

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

求償性序率規劃應用於水資源
長短期方案之綜合規劃

**The Stochastic Programming with Recourse use in
Decision Analysis of Water Resources Manager
Program**

研究生：劉鎧榮

指導教授：張良正 博士

中華民國一百零二年八月

求償性序率規劃應用於水資源

長短期方案之綜合規劃

**The Stochastic Programming with Recourse use in Decision
Analysis of water Resources Manager Program**

研 究 生：劉鎧榮

Student : Kai-Jung Liou

指 導 教 授：張良正 博士

Advisor : Dr. Liang C. Chang

The logo of National Chiao Tung University is a large, light blue circular emblem. It features a gear-like outer border. Inside the circle, there is a stylized representation of a building or structure. The letters 'N', 'C', 'T', 'U' are arranged in a grid-like pattern. Below the main emblem, the year '1896' is visible. The text '國立交通大學' (National Chiao Tung University) is written in Chinese characters across the middle of the emblem, with '土木工程學系碩士班' (Civil Engineering Department Master's Program) and '碩士論文' (Master's Thesis) written below it.

國立交通大學
土木工程學系碩士班
碩士論文

A Thesis 1896

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

August 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 一 百 零 二 年 八 月

求償性序率規劃應用於水資源

長短期方案之綜合規劃

學生：劉鎧榮

指導教授：張良正

國立交通大學土木工程學系

摘要

一般而言水資源方案可分為長期方案及短期方案，其中長期方案為經常性使用之供水方案，而因應缺水事件之應變型方案稱為短期方案，就規劃的角度而言，長期方案其成本較易估計，而短期方案之施行與否決定於缺水事件，因此具有很大的不確定性，兩者之成本估計有本質上的不同。事實上長短期方案有一定程度的競合關係，而就整個水資源系統而言，兩者亦是並存，因此一個完整的水資源規劃必須能同時考量此兩類方案，以求的一個完整的最佳方案組合。

有鑑於此，本研究以求償序率規劃為理論基礎並結合水資源調配模式發展一水資源決策模式，可在同時考量長、短期方案之期望成本下建議出最佳的方案組合。針對上述問題，本研究以二階段方式進行考量，第一階段先以目前之水資源系統進行調配分析，以統計各種缺水事件之發生機率，第二階段再以此發生機率配合不同方案之成本與供水改善效率決定最佳之長短期方案組合。本研究以台北、桃園做為研究地區，台北地區用水需求中、高成長之情況，最佳組合方案中，長期方案皆為台北基隆雙向聯通管路段工程及雙溪水庫，短期方案皆為第一、第二階段限水及台北盆地備用地下水井；桃園地區用水需求中成長之情況，最佳組合方案為短期方案之第一、第二階段限水及加強灌溉管理，用水需求高成長之情況除選用上述三種方案外，多選用停灌休耕方案。

傳統上水資源規劃長短期方案多分開考量，本研究發展之決策模式同時

考量長短期方案，在最少總成本下滿足用水缺口，考量層面更更加完整實際，可提供決策單位更具體可行的參考。



The Stochastic Programming with Recourse use in Decision Analysis of water Resources Manager Program

Student : Kai -Jung Liou

Advisor : Dr. Liang-Cheng Chang

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

For water resources management, short-time and long-term planning are usually trade-off. For long-term planning usually concerns about water supply and short-term planning usually faces responses for water shortage. The cost of the long-term planning is easier to estimate but the cost for short-term planning has high uncertainty.

A complete water resources planning should consider both long-term and short-term issues for best management portfolios. This study applies Stochastic Programming with Recourse use to develop a decision making model for water resources management. Two-phase procedure is used in this study. In the first phase, the shortage probability is evaluated based on the current water distribution system. The second phase optimizes the decision portfolio based on the shortage probability and the cost for possible decisions. This proposed approach is applied to Taipei and Taoyuan areas. For Taipei, median and high growth of water needs are assumed. The optimized results show that the two-way water pipeline system is needed between Taipei and Keelung for long-term. Reduction of water supply and extraction of groundwater are needed actions for short term. For Taoyuan, under median growth of water need, reduction of water supply and irrigation management are needed. Under high growth of water need, additional fallow is needed.

The result shows that a complete consideration of both long-term and short-term benefits can lead a better decision of water management.



謝誌

首先感謝我的指導教授 張良正教授，無論是在研究領域上的耐心指導，以及做人處事的諄諄教誨，使學生受益匪淺。同樣感謝蕭金財副教授、鄭蔚辰博士及何智超助理教授在口試前細心審閱學生的論文，並於口試期間給予保貴之意見，諸位老師的指教使得本文更趨於完備，在此謹致衷心謝意。

再來特別要感謝永遠 18 歲的青春貓哥哥，不管是在計劃方面或是論文方面總是大力相助，現在升等為貓爸爸了，只能說有家室的男人更帥了！；另外要特別感謝研究室的大哥哥陳文哥，總是不厭其煩的教導、督促研究室的大家，我不會忘記陳文哥帶著我一行一行 Debug 的時光，陳文哥對研究的態度以及對事情的看法一直是我學習的楷模；當然還有研究室的大家，彬哥、祐誠葛葛、雲直、逸儒、逸美、怡瑄、深惠、小肥瑜、阿布、呱呱、宏卿、國陞、小又、海倫、奕璋、阿文、曉芸、韋炫、又田、誠胤、修緯…晚上殺殺時光、每月的大餐、迎新漆蛋、英文課、一起唱歌出遊…這些點點滴滴都是最美好的回憶，謝謝你們的陪伴，讓研究生活更加精彩豐盛，也感謝老天讓我可以認識這麼可愛的你們。

最後，要感謝家人無條件的付出與關愛，無論做任何決定總是在身邊支持鼓勵，使我可以無憂的學習，在此由衷感謝。

目錄

摘要	I
Abstract.....	III
謝誌	V
目錄	VI
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
第一章 序論.....	1
1.1 研究緣起與目的.....	1
1.2 研究流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 水資源調配模式.....	4
2.2 決策分析文獻回顧.....	6
第三章 研究方法.....	9
3.1 GWSM 水資源調配模式.....	10
3-2 長、短期方案決策模式.....	26
第四章 水資源長短期方案之綜合規劃.....	32
4.1 研究區域概述.....	32
4.2 台北、桃園地區水資源調配模擬.....	42
4.3 台北、桃園地區長、短期方案建置.....	54
第五章 結論與建議.....	70
5.1 結論.....	70
5.2 建議.....	71
第六章 參考文獻.....	73
附錄 各情境各地區方案選擇列表.....	78

表目錄

表 3-1 簡例使用之權重值.....	19
表 4-1 台北桃園地區之淨水場說明	38
表 4-2 台北地區不同目標年用水需求量	39
表 4-3 板新地區不同目標年用水需求量	39
表 4-4 桃園地區不同目標年用水需求量	40
表 4-5 桃園地區歷年計畫灌溉用水量平均值	41
表 4-6 台北與桃園地區河川生態基流量	42
表 4-7 台北、桃園地區淨水廠處理能力	45
表 4-8 台北、桃園地區水利設施管線限制	45
表 4-9 台北、桃園地區水庫容量	46
表 4-10 GWSM 模式採用情境設定	51
表 4-11 台北、桃園地區水資源調配分析結果	52
表 4-12 台北、桃園地區連續最大缺水天數	53
表 4-13 台北、桃園地區各方案列表	54
表 4-14 台北地區長期方案之成本及增供水量	55
表 4-15 台北地區短期方案之成本及增供水量	55
表 4-16 桃園地區長期方案之成本及增供水量	56
表 4-17 桃園地區短期方案之成本及增供水量	56
表 4-18 桃園地區農業調度方案之成本及增供水量	56
表 4-19 各情境最佳期望年計成本	58
表 4-20 台北地區長、短期方案最佳組合分析結果	59
表 4-21 桃園地區長、短期方案(不包括農業)最佳組合分析結果.....	64
表 4-22 桃園地區長、短期方案(包括農業)最佳組合分析結果.....	65

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖.....	3
圖 3-1 模式架構圖.....	10
圖 3-2 水庫操作分層示意圖.....	11
圖 3-3 簡單雙水庫聯合營運.....	23
圖 3-4 雙水庫供水系統圖.....	24
圖 3-5 調配模型示意圖.....	24
圖 3-7 水庫二放流量.....	25
圖 3-8 系統描述檔.....	29
圖 3-9 長期方案輸入檔.....	29
圖 3-10 短期方案輸入檔.....	30
圖 3-11 農業方案輸入檔.....	30
圖 3-12 缺水事件輸入檔.....	31
圖 4-1 台北桃園地區供水系統圖.....	33
圖 4-2 翡翠水庫運用規線圖.....	35
圖 4-3 石門水庫運用規線圖.....	37
圖 4-4 台北、桃園水資源調配模型.....	44
圖 4-5 聯合營運下石門水庫操作結果.....	47
圖 4-6 聯合營運下翡翠水庫操作結果.....	47
圖 4-7 翡翠水庫優先供水下石門水庫操作結果.....	48
圖 4-8 翡翠水庫優先供水下翡翠水庫操作結果.....	48
圖 4-9 石門水庫優先供水下石門水庫操作結果.....	49
圖 4-10 石門水庫優先供水下翡翠水庫操作結果.....	49
圖 4-11 不同操作規則下各水庫供應至板新地區之平均水量.....	50
圖 4-12 台北地區不同缺水事件發生機率.....	53
圖 4-13 台北地區情境一缺水事件分佈圖.....	60

圖 4-14 台北地區情境二缺水事件分佈圖	61
圖 4-15 台北地區情境三缺水事件分佈圖	62
圖 4-16 台北地區情境四缺水事件分佈圖	63
圖 4-17 桃園地區情境一缺水事件分佈圖	66
圖 4-18 桃園地區情境二缺水事件分佈圖	67
圖 4-19 桃園地區情境三缺水事件分佈圖	68
圖 4-20 桃園地區情境四缺水事件分佈圖	69



第一章 序論

1.1 研究緣起與目的

台灣地區因降雨分配不均及地勢陡峭流急，造成集水區水源涵養不易，乾季時期河川常呈乾涸現象，加上經濟發展、人口增加等人為因素，水資源供應難以滿足需求，缺水事件頻頻發生，如何減少缺水天數與缺水量是政府目前積極辦理水資源經理計劃之重要目標之一。惟傳統水資源經理計畫多著重於水源開發，然因環境保護意識提升，使得開發新水庫越益困難，故經濟部於民國 95 年研提「新世紀水資源政策綱領」，此報告已初具整合性水資源經理 (Integrated Water Resources Management) 的概念，整合性水資源經理是以永續發展為目的，利用綜合性措施手段以達成設定目標，綜合性措施包含長期調配、短期應變及農業調度等策略，由於各水資源經理方案本質並不相同，長期方案需常態使用，其成本效益可以定率方式推估，短期方案及農業調度方案則視缺水事件發生才需採用應變，其成本效益需以序率方式推估，使得決策分析更加複雜困難。

有鑑於此，本研究目的為針對缺水管理問題，建立可考量缺水風險、長、短期策略及投資成本之水資源方案綜合規劃模式，可建議因應供水風險管理之最佳組合方案，以供決策之參考，然而長、短期方案兩供水標的在時間尺度上要求有所不同，故本研究以階段求償序率規劃，進行水資源經理策略決策分析，第一階段透過水資源現況長期調配分析，統計分析各種短期缺水事件之期望缺水量與發生機率，第二階段再根據各方案之成本與供水改善效率決定長、短期方案組合。透過階段求償序率規劃方法可同時考量長、短期策略與不確定性因子。並以台北桃園兩地區為應用案例以驗證本模式之實用性。此外，為了使模擬多地區聯合營運時，操作規則可

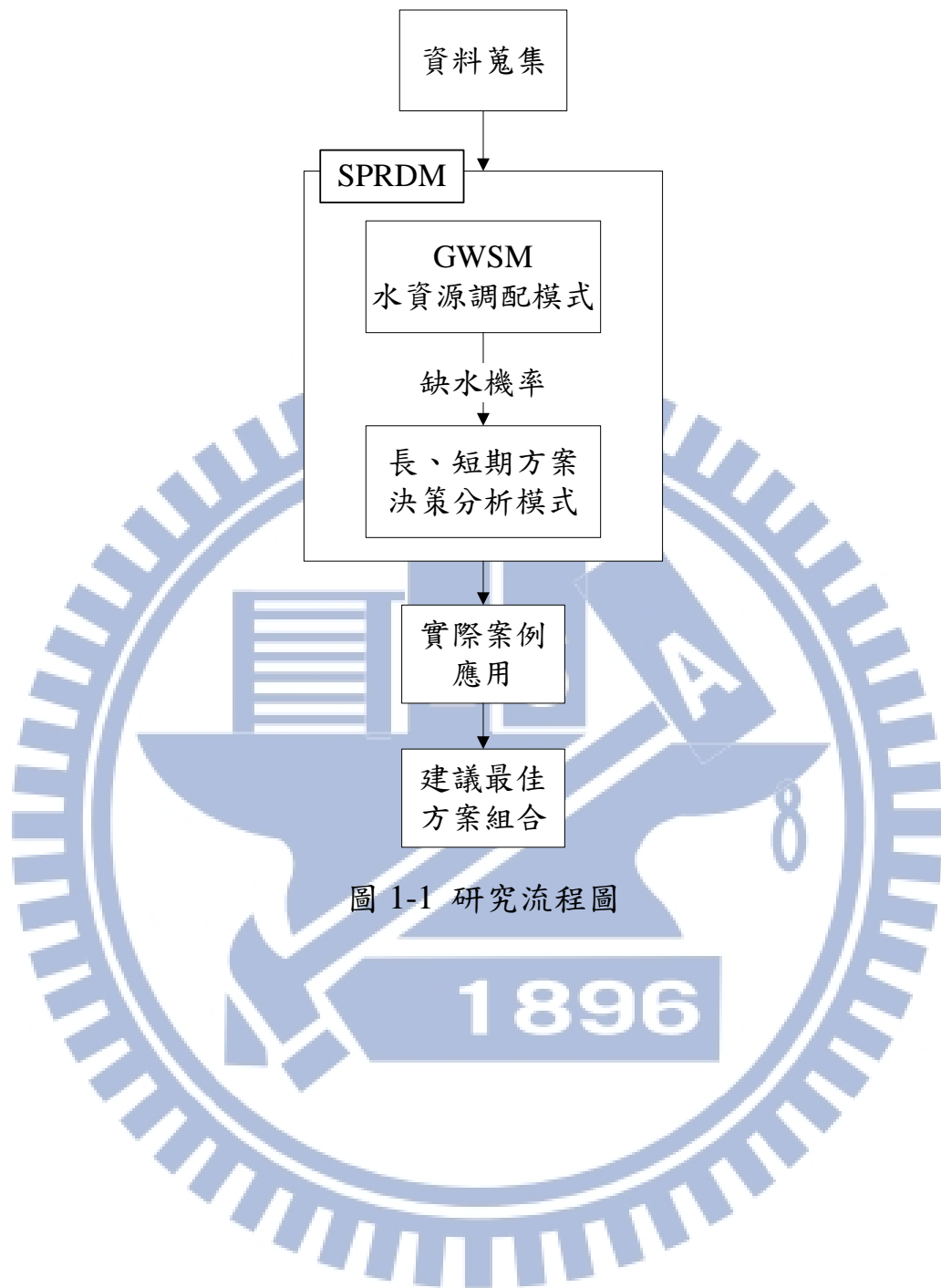
更加靈活，本研究所發展之水資源調配模式可配合地區之調配規則，設定優先供應之功能，使模擬結果可更接近真實情況。

1.2 研究流程

本研究之流程如圖 1-1，首先蒐集研究所需資料，包含雨量、逕流量、供水種類、規線...等資料以作為後續研究所需之用。

接著發展以 GWSM(General Water Supply Model)水資源調配模式結合長、短期方案決策模式而成之求償性序率決策模式，又稱 SPRDM((Stochastic Programming with Rescouse Decision Model)，GWSM 模式將概念模式中包含的供水結構物及基本操作轉換成所需之數學式，再將此數學式以 Fortran 程式語言搭配 IMSL 函式發展成調配模式；長、短期方案決策模式則是將長、短期方案所可以增加或節省之水量換算為成本，以最小期望成本為目標，優選出最佳的方案組合，模式以 Fortran 語言撰寫，搭配 Lingo 軟體所構成，細節將於第三章詳細介紹。

待模式建置完成後，以新店溪與大漢溪聯合運用作為實際案例應用，乃透過此分析之結果建議桃園台北兩地區因應供水風險管理之最佳組合方案。



第二章 文獻回顧

2.1 水資源調配模式

早期的水資源調配模式乃針對欲模擬之流域特性發展而成，模式建立時受地域性之影響甚巨，使模式之應用缺乏彈性，而未能適用於各種不同的水資源調配系統，如：1953年美國陸軍工程師團(U.S. Army Corps of Engineers)應用於密蘇里河(Missouri River)六個水庫之分析(Hall,1970)、Hufschmidt and Fiering(1966)利用模擬方法對里海河(Lehigh river)進行多水庫(multireservoir)、多目標(multipurpose)之系統規劃，以及1978年Sbihi等人，在摩洛哥(Morocco) Sebou River Basin 水資源規劃研究中所發展的一套模擬模式，模式中包括替代方案、設計容量等分析。

到了1979年，美國陸軍工程師團發展了HEC-5洪水控制與水資源經理系統模擬模式，這是一個可適用於各種不同水資源調配系統的水資源調配模擬模式，國內中興工程顧問(1996)利用HEC-5模式於多水庫聯合運轉之模擬應用分析；郭蒼霖(1999)更進一步以遺傳演算法結合HEC-5模式優選多水庫最佳操作規線。然而，HEC-5模式在應用上仍有部份之限制存在，如：此模式無法同時對二個以上需求節點（需水地區）進行水量調配、無法表達出雙向輸水管路之操作方式、水庫所採用之水庫操作規線只能是定值或是隨月份變化，以及水庫規線操作放水原則中水位低於嚴重下限即不再放水...等等。此外，應用此模式必須將實際之水資源系統轉化成模擬所需之流網系統，但因受模式之限制，導致在轉化的過程必須引入部分不存在於實際水資源系統的虛擬節點，使流網系統與實際之水資源系統差異甚大，增加系統轉化之複雜度；另一方面，在建立流網系統時，某些真實之水資源調配行為必需予於簡化或是以一相近之操作方式替代，如此一來，模擬的過程將無法符合真實水資源調配操作行為；1985年經濟部水資會(水

利署前身)與荷蘭戴伏特水工所(Delft Hydraulics)合作發展一針對台灣地區設計的水量分配電腦模式(RIBASIM, RIver BASin SIMulation),此模式可模擬一複雜供水系統之水量調配,並具有水質分析、經濟評估等多項功能,且模式已建立一GIS導向的使用者介面,使用者即可以此建構水資源系統及輸入相關資料,惟其程式碼目前並未對外開放,造成使用者不能詳細地了解模式之運作過程,亦無法對其作任何修改;此外,由美國科羅拉多州立大學所發展之MODSIM模式亦是一著名之水資源調配模式,相關研究有Fredericks and Labadie(1998)以MODSIM模式建構一地表地下水聯合營運決策支援系統,MODSIM模式是以網流法來求解水源調配的問題,網流法為線性規劃的特殊解法之一,其將原線性規劃問題的對偶模式(dual model)加以轉換,成為一跨時段的網路系統,再對此特殊網路形式問題加以求解。

而本研究所建立之水資源調配模式乃是以線性規劃法為基礎所建置,線性規劃是用來處理目標函數及限制式為線性之優選問題,應用於水資源系統之規劃上其目標函數通常是求解系統之利益最大或是成本最小,於本模式中即是求解各個模擬時刻以缺水量最小及在此前提下盡量將水蓄留於水庫內為目標之最佳水量調配。回顧以往,國內外與線性規劃相關之研究已相當豐碩,如張斐章(1990)利用一序率線性規劃模式以研擬水庫配合農業用水之最佳運轉策略,並以日月潭水庫配合集集站下游之農業用水量之決定為研究範例,以求得任一時期,水庫及入流量於各種不同的情況下,水庫之最佳放水策略;胡(2000)以線性規劃模式求解一虛擬單一多標的水庫之操作問題;Loucks and Dorfman(1975)以滿足標的放水量之水庫最小蓄水量為目標函數,利用線性規劃模式評估多水庫規劃營運問題;Dagli and Miles(1980)以水庫水位年總和最大為目標函數,利用線性規劃模式優選由四座水庫所組成之串聯系統;Crawley and Dandy(1993)以最小成本為目標函

數，利用線性規劃研究多水庫系統之最佳操作策略；蘇明道等人(1997)曾提出石門水庫操作規則之推導及評估；顏榮祥等(1998)以線性規劃法建立南部地區水資源運用模式，此研究乃依據不同之水文狀況，考量不同之水資源調配策略，進行水資源調配之模擬並進一步比較其差異；周乃昉等(1999)以線性規劃法建立南部地區地表水與地下水聯合運用模式；張良正與鄭韻如等(2002)在原有水庫操作規則之架構下，以整合線性規劃方法建立一全新之多水庫聯合營運模，此模式同時具有「規線操作」之實用性及「線性規劃」之效率與彈性；Hsu and Cheng(2002)利用線性規劃建立流域性水資源系統運用規劃優選模式；蔡嘉訓(2003)以混合整數行線性規劃建立多水庫系統聯合操作模擬模式；李志鵬(2003)以線性規劃為基礎，開發多水庫聯合營運模式並探討最佳之操作規線；吳阜峻(2011)以線性規劃為基礎，結合規線操作及指標平衡，建立一通用化水資源調配模式。

本研究以線性規劃為基礎建構一同時考量指標平衡及雙向管路之情況之通用化水資源調模式，相對於混合整數規劃較為直觀而簡單。於本模式中，線性規劃乃是在求解各單一時刻的最佳放水量，因此所得結果應是逐時刻的最佳解而非跨時刻之整體最佳解，即跨時刻的效應並未直接考量，因此模式具有相當之擴充彈性，可於各時刻中增加新的操作規則，在模式開發方面，為增加模式之實用性，本研究建立之輸入檔結構嚴謹且易於瞭解，以方便模式應用於不同研究區域。

2.2 決策分析文獻回顧

過去傳統決策分析多採用作業研究進行分析，但真實世界存在了許多不確定性，故傳統定率數學規劃已不敷使用，為了處理這些不確定性因素，序率規劃(stochastic programming)因此被提出，與水資源相關之序率規劃文獻整理說明如下：

Philbrick 和 Kitanidis(1999)指出因為水文參數往往都具有不確定性，因

此以定率優選法分析短期極端水文狀態(如洪水或乾旱)之衝擊時，如何選取具代表性的水文事件，將影響整體分析效率，因此建議應以序率優選法進行分析。Labadie(2004)將序率優選法分為兩大類：隱式序率優選法(Implicit Stochastic Optimization, ISO)及顯式序率優選法(Explicit Stochastic Optimization, ESO)。

隱式序率優選法(ISO) 係以長期入流量觀測資料或合成資料，代入定率優選模式進行分析，然後根據分析數據，利用統計方法或啟發式演算法歸納出水庫最佳操作規則，如 Hiew 等人 (1989)以隱式序率線性規劃探討水庫最佳操作規則，Bhaskar 和 Whitlatch (1980)以隱式序率動態規劃優選美國俄亥俄州的 Hoover 水庫最佳操作，二篇文章皆根據優選模式分析結果再以回歸方式找出水庫操作規線； Sharif 和 Wardlaw (2000)、Ahmed 和 Sarma (2005)、Chen 和 Chang(2007)、Shiau (2009)及 Yang 等人(2009)以長期觀測流量或合成流量，配合遺傳演算法和定率優選模式，以找出最佳水庫操作規線。

顯式序率優選法(ESO)係將長期入流量觀測資料或合成資料經由統計方法建立入流量機率模式如一階馬可夫鍊或單純的入流量機率分佈，以此為基礎再以序率優選模式得到水庫最佳操作規則，如 Loucks 和 Dorfman (1975)和 Simonovic 和 Marino (1982)以顯式序率線性規劃，探討水庫最佳操作規則； Vasiliadis 和 Karamouz (1994)和 Philbrick 和 Kitanidis (1999)以顯式序率動態規劃探討水庫最佳操作規則；Ko 等人(1992)以顯式序率多目標優選法探討多目標水庫操作問題。

前述文獻皆利用序率規劃方法一次求解問題，但水資源經理策略包含長、短期方案，其供水標的在時間尺度上即有所不同，若直接一次求解較為複雜，故建議以階段求償序率規劃(stochastic programming with recourse)進行水資源經理策略分析，Lund (1995)利用二階段線性規劃分析家庭用水

問題，在眾多長期省水器材和短期節水措施之中找出最佳組合；Huang 和 Loucks (2000)發展灰數二階段序率規劃模型(inexact two-stage stochastic programming model)並應用於水資源管理上；Marion and Lund (2000)利用二階段線性規劃，從中水回收利用、汙水處理廠、等多種節水措施中找出最佳的組合提高供水的可靠性，並應用在加州舊金山東灣區；Abbas Seifi 和 Keith W. Hipel(2001)應用二階段求償性序率規劃(two-stage stochastic linear program with simple recourse)模擬位於加拿大及美國之五大湖聯合操作，同時考慮多個入流情境，使用內點演算法來求解(interior-point optimization algorithm)；Yongdae Lee 等人(2008)應用多階段且多情境之其求償性最佳規劃模式，來模擬水庫的日常操作，使用階段性的天氣預測產生多種不同入流情境，在不同的流量情境下，以多目標優化優選出因應之求償性措施(recourse actions)，並應用該模式模擬韓國落東江流域之水庫調度；David (2008)以長、短期措施來調適城市之缺水問題，並使用求償性序率(混合整數型)最佳優化來找出最佳方案組合，並使用灰數、穩健、最佳規劃等三種模型求解，以約旦作為研究區域，因應不同缺水風險下成功地以最小成本解決該地區的缺水問題；Li 等人(2006)將區間參數多階段序率規劃(An interval-parameter multi-stage stochastic programming model)應用於水資源風險管理。

由於工商業的蓬勃發展與全球氣候變遷影響，不論在未來需求量的推估或水文量的預測，其不確性越來越高，因此需採序率規劃進行評估，其中又以階段性求償序率規劃之研究應用較廣，故本研究以求償序率規劃為基礎，建構可考量缺水風險、長、短期策略競合及投資成本之整合性水資源經理決策模式，並且針對台灣水資源現況及可能發展之水資源方案進行分析。

第三章 研究方法

本研究以階段求償性序率規劃作為理論基礎，並結合了 GWSM 水資源調配模式，所發展之求償序率規劃決策模式(簡稱 SPRDM)。常見之求償序率規劃方法有「等定率模型」與「穩健模型」兩類模型，各模型說明如下：

1. 等定率模型(deterministic-equivalent models)

是指模式輸入參數採用特定情境下之特定值進行優選分析，此定值可透過參數長期觀測資料經統計分析以期望值或某特定超越機率值等點估計值(point estimate value)表示。

2. 穩健模型(robust optimization models)

穩健模型是指模式不確定性參數根據不同情境給定，每個情境需事先給定情境發生機率，若所求得之最佳解存在於所有情境的可行解區內，稱為模型穩健(model robust)，此模型架構稱之為穩健性最佳化。然而對於所有的情境而言，不可能同時都最佳化且滿足可行性，所以需要權衡成本和穩健性的關係，穩健性考量通常以懲罰函數表示，它是在某一情境下違反限制式之懲罰成本，穩健規劃引進懲罰函數項，令它和目前所有求解繁雜資料的方法有所區別。

本研究係採「等定率模型」進行分析決定最佳投資策略組合，將原問題分為定率和序率兩個階段進行求解，以缺水事件做為階段的分界，第一階段以 GWSM 水資源調配模式進行調配分析，根據調配後之缺水量結果，統計不同缺水事件發生機率。第二階段為長、短期方案組合最佳化序率分析，模式架構如圖 3-1。利用第一階段計算之缺水事件發生機率，計算長、短期方案組合之期望成本。



圖 3-1 模式架構圖

3.1 GWSM 水資源調配模式

GWSM 為結合規線操作及線性規劃方法，配合「指標平衡」之原則及「優先供水」之觀念，利用 Fortran 程式語言，配合 IMSL 函式庫(可求解線性規劃之函式庫)所發展而成的水資源調配模式。

3.1.1 水庫規線操作之考量

水庫操作規線設置的功用為發揮水庫最大利用效能，同時兼顧壩體安全與水庫減洪功能，水庫管理單位依據河川流量的季節特性，於每年的不同時期訂定出不同運轉水位，作為蓄水利用依據，模式中利用對需水量與水庫蓄容量進特殊的轉換以及線性規劃中的目標函數之權重設定以達到此目的。對於需水量與水庫蓄容量轉換的方法可以依順序分成下列幾個步驟：

- (1) 依操作規線之供水打折扣分層數定義虛擬水庫與虛擬需水節點之數量；

(2) 依操作規線定義各虛擬水庫之蓄容量和其對應虛擬需水節點之需水量；

(3) 依供給順序給予各虛擬水庫與虛擬需水節點對應之權重。

而目標函數之權重設定則是用來決定各水庫分層蓄水及需水區分層供水的優先順序。

3.1.2 指標平衡

當水資源系統中並非為單一水庫，而是多水庫聯合營運時，影響整個系統運轉效率之因素將十分複雜，其中水庫間合宜調配之放水策略為主要因子，目前水庫與水庫間放水策略最常用之方法之一乃是「指標平衡」，其基本精神為保持各水庫蓄水量之平衡，此方式最早由美國工程師團所提出，其對水庫操作規線之分層分別賦予整數之基本指標($n_{i,t}$)，如圖 3-2 所示。

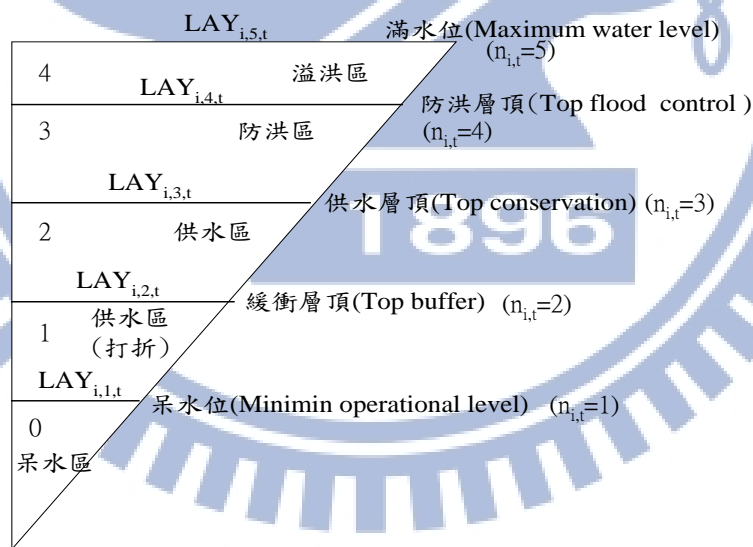


圖 3-2 水庫操作分層示意圖

系統中之任一水庫在 t 時刻，若其放水前之可利用蓄水量位在水庫之第 n 分層，則其指標可表示如下：

$$i_{i,t}^* = n_{i,t} + \frac{S_{i,t}^* - LAY_{i,n,t}}{LAY_{i,(n+1),t} - LAY_{i,n,t}} \quad (3-1 \text{ 式})$$

其中，

$S_{i,t}^*$ ：第 t 時刻第 i 水庫之可利用蓄水量；

$n_{i,t}$ ：第 t 時刻第 i 水庫之基本指標，乃視 $S_{i,t}^*$ 位於 i 水庫之何分層中而定；

$LAY_{i,n,t}$ ：第 t 時刻第 i 水庫第 n 層底所對應之蓄水量；

$LAY_{i,(n+1),t}$ ：第 t 時刻第 i 水庫第 $(n+1)$ 層底(即第 n 層頂)所對應之蓄水量。

指標平衡基本運算式為：

$$n_{i,t} + \frac{S_{i,t}^* - O_{i,t} - LAY_{i,n,t}}{LAY_{i,(n+1),t} - LAY_{i,n,t}} = n_{j,t} + \frac{S_{j,t}^* - O_{j,t} - LAY_{j,n,t}}{LAY_{j,(n+1),t} - LAY_{j,n,t}} \quad (3-2 \text{ 式})$$

$$\forall i, j \in N_F$$

(3-2 式)中之 N_F 為當下欲進行指標平衡操作之水庫集合，其意義為任一時刻

第 i 個水庫放完水後之指標與第 j 個水庫放完水後之指標相等，其中 $O_{i,t}$ 為第 t 時刻第 i 水庫之需求放水量，當(3-2 式)之各水庫的基本指標值為相同的數值，故可將(3-2 式)簡化為(3-3 式)。

$$\frac{S_{i,t}^* - O_{i,t} - LAY_{i,n,t}}{LAY_{i,(n+1),t} - LAY_{i,n,t}} = \frac{S_{j,t}^* - O_{j,t} - LAY_{j,n,t}}{LAY_{j,(n+1),t} - LAY_{j,n,t}} ; \forall i, j \in N_F \quad (3-3 \text{ 式})$$

在多水庫系統中，依各水庫未放水前之基本指標($n_{i,t}$)高低決定放水順序，以基本指標最高者之水庫群先進行放水，先放至該水庫群之基本指標為止，若其放水量還未滿足需求，則再以次高基本指標之水庫群進行放水，以此進行放水直到滿足計算需水量為止，前述之欲進行放水之水庫，皆依指標平衡之原則決定個別水庫之放水量，亦即選定所有 $S_{i,t}^*$ 位於相同分層之水庫進行指標平衡操作。

3.1.3 優先供水

一個地區在進行水資源調配時，會有一個需求點同時由兩個水庫供應

其需求的情況發生，例如板新地區，板新地區的用水由石門水庫提供，而近期水利署推動「板新地區供水改善計畫第二期工程」，完成後樹林、鶯歌、三峽及板橋、新莊、土城等地區之用水可全部改由新店溪水源供應，。按照上述規則，針對台北及桃園兩地區的水資源調配分析，翡翠水庫供應台北市區及板新地區用水，石門水庫供應板新地區及石門地區用水，板新地區由翡翠水庫優先供水，若還有缺水情況，由石們水庫支援板新地區用水。

為了將上述供水規則代入到水資源調配模式中，本研究利用線性規劃中的目標函數之權重設定以達到此目的，將翡翠水庫連結至板新地區之管線的水量給予權重，在求解時模式會增加此管線之水量。

3.1.4 數學模式之建立

模式可考量水庫操作規線、系統各需求節點之缺水量最小、空庫體積最小、雙向管路運作、河川生態基流量等水資源調配原則下建立水資源調配線性規劃模式，以下將分別對目標函數及限制式做完整說明。

一、目標函數

本模式之目標函數主要乃考量需求節點之缺水量最小，水庫亦可以規線操作，並在此前提下盡量將水蓄留在水庫內，且若有雙向輸水管路時，確保在同一模擬 t 時刻管路流量為單一流向，目標函數如 3-4 式。

$$\begin{aligned}
\text{Min } Z = & \sum_{j=1}^n \left[\left(\sum_{i \in N_D} wsh_{i,j}^t \times (D_{i,j}^t - Q_{i,j}^t) \right) + \right. \\
& \left. \left(\sum_{k \in N_s} wes_{k,j}^t \times (V_{k,j}^t - S_{k,j}^{t+1}) \right) + \sum_{l \in N_b} wba \times (vba_{l,j} \times ba_{l,j}^t) \right] \\
& + \sum_{m \in N_{PI}} wpi \times PI_m^t \\
& - \sum_{m \in N_{FR}} wfr_m^t \times (FR_m^t)
\end{aligned} \tag{3-4 式}$$

$$\begin{aligned}
& wsh_{i,1}^t > wes_{k,1}^t > \dots > wsh_{i,n}^t > wes_{k,n}^t \\
& > wba > wfr_m^t = wpi
\end{aligned}$$

$$\forall i \in N_D, \forall k \in N_s, \forall l \in N_b$$

其中，

$D_{i,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 需求節點第 j 分層的計畫供水量；

$Q_{i,j}^t$ ：第 t 時刻供應至第 i 需求節點第 j 分層的流量；

$S_{k,j}^{t+1}$ ：第 t+1 時刻第 k 座水庫第 j 分層之蓄水量；

$V_{k,j}$ ：第 k 座水庫節點第 j 分層之容量；

PI_m^t ：第 t 時刻第 m 雙向管路之流量；

FR_m^t ：第 t 時刻第 m 優先管路之流量；

$ba_{l,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 水庫第 j 分層之指標平衡差值；

$vba_{l,j}$ ：採取指標平衡第一座水庫第 j 分層之庫容

$wsh_{i,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 需求節點第 j 分層之缺水量之權重；

$wes_{k,j}^t$ ：第 t 時刻第 k 水庫節點第 j 分層之空庫體積之權重；

wba : 指標平衡之權重；

wpi : 雙向管路之權重；

wfr_m^t : 第 t 時刻第 m 優先供水管路之權重；

N_D : 需求節點之集合；

N_S : 水庫節點之集合；

N_{PI} : 雙向管路之集合；

N_b : 做指標平衡水庫之集合；

n : 分層數量；

本目標函數所欲獲取的解為尋求最小化 (Minimize) 的決策問題，目標函數中的各項次進行說明：

(1) $\sum_{i \in N_D} wsh_{i,j}^t (D_{i,j}^t - Q_{i,j}^t)$ 項次是為使各種需求標的之缺水量最小，其中缺水量即為計畫供水量減去實際供水量，而實際供水量為此線性規劃中之決策變數之一。

(2) $\sum_{k \in N_S} wes_{k,j}^t (V_{k,j}^t - S_{k,j}^{t+1})$ 項次是為將水盡量蓄留於水庫內，其中空庫體積即為水庫最大蓄容量減去水庫該時刻之蓄水量，而水庫蓄水量為本線性規劃中另一決策變數。

(3) $\sum_{l \in N_b} wba \times (vba_{1,j} \times ba_{i,j}^t)$ 項次為指標平衡之差值最小，其中將指標平衡差值乘與進行指標平衡第一座水庫第 j 分層體積，使目標函數各項之單位可大致一樣。

(4) $\sum_{m \in N_{PI}} wpi \times PI_m^t$ 項次是為確保雙向管路在同一模擬時刻管路流量為

單一流向，因雙向管路在實際系統中為單一管路，但於本研究模擬網流系統中則以相反流向之兩條管路表示，如此可能發生兩條管路在同一時刻均有流量存在，舉例說明：若系統中有一南北流向之雙向管路，假設其在某一時刻之最佳解為「向北有 5 單位之流量」，則其可能之解有「向北 5，向南 0」、「向北 6，向南 1」、「向北 7，向南 2」... 等，若於目標函數中加入 $\sum_{m \in N_{PI}} w_{PI} \times PI_m^t$ 項次，則可解出正確之解「向北 5，向南 0」，反之則有可能解出與實際雙向管路運作情形相悖之錯誤解。

- (5) $\sum_{m \in N_{FR}} w_{FR}^t \times (FR_m^t)$ 項次為優先供水管路，目的在於放大該管路的流量。
- (6) 若目標函數中各項次單位一致，則在進行優選時會以權重大小順序來依序滿足各項次，其中 GWSM 目標函數中各項次之單位皆為萬立方公尺，唯獨「指標平衡」項次之單位為百分比，為了使目標函數中之各項式單位儘量一致，因此將目標函數中「指標平衡」項次乘上需進行指標平衡之第一座水庫所對應層容積，但乘上該層容積後對目標函數之影響需進一步探討，為了找出合理的權重設定，針對指標平衡項次進行分析，首先對於需進行指標平衡之兩水庫之任一分層而言，其中目標函數中指標平衡項次應為：

$$\frac{V_1 - S_1}{V_1} + ba_1 = \frac{V_2 - S_2}{V_2} + ba_2$$

等號左邊為水庫一，等號右邊為水庫二，其中 V 為水庫分層容積， S 為該分層之蓄水量， ba 為指標平衡差值，

將上式同乘 V_1

$$\rightarrow (V_1 - S_1) + V_1 * ba_1 = (V_2 - S_2) * \frac{V_1}{V_2} + ba_2 * V_1$$

在等號右邊不變之情況下：

→若 S_1 變動 1 單位， $V_1 * ba_1$ 需變動 1 單位

在等號左邊不變之情況下：

→若 S_2 變動 1 單位， $V_2 * ba_2$ 需變動 $\frac{V_1}{V_2}$ 單位

目標函數中「指標平衡」表示為： $W * (ba_1 - S_1)$ ，乘上需進行指標平衡之第一座水庫所對應層容積後，目標函數中「指標平衡」表示為： $W * (V_1 * ba_1 - V_1 * S_1)$ ，此新目標函數因 1 單位的 S_1 或 S_2 變化會造成 W 或 $W * \frac{V_1}{V_2}$ 的變化，為了不使「指標平衡」項次之權重大於「水庫空庫體積最小」或小於「雙向管路」之權重，因此目標函數之權重設定應為：

$$W_{\text{缺水最小}} > W_{\text{空庫體積最小}} > \text{Max}(W_{\text{指標平衡}}, W_{\text{指標平衡}} * \frac{V_1}{V_2}) > \text{Min}(W_{\text{指標平衡}}, W_{\text{指標平衡}} * \frac{V_1}{V_2}) > W_{\text{雙向管路}} = W_{\text{優先供水}}, W \text{ 為權重值。}$$

在進行線性規劃時，根據權重大小之設定，由大至小依序滿足目標函數各項次，只要權重相對大小設定滿足上述之區間內，求得之最佳解皆相同，本研究在權重設定方面以亂數選擇 10 種符合權重大小區間但不同權重值之組合，其中水庫上層與下層之 $\frac{V_1}{V_2}$ 介於 1.4~2，因此「水庫上層空庫體積最小」之權重應大於指標平衡權重的 2 倍，如表 3-1，分別對下面 3.1.6 小節之簡例進行模擬，比較模擬結果之水庫一與水

庫二之水位，其模擬結果皆為一致。



表 3-1 簡例使用之權重值

	權重值						輸出	
	需求下層 缺水最小	水庫下層空 庫體積最小	需求上層 缺水最小	水庫上層空 庫體積最小	指標平衡	雙向管路 & 優先供水	水庫月放流量 (萬 CMD)	
							水庫一	水庫二
1	399	309	299	199	55	40		
2	419	349	319	199	61	46		
3	365	275	265	165	76	61		
4	410	319	310	209	75	56		
5	374	297	274	187	62	47	1月:4185	1月:5115
6	432	336	332	226	74	59	2月:4480	2月:3920
7	699	609	599	499	101	6	3月:4960	3月:4340
8	232	228	223	118	45	30	4月:4830	4月:4170
9	789	699	689	589	89	13	5月:4960	5月:4340
10	3999	3099	2999	1999	879	613	6月:8420	6月:7759
							7月:5972	7月:5261
							8月:10015	8月:9305
							9月:9324	9月:8664
							10月:21802	10月:21092
							11月:5814	11月:5155
							12月:4224	12月:5154

二、限制式

在水資源規劃中的限制式主要分成 2 大類，第一類為各節點之質量守衡式，第二類為不等式，例如供(引)水管路在單一時刻下之最大輸送量、淨水廠的處理能力上限等，以下將分別條列出各限制式。

1. 質量平衡式

(1) 蓄水節點（水庫）

$$\sum_{j=1}^n S_{i,j}^t + I_i^t - X_i^t = S_i^{t+1}, \forall k \in N_s \quad (3-5 \text{ 式})$$

其中，

$S_{i,j}^t$ ：第 t 時刻初第 i 水庫第 j 分層之蓄水量；

S_i^{t+1} ：第 t+1 時刻初第 i 水庫節點之蓄水量；

I_i^t ：第 t 時刻第 i 水庫之入流量；

X_i^t ：第 t 時刻第 i 水庫之出流量；

(2) 需水節點

$$X_{i,j}^t = \sum_{k=1}^n Q_{j,k}^t, \forall j \in N_D, \forall i \in \Lambda \quad (3-6 \text{ 式})$$

其中，

$X_{i,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 節點供應至第 j 需水節點之流量；

Λ ：流入第 j 節點之集合；

(3) 其餘節點（淨水廠、攔河堰…等）

$$\sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t - \sum_{k \in \Phi} X_{j,k}^t = 0, \forall j \in N_q \quad (3-7 \text{ 式})$$

其中，

$X_{i,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 節點流入第 j 節點之流量；

$X_{j,k}^t$ ：第 t 時刻第 j 節點流入第 k 節點之流量；

N_q ：其餘節點之集合；

Λ ：流入第 j 節點之集合；

Φ : 第 j 節點流出之集合；

2. 不等式

(1) 蓄水節點(水庫)

$$S_{i,j}^{t+1} \leq V_{i,j}, \quad \forall i \in N_s, \quad j=1 \sim n \quad (3-8 \text{ 式})$$

(2) 需水節點

$$Q_{i,j}^t \leq D_{i,j}^t, \quad \forall i \in N_D, \quad j=1 \sim n \quad (3-9 \text{ 式})$$

(3) 淨水廠

$$\sum_{i \in \Pi} X_{i,j}^t \leq Tre_j^t, \quad \forall j \in N_T \quad (3-10 \text{ 式})$$

其中，

$X_{i,j}^t$: 第 i 節點流入第 j 淨水場節點之流量；

Tre_j^t : 第 j 淨水場節點之處理能力上限；

N_T : 淨水廠節點之集合；

Π : 流入第 j 淨水廠節點之集合；

(4) 河川基流量限制

$$X_{i,j}^t \geq Base_{i,j}^t, \quad (3-11 \text{ 式})$$

其中，

$Base_{i,j}^t$: 第 t 時刻第 i 節點流入第 j 節點之生態基流量；

3. 水庫之指標平衡則是對於多水庫營運所需之額外限制。

$$\frac{V_{i,k}^t}{St_{i,k}^t} + R_{i,k}^t = \frac{V_{j,k}^t}{St_{j,k}^t} + R_{j,k}^t, \quad \forall i \in N_s, \quad \forall j \in N_s, \quad k=1 \sim n \quad (3-12 \text{ 式})$$

其中，

$St_{i(j),k}^t$: 第 t 時刻第 i(j) 水庫 第 k 分層之最大蓄容量；

$R_{i(j),k}^t$: 第 t 時刻第 i(j) 水庫第 k 分層之指標平衡差值；

3.1.5 簡例說明

為了迅速了解本研究所設定之目標函數如何考量「指標平衡」，在此用一簡單雙水庫聯合營運系統如圖 3-3 來講解，目標函數設定如下。

$$\text{Min } z = wsh_{1,1}(D_{1,1} - Q_{1,1}) + wes_{1,1}(St_{1,1} - V_{1,1}) + wes_{2,1}(St_{2,1} - V_{2,1}) + \\ wsh_{1,2}(D_{1,2} - Q_{1,2}) + wes_{1,2}(St_{1,2} - V_{1,2}) + wes_{2,2}(St_{2,2} - V_{2,2})$$

$$wsh_{1,1} > wes_{1,1} = wes_{2,1} > wsh_{1,2} > wes_{1,2} = wes_{2,2}$$

其中，

$wsh_{i,j}$: 第 i 需水節第 j 層缺水量之權重；

$wes_{i,j}$: 第 i 座水庫第 j 層空庫體積之權重；

$D_{i,j}$: 第 i 需水節點第 j 層之需水量；

$Q_{i,j}$: 供應至第 i 需水節點第 j 層之流量；

$St_{i,j}$: 第 i 座水庫第 j 層之最大蓄容量；

$V_{i,j}$: 供應至 i 座水庫第 j 層之流量；

在此設定 $St_{1,1}$ 與 $St_{2,1}$ 分別為水庫 1 與水庫 2 下限以下之蓄容量其值分別為 500 與 800, $St_{1,2}$ 與 $St_{2,2}$ 則為下限至上限之間的蓄容量其值分別為 700 與 1200, 而 $D_{1,1}$ 表下限以下計劃需水量 80% 打折後 80 單位的需水量, $D_{1,2}$ 則為計畫需水量剩下的 20% 需水量, 即 20 單位之水量。

假設一情況為, 水庫 1 之可用水量為 300, 水庫 2 之可用水量為 850, 一般要先利用對等水庫的觀念, 計算出兩座水庫加起來之水量位於哪一層以決定供水打折率, 在此例中位於下限以下, 所以在操作規線的限制下工水打折率為 80%, 而且為了指標平衡的原則, 會優先使用水庫 2 位於下限以上之水量, 之後才使用水庫 1 與 2 下限以下的蓄水量。而在使用本模式設定之目標函數下, 因權重 $wsh_{1,1}$ 之值最大, 所以系統優先滿足 $D_{1,1}$ 之需求,

之後再滿足下限以下之空庫體積最小之需求，而由於下限以下空庫體積即 $(St_{1,1}-V_{1,1})$ 與 $(St_{2,1}-V_{2,1})$ 的權重設定較下限以上 $(St_{1,2}-V_{1,2})$ 與 $(St_{2,2}-V_{2,2})$ 之權重大，所以會優先將水庫 B 中下限以上之水供應給 $D_{1,1}$ 使用，若還是不夠才會動用兩座水庫下限以下之水量，此結果達到了對等水庫與指標平衡的目的。

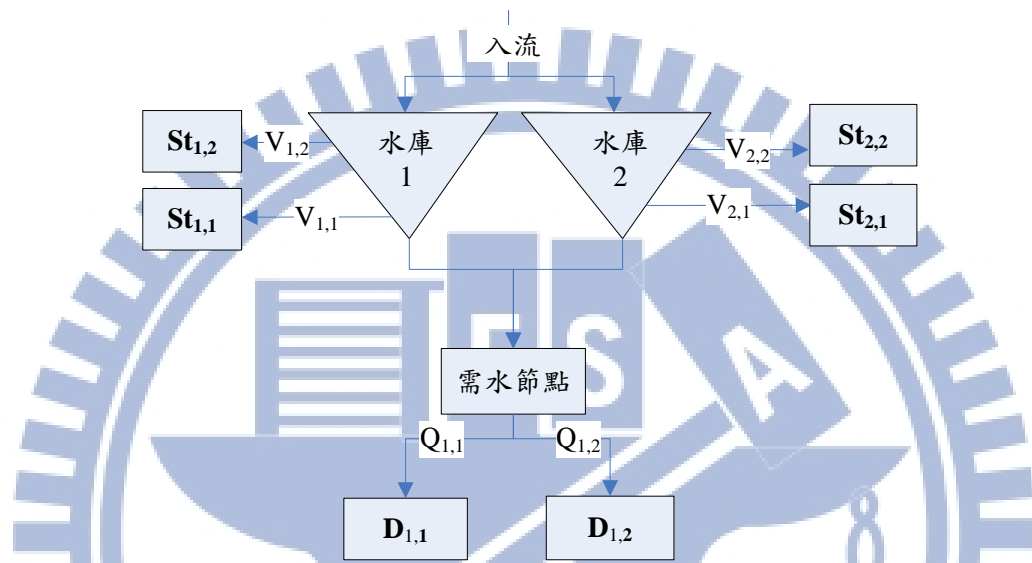


圖 3-3 簡單雙水庫聯合營運

3.1.6 水資源調配模式簡例驗證

本節將本模式與李志鵬(2002)所發展的水資源調配系統相比較，分別對一個雙水庫水資源調配系統進行分析，並驗證本模式之合理性，圖 3-4 為雙水庫供水系統圖，而圖 3-5 為模式所需之調配模型，此案例中水庫一與水庫二對農業之操作規線為下限以上全額供水，下限以下 50% 供水，而水庫 1 與水庫 2 對公共用水一、公共用水二的操作規線為下限以上全額供水，下限以下 80% 供水。

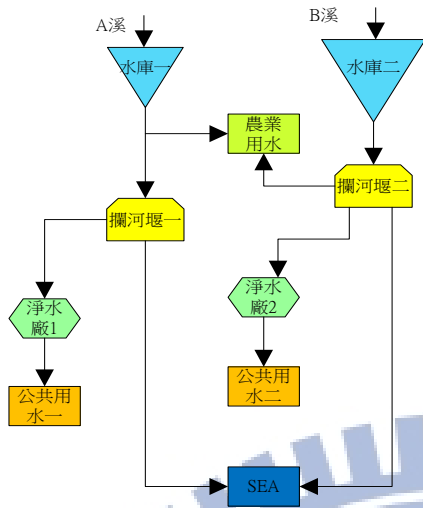


圖 3-4 雙水庫供水系統圖

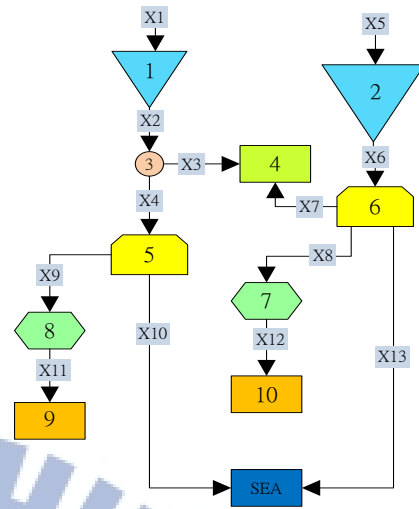


圖 3-5 調配模型示意圖

由李志鵬水資源調配模式結果，以水庫一與水庫二放流量來進行 GWSM 水源調配模式驗證，其中水庫一放流量相關係數為 0.95，兩模式放流量之比較詳見圖 3-6 水庫一放流量；水庫二放流量相關係數為 0.99，兩模式放流量比較詳見圖 3-7 水庫二放流量，結果顯示兩模式之放流量趨勢非常接近，證實本模式之可行性。

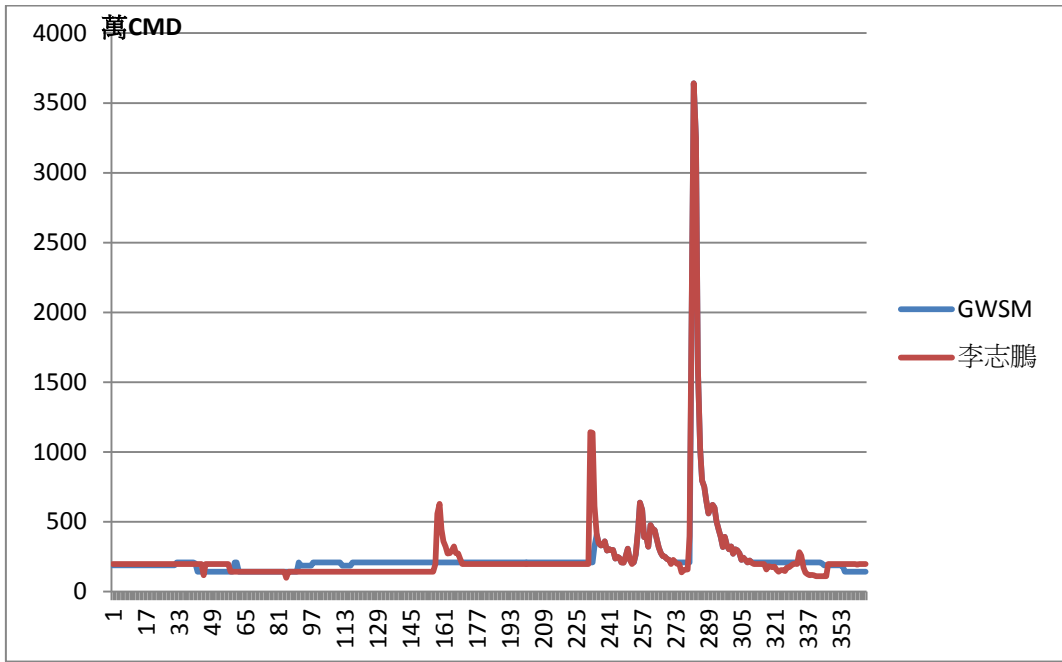


圖 3-6 水庫一放流量

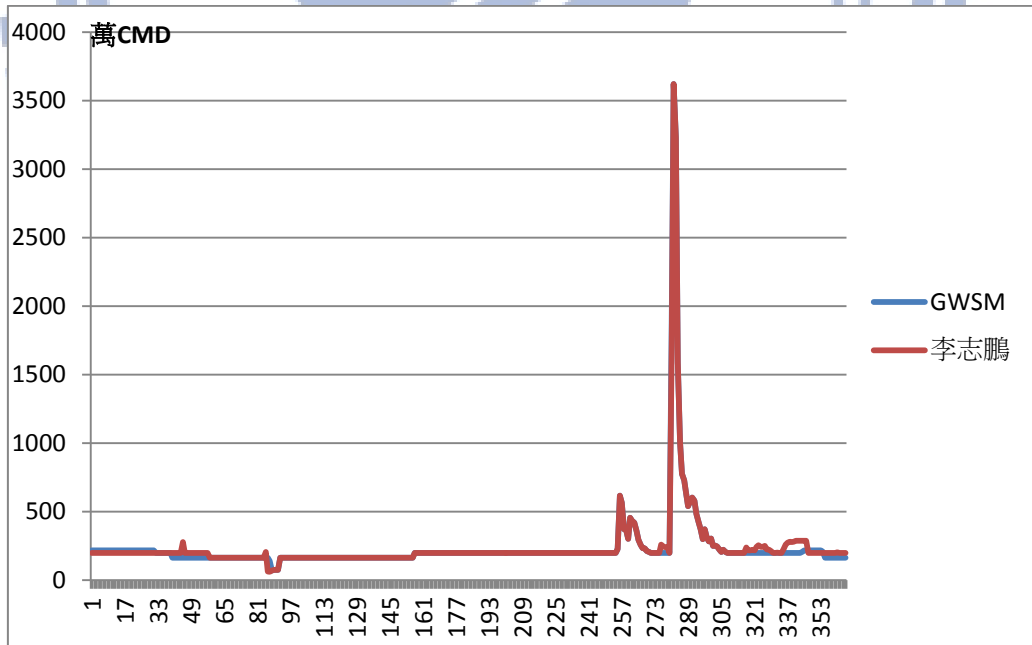


圖 3-7 水庫二放流量

3-2 長、短期方案決策模式

一個水資源系統的管理，最重要的是如何有效的利用水資源、興建最具效益之水工設施，降低該地區之缺水風險，若有缺水事件發生時必須有應變措施來滿足其用水缺口，使災害減少至最低。本研究將水資源方案分成長期方案、短期方案及農業調度方案，並使用等定率模型

(Deterministic-Equivalent models)進行求償序率規劃，從各方案之間找出最佳的方案組合，「等定率模型」是指模式輸入參數採用特定情境下之特定值進行優選分析，此定值可透過參數長期觀測資料經統計分析以期望值或某特定超越機率值等點估計值(point estimate value)表示。

3.2.1 目標函數

實施公共建設之效益多為外部性效益(externality)，在估算時必須考慮各行業之間的影响與連動關係(產業關聯)，需以總體經濟模型分析，但因總體經濟模型考慮因素眾多且運算費時，因此本研究採用最小投資成本做為水資源求償性序率規劃之目標函數，效益不納入探討。其中投資成本包含了外部成本及內部成本，外部成本是指方案對產業或民眾所產生的影响，內部成本則是方案的施工成本。

本研究以長、短期及農業調度方案組合之期望成本最小為目標函數，決策變數為各項長期方案實施與否、農業調度方案實施與否以及短期方案實施程度，本研究定義 L_i 為長期方案 i 實施與否(二元素)， $A_{k,e}$ 為在缺水事件 e 時，農業調度方案 k 實施與否(二元素)， $S_{j,e}$ 為在缺水事件 e 時，短期方案 j 增加或節省水量(萬 m^3/day)。

目標函數表達如下：

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & \sum_{f=1}^F c_{1,f} (L_f) + \sum_{e=1}^E p_e \sum_{g=1}^G c_{2,j} \cdot \text{Day}_e \cdot (S_{g,e}) \\ & + \sum_{e=1}^E p_e \sum_{h=1}^H c_{3,h} (A_{h,e}) \cdot A \text{Day} \cdot AS_h \end{aligned} \quad (3-13 \text{ 式})$$

其中：

Z_l ：期望年計成本；

$C_{1,f}$ ：長期方案 f 之年計成本；

$C_{2,g}$ ：短期方案 g 之單位水成本；

$C_{3,h}$ ：農業方案 h 之單位水成本；

P_e ：缺水事件 e 發生機率；

Day_e ：缺水事件 e 下之缺水天數；

$ADay$ ：一年內農業生產期天數；

$S_{g,e}$ ：缺水事件 e 下之短期方案每日增加或節省水量；

AS_h ：農業方案 h 每日節省水量；

L_f ：長期方案 f 實施與否；

$A_{h,e}$ ：短期事件 e 下農業方案 h 實施與否；

農業調度方案為休耕停灌與加強灌溉管理，啟動休耕停灌後整期作皆休耕，無法和其他方案一樣，啟用天數與缺水天數一致，故在目標函數中將農業調度方案獨立考量。

3.2.2 限制條件分析

上述之目標函數需符合下列限制條件：

1. 在每一個季節與事件中，長、短期及農業調度方案之組合所增加或節省之水量必須符合或大於期望缺水量，如 3-14 式。

$$\sum_{f=1}^F sf_f L_f + \sum_{g=1}^G Day_e \cdot S_{g,e} + \sum_{h=1}^H Day2_e \cdot AS_h \cdot A_{h,e} \geq d_e, \forall e. \quad (3-14 \text{ 式})$$

其中：

sf_f ：長期方案 f 可增加或節省水量；

d_e ：在缺水事件 e 之期望缺水量；

$Day2_e$ ：農業方案供應缺水事件 e 之天數、若缺水事件 e 天數小於農

業生產期，則 Day2_e 等於缺水事件 e 缺水天數，若否 Day2_e 等於農業生產期；

2. 缺水事件下短期方案供水量或節水量需小於或等於其最大供水或節水能力，如 3-15 式。

$$S_{g,e} \leq S \max_g \quad \forall e, g = 1, G \quad (3-15 \text{ 式})$$

其中：

$S_{g,e}$ ：短期方案 g 之每日之增加水量；

$S \max_g$ ：短期方案 g 之每日最大供水或節水量；

3. 決策變數均為正值，如 3-16 式。

$$L_f \geq 0, \forall f; S_{g,e} \geq 0, \forall g, e; A_{h,e} \geq 0, \forall h, e \quad (3-16 \text{ 式})$$

3.2.3 模型討論與使用說明

一、模型討論

模式決策變數中，長期方案與農業調度方案實施變數以二元變數表示之，短期方案供水量(節水量)以連續變數表示；模式參數中，長期方案成本($C_{1,f}$)以年計成本表示，短期方案成本($C_{2,g}$)及農業調度方案成本($C_{3,h}$)以單位供水或節水成本表示，長期方案供水量或節水量(sf_f)、農業調度方案節水量(AS_g)及短期方案最大供水量或節水量($S_{\max g}$)以每日萬立方公尺表示。由於模式中含二元變數，故以混合整數線性規劃(mixed-integer linear program) 進行求解，採用之分析軟體為 lingo 應用軟體。

二、使用說明

使用者應用本模式時必須建立輸入檔以供程式讀取，本研究所設計之輸入檔有五個基本文字檔，分別為「系統描述」、「長期方案」、「短期方案」、「農業方案」及「缺水事件」，以上五個輸入檔將於下詳述之。

1. 系統描述檔(index.txt)

首先要先填入長期方案、短期方案、農業方案個數，再來填入農業一年生長期天數，研究區域最大連續缺水天數及該區域目標年需求量。如圖 3-8 系統描述檔。

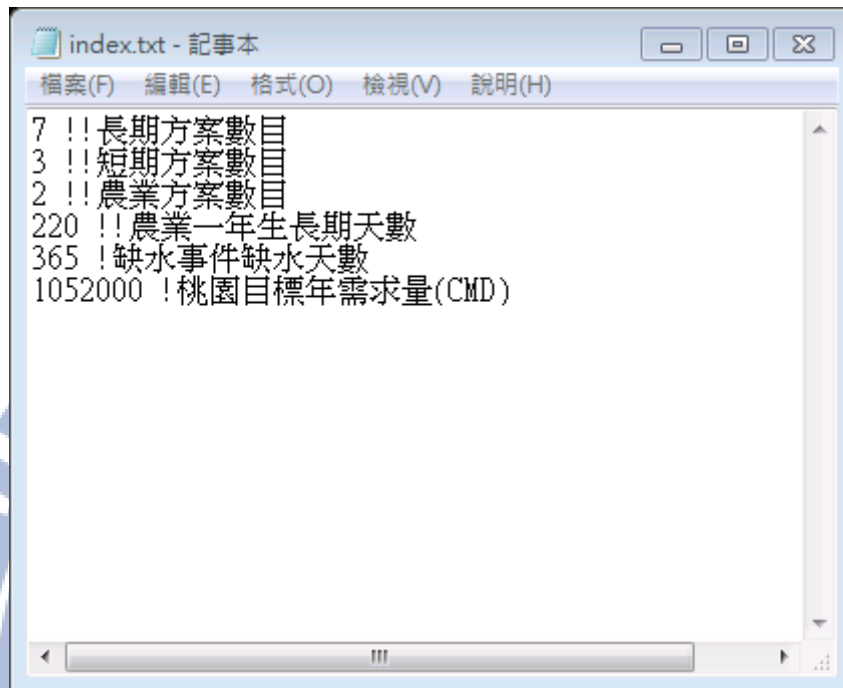


圖 3-8 系統描述檔

2. 長期方案資料(長期方案.txt)

此檔案是用於輸入長期方案名稱、成本與供水量，長期方案個數由程式讀取 index.txt，第一列為長期方案之名稱，第二列為該長期方案之年計成本，接著輸入對應之供水量(CMD/日)。如圖 3-9 長期方案輸入檔。

高台水庫	石門水庫集水區保育實施計畫	石門水庫繞庫分洪排砂隧道	桃園海淡廠
2402000000	496000000	357800000	815000000
348000	2800	31000	48200

圖 3-9 長期方案輸入檔

3. 短期方案資料(短期方案.txt)

此輸入檔用於輸入短期方案名稱、成本與供水量，第一列為短期方案之名稱，第二列為短期方案之單位水成本，接著輸入該短期方案一天最大供應或節省水量。如圖 3-10 短期方案輸入檔。

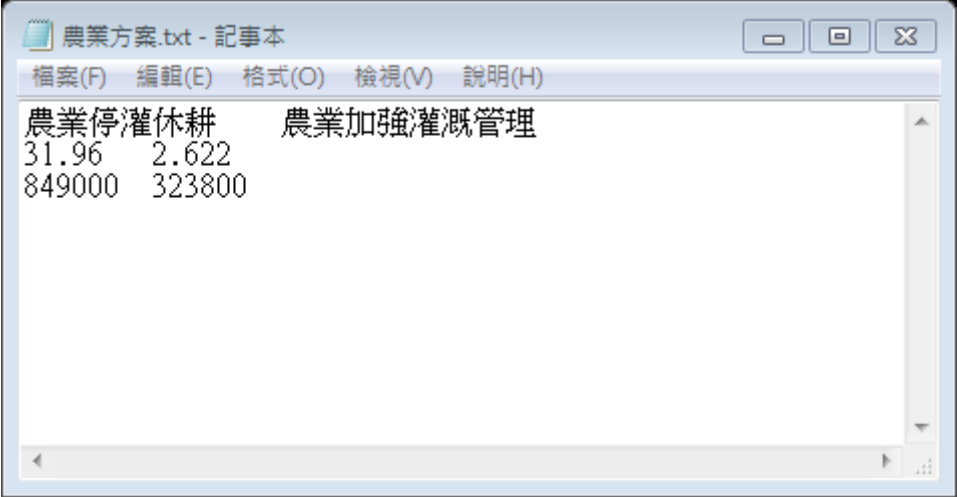


第一階段限水	第二階段限水	水車備援
1.07	39.38	150
57500	151000	8800

圖 3-10 短期方案輸入檔。

4. 農業方案資料(農業方案.txt)

農業調度方案之輸入檔，輸入的參數有農業方案名稱、成本及供應量，輸入的成本為單位水成本，供應量則為每日供應之水量。如圖 3-11 農業方案輸入檔。



農業停灌休耕	農業加強灌溉管理
31.96	2.622
849000	323800

圖 3-11 農業方案輸入檔

5. 缺水事件資料(缺水事件.txt)

該輸入檔所需資料為缺水事件發生機率，第一列為連續缺水天數，接著填入對應缺水程度之缺水事件發生機率。其中本研究之缺水事件發生機率定義為「發生連續缺水 T 天的情況下缺水程度 Q 之發生機率」如下式：

$$P(\text{連續缺水 } T \text{ 天} \cap \text{缺水程度 } Q) \\ = P(\text{缺水程度 } Q | \text{連續缺水 } T \text{ 天}) * P(\text{連續缺水 } T \text{ 天})$$

其中 $P(\text{連續缺水 } T \text{ 天})$ 為： $(\text{發生次數} * T) / \text{總時間}$

圖 3-12 為缺水事件輸入檔。本研究將缺水程度分為五級，缺水 0%~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100%，第 1 行第 2 列為連續缺水 1 天且缺水程度 0%~20% 之發生機率，第 1 行第 3 列為連續缺水 1 天且缺水程度 20%~40% 之發生機率…類推。



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.096774194		0.048387097		0		0.048387097		0	0.080645161	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

圖 3-12 缺水事件輸入檔

第四章 水資源長短期方案之綜合規劃

4.1 研究區域概述

本研究以台北、桃園地區為研究區域，進行兩地區的聯合調配，以下將針對該區域基本資料進行說明，包括水源利用現況，水庫堰壩基本資料與運用規則及淨水場處理能力等。

1. 新店溪流域：

新店溪流域主要由翡翠水庫蓄存北勢溪源、直潭壩及青潭壩攔蓄北勢溪及南勢溪之水源及期間側流量之水量，其水經發電廠後放流於下游粗坑壩、直潭壩及青潭壩攔引，再經由直潭、長興及公館淨水場處理後供給台北地區使用。

2. 大漢溪流域：

大漢溪流域主要由石門水庫蓄存大漢溪水源以供應桃園台地及水庫下游灌溉用水，並供給石門、龍潭及板新、平鎮、大湳供水區之公共給水。鳶山堰攔蓄下游各農田水利會所需用水剩餘水量及其間側流量之水量，鳶山堰之蓄存水除供應板新淨水場及大湳淨水場所需公共給水水量外，並放流供應鳶山堰下游各灌區農業所需用水。

圖 4-1 為台北桃園水資源調配系統架構圖，由圖中可以得知該系統重要水工結構物有位於台北地區的翡翠水庫、粗坑壩、直潭壩與青潭壩等，以及直潭、長興、公館、陽明與雙溪淨水場；位於桃園區的有石門水庫、中庄調整池、後池堰、鳶山堰與三峽堰等，以及泰山、板新、石門、龍潭、平鎮、大湳、復興淨水廠等，以下將針對台北、桃園區域之基本資料進行說明：

1、水工結構物及淨水場設施介紹

(一) 水庫及堰壩設施

(1) 翡翠水庫

翡翠水庫位於新店溪上游北勢溪上，水庫有效蓄水容量約為 3.4 億立方公尺，設計最高可蓄水位(滿庫)為標高 170 公尺，最低蓄水位採自來水最低取水標高 110 公尺計算，運用規線如圖 4-2 所示，水庫水位高於上限時，除滿足計畫需水量外，電廠得滿載發電；水庫水位在上限與中限之間時，除滿足計畫需水量外，電廠得配合電力系統於尖峰時滿載發電；水庫水位在中限與下限之間時，應滿足計畫需水量；水庫水位在下限與嚴重下限之間時，家用及公共給水原水及增放下游河道之流量得降低標準供水；其降低之標準及方式，水管局得邀集相關單位協商辦理，本研究採用計畫配水量百分之九十供水為原則；水庫水位降至嚴重下限以下時，應降低標準供水，其降低之標準及方式依前款之規定辦理，本研究採用計畫配水量百分之八十供水為原則。

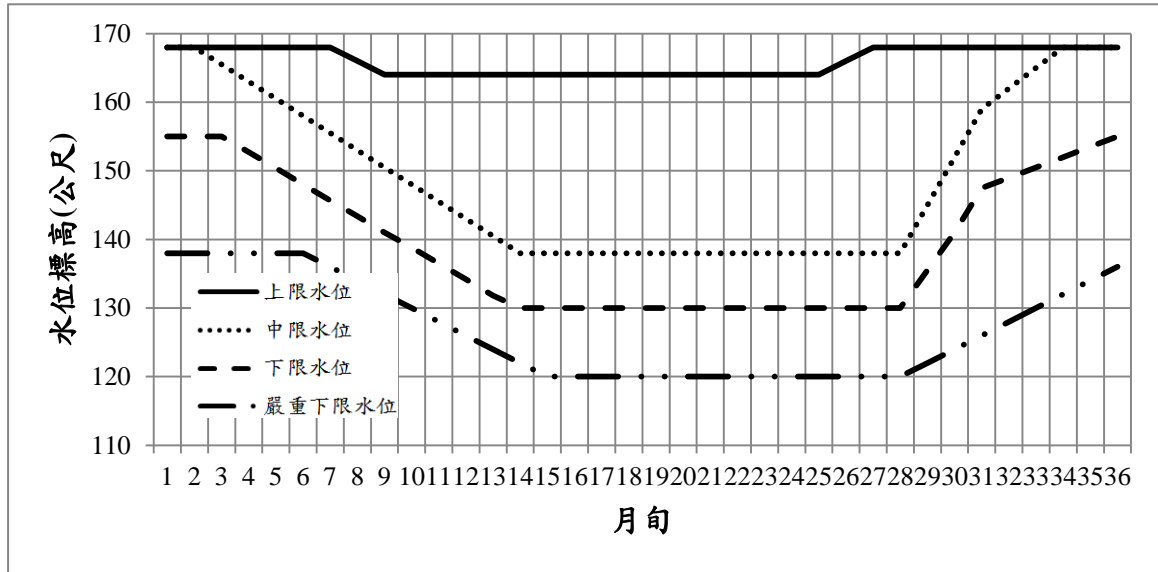


圖 4-2 翡翠水庫運用規線圖

(2) 粗坑壩

粗坑壩位於南勢溪與北勢溪匯流口下游約 1.3 公里處，流域面積 651.8 平方公里，正常蓄水位標高 45.5 公尺，計畫有效蓄量 24 萬立方公尺，現況有效蓄水量 12 萬立方公尺，主要功能為調節台北市引水及抬高河川水位以增加粗坑電廠發電效益。粗坑電廠取水口在計畫水位約 47.08 公尺時，取水流量 27.08 秒立方公尺，可取足第二原水路每日 248 萬立方公尺水量。粗坑電廠必要時需配合下游之直潭壩蓄水或青潭堰取水。

(3) 直潭壩

直潭壩位於新店溪最狹窄的地方，正常蓄水位標高 44.7 公尺，計畫有效蓄水量 420 萬立方公尺，至民國 82 年實測時已減為 324.8 萬立方公尺，主要功能為攔蓄新店溪水供公共給水，其計畫年供水量為每日 250 萬立方公尺。直潭取水口位於右岸上游約 200 公尺處，設計取水量為 31.25 秒立方公尺，即每日 270 萬立方公尺，原水藉重力經直潭原水路輸送至直潭淨水場處理。

(4) 青潭壩

潭堰位於新店溪小粗坑，在粗坑電廠下游 800 公尺處，正常蓄水位標高 22.6 公尺，計畫有效蓄水量 7 萬立方公尺，其主要功能為抬高新店溪河川水位，維持取水口之正常水位以引取原水，另為防止下游河床繼續下降使尾水不致低於原設計水位，並調蓄粗坑電廠進行尖峰運轉之尾水，以免流失。青潭取水口位於堰體上游右岸約 60 公尺處，設計取水量為 12.56 秒立方公尺，即每日 108.5 萬立方公尺。輸水方式為重力流，原水由青潭原水路的主線與支線輸送至長興及公館等 2 淨水場處理。

(5) 石門水庫

石門水庫位於大漢溪上游，為一壩高 133.1 公尺高之土石壩，水庫集水區面積 763.4 平方公里，初期總蓄水容量為 30900 萬立方公尺，現有(民國 100 年)有效蓄水量約 20900 萬立方公尺，呆容量為 649 萬立方公尺，其運用規線如圖 4-3 所示，當水庫水位標高在上限以上時，依據計畫配水量供水，並得視各標的用水需求增加調配之；當水庫水位標高在上限與下限之間時，依據計畫配水量供水；當水庫水位標高在下限與嚴重下限之間時，農業用水依據計畫配水量百分之七十五供水為原則，家用及公共給水、工業用水依據計畫配水量百分之九十供水為原則；當水庫水位標高在嚴重下限以下時，農業用水依據計畫配水量百分之五十供水為原則，家用及公共給水、工業用水依據計畫配水量百分之八十供水為原則，其實際減供水量由北水局邀集相關單位協商之。

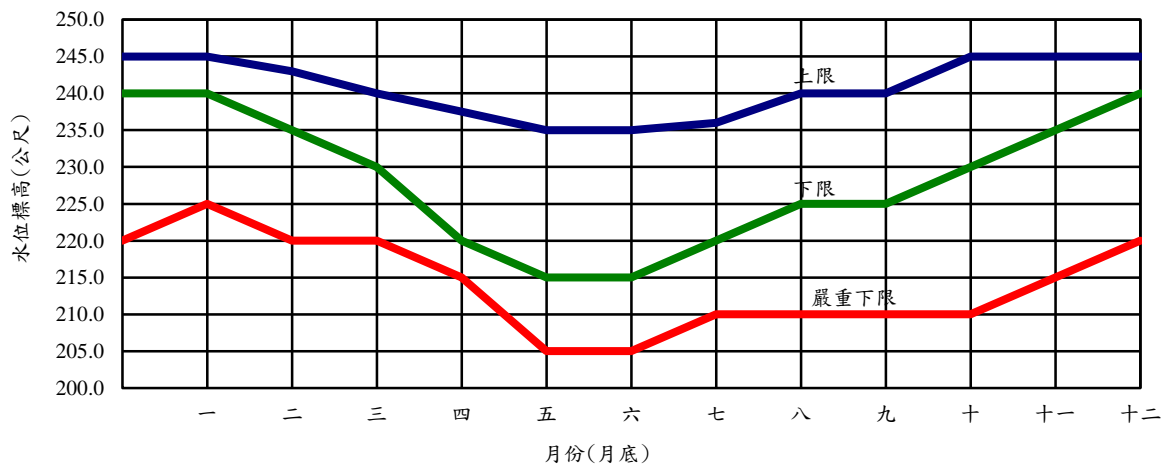


圖 4-3 石門水庫運用規線圖

(6) 後池堰

石門水庫於下游另建有後池堰，主要之功能係調節發電與灌溉之用水，因發電之時間與灌溉及公共用水之時間並未完全契合，故建有後池堰，將發電之水量蓄積，供給桃園大圳及下游灌區與公共給水等引用。

(7) 鳶山堰

鳶山堰位於大漢溪上，距石門水庫下游 19 公里，距三鶯大橋上游約 2 公里處，滿水位標高約 51.5 公尺，最低取水位標高 45.5 公尺，其調節池原有容量為 126 萬立方公尺，目前因上游河道開採河床砂石材料之影響，有效庫容已增加至約 474 萬立方公尺(民國 99 年 2 月測量結果)。鳶山堰體南端設重力導水箱涵直接取水供應板新淨水場，其輸水容量為每日 100 萬立方公尺，動力導水箱涵其輸水容量為每日 60 萬立方公尺；另於堰體北端設第二取水口，以加壓方式倒送至大湳淨水場，其輸水容量為每日 35 萬立方公尺。

(8) 三峽堰

位於大漢溪支流三峽河上，為一混凝土堰，其主要功能為攔蓄三峽河河水，供應板新淨水場所需之原水。原設計最大取水量為每日 40 萬立方公尺，年平均可引用水量約為 6700 萬立方公尺，於 96 年辦理量水堰加高及輸水管線改善其最大取水量達每日 53 萬立方公尺。

(二) 淨水廠設施

本研究將以地區分別介紹淨水廠設施，並將兩地區各淨水廠設計處理能力彙整，如表 4-1。

表 4-1 台北桃園地區之淨水場說明

供水區域	供水淨水場	設計最大供水能力	供水區域
台北區	直潭淨水場	340 萬 CMD	台北市區及新北市轄區
	長興淨水場	54.3 萬 CMD	
	公館淨水場	41.6 萬 CMD	
南桃園	石門淨水場	12 萬 CMD	與平鎮淨水場同供水範圍
	平鎮淨水場	60 萬 CMD	平鎮、中壢、新屋、大園、觀音、楊梅、八德高地地區與新竹縣(湖口、新豐)
	龍潭淨水場	19 萬 CMD	龍潭、大溪與復興部分地區
北桃園	大湳淨水場	45 萬 CMD	桃園、龜山、蘆竹、大園(中正機場一帶)、八德低地地區與台北縣(林口)
	板新淨水場	120 萬 CMD	包括蘆洲、泰山、五股、八里、樹林、新莊、土城、鶯歌、三峽、板橋等

(1) 台北地區

台北地區內主要淨水場為直潭淨水場、長興淨水場及公館淨水場，其設計處理能力分別為每日 340 萬立方公尺、54.3 萬立方公尺及 41.6 萬立方公尺，其餘屬區域性水源或地下水源淨水場。

(2) 桃園地區

桃園地區內主要淨水場為板新淨水場、石門淨水場、龍潭淨水場、平鎮淨水場及大湳淨水場，其設計處理能力分別為每日 120 萬立方公尺、12 萬立方公尺、19 萬立方公尺及 45 萬立方公尺，其餘屬區域性水源或地下水源淨水場。

2、入流量及需水量說明

(一) 需求量資料

(1). 台北與板新地區

- 農業用水：台北地區農業用水主要用水者為瑠公農田水利會及北基農田水利會，用水量較少，故農業用水不納入考量。
- 公共用水：以民國 110 年為目標年，台北地區與板新地區用水需求量採經濟部水利署之推估值(詳見表 4-2 及表 4-3)。

表 4-2 台北地區不同目標年用水需求量

目標年	90	95	100	105	110
低成長	264.6	262.2	253.4	254.6	254.5
中成長	264.6	262.2	253.4	254.6	254.5
高成長	264.6	262.2	253.4	254.6	254.5

單位：萬 CMD

資料來源：經濟部水利署，民國 98 年，「台灣北部區域水資源經理基本計畫」

表 4-3 板新地區不同目標年用水需求量

目標年	90	95	100	105	110
低成長	86.4	89.7	91.2	95.1	95.9
中成長	86.4	89.7	91.2	95.1	95.9
高成長	86.4	89.7	91.2	99.1	102.3

單位：萬 CMD

資料來源：經濟部水利署，民國 98 年，「台灣北部區域水資源經理基本計畫」

(2). 桃園地區

- 公共用水：以民國 110 桃園地區用水需求量採經濟部水利署之推估值(詳見表 4-4)
- 農業用水：主要考量桃園大圳、石門大圳及大漢溪灌區，採用歷年計畫用水量之平均值進行水源調配分析，各灌區用水量整理如表 4-5。

表 4-4 桃園地區不同目標年用水需求量

目標年	90	95	100	105	110
低成長	92.0	97.8	100.0	102.8	105.2
中成長	92.0	115.8	131.0	133.9	136.3
高成長	92.0	134.6	161.1	167.1	171.0

單位：萬 CMD

資料來源：經濟部水利署，民國 98 年，「台灣北部區域水資源經理基本計畫」

表 4-5 桃園地區歷年計畫灌溉用水量平均值

月份	月旬	桃園大 圳灌區	桃園煉 油廠	中山科 研院	大漢溪 各圳灌區	溪州圳 灌區	石門大 圳灌區
一月	上旬	9.90	2.01	2.01	0.68	0.35	0.00
	中旬	9.90	2.01	2.01	0.68	0.35	0.00
	下旬	9.90	2.01	2.01	0.68	0.35	0.00
二月	上旬	108.09	2.05	2.01	15.64	0.35	23.20
	中旬	108.13	2.05	2.01	20.17	0.35	32.72
	下旬	108.13	2.05	2.01	23.48	0.35	33.95
三月	上旬	114.10	2.05	2.01	24.25	0.35	36.30
	中旬	114.10	2.05	2.01	21.84	0.35	42.43
	下旬	114.10	2.05	2.01	23.96	0.35	48.25
四月	上旬	105.50	2.16	2.01	18.74	0.35	41.72
	中旬	105.50	2.16	2.01	18.74	0.35	35.16
	下旬	105.50	2.16	2.01	20.24	0.35	34.97
五月	上旬	101.77	2.23	2.01	16.46	0.35	34.56
	中旬	101.45	2.23	2.01	16.46	0.35	27.64
	下旬	101.01	2.23	2.01	16.16	0.35	28.32
六月	上旬	97.36	2.30	2.01	16.38	0.35	35.12
	中旬	97.36	2.30	2.01	16.38	0.35	39.19
	下旬	97.36	2.30	2.01	16.38	0.35	45.50
七月	上旬	113.68	2.24	2.01	18.19	1.21	62.64
	中旬	113.68	2.24	2.01	19.50	1.41	67.08
	下旬	113.85	2.24	2.01	23.42	2.01	65.76
八月	上旬	106.88	2.24	2.01	22.10	1.93	57.15
	中旬	106.10	2.24	2.01	21.33	1.81	57.05
	下旬	106.10	2.24	2.01	19.76	1.57	55.75
九月	上旬	96.58	2.30	2.01	16.64	1.21	56.40
	中旬	96.58	2.30	2.01	16.64	1.21	42.23
	下旬	96.58	2.30	2.01	16.64	1.21	47.82
十月	上旬	96.58	2.12	2.01	17.67	1.37	52.27
	中旬	96.58	2.12	2.01	17.67	1.37	54.23
	下旬	96.58	2.12	2.01	17.67	1.37	46.25
十一月	上旬	88.81	2.06	2.01	20.16	1.81	46.76
	中旬	88.64	2.06	2.01	17.28	1.37	26.90
	下旬	86.32	2.06	2.01	10.82	0.44	17.88
十二月	上旬	9.90	2.00	2.01	0.68	0.35	0.00
	中旬	9.90	2.00	2.01	0.68	0.35	0.00
	下旬	9.90	2.00	2.01	0.68	0.35	0.00

單位：萬 CMD

資料來源：桃園農田水利會及石門農田水利會，資料長度為民國 91 年-民國 100 年

(二)入流量資料

(1). 入流量

研究區域之天然入流量包含台北地區之北勢溪入流(翡翠水庫入流量)、南勢溪入流及新店溪側流；桃園地區之大漢溪(石門水庫入流量)、三峽河(三峽堰入流量)及大漢溪側流(鳶山堰測流量)，其資料參考經濟部水利署，民國 101 年「整合性水資源經理方案決策模式研究(2/3)」之推估值。

(2). 生態基流量

生態基流量為維持河川生態及景觀維護所需之最小水量，此放流量之大小，目前尚無法令規章之規定值，僅能視當地河川特性、重要性及自淨能力而定。本研究參考經濟部水利署，民國 101 年「整合性水資源經理方案決策模式研究(2/3)」之推估值，如表 4-6。

表 4-6 台北與桃園地區河川生態基流量

地區	控制點	生態基流保留量 (萬 CMD)	備註
台北	翡翠水庫	17.28	參考經濟部水利署，民國 101 年「整合性水資源經理方案決策模式研究(2/3)」
桃園	石門水庫	15.57	
	鳶山堰	19.89	
	三峽堰	4.34	
	大漢溪與新店溪匯流口	24.218	

4.2 台北、桃園地區水資源調配模擬

為了統計不同缺水事件之發生機率，本研究透過 GWSM 水資源調配模式建置台北、桃園地區之水資源調配模式，進行水源調配分析，並根據分析結果統計不同缺水事件之發生機率。以下針對水源調配模

式建置、模式驗證及水源調配模式分析與模擬進行說明。

4.2.1 水源調配模式建置

圖 4-1 為台北、桃園地區水資源調配系統圖，利用 GWSM 模式之節點與箭線設定建構出之模型如圖 4-4，水資源運用模擬分析條件如下：

1. 擬演算期間自民國 71 年至 100 年共 30 年，流量資料參考經濟部水利署，民國 101 年「整合性水資源經理方案決策模式研究(2/3)」之推估值。以「日」為模擬單位
2. 攔河堰引水前須優先放流下游各項保留水量，若有剩餘流量，方可攔蓄引取。
3. 下游保留水量包含農業用水量與生態基流量，採用經濟部水利署，民國 101 年「整合性水資源經理方案決策模式研究(2/3)」之推估值。
4. 各需求優先使用河川及側入流量，不足者才由水庫補充供給。
5. 公共用水標的需求量採用民國 110 中、高成長推估值。
6. 不考慮水庫淤積及河道輸水損失及滲漏損失。
7. 模式中採用淨水場設計處理能力與管線限制整理如表 4-7 及表 4-8 所示。
8. 台北、桃園地區水庫之庫容量整理如表 4-9。

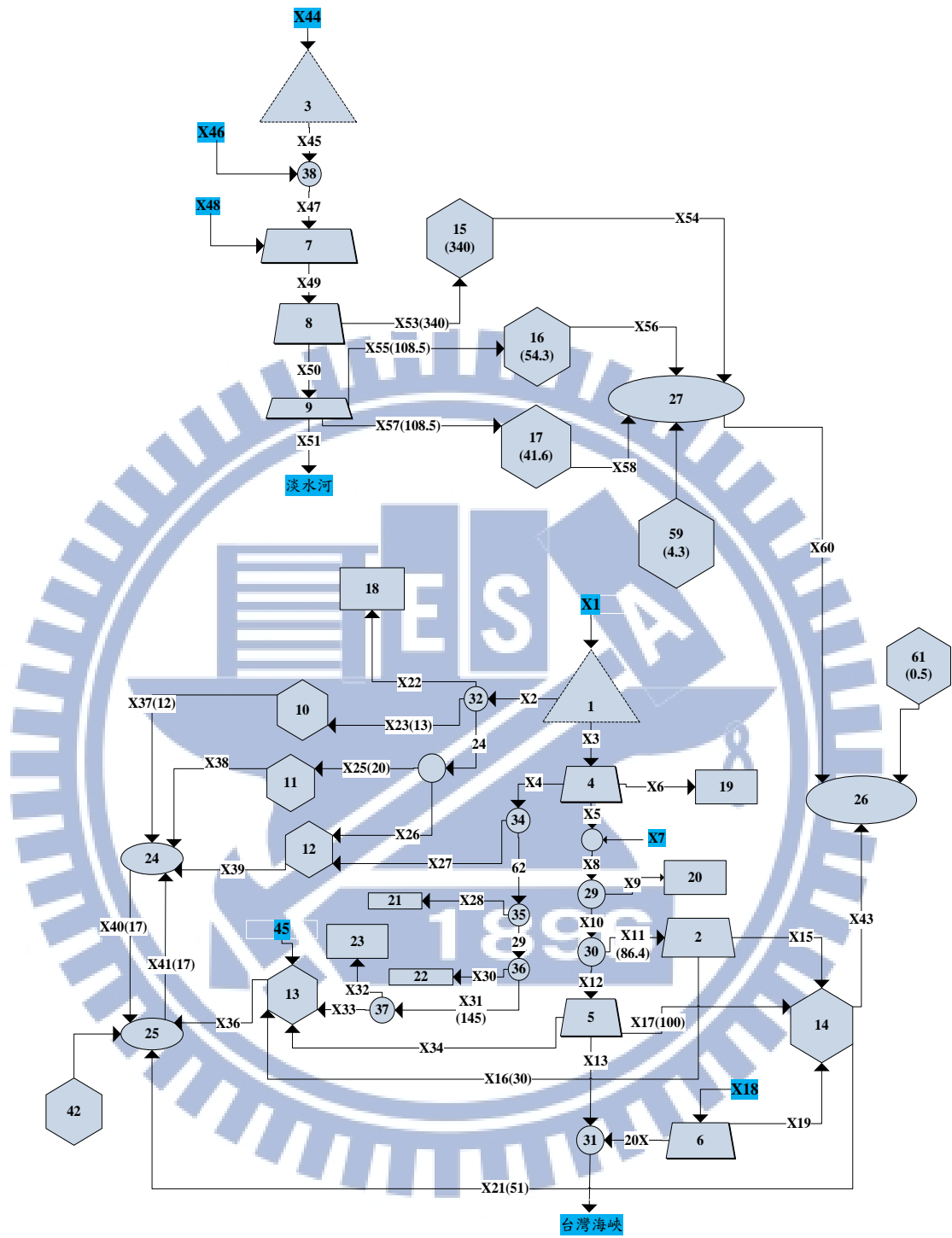


圖 4-4 台北、桃園水資源調配模型

表 4-7 台北、桃園地區淨水廠處理能力

地區	設施名稱	設計處理能力 (萬 CMD)
台北地區	直潭淨水場	340.00
	長興淨水場	54.30
	公館淨水場	41.60
	陽明淨水場	1.88
	雙溪淨水場	2.43
	泰山淨水場	0.50
桃園地區	板新淨水場	120
	石門淨水場	12
	龍潭淨水場	19
	平鎮淨水場	60
	大湳淨水場	45
	復興淨水場	0.1

表 4-8 台北、桃園地區水利設施管線限制

設施類別	管線名稱	管線限制 (萬 CMD)
淨水廠管線	長興淨水場清水管	108.5
	公館淨水場清水管	108.5
	中庄調整池-板新淨水場輸水管	50
	鳶山堰-板新淨水場輸水管	100
	三峽堰-板新淨水場輸水管	53
	板新淨水場-北桃園地區清水管	51
	石門淨水場原水管	13
	石門淨水場清水管	12
	龍潭淨水場原水管	20
	中庄調整池-大湳淨水場輸水管	30
水庫堰壩	石門大圳取水道	159
	中庄調整取水道	86.4
	桃園大圳取水道	145
雙向管路	北桃園-南桃園雙向管	17
	南桃園-新竹雙向管	10

表 4-9 台北、桃園地區水庫容量

地區	水工結構物名稱	有效庫容量(萬 m ³)
台北	翡翠水庫	33694.9
桃園	石門水庫	20876.4
	中庄調整池	490.0

目前台北、桃園水資源調配規則為兩地區聯合營運，而近期水利署推動「板新地區供水改善計畫第二期工程」，在完工之後翡翠水庫可依照規線支援板新地區用水。本研究以 3 種操作規則(聯合營運、翡翠水庫優先供給板新地區及石門水庫優先供給板新地區)進行台北、桃園兩地區聯合營運之分析，比較其差異，進一步驗證 GWSM 模式中目標函數之優先供水項是否有其作用，並由模擬結果中挑選其中一年之結果，將翡翠及石門水庫水位之變化，及供應板新地區之水量變化展示如圖 4-5 至圖 4-10。

圖 4-5 及圖 4-6 為兩水庫聯合營運下，各水庫水位變化及供水情況，可以發現兩水庫供應給板新地區之水量較為平均，圖 4-7 和圖 4-8 為翡翠水庫優先供水給板新地區時之水庫水位變化及供水情況圖，可明顯發現翡翠水庫供應至板新地區之水量及供應天數均大於石門水庫，而在石門水庫優先供水的情況下，石門水庫雖有優先供水的情況但不明顯，原因是翡翠水庫庫容約為石門水庫庫容的兩倍，側入流量也大可蓄存較多水量，大部分的時刻翡翠水庫水位高於石門水庫，基於 GWSM 模式中目標函數空庫體積最小項權重大於優先供水項，在進行調配時會優先使用水庫上層的水，因此在石門水庫優先供水的操作規則下，翡翠水庫仍然供應不少水至板新地區，如圖 4-9 和圖 4-10。

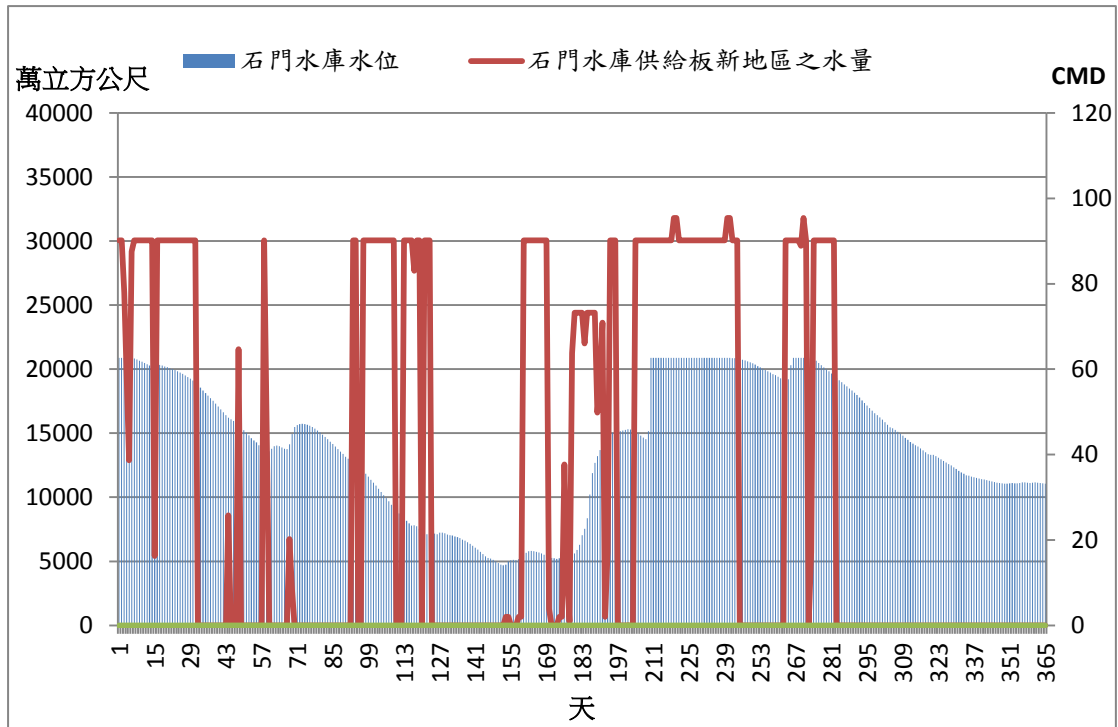


圖 4-5 聯合營運下石門水庫操作結果

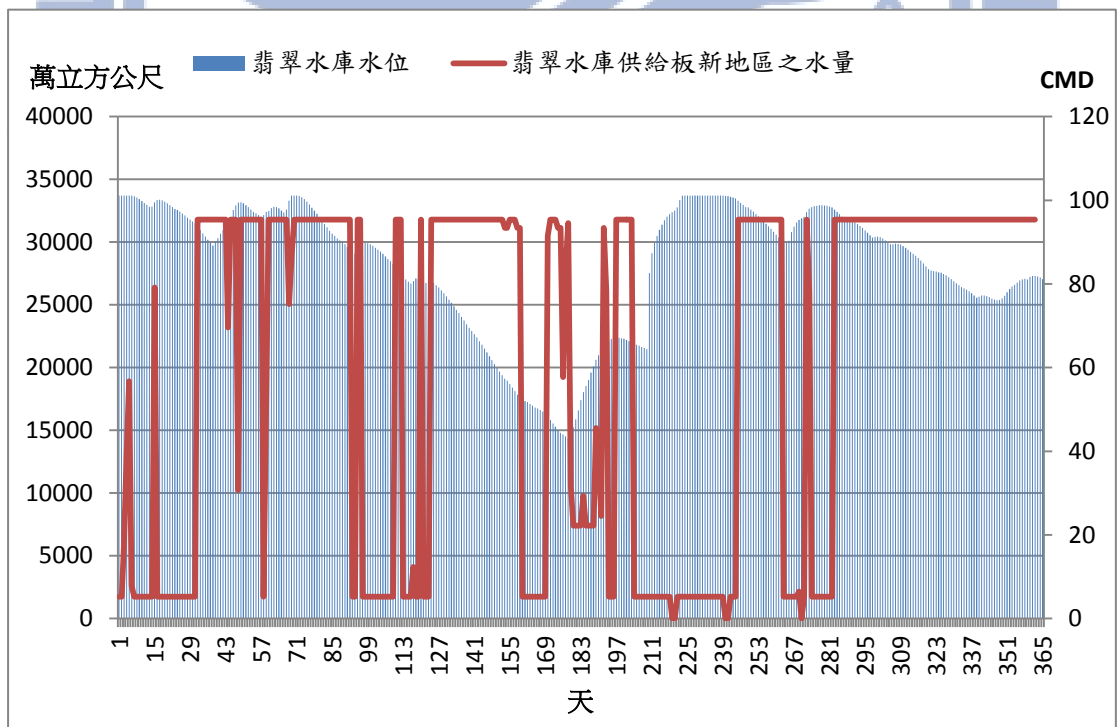


圖 4-6 聯合營運下翡翠水庫操作結果

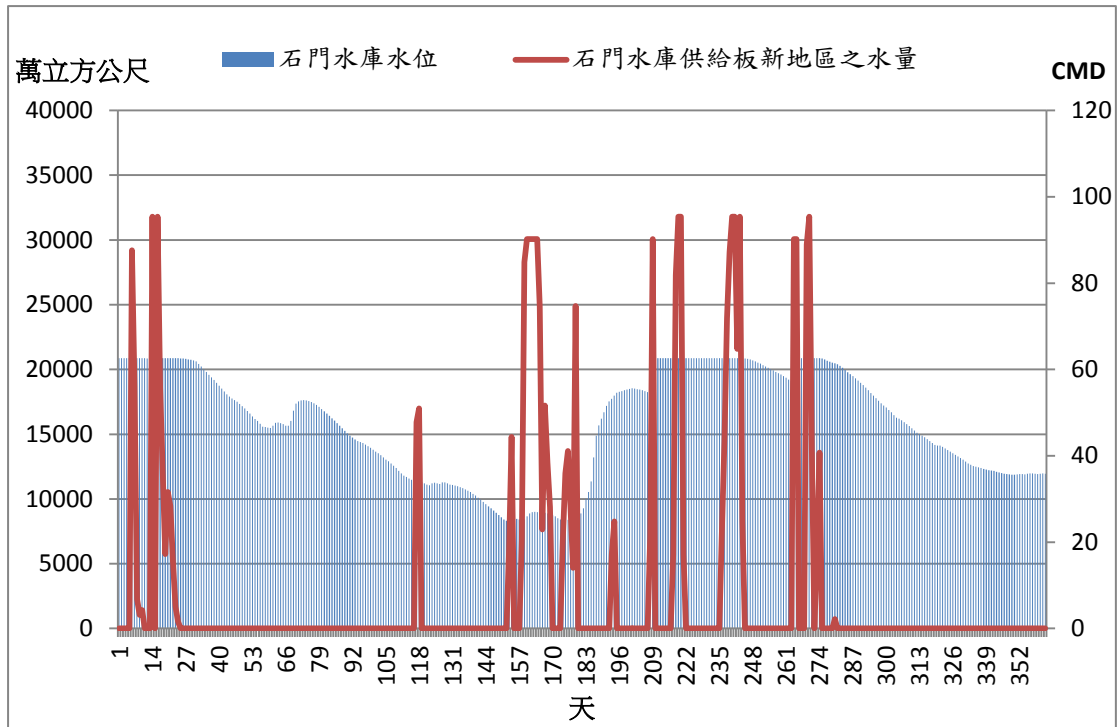


圖 4-7 翡翠水庫優先供水下石門水庫操作結果

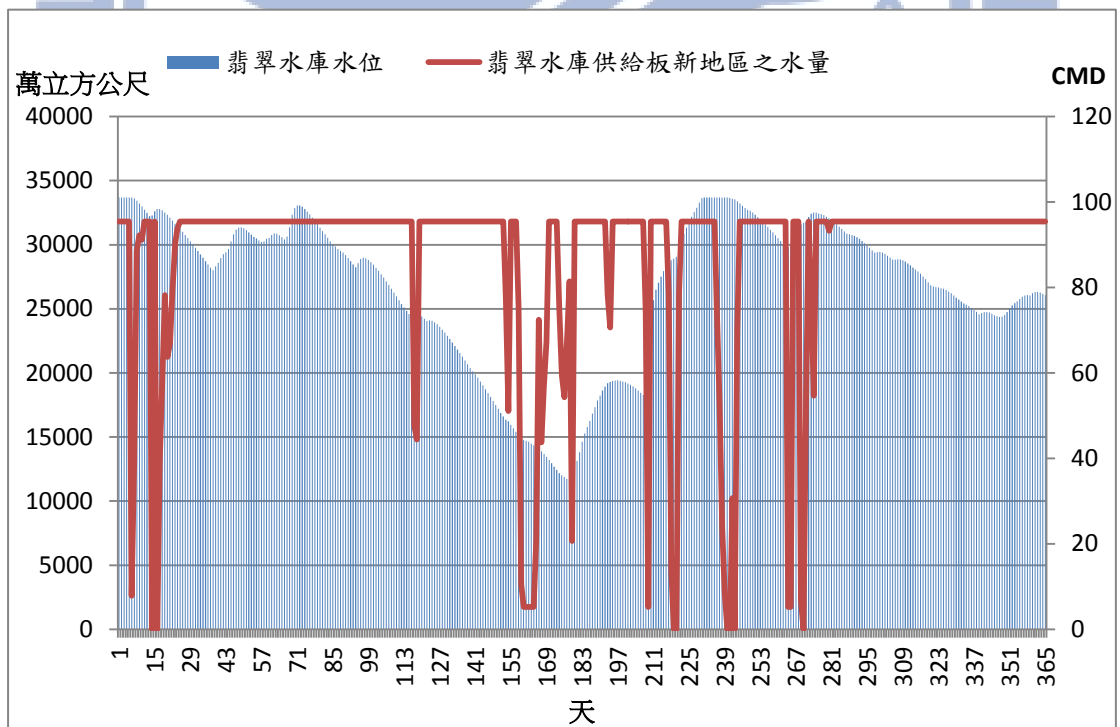


圖 4-8 翡翠水庫優先供水下翡翠水庫操作結果

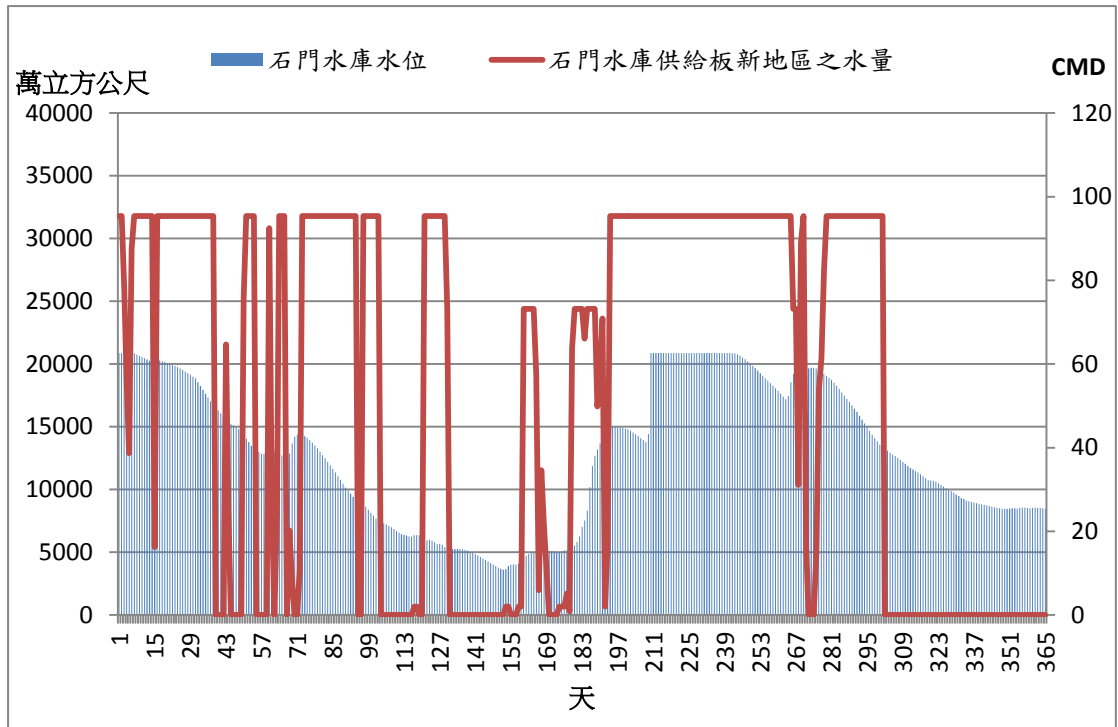


圖 4-9 石門水庫優先供水下石門水庫操作結果

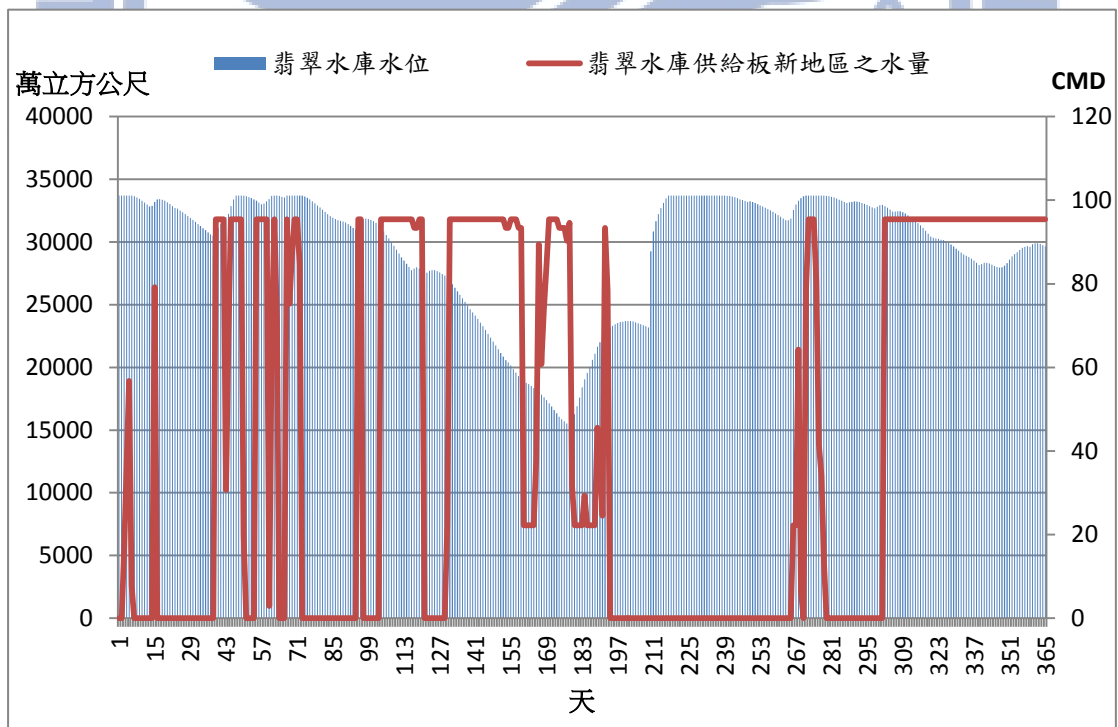


圖 4-10 石門水庫優先供水下翡翠水庫操作結果

圖 4-11 為不同操作規則下各水庫供應至板新地區之平均水量，由於翡翠水庫庫容量及側入流量均大於石門水庫，翡翠水庫可蓄存較多水量，因次在聯合營運的情況下翡翠水庫供應板新之水量大於石門水庫供應至板新之水量，另外在翡翠水庫供優先供水至板新、石門水庫供優先供水至板新兩種操作規則下，可明顯看出兩水庫供水量的變化。

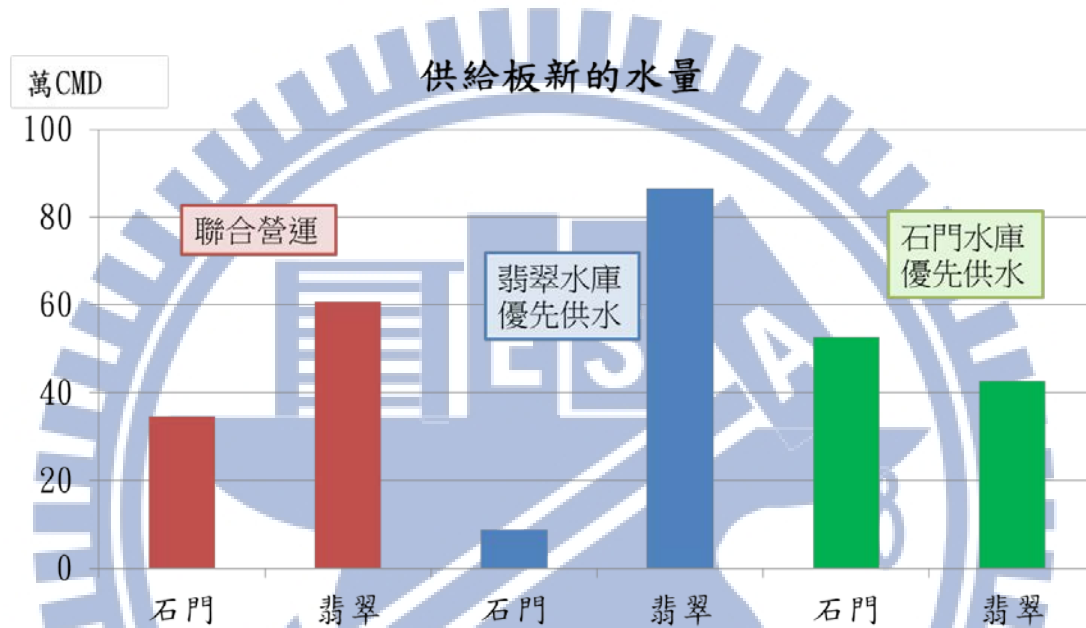


圖 4-11 不同操作規則下各水庫供應至板新地區之平均水量

水源調配模式分析主要目的為分析不同缺水事件之發生機率，惟為了解各地區在不同需求量與水庫淤沙量條件下之缺水情況，本研究亦以美國陸軍工兵團(1975)發展之缺水指數(Shortage Index, SI)分析四種不同需求量與操作規則組合情境，情境說明詳見表 4-10，缺水指數公式詳見如下：

$$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\text{年缺水量(Water Shortage)}}{\text{年計畫需求量(Water Demand)}} \right)^2$$

表 4-10 GWSM 模式採用情境設定

水庫操作規則 未來需求量情境	聯合營運	翡翠水庫優先 供應板新用水
110 年中成長	情境一	情境二
110 年高成長	情境三	情境四

目前台灣由翡翠水庫及石門水庫聯合供應板新地區用水，而近期水利署推動「板新地區供水改善計畫第二期工程」，在完工之後翡翠水庫優先供應板新地區用水，因此本研究採用聯合營運及翡翠水庫優先供水之操作原則，搭配民國 110 用水中、高成長所組合而成之四種情境進行水源調配分析。

(一) 缺水指數分析結果

水資源調配分析結果如表 4-11 所示，台北地區在不同情境下，缺水指數介於 0.077~0.1，顯示目前台北地區水源充足，缺水風險較低，但仍有可能發生缺水，需配合長、短期策略因應；板新地區在不同情境下之缺水指數介於 0.156~0.227，缺水風險低，但仍有可能發生缺水，需配合長、短期策略因應；桃園地區在不同情境下，北桃園缺水指數介於 0.39~0.902，南桃園缺水指數介於 0.396~0.904，顯示桃園地區缺水風險高，需配合長、短期策略因應。

由表 4-11 可發現，不同的操作規則對桃園地區影響較大(情境三及情境四)，情境三與情境四之南、北桃園 SI 相差 0.89，原因是石門水庫庫容量較少且淤積嚴重，全桃園地區需求點也較多(如圖 4-1)，相較之下翡翠水庫庫容量大且淤積量少，測入流量大，基於側入流量優先使用之原則，翡翠水庫多數時間可以蓄水，因此在翡翠水庫優先供應板新地區用水之情況，可供應板新地區大部分之需求，而石門水庫可將大部分的水供應至桃園各需求，使得南、北桃園之 SI 下降 0.89，在這情況下台北地區之 SI 僅上升 0.001，

表 4-11 台北、桃園地區水資源調配分析結果

地區	不同情境缺水指數(SI)			
	情境一	情境二	情境三	情境四
台北	0.077	0.078	0.099	0.100
板新	0.156	0.159	0.223	0.227
北桃園	0.370	0.342	0.991	0.902
南桃園	0.396	0.358	0.993	0.904

(二)缺水事件發生機率分析成果

缺水事件發生機率係由水源調配分析成果中，統計不同連續缺水天數對應之不同缺水率發生次數而得，其中缺水率分為五個組距，分別為 0~20%、20~40%、40~60%、60~80%及 80~100%，連續缺水天數依實際水源調配分析結果決定最大連續缺水天數，故若連續最大缺水天數為 100 天，配合五組缺水率組距，則缺水事件共有 $100 \times 5 = 500$ 組，分別統計模擬期間內各組缺水事件發生次數與發生機率，台北、桃園地區連續最大缺水天數如表 4-12，台北地區最大連續缺水天數為 167 天，年平均缺水量介於 1.85 萬 CMD 至 2.27 萬 CMD；板新地區最大連續缺水天數為 167 天，年平均缺水量介於 0.95 萬 CMD 至 1.28 萬 CMD；板新地區最大連續缺水天數為 167 天，年平均缺水量介於 4.05 萬 CMD 至 10.84 萬 CMD。以台北地區情境一為例，不同連續缺水天數及對應之不同缺水率下之缺水事件發生機率如圖 4-12。

表 4-12 台北、桃園地區連續最大缺水天數

		台北地區		板新地區		全桃園地區	
		最大連 率缺水 天數	年平均 缺水量 (萬 CMD)	最大連 率缺水 天數	年平均 缺水量 (萬 CMD)	最大連 率缺水 天數	年平均 缺水量 (萬 CMD)
中 成 長	情境 一	167	1.85	167	0.95	365	4.83
	情境 二	167	1.92	167	0.98	365	4.05
高 成 長	情境 三	167	2.14	167	1.22	365	10.84
	情境 四	167	2.27	167	1.28	365	9.71

由表 4-12 可得知在需求量高成長的情況下，不同的操作規則對桃園地區影響較大(情境三及情境四)，桃園地區年平均缺水量情境三(聯合營運)較情境四(翡翠優先)多 1.13 萬 CMD，而其他地區影響較小，結果符合上述 SI 值之趨勢。

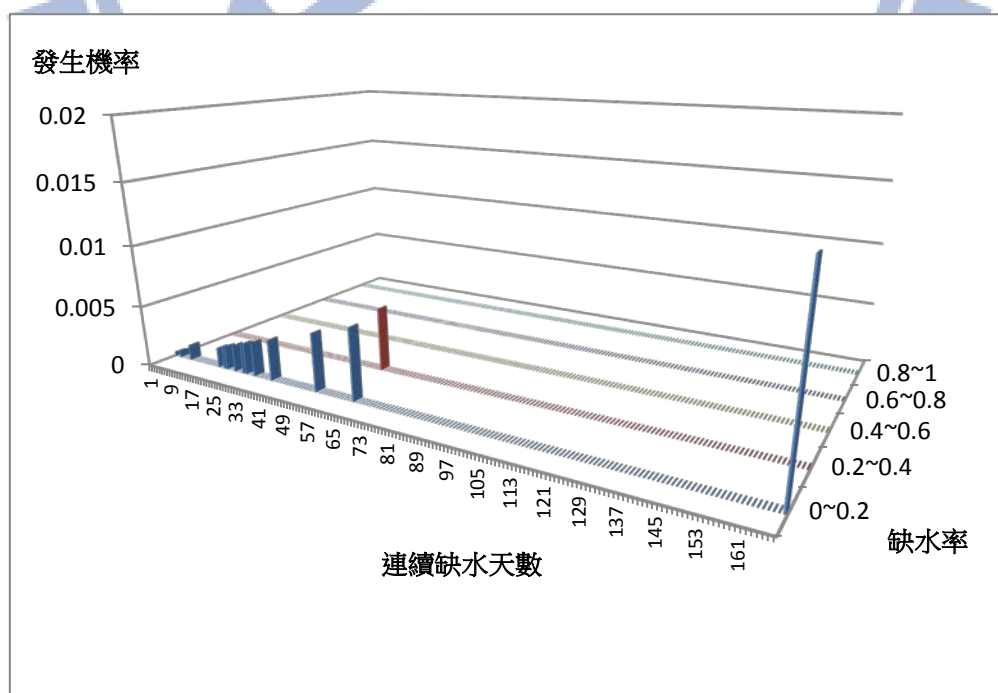


圖 4-12 台北地區不同缺水事件發生機率

4.3 台北、桃園地區長、短期方案建置

一、模式輸入參數

本研究參考「整合性水資源經理方案決策模式研究」，將台北及桃園地區近、中期之經理基本計畫，較可行之供水面方案與需求面方案整理如表 4-13

表 4-13 台北、桃園地區各方案列表

水資源經理方案	供給面計畫(增加供水)	需求面計畫(降低需求)
長期方案	台北基隆雙向聯通管路工程及雙溪水庫	自來水管線汰換及穩定供水
	高台水庫	工業節水
	石門水庫集水區保育實施計畫	生活節水
	石門水庫繞庫分洪排砂隧道	水價調整
	桃園海水淡化廠	-
短期方案	台北盆地備用地下水井備援	-
	水車備援	-
	-	階段限水
農業調度方案	-	農業休耕停灌
	-	農業加強灌管理

決策模式中使用到的參數，包含長、短期方案成本、長、短期方案可增加或節省水量等資料，參考「整合性水資源經理方案決策模式研究」報告中之數據，台北與桃園地區各方案之成本及可增供/節省水量如表 4-14 至表 4-18 所示。其中台北地區由於工業及農業用水量小，故工業節水方案及農業調度方案不納入考量。

表 4-14 台北地區長期方案之成本及增供水量

水資源 經理方案	方案名稱	年計成本 (億元)	每日增加或節省水量 (萬 m ³)
供給面 計畫	台北基隆雙向聯通管路工程 及雙溪水庫	7.34	14.2
需求面 計畫	自來水管線汰換	12.91	3.08
	生活節水	15.01	9.31

表 4-15 台北地區短期方案之成本及增供水量

方案 類別	方案名稱	單位供水/節水成本 (元/立方公尺)	每日最大供水量或節水量 (萬 CMD)	
需求面	第一階段限水	1.07	中成長	12.73
			高成長	12.73
	第二階段限水	39.38	中成長	25.45
			高成長	25.45
供給面	水車備援	150	0.88	
	台北盆地備用 地下水井	0.44	22	

表 4-16 桃園地區長期方案之成本及增供水量

水資源 經理方案	方案名稱	年計成本 (億元)	每日增加或節省 水量(萬 m ³)
供給面 計畫	石門水庫集水區保育實施計畫	4.96	0.28
	石門水庫繞庫分洪排砂隧道	3.578	3.1
	桃園海水淡化廠	4.33	6
	高台水庫	24.02	34.8
需求面 計畫	自來水管線汰換	8.9	2.6
	生活節水	8.15	4.82
	工業節水	17.71	6.15

表 4-17 桃園地區短期方案之成本及增供水量

方案 類別	方案名稱	單位供水/節水成本 (元/立方公尺)	每日最大供水量或節水量 (萬 CMD)	
需求面	第一階段限水	1.07	中成長	6.82
			高成長	8.55
	第二階段限水	39.38	中成長	9.59
			高成長	17.1
供給面	水車備援	150	0.88	

表 4-18 桃園地區農業調度方案之成本及增供水量

方案 類別	方案名稱	單位供水/節水成本 (元/立方公尺)	每日最大供水量或節水量 (萬 CMD)
需求面	農業停灌休耕	31.96	84.9
	農業加強灌溉管理	15.96	38.97

二、台北、桃園地區分析模擬

以最小期望年計成本做為水資源決策分析的目標函數，其中長期方案投資成本以年計成本估算；短期方案成本以期望成本估計，即以單位供水(節水)成本與不同缺水事件下每日供水量(節水量)及不同缺水事件發生機率乘積表示之；農業調度方案成本以期望成本估計，即以農作物生長期時間與不同缺水事件下農業用水移用量及不同缺水事件發生機率乘積表示之。

針對不同操作規則與不同需求量下之四種情境將進行分析台北地區及桃園地區之各情境最佳期望年計成本如表 4-19。台北地區由於農業調度方案不納入考量，各情境下長、短期方案最佳策略組合之年計成本介於 20.28~20.54 億元；桃園地區若只考慮長、短期方案，各情境下最佳策略組合之年計成本介於 24.03~24.92 億元，其中桃園地區所有長、短方案之增供水量總和小於情境三之缺水量，故不討論。

納入農業調度方案後，桃園地區各情境均不選用長期方案，所需成本大幅減少，各情境下最佳策略組合之年計成本介於 2.06 至 6.69 億元，以下分別針對台北地區及桃園地區決策分析結果進行說明。

表 4-19 各情境最佳期望年計成本

地區 情境		最佳期望年計成本(億元)		
		台北 (納入長、短期方案)	桃園 (納入長、短期方案)	桃園 (納入長、短期及農業 方案)
中成長	情境一	20.28285	24.03340	2.174969
	情境二	20.28294	24.03339	2.062964
高成長	情境三	20.53597	增供水量無法 滿足缺水量	6.685301
	情境四	20.54603	24.92280	5.030498

(1) 台北地區

台北地區長期策略、短期策略最佳策略組合分析如表 4-20 所示，情境一~情境四之最佳組合為採用長期方案之「台北基隆雙向聯通管路工程及雙溪水庫」及「自來水管線汰換」，短期方案之「第一階段限水」、「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」，情境一及情境二為考量目標年中成長需求量，情境三及情境四為考量目標年高成長需求量，其中就操作模式不同來比較，可看出翡翠水庫優先供應板新地區用水之情況，短期方案採用機率皆大於聯合營運之情況，顯示在翡翠水庫優先供應板新地區的情況下，台北地區所需成本比聯合營運高，需求量方面就短期方案採用機率而言，結果符合中成長(情境一及情境二)較少，高成長(情境三及情境四)較多之趨勢。

表 4-20 台北地區長、短期方案最佳組合分析結果

方案類別	水資源經理方案名稱	年計成本(億元) 或單位用水成本(元/噸)	節水量(萬CMD)	統計項目	情境一	情境二	情境三	情境四
長期方案	台北基隆雙向聯通管路工程及雙溪水庫	7.34	14.2	採用與否	●	●	●	●
	自來水管線汰換	12.91	3.08		●	●	●	●
	生活節水	15.01	9.31		-	-	-	-
短期方案	第一階段限水	1.07	12.73	採用機率	0.049	0.052	0.053	0.057
	第二階段限水	39.38	25.45		0.00520	0.00521	0.0205	0.0206
	水車備援	150	0.88		-	-	-	-
	台北盆地備用地下水井	0.44	22		0.00520	0.00521	0.0205	0.0206

註 1：●為建議採用策略。

註 2：長期方案成本採用年計成本；短期方案採用單位成本

台北地區情境一共有 15 個缺水事件，其分佈如圖 4-13，由圖中可知連續缺水天數 51~60 組距中，發生一次缺水程度 0.2~0.4 之事件，短期方案方面，情境一選用「第一階段限水」、「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」，其中 15 次事件皆使用「第一階段限水」，而「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」使用時機為發生缺水程度 0.2~0.4 之事件，顯示缺水程度大小對方案選擇之影響大於連續缺水天數之多寡。各缺水事件詳細資料請參照附錄。

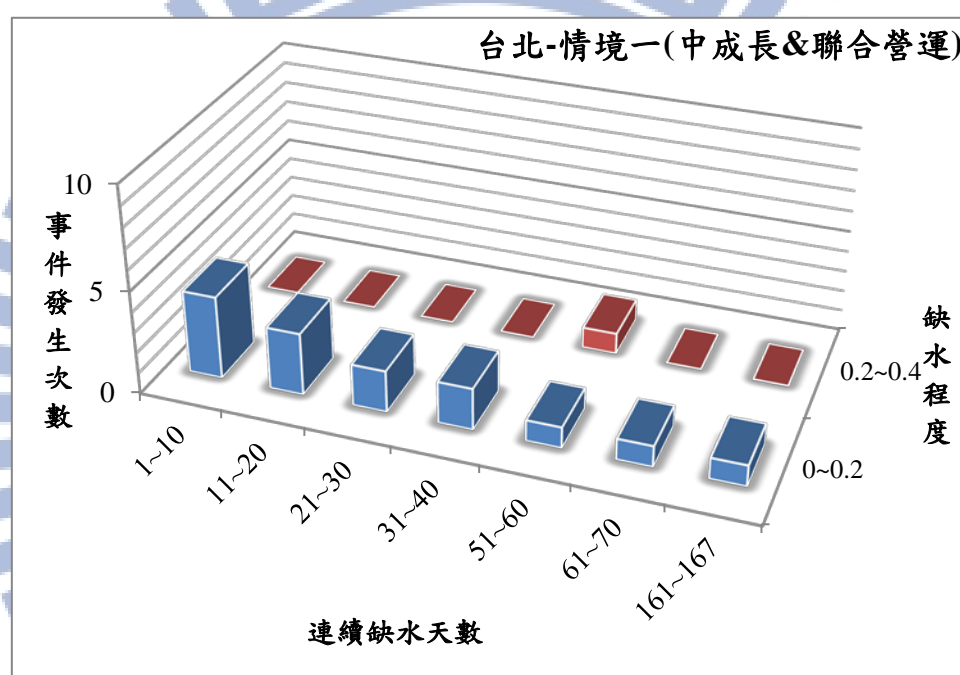


圖 4-13 台北地區情境一缺水事件分佈圖

台北地區情境二共有 15 個缺水事件，其分佈如圖 4-14，由圖中可知連續缺水天數 51~60 組距中，發生一次缺水程度 0.2~0.4 之事件，短期方案方面，情境二選用「第一階段限水」、「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」，其中 15 次事件皆使用「第一階段限水」，而「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」使用時機皆為發生缺水程度 0.2~0.4 之事件，顯示缺水程度大小對方案選擇之影響大於連續缺水天數之多寡。各各缺水事件詳細資料請參照附錄。

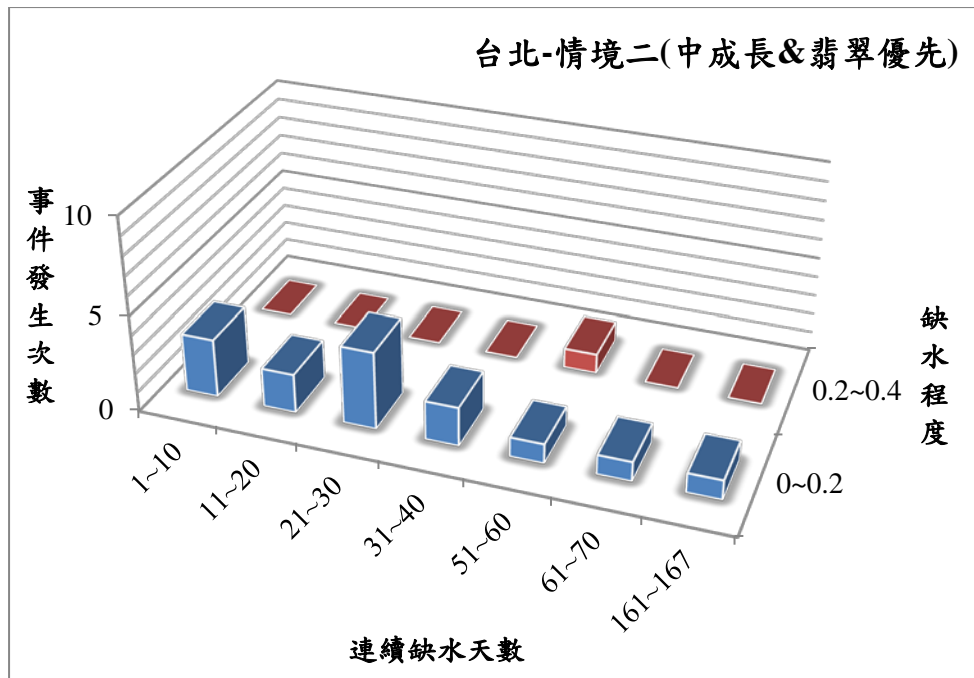


圖 4-14 台北地區情境二缺水事件分佈圖

台北地區情境三共有 15 個缺水事件，其分佈如圖 4-15，由圖中可知連續缺水天數 51~60 及 161~167 組距中，各發生一次缺水程度 0.2~0.4 之事件，短期方案方面，情境三選用「第一階段限水」、「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」，其中 15 次事件皆使用「第一階段限水」，而「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」使用時機皆為發生缺水程度 0.2~0.4 之 2 次事件，顯示缺水程度大小對方案選擇之影響大於連續缺水天數之多寡。各缺水事件詳細資料請參照附錄。

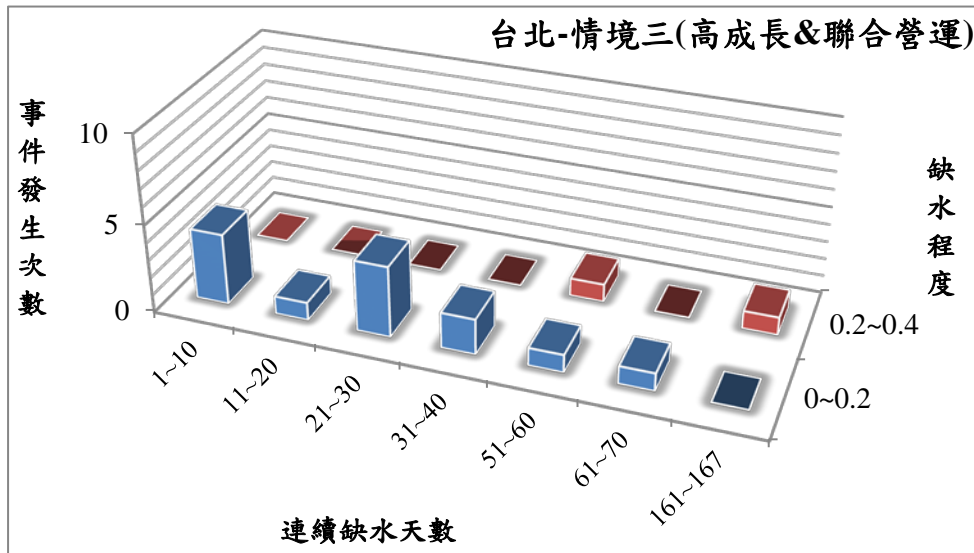


圖 4-15 台北地區情境三缺水事件分佈圖

台北地區情境三共有 19 個缺水事件，其分佈如圖 4-16，由圖中可知連續缺水天數 51~60 及 161~167 組距中，各發生一次缺水程度 0.2~0.4 之事件，短期方案方面，情境四選用「第一階段限水」、「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」，其中 19 次事件皆使用「第一階段限水」，而「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」使用時機皆為發生缺水程度 0.2~0.4 之 2 次事件，顯示缺水程度大小對方案選擇之影響大於連續缺水天數之多寡。各缺水事件詳細資料請參照附錄。

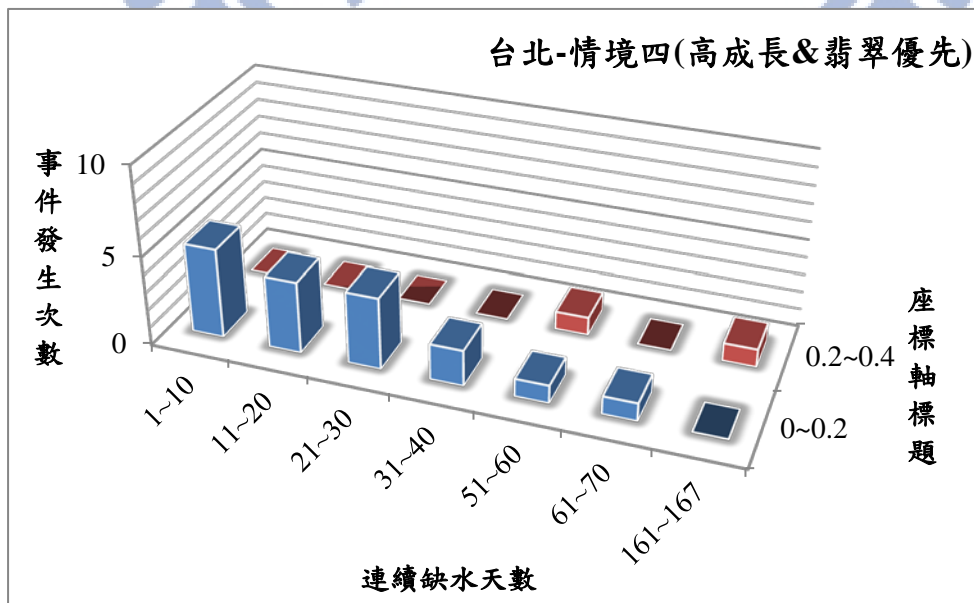


圖 4-16 台北地區情境四缺水事件分佈圖

(2) 桃園地區

桃園地區長期策略及短期策略最佳組合分析結果如表4-21所示，其中短期策略中若不包括農業調度方案，情境一及情境二為考量目標年中成長需求量，最佳組合為採用長期方案之「高台水庫」，短期方案之「第一階段限水」，情境四為考量目標年高成長需求量，最佳組合為採用長期方案之「高台水庫」，短期方案之「第一階段限水」及「第二階段限水」，就操作規則而言，需求量中成長(情境一與情境二)在方案選擇方面無明顯差異，而需求量方面，結果符合中成長(情境一及情境二)選擇較少方案，高成長(情境四)選擇較多方案之趨勢。其中情境三(高成長聯合營運)因所有長、短期方案之增供水總量無法滿足用水缺口，需納入農業方案再作探討。

表 4-21 桃園地區長、短期方案(不包括農業)最佳組合分析結果

方案類別	水資源經理方案名稱	年計成本(億元) 或單位用水成本(元/噸)	節水量(萬CMD)		統計項目	情境一	情境二	情境三	情境四
長期方案	高台水庫	24.02	34.8		採用與否	●	●		●
	石門水庫集水區保育實施計畫	4.96	0.28			-	-		-
	石門水庫繞庫分洪排砂隧道	3.58	3.1			-	-		-
	桃園海水淡化廠	4.33	6			-	-		-
	自來水管線汰換	3.99	1.17			-	-		-
	生活節水	8.15	4.82			-	-		-
	工業節水	17.71	6.15			-	-		-
短期方案	第一階段限水	1.07	中成長	6.82	採用機率	0.0638	0.0697		0.093
			高成長	8.55					
	第二階段限水	39.38	中成長	9.59		-	-		0.093
			高成長	17.1		-	-		
水車備援	150	0.88		-	-	-			

註 1：●為建議採用策略。

註 2：長期方案成本採用年計成本；短期方案採用單位成本

表 4-22 為桃園地區長期策略、短期策略組合分析結果，其中短期策略納入農業調度方案。情境一與情境二之最佳組合為採用短期方案之「第一階段限水」、「第二階段限水」及「加強灌溉管理」；情境三與情境四之最佳組合為短期方案之「第一階段限水」、「第二階段限水」、「加強灌溉管理」及「停灌休耕」，就操作規則而言，情境一(聯合營運)之短期方案採用機率大於情境二(翡翠水庫優先供應板新)，情境三之短期方案採用機率亦大於情境四，其結果符合 GWSM 模擬結果之 SI 值之趨勢(翡翠優先時桃園之 SI 值小於聯合營運之 SI)；而需求量方面，結果符合中成長(情境一及情境二)選擇較少方案，高

成長(情境三及情境四) 選擇較多方案之趨勢。

表 4-22 桃園地區長、短期方案(包括農業)最佳組合分析結果

方案類別	水資源經理方案名稱	年計成本(億元) 或單位用水成本(元/噸)	節水量(萬CMD)		統計項目	情境一	情境二	情境三	情境四
			中成長	高成長					
短期方案	第一階段限水	1.07	中成長	6.82	採用機率	0.25	0.19	0.37	0.33
			高成長	8.55					
	第二階段限水	39.38	中成長	9.59		0.24	0.17	0.29	0.27
			高成長	17.1					
水車備援	150	0.88	-	-	-	-			
農業方案	停灌休耕	31.96	84.9	-	-	0.07	0.06		
	加強灌溉管理	15.96	38.97	0.01	0.06	0.07	0.03		

註 1：●為建議採用策略。

註 2：長期方案成本採用年計成本；短期方案採用單位成本

圖 4-17 為桃園地區情境一之缺水事件分佈圖，由圖中可知情境一發生兩次缺水程度 0.2~0.4 之事件，分別位於缺水天數組距 121~130 及 361~365。

桃園地區只選用長、短期方案的情況下，短期方案方面，情境一兩次缺水事件皆選擇「第一階段限水」方案，使用時機為發生缺水程度 0.2~0.4 之兩次事件。若將農業方案納入時，農業調度方案方面，則選用兩次「加強灌溉管理」方案，使用時機為發生缺水程度 0.2~0.4 之兩次事件。各缺水事件詳細資料請參照附錄。

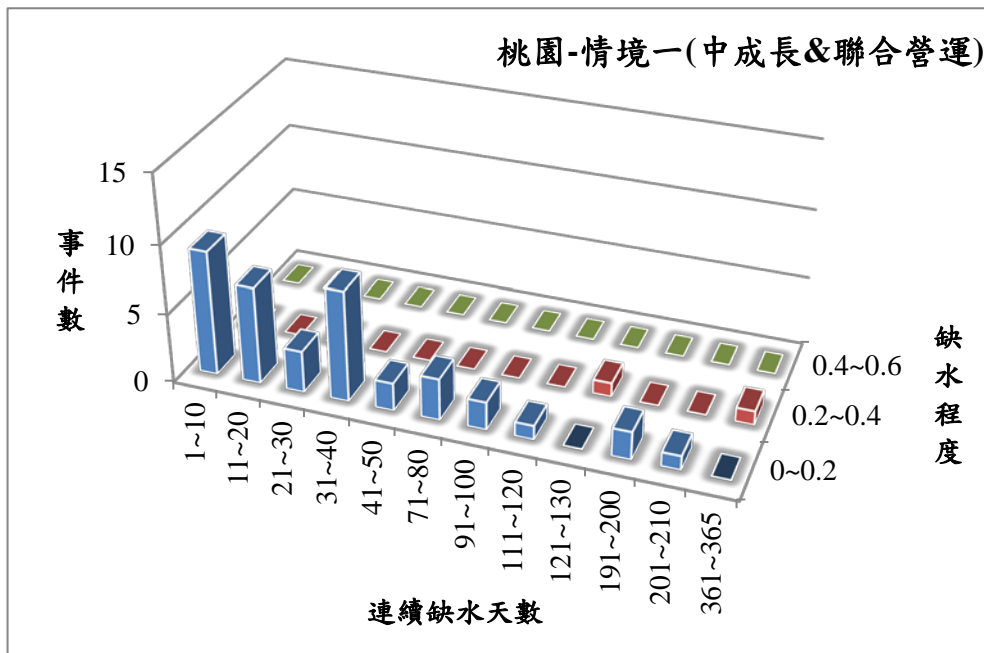


圖 4-17 桃園地區情境一缺水事件分佈圖

桃園地區情境二之缺水事件分佈如圖 4-18，由圖中可知情境二發生兩次缺水程度 0.2~0.4 之事件，分別位於缺水天數組距 111~120 及 361~365。

桃園地區只選用長、短期方案的情況下，短期方案方面，情境二選用兩次「第一階段限水」方案，使用時機為發生缺水程度 0.2~0.4 之兩次事件。若將農業方案納入時，農業調度方案方面，情境二選用兩次「加強灌溉管理」方案，使用時機為發生缺水程度 0.2~0.4 之兩次事件顯示選擇方案時首先考慮缺水程度，其次才為連續缺水天數。各缺水事件詳細資料請參照附錄。

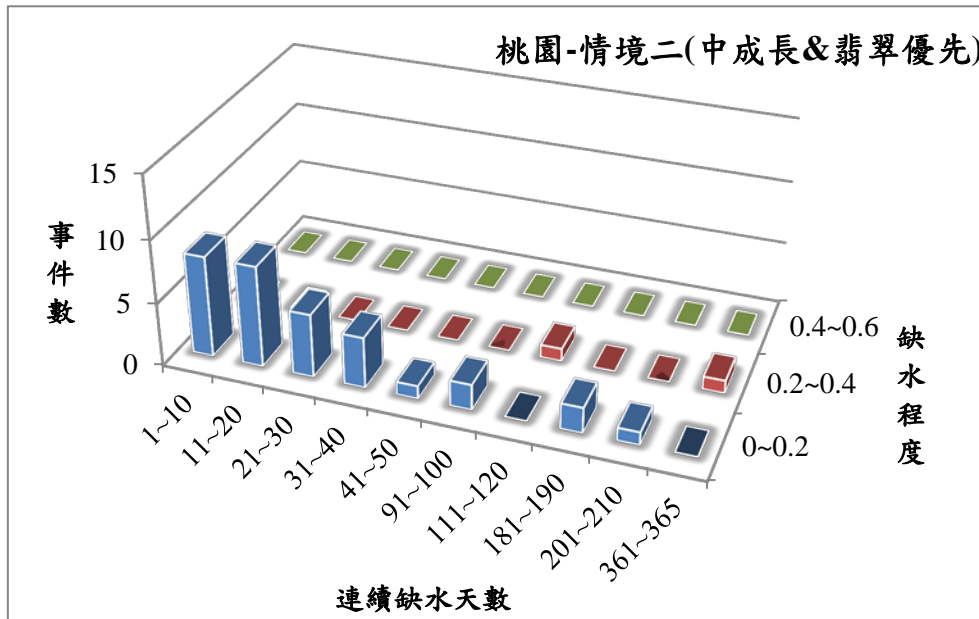


圖 4-18 桃園地區情境二缺水事件分佈圖

桃園地區情境三之缺水事件分佈如圖 4-19，由圖中可知情境三發生四次缺水程度 0.2~0.4 之事件，分別位於缺水天數組距 201~210、251~260、291~300 及 361~365，一次缺水程度 0.4~0.6 之事件，位於缺水天數組距 111~120。

桃園地區只選用長、短期方案的情況下，所有方案之增供水總量總和小於情境三之用水缺口，故不討論。而將農業方案納入時，農業調度方案方面，情境三選用三次「加強灌溉管理」方案和兩次「停灌休耕」方案，其中連續缺水天數組距 201~210、251~260 及 291~300 缺水程度 0.2~0.4 之三次事件選用「加強灌溉管理」，連續缺水天數組距 141~150 缺水程度 0.4~0.6 之缺水事件選用一次「加強灌溉管理」，連續缺水天數組距 361~365 缺水程度 0.2~0.4 之事件選用一次「加強灌溉管理」，顯示選擇方案時首先考慮缺水程度，其次才為連續缺水天數。各缺水事件詳細資料請參照附錄。

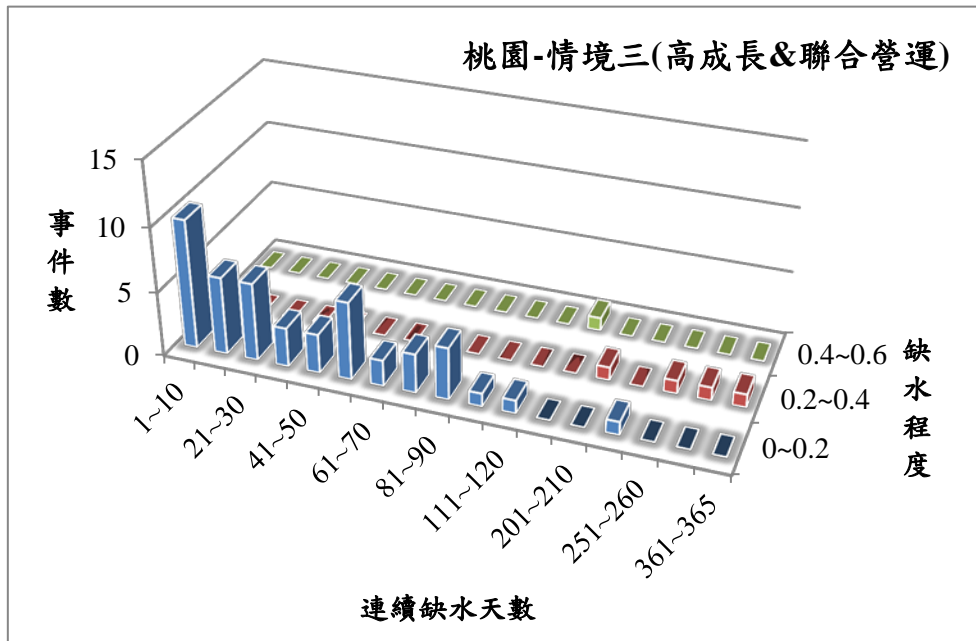


圖 4-19 桃園地區情境三缺水事件分佈圖

桃園地區情境四之缺水事件分佈如圖 4-20，由圖中可知情境四發生三次缺水程度 0.2~0.4 之事件，分別位於缺水天數組距 141~150、201~210 及 361~365。

桃園地區只選用長、短期方案的情況下，短期方案方面，情境四選用三次「第一階段限水」方案、三次「第二階段限水」方案，三次「第二階段限水」方案之使用時機皆為發生缺水程度 0.2~0.4 之三次事件。若將農業方案納入時，農業調度方案方面，情境二選用兩次「加強灌溉管理」方案、一次「停灌休耕」，兩次「加強灌溉管理」方案使用時機為連續缺水天數 141~150 及 201~210，缺水程度 0.2~0.4 之兩次事件，「停灌休耕」方案使用時機為連續缺水天數 361~365，缺水程度 0.2~0.4 之事件，顯示選擇方案時首先考慮缺水程度，其次才為連續缺水天數。各缺水事件詳細資料請參照附錄。

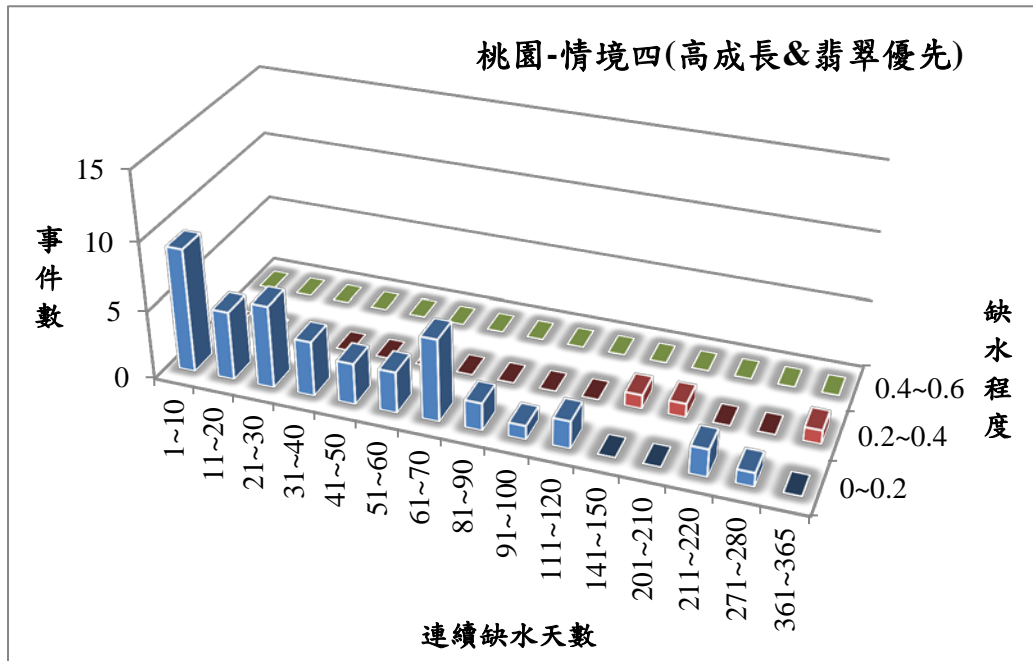


圖 4-20 桃園地區情境四缺水事件分佈圖



第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 本研究以求償序率規劃為理論基礎並結合水資源調配模式發展一水資源決策模式，可在同時考量長短期方案之期望成本下，建議出最佳的方案組合，以供決策之參考。
2. 本研究考量之農業調度方案包括停灌休耕及加強灌溉管理兩種，其皆由缺水事件決定是否啟用，因此皆屬於短期方案，惟農業調度方案一旦啟用，需考量整個生長期之成本，因此其成本與供水量與其他短期方案不同，為因應此種情況，本研究在長短期方案決策模式之目標函數中，將農業調度方案與其他短期方案分開考量。
3. 本研究所建立之水資源調配模式，除了各需水標的之優先順序外，另增加了水源供應優先順序之考量，使所發展之模式整合了標的優先與供水優先兩種不同調配原則，可提高水源調配模式應用之彈性，因應各種不同調配營運方式。
4. 本研究進一步以前述水源調配模式探討板新地區以翡翠優先供應或是翡翠及石門聯合供應等不同營運方式，對整個台北、桃園地區水資源調配之影響，其模擬結果顯示，兩種不同調配營運方式，對台北地區及板新地區供水風險影響不大，惟翡翠優先供應板新地區之營運方式，可大幅降低桃園地區供水風險。
5. 經綜合分析不同經濟成長之用水需求，即台北及桃園地區高或中成長，與對板新不同供水方式，即板新地區是由翡翠優先供應或翡翠與石門聯合供應，之各種情境組合下所得結果。就台北地區而言，最佳組合方案中，長期方案皆為「台北基隆雙向聯通管路

工程及雙溪水庫」及「自來水管線汰換」，短期方案皆為「第一階段限水」、「第二階段限水」及「台北盆地備用地下水井」，不同情境下之差異僅為短期方案之啟用次數。

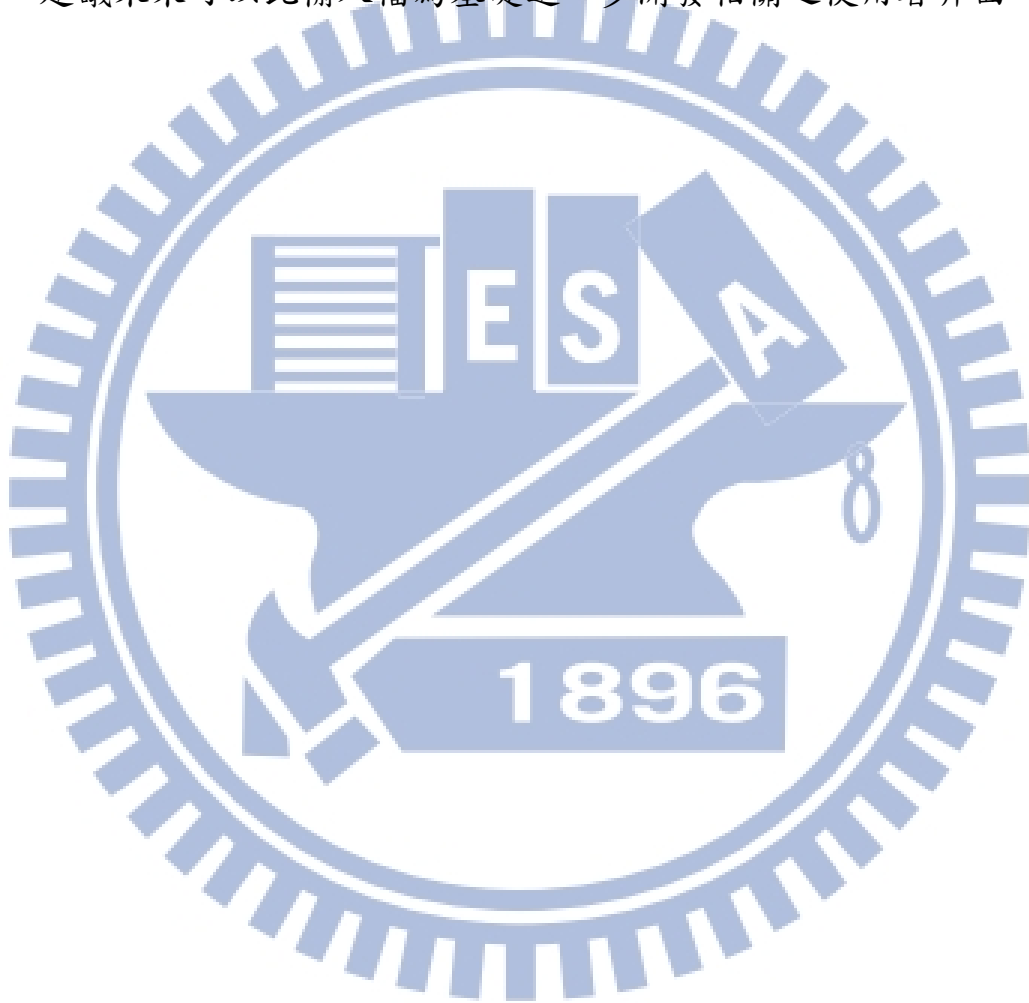
6. 經綜合分析不同經濟成長之用水需求，即台北及桃園地區高或中成長，與對板新不同供水方式，即板新地區是由翡翠優先供應或翡翠與石門聯合供應，之各種情境組合下所得結果。就桃園地區而言，若可選擇的短期方案中若不包含農業調度方案，則在中成長下不同情境之最佳方案組合中，長期方案皆為「高台水庫」，短期方案皆為「第一階段限水」；高成長下且為翡翠水庫優先供應板新之情境，其最佳方案組合中，長期方案亦為「高台水庫」，短期方案則除「第一階段限水」外，增加了「第二階段限水」；高成長下且為翡翠與石門聯合供應板新之情境，則因石門水庫需供應板新地區用水，使得桃園地區用水缺口增加，若不考慮桃園地區農業調度方案，則將無法滿足桃園地區用水缺口。
7. 就桃園地區而言，若可選擇的短期方案中納入含農業調度方案，則在中成長下不同情境之最佳方案組合中，短期方案皆為「第一階段限水」、「第二階段限水」及「加強灌溉管理」；高成長下不同情境之最佳方案組合中，短期方案除「第一階段限水」、「第二階段限水」及「加強灌溉管理」外，增加了「停灌休耕」。
8. SPRDM 之結果顯示，缺水事件之缺水程度對於方案之選擇有較大影響，而連續缺水天數多寡之影響較少。

5.2 建議

1. 本研究以等定率模式針對不同情境進行決策分析，各情境各自獨立模擬期結果，建議後續可以本模式為基礎，在未來採用穩健序

率優選模式，將結合多種情境進行綜合決策分析。

2. 本研究所建立之水資源調配模式，為當下時刻之優選，並非跨時刻之優選，修改彈性較大，建議後續可以本模式為基礎，在各時刻增加不同的規則，可使模式應用在更多情況。
3. 本研究為 SPRDM 決策模式所建立之輸入檔僅為文字檔之形式，建議未來可以此輸入檔為基礎進一步開發相關之使用者介面。



第六章 參考文獻

1. Ahmed JA, and Sarma AK, “Genetic algorithm for optimal operating policy of a multipurpose reservoir.” *Water Resources Management*, Vol.19, No.2, pp.145-161, 2005.
2. Abbas Seifi, and Keith W. Hipel, “Interior-Point Method for Reservoir Operation with Stochastic Inflows”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.127, No.1, pp.48-57, 2001.
3. Bhaskar NR, and Whitlatch EE Jr, “Derivation of monthly reservoir release policies.” *Water Resources Research*, Vol.16, No.6, pp.987-993, 1980.
4. Crawley, P., and G.C. Dandy, “Optimal Operation of Multiple-Reservoir System”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 119, No. 1, pp.1-7, 1993.
5. Chen L, and Chang FJ, “Applying a real-coded multi-population genetic algorithm to multireservoir operation.” *Hydrological Process*, Vol.21, No.5, pp.688-698, 2007.
6. Dagli, C.H., and J.F. Miles, “Determining Operation Policies for a Water Resource System”, *Journal of Hydrology*, Vol.47, No.34, pp.297-306, 1980.
7. David E. Rosenberg, and Jay R. Lund, “Modeling Integrated Decisions for a Municipal Water System with Recourse and Uncertainties: Amman, Jordan” *Water Resources Management*, Vol.23, No.1, pp.85-115, 2009.
8. Fridericks, J. W., Labadie, J. W., and Altenhofen, J. M., “Decision

- support system for conjunctive stream-aquifer management” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.124, No.2, pp.69-78, 1998.
9. Huang G.H. , and Loucks D.P, “An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty.” *Civil Engineering and Environmental Systems*, Vol.17, No.2, pp.95-118, 2000.
 10. Hufschmidt, M.M., and M.B. Fiering, *Simulation Techniques for Design of Water-Resources System*, Harvard University Press Cambridge, Massachusetts, 1966.
 11. Hsu N.S. , and Cheng K.W., “Network flow optimization model for basin-scale water supply planning”, *J. of Water Resources Planning and Management*, Vol. 128, No.2, pp.102-112, 2002.
 12. Hiew, K., Labadie, J., and Scott, J., “Optimal operational analysis of the Colorado-Big Thompson project”, *Computerized Decision Support Systems for Water Managers-ASCE*, 632–646, 1989.
 13. Jay R. Lund, “Derived estimation of willingness to pay to avoid probabilistic shortage” *Water Resources Research*, Vol.31, No.5, pp. 1367-1372, 1995.
 14. Ko, S.-K., Fontane, D., and Labadie, J. “Multiobjective optimization of reservoir systems operations.” *Water Resources Bulletin*, Vol.28, No.1, pp.111-127, 1992.
 15. Labadie, and J.W., “Optimal operation of multireservoir systems: State-of-the-art review.” *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, Vol.130, No.2, pp.93-111, 2004.
 16. Loucks, D.P., and P.J. Dorfman, “An Evaluation of Some Linear

Decision Rules in Chance-Constrained Models for Reservoir Planning Operation”, *Water Resources Research*, Vol.11, No.6, pp.777-782, 1975.

17. Loucks, D., and Dorfman, P. “An evaluation of some linear decision rules in chance-constrained models for reservoir planning and operation.” *Water Resources Research*, Vol.11, No.6, pp.777-782, 1975.
18. Li YP, Huang GH, , and Nie SL, “An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty.” *Advances in Water Resources*, Vol.29, No.5, pp.776-789, 2006.
19. Marion W. Jenkins, and Jay R. Lund, “Integrating Yield and Shortage Management under Multiple Uncertainties”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.126, No.5, pp. 288-297, 2000.
20. Oliveira Rodrigo , and Daniel P. Loucks , “Operating rules for multireservoir systems”, *Water Resources Research*, Vol.33, No.4, pp. 839-852, 1997.
21. Philbrick CR Jr, and Kitanidis PK, “Limitations of deterministic optimization applied to reservoir operations.” *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, Vol.125, No.3, pp.135-142, 1999.
22. Sharif M, and Wardlaw R, “Multireservoir systems optimization using genetic algorithms: case study”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol.14, No.4, pp.255-263, 2000.
23. Simonovic, S., and Marino, M. “Reliability programming in

- reservoir management 3: Systems of multi-purpose reservoirs”,
Water Resources Research, Vol.18, No.4, pp.735-743, 1982.
24. Vasiliadis, H., and Karamouz, M. “Demand-driven operation of reservoirs using uncertainty-based optimal operating policies.”
Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE,
Vol.120, No.1, pp.101-114, 1994.
 25. Yang CC, Chang LC, Chen CS, and Yeh MS, “Multi-Objective
Planning for Conjunctive Use of Surface and Subsurface Water
Using Genetic Algorithm and Dynamics Programming.” Water
Resources Management, Vol.23, No.3, pp.417-437, 2009.
 26. Yongdae Lee, Sheung-Kown Kim, and Ick Hwan Ko, “Multistage
stochastic linear programming model for daily coordinated
multi-reservoir operation” Journal of Hydroinformatics, Vol.10, No.1,
pp. 23-41, 2008
 27. 吳阜峻，「通用型水資源調配模式之發展與應用-枯水期石門水庫
缺水風險分析」，國立交通大學土木工程學系，碩士論文，2009。
 28. 張斐章、易任，「序率線性規劃模式研擬水庫之最佳運轉策略」，
第五屆水利工程研討會論文集，第 28-39 頁，1990
 29. 牛敏威，「氣候變遷對台中地區缺水風險之影響評估」，國立交
通大學土木工程學系，碩士論文，2009。
 30. 李志鵬，「新型態多水庫聯合最佳操作規線之探討」，國立交通
大學土木工程學系，碩士論文，2003。
 31. 鄭韻如，「多水庫聯合營運模式之建立與應用」，國立交通大學
土木工程學系，碩士論文，2002。

32. 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學研究所，碩士論文，2003。
33. 何智超，「氣候變遷下水資源長期調配與高濁度短期操作風險分析」，國立交通大學土木工程學系，博士論文，2010。
34. 顏榮祥、周乃昉、陳家榮，「南部區域水資源管理調配策略之模擬分析」，台灣水利，第四十七卷，第一期，第 81-91 頁，1999。
35. 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」，國立中央大學土木工程研究所博士論文，2001。
36. 郭蒼霖，「遺傳演算法於多水庫最佳操作規線優選之應用」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，1999。
37. 經濟部水利處水利規劃試驗所，「整合性水資源經理方案決策模式研究」，2002。
38. 台灣省政府水利處，「南部區域公共給水水源調配檢討」，1999。
39. 台灣省政府水利處，「南化水庫加高計劃-水源運用研究」，1998。
40. 呂易燦，「HEC-5 程式在多水庫聯合運轉之應用研究」，中興工程顧問社專案研究報告，1997。

附錄 各情境各地區方案選擇列表

台北地區情境一(中成長聯合營運)

缺水事件				長期方案		短期方案		
編號	連續缺水 天數	缺水率	發生機 率	聯通管路	自來水管 汰換	第一階段 限水	第二階段 限水	備用水井
1	1	0~0.2	0.00009	V	V	V	-	-
2	3	0~0.2	0.00055	V	V	V	-	-
3	7	0~0.2	0.00046	V	V	V	-	-
4	18	0~0.2	0.00064	V	V	V	-	-
5	20	0~0.2	0.00137	V	V	V	-	-
6	21	0~0.2	0.00329	V	V	V	-	-
7	24	0~0.2	0.00183	V	V	V	-	-
8	27	0~0.2	0.00192	V	V	V	-	-
9	28	0~0.2	0.00219	V	V	V	-	-
10	31	0~0.2	0.00283	V	V	V	-	-
11	37	0~0.2	0.00338	V	V	V	-	-
12	52	0~0.2	0.00466	V	V	V	-	-
13	57	0.2~0.4	0.00521	V	V	V	V	V
14	64	0~0.2	0.00584	V	V	V	-	-
15	167	0~0.2	0.01525	V	V	V	-	-

台北地區情境二(中成長翡翠優先)

缺水事件				長期方案		短期方案		
編號	連續缺水 天數	缺水率	發生機率	聯通管路	自來水管汰換	第一階 段限水	第二階 段限水	備用水 井
1	1	0~0.2	0.0004	V	V	V	-	-
2	3	0~0.2	0.0005	V	V	V	-	-
3	7	0~0.2	0.0013	V	V	V	-	-
4	18	0~0.2	0.0016	V	V	V	-	-
5	20	0~0.2	0.0018	V	V	V	-	-
6	21	0~0.2	0.0019	V	V	V	-	-
7	24	0~0.2	0.0022	V	V	V	-	-
8	27	0~0.2	0.0025	V	V	V	-	-
9	28	0~0.2	0.0026	V	V	V	-	-
10	31	0~0.2	0.0028	V	V	V	-	-
11	37	0~0.2	0.0034	V	V	V	-	-
12	52	0~0.2	0.0047	V	V	V	-	-
13	57	0.2~0.4	0.0052	V	V	V	V	V
14	64	0~0.2	0.0058	V	V	V	-	-
15	167	0~0.2	0.0153	V	V	V	-	-

台北地區情境三(高成長聯合營運)

缺水事件				長期方案		短期方案		
編號	連續缺水 天數	缺水率	發生機 率	聯通管路	自來水管 汰換	第一階段 限水	第二階段 限水	備用水井
1	1	0~0.2	0.0002	V	V	V	-	-
2	3	0~0.2	0.0005	V	V	V	-	-
3	5	0~0.2	0.0005	V	V	V	-	-
4	7	0~0.2	0.0013	V	V	V	-	-
5	20	0~0.2	0.0018	V	V	V	-	-
6	21	0~0.2	0.0019	V	V	V	-	-
7	24	0~0.2	0.0044	V	V	V	-	-
8	25	0~0.2	0.0023	V	V	V	-	-
9	27	0~0.2	0.0025	V	V	V	-	-
10	31	0~0.2	0.0028	V	V	V	-	-
11	37	0~0.2	0.0034	V	V	V	-	-
12	57	0.2~0.4	0.0052	V	V	V	V	-
13	58	0~0.2	0.0053	V	V	V	-	-
14	64	0~0.2	0.0058	V	V	V	-	-
15	167	0.2~0.4	0.0153	V	V	V	V	-

台北地區情境四(高成長翡翠優先)

缺水事件				長期方案		短期方案		
編號	連續缺水 天數	缺水率	發生機 率	聯通管路	自來水管 汰換	第一階段 限水	第二階段 限水	備用水井
1	1	0~0.2	0.0005	V	V	V	-	-
2	2	0~0.2	0.0002	V	V	V	-	-
3	3	0~0.2	0.0005	V	V	V	-	-
4	7	0~0.2	0.0013	V	V	V	-	-
5	8	0~0.2	0.0007	V	V	V	-	-
6	12	0~0.2	0.0011	V	V	V	-	-
7	14	0~0.2	0.0013	V	V	V	-	-
8	15	0~0.2	0.0014	V	V	V	-	-
9	20	0~0.2	0.0018	V	V	V	-	-
10	21	0~0.2	0.0019	V	V	V	-	-
11	24	0~0.2	0.0044	V	V	V	-	-
12	27	0~0.2	0.0025	V	V	V	-	-
13	28	0~0.2	0.0026	V	V	V	-	-
14	31	0~0.2	0.0028	V	V	V	-	-
15	37	0~0.2	0.0034	V	V	V	-	-
16	57	0.2~0.4	0.0053	V	V	V	V	V
17	58	0~0.2	0.0052	V	V	V	-	-
18	64	0~0.2	0.0058	V	V	V	-	-
19	167	0.2~0.4	0.0153	V	V	V	V	V

桃園地區情境一(中成長聯合營運&無農業) (1/2)

缺水事件				長期方案	短期方案	
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	高台水庫	第一階段限水	第二階段限水
1	1	0~0.2	0.0005	V	-	-
2	2	0~0.2	0.0002	V	-	-
3	3	0~0.2	0.0008	V	-	-
4	4	0~0.2	0.0015	V	-	-
5	5	0~0.2	0.0023	V	-	-
6	6	0~0.2	0.0016	V	-	-
7	7	0~0.2	0.0013	V	-	-
8	8	0~0.2	0.0022	V	-	-
9	10	0~0.2	0.0037	V	-	-
10	11	0~0.2	0.0020	V	-	-
11	12	0~0.2	0.0022	V	-	-
12	13	0~0.2	0.0012	V	-	-
13	14	0~0.2	0.0013	V	-	-
14	15	0~0.2	0.0027	V	-	-
15	16	0~0.2	0.0029	V	-	-
16	19	0~0.2	0.0017	V	-	-
17	21	0~0.2	0.0038	V	-	-
18	27	0~0.2	0.0025	V	-	-
19	30	0~0.2	0.0027	V	-	-
20	31	0~0.2	0.0028	V	-	-

桃園地區情境一(中成長聯合營運&無農業) (2/2)

缺水事件				長期方案	短期方案	
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	高台水庫	第一階段限水	第二階段限水
21	32	0~0.2	0.0029	V	-	-
22	33	0~0.2	0.0030	V	-	-
23	34	0~0.2	0.0031	V	-	-
24	35	0~0.2	0.0032	V	-	-
25	36	0~0.2	0.0066	V	-	-
26	37	0~0.2	0.0034	V	-	-
27	38	0~0.2	0.0035	V	-	-
28	42	0~0.2	0.0038	V	-	-
29	50	0~0.2	0.0137	V	-	-
30	71	0~0.2	0.0065	V	-	-
31	73	0~0.2	0.0067	V	-	-
32	79	0~0.2	0.0072	V	-	-
33	93	0~0.2	0.0085	V	-	-
34	98	0~0.2	0.0089	V	-	-
35	120	0~0.2	0.0110	V	-	-
36	121	0.2~0.4	0.0111	V	V	-
37	191	0~0.2	0.0174	V	-	-
38	196	0~0.2	0.0179	V	-	-
39	208	0~0.2	0.0190	V	-	-
40	365	0.2~0.4	0.0527	V	V	-

桃園地區情境一(中成長聯合營運&有農業) (1/2)

缺水事件				短期方案			
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	第一階段限水	第二階段限水	加強灌溉	停灌休耕
1	1	0~0.2	0.0005	V	V	-	-
2	2	0~0.2	0.0002	V	V	-	-
3	3	0~0.2	0.0008	V	V	-	-
4	4	0~0.2	0.0015	V	V	-	-
5	5	0~0.2	0.0023	V	V	-	-
6	6	0~0.2	0.0016	V	V	-	-
7	7	0~0.2	0.0013	V	V	-	-
8	8	0~0.2	0.0022	V	V	-	-
9	10	0~0.2	0.0037	V	V	-	-
10	11	0~0.2	0.0020	V	V	-	-
11	12	0~0.2	0.0022	V	V	-	-
12	13	0~0.2	0.0012	V	V	-	-
13	14	0~0.2	0.0013	V	V	-	-
14	15	0~0.2	0.0027	V	V	-	-
15	16	0~0.2	0.0029	V	V	-	-
16	19	0~0.2	0.0017	V	V	-	-
17	21	0~0.2	0.0038	V	V	-	-
18	27	0~0.2	0.0025	V	V	-	-
19	30	0~0.2	0.0027	V	V	-	-
20	31	0~0.2	0.0028	V	V	-	-

桃園地區情境一(中成長聯合營運&有農業) (2/2)

缺水事件				短期方案			
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	第一階段限水	第二階段限水	加強灌溉	停灌休耕
21	32	0~0.2	0.0029	V	V	-	-
22	33	0~0.2	0.0030	V	V	-	-
23	34	0~0.2	0.0031	V	V	-	-
24	35	0~0.2	0.0032	V	V	-	-
25	36	0~0.2	0.0066	V	V	-	-
26	37	0~0.2	0.0034	V	V	-	-
27	38	0~0.2	0.0035	V	V	-	-
28	42	0~0.2	0.0038	V	V	-	-
29	50	0~0.2	0.0137	V	V	-	-
30	71	0~0.2	0.0065	V	V	-	-
31	73	0~0.2	0.0067	V	V	-	-
32	79	0~0.2	0.0072	V	V	-	-
33	93	0~0.2	0.0085	V	V	-	-
34	98	0~0.2	0.0089	V	V	-	-
35	120	0~0.2	0.0110	V	V	-	-
36	121	0.2~0.4	0.0111	V	-	V	-
37	191	0~0.2	0.0174	V	V	-	-
38	196	0~0.2	0.0179	V	V	-	-
39	208	0~0.2	0.0190	V	V	-	-
40	365	0.2~0.4	0.0527	V	V	-	-

桃園地區情境二(中成長翡翠優先&無農業) (1/2)

缺水試驗				長期方案	短期方案	
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	高台水庫	第一階段限水	第二階段限水
1	2	0~0.2	0.0004	V	-	-
2	3	0~0.2	0.0008	V	-	-
3	4	0~0.2	0.0007	V	-	-
4	5	0~0.2	0.0005	V	-	-
5	7	0~0.2	0.0006	V	-	-
6	8	0~0.2	0.0007	V	-	-
7	9	0~0.2	0.0008	V	-	-
8	10	0~0.2	0.0018	V	-	-
9	11	0~0.2	0.0030	V	-	-
10	12	0~0.2	0.0011	V	-	-
11	15	0~0.2	0.0014	V	-	-
12	16	0~0.2	0.0015	V	-	-
13	17	0~0.2	0.0016	V	-	-
14	18	0~0.2	0.0016	V	-	-
15	19	0~0.2	0.0035	V	-	-
16	20	0~0.2	0.0037	V	-	-

桃園地區情境二(中成長翡翠優先&無農業) (2/2)

缺水試驗				長期方案	短期方案	
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	高台水庫	第一階段限水	第二階段限水
17	21	0~0.2	0.0019	V	-	-
18	25	0~0.2	0.0023	V	-	-
19	26	0~0.2	0.0024	V	-	-
20	29	0~0.2	0.0026	V	-	-
21	30	0~0.2	0.0027	V	-	-
22	31	0~0.2	0.0057	V	-	-
23	34	0~0.2	0.0031	V	-	-
24	36	0~0.2	0.0033	V	-	-
25	40	0~0.2	0.0037	V	-	-
26	47	0~0.2	0.0043	V	-	-
27	92	0~0.2	0.0168	V	-	-
28	98	0~0.2	0.0089	V	-	-
29	181	0~0.2	0.0110	V	-	-
30	182	0~0.2	0.0165	V	-	-
31	120	0.2~0.4	0.0166	V	V	-
32	204	0~0.2	0.0186	V	-	-
33	365	0.2~0.4	0.0527	V	V	-

桃園地區情境二(中成長翡翠優先&有農業) (1/2)

缺水事件				短期方案			
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	第一階段限水	第二階段限水	加強灌溉	停灌休耕
1	2	0~0.2	0.0004	V	-	-	-
2	3	0~0.2	0.0008	V	V	-	-
3	4	0~0.2	0.0007	V	V	-	-
4	5	0~0.2	0.0005	V	V	-	-
5	7	0~0.2	0.0006	V	V	-	-
6	8	0~0.2	0.0007	V	V	-	-
7	9	0~0.2	0.0008	V	V	-	-
8	10	0~0.2	0.0018	V	V	-	-
9	11	0~0.2	0.0030	V	V	-	-
10	12	0~0.2	0.0011	V	V	-	-
11	15	0~0.2	0.0014	V	V	-	-
12	16	0~0.2	0.0015	V	V	-	-
13	17	0~0.2	0.0016	V	V	-	-
14	18	0~0.2	0.0016	V	V	-	-
15	19	0~0.2	0.0035	V	V	-	-
16	20	0~0.2	0.0037	V	V	-	-

桃園地區情境二(中成長翡翠優先&有農業) (2/2)

缺水事件				短期方案			
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	第一階段限水	第二階段限水	加強灌溉	停灌休耕
17	21	0~0.2	0.0019	V	V	-	-
18	25	0~0.2	0.0023	V	V	-	-
19	26	0~0.2	0.0024	V	V	-	-
20	29	0~0.2	0.0026	V	V	-	-
21	30	0~0.2	0.0027	V	V	-	-
22	31	0~0.2	0.0057	V	V	-	-
23	34	0~0.2	0.0031	V	V	-	-
24	36	0~0.2	0.0033	V	V	-	-
25	40	0~0.2	0.0037	V	V	-	-
26	47	0~0.2	0.0043	V	V	-	-
27	92	0~0.2	0.0168	V	V	-	-
28	98	0~0.2	0.0089	V	V	-	-
29	181	0~0.2	0.0110	V	V	-	-
30	182	0~0.2	0.0165	V	V	-	-
31	120	0.2~0.4	0.0166	V	-	V	-
32	204	0~0.2	0.0186	V	V	-	-
33	365	0.2~0.4	0.0527	V	V	V	-

桃園地區情境三(高成長聯合營運&有農業) (1/2)

缺水事件				短期方案			
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	第一階段限水	第二階段限水	加強灌溉	停灌休耕
1	1	0~0.2	0.0004	V	V	-	-
2	2	0~0.2	0.0011	V	V	-	-
3	3	0~0.2	0.0011	V	V	-	-
4	4	0~0.2	0.0015	V	V	-	-
5	5	0~0.2	0.0032	V	V	-	-
6	6	0~0.2	0.0011	V	V	-	-
7	7	0~0.2	0.0038	V	V	-	-
8	8	0~0.2	0.0007	V	V	-	-
9	9	0~0.2	0.0008	V	V	-	-
10	10	0~0.2	0.0037	V	V	-	-
11	11	0~0.2	0.0020	V	V	-	-
12	13	0~0.2	0.0012	V	V	-	-
13	14	0~0.2	0.0026	V	V	-	-
14	15	0~0.2	0.0014	V	V	-	-
15	16	0~0.2	0.0015	V	V	-	-
16	20	0~0.2	0.0055	V	V	-	-
17	21	0~0.2	0.0038	V	V	-	-
18	22	0~0.2	0.0040	V	V	-	-
19	23	0~0.2	0.0021	V	V	-	-
20	26	0~0.2	0.0024	V	V	-	-
21	29	0~0.2	0.0026	V	V	-	-
22	30	0~0.2	0.0027	V	V	-	-
23	33	0~0.2	0.0030	V	V	-	-

桃園地區情境三(高成長聯合營運&有農業) (2/2)

缺水事件				短期方案			
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	第一階段限水	第二階段限水	加強灌溉	停灌休耕
24	35	0~0.2	0.0032	V	V	-	-
25	40	0~0.2	0.0037	V	V	-	-
26	44	0~0.2	0.0040	V	V	-	-
27	47	0~0.2	0.0043	V	V	-	-
28	49	0~0.2	0.0045	V	V	-	-
29	51	0~0.2	0.0047	V	V	-	-
30	52	0~0.2	0.0047	V	V	-	-
31	53	0~0.2	0.0048	V	V	-	-
32	57	0~0.2	0.0104	V	V	-	-
33	59	0~0.2	0.0054	V	V	-	-
34	60	0~0.2	0.0110	V	V	-	-
35	63	0~0.2	0.0058	V	V	-	-
36	65	0~0.2	0.0059	V	V	-	-
37	71	0~0.2	0.0065	V	V	-	-
38	75	0~0.2	0.0068	V	V	-	-
39	80	0~0.2	0.0073	V	V	-	-
40	82	0~0.2	0.0075	V	V	-	-
41	83	0~0.2	0.0076	V	V	-	-
42	86	0~0.2	0.0079	V	V	-	-
43	87	0~0.2	0.0079	V	V	-	-
44	99	0~0.2	0.0090	V	V	-	-
45	112	0~0.2	0.0205	V	V	-	-
46	150	0.4~0.6	0.0137	V	-	-	V
47	218	0~0.2	0.0192	V	V	-	-
48	210	0.2~0.4	0.0199	V	V	V	-
49	258	0.2~0.4	0.0236	V	V	V	-
50	293	0.2~0.4	0.0268	V	V	V	-
51	365	0.2~0.4	0.0607	V	-	-	V

桃園地區情境四(高成長翡翠優先&無農業) (1/2)

缺水事件				長期方案	短期方案	
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	高台水庫	第一階段限水	第二階段限水
1	1	0	0.0005	V	-	-
2	2	0	0.0009	V	-	-
3	3	0	0.0008	V	-	-
4	4	0	0.0015	V	-	-
5	5	0	0.0014	V	-	-
6	6	0	0.0027	V	-	-
7	8	0	0.0022	V	-	-
8	9	0	0.0033	V	-	-
9	10	0	0.0018	V	-	-
10	11	0	0.0020	V	-	-
11	12	0	0.0011	V	-	-
12	13	0	0.0024	V	-	-
13	15	0	0.0041	V	-	-
14	19	0	0.0017	V	-	-
15	21	0	0.0038	V	-	-
16	24	0	0.0044	V	-	-
17	26	0	0.0024	V	-	-
18	27	0	0.0025	V	-	-
19	29	0	0.0026	V	-	-
20	30	0	0.0027	V	-	-
21	34	0	0.0062	V	-	-
22	36	0	0.0033	V	-	-
23	38	0	0.0035	V	-	-

桃園地區情境四(高成長翡翠優先&無農業) (2/2)

缺水事件				長期方案	短期方案	
編號	連續缺水天數	缺水率	發生機率	高台水庫	第一階段限水	第二階段限水
24	40	0	0.0037	V	-	-
25	43	0	0.0039	V	-	-
26	45	0	0.0041	V	-	-
27	48	0	0.0044	V	-	-
28	51	0	0.0093	V	-	-
29	56	0	0.0051	V	-	-
30	58	0	0.0053	V	-	-
31	62	0	0.0057	V	-	-
32	63	0	0.0058	V	-	-
33	65	0	0.0059	V	-	-
34	67	0	0.0061	V	-	-
35	68	0	0.0062	V	-	-
36	69	0	0.0063	V	-	-
37	83	0	0.0076	V	-	-
38	84	0	0.0077	V	-	-
39	98	0	0.0089	V	-	-
40	111	0	0.0101	V	-	-
41	112	0	0.0102	V	-	-
42	150	0~0.2	0.0137	V	V	V
43	203	0~0.2	0.0185	V	V	V
44	213	0	0.0195	V	-	-
45	218	0	0.0199	V	-	-
46	273	0	0.0249	V	-	-
47	365	0~0.2	0.0608	V	V	V