



多功能人工湖永續經營研究

Study on Sustainable Utilization of Multi-purposes Artificial Lakes



經濟部水利署水利規劃試驗所

中華民國九十三年十二月

多功能人工湖永續經營研究

Study on Sustainable Utilization of Multi-purposes Artificial Lakes

主辦機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

執行機關：國立交通大學土木工程學系

中華民國九十三年十二月

目 錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	VI
摘要	VII
Abstract.....	X
結論與建議	XII
第壹章 前言	1
一、計畫緣起及目的	1
二、計畫項目及內容	2
三、工作範圍	3
四、預期成果	6
第貳章 資料蒐集彙整	7
一、國內水資源策略現況	7
二、國內人工湖經營相關計畫現況	9
三、國內人工湖永續經營相關文獻及方法	13
四、國外人工湖永續經營相關文獻及方法	24
第參章 多功能人工湖標的與系統功能分析	30
一、多功能人工湖系統各單元之功能探討	30
二、多功能人工湖不同標的之系統單元組成分析	34
三、多功能人工湖於豐枯水時期功能探討	39
第肆章 多功能人工湖系統規劃設計原則建立	42
一、水源運用標的規劃原則	48
二、滯洪標的規劃原則	52
三、生態景觀標的規劃原則	54
四、整體規劃原則	58

第五章	多功能人工湖量化評估方法	62
一、	水源運用標的之量化分析	62
二、	滯洪標的之量化分析	68
三、	生態景觀標的之量化分析	75
四、	整體評估分析	77
第六章	系統動力學模式建立方式	87
一、	系統動力學概述	87
二、	系統動力模式建置程序	90
第七章	多功能人工湖模擬案例	95
一、	模擬案例設計	95
二、	系統動力模型建立與指標評估	96
(一)	水源運用標的之量化分析	96
(二)	滯洪標的之量化分析	110
(三)	生態景觀標的之量化分析	119
三、	整體評估	137
第八章	三維動畫模擬	155

參考文獻

- 附錄 A 期初簡報審查意見及辦理情形
- 附錄 B 期中簡報審查意見及辦理情形
- 附錄 C 期末簡報審查意見及辦理情形
- 附錄 D 主要研究人員名單及擔任工作

圖目錄

圖 1.1	計畫整體分析流程圖	5
圖 2.1	水資源政策圖	7
圖 3.1	系統各單元介紹及舉例	32
圖 3.2	水質處理單元(溼地)	33
圖 3.3	生態景觀維護輔助單元之操作概念	33
圖 3.4	滿足水源運用標的之系統之單元組成圖	34
圖 3.5	滿足滯洪標的之系統單元組成圖	35
圖 3.6	滿足生態景觀標的之系統單元組成圖	37
圖 3.7	滿足多標的之系統單元組成圖	38
圖 3.8	不同時期之多功能人工湖系統功能示意圖	41
圖 4.1	PSR 模式架構	44
圖 4.2	天然湖泊之基本生態系組成圖	57
圖 4.3	多功能人工湖系統規劃設計原則分析工作流程	61
圖 5.1	人工湖水源運用量化分析方式之流程圖	63
圖 5.2	人工湖水源系統示意圖	66
圖 5.3	人工湖系統調配示意圖	67
圖 5.4	人工湖滯洪量化分析方式之流程圖	69
圖 5.5	布倫 (Brune) 囚砂曲線圖	74
圖 5.6	人工湖生態景觀量化分析之流程圖	75
圖 5.7	公共建設專案經濟評估綜覽	84
圖 6.1	正向因果鍵	88
圖 6.2	負向因果鍵	88
圖 6.3	正向因果回饋環路	88
圖 6.4	負向因果回饋環路	88
圖 6.5	系統動力模式元件關係建立示意圖	89
圖 6.6	問題的定義圖	91

圖 6.7	系統的描述圖	91
圖 6.8	因果回饋圖	92
圖 6.9	動態模型建置圖	94
圖 7.1	水源運用系統描述圖	98
圖 7.2	水源運用系統因果回饋圖	99
圖 7.3	人工湖水源運用系統動力模擬圖	100
圖 7.4	入流量模擬結果圖（水源運用）	107
圖 7.5	人工湖蓄水量模擬結果圖（水源運用）	108
圖 7.6	人工湖供水量模擬結果圖（水源運用）	109
圖 7.7	人工湖地下水蓄水體積變化量模擬結果圖（水源運用）	110
圖 7.8	滯洪運用系統描述圖	112
圖 7.9	滯洪運用系統因果回饋圖	112
圖 7.10	滯洪運用系統動力模擬圖	113
圖 7.11	入流量模擬結果圖（滯洪）	117
圖 7.12	人工湖蓄水量模擬結果圖（滯洪）	118
圖 7.13	溢流量模擬結果圖	119
圖 7.14	生態景觀系統描述圖	121
圖 7.15	人工湖非結構系統示意圖	122
圖 7.16	生態景觀系統因果回饋圖	123
圖 7.17	生態景觀運用系統動力模擬圖	124
圖 7.18	入流量模擬結果圖（生態景觀）	132
圖 7.19	人工湖蓄水量模擬結果圖（生態景觀）	133
圖 7.20	優養化指標之模擬結果圖	134
圖 7.21	溶解磷濃度模擬結果圖	135
圖 7.22	浮游植物濃度模擬結果圖	136
圖 7.23	碎屑磷濃度模擬結果圖	136
圖 7.24	多功能人工湖整體系統描述圖	141

圖 7.25	多功能人工湖整體系統動力模型圖 (水源運用 + 生態景觀)	142
圖 7.26	入流量模擬結果圖 (水源運用 + 生態景觀)	143
圖 7.27	人工湖蓄水量模擬結果圖 (水源運用 + 生態景觀)	143
圖 7.28	浮游植物濃度模擬結果圖 (水源運用 + 生態景觀)	144
圖 7.29	碎屑磷濃度模擬結果圖 (水源運用 + 生態景觀)	144
圖 7.30	溶解磷濃度模擬結果圖 (水源運用 + 生態景觀)	145
圖 7.31	多功能人工湖整體系統動力模型圖 (滯洪 + 生態景觀)	146
圖 7.32	入流量模擬結果圖 (滯洪 + 生態景觀)	147
圖 7.33	人工湖蓄水量模擬結果圖 (滯洪 + 生態景觀)	147
圖 7.34	溶解磷濃度模擬結果圖 (滯洪 + 生態景觀)	148
圖 7.35	浮游植物濃度模擬結果圖 (滯洪 + 生態景觀)	148
圖 7.36	碎屑磷濃度模擬結果圖 (滯洪 + 生態景觀)	149
圖 7.37	優養化模擬結果圖 (滯洪 + 生態景觀)	149
圖 8.1	三維動畫示意圖 (10月9日)	156
圖 8.2	三維動畫示意圖 (10月30日)	156
圖 8.3	三維動畫示意圖 (降雨發生)	157
圖 8.4	三維動畫示意圖 (水質分佈)	157

表 目 錄

表 2.1	為新十大建設規劃中四個人工湖的預計效益.....	9
表 2.2	以最大補注量為目標之不同最佳操作方法與最佳尺寸表.....	14
表 2.3	以最大總用水效益為目標之不同最佳操作方式與最佳幾何尺寸表.....	14
表 4.1	OECD 1994 年環境壓力及環境狀態指標項總表.....	44
表 4.2	水源運用標的之人工湖規劃原則.....	51
表 4.3	滯洪標的之人工湖規劃原則.....	54
表 4.4	生態景觀標的之人工湖規劃原則.....	58
表 5.1	長期水源調配與短期水源因應指標列表.....	63
表 5.2	實際案例與實驗室試驗之滯洪效益.....	73
表 5.3	滯洪池之淤積年限估算計算方法.....	74
表 5.4	湖泊水庫優養程度分級標準.....	77
表 5.5	常見之效益評估方法一覽表.....	86
表 6.1	基本元件說明表.....	89
表 6.2	議題因果關係表.....	93
表 7.1	不同土壤種類、地表覆蓋、耕作方式與土地利用之 SCS 曲線號碼.....	101
表 7.2	水源運用系統動力模式變數及函數說明表.....	104
表 7.3	滯洪系統動力模式變數及函數說明表.....	114
表 7.4	不同門檻值之滯洪效益比較表.....	118
表 7.5	曾文水庫集水區內各種土地利用非點源污染輸出係數.....	126
表 7.6	生態景觀系統動力模式變數及函數說明表.....	127
表 7.7	年成本分析(年利率為 4%).....	150
表 7.8	淨現值之估算：狀況一和狀況二.....	152
表 7.9	淨現值之估算：狀況三和狀況四.....	152

摘要

一、計畫目的

廣義而言，除了目前正推動中如高屏大湖(吉洋人工湖)一類之大型人工湖外，滯洪池、景觀池及生態池等具有儲水能力的人為設施，亦可視為人工湖的一種。惟上述設施，昔日均以滿足單一需求為規劃設計考量，因此本計畫目的在規劃能兼具水源運用、滯洪與生態景觀等功能之多功能人工湖，除了希望能有多方面水涵養及都市滯洪的功能外，並期待能營造一個健康的水環境，使人工湖本身之生態景觀環境，與週遭自然環境相契合，並使能隨著水的流動而有穩定的循環變化，長久維持水資源質與量，以及生態系統平衡與循環機制。

二、計畫範圍與工作項目

為達到本計畫目的，規劃以人工湖各標的及永續經營相關之資料收集、探討人工湖系統各標的之間的關係、人工湖系統之系統單元組成分析、以PSR(壓力-狀態-回應)架構建立人工湖系統各標的之系統規劃設計原則、建立整體系統規劃設計原則、探討人工湖系統各標的適用之評估指標、以系統動力學建立量化評估分析方式、三維動畫展示案例等工作項目來完成。

三、多功能人工湖標的與系統功能分析

本計畫依據多功能人工湖可能因為其他不同目的所配搭之設施，以組成單元方式分析，將可能應用的水利設施分為蓄水單元、入滲單元、輔助水源單元、水質處理單元、生態景觀維護輔助單元及引排水單元六類，並以系統流程圖說明人工湖系統在滿足水源運用、滯洪及生態景觀各標的時之可能單元組成，以及在豐枯水時期之下，為達成多功能各標的需求之系統功能。

四、多功能人工湖系統規劃設計原則建立

本計畫依據國際上對「永續發展」的定義，期能使多功能人工湖能夠「在生存於不超過維生生態系統承载力之情況下，改善人類生活之品質」，引用「世界經濟合作暨發展組織」(OECD)「壓力-狀態-回應」(PSR)架構，釐清在不同考量標的下，可能危害人工湖經營或環境之主要影響因子與各因子的可能壓力源、不同壓力源及人為開發行為所導致的環境狀態，依據這些分析建議規劃設計原則以及可以因應之對策，並建議可以作為各標的規劃時量化分析的評估指標。

配合 OECD 對評估指標選擇的建議原則及國內目前常用的評估指標，建議在多功能人工湖規劃階段，對於水源標的可以選用日缺水指標，滯洪指標可以使用滯洪效益百分比，而生態景觀標的由於常用的指標均需要有現地調查之資料方能求得，由所蒐集彙整之文獻資料中發現，人工湖湖體內的生態景觀環境取決於水環境的營造，而健康的水環境則需要仰賴好的水質條件，因此選取水質中之總磷濃度為替代指標。

五、量化評估分析案例模擬

- (一)本計畫應用系統動力學為多功能人工湖的量化分析工具，並選用 Vensim 套件為系統動力學建置時的輔助工具。利用系統動力學處理訊息回饋系統之動態行為的特性，連結水源運用、滯洪及生態景觀標的三個系統，透過 Vensim 套件輔助，可以在該套件內直接點選任何參數進行計算公式、資料檔或操作規則的輸入，模擬結束後亦可在該套件內點選任何變數檢視其模擬結果。
- (二)本計畫選用之模擬案例物理條件參考台南科學園區第一期所規劃之 A 滯洪池，湖體表面面積為 5 公頃、最大深度 2 公尺及集水區面積 100 公頃。整體評估依據技術面、財務面、經濟面及環境影響面評估果為：

- 1、技術面評估：依據本計畫所建立之系統功能分析、規劃原則建立及量化分析方式，假設各標的需求的操作方式及系統單元組成，採用系統動力學方式建立模式，模擬結果務使滿足水源運用、滯洪及生態景觀三個標的之量化指標，方能達到多功能人工湖永續經營目標。
- 2、財務面評估：選用淨現值法作為評估投資效益之方法，當分析之淨現值大於零時，方具有投資意義。
- 3、經濟面評估：由於本模擬案例並非大型開發案例，因此並無砂石原料、供水水費等實質收入，但對該區域環境仍有其他無形效益，包括棲地的提供、休憩的環境、滯洪所降低的財產損失、地下含水層的涵養、微氣候的調節等。
- 4、環境影響面評估：由於本案例考量的目標是多功能人工湖永續經營，因此區位的考量以及營運後對環境的影響是相當重要的因素。可以依據本計畫規劃設計原則所歸納之負面影響因子設計適合之管制策略及設施。

六、三維動畫展示案例

本計畫將模擬案例之水質及水位隨著降雨多寡、操作方式在時間的變化情形，利用 MAYA 繪置為三維動畫展示。

Abstract

The artificial lakes are widely accepted as a substitute for reservoirs in Taiwan. Besides the artificial lakes with large-scale region as GaoPin Lake, the detention pond, ecosystem pond and the landscape pond could be also thought as other such artificial lakes with small-scale region. No matter what kind of artificial lakes above, they used to be considered as only one objective usually.

This project is aimed at designing a multi-objective artificial lake which can possess the functions including making use of water supply, flood detention, and ecological environment. It is expected not only to establish a healthy water environment but also to retain the function of water conservation and urban flood detention. As a result, ecological environment of artificial lake can fit with the surrounding nature environment. Moreover, a stable cycling of water flow is projected to preserve the quality and quantity of water source together with the balance and cycling system of ecosystem.

The special contents and procedures of this study are listed below:

1. Information and data collection, analysis and organization. The multi-objective operation for water supply, flood detention, and ecological environment and sustainable management are included.
2. Studies of the relationship between the different objectives for the multi-objective artificial lake system.
3. Studies of the structural units for the multi-objective artificial lake system.
4. The establishment of planning principles for the multi-objective artificial lake system, based on PSR framework.
5. Master planning principles of the multi-objective artificial lake system.

6. Studies of the assessment indicators of each objective for the multi-objective artificial lake system.
7. The establishment of assessment approach using System Dynamics for the multi-objective artificial lake system.
8. Demonstration of 3-D scenario

keyword : Multi-objective artificial lake, System Dynamics, Sustainable management, PSR(Pressure-State-Response)

結論與建議

一、結論

(一)本計畫將多功能人工湖在操作上的標的及規劃經營上希望達到的目標定義如下：

- 1、不論人工湖規模大小，在操作上的多功能標的依據國內人工湖使用功能，彙整為水源運用、滯洪及生態景觀三個主要標的。
- 2、在人工湖的規劃使用上，為符合國際趨勢，希望能達到永續經營目標。綜合國際組織之永續發展定義以及國內外對人工湖影響因素的分析，本研究認為多功能人工湖的永續經營原則為『除了希望能有多方面水涵養及都市滯洪的功能外，並期待能營造一個健康的水環境，使人工湖本身之生態景觀環境，與週遭自然環境相契合，並使能隨著水的流動而有穩定的循環變化，長久維持水資源質與量，以及生態系統平衡與循環機制。』

(二)本計畫將多功能人工湖系統的組成單元分類為

- 1、蓄水單元：人工湖的蓄水容積，包括其幾何條件、底床坡度等以及人工湖所影響的地下含水層等，為人工湖系統中的基本單元。
- 2、入滲單元：控制人工湖滲透量（速度）的設施，如湖體下之土層、控制滲透速率之濾層或砂樁、具滲透功能之地工材料等。
- 3、輔助水源單元：抽取或收集人工湖地表或地下水以進行水源運用的設施，如抽水馬達、抽水井或地下集水管等。
- 4、水質處理單元：改善湖體水質的設施如曝氣設備、沉砂池、湖底表面礫石層、水生植物等。

5、生態景觀維護輔助單元：生態景觀的維持除了需從整體設計考量外，仍需一些輔助設施如人工島、低透水底層及生態維護抽水井、週遭的景觀植物等。

6、引排水單元：人工湖水量的流入除了降雨及地表逕流外，視人工湖的規模大小尚有規模不同的引排水設施。

(三)本計畫將多功能人工湖分別以系統單元組成和不同降雨時期來建構，將多功能人工湖系統常用的設施分為蓄水單元、入滲單元、輔助水源單元、水質處理單元、生態景觀維護輔助單元及引排水單元六類，依據水源運用、滯洪及生態景觀標的需求建立系統組成單元，各組成單元則依據所考慮標的應該滿足的條件設計需要的實體水工設施。此外，以豐枯水時期來考量不同降雨時期滿足不同標的之操作方式。

(四)本計畫以永續經營為目標，結合世界經濟合作暨發展組織(OECD)所提出的PSR(Pressure-State-Response)架構，對多功能人工湖提出規劃原則。其中，壓力指標P項目指的是因著人類行為或其他背景因素對於環境所造成的壓力，而狀態指標S項目則表示自然環境的質與量隨著時間所表現的狀態(並非當下隨著壓力所反應的狀況)，至於回應指標R項目便是為了減緩或避免對環境所造成負面衝擊所訂定的技術、法規、管理策略、監測等回應。

(五)本計畫對於各標的選用之量化評估指標為：

1、水源運用標的：缺水指標 $SI^* = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \left(\frac{TS_t}{TD_t} \right)$ ，對於民生供水而言，一般認為 $SI=1$ 為可接受值。

2、滯洪標的：本計畫彙整滯洪相關文獻之實際案例與實驗室成果，選用滯洪效益值大於18%為可接受設計的標準。

3、生態景觀標的：由於目前常用之生態與景觀評估指標均需要有調查資料為基礎方能求得，因此建議在規劃時以建立湖體

健康水環境為考量，採用總磷為替代指標。

- (六)本計畫採用系統動力學為模擬工具，建立多功能人工湖的量化分析模式。並選用 Vensim 套件為系統動力學建置時的輔助工具。利用系統動力學處理訊息回饋系統之動態行為的特性，連結水源運用、滯洪及生態景觀標的三個系統，其最大特色是可以簡單調整任一標的內的參數數值，該變化便可反應到其他標的內的任何受影響變數結果。由於系統動力學特性在處理訊息回饋系統之動態行為，因此只要能夠釐清所需解決的問題本身、系統內各主要單元的之間的物理關係以及不同問題內影響參數之因果關係，便可建置出該問題的系統動力學模型，不需學習複雜的模擬程式或結構化程式語言，亦可更進一步的來做情境模擬。以本計畫之模擬案例為例(本報告第七章)，所建立之系統動力學模式乍看之下雖然很繁複，但所有的主要參數及相互影響關係均一目了然。透過 Vensim 套件輔助，在建立所需要的系統動力學模式後，便可在該套件內直接點選任何參數進行計算公式、資料檔或操作規則的輸入，模擬結束後亦可在該套件內點選任何變數檢視其模擬結果。
- (七)本計畫中建立多標的規劃原則以及量化評估指標，可供各種規模之人工湖在多標的考量時參考，雖然本計畫中所模擬的中小型人工湖，對於水源運用標的上發揮功效不大，但未來若能提供綠建築評估指標以及社區整體營造使用，相信對於小區域之環境改善、水資源調配及防洪減災上，都能發揮較大的功能。
- (八)依據本計畫的整體規劃原則可以釐清各標的之間的關係，看出不同的標的間相互衝突、競爭與合作關係，藉以評估各標的間設置的優先順序及各單元標的優先權重來作為日後人工

湖區位評選的依據。

二、建議

- (一)目前常用評估生態景觀的量化指標中，不論是景觀指數、生物歧異度等等，多是需要有監測紀錄方能計算求得，無法在人工湖開發案規劃前預先估算，因此僅能提供規劃原則。本計畫考量人工湖的湖體內生態景觀環境受限於人工湖之結構、範圍、坡度、底床等條件，因此人工湖建造之後便不易修改，而人工湖週遭之棲地和綠化植栽則可以在人工湖開始營運後再作調整，因此建議人工湖營運前之規劃階段，著重於湖體內生態景觀環境的營造，而好的人工湖湖體內的生態景觀環境則取決於健康的水環境，至於健康的水環境則需要仰賴好的水質條件，故在人工湖規劃階段選取水質為替代指標。而目前常用之生態景觀評估指標可以在多功能人工湖開始營運後，配合環境監測計畫後求得，並藉以瞭解人工湖帶給區域環境的影響程度。
- (二)本計畫選用系統動力學為建置多標的人工湖量化分析模擬的工具，雖然本計畫中模擬案例為中小型人工湖，所需資料較為簡單，將來可以應用到更複雜的系統，甚至是大型人工湖，惟問題越繁複時，便必須對處理問題及各標的操作方式（入滲方式、外部水源引入方式、供水目標及策略、蒸發速率、池深設計等等）及單元組成就必須對系統有更完整的分析，方能針對問題建置需要的系統動力學模型。

第壹章 前言

一、計畫緣起及目的

近年來台灣地區由於經濟的快速發展，使得用水量需求不斷地成長，此使水資源的調度面臨比以往更嚴峻的考驗，而經濟及工業的發展，也使得整個社會對天然災害更加敏感，相同規模的水旱災將帶來更大的損失，因此，水旱災的防治，將隨著整個國家社會的發展而更加迫切。傳統上，解決水旱災問題，常以開發水庫或攔河堰等方式增加水源或調節洪峰，或是以疏濬河道、興建堤防等措施降低水患。此類大型水利工程，雖能達到其部分預期功能，卻常對環境生態造成巨大衝擊。隨著環保意識的提高，近年來在進行此類工程時，多會增加環保生態方面的考慮，如目前正在倡導的生態工法即是，惟不論如何謹慎，所能達到的亦僅是降低其影響程度而已，此類工程對環境生態仍屬負面。另就目前常被提及的海水淡化而言，雖然工程本身對周遭環境的影響較為局部，惟其乃是以能源換水源，長期下來，對環境仍是有負面影響。因此，至目前為止，較常被實施或提及的水資源開發方案，對環境生態多少具有負面影響。

另一方面，台灣原本是一個生態多樣及生物豐富的島嶼，但由於過去的快速開發，且均以人類利益為出發點，在擴展人類生存空間之餘，亦使得原有生態大幅縮減。近年來國人逐漸意識到生態的惡化，將使整個環境及生活品質降低，因此對於環境生態的維護逐漸重視，如生態工法及綠建築評估指標等措施的推動及宣導等。然而，在兼顧生態環境的同時，社會發展的需求仍需適度滿足，因此，如何多方兼顧達到雙贏，乃是值得深思的課題。

隨著水源開發的多元化，「人工湖」目前在水源運用上已逐漸被接受並推廣，就廣義而言，除了目前正推動中如高屏大湖(吉洋

人工湖)一類之大型人工湖外，傳統上之滯洪池及生態池等具有儲水能力的人為設施，就其本體上而言亦可視為人工湖的一種。惟上述之大型人工湖、滯洪或生態池等之設置，昔日皆以滿足單一需求為考量。事實上，若基本條件適合，規劃設計一個能同時滿足多個標的但具不同優先順序之多功能人工湖是可行的。

有鑑於此，本計畫目的在完成兼具水源運用、生態景觀與滯洪功能的多功能人工湖之整體系統規劃設計方法與原則，並藉由一模擬設計案例展示其功能與效益。此多功能人工湖可為新型態水資源永續經營的一環，以平原區的中小型人工湖為例，其水源可為當地地表逕流，或是外來人工渠道引入，視其在水源運用及生態維護之需求而定，若經適當設計，其將可維持合適的水量和水質環境，來提供生態與景觀維護的需求，而提昇當地的生態及景觀的品質，若能推廣此種中小型多功能人工湖，則對整個區域的生態品質應能有實質的提昇。此外，此多功能人工湖亦可對地下水進行補注，換言之可在豐水期透過多功能人工湖，將水儲存於地下含水層，以供枯水期使用，亦即可作為小區域的緊急或備用水源。此人工湖亦可設計具有暫時儲留兩天之地表逕流，而達到降低區域排水量之滯洪效果。

二、計畫項目及內容

本計畫之工作內容如下：

- (一)多功能人工湖文獻回顧
- (二)人工湖永續經營標的與系統功能分析
- (三)多功能人工湖系統規劃設計原則建立
- (四)多功能人工湖模擬案例量化分析及評估
- (五)模擬案例三維展示
- (六)技術移轉教育訓練
- (七)專題報告編撰

三、工作範圍

本計畫針對多功能人工湖各標的進行相關資料收集，且針對多功能人工湖各單元功能進行探討，主要希望建立對多功能人工湖規劃設計原則，並進而針對具代表性之標的進一步量化分析。

圖 1.1 為本計畫之整體研究流程，並將各流程步驟說明如下：

(一)人工湖各標的之資料收集

蒐集目前國內外對於水資源和生態永續經營之相關資料，以及多功能人工湖之各標的相關資料及其他相關研究報告，如水源運用、滯洪及生態景觀等標的，供後續分析之用。

(二)各標的之關係探討

在此步驟中，將先就水源運用、滯洪及生態景觀之不同標的，就在操作上及時空上的互動或互斥關係，探討不同時期之為達成各標的之人工湖所需之系統功能。

(三)系統各單元之功能探討

為方便多功能人工湖組成之探討，本計畫將先以組成單元的方式分析之，並探討各單元之代表功能。

(四)系統單元組成分析

配合上一步驟中之各單元之功能探討，在此步驟中將先針對水源運用、滯洪及生態景觀之不同標的分析其可能之系統組成所需之單元及各單元間之關係。

(五)影響設計原則因素探討

在此步驟中，經由系統單元組成及各單元間關係之分析後，則可釐清影響系統架構之因素為那些，並探討其對系統架構之影響程度大小。

(六)各標的之系統規劃設計原則探討

經由一系列之系統標的、功能、組成單元及影響因素探討後，可先建立不同標的之系統規劃設計原則。

(七)整體系統規劃設計原則初步建立

配合主要、次要標的及影響因素和各別標的之系統設計原則，初步擬定同時考量不同標的之整體系統設計原則。

(八)量化分析

為了驗證上一步驟所建立之整體系統規劃設計原則，在此步驟中，將依次建立針對水源運用、滯洪及生態景觀之量化分析方法。經由量化分析方法之建立，可作為多功能人工湖對於不同標的貢獻之量化評估工具。

(九)模擬案例規劃及建立

運用步驟六及步驟七之成果，先依由初步建立之整體系統規劃設計原則初步建立假想案例，並以步驟八之各標的之量化分析方法，來量化評估此所建立案例。

(十)整體系統規劃設計原則修正歸納

而經由模擬案例量化分析之結果，發現前一步驟之規劃設計原則與各標的有矛盾者，將可作為修正整體系統規劃設計原則之依據。

(十一)規劃三維展示案例及展示

為了方便後續推廣，規劃及建置三維展示案例，使得多功能人工湖系統更具體化。透過三維展示，呈現多功能人工湖模擬案例之情境。

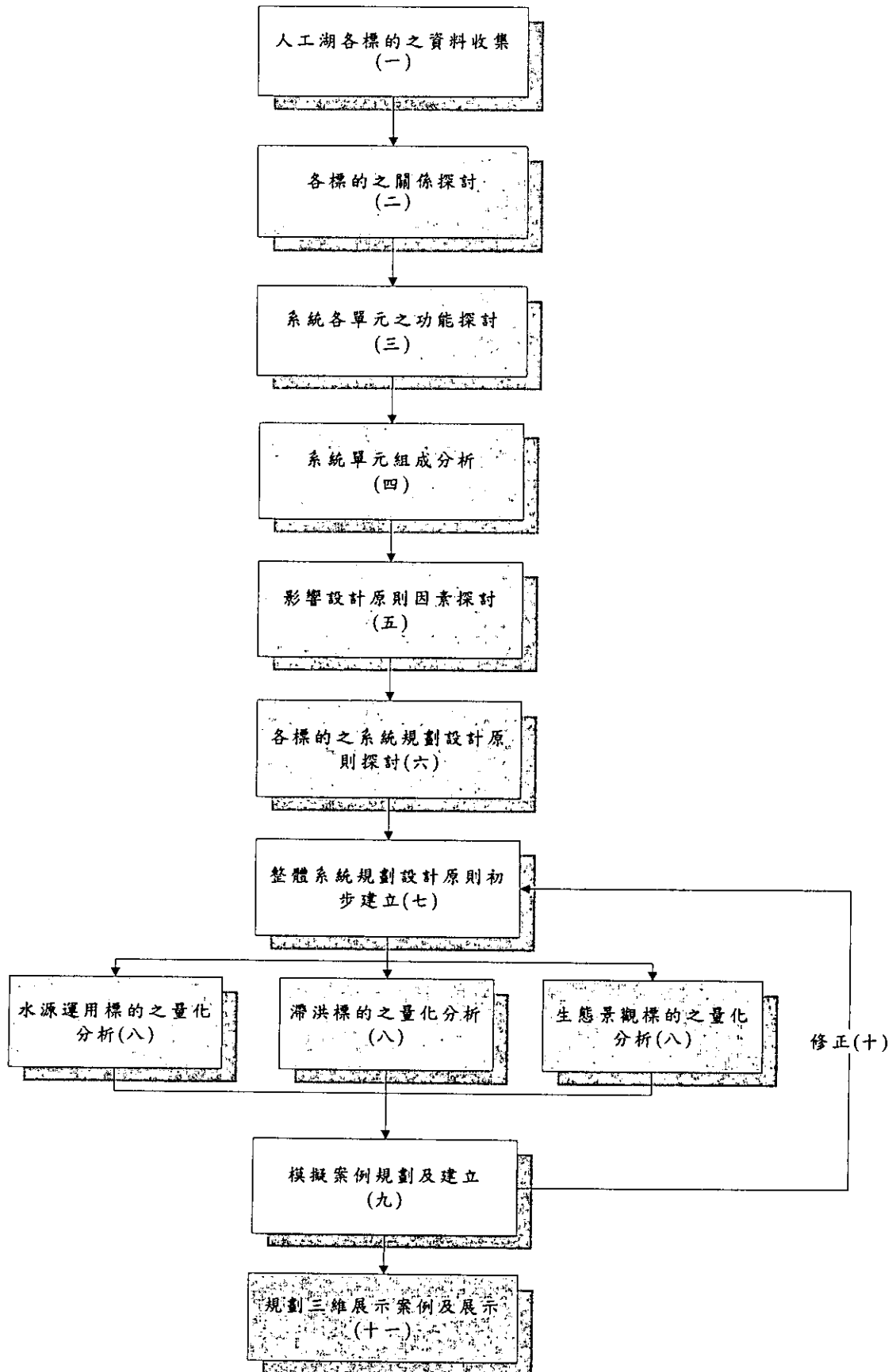


圖 1.1 計畫整體分析流程圖

四、預期成果

(一)完成相關資料蒐集

(二)人工湖永續經營標的與系統功能分析

1、完成系統各單元之功能探討

2、完成訂定各標的所需系統單元

(三)多功能人工湖系統規劃設計原則建立

1、完成整體系統規劃設計原則建立

2、完成系統各單元規劃設計原則建立

(四)多功能人工湖模擬案例量化分析

1、完成多功能人工湖模擬案例規劃建置

2、完成水源運用標的之量化分析

3、完成滯洪標的之量化分析

4、完成生態景觀標的之量化分析

5、完成模擬案例整體分析評估(技術、經濟、財務、環境影響預測)

(五)多功能人工湖模擬案例三維展示

(六)完成技術移轉教育訓練

(七)完成專題計畫成果報告書

第貳章 資料蒐集彙整

一、國內水資源策略現況

近年來由於氣候異常，水資源永續發展已是地球高峰會議備受關注的議題，尤其台灣四面環海、地小人稠、颱風頻仍、降雨豐枯差異大及河川短促陡峻，水資源的有效利用更是一個嚴峻的課題。因此，經濟部水利署依據目前全世界水資源議題及國內的現況，以追求人與自然環境之間的和諧與平衡為基礎，並訂定「治水」、「利水」、「親水」、「活水」、「保水」為五項水資源核心策略主軸，如圖 2.1 所示。

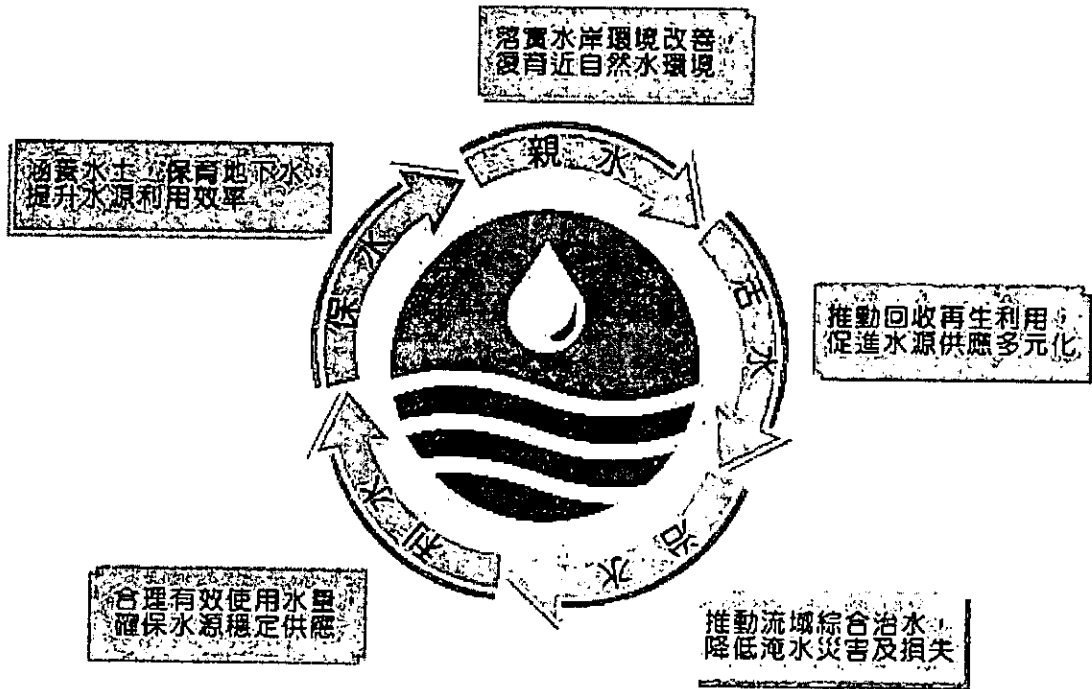


圖 2.1 水資源政策圖

本計畫之多功能人工湖，將以此五項為規劃之核心，期許能兼顧水災害及損失降低、提升水資源使用效益、促進水源供應多元化、涵養地下水層以及擴展自然親水空間。

由於全球氣候變遷及經濟發展，目前全世界都已預估未來水和能源將面臨嚴重短缺的問題，因此在利水政策的推動上，包括建立節水型社會、持續開發水源、推動供水改善計畫、加強區域

水源調配；而現在人民經濟能力及文化素質提高、工作壓力升高，期待生活週遭能有不同型態休憩環境的需求日益提高，因此在親水政策方面，則是期待能建立結合地方風情與歷史的親水文化；至於活水政策的實踐上，則包含推動海水淡化、人工湖及雨水貯蓄等替代水源措施，並積極推動水的回收再利用、發展知識型水利產業，並促進民間參與水利建設，以活化水利事業的經營等。此外，在政府所擬定的新十大建設項目中亦包含有平地水庫及海淡廠計畫，希望能結合生態、觀光、水資源等永續利用。綜合上述，不論是水利署或行政院所提出的政策，在新水源的開發或水資源的再利用上，不外乎是以下列方式規劃進行：

(一)人工湖(平地水庫)

過去以來，水庫計畫之目標均集中在河川，今後必須考慮在平地，尤其在加入 WTO 之後，可充分利用農地，儘量規劃為人工湖，增加蓄水的空間，因為台灣雨量集中，除蓄留雨水之外，必須廣建引水圳路，引豐水期豐沛川流水源，增加可用之水量，滿足枯水期用水的需求。因此計畫於適當地區開發人工湖，發揮蓄水功能，增加觀光、遊憩資源，達到營造水與綠環境之政策目標，並可促進民間投資，利用民間資金及效率，加速政府水資源及相關公共建設。

(二)水再生利用

目前相關技術已經改良，推動水再生利用之時機已逐漸成熟。目前水利署已於「用水計畫書審查作業要點」中明確要求新興工業區之計畫用水必須回收利用，並正進行「台灣地區廢污水再利用潛勢整體評估」計畫，以釐訂台灣適合再利用之民生及工業廢水處理廠及其應辦之先後順序，再分由工業區管理機關及水利署分年循序推動。

(三)雨水貯集利用

雨水貯蓄設施為替代水源的一種，由於雨水收集利用不需耗用能源且無污染、易於取得、無水權爭議、水質亦佳，是一種經濟又實用的水源開發模式。水利署為因應此一趨勢，已針對台灣地區中長期推動雨水收集利用進行整體推動規劃，期許未來 4 年內達成建立全國雨水收集貯存大型示範案例、人才培訓、新工法研發及設計規劃資料庫建立之重點推動工作。

(四)海水淡化

海水淡化由於其取水相對於其他方法穩定，技術亦逐漸提昇，故亦為未來新水源開發方式之一。惟因其造水成本高過其他方法，且於大量生產時，其鹵水對海域生態的影響亦不容忽視，故以往皆於缺乏天然水源之離島興建，以解決其民生用水問題。目前則為協助新竹科學園區之用水穩定，擬興建日產三萬噸之海淡廠一座，以降低其缺水風險、增加廠商信心。

二、國內人工湖經營相關計畫現況

基於上述說明，目前政府在新十大建設中規劃了包括高屏大湖、台南大湖、雲林大湖和桃園大湖等四大計畫案如表 2.1 所示，目標在解決缺水的問題，主要採用過去先民在桃園、台北盆地上埤塘觀念，利用平地低度利用的土地，改為人工湖，兼具補注地下水之效用。

表 2.1 新十大建設規劃中四大人工湖之預計效益

人工湖名稱	主辦單位	人工湖面積	預期效益
桃園大湖	經濟部	300 公頃	(1)提供每日 20 萬噸之供水量 (2)補注地下水源每年約 440 萬噸 (3)帶動桃園科技工業區，創造就業機會 (4)提供砂石料源 2700 萬立方公尺 (5)八里污水廠污水處理後之再生水、農業迴歸水回收再利用

表 2.1 新十大建設規劃中四大人工湖之預計效益(續)

雲林大湖	經濟部	600 公頃	<ul style="list-style-type: none"> (1)增加每日 5 萬噸之供水量 (2)補注地下水源每年約 280 萬噸 (3)新增觀光休閒區 700 公頃，結合地方產業並吸引遊客 (4)新增森林帶 300 公頃，防止東北季風入侵
台南大湖	經濟部	310 公頃	<ul style="list-style-type: none"> (1)配合曾文水庫越域引水計畫，預計可提供每日 7 萬噸水量 (2)補注地下水源每年約 100 萬噸 (3)增加週邊 50 公頃，供觀光遊憩使用 (4)儲蓄曾文溪流域汛期洪水 (5)結合南科特定區滯洪池，進一步提供休憩機能，成為未來科技都會新典範
高屏大湖	經濟部	700 公頃	<ul style="list-style-type: none"> (1)提供每日 34 萬噸之供水量 (2)補注地下水每年約 300 萬噸 (3)新增週邊 250 公頃，可供觀光遊憩等土地利用 (4)提供砂石料源 6500 萬立方公尺 (5)完成里港地區銜接至國道 10 號之溪北砂石專用道一座

(資料來源：經濟部水利署，2004 年 10 月)

上述四大人工湖尚在評估規劃或設計中，以下僅列出目前所蒐集之國內與人工湖相關計畫：

- (一)麥寮人工湖可行性規劃檢討，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 92 年 12 月

內容摘述：

計畫目的主要延續「麥寮人工湖可行性規劃」之既有成果，考量計畫區域之特性，結合工程手段進行規劃檢討，先擬定計畫開發定位，檢討人工湖水源運用方式，再考量工程經濟及環境衝擊最小條件下，進行工程佈置之調整，並就人工湖之景觀綠化加以裝點，以樹立區域水土資源運用之良好範例。鑒於基地現況及人工湖規劃，乃採近自然工法處理方式，除維護人工湖運作外，同時並提供生態遊憩環境以及創造海岸溪口的生態多樣性。因此建議多採用天然石材為主要河岸護坡材質，以融合週邊地形自然景觀，減少造成生態環境之衝擊，以達到環境和諧為本案規劃之目標。

人工湖周邊的圍堤為滿足湖內蓄水之功能及兼顧環境保全，設計方面除在工程考量上顧及安全性與經濟性外，在生態性與景觀性方面，將以近自然工法為主要設計，湖區景觀系統區分為：生態堤岸系統、溼地生態營造系統及人工湖景觀系統。

(二)麥寮人工湖可行性規劃總報告，經濟部水資源局，民國 90 年 11 月

內容摘述：

中部地區及濁水溪沖積扇之用水需求持續增加，而麥寮人工湖為濁水溪沖積扇下游地表地下水聯合營運整體方案其中一個案例。此外，麥寮人工湖之水源運用可視為「集集共同引水」及「湖山水庫」聯合運用之一環，故進行聯合運用時將集集堰、斗六堰、南岸聯絡渠道、湖山水庫下游原水管線之容量限制考量在內，如此則麥寮人工湖之水源運用效益將更具彈性與效率。

麥寮人工湖工程規劃設計原則：

- 1、人工湖蓄水區側坡面之坡面採 1 (V) : 3 (H) 設計，每隔 5 公尺高度並設戽道一處。於人工湖之臨海 (河) 側部分，經考量流動水體之穩定坡面採用 1 (V) : 6 (H) 設計，較易於臨海 (河) 側之親水活動；至於人工湖臨路側之坡面，則採 1 (V) : 5 (H) 設計，以降低陸側之視覺壓力。
- 2、參察人工湖之圍堤寬度主要考量其區域風飛砂特性，以及景觀綠化需要。
- 3、人工湖開發規模為總庫容為 1,467 萬立方公尺，有效庫容為 1,111 萬立方公尺，呆庫容 356 萬立方公尺。
- 4、在人工湖東北側設置調節池，調節工業專用管路之水量，以達分水、配水、進水之功能。為考慮人工湖之蓄水安全及其原水供水控制，人工湖須設置溢流設施及出水工。
- 5、人工湖之堤後排水主要設於人工湖堤內坡腳處，截除人工湖坡面及水防道路之表面水。
- 6、人工湖東側及南側與離島工業區聯外道路接壤，故人工湖堤內水防道路可以利用既有的道路設施不必另外開闢，平時供營運管理用，並可以作為基地的聯外道路使用。
- 7、人工湖排鹽設施主要是依豐水期來臨時再予與運轉，按人工湖有效庫容及人工湖豐水季之入流量計算，故排鹽設施之設計流量為 3cms。

(三)吉洋人工湖可行性規劃-地下水人工補注池水資源區域性營運分析，經濟部水利處水利規劃試驗所 (現為經濟部水利署水利規劃試驗所)，民國 89 年 12 月

內容摘述：

由於高屏地區豐枯水期水量變化甚大，為滿足該地區目前及未來用水需求，政府現正積極規劃及推動數項水資源開發及調配計畫，有鑑於流域型大水庫的開發在民眾環保意識高漲之

下已日趨不易，開發成本亦大為提高，而大型人工湖可增加地下水補注且其庫容亦可作為水資源調配之用，因此近來成為水資源調配各方積極探討的課題之一。

在數值模式選定上，評估 SUTRA、MODFLOW 及 FEMWATER 等國內常用之地下水模式後，由於 MODFLOW 計算效率及精度已可符合需要，且其附屬之地表地下水交換量計算模組(LAK2 package)可符合所需，因此本研究選定以 MODFLOW 及其 LAK2 計算模組為模擬工具。

在區域潛能分析上，人工湖供水潛能之評估則以包括四十年內最枯年的 5 年期距為給定水文條件，並以人工湖單獨營運與結合高屏溪攔河堰聯合營運兩種系統架構，再依開發階段，營運指標（採用 SI 值）及地質條件（垂直導水係數）等進行各種方案模擬。

三、國內人工湖永續經營相關文獻及方法

綜合上述之水資源主要策略以及目前進行中計畫外，本研究團隊進一步考量，以台灣有限的資源和地理環境，倘若能將人工湖的尺度不僅止於目前所規劃之四大人工湖上，而將既有或將興建之景觀池、滯洪池等一併考量，對於區域或社區型的水資源（利水、保水）、生態環境（親水）和滯洪（治水）功能上的效益以及操作上規則為何？由於目前國內之人工湖均仍處規劃設計階段，尚未有實際營運成效，因此，本計畫彙整目前國內關於水資源永續經營課題相關之研究如下：

(一)地下水人工補注池設計原則探討，經濟部水利處水利規劃試驗所，民國 89 年 4 月

內容摘述：

本計畫目的為探討地下水人工補注池設計原則，以做為地下水人工補注池設計及訂定操作運轉規則之參考，主要工作內

容有未飽和層地下水流動監測及三維地下水流數值模式之建立及方案模擬。前者乃是在雲林水利會芎蕉工作站之人工試驗池現場埋設土壤水分張力及壓力計，並配合現場入滲試驗，觀測並記錄試驗池下方未飽和土層水分張力及壓力變化情形，再以所收集的資料進行三維地下水流數值模擬(FEMWATER)之建立及探討。後者乃是以現有之二維未飽和地下水流數值模式(2D-FEMFAT)，配合類神經網路及遺傳演算法，探討補注池之設計原則。在人工補注池的設計原則探討及歸納方面，藉由先前所做的分析可歸納出以最大補注量與最大總用水量效益，其結果如表 2.2~2.3 所示：

表 2.2 以最大補注量為目標之不同最佳操作方法與最佳尺寸表

補注量 衰退效應	最佳幾何尺寸	最佳操作方式
不明顯	最大開挖面積與 最大開挖深度	清池頻率需隨衰退效應之增進而提升
較明顯	最大開挖面積與 最大開挖深度	清池頻率隨衰退效應之增進而降低(清池增加之補注量不足以彌補因休池無法營運之補注量)

表 2.3 以最大總用水效益為目標之不同最佳操作方式與最佳幾何尺寸表

補注量 衰退效應	最佳幾何尺寸	最佳操作方式
較不明顯	最大開挖面積與最大開 挖深度	清池頻率需隨衰退效應之增進而提升
稍微明顯	最大開挖面積與最大開 挖深度	清池增加之補注量不足以彌補因休池無法營運之補注量，故清池頻率隨衰退效應之增進而降低
極為明顯	較小之人工補注池尺寸	清池頻率需隨衰退效應之增進而提升

以地下水最大補注而言，直接以最大開挖面積與最大開挖深度以為入滲池之設計原則，其操作方式當衰退效應極不明顯時，可以較低之頻率進行清池工作，且其清池頻率需隨衰退效應之增進而提昇；當衰退效應較為明顯時，而其清池頻率方面，由於衰退效應較為明顯，因清池增加之補注量不足以彌補因休池無法營運之補注量，故清池頻率隨衰退效應之增進而降低（如表 2.2 所示）。

以最大總用水效益而言，當衰退效應極不明顯，直接以最大開挖面積與最大開挖深度以為入滲池之設計原則，其操作方式可以較低之頻率進行清池工作，並其清池頻率需隨衰退效應之增進而提昇；當衰退效應增進至某種程度，入滲池尺寸仍以最大挖方為原則，而其清池頻率方面由於衰退效應較為明顯，因清池增加之補注量不足以因休池所耗費之水量，故清池頻率隨衰退效應之增進而降低；當衰退效應極為明顯時，則需以配以較小之入滲池尺寸，以降低每次休池耗費之水量，故其最佳尺寸則明顯比前述狀態之入滲池為小，且其清池頻率亦明顯提昇（如表 2.3 所示）。

(二)滯洪池系統最佳化之研究，中央大學曾志銓，民國 89 年 內容摘述：

由於土地開發的快速變遷，破壞地表本來具有滲透能力，當暴雨來臨時，使得原先設計之排洪措施無法負荷地表所增加逕流量。並因經費與用地取得困難，以致於修建先前所設置之排洪措施不易。因此，其改進方法有二：一為調節水流型，目的在降低洪峰流量及遲滯洪峰到達時間。通常使用滯洪池與滯洪壩等來達到此目的。二為增加入滲型，目的在增加入滲減少地表逕流。一般使用停車場、人行道之透水表面、綠地等來達到此目的。該研究之目的即是將集水區內，分別於不同地點設

置滯洪池，探討滯洪池設計大小與地點選取最佳化配置方法。並對於滯洪池的設計中增加入滲的考量，期望能增加滯洪池的滯洪效益與減少工程經費的花費。該研究中的滯洪池分為下列兩項：

1、乾式滯洪池

傳統滯洪池設計時，通常設在集水區內的雨水排水系統之下游區域或天然之谷地，其構造成一器皿形狀，滯洪池前端牆身上方有一水管渠，係讓逕流量流入。後端牆身下方開有一出水孔，池底及四週邊坡為不透水之材料所建造（如鋼筋混凝土），或稱為乾式滯洪池，傳統滯洪池構造其排放出口多為孔口形，孔口之形狀通常為圓形或矩形，排放出口亦有為堰形者，惟較為少見。排放出口之功能係供滯洪池排放水流與調節降低洪峰流量之用，排放出口則銜接排放管，將逕流導引至下游之河川或雨水下水道系統。

2、濕式滯洪池

池底及四週邊坡若維持原有地表狀態之滯洪池，當降雨逕流流入滯洪池後，會有部分逕流入滲至地表下，則此種滯洪池稱為溼式滯洪池。溼式滯洪池通常設置於山坡地上，而一般濕式滯洪池有堰壩式與挖掘式兩種。堰壩式利用天然山谷所形成者，其主結構物組成為壩體、出水口、溢流段、沉砂池及消能池等。

(三)應用基地保水指標於大型公共建設滯洪池容量推估之研究-以台南科學園區為例，成功大學傅奕靜，民國 89 年

內容摘述：

由於台灣地小人稠，加上工商業的快速發展，許多大型公共建設或社區相繼開發，造成不透水面積增加，除了使逕流加快速集中外，逕流量亦較開發前增加許多，提高了洪災發生

率，故必須在開發之後，設法降低因工程開發所增加的逕流及遲滯逕流集中之時間。為滿足上述要求，通常多以兩種方法為之，一是保留適當的透水面積，增加入滲量，另一種方法是設置滯洪池，蓄積增加之逕流量，但一般多考慮滯洪池之設置。由於土地取得不易，在大型公共建設開發時，常因土地補償費用而增加許多非構建成本之工程費，該研究是採用將兩種方法結合，先考慮保留適當的透水面積，以增加入滲量，其餘逕流量再設置滯洪池，如此可以減少滯洪池所需的容量及占有之土地面積。該研究以內政部建築研究所對 1999 年所發展的「綠建築標章評估指標」中「基地保水指標」概念，對研究基地作評估，在經過水文逕流演算後，檢討開發後之洪峰逕流量是否大於開發前之洪峰流量，再加上水利的觀點，來探討基地保水指標對滯洪池容積的影響，本文亦提出一套設計滯洪池的流程，期望能對大型公共工程開發之單位提供一套示範準則作為參考。

其中，基地保水指標定義為基地開發前後保水能力之相對比值，若比值越大越代表保水能力越好，反之越差。該指標以入滲為基礎，故將原設計暴雨之雨量，扣除基地保水之入滲量，可得超滲降雨量。以台南科學園區為實例來探討，傳統設置滯洪池之做法上不考慮入滲，推估得滯洪池所需容量為 421206.25 立方公尺，若考慮入滲對滯洪容量之影響，並以基地保水指標作入滲量之估算，所推估滯洪池所需容量為 302511.16 立方公尺，結果顯示本文做法可節省 28.2% 之容量，其成效頗佳，建議在開發大型公共建設時，考慮將基地保水指標加入以估算入滲，則對節省滯洪量有很大的幫助。

(四)近河段都會區利用雨水貯留系統降低逕流量之研究，林文欽、李佩蓉，民國 93 年

內容摘述：

本研究有鑒於台灣大部分的都會區對於當抽水站排水能力不足時，只能增設抽水站來解決都市防洪問題，因此提出以利用集水區附近的公有開放空間，如公園、停車場、地下停車場等，作為貯留尖峰流量之地點，以替代增設的抽水站，並再利用原有集水區附近的抽水站作為排水的路徑，當逕流量超過渠道設計流量，則引水排入貯留設施，等逕流量小於渠道設計流量時，再將貯留設施之水排到渠道，以減低大量暴雨的洪峰量，達到防洪的效果。本研究的原理是針對當暴雨來臨時，利用貯留地點降低逕流量，因此對於大量的雨水只是加以截留，並沒有要再利用所截留的雨水。其研究以台北市的中港抽水站作為案例分析的對象，並建立一套完善的雨水貯留措施，降低都市的尖峰流量，以減低都市水災發生的機率。文中所提及國外之應用案例，更是值得借鏡，其案例如下：

- 1、加拿大渥太華市 Lebreton 公園是一個環境共生示範社區內的公園。樹林邊特別設置雨水滯留池以調節暴雨時的都市排水。此雨水滯留池設計貯水量為 76000 公升，雨水由周圍的住家屋頂及公園內引水貯存。在集水區入口處設置 46 公分深的水池，而水池可將貯水慢慢排放到都市雨水道系統，貯存水延遲在兩三天內釋放完畢，以降低都市洪峰，水池在冬天因氣溫驟降造成水面結冰亦可提供滑冰運動，在夏天則因氣溫升高亦可變成戲水池來提供消暑的功能，為一個多功能的水池。
- 2、美國科羅拉多州丹佛市之 Skyline 廣場平面設計高度比路面還來得低，在大雨來臨時可儲存數英呎高的積水，再以人工方式操作排水，以每小時下降 2.5cm 的速度排至下水道中，減低因排水設施大雨來臨時水量過多而無法即時排水的負

擔，降低短時間內洪水發生的洪峰量。

- 3、日本山口縣某運動公園內，為了吸納大面積開發所增加的逕流量，以棒球練習場、輔助田徑場、停車場作為雨水調節池，並在廣場四周以亂石砌高 1.8 米以形成貯水池，其貯水總容量高達七萬立方米。
- 4、東京都墨田區役所為一棟結合雨水及中水利用的 18 層樓辦公大樓，建築物本身利用大樓屋頂收集雨水（集水面積 5000m^2 ），雨水貯槽容量為 1000 噸，雨水使用約佔雜用水總量之 30%，中水與雨水合計佔雜用水用量之 88%。

(五)流域自然生態環境資源量化基準調查規劃評估-生態環境影響評估空間指標系統之建立計畫，行政院環境保護署，民國 92 年 12 月

內容摘述：

桃園台地之埤塘為百年來人文發展與自然環境相互交織而成的特殊景觀，就文化上，有特殊的人文景觀風貌，在台灣歷史上發展極具意義，就生態上，可提供生物棲息，例如遷移的水鳥北返南遷的棲息地，具有保育價值；就水資源管理上，埤塘蓄水功能，可提供農業水利調節。近十多年來，隨經濟發展及農業發展的式微，埤塘的原有的排灌蓄水功能漸失，使埤塘數量銳減，然而在埤塘景觀轉變的過程中勢必會造成生態上的衝擊和文化上的影響，因此對於這樣特殊的景觀必需有完善的保育策略及計畫，以平衡生態保護及經濟發展，但在這之前必需先了解埤塘景觀轉變過程及驅動力，因此藉由景觀生態指標對於景觀圖式的分析以了解景觀結構的生態涵義，並應用 Logistic 模式分析埤塘景觀轉變的驅動力，整合結果以提出景觀保育策略，另一方面，經過田野調查方式，透過生態攝影，建立景觀生態圖說，以展現生態保育之示範方式。文中提及生

態復育計畫之重要方向，為埤塘復育所應該依循的原則如下：

- 1、修復埤塘環境劣化的原因。
- 2、重視復育過程而非重視目前的生態結構。
- 3、適當的環境尺度下執行，不宜太大或太小。
- 4、設計多樣化之地景，增加其所涵養的地景資源。
- 5、設計地景俾使種源連結，以維持演化程序的完整性。
- 6、設計地景以促進動物散殖與植物分播。
- 7、設計地景以促進動物間正向交互作用。
- 8、設計地景以改善不同尺度間之微棲地環境。

並提出埤塘環境復育方式，作為埤塘生態區的復育準則，改善目前單調的埤塘周邊植栽，以確保埤塘整體生態梯度豐富化，讓物種多樣豐富滋生，達到埤塘生態基因多樣性、物種多樣性與生態系多樣性的目標：

- 1、增加池岸及植被蔓延的彎曲程度，降低水床的斜度。
- 2、以低矮的石壩及石堆控制坡度，避免池岸侵蝕。
- 3、彎道處以水草或現地枯材栽植、立樁防止池岸侵蝕。
- 4、種植水生植物及溼地植物等植栽以穩定較淺的灘地。
- 5、適時降低水面高度，以適合不同水域鳥類棲息。

(六)都市住宅社區生物多樣性評估模式之研究，文化大學洪宜萍，2001

內容摘述：

在自然界中，生物在生態系統的維持上扮演著重要的角色，人類對於生物多樣性的保存除了在道德觀的倫理價值外，生物多樣性的維持亦直接或間接地提供人類的衣食住行各方面的需求。都市住宅社區為構成都市環境所不可或缺的單元，欲建構與自然環境融合的都市環境，必須從都市的住宅社區做起。都市住宅社區中生物多樣性環境的發展，受都市計畫與都

市開發的影響而改變，本研究主要的目的即為探討都市住宅社區在都市計畫與都市開發後，對於生物多樣性程度之影響。其研究藉由保存生物多樣性、景觀生態學以及生態規劃相關理論與原則之探究，尋求生物多樣性生態規劃在都市住宅社區環境規劃之方法以及運用都市住宅社區生物多樣性評估指標、方法、步驟與流程的操作，檢核現今都市計畫規劃完成後之住宅社區生物多樣性程度，研擬出都市住宅社區生物多樣性生態規劃方法與評估模式，以建構符合永續發展以及與萬物共生共存的都市居住環境。

一般認為生物多樣性應包含三種層級的多樣性（生態系、物種、基因），追求生態系統的多樣性（棲地、生物群落與生物圈內生態程序）、物種的多樣性（有機生物的變化與多樣性），以及物種內的遺傳多樣性（位於有機生命個體基因中的所有遺傳資訊）。高度生物多樣性不但可支持自然環境的平衡、食物網的穩定及未來自然演進的進行，以人的價值觀點而言，生物多樣性更可供作醫療、作物之生產與改良，另外兼具遊憩、觀賞與教育的價值，並促使都市生態系統對於不尋常的災害有較大的容受力。

(七)橫向堆石群對溪流生態棲地流況之影響，逢甲大學林秉賢，2001

內容摘述：

該研究透過不同間距的橫向堆石群配置，觀察在不同流況及坡降條件下，直線與彎曲渠道中利用水體在床面上的幾何變化、流況歧異度指標、河床穩定性指標以及水體再曝氣能力指標的判示，找出何種配置所能產生的棲地環境較佳，結果顯示，可歸納如下幾點說明：

1、橫向堆石群的設置可有效增加研究區的水深，使相對流速與

相對福祿數減小，且在直線渠道中，配置間距為 2~4 倍相對河寬時，所產生的河床與水流型態最富變化。

- 2、渠床坡降 1.0 度且堆石間距在 4 倍相對河寬條件下，河床較穩定。再曝氣能力在直線河道中，則以 2-4 倍相對配置間距最大。
- 3、彎渠道條件下，則以 120 度偏角的彎道條件下，河床流況歧異度較大，渠床坡降 1.0 度且堆石間距在 4 倍相對河寬條件下，河床較穩定，而偏角 120 度彎道下，且在 0.2 度與 1.0 度床面坡降，4 倍相對結構物配置條件下，相對再曝氣能力較無設置結構物條件時來得大。
- 4、綜合歸納，對於橫向結構物的配置，在考慮多樣化的流況條件與維持適當的床面泥沙穩定度與水體再曝氣能力條件下，建議以直線與偏角 120 度彎道條件，在床面坡降 1.0 度時，交互配置，可有效塑造最多樣化的水體環境，以適合不同水生生物的整體生長。

多樣性指標：

1、MacArther(1957)定義

(1)種的數目與豐富度(species richness)指一個群落或生物環境中物種數目的多寡。在統計種的數目的時候，需要說明多大的面積，以便比較。

(2)種的均勻度(species evenness or equitability)指一個群落或生物環境中全部物種個體數目的分配狀況，它反應的是各物種個體數目分配的均勻程度。

2、豐富度指數

(1)Gleason(1922)

$$D = \frac{S}{\ln A}$$

D 豐富度指數、 A 為單位面積、 S 群落中物種數目

(2) Margalef (1951, 1957, 1958)

$$D = \frac{S-1}{\ln N}$$

D 豐富度指數、 S 群落中的總數目、 N 觀察到的個體總數
(隨樣本大小而增減)

多樣性歧異度指標：

在生物的系統中在著不同的或不相似的特性個體，此謂之歧異的個體，其歧異的程度謂之歧異度。因此生物歧異度是在一個生物群的特性或生命的群體中產生變化。每個特異的群中如基因、細胞、個體、種、族群或生態系都不是只有一種的，至少是超過一種的。因此，歧異度是生命系統中最基本的特性，它的生物架構層次應該從分子層次到生態系。

1、Simpson's diversity index

$$D = 1 - \lambda$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^S P_i^2 = \sum_{i=1}^S (n_i / N)^2$$

式中 P_i = 第 i 種物種所佔之比例 N = 總個體數
 n_i = 第 i 種物種之個體數 S = 物種數

λ 可視為一種優勢度指數 (Dominance index)，強調優勢集中之程度，其值介於 0 至 1 之間， N 值隨歧異度 (D) 的增加而減小，因此 n_i 值越大則歧異度亦越大。

2、Shannon-Weiner Index

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln P_i$$

式中 P_i 之定義與 (1) 相同， H' 值隨物種數與均勻度之增加而增大，當物種為均勻分布時 (即 $P_i = 1/S$ 時)， H' 有極大值；若只有一種物種 ($S = 1, P_i = 1$) 時， H' 為 0，即無歧異度可言， H' 值大小最能反應中等豐富度物種之變化情形。

溶氧指標—再曝氣係數 (K_2)：

水體中溶氧量的多寡，乃作為判斷水質好壞的重要標準，通常 DO 的來源包括在大氣中的曝氣作用、水生植物的光合作用(photosynthetic)及支流攜入。再曝氣作用發生的機制，主要藉由水之流動將氧氣擴散溶解於水中，使水體及空氣間之氣體達到平衡(飽和)，當水體之 DO 呈為飽和狀態時，再曝氣作用便自然發生，並且不斷補充水體中的 DO 直到飽和為止，此作用對水體水質之提升有積極而顯著之成效。

再曝氣係數通常可由下式定義：

$$K_2 = \frac{C \times u^n}{d^m}$$

其中 n 、 m 為經驗常數， u 為平均流速， d 為平均水深， C 與河川特性有關。

均水深， C 與河川特性有關。

四、國外人工湖永續經營相關文獻及方法

自 1980 年起，永續發展的觀念首先由國際自然和自然資源保護聯盟(International Union for Conservation of Nature and Natural Resource, IUCN)、聯合國環境規劃署(United Nation Environment Programme, UNEP)及世界野生動物基金會(World Wild Fund For Nature, WWF)三個國際組織共同出刊之「世界自然資源保育方案」(World Conservation Strategy)，強調整合發展與保育，使保育觀念融入開發的過程中，以達到永續利用生態系統的目標後(施鴻志，1997)，在 1987 年聯合國「世界環境與發展委員會」(World Commission on Environment and Development, WCED)發表「我們共同的未來」(Our Common Future)報告中，正式提出永續發展的觀念，該觀念不僅在世界各國引發了廣泛的影響，同時也成為全世界最重要的思潮之一。

永續發展提供了一個整合環境政策與發展策略之架構，其概念是「永續的發展」、「可容受的發展」或是「可持續的發展」。有

些學者認為經濟成長與環境保護是互相衝突且矛盾的，故環境保護與經濟成長是不可能兼籌並顧的，若要追求永續發展就必須捨棄經濟之成長。但也有學者認為環境改善與經濟成長是可以兼顧的，例如，改善生產製程與方法可以減少污染並降低成本，但不可否認地，經濟與環保有時是互相衝突的，但並非是絕對的(DETR, 1997)。永續發展的定義目前在國際上並沒有一個形成一個共識，不過目前最被廣為認同的定義有以下兩個：

- (一)聯合國世界環境及發展委員會(WCED)1987年於「我們共同的未來」報告中對於永續發展之定義為「符合當代需求之發展，而此發展不應損及後代子孫追求其本身需要之能力」。
- (二)國際自然和自然資源保護聯盟(IUCN)、聯合國環境規劃署(UNEP)及世界野生動物基金會(WWF)等三個國際組織在其共同出版之「關心我們的地球」報告書中，對於永續發展的定義為「在生存於不超過維生生態系統承载力之情況下，改善人類生活之品質」。

本計畫中所蒐集彙整的國外關於影響湖泊或水庫發展的文獻中，所共同提及影響人工湖、天然湖泊或水庫壽命的原因通常包含以下幾個因素：

(一)水深：

為滿足人工湖的生態標的，水深限制必須維持在一最小的水深之上，以期維持湖泊內的基本生態所需。Handzo, Stefan等學者，於1994-1996期間，將美國Minnesota州一帶之3002個湖的基本資料與魚種類建置基本資料庫，並依據最大深度、面積和優養狀態將湖區分為27種類別，經過長期的監測記錄與分析，驗證魚類生存與湖的幾何條件所造的分層現象、水溫、DO有密切的關係。並指出湖表面積0.25次方與湖泊最大水深之比值($A^{0.25}/H\text{-max}$)作為預測指標，若比值大於8，表示湖

體有充足的溶氧，若比值小於 2，則湖體夏季發生熱分層情況，尤其在湖底處其溶氧值偏低。

(二)淤積：

大多數的文獻均提及，淤積過多將會影響湖泊蓄水深度。由於台灣河川沖蝕力特強，集水區上游又開闢了不少果園、茶園、農地，使得水庫極容易被淤埋，同理，倘若人工湖集水區內有不當開發行為，每逢颱風、暴雨，大量泥砂、汙染物沖入人工湖，造成人工湖淤積，蓄水量減少，將讓人工湖壽命為之大減。因此淤積的問題亦為國內人工湖影響因素之一。

(三)水源（入流量）：

無可置疑的，水源為維繫人工湖存在與否的要素。不論是自然湖泊或人工湖，當水源中斷而導致乾涸時，湖泊壽命便自然終止，因此，任何型態之人工湖在興建前，水源的供給便是一個相當重要的課題。

(四)土地利用：

與溪流相仿，倘若人工湖週遭土地利用失當，例如：農地或畜牧，都會使農地合成肥料、動物排放物等排放入水體中，造成高度污染。

(五)水質：

在一般情形下，人工湖水體仍需維持基本之水質標準，除了蓄意排放有毒廢水外，通常可以參考水體水質標準。

(六)優養化：

營養鹽（Nutrient）是湖泊中植物生長重要的因子，通常會沿著水體與光線照射的地方發生，所供給的養分將使的藻類快速繁殖，當然也會因而大量死亡，這些代謝過後的藻類，在腐爛分解的過程會用盡水中的氧氣，使得棲息在那兒的魚族，會因窒息而死亡。由於人工湖與水庫均為靜止水體，尤其是都市

中小型人工湖，由於湖深相當淺，幾乎由水面至底床均受到日光的照射，優養化情形更是快速。

Matsui 等人曾經於 1995 年對世界湖泊環境組織以及聯合國環境規劃署所調查的 73 個國家中 217 個湖泊及水庫資料作整理，將所有影響因子歸納為六個主要的影響類別如下：

- (一)水位降低
- (二)快速沉積
- (三)酸化
- (四)有毒物質污染
- (五)優養化
- (六)生態系統和動植物的滅絕

澳洲墨爾本水資源局 (Melbourne Water) 於 2002 年曾經對較淺的都市型人工湖系統撰寫簡要的設計準則，其中亦提到希望能永續經營的注意項目包括水質、濁度、入流量、生物多樣性、棲地、生態生存危機警訊、區域性系統引入與建立、維護與操作系統以及監測計畫等。此外，該準則中對較淺的都市型人工湖的建議水深為 3 公尺 (以 1~2 公尺為合適)，而湖斷面水深需要多變化有深潭和淺淵，以提供不同生物棲息之空間；至於控制營養鹽上則建議栽種水生植物，其功能可以穩定土壤及吸收多餘的營養鹽，該手冊中建議栽種沉水植物 (Submerged Macrophyte) 的面積至少要占 50%；並可加入人工溼地，作為前端或後端水質處理單元，已有相關文獻與實驗證明人工溼地可以相當程度的降低氮、磷、濁度等含量，如 Shutes(2001)、Moshe(2003)；在溼地種植大型水生植物 (Macrophyte) 對於氮與磷兩元素有極高的吸收利用性，並且因著流速減緩和沉澱之效果，使濁度下降，水質變清，可達到水質淨化之效用。(Shute 2001, Moshe 2003)；至於擔心暴雨等事件所大量進入的泥沙淤積，可再加入結構性設施如沉沙池，或

是透過如集水區上游植樹（同時可增進人工湖系統之景觀條件）等方式來作處理。

在中國方面，由於城市化的發展，多數的湖泊有優養化問題產生，其中巢湖位於安徽省合肥、巢湖兩市之間，流域面積 13000 平方公里，因湖呈鳥巢狀而得名，巢湖水質污染嚴重，因此有學者針對此作生態模擬。Xu(2001)曾經採用直接量測方法(Direct Measurement Method; DMM)及生態模式方法(Ecological Modeling Method; EMM)來評估巢湖湖泊生態系統的健康，當生態系統在一定時間內的結構及功能處於相對穩定狀態，即受到外來干擾後能經由自我調節可恢復原來的穩定狀態，稱為健康的生態系統，當無法恢復穩定狀態，則為不健康的生態系統，並藉由此研究建議中國境內湖泊健康評估的方式。所採用模式中所需要的參數有結構性指標(structural indicators)、函數型指標(functional indicators)以及系統性指標(system-level indicators)，結構性指標包含了浮游植物網格大小、浮游植物量、浮游動物大小、浮游動物量與浮游植物量的比值、藻類種類等等，函數型指標則為藻類主要產生率與有機質量的比值等項目，至於系統性指標則是浮游植物緩衝能力、湖泊結構潛能等項目，這些項目均是直接採用量測值或由量測值計算而得，因此若要使用於本研究，則必須先要有相關的觀測資料庫才行。

Guneralp(2003)則是以系統動力學的方式建立湖泊動力模式，進而描述研究區域內湖泊生態與社會經濟的之間的交互關係，模式中所提到的 Lake Uluabat 位於土耳其境內，當地的氣候乾濕季節變化很明顯，捕魚是居民最主要的經濟活動，當湖泊開始產生優養化時，便會造成經濟活動降低，使得當地居民捕獲量降低而收入減少，進而影響生活品質，結果為當地居民逐漸外流，造成社會架構的改變，藉此可以看出湖泊生態會關係到社會經濟

的永續發展，維持湖泊的永續發展是相當重要的。由該研究所建立的動力模式及模擬結果中呈現，湖泊水量與水質的變化將會直接影響生態系統的平衡，而生態系統的平衡狀況會影響經濟活動和社會架構，因此湖泊生態系統、經濟活動和社會架構三者的關係密切，互相牽連影響。

綜合上述之國內外相關研究及國內現況分析，由於台灣地小人稠，不論從土地或天然水資源的取得上都相當有限，如何能有效的利用是一個重要的課題，因為都市內開發面積越來越大，所需要的滯洪體積越來越多，但這些以治水為出發點的滯洪池就猶如一個中小型的人工湖一般，若僅在一年之中發揮數天的功能實屬可惜；此外，目前國民的生活型態改變，對於親水綠地的渴求日益升高，因此公園綠地或社區、工業區內之景觀池或生態池的興建也日益被看重，這些以親水為主要觀察對象的生態池在規模上近似於一小型人工湖一般，儘管因物種不同所需要的基本生態維持水量不同，但基本生態維持水量至滿水位之間通常還會有空間可提供給滯洪使用，在水源上也可就近提供與緊急用水使用。如此一來，可以將國內的人工湖發揮多方面的效益。綜合前述所彙整之各項分析，本研究將多功能人工湖在操作上的標的及規劃經營上所希望達到的目標定義如下：

- (一)不論人工湖規模大小，在操作上的多功能標的依據國內人工湖使用功能，彙整為水源運用、滯洪、及生態景觀三個主要標的。
- (二)在人工湖的規劃使用上，為符合國際趨勢，希望能達到永續經營目標。綜合國際組織之永續發展定義以及國內外對人工湖影響因素的分析，本研究認為多功能人工湖的永續經營原則如下所述：除了希望能有多方面水涵養及都市滯洪的功能外，並期待能營造一個健康的水環境，使人工湖本身之生態景觀環境，與週遭自然環境相契合，並使能隨著水的流動而有穩定的循環變化，長久維持水資源質與量，以及生態系統平衡與循環機制。

第叁章 多功能人工湖標的與系統功能分析

如第貳章中所述，目前國內水資源政策朝向治水、利水、親水、活水、保水五個方向。因此，本研究團隊乃考量在開發新水源同時，能整合國內目前已存在之單一標的之滯洪池、景觀池等功能，而能達到兼顧各種需求的多功能工程設施。由於國內目前針對水源供應為主要標的之大型人工湖研究上著力較多，因此，本計畫將對尺度較小之人工湖、甚至是都市或工業區等區域內之滯洪池或景觀池（以下將一併稱之為中小型人工湖）作分析及考量。

如上一章所述，本研究將人工湖設置標的歸納為水源運用、滯洪及生態景觀，惟就廣義而言，人工湖涵蓋範圍廣泛，從大型的人工湖泊如推動中之高屏大湖至小型埤塘皆是，除了尺度外，每個人工湖因設置需求不同對於不同標的之重視程度亦不同，故將來在實際應用上並非每個人工湖皆是各功能並重，而是需視各種主（需求）客（規模大小及物理條件等）條件而定。由於考量的因素增多，勢必增加分析的複雜性，因此本計畫擬採用系統動力學理論，以系統化的方法進行分析，然而在應用這一類系統化的分析程序之前，必需先釐清水源運用、滯洪及生態景觀等不同的標的之間，在人工湖系統操作上及時空上的互動或互斥關係，再針對滿足各項功能系統所需的單元配置，進行探討。最後綜合出多功能人工湖應考量的時機、系統的組成及應注意事項等規劃設計原則。在進行系統化分析之前，必須先將多功能人工湖可能因為其他不同目的所配搭之設施，以組成單元方式分析，因此，本章首先將可能應用的水利設施分類並說明如下。

一、多功能人工湖系統各單元之功能探討

本研究中所謂之單元即是為能達到某種特定目的一個或多個實體設施的集合，經常被提及使用的單元定義如下（如圖 3.1 所示）。

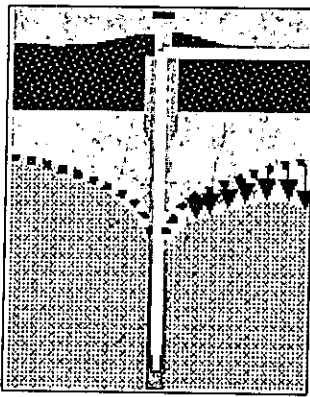
- (一)蓄水單元：人工湖的蓄水容積，包括其幾何條件、底床坡度等以及人工湖所影響的地下含水層等，此為人工湖系統中的最基本單元。
- (二)入滲單元：控制人工湖滲透量（速度）的設施，如湖體下之土層、控制滲透速率之濾層或砂樁、具滲透功能之地工材料等。
- (三)輔助水源單元：抽取或收集人工湖地表或地下水以進行水源運用的設施，如抽水馬達、抽水井或地下集水管等。
- (四)水質處理單元：改善湖體水質的設施如曝氣設備、沉砂池、湖底表面礫石層、水生植物及底泥等，需視供水或生態所需滿足之標準而定。近年來，溼地亦為常用之水質處理單元之一，圖 3.2 即為利用溼地來處理污水後並排入人工湖之示意圖。
- (五)生態景觀維護輔助單元：生態景觀的維持除了需從整體設計考量外，有時仍需一些輔助設施如人工島、低透水底層及生態維護抽水井、週遭的景觀植物等，以局部的控制水量及水質的循環，滿足生態景觀的最低需求。如利用低透水層材料來維持人工湖的基本維持生態的水量，當水量低於最低生態維持水量時，則可以抽取地下蓄水單元的水來補充其水量（如圖 3.3 所示）。然而，生態景觀很難在人工湖建立之前評估成功與否，僅能提供設計準則，使能降低失敗風險，並配合監測計畫，來檢討其效益。
- (六)引排水單元：人工湖水量的流入除了降雨及地表逕流外，視人工湖的大小尚有規模不同的引排水設施，大型的人工湖可具有攔河堰、引排水幹管或渠道及閘門等，至於中小型人工湖則可能只需小型水工設施連接區域排水系統即可。



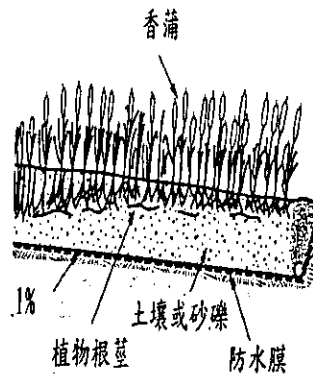
蓄水單元-人工湖



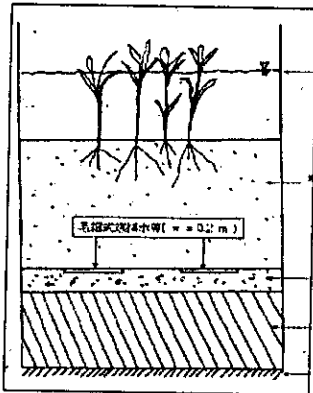
入滲單元-湖體下之土層



輔助水源單元-抽水井



水質處理單元-水生植物



生態景觀維護輔助單元-土壤低透水層



引排水單元-排水渠道

圖 3.1 系統各單元介紹及舉例

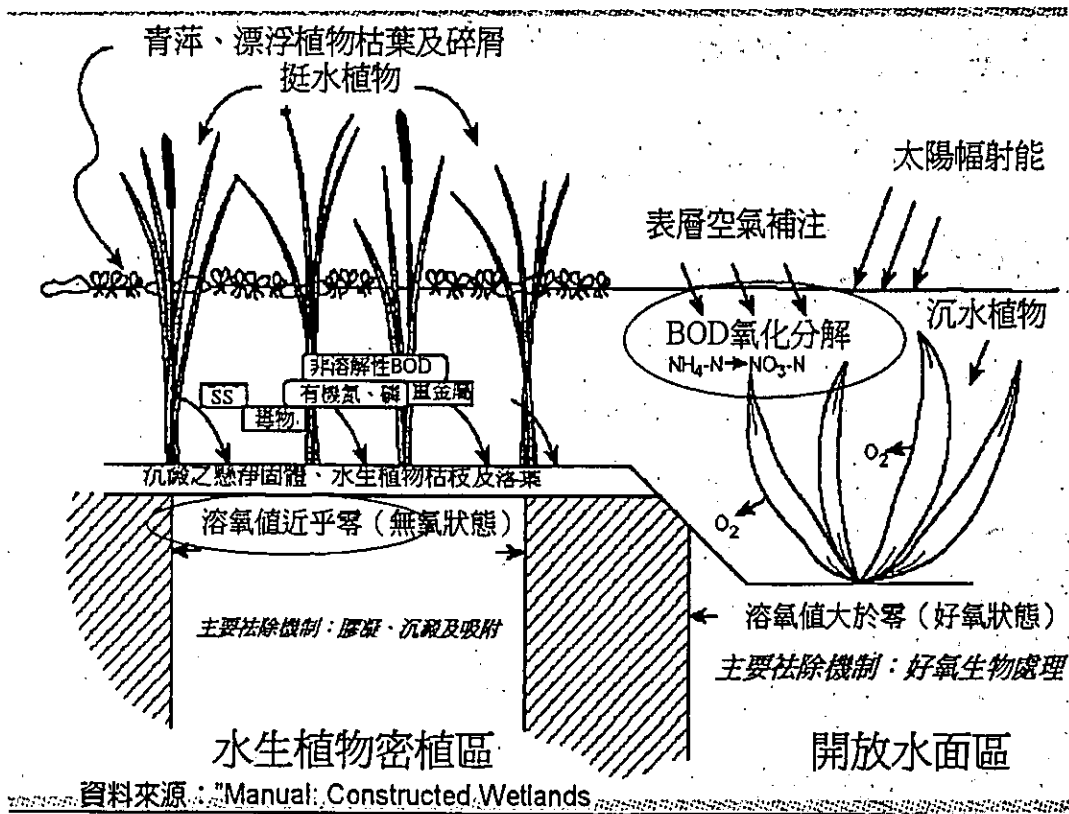


圖 3.2 水質處理單元(溼地)

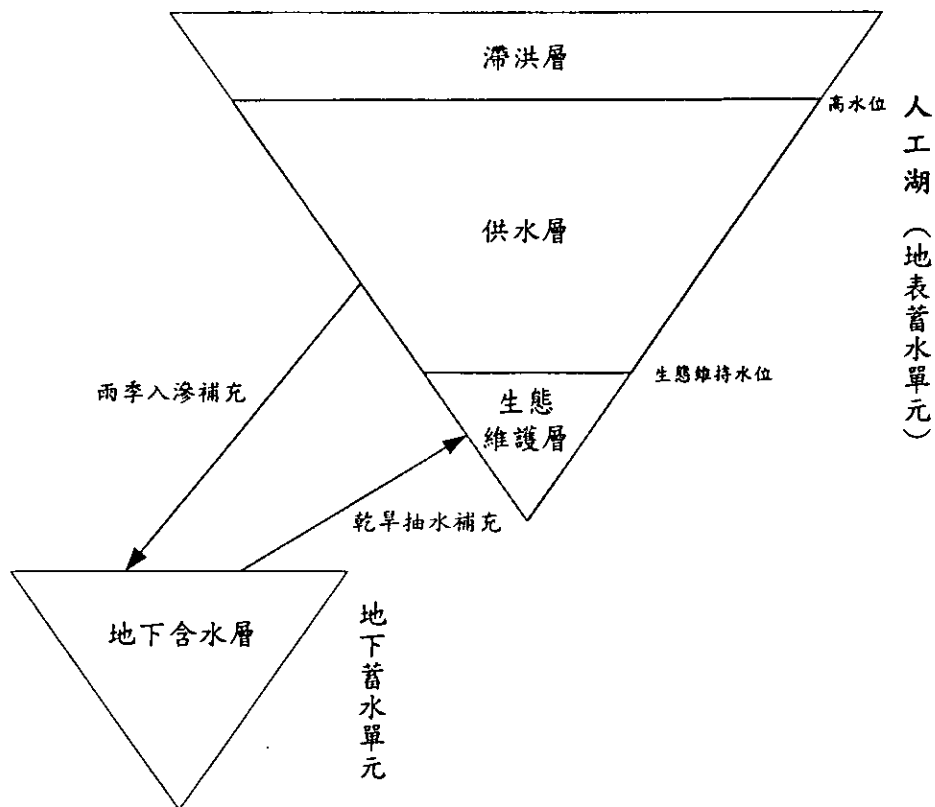


圖 3.3 生態景觀維護輔助單元之操作概念

二、多功能人工湖不同標的之系統單元組成分析

由前述對於人工湖系統各配合單元之功能初步分類，以下則進一步以系統流程圖，說明人工湖系統在滿足水源運用、滯洪及生態景觀各標的時之可能單元組成：

(一)滿足水源運用標的之系統架構

以水源運用之觀點，系統單元著重在水的儲蓄及如何引水排水，如圖 3.4 示，其中包含了：地表蓄水單元、引排水單元、入滲單元、地下蓄水單元、水質處理單元及輔助水源單元。

就水量觀點上，水源由降雨形成之地表逕流，經由引排水單元進入地表蓄水單元，引排水單元之另一功能亦可將地表蓄水單元多餘無法再儲蓄之水排出。此外，降雨可經由入滲單元進入地下蓄水單元，最後不管地表或地下蓄水單元，皆可經由輔助水源單元供水。而在水質觀點上，由於湖泊是屬於靜止水體，因此，地表蓄水單元之水可透過入滲單元進入地下蓄水單元，再經由水質處理單元處理以提供水質較佳之供水。

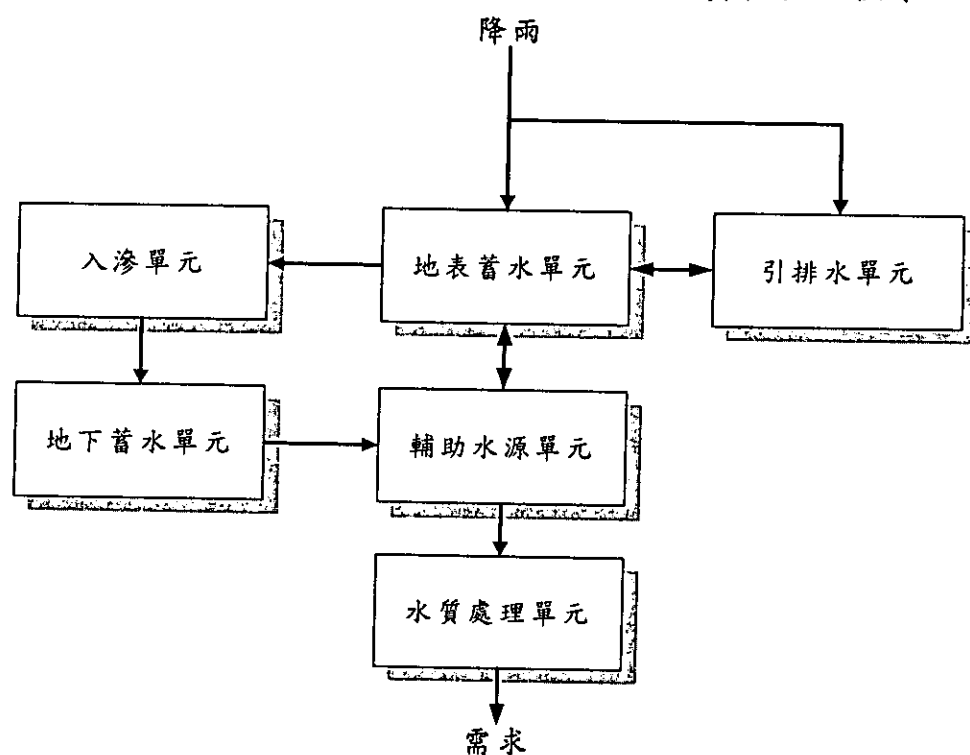


圖 3.4 滿足水源運用標的之系統之單元組成圖

(二) 滿足滯洪標的之系統架構

相對於水源運用標的之系統，滿足滯洪標的之系統組成則較單純，其最主要目的在希望暴雨來襲時，透過系統能截留較多之水量，由於此時以防災為首要工作，而對於水質則較無考量。由圖 3.5 看出，滿足滯洪標的之系統主要由引排水單元、地表蓄水單元及入滲單元組成，其中引排水單元為引入要儲留之水量及可排出地表蓄水單元無法再貯蓄之多餘水量；此外，由於暴雨來襲時流速太快，當土壤飽和後便很難反應至入滲單元進行入滲，因此入滲單元的功能並不一定能夠在此時發揮功能，然而，若增加地下水補注則可以再考量。

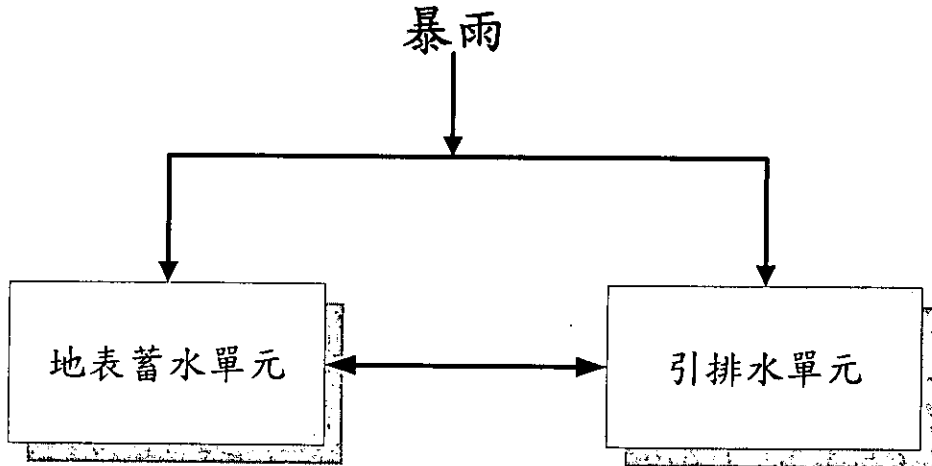


圖 3.5 滿足滯洪標的之系統單元組成圖

(三) 滿足生態景觀標的之系統架構

一般而言，湖泊及水庫都被視為靜止水體，除了水體流動速度傾向緩慢到幾近靜止，其流動方向性與持續性較不明顯外，生態架構也似乎穩定許多（曹先紹，2003）。然而，生態與景觀均需要適合的棲地提供動植物生長的環境，因此所會產生的問題若以水之觀點來考量，則重點在於水量及水質，此處之水量並非如水源運用及滯洪標的單方面所要求之能貯蓄愈多之水量愈好，而是能夠滿足觀察水體中基本生態維持之水量

便可，但不同的動植物需求不盡相同，對於此類靜止水體之水質，常用之評估標準便是優養化程度，台灣常用之指標則為卡爾森營養鹽指標（Carlson Trophic State Index, CTSI），多數研究均指出，對於靜止水體的水庫與湖泊而言，除了惡意排放之廢水外，最不易控制的便是優養化現象及藻類的大量繁衍，而主要幫助藻類生長的因素氮、日光等都不虞匱乏，而國內目前對於水庫水質之分析研究中，發現水體中總磷的含量極高，因此磷便成為藻類生長的最後影響因素。

類似水源運用及滯洪標的，考量滿足生態景觀標的之系統組成如圖 3.6 示，其中包含地表蓄水單元、引排水單元、入滲單元、地下蓄水單元、生態景觀維護單元、水質處理單元及輔助水源單元。由圖 3.6 看出在上述之 7 種單元中，乃以水質處理單元及生態景觀維護輔助單元為系統之核心，其原因為此二單元控制了生態環境所需之水質及水量之要求。由圖 3.6 看出，水的流動過程較先前之水源運用標的及滯洪標的複雜了很多。經由降雨後，水由地表蓄水單元，再到水質處理單元與生態景觀維護輔助單元，以維護生物生存所需之水環境，另外，地表蓄水單元之水，亦可經水質處理單元、入滲單元到達地下蓄水單元，最後不管地表或地下蓄水單元貯蓄的水，都可經由輔助水源單元，提供生態景觀用水。在乾旱時期時，地下蓄水單元所貯蓄的水，則可再提供生態景觀維護輔助單元，以維持缺水時期動植物所需維生之基礎水環境。

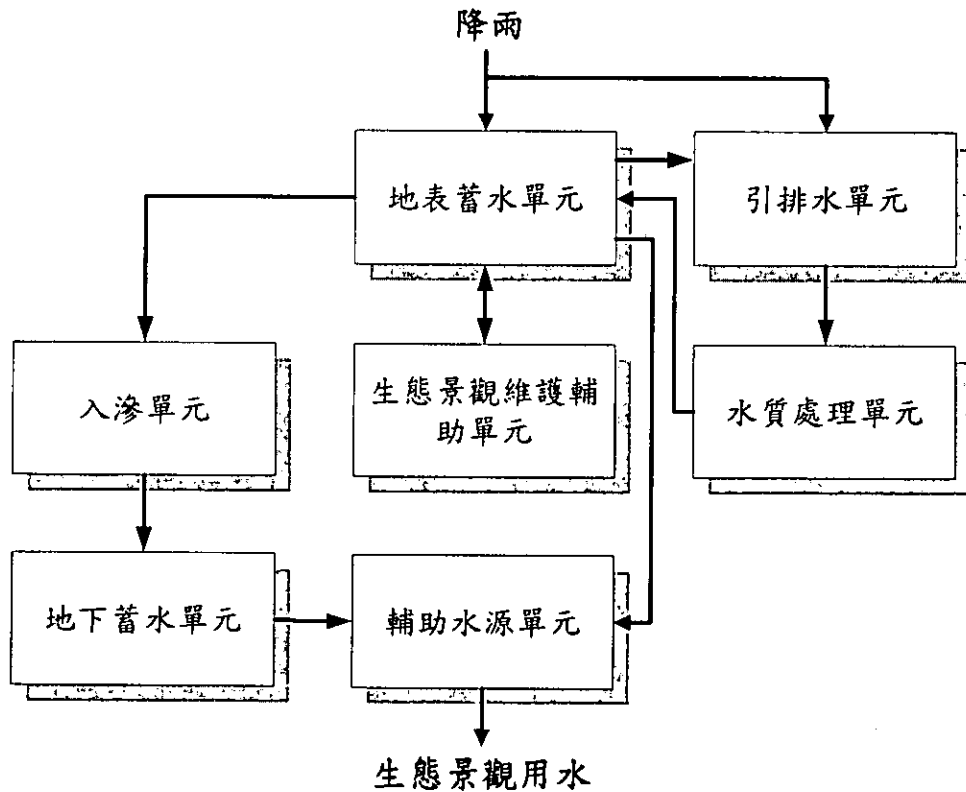


圖 3.6 滿足生態景觀標的之系統單元組成圖

(四)滿足多標的之系統架構

上述(一)至(三)項為針對各別標的可能之系統單元組成分析，將可提供作為不同標的考量時之系統架構參考。舉例來說，由圖 3.4 水源運用標的之系統及圖 3.5 滯洪標的之系統可以發現，水源運用之系統組成單元已包含了滯洪之所需單元，但即使是相同單元，所需考量條件亦會有所差異，建議採用兩個標的之最大需求來做規劃考量，此外，比較圖 3.4 水源運用標的之系統及圖 3.6 生態景觀標的之系統，生態標的之系統單元僅多了一個生態景觀維護輔助單元，但所考量的方向則不盡相同，對於生態景觀標的之系統來說，水的流動就比水源運用之系統複雜了很多，雖然此二個系統均有水質處理單元，但因

供水對象需求的不同(一個以非民生用水為需求，另一個以生態景觀用水為需求)，其水質所需符合的條件便會有差異。本計畫建議以滿足所需標的之最大系統單元，作為多標的人工湖之系統組成架構，如圖 3.7 所示。舉例來說：當連續降雨發生時，地表蓄水單元可能會發生滿水位情況，因此可以設計溢流口(引排水單元)，以達到排水之效用，針對水源運用標的，設計溢流口通常位於人工湖蓄水單元的最上層，倘若針對滯洪標的，設計出流口則經常位於人工湖蓄水單元的下層處，以便能將多餘的砂量一併排出，因此，藉由類似的標的需求分析及後續文章中的設計原則分析，可以更清楚各標的所需之單元組成的共同性及差異性，作為規劃設計總原則之依據。

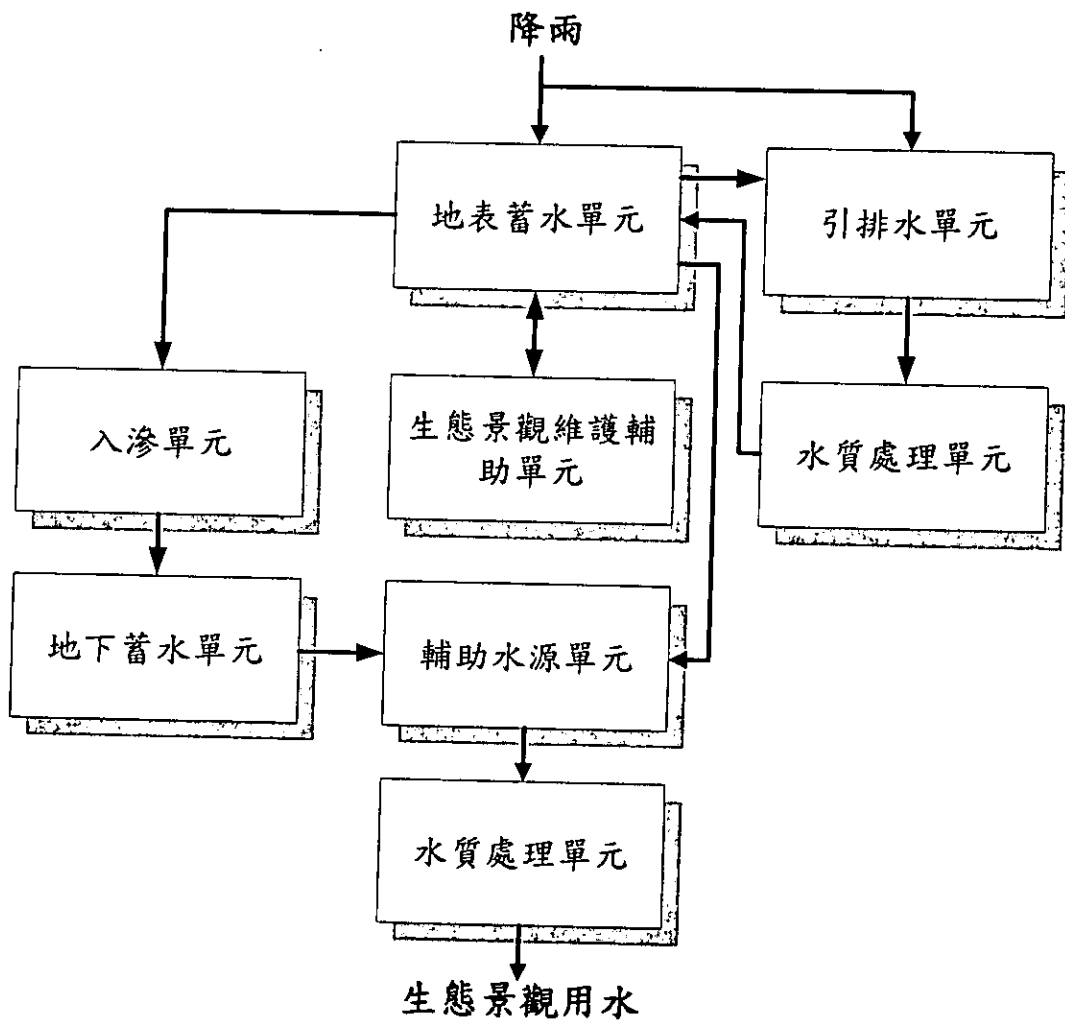


圖 3.7 滿足多標的之系統單元組成圖

上述是從多功能人工湖系統組成單元與不同標的之下的需求來探討，然而，在多功能人工湖操作時，將會因應水源量的多寡調整不同的操作方式，茲將其說明如後。

三、多功能人工湖於豐枯水時期功能探討

一般而言，當未引進任何如河川等其他水源時，內陸水體的主要依賴水源量便是降雨，台灣係屬豐枯時期顯著的氣候型態，且一年之中會有數個颱風來襲，此為內陸水體操作時不可忽略的問題，因此本文將分別說明多功能人工湖於水源運用、滯洪與生態景觀為主要標的時，依據豐枯時期區分為平常時期、乾旱時期與洪水時期，多功能人工湖為因應其基本需求所反應之操作方式及強調之功能，圖 3.8 便是表示在不同時期之下，為達成多功能各標的需求之系統功能。

(一)平常時期：

由於本研究中所考量的多功能人工湖標的為水源運用、滯洪及生態景觀，因此在平常時期，多功能人工湖便可提供水源運用及維持生態景觀環境兩者之功能，在水源運用中，除了經常性水源供應之外，尚可透過入滲單元對地下含水層進行補注，以供乾旱時期使用。

(二)乾旱時期：

在乾旱時期，多功能人工湖水體仍需負有維持基本生態景觀環境之功能，而在水源運用上則可依據平日供水對象及週邊水源支援狀況採取減供或不供的策略來因應，舉例來說：倘若為大型人工湖，並且其主要標的為水源運用，則在乾旱時期所需負擔的水源調配責任仍重要，因此必須抽取地下水來維持供水；但之於景觀池或滯洪池等中小型人工湖，其平日供水責任可能僅止於非民生用水，因此在乾旱時期便可採取不供為因應策略。

除此以外，倘若在乾旱時期，湖體內水位可能因蒸發散等因素低於地下水位，則地下水將由湖底或周圍滲入湖中，產生集水效應，進行供水。整體而言，當乾旱時期長且面臨緊急狀況時，均可以利用此多功能人工湖系統之輔助水源單元來抽取地下水，以解決短期因為乾旱所造成的缺水問題。

不論是平常時期或乾旱時期，人工湖均直接提供維持生態景觀環境所需之水源，而人工湖湖體本身，則可以有調節溫度的作用，使得週邊的綠色植物降低溫度，透過光合作用，吸收二氧化碳，也可以減緩溫室效應，並提供周圍植物所需之水分，同時也提供動物棲地，以及生物生存之空間。

(三)洪水時期：

由於目前土地利用已開發面積越來越多，都市或工業區等鋪面多數已由水泥、瀝青等不透水材料所組成，阻絕了雨水滲透的機會，使得雨水透過地表直接逕流排出。本計畫所提及之中小型人工湖主要位置便多位於開發區或都市區域內，因此，除了可以將雨水入滲到地下蓄水系統外，尚可將部份雨水由地表蓄水單元貯存，以減少尖峰逕流量，降低區域排水系統之負擔減少，便可以達到降低洪峰流量之滯洪效果，此亦為滯洪的意義。

然而，倘若為了增加人工湖之滯洪功能，則可以增加人工湖（地表蓄水單元）之可蓄水體積，最直接的作法便是增加人工湖之容積或降低滯洪操作時所空出之人工湖水位以增加滯洪體積，儘管降低人工湖水位將會影響供水，但是若該開發區並無足夠之滯洪能力時，多功能人工湖便必須在保護人民生命安全為前提的考量下，以滯洪標的為主要考慮因素，雖然暴雨往往會對於多功能人工湖之生態景觀環境造成破壞，而此時對於多功能人工湖之水生植物或景觀植栽應選擇當地物種，以利

生態景觀環境之容易復原。

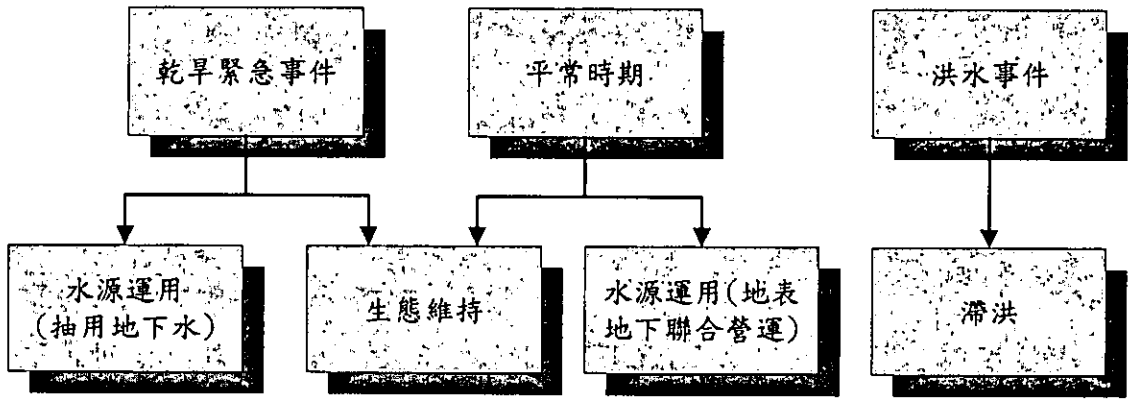


圖 3.8 不同時期之多功能人工湖系統功能示意圖

第肆章 多功能人工湖系統規劃設計原則建立

規劃設計原則訂定之目的在確定多功能人工湖系統之需求，而能更清楚明瞭所應依循的方向和現實條件之限制。在前兩章中，本研究從國內現況及國內外文獻中，將多功能人工湖永續經營的目標定義為「營造一個健康的水環境」以及「長久維持水資源的質和量」，期能使多功能人工湖能夠「可持續的發展」，並探討多功能人工湖系統在不同標的下之可能組成單元以及不同操作時期所能考量之系統功能。本章將進一步由多功能人工湖永續經營方向上，在技術面及環境面並兼顧水源運用、滯洪及生態景觀等不同標的時，探討整體系統之規劃設計準則。

不論多功能人工湖開發規模為何？主要標的為何？一個多功能人工湖是屬於戶外、不能沒有水源、與該區位之自然環境密切連結、且需要長期維持的，因此為能達到永續經營目的，不能不考慮上述這些層面。「世界經濟合作暨發展組織」(OECD)於1991年，基於關切「何種質與量的經濟成長可合乎永續發展的理念」，而致力環境指標的研究，並在秘書處(OECD Secretariat)及會員國諸多機構的合作下提出了環境指標的相關報告，並提出第一套環境指標(表)，作為評量環境表現之工具，當時所提出的報告，尚停留於摸索的階段，僅粗略地將各種污染排放、資源耗用的實況等加以統計陳述；隨後在國際「永續發展」(sustainable development)思潮的推波助瀾之下，希望建立一套可做為環境績效評估工具的指標，使政策可以整合各項議題並將環境因素納入經建政策中，並於1994年引進PSR模式，以一種較清楚地方式將整個環境指標架構確立了起來，該架構的主要精神是將環境系統視為所謂「壓力-狀態-回應」的PSR(Pressure-State-Response)，其模式架構如圖4.1所示，以做為永續發展指標中有關環境議題的考量。從該圖可以看出，對於所討論的環境議題來說，壓力指標P項目主要是指因著人類行為或其他背景因素對於環境所造成的壓力，而狀態指標S

項目則表示自然環境的質與量隨著時間所表現的狀態（並非當下隨著壓力所反應的狀況），至於回應指標 R 項目便是為了減緩或避免對環境所造成負面衝擊所訂定的技術、法規、管理策略、監測等回應，舉例來說：當討論的環境議題為氣候變遷時，則溫室效應氣體的排放量便為可能的壓力指標（P）項目之一，而狀態指標（S）項目則可能是平均氣溫、週遭的二氧化碳含量等，至於採取的回應（R）則可能是能源利用政策的改變。表 4.1 便是 OECD 針對目前國際上主要環境議題所訂出的 PSR 指標項目，主要集中焦點於氣候變遷、酸化、臭氧層破壞、優養化、毒性物質污染、都市環境品質、生物多樣性及景觀、廢棄物、自然資源及一般性指標等主要環境議題上。

然而，當人們因為避免對環境造成負面衝擊而採取某些因應策略時，如何評估是否已對於所主要討論環境議題形成正面回應？便成了另一個重要的問題，因此如何選擇評估指標（Indicator）是很重要的，對此，OECD 並無提出具體的評估指標，其主要原因是認為各個國家狀況不同，因此任何評估指標都應因國家置宜，其最大的效用便是在幫助決策者容易由評估指標值瞭解何處發生了異常現象或進步程度，因此認為評估指標的選用大致分為以下四類：

- (一)容易看出履行成效：通常為某一個函數的無因次數值
- (二)定義門檻值：通常為某一個參數的最小或最大值
- (三)因果關係循環：可以看出環境狀態和壓力間的連結關係
- (四)模式建構及情境分析：可以支援情境分析或模式建立的實際資料和現場測試資料時使用。

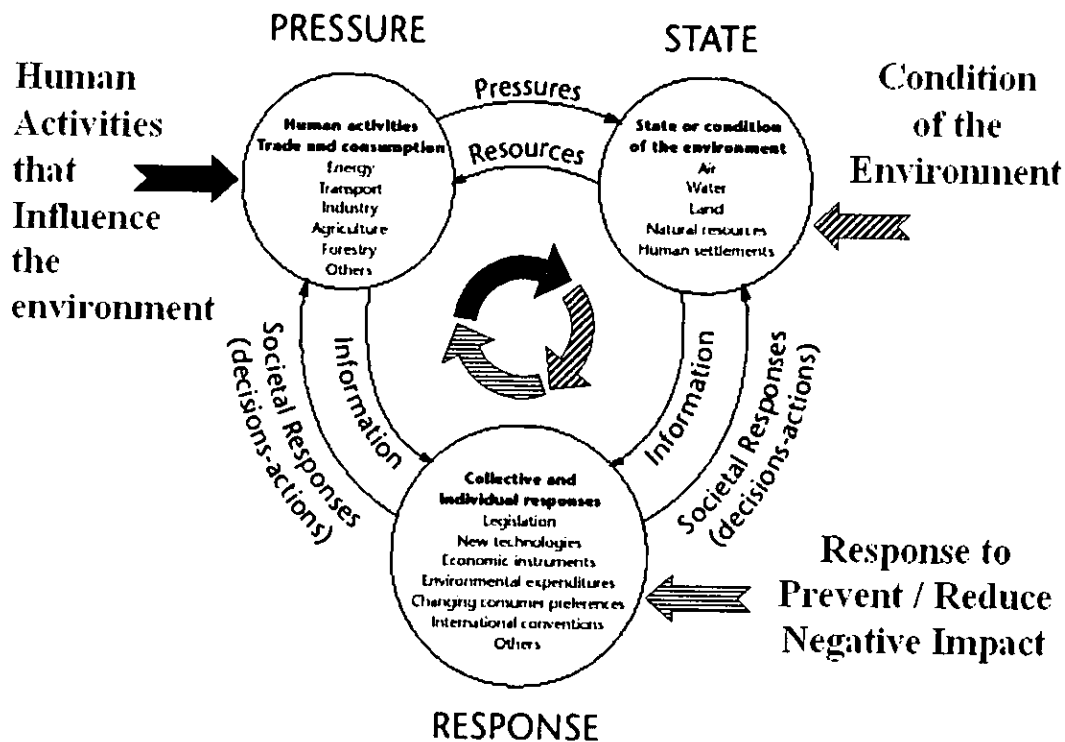


圖 4.1 PSR 模式架構 (資料來源：UNEP, IISD & Ecologistics International, 2000)

表 4.1 OECD 1994 年環境壓力及環境狀態指標項總表

環境議題	PSR 環境指標	時間尺度
氣候變遷	• 溫室氣體排放指標 P*	MT
	• 二氧化碳 (CO ₂) 的排放 P	ST
	• 溫室氣體在大氣中的濃度 S*	ST
	• 世界平均溫度 S*	ST
	• 能源使用效率 R*	MT/LT
	• 能源密集度 R	ST
	• 經濟及財政的指令 R	MT
臭氧層破壞	• 臭氧破壞物的消耗量指標 P*	MT
	• 氟氯碳化物(CFCs)及鹵族元素的消耗量 P	ST/MT
	• 破壞臭氧的物質於大氣中的濃度 S*	ST/MT
	• 地表 UV-B 光的強度 S*	MT
	• 氟氯碳化物(CFCs)恢復速率 R*	MT

表 4.1 OECD 1994 年環境壓力及環境狀態指標項總表 (續)

環境議題	PSR 環境指標	時間尺度
優養化	<ul style="list-style-type: none"> • 氮、磷元素於土壤及水體的排放量 P* • 由肥料及家畜所產生的氮元素量 P • 由肥料及家畜所產生的磷元素量 P • 內陸水體的生化需氧量、溶氧及氮、磷元素濃度 S* • 海水中的生化需氧量、溶氧及氮、磷元素濃度 S* • 生物及化學污水處理設備的人口普及率 R* • 污水處理設備的人口普及率 R • 對使用者收廢水處理費用 R • 市場分擔無磷清潔劑 R 	<p>LT</p> <p>ST</p> <p>ST</p> <p>ST/MT</p> <p>MT/LT</p> <p>MT/LT</p> <p>ST</p> <p>MT</p> <p>ST/MT</p>
環境酸化	<ul style="list-style-type: none"> • 造成環境酸化的物質的指標 P* • 氮氧化物(NOx)及硫氧化物(SOx)的排放 P • 水體及土壤中 pH 值超過負荷臨界線的狀況 S* • 酸雨的濃度 S • 車輛裝備觸媒轉換氣體比例 R* • 非移動污染源裝置防治氮氧化物 (NOx) 及硫氧化物 (SOx) 設備的能力 R* 	<p>MT/LT</p> <p>LT</p> <p>ST/MT</p> <p>ST/MT</p> <p>MT/LT</p>
毒性物質污染	<ul style="list-style-type: none"> • 重金屬物質的排放 P* • 有機化合物的排放 P • 殺蟲劑的消耗量 P • 環境中各種介質及現存物種中的重金屬濃度 S * • 河流中的重金屬濃度 S • 產品的製造過程中毒性內含物質的改變 R* • 市場分擔無鉛汽油 R 	<p>MT/LT</p> <p>LT</p> <p>ST/MT</p> <p>LT</p> <p>ST/MT</p> <p>LT</p> <p>ST</p>

表 4.1 OECD 1994 年環境壓力及環境狀態指標項總表 (續)

環境議題	PSR 環境指標	時間尺度
都市環境品質	<ul style="list-style-type: none"> • 都市中氣體的排放：SO_x、NO_x、VOC P* • 交通密度 P <ul style="list-style-type: none"> — 都會區 — 全國 • 都市化程度 P • 居民曝露於 S* <ul style="list-style-type: none"> — 空氣污染 — 噪音中的情形 • 都會區水質的條件 S • 綠地面積 R* • 經濟、財政、管制的措施 R* • 水處理與噪音改善之花費 R 	MT/LT MT ST ST/MT LT MT MT/LT MT/LT MT ST/MT
生物多樣性及自然景觀	<ul style="list-style-type: none"> • 棲地、土地的改變及其與自然狀態的差異 P* • 所有已知物種中生存上受威脅或已滅絕的物種 S* • 保護區佔全國面積比例 R* • 保護區之生態歧異度 R* 	LT ST ST LT
廢棄物	<ul style="list-style-type: none"> • 廢棄物的生成 P* <ul style="list-style-type: none"> — 都市性 — 工業性 — 核廢料 — 危害性 • 廢棄物減量最佳化 R* • 再生速率 R • 經濟與財政的誘導與花費 R 	ST ST ST ST/MT LT ST/MT MT

表 4.1 OECD 1994 年環境壓力及環境狀態指標項總表 (續)

環境議題	PSR 環境指標	時間尺度
水資源	<ul style="list-style-type: none"> • 水資源的使用強度 P* • 缺水的頻率、延時及範圍 S* • 水價對於廢水處理之污染者付費 R* 	ST MT/LT MT
森林資源	<ul style="list-style-type: none"> • 實際砍伐量及造林量的比例 P* • 森林的面積、容積及結構 S* • 受保護與經營的森林面積 R* 	MT ST/MT MT/LT
魚類資源	<ul style="list-style-type: none"> • 漁獲量 P* • 魚類幼苗的現存數量 S* • 捕撈管制措施 R* 	ST MT MT
土壤惡化 (包括沙漠 化及土壤流 失及侵蝕)	<ul style="list-style-type: none"> • 土壤侵蝕風險：潛在及既存的農業用地 P* • 土地使用的變更 P* • 表層土壤流失的程度 S* • 復育面積 R 	LT ST MT/LT MT/LT
廣域性的指 標(無法歸屬 於單一議題)	<ul style="list-style-type: none"> • 人口的成長及密度 P* • GDP 的成長 P* • 個人消費行為的支出 P* • 工業產品製造量 P* • 能源供應結構 P* • 道路交通容積 P* • 陸運運輸工具的估算 P* • 農產品產量 P* • 環境改善支出 R* • 污染控制與防治支出 R* • 公眾的意見 R* 	ST ST ST ST ST ST ST ST MT/LT ST/MT ST

註：P(Pressure)為壓力指標；S (State) 為狀態指標；R (Response) 為回應指標。*

表示為主要指標。ST (Short Term) 為短期指標，基本資料可由 OECD 主要國家蒐集取得。MT (Middle Term) 為中期指標，基本資料部份可取得，但仍需一些補正措施，以改進一致性與可比較性。LT (Long Term) 為長期指標，基本資料無法由 OECD 主要國家蒐集取得，須持續蒐集資料並改進觀念。

由於多功能人工湖的評估規劃將因設置地點及不同主、次要標的而會有所不同，因此，本研究採用 PSR 架構及所建議的評估指標選用方式，作為多功能人工湖永續經營之規劃原則考量基礎，其優點是彈性大、可以依據營運前及營運後有不同的評估方式，至於規劃原則中所含括關於工程面（系統單元所對應需要之水利設施）之技術部份，可以依照國內目前所使用之設計規範，以期多功能人工湖能在永續經營方向上能發揮所考量標的之最大效益。

多功能人工湖在技術面上的規劃原則，因著規劃標的而有不同，在第貳章中曾經對所蒐集的國內外文獻彙整出影響人工湖永續經營之影響因子，主要為水深、淤積、水源、土地利用、水質、及優養化等，並在第參章中探討當不同標的時所可能考慮的組成單元，本章將進一步就不同標的的考量下，依據其可能的系統單元組成、可能實體水工設施、規劃原則、及評估量化分析來分別建立規劃原則，並說明如下：

一、水源運用標的的規劃原則

一般而言，以水源運用為標的之人工湖，為了達到水源運用標的之永續經營目標，重要考量因素經常是水深、淤積、水源及水質，其重要的系統單元及可能影響因素如表 4.2：

(一)水深：狀態指標。影響水深的環境壓力成因可能是由水源來源不穩定所造成，或者是淤積過多導致水深變淺，無法蓄積水量，也可能是在供水操作策略不當之下所導致。因此，在規劃上建議考慮下列事項：

1、淤積問題可配合設置沉砂設備來處理，或是在排水口設計上能兼具排砂功能來做處理。此外，產生淤積原因可能是湖體

上游可能為裸露地，因此遇雨容易產生沖刷現象。

- 2、供水操作策略問題則可以參考水庫操作方式，一般而言，以水源運用為主要標的之大型人工湖，其設計之主要原則為人工湖之總供水能力必須能滿足其供水標的需求。但對於社區規模之中小型人工湖，其水源運用標的可能是作為清潔、景觀及消防之輔助水源，以減少既有自來水之用水量或作為緊急備用水源等。為了使人工湖系統能永續經營，不論是大型或中小型人工湖，均可以定義出豐枯水時期之供水策略，例如：在平時以需求目標供水，當連續一個月沒有下雨時便減量供水，若需要考慮生態需求時則可以定義一生態維持水深，而水深若降至生態維持水深以下，便不再供水或抽用地下水來補充不足。再者，若需要抽用地下水來緊急使用時，平時便需涵養地下水層，因此可配合設計有入滲單元，利用高透水材質或採用透水性極佳的地工合成材料等來使多餘之水入滲至地下水層。

(二)水源：壓力指標。水源是一個維持人工湖存在的重要條件，如果用水操作不當或規劃引用水源不穩定，則會使人工湖無法維持。對於大型水源人工湖而言，通常需要和其他供水系統聯合營運或是獨立負擔區域供水量，因此水的來源除了降雨外，經常需要從附近河川或攔河堰引入水量，例如：以水源運用為主之高屏大湖便是配合高美堰之取水量，因此其主要水源為引用河川水。而對於滯洪池、景觀池等中小型人工湖來說，其水源運用標的可能是作為清潔、景觀及消防等輔助水源，以減少既有自來水之用水量或作為緊急備用水源等，且所需要維持的生態基本維持水量亦較小，因此其水源便可以彈性搭配，可以是河川引水量，或是匯集降雨之地表逕流或是社區綠建築所貯留之雨水。綜合上述，在水源的規劃原則考量上，除了水源相對

於人工湖系統穩定與否外，還包含了人工湖選址的問題，對於大型水源人工湖來說，和水源的距離不宜過遠，以免使引水工程過度艱鉅並產生營運上的困難，而對於中小型人工湖而言，尤其是開發區內之滯洪池或景觀池，水源主要依賴降雨，因此考慮設置於地勢較低容易匯集地表逕流的區域。

(三)水質：狀態指標。若以水源運用標的來說，水質之要求則與供水目標相關，對大型水源人工湖來說，供水目標通常為民生或工業用水，因此整個人工湖系統還必須配合建置沉澱、過濾、消毒等水質處理設施；而對於中小型人工湖來說，通常是支援區域內之非民生用水或緊急用水，對於水質要求相對亦較低，甚至可直接使用。此外，影響水質的另外因素為湖體週邊之土地利用情形，若有生活或工業廢污水排放或者是所屬集水區上游區域為農地或畜牧，則會產生點源和非點源污染所延伸之水質問題。

綜合上述對於水源運用之影響因素，以及針對個別因素所能產生正向回應之可能對策說明，對於多功能人工湖於水源運用標的建議的規劃原則可以為：

- (一)水源穩定：建議採用策略為可引用水源分析
- (二)適當水量供應策略：建議採用策略為供水目標及用水需求量分析，並以缺水指標等可以提供為供水潛能分析參考依據之量化方式（量化分析將描述於第五章）。
- (三)水質之維護：配合區域內單獨或整體供水目標及規模設置水質處理設施，此點可以參考環保署及自來水公司所訂定之水體水質標準及原水水質標準處理。除此以外，尚可參考表 4.1 內之「優養化」環境議題中所列之其中五項，作為水質上的檢討：
 - 1、氮、磷元素於土壤及水體的排放量
 - 2、由肥料及家畜所產生的氮元素量

- 3、由肥料及家畜所產生的磷元素量
- 4、內陸水體的生化需氧量、溶氧及氮、磷元素濃度
- 5、污水處理設備的人口普及率

(四)位址的選定：依據人工湖開發規模及水源運用規模選取，建議規劃原則是離水源近、以及容易匯集地表逕流處。

(五)區域內土地利用情況：人工湖所選擇的位置內之土地利用將會影響生態景觀環境及水質環境，舉例來說：如果人工湖週遭的土地利用型態多為公園用地為主，則生態景觀的棲地條件可能較佳，而在水質上面臨的問題可能會是非點源污染。

表 4.2 水源運用標的之人工湖規劃原則

標的	水源運用
主要影響因素	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水深(S) 2. 水源(P) 3. 水質(S)
規劃原則 (R)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水源穩定 (可引用水源分析) 2. 適當水量供應策略 (供水策略) 3. 水質之維護(依供水目標選用水質標準)(沉砂池、排砂) 4. 位址的選定(離水源近、容易匯集地表逕流) 5. 區域內土地利用情況檢討
系統單元 (R)	引排水單元、入滲單元、蓄水單元、水質處理單元及輔助水源單元等
實體水工設施	引排水工程(攔河堰、取水口、渠道、閘門)、蓄水(湖、含水層)、入滲(濾層、土壤)、集水(抽水設備、閘門)、水質處理(沉砂池、過濾消毒等)
量化分析(評估指標)	供水潛能分析

二、滯洪標的規劃原則

一般而言，人工湖所提供的滯洪方式有以下兩種：一種是收集地表逕流及增加入滲量，可降低區域排水的流量，另一種是倘若人工湖在河道附近，便可立即發揮降低河川洪峰流量的滯洪效果，若在暴雨來襲需發揮滯洪功能時，依據滯洪的功能和意義，可以歸納其主要影響因素為如表 4.3：

- (一)人工湖容量：狀態指標。當人工湖的主要標的為滯洪時，則因為開發度、集水區面積、洪峰削減量需求等因素會影響人工湖設計容量。其規劃原則為推求暴雨流量歷線，以及集水區出口之出流歷線，方能推求需要的滯洪體積。
- (二)人工湖位置的水文條件、地文條件：狀態指標。所選取人工湖位置之地形、降雨強度、降雨延時及降雨之地域分佈和集水區的大小等，都會影響系統之滯洪功能設計，亦會影響人工湖容積之決定。除此以外，以下兩個因素都是在考量滯洪標的時，選取人工湖位置時應該事先了解的：
 - 1、前期降雨與初期土壤含水量：其影響程度主要取決於人工湖附近之土質構造及入滲率之大小。在降雨初期，逕流不會流入河道而貯蓄於流域地面，其後之降雨會變成逕流狀態而流出，故以暴雨發生於初期及後期兩者比較，後者會發生極大之洪峰流量。雨水在流出而成為河川之逕流前，欲使流域地層表面飽和，需相當多量之雨水，此量依降雨初期流域之含水狀態而發生變化。人工湖周圍極為乾燥狀態下，則容易入滲，增加區域排水的功效。
 - 2、人工湖湖底及周遭之土壤入滲能力：於湖周圍表面附近，以多孔質之土層為材質，降雨入滲到地表和地下水面間的土層，此時將降低洪峰流量。
- (三)土壤沖蝕：狀態指標。土壤沖蝕的成因是起始於土壤表層受到

降雨的打擊引起地表土石飛濺，直到降雨速率超過土壤的滲透能力便會造成土壤沖蝕，因此暴雨來襲所造成之土壤沖蝕情況會更嚴重。

(四)暴雨：壓力指標，雖然暴雨並非因人類行為所造成的，但卻是使環境被破壞的壓力來源。

綜合上述對於滯洪運用之影響因素，以及針對個別因素所能產生正向回應之可能對策說明，對於多功能人工湖於滯洪標的所建議的規劃原則為：

(一)選擇區位的調查：對於滯洪標的而言，人工湖所選擇的位置將會影響滯洪效益，因此必須先對地形、土地利用、集水區面積、土壤入滲能力等地文及水文條件作了解。

(二)植被的控制：如前所述，暴雨來襲時所帶來的土壤沖蝕現象是不可忽略的，通常所採取的對策是植被的控制，利用植物的葉片攔截雨滴，減緩沖蝕的程度，而且植物的根可以增加土壤對水流衝力的抵抗。

(三)計算需要之滯洪體積：規劃人工湖體積的滯洪容量是相當重要的，因此當選定人工湖位置後，必須進行水文演算，推求出流歷線及暴雨歷線，以計算需要的滯洪量以便設計適合的人工湖體積。

(四)滯洪及排洪的操作規則：不同區域的人工湖在滯洪操作上也會有不同，舉例來說：若規劃區域並無適當的滯洪池可以配合減洪，則必須在暴雨來臨前空出足夠之蓄水體積來承接洪水，反之，若當地之開發量不大或已有足夠之滯洪設施，則僅需利用當時所空出之湖體體積便可，此外，當滿水位時如何排水及排放到何處也是需要規劃的。

表 4.3 滯洪標的之人工湖規劃原則

標的	滯洪
主要影響因素	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人工湖容量(S) 2. 人工湖位置的水文條件、地文條件(S) 3. 土壤沖蝕(S) 4. 暴雨(P)
規劃原則 (R)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 選擇區位的調查 (地形、週邊開發度、集水區面積) 2. 植被的控制 3. 計算需要之滯洪體積 (出流歷線及暴雨歷線) 4. 滯洪及排洪的操作規則
系統單元 (R)	引排水、蓄水、入滲等單元
實體水工構造	引排水(溢流口、渠道、閘門)、入滲(濾層、土壤)、蓄水(湖)
量化分析	滯洪效益分析、綠建築評估項目的「基地保水指標」

三、生態景觀標的規劃原則

倘若多功能人工湖主要扮演提供生態景觀適宜性環境，則必須清楚所要維護之生態種類和景觀植栽為何？方能清楚訂定規劃原則，一般而言，湖泊之生態系組成如圖 4.2 所示，而影響生態景觀之因素一般歸納如表 4.4 所示：

- (一)水質：狀態指標。如表 4.1 中所定義之核心環境指標中，提到內陸水體的主要指標為生化需氧量、溶氧及氮、磷元素濃度，英國的環境指標中亦認為淡水水質之指標項目之一為磷的年平均濃度。水體的污染通常來自人類活動的結果，其中產生最嚴重的問題便是優養化問題。對生態景觀標的而言，水質問題導致生態環境破壞進而影響湖泊生存的主要的成因經常來自

水體發生優養化現象，而其壓力來源便是氮、磷的量（壓力指標）（表 4.1）引起。一般而言，內陸水體的光線、二氧化碳是非常豐富的，當下雨過後或者有廢污水排入時，氮、磷的含量便會增高，而在藻類的生長過程中，氮通常很容易進入到土壤當中，並經由土壤及地下水進入到水體當中，相反的，磷會殘留於土壤當中，然後慢慢釋放，因此，在自然狀態下磷才是藻類生長的決定性因素，在水資源經營管理計畫對於營養鹽的管理中，認為磷才是控制藻類生長的決定性因素（李麗雪等，2002）。此外，在「中國湖泊富營養化」（1990）一書中曾經對中國 25 個湖泊、水庫調查優養化程度，調查發現在沒有污水處理系統情況下，大量廢水排入了這些內陸水體之中，導致城市型湖泊比鄉村型湖泊優養化更為嚴重，由此可知，人類行為（畜牧、農業、民生用水排放等）亦是間接影響水質的原因。相關研究均認為優養化問題是水污染問題中相當困難且繁複的問題，因此，針對生態景觀維護標的上，在水質部分所需優先注意的事項主要仍為預防優養化的情況發生，可以採取的措施為：

- 1、控制外源性營養物質進入：主要是因為人類行為所導致，因此可以調查區域內之土地利用型態，尤其是人工湖座落之集水區上游，盡量避免有廢污水排放、畜牧等型態，此項亦與人工湖之位址選擇有關。除此以外，配合水質監測計畫，除了檢測一般水質項目（BOD, COD, DO 等）外，還可監測排放入湖體內之氮、磷濃度，計算出年排放氮、磷濃度，提供為實施控制外部污染源計畫。
- 2、減少內源性營養物質負荷：但這部分是非常繁複的，必須充分了解湖體內水生動植物吸收利用情況，對於人工湖來說，一般採取：

- (1)工程措施：曝氣方式補充氧的方式來作簡易處理，使水與底泥介面間經常保持有氧狀態，有利於抵制底泥的磷釋放。
- (2)化學措施：通常是包括凝聚沉降或以化學藥劑殺藻的方式（金嵐，1997）。
- (3)生物措施：利用水生生物吸收利用氮、磷的方式來去除氮、磷營養物質，近年來較常被使用的方式是利用某些大型水生植物來淨化富優養化的水體，如鳳眼蓮、蘆葦等。
- (二)棲地類型：狀態指標。棲地類型將會影響生物多樣性的物種，一般而言，較適合人工湖的規劃原則是藉由多變化的水岸設計及不同的坡度設計，來產生不同的流速變化，吸引不同物種棲息。另外便是水生植栽的選擇，依基地的條件，盡可能選擇各類型的水生植物沉水植物、挺水植物、浮葉植物。
- (三)干擾情況：壓力指標。區域內土地利用及開發度都可能是干擾，將使得生物遷徙或死亡等等。所採取的規劃原則通常是先調查當地之原生物種為何，才能針對其棲息習性設計或規範，並搭配監測計畫了解成效。
- (四)生物歧異度：狀態指標。一般而言，生物歧異度越高越能形成較穩定之生態系統，此包含了生物之間的捕食、共生互利、或競爭等行為，因此物種越多，群聚對抗環境之應變能力越強，並有互相牽制的作用，通常所採取的策略便是增加棲地類型及減少外部干擾。
- (五)環境衝擊：壓力指標。一般描述生態系統時將其區分為生物環境及非生物環境，而非生物環境則是生態系統內的物質及能量的來源，一般建議的規劃原則是減少人為的干擾。
- (六)空間配置與格局：狀態指標。空間配置與格局往往因為探討的尺度不同而有差異，例如：溫度、風、降雨量等自然條件會影響植被的類型，這部分的觀察尺度可能是區域性的變化；而生

物系統的變化則通常是在小尺度級塊內進行的。

一座湖泊的主要物理分區與各層的動植物通稱

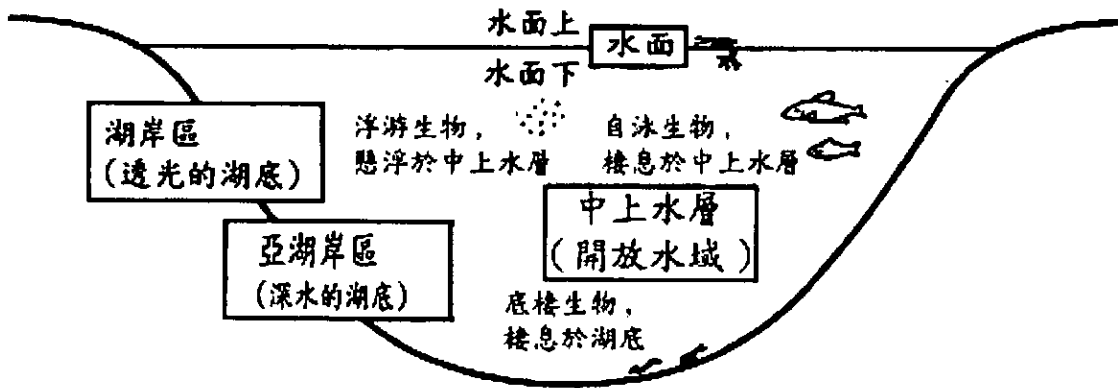


圖 4.2 天然湖泊之基本生態系組成圖

綜合上述對於生態景觀之影響因素，以及針對個別因素所能產生正向回應之可能對策說明，對於多功能人湖於生態景觀標的所建議的規劃原則可以為：

- (一)水質及生態之維護及監測計畫。
- (二)營養鹽控制：除了水質監測計畫外，可以採取優養化指標作為量化指標。
- (三)多變化的水岸設計及不同的坡度設計：盡量以近自然工法去營造多種棲地類型。
- (四)原生物種的事先調查：幫助在人工湖規劃前釐清當地的物種以及所需要的棲息生長環境。
- (五)植栽的選擇：人工湖週遭的綠化，除了可以行光合作用並釋放出人類需要的氧氣外，還可以減緩地球高溫化，降低暴雨造成的土壤沖蝕，同時，還可以美化景觀，增加休憩空間，並可提供生物生存的環境。至於植栽的選擇上可以參考綠建築評估指標中關於綠化指標內的種植植栽原則。

表 4.4 生態景觀標的之人工湖規劃原則

標的	生態景觀
主要影響因素	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水質、營養鹽、藻類(S) 2. 棲地類型(S) 3. 干擾情況(P) 4. 生物歧異度(S) 5. 環境衝擊(P) 6. 空間配置格局(S)
規劃原則 (R)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水質之維護及監測計畫 2. 營養鹽控制 3. 多變化的水岸設計及不同的坡度設計 (流況富於變化) 4. 原生物種的事先調查 5. 植栽的選擇
系統單元 (R)	引排水、蓄水、入滲、生態景觀維護、水質處理及輔助水源單元等
實體水工構造	引排水(渠道、閘門)、蓄水(湖)、入滲(濾層、土壤)、生態景觀維護(低透水底層、生態維護抽水井)、水質處理(湖底表面礫石層、水生植物及底泥)及輔助水源設施(抽水設備、閘門)
量化分析(評估指標)	優養化指標、景觀指數、生物歧異度、綠建築評估項目的「綠化指標」

四、整體規劃原則

綜合前述一~三文中對於各別標的所建立之規劃原則，主要重點在經由永續經營環境指標的 PSR 模式概念下，釐清可能危害人

工湖經營或環境之主要影響因子以及各影響因子可能的壓力源或可能導致的狀態，再者對其造成的衝擊建立可以因應的對策，並建議可以作為各標的量化分析的評估指標。綜合第參章及本章一~三節，可以看出針對不同標的之人工湖所需要的系統架構，然而，本計畫之重點在於進一步考量整合不同標的人工湖設計，因此本計畫將以上述各標的之主要影響因素及規劃原則為主，並決定人工湖之主要標的及次要標的，再整理歸納出考量不同標的之人工湖之規劃原則。

倘若僅對於個別標的的考量時，便可參考表 4.2 至表 4.4 中不同標的之規劃原則，舉例來說：對於水源運用標的為主的人工湖而言，水源為非常重要的因素，水源可能引流自附近河川，於豐水期時可以儲蓄河川多餘水量，並藉由輸送管路統一至相鄰淨水場處理，以滿足民生、工業或農業等需求；而中小型人工湖則可配合都市規劃，或者也可以搭配建築物中雨水貯留槽，當建築物之儲存雨水槽溢滿時，即可經由引排水單元(可能為排水系統)，流入人工湖蓄水單元，在供水上則可能是以非民生用水與社區景觀用水為主。倘若滯洪標的為主要考量，則各社區藉由人工湖之設立，便可以大量減少都市地表逕流之產生，使得在暴雨期間，可以減少區域排水系統之負荷，當水量高過於湖面，將發生溢流，藉由連接區域排水系統(引排水單元)，加速排水。再者，若由生態景觀方面為主要考量，則在大量開發之都市中設置中小型人工湖，便可藉由各社區建置該區本土化生態系統之人工湖，提供生物棲息地及可用水源，另在於水質處理單元藉由適當水生植物種植及底泥，藉以分解水中污染物，以解決水質問題，另配合生物生態景觀維護單元如低透水底層、生態維護抽水井，以維持生物生存之水環境。

對於多功能人工湖來說，便需要考慮不同標的間的競合關

係，舉例來說，若要兼顧水源運用與生態兩個標的，則可以由表 4.2 及表 4.4 中，發現兩標的共同的影響因子包含人工湖水源、選擇的位置以及水質處理等，因此在多功能人工湖的整體規劃上便需要優先納入考量，才能先滿足最低需求，然後進一步依據主次要標的的規劃，將其他因應各標的所需要的規劃原則納入設計時考量。假設以水源運用為主時，若要滿足供水需求，便是將湖體的水最大的運用，然而，若要同時能維持湖體的動植物基本生存需求，則需要在操作原則上定義一最低維持水深即為基本生態維持水深，因此在水源運用的效益評估時便不能將基本生態維持水量涵括入可運用水量中來作計算。至於在水質控制項目，則需要同時滿足水源運用及生態景觀兩個標的之最低需求，便是避免優養化的產生，其次才是因應供水目標不同所需要符合的水質標準。

本計畫對於多功能人工湖系統之整體規劃設計原則擬定之工作流程如圖 4.3 所示，並說明如下：

- (一)訂定多功能人工湖系統之主、次要標的。
- (二)蒐集預定設置多功能人工湖區域內之地文、水文、指標生物、影響面積（集水區面積）等資料。
- (三)依據主次要標的之需求，以及所蒐集之資料，以及參考本章一~三中，對於可能造成環境或經營上衝擊之分析和可能處理方式，提出規劃案例適宜性之規劃設計原則。
- (四)為了使得人工湖兼顧水源運用、滯洪及生態景觀等標的，將所完成之規劃設計原則，配合量化分析結果，修正檢討各標的之規劃設計原則，再經整合以得到整體系統規劃設計準則。

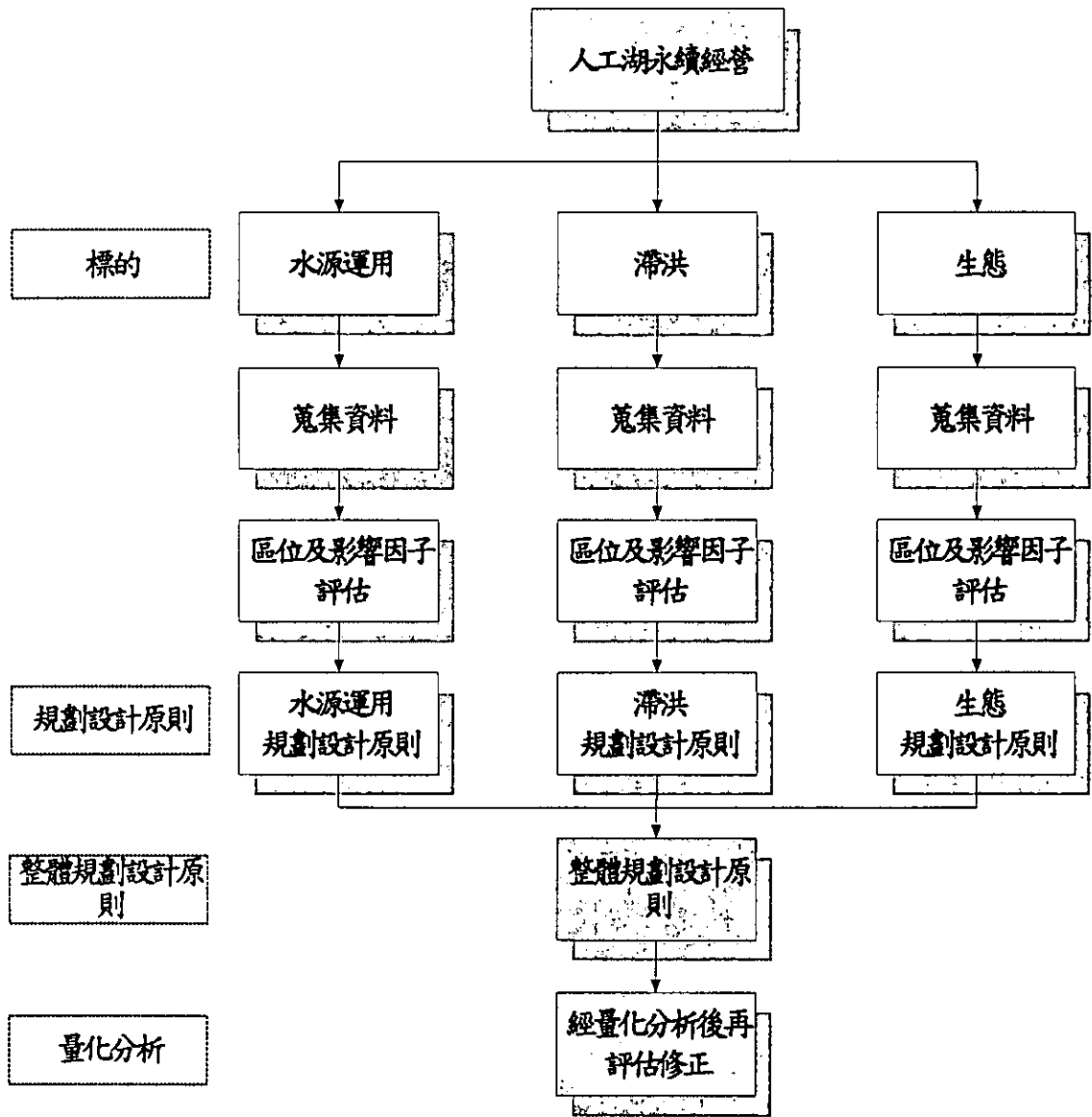


圖 4.3 多功能人工湖系統規劃設計原則分析工作流程

第五章 多功能人工湖量化評估方法

由第貳章至第肆章中所述，可以瞭解人工湖經營影響因素、經營標的、各項單元分析與整體系統規劃設計原則，本計畫擬採取結合系統單元分析與系統動力學模擬系統作為多功能人工湖多標的操作的分析方法，系統規劃設計原則分析工作流程如圖 4.3 所示。

本章與下一章將分別說明各經營標的之量化評估方法及系統動力學模擬系統，依照初步之規劃設計原則，試著建立滿足各標的之模擬案例，並將依本章之量化方法來評估，驗證先前建立之規劃設計原則，以作為整體系統規劃設計修正檢討之重要參考依據。

本計畫將在各標的選用一個評估指標，來表示各標的於不同操作方式時之效益，如第肆章所述，OECD 將評估指標的選用分為四類，各國可依據不同狀況和環境議題來訂定永續經營指標，此外，在「Health Promotion Indicators: Current Status, Issues and Problems」(McQueen et al.,1988)中對於指標之意義定義為：「一個可歸納特定現象或事物相關資訊之量度 (measure)，或可合理替代 (proxy) 該量度者」。目前國內已有部分討論議題已訂出評估指標或已產生常用指標，因此本計畫將採用國內常被使用之指標，或是所討論標的最常被引以為效益評估基準之量化評估方式。

本章將針對各標的於量化分析時所依據之理論基礎及常用效益評估指標分別描述。

一、水源運用標的之量化分析

本計畫在水源運用標的量化分析方式，將依照蒐集水源運用評估指標相關資料、選定評估指標、系統建立及模擬與指標量化及評估等四個步驟來進行，流程圖如圖 5.1 所示。

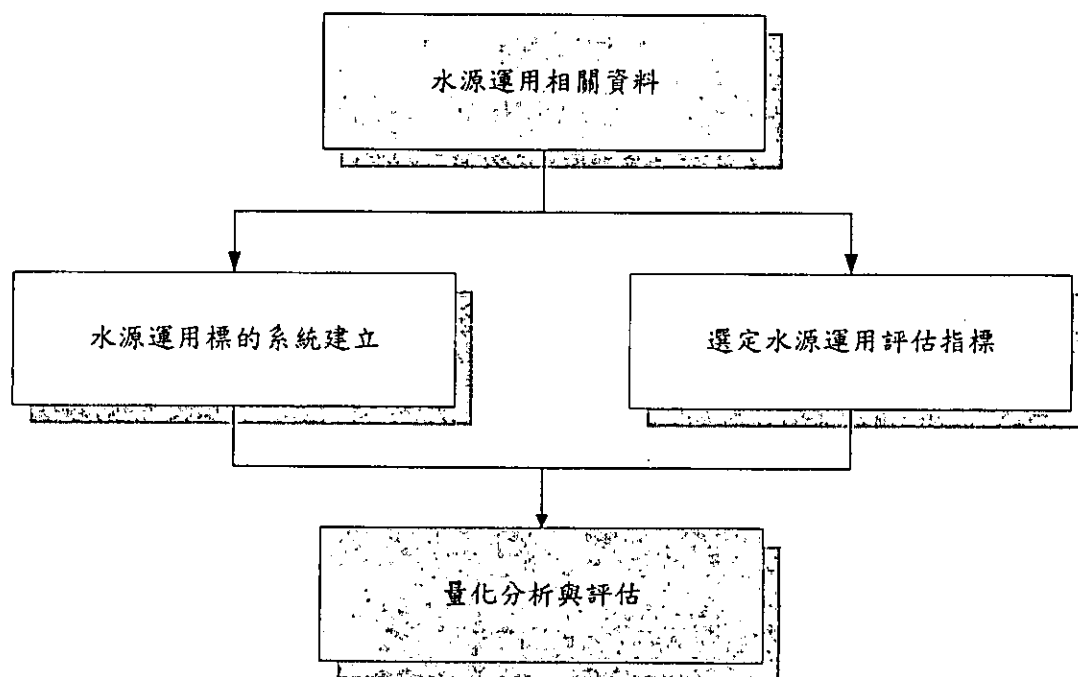


圖 5.1 人工湖水源運用量化分析方式之流程圖

(一)蒐集水源運用評估指標相關資料：

本項目主要針對所需要規劃之人工湖位址，蒐集所需要之地文及水文等相關資料，以及目前國內外對於水庫及人工湖關於水源運用的相關資料，作為系統單元組成分析、規劃原則建立、人工湖系統建立、評估指標選擇等之參考依據，表 5.1 為目前在水資源開發上常被應用的長期水源調配與短期水源因應的指標。

表 5.1 長期水源調配與短期水源因應指標列表

指標名稱	特點	適用情況
常用乾旱指標 r	反應一地區年蒸發能力 E_0 與年降水量 P 之比值	屬於氣象乾旱的一個量度指數
水熱指數	反應一地區 5~10 月降水量與年平均溫度差之比值	屬於氣象乾旱的一個量度指數
逕流指標 α	反應一地區逕流深度 R 與年降水量 P 之比值	適於代表水文乾旱
洪枯比	反應一地區洪水期(5~10 月)與枯水期(11~4 月)降水量之比值	適於代表水文乾旱

表 5.1 長期水源調配與短期水源因應指標列表 (續)

指標名稱	特點	適用情況
<u>帕馬乾旱指標</u> Palmer drought index	利用蒸發散量、土壤水補給量、逕流量及損失量，以反應出特定地區實際水份供應低於氣候農業乾旱的一個量度指標	除能代表氣象乾旱之外，尚能用於反應農作物缺水程度，因此可用於期望或氣候上適宜的水份供應值之程度
<u>標準化降水指數</u> Standardized Precipitation Index(SPI)	採用降水量，計算不同時間尺度降水的變化	用以監測短期水供給、土壤水分及農業生產量，而在長期水資源上，則可針對地下水供給、河川流量、湖泊及水庫水位等加以監測。因此，SPI 經由不同時間尺度來檢定乾及監測其延時。
<u>地表水供水指標</u> Surface Water Supply Index (SWSI)	以積雪量、降水量、水庫蓄水量、逕流量，代表地表水供水能力，考慮地下水量代替積雪量，以適用於台灣地區(出自：乾旱指標之建立-北部及東部區域) SWSI 改為 WSI	依照地表水供水能力指標大小，可反應出水資源供應是否足夠
<u>用水供需評量指標</u>	僅以用水實際供需情況進行乾旱缺水程度之認定	適用於推估缺水狀況與供水之規劃
<u>缺水率</u>	反應某時期之總缺水量與某時期之設計供水量之百分比	顯示階段性水資源現況，適用於水資源之規劃
<u>缺水指標</u>	計算平均年缺水量與設計供水量之比值，考慮供給與需求面，可適度反應缺水狀況	適用於推估缺水狀況，但時間間隔太大，僅能作為年缺水指標之預估，適用於水資源之規劃
<u>通用缺水指標</u>	由缺水指標改進，並結合缺水百分日指標之考量，更能反應缺水狀況	適用於推估缺水狀況，但時間間隔太大，僅能作為年缺水指標之預估，適用於水資源之規劃

表 5.1 長期水源調配與短期水源因應指標列表 (續)

指標名稱	特點	適用情況
<u>缺水百分日指標</u>	顯示每日缺水程度與延時的累積效果	適用於評估缺水狀況並可用於供水之規劃
<u>雙月連續最大不降雨日及雙月合計雨量指標</u>	以降雨量反應缺水狀態，可以月為單位來預估水資源供給面是否足夠	僅考慮水文氣象因子，對於需求面無法反應
<u>月豐缺水數</u>	為前項之改進，對乾旱狀況能適時反應	僅考慮水文氣象因子，對於需求面無法反應
<u>作物需水指標</u> Crop Moisture Index (CMI)	由氣候分區之週平均溫度及週總降雨量及前週的 CMI 值，來評估主要農產區的短期水汽條件	僅適用於短期評估

(二)水源標的系統建立：

水源運用標的最重要的核心便是建立地表水資源的使用系統，由於人工湖屬於一個開放系統，直接受到地表水文影響，因此儲蓄量變化快，而地下含水層整體蓄水量較地表水工設施較大，儲蓄量穩定，因此可以採用地表地下聯合運用模式，於豐水期時利用人工湖取水，並補注地下水之蓄存量，於枯水期時再抽取地下水調配，使得水資源利用效率更形提高。上述之概念模式如圖 5.2 所示。

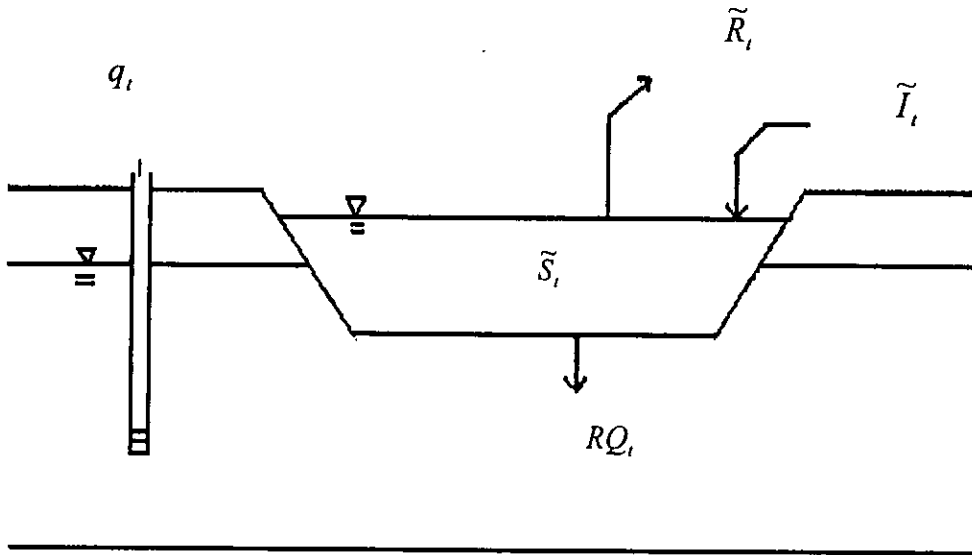


圖 5.2 人工湖水源系統示意圖

上圖中之 \tilde{S}_t 代表人工湖各階段 t 時刻蓄水體積(storage), \tilde{I}_t 代表人工湖實際引水量, RQ_t 代表地表地下水交換量, q_t 代表控制人工湖豐水期地下水位之抽水量(不作為枯水期供水之用), \tilde{R}_t 代表人工湖供水量, 系統中最主要概念在於地表水與地下水相互交換, 豐水期地表多餘的水量存放在人工湖地表及地下蓄水單元, 反之, 當枯水期時, 地下水位高於湖水位, 人工湖視為一大型集水井, 間接利用地下水供應需求。以連續性方程式可以描述系統之方程式如下:

1、人工湖地表蓄水平衡方程式:

$$\tilde{S}_{t+1} = \tilde{S}_t + \tilde{I}_t - \tilde{R}_t - RQ_t$$

且 $\tilde{S}_t \leq \tilde{S}_t^{\max}$

2、人工湖地下蓄水平衡方程式:

$$\tilde{S}'_{t+1} = f(\tilde{S}'_t, RQ, q_t)$$

倘若加入一引水單元攔河堰, 則將構成出人工湖包含地表水與地下水蓄水單元與攔河堰之系統調配圖, 如圖 5.3 所示, 且連續性方程式表示為:

3、攔河堰平衡方程式：

$$\tilde{I}_t = IW1_t - WF1_t$$

其中 \tilde{S}_t : 地表蓄水單元各階段 t 時刻蓄水體積

\tilde{S}_t^{\max} : 地表蓄水單元各階段 t 時刻最大可蓄水體積

\tilde{S}'_t : 地下蓄水單元各階段 t 時刻蓄水體積

\tilde{I}_t : 人工湖實際引水量

\tilde{R}_t : 人工湖供水量

RQ_t : 地表地下水交換量

$IW1_t$: 第 t 時刻攔河堰的可引水量

$WF1_t$: 攔河堰剩餘流量

q_t : 抽水量

對於中小型人工湖來說，大多數於人工湖鄰近區域並無天然水源，因此多倚賴地表逕流量，故此圖 5.3 中攔河堰對中小型人工湖系統內可能不存在，而上式中之 \tilde{I}_t 則可以是集水區內收集之地表逕流量。

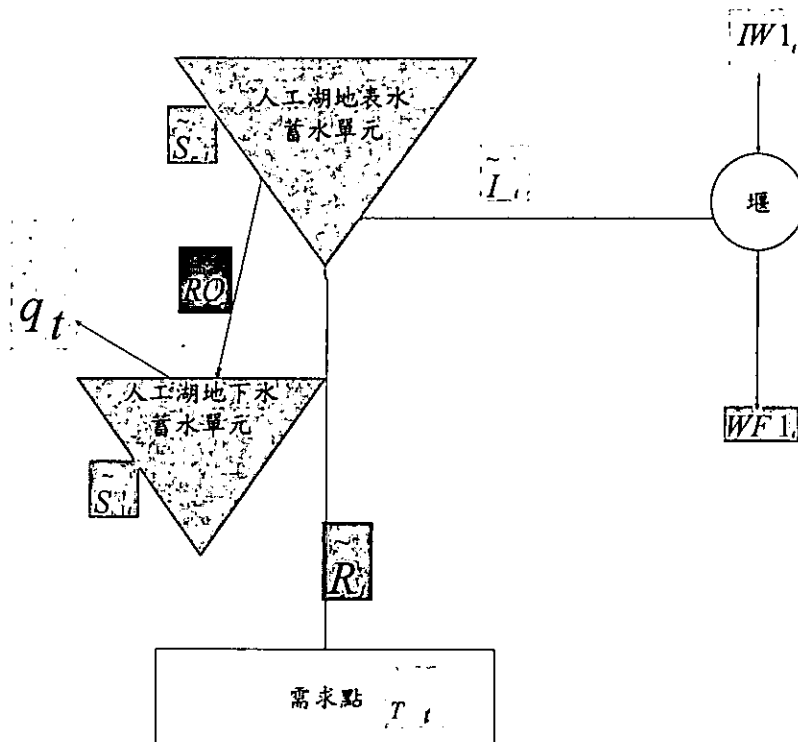


圖 5.3 人工湖系統調配示意圖

(三)選定水源運用評估指標：

關於一般曾被用以水源運用量化分析所需的評估指標列表 5.1 中，其中最常被使用於水庫及人工湖水資源系統模擬規劃的為美國陸軍工兵團之水利工程中心(HEC)所創之缺水指標 Shortage Index (SI)，SI 之求取過程中包含了缺水率、缺水時間（缺水嚴重性）及隱含缺水相對頻率，故適合於水資源系統於模擬規劃時之使用，為研判及訂定適當水庫穩定出水量之適當方法，但因該式僅以年缺水程度表示，對於某一年內各時段之缺水程度及時間卻付諸闕如。為了該評估方式能適用於本計畫內使用，茲將該式略加修改，將時間單位改為「日」，成為：

$$SI^* = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{TS_i}{TD_i} \right)$$

其中 N：分析（日）數

SI*：（日）缺水指數

TSt：（日）標的缺水量

TDt：（日）標的需求量

SI 指標通常用來當作是評估供水穩定的參考依據，對於大型人工湖而言，所供給的目標應為民生或工業用水，一般認為 SI=1 為民生用水為主之水資源規劃標準。

(四)量化分析與評估：

由選定水源運用評估指標，並透過上述所建立之系統，選定一模擬案例來進行量化評估，針對不同的供水對象，便可利用參數之改變或改變政策模擬的方式來使評估指標達到其標準。

二、滯洪標的之量化分析

本計畫在滯洪標的量化分析方式依照蒐集滯洪相關資料、滯

洪標的系統建立、選定滯洪運用評估指標及量化分析與評估等四個步驟來進行，流程圖如圖 5.4 所示。

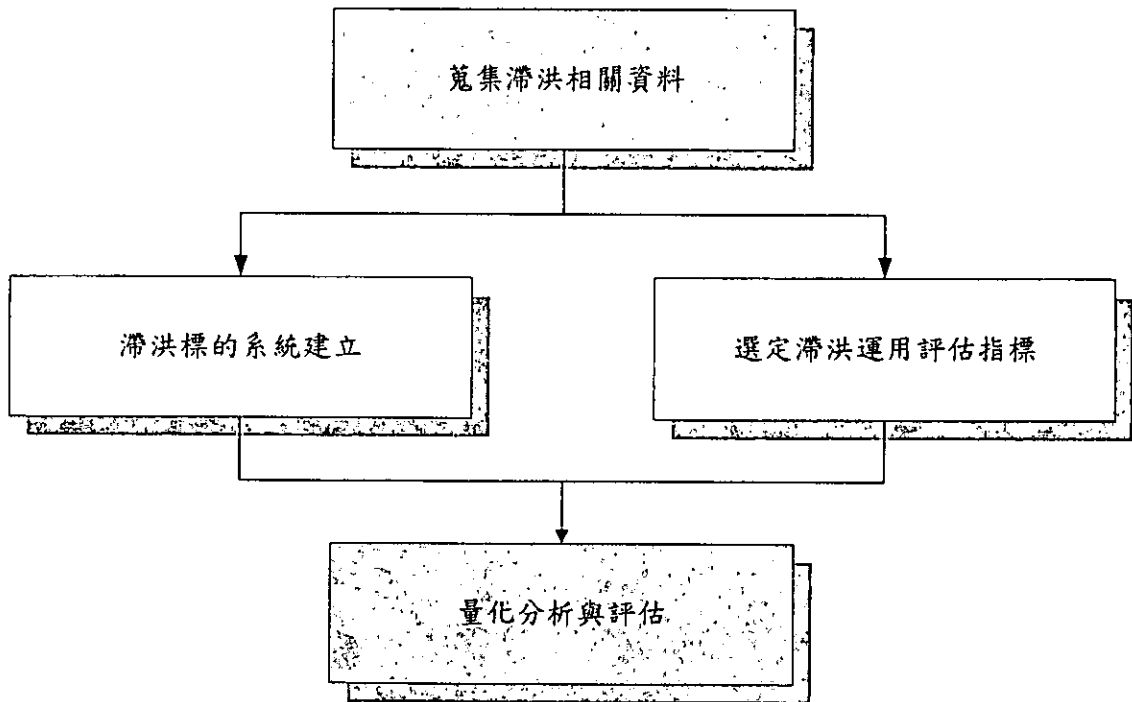


圖 5.4 人工湖滯洪量化分析方式之流程圖

(一) 蒐集滯洪相關資料：

都市化的快速發展，使得下游區域無法在短時間內承接增加的逕流量，因此需要滯洪設施排減緩洪峰量及洪峰到達時間，滯洪設施依功能分為調節水流型（調節池或滯洪壩）及增加入滲型（綠地、緩衝林帶、停車場之透水鋪面等）。通常計畫地區之集水面積不大，且水文觀測站之資料缺乏時，在推估一地區之地表逕流時，常採用合理化公式推得洪峰流量，於設計排水時，則利用推估之逕流量加以設計。以台南科學園區之開發為例，因地表開發使不透水面積增加，降雨入滲量減少，加上暴雨集中，排水於短時間內無法迅速排洪，易造成地區淹水所產生之損失，如南科之大洲排水出口之設計案例，10 年重現期距之洪水由開發前之 372CMS 增加至 434CMS，增加 17 % 之地表逕流（經濟部水利署水利規劃試驗所，2003）。因此，

設置滯洪池來解決因開發所增加之洪流量，以降低開發後之經濟損失。

目前國內與滯洪相關的法規或規範如下：

1、水土保持技術規範：

水土保持技術規範主要為規範關於坡地開發與滯留池設計的法規。其中關於滯洪設施的規劃原則為：

- (1)基地整地部分開發後之出流洪峰量應小於入流洪峰量之百分之八十，並不得大於開發前之洪峰流量，且不影響下游渠道之容許排洪量。
- (2)至少應採用五十年以上頻率之降雨強度設計所需容量。
- (3)滯洪設施之規劃設計，應因地制宜，採滯洪壩或遲滯湖等方式滯洪。

2、綠建築指標之「基地保水指標」：

由內政部所主導的綠建築九大指標中，其中一項與保水相關的為基地保水指標，所謂的「基地保水性能」是指建築基地涵養水分及貯集滲透雨水的功能，該指標的定義為開發前自然土地的保水量與開發後之土壤保水量比值，其合格基準依各基地法定建蔽率而定，例如：建蔽率為 50%時，基地保水之基準值為 0.4，評估計算方式包括直接滲透設計與貯集滲透設計兩大部分。

(二)滯洪標的系統建立：

國內目前常用的滯洪量計算方式，係根據『水土保持技術規範』之第九十四條內容所述：滯洪設施係指具有降低洪峰流量、遲滯洪峰到達時間或增加入滲等功能之設施，如滯洪壩、滯洪池等；永久性滯洪設施不得變更為其他用途，但在不影響其滯洪功能之情形下，得依實際需要作多目標用途。其滯洪量之估算於該規範第九十六條滯洪設施之水理計算如下：

- 1、利用開發前、中、後之洪峰流量繪製成三角單位歷線圖，以三角形同底不等高，依下列公式求出滯洪量：

$$V_{S1} = \frac{t_b'(Q_2 - Q_1)}{2} \times 3600$$

$$V_{S2} = \frac{t_b'(Q_3 - Q_1)}{2} \times 3600$$

其中， V_{S1} 臨時滯洪量 (m^3)； V_{S2} 永久滯洪量 (m^3)； Q_1 開發前之洪峰流量 (m^3)； Q_2 ：開發中之洪峰流量 (cms)； Q_3 ：開發後之洪峰流量 (cms)； t_b' ：基期 (hr)，基於安全考量，基期至少應採 1 小時以上之設計 (不足 1 小時以 1 小時計算)。

- 2、滯洪設施之設計蓄洪量 $V_{sd}(m^3)$ 其規定如下：

(1) 永久性滯洪設施： $V_{sd}=1.1V_{s2}$

(2) 臨時性滯洪設施： $V_{sd}=1.2V_{s1}$

設計滯洪池之蓄洪量 (V_{sd}) 量化後，即可根據上游入流量及出口流量特性，求得於下游之實際出流量與滯洪之關係，參考國內外學者 (Mcenore 1992、Basha 1995、陳與洪 2001) 於滯洪池之設計案例大都以水文連續方程式描述滯洪過程，且探討相關之入流歷線、出口之形式及滯洪池之型式。因此，本研究亦利用水文連續方程式進行人工湖出流量之模擬研究，其方程式如下：

$$\frac{dV_{sd}}{dt} = I - O$$

其中 I 為入流量，O 為出流量。

- (三) 選定滯洪評估指標指標：

人工湖滯洪標的之評估指標中可因下列幾種情況視需要設置滯洪設施：

- 1、因地理環境特殊，地勢低窪無法經由排水幹線排流。

- 2、都市發展改變地表排水逕流量。
- 3、區域性地表漫流自然匯流至低窪區。
- 4、排水幹線迴水倒灌等。

由第肆章之影響分子分析中，瞭解在暴雨來襲時，除了洪水外，可能還有因土壤沖蝕所帶來的沉積問題，因此將評估指標分為洪水問題及泥沙問題兩類。

1、洪水問題：

人工湖之滯洪目的在降低因開發前、後之洪峰流量差異與遲滯洪峰時間，以達到消洪減災的功能。因此，在本研究中定義滯洪效益為消減最大洪流量之比例，可寫為以下公式：

$$\text{滯洪效益} = \frac{Q_p - Q_{pb}}{Q_p} \times 100\%$$

其中， Q_p ：開發後未建築人工湖之最大洪流量； Q_{pb} ：開發後建築人工湖之最大洪流量。

對於滯洪效益來說，倘若該人工湖建立時，該集水區便已面對開發過度導致排水困難的問題，滯洪效益便為因為人工湖所帶給該集水區域的實際減洪量；反之，若該集水區尚未面臨排水困難的問題，該人工湖所提供予該集水區域的便是實際的滯洪效益，對此，目前尚未有研究定義其容許範圍，本研究彙整相關文獻內之實際案例與實驗室之研究成果，滯洪效益與滯洪池之容量有關，除了入流洪峰外，亦與入流之體積有關，如表 5.2 所示，由該表中發現，滯洪效益集中在 18-42% 之間。因此，本計畫建議當研究區域屬於後者，在考慮多功能人工湖兼具有滯洪標的時，採用之評估指標以滯洪效益值大於 18% 為規劃設計時之參考依據。然而，當多功能人工湖以滯洪為主要標的而建置時，則仍以水土保持技術規範所規定為主要規劃原則。

表 5.2 實際案例與實驗室試驗之滯洪效益

滯洪池案例	入流量 (cms)	出流量 (cms)	滯洪效益 (%)	備註
大園垃圾衛生掩埋場	2.5	1.5	40	余慶璋等人 (1999)
雲林斗六	1.8	1.4	22.2	余慶璋等人 (1999)
台北	4.7	3.1	34	吳瑞賢、余濬 (1996)
台北	3.6	2.6	27.8	黃宏斌等人
試驗室模擬 入、出口開度 (17.5cm)	0.01	0.0082	18	陳正炎等人 (2001)
試驗室模擬 入、出口開度 (5cm)	0.01	0.058	42	陳正炎等人 (2001)

2、泥沙問題

人工湖於滯洪過後之淤積問題，在於因砂率之多寡，因砂率為停留於人工湖內之沉滓淤積量與泥砂入流量之比值，因砂率高表示滯洪所攔截之水體含砂量大，使得出流之水體含砂量濃度相對減少。因此，因砂率將影響到人工湖之使用年限及清淤問題，亦將對洪峰消減率有某一程度之影響。因此，因砂率亦為設計人工湖之重要參考指標。本研究建議利用布倫(Brune)因砂率曲線推估滯洪池之淤積情形，如圖 5.5 所示，為 Brune 因砂率曲線之分佈圖。該研究係利用滯洪池入口之實測懸浮質輸砂量、集水面積滯洪池之容積及逕流量，以推估滯洪池之淤積容量，進而推估滯洪池之使

用年限或清淤時間，其滯洪池推估因砂率方法，如表 5.3 所示，為假設滯洪池之淤積年限估算計算方法，並逐年推估滯洪池蓄水區之淤積量，以期有較客觀之推估。

(四) 量化分析與評估：

由選定之滯洪評估指標，並透過上述所建立之系統，選定一模擬案例來進行量化評估，針對不同的供水對象，便可利用參數之改變或改變政策模擬的方式來使評估指標達到其標準。

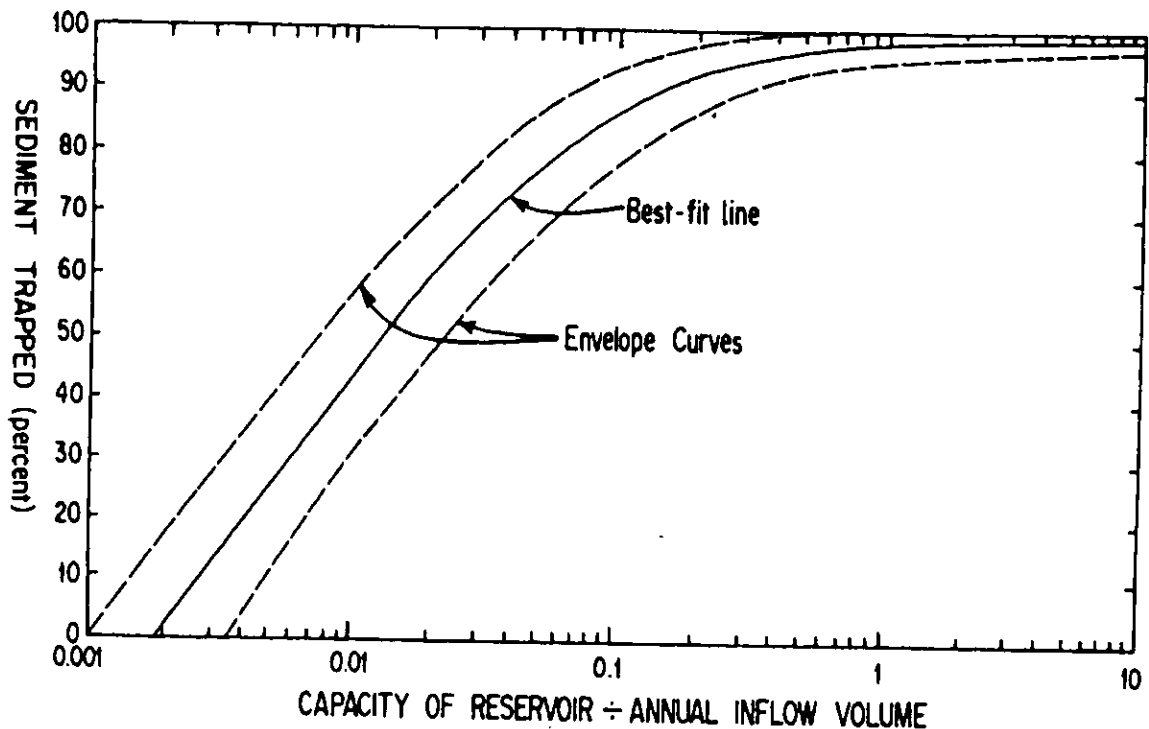


圖 5.5 布倫 (Brune) 因砂曲線圖

表 5.3 滯洪池之淤積年限估算計算方法

(單位：萬立方公尺)

年期 (年)	蓄水容量 (C)	逕流量 (I)	C/I	因砂率	懸浮質 輸砂量	推移質 輸砂量	總淤積量	淤積後 容量	淤積比率
1	1	10	0.1	0.9	0.02	0.004	0.024	0.976	2.40%
2	0.976	10	0.0976	0.9	0.02	0.004	0.024	0.952	4.80%
3	0.952	10	0.0952	0.9	0.02	0.004	0.024	0.928	7.20%

註：假設推移質輸砂量為懸浮質輸砂量 20%

三、生態景觀標的之量化分析

生態景觀量化分析方式之流程圖如圖 5.6 所示，本計畫在生態量化分析方式依照蒐集水質與生態景觀相關資料、生態景觀標的系統建立、選定評估指標及量化分析與評估等四個步驟來進行。

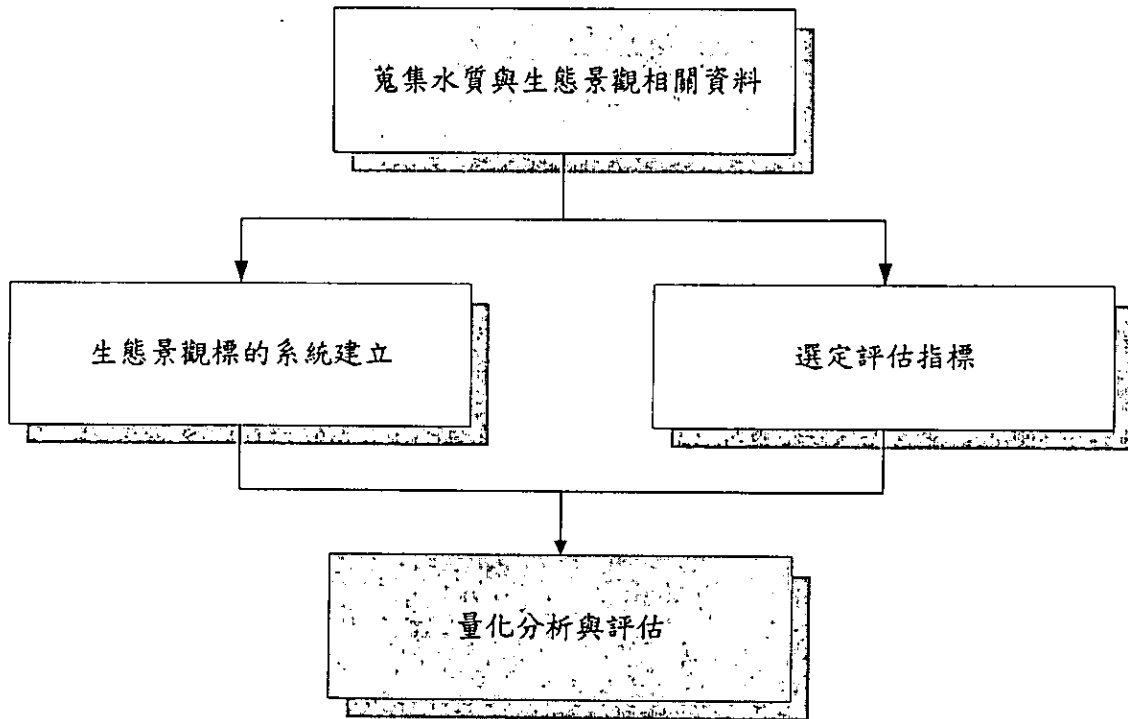


圖 5.6 人工湖生態景觀量化分析之流程圖

(一) 蒐集水質與生態景觀相關資料：

目前文獻對於生態景觀評估指標，皆是利用一個已經存在的生態系來進行評估，其評估所需的資料皆須經現地調查而得到資料，如利用生物多樣性指標來評估其生態的優劣，則必須做現地調查而建立資料庫，指標所需要的資料可以由資料庫中獲得，其指標在本計畫並不適用；而常用之景觀評估指標為綴塊指數、綴塊類型指數、景觀指數、多樣性指數 (SDI) 及均一性指數 (SEI) 等，前三個指數之意義在濃縮景觀格局訊息，反映其結構組成和空間配置某些方面特徵的簡單定量指標，後兩個指數之意義在分析區域內之景觀組成多樣性，上述這些景

觀指標均需要有現地調查之資料方能求得。因此，上述之生態與景觀常用之評估指標於本計畫中並不適用。

本研究考量人工湖的湖體內生態景觀環境受限於人工湖之結構、範圍、坡度、底床等條件，因此於人工湖建造之後便不易修改，而人工湖週遭之棲地和綠化植栽則可以在人工湖開始營運後再作調整，故建議上述生態景觀評估指標值可以在多功能人工湖開始營運後，配合環境監測計畫後求得，並藉以瞭解人工湖帶給區域環境的影響程度。而在人工湖營運前之規劃階段，則著重於湖體內生態景觀環境的營造，由本計畫所蒐集彙整之文獻資料中發現，人工湖湖體內的生態景觀環境取決於水環境的營造，而健康的水環境則需要仰賴好的水質條件，因此，本研究在人工湖規劃階段選取水質為替代指標。

(二)生態景觀標的系統建立：

綜合上述，本研究於生態景觀標的之系統建立，參考 Jørgensen(1994)之湖泊生態模式構建，該模式中以三種狀態變數分別為浮游藻類的濃度(*Phyt*)與碎屑磷(*PDet*)及溶解磷(*PS*)來模擬其湖泊生態情形，利用這三種參數來構成生態人工湖主體的非結構式之單元。系統建立及模擬則利用系統動力學來建構出人工湖生態模式，並加以模擬。

(三)選定生態景觀評估指標

由第肆章及本章中所描述之影響因子和因應的措施，以及目前多數國家對於湖泊與水庫的監測及研究中，認為內陸水體最嚴重的問題乃是優養化問題，國內之水庫水質調查結果亦有相同情況，故選定優養化為人工湖規劃時的生態景觀替代評估指標。一個湖泊在養份豐沛的狀態時，易造成水質優養化，水體優養化依其營養鹽的來源可概分為天然性優養化及人為優養化兩大類，優養化是由水中的營養鹽如氮、磷等的過量增

加，使藻類大量增生覆蓋水面，有時將陽光全部遮蔽，使得底下的植物、魚、蝦死亡；而且動、植物屍體分解時會消耗水中的氧，形成不斷缺氧的惡性循環。因此氮、磷、透光性、葉綠素 A 濃度是為影響水質優養化的重要指數，其中又以氮和磷影響最大，此外，在水資源經營管理計畫對於營養鹽的管理中，認為磷才是控制藻類生長的決定性因素（李麗雪等，2002）。故本計畫將選定總磷的濃度來當作評估湖泊生態景觀的評估指標。

而評估湖泊水質優養化與否的標準，依據世界經濟合作發展組織(OECD)之湖泊水庫優養程度分級標準，如表 5.4 所示：

表 5.4 湖泊水庫優養程度分級標準

總磷 ($\mu\text{g/L}$)				
貧養	貧養—普養	普養	普養—優養	優養
<7.9	8~11	12~27	28~39	≥ 40

(四)指標量化及評估：

由選定生態景觀指標，並透過上述建立所建立之系統，對於需要規劃之人工湖進行量化評估，而透過模擬後結果與評估指標標準之間的差值，便可利用參數之改變或改變政策模擬來使評估指標達到其標準。

四、整體評估分析

對一投資計畫進行整體評估之主要目的，除了要審視該計畫是否能滿足所需要的功能面外，並檢視其能否符合資源有效利用的原則，從整體經濟的各種目標和各方面條件來看此計畫回收或報酬，是否可經由投資計畫的規模、時間、地點、投資項目組合、建造成本、計畫執行方案等項目的改變而獲得改善。至於經濟分

析常常是協助投資者進行決策的一種有系統的定量分析方法，該方法利用同一尺度來估計投資計畫的效益和成本，效益的定義為達成某些經濟基本目標的效果，而成本則可定義對達成基本目標所須發生之成本或機會成本。

對於多功能人工湖來說，無論是施工期間或完工後的營運期間，其投入之土地使用、挖方、人力資源、機械設備、水工結構建造等等之價值均為人工湖之開發成本，待開發完成後實際供水量、砂石料原量、滯洪功能所降低的生命財產損失、提供親水休憩綠地、調節氣候的價值、棲地的提供等等，都可視為人工湖的效益，而這些價值某些是可以以貨幣估算的，而某些項目則是無法直接以貨幣值估量的。

若以整體系統規劃設計原則需符合財務及經濟效益需求，客觀的去評估各考慮標的所能提供潛在效益外，開發基地對於環境的影響亦是不可缺少考慮的因素之一，因此，對於多功能人工湖的整體分析評估，可以從技術、經濟、財務以及對環境影響的層面來加以討論。

(一)技術面評估：

對多功能人工湖規劃來說，除了需要針對不同標的訂定操作原則，還必須考量各標的之間的衝突性，本計畫將技術面評估分為各標的之規劃與操作原則、各標的之量化分析、不同標的之競合、人工湖區位之評選等項目。

- 1、各標的之規劃與操作原則：對本計畫來說，多功能人工湖所考量之標的為水源運用、滯洪、生態景觀等標的，各標的所分別著重之規劃原則、系統功能與操作方式可依據本報告內第參章和第肆章所述。
- 2、各標的之量化分析：當各標的依其需要評估之操作方式與系統單元組成後，還需要進一步對該標的所能提供的效益進行

量化分析，方能在多功能人工湖建置之前依據量化分析結果調整出最適宜之配置及操作方式，關於各標的之量化分析及評估指標可參考本報告之第五章一~三項。

3、整合不同標的衝突性：多功能人工湖不同標的之間可能具有競爭或合作關係，因此當考量多功能利用時，其整體規劃上或許無法滿足各個標的最大需求，而需要針對需求面、實際面、財務面、環境面等所允許之條件下進行整合或協調，以研擬不同標的和不同操作方式之權重及優先順序。以大型水源開發人工湖為例，其首要目的是在於供水，因此僅能提供部分湖體內空間作為滯洪空間，無法像滯洪池般的操作方式，且必須考慮到供水穩定性及供水水質，因此在湖體的生態景觀方面僅能提供指標性生物，而無法過度重視生物豐富度，但可配合監測調查計畫擴充人工湖週遭環境之生態環境品質。對於以滯洪為主要標的之多功能人工湖來說，在暴雨來臨前便必須犧牲水源運用標的轉為防災（治水）協助項目，此時在湖體生態景觀方面便無法提供大型水生動物，以避免因暴雨操作所造成的干擾過大，但又因暴雨並非經常發生，故在平時可轉為水源運用操作。再者，對於以生態景觀為主要考量標的之多功能人工湖而言，則所重視的為湖體水環境的營造、週邊土地綠化、景觀格局、棲地的營造、以及生物歧異度等等，而在水源運用上可能僅能提供氣候調節及緊急供水等非民生用水，在面臨暴雨的操作上，同樣無法比照滯洪池操作方式，僅能提供部分湖體空間來承接洪水。因此，依據多功能人工湖建置之主、次要標的，來調整主、次要系統單元組成佈置，並計算整個系統所能提供該區域之最大效益。

4、區位開發評選：多功能人工湖的位置將會直接或間接影響所

能發揮的效能，例如：人工湖最重要的便是水源穩定，若選取一鄰近無自然水源但又地勢過高，則無法匯集地表逕流量，便要依賴過多的機電等配備，最後將會無法維護和操作，而導致失敗。一般對於開發基地區位的評選可能會採取數種不同的方法來加以評選，以評估最佳方案。基於水源運用觀點來看，人工湖若設置於河川旁或其下游河段或地勢低窪地區，對於一些非民生用水管線末端水量的調節有很大的助益，對於滯洪防洪標的可達到預期最大功效，但一般河川下游或低勢低窪地區匯流水的水質可能比較差，所以在水質的品質則需要佈置以水質處理單元來輔助。因此在考量評選人工湖設置區位時，應確立主要標的並清楚所需要之區內需要條件來訂定需要之區位評選條件，對於可能設置人工湖之區位制定評選原則，可以採用權重分析或依據區位提供與各標的之評估指標來做整體考量，以決定最佳評選區位。

(二)財務面評估：

由於多功能人工湖開發與整個系統需要含括的功能及附加設備等規模有關，且不同案例及不同地點，會有不同的規劃內容和需求，若是大型多功能人工湖，由於佔地較大，牽涉層面較廣，包括環境影響評估、土地購置、水質處理場、工程開發等費用和技術都必須詳細考慮；倘若為中小型人工湖，由於規模較小、佔地小、工程期距短，且通常僅是小區域內的使用，財務負擔較低亦較容易估算。由於本計畫的重點在提出先期構想，因此僅列出一般用以財務面評估的方式，而本計畫的人工湖計畫財務評估，其目的為初期投資成本的回收，不在於營運管理財務是否健全。以下針對年成本分析及財務分析作進一步說明。

1、年成本分析：

可考慮攤提完工建造成本之年固定成本、營運期間之年營運維護費用等。其中年固定成本包括利息、償債基金、期中換新準備金、保險費及稅捐等。各項費用估計原則如下：

(1) 固定年成本

a、年利息：為初期投資之利息負擔，以建造成本之4%估算。即年利息=建造成本×年利率

b、年償債基金：為初期投資之攤還年金，以建造成本及設定地上權權利金為準，採用年金法，每年提存等值之金額，以年利率複利計算，專戶生息至經濟分析年限屆滿時，所積存之本息應足夠清償計畫之建造成本，計算公式如下：年償債基金=建造成本×[年利率/[(1+年利率)ⁿ-1]]

c、期中換新準備金：由於各項工程設施之耐用年限不同，在營運期間部份工程設施需定期予以換新，以免影響其正常功能之運作，故須按年提存換新準備金，以供期中換新之用。假設營運開始 m 年後，須換新價值 R 之部份設施，其工程設施定期換新百分率為 S，於內換新 k 次，則其平均分攤之換新年準備金計算式如下：

$$r = \frac{(1+i)^{mk} - 1}{[(1+i)^m - 1] \times (1+i)^{mk}} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times S \times R$$
$$= A \times S \times R = f \times R$$

其中，A 表換新年金因子，m 為年限，R 是換新價值，S 為換新百分率，n 則是經濟分析年限年。

d、保險費：保險費假設每年不變，依據民國七十六年水資會之『水資源開發計畫規劃報告內容、資料標準及評估準則』，各項工程以計畫資金需求之 1.2%

為保險費。

e、租金及權利金：營建期之權利金應列入總工程成本計算年成本，並依計畫的經濟期限分年攤提，並繳交租金；簽約年尚另需繳付權利金，而租金及權利金均加計營業稅。

(2) 年營運維護費

人工湖營運期間須支付財貨與勞務費用，以維持各項設施之功能，可以直接工程費之4%估算編列。

2、財務分析：

目前對於開發案之財務分析方法及觀念，常用之方法包括有回收期間法 (Payback Period Method)、淨現值法 (Net Present Value, NPV)、內部報酬率法 (Internal Rate of Return, IRR) 等，主要目的在評估是否適合投資此專案。

(1) 淨現值法：

投資專案營運年距之總收益換成現值後，與現在必須支付成本間的差額，稱為淨現值，加總若是總值為正，則接受此計畫。

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} + \frac{S}{(1+r)^n} - C$$

其中 NPV 為淨現值， R_t 表示未來第 t 年之純收益， S 是投資財使用至 n 年後之殘餘價值， C 為現在必須支付成本， r 則是投資者希望的報酬率。

(2) 內部報酬率法：

內部報酬率法為能使淨現金流量之現值為零時之折現率，即為該方案之報酬率。當內部報酬率 i 大於投資者希望的報酬率 r ，表示計畫案可行。

$$\sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} + \frac{S}{(1+i)^n} - C = 0$$

經由上式可以求出內部報酬率 i 。就內部報酬率 i 與投資者希望的報酬率 r 加以比較：

a、若 $i > r$ ，進行投資計劃。

b、若 $i < r$ ，否決投資計劃。

(3) 回收年數法：

期能投資專案的淨現金流入量中，回收該專案的原始投資額，所需的年數。其他條件相同時，愈短的回收年數，則利潤愈高。

(三) 經濟面評估：

經濟分析通常以財務分析之成本與收入為基礎，再將外部成本及效益加以調整，因此反應國家的整體社會成本與效益。如圖 5.7 所示，由財務現金流量調整為經濟流量的過程。財務現金流量調整為經濟流量通常以轉換因子調整價格，轉換因子為各投入或產出之經驗價格與財務價格之比，可用以調整財務現金流量表中之各項財務值為經濟值，估計此一計畫之淨現值與內部報酬率以下式表示：

$$CF_i = P_i^e / P_i^m$$

其中， CF_i 為投入或產品之轉換因子， P_i^e 是投入或產品之經濟值， P_i^m 表示投入或產品之市場價格

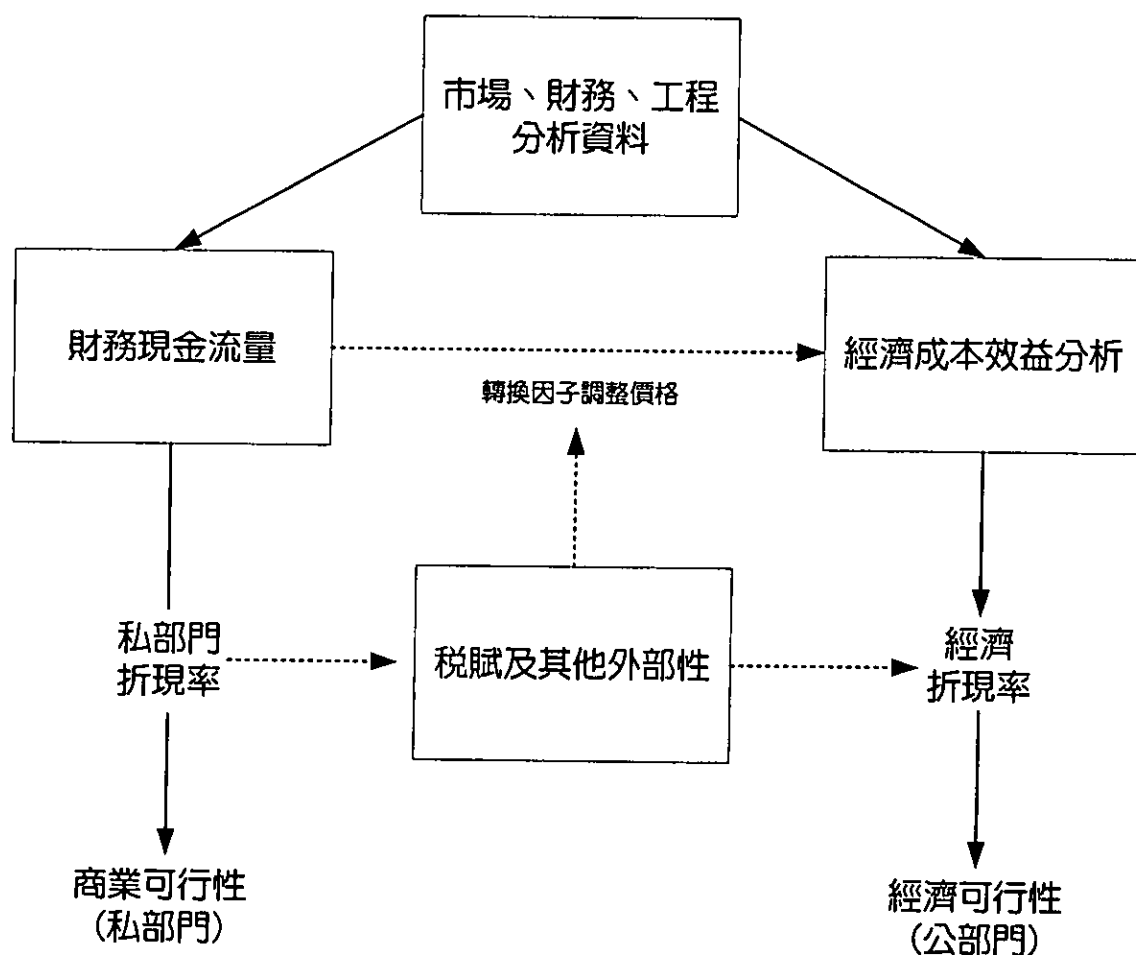


圖 5.7 公共建設專案經濟評估綜覽

台灣市場經濟制度雖然健全，惟因國內商品價格仍有各種稅賦負擔，或存在政府管制措施，其市場價格不能反映其實際之經濟價值，故仍需要調整。以上的轉換因子有其限制，因此本計畫的經濟效益為人工湖供水所產生的效益包括作為公共用水增加之效益，以及減少缺水需要替代水源的機會成本。

- 1、公共給水之直接效益為計畫供水對生活及工業用水等直接用水所產生之價值，其價值通常照供水的售價計算，惟因公共給水之水價受議會的限制，並不是真正的市場價格，所以實質上將以缺水的缺水量與替代水源成本之乘積，作為維持穩定供水的經濟效益。維持穩定供水的經濟效益=缺水量×替代水源成本。

2、從另一個角度討論其經濟效益，當缺水狀況發生時，需要採用替代方案供水，假設可能的替代方案為調用農業用水，則可能會造成農業生產的損失。因著本計畫執行後，可以減少缺水量，降低缺水所造成的損失，亦為計畫之經濟效益之一。因此，降低缺水後的經濟效益可以計算為：

$(\text{無本計畫的平均缺水量} - \text{有本計畫的平均缺水量}) \times \text{替代水源的機會成本}$ 。

3、除上述公共給水之直接效益及減少缺水期所需備用水源之機會成本之外，尚有其他無形效益，如棲地的提供、休憩的環境、滯洪所降低的財產損失、地下含水層的涵養、微氣候的調節等。

(四)環境影響面評估

依照環境影響評估法第 5 條：開發行為實施環境影響評估細目及範圍認定標準第 12 條規定：蓄水容量 500 萬立方公尺以上者，應實施環境影響評估。於環境評估法中，其開發行為包括生活環境、資然環境、社會環境及經濟文化、生態等可能影響的程度及範圍，事前以客觀科學、公正、綜合之調查、預測、分析及評定，提出環境管理計畫，並公開說明及審查。

此外，環境影響議題常常面臨到最大的問題是環境福利(environmental welfare)的量化問題。例如：我們知道溼地的價值，知道黑面琵鷺的無價的價值，但是當設立高科技廠區或石化加上出口區等能夠製造出就業率，能夠計算出獲利等所有經濟數據一一列出後，但是對於無價之寶的黑面琵鷺卻無從定價起。因此，在環境經濟學的領域中衍生出如排放許可交易價格制度、碳稅等環境計量方法。嘗試如何將環境福利做適當的量化則為本計畫重點之一。表 5.5 為歸納文獻資料所得之效益評估方法，其中雖然市場價值

法為最能將環境福利市場價格化的方法，但是其應用之限制也最高；另一方面，著重於傳統陳述性的方法雖然在量化上無法價格化，但可藉由其他量化指標來突顯其重要性。

表5.5 常見之效益評估方法一覽表

方法	應用性	說明	適用對象	備註
市場價值法	直接估價	人工湖之產品或服務可被市場流通貨幣估價	處理水量與供水量	量化之指標最佳
損害取代成本法	間接估價	因某理由以致於在缺乏人工湖情況下，所造成之損害，需復原至損害前之情況所需花費之成本	防洪控制	
旅遊支出法	遊憩	人們願意到人工湖參觀所需花費在交通上的時間與金錢，可相當於人工湖之價值	交通費支出	
地價增值法	間接估價、未來價值	因為人工湖改善景觀、環境、水質、空氣等，所增加之土地價值可相當於人工湖之價值		
附加價值法	間接估價	使用者來參觀人工湖所願意支付之金額	門票收入	
歸納說明法	無法以貨幣質量化，但或可以其他數據說明		皆適用	量化指標最差

第陸章 系統動力學模式建立方式

一、系統動力學概述

系統動力學(System Dynamics)是由美國麻省理工史隆管理學院的 J. W Forrester 教授於 1960 年代所發展的一門新興科學，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。根據 Jay W. Forrester (1968) 對系統動力學的定義：「系統動力學是應用於研究管理系統的訊息回饋現象，及運用模式設計的組織結構與引導策略的制定」。因此系統動力學可使用於描述、探索和分析複雜系統內流程、訊息、組織疆界與策略，並可透過量化的系統模擬與分析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，它提供了一種實驗的、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、長期且較周嚴的解決方法，其發展之目的，在於顯示整個系統動態行為隨時間變化之特性，而非用於預測某一特殊事件之發生，故其雖具有預測之效果，且適用於解決時間為重要影響因子之問題，但預測卻不是其目的，亦非預測之工具。(李孟璵，2001)

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，其意義有三：(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，因果關係之表示在說明兩個變數間之關係為正向或負向，如圖 6.1~6.2 所示，並無數量上之意義，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，如圖 6.3 所示，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，如圖 6.4 所示。

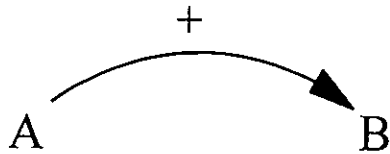


圖 6.1 正向因果鏈

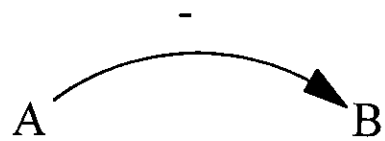


圖 6.2 負向因果鏈

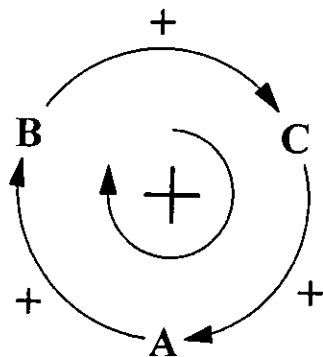


圖 6.3 正向因果回饋環路

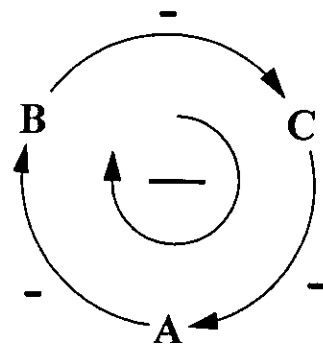


圖 6.4 負向因果回饋環路

系統動力模式在構成回饋系統各部門之相互關係及系統之回饋環路結構時，包含兩種基本之變數，而這兩種變數是構成決策回饋環路之必要與充分條件，第一種變數具有儲存之觀念，第二種具有流動之觀念，再加上輔助其關係變化之第三種變數，構成三類主要之系統組成變數元件，分別為：(1) 儲存 (Level)、(2) 流動 (Rate)、(3) 助動 (Auxiliary)，圖 6.5 即為以系統動力模式套件 Vensim 所建立之示意圖，基本元件如表 6.1 說明，再以箭頭連結表示各元件彼此間交互影響之關係。

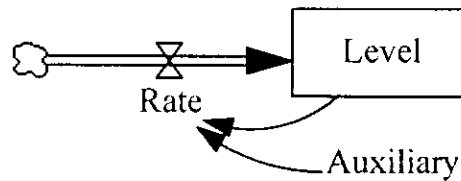


圖 6.5 系統動力模式元件關係建立示意圖

表 6.1 基本元件說明表

圖形	變數的定義	備註
Level	系統內物質或是能量等流量的儲存量或是累積量	輸入形式是初時值
rate	單位時間內流入或流出儲存量的流量或是速率	物質(能量)流動方向、可為函數、邏輯或是常數
→	系統中信息或是影響作用的連接、或稱箭頭	影響作用方向
Auxiliary (文字)	設置在儲存量與流量間的信息輔助變數，說明各流量的改變作用因子	可為圖、表、函數、邏輯或是常數(輔助變量)

至於儲存 (Level) 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，如同水庫中儲水量即屬於儲存之概念；流動 (Rate) 則表示某種儲存變數變化之快慢，代表著一種瞬間之行為，其數值多由儲存變數與助動變數之交互關係來決定，如同水庫之放水量即屬於一流動之概念；助動 (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，如水庫中之放水規則即屬於助動之概念。藉由這三類變數元件，配合前述之因果回饋概念，在確定目標及系統現況，配合數學模式之建立後，即可構成完整之系統動力模式，用以模擬各系統之結構與決策。(陳明業，2002)

由於本計畫目的著重在人工湖未建置前，依據主要經營標的，找出主要影響因子，以評估人工湖的預期效益。在傳統模式操作上，不論是水源、生態景觀或滯洪，任何關於深度、尺寸、坡度、底床材質、植物種類、系統內其他配置單元（如溼地、沉砂池、水質處理等）等設計值的更動，都將會彼此受到影響而使得所有的模式都必須全盤調整，因此本計畫希望能以系統動力學的理念，了解並建立人工湖相關參數和單元配置之間的互動關係，任何的變動值都可以由系統與系統單元間的鏈結找出其相互影響關係。以下將以美國拉斯維加斯區域水資源系統案例來說明系統動力模式的建置方式。

二、系統動力模式建置程序

本節中以美國拉斯維加斯區域水資源系統為例，說明系統動力模式建置程序之五個主要步驟：

(一) 步驟 1. 問題的定義

與其他模式相同，必須先蒐集並了解研究區域範圍並釐清附近水文地理情況，由圖 6.6 可以看出研究區域範圍，並由排水系統流域可顯示出水源供給的入口和整個廢水處理系統。

(二) 步驟 2. 系統的描述

主要精神在將研究區域範圍內所希望解決的問題，以簡單的物理概念圖表示藉以釐清各主要單元的之間的物理關係，圖 6.7 表示該區域水資源排水處理系統的基本物理概念圖。由該圖可以了解，A、B、C 為三個廢水處理廠，擔負全區之所有廢水處理工作，因此，經由三個廢水單元處理完後排到溼地再排入港灣中；圖中之 PPT 表示限水量、ET 為蒸發量。

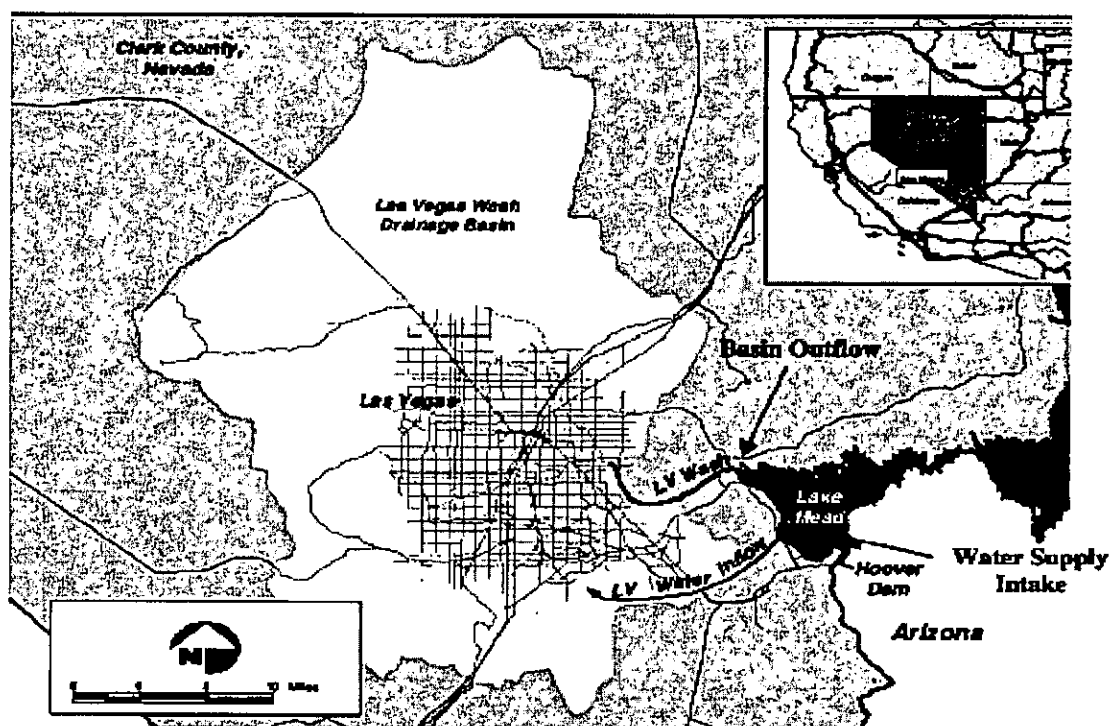


圖 6.6 問題的定義圖

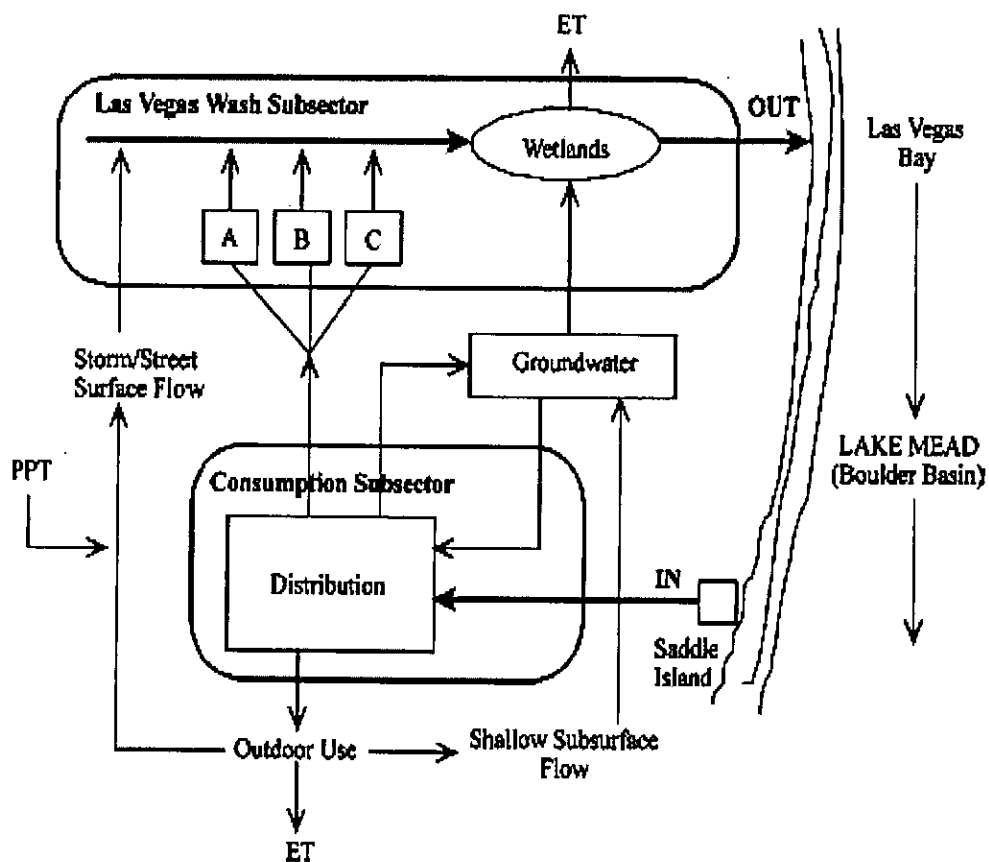


圖 6.7 系統的描述圖

(三)步驟 3. 因果關係描述

針對所需要處理的問題，繪製因果關係表（表 6.2），其目的在針對不同問題的種類而釐清各問題內影響參數之因果關係，之後再依據因果關係表繪製成因果回饋圖（如圖 6.8 所示），因果回饋圖在說明不同議題之間串接起來的因果回饋圖間之正負關係。以美國拉斯維加斯區域水資源系統為例，當配合表 6.2 及圖 6.8 對議題 1 做進一步認識時，可以了解若室內用水（表示民生用水）越多，則需要處理的廢水量會越大（圖 6.8 上，由室內用水到處理廢水量之鏈結表示為正關係“+”），而廢水處理的量越大則表示廢水可再利用率越高（表示正關係“+”），因此，總供水量亦會提高（表示正關係“+”），抽水量為一個限制條件表示若總供水量越高抽水量可減少（表示正關係“+”），因此，整個因果回饋圖則形成為一個正的迴圈。

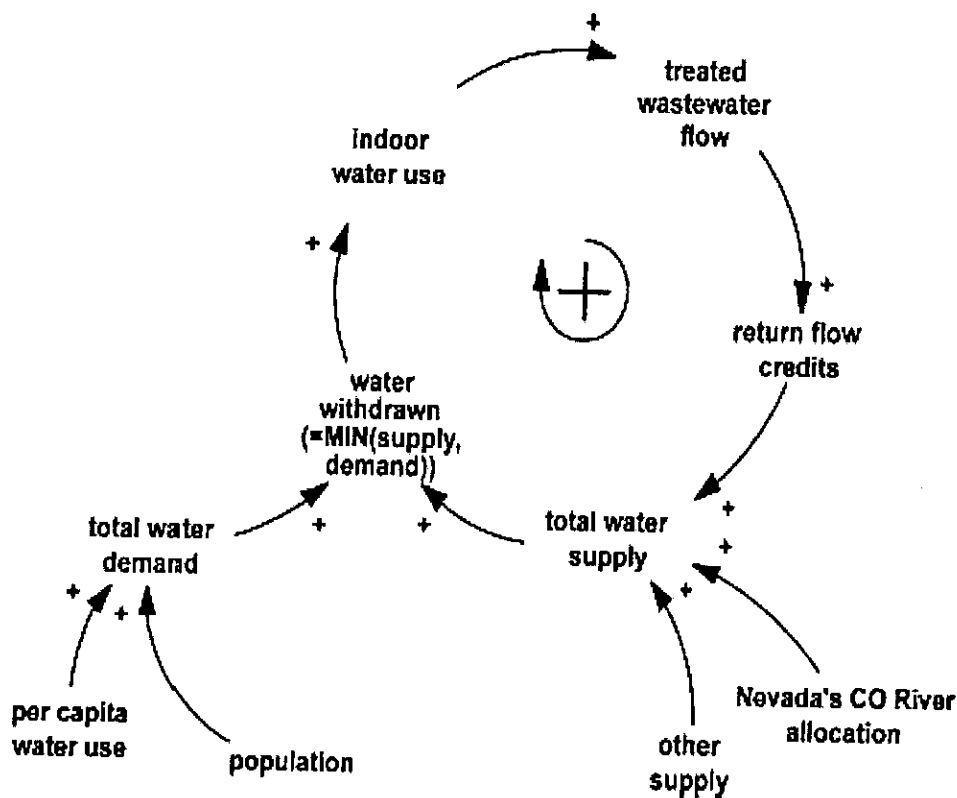


圖 6.8 因果回饋圖

表 6.2 議題因果關係表

研究議題	因	果	關係描述	操作單元
1. 地下水抽水 水量	民生需求量、廢 水可再利用量	水源分配量、 供水量	地下水水位、廢水 可再利用率	抽水量
2. 地表水調 配	入流量	供水量	公式：指標平衡、 對等水庫、規線	水庫、堰、 壩、淨水 場、含水層
3. 需求推估	人口普及率、自 來水售水率、水 價、產業	民生需求	公式：經驗公式	都市、農 地、工業區

(四)步驟 4. 動態模型建置

依據圖 6.8(因果回饋圖)及表 6.2(因果關係表)所建立的系統動態模型平台，如圖 6.9 所示，其中，抽水為閥門控制系統，而輸出量則會影響水資源系統分配，水資源的供給來源則為湖泊。由該圖可以看出，影響抽水閥門控制的有總供水量及民生用水需求量，總供水量則會受到廢水處理量及回流排出扣除額的影響。由圖 6.9，可以看出該案例之各個議題與操作單元間的相互因果關係，讓管理者能明確了解水資源系統各單元之間的相互關係，而不會挂一漏萬。

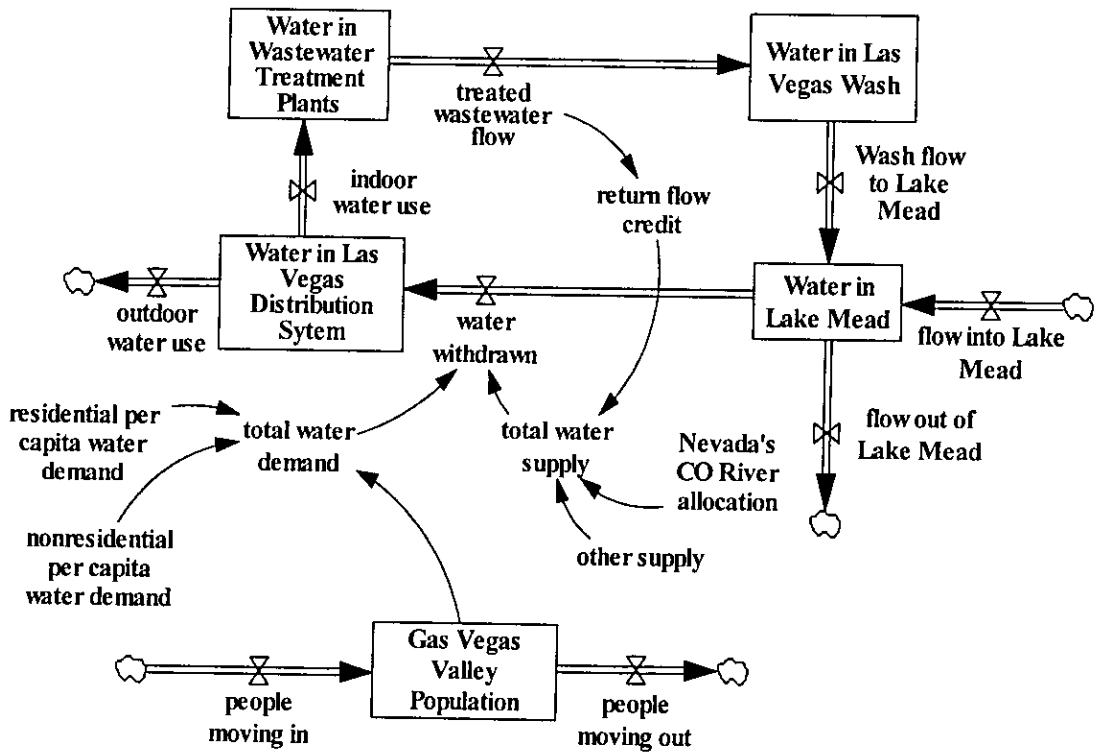


圖 6.9 動態模型建置圖

(五)步驟 5. 情境分析(政策模擬)

最後，依據圖 6.9 之動態模型圖，於模型建構測試完成後便可以進行情境模擬，一改變具政策涵義或非政策性變數，便可以觀察並探討在特定情境下的系統行為變化，其目的在支援管理者分析不同情境下可能發生變動的趨勢。

上述步驟可以幫助了解系統動力學之建置精神，於本計畫中，若水源來源更動（如：降雨增加或減少、引水渠道不同、地下水抽取與否），都會影響整個湖泊的水量，並改變水深，而水深又將影響光照深度所引起的優養化情形；若人工湖系統中加入溼地單元，則會降低懸浮固體、氮、磷等含量，使得水質變佳，優氧化速度降低，生態景觀效益也會提昇。以上種種，若以系統動力學模式來建置，任何的影響鏈結都可適時加入或移除，便可清楚看到其互相影響關係圖。

第柒章 多功能人工湖模擬案例

一、模擬案例設計

為使前述之量化評估方式容易了解，本計畫參考台南科學園區所規劃的滯洪池為多功能人工湖模擬案例。台南科學園區場址內土地原屬低度使用之開發(農業耕作)，區域受限於當地的地形條件及排水設施的影響，因著台南科學園區的密集開發，導致開發後地表逕流量的增加，因而造成基地及其週邊排水不易容易淹水。為降低園區開發對週邊低地區的排水衝擊，由經濟部水利署於2003年「台南科學園區暨周邊水系整體防洪計畫」中，以五十年發生重現期暴雨設計強度為滯洪設施設計標準，其中，南科一期區域內共設置了A、B、C、D四座滯洪池。

為能更容易展示模擬案例結果，本計畫僅選用台南科學園區第一期所規劃的A滯洪池為多功能人工湖模擬案例，並將整個模擬案例的基本條件假設如下：

- (一)人工湖面積為5公頃，最大深度為2公尺。
- (二)人工湖集水區面積為100公頃。
- (三)模擬期程為2001年。
- (四)雨量資料採用距離台南科學園區最近之中央氣象局台南新市氣象站。
- (五)本模擬案例同時考慮水源運用、滯洪及生態景觀三個標的，為能在枯旱時期或暴雨來臨前實施排水時，仍能維持湖體內基本生態景觀所需水量，因此假設一生態基本維持水深(所對應的地表蓄水單元水量稱之為生態維持水量)30公分；此外，為使平時湖體內水量能提供在休憩時感覺舒適的水深，則定義一景觀維持水深(所對應的地表蓄水單元水量稱之為景觀維持水量)並假設為1公尺。

(六)假設多功能人工湖開始操作之起始蓄水量為 50000 立方公尺，大約等於水深 1 公尺。

(七)忽略蒸發散等損失。

由第叁章中所構建之不同標的所需要之組成單元及不同降雨時期之操作方式，當中小型人工湖（地表蓄水單元）同時考量水源運用、滯洪、及生態景觀標的時，所共同的組成單元為引排水單元、地表蓄水單元及入滲單元；倘若將滯洪標的考慮為因暴雨引起之特殊情況所引發，則同時考量生態景觀與水源運用標的時，所共同需要之單元為引排水單元、地表蓄水單元、入滲單元、輔助水源單元及水質處理單元，對於本案例來說，所需要之引排水單元可以為引水渠道、湖體滿水位時或因應暴雨來臨前所需要之排水設施，而入滲單元則可以是砂樁或其他高滲透之地工材料，以提供多餘之水入滲至地下水層，輔助水源單元則主要為因應湖體內水量不足以維護基本生態景觀水量時，所需要使用之抽取地下水設備，對於本模擬案例中之水質處理單元，則因所引入之水源以降雨之逕流量為主，且供水目標為非民生用水，因此對水質的要求不需太嚴苛，故假設於地表蓄水單元前端設置一溼地，主要功能用以吸附部分磷，以降低排入湖體之磷體積，而減緩湖體優養化之速度。上述之單元佈置圖如圖 7.1 所示。

以下將以系統動力學之建置方法（第陸章）及量化指標估算方式（第伍章），針對本模擬案例所考慮之各項單元，在不同標的及配置單元間的組合下，採用系統動力學套件 Vensim，對水源運用、滯洪、生態景觀三個標的建置所需要的關聯模式，並將其過程和結果敘述如後。

二、系統動力模型建立與指標評估

(一)水源運用標的之量化分析

1、問題的定義：

如前所述，本模擬案例所考慮之多功能人工湖（地表蓄水單元）位於工業區內，附近並無可以引用之近距離天然水源（如河川、溪流、渠道等），因此地表蓄水單元中之主要水源則以收集降雨所產生之地表逕流為主，來源並不具穩定性，且受到豐枯水時期影響甚巨。如第叁章所述，在水源運用為主要標的考量時可以依據平常時期、洪水、乾旱時期分別考量，然而不論何種時期，均考量一基本維持生態景觀水量（生態維持水量），所需要的單元配置如圖 7.1 所示。

2、系統的描述：

若以水源運用為主要考量，則可以理解，是以人工湖湖體內能夠蓄有越多水量為佳，由於本模擬案例並未有引入逕流量以外的其他水源，因此在水資源調配量化分析方面，為滿足不同時期，設立有不同操作方式：

- (1)當水深高於景觀水深時，則採取完全供水，此時，透過入滲單元則可以涵養地下水層。
- (2)為使水深能滿足在景觀上的舒適度，當水深降至景觀維持水深與生態維持水深之間時，則採取減量供水。
- (3)為維護基本生態需求，當水深降低至生態景觀水深以下（乾旱時期），便啟動輔助水源單元抽取地下水來補充。

至於洪水時期則於滯洪標的時再討論。除此以外，當連續降雨發生時，人工湖湖體可能會達到滿水位，故而於接近湖面處設置一排水單元；而本模擬案例中另設置有一溼地為多功能人工湖前端水質處理單元，在此，假設流經溼地的水量最後都會經由引水單元進入湖體，故忽略溼地內所蓄積的水量。

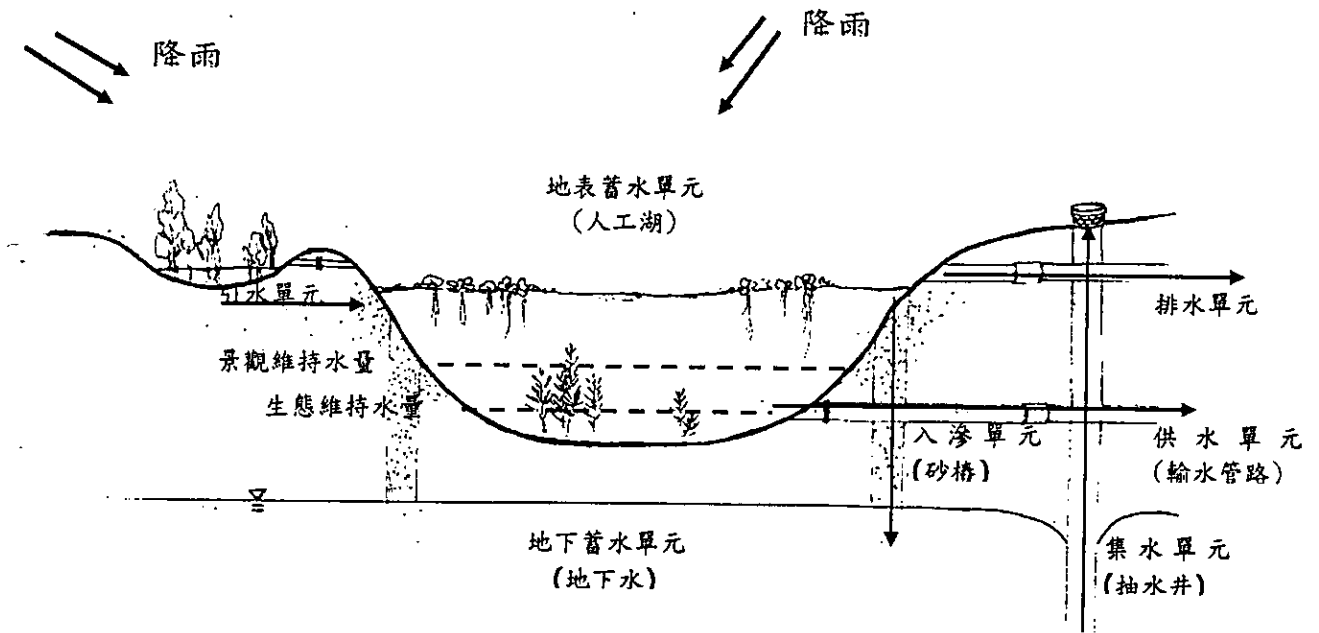


圖 7.1 水源運用系統描述圖

3、因果回饋圖：

由第陸章所介紹的系統動力學建置概念和步驟，將問題的定義與系統的描述繪製為因果回饋圖（圖 7.2），因果關係之表示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，即數量之大小並不會影響到因果鍵之存在與否。由圖 7.2 中所表示的箭頭方向可以瞭解相互影響情況，例如：當降雨量越多，集水區內之地表逕流量也越多，而進入湖體的入流量亦越多，因此降雨量之於入流量為正向；同理，入流量越大，人工湖蓄水量越多，同樣是為正向。

倘若進一步將一系列之因果鍵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，而造成自我之強化（無限制的成長或減少），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

(會逐漸地趨向穩定)。以圖 7.2 為例，由人工湖蓄水量、生態維持量、景觀維持量所構建的操作指標，此操作指標所表達的意義為人工湖蓄水量和景觀維持量的差距，如果該差距越大，則人工湖供水量就越多，因此形成正向，而人工湖供水量越多，使得人工湖蓄水量越少，所以形成負向。而『人工湖蓄水量 $\xrightarrow{+}$ 操作指標 $\xrightarrow{+}$ 人工湖供水量 $\xrightarrow{-}$ 人工湖蓄水量』，則形成一個負向之因果回饋關係環路(一個因果回饋關係環路中，若負號的數目為奇數，則為負向之因果回饋關係環路，若負號的數目為偶數，則為正向之因果回饋關係環路)。

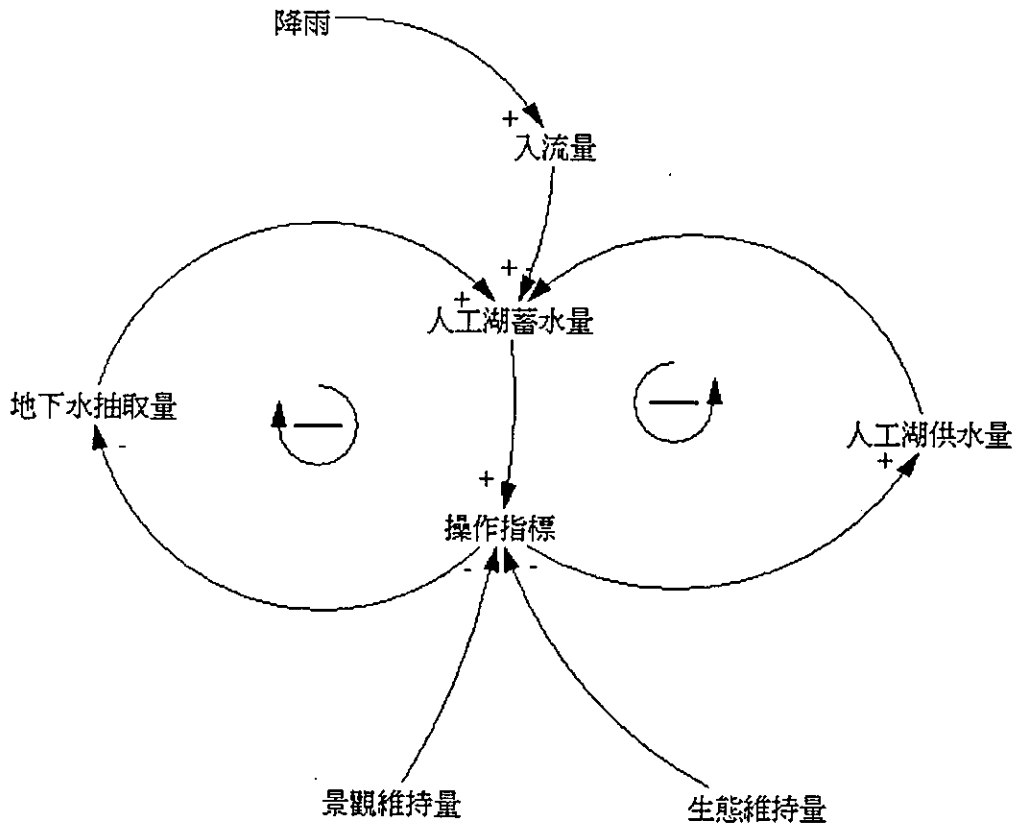


圖 7.2 水源運用系統因果回饋圖

4、動力模型建置：

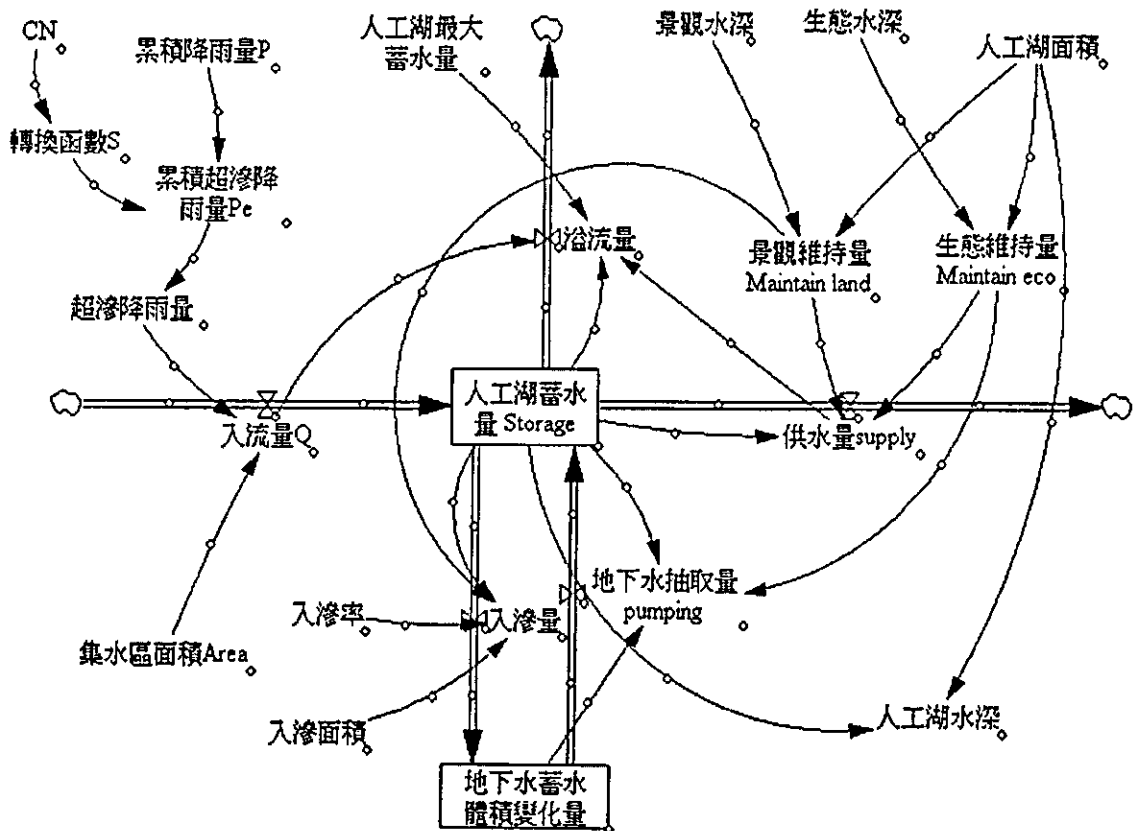


圖 7.3 人工湖水源運用系統動力模擬圖

依據因果回饋圖及系統描述，將本模擬案例的水源運用標的之動力模型建置如圖 7.3，而在進行模擬時所需要使用的參數及條件則描述如後。

(1)入流量推估：

由於本案例假設人工湖之主要水源為地表逕流，集水區內之水循環係從降雨開始，當雨水降至地面之後，部份降雨經由入滲至未飽和含水層中；而另一部份則形成地表逕流，並直接流入地表蓄水單元。其中，入滲與地表逕流之關係可以下列方程式表示：

$$I_t = R_t - Q_t$$

其中， I_t 是入滲量， R_t 是降雨量，而 Q_t 是地表逕流，式中所採用的單位為 cm/day。

當集水區內土地被開發之後，將會使不透水面積增加，並使得降雨之滲漏損失減少(即超滲雨量增加)，進而造成總逕流量之增加。本案例採用美國水土保持局(U.S Soil Conservation)開發之 SCS 曲線號碼法估算降雨損失，在此方法的使用上，美國水土保持局已利用多次降雨與超滲降雨紀錄，繪製為累積超滲降雨量與累積降雨量之相關曲線圖，其計算公式如下：

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

其中，Pe 為累積超滲降雨量(mm)，P 是累積降雨量(mm)，S 代表了包括初期扣除量之最大滯流量，由土壤種類、地表覆蓋、耕作方式、土地利用與臨前降雨等條件可以找出適合之曲線號碼如表 7.1，進而求得 CN、SCS 曲線號碼。

表 7.1 不同土壤種類、地表覆蓋、耕作方式與土地利用之 SCS 曲線號碼

土地利用情形	土壤分類			
	A	B	C	D
耕地 ^{#1} ：無保護措施	72	81	88	91
有保護措施(如等高耕及台地)	62	78	78	81
牧草地及放牧地：不良情況	68	79	86	89
良好情況	39	61	74	80
草地：良好情況	30	58	71	78
森林：稀疏、少護蓋、無護蓋物	45	66	77	83
良好護蓋 ^{#2}	25	55	70	77
空地、林間空地、公園、高爾夫球場、墓地等：				
良好情況：草地護蓋超過 75% 之面積	39	61	74	80
稍好情況：草地護蓋 50~75% 之面積	49	69	79	84
商業區：(85% 面積不透水)	89	92	94	95
工業區：(72% 面積不透水)	81	88	91	93

表 7.1 不同土壤種類、地表覆蓋、耕作方式與土地利用之 SCS 曲線號碼(續)

住宅 ^{u3} ：					
平均每塊建地大小	平均不透水面積% ^{u4}				
≤1/8 英畝 (506m ²)	65%	77	85	90	92
1/4 英畝	38%	61	75	83	87
1/3 英畝	30%	57	72	81	86
1/2 英畝	25%	54	70	80	85
1 英畝	20%	51	68	79	84
鋪石 (混凝土或柏油) 停車場、屋頂、道路等 ^{u5}		98	98	98	98
街道：					
鋪石 (混凝土或柏油) 道路及雨水下水道 ^{u5}		98	98	98	98
碎石道路		76	85	89	91
泥土道路		72	82	87	89

註：1.更詳細耕地土地利用之曲線號碼，請參考美國水土保持局之資料。

2.良好護蓋係以牧草、雜物及灌木護蓋土壤。

3.曲線號碼之計算係假設逕流從房子及車道直接流向街道，僅少部分屋頂雨水直接流向草地增加入滲。

4.保持透水面積(草地)之曲線號碼視為良好牧草

5.在某些熱帶氣候地區曲線號碼可採用 95。

6.上述土壤分類情形如下表：

土壤分類	最小入滲率 (mm/hr)	土壤質的
A	7.6~11.4	深層砂土、深層黃土、集合沉泥。
B	3.8~7.6	淺層黃土、砂質壤土。
C	1.3~3.8	黏質壤土、淺層砂壤土、低有機含疊壤土、高黏土含量壤土。
D	0~1.3	潮濕時膨脹之土壤、高塑性黏土、鹼土。

7.土壤臨前水分情況分類表

情況	說明	5 天前之降雨量	
		冬眠季節	生長季節
I	集水區土壤乾燥，但未乾到凋萎點。	13mm 以下	36mm 以下
II	每年一般情況之洪水。	13mm~28mm	36mm~53mm
III	在前五天下過大雨或在低溫時下過小雨	超過 28mm	超過 53mm

(2)人工湖蓄水推估

在本案例中，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 + 地下水抽取量 - 入滲量 - 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

在本案例中，在某時刻之地下水蓄水變化量可以表示為該時刻之（入滲量－地下水抽取量），當人工湖水深高於景觀維持水深，則人工湖內的水將藉由所佈置之入滲單元砂樁入滲至地下含水層以達到補充地下水的目的；若人工湖蓄水量低於生態維持量時，則抽取地下水來補充人工湖水深，使能達到生態維持水深，此外，為能達到涵養地下含水層目的，本案例之設計原則為在模擬期距內，地下水抽取量不得大於入滲量。

(4)操作原則

水源運用操作原則如下所列：

- a、人工湖水深高於上限水深(即為人工湖最大蓄水量之水深 2 公尺)：當人工湖水深高於上限水深，高於上限水深的水將會從溢流口流出。
- b、人工湖水深介於上限水深與景觀維持水深之間：此時表示湖體內水量充足，因此工業區內非民生用水則設定為完全供水，本案例假設每日需水量為 600 立方公尺。此外，人工湖內的水將藉由高透水材質並配合砂樁入滲至地下含水層以達到補充地下水的目的。
- c、人工湖水深介於景觀維持水深與生態維持水深之間：當人工湖水深介於景觀維持水深與生態維持水深之間時，則設定工業區非民生用水以計畫需水量 80%供給（=480 立方公尺）。
- d、人工湖水深低於生態維持水深：此時表示湖體內水量僅能提供生態基本維持水量所需，因此將停止供應工業區內非民生用水，並抽取地下水來補充人工湖水深。

至生態維持水深。

5、系統動力模式變數及函數說明：

系統動力模式內所建置之各項變數及函數說明如表 72 所示。

表 7.2 水源運用系統動力模式變數及函數說明表

名稱	變數性質	意義	函數	單位
CN	Variable	Curve number, CN	其值因土地利用、土壤質地或排水特性、及臨前土壤水分而不同，詳見 Tung and Haith(1995)。(本案例中為定值 88)	
S	Variable	簡化用轉換函數	$(25400/CN)-254$	mm
P	Variable	累積降雨量	GET XLS DATA('雨量資料.xls', '2001 日雨量', 'B', 'D1')	mm
Pe	Variable	累積超滲降雨量	IF THEN ELSE(累積降雨量 $P > (0.2 \times \text{轉換函數 } S)$, ((累積降雨量 $P - 0.2 \times \text{轉換函數 } S)^2 / (\text{累積降雨量 } P + 0.8 \times \text{轉換函數 } S)$), 0)	mm
超滲降雨量	Variable	超滲降雨量	累積超滲降雨量 Pe-上一時刻的累積超滲降雨量	mm
Q	Rate	入流量	$(\text{超滲降雨量 } Pe / 1000) \times \text{集水區面積 Area}$	m^3/day
人工湖面積	Variable	人工湖面積	50000	m^2
人工湖水深	Variable	人工湖水深	人工湖蓄水量 Storage/人工湖面積	m

表 7.2 水源運用系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
Area	Variable	集水區土地面積	1000000	m ²
生態水深	Variable	生態水深	0.3	m
Maintain eco	Variable	生態維持量	人工湖面積×生態水深	m ³
景觀水深	Variable	景觀水深	1	m
Maintain land	Variable	景觀維持量	人工湖面積×景觀水深	m ³
Storage	Level	人工湖蓄水量	入流量 Q + 地下水抽取量 pumping - 入滲量 - 供水量 supply	m ³
supply	Rate	供水量	IF THEN ELSE(人工湖蓄水量 Storage > 景觀維持量 Maintain land, 600 , IF THEN ELSE(人工湖蓄水量 Storage > 生態維持量 Maintain eco, 480 , 0))	m ³ /day
入滲量	Rate	入滲量	IF THEN ELSE(人工湖蓄水量 Storage > 景觀維持量 Maintain land, 入滲面積×入滲率, 0)	m ³ /day
入滲率	Variable	入滲率	0.15	m/day
入滲面積	Variable	入滲面積	2000	m ²

表 7.2 水源運用系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
pumping	Rate	地下抽水 量	IF THEN ELSE(地下水蓄水體積 變化量>0, IF THEN ELSE(人工 湖蓄水量 Storage<生態維持量 Maintain eco,15000-人工湖蓄水 量 Storage, 0), 0)	m ³ /day
地下水蓄 水體積變 化量	Level	地下水蓄 水體積變 化量	入滲量-地下水抽取量 pumping	m ³
人工湖最 大蓄水量	Level	人工湖最 大蓄水量	100000	m ³
溢流量	Rate	溢流量	IF THEN ELSE(入流量 Q+人工 湖蓄水量 Storage-供水量 supply> 人工湖最大 蓄水量,入流量 Q+ 人工湖蓄水量 Storage-供水量 supply-人工湖最大 蓄水量 , 0)	m ³ /day

6、指標評估：

本案例於水源運用標的採用日缺水指標 SI 為量化分析指標，將原來計算公式定義之時間單位從”旬”修改為”日”（公式於第五章），以配合本案例模擬之時間單位。此外，在 SI 估算式中需要(天)標的需水量及(天)標的缺水量，在本案例中，每日供水量假設為 600 m³（標的需求量），由模擬模式模擬後，可得到每日缺水量，經由上式計算出 SI 值。該指標值可以反映出系統的供水潛能。

7、模擬案例分析與說明：

由以上所建置之系統模型、各項假設條件及採用公式，將水源運用標的以系統動力學工具 Vensim 模擬後之結果分述如後。

- (1) 首先需要有入流量才能進行水源運用的序幕，本案例中之每日入流量推估如圖 7.4 所示，圖中顯示出在模擬時刻第 139 天（5 月 19 日）、第 174 天（6 月 23 日）、第 261 天（9 月 18 日）出現較大的降雨（分別是 147.5、170.5 及 300mm），使得入流量在這三天出現尖峰值，其對應之入流量值分別為 $145436.8 \text{ m}^3/\text{day}$ 、 $170313.8 \text{ m}^3/\text{day}$ 、 $299901.9 \text{ m}^3/\text{day}$ 。

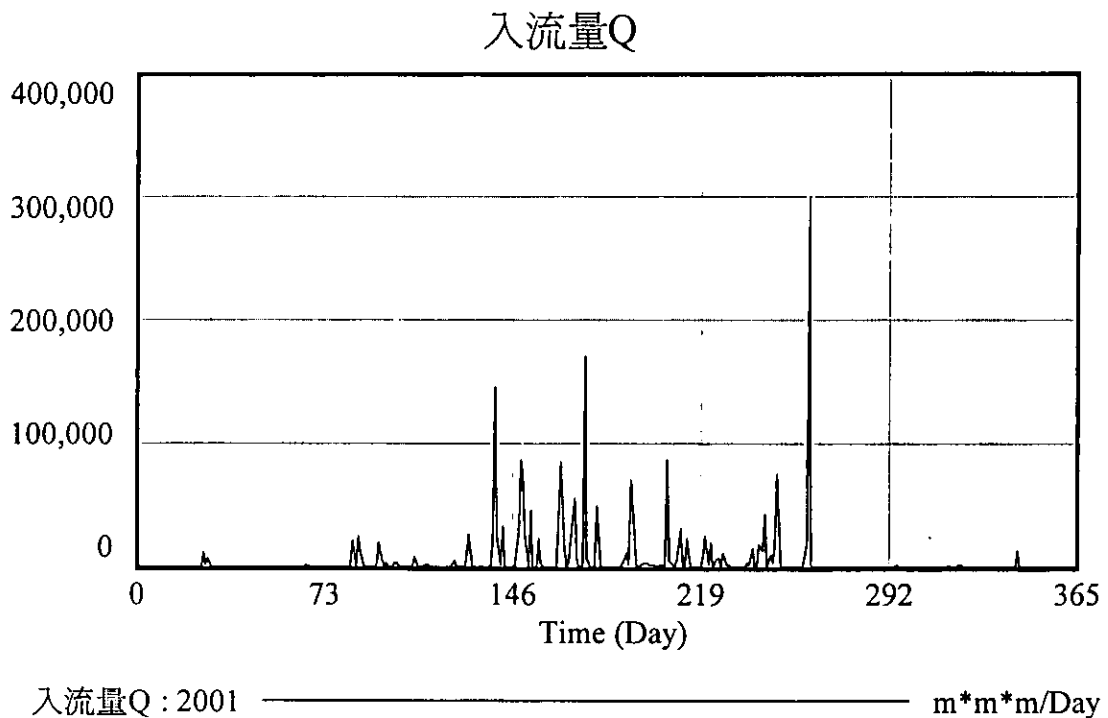
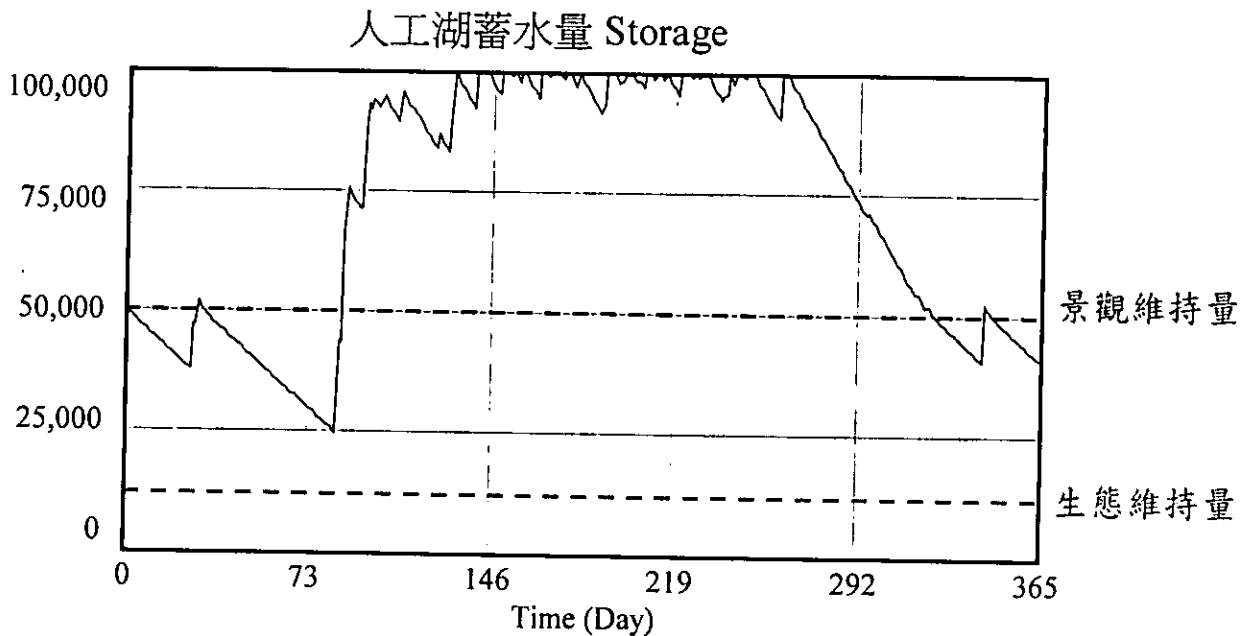


圖 7.4 入流量模擬結果圖（水源運用）

- (2) 透過合理化公式（美國水土保持局 (U.S. Soil Conservation)、SCS 曲線號碼法估算計畫降雨損失），經由 Vensim 模擬出人工湖蓄水量變化結果如圖 7.5 所示，由該圖顯示出在第 87 天以前，由於僅有零星少量降雨，因此

人工湖蓄水量並無太大的變化，而第 87 天逐漸降下一些雨量，導致人工湖水深慢慢升高至滿水深；在第 139 天時突然降下大雨使得人工湖水深升高至滿水深，第 139 天之後至第 174 天第二次大雨來之前，可以發現人工湖水深有上下震盪的情形，主要原因是當人工湖水深高於景觀水深時，除了每日的非民生供水外，尚因湖體中的水部分入滲至地下含水層中，導致人工湖蓄水量下降，而這段期間斷斷續續的降雨的亦使得湖水深上升；該年在第 261 天以後並未再降雨，但人工湖仍繼續保持供水一直到生態維持水深為止。由於在操作原則中，任何時候都必須維持於生態維持水深，否則便抽用地下水補充，因此到該年結束為止都一直維持在生態維持水深上。



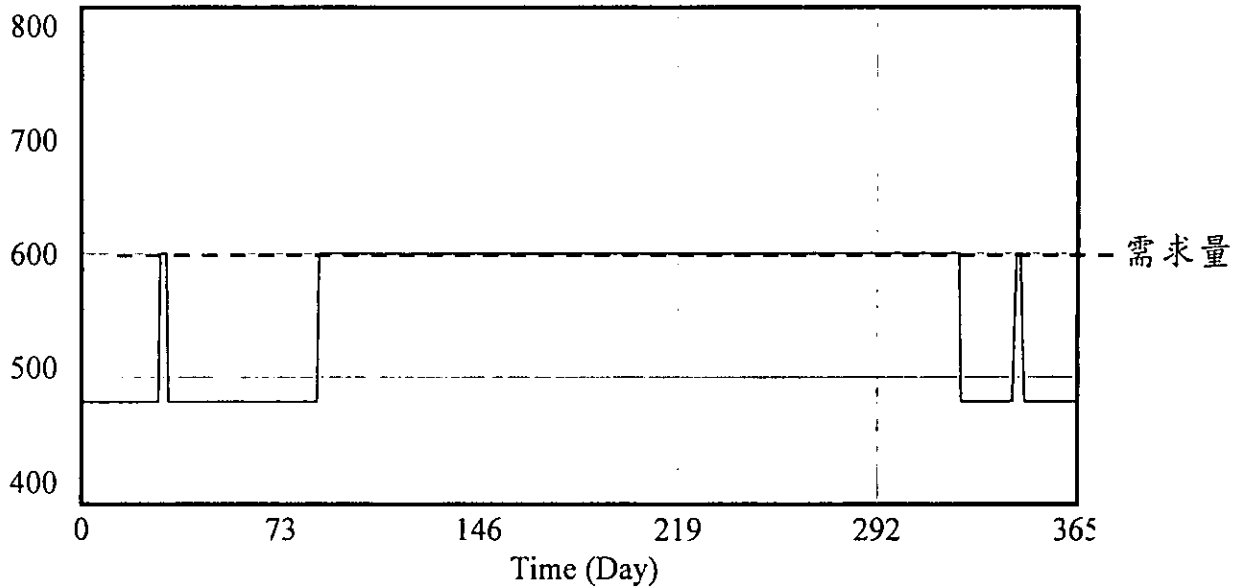
人工湖蓄水量 Storage : 2001 ————— m*m*m

圖 7.5 人工湖蓄水量模擬結果圖 (水源運用)

(3)每日之供水量分佈如圖 7.6 所示，如操作原則中所述，當人工湖水深低於景觀維持水深時，供水量便減量供給 (80%需水量)，當逐日降至生態維持水量以下便不再供水，

此項操作原則反應於圖 7.6 中，圖中之長條形便表示在這段日子中有供水，而在第 87~261 天這段期間內，由於經常降雨致使水源充足，因此可以保持連續供水。

供水量supply



供水量supply : 2001 ————— m³*m/Day

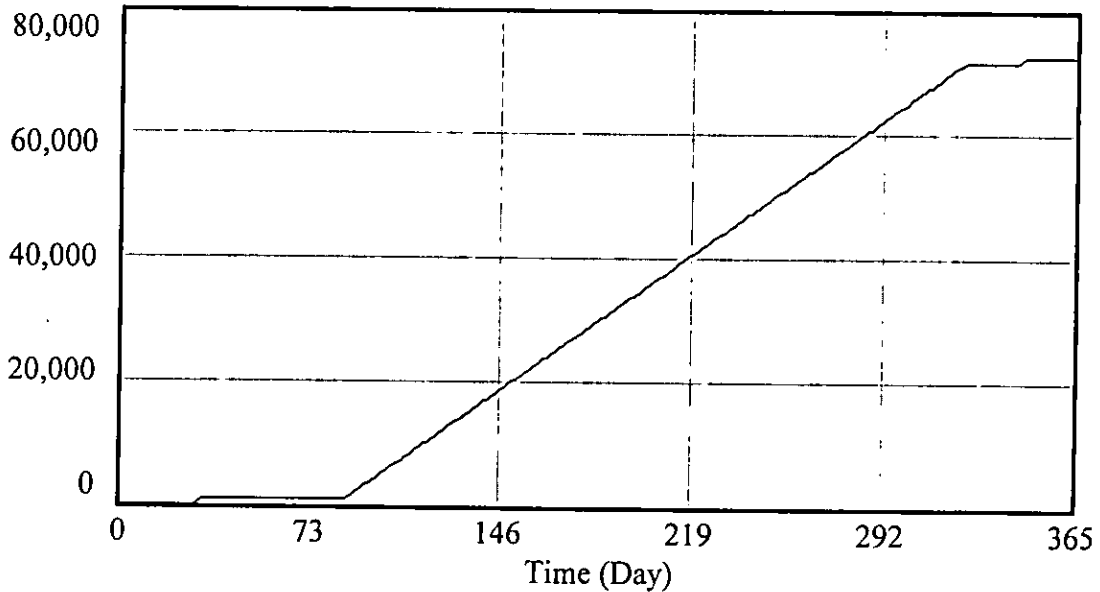
圖 7.6 人工湖供水量模擬結果圖（水源運用）

(4)由於本模擬案例並未執行地下水模式分析，因此僅以地下水蓄水體積變化來分析是否達到涵養地下水層的功能。地下水蓄水體積變化量如圖 7.7 所示，由該圖可以看出與前三項一致的結果，第 87 天逐漸降下一些雨量，使得人工湖的水深比景觀維持水深高，因而產生入滲，因此地下水蓄水體積變化量突然上升。由該圖顯示，本案例整年的地下水蓄水體積變化量為正值，表示在這樣的操作方式下，多功能人工湖系統確有達到涵養地下水層之目的。

(5)將 Vensim 套件所模擬出來的結果，進一步以缺水指標公式計算出，在這樣的操作方式下，多功能人工湖對於非民生用水的 SI 指標為 0.4542，對於民生用水需求來說， $SI \leq 1$

即為可以接受之範圍，因此，對於本模擬案例來說，這樣的操作方式在水源標的上是可以被接受的。

地下水蓄水體積變化量



地下水蓄水體積變化量 : 2001 ————— m³

圖 7.7 人工湖地下水蓄水體積變化量模擬結果圖（水源）

(6)對於本模擬案例來說，整個人工湖系統的水源僅依賴逕流量，並無引入其他水源，對於系統動力學而言，只要能釐清欲處理問題和變數間的訊息傳遞架構，藉由系統動力學模擬套件便可將這些元件於適當的地方加入便可，而不需再將其他部分重新建立。此外，本模擬案例亦忽略湖體平日的蒸發散量損失，同理，當瞭解損失速率後在本系統內加入元件並給定計算公式便可。

(二)滯洪標的之量化分析

1、問題的定義：

由於都市化快速變遷，造成不透水率之地面大幅成長，使得地表原有滲透能力下降，於雨季時，排洪設施常無法迅速消散洪流，因此滯洪功能對於都市社區或開發區域而

言相形重要。滯洪操作通常只和颱風有關，因此，在多功能人工湖操作時，倘若面臨豪雨特報，便可擔負起該區域的滯洪池的功能，所以只要在氣象局發佈豪雨特報時就轉成滯洪操作規則。因此依據氣象局對豪雨的定義：24 小時累積降雨量達到 130mm 便視為豪雨。為了便利檢視模擬結果，並不對 2001 年全年三場符合暴雨條件之雨量進行模擬，僅選用全年中最大一場豪雨 9 月 18 日 (300mm) 為模擬對象，並針對人工湖於豪雨來臨時對區域之滯洪功能進行探討。

當人工湖轉而成為滯洪池時，其存在對於該區域而言便轉而成為防災的考量，所著重的事項便成為對該區域所能提供的滯洪效益為何？如第五章所述，滯洪池的意義在延遲洪峰到達時間及削減洪峰量，因此本節中便針對多功能人工湖在該場暴雨發生的滯洪功能加以模擬並依循此原則來設計本模擬案例的系統模式。

2、系統的描述：

如圖 7.8 所示，在本模擬案例中，滯洪可視為水源運用中的一個特殊狀況，因此在系統設計方面大致與水源標的相同，只要在氣象局發佈豪雨特報時轉換成滯洪操作規則，以及將模擬時之時間單位轉換為以「日」來呈現結果。如果只考慮水源運用標的，人工湖則是要能將水蓄得越滿越好，所以排水系統位置接近湖面為佳；但如果考量滯洪標的，則人工湖所能滯洪的體積越大越好，且為了能夠在排洪時能將部份砂量排出，所以將排水設施放置於生態維持量的水深線上方，使得湖體的滯洪量維持在人工湖生態維持量與最大蓄水量(最大滯洪量)之間。物理系統所包含的單元則為進流渠道(引水單元)、雨水下水道或區域排水系統(排水單元)、人工湖(地表蓄水單元)、砂樁(入滲單元)。

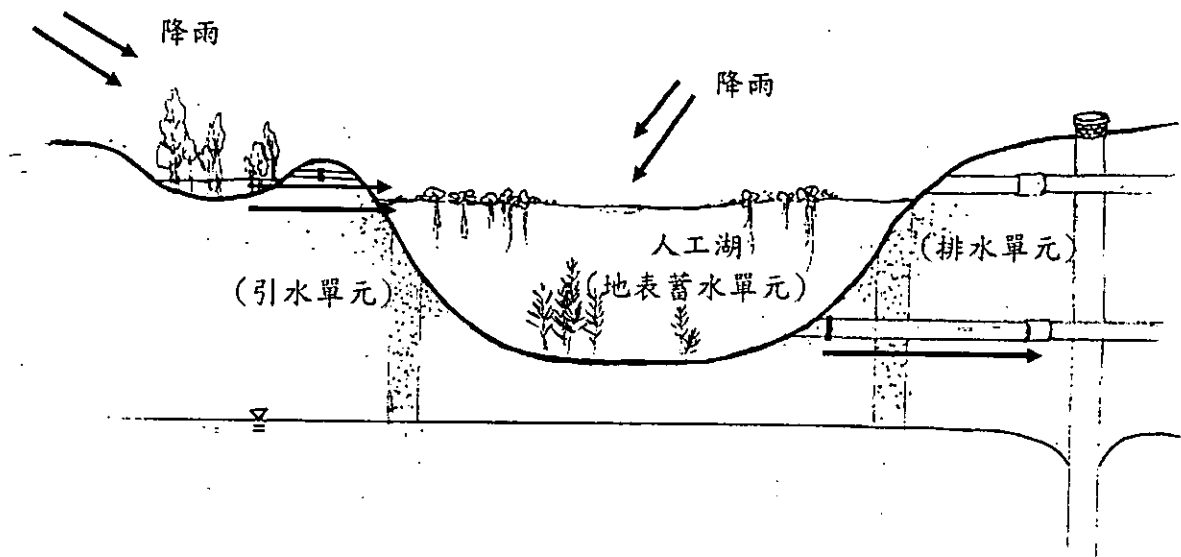


圖 7.8 滯洪運用系統描述圖

3、因果回饋圖：

圖 7.9 便是多功能人工湖滯洪標的因果回饋圖，由該圖可以瞭解，降雨量的多寡會影響入流量，而人工湖之入流量減掉溢流量則為該時刻之人工湖蓄水量(即為該時刻人工湖滯洪量)，溢流量的多寡則會受到人工湖的最大蓄水量(最大滯洪量)控制。

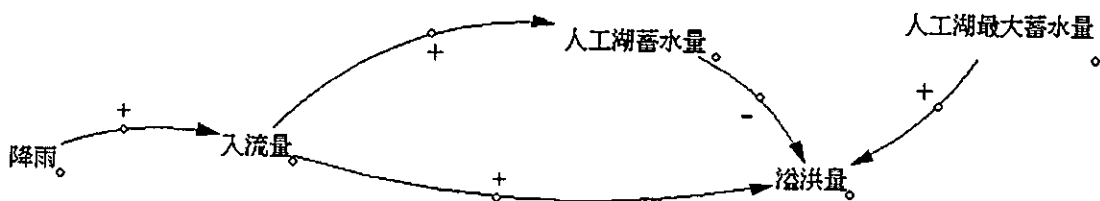


圖 7.9 滯洪運用系統因果回饋圖

4、動力模型建置：

進一步將以上步驟建置出滯洪標的之動力模型，如圖 7.10 所示。

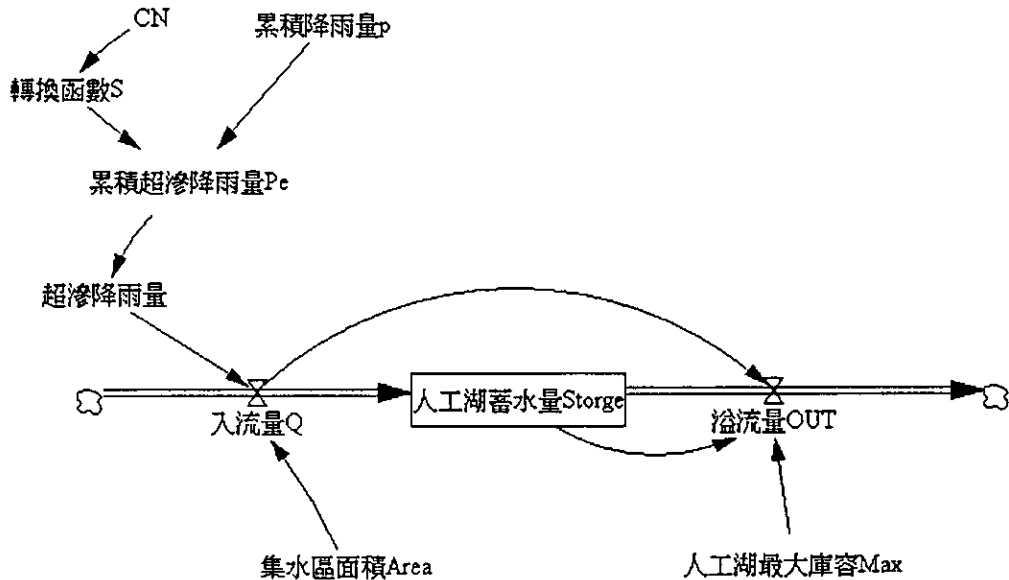


圖 7.10 滯洪運用系統動力模擬圖

關於圖中的各個主要步驟及估算方式，說明如後。

(1)入流量推估：

本模擬案例於滯洪標的中，所需推估之入流量仍採用美國水土保持局(U.S Soil Conservation)開發之 SCS 曲線號碼法估算，其推估公式和參考表格已列於水源運用標的中。然而在考慮暴雨時，通常由於暴雨時間相當短暫，因此採用小時為模擬時間單位，不再以日為觀察單位。

(2)人工湖蓄水量：

在本案例中，暴雨時之人工湖蓄水量(即人工湖滯洪量)來源主要為暴雨來臨時所形成的地表逕流，因此，本模擬案例中之人工湖蓄水量=入流量-溢流量，而初始水量即為生態維持水量 15000m^3 ，由於滯洪標的中所考慮的是暴

雨的衝擊，因此暫不考慮入滲單元對於水量的影響，僅以人工湖最大蓄水量與生態維持量的差值做為人工湖可以滯洪的最大體積量，即人工湖最大滯洪量 $100000 \text{ m}^3 - 15000 \text{ m}^3 = 85000 \text{ m}^3$ 。

(3)溢流量：

當暴雨發生後，倘若某觀察時刻之人工湖蓄水量達到湖體最大蓄水量後，所直接溢流排出的流量亦為該時刻之溢流量。

(4)操作原則：

在本案例中，其操作原則是在預知中央氣象局發佈豪雨特報前 24 小時，便將多功能人工湖之操作方式由平時的水源運用標的轉換為滯洪標的，同時進行排水以準備承接洪水。為仍顧及生態景觀基本需求，因此並未將人工湖蓄水量排空，而是將人工湖水深降至生態維持水深，在暴雨來臨時，經由引水單元進入人工湖至最大蓄水量，過程中並配合排水單元將滿水位後多餘水量排至都市雨水系統。此外，在入流量處設置一水閘門操作方式，以降雨量達 20mm 為閘門開啟依據(訂定規則於滯洪效益推估中說明)，當暴雨來臨時可以藉由水閘門的操作來調節滯洪。

5、系統動力模式變數及函數說明：

系統動力模式變數及函數說明如表 7.3 所示。

表 7.3 滯洪系統動力模式變數及函數說明表

名稱	變數性質	意義	函數	單位
CN	Variable	Curve number, CN	其值因土地利用、土壤質地或排水特性、及臨前土壤水分而不同，詳見 Tung and Haith (1995)。(本案例中為定值 88)	

表 7.3 滯洪系統動力模式變數及函數說明表 (續)

S	Variable	簡化用轉換 函數	$(25400/CN)-254$	mm
Pe	Variable	累積超滲 降雨量	IF THEN ELSE(累積超滲降雨量 $P > (0.2 \times \text{轉換函數 } S)$, ((累積超滲 降雨量 $P - 0.2 \times \text{轉換函數 } S)^2 / (\text{累積超滲降雨量 } P + 0.8 \times \text{轉換函數} S)$, 0)	mm
p	Variable	累積降雨量	GET XLS DATA('2001.xls', '暴雨 雨量', 'B', 'D2')	m/hr
超滲降 雨量	Variable	超滲降雨量	超滲降雨量 $Pe/1000 \times \text{集水區面積 Area}$	m^3/hr
Q	Rate	入流量 Q	IF THEN ELSE(超滲降雨量 > 20 , (超滲降雨量/1000) \times 集水區面積 Area, 0)	m^3/hr
Area	Variable	集水區土地 面積	1000000	m^2
Storage	Level	人工湖蓄水 量	入流量 Q-溢流量 OUT, 初始值為 15000	m^3
OUT	Rate	溢流量	IF THEN ELSE((入流量 Q+人工 湖蓄水量 Storage) \geq 人工湖最大庫 容 Max, 入流量 Q+人工湖蓄水量 Storage-人工湖最大庫容 Max, 0) 蓄水量 Storage), 0)	m^3/hr
Max	Variable	人工湖最大 庫容 Max	100000	m^3

6、模擬案例指標評估：

本模擬案例所選用之評估指標為滯洪效益，其公式如下：

$$\text{滯洪效益} = \frac{Q_p - Q_{pb}}{Q_p} \times 100\%$$

其中， Q_p 為未建築人工湖之最大洪流量， Q_{pb} 表示建築人工湖之最大洪流量。滯洪效益之最低門檻值為 18%，倘若該區域內並無其他滯洪設施，而該區域開發程度已無法再承接多餘之洪水時，則必須重新檢討該區域所需要之滯洪量為多少。

7、模擬案例分析與說明：

雖然暴雨來臨時在前面幾個小時的降雨量可能不多，本案例假設暴雨來臨(即中央氣局發布豪雨特報)前一天為放水調節時間，因此延伸模擬時間為 2001 年 9 月 17、18 日兩天，共計 48 小時。

- (1) 同樣需以入流量估算作為模擬的序曲，如圖 7.11 所示，因為有水閘門操作，並訂定一門檻值 20mm 當作水閘門操作依據(訂定規則於滯洪效益推估中說明)。所以當雨量大於 20mm 時才打開水閘門讓水流入，在前 39 小時水閘門沒打開所以入流量一直為 0。第 40-43 小時降雨量開始變大，所以入流量也明顯增加。最大洪流量在第 42 小時即為 52633 m^3 即 14.62CMS。到了第 44-48 小時暴雨驟歇，所以入流量又降為 0。

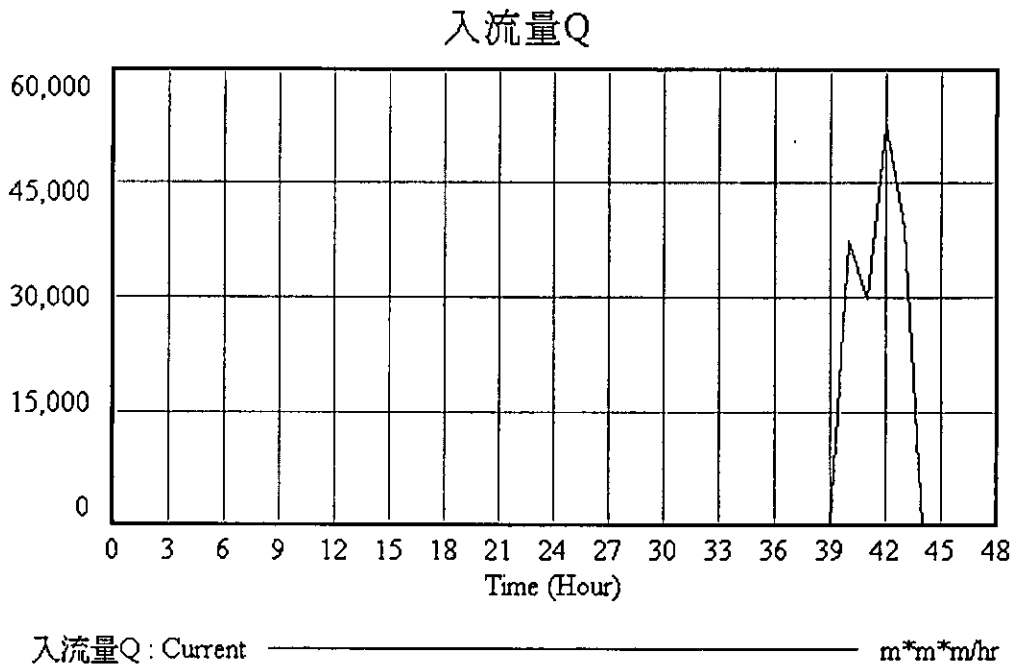
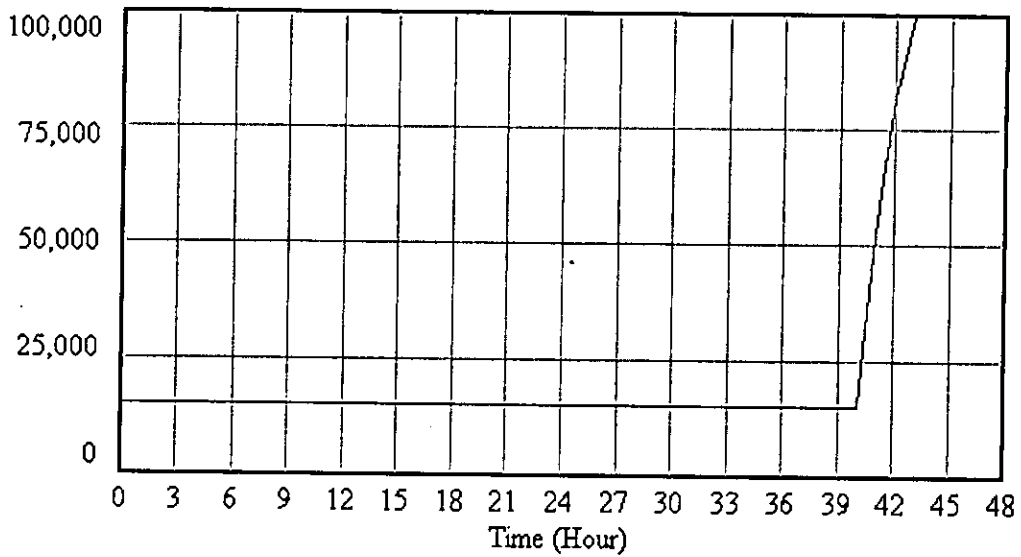


圖 7.11 入流量模擬結果圖 (滯洪)

(2)第 41-42 小時之入流量變大，因此逐漸將人工湖蓄滿。推估之人工湖蓄水量 (扣除生態維持水量即為滯洪量) 如圖 7.12 所示，同入流量一致的趨勢，由於在前 40 小時因為水閘門的操作，入流量亦不多，因此人工湖的蓄水量一直停留在生態維持水量的蓄水容量(即 15000 m^3)，到了第 40-43 小時間，轉為暴雨型態，故而入流量激增而人工湖的蓄水量也迅速攀升至人工湖最大蓄水量 100000 m^3 。到了第 44-48 小時間由於人工湖已達滿水量無法再容納，此時的入流量便直接由排水設施溢流出去。

人工湖蓄水量Storage



人工湖蓄水量Storage : Current m³

圖 7.12 人工湖蓄水量模擬結果圖（滯洪）

(3)推估之溢流量如圖 7.13 所示，前 41 個小時因水閘門操作使人工湖尚未到達滿庫所以無溢流量排出，第 41-43 人工湖已達滿庫所以有 35000 m³ 左右的溢流量排出，第 44-48 小時間由於無降雨所以入流量為 0，故無入流量，亦無溢流量。

(4)滯洪效益推估：本模擬案例之滯洪效益如表 7.4 所示，若以降雨量 20mm 為門檻值，則滯洪效益為 25.85% (>18%)，符合滯洪效益之容許範圍，因此，本設計模擬案例以降雨量達 20mm 作為閘門開啟依據，並作為此人工湖滯洪標的之操作規則。

表 7.4 不同門檻值之滯洪效益比較表

雨量門檻值(mm)	入流量(CMS)	溢流量(CMS)	效益%
10	14.62	14.62	0
15	14.62	14.12	3.4
20	14.62	10.84	25.85

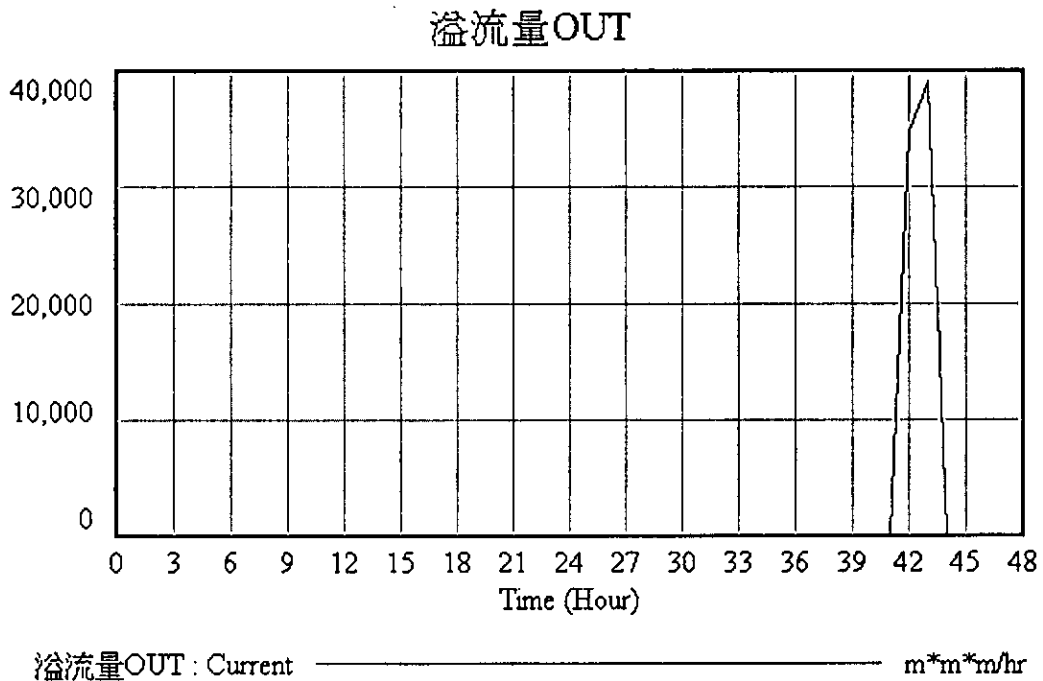


圖 7.13 溢流量模擬結果圖

(5)在未來操作策略方面，若此人工湖是設置於河川或大排旁，操作策略及設置概念則無法如本模擬案例的引排水系統一般，而是直接採橫向設計來設置，採取可以在人工湖在與河川間分別設置引排水系統。如此設計操作亦可做為設置人工湖參考的一項依據。

(三)生態景觀標的之量化分析

1、問題的定義：

由於都市開發迅速、工業發展興盛，造成原本自然水域環境及生態遭到破壞，導致某些水域生物數量大量減少以致瀕臨絕種。而都市或工業區通常只有陸域生態系存在，倘若在此種地區創造一健康的水域環境，藉以吸引水域生物及兩棲生物，讓原本只有陸域生物地區多增加了水域生物及兩棲生物的物種，在生態方面不但增加了生物的多樣性，對大自然而言也回復了一些自然景象。由第肆章及第伍章之討論，可知道對於內陸水體來說，最主要影響因子乃是水質(營養

鹽)，故水質的控制乃是內陸水體最重要的課題，而湖泊最大的問題則是優養化現象，乃是由於水中的營養鹽含量過高，導致藻類大量繁殖、藻類生長太快而引起的問題，而湖泊中總磷（營養鹽）的濃度對於藻類生長有著決定性的關係，故控制優養化問題之主要管理因子為總磷的含量，並藉由降低總磷的含量來減緩藻類的生長，使其不產生優養化。本案例以系統動力學來建置人工湖系統內總磷的含量與基本湖泊生態系中之關係，其中，基本湖泊生態系的關係採用 Jørgensen(1994)所介紹的湖泊生態模式，該模式之建置概念敘述如下：

湖泊中的藻類生長會受到磷的濃度（營養鹽）與光線的影響，隨著水中磷的濃度及光線增加，藻類生長速率也會隨之增加，等到藻類死亡後形成為碎屑，浮游植物和碎屑則會形成沉積物，在本研究中則不考慮沉積物。部分碎屑會因為存於水中而溶解出來形成溶解磷狀態。該湖泊生態模式以一組聯立微分方程式作描述，主要包括三種狀態變數，分別為浮游植物的濃度(*Phyt*)、碎屑磷濃度(*PDet*)、和溶解磷濃度(*PS*)。

2、系統的描述：

以生態景觀標的所考量之整體系統描述如圖 7.14 所示，整體系統設計分為結構與非結構性表示：

- (1)結構性：與水源、滯洪系統一致以水量流為主體。系統包含人工湖(地表蓄水單元)及溼地（水質處理單元）。
- (2)非結構性：如圖 7.15 所示，人工湖系統內之非結構性系統，包含有溶解磷（離子態）、浮游植物及碎屑磷(固態)等系統（皆屬於生態輔助單元），整個系統以水質流為主體，倘若總磷的濃度（營養鹽）流進湖泊內太多，將會造

成浮游植物大量繁殖，而使人工湖產生優養化。

圖 7.14 之箭頭方向（水質流動方向）可以瞭解，透過降雨在地表形成地表逕流，而地表在經過逕流的淋洗後，會將地表所蘊藏的營養鹽一併帶走，而這些帶著營養鹽的逕流將被引入溼地中，先透過溼地吸附逕流中的部分營養鹽濃度，然後再進入人工湖系統，在一個健康的水環境下，可以有穩定的水循環流動，因此，非結構性系統也會隨著湖本身水流動而損失，亦即溶解磷、浮游植物及碎屑磷會隨水流出而流出人工湖，圖 7.14 中最右邊的箭號即代表溶解磷、浮游植物及碎屑磷流出人工湖。當營養鹽進入人工湖中，經由生物食物鏈的增減關係進而影響湖泊內之營養鹽，如圖 7.15 所示。在本案例中，由於地表逕流先經過濕地處理後才進入人工湖，故假設進入人工湖的營養鹽只有溶解磷，因此，營養鹽進入人工湖後將會提高湖中溶解磷的濃度，部份溶解磷可以提供浮游植物生長所需之營養，浮游植物死亡後則會形成碎屑磷，且碎屑磷在水中則會溶解成溶解磷，而溶解磷、浮游植物和碎屑磷會因為湖水流出而流出人工湖。

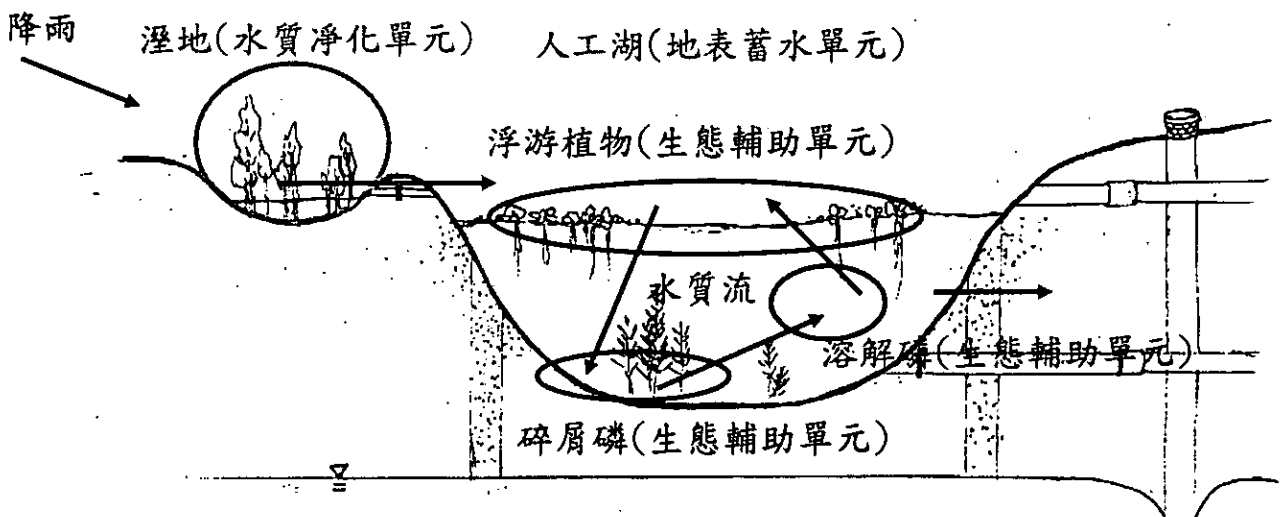


圖 7.14 生態景觀系統描述圖

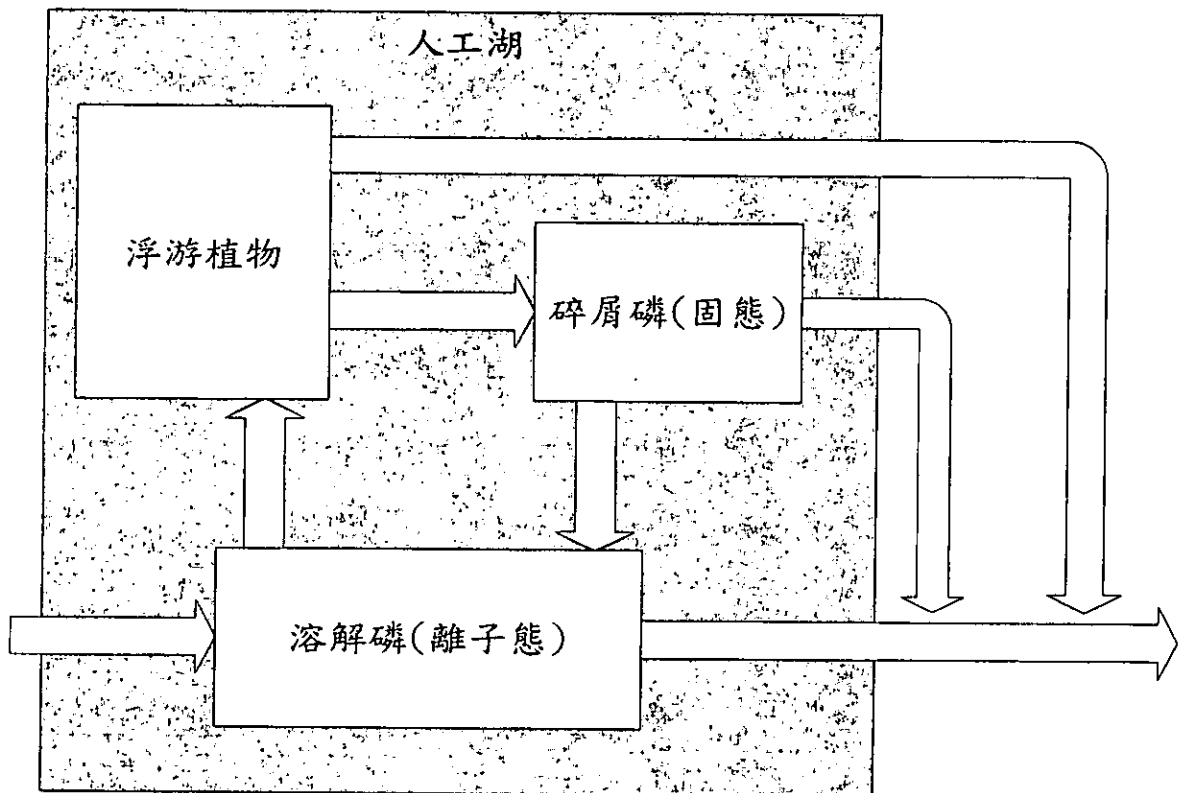


圖 7.15 人工湖非結構系統示意圖 (Jørgensen, 1994)

3、因果關係：

依據前述對於問題的定義及系統的描述，繪製因果回饋圖如圖 7.16 所示，由因果回饋圖可以瞭解兩個變數間之關係為正向或負向，圖 7.16 上方之逕流總磷濃度受到經逕流淋洗出來的磷總量與總降雨量的影響，總降雨量越大的話則逕流總磷濃度會越小，逕流淋洗出來的磷總量越多則逕流總磷濃度會越大。而人工湖前端所設置之水質處理單元（溼地），可以去除部分逕流中的營養鹽，假設經過溼地吸附處理後，營養鹽內只剩溶解磷，如此一來，流入人工湖的溶解磷越多則人工湖本身的溶解磷濃度亦越高，人工湖溶解磷濃度越高時可提供浮游植物生長的磷也越多，提供的磷越多則人工湖浮游植物濃度也越大，人工湖浮游植物濃度越大時需光線（能量）的也越大，而光線強度越大則人工湖所提供給

浮游植物的磷濃度也需越大。在死亡率固定的情形下，人工湖浮游植物濃度越大則碎屑磷的濃度也越大；倘若在固態磷釋放率為定值的情況下，人工湖內的碎屑磷濃度越高則釋放成人工湖溶解磷的濃度亦越高。而人工湖溶解磷與碎屑磷加總的數值越高則優養指標也越高，優養指標越高則去除磷的比率也必須要越高。在圖 7.16 右方所形成的兩個正迴圈表示為無限循環，也就是說，人工湖溶解磷、浮游植物、碎屑磷之濃度會越來越高，如此一來，此人工湖便會很快形成優養化的狀況，該圖左方有一個負迴圈，代表意義為利用去除率來抑制右邊的正迴圈，使人工湖不會產生優養化現象。

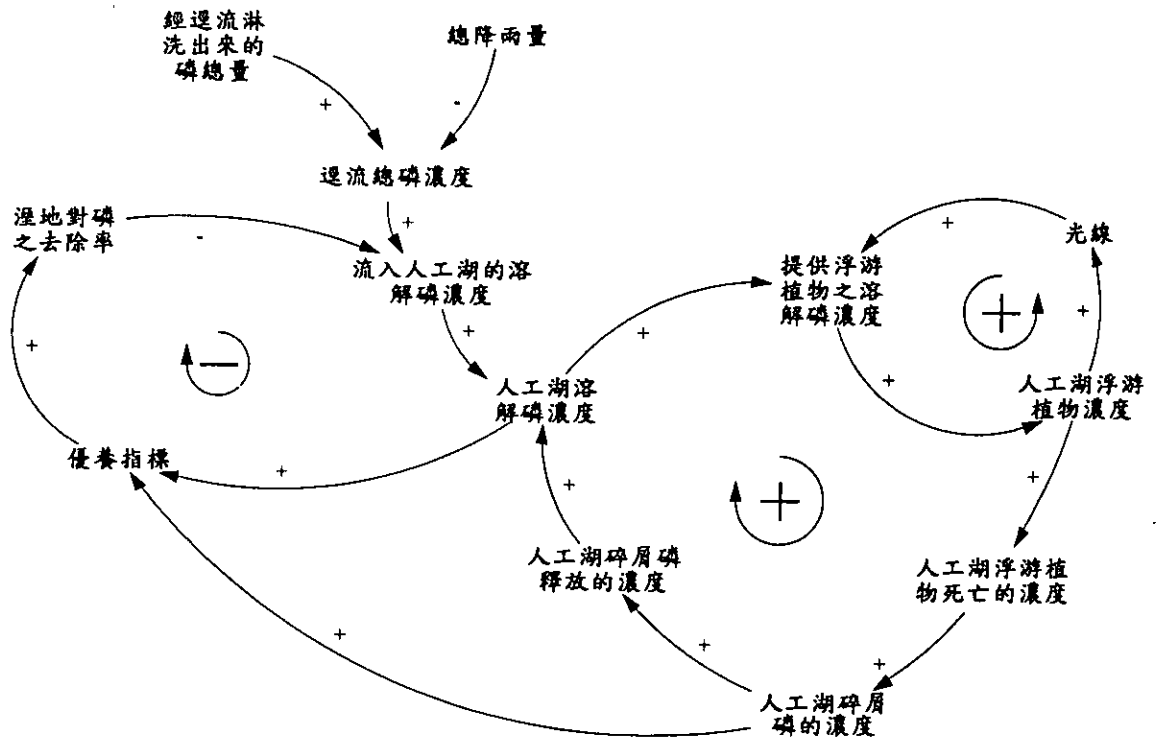


圖 7.16 生態景觀系統因果回饋圖

4、動力模型建置：如圖 7.17 所示。

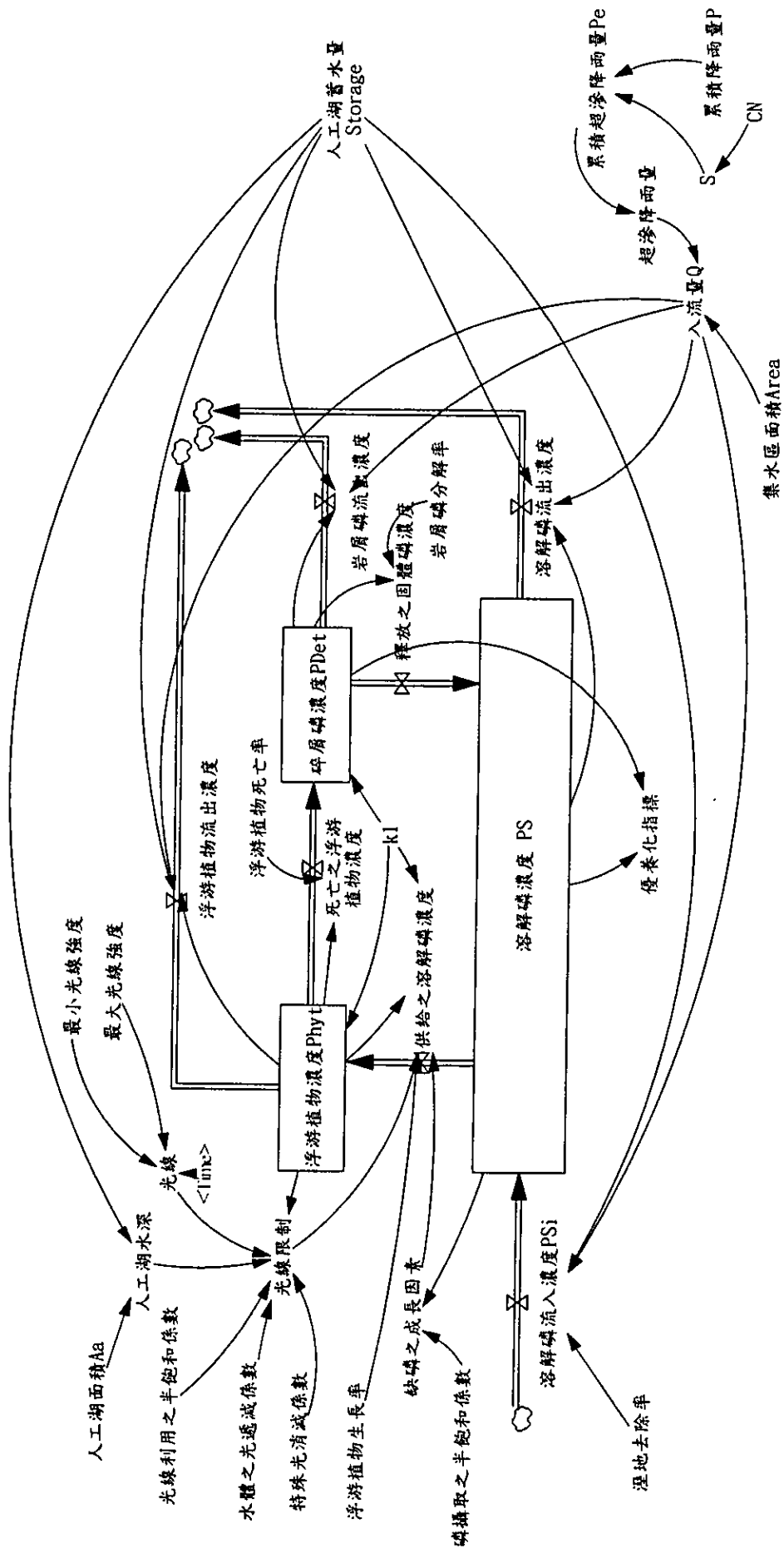


圖 7.17 生態景觀運用系統動力模擬圖

依據因果回饋圖及系統描述，將本模擬案例的水源運用標的之動力模型建置如圖 7.17，而在進行模擬時所需要使用的參數及條件則描述如後。

(1)估算入流量：

與水源運用標的一樣，入流量推估是整個模擬的開場，且此處之入流量即為水源運用標的所推估之入流量。

(2)估算人工湖蓄水量：

利用水源運用標的所建置之模式（人工湖蓄水量=入流量+地下水抽取量-入滲量-供水量-溢流量），採用水源運用標的所模擬出各時刻的人工湖蓄水量。

(3)估算入流溶解磷濃度（參考曾文水庫非點源推估）：

利用濃度計算方法（總磷量/總水量）推求出入流逕流溶解磷的濃度，總磷量則利用非點源污染估算方法來推估，然而根據調查顯示，不同區域之非點源污染輸出係數差異極大。由於本案例位於台南工業區內，因此參考曾文水庫之輸出係數（黃建智，民國 91 年），並假設土地利用型態多為建地，由表 7.5 可以查出總磷輸出係數為 2.77，進而可以計算出一整年集水區所排出的磷總值量=2.77

$$\text{推估逕流溶解磷濃度} = 277 \times \frac{1}{2061 \times 1000000} \times (1000000 / (1/1000 * 1000)) = 0.134 \text{mg/L}$$

而流入人工湖的溶解磷濃度則與降雨量及濕地去除率兩者相關，因此，流入溶解磷的濃度

$$= 0.134 \text{mg/L} \times \frac{\text{降雨量}}{\text{人工蓄水量}} \times (1 - \text{濕地去除率})。$$

(4)操作原則：

本模擬案例的系統配置上，於人工湖前端加入溼地為水質

處理單元，並假設該溼地對磷的去除率為 70%。

表 7.5 曾文水庫集水區內各種土地利用非點源污染輸出係數

發生源	土地使用類別	污染輸出係數(kg/ha-yr)					參數來源
		BOD5	SS	COD	TN	TP	
林地	天然林、人工林	5	85	—	1.6	0.25	註 1
農地	旱田、苗圃、水稻田、其他墾地	—	—	—	16	0.5	註 1
茶園		5.5	3.7	—	20.2	0.03	隙頂茶園
檳榔園		—	100.1	59.5	14.9	0.32	永興橋
果園	山葵園	18	129.4	—	26	1	註 2
養雞場		—	—	0.078*	0.003*	0.002*	大埔鄉泰山附近
建地	社區、部分遊樂區	191	504	292	15.9	2.77	台南竹溪
其他(一)	草生地、河流	—	—	—	1.0	0.1	翡翠水庫
其他(二)	崩坍地、荒地、道路、墓地、岩磐	—	—	—	3.5	0.5	翡翠水庫
游憩區	嘉義農場	—	1233	21	5.1	1	走馬瀨農場

註 1：陳秋楊教授，「德基水庫水質維護與集水區土地利用管理之整合研究」，中美非點源污染控制管理與技術合作研討會論文集，87 年 3 月。

註 2：文獻出處同註 1，不過梨山果園農作型態與曾文水庫不相同，TP 輸出係數(kg/ha-yr) 梨山果園採 7.3、菜園 5.4，比本文估計之社區合流式下水道之 2.77 高出甚多。經評估之後，設茶園為 2，而曾文水庫集水區內之果園還包括了施肥量很少的破布子在內，所以比茶園低，設為 1.0。

5、系統動力模式變數及函數說明：

生態景觀系統動力模式變數及函數說明如表 7.6 所示

表 7.6 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表

名稱	變數性質	意義	函數	單位
CN	Variable	Curve number, CN	其值因土地利用、土壤質地或排水特性、及臨前土壤水分而不同，詳見 Tung and Haith(1995)。(本案例中模擬案例為工業區固取定值 88)	
S	Variable	簡化用轉換函數 (CN)	$(25400/CN)-254$	mm
P	Variable	超滲降雨(實際每日降雨量)	GET XLS DATA('雨量資料.xls', '2001 日雨量', 'B', 'D1')	mm
Pe	Variable	累積超滲降雨量	IF THEN ELSE(累積降雨量 $P > (0.2 * S)$, ((累積降雨量 $P - 0.2 * S$) ²)/(累積降雨量 $P + 0.8 * S$), 0)	mm
超滲降雨量	Variable	超滲降雨量	累積超滲降雨量 Pe-"前一時刻超滲降雨量"	mm
Storage	Variable	人工湖蓄水量	GET XLS DATA('人工湖蓄水量.xls', '2001', 'B', 'C1')	m ³
Q	Variable	入流量	$(\text{超滲降雨量}/1000) \times \text{集水區面積 Area}$	m ³
Area	Variable	集水區土地面積	1000000	m ²

表 7.6 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
Aa	Variable	人工湖表面積大小	50000	m ²
人工湖水深	Variable	人工湖蓄水深度	人工湖蓄水量 Storage / 人工湖面積 Aa	m
PS	Level	人工湖水中磷離子狀態的濃度	"溶解磷流入濃度 P _{Si} "+"釋放之固體磷濃度"- "供給之溶解磷濃度"- "溶解磷流出濃度" initial : 4	mg/l
Phyt	Level	人工湖水中藻類的濃度	+("供給之溶解磷濃度"/k ₁)-"浮游植物流出濃度"- "死亡之浮游植物濃度" initial : 0.02	mg/l
PDet	Level	人工湖水中藻類死亡所產生固態磷濃度	+("死亡之浮游植物濃度"*k ₁)-"碎屑磷流出濃度"- "釋放之固體磷濃度" initial : 0.02	mg/l
P _{Si}	Level	經逕流流入人工湖的溶解磷濃度	(0.134*(1-溼地去除率))*(入流量 Q/人工湖蓄水量 Storage)	mg/l
優養化指標	Variable	為人工湖之總磷濃度	("溶解磷濃度 PS"+"碎屑磷濃度 PDet")*1000	μg/l
供給之溶解磷濃度	Rate	人工湖中溶解磷提供藻類生長的濃度	浮游植物生長率*光線限制*"缺磷之成長因素"*k ₁ *"浮游植物濃度 Phyt"	mg/l/day

表 7.6 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
死亡之浮游植物濃度	Rate	人工湖中藻類死亡後轉變成磷的濃度	"浮游植物死亡率"*"浮游植物濃度 Phyt"	mg/l/day
釋放之固體磷濃度	Rate	人工湖中碎屑磷溶解成離子磷的濃度	碎屑磷分解率*"碎屑磷濃度 PDet"	mg/l/day
溶解磷流出濃度	Rate	因為逕流量所產生的溶解磷的損失	IF THEN ELSE((入流量 Q/人工湖蓄水量 Storage)<=1, "溶解磷濃度 PS"*(入流量 Q/人工湖蓄水量 Storage), "溶解磷濃度 PS")	mg/l/day
浮游植物流出濃度	Rate	因為逕流量所產生的浮游植物的損失	IF THEN ELSE((入流量 Q/人工湖蓄水量 Storage)<=1, "浮游植物濃度 Phyt"*(入流量 Q/人工湖蓄水量 Storage), "浮游植物濃度 Phyt")	mg/l/day
碎屑磷流出濃度	Rate	因為逕流量所產生的碎屑磷的損失	IF THEN ELSE((入流量 Q/人工湖蓄水量 Storage)<=1, "碎屑磷濃度 PDet"*(入流量 Q/人工湖蓄水量 Storage), "碎屑磷濃度 PDet")	mg/l/day
光利用之半飽和係數	Variable	光利用之半飽和常數	400	

表 7.6 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
水體之光透減係數	Variable	水體之光透減係數	0.25	
光消滅係數(浮游藻類)	Variable	浮游藻類所導致之光透減係數	0.18	
光線限制	Variable	藻類生長限制因素	$LN((光線+光線利用之半飽和係數)/(光線*EXP(-(水體之光透減係數+特殊光消滅係數*浮游植物濃度 Phyt))*人工湖水深))+光線利用之半飽和係數)/((水體之光透減係數+特殊光消滅係數*浮游植物濃度 Phyt))*人工湖水深)$	
最小光線強度	Variable	單位面積光線最小強度	500	Kcal/m ²
最大光線強度	Variable	單位面積光線最大強度	4500	Kcal/m ²
光線	Variable	光線強度	$最小光線強度 + ((1+SIN((2*Time/360-0.5)*3.14))/2*最大光線強度)$	Kcal/m ²
浮游植物生長率	Variable	藻類成長率	1.5	

表 7.6 生態景觀系統動力模式變數及函數說明表 (續)

名稱	變數性質	意義	函數	單位
磷攝取之半飽和係數	Variable	磷攝取之半飽和常數	0.2	
缺磷之成長因素	Variable	因磷短缺之生長限制	"溶解磷濃度 PS"/("溶解磷濃度 PS"+磷攝取之半飽和係數)	
浮游植物死亡率	Variable	藻類死亡率	0.05	
碎屑磷分解率	Variable	碎屑磷溶解呈離子狀態速率	0.1	
k1	Variable	單位磷濃度/ 單位生物濃度	0.01	
溼地去除率	Variable	溼地去除率	0.7	

6、指標評估：

由第五章中所討論，本研究選取總磷為量化評估指標，依據世界經濟合作發展組織(OECD)之湖泊水庫優養程度分級標準，在總磷方面分級如表 5.4 所示。

7、模擬案例分析與說明：

依據中央氣象局新市氣象站所提供雨量資料，以 2001 年整年之日雨量資料來做為案例模擬基礎資料。由於夏季和冬季日照長短不同，因此給定一隨時變的光線強度。至於人

工湖蓄水量會受到水源標的操作原則影響而變化，並會在本標的中影響到溶解磷的濃度、浮游植物的濃度、以及碎屑磷的濃度。至於模擬結果描述於後。

- (1)因模擬案例的背景相同，所以生態景觀標的之入流量與人工湖蓄水量推估結果與水源運用標的相同。入流量如圖 7.18 所示，在模擬時刻第 143 天、第 178 天、第 266 天時，會因較大的降雨而使得在入流量出現尖峰值，分別是 $112783 \text{ m}^3/\text{day}$ 、 $134988 \text{ m}^3/\text{day}$ 、 $262097 \text{ m}^3/\text{day}$ 。人工湖蓄水量則如圖 7.19 所示，在第 143、178、266 天因大雨而使得人工湖蓄水量迅速增加至滿水深，因此有可能會破壞湖泊生態系；在第 310 天以後到該年結束都不再降雨，但人工湖因仍繼續供水，而使得湖水量逐漸下降至生態維持水深。

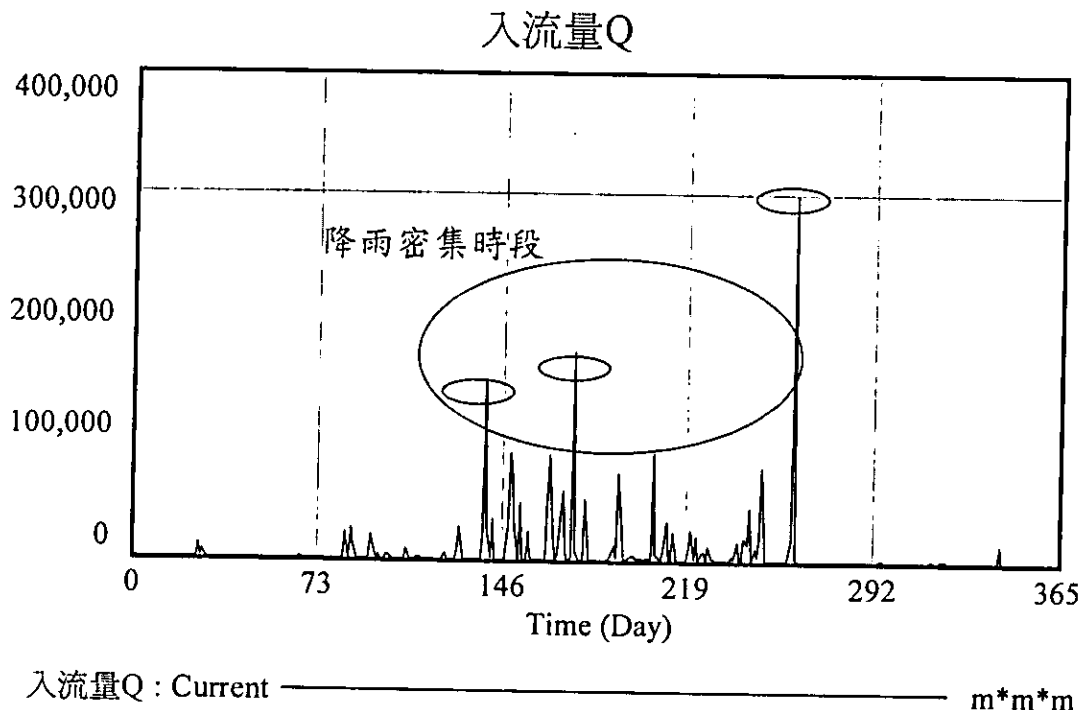
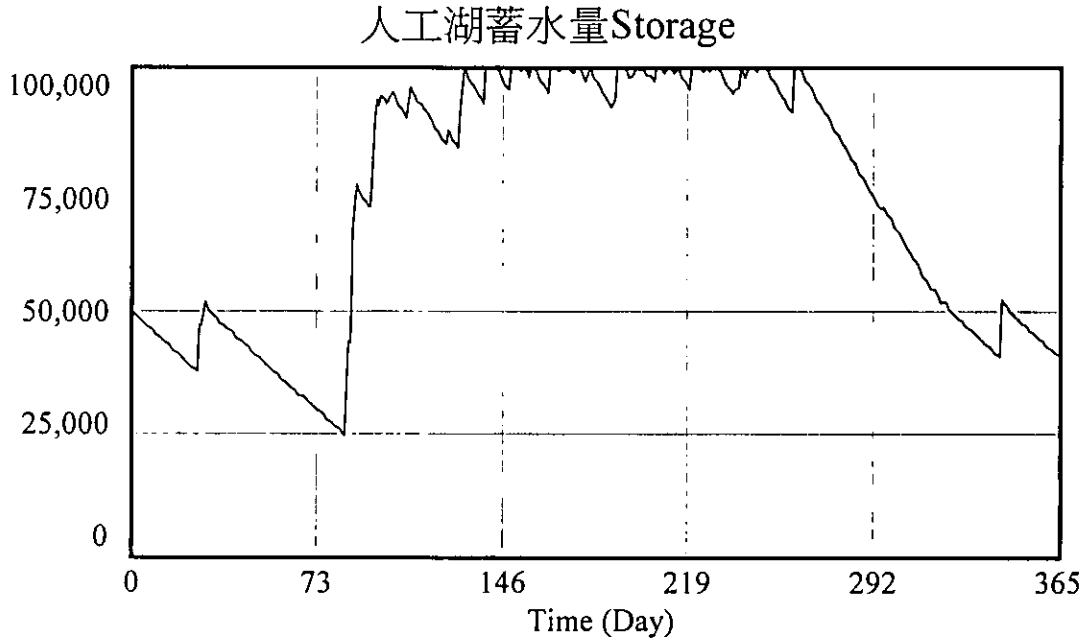


圖 7.18 入流量模擬結果圖（生態景觀）



人工湖蓄水量Storage : Current ————— m*m*m

圖 7.19 人工湖蓄水量模擬結果圖（生態景觀）

(2)此標的選用總磷的濃度來作為優養化的指標，依據世界經濟合作發展組織(OECD)之湖泊水庫優養程度分級標準總磷分級，當優養指標大於 $40\mu\text{g/L}$ 代表可能產生優養狀態。本模擬案例假設於前端設置一溼地（假設去除率為 0.7），且人工湖體之模擬初始總磷濃度為 $40\mu\text{g/L}$ ，圖 7.20 則為總溶解磷之模擬結果，由該圖可以看出，人工湖的總磷濃度若低於 $40\mu\text{g/L}$ 則表示湖體尚屬健康，而不致使湖泊產生優養情形。模擬時刻在第 140~155、171~204 及 262~277 天，此三段時間為降雨量較大的時段（雨季，如圖 7.18），導致溶解磷大量流入湖泊，故在此三時段的總磷濃度大於標準，但由於磷會隨著水流出湖泊，因此當模擬時刻於此三時段後總磷濃度會逐漸下降且趨於穩定。倘若沒有降雨時所模擬出來總磷數值大於標準，建議要提高溼地去除率或是在人工湖系統內加入其他淨水設施，來降

低營養鹽的濃度，使人工湖不至於產生優養化的情況。

優養化指標

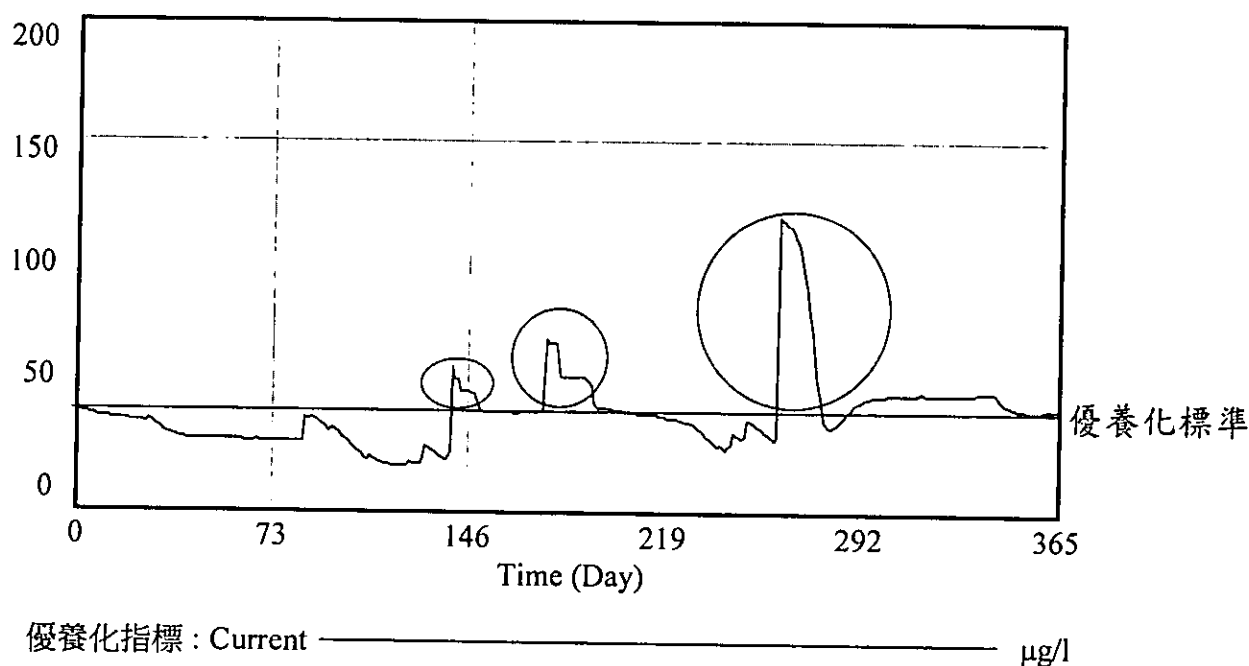


圖 7.20 優養化指標之模擬結果圖

(3)溶解磷濃度、浮游植物濃度及碎屑磷濃度：溶解磷濃度模擬結果如圖 7.21 所示，由於在模擬期時距第 26 日之前，均沒有溶解磷入流至人工湖內，且部分溶解磷必須提供給浮游植物生長使用，故溶解磷濃度會慢慢減少，第 27 天溶解磷隨著降雨進入人工湖，故溶解磷濃度立刻升高。模擬時刻第 146~270 天之間為降雨非常密集的時段（雨季），故溶解磷濃度更為增高。浮游植物濃度模擬結果如圖 7.22 所示，由於在模擬期時距 26 日之前均沒有雨量入流進人工湖，隨著浮游植物的生長，所以浮游植物濃度會慢慢升高，模擬時刻第 27 天時，有雨量流進人工湖，故浮游植物濃度立即被稀釋。模擬時刻 146-270 天之間為降雨非常密集的時段（雨季），故浮游植物濃度降為更低。碎屑磷濃度模擬結果如圖 7.23 所示，由於在模擬期時距 26 日之前均沒

有雨量入流進人工湖，隨著浮游植物的死亡，所以碎屑磷濃度會慢慢升高，模擬時刻第 27 天時，有雨量流進人工湖，故將碎屑磷濃度立即被稀釋。模擬時刻 146-270 天之間為降雨非常密集的時段（雨季），故碎屑磷濃度則降得更低。

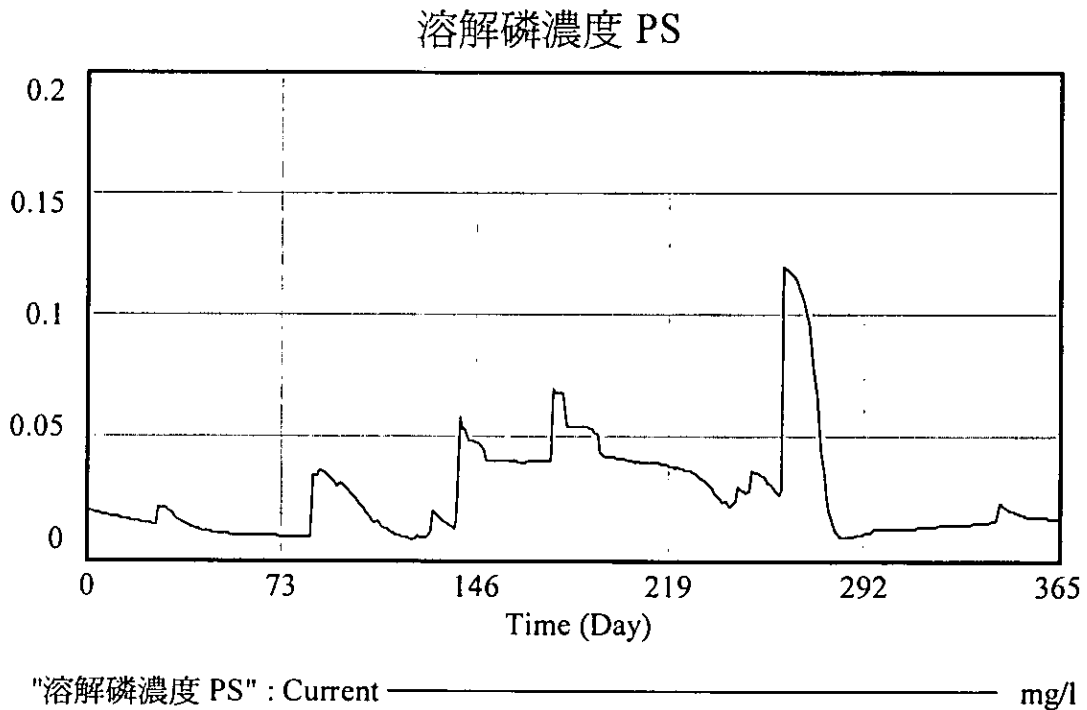


圖 7.21 溶解磷濃度模擬結果圖

浮游植物濃度Phyt

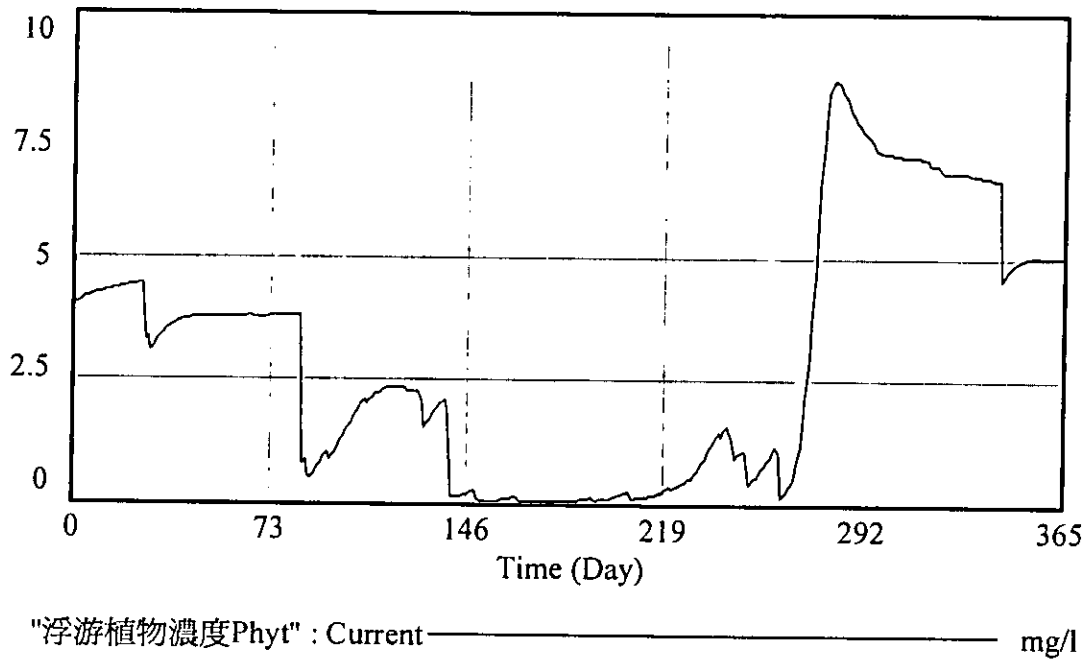


圖 7.22 浮游植物濃度模擬結果圖

碎屑磷濃度PDet

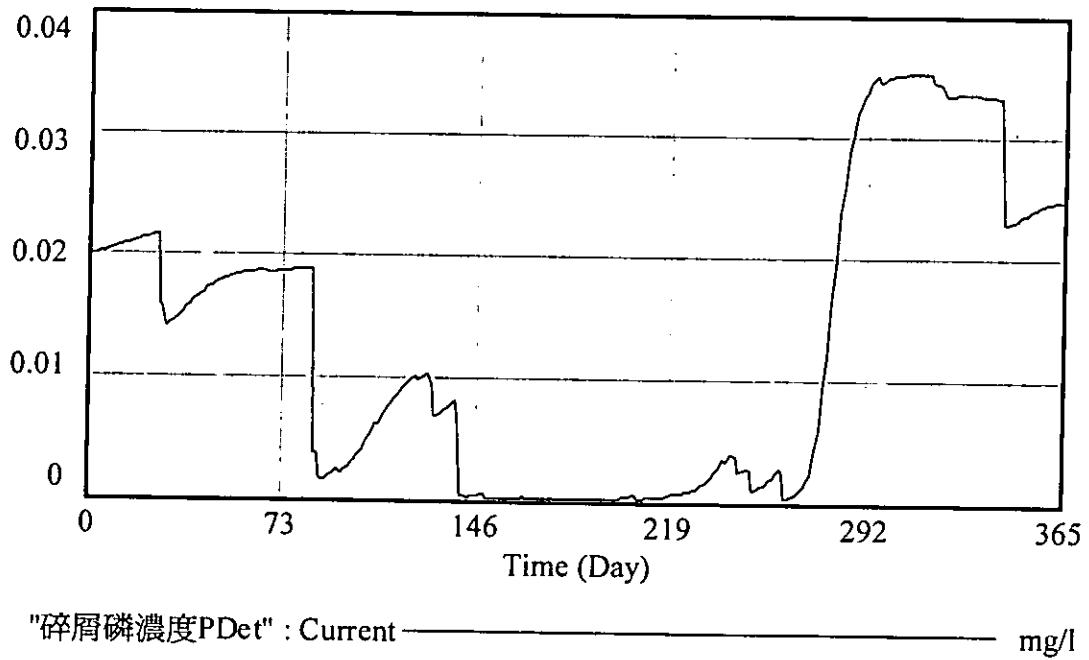


圖 7.23 碎屑磷濃度模擬結果圖

(4)雖然生物處理較符合自然循環的結果，然而可變因素比工程手段難以掌握，舉例來說：溼地內的流速、植物及底泥的有機質雖然可以使流經溼地的水中總磷含量減少，然而不同的植物和底泥類型都會有不同的效果，需要經常監測及處理，此外，人工湖中自然形成的生態系及化學物質轉換的過程也會因水生動植物的物種不同而不同，因此在生態景觀標的方面，應較其他標的更重視營運後監測計畫的擬定，才能清楚所建立的生態系是否能趨近一健康的平衡狀態。

上述是將此案例依據各個標的分別建置動力模型及描述模擬結果，以方便初次接觸系統動力學者能夠僅就單一標的了解操作過程。由於各標的之模擬時空及物理背景相同，看似各自處理，但可以進一步比對後發現，當以系統動力學來同時考量多功能人工湖系統三個標的時，滯洪標的可視為是水源運用標的內之一項特殊操作方式(即當暴雨來臨時以滯洪標的為主要操作原則)，當暴雨過後就以水源標的為操作原則，因此滯洪標的與水源標的操作方式會交互出現，其共同連結訊息則為引水單元的入流量。

三、整體評估

關於本模擬案例之整體評估包含技術面、財務面、經濟面和環境影響評估等四個面向，其中的程序可以依據第伍章所描述之步驟進行，並說明如下：

(一)技術面評估

1、各標的之規劃與操作原則：本模擬案例之多功能人工湖，配合各標的所需訂定出的操作原則如下：

(1)水源運用標的

- a、當人工湖水深高於上限水深時，高於上限水深的水會從溢流口流出。
- b、當人工湖水深介於上限與景觀維持水深之間，表示湖體內水量充足，因此區域內非民生用水則設定為全額供水（100%需水量，600m³/day），且會有多餘的水入滲至地下含水層以達到補充地下水的目的。
- c、當人工湖水深介於景觀維持水深與生態維持水深之間時，則設定區內以計畫需水量 80%供給。
- d、當人工湖水深低於生態維持水深時，則表示已面臨枯旱，暫不供水，並抽取地下水來維持湖體基本生態景觀所需之生態維持水量。

(2)滯洪標的

- a、當有豪雨特報時，於中央氣象局發報豪雨特報前 24 小時開始進行排放水措施至設定之生態維持水深。
- b、本模擬案例設計有水閘門操作，並訂定一門檻值 20mm 為水閘門操作依據，當雨量大於 20mm 時才打開水閘門讓水流入。

(3)生態景觀標的

- a、此模擬案例之人工湖前端設計一濕地為水質處理單元，以溼地內特殊的環境來降低湖體入流量之磷含量，以降低藻類生長機會，避免優養化現象發生。
- b、當人工湖水深低於生態維持水深時，除了不再供應區內之非民生用水，並抽取地下水來補充人工湖水深至生態維持水深，以維護湖體內基本生態景觀需求。

2、各標的之量化分析：本計畫在量化分析工具上以系統動力學理論及 Vensim 套件來建立模式，如本章第二項中在各標的之操作規則下，所分別得到的評估指標為水源操作之缺水指

標 SI 為 0.4542 (≤ 1)、滯洪效益指標為 25.85% (在許可範圍 15%~45%內) 以及湖體的生態景觀指標為全年總磷濃度都在 40 $\mu\text{g/L}$ 以下。因此，對於本模擬案例之多功能人工湖來說，所規劃的各標的操作方式是符合永續經營條件的。

- 3、整合不同標的衝突性：對於本模擬案例，滯洪為主要標的，因此在操作上便以滯洪效益為主，為兼顧湖體生態景觀標的，因此在扣除基本生態維持水量後，其滯洪效益指標仍能落在容許範圍之內，則表示該操作策略在滯洪標的時是被允許的，倘若湖體生態景觀指標亦能符合要求，則表示除了滯洪標的外，該策略同時能滿足生態景觀標的，但在暴雨發生時間以外，若能將所貯蓄的水量，提供為部分非民生用水，便能同時滿足水源運用標的。在本計畫中是採用系統動力學套件 Vensim 來模擬，在滿足不同標的時，其模擬時間尺度亦可能不同，故對於多功能人工湖的操作上來說，滯洪操作可以視為是水源操作中的一個特殊狀況，且暴雨通常為數小時內發生，因此必須將時間尺度由水源運用的「天」轉換為以「小時」來模擬，方具有分析上的意義，因此，本案例在整體分析時，為了便利結果顯示，將分為『水源運用—生態景觀標的』及『滯洪—生態景觀標的』來作說明：

(1)水源運用—生態景觀標的：

由圖 7.25 中，乍看其動力模型相當繁複，但透過入流量這個主要參數的連結，可以進而整合兩個標的之系統，並觀察不同標的內之不同元素間的關係，舉例來說，由於入流量會影響人工湖蓄水量，而人工湖蓄水量多寡會影響供水機制的選擇以及磷的濃度，因此便可將不同的標的做一連結，觀察之中不同的操作改變時各標的所造成的回應（即為評估指標值），當不同的操作模式使得考量標的之

一超過了系統負荷（即評估指標值不在可容許範圍內）時，便必須調整操作策略或加入其他輔助設施，直到所考量的標的所對應的評估指標值都落於容許範圍內。

透過系統動力學套件的模擬可以看出不同變數之間的關係，由圖 7.25 可以瞭解，多功能人工湖的入流量和湖體內蓄水量會影響生態景觀模式中的多種流動（FLOW），如浮游植物流出濃度、碎屑磷流出濃度、溶解磷流出濃度和碎屑磷流入濃度，而這些流動會直接的影響生態景觀模式中三種儲存量（LEVEL），如浮游植物濃度、溶解磷濃度、碎屑磷濃度。

圖 7.26 和圖 7.27 分別表示入流量和蓄水量的模擬結果。圖 7.28 為兩個標的連結後的浮游植物濃度表現，由圖中可看出，浮游植物濃度隨著浮游植物流出濃度和死亡浮游植物濃度的流出和供給之溶解磷濃度流入而造成其降低或升高。

綜合圖 7.26~7.30，當沒有入流量進來時人工湖的蓄水量將會降低，因此浮游植物及碎屑磷的濃度將會變高（圖 7.28 及圖 7.29）；反之，當有入流量時，人工湖的蓄水量將會升高，而浮游植物及碎屑磷的濃度將會變低。至於優養化指標也會隨著入流量及溶解磷和固體磷間加總的變化而變化（圖 7.29 及圖 7.30）。

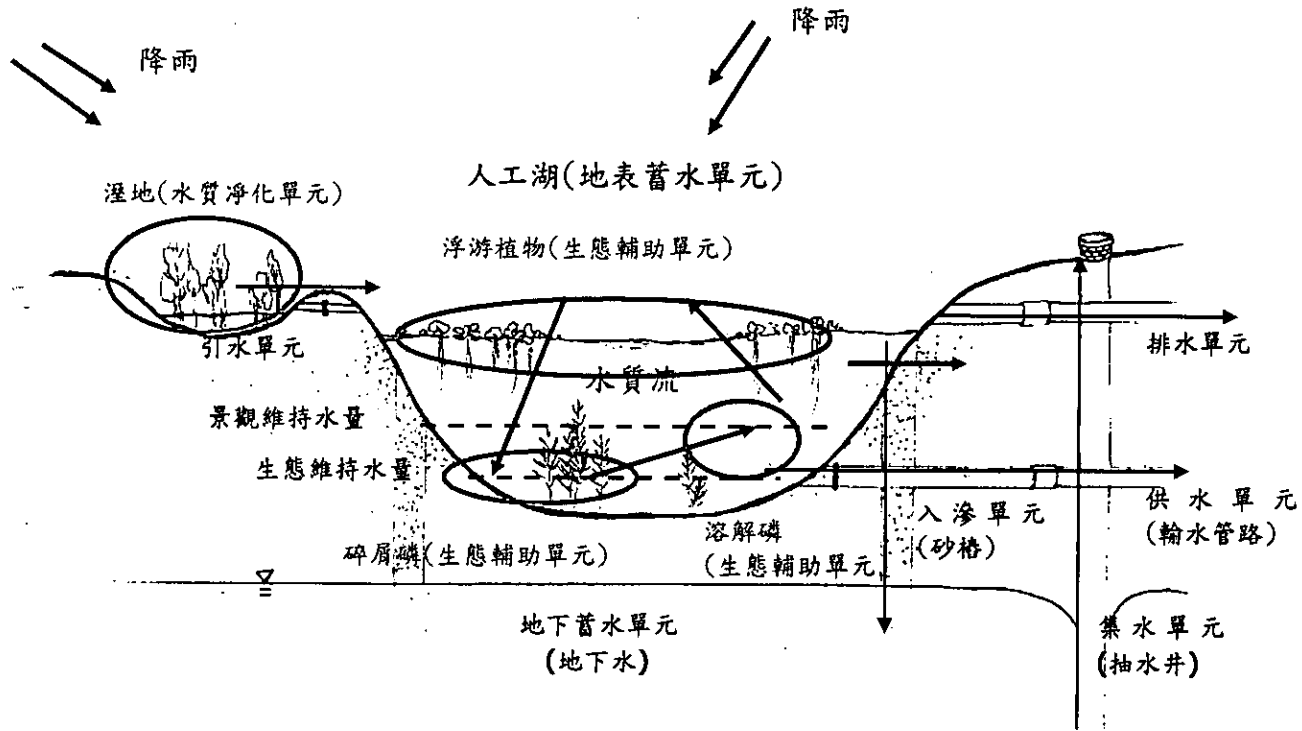


圖 7.24 多功能人工湖整體系統描述圖

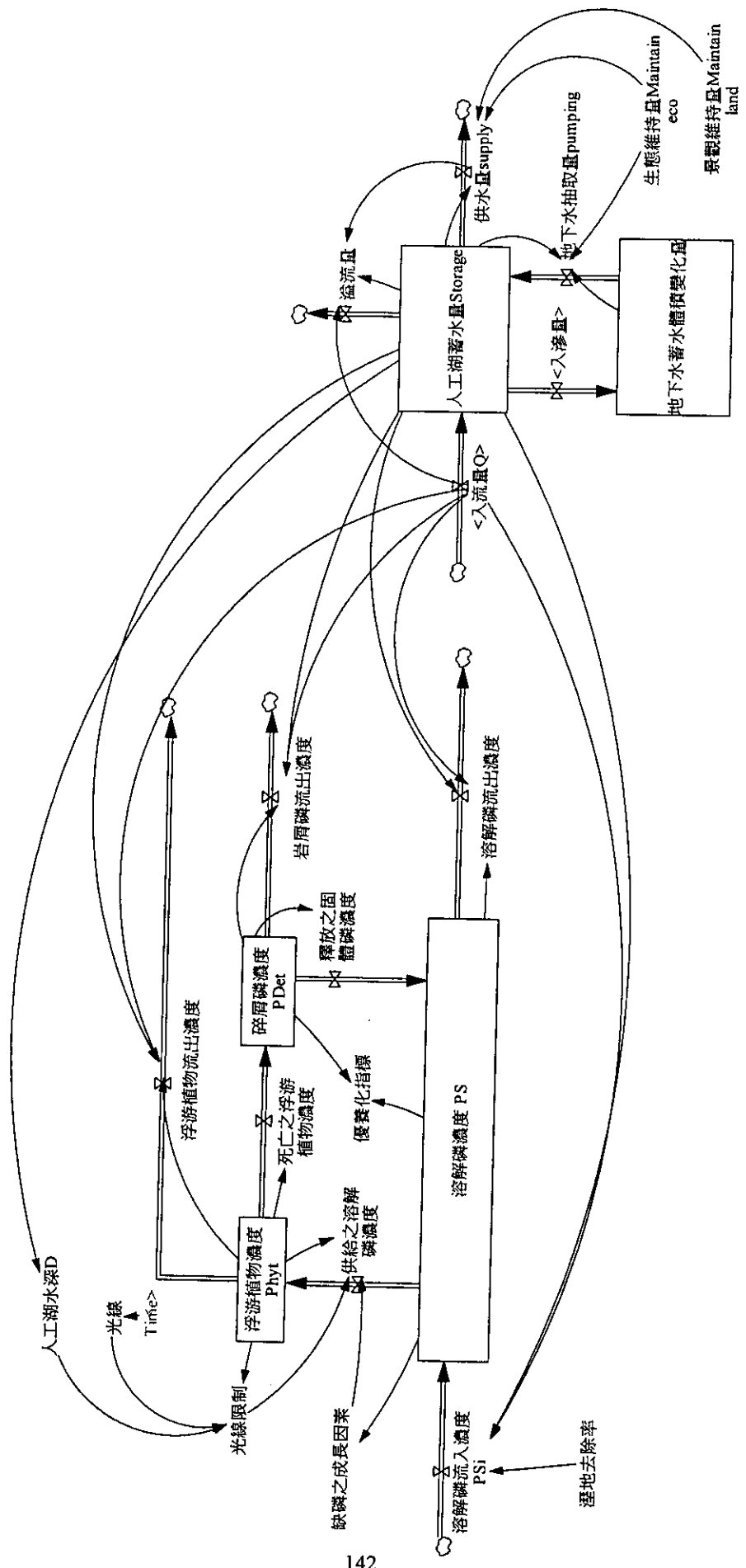


圖 7.25 多功能人工湖整體系統動力模型圖(水源運用-生態景觀)

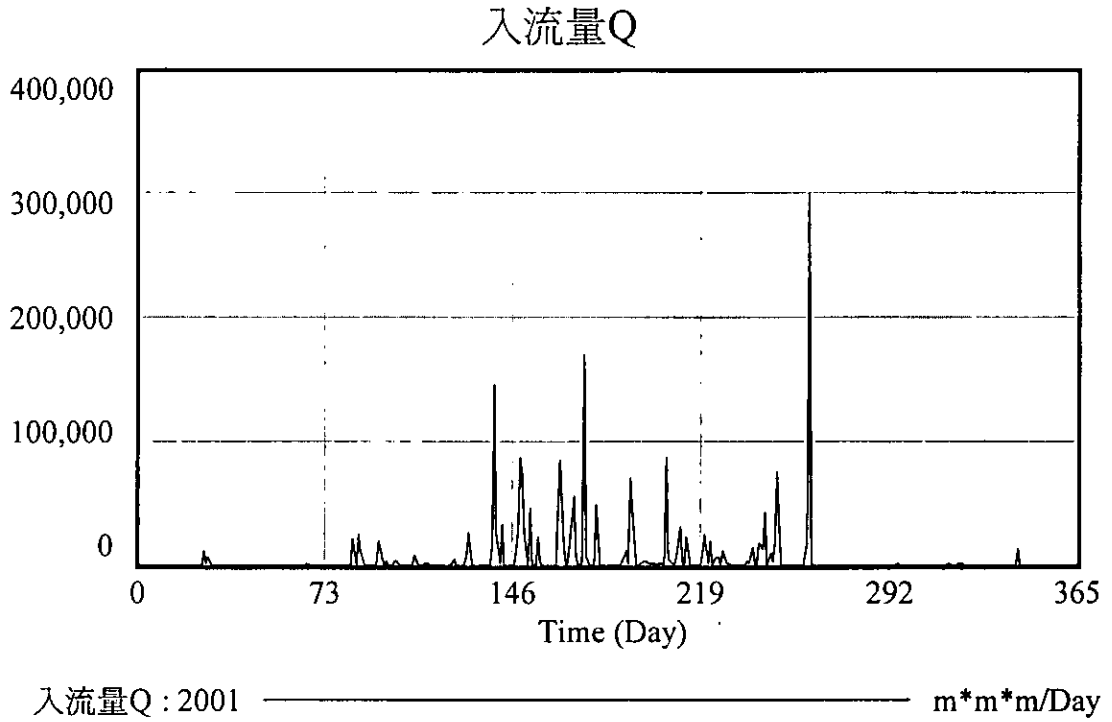


圖 7.26 入流量模擬結果圖 (水源運用+生態景觀)

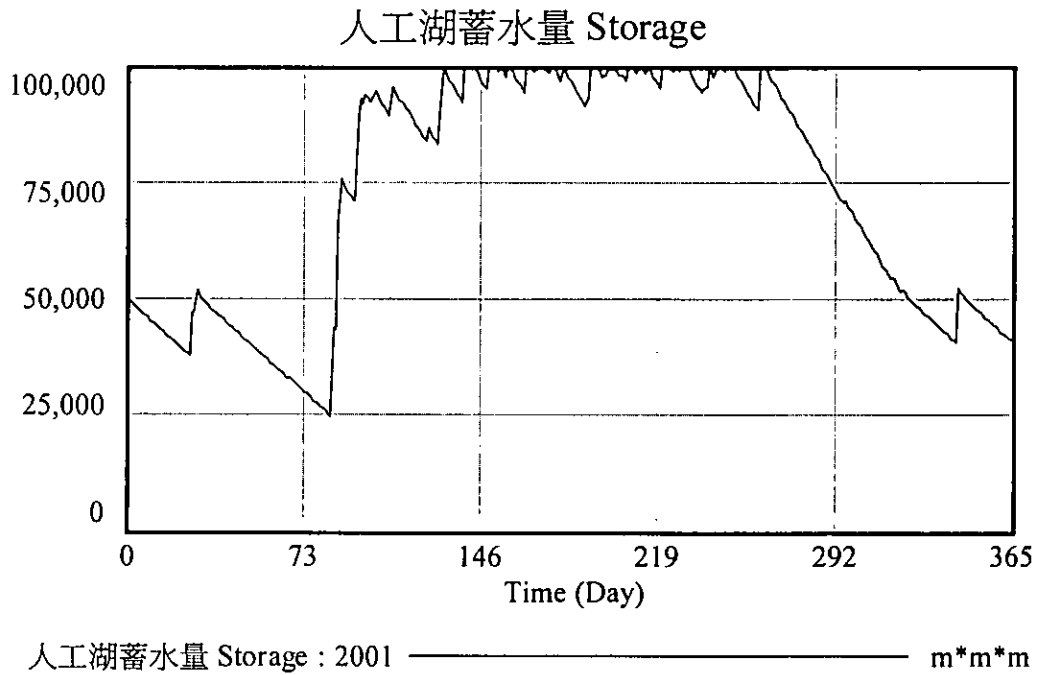
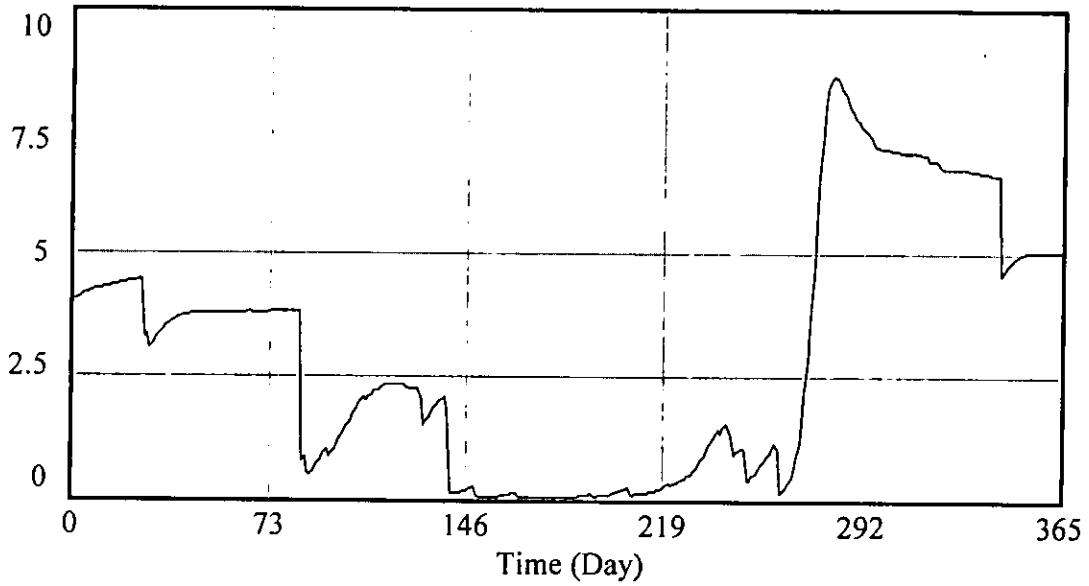


圖 7.27 人工湖蓄水量模擬結果圖 (水源運用+生態景觀)

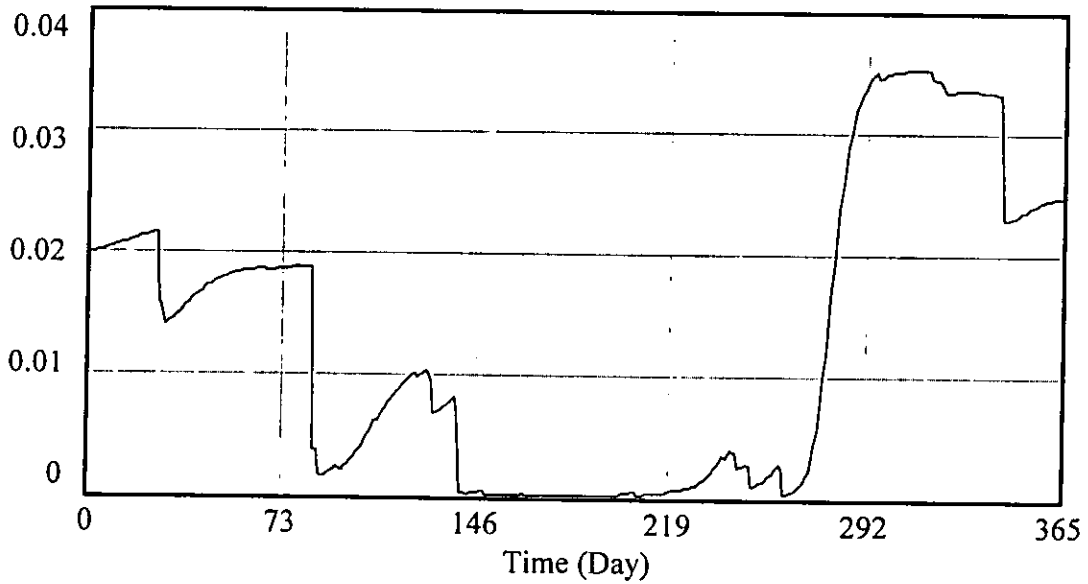
浮游植物濃度Phyt



"浮游植物濃度Phyt" : Current ————— mg/l

圖 7.28 浮游植物濃度模擬結果圖 (水源運用 + 生態景觀)

碎屑磷濃度PDet



"碎屑磷濃度PDet" : Current ————— mg/l

圖 7.29 碎屑磷濃度模擬結果圖 (水源運用 + 生態景觀)

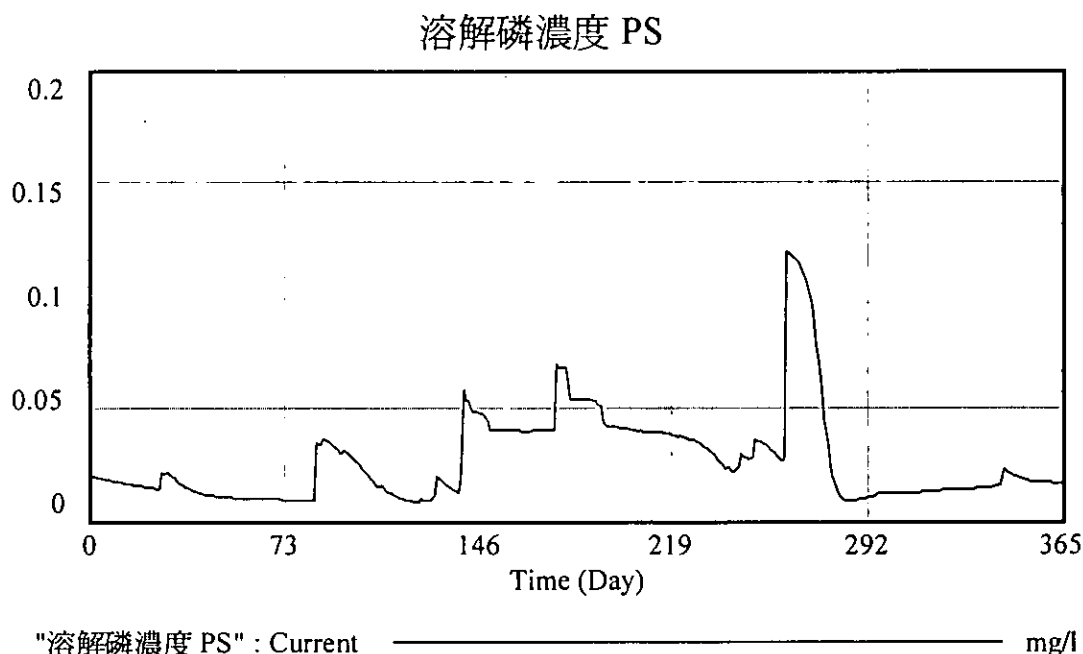


圖 7.30 溶解磷濃度模擬結果圖 (水源運用+生態景觀)

(2)滯洪—生態景觀標的：

在系統動力學套件 Vensim 中，同時考量滯洪標的與生態景觀標的所建置之系統圖如圖 7.31 所示，與水源運用—生態景觀標的連結時相同，入流量為當中主要的媒介，由系統圖可以進一步看到不同單元間互相影響之間的關係。此模擬將時間尺度均調整為小時，並且只模擬 2001 年 9 月 17、18 日共 48 小時內的變化情形。

圖 7.32 及圖 7.33 分別為入流量和蓄水量之推估結果，如水源運用—生態景觀標的所述，入流量會影響生態景觀模式中的多種流動 (FLOW)，如浮游植物流出濃度、碎屑磷流出濃度、溶解磷流出濃度和碎屑磷流入濃度。由於是暴雨來臨，因此人工湖水深將會迅速增加至滿水位 (圖 7.33)，並稀釋人工湖水中浮游植物及碎屑磷的濃度 (圖 7.35 及圖 7.36)，入流量越大時所帶入之營養鹽易增多，而使得人工湖溶解磷及優養化指標急速上升 (圖 7.34 及 7.37)。

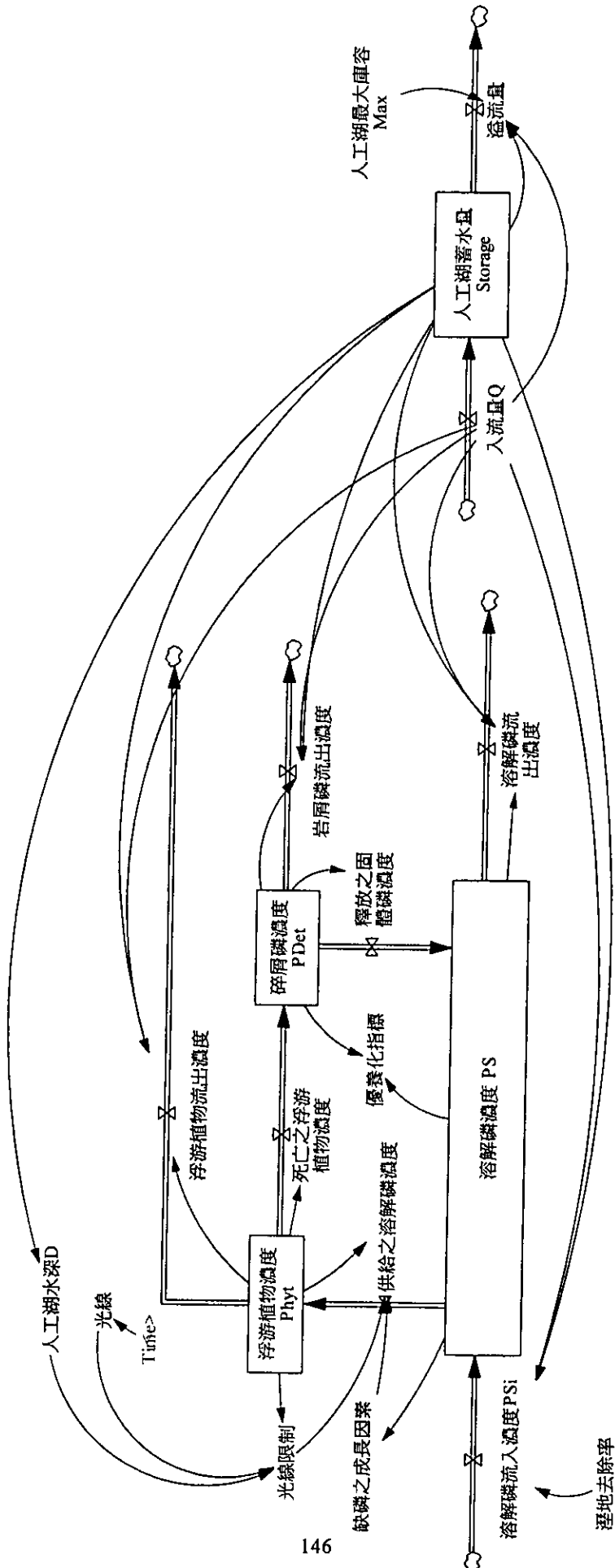


圖 7.31 多功能人工湖整體系統動力模型圖 (滯洪-生態)

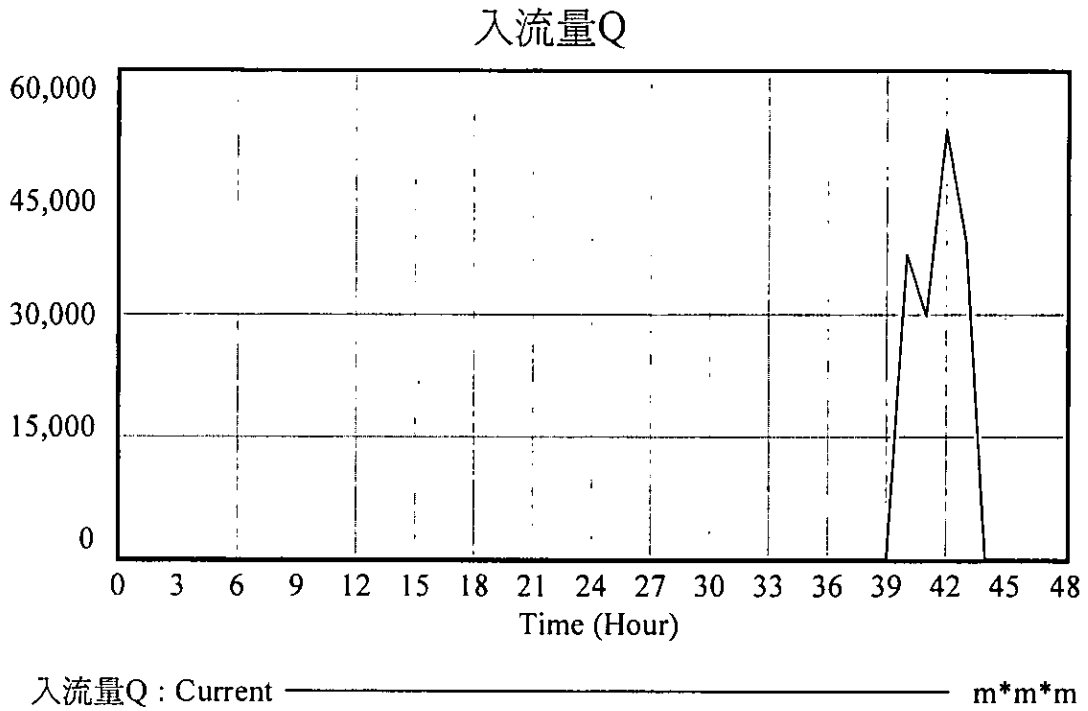


圖 7.32 入流量模擬結果圖 (滯洪+生態景觀)

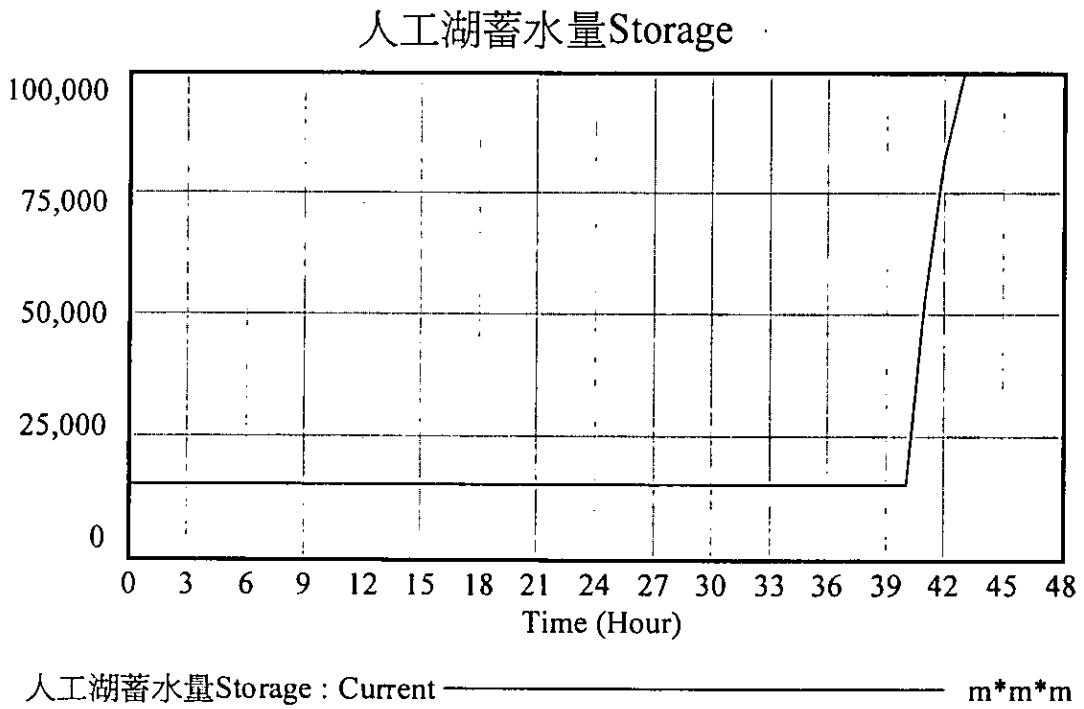


圖 7.33 人工湖蓄水量模擬結果圖 (滯洪+生態景觀)

溶解磷濃度 PS

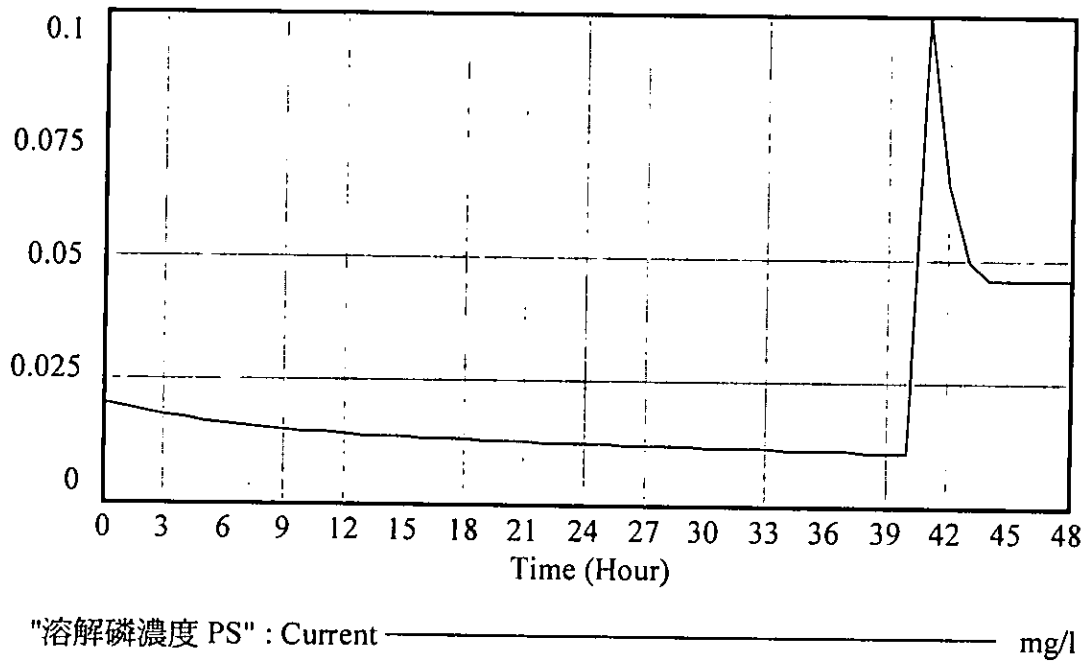


圖 7.34 溶解磷濃度模擬結果圖 (滯洪+生態景觀)

浮游植物濃度Phyt

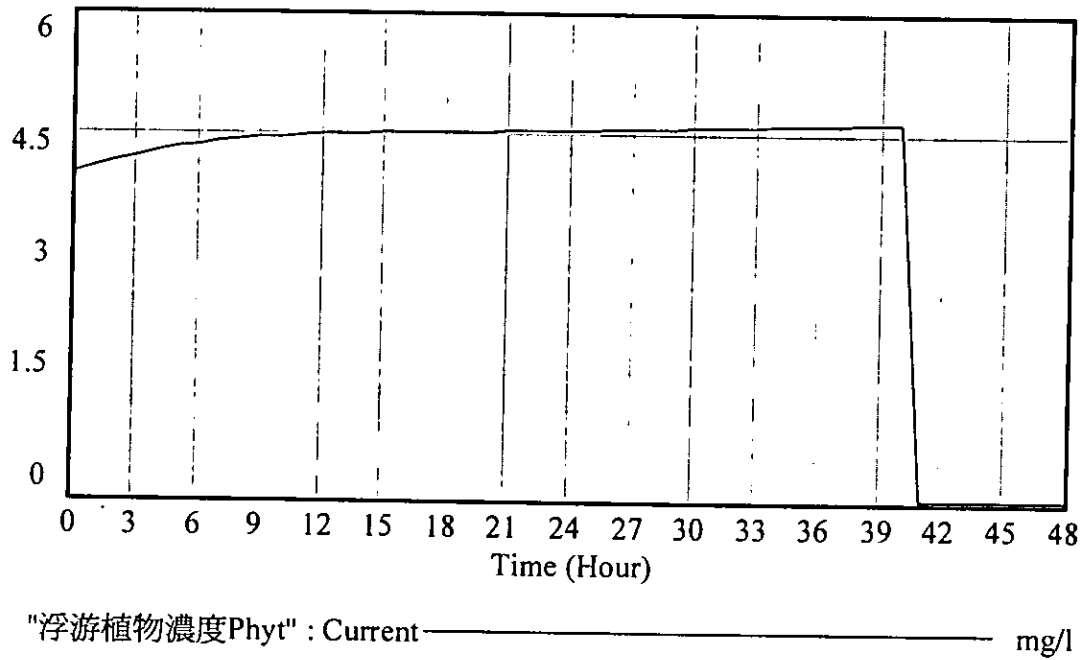


圖 7.35 浮游植物濃度模擬結果圖 (滯洪+生態景觀)

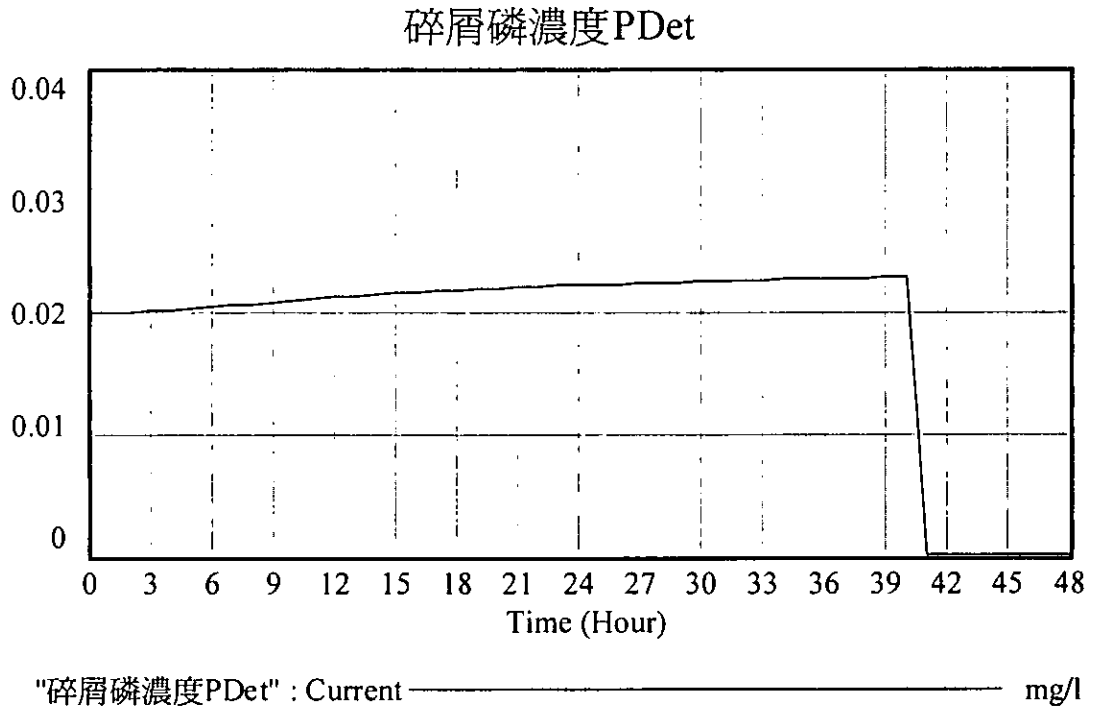


圖 7.36 碎屑磷濃度模擬結果圖 (滯洪+生態景觀)

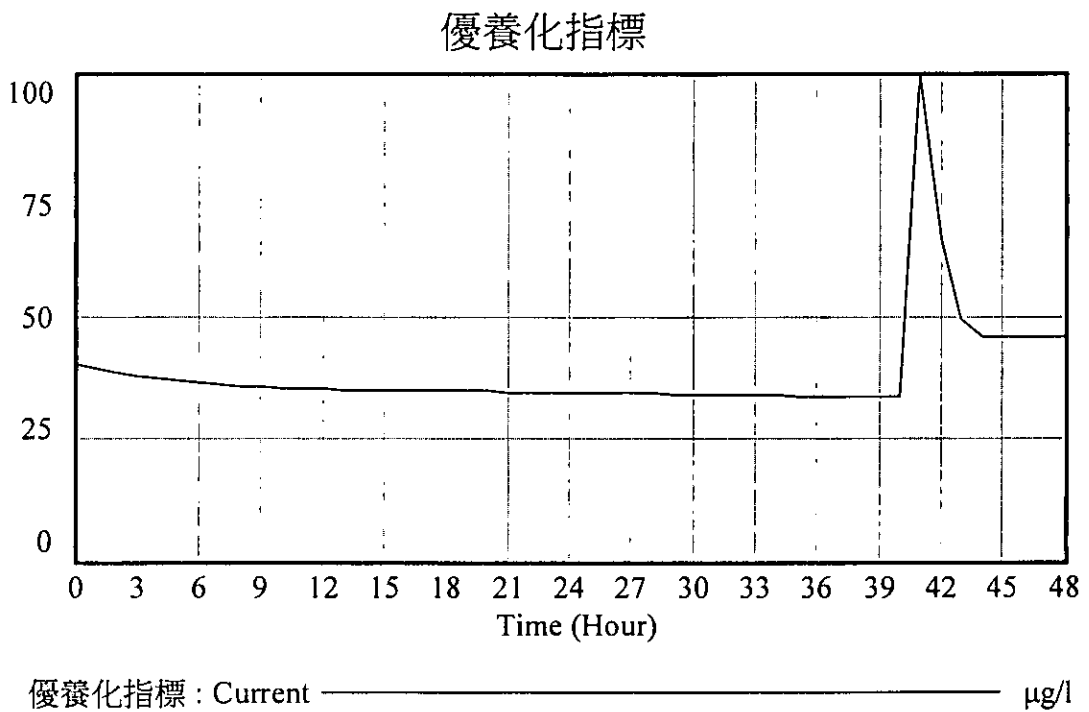


圖 7.37 優養化模擬結果圖 (滯洪+生態景觀)

4、區位開發評選：由於本案例以滯洪標的為主，因此最好選定於能夠匯集集水區出流量的地方，並且搭配排水單元排放至河川或渠道中。此外，由於暴雨來襲前需要進行排水策略，因此在生態景觀方面不適合予敏感性太高的動植物棲息，因此需要在規劃時先調查區域內是否有需要保護之敏感性生物。再者，為了預防土壤沖蝕及水質優養化，在湖體週遭的景觀植物方面可以加強植被覆蓋密度，而湖體水生植物則可以選擇挺水性、沉水性及浮葉性。

(二)財務面評估

本模擬案例之財務面評估，包含了年成本分析及財務分析。年成本係指於分析年限內，攤提建造成本之固定利息，營運期間之營運維護費等。年成本分析方面，參考麥寮人工湖可行性規劃檢討，並假設建設成本為 2000 萬元(忽略土地成本)。假設年利率為 6%，折現率為 3%，物價膨脹率為 3%，營運年限以完工後五十年為計算基礎，營運維護費為建造成本之 4%，估算年成本如表 7.7 所示。

表 7.7 年成本分析(年利率為 4%)

項目		
建造成本		2000.00
年成本		210.70
一	固定年成本	130.70
1.	利息	120.00
2.	償債基金	6.89
3.	期中換新	1.41
4.	保險	2.40
二	營運維護費	80.00

(單位：萬元)

1、固定年成本

(1)年利息：即年利息=建造成本×年利率，以建造成本之 4% 估算。

(2)年償債積金：

年利率為 4%，計算其年償債積金=建造成本×[年利率 / [(1 + 年利率)ⁿ - 1]]。

(3)期中換新準備金：假設營運開始 m 年後，須換新價值 R 之部份設施，其工程設施定期換新百分率為 S，於 n 年內換新 k 次，則其平均分攤之換新年準備金計算式如下：

$$r = \frac{(1+i)^{mk} - 1}{[(1+i)^m - 1] \times (1+i)^{mk}} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times S \times R = A \times S \times R = f \times R$$

其中，假設 10 年後開始更新(m=10)，換新價值(R)為建造成本 10%，換新百分率(S)為 20%，假設於經濟分析年限更換 1 次(n=50,k=1)。

(4)保險費：保險費假設每年不變，依據民國七十六年水資會之『水資源開發計畫規劃報告內容、資料標準及評估準則』，各項工程以計畫資金需求之 1.2% 為保險費。

2、年營運維護費

人工湖營運期間須支付財貨與勞務費用，以維持各項設施之功能，可以直接工程費之 4% 估算編列。

由本計畫假設案例發現例發現，由於年利率下降的關係，則與年利率調整息息相關的利息、償債基金及期中換新皆會下降，而造成年成本隨之降低。

財務分析方面，將選用淨現值法作為評估投資效益之方法，計算時忽略殘餘價值，假設如前述建造成本為 2000 萬元，年供水量約為 21.9 萬噸(由本模擬案例的水源運用標的中估算求得)，假設每噸水價為 12 元，因此年收益為 262.8

萬元。假設多功能人工湖之財務分析營運年限為 50 年(狀況一)及營運年限為永久(狀況二)，估算淨現值，其計算值如表 7.8 所示。

表 7.8 淨現值之估算：狀況一和狀況二

項目	營運年限 50 年	營運年限永久
未來每年之純收益	86.04	86.04
營運 50 年之純收益 總值	2213.83	2868.05
現在必須支付成本	2000.00	2000.00
淨現值	213.83	868.05

(單位：萬元)

初步採用淨現值方法，經過計算後，發現兩種狀況之淨現值法皆大於零，表示本計畫可行。

分析營運年限為 50 年(狀況三)、營運年限為永久(狀況四)皆考量人工湖年營運維護費升高為直接工程費之 10% 每噸水價至少升高成 17.5 元，才使得以下兩狀況案例之淨現值法大於零，如表 7.9 所示。

表 7.9 淨現值之估算：狀況三和狀況四

項目	營運年限 50 年	營運年限永久
未來每年之純收益	86.49	86.49
營運 50 年之純收益 總值	2225.41	2883.05
現在必須支付成本	2000.00	2000.00
淨現值	225.41	883.05

(單位：萬元)

(三)經濟面評估

由於本模擬案例之多功能人工湖規模不大，除了前述之供水效益外，包含水費收入、減少缺水期所需備用水源之機會成本外，尚有其他無形效益如下所列：

- 1、棲地的提供：生物生長的环境對於生物而言，土壤多孔介質提供棲地，提供生物生存空間，亦可以提供植物所需之水分，以維護周圍植物所需之水分。
- 2、休憩的環境：自然景觀可以提供工業區內的員工或附近的居民一個親水性的空間，提供遊憩休閒空間提供親近大自然的機會，假日時提供遊憩休閒的所在，可以降低員工或居民的生活壓力，進而提高生活品質。
- 3、滯洪所降低的生命財產損失。
- 4、地下含水層的涵養：除了可以涵養地下含水層外，並可減少地層下陷的危機。
- 5、微氣候的調節：湖體本身具有調節溫度的作用，而週邊的綠色植物透過光合作用，吸收二氧化碳，減緩溫室效應，降低溫度。

(四)環境影響面評估

由於本模擬案例規模類似於埤塘，蓄水容積為 10 萬立方公尺，遠低於環境影響評估法所規定的「蓄水容量 500 萬立方公尺」，因此不需進行環境影響評估。然而本模擬案例所考量的是多功能人工湖的永續經營，因此對於區位的考量以及營運後對環境的影響仍為相當重要的因素。以水源運用觀點來看，人工湖若設置於河川旁或其下游河段或地勢低窪地區，則可以容易收集到集水區內匯集之水量，對於一些非民生用水管線末端水量的調節有很大的助益，對於滯洪防洪標的來說，也可以達到預期最大效益，但一般河川下游或低勢低窪地區匯流水的

水質可能比較差，因此考量搭配沉砂池、溼地、植被密度增加等措施來減緩總磷、沉積及土壤沖蝕等對環境產生負面回應之情況。此外，在景觀生態及水質部分可以在營運後配合監測計畫來瞭解入流量及湖體內之水質變化、生物種類之變化、以及人工湖週遭景觀區塊之變化，而在規劃前除了前述之因素，採用替代指標來評估外，對於湖體週遭可以參考綠建築評估指標內關於綠化指標的植栽設計原則。

第捌章 三維動畫模擬

本計畫選用 MAYA 為三維動畫製作軟體，MAYA 為加拿大 3D 軟體開發公司 Alias wavefront 所開發，目前已被廣泛地運用在各種專業領域，其中包括電影特效、國防及太空梭衛星模型架構、醫學、汽車及各項工業設計、建築設計、電玩設計等等，該軟體利用圖形化操作介面及自由的模型建構工具，讓使用者建構出需要的造型及視覺效果。

本計畫利用 MAYA 軟體，將第柒章中模擬案例結果以動畫的方式呈現，主要在表現模擬年內於不同時間的人工湖水位及水質變化情形，水質展現項目為湖體內磷含量和浮游植物（藻類）含量。由於本模擬案例人工湖為面積 5 公頃和最大水深 2 公尺，因此若依據 1:1 呈現，將無法看出湖深度，因此在建模時之湖體尺寸上並非以等比例縮小。倘若要將全年 365 天的都能以流暢的方式呈現，所耗費的撥放時間將相當長，因此本動畫在製作時，依據降雨區段重新整理，舉例來說，模擬年內第 261 天以後並未再發生降雨，因此湖體內蓄水位將會持續下降到生態維持水深，故在人工湖水位上所發生的狀況便是因應連續供水而持續下降直至生態維持水深為止，反映到動畫呈現上便將該「故事」濃縮到 1~3 秒內撥放（如圖 8.1 和圖 8.2 所示）。由於本模擬案例並無引入其他河川等外部水源，主要是利用引水設施收集逕流量，如圖 8.3 所示，為能顯示湖體水位及水質變化，因此在動畫中的降雨採取較透明的雨勢表現，因此無法在本報告內所擷取的圖像中清楚看出，需由本計畫成果報告所附光碟內動畫檔案中觀看。至於水質表現上，則以紫色為磷含量、綠色則為浮游植物含量（圖 8.1~8.4 所示意），至於圖中人工湖底床黑色迴圈為示意 0.5、1.0、1.5、2.0 m 之深度，方便在水位昇降時可以容易辨別。

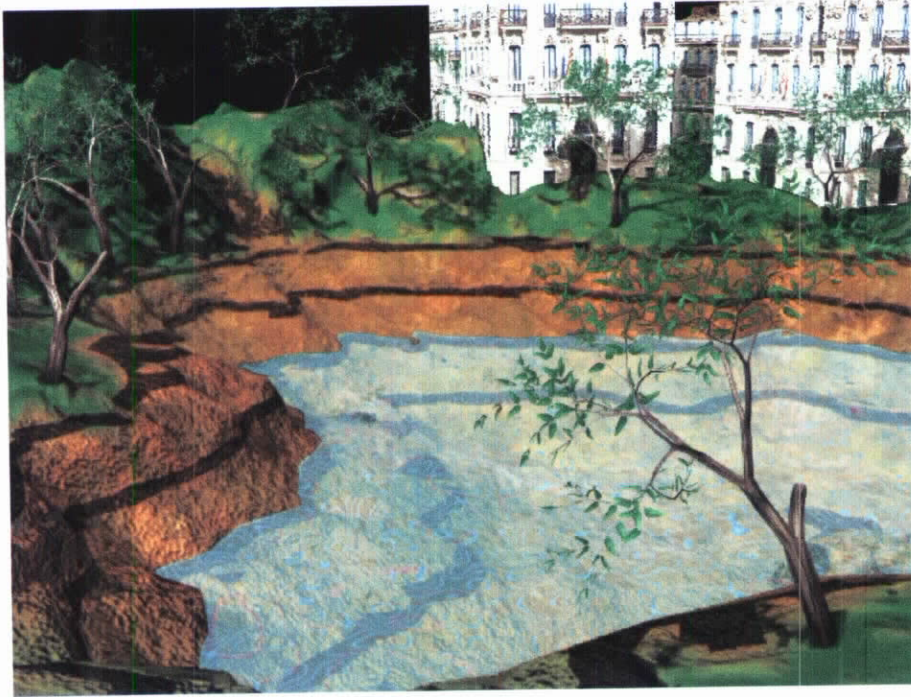


圖 8.1 三維動畫示意圖 (10月9日)



圖 8.2 三維動畫示意圖 (10月30日)



圖 8.3 三維動畫示意圖（降雨發生）



圖 8.4 三維動畫示意圖（水質分佈）

參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃試驗所，『麥寮人工湖可行性規劃檢討』，民國 92 年 12 月。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所，『台南科學園區暨周邊水系整體防洪規劃』，民國 92 年 5 月。
3. 經濟部水利處水利規劃試驗所，『吉洋人工湖可行性規劃一二、水源及用水專題—2.地下水人工補注池水資源區域性營運分析』，民國 89 年 12 月。
4. 經濟部水利處水利規劃試驗所，『地下水人工補注池設計原則探討』，民國 89 年 4 月。
5. 經濟部水資源局，『麥寮人工湖可行性規劃總報告』，民國 90 年 11 月。
6. 經濟部水資源局，『台灣地區水資源開發綱領計畫』，民國 89 年。
7. 經濟部水資源局，『基隆河流域之減洪策略綜合規劃』，民國 89 年 8 月。
8. 經濟部水資源局，『乾旱指標之建立-中部及南部區域』，民國 88 年 6 月。
9. 經濟部水資局，『水資全球資訊網及全國防洪資訊系統之規劃研究』，民國 87 年 2 月。
10. 經濟部中央地質調查所，『內政部建築研究所專題研究計畫成果報告-基地保水性能之研究』，民國 87 年 6 月。
11. 行政院環境保護署，『建立水環境品質評比指標』，民國 91 年 7 月。
12. 行政院環境保護署，『流域自然生態環境資源量化基準調查規劃評估-生態環境影響評估空間指標系統之建立計畫（以桃園台地埤塘為例）』，民國 92 年 12 月。
13. 行政院農業委員會水土保持局，『水土保持技術規範』。
14. 內政部營建署，『自來水水源水質水量保護區劃設影響因子量化基

- 準、劃設準則及績效指標之研究計畫』，民國 90 年 3 月。
15. 台灣省水利處，『濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用第二階段』，民國 87 年。
 16. 台灣省水利處，『濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用第一階段』，民國 86 年。
 17. 台灣省自來水公司，『澄清湖曝氣工程效益評估』，民國 84 年 2 月。
 18. 宜蘭縣政府，『宜蘭縣政中心公園基地保水工法研究』，民國 92 年 9 月。
 19. 花蓮縣環境保護局，『花蓮縣河川污染防治計畫第一次工作成果報告』，民國 92 年。
 20. 台北翡翠水庫管理局，『生態模擬在翡翠水庫水質保全和監測上的研究』，2000。
 21. 台灣大學農學院農村規劃與發展中心、台灣大學農業工程系鄉村建築與環境研究室，『道路與水域之生態系統規劃-動植物之新生活區』，1998。
 22. 王宗悫，『滯洪池水文設計之研究』，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，2003。
 23. 李明益，『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，2002。
 24. 李麗雪、林孟立、陳惠美、葉美智譯，『環境景觀之規劃與應用』，田園城市文化，2002。
 25. 李孟璵，『高雄地區愛河水污染與水環境生態復育之策略分析』，國立中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文，2001。
 26. 余慶璋、吳瑞賢、余濬，『滯洪池設計問題之探討』，第十屆水利工程研討會 G34-G42，1999。
 27. 吳瑞賢、余濬，『滯留池節省容量及集中沉砂之設計方法探討』，中華水土保持學報，27 (1)，pp.29-38，1996。

- 28.吳瑞賢，『工程水文學』，科技圖書股份有限公司，2001。
- 29.肖篤寧，『景觀生態學理論、方法及應用』，地景企業股份有限公司，1992。
- 30.林秉賢，『橫向堆石群對溪流生態棲地流況之影響』，逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文，2001。
- 31.林幸助、黃俊翰，『湖泊優養化及生態監測』，金門雙鯉湖生態監測研討會，2000。
- 32.林鎮洋、邱逸文，『生態工法概論』，國立台北科技大學水環境研究中心，2002。
- 33.林文欽、李佩蓉，『近河段都會區利用雨水貯留系統降低逕流量之研究』，第十四屆水利工程研討會論文，2004。
- 34.金嵐等編著，『環境生態學』，科技圖書，1997。
- 35.邵廣昭，『海洋生態學』，國立編譯館，1998。
- 36.洪宜萍，『都市住宅社區生物多樣性評估模式之研究』，中國文化大學建築及都市計畫研究所碩士論文，2001。
- 37.施鴻志，『都市叢書 No.2；都市規劃』，建都文化事業股份有限公司，1997。
- 38.徐義人，『應用水文學』，國立編譯館，1995。
- 39.郭一羽，『水域生態工程』，中華大學水域生態環境研究中心，2001。
- 40.張益誠，『應用因子分析方法為臺灣地區建構永續發展趨勢評估指標系統』，國立台灣大學環境工程學研究所，2000。
- 41.陳明業，『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，2002。
- 42.曹先紹，『湖泊與水庫生態』，2003。
- 43.陳正炎、洪耀明、吳傳偉，『滯洪池數值水文演算方法之驗證』，九十年農工工程研討會論文，pp.349-355，2001。
- 44.陳正炎、洪耀明，『滯洪池設計之圖解法』，中興大學工學院工程學

- 刊，12 (2)，pp.91-101，2001。
- 45.陳亭玉，『河川流域水土資源承载力與永續力評量模式之發展』，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，1999。
 - 46.陳偉、石濤，『環境與生態』，新文京開發出版社，2003。
 - 47.曾志銓，『滯洪池系統最佳化之研究』，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2000。
 - 48.黃建智，『流域集水區非點源污染模式之研究』，國立成功大學環工系碩士論文，2002。
 - 49.黃宏斌、張三郎、吳正雄，『調節池設計之探討』，中華水土保持學報，27 (1)，1996。
 - 50.傅奕靜，『應用基地保水指標於大型公共建設滯洪池容量推估之研究-以台南科學園區為例』，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，2000。
 - 51.鄔建國，『景觀生態學-格局、過程、尺度與等級』，五南圖書出版公司，2003。
 - 52.趙羿、賴明洲、薛怡珍，『景觀生態學理論與實務』，地景企業股份有限公司，2003。
 - 53.鄭雅珍，『滯洪水理演算模式之特性解析』，國立中興大學土木工程學系碩士論文，2002。
 - 54.劉鴻亮等，『中國湖泊富營養化』，中國環境科學出版社，1990。
 - 55.Bill Freedman、金恆鏡譯，Environmental Ecology，國立編譯館，1998。
 - 56.Basha, H. A., "Routing equations for detention reservoirs", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 121(12), pp.855-887, 1995.
 - 57.Department of Environment, Transport and Region (DETR), "Sustainable Communities for the 21st Century", London: HMSO, 1997.

58. David R. Cressman, Kaveh Zahedi, Laszlo Pinter, "Capacity Building for Integrated Environmental Assessment and Reporting: Training Manual (2nd Ed.)", International Institute for Sustainable Development (IISD), United Nations Environment Programme (UNEP), 2000.
59. Ekins P, "The Kuznets curve for the environment and economic growth: Examining the evidence", *Environment and Planning A* 29 (5), pp.805-830, 1997.
60. Guneralp B., Barlas Y., "Dynamic modelling of a shallow freshwater lake for ecological and economic sustainability", *Ecological Modelling*, 167(1-2), pp.115-138, 2003.
61. Hondzo M., Stefan H.G. "Long-term lake water quality predictors", *Water Research*, 30 (12), pp.2835-2852, 1996.
62. IUCN, UNEP and WWF, *Caring for the Earth*, 1991.
63. Jørgensen S.E., "Fundamentals of Ecological Modelling", Elsevier Science Pub. Co., Inc., New York.
64. Krystyna A. Stave, "A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas", *Journal of environmental management*, 2003.
65. Maler K.G., "Development, ecological resources and their management: A study of complex dynamic systems", *European Economic Review*, 44(4-6), pp.645-665, 2000.
66. McEnore, B.M., "Preliminary sizing of detention reservoirs to reduce peak discharges", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 118(11), pp.1540-1549, 1992.
67. McQueen, D., H. Noak., "Health Promotion Indicators :Current Status, Issues and Problems", *Health Promotion*, 3, pp.117-225, 1988.
68. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD),

- “OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews”, 1993.
69. Patrick C. Kangas, *Ecological Engineering -Principles and Practice*, Lewis Publishers, 2003.
70. Ryding S.O. and Rast W., *The Control of Eutrophication of Lakes and Reservoirs*, Chap 9.
71. Shutes R.B.E., “Artificial wetland and water quality improvement”, *Environment International*, 26(5-6), pp.441-447, 2001.
72. Shutes R.E, Revitt D.M., Scholes L.N.L, Forshaw M, and Winter B, “An experimental constructed wetland system for the treatment of highway runoff in the UK”, *Water Science And Technology*, 44 (11-12),pp.571-578, 2001.
73. S. Matsui, S. Ide, and M. Ando, “ Lakes and Reservoirs: Reflecting Waters of Sustainable Use ” *Water Sci. Tech. Vol.32 No.7*, pp.221-224, 1995.
74. Stefan H.G., Hondzo M, Eaton J.G, and McCormick J.H, “ Validation of a fish habitat model for lakes”, *Ecological Modelling* , 82 (3), pp.211, 1995.
75. WCED , “Our Common Future”, Oxford University Press , UK , 1987.
76. Wenche E. Dramstad., James D. Olson & Richard T.T. Forman, “Landscape ecology principles in landscape architecture”, Harvard.
77. Xu F.L., Tao S, Dawson R.W., Li P.G., and Cao J, “Lake ecosystem health assessment: Indicators and methods”, *Water Research*, 35(13),pp.3157-3167, 2001.

附錄 A

期初簡報審查意見及辦理情形

附錄 A、「多功能人工湖永續經營研究」期初簡報審查意見及辦理情形

審查意見	辦理情形
一、逢甲大學水利系陳昶憲教授：	
1、本計畫將系統分析概念應用在水環境綜合開發上，並嘗試以量化方式導引出效益，且動態考量目標的調整，為一先鋒型研究。	感謝指教。
2、為收斂研究成果包括最後評估經濟與財務面，故邊界條件反系統配置條件需先行確立，有關邊界條件之水文條件如降雨特性、地下水分佈特性、失水條件等是否需先設立。另包含各操作單元之可能規模等。	遵照辦理，相關之建議將列入考量。
3、有關系統各操作單元之數學反應函數或參數，不知是否有參考資料。	由於本計劃擬採用單元分析與系統動態學來解決各標的，因此僅列出所需要之關係式，列於第五章。
4、為避免（二）（三）問題的複雜性，是否在原則陳述與定義後，找一案例進行探討或可更能聚焦。	遵照辦理。
二、逢甲大學土木系江篤信教授	
1、本案半年內實質評估一人工湖可能時間不足本研究為先驅性探討人工湖永續經營，故建議多在基本定義上進行界定後再進一步探討本研究的目的。	遵照辦理。
2、人工湖之規模不在大而在有效益且能永續經營，所以建議也將河槽部份也列入考慮。	相關之建議將列入案例選擇之考量。惟本計劃為先驅性研究，因此本年度在案例的考量上會以常見之人工湖系統單元配置為測試案例。
三、成功大學水利及海洋系周乃昉教授	

審查意見	辦理情形
1、不論大小，人工湖即水庫，多功能人工湖即多目標水庫，所以多目標水庫之設計原則應多數可以引用在人工湖設計。	感謝指教。
2、若無水資源利用機會，就水利觀點便無設置人工湖之必要；其次，人工湖係無中生有，必然改變既有生態環境，所以必需儘量減緩衝擊，或以改善景觀來彌補；至於防洪目標，滯洪池僅適用於局部排水，因平地水池需靠挖方增加容積，興建成本相對偏高，成效必然有限，除非因土地開發因素，否則應不適合僅為防洪標的設置平地滯洪池。故就多功能之目標而言，建議不同功能間宜有一優先順序如下：水源運用優於生態，生態優於滯洪。在此主、次要順序下再進行設計原則探討。	感謝指教。 本計畫就多功能永續經營的角度訂出該三個經營標的，而在系統配置時會依據人工湖主要設置標的而有不同對應配置單元，並以單元分析和系統動力學處理單元之間互動關係，因此是同時考量三個標的的效益。
3、如上所述，過小之人工湖，例如山坡地之滯洪池，應非本計畫研究重點。為期所探討之人工湖得以發揮功能，所研究之人工湖應具相當規模，建請先適當界定以利合理研討。人工湖分類或可就容量、區位、水源為之，選出各類具代表性，且以水源運用為主要標的，之人工湖加以研究。水源利用包括：雨水、暴雨後地表逕流，河川引水或地下水；區位包括：山麓、平地、田區、水邊、低窪地等。又，其大小是否能儘量以不需進行環境影響評估者為之。	感謝指教 本計畫所發展之評估方法希望能應用於大型及中小型人工湖，就不同尺度之人工湖調整系統配置、不同標的調整模擬系統模型。
4、第 4.1 節之工作流程，建請以水源運用為	感謝指教

審查意見	辦理情形
<p>主，配合生態及滯洪為輔。其次對後二功能而言，其設計原則應都僅居於輔助水源運用功能之發揮來考量，不需專為其建立獨立之設計原則，亦即站在多目標水庫利用之立場來兼顧防洪及遊憩、生態標的之發揮。</p>	
<p>四、水利技師公會全國聯合會簡俊彥理事長</p>	
<p>1、本項工作計畫書對如何規劃分析水源運用、滯洪及生態等功能之技術性問題著墨較多，但對如何達成永續經營則著墨甚少。</p>	<p>遵照辦理，已分述於報告之相關章節。</p>
<p>2、前述各功能之技術性規劃分析雖然重要，但如何因地制宜慎選人工湖之多項功能，使其相輔相成；如何設定規劃設計原則，使人工湖得以永續經營、長期發揮各項計畫功能，才是本計畫之主要目的。建議調整增加研究面向，加強探討影響人工湖永續經營之各項因素及因應對策，以利研擬適當的規劃設計原則。</p>	<p>遵照辦理。 本計畫主要目的在建立一套人工湖設立前之效益評估方法。 影響人工湖壽命之因素以及人工湖設立後使能永續經營之配套方式，將分述於各相關章節。</p>
<p>五、水利署水源經營組王國樑科長</p>	
<p>1、多功能人工湖的定義，各功能的權度範圍、適合開發地點及規模建議能於本次研究中界定。</p>	<p>遵照辦理，已分述於報告之相關章節。</p>
<p>2、本工作執行計畫書所研擬的出山口及社區兩個案例是否足以據代表性。</p>	<p>本計劃為先驅性研究，因此在案例的考量上會以常見之人工湖系統單元配置為測試案例。</p>
<p>3、多功能人工湖各標的之量化分析中生態景觀標的應相當不容易，故如何在做整體評估時做客觀探討建議加強探討。</p>	<p>遵照辦理，已分述於報告之相關章節。</p>
<p>4、相關之財務分析的內容僅為以往「工程成</p>	<p>感謝指教。</p>

審查意見	辦理情形
本」的分析內容，未來是否可納入目前政府提倡的促參方式探討。	本計畫為規劃前對各經營標的之評估方法，暫無法具體對財務面作量化評估。
5、本計畫名稱即為多功能人工湖「永續經營研究」，相關永續經營的定義及如何在「工程壽命」的限制條件，建議應有如何永續經營的研究成果。	遵照辦理，已分述於報告之相關章節。
6、預定進度表，請增列期初、期中、期末簡報之時間點較明確。	感謝指教
六、中區水資源局程桂興課長	
1、人工湖設置功能與區位關係甚大，應先選擇某一特定區位之人工湖作為模擬案例，建議以模擬案例一為案例。	感謝指教
2、都市型人工湖之水質問題最為重要，應避免水質不良造成之負面影響。	感謝指教
3、P5-16 之財務面評估應仍屬經濟分析之一環。財務評估係償債計畫及從經營管理面之財務計畫，使之具財務可行性。	感謝指教。 本計畫為規劃前對各經營標的之評估方法，很難具體對財務面作量化評估。
4、都市型人工湖之滯洪效果屬都市內之排水計畫一環，故必須考慮與外水之關係。	感謝指教。
5、本計畫名稱為「多功能人工湖永續經營研究」，而工作內容係訂定系統規劃設計方法與原則，似不相符。	本計畫係由影響人工湖永續經營因子，整合定義出水源運用、生態景觀與滯洪功能三個標的（說明於第二章），之後建立評估方法。
6、都市型人工湖設置位置，以在內水與外水交接處為宜，並可考量與抽水設置之搭配。另一類則可位在新社區、遊樂區或新工業區之開發，其區位位於低地易於淹水區如地盤下陷區。	感謝指教。

審查意見	辦理情形
七、水利規劃試驗所謝勝彥所長	
1、不同標的之間衝突是必然的，重點是該如何取捨？計畫中可否達成同時兼顧不同標的需求。	感謝指教，例如人工湖蓄積降雨量，及補注地下水，即可達到水源運用及滯洪等標的。
2、永續定義及標準為何？具何種開發規模及如何經營、操作才能達成永續目的。	遵照辦理，此建議已納入報告之建議章節。
八、本所水資源規劃課潘禎哲副工程司	
1、本研究計畫重點為如何進行人工湖之永續經營，除於規劃設計階段即應考量將來之永續經營而加以評析設計規模之外，如對於既定規模之人工湖，是否能以國內之實際案例來建議具永續經營之方式。	本計畫為先驅性研究，因此在案例的考量上會以國內常見之人工湖系統單元配置為測試案例。
2、以水源運用為標的之人工湖，其永續經營指標是否僅為SI，而原規劃之吉洋人工湖依本計畫研究之「永續經營」設計原則，其是否具永續經營之設計理念，是否有須進一步改進之建議。	感謝指教。 由於本計畫核心並非討論缺水指標，但在考量不同尺度之人工湖時，本工作團隊將會評估不同缺、需水指標的合適度。
3、計畫目的似乎缺少了以地下水保育為主要功能之標的。	感謝指教。 人工湖具有地下水保育和水源調節的用途，本計畫將其歸類在水源運用標的中一併考量。
4、本所本年進行之「台灣地區設置人工湖先期規劃」計畫目的為政策性、功能需求性在台灣地區設置之評估，本計畫建議應朝人工湖之「永續經營」為研究重點。	感謝指教。 本計畫之三個標的係系統整人工湖經營影響因子所定義。
5、中小型人工湖似乎缺少了「生產」之功能。	人工湖不論其尺度大小，只要設計及維護

審查意見	辦理情形
	得當，都會有其貢獻，且「生產」的定義不一定是大量的水源供應，也有可能是小區域的緊急用水、生態景觀保持、地下水長期保育等。
九、本所水資源規劃課黃建明助理研究員	
1、本計畫於模擬案例量化分析方面，是否在設計模擬案例時已先設定人工湖之主要功能(因不同開發規模、區位決定人工湖功能)，而次要功能只是附帶的，或是採逐步調整方式，以設計出滿足(但並不是均等，有主、次之別)各個不同標的需求之案例？	本計畫之系統模擬模型，便是依據主次要標的所建立之單元配置處理，初步先以人工湖主體，在依序併入各標的所需要之處理單元，以系統動力學之各步驟加以模擬。
2、計畫中是否有採用「指標」方式(何種指標?)，以評估不同標的在整個人工湖系統中所佔權重。	藉由系統動態學評估兼具多功能人工湖整體系統。
3、關於生態景觀標的規劃設計原則部份，在報告中提到需考量水質、流況、水岸坡度、孔隙及水棲植物植栽等方面，但卻以水質指標作為量化分析之評估標準、是否具代表性？	在生態景觀標的評估方法，多數需要針對已存在的系統，而本計畫之對象為設置前之人工湖系統，本工作團隊目前所彙整之資料中，發現最能直接影響生態景觀的因素便是水質，因此以水質為評估替代指標。
4、有關模擬案例三維展示工作，依據 p. 6-2 說法是以選定一個案例方式做後續成果展示，可否做到將所有設計案例都能連結到展示功能。	感謝指教，後續進一步評估。
十、本所灌排規劃課劉宗烈副工程司	
1、本計畫是為多工能人工湖永續經營研究，	遵照辦理，此建議已納入報告之建議章節。

審查意見	辦理情形
<p>惟報告中未見對於人工湖多功能運用之水源運用標的、滯洪標的及生態景觀標的等各功能間的衝突因素，予以充分的檢討及提出適當的因應之道，建議應檢討及補充。</p>	
<p>2、對於人工湖中之滯洪標的功能，建議應深入檢討與滯洪設施關聯性重要之因素，包括滯洪設施位置與河川排水渠道之佈置關係、滯洪設施的進出水系統及操作模式、滯洪設施之水質與淤積的處理模式及滯洪設施設置之考量因素等。</p>	<p>遵照辦理，此建議已納入報告之建議章節。</p>
<p>3、對於人工湖永續經營觀點，是否可就經濟、社會及法律等層面探討人工湖經營在國內外成功之例子及原因，及未來適用於國內之可行經營模式為何？</p>	<p>感謝指教。 本計畫在方法建立時參考國內外案例，並對實體單元做整體考量，但對於經濟、社會及法律等層面實無法在本計畫時程內做完整考量。</p>
<p>十一、本所河川規劃課洪信彰副工程司</p>	
<p>1、本計畫是否可列入實際案例進行評估？例如：滯洪生態湖案例可以採用內溝溪中游河段治理規劃時，因應地方民眾要求恢復原有五分埤要求而設置之滯洪區，目前台北市政府亦已納入設計並施工中。</p>	<p>感謝指教。 本計畫為先驅性研究，因此本年度在案例的考量上會以常見之人工湖系統單元配置為測試案例。</p>
<p>2、永續經營研究是否有考量社會經濟面之評估，例如：社區發展、地方民意、土地取得方式等。</p>	<p>本計畫為規劃前之先行研究，且對於永續經營的考量著重於自然變遷下人工湖的永續經營上。且社會經濟面牽涉層面包含了民情、法規等因素，因此無法在本年度中作縝密考量。</p>

審查意見	辦理情形
3、各種型態人工湖重要控制之指標參數均不同亦複雜，可否建立較簡化且具代表之評估指標，並訂定各函數權重，以利後續實際應用評估時利用。	感謝指教。

附錄 B

期中簡報審查意見及辦理情形

附錄 B、「多功能人工湖永續經營研究」期中簡報審查意見及辦理情形

審查意見	辦理情形
一、逢甲大學水利系陳昶憲教授：	
1、本研究之「永續經營」似乎著墨不多，依意應與監測、管理維護相關，若此屬於計畫範圍則需補充，而上述之手段亦可進入系統動力學模式。	謝謝委員指正 關於永續經營在人工湖規劃上的考量，已補充於第四章。
2、本研究人工湖之屬性，應不只「利水」，其亦與「親水」、「活水」、「治水」相關，可進一步說明與陳述。	謝謝委員指正 關於本計畫對於各標的操作目的、搭配單元與水資源策略的關係已補充說明於第三章。
3、P.2-2 人工湖的利用似乎遺漏了。	期中報告該部分乃摘錄於黃顧問金山發表之文章內容。
4、圖 4.2-1 及 4.2-2 似乎缺了排水單元。	各標的的系統概念圖已更新於第七章
5、水源運用評估指標，本文將採用 SI 值，但因人工湖可能對原供水系統之改善有限，SI 值變異可能不明顯，且為免造成混淆使評估單純化，另未來水資源開發策略係以供定需為原則，再就為利於後續之效益分析，及與滯洪標的進行競合分析，建議可考慮直接分析不同人工湖容積在不同供水可靠度下其可能最大供水量，或總可蓄水量以此定義水源運用評估指標。	謝謝委員指教，本計畫在水源運用標的採用以日為時間單位的通用缺水指標為量化評估指標。
二、成功大學水利及海洋系周乃昉教授：	
1、本計畫業已整理出各類人工湖之設計要項及評鑑指標等相對於多功能之複雜性，應已掌握合理的研究方向與主要事項，期勉能於期末報	謝謝鼓勵。

審查意見	辦理情形
告提出更完善之分析。	
2、系統模型之建立或可就水系統有關之利水、治水、活水、親水等與周遭環境做整體機能性之結合來思考，例如：都市二次利用水、人工湖周遭綠化程度，休閒遊憩型態、水生及陸生物種多樣性棲地等均可直、間接納入模型。	由於本計畫屬人工湖開發前的評估，而景觀綠化或生態分佈則往往無法在規劃時預期，因此本計畫考量從可能的影響因子及所對應之發生成因中思考如何避免的策略(第五章)，但仍需在人工湖開始營運後配合監測計畫方能了解實際的效益。關於本計畫對於各標的操作目的、搭配單元與水資源策略的關係已補充說明於第三章。
3、再者就系統諸多單元之建立與系統動力連結似均可直接、間接以水量及水質之分析來連結與量化，其後再就水質、水量與周遭環境之互動影響加以評估，求出評鑑指標。	誠如委員所指教，系統動力學可以透過不同標的所建立之動力模型內共同的資訊來做連結，說明於第七章。
4、系統動力模型具多標的之性質，標的間可能有不可量化，不可貨幣化、不能相互比較等，而目標或功能要項亦應具有某種程度之要求或限制等，宜均列出以利後人規劃設計參考。	謝謝委員指教，本計畫在考慮各標的的競合性以及開發區位不同所面對的環境壓力也會不同的情況下，朝向訂定義各標的量化評估指標的方向，不論人工湖規模大小均可適用，相關說明於分述於第三~五章。
5、本計畫之積極面可依主次要目標設置適用之人工湖，就積極面而言則可對既有之人工湖評估或建議其補強某特定功能之道，若能對各項功能選定適當指標，或亦可充做多目標規劃之目標函數之一。	謝謝委員指教，本計畫已針對各標的可能遇到的環境壓力與建議因應策略敘述於第四章，並進一步建議評估指標於第五章。
6、多功能開發利用或可能涉及不同主管機關之協調、興建成本之分攤，為達成明確可期之計	謝謝委員指教。

審查意見	辦理情形
畫成果，或可先集中資源著重水源利用為主要研究目標。計畫執行可對各種系統單元機能性充分探討，再予歸納集中探討對水源利用目標之影響。	
7、計畫書中已列出諸多系統單元、影響因素、分析方法等，宜就不同尺度之人工湖整理適用者予以分類建議。	謝謝委員指教。因為各開發案之系統開發規模和環境都不盡相同，即便是相同大小，當區位不同、水文及地文條件不同時，因應的單元、策略及複雜度亦不同，因此建議以評估指標作為人工湖規劃的評估參考依據。
8、針對中小型人工湖可建議尚待深入研究之事項。	謝謝委員建議。
三、中國文化大學景觀系陳秋楊教授：	
1、P.2-1 倒數 7 行「水利署黃顧問金山」，有誤，請修正。	謝謝委員指正，已遵照辦理
2、同上參考文獻之引用方式以「研討會」為作者似不妥，宜以原作者為「作者」較妥。	謝謝委員指正，已遵照辦理。
3、P.2-4 行 4 有「四大計畫」，下文中僅有(1)吉洋人工湖及(2)參寮人工湖，請補充介紹四個人工湖之規劃內容。	由於四大人工湖計畫為新十大建設中的項目，其中以高屏大湖和參寮人工湖有較完整之規劃報告，本計畫已將其他二人工湖之預期效益和名稱表列於第二章。
4、P.2-8「優氧化」宜寫為「優養化」，請修正。	謝謝委員指正，已修正。
5、有關國外人工湖文獻僅 P.2-6~P.2-8 三頁，請再補充國外相關文獻之蒐集與整理。	謝謝委員指正，已修正於第二章。
6、由於本計畫題目為多功能人工湖「永續」經	謝謝委員指正 本計畫團隊參考聯合國相關組織所定義

審查意見	辦理情形
管研究，請在 P.2-23 第二章結束前能將確切定義「永續」在本計畫中之內涵、目標、量化因子等，才能顯出執行本計畫研究之意義與目的。	之永續、永續指標，考量對於多功能人工湖考量各標的時可以考量的項目，分別探討於第二章及第四章。
7、P.4-2 有關「生態景觀」之敘述略有不足，其因子應不僅兩項，請洽熟諳景觀生態學專業人士，以免人工湖之開發反而造成區塊破碎，生態廊道不連續。	謝謝委員指正。
8、P.5-5 表 5.1-1 請註明各資料來源及出處。	謝謝委員指正，已遵照辦理。
9、P.5-11 圖 5.2-1 請註明出處。	謝謝委員指正，已遵照辦理。
10、P.5-15 表 5.3-1 之特徵 5 與特徵 6 項目之「單位」是否正確，請再核對。(P.5-16 亦同)	謝謝委員指正，本計畫已依據本計畫採用之指標核心項目重新製表為表 5.3-1。
11、P.5-20 文字中有「優氧化」請修正為「優養化」。	謝謝委員指正，已遵照辦理。
12、附錄之前缺「參考文獻」，請補充。	謝謝委員指正，已遵照辦理。
四、成功大學水利及海洋系許時雄教授：	
1、本案迄今蒐集資料甚多，各項分析原則、評估指標等等均敘述相當清楚完整，惟感覺上似乎像是學校教材，而不像實務單位委託之研究計畫。建議能以現有基礎以大型人工湖為主(水資源運用)，中小型為副(滯洪、生態景觀)找出實例真正的模擬，以供水利署之參考應用。	謝謝委員指教，即便人工湖尺度相同，但是開發位置的各項環境不同，所需面對的環境壓力亦不同，因此本計畫將水源運用、滯洪、生態景觀都視為主要標的去分析核心環境指標和規劃原則，規劃人員可以依據各開發案之主次要標的限制條件去訂定所需要的單元和操作方式，而進一步以各標的的量化評估指標去判斷是否在系統可容許的範圍內。關於相關內容則分述於第三~五章，並於第七章案例模擬中說明實際案例之應用方式。

審查意見	辦理情形
<p>2、就台灣目前及未來之發展，除文內所論之水資源、滯洪、生態外。休閒遊憩與教育（生態等）之功能，可能亦將日益重要，因此建議能在「多功能」之評估中加以適度的考量與呈現。</p>	<p>誠如委員指教，休閒遊憩和生態教育在目前的生活型態中越發被重視，但由於本計畫並非對個案作規劃設計，且依據所在區位的城鄉位置不同而會有差異，本計畫思考當人工湖湖體有健康（水質、水量）的狀態時，便可提供一適合的棲地與景觀發展空間，然後形成被接受的休憩選擇。</p>
<p>3、迄目前為主，對於功能之探討較多，而對於「永續經營」方面似尚不足，建議能再予加強。</p>	<p>謝謝委員指教，本計畫已加強多功能人工湖在永續經營考量下之規劃建議，相關說明於第四章。</p>
<p>五、水利技師公會全國聯合會簡俊彥理事長：</p>	
<p>1、本項期中報告比起期初簡報在工作方法及觀念上已有相當調整，比較貼近永續經營方面的研究。</p>	<p>謝謝委員鼓勵。</p>
<p>2、一個人工湖要永續經營，其水量的取得及運用需不傷害天然環境與現今社會及未來世代，限制條件頗多，希望能找出某些簡明實用的評估指標，做為規劃原則。</p>	<p>謝謝委員指教。本計畫已進一步將各標的之建議評估指標說明於第五章。</p>
<p>3、除水量、水質問題外，經濟及財務因素亦為能否永續經營的關鍵，期中報告在這方面的研究內容較少，建議後續是否加強。</p>	<p>由於本計畫為前驅性計畫，且各開發案例之規模與需要處理的環境壓力不同，因此相對應的財務計畫與經濟情況亦大不相同，本計畫僅列出一般性的評估方式，依據各環境壓力不同以及搭配的單元效能不同，所需要的成本亦不同，建議可以在適合的財務範圍內選取可解決策略及組成單元，然後計算出量化評估指標數值，端看是否落於系統可承受範</p>

審查意見	辦理情形
	圍內，再決定是否增加、減少或修改系統內組成單元之處理能力。
六、中區水資源局程桂興課長：	
1、本計畫應定位為都市中小型人工湖，以滯洪、生態景觀為主要標的。	謝謝委員指教。由於本計畫針對人工湖經常被賦予的功能訂定標的，規劃者可依據開發區位之需要選擇主次要標的。
2、都市中小型人工湖之水源功能可能不大，僅能供應都市次級用水或緊急救旱用水，故其指標應重新建立。	謝謝委員指教。由於缺水指標為目前水資源開發常用之指標，由缺水指標數值仍可以了解對於該供水目標之供水潛能，惟對於中小型人工湖而言，所需要的反應時間可能需以天較為適宜，因此本計畫將該指標修改為以天為單位的缺水指標，定義於第五章中。
3、本計畫所稱之「永續經營」應為人工湖原規劃設計之功能與標的能永久維持，包括技術與財務，惟本計畫以技術為主即可。	謝謝委員建議。
4、經濟分析與財務計畫為不同事情，應分別評估。	謝謝委員指教，本計畫已將其於 5.3 節中分別敘述。
七、南區水資源局彭合營副局長：	
1、P4-4 系統規劃原則以水資源運用標的規劃設計原則其 1.滿足供水需求與 2.水量供應之永續經營有部份重疊處，及水質之維護三大原則。在模擬量化分析之系物理描述中有二點請教。(1) 降雨超出人工湖排到排水，但此處為供水至公共及民生非飲用水部份，除非有工業專用系統，目前公共用水並無非飲用水系統。(2) 若枯旱為維持生態水量，由含水層抽水到	(1)由於本計畫為先驅性研究，著重在各標的之規劃原則及評估指標，至於各組成單元的目前實際應用面僅衡量是否可行而非目前是否存在面上。 (2)當兼顧多標的時，一個基本生態系的生態維持量並不多，因此需要抽水量並不大，且平日已將多餘之水入滲到含水層中，因此在枯旱時期可以抽取少量之水調節使用。

審查意見	辦理情形
<p>人工湖，依設計原則並未有生態部份，另在枯旱時期缺水之壓力及地下水位下降在實際操作上已不太可能故請參酌。</p>	
<p>八、水利署葛武松副工程司：</p>	
<p>1、水源運用評估指標擬以大型、中小型人工湖來區分似乎不宜，建議採用供水標的區分，如係供給公共給水，建議沿用慣用的 SI，供給其他標的如澆灌、消防用水，則可採用其他指標。</p>	<p>謝謝委員指教。本計畫在水源評估指標上，對於中小型人工湖選擇採用以日為評估時間單位的通用缺水指標。</p>
<p>2、國外案例以澳洲墨爾本淺型人工湖為案例，惟該案例僅是單一標的（生態景觀），可否蒐集國外多功能人工湖案例。</p>	<p>本計畫目前所蒐集文獻中，多數是對天然湖泊作長期調查，進而從監測紀錄中歸納與環境因素或湖泊幾何因子的關係。</p>
<p>3、請交大於期末報告前先提送目錄送請水規所討論。</p>	<p>本計畫已依據工作執行計畫書項目訂定各章節內容。</p>
<p>九、水利規劃試驗所謝勝彥所長：</p>	
<p>1、有關永續經營定義及「多功能」之間關聯性、競合，需更明確釐清。</p>	<p>本計畫所提及的多功能是以人工湖的可能類型來定義，而永續經營則是以不論在何種標的下，都能使的人工湖持續經營的方式，關於詳細說明分述於第三~五章。</p>
<p>2、在永續經營定義下，人工湖需達多大的尺度才能達到永續經營目標，及最小的尺度是多少？才能維持永續經營目標，因目標與尺度之間是有密切關係。</p>	<p>本計畫將目前國內以人為方式開發的平地水庫、景觀池、生態池、滯洪池等都視為是人工湖的一種，依據開發規模不同簡述為大中小型人工湖，誠如指教，不同尺度可能的永續經營條件會有差異，因此本計畫以量化評估指標的方式來作為各標的之操作方式是否超過該系</p>

審查意見	辦理情形
	統能夠回應的上限。
十、水利規劃試驗所水資源規劃課彭瑞國課長：	
1、報告內所有「吉洋人工湖」一詞除引用報告之名稱外，請一律修改為「高屏大湖」。	遵照辦理，已修正。
2、本計畫主要目標為探討如何達成人工湖永續經營、比較偏向人工湖完成後營建管理之面向，建議朝此方向研究。	人工湖永續經營之目的在希冀能持續性的操作，這當中包含了影響人工湖壽命的因子分析、系統的建置、操作策略的擬定、乃至監測計畫的訂定等等，本計畫之重點在各標的規劃原則建立、適宜性評估指標建議，提供與人工湖營運後之任何操作計畫改變前，能有一預先評估的參考依據。
3、本計畫冀望能完成多功能(主、次)人工湖規劃設計準則，以供後續規劃人工湖重要參考依據。	由於主次要標的會因為開發案不同而有不同，因此本計畫將水源運用、滯洪、生態景觀都視為主要標的去分析核心環境指標和規劃原則，規劃人員可以依據各開發案之主次要標的限制條件去訂定所需要的單元和操作方式，而進一步以各標的的量化評估指標去判斷是否在系統可容許的範圍內。關於相關內容則分述於第三~五章。
十一、水利規劃試驗所水資源規劃課黃建明助理研究員：	
1、部份章節內容書寫並不能充份或扼要陳述所要表達事項：(1) 在 1-4 頁提到”本計畫之工作核心是在多功能人工湖整體系統規劃設計原則歸納”，但是在 4-14 頁 4.3 節有關這部份描述卻是以一頁多一點篇幅就交待過去)，並不是很適	由於多功能人工湖整體系統規劃原則建立前必須更清楚希望包含的主次要標的，了解所規劃之人工湖在各標的下主要影響因子，並針對影響因素訂定需要配搭單元及策略，進而分析不同標的間的衝突之處，而定出各標的之最低需

審查意見	辦理情形
切。(2) 2.2 及 2.3 節所蒐集相關文獻/計畫內容陳述上，請以簡單扼要方式說明。	求，最後才能確立整體的規劃原則，關於詳細內容則重新描述於第四章。
2、2-4 頁 2.2 節”國內人工湖經營相關計畫現況”中有關(2)參察人工湖計畫內容描述(及 2-9、2-10)，所引用資料是舊的，而且部份觀點也不正確(比如解決地盤下陷問題)請修正。	謝謝委員指正，已修正。
3、如簡報第四頁所述計畫目的一在完成多功能人工湖之整體系統規劃設計方法與原則，因此這個工作項目是計畫重心，但 4.1 節 4.2 節報告內容與期初報告一樣，是否代表此項工作已完成？但依據簡報預定進度表此項目後續應該還有三個月研究期間，請說明，而且依報告內容應有深入研究空間。	本計畫依據聯合國組織所定義之永續指標定義參考準則，並對多功能人工湖各標的之核心指標作彙整及分析，以期能針對無法持續性操作的負面條件訂定能夠避免或改善的規劃原則，並已修正於第四章。
4、第五章關於多功能人工湖量化評估方法，請補充滯洪標的分析流程圖(水源運用及生態景觀標的量化分析皆有分析流程圖)。	謝謝委員指正，已修正。
5、5-22 頁 5.4 節一多功能人工湖整體評估整節內容所述為何？與合約工作項目一模擬案例整體分析評估是相同？請說明。	第五章係針對多功能人工湖的整體評估可能包含的面向作一般性的說明，而 7.3 節則是將其一般性整體評估項目應用於本計畫模擬案例的規模當中。
6、期初報告審查時，有關審查委員水利署王科長及中水局程課長所提經濟、財務分析方面，因本計畫為針對人工湖之永續經營作研究、故除了水源、水量及水質等問題外、經濟、財務亦為關鍵因素，而且在合約委託服務內容也包括這方面評估，因此關於審查意見辦理情形說	任何一開發案之經濟、財務評估與系統設計及規模有關，因為不同的標的、供給面上的需要與限制、預期效益的確定都會影響操作上的策略以及需要搭配的單元以及監測計畫，因此本計畫提供一般性的財務，經濟考量方式，可依據各

審查意見	辦理情形
明並不恰當，請修正。	開發案的系統加以應用。
7、請針對委員所提意見確實答覆，如無法達成亦請明確說明理由。辦理情形應詳細載明修改或增補於那一個章節或那一頁？而不是以”遵照辦理”或”已分述於報告相關章節”等方式交待。	謝謝委員指正。

附錄 C

期末簡報審查意見及辦理情形

附錄 C、「多功能人工湖永續經營研究」期末簡報審查意見及辦理情形

審查意見	辦理情形
一、成功大學水利及海洋系周乃昉教授：	
1、本報告已提出諸多整體規劃原則及方法以供參採極為可貴，相信計畫成果亦值得後續之實際規劃工作中援用，建議能對實務應用時，各標的間之整合原則，或 PSR 中之回應策略等增加著墨以利參採。	謝謝鼓勵。 已增修於第肆章，整合原則已以簡例說明於第肆章第四項中。
2、多功能人工湖之不同功能間應有不同之功能成果，個人以為或可以較次要之功能為限制要求下，求主要功能之發揮，以避免權重法中對適當權值選取之困擾。	本計畫運用系統動力學之訊息回饋特性，只要釐清欲解決問題內的各變數間的因果關係，則可以建立多標的之人工湖系統。
3、本人工湖之研究中似乎重點在“規劃”，則規劃之決策似乎以人工湖容量為最主要的考量事項；其他有關或必要之決策等事宜整理出來以供分析參考。指標方面，除水質外，是否亦能建議宜予納入參考之量化或非量化指標，如生態環境、景觀、地下水等。	決策變數除了人工湖容量，還包含其操作規則，及去除率等，由於評估指標之意義在於能夠提供衡量環境提昇或退化的參考，其相關指標詳見第貳章及第肆章，本計畫各標的選用具代表性之評估指標，評估是否滿足各標的，其餘建議後續人工湖營運後，透過監測計畫進行評估量化。
4、就水源利用而言，人工湖可為主要水源亦可以為輔助水源，在其水量有限下，分析時宜儘量與其他水源一併分析，以確認其應有之地位。	由於本計畫為一先驅型計畫，因此僅提供方法建立，並以簡化之案例模擬來示範該方法的建置方式。由於本計畫係利用系統動力學對訊息回饋的特性，因此對於其他水源引入時，仍可在系統動力學模型中加入一流動元件來完成。
5、系統動力模型部份，宜增加蒸發單元，集水單元或可改為輔助水源單元，濕地單元仍宜有	已參酌修正。 同 2.及 4.中所回覆，應用系統動力學之

審查意見	辦理情形
蓄水容量並合理估計其總磷吸附能力，或可能有總磷釋出，浮游生物生長速率，其他局部限制條件如地下水位等均可納入考量，以提高本模型之可利用性或移植性。	重點在釐清欲處理問題的變數間相互影響關係，當其他操作規則或變數加入時，則可以以適合之元件置入於系統動力學模型中。
6、PSR 中之棲地若係人工湖區時，宜列為“狀態”。	謝謝委員指正，已修正。
7、指標似採用易於監測、驗證或估計，且具有實質意義者，故溶氧可能係總磷外另一有效指標。	本計畫於水質指標考量時以內陸水體較易產生變質之因素，諸多文獻中均指出優養化是最優先使水環境變差的因素。此外，如委員所建議，其他水質項目亦很重要，因此建議搭配監測計畫處理。
8、永續經營除規劃設計外亦宜對營運管理事項加以著墨，相關的因素對系統“動態”隨時間演進之影響亦宜放入動力模型中，以利現地營管及考核。	由系統動力學模擬結果，可以看出操作規則對系統任一變數的時間變化情形。
9、實測分析中之水位改為水深。	謝謝委員指正，已修正於相關章節。
二、逢甲大學水利系陳昶憲教授：	
1、可能由於研究時程緊湊，在文章中有數處不通順及錯字，另參考文獻引用說明可再收斂，有數個參考文獻未列於文後。	謝謝委員指正，已修正參考文獻。
2、水資源政策圖似乎應加保水一項。	謝謝委員指正，已修正於圖 2.1。
3、P3-10 滯洪標的比水源多考慮沉砂池之表示似乎可斟酌。	謝謝委員指正，已修正於第參章 p.37-38。
4、PSR 與系統規劃之關係請在文章中釐清。	謝謝委員指正，已修正於第肆章。
5、水源運用及滯洪之反應，應加上操作規則，滯洪需增加壓力設計—暴雨。	謝謝委員指正，已修正於表 4.3 及相關文章。
6、由於案例未考慮蒸發故地下水在低水位未啟動，建議可增加此水文因素。	由於本計畫為一先驅型計畫，因此重點在提供方法建立，並以簡化之案例模擬

審查意見	辦理情形
	來示範該方法的建置方式，因此在案例中並未考慮蒸發散量的損失，然而在實際應用時，可以依據不同地點的蒸發散速率加入一元件於系統動力模型中。
三、成功大學水利及海洋系許時雄教授：	
1、期中報告所提意見，大體上均已處理，且全文井然有序、條理分明，故無其他意見。	謝謝鼓勵。
2、第五章之財務評估中年成本之利息以 6% 估列，年營運維護費以直接工程費之 1% 編列，是否適當建請再酌。	已參酌各位委員建議，修改為年利息 4%，年營運維護費則以 4% 編列。
四、中國文化大學景觀系陳秋楊教授：(書面意見)	
1、請增加中英文摘要。	已增加於成果報告中。
2、請列出研究人員名單。	已增加於成果報告附錄 D。
3、P.2-10-P.2-11「優氧化」、「優養化」混合出現，宜以「優養化」為主，請考慮。	謝謝委員指正，已修正於相關章節。
4、P.5-14「2.生態景觀標的系統建立」，文中只提列生態模式，並未提及景觀的相關因子，請增加景觀因子的考量。	本研究考量人工湖的湖體內生態景觀環境受限於人工湖之結構、範圍、坡度、底床等條件，因此於人工湖建造之後便不易修改，而人工湖週遭之棲地和綠化植栽則可以在人工湖開始營運後再作調整，故建議上述生態景觀評估指標值可以在多功能人工湖開始營運後，配合環境監測計畫後求得，並藉以瞭解人工湖帶給區域環境的影響程度。
5、P.5-18~P.5-21，「財務面評估」與「經濟面評估」兩者是否合而為一較宜，請再考慮。	本計畫中所謂的財務面指的是實際上需要因應的支出，包括工程費、維護費、利息等等，而經濟面著重的尚有其他有形和無形的效益，包括供水收入、提供

審查意見	辦理情形
	棲地的價值等等。
6、P.7-24~P.7-37 名為「景觀生態為標的」(P.7-24)或「生態景觀系統」(P.7-25)，文字中未包含任何「景觀因子」，請補充。	本計畫考量的三個標的之一為生態景觀標的，目前常用以評估生態及景觀的指標均需要實際調查資料方能求得，因此僅能建議規劃原則，且考量湖體之結構在建造後便不易修改，而湖體週遭之綠地和棲地營造則可以調整，因此在規劃時期建議以水資源永續經營目標「營造一個健康的水環境」來著手，此部分的說明已增修於報告第伍章第三項。
7、P.7-43~P.7-44，有關「財務面評估」與「經濟面評估」，請補充量化結果之比較。	已將本模擬案例之於「財務面評估」與「經濟面評估」項目之結果增修於第柒章。
8、P.8-1 第八章未見實質內容，請補充於期末報告修正稿。	謝謝委員指正，已補充。
9、P.9-1 第九章請補充說明技術轉移及教育訓練之辦理成果。	本計畫關於技術轉移及教育訓練將於12/6舉行，該章並在計畫主辦單位建議下刪除，另行製作講義。
10、報告中部份引用文獻之出處未列在 P.11-1 參考文獻中，例如 P.2-8(施鴻志，1997)，(DETR，1997)，P.2-11 (Moshe，2003)，(蘇丁92 國科會計畫)，P.3-8 (曹先紹，湖泊與水庫生態)，P.4-12 (李麗雪等，2002)，P.5-14 (Jorgensen，1994)，P.6-4 (陳明業，2001)，P.7-28 (黃建智，2002) 等。	謝謝委員指正，已修正。
11、P.7-8 及 P.7-29 表內文字不清楚，請重新打字。	謝謝委員指正，已修正。
12、本報告之打字編排格式前後不一，不少錯	謝謝委員指正，已修正。

審查意見	辦理情形
別字，內容不盡完善，部份工作未交代完整，建議本期末報告（初稿）修正後再審。	
五、朝陽科技大學建築系何友峰教授：（書面意見）	
<p>1、部份用字錯誤，或用詞未能統一，例如：</p> <p>(1) 文中有關「生態景觀」標的一詞，或有僅使用「生態」，建議統一之。</p> <p>(2) 文中有關「優養化」一詞，能未能依據文化大學景觀系陳秋楊教授之建議修正，尚撰寫為「優氧化」，建議修正之。</p> <p>(3) 文中有關「補注地下水」一詞，尚有誤寫為「補助地下水」，建議修正之。</p> <p>(4) 第九章工具名稱「Vensim」誤寫為「Vinsim」，建議修正之。</p>	<p>謝謝委員指正，已修正。</p>
<p>2、人工湖系統概念，與各項標的系統說明的疑慮：</p> <p>(1) 從系統觀分析多功能人工湖，究竟是單一的人工湖系統，同時滿足不同的標的需求？還是誠如本文 3.2 節所言，因為不同的標的，結果會有不同的人工湖系統？</p> <p>(2) 從本文 P.7-37 頁「當以系統動力學來同時考量多功能人工湖系統三個標的時，滯洪標的可視為是水源運用標的的內之一項特殊操作方式...」。以此邏輯思考，不同標的的人工湖系統，是否確實存在不同的組織單元？換句話說，多功能人工湖的系統是否可以單一化？亦即人工湖本質上均可滿足水</p>	<p>(1)若由系統單元組成圖來看，不同的標的有可能會有相同的單元組成，然而因為場址、操作方式等的不同，因此在各單元內的水利設施及操作規則仍會呈現差異。</p> <p>(2)誠如委員所說，不同標的之人工湖系統，可能會有不同的組織單元，但若是一個具有不同標的之人工湖系統，便需要瞭解要滿足不同標的之水利設施和操作方式為何？以溢流口為例，對水源運用標的來說，溢流口高度可能會在湖體上方，但若是滯洪標的，則會是在湖體下方為佳，然而為了生態維持水量，必</p>

審查意見	辦理情形
<p>源運用、滯洪、生態景觀三種標的，但同時受限於人工湖規模、區位條件等影響，造成三種標的強度不一，遂形成人工湖的不同特色。</p>	<p>須稍微提高溢流口位置，因此為了滿足多標的之經營，則可以再不同高度設置溢流口，以閘門來控制。若以組成單元來看，不論任何標的，雖然溢流口位置不同，但都屬於排水單元，然而不同的標的其設計方式卻不相同。</p>
<p>3、工具符號錯誤，或工具語言應用不一，建議依據選用工具軟體統一之，例如：</p> <p>(1) 本文 P.6-2 頁，圖 6.1-4 之負向符號「-」，應為正向符號「+」建議研究單位研究改正之。</p> <p>(2) 本文 P.6-3 頁，表 6.1-1 與圖 6.1-5 圖形應能相對照，或建議可刪除 Stella 工具部份之說明，僅保留本研究所選用的工具說明即可。</p> <p>(3) 本文第七章中，相關模擬圖均採用 Vensim 軟體圖示，但是相對應的函數說明表中變數性質的說明，卻是 Stella 軟體語言，建議研究單位依據選定的軟體工具統一之。</p>	<p>(1) 已修正於報告第陸章及第柒章。</p> <p>(2) 本研究選用 Vensim 軟體，已將 Stella 工具的部份刪除。</p> <p>(3) 本計畫的所有模擬結果圖均以 Vensim 軟體展現，但是 Stella 與 Vensim 同為系統動力學套件，因此部分函數表現方式雷同。</p>
<p>4、不同的模擬時間單位，在系統整合與轉換的過程，是否確實可行？請研究單位補充說明之。</p> <p>(1) 本文 P.7-19 頁對滯洪模型的操作方式：「由平時的水源標的為主要操作方式轉換為滯洪標的為主要操作方式」，理論上確實可行。然而實際模型轉換時，因本研究水源標的的模擬時間為「日」，滯洪標的的模擬時間</p>	<p>(1) 誠如委員所述，在操作上，當有暴雨預報時，便停止水源運用的操作轉而為滯洪的操作，因此在操作上的轉換是可行的。對於模式操作來說，由於兩個標的的觀察時間尺度是不同的，因此若在水源運用標的中，則無法看到以小時呈</p>

審查意見	辦理情形
<p>為「小時」，不同的模擬時間單位，在系統整合與轉換的過程，是否確實可行？請研究單位補充說明之。</p> <p>(2) 本文 P.7-42 頁滯洪生態之系統動力模型圖，理論上確實可行。然而在系統整合時，研究單位同樣將面臨不同模擬時間單位的問題，是否確實可行？請研究單位補充說明之。</p>	<p>現的暴雨操作模式。</p> <p>(2)基於本模擬案例在設計時，是以暴雨來臨時便停止水源操作，因此滯洪操作與水源運用操作並不會同時出現，因此不同的時間表現對此模擬並無衝突，而生態景觀的模擬則可以採日或小時均可。</p>
<p>5、模型交代不明處，與模式效度應強化說明：</p> <p>(1) 本文第七章相關之模擬結果圖的縱向座標，均未標示，建議研究單位補充修正之。</p> <p>(2) 本文圖 7.2-16 因果回饋圖與圖 7.2-17 系統動力模擬圖，出現光線限制的差異，此項參數為何？文中並未解釋，請研究單位補充說明之。</p> <p>(3) 模式效度的驗證，建議以實際的地點或案例進行模擬測試，以利從實測地點的實質水量變化或經營管理模式等層面，進行模式振盪型態、時相關係、週期長短等方面的評估驗證。</p>	<p>(1)已將模擬結果圖之標示加上，如第七章。</p> <p>(2)生態景觀系統因果回饋已修正，並於相關文章內加註說明。</p> <p>(3)謝謝委員的建議，但本計畫為一先驅性的研究，委員所建議部分不在本計畫的工作項目內。</p>
<p>6、研究成果的連貫性，在系統動力模式章節形成落差。</p> <p>(1) 本研究建立的多功能人工湖整體系統動力模型，目前只對水量、水質部份建立模型模擬，此結果與「7.3 節整體評估」所提出的四大評估項目：技術面、財務面、經濟面、環境影響面之</p>	<p>(1)目前著重技術面包含三個標的間關係整合，建議未來將財務面、經濟面、環境影響面之要求也整合到模型中。</p>

審查意見	辦理情形
<p>要求，模型僅能滿足技術面的評估，故建議研究單位審酌將後三者的評估要項整合，強化系統動力模型的功能。</p> <p>(2) 第三、四、五章之系統功能、規劃設計原則、量化評估方式，究竟哪些功能可以利用系統動力模式建立模擬？哪些功能是无法以模式建立？建議應由研究單位完整說明之。</p> <p>(3) 從「永續經營」的觀點來看，誠如本文 P5-16 頁對財務觀點的陳述，應將與財務相關的因子，納入系統動力模型，以觀察在不同技術面參數改變後的財務變化。</p>	<p>(2)請委員參考第陸章，本計畫透過系統動力學量化評估人工湖模擬案例及驗證其規劃設計原則。</p> <p>(3)由於本計畫為模擬假設案例，財務評估方法雖以淨現值做為評估亦可當作財務評估之依據。未來將針對真實系統將經濟及財務納入系統動力模式考量。</p>
<p>六、水利署葛武松副工程司：</p>	
<p>1、茲提供新十大建設四大人工湖基本資料(另附)請交大配合修正。另有關“平原水庫”字請修正為“平地水庫”。</p>	<p>謝謝委員指正，已修正。</p>
<p>2、期末報告誤植部份(如 P2-3 參察人工湖報告日期)請交大自行仔細核對。</p>	<p>謝謝委員指正，已修正。</p>
<p>3、本計畫期末報告前段章節已對多功能人工湖及其標的有所定義，惟對另一重點「永續經營」缺乏開宗明義之說明而報告各章節名稱亦未出現「永續經營」。「永續經營」應係原規劃設計之功能與標的能永久經營，包括技術與財務，本計畫如能在技術上能永久經營即可。</p>	<p>已將適用於多功能人工湖永續經營的定義重新彙整於第貳章最後一部分。</p>
<p>4、期末報告請參照規定格式，結論與建議請放置最前面，並請增列中英文摘要。</p>	<p>謝謝委員指正，已增加於報告中。</p>

審查意見	辦理情形
5、模擬案例系統動力分析僅以單一年代表性恐不足。又滯洪操作之暴雨是以已知實際暴雨或氣象局預測豪雨為基準？該操作基準影響水源甚大。又本案例仍應考量蒸發。另地下水入滲條件應予說明。	本模擬案例是以新市站歷年中選定幾場降雨量大的一年，其目的要突顯水源及滯洪操作的變化。滯洪操作是以中央氣象局發布豪雨特報前 24 小時即轉成滯洪標的操作。由於滯洪操作為水源操作的特殊情況，故影響不大。由於本模擬案例為假設案例，故把蒸發項目忽略。
七、南區水資源局彭合營副局長：	
1、P2-11 較淺人工湖或淺型人工湖請能一致。	謝謝委員指正，已修正。
2、生態景觀量化以總磷評估指標，但總磷應與優養化指標與生態或景觀有部份之分別，高屏大湖當初未考量之景觀而需再補充，與實務上有一段距離。	本研究考量人工湖的湖體內生態景觀環境受限於人工湖之結構、範圍、坡度、底床等條件，因此於人工湖建造之後便不易修改，而人工湖週遭之棲地和綠化植栽則可以在人工湖開始營運後再作調整，故建議上述生態景觀評估指標值可以在多功能人工湖開始營運後，配合環境監測計畫後求得。故於模擬案例中僅以總磷濃度當評估指標。
3、P.5-23 環境影響評估依環評法蓄水量為 500 萬噸，將來規劃之五大湖大概均需辦理，此項目費時費力，請能多加著墨，以排除開發最大之抗爭阻力。	環境影響評估包含不同層面之整體評估，本研究列出作為多種定性及定量之優點，可供未來規劃之參考。
4、高屏大湖開發面積為 590 公頃，但該計畫為 700 公頃請再確認。	謝謝委員指正，已修正。
5、結論與建議請列在報告前面，並加摘要。	謝謝委員指正，已修正。
6、模擬時間 P.22~25 以 372 天分析，而另入流量 P.26~29 是否因一場之暴雨分佈為何採 48	模擬時間已修正成 365 天。 本計畫對暴雨模擬時，其操作方式為暴

審查意見	辦理情形
小時，若以越域引水為水源之部份之最大影響因子會以進流量為評估，而非降雨。	兩來臨前一天將人工湖蓄水量排放到生態維持量，然後在配合暴雨來臨當天，因此為 48hrs。
八、水利規劃試驗所謝所長勝彥：	
1、本報告在評估標準建立方面似未完整，能否在系統中完整建構。	評估標準建立步驟包含蒐集各標的評估指標相關資料、選定評估指標、系統建立及模擬與指標量化及評估等步驟，相關敘述如第伍章。
2、文章中在滯洪評估上，係以滯洪量為考量，似應該以水位、洪峰為主要考量因素。	本計畫對於滯洪選用滯洪效益為評估方式，公式於報告 p.72 中，主要考量因素為洪峰量。
九、水利規劃試驗所水資源規劃課彭瑞國課長：	
1、本計畫為多功能人工湖“永續經營”研究，但文章卻少有著墨，請以專章(節)加以述明。	關於人工湖永續經營定義，已彙整增加於報告第貳章 p.24-29 及第肆章(p.42 起)之規劃設計原則。
十、水利規劃試驗所灌排課周志興副工程司：	
1、缺期初報告審查意見及辦理情形。	謝謝委員指正，已增加於報告附錄中。
2、人工湖在降雨達 20mm 開始入流，入流時機是否過早，無法確保滯留洪峰流量（案例模擬降雨 300mm 為主）。	本計畫模擬案例中，利用不同門檻值之情境模擬，討論後發現以 20mm 入流操作方式之滯洪效益為佳，其說明於報告第柒章。
3、本研究主要針對中小型人工湖為主，由本研究成果是否亦可適用於大型人工湖或需再針對某些變因進行評估，請補充說明於結論與建議內容中（容量、入滲、水源補助、蒸發、池深）。	遵照辦理，已說明於結論與建議中。
十一、水利規劃試驗所水資源規劃課黃建明助理研究員：	
1、有關委託工作項目中一技術移轉教育訓練，請乙方於會後擬定講授課程表，送本所簽辦。	此項目已在進行當中。

審查意見	辦理情形
2、本次審查後所修正之報告書的格式及編排請依本所規定(由本所提供資料);文中所呈現圖表務求清晰(ex:P.7-8表7.2-1請重打)。	謝謝委員指正,已修正。
3、(1)P.2-4表2.2-1中所列有關雲林大湖部份多所錯誤,請修正。 ①主辦單位:經濟部 → 雲林縣政府 ②佔地面積:800公頃 → 1600公頃(人工湖區600公頃) ③預期效益:補注地下水1200萬噸/年 → 277萬噸/年 (2)P.2-5蒐集國內人工湖相關計畫:I麥寮人工湖可行性規劃檢討 經濟部水資源局 → 經濟部水利署水利規劃試驗所	謝謝委員指正,已修正。
4、P.4-8—水源運用標的規劃原則共建議5項,其中第5項(區域內土地利用情況檢討)僅建議參考第3項(水質維護)所列5項作水質上檢討,除水質外應再補充研究。	謝謝委員指正,已修正。
5、P.4-11—有關滯洪標的規劃原則在表4.2-1中建議3項,但在下面文字敘述只列前2項,缺少第3項(植被的控制),請補充。	謝謝委員指正,已修正。
6、P.5-1第10~11行所提此段文字請說明出處。	謝謝委員指正,已修正。
7、P.5-11~P.5-12有關3.選定滯洪評估指標,依文中所述是計算滯洪效益,再參考表5.2-1所列6項(統計實際案例及實驗室資料),將滯洪標的評估指標值界定在15~45之間,這兩者之間有何關係?如果一個模擬案例所計算滯洪效益不在所界定15~45之間,又代表什麼?此外第4項應該是量化分析及評估。	關於滯洪標的評估指標之界定,請參照第五章第二節,透過文獻收集歸納出滯洪效益須大於18%,對於本研究之滯洪標的才具其意義。
8、P.5-14第3點系統建立及模擬 → 選定生態	謝謝委員指正,已修正。

審查意見	辦理情形
景觀評估指標。	
<p>9、(1)P.7-1：1.7.1 節模擬案例設計：在陳述模擬時所需要之基本資料前請先將所模擬對象（南科第一期 A 滯洪池）做背景資料說明，讓讀者對模擬案例有初步了解。</p> <p>(2)模擬之基本資料第 5 點假設生態基本維持水位為 30 公分；景觀維持水位為 1 公尺，為何設定這樣水位？與基地面積、水深有關嗎？</p>	<p>(1)已補充基本背景資料於 p.95-96。</p> <p>(2)目前國內的生態景觀教學池大都以水深為數十公分為基準，故本模擬案例以 30 公分為生態基本維持水位維持週遭生態環境平衡。為達人工湖景觀視覺效果，故景觀維持水位為 1 公尺，將來若實際操作時可依季節變化不同而訂定出不同水位規線的準則。</p>
<p>10、P.7-12 圖 7.2-4（入流量模擬結果圖）是模式分析時之輸入資料，是用何種方法推估，又為何要採用這樣方法，能否由某一模擬時距之實際降雨資料推估入流量？</p>	<p>本研究以實際降雨資料推估入流量，其估算方法參考南科滯洪池所採用美國水土保持局(U.S Soil Conservation)開發之 SCS 曲線號碼法估算降雨損失。</p>
<p>11、第八章—三維動畫模擬整章只列了 8 行文字說明，請再補充內容，模擬成果的相關圖表可以呈現；第九章—技術移轉教育訓練整章請刪除。</p>	<p>謝謝委員指正，已修正。</p>
<p>12、第十章—結論與建議請列於摘要之後，並再加強內容，對於後續應繼續辦理工作項目或研究課題請在建議部份提出。</p>	<p>謝謝委員指正，已修正。</p>
<p>13、本報告書另有 40 多處書寫不妥及錯誤，請逐頁修正。</p>	<p>謝謝委員指正，已修正於相關章節。</p>

附錄 D

主要研究人員名單及擔任工作

附錄 D、主要研究人員名單及擔任工作

姓名	服務單位	職 稱	本計畫中擔任工作
張良正	國立交通大學土木工程系	教授兼系主任	計畫主持人
林幸助	國立中興大學	副教授	協同主持人
林鎮洋	國立台北科技大學土木工程系	副教授	協同主持人
蘇惠珍	逢甲大學營建及防災研究中心	研究助理教授	協同主持人
曾晴賢	國立清華大學生物資訊與結構生物研究所	副教授	生態景觀標的顧問
陳宗鵠	中華技術學院建築工程系	教授	生態景觀標的顧問
單信瑜	國立交通大學土木工程系	副教授	水源運用標的顧問
葉克家	國立交通大學土木工程系	教授	滯洪標的顧問
何智超	國立交通大學土木工程研究所	博士候選人	研究員
朱宏杰	國立交通大學土木工程研究所	博士班研究生	研究助理
李任馥	國立交通大學土木工程研究所	碩士班研究生	研究助理
林君儀	國立交通大學土木工程研究所	碩士班研究生	研究助理
蘇昀柏	國立交通大學土木工程研究所	碩士班研究生	研究助理
趙幼辰	國立交通大學土木工程研究所	研究助理	研究助理
林呈勇		動畫工程師	動畫製作工程師

國家圖書館出版品預行編目資料

多功能人工湖永續經營研究 = Study on sustainable utilization of multi-purposes artificial lakes / 張良正等編著
-- 初版. -- 台中縣霧峰鄉：經濟部水利署水利規劃試驗所，2004 [民 93]
面； 公分
參考書目：面
ISBN 957-01-9063-9(平裝)
1. 湖泊
443.5 93022808

多功能人工湖永續經營研究

發行人：謝勝彥

發行所：經濟部水利署水利規劃試驗所

地 址：台中縣霧峰鄉吉峰村中正路 1340 號

電 話：(04) 23304788 傳真：(04)23300282

編 著：張良正、蘇惠珍

地 址：300 新竹市大學路 1001 號

電 話：(035)727293

傳 真：(035)716257

初 版：2004 年 12 月

GPN：1009304013

ISBN：957-01-9063-9

版權所有，翻印必究