

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

區域及跨區供水調度可行性之評估

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2625-Z-009-007-

執行期間：93年12月01日至94年11月30日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：張良正

共同主持人：虞國興

計畫參與人員：何智超、王鵬瑞

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 2 月 6 日

水庫供水機能檢討評估與改善對策—以石門水庫為例

—區域及跨區供水調度可行性之評估

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號： NSC 93-2625-Z-009 -007

執行期間： 2004年 12 月 01 日 至 2005年 11月 30 日

計畫主持人：張良正

共同主持人：虞國興

計畫參與人員： 何智超、王鵬瑞

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

中華民國 94 年 10 月 7 日

一、摘要

隨者生活和工業用水需求的持續上升，石門水庫的供水壓力日益增加，且近年來無論颱洪或枯旱期皆有缺水事件發生，可見該地區有必要重新檢討其水源調配系統，因此本計畫將以區域及跨區供水調度兩方面來探討可能之供水改善方案。其中區域供水調度將把埤塘納入聯合營運考量，除考量供水長期效益外，亦分析埤塘蓄水挪用供給公共用水的可行性；跨區供水調度則考量石門水庫和翡翠水庫的共同聯合營運。本計畫將建構一以線性規劃為基礎原理之水源調配模式，以分析各種可能方案之供水效益。研究成果顯示，石門水庫和翡翠水庫聯合營運必須搭配淨水廠的擴充(或新增)以及輸水管線的擴充，才能有效降低桃園地區和板新地區的缺水風險。另外由埤塘的水質分析結果得知，其水質並不符合飲用水標準(屬於丙類或丁類水體)，僅適合挪用於工業用水使用。透過本計畫探討，可了解區域水資源供水調配彈性，提升石門水庫水資源利用效率，並且維持系統的長期營運效率，以因應經濟產業繁榮發展及日益迫切的用水問題。

二、緣由與目的

由於全球氣候變遷對於台灣地區降雨的時空分佈影響越來越顯著，且隨者生活和工業用水需求的持續上升，常導致區域性供水不足的情況發生。過去常藉由水利設施之增建以提高水資源之供應量，然而由於優良壩址難尋以及環保意識的抬頭，因此本計劃擬針對現有水庫供水機能進行檢討與評估，以期藉由操作面上的變更來增加水庫的供水能力。其中石門水庫今年受到艾利颱風重創，導致桃園地區嚴重供水不足，造成許多負面影響，因此本計劃將以石門水庫為研究對象，探討缺水衝擊之因應方案。本計劃將以區域及跨區供水調度兩方面來進行探討分析。其中區域調度方面將考量區域內水庫、攔河堰以及埤塘之聯合調配運用；跨區供水調度則考量翡翠水庫(淡水河系)和石門水庫(大漢溪河系)進行聯合調配運用，目前板新地區供水改善計畫已將翡翠水庫和石門水庫的聯合調配納入考量，且石門地區之平鎮淨水廠亦有支援新竹地區用水自來水管線系統存在，顯示跨區的水資源調配以為將來水資源發展的必要趨勢。本計畫將藉由各案例的

模擬分析，探討區域及跨區供水調度之可行性，以提供水源供需調整時之參考依據。

本計劃目的為完成研究區域的水資源資料收集與建置基本檔案，並探討該區域經由可能的水源運用調配方案所產生的成果與助益，以了解區域或跨區水源聯合運用之可能增加的供水能力以及面臨缺水時之因應措施，以降低缺水風險及負面影響。

三、研究方法

本計畫之規劃構想分述於如下，其執行步驟如圖 1 所示。

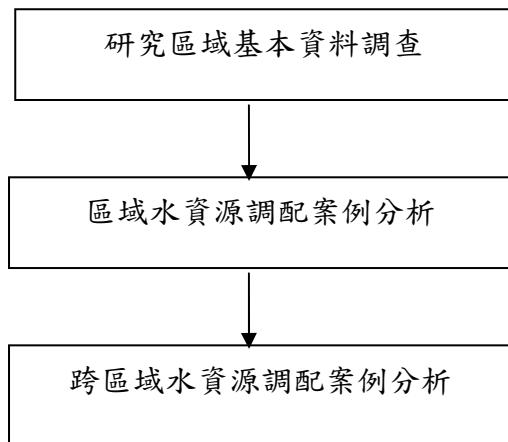


圖 1 計畫執行架構圖

3.1 研究區域基本資料調查概況

由於本計劃考量石門水庫區域與跨區域之水資源調配，因此研究區域涵括台北縣市和桃園縣市，橫跨淡水河系(大漢溪和新店溪)。以下將針對各流域之基本水文資料進行介紹：

- 大漢溪流域

大漢溪原名大嵙崁溪，位於台灣北部，為淡水河系三大主要支流之一。本流域東接新店溪流域與蘭陽溪流域，南有大甲溪流域及大安溪流域，西臨桃園沿海河系流域、鳳山溪流域及頭前溪流域。本溪發源於品田山，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、土城鎮、板橋市、新莊市、及三重市，再於江子翠匯入淡水河，幹流長 135 公里，流域面積 1,163 平方公里，平均坡降 1/37。本流域上游為山谷地，中、下游為台地及沖積平原，境內交通發達，中、下游地區工廠林立，人口密集，土地高度開發，屬大台北都會區，地位日趨重要。

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用水（「板新地區供水改善計畫」一、二期工程如於民國 95 年底完工，則板新地區之公共用水需求改由新店溪水源支應），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(集水面積 77.6 公里)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廠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。

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 65 公里長之加壓專管引入板新淨水廠處理。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流下游大安圳之水權。該流域之相關水工結構物語淨水場說明如表 1 和表 2 所示。

表 1 大漢溪流域之相關水工結構物

名稱	水源	蓄水容量 (萬噸)	用途	備註
石門水庫	大漢溪	30,912.0	灌溉、發電、 公共、給水、 防洪、觀光	有效蓄水量 25,188 萬立方公尺； 線有效蓄水庫 23,382.6 萬立方公尺 石門大圳設計流量 18.4cms
後池壩	大漢溪	16.80	灌溉、公共給 水	有效蓄水量 320 萬立方公尺； 線有效蓄水庫 218.7 萬立方公尺 桃園大圳設計流量 16.8cms 南勢溪 支流
榮華壩	大漢溪	31.63	攔砂、發電	有效蓄水量(攔砂量)1,240 萬立方 公尺
鳶山堰	大漢溪支流 洳仍溪 牡丹溪	11.574 及 3.472	公共給水	
三峽堰	三峽河	5.787	公共給水	
後村壩	大漢溪	3.946	灌溉	取水口設計流量 3.946cms
巴陵壩	大漢溪	-	攔砂	

表 2 大漢溪流域之淨水廠說明

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、八德低地地區與新 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	龍潭、大溪與復興部分地區	--
北 桃 園	大湳淨 水場	30 萬 CMD	桃園、龜山、蘆竹、大園(中 正機場一帶)、八德高地地區 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	以支援性質供水至大湳淨水 場	最大支援量 10 萬 CMD

● 新店溪流域

新店溪發源於海拔 2,123 公尺之棲蘭山，全長 82 公里，流域面積 916 平方公里，其主要支流為北勢溪與南勢溪，兩溪迂迴於上游山區之間，至龜山下游匯合後稱新店溪，河流自合流口像北曲折而行約 11 公里至青潭，此段河道逐漸轉寬，但仍屬山谷地區，此河段以上水質甚為優良，北市自來水處之取水口即位於此段。河段自清潭即出河谷而入台北盆地，包括第三支流景美溪(長 25 公里，流域面積 120 平方公里)後水質已受中度以上污染，不適用於公共給水。

中上游部分包括其支流北勢溪與南勢溪因屬於水源保護區區域，目前中上游現況水源主要由翡翠水庫、台電公司與臺北市自來水事業處取用。南勢溪中游烏來發電廠發電尾水放入南勢溪後，中下游處設有桂山電廠取水口，引取水量經發電後尾水匯入北勢溪下游，故南勢溪下游平時幾無流動水量。該流域之相關水工結構物和淨水場相關資訊如表 3 和表 4 所示。

表 3 新店溪流域之相關水工結構物

名稱	水源	蓄水容量 (萬噸)	用途	備註
翡翠水庫	北勢溪	40,600.0	公共用水 發電用水	新店溪支流年發電量 230 百萬度
阿玉壩	桶後溪	10.5	烏來發電廠	南勢溪支流
羅好壩	南勢溪	21.50	烏來發電廠	新店溪支流年發電量 130 百萬度
桂山堰	南勢溪	32.00	桂山發電廠	新店溪支流年發電量 80 百萬度
粗坑堰	新店溪	27.08	粗坑發電廠	新店溪支流年發電量 23 百萬度
直潭壩	新店溪	12.56	直潭淨水場	水源為翡翠水庫及南勢溪
青潭壩	新店溪	31.25	公館、長興 淨水場	水源為翡翠水庫及南勢溪

表 4 新店溪流域之淨水廠說明

供水淨水場	水源	設計處理能力	現況處理能力
直潭	新店溪	2,700,000	2,700,000
公館	新店溪	480,000	410,000
長興	新店溪	650,000	467,000

3.2 區域水源調配案例分析

本計畫之區域水源調配分析將考量石門水庫、攔河堰與埤塘之聯合營運，其聯合營運之系統圖如圖 2 所示。其中埤塘主要供給石門大圳和桃園大圳之部分農業用水量，其餘之農業用水則由攔河堰直接引水至圳路灌溉，本計劃所考量之埤塘和水庫之聯合營運原則如下：

(1) 引水原則

當水庫有多餘的水量時則應盡量引水存入埤塘蓄水

(2) 供水原則

當埤塘蓄水若足以供給農業所需之水量時，則由埤塘蓄水進行供水；若不足時，再由攔河堰引水進行增供。若仍無法滿足需水量時，則可視為缺水。

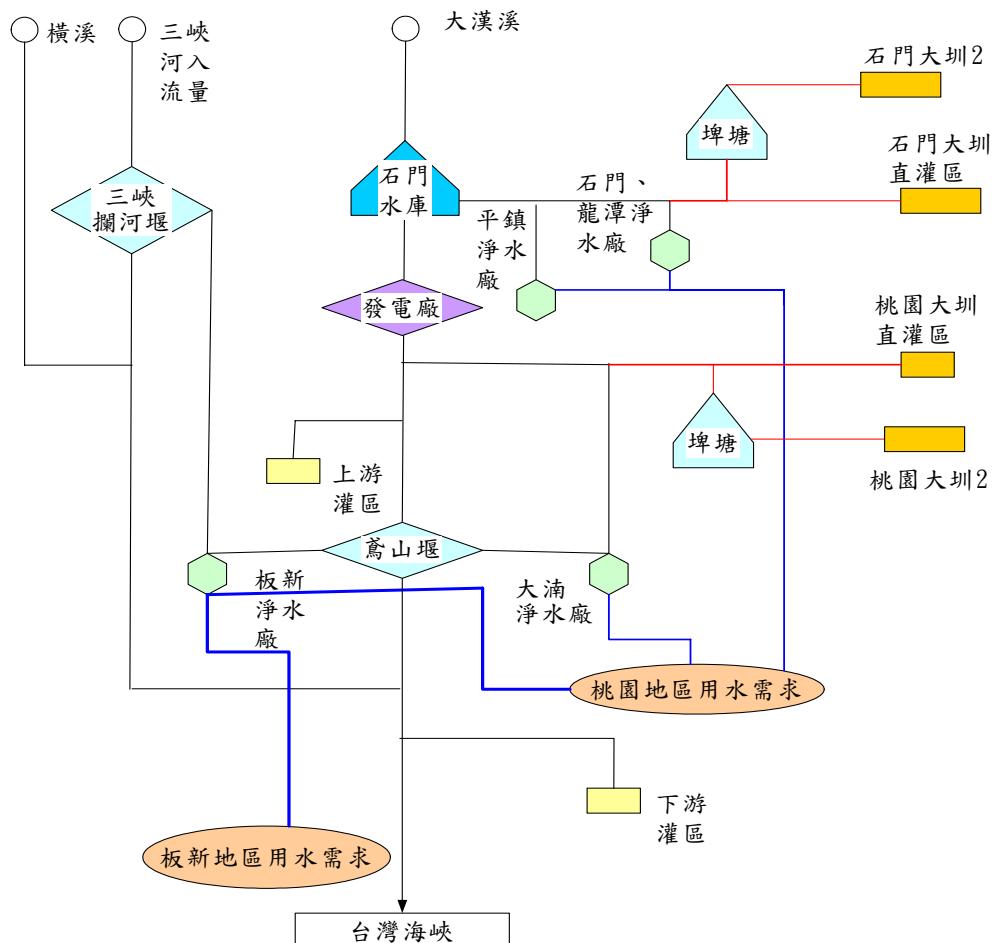


圖 2 石門水庫、埤塘和攔河堰聯合營運之系統圖

由於埤塘供水水源與幹支分渠分布複雜，可自成一供水系統，因此如何結合水庫調配系統與埤塘供水系統是本研究之重點。本計劃之處理方式將採用兩段式進行處理，首先將石門大圳所有埤塘視為一個大水庫(同理桃園大圳之埤塘亦是如此)，將這兩個新增的水庫納入水庫水源調配系統，以求得自攔河堰引入埤塘之引水量。接著，再將此引水量帶入埤塘供水系統進行模擬，以求得實際配水下可能產生之缺水情況。以下將分別介紹水庫水源調配模式與埤塘供水系統調配模式之原理與建置。

3.2.1 水庫水源調配模式建立

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，建構多水庫聯合調配營運模式。其中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，再依指標平衡原則求解組成對等水庫中個別水庫之放水量。指標平衡基本運算式如下：

$$n_{i,t} + \frac{S^*_{i,t} - O_{i,t} - LAY_{i,n,t}}{LAY_{i,(n+1),t} - LAY_{i,n,t}} = n_{j,t} + \frac{S^*_{j,t} - O_{j,t} - LAY_{j,n,t}}{LAY_{j,(n+1),t} - LAY_{j,n,t}} ; \forall i, j \in N_F$$

上式中之 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。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。

水源調配模式之演算流程可表示如圖 3 所示，模式演算步驟如下：

- (1) 輸入程式模擬所需相關資料，例如各流量資料、各水庫之基本資料、各需求節點之計劃需水量...等。
- (2) 計算 t 時刻水庫之蓄水體積(放水前)。
- (3) 以線性規劃模式計算 t 時刻各標的之配水量即農業用水供水、公共用水供水量、各河川川流量及水庫 $t+1$ 時刻之蓄水體積(放水後)。
- (4) 判斷是否已完成模擬時間，若是則進行到第 5 步驟，如果還未完成模擬時間則回到第 2 步驟，重複上述步驟 2-3 之計算，直到完成模擬時間。
- (5) 輸出相關結果。

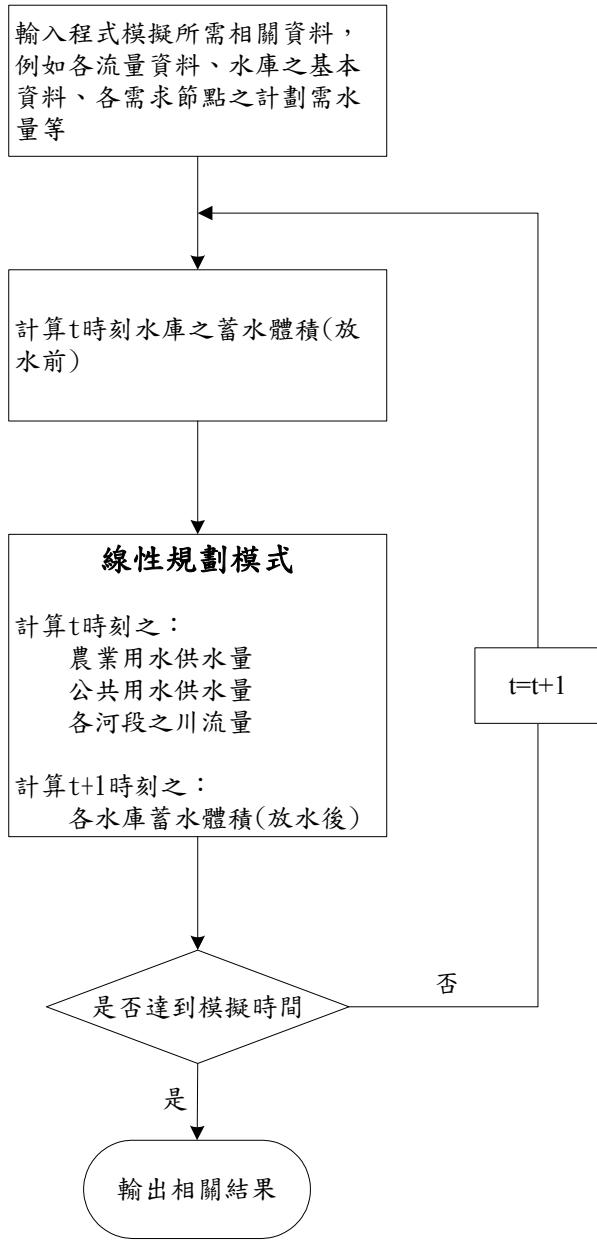


圖 3 水源調配模擬模式演算流程圖

由上圖可知線性規劃模式為本模式之計算核心，其目標函數可表示為：

$$Z = \text{Min} \left\{ \left(\sum_{i \in N_D} W_{SH,i} SH_i^t \right) + \left(\sum_{j \in N_F} W_{G,j} G_j^t \right) + \left(\sum_{k \in N_S} W_{SL,k} X_{SL,k}^t \right) \right\}$$

$$t = 1 \sim n$$

$$W_{SH,i} > W_{G,j} > W_{SL,k}$$

其中，

SH_i^t ：第 t 時刻第 i 需求節點之缺水量；

G_j^t ：第 t 時刻欲進行指標平衡放水第 j 水庫之指標平衡差值；

$X_{SL,k}^t$ ：第 t 時刻第 k 水庫節點之庫容與放水後蓄水量的差值；

$W_{SH,i}$ ：第 t 時刻第 i 需求節點缺水量之權重；

$W_{G,j}$ ：第 t 時刻欲進行指標平衡放水第 j 水庫指標平衡差值之權重；

$W_{SL,k}$ ：第 t 時刻第 k 水庫節點蓄水減少量之權重；

N_D ：需求節點之集合；

N_F ：欲進行指標平衡放水之水庫集合；

N_S ：水庫節點之集合；

t ：模擬時間；

n ：總模擬期距。

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 $\sum_{i \in N_D} W_{SH,i} SH_i^t$ 項次是為使各需求之缺水量最小， $\sum_{j \in N_F} W_{G,j} G_j^t$ 項次則是為了讓水庫指標平衡差值最小，使水庫能盡量達到指標平衡放水，而 $\sum_{k \in N_S} W_{SL,k} X_{SL,k}^t$ 項次可使各水庫之蓄水減少量最小，因本研究在限制式中對於河川生態基流量之考量為河川流量必須大於等於其生態基流量，如此當某時刻系統之水源可使各標的需水量均滿足而仍有多餘水源的情況下，河川流量只要大於等於其生態基流量皆為最佳解(亦即河川流量有多種最佳解)，為同時考量河川流量需滿足其生態基流量且不造成額外的水庫蓄水量浪費之下，方於目標函數中加入此一項次。目標函數中的 $W_{SH,i} > W_{G,j} > W_{SL,k}$ 為各目標欲滿足之先後順序，其權重值僅遵循著其大小關係即可。

另外為配合本計劃設定之水庫和埤塘聯合營運原則，對於水庫節點蓄水減少量權重 $W_{SL,k}$ 之設定為 $W_{SL,石門水庫} > W_{SL,埤塘}$ ，以確保有多餘的水量時，會

盡量蓄存在水庫中，當水庫有溢流量時，才會把水蓄存在埤塘內。且為確保農業用水先由埤塘供應，不足量再由水庫供應，由於本模式之放水規則為高指標先放水，因此只要把埤塘之基本指標設定比水庫基本指標高即可滿足埤塘蓄水先使用之條件。

限制式則包含：

1. 質量平衡式

(1) 蓄水節點（水庫）

$$S_i^{t+1} = S_i^t + \sum I_i^t - E_i^t - \sum X_i^t - OF_i^t$$

$$\forall i \in N_S, t = 1 \sim n$$

其中，

S_i^t ：第 t 時刻初第 i 水庫節點之蓄水量；

S_i^{t+1} ：第 $t+1$ 時刻初第 i 水庫節點之蓄水量；

I_i^t ：第 t 時刻第 i 水庫節點之入流量；

E_i^t ：第 t 時刻第 i 水庫節點之蒸發量；

X_i^t ：第 t 時刻第 i 水庫節點之放水量；

OF_i^t ：第 t 時刻第 i 水庫節點之溢流量；

N_S ：水庫節點之集合；

t ：模擬時間；

n ：總模擬期距。

(2) 非蓄水節點（淨水場、攔河堰、分水工、河川匯/分流點）

A. 不考量農業迴歸水

$$\sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t - \sum_{k \in \Phi} X_{j,k}^t = 0$$

$$\forall j \in N_q, t = 1 \sim n$$

B. 考量農業迴歸水

$$\sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t + \sum_{m \in N_q} W_m a_{m,j}^t = \sum_{k \in \Phi} X_{j,k}^t + \sum_{m \in N_A} a_{j,m}^t$$

$$\forall j \in N_q, \quad \forall m \in N_A, \quad t = 1 \sim n$$

其中，

$X_{i,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 節點流入第 j 節點之水量；

$X_{j,k}^t$ ：第 t 時刻第 j 節點流出至第 k 節點之水量；

$a_{m,j}^t$ ：第 t 時刻第 m 節點流至 j 節點之農業實際放水量；

$a_{j,m}^t$ ：第 t 時刻第 j 節點流至 m 節點之農業實際放水量；

W_m ：第 m 農業需求節點之迴歸水比例；

Λ ：流入第 i 節點之節點集合；

Φ ：第 j 節點可流至之節點集合；

N_q ：非蓄水節點之集合；

N_A ：農業需求節點之集合；

t ：模擬時間；

n ：總模擬期距。

2. 水庫之指標平衡式

$$\frac{S_i^t - \sum_{k \in N_i} X_{i,k}^t - LAY_{i,n}^t}{LAY_{i,(n+1)}^t - LAY_{i,n}^t} + G_F^t = \frac{S_j^t - \sum_{l \in N_J} X_{j,l}^t - LAY_{j,n}^t}{LAY_{j,(n+1)}^t - LAY_{j,n}^t}$$

$$\forall i \in N_S, \quad \forall j \in N_S, \quad \forall F \in N_F, \quad t = 1 \sim n$$

其中，

$S_{i(j)}^t$ ：第 t 時刻第 $i(j)$ 水庫之可利用蓄水量；

$X_{i(j),k(l)}^t$ ：第 t 時刻第 $i(j)$ 水庫節點流出至第 $k(l)$ 需求節點之需求引水量；

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

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

蓄水量；

G_F^t : 第 t 時刻欲進行指標平衡放水第 F 水庫之指標平衡差值；

N_S : 水庫節點之集合；

N_I : 第 i 水庫節點流出至第 k 需求節點之集合；

N_J : 第 j 水庫節點流出至第 l 需求節點之集合；

N_F : 欲進行指標平衡放水之水庫集合；

t : 模擬時間；

n : 總模擬期距。

3. 其他等式及不等式

(1) 蓄水節點（水庫）

$$S_{d,i} \leq S_i^t \leq S_{u,i} ; \quad \forall i \in N_S , \quad t = 1 \sim n$$

其中，

S_i^t : 第 t 時刻第 i 水庫之蓄水量；

$S_{d,i}$: 第 i 水庫之呆水位；

$S_{u,i}$: 第 i 水庫之滿水位；

N_S : 水庫節點之集合；

t : 模擬時間；

n : 總模擬期距。

(2) 需求節點

A. 公共需求

$$D_j^t = \sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t + SH_j^t ; \quad \forall j \in N_D , \quad t = 1 \sim n$$

其中，

D_j^t : 第 t 時刻第 j 需求節點之公共需求量；

$X_{i,j}^t$: 第 t 時刻第 i 節點流入第 j 需求節點之水量；

SH_j^t ：第 t 時刻第 j 需求節點之缺水量；

Λ ：流入第 j 需求節點之節點集合；

N_D ：公共需求節點之集合；

t ：模擬時間；

n ：總模擬期距。

B. 農業需求

a. 不考量農業迴歸水

$$A_j^t = \sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t + SH_j^t ; \quad \forall j \in N_A , \quad t = 1 \sim n \quad [2.14]$$

b. 考量農業迴歸水

$$\begin{aligned} A_j^t &\leq \sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t + SH_j^t + \sum_{i \in \Lambda} W_j X_{i,j}^t \\ \forall j \in N_A , \quad t &= 1 \sim n \end{aligned} \quad [2.15]$$

其中，

A_j^t ：第 t 時刻第 j 需求節點之農業需求量；

$X_{i,j}^t$ ：第 t 時刻由 i 節點流入第 j 需求點之水量；

SH_j^t ：第 t 時刻第 j 需求節點之缺水量；

W_j ：第 j 需求節點之農業迴歸水比例；

Λ ：流入第 j 需求節點之節點集合；

N_A ：農業需求節點之集合；

t ：模擬時間；

n ：總模擬期距。

(3) 取水節點（淨水場）

$$0 \leq X_{U,i}^t \leq U_i^t ; \quad \forall i \in N_P , \quad t = 1 \sim n$$

其中，

$X_{U,i}^t$ ：第 t 時刻第 i 取水節點之取水量；

U_i^t ：第 t 時刻第 i 取水節點之最大處理量；

N_P ：取水節點之集合；

t ：模擬時間；

n ：總模擬期距。

(4) 生態基流量

$$R_{i,j}^t \geq \min\left(\sum_{m \in \Pi} I_m^t, B_{i,j}^t\right), \quad t = 1 \sim n$$

其中，

$R_{i,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 節點流至第 j 節點之河川川流量；

I_m^t ：第 t 時刻第 i 節點之上游第 m 天然入流量；

$B_{i,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 節點流至第 j 節點之生態基流量；

Π ：第 i 節點上游天然入流量之集合；

t ：模擬時間；

n ：總模擬期距。

(5) 農業用水量

$$a_{i,j}^t \leq \sum_{m \in \Pi} I_m^t ; \quad \forall j \in N_A , \quad t = 1 \sim n$$

其中，

$a_{i,j}^t$ ：第 t 時刻第 i 節點流至第 j 節點之農業實際放水量；

I_m^t ：第 t 時刻第 j 節點之上游第 m 天然入流量；

Π ：第 j 節點上游天然入流量之集合；

N_A ：農業需求節點之集合；

t ：模擬時間；

n ：總模擬期距。

3.2.2 埤塘供水調配模式建立

本研究所選定之研究區域為桃園農田水利會觀音工作站所轄之桃園大圳的第 11 號支線灌溉區域及石門農田水利會中壠及過嶺工作站所轄之石門大圳的中壠與過嶺支渠，灌溉區域位於桃園縣境內。

1. 桃園大圳：第 11 號支線位於觀音工作站所轄之灌溉區域內，其管轄之灌溉區域可分為第 10 支線與第 11 支線灌溉區域，轄區設有埤塘共計 36 口。
2. 石門大圳：中壠與過嶺支渠轄區設有埤塘數分別計有 20 口及 87 口。

本計畫將採用網流法以進行埤塘灌溉系統水源調配優選模式之公式化工作。而網流系統圖是將實際的灌溉系統繪製成灌溉網路圖，其元件定義如圖 4 所示（參考：洪惠祥，1988；簡傳彬，2000）。

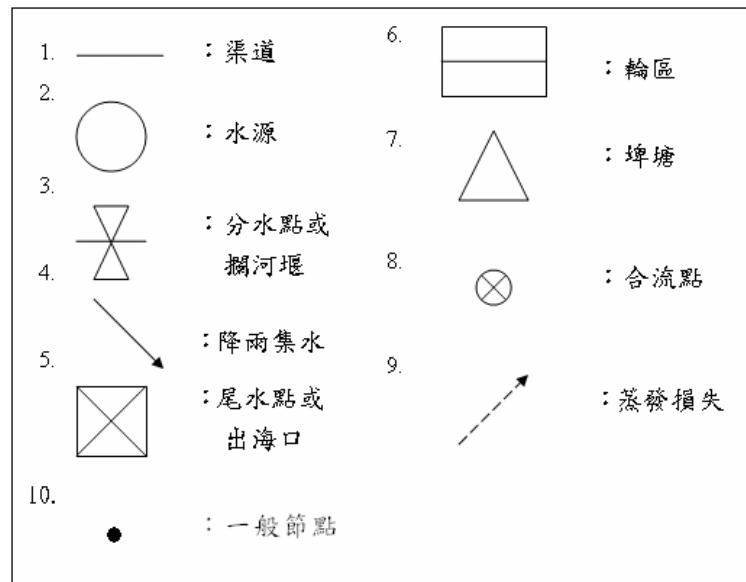


圖 4 灌溉系統圖之元件定義

優選模式之公式化包括目標函數及限制式部分，茲說明如下：

(一) 目標函數

本研究將以系統的最小總缺水量為目標函數。其目標函數如下列諸式：

$$\text{Min. } \sum_t [\sum_i w_f S_{f,t}]$$

$$S_{f,t} = \sum_f (D_{f,t} - q_{f,t} - P_{f,t}^e + O_{f,t})$$

$$P_{f,t}^e = C_e h_t A_f$$

$$q_{f,t} = C_f^C q_{f,t}^C + C_f^L q_{f,t}^L + C_f^W q_{f,t}^W$$

其中， $D_{f,t}$ 為輪區 f 在時間 t 的田間需水量； $q_{f,t}$ 為輪區 f 在時間 t 的入流量； $S_{f,t}$ 為輪區 f 在時間 t 的缺水量； $P_{f,t}^e$ 為輪區 f 在時間 t 的有效降雨量； $O_{f,t}$ 為輪區 f 在時間 t 的為輪區溢流量； $q_{f,t}^R$ 為回歸水直灌至輪區 f 的水量； $q_{f,t}^L$ 為大圳直灌水量； $q_{f,t}^W$ 為攔河堰直灌至輪區 f 的水量； $q_{f,t}^C$ 為埤塘供給至輪區 f 的水量； $q_{f,t}^{ou}$ 為上游輪區流出的水量； C 為供水乘數； w_f 為輪區缺水量的權重係數； C_e 為有效降雨係數； h_t 為時間 t 的降雨深度； A_f 為輪區 f 的面積。

(二)限制式

優選模式之限制式將分為輪區需水節點、埤塘節點與一般節點、渠道輸水量限制及放水總量限制式，茲說明如下：

- 輪區需水節點：輪區需水量必須大於等於輪區入流量加上有效降雨量後扣除溢流量。
- 埤塘節點及一般節點：滿足連續方程式。
- 渠道輸水量限制：小於其渠道最大流量限制。
- 放水總量限制式：各輪區由大圳支線入流的總量加上大圳支線入流至埤塘的總量，應小於或等於大圳放至支線的總放水量。

3.2.3 區域水源調配模擬結果

(一)水庫水源調配模擬結果

本計劃考量不同目標年需求下(民國 100 年和民國 110 年)以及板新淨水場供應北桃園地區之輸水管線擴充(10 萬噸/日和 30 萬噸/日)之供水效益，因此共有四種方案，各方案之模擬結果如表 5 和表 6 所示。由模擬結果得知，就長期效益而言，埤塘的加入可以增加農業供水量每年 302~675 萬噸，另外也使公共用水年缺水指數降至 1.2058~1.9983，可稍微減輕板新和桃園之公共用水壓力(但效應不大)。另外由結果亦可發現，當不考量輸水管線擴充(10 萬噸/日)時，北桃園公共用水年缺水指數明顯偏高，若考量管線擴充時，則年 SI 會降至 0.164 和 0.273，顯示管線擴充策略對於北桃園的缺水問題有明顯的改善，但南桃園和板新地區的年缺水指數和缺水量則仍偏高。各方案模擬後所得之埤塘引水量和埤塘蓄水量變化如圖 5~圖 8 所示。由圖可知，不同方案下埤塘引水量和埤塘蓄水量變化並不
大，因此埤塘確實可視為穩定性的經常性供水水源，該計算求得之引水量將代入埤塘供水調配系統中，再進行較細部之模擬。

表 5 區域水源調配模擬成果表(年缺水指數)

	案例別	北桃園 年缺水指數	南桃園 年缺水指數	板新地區 年缺水指數	公共用水 年缺水指數	農業用水 年缺水指數
石門水庫與 埤塘聯合營 運	目標年 100 年,管線限 制 10 萬噸 (方案一)	3.1817	1.0724	0.94	1.2058	0.4326
	目標年 110 年, 管線限制 10 萬噸 (方案二)	10.566	2.583	0.9925	2.7927	0.4293
	目標年 100 年, 管線限制 30 萬噸 (方案三)	0.164	1.201	1.6307	1.0044	0.4599
	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸 (方案四)	0.2763	3.0024	3.0667	1.9983	0.5005
石門水庫單 獨營運	目標年 100 年, 管線限制 10 萬噸	3.4267	1.4215	1.2778	1.5173	0.5373
	目標年 110 年, 管線限制 10 萬噸	10.8982	3.0559	1.3003	3.1553	0.5336
	目標年 100 年, 管線限制 30 萬噸	0.2642	1.6462	1.899	1.2844	0.557
	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸	0.4066	3.6384	2.8038	2.1753	0.6622

表 6 區域水源調配模擬成果表(年平均缺水量，單位萬噸/年)

	案例別	北桃園 年平均缺水量	南桃園 年平均缺水量	板新地區 年平均缺水量	公共用水 年平均缺水量	農業用水 年平均缺水量
石門水庫與 埤塘聯合營 運	目標年 100 年,管線限 制 10 萬噸	3328.68	3021.76	2117.42	8467.86	1881.58
	目標年 110 年, 管線限制 10 萬噸	7418.99	5401.01	2179.26	14999.25	1876.11
	目標年 100 年, 管線限制 30 萬噸	484.96	3163.06	3477.06	7125.08	1899.77
	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸	835.02	5734.61	5409.96	11979.59	2031.91
石門水庫單 獨營運	目標年 100 年, 管線限制 10 萬噸	3232.51	3190.11	2313.78	8736.41	2184.00
	目標年 110 年, 管線限制 10 萬噸	7069.39	5455.38	2335.32	14860.09	2178.04
	目標年 100 年, 管線限制 30 萬噸	552.07	3509.78	3166.06	7227.91	2357.75
	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸	982.91	5850.52	4340.44	11173.87	2646.03

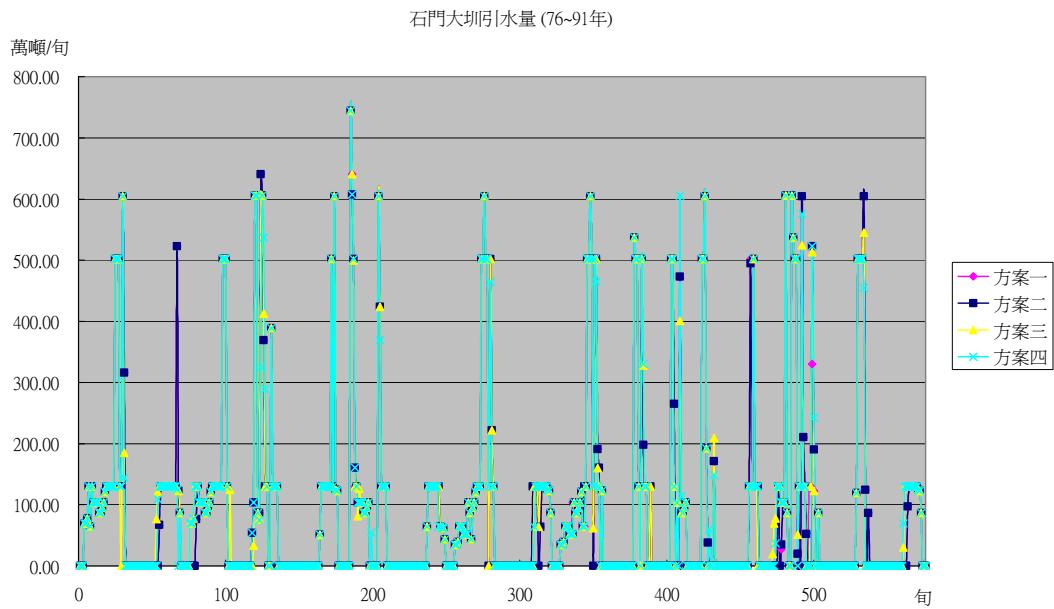


圖 5 石門大圳埠塘引水量

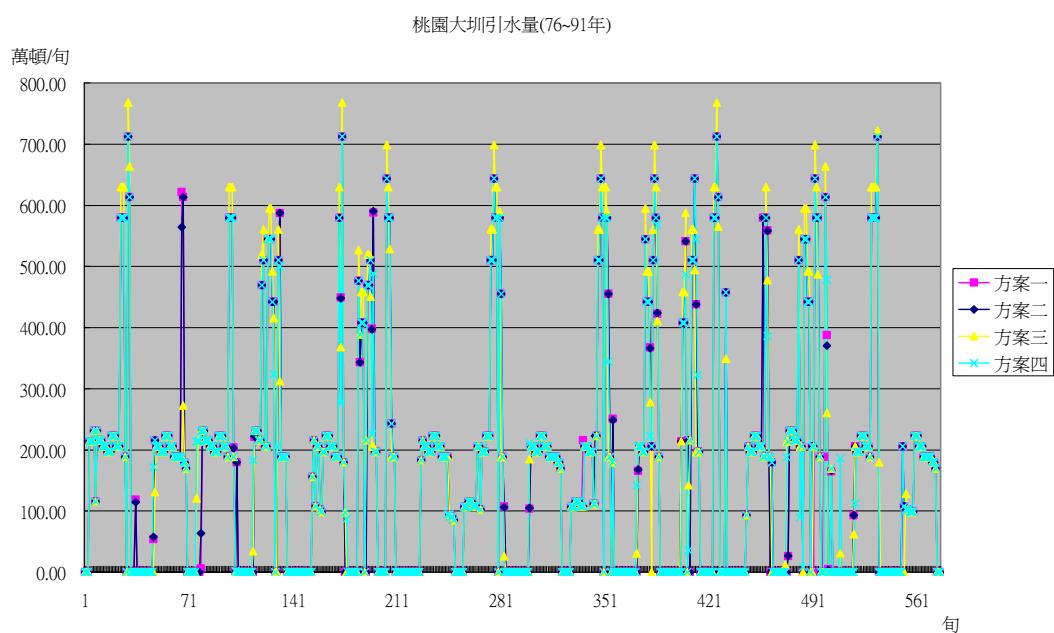


圖 6 桃園大圳埠塘引水量

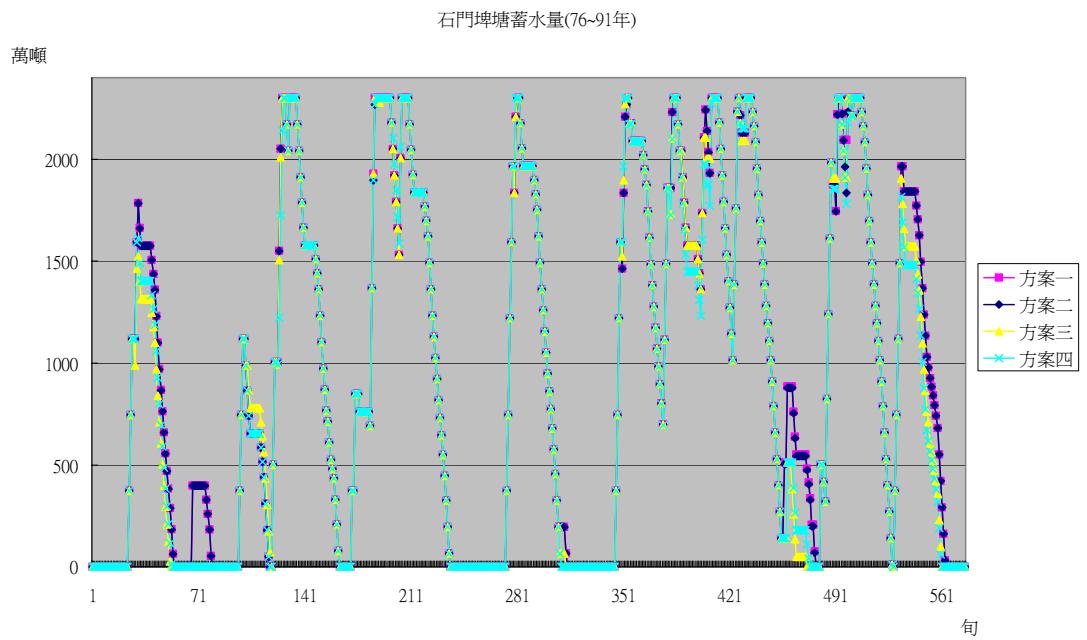


圖 7 石門大圳埤塘蓄水量

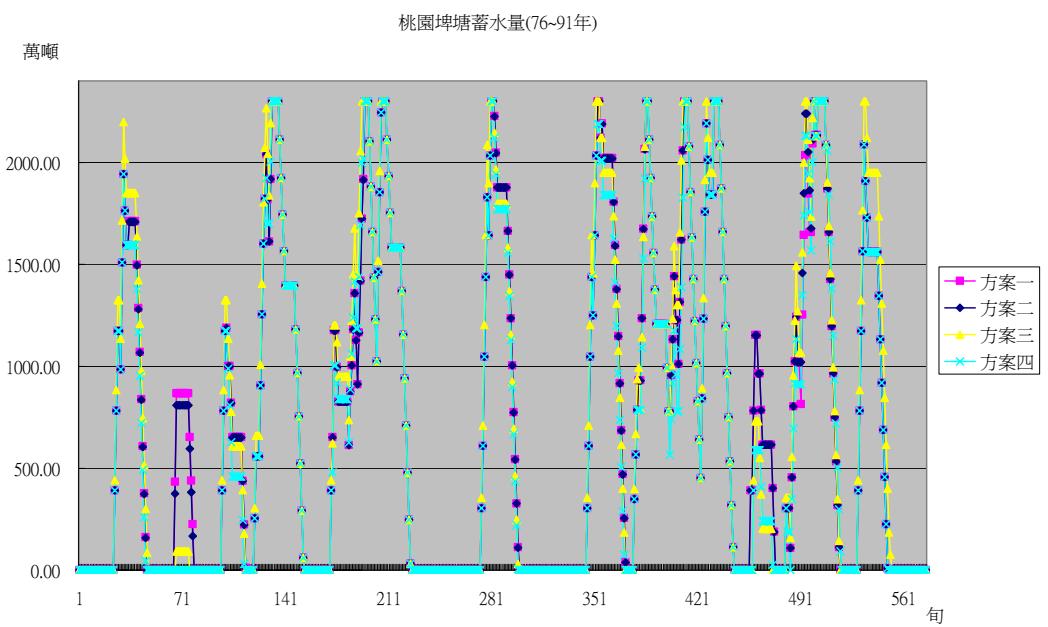
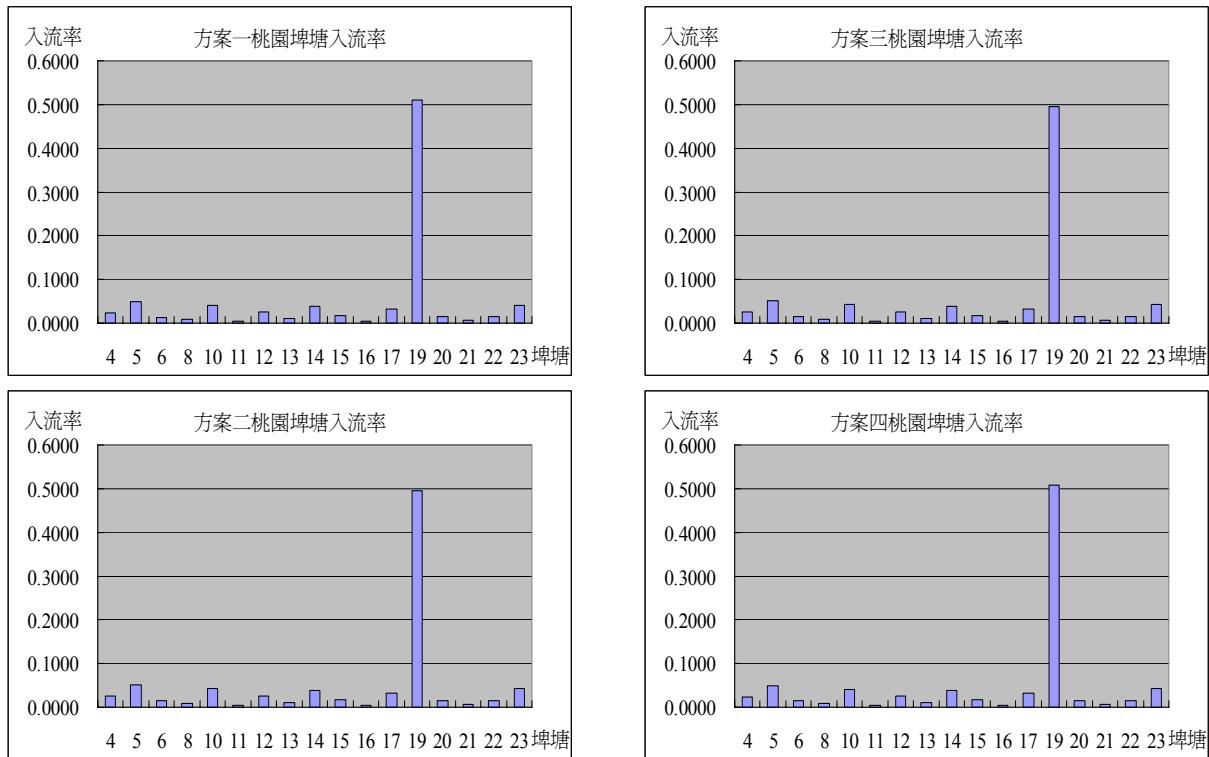


圖 8 桃園大圳埤塘蓄水量

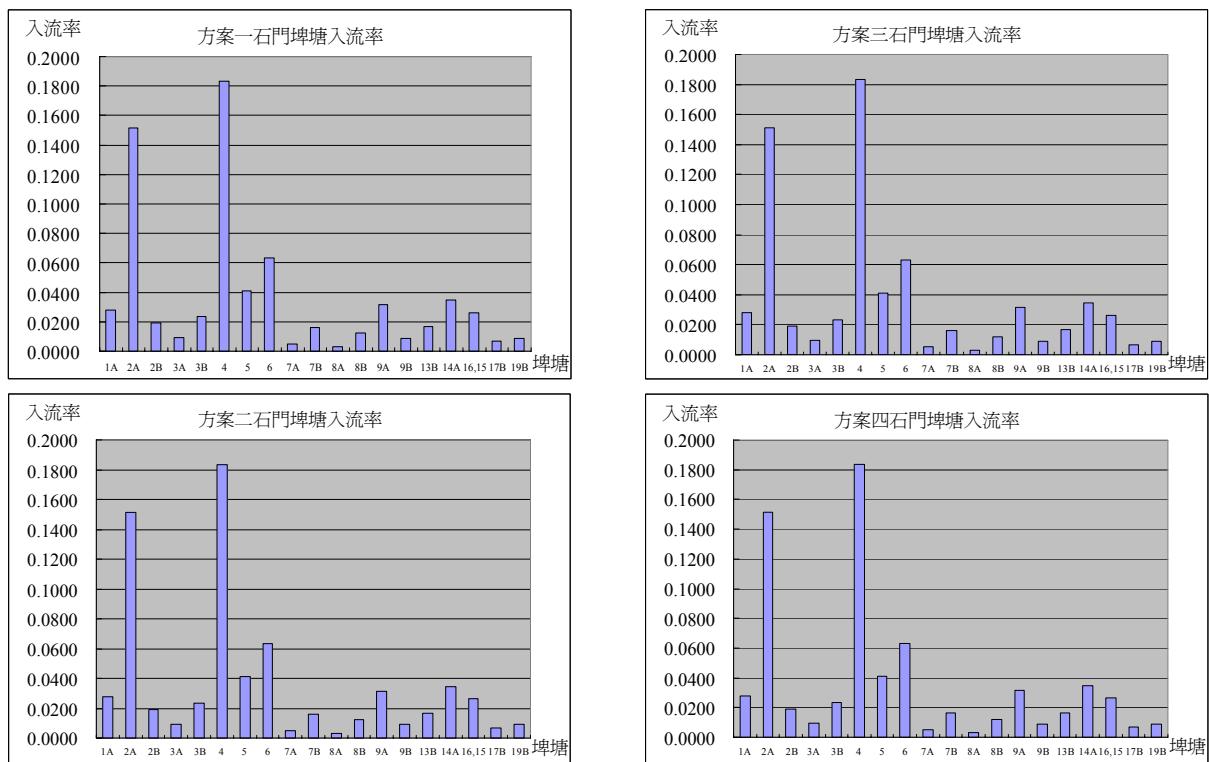
(二) 埤塘供水調配模擬結果

由水庫水源調配模式求得之埤塘引水量，代入本模式模擬 1987 年至 2002 年各埤塘之資料，分別針對入流率及缺水率進行分析，各方案結果如圖 9 至圖 12 所示。由分析結果可知：

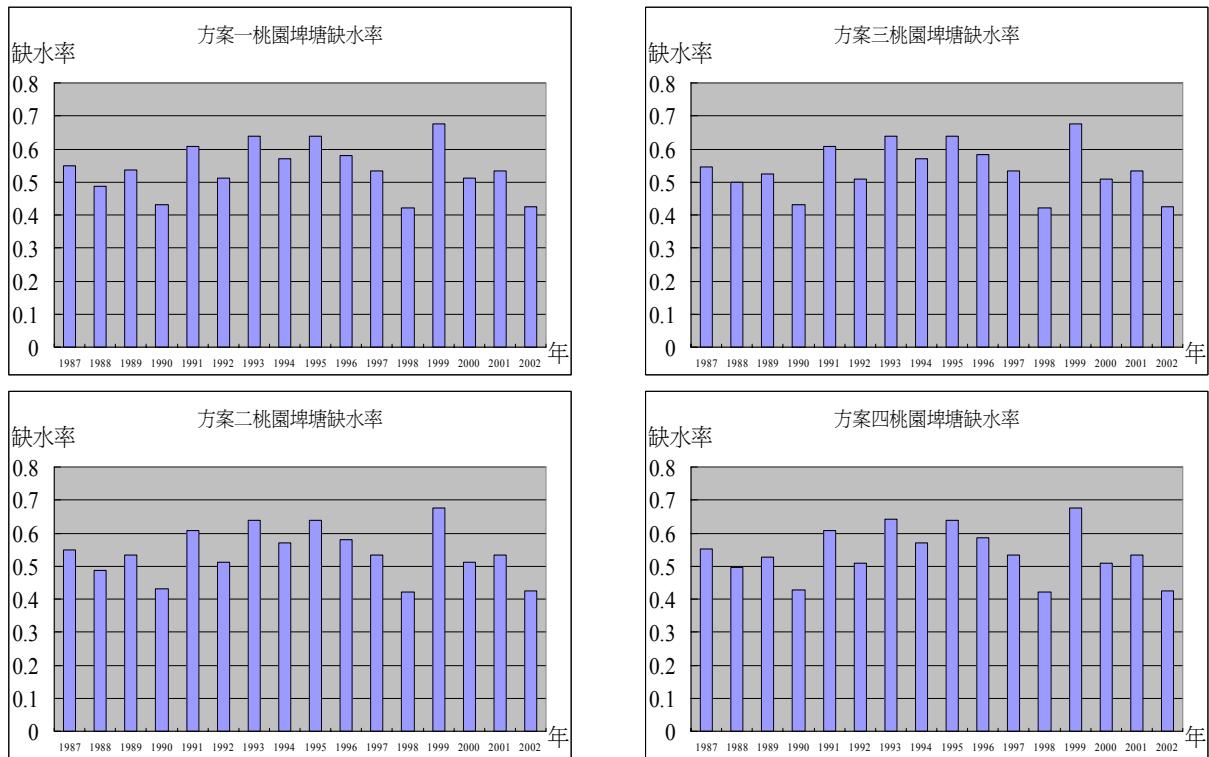
1. 由模式所呈現的結果可以知道，埤塘所位於灌溉系統的位置及埤塘容量的大小對於其埤塘入流率有很重要的影響。
2. 埤塘位於靠近灌溉系統位置中心處，且容量相對於其他埤塘較大者，其入流率會較其他埤塘的入流率為大；反之埤塘若位於系統末端或前端處且容量相對於其他埤塘較小者，其入流率會較其他埤塘的入流率為小。
3. 由模式優選結果發現缺水輪區通常位於系統末端，若增加(如擴大或浚深)其負責輪區灌溉的埤塘容量，預期將減少其輪區缺水量。



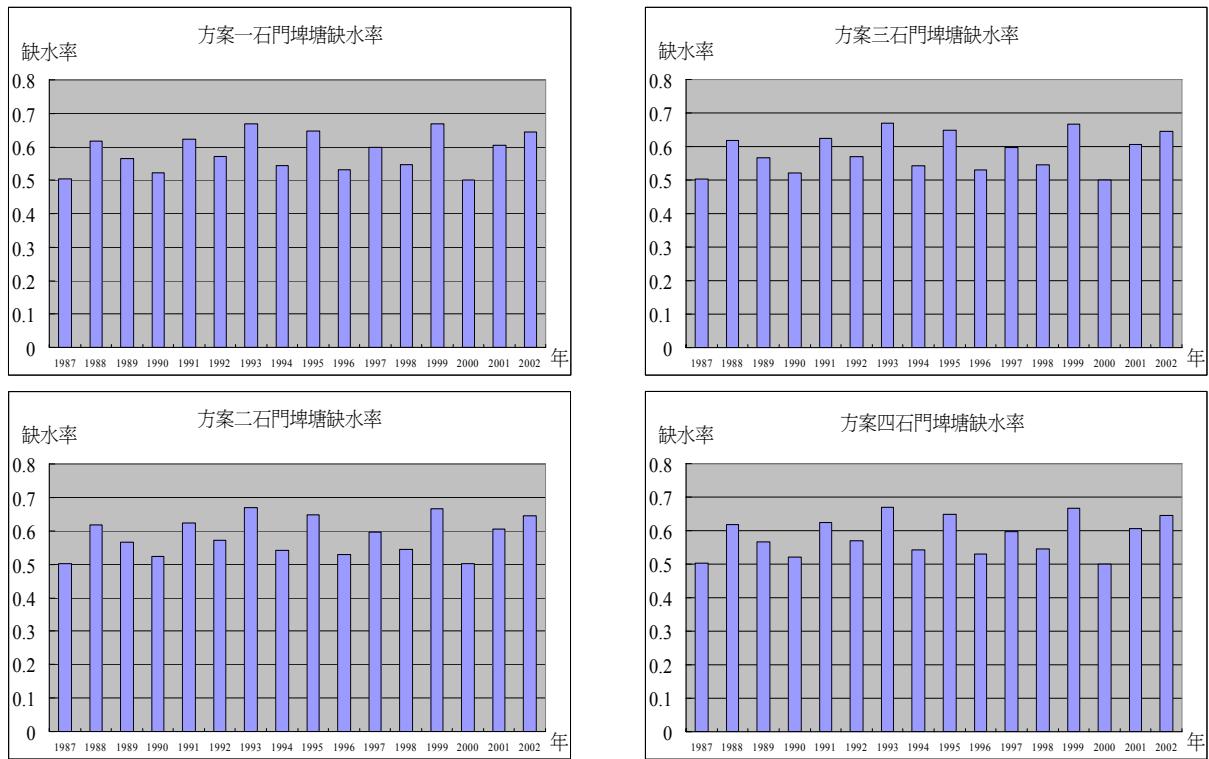
附圖 1 桃園大圳各埤塘四方案入流率分析結果圖



附圖 2 石門大圳各埤塘四方案入流率分析結果圖



附圖3 桃園大圳四方案年缺水率分析結果圖



附圖4 石門大圳四方案年缺水率分析結果圖

(三) 埤塘移用或改善策略分析

桃園地區雖埤塘口數眾多，但分布範圍廣且容量多寡不一，若欲運用則須以管線連結，且在土地取得與工程設置所費不貲，因此，就經濟效益而言，應僅考量淨水場附近，且具有相當蓄水容量以上之埤塘。

若須滿足民生用水之需求，則需針對水量及水質兩方面進行經濟效益評估，本計畫將桃園地區分為北桃園及南桃園兩地區，並分別依水量及水質兩方面進行評估，其評估結果分別說明如下：

◆ 水量之評估

(1) 北桃園之方案

北桃園地區主要有大湳淨水場，以大湳淨水場為中心，將淨水場方圓 1 公里內之 7 口埤塘列為評估範圍，其埤塘原總有效蓄水量為 86.85 萬噸，經以水深 5 公尺為原則進行改善，則改善後之埤塘總有效蓄水量增加為 144.75 萬噸，共計增加 57.9 萬噸，其詳細資料如表 6 所示。

表 6 北桃園方案之埤塘資料

會別	埤塘編號	埤塘面積 (公頃)	有效蓄水量 (萬噸)	埤塘改善後(浚深 5 公尺)之有效蓄水量 (萬噸)
桃園水利會	1-4	11	33	55
石門水利會	員樹林 45A	3.45	10.35	17.25
石門水利會	員樹林 45B	4	12	20
石門水利會	員樹林 44A	1	3	5
石門水利會	員樹林 44B	4.3	12.9	21.5
石門水利會	員樹林 42B	2.3	6.9	11.5
石門水利會	員樹林 21A	2.9	8.7	14.5
合 計		28.95	86.85	144.75

(2) 南桃園之方案

南桃園地區內有石門淨水場及平鎮淨水場，其中，石門淨水場內挑選出埔心農場內之埤塘進行評估，原埤塘面積為 2.3 公頃，有效蓄水量為 6.9 萬噸，經浚深 5 公尺進行埤塘改善後，埤塘之有效蓄水量增加為 11.5 萬噸；平鎮淨水場則挑選出龍潭大池之埤塘進行評估，原埤塘面積為 10 公頃，有效蓄水量為 30 萬噸，經浚深 5 公尺進行埤塘改善後，埤塘之有效蓄水量增加為 50 萬噸。

2. 水質之評估

桃園、石門農田水利會埤塘(100 口)水質與飲用水質標準之比較如圖 13 所示，其水質均不甚理想，係屬於丙類或丁類水體，僅適合工業用水。

因此於缺水時期，埤塘蓄水由現有渠道供給位處標高較低的工業區如大園、大潭及觀音等工業用水之需求，可減輕自來水之需求，並將自來水完全供應於民生用水以增加缺水時期之民生供水。

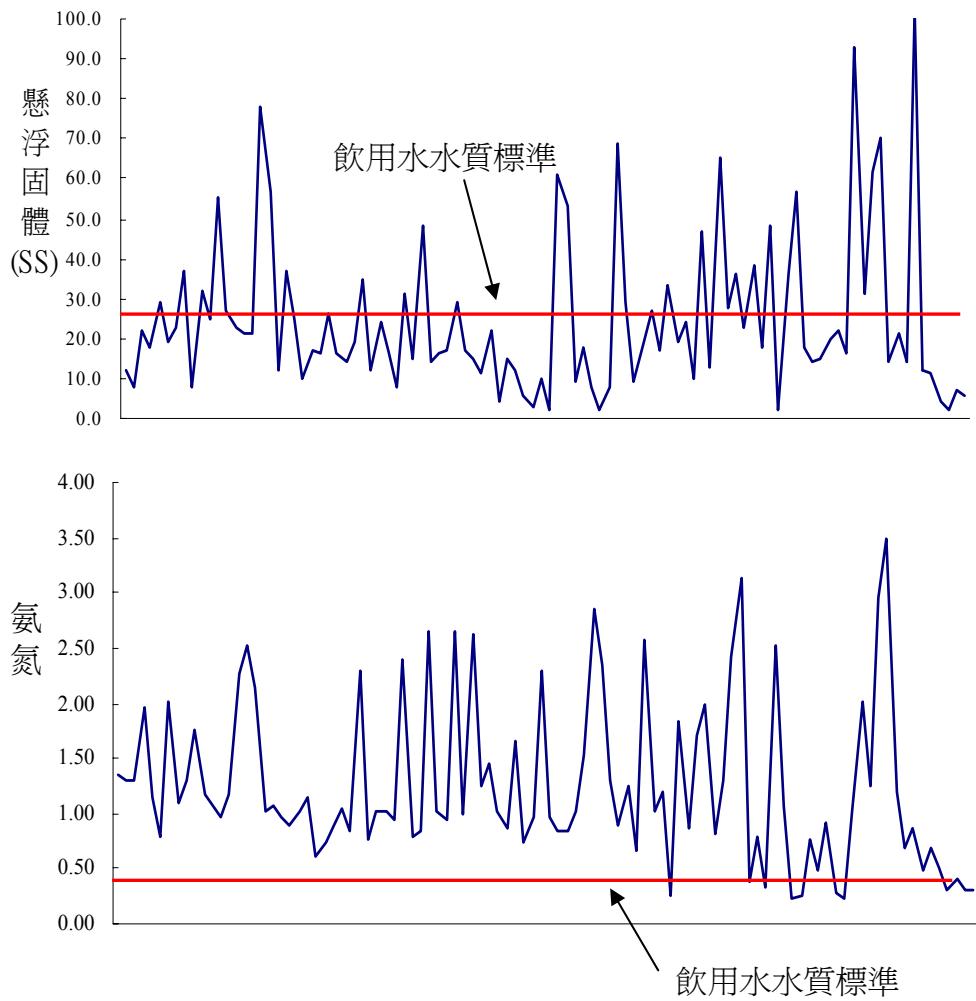


圖 13 桃園、石門農田水利會埤塘(100 口)水質與飲用水水質標準之比較

3.3 跨區域水源調配案例分析

本計畫之跨區水源調配除考量石門水庫、攔河堰與埤塘之聯合營運，板新地區之供水亦考量由翡翠水庫來共同支援，其聯合營運之系統圖如圖 14 所示。其聯合營運原則乃參考「板新地區二期改善計畫」之原則，板新地區用水由翡翠水庫優先供應，若仍有不足，再由板新淨水廠(石門水庫系統)供應。本計畫共模擬六個案例，除了考量不同目標年外(民國 100 年和 110 年)，亦考量板新淨水廠供給桃園地區之輸水管線擴充(10 萬噸/日和 30 萬噸/日)以及平鎮淨水廠的處理能力擴充(60 萬噸/日和 80 萬噸/日)，模擬結果如表 7 和表 8 所示。由表得知輸水管線和淨水場的容量擴充可明顯減緩南桃園和北桃園之缺水壓力，由模擬結果亦得知

石門和翡翠水庫的聯合營運的確可以有效降低桃園和板新地區之缺水情況，且並不影響台北地區之供水(台北的年缺水指數和年平均缺水量在各方案中皆為 0)，因此板新二期計劃的完成，將有助於降低未來桃園和板新地區所面臨的缺水風險。

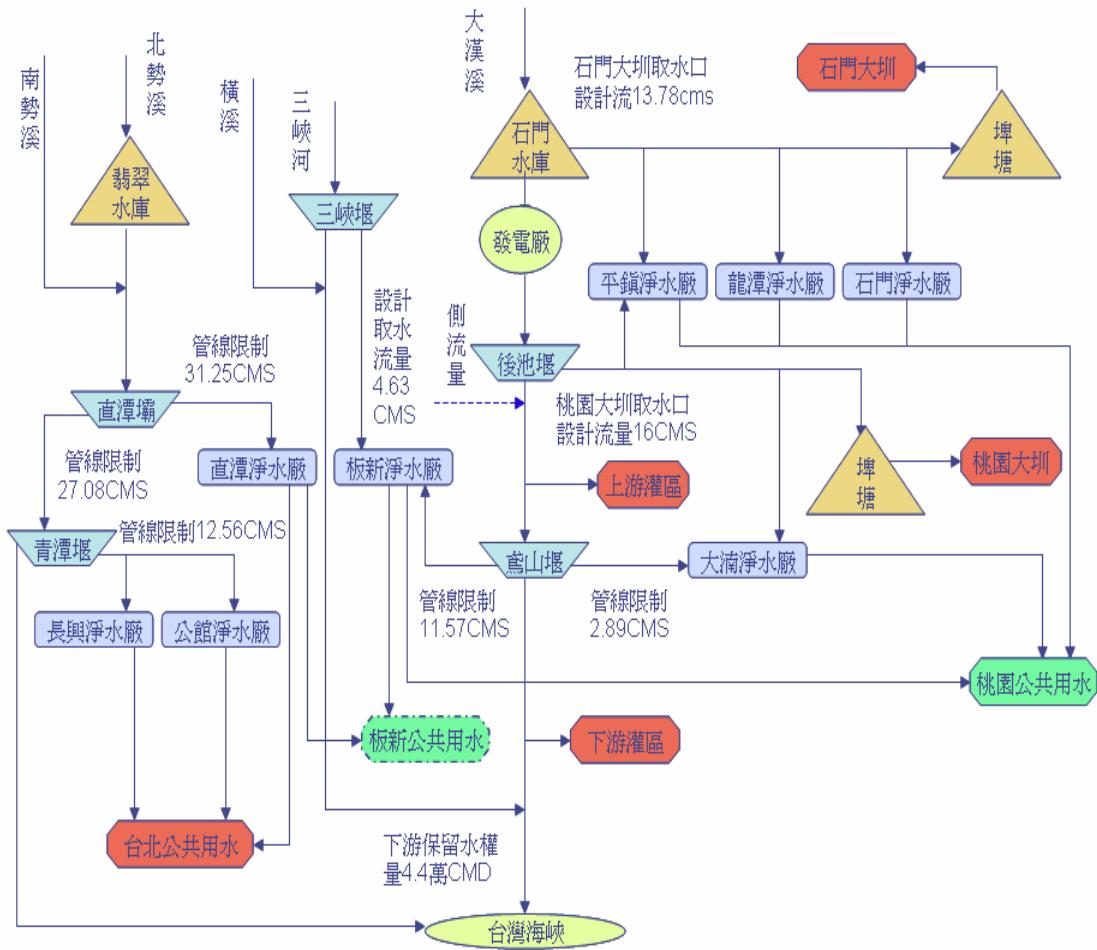


圖 14 石門水庫與翡翠水庫聯合營運之系統圖

表 7 跨區水源調配之各方案模擬結果(年缺水指數)

	案例別	北桃園 年缺水指數	南桃園 年缺水指數	板新地區 年缺水指數	台北地區 年缺水指數	公共用水 年缺水指數	農業用水 年缺水指數
石門水庫和 翡翠水庫與 埤塘聯合營 運	目標年 100 年, 管線限制 10 萬噸 平鎮淨水廠 60 萬噸/日	2.899	0.627	0.020	0	0.460	0.116
	目標年 110 年, 管線限制 10 萬噸 平鎮淨水廠 60 萬噸/日	10.183	1.978	0.019	0	1.727	0.116
	目標年 100 年, 管線限制 30 萬噸 平鎮淨水廠 60 萬噸/日	0.069	0.713	0.024	0	0.161	0.145
	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸 平鎮淨水廠 60 萬噸/日	0.184	2.457	0.039	0	0.495	0.249
	目標年 100 年, 管線限制 30 萬噸 平鎮淨水廠 80 萬噸/日	0.120	0.325	0.029	0	0.127	0.176
	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸 平鎮淨水廠 80 萬噸/日	0.2467	0.6446	0.0661	0	0.2655	0.4579

石門水庫與 埤塘聯合營 運	目標年 100 年,管線限制 10 萬噸	3.1817	1.0724	0.94	-	1.2058	0.4326
	目標年 110 年, 管線限制 10 萬噸	10.566	2.583	0.9925	-	2.7927	0.4293
	目標年 100 年, 管線限制 30 萬噸	0.164	1.201	1.6307	-	1.0044	0.4599
	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸	0.2763	3.0024	3.0667	-	1.9983	0.5005

表 8 跨區水源調配之各方案模擬結果(年平均缺水量，單位：萬噸/年)

	案例別	北桃園 年平均缺水量	南桃園 年平均缺水量	板新地區 年平均缺水量	台北地區 年平均缺水量	公共用水 年平均缺水量	農業用水 年平均缺水量
石門水庫 和翡翠水 庫與埤塘 聯合營運 (石門與翡 翠依指標 平衡供水)	目標年 100 年， 管線限制 10 萬噸 平鎮淨水廠 60 萬噸/日	2989.40	2236.19	123.22	0	5348.81	453.35
	目標年 110 年， 管線限制 10 萬噸 平鎮淨水廠 60 萬噸/日	6832.66	4498.18	121.49	0	11452.32	453.22
	目標年 100 年， 管線限制 30 萬噸 平鎮淨水廠 60 萬噸/日	139.85	2313.52	135.58	0	2588.95	505.44
	目標年 110 年， 管線限制 30 萬噸 平鎮淨水廠 60 萬噸/日	304.43	4771.35	172.22	0	5248.00	668.25
	目標年 100 年， 管線限制 30 萬噸 平鎮淨水廠 80 萬噸/日	195.00	446.68	149.17	0	790.85	569.38

	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸 平鎮淨水廠 80 萬噸/日	388.40	764.89	262.54	0	1415.84	1015.39
石門水庫 與埤塘聯 合營運	目標年 100 年,管線限制 10 萬噸	3328.68	3021.76	2117.42	-	8467.86	1881.58
	目標年 110 年, 管線限制 10 萬噸	7418.99	5401.01	2179.26	-	14999.25	1876.11
	目標年 100 年, 管線限制 30 萬噸	484.96	3163.06	3477.06	-	7125.08	1899.77
	目標年 110 年, 管線限制 30 萬噸	835.02	5734.61	5409.96	-	11979.59	2031.91

四、結論與建議

● 結論

1. 石門水庫和翡翠水庫的聯合營運，並須在輸水管線擴充(板新淨水廠供給到北桃園之輸水管線)以及增加南桃園淨水廠處理能力增加(本計畫針對平鎮淨水廠進行擴充)的條件下，對於南桃園和北桃園缺水情況的改善才有明顯的助益。
2. 在石門水庫和翡翠水庫聯合營運下，可以有效降低桃園和板新地區之缺水情況外，而且不會對台北地區之穩定供水造成衝擊。
3. 就長期效益而言，石門水庫和埤塘聯合營運對於公共用水和農業用水的改善效益有限，但整體而言，可增加系統之供水穩定度，以避免極端缺水量的發生。
4. 埤塘位於靠近灌溉系統位置中心處，且容量相對於其他埤塘較大者，其入流率會較其他埤塘的入流率為大；由模式優選結果發現缺水輪區通常位於系統末端，若增加(如擴大或浚深)其負責輪區灌溉的埤塘容量，預期將減少其輪區缺水量。
5. 目前兩水利會之埤塘，其水質條件與飲用水水質標準落差甚大，除非投入巨額經費採用高級處裡，否則不宜貿然將其用於民生。因此，就經濟效益及公共衛生而言，利用埤塘緊急支援民生用水需求，並不可行。
6. 桃園縣之工業區多位於地勢較低之臨海地區，因埤塘水質尚符合工業用水標的，在供水吃緊狀態下，利用埤塘供應工業用水，減輕自來水用水需求，並強化自來水供應民生用水之能量，為一較具體可行之方法。

● 建議

1. 由本模式的模擬結果發現，為滿足桃園和板新地區日益增加的需求，板新二期計畫的完工、淨水廠的新建(或擴充)以及輸水管線的擴充是必要的，以確實降低缺水風險。
2. 鄰近觀音工業區之8口埤塘建議應予以改善，可擴大備用水源至327萬噸，供工業

用水運用，即如果視每日工業用水 27 萬噸均移供民生用水，至少約可支撐供應 12 天，應可見成效。味全埔心農場之埤塘亦建議予以改善，則約可擴大至 11.5 萬噸之備用水源，供石門淨水場運用。

3. 近年來因都市化迅速、工業需求提升，桃園地區用水量已逼近淨水場最大可供水量，導致供水穩定度吃緊，應增建淨水場以舒緩供水壓力。然目前淨水場均建置於高程較高之地區，為提升埤塘水資源聯合運用之可行性，新建淨水場應考慮設於在石門水庫至管線末端之中間高程地區。

伍、參考文獻

1. Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, "A Parametric Rule for Planning and Management of Multiple-Reservoir System", Water Resour. Res., 33(9), pp.2165-2177, 1997.
2. Oliveira Rodrigo , and Daniel P. Loucks , "Operating rules for multireservoir systems", Water Resources Research, Vol.33, No.4, pp. 839-852, 1997.
3. Lund, J.R., Inês Ferreira, "Operating Rule Optimization for Missouri River Reservoir System", J. of Water Resources Planning and Management, Vol. 122, No. 4, pp.287-295, 1996.
4. 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.
5. 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.
6. Dagli, C.H., and J.F. Miles, "Determining Operation Policies for a Water Resource System", J. Hydraul., 47(34), pp.197-306, 1980.
7. Hirsch, R.M., J.L. Cohon, and C.S. Revelle, "Gains From Joint Operation of Multiple

- Reservoir System”, Water Resour. Res., 13(2), pp.239-245, 1977.
8. Oliverira, R., and D.P. Loucks, “Operating Rule for Multireservoir Systems”, Water Resour. Res., 33(4), pp.839-852, 1977.
9. Loucks, D.P., and P.J. Dorfman, “An Evaluation of Some Linear Decision Rules in Chance-Constrained Models for Reservoir Planning Operation”, Water Resour. Res., 11(6), pp.777-782, 1975.
10. 淡江大學水資源管理與政策研究中心,「石門大圳灌區埤池生態資料庫建立與環境復育計畫」,第 3-22 頁, 2005。
11. 台灣地區水資源總量管制機制規劃,經濟部水利署,巨廷工程顧問股份有限公司, 2004。
12. 台灣地區水資源總量管制機制規劃-台灣地區水資源總量評估,經濟部水利署,巨廷工程顧問股份有限公司, 2004。
13. 新型態多水庫聯合營運最佳操作規線之探討,交通大學土木碩士論文,李志鵬, 2004。
14. 台灣省桃園農田水利會,「93 年度灌溉計畫書」, 2004。
15. 吳瑞賢、溫博文、陳世偉,「桃園大圳及石門大圳灌溉之系統之效能評估」,桃園大圳水資源暨營運管理學術研討會論文集,第 9-23 頁, 2004。
16. 李鐵民、蘇俊明,「石門水庫供水以來農業用水、公共給水供給比率面面觀」桃園大圳水資源暨營運管理學術研討會論文集,第 72-78 頁, 2004。
17. 劉振宇、簡傳彬、方文村,「桃園大圳灌區埤塘蓄水功能之探討」,桃園大圳水資源暨營運管理學術研討會論文集,第 191-199 頁, 2004。
18. 新店溪及大漢溪水源開發計劃評估,水利署水利規劃試驗所, 2003。
19. 台灣地區水資源永續發展綜合執行計畫(3/4), , 經濟部水利署,財團法人農業工程研究中心, 2003。
20. 簡傳彬 、方文村,「桃園石門地區埤塘蓄水調配效益分析」,桃園大圳水資源暨營運管理學術研討會,第 725~736 頁, 2003。

21. 地下水資源整體營運規劃與綜合評估(2/2)，經濟部水利署，2003。
22. 水資源系統分析模式庫及資料庫建置與使用手冊編纂(2/3)，水利署水利規劃試驗所，2003。
23. 應用遺傳演算法於大甲溪及大安溪水資源最佳聯合調配模式，交通大學土木所碩士論文，張育雅，2003。
24. 農業工程研究中心，「桃園石門埤塘水源利用檢討」，2003。
25. 大甲溪攔河堰可行性規劃計畫-三、水文水源專題-1. 水源運用規劃，水利署水利規劃試驗所，2002。
26. 張良正、張育雅，「複合式規線應用於水庫操作上之研究」，中華水資源管理學會，2002研討會之論文集，第 205-216 頁，2002。
27. 淡水河水資源系統動力模式與永續管理策略之研究，台灣大學生工所碩士論文，陳明業，2002。
28. 石門水庫乾旱週期及因應對策之研究，許明傳，蘇俊明，2001。
29. 石門水庫提高運轉水位第二階段可行性研究，經濟部水利處北區水資源局， 2001。
30. 簡傳彬 、方文村，「線性規劃在池塘灌溉系統聯合營運之應用」，農業工程學報，第 46 卷，第 3 期，第 69-82 頁，2000。
31. 石門水庫提高運轉水位第一階段可行性研究，經濟部水利處北區水資源局， 1999。
32. 台灣地區北部地區水資源綜合發展計畫，經濟部水資源局，1999。
33. 石門水庫逕流量預測模式之研究，台灣省石門水庫管理局，工業技術研究院能源與資源研究所，1999。
34. 石門水庫第二次整體安全檢查與評估，台灣省北區水資源局，1998。
35. 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學研究所博士論文， 陳莉，1993
36. 洪惠祥，「支線及池塘聯合營運配水模擬之研究」，台灣大學農業工程研究所碩士論文，1988。
37. 張斐章、易任，「序率線性規劃模式研擬水庫之最佳運轉策略」，第五屆水利工程研

討會論文集，第 28-39 頁，1990。