


國立交通大學

土木工程研究所

碩士論文

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



Development and Application of a General Water
Supply Model-
The Risk Analysis of Water Shortage for Shihmen
Reservoir in Drought Season

研究生：吳阜峻
指導教授：張良正博士

中華民國一百年一月

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

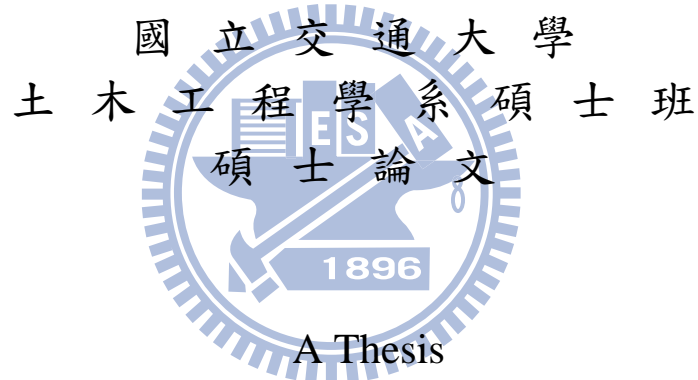
Development and Application of a General Water Supply Model-
The Risk Analysis of Water Shortage for Shihmen Reservoir in
Drought Season

研 究 生：吳阜峻

Student : Fu J. Wu

指 導 教 授：張良正

Advisor : Liang C. Chang



A Thesis
Submitted to Institute of Civil Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Civil Engineering
January 2011
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 一 百 年 一 月

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

學生：吳阜峻

指導教授：張良正

國立交通大學土木工程研究所

摘要

近年來因為經濟的快速發展、社會結構的轉變以及人口的增加導致了民生用水和工業用水與年遽增，石門水庫的運用相當頻繁，使得石門水庫供水區的缺水風險尤其是乾旱時期大為增加。為避免極端缺水發生，乾旱時期除原有水庫規線操作外，當未來水文情勢不佳時，農業灌區休耕移用已成了常態的乾旱應變機制。

有鑑於此，本研究以線性規劃為基礎發展一通用化供水調配模式，可同時考量規線操作與乾旱應變規則，以作為石門水庫供水調配分析之基礎。本研究發展的供水調配模式屬於模擬優選法，較網流法及整數型規劃更有彈性，不受網流特殊架構或參數型態之限制，且納入農業用水移用規則，更能反映石門水庫實際操作之特性。為探討乾旱應變機制之缺水風險，本研究以蒙地卡羅分析為理論基礎，配合供水調配模式進行模擬分析，分析結果可作為石門水庫灌區農業供水策略調整之參考。

本研究經過簡例及石門水庫案例之驗證後，證實本研究發展之調配模式可以確實的考量水庫操作規線以及乾旱應變規則，而根據石門水庫枯水期的風險分析顯示，乾旱應變規則可有效的改善枯水期之公共缺水率，而由於乾旱應變規則之設定為農業的休耕與用水移用，導致了農業缺水率皆呈現提高的狀況。

Development and Application of a General Water Supply Model– The Risk Analysis of Water Shortage for Shihmen Reservoir in Drought Season

Student : Fu -Jiun Wu

Advisor : Dr. Liang-Cheng Chang

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

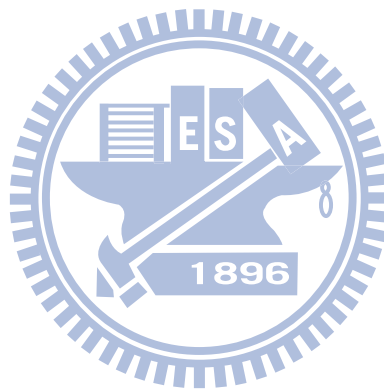
Abstract

Owing to the economic growth and population increase in the Taoyuan area, both domestic and industrial water use have increased rapidly. Increasing water demand raises the water supply loading of Shihmen reservoir and intensifies water shortage risk, especially during drought periods. In practice, to overcome such serious hydrological conditions, irrigated water is transferred for public use in the Taoyuan area. Hence, this study proposes developing a universal water supply model based on linear programming. This study applied the proposed model to assess the supply risk of water shortage during drought seasons in the Taoyuan area.

First, the proposed model was designed considering the rule curve operation and agriculture water transfer in the study area and is more flexible than models based on network flow programming (NFP) or the mixed integer linear programming (MILP) because of the requirements of the cyclic flow network and integer variables for two programming. Second, a Monte Carlo analysis is integrated with the proposed water supply model to investigate the water shortage risk during drought seasons. The analysis results can be valuable quantitative references for decisions concerning the re-allocation of water

supply between agricultural and public use.

The simple example and field case study demonstrate the feasibility and capability of the proposed model. The risk analysis result indicates that the operation rule of drought seasons is useful in decreasing the supply risk of public water, but increases the supply risk of agricultural water.



謝誌

感謝吾師張良正教授對於本論文之指導及研究生涯中對學生工作態度及學問研究之啟發，使學生受益匪淺。另承蒙口試委員徐年盛教授、蕭金財副教授、楊朝仲助理教授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，使得本文更趨於完備，在此謹致衷心謝意。

再來就是感謝博士班的何智超學長、陳宇文學長及蔡瑞彬學長對於程式語言方面以及水資源調配概念所給予的指導，另外必須感謝徐年盛教授的學生，鄭文明學長，感謝您特別教導我 Fortran 呼叫 Lingo 的方法，同時也感謝研究室的學長及學弟妹們，讓我在研究所的這幾年中，不單只是做研究，也充滿了各種的歡笑。最後感謝家人對於我的支持與關懷，讓我可以沒有感受到太大的壓力的情況下取得碩士學位。



目錄

摘要	I
Abstract	II
謝誌	IV
目錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
符號說明	X
第一章 序論	1
1.1 研究緣起與目的	1
1.2 研究流程	1
第二章 文獻回顧	3
第三章 研究方法	7
3.1 線性規劃介紹	7
3.2 水文資料合成	8
3.2.1 雨量資料合成	8
3.2.2 流量資料模擬	11
3.3 蒙地卡羅分析	17
第四章 通用型水資源調配模式之發展	19
4.1 水庫操作規線之考量	19
4.2 指標平衡與對等水庫	22
4.2.1 指標平衡	22
4.2.2 對等水庫	24
4.2.3 簡例說明	26
4.3 線性規劃模式之建立	28
4.3.1 數學模式之建立	29
4.3.2 程式設計概念	34
4.3.3 使用說明	37
4.3.4 水資源調配模式簡例驗證	41
第五章 石門水庫缺水風險分析	43
5.1 研究區域概述	43
5.2 石門水庫乾旱應變規則	50
5.3 水文資料之合成與驗證	52
5.3.1 雨量驗證	52
5.3.2 流量驗證	54
5.4 石門水庫水資源調配模擬	60
5.5 缺水風險分析	67

第六章 結論與建議.....	75
6.1 結論.....	75
6.2 建議.....	76
第七章 參考文獻.....	77
附錄 A 水資源調配模式使用說明.....	80



表目錄

表 3-1 AM1 與 AM2 值.....	16
表 3-2 各緯度每月日照時數.....	16
表 4-1 以圖 4-7 為例之節點-線段連接關係二維陣列表示法.....	36
表 4-2 增加之淨水廠限制陣列.....	36
表 5-1 大漢溪流域之淨水場說明.....	49
表 5-2 石門水庫集水區各雨量站之詳細資料.....	52
表 5-3 土壤分類對照表.....	55
表 5-4 不同土壤分類與土地利用情況下之 CN2 建議值.....	56
表 5-5 不同土壤種類之最大土壤水分容量(單位 cm/day).....	57
表 5-6 不同植物之覆蓋係數.....	57
表 5-7 GWLF 模式參數合理範圍.....	58
表 5-8 GWLF 模式參數檢定結果.....	58
表 5-9 大漢溪流域控制點集水面積.....	62
表 5-10 各河系之生態基流保留量.....	62
表 5-11 桃園地區各灌區之農業需水用量 (單位：cms/d).....	65
表 5-12 枯水期不同風險下之缺水率變化.....	73

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖.....	2
圖 3-1 雨量合成流程圖.....	10
圖 3-2 GWLF 模式水平衡關係示意圖.....	11
圖 3-3 本研究應用蒙地卡羅模擬法之流程圖.....	18
圖 4-1 簡單水庫供水系統.....	21
圖 4-2 轉換後之供水系統圖.....	22
圖 4-3 水庫操作分層示意圖.....	23
圖 4-4 對等水庫示意圖.....	26
圖 4-5 簡單雙水庫聯合營運.....	27
圖 4-6 水資源調配模式資料流程圖.....	29
圖 4-7 水資源網流系統圖.....	35
圖 4-8 系統描述之輸入檔.....	38
圖 4-9 水庫蓄容量與需水量資料之輸入檔.....	39
圖 4-10 入流量資料之輸入檔.....	39
圖 4-11 乾早應變規則之輸入檔.....	40
圖 4-14 水庫指標變化.....	42
圖 4-15 缺水率變化.....	42
圖 5-1 石門水庫上游集水區示意圖.....	44
圖 5-2 大漢河流域水工結構物地理位置.....	45
圖 5-3 石門水庫供水系統圖.....	46
圖 5-4 石門水庫運用規線圖.....	47
圖 5-5 石門水庫乾早應變規則.....	51
圖 5-6 石門水庫集水區各雨量站徐昇面積權重圖.....	53
圖 5-7 歷史與合成資料各月日平均降雨量比較.....	53
圖 5-8 歷史與合成資料各月日降雨量標準偏差比較.....	54
圖 5-9 石門水庫訓練案例(1973~1998)分析結果.....	59
圖 5-10 石門水庫驗證案例(1999~2004)分析結果.....	59
圖 5-11 石門水庫水資源調配模型.....	60
圖 5-12 板新地區公共給水目標年需求量.....	63
圖 5-13 桃園地區公共給水目標年需求量.....	64
圖 5-14 以歷史流量資料模擬所得之公共缺水率變化.....	66
圖 5-15 以歷史流量資料模擬所得之農業缺水率變化.....	66
圖 5-16 以歷史流量資料模擬所得之水庫蓄水量變化.....	67
圖 5-17 以歷史小流量模擬有無乾早應變規則之 10 年平均公共缺水率 ...	68
圖 5-18 以歷史中流量模擬有無乾早應變規則之 10 年平均公共缺水率 ...	68

圖 5-19 以歷史大流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均公共缺水率 ...	69
圖 5-20 以歷史小流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均農業缺水率 ...	69
圖 5-21 以歷史中流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均農業缺水率 ...	70
圖 5-22 以歷史大流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均農業缺水率 ...	70
圖 5-23 在乾旱應變機制下公共缺水率之改善狀況.....	71
圖 5-24 在乾旱應變機制下農業缺水率之改善狀況農業	72
圖 5-25 在乾旱應變機制下公共平均缺水率之改善效果	72
圖 5-26 在乾旱應變機制下農業平均缺水率之改善效果	73
圖 5-27 枯水期公共用水缺水風險曲線圖.....	74
圖附 A-1 供水系統圖	83
圖附 A-2 調配模型示意圖	83
圖附 A-3 System_Data 輸入檔	85
圖附 A-4 Zones_and_demands_Data 輸入檔	86
圖附 A-5 Inflow_Data 輸入檔.....	87



符號說明

符號	對照說明
$D_{i,j}^t$	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
$St_{k,j}^t$	第 t 時刻第 k 座水庫第 j 分層之蓄容量
$V_{k,j}^t$	第 t 時刻儲蓄至第 k 座水庫節點第 j 分層之流量
PI_m^t	第 t 時刻第 m 雙向管路之流量
$ba_{l,j}^t$	第 t 時刻第 l 水庫第 j 分層之指標平衡差值
$wsh_{i,j}^t$	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
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_q	其餘節點之集合
N_T	淨水廠節點之集合
n	分層數量
S_i^{t+1}	第 t 時刻第 i 水庫之蓄水量
S_i^t	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
$X_{i,j}^t$	第 t 時刻第 i 節點供應至第 j 節點之流量
Λ	流入第 j 節點之集合
Φ	第 j 節點流出之集合
Tre_j^t	第 j 淨水場節點之處理能力上限
$Base_{i,j}^t$	第 t 時刻第 i 節點流入第 j 節點之生態基流量
$St_{i(j),k}^t$	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

第一章 序論

1.1 研究緣起與目的

水資源是人類不可或缺的重要資源，近年來因為經濟的快速發展、社會結構的轉變以及人口的增加，導致了民生用水和工業用水與年遽增，而台灣地區的降雨於時間和空間上的不均，每年五月至十月雨季期間，與十一月至四月旱季期間，同年間降雨量差異性可達三倍之多，豐水年與枯水年之年總降雨量差異可達二倍多，加上地形因素造成的河川短且陡，使得台灣需要建造水庫來進行水資源的儲蓄，但是好的壩址並不多見，有好的地點也並非一定能建造水庫，以上之一切因素皆增加了台灣水資源供應滿足需求的困難度，所以如何在現有的系統狀況下，如何有效的利用，做出適當水資源調配是一件刻不容緩的工作，而為了有效運用與管理水資源，建立一水資源調配模式是相當普遍的方法。

有鑑於此，本研究乃以線性規劃為基礎建構一通用型式之水資源調配模式，並且以石門地區為應用案例以驗證本模式之實用性。此外，由於石門水庫的運用相當頻繁，使得石門水庫供水區的缺水風險尤其是乾旱時期大為增加，為緩和乾旱時期之缺水情形，石門水庫在乾旱時期除原有水庫規線操作外，並會因應未來水文情勢而啟用乾旱應變機制，進行農業灌區之休耕移用。因此，本研究乃進一步以蒙地卡羅分析為理論基礎，配合前述發展之供水調配模式，納入乾旱應變規則之考量進行模擬分析，以探討石門水庫乾旱時期之缺水風險，此分析結果可作為石門水庫灌區農業供水策略調整之參考。

1.2 研究流程

本研究之流程如圖 1-1，第一階段為資料的蒐集，蒐集內容為雨量、逕流量、供水種類、規線...等資料以作為後續研究所需之用。

第二階段可分為水資源調配模式建置與水文合成模式兩部分，在模式建置部份可分成兩個步驟，第一步是將概念模式中包含的水工結構物及其基本操作原則轉換成所需之數學式，第二步究是將此數學式以 Fortran 程式語言搭配 LINGO 軟體的方式發展調配模式，細節將於第四章詳細介紹。而水文合成模式部份，乃是先將歷史資料進行統計分析，再以其為基礎合成出具有相同統計特性的資料以供後續分析使用，細節將於 3.2 節詳細介紹。

第三階段為實際案例之應用，乃將第二階段所完成水資源調配模式應用於石門水庫供水區域，此外搭配蒙地卡羅模擬法將水文合成模式所合成出之多組水文數據，以調配模式重複進行模擬而得到多組成果。第四階段將上一階段所得之多組成果進行統計分析與風險推估。

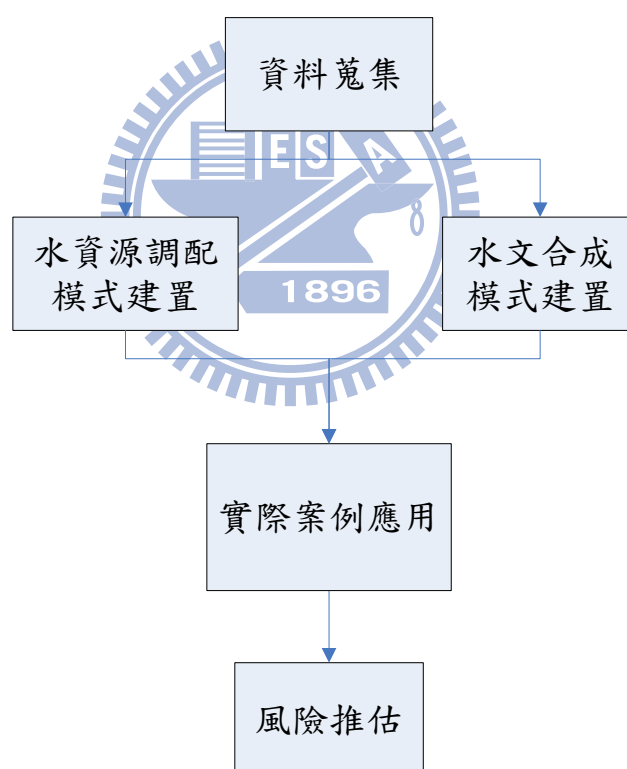


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

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，國內曾有林(1985)與中興工程顧問社(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，如劉佳明(1978)應用蓄水形式及簡化，將線性規劃模式經由不同時段的選取而為單一變數之方程式；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；杜明

彥(1996)利用線性規畫法進行地表水權模擬之研究；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)以線性規畫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(1998)以線性規畫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，以整合線性規畫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「線性規畫」之效率與彈性；Hsu and Cheng(2002)利用線性規畫建立流域性水資源系統運用規畫優選模式；廖培明(2002)探討水庫規畫供水之可靠度評估，以模擬方式找出缺水指數與缺水率間之關係，評量水庫供水之風險；蔡嘉訓(2003)以混合整數行線性規畫建立多水庫系統聯合操作模擬模式；李志鵬(2003)以線性規畫為基礎，開發多水庫聯合營運模式並探討最佳之操作規線；劉建宏（2005）以線性混合整數規畫為基礎建立水庫供水優選模式另外將模式所得之結果以最佳操作軌跡機率法建立水庫操作規線。

此外，在線性規畫問題中有一特殊解法，「網流法」，其優點為較線性規畫節省計算時間與電腦記憶體空間。網流法適合求解區域供水系統之水庫操作問題，傳統之網流法主要以對勁演算法(簡稱OKA)求解，OKA演算法系Ford與Fulkerson(1962)所發展，乃利用主偶法(Primal-dual algorithm)求解具有網路形態之網流規畫問題，此方面研究有周乃昉(1995)以動態網流法模擬高頻地區區域水資源之最佳營運；周乃昉(2004)以網流超限演算法建立一區域水資源調度與供需模式；Mcbride(1985)利用矩陣分割(matrix partition)與網流單行法(Network simplex method)求解具有非網流形式限制條件之網流問題而發展出EMNET，可有效處理非網流形式之限制性與變數，因此在計算效率上有明顯的改善；美國加州的中央河谷計畫(Central Valley Project)與加州水資源計畫(California State Water Project)原來均使用加州水資源廳

所發展之模擬模式進行管理，現在也以原模擬模式配合DWRSIM網流模式進行分析(Chung,1985)；Yeh及Yang(1996)建立多水庫系統之網流模式並利用EMNET進行高屏嘉南地區水資源運用效率分析；魏志強(1997)建立一水資源系統之網流模式並以EMNET與線性規劃法(MINOS)進行分析且加以比較；鄭克偉(1999)建立淡水河中的新店溪流域和大漢溪流域系統之網流模式並利用EMNET進行水資源供需分析；Hsu及Cheng(2002)將水庫操作規線與打折供水規則公式化建立起水資源供水調配模式，唯其並未考量多水庫指標平衡及雙向管路之情況，且並非為通用性之模式。

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，相對於網流法與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，例如石門水庫的乾旱應變規則之考量即是。此外，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。

第三章 研究方法

本研究是以線性規劃為基礎來建置一通用性之水資源調配模式，另外使用雨量合成模式與地表逕流模式合成出多組具有相同特性之水文資料搭配本研究發展之水資源調配模式以蒙地卡羅分析來進行石門水庫的缺水風險分析，以下將個別介紹線性規劃、水文資料合成以及蒙地卡羅分析。

3.1 線性規劃介紹

線性規劃是求得一線性問題最佳解的數學方法，使用線性規劃前，要先確定問題是否符合四項基本假設，其假設分別如下：

- i. 比例性 (Proportionality)：是指每個變數對目標函數值的貢獻與該變數之值成比例。
- ii. 相加性 (Additivity)：是指變數之間互相獨立，因此可相加減。
- iii. 可分性 (Divisibility)：是指決策變數之值可為非整數，亦即可有小數部份，因此考慮的決策變數必須是連續的。
- iv. 確定性 (Certainty)：是指所有的係數均為已知常數。

符合基本假設後，將由文字敘述的問題轉換成數學式，而數學式分為兩部份，一部分為目標函數，另一部分為限制式。從實際問題中建立數學模型一般有以下三個步驟：

- i. 根據影響所要達到目的的因素找到決策變數。
- ii. 由決策變數和所在達到目的之間的函數關係確定目標函數。
- iii. 由決策變數所受的限制條件確定決策變數所要滿足的條件。

以實際的狀況而言，假想我們預備做一項決策，而該決策牽涉到n個變數有待決定。若是有一個目標函數可以表現成如下(3-1式)。

$$z(X_1, X_2, \dots, X_n) = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n \quad (3-1式)$$

其中，

X_n ：第n項決策變數；

c_n ：第n項決策變數之常數係數；

同時這些變數之間的相互約束也可以用m個線性不等式來表示如下（3-2式）。

$$a_{1i} X_1 + a_{2i} X_2 + \cdots + a_{ni} X_n \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3-2式)$$

a_{ni} ：第i個不等式中第n項決策變數之常數係數；

b_i ：第i個不等式中之限制值，為一常數項；

那麼我們就面對著一個線性規劃問題，目標函數如（3-3式），限制式如（3-4式）與（3-5式）

$$\text{Min or Max} \quad z = \sum_i^n c_i X_i \quad (3-3式)$$


$$\begin{aligned} \sum_i^n a_{1i} X_i &\leq b_1 \\ \sum_i^n a_{2i} X_i &\leq b_2 \\ &\vdots \\ \sum_i^n a_{mi} X_i &\leq b_m \end{aligned} \quad (3-4式)$$

$$X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0 \quad (3-5式)$$

換言之，線性規劃的目的在求得一組變量特定值，使其在滿足各個限制條件為前提下得到該目標函數的最大值或最小值。

3.2 水文資料合成

本研究將藉由搜集到之石門地區歷史雨量資料配合水文資料合成模式產生多組雨量及流量之合成資料，以提供之後的石門地區供水風險進行分析評估。而本研究中之水文資料合成模式分成兩個步驟，第一步是雨量資料的合成，第二步是流量資料的模擬，以下將分別介紹這兩個部份。

3.2.1 雨量資料合成

首先，由相關文獻（洪念民，1997）得知台灣地區日雨量資料大都呈現

指數分佈，因此本研究將透過此分佈型態進行雨量資料之合成，而雨量合成除需考量統計分佈外，亦與降雨與否有密切的關係，因此本研究以一階馬可夫鍊分析石門地區之降雨機率，雨量資料合成流程如（圖 3-1）。

馬可夫鏈(Markov Chain)是一種模擬隨機行為的機率模式。由於它可以衡量持續發生、具有前後因果相循的、又屬於隨機性的動態過程，在數學上稱這種描述一連串隨機實驗組成的機率模式為隨機過程。馬可夫鏈的基本概念是利用機率與矩陣如（3-6 式）表示：

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}, \quad \text{where } \sum_j p_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3-6 \text{ 式})$$

矩陣內的元素均為機率值，因此矩陣內每一列元素的加總值必須正好為 1。機率 p_{ij} 的意義表示在這一特定的過程中，由情況 i 移動到情況 j 的機率。由於移動的每一個可能標的即其移動過程都要考慮到，因此所有可能標的機率值之加總必須為 1。這一個矩陣即稱之為轉移矩陣(transition matrix)。

由歷史雨量資料分析得到降雨機率之轉移矩陣後，因機率值之加總必須為 1，可藉由均勻分布於 0 至 1 的隨機變數序列產生雨量合成資料，若隨機變數大於轉移矩陣之降雨機率，該日合成雨量為零；若隨機變數小於轉移矩陣之降雨機率，該日合成雨量則透過指數分佈產生雨量合成資料，其分佈方程式如（3-7 式）表示：

$$P = \mu_p(I) \times [-\ln(1 - RN)] \quad (3-7 \text{ 式})$$

其中， P 為日降雨量， $\mu_p(I)$ 為對應第 I 月份雨天之平均降雨量， RN 為介於 $(0, 1)$ 間的隨機亂數。惟經指數分佈產生之合成雨量資料與歷史雨量資料仍有偏斜現象發生，此偏斜差值並分固定常數，因此本研究根據文獻（牛敏威，2009），利用二階回歸公式進行修正，使其與歷史資料之統計

特性更為接近，其回歸修正通式可表示為（3-8 式）：

$$y(I) = a[x(I)]^2 + b[x(I)] + c \quad (3-8 \text{ 式})$$

其中， $y(I)$ 為對應第 I 月觀測雨量， $x(I)$ 為對應第 I 月指數分佈方程式雨量， a 、 b 與 c 為二階回歸係數。

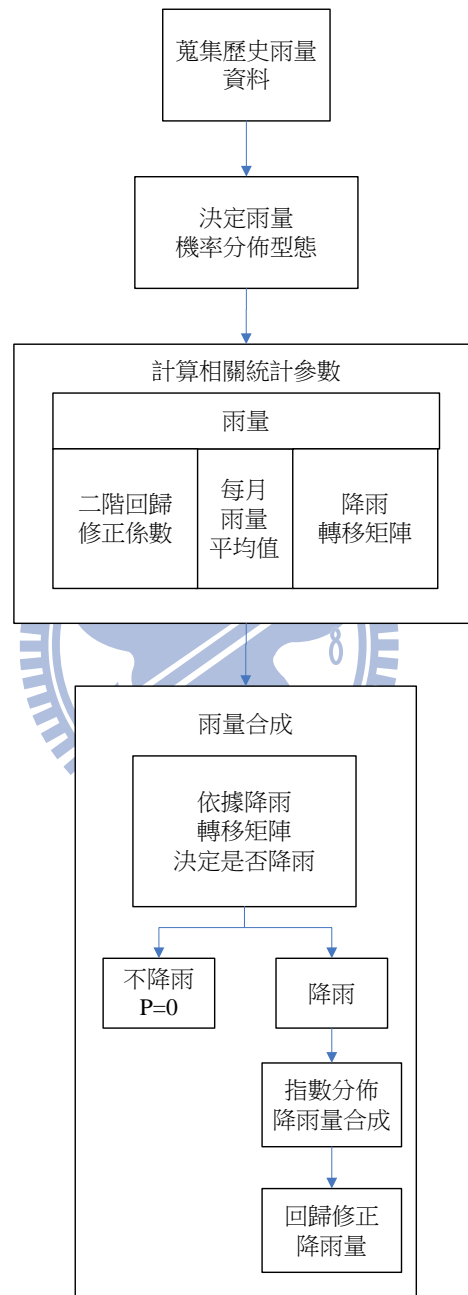


圖 3-1 雨量合成流程圖

3.2.2 流量資料模擬

本研究採用由 Haith 與 Shoemaker 於 1987 年所發展之 GWLF (Generalized Watershed Loading Functions) 中之流量分析模式作為流量資料模擬之工具，以下將針對 GWLF 之水平衡模式之理論進行說明。

對地球而言水循環可視為封閉系統，然地球存在許多次系統，其雖不是封閉系統，但在此系統中可藉由水之收支平衡計算水文中各項單元。集水區主要水收支平衡之輸入為降雨；當雨水降下來部份會被樹、草地、地表植被等截留，此部份水分最後以蒸發回到大氣中；到達地表之水，有部份會填滿窪蓄容量、有部份入滲於土壤中、有部份形成地表逕流。入滲之水分可補充土壤水分，土壤水分可繼續往下移動以補注地下水，或由蒸發散將水分帶入大氣中。集水區之總輸入水量可由落在其範圍內所有降雨所求得，總輸入水量藉由蒸發散或河川流量帶離集水區，河川流量包括地表逕流、與地下水流。此模式將集水區的水平衡模式分為地表、未飽和層及淺層飽和含水層三個主要部分，其系統水平衡收支關係如 (圖 3-2)。

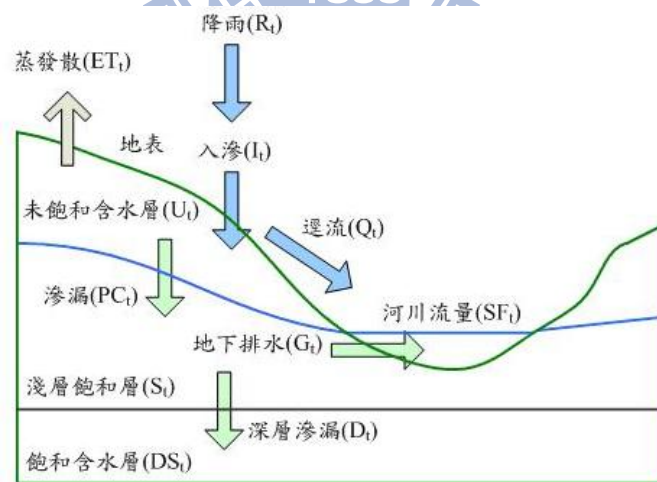


圖 3-2 GWLF 模式水平衡關係示意圖

(一) 地表

一集水區系統中的入流為降水，當降水 (R_t) 至地面後，一部份的水經由入滲量 (I_t) 至未飽和含水層中，然而另一部份則成為地表逕流 (Q_t)，

集水區河川流量 (SF_t) 來源，主要為地表逕流 (Q_t) 及地下水排出所形成基流 (G_t)，可由下 (3-9 式) 表示：

$$SF_t = Q_t + G_t \quad (3-9 \text{ 式})$$

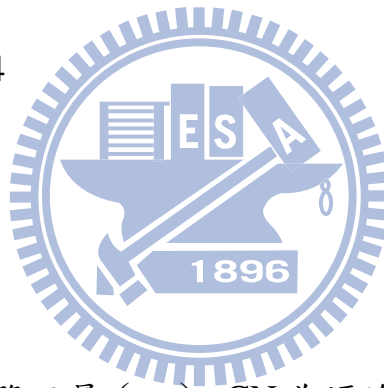
在 GWLF 模式中估算地表逕流 (Q_t) 採用美國水土保持局 (SCS, Ogrosky and Mockus, 1964) 之曲線值法 (Curve Number Method)，此種方法在計算地表逕流時可合理的反應土地利用方式及土壤水分含量。地表逕流計算方式如下：

$$Q_t = \frac{(R_t - 0.2W_t)^2}{(R_t + 0.8W_t)} \quad (3-10 \text{ 式})$$

$$W_t = \frac{2540}{CN_t} - 25.4 \quad (3-11 \text{ 式})$$

$$R_t \geq 0.2W_t \quad (3-12 \text{ 式})$$

$$CN \leq 100 \quad (3-13 \text{ 式})$$



其中， R_t 為每日降雨量 (cm)； CN 為逕流係數，逕流係數反應各土地利用、土壤質地或排水特性、及臨前土壤水分的不同，其值需由臨前五天土壤水份所對應之值求得， CN 值較大表示臨前土壤水份越高入滲量則越少，即較多水份可成為逕流， CN 值較小表示臨前水份較少，則入滲較大，逕流較小。本模式之逕流係數 (CN) 依臨前土壤水份分為三類，分別為 $CN3$ (溼潤情況)、 $CN2$ (平均情況)、 $CN1$ (乾燥情況)，其中 $CN2$ 值則依照土壤分類與土地利用決定 (美國水土保持局)，土壤類別分為 A、B、C、D 四類別，A 類別為可造成較小逕流量之砂、礫石層土壤，D 類別為可造成較大逕流量之不透水層、黏土。 $CN1$ 與 $CN3$ 之值則是根據 Chow et al. (1988)，計算方式如下。

$$CN1 = \frac{4.2CN2}{10 - 0.058CN2} \quad (3-14 \text{ 式})$$

$$CN3 = \frac{23CN2}{10 + 0.13CN2} \quad (3-15 \text{ 式})$$

本模式將臨前五天土壤水分 (A_t) 分為高、中、低三個區間，以 AM1 和 AM2 為界，AM1、AM2 會隨季節不同如表 3-1 所示，逕流係數 (CN) 由 CN1、CN2、CN3 並根據臨前五天土壤水分求得，臨前五天土壤水分小於 AM1 時，CN 由 CN1、CN2 內差求得，臨前五天土壤水分大於 AM1 並小於 AM2 時，CN 由 CN2、CN3 內差求得，臨前五天土壤水分大於 AM2 時，CN 等於 CN3，計算方式如下。

$$CN = CN1 + \frac{(CN2 - CN1)}{AM1} (A_t) \quad \text{if } A_t \leq AM1 \quad (3-16 \text{ 式})$$

$$CN = CN2 + \frac{(CN3 - CN2)}{AM2 - AM1} (A_t - AM1) \quad \text{if } AM1 < A_t \leq AM2 \quad (3-17 \text{ 式})$$

$$CN = CN3 \quad \text{if } AM2 < A_t \quad (3-18 \text{ 式})$$

降水經由入滲由地表至未飽和含水層，入滲量 (I_t) 計算方式為降水 (R_t) 扣除地表逕流 (Q_t)，可由下 (3-19 式) 表示：

$$I_t = R_t - Q_t \quad (3-19 \text{ 式})$$

(二) 未飽和含水層

經由入滲之水量將先行補充未飽和層之土壤水分，當未飽和層之土壤水分超過土壤最大含水量時，其部分水分將滲漏至淺層飽和含水層。另外，

未飽和層之土壤水分亦可能因蒸發散而被帶離土壤，未飽和層之水平衡式可由下（3-20 式）表示：

$$U_{t+1} = U_t + I_t - ET_t - PC_t \quad (3-20 \text{ 式})$$

其中 U_t 是未飽和層高於凋萎點之土壤水分含量， ET_t 是蒸發散量，而 PC_t 是滲漏量，式中所用的單位為 cm/day。

未飽和含水層滲漏至淺層飽和含水層之水量（ PC_t ），物理機制在於未飽和含水層土壤水分大於田間含水量，即是指高於田間含水量經由重力向下排出至淺層飽和層之水分，可由（3-21 式）計算：

$$PC_t = \text{Max}[0, U_t + I_t - ET_t - U^*] \quad (3-21 \text{ 式})$$

其中 U^* 是最大土壤水分容量，即田間含水量減去凋萎點間之水分容量，單位為 cm/day。

蒸發散量（ ET_t ）則受大氣、地表覆蓋特性及土壤水分之影響，可由下式決定：

$$ET_t = \text{Min}[k_{st} \times k_{ct} \times PET_t, U_t + I_t] \quad (3-22 \text{ 式})$$

蒸發散量（ ET_t ）估算的方法為以潛勢能蒸發散量（ PET_t ）乘上一個覆蓋係數（ K_{ct} ）和一個土壤水分因子（ K_{st} ）計算，但其易受限於未飽和層之可利用之水分，因此取蒸發散量與未飽和層水分之較小值，為估算之蒸發散量，其中覆蓋係數（ K_{ct} ）決定於土地利用方式。

在（3-22 式）中之土壤水分因子（ K_{st} ）則採用 Boonyatharokol and Walker（1979）之公式進行計算，可由下（3-23 式）表示：

$$\begin{aligned}
 k_{st} &= 1 && \text{if } U_t \geq 0.5U^* \\
 &= \frac{U_t}{0.5U^*} && \text{if } U_t < 0.5U^*
 \end{aligned}
 \tag{3-23 式}$$

在 GWLF 模式中潛勢能蒸發散量由 Hamon 公式進行計算：

$$PET_t = \frac{0.021H_t^2 e_{0t}}{T_t + 273}
 \tag{3-24 式}$$

其中 PET_t 是第 t 天潛勢能蒸發散量， H_t 是在第 t 天的日照時間（時），其值如表 3-2 所示， e_{0t} 是飽和蒸氣壓， T_t 是日平均溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ），飽和蒸氣壓（ e_{0t} ）是溫度之函數，由下列方程式決定：

$$\begin{aligned}
 e_{0t} &= 33.8639[(0.00738 \times T_t + 0.8072)^8 \\
 &\quad - 0.000019 \times |1.8 \times T_t + 4.8| + 0.00136]
 \end{aligned}
 \tag{3-25 式}$$

（三）淺層飽和含水層

淺層飽和含水層之水平衡關係可由下列方程式表示：

$$S_{t+1} = S_t + PC_t - G_t - D_t
 \tag{3-26 式}$$

其中 S_t 是淺層飽和含水層之土壤水分含量， PC_t 是由未飽和含水層滲漏至淺層飽和含水層之水量， G_t 是由淺層飽和含水層滲漏至河川之水量，而 D_t 是入滲至深層飽和含水層之水量，在本研究中因入滲至深層飽和含水層之水量（ D_t ）量很小，將其值假設為零，式中所用的單位為 cm/day 。

G_t 之計算係考慮淺層飽和含水層為一線性水庫，計算方式可由下（3-27 式）表示：

$$G_t = r \times S_t
 \tag{3-27 式}$$

其中 r 為退水係數，一般介於 0.01 至 0.2 之間

表 3-1 AM1 與 AM2 值

臨前五天降雨量	生長季	非生長季
AM1	3.6 (公分)	1.3 (公分)
AM2	5.3 (公分)	2.8 (公分)

資料來源：永續性水質管理系統受氣候變遷影響之脆弱度評估，2006

表 3-2 各緯度每月日照時數

月份	緯度 (北緯°)		
	28	26	24
	日照時數 (小時)		
1月	10.5	10.6	10.7
2月	11.1	11.1	11.2
3月	11.8	11.8	11.9
4月	12.7	12.6	12.6
5月	13.4	13.2	13.1
6月	13.7	13.6	13.4
7月	13.5	13.4	13.3
8月	13	12.9	12.8
9月	12.1	12.1	12.1
10月	11.3	11.4	11.4
11月	10.6	10.7	10.9
12月	10.3	10.4	10.6

資料來源：永續性水質管理系統受氣候變遷影響之脆弱度評估，2006

3.3 蒙地卡羅分析

依國內外據文獻 (Metropolis, Ulam, 1949; 柯建州, 2001) 指出, 蒙地卡羅法最早是由美國 Los Alamos 科學實驗室兩位科學家 Ulam 與 Metropolis 所創的。當初是為了要設計核子防護罩, 必須知道中子穿透各種材質的程度, 但因為這個問題太困難而無法有分析解, 又因為十分危險無法由實驗得知, 因此他們利用高速電子計算機以隨機數去模擬這個實驗, 將這種模擬法命名為蒙地卡羅。

蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo simulation method) 息息相關的兩個理論, 是所謂的大數法則與中央極限定理。由於每次的模擬, 都可以視為從相同而獨立的分配中抽樣, 因此模擬出來的樣本平均數的變異數, 就和母體分配的變異數成正比, 和抽樣的數目, 也就是模擬的次數成反比, 並不用考慮到不同模擬結果之間的共變數, 因此在執行很多次的模擬以後, 將所得的每個數值予以平均, 所得到的樣本平均數, 不但在大數法則下, 是估計母體平均數的不偏估計式, 也因為樣本平均數的抽樣分配, 在中央極限定理之下, 具有常態分配的本質, 也可以很容易的進行統計推論和區間估計的工作。

圖 3-3 為本研究中對於蒙地卡羅模擬法的應用流程圖, 步驟如下:

- (1). 首先利用水文合成模式產生 100 組之入流量資料;
- (2). 將第 N 組資料作為調配模式之入流量輸入檔;
- (3). 因本研究將分析石門水庫乾旱應變規則之效用, 所以分成有無乾旱應變規則下之水資源調配兩部分進行, 然後得到各自之結果;
- (4). 重複步驟 2 至 3, 直至所有合成資料皆完成;
- (5). 最後再利用韋伯超越機率法 (Weibull) 統計風險機率。

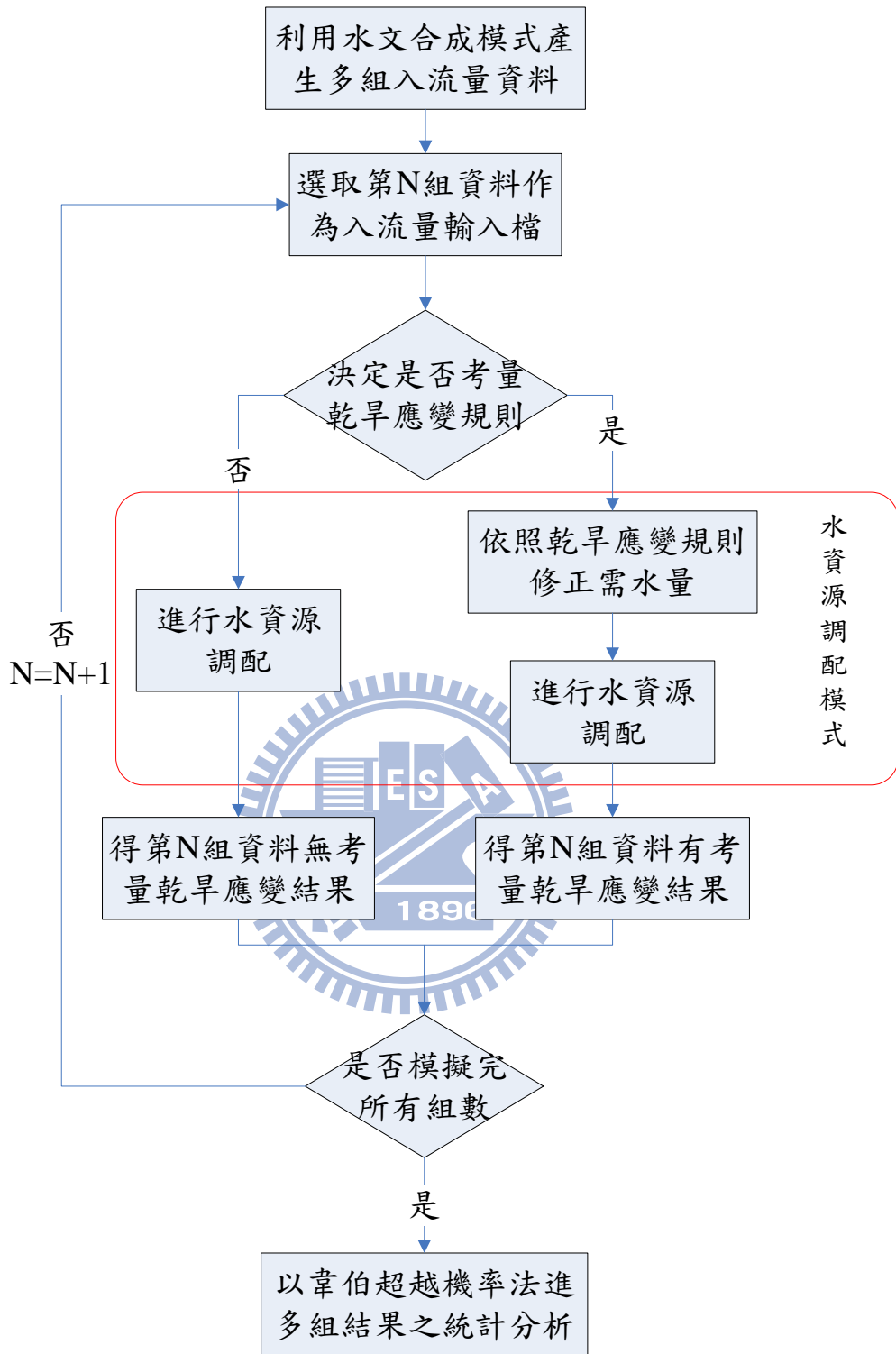


圖 3-3 本研究應用蒙地卡羅模擬法之流程圖

第四章 通用型水資源調配模式之發展

本研究結合規線操作及線性規劃方法，配合「指標平衡」之原則及「對等水庫」之觀念，建構一通用化的水資源調配模式，以下將分別介紹「操作規線」、「指標平衡」及「對等水庫」之考量方式以及在此三種考量而建構之調配模式模式及其使用說明。

4.1 水庫操作規線之考量

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上限、中限、下限及嚴重下限四種運轉水位，作為蓄水利用依據，以翡翠水庫為例。

- i. 當水位在上限以上表示蓄水豐沛，以發電放水方式調節水位，可有效利用水資源，避免因水位過高。
- ii. 當水位在上限與中限之間表示蓄水情況正常，在滿足下游民生供水需求下，水庫可在上、中限間彈性運作。
- iii. 當水位在中限與下限之間表示要密切注意蓄水情況，水庫運作以滿足民生供水需求為主。
- iv. 當水位在下限與嚴重下限之間表示將有枯旱情況發生，應採行適當節水、限水措施。
- v. 當水位在嚴重下限以下時表示已枯旱情況嚴重，必須採行更進一步的節水、限水措施。

由上述可知操作規線是水資源調配中相當重要的依據，而為了將規線操作代入到水資源調配模式中讓模式自行判斷供水打折率，本研究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，為了迅速了解此設定與轉換的概念，以下將利用一簡單的水庫供水系統圖 4-1 來進行講解介紹。

其中水庫 A 之蓄容量為 1000 單位，需水節點需水量 80 單位，水庫規線，上限、下限和嚴重下限分別為 90%、60% 和 20% 蓄容量，運用規則為下限以上全額供水，下限至嚴重下限之間 90% 供水，嚴重下限以下 75% 供水。

圖 4-2 為經過轉換後之示意圖，由於水庫上限以上為防洪層，所以我們將水庫分為三層，最大蓄容量由下而上分別為 $St_{1,1}$ 有 200 單位（嚴重下限以下 $1000 \times 20\%$ ）、 $St_{1,2}$ 有 400 單位（下限至嚴重下限之間 $1000 \times (60\% - 20\%)$ ）和 $St_{1,3}$ 有 300 單位（上限至下限之間 $1000 \times (90\% - 60\%)$ ），需水量也對應蓄容量之分層分為三層，並依照操作規線分別得各層需水量為 $D_{1,1}$ 有 60 單位（75% 計畫供水量）、 $D_{1,2}$ 有 12 單位（90% 計畫供水量 - 75% 計畫供水量）和 $D_{1,3}$ 有 8 單位（100% 計畫供水量 - 90% 計畫供水量）。

目標函數的設定以缺水量最小，並在此前提下盡量將水蓄留於水庫內為原則，將上述轉換成數學式如下（4-1 式）：

$$\begin{aligned}
 MinZ = & wsh_{1,1} \times (D_{1,1} - Q_{1,1}) + wes_{1,1} \times (St_{1,1} - V_{1,1}) \\
 & + wsh_{1,2} \times (D_{1,2} - Q_{1,2}) + wes_{1,2} \times (St_{1,2} - V_{1,2}) \\
 & + wsh_{1,3} \times (D_{1,3} - Q_{1,3}) + wes_{1,3} \times (St_{1,3} - V_{1,3})
 \end{aligned} \tag{4-1 式}$$

$$wsh_{1,1} > wes_{1,1} > wsh_{1,2} > wes_{1,2} > wsh_{1,3} > wes_{1,3}$$

其中，

$wsh_{i,j}$ ：第 i 需水節點第 j 分層之虛擬需水節點缺水量之權重；

$wes_{i,j}$ ：第 i 蓄水節點第 j 分層之虛擬水庫空庫體積之權重；

$D_{i,j}$ ：第 i 需水節點第 j 層之虛擬需水節點需水量；

$S_{i,j}$ ：第 i 水庫第 j 層之虛擬水庫的蓄容量；

$Q_{i,j}$ ：供應至第 i 需水節點第 j 層之虛擬需水節點的流量；

$V_{i,j}$ ：儲蓄至第 i 水庫第 j 層之虛擬水庫的流量；

假設初始水庫蓄水量為 500 單位，入流量為 75 單位，所以可用水量為 575 單位，依照權重的設定，本模式會優先滿足 $D_{1,1}$ 的最大需求 60 單位的水，之後滿足 S_1 的最大蓄容量 200 單位，再滿足 $D_{1,2}$ 的最大需求 12 單位，最後因可用水量用盡而只輸送至 $S_{1,2}$ 303 單位的水，最後得到總供水量 72，期末蓄水量為 503 的結果，水庫蓄水量位在下限與嚴重下限之間，供水打折率 90%，滿足水庫規線的運用規則。

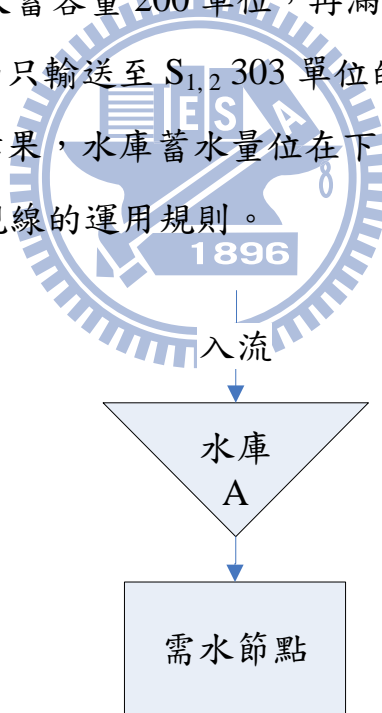


圖 4-1 簡單水庫供水系統

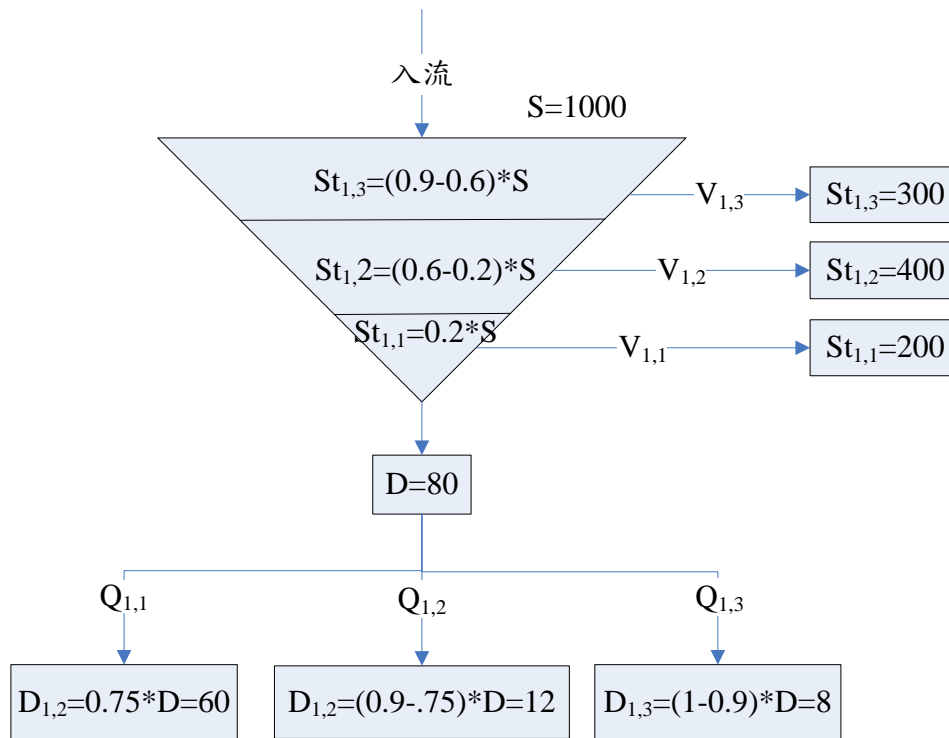


圖 4-2 轉換後之供水系統圖

4.2 指標平衡與對等水庫

當水資源系統中並非為單一水庫，而是多水庫聯合營運時，此時不只需要考量操作規線，還需要額外考量各水庫間的「指標平衡」以及為了決定複雜多水庫系統中任一時刻所需調配之各標的需水量而使用的「對等水庫」方法，以下將分別介紹。

4.2.1 指標平衡

當系統中之水庫不只一座時，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 4-3 所示。

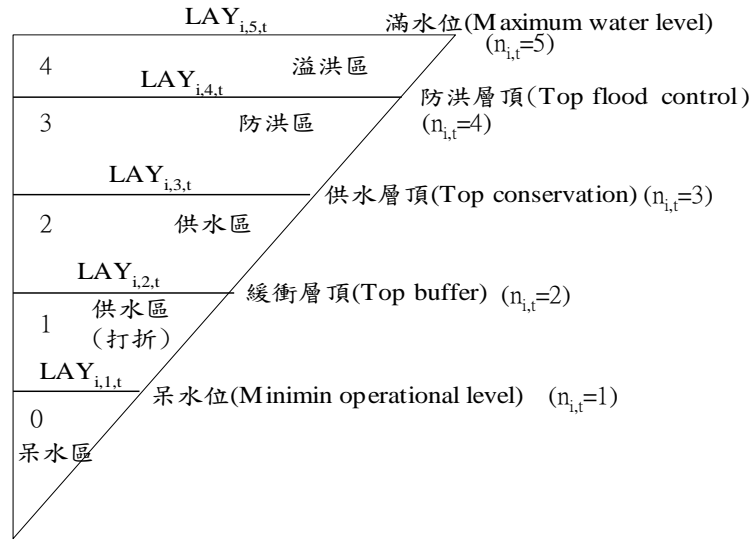


圖 4-3 水庫操作分層示意圖

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：

$$i^*_{i,t} = n_{i,t} + \frac{S^*_{i,t} - LAY_{i,n,t}}{LAY_{i,(n+1),t} - LAY_{i,n,t}} \quad (4-2 \text{ 式})$$

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：

$$n_{i,t} + \frac{S^*_{i,t} - O_{i,t} - LAY_{i,n,t}}{LAY_{i,(n+1),t} - LAY_{i,n,t}} = n_{j,t} + \frac{S^*_{j,t} - O_{j,t} - LAY_{j,n,t}}{LAY_{j,(n+1),t} - LAY_{j,n,t}} \quad (4-3 \text{ 式})$$

$\forall i, j \in N_F$

(4-3 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 (4-3 式) 之各水庫的基本指標值為相同的數值，故可將 (4-3 式) 簡化為 (4-4 式)。

$$\frac{S_{i,t}^* - O_{i,t} - LAY_{i,n,t}}{LAY_{i,(n+1),t} - LAY_{i,n,t}} = \frac{S_{j,t}^* - O_{j,t} - LAY_{j,n,t}}{LAY_{j,(n+1),t} - LAY_{j,n,t}} ; \forall i, j \in N_F \quad (4-4 \text{ 式})$$

在多水庫系統中，需先利用「對等水庫」之觀念，決定出各需求節點之計算需水量後，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。

4.2.2 對等水庫

對等水庫觀念之應用為在決定複雜多水庫系統中任一時刻所需調配之各標的需水量，本研究之對等水庫作法為將各水庫基本指標相同之各分層體積以線性疊加之方式合成一「對等水庫」，再視任一時刻系統之可利用總蓄水量位於對等水庫之何分層中，依其該分層之操作規則決定此時刻各需求節點所需要調配之標的需水量後，再依前述指標平衡原則求解組成對等水庫中個別水庫之放水量。

圖 4-4 為兩水庫共同調配兩需求節點之水庫調配系統，圖中對等水庫基本指標為 5 的蓄水體積(170 單位)是由第一座水庫基本指標為 5 之蓄水體積(80 單位)與第二座水庫相同基本指標之蓄水體積(90 單位) 線性累加而得，其餘對等水庫之各分層蓄水體積，依照亦是依此法求得。假設目前之第一座水庫可利用蓄水量為 60 單位；第二座水庫為 70 單位，當下對等水庫之可利用總蓄水量(130 單位)則為第一座水庫之可利用蓄水量加上第二座水庫之可利用蓄水量而得。

圖中，對等水庫各分層之 W_1 及 W_2 為各分層對需求一及需求二之供水折數，即對等水庫之放水規則。由上述可知，此時之可利用總蓄水量為 130 單位，此蓄水量位於對等水庫之 B 分層中，假設 B 分層之操作規則為對需求一($W_1 = 1.0$)及需求二($W_2 = 1.0$)皆全額供水，故需求一所需調配之需水量為 10 單位($W_1 \times D1$)；需求二為 20 單位($W_2 \times D2$)，決定出當下所需要調配之需水量後，再依指標平衡原則求解組成對等水庫中之個別水庫放水量。以下則為對等水庫之各分層蓄水體積及操作前對等水庫之可利用總蓄水量之數學表示式：

$$\begin{aligned} LAY_{e,1,t} &= LAY_{1,1,t} + LAY_{2,1,t} + \cdots + LAY_{n,1,t} = \sum_{i \in N_S} LAY_{i,1,t} \\ LAY_{e,2,t} &= LAY_{1,2,t} + LAY_{2,2,t} + \cdots + LAY_{n,2,t} = \sum_{i \in N_S} LAY_{i,2,t} \end{aligned} \quad (4-5 \text{ 式})$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ LAY_{e,m,t} &= LAY_{1,m,t} + LAY_{2,m,t} + \cdots + LAY_{n,m,t} = \sum_{i \in N_S} LAY_{i,m,t} \\ S_{e,t}^* &= \sum_{i \in N_S} S_{i,t}^* \end{aligned} \quad (4-6 \text{ 式})$$

其中，

$LAY_{e,m,t}$ ： t 時刻對等水庫第 m 層之分層；

$LAY_{n,m,t}$ ： t 時刻第 n 水庫第 m 層之分層；

N_S ：水庫之集合；

$S_{e,t}^*$ ： t 時刻對等水庫之可利用蓄水量；

$S_{i,t}^*$ ： t 時刻第 i 水庫之可利用蓄水量。

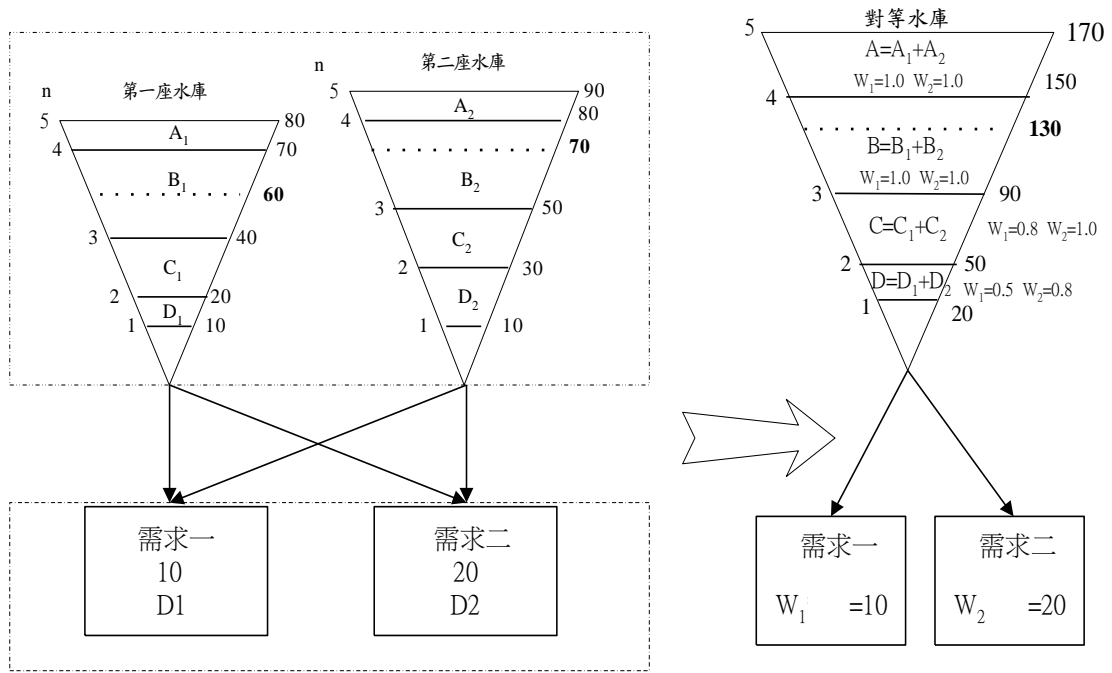


圖 4-4 對等水庫示意圖

4.2.3 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」與「對等水庫」，在此用一簡單雙水庫聯合營運系統如圖 4-5 來講解，目標函數設定如 (4-7 式)。

$$\text{Min } z = wsh_{1,1}(D_{1,1} - Q_{1,1}) + wes_{1,1}(St_{1,1} - V_{1,1}) + wes_{2,1}(St_{2,1} - V_{2,1}) + wsh_{1,2}(D_{1,2} - Q_{1,2}) + wes_{1,2}(St_{1,2} - V_{1,2}) + wes_{2,2}(St_{2,2} - V_{2,2}) \quad (4-7 \text{ 式})$$

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

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。

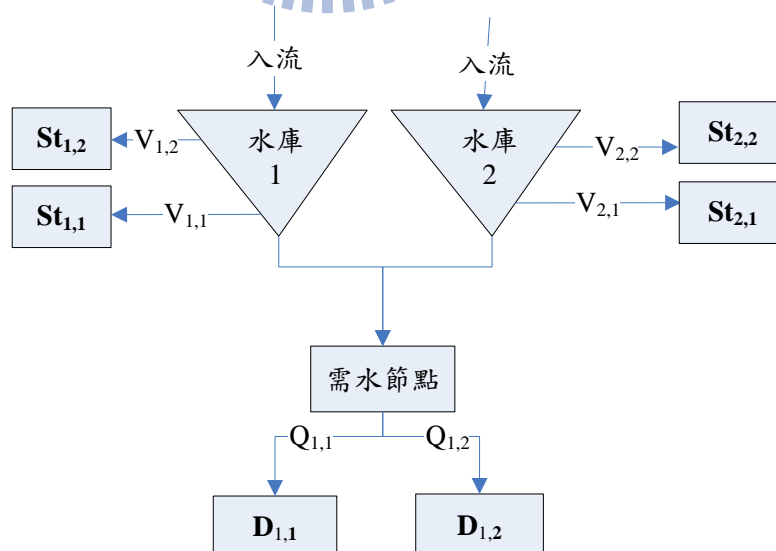


圖 4-5 簡單雙水庫聯合營運

4.3 線性規劃模式之建立

上述介紹了水庫操作的規則與其考量的方法，現在就介紹本研究以上述方法所建構之模式，圖 4-6 為本模式之資料流程架構圖，其中 Zones_and_demands_data (A、G)、System_data (E)、Inflow_data (C)及 Drought_rule (B)是模式所需要之輸入檔，輸入檔將於 4.3.3 小節說明，步驟 (D) 是決定自然河道上在各個時刻中之最小流量限制，步驟 (F)之作用為處理各需水節點各之需水量，步驟 (H)就是水資源調配的核心，由本研究建構的水資源調配模式，最後的步驟 (I)就是各時刻調配完後之水庫期末蓄水量、供水量及各人工渠道與自然河道上之流量。

本模式是利用 Fortran 程式語言配合 Lingo 軟體（處理線性與非線性規劃之專業軟體）發展而成，其中步驟(A)至(G)是由 Fortran 來進行處理，並以此資料為基礎撰寫輸出一 Lingo 程式可以讀取之文字檔案(lingo.lng)，之後由 Fortran 呼叫 Lingo 程式進行線性規畫之模擬，模擬結果再傳回 Fortran 中進行資料的整理以及作為下個時刻所需資料之使用（t 時刻之水庫期末蓄水量為 t+1 時刻的水庫期初蓄水量），直至全時刻完成計算，並輸出其結果。

而在整個模式中，水資源調配的線性規劃為每個時刻進行水量分配之計算核心，以下將對水資源調配之部分做詳細之介紹。

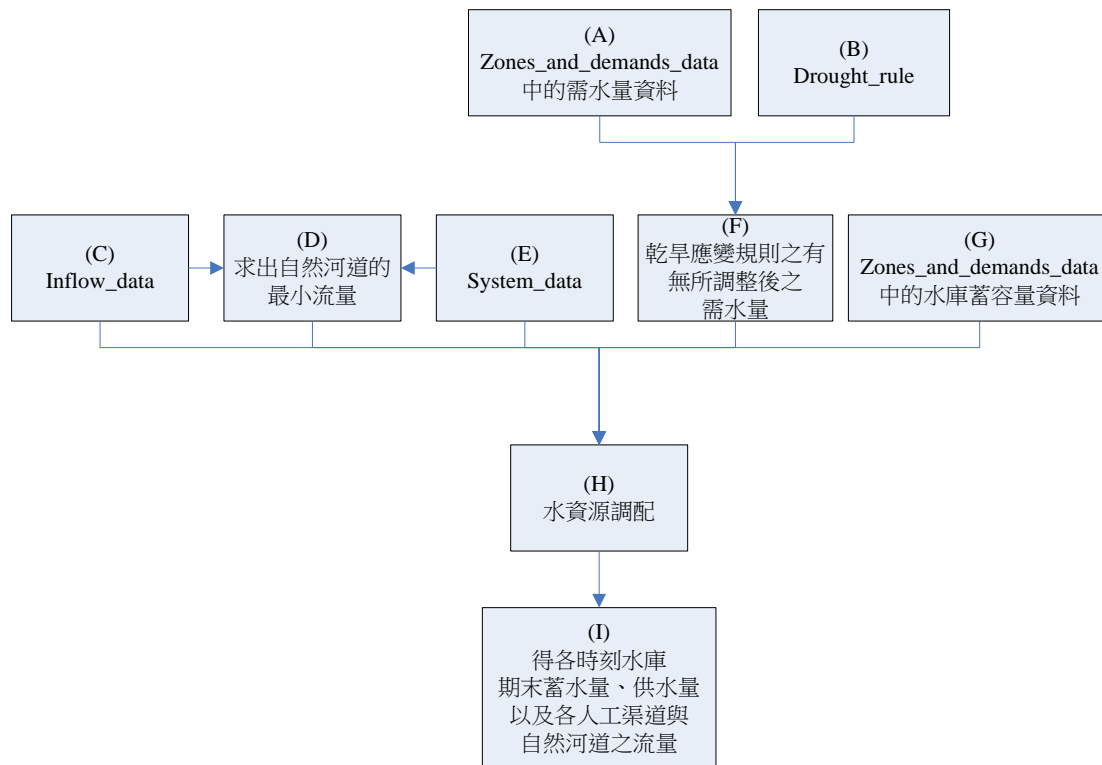


圖 4-6 水資源調配模式資料流程圖

4.3.1 數學模式之建立

本研究展的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，線性規劃模式之建立如 3.1 小節所敘，包含「目標函數之設定」以及「相關限制式之產生」兩項主要工作，以下將分別對目標函數及限制式做完整說明。由於本研究乃是以可應用於不同區域系統的目標發展此一調配模式，因此模式考量的範圍（需水節點及操作原則等）較廣，在應用時所實際考量的目標函數與限制式，可由使用者因應所分析之區域及相關資訊以輸入檔定義之。

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，因此目標函數表達如下：

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n \left[\left(\sum_{i \in N_D} wsh_{i,j}^t (D_{i,j}^t - Q_{i,j}^t) \right) + \left(\sum_{k \in N_S} wes_{k,j}^t (St_{k,j}^t - V_{k,j}^t) \right) + \sum_{l \in N_b} ba_{l,j}^t \right] + \sum_{m \in N_{PI}} PI_m^t \quad (4-8 \text{ 式})$$

$$wsh_{i,1}^t > wes_{k,1}^t > \dots > wsh_{i,n}^t > wes_{k,n}^t, \forall i \in N_D, \forall k \in N_S$$

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；

$St_{k,j}^t$: 第 t 時刻第 k 座水庫第 j 分層之蓄容量；

$V_{k,j}^t$: 第 t 時刻儲蓄至第 k 座水庫節點第 j 分層之流量；

PI_m^t : 第 t 時刻第 m 雙向管路之流量；

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

$wsh_{i,j}^t$: 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；

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 $\sum_{i \in N_D} wsh_{i,j}^t (D_{i,j}^t - Q_{i,j}^t)$ 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畫中之決策變數之一， $\sum_{k \in N_s} wes_{k,j}^t (St_{k,j}^t - V_{k,j}^t)$ 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畫中另一決策變數， $\sum_{l \in N_b} ba_{l,j}^t$ 項次為指標平衡之差值，

$\sum_{m \in N_{PI}} PI_m^t$ 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 $\sum_{m \in N_{PI}} PI_m^t$ 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。

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）

$$S_i^t + I_i^t - X_i^t = \sum_{j=1}^n V_{i,j}^t, \forall i \in N_s \quad (4-9 \text{ 式})$$

$$S_i^{t+1} = \sum_{j=1}^n V_{i,j}^t, \forall i \in N_s$$

其中，

S_i^{t+1} ：第 t 時刻第 i 水庫之蓄水量；

S_i^t : 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

$$\sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t = \sum_{k=1}^n Q_{j,k}^t, \quad \forall j \in N_D \quad (4-10 \text{ 式})$$

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)

$$\sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t - \sum_{k \in \Phi} X_{j,k}^t = 0, \quad \forall j \in N_q \quad (4-11 \text{ 式})$$

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)

$$V_{i,j}^t \leq S_{i,j}^t, \quad \forall i \in N_s, \quad j=1 \sim n \quad (4-12 \text{ 式})$$

(2) 需水節點

$$Q_{i,j}^t \leq D_{i,j}^t, \quad \forall i \in N_D, \quad j=1 \sim n \quad (4-13 \text{ 式})$$

(3) 淨水廠

$$\sum_{i \in \Pi} X_{i,j}^t \leq Tre_j^t, \quad \forall j \in N_T \quad (4-14 \text{ 式})$$

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

$$X_{i,j}^t \geq Base_{i,j}^t, \quad (4-15 \text{ 式})$$

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。

$$\frac{V_{i,k}^t}{St_{i,k}^t} + R_{i,k}^t = \frac{V_{j,k}^t}{St_{j,k}^t} + R_{j,k}^t, \quad \forall i \in N_s, \forall j \in N_s, k = 1 \sim n \quad (4-16 \text{ 式})$$

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；

4.3.2 程式設計概念

本研究將任一水資源系統視為節點 (Node) 與箭線 (Link) 的組合，並將系統中之節點區分為三類，分別為蓄水節點、需求節點及非蓄水節點，蓄水節點即水庫，需求節點分為公共用水、農業用水及其他用水等，而非蓄水節點則有淨水場、攔河堰及河川匯/分流點三種；本研究對於系統中之線段亦區分為三類，分別為河川線段、供 (引) 水線段及入流線段。而各類節點與箭線皆有其不同之編號、數量與其各種限制 (如淨水廠處理能力限制及引水管路限制等) 等資訊，此類模式所需資訊皆是由使用者依照資料所建立之輸入檔讀取而來。

在眾多資訊中，「描述節點與箭線連接關係」為模式可通用於不同水資源系統下之重要關鍵，此部份本研究乃以一 2 維陣列，該陣列之列向量對應系統之各節點，而行向量則對應系統之各線段，陣列中存在 0、1、-1 三種元素，分別代表節點與線段的三種連接情形 (0：無連接，-1：線段流出該節點，1：線段流入該節點)，此陣列之建立方式可參考圖 4-7 及表 4-1。以此為基礎，我們可以用 (4-17 式) 表達出各類節點之質量守恆關係。

$$\begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,11} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{6,1} & \cdots & a_{6,11} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_6 \end{bmatrix} \quad (4-17 \text{ 式})$$

其中，

$a_{i,j}$ ：第 i 節點第 j 箭線之係數，內容為我們所建立之二維陣列；

X_j ：箭線編號之一維陣列，為一變數；

b_i ：依照不同之節點總類而有所不同，請參照 4.3.1 節之數學式；

此外，不等式之部分也可由此二維陣列延伸而出，例如淨水廠處理能力限制的部份，同樣以圖 4-7 為例，其中 4 號節點代表淨水場，我們增加一個淨水廠限制之一維陣列，而此限制陣列之內容與系統二為陣列中的 4 號節點內之值相同，之後將此限制陣列中 -1 之值以 0 取代 (或是將 1 之值以 0

取代)，如表 4-2，之後如 4-7 式所示，就完成了淨水場限制式 (4-18 式) 的建立。

$$[a_1 \cdots a_{11}] \times \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_{11} \end{bmatrix} \leq b \quad (4-18 \text{ 式})$$

其中，

a ：為淨水廠節點-箭線關係將-1 值取代後之陣列；

b ：淨水廠處理能力上限；

以上述之方式，我們就可以建構出大部分之限制式，而少部分限制式(如有管路輸送上限之箭線限制)則是直接利用輸入檔之資訊撰寫。

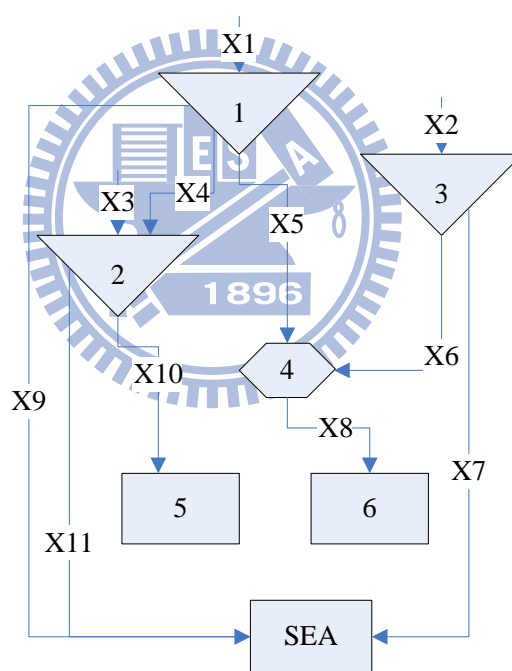


圖 4-7 水資源網流系統圖

表 4-1 以圖 4-7 為例之節點-線段連接關係二維陣列表示法

箭線 節點	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
1	1	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	0	0
2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-1	-1
3	0	1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	1	0	-1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

表 4-2 增加之淨水廠限制陣列

節點	箭線	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
原淨水廠 4 號節點之一維陣列		0	0	0	0	1	1	0	-1	0	0	0
增加之淨水場限制之一維陣列		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

4.3.3 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三個必要之基本文字檔，與一個額外規則所用之文字檔，基本文字檔分別為「系統描述」、「水庫蓄容量與需水量資料」及「入流量資料」，而額外規則之輸入檔則是因應石門區域的乾旱應變規則而設定，此檔案的輸入與否端看使用者是否考慮乾旱應變規則而定，以上四個輸入檔將於下詳述之。

1. 系統描述 (System_data.txt)

一開始要先填入是否考量乾旱應變規則、系統之節點與箭線總量與水庫之分層數，之後的內容分為節點、箭線以及各節點與箭線的連接關係三大部分。於節點部份，本研究之節點主要分成 5 類，分別是蓄水節點、需水節點、淨水廠節點、攔河堰節點及其他節點，需要的資訊主要為各類節點之數量及編號，除此之外，不同總類之節點有其不同之額外資訊，如蓄水節點之初始蓄水量及蓄水優先順序，需水節點的需水優先順序及各分層所佔的需水比例，淨水廠的處理能力限制等。箭線部分主要資訊也是各類箭線的數量與編號，此外就是箭線上之流量限制的資訊。最後為描述系統之二維陣列。格式如圖 4-8 系統描述輸入檔。

Start_System_Input
<p>1.是否考慮乾旱應變規則 drought_rule:(考慮為 1，不考慮為 0)</p> <p>=====</p> <p>2.係數陣列的大小(4-6 式的 a 矩陣) all_links:(所有箭線數量) all_nodes:(所有節點的數量)</p> <p>=====</p> <p>3.水庫分層 re_ly:(水庫分層數)</p>
<p>各類節點</p> <p>4.水庫節點 re_numbers:(水庫節點數量) reservoir_nodes:(水庫的節點編號) rank_re:(對應上述節點編號之順序，填入 1~9 之數字代表蓄水優先順序，數字小的優先) initial_s:(對應上述節點編號之順序，各水庫初始蓄水量) balance_re_numbers:(要做指標平衡的水庫數量) ba_re:(要做指標平衡水庫的節點編號,若上述為 0 填 0)</p>
<p>5.需水節點 de_numbers:(需水節點數量) demand_nodes:(需水節點編號) rank:(對應上述節點編號之順序，需水節點優先順序,數字小的優先) discount:(對應上述節點編號之順序，需水節點分層對應水庫分層，每層所佔的需水比例)</p>
<p>6.淨水廠節點 tr_numbers:(淨水廠節點數量) treatment_nodes:(淨水廠節點編號) tr_up:(淨水廠處理能力上限)</p>
<p>7.攔河堰點 we_numbers:(攔河堰節點數量) weir_nodes:(攔河堰節點編號)</p>
<p>8.其他節點 ot_numbers:(其他節點數量) other_nodes:(其他節點編號)</p>
<p>各類箭線</p> <p>9.入流箭線 river_numbers:(入流箭線數量) river:(入流箭線編號)</p>
<p>10.有上限之箭線 up_limit_links:(有上限限制的箭線數) up_link:(有上限之箭線編號) ull:(up_link 箭線上限限制)</p>
<p>11.基流量限制 low_limit_links:(有基流量限制的自然河道) low_link:(自然河道編號) lll:(low_link 箭線下限限制)</p>
<p>12.雙向管路 two_ways_numbers:(有幾組雙向管路) two_ways_links:(由上而下是第 1 到第 n 組)</p> <p>=====</p>
<p>13.系統矩陣 nods_links:</p> <p>=====</p>
End_System_Data

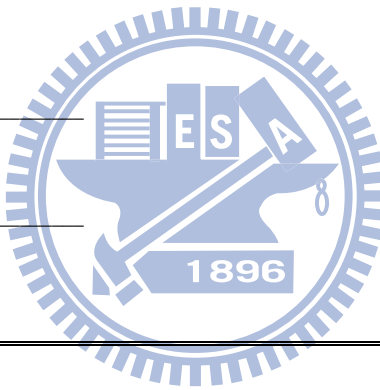


圖 4-8 系統描述之輸入檔

2. 水庫蓄容量與需水量資料(Zones_and_demands_data.txt)

此檔案是用於輸入模擬的年數、各水庫在每個時刻下各分層之蓄容量以及各需水節點在每個時刻下的需水量，於蓄水節點的資訊部份，先填入其蓄水節點之編號，在填入對應此編號之水庫各分層在各時刻下之最大蓄容。需水節點部份同蓄水節點，但是在填入對應之需水量時直接填入各時刻之計畫供水量，分層的部份由程式讀取 System_data 中之需水比例資訊自動完成分層動作，時序資料之輸入檔如圖 4-9。

3. 入流量資料 (inflow_data.txt)

為進入該水資源調配系統之河道流量資料，先填入其箭線編號，再對應此編號輸入流量資料，其輸入檔如圖 4-10。

```
Start_Zones_and_demands_Data
=====
下列的資料皆不考慮閏年中的 2 月 29 號
=====
years:(模擬年數)
=====
蓄水節點各分層蓄容量
(第一列第由左而右為各分層蓄容量(假設分為 3 層，由左而右設定為，嚴重下限-呆容量、下限-嚴重下限、上限-下限)
(一列為一天，依上述填入 365 天的資料)
=====
storage:(蓄水節點在 365 天中依供水優先順序所對應的各層最大蓄容量)
=====
node_number:(蓄水節點編號)
=====
data:
=====
需水節點
=====
demands(公共需水)
=====
node_number:
=====
data:
=====
End_Timing_Data
```

圖 4-9 水庫蓄容量與需水量資料之輸入檔

```
Start_Inflow_Data
=====
input
=====
link_number:(入流箭線編號)
=====
inflow:
=====
End_Inflow_Data
```

圖 4-10 入流量資料之輸入檔

4. 乾旱應變規則(drought_rule.txt)

此輸入檔為石門水庫所訂定之乾旱應變規則，內容主要為水文情勢判斷依據，農業休耕的各項規則的設定，以及各級乾旱的公共農業供水打折率，其輸入檔如圖 4-11。

```
Start_Drought_Rule
=====
hydrological:(判斷水文情勢好壞的缺水率，大於則壞，小於則好)
times:(有幾個判斷是否休耕的時間點)
fallow_time:(判斷是否要休耕的時間點位於 365 天中的第幾天)
=====
乾旱一級
drought1_good:(乾旱一級水文情勢好的狀況下需水各層所佔比例)
-----
drought1_bad:(乾旱一級水文情勢差的狀況下需水各層所佔比例)
=====
乾旱二級
drought2:(乾旱二級需水各層所佔比例)
=====
乾旱三級
public_drought3:(乾旱三級公共需水各層所佔比例)
=====
Probability:(判斷休耕的缺水率)
部分休耕(缺水率以 p 代表)
fallow:(由上而下分別為  $0.1 \leq p < 0.3$  ,  $0.3 \leq p < 0.5$  ,  $0.5 \leq p < 1$ )
=====
未來 90 天之總入流量
Future90:
=====
End_Drought_Rule
```

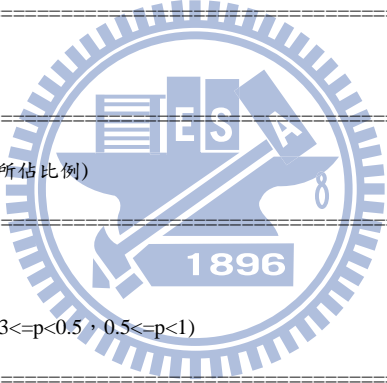


圖 4-11 乾旱應變規則之輸入檔

4.3.4 水資源調配模式簡例驗證

本模式之目標函數、限制式及輸入檔之功能與格式已於前述作了詳細地介紹，而本小節將以簡單的雙水庫水資源調配系統進一步說明輸入檔之建立方式。

圖 4-12 為簡單雙水庫供水系統圖，而圖 4-13 為模式所需之調配模型，此案例中，水庫 1 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 對公共用水的操作規線為下限以上全額供水，下限以下 80% 供水。

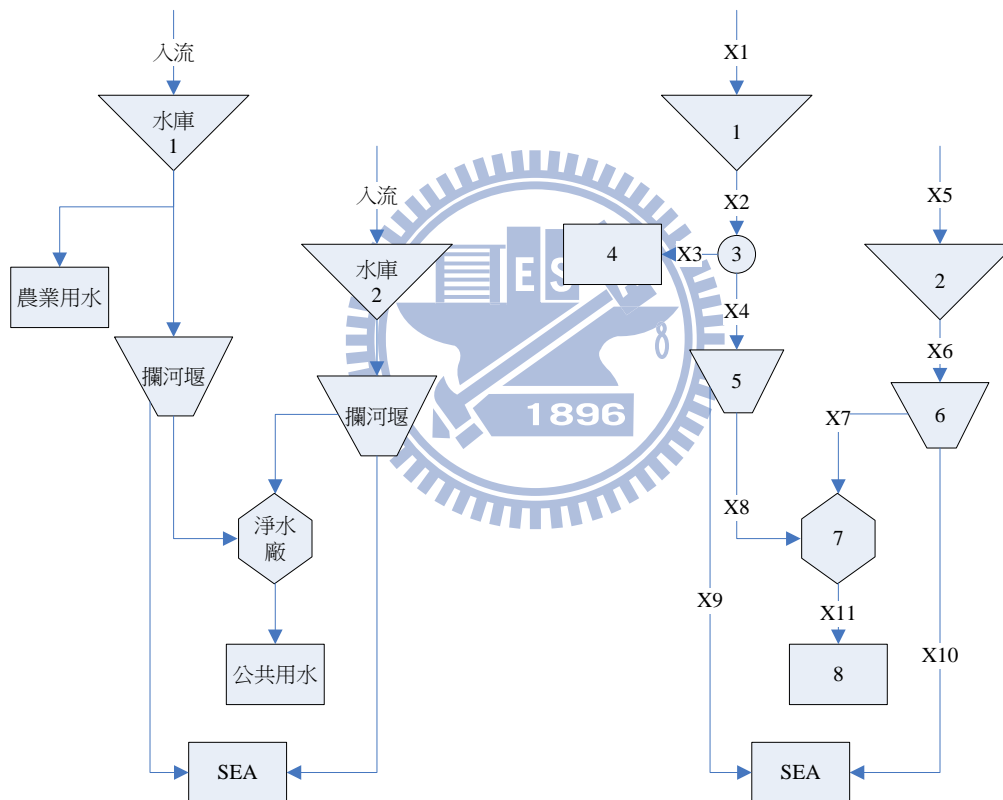


圖 4-12 簡單雙水庫供水系統圖

圖 4-13 調配模型示意圖

此案例中，本研究除了操作規線外同時考量水庫之指標平衡進行水資源調配，其中對於指標的設定為下限指標值為 1，上限指標值為 2，對應至水庫操作規線即為指標小於 1 打折供水，反之全額供水，結果如圖 4-14 與圖 4-15。於圖 4-14 中可看到兩座水庫之指標於大部分時刻皆相等，而在起始的部份可看到水庫 1 因指標較高會優先供水，而水庫 2 則會蓄水，此結果

滿足了指標平衡的目的，而對應水庫指標變化圖，其供水打折率如圖 4-18，當指標小於 1 時公共缺水率為 20%（表該時刻為 80%供水），農業缺水率為 50%（表該時刻為 50%供水，而圖中農業缺水率於一月份之缺水率為 0 之原因為一月份並無耕作，需水量為 0），也與本案例設定之操作規線一致，此案例證明本模式可以同時考量指標平衡與操作規線進行供水模擬。

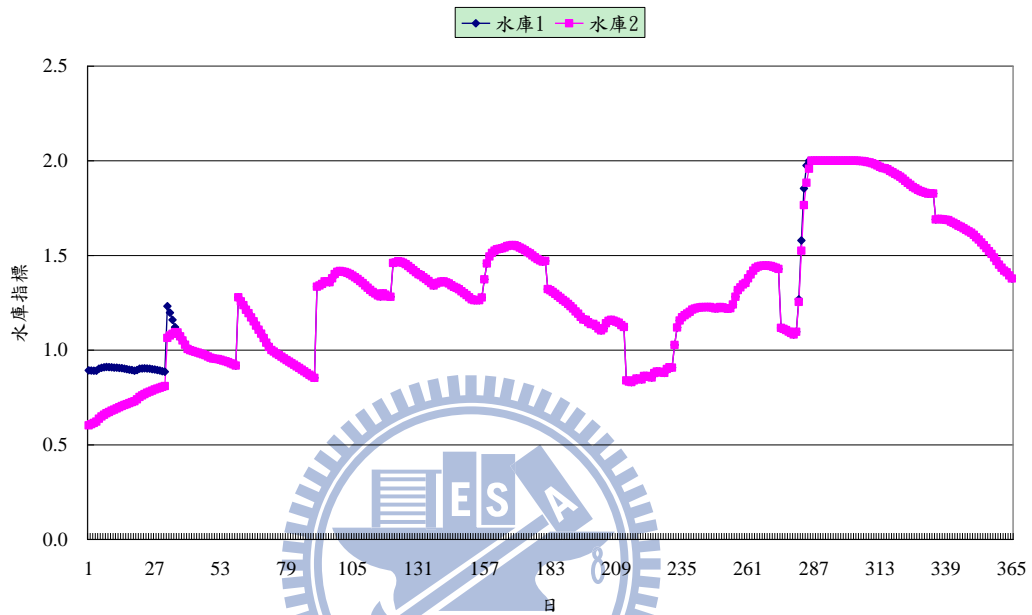


圖 4-14 水庫指標變化

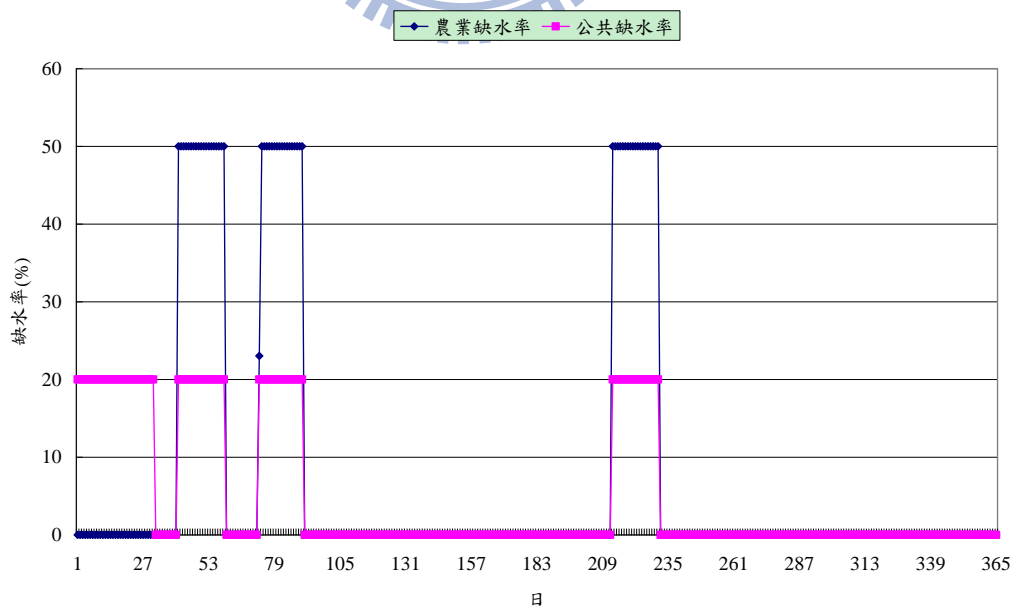


圖 4-15 缺水率變化

第五章 石門水庫缺水風險分析

5.1 研究區域概述

本研究以石門水庫為研究區域，其集水區位於大漢溪中上游段，其庫區位於桃園縣境內，橫跨龍潭、大溪及復興等 3 鄉鎮，集水區面積為 763.4 平方公里，滿水位標高為 245 公尺，溢洪道最大排洪量為 11,400 秒立方公尺，民國 73 年增建洩洪容量各為 1,200 立方公尺之排洪隧道二條，因此石門水庫最大排洪量為 14,500 秒立方公尺，民國 96 年所量測到的水庫總容量為 2.014 億立方公尺，其集水區示意圖如圖 5-1 所示。

目前大漢溪水資源利用情形係以石門水庫調蓄利用，主要供應桃園台地及水庫下游農地計畫灌溉面積約 3 萬餘公頃之灌溉用水，及供給台灣省自來水公司石門、龍潭供水區及板新供水區之公共給水，石門水庫除直接供應石門、桃園大圳之用水外，經下游河道沿途分配與各農田水利會所需用水剩餘水量及其間側流量之水量被攔蓄於鳶山堰，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，其多餘水量經後村堰提高水位後，再沿著後村堰灌溉渠道輸送水量至新莊、樹林各灌區，然目前後村堰已被沖毀，已失去原引水功能。

三峽河抽水站位於中下游之三峽灣潭地區設計最大取水量每日 50 萬立方公尺，抽水站前築有攔河堰以利抽取三峽河水源，並以 6.6 公里長之重力專管引入板新淨水場處理。三峽河下游為大安圳取水口，供應 145 公頃之灌溉用水，故自三峽堰取三峽河水源需保留下游大安圳之水權，大漢溪流域系統圖如圖 5-2 所示。

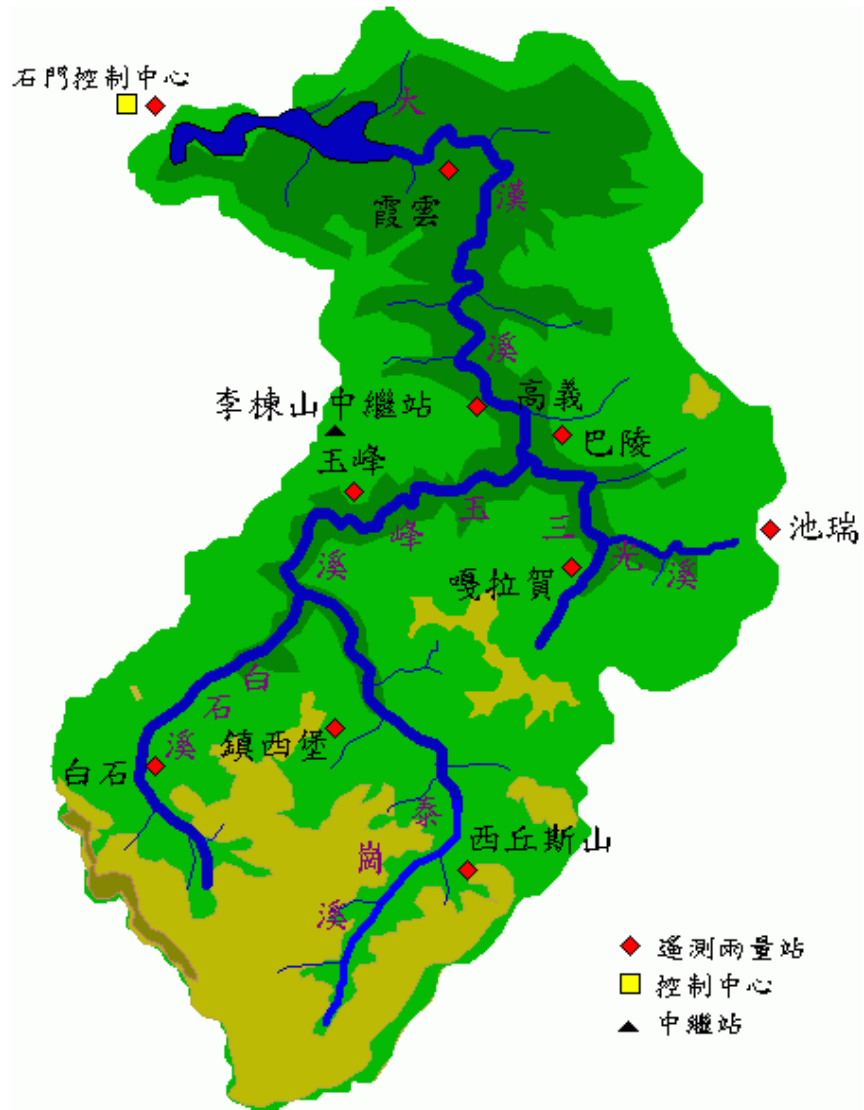


圖 5-1 石門水庫上游集水區示意圖

資料來源：經濟部水利署北部水資源局

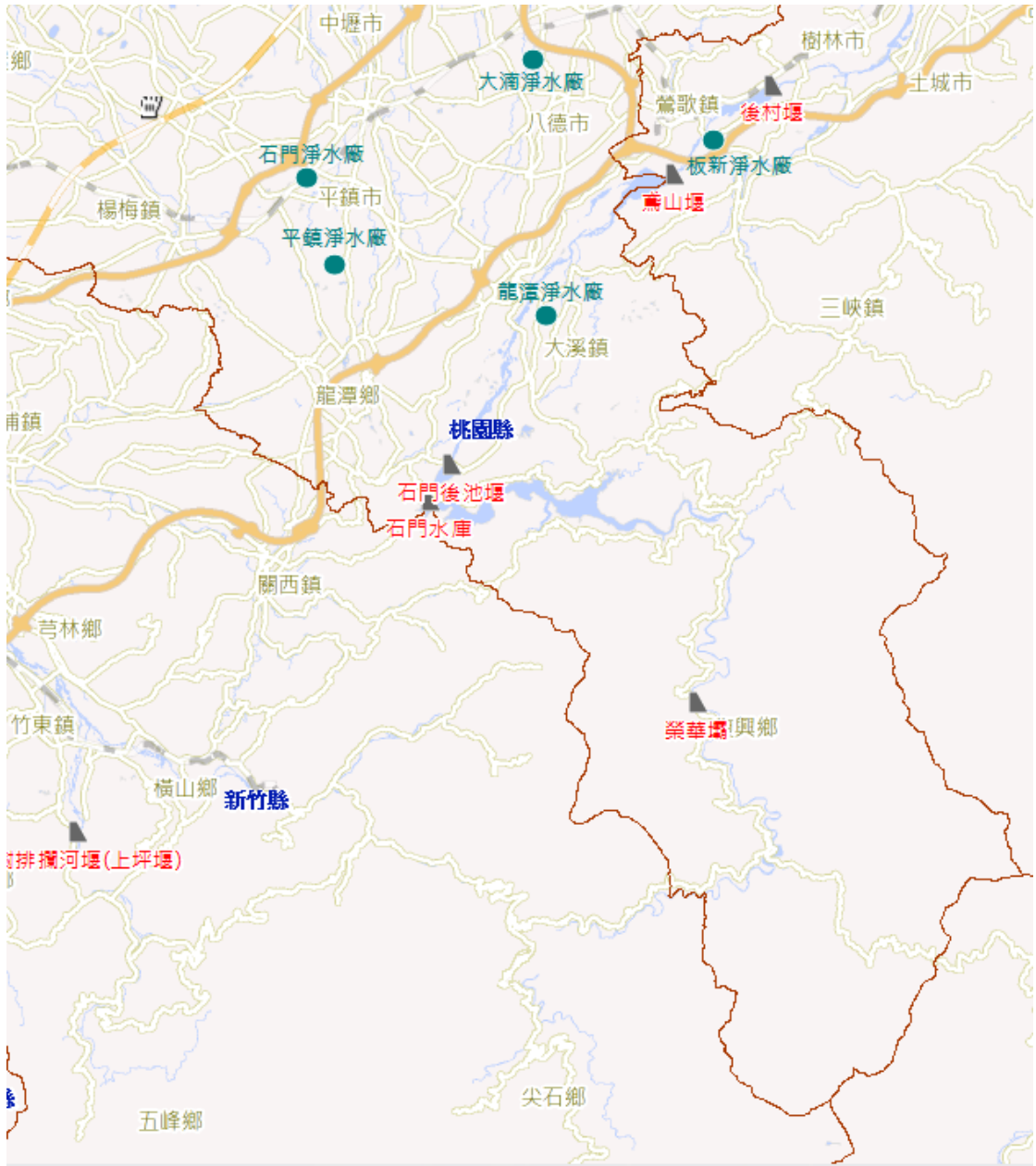


圖 5-2 大漢溪流流域水工結構物地理位置

資料來源：經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統

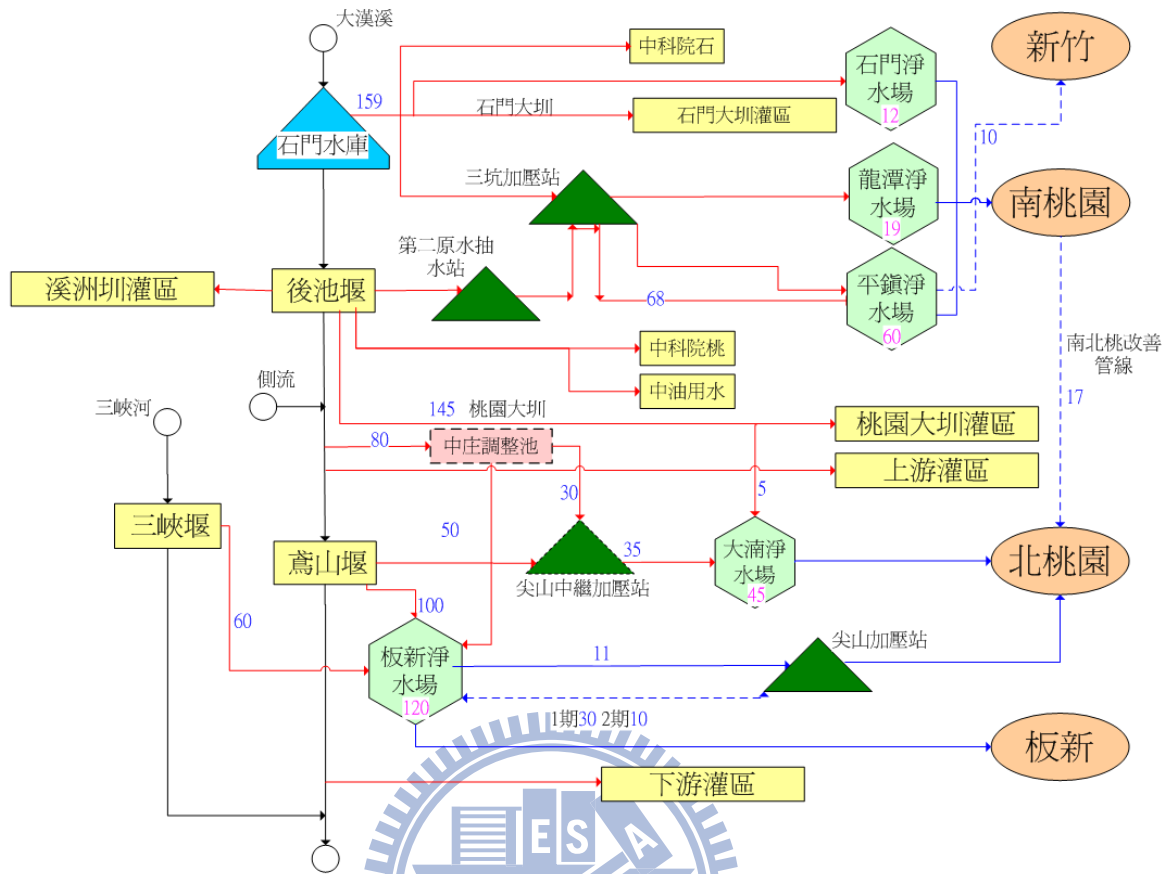


圖 5-3 石門水庫供水系統圖

資料來源：經濟部水利署-北部地區水資源供應風險管理機制探討與建立(1/2)

圖 5-3 為石門水庫水資源調配系統架構，由圖得知石門供水系統重要水工結構物有石門水庫、後池堰、鳶山堰與三峽堰等，以及平鎮、龍潭、石門、大湳與板新淨水場等。以下將針對重要水資源調配之操作原則進行說明：

(一) 石門水庫

石門水庫主要依照其運用規線進行調配，其運用規線如圖 5-4 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，依據計畫配水量供水為原則，為因應可能之持續乾旱，北水局得邀集相關單位預先協商配水量減

供措施；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。

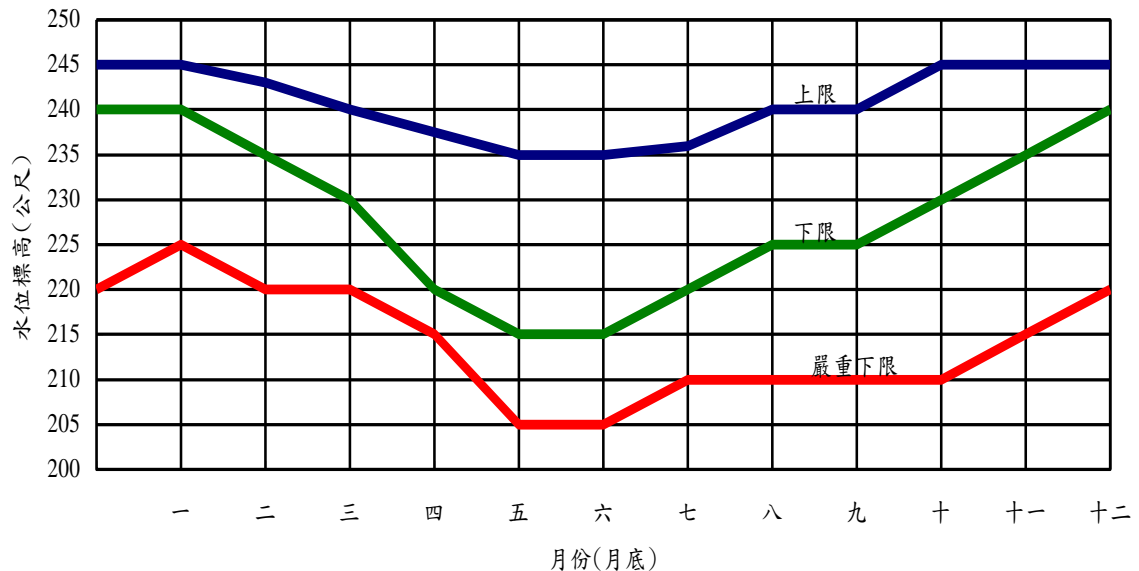


圖 5-4 石門水庫運用規線圖

(二) 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，俾使尖峰發電的水量得全日平均供給桃園大圳及下游灌區等引用。桃園大圳及溪州圳取水口分別位於左岸及右岸，取水口位置分別為 129.5 公尺及 131.85 公尺。

(三) 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 520 萬立方公尺(民國 86 年測量結果)。鳶山堰屬為一以公共給水為標的之堰壩，以大漢溪為水源，用以攔截水庫放水、灌溉回歸水及水庫下游流域之側流量。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 100 萬 CMD，動力導水箱涵其輸水容量為 60 萬 CMD；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 35 萬 CMD。

(四) 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。設計最大取水量為 60 萬 CMD，年平均可引用水量約為 6700 萬立方公尺，於民國八十八年四月開始輸送水量，平均每日取水量為 18.4 萬 CMD。

(五) 淨水場

大漢溪流域淨水場相關資料整理如表 5-1 所示，其說明如下：

1. 石門淨水場

於石門大圳設置取水口取水，原水取自石門水庫，淨水場設計處理容量為每日 12 萬立方公尺。

2. 平鎮淨水場

先前由石門大圳設置取水口取水，現平鎮第二原水抽水站工程完工，亦可於後池堰設置加壓抽水設備取水，並由專管送至淨水場，原水取自石門水庫，淨水場設計處理容量為每日 60 萬立方公尺。

3. 龍潭淨水場

於石門大圳設置取水口取水，原水取自石門水庫，淨水場原設計處理容量為每日 5 萬立方公尺。「石門水庫及其集水區整治計畫」完成後，處理能力將提升至每日 19 萬立方公尺。

4. 大湳淨水場

優先使用桃園大圳取水口取水（取用桃園水利會加強灌溉管理節省水量），進水口設置在桃園大圳北岸，不足量再由鳶山堰取水，以管路加壓輸送（上限每日 35 萬立方公尺）。當桃園大圳歲修或其農

業用水量不足時，則大湳水場需求水量全自鳶山堰取水。淨水場設計處理容量為每日 30 萬立方公尺，「石門水庫及其集水區整治計畫」完成後，處理能力將提升至每日 45 萬立方公尺。

5. 板新淨水場

板新水場有二種取水方式：1.為自三峽堰抽取水量，以專管送至淨水場處理，最大抽水量為每日 60 萬立方公尺；2.從鳶山堰設置取水口取水，亦由專管送至淨水場，最大輸水量為每日 100 萬立方公尺，淨水場設計處理容量為每日 120 萬立方公尺。

表 5-1 大漢河流域之淨水場說明

供水區域	供水淨水場	設計最大供水能力	供水區域	備註
南桃園	石門淨水場	12 萬 CMD	與平鎮淨水場同供水範圍	支援平鎮淨水場供水
	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)	提供南桃園所有工業區用水
	龍潭淨水場	5 萬 CMD 提升至 19 萬 CMD	龍潭、大溪與復興部分地區	考量龍潭淨水場擴建
北桃園	大湳淨水場	30 萬 CMD 提升至 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)	提供北桃園所有工業區用水
	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	經尖山加壓站加壓後支援北桃園 10 萬 CMD

5.2 石門水庫乾旱應變規則

本研究根據民國九十九年經濟部水利署之計畫「北部地區水資源供應風險管理機制探討與建立」，擬定之石門水庫乾旱應變規則，詳細規則詳見圖 5-5，主要將乾旱應變分為三級，當水庫水位介於下限與嚴重下限之間，屬於乾旱三級，水庫水位位於嚴重下限時，若未來水情良好則與乾旱二級，若未來水情不佳則屬乾旱一級。

乾旱三級時，若未來水情良好，則農業目標需求量以 75% 進行供水，公共目標需求量以 90% 進行供水，若未來水情不佳，則農業目標需求量以 50% 進行供水，公共目標需求量以 90% 進行供水；於乾旱二級時，農業目標需求量以 50% 進行供水，公共目標需求量以 80% 進行供水；於乾旱一級時，公共目標需求量以 80% 進行供水，農業用水則視發生時間是否在兩期耕作之前，若發生在兩期耕作之前，則大漢溪部分灌區休耕。

而未來水文情勢是以歷史資料進行統計，計算方式如 (5-1 式) 所示：

$$FHS^t = \frac{FD^t - (FI^t + WS^t)}{FD^t} \quad (5-1 \text{ 式})$$

FHS^t ：第 t 時刻之未來水文情勢；

FD^t ：第 t 時刻之未來 90 天計畫供水量總和；

FI^t ：第 t 時刻之未來 90 天之入流量總和；

WS^t ：第 t 時刻之水庫蓄水量；

其中， FI^t 之取得方式舉一例說明，假設有十年之歷史資料，就可以得到各月各日之十筆未來 90 天總入流量資料（例如一月一日，因為有十年，就有一月一日十筆資料），然後對這十筆資料排序求得各日各

超越機率下之未來 90 天總入流量，本研究已超越機率 75% 的值作為未來 90 天總入流量輸入值。

而未來水文情勢則是用來判斷未來三個月內其總缺水率之情況，以本研究區域為例，當缺水率小於 0.1 的時候，我們判定其未來水文情勢好，反之則差。

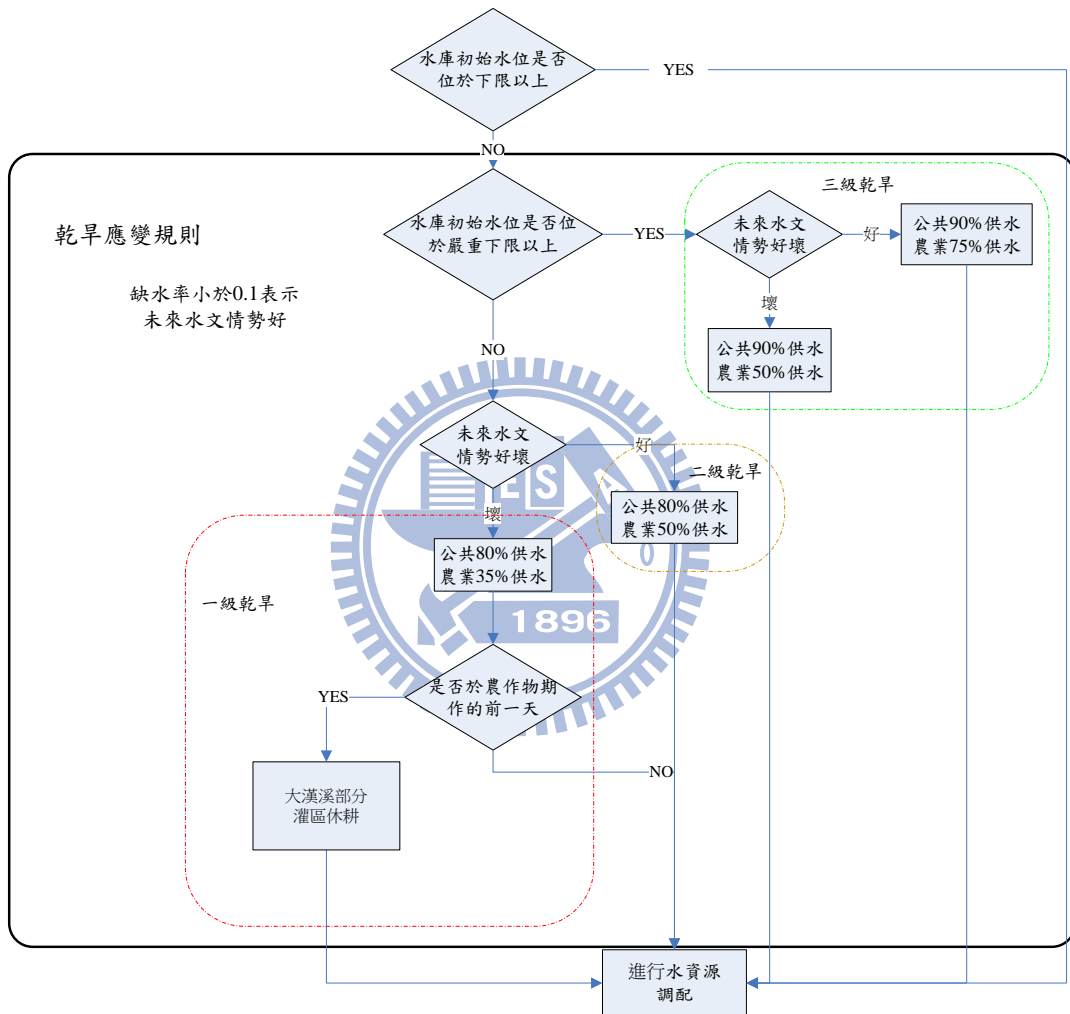


圖 5-5 石門水庫乾旱應變規則

5.3 水文資料之合成與驗證

5.3.1 雨量驗證

歷史雨量的部份，石門水庫集水區內主要有 10 個雨量站，分別為石門、巴陵、高義、長興、三光、白石、玉峰、嘎拉賀、鎮西堡，各雨量的觀測年數與詳細資訊詳見表 5-2。本研究以徐昇式多邊形法計算石門水庫集水區的平均雨量，各雨量站之面積劃分與權重比詳見圖 5-6 與表 5-2。石門集水區年平均降雨量約為 2,350 毫米，降雨主要集中於 5~10 月，以八月的雨量最高，而 11 月~隔年 1 月雨量偏少。

合成雨量的部份，本研究總共和成出一百組雨量資料，我們將這一百組資料依年總雨量由大到小排序，並分成大、中以及小雨量三個等分，並從各分類中隨機挑出一組合成資料與歷史資料做比對，比對結果如下圖 5-7 與圖 5-8，平均雨量之相關係數分別為 0.996、0.993 及 0.959，而標準偏差相關係數分別為 0.832、0.865 及 0.785。

表 5-2 石門水庫集水區各雨量站之詳細資料

站號	站名	所屬單位	資料年限	TM 2 度分帶 X 座標	TM 2 度分帶 Y 座標	標高 (m)	面積雨量 權重
21C050	石門	水利署	1941~2008	273451	2745097	255	0.018
21C070	巴陵	水利署	1954~2008	289171	2731177	1220	0.075
21C080	高義	水利署	1954~2008	285756	2734043	620	0.127
21C090	嘎拉賀	水利署	1956~2008	289655	2726339	1260	0.123
21C110	長興	水利署	1964~2008	280209	2743888	350	0.151
21C150	三光	水利署	1954~2008 (缺 1986,2003)	286273	2729607	630	0.038
21D140	秀巒	水利署	1951~2008	278034	2723777	840	0.045
21D150	玉峰	水利署	1954~2008	279650	2728315	780	0.049
21D160	白石	水利署	1940~2008	275537	2720438	1620	0.115
21D170	鎮西堡	水利署	1954~2008	280235	2718811	630	0.259

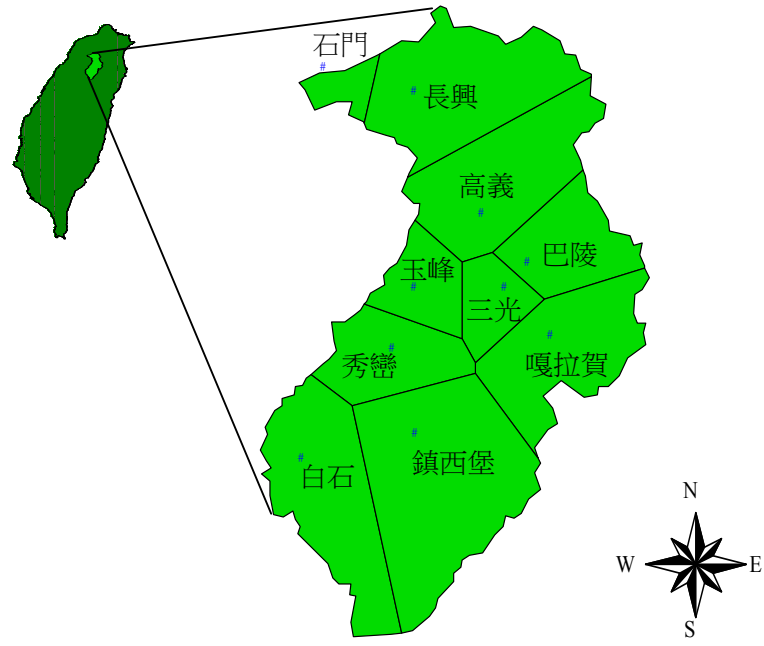


圖 5-6 石門水庫集水區各雨量站徐昇面積權重圖

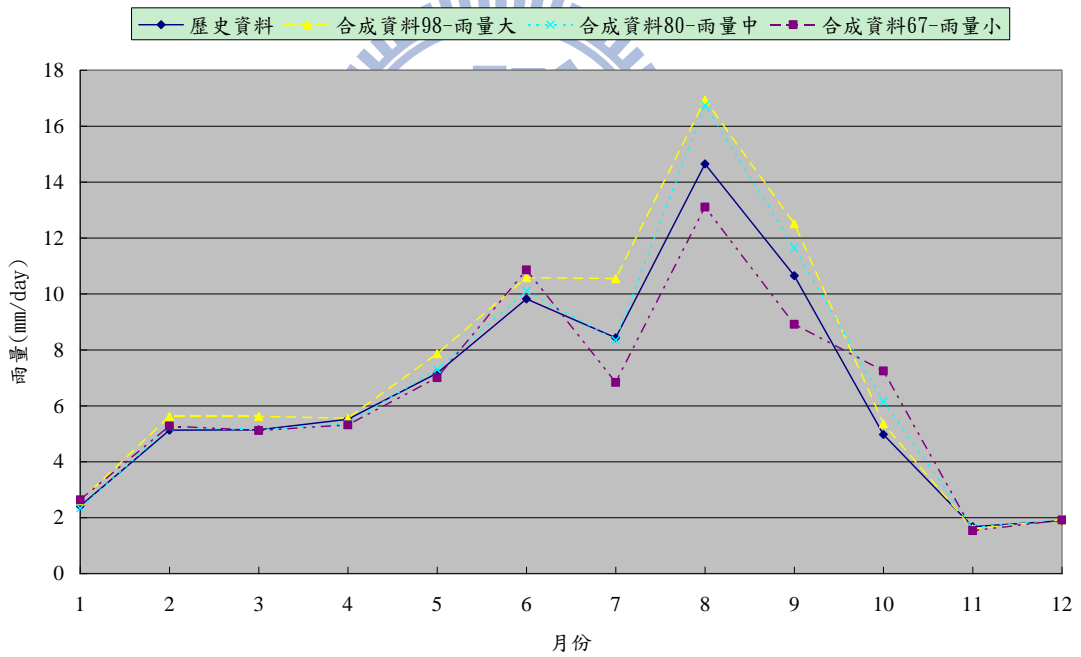


圖 5-7 歷史與合成資料各月日平均降雨量比較

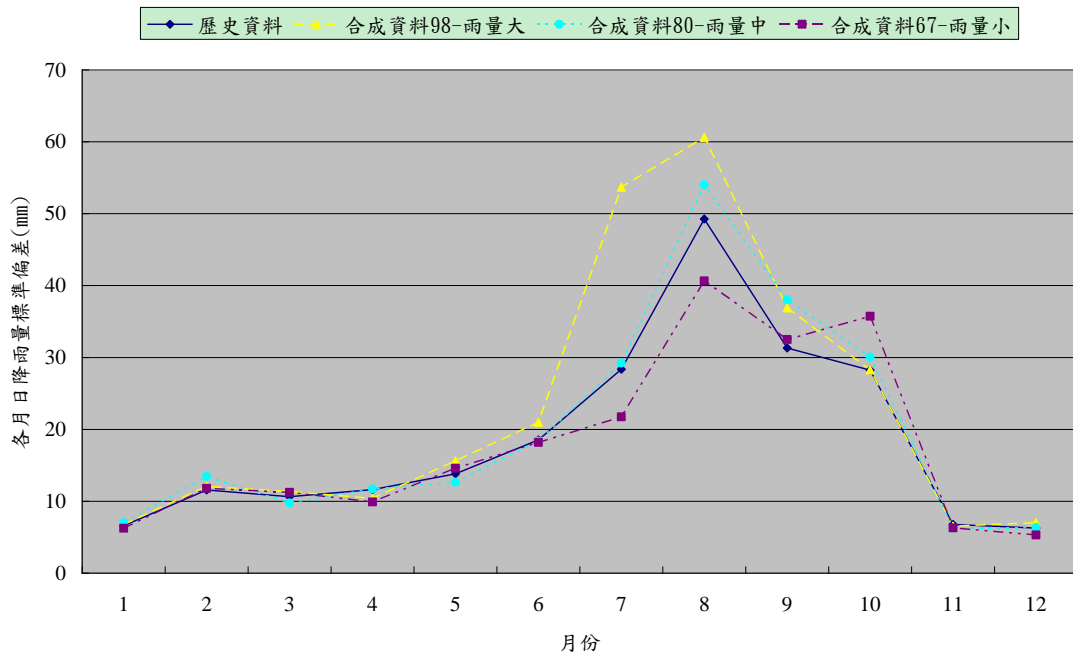


圖 5-8 歷史與合成資料各月日降雨量標準偏差比較

5.3.2 流量驗證

本研究長期降雨逕流推估採用 GWLF 模式進行演算，由於模式中有多項參數待定，如逕流係數 CN 值、最大土壤水分容量、覆蓋係數、退水係數等，本研究假設氣候變遷並不影響這些參數值，故氣候變遷前後參數值不變，各參數值可透過參數檢定求得。模式參數值的合理範圍乃參考 GWLF 使用手冊與相關水文書籍並配合研究區域實際地理特性訂定之，各參數範圍訂定說明如下：

一、逕流係數 CN 值

模式之逕流係數 (CN) 依臨前土壤水份分為三類，分別為 CN3 (溼潤情況)、CN2 (平均情況)、CN1 (乾燥情況)，其中 CN2 值則依照土壤分類與土地利用決定，美國水土保持局土壤類別分為 A、B、C、D 四類別，台灣水土保持局土壤質地分類之對照說明詳見表 5-3，各土壤類別不同土地利用下之 CN2 建議值詳見表 5-4。

石門水庫集水區主要土壤分類有黃棕色紅壤、紅黃色準灰壤、黑色基

性岩土、沖積土、灰化紅黃壤及石質土，分別屬於 A、B、C 土壤類別。根據民國 82 年環保署委託省糧食局土地利用調查資料顯示，目前石門水庫集水區土地利用狀況大致可劃分為農墾地(包括稻作、旱作、果園)面積共 2,023 公頃，佔總面積 2.66%；林地(包括針葉林、闊葉林、竹林、針闊竹混合林、灌木林)所佔面積最廣，共 71,019 公頃，佔總面積 93.43%；開發地(公園、遊樂區、工礦用地、建地、墓地、道路)面積共 449 公頃，佔總面積 0.58%；水面用地(包括魚池、水系、其他水面)面積共 1,349 公頃，佔總面積 1.78%；其他用地(包括草生地、荒地、崩塌地、其他)面積共 1,174 公頃，佔總面積 1.55%。故本研究參考表 5-3，配合土壤類別及土地利用訂定石門水庫集水區之 CN2 參數範圍為 45~88。

表 5-3 土壤分類對照表

本省分類代碼	表土質地分類	美國水土保持局分類
0	粗砂土、砂土	A
1	細砂土、壤質砂土、壤質粗砂土	A
2	壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細砂質壤土	B
3	極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土	A
4	坩質壤土、坩土	B
5	壤土	B
6	砂質粘壤土	C
7	粘質壤土、坩質粘壤土	C
8	坩質壤土、砂質黏土	D
9	黏土	D

表 5-4 不同土壤分類與土地利用情況下之 CN2 建議值

土地利用情形	土壤分類			
	A	B	C	D
耕地：				
無保護措施	72	81	88	91
有保護措施	62	78	78	81
牧草地或放牧地：				
不良情況	68	79	86	89
良好情況	39	61	74	80
草地：良好情況	30	58	71	58
森林：				
稀疏、覆蓋少、無覆蓋物	45	66	77	83
良好覆蓋	25	55	70	77
空地、林間空地、公園、高爾夫球場、墓地等：				
良好情況：草地護蓋超過 75% 之面積	39	61	74	80
稍好情況：草地護蓋 50~75% 之面積	49	69	79	84
商業區(85%面積不透水)	89	92	94	95
工業區(72%面積不透水)	81	88	91	93
住宅：				
≤ 1/8 英畝(506m ²) 65%	77	85	90	92
1/4 英畝(1012m ²) 38%	61	75	83	87
1/3 英畝(1349m ²) 30%	57	72	81	86
1/2 英畝(2024m ²) 25%	54	70	80	85
1 英畝(4047m ²) 20%	51	68	79	84
鋪石(混凝土或柏油)、停車場、屋頂、道路等	98	98	98	98
街道	98	98	98	98
鋪石(混凝土或柏油)道路及雨水下水道	76	85	89	91
碎石道路 泥土道路	72	82	87	89

二、 最大土壤水分容量

最大土壤水分容量隨不同土壤種類而異，本研究參考易任、王如意之應用水文學（詳見表 5-5），將研究區域最大土壤水分容量之合理範圍訂定為 3~9 cm/day。

表 5-5 不同土壤種類之最大土壤水分容量(單位 cm/day)

土壤種類	土壤乾重之百分率(%)		
	田間含水量	凋萎點	最大土壤水分容量
砂	5	2	3
砂壤土	12	5	7
壤土	19	10	9
泥壤土	22	13	9
黏壤土	24	15	9
黏土	36	20	16

資料來源：易任、王如意著應用水文學

三、 覆蓋係數

覆蓋係數因子隨不同土地利用、不同植物種類、不同季節而不同。本研究將覆蓋係數之合理範圍訂定為 0.1~1。

表 5-6 不同植物之覆蓋係數

多年生植物覆蓋係數			
月份	葡萄	甘蔗	落葉果林
1 月	1.16	0.65	0.58
2 月	1.23	0.5	0.53
3 月	1.19	0.8	0.665
4 月	1.09	1.17	0.74
5 月	0.95	1.21	0.73
6 月	0.83	1.22	0.7
7 月	0.79	1.23	0.81
8 月	0.8	1.24	0.96
9 月	0.91	1.26	1.08
10 月	0.91	1.27	1.03
11 月	0.83	1.28	0.82
12 月	0.69	0.8	0.65

資料來源：氣候變遷與環境生態上課講義，童慶斌

四、退水係數

退水係數參考 GWLF 使用手冊，設定其合理範圍為 0.01~0.2。

各參數之合理範圍設定整理如表 5-7 所示。

表 5-7 GWLF 模式參數合理範圍

參數	合理範圍	單位
CN2	45~88	無
覆蓋係數	0.1~1	無
退水係數	0.01~0.2	無
最大土壤水分容量	3~9	cm/day

本研究以 1973~1998 年共 26 年作為訓練案例，1999~2004 年作為驗證案例，以試誤法進行參數檢定，訓練結果如圖 5-9 所示，結果顯示歷年各月日平均流量模擬值與觀測值非常接近，模擬日平均流量與觀測日平均流量非常接近，相關係數高達 0.92，驗證結果如圖 5-10 所示，歷年各月日平均流量模擬值與觀測值之相關係數高達 0.94，顯示 GWLF 確可有效推估流量變化趨勢，各參數之檢定結果整理如表 5-8 所示。

表 5-8 GWLF 模式參數檢定結果

參數	石門水庫參數檢定結果	單位
CN2	50	無
覆蓋係數*土壤水分因子	0.8	無
退水係數	0.04	無
最大土壤水分容量	5	cm/day
起始未飽和層含水量	3	cm/day
起始飽和層含水量	6	cm/day
深層滲漏率	0	cm/day

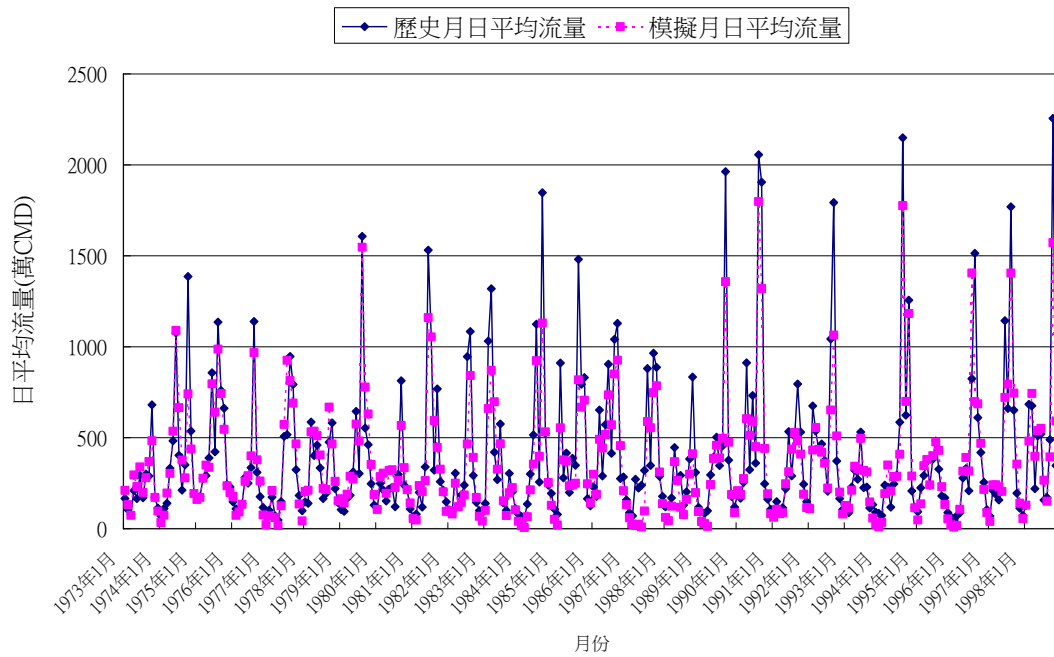


圖 5-9 石門水庫訓練案例(1973~1998)分析結果

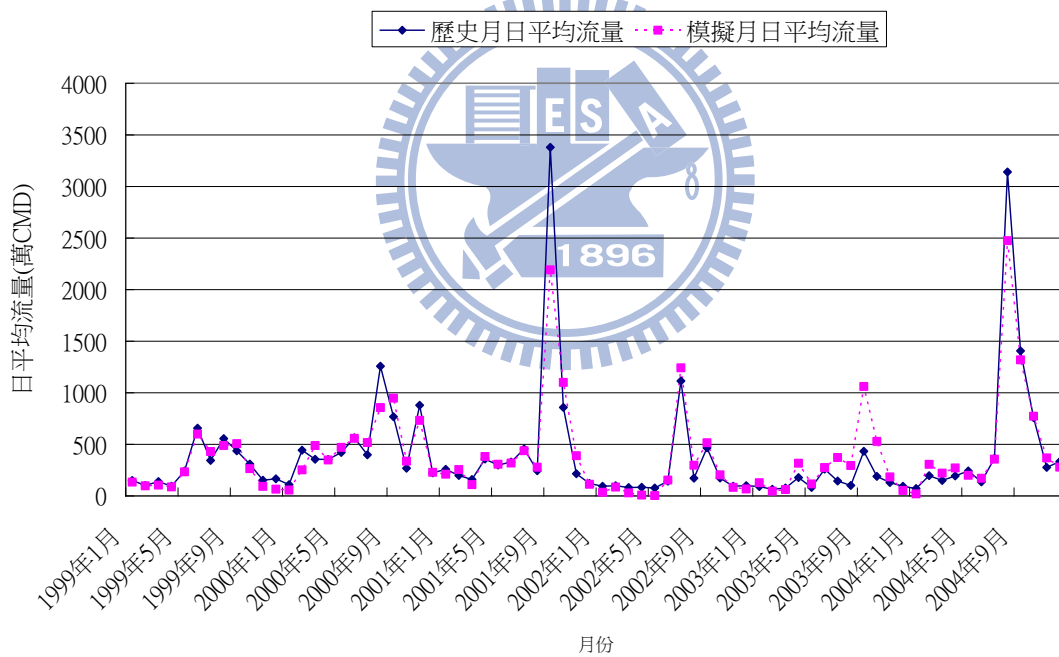


圖 5-10 石門水庫驗證案例(1999~2004)分析結果

5.4 石門水庫水資源調配模擬

以圖 5-3 石門水庫水資源調配系統圖，配合各水工結構物之操作原則與淨水場的處理能力，利用本模式的節點與箭線設定建構出之模型如圖 5-11 所示。

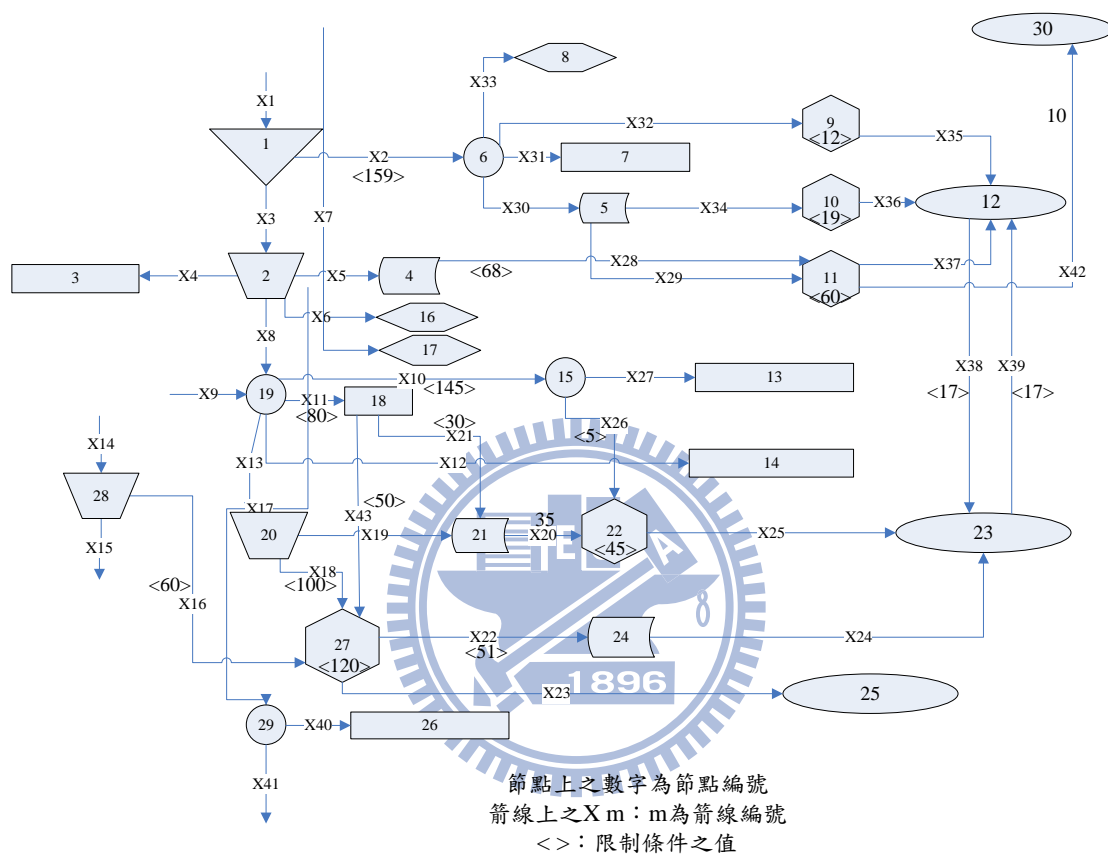


圖 5-11 石門水庫水資源調配模型

模式中主要的輸入資料包含入流量、需求量、管線限制及淨水場處理能力等，其中管線限制與淨水場處理能力已標示於圖 5-11。其餘資料如入流量、需求量之說明如下

一、天然入流量

石門水庫調配系統之天然入流量包含石門水庫入流量、鳶山堰側流量與三峽堰入流量，其中石門水庫歷史流量由北水局提供的「石門水庫運用統計報表」取得，而三峽堰入流量及鳶山堰側流量則以石門水庫入流量利用面積比推估之，石門水庫、鳶山堰與三峽(2)流量站之集水面積如表 5-9

所示。

二、 標的需求量

石門水庫所需滿足的標的需求量有生態基流量，公共用水需求量(含民生與工業用水)及農業用水需求量，各需求量之目標量說明如下：

(1)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。本研究依照行政院民國 91 年「台灣地區水資源開發綱領計畫」報告書中建議之每 100 平方公里須有 0.135 CMS 之保育用水量為保留目標，大漢溪、鳶山堰側流、大漢溪匯流口及三峽河入流量其各控制點之生態基流保留量如表 5-10 所示。

(2)公共用水需求量

石門水庫主要公共用水供應區域為南桃園，北桃園及板新地區，本研究以水利署民國 98 年「石門水庫及其集水區整治計畫之經濟效益評估」報告中民國 110 年之中成長需水量作為公共用水目標需求量(詳見圖 5-12、5-13)。

(3)農業用水需求量

石門水庫主要供應之農業用水區域包含石門大圳、桃園大圳、溪州圳和大漢溪中下游灌區，其中大漢溪中游灌區包含包含土銀圳、順時埔圳、月眉圳、十三張圳、二甲九圳、石頭溪圳、公館后圳、隆恩埔圳，大漢溪下游灌區為后村圳，本研究以水利署民國 98 年「石門水庫及其集水區整治計畫之經濟效益評估」報告作為農業用水需求量，各圳路之農業用水量整理如表 5-11 所示。

表 5-9 大漢河流域控制點集水面積

控制點	控制點集水區面積(平方公里)	各控制點所屬河系
石門水庫	763.40	大漢溪
鳶山堰	869.00	大漢溪
三峽(2)流量站	112.60	大漢溪

表 5-10 各河系之生態基流保留量

地區	控制點	控制點集水區面積 (平方公里)	生態基流保留量 (萬CMD)
桃園	石門水庫	763.40	8.904
	鳶山堰	869.00	10.136
	大漢溪匯流 口	1163	13.565
	三峽流量站	112.60	1.313

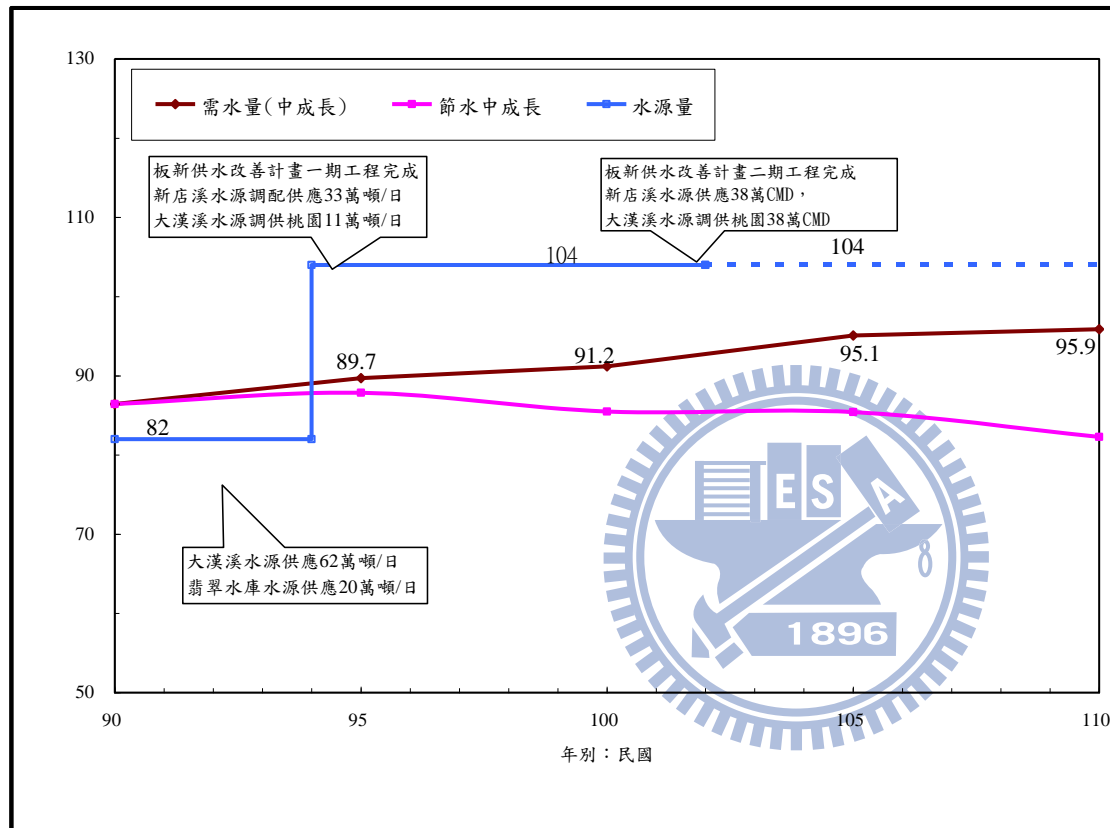


圖 5-12 板新地區公共給水目標年需求量

(資料來源：經濟部水利署，石門水庫及其集水區整治計畫之經濟效益評估，民國 98 年)

110年

人口201.6萬人(較90年成長10.3萬人)

自來水系統抄見率74.81%(較90年成長5%)

每人每日用水量305公升(較90年成長12公升)

單位：萬CMD

目標年	90	95	100	105	110
高成長	86.4	89.7	91.2	99.1	102.3
中成長	86.4	89.7	91.2	95.1	95.9
低成長	86.4	89.7	91.2	95.1	95.9
節水中成長	86.4	87.9	85.5	85.4	82.3

高成長:中成長+規劃及研議中之新增工業區

林口發電廠更新

台北港電廠

中成長:低成長+編定及報編中之工業區

低成長:民生及現有工業成長+開發中工業區

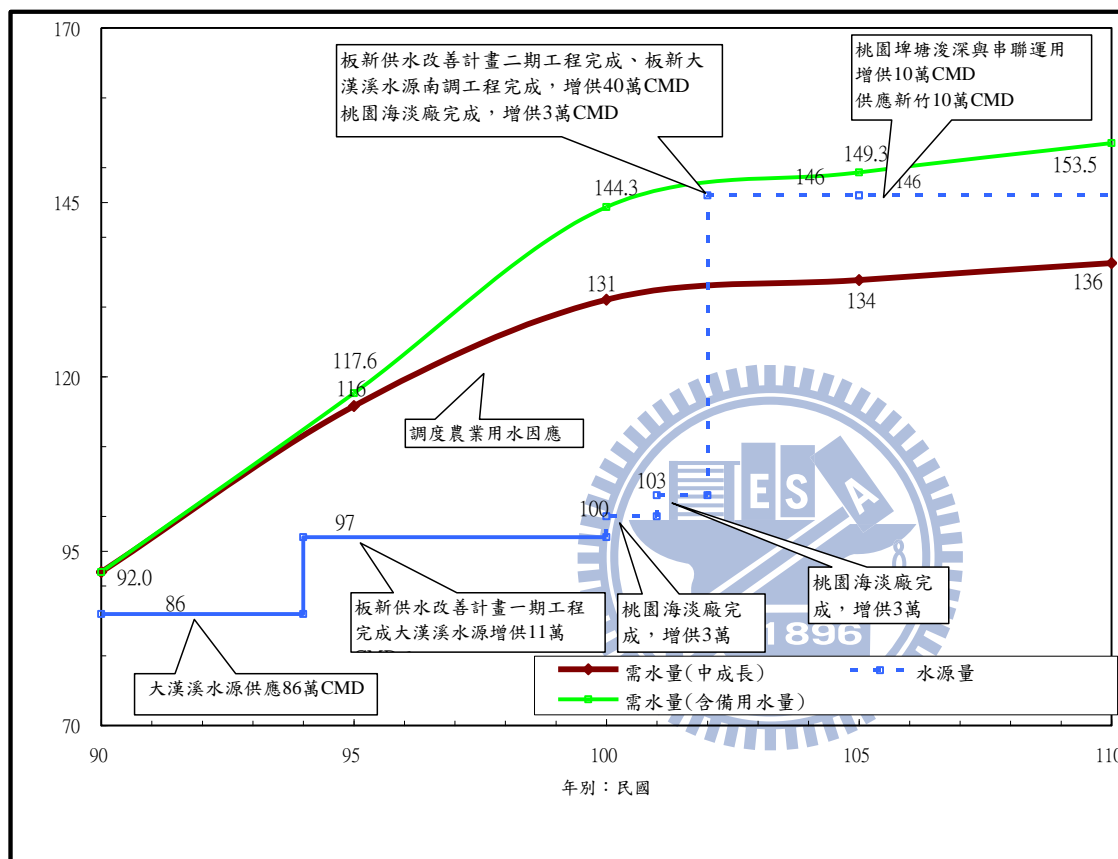


圖 5-13 桃園地區公共給水目標年需求水量

(資料來源：經濟部水利署，石門水庫及其集水區整治計畫之經濟效益評估，民國 98 年)

110年
人口198.0萬人(較90年成長21.7萬人)

自來水系統抄見率79.31%(較90年成長5%)

每人每日用水量310公升(較90年成長11公升)

單位：萬CMD

目標年	90	95	100	105	110
高成長	92.0	134.6	161.1	167.1	171.0
中成長	92.0	115.8	131.0	133.9	136.3
低成長	92.0	97.8	100.0	102.8	105.2
節水 中成長	92.0	113.7	124.6	123.3	121.6
中成長(含 備用水量)	92.0	117.6	144.3	149.3	153.5

高成長：中成長+規劃及研議中之新增工業區

濱海地區整體開發 秀才科技園區

中成長：低成長+編定及報編中之工業區

桃園科技工業區 華映桃園八德廠

桃園觀塘工業區 華亞科技園區

宏碁智慧園區 竹科龍潭基地

龍潭工業區 華映桃園龍潭廠

大潭濱海工業區

低成長：民生及現有工業成長+開發中工業區

展茂光電公司 華通電腦公司

大潭發電廠

表 5-11 桃園地區各灌區之農業需水用量 (單位：cms/d)

旬	灌區	石門大圳灌區	桃園大圳灌區	大漢溪中游灌區	大漢溪下游灌區	溪洲圳灌區
1		0	0	0.04	0	0.04
2		0	0	0.04	0	0.04
3		0	0	0.04	0	0.04
4		4.01	12.38	0.42	0.34	0.1
5		4.01	12.38	0.73	0.59	0.176
6		4.01	12.38	0.77	0.62	0.231
7		5	13.37	0.96	0.78	0.231
8		6	13.37	0.8	0.64	0.191
9		7	13.37	1.03	0.84	0.226
10		6	12.48	0.63	0.51	0.151
11		5	12.48	0.63	0.51	0.151
12		5	12.48	0.66	0.54	0.176
13		5	11.89	0.5	0.41	0.12
14		4	11.89	0.5	0.41	0.12
15		4	11.89	0.54	0.43	0.115
16		4	11.39	0.52	0.42	0.126
17		5	11.39	0.52	0.42	0.126
18		6	11.39	0.52	0.42	0.126
19		6	12.88	0.63	0.51	0.151
20		7	12.88	0.73	0.59	0.176
21		7	12.88	1.15	0.93	0.251
22		7	11.89	1.01	0.81	0.241
23		6	11.89	0.94	0.76	0.226
24		6	11.89	0.9	0.73	0.196
25		6	10.89	0.63	0.51	0.151
26		5	10.89	0.63	0.51	0.151
27		6	10.89	0.63	0.51	0.151
28		7	10.89	0.71	0.58	0.171
29		7	10.89	0.71	0.58	0.171
30		6	10.89	0.78	0.64	0.171
31		6	10.4	0.94	0.76	0.226
32		3	10.4	0.71	0.58	0.171
33		1.5	9.81	0.23	0.19	0.055
34		0	0	0.04	0	0.04
35		0	0	0.04	0	0.04
36		0	0	0.04	0	0.04

資料來源：

(1.各農田水利會灌溉計畫書。2.溪洲圳來源：97年7月中庄調整池可行性規劃書。)

將上述資料輸入模式進行模擬，並由模擬之結果中挑選其中一年之結果分為公共缺水率變化、農業缺水率變化與水庫蓄水量變化展示如圖 5-13、5-14 及 5-15，將公共、農業缺水率與水庫蓄水量進行比對，可確定本模式可以正確的依照操作規線與乾旱應變規則進行放水作業，而對於乾旱應變

規則的效用來看，在圖 5-14 中由框起來的 A 區域(大約為三月至五月之間)中可以看到，乾旱應變規則對於避免公共用水發生極端缺水的情況有顯著的效果，公共缺水率降低的主要原因為農業的休耕以及提高的供水打折率所提早的節水動作造成如圖 5-15 中的 C 區域，而在圖 5-14 中的 B 區域中缺水率仍然高達 80% 的主要原因為長期的低入流量導致水庫乾涸所致，如圖 5-16 中的 D 區域。

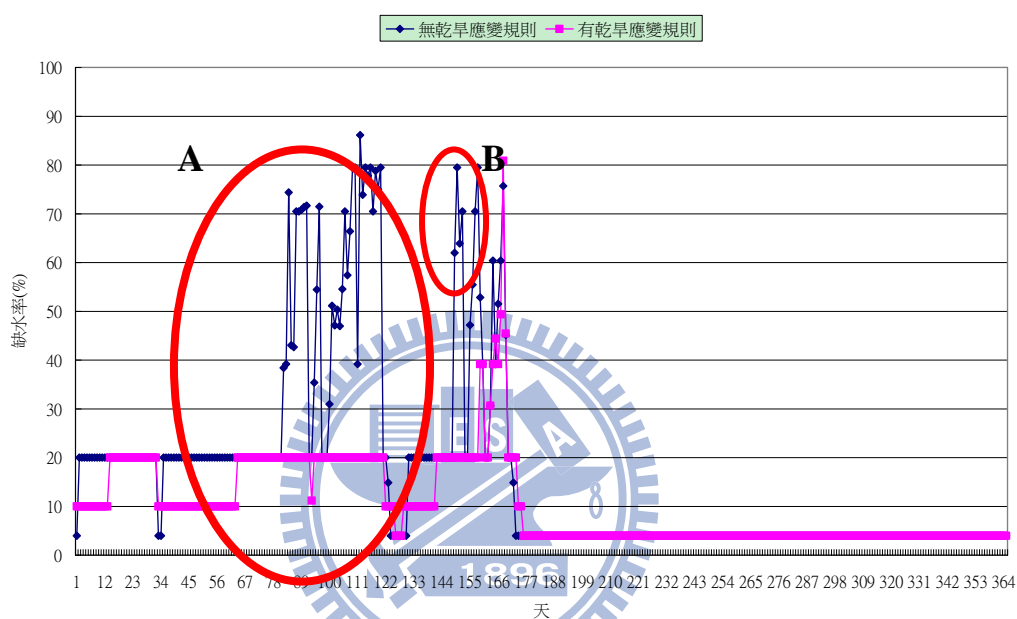


圖 5-14 以歷史流量資料模擬所得之公共缺水率變化

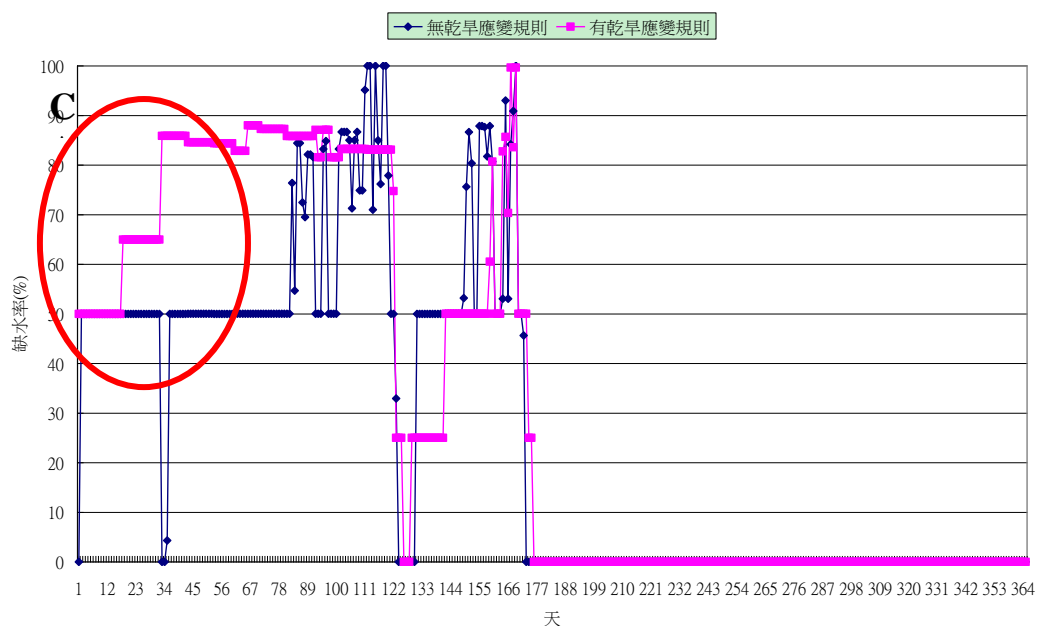


圖 5-15 以歷史流量資料模擬所得之農業缺水率變化

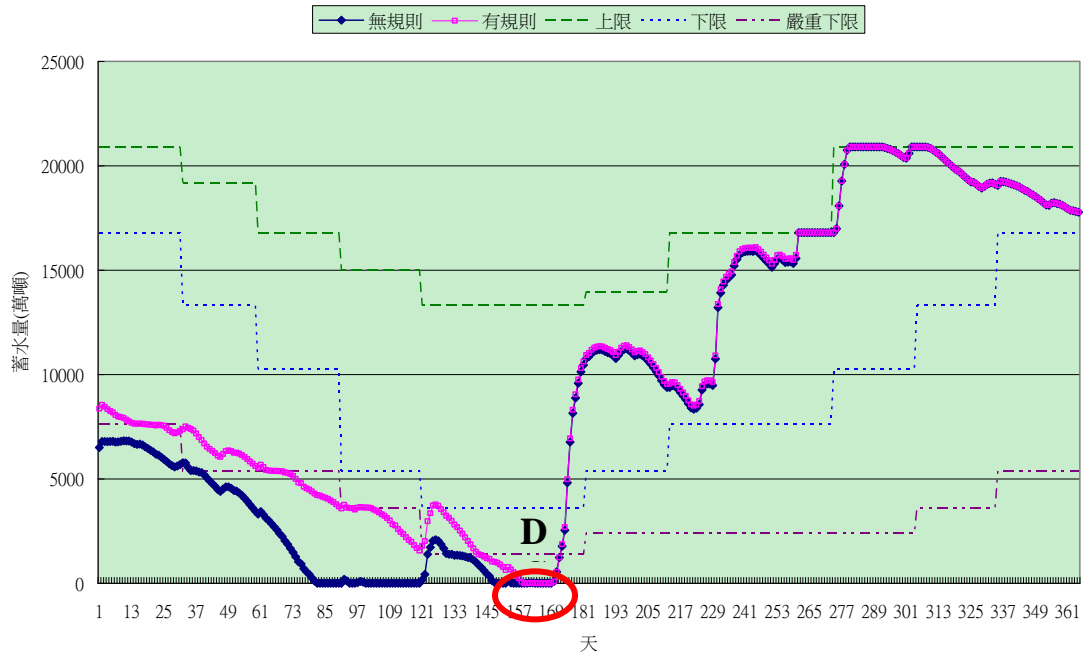


圖 5-16 以歷史流量資料模擬所得之水庫蓄水量變化

5.5 缺水風險分析

一、歷史流量水庫調配模擬分析

為了探討乾旱應變規則在不同流量下之豐水期（五月至十月）與枯水期（十一月至四月）對公共及農業缺水率的影響，我們將歷史平均年入流量依大小進行排序，並均分成三種狀況，分別如下：

- (1). $P \geq 66\%$ 為小流量；
- (2). $33\% \leq P < 66\%$ 為中流量；
- (3). $P \leq 33\%$ 為大流量；

其中 P 為年入流量之超越機率，將此三種情境分別對公共及農業缺水繪圖比較，如下圖 5-17 至 5-22。

圖 5-17 至 5-19 為公共缺水率在三種情境下之變化，圖中可看出乾旱應變規則在入流量小的時候對於 11 月至 12 月，以及 2 月至 5 月的公共缺水率改善效果相當明顯，而中流量與大流量的情況改善效果較為不明顯，甚至有稍微增加了缺水率的狀況，造成此狀況之原因為當雨量豐沛的年份，

有可能因前年雨量並不豐沛，導致該年年初之水庫水位尚位於下限以下，啟動了乾旱應變機制，而提早打折供水所致。

圖 5-20 至 5-22 為農業缺水率在三種情況下之變化，由於乾旱應變規則皆為增加農業之水之供水打則率或採取休耕的設定來供給公共用水，所以無論在哪種情境下，有乾旱應變規則農業缺水率皆較高。

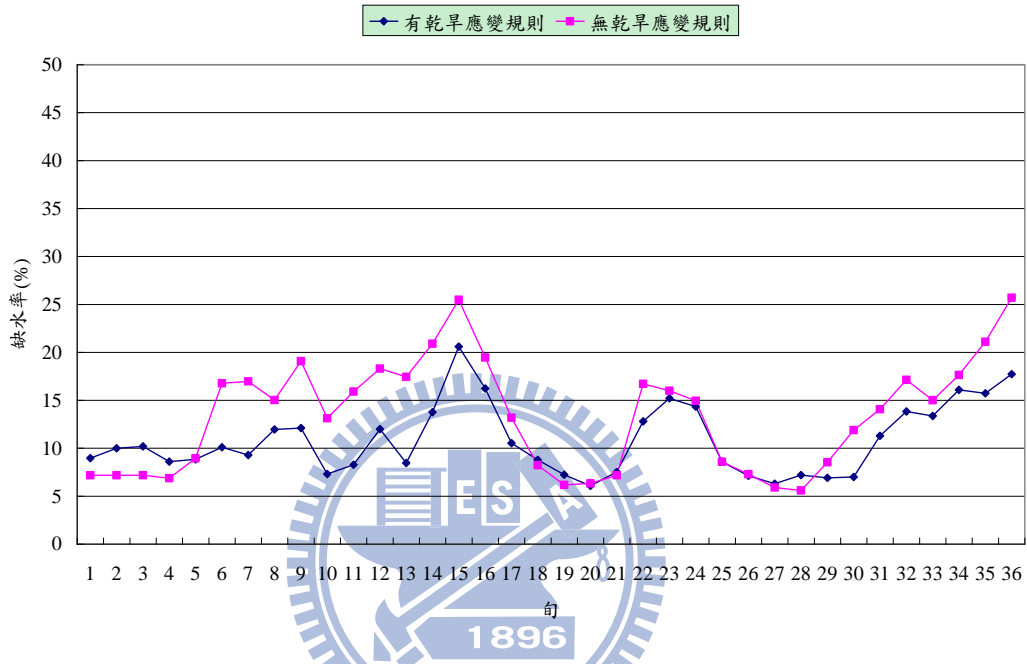


圖 5-17 以歷史小流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均公共缺水率

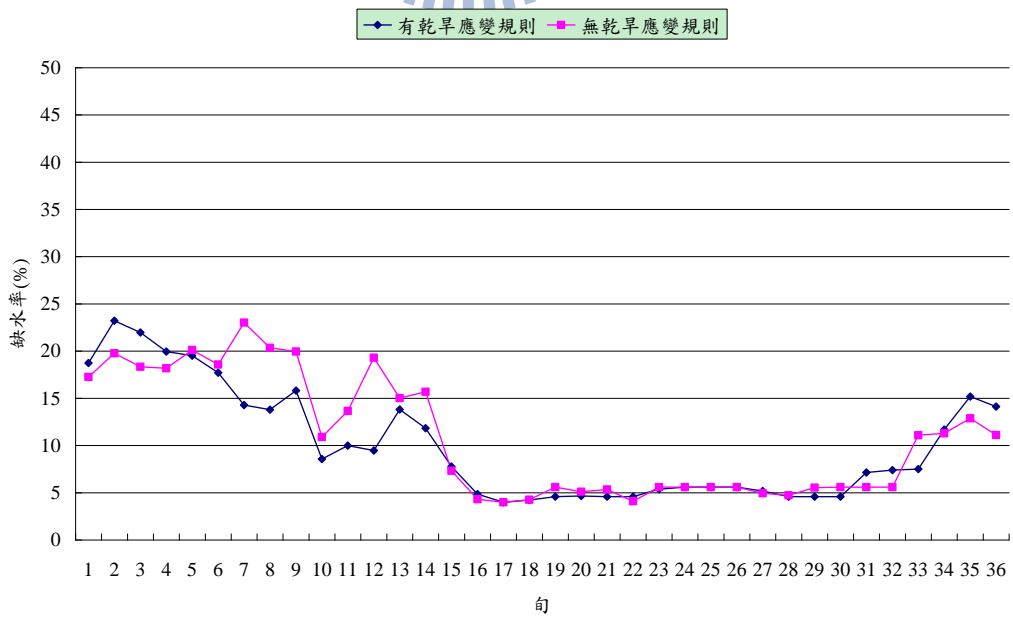


圖 5-18 以歷史中流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均公共缺水率

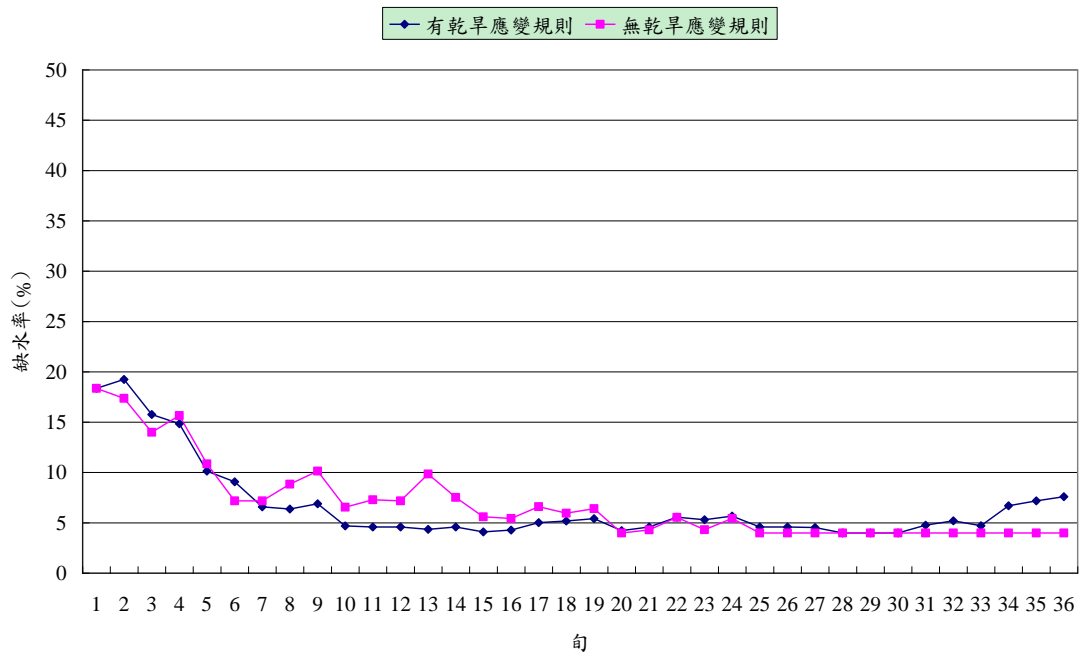


圖 5-19 以歷史大流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均公共缺水率

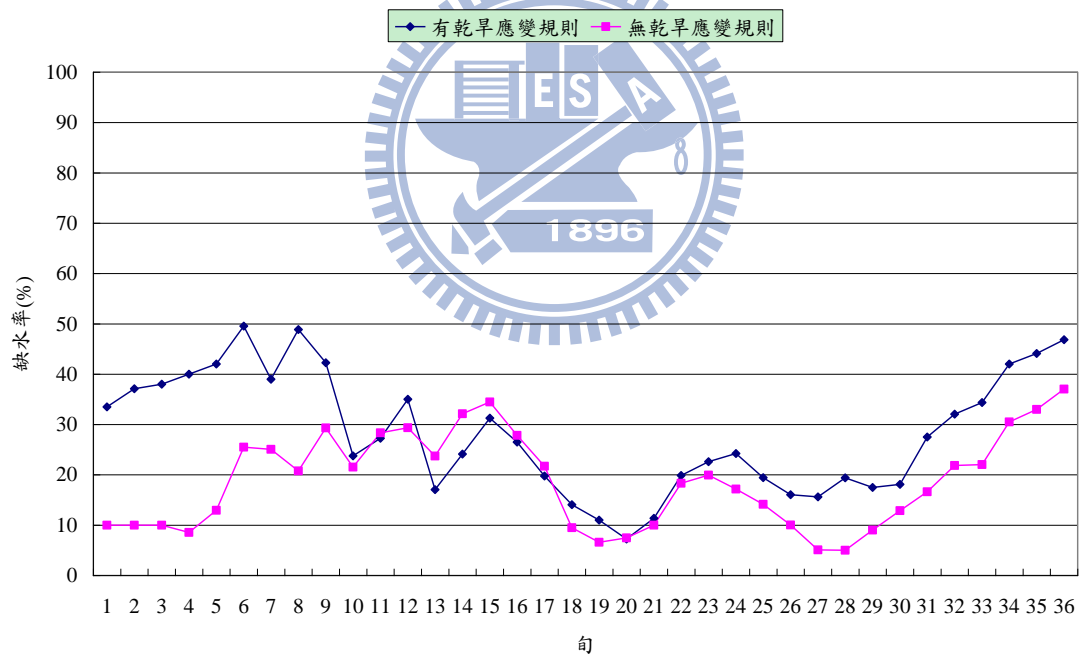


圖 5-20 以歷史小流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均農業缺水率

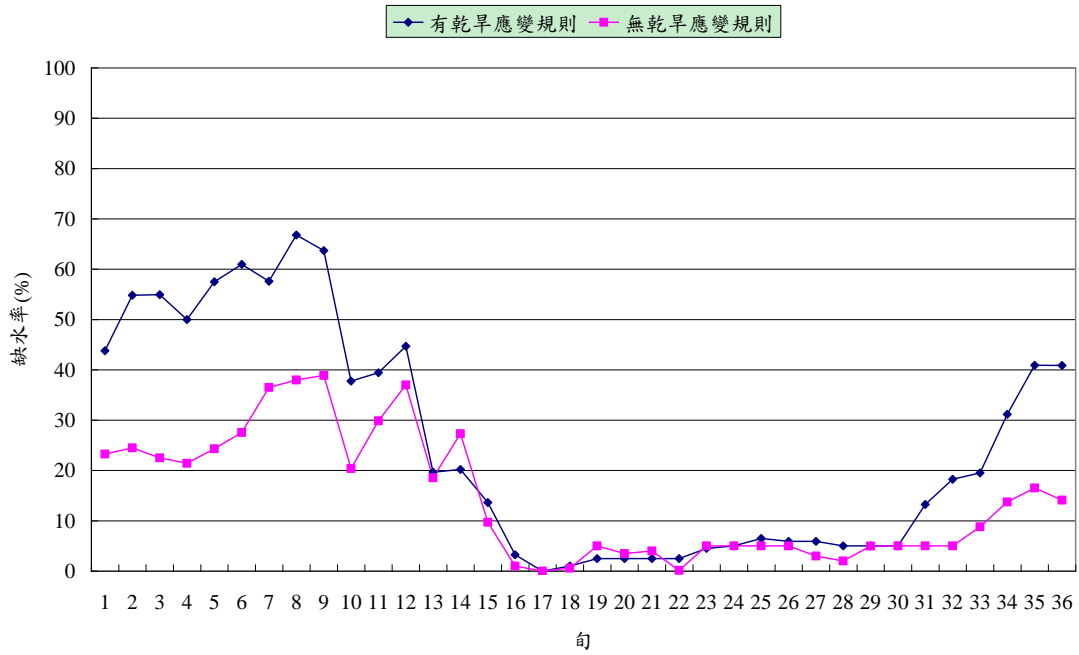


圖 5-21 以歷史中流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均農業缺水率

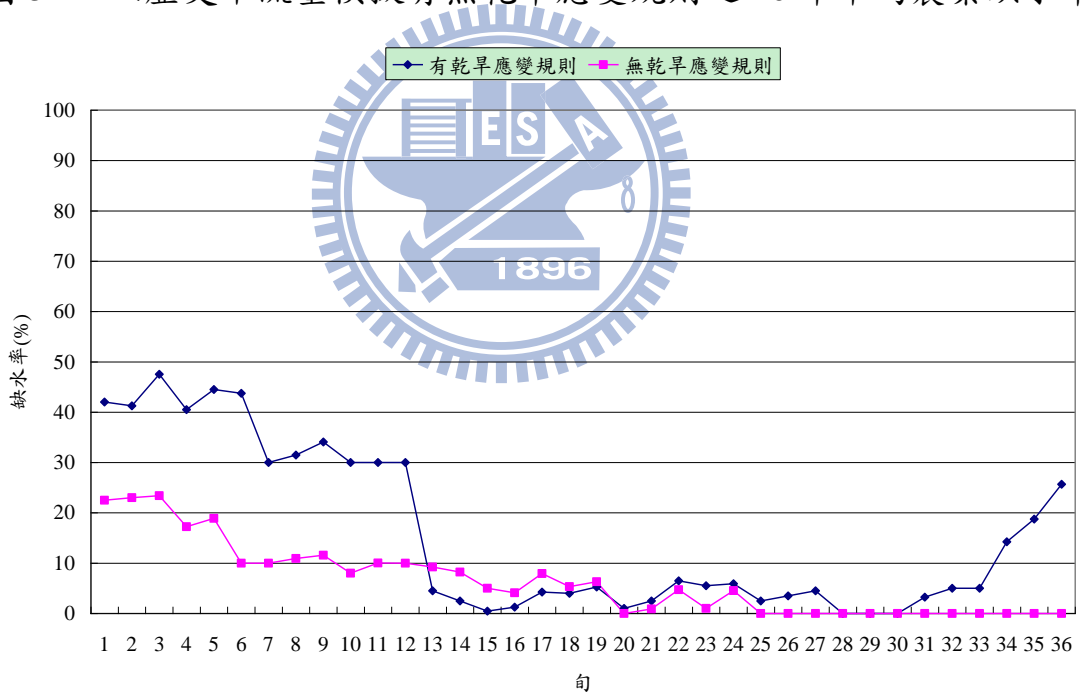


圖 5-22 以歷史大流量模擬有無乾旱應變規則之 10 年平均農業缺水率

二、合成流量水庫調配蒙地卡羅模擬分析

由前述分析可知缺水的情況在於豐水期（五月至十月）並不明顯，所以本研究將探討的目標放置在枯水期（十一月至四月）的缺水風險，將合成出的各組資料統計其各旬於乾旱應變規則下對缺水率的改善狀況及效果，我們將改善狀況分為變好、變差及不變三種，其結果如圖 5-23 及 5-24 所示，在效果方面，我們將各旬有乾旱應變規則之缺水率減去無乾旱應變規則之缺水率得其缺水率之差值作平均，其結果如圖 5-25 及 5-26 所示（圖中各旬之值若為負值表有乾旱應變規則可使缺水率降低）。

就圖 5-23 來看，公共缺水率在枯水期的改善狀況逐漸變好，於三及四月效果最佳，而在枯水期的改善效果雖然在十一月至二月公共缺水率提高的機率較高，但就圖 5-25 之公共平均缺水率來看，缺水率提高的幅度相對於降低的幅度來的小，就枯水期整體而言，乾旱應變規則還是有著改善的效果。

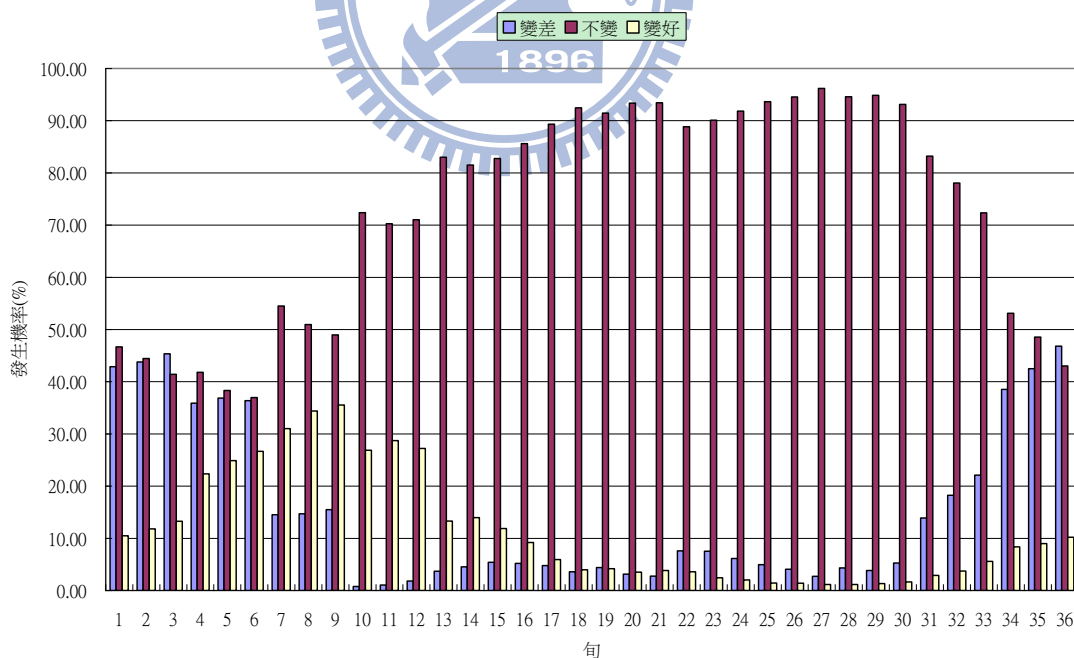


圖 5-23 在乾旱應變機制下公共缺水率之改善狀況

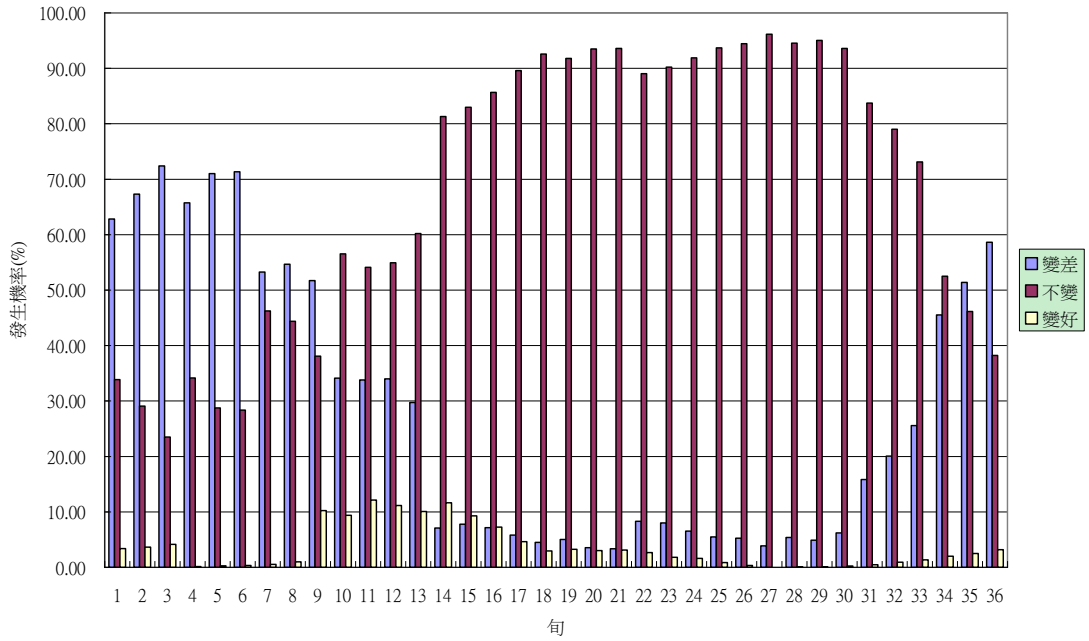


圖 5-24 在乾旱應變機制下農業缺水率之改善狀況農業

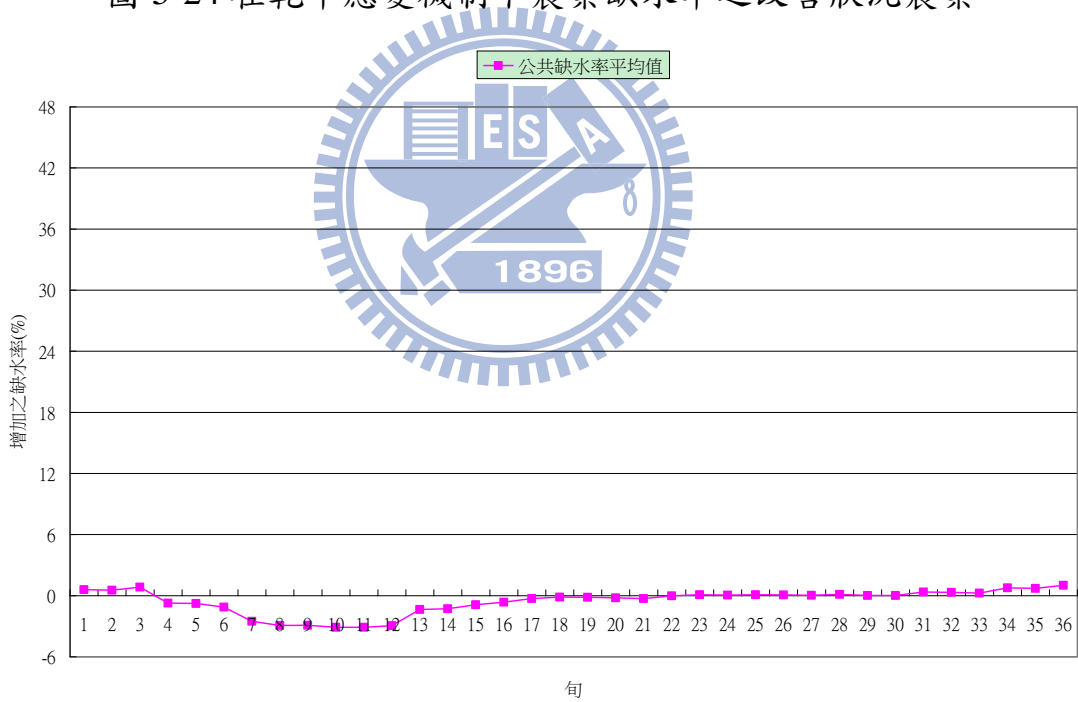


圖 5-25 在乾旱應變機制下公共平均缺水率之改善效果

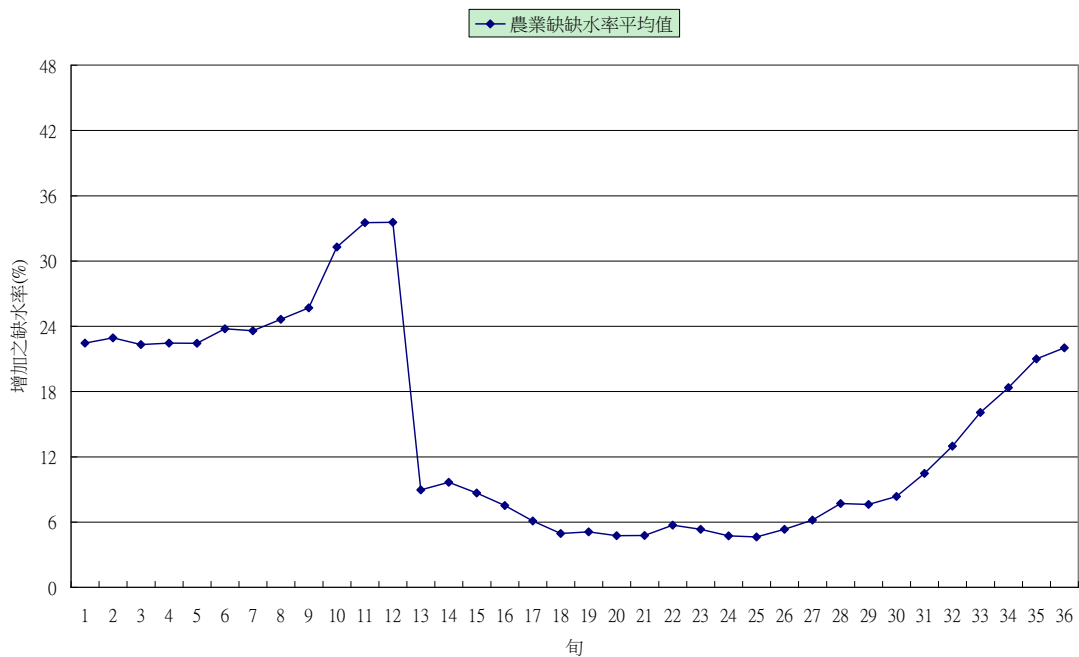


圖 5-26 在乾旱應變機制下農業平均缺水率之改善效果

經由前述的結果得知乾旱應變規則對枯水期的公共缺水率有改善的效果，所以我們將統計枯水期整體的缺水改善能力，計算其在枯水期的平均總缺水率經過排序後繪製成圖 5-27 與 5-28，由圖 5-27 中可看出有乾旱應變規則的大部分皆較無乾旱應變的缺水率低，但在缺水率較低的情況下則呈現反效果有應變機制的缺水率較高，此原因與前述歷史資料在雨量較豐沛的年份有乾旱應變規則之缺水率偶有較高一樣。而農業部份之結果也與歷史資料的結果一樣，皆因農業的休耕與打折率的提高而使得的缺水率提高許多。表 5-10 為各風險下有無乾旱應變規則之公共與農業缺水率變化。

表 5-12 枯水期不同風險下之缺水率變化

風險	公共缺水率(%)		農業缺水率(%)	
	無乾旱應變規則	有乾旱應變規則	無乾旱應變規則	有乾旱應變規則
5%	13.62	12.19	20.19	40.46
10%	13.04	11.46	19.48	38.78
15%	12.43	10.98	17.90	37.33
20%	11.84	10.54	17.14	36.70
25%	11.18	10.12	16.82	35.68

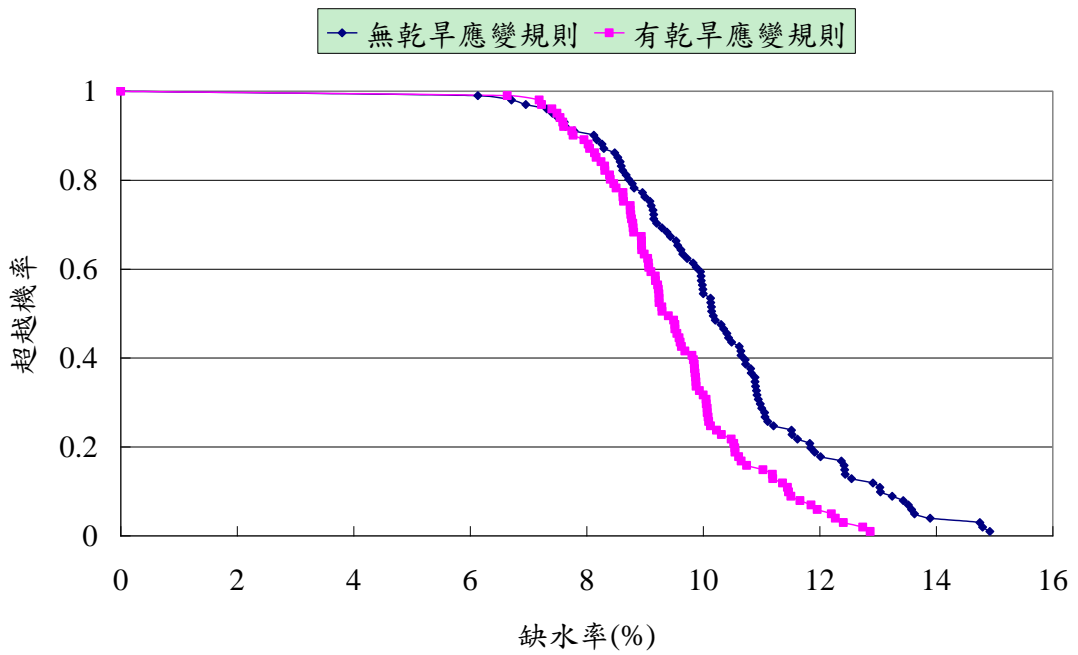


圖 5-27 枯水期公共用水缺水風險曲線圖

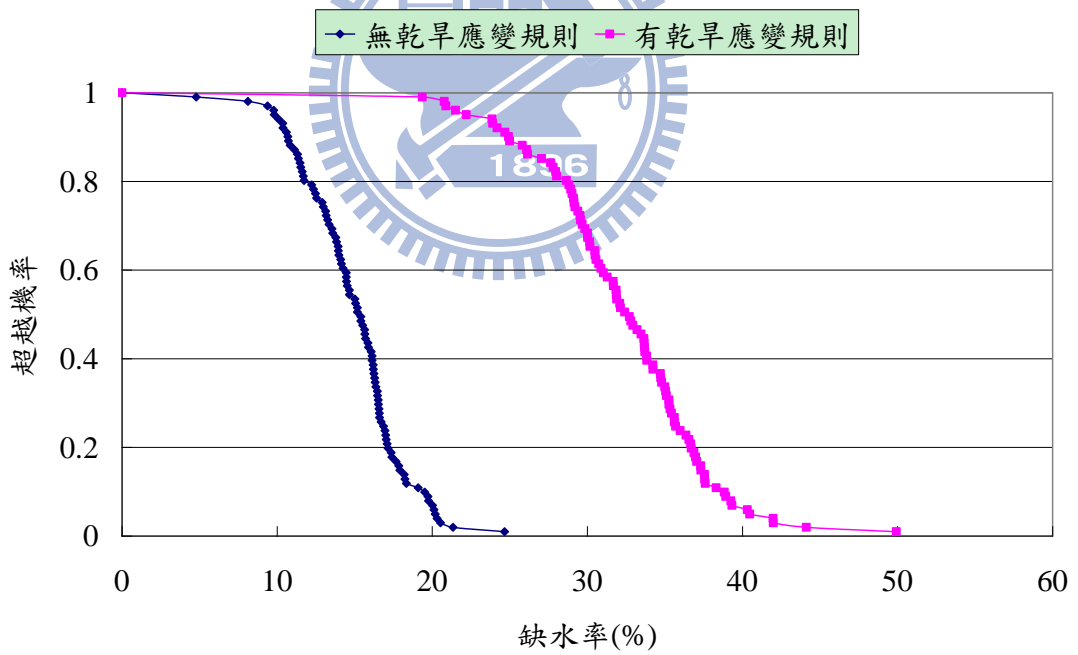


圖 5-28 枯水期農業用水缺水風險曲線圖

第六章 結論與建議

6.1 結論

1. 本研究以線性規畫為基礎發展水資源調配模擬模式，模式中各時刻之供水調配乃以線性規畫逐時刻計算之，且於線性規畫模式中考量水庫操作規線，因此本模式可直接應用於實務上以規線進行操作的水庫供水效率之模擬評估。
2. 本研究所應用之線性規畫，僅分別於各時刻計算系統之供水量，而不以其進行供水量之跨時刻優選，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原則。
3. 經由簡例驗證及石門水庫歷史資料日模擬結果之分析可知，本模式使用之需水量與水庫蓄水量分層的設定，確可描述水庫之操作規線。模擬結果顯示本模式亦可反應石門水庫乾旱應變規則對缺水率之影響。
4. 經由石門水庫歷史資料模擬結果之旬平均缺水率統計分析可知，石門水庫之乾旱應變規則於大部分的枯水期間，皆可降低公共用水之缺水率。但是對於少數雨量豐沛的年份可能因去年之雨量並不充足，導致該年初之水庫水位位在下限以下而啟動乾旱應變機制，而提早的打折供水導致該年之缺水率稍為上升。
5. 本研究利用蒙地卡羅模擬法合成出多組流量資料進行模擬，其模擬結果，乾旱應變規則於枯水期公共缺水率的改善效果逐漸增加，於三、四月之改善效果最佳，其主因為枯水期水庫入流量較少，使水庫水位持續降低，至枯水末期容易發生極端缺水的情況，而有乾旱應變規則下因提早的打折供水，可使水庫於枯水末期蓄有相對較多之水量進而降低枯水期發生極端缺水的情況。
6. 經由蒙地卡羅模擬法配合韋伯機率法進行統計分析之結果顯示，在不同的風險下，乾旱應變規則在枯水期對於公共缺水率皆有改善的效果，唯

有在缺水率較低的時候效果反而較差，此結果顯示與第 3 項之結論一致，而農業缺水率則因其設定原則為農業用水的移用，所以缺水率皆提升。

6.2 建議

1. 本研究合成之水文資料並無考量到未來氣候變遷後對水文的影響，未來可加入氣候變遷之因素配合本模式探討水資源的供水風險。
2. 因本研究所發展的是一通用性的水資源調配模式，未來可應用此調配模式於不同之供水區域以供分析研究。
3. 本研究所開發之水資源調配模式尚未考慮河川入滲損失、水庫入滲損失等情況，建議未來進行模式模擬可考慮上述情況以符合實際之水資源運用情形，此外，本模式屬於地表水最佳調配之範疇，建議在未來可考慮結合地下水水資源管理，構成地表及地下聯合營運之水資源系統。
4. 本研究為水資源調配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。

第七章 參考文獻

1. Metropolis, N. and Ulam, S., "The Monte Carlo Method", Journal of the American Statistical Association, 44, 247, pp. 335-341, 1949.
2. Wen-Cheng Huang, Lun-Chin Yuan, and Chi-Ming Lee, "Linking genetic algorithms with stochastic dynamic programming to the long-term operation of a multireservoir system", Water Resources Research. Vol.38, No.12, pp.401-409, 2002.
3. Hiran Mousavi and A.S. Ramamurthy, "Optimal design of multi-reservoir systems for water supply" Advanced in water resources, Vol.23, pp.613~624, 1999.
4. Fridericks, J. W., Labadie, J. W., and Altenhofen, J. M., "Decision support system for conjunctive stream-aquifer management" J. Water Resour. Plng. And Mgmt., ASCE, 124(2), 69-78, 1998
5. Randall, D., L. Cleland, C.S. Kuehne, G.W. "Buzz" Link, and D.P. Sheer, "Water Supply Planning Simulation Model Using Mixed-Integer Linear Programming", J. of Water Resources Planning and Management, Vol. 123, No. 2, pp.116-124, 1997.
6. Oliveira Rodrigo, and Danicl P. Loucks, "Operating rules for multireservoir systems", Water Resources Research, Vol.33, No.4, pp. 839-852, 1997.
7. Sun, Y-H, W. W-G Yeh, N-S Hsu, and Peter W.F. Louie, "Generalized Network Algorithm for Water-Supply-System Optimization", J. of Water Resources Planning and Management, Vol. 121, No. 5, pp.392-398, 1995.
8. Crawley, P., and G.C. Dandy, "Optimal Operation of Multiple -Reservoir System", J. of Water Resources Planning and Management, Vol. 119, No. 1, pp.1-7, 1993.

9. Andrews, E.S., F.I. Chung, and J.R. Lund, "Multilayered, Priority Simulation of Conjunctive Facilities", J. of Water Resources Planning and Management, Vol. 118, No. 1, pp.32-51, 1992.
10. Loucks, D.P., J.R. Stedinger, and D. A. Haith, Water Resource System Planning and Analysis, Prentice-HLL, 1981.
11. Dagli, C.H., and J.F. Miles, "Determining Operation Policies for a Water Resource System", J. Hydraul., 47(34), pp.197-306,1980.
12. Oliverira, R., and D.P. Loucks, "Operating Rule for Multireservoir Systems", Water Resour. Res., 33(4), pp.839-852, 1977.
13. Loucks, D.P., "Computer Models for Reservoir Regulation", J Sanit.Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 94(SA4), pp.657-669, 1968.
14. Hufschmidt, M.M., and M.B. Fiering, Simulation Techniques for Design of Water-Resources System, Harvard University Press Cambridge, Massachusetta, 1966.
15. 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.
16. 柯建州，「直線型高分子線性鬆弛之蒙地卡羅模擬」，國立中正大學化學工程系，碩士論文，2001。
17. 洪念民，「氣候變遷對大安溪水資源營運之影響」，國立台灣大學農業工程系，碩士論文，1997。
18. 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。
19. 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。

20. 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。
21. 許少瑜，「水庫操作規線問題的模式與解法」，國立台灣大學農業工程學，碩士論文，2001。
22. 胡明哲，「水庫標的線性規劃模式的解法」，國立台灣大學農業工程學研究所，碩士論文，2000。
23. 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。
24. 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。
25. 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。
26. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「通用性水資源調度與供需分析模式建立」，2004
27. 經濟部水資源局，「台灣地區北部區域水資源綜合發展計畫」，1999。
28. 易任、王如意，應用水文學，國立編譯館，台灣，民國 81 年。
29. 經濟部水利署，「石門水庫及其集水區整治計畫之經濟效益評估」，2009。
30. 經濟部水利署，「北部地區水資源供應風險管理機制探討與建立」，2010。

附錄 A 水資源調配模式使用說明

本模式之目標函數、限制式及輸入檔之功能與格式已於前述作了詳細地介紹，在此附錄中將說明其程式作業環境以及利用一簡例進一步說明輸入檔之建立方式。

本模式是利用 Fortran 配合 Lingo 兩種程式進行模式之撰寫與開發，所以使用本模式時需要於個人電腦內事先安裝 Fortran (Compaq Visual Fortran 6.6 或 Intel Fortran 10.1) 以及 Lingo (可於 Lingo 之官方網站 <http://www.lindo.com/index.php> 下載試用版本) 兩項程式，而本研究是由 Fortran 主程式中呼叫 Lingo 來進行線性規劃之計算，在執行過程中需要將 Lingo 程式中各項.dll 檔複製到 C:\WINDOWS\system32 目錄下方可執行。下面我們將用一簡單之案例說明模式所需之輸入檔建立方法。

圖附 A-1 為雙水庫聯合營運之供水系統圖，而圖附 A-2 為模式所需之調配模型，此案例中，水庫 1 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 1 及 2 的操作規線為下限以上全額供水，下限以下 80% 供水，以下將分別介紹 system_data、Inflow_data 及 Zones_and_demands_timing_data 及之建立。

(一) system_data

圖附 A-3 即為對應至圖附 A-2 簡例之水庫系統及操作規則定義檔。

首先第 1 項填入的是是否考量乾旱應變規則，此簡例中不考量，所以填 0；第 2 項為系數陣列的大小，參考圖附 A-2 於圖附 A-3 中之箭線數量與節點數量下填入 11 與 8；第 3 項水庫分層數，對應操作規線只分為下限以下打折供水及下限以上全額供水，所以填入 2；第 4 項為水庫節點相關資訊，對照圖附 A-2，可得水庫節點數量為 2，編號分別為 1 及 2，而蓄水優先順序因本案例中並無特別要求，所以對應編號填寫之順序填入相同之值 1 (設其值為 X，則其範圍為 $0 < X < 10$ ，數值較小者優先蓄水)，初始蓄水量則

由使用者決定其值，之後填入指標平衡的水庫數量 2，及其編號 1 與 2；第 5 項為需水節點，同樣對照圖附 A-2，依序填入其節點數量、編號、優先供水順序（設其值為 X，則其範圍為 $0 < X < 10$ ，數值較小者優先供水）及對應水庫規線各分層虛擬需水節點所佔之需水比例，以本案例之公共用水 1 為例，下限以下 80% 供水，下限以上全額供水，所以第一分層虛擬需水節點所佔之比例為 0.8（80% 供水），第二分層虛擬需水節點所佔之比例為 0.2（全額供水減去 80% 供水量後所剩餘的 20% 需水）；第 6 項為淨水廠，同樣對照圖附 A-2，於圖附 A-3 填入其數量以及編號，之後對應填入之編號順序填入各淨水場之處理能力限制；第 7 項和第 8 項為攔河堰節點及其他（匯、分流）節點，同樣分別填入其節點數量及編號。

節點部分結束後開始填入各條箭線之相關資訊，圖附 A-3 中第 9 項為入流量之箭線數量，此簡例中有兩條入流，所以填 2，其編號對照圖附 A-1 與 A-2 為 1 和 5；第 10 項為有上限之箭線，在此表示該箭線有其輸水量之限制，在此簡例中有兩條箭線有其輸水量之上限，編號分別為 7 和 8，而對應其編號順序之上限值分別為 200 和 150；第 11 項為基流量限制之自然渠道，在本簡例中有 5 條，其編號分別為 2、4、6、9 和 10，其基流量對應箭線編號之順序分別為 8.904、8.904、8.04、8.904 和 8.04；第 12 項為雙向管路，此部分因本簡例中無雙向管路，所以填 0。第 13 項為節點與箭線關係之系統矩陣，該矩陣內容格式如 4.3.2 小節所敘。

(二) Zones_and_demands_data

圖附 A-4 即為對應至前述簡例之 Zones_and_demands_data 輸入檔之內容，此輸入檔中除了定義模擬的時間長度外主要在輸入操作規線中各分層在不同時刻之容量，以及各需水節點在各個時刻之需水量，在此，水庫蓄容量與需水量之單位皆為萬噸。本簡例中只模擬一年，所以在模擬年數下填 1，而在各分層之容量資訊之填寫分成 3 個步驟如下：

1. 填入該水庫之編號

2. 由左而右填入對應操作規線由下層至上層各分層虛擬水庫之蓄容量，填入之格式以本簡例為例，一列代表一天，每列資料由左而右依序為下限以下之蓄容量 16804.30 以及上限至下限之間的蓄容量 4103.50，填入 365 天之資料。
3. 若有兩座以上之水庫則重複 1 和 2 步驟直至所有水庫完成。

需水節點的部分同樣分成 3 個步驟如下：

1. 填入需水節點之編號；
2. 填入該需水節點於不同時刻下之需水量；
3. 若有 2 個以上之需水節點則重複 1 和 2 步驟直至所有需水節點皆完成。

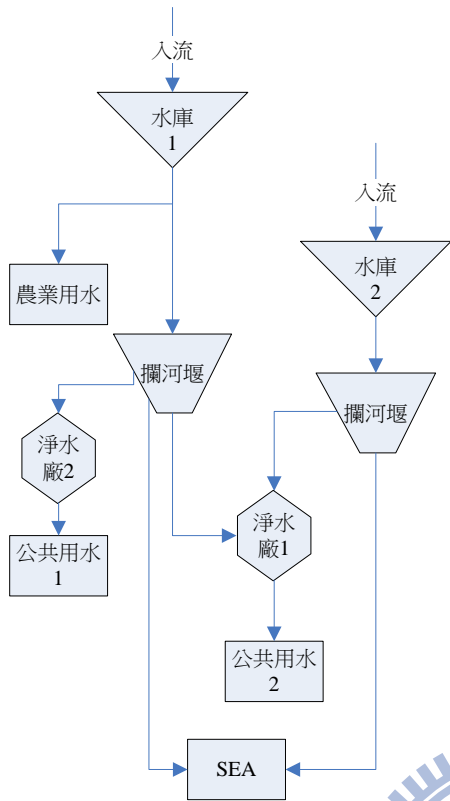
(三)inflow_data

圖附 A-5 為前述簡例之 inflow_data 輸入檔之內容，此輸入檔之內容為入流量資料（單位為萬 CMD）填寫步驟如下：

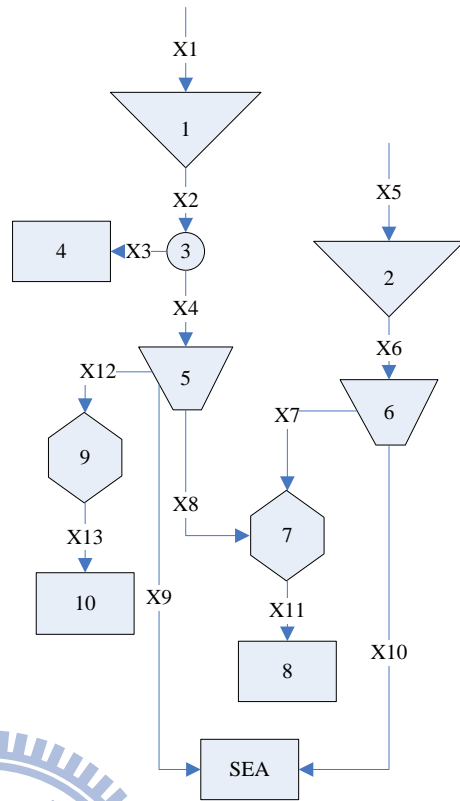
1. 填寫入流箭線編號；
2. 依據 Zones_and_demands_data 中之模擬年數 n，填入該編號箭線之 $n \times 365$ 筆入流量資料；
3. 若有兩條以上之入流箭線重複 1 和 2 步驟直至所有入流箭線皆完成。

當程式執行完後會輸出 4 個文字檔，分別為 x.txt、end_s.txt、demand.txt 及 other.txt，其內容分別如下：

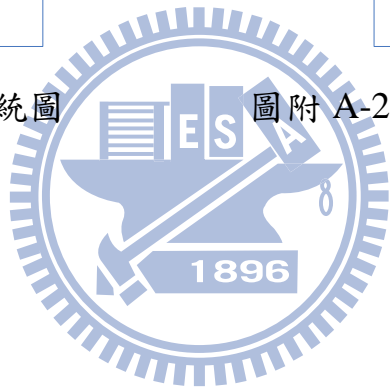
1. x.txt：各箭線上之流量；
2. end_s.txt：水庫期末蓄水量；
3. demand.txt：各需水節點之實際供水量與缺水量
4. other.txt：各時刻水庫期末蓄水位所在層、計畫供水量及供水打折後之需水量。



圖附 A-1 供水系統圖



圖附 A-2 調配模型示意圖



Start_System_Input

1.是否考慮乾旱應變規則

drought_rule:(考慮為 1，不考慮為 0)

0

2.係數陣列的大小

all_links:(所有箭線數量)

11

all_nodes:(所有節點的數量)

8

3.水庫分層

re_ly:(水庫分層數)

2

各類節點

4.水庫節點

re_numbers:(水庫節點數量)

2

reservoir_nodes:(水庫的節點編號)

1 2

rank_re:(蓄水優先順序，數字小的優先)

1 1

initial_s:(各水庫初始蓄水量)

15000 5000 水庫 2 之初始蓄水量

balance_re_numbers:(要做指標平衡的水庫數量)

2

ba_re:(要做指標平衡水庫的節點編號,若上述為 0 則不用填)

1 2

5.需水節點

de_numbers:(需水節點數量)

3

demand_nodes:(公共需水節點編號，編號與編號之間以空格為分界)

4 8 10

rank:(公共需水節點優先順序,數字小的優先)

1 1 1

discount:(公共需水節點分層對應水庫分層，每層所佔的需水比例，數值與數值之間以空格為分界)

0.5 0.5 農業用水各分層所佔之比例

0.8 0.2 公共用水 1 各分層所佔之比例

0.8 0.2 公共用水 2 各分層所佔之比例

6.淨水廠節點

tr_numbers:(淨水廠節點數量)

2

treatment_nodes:(淨水廠節點編號，編號與編號之間以空格為分界)

7 9

tr_up:(淨水廠處理能力上限，數值與數值之間以空格為分界)

300 150

7.攔河堰節點

we_numbers:(攔河堰節點數量)

2

weir_nodes:(攔河堰節點編號，編號與編號之間以空格為分界)

5 6

8.其他節點

ot_numbers:(其他節點數量)

1

other_nodes:(其他節點編號，編號與編號之間以空格為分界)

3

各類箭線

9.入流箭線

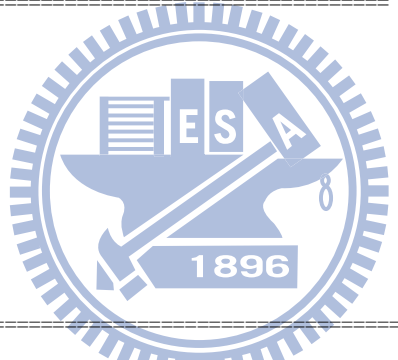
水庫
1 之
初始
蓄水量



接下頁

接上頁

```
river_numbers:(入流箭線數量)
2
river:(入流箭線編號，編號與編號之間以空格為分界)
1 5
-----
10.有上限之箭線
up_limit_links:(有上限限制的箭線數)
2
up_link:(有上限之箭線編號，編號與編號之間以空格為分界)
8 7
ull:(up_link 箭線上限制，數值與數值之間以空格為分界)
200 150
-----
11.基流量限制
low_limit_links:(有基流量限制的自然河道數量)
5
low_link:(自然河道編號，編號與編號之間以空格為分界)
2 4 6 9 10
lll:(low_link 箭線下限制，數值與數值之間以空格為分界)
8.904 8.904 8.04 8.904 8.04
-----
12.雙向管路
two_ways_numbers:(有幾組雙向管路)
0
two_ways_links:(由上而下是第 1 到第 n 組)
-----
=====
13.系統矩陣
nods_links:
1 -100000000000
00001 -10000000
01 -1 -100000000
001000000000
0001000 -1 -100 -10
000001 -100 -1000
0000001100 -100
0000000000100
000000000001 -1
0000000000001
-----
End_System_Data
```



圖附 A-3 System_Data 輸入檔

Start_Zones_and_demands_Data	
下列的資料皆不考慮閏年中的 2 月 29 號	
years:(模擬年數)	
1	
蓄水節點各分層蓄容量 (第一列第由左而右為各分層蓄容量(假設分為 3 層, 由左而右設定為, 嚴重下限-呆容量、下限-嚴重下限、上限-下限) (一列為一天, 依上述填入 365 天的資料)	
storage:(蓄水節點在 365 天中依供水優先順序所對應的各層最大蓄容量)	
node_number:(蓄水節點編號)	
1	
data:	填入 1 月 1 號水庫 1 之下限以下蓄容量(16804.30)及下限至上限間之蓄容量(4103.50)
16804.30 4103.50	
⋮	→ 1 月 2 號至 1 月 31 號共 30 筆蓄容量資料
13311.29 5883.09	→ 2 月 1 號水庫 1 之下限以下蓄容量(13311.29)及下限至上限間之蓄容量(5883.09)
⋮	→ 填入 2 月 2 號至 12 月 31 號共 333 筆蓄容量資料
node_number:(蓄水節點編號)	
2	
data:	→ 1 月 1 號水庫 2 之下限以下蓄容量(8402.15)及下限至上限間之蓄容量(2051.75)
8402.15 2051.75	
⋮	→ 填入 1 月 2 號至 1 月 31 號共 30 筆蓄容量資料
6655.64 2941.54	→ 2 月 1 號水庫 1 之下限以下蓄容量(6655.64)及下限至上限間之蓄容量(2941.54)
⋮	→ 填入 2 月 2 號至 12 月 31 號共 333 筆蓄容量資料
需水節點	
demand:	
node_number:(需水節點編號)	
4	
data:	→ 編號 4 之需水節點為農業用水, 因本案例之設計, 1 月份休耕, 所以需水量為 0
0.0000	
⋮	→ 填入 1 月 2 號至 1 月 31 號共 30 筆需水量資料
106.9632	→ 編號 4 之需水節點為農業用水, 2 月 1 號所需水量
⋮	→ 填入 2 月 2 號至 12 月 31 號共 333 筆需水量資料
node_number:(需水節點編號)	
8	
data:	
201.2367	→ 節點編號 8 為公共用水 1, 因本案例設計整年公共用水量不變, 所以輸入 365 筆相同之用水量 201.2367
201.2367	
⋮	
node_number:(需水節點編號)	
10	
data:	
121.3412	→ 節點編號 10 為公共用水 2, 因本案例設計整年公共用水量不變, 所以輸入 365 筆相同之用水量 121.3412
121.3412	
⋮	
=====	
End_Timing_Data	

圖附 A-4 Zones_and_demands_Data 輸入檔

Start_Inflow_Data	
=====	
input	
=====	
link_number: (入流箭線編號)	
1	
inflow:	
171.5904	
156.9024	→ 依據 zones_and_demands_data 中之模擬年數 n 填入 n*365 筆資料
148.0032	例如本案例為模擬年數 1，所以填入 1*365=365 筆入流量資料
170.9856	
⋮	
⋮	
⋮	
=====	
link_number: (入流箭線編號)	
5	
inflow:	
68.63616	
62.76096	→ 依據 zones_and_demands_data 中之模擬年數 n 填入 n*365 筆資料
59.20128	例如本案例為模擬年數 1，所以填入 1*365=365 筆入流量資料
68.39424	
⋮	
⋮	
⋮	
=====	
End_Inflow_Data	

圖附 A-5 Inflow_Data 輸入檔

