

# 桃園地區短期缺水因應策略研究

國家災害防救科技中心助理研究員 蘇文瑞（水利技師）

國立中央大學土木系教授 吳瑞賢

國立中央大學土木系碩士 蔡耀逸

## 摘要

近年來，桃園地區發生幾次較為嚴重之缺水事件，其主要原因乃颱風過後造成石門水庫原水濁度過高，而影響淨水場處理能力。本研究利用系統動力學建構桃園地區自來水供需系統動力模式，以研擬出在缺水時期實際可行之應對方案及供水型態。

本研究針對有無預警、輪供機制及硬體設施進行一系列之模擬分析，結果顯示在海棠颱風期間若自來水公司能在缺水事件發生前確實發布預警，可使南桃園之總缺水戶數減少 40~50 萬戶，而總缺水率降低 11~15%，另外，研究結果顯現出桃園地區淨水場容量需再增加，為了防範短期缺水事件發生，以及迎合未來用水需求，擴建或增設淨水場是需要的。

而針對管線末端缺水之問題，本研究以加入大型淨水儲水池之硬體設備進行分析探討，結果顯示加入大型淨水儲水池可有效地改善末端缺水問題，使南桃園在海棠、馬莎及泰利期間之管線末端總缺水戶數各減少 48、33 及 22 萬戶。

## 一、前言

台灣地區近年來因受全球氣候變遷之影響，導致颱風、洪水、乾旱之氣候型態發生之機率比以往增加許多，根據中央氣象局資料顯示，過去西(北)太平洋每年生成颱風數約為 28 個，而對台灣有影響之颱風年平均為五個，但 2004 年與 2005 年台灣地區颱風過境的數目、強度、挾帶之雨量皆明顯增加許多，其帶給台灣本島之影響主要為暴風及暴雨，而大部分較為嚴重的颱風對環境所造成的破壞皆為暴雨所形成之山洪爆發，產生嚴重之土石災害，此一天災亦引發了另一種過去較不為人所注目的問題—短期缺水，因巨量泥沙沖入河道，且順著河道大量流入水庫，特別是造成桃園縣石門水庫及其上游溪水混濁，其原水濁度飆高，且因泥沙無法迅速沉降，導致當時原水濁度遲遲無法下降，然淨水場處理能力有限，對於連日來高濁度之原水無法完全有效處理，並為預防其處理設備因勉強運作而發生設備損壞之情況，故被迫宣布關場，造成當時台灣北部地區陷入嚴重缺水危機，目前石門水庫已完成分層取水之機制，將可降低因原水濁度上升而造成缺水之危機，但本研究仍將以分層取水未完成前之供水情況為基準，針對不同缺水之狀況下加以討

論，以瞭解桃園地區在最惡劣的環境下的供水因應策略。

## 二、 研究地區概述

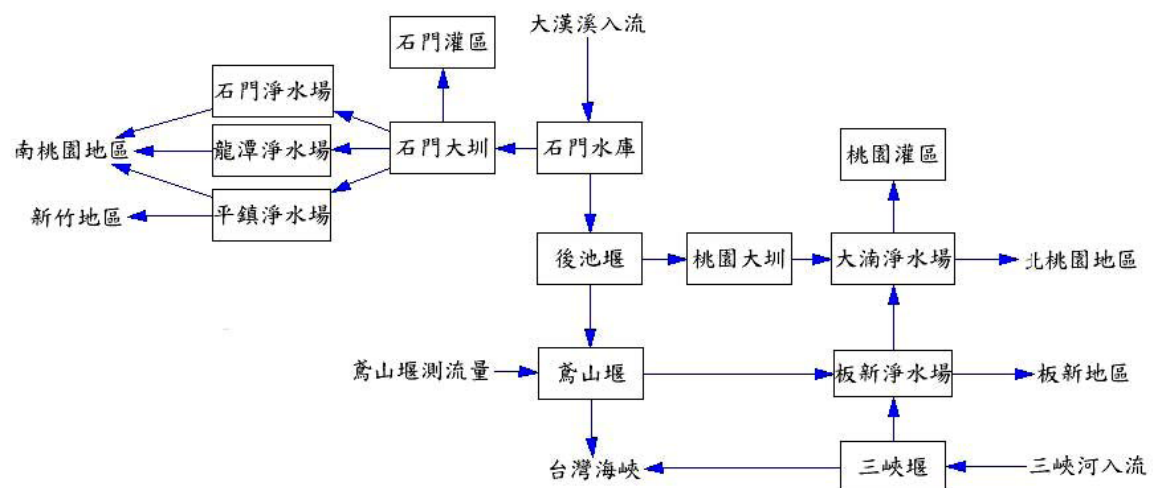
桃園縣境內的石門水庫位於大漢溪中游，地處龍潭鄉、大溪鎮、復興鄉與關西鎮之間，集水面積 763.4 平方公里，總蓄水量為 30912 萬噸，有效蓄水量於民國 96 年 4 月為 17068 萬噸，其具有灌溉、發電、給水、防洪、觀光等效益，是一個多目標水庫，亦是桃園地區主要公共、灌溉用水來源。

石門水庫所供給之灌溉用水可供給石門灌區、桃園灌區、大漢溪中、下游灌區。公共給水則分別由石門大圳、桃園大圳與鳶山堰來分配，石門大圳分別供給平鎮淨水場、石門淨水場及龍潭淨水場，而桃園大圳與鳶山堰則供給大湳淨水場，另外，板新淨水場每日支援輸送 10 萬 CMD 水源至大湳淨水場以供使用，除了穩定供

水給桃園境內各鄉鎮市居民外，若平日水源充裕時，桃園地區可支援輸送最高 10 萬 CMD 之水源至新竹供水區，但通常只支援 1~2 萬 CMD，此外，南桃園區域內之管網皆已聯通，而且還可藉由沿東勢與龍岡之管線支援北桃園地區，現況可支援之水量約 18 萬 CMD，而北桃園地區因地勢較南桃園地區低，所以暫時無法支援南桃園地區。圖一為桃園地區各淨水場供水系統圖

## 三、 研究方法

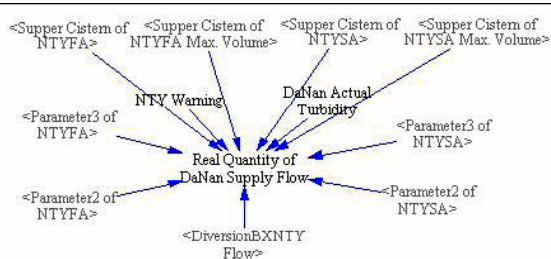
本研究依據桃園地區地理特性及自來水供水規則，建立自來水供需系統動力學模式，包含自來水供水模式、各用水區需水模式及缺水指標模式，此外，將探討模式之準確度、所考量之因素、各變數之假設、所依據之原理，以及操作之流程，其詳細敘述如後。



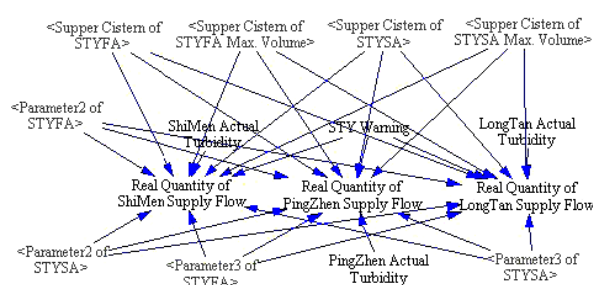
圖一 桃園地區各淨水場供水系統圖

## 1. 自來水供應模式

桃園地區境內四座淨水處理場分別為石門、平鎮、龍潭及大湳，石門、平鎮及龍潭淨水場，各自經由不同之方式，將石門水庫之原水引進淨水場內進行處理，處理過後再經由加壓站將乾淨水分送至各用水戶。平時若無缺水情況發生，基本上淨水場出水量即為用戶端之需水量(包含輸水損失)，當發生因濁度驟升而引起之缺水事件時，則各淨水場依照濁度各自因處理能力之限制而有所不同，另外，當加入大型儲水池時，必須額外考慮大型儲水池之容量，以及淨水場每日最大處理量，由上述之原則，本研究建立之南北桃園各淨水場之系統動力模式如圖 2 所示。



北桃園各淨水場系統動力圖



南桃園各淨水場系統動力圖

圖二 桃園地區各淨水場系統動力圖

桃園地區境內供水區域劃分為南、北桃園後，再利用二區輪供之供水分區方式將南桃園供水區域分為甲區及乙區；北桃園供水區域分為甲區及乙區。本研究再將每分區依供水管線前端與末端來進行區域劃分，前端與末端人口數之比例假設為 5：5。另外，本研究假設桃園地區有裝設水塔之用戶數與未裝設水塔之用戶數的比例為 8：2，會進行節約用水與不會進行節約用水之比例為 8：2。統整上述，則桃園地區所有供水區，將由南桃園、北桃園兩大供水區細分至 24 個不同類型供水區，本研究主要探討之民生用水為家庭用水部份，其所佔之比例如下所示：(1)廚房用水及其他用，此二種用水又合稱生活用水，佔民生用水 24%；(2)身體清潔用水佔民生用水 26%；(3)洗滌用水、清洗住處、家具、交通工具、衣物，佔民生用水 34%；(4)衛生沖洗用水，佔民生用水 16%，詳細的生活用水分項比例如表 2 所示。故本研究於用戶端節約用水之比例乃按照表 2 所示，保留廁所、沐浴、廚房及洗臉用水，合計共佔總用水量之 61%，因此推估可節水 40%。

## 2. 需水量推估

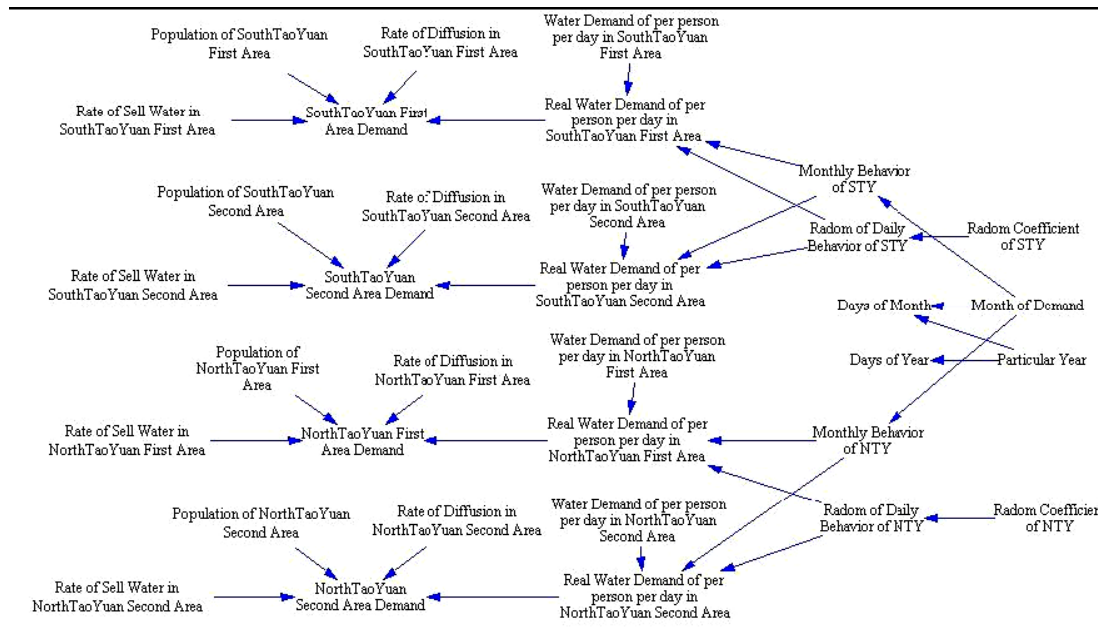
自來水在推估配水量時會考慮用戶端人口數、每人每日用水量、漏水率等因素，其自來水配水量推估公式如下所示：

$$\text{配水量} = \text{人口數} \times \text{普及率} \times \text{每人每日用水量} / \text{漏水率}$$

因考慮每人每日用水量乃屬於整年之平均值，無法呈現出用水量隨季節而變，以及隨每人每日用水變化之情形，因此本研究乃以民國 95 年正常年(即無缺水情況發生)所統計出

之月用水變化之比例，套入所要給予模式之每人每日用水量，搭配所要預測之月份，即可得到隨月份而變之每人每日用水量，然後再將月變化之每人每日用水量乘上一亂數，使之變成日變化之每人每日用水量，亂數之振幅乃取實際每日用水之標準偏差，其

數，其定義為某時期之缺水量除每人每日需水量與每戶幾人的相乘值，因本研究考量節約用水之行爲，故在缺水戶數之計算上，仍需各別算出各分區之缺水戶數值，若需採用較大分區之值時，再進行疊加即可得之，其各小分區缺水率之系統動力模式。

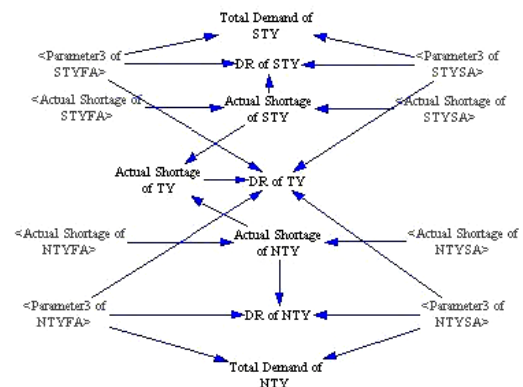


圖三 需水量之系統動力模式示意圖

需水量之系統動力模式如圖三所示。

### 3. 缺水率與缺水戶數

本研究於缺水指標之選取，以缺水率(Deficit Rate, DR)作為主要缺水指標之一，其定義為某時期之缺水總量除計劃需水量之百分比，而本研究因考量用戶端會進行節約用水之行爲，因此在節約用水期間會影響計劃需水量，故在較大分區之缺水率計算方面，計劃需水量必須採用各個小分區需水量之疊加值，而非使用一開始較大分區需水量之疊加值，其大分區缺水率之系統動力模式如圖四所示，本研究另一重要缺水指標為缺水戶

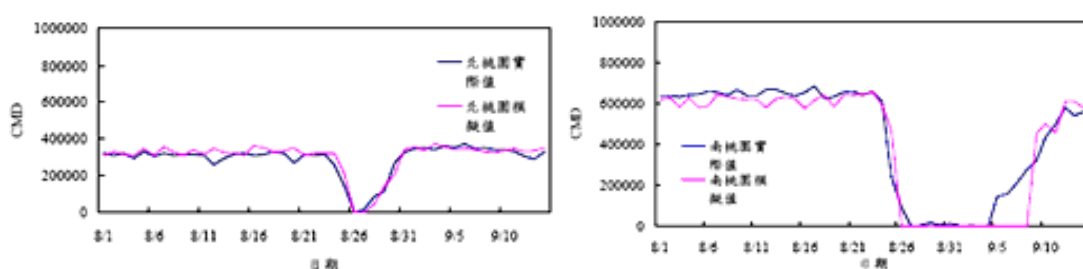


圖四 桃園地區缺水率之系統動力模式示意圖

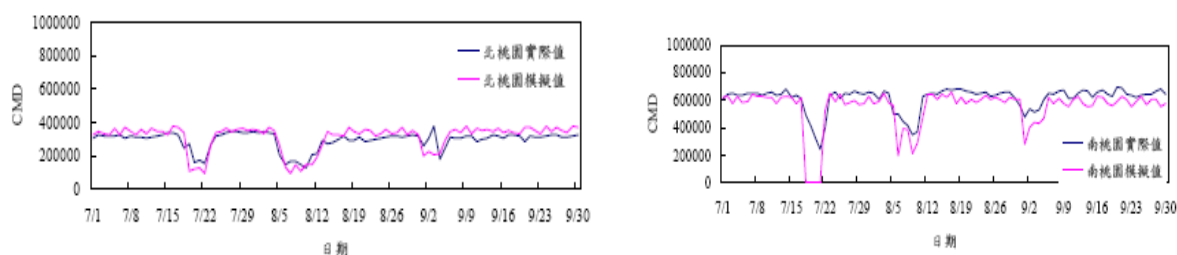
#### 四、 模式驗證

本研究在模式驗證部份分為兩個部份，一為 93 年艾利颱風歷史事件驗證；另一為 94 年海棠、馬莎及泰利颱風歷史事件之驗證，艾利颱風驗證結果如圖五；94 年三場颱風驗證結果如圖六所示。

驗證結果顯示，在 93 年北桃園部份，實際配水量與模擬配水量之變化



圖五 93 年艾利颱風南北桃園驗證比較圖



圖六 94 年三場颱風驗證結果比較圖

趨勢相同，而南桃園部份，實際配水量與模擬配水量之變化趨勢亦相同，僅 9 月 5 日至 9 月 10 日出現差異之處，自來水公司表示當時乃因為民眾連日來飽受無水之苦，難以度日，紛紛表達對政府以及自來水公司之不滿，在此狀況下，只好勉強供水，因此在這小段時間產生了差距，但其他部分之趨勢皆吻合，表示本模式可合理反映出供水區域之供需特性。在 94 年驗證結果顯示，北桃園部份僅 9 月 2

日期間產生較大之差異，而南桃園部份，則在三場颱風期間皆有較大之差異產生，造成這一系列誤差乃因為當時已經啟動壩頂抽水，其抽水量介於 30 萬噸至 40 萬噸間，而本研究模式則因不考慮壩頂抽水之支援量，因此在缺水時期時，會與實際支配水量產生誤差，而不考慮壩頂抽水之原因乃期望將壩頂抽水等緊急救難措施當為最後之防線，因此必須先予以忽略，藉由本模式所得之結果即可推估仍缺多

少水，不足之量再由壩頂抽水等救難措施供應，因此本模式乃將此所得之結果當做 94 年之原始狀況，用以與後續之策略模擬結果進行比較分析。

## 五、 情境模擬與結果比較

本研究將案例模擬分析分為二大主題進行模擬分析，其一為供水政策不同下之模擬分析；其二為增加儲水設施之模擬分析，詳細模擬分析過程如下：

### 1. 不同供水政策之模擬分析

本研究考量 94 年艾利颱風停水事件指出及自來水公司供水方式，所進行模擬分析之情境有三，一為原始狀況，即供一天停一天之狀況；二為供二天停一天之狀況；三為供三天停一

天之狀況，由表一結果發現，在北桃園方面，其實輪供機制之改變並未對總缺水率造成太大之影響，而在南桃園方面也無太大變化，惟獨在泰利颱風期間，供二停一之方案有較明顯之作用，供二停一之所以能夠有效降低缺水率，乃因為 9 月 1 日在其輪供機制下，剛好輪到乙區供水，因此讓乙區原本將缺水之用戶得到舒緩。因自來水公司在決定輪供時，並無法評估各用水區之水塔儲水量，因此無法判別何區較需先供水，所以導致會令人覺得先停水一方會較吃虧，但如果能夠有效利用本模式，預先模擬缺水情形，則可得知在此狀況下，其實是乙區需較先供水，如此一來即可有效的調配水源，達到策略運用的最大效益。

表一 不同方案下之缺水指標比較

方案	分區	颱風事件	總缺水率(%)	日平均缺水戶數(戶)	連續缺水天數分布(日)	末端缺水戶數(戶)
原始狀況	北桃園	海棠	29.6	84749	4	428275
		馬莎	33.4	81804	8	701351
		泰利	14.9	37022	4	173613
	南桃園	海棠	63.2	227956	4	683868
		馬莎	28	74831	6	412959
		泰利	13.7	49578	4	190725
供二停一	北桃園	海棠	30.3	83479	4	465146
		馬莎	33	80289	8	697701
		泰利	14.5	29730	4	144555
	南桃園	海棠	63.2	227956	4	683868
		馬莎	26.7	72315	6	410109
		泰利	9.4	35974	4	162361
供三停一	北桃園	海棠	30.6	88031	4	445606
		馬莎	32.4	79790	8	692841
		泰利	14.3	36935	4	194535
	南桃園	海棠	63.2	227956	4	683868
		馬莎	25.6	79594	6	504027
		泰利	12.2	39461	4	202574

以整個缺水事件觀之，其實三種策略之效益無太差異，此乃因為當可供水量固定時，無論採用何種輪供方式，其實皆無法改變其供水量及需水量，輪供主要效用是讓所供給之用水區有足夠水源儲存為戰備用水，因此較大之影響關鍵乃在於能否有效地將水量送往最需要之用水區。另外，在可供水量十分匱乏之條件下，其實三種輪供機制之效益是十分接近；而在可供水量較充足時，供二停一之輪供機制有較大之效益，綜合上述，可得知在此條件下，適時的輪供是頗為重要的；在可供水量為變動較大之條件下，則各自會產生波動，其主要關鍵乃在於各區水塔水量之判斷，亦即判斷何區該先供水是其主要關鍵。

## 2. 增加儲水設施之模擬分析

桃園地區每逢缺水事件發生時，即傳出管線末端頻頻缺水，無論使用何種策略進行改善皆無法有效改善此一情形，因此本研究擬在四大供水區域中，選取一最容易嚴重缺水之區域，加入大型淨水儲水池之設備，且以逆向供水之方法，期能改善末端缺水之問題，經原始狀況模擬得知最嚴重缺水區乃南桃園乙區，如圖 18 所示，因此於南桃乙區加入大型儲水池進行模擬分析。

當儲水池容量為 46 萬噸時，在泰利颱風之缺水事件下，其儲水量幾乎耗盡，而容量為 45 萬噸時，其儲水量完全耗盡，因此本研究將所加入之大型淨水儲水池之容量設定為 46 萬噸。另外，本研究僅假設於南桃園乙區設置大型淨水儲水池，結果可發現，加入大型淨水儲水池在每個缺水事件的總缺水率上皆有不錯的效益，在海棠颱風期間，總缺水率降低了 13.5%；在馬莎颱風期間，總缺水率降低了 12.2%；在泰利颱風期間，總缺水率降低了 7.7%，另外，由圖 21 與圖 23 顯示缺水戶數與缺水率於時空上之分布，可看出在加入大型儲水池後，每日之缺水戶數及缺水率均有下降，此表示加入大型儲水池不僅僅降低整個事件之總缺水率，更於事件內每一日皆發揮其效益。

由表二結果顯示，在連續缺水天數分布之部分，海棠颱風與馬莎颱風期間之分布是與原始狀況相同，但平均缺水戶卻銳減，由此可知連續缺水之用戶大減。若以泰利颱風事件進行分析，南桃園乙區在泰利颱風期間將屬於無缺水狀況，如圖 24 所示，南桃園於泰利颱風時之缺水狀況已大幅改善，而且因缺水天數分散，所以應該較為民眾所接受，另外，由末端缺水

表二 大型淨水儲水池模擬結果之各缺水指標

方案	颱風事件	總缺水率(%)	日平均缺水戶數(戶)	連續缺水天數分布(日)	末端缺水戶數(戶)
原始狀況	海棠	63.2	227956	4	683868
	馬莎	28	74831	6	412959
	泰利	13.7	49578	4	190725
大型儲水池	海棠	49.7	148207	4	431755
	馬莎	15.8	33445	6	162872
	泰利	6	12461	1、1	38580

戶數結果顯示，三事件之末端區水戶數總數由 1287552 戶降至 633207 戶，因此可知加入大型淨水儲水池確實可有效地改善末端缺水問題。

## 六、 結論

1. 系統動力學具有可依需求擴大系統、易於建模、可以圖表方式輸出、方便修。
2. 改模型及易於瞭解系統等之優點，因此本研究使用系統動力學來進行模擬分析，而由本研究之結果顯示系統動力學亦適合用於水資源政策之模擬分析上。
3. 輪供機制之變化對於整個缺水事件之總缺水率並無較明顯之影響，此乃因為在施行策略時無法有效評估各區水塔儲水量，因此可能造成先停水之區域就是須優先供水之區域的狀況發生，導致整體缺水率可能因此上升，故可透過本研究之模式進行預先模擬，即可得知何區該預先供水，使輪供策略在應用上更有效益。
4. 因管線前端用戶為儲存戰備用水而過度搶水，所導致末端用戶無水可用之情形，為預防此種情形一再發生，建議可於管線末端建設一大型淨水儲水池，不僅可以解決管線末端缺水問題，亦可當作自來水公司之替代水源。

## 七、 參考文獻

1. 李子倫(1999)，「颱風時期水庫操作風險分析之研究-以石門水庫為例」，國立台灣大學農業工程學系研究所碩士論文。
2. 林進財(2000)，「救旱措施對水資源供需之影響分析」，國立中央大學土木

工程研究所碩士論文。

3. 林哲曄(2005)，「桃園地區乾旱時期供水風險之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
4. 張婉茹(2006)，「應用系統動力學於多元化水資源策略模擬與分析-以台中地區為例」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
5. 蔡耀逸(2007)，「桃園地區短期缺水供需策略」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
6. Bellman, R.E., *Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, N. J. (1957).
7. Dorfman, R., "Mathematic Models: The Multi-Structure Approach, in *Design of Water Resources Systems*", edited by A. Maass, Harvard University Press, Cambridge, Mass. (1962).
8. McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales", Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim California, (1993).
9. Palmer, W.C., "Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide the New Crop Moisture Index", *Weatherwise*, 21: pp. 156-161, (1968).
10. Sehlke, G. and Jake, J., "System Dynamics Modeling of Transboundary Systems: The Bear River Basin Model" Vol. 43, No. 5-GROUND WATER-September-October : pages 722-730 (2005).
11. Stave, K.A., "A System Dynamics Model to Facilitate Public Understanding of Water Management Options in Las Vegas, Nevada", *Journal of Environmental Management*, 67 : 303-313, (2003).