

國立交通大學

土木工程研究所

碩士論文

多元化水資源策略模擬與經濟財務分析

**Policy Assessment and Financial Analysis for
Diversified Water Resources System Planning**



研究生：蘇昱維
指導教授：張良正教授

中華民國九十七年七月

多元化水資源策略模擬與經濟財務分析

Policy Assessment and Financial Analysis for Diversified Water Resources System Planning

研究生：蘇昱維 Student: Yu W. Sue

指導教授：張良正 博士 Advisor: Dr. Liang C. Chang



A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Civil Engineering

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

多元化水資源策略模擬與經濟財務分析

學生：蘇昱維

指導教授：張良正 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

環境生態保育意識的提昇，使得傳統上依賴單一大型水工結構物的開發，以解決區域水資源需求的做法，已愈來愈不可行。因此，因應水源需求量與質的提高，多元化水資源的開發已是未來的趨勢，惟此多元化水資源開發的規劃分析，牽涉到各種不同開發策略之各種組合分析，因此相較以往的水資源規劃問題，在工程效益或是經濟財務上的分析，其複雜度皆大為提高，因此需要一不同以往的分析方法與工具，以輔助進行各種開發方案的分析，建議出可行且較佳的做法。

本研究目的在以系統動力學為核心理論，建立整合性區域水資源分析平台，並以此分析平台配合水資源永續利用的觀點，以台中地區為研究區域，進行各種水資源改善策略之評估，包括各種策略對系統的動態影響及策略風險。研究中將以多種永續評估指標為評估標準，其中包含缺水指數，地面水利用強度以及民生需求量、農業需求量和工業需求量等三項需求面指標。在經濟財務量化分析方面，為降低整體模型的複雜性，本研究在水量調配動力模型的基礎上，透過動態連結函式庫 (Dynamic Link Library, DLL) 的方式嵌入經濟財務分析模組，以建置完整的分析模式。

模擬結果顯示，同時考量越域引水（含后里淨水場擴充）、農業用水短期移用、管線汰換及水價調整之組合型改善策略最能有效降低各永續評估指標超出標準之風險，且經濟淨效益亦是最高。上述成果

亦證明，本研究所建立之整合性區域水資源分析平台，確實可以提供更完整而清晰之參考資訊，以作為決策參考。



Policy Assessment and Financial Analysis for Diversified Water Resources System Planning

Student : Yu-Wei Sue Advisor : Dr. Liang-Cheng Chang

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

Due to rising environmental and ecological concerns, water demand issues often cannot be resolved using large-scale structures. Diversified water resource development approaches involving various water resource measures are thus being considered in order to resolve quantity and quality problems in water resources. However, diversified water resource development involves analyzing various scenarios involving various combinations of potential measures. Water resource planning problems become increasingly complex factors when analyzing a project's feasibility or financial benefit.

This study proposes a policy assessment platform based on system dynamics (SD) for integrated system planning of water resources. The system is then applied to measure the performance of various policies on sustainable water resource management in the Taichung area in Taiwan. Several indices and their upper constraints are proposed for assessing quantitative policies for sustainable water resource management. These

indices are shortage index, depleting ratio of river water and water demands for industry, agriculture and municipal. The policy assessment investigates the dynamic impact of policy on sustainable indices and the risk of exceeding the constraints for the policies. To reduce the complexity of model development, the financial analysis module is developed in C++, and linked into the system through a Dynamic Link Library (DLL).

Cases studies indicate that constructing new water pipes for cross-basin water distribution, installing HOWLI water treatment plan installation, decreasing agricultural water demand, facilitating pipeline renewal and increasing water prices reduce the risk of exceeding the selected indices and have largest economic benefits. Results of this study further demonstrate that the proposed policy assessment platform can assess effectively the performance of various scenarios of policies combination under an integrated water resource management framework for supporting decision-making.

謝 誌

感謝吾師張良正教授對於本論文的細心指導及求學階段中對學生的待人處事與學問研究的啟發，使得學生有如醍醐灌頂。承蒙口試委員台灣大學徐年盛教授、中央大學吳瑞賢教授、成功大學周乃昉教授及楊朝仲博士細心認真指正拙文，並於口試期間提出相當寶貴的意見，使本文更加完備，在此謹致衷心謝意。。

而在研究室方面必須先感謝何智超學長，耐心的指導我一步步完成論文，計畫上的專業知識及無私的奉獻值得令我學習、陳宇文學長及蔡瑞彬學長的專業知識及幽默對話，著實的讓我成長不少、葉明生學長的思考邏輯、朱宏杰學長的剛正不阿態度、陳鴻輝學長廣大人脈關係，都讓我欽佩，張老師底下的學生，個個都是英雄豪傑。有幸認識各位學長，深感驕傲。

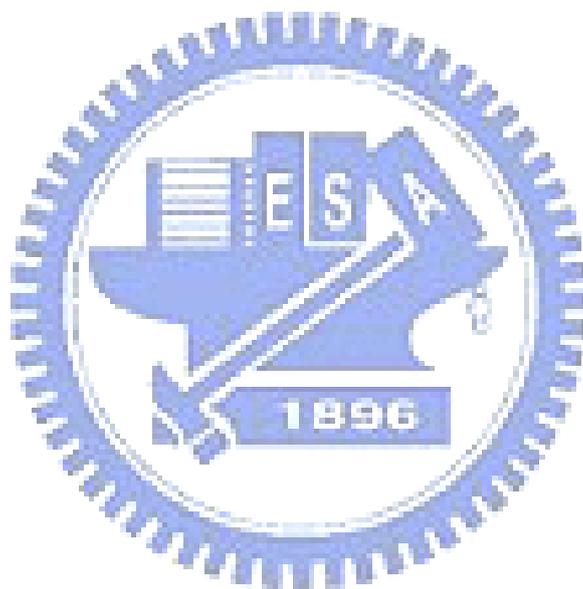
接著我要感謝碩士班的同伴：小蘇、浚瑋、任馥、君儀、正偉、茹姐、怡釗、全哥、嘉晉、詹兄、牛奶車等學長姐們經驗的傳承、學術與計畫上的指導，還有程翔助理、阿牛、水餃、韋圻、怡伶、瀚聖、阿海、冠宇等學弟妹，以及同窗好友柏成與為善的相互勉勵，在我研究所期間帶來不少歡樂的回憶，謝謝你們，祝福你們順利畢業。

最後非常感謝我的家人以及各位親朋好友對我的全力支持，在我失意的時候，替我加油打氣，僅將此研究現給我最愛的家人及周圍支持、關心我的人。

章節目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
謝誌.....	V
章節目錄.....	VI
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	X
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
第三章 研究方法.....	8
3.1 水資源調配系統動力模式基本概念.....	8
3.2 經濟財務分析相關理論.....	14
3.2.1 成本效益評估指標.....	15
3.2.2 財務面成本效益分析.....	16
3.2.3 經濟成本效益分析.....	22
3.3 外部模組與 VINSM 之耦合（動態連結函式庫，DLL）.....	25
第四章 台中地區多元化水資源策略模擬與經濟財務分析模式建立.....	32
4.1 研究區概述.....	32
4.2 策略評估指標.....	41
4.3 多元化水資源調配系統動力模型建立.....	46
4.3.1 模式整體架構說明.....	46
4.3.2 大甲溪與大安溪現況系統動力模型建立.....	49
4.3.3 供給面策略水源調配系統動力模型建立.....	51
4.3.4 需求面策略水源調配系統動力模型建立.....	57
4.4 經濟財務分析模組建立.....	66
4.4.1 供給面策略經濟財務分析模組建立.....	67
4.4.2 需求面策略經濟財務分析模組建立.....	83
4.5 Vensim 使用者介面建置.....	92
第五章 各種開發策略組合之模擬分析.....	95
5.1 單一策略模擬結果.....	96
5.2 單一策略敏感度分析.....	99
5.2.1 公共用水缺水指數敏感度分析.....	101
5.2.2 河川水利用強度敏感度分析.....	104
5.2.3 需求面永續指標敏感度分析.....	108

5.2.4 財務淨效益敏感度分析.....	111
5.2.5 經濟財務淨效益敏感度分析.....	114
5.3 複合策略模擬結果.....	117
5.4 財務面分析模擬結果.....	124
5.5 風險分析評估.....	126
第六章 結論與建議.....	131
6.1 結論.....	131
6.2 建議.....	132
參考文獻.....	134



圖目錄

圖 1.3 分析流程圖.....	3
圖 3.1-1 系統動力流圖示意圖.....	9
圖 3.1-2 水資源調配系統動力模型的建構流程.....	12
圖 3.1-3 典型水資源供需示意圖.....	12
圖 3.1-4 典型水資源供需因果回饋圖.....	13
圖 3.1-5 典型水資源供需系統動力流圖.....	13
圖 3.2 內外部成本效益.....	15
圖 3.2.2-1 成本現值計算流程圖.....	22
圖 3.3-1 Visual C++ 6.0 之程式編譯展示.....	27
圖 3.3-2 VENSIM 開啟讀入 DLL 檔之介面展示 (一).....	28
圖 3.3-3 VENSIM 開啟讀入 DLL 檔之介面展示 (二).....	29
圖 3.3-4 以 VENSIM 載入外部函式之介面展示.....	31
圖 4.1-1 大安溪、大甲溪流域圖.....	35
圖 4.1-2 台中地區現況水源調配系統圖.....	36
圖 4.1-3 德基水庫發電運轉規線圖.....	38
圖 4.1-4 德基水庫高程-面積-容量曲線圖.....	39
圖 4.3.1-1 台中地區需求成長與現況供需圖.....	48
圖 4.3.1-2 水量運用與經濟財務分析整合架構圖.....	49
圖 4.3.2 大甲大安聯合營運之水源調配系統動力模型示意圖.....	50
圖 4.3.3-1 台中人工湖位置圖.....	52
圖 4.3.3-2 台中人工湖水源演算模擬之系統架構圖.....	53
圖 4.3.3-3 台中人工湖水源調配系統動力模型.....	54
圖 4.3.3-4 越域引水之水源調配示意圖.....	55
圖 4.3.3-5 大台中地區水資源系統圖.....	56
圖 4.3.3-6 后里淨水場系統動力模型.....	57
圖 4.3.4-1 自來水管線汰換系統動力模型.....	58
圖 4.3.4-2 水價調整之系統動力模型.....	63
圖 4.3.4-3 大甲溪農移用水之系統動力模型.....	65
圖 4.3.4-4 大安溪農移用水之系統動力模型.....	66
圖 4.4.2-1 農移用水模式建置流程.....	88
圖 4.5-1 系統動力模式模擬操作視窗.....	94
圖 5-1 策略的分析流程.....	96
圖 5.2.1-1 人工湖(含淨水場)策略對公共用水缺水指數的敏感度分析結果.....	102
圖 5.2.1-2 越域引水(含淨水場)策略對公共缺水指數的敏感度分析結果.....	102
圖 5.2.1-3 管線汰換策略對公共缺水指數的敏感度分析結果.....	103
圖 5.2.1-4 農移用水策略對公共缺水指數的敏感度分析結果.....	103

圖 5.2.1-5 水價調整策略對公共缺水指數的敏感度分析結果	104
圖 5.2.2-1 人工湖(含淨水場)策略對河川水利用強度的敏感度分析結果	105
圖 5.2.2-2 越域引水(含淨水場)策略對河川水利用強度的敏感度分析結果	106
圖 5.2.2-3 管線汰換策略對河川水利用強度的敏感度分析結果	106
圖 5.2.2-4 農移用水策略對河川水利用強度的敏感度分析結果	107
圖 5.2.2-5 水價調整策略對河川水利用強度的敏感度分析結果	107
圖 5.2.3-1 人工湖(含淨水場)策略對需求面永續指標的敏感度分析結果	109
圖 5.2.3-2 越域引水(含淨水場)策略對需求面永續指標的敏感度分析結果	109
圖 5.2.3-3 管線汰換策略對需求面永續指標的敏感度分析結果	110
圖 5.2.3-4 農移用水策略對需求面永續指標的敏感度分析結果	110
圖 5.2.3-5 水價調整策略對需求面永續指標的敏感度分析結果	111
圖 5.2.4-1 人工湖(含淨水場)策略對財務淨效益的敏感度分析結果	112
圖 5.2.4-2 越域引水(含淨水場)策略對財務淨效益的敏感度分析結果	112
圖 5.2.4-3 管線汰換策略對財務淨效益的敏感度分析結果	113
圖 5.2.4-4 農移用水策略對財務淨效益的敏感度分析結果	113
圖 5.2.4-5 水價調整策略對財務淨效益的敏感度分析結果	114
圖 5.2.5-1 人工湖(含淨水場)策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果	115
圖 5.2.5-2 越域引水(含淨水場)策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果	115
圖 5.2.5-3 管線汰換策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果	116
圖 5.2.5-4 農移用水策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果	116
圖 5.2.5-5 水價調整策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果	117
圖 5.5-1 C4 策略風險分析雷達圖	128
圖 5.5-2 C5 策略風險分析雷達圖	128
圖 5.5-3 C6 策略風險分析雷達圖	128
圖 5.5-4 C7 策略風險分析雷達圖	128
圖 5.5-5 C8 策略風險分析雷達圖	129
圖 5.5-6 C9 策略風險分析雷達圖	129
圖 5.5-7 C10 策略風險分析雷達圖	129
圖 5.5-8 C11 策略風險分析雷達圖	129
圖 5.5-9 C12 策略風險分析雷達圖	130
圖 5.5-10 C13 策略風險分析雷達圖	130
圖 5.5-11 C14 策略風險分析雷達圖	130

表 目 錄

表 4.1-1 德基水庫發電運轉規線表	38
表 4.2-1 水資源永續指標分類表	42
表 4.2-2 永續指標分類項目	43
表 4.3.4-1 台灣地區漏水率現況分析	59
表 4.3.4-2 各國用水需求彈性	62
表 4.3.4-3 水源情勢分析缺水等級分類表	65
表 4.4.1-1 人工湖興建期間分年經費表	68
表 4.4.1-2 人工湖營運期間財務成本支出概況(1).....	69
表 4.4.1-3 人工湖營運期間財務成本支出概況(2).....	70
表 4.4.1-4 人工湖營運期間財務成本支出概況(3).....	71
表 4.4.1-5 越域引水工程興建期間財務成本概況	73
表 4.4.1-6 越域引水策略營運期間財務成本支出概況 (1)	74
表 4.4.1-7 越域引水策略營運期間財務成本支出概況(2).....	75
表 4.4.1-8 越域引水策略營運期間財務成本支出概況(3).....	76
表 4.4.1-9 淨水場擴充工程興建期間財務成本概況	78
表 4.4.1-10 淨水場擴充 (一期) 工程營運期間財務成本支出概況(1).....	79
表 4.4.1-11 淨水場擴充 (一期) 工程營運期間財務成本支出概況(2).....	80
表 4.4.1-12 淨水場擴充 (二期) 工程營運期間財務成本支出概況(1).....	81
表 4.4.1-13 淨水場擴充 (二期) 工程營運期間財務成本支出概況(2).....	82
表 4.4.2-1 台中供水區效用移轉參數推估	84
表 4.4.2-2 提昇用水效率策略興建及營運期間成本支出概況(1).....	85
表 4.4.2-3 提昇用水效率策略興建及營運期間成本支出概況(2).....	86
表 4.4.2-4 各流域灌區之耕作面積表	89
表 4.4.2-5 水旱田後續計畫台中縣各類別之休耕轉作面積分配比例	90
表 4.4.2-6 水旱田後續計畫台中市各類別之休耕轉作面積分配比例	91
表 4.4.2-7 水旱田利用調整後續計畫給付獎勵金額	92
表 5.1-1 單一策略模擬結果	98
表 5.2 單一策略敏感度分析模擬結果	100
表 5.3-1 複合策略方案組合	119
表 5.3-1 複合策略方案組合(續).....	120
表 5.3-2 複合策略模擬結果	121
表 5.3-2 複合策略模擬結果(續).....	122
表 5.3-3 可行策略列表	123
表 5.4-1 可行策略之經濟財務淨效益模擬結果	125
表 5.5-1 符合水量永續標準及經濟財務限制之可行策略風險分析結果	127

第一章 緒論

1.1 前言

臺灣地區隨著生活及經濟水準的提昇，水資源的需求在質與量上亦不斷的提高，惟隨著環境生態保育意識的升高，使得傳統上依賴單一大型水工結構物的開發，來解決區域水資源需求的做法，已愈來愈不可行。因此，除了提昇現有供水系統的利用效率外，多元化水資源的開發已是未來的趨勢，廣義而言，多元化水源的開發包括了各種開源節流的結構性與非結構性措施或方案，此種多元化水資源開發的規劃，牽涉到各種不同開發策略之組合分析，相較以往的水資源規劃問題，不論在工程效益或是經濟財務上的分析，其複雜度皆大為提高，因此需要一不同以往的分析方法與工具，以輔助進行各種開發方案的分析，建議出可行且較佳的做法。

台中地區主要有大甲溪與大安溪兩大流域來供應水源，現況供水情形為大安溪鯉魚潭水庫每日供應 50 萬噸，大甲溪石岡壩每日供應 80 萬噸，但隨著中部科學園區的進駐與人口成長，造成需水量大增，導致區域性供水調配的難度提高，因此現有供水系統的有效利用與多元化水源開發的工作已是刻不容緩，惟就永續利用的原則，水資源開發不應該再單純滿足於需求而已，應該以整個流域的觀點做整體經營與調配。

1.2 研究目的

本研究應用系統動力學建立多元化水資源開發策略分析模型，並以台中地區為研究對象，考慮詳細經濟財務分析、多種永續評估指標與風險分析評估之下，以及系統化的策略評估流程，對各種策略進行

其永續性之量化評估挑選出適當的方案。此模式可協助決策者分析各種供水策略，探討缺水量與成本之間相互影響。應用系統動力學來開發多元化水資源驗證此系統的合理性及展示其應用價值。

1.3 研究流程

本研究的流程如圖 1.3 所示，詳細解說如下所示：

1.問題定義

由於工業發展與生活水準的提升，台中的用水量在近年來顯著的增加，以現有之供水系統無法滿足其未來需求量，將導致供需失衡而產生區域性缺水的問題。本研究將以系統動力學的方法建立一兼顧水量調配與財務之水資源策略分析模型來規劃出適當的供水策略，且達到水資源永續經營的理念。

2.永續指標訂定

根據永續經營的理念，本研究考慮兩種面向，選定五種可供永續經營量化的指標，來選擇適合的策略，永續指標的訂定在第四章有詳細介紹。

3.模型建置

本研究利用系統動態學來建置台中地區供水系統，包含系統描述、因果回饋圖，本模型建置中對於經濟財務的考量是以外部的模組(DLL)方式來嵌入模型作運算，在第三章與第四章有詳細介紹。

4.策略組合分析

本研究在現有台中系統水資源調配模型上，新加入三個供給面及三個需求面策略，透由現況系統及六個策略做組合搭配，期望改善目前面臨的缺水危機，策略的組合分析在第四章有詳細介紹。

5.可行策略選定

建置好水源調配及經濟模型之後，經過系統化的策略評估流程，

對各種策略進行其永續性之量化評估，經由此流程建議出符合水量永續、經濟財務之可行策略，選定的原則在第五章有詳細介紹。

6. 風險分析

將符合各項永續指標標準的策略進行風險評估分析，以雷達圖方式表達發生超過永續標準的機率，將符合一定風險發生機率底下的各種方案挑選出來，透由經濟效益分析比較後，可挑出最佳方案。

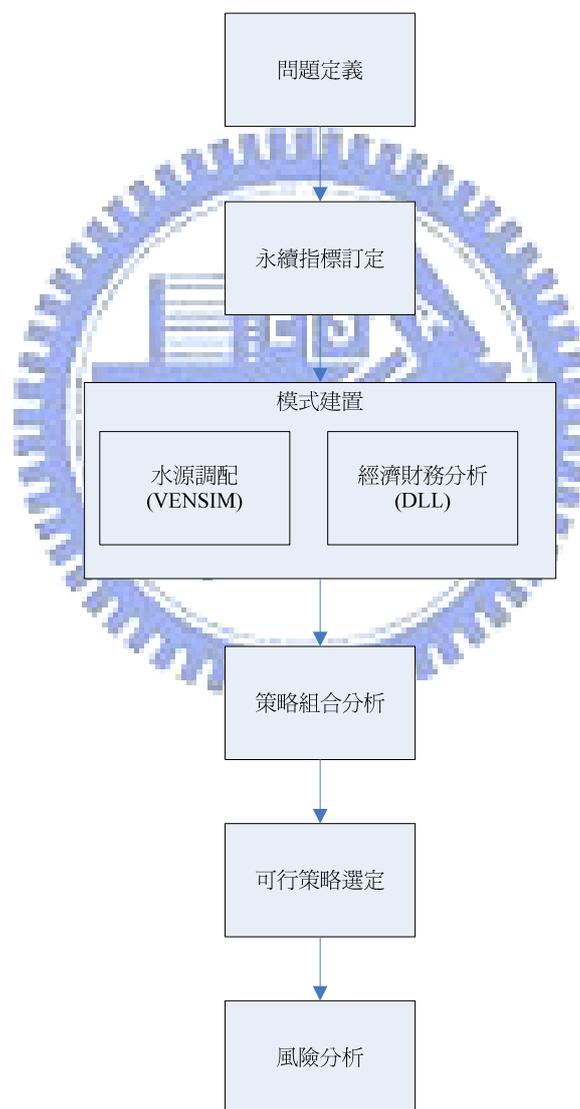


圖 1.3 分析流程圖

第二章 文獻回顧

隨著生活及工業用水需求的持續上升，區域供水調配越顯困難，區域水資源供水系統為一複雜系統，而系統內之各水庫及供水設施間應如何配合蓄水與操作，與區域的水文特性、水庫位置、容量、需水位置、需水量大小及分析標的等有關。傳統上對於水資源調配問題所用的方式有模擬法與優選法兩種方式，而系統動力學屬於模擬法的一種，其能顯示整個系統動態行為隨時間變化的特性，幫助決策者瞭解一個複雜系統的架構和特性的方法論。其最初是 Jay W. Forrester (1956)在福特基金會(Ford Foundation)與史隆基金會(Alfred P. Sloan Foundation)贊助下發展，並曾利用一個訊息傳遞的因果回饋關係，分析企業政策的制定，後來此方法進而被擴展到複雜的物理，生物學，社會學、經濟等領域。

由於系統動力學適合於應用在與時間演進有密切關係之問題，近年來應用益形廣泛，包括環境資源與環境污染、生態系統分析、工商業管理及其他離散性模擬 (Discrete simulation) 分析，(如交通號誌系統管制及大樓電梯停靠樓層使用管理等)、地表水污染模擬、水庫供水系統模擬、生態系統族群變化、大氣化學與污染傳輸及溫室氣體與全球暖化和現金流量的問題。另外，國內外學者應用系統動力學於水資源領域之研究如下：

Simonovic et al. (1997) and Simonovic and Fahmy (1999) 利用系統動力學概念建立水資源供需模型並應用在埃及地區，藉以評估氣候變遷對於水資源供需的影響情形，結果顯示水庫的蒸發對於水資源規劃是非常重要的。Stave et al. (2003) 利用系統動力學方法與水管理的概念建立拉斯維加斯水資源模型，藉由模型闡述水資源保育的重要性與價值。Ahmad et al. (2003) 利用系統動力學方法進行洪水警戒區域研

究，以加拿大曼尼托巴流域的溫尼伯地區為研究對象，結果顯示目前所劃分的洪水警戒區域可因應未來氣候變遷所造成的洪水容量。廖朝軒(1994) 對區域需水量系統作模擬與預測，將之分成生活用水與工業用水作探討。劉弘雁(1997) 以整體流域整體資源利用的觀點擬定水資源政策，利用系統動力學模擬出自然地區、土地使用、都市地區與水資源經營管理等系統之間的相互關係。陳婉瑜(1998) 利用系統動力學模擬雙溪水庫計畫供水區之目標年及需水量。詹麗梅、廖朝軒(2001) 利用系統動力學理論建立區域供水系統之模擬模式，其中包含需水量預測與用水調配模擬模式，並建立永續性評價指標體系與評價方法，以探討不同供水策略對供水系統永續性之影響。李孟璵(2002) 以高雄愛河為研究對象，利用河川水質模式，配合上游集水區的人口變化、土地使用以及降雨型態的差異，並使用系統動力學的軟體 STELLA 來建構模式模擬現況，其根據研究問題與目的，建構了閘門操控以及污水處理策略模式，並以實際資料針對模式加以驗證修改，確定模式結構正確後，評估不同的閘門操控策略以及污水處理策略方案對愛河水環境與生態環境的衝擊。蘇昀柏(2007) 提出一整合系統圖與流程圖成為系統動力流圖的新方法，並以五個水資源案例來驗證此方法之有效性，透過各種情境模擬來進一步分析系統的反應。陳禹志(2007) 以大甲溪流域為研究對象，針對各項污染源架構出因果回饋環路，模擬評估增加河川生態基流量、養豬離牧、風景區遊憩污染防治及鄉鎮污水下水道系統等相關防治方案之成效。周建宏(2007) 以系統動力學理論中之各種系統基模組合出整體的綜合治水模式，並分析各基模變數間的因果關係和趨勢型態。上述論文中提出各項水資源問題的解決方法，然而沒考量經費問題，忽略了經費對供水調度上的重要性。

黃鈺珊(2001) 以系統動力學 (System Dynamics) 為基礎，並用 STELLA 軟體進行模擬，建構高屏溪流域水資源使用與都市系統模型，並以情境分析，針對當前高屏溪流域之水資源與都市發展政策進行政策試驗，檢視其是否達到永續發展之理念，並進一步找出兼顧經濟與環境永續發展之策略。陳明業、童慶斌(2002) 建立淡水河水資源系統動力模式，研究範圍包括台北、板新、石門及基隆供水區域，針對 2002-2020 年之供需水情況，進行各項規劃方案之永續性評估。劉少華(2003) 探討汐止地區的都市發展，並加入洪災事件影響，同時也對政府的防洪措施加以評估。其以系統動力學 (System Dynamics) 為基礎，並用 iThink 電腦軟體進行模擬，建構汐止地區的都市系統與洪災模型，針對都市成長管理與防洪工程進行政策測試，檢視是否達到經濟效益，在政府相關單位進行決策前，提供可能方案的影響評估，藉以提高決策品質，減少風險。張婉如(2006) 應用系統動力學建立多元化水資源策略分析模型，以台中地區大甲溪與大安溪流域作為研究區域，分析各種供水策略並探討缺水量與成本之間相互影響。李任馥(2007) 提供高屏溪流域水量水質改善參考外，並展示用系統動力學於河川水量水質管理策略評估的可行性。上述論文中，提出水資源的解決問題與考量水工結構物的經費，以概估性的固定及操作成本來算出總成本，卻忽略了結構物的使用年限、還款方式等等較為詳細的部份。

沈維民(2004) 分析傳統水庫開發成本與新興海水淡化成本問題，並針對近十年來已開發之水資源計畫及規劃中之計畫做實證研究，有著詳細的經費計算項目。提出在興建及營運期間所需支用之總經費金額。包括規劃階段作業費、建造成本、利息、營運及維修成本等項。而建造成本則包括設計階段作業費用、用地取得及拆遷補償

費、工程建造費及施工期間利息等項目。此篇論文考量了詳細的經費項目，但未考量水量的調配以及其他多元化策略。

本研究以系統動力學為基礎，考慮多元化策略，配合詳細的經費項目，考量結構物的使用年限、還款方式(自籌經費或政府公債)、營運期間償還之金額，來作適當的水資源調配。



第三章 研究方法

3.1 水資源調配系統動力模式基本概念

系統動力學之發展

系統動力學發源於 1960 年代，美國麻省理工學院 (Massachusetts Institute of Technology, MIT) 之史隆管理學院 (Sloan School of Management) 的 Forrester 與他同事在福特基金會 (Ford Foundation) 及史龍基金會 (Alfred P. Sloan Foundation) 的贊助下，以回饋控制理論 (feedback control theory) 分析工業系統，並應用在企業系統之管理工作上。近年來系統動力學應用日益廣泛，應用之課題包括了模擬地表水污染、模擬水庫供水系統、生態系統族群變化、大氣化學與污染傳輸、溫室氣體與全球暖化和現金流量的問題。

系統動力學原理

系統動力學理論係結合控制 (Cybernetics)、系統論 (System Theory)、資訊理論 (Information Theory)、決策論 (Decision Theory)、電腦模擬 (Computer Simulation) 等理論成為一體的管理新方法、新工具和新概念。系統動力學為描述、探索和分析複雜系統內流程、訊息、組織疆界與策略的一種嚴謹的研究方法，其可透過量化的系統模擬與分析來進行系統結構與行為之設計。系統動力學是處理訊息回饋系統之動態行為的一種方法論，因此對於極複雜的動態、回饋且具時間滯延 (Time Delay) 的問題，能提供整體、長期且較週延的解決方法。

系統動力學除了強調系統與時間之連動性外，另一重要之基礎為因果之關連性，該意義有三：(1) 藉由因果關係的確認來說明系統之問題；(2) 藉由因果關係的確認將複雜之問題作簡潔而系統化之表示；(3) 藉由變數間之因果關係來說明系統之範圍。其中，因果關係之表示旨在說明兩個變數間之關係為正向或負向，進而若將一系列之因果鏈串

接成因果回饋關係環路，則可將因果關係發展為正向之因果回饋關係環路或負向之因果回饋關係環路；正向之因果回饋關係環路，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。

本研究擬以系統動力學建置流域整體營運調配模式，系統動力學以系統動力流圖（stock-flow）同時展現傳統上系統圖與流程圖的資訊，包括變數間的互動關係與系統的結構特性。系統動力流圖一般可由四個物件建構出來：存量(Stock)、流量(Flow)、箭線(Connector)以及輔助變數(Converter)，如圖3.1-1所示。

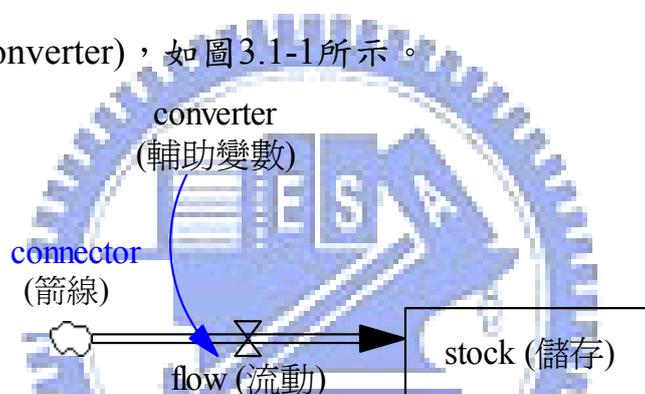


圖 3.1-1 系統動力流圖示意圖

1. 存量(Stock 或 Level)表示某一系統變數在某一特定時刻的狀態，可說是系統過去活動結果之累積，定量上即為其相關流入量與流出量差值的累積，如同水庫中儲水量即屬於一種存量。
2. 流量(Flows 或 Rate) 表示某種變量流入或流出存量 (Stock) 的快慢，對某一存量(Stock)而言，所有流入與流出該存量之所有流量(Flow)的和決定了存量變化之快慢，流量數值的大小多由其所連結的存量與助動變數來決定，水庫之入流量及放水量即屬於一種流量。
3. 箭線 (Connector 或 Arrow) 用來表示模式中變數間的因果關係。

4. 輔助變數(Converter 或 Auxiliary) 為除了流量與存量變數之外，其它會影響系統其它物件(變數)的常數或變數，如方程式中之參數，或是水庫操作中之需求量皆為輔助變數的例子。

圖3.1-2為水資源調配系統動力模型的建構流程，首先確認水資源調配系統，以釐清水工結構物的相對地理位置，水工結構物以節點表示，河川或供、引水管線則以線段表示之。因此水資源調配系統可由多個節點和多個線段組成，圖3.1-3為一典型水資源供需示意圖，包含了入流量、河川放水量、需求供水量及未控制流量等。接著根據系統圖（圖3.1-4）配合各流量的因果關係繪製因果循環圖（如圖3.1-5所示），因果循環圖之變數可區分為外部變數和內部變數，內部變數是指位於回饋上的變數，其數值會隨著回饋環屬性而變化；外部變數是指回饋環外的其他變數，其數值不受回饋環屬性改變。以圖3-1.5為例，外部變數包含入流量、水庫庫容量、淨水廠處理能力、管線限制及需求量，這些數值可由觀測資料或其他相關報告蒐集而得；內部變數則包含河川放水量，需求供水量、未控制流量以及水庫蓄水量等，其量化關係並需依序計算求得。接著進一步整合系統圖和因果循環圖，配合系統動力學的四大元件-存量、流量、輔助變數跟箭線建立系統動力流圖。最後輸入各變數間之量化數學式，即可完成水源調配系統動力模型之建置。

模式的計算程序與變數間之量化關係皆參考因果循環圖而得。首先計算下游河川放水量，其量化數學式可表示如 (1) 式：

$$OB_{k,t} = \min\left(\sum_{i \in L} I_{i,t} + S_{k,t}, R_{k,t}\right) \dots\dots\dots(1)$$

$OB_{k,t}$ 是指在t時刻蓄存節點k之河川放水量， $I_{i,t}$ 是指t時刻蓄存節點k的入流量， $S_{k,t}$ 是t時刻蓄存節點k的蓄水量，變數下標的第一個字母代表節點符號，下標的第二個字母代表時間狀態，L是指所有流入蓄

存節點k的入流線段集合， $R_{k,t}$ 表示蓄存節點k在t時刻之下游保留量，其涵蓋了生態保留水量以及下游優先水權保留量， $R_{k,t}$ 可由方程式(2)表示

$$R_{k,t} = \sum_{i \in M} DR_{i,t} + B_{k,t} \dots\dots\dots(2)$$

$DR_{i,t}$ 是下游優先水權量， $B_{k,t}$ 表示是蓄存節點k在t時刻的生態保留水量，M是指所有下游優先於K點取水之需求量($D_{k,t}$)的需求節點集合，生態基流量 $B_{k,t}$ 通常則以河川流量超越機率95%的估計算。

需求供水量可由方程式(3)來計算

$$OD_{K,t} = \min \left[\sum_{i \in L} (I_{i,t}) + S_{k,t} - OB_{k,t}, \sum_{j \in N} (D_{j,t}), Cmax_k, Pmax_k \right] \dots(3)$$

$OD_{k,t}$ 是指從蓄存節點k在t時刻之需求供水量， $D_{j,t}$ 是指t時刻於K點取水之目標需求量，N是指於K點取水之需求節點集合， $Cmax_k$ 是指於K點取水之淨水場處理能力， $Pmax_k$ 是於K點取水之淨水場處理能力的管線最大輸送容量，

若K點為非蓄水節點，則未控制流量可由(4)式推估，若為蓄水節點，則未控制流量可由(5)式推估。

$$ON_{k,t} = \sum_{K < L} I_{k,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} - Smax_{k,t}, \text{ if } \sum_{K < L} I_{k,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} > Smax_{k,t}$$

$$= 0, \text{ if } \sum_{K < L} I_{k,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} \leq Smax_{k,t} \quad (4)$$

$$ON_{k,t} = \sum_{K < L} (I_{k,t}) - OB_{K,t} - \sum OD_{k,t} \dots\dots\dots(5)$$

其中 $ON_{k,t}$ 是指蓄存節點k在t時刻的未控制流量， $Smax_{k,t}$ 是指蓄存節點k在t時刻的最大庫容體積。

蓄存節點k在下一時刻(t+1)的體積則由質量平衡來決定，可以(6)式來表示：

$$S_{k,t+1} = S_{k,t} + \sum_{i \in L} I_{i,t} - \sum_{j \in W} O_{j,t} \dots\dots\dots(6)$$

$S_{k,t+1}$ 是指蓄存節點 k 在 t+1 時刻的體積， $O_{i,t}$ 是指蓄存節點 k 在 t 時刻的出流量，其包含河川放水量、需求水量、未控制流量，W 是指從蓄存節點 k 所有的出流量集合，若節點 k 為非蓄水節點，則 $S_{k,t}$ 和 $S_{k,t+1}$ 為 0。

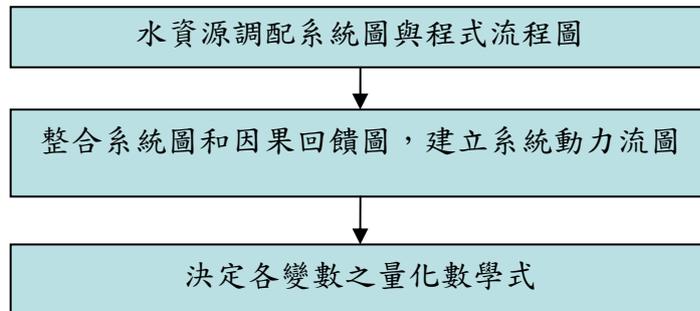


圖 3.1-2 水資源調配系統動力模型的建構流程

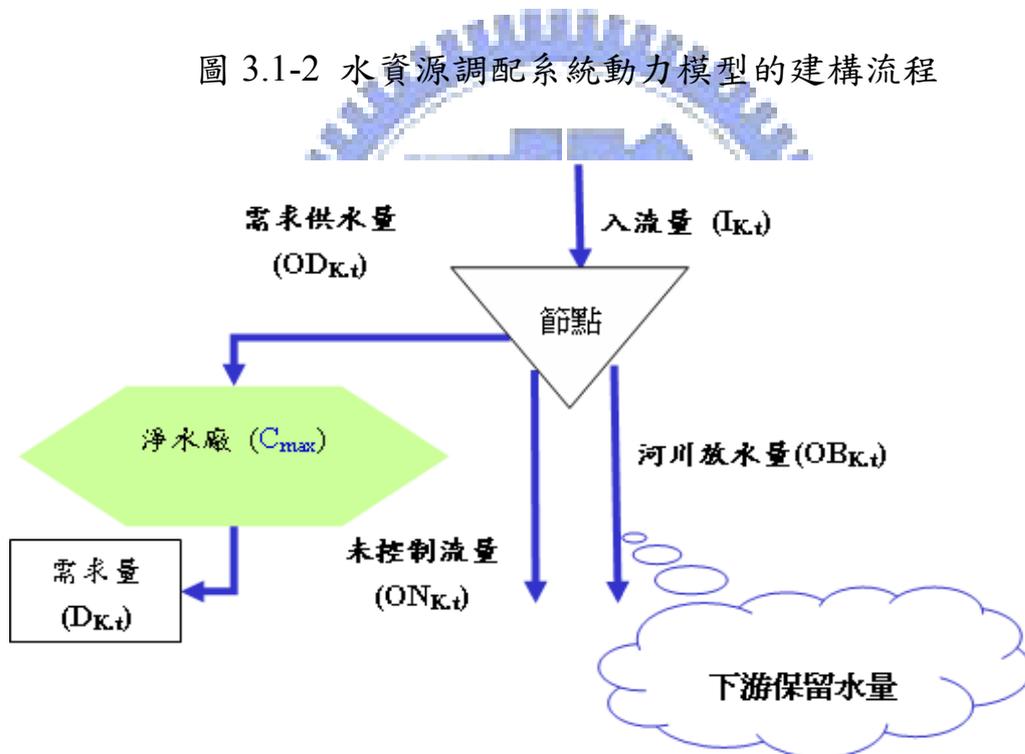


圖 3.1-3 典型水資源供需示意圖

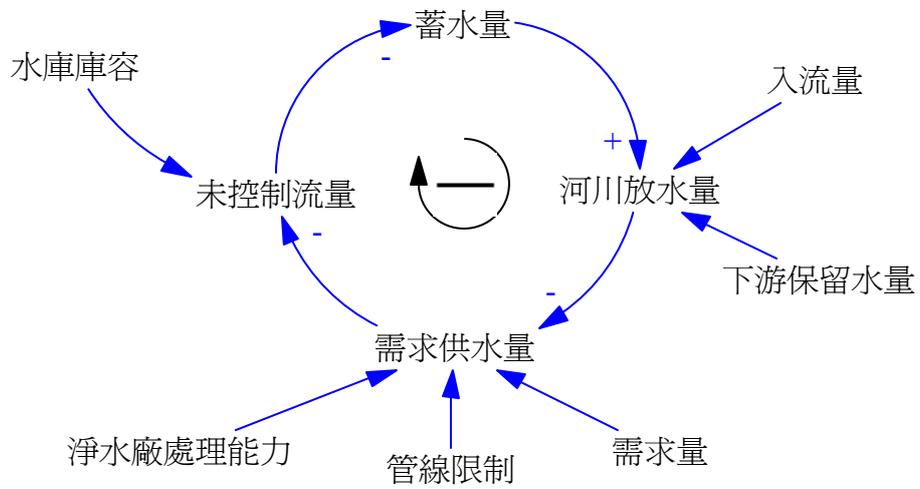


圖 3.1-4 典型水資源供需因果回饋圖

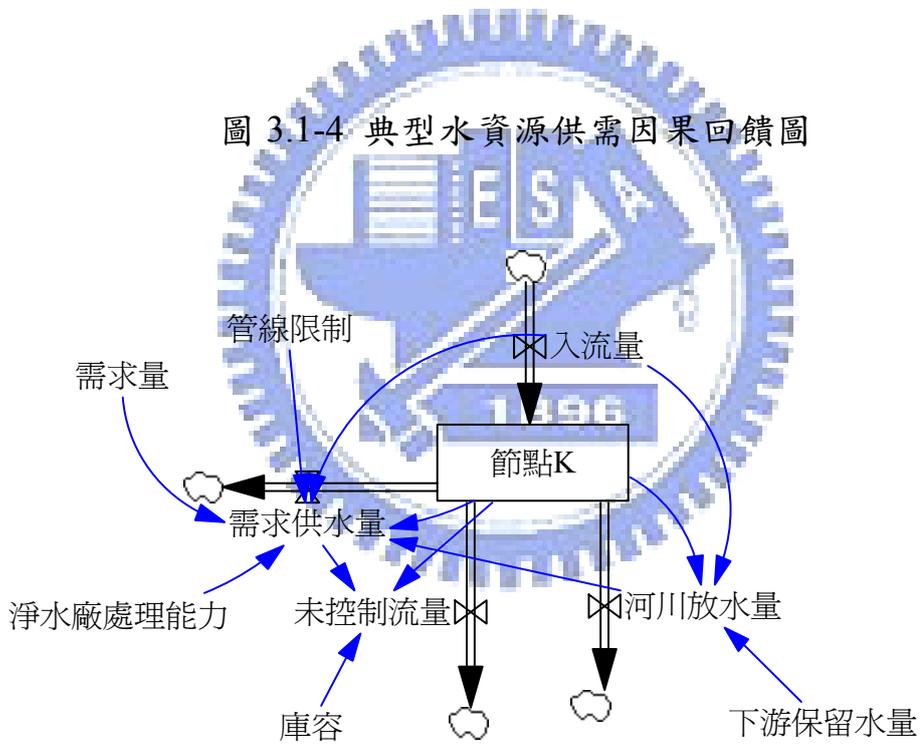


圖 3.1-5 典型水資源供需系統動力流圖

3.2 經濟財務分析相關理論

水資源公共建設有很強的外部性，例如水利建設投入所帶動的產業關聯效果，供水增加或減少所造成的廠商產值變動，均為水資源策略所會發生的經濟影響，但是在傳統財務分析中往往無法評價，以致於對水利建設成本效益分析時總是得到益本比偏低、淨效益為負值等結果。因此進行成本效益分析時，除了一般投資計畫所估計的內部成本效益（即財務面或會計面成本效益）外，還需對水資源建設可能產生的經濟與環境面外部成本效益加以估算。

內部（財務面）成本效益主要為水資源建設與政策所產生之各項會計成本和收入，涉及現金之流出與流入，亦即投入的會計成本與產生效益的會計收入。外部成本效益則包含建設與管理所衍生包括經濟面和環境面（或社會面）等效益（見圖3.2，周嫦娥2004）。經濟面成本效益為水資源建設與政策所產生的外部成本效益，乃是透過市場機制產生市場性的影響，但其發生的現金流量並不進入水資源建設與政策的會計成本和收入項目中。經濟面成本效益又可分為直接或間接的成本效益，直接經濟成本效益為公共投資直接產生之市場性財貨或勞務的影響。間接經濟成本效益是由直接經濟成本效益衍生出來的產業關聯效果。至於環境面（或社會面）的成本效益，也是一種未被納入水資源建設與政策會計成本和收入項目中的外部性成本效益，亦即水資源建設與政策對環境體系所產生的直接影響。

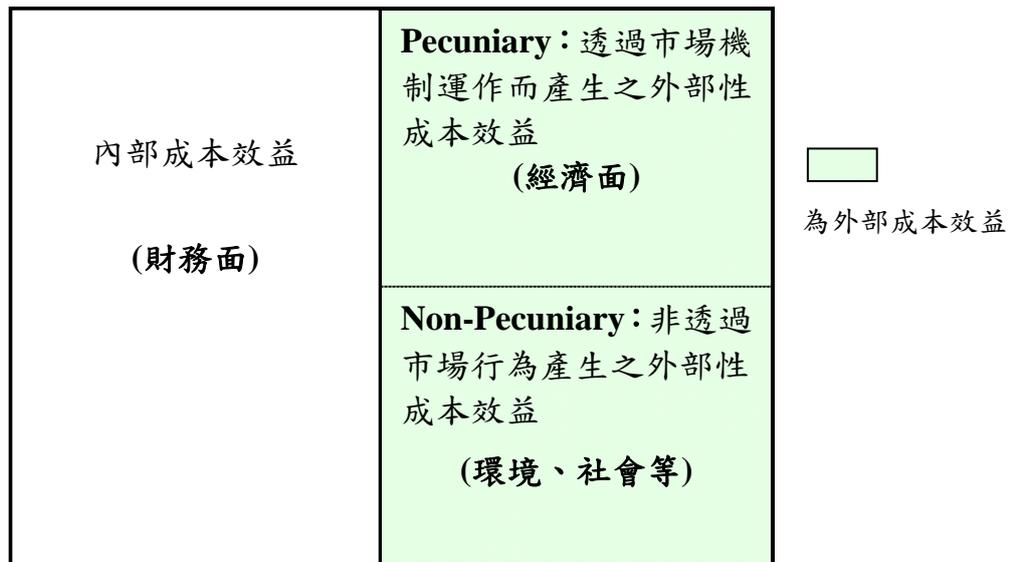


圖 3.2 內外部成本效益

若以興建水庫為例，其會計成本為水壩的興建成本、人工成本、用地取得費用、設計作業費等，售水和發電收入則為會計收入；經濟效益為水庫興建後，因發電而引起的就業和所得之提升等，另外水庫的防洪、灌溉等效益也是社經效益的一種；環境成本則為河川斷流後對生態的影響等。

由於環境面（或社會面）之成本效益不易估算，故本研究中不納入考量，僅考量財務面成本效益以及經濟面成本效益。以下各小節將分別針對成本效益評估指標、財務面成本效益與經濟面成本效益之推估方法進行說明：

3.2.1 成本效益評估指標

成本效益法評估指標較常採用之方法有淨效益現值分析法與益本比分析方法，而在本研究中是採用淨效益現值來進行各項策略之經濟財務評估分析，此兩種分析方法以下分別詳細介紹。

一、淨效益現值(Present Value of Net Benefit)分析法：

淨效益現值 PV(Present Value)係將該公共投資之存續期間中，各年已折現的預期效益扣除各年已折現的預期成本值後所獲得的預期

淨效益現值。其公式如下：

$$PV = \sum_{t=0}^n \frac{(Bt - Ct)}{(1+i)^n}$$

Bt：第 t 年的總效益

Ct：第 t 年的總成本

i：折現率

n：公共投資後成本、效益所經歷的時間。

比較投資計畫之淨效益現值，作為取捨的標準，判斷的標準以 PV 值愈大者為佳。

二、 益本比(Benefit-Cost Ratio)分析方法：

將投資計畫各年預期成本及效益分別予以折現加總後，再將總的預期效益現值除以總的預期成本現值，所得比值即為預期的效益成本比，該比值至少要大於或等於一，即可進行該預期益本比大於 1 者的投資計畫。

$$\text{預期效益成本比} = \frac{\sum_{t=0}^N \frac{Bt}{(1+i)^n}}{\sum_{t=0}^N \frac{Ct}{(1+i)^n}}$$

3.2.2 財務面成本效益分析

財務面成本效益主要為投入的會計成本與產生效益的會計收入。其中水資源公共建設之會計成本包含建造成本與營運成本，會計收入則來至於水公司賣水所得以及工程所產之砂石所得。以往水資源規劃研究對於會計成本的估算均甚少規劃還款計畫與資金來源，而此兩者又對利息總額影響甚大，故本研究將以政府財政現況，選擇符合實況之支出型態初擬還款規劃與資金來源。

本研究建議工程成本過於龐大者，其資金來源採用發行政府公債籌措；若成本較低廉者，建議由執行機關自籌經費。兩者之差異為自籌經費在工程興建時間即有經費之支出，政府公債則是在工程完工後，才需分期還款。由於資金來源決定經費支出的時間，因此造成折現後之金額有所不同。

以下將分別說明財務面成本與效益之估算方法，利息與通貨膨脹率等參數參考經建會「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」內容。

一、財務面成本分析估算

財務面會計成本包含建造成本與營運成本，其中建造成本包含設計階段作業費用、用地取得及拆遷補償費及工程建造費，而工程建造費又包含直接工程成本、間接工程成本、工程預備費以及物價調整費。另外營運成本年稅捐與保費、運轉維護費以及期中換新準備金等。各項成本之推估整理如下：

(一) 建造成本

1. 設計階段作業費用

根據規劃結果辦理之補充測量、地質調查、資料分析、水工模型試驗、其他項目調查、階段性專案管理及顧問、設計等費用，設計作業費參考經建會「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」按直接工程成本之2~4%估列。

2. 用地取得及拆遷補償費

包含用地取得費、拆遷補償費及遷移費、作業費、地價調整費、拆遷補償及遷移費之調整。參照最近工程辦理實績估列，若需詳細計算時：

(1)用地取得費依照公告土地現值加成估列。

(2)拆遷補償及遷移費依各縣市政府查估標準編列。

(3)另考量作業費、地價調整費、拆遷補償及遷移費之調整費。

3. 工程建造費

(1)直接工程成本

工程用料與資源投入所需費用、品管費用、承包商管費及利潤、施工設施、工地費用、安全衛生及環境保護費和營業稅等。

(2)間接工程成本

工程行政管理費、工程管理及監造費、顧問費、環境監測費及初期運轉費等項目。間接工程成本按實分項估算或按經建會「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」建議以直接工程成本 5~10% 估列。

(3)工程預備費

為彌補進行本估算當時引用資料之精度，品質及數量等不夠完整、可能的意外，無法預見的偶發事件等因素，而準備之費用。工程預備費按直接工程成本之百分比估列，規模較小或較單純的工程期編列下限為零，上限為 10%，而規模較大或較複雜工程，其上限為 20%。

(4)物價調整費

因應施工期間物價上漲之調整費用，以(直接工程成本+間接工程成本+工程預備費)合計之值，按預估之物價年平均率依複利法分年估列。

(二) 營運成本

1. 年稅捐與保費

依計畫需要列於年計成本內，一般以總工程費之 0.12% 危保險費，0.5% 為稅捐費，合計年稅捐與保費共以總工程費之 0.62% 計算。

2. 年運轉維護費

運轉期間須支付財貨及勞務費用，以維持各項設施之功能正常運作。在營運期間內，年運轉維護費用假設每年均相同，以總工程費之 1% 計算。

3. 年期中換新準備金

由於各項工程設施之耐用壽命長短不一，在運轉期中，部分工程設施需定期換新，以避免影響正常功能，因此須按年提存換新準備金，供期中換新之用，以總工程費之 2% 計算。

二、財務面效益分析估算

財務面效益主要來至水公司賣水所得以及工程所產之砂石所得。目前自來水公司之水費收費標準係採「分段累進計費」，第一段 10 度以下每度 7 元、第二段 11 至 30 度每度 9 元、第三段 31 至 50 度每度 11 元、第四段 51 度以上每度 11.5 元。本研究擬以平均水價估算，以民國 93 年水公司第四區管理處之平均水價為每立方公尺 10.44 元，其中一般用水為每立方公尺 10.30 元，工業用水則為每立方公尺 11.68 元。另外砂石收益則參考經建會「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」以每立方公尺砂石收益為 100 元進行估算。

三、成本現值計算

成本現值計算如圖 3.2.2-1 所示，首先參考各工程之相關規劃報告，得到各項建造成本的分年經費；施工期間利息係依分年經費，按複利逐年估算；總工程成本為各分年經費所有年度的總和；總工程費為總工程成本和施工期間利息之總和；各項營運成本則可由總工程成本依前述之估算方法進行估算。

若經費來源屬執行機關自行籌措，則需於建造時間支出成本，營運期間則無年償還金額；若經費來源為發行政府公債，則建造時間並無成本支出，但需於營運期間償還公債。公債每年之償還金額有兩種推估方式，一為「定額本利攤還法」，為將借款期間內全部借款本金與利息平均分攤於每一期中償還；二是採「定額還本法」，即每期攤還固定本金(償債年金)及當期利息，至營運期滿恰償還所有興建期間借款淨額，各方法之估算說明如下：

(一)、定額本利攤還法：

利用 Capital-Recovery Factor，求出每年定額之償債金額(本金十利息)的費用。

$$A = P * \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

其中 i 為利率， t 為期數、 n 為工程壽命年限。

(二)、定額還本法：

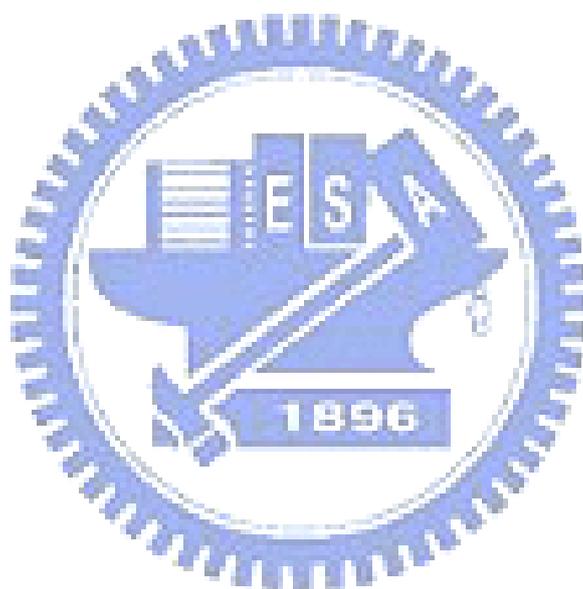
定額還本法之還款金額包含償債年金以及各期仍未償還之本金數額利息。其計算方法如下：

(1) 償債年金 = 總工程費 / n

(2) 第 t 期償還利息 = $\left(\frac{\text{總工程費}}{n} - \frac{t * \text{總工程費}}{n} \right) * i$

其中 i 為利率， t 為期數、 n 為工程壽命年限。

本研究採用定額還本法進行償債年金的推估，其推估結果與各年之營運成本（包含年稅捐與保費、期中換新準備金以及運轉維護費）加總後，即可得到每年之支出成本。另外每年之會計收入包含興建期間之砂石收益與營運期間的售水收入，砂石收益為砂石產量乘以砂石單位收益；售水收入為供水量乘以自來水平均水價。總和各年之支出成本與會計收入，則可得到政府每年之現金流量，再以基期計算現金流量的現值後，配合淨效益現值評估以得到各策略之財務面成本效益分析結果。



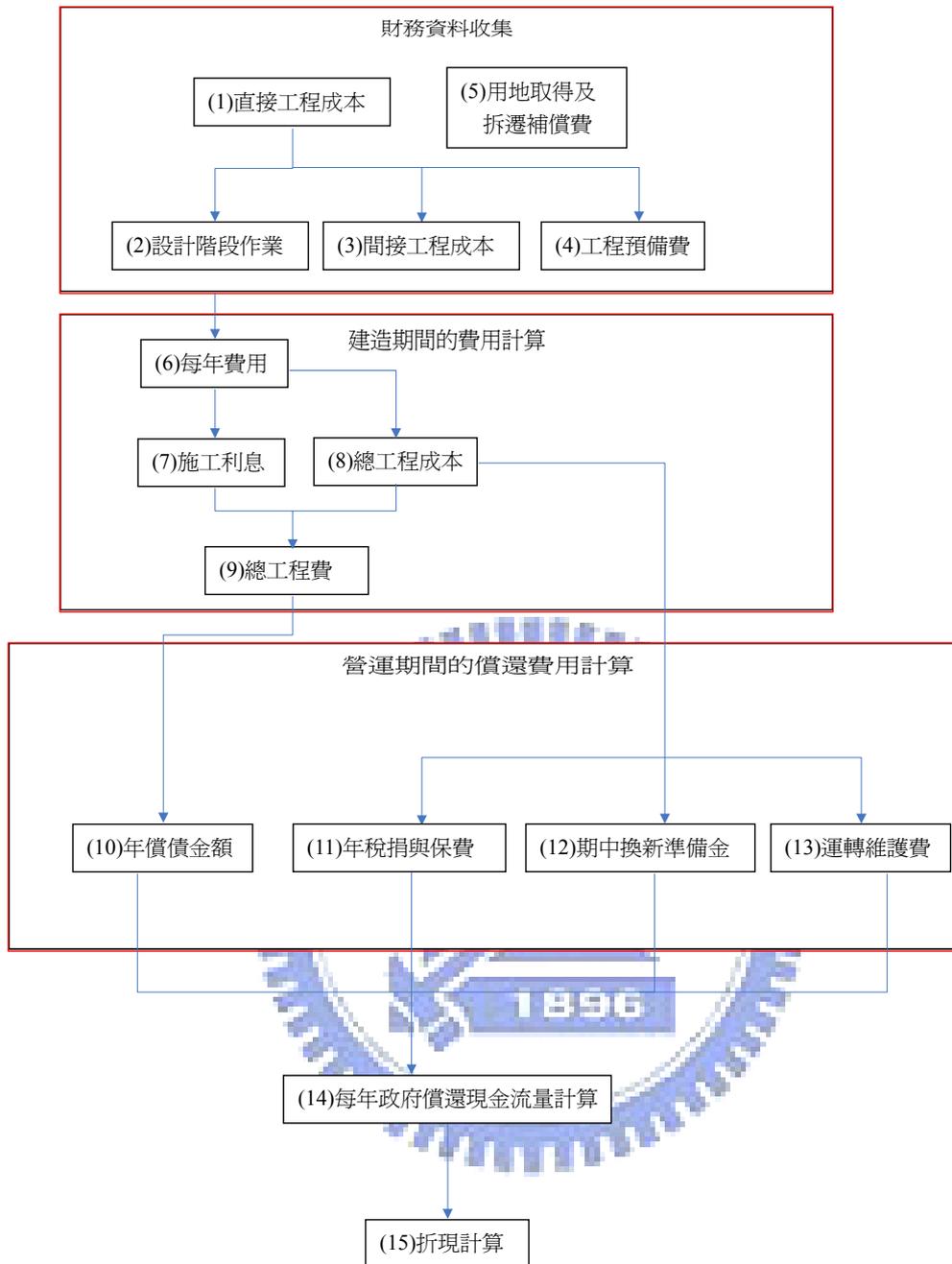


圖 3.2.2-1 成本現值計算流程圖

3.2.3 經濟成本效益分析

經濟面成本效益之估算可分為兩大方法：一般均衡法與部分均衡法，一般均衡法是考量產業關聯效果帶動國內生產的擴張，部分均衡則未考量產業關聯效果。由於產業互動效果不易量化，因此本研究之經濟面成本效益將以部分均衡法進行估算。部分均衡法通常可利用替

換（重置）成本法、生產函數法、趨避行為法、損害函數法、特徵價格法等方法來評估。

一、替代成本法

替換成本法多使用於環境品質與自然資源價值的衡量，由於環境品質與自然資源價值往往不易直接由市場財貨定價，因此當環境損害或資源耗竭發生時，可透過推估改善環境品質及復原資源存量的成本，來估計環境效益或損害的價值，稱之為替換成本法（蕭代基等，民國 91 年）。

二、生產函數法

生產函數法也是用於評估環境資源的使用價值的一種方法，生產函數法乃是將環境資源當作一種生產要素，透過其所生產產品市場價值，間接估算該環境資源的影子價格（陳明健，2003）。所謂影子價格，乃是指生產或消費一商品所需負擔之機會成本，常以商品數量之邊際生產力或邊際效用來表示。若環境資源之效益可表現於產出或投入，並由其市場價格反應出來時，則可採用生產函數法來估算成本效益。環境資源的效益變化乃以產出或投入的增減變化對價格之影響來認定，若產出或投入之市場價格能正確反應其社會價值，則可估算出環境資源改善的影子價格，而環境資源改變的效益即可由消費者剩餘或生產者剩餘的變化來衡量。因此，此種方法主要適用於評估環境資源的使用價值。

三、趨避行為法

趨避行為是人們面對已發生之損害或可能發生損害的風險，為維持原來的滿足或是效用水準，所採取以避免可能損失的行動。趨避行為法基本上是一間接市場價值評估法，當個人在面對各種損害時，為

了降低損失或風險，會採取一些適當的行為。任何為了減除、降低損失所增加的成本總值，即可反映為改善該損害的價值。

四、損害函數法

損害函數法乃透過損害函數表示損害活動（如水污染、空氣污染等）對自然資源、人為資產或對人類健康所造成的損害程度，而損害程度可由經濟活動變化與其導致之損害變化的關係，即損害函數估算。若將該損害之變動以貨幣表示，即稱為貨幣損害函數，非以貨幣表示的影響，則稱為實物損害函數（陳明健，2003）。

五、特徵價格法

特徵價格法主要在陳述某單位商品之價值是來自該商品所包含的各種特徵，因此若環境財貨所提供的服務為某些市場財貨所擁有的特徵之一，則此環境財與市場財貨價格之間存有特定關係，故可藉由觀察市場財貨的價格變化以推估環境財貨改變的福利變化（陳明健，2003；蕭代基等，2002）。

由於水量目前並無明確的市場價格，因此本研究採用替代成本法來進行經濟面成本效益估算。水資源策略的經濟效益為確保水量供應時可創造的產值效益，即減少缺水時廠商生產所需面臨的損失。

一般而言，若不考慮政府介入的情形，廠商會自行評斷是否自行取得水源或減產，但廠商生產活動在中短期內通常有僵固性，不會隨即因缺乏利潤而減少生產¹，因此本研究擬以單位水量產值作為產業是否停產之判斷準則，亦即替代水源單位成本若高於單位用水量產值時，廠商才會決定減產，否則便會吸納此一成本。

因此，產業因缺水而面臨的成本可如下式所述：

$$C_i = (P' - P) * W_i$$

$$\forall H_i > P'$$

$$C_i = H_i * W_i$$

$$\forall H_i < P'$$

其中 C_i 為 i 產業之缺水成本， P' 為單位替代水源成本，一般而言，廠商自行取得水源的方式主要為以水車載運，依據竹科管理局資料顯示，通常水車的載水成本每立方公尺約 100 元，購水成本（含環境保護費及清潔費）約為每立方公尺 16.5 元，總成本約為每立方公尺 116.5 元。， P 為單位自來水價，以民國 93 年水公司第四區管理處之平均水價為每立方公尺 10.44 元。。 W_i 為產業 i 於之缺水量，係由本研究之動態系統模擬得到工業用水總缺水量後，平均分配給各製造業而得（因現行法規並未規範不同製造業間供水之先後順序）。 H_i 為製造業 i 之單位水量產值。

3.3 外部模組與 VINSM 之耦合（動態連結函式庫，DLL）

系統動力學雖基於物件導向的建構原理，有助於複雜系統的建置，然其計算方式為「逐時刻」演算，不易處理「跨時刻」演算問題，同時亦難處理需於同時刻進行多次之疊代演算，因此部分問題需透過外部函式來降低模式建置的難度。本研究考量之經濟財務分析為「逐年」計算各年之現金流量值，再換算回現值進行分析比較，然所建立之水量模式是以時間間距為「旬」進行模擬，因此模式中不存在「跨時刻」演算程序，因此本研究嘗試以動態連結函式庫 (Dynamic Linking Libraries, DLL) 將經濟財務分析包裝為外部函式，並嵌入水量動力模型中，形成一耦合型系統動力模型。動態連結函式庫具有以下之優點：

1. 有效率的重複使用程式碼

撰寫複雜的程式時，為避免程式過於龐大，最常處理的方式就是將重複的程式碼獨立為函式 (Function) 或巨集(Marco)，若這些函式被使用的機率很高，則常常會被製作成函式庫來使用，例如 C 語言的 Runtime Library (RTL)。一般而言，編譯器處理函式庫是將函式的實體內容加入應用程式的執行檔中，因此若使用的函式庫越多，執行檔也相對的越龐大，此種方法即為靜態連結 (Static Linking)。因此為了避免應用程式的過份龐大，即引入動態連結 (Dynamic Linking) 的觀念，僅在函式被呼叫執行時才被載入，而非直接編譯在執行檔中，因此可以更有效率的使用這些函式。

2. 區分程式碼

根據前述，未來若需更改 DLL 中之原始碼，只需針對修改過的 DLL 重新編譯，而不需針對全部程式重新進行編譯，非常適合處理複雜問題之模型整合。

3. 節省記憶體的使用量

由於 DLL 是在應用程式執行時才被載入，而非直接編譯在執行檔中，且當不同應用程式需使用相同 DLL 中的函式時，DLL 僅需在第一個使用 DLL 的應用程式執行時載入，只要這個應用程式尚未結束，DLL 不需要再重新被載入到記憶體中就可以供第一個應用程式以外需要用到 DLL 的應用程式使用，因此使用 DLL 來包裝常用的函式能夠有效節省記憶體與系統資源。

本研究以 Visual C++ 6.0 進行 DLL 檔之編譯，並以 Vensim 5.7 版載入 DLL 檔，建置系統動力耦合模型，其建置流程說明如下：

1. 編譯 DLL 檔案

如何撰寫 C++ 程式來作為 VENSIM 的外部程式， VENSIM 使用手冊已有詳細說明，且在其程式資料夾中，亦有範例說明 (VENEXT.C 之檔案)。當程式撰寫完畢後，本研究利用 Visual C++ 6.0 來進行編譯，編譯方式如圖 3.3-1 所示，可由 "Build" 下拉式選單選取 "Build DLL" 來進行編譯，編譯完成後之 DLL 檔即會產生於 Debug 資料夾。

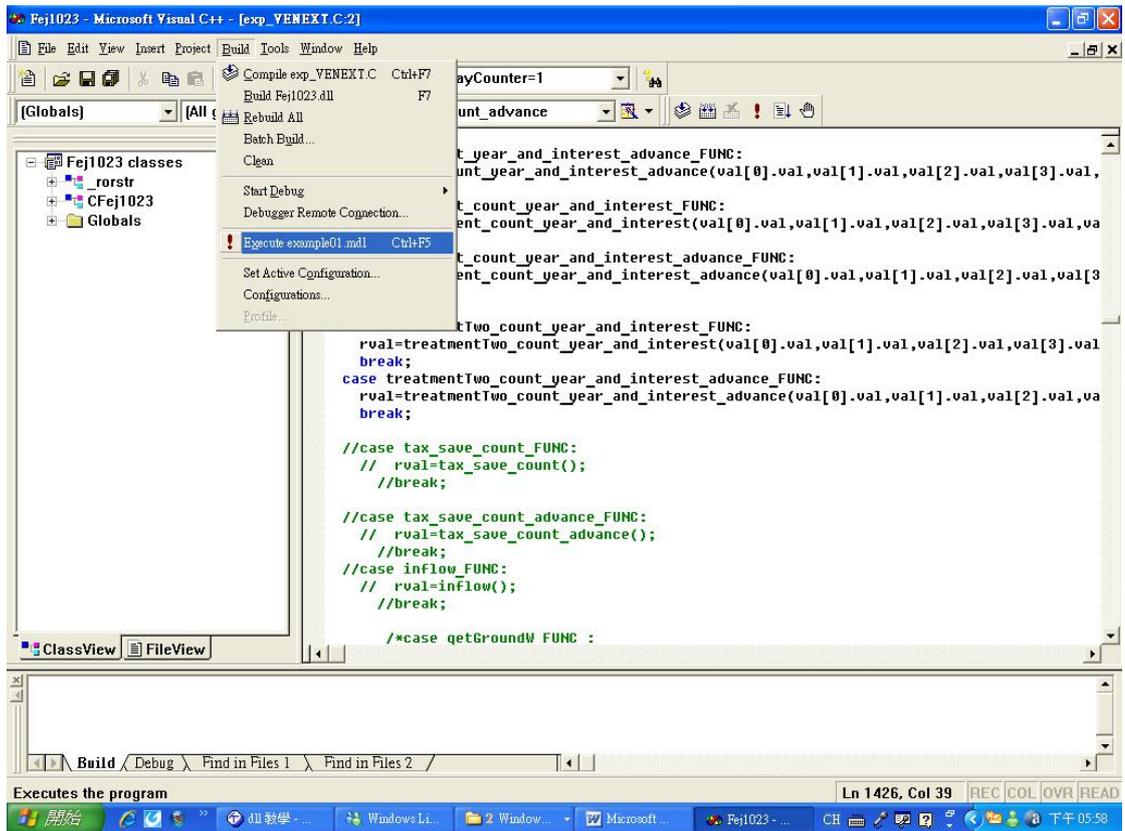


圖 3.3-1 Visual C++ 6.0 之程式編譯展示

2. 以 VENSIM 軟體讀入 DLL 檔案

開啟 VENSIM 程式後，由”Tools”之下拉式選單中選取”options”選項（如圖 3.3-2 所示），即會彈出一對話視窗（如圖 3.3-3 所示），選取”Startup”分頁後出現選取外部函式（External function library）之方格（紅框標示處），可藉由瀏覽資料夾（Browse）來選取編譯完成之 DLL 檔。

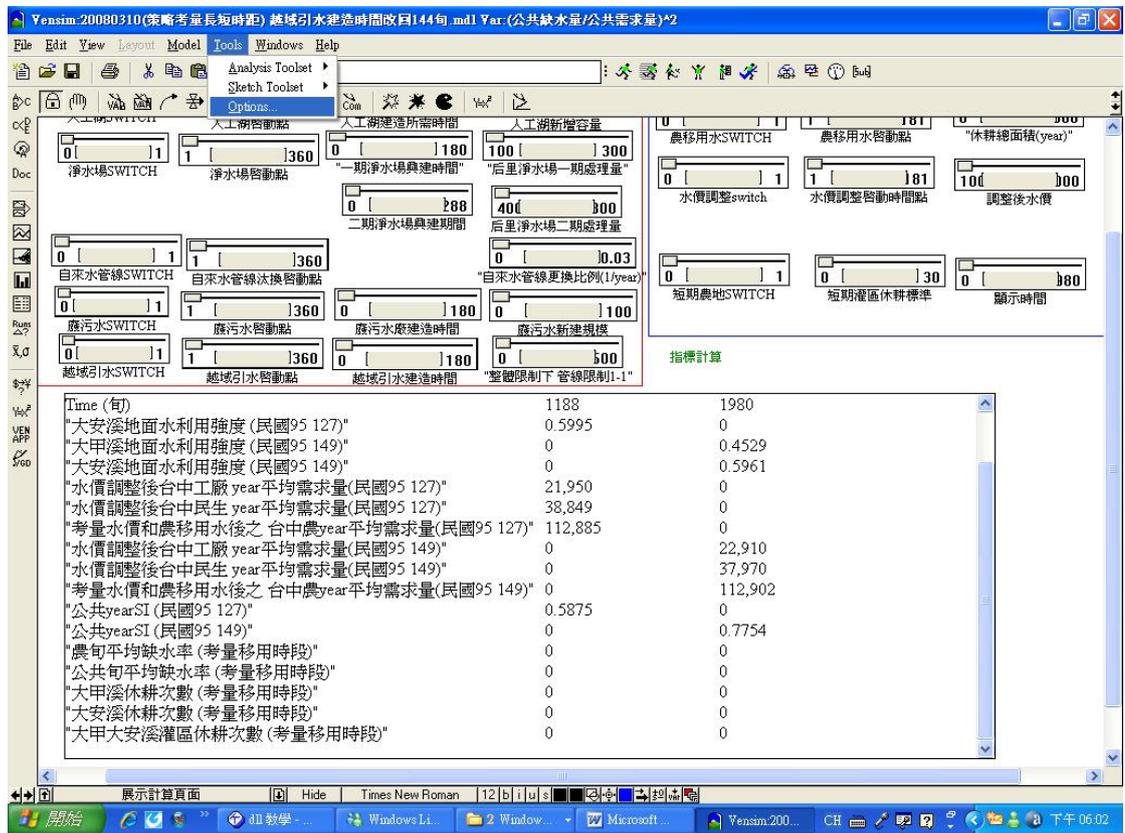


圖 3.3-2 VENSIM 開啟讀入 DLL 檔之介面展示（一）

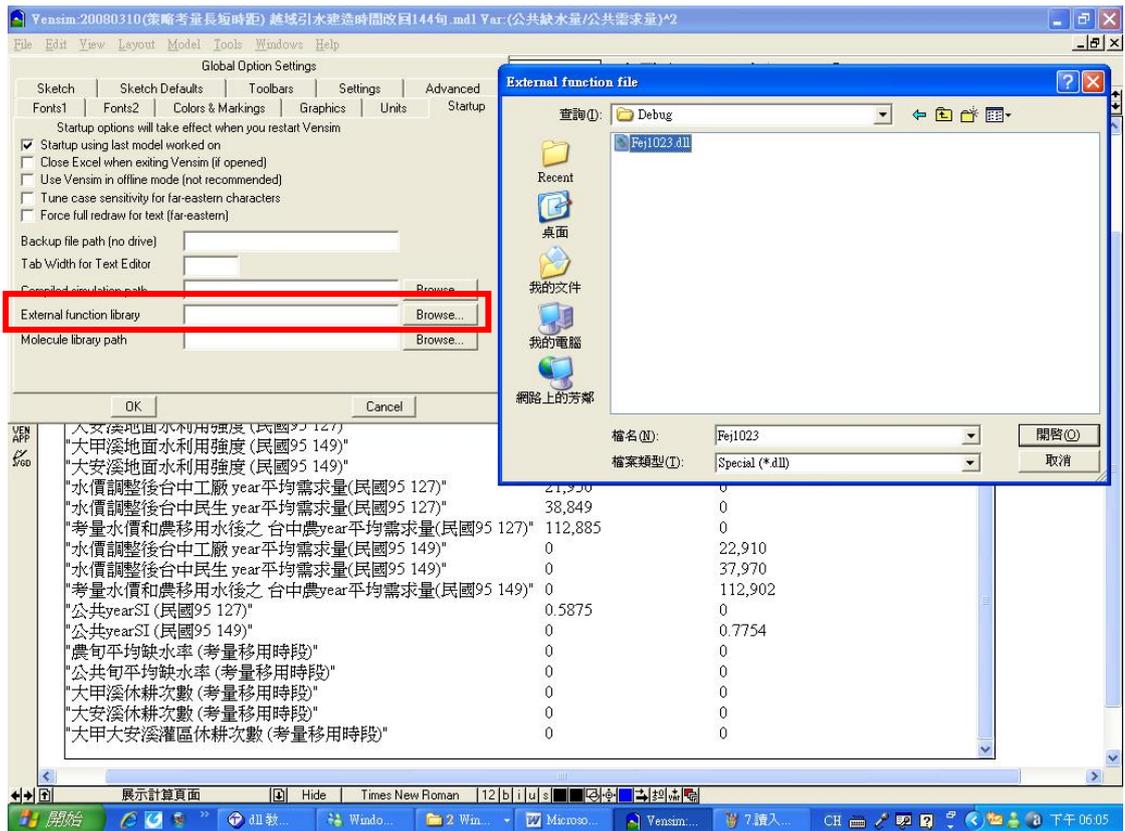


圖 3.3-3 VENSIM 開啟讀入 DLL 檔之介面展示 (二)

3. 使用 DLL 函式

載入本研究所建立之外部函數後，可透過 Equations 功能鍵() 呼叫使用，點選 Equations 功能鍵()，在 Functions 的分頁中，將 Show Class 選項選擇 User Defined，將可看到前面所撰寫的外部函式名稱，點選函式名稱後需案其特定的格式填入變數名稱 (如圖 3.3-4 所示)，在此填入該函式之變數名稱，其變數名稱、格式如下：

(一) Lake_count_year_and_interest({one} , {two} , {three} ,
{four} , {five} , {six} , {BuildTime} , {StartTime})

(二) Lake_count_year_and_interest_advance({one} , {two} ,
{three} , {four} , {five} , {six} , {BuildTime} ,
{StartTime}) 。

上述”Lake_count_year_and_interest”和 Lake count year and interest advance” 為本研究自行定義之外部函式名稱，前者為計算不考量物價調整之經濟財務分析模式，後者為計算考量物價調整之經濟財務分析模式。兩函式所需輸入的變數皆相同，其輸入變數之說明如下：

one：某工程策略之直接工程費。

two：某工程策略之設計階段費。

three：某工程策略之用地取得費。

four：某工程策略之間接工程費。

five：某工程策略之工程預備費。

six：某工程策略之砂石出售收益。

BuildTime：某工程策略開始建造時間。

StartTime：某工程策略建造所需時間（工期）。



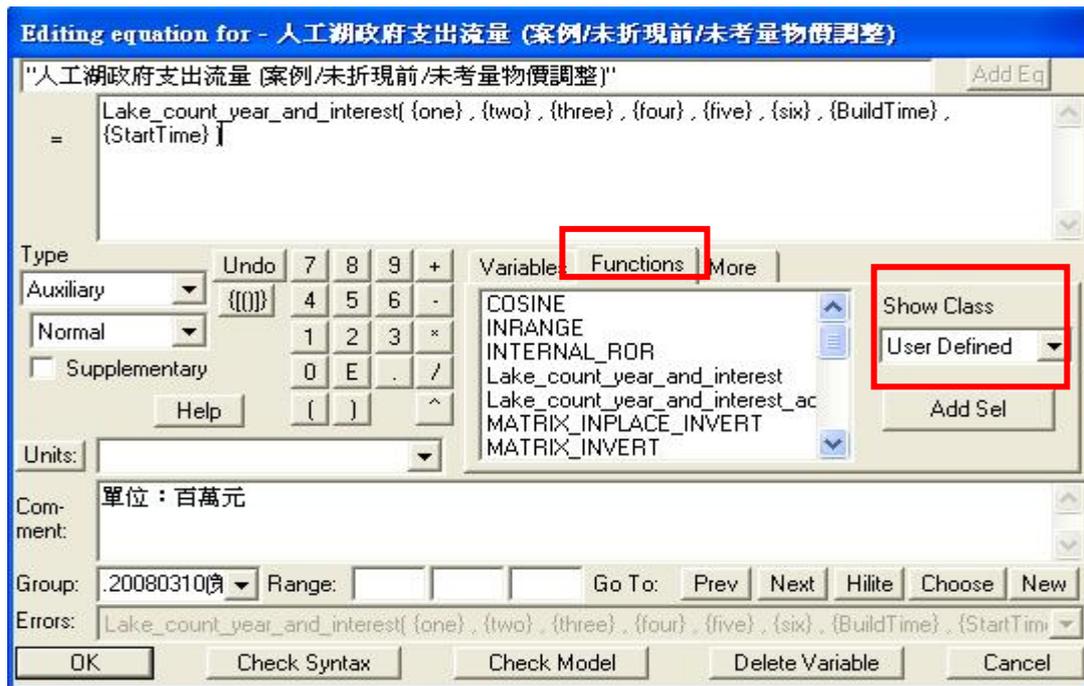


圖 3.3-4 以 VENSIM 載入外部函式之介面展示



第四章 台中地區多元化水資源策略模擬與經濟財務 分析模式建立

4.1 研究區概述：

本章節將分別就大台中地區供水區域之流域概況及供水系統進行簡介。大台中地區供水來源涵蓋大甲溪及大安溪流域，其區域內的水系及水利設施相關位置如圖 4.1-1 所示。

一、流域概況

1、大甲溪流域

大甲溪本流發源於中央山脈之雪山及南湖大山，全長 124.2 公里，流域面積為 1,235.7 平方公里，年平均逕流量約 21 億立方公尺。上游地形群山環峙、河谷峭聳，源頭係由伊卡瓦溪及南湖溪匯流而成，其中以源出於劈亞南鞍部的伊卡瓦溪為本流，東側納入七家灣溪後向南流。至於南湖溪則發源於南湖大山，並有合歡溪及畢祿溪的匯流。伊卡瓦溪及南湖溪於太保久處匯流後始成為大甲溪幹流。

大甲溪上游左岸發源於南湖大山、中央尖山及合歡山良南湖溪、耳無溪及合歡溪等支流；右岸則發源於大壩尖山、次高山、大雪山之七家灣溪、四季朗溪、志樂溪及匹亞桑溪等支流。德基水庫至谷關間長 25 公里之河床，平均坡降 1/43，河床寬約 20 至 30 公尺，岸峻流急，岩盤外露，為大甲溪水力最豐之一段，兩岸重山峻嶺，稜線部份標高約為 2,500 至 3,000 公尺。自谷關以下至天輪電廠間兩岸較為開展，河床寬達百公尺，再西行至馬鞍寮以後，西出山嶺，約束頓減，河寬達 500 公尺以上。在天輪至石岡間大甲溪東側之山勢較高，約在 500 至 2,000 公尺之間；西側則山勢較緩，平均高度在 500 至 600 公尺左右。

而大甲溪中游地形起伏大，河床陡急，匯流後的大甲溪幹流至德

基以下呈帶狀分布，大約在德基下游 3 公里處匯入志樂溪，沿途再納入匹亞桑溪、小雪溪、馬崙溪、鞍馬溪、稍來溪、十文溪等數條溪，流經谷關、白冷、馬鞍寮等至東勢流入平原。下游地形開展寬闊、坡度平緩、坡降僅 1/90，過石岡後蜿蜒西流，而在清水鎮及大安鄉交界處附近流入台灣海峽。

在大甲溪下游將大肚溪台地與后里台地截開分離，呈網狀流路，迂迴於台中盆地北端，並堆積大量砂礫於河口，造成沖積扇，復與大安溪沖積扇相疊，成一合流沖積扇。

大甲溪流域分屬 3 縣之 13 鄉鎮其行政區域宜蘭縣是上游發源地與蘭陽溪流域鄰接，山地屬太平鄉；南投縣是上游合歡溪發源地屬仁愛鄉；上游山區為的台中縣和平鄉。中下游為東勢鎮、新社鄉、石岡鄉、豐原市、后里鄉、神岡鄉、外埔鄉、大甲鎮、清水鎮、大安鄉共 7 鄉 4 鎮。本流域交通發達，主要鐵路有縱貫鐵路山、海 2 線；主要公路除國道 1 號、3 號及 4 號高速公路外，尚有省道台 1 線、台 3 線、新竹豐原線（尖豐公路）及台 8 可通至其他各縣市，另外鄉、鎮公路更是四通八達。

2、大安溪流域

大安溪發源於苗栗、新竹縣界之大壩尖山與雪山北斜面，如圖 3.1-2 所示。上源有二，北源為馬達拉溪，南源為雪山溪，兩溪匯流後稱大安溪，至象鼻溪流轉向南行，其間納入大雪溪、北坑溪及南坑溪等支流，至士林附近納匯雪山坑溪，繼納烏石坑溪，經過雙琦後轉向西行，至卓蘭納老莊溪，行至火炎山附近納景山溪，經火炎山山麓，由大甲鎮西勢附近注入台灣海峽。流路全長 95.8 公里，流經苗栗、台中兩縣，流域面積約 758 平方公里。本流域水源不穩，年平均逕流量約 13.3 億立方公尺，取水灌溉農田約 10,770 公頃。大安溪流域灌溉事業目前均

由台中農田水利會負責，營運績效卓著。但因河川豐枯水期流量差異極為懸殊，因此，本區域水資源蘊藏雖屬豐沛，但枯水期逕流量很低，水源不敷分配應用。鯉魚潭水庫位於大安溪支流景山溪之中上游，水庫容量 1.26 億立方公尺，壩址以上景山溪之集水面積 53.45 平方公里，年平均逕流量約 0.8 億立方公尺。整個流域在地勢上東部較為高峻，向西傾斜，自卓蘭起海拔 500 公尺以下之丘陵起伏其間，蜿蜒連綿。除濱海地區，平原殊不多見。

大安溪流域分屬 2 縣其行政區域為苗栗縣的泰安鄉、卓蘭鄉、三義鄉與苑裡鄉，台中縣為和平鄉、東勢鄉、后里鄉、外埔鄉、大甲鄉與大安鄉。其交通方面主要有台 3 線及苗 55 號線道，南北貫穿集水區，另外有 5 條產業道路及 12 條農路分佈其中。

二、地表水源調配之系統架構圖

大台中地區水源調配系統圖如圖 4.1-2 所示，主要供給水源為大甲溪、大安溪兩大水源，其中大甲溪流域主要的水源調配結構物有德基水庫、石岡壩及豐原淨水場，德基水庫除引用大甲溪主流蓄存外，另自大甲溪支流志樂溪越域引水。另外大安溪流域主要的水源調配結構物有鯉魚潭水庫、士林攔河堰及鯉魚潭淨水場，其中鯉魚潭水庫位於大安溪支流景山溪，為一離槽水庫，為補充本身水源之不足，另自大安溪主流上之士林攔河堰越域引水。

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

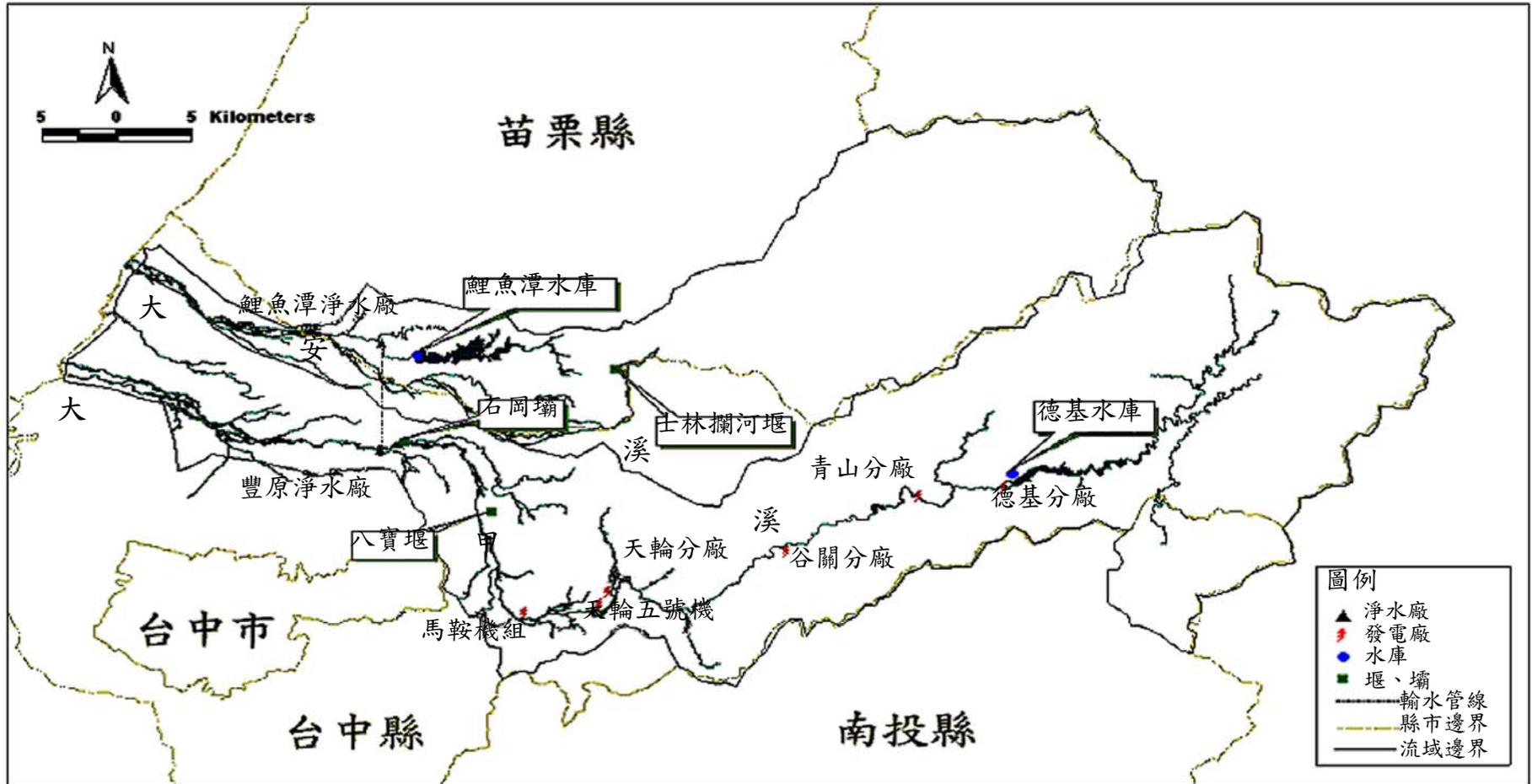


圖 4.1-1 大安溪、大甲河流域圖

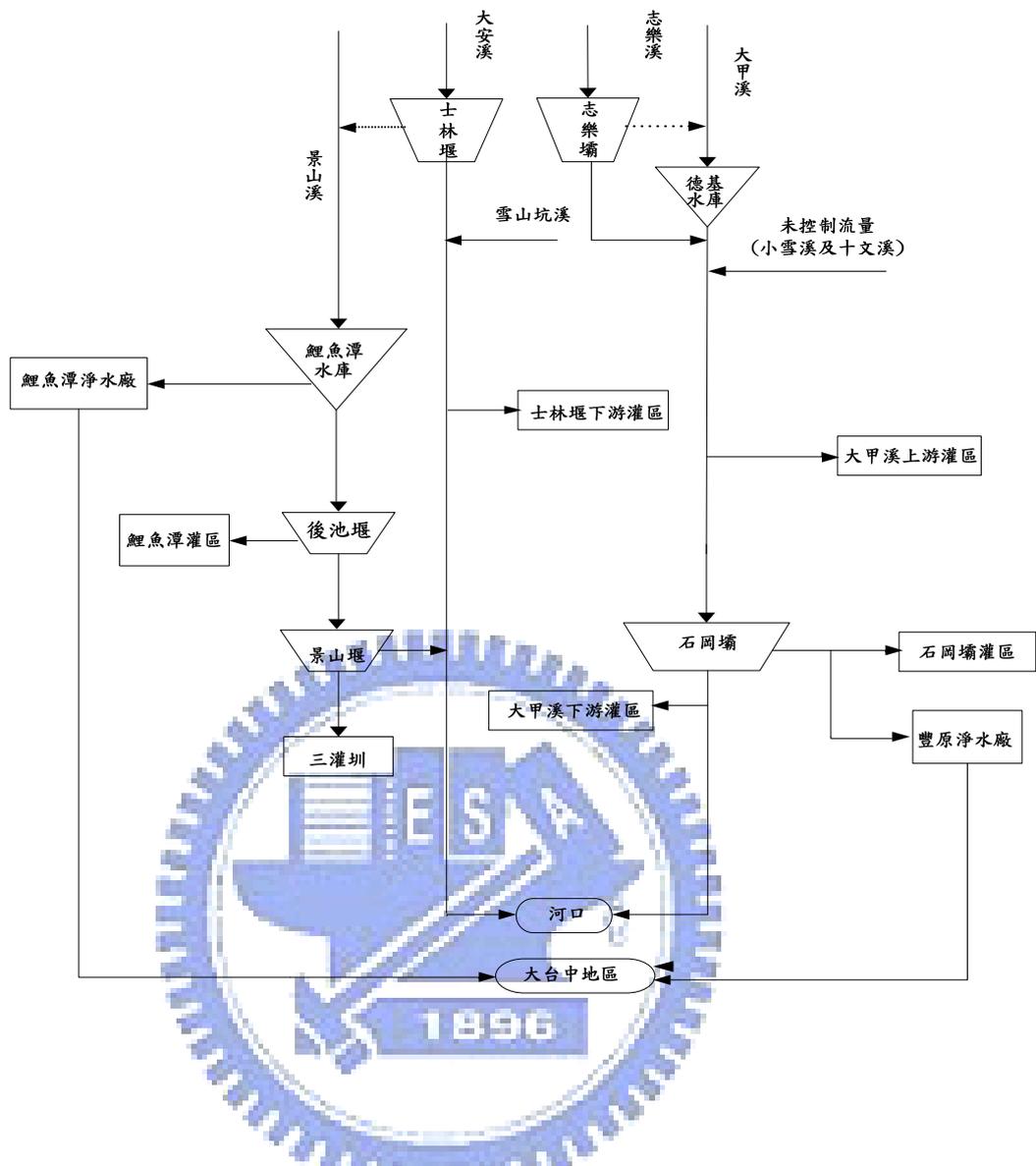


圖 4.1-2 台中地區現況水源調配系統圖

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

三、現況地表水源調配之運用原則

大甲溪和大安溪之水工結構物運用規則說明如下

(1)德基水庫運用要點規定

德基水庫現行發電規線乃以水位進行控制操作(其發電規線如表 4.1-1 及圖 4.1-3)，然本研究之水量模式以蓄水體積進行模擬演算，因此規線值必須根據水位-面積-容積曲線(如圖 4.1-4 所示)進行轉換，單位轉換後之發電規線列如表 4.1-1 所示。德基水庫運用原則說明如下：

1.水庫水位高於運用規線時，以電力系統調度為主，並配合下游各標的用水需求放水。模擬時尖峰發電所需水量以天輪電廠發電水路設計量(138 秒立方公尺) 每日滿足尖峰發電 6 小時計算。

2.水庫水位等於或低於運用規線時，除電力系統處於緊急狀況外，應配合下游各標的用水需求放水。下游公共用水標的放水量以目前豐原淨水場處理能力 85 萬 CMD 為限。



表 4.1-1 德基水庫發電運轉規線表

月	旬		水位 (m)	容積 (10 ⁴ m ³)	月	旬		水位 (m)	容積 (10 ⁴ m ³)
1	上	1	1405.9	20120	7	上	19	1371.7	9457
	中	2	1405.5	19933		中	20	1377.4	10724
	下	3	1405.2	19793		下	21	1383.1	12268
2	上	4	1404.8	19620	8	上	22	1388.8	13940
	中	5	1404.5	19500		中	23	1394.5	15740
	下	6	1404.1	19340		下	24	1400.2	17780
3	上	7	1400.9	18060	9	上	25	1402.2	18580
	中	8	1397.8	16908		中	26	1404.1	19340
	下	9	1394.6	15772		下	27	1406.1	20213
4	上	10	1391.4	14748	10	上	28	1408	21100
	中	11	1388.2	13760		中	29	1407.7	20960
	下	12	1385.1	12830		下	30	1407.5	20867
5	上	13	1381.9	11932	11	上	31	1407.2	20727
	中	14	1378.7	11062		中	32	1407	20633
	下	15	1375.5	10230		下	33	1406.7	20493
6	上	16	1372.4	9593	12	上	34	1406.4	20353
	中	17	1369.2	8913		中	35	1406.2	20260
	下	18	1366	8065		下	36	1405.9	20120

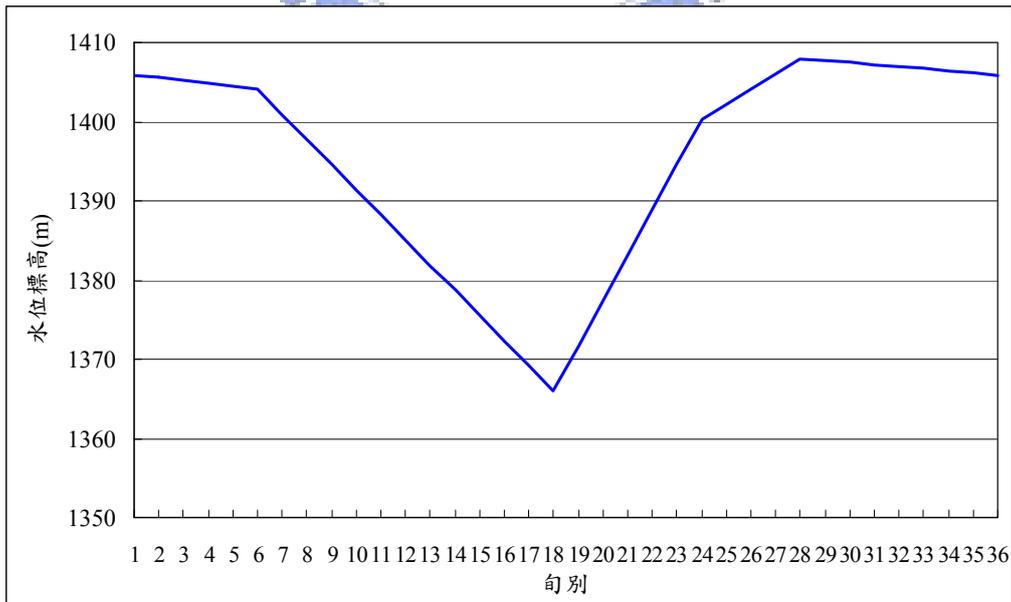


圖 4.1-3 德基水庫發電運轉規線圖

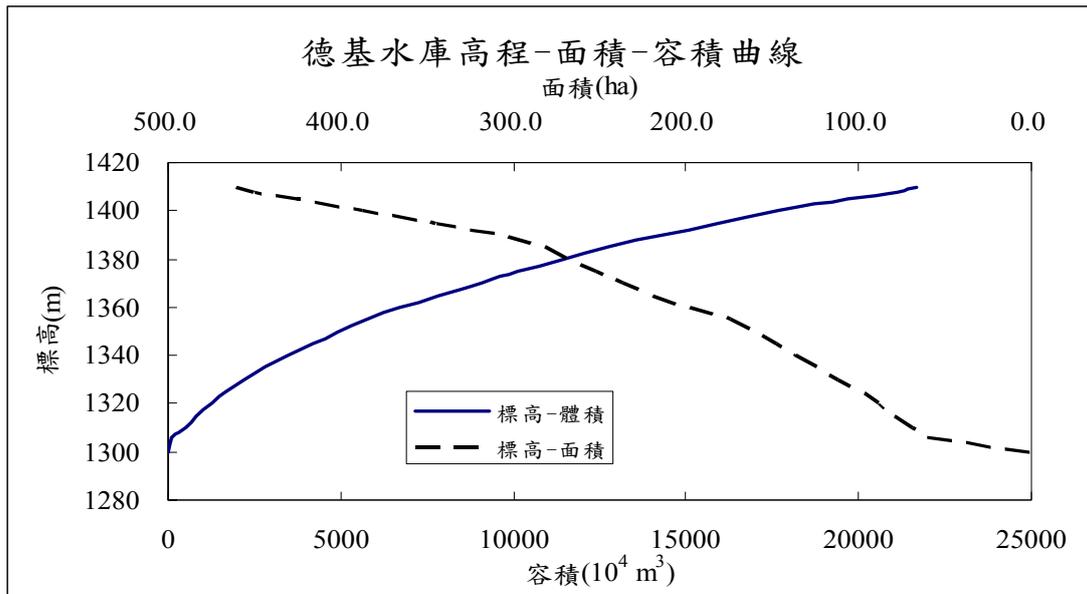


圖 4.1-4 德基水庫高程-面積-容積曲線圖

(2) 石岡壩運用原則

大台中地區之公共用水係透過南幹渠向石岡壩取水，石岡壩水量之來源如下：

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

(3) 豐原淨水場處理說明

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

(4) 士林攔河堰之操作原則

1. 天然進流量扣除下游保留流量後小於 302.4CMD 時，依台電公司調度處之調度作每日調節運用，配合發電引水。

2.天然進流量小於 6,912 萬 CMD 並扣除下游保留流量後大於 302.4 萬 CMD 時，得視需要調節士林壩水位，以設計引水量 302.4 萬 CMD 引水。

3.天然進流量大於 6,912 萬 CMD 時，應停止引水。

4.鯉魚潭水庫進行檢查、維修時，應配合減少引水或停止引水；鯉魚潭水庫進行防洪運轉或緊急操作時，應停止引水。

5.壩、引水隧道及相關設施，因維修、檢查、緊急事故或天災等，本壩得停止蓄水或引水。

(5)鯉魚潭水庫營運操作原則

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

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

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

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

(6) 鯉魚潭淨水場處理說明

鯉魚潭淨水場目前已完成二期擴充，因此現況處理能力為 110 萬 CMD。因此本研究之模擬皆以處理能力 110 萬 CMD 為其模擬條件。

(7) 水源運用順序

大甲大安溪聯合營運之水源運用順序是以大甲溪水源先提供，不足量再由大安溪水源提供。另外需求之滿足順序為先滿足民生用水、其次為農業用水、最後才滿足工業用水，其中民生用水和工業用水必須經過淨水場處理後供應，然各淨水場之原水水源各有不同，因此配合水源運用順序和需求滿足順序，台中民生用水和工業用水之引用水源順序為先由豐原淨水場提供，不足則由后里淨水場提供，最後才由鯉魚潭供應。另外豐原淨水場的原水來自石岡壩引水；鯉魚潭淨水場之原水水源先由石岡壩越域引水提供，最後才由鯉魚潭水庫提供；后里淨水場之原水水源首先由石岡壩之越域引水提供，人工湖水源次之，最後才由鯉魚潭水庫提供。

4.2 策略評估指標：

永續發展的概念來源於生態學，最初應用於林業與漁業，指的是對於資源的一種管理戰略：如何將全部資源中合理的一部份加以收獲，使得資源不受破壞，而新成長的資源收量足以彌補所收獲的數量。事實上，永續發展是一個非常複雜的概念，他包含了許多環境與社經活動(social-economic activity)間之相互關係，在不同領域中對於永續發展之定義也因領域的不同而有所不同，因此本研究參考上述之永續定義，將區域水資源之永續利用定義為：「在不損及後代子孫滿足其需求下，亦即不過度利用資源下，追求經濟發展，但同時不影響生態環境系統之維持」。

本研究將參考經濟部水利署之「台灣地區水資源永續發展指標之計算與評估」計畫(其研擬之永續指標分類如表 4.2-1 所示)，提出適合本區域之永續發展指標來進行評估分析。

表 4.2-1 水資源永續指標分類表

領域	評估範疇	驅動力指標	狀態指標	回應指標
環境	集水區保育與管理	•森林的砍伐量	•水庫品質指標	•造林面積數
		•土地利用改變率	•單位水庫有效容量變動率	•水源水質保護區畫定
	河川環境改善與管理	•點污染源	•河川總監測長度中受輕度污染以下之河川比率	•污水處理率
		•肥料與農藥的使用量	•水質指數 WQI8	•違反水污法開單件數
			•河川生物指標	•生態工法治河比率
		•都市主要河段親水性		
經濟	多元化水資源利用開發	•地下水利用強度	•可利用之水資源量	•供水穩定度
		•工業用水量		•享有安全飲水的人口比例
		•河川水利用強度		•多元化水源開發率
		•農業用水量		•灌溉回歸水開發利用率
		•每人每年水資源利用量		
	水資源調配與管理	•水權分配不均	•水資源供需比例	•水權檢討案件數
		•產業用水結構改變	•自來水管漏水率	•地面水與地下水聯合運用率
社會	旱澇災害損失減免	•自然災害的人命與經濟損失	•歷年洪患面積占總面積百分比	•每年防災治災經費
		•人口成長率	•歷年旱澇災損失金額	•每年防洪設施的維護經費
	節約用水措施推動	•每人每日生活用水量	•自來水普及率	•合理水價調整
		•工業用水佔工業生產價值比率	•飲用水不合格率	•工業用水回收率

(來源：台灣地區水資源永續發展指標之計算與評估，民國 93 年)

本研究選擇了五項永續指標來作為本研究之評估分析，部分指標將進行修正，以一般水資源分析較常出現的指標作為評估，選用的項

目可分為二大類，分別是水量面與需求面。其中河川水利用強度、民生用水量、工業用水量及農業用水量之限制代表不過度利用(水)資源；缺水指數的限制代表盡量滿足各產業之需水量以利追求經濟發展。各指標之分類如表 4.2-2 所示。以下將分別針對各永續指標進行詳述。

表 4.2-2 永續指標分類項目

領域	永續指標
水量面	河川水利用強度/不過度利用(水)資源
	缺水指數(供水穩定度)/ 經濟發展
需求面	民生用水量/不過度利用(水)資源
	工業用水量/不過度利用(水)資源
	農業用水量/不過度利用(水)資源

(一)河川水利用強度

本指標可顯示河川水資源開發利用率，進而調整水資源之供需策略。其可以反應出因水資源之不足而引起不同用水標的之競爭與衝突情況，有限的可用水資源可能對於水資源永續、經濟及區域發展有著負面的影響，進而導致生物多樣性之生態被破壞。以下將就該指標之定義與目標進行介紹。

(1)定義：河川水之總使用量相對於河川水總可用水量之比率，其可表示為：

$$\text{河川水利用強度} = \frac{\text{河川水總使用量}}{\text{河川水總可用水量}} * 100\%$$

(2)目標：除了部分國與國之間的協定外，在國際上並無目標值存

在，本研究將參考”台灣地區水資源開發綱領計畫”及”台灣地區水資源總量管制機制規劃”訂定之。其中中部地區水庫集水區與攔河堰控制面積之年平均逕流量約為 91 億噸，中部地區主要河系地表水管制水量為 56.64 億噸，因此本研究將中部地區之河川水利用強度上限設定為 $56.64/91=0.62$ 。

(二) 缺水指數

由於全球氣候暖化的影響，未來台灣發生乾旱與洪澇的機會越來越大，就供水而言必須維持農業用水、工業用水與生活用水的穩定供水量，因此本研究將以過去水利單位常用之缺水指數 SI(shortage index)來評量供水的穩定度，以下將就該指標之定義與目標進行介紹。

(1)定義：缺水指數簡單描述年缺水量與年計畫供水量間之關係，以缺水率(年缺水量/年計畫供水量)之平方表現年缺水之程度，並以全期各年缺水率平方之平均為代表，將不同年間之缺水狀況予以平均化，對特殊之枯旱狀況給予較高之權重。其可表示如下：式中 N 為模擬總年數。

$$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\text{年缺水量}}{\text{年計畫供水量}} \right)^2$$

(2)目標：此一準則須考慮用水人缺水之忍耐能力及水源調配支援之能力，若用水人之忍耐能力越高則供水規劃準則可採較低之標準，若其他水源支援能力低則供水規劃準則須採較高之標準，反之亦然。然而，因為用水人對缺水之忍耐能力及水源調配支援能力的影響因素錯綜複雜，一般在規劃水庫供水準則時無法細部分析，這些行為之影響可依照過去使用之經驗來訂定，過去水利單位常以缺水指數 SI(shortage index)=0.5~2.0 作為供水計算標準，前水資會則使用缺水

頻率為十年一缺之狀況作為標準，使用不同供水準則將會有不同之供水狀況及品質。本研究中將以 $SI=1$ 作為缺水風險之上限。

(三)民生用水量

本指標可間接表達出社會、經濟發展水準。這個指標直接反應與每人用水量、可利用水量和水價間之關係。民生用水量也與氣候情況有緊密的關聯。以下將就該指標之定義與目標進行介紹。

(1)定義：每人之日常生活消耗水量，包括家庭用水與都市生活用水兩大部分，家庭用水包含個人之飲用、沐浴、沖廁、烹調、洗滌等用水總和。都市生活用水包含營業用水(餐廳、百貨公司、旅館等等)、公共用水及消防用水。

(2)目標：根據經濟部水利署中區水資源局 95 年「中部地區水資源利用整體檢討規劃」，本研究擬以台中地區節約成長下之民國 110 年生活用水標的需水量為使用上限，若含自行取水量則上限值為 125 萬 CMD，若不含自行取水量則上限值為 122.5 萬 CMD。

(四)工業用水量

本指標可間接表達出經濟發展水準。台灣地區工業用水使用量近年來快速增加，預期需水量大之石化工業、鋼鐵工業以及電子產業或化學工業將持續發展。以下將就該指標之定義與目標進行介紹。

(1)定義：包含洗滌用水、鍋爐用水、製成用水、冷卻用水及其他用水等。

(2)目標：根據經濟部水利署中區水資源局 95 年「中部地區水資源利用整體檢討規劃」，本研究擬以台中地區民國 110 年之工業用水高成長標的需水量為使用上限。若含自行取水量則上限值為 98.5 萬

CMD，若不含自行取水量則上限值為 66.7 萬 CMD。

(五) 農業用水量

台灣地區用水占最大宗為農業用水，為因應未來民生及工業用水的急增，除應提升農田水利設功能，利用現代化技術加強管理節水外，將部分農田用水在合理適當的補償下支援其他標的使用，增進水資源利用效率。以下將就該指標之定義與目標進行介紹。

(1) 定義：從事農作、森林、水產、畜牧等及休閒事業用水量，其可區分為灌溉用水、養殖用水和禽畜用水。

(2) 目標：根據經濟部水利署「台灣地區水資源總量管制機制規劃」計畫，本研究擬以以台中地區民國 110 年之畜牧用水年需水量 318 萬噸/年，養殖用水年需水量 185 萬噸/年，灌溉用水年需水量 128,954 萬噸/年，視為永續利用使用上限。

4.3 多元化水資源調配系統動力模型建立

4.3.1 模式整體架構說明

由台中地區需求成長與現況供需圖(如圖 4.3.1-1 所示)分析得知，現況台中供水情形為大安溪鯉魚潭水庫、大甲溪石岡壩和部分地下水聯合供應每日供應 130 萬噸，但隨著中部科學園區的進駐與人口成長，造成用水量的劇增，以現有之供水系統無法滿足其未來需求量，如此將導致供需失衡而產生區域性缺水的問題。因此本研究提出多種多元化開發策略來增加大台中地區解決未來缺水情況之能力。

根據水利署多元化水資源管理經營理念中包含節約用水、有效管理、彈性調度及多元開發等四大措施，從提高用水效率著手，讓水的使用更加合理、有效。節約用水係在發揮相同的用水功能情況下，減

少不必要的浪費。

工廠可以透過檢討製程、合理用水及回收再利用來減少需補充之自來水量；居家生活上採用符合省水標章的產品，農業上推廣噴灌、滴灌系統或省水管路灌溉系統及養殖用水循環再利用等，都可以大幅減少對水資源的需求。調整農業政策，推動需水量少、經濟價值高的農作方式，亦能有效降低用水需求。彈性調度是透過區域性整體水利設施靈活彈性的聯合運用供應所需，以減少非必要之水源開發或作為緊急應變使用。有效管理是維護及提高現有水利設施的供水能力，其作法包括加強水庫集水區的保育工作、進行水庫的清淤排渾以延長水庫的壽命。自來水公司也要長期編列預算來進行像管線汰換、漏水檢修、加壓改善等作業。

當預期實施節約用水、有效管理、彈性調度等提高用水效率的措施仍然無法配合未來生活與產業用水時，就必須在天然水資源開發利用總量管制的前提下，以多元方式開發水源，如屬天然水資源類的人工湖、雨水收集貯留、地下水補注回用、新興農地回歸水、攔河堰、水庫及屬於新興造水類的海水淡化、水再生利用等方式，來提供必要的用水。

本研究提出之多元化開發策略包含兩種層面，一為供給面改善策略，即增加水源的供應量，如新建人工湖、越域引水工程及淨水廠新增擴建等；另一為需求面改善策略，即降低用水需求量，如農移用水策略、水價調整及管線汰換工程等。因此供給面策略影響原本的大甲大安溪供水系統，進而增加該區域之總供水量；需求面策略則可降低台中地區的用水需求量（包含民生用水、工業用水和農業用水），兩者皆可有效的減輕大台中地區的缺水情況。

然策略的施行尚須考量其經濟財務的可行性，因此本研究在考量策略的工程效益的同時，亦納入策略之成本效益分析。工程效益是以本研究提出之永續評估指標進行評估分析，策略的成本效益除考量一般之財務成本效益外，亦納入經濟面之成本效益評估。本研究以替代成本法來進行經濟面成本效益估算，即減少缺水時廠商生產所需面臨的損失，加上淨水廠之售水財務收益以及興建時期之砂石財務收益，即可計算策略之總效益。因此水量模式與經濟財務模式及評估指標之架構關係可整理如圖 4.3.1-2 所示。

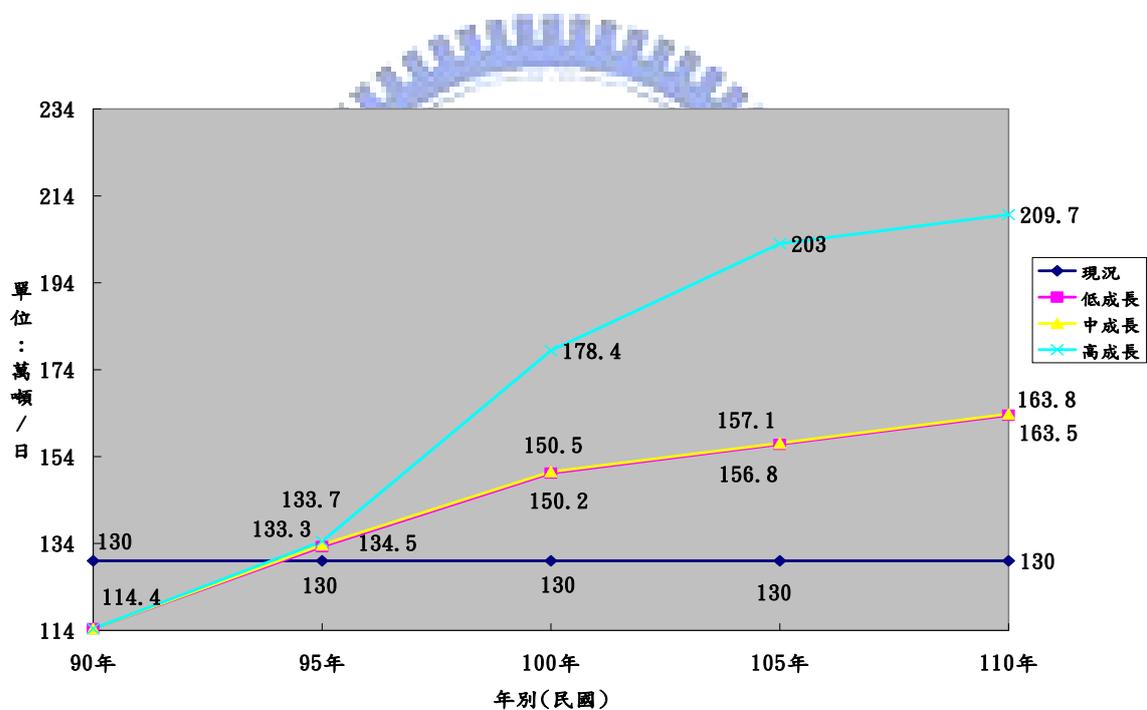


圖 4.3.1-1 台中地區需求成長與現況供需圖

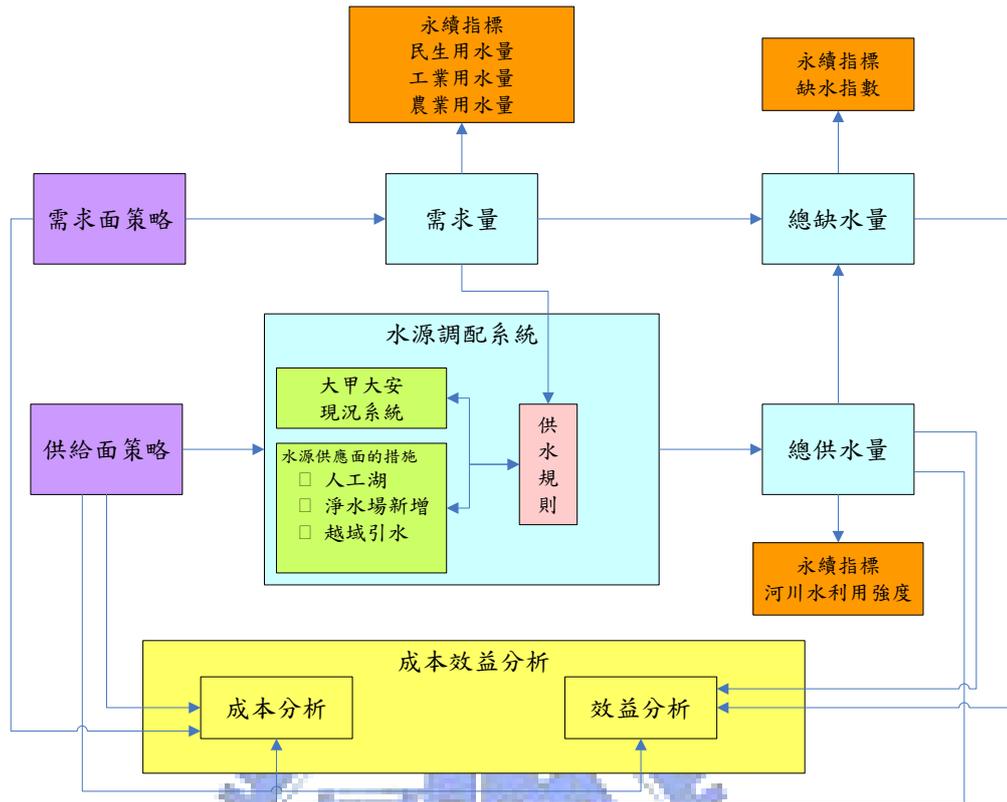


圖 4.3.1-2 水量運用與經濟財務分析整合架構圖

4.3.2 大甲溪與大安溪現況系統動力模型建立

參考圖 4.1-2 之大甲大安溪水源調配系統圖，並配合 4.1 節之各項水工結構物之水源調配之運用原則，利用系統動力學的四個基本物件：存量 (Stock)、流量 (Flow)、箭線 (Connector) 以及輔助變數 (Auxiliary)，搭配 3.1 節各線段之量化數學關係式即可建構出大甲大安聯合營運之水源調配系統動力模型（圖 4.3.2）。

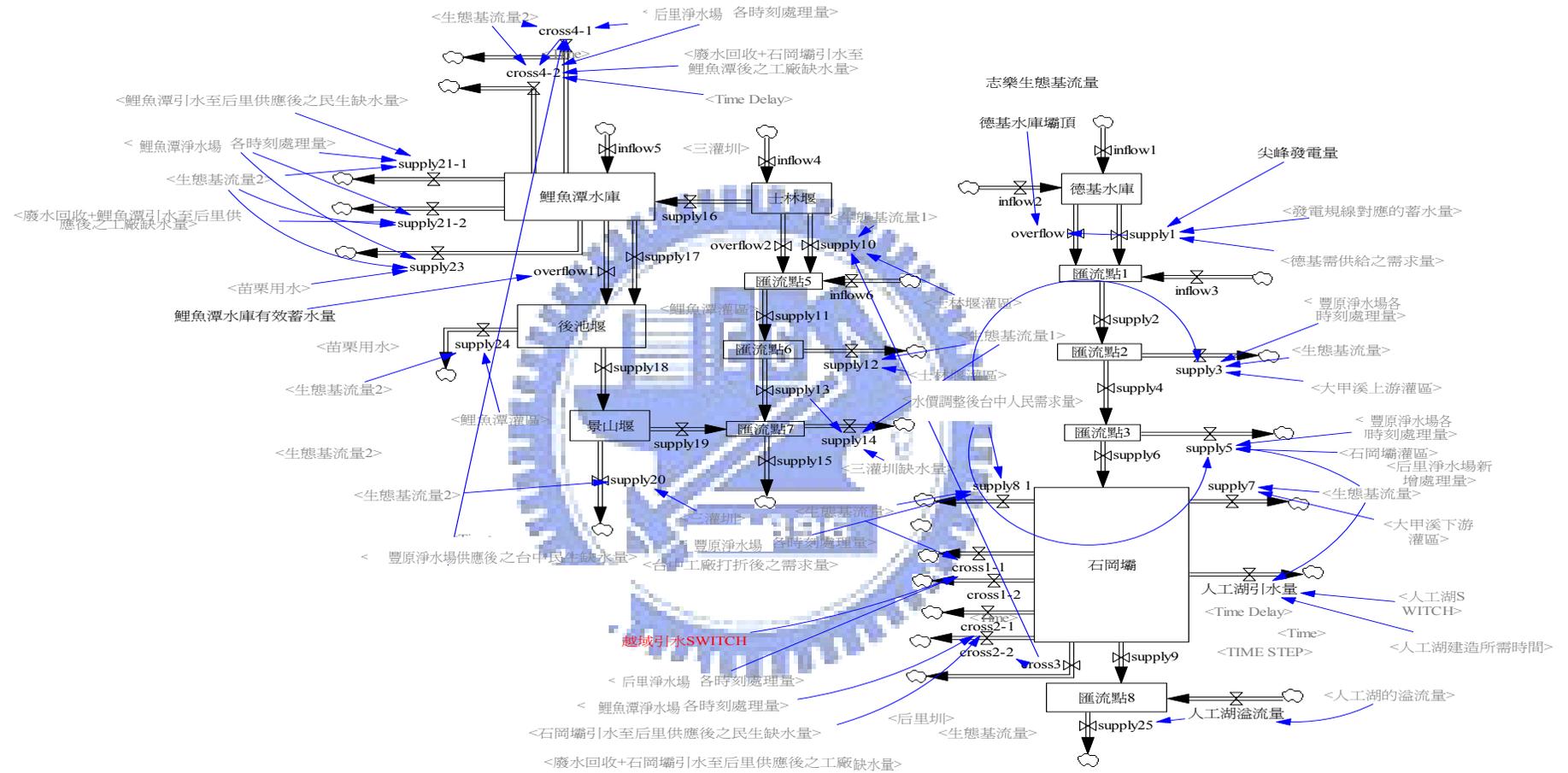


圖 4.3.2 大甲大安聯合營運之水源調配系統動力模型示意圖

4.3.3 供給面策略水源調配系統動力模型建立

一、人工湖動力模型建立

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

其計畫工作範圍為大甲河流域中下游，主要行政區域包含台中縣石崗鄉、后里鄉及外埔鄉，人工湖位置如圖 4.3.3-1 所示，初步設計的面積約 313.4 公頃，總蓄水體積約 2,800 萬噸，保留蓄水體積 262 萬噸，有效庫容 2,577 萬噸，年供水量 7,300 萬噸。台中人工湖水源演算模擬之系統架構如圖 4.3.3-2 所示。

台中人工湖引水來源為石岡壩剩餘流量，配合大甲大安之水源運用，供應給台中地區生活用水和工業用水，其供水順序應在現有水源系統(大甲大安系統)之後。另外考量人工湖之興建所需時間以及人工湖工程壽命後，人工湖模擬模式可表示如圖 4.3.3-3 所示。

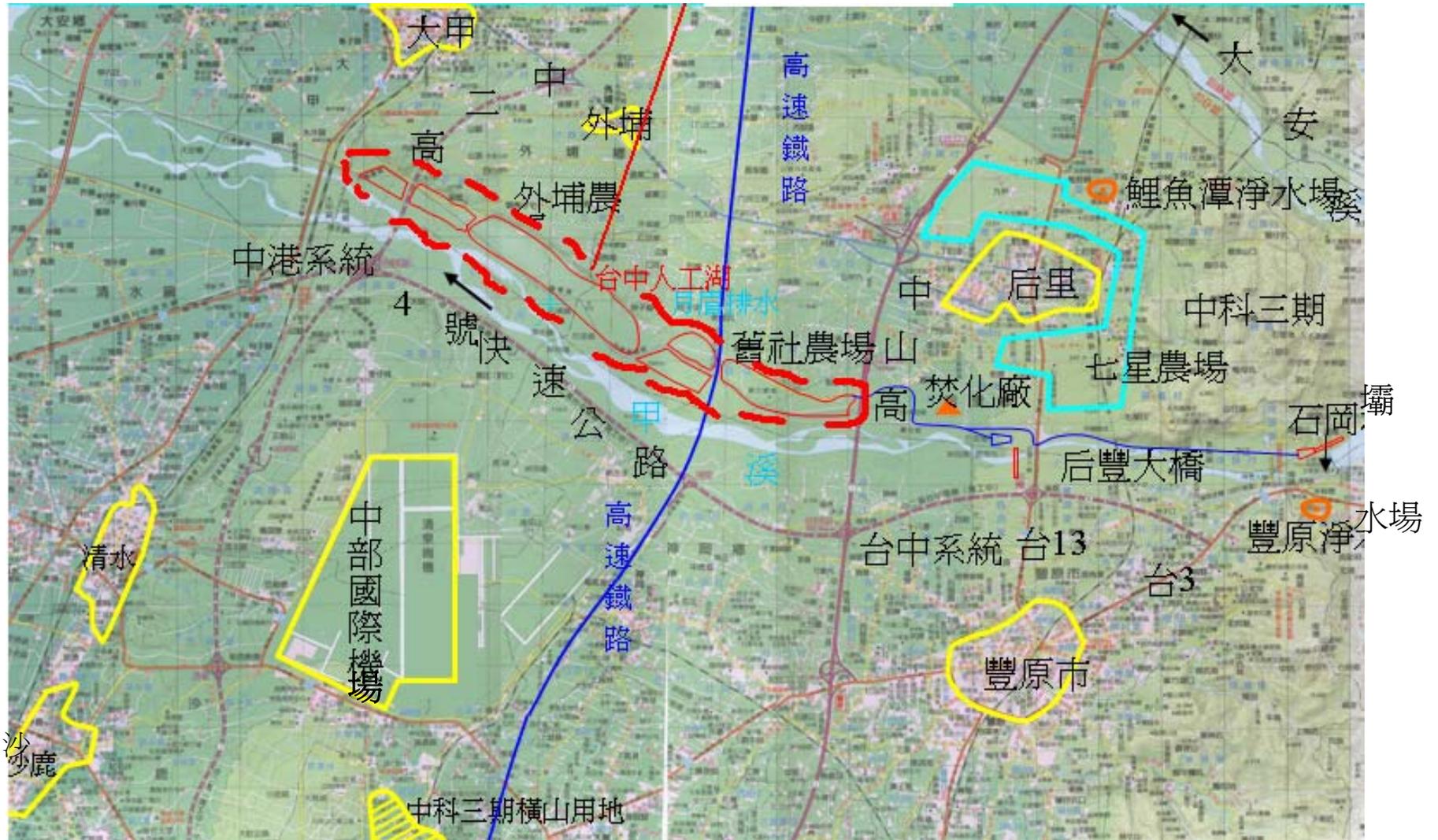


圖 4.3.3-1 台中人工湖位置圖

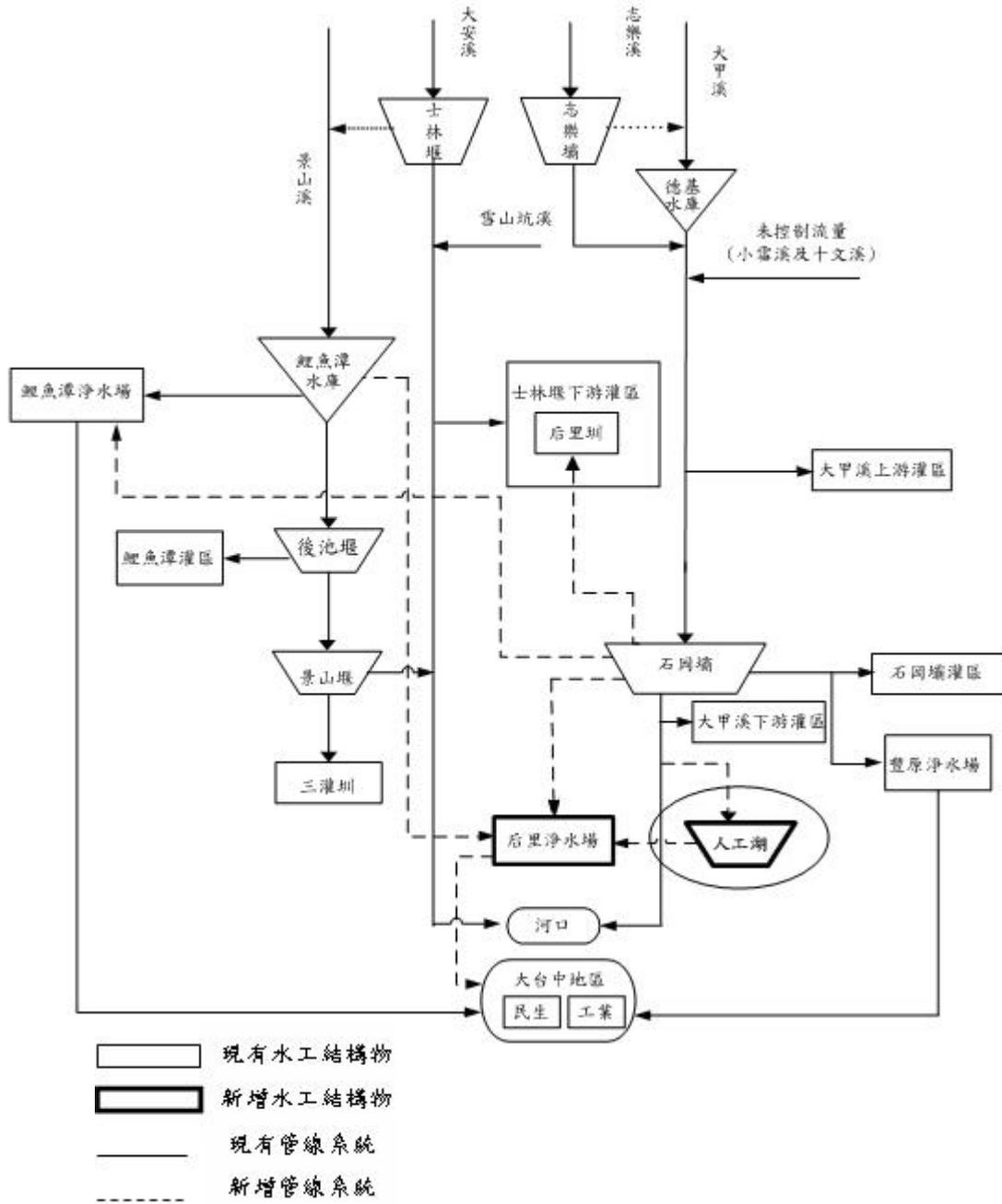


圖 4.3.3-2 台中人工湖水源演算模擬之系統架構圖

人工湖策略

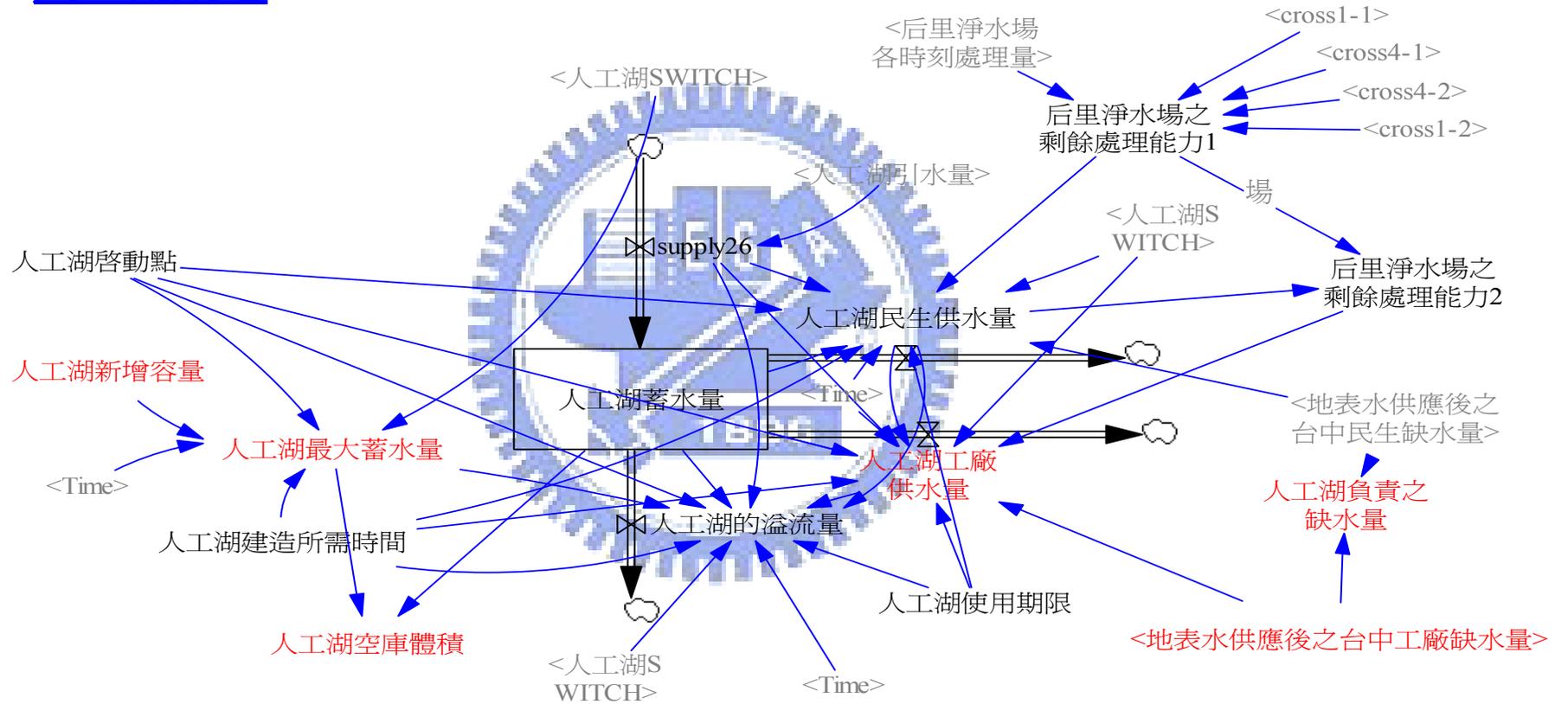


圖 4.3.3-3 台中人工湖水源調配系統動力模型

二、越域引水動力模型建立

由於大甲溪系統無論在豐枯水期皆有剩餘流量，為提升大甲溪上游發電尾水之利用率，預計將大甲溪多餘的發電尾水，引入大安溪流域，除了供后里圳使用外，亦引水至鯉魚潭淨水場以供台中地區公共用水使用，將大甲溪剩餘流量以直接輸送或交換用水之方式，直接或間接的蓄存於鯉魚潭水庫，以增加系統之供水能力。另外配合后里淨水場的興建，其取水水源亦考量由越域引水渠道增設取水口取水，而其另一取水來源則來自鯉魚潭水庫。整體水源調配示意圖可簡化如圖 4.3.3-4 所示。

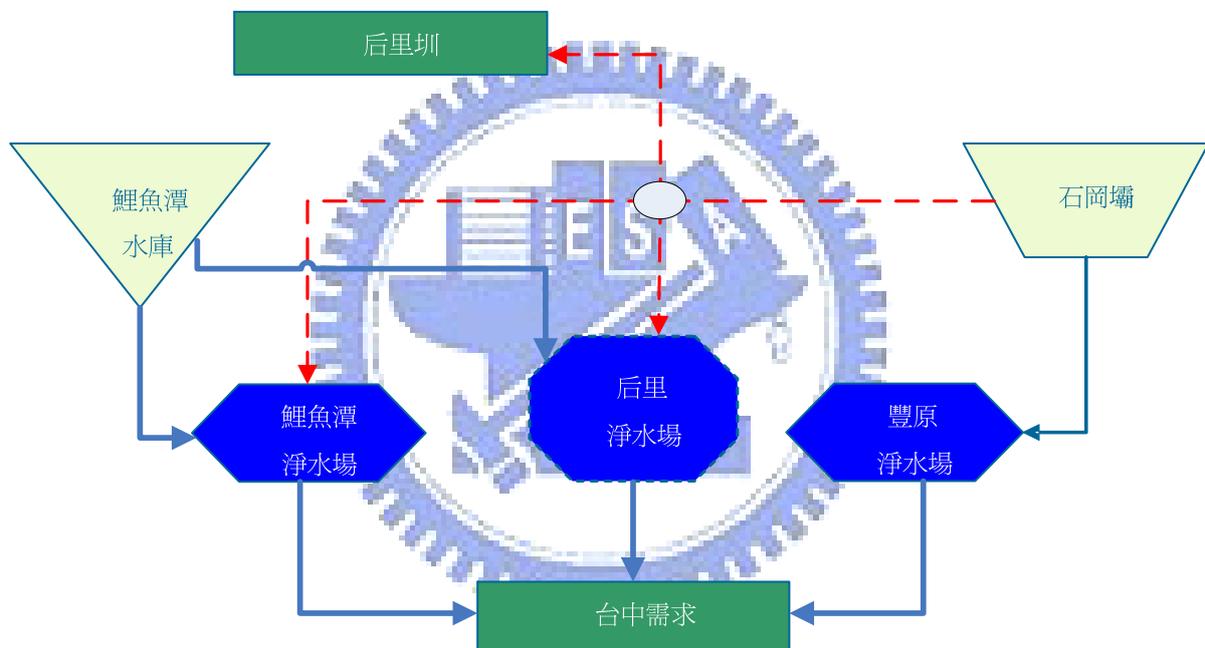


圖 4.3.3-4 越域引水之水源調配示意圖

三、淨水廠新增動力模型建立

台中地區目前用水需求為 130 萬 CMD，而主要自來水供水系統為鯉魚潭(110 萬 CMD)及豐原淨水場(85 萬 CMD)，在以目前運轉模式看來，兩淨水場似乎互為備援系統，但限於兩淨水場供水能力不相同，且不足以單獨滿足台中用水需求，充其量僅能說是補助支援系統，一但豐原或鯉魚潭淨水場任一發生完全無法出水之情形時，僅能以減壓供水或分水供水進行應變處理，圖 4.3.3-5 為大台中地區水資源系統圖。

因此為了因應台中地區目標年民國 110 年 202 萬 CMD 用水需求量，加上保留供應苗栗地區 20 萬 CMD，大台中地區用水總需求為 222 萬噸，在大甲溪水源運用規劃報告中得知，如以 25%備載估算，需擴(新)建淨水場處理能力約須達 278 萬 CMD，因此興建處理高濁度之后里淨水場（60～80 萬 CMD），期以提高供給能力，並建構多系統與管網系統，確保分擔風險及備援能力，方能達穩定有效供水之目標。

后里淨水場工程分為兩期，后里淨水場一期工程，需於民國 96 施工至民國 98 年完成，民國 99 年運作後可增加處理原水規模約 20 萬 CMD，而后里淨水場二期工程，需於民國 98 施工至民國 101 完成，民國 102 年運作後可增加處理原水規模約 60 萬 CMD。考量淨水場興建所需時間以及其工程壽命後，淨水場模擬模式可表示如圖 4.3.3-6 所示。



圖 4.3.3-5 大台中地區水資源系統圖

資料來源：大甲溪水源運用規劃，民國 95 年

註：()內數字係指設施能力，單位：萬 CMD。

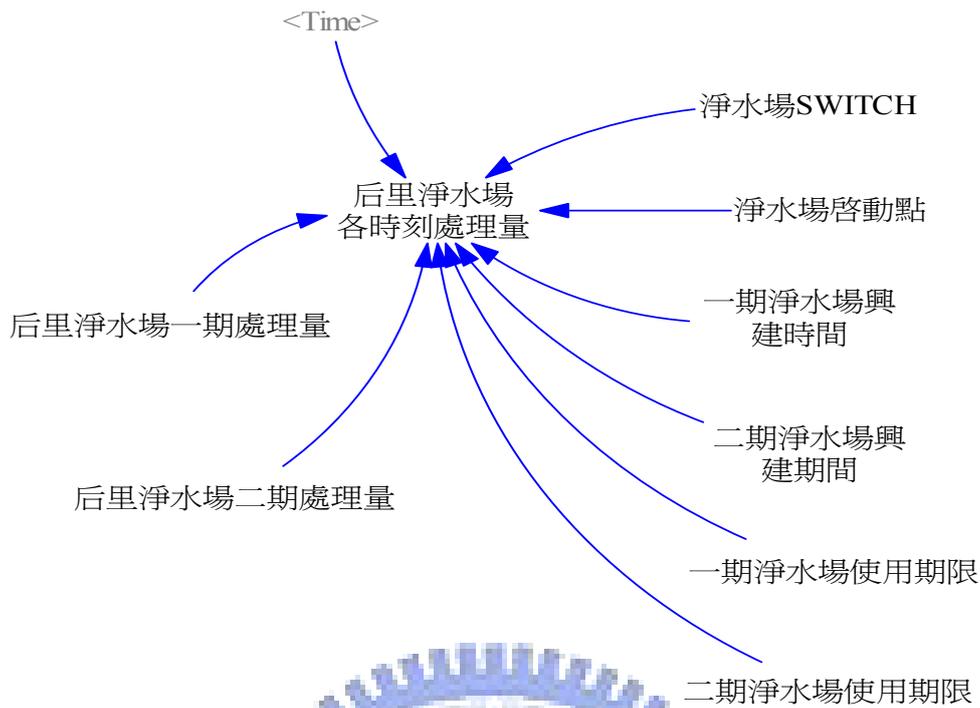


圖 4.3.3-6 后里淨水場系統動力模型

4.3.4 需求面策略水源調配系統動力模型建立

一、自來水管線汰換動力模型建立

台灣地區由於管線使用期限已久，再加上漏水率偏高，為節省水資源並提高可應用之有效水量，因此對於管線的更新實為一種值得各界關心之議題。目前自來水公司計算漏水率的方式為：

$$\text{漏水率} = (\text{配水量} - \text{抄見量} - \text{無計費有效水量}) / \text{配水量} * 100\%$$

經本研究推估可得台灣地區各年之漏水率以及自來水第四管理區處民國 93 年之漏水率如表 4.3.4-1 所示。顯示目前中部地區之漏水率甚高，因此盼藉由管線汰換工程來降低偏高的漏水率，以緩和台中之用水壓力。

由於台中地區管線汰換資料不足，因此本研究將以北水處所執行的“台北自來水供水管網改善計畫”資料來類比台中地區管線汰換之估算。由資料得知，每年汰換管線長度達台北地區總管線長度之 2%，約可降低漏水率 1%，由於本研究將管線汰換視為需求面策略，且本研究考量之民生需求量

推估與抄見率有關，因此可視為每年汰換管線長度達總管線長度之 2%，可提升抄見率 1%。本研究假設自來水管線壽命為 20 年，因此前二十年管線汰換工程可以降低漏水率，二十年後之管線汰換工程僅能控制漏水復發率。因此考量管線汰換工程壽命後，其模擬模式可表示如圖 4.3.4-1 所示。

自來水管線汰換策略

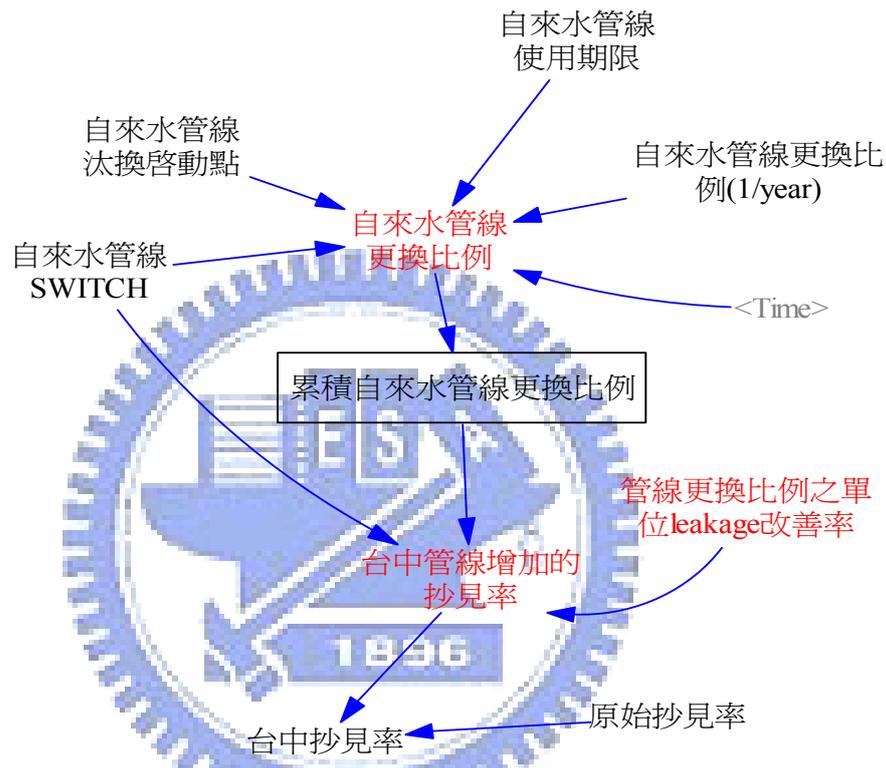


圖 4.3.4-1 自來水管線汰換系統動力模型

表 4.3.4-1 台灣地區漏水率現況分析

時期及供水系統別	配水量	抄見量	無計費水量	漏水率
	(立方公尺)	(立方公尺)	(立方公尺)	(%)
民國六十三年	423,384,502	...	29,636,915	
民國六十四年	456,733,547	...	31,971,348	
民國六十五年	486,641,970	325,943,007	34,064,938	26
民國六十六年	551,052,131	366,487,228	38,573,649	26
民國六十七年	651,925,230	447,447,054	45,634,766	24
民國六十八年	727,644,563	508,369,477	50,935,119	23
民國六十九年	782,900,812	538,833,841	54,803,057	24
民國七十年	853,480,779	584,738,935	59,743,655	24
民國七十一年	942,414,123	644,062,391	65,968,989	25
民國七十二年	1,031,206,336	712,132,591	72,184,444	24
民國七十三年	1,083,904,966	756,904,884	75,873,348	23
民國七十四年	1,176,534,442	814,598,239	82,357,411	24
民國七十五年	1,243,916,916	889,288,257	87,074,184	22
民國七十六年	1,347,399,718	969,003,431	94,317,980	21
民國七十七年	1,483,392,954	1,069,925,699	103,837,507	21
民國七十八年	1,605,463,323	1,144,641,106	112,382,433	22
民國七十九年	1,705,602,227	1,219,087,155	119,392,156	22
民國八十年	1,817,857,010	1,306,615,916	127,249,991	21
民國八十一年	1,952,799,874	1,360,225,970	136,695,991	23
民國八十二年	2,056,485,560	1,444,119,693	143,953,989	23
民國八十三年	2,126,372,015	1,500,611,441	148,846,041	22
民國八十四年	2,139,027,452	1,590,143,685	149,731,922	19
民國八十五年	2,195,113,081	1,634,195,636	153,657,916	19
民國八十六年	2,293,765,435	1,738,590,335	160,563,580	17
民國八十七年	2,378,114,042	1,820,371,639	166,467,983	16
民國八十八年	2,494,432,792	1,877,391,601	174,610,295	18
民國八十九年	2,845,438,541	1,946,879,600	199,180,698	25
民國九十年	2,931,265,573	1,980,953,513	205,188,590	25
民國九十一年	2,880,050,003	1,955,505,389	201,603,500	25
民國九十二年	2,959,327,403	2,000,069,396	207,152,918	25
民國九十三年	2,981,172,447	2,054,880,445	208,682,071	24
第四區管理處(93年)	538,848,953	283,651,820	37,719,427	40

資料來源：自來水年報，民國 93 年

二、水價調整動力模型建立

本研究考量之水價調整乃依照價格彈性進行建模。所謂價格彈性，係指當水價變動百分率變化 1 單位時，用水需求量變動百分率的變化幅度。價格彈性之一般定義式為：

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{\Delta P} * \frac{P_x}{X}$$

其中 X 為需水量，P_x 為水價。因此，透過價格彈性可以知道水價調整後，用水需求的可能變化數量。

$$\Delta X = \varepsilon \Delta P \frac{X}{P_x}$$

由前述式子可知，當價格彈性、原有水價、原用水量與水價變動等資訊都可取得時，便能推估得到用水需求之變動量。

需求價格彈性部分，由於我國水價向為政府管制，因此缺乏可真實反映用水供需的市場交易價格資料，難以正確推算我國用水價格彈性。本研究擬蒐集國內外相關文獻，以次級資料做為價格彈性參數。

蕭景楷（1998）曾整理國內自來水需求彈性相關文獻，發現大多數時間數列資料估計所得到之彈性值約為-0.2~-0.07 之間，至於以橫斷面資料估計所得彈性值則約為-0.4。至於國外地區用水需求彈性，則視用水部門有不同差異。家計部門用水需求彈性通常較小，多在-0.4 以內，與國內資料相近。至於工業部門用水需求彈性差異較大，最多甚至有-1.474 者（表 4.3.4-2）。

必須注意的是，表 4.3.4-2 中所呈現之彈性值係各文獻資料之匯總，部分原始文獻中尚進一步區分成不同業別推算價格彈性，本研究僅取各文獻中彈性之最高與最低值匯總呈現。因此，表 4.3.4-2 中部

分彈性值出現正值，乃是反映特定產業與特定國家水價制度之現象，而非所有產業均有正值之價格彈性。

由上述文獻及配合我國國情，本研究將採用家計用水之需求彈性為-0.1；工業用水之需求彈性為-0.7；另外本研究僅考量淨水場處理後之清水水價調整，並不涉及原水水價的調整，因此農業用水之需求彈性可設為 0。因此水價調整之之系統動力模式可表示如圖 4.3.4-2 所示。



表 4.3.4-2 各國用水需求彈性

地點	部門	彈性值
美西地區	單身家計部門	-0.43
加州西灣都會區	家計部門	-0.1~-0.2
Contra Costa 供水區	家計部門	-0.2~-0.4
加州	家計部門	-0.2~-0.5
南加州	家計部門	-0.13~-0.15
南加州灣區	單身家計部門	-0.16~-0.20
加州	灌溉用水	-0.37~-1.5
澳洲雪梨	公共給水	-0.13
丹麥哥本哈根	公共給水	-0.10
法國西部	公共給水	-0.22~-0.26
義大利	公共給水	-0.24
韓國	公共給水	-0.29
紐西蘭	公共給水	-0.08~-0.29
瑞典	公共給水	-0.10~-0.20
美國威斯康辛	公共給水	-0.12
美國伊利諾伊	公共給水	-0.48~-0.71
美國麻州	公共給水	-0.40~-0.45
美國聖塔芭芭拉	公共給水	-0.33
美國	工業用水	-0.33~-0.8
美國	工業用水	+0.14~-0.66
美國阿肯色州	工業用水	-0.08
美國	工業用水	-0.44~-0.97
加拿大英屬歌倫比亞	工業用水	-0.12~-0.54
美國 Columbus	工業用水	-1.16
加拿大	工業用水	-0.77
法國	工業用水	0.944~-1.474
中國	工業用水	-0.57~-1.20

資料來源：Marion W. Jenkins, Jay R. Lund, and Richard E. Howitt, (2003)；OECD (1987)；OECD (1999)；Reynaud (2003)；Wang and Lall (2002)

水價調整策略

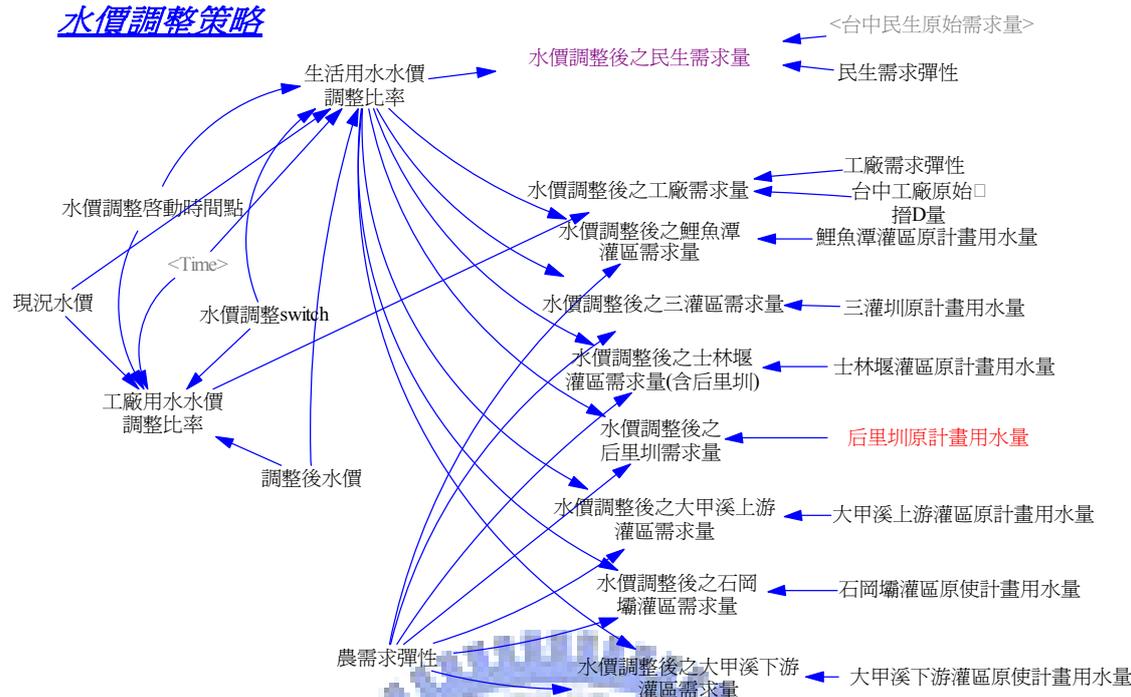


圖 4.3.4-2 水價調整之系統動力模型

三、農移用水動力模型建立

由於農業用水標的之可容忍乾旱缺水程度較高，且實務管理單位於乾旱較為嚴重時期之節水策略常採用休耕方式，因此農業用水短期移用為枯旱時期常見之供水調度方法。本研究參考根據海大博士論文「水庫供水操作與乾旱預警系統」，將水源情勢分析缺水等級進行分類（如表 4.3.4-3 所示），以作為農業用水移用策略啟動準則。

本研究之水源情勢分析以各用水標的之計畫用水量估算未來三個月之總需求量，並基於水庫現有蓄水量及未來三個月之入流量，推估未來三個月之總可利用水量。利用未來三個月之總需求量和總可利用水量可以進一步估算未來三個月之缺水率情勢，配合表 4.4.6-1 即可作為農業用水移用策略啟動準則。此外，由於台中地區之水稻屬於二期作，一期作為二月至七月，二期作為八月至十一月，因此農移用水策略必須於每期作之期初前判斷是否要休耕移用，即需於二月上旬

與八月上旬利用上述之啟動準則判斷是否啟動農移用水策略。經判斷後若為啟動，則該期作則進行休耕直至下期作才開始復耕。

台中地區之農業灌區分屬於大甲溪和大安溪流域，本研究將大甲溪灌區區分為三大灌區：大甲溪上游灌區、石岡壩灌區及大甲溪下游灌區；大安溪灌區區分為三大灌區：士林堰灌區、鯉魚潭灌區、三灌圳。本研究將視水源情勢分析後之缺水等級研擬各種農業用水移用準則。若缺水情勢屬於中度缺水時，則休耕各流域之下游灌區，即休耕大甲溪下游灌區及三灌圳；若缺水情勢屬於嚴重缺水時，則休耕各流域之中、下游灌區，即休耕石岡壩灌區、大甲溪下游灌區及三灌圳和鯉魚潭灌區；若缺水情勢屬於即嚴重缺水時，則大甲溪和大安溪所有灌區皆須休耕。根據此規則並以系統動力學之四大元件建立系統動力模式，結果如圖 4.3.4-3、圖 4.3.4-4 所示。



表 4.3.4-3 水源情勢分析缺水等級分類表

缺水等級		缺水率=(缺水量/需求量)×100%		
		農業用水	公共用水 (含農業之多目標 水庫)	公共用水 (單目標水庫)
未來缺水 程度等級 (Si)	1 無缺水	0	0	0
	2(輕度缺水)	0~30%	0~10%	0~5%
	3(中度缺水)	30%~40%	10%~20%	5%~15%
	4(嚴重缺水)	40%~50%	20%~30%	15%~30%
	5(極嚴重缺水)	>50%	>30%	>30%

(來源：水庫供水操作與乾旱預警系統之研究，民國94年)

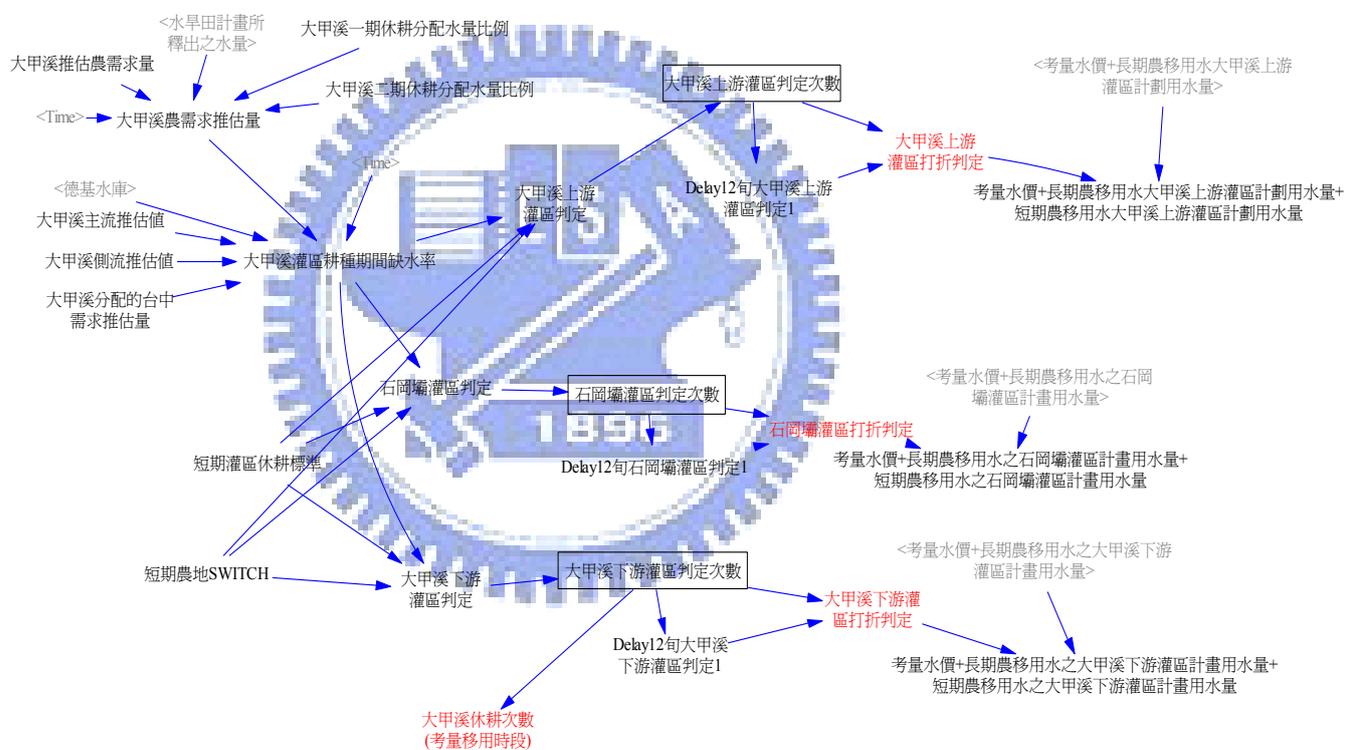


圖 4.3.4-3 大甲溪農移用水之系統動力模型

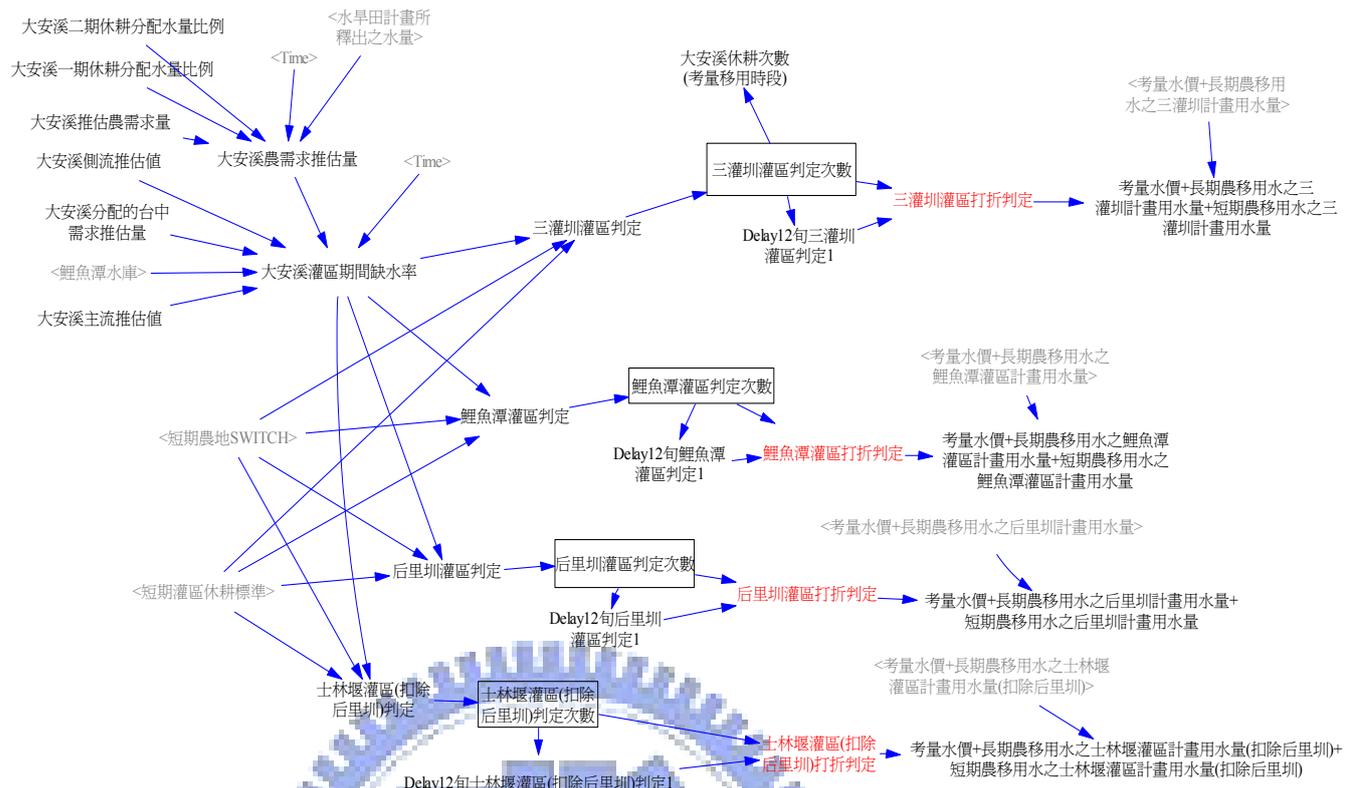


圖 4.3.4-4 大安溪農移用水之系統動力模型

4.4 經濟財務分析模組建立

本研究考量之策略包含供給面策略：台中人工湖新建、越域引水工程及后里淨水廠新建以及需求面策略：農移用水、水價調整及自來水管線汰換，其中供給面策略所需資金龐大，因此本研究規劃其資金來源為政府公債，而需求面策略多屬非結構性策略，其所需資金相對而言較低，因此本研究規劃其資金來源為所屬機關自籌經費，然其中水價調整之成本屬於社會成本（如民眾抗爭等），在本研究中不納入考量，僅估算其經濟財務效益。以下各節將分別說明各策略的經濟財務分析。

4.4.1 供給面策略經濟財務分析模組建立

一、人工湖經濟財務分析

台中人工湖興建期間分年經費表乃參考水利規劃試驗所之「台中人工湖初步規劃」計畫（表 4.4.1-1）、各項工程之單價係以民國 93 年 12 月份物價為基準，其所需工期為 5 年，工程壽命為 50 年。其中總工程費用之估算如下：

$$\text{總工程費（不考量物價變動）} = \Sigma（\text{分年經費}）$$

$$\text{總工程費（考量物價變動）} = \Sigma（\text{分年經費} * \text{物價變動率 } n）$$

施工期間物價變動率採主計處「工程物價指數」近 10 年平均價值（2.35%）計算，其中 n 為年份。

台中人工湖規劃之資金來源為政府公債，因此營運期間財務成本支出之償債金額採用「定額還本法」估算，即每年償還金額包含償債年金及每期償還利息，其估算方式如下：

$$\text{償債年金} = \text{總工程費} / \text{使用壽命}$$

第 t 期償還利息 = $\left(\frac{\text{總工程費}}{n} - \frac{t * \text{總工程費}}{n} \right) * i$ ，（其中 i 為利率， t 為期數、 n 為工程壽命年限）

此外，營運期間財務成本除上述償債年金及每期償還利息外，尚包含期中換新準備金、年運轉維護成本與年稅捐保費等項目，本研究分別以總工程費之 2%、1% 與 0.62% 概估。本研究成本效益法評估指標採用淨效益現值，因此需將政府部門各年之支出流量推估其現值，其折現方式下：

$$\text{政府部門支出流量現值} = \Sigma \text{各年政府部門支出流量} * (1+i)^{-t}$$

其中 t 為期數， i 為折現率，以近 10 年本國一般銀行平均借款利率 3.67% 概估。透由上述過程可編算人工湖工程營運期間財務成本面支出概況，如表 4.4.1-2~4.4.1-4 所示。

表 4.4.1-1 人工湖興建期間分年經費表

單位：百萬元

工程項目		總工程費	1	2	3	4	5
1.設計階段作業費		157	157				
2.含低水護岸治理及防洪牆	引水隧道	94				94	
	輸水明渠	240				240	
	取水口	65				65	
	沈砂池	170					170
	輸水管路	510					510
	人工湖工程	1953			651	651	651
	人工湖土堤	2210					2210
3.用地費		3,751		3751			
4.間接工程費		786			262	262	262
5.工程預備費		1,048			349	349	349
6.砂石出售收益		-1,953			-1953		
小計		9030	157	3751	-691	1661	4152
興建期間利息		673.4241		8.2739	206.3876	180.8486	277.914

(來源：台中人工湖初步規劃期末報告，民國 95 年)

表 4.4.1-2 人工湖營運期間財務成本支出概況(1)

單位：百萬元

年度		6	7	8	9	10	11	12	13
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07
	利息	511.37	501.14	490.92	480.69	470.46	460.23	450.01	439.78
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83
	期中換新準備金	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66
	政府部門支出流量	1103.02	1092.80	1082.57	1072.34	1062.11	1051.89	1041.66	1031.43
	折現現值	892.00	800.00	764.00	729.00	696.00	665.00	634.00	605.00
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52
	利息	557.34	546.20	535.05	523.90	512.76	501.61	490.46	479.32
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	111.35	111.61	111.87	112.12	112.38	112.64	112.90	113.16
	更新準備金	222.71	223.22	223.73	224.25	224.76	225.28	225.80	226.32
	政府部門支出流量	1171.02	1160.64	1150.26	1139.89	1129.51	1119.14	1108.77	1098.41
	折現現值	949.00	908.00	869.00	831.00	795.00	760.00	727.00	696.00

年度		14	15	16	17	18	19	20	21	22
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07
	利息	429.55	419.32	409.10	398.87	388.64	378.41	368.19	357.96	347.73
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83
	期中換新準備金	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66
	政府部門支出流量	1021.20	1010.98	1000.75	990.52	980.29	970.07	959.84	949.61	939.39
	折現現值	578.00	551.00	526.00	502.00	478.00	456.00	435.00	415.00	395.00
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52
	利息	468.17	457.02	445.88	434.73	423.58	412.43	401.29	390.14	378.99
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	113.42	113.68	113.94	114.20	114.47	114.73	114.99	115.26	115.52
	更新準備金	226.84	227.36	227.88	228.41	228.93	229.46	229.99	230.52	231.05
	政府部門支出流量	1088.04	1077.67	1067.31	1056.95	1046.59	1036.24	1025.88	1015.53	1005.18
	折現現值	665.00	636.00	608.00	582.00	556.00	532.00	508.00	486.00	464.00

表 4.4.1-3 人工湖營運期間財務成本支出概況(2)

單位：百萬元

年度		23	24	25	26	27	28	29	30	31
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07
	利息	337.50	327.28	317.05	306.82	296.59	286.37	276.14	265.91	255.69
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83
	期中換新準備金	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66
	政府部門支出流量	929.16	918.93	908.70	898.48	888.25	878.02	867.79	857.57	847.34
	折現現值	377.00	359.00	342.00	326.00	311.00	296.00	282.00	268.00	255.00
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52
	利息	367.85	356.70	345.55	334.41	323.26	312.11	300.97	289.82	278.67
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	115.79	116.06	116.32	116.59	116.86	117.13	117.40	117.67	117.94
	更新準備金	231.58	232.11	232.65	233.18	233.72	234.25	234.79	235.33	235.87
	政府部門支出流量	994.83	984.48	974.13	963.79	953.45	943.10	932.77	922.43	912.09
	折現現值	444.00	424.00	405.00	387.00	370.00	353.00	338.00	322.00	308.00
年度		32	33	34	35	36	37	38	39	40
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07
	利息	245.46	235.23	225.00	214.78	204.55	194.32	184.09	173.87	163.64
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83
	期中換新準備金	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66
	政府部門支出流量	837.11	826.88	816.66	806.43	796.20	785.97	775.75	765.52	755.29
	折現現值	243.00	231.00	220.00	209.00	199.00	189.00	180.00	171.00	163.00
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52
	利息	267.53	256.38	245.23	234.08	222.94	211.79	200.64	189.50	178.35
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	118.21	118.48	118.75	119.03	119.30	119.57	119.85	120.12	120.40
	更新準備金	236.42	236.96	237.51	238.05	238.60	239.15	239.70	240.25	240.80
	政府部門支出流量	901.76	891.43	881.10	870.77	860.45	850.12	839.80	829.48	819.16
	折現現值	294.00	281.00	268.00	256.00	244.00	233.00	223.00	213.00	203.00

表 4.4.1-4 人工湖營運期間財務成本支出概況(3)

單位：百萬元

年度		41	42	43	44	45	46	47	48	49
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07
	利息	153.41	143.18	132.96	122.73	112.50	102.27	92.05	81.82	71.59
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83
	期中換新準備金	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66
	政府部門支出流量	745.06	734.84	724.61	714.38	704.15	693.93	683.70	673.47	663.24
	折現現值	154.00	147.00	139.00	132.00	126.00	119.00	113.00	107.00	102.00
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52
	利息	167.20	156.06	144.91	133.76	122.62	111.47	100.32	89.18	78.03
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09
	運轉維護費	120.68	120.96	121.23	121.51	121.79	122.07	122.35	122.63	122.92
	更新準備金	241.36	241.91	242.47	243.03	243.58	244.14	244.71	245.27	245.83
	政府部門支出流量	808.85	798.53	788.22	777.91	767.60	757.30	746.99	736.69	726.39
	折現現值	194.00	185.00	176.00	168.00	160.00	153.00	146.00	139.00	132.00
年度		50	51	52	53	54	55			
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07			
	利息	61.36	51.14	40.91	30.68	20.45	10.23			
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09			
	運轉維護費	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83	109.83			
	期中換新準備金	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66	219.66			
	政府部門支出流量	653.02	642.79	632.56	622.34	612.11	601.88			
	折現現值	96.00	91.00	86.00	82.00	77.00	73.00			
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52	211.52			
	利息	66.88	55.73	44.59	33.44	22.29	11.15			
	年稅捐與保費	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09	68.09			
	運轉維護費	123.20	123.48	123.77	124.05	124.34	124.62			
	更新準備金	246.40	246.96	247.53	248.10	248.67	246.00			
	政府部門支出流量	716.09	705.79	695.50	685.20	674.91	661.38			
	折現現值	126.00	120.00	115.00	109.00	104.00	99.00			

二、越域引水經濟財務分析

越域引水興建期間分年經費表乃參考大甲溪水源運用規劃（表 4.4.1-5），各項工程之單價係以民國 94 年 2 月份物價為基準，其所需工期為 4 年，工程壽命為 50 年。其中總工程費用之估算如下：

$$\text{總工程費（不考量物價變動）} = \Sigma（\text{分年經費}）$$

$$\text{總工程費（考量物價變動）} = \Sigma（\text{分年經費} * \text{物價變動率 } n）$$

施工期間物價變動率採主計處「工程物價指數」近 10 年平均值（2.35%）計算，其中 n 為年份。

越域引水之資金來源為政府公債，因此營運期間財務成本支出之償債金額採用「定額還本法」估算，即每年償還金額包含償債年金及每期償還利息，其估算方式如下：

$$\text{償債年金} = \text{總工程費} / \text{使用壽命}$$

$$\text{第 } t \text{ 期償還利息} = \left(\frac{\text{總工程費} - \frac{t * \text{總工程費}}{n}}{n} \right) * i, \text{ (其中 } i \text{ 為利率, } t \text{ 為期數、} n \text{ 為工程壽命年限)}$$

此外，營運期間財務成本除上述償債年金及每期償還利息外，尚包含期中換新準備金、年運轉維護成本與年稅捐保費等項目，本研究分別以總工程費之 2%、1% 與 0.62% 概估。本研究成本效益法評估指標採用淨效益現值，因此需將政府部門各年之支出流量推估其現值，其折現方式下：

$$\text{政府部門支出流量現值} = \Sigma \text{ 各年政府部門支出流量} * (1+i)^{-t}$$

其中 t 為期數，i 為折現率，以近 10 年本國一般銀行平均借款利率 3.67% 概估。透由上述過程可編算越域引水工程營運期間財務成本

面支出概況，如表 4.4.1-6~4.4.1-5-8 所示。

表 4.4.1-5 越域引水工程興建期間財務成本概況

單位：百萬元

年度		1	2	3	4
工程項目	工程費				
1.設計階段作業費	86.029	64.522	21.507		
2.用地取得及拆遷補償費	98.986	29.696	69.29		
3.直接 工程 成本	輸水工程	521.994		260.997	260.997
	隧道工程	827			827
	橋樑工程 (含土木附屬工程)	210.36			105.18
	取水工及附屬工程	38		11.4	11.4
	施工用臨時設施	6		2.1	2.1
	環保安衛費	10.44		3.654	3.654
	雜項工程	106.789		35.241	35.241
4.間接工程費	258.087		47.009	62.786	148.293
5.工程預備費	344.117		62.678	83.714	197.724
6.物價調整費	288.457		30.134	61.433	196.89
小計	2,796.26	94.22	544.01	626.51	1,531.53
興建期間利息	107.561009		4.9652886	33.89629	68.69943

(來源：大甲溪水源規劃，民國 95 年)

表 4.4.1-6 越域引水策略營運期間財務成本支出概況 (1)

單位：百萬元

年度		5	6	7	8	9	10	11	12
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08
	利息	153.03	149.97	146.91	143.85	140.79	137.73	134.67	131.61
	年稅捐與保費	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34
	運轉維護費	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96
	期中換新準備金	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98
	政府部門支出流量	270.39	267.33	264.27	261.21	258.15	255.09	252.02	248.96
	折現現值	239.51	238.93	231.49	224.25	217.20	210.35	203.68	197.19
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71
	利息	165.25	161.94	158.64	155.33	152.03	148.72	145.42	142.11
	稅捐及保費	17.54	17.58	17.62	17.66	17.70	17.74	17.78	17.82
	運轉維護費	28.29	28.35	28.42	28.48	28.55	28.61	28.68	28.74
	更新準備金	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98
	政府部門支出流量	289.76	286.56	283.36	280.16	276.96	273.76	270.56	267.37
	折現現值	240.11	239.64	232.30	225.15	218.20	211.44	204.86	198.45

年度		13	14	15	16	17	18	19	20	21
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08
	利息	128.55	125.49	122.43	119.36	116.30	113.24	110.18	107.12	104.06
	年稅捐與保費	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34
	運轉維護費	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96
	期中換新準備金	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98
	政府部門支出流量	245.90	242.84	239.78	236.72	233.66	230.60	227.54	224.48	221.42
	折現現值	190.88	184.74	178.78	172.97	167.33	161.84	156.50	151.31	146.26
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71
	利息	138.81	135.50	132.20	128.89	125.59	122.28	118.98	115.67	112.37
	稅捐及保費	17.86	17.90	17.94	17.99	18.03	18.07	18.11	18.15	18.19
	運轉維護費	28.81	28.88	28.94	29.01	29.08	29.14	29.21	29.28	29.34
	更新準備金	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98
	政府部門支出流量	264.17	260.97	257.77	254.58	251.38	248.18	244.99	241.79	238.60
	折現現值	249.29	246.31	243.33	240.34	237.36	234.38	231.40	228.42	225.44

表 4.4.1-7 越域引水策略營運期間財務成本支出概況(2)

單位：百萬元

年度		22	23	24	25	26	27	28	29	30
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08
	利息	101.00	97.94	94.88	91.82	88.76	85.70	82.64	79.58	76.52
	年稅捐與保費	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34
	運轉維護費，	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96
	期中換新準備金	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98
	政府部門支出流量	218.36	215.30	212.24	209.18	206.12	203.05	199.99	196.93	193.87
	折現現值	141.36	136.59	131.96	127.45	123.07	118.82	114.68	110.67	106.76
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71
	利息	109.06	105.76	102.45	99.15	95.84	92.54	89.23	85.93	82.62
	稅捐及保費	18.24	18.28	18.32	18.36	18.40	18.45	18.49	18.53	18.57
	運轉維護費	29.41	29.48	29.55	29.62	29.68	29.75	29.82	29.89	29.96
	更新準備金	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98
	政府部門支出流量	235.40	232.20	229.01	225.81	222.62	219.43	216.23	213.04	209.84
	折現現值	222.45	219.47	216.49	213.51	210.53	207.55	204.58	201.60	198.62

年度		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08
	利息	73.46	70.39	67.33	64.27	61.21	58.15	55.09	52.03	48.97	45.91
	年稅捐與保費	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34
	運轉維護費，	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96
	期中換新準備金	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98
	政府部門支出流量	190.81	187.75	184.69	181.63	178.57	175.51	172.45	169.39	166.33	163.27
	折現現值	102.97	99.29	95.71	92.23	88.86	85.58	82.40	79.31	76.31	73.39
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71
	利息	79.32	76.01	72.71	69.40	66.10	62.79	59.49	56.18	52.88	49.57
	稅捐及保費	18.62	18.66	18.70	18.75	18.79	18.83	18.87	18.92	18.96	19.01
	運轉維護費	30.03	30.10	30.16	30.23	30.30	30.37	30.44	30.51	30.58	30.65
	更新準備金	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98
	政府部門支出流量	206.65	203.46	200.26	197.07	193.88	190.69	187.50	184.30	181.11	177.92
	折現現值	195.64	192.66	189.69	186.71	183.73	180.75	177.78	174.80	171.83	168.85

表 4.4.1-8 越域引水策略營運期間財務成本支出概況(3)

單位：百萬元

年度		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08	58.08
	利息	42.85	39.79	36.73	33.67	30.61	27.55	24.49	21.42	18.36	15.30
	年稅捐與保費	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34
	運轉維護費，	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96	27.96
	期中換新準備金	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98	13.98
	政府部門支出流量	160.21	157.15	154.08	151.02	147.96	144.90	141.84	138.78	135.72	132.66
	折現現值	70.57	67.82	65.16	62.58	60.07	57.64	55.28	52.99	50.77	48.61
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71
	利息	46.27	42.96	39.66	36.35	33.05	29.74	26.44	23.13	19.83	16.52
	稅捐及保費	19.05	19.09	19.14	19.18	19.23	19.27	19.31	19.36	19.40	19.45
	運轉維護費	30.72	30.80	30.87	30.94	31.01	31.08	31.15	31.22	31.29	31.37
	更新準備金	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98
	政府部門支出流量	174.73	171.54	168.35	165.16	161.97	158.78	155.59	152.40	149.22	146.03
	折現現值	165.88	162.90	159.93	156.96	153.98	151.01	148.04	145.06	142.09	139.12

年度		51	52	53	54
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	58.08	58.08	58.08	58.08
	利息	12.24	9.18	6.12	3.06
	年稅捐與保費	17.34	17.34	17.34	17.34
	運轉維護費，	27.96	27.96	27.96	27.96
	期中換新準備金	13.98	13.98	13.98	13.98
	政府部門支出流量	129.60	126.54	123.48	120.42
	折現現值	46.53	44.50	42.54	40.64
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	62.71	62.71	62.71	62.71
	利息	13.22	9.91	6.61	3.30
	稅捐及保費	19.49	19.54	19.58	19.63
	運轉維護費	31.44	31.51	31.58	31.66
	更新準備金	15.98	15.98	15.98	15.98
	政府部門支出流量	142.84	139.65	136.46	133.28
	折現現值	136.15	133.18	130.21	127.24

三、淨水廠新增經濟財務分析

目前並無后里淨水場工程之規劃報告，僅有「中部地區水資源利用整體檢討規劃」及「大甲溪水源運用規劃」曾概估整體工程經費，因此僅能採用前述兩報告之概估結果推算淨水場擴充工程興建期間財務成本如表（表 4.4.1-9）、各項工程之單價係以民國 94 年 2 月份物價為基準，其一期所需工期為 3 年，二期所需工期為 8 年，工程壽命皆為 30 年。其中總工程費用之估算如下：

$$\text{總工程費（不考量物價變動）} = \Sigma（\text{分年經費}）$$

$$\text{總工程費（考量物價變動）} = \Sigma（\text{分年經費} * \text{物價變動率 } n）$$

施工期間物價變動率採主計處「工程物價指數」近 10 年平均值（2.35%）計算，其中 n 為年份。

淨水廠新增之資金來源為政府公債，因此營運期間財務成本支出之償債金額採用「定額還本法」估算，即每年償還金額包含償債年金及每期償還利息，其估算方式如下：

$$\text{償債年金} = \text{總工程費} / \text{使用壽命}$$

第 t 期償還利息 = $\frac{(\text{總工程費} - \frac{t * \text{總工程費}}{n})}{n} * i$ ，（其中 i 為利率， t 為期數、 n 為工程壽命年限）

此外，營運期間財務成本除上述償債年金及每期償還利息外，尚包含期中換新準備金、年運轉維護成本與年稅捐保費等項目，本研究分別以總工程費之 2%、1% 與 0.62% 概估。本研究成本效益法評估指標採用淨效益現值，因此需將政府部門各年之支出流量推估其現值，其折現方式下：

$$\text{政府部門支出流量現值} = \sum \text{各年政府部門支出流量} * (1+i)^{-t}$$

其中 t 為期數，i 為折現率，以近 10 年本國一般銀行平均借款利率 3.67% 概估。透由上述過程可編算淨水場擴充工程營運期間財務成本面支出概況，如表 4.4.1-10~4.4.1-13 所示。

表 4.4.1-9 淨水場擴充工程興建期間財務成本概況

單位：百萬元

年度	總工程費	1	2	3						
后里 淨水 場一 期工 程	設計階段作業費	12.65	12.65							
	直接工程費	253.06		126.53	126.53					
	用地費	205.72	205.72							
	間接工程費	37.96		18.98	18.98					
	工程預備費	50.61		25.31	25.31					
	物價調整費	27.57	5.52	8.75	13.30					
	小計	560.00	223.90	179.56	184.11					
	興建期間利息	33.68		11.80	21.88					
年度	總工程費	1	2	3	4	5	6	7	8	
后里 淨水 場二 期工 程	設計階段作業費	182.00	72.80	109.20						
	直接工程費	1349.63			249.63	258.52	200.00	206.67	214.07	220.74
	用地費	1058.00		1058.00						
	間接工程費	202.44			37.44	38.78	30.00	31.00	32.11	33.11
	工程預備費	269.93			49.93	51.70	40.00	41.33	42.81	44.15
	物價調整費	326.78	1.84	59.81	26.23	36.68	35.93	45.12	55.23	65.94
	小計	3062.00	74.64	1227.01	363.23	385.68	305.93	324.12	344.23	363.94
	興建期間利息	784.30		11.80	69.22	92.01	117.18	139.48	163.91	190.69

來源：推估自「大甲溪水源運用規劃」、「中部地區水資源利用整體檢討規劃」。

表 4.4.1-10 淨水場擴充(一期)工程營運期間財務成本支出概況(1)

單位：百萬元

年度		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71
	利息	32.74	31.65	30.56	29.47	28.37	27.28	26.19	25.10	24.01	22.92
	年稅捐與保費	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47
	運轉維護費	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60
	期中換新準備金	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20
	政府部門支出流量	73.72	72.63	71.54	70.45	69.36	68.26	67.17	66.08	64.99	63.90
	折現現值	57.50	55.94	53.04	50.27	47.63	45.11	42.71	40.43	38.25	36.18
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68
	利息	34.28	33.14	32.00	30.85	29.71	28.57	27.42	26.28	25.14	24.00
	稅捐與保費	3.50	3.51	3.52	3.53	3.54	3.54	3.55	3.56	3.57	3.58
	運轉維護費	5.65	5.66	5.68	5.69	5.70	5.72	5.73	5.74	5.76	5.77
	更新準備金	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75
	政府部門支出流量	76.87	75.74	74.62	73.50	72.38	71.26	70.14	69.01	67.89	66.77
	折現現值	57.59	56.06	53.17	50.42	47.79	45.29	42.90	40.63	38.46	36.40

年度		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71
	利息	21.83	20.74	19.64	18.55	17.46	16.37	15.28	14.19	13.10	12.00
	年稅捐與保費	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47
	運轉維護費	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60
	期中換新準備金	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20
	政府部門支出流量	62.81	61.72	60.62	59.53	58.44	57.35	56.26	55.17	54.08	52.99
	折現現值	34.20	32.32	30.53	28.83	27.21	25.67	24.20	22.80	21.48	20.21
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68
	利息	22.85	21.71	20.57	19.43	18.28	17.14	16.00	14.86	13.71	12.57
	稅捐與保費	3.59	3.59	3.60	3.61	3.62	3.63	3.64	3.64	3.65	3.66
	運轉維護費	5.78	5.80	5.81	5.82	5.84	5.85	5.86	5.88	5.89	5.90
	更新準備金	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75
	政府部門支出流量	65.65	64.53	63.41	62.29	61.17	60.05	58.93	57.80	56.68	55.56
	折現現值	34.44	32.56	30.78	29.09	27.47	25.93	24.47	23.08	21.75	20.49

表 4.4.1-11 淨水場擴充(一期)工程營運期間財務成本支出概況(2)

單位：百萬元

年度		24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71	20.71
	利息	10.91	9.82	8.73	7.64	6.55	5.46	4.37	3.27	2.18	1.09
	年稅捐與保費	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47
	運轉維護費	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60
	期中換新準備金	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20
	政府部門支出流量	51.89	50.80	49.71	48.62	47.53	46.44	45.35	44.25	43.16	42.07
	折現現值	19.01	17.87	16.79	15.76	14.79	13.86	12.98	12.14	11.35	10.60
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68
	利息	11.43	10.28	9.14	8.00	6.86	5.71	4.57	3.43	2.29	1.14
	稅捐與保費	3.67	3.68	3.69	3.69	3.70	3.71	3.72	3.73	3.74	3.75
	運轉維護費	5.92	5.93	5.94	5.96	5.97	5.99	6.00	6.01	6.03	6.04
	更新準備金	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75
	政府部門支出流量	54.44	53.32	52.20	51.08	49.96	48.84	47.72	46.60	45.48	44.36
	折現現值	19.30	18.16	17.08	16.05	15.07	14.15	13.27	12.43	11.64	10.88



表 4.4.1-12 淨水場擴充(二期)工程營運期間財務成本支出概況(1)

單位:百萬元

年度		9	10	11	12	13	14	15	16
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75
	利息	219.36	212.05	204.73	197.42	190.11	182.80	175.49	168.17
	年稅捐與保費	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98
	運轉維護費	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62
	期中換新準備金	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24
	政府部門支出流量	468.95	461.64	454.32	447.01	439.70	432.39	425.08	417.76
	折現現值	311.80	303.46	287.53	272.34	257.87	244.08	230.95	218.43
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15
	利息	243.71	235.58	227.46	219.33	211.21	203.09	194.96	186.84
	年稅捐與保費	19.38	19.43	19.47	19.52	19.56	19.60	19.65	19.70
	運轉維護費	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11
	期中換新準備金	101.37	99.68	98.02	96.38	94.78	93.20	91.65	90.12
	政府部門支出流量	560.71	550.95	541.21	531.50	521.81	512.15	502.52	492.92
	折現現值	312.78	304.51	288.64	273.52	259.10	245.36	232.27	219.80

年度		17	18	19	20	21	22	23	24
不考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75
	利息	160.86	153.55	146.24	138.93	131.61	124.30	116.99	109.68
	年稅捐與保費	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98
	運轉維護費	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62
	期中換新準備金	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24
	政府部門支出流量	410.45	403.14	395.83	388.52	381.20	373.89	366.58	359.27
	折現現值	206.52	195.18	184.38	174.10	164.31	155.00	146.15	137.72
考慮營運與償債期間物價變動	償債年金	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15
	利息	178.72	170.59	162.47	154.35	146.22	138.10	129.98	121.85
	年稅捐與保費	19.74	19.79	19.83	19.88	19.92	19.97	20.01	20.06
	運轉維護費	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11
	期中換新準備金	88.62	87.14	85.69	84.26	82.86	81.48	80.12	78.79
	政府部門支出流量	483.34	473.78	464.25	454.75	445.27	435.81	426.38	416.96
	折現現值	207.92	196.61	185.84	175.58	165.82	156.53	147.68	139.27

表 4.4.1-13 淨水場擴充(二期)工程營運期間財務成本支出概況(2)

單位:百萬元

年度		25	26	27	28	29	30	31	32
不考慮營運期間物價變動	償債年金	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75
	利息	102.37	95.05	87.74	80.43	73.12	65.81	58.50	51.18
	年稅捐與保費	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98
	運轉維護費	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62
	期中換新準備金	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24
	政府部門支出流量	351.96	344.64	337.33	330.02	322.71	315.40	308.09	300.77
	折現現值	129.71	122.10	114.86	107.98	101.45	95.24	89.34	83.74
考慮營運期間物價變動	償債年金	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15
	利息	113.73	105.61	97.48	89.36	81.24	73.11	64.99	56.86
	年稅捐與保費	20.11	20.15	20.20	20.25	20.29	20.34	20.39	20.43
	運轉維護費	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11
	期中換新準備金	77.48	76.19	74.92	73.67	72.44	71.23	70.05	68.88
	政府部門支出流量	407.57	398.21	388.86	379.53	370.23	360.95	351.68	342.44
	折現現值	131.27	123.66	116.43	109.55	103.02	96.81	90.91	85.31

年度		33	34	35	36	37	38
不考慮營運期間物價變動	償債年金	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75	138.75
	利息	43.87	36.56	29.25	21.94	14.62	7.31
	年稅捐與保費	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98	18.98
	運轉維護費	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62	30.62
	期中換新準備金	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24
	政府部門支出流量	293.46	286.15	278.84	271.53	264.21	256.90
	折現現值	78.43	73.39	68.60	64.07	59.76	55.69
考慮營運期間物價變動	償債年金	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15	154.15
	利息	48.74	40.62	32.49	24.37	16.25	8.12
	年稅捐與保費	20.48	20.53	20.57	20.62	20.67	20.72
	運轉維護費	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11	42.11
	期中換新準備金	67.73	66.61	65.50	64.41	63.33	62.28
	政府部門支出流量	333.22	324.01	314.83	305.66	296.51	287.38
	折現現值	79.99	74.94	70.14	65.60	61.28	57.19

4.4.2 需求面策略經濟財務分析模組建立

一、自來水管線汰換經濟財務分析

自來水管線汰換規劃之資金來源為機關自籌經費，目前台中地區並未針對自來水輸水管線規劃完整的汰換計畫，因此本研究擬以效用移轉方式，參考「台北自來水供水管網改善計畫」規劃結果進行初步的財務分析，依據該報告台北地區改善自來水供給的相關規劃工作項目眾多，鑑於本策略核心在於降低漏水量、提昇用水效率，因此效用移轉將以「台北自來水供水管網改善計畫」之「降低漏水率」工作項目之相關財務分析資料進行效用移轉。效用移轉相關參數受限於省水公司公佈資料，僅能以管線長度等項目進行調整，說明如下：

1. 遞移參數：管線長度

依據「台北自來水供水管網改善計畫」，台北自來水事業處 91 年度 75mm 以上之輸配水管長度為 3316KM，其中輸水管與配水管長度分別約為 428KM 與 2888KM。輸配水管中共有 1172KM 為老舊需優先汰換水管。至於 75mm 以下的給水管部分，91 年度總長為 2864KM，其中需優先汰換之老舊水管高達 2589KM，根據其改善計畫各管線每年約汰管線長度約佔總長度之 2%。

台中地區供水系統依據水公司第四區管理處紀錄，450mm 之上的輸水管管線長度為 373KM，450-80mm 之配水管管線長度為 4325KM，80mm 以下之給水管管線長度為 705KM。然而現有資料仍缺乏台中供水系統老舊破裂等級需汰換管線長度資訊，因此必須假設台中和台北兩地區間管線老舊破損比例相同，各管線每年約汰管線長度亦為總長度之 2%，其相對應之長度如表 4.4.2-1 所示。

表 4.4.2-1 台中供水區效用移轉參數推估

單位：(KM)

	輸水管	配水管	給水管
台中	373	4,325	705
台北	428	2,888	2,864
遞移參數	0.872	1.498	0.246
北水處計畫年更新數量	10.3	51.3	12500 (給水栓，個)
台中供水系統推估年更新長度	8.98	76.82	3075

註：每栓長度為 5M，資料來源：整理自台北自來水供水管網改善計畫、台灣省自來水事業處年報。

2. 經費單價調整

雖然台北、台中兩地施工薪資及相關物價或有差異，但因目前仍無法取得相關資料，故兩地物價差異部分暫無法調整。然「台北自來水供水管網改善計畫」中，施工係以日、夜間工時各半推算，而夜間施工單價為日間 1.25 倍，平均後推算得到輸水管線施工單價為 80000 元/M、配水管線為 9000 元/M，給水管線為每栓 33000 元。

但以台中地區情況，應較無必須考慮交通流量而於夜間施工需求，故僅考慮日間施工情形時，各施工項目單價可調整為 71111 元/M、8000 元/M、29333 元/栓。

至於電子水表之安裝在台北市規劃中應無夜間作業情形，故不另行調整，直接參考「台北自來水供水管網改善計畫」推估，大小口徑電子水表單價分別為 32000 元/個及 11500 元/個。

依據前述效用移轉方式，配合「台北自來水供水管網改善計畫」相關施工期程，可編算得到管線汰換工程之相關財務概況(表 4.4.2-2~表 4.4.2-3)，表中各項支出均假定為期末發生。由於此策略之資金來源本研究假定為機關自籌經費，故不考慮借款利息。

表 4.4.2-2 提昇用水效率策略興建及營運期間成本支出概況(1)

單位：百萬元

年期			1	2	3	4	5	6	7	8	9
不考慮 物價因 素	汰換輸水管	71111	638.46	638.46	638.46	638.46	638.46	638.46	638.46	638.46	638.46
	汰換配水管	8000	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59
	汰換給水管	29333	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20
	導入電子水表(大)	32000	0	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95
	導入電子水表(小)	11500	0	60.32	60.32	60.32	60.32	60.32	60.32	60.32	60.32
	支出流量	21,034.57	1,343.25	1,412.52	1,412.52	1,412.52	1,412.52	1,412.52	1,412.52	1,412.52	1,412.52
	折現現值	15,585.10	1,295.70	1,314.28	1,267.76	1,222.88	1,137.83	1,097.55	1,058.69	1,021.22	1,021.22
考慮物 價因素	支出流量	26,052.40	1,374.82	1,479.69	1,514.46	1,550.05	1,586.48	1,623.76	1,661.92	1,700.98	1,740.95
	折現現值	18,825.73	1,326.15	1,376.78	1,359.25	1,341.94	1,307.99	1,291.33	1,274.89	1,258.66	1,258.66

表 4.4.2-3 提昇用水效率策略興建及營運期間成本支出概況(2)

單位：百萬元

年期	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
汰換輸水管	638.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
汰換配水管	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59	614.59
汰換給水管	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20	90.20
導入電子水表(大)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
導入電子水表(小)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
不考慮物價因素之支出流量	1,343.25	704.79	704.79	704.79	704.79	704.79	704.79	704.79	704.79	704.79	704.79
折現現值	474.11	457.32	441.13	425.52	410.45	395.92	381.91	368.39	355.35	342.77	0
考慮物價因素之支出流量	1,694.47	909.97	931.35	953.24	975.64	998.57	1,022.03	1,046.05	1,070.63	1,095.79	1,121.54
折現現值	612.13	604.33	596.64	589.04	581.54	574.14	566.83	559.61	552.48	545.45	0

二、水價調整經濟財務分析

水價調整將影響人民之用水習慣，達成節約用水之目的，並對政府售水收入產生影響。然水價調整之成本常反映於社會成本（如民眾抗爭等），此量不易估算，故不納入本研究之考量。

水價調整之財務效益為直接售水收入，經濟效益為策略執行後所減少之缺水損失，其經濟效益採用 3.2.3 節之替代成本法推估之，售水收入則由單位水價乘以供水量而得。根據 93 年度第四區管理處紀錄，其平均水價為 0.44 元/噸，其中一般用水為 10.30 元/噸，工業用水則為 11.68 元/噸。供水量受其目標需求量影響，而目標需求量則因水價調整而有所變化，故各時刻之供水量可由水量模式模擬分析而得。

三、農移用水短期移用經濟財務分析

農移用水補償乃參考農委會「水旱田利用調整計畫」之獎勵給付原則來進行，其評估流程圖如圖 4.4.2-1 所示。各項說明如下：

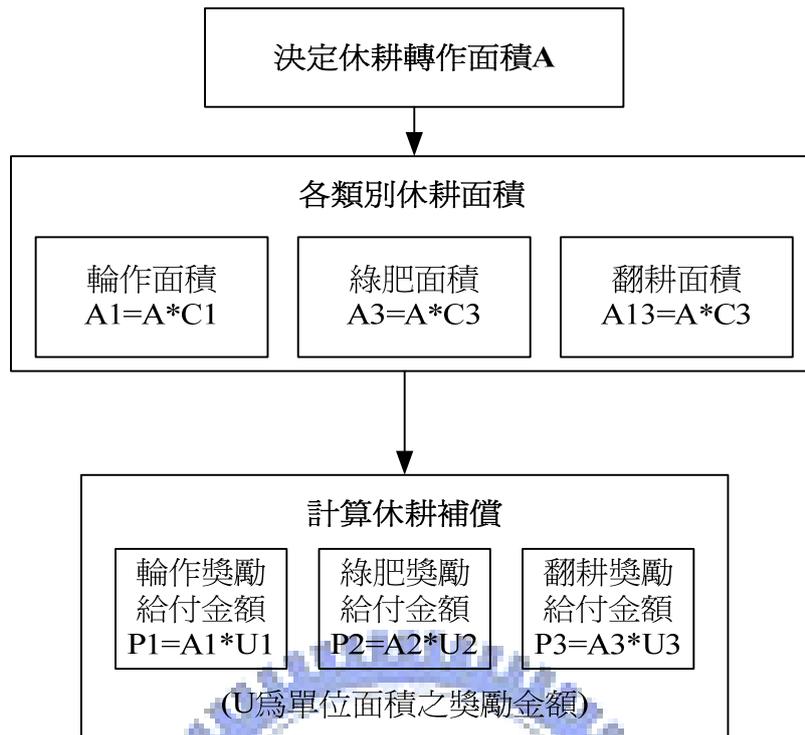


圖 4.4.2-1 農移用水模式建置流程

(一) 休耕轉作面積決定

以 4.3.4 節之農移用水啟動準則判定缺水情勢，以決定需休耕之灌區，各灌區之耕作面積整理如表 4.4.2-4 所示，因此休耕面積即可由休耕灌區之面積加總而得。

(二) 各類別休耕轉作面積之決定

參考”水旱田利用調整後續計畫”之台中縣市各年度之休耕面積資料(如表 4.4.2-5、4.4.2-6 所示)，算出各期作之輪作面積、綠肥面積和翻耕面積佔該期作休耕總面積之比例，取各類別之面積比例平均值來決定輪作、綠肥和翻耕之休耕面積。由表 4.4.2-6 得知輪作面積分配比例為 0.39，綠肥分配比例為 0.39，翻耕分配比例為 0.2。

表 4.4.2-4 各流域灌區之耕作面積表

流域	灌區	圳路	面積(公頃)	
大甲溪	大甲溪上游灌區	白冷圳	814	
		大茅埔圳	66	
		老圳	130	
		東勢本圳	424	
		八寶圳上游灌區	474	
		總面積	1908	
	石岡壩灌區	葫蘆墩圳	7059	
		八寶堰中下游灌區	766	
		總面積	7825	
	大甲溪下游灌區	埤頭山圳	27	
		內埔圳	682	
		虎眼一圳	683	
		虎眼二圳	730	
		五福圳	2202	
		高美圳	810	
		總面積	5134	
		大安溪	士林堰灌區	卓蘭圳
	埔尾橫圳			86
矮山圳	16			
口潭圳	89			
石壁坑	273			
新店圳	234			
頂店圳	1555			
后里圳	3256			
七公圳	353			
城廓圳	637			
總面積	7150			
鯉魚潭灌區	鯉魚潭圳			55
	總面積		55	
三灌圳灌區	苑裡圳		2081	
	日南圳		1304	
	九張犁圳		486	
	總面積		3871	

表 4.4.2-5 水旱田後續計畫台中縣各類別之休耕轉作面積分配比例

86 至 94 年 台 中 縣 輪 作 休 耕 執 行 情 形 表	年	期作	輪作面積 (公頃)	種植綠肥面積 (公頃)	翻耕面積 (公頃)	合計 (公頃)	輪作面積分 配比例	綠肥分配 比例	翻耕分配 比例
	86年	第2期作	1135	18	206	1359	0.84	0.01	0.15
	87年	第1期作	1127	152		1279	0.88	0.12	0.00
		第2期作	1262	54	327	1644	0.77	0.03	0.20
		小計	2390	206	327	2923	0.82	0.07	0.11
	88年	第1期作	1340	348		1688	0.79	0.21	0.00
		第2期作	1338	125	496	1959	0.68	0.06	0.25
		小計	2678	473	496	3647	0.73	0.13	0.14
	89年	第1期作	627	440	58	1125	0.56	0.39	0.05
		第2期作	1041	207	718	1966	0.53	0.11	0.37
小計		1668	647	776	3091	0.54	0.21	0.25	
90年	第1期作	1205	611		1815	0.66	0.34	0.00	
	第2期作	1035	548	511	2094	0.49	0.26	0.24	
	小計	2240	1159	511	3910	0.57	0.30	0.13	
91年	第1期作	1118	838	335	2290	0.49	0.37	0.15	
	第2期作	1000	1100	691	2791	0.36	0.39	0.25	
	小計	2118	1938	1026	5081	0.42	0.38	0.20	
92年	第1期作	1006	915	447	2367	0.43	0.39	0.19	
	第2期作	800	2386	836	4023	0.20	0.59	0.21	
	小計	1806	3301	1283	6390	0.28	0.52	0.20	
93年	第1期作	876	1586	1	2463	0.36	0.64	0.00	
	第2期作	726	2502	487	3715	0.20	0.67	0.13	
	小計	1602	4087	488	6178	0.26	0.66	0.08	
94年	第1期作	965	1451	0.28	2416	0.40	0.60	0.00	
	第2期作	840	1847	383	3071	0.27	0.60	0.12	
	小計	1805	3297	384	5486	0.33	0.60	0.07	

表 4.4.2-6 水旱田後續計畫台中市各類別之休耕轉作面積分配比例

年	期作	輪作面積	種植綠肥	翻耕面積	合計	輪作面積分	綠肥分配	翻耕分配
		(公頃)	(公頃)	(公頃)	(公頃)	配比例	比例	比例
86 年	第 2 期作	7		1	8	0.88	0.00	0.13
87 年	第 1 期作	7	1		8	0.88	0.13	0.00
	第 2 期作	5		3	8	0.63	0.00	0.38
	小計	12	1	3	16	0.75	0.06	0.19
88 年	第 1 期作	13	33		45	0.29	0.73	0.00
	第 2 期作	10	32	6	48	0.21	0.67	0.13
	小計	23	64	6	93	0.25	0.69	0.06
89 年	第 1 期作	11	38		49	0.22	0.78	0.00
	第 2 期作	10	6	41	56	0.18	0.11	0.73
	小計	21	44	41	105	0.20	0.42	0.39
90 年	第 1 期作	17	41		58	0.29	0.71	0.00
	第 2 期作	11	8	46	66	0.17	0.12	0.70
	小計	29	49	46	124	0.23	0.40	0.37
91 年	第 1 期作	18	19	46	83	0.22	0.23	0.55
	第 2 期作	17	84	96	197	0.09	0.43	0.49
	小計	35	103	142	280	0.13	0.37	0.51
92 年	第 1 期作	18	38	57	113	0.16	0.34	0.50
	第 2 期作	18	62	94	174	0.10	0.36	0.54
	小計	36	100	151	287	0.13	0.35	0.53
93 年	第 1 期作	23	126	0.06	149	0.15	0.85	0.00
	第 2 期作	17	79	75	171	0.10	0.46	0.44
	小計	41	205	75	320	0.13	0.64	0.23
94 年	第 1 期作	24	124		148	0.16	0.84	0.00
	第 2 期作	23	98	54	174	0.13	0.56	0.31
	小計	47	221	54	322	0.15	0.69	0.17
台中縣、市分配比例平均值						0.39	0.39	0.22

資料來源：農委會農糧署提供

(三)計算休耕轉作給付獎勵金額

參考95年「水旱田利用調整後續計畫」中的各項給付獎勵金額(見表 4.4.2-7)，本研究將翻耕之給付(獎勵)金額設定為每期 34,000 元/公頃，種植綠肥之給付(獎勵)金額設定為每期 45,000 元/公頃，輪作之給付(獎勵)金額設定為每期 24,000 元/公頃。

表 4.4.2-7 水旱田利用調整後續計畫給付獎勵金額

	項 目	給付(獎勵)金額
直 接 給 付	一、特殊休耕地基礎給付 (污染地等每年可兩期)	27,000 元
	二、休耕地翻耕給付 (限第二期作辦理)	34,000 元
	三、種植綠肥作物及維護生態給付	45,000 元
輪 作 獎 勵	四、輪作地區性特產及雜項作物獎勵	22,000 元
	五、集團輪作地區性特產及雜項作物獎勵	26,000 元

4.5 Vensim 使用者介面建置

當模式開發者建立完成一完整模式後，往往面臨一般民眾不易使用之問題，使其所開發完成之模式只有少數之專業領域人員能進行操作與應用，降低該模式之實用性及普及程度，由於一般民眾或非專業

領域人員對於各模式之使用，多只在乎模式操作之方便性，而不急於瞭解該模式架構之詳細流程與內容，因此如何簡化模式之操作程序，讓一般使用者能輕易的利用該模式進行情境之模擬操作，便顯得重要；系統動力模式軟體 Vensim 提供模式開發者一簡易之途徑，為其所建立之模式開發一簡潔之操作介面，使其可將整個系統動力模式之架構及不必要之操作鈕隱藏於介面後端，使一般之模式使用者在無須瞭解 Vensim 操作方式之情況下，能輕易地操作已開發完成之系統動力模式。

Vensim 提供多種方式以方便模式開發者建立其模式之操作介面，本研究已於附錄說明如何利用 Vensim 軟體本身內建之 Venapp 來開發使用者介面之簡易說明，如欲瞭解其他開發介面之方式，則請直接參考 Vensim 之軟體使用手冊。圖 4.5-1 為本研究編輯完成後之使用者介面示意圖，使用者可透過此介面來開啟各種策略的模擬分析，其中使用者可控制之變數包含策略的啟動以及策略的興建時間（工期）等等。



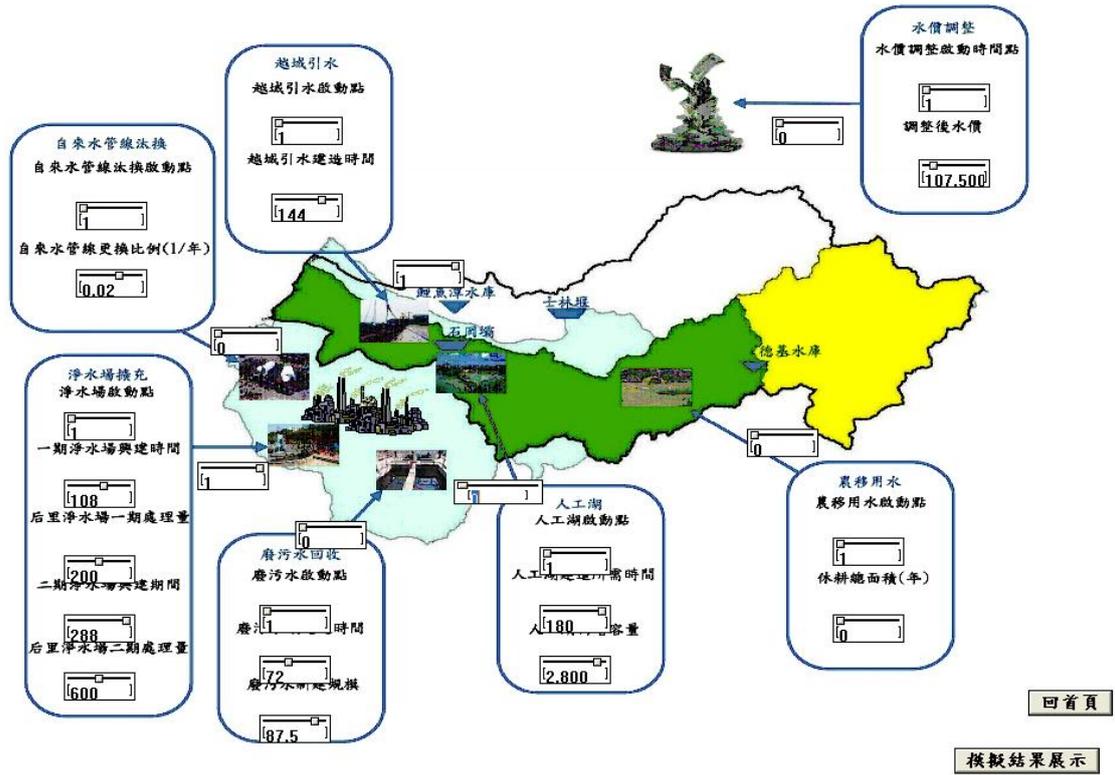


圖 4.5-1 系統動力模式模擬操作視窗



第五章 各種開發策略組合之模擬分析

本研究蒐集相關規劃或擬議中之改善策略，研擬適合本研究區域之策略，利用前述建置完成的水量與經濟財務整合系統動力模型進行策略的水資源永續評估，其策略模擬分析流程可表示如圖 5-1 所示。首先針對現況系統進行水量面之模擬分析，以水量面永續指標之歷年平均值判斷是否符合水量永續，若否，則研擬可能之水量改善策略(供給面策略與需求面策略)進行評估分析。首先進行單一策略敏感度分析，配合分析結果，找出影響指標最顯著的策略，再利用這些顯著策略與其他策略互相搭配，進行複合式策略情境分析。由分析結果篩選出符合水資源永續之可行策略，然策略實際推動時仍需考量財務的限制，所以接著計算這些策略組合的經濟財務淨效益，進一步篩選出值得投資之可行策略。

上述是否符合水資源永續利用皆以指標的歷年平均值判斷，然實質上永續指標呈逐年變化，因此本研究進一步以韋伯序位法進行指標風險分析，探討不同超越機率下之指標風險。以下各節將針對各分析步驟進行說明分析。



圖 5-1 策略的分析流程

5.1 單一策略模擬結果

首先針對現況系統(大甲大安聯合營運系統)進行評估分析，分析結果如表 5.1-1 所示，結果顯示現況系統之公共用水缺水指數及民生需求量指標已超出水資源永續利用之上限值，表示現況系統面對未來需求下，已不符合水資源永續利用。因此本研究提出多種供給面和需求面策略以改善其缺水情況，其中供給面策略包含人工湖工程(含后里淨水廠新建)及越域引水工程(含后里淨水廠新建)，需求面策略包含自來水管線汰換工程、水價調整和農移用水策略。各策略之規模設定乃參考本研究所蒐集之文獻訂定之，配合其工程壽命，各策略之設定可說明如下：

- (1) 人工湖庫容設定參考”台中人工湖初步規劃”之設計，以 2800 萬噸為上限。其工程壽命為 50 年。
- (2) 越域引水本研究假設最大管線限制為 150 萬噸/天，其工程壽命為 50 年。

- (3)管線汰換率上限參考“台北自來水供水管網改善計畫”並配合台中縣市之實際可行性，以每年管線汰換率 2%為其上限。其工程壽命為 20 年。
- (4)農移用水之啟動準則，依據不同缺水情勢來決定休耕啟動與休耕面積，其啟動標準參考台大博士論文「水庫供水操作與乾旱預警系統」，其最低啟動條件之缺水率以 30%為上限。
- (5)由於水價調漲涉及太多非技術面的考量，以致實際推動不易，因此本研究設定的水價調整幅度不高，以 12 元/噸為其上限。
- (6)后里淨水場之規模則以實際規劃之處理能力進行模擬(一期：20 萬 CMD，二期：60 萬 CMD)，其工程壽命假設為 30 年。

各單一策略的模擬結果如表 5.1-1 所示，由其模擬結果分析如下：

1. 就民生需求量永續指標而言，僅管線汰換策略能使其降至符合永續標準。
2. 就公共用水年缺水指數而言，僅越域引水(含淨水場)能使其降至符合永續標準。

由上述結果僅能發現模擬方案是否符合永續利用標準，但無法了解各單一策略規模變化對永續指標之影響，因此本研究將於下一節對各單一策略進行敏感度分析。

表 5.1-1 單一策略模擬結果

策略	規模	公共年 SI (民國 95~127 年)	大甲溪地面水利用 強度(95 年~127 年)	大安溪地面水利用 強度(95 年~127 年)	台中工業年平均需求 量(民國 95 年~民國 149 年)	台中民生年平均需 求量(民國 95 年~民 國 149 年)	台中農業年平均需 求量(民國 95 年~民 國 149 年)
永續指標上限值		1	0.62	0.62	23838.15	44639.5	128,954
現況系統(零方案)		2.471	0.4555	0.6119	22910	47919	112902
人工湖(2200)+淨水場 一期(20 萬噸)	二期(60 萬噸)	1.368	0.4713	0.6119	22910	47919	112902
人工湖(2500)+淨水場 一期(20 萬噸)	二期(60 萬噸)	1.307	0.4722	0.6119	22910	47919	112902
人工湖(2800)+淨水場 一期(20 萬噸)	二期(60 萬噸)	1.252	0.473	0.6119	22910	47919	112902
越域引水(100 萬噸)+ 淨水場一期(20 萬噸)	二期(60 萬噸)	0.8583	0.5304	0.4498	22910	47919	112902
越域引水(130 萬噸)+ 淨水場一期(20 萬噸)	二期(60 萬噸)	0.841	0.5468	0.4196	22910	47919	112902
越域引水(150 萬噸)+ 淨水場一期(20 萬噸)	二期(60 萬噸)	0.8377	0.5495	0.4146	22910	47919	112902
農移休耕(休耕標準)	10	1.005	0.4555	0.5965	22910	47919	104985
	20	1.317	0.4555	0.6018	22910	47919	106998
	30	1.993	0.4555	0.6068	22910	47919	110088
生活水價調整 (元/萬噸)	110000	2.367	0.4555	0.6117	22537	47809	112902
	115000	2.17	0.4555	0.611	21791	47585	112902
	120000	1.992	0.4555	0.6103	21045	47362	112902
管線汰換率 (需求面策略)	0.01	1.769	0.4555	0.6099	22910	42292	112902
	0.015	1.478	0.4555	0.6057	22910	40000	112902
	0.02	1.212	0.4555	0.5995	22910	37970	112902

5.2 單一策略敏感度分析

為探討個別策略的改善率，本研究將針對單一策略的敏感度進行分析探討。模擬結果之呈現以永續指標為縱座標，策略規模標準化之值為橫座標，標準化公式為：
$$C_N = \frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}$$

其中 C_N 為策略規模標準化後的值， C 為策略當下的規模值， C_{\max} 為策略可調整的最大規模值， C_{\min} 為策略可調整的最小規模值。本研究人工湖策略最大容量設定為 2800 萬噸，最小容量設定為 0 萬噸；越域供水策略管線限制最大容量設定為 150 萬噸/天，最小容量設定為 0 萬噸/天；管線汰換策略汰換率之上限設定為 0.025，下限設定為 0；農移用水最低啟動條件之缺水率上限設定為 30%，下限設定為 0%；水價調整之水價上限設定為 12 元/噸，下限設定為目前之水價 10.75 元/噸。

根據上述設定來進行策略的敏感度分析，分析結果如表 5.2 所示，其結果整理如下

1. 對於公共用水缺水指數改善最佳之策略為越域引水工程(含淨水場)，其次為管線汰換工程。
2. 對於地面水利用強度而言，越域引水(含淨水場)策略對其影響最大，會明顯增加大甲溪之利用強度，降低大安溪之利用強度。
3. 對於需求面永續指標而言:改善民生需求量指標最佳策略為管線汰換工程，改善工業需求量指標最佳策略為水價調整，改善農業需求量最佳策略為農移用水。

4. 對財務淨效益而言，水價調整之財務淨效益最大，其次為越域引水工程。
5. 對經濟財務淨效益而言，水價調整之經濟財務淨效益最大，其次為越域引水工程，管線汰換工程次之。

各指標敏感度分析結果之更細部說明將於以下各節進行探討。

表 5.2 單一策略敏感度分析模擬結果

策略名稱	公共用水 缺水指數	河川水利用強度		需求面永續指標			對財務 淨效益 之影響	對經濟財 務淨效益 之影響
		大甲溪	大安溪	民生 用水	工業 用水	農業 用水		
人工湖+淨水場	○	▲	×	×	×	×	○	▲
越域引水+淨水場	○	▲	○	×	×	×	▲	●
管線汰換 (需求面)	○	×	△	○	×	×	○	●
水價調整	○	×	△	×	○	×	●	●
農移用水	▲	▲	▲	×	×	○	△	○

註：○：顯著負相關，△：不顯著負相關，●：顯著正相關，▲：不顯著正相關，×：不相關

5.2.1 公共用水缺水指數敏感度分析

各單一策略對於公共用水缺水指數的敏感度分析結果如圖 5.2.1-1~圖 5.2.1-5 所示。在本研究設定策略規模之上下限範圍內，其說明如下：

1. 對於缺水指數改善最佳之策略為越域引水工程(含淨水場)，其次為管線汰換工程，農移用水次之。
2. 由圖 5.2.1-1 發現，若人工湖啟動時庫容設定為零與不起動人工湖策略，兩者 SI 明顯降低許多(2.902→2.433)，但若逐漸增加人工湖庫容規模，則 SI 之降低則趨緩，其乃因大甲溪之剩餘流量超出后里淨水廠的處理能力之未控制流量不大，因此不需有大型的蓄水空間的來儲蓄這些未控制流量。
3. 管線汰換、水價調整對缺水指數之改善率為非線性變化，其變化之斜率大約可分為三部份，規模從下限開始增大時其改善率最佳(斜率最大)，但隨著規模逐漸增長其改善率變差，但當規模增大至接近上限時，改善率又漸佳。
4. 農移用水最低啟動條件之缺水率之設定為 0%~30%，代表休耕頻率由頻繁至稀少，因此對於公共用水缺水指數的表現呈現由低(缺水程度低)至高(缺水程度高)之情形。

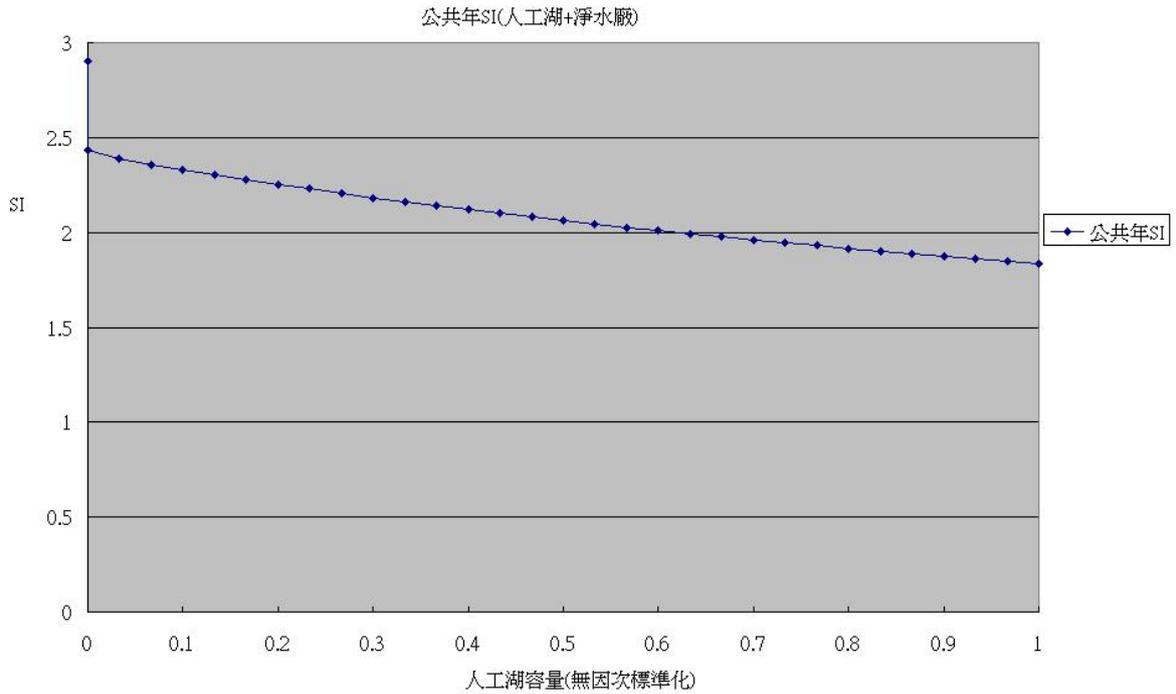


圖 5.2.1-1 人工湖(含淨水場)策略對公共用水缺水指數的敏感度分析結果

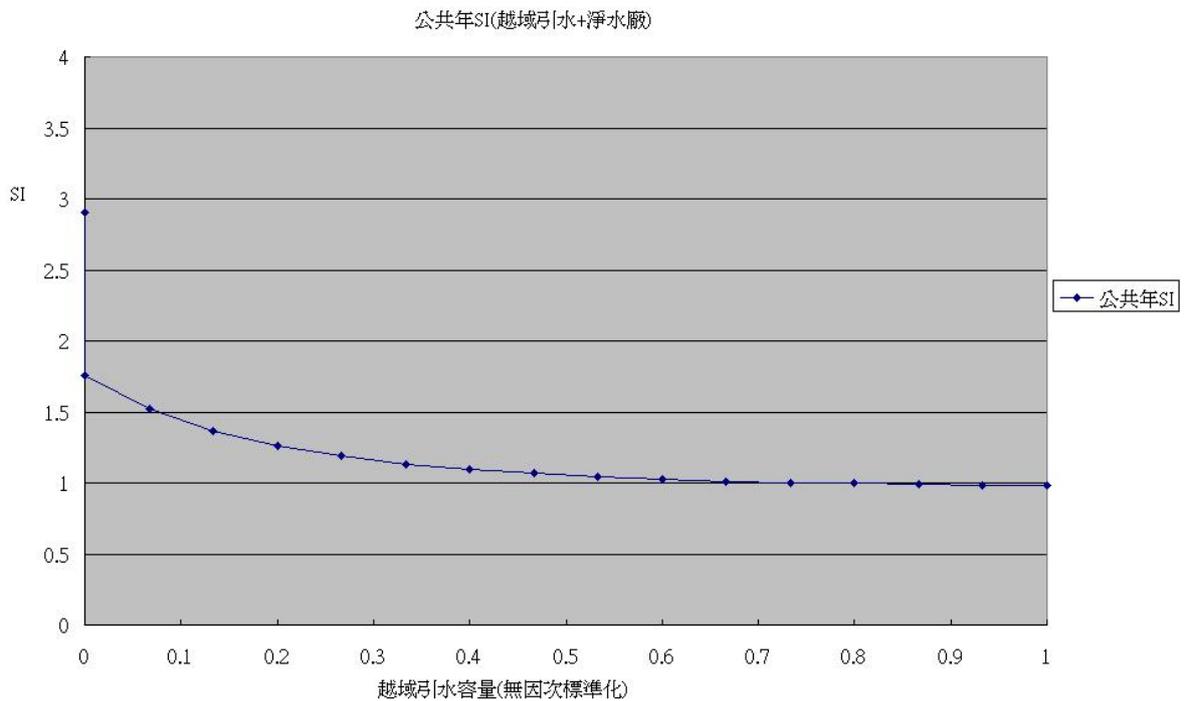


圖 5.2.1-2 越域引水(含淨水場)策略對公共缺水指數的敏感度分析結果

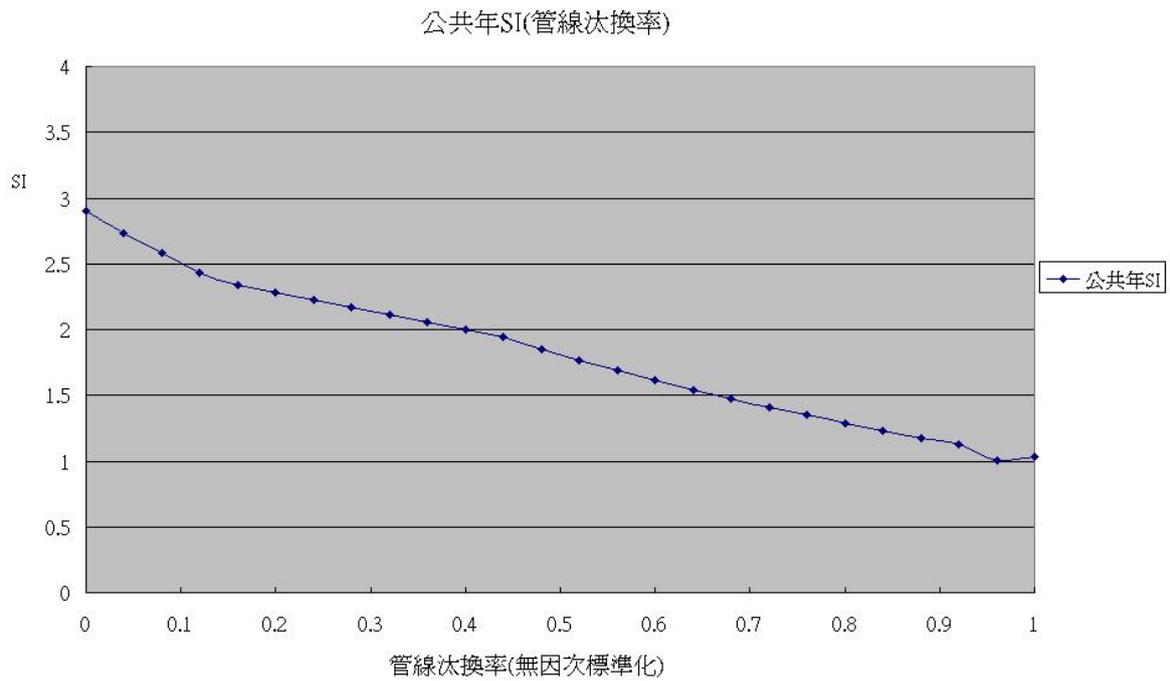


圖 5.2.1-3 管線汰換策略對公共缺水指數的敏感度分析結果

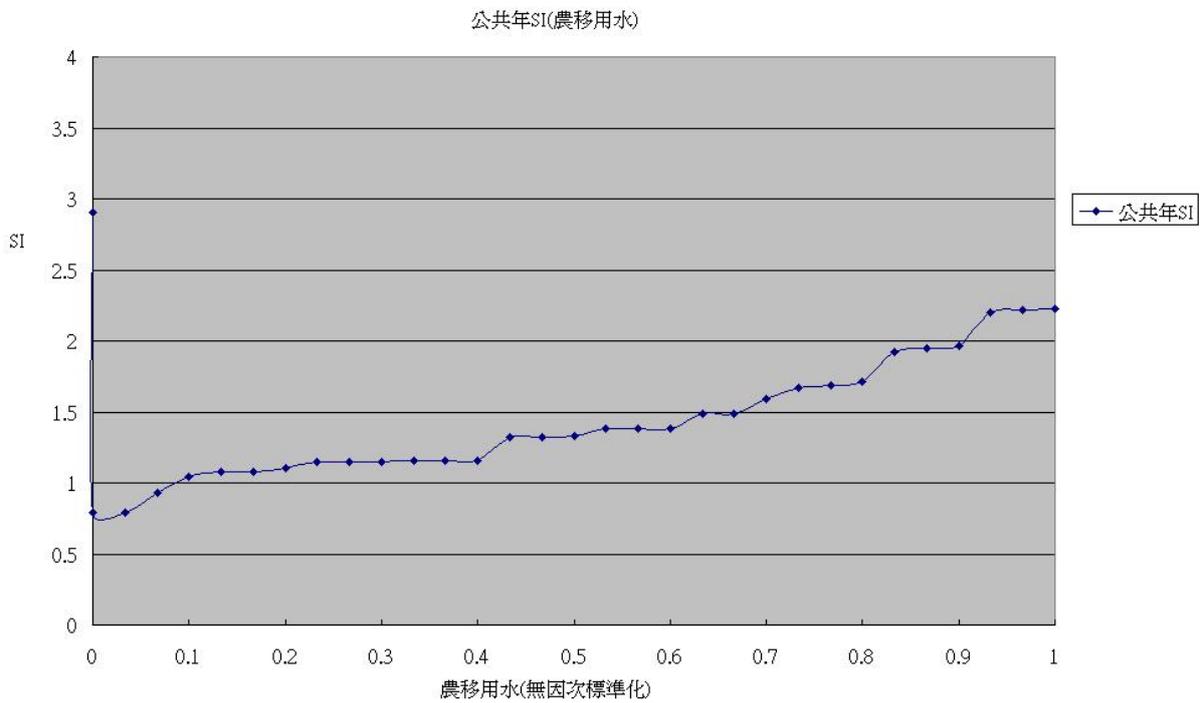


圖 5.2.1-4 農移用水策略對公共缺水指數的敏感度分析結果

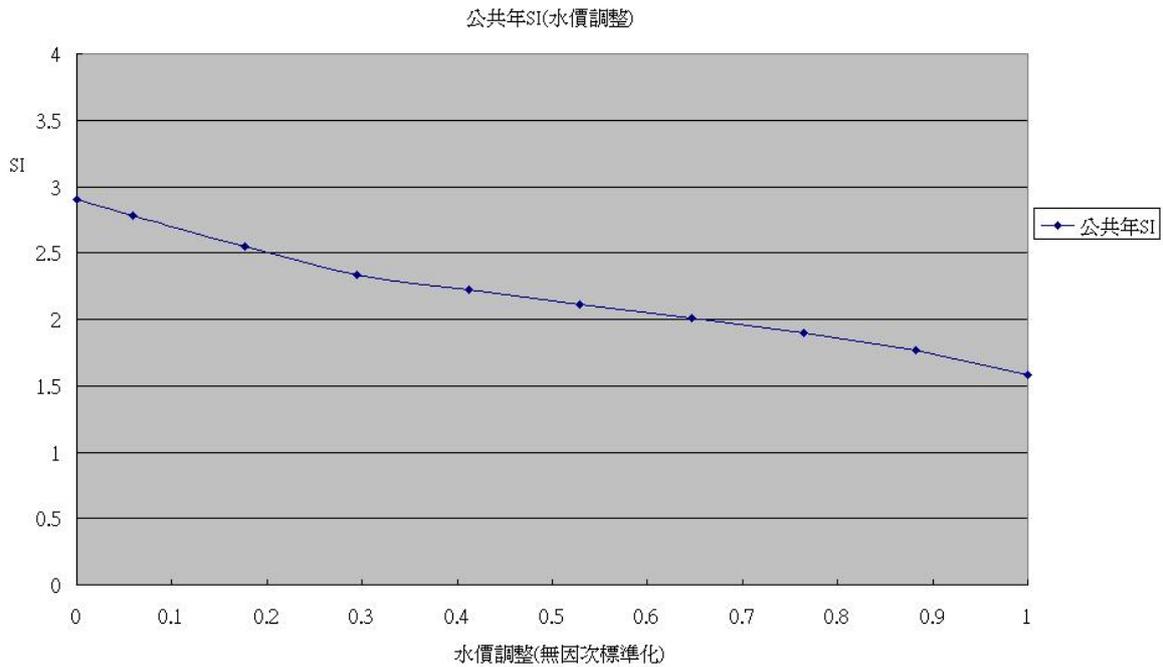


圖 5.2.1-5 水價調整策略對公共缺水指數的敏感度分析結果

5.2.2 河川水利用強度敏感度分析

各單一策略對於河川水利用強度之敏感度分析結果如圖 5.2.2-1~圖 5.2.2-5 所示。在本研究設定策略規模之上下限範圍內，其模擬結果分析說明如下：

1. 對於大甲溪利用強度而言，人工湖(含淨水場)和越域引水(含淨水場)策略會增加其利用強度，此乃因兩策略將大甲溪剩餘流量進一步再做利用；農移用水策略會些微減少其利用強度，其構成原因為大甲溪水源較為豐富，因此大甲溪灌區休耕機率較小，故僅能些微降低大甲溪利用強度；另外其他供給面策略則無影響，其原因為大甲大安系統之供水規則為大甲溪先供應，不足量再由大安溪供應，而其他需求面策略降低之需求量有限，因此僅能降低大安溪之供應量，故對大甲溪利用強度無影響。
2. 對於大安溪利用強度而言，越域引水(含淨水場)策略可降低其利用強度，其乃因為該策略將大甲溪剩餘流量支援大安溪使用，進而降低大安溪水源利用率；人工湖(含淨水場)之水源因不直接供應大安溪原有之水

權，故對大安溪利用強度並無影響；農移用水策略因大安溪水源豐枯變化較明顯，因此對於大安溪利用強度之影響較其對大甲溪利用強度之影響更為顯著；其餘需求面策略如前述第 1 點所言，由於降低之需求量有限，因此對於大安溪利用強度之影響並不顯著。

3. 整體而言，越域引水策略(含淨水場)對河川水利用強度之影響最大，若啟動該策略，可使大安溪河川水利用強度降低，但相對的提高了大甲溪河川水利用強度，但仍符合河川水利用強度永續利用上限值。

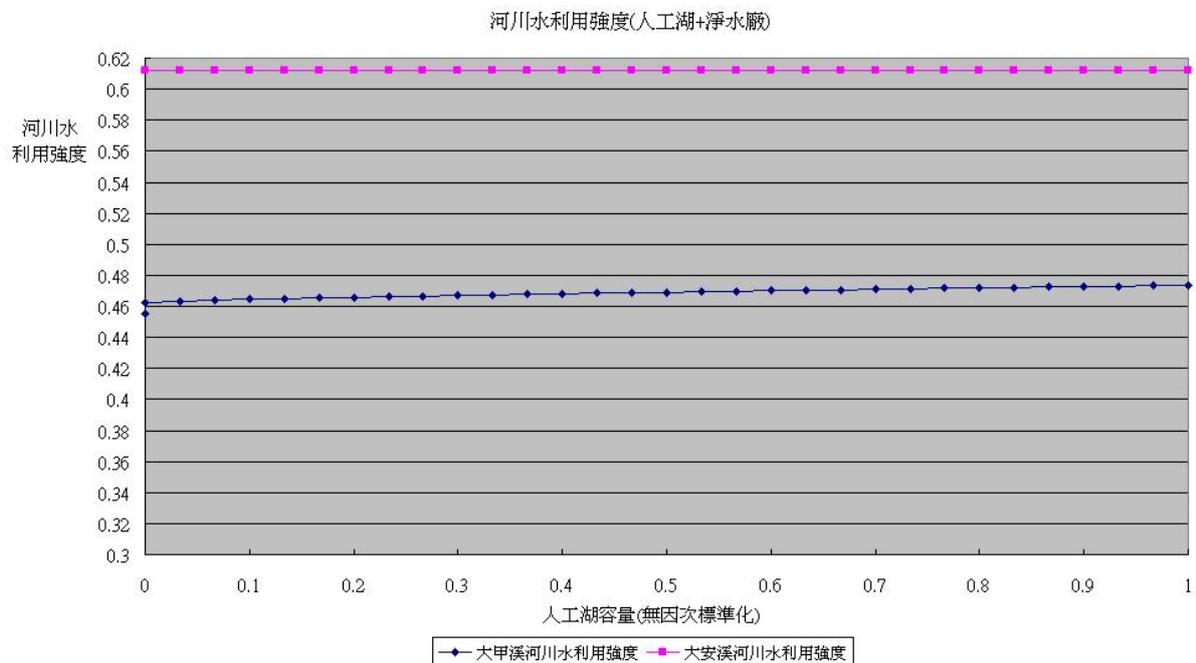


圖 5.2.2-1 人工湖(含淨水場)策略對河川水利用強度的敏感度分析結果

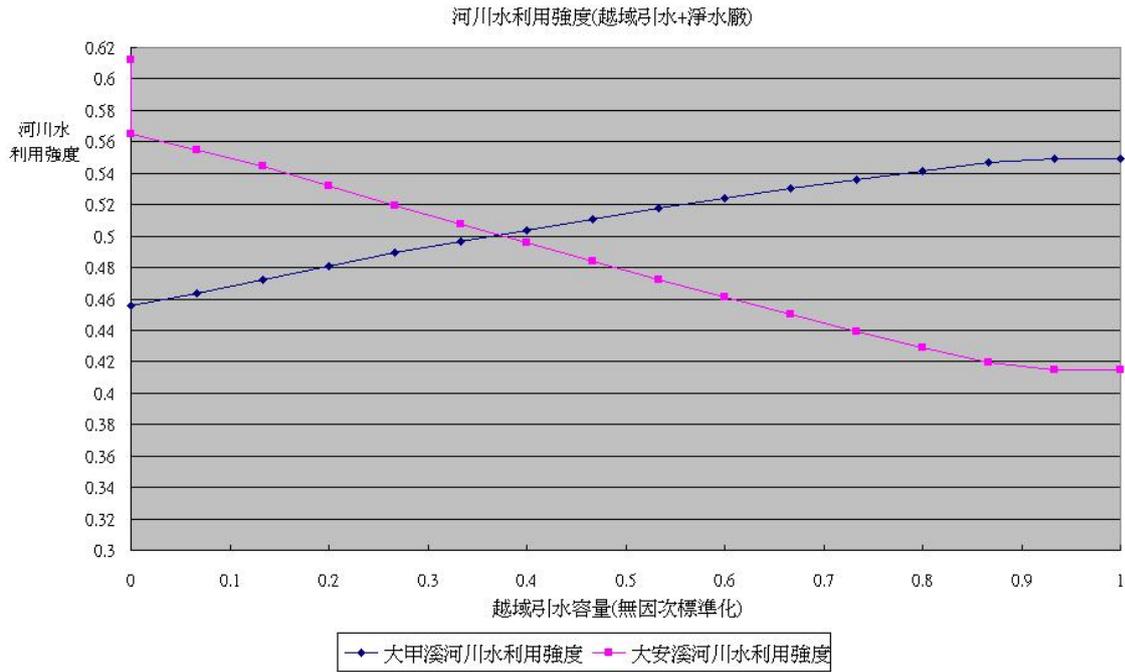


圖 5.2.2-2 越域引水(含淨水場)策略對河川水利用強度的敏感度分析結果

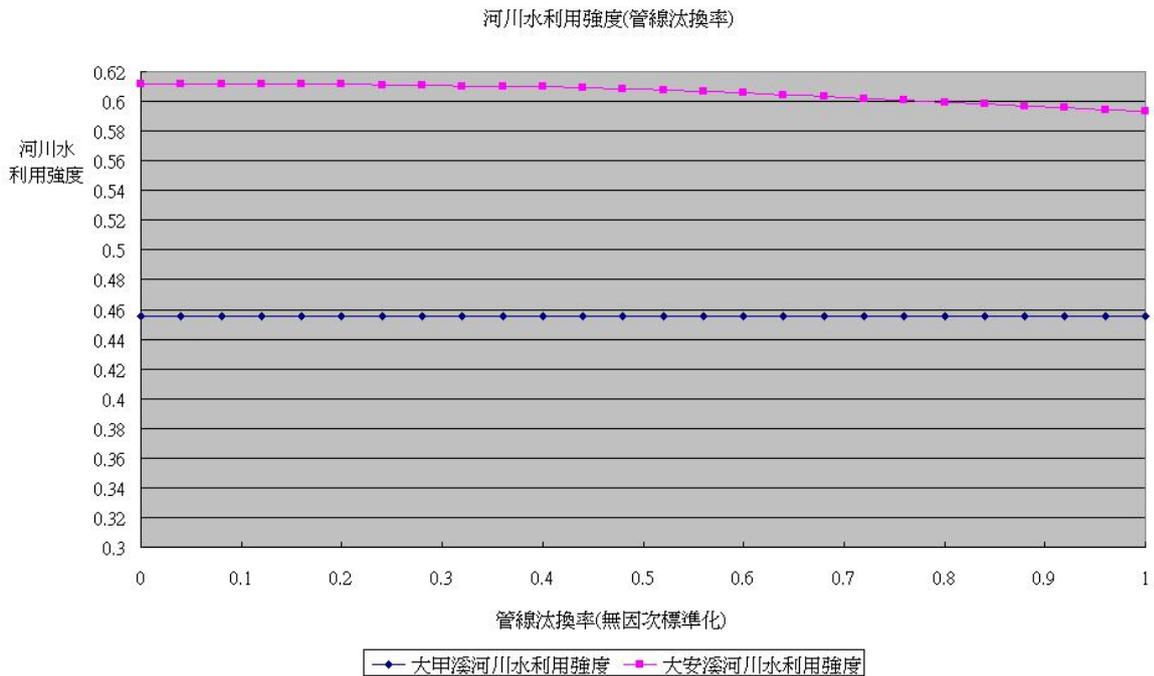


圖 5.2.2-3 管線汰換策略對河川水利用強度的敏感度分析結果

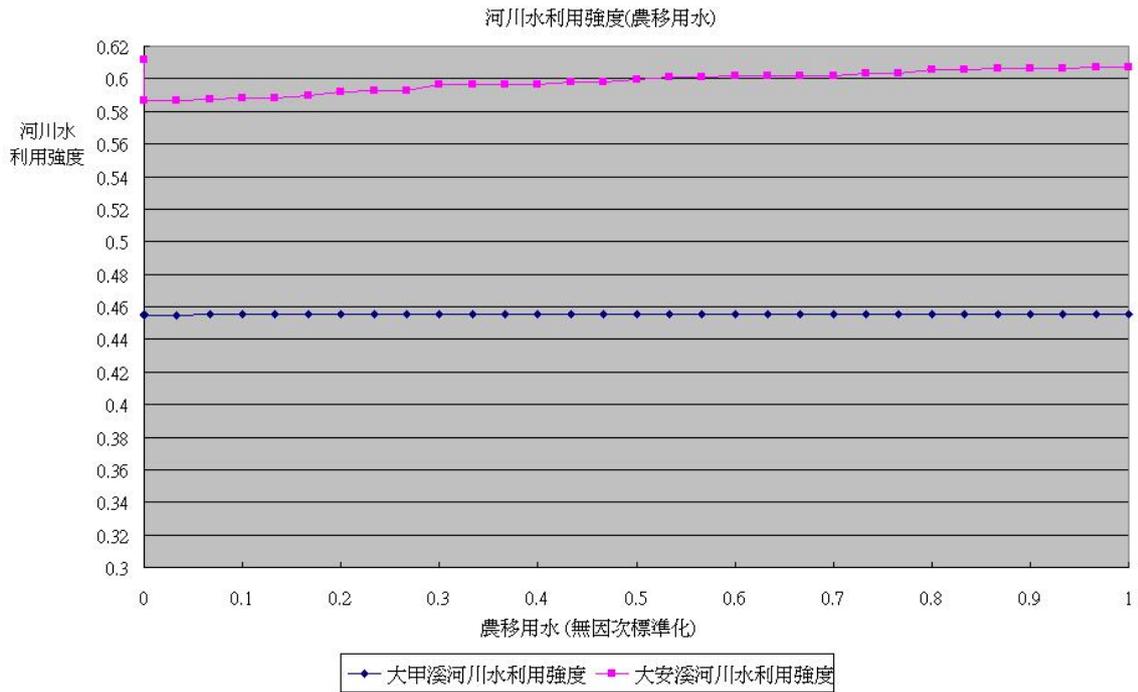


圖 5.2.2-4 農移用水策略對河川水利用強度的敏感度分析結果

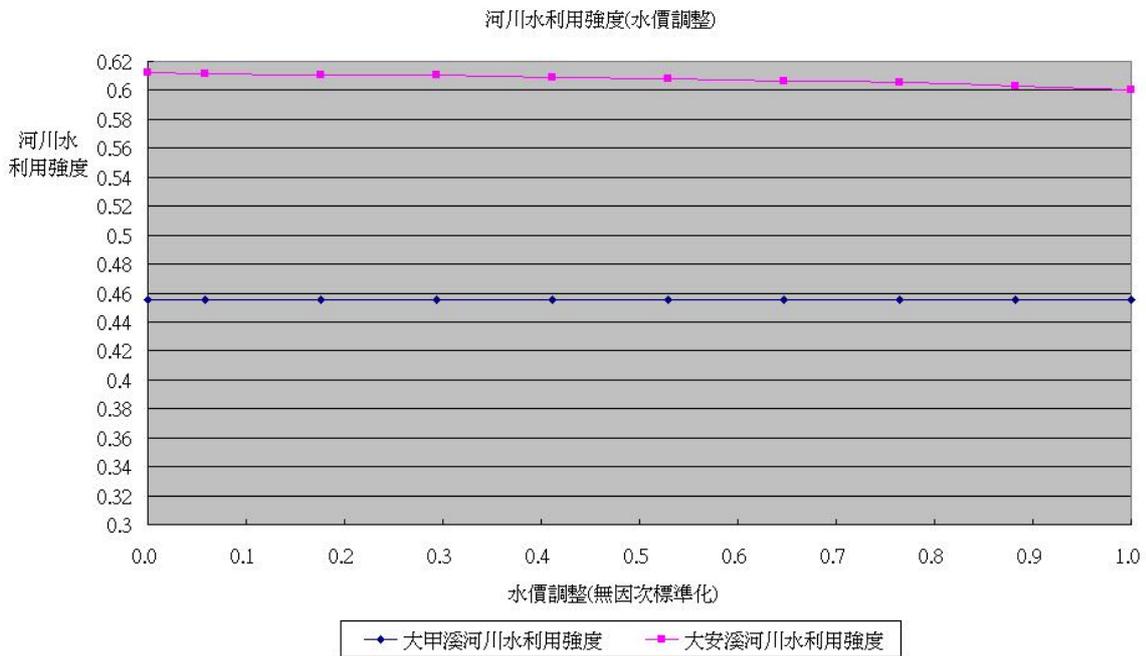


圖 5.2.2-5 水價調整策略對河川水利用強度的敏感度分析結果

5.2.3 需求面永續指標敏感度分析

各單一策略對於需求面永續指標的敏感度分析結果如圖 5.2.3-1~圖 5.2.3-5 所示。在本研究設定策略規模之上下限範圍內，其模擬結果分析說明如下

1. 對於民生需求量永續指標而言，僅管線汰換策略和水價調整策略會使其降低，其餘策略皆無影響。其中管線汰換策略對於民生需求量的改善率最佳。
2. 對於工業需求量永續指標而言，僅水價調整策略會使其降低，其餘策略皆無影響。
3. 對於農業需求量永續指標而言，僅農移用水策略會使其降低，其餘策略皆無影響。



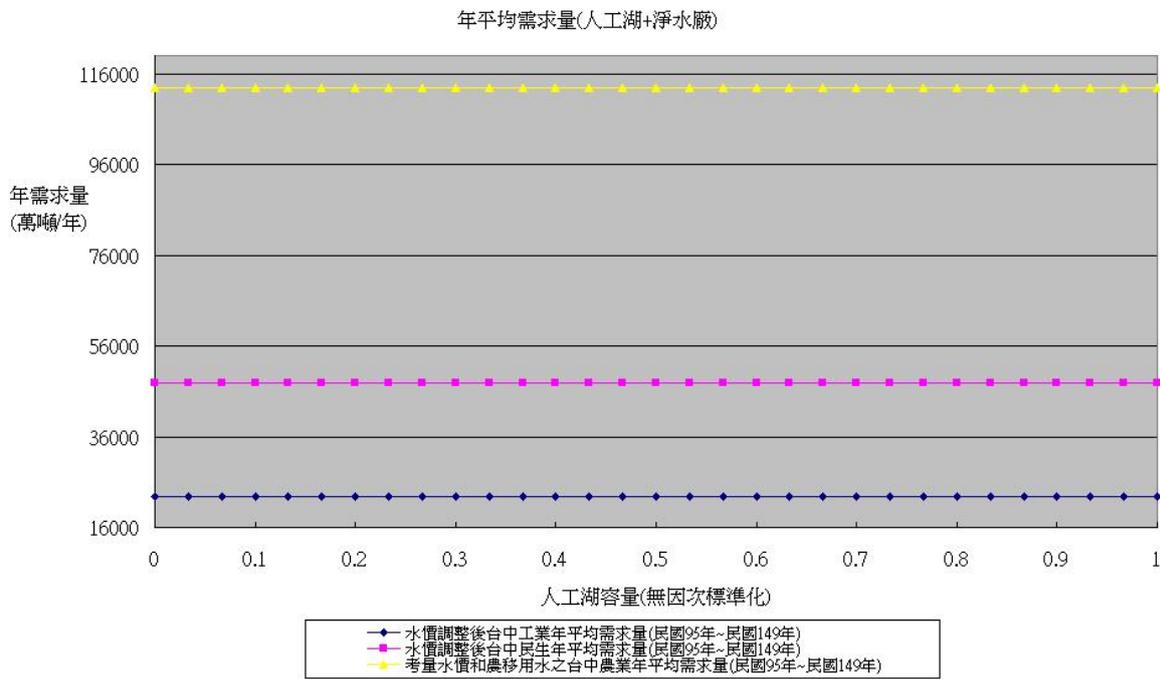


圖 5.2.3-1 人工湖(含淨水場)策略對需求面永續指標的敏感度分析結果

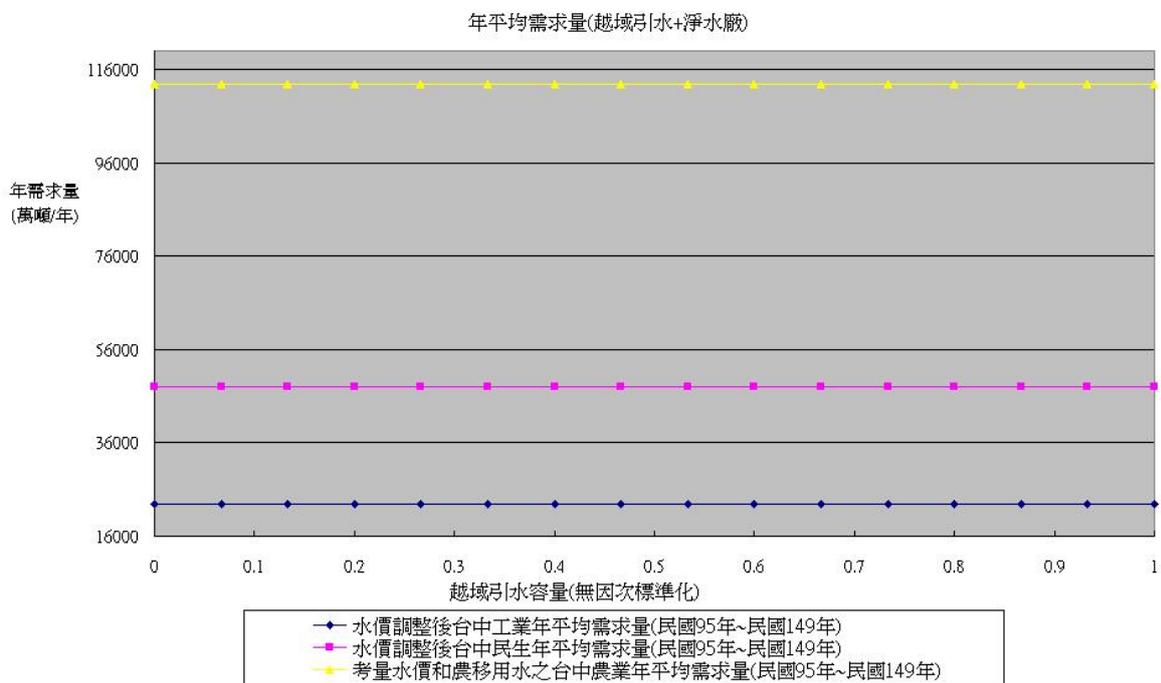


圖 5.2.3-2 越域引水(含淨水場)策略對需求面永續指標的敏感度分析結果

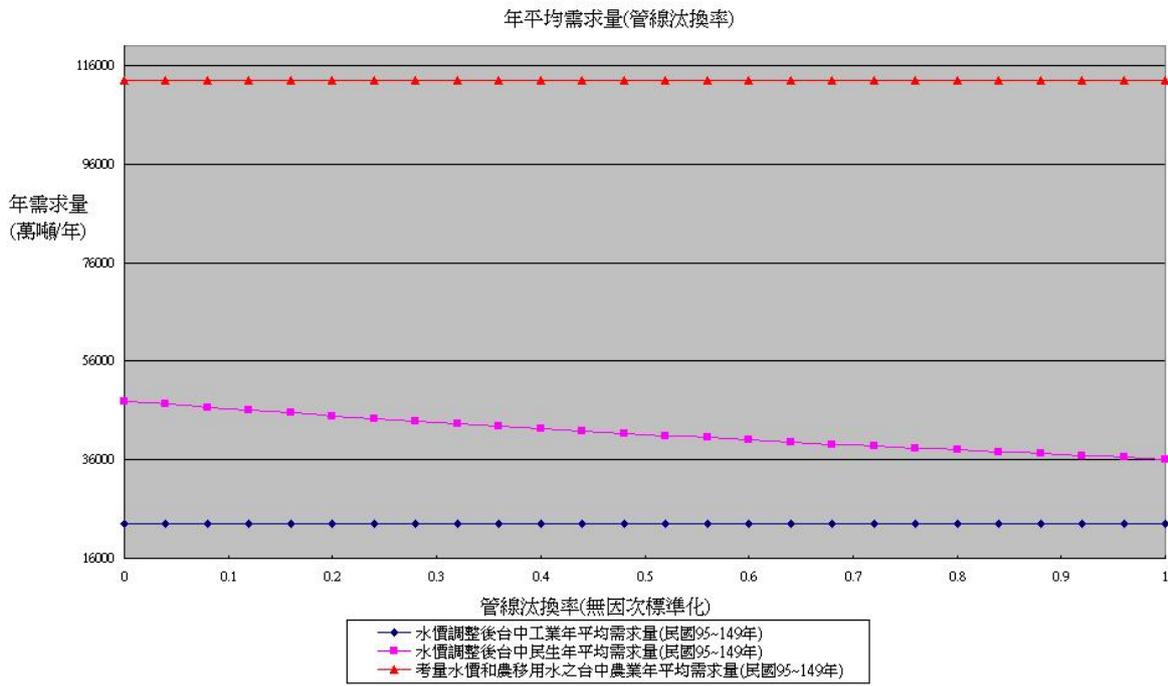


圖 5.2.3-3 管線汰換策略對需求面永續指標的敏感度分析結果

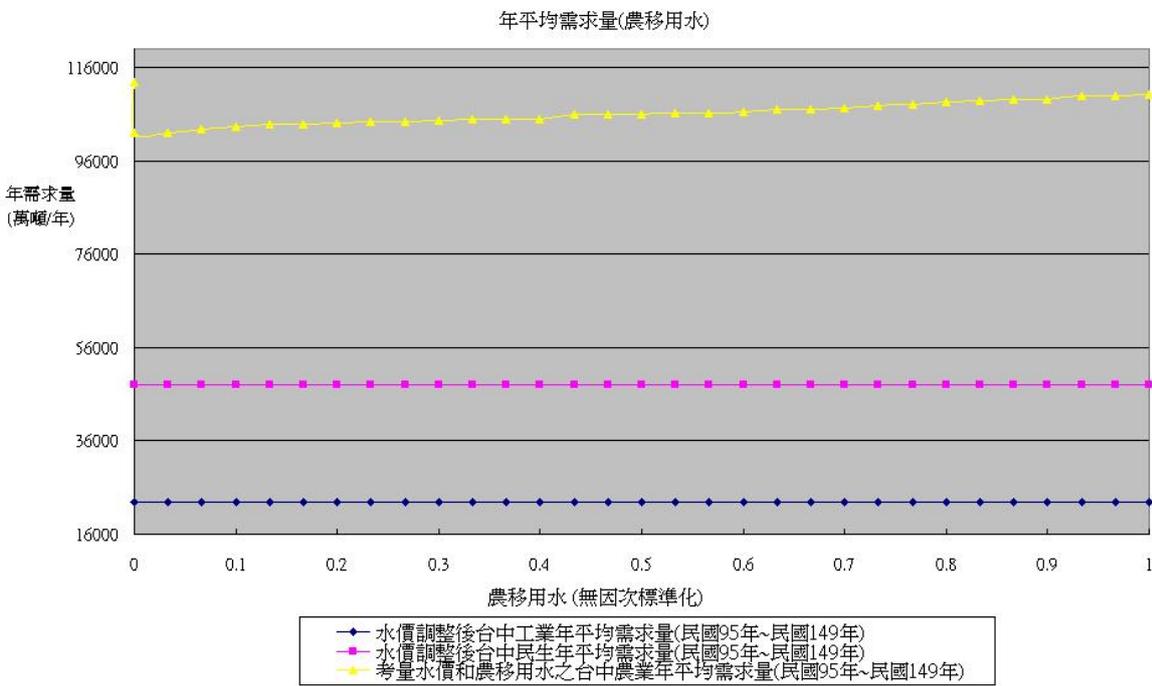


圖 5.2.3-4 農移用水策略對需求面永續指標的敏感度分析結果

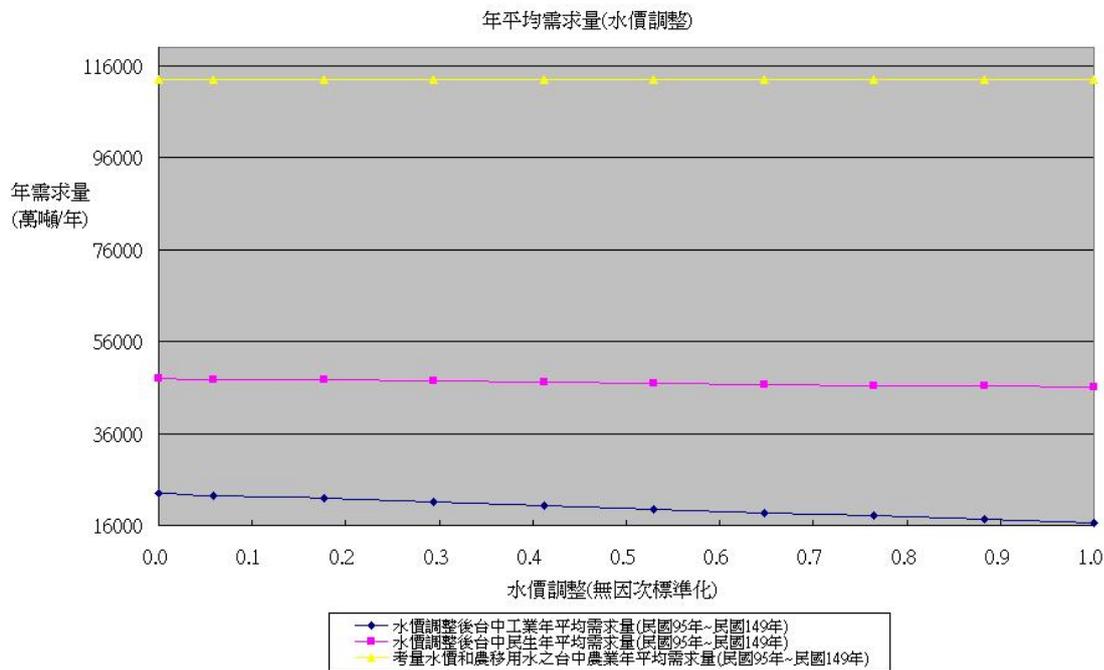


圖 5.2.3-5 水價調整策略對需求面永續指標的敏感度分析結果

5.2.4 財務淨效益敏感度分析

各單一策略對於財務淨效益的敏感度分析結果如圖 5.2.4-1~圖 5.2.4-5 所示。在本研究設定策略規模之上下限範圍內，其模擬結果分析說明如下

1. 越域引水工程、農移用水策略與水價調整策略三者可使財務淨效益為正值，其餘策略均無法達到財務淨效益為正。
2. 水價調整之財務淨效益值最高，然此結果為本研究尚未納入水價調整所產生之社會成本；另外人工湖工程之財務淨效益值為最低。

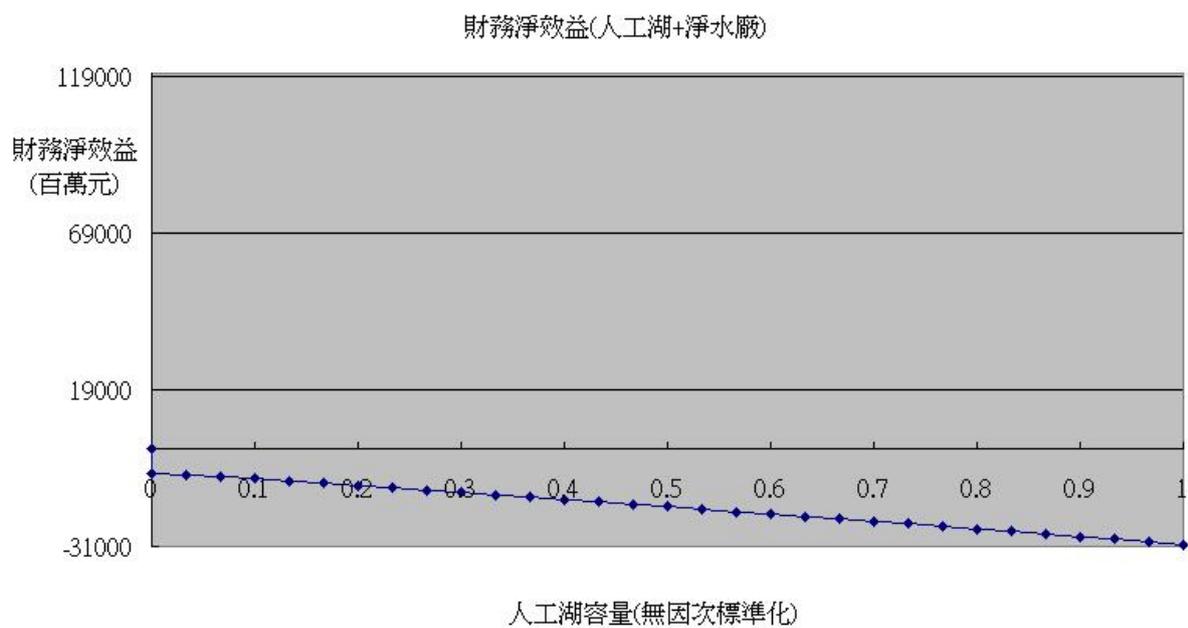


圖 5.2.4-1 人工湖(含淨水場)策略對財務淨效益的敏感度分析結果

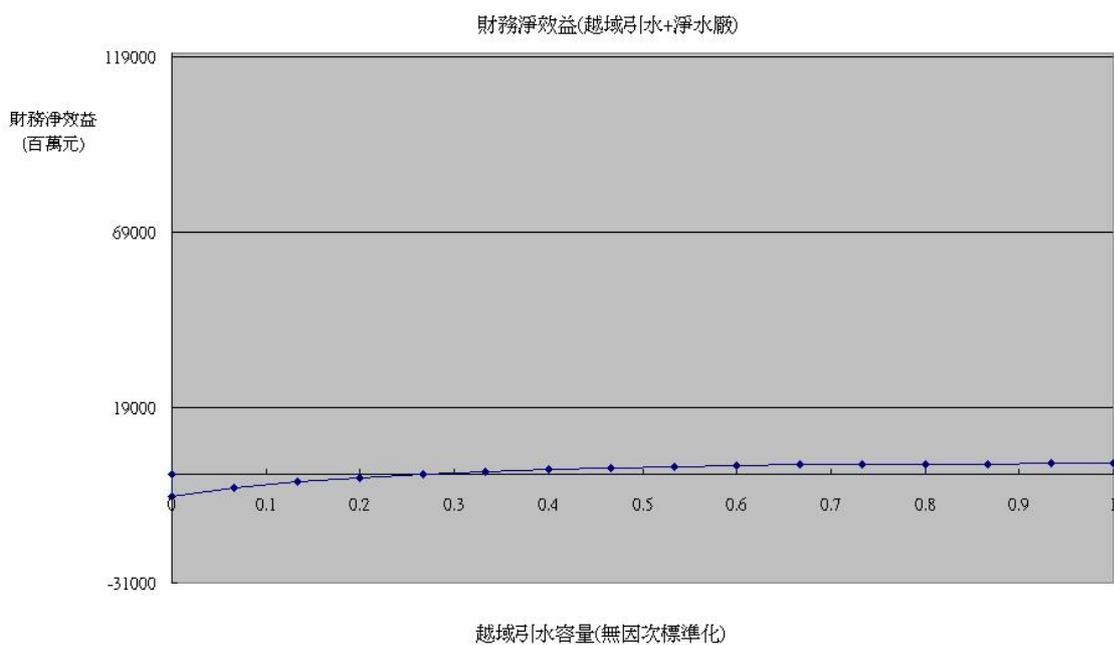


圖 5.2.4-2 越域引水(含淨水場)策略對財務淨效益的敏感度分析結果

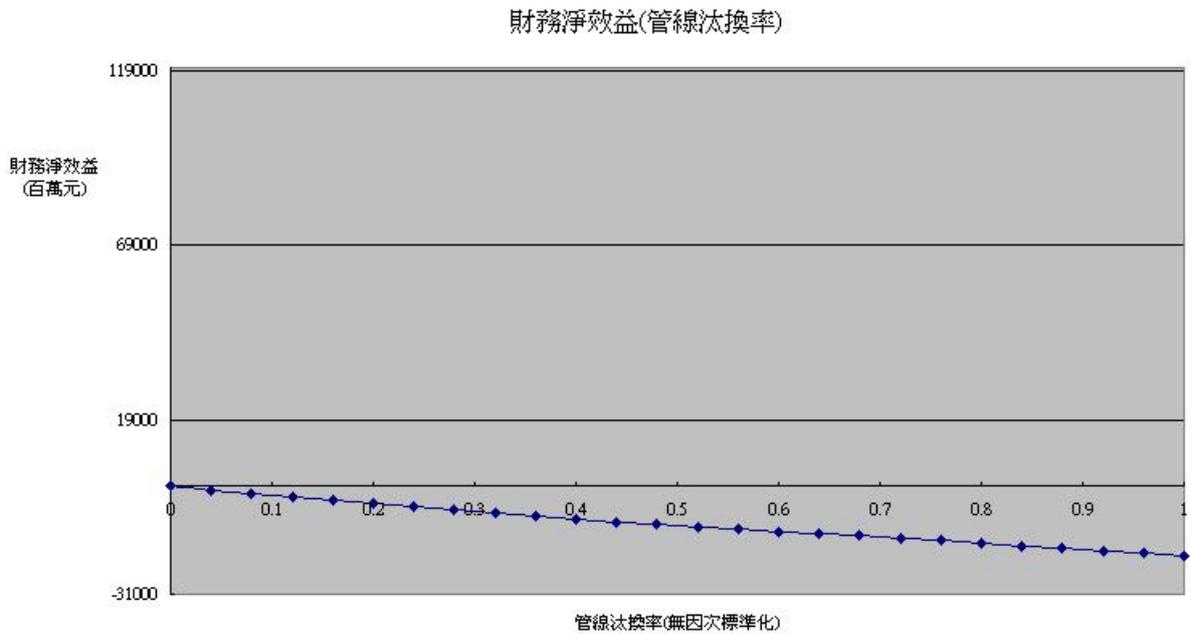


圖 5.2.4-3 管線汰換策略對財務淨效益的敏感度分析結果

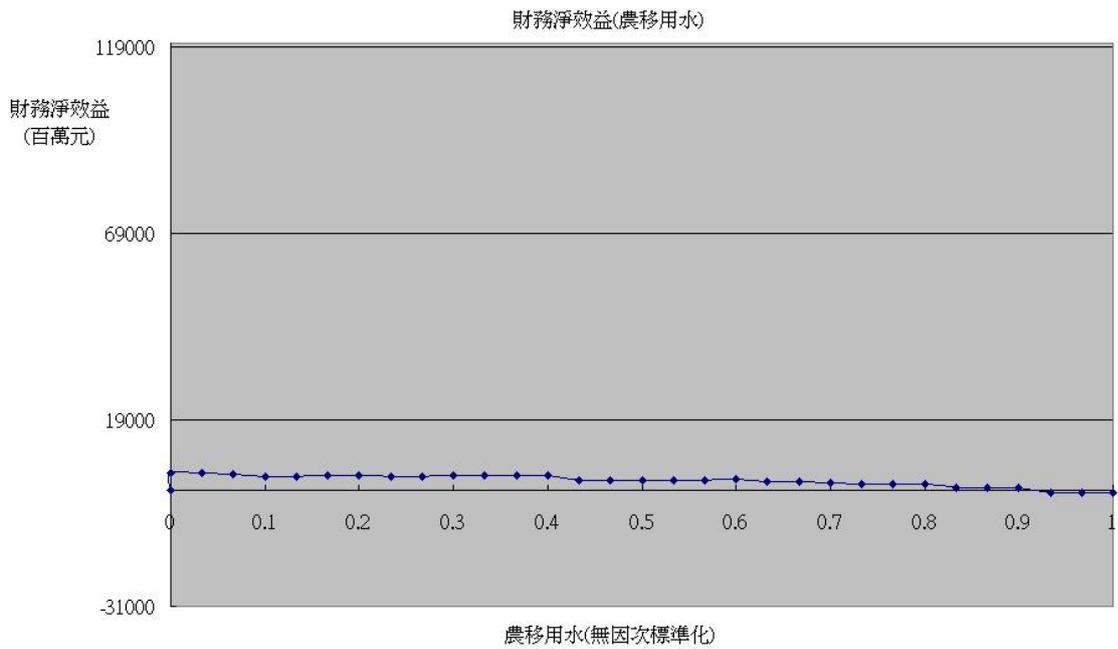


圖 5.2.4-4 農移用水策略對財務淨效益的敏感度分析結果

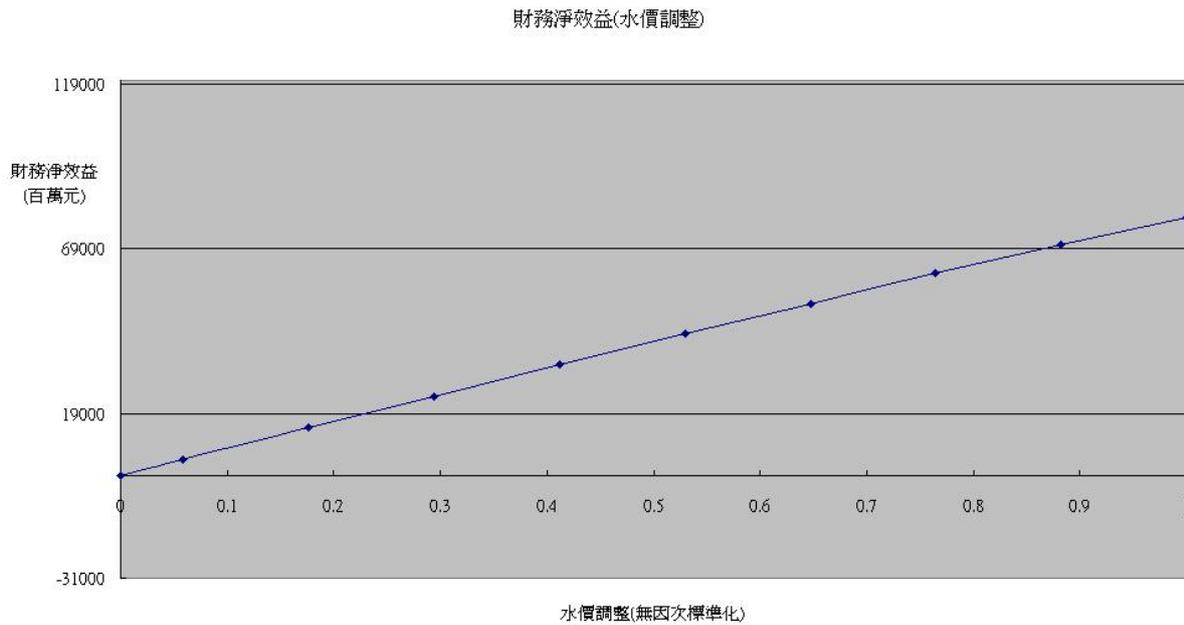


圖 5.2.4-5 水價調整策略對財務淨效益的敏感度分析結果

5.2.5 經濟財務淨效益敏感度分析

各單一策略對於經濟財務淨效益的敏感度分析結果如圖 5.2.5-1~圖 5.2.5-5 所示。在本研究設定策略規模之上下限範圍內，其模擬結果分析結果說明如下

1. 水價調整策略之經濟財務淨效益最佳，越域引水次之，管線汰換再次之。
2. 人工湖工程隨設計容量之增加，其經濟財務效益增加之趨勢並不顯著，其乃因大甲溪之剩餘流量超出后里淨水廠的處理能力之未控制流量不大，因此蓄水空間的增加並無法有效增加其效益。
3. 除了農移用水策略外，其餘策略之經濟財務效益皆有隨規模增加而增加之趨勢。其原因為農移用水最低啟動標準的提高，代表休耕頻率由頻繁變為稀少，導致可移用的水量降低，造成經濟財務效益降低。

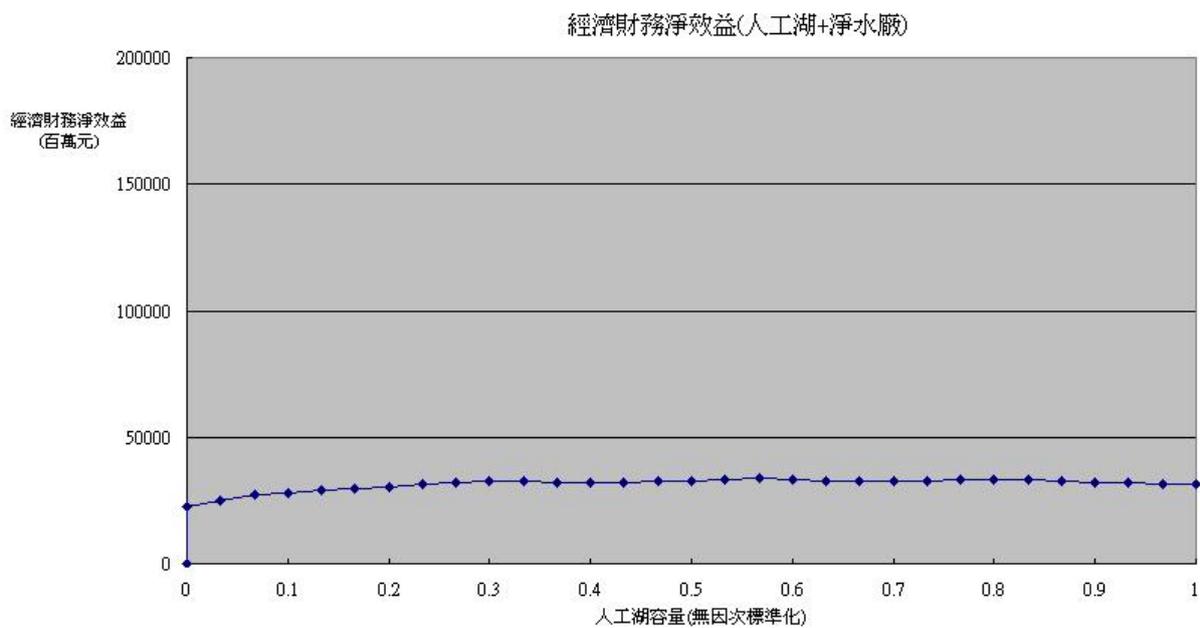


圖 5.2.5-1 人工湖(含淨水場)策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果

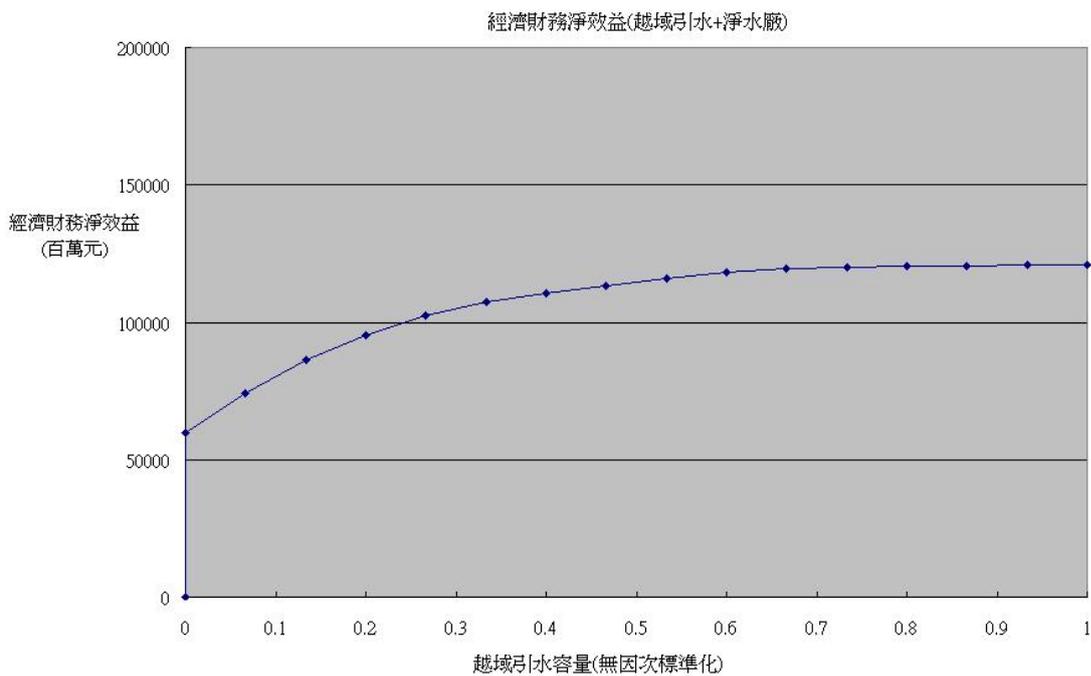


圖 5.2.5-2 越域引水(含淨水場)策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果

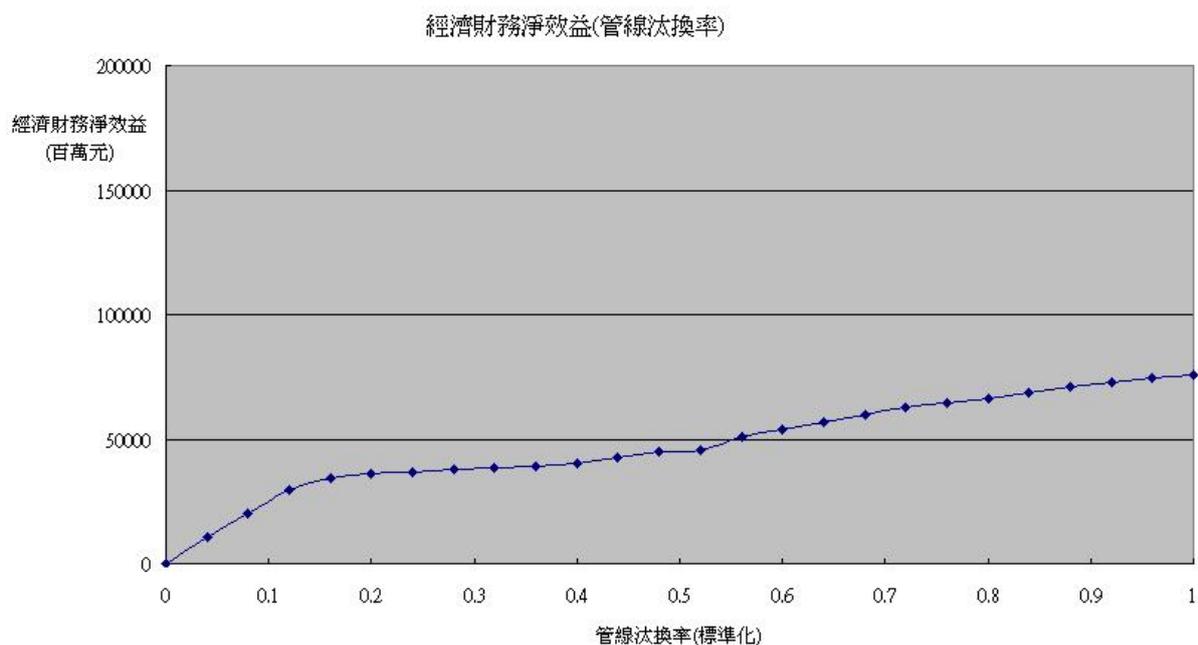


圖 5.2.5-3 管線汰換策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果

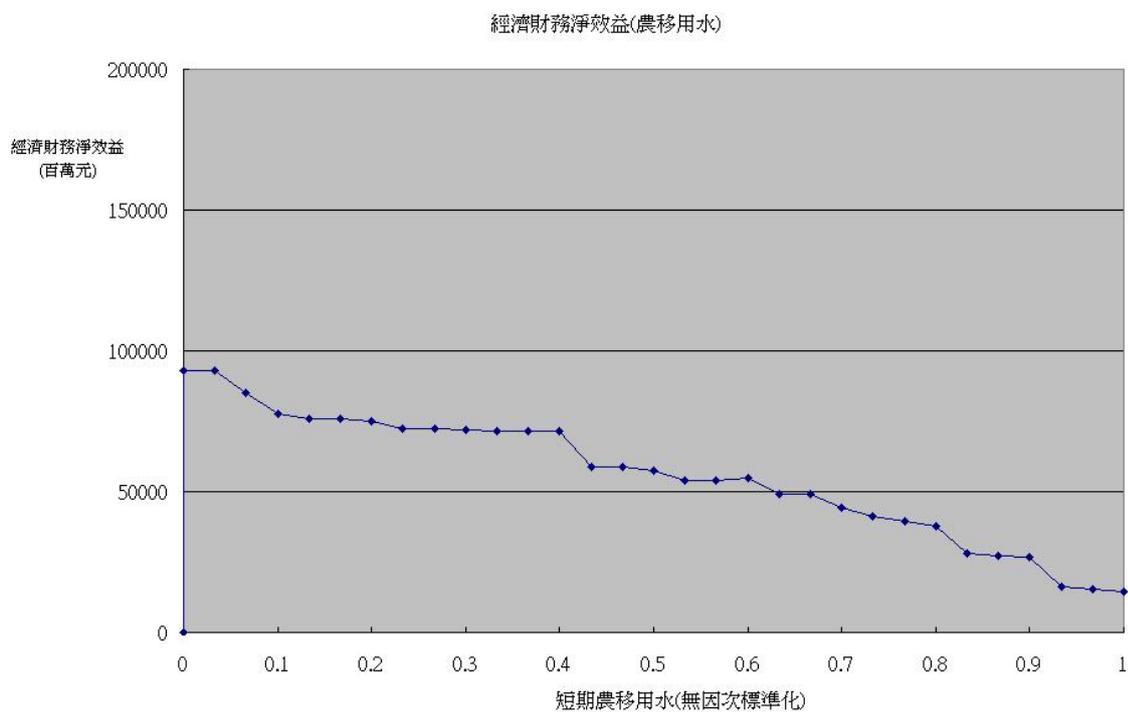


圖 5.2.5-4 農移用水策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果

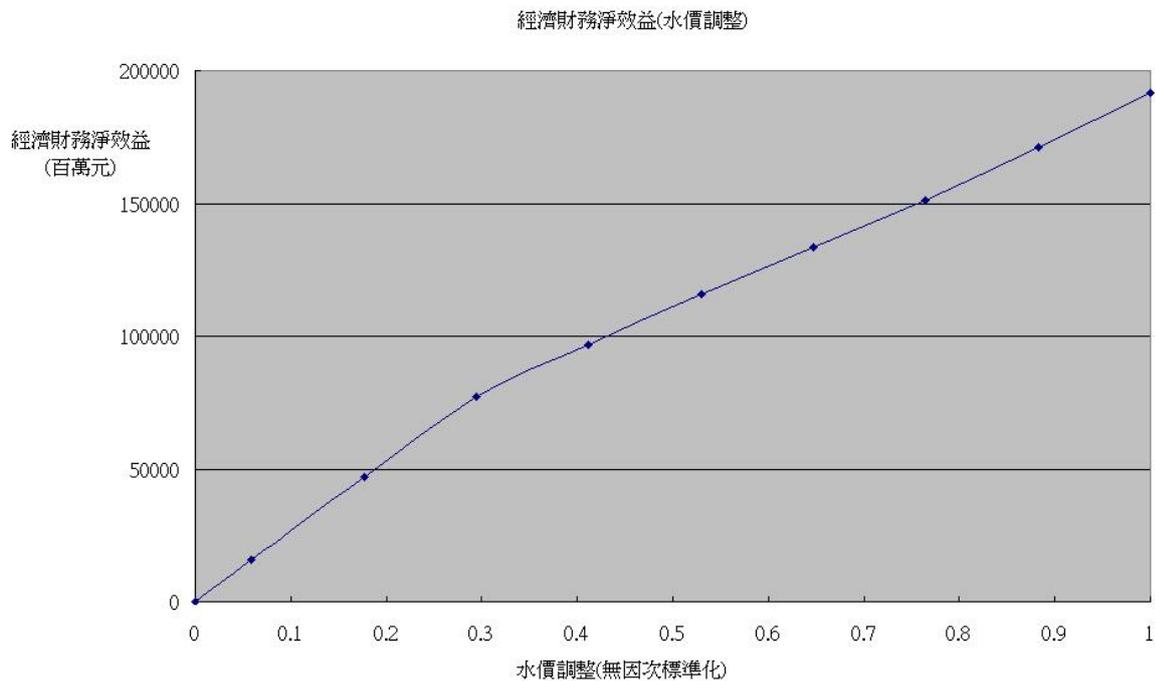


圖 5.2.5-5 水價調整策略對經濟財務淨效益的敏感度分析結果

5.3 複合策略模擬結果

由現況模擬結果發現，僅公共用水缺水指數與民生需求量永續指標兩個永續指標有超出永續利用之虞，因此複合策略之選擇將以降低這兩個指標為原則，配合前一節之敏感度分析，找出影響這兩個指標最顯著的方案，其分別為越域引水(降低缺水指數最顯著)及管線汰換(降低民生需求量最顯著)，利用這兩個策略”分別”與其他策略互相搭配，以及這兩個策略”同時”與其他策略互相搭配之組合，進行模擬分析，複合策略之組合方案如表 5.3-1 所示。模擬結果如表 5.3-2 所示，其分析如下：

1. 由各項組合模擬結果發現，若包含管線汰換策略之組合，皆可符合本研究設定之永續指標標準，由此可見管線汰換策略為達成永續利用之關鍵策略。
2. 由 5.1 節之單一策略模擬結果發現，人工湖與越域引水各自對於缺水指

數之改善皆有顯著效益，惟在目前給定之取水順序下，若已採用越域引水，則人工湖的加入對於缺水指數的改善效率將減緩。其原因有二，一為越域引水和人工湖共同引用大甲溪剩餘流量，二為本研究設定之取水順序為越域引水優於人工湖。

3. 由模擬結果發現共有八種可行方案可以符合所有的永續指標，其可行方案組合整理如表 5.3-3 所示。

由於篩選後的策略組合僅能滿足本研究永續的定義，但實際推動時仍需考量財務的限制，因此下一節將進一步分析這些可行策略組合財務面的衝擊。

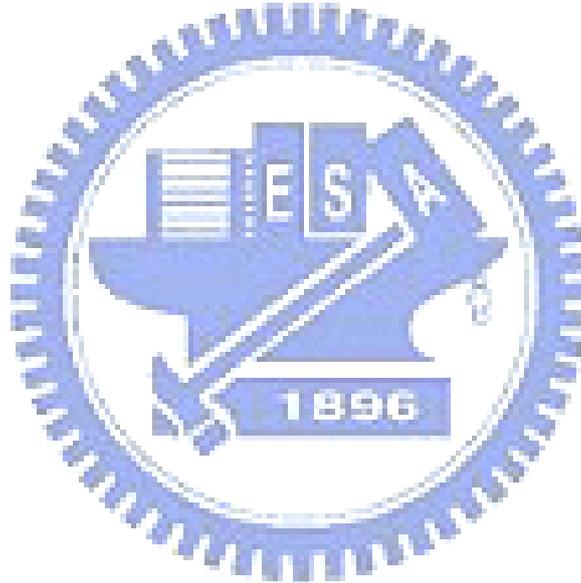


表 5.3-1 複合策略方案組合

	方案別	越域引水(萬噸/天)	人工湖(萬噸)	淨水場(一期)(萬噸/旬)	淨水場(二期)(萬噸/旬)	管線汰換率	農移用水啟動標準	水價調整(元萬噸)
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)	C1	150	2800	200	600	0	0	107500
越域引水(含淨水場)+農移用水	C2	150	0	200	600	0	30	107500
越域引水(含淨水場)+水價調整	C3	150	0	200	600	0	0	120000
越域引水(含淨水場)+管線汰換	C4	150	0	200	600	0.02	0	107500
管線汰換+人工湖(含淨水場)	C5	0	2800	200	600	0.02	0	107500
管線汰換+短期農移用水	C6	0	0	200	600	0.02	30	107500
管線汰換+水價調整(12元/噸)	C7	0	0	200	600	0.02	0	120000

表 5.3-1 複合策略方案組合(續)

	方案別	越域引水(萬噸/天)	人工湖(萬噸)	淨水場(一期)(萬噸/旬)	淨水場(二期)(萬噸/旬)	管線汰換率	農移用水啟動標準	水價調整(元萬噸)
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換	C8	150	2800	200	600	0.02	0	107500
越域引水(含淨水場)+管線汰換+農移用水	C9	150	0	200	600	0.02	30	107500
越域引水(含淨水場)+管線汰換+水價調整	C10	150	0	200	600	0.02	0	120000
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+農移用水	C11	150	2800	200	600	0.02	30	107500
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+水價調整	C12	150	2800	200	600	0.02	0	120000
越域引水(含淨水場)+管線汰換+農移用水+水價調整	C13	150	0	200	600	0.02	30	120000
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+農移用水+水價調整	C14	150	2800	200	600	0.02	30	120000

表 5.3-2 複合策略模擬結果

	方案別	公共年 SI (95~127 年)	大甲溪地面 水利用強度 (95~127 年)	大安溪地面 水利用強度 (95~127 年)	台中工業年 平均需求量 (95~149 年)	台中民生年 平均需求量 (95~149 年)	台中農業年 平均需求量 (95~149 年)
永續指標值		1	0.62	0.62	23838	44640	128954
越域引水(含 淨水場)+人 工湖(含淨水 場)	C1	0.5314	0.5545	0.4146	22910	47919	112902
越域引水(含 淨水場)+農 移用水	C2	0.5343	0.5493	0.4094	22910	47919	110210
越域引水(含 淨水場)+水 價調整	C3	0.6894	0.5454	0.4083	21045	47362	112902
越域引水(含 淨水場)+管 線汰換	C4	0.3531	0.5332	0.3919	22910	37970	112902
管線汰換+ 人工湖(含淨 水場)	C5	0.5875	0.4662	0.5995	22910	37970	112902
管線汰換+ 短期農移用 水	C6	0.8645	0.4555	0.5943	22910	37970	110091
管線汰換+ 水價調整(12 元/噸)	C7	0.9041	0.4555	0.5907	21045	37528	112902
越域引水(含 淨水場)+人 工湖(含淨水 場)+管線汰 換	C8	0.2059	0.5369	0.3919	22910	37970	112902

表 5.3-2 複合策略模擬結果(續)

	方案別	公共年 SI (95~127 年)	大甲溪地面 水利用強度 (95~127 年)	大安溪地面 水利用強度 (95~127 年)	台中工業年 平均需求量 (95~149 年)	台中民生年 平均需求量 (95~149 年)	台中農業年 平均需求量 (95~149 年)
永續指標值		1	0.62	0.62	23838	44640	128954
越域引水(含 淨水場)+管 線汰換+農移 用水	C9	0.1819	0.5332	0.3866	22910	37970	110767
越域引水(含 淨水場)+管 線汰換+水價 調整	C10	0.2459	0.529	0.3852	21045	37528	112902
越域引水(含 淨水場)+人 工湖(含淨水 場)+管線汰 換+農移用水	C11	0.0941	0.5359	0.3866	22910	37970	110767
越域引水(含 淨水場)+人 工湖(含淨水 場)+管線汰 換+水價調整	C12	0.1358	0.5321	0.3852	21045	37528	112902
越域引水(含 淨水場)+管 線汰換+農移 用水+水價調 整	C13	0.1391	0.5289	0.3788	21045	37528	110877
越域引水(含 淨水場)+人 工湖(含淨水 場)+管線汰 換+農移用水 +水價調整	C14	0.065	0.5315	0.3788	21045	37528	110877

表 5.3-3 可行策略列表

可行策略組合方案	方案別
越域引水(含淨水場)+管線汰換	C4
管線汰換+人工湖(含淨水場)	C5
管線汰換+短期農移用水	C6
管線汰換+水價調整(12 元/噸)	C7
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換	C8
越域引水(含淨水場)+管線汰換+農移用水	C9
越域引水(含淨水場)+管線汰換+水價調整	C10
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+農移用水	C11
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+水價調整	C12
越域引水(含淨水場)+管線汰換+農移用水+水價調整	C13
越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+農移用水+水價調整	C14

5.4 財務面分析模擬結果

可行策略組合之財務淨效益值與經濟財務淨效益值如表 5.4-1 所示，其結果說明如下

1. 由 5.2 節之單一策略敏感度分析結果得知，人工湖策略之財務淨效益值最差，因此考量人工湖之複合策略其財務淨效益值亦較低；而水價調整之財務淨效益值最佳，因此考量水價調整之複合策略可有效提高其財務淨效益值。
2. 本研究以經濟財務淨效益進行可行策略的篩選，由結果顯示，通過永續指標篩選過後的方案，經濟財務淨效益皆為正值。



表 5.4-1 可行策略之經濟財務淨效益模擬結果

	方案別	財務淨效益 (百萬元)	經濟財務淨 效益 (百萬元)	年平均財務 淨效益 (百萬元/年)	年平均經濟 財務淨效益 (百萬元/年)
越域引水(含淨水場)+ 管線汰換	C4	-26883	137480	-537.66	2749.6
管線汰換+人工湖(含 淨水場)	C5	-48874	75247	-977.48	1504.94
管線汰換+短期農移 用水	C6	-16809	86150	-336.18	1723
管線汰換+水價調整	C7	-5655	113063	-113.1	2261.26
越域引水(含淨水場)+ 人工湖(含淨水場)+管 線汰換	C8	-51696	125410	-1033.92	2508.2
越域引水(含淨水場)+ 管線汰換+農移用水	C9	-26778	156808	-535.56	3136.16
越域引水(含淨水場)+ 管線汰換+水價調整	C10	-17237	167145	-344.74	3342.9
越域引水(含淨水場)+ 人工湖(含淨水場)+管 線汰換+農移用水	C11	-52111	141298	-1042.22	2825.96
越域引水(含淨水場)+ 人工湖(含淨水場)+管 線汰換+水價調整	C12	-42145	153153	-842.9	3063.06
越域引水(含淨水場)+ 管線汰換+農移用水+ 水價調整	C13	-17296	181843	-345.92	3636.86
越域引水(含淨水場)+ 人工湖(含淨水場)+管 線汰換+農移用水+水 價調整	C14	-42600	165743	-850	3314.86

5.5 風險分析評估

上述所篩選出之皆以指標的歷年平均值判斷，實質上永續指標呈逐年變化，因此為探討指標之逐年變化，本研究在不考慮其統計機率分佈類別的前提下，以韋伯序位法進行指標風險分析，探討不同指標之風險。其分析步驟如下：

- 1、記錄各永續指標逐時之變化，假設共有假設共 n 筆資料。
- 2、資料依記錄值大小，由大至小排序。
- 3、採用韋伯序位法 (Weibull) $P\% = m/(n+1) \times 100\%$ 分析第 m 筆資料之超越機率。
- 4、以超越機率為橫座標，永續指標值為縱座標，將上述結果點繪於座標圖上，則超越機率曲線與永續指標上限值之交點所對應之超越機率，即為該策略不符合永續指標之風險值。

可行策略各永續指標風險值整理如表 5.5-1 所示，為清楚呈現策略在不同指標上之風險值，本研究以雷達圖來表現多指標之風險分析結果，雷達圖面積越小者，代表該策略之整體表現越佳(風險越小)，此資訊提供作為決策參考。分析結果如圖 5.5-1~5.5-11 所示。

結果顯示，工業需求量、大安溪利用強度有較高的超出永續指標標準之風險。根據單一策略敏感度分析結果，越域引水為降低大安溪利用強度的最佳策略，且僅水價調整可有效降低工業需求量，因此含有此兩策略之策略組合應可得到較低之風險。雷達圖之結果亦證明如此，C10、C12、C13 與 C14 方案相較於其他策略組合，有較低的超出各個永續指標標準之風險。其中以 C13 方案(越域引水(含淨水場)+管線汰換+農移用水+水價調整)策略為最佳方案，其次為 C10 方案(越域引水(含淨水場)+管線汰換+水價調整)，C14 方案(越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+農移用水+水價調整)次之。

表 5.5-1 符合水量永續標準及經濟財務限制之可行策略風險分析結果

	大甲溪利用強度 指標風險	大安溪利用強度 指標風險	工業需求量 指標風險	民生需求量 指標風險	農業需求量 指標風險	缺水指數 指標風險
方案別	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
C4	24.19	14.67	73.13	2.94	2.94	11.76
C5	17.83	55.88	73.13	2.94	2.94	21.36
C6	17.82	53.31	73.13	2.94	2.94	31.36
C7	17.82	49.76	2.94	2.94	2.94	30.71
C8	27.12	14.67	73.13	2.94	2.94	8.19
C9	24.19	14.67	73.13	2.94	2.94	5.64
C10	23.97	14.29	2.94	2.94	2.94	9.40
C11	27.12	14.67	73.13	2.94	2.94	4.82
C12	26.84	14.29	2.94	2.94	2.94	7.09
C13	23.97	14.21	2.94	2.94	2.94	5.34
C14	26.84	14.21	2.94	2.94	2.94	4.25

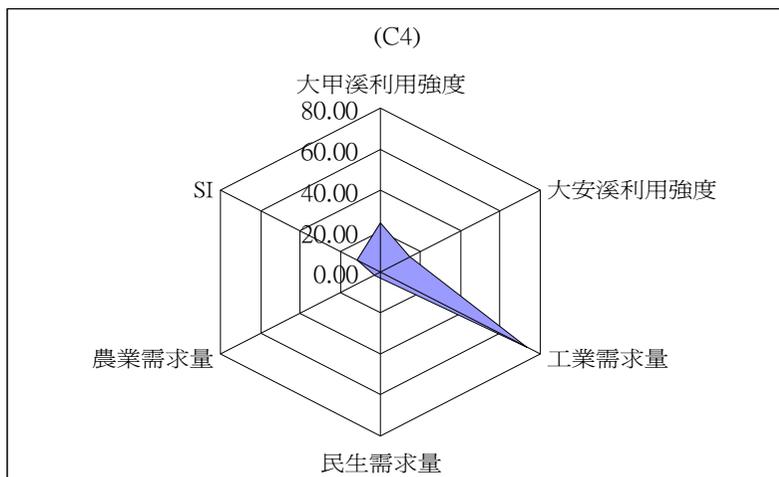


圖 5.5-1 C4 策略風險分析雷達圖

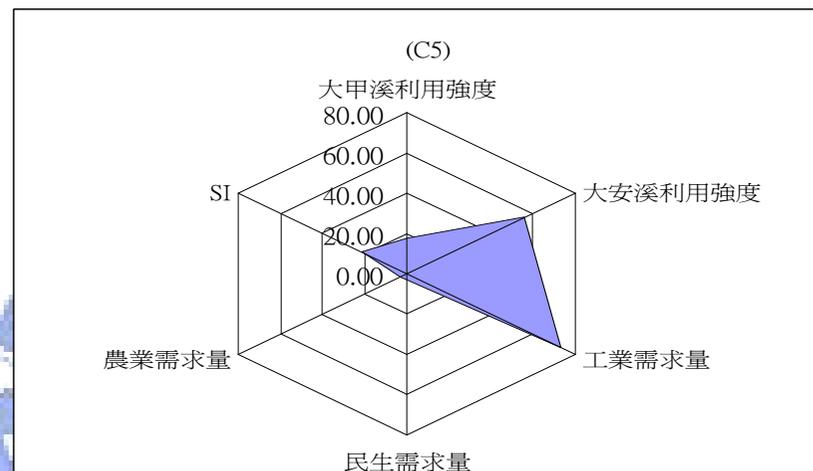


圖 5.5-2 C5 策略風險分析雷達圖

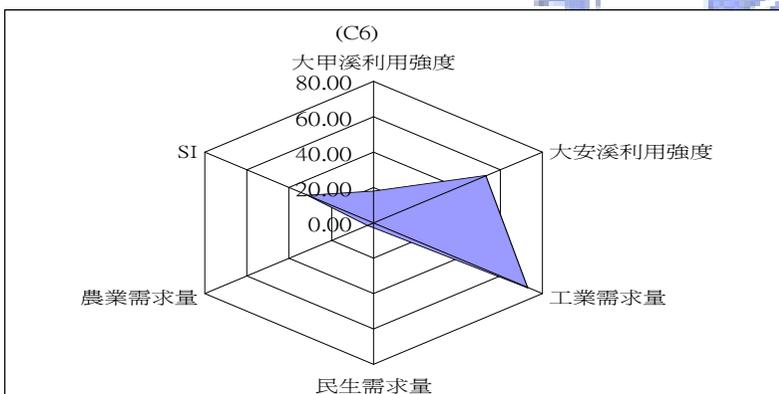


圖 5.5-3 C6 策略風險分析雷達圖

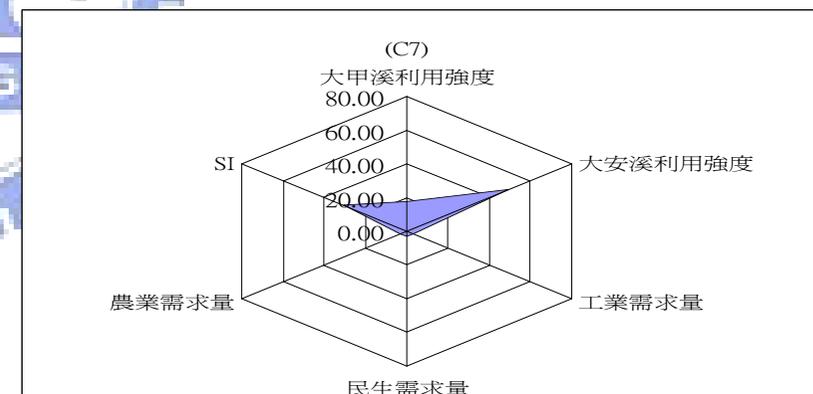


圖 5.5-4 C7 策略風險分析雷達圖

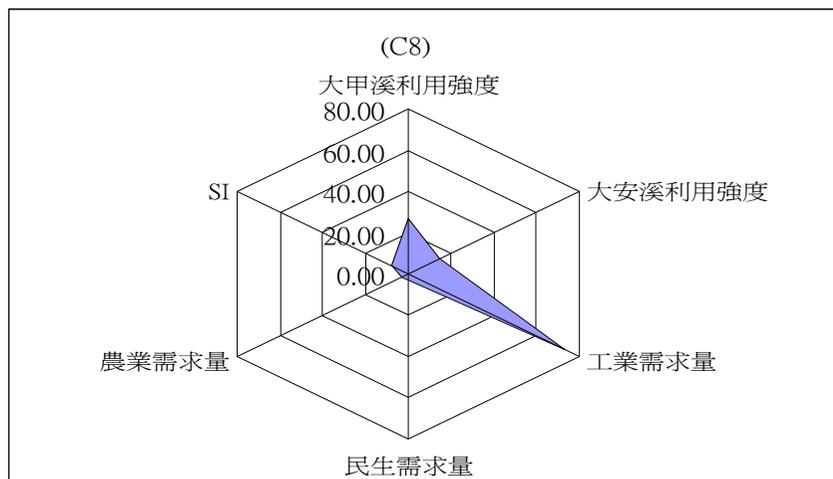


圖 5.5-5 C8 策略風險分析雷達圖

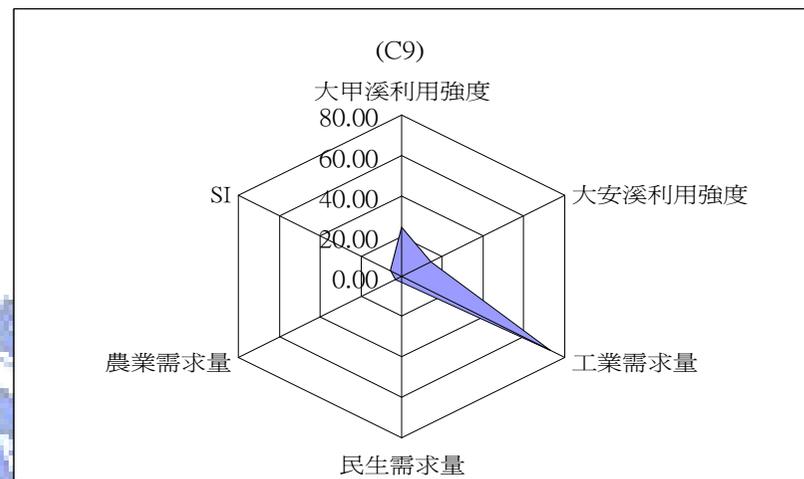


圖 5.5-6 C9 策略風險分析雷達圖

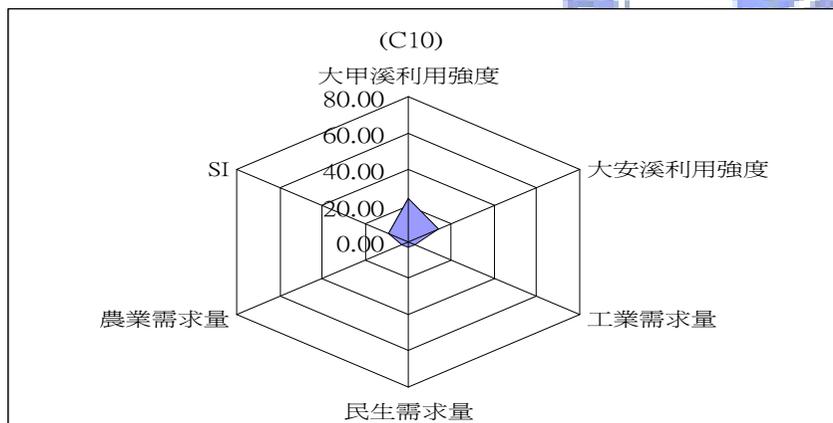


圖 5.5-7 C10 策略風險分析雷達圖

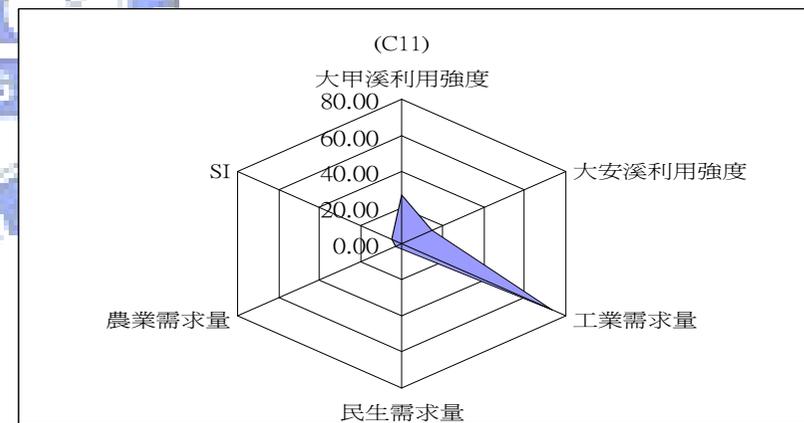


圖 5.5-8 C11 策略風險分析雷達圖

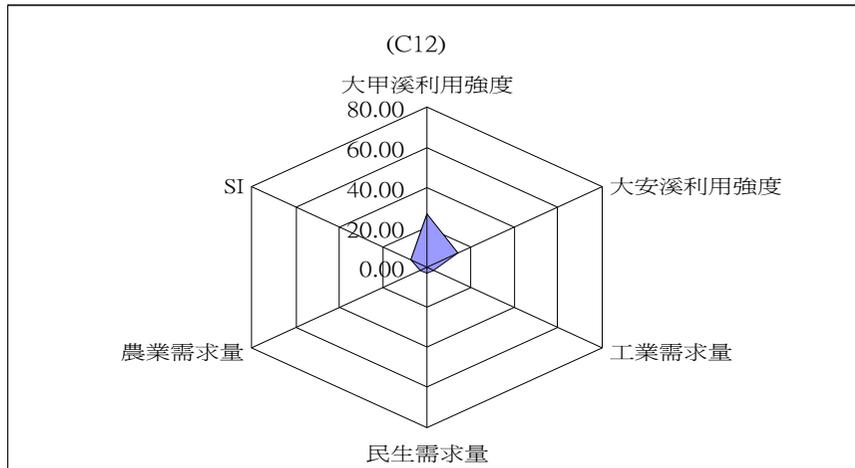


圖 5.5-9 C12 策略風險分析雷達圖

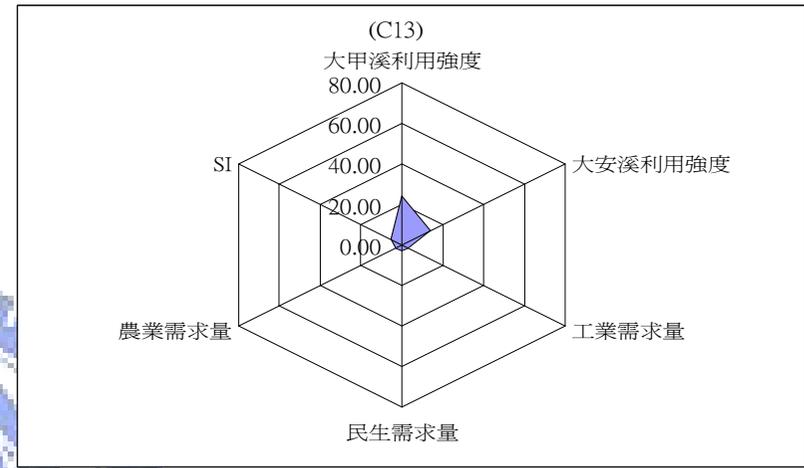


圖 5.5-10 C13 策略風險分析雷達圖

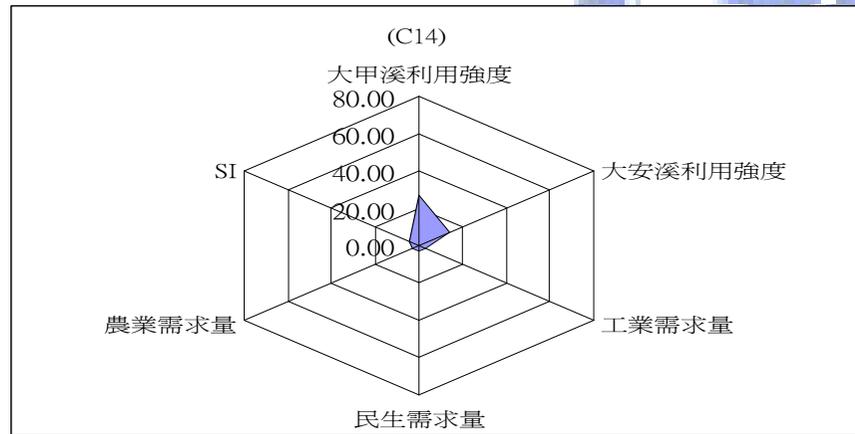


圖 5.5-11 C14 策略風險分析雷達圖

第六章 結論與建議

6.1 結論

1. 本研究應用系統動力學發展台中地區多元化水資源策略模擬模式，可模擬三種供給面策略及三種需求面策略之不同的搭配組合，本研究並應用此模式以多種永續指標、經濟財務效益分析及風險分析等評估各種策略組合之優劣。
2. 本研究以動態連結函式庫(Dynamic Linking Libraries, DLL)方式建立耦合式系統動力模型，可有效降低模式的複雜度以及擴充的彈性。
3. 本研究之經濟財務分析除考量傳統之財務成本外，亦將系統改善所降低的缺水損失納入經濟效益分析，並以淨效益現值法來比較策略的優劣。
4. 經模式模擬分析，在多種策略組合中，共有 11 種複合策略通過永續指標標準，再經由經濟財務分析後以 越域引水(含淨水場)+管線汰換+農移用水+水價調整策略 (C13) 為最佳方案，次佳為 越域引水(含淨水場)+管線汰換+水價調整 (C10)，第三為 越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+農移用水+水價調整 (C14)，由於農業用水的花費比起其他策略來的少，人工湖的成本高，才使得 C13 策略為最佳方案，C14 變為第三佳方案。
5. 在前述通過永續標準的 11 種複合策略中，進一步進行風險分析，並以雷達圖同時表達各複合策略超越各永續指標的機率情況，可得到下列幾點結論：
 - (1) 各永續指標超過標準的機率皆在 25%以下者有 C10 與 C13 兩策略組合，而其中經濟財務效益以 C13 為較佳 C10 次之。

- (2) 各永續指標超過標準的機率皆在 40%以下有 C10、C12(越域引水(含淨水場)+人工湖(含淨水場)+管線汰換+水價調整)、C13 和 C14 四個策略組合，其中經濟財務效益以 C13 為最佳，次佳是 C10，接著是 C14。
- (3) 各永續指標超過標準的機率皆在 50%以下有 C7(管線汰換+水價調整)、C10、C12、C13 和 C14 五個策略，其中經濟財務效益以 C13 為最佳，次佳是 C10，接著是 C14。
6. 在工業需求之價格彈性為-0.7 的情況下，水價調整對降低工業需求效果顯著，在通過永續指標篩選後的 11 種方案中，若沒有包含水價調整的策略，則工業需求不滿足量的指標超過標準的機率將很高。
7. 本研究應用雷達圖方式，表達各複合策略超過各項永續指標標準的風險，經風險分析後，部份符合經濟效益方案將有著較高的風險，如 C14 的經濟效益為通過永續標準的策略中的第三佳，惟若風險機率訂為 25%，則其大甲溪利用強度指標超過標準之風險將大於此值，為不可接受方案。

6.2 建議

1. 模式使用的入流量資料，是以過去已知的入流量資料當作未來之入流量資料，將來可以考量氣候變遷的因素，推估未來因氣候變遷而改變之入流量資料，探討氣候變遷的影響。
2. 未來可以加入水質方面的指標，如卡爾森指標，因為河川的優養化、水庫濁度等等的考量，也是影響用水的因素。
3. 本研究的水價調整策略中，關於價格彈性方面中，製造業自行取水比例高，加上台灣水價彈性相關研究有限，先假設工業用水彈性為

-0.7、家計用水彈性為-0.1，往後若有更進一步研究，可使各用水彈性改為更符合實際情況。

4. 未來可利用蒙地卡羅分析，配合氣候變遷的考量，進行更嚴謹的風險分析。



参考文献

1. William, W. Y., “Reservoir Management And Operations Model : A State-Of-The-Art Review”, Water Resources Research, pp. 1797–1818, 1985.
2. Philip, S. Y. and Asit, D., “Effect of System Dynamics on Coupling Architectures for Transaction Processing”, Proceedings of the Eighth International Conference on Data Engineering, pp. 458–469, 1992.
3. Ralph, A. W., “Reservoir-system simulation and optimization models” , Journal of Water Resources Planning and Management, pp. 455–472, 1993
4. Ahmad, S. and Slobodan, P. S., “System Dynamics Modeling of Reservoir Operations for Flood Management”, Journal of Computing in Civil Engineering, pp.190-198, 2000.
5. Güneralp, B. and Yaman, B., “Dynamic modelling of a shallow freshwater lake for ecological and economic sustainability”, Ecological Modelling, 167, pp.115-138, 2003.
6. Krystyna, A. S., “A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada”, Journal of Environmental Management, 67, pp.303-313, 2003.
7. John, W. L., “Optimal Operation of Multireservoir Systems : State-of-the-Art Review”, Journal of Water Resources Planning and Management, 130, pp.93-111, 2004.
8. David, F. G., Karen, J. R. and Sungsook, C., “Designing Safe Systems: Using System Dynamics to Understand Complexity”, Natural Hazards Review, pp.82-88, 2004.

9. Ahmad, S. and Slobodan, P. S., “Spatial System Dynamics: New Approach for Simulation of Water Resources Systems”, Journal of Computing in Civil Engineering, pp.331-340, 2004.
10. Sehlke, G. and Jake, J., “System Dynamics Modeling of Transboundary Systems: The Bear River Basin Model”, Ground Water, 43, 5, pp.722–730, 2005.
11. 蘇懋康，系統動力學原理及應用，上海交大，1991。
12. 陶在樸，系統動態學，五南圖書出版有限公司，1999。
13. 韓釗，系統動力學—探索動態複雜之鑰，華泰出版社，2002。
14. 經濟部水利署水利規劃試驗所，多功能人工湖永續經營研究，經濟部水利署，2004。
15. 經濟部水利署中區水資源局，大安溪及大甲溪水資源聯合運用初步規劃報告，經濟部水利署，2005。
16. 經濟部水利署，多元化水源開發綱領計畫，經濟部水利署，2005。
17. 吳瑞賢、林建章、蘇文瑞，「水庫規線之制定與操作之研究」，第八屆水利工程研討會論文集，1996。
18. 楊淑敏，「區域性系統供水潛能之分析」，國立台灣大學台灣大學土木工程研究所，碩士論文，1998。
19. 周乃昉、黃義銘，「南部區域水資源調配模式之初步研究」，第九屆水利工程研討會論文集，D23-D33 頁，1998。
20. 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」，國立中央大學生物環境工程研究所碩士論文，1999。

21. 詹麗梅，「區域供水系統系統動力模型建立與策略評估-以大基隆供水區為例」，國立台灣海洋大學河海工程學系碩士學位論文，2001。
22. 林松青，「整合型區域水庫與攔河堰聯合運轉系統模擬解析及優化之研究」，國立中央大學土木研究所博士論文，2002。
23. 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。
24. 蔡嘉訓，「多水庫系統聯合操作模擬模式與逐時段優選求解方法之建立與應用」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，2002。
25. 鄭韻如，「多水庫聯合營運模式之建立與應用」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2002。
26. 張光漢，「ERP 系統與系統動力學模式結合介面之研究與發展」，義守大學管理研究所碩士論文，2002。
27. 李孟聰，「高雄地區愛河水環境生態復育與水污染防治策略分析」，國立中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文，2002。
28. 張育雅，「應用遺傳演算法於大甲溪及大安溪水資源最佳聯合調配模式」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2003。
29. 沈維民，「臺灣地區水資源成本研究—從綠色會計面探討」，逢甲大學經營管理學系碩士在職專班論文，2004。
30. 袁倫欽，「水庫供水操作與乾旱預警系統之研究」，國立台灣海洋大學河海工程系博士論文，2005。
31. 黃志民，「工程顧問機構知識管理導向企業流程再造模式之研究」，國立台灣科技大學營建工程系碩士論文，2006。

32. 張婉茹，「應用系統動力學於多元化水資源策略模擬與分析-以台中地區為例」，國立交通大學土木工程系碩士論文，2006。
33. 李任馥，「應用系統動力學於高屏河流域水量水質改善策略之模擬分析」，國立交通大學土木工程系碩士論文，2007。
34. 蘇昀柏，「系統流程轉換成動力流圖之研究—以水資源分析為例」，國立交通大學土木工程系碩士論文，2007。
35. 周建宏，「運用系統動力學處理複雜問題之思維—以綜合治水為例」，逢甲大學水利工程系碩士論文，2007。
36. 陳禹志，「系統動力學應用於大甲溪水污染防治策略研擬之研究」，逢甲大學水利工程系碩士論文，2007。
37. 楊朝仲等編著，「系統動力學-思維與應用 System Dynamics」，五南圖書出版股份有限公司，2007。

