

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫暨子計畫：淡水河流域水資源乾旱預警機制與風險管理策略之建立(I)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2625-Z-002-016-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：劉佳明

計畫參與人員：譚義績教授、童慶斌教授、徐年盛教授、陳主惠教授、李明旭
助理教授、劉子明博士生

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 28 日

摘要

近兩年來，台灣北部受到乾旱事件衝擊，造成民生不便以及農業、工業重大的損失。水資源乾旱的發生與氣候有極大之關係。若能預測氣象的變化，可得知未來可能之乾旱發生，進而即時進行決策降低乾旱之衝擊。目前對於乾旱最常使用連續無降雨日或與降雨量相關之方法定義，但是水資源系統中包括了需求面及供給面，單單只用降雨來定義乾旱的發生，往往忽略了因為供需失去平衡造成的乾旱。因此本計畫將透過各子計畫間的整合，以整體水資源系統的角度定義乾旱，與乾旱預警機制及其風險管理系統。

完整的乾旱預警與風險管理機制中主要分為氣象預測、水資源模擬以及決策管理三方面。在氣象預測方面，本計畫未來將利用降尺度(Downscaling)與資料轉換的技術，結合長期氣象預報資料，可以提供各子計畫過去水文統計預測所不足的短期氣象預測資料。今年度則以實際氣象資料代替，模擬完美預報情況下的預警與優選調適策略。在水資源系統方面，利用 Vensim 動力系統模式建立與模擬整個淡水河水資源運作系統，未來將結合氣象預測與各子計畫，推估未來水資源系統的乾旱事件。然而要有效的降低乾旱損失，必須進一步採用調適策略。本計畫的乾旱調適策略分為農業用水調配策略、子計畫一、二的乾旱時期地下水補助策略，以及其他調適策略等。而農業用水調配策略則為本研究今年度的重點。未來兩年計畫將以淡水河流域為研究實例，彙整各子計畫的供需資料，建立一套乾旱預警機制與管理策略。

關鍵字：氣候預報，乾旱預警，風險管理

Abstract

For the past two years, the northern Taiwan has been attacked by serious drought events. The shortage of water resource is highly related to the climate variability. Thus, the reliable whether prediction, which could be applied detect the possibly coming drought events, can help to make early warning and risk management strategies for reducing the impact from droughts. Currently, the most popular method to define the drought is based on the amount of rainfall or the continuous non-rainfall days. The water resource systems, however, must take both supply and demand into account. It will be unbalanced and incomplete if only using the rainfall definition for the drought. Therefore, the purpose of this project is to define the drought from integrated water resource system through the combination of all sub-projects, and establish the drought early warning and risk management system.

The drought early warning and risk management system is proposed to include three components: weather forecast, water resources system simulation and decision-making analysis. In this year, historical weather data represent perfect forecasts and are used to simulate and optimize management strategies. In water resources system, potential drought events can be predicted through a system dynamics model. The drought management strategies include transferring water from agricultural sector, supplement water supply from groundwater, others. Optimizing the strategy of transferring agricultural water uses is the main task of the project in this year. In the next two years, the drought early warning and risk management strategies will be built with combining all data of demand and supply from other sub-projects.

Keywords : Climate Forecast, Drought, Early Warning, Risk Management

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VII
第一章、前言.....	1
第二章、研究區域.....	7
2.1 河系分佈概況.....	7
2.1.1 流域上游集水區介紹.....	8
2.2 水工結構物.....	12
2.2.1 現有水工結構物.....	12
2.2.2 規劃中之水工結構物及方案.....	15
2.3 供水區域概述.....	16
2.4 供水系統.....	17
2.5 需水量探討.....	21
第三章、淡水河流域水資源系統動力模式.....	25
3.1 系統動力模式.....	25
3.2 淡水河水資源系統.....	26
3.3 模式驗證.....	35
3.4 河川流量模擬模式.....	40
第四章、乾旱指標.....	45
第五章、乾旱時期非常灌溉策略.....	48
5.1 研究區域介紹.....	49
5.2 現行計畫用水量計算方式.....	49
5.2.1 灌溉系統（或灌區）之統計與分析.....	50
5.2.2 灌溉用水計算(農業工程研究中心，1997).....	52
5.3 灌溉系統輸水損失.....	55
5.4 灌溉管理策略及模擬案例設計.....	56
5.4.1 現行灌溉管理方案.....	56
5.4.2 灌溉用水減供模擬案例設計.....	60
5.4.3 灌溉用水減供案例計畫用水量計算結果.....	61
5.5 案例產量模擬設定與假設.....	67
5.6 灌溉用水減供案例產量模擬.....	67
5.7 擬結果分析及假設.....	69
5.8 計案例農業用水產值評估.....	69
第六章、2002 年乾旱時期農業用水調配演練.....	72
6.1 2002 年石門水庫地區乾旱事件概述.....	72

6.2 水資源系統動力模式模擬.....	73
6.3 農業用水調配模式.....	74
6.4 非常灌溉策略模擬與優選結果.....	76
6.5 結果與討論.....	78
第七章 總結.....	79
參考文獻.....	81
計畫成果自評.....	84

圖目錄

圖 1-1、水資源乾旱預警風險管理策略與人力分工	5
圖 2-1、淡水河流域地理位置示意圖	7
圖 2-2、石門水庫上游集水區示意圖（經濟部水利署）	9
圖 2-3、翡翠水庫集水區示意圖（經濟部水利署）	11
圖 2-4、臺北區供水系統示意圖	21
圖 2-5、大漢溪各灌區農業用水需水量	24
圖 3-1、系統動力模式元件關係示意圖	26
圖 3-2、新店溪與大漢溪水資源系統示意圖	27
圖 3-3、翡翠水庫操作規線	28
圖 3-4、新店溪系統動力模式	29
圖 3-5、石門水庫操作規線	30
圖 3-6、大漢溪供水系統動力模式示意圖	31
圖 3-7、台北自來水供水系統動力模式示意圖	32
圖 3-8、台北區需水量系統動力模式示意圖	33
圖 3-9、板新區需水量系統動力模式示意圖	34
圖 3-10、石門區需水量系統動力模式示意圖	34
圖 3-11、水文測站與各水工結構物相關位置示意圖	35
圖 3-12、新店溪歷史與模擬逐旬流量驗證結果圖	36
圖 3-13、新店溪歷史與模擬逐月流量驗證結果圖	36
圖 3-14、翡翠水庫歷史與模擬逐月放流量驗證結果圖	37
圖 3-15、大漢溪歷史與模擬逐旬流量驗證結果圖	37
圖 3-16、大漢溪歷史與模擬逐月流量驗證結果圖	38
圖 3-17、石門水庫歷史與模擬逐月放流量驗證結果圖	38
圖 3-18、The GWLF 模式水平衡關係示意圖	40
圖 3-19、北勢溪流量驗證	43
圖 3-20、南勢溪流量驗證	43
圖 3-21、三峽河流量驗證	44
圖 3-22、大漢溪流量驗證	44
圖 4-1、台北供水區 1995-1999 模擬之需水量、供水量與缺水量	45
圖 4-2、板新供水區 1995-1999 模擬之需水量、供水量與缺水量	45
圖 4-3、石門供水區 1995-1999 模擬之需水量、供水量與缺水量	46
圖 4-4、台北供水區累積缺水量機率分布曲線	46
圖 4-5、板新供水區累積缺水量機率分布曲線	46
圖 4-6、石門供水區累積缺水量機率分布曲線	47
圖 5-1、桃園水利會灌區（來源：林俊男，2004）	50
圖 5-2、石門水利會灌區（資料來源： http://www.smia.gov.tw ）	51
圖 5-3、水門（來源：林俊男，2004）	52

圖 5-4、分水箱 (來源：林俊男，2004)	52
圖 5-5、石門水庫運用規線(資料來源: http://www.wranb.gov.tw).....	58
圖 5-6(a)、桃園水利會一期作灌溉水量	63
圖 5-6(b)、桃園水利會二期作灌溉水量.....	63
圖 5-7(a)、桃園水利會各設定案例一期作灌溉水量	66
圖 5-7(b)、桃園水利會各設定案例二期作灌溉水量.....	66
圖 5-8、桃園水利會各設定案例產量	68
圖 5-9、桃園水利會減供水量對應損失	70
圖 5-10、桃園水利會減供水量對應減供水量產值區間	71
圖 6-1、石門水庫 91 年 1-7 月運用歷線及採用各限水措施時程.....	73
圖 6-2、石門水庫 2001 年 10 月上旬至 2002 年 12 月下旬水庫水位模擬結果 ...	74
圖 6-3、2002 年石門灌區的需水量曲線以及缺水曲線	74
圖 6-4、尋找最佳策略的流程圖	76
圖 6-5、減水深 3/4 灌溉策略模擬結果	77
圖 6-6、減水深 1/2 灌溉策略模擬結果	77
圖 6-7、減水深 1/4 灌溉策略模擬結果	78

表目錄

表 2-1、石門水庫集水區土地利用現況（經濟部水利處北區水資源局，2000）	10
表 2-2、翡翠水庫集水區土地利用現況（古偉成，1993）	12
表 2-3、臺北供水區現有淨水設施	18
表 2-4、板新、石門供水區淨水設施	20
表 2-5、臺北供水分區歷年人口表	22
表 2-6、臺北區生活用水量推估之各項因素	23
表 2-7、板新、石門地區生活用水量推估之各項因素	23
表 2-8、大漢河流域灌溉系統	24
表 3-1、GWLF 於四流域流量驗證使用雨量站與流量站以及驗證年份及相關係數	44
表 4-1、台北、板新及石門三區不同超越機率所對應累積缺水量(百萬公噸)	47
表 5-1、桃園水利會灌溉用水時程及水量	55
表 5-2、各農田水利會灌溉系統輸水損失百分比一覽表	57
表 5-3、石門水利會救旱措施	59
表 5-4、平均損失法各休耕案例對應休耕輪區	62
表 5-5(a)、各案例一期作對應灌溉水量(cms)	64
表 5-5(b)、各案例二期作對應灌溉水量(cms)	65
表 5-6、按計畫水量供水各分區潛能產量 (10^3Kg)	68
表 5-7、供案例潛能產量	69
表 6-1、減水深法各策略與原來供水方式之各旬灌溉流量比	75

第一章、前言

水資源長久以來一直是人類不可缺乏的資源，而由於過度的開發，造成近年來世界各地不斷發生極端水文事件，極端的降雨事件會造成洪水災害，對於人民的生命及財產有著莫大的威脅，另一方面，乾旱事件的發生，不但嚴重影響民生、農業與工業用水，水量的供應不足，對社會、經濟、生態等方面都將是一大考驗，並對人民造成相當的災害與損失。民國九十年九月納莉颱風造成全台灣災情嚴重，並創下多項紀錄，但在隔年民國九十一年卻發生了水資源供應不足的情形，足以說明近年來極端水文事件已對人民的生活造成嚴重的傷害。一般洪水災害多可利用即時水文氣象資料建立預警系統，透過建立洪水、淹水模式、及研發洪水潛在致災區域評估方法等，可針對各河川流域的防洪預警及災害防救作一有效的管理；然而乾旱卻因為無明顯之初期現象而難以利用即時水文與氣象資料建立預警系統。近兩年(91及92年)初，台灣北部因為面臨久旱影響，連水庫也逐漸見底，造成農田遲遲無法進行灌溉犁田插秧；甚至竹科也深受其害，對整體國家經濟衝擊之大，顯而易見。而台北地區又因人口稠密，乾旱衝擊的非僅經濟命脈，更直接影響廣大民生問題。

目前對於乾旱的定義相當多種，最常使用的為利用連續無降雨日或與降雨量相關之方法定義。雖然乾旱的發生跟降雨具有極大的關係，然而利用降雨等相關方法定義乾旱卻無法完整反應出水資源系統供需失衡所發生乾旱之嚴重程度。尤其台灣地區的降雨分佈不均，若單單只以降雨等相關方法來定義乾旱，忽略了水資源系統之間的水資源運用調配情形是無法真正反應出乾旱的嚴重性，例如水庫與淨水廠等水利設施之容量與調配能力，都是影響水資源供給的主要因素；而水資源系統中包括了需求面及供給面，這兩方面均會受到乾旱時期天氣之影響，故要如何適當定義出水資源所謂的乾旱，除了降雨之外，還必須考慮到水資源系統中供給面以及需求面之間的平衡。因此本計畫協同主持人童慶斌在民國92年國科會生物處的計畫中，以整體水資源系統規劃的角度來探討乾旱，並結合季節性氣候預報資料初步建立櫻花鉤吻鮭生態預警系統以及水資源乾旱預警系統。計畫的乾旱預警系統，預測未來可能之供水能力與潛在用水需求，進而利用累積缺水量來判定是否發生乾旱之風險，提供決策者及早進行風險管理。本研究計畫將以此研究為基礎，強化此預警系統並評估與進行實際應用。

乾旱預警與乾旱的定義是分不開的，台灣地區有關乾旱預警系統的文獻除了主要以預警系統為架構之文章之外，另外對於台灣地區乾旱之定義與研究之文獻亦或多或少有涉獵到。在台灣乾旱特性研究與乾旱定義研究中，王如意及趙啟迪(1990)參考國內外相關文獻，定義降雨量小於0.5mm者視為不降雨日，而連續

50 日以上不降雨稱之為小旱，連續 100 日以上不降雨，謂之大旱。而在水庫營運區域內，當水庫低於規線嚴重下限下之時間稱為乾早期。虞國興與莊明德(1992)針對台灣乾旱特性研究，分析各雨量站持續日降雨量小於 0.0, 0.6, 2.0 及 5.0mm 切割水準(truncation level)之日數及其間之總降雨量。蕭政宗(2001)以連續累積降雨量為變數，並考慮乾旱的相對性特性，定義台灣地區之氣象乾旱為連續 30 日累積降雨量低於同時期之第二個十分位數且乾旱量累積達 130mm 以上。其中第二個十分位數指的是降雨累積機率 0.2 所對應之累積降雨量，而乾旱量則為在切割水準下之累積缺水量。

在乾旱預警研究與乾旱時期入流量預測研究中，簡俊彥等(1991)研擬一乾旱時期水庫運轉模式，利用已知水庫旬入流量，推估下一旬各不同發生機會百分率之入流量，以提供水庫當局各種不同機率風險之決策選擇。張炎銘(1991)嘗試以雙月連續最大不降雨日及雙月合計雨量當做指標，求出歷年回歸週期為五年、十年、二十年的值當做輕度、中度與強度乾旱警報標準值。之後張炎銘(1992)為了使分析方法較為簡單，以適合基層水文測站人員了解與使用，以月平均雨量離差相對於月平均雨量比值定義月豐缺水數，提出以單月之豐缺水數及累計月豐缺水數兩項指標，當作發佈乾旱警報的數值依據。劉清源(1995)利用克利金法預測歷年水庫之旬入流量，再以水庫水位低於規線下限與嚴重下限定義輕度乾旱與嚴重乾旱，並預測未來一個月內是否有輕度或嚴重乾旱發生。

童慶斌等人(2001)利用一整合型系統動力模式評估氣候變遷對鯉魚潭水庫系統的衝擊，模式主要分為氣象資料合成模式、流量模擬模式、農業需水量評估模式以及水庫模擬模式四個部分。在氣候變遷預設情境方面，採用 CCCM、GFDL 與 GISS 三種大氣環流模式(GCM)。模擬之結果顯示在氣候變遷條件下，河川流量呈現極端分佈現象，如豐水期水量增加，枯水期水量減少，其對目前之民生用水需求量影響不大，但當民生用水從目前之 90 萬噸增加至 100 萬噸時，其缺水風險將因氣候變遷的影響而增加。

另於北區供水系統部分，林榮璋(1984)採用模擬的方式，建立石門水庫與翡翠水庫併聯運轉模式，利用石門水庫與翡翠水庫併聯運轉模式，模擬出自民國 80 年至民國 119 年在聯合營運互相支援之情況下，各個階段之缺水狀況，並分析出大漢河流域及新店河流域在未來新增水利設施之潛力。林義仁(1985)亦針對淡水河流域之各水庫進行並連及串連模擬，期能分析出大漢河流域及新店河流域在未來持續供水之潛力。經濟部水資源統一規劃委員會(1994, 1995)則將新店溪及大漢溪之水源進行併聯利用之規劃研究，重點係在整個流域水資源之綜合利用，期能達成水源最佳之調配使用。楊淑敏(1998)以淡水河流域地區中未

來所規劃的水資源開發計畫為方案，利用水資源綱領計畫模式（WRPC）中的RIBASIM 模式來分析攔河堰、淨水廠集水庫增建計畫在各目標年時不同方案組合之最大供水量，並試以找出一組最佳之聯合調配方案，使得淡水河流域地區在未來一、二十年內免於面臨缺水之苦。林俊宏（1999）則嘗試利用地理資訊系統建構區域水資源供水調配之空間決策系統，並以北部淡水河流域之新店溪流域及大漢溪流域為研討區域，輔以線性規劃優選方式，建立區域供水規劃模式，協助決策者進行水資源規劃之決策。經濟部水資源局（1999）亦委託巨廷工程進行台灣地區北部區域水資源綜合發展之研究，期能配合國土綜合開發計畫，合理調配運用水資源，促進經濟產業繁榮發展，並兼顧維護自然環境生態、提升國民生活品質，並落實水資源永續利用政策。另關於國際間亦有對於供水系統面臨氣候變遷影響衝擊之相關研究，如 IPCC 及各國國家通訊報告之研究成果及調適策略。

綜合以上之乾旱研究相關文獻，在乾旱定義上多為供給面缺乏之定義，如降雨量與降雨日以及水庫之水位等。而在乾旱預警系統上多為利用即時之降雨、入流量或水庫水位資料發佈乾旱預警。然而乾旱之發生實際應考慮供給面與需求面，因此本研究擬定以結合預測氣象資料預測，利用水資源供水系統動態模式，模擬供水區之供水平衡，同時考慮供給面與需求面之平衡來定義缺水，再由缺水事件累積缺水量來判定乾旱發生之風險。

本計畫以整體水資源系統的角度定義乾旱：當水資源系統的正常供給無法滿足基本需求而造成自然或社會系統的損失時，稱之為乾旱。進一步根據缺水量的多寡或者整個水資源系統損失的大小，定義不同的乾旱等級。然而以目前人類的科技，並無法藉由操控自然氣象來避免乾旱事件的發生，所能做的就是如何透過有效的管理方法，降低不同等級乾旱事件所造成的損失。在過去的研究中顯示，建立乾旱預警系統可以提前進行各項調適策略，增加有限水資源的最佳應用，將乾旱損失降到最低。但是目前研究上所遇到的共同難題即在於如何決定乾旱預警系統中的乾旱指標，也就是發佈乾旱警訊決定採取各種調適策略的時機以及發佈乾旱結束停止乾旱調適策略的時機。決定乾旱指標的發佈時機首要條件就是要能預測未來乾旱事件，然而掌握未來乾旱事件取決於是否能預測未來水資源系統中供需平衡情況。過去研究多採用歷史水文資料統計的方法，預測長期的乾旱發生機率，但往往無法提供有效的即時調配。本計畫將採用季節性氣象預測資料，進一步推估地表水的可供給量，並評估受氣象條件影響下未來的需水量。在取得水資源系統的未來供需水量後，透過系統動力模式模擬整個水資源系統，建立累積缺水量預測與乾旱預警。除了乾旱預警系統外，要能有效的降低乾旱損失，必須採取相對應的風險管理之調適策略，以後簡稱為乾旱調適策略。本計畫

所採取的乾旱調適策略包括農業用水調配策略、子計畫一、二的乾旱時期地下水補助策略，以及其他調適策略三大部分。最後，結合乾旱預測系統與各調適策略，並分析預測氣象資料以及採用優選方法，將可訂定各乾旱預警指標，以及對應的最佳調適策略。進一步結合風險評估將建立整個水資源系統的乾旱預警以及決策風險管理系統。

整而言之，本計畫在整個群體計畫中不但負起建立乾旱預警啟動指標，以及風險管理策略的角色，亦扮演整合的角色。最後由水資源系統動力模式整合所有子模式，同時考量可供水量與需求量下未來可能之缺水量，進而探討在乾旱時期的管理措施，同時必須從供給面與需求面的角度進行分析，以現有相關單位管理體制，擬出適合之水資源乾旱預警與風險管理策略，整個架構與人力分工如圖一。

目前研究的區域將以北部淡水河流域為主，同樣架構未來可推廣至其他流域。在乾旱預警系統中，氣候預測系統除了可利用國內較常使用的 RSM 模式預測資料，提供 12 週的預測資料，亦可利用國際氣候預測研究機構(International Research Institute For Climate Prediction，或稱 IRI)所提供的季節性氣象預測資料進行模擬與分析。然而氣象預報資料本身具有相當之不確定性，此部分可透過氣候型態分類與統計回歸方式進行資料轉換等降尺度方式獲得較佳的資料。在水資源系統中供給面與需求面的平衡，將透過水資源系統動力模式。系統動力模式是一個非常適合作水資源供需分析的研究方法；由於系統動力學與時間演進具有密切的連動關係，因此時常應用在與時間演進有關之課題研究，如模擬水庫供水系統、溫室氣體與全球暖化等領域；水資源系統亦與時間有密切之關係，且系統動力動態學之軟體 Vensim 在操作上亦比一般的語言程式簡單，其優勢在於運用視窗化的圖形操作介面可輕易的建立起所需的系統模式架構圖，系統的整體架構和連接關係均透過圖形清楚的呈現，同時每一元件亦只需建立其數學函數關係方程式即可反映出其隨時間之變化特性，所以操作起來非常方便且容易上手；故利用系統動力模式可進一步模擬整個水資源系統的於乾旱時期的缺水情形。在發佈乾旱預警後的救旱調適策略方面，除了子計畫一、二外，本計畫將利用遺傳演算法，建立乾旱時期水庫操作規線，並將整合其他子計畫於乾旱時期的調動方案。

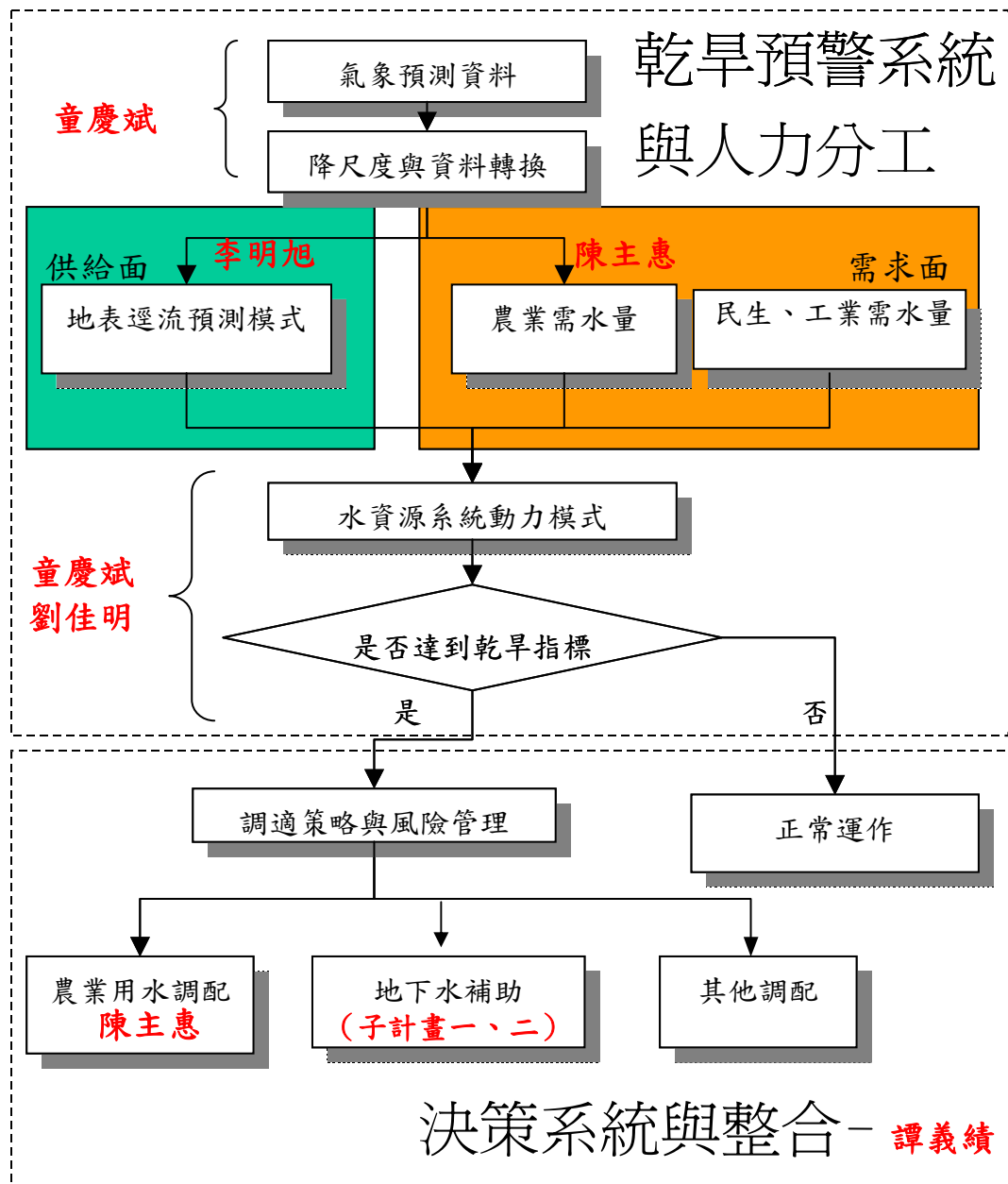


圖 1-1、水資源乾旱預警風險管理策略與人力分工

本計畫在第一年的主要工作將為建立水資源系統動力模式、與各子計畫的連結架構，並推估未來供水量與需水量以及調適策略、初步驗證各模式與優選乾旱預警指標及調適策略以及各子計畫互相資料流通介面與未來整體系統整合的準備工作。主要內容簡述如下：

一、水資源系統動力模式

系統動力學與時間演進具有密切的連動關係，非常適合於應用於水資源系統在時間演進有關之課題研究。因此本計畫將採用系統動力動態學之軟體

Vensim，建構水資源供水系統動力模式。Vensim 在操作上亦比一般的語言程式簡單，其優勢在運用視窗化的圖形操作介面可輕易的建立起所需的系統模式架構圖。

二、流量推估模式（與李明旭教授合作）

GWLF(Generalized Watershed Loading Functions)模式為集水區之水平平衡模式，此模式能反應氣候變化及土地利用對流量之衝擊，其參數可根據集水區之土地利用以及土壤特性決定，可以降低評估結果之不確定性。

三、水資源系統需水量推估

本研究在需水方面，以水資源用水型態大致上可分為農業用水、民生用水、工業用水三大部分。三種用水其中以農業用水受氣溫變化影響會有不同的需水情況，因此須引用氣象預測資料，並且考慮到溫度的變化對作物的生長及需水量的影響，估算出合理的農業需水量。民生用水以及工業用水，將採用水資會的調查報告推估。

四、乾旱事件累積缺水量與其超越機率

在建立乾旱預警系統之前，首先必須先針對以歷史資料模擬的各型態假想氣象預測資料在目前之水資源供水系統不變下，水資源系統供需水模擬之後可能之供需水情形，結果進行統計分析。推求每一缺水事件其累積缺水量與超越機率。

五、乾旱時期調適策略

採用乾旱事件的累積缺水量為預警指標，就是當預測氣象資料經過水資源系統模式，預測未來缺水量到達選定的累積缺水量，即是決定發動乾旱的時間，而缺水量回復到低於預警指標就是結束乾旱策略的時機。進而結合水資源動力系統模式與各項初定的調適策略。將可以優選出在不同累積缺水量的預警指標，對應的最佳調適策略。

六、各項子計畫的資料交流、結合之準備工作

由於本計畫扮演著整合與調配的角色，因此在第一年必須先建立好本子計畫與各子計畫之間的架構與交流介面。讓各子計畫瞭解本計畫將提供給各子計畫的資料，以及未來建立評估管理系統所需要的各子計畫提供的各項決策資訊。另外，也進行下一步與氣象預測資料結合的準備工作。

第二章、研究區域

2.1 河系分佈概況

淡水河流域位於本省之北端，東北及西北以大屯山與觀音山等與海岸相隔，東南以阿玉山、紅葉山等與蘭陽溪為界，西南以品田山、大壩尖山等與大甲、大安、頭前諸溪為鄰。淡水河流域為台灣北部地區之重要流域之一，所涵蓋之行政區包括臺北縣、臺北市、基隆市大部分及桃園縣、新竹縣小部分地區，其中台北市工商業發達，為台灣地區政治、經濟及文化中心，亦為國際聞名之都市。

淡水河係淡水河流域之主要河川，亦為台灣第三大河川，發源於中央山脈北端標高 3529 公尺之品田山，全長 158.7 公里，流域面積 2726 平方公里，平均坡降 1/45。淡水河流域有三條主要支流：大漢溪、新店溪、基隆河。主流大漢溪在南，支流新店溪與基隆河分別居於中間及北側，大漢溪於江子翠匯合新店溪後始稱淡水河。基隆河則於關渡附近納入淡水河主流，經淡水出海。其地理相關位置如圖 2-1 所示。

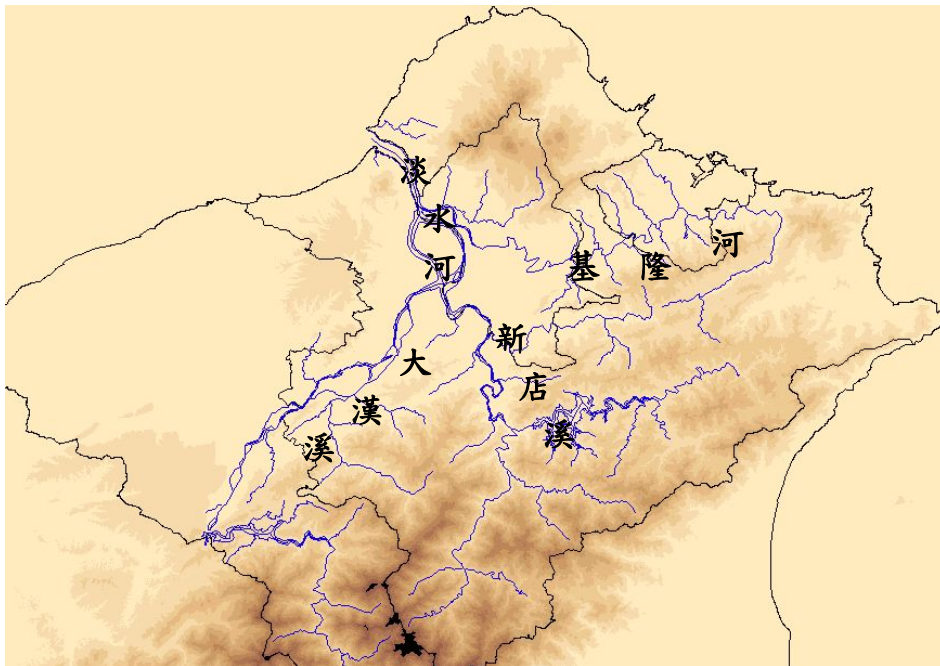


圖 2-1、淡水河流域地理位置示意圖

大漢溪流域

大漢溪原名大嵙崁溪，主流長 135 公里，流域面積 1163 平方公里，平均坡降 1/37，發源於品田山，流經新竹縣之尖石鄉、關西鎮與桃園縣之復興鄉、龍潭鄉、龜山鄉、大溪鎮及台北縣之三峽鎮、鶯歌鎮、樹林鎮、土城市、板橋市、新莊市、三重市，於江子翠匯入淡水河；其上游之泰崗溪與白石溪在秀巒匯合後稱

秀巒溪，流經過高台後稱為玉峰溪，至三光納三光溪，自三光以下始稱大漢溪。主要支流有永福溪(亦稱烏塗堀溪)及三峽河，本溪上游為石門水庫集水區,集水面積 759 平方公里，在水庫上游主河道已建有巴陵、榮華、義興三座攔砂壩。

新店河流域

全長 90 公里，流域面積 916 平方公里，其主要支流為北勢溪與南勢溪兩溪在龜山下游處匯合始稱新店溪。其中南勢溪河道長 40 公里，流域面積 331 平方公里，平均坡降 1/38，適合水力發電之開發，以開發之電廠有烏來及龜山兩處。北勢溪長 50 公里，流域面積 310 平方公里，平均坡降 1/170，水清而沈積物少。

基隆河流域

基隆河係淡水河三大支流之一，為本省最北之主要河川，發源於台北縣平溪鄉菁桐山。主流全長約 86.4 公里，流域面積 501 平方公里。主要支流有芋藁溪（東勢格溪）、深澳坑溪、大坑溪、大武崙溪、瑪陵坑溪、鹿寮溪（友蚋溪）、拔西猴溪（草濫溪）、保長坑溪、北港溪、康浩坑溪、叭連溪等。

2.1.1 流域上游集水區介紹

大漢溪及新店溪上游將影響自來水水源之集水區包括石門水庫集水區、翡翠水庫集水區、三峽河集水區及南勢溪集水區，茲敘述如下。

石門水庫上游集水區

石門水庫集水區位於淡水河上游自石門大壩以上之大漢河流域，地理位置居於東經 $120^{\circ}10'15''$ ～ $121^{\circ}23'10''$ 與北緯 $24^{\circ}25'45''$ ～ $24^{\circ}51'20''$ 之間，總面積 763.4 平方公里。東鄰台北、宜蘭二縣，南接台中縣，西南與苗栗縣相連，西屬桃園與新竹二縣，行政區域除東邊之一小部分屬宜蘭縣大同鄉、西端一帶屬新竹縣五峰鄉，西北角之極少部分屬新竹縣關西鄉、大溪鎮與龍潭鄉外，大部分地區均隸屬於桃園縣復興鄉與新竹縣尖石鄉。其集水區示意圖如圖 2-2 所示。

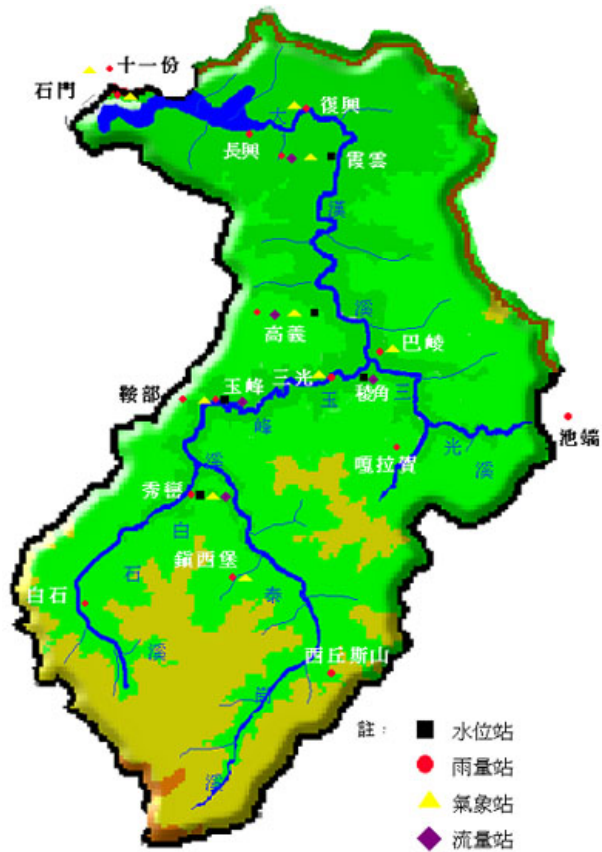


圖 2-2、石門水庫上游集水區示意圖（經濟部水利署）

集水區內除沿水庫之周圍為丘陵地外，大部分均屬於山岳地帶，地勢起伏由最低之海拔 135 公尺（石門水庫壩址）變化至最高之海拔 3529 公尺（品田山），全域自東南向西北傾斜，周圍形狀成南北向之狹長腰型，主要山脈自品田山沿集水區邊境向東北蜿蜒延伸。水系以大漢溪為主，本支流總數為 64，流路呈不規則樹枝狀，總長約 352.63 公里。

集水區內以針葉樹林地、闊葉林林地及針闊葉混合林地為多數，面積共計達 61950.87 公頃，約佔集水區面積之 81.15%。其次以竹林經營為數最多，佔 8532.73 公頃，比例為 11.18%。雜林、灌木及伐跡地面積則計有 275.12 公頃，佔集水區面積之 0.36%。農業利用上有稻作地、旱作、果園、茶園及墾地等五類，面積共計 3195.31 公頃，佔集水區面積之 4.19%。其他土地利用包括草生地、建地、村落、裸露地等類別，其面積共計 2385.97 公頃，佔集水區面積之 3.12%。詳參表 2-1 土地利用統計表。

三峽河集水區

三峽河主流大豹溪發源於三峽鎮熊空山、喀博山、塔開山、東眼山等，在湊合處會五寮溪後始稱三峽河。往北流經三峽鎮，到溪北處支流橫溪來會，繼續向

東北方向流至頂埔附近注入大漢溪，為大漢溪主要支流。面積 125.34 平方公里，全長約 22.6 公里。流域隸屬行政轄區包括台北縣三峽鎮、樹林鎮、土城市及桃園縣大溪鎮之一小部份。本流集水區形狀屬狹長形，坡度陡，為一急流河川。

表 2-1、石門水庫集水區土地利用現況（經濟部水利處北區水資源局，2000）

土地利用別	面積（公頃）	百分比（%）
雜林	183.74	0.24
針葉樹林地	19063.04	24.97
闊葉樹林地	34380.37	45.04
針闊葉混合林地	8507.46	11.15
灌木	21.50	0.03
林地	8532.73	11.18
草地	735.15	0.96
稻作地	231.72	0.30
旱作地	529.8	0.69
果園	2283.17	2.99
茶園	61.86	0.08
墾地	88.76	0.12
伐跡地	69.88	0.09
建地	134.27	0.18
村落	40.02	0.05
水體	1369.21	1.79
裸露地	107.22	0.14
總計	76340.00	100

翡翠水庫上游集水區

翡翠水庫集水區位於新店溪上游自翡翠水庫以上之北勢溪流域上游集水區，以位置居東經121°30'~121°55'與北緯24°50'~25°00'之間，總面積303平方公里，行政區域包含台北縣坪林鄉之全部，以及雙溪鄉、石碇鄉與新店市之一部份。該集水區示意圖如圖2-3所示。

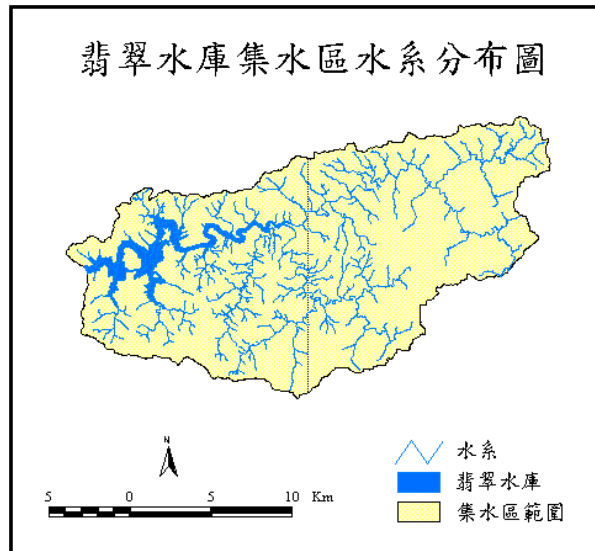


圖 2-3、翡翠水庫集水區示意圖（經濟部水利署）

本集水區地形之主幹為雪山山脈自棲蘭山繼續向東北延伸之主脈，逐漸降低直至海拔620公尺之大溪山之陵線；另一為自主脈向西伸出之支脈，由烘爐地山向西經烏口尖山及羅宏山至大桶山，以及本區北界由東向西之支脈構成。全區平均高度約484.36公尺，平均坡度約46.4%，其中有二分之一地區之坡度超過55%。

本集水區以林地覆蓋面積最多，約25503.09公頃，佔84.04%，農地面積2492.76公頃，佔8.21%，而其他非農林地面積則約有2349.13公頃，佔7.74%，詳參表2-2土地利用統計表。

南勢溪集水區

南勢溪集水區面積約為331平方公里，林地佔其面積之98.05%，除了主流南勢溪外，另包括九寮、斯其野、大羅蘭、扎孔、哈盆、內洞、阿玉及桶後等支流。

表 2-2、翡翠水庫集水區土地利用現況（古偉成，1993）

土地利用別	面積（公頃）	百分比（%）
天然生闊葉樹林	15416.85	50.81
針葉樹林地	8401.39	27.69
闊葉樹林地	381.03	1.26
針闊葉混合林地	699.77	2.31
茶園	1037.82	3.42
果園	826.50	2.72
其他農墾地	1232.49	4.06
草生地	633.95	2.09
苗圃地	3.12	0.01
建築地	115.33	0.38
墓地	27.02	0.09
河流	1246.44	4.11
公路	152.85	0.50
裸露地（伐跡地）	149.82	0.49
其他	20.60	0.07
總計	30344.98	100

2.2 水工結構物

2.2.1 現有水工結構物

翡翠水庫

翡翠水庫位於新店溪支流北勢溪上，主要引北勢溪之水而成，另外還匯集灣潭溪、姑婆寮溪、魚崛溪、金瓜寮溪、石磴子溪、後坑子溪、火燒樟溪等幾條大小溪流。翡翠水庫計劃於民國 59 年開始規劃，民國 68 年 1 月核定實施。同年 8

月開工，經過 8 年之艱難施工，全部工程於民國 76 年 6 月如期完工。水庫集水區面積 303 平方公里，水庫容量 406 百萬立方公尺。台北市政府成立翡翠水庫管理局負責運轉及維護。水庫完成後，供應台北自來水為每日 345600 立方公尺，至民國 119 年前，提供台北地區自來水供應無虞。翡翠水庫主要以供應自來水為目標，防洪不視為水庫功能之一，為充份利用水資源，附帶設置裝機容量 70,000 仟瓦之發電廠。

石門水庫

石門水庫位於大漢溪中游，為一多目標水庫，具有灌溉、發電、公共給水、防洪、觀光等多目標營運，民國 53 年完成，歷時八年，耗資新台幣三十四億元，其壩高 133 公尺，溢洪閘門六座，為台灣光復初期所完成之大型水庫，也是東南亞首屈一指的水利工程。水庫集水區面積 763.4 平方公里，水庫容量 309.12 百萬立方公尺。距台北市五十二公里，範圍廣及桃園、新竹、宜蘭三縣境。

直潭壩

直潭壩主要攔蓄新店溪溪水供公共給水，設計有效蓄水量為 4,200,000 立方公尺，由直潭取水口經內徑 4,000mm 之輸水路，引水至直潭淨水廠，為供應大臺北地區自來水之原水來源。

青潭堰

青潭堰之功用有二，其一為抬高新店溪河川水位，使青潭取水口能順利引取 12.56 秒立方公尺之原水，其次為調蓄小粗坑電廠作尖峰運轉時之尾水，以免流失；青潭調節池之設計有麥蓄水量為 70,000 立方公尺，由青潭取水口經內徑 3,200mm 之原水導水路，引水至長興及公館淨水場，為供應大臺北地區自來水之原水來源。

鳶山堰

屬台灣省自來水公司(第十二區管理處)管理之鳶山堰，為一公共給水之水庫，位於台北縣三峽鎮，以大漢溪為水源，集水面積 869.4 平方公里(以上係包括石門水庫壩以上集水面積、至於堰壩至石門水庫之集水面積為 88 平方公里)。排洪方式分溢流與閘門控制，溢流段最大設計流量 9630cms。另設計有河道放水道，設計量為 5.188cms。

石門大圳

龍潭鄉境內主要的灌溉溝渠為石門大圳，進水口設在大壩上游左岸，取水口是用鋼筋混凝土結構，石門大圳灌區隸屬於石門農田水利會，石門大圳進水口標高 195 公尺，在標高 240 公尺與幹渠間之灌溉地須抽水灌溉。除了提供灌溉用水之外，也提供民生用水，石門大圳到了三坑之後，利用三坑抽水站將水抽至平鎮及龍潭二淨水場，經過處理後成為自來水供人使用。

桃園大圳

桃園大圳主要功能在供應桃園農田水利會所屬灌區之農業需水及大湳淨水場所需之原水，早先桃園大圳的取水口位於現今石門水庫依山閣一帶，石門水庫興建時，才將桃園大圳的取水口遷移至石門水庫後池堰左端，經由管道運送至八德大湳附近出口，由於水庫水源穩定，因此桃園大圳之取水同時供應光復圳灌區，自此以後桃園大圳灌區增加新竹縣湖口鄉。該灌溉水路幹線全長 25 公里，經過桃園縣各重要鄉鎮，支分線穿越在各鄉鎮之城鄉社區。光復圳銜接桃園大圳尾水及自社水溪等河水取入、幹線長 15 公里，支線長 49 公里，給水段全長 148 公里。

三峽攔河堰

位於大漢溪支流三峽河，目的為提供公共給水，為一混凝土堰，其主要功能為攔蓄三峽河河水，供應板新淨水廠所需之原水。

西勢水庫

位於基隆市暖暖的西勢水庫，於民國 15 年興建完成，所含蓋的範圍為主流基隆河，支流西勢溪，可有效容量為 39.5 萬立方公尺，集水面積為 6.5 平方公里，現為一混凝土拱形重力壩，由於基隆河水源大部分已受污染，而西勢水庫卻常有水量溢流，集水區植被良好，水質甚佳，增加庫容可增加供應潔淨之水源，且壩址地質條件良好，頗具加高之潛力。加高水庫可將總蓄水容量提高至 303.4 萬立方公尺，目前列為經濟部水利署水資源工程開發與興建之中長程計畫。

新山水庫

屬台灣省自來水公司(第一區管理處)所管轄的新山水庫是一公共給水的水庫，是輾壓式力壩，位處基隆市，包含河系為主流基隆河，支流大武崙溪之支流新山溪。水庫的集水面積 1.64 平方公里，正常蓄水位標高 71.00 公尺。民國八十二年九月開始執行新山水庫之加高工程計畫，其中包括(一)大壩壩長 262 公尺，壩高加高 15 公尺(原高 51 公尺；壩頂標高 75 公尺)，增加蓄水量 600 萬立方公

尺（原有效容量 400 萬立方公尺）。(二)溢洪道工程：將原有側槽式溢洪道加高並改為喇叭口式溢洪道（堰頂直徑 7.4 公尺，堰頂標高 86 公尺），最大排水量 118 C.M.S.。(三)附屬工程：施工道路、管理站房、監測系統及水土保持各壹式。新山水庫加高工程完工後，年可增加調配基隆地區（最大日）每日 11 萬立方公尺水量，滿足至民國年 95 年該區之用水需求。另外可作為貢寮淨水廠送基隆市系統中斷搶修期之緊急補充水源。在特殊枯旱年，其它水源不足時，將發揮其調節功效，使得供水區免除限水、缺水之苦。

2.2.2 規劃中之水工結構物及方案

針對大台北地區未來之用水需求，在過去之研究中，政府相關單位已提出許多可行性規劃報告與方案，包括大型水工構造物之興建及較低成本之通水管路改善，其中部分方案因地質條件、經濟成本、觀念改變或替代方案較具效益等因素，未來實現之可能性已經不大，而相關之規劃方案如下所述。

至於基隆區部分，台灣省自來水公司本身亦針對各供水分區規劃有相關之水資源開發方案，亦詳述如後。

坪林水庫

坪林水庫為民國 81 年時為解決台北縣（板新地區）及桃園縣（石門地區）等之長期公共水源不足而規劃完成之水庫。坪林水庫計畫壩址位於新店溪支流北勢溪，坪林村上游約 4 公里處，位於翡翠水庫上游，相距約 28 公里，因此兩水庫可形成串聯系統，聯合運轉以調蓄天然流量，依供水需要，由坪林水庫發電放水後存於翡翠水庫，再由翡翠水庫發電放水以供應公共給水。坪林水庫其所規劃之內容包含水庫工程、發電工程及公共給水下游工程。水庫工程為建造庫容為 1.62 億立方公尺之大壩。發電工程為建置發電容量 2.73 萬瓦的水力電廠。公共給水下游工程則自直潭引 11.6 秒立方公尺的原水至板新地區新建淨水廠，原水輸水隧道長約 13 公里。然因水庫壩址之地質問題尚須克服，加以藉由其他水資源規劃方案將可提高翡翠水庫之運轉效率，以及經費、環境衝擊過大等因素，故未來實際興建運用之價值與可能性將不如其他之水資源規劃方案。

新店溪引水工程

板新及石門地區原為大漢河流域水源供水區，近年來由於工商業蓬勃發展，建設突飛猛進，加上外來就業人力投入，以致人口迅速成長，用水量急遽增加，現大漢溪水源以不足以供應該區用水需求，而新店溪水源供應台北地區用水尚有餘裕。新店溪與大漢溪水源應聯合調度供應台北、板新及石門地區。

新店溪引水工程為新店溪與大漢溪水源聯合調度供應台北、板新及石門地區之水源調度工程方案，依引水方案之不同可區分為第一方案與第二方案。其中第一方案為於新店溪粗坑堰（屈尺堰）取水，設導水隧道將原水引至板新淨水廠處理，引水長度 22.3 公里，引水容量為 20 秒立方公尺，施工期長達十年。而第二方案則自新店溪青潭堰上游，取粗坑電廠發電尾水，於潭灣處興建每日處理能力 120 萬立方公尺之淨水廠進行處理，再將清水沿新店市、永和市、中和市至板橋市，全線為 18.5 公里，引水容量為 13 秒立方公尺，施工期為 6 年。

管路之改善

利用現有台北自來水事業處供應接水點設施，改善及擴建兩事業單位部分自來水供水系統管路，新建第二原水幹管引取翡翠水庫調配水量，並擴建直潭淨水設備，由既有清水幹管輸送，完成區域自來水源調度，此意即所謂之『板新地區供水改善計畫』。除直潭淨水廠第五座七十萬噸設備工程已於民國九十年十二月十七日開工外，並已預留第六座七十萬噸設備所需之土地。

基隆區供水改善計畫

在基隆區部分，台灣省自來水公司亦計畫於 2006 年由基隆供水區增設輸水管線至瑞芳供水區，另增加六堵供水區長興淨水廠之設計容量至 60000CMD，而西勢水庫則配合加高使其有效庫容達到 303 萬立方公尺，而暖暖淨水廠之設計容量亦增加至 110000CMD，並增設基隆供水區至六堵供水區之輸水管線。

2.3 供水區域概述

台北區之負責供水單位為台北自來水事業處，其供水區域以台北市為中心，兼及台北縣所轄三重、中和、永和、新店四個縣轄市與汐止鎮北山里、橫科里、宜興里、福山里、東勢里、忠山里、環河里，形成台北地區北部最大的都會區域公共給水系統，同時並與台灣省自來水公司的管網系統在三重，中和，板橋，蘆洲，淡水，關渡，汐止，內湖連接，可於必要時相互水量支援。

石門及板新兩供水分區，則分別隸屬於台灣省自來水公司之第二及第十二區管理處；台灣省自來水公司第二區管理處負責之供水區域（石門區）包含台北縣林口鄉、泰山鄉，桃園縣桃園市、中壢市、龜山鄉、八德市、大園鄉、平鎮市、楊梅鎮、新屋鄉、觀音鄉、復興鄉、龍潭鄉、大溪鎮以及新竹縣之湖口鄉、新豐鄉；台灣省自來水公司第十二區管理處負責之供水區域（板新區）包含台北縣板橋市、新莊市、中和市、樹林鎮、土城市、三峽鎮、鶯歌鎮、泰山鄉、五股鄉、蘆洲鄉、八里鄉、林口鄉和桃園縣龜山鄉。

基隆區之自來水系統則屬於台灣省自來水公司之第一區管理處，共有 12 個供水系統，其中以基隆河為主要或部分水源之系統所涵蓋之行政區包括基隆市（含中正、信義、安樂、中山、暖暖、仁愛、七堵等區）、瑞芳鎮、貢寮鄉（11 村）、萬里鄉（中幅子、野柳、嵌腳）、台北縣汐止鎮（不含橫科、宜興、福山、東山四里）和平溪鄉（9 村落）。

2.4 供水系統

台北區

臺北自來水事業處現有淨水場主要為長興、公館、直潭、陽明及雙溪淨水場，長興淨水場共有三座淨水設備，每座淨水設備之設計容量為 200,000 日立方公尺，主要供水範圍為新生南路以東至南港路一帶；公館淨水場淨水設備之設計容量為 520,000 日立方公尺，主要供水範圍為新生南路以西至萬華一帶及文山、新店部分地區用水；由於直潭淨水場第五座淨水設施完成後，第五座淨水設備其設計容量為 700,000 日立方公尺，故直潭淨水場設計容量至原本的 2,000,000 日立方公尺提昇為 2,700,000 日立方公尺。以新店溪為水源的長興、公館及直潭淨水場，出水量約佔了總供水量之 97%，雙溪及陽明山淨水場出水量雖然僅佔了總供水量之 3%，但由於其位處陽明山、北投高地區，對於高地供水提供相當大的幫助；因此目前長興、公館、直潭、陽明及雙溪等淨水場總設備容量為 3,970,450 日立方公尺。

而目前共有 78 座加壓站負責供水給各個區域，主要加壓站為大同、中和、公館、中和、松山、三重一號、安康等，其中供水戶口數最多的為中和加壓站，共計 373,967 戶，其次大同加壓站，計 304,445 戶，再者為公館加壓站，計 268,806 戶；現有清水幹線有兩條，第一條清水輸水幹線，主幹線從直潭淨水場向北延伸，穿越新店溪進入安康、中和地區，再跨越新店溪經公館沿建國南、北路北上，最後終點至大同配水池暨加壓站。中間分出兩條支線，一為松山支線，由建國北路與民生東路口分支，沿民生東路、敦化北路、民權東路終至松山配水池暨加壓站；另一為三重支線，從公館地區跨越忠孝大橋而至三重配水池暨加壓站，並在公館興建加壓站一座，以供三重支線中繼加壓之用。第一條清水幹線主幹線全長約為 17.3 公里，三重支線全長約 8.6 公里，松山支線全長約 3.9 公里。第二條清水輸水幹線之輸水能力為每日 2,480,000 立方公尺，主幹線全長約 17.8 公里，從直潭淨水場向北延伸，先以水管橋跨越新店溪，沿新店溪右岸環河快速路堤外便道至福和橋，下轉公館圓環，再沿基隆路、敦化南北路而至大同配水池暨加壓站。

表 2-3、臺北供水區現有淨水設施

供水系統	淨水場名稱	淨水設施	淨水場設備容量 (CMD)	取水來源	取水工	取水工設計流量	
						(cms)	(CMD)
臺北地區	長興	三座	200,000*3	青潭堰	導水管道	12.731	1,100,000
	公館	一座	520,000*1	青潭堰	導水管道		
	直潭	五座	500,000*4 7000,000*1	直潭壩	導水隧道	31.25	2,700,000
	雙溪及陽明等	設計出水量 118,000CMD；枯水期 81,000CMD					

而臺北區自來水第五建設工程計畫在考量區塊需水量、加壓系統、水源調配、配水管網、行政轄區等層面後，將臺北自來水事業處的供水範圍劃分為 11 個獨立之供水分區，各供水分區範圍如下：

1. 台北市東供水分區：供水範圍為臺北市中心區之東北角，松江路以東，縱貫鐵路(市民大道)以北之地區。(備註：1.松江路以東、市民大道以北、基隆河以南之地區。2.含松山區及部份中山區。)
2. 台北市西供水分區：供水範圍為臺北市中心區之西南角，新生南路以西，縱貫鐵路(市民大道)以南之地區。(備註：1.淡水河以東、新生南路以西、市民大道以南、新店溪以北之地區。2.含中正、萬華及部份大安區。)
3. 台北市南供水分區：供水範圍為臺北市中心區之東南角，新生南路以東縱貫鐵路(市民大道)以南之地區。(備註：1.新生南路以東、南港區界以西、市民大道以南、文山區界以北之地。2.含信義區及部份大安區)
4. 台北市北供水分區：供水範圍為臺北市中心區之西北角，松江路以西，縱貫鐵路(市民大道)以北之地區，另包括社子地區通河西街以南之部份。(備註：1.淡水河以東、松江路以西、市民大道以北、基隆河以南之地區。2.含大同區、大直及部份中山區)
5. 南港供水分區：供水範圍為臺北市南港地區。(備註：1.同南港區)
6. 新店供水分區：供水範圍包括文山(木柵、景美)及新店地區。(備註：1.新

店市(不含安康)及文山區地區。)

7. 安康供水分區：供水範圍為安康地區。(備註：1.安康地區)
8. 中和永和供水分區：供水範圍為中和及永和地區。(備註：1.中和市及永和地區)
9. 三重供水分區：供水範圍為三重市二重疏洪道以東之地區。(備註：1.三重市)
10. 內湖供水分區：供水範圍為內湖及大直地區。(1.同內湖區)
11. 士林北投供水分區：供水範圍包括陽明山、士林、北投、天母及關渡等地區；並含分水供給淡水三芝地區使用。(備註：1 士林及北投地區)

由於除了供水管線以外，臺北市自來水事業處供水系統主要設施包括淨水場五座、加壓站 78 座及配水池 118 座，本研究由於簡化起見，僅考慮主要淨水場及加壓站，並配合 11 個供水分區，再加上支援台灣省自來水公司新莊、蘆洲、汐止、深坑、板新地區，其主要供水系統如圖 2-4。

板新地區

板新地區之自來水系統以地表水為主要取水水源(95.5%)，屬台灣省自來水公司第十二區管理處負責管理，板新淨水場為本區域僅有之地表水淨水場，主要水源來自大漢溪鳶山堰及三峽河三峽堰。本供水區供應之工業用水則包括樹林、土城、五股、頂崁及泰山等工業區，其水源均為地表水。

石門地區

石門地區包括石門、復興、龍潭三個自來水供水系統，以地表水為主要取水水源(99%)，屬台灣省自來水公司第二區管理處管理；本供水區主要地表水水源為大漢溪石門水庫，石門地區供水區則包括台北縣林口鄉及桃園縣，屬於工業區密集區域，其工業用水皆由石門及龍潭供水系統供應。

表 2-4、板新、石門供水區淨水設施

供水區	淨水場名稱	淨水場設計出水量 (萬 CMD)	取水來源	取水工	取水工設計流量	
					(cms)	(萬 CMD)
板新區	板新淨水場	120	鳶山堰	加壓箱涵	6.944	60
			鳶山堰	重力箱涵	11.574	100
			三峽攔河堰	加壓專管	5.787	50
石門區	龍潭淨水場	5	石門水庫	石門大圳	0.579	5
	平鎮淨水場	60	石門水庫	加壓專管	7.87	68
	石門淨水場	12	石門水庫	石門大圳	1.389	12
	大湳淨水場	50	石門水庫	桃園大圳	2.894	25
			鳶山堰	加壓專管	2.894	25

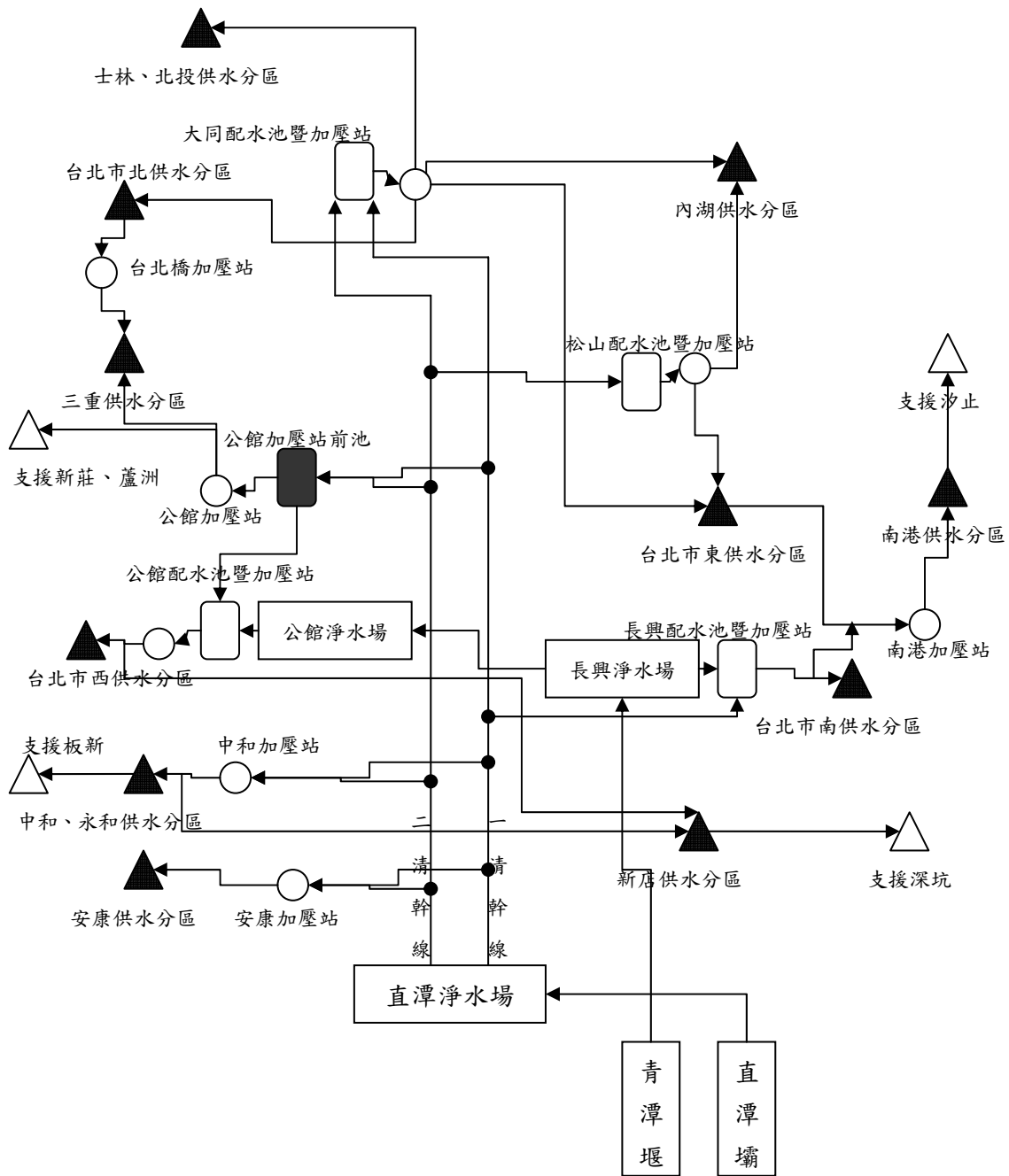


圖 2-4、臺北區供水系統示意圖

2.5 需水量探討

民生用水

供水量多寡須依供水分區人口而定，並藉由清水輸水幹管及加壓系統作供水調度，而自來水系統配水量除了與人口數有關，還與普及率、每人每日用水量、售水率有關，茲分述如下

(1)總人口數

總人口數係指供水區域之總人口數，該年之總人口數以該年之年底數代表。

表 2-5、臺北供水分區歷年人口表

單位：人	民國 83 年	民國 85 年	民國 87 年	民國 90 年	平均成長率
臺北市東區	309323	299400	294265	293851	-0.71%
臺北市南區	513854	490873	497702	484530	-0.82%
臺北市西區	462720	444523	440113	434477	-0.87%
臺北市北區	266175	257690	263664	289756	1.27%
南港分區	113412	111733	112699	113937	0.07%
內湖分區	222685	234977	244642	254521	2.04%
士林北投區	542406	536186	542915	540000	-0.06%
三重分區	382880	377498	378671	382934	0.00%
中永和分區	628227	614449	615847	628275	0.00%
新店分區	396544	401169	414356	427282	1.11%
安康分區	75281	82901	90607	96852	4.09%

資料來源：臺北地區供水系統合理調配暨危機管理之探討

(2)普及率

用水人口數÷供水區域人口數×100%。

普及率係指用水人口數與供水區域人口數之比值。

(3)售水率

售水量÷出水量×100%

售水率係指售水量與出水量之比值。

(4)每人每日用水量

售水量÷[(本年+上年)用水人口÷2]÷365(366)(天)。

係指每人每日所使用之水量。

本研究對生活用水量之需求推估係採用如下之公式

自來水配水量=人口數×普及率×每人每日用水量÷售水率

表 2-6、臺北區生活用水量推估之各項因素

民國(年)	80	81	82	83	84	85	86	87	88
普及率(單位：%)	99.01	99.01	99.03	99.03	99.14	99.14	99.42	99.43	99.44
售水率(單位：%)	75.03	73.37	66.85	63.19	60.78	62.82	62.74	63.43	58.23
每人每日用水量(單位：公升)	369	371	382	363	359	356	358	364	369

資料來源：台北自來水事業歷年統計年報(年)

表 2-7、板新、石門地區生活用水量推估之各項因素

民國(年)		80	81	82	83	84	85	86	87	88
板 新 地 區	總人口數(萬人)	158.6	161.8	165.4	169.3	171.2	174.8	178.5	181.2	184.3
	普及率(單位：%)	95.31	97.82	99.83	97.29	96.46	96.61	97.13	97.33	97.59
	售水率(單位：%)	84.57	80.73	81.34	81.05	83.96	84.31	84.61	76.84	77.86
	每人每日用水量 (單位：公升)	301	276	290	288	243	285	299	265	268
石 門 地 區	總人口數(萬人)	141.9	145.1	148.6	156.0	160.5	165.9	170.6	174.8	179.0
	普及率(單位：%)	78.25	79.84	82.41	83.94	84.86	87.7	89.97	91.44	92.77
	售水率(單位：%)	83.42	78.20	81.76	79.25	83.19	82.56	86.67	80.65	79.26
	每人每日用水量 (單位：公升)	264	223	231	227	232	239	250	234	242

資料來源：台灣省自來水事業歷年統計年報(年)

工業用水

臺灣地區之工業用水可分為自行取水及由自來水系統供應兩類，由於本研究所要研究的對象是自來水供水系統之供需情形，故工業用水僅針對自來水系統供應方面，再者臺北自來水事業處將工業用水量併入民生用水統計，故臺北區並無工業用水項目，而板新地區工業用水水來自地表水，石門地區工業用水則均由石門及龍潭供水系統負責供應，工業需水量資料則根據經濟部水資源局(1999)「台灣地區北部區域水資源綜合發展計畫(II)」所提供工業用水量之資料。

農業用水

農業用水方面，在臺北區之七星農田水利會與埤公農田水利會所轄事業區屬

於都會型農田水利會，雖然有一部分是以河川地面水為灌溉來源，但其灌溉地區的水源並非本研究所研究範圍需負責供應的，因此將臺北區視為無農業用水需求；板新、石門地區有石門農田水利會及桃園水利會之農業用水需求，本研究引用已有資料，將大漢溪流域之灌溉系統分為石門灌區、桃園灌區、大漢溪上灌區、大漢溪下灌區，其灌溉系統詳述請參照表 3-8，各灌區之農業需水量，因石門及桃園灌區其用水的主要來源為石門水庫或當地貯水池水源，故此兩灌區的農業需水量採石門水庫管理局所提供之計畫用水量之平均值，其餘各灌區則是取計畫用水量之平均值，圖 2-5 為各灌區農業用水需水量。

表 2-8、大漢溪流域灌溉系統

河川	灌區	灌溉系統
大漢溪	石門灌區	石門大圳
	桃園灌區	桃園大圳
	大漢溪上灌區	溪洲圳、土銀圳、順時埔圳、月眉圳、十三張圳、二甲九圳
	大漢溪下灌區	石頭溪圳、公館後圳、隆恩埔圳、十二股圳、后村圳、大安圳

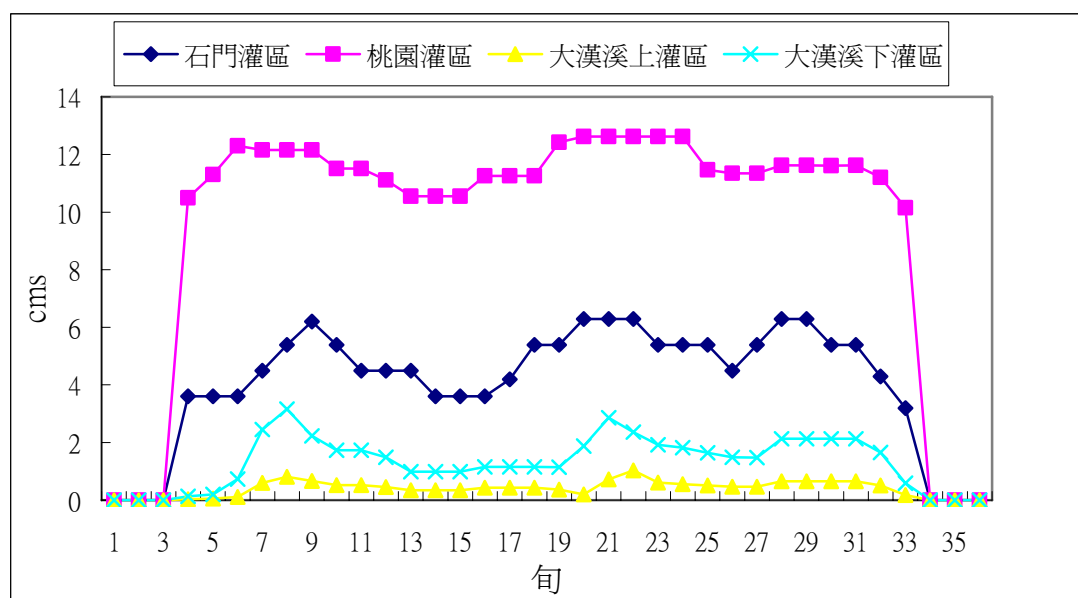


圖 2-5、大漢溪各灌區農業用水需水量

第三章、淡水河流域水資源系統動力模式

3.1 系統動力模式

系統動力學發源於 1960 年代，美國麻省理工學院 (Massachusetts Institute of Technology, MIT) 之史隆管理學院 (Sloan School of Management) 的 Forrester 與他同事在福特基金會 (Ford Foundation) 及史龍基金會 (Alfred P. Sloan Foundation) 的贊助下，以回饋控制理論 (feedback control theory) 分析工業系統，並應用在企業系統之管理工作上，當時他們所使用的應用軟體為 Dynamo。

在 1969 年，Forrester 利用系統動力這個新觀念進行都市動態 (Urban Dynamics) 之研究，該研究分析工業部門、房屋部門及人口部門之間的相互關係，發現在動態模式之初始，因都市環境適合工商發展、居住條件舒適，人口會快速成長，但當都市內因人口成長而使有限之土地資源達到飽和時，則將因房屋老化、工商發展停滯等因素而導致人口衰退。在 1970 年代初期，Meadows et al. (1972) 應用系統動力模式分析探討全球未來一世紀人口成長與工業發展之關係。其結果顯示目前世界之系統並無法承受現行之經濟發展，若持續目前之發展速度將導致無法控制之環境與人口衰退，即不永續之發展，褒者譽之為警世箴言，讚揚作者們之高瞻遠矚，奉勸各國政府注意環境和資源危機，貶者則斥為新馬爾薩斯主義，而系統動力學則從此揚名立萬，應用 SD 進行各領域之研究也亦趨廣泛。同時，水土資源領域方面亦有學者開始應用系統動力模式以進行相關之研究。

Francisco et al. (1993) 利用系統動力模式來進行環境政策的評估與研究。Francisco Perez-Trejo 等運用扇形連結及系統動力模式將經濟系統及環境影響彼此的動態變化結構關係連結起來，並以 Crete 島 1971 至 1987 年之經濟結構為驗證對象，並對於其至 2001 年之經濟變動作一評估。結果顯示，此跨領域的方法突破以往傳統方法論等方法之限制，更能有效得面對及解決整體之環境與經濟的問題，並有助於以整體之角度來思考環境政策之發展。

Guo et al. (2001) 則利用系統動力模式分析中國大陸雲南省弭海湖盆地 (Lake Erhai Basin) 之地區性環境計畫及其環境管理策略。其利用系統動力模式建立八個子系統，分別為人口、農業、工業、觀光、水資源、污染控制、水質和森林，並將此八個子系統加以整合成一完整之環境系統動力模式，用以分析該地區之經濟、社會發展對於環境之影響衝擊。其結果顯示，若採取鼓勵工業發展的策略，雖然增加了河川水資源污染的風險，但因為大幅增加的工業產值和經濟收益可以提供足夠的防制基金，用來解決污染問題及提高廢水處理的效率，反而減輕了環

境所受到的壓力。若是限制了工業的發展（以進行工業廢水的污染控制），反而增加了因農業活動的擴大所產生的非點源污染，並同時降低了經濟上的收益。

近年來系統動力模式應用益形廣泛，包括環境資源與環境污染、生態系統分析、工商業管理及其他離散性模擬（discrete simulation）分析，（如交通號誌系統管制及大樓電梯停靠樓層使用管理等）。應用之課題包括了模擬地表水污染、模擬水庫供水系統、生態系統族群變化、大氣化學與污染傳輸、溫室氣體與全球暖化和現金流量的問題。由於系統動力學與時間演進具有密切的連動關係，因此非常適合於應用在與時間演進有密切關係之課題研究。

系統動力模式在構成回饋系統各部門之相互關係及系統之回饋環路結構時，一定包含兩種基本之變數，而這兩種變數是構成決策回饋環路之必要與充分條件，其中第一種變數具有儲存之觀念，第二種具有流動之觀念，再加上輔助其關係變化之第三種變數，構成三類主要之系統組成變數元件，其分別為：(1) 儲存（Level & Stock）、(2) 流動（Rate & Flow）、(3) 助動（Auxiliary & Converter），另外，再以箭頭連結表示各元件彼此間交互影響之關係，如圖 3-1 所示，其中圖左為系統動力模式軟體 Vensim 之示意圖，圖右則為 Stella 之示意圖。

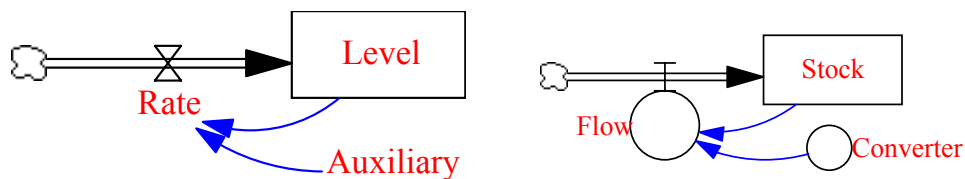


圖 3-1、系統動力模式元件關係示意圖

儲存（Level & Stock）係表示某一系統變數在某一特定時刻的狀態，其數值大小是累加了流入率（Inflow rate）與流出率（Outflow rate）的淨差額所產生之結果，可說是系統過去活動結果之累積，如同水庫中儲水量即屬於一儲存之概念；流動（Rate & Flow）則表示某種儲存變數變化之快慢，代表著一種瞬間之行為，其數值多由儲存變數與助動變數之交互關係來決定，如同水庫之放水量即屬於一流動之概念；助動（Auxiliary & Converter）則用來針對前兩種變數進行各變數間交互關係之補充說明，類似一般計算方程式中之參數，如水庫中之放水規則即屬於助動之概念。藉由這三類變數元件，配合前述之因果回饋概念，在確定目標及系統現況，配合數學模式之建立後，即可構成一完整之系統動力模式，用以模擬各系統之結構與決策。有關詳細的系統動力模式介紹可參閱陳明業（2002）。

3.2 淡水河水資源系統

新店溪、大漢溪流域包括了許多水工結構物，各水工結構物的詳細情形如前面所述，上游之大型水庫如翡翠、石門水庫，以及中下游之攔河堰青潭堰、鳶山堰等，並且藉由取水工構造物取用原水，輸送至各淨水場處理，再提供各用水區的用水。新店溪與大漢溪水資源系統圖 3-2：另外由直潭、青潭取水口取水後，供應至整個臺北地區，其臺北地區供水系統示意圖如前圖 2-4。一旦將水資源系統中各個水工結構物之相關位置釐清後，便可利用系統動力學理論，將整個水資源系統轉換成系統動力模式，本研究共分為三個系統-新店溪系統、大漢溪系統、台北自來水供水系統。詳細內容可參閱陳思璋(2005)。

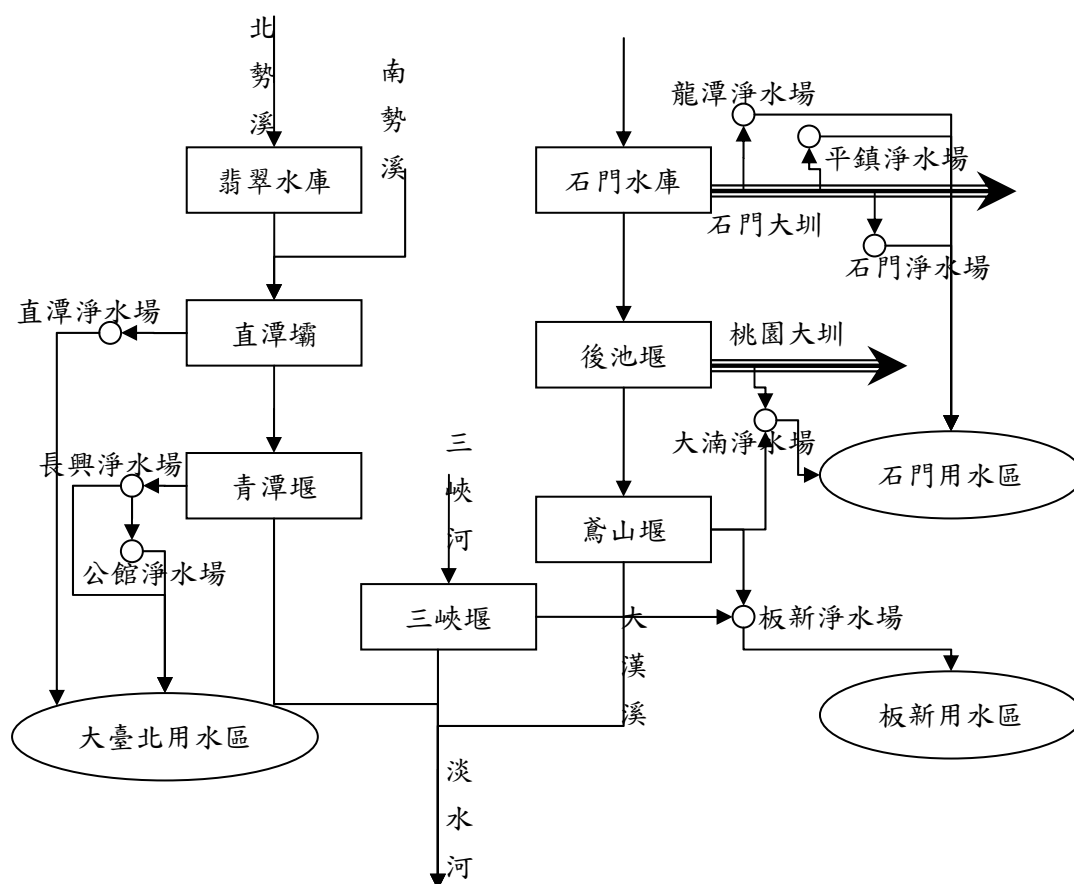


圖 3-2、新店溪與大漢溪水資源系統示意圖

新店溪系統

新店溪水資源系統動力模式包括了翡翠水庫、直潭壩、青潭堰、直潭淨水場、長興淨水場、公館淨水場，目前供水的方式是，臺北市自來水事業處先以南勢溪的天然流量為主，判定此量是否可以滿足下游的需水量，一旦南勢溪水量不足

時，便會通知翡翠水庫放水，而翡翠水庫放水又受到其放水規則限制，直潭壩則負責攔蓄水量將原水輸送至直潭淨水場處理，較下游的青潭堰將攔蓄水量送至長興淨水場，在長興淨水場有一分水井，將部分水量分送至公館淨水場；模式中為了模擬真實情況，將翡翠水庫操作規線和放水規則納入考慮，而直潭壩、青潭堰的取水量則根據下游大臺北自來水供水系統需水量所決定，圖 3-3 便為翡翠水庫之操作規線，新店溪水資源系統動力模式如圖 3-4 所示，放水規則則如下述：

1. 水庫水位等於或高於上限時，發電廠可每日 24 小時滿載發電，原水需水量亦可充分供給。
2. 水庫水位在上限與下限之間時，放水主要在滿足原水需水量，但發電廠亦可每日充分發足 6 小時的電量。
3. 水庫水位在下限及嚴重下限之間時，放水必須滿足原水需水量，且發電廠亦只能利用該放水量發電。
4. 當水庫水位等於或低於嚴重下限時，放水以限制在原計畫原水需水量 70 % 為原則，以避免在隨後之期間內發生嚴重缺水，發電廠亦只能利用該限制之放水量發電。

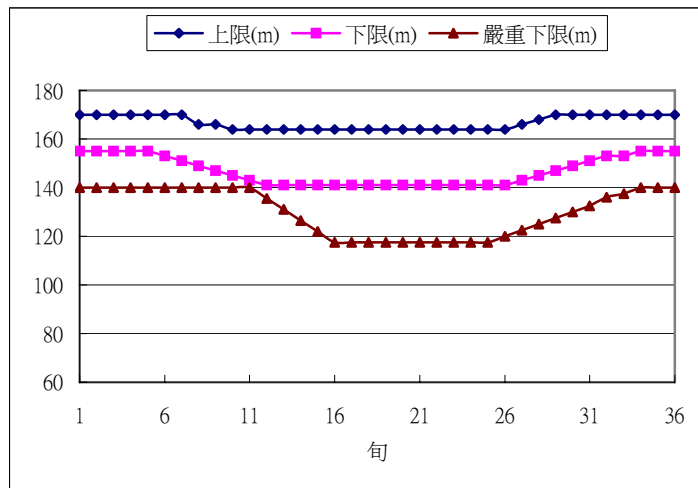


圖 3-3、翡翠水庫操作規線

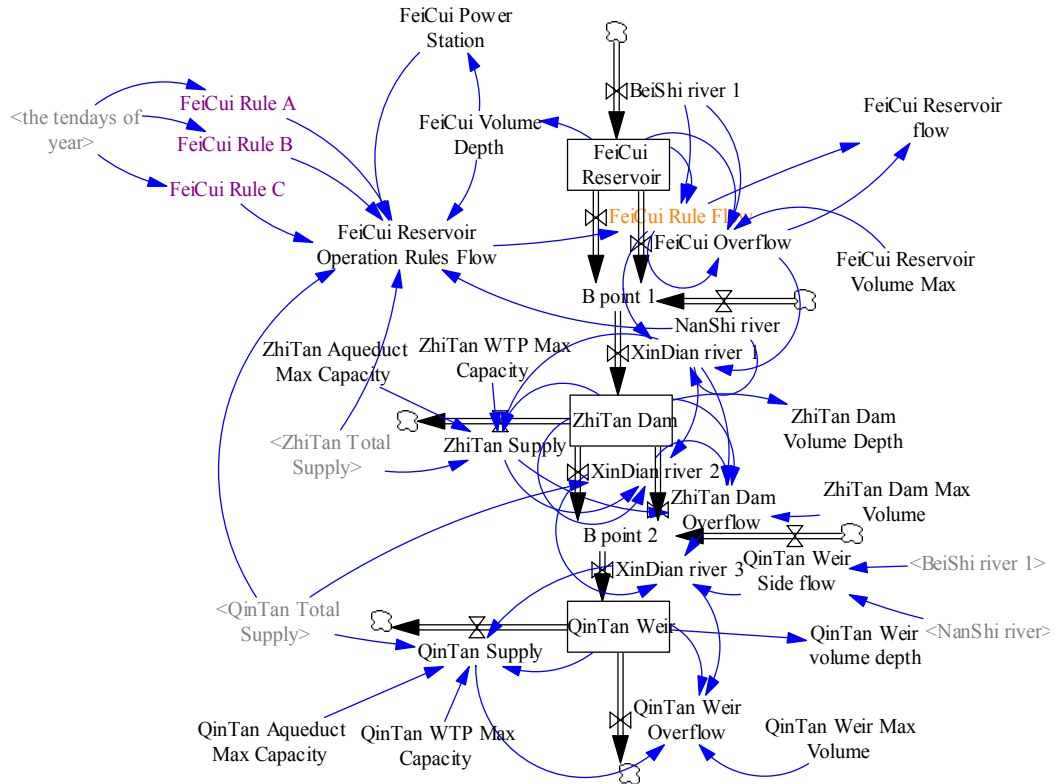


圖 3-4、新店溪系統動力模式

大漢溪系統

大漢河流域中水工結構物包括了石門水庫、石門大圳、桃園大圳、後池堰、鳶山堰、三峽堰，石門大圳進水口位於石門水庫上游左岸，除了提供灌溉用水也提供民生用水，龍潭淨水場、平鎮淨水場、石門淨水場皆以石門大圳為取水來源；在石門水庫下游約二公里處，有一建築長約 600 公尺之低壩「後池堰」，在後池堰左端有一桃園大圳取水口，桃園大圳則提供了桃園大圳灌區及光復圳灌區之灌溉用水，同時大湳淨水場也從桃園大圳獲取原水，另外大湳淨水場也以鳶山堰為取水來源，其取水優先順序以桃園大圳為主，不足水量再從鳶山堰取水補足；上述四座淨水場即為石門地區供水系統主要供水來源，而各淨水場在模式中所需處理水量，是先求出石門地區總需水量，再依照各淨水場之設備設計容量比例，將總需水量乘上各淨水場所佔比例，求出各淨水場實際出水量。另外板新淨水場目前取水來源有二，分別為鳶山堰與三峽堰，板新用水區除了由板新淨水場負責供應自來水用水，另外臺北市自來水事業處也有支援板新地區用水，首先先求出板新地區總需水量後，扣除臺北市自來水事業處支援板新地區用水之水量後，即為板新淨水場所需處理水量，而取水的順序先以三峽河為主，由三峽堰負責提供原

水不足再由屬於鳶山堰取水。石門水庫放水規則敘述如下，其 m-5 操作規線如圖 3-5，大漢溪水資源系統動力模式如圖 3-6 所示。

1. 水位超過上限時，應視實際情形盡量增加發電，以使水位降至上限以下。
2. 水位在上限與下限之間時，一切按照正常情形運轉，即公共給水與灌溉用水按正常情形供給，並應滿足發電合約。
3. 水位在下限與嚴重下限之間時，公共給水與灌溉用水按正常情形供給，發電量至少為合約發電量之 80%。
4. 水位低於嚴重下限时，應協調減配灌溉用水量（供給 70%），並應嚴格依照公共用水與灌溉需水量發電。

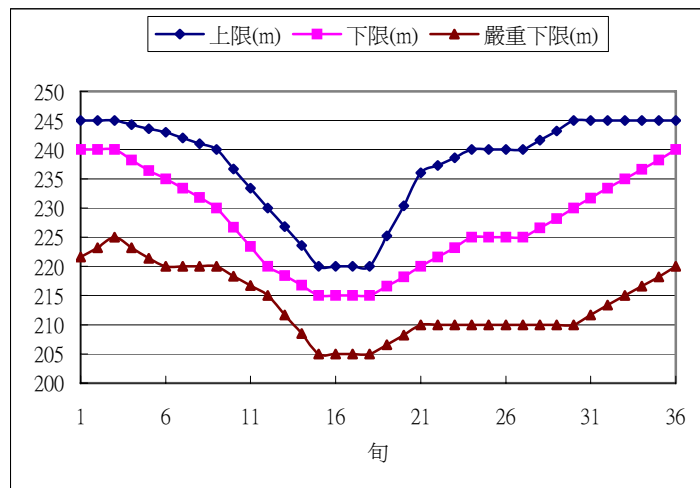


圖 3-5、石門水庫操作規線

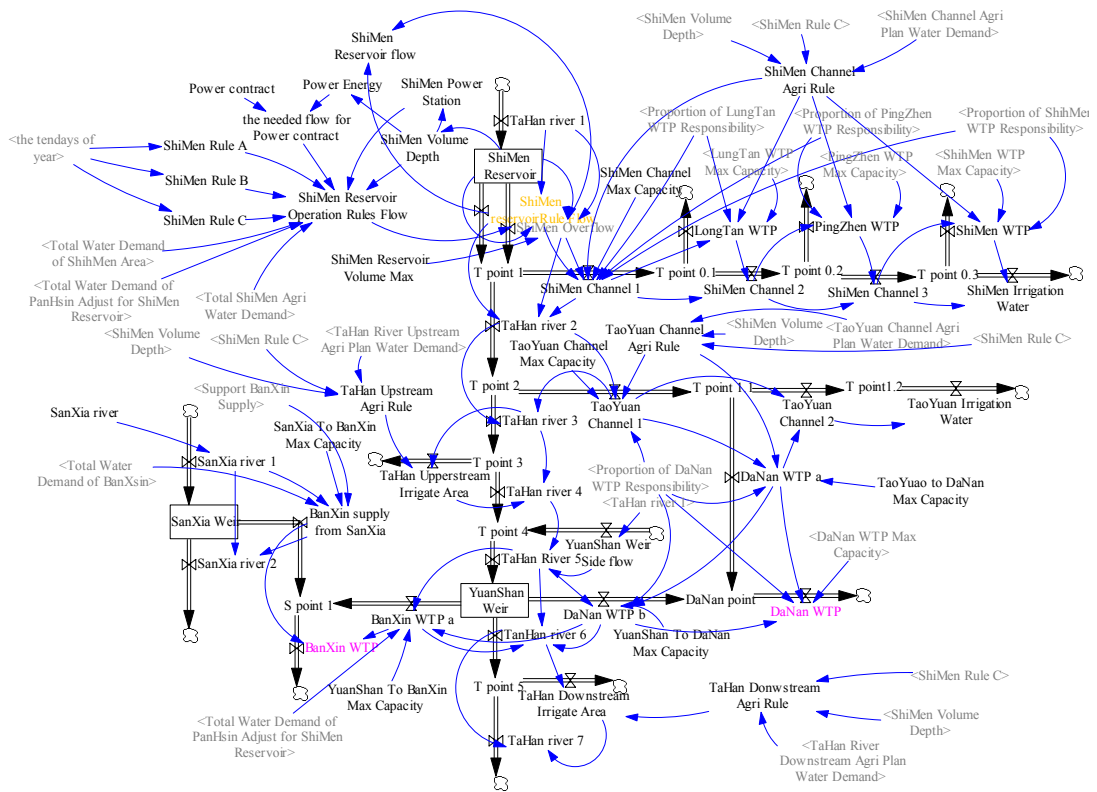


圖 3-6、大漢溪供水系統動力模式示意圖

台北自來水供水系統

在新店溪水資源系統中，直潭壩、青潭堰攔蓄水量以供臺北地區之用水，本研究將整個台北自來水供水系統納入考慮，台北供水區不僅包含了臺北市，也涵蓋了部分台北縣地區，共可分為十一個分區，本研究將針對各供水分區總人口數、普及率、售水率、每人每日用水量求出該供水分區之總需水量，進而得到各淨水場所需處理水量，此水量即為直潭壩、青潭堰至新店溪中取水之根據。圖 3-7 即為台北自來水供水系統動力模式。考慮台北自來水供水系統動力模式藉由台北自來水供水系統的供水分區來推估台北自來水系統整體需水量，以求得在直潭壩、青潭堰的引水總量。

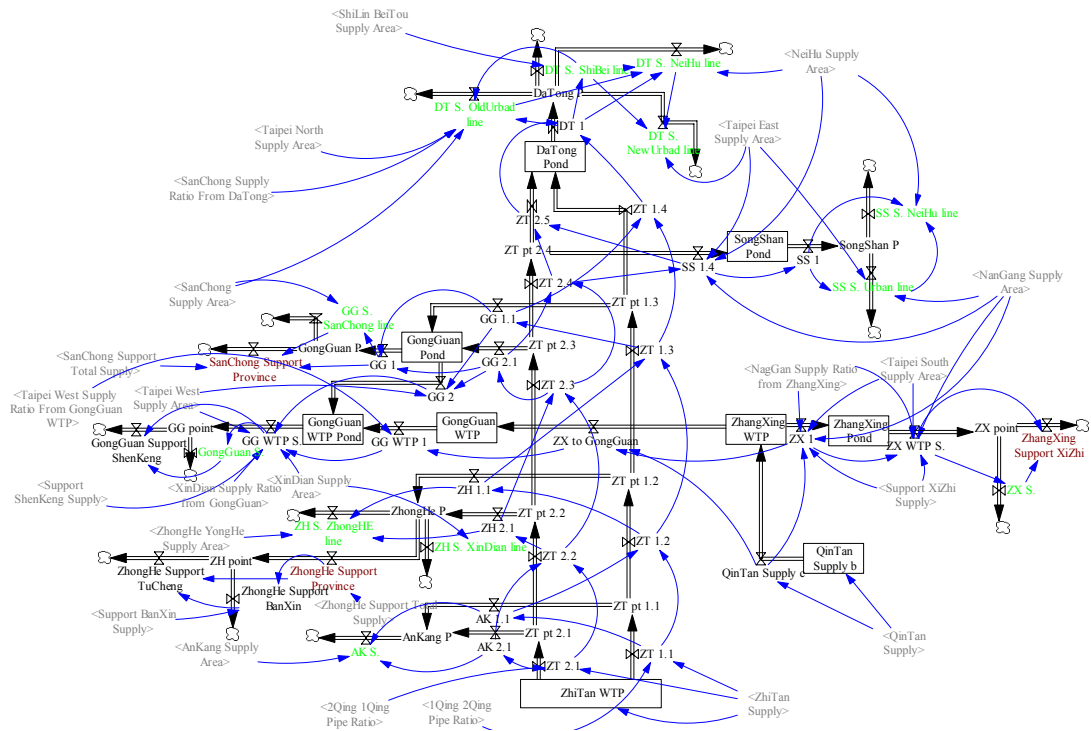


圖 3-7、台北自來水供水系統動力模式示意圖

需水量系統動力模式

本研究共分為台北、板新、石門三個用水分區，本模式所包括的系統原件有各用水分區總人口數、普及率、售水率、每人每日用水量、工業用水量等與自來水系統配水量有關之影響因子，根據各水系與各用水分區的相關性，進而求出各用水分區之需水量，以需水量模式作為整個水資源系統動力模式取水依據的來源，計算各淨水場所需擔負之供應水量；所引用的各數據、公式主要來自臺北市政府自來水事業處之統計年報、臺灣省自來水事業股份有限公司之統計年報與台灣地區北部區域水資源綜合發展計畫(II)。

臺北區

由於臺北供水區共分為十一個供水分區，每個供水分區的總人口數、普及率、售水率、每人每日用水量都不盡相同，因此直潭、長興、公館淨水場的出水量則根據其所屬供水分區之總需水量來決定。臺北區需水量系統動力模式示意圖如圖 3-8

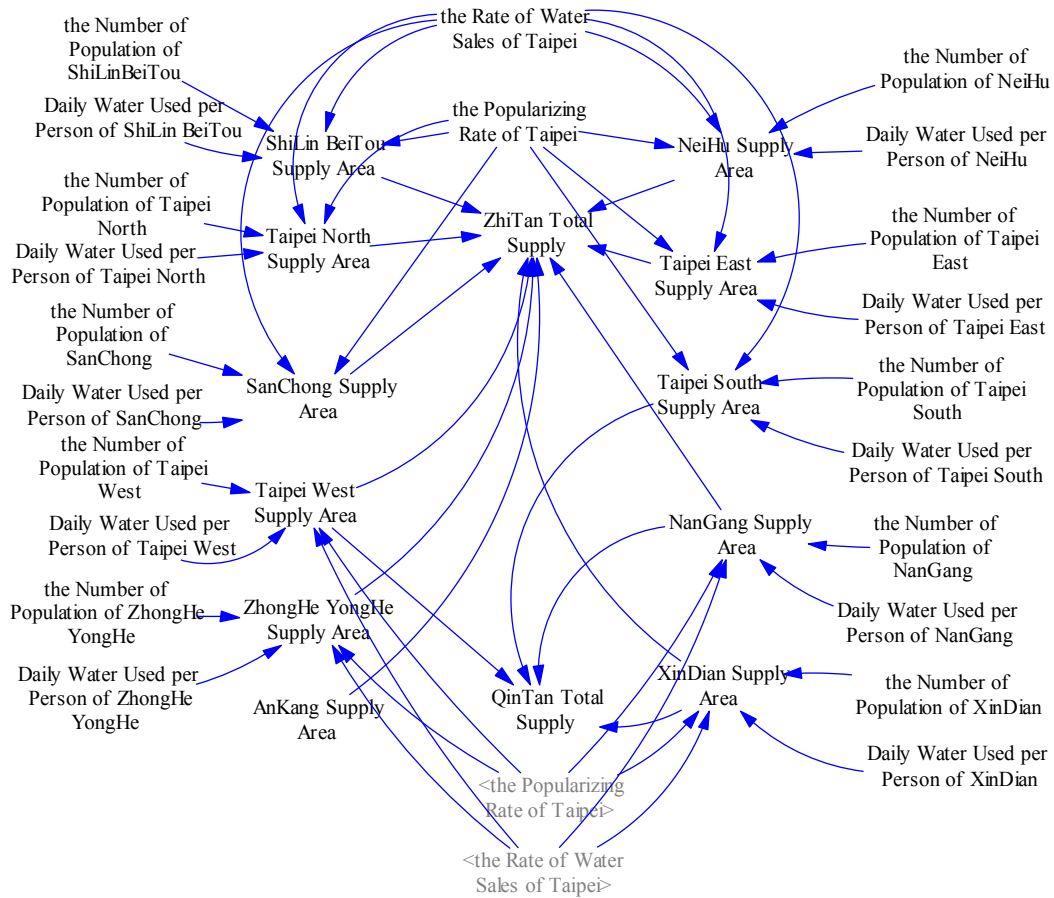


圖 3-8、台北區需水量系統動力模式示意圖

板新區

板新用水區供水情形較單純，此一用水區僅有板新淨水場負責供水，如圖 3-9，經由板新區需水量系統動力模式求得板新地區總需水量，扣除臺北自來水事業處支援板新地區水量後，即為板新淨水場所需處理供應水量。

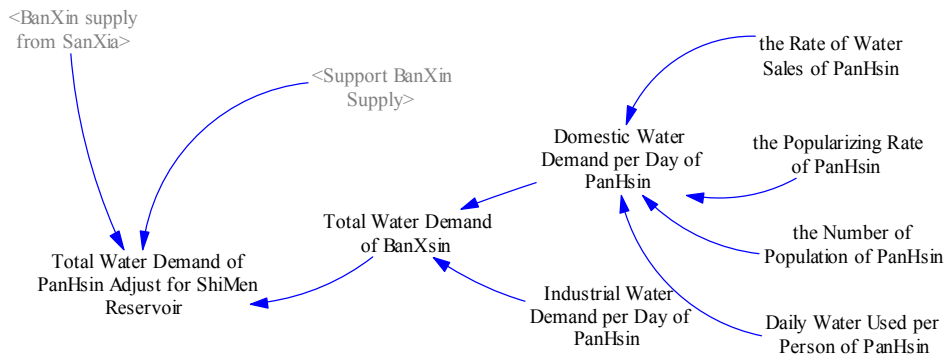


圖 3-9、板新區需水量系統動力模式示意圖

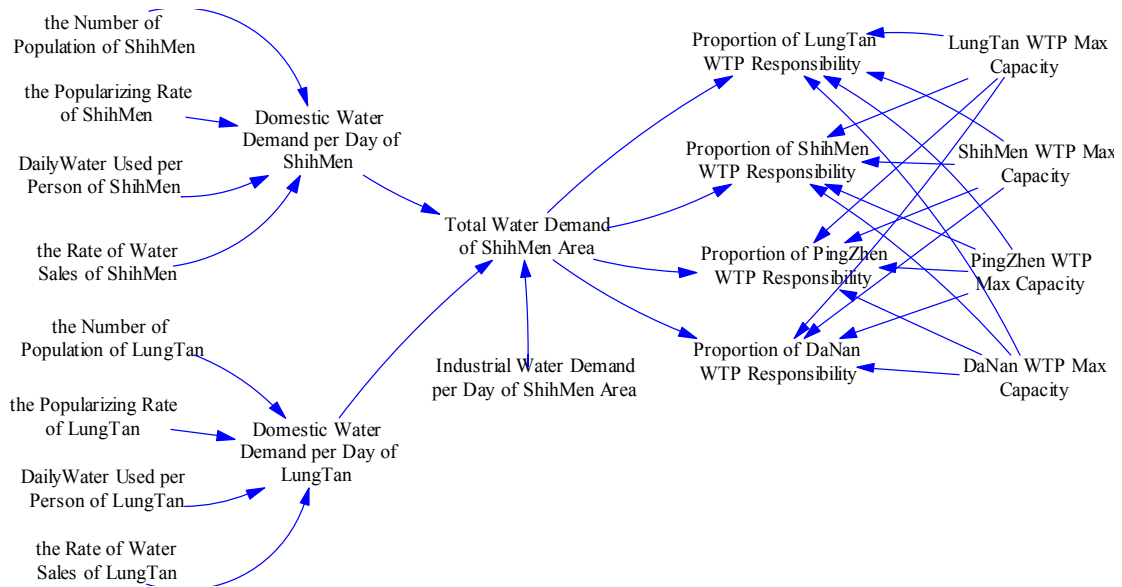


圖 3-10、石門區需水量系統動力模式示意圖

石門區

石門區共有兩個供水系統，分別為石門供水系統、龍潭供水系統，大部分皆以大漢溪為水源，並共有龍潭、石門、平鎮、大湳四座淨水場負責石門地區之用水，經由石門區需水量系統動力模式求得石門地區總需水量，接著按照各淨水場之設備設計容量所佔的比例，計算出各淨水場所應負責供應之水量，其需水量系統動力模式如圖 3-10 所示。

3.3 模式驗證

首先先定義出整個水資源系統範圍後，界定出系統之內各原件相互關係，再輔以數學函數關係方程式用以描述真實情況後，便可建立一水資源系統動力模式；由於歷史資料取得的關係，新店溪及大漢溪水資源系統所需用到的流量資料以 1991-1999 年涵蓋最完整，故模擬驗證的年份為 1991-1999 年，模式需輸入各河川之流量，新店溪上游之北勢溪採用翡翠水庫入流量，南勢溪採用福山流量站之流量，另外側流量部分，根據林俊宏(1999)「區域水資源調配空間決策支援系統建立之研究」所推估出來的數據，直潭壩與青潭堰之間之側流量為 0.124 翡翠水庫入流量+0.1 福山站流量。大漢溪上游則採用石門水庫入流量，石門水庫與鳶山堰側流量為 0.113 石門水庫入流量，需水量相關參數資料則以臺北自來水事業處統計年報及臺灣省自來水公司統計年報所記錄之資料為準。

將流量輸入模式後，模式中各取水設施原件會根據需水量模式所推算出需水量來決定所取水量，並且操作的方式與現實情況相同，為了要驗證模式是否能合理的反映出水資源系統之操作特性，本研究採用在進行完各取水行為後之下游流量測站進行驗證，新店溪部分採用秀朗水文測站之歷史流量記錄，大漢溪則採用三鶯橋水文測站之歷史流量記錄，各相關位置如圖 3-11 所示。

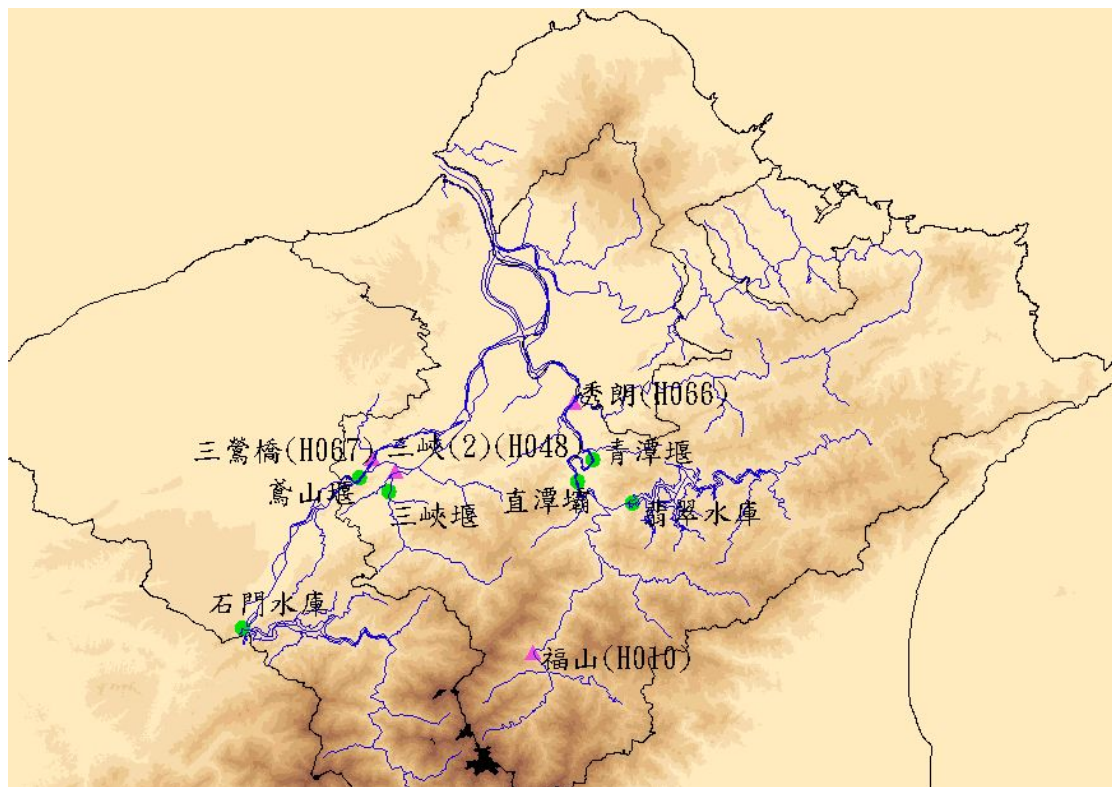


圖 3-11、水文測站與各水工結構物相關位置示意圖

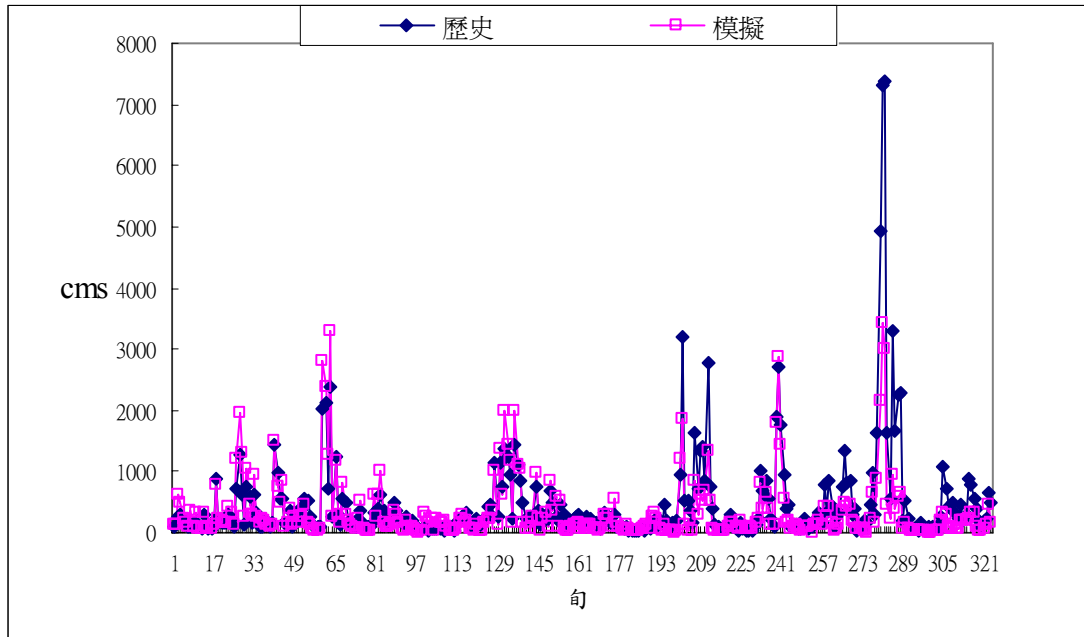


圖 3-12、新店溪歷史與模擬逐旬流量驗證結果圖

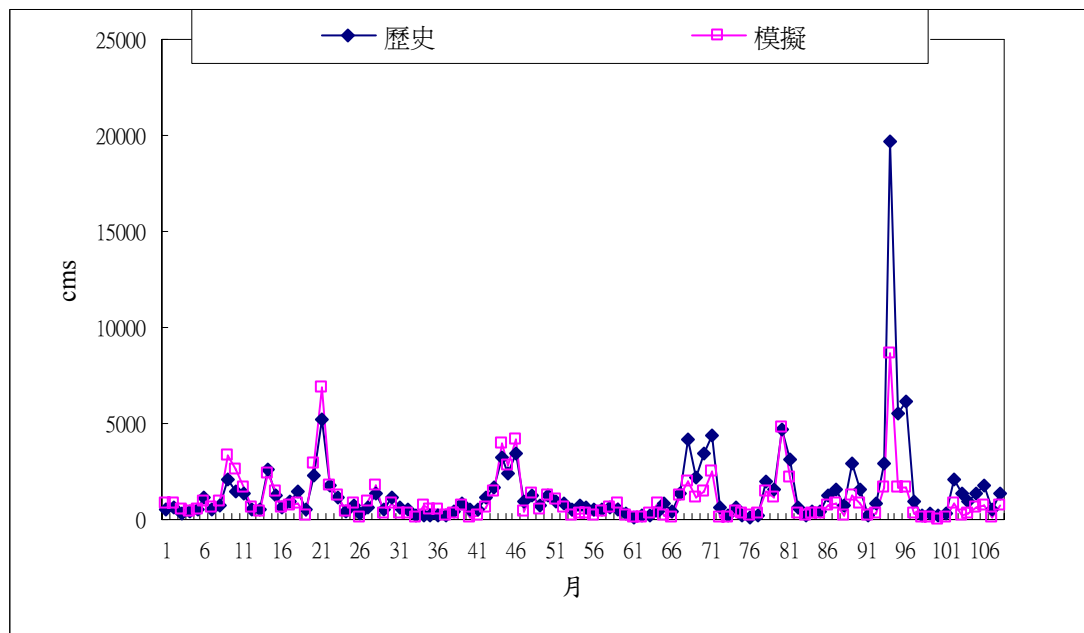


圖 3-13、新店溪歷史與模擬逐月流量驗證結果圖

新店溪模擬之日流量結果經整理成旬資料與月資料後，表示如圖 3-12、圖 3-13，模擬驗證年份為 1991-1999 年。

除了利用下游水文流量測站之歷史流量作驗證之外，本研究還將翡翠水庫歷史放流量與模式模擬出來之放流量作驗證，如圖 3-14。

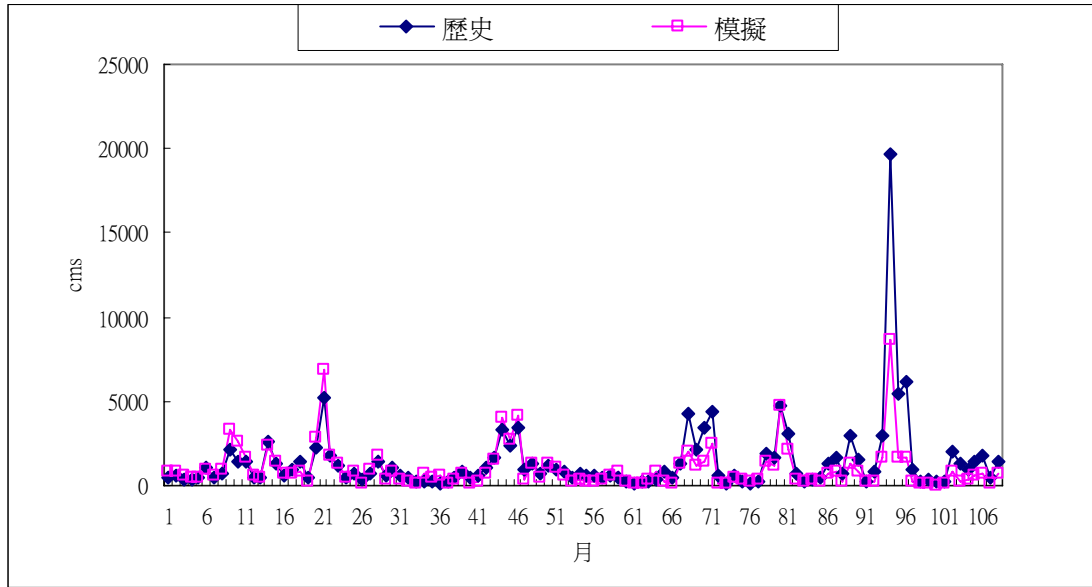


圖 3-14、翡翠水庫歷史與模擬逐月放流量驗證結果圖

大漢溪模擬之日流量結果經整理成旬資料與月資料後，表示如圖 3-15、圖 3-16，模擬驗證年份為 1991-1999 年。

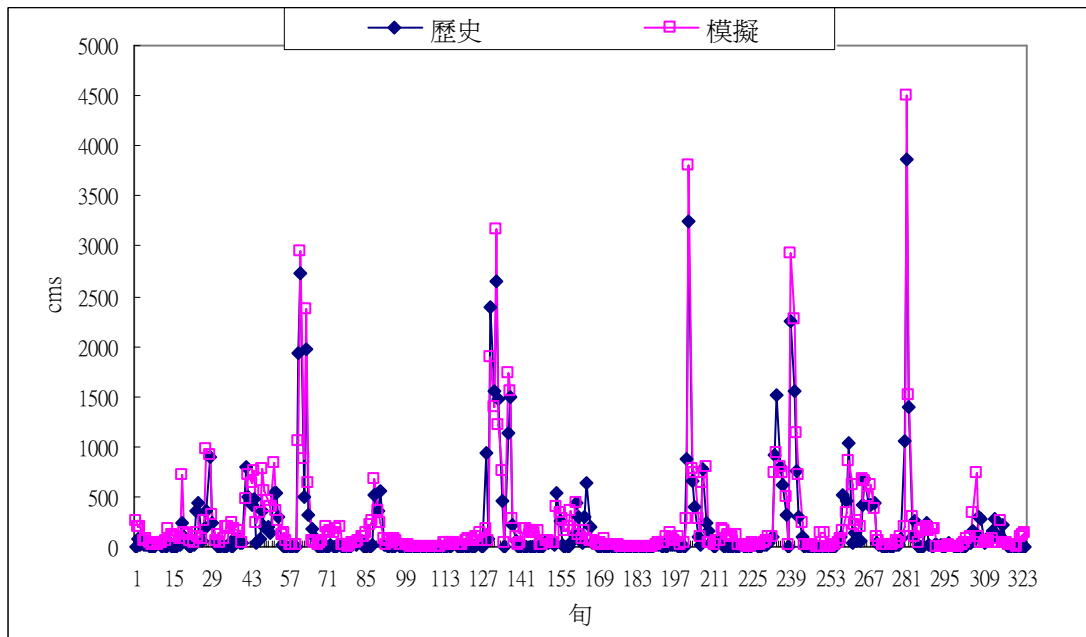


圖 3-15、大漢溪歷史與模擬逐旬流量驗證結果圖

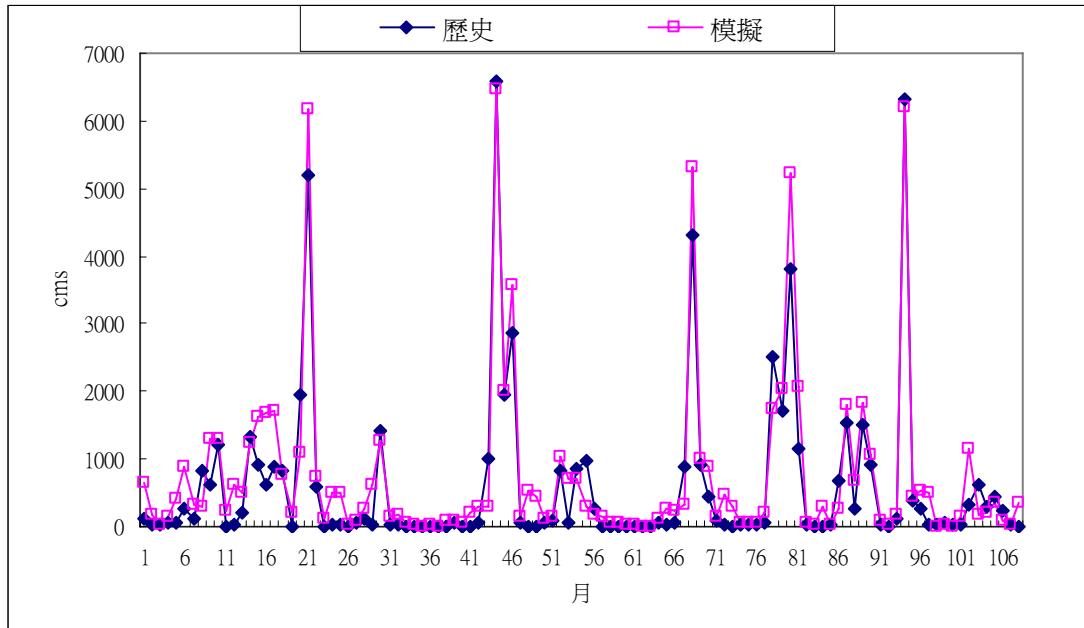


圖 3-16、大漢溪歷史與模擬逐月流量驗證結果圖

石門水庫歷史放流量與模式模擬出來之放流量驗證結果如圖 3-17 所示。

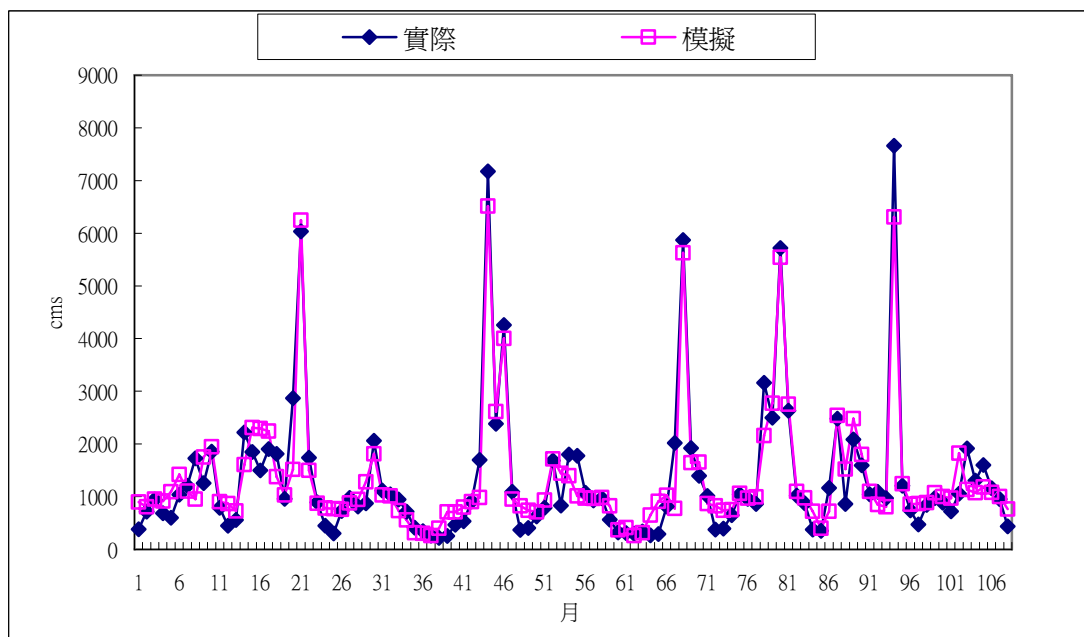


圖 3-17、石門水庫歷史與模擬逐月放流量驗證結果圖

由驗證結果顯示，不論是歷史流量與模擬流量或者是水庫歷史放流量與模式根據水庫操作方式所模擬出來之模擬放流量，其變化趨勢相同，代表本研究將實際水資源系統轉換成系統動力模式後，本模式可以合理且正確的反映出水資源系統之操作特性，唯一較大的誤差來源是來自新店溪流量驗證及翡翠水庫放水驗證

證有一時間點歷史值比模擬值來得相當多，其時間點大致於 1998 年 10 月份時，經由調查之後，1998 年 10 月 14 日至 16 日有強烈颱風瑞伯侵襲臺灣，瑞伯颱風挾帶強風豪雨過境，造成全省災情不斷，相隔不到十天又一中度颱風芭比絲侵襲臺灣，由於受到颱風外圍環流及東北季風雙重影響，引發北部及東北部地區嚴重豪雨，鐵公路交通因多處地區積水或坍方而中斷。由於本模式並未考慮防洪操作，無法針對水庫之排洪量進行模擬，使得高流量時誤差較大，但本研究主要目的是在探討水資源使用之情形，排洪的水量對於下游用水區使用水資源的情形並無太大影響，這一點是值得說明的。另外除了水庫防洪功能會造成模式的誤差之外，其它誤差主要的因素可能還包括：

1. 水平衡之關係

本模式最初輸入的資料為上游水量資料，透過各個不同水利設施的操作方式，將水送至各用水區，中間雖有加入河川側流量來修正流量，但由於在實際河道中，水之流入(Input)並非只有上游流量和側流量，流出(Output)則並非只有取水量，在河道上之降雨量、地下流入地表之水量、地表流入地下水之水量、浮流水、蒸發散量等，這些量的大小並非固定值，且都會影響到河道上實際流量，因此本模式仍有部分無法完全反應，造成實際流量與模擬流量存在著誤差。

水文流量測站之位置也有關係，雖然各河川之主流、支流、側流量係以流量測站之流量資料，再按照集水面積等比例求得，但是這樣的假設還是與實際流況還是有所差異，造成誤差的來源。

2. 需水量

各用水區的總需水量是利用各個不同需水參數所推估出來，如用水區總人口數、普及率、售水率、每人每日用水量，但在真實用戶用水的情況並非如此單純，用水區總人口數本身就非一精確的數值，售水率、普及率等也只是自來水公司所計算出來的統計資料，每人每日用水量也只是以一平均值來代替，這些都會對驗證結果造成一定的誤差。

3. 水庫放水方式

另外水庫的放水方式雖然本研究之模式完全依據水庫之操作規線及放水規則來進行放水，然而在真實的情形之下，翡翠水庫放水方式，是經由臺北自來水事業處先判定今日南勢溪的流量是否符合需水量，若不足再通知翡翠水庫管理局放水，向翡翠水庫購買水量，來滿足用水區之用水；石門水庫則是根據下游實際

需求量來進行放水，因此造成模式中的一些誤差，但趨勢仍為一致，依然可以合理的反應水資源系統之操作特性。

3.4 河川流量模擬模式

本研究利用 GWLF 模式中之流量子模式，該模式藉由描述集水區各水文項目及其平衡關係模擬流量，河川流量在模式中考量為地表逕流與地下水排出之基流之和。集水區水平衡肇始於降雨將水帶入集水區系統，當降雨到達地面後，一部份之降雨將會入滲到土壤中，而另一部份之降雨則將形成地表逕流，直接流入河川；入滲之雨水會補充未飽和含水層之含水量，當為飽和含水層土壤水分大於田間含水量（Field Capacity），則超過水分會因重力影響向下繼續滲漏到淺層飽和含水層，最後淺層飽和含水層將產生地下排水；逕流量與地下排水量之和即為河川流量，模式水平衡概念如圖 3-18 所示，我們可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，分述如下。

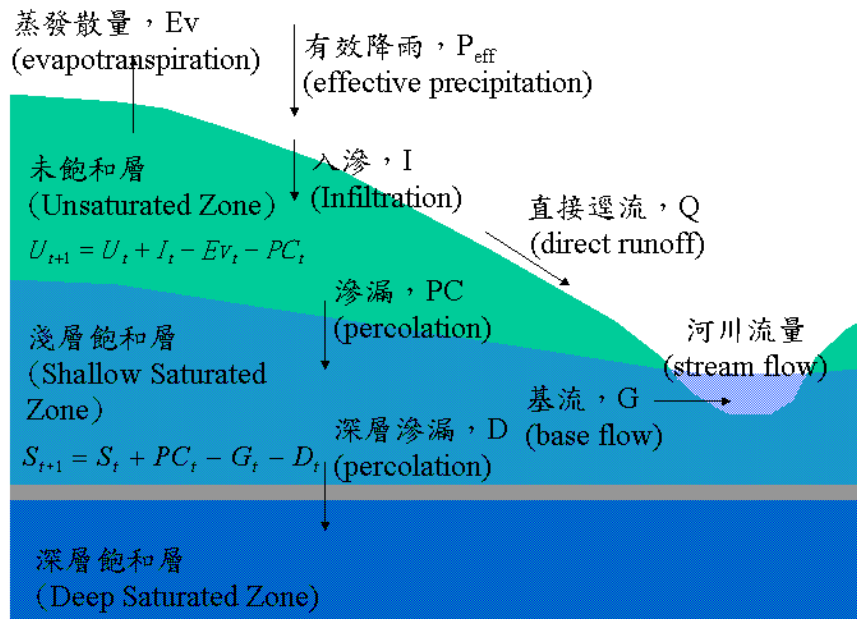


圖 3-18、The GWLF 模式水平衡關係示意圖

地表

集水區之水循環係從降雨開始，當雨水降至地面之後，一部份之降雨經由入滲至未飽和含水層中；而另一部份則形成地表逕流，並直接流入河川。其中降雨、入滲、與地表逕流之關係可以下列方程式表示：

$$I_t = R_t - Q_t \quad (3-1)$$

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

估算地表逕流有很多不同的方法，如合理化公式及 Curve Number 方法 (Ogrosky and Mockus, 1964) 等。在 GWLF 中，採用 Curve Number 方法，主要是此種方法在計算地表逕流時可合理地反應土地利用方式及土壤水分含量。地表逕流量可計算如下：

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

$$W_t = \frac{2540}{CN_t} - 25.4 \quad CN \leq 100 \quad (3-3)$$

上式中， CN 即為 Curve Number，其值因土地利用、土壤質地或排水特性、及臨前土壤水分而不同 (Tung and Haith, 1995)。

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以下列方程式表示：

$$U_{t+1} = U_t + I_t - ET_t - PC_t \quad (3-4)$$

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。

在 (12) 式中之蒸發散量 (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：

$$ET_t = \text{Min}[k_{st} \times k_{ct} \times PET_t, U_t + I_t] \quad (3-5)$$

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

在(3-5)式中之土壤水分因子 (K_s) 則採用 Boonyatharokol and Walker(1979) 之公式進行計算，表示如下：

$$k_{st} = 1 \quad \text{if } U_t \geq 0.5U^*$$

$$= \frac{U_t}{0.5U^*} \quad \text{if } U_t < 0.5U^* \quad (3-6)$$

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。

一般在潛勢能蒸發散量之計算上常使用 Penman 公式，但其所需資料較多，包含風速及大氣濕度（或露點溫度）等。這些資料在氣候變遷之研究上不易取得或不確定性太高。IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] 曾對氣候變遷衝擊研究提出建議，當資料不足時，應利用需要參數較少之較簡單模式，在 GWLF 模式中潛勢能蒸發散量便由 Hamon 公式進行計算（1961）：

$$PET_t = \frac{0.021H_t^2 e_{0t}}{T_t + 273} \quad (3-7)$$

其中 PET_t 是第 t 天潛能蒸發散量， H_t 是在第 t 天的日照時間（時）， 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，可由下列方程式決定之：

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

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：

$$S_{t+1} = S_t + PC_t - G_t - D_t \quad (3-9)$$

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飽和含水層之水量， G_t 是由飽和含水層滲漏至河川之水量（ G_t 之計算係考慮飽和含水層為一線性水庫，即 $G_t = r \times S_t$ ），而 D_t 是入滲至深層侷限含水層之水量，式中所用的單位為 cm/day。在本研究中將入滲至侷限含水層之水量 (D_t) 假設為零。

未飽和含水層滲漏至淺層飽和含水層之水量 (PC_t) 可由下式算出：

$$PC_t = \text{Max}[0, U_t + I_t - ET_t - U^*] \quad (3-10)$$

由於 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，由此可知滲漏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。單位為 cm/day。

於 GWLF 模式中必須輸入河川之退水係數及土地利用 CN2 值，以下說明這

兩種參數之決定方式。

退水係數

於退水期間河川流量 $F(t)$ 等於基流量 $G(t)$ ，因此選定退水段之 $G(t_1) \sim G(t_2)$ 來作估算退水係數，計算方式如下所示。

$$\frac{G(t_1)}{G(t_2)} = \frac{e^{-rt_1}}{e^{-rt_2}} = \frac{F(t_1)}{F(t_2)} \quad (3-11)$$

$$r = \frac{\ln \left[\frac{F(t_1)}{F(t_2)} \right]}{t_2 - t_1} \quad (3-12)$$

本研究對象為淡水河流域水資源系統，上游入流主要來自四個集水區，分別為北勢溪、南勢溪、三峽河及大漢溪。四區之流量驗證分別如圖 3-15~圖 3-18 所示，驗證資料與結果如表 3-2 所示。由實際與模擬資料之相關係數可知此模式之模擬結果在可接受範圍。

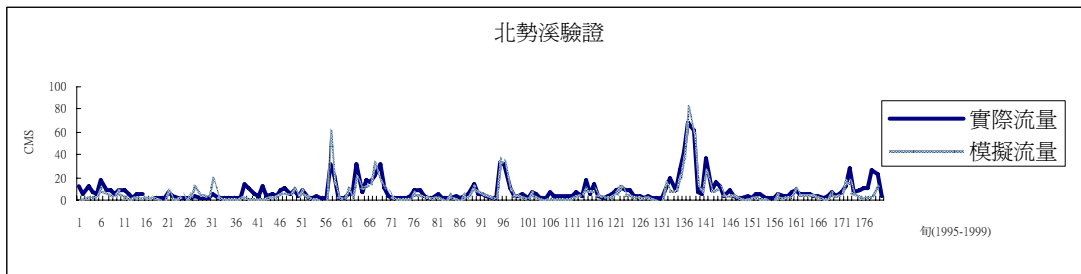


圖 3-19、北勢溪流量驗證

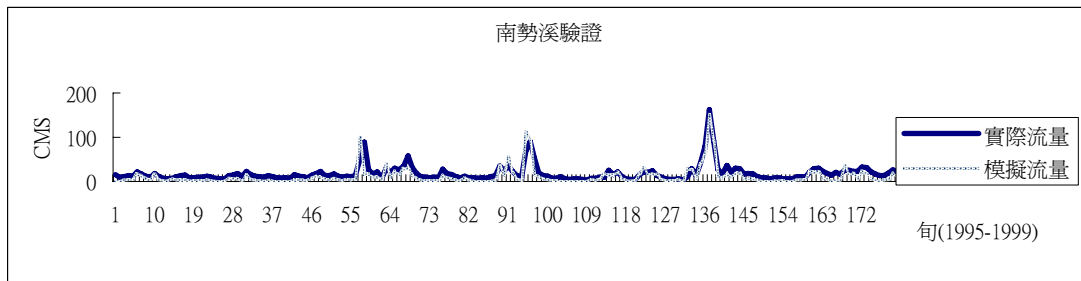


圖 3-20、南勢溪流量驗證

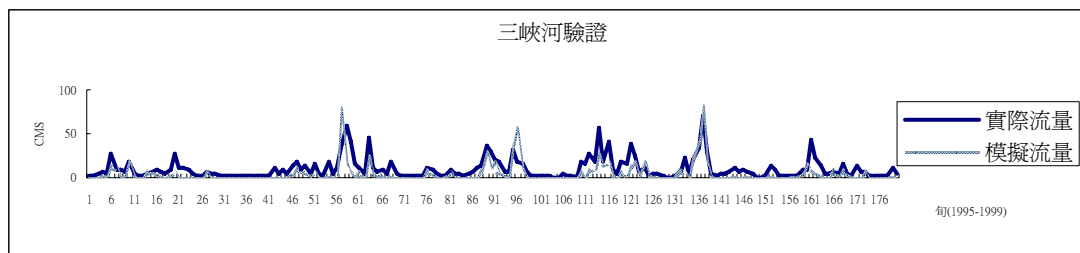


圖 3-21、三峽河流量驗證

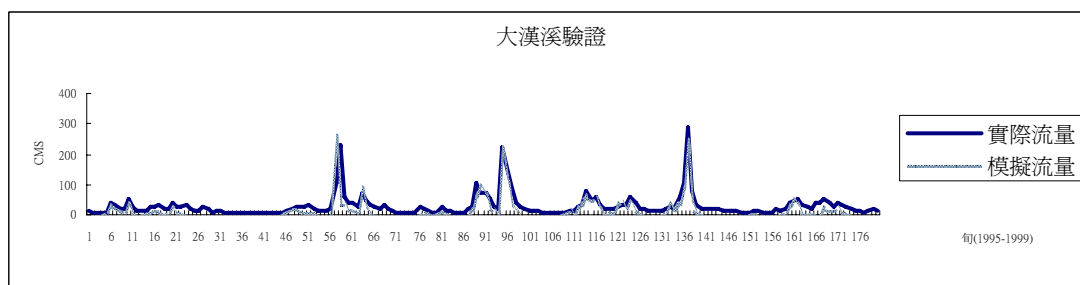


圖 3-22、大漢溪流量驗證

表 3-1、GWLF 於四流域流量驗證使用雨量站與流量站以及驗證年份及相關係數

流域名稱	北勢溪	南勢溪	三峽河	大漢溪
雨量站	碧湖	福山	巴陵	高義
流量站	鯉魚堀	福山	三峽(2)	高義
流量站集水面積(公頃)	7810	16040	12534	54203
驗證年份	1995~1999	1995~1999	1995~1999	1995~1999
實際流量與模擬流量相關係數	0.88	0.88	0.70	0.82

第四章、乾旱指標

在建立乾旱預警系統之前，首先必須先針對水資源供水系統之歷史資料模擬結果進行統計分析。因此選定如表二之雨量站 1978-1999 年雨量資料進行模擬，然後由模擬結果進行分析。由於乾旱預警系統適用於目前之水資源供水系統，所有供水策略、供水容量只適於目前狀況，因此此分析主要乃針對目前之水資源供水系統不變，在經歷歷史之供水模擬之後可能之供需水情形。

經由模式模擬之後可分別求得台北、板新及石門供水區歷年之供需水情形，如圖 4-1~圖 4-3 (僅列 1995-1999)。模擬之時間單位為旬，而供需水單位均為每旬之 CMD。由供水量—需水量之歷線便可看出每旬低於 0 CMD 之量即為該旬之缺水量。一連續缺水視為一缺水事件，若兩個缺水事件中間只有一旬沒缺水，仍將此兩缺水事件視為同一缺水事件。如圖 4-1 之台北供水區 1995-1999 共有四個缺水事件其中第一個缺水事件中間雖有一旬沒有缺水，但是因為缺水之影響時間較長，因此仍將前面兩個缺水事件視為同一缺水事件。

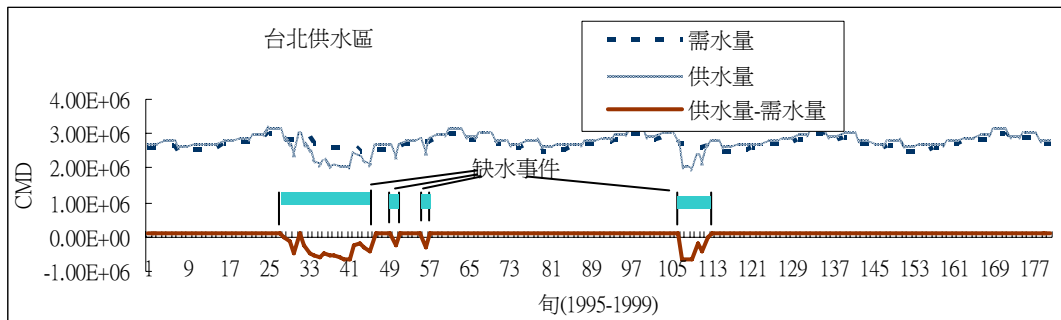


圖 4-1、台北供水區 1995-1999 模擬之需水量、供水量與缺水量(供水量—需水量)

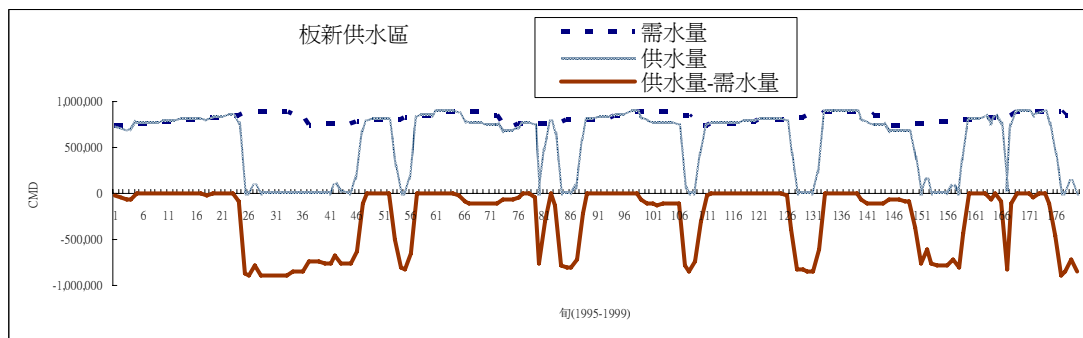


圖 4-2、板新供水區 1995-1999 模擬之需水量、供水量與缺水量(供水量—需水量)

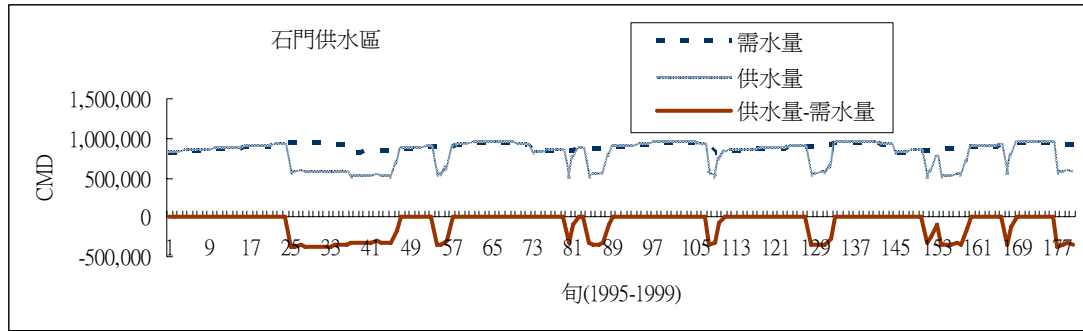


圖 4-3、石門供水區 1995-1999 模擬之需水量、供水量與缺水量(供水量－需水量)

然而缺水並非就代表乾旱發生。乾旱的發生跟缺水事件之累積缺水量與缺水延時有關，每一個缺水事件之累積缺水量與延時必須達到一定的門檻值才會發生不同程度之乾旱。為了將缺水量與缺水延時同時考慮進來，統計分析上乃以每一缺水事件之累積缺水量進行統計。分別針對三個供水區統計其 1978-1999 年間之缺水事件之累積缺水量。台北供水區共有 15 個缺水事件，板新供水區共有 52 個缺水事件，石門供水區共有 41 個缺水事件。定義 D 為缺水事件之累積缺水量，則 $F(D)$ 則為累積缺水量小於等於 D 的機率，可求其累積缺水量機率分布曲線，如圖 4-4~圖 4-6。由於不同供水區具有不同供水特性，相對的其缺水特性亦不相同，因此其累積缺水量機率分布曲線亦不相同。

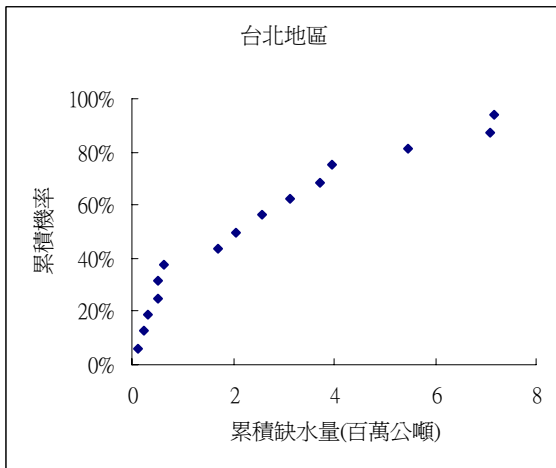


圖 4-4、台北供水區累積缺水量機率分布曲線

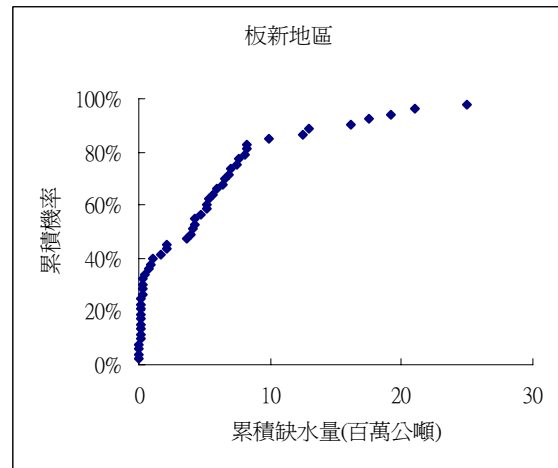


圖 4-5、板新供水區累積缺水量機率分布曲線

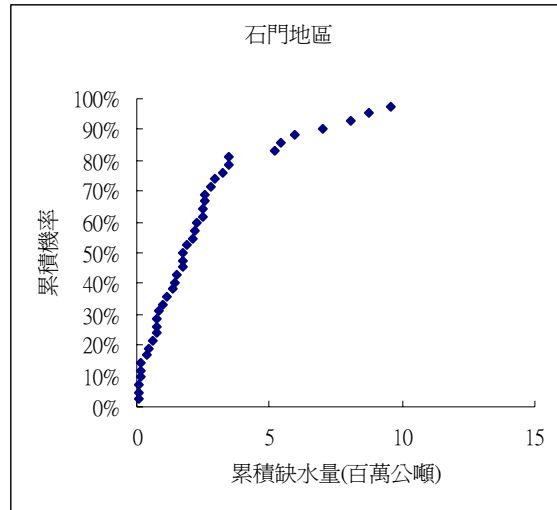


圖 4-6、石門供水區累積缺水量機率分布曲線

表 4-1、台北、板新及石門三區不同超越機率所對應累積缺水量(百萬公噸)

超越機率	台北	板新	石門
75%	0.528	0.229	0.746
50%	2.067	3.995	1.729
25%	3.966	7.314	3.088

由累積缺水量機率分布曲線可得知其小於等於某累積缺水量之機率，相對的亦可換算求得累積缺水量大於 D 的發生機率，亦即超越機率 $P(D)$ ，即為 $1-F(D)$ 。為了提供決策者乾旱之風險管理，必須先決定累積缺水量達到某個量時，可能造成乾旱的嚴重程度，有鑑於此，利用超越機率 $P(D)$ 便可提供決策者做出風險決策管理。如表 4-1 為三區不同超越機率所對應累積缺水量。由於越嚴重之乾旱其出現之機率越小，因此可以由超越機率來分別訂出乾旱之等級。在此將以超越機率大於 50% 小於 75% 定義為輕度乾旱；大於 25% 小於 50% 定義為中度乾旱；小於 25% 定義為嚴重乾旱。

第五章、乾旱時期非常灌溉策略

由於農業用水佔了全部用水的 70%，因此當乾旱發生之時，農業受到的衝擊最為明顯，同時將農業用水量轉移給民生用水，也是乾旱時期最常使用的乾旱減輕策略。本計畫針對乾旱時期之非常灌溉策略進行研究與探討，詳細內容可參閱周玫君(2004)。非常灌溉是一種臨時的灌溉方法，其又稱間歇灌溉。過去當灌溉水源枯減至 40%~60%以下，無法全面續灌，亦無法依照輪區單區順序依時充分配水時，為減輕災害，採用的臨時加強灌溉。依據台灣省灌溉事業管理規則第十七條規定，其供水順序為：(1)農作物生長期間迫切需水之田地；(2)用水少而生產量多之田地；(3)接近水源而圳路滲透損失最少之田地。其方法又可分為三種：

(1)減水深法：視水源水量實際減少程度，依照配水比率減少各系統配水量，至於田間灌溉則仍維持原訂輪距，以減少水深執行之，例如原計畫灌水深度為 12mm/day，輪距五日，若供水減少 33%時，灌溉水深應減為 8mm/day，輪距維持五日。

(2)輪距延長法：視作物生長階段，在不影響生長之原則下，維持原一次灌溉水深，延長輪灌期距實施配水。如原輪距五日，延長輪距為八日。灌溉一次之水深不變。

(3)減少灌區面積法：水源銳減至上述方法無法執行時，則停止部分農田配水，其處理方式可分為兩種：

a 集中法：將水量集中灌溉於滲漏最小，效率最大灌區，而其他灌區停灌。

b 平均分配法：依供水量減少程度，按配水比率分配於各支分線系統。亦即按各配水田坵之面積，依缺水率減少灌溉面積。

本研究乾旱時期灌溉策略設定，即依上述之三灌溉方式設計案例，這些大區輪灌方式，主要根據不同缺水率決定適當輪區及輪灌期距進行臨時性的加強補灌，不足的供水量得以充分利用，減少輸水損失量，在救旱能有相當好的成果。未來透過稻作灌溉用水量模式模擬產量，並可藉以得知各個灌溉方式之農業用水產值，可優選其中最佳灌溉方式。而當灌區無水可灌或模擬產值低於移用代價，並可據以建議休耕或轉作。

5.1 研究區域介紹

本研究以淡水河流域為研究設定範圍，經查農田水利會引用水源，僅石門水庫灌區引用（陳明業，2002），石門水庫灌區共分為桃園與石門兩農田水利會，位置分布台北縣南端、桃園縣及新竹縣北端，其中桃園縣北端洪積層台地，早年為大漢溪所沖積，但現在該溪已流向台北，而古石門合成沖積扇之地形，以石門為中心，等高線作同心圓狀向西北降低，下坡築土堤可留水成池，地表又多黏重紅壤，不虞漏水溜池遍佈，故當地除有水庫供水為穩定之灌溉用水來源，溜池本身之調節與蓄水亦成為當地之特色。

當地灌溉用水來源有四，一為建於民國 17 年之桃園大圳：引用大漢溪水源，屬越域引水；二為石門水庫：建於民國 53 年；三為溜池，貯蓄石門水庫桃園大圳水，及餘水、迴歸水或雨水；四為河水堰：留滯降雨逕流、其他灌溉滲漏、貯水池滲漏、其他排水。

當地不僅有石門水庫為可靠之水源，並有同時具備調節水量及集水能力之溜池，此外，具有集水能力的還有河水堰，而河水堰在迴歸水利用體系中扮演了相當重要的角色，當地可說具有相當完整且充分利用水源之灌溉體系，目前灌溉用水 1/3 仰賴餘水及排水，其中桃園大圳灌區迴歸水利用率高，每減少一公頃灌溉用水，將影響 1.1 公頃以上水田灌溉用水（林俊男，2004），一旦發生乾旱，並影響石門水庫供水，影響幅度也將更大。

而其中桃園水利會灌區如圖 5-1 所示，共分四個灌區：

- (1) 桃園灌區：溜池 221 口、河水堰 225 座
- (2) 湖口灌區：3800 公頃，溜池 64 口、河水堰 62 座，(區內光復圳連接桃園大圳末端桃園、湖口灌區面積共二萬四千公頃佔全部 92%以上，)
- (3) 大溪灌區：604 公頃，溜池 3 口、河水堰 3 座
- (4) 新海灌區：1546 公頃，河水堰 2 座

石門水利會灌區如圖 5-2 所示，共分六個灌區：八德、中壢、過嶺、楊梅、富岡、湖口灌區。

5.2 現行計畫用水量計算方式

各農田水利會依水源來源、作物類別及期作田差異而有不同的用水計畫，因

此計畫用水量之計算因農田水利會而異，以下概略介紹石門水庫灌區現行計畫用水量計算方式。

5.2.1 灌溉系統（或灌區）之統計與分析

石門水利會依灌區劃分，共分為八個灌區（工作站），桃園水利會轄下則共有 11 個工作站，其下又分為輪區與單區，理想輪區指灌溉區域內，灌溉水之入口僅有一可調節及量測水源之分水門及量水設備。其下游單區則僅有分水箱，無量水設備。且分水門下游之小給水路皆為相同之設計容量，水門與分水箱之相片如圖 5-3 與圖 5-4。

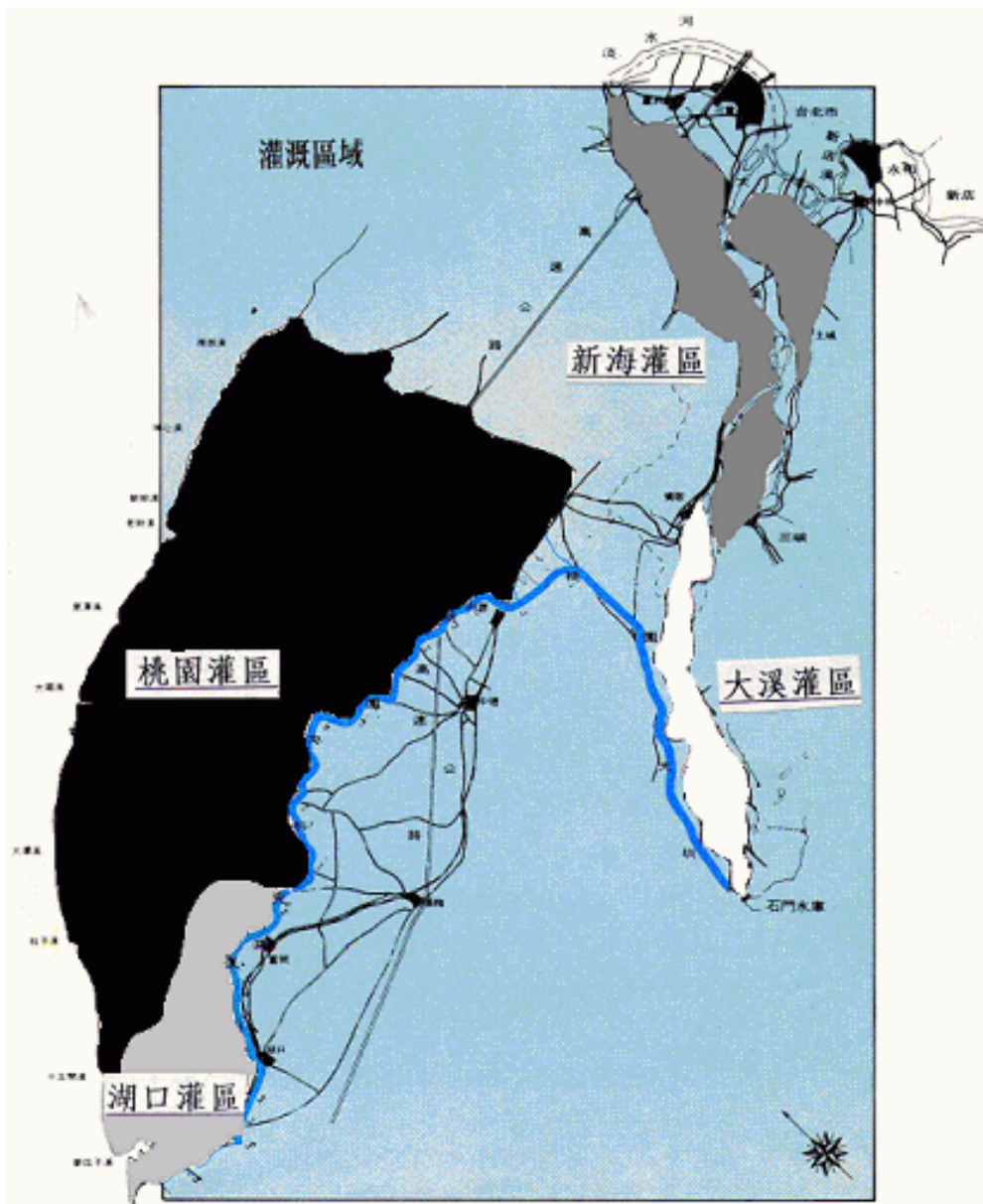


圖 5-1、桃園水利會灌區（來源：林俊男，2004）

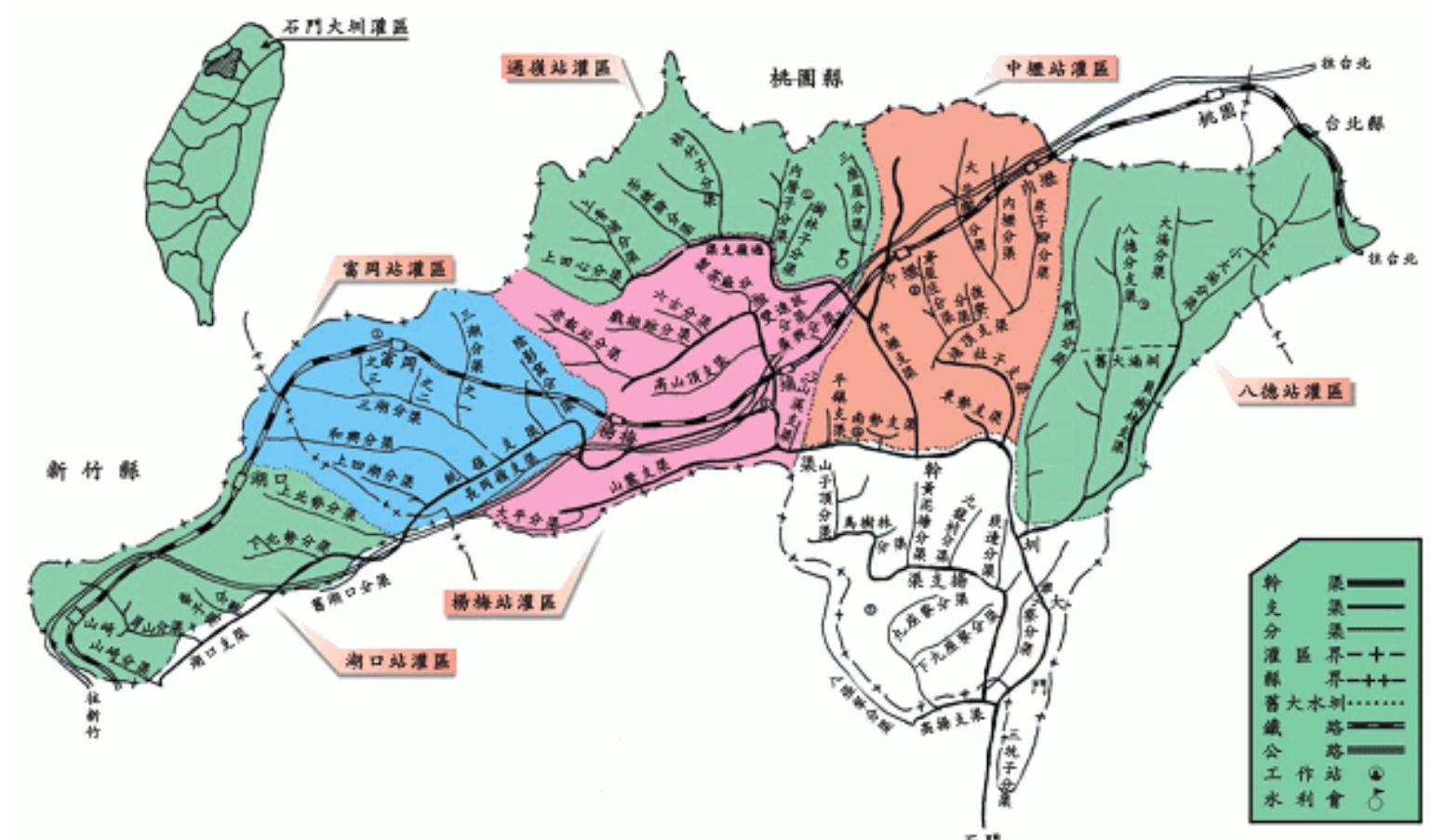


圖 5-2、石門水利會灌區（資料來源：<http://www.smia.gov.tw>）



圖 5-3、水門 (來源：林俊男，2004) 圖 5-4、分水箱 (來源：林俊男，2004)

灌溉系統諸項統計與分析，在方法論上主要為由上而下 (top-down) 及由下而上 (bottom-up)，由下而上，即由田區最末端，按各輪區作物、土壤、氣候、輸水水路等立地條件需求，一個田區一個田區計算，並往上游田區至小給水路累加，再累加至支分線、支線、幹線，得到該水門所需要之水量 (黃振昌，2000)。

5.2.2 灌溉用水計算(農業工程研究中心，1997)

依據農田水利會輪區灌溉配水資訊系統，輪區灌溉計畫用水之計算，主要將稻作灌溉管理區分為秧田及本田兩時期，各時期依灌溉目的不同之灌溉管理，作不同之累加計算，以下略加說明。

雨量站有效雨量之計算

有效雨量之定義為可補充灌溉之天然降雨，為定性之意義，定量較為困難，桃園農田水利會月有效雨量之推估，採用 20 年間第四位估水位法，計算計畫用水時引用有效雨量表與石門水利會採用之相關資料同附於附件一。有效雨量之定

義如下：

- (1)日雨量 5 公釐和 30 公釐之間視為有效。
- (2)日雨量 5mm 以下，而其前後各連續二日以上無雨者視為無效。
- (3)數日連續降雨時，或中間隔一日無雨，皆視為一次連續降雨。
- (4)連續降雨在 30mm 以下皆為有效，如在 30mm 以上，則有效雨量為基本之 30 公釐及其連續日數之田面消失水深（每日 6 公釐）之和，餘者無效。

秧田及秧田整地灌溉用水

目前雖然育秧工作多轉由育苗業者培育，但現行之灌溉計畫並未將其去除，秧田之規定如下：

- (1)每日灌溉水量不得少於渠道最小引水量。如 0.008cms
- (2)秧田面積＝本田面積二十五分之一。
- (3)秧田損水損失率 50%。
- (4)秧田補給用水灌溉採取連續灌溉方式。
- (5)秧田整地與秧田補給用水之灌溉同時進行。
- (6)秧田時期不計有效雨量。
- (7)秧田整地日數＝本田整地日數。
- (8)本田浸田灌溉或整田灌溉開始，秧田補給立即結束。
- (9)秧田補給每日供水深：由管理組提供，如桃園農田水利會 為 15 公釐
- (10)秧田補給灌溉方式：採用連續灌溉方式。

秧田整地灌溉水量計算如 5-1 式，秧田補給灌溉水量計算如 5.2 式。

$$Q_A = \frac{A_A \times D_A}{25 \times (1 - L) \times d * 8640} \quad (5-1)$$

$$Q_B = \frac{(A_B + A_E) \times D_B}{2 \times (1 - 0.5) \times 8640 \times d_N} \quad (5-2)$$

式中 Q_A 、 Q_B 分別代表秧田整地灌溉流量及秧田補給灌溉旬平均流量；單位為 cms， A_A 、 A_B 及 A_E 分別代表稻作（本田）種植面積、旬初秧田已灌溉面積及旬末秧田計畫灌溉面積；單位公頃， D_A 與 D_B 則分別為秧田整地水深與秧田補給日供水深；單位為公釐，此外， d 與 d_N 分別為錯開日數與該旬灌溉日數， L 為輸

水損失率。

整田（或浸田）灌溉用水計算

整田（或浸田）之計算如 5-3 式，規定如下：

- (1) 整田(或浸田)灌溉用水時期,有效雨量不列入考慮。
- (2) 整田(或浸田)灌溉水深,由管理組提供,如桃園農田水利會:依土壤別而異。
- (3) 整田(或浸田)灌溉進度=整田進度=稻作總面積/整田日數(錯開日數)

$$Q_{DAY} = Q_{TEN} = \frac{D_C \times A_A}{8640 \times (1-L) \times d} \quad (5-3)$$

式中 Q_{DAY} 為日灌溉流量、 Q_{TEN} 為旬灌溉流量， A_A 、 d_N 、 L 如前定義， D_C 為整田（或浸田）灌溉水深；單位為公釐。

本田補給灌溉用水計算

本田補給之計算如 5.4 式，規定如下：

- (1) 依照整田進度配水
- (2) 有效雨量列入考慮
- (3) 日供水深(灌溉率)由管理組提供，如桃園農田水利會依土壤別而定
- (4) 輪灌期距,乾田日數,由工作站提供
- (5) 注意整田時期及斷水時期之計算

$$Q_C = \frac{(A_C + A_D) \times D_D \times \frac{d_A - d_D}{d_A}}{2 \times (1-L) \times 8640} \quad (5-4)$$

Q_C 為本田補給灌溉流量；單位 cms， A_C 、 A_D 分別為本田補給旬初已灌溉面積與與旬末計畫灌溉面積（單位：公頃）， D_D 為日供水深（單位：公釐）， d_A 與 d_D 分別為輪灌期距與乾田日數。

本田灌溉有效雨量水量之計算

$$W_R = \frac{R_M}{d_M} \times \frac{A_C + A_D}{2} \times d_N * 10 \quad (5-5)$$

W_R 為尋有效雨量之水量；單位噸， R_M 為月有效雨量；單位公釐， d_M 為該

月日數其餘定義同上述說明。

灌溉配水時程

桃園、石門兩水利會皆僅有水稻灌溉，配水量及時程因土壤類型而異亦因期作而異，桃園水利會之灌溉配水時程如表 5-1 所示，石門亦大同小異，惟需求量較小。

表 5-1、桃園水利會灌溉用水時程及水量

桃園農田水利會 田間需水量表		第一期作 (灌溉日數 XXX 天)				第二期作 (灌溉日數 XXX 天)			
		輕粘土	黏質 壤土	砂質 黏壤土	砂質 壤土	輕粘土	黏質 壤土	砂質 黏壤土	砂質 壤土
秧 田	折合本田面積比率	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
	秧田整地一次供給	200	200	200	200	200	200	200	200
	秧田 日供水深 期 距 補給 灌溉日數	45 4天 40天	45 4天 40天	45 4天 40天	45 4天 40天	45 4天 40天	45 4天 40天	45 4天 40天	45 4天 40天
浸 田	第一次	100	100	100		100	100	100	
	第二次	50	50	50		50	50	50	
整 田		30	30	30	180	30	30	30	180
本 田		7.2 6.0	7.6 6.4	8.1 6.7	10.1 8.4	7.6 6.4	8.1 6.7	8.4 7.0	10.8 9.0
	期距	插秧30天內 插秧31天後	3 天 6 天	3 天 6 天	3 天 6 天	3 天 5 天	3 天 6 天	3 天 6 天	3 天 5 天

資料來源：農業工程研究中心，1997

5.3 灌溉系統輸水損失

灌溉系統輸水損失之估算，牽涉因素廣泛而複雜，如：灌溉方法、渠道長度、通水日數、通水水量、渠道渠底及側坡材質結構、輸配水水門操作管理等等，而過去輸水損失之調查時間已十分久遠，許多渠道材質已因修繕而異，所蒐集資訊最近實測範圍並無涵蓋整個石門水庫灌區，故本研究採用各農田水利會平均損失

計算灌溉用水量。各農田水利會平均損失如表 5.2 所示。其中桃園水利會一期作部分平均損失為 30.53，二期作為 28.19，石門水利會一期作灌溉用水平均損失為 19.7，二期作為 19.8。

5.4 灌溉管理策略及模擬案例設計

為進行各灌溉管理計畫之用水量模擬，以下參考現行灌溉管理制度，及乾旱時非常灌溉措施，設計案例模擬討論。

5.4.1 現行灌溉管理方案

過去乾旱發生時因為工程面開發新水源緩不濟急，救旱策略的選擇上大多從管理面著手，並依水利會灌區特性而有不同之救旱措施，本研究之案例設計即參考現行方案加以設計。

現行灌溉管理

雖臺灣各水利會的灌溉水來源各不相同，包括水庫、河川引水、埤塘蓄水等等。根據缺水率的高低及乾旱天數的長短，大致上依下列順序進行救旱：1.加強用水管理；2.抽用地下水及回歸水；3.執行大區輪灌；4.延長輪灌期距或減少灌溉水深；5.休耕或轉作。由於灌溉系統的不同，所採取的救旱措施也不同。如嘉南水利會的曾文-烏山頭灌區是由水庫供水，因此必須根據水庫蓄水量依操作規線進行配水；當水庫蓄水量在上限以上、上限至下限之間、下限至嚴重下限之間，及嚴重下限以下時，各有不同的灌溉配水計畫（農委會,1995）。而高雄水利會獅子頭圳灌區則是直接從河川引水，即所謂川流式灌溉，必須根據河川流量來調整灌溉方式。因此水庫與川流式灌溉最大的不同，在於水庫供水量較穩定；而川流式的供水量變化較大，必須預測河川流量變動的情況。

表 5-3 為石門水利會在乾旱時的救旱措施，引用規線係指石門水庫運用規線如圖 5-5，一、二期作分別依一、六月底水位決策，未插秧之前由於不用擔心作物需水的問題，彈性較大，傾向於加強田間用水管理，但如缺水程度嚴重，使得在整田日數終了前仍有未整之田地，則必須考慮休耕，以免影響下一期作之耕種。而耕作後則須考慮作物的生理狀況，視缺水狀態有不同補救措施。由表 5-3 看來，插秧後有很大的彈性是在輪灌方式的決定上，以下針對台灣輪灌方式作介紹。

表 5-2、各農田水利會灌溉系統輸水損失百分比一覽表

農田水利會	(1)	(2)		(3)	(4)=(1)+(2)+(3)/4 or 2	(5)		
		一期作	二期作		平均值	一期作	二期作	平均值
宜蘭會	27.01	30.12	31.53	27	28.91	29.79	30.92	30.36
北基會	—	27.16	24.16	—	25.66	25.73	22.67	24.20
桃園會	29.53	31.23	28.82	22	27.89	29.82	27.56	28.69
石門會	24.24	19.77	20.06	22	21.52	19.63	19.69	19.66
新竹會	—	24.61	24.58	—	24.60	22.80	22.46	22.63
苗栗會	28.57	25.52	24.85	23	25.49	24.28	23.97	24.13
台中會	28.57	32.54	31.05	27	29.79	31.56	30.43	31.00
南投會	30.07	26.16	26.63	29	27.96	24.99	25.22	25.11
彰化會	28.57	33.82	33.69	29	31.27	32.71	32.50	32.61
雲林會	23.08	62.14	55.94	29	42.54	46.55	49.58	48.07
嘉南會	42.20	45.56	50.67	35	43.36	41.04	44.48	42.76
高雄會	30.07	25.26	25.84	27	27.04	23.65	24.14	23.90
屏東會	23.08	22.95	22.06	27	23.77	22.29	21.73	22.01
台東會	42.53	35.06	34.82	30	35.60	35.05	36.51	35.78
花蓮會	34.34	36.61	38.22	30	34.79	34.36	34.30	34.33
平均	30.14	31.90	31.53	27.46	30.01	29.62	29.74	29.68

本表為農工中心黃振昌副研究員提供

*欄(4)係「事業用水合理用水量範圍之訂定總報告」(經濟部水資源局, 1999), 參考欄(1)~(3)「研擬合理農業灌溉用水標準及農業用水調配之可行性方案研究」(經濟部水資源局, 1997)、「農田水利會合理灌溉用水量及水源可靠水量調查與評估」(省水利處, 1997)、「水權合理重分配與補償標準之研究(一)」(經濟部水利司, 1992), 而得。

*欄(5)係(黃振昌、俞維昇, 1998)分析而得, 其中, 雲林會與嘉南會係由水稻、甘蔗、雜作三項數據平均而得期作代表數據。

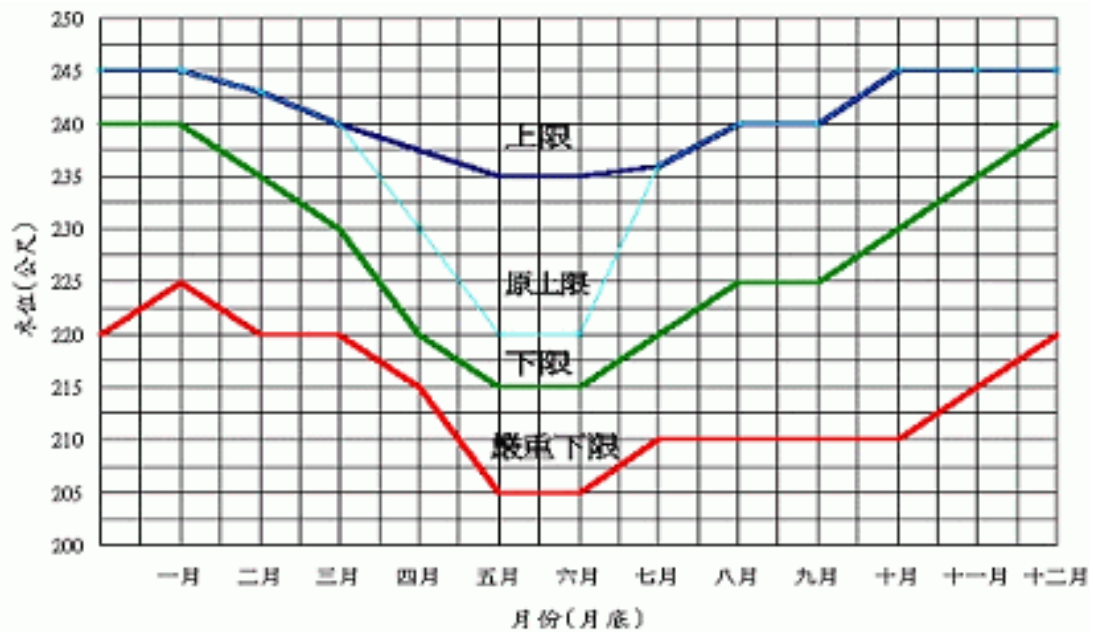


圖 5-5、石門水庫運用規線(資料來源: <http://www.wranb.gov.tw>)

所謂輪灌，為輪流灌溉之簡稱。乃根據用水計畫在適當時期以適當水量依照一定程序來灌溉，大多用於水稻灌溉上。根據實驗，輪灌較不停供水之續灌可節省 17%~50%不等之水量，而不會影響產量(農委會,1995)，但是輪灌必須出動額外人力進行水路閘門控制的工作，增加管理上的負擔，故在水源豐沛地區並未採用。根據目的不同，輪灌可細分為三種(農委會,1995)：

(1)標準式輪灌：首先劃分輪區，原則上以 50 公頃為一輪區，每一輪區設一個水門及量水設備，輪區內再劃分若干單區，每一單區大約 10 公頃。各單區內設配水箱和小給水路，使各田坵均能直接引水灌溉。執行輪灌時，集中輪區水量灌溉單區，各單區按照順序取得灌溉用水，當所有單區都灌溉過後完成一次輪灌，從新再依序執行。單區的給水順序，是由下而上，由左而右，按土壤性質、實際面積、稻作需水量和輸水損失決定供水時間。各單區作物品種宜統一，並設置共同秧田，使秧苗生長和整地插秧均能配合輪灌時間。採用公灌制度，農民不需自己看水，這是台灣推行的輪灌制度，故稱為「標準式輪灌」。因為以單區為用水計畫和配水單位，亦可稱為「小區輪灌」。

(2)精密式輪灌：因台灣地區農業生產環境特殊，大多田坵畸零狹小，耕地分散，農路缺乏且排水不良，為增加灌溉效率，乃實施農地重劃。經過重劃後的農地，每塊坵塊均能直接引水，直接排水。因此在製作灌溉計

表 5-3、石門水利會救旱措施

蓄水量 未插秧		規線上限至下限之間	下限至嚴重下限之間	嚴重下限以下
辦法		-	水庫公共給水與灌溉用水按正常供給，保證月份發電按實際需要減供	協調減配灌溉水量，水庫並嚴格依照公共給水及灌溉需要水量發電。
配水方式	30天	加強灌溉管理 灌溉期距3天	實施間歇灌溉 灌溉期距4天	分二區輪流休耕。 第一區：八德、中壢、過嶺站區。 第二區：楊梅、富岡、湖口站區。
	60天	加強灌溉管理 灌溉期距6天	實施間歇灌溉 灌溉期距7天	
蓄水量 已插秧		規線上限至下限之間	下限至嚴重下限之間	嚴重下限以下
辦法		-	水庫公共給水與灌溉用水按正常供給，保證月份發電按實際需要減供，並另訂配水計畫。	協調減配灌溉水量，嚴格依公共給水及灌溉需水量發電。第一期作應於驚蟄以後，清明以前。第二期作應於立秋以前種植完成。
配水方式	30天	灌溉期距3天	灌溉期距4天	減少一次灌溉水深
	60天	灌溉期距6天	灌溉期距7天	減少一次灌溉水深 灌溉期距6~8天
	配套措施	A.加強用水調配提高灌溉效率。 B.按原輪灌計畫分水比率確實執行。 C.鞏固河川水源設施防止漏水。 D.盡量利用可用水源，排水溝攔水或回歸水補給。 E.地面水取入量減少時，開啟地下水井使用，但以補足需水量為限。 F.地面水取入量減少八十%以上，或無法取入時，除動用全部地下水補充外，應加強渠道修補，減少損耗，調整輪距，減少灌溉水深，動用民井等克服之。	A.依嚴重程度選擇間斷配水管理：(a)輪區輪灌(b)支分線輪灌(c)圳別輪灌 B.錯開用水尖峰時期： (a)整田插秧期間：集中水量以利插秧進行進度加快，雜作物灌溉暫停或錯開 (b)本田時期：延長輪距 C.僱用掌水工執行配水。 D.動用抽水機抽取地面水或地下水為補助水源。 E.地面水取入量減少在六十%以下時，開始以地下水井補充。	預估可供水量如低於計畫用水量五十%，實施非常灌溉外若情況愈趨嚴重，一期作在四月十五日以前，二期作在八月十五日以前分區輪流停灌，停灌地區依照未插秧前所訂區域面積辦理 (a)利用各種水源與各溪流採臨時取水措施，以及開鑿深淺井抽用地下水補助灌溉。 (b)耐旱性強的作物暫停灌溉或改行非常灌溉。 (c)如屬水稻田灌溉時期或旱作田，則實施滑流灌溉，為節省水量使田面不保留水深。

資料來源：http://www.smia.gov.tw 及本研究整理

畫時，均可依每塊田坵各項用水量加以估算而更為精確，輪灌執行更有效率，故稱為精密式輪灌。

(3)大區輪灌：亦稱為粗放式輪流灌溉，主要適用於缺水時的補救辦法，按照輸水幹線、支線、分線渠道系統進行輪灌，或者是不同埤圳間輪流配水，大致可分為兩種：

a.當同一河川有數個灌溉圳路時，若水量減至總灌溉需水量 70%~80% 時，開始實施圳路間輪流灌溉，使得低流量得以集中充分利用，並由各輪區平均乾旱帶來的影響。

b.埤圳內幹線間，或幹線上之支線間，或同一灌溉線路上分段執行輪灌。由此可知，大區輪灌是缺水時期的一種補救措施，因時因地實施。

根據大輪灌與小輪灌得失之比較研究(陳買,1973)一書中指出，小輪灌為典型之輪灌，以輪區（約 50 公頃）為配水單位，按單區（約 10 公頃）為最小輪灌單位實施間歇灌溉，為大輪灌之對稱，對作物適時、適量、依序的科學灌溉方法。所謂適時，就是按作物之生育生理的需要時期，供給灌溉；所謂適量，就是按作物之生育生理所需水量，供給灌溉；依序就是按照計畫劃定給水區別，依照計畫所定時間給水。在灌溉設施方面，水路系統分明，輪區單區劃分清楚；在灌溉管理方面水路配水與田間灌溉工作分開：水路配水由水路管理員；輪區給水門、單區分水箱由灌溉管理員，田間由掌水工，各司其職，無須農民管理用水，稱為公灌制度。並且注重互助合作，錯開尖峰用水期，配合利用各時期水源水量。相對的大輪灌的定義僅為續灌缺水時的補救措施，因時因地臨時執行，並無周密計畫。但自小輪灌推行後，亦有水利會參照小輪灌的用水計算方式執行大輪灌配水。本研究的目的，在於決定救旱時的輪灌方式，亦即大區輪灌的輪區劃分以及輪灌期距、輪灌天數之決定，以達最佳之救旱目的。

5.4.2 灌溉用水減供模擬案例設計

本研究依上節灌溉管理方案，設計模擬之減供灌溉用水情境。因給水比例減少又可區分為面積縮減或田區供水減少亦或時程拉長等眾多方案，不同的方案之總供水量因田間滲漏及輸水損失水量不同而有差異，以下依非常灌溉灌溉方式設定討論案例：

- (1)減水深法：案例分為供水量 $3/4$ 、 $1/2$ 及 $1/4$ 三策略，例如原計畫灌水深為 12mm/day ，輪距五日，則第一個案例為灌溉水深減為 9mm/day ，輪距維持五日。第二案例為灌溉水深減為 6mm/day ，輪距五日，依此類推。
- (2)輪距延長法：目前研究區域錯開日數約 5-25 天，假設原期距長為 a 天，延長輪灌期距 1、3、5 天(取整數)。例原輪距 25 日，延長後錯開日數分別為 26 日、28 日及 30 日。田區每日供水水深不變。
- (3)減少灌區面積法，處理方式分如下兩種：
- a 集中法：集中灌溉滲漏較小灌區，分別分析休耕面積 $3/4$ 、 $1/2$ 及 $3/4$ 三案例，而其他灌區停灌。茲分析桃園水利會案例，計算該區各工作站秧田損失(50%)、輸水損失加總之量，其平均損失及面積對應如表 5.4 所示，案例設計優先休耕平均損失最大的工作站灌區農田，由於田區灌溉之休耕與否，以輪區為單位較易可行，若欲切割輪區為部分休耕，部分耕種，使面積休耕面積剛好為 $1/4$ 、 $1/2$ 或 $3/4$ ，會增加實際作業之困難，故休耕工作站灌區之選擇，採損失水量較多工作站灌區面積累加後，最接近設定比例而不超過之部分。
- b 平均分配法：按配水 $3/4$ 、 $1/2$ 及 $3/4$ 比率分配案例於各支分線系統。各支分線，依缺水率減少各配水田坵灌溉面積。

5.4.3 灌溉用水減供案例計畫用水量計算結果

茲將上節所述設計案例依 5.2.2 節計畫用水量計算方式加總統計，桃園水利會原灌溉方案水量如圖 5-6，而雖然一、二期作引用水量之部分時間重疊，也就是同一水利會某一輪區一期作斷水未結束，但另一輪區二期作已開始秧田整田作業，但彼此應視為獨立考量，以下皆分別討論，另外有關錯開日數延長案例部分，因若錯開日期太長，將影響二期作之進行，亦將增加水價評估之變數，故僅作微幅調整，而上述設計案例之灌溉水量計算為與現行灌溉計畫水量比較，採用現行之計畫用水計算方式，未加考量自然降雨之影響，亦未考量因灌溉減少而可增加容納之雨量。各方案水量如表 5-5 圖 5-7 所示。

表 5-4、平均損失法各休耕案例對應休耕輪區

期作	灌區依平均 損失排列	田間總損失 (ton)	平均損失 (ton/ha)	面積 (ha)	累加面積 (ha)	累加面積 百分比	休耕案例		
							1/4	2/4	3/4
一期作	新坡	2305964	1678	1374	1374	5.60%	△	△	△
	大崙	3152697	1819	1733	3107	12.67%	△	△	△
	大竹	5480555	1938	2828	5934	24.20%	△	△	△
	觀音	6952854	2049	3393	9328	38.05%		△	△
	草漯	4912171	2142	2293	11621	47.40%		△	△
	桃園	4909032	2279	2154	13775	56.18%			△
	新屋	7707872	2299	3352	17127	69.86%			△
	湖口	9610335	2529	3801	20928	85.36%			
	大溪	3510208	3503	1002	21930	89.45%			
	新莊	690071	3695	187	22116	90.21%			
大園	11473348	4779	2401	24517	100.00%				
二期作	新坡	1474744	1073	1374	1374	5.60%	△	△	△
	大崙	2052355	1184	1733	3107	12.67%	△	△	△
	大竹	3585528	1268	2828	5934	24.20%	△	△	△
	觀音	4608598	1358	3393	9328	38.05%		△	△
	草漯	3232949	1410	2293	11621	47.40%		△	△
	桃園	3207114	1489	2154	13775	56.18%			△
	新屋	5283446	1576	3352	17127	69.86%			△
	湖口	6485559	1706	3801	20928	85.36%			
	大溪	2392504	2388	1002	21930	89.45%			
	新莊	463043	2479	187	22116	90.21%			
	大園	7491202	3120	2401	24517	100.00%			

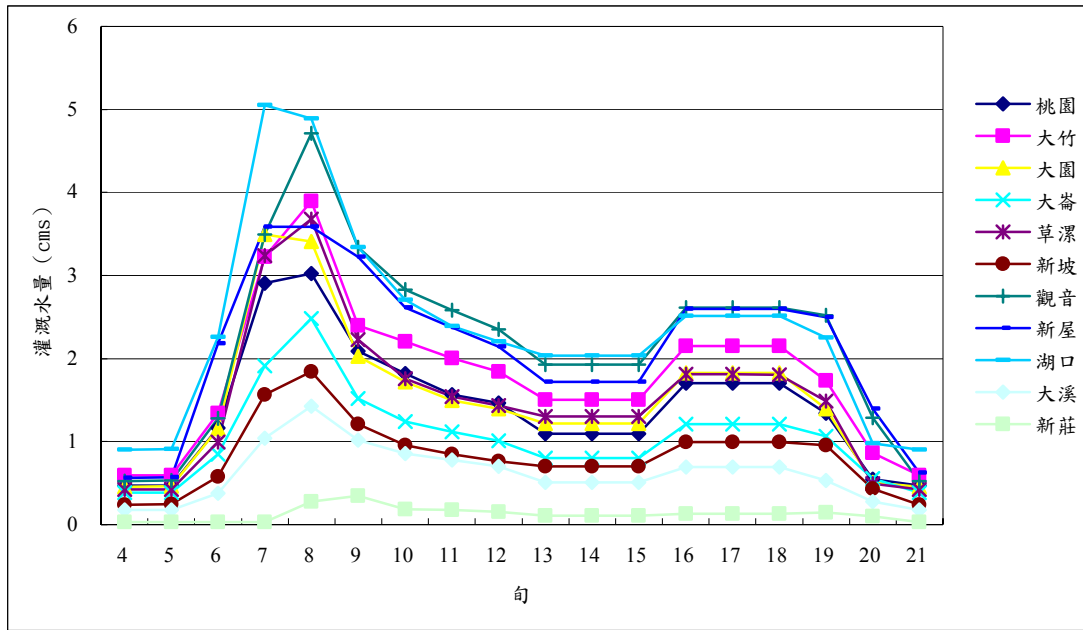


圖 5-6(a)、桃園水利會一期作灌溉水量

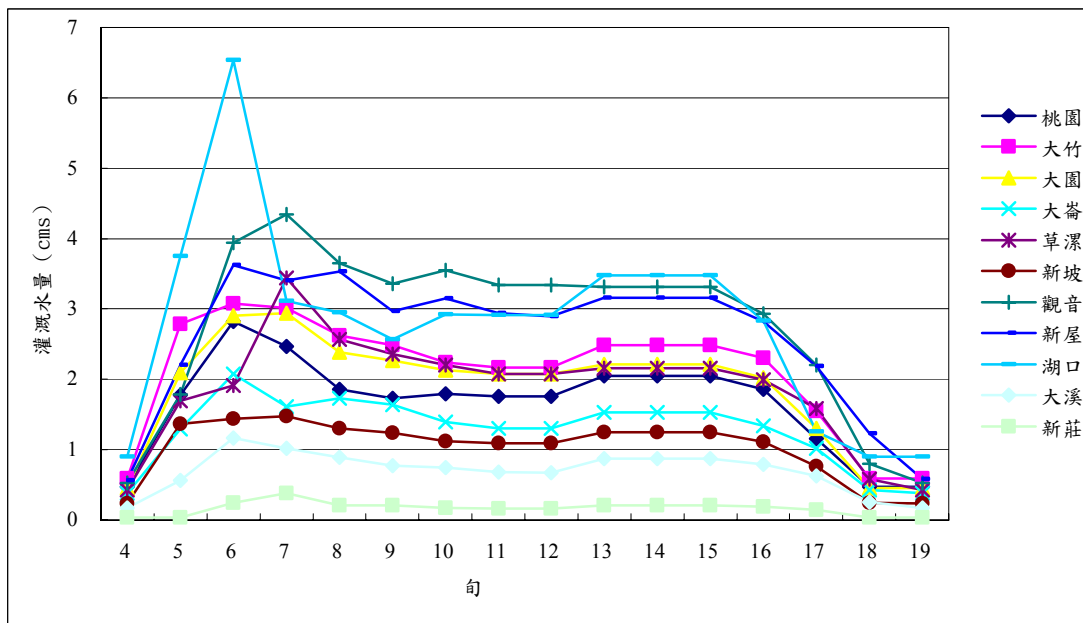


圖 5-6(b)、桃園水利會二期作灌溉水量

表 5-5(a)、各案例一期作對應灌溉水量(cms)

旬	原始	減水深法			輪距延長法			減少面積法 (集中法)			減少面積法 (平均法)		
		3/4 倍	1/2 倍	1/4 倍	+1 天	+3 天	+5 天	減 1/4	減 1/2	減 3/4	減 1/4	減 1/2	減 3/4
4	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	3.55	2.60	1.57	3.35	2.14	1.01
5	4.81	4.81	4.81	4.81	4.80	4.79	4.78	3.58	2.62	1.58	3.38	2.17	1.02
6	12.20	12.20	12.20	12.20	11.75	10.96	10.26	9.44	7.16	3.82	8.31	5.00	2.08
7	29.56	28.56	27.57	26.56	28.24	25.94	24.02	22.85	16.12	9.62	21.67	14.43	6.48
8	33.22	29.18	25.18	21.19	33.01	32.44	31.91	24.99	16.60	10.00	25.36	17.62	8.11
9	22.74	16.38	10.26	6.45	23.58	24.88	25.72	17.61	12.05	6.73	17.73	12.47	6.01
10	18.91	12.44	6.60	4.77	18.94	19.14	19.29	14.50	9.91	5.47	14.53	10.17	4.80
11	16.88	10.96	5.97	4.77	17.00	17.22	17.42	12.91	8.78	4.84	12.97	9.09	4.30
12	15.47	9.93	5.57	4.77	15.53	15.68	15.87	11.86	8.07	4.46	11.89	8.33	3.94
13	12.93	7.65	4.88	4.77	12.93	12.94	12.94	9.92	6.69	3.87	9.96	7.00	3.32
14	12.93	7.65	4.88	4.77	12.93	12.93	12.93	9.92	6.69	3.87	9.96	7.00	3.32
15	12.93	7.65	4.88	4.77	12.93	12.93	12.93	9.92	6.69	3.87	9.96	7.00	3.32
16	18.25	12.65	7.43	4.79	18.25	18.25	18.25	13.89	9.46	5.16	13.93	9.68	4.52
17	18.25	12.65	7.43	4.79	18.25	18.25	18.25	13.89	9.46	5.16	13.93	9.68	4.52
18	18.23	12.64	7.42	4.79	18.23	18.23	18.23	13.88	9.46	5.16	13.92	9.67	4.52
19	15.94	11.66	7.70	5.07	16.15	16.53	16.84	12.18	8.17	4.33	12.13	8.40	3.91
20	7.43	6.15	5.24	4.80	7.87	8.76	9.56	5.59	3.81	1.86	5.54	3.76	1.76
21	4.84	4.79	4.77	4.77	4.87	4.95	5.10	3.62	2.67	1.57	3.41	2.18	1.01

表 5-5(b)、各案例二期作對應灌溉水量(cms)

旬	原始	減水深法			輪距延長法			減少面積法 (集中法)			減少面積法 (平均法)		
		3/4 倍	1/2 倍	1/4 倍	+1 天	+3 天	+5 天	減 1/4	減 1/2	減 3/4	減 1/4	減 1/2	減 3/4
19	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	3.56	2.60	1.57	3.35	2.10	1.02
20	19.33	19.29	19.25	19.21	17.93	15.60	13.75	13.89	10.41	6.44	12.87	7.43	2.74
21	29.74	28.20	26.66	25.08	29.76	28.77	27.93	23.15	17.31	10.86	22.46	15.08	7.48
22	27.20	21.77	16.52	12.28	26.92	27.29	27.00	21.10	13.32	7.45	21.67	15.60	8.37
23	23.69	16.68	10.00	5.78	24.02	24.47	24.89	18.04	11.82	6.44	18.30	12.42	6.22
24	21.58	14.80	8.48	4.85	21.66	21.78	22.00	16.22	10.51	5.81	16.55	11.30	5.71
25	21.41	15.26	9.35	5.29	21.54	21.81	22.09	16.66	10.91	5.97	16.39	11.13	5.61
26	20.51	14.59	8.94	5.20	20.53	20.59	20.68	15.95	10.53	5.83	15.66	10.63	5.34
27	20.46	14.56	8.92	5.19	20.46	20.46	20.47	15.90	10.49	5.83	15.62	10.60	5.32
28	22.69	16.76	10.91	5.78	22.69	22.69	22.69	17.43	11.97	6.76	17.26	11.66	5.82
29	22.69	16.76	10.91	5.78	22.69	22.69	22.69	17.43	11.97	6.76	17.26	11.66	5.82
30	22.69	16.76	10.91	5.78	22.69	22.69	22.69	17.43	11.97	6.76	17.26	11.66	5.82
31	20.18	14.37	8.74	4.89	20.20	20.24	20.27	15.42	10.51	5.83	15.35	10.39	5.23
32	13.78	10.06	6.62	4.81	14.14	14.78	15.33	10.46	6.67	3.33	10.57	7.17	3.69
33	6.00	5.40	4.97	4.78	6.22	6.73	7.43	4.72	3.35	1.65	4.49	2.89	1.50
34	4.79	4.77	4.77	4.77	4.82	4.91	5.00	3.58	2.62	1.57	3.38	2.12	1.03

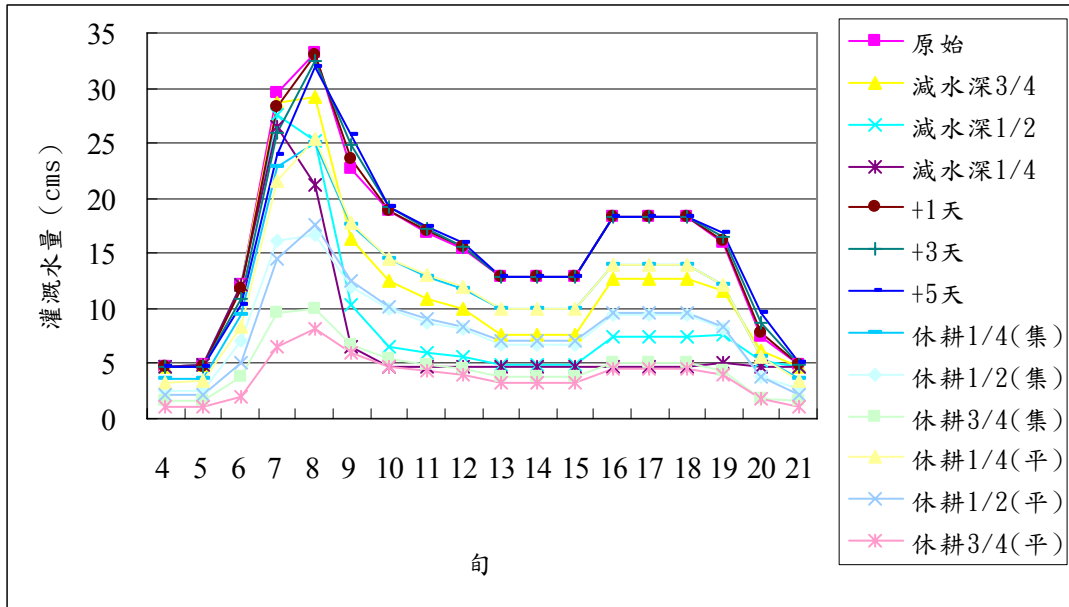


圖 5-7(a)、桃園水利會各設定案例一期作灌溉水量

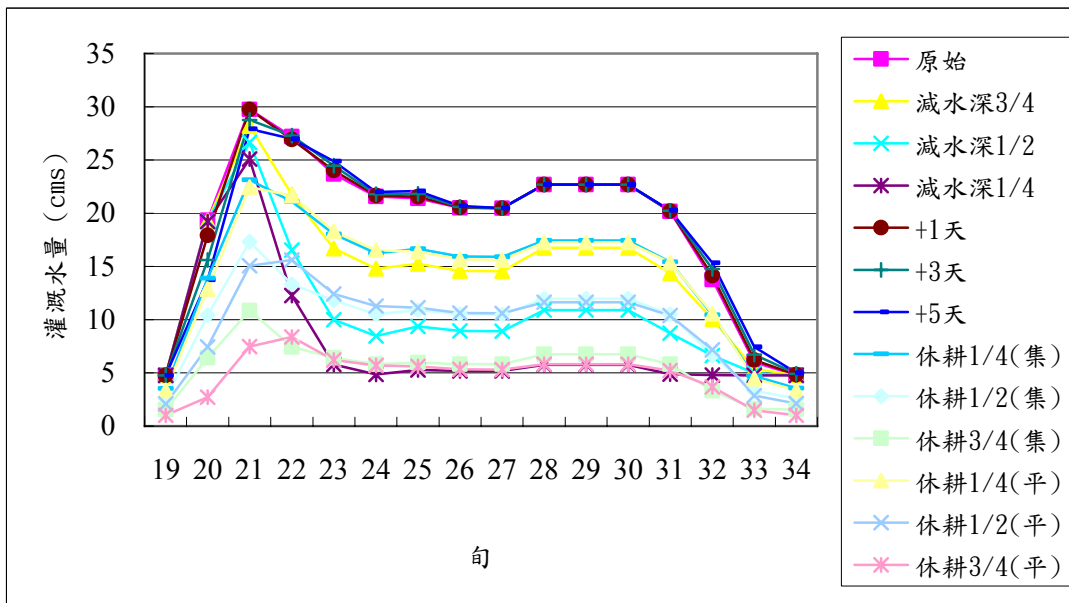


圖 5-7(b)、桃園水利會各設定案例二期作灌溉水量

5.5 案例產量模擬設定與假設

以桃園水利會為例，其下輪區共分四種土壤，分別為輕粘土、粘質壤土、砂質粘壤土及砂質壤土，於模擬稻作單位潛能產量時必須分別設定，模擬依一般耕作狀況由插秧日起模擬，依一般灌溉管理，插秧前有整田之階段，田間土壤含水量假定為飽和，但因輪區下每個單區的種植日皆不同，一期作種植日落於3月1日至25日間，二期作落於7月初至8月15日間，因水稻之種植鄰近時產量差異不大，為簡化模擬案例，將種植日期歸納為一期作三月上、中、下旬及二期作七月中、下旬及八月上、中旬，共七組。此外因種植日影響育秧溫度也會有所差異，育秧溫度假定為種植日前十四天日高、低溫度平均值。

而灌溉水量部分，以桃園水利會為例，一期作灌溉日數為120天、二期作為110天，每年或有改變但差異不大。整田第二天起算30天為「活著期」，作物需水量較高，30天後灌溉水量則予以減少，並依土壤別入滲不同，設定不同的給水量，相關數據詳如第五章表5.1，而其前30天灌溉間隔為3天，一次灌溉水量為3天水量加總，30天後間隔拉長，如輕粘土前30天為3天灌一次，一次灌21.6mm，30天後為6天灌溉一次，水量為36mm，不過實際之應用因需考量有效降雨量，上述之量值需再扣除平均日有效降雨量，模擬時皆須考量在內。

5.6 灌溉用水減供案例產量模擬

按原計畫用水量供水，潛能產量如表5-6，灌溉用水按灌溉用水減供案例作產量模擬，產量如表5-7，圖5-8。

表 5-6、按計畫水量供水各分區潛能產量 (10³Kg)

單位：仟公斤

雨量站	輕粘土		粘質壤土		砂質粘壤土		砂質壤土		總合	
	一期作	二期作	一期作	二期作	一期作	二期作	一期作	二期作	一期作	二期作
1	5811	5825	2286	2382	2014	2063	8958	8798	19070	19068
2	2224	2216	16051	16233	1161	1178	4092	4058	23529	23685
3	3825	3830	3241	3321	-	-	5142	5121	12208	12272
4	6564	6537	207	251	-	-	2063	2057	8835	8845
5	3011	2954	-	-	2544	2596	1422	1432	6976	6982
6	164	176	-	-	5958	6117	-	-	6122	6293
7	2387	2329	-	-	-	-	-	-	2387	2329
8	5730	5677	5389	5343	-	-	8787	8970	19906	19991
9	7412	7365	881	811	2288	2166	1773	1765	12353	12107
10	-	-	17626	18041	-	-	11458	11508	29085	29549
11	3259	3337	5198	5025	-	-	6279	6132	14735	14494
12	-	-	853	954	2196	2055	-	-	3049	3009
13	-	-	6623	6232	3451	3589	1199	1193	11274	11014
14	-	-	21307	23187	8206	8340	1038	1009	30551	32536
15	2152	2127	-	-	3864	3915	2875	2832	8890	8875
20	-	-	-	-	-	-	842	603	842	603
21	-	-	-	-	-	-	895	616	895	616
總和	42538	42374	79663	81780	31682	32019	56824	56095	210707	212268

註：產量為-，表示對應該雨量站之輪區並無該類土壤

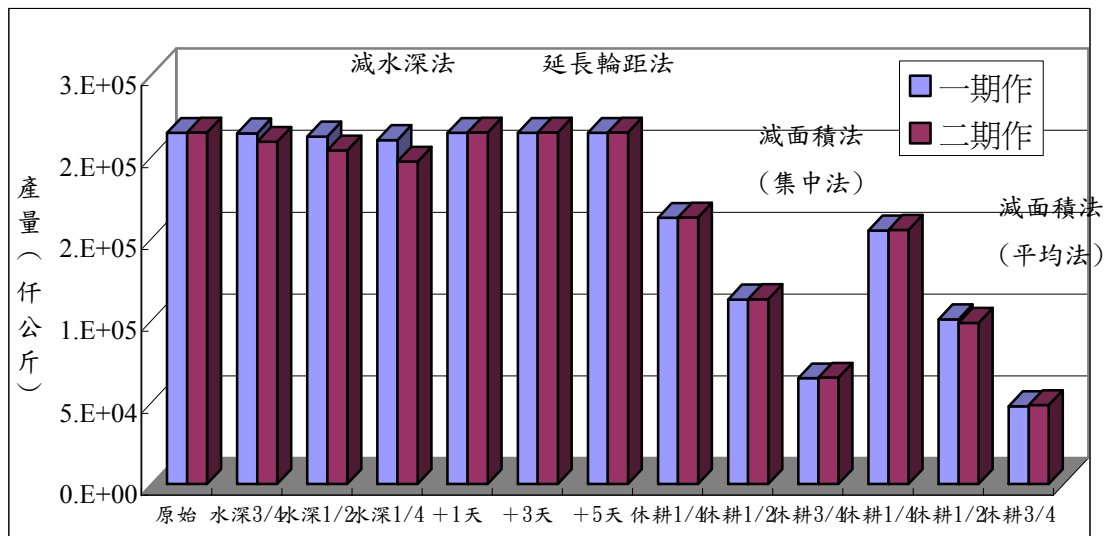


圖 5-8、桃園水利會各設定案例產量

表 5-7、供案例潛能產量

設計案例模擬		總產量 (仟公斤)		減產產量 (仟公斤)		減產百分比	
		一期作	二期作	一期作	二期作	一期作	二期作
原始		214348	214545	0	0	0.0%	0.0%
減水深法	水深 3/4	214017	208891	331	5655	0.2%	2.6%
	水深 1/2	212138	203575	2210	10970	1.0%	5.1%
	水深 1/4	209929	196789	4420	17756	2.1%	8.3%
輪距延長法	+1 天	214348	214545	0	0	0.0%	0.0%
	+3 天	214348	214545	0	0	0.0%	0.0%
	+5 天	214348	214545	0	0	0.0%	0.0%
減少面積法 (集中法)	3/4 倍	162436	162633	51912	51912	24.2%	24.2%
	1/2 倍	112594	112791	101754	101754	47.5%	47.4%
	1/4 倍	64539	64932	149809	149613	69.9%	69.7%
減少面積法 (平均法)	3/4 倍	154705	155174	59643	59371	27.8%	27.7%
	1/2 倍	100544	98331	113805	116214	53.1%	54.2%
	1/4 倍	47485	48130	166863	166415	77.8%	77.6%

5.7 擬結果分析及假設

由圖表可知，水深法對產量之影響很小，部分原因與模擬值為潛能產量有關，因為作物模式本身並不考慮因為湛水減少引起之病害及蟲害，亦未加考量所會增加之管理難易負荷，亦可能係因為減少之供水足以滿足作物之基本需求，所以影響不多，而輪距延長法因種植日期簡化後，可能落於同一設定日，影響亦不大。而面積減少法之集中法及平均法產量減少最多，係因為不耕作之面積即無供水，亦不耕種，故無產量。不過上述比較基準皆基於潛能產量之比較，各減供案例實際實施可能需額外付出之人力或農藥等物料，才能為此評估值，倘若各減供案例在實際執行時，並非給予最佳之耕作環境；，如避免病、蟲害等，會存在一定落差。

5.8 計案例農業用水產值評估

圖 5-9 桃園水利會減供水量對應損失，調用水量需求大時，減面積法能提供較多的移用水量，延長輪距法因只能調節尖峰流量，並無法有效提供水量，對流

量之影響極小，而減供水深法因渠道供水有最低為 0.008cms 之限制，一旦調用水量需求很大時可能無法足額提供，否則，減供水深法減產潛能產量相對減供水量而言可說是最經濟的方式，其中數據顯示一二期作減產幅度雖然相當，但二期作減供水量較多，這是因為各設定案例二期作別原始灌溉移用水量相比，以二期作顛峰用水量較高，但總量差異不大，而二期作生長期較短，移用水量經平均後，因分母較小，得值較大。

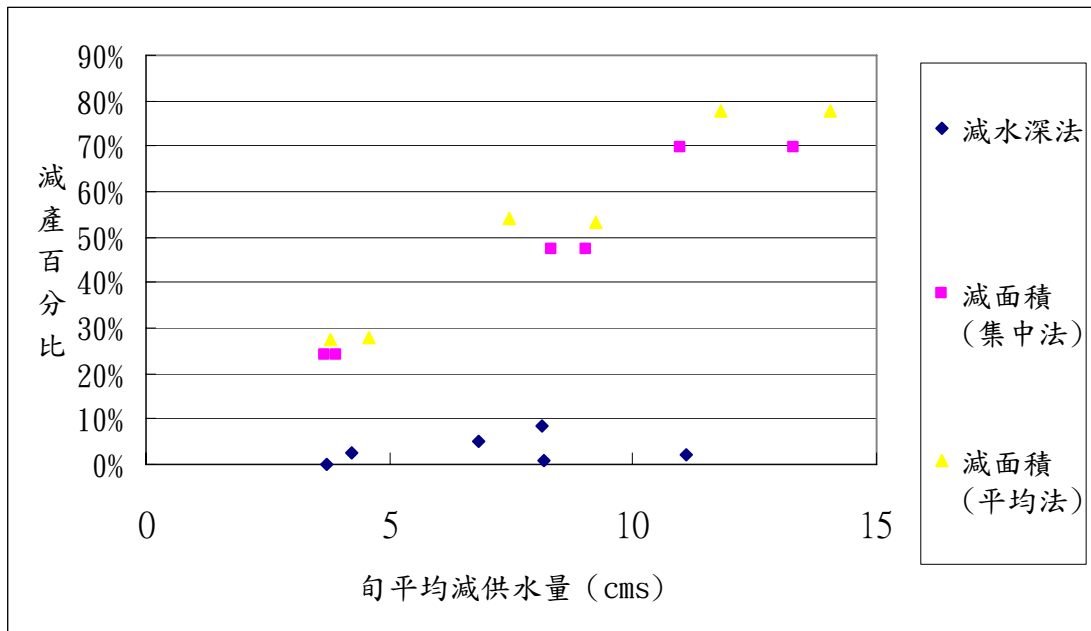


圖 5-9、桃園水利會減供水量對應損失

圖 5-10 以減產產量除上減供水量代表單位移用水量產值，圖示可知減供水量對應之產值區間因減供方式差別差異很大，在各種模擬方案皆能作最佳管理之假設前提下，減供低水量時之區間比之減供水量多時更大，一部分原因為減水深法於供水減少少部分時較不敏感，減水量多時較為敏感，另一部份原因為減面積法係先減去滲漏量大的田區，當減供水量增加，增加之休耕農田耗水較少即可得到相當之產量。

另外減面積法中，平均法切割單元較集中法為小，因而休耕面積較為接近所設定之 1/4、1/2 及 3/4，休耕面積較集中法大，故產量減少較多，單位轉移灌溉用水對應損失產值因而較大。

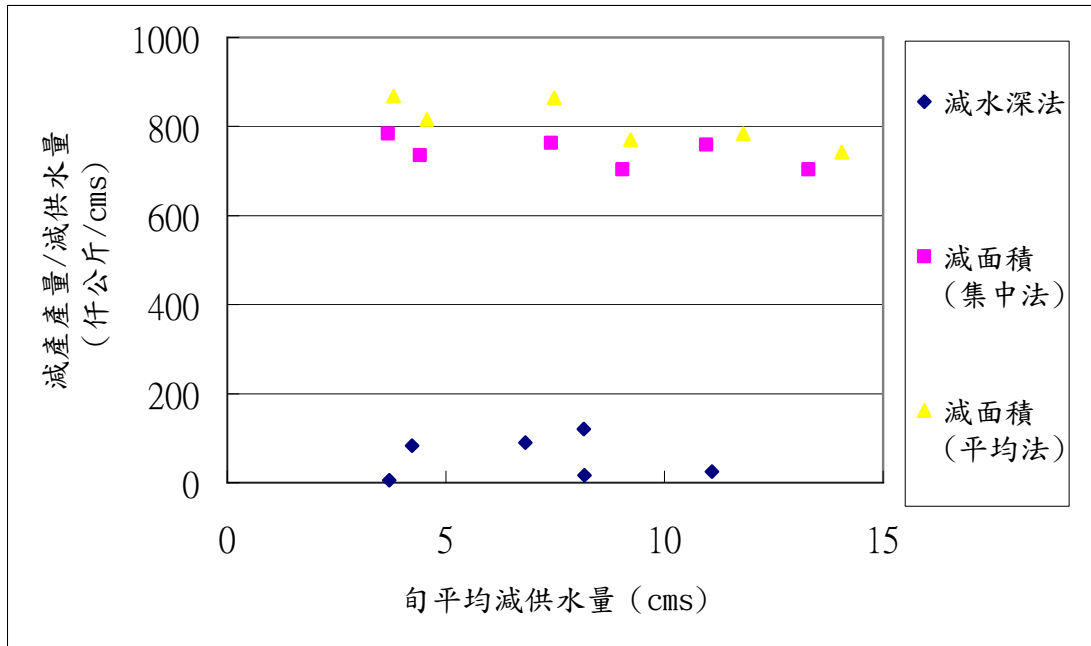


圖 5-10、桃園水利會減供水量對應減供水量產值區間

第六章、2002 年乾旱時期農業用水調配演練

本研究欲建立淡水河流域之乾旱預警系統，第一年的主要執行內容在於各模式之建立以及乾旱時期調適策略之優選。由第五章結果得知，乾旱時期之非常灌溉策略，可以有效減少農業用水，而減緩乾旱之嚴重程度。因此，在此藉由 2002 年的乾旱事件，利用水資源系統動力模式模擬淡水河流域之水資源系統，模擬 2002 年的供缺水情形，進而演算各非常灌溉策略下之供需水情形，優選出最佳的調適策略。

6.1 2002 年石門水庫地區乾旱事件概述

乾旱的發生往往沒有前兆，當乾旱已經面臨威脅時，最佳的決策時機卻早已過去，因此乾旱預警系統之目的即在於能及早得知乾旱的來臨，以提早進行決策。而能越早預警，所能補救的籌碼則越多。以 2002 年北部地區的乾旱為例，頭前溪及石門灌區一期作之休耕補償的金額以每公頃 4 萬 6 千元為基準，已育苗者每公頃加 9100 元，已整田者每公頃再加 7000 元，而對於已耕種之稻作因供水不足與休耕者，視齊損害情況最高可補償 9 萬元(李鐵民，2002；徐元棟，2003，新竹水利會，2002)。圖 6-1 為 2002 年石門水庫運用歷線及各項限水措施時程，在一開始對於未來氣候未知的情形之下，於不同階段實施了不同之限水與休耕措施。於休耕補償來看，若能越早進行休耕規劃，則對於休耕補償才能達到越少之補償金額。對於用水調配來看，若能及早進行水的調配計畫與休耕規劃，便能使乾旱對於民生、農業與工業用水的威脅減到最輕。然而 2002 年之各項限水措施則顯示了因為對於未來氣候的未知，而選擇了走一步看一步的方式，以致於錯失了即早進行規劃的良機。

依據徐元棟等(2003)指出，2002 年在 3 月公告休耕之前，農民已於二月下旬陸續開始從事整田、插秧的工作。隨即在三月公告休耕，並針對農業用水打折供應，由農民自行決定是否休耕。由圖 6-1 可以看出，3/1 日石門灌區休耕 50 萬噸水，亦即減少計畫供水量 50 萬噸，而桃園灌區則減供 38 萬噸。一直到 5/3 日才宣布全面休耕，中間造成農民辛苦的白費工作以及資源的浪費實在無法挽回。然而，未能更早發出休耕的公告都是造成乾旱時期農民生產以及民生與工業用水的極大損失。

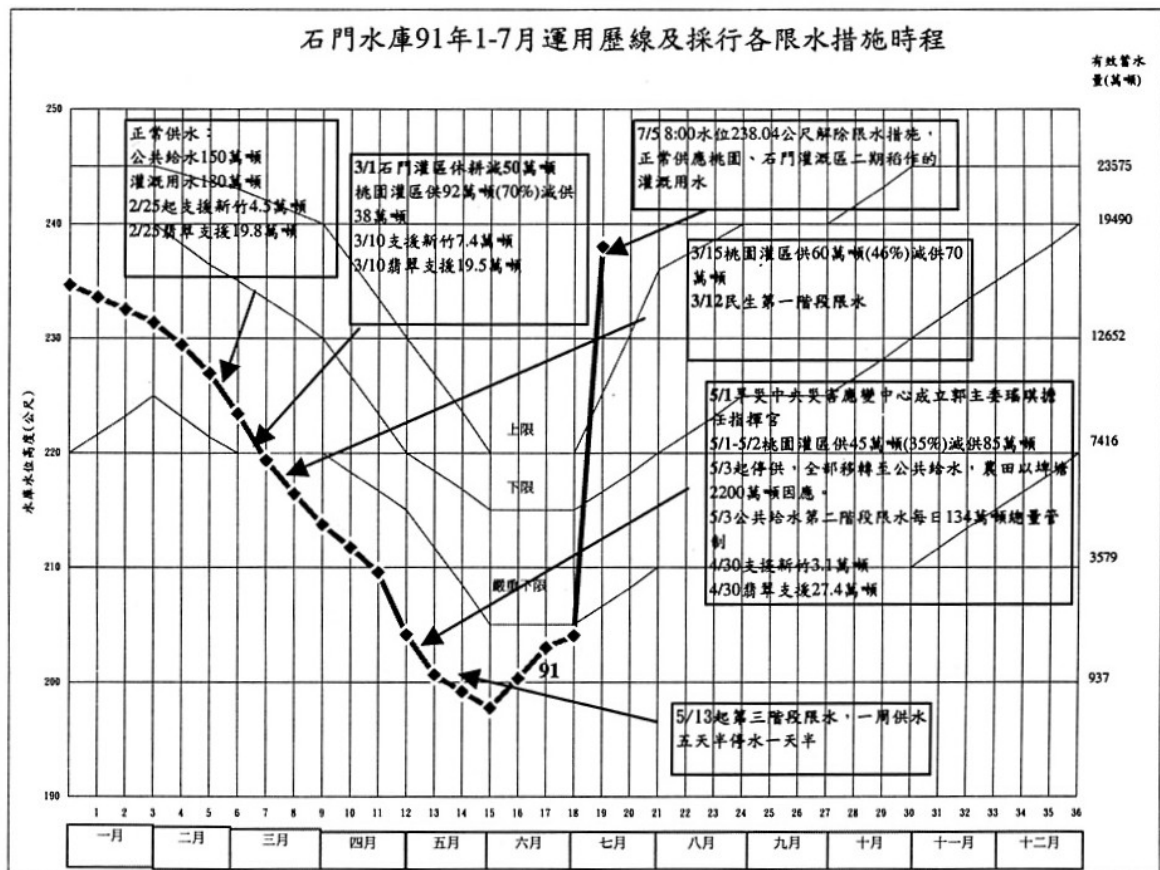


圖 6-1、石門水庫 91 年 1-7 月運用歷線及採用各限水措施時程(摘自李，2002)

6.2 水資源系統動力模式模擬

水資源系統動力模式涵蓋了整個供水系統的供需模擬，同時考慮了供與需的平衡，也考慮了供水系統內所有的供水設施的含容能力，能夠模擬各供水場的供水情形，也能夠模擬出上游水庫在操作規線下的放水情形，進而反應水庫內之蓄水變化。以下將分別展示 2002 年乾旱事件期間，石門水庫的水位變化情形以及需水量、缺水量的變化，藉由模擬結果重現 2002 年乾旱事件。

1. 石門水庫水位模擬

利用實際流量測試北區水資源系統動力模式之石門水庫在 2001 年 10 月上旬至 2002 年 12 月下旬的結果如圖 6-2 所示。模擬水庫起始水位為實際水位，也就是 2001 年 10 月上旬的水庫實際水位為起始值進行模擬。模擬期間可看出水位的變化趨勢與實際水位變化趨勢相同，且相當接近實際水位，除了充分反映出枯水期流量變化的情形外，模擬水位接近實際水位也較能反映出缺水的程度。同樣的，其誤差來源可包括其他用水量的忽略(如休耕、限水措施)，以及實際水庫操作跟理論水庫操作的差異所造成。

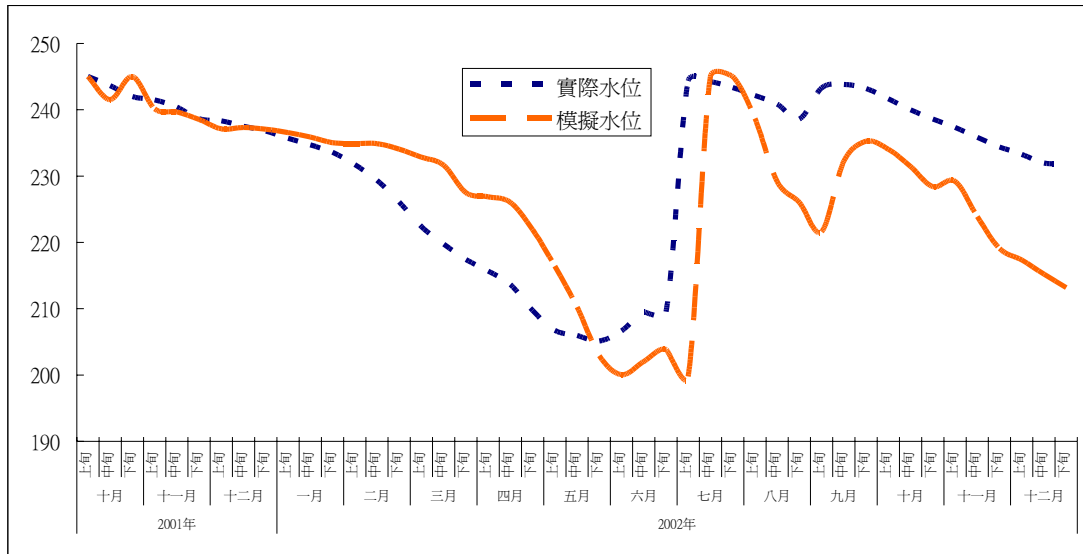


圖 6-2、石門水庫 2001 年 10 月上旬至 2002 年 12 月下旬水庫水位模擬結果

2. 缺水量與農業需水量

利用實際農業計畫需水量，代入系統動力模式。藉由水資源系統動力模式可以考慮整個系統的供與需之間的平衡。當需水量大於可供水量時，便會出現缺水量。而由發生缺水到缺水結束的這段期間，即為一缺水事件。如圖 6-3 為 2002 年石門灌區的模擬結果，其中需水量包括了民生需水量、農業需水量以及工業需水量。此缺水事件的最大旬缺水量達二百五十萬噸，而累積缺水量達六百八十萬噸，由表 4-1 可得知此乾旱事件已經達到嚴重乾旱的標準(超約機率 25%之累積缺水量為三百萬噸)。

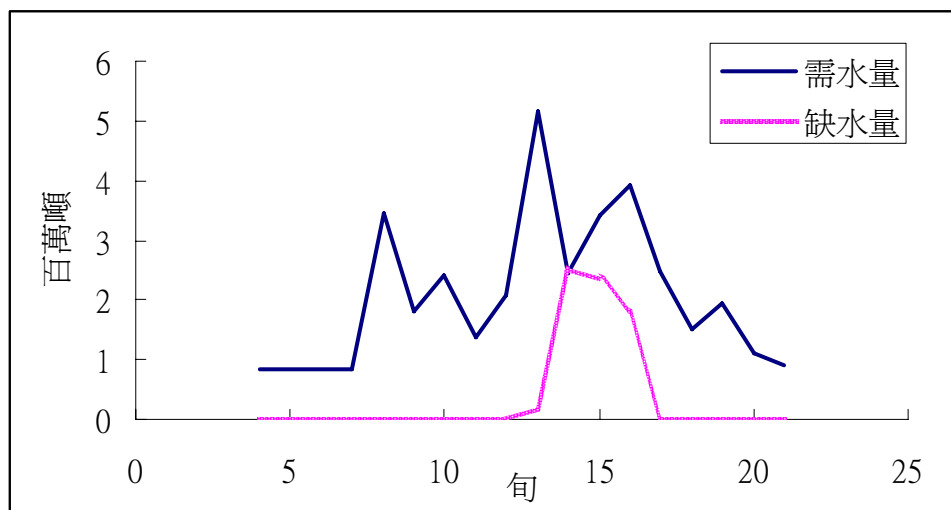


圖 6-3、2002 年石門灌區的需水量曲線以及缺水量曲線

6.3 農業用水調配模式

藉由系統動力模式模擬出 2002 年乾旱事件，欲減輕乾旱事件之缺水情形，可藉由非常灌溉之調適策略，由各調適策略中選擇適合的策略，並依據缺水的時間訂出供水策略，此即本農業用水調配模式之主要功能。由第五章結果得知，減少水深法可以有效減少農業需水，並不致嚴重影響產量。因此本研究將以三種減少水深法為調適策略，利用本模式優選出適合之策略，以及適當之各旬農業需水量。將表 5-5 進行轉換，可得表 6-1。

表 6-1、減水深法各策略與原來供水方式之各旬灌溉流量比

旬	減水深法		
	3/4 倍	1/2 倍	1/4 倍
5	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.00	1.00
7	1.00	1.00	1.00
8	0.97	0.93	0.90
9	0.88	0.76	0.64
10	0.72	0.45	0.28
11	0.66	0.35	0.25
12	0.65	0.35	0.28
13	0.64	0.36	0.31
14	0.59	0.38	0.37
15	0.59	0.38	0.37
16	0.59	0.38	0.37
17	0.69	0.41	0.26
18	0.69	0.41	0.26
19	0.69	0.41	0.26
20	0.73	0.48	0.32
21	0.83	0.71	0.65
22	0.99	0.99	0.99

假設每一旬的農業需水量為 A_i ，缺水量為 S_i ，減水深法之各旬需水量為 D_i ，採用減水深法後剩餘水量為 E ，模擬時間為 T ，則

$$E = \sum_1^T A_i - \sum_1^T D_i - \sum_1^T S_i \quad (6-1)$$

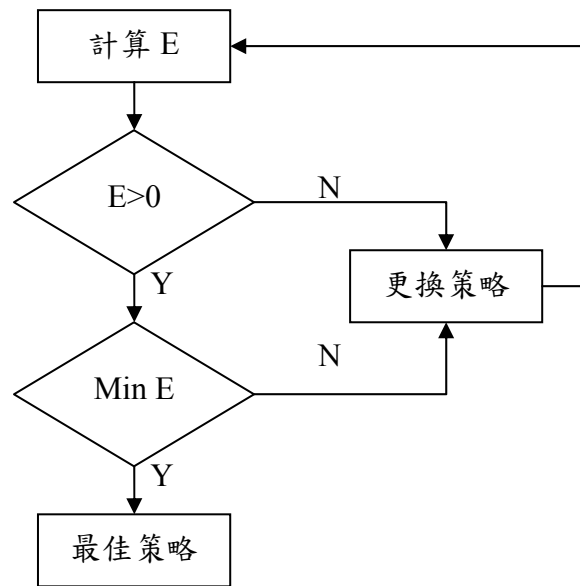


圖 6-4、尋找最佳策略的流程圖

尋找最佳策略的方式如圖 6-4 所示。首先挑選某一策略，如 3/4 水深法。計算每一旬的農業需水量，進而求得模擬期間採用策略之後之剩餘水量 E 。乾旱時期之非常灌溉策略的目的即在於挪出部分農業用水，以填補缺水的部分。因此當訂立的策略產生可挪用的水超過缺水量時，即可解除缺水情形，亦即 $E > 0$ 的情形。但是當訂立的策略產生可挪用的水過多時，即會造成浪費，因此需要以最小值的 E 為目標函數挑選最佳策略。

當優選出最佳策略之後，多餘的水 E 將按照各旬挪出水的比例去分配至各旬，各旬可分配的水為 e_i

$$e_i = E_i \times \frac{(A_i - D_i)}{\sum_1 (A_i - D_i)} \quad (6-2)$$

則各旬採用最佳策略並經由重新分配的需水量為

$$R_i = D_i + e_i \quad (6-3)$$

由於缺水事件後的減少灌溉水深策略對於缺水事件並無幫助，因此缺水事件之後的灌溉方式可回復成原來的灌溉水深。

6.4 非常灌溉策略模擬與優選結果

利用農業用水調配模式，可以分別求出各種不同灌溉策略下的需水量情形，以及透過挪用農業用水之後的缺水情形。在此利用實際的氣候條件進行模擬，亦即完美預測條件下的模擬進行演練。由於本研究未來將採用氣候模式 ECHAM4.5

的預報資料進行模擬，ECHAM4.5 預報資料每次可預報六個月，因此本案例也同樣以六個月的時間長度進行模擬。為了能夠及早掌握乾旱的訊息，並即早利用乾旱時期調適策略減輕乾旱，模擬起始時間以二月為最佳時間點，可以充分掌握整個灌溉時期的需水調配。如圖 6-5 為減水深 3/4 之模擬結果，原本農業用水總需水量為 21.8 百萬噸，經由調配後的農業需水總量為 16.1 百萬噸，整整挪出了 5.7 百萬噸，將挪出的水按缺水比例分配之各缺水旬，雖然減緩了缺水的情形，但是整個缺水事件的累積缺水量仍有 1.1 百萬噸，按表 4-1，仍超過輕度乾旱標準，並非最佳策略。

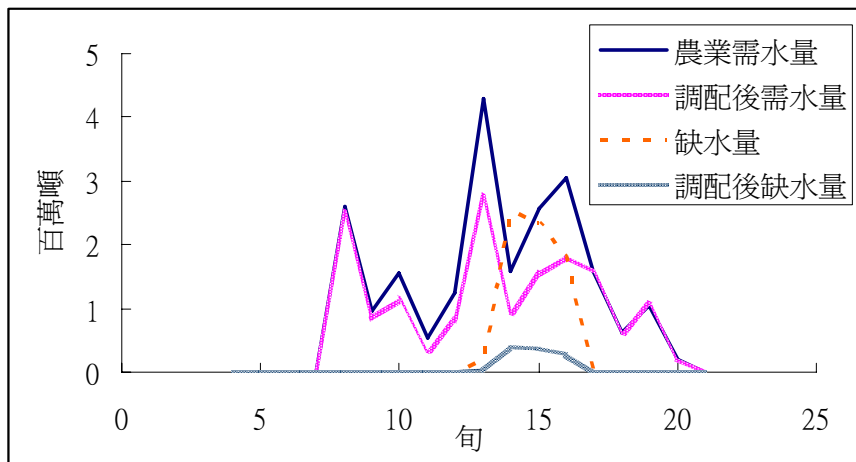


圖 6-5、減水深 3/4 灌溉策略模擬結果

圖 6-6 為減水深 1/2 之模擬結果，原本農業用水總需水量為 21.8 百萬噸，經由調配後的農業需水總量為 15 百萬噸，整整挪出了 6.8 百萬噸，此乃模式經由優選與調配的結果，將挪用的水剛好等於缺水量，以達到最佳利用。

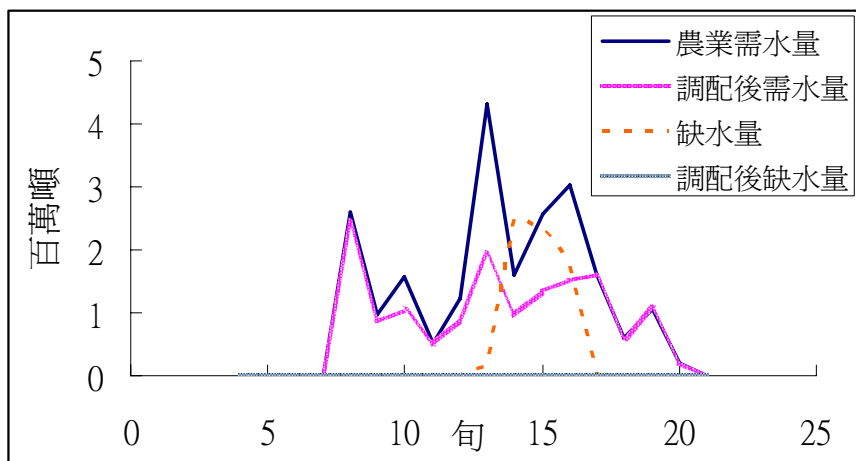


圖 6-6、減水深 1/2 灌溉策略模擬結果

圖 6-7 為減水深 1/4 之模擬結果，由於減水深 1/2 策略已可以滿足缺水需求，解

決乾旱問題，因此減水深 1/4 策略只是提出更多的水，於模式中將會把多餘的水再補回各旬進行調配，因此結果會與減水深 1/2 策略的調配結果一樣。

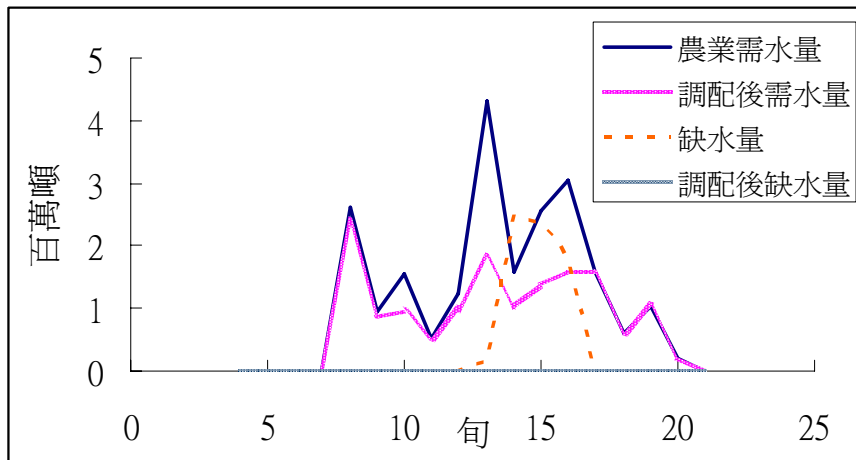


圖 6-7、減水深 1/4 灌溉策略模擬結果

綜合以上結果可得知，在解決缺水情形以及滿足最小農業用水挪用的條件下，1/2 減水深灌溉策略為最佳的調適策略。

6.5 結果與討論

本研究利用非常灌溉之減水深法作為乾旱時期調適策略，透過農業用水調配模式，可以優選與調配出適當之乾旱時期農業用水挪用策略。然而必須注意以下幾點：

1. 當乾旱嚴重程度超過減水深法可以負荷，亦即減水深法無法完全解決乾旱缺水問題，則必須考慮採用休耕方式，挪用更多農業用水。
2. 本研究尚未考慮經濟層面問題，包括減水深造成減產之損失，而只有單純的解決缺水問題。

第七章 總結

本計畫乃為建立淡水河流域之乾旱預警系統與風險管理策略，於本年計畫當中建立了整個系統所必須具備之模式以及各個銜接項目之骨幹。主要工作為建立水資源系統動力模式、與各子計畫的連結架構，並推估未來供水量與需水量以及調適策略、初步驗證各模式與優選乾旱預警指標及調適策略以及各子計畫互相資料流通介面與未來整體系統整合的準備工作。主要成果簡述如下：

一、水資源系統動力模式

本研究利用系統動力動態學之軟體 Vensim，建立了淡水河流域之水資源供水系統動力模式。除了可模擬水資源系統中的供需水情形，亦可建立了各水資源元件的連接骨幹。未來與其他子計畫將透過此水資源系統動力模式進行銜接，以整合乾旱時期的風險管理策略。

二、流量推估模式驗證

GWLF(Generalized Watershed Loading Functions)模式為集水區之水平平衡模式，此模式能反應氣候變化及土地利用對流量之衝擊，其參數可根據集水區之土地利用以及土壤特性決定，可以降低評估結果之不確定性。本研究已建立淡水河流域上游集水區模擬所需參數，未來透過氣候預報資料將可模擬預報上游集水區入流量。

三、水資源系統需水量推估

本研究在需水方面，以水資源用水型態大致上可分為農業用水、民生用水、工業用水三大部分。三種用水其中以農業用水受氣溫變化影響會有不同的需水情況，因此須引用氣象預測資料，並且考慮到溫度的變化對作物的生長及需水量的影響，估算出合理的農業需水量。本研究已建立此農業需水量模式，以提供本計畫第二、三年度於預報農業需水量時所用。

四、乾旱事件累積缺水與其超越機率

透過已建立之水資源系統動力模式，利用歷史資料模擬淡水河流域之供缺水情形。利用缺水事件之累積缺水量，訂出不同超越機率的水資源乾旱等級。由訂出的之水資源乾旱等級可瞭解乾旱程度，並可作為啟動與結束乾旱調適策略的準則。

五、乾旱時期調適策略

採用乾旱事件的累積缺水量為預警指標，就是當預測氣象資料經過水資源系

統模式，預測未來缺水量到達選定的累積缺水量，即是決定發動乾旱的時間，而缺水量回復到低於預警指標就是結束乾旱策略的時機。本研究以各非常灌溉之減水深法作為乾旱時期的調適策略。利用農業用水調配模式進行優選與調配最佳策略，可成功利用挪用農業用水減輕乾旱時期的缺水情形。

六、各項子計畫的資料交流、結合之準備工作

由於本計畫扮演著整合與調配的角色，因此本計畫已於第一年建立好本子計畫與各子計畫之間的架構與交流介面。透過定期的聯繫，充分確保其他計畫與本計畫研究之一致性。本研究建立評估管理系統所需要的各子計畫提供的各項決策資訊。於下一年度將與氣象預測資料進行結合，並整合其他子計畫成果，建立完整的乾旱時期風險管理機制。

參考文獻

1. Bonacci, O., Hydrological identification of drought. *Hydrological Process*, 7 : 249-262,1993.
2. Cheng, K. S., H. C. Yeh, and C. Y. Liou, Comparative study of drought prediction techniques for reservoir operation. *Journal of The American Water Resources Association*, 36, NO.3 pp.511-521, 2000.
3. Forrest, S., Genetic algorithms: principles of natural selection applied to computation. *Science*, 261: 872-878, 1993.
4. Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, Inc, Reading, Massachusetts, 1989.
5. Gen, M., and Cheng, R., *Genetic Algorithms And Engineering Optimization*. John Wiley & Sons, Inc, New York, 2000.
6. Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial System*. Ann Arbor , MI : The University of Michigan Press, 1975.
7. Kuiper, E., *Water Resources Development*. Butterworths, London, 1965.
8. Lanbein, W. B., Queuing Theory and Water Storage. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol.5, paper 1811, 1958.
9. Michalewicz, Z., *Genetic Algorithm + Data Structure = Evolution Programs*. 3rd edition, Springer-Verlag, New York, 1996.
10. Oliveria, R., and Loucks, D. P., Operating rules for multireservoir systems. *Water Resources Research*, 33(4): .839-852, 1997.
11. ReVelle, C., Joeres, E. and Kirby, W. The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design, 1, Development of the Stochastic Model, *Water Resources Research*, 5(4): 767-777,1969.
12. Wang, Q. J., The genetic algorithms and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, 27(9): 2467-2471, 1991.
13. Wardlaw, R., and Sharif, M., Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(1): 25-33, 1999.
14. Wilhite, D. A., and Glantz, M. H., Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10:111-120, 1985.
15. Yeh, W. W-G, Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review. *Water Resources Research*, 21(12):1797-1818, 1985.
16. Young, G. K., Finding Reservoir Operation Rule. *Journal of the Hydraulic*

- Division, ASCE, 93(6): 297-321, 1967.
17. D. P. Loucks and L. M. Falkson, "A comparison of Some Dynamic, Linear and Policy Iteration Methods for Reservoir Operation", *Water Resources Bulletin*, Vol.6, No.3, p.384~4010, 1970.
 18. Arthur J. Askew, "Optimum Reservoir Operation Policies and the Imposition of a Reliability Constant", *Water Resources Research*, Vol.10, No.1, 1974.
 19. Askew, A.I., "Optimum Reservoir Operating Policies and Imposition of Reliability Constraint", *Water Resources Research*, Vol.10, No.1, pp.51-56(1974)
 20. Bonacci, O., Hydrological identification of drought. *Hydrological Process*, Vol.7, pp.249-262, 1993.
 21. Cheng, K. S., H. C. Yeh, and C. Y. Liou, Comparative study of drought prediction techniques for reservoir operation. *Journal of The American Water Resources Association*, 36, NO.3 pp.511-521, 2000.
 22. 王如意、趙啟迪，「區域乾旱之模擬及其應用於曾文溪流域農業水資源之規劃」，*台灣水利*，第 38 卷，第 4 期，15—35 頁，1990。
 23. 向子菁，『智慧型控制理論於水庫操作決策之研究』，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文，1999。
 24. 李鐵民，「抗旱的醒思」，*水資源管理 2002 研討會*，1 頁—17 頁，桃園，2002。
 25. 林俊男，台灣大學「灌溉管理」課程講義，2004。
 26. 周玫君，「氣候變遷及乾旱灌溉用水移用對水稻潛能產量影響」，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文，2004。
 27. 張炎銘，「建立乾旱警報系統初論」，*台灣水利*，第 39 卷，第 4 期，73—84 頁，1991。
 28. 張炎銘，「再論乾旱警報系統之建立」，*台灣水利*，第 40 卷，第 3 期，56—65 頁，1992。
 29. 陳莉，『以物件導向之遺傳演算法優選水庫運用規線之研究』，國立台灣大學農業工程研究所博士論文，1995。
 30. 陳世偉，『遺傳演算法運用在石門與翡翠水庫並聯系統操作規線之研究』，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2002。
 31. 陳嘉和，「乾旱預警系統及氣候變遷對水稻生長之影響」，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文，2002。
 32. 陳明業，「淡水河水資源系統動力模式與永續管理策略之研究」，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文，2002。
 33. 陳思瑋，「淡水河流域水資源永續性評估暨管理之研究」，國立台灣大學生物

- 環境系統工程學研究所碩士論文，2005。
34. 童慶斌等。2002。「氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建置 — 氣候、水文、生態部分(一)」，環保署。
 35. 童慶斌、許少瑜、劉佳明，『應用遺傳演算法優選水庫操作規線之研究』，水資源管理研討會論文集，2000。
 36. 虞國興、莊明德，「台灣乾旱特性之研究」，台灣水利，第 40 卷，第 4 期，20—33 頁，1992。
 37. 劉清源，「乾旱臨前時距預測之研究」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文，1995。
 38. 簡俊彥、蔡正男、洪益發，「乾季時期水庫運轉模式之研究—入流量預估研究」，台灣水利，第 39 卷，第 4 期，50—59 頁，1991。
 39. 蕭政宗，「以連續累積降雨定義氣象乾旱之研究」，台灣水利，第 49 卷，第 3 期，52—64 頁，2001。
 40. 童慶斌，陳佳正，『水庫操作方法探討及其應用』，2002 農業工程研討會。
 41. 朱壽銓、黃文政、黃珮貞，「模擬法在水庫操作規線上之應用」，臺灣水利 第 48 卷 第 4 期，p.53~63，民國 89 年 12 月。
 42. 臺灣省曾文水庫管理局，「曾文水庫多目標運轉規則之研究」，民國 65 年 12 月。
 43. 胡文章、易任、朱健行，「合理農業用水水庫運用基準線建立方法之研究」，農業工程學報，第 28 卷，第 4 期，p37~59，1982。
 44. 財團法人成大研究發展基金會，「應用序率動態規劃制訂強制性水庫操作規線之研究」，民國 86 年 12 月。
 45. 國立臺灣大學農業工程學研究所，「串連水庫標的規劃模式在容量及操作規劃上之應用」，民國 80 年 11 月。

計畫成果自評

一、計畫完成度

本計畫「淡水河流域水資源乾旱預警機制與風險管理策略之建立」於本年度之主要工作項目為建立水資源系統動力模式、與各子計畫的連結架構，並推估未來供水量與需水量以及調適策略、初步驗證各模式與優選乾旱預警指標及調適策略以及各子計畫互相資料流通介面與未來整體系統整合的準備工作。整體而言，工作項目全部完成，並符合整體計畫之需求與進度。

二、研究成果之學術與應用價值

由於民國九十一年與九十二年的乾旱事件喚起了國內對於乾旱預警與調適策略的重視，乾旱的議題也成為各大研討會的重要議題。而本研究之學術與應用價值可依內容分別探討，包括

1. 乾旱預警：利用氣象預報模式提供三個月到六個月的提前預報，結合降尺度研究，使決策者有充分的時間進行風險管理與決策。學術上將可發表相關之期刊，而實際應用上將可提供相關單位一決策工具。此外，利用氣象預報模式並結合降尺度之研究，此部分成果更可延伸至生態預警之研究，於學術上以及實際應用上有相當之價值存在。
2. 水資源系統：本研究的主要研究主體建立在水資源系統動力模式之下，可以考慮各水資源項於整個水資源系統的相互關係，並考慮各供水系統的供水與涵容能力，發揮最佳的供水策略。水資源系統動力模式可以針對不同之問題進行調整與修改，於應用上具有相當之彈性。
3. 乾旱時期調適策略：乾旱發生之後，最重要的問題便是如何減輕乾旱帶來之災害。本研究今年度之農業用水轉移調適策略，以及未來研究整合地下水補助以及其他調適策略等，都可以提供決策者於乾旱發生時之決策分析，具有相當大之應用性。研究成果並可進一步發表於國際期刊，亦具有相當之學術價值。