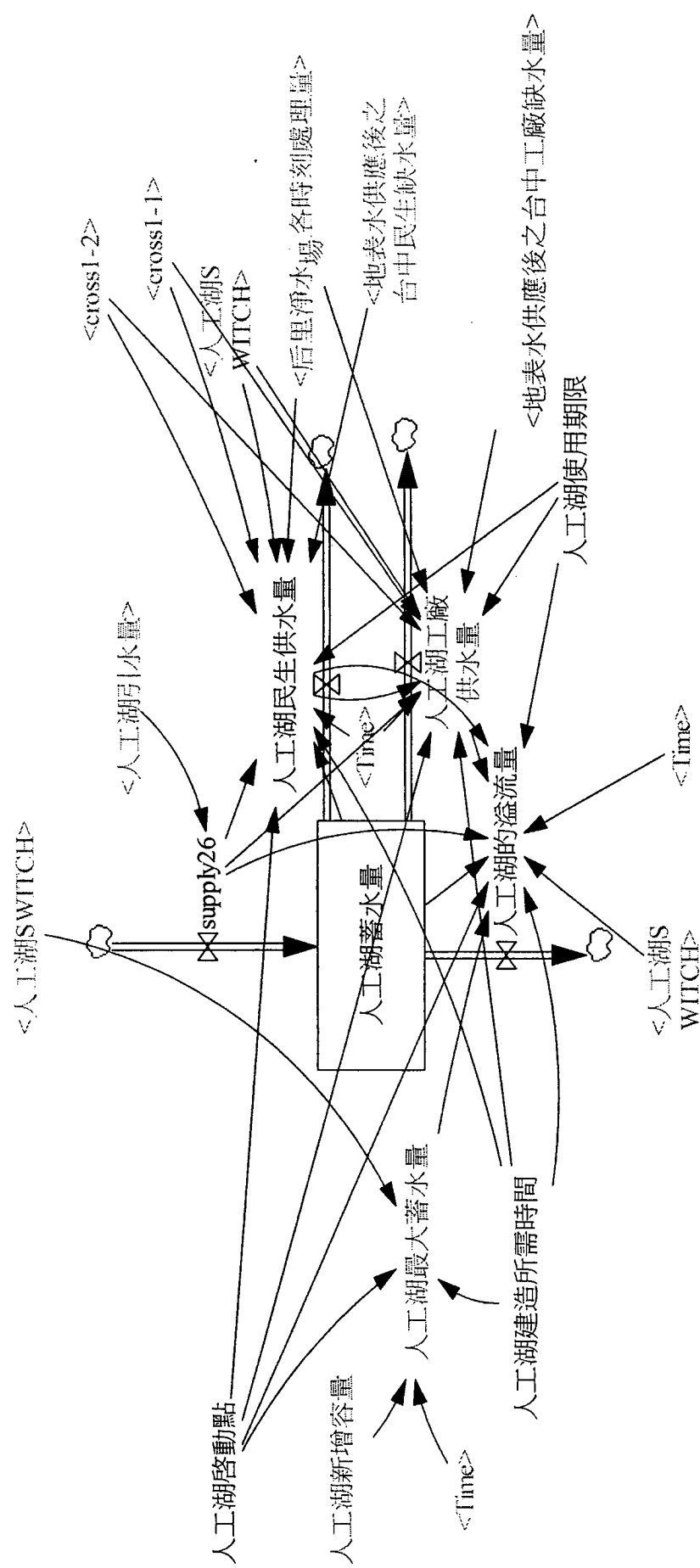


圖4 台中人工湖水源調配系統動力模型

表1 人工湖策略重要參數關係式

變數名稱	關係式	說明
人工湖 SWITCH	0	啟動人工湖策略的開關(註: 0: 不啟動, 1: 啟動)
人工湖啟動點	1	啟動人工湖策略的時間
人工湖新增容量	2800	人工湖完成後的蓄水量(可進行策略調整)
人工湖最大蓄水量	IF THEN ELSE(人工湖 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=(人工湖啟動點+人工湖建造所需時間), 人工湖新增容量, 0), 0)	人工湖最大蓄水量
人工湖建造所需時間	180	人工湖建造完成所需時間
supply26	人工湖引水量	人工湖的引水量
人工湖蓄水量	supply26-人工湖民生供水量-人工湖的溢流量-人工湖工廠供水量	每一時刻人工湖的蓄水變化量,一開始的體積是 262 萬噸
人工湖的溢流量	IF THEN ELSE(人工湖 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=人工湖啟動點+人工湖建造所需時間:AND:Time<=(人工湖啟動點+人工湖建造所需時間+人工湖使用期限), IF THEN ELSE(supply26+人工湖蓄水量-人工湖民生供水量-人工湖工廠供水量>人工湖最大蓄水量, supply26+人工湖蓄水量-人工湖民生供水量-人工湖工廠供水量-人工湖最大蓄水量, 0), 0), 0)	人工湖的溢流量
人工湖民生供水量	IF THEN ELSE(人工湖 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=(人工湖啟動點+人工湖建造所需時間):AND:Time<=(人工湖啟動點+人工湖建造所需時間+人工湖使用期限), min(supply26+人工湖蓄水量,min(地表水供應後之台中民生缺水量,后里淨水場各時刻處理量-"cross1-1"-"cross1-2")), 0), 0)	人工湖供應台中地區民生的用水量
人工湖工廠供水量	IF THEN ELSE(人工湖 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=人工湖啟動點+人工湖建造所需時間:AND:Time<=(人工湖啟動點+人工湖建造所需時間+人工湖使用期限), min(supply26+人工湖蓄水量-人工湖民生供水量,min(地表水供應後之台中工廠缺水量,后里淨水場各時刻處理量-"cross1-1"-"cross1-2"-人工湖民生供水量)), 0), 0)	人工湖供應台中地區工業的用水量
人工湖使用期限	1800	人工湖的壽命
地表水供應後之台中工廠缺水量	max("廢水回收+鯉魚潭引水至后里供應後之工廠缺水量"-"supply21-2", 0)	人工湖供應由地表水系統供應後台中地區工業所缺的水量

(2)、越域供水調配之運用原則

由於大甲溪系統無論在豐枯水期皆有剩餘流量，為提升大甲溪上游發電尾水之利用率，預計將大甲溪多餘的發電尾水，引入大安溪流域，除了供后里圳使用外，亦引水至鯉魚潭淨水場以供台中地區公共用水使用，將大甲溪剩餘流量以直接輸送或交換用水之方式，直接或間接的蓄存於鯉魚潭水庫，以增加系統之供水能力。另外配合后里淨水場的興建，其取水水源亦考量由越域引水渠道增設取水口取水，而其另一取水來源則來自鯉魚潭水庫。整體水源調配示意圖可簡化如圖 5 所示。

配合淨水場興建所需時間以及其工程壽命後，淨水場模擬模式可表示如圖 6 所示。模式重要變數之關係可表示如表 2 所示。

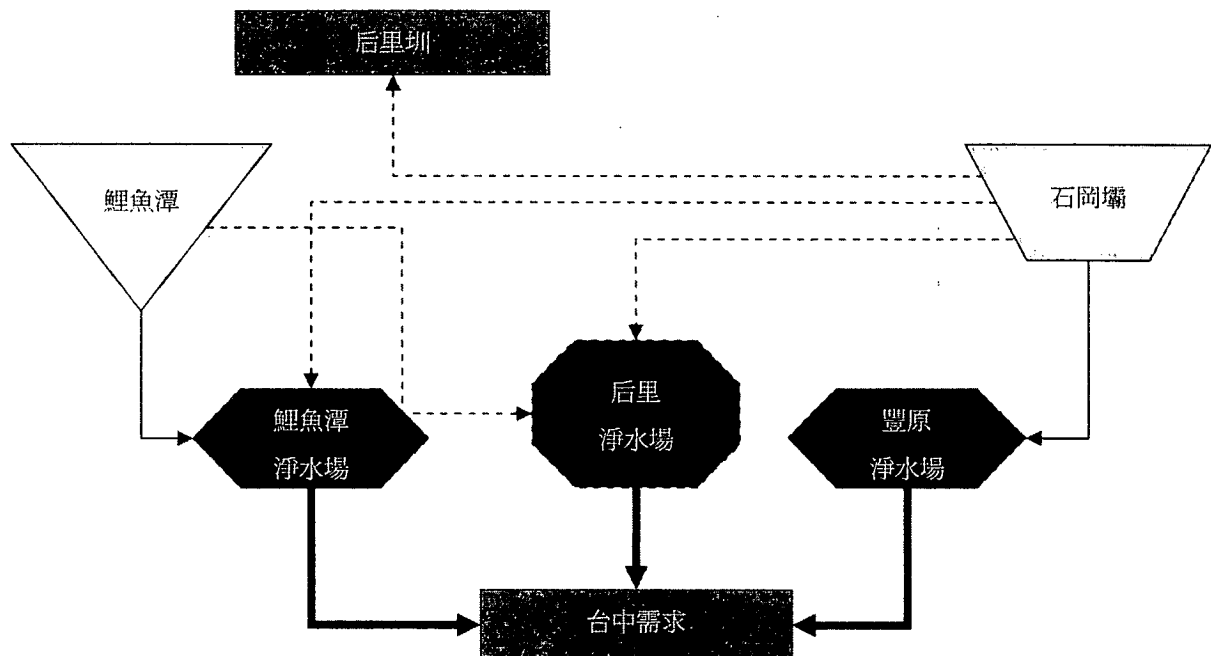


圖5越域供水之水源調配示意圖

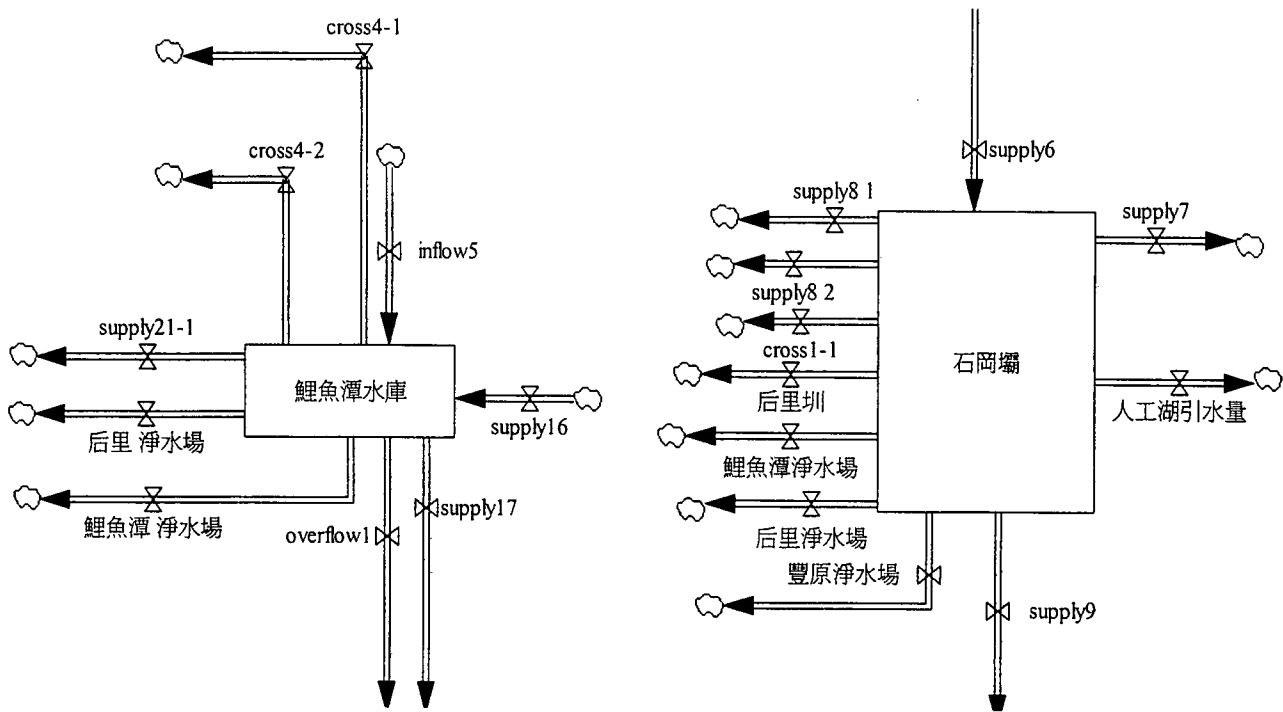


圖6 越域供水系統動力模型

表2 越域供水策略重要參數關係式

變數名稱	關係式	說明
cross4-1	IF THEN ELSE(越域引水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=越域引水啟動點+越域引水建造時間:AND:Time<=越域引水啟動點+越域引水建造時間+越域引水使用期限, IF THEN ELSE(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2>0, min(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2,min(石岡壩引水至鯉魚潭後之民生缺水量,后里淨水場各時刻處理量-"cross1-1"-"cross1-2")),0), 0), 0)	鯉魚潭水庫引水至后里淨水場供給台中地區民生用水量
cross4-2	IF THEN ELSE(越域引水 SWITCH=1,IF THEN ELSE(Time>=越域引水啟動點+越域引水建造時間:AND:Time<=越域引水啟動點+越域引水建造時間+越域引水使用期限, IF THEN ELSE(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2-"cross4-1"-"supply21-1"-supply17>0, min(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2-"cross4-1"-"supply21-1"-supply17,min("廢水回收+石岡壩引水至鯉魚潭後之工廠缺水量",后里淨水場各時刻處理量-"cross1-1"-"cross1-2"-"cross4-1")),0), 0), 0)	鯉魚潭水庫引水至后里潭淨水場供給給台中地區工業用水量
inflow5	GET XLS DATA('入流量.xls', 'sheet1', 'A', 'E2')	鯉魚潭水庫入之流量
supply21-1	IF THEN ELSE(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2-"cross4-1">0, min(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2-"cross4-1",min(鯉魚潭引水至后里供應後之民生缺水量,鯉魚潭淨水場各時刻處理量-"cross2-1"-"cross2-2")),0)	鯉魚潭水庫引水至鯉魚潭淨水場供給給台中地區民生用水量

表2 越域供水策略重要參數關係式(續)

變數名稱	關係式	說明
supply21-2	IF THEN ELSE(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2-"cross4-1"- "cross4-2"-supply17-"supply21-1">0, min(inflow5+supply16+鯉魚潭 水庫-生態基流量 2-"cross4-1"- "cross4-2"-supply17-"supply21-1",min("廢水回收+ 鯉魚潭引水至后里供應後之工廠缺水量",鯉魚潭淨水場各時刻處理量 -"cross2-1"- "cross2-2"- "supply21-1")),0)	鯉魚潭水庫引水 至鯉魚潭淨水場 供給給台中地區 工業用水量
supply23	IF THEN ELSE(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2-"supply21-1"-supply17-"supply21-2"- "cross4-1"- "cross4-2">0, min(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-生態基流量 2-"supply21-1"-supply17-"supply21-2"- "cross4-1"- "cross4-2",min("苗栗用水",鯉魚 潭淨水場各時刻處理量-"supply21-1"- "supply21-2"- "cross2-1"- "cross2-2")),0)	鯉魚潭水庫供給 給苗栗地區公共 用水量
overflow1	IF THEN ELSE(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫 -supply17-"supply21-1"- "supply21-2"-supply23-"cross4-1"- "cross4-2">鯉魚潭水庫 有效蓄水量, inflow5+supply16+鯉魚潭水庫 -supply17-"supply21-1"- "supply21-2"-supply23-"cross4-1"- "cross4-2"-鯉魚潭水庫 有效蓄水量, 0)	鯉魚潭水庫之溢 流量
supply17	IIF THEN ELSE(inflow5+supply16+鯉魚潭水庫-"supply21-1"- "cross4-1"-生態基流 量 2>(min(inflow5,"考量水價+農移用水之鯉魚潭灌區計畫用水量 ")+min(supply16,"考量水價+農移用水之三灌圳計畫用水量")), (min(inflow5,"考 量水價+農移用水之鯉魚潭灌區計畫用水量")+min(supply16,"考量水價+農移用水之三灌圳計畫用水量")), inflow5+supply16+ 鯉魚潭水庫-"supply21-1"-生態基流量 2-"cross4-1")	鯉魚潭水庫下游 放水量
supply16	IF THEN ELSE(inflow4>69120, 0, IF THEN ELSE(inflow4-supply10>3024, 3024, inflow4-supply10))	士林堰之越域引 水量
supply6	supply4-supply5	石岡壩入流量
supply7	IF THEN ELSE(supply6-生態基流量-supply8 1>0, min(supply6-生態基流量 -supply8 1,"考量水價+農移用水之大甲溪下游灌區計畫用水量"), 0)	石岡壩下游放水 量
supply8 1	IF THEN ELSE(supply6-生態基流量>0, min(supply6-生態基流量,min("考量水 價+leakage 之台中民生需求量",豐原淨水場各時刻處理量)), 0)	石岡壩引水至豐 原淨水場供給給 台中地區民生用 水量
supply8 2	IF THEN ELSE(supply6-supply8 1-supply7-生態基流量>0, min(supply6-supply8 1-supply7-生態基流量,min(水價調整後台中之工廠需求量,豐原淨水場各時刻處 理量-supply8 1)), 0)	石岡壩引水至豐 原淨水場供給給 台中地區民生用 水量
cross1-1	IF THEN ELSE(越域引水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=越域引水啟動點+ 越域引水建造時間:AND:Time<=越域引水啟動點+越域引水建造時間+越域引水 使用期限, min(supply6-supply7-supply8 1-supply8 2-生態基流量,min(豐原淨水場 供應後之台中民生缺水量 ,后里淨水場各時刻處理量)), 0), 0)	石岡壩引水至后 里淨水場供給給 台中地區民生用 水量

表2 越域供水策略重要參數關係式(續)

變數名稱	關係式	說明
cross1-2	IF THEN ELSE(越域引水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=越域引水啟動點+越域引水建造時間:AND:Time<=越域引水啟動點+越域引水建造時間+越域引水使用期限, min(supply6-supply7-supply8 1-supply8 2-"cross1-1"- "cross2-1"-cross3-生態基流量,min("廢水回收+豐原淨水場供應後之台中工廠缺水量",后里淨水場各時刻處理量-"cross1-1")), 0), 0)	石岡壩引水至后里淨水場供給給台中地區工業用水量
cross2-1	IF THEN ELSE(越域引水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=越域引水啟動點+越域引水建造時間:AND:Time<=越域引水啟動點+越域引水建造時間+越域引水使用期限, min(supply6-supply7-supply8 1-supply8 2-"cross1-1"-生態基流量,min(石岡壩引水至后里供應後之民生缺水量,鯉魚潭淨水場各時刻處理量)), 0), 0)	石岡壩引水至鯉魚潭淨水場供給給台中地區民生用水量
cross2-2	IF THEN ELSE(越域引水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=越域引水啟動點+越域引水建造時間:AND:Time<=越域引水啟動點+越域引水建造時間+越域引水使用期限, min(supply6-supply7-supply8 1-supply8 2-"cross1-1"- "cross1-2"- "cross2-1"-cross3-生態基流量,min("廢水回收+石岡壩引水至后里供應後之工廠缺水量",鯉魚潭淨水場各時刻處理量-"cross2-1")), 0), 0)	石岡壩引水至鯉魚潭淨水場供給給台中地區工業用水量
cross3	IF THEN ELSE(越域引水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=越域引水啟動點+越域引水建造時間:AND:Time<=越域引水啟動點+越域引水建造時間+越域引水使用期限, min(supply6-supply7-supply8 1-supply8 2-"cross1-1"- "cross2-1"-生態基流量,"考量水價+農移用水之后里圳計畫用水量"), 0), 0)	石岡壩引水至后里圳
supply9	Supply6-supply7-人工湖引水量-supply8 1-supply8 2-"cross1-1"- "cross1-2"- "cross2-1"- "cross2-2"-cross3	石岡壩下游放水量
人工湖引水量	IF THEN ELSE(人工湖 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=(人工湖啟動點+人工湖建造所需時間):AND:Time<=(人工湖啟動點+人工湖建造所需時間+人工湖使用期限), supply6-supply7-supply8 1-supply8 2-"cross1-1"- "cross1-2"- "cross2-1"- "cross2-2"-cross3-生態基流量, 0), 0)	石岡壩引入人工湖之引水量
越域引水 SWITCH	0 或 1	控制越域引水的開關 (註:0:不啟動, 1:啟動)
越域引水建造時間	144	越域引水工程建造所需的時間
越域引水使用期限	1800	越域引水工程的使用期限

(3)、農業用水加強管理模式建置

本計畫現階段僅考量之農移用水屬於「長期策略」，而非「短期策略」，農業水權必須經常性移用，考量實際之可行性，因此配合農委會提出之「水旱田調整後續計畫」視為農業可移用水量之上限。「水旱田利用調整計畫」主要目的為因應我國加入世界貿易組織，屆時必須開放部分稻米市場，稻米產銷調整措施必須加速進行，因此農委會提出「水旱田利用調整計畫」來進行調整稻米、保價雜糧及契約蔗作產業。由於作物的改變，相對亦會釋出農業用水量，因此本計畫配合「水旱田利用調整計畫」之獎勵給付原則來進行農移用水策略。其作法流程圖如圖 7 所示。各項說明如下：

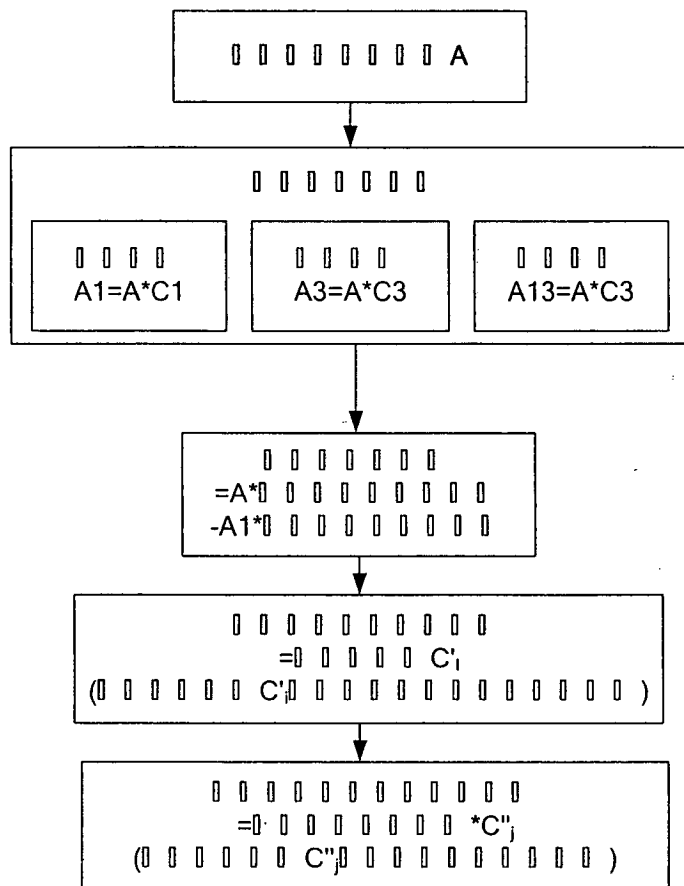


圖 7 農移用水模式建置流程

(一)休耕轉作面積決定

台中水利會之水稻種植面積約為 3 萬餘公頃，本計畫假設台中稻米產銷調整面積不會超過總面積之 30%，因此休耕轉作面積之上限定為 1 萬公頃。

(二)各類別休耕轉作面積之決定

參考「水旱田利用調整後續計畫」之台中縣市各年度之休耕面積資料(如表 3 所示)，算出各期作之輪作面積、綠肥面積和翻耕面積佔該期作休耕總面積之比例，取各類別之面積比例平均值來決定輪作、綠肥和翻耕之休耕面積。

表 3 水旱田後續計畫台中縣市各類別之休耕轉作面積與分配比例

	年	期作	輪作面積	種植綠肥面積	翻耕面積	合計	輪作面積分	綠肥分配	翻耕分配
			(公頃)	(公頃)	(公頃)	(公頃)	配比例(%)	比例(%)	比例(%)
86 至 94 年 台 中 縣 輪 作 休 耕 執 行 情 形 表	86 年	第 2 期作	1135	18	206	1359	0.835173	0.013245	0.151582
	87 年	第 1 期作	1127	152	0	1279	0.881157	0.118843	0
		第 2 期作	1262	54	327	1644	0.76764	0.032847	0.198905
		小計	2390	206	327	2923	0.817653	0.070476	0.111871
	88 年	第 1 期作	1340	348	0	1688	0.793839	0.206161	0
		第 2 期作	1338	125	496	1959	0.683002	0.063808	0.25319
		小計	2678	473	496	3647	0.734302	0.129696	0.136002
	89 年	第 1 期作	627	440	58	1125	0.557333	0.391111	0.051556
		第 2 期作	1041	207	718	1966	0.529502	0.10529	0.365209
		小計	1668	647	776	3091	0.539631	0.209317	0.251051
	90 年	第 1 期作	1205	611	0	1815	0.663912	0.336639	0
		第 2 期作	1035	548	511	2094	0.494269	0.2617	0.244031
		小計	2240	1159	511	3910	0.57289	0.296419	0.130691
	91 年	第 1 期作	1118	838	335	2290	0.48821	0.365939	0.146288
		第 2 期作	1000	1100	691	2791	0.358295	0.394124	0.247582
		小計	2118	1938	1026	5081	0.416847	0.381421	0.201929
	92 年	第 1 期作	1006	915	447	2367	0.425011	0.386565	0.188847
		第 2 期作	800	2386	836	4023	0.198857	0.59309	0.207805
		小計	1806	3301	1283	6390	0.282629	0.516588	0.200782
	93 年	第 1 期作	876	1586	1	2463	0.355664	0.64393	0.000406

表 3 水旱田後續計畫台中縣市各類別之休耕轉作面積與分配比例(續)

台中縣	年	期作	輪作面積 (公頃)	種植綠肥 (公頃)	翻耕面積 (公頃)	合計 (公頃)	輪作面積分 配比例(%)	綠肥分配 比例(%)	翻耕分配 比例(%)
	93 年	第 2 期作	726	2502	487	3715	0.195424	0.673486	0.13109
		小計	1602	4087	488	6178	0.259307	0.661541	0.07899
	94 年	第 1 期作	965	1451	0.28	2416	0.399421	0.600579	0.000116
		第 2 期作	840	1847	383	3071	0.273527	0.601433	0.124715
		小計	1805	3297	384	5486	0.329019	0.600984	0.069996
86 至 94 年台中市輪作休耕執行情形表	86 年	第 2 期作	7	0	1	8	0.875	0	0.125
	87 年	第 1 期作	7	1	0	8	0.875	0.125	0
		第 2 期作	5	0	3	8	0.625	0	0.375
		小計	12	1	3	16	0.75	0.0625	0.1875
	88 年	第 1 期作	13	33	0	45	0.288889	0.733333	0
		第 2 期作	10	32	6	48	0.208333	0.666667	0.125
		小計	23	64	6	93	0.247312	0.688172	0.064516
	89 年	第 1 期作	11	38	0	49	0.22449	0.77551	0
		第 2 期作	10	6	41	56	0.178571	0.107143	0.732143
		小計	21	44	41	105	0.2	0.419048	0.390476
	90 年	第 1 期作	17	41	0	58	0.293103	0.706897	0
		第 2 期作	11	8	46	66	0.166667	0.121212	0.69697
		小計	29	49	46	124	0.233871	0.395161	0.370968
	91 年	第 1 期作	18	19	46	83	0.216867	0.228916	0.554217
		第 2 期作	17	84	96	197	0.086294	0.426396	0.48731
		小計	35	103	142	280	0.125	0.367857	0.507143
	92 年	第 1 期作	18	38	57	113	0.159292	0.336283	0.504425
		第 2 期作	18	62	94	174	0.103448	0.356322	0.54023
		小計	36	100	151	287	0.125436	0.348432	0.526132
	93 年	第 1 期作	23	126	0.06	149	0.154362	0.845638	0.000403
		第 2 期作	17	79	75	171	0.099415	0.461988	0.438596
		小計	41	205	75	320	0.128125	0.640625	0.234375
	94 年	第 1 期作	24	124	0	148	0.162162	0.837838	0
		第 2 期作	23	98	54	174	0.132184	0.563218	0.310345
		小計	47	221	54	322	0.145963	0.686335	0.167702
分配比例平均值							0.393146	0.391114	0.216622

資料來源：農委會農糧署提供

(三)計算每年農移用水總量

本計畫假設執行休耕轉作前之耕地作物皆為稻作，因此所釋出之農移用水量可表示為：

總農移水量=休耕總面積*水稻單位面積用水量-輪作面積*輪作單位面積用水量-綠肥面積*綠肥單位面積用水量

其中一期作水稻單位面積用水量為 12310 噸/公頃，二期作水稻單位面積用水量為 10230 噸/公頃，故水稻每年之單位面積用水量為 22540 噸/公頃。而綠肥和旱作每年之單位面積用水量為 5667 噸/公頃。

(四)計算各灌區每年農移用水總量

前述第三步驟為計算大甲大安所有灌區之總移用水量，因此必須將其區分為各灌區之移用水量，才能帶入水源調配進行模擬。本計畫將依照空間分配比例的原則來分配計算各灌區之年移用水量，其空間分配比例乃依據各灌區之年計畫用水量佔台中縣市總體年計畫用水量(六灌區之年計畫用水量和)之比例來表示(空間分配比例=各灌區年計畫用水量/六灌區年計畫用水量之和)，而空間分配比例計算結果如表 4 所示。

表 4 各灌區空間分配比例

灌區	大甲溪上游	石岡壩	下游灌區	士林堰	鯉魚潭	三灌圳
空間配水比例	0.093	0.302	0.207	0.260	0.002	0.135

(五)計算各灌區各旬之農移用水總量

由於農業用水量會隨時間季節而變，而第四步驟僅推求出各灌區之年移用水量，因此本計畫擬以時間分配比例來推求各灌區每旬之移用水量，時間分配比例計算結果如表 5 所示。農移用水之系統動力模式可表示如圖 8 所示。模式重要變數之關係可表示如表 6 所示。

農移用水策略

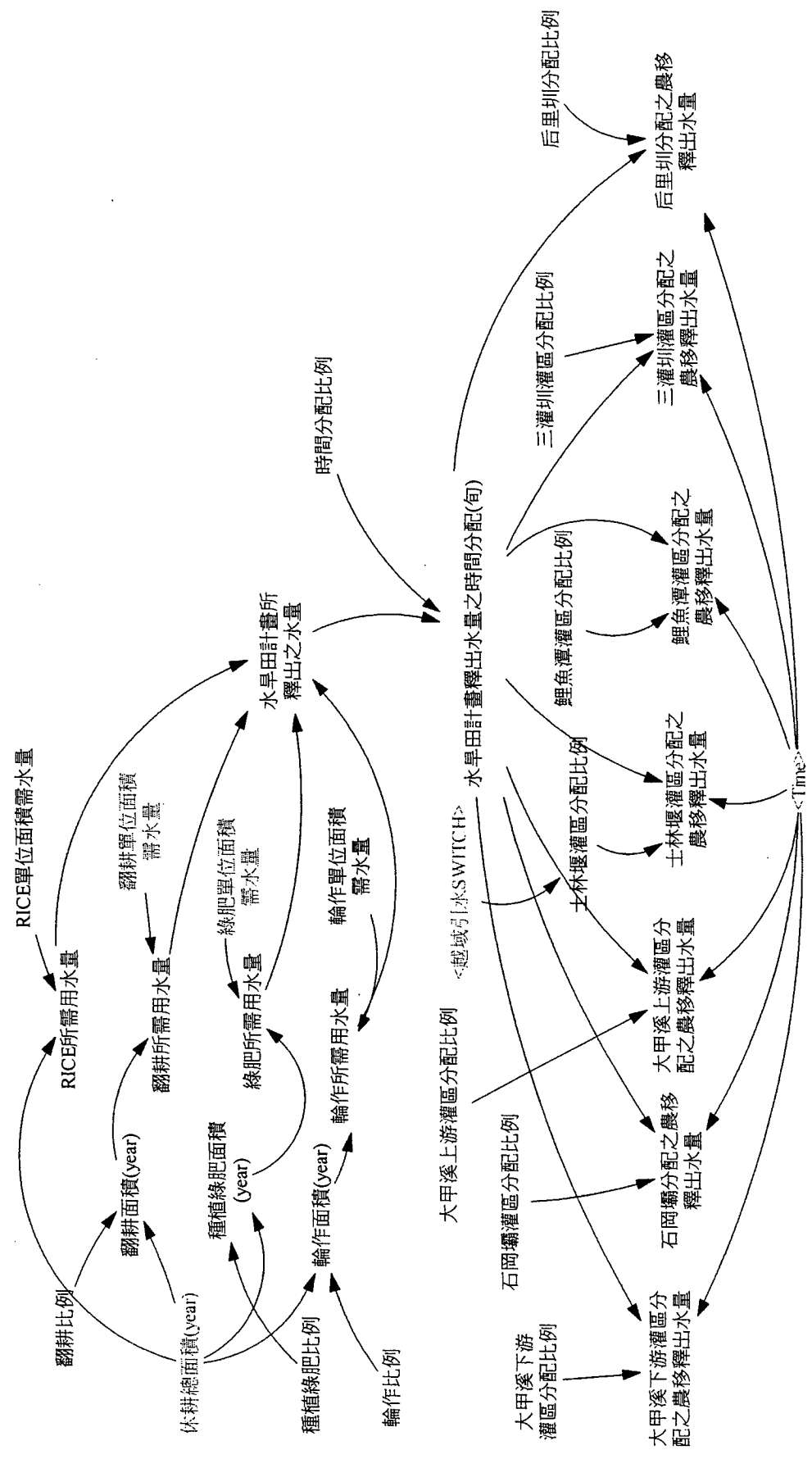


圖 8 農移用水系統動力模型

表 5 灌區時間分配比例

旬	台中縣市灌區計畫用水量	各灌區比例分配
1	1275.1	0.0113
2	1274.58	0.0113
3	1280.37	0.0113
4	1557.27	0.0138
5	1759.79	0.0156
6	2058.73	0.0182
7	3403.91	0.0301
8	4045.77	0.0358
9	4057.95	0.0359
10	4157.83	0.0368
11	4113.94	0.0364
12	4034.71	0.0357
13	3945.98	0.0349
14	3942.09	0.0349
15	3942.01	0.0349
16	3951.32	0.0350
17	3818.52	0.0338
18	3258.92	0.0289
19	2820.28	0.0250
20	2448.33	0.0217
21	4316.97	0.0382
22	4903.81	0.0434
23	4556.06	0.0403
24	4540.67	0.0402
25	4360.08	0.0386
26	4220.2	0.0374
27	4220.2	0.0374
28	4140.89	0.0367
29	4126.46	0.0365
30	3436.2	0.0304
31	1874.79	0.0166
32	1396.74	0.0124
33	1497.04	0.0133
34	1391.9	0.0123
35	1399.43	0.0124
36	1399.25	0.0124

表 6 農移用水策略重要參數關係式

變數名稱	關係式	說明
時間分配比例	GET XLS DATA('灌區用水.xls', 'sheet2', 'A', 'I2')	把農業年總移用水量分配至各旬移用水量之比例
水旱田計畫所釋出之水量	RICE 所需用水量-翻耕所需用水量-"輪作所需用水量"-綠肥所需用水量	水旱田計畫所釋出之水量
RICE 單位面積需水量	2.254	RICE 單位面積需水量
RICE 所需用水量	休耕總面積*RICE 單位面積需水量	RICE 所需用水量
翻耕單位面積需水量	0	翻耕單位面積需水量
翻耕所需用水量	翻耕面積*翻耕單位面積需水量	翻耕所需用水量
綠肥單位面積需水量	0.5667	綠肥單位面積需水量
綠肥所需用水量	綠肥單位面積需水量*種植綠肥面積	綠肥所需用水量
種植綠肥面積	休耕總面積*種植綠肥比例	種植綠肥面積
翻耕面積	休耕總面積*翻耕比例	翻耕面積
翻耕比例	0.216622	翻耕比例
休耕總面積	0	休耕總面積
種植綠肥比例	0.391114	種植綠肥比例
輪作面積	休耕總面積*"輪作比例"	輪作面積
輪作所需用水量	輪作面積*"輪作單位面積需水量"	輪作所需用水量
輪作單位面積需水量	0.5667	輪作單位面積需水量
輪作比例	0.393146	輪作比例
水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)	水旱田計畫所釋出之水量*時間分配比例	水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)
大甲溪上游灌區分配比例	0.0822271	大甲溪上游灌區分配比例
石岡壩灌區分配比例	0.267311	石岡壩灌區分配比例
大甲溪下游灌區分配比例	0.183377	大甲溪下游灌區分配比例
大甲溪下游灌區分配之農移釋出水量	IF THEN ELSE(農移用水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=農移用水啟動點, "水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)"*大甲溪下游灌區分配比例, 0), 0)	大甲溪下游灌區分配之農移釋出水量
石岡壩分配之農移釋出水量	IF THEN ELSE(農移用水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=農移用水啟動點, 石岡壩灌區分配比例*"水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)", 0), 0)	石岡壩分配之農移釋出水量
大甲溪上游灌區分配之農移釋出水量	IF THEN ELSE(農移用水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=農移用水啟動點, "水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)"*大甲溪上游灌區分配比例, 0), 0)	大甲溪上游灌區分配之農移釋出水量

表 6 農移用水策略重要參數關係式(續)

變數名稱	關係式	說明
士林堰灌區分配比例	IF THEN ELSE(越域引水 SWITCH=1, 0.114282, 0.230188)	士林堰灌區分配比例
士林堰灌區分配之農移釋出水量	IF THEN ELSE(農移用水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=農移用水啟動點, "水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)"*士林堰灌區分配比例, 0), 0)	士林堰灌區分配之農移釋出水量
鯉魚潭灌區分配比例	0.00181616	鯉魚潭灌區分配比例
鯉魚潭灌區分配之農移釋出水量	IF THEN ELSE(農移用水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=農移用水啟動點, "水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)"*鯉魚潭灌區分配比例, 0), 0)	鯉魚潭灌區分配之農移釋出水量
三灌圳灌區分配比例	0.119175	三灌圳灌區分配比例
三灌圳灌區分配之農移釋出水量	IF THEN ELSE(農移用水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=農移用水啟動點, "水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)"*三灌圳灌區分配比例, 0), 0)	三灌圳灌區分配之農移釋出水量
后里圳分配比例	0.115906	后里圳分配比例
后里圳分配之農移釋出水量	IF THEN ELSE(農移用水 SWITCH=1, IF THEN ELSE(Time>=農移用水啟動點, "后里圳分配比例"*"水旱田計畫釋出水量之時間分配(旬)", 0), 0)	后里圳分配之農移釋出水量

4.4、結果分析

本研究將以公共用水年缺水指數 SI，作為模擬結果分析的標準。其定義為 [Hydrologic Engineering Center, 1966, 1975]：(來源:美國陸軍工程師團)

$$SI = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \left(\frac{S_t}{D_t} \right)^2 \text{----- (4.4-1)}$$

其中 N = 總模擬時刻

S_t = 各時刻缺水量

D_t = 各時刻需求量

(4.4-1)式中各時期之長短待使用者定義，可分為日、旬或年，本研究將沿用國內一般之定義，各時期以年為計算單位。惟本研究之系統操作模擬時將採用旬操作。

依據大甲溪與大安溪水源調配之系統模型配合模擬規則其模擬結果與缺水分佈圖如表 7 與圖 9~圖 11 所示。由圖表可發現現況與目標年 110 年中成長需求時之缺水情況尚在容忍範圍($SI < 1$)，但若面臨目標年 110 年高成長需求，年缺水指數已經高達 5.981，顯示以目前的系統並無法完全滿足高成長需求量，且隨著需求的增加，亦可發現缺水頻率和缺水量亦隨之增加。

表 7 目前系統供應或各目標年水源調配成果(缺水指數)比較表

民國	現況(94 年)	110 年(中成長)	110 年(高成長)
需求量(萬 CMD)	130.00	163.80	209.70
年 SI	0.30	0.98	5.98

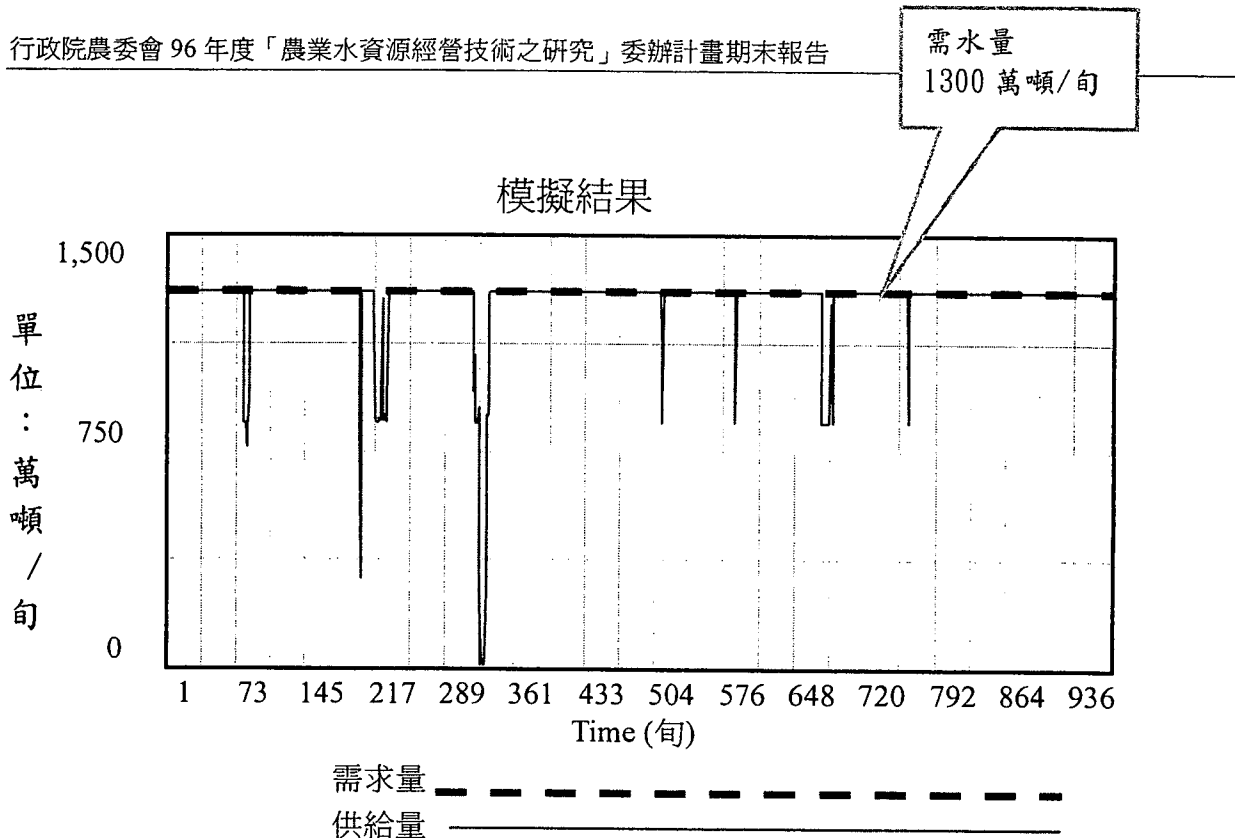


圖 9 目前系統供應現況需求之供給與需求比較圖

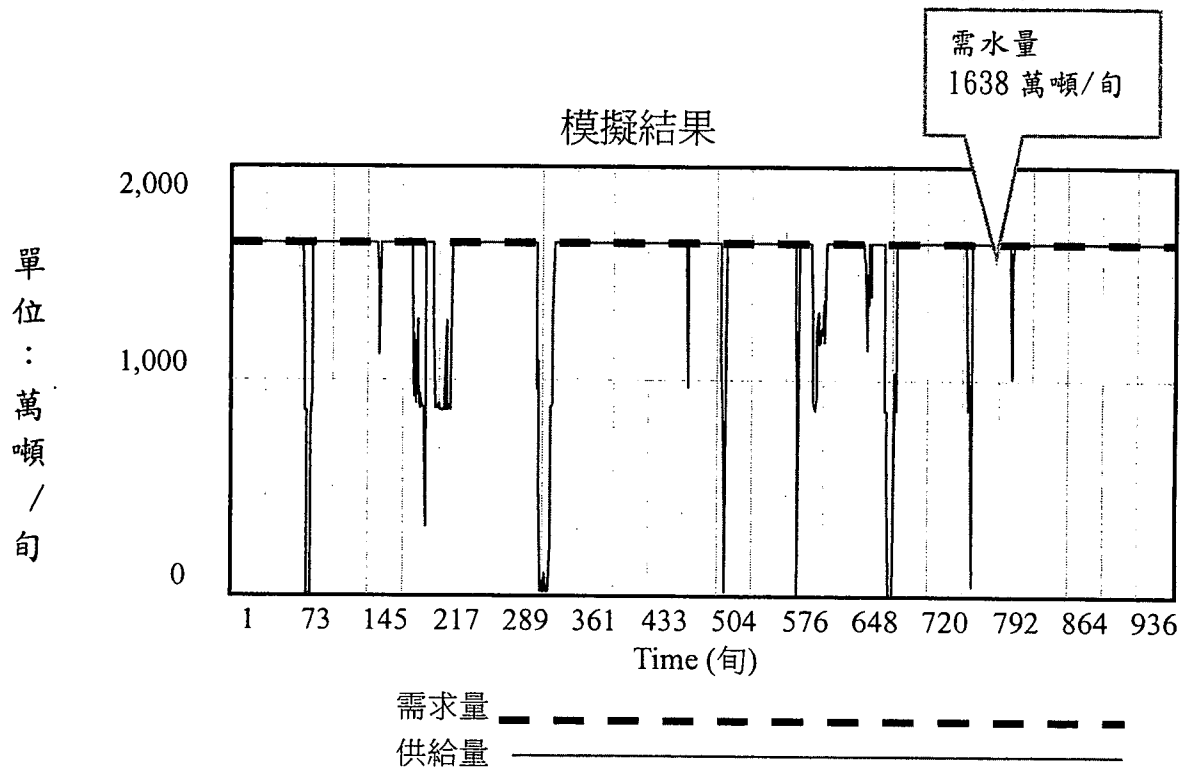


圖 10 目前系統供應 110 年中成長之供給與需求比較圖

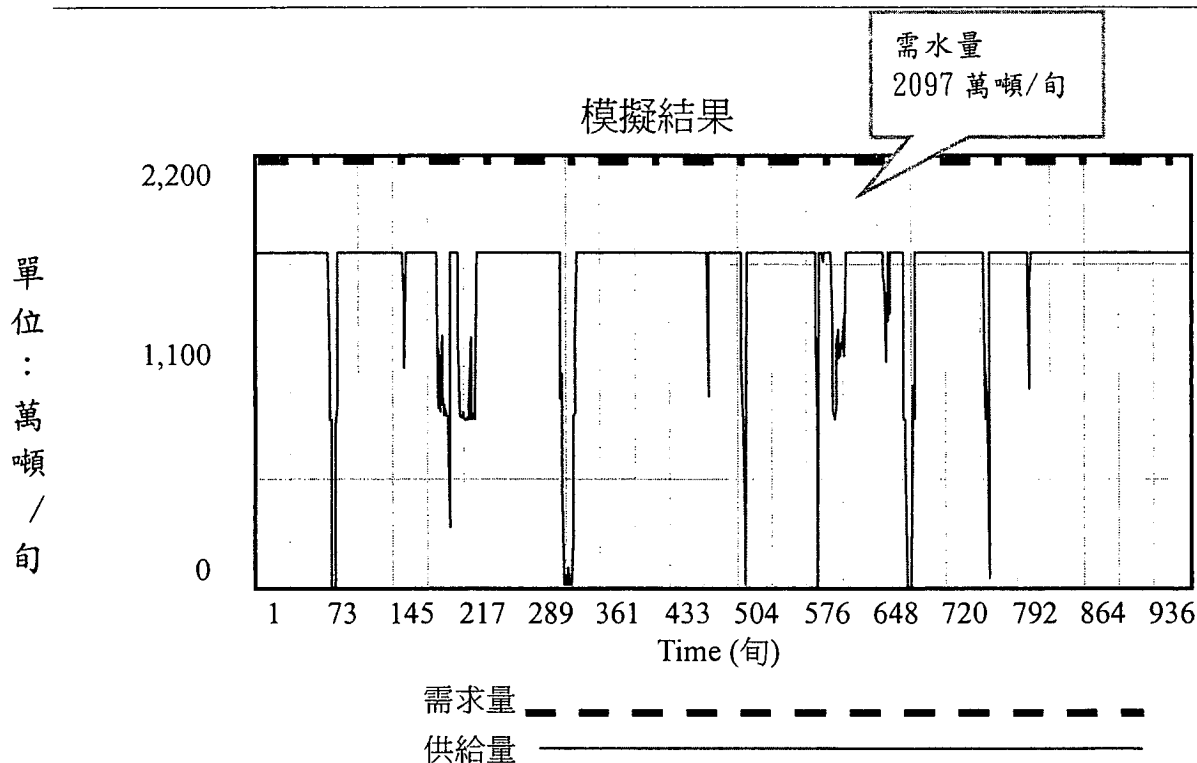


圖11目前系統供應110年高成長之供給與需求比較圖

由前章節分析得知，現有的大甲、大安聯合營運供水系統仍可以滿足民國 110 年中成長需求，但卻無法滿足高成長的需求，故本章節即利用第四章節所建置完成之大甲溪與大安溪整體運用模型，針對高成長需求進行策略模擬分析，其包含人工湖、越域引水、農業用水加強管理等單一型策略及複合型策略，透過衝擊分析以評估其效益。

4.4.1 單一型策略模擬結果

針對現況系統(大甲大安聯合營運系統)以及本計畫所提及之策略，進行單一策略模擬，其中人工湖策略必須引水至后里淨水場方可供應至用戶端，因此人工湖(含淨水場)視為單一策略，而越域引水工程亦規劃由石岡壩和鯉魚潭水庫引水至后里淨水場，因此越域引水(含淨水場)亦視為單一策略。各策略之規模設定乃參考本計畫所蒐集之文獻訂定之。另外配合其工程壽命，各策略之設定可說明如下：

- (1) 人工湖庫容設定參考「台中人工湖初步規劃」之設計，以 2800 萬噸為上限。
- (2) 越域引水本計畫假設並無規模之變化模擬，僅有啟動與不啟動之差別。
- (3) 「水旱田利用調整計畫」之休耕轉作面積上限，本計畫假設以台中水利會之水稻種植面積 30% 為限，目前台中水利會之水稻種植面積約為 3 萬餘公頃，因此本計畫因此休耕轉作面積之上限定為 1 萬公頃。

(4) 后里淨水場之規模則以實際規劃之處理能力進行模擬(一期：20 萬 CMD，二期：60 萬 CMD)。

(5)

根據以上設定，設計出表 8 單一策略模擬方案。各方案之模擬結果將於以下各小節進行說明。

表 8 大甲溪流域整體水量運用單一模擬方案設計概念

策略	規模
人工湖	1. 人工湖(2300 萬噸)+淨水場一期(20 萬噸/旬)+淨水場二期(60 萬噸/旬)
	2. 人工湖(2500 萬噸)+淨水場一期(20 萬噸/旬)+淨水場二期(60 萬噸/旬)
	3. 人工湖(2800 萬噸)+淨水場一期(20 萬噸/旬)+淨水場二期(60 萬噸/旬)
越域引水	4. 越域引水+淨水場一期(20 萬噸)+淨水場二期(60 萬噸/旬)
農業用水加強管理	5. 休耕面積 7000(公頃/年)
	6. 休耕面積 8000(公頃/年)
	7. 休耕面積 9000(公頃/年)

根據表 8 之設計，本研究針對各方案進行模擬，模擬結果如表 9 所示，由表之數據發現，就缺水改善而言，系統只進行單一項目改善以越域引水為最佳，人工湖次之，所有單一型策略只有越域引水能使年 SI 降至”1.0”，接著再來考量複合型策略來加強改善缺水問題。

表 9 單一策略模擬結果

策略	規模	公共年 SI
人工湖	1. 人工湖(2300 萬噸)+淨水場一期(20 萬噸/旬)+淨水場二期(60 萬噸/旬)	1.652
	2. 人工湖(2500 萬噸)+淨水場一期(20 萬噸/旬)+淨水場二期(60 萬噸/旬)	1.625
	3. 人工湖(2800 萬噸)+淨水場一期(20 萬噸/旬)+淨水場二期(60 萬噸/旬)	1.588
越域引水	4. 越域引水+淨水場一期(20 萬噸)+淨水場二期(60 萬噸/旬)	0.807
農業用水加強管理	5. 休耕面積 7000(公頃/年)	2.14
	6. 休耕面積 8000(公頃/年)	2.082
	7. 休耕面積 9000(公頃/年)	2.033

4.4.2 複合型策略模擬結果

由上節模擬結果得知，單一型策略中只有越域引水策略能解決缺水問題，因此需要考量複合型策略。本節將搭配各設計方案以複合策略來進行案例情境分析。合成複合型策略時，只取在單一策略中各項讓 SI 降低效果最好的參數來互相搭配作複合策略的組合。模擬方案如表 10 所示，其模擬結果如表 11 所示，依據本研究之衝擊分級，若年缺水指數(SI)皆處於 1.0 程度，則視為可行策略，如表 12 所示。

表 10 複合型策略模擬方案

策略
1.人工湖(2800 萬噸)+淨水場+越域引水
2.人工湖(2800 萬噸)+淨水場+農業休耕面積 (7000 公頃/year)
3.越域引水+淨水場+農業休耕面積 (7000(公頃/year)
4.人工湖(2800 萬噸)+淨水場+越域引水+農業休耕面積 (7000 公頃/year)

表 11 複合型策略模擬結果與評估

策略	年 SI
1.人工湖(2800 萬噸)+淨水場+越域引水	0.5766
2.人工湖(2800 萬噸)+淨水場)+農業休耕面積(7000 公頃/year)	1.2760
3.越域引水+淨水場+農業休耕面積(7000 公頃/year)	0.6587
4.人工湖(2800 萬噸)+淨水場+越域引水+農業休耕面積(7000 公頃/year)	0.4606

表 12 可行策略組合表

可行 方案別	設計概念	方案內容	年 SI
(一)	單一策略	越域引水+淨水場	0.8070
(二)	複合策略	越域引水+淨水場+農業休耕面積 (7000 公頃/year)	0.6587
(三)		人工湖(2800 萬噸)+淨水場+越域引水	0.5766
(四)		人工湖(2800 萬噸)+淨水場+越域引水 +農業休耕面積(7000 公頃/year)	0.4606

4.4.3 綜合分析

在現有台中地區供水系統無法滿足民國 110 年的高成長水量需求，所以本計劃擬三項新水源方案的搭配之下來改善台中地區缺水問題，三項新方案分別為：人工湖、越域引水以及農業用水加強管理。

在只施行單一策略之下，惟有越域引水能將公共年 SI 降低到 1.0，符合需求標準；在複合方案中，取各單一策略最佳的方案來互相搭配組合，發現有三種組合方案能使年 SI 降低到 1.0。如果將年 SI 降至 1.0 的方案稱為可行方案，則表 12 為四種可行方案的整理表。各種方案中，方案(四)是使年 SI 降最低的組合，其次是方案(三)；如不考量農業用水加強管理方案，能使年 SI 降到 1.0 的最佳方案是方案(三)，其次是方案(一)。

若以可行方案(四)來模擬台中民生缺水量的情況，改善後的民生缺水量的圖如圖 12 所示，與原本未做任何方案的民生缺水量圖 13 比較，顯示改善後的方案能使民生缺水量減少很多。次佳不考慮農業節水的方案(二)來進行分析，將施行方案前與施行方案後的台中農業缺水量與民生缺水量來互相比較，圖 14 與圖 15 分別為施行方案(三)的台中農業缺水量前後比較圖，圖 16 與圖 17 分別為施行方案(三)的台中民生缺水量前後比較圖，施行前後的台中農業缺水量有明顯的差別，方案(三)施行前農業各旬的缺水量多，施行方案(三)後，農業各旬的缺水量有變小的現象；方案(三)施行前後的台中民生缺水量有明顯的差別，施行前的缺水旬數多且缺水量大，施行後，不難發現缺水的旬數少很多以及缺水量減少許多的現象。

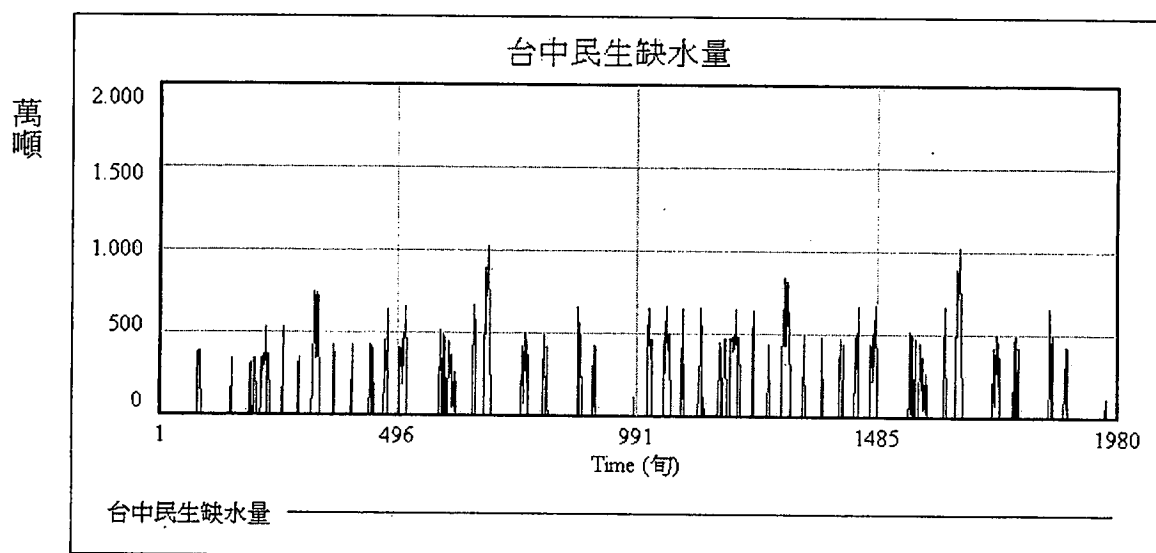


圖 12 施行策略(四)之前台中民生缺水量圖

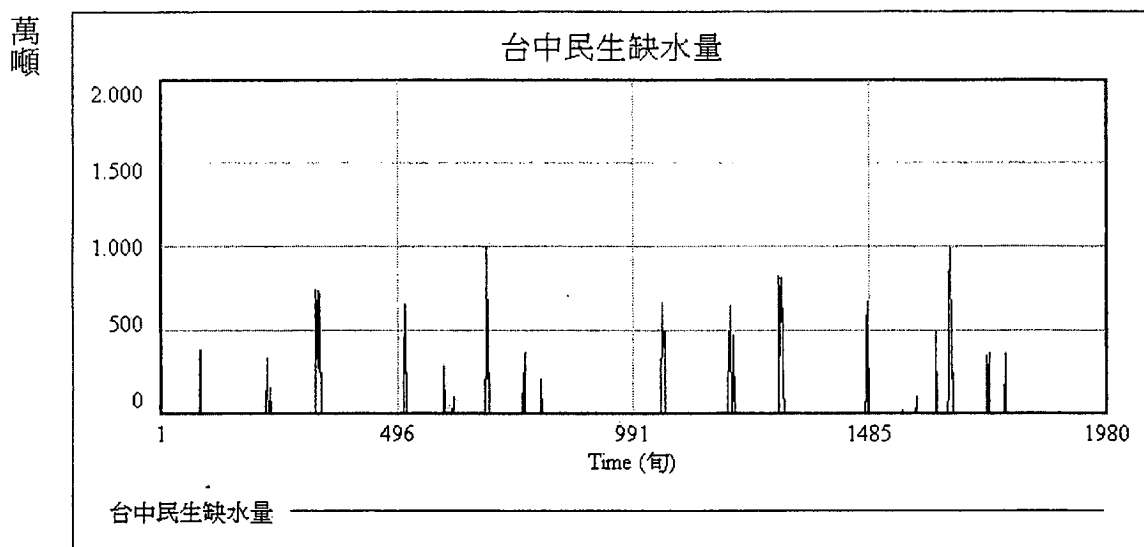


圖 13 施行策略(四)之後台中民生缺水量圖

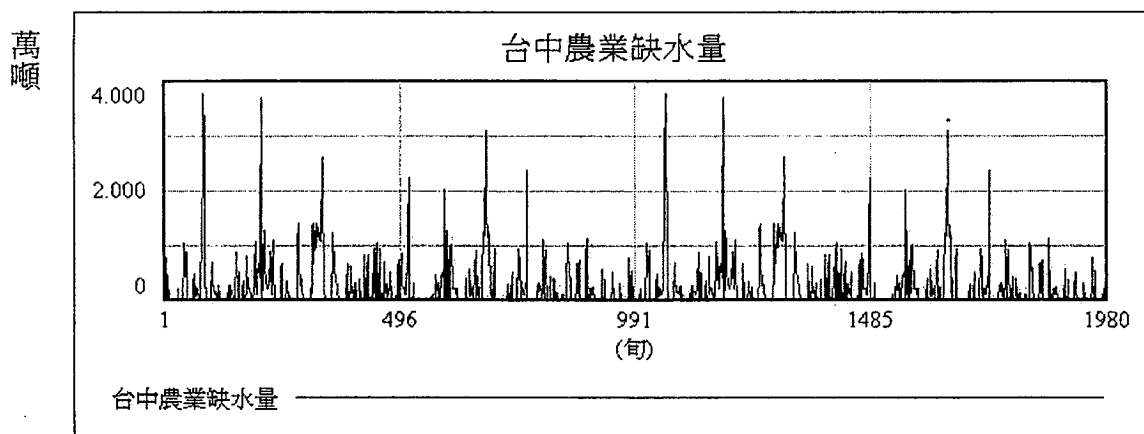


圖 14 施行策略(三)之前台中農業缺水量圖

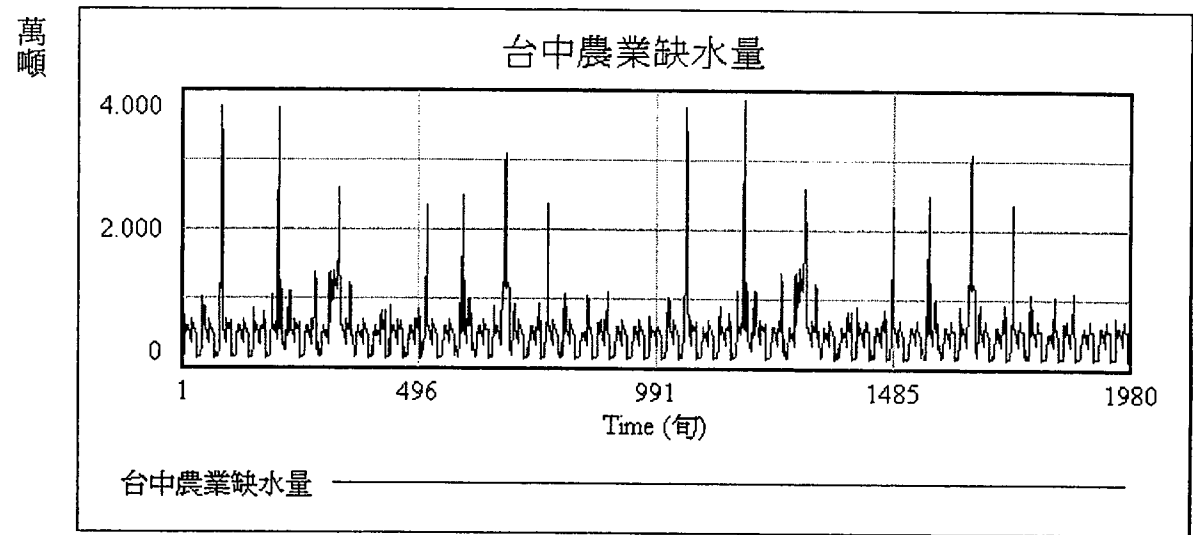


圖 15 施行策略(三)之後台中農業缺水量圖

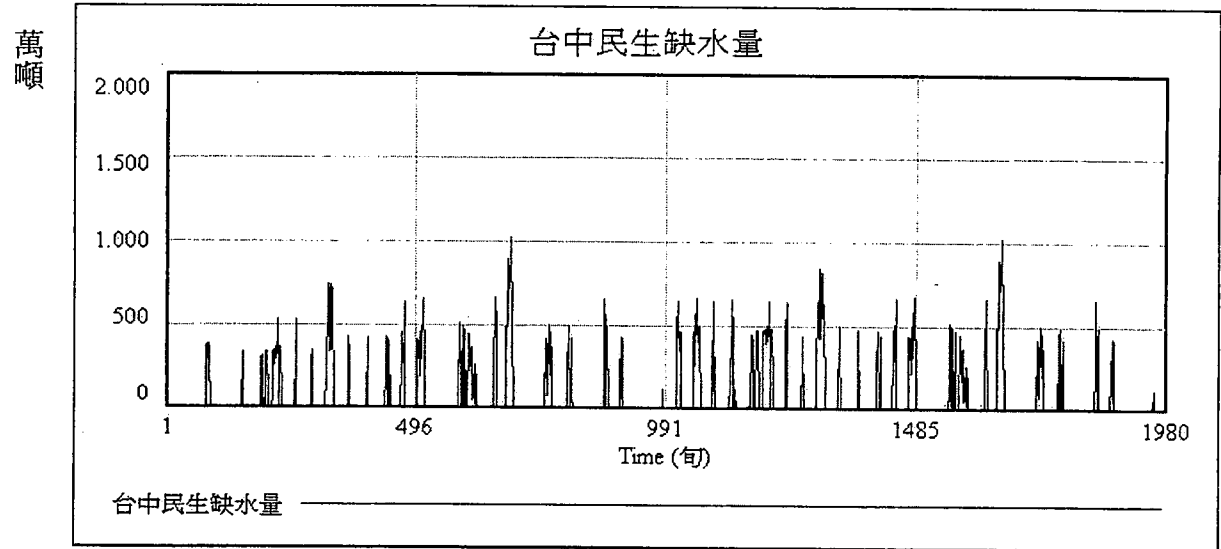


圖 16 施行策略(三)之前台中民生缺水量圖

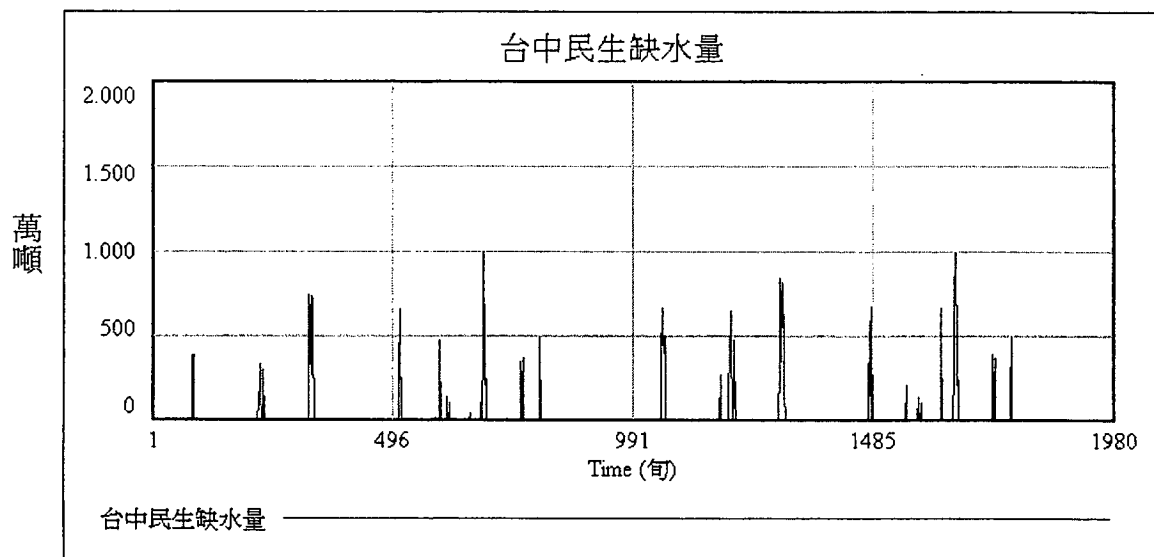


圖 17 施行策略(三)之後台中民生缺水量圖

五、結論與建議

1. 本計畫所採用的系統動力學，可同時呈現問題的系統本身、運作流程及兩者之間的關係，所建置的系統動力模型符合物件導向的建構原理，依此建立之模式易於修正與擴充，基於上述優點，使得其易於建立複雜系統之整合模式。
2. 本計畫應用系統動力學，目前已完成之平台，可同時模擬評估人工湖、越域引水、農業用水加強管理等三種策略之各種不同搭配組合，充分顯示出本策略評估平台之彈性與完整性。
3. 本計畫以台中地區為展示案例，在現況系統下的大甲、大安聯合營運供水系統再加入多元化策略包括人工湖、越域引水、農業用水加強管理等策略進行情境模擬以滿足高成長的需求。由單一策略模擬結果得知：就公共年缺水指數(SI)而言，單一策略中僅越域引水策略能使其符合標準。
4. 本計畫發現複合性策略對於案例中缺水情況有顯著改善，其中最佳的策略是為人工湖+越域引水+農移用水等策略。
5. 本計畫複合策略中考量農移用水策略，乃參考「水旱田調整後續計畫」，雖然限制總休耕面積以不超過台中水利會水稻耕作面積之 30%，但對於缺水指數亦有

顯著的影響。

6. 本研究目前就農業加強管理系統僅考量長期性農移用水策略，未來將考慮短期性農移用水策略，並探討枯旱緊急時期短期性與長期性策略對於水資源調配的差異，藉由備援水源的觀念(平常不移用農業用水水權，只有枯旱時期才移用)來強調短期農業用水水權移用的優點。

六、參考文獻

1. 大安溪及大甲溪水資源聯合運用初步規劃報告，經濟部水利署中區 水資源局，民國 94 年。
2. 台中人工湖策略與初步規劃方案，水利署水利規劃試驗所，民國 94 年。
3. 多元化水源開發綱領計畫，經濟部水利署，民國 94 年。
4. 台灣地區水資源總量管制機制規劃，經濟部水利署，民國 93 年。
5. 台灣地區中部區域水資源綜合發展計畫，經濟部水利署，民國 93 年。
6. 台灣地區水貧乏指數之研究與應用，經濟部水利署，民國 93 年。
7. 台灣地區水資源永續發展指標之計算與評估，經濟部水利署，民國 93 年。
8. 水再生利用政策與法規研訂(1/2)，經濟部水利署，民國 93 年。
9. 多功能人工湖永續經營研究，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 93 年。
10. 台中基地第二期發展區擴建計畫(含第一期發展區變更)用水計畫 書，中部科學工業園區開發籌處，民國 93 年。
11. 台灣地區廢污水再利用潛勢整體評估工業技術研究院，工業技術 研究院，民國 92 年。
12. 系統動力學—探索動態複雜之鑰，韓釗，民國 91 年
13. 大甲溪攔河堰可行性規劃計畫，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 91 年。
14. 淡水河水資源系統動力模式與永續管理策略之研究，國立台灣大 學生物環境系統工程學研究所碩士論文，陳明業，民國 91 年。
15. 高屏溪水質水量改善之成本效益分析，國立台北大學資源管理研 究所碩士論文，李魁裕，民國 90 年。
16. 台灣地區地下水補注量估算，經濟部水利署，民國 89 年。
17. 台中農田水利會八寶圳移用水補償之分析，農業工程研究中心， 俞維昇、辜國讚，民國 89 年。

- 18.農田水利會移用水補償費之計算方法，農業工程研究中心，俞維昇、辜國讚，民國 89 年。
- 19.河川流域水土資源承载力與永續力評量模式之發展，國立中央大學生物環境工程研究所碩士論文，陳亭玉，民國 88 年。
- 20.水源開發成本與水價關聯之研究，吳惠如，合理用水與造水技術研討會，民國 86 年。
- 21.地下水抽用成本之研究，工研院能源資源所，合理用水與造水技術研討會，民國 86 年。
- 22.經濟部水利署台澎金馬水庫堰壩簡介。
- 23.“System Dynamics Modeling of Trans-Boundary Systems: the Bear River Basin Model.” Sehlke, Gerald and Jacobson, Jake, GROUND WATER, 43(5), 722-730 (2005)
- 24.“System Dynamics Modeling of Reservoir Operations for Flood Management.” Journal of Computing in Civil Engineering, Ahmad, Sajjad and Simonovic, S.P. (2000) July, 190-198.
- 25.“The Use of Object-Oriented Modeling for Water Resources Planning in Egypt.” Water Resources Management, 11, 243-261. Simonovic, S.P., and Fahmy, Hussam. (1997).
- 26.“A New Modeling Approach for Water Resources Policy Analysis.” Water Resources Research, 35(1), 295-304, January. Simonovic, S.P., and Fahmy, Hussam. (1999).