

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：區域水資源永續經營管理策略模擬與分析 總計畫及水源開發多元化分析子計畫(II)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2621-Z-009-001-

執行期間：94年08月01日至95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

共同主持人：單信瑜

計畫參與人員：何智超

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 11 月 1 日

第一章、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，本年度為第二年計畫，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

第二章、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。

第三章、研究方法

3.1 系統動力學介紹

系統動力學由美國麻省理工史隆管理學院的 J.W Forrester 教授於 1960 年代所發展的一門科學，結合了控制(Cybernetics)、系統論(System Theory)、資訊理論(Information Theory)、決策論(Decision Theory)、電腦模擬(Computer Simulation)等理論成為一體的管理新方法、新工具和新概念。系統動力學為描述、探索和分析複雜系統內流程、訊息、組織疆界與策略的一種嚴謹的研究方法，其可透過量化的系統模擬與分析來進行系統結構與行為之設計。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。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。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。現今流域永續經營管理的問題，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。

除了強調系統與時間之連動性外，系統動力學另一重要之基礎為因果之關

連性，該意義有三：(1) 藉由因果關係的確認來說明系統之問題；(2) 藉由因果關係的確認將複雜之問題作簡潔而系統化之表示；(3) 藉由變數間之因果關係來說明系統之範圍。其中，因果關係之表示旨在說明兩個變數間之關係為正向或負向，而無數量上之意義，意即數量之大小並不會影響到因果鏈之存在與否。進而若將一系列之因果鏈串接成因果回饋關係環路，則可將因果關係發展為正向之因果回饋關係環路或負向之因果回饋關係環路；正向之因果回饋關係環路，係表示任何變數的變動，最後將使該原生變動之變數朝同方向加強其變動幅度，造成自我之強化，而負向之因果回饋關係環路，則表示任何變數的變動，最後將使該原生變動之變數產生抑制變動之效果，造成自我之規律。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。圖 3.1-1 為水庫供水操作之因果回饋環路，其表示水庫蓄水量越多則可利用水量(入流量+水庫蓄水量)越多，當可利用水量越多時水庫供水量就可以越多，但供水量越多的結果亦會導致水庫蓄水量的減少，如此即構成了一個封閉的負回饋迴路，這表示水庫蓄水量(累積變數)會隨著時間的前進，而趨近於某一個平衡水位。

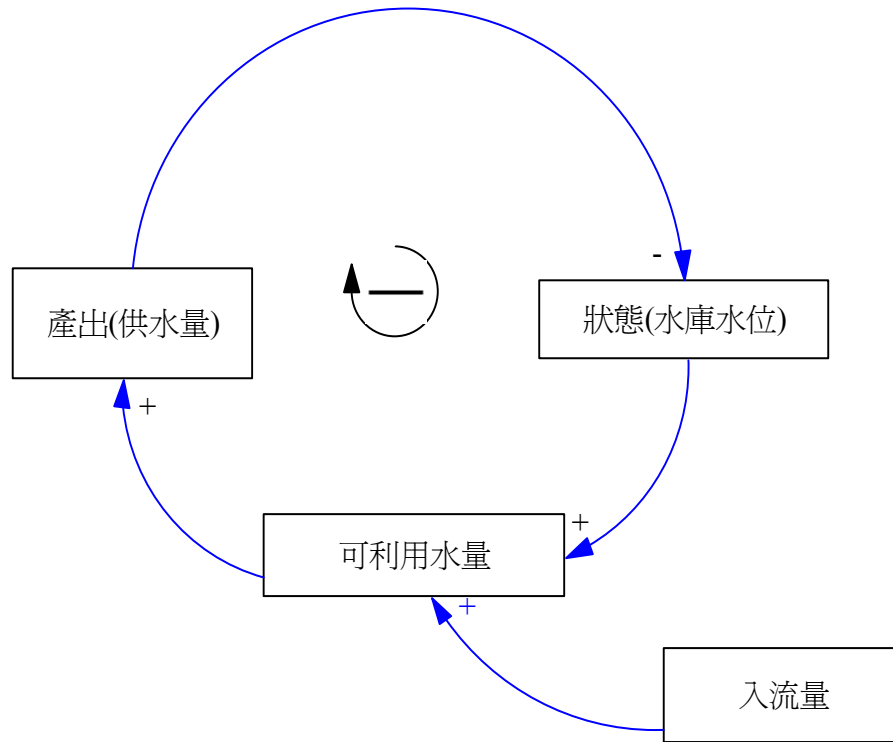


圖 3.1-1 水庫供水操作之因果回饋環路

參考上述因果回饋環路，利用系統動力學的四個基本物件：存量(Stock)、流量(Flow)、箭線(Connector)以及輔助變數(Auxiliary)來建構系統動力流圖，如圖 3.1-2 所示。

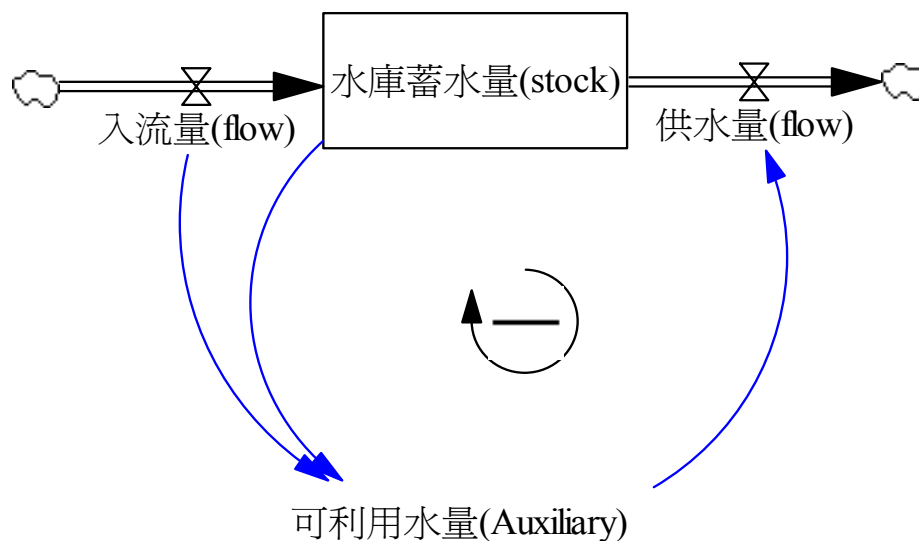


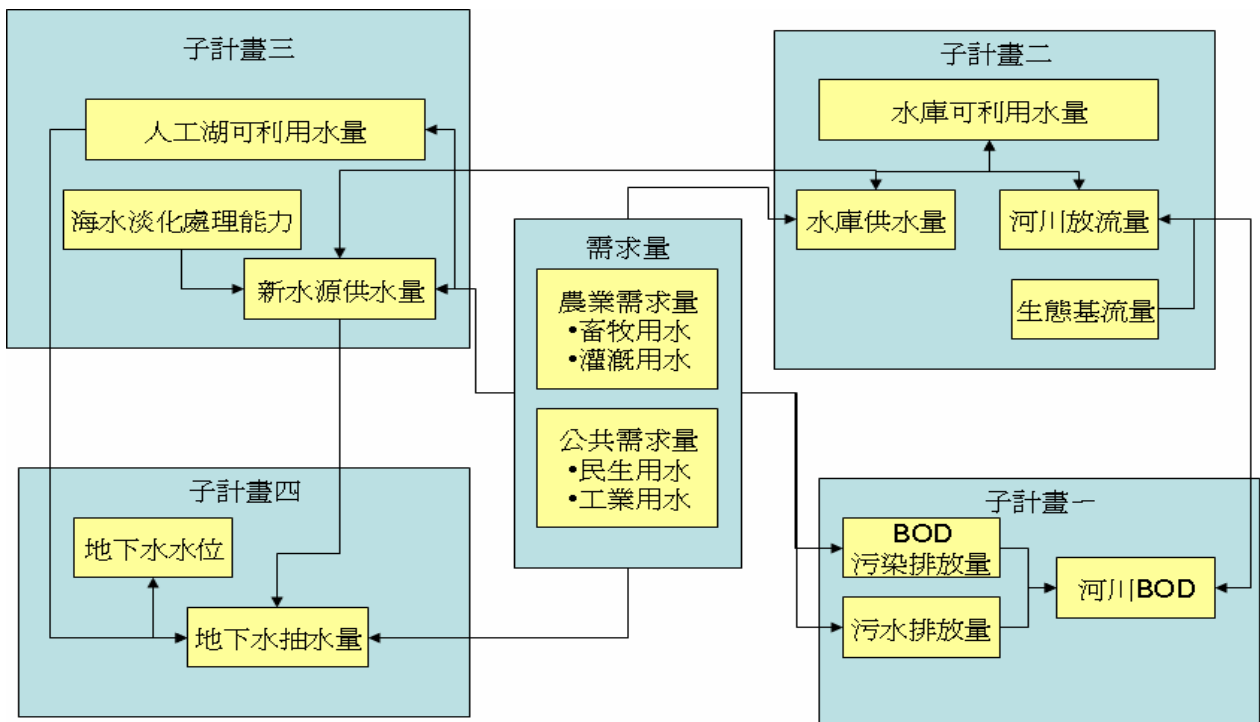
圖 3.1-2 水庫供水操作之系統動力流圖

存量 (Stock) 係表示某一系統變數在某一特定時刻的狀態，其數值大小是累加了流入率 (Inflow rate) 與流出率 (Outflow rate) 的淨差額所產生之結果，可說是系統過去活動結果之累積，如同水庫中蓄水量即屬於一存量之概念；流量 (Rate) 則表示某種儲存變數變化之快慢，代表著一種瞬間的行為，其數值多由存量變數與輔助變數之交互關係來決定，如同水庫的入流量與供水量即屬於流動之概念；輔助變數 (Auxiliary) 則用來針對前兩種變數進行各變數間交互關係之補充說明，類似一般計算方程式中之參數，如水庫中之可利用水量即屬此概念。於系統動力流圖各物件內輸入相關資料與數學式後，即為一系統動力模型，此模型將能進行不同策略組合的情境模擬。

3.2 系統動力模型建置

本計畫可以區分為水量面和水質面兩大部分。子計畫一針對高屏堰下游河川水質進行模擬分析；子計畫二探討高屏溪現況地表水水源之調配現況；子計畫三考量人工湖與海水淡化的供水效益；子計畫四分析南部地區之地下水可利用水量。由於本計畫假設水源之供水順序為地表水源優先供應給需求，不足量再由新水源供應，且人工湖隨著地下水位的不同，有不同的交換量，另外河川水質亦會隨水量變化而有所影響，因此各子計畫間的之串接關係可表示圖 3.2-1 所示。

圖 3.2-1 各子計畫之串接關係



參照上述關係來設計水量水質整體分析之系統動力模型，將會有 11 個系統動力模型被建置(即 11 個 view)，將於以下各小節說明各系統模型建置。

3.2.2 南部地區地表水調配系統動力模型建置(View1,View2,View4)

系統動力模式之建置必須參考水資源調配圖和水源調配運用原則來進行建置，關於南部地區之水資源調配圖和水源調配運用原則說明請詳見子計畫二。透過水資源調配圖和水源調配運用原則的瞭解，利用系統動力學的四個基本物件：存量(Stock)、流量(Flow)、箭線(Connector)以及輔助變數(Auxiliary)來建構系統模型。其中水源調配是根據攔河堰和水庫操作原則進行建置，每個節點並須滿足水平衡方程式，其可表示為：

$$\sum_{k \in L} I_{k,t} + \sum_{k \in L} O_{k,t} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (3.2.2-1 \text{式})$$

其中 L 為進出該節點所有線段， $I_{k,t}$ 是節點流入量， $O_{k,t}$ 是節點流出量，而 $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ 是節點之蓄水變化量，若該節點為非續水節點，則 $\frac{\Delta S}{\Delta t} = 0$ 。

其中各節點之出流量 $O_{k,t}$ 可再細分為三類，一是供給給需求之供水量 $O_{D,t}$ ，一為水庫之溢流量 $O_{O,t}$ ，另一則為下游放水量 $O_{B,t}$ 。其中供水量 $O_{D,t}$ 決定由可利用水量(即入流量加上水庫蓄水量)扣除該節點之下游保留水量(即下游水權量+生態基流量)後和需求兩者取小者；若節點為蓄水節點，則下游放水量 $O_{B,t}$ 決定則是由可利用水量扣除該節點所有之需求供水量 $O_{D,t}$ 後和下游保留水量兩者取小者；水庫溢流量 $O_{O,t}$ 決定視可利用水量扣除該節點所有之需求供水量 $O_{D,t}$ 和下游放水量 $O_{B,t}$ 後，若大於最大庫容則取其差值，若小於最大庫容則溢流量為零。

若該節點為非續水節點，則下游放水量 $O_{B,t}$ 等於可利用水量扣除該節點所有之需求供水量 $O_{D,t}$ ；溢流量 $O_{O,t} = 0$ 。各類出流量之方程式可表示如 3.2.2-2~3.2.2-7 式所示

蓄水節點：

$$O_{D,t} = \min\left(\sum_{K \subset L} (I_{k,t}) + S_t - O_{f,t}, D_t\right) \quad (3.2.2-2 \text{式})$$

$$O_{B,t} = \min\left(\sum_{K \subset L} I_{k,t} + S_t - \sum O_{D,t}, O_{f,t}\right) \quad (3.2.2-3 \text{式})$$

$$O_{o,t} = \text{If}\left(\sum_{K \subset L} I_{k,t} + S_t - \sum O_{D,t} - \sum O_{B,t} > S_{\max}, \sum_{K \subset L} I_{k,t} + S_t - \sum O_{D,t} - \sum O_{B,t} - S_{\max}, 0\right) \quad (3.2.2-4 \text{式})$$

非蓄水節點：

$$O_{D,t} = \min\left(\sum_{K \subset L} (I_{k,t}) - O_{f,t}, D_t\right) \quad (3.2.2-5 \text{式})$$

$$O_{B,t} = \sum_{K \subset L} I_{k,t} - \sum O_{D,t} \quad (3.2.2-6 \text{式})$$

$$O_{o,t} = 0 \quad (3.2.2-7 \text{式})$$

式中 $O_{f,t}$ 為該節點之下游保留水量， S_{\max} 為節點之最大蓄存量。根據 3.2.2-2~3.2.2-7 式，本計畫利用系統動力學的四個元件建置之系統動力模型如圖 3.2.2-1~圖 3.2.2-3 所示。其中圖 3.2.2-1 為南部地區水資源調配系統圖，圖 3.2.2-2 為規線操作以及多水庫之放水原則，本計畫中，多水庫之放水原則乃視各水庫當時刻之蓄水量比例來作為各水庫之放水量比例。圖 3.2.2-3 為決定水庫溢流量規則與淨水廠引水規則，淨水廠之引水以不超過淨水廠處理能力為限。

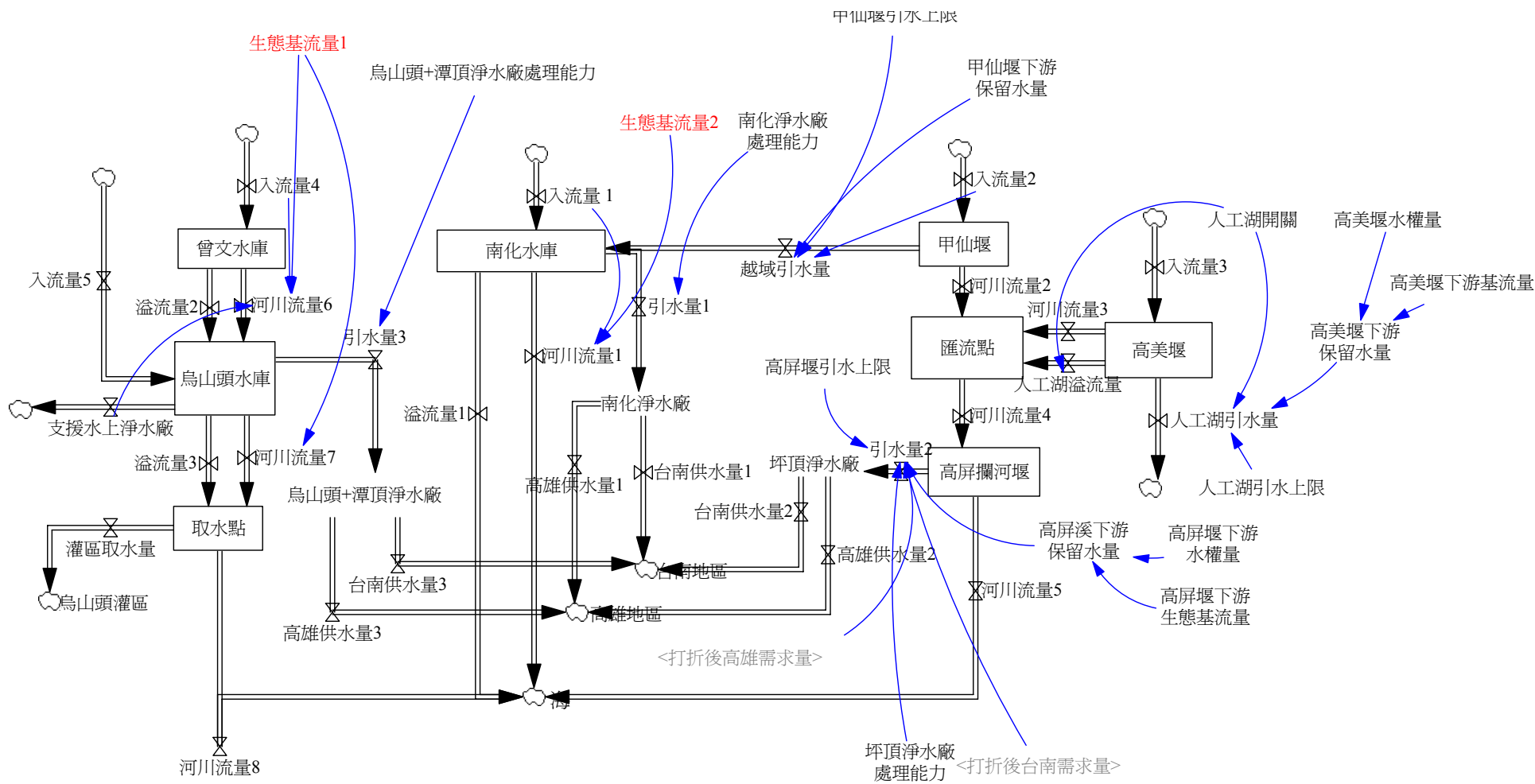


圖 3.2.2-1 南部地區地表水水源調配系統動力模型(View1)

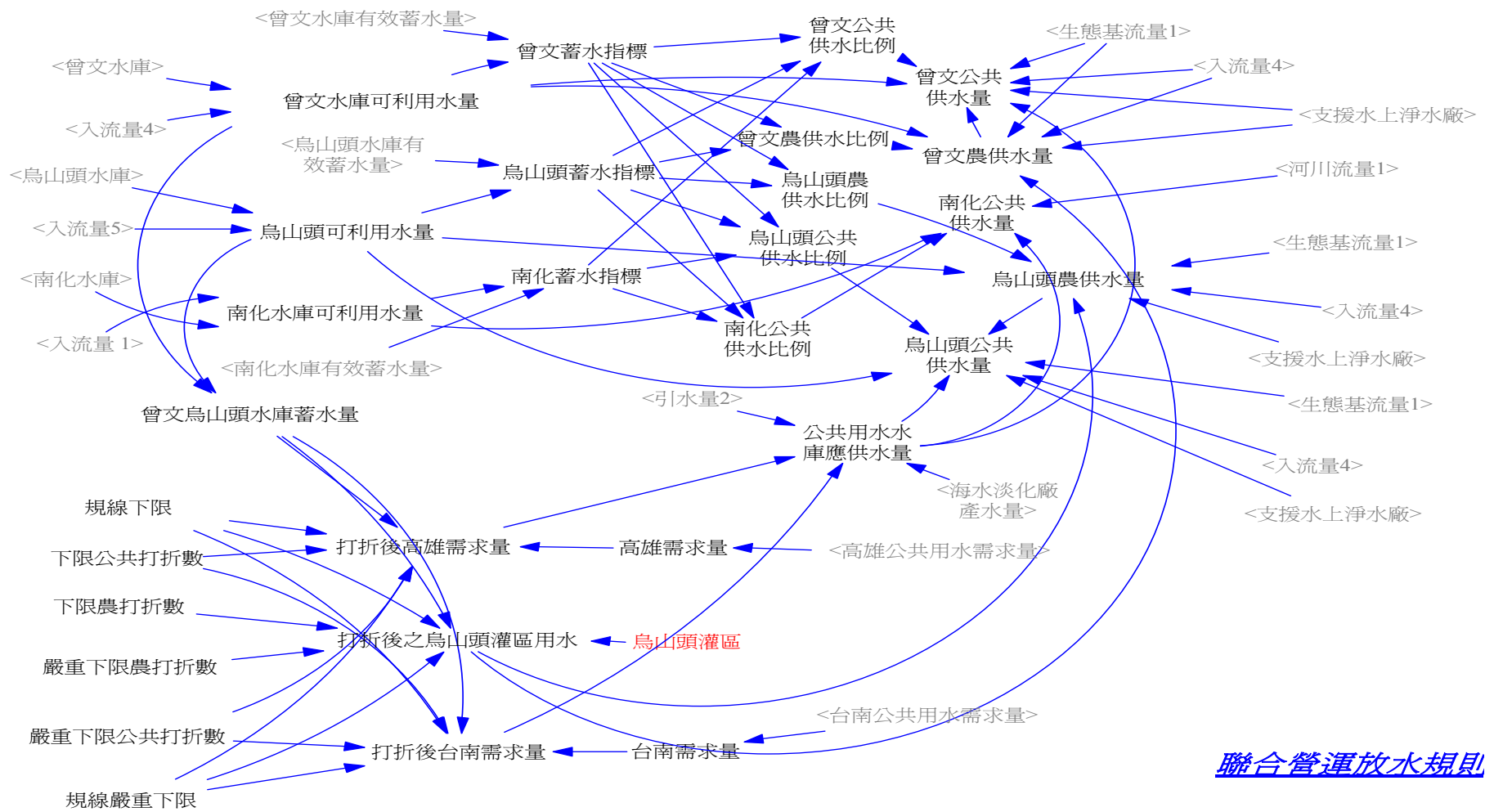
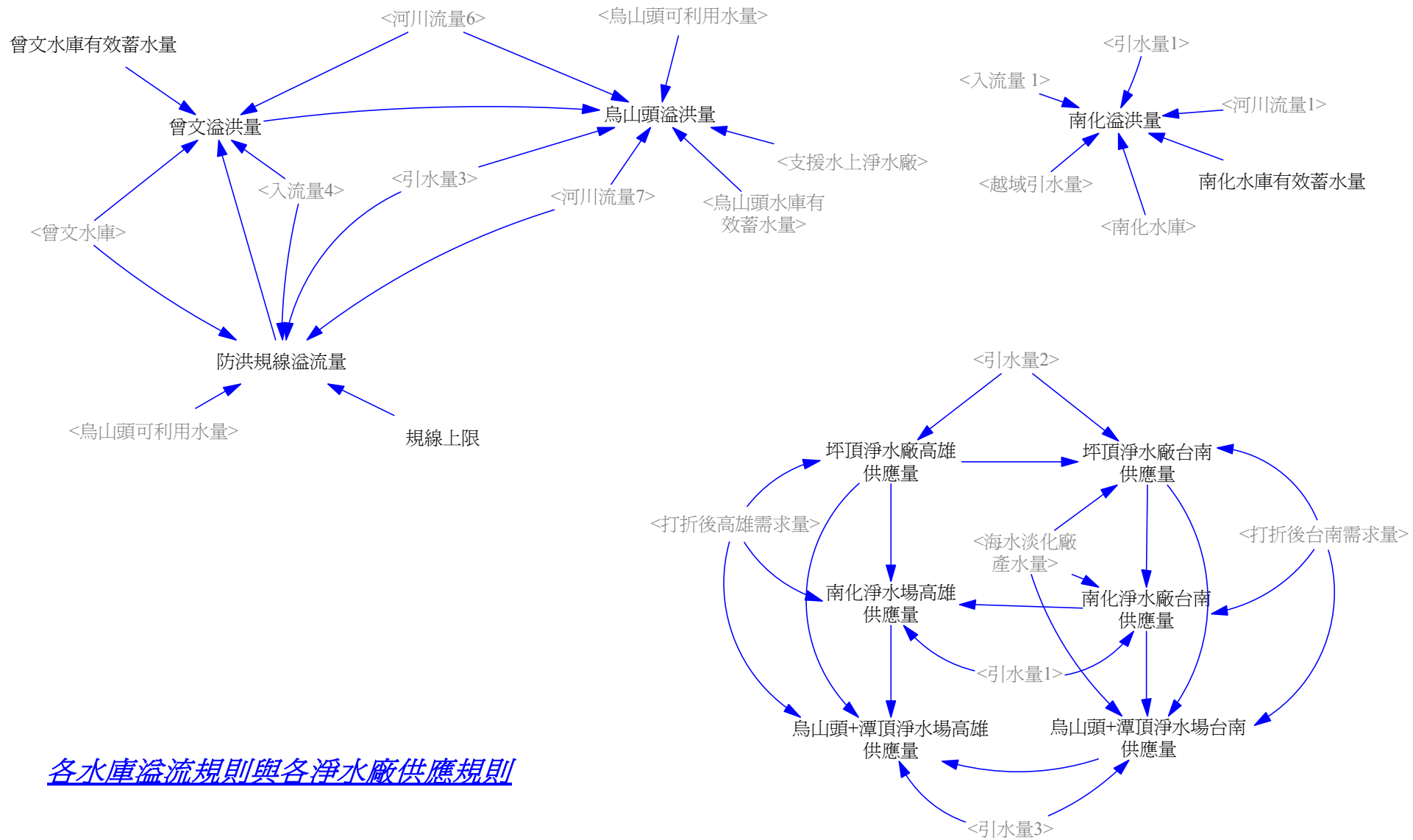


圖 3.2.2-2 規線操作與多水庫調配原則調配系統動力模型(View2)



各水庫溢流規則與各淨水廠供應規則

圖 3.2.2-3 水庫溢流量規則與淨水廠供應規則(View4)

3.2.3 新水源開發多元化動力模型建置(View3,View5,View6)

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。以下將分別介紹其動力模型之建置方法步驟。

(一)人工湖

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。本計畫考量之人工湖策略乃參考經濟部水利規劃試驗所「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。吉洋人工湖由五個湖區所構成，面積廣達 700 公頃，預計挖深 12 公尺，計畫在豐水期時透過高美攔河堰取荖濃溪水，以 13.8 公里的引水路將水人工湖區。預計完工後可蓄水 9500 萬噸，每天提供 34 萬立方公尺的水（年供水約 1 億餘噸）；採砂 6,500 萬立方公尺，是一個可供水、採砂、觀光的三贏計畫。

湖區位於荖濃溪以北，高雄縣的旗山、美濃和屏東縣里港鄉交界處，最近的社區分別為廣福、吉洋、土庫、彌力肚、西園等。所用的土地都是台糖的農地，分別是手巾寮農場、吉洋農場與彌力肚農場，如圖 3.2.3-1 所示，各湖區表面積、高度、容積，如表 3.2.3-1 所示。

圖 3.2.3-1 吉洋人工湖地理位置圖

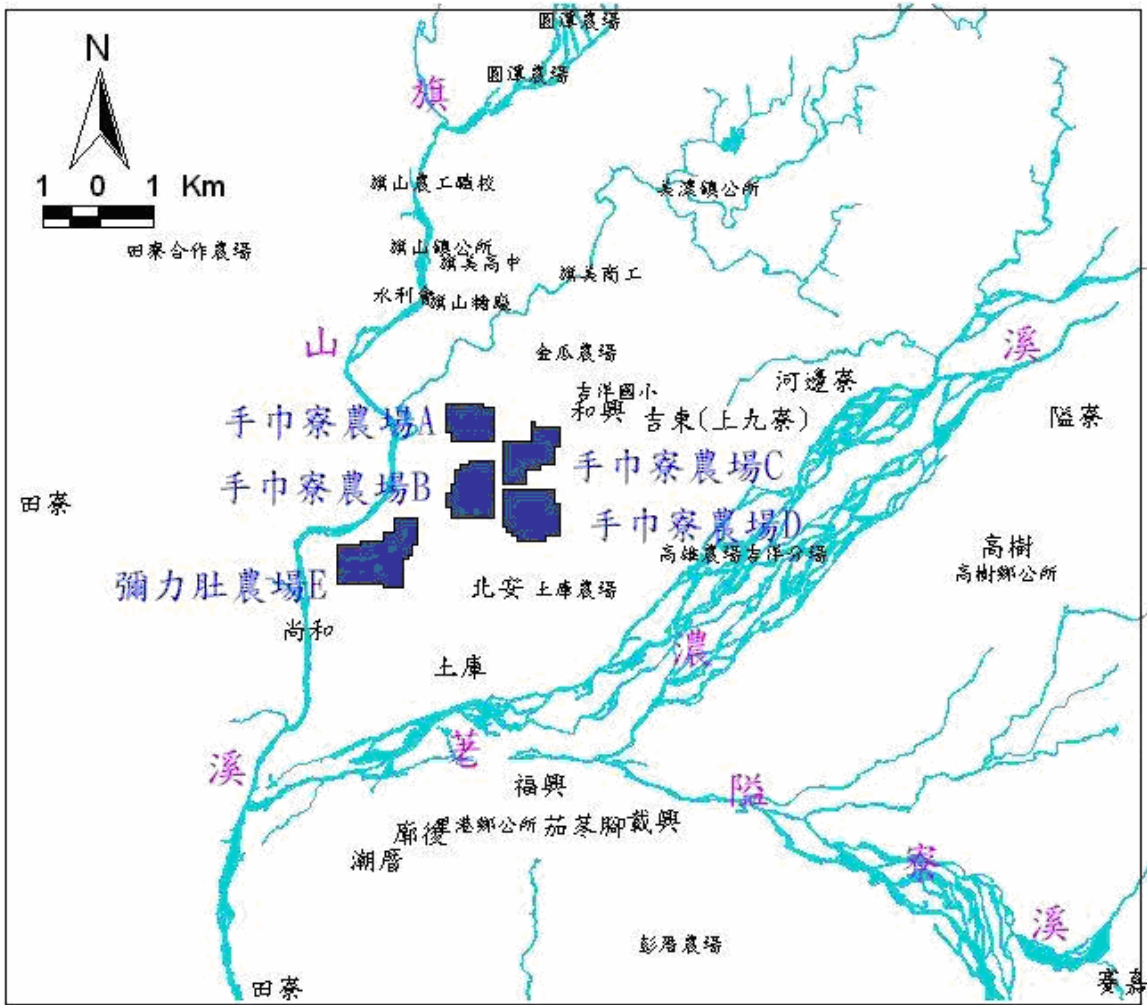


表 3.2.3-1 吉洋人工湖各湖區面積、高度、容積

湖區	標面積(立方公尺)	高度(公尺)	容積(萬立方公尺)
A	967808	12	1161.3696
B	1018430	12	1222.116
C	1065731	12	1278.8772
D	1328627	12	1594.3524
E	1664633	12	1997.5596

吉洋大湖水源，利用豐水期，將自荖濃溪以攔水堰引入現有獅子頭圳，再注入人工湖儲存，除了補注地下水源外，亦可提供大高雄區水，圖 3.2.3-2 為人工湖水源運用系統描述圖，可區分為兩大部分，出入流量分配以及地表地下水交換量推估，各部分敘述如下：

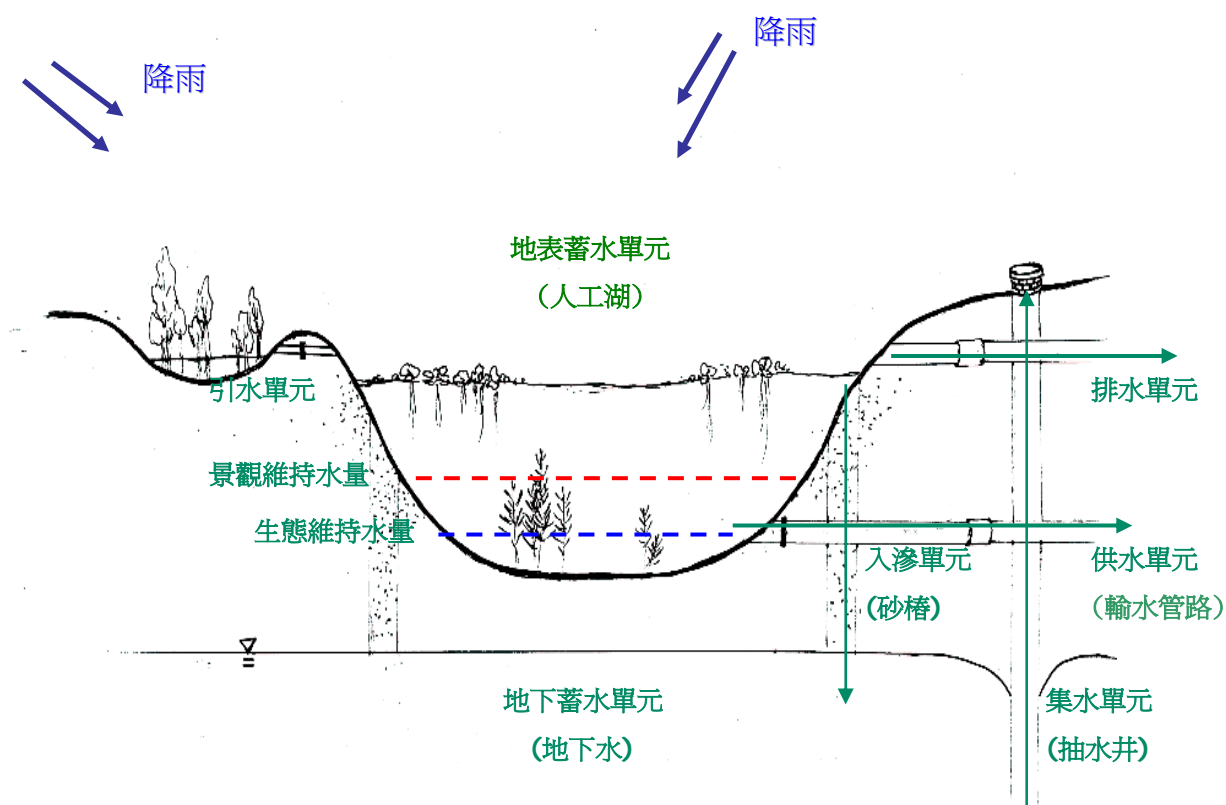


圖 3.2.3-2 人工湖水源運用系統描述圖

(1) 出入流量分配

由於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。

另外吉洋人工湖共有五個湖區，各湖區之引水規則和供水規則未定，因此本計劃擬定兩種規則。第一類供引水規則為各湖區之供引水量比例依照各湖區之庫容量之比例操作；第二類供引水規則為各湖區之供引水量比例依照各湖區之該時刻之可利用水量之比例操作；依據上述規則，人工湖之供引水規則系統模型可表示如圖 3.2.3-3 所示。

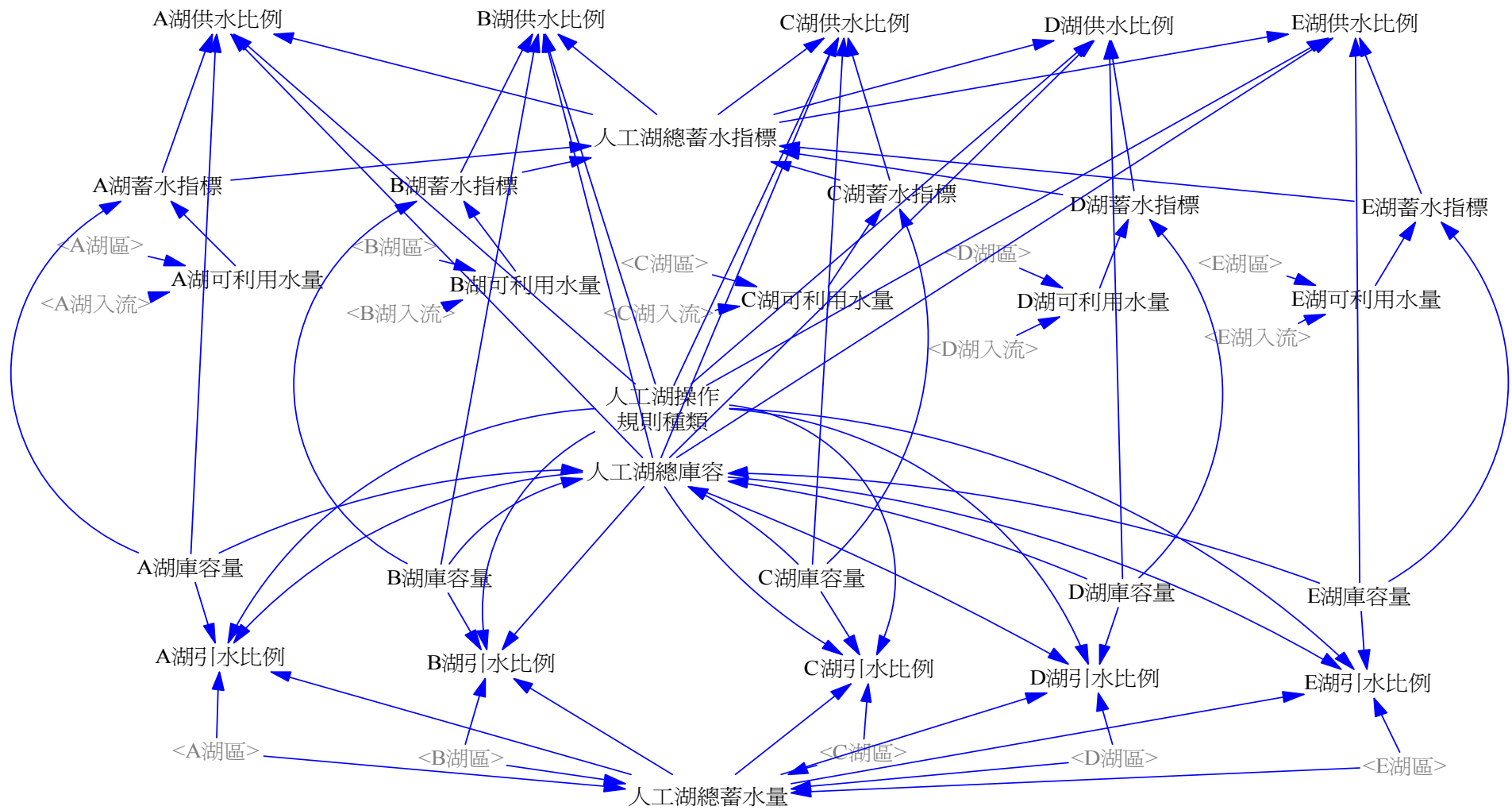


圖 3.2.3-3 人工湖供引水規則系統模型(View6)

(2)地表地下水交換量推估

由子計畫四以希爾法(Hill method)推估安全出水量之分析結果(表 3.2.3-2)發現，目前南部地區之現況抽水量已超過地下水安全出水量，因此要開發南部地區整區之地下水資源實屬不可行，然南部地區地下水各區含量不一，其中吉洋人工湖湖址之地下水量豐沛，因此本計劃將以考量開發局部地區地下水配合現況地表水系統來進行供水調配。

人工湖之地表地下水交換量關係將由類神經方式來進行萃取，其訓練資料取自美國地質調查局(USGS)開發之地下水數值模式 MODFLOW 96 與湖泊模組 LAK 2 之分析結果，以前述產生之模擬數據來訓練類神經網路，當其可準確預測地下水位、湖水位、交換量與溢流量之驗證測試後，可作為「高屏大湖聯合營運模式」中之系統反應方程式。

此部分將於第三年度計畫中進行，今年度(第二年度)計算暫不考量地表地下水交換量，但模式中仍預留交換量之物件，只是其值設定為零。因此人工湖在某時刻之蓄水量可以表示如下：

$$\text{人工湖蓄水量} = \text{入流量} + \text{地下水交換量} - \text{供水量} - \text{溢流量}$$

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。人工湖之系統模型可表示如圖 3.2.3-4 所示。

表 3.2.3-2 地下水安全出水量與現況抽水量

月份	安全出水量 (百萬噸)	現況抽水量 (百萬噸)
1 月	109.2	111.3
2 月	177.9	209.2
3 月	322.4	357.8
4 月	258.3	273.2
5 月	222.7	218.1
6 月	151.8	144.2
7 月	251.2	238.8
8 月	280.7	218
9 月	161.5	157.9
10 月	5.6	30.6
11 月	149	161.4
12 月	182.8	189.3
總合	2273.1	2309.7

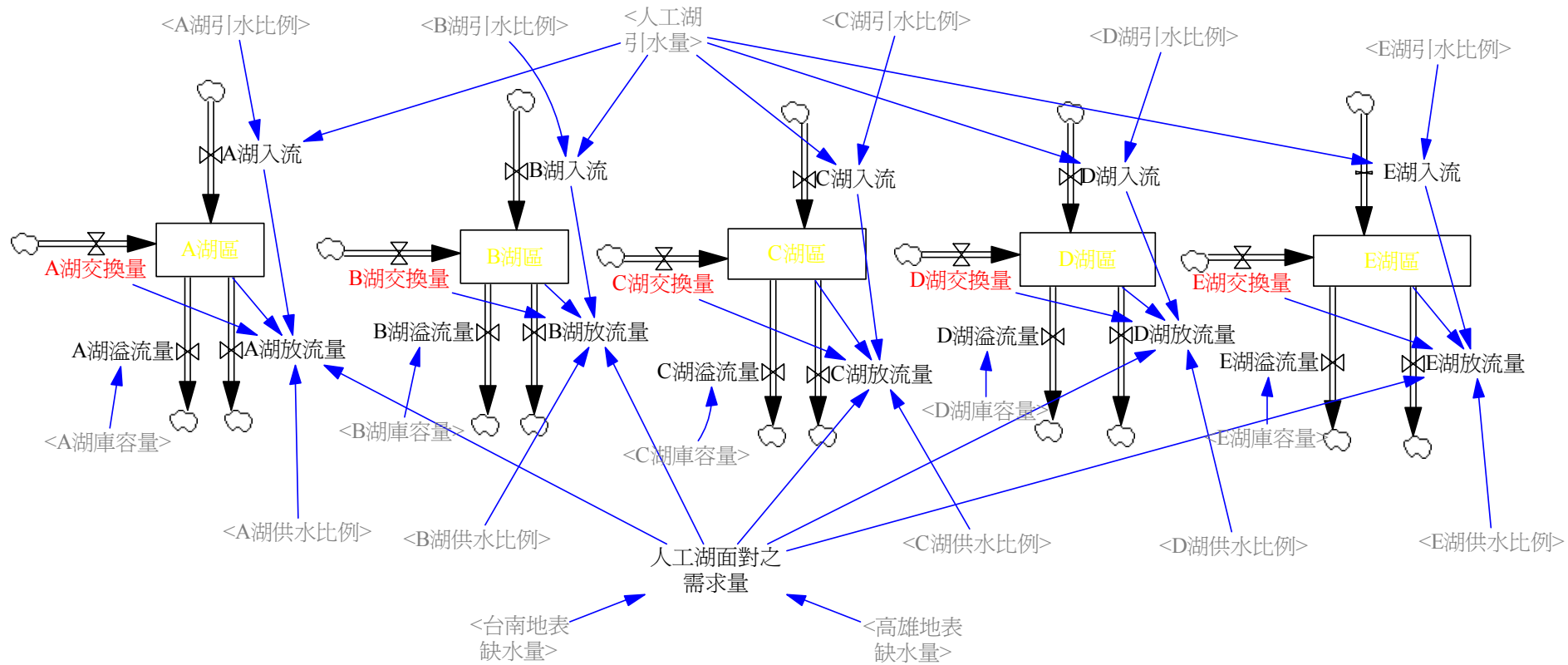


圖 3.2.3-4 人工湖系統模型(View5)

(二)海水淡化

由於海淡廠涉及建造與操作成本，但本年度之計畫暫不考量經濟財務面，因此暫從水量面來進行海水淡化之評估。本計畫設定之海淡廠每日產水量乃參考台灣本島及外島之海淡廠容量(表 3.2.3-3~表 3.2.3-6)，初步以每日產水量為 1 萬噸為上限，進行方案模擬分析，模擬結果請參照第四章。

表 3.2.3-3 馬祖外島之海淡廠規模與經費

工程名稱	噸／每日	工程費 (億元)	備註
南竿海水淡化廠 (一期/二期)	500/500	0.89	一期目前停止運轉/ 二期委託運轉中
西莒海水淡化廠	500	0.96	試車中
北竿海水淡化廠	500	1.02	委託運轉中
東引海水淡化廠	500	1.20	委託運轉中

表 3.2.3-4 金門外島之海淡廠規模與經費

工程名稱	噸／每日	工程費 (億元)	備註
金門海水淡化廠	2000	2.0	委託運轉中

表 3.2.3-4 澎湖外島之海淡廠規模與經費

工程名稱	噸／每日	工程費 (億元)	備註
烏坎海水淡化廠一廠	7000	4.40	委託運轉中
烏坎海水淡化廠二廠(套裝)	3000	0.82 (1)	委託運轉中
望安海水淡化廠	400	0.57	委託運轉中
虎井海水淡化廠	200	0.24	委託運轉中
桶盤海水淡化廠	100	0.12	委託運轉中
西嶼半鹹水淡化設備	1200	0.30 (2)	委託運轉中
白沙半鹹水淡化設備	1200	0.30 (2)	委託運轉中
七美半鹹水淡化設備	1000	0.64 (2)	委託運轉中
將軍半鹹水淡化設備	180	0.06 (2)	試車中
成功半鹹水淡化設備	4000	0.31 (3)	委託運轉中

表 3.2.3-4 台灣本島之海淡廠規模與經費

工程名稱	噸／每日	工程費 (億元)	備註
核三海淡廠	2271	2.06	運轉中

3.2.4 河川水質模型建置(View8,View9)

本計畫以 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家庭污水接管至污水處理廠來改善廢污水量。以下將分別介紹污染量的推估方法以及處理。

(一)民生污水量推估

民生污水量之推估是參考每人每日之用水量，基於每人每日污水產生量與用水量成正比關係，可推估出每人每日之污水產生量。故本研究之計算方式是以每人每日之用水量為基準乘一適當係數而得，一般污水產生率約在0.68-0.9之間，如表3.2.4-1所示(環保署，88 及89 年；中技社，87 年)，而本計畫將採用平均值0.8 作為推估係數。而高雄每人每日用水量根據經濟部水利署「多元化水源開發綱領計畫」如表3.2.4-2所示，而本計畫將採用每人每日279公升。人口數的推估，以89年高屏溪沿岸之人口數以為基礎(詳見表3.2.4-3)，配合人口成長率，計算出民國90年~民國110年之人口數。

表3.2.4-1 臺灣各地區污水量與用水量之比值表

地區	污水產生率	參考書籍或報告
臺南市	0.8	臺南市污水下水道系統規劃報告
臺南市民國 66 年實測	0.68	臺南市污水下水道系統規劃報告
臺中港	0.8	臺南市污水下水道系統規劃報告
中興新村內轆	0.8	內轆污水處理廠擴建工程設計報告
豐原鎮	0.8	豐原鎮雨水污水道系統規劃
高雄市	0.8	高雄區域污水下水道系統初步規劃報告
高雄市	0.8	高雄市污水下水道系統規劃
林口析市鎮	0.8	林口新市鎮自來水及下水道系統規劃報
馬公鎮	0.8	馬公鎮雨水及污水道系統規劃報告
大臺北區	0.9	CDM 臺北區衛生下水道規劃綱要
民生東路	0.7	都市污水處理後再利用可行性研究(I)
中興新村中正路	0.7-0.74	都市污水處理後再利用可行性研究(II)
中興新村內轆	0.7	都市污水處理後再利用可行性研究(III)
臺灣地區	0.7-0.8	工業廢水處理之研究(IV)

資料來源：經濟部水利署(多元化水源開發綱領計畫)

表3.2.4-2 南部地區各用水分區之目標年每人每日用水量

用水分區	90 年	92 年	趨勢成長				節約成長			
			95 年	100 年	105 年	110 年	95 年	100 年	105 年	110 年
嘉義地區	245	244	255	260	265	270	251	245	240	25
台南地區	263	261	275	285	290	295	270	268	262	255
高雄地區	279	281	290	300	300	300	285	284	273	262
屏東地區	239	237	245	257	262	270	242	247	246	249
南部地區	266	266	275	284	287	290	270	269	261	255

資料來源：經濟部水利署(多元化水源開發綱領計畫)

表3.2.4-3 89年高雄縣及屏東縣人口統計表

鄉鎮(高雄縣)	人口 (89 年)	鄉鎮(屏東縣)	人口 (89 年)
新園鄉	40,000	屏東市	210,000
大寮鄉	115,675	萬丹鄉	50,000
大樹鄉	46,959	長治鄉	30,000
旗山鎮	44,054	九如鄉	20,000
美濃鎮	46,939	里港鄉	27,000
六龜鄉	17,430	鹽埔鄉	28,000
甲仙鄉	8,877	高樹鄉	35,000
杉林鄉	13,071	內埔鄉	62,000
內門鄉	18,134	新園鄉	40,000
茂林鄉	1,730	瑪家鄉	6,200
		三地鄉	7,200
		霧臺鄉	3,000
合計	352,869		518,400

(二)畜牧污水量推估

畜牧污水的推估主要以豬為主。推估公式為

畜牧污水量=豬隻頭數*單位豬隻廢水產生量

根據歷年來養豬戶申報的水量資料所作的統計分析結果及相關研究報告指出，每頭豬所排放的廢水量約為30 L/day，高雄地區豬隻數為378243隻。

(三)民生污水處理

本計劃假設所有家庭民生污水皆會透過化糞池處理後，在引入汙水處理廠處理或是直接排入河川。根據逢甲大學「化糞池機能評估與改善對策之研究」，發現以活性污泥式化糞池處理之BOD去除率為70%。另外根據朝陽科技大學「以

明渠淨化生態工法處理二級污水處理廠放流水效率評估之研究」指出生化需氧去除效率為69.8~89.0%，故假設本計劃區域內污水處理廠生化需氧量去除效率為70%，污水處理廠處理後排放水直接排入高屏溪，根據中山大學環工所「高屏溪涵容能力之評估」，如表3.2.4-4高屏攔河堰至雙園大橋現有污染量62900 kg/daym。

表 3.2.4-4 高屏溪流域各種污染源比重表

水體名稱	河段	水體分類	高屏溪允許污染量 (kg/day)	高屏溪現有污染量 (kg/day)
荖濃溪	新發大橋至荖濃溪與濁口溪匯流口	甲	2,000	2,200
荖濃溪	荖濃溪與濁口匯流口溪至荖濃溪與隘寮溪匯流口	乙	3,200	300
隘寮溪	三地門至隘寮溪與荖濃溪匯流口	乙	1,200	700
旗山溪	民權大橋至甲仙橋	甲	500	800
旗山溪	甲仙橋至旗山溪與美濃溪匯流口	乙	1,700	3,200
旗山溪	旗山溪與美濃匯流口至旗山溪與荖濃溪匯流口	乙	2,700	4,500
高屏溪	旗山溪與荖濃溪匯流口至高屏攔河堰	乙	2,400	100
高屏溪	高屏攔河堰至雙園大橋	乙	14,000	62,900
總計			27,700	74,700

資料來源：高屏溪涵容能力之評估

(四)畜牧污水處理

目前國內豬糞尿廢水的處理一般都建議採用三段式豬糞尿處理流程，可使放流水達到水質標準，。因此本計劃區域內之畜牧業排放污水皆假設生化需氧量為80mg/L。

(五)工業污水處理

政府方面訂定了相關法要求所有產生廢水的事業單位皆應設置廢水處理設施，使其排放水必須符合水質標準，根據環保署水污染防治法規，印染整理業、製革業、造紙業、毛滌業、化工業、食品製造業、藥品製造業等工業之BOD放流水標準皆為30mg/L、因此假設本計劃區域內所有工業放流水BOD濃度為30mg/L。

(六)河川水質計算

本計劃假設河川水質為瞬間平衡，因此河川水質濃度(BOD)可以表示為

河川BOD濃度=(農業污染排放量+工業污染排放量+民生污染排放量+高屏溪原始污染量)/(農業污水排放量+工業污水排放量+民生污水排放量+高屏溪河川流量)

依據上述規則，人工湖之供引水規則系統模型可表示如圖 3.2.4-1 和圖 3.2.4-2 所示。

高屏溪(高屏堰下游)河川水質

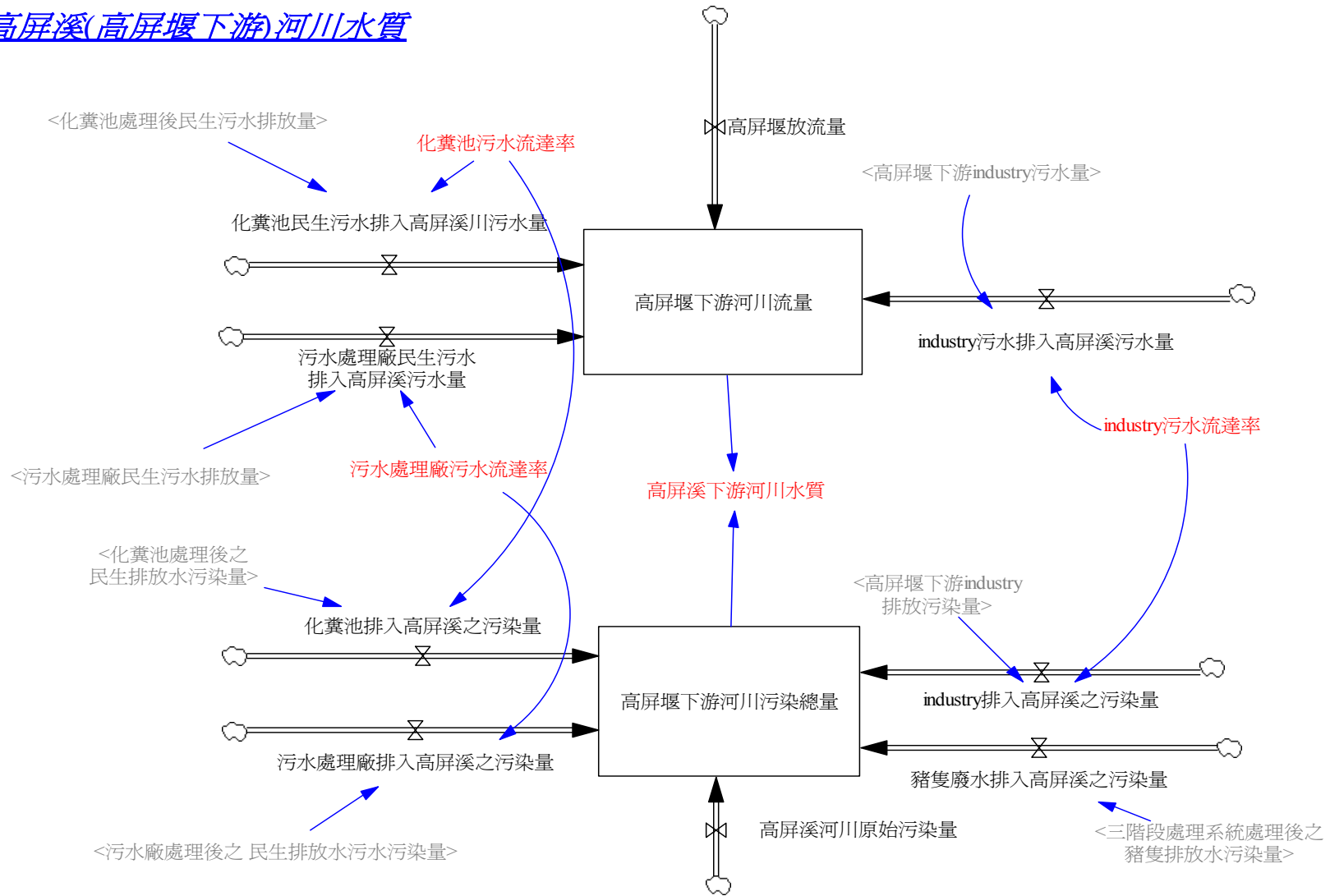


圖 3.2.4-1 高屏溪河川水質系統模型(View9)

污水量和污水濃度推估

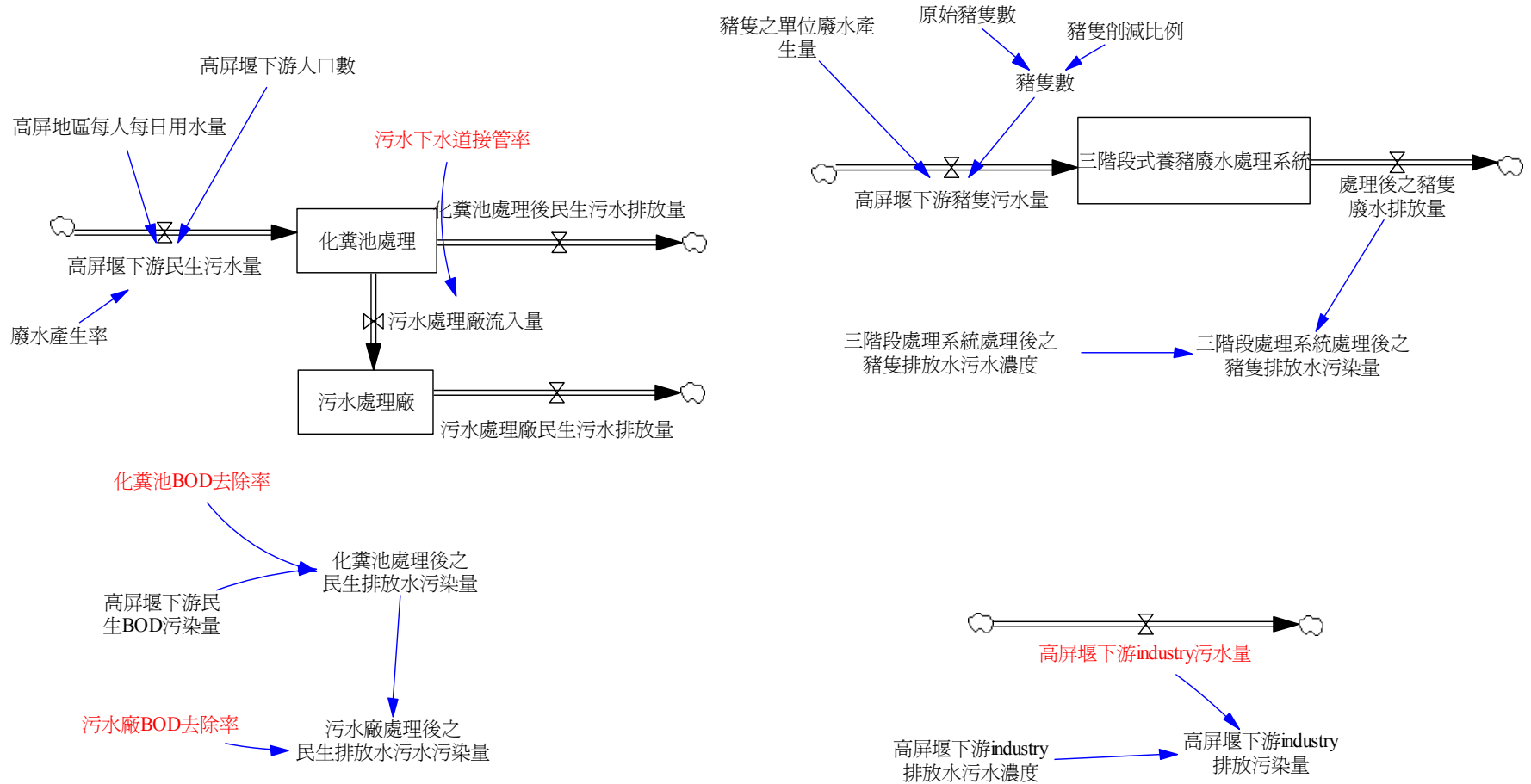


圖 3.2.4-2 高屏溪排入污水量與汙染量推估(View8)

3.2.5 其他頁面建置(View10,View11)

本計劃考量之水量指標為缺水指數，缺水指數定義如下：

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

SI：缺水指數

S：缺水量

D：需水量

N：分析時數

根據上述定義，缺水指數之系統模型可表示如圖 3.2.5-1 所示，

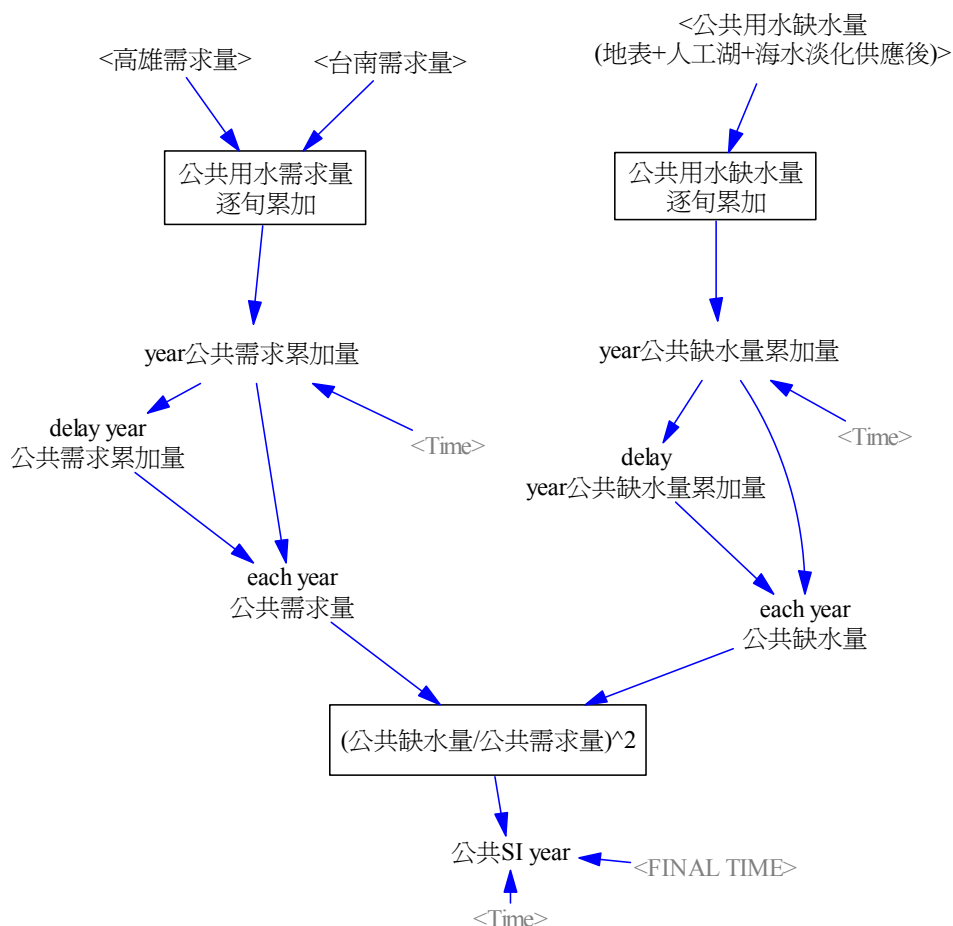


圖 3.2.5-1 缺水指數之系統模型(View10)

此外本計畫亦建立決策支援系統，以利使用者進行策略模擬分析之用，本計畫考量之決策變數有：

1. 海水淡化廠的處理能力和海水淡化廠策略啟動開關
2. 人工湖操作規則和人工湖策略啟動開關
3. 高屏堰和高美堰之下游生態保留水量
4. 豬隻消滅比例
5. 污水下水道接管率

而狀態變數為：

1. 公共用水年缺水指數
2. 高屏溪(高屏堰下游)BOD 濃度

決策支援系統介面如圖 3.2.5-2 所示，圖面左方之拉霸為決策變數，中間為狀態變數之表格輸出，右邊則為狀態變數(BOD 濃度)之圖形輸出。

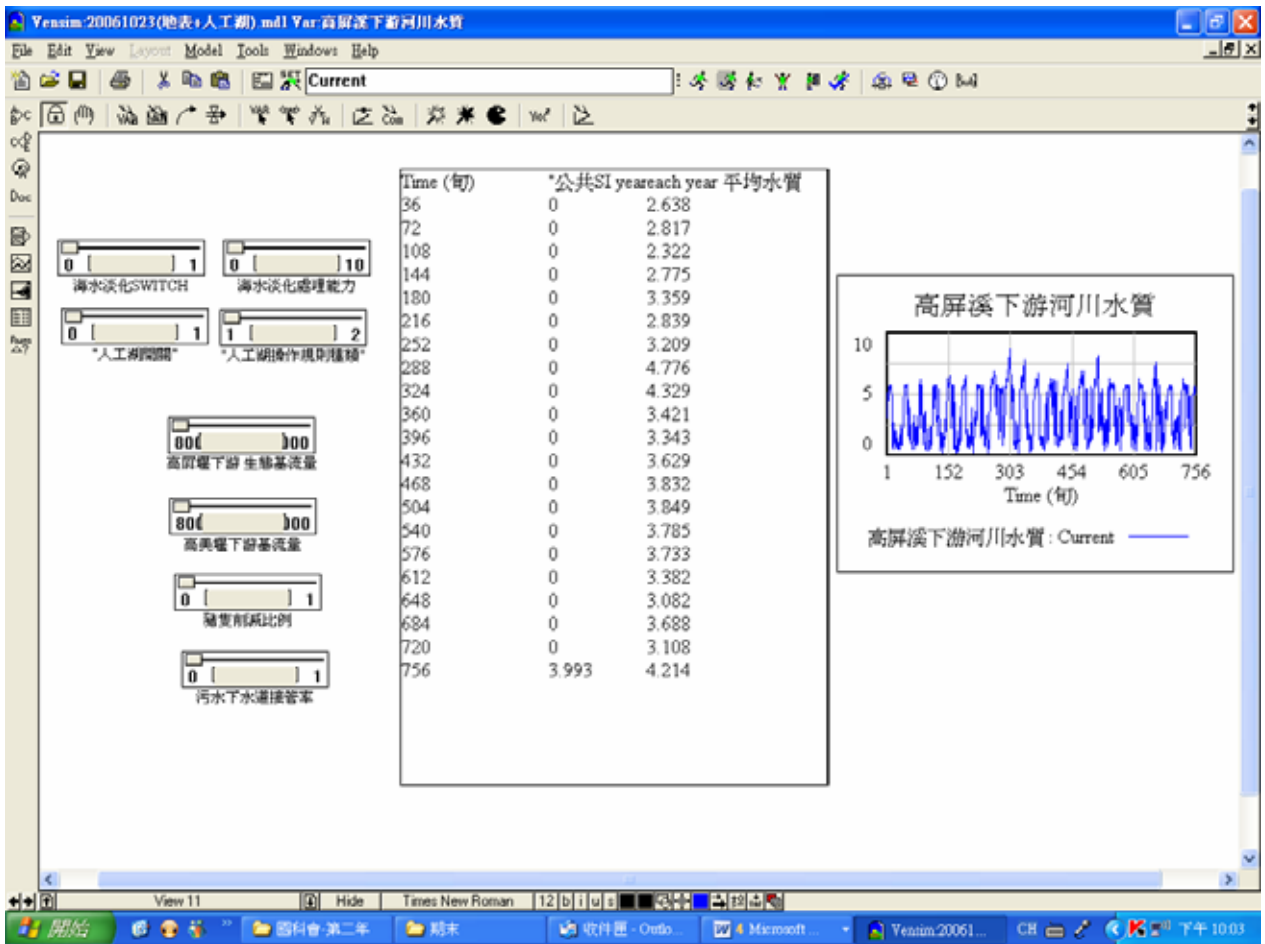


圖 3.2.5-2 水量水質整合之決策支援系統介面(View11)

第四章、案例分析結果

根據第三章所建置完成的水量與水質整合系統動力模型與決策支援系統介面來進行相關策略組合之情境模擬與分析，並計算出各種策略組合下水量、水質指標(公共用水年缺水指數和河川 BOD 濃度)的表現。本計畫分別考量六種情境方案(人工湖供引水規則改變、海水淡化廠處理能力、調整高美堰基流量、調整高屏堰基流量、豬隻消滅及改善污水下水道接管率)進行模擬，模擬結果如表 4.1-1 所示，根據環保署之河川水體標準(如表 4.1-2)，高屏堰下游之河川水質必須符合丙類水體標準(即 BOD 值須低於 4 mg/L)，因此將 4.1-1 之歷年水質 BOD 繪製如圖 4.1-1~圖 4.1-6 所示。策略模擬結果分析如下：

1. 人工湖供引水規則的改變，對於整體的缺水指數影響有限(規則 1 為 1.757，規則 2 為 1.686)。
2. 海淡廠處理能力和高美堰基流量之調整，對河川 BOD 濃度並無影響，此乃因為海淡廠之水源取自海水，並不會影響河川流量，而高美堰基流量的調整主要為影響高屏堰之入流量，但對高屏堰下游河川流量之影響並不顯著。同樣的，兩者對缺水指數之影響亦不顯著，此乃因為海淡廠最大處理量僅為 1 萬噸/日，相對於需求量而言，此量微小，因此對缺水指數之影響不大(3.993 降至 3.97)。
3. 污水下水道接管率的提升對於河川 BOD 濃度之影響為不顯著，此乃因為家庭污水透過化糞池處理後，已能減少 70%之污染量，因此民生污染量已經很少，因此污水下水道接管率的影響並不顯著。而其對於缺水指數則無影響，因其廢水排至河川下游，並不會影響取水水源。
4. 高屏堰基流量的調整、豬隻數削減和人工湖策略的啟動對河川 BOD 濃度之影響為顯著。因為高屏堰下游的基流量在水權上必須優先保留，因此調整高屏堰保留基流量值，會直接影響高屏堰下游河川流量；而豬隻污染屬於高污染源，因此適當的削減對於污染量的排入有明顯的影響；人工湖則因

取水來源為高美堰，導致匯入高屏溪之水量遽減，因此當啟動人工湖策略時，造成河川 BOD 濃度有上升的趨勢。另外高屏堰基流量的調整對於缺水指數有負面的影響(3.993 升高至 5.181)，而人工湖的啟動對於缺水指數有正面影響(3.993 降至 1.686)，豬隻削減則因其排入高屏溪下游，對於水源取用並無影響，故對缺水指數亦無影響。

5. 由河川水質模擬結果發現，在民國 97 年、民國 98 年和民國 110 年之水質有明顯升高，比對高屏溪之入流量(甲仙堰入流量+高美堰入流量)後發現(圖 4.1-7 所示)，這幾年屬於枯水年(民國 97 年最枯)，模擬結果顯示，水量和水質之間確有顯著的影響。
6. 整體而言，人工湖策略對於缺水指數的改善最佳，而高美堰基流量調整對於缺水的惡化最為嚴重；高美堰基流量的調整對於河川水質的改善最佳，豬隻削減次之，而人工湖策略對於河川水質的惡化最為嚴重。

表 4.1-1 方案模擬結果

民國	高屏溪 BOD 濃度(mg/L)																	
	原始系統	人工湖操作規則		海水淡化能力(萬公噸/旬)			高美堰基流量(萬公噸/旬)			高屏堰基流量(萬公噸/旬)			豬隻消滅比例			污水下水道接管率		
		規則 1	規則 2	3	5	10	1000	1500	2000	1000	1500	2000	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.6
90	2.638	2.952	2.952	2.638	2.638	2.638	2.638	2.638	2.638	2.595	2.475	2.386	2.614	2.59	2.566	2.633	2.629	2.625
91	2.817	3.212	3.212	2.817	2.817	2.817	2.817	2.817	2.817	2.78	2.686	2.641	2.791	2.765	2.74	2.812	2.808	2.803
92	2.322	2.695	2.695	2.322	2.322	2.322	2.322	2.322	2.322	2.297	2.221	2.181	2.301	2.28	2.258	2.319	2.315	2.312
93	2.775	3.11	3.11	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.731	2.599	2.494	2.75	2.724	2.699	2.77	2.766	2.762
94	3.359	3.615	3.615	3.359	3.359	3.359	3.359	3.359	3.359	3.299	3.18	3.096	3.328	3.297	3.267	3.352	3.346	3.34
95	2.839	3.113	3.113	2.839	2.839	2.839	2.839	2.839	2.839	2.809	2.744	2.692	2.814	2.788	2.762	2.834	2.83	2.825
96	3.209	3.609	3.609	3.209	3.209	3.209	3.209	3.209	3.209	3.138	2.97	2.897	3.179	3.15	3.121	3.203	3.197	3.191
97	4.776	4.883	4.883	4.776	4.776	4.776	4.776	4.776	4.776	4.654	4.434	4.324	4.733	4.689	4.646	4.766	4.756	4.745
98	4.329	4.561	4.561	4.329	4.329	4.329	4.329	4.329	4.329	4.256	4.138	4.094	4.29	4.25	4.211	4.319	4.308	4.298
99	3.421	3.615	3.615	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.386	3.326	3.287	3.39	3.358	3.327	3.414	3.406	3.399
100	3.343	3.622	3.622	3.343	3.343	3.343	3.343	3.343	3.343	3.307	3.227	3.176	3.312	3.282	3.251	3.336	3.329	3.322
101	3.629	3.857	3.857	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629	3.583	3.488	3.445	3.596	3.563	3.53	3.622	3.614	3.607
102	3.832	4.003	4.003	3.832	3.832	3.832	3.832	3.832	3.832	3.792	3.711	3.621	3.797	3.762	3.727	3.824	3.816	3.807
103	3.849	4.084	4.084	3.849	3.849	3.849	3.849	3.849	3.849	3.799	3.714	3.666	3.814	3.779	3.744	3.841	3.833	3.824
104	3.785	4.004	4.004	3.785	3.785	3.785	3.785	3.785	3.785	3.746	3.663	3.605	3.751	3.716	3.682	3.777	3.769	3.761
105	3.733	4.116	4.116	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	3.733	3.662	3.529	3.444	3.699	3.665	3.631	3.726	3.718	3.711
106	3.382	3.88	3.88	3.382	3.382	3.382	3.382	3.382	3.382	3.319	3.22	3.146	3.351	3.32	3.289	3.375	3.369	3.363
107	3.082	3.317	3.317	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082	3.082	3.009	2.845	2.751	3.054	3.025	2.997	3.076	3.07	3.064
108	3.688	3.971	3.971	3.688	3.688	3.688	3.688	3.688	3.688	3.643	3.563	3.495	3.654	3.62	3.587	3.68	3.672	3.664
109	3.108	3.591	3.591	3.108	3.108	3.108	3.108	3.108	3.108	3.074	2.959	2.864	3.08	3.052	3.023	3.103	3.097	3.092
110	4.214	4.342	4.342	4.214	4.214	4.214	4.214	4.214	4.214	4.127	3.939	3.754	4.175	4.137	4.098	4.205	4.196	4.187
公共用水年 缺水指數	3.993	1.757	1.686	3.97	3.97	3.954	3.993	3.993	3.993	4.257	4.804	5.181	3.993	3.993	3.993	3.993	3.993	3.993

表 4.1-2 水體水質標準

分類	監測項目						
	PH	溶氧量 (DO) mg/L	生化需 氧量 (BOD) mg/L	大腸桿菌 (CFU/100ML)	懸浮固體 (SS)mg/L	氨氮 (NH ₃ -N)mg/L	總磷 (TP) mg/L
甲	6.5-8.5	6.5 以上	1 以下	50 個以下	25 以下	0.1 以下	0.02 以下
乙	6.0-9.0	5.5 以上	2 以下	5,000 個以下	25 以下	0.3 以下	0.05 以下
丙	6.0-9.0	4.5 以上	4 以下	10,000 個以下	40 以下	0.3 以下	—
丁	6.0-9.0	3 以上	—	—	100 以下	—	—
戊	6.0-9.0	2 以上	—	—	無漂浮物 且無油污	—	—

註：公共給水一級：消毒後即可飲用；二級：一般處理即可飲用；三級：特殊處理即可飲用

水產用水一級：鱒魚香、鱸、鯰魚；二級：鯿、草魚、貝類培養

工業用水一級：製造用水；二級：冷卻用水

圖 4.1-1 人工湖供引水改變對河川 BOD 之影響

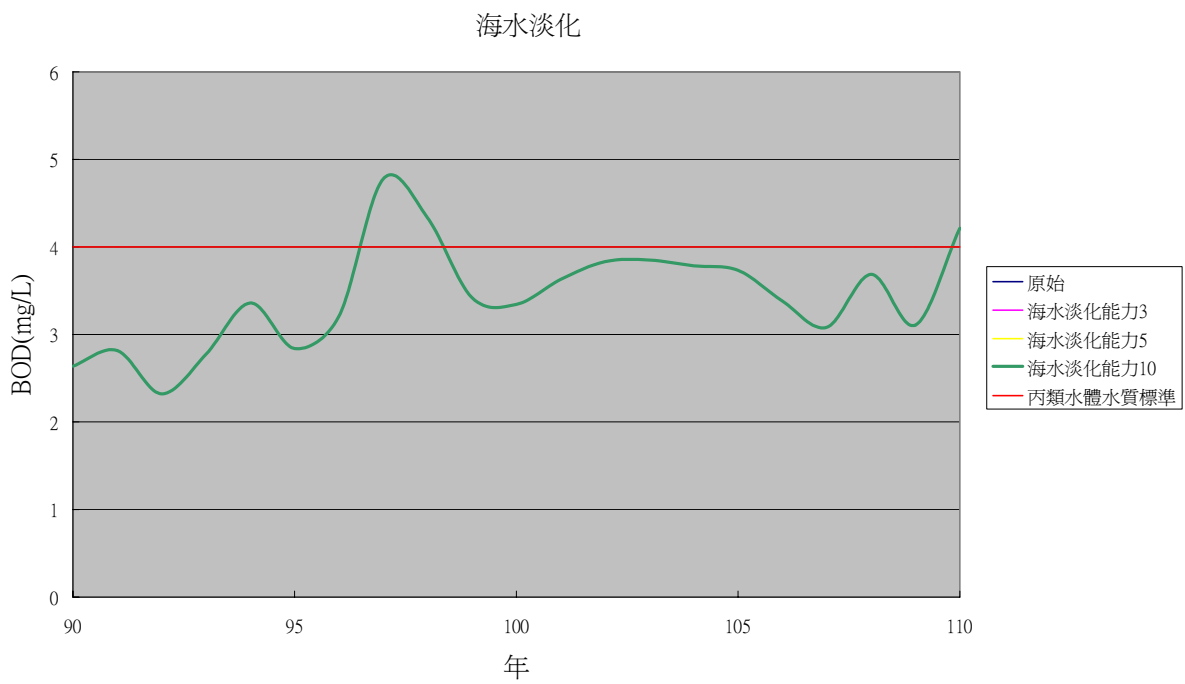
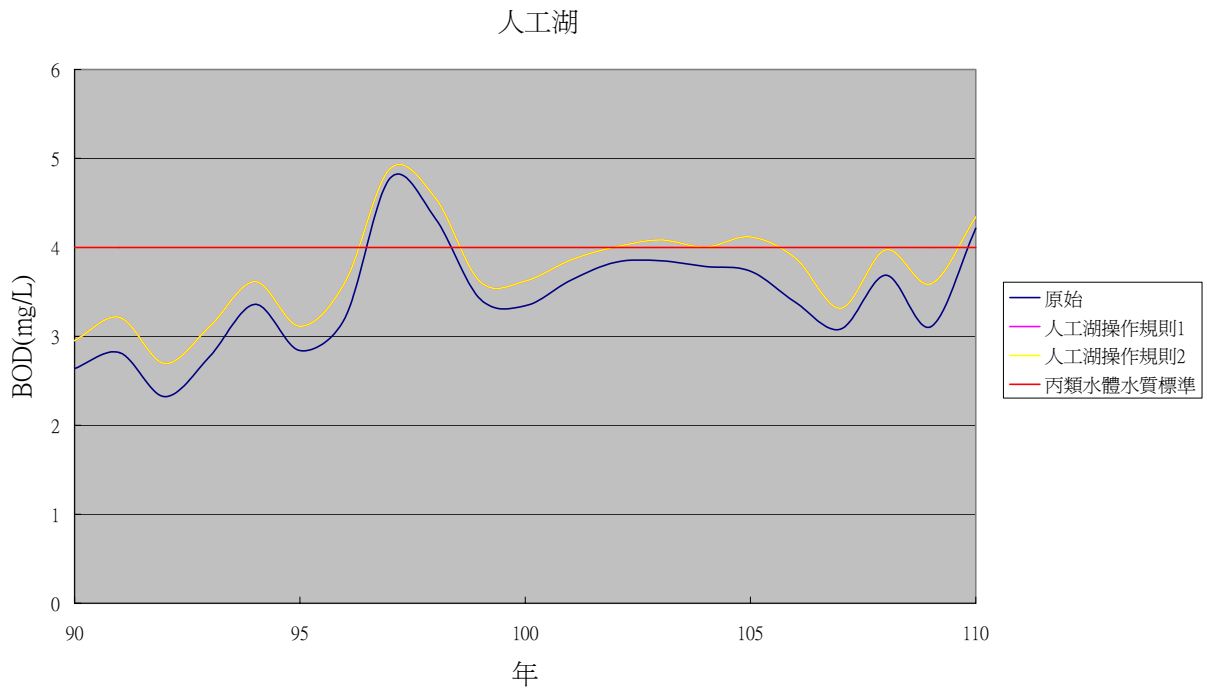


圖 4.1-2 海淡廠處理能力改變對河川 BOD 之影響

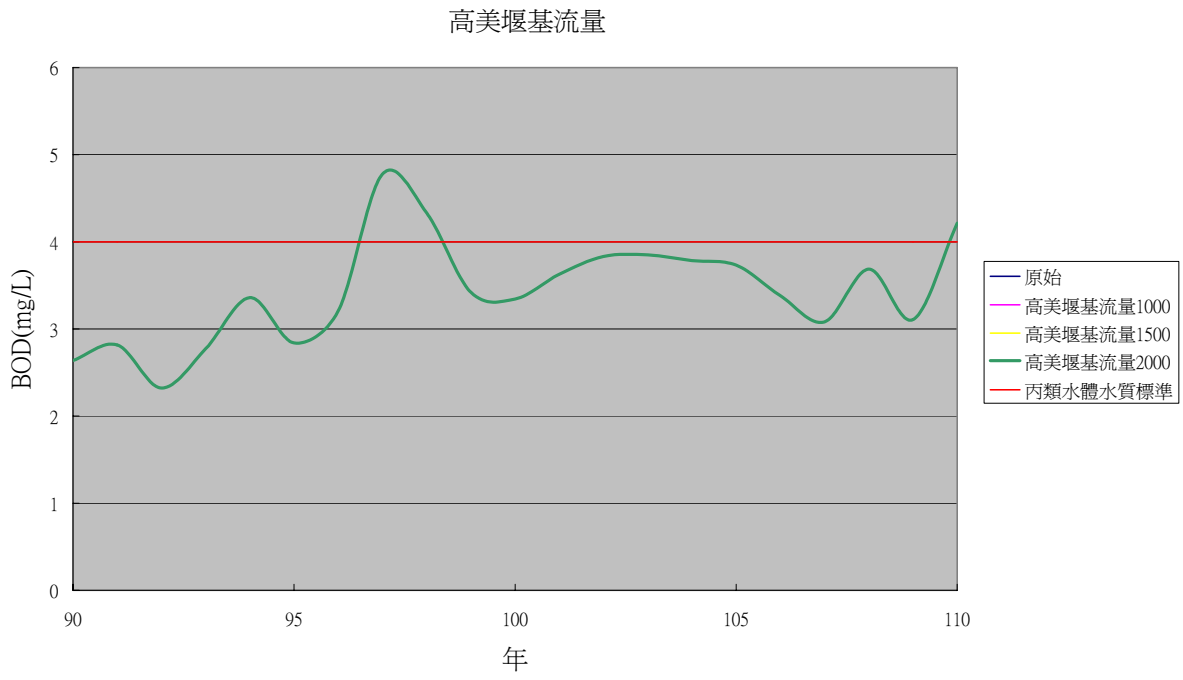


圖 4.1-3 高美堰基流量調整對河川 BOD 之影響

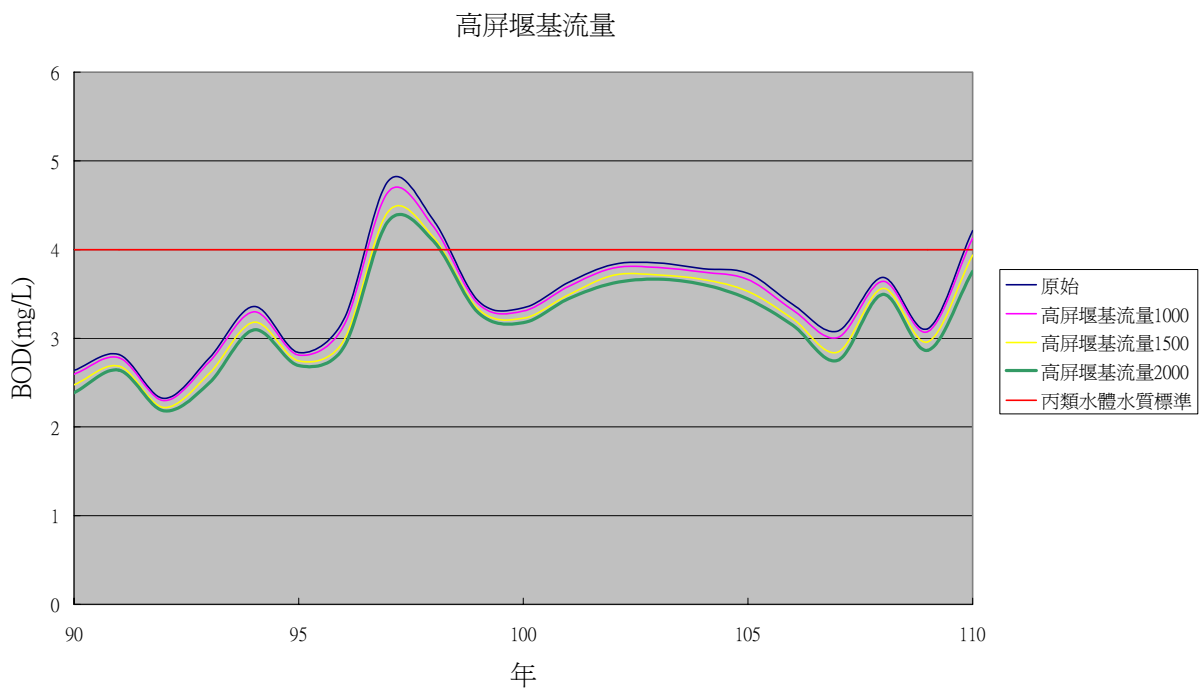


圖 4.1-4 高屏堰基流量調整對河川 BOD 之影響

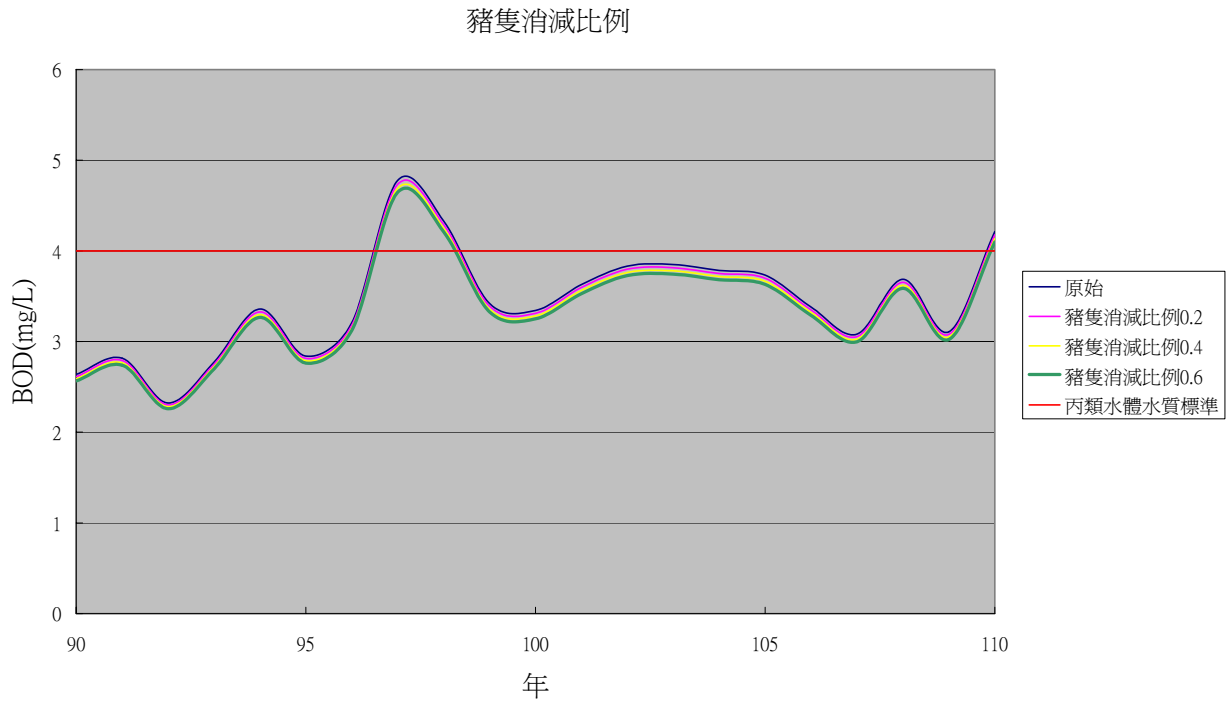


圖 4.1-5 豬隻消滅對河川 BOD 之影響

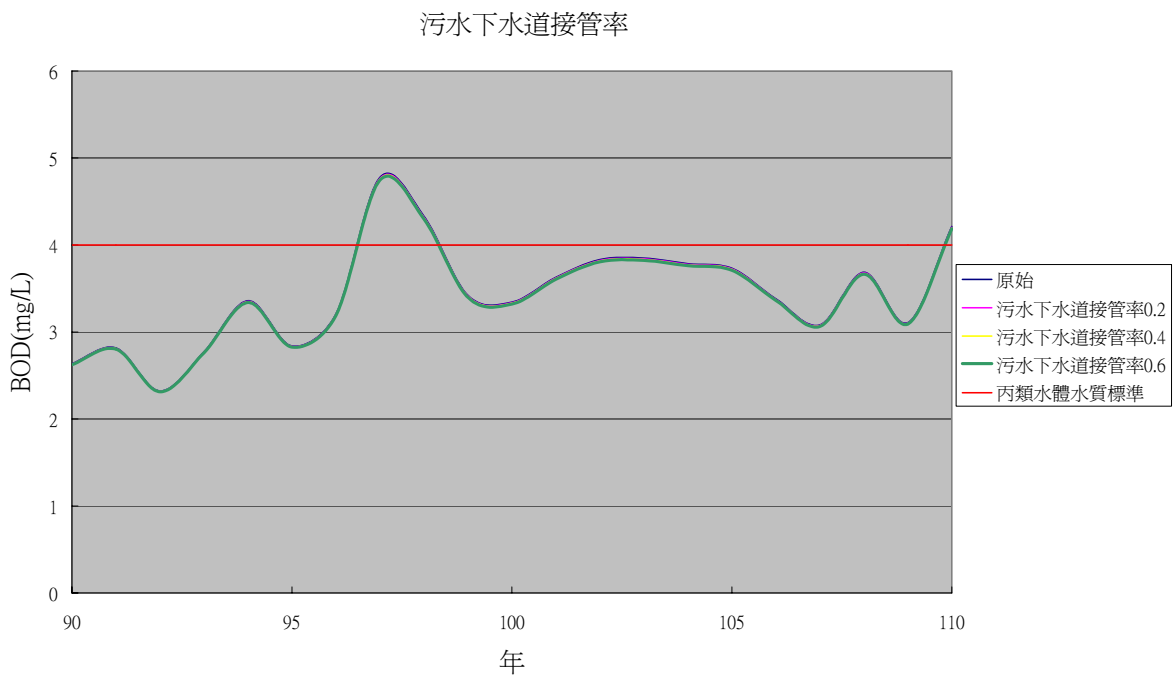


圖 4.1-6 污水下水道接管率改善對河川 BOD 之影響

甲仙堰加高美堰入流量

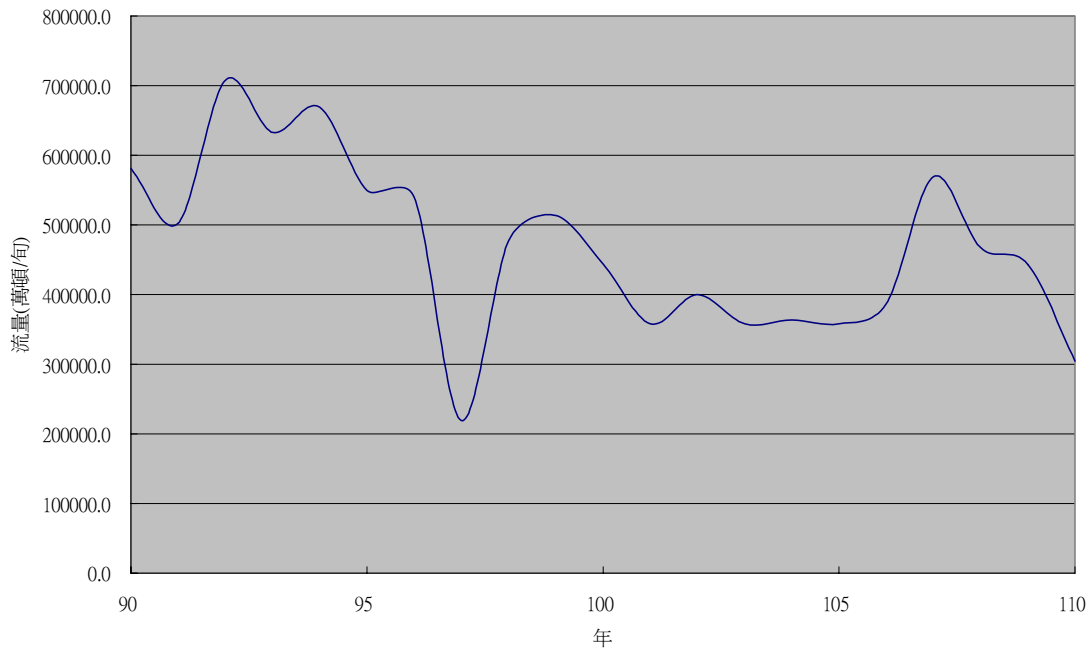


圖 4.1-7 甲仙堰+高美堰入流量之歷年流量變化

參考文獻

- [1] 河川流域管理- WASP 水質模式評估愛河之整治方案，1993，吳芳池研究生，高志明教授
- [2] 經濟部水利署(多元化水源開發綱領計畫)，1995，巨廷工程顧問股份有限公司
- [3] 豬場廢水處理規劃線上諮詢系統，2003，中興畜產張原志 研究生，阮喜文教授
- [4] 化糞池機能評估與改善對策之研究，1988，戴文德研究生，徐錠基、許聖哲教授
- [5] 以明渠淨化生態工法處理二級污水處理廠放流水效率評估之研究，2004，蔡曜聲研究生，白子易教授

- [6] 高屏溪涵容能力之評估，2000，黃聖授 研究生，高志明教授
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 遺傳演算法應用於雨水下水道最佳化設計，私立中華大學土木所碩士論文，何智超，民國 89 年
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, Cambridge, MA: MIT Press, Koza, J.R., 1992.
- [16] *Dynamic Simulation Modeling For Evaluating Water Quality Response to Agriculture BMP Implementation*, E. A. Cassell and J. C. , IAWQ, 1993.
- [17] *A new modeling approach for water resources policy analysis*, Slobodan and Hussan Fahmy, *Water Resource Research*, 1999.
- [18] *System Dynamics Modeling of Reservoir Operations for Flood Management*,

Sajjad Ahmad and Slobodan P. Simonovic Member, Journal of Computing in Civil Engineering, 2000.

- [19] *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.*