

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 總計畫暨子計畫三：水源開發多元化分析(1)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2621-Z-009-001-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：張良正

計畫參與人員：何智超

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 27 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

區域水資源永續經營管理策略模擬與分析-總計畫暨子計畫

三：水源開發多元化分析(I)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫  
計畫編號： NSC 93-2621-Z-009-001 -  
執行期間： 2004年08月01日至 2005年07月31日

計畫主持人：張良正  
共同主持人：  
計畫參與人員： 何智超

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢  
 涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

中華民國 94 年 10 月 7 日

## 一、摘要

### ● 總計劃

過去數十年來，為滿足經濟及社會快速成長的需求，台灣目前的水域環境已受到相當程度的衝擊，然而隨著整體經濟及工業的發展，水資源的需求仍是持續增加，對水源供應的穩定度要求更高。在此需求增加的壓力並未減少的情況下，除了能兼顧需求的滿足外，如何進一步維持良好的生態水環境，乃是除了推動生態工法之外，另一個重要的課題。故只有在水量與水質同時考量下，對區域水資源進行整體的經營與思考，才能維持流域整體良好的生態水環境，並滿足水資源的需求。惟區域水資源整體經營涵蓋範圍相當廣泛，以往對此問題雖有局部的探討，面對未來更嚴格的挑戰，需有更完整、深入及更高整合度的分析探討。本計畫目的在以兼顧生態水環境的維持與水資源需求的滿足為目標，對區域水資源整體經營管理策略的各個面向進行廣度與深度兼顧的探討。並將以水量水質為考量觀點、決策形成過程為發展步驟、系統動態學為核心理論，加上共同的發展平台，除了確保各子計畫的實質整合外，更能形成具體的成果。

**關鍵詞：水量、水質、系統動態學**

### ● 子計畫三

缺水問題，不單只是降雨多寡的問題，更是分配、供給與管理的問題。且由於目前環境之限制，不易再以開發新水庫來作為水源開發，故有必要研擬其他的應變機制和水源供給管道。而人工湖及海水淡化將會為未來水源開發之可能方式，有鑑於此本計畫將對人工湖和海水淡化等議題必須進行深入的研究。並將以高屏溪流域為研究對象，架構其因果回饋環路，將蒐集此區域之相關資料，藉由遺傳演算法、類神經網路、時間序列、統計方法與經驗公式等資料採礦的技術來萃取各議題內部與相互間的因果關係，以作為系統動態學模型單元間的關係式之嵌入資訊，藉此建置系統動態學模式，提供後續研究之情境模擬與策略研擬，最後並分析這些水源開發替代方案，配合其他調配管理措施下的啟動時機與相關的操作原則，進而建立包含不同水源型態，及能分別考量長期與乾旱時期之區域水資源聯合營運的調配方式與策略。整體計畫將分三年期完成，各年主要工作項目如下，第一年：所需資訊蒐集與機制釐清。第二年：系統動態模型建置。第三年：(1)目標評定指標研擬(2)目標策略模擬與分析。

**關鍵詞：系統動態學、人工湖、海水淡化、資料採礦**

## Abstract

### ● 總計劃

The demand for water in Taiwan has increased significantly in recent years because of industrial growth and increasing living standards. However, environmental concerns have postponed the further development of large water resource projects, so the risk of shortage is increasing. Hence, resolving the tension between ecological crisis and economic growth, while

ensuring the sustainable development of water resources is very urgent for government authorities. Accordingly, this investigation proposes a process for evaluating water policy systematically and quantitatively, with reference to water quantity and water quality as they pertain to the planning and management of regional water resources. The process includes the following steps; (1) collecting data and extracting information; (2) establishing and simulating a dynamic system, and (3) selecting policy evaluation indicators. System dynamics is adopted as a framework for the simulation and analysis of water policy, because it is highly appropriate for the analysis of water resources problems that incorporate feedback relationships and have a long-term time horizon. Finally, the establishing of a strategic system-dynamic model is illustrated with reference to water management in the Kao-Ping river basin.

Keywords : water quantity, water quality, system dynamics

### ● 子計畫三

The sustainable development of water resources is a goal worthy of consideration in Taiwan. A study of alternative methods for supplying regional water resources is important to achieving sustainable development. Accordingly, three problems, involving an artificial lake and seawater desalination, are addressed herein, using the following three-step procedure. 1. Define the problem and describe the system. 2. Develop a model of the dynamics of the system and build confidence in the model. 3. Use the model to simulate several strategies and create an index to represent the performance of the simulation analysis. Using this procedure, the problems are solved according to an integrated approach that involves system dynamics, data mining, a numerical model of the groundwater, and other important elements. Finally, the effectiveness of the system-dynamic planning model is confirmed by applying it to a water resource distribution problem in southern Taiwan.

Keywords : system dynamics, artificial lake, seawater desalination, data mining

## 二、緣由與目的

### ● 總計劃

以往區域水資源經營管理均將水量與水質視為兩種不同研究領域的課題，更由於著重於需求面上量的滿足，而間接忽視了環境生態的維護，故使環境及生活居住的品質不斷地惡化，此乃重水量而輕水質之策略所導致。再則近年來因為台灣地區經濟的快速發展，使水量需求不斷地成長，讓水資源的調度面臨比以往更嚴峻的考驗，因此有效的水資源利用之策略的擬定將隨著社會發展更加迫切。有鑑於此，本計畫將以水量水質整體考量的觀點，分析現今台灣地區所面臨的重要相關水資源議題，並試圖以系統思考的角度，研擬出有效率的水資源調配操作及有規劃的生態水環境復育策略，藉以達成區域水資源永續經營管理的目的。

### ● 子計畫三

台灣地區雨量甚為豐沛，平均約 2500 公釐/年，但降雨期間分布不均，尤其是中、南部，約 80% 之年降雨量集中於每年 5 至 10 月之間。又因為山高坡陡蓄水不易，大部分逕流未加利用及流至大海，加上水文不確定性高級地面水多遭受污染，可利用之水資源有限。近年來社會經濟快速發展，民生與工業用水量持續增長，根據經濟部水利署之估算，民國 85 年台灣地區各標的總用水量約 181 億立方公尺，估計至民國 100 年需水量將增加為 200 億立方公尺。

台灣地區傳統水資源開發以興建水庫為主，近年來由於生態保育意識的抬頭、興建水庫對環境的衝擊非常大以及優良壩址的難尋，水庫開發已越見困難，鑑於大水庫的開發已日趨不易，惟用水量卻仍持續增加，為解決水資源供需不平衡等問題，除積極開發地面水源外，亦應積極規劃其他水資源開發之替代方案。至目前為止較可行的替代方案有 (1) 人工湖的開發：人工湖不但有蓄水、供水功能及補助地下水之功能外，尚有防洪及生態景觀等功能，更可與地表水系統聯合形成地表地下聯合運用。(2) 海水淡化：因為海水幾乎取之不盡，將海水淡化成可用之水源，幾乎可以永無枯竭之慮。海水淡化，是一水分離技術，其原理乃利用能源（電或熱），將鹽水分離成兩部分，一部分是含高鹽量的滷水，一部分是含極低鹽量的淡水，而達到淡化的目的。前述各種方案皆有其限制與應用條件，如人工湖受用地及地質狀況的影響甚大，海水淡化亦有相對成本高等問題，因此必須進一步深入評估其在整個水資源調配系統中的角色與定位。

### 三、研究方法

#### ● 總計劃

本計劃主要目的為針對高屏河流域水資源的永續利用進行策略模擬與評估分析，除著重技術面的水量供應效益外，亦需考量對於區域水質的衝擊與影響。因此這樣的系統充滿十分複雜的非線性動態關係與高度不確定性，有鑑於此，本計畫將以系統動態學作為水資源技術面與環境面整合模型建置的方法，亦即完成一區域水資源永續利用策略模擬分析的決策支援平台，以期在面對極複雜的動態、回饋且具時間滯延的流域整體經營管理問題時，可以提供整體、長期且較周延的解決方法。

一個兼具公眾利益與環境品質之決策的成形，應該由下而上(Bottom to up)以四個階段依序處理分析(見圖 1)，此四個階段依序為：

#### 一、資料蒐集:

針對欲研究之議題進行相關水文、地文與人文資料的蒐集。

#### 二、資訊萃取:

藉由資料礦掘、模擬模式與優選模式等技術對相關資料進行資訊擷取的工作，以獲得欲研究探討之領域的知識。

#### 三、策略評估:

將各領域所獲得的資訊與知識，透過系統思考的方法進行相互間的組織與串接，而系統動態學即為一合適的整合方法，在此平台下所建置的模型將能進行策略模擬之量化評估

的工作。

#### 四、決策訂定:

模擬所產生的分析結果與相關指標，透過委員會進行溝通、協調與可行性之研究後，將能產生一兼具公眾利益與環境品質的決策。

上述階段三在進行策略評估時，必須先建立系統模型後，才能針對不同策略進行模擬分析比較。本計劃即是根據系統動態學理論進行建模與策略模擬分析，其建模與分析流程如圖 2 所示。首先藉由「問題定義」、「系統描述」、「因果回饋圖」以及「可能策略研擬」等概念的建構來規劃設計系統動態模型。在模型檢定無誤後，即可進行策略之情境模擬。所有研擬策略的模擬結果透過「各問題代表性指標衝突分析」，來初步篩選出可行策略。然而指標無法反映出策略施行時時間滯延的問題，故於可行策略集合形成後，再進行策略之時間滯延效應分析，分析的結果將提供決策者於協商過程時之重要參考。以下將針對建模分析流程之各項目進行更詳細的說明。

##### (一)概念的建構

概念建構的主要目的為設計模型建置之參考藍圖，其主要工作項目包含了「問題定義」、「系統描述」、「因果回饋圖」以及「可能策略研擬」。

##### (1)問題定義

當現況與理想目標有了差距時，壓力因此產生，當壓力超過我們所能承受的限度，就會造成問題。因此並需觀察我們關心的議題(變數)隨時間變化的行為，以期能在問題產生前發掘問題，並針對問題尋找解決方案，

##### (2)系統描述

本步驟為透過資料的蒐集與對問題的瞭解，初步描述系統可能的結構與涵蓋的元件。本計畫考量之高屏溪流域水源調配系統主要是供應台南和高雄地區之需求，然其主要水源供應來源除來自高屏攔河堰外，曾文、烏山頭水庫以及南化水庫亦是重要供水來源，因此水源調配所考量之系統必須包含高屏溪、與曾文溪流域才算完整。而水質系統只要鎖定高屏溪流域並即可。

##### (3)因果回饋圖

藉由因果回饋圖的繪製，我們可以清楚了解各變數的因果關係與作用方向，並瞭解結構的基本特性。本計畫主要的因果回饋基模如圖 3 所示，當系統的產出與其設定的目標產生的差距，此時需要適當的策略來改善產出，使其符合標準。因此根據此因果回饋基模，進行區域水資源水量技術面、環境水質面與經濟財務面之模型建置。以圖 4 為例，其為水量技術面之因果循環圖，其主要結構仍是由”產出”、”目標”、”差距”和”策略”構成，其中水量供給考量現況系統供水以及地下水供水和人工湖供水量，這些即為系統之”產出”；而系統之”目標”為滿足需求；另當總供水量不足以滿足需求時，缺水量因而產生，此缺水量即為系統之”差距”，並為了考量長期供水效益，將一併計算缺水指數 SI，當缺水指數大於耐旱容忍度(本計畫設定為  $SI=1$ )時，則必須採取相關策略來改善現況。這些策略包含供給面策略如地下水抽水量擴充及人工湖庫容擴充，以及需求面策略如農移用水和水價調整等，透過這些策略來增加供水量或減少需求量，因此系統之因果關係構成了封閉之負回饋迴路，這即是表示此問題行為會被壓制收斂至某一目標。

#### (4)可能策略研擬

透過對問題與區域空間特性的瞭解，在各種改善策略方案下(如：人工湖、地下水、總量管制，水價調整和汙水處理廠等)，初步研擬區域較可能實行的策略來進行後續的模擬。

#### (二)模型建置

經由前述的步驟，我們可以瞭解問題的特性與架構以及系統的邊界與其所包含元件及元件間相互的因果關係，利用系統動態學的四個基本物件：積量(Stock)、流量(flow)、連結(connector)以及輔助變數(auxiliary) (詳見表 1)來建構系統模型。圖 5 為簡單系統模型示意圖。其表示流進有蓄積效應(Stock)的流量(flow)受到輔助變量(convector)的控制影響，輔助變數則以箭線(connector)來傳遞控制的訊息。

#### (三)策略模擬

建置完成的模型通過檢定後，即可在模型上透過改變系統的結構或更動參數的值域來探討各種策略的施行方法對各問題層面的影響。

#### (四)多問題代表性指標衝擊分析

當策略組合過多時，若不藉由各問題代表性指標來做策略優劣的初步篩選，將造成決策者面臨大量資訊的困擾，因此本計劃將研擬問題具代表性的指標，並將指標值的高低進行壓力界定的分類。壓力越大，則代表此領域的問題越嚴重，若有某個策略能使多個問題的壓力皆降至輕度，則該策略為可行之策略。本計劃將針對各種可能策略進行多問題代表性指標衝擊分析，以期得到可行策略之集合。

#### (五)時間滯延效應

由於指標無法反映出策略施行時時間滯延的問題，故於可行策略集合形成後，再進行策略之時間滯延效應分析，分析的結果將提供決策者於協商過程時之重要參考。其示意圖如圖 6 所示，縱座標為淨收益，圖中顯示策略 2 成本回收的時間較策略 1 快。

### ● 子計畫三

本計畫藉由系統分析步驟來對問題加以調查分析和界定，以確實瞭解系統或問題的內涵及特性，並依照各組成的因果關係繪製因果循環圖，作為動態模型建置的基礎。以下將針對第一年之系統分析結果進行描述。

#### (1)問題定義

本計畫研究區域為南部地區，其水源供需圖如圖 7 所示，由圖得知現況供水量在南化水庫與高屏堰聯通管路的增供下，尚足以滿足目前的需求量，但若面對民國 100 年的高成長需求時，即使曾文-南化水庫聯合運用增供 30 萬噸/日，仍不足以滿足需求。有鑑於此，開發多元化新水源來維持南部地區民生需求與經濟發展已成為必要的趨勢。目前水利署正積極規劃高屏大湖(原名吉洋人工湖) 蓄水增加出水量以穩定供水量，且高科技工業區在製造過程中不僅需要穩定之供水量，對水質之要求亦甚高，而海水淡化因水源不虞匱乏生產出之水量穩定，而水質亦優於自來水，若採蒸發製程其製程水之 TDS(總溶解固體)可至 20mg/L 以下，較自來水之 200~800 mg/L 為佳，可減輕純水處理系統所須耗材及管理能力，係屬極適合此等工業區使用之供水方式。因此本計畫將針對人工湖和海水淡化供水機制進行分析探討，以作為南部地區用水需求的重要供應來源。

## (2) 系統的描述

本子計劃考量當現況水源供應不足時，則必需開發新水源來供應其不足量，其中現況水源包含現有地表水供應系統(子計畫二)及地下水供應系統(子計畫五)，因此本計劃之需求量即為子計畫二和子計畫五供給調配後之缺水量。另外本計畫考量的開發方案有二，一為人工湖的建置，其水源供給來源為地表逕流以及地下水，河川和地下水彼此間透過入滲補注機制互相交換水量；另一為海水淡化廠建置，其水源供給來源為海水，透過發電機組進行蒸餾或其它脫鹽作用而產出淡水。各水源開發方案之規模視需求量而定，不同的開發規模將會影響建置成本及營運維護成本。整個水源多元化分析系統圖如圖 8 所示。

## (4) 因果循環圖

根據問題定義與系統描述，將系統中的組成分類為目標、產出、差距和策略，繪製其因果循環圖，其結果如圖 9 所示。當供應的目標需求量與水源供給有所差距時，則必須要產生策略來解決問題，本計劃的策略考量為人工湖和海水淡化廠的建置，建置規模越大，其產出(人工湖或海水淡化的供給量)也越大，造成差距變小，進而降低供水壓力以符合民生與工業用水所需。但規模大小亦會影響建置成本，因此本計劃將在經濟與供水能力的雙重考量下，比較各種策略的優劣。

## 四、概念模式建置

### ● 總計劃

#### (一) 水量技術面

圖 10 為考量水量運用分析示意圖，目前南部地區之供水來源主要由曾文、烏山頭水庫以及南化水庫供給，若水庫的蓄水量大於其蓄存容量時，將造成溢流量的產生，並藉由天然河道放流至海洋；若現況系統供水量無法滿足需求量時，則由多元化水源如地下水和人工湖等供應，若還是不足，則計算其缺水量，並計算缺水指數 SI 來評估水量調配之長期效益，當缺水指數高於耐旱容忍標準(SI=1)，則採取容量或規模擴張策略來改善整體的供水量，以期水量調配之長期效益可以符合耐旱容忍標準。

#### (二) 水量技術面與河川水質面之整合

本計畫以河川之 BOD 濃度作為河川水質指標，其主要受到河川流量與家庭或工業排放至河川之廢污水量所影響，若排放之污水量造成河川水質超過其涵容能力，則必須透過河川水質策略如溼地處理或家庭污水接管至污水處理廠來改善廢污水量。此外本計畫亦計算河川年平均 BOD 來作為評估河川水質之長期效益指標，若無法滿足該河川之水體水質標準，則表示現有之溼地、污水處理廠的處理能力不足或者污水接管率不高，因此必須擴充現有設施之處理能力，以期降低廢污水排放量，進而改善河川水質。

因此當進行水量技術面與河川污染防治整合時，由於水庫與攔河堰的放流量會影響天然河道的河川流量，因此可以藉由共同影響變數(水庫與攔河堰)來結合兩種不同層面問題，其整合示意圖如圖 11 所示，由此圖可發現水庫供水和放流的比例將同時衝擊水量與水質兩面向。



### ● 子計畫三

本計畫模型建置流程圖如圖 12 所示，主要包含兩個子系統，即海水淡化供水系統和人工湖供水系統，其中海水淡化系統是藉由發電機組產生能量來進行蒸餾或脫鹽作用以產生淡水以供應民生或工業用水；另外人工湖供水系統則同時考量地表水和地下水供水，其中地下水抽用將會影響地下水，因此本計畫將以 MODFLOW 模式來模擬抽補地下水對地下水位的影響，並利用類神經網路學習抽水量和地下水位的關係，將其關係表示為地下水響應矩陣；地表水的供應系統則直接以系統動態學(SD)建置模型，同時將地下水響應矩陣建立在模型中，以模擬人工湖地表地下聯合運用的水源調配成果。

以下將介紹人工湖之概念模式建置原則，圖 13 為人工湖水源運用系統描述圖，可區分為三大部分，入流量推估、人工湖蓄水量推估以及地下水蓄水變化量推估，各部分敘述如下：

#### (1)入流量推估：

本研究將研究區域之含水層視為一個大容量的地下水庫，而高屏大湖則視為研究區域這個地下水庫之入流及出流的媒介。換句話說，即利用高屏大湖之庫容儲蓄與入滲，將豐水期高美堰多餘的水量存放在高屏大湖及地區地下水庫中。反之，枯水期時，則將高屏大湖視為一個大型集水井，抽取湖中水量供應需求，此時亦等於間接使用地下水。

由於本研究假設人工湖之主要水源為高美堰引水量，根據中興顧問社於「吉洋人工湖可行性規劃—二、水源運用專題—1. 水源運用及營運管理」報告中指出，因高美堰並無流量站可供計算，建議採用荖濃(新發大橋)流量站。配合集水區面積比公式，推估高美堰之每日流量；其次，扣除上下游之既有水權量、生態基流量與颱風時期高於 300(cms)之污濁水量等，即為人工湖實際引入之水量。

#### (2)人工湖蓄水量推估

人工湖在某時刻之蓄水量可以表示如下：

人工湖蓄水量 = 入流量 + 地下水交換量 - 供水量 - 溢流量

其中，人工湖蓄水量為時間 t 時刻之人工湖蓄水量，入流量、地下水抽取量、入滲量、供水量及溢流量皆為時間 t-1 時刻。

#### (3)地下水蓄水變化量推估

地下水的抽取量不可超過地下水安全出水量，以避免過度抽用地下水造成地層下陷，其中地下水安全出水量的推估以希爾法(Hill method)推估安全出水量，其精神為抽用地下水後，地下水水位能回復至抽水前之水位(即洩降為零)，此抽水量即為安全出水量。而本計畫以 MODFLOW 地下水流模式，配合所收集之長時間水文資料輸入模式中，反覆等比例增減各分區之抽水量，直至模式所有計算格網之平均洩降量為零，其抽水量即為安全出水量。其詳細步驟如下：

1. 逐月調整抽水量，估計每月之安全出水量，
2. 整年調整抽水量，估計年安全出水量，
3. 調整第 1 項所得之每月之安全出水量，使其年總量符合第 2 項之年安全出水量，最後會得到每個月之安全出水量，以評估地下水潛能。

因此根據上述規則建立一人工湖水源調配簡例如圖 14 所示，其中地下水供應部分因尚在發展中，因此暫以地下水交換量來替代，此交換量為外部輸入值，下年度計畫將利用

ANN 學習地下水模式之水位和抽水量規則，配合地下水可開發之潛能量，以取代目前之地下水交換量。本簡例模擬結果顯示若不考量人工湖供應，僅考量地表水供應時，其旬缺水指數(SI)為 0.5158；若加入人工湖水源來進行調配，則旬缺水指數(SI)可降至 0.0155，由此可見人工湖的加入確實可以減低供水壓力。目前本計畫中地表水供應和地下水入滲補注等，皆是引用外部資料，未來可以將子計畫二和子計畫五本計畫進行整合，以更精確以及更能互動觀察各策略之間對不同子計畫的影響層面。

## 五、結論

### ● 總計畫

1. 由於系統動態學是以物件導向原理進行模型建構，因此各子計畫以此為共同核心理論，加上以 vensim 軟體為模式共同發展平台，故能更緊密結合水量和水質問題，期能對區域水資源管理問題進行更完善之探討。
2. 透過多次子計畫間的討論協商，總計畫已規劃出各子計畫間串接的雛形

### ● 子計畫三

1. 本年度研究著重於資料蒐集與萃取各參數間的關係式.並釐清各子計畫間的牽連機制與關係。
2. 本年度已完成人工湖水源調配部分模型建置，其中地表水供應部分和地下水入滲補助機制尚在發展整合中，目前乃以外部資料代入模擬。未來將繼續完成此部份研究，並把另一多元化水源—海水淡化機制也一併考量進來，以進行各種調配順序之研擬分析。

## 六、參考文獻

- [1] 類神經網路於入滲池最佳化設計之應用，國立交通大學土木所碩士論文，陳宇文，民國 88 年
- [2] 高屏河流域水資源永續發展政策規劃之系統動力學研究，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文，黃鈺珊，民國 89 年
- [3] 遺傳演算法應用於兩地下水道最佳化設計，私立中華大學土木所碩士論文，何智超，民國 89 年
- [4] 吉洋人工湖可行性規劃-二、水源及用水專題-1.水源運用及經營管理，經濟部水利處水規規劃試驗所，中興顧問，民國 89 年 12 月
- [5] 區域供水系統系統動力模型建立與策略評估-以大基隆供水區為例，國立海洋大學河海工程學系碩士論文，詹麗梅，民國 89 年
- [6] 以遺傳演算法應用於德基水庫即時操作之研究，私立中華大學土木所碩士論文，江柏寬，民國 90 年
- [7] 河川流域水管理系統動力模式之發展與建立，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，民國 91 年
- [8] 地下水資源整體營運規劃與綜合評估(1/2)，經濟部水利署，民國 91 年 11 月
- [9] *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, Cambridge, MA: MIT Press, Koza, J.R., 1992.
- [10] *Dynamic Simulation Modeling For Evaluating Water Quality Response to Agriculture BMP Implementation*, E. A. Cassell and J. C. , IAWQ, 1993.
- [11] *A new modeling approach for water resources policy analysis*, Slobodan and Hussan Fahmy, *Water Resource*

Research, 1999.

- [12] *System Dynamics Modeling of Reservoir Operations for Flood Management*, Sajjad Ahmad and Slobodan P. Simonovic Member, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2000.
- [13] *Sustainability Analysis for Yellow River Water Resources Using the System Dynamics Approach*, Z. X. XU., K. TAKEUCHI, H. ISHIDAIRA and X. W. ZHANG, *Water Resources Management*, 2002.

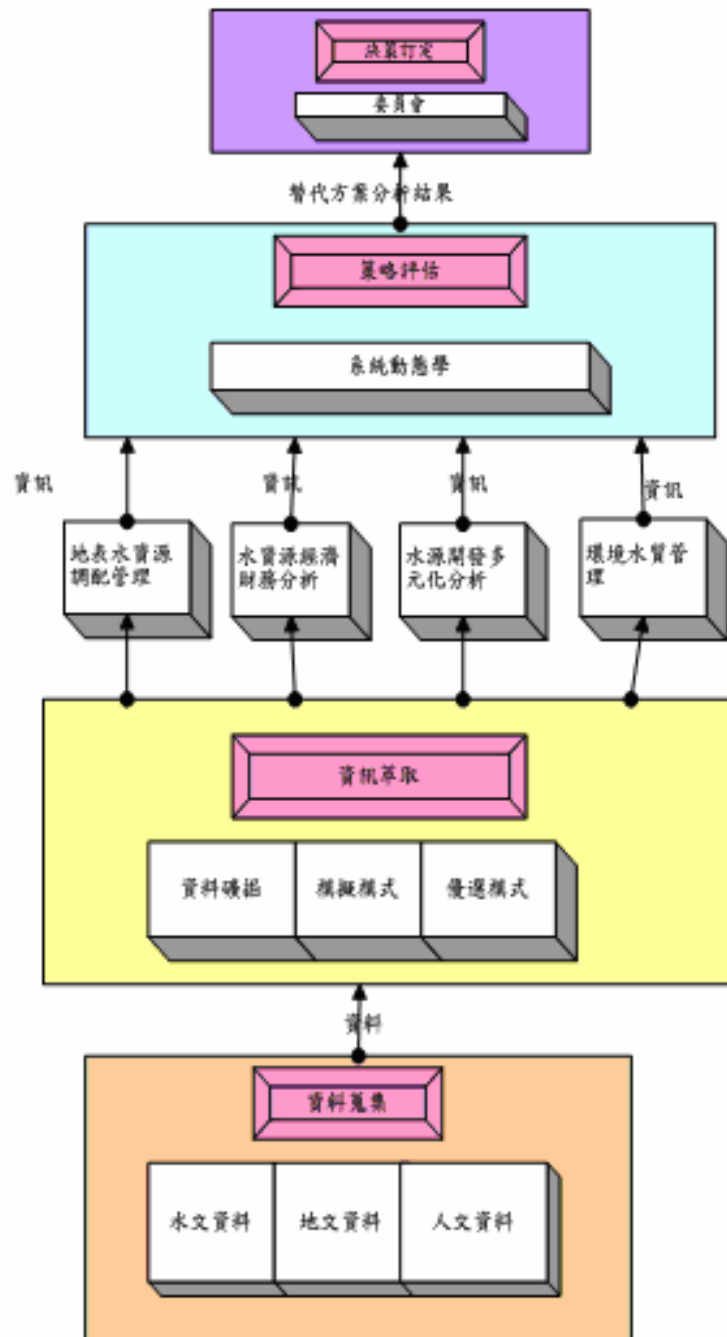


圖 1 策略評估與決策訂定流程圖

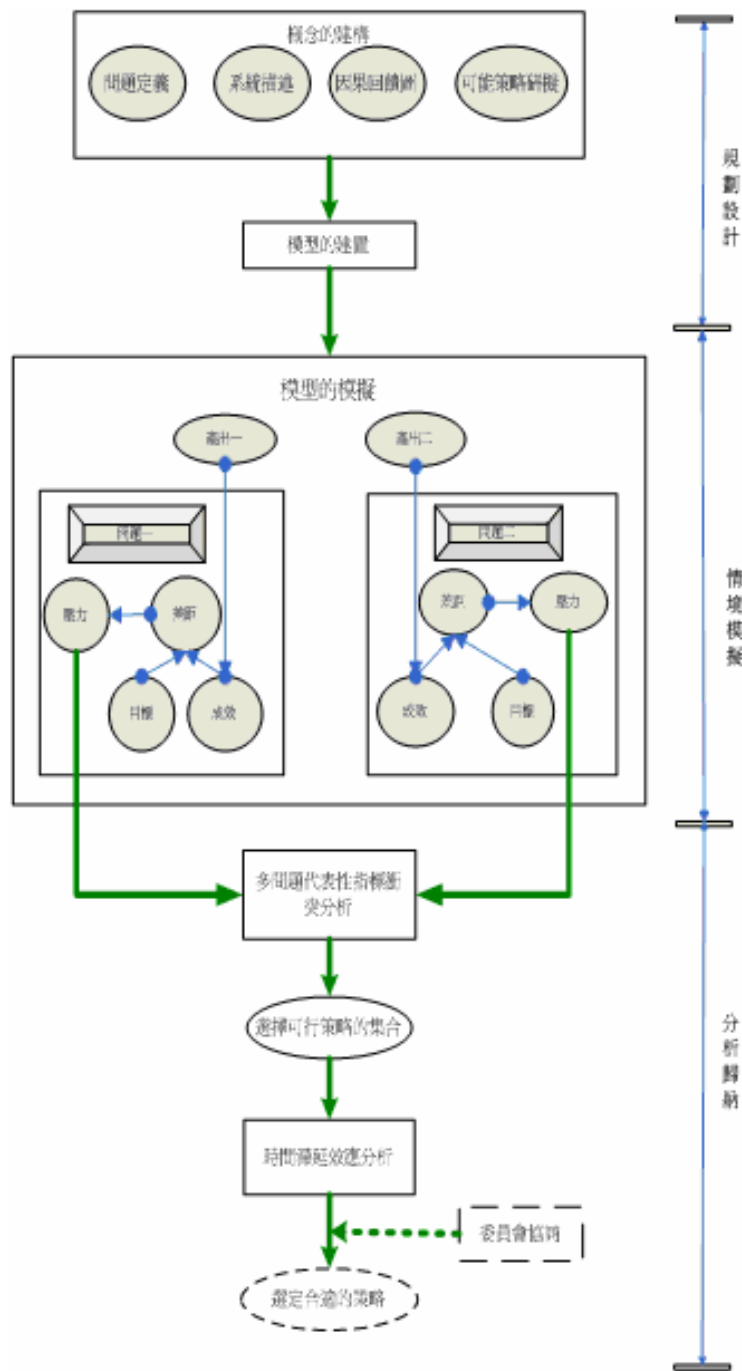


圖 2 系統動態學建模與策略模擬分析流程

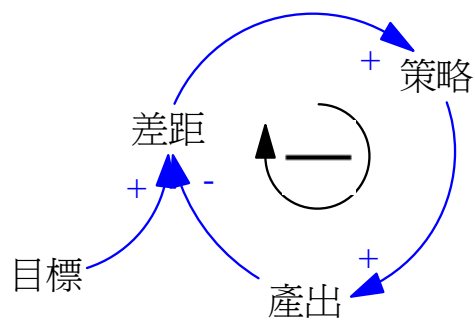


圖 3 因果回饋環基模

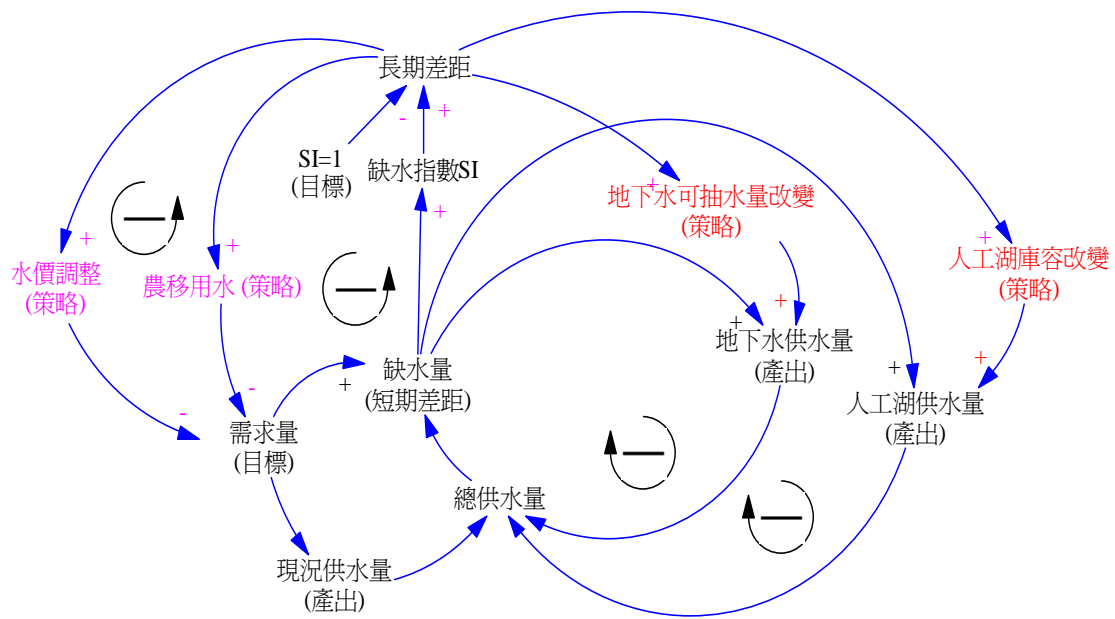


圖 4 水量技術面之因果回饋圖

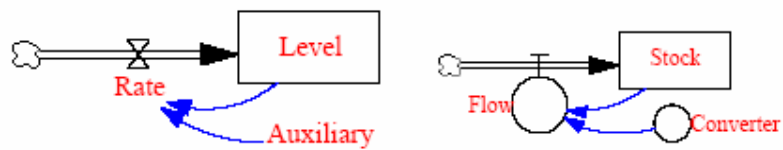


圖 5 系統動態模型簡單示意圖

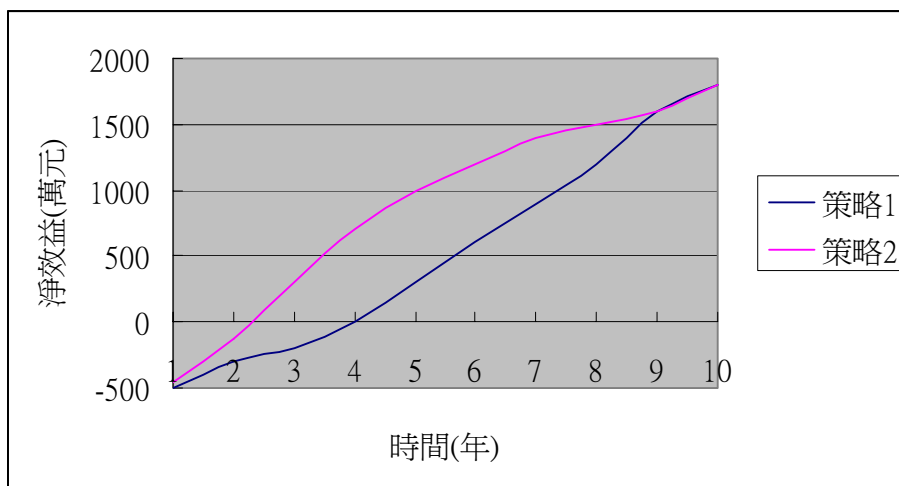


圖 6 時間滯延效應示意圖

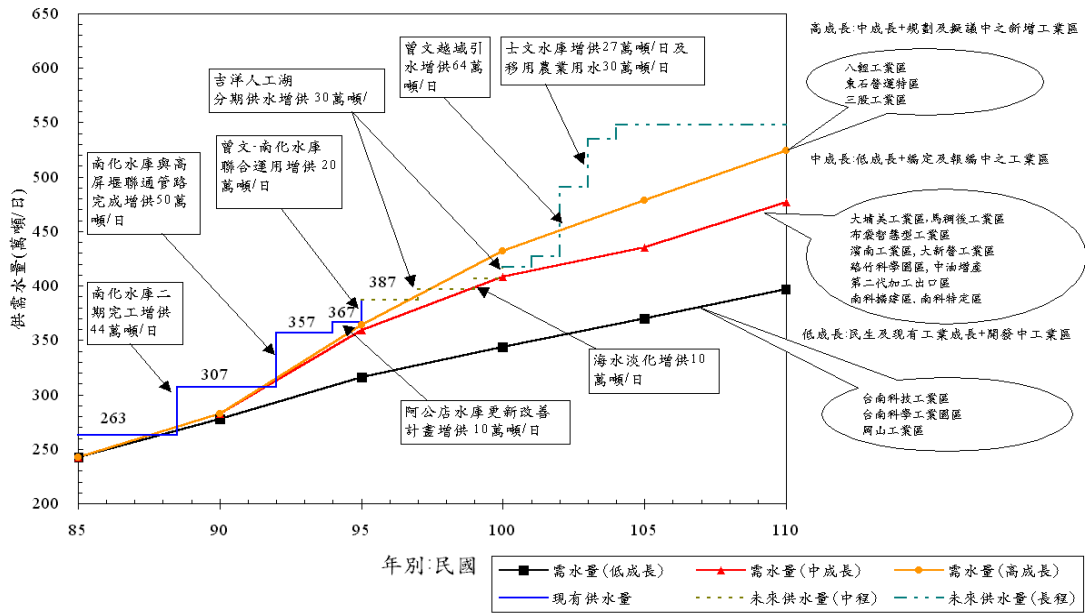


圖 7 南部地區水源供需圖

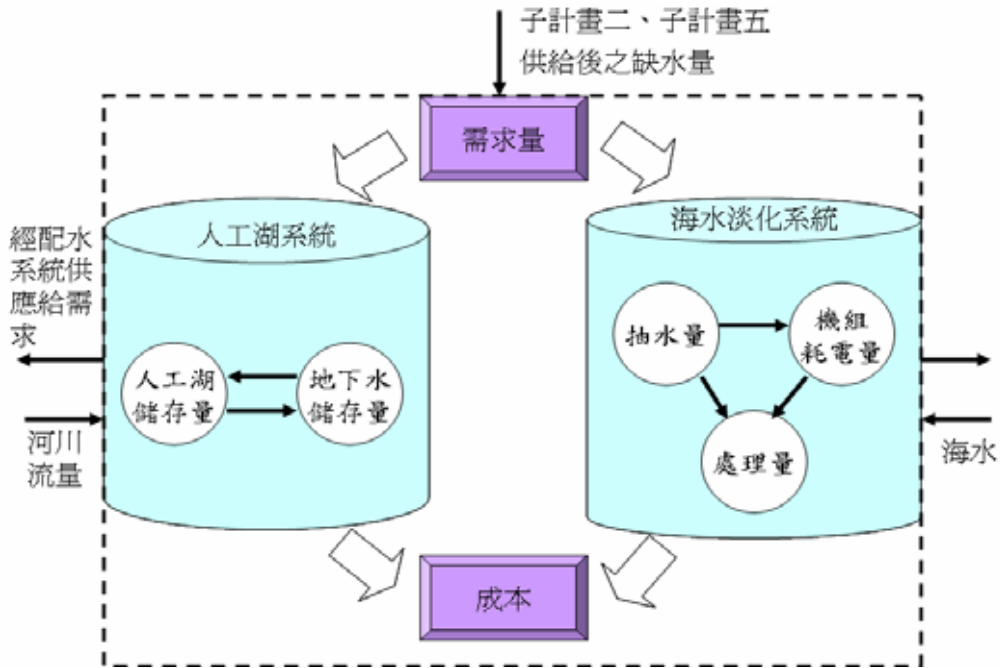


圖 8 水源開發多元化系統圖

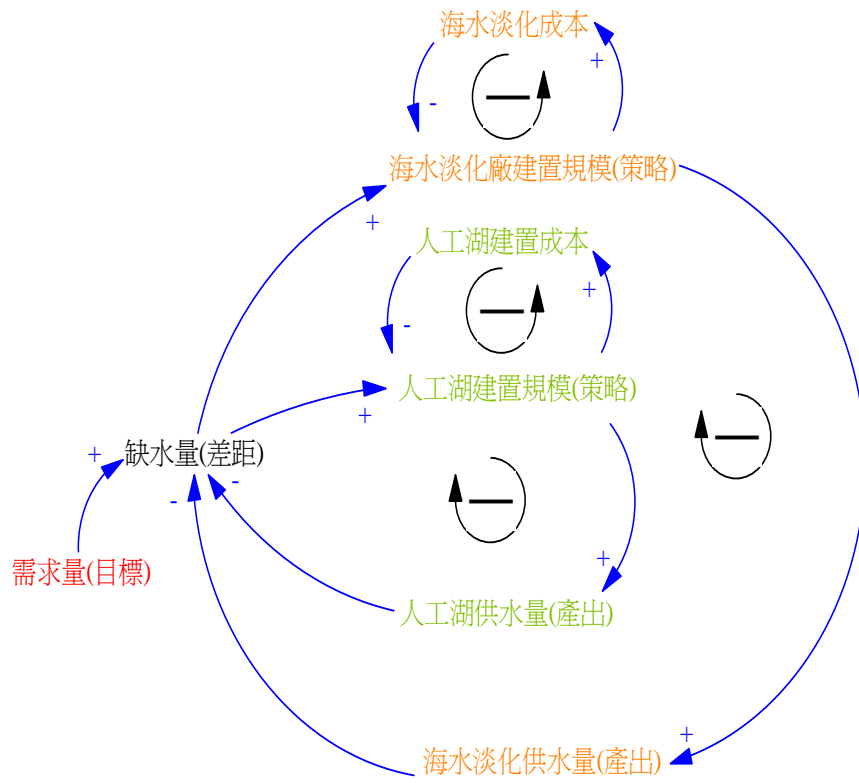


圖 9 水源多元化分析因果循環圖

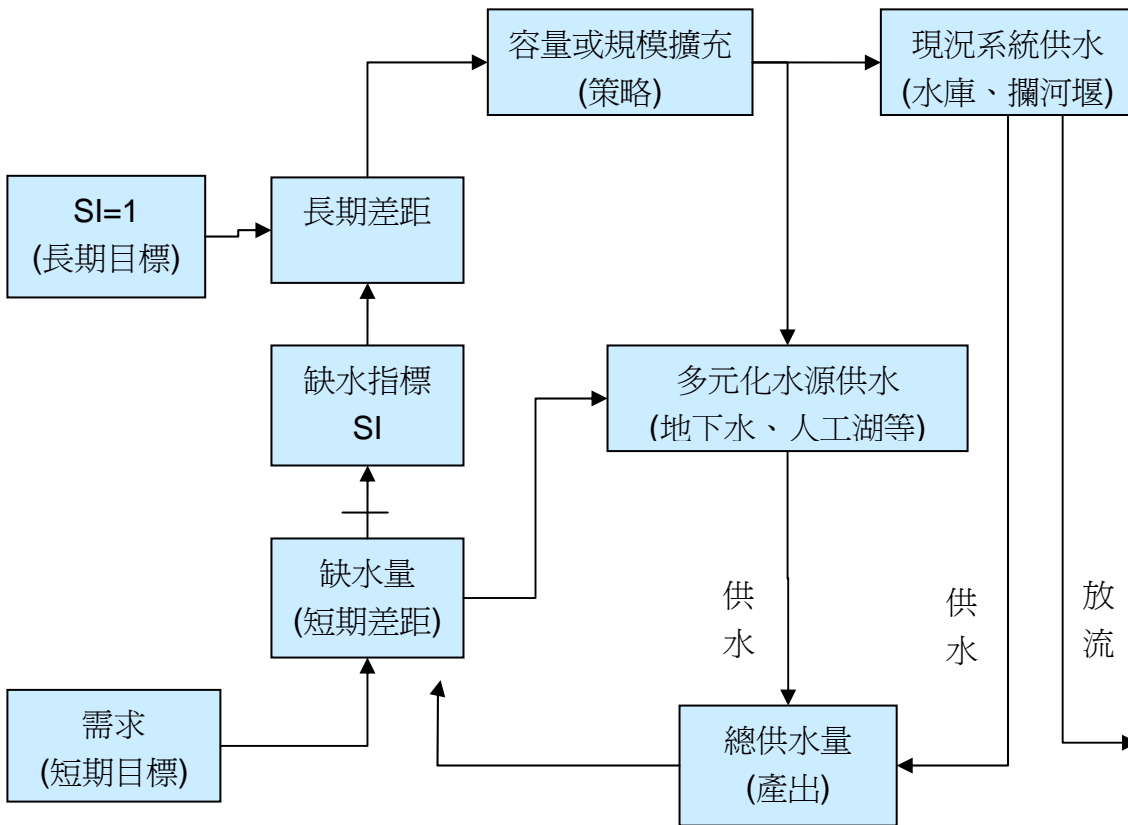


圖 10 水量運用分析示意圖

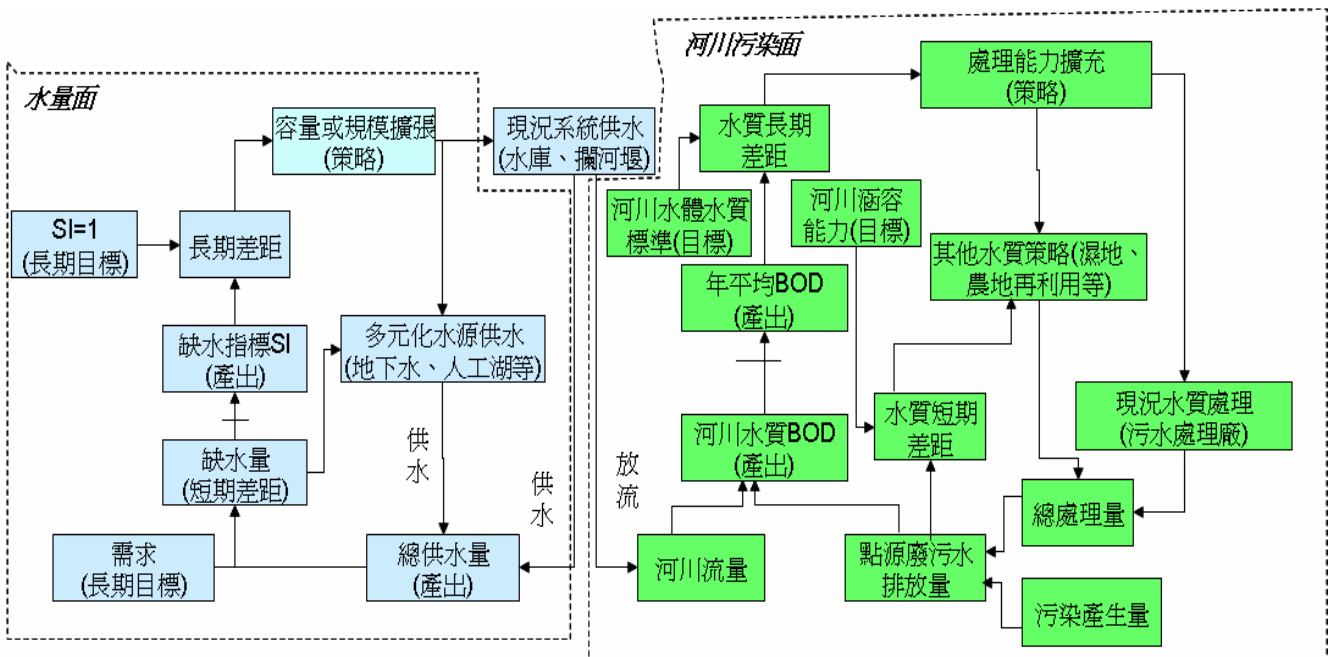


圖 11 水量技術面與河川污染防治結合分析示意圖



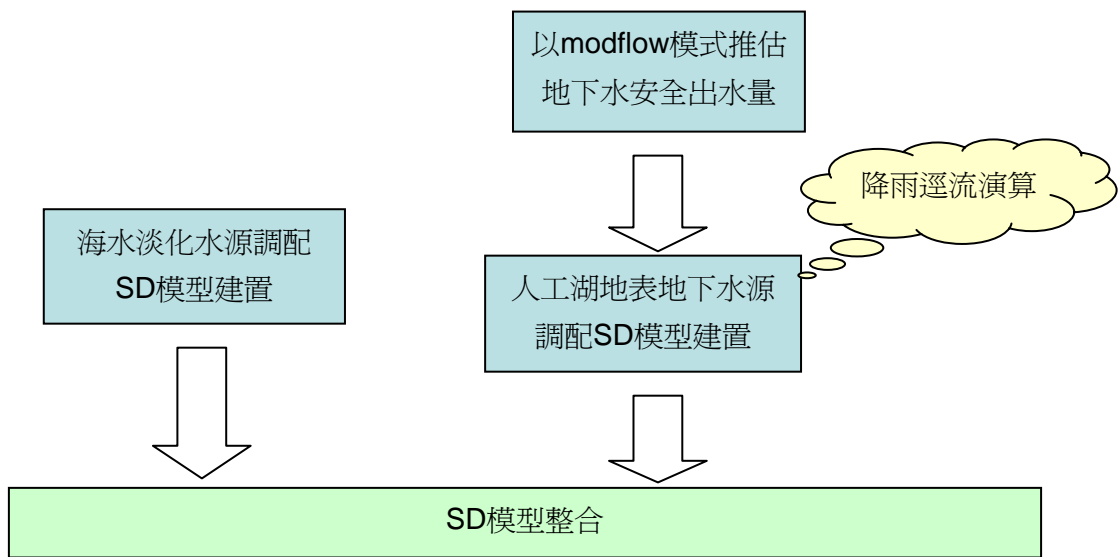


圖 12 系統動態模型建置流程圖

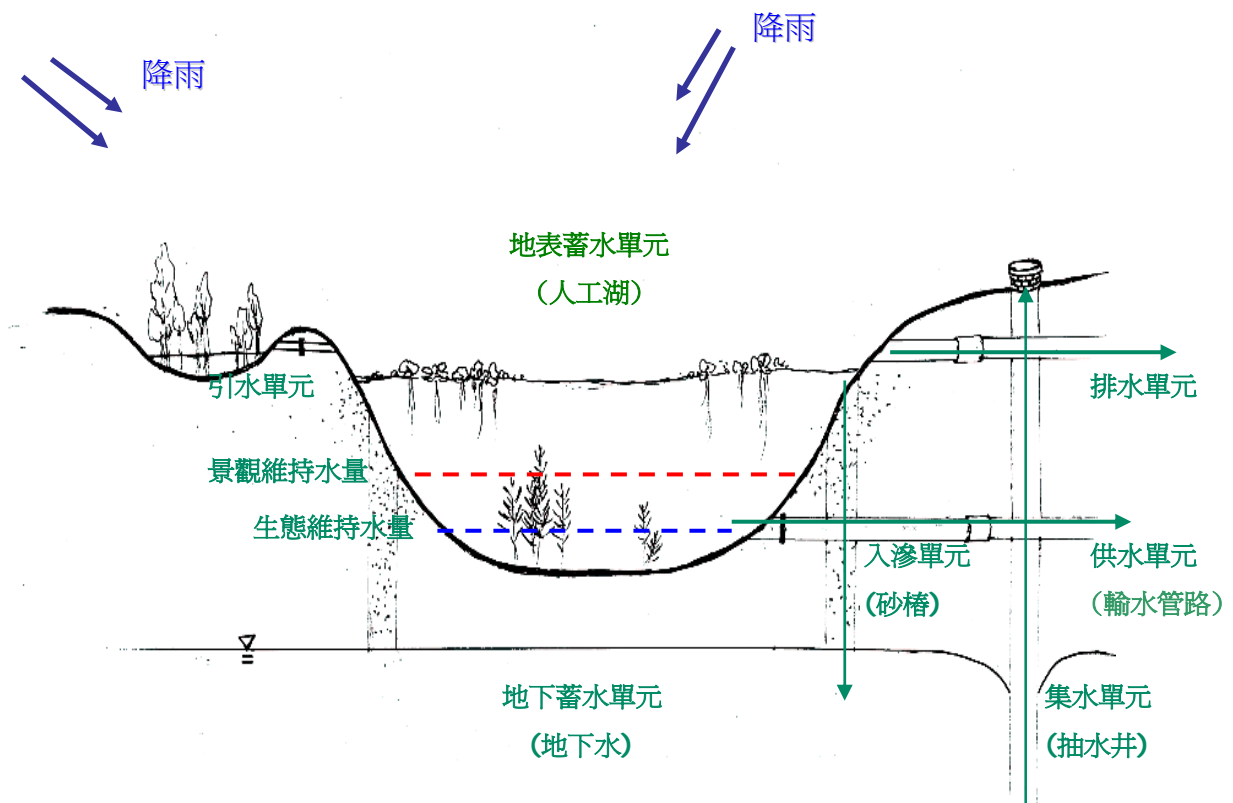


圖 13 人工湖水源運用系統描述圖

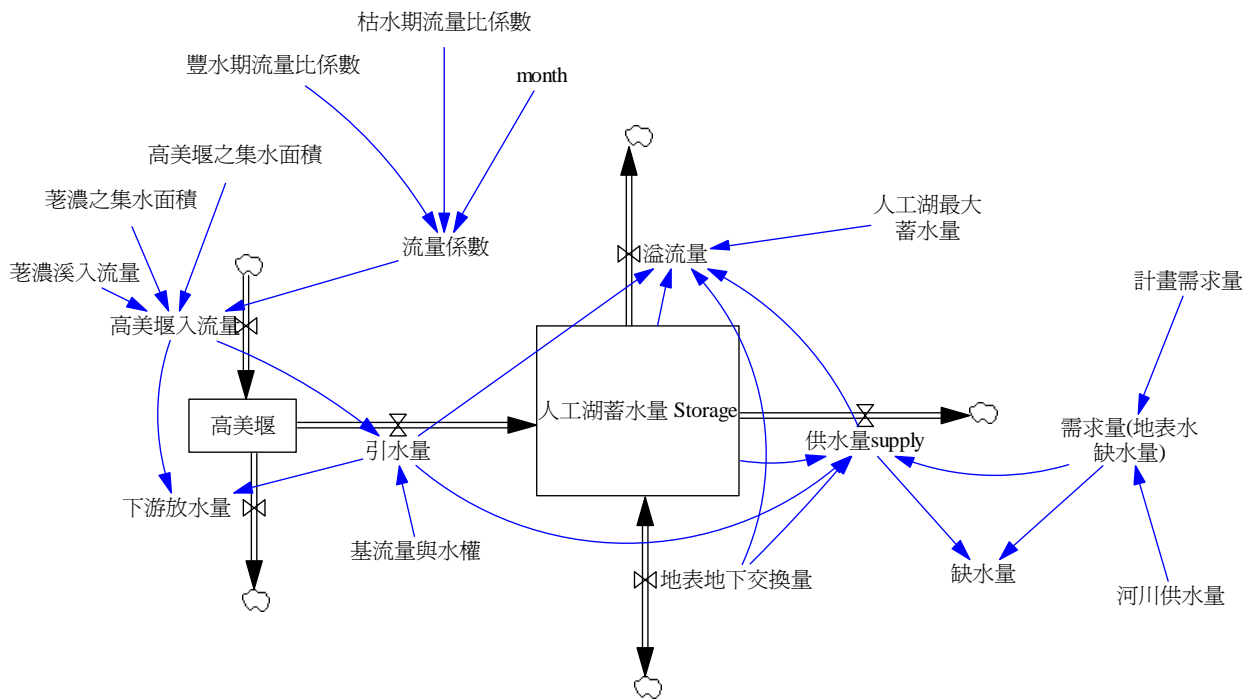


圖 14 人工湖水源運用簡例模型

表 1 系統動態學建模元件說明

符號	名稱	說明
	積量(Stock)	隨蓄積效應的變量
	流量(flow)	單位時間內流入或流出的量
	轉換器或輔助變量 (Converter/Auxiliary)	無時間累積的變量或轉換
	箭線 (Connector)	上述單元間的影響關係

