



通用性廣域水資源運用模擬模式

A Generalized Simulation Model for Regional Water Allocation

國立成功大學水利及海洋工程學系
副教授

周 乃 昉*

Frederick N.-F. Chou

國立成功大學水利及海洋工程學系
博士候選人

吳 嘉 文

Chia-Wen Wu

摘 要

因應台灣地區特殊之水資源環境，本文應用最小成本網流規劃法建置一套適用於台灣地區之通用性區域水資源供需利用模擬模式，並命名為 WRASIM。藉由設定適當之水量分配參數，WRASIM 可模擬台灣地區廣域的水資源運用，包括：水庫運用規線、蒸發散損失、水力電廠尖峰發電、河道環境基流量、河渠輸水滲漏損失、淨水場處理損失與原水濁度限制淨水場可出水量等。本文藉由評估北部區域板新用水區之供水情勢，展示 WRASIM 可如何正確模擬翡翠及石門水庫並聯系統之水資源運用。模擬結果顯示若設定新店溪系統於翡翠水庫蓄水低於嚴重下限時即停止供應板新用水區，則可維持台北用水區的缺水指數為所有用水區中最低者。另一方面，若不對此二系統設定固定的責任供水量或地區，而視翡翠與石門水庫蓄水狀態彈性調整其對板新地區的供水量，則可顯著提升系統對所有公共用水的供水穩定性，並增加兩水庫的總發電量。

關鍵詞：廣域水資源運用，模擬，網流規劃。

ABSTRACT

This paper applied the network flow programming to develop a regional water supply simulation model which considers several unique characteristics of water resources utilization in Taiwan. This model was named "Water Resources Allocation Simulation Model" and abbreviated as WRASIM. By properly transforming the realistic system into network structure and assigning allocation strategies, WRASIM can allocate

*通訊作者，國立成功大學水利及海洋工程學系副教授，70101 台南市東區大學路 1 號，hyd4691@mail.ncku.edu.tw

daily water resources of a system with versatile components. These include operating rule curves, peak hydroelectric generation and evaporation losses of reservoirs, minimum in-stream flow requirements, return flows, water transmitting and treatment losses and limiting water withdrawal capacity due to high turbidity of streamflow, etc. A case study of comparing two allocation strategies of the water resources of Shihmen and Feitsui reservoirs system in northern Taiwan was performed to demonstrate the efficacy of WRASIM. The analyzing results revealed that a more balancing water supply situation could be achieved by jointly operating these two reservoirs.

Keywords: Regional water allocation, Simulation, Network flow programming.

一、前言

台灣地區普遍採用模擬法評估水資源系統之供水情勢。模擬法指運用電腦、實驗或其他方式建立模仿實體系統的分析模式，模式建立完成後可用於分析「假如...，則...」型的問題，以供分析者測試系統在不同的設施布置或操作策略下的反應。水資源供需利用模擬模式於建立或分析過程中，通常由分析者自行撰寫模仿實體水資源系統水量運用行為之分析程式(Wurbs and Yerramreddy, 1994)。傳統的水資源運用模擬一般採用直接分配法，如鍾寬茂(2006)建立之 WRM 模式係由系統上游往下游進行水量分配，當評估一個取水點可引水量或水庫可放水量時，先設定一引、放水量值，然後再於下游各點檢核已取水量是否受限，再評估上游處的試配水量是否需調整，並經反覆迭代修正至不影響既有已取水量時，便可達到適切的水量分配。

傳統的模擬法均需針對特定系統發展或設計模擬程式，可詳盡考慮該系統的分析特性及細節，然其缺點亦為此「特定性」，通常難以將此模式直接套用至其他系統。傳統模擬法之另一缺點為處理水量分配時需利用許多邏輯判斷及迭代計算，當系統內包含多個水源與需求，且各需求在不同位置間相互競爭用水時，在程式撰寫上難以確保水資源的分配結果可完全符合取水優先順序或其他水資源運用原則。尤其台灣地區在許多規劃中的上游越域引水路及下游清水聯通

管興建完成後，未來相鄰供水系統間多具備相互支援供水的能力，屆時納入整體運用的供水系統範疇將包括跨流域甚至可能跨區域的各種水源與需求，其水源運用的複雜程度會令分析者極難應用傳統的模擬法來有效利用未控制流量及評估完善的水資源開發策略。

除自行撰寫的模擬模式外，市面上亦已有許多具備可彈性調整水資源系統架構功能的套裝軟體可供選用，如HEC-5, MIKE-BASIN, RIBASIM, RIVERWARE 或 ARSP 等，其中除 ARSP 模式運用網流規劃(Network Flow Programming, NFP)的原理分配水量外，其他各套裝軟體均採用傳統的模擬法為計算核心，並配合可供使用者彈性架構水資源系統之圖形介面，以達成模式通用之目標。惟此諸套裝軟體在水量分配的分析上仍不足以充分模擬台灣地區的水資源運用特性，例如：

1. 台灣地區的水庫均依據運用規線執行運轉，規線數量有 1 條至 4 條不等，因未來開發的水資源設施大多會併入既有系統營運，故規劃階段需模擬現況系統依據既有水權及運用規線運轉的可供水量及剩餘水量，方可正確評估新設施加入系統後的增供水量。此外，對附有水力電廠的大型水庫而言，其運用規線會指示當蓄水量高於某條規線時，水庫得增放水量進行尖峰或滿載發電，以調節水庫水位並增加水資源運用效益，故選用的模式必須具備模擬運用規線及尖峰發電等水庫運轉型態之功能。

2. 由於河川流短，集流時間有限，隨著降雨的快速變化，流量的時間變異性大，其他如水庫執行尖峰發電是將每日放水量集中於 6 小時的尖峰時段放出，因此必須以日或更短的時段模擬，方可正確估算可取用水量。
3. 台灣地區多數供水系統均為上游水庫配合下游攔河堰之聯合運用型態，下游攔河堰的功能在於調節上游水庫放水量及利用水庫至攔河堰間的未控制流量。一般攔河堰的蓄水容積相對較小，若短時間的流過水量大，亦需要採用較短延時的時段模擬攔河堰的水量運用。
4. 受降雨集中、河川坡陡流急等水文、地文條件影響，加以 1999 年發生 921 集集大地震，以致上游集水區諸多土方鬆動，部分業已下移堆積於河道內，造成在暴雨後河川原水濁度極易升高至淨水場無法處理的程度，以致並非所有豐沛的川流量均可供自來水系統調配利用，因此模擬時必須考慮高濁度原水限制淨水場出水能力，及限制越域引水蓄存等特殊要求。

由於上述主要因素，本文發展一套適用於模擬台灣水資源廣域運用之「通用性區域水資源供需模擬與缺水調度模式」，命名為 WRASIM (Water Resources Allocation Simulation Model)。此模式係參考美國科羅拉多州立大學開發之 MODSIM 模式架構發展而來。相較於 MODSIM 僅具有供需利用模擬之功能，WRASIM 模式同時包含靜態供需利用模擬模組及動態水量調度優選模組，惟本文僅以靜態供需利用模擬為例介紹各功能模組，並強調其可模擬水庫運用規線、尖峰發電以及淨水場取水受河川原水濁度限制等特殊事項。文中以台灣北部區域的新店溪與大漢溪供水系統的水資源開發利用為實例分析對象，藉由評估台北、板新及桃園用水區於 2021 年之整體供水情勢，以示範模式功能。

二、文獻回顧

水資源系統分析模式通常可分為描述性 (Descriptive) 或指示性 (Prescriptive) 二類 (Yerrameddy, 1996)。描述性模式可求出系統依據特定規則或運用原則下的水資源調配過程，但並

不對水庫蓄水進行跨時段之優選調度，故實質上屬於逐時段的靜態模擬。指示性模式之功能為找出符合預期供水結果之系統水資源最佳運用策略，分析時一般均假設已知系統在未來所有分析時段內的未調節流量，自現存起始蓄水量開始，指示性模式利用水庫蓄水的跨時段傳遞特性，可在所有分析時段內求出水資源利用的最佳時、空配置。

描述性網流模式應用於水資源運用模擬之代表性模式為美國德州水資源開發理事會 (Texas Water Development Board, TWDB) 委託德州大學開發的 SIM、SIMYLD II 等模式 (TWDB, 1972)，SIM 模式採用月為單位演算時距，其被應用在模擬德州水資源系統綱領計畫的排程分析，包括何項計畫、興建至何規模、在何時完成，及應如何運轉等。

SIM 模式後續之 SIMYLD-II 經 Shafer 與 Labadie (1979) 修改為 MODSIM 模式，其後再經過多次修正與更新，分別加入了對水力發電估算、地下水與水質的模擬能力，MODSIM 模式提供了週與月兩種單位模擬時段供使用者選擇，除水量分配模擬功能外，最新版之 MODSIM (Labadie *et al.*, 1998; Dai and Labadie, 2001) 亦提供資料庫系統及圖形化操作界面，以提升模式使用的便利性。

WASP 模式係為了模擬澳洲莫爾本市之供水系統所開發 (Kuczera and Diment, 1988)，此模式較特殊之處在於提出應用網流規劃法模擬多水庫系統蓄水平衡之概念，使用者可針對系統內的多個水庫，輸入各水庫之目標蓄水量與系統總蓄水量的比例關係，則模式可依據系統總蓄水量多寡，自動設定各水庫的期末目標蓄水量，以便在多水庫聯合營運時可平衡系統內各水庫的蓄水狀態。

CRAM 模式是 Brendecke (1989) 等人為分析科羅拉多州 Boulder 市之原水供應綱領計畫，修改 MODSIM 模式而成。模式包含三種分析模組，分別用以估算 Boulder 市之水權需水量、Boulder 市北方越域引水計畫的可出水量以及系統的最佳供水方式。

美國加州水資源廳由 Chung (1989) 等人為分析加州用水計畫(California State Water Project, SWP)與聯邦中央河谷計畫(Federal Central Valley Project, CVP)之用水規劃，將原來的傳統模擬模式更新為靜態網流模擬模式(DWRSIM)。並指出應用網流規劃法，除可提升計算效率外，亦可增加許多傳統模擬模式較難達成的分析功能。

KCOM (Andrews *et al.*, 1992) 亦係由加州水資源廳所發展的網流模擬模式，用以模擬加州 Kern County 的地表水資源系統營運。KCOM 對多水源、多水權系統採取逐次逐量演算法，在各次演算中，逐一加入特定水源與允許使用該水源的特定需求，並允許在各次的演算中對該特定需求設定對不同水源的不同引水順序，以模擬 Kern County 的複雜水權系統。

WRAP 模式是由 Wurbs 與 Yerrameddy (1996) 所發展，用以分析德州地區多水源對眾多水權使用者之調配。WRAP 以月為單位演算時距，並以連續趨近法迭代求解蒸發、輸水損失與回歸水等水量。

台灣地區過去在此方面之研究有：周乃昉(1992)應用 MODSIM，逐時段模擬高屏溪與曾文溪二流域之聯合運用，考慮自民國八十年至一百一十年間各用水標的之成長；另在維持下游河道不同污染稀釋流量下，模擬旗山溪越域引水及曾文、南化、美濃、瑪家等水庫水源的蓄水調配，以瞭解其運用特性。周乃昉(1993)應用 MODSIM 逐時段模擬台灣南部高屏溪及曾文溪二流域內南化、美濃及瑪家等水庫之運用特性，並分析其維持下游河槽涵容流量的可貢獻程度。結果顯示美濃水庫在多數時間均可維持高屏溪中游九曲堂站 25 秒立方公尺的在槽流量，而僅有少量的缺水發生。

徐年盛及魏志強(1997)比較線性規劃法與嵌入式網流問題解法 EMNET 之計算效率，並分析翡翠水庫與石門水庫之未來供需情形，結果顯示各分析方案均有缺水現象發生，且以板新地區之缺水指數最高。徐年盛及鄭克偉(1998)以 EMNET 分析新店河流域及大漢河流域之水資源供需情形，並藉由優選與模擬的比較，以及長期優選與

單期優選的比較，來了解模式的運作特性。

三、分析原理

3.1 最小成本網流規劃

網流係由許多的節點與箭線所組成的圖形，節點代表一處位置，箭線則為節點間具方向性的連結，其上具有水流流動。線性網流規劃屬於線性規劃的特殊類型問題之一，其特點為可將命題與分析結果直接以網流圖形表達。依據不同的問題簡化程度，網流規劃尚可分為嵌入式網流問題、通用式網流問題及純網流問題等類。

就流量循環守恆的純網流問題而言，其主要的限制條件為流入一節點與流出該節點的流量應守恆，且箭線具有水流流量上下限的限制，而每條箭線被賦予一單位水流的成本或權重係數。最小成本網流規劃即是要在符合節點間水流進出守恆、且每條箭線上的流量符合上下限制的情況下，找出最小成本的整體流動方式。若一網流具有 m 個節點，則其最小流動成本的網流命題如下：

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij} \dots\dots\dots(1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^m x_{ji} - \sum_{j=1}^m x_{ij} = 0 \quad i = 1, \dots, m; \quad j \neq i \dots\dots(2)$$

$$l_{ij} \leq x_{ij} \leq u_{ij} \quad i, j = 1, \dots, m \dots\dots\dots(3)$$

式中，

- m = 網路系統之節點總數，
- i, j = 節點編號，
- x_{ij} = 自節點 i 流至節點 j 的流量，
- c_{ij} = 自節點 i 至節點 j 間箭線上每單位水量的流動成本或權重，
- l_{ij} = 連接節點 i 至節點 j 之間箭線上流量的下限值，
- u_{ij} = 連接節點 i 至節點 j 間之箭線流量的上限值。

在上述各式中，第(2)式代表流量進出節點守恆的限制式，而第(3)式則代表箭線流量大小的

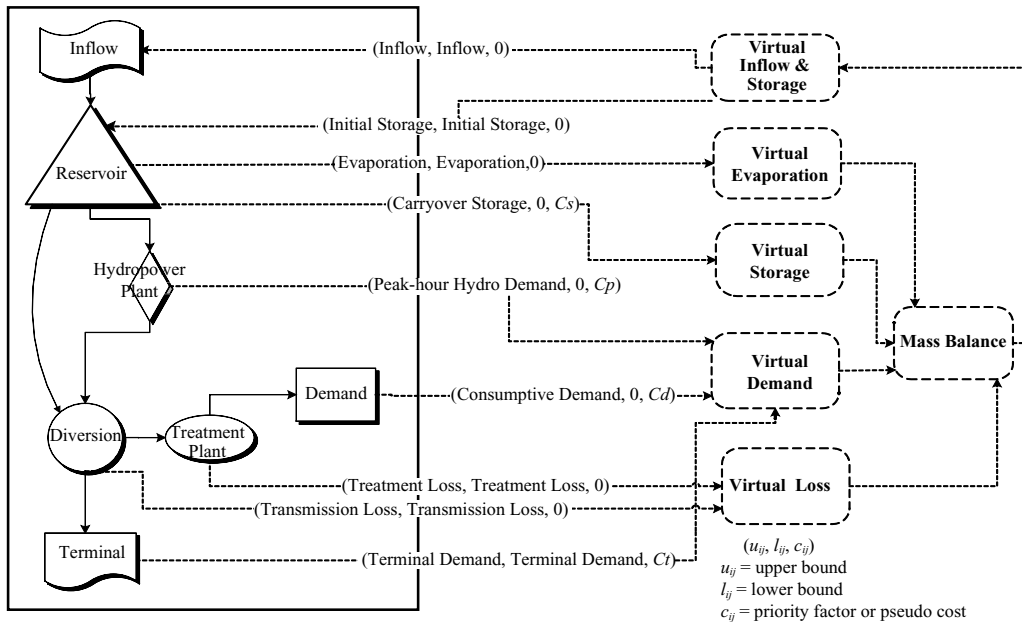


圖 1 WRASIM 模式之分析網路架構

限制式，且所有方程式均為線性，屬線性規劃分析的範疇，惟因網流節點與箭線互相連結所形成的特殊寬鬆矩陣架構，此類問題可應用較有效率之演算法求解。

3.2 WRASIM 模式簡述

WRASIM 係針對台灣地區特有之水資源環境，以線性最小成本網流規劃為理論基礎所發展的一套通用性廣域水資源運用分析模式，此模式係參考美國科羅拉多州立大學研發之 MODSIM 模式發展而來，應用超限演算法(Fulkerson, 1962) 求解網流問題。

MODSIM 模式提供月及週兩種不同單位演算時段，惟台灣地區多數供水系統均屬於水庫配合下游攔河堰聯合運用之運轉型態，而攔河堰容量相對主要供水水庫而言較小，若介於水庫及攔河堰間發生短時間的暴雨逕流，例如颱風時期之豐沛流量可能集中於 3 日內發生，則攔河堰將調蓄不及發生溢流，以致不可能充分引取該未控制流量，若單位演算時段過長則可能無法正確估算實際可取水量，因此 WRASIM 以日為單位演算時距，以符合台灣的水資源特性。

WRASIM 將實體系統節點分為：入流、水庫、匯流或分流、需求、水力或在槽需求、淨水場與終端等 7 類，可代表各類實體水資源系統的設施或要項。由於網流流量循環守恆乃是應用超限演算法的基本條件，因此使用者將欲分析之對象轉換為節點與箭線之連結後，模式將根據使用者所定義的實體系統架構，自動虛擬虛擬之節點與箭線，將累計於實體節點上的水量導引離開實體系統，以達全網流的流量循環守恆。圖 1 所示為一通用性水資源系統的循環網流圖。

依據圖 1 所示的分析架構，WRASIM 允許使用者將水庫節點的蓄水容量或需求節點的需求水量區分為多個成分，並以多條虛擬之蓄水與需求箭線表示。此設計乃為模擬台灣地區大型水庫普遍採用之多條運用規線運轉方式，並可考慮水庫於尖峰時段滿載發電放水之規定。

除了演算單位時段與水庫運用規線之模擬外，WRASIM 與 MODSIM 之另一相異處為其對水庫溢流的模擬概念。MODSIM 模式係直接對各水庫節點設計一條溢流箭線，並賦予此溢流箭線一極大的權重係數，沿此溢流箭線離開系統之水量即被視為該水庫之溢流量。相較於 MODSIM

表 1 WRASIM 模式各模組功能一覽表

名稱	模組分析功能	適用之分析課題
I/E	廣域水資源運用模擬分析。 依據水庫規線、水權優先順序、標的間用水協議等規則或原則，逐時段靜態模擬水資源系統之操作營運。	1. 多元水資源開發計畫之規劃與評估： (1).評估河系剩餘流量； (2).推估新設施供水能力。
D	缺水時水資源最佳調度分析。 依據未來一段時期預測的系統流量，跨時段動態優選該時期的系統水源最佳運用策略。分析時水庫放水不受任何規則所限，完全以滿足各時段之穩定需求為導向。	1. 缺水時期跨時段、跨標的、跨區域之水資源最佳調度分析。 2. 估算水資源系統最大供水潛能。
C	配合水資源運用之集水區水文參數檢定模組。 整合參數優選法及最小成本網流規劃法，以靜態網流模式為計算核心，由參數優選法外部控制網流模擬以優選模式參數。	1. 協助推估水庫下游河道側流或未控制流量之流出機制。 2. 檢定河段輸水滲漏損失係數。
G	地面水地下水聯合運用模擬。 可考慮：獨立之地下水蓄水區，不規則之地下水格區；或搭配 MODFLOW 模式模擬地下水流場，以模擬地下水可抽用水量。	1. 地面水地下水常態聯合運用模擬。 2. 利用地下水做備用水源之可行性檢討。
M	多水庫系統之水源運用模擬。 依據多水庫聯合運用規線及蓄水平衡曲線等規則，逐時段模擬多水庫聯合運用系統之操作營運。	供多水庫系統，評估不同聯合運用策略對水資源利用之結果，可做為研擬聯合運用規線之模擬工具。
L	考慮水流稽延之水源運用模擬。 迭代計算箭線輸水之時間稽延效應，另可模擬一日內不均匀水流過程對用水之影響。	1. 供具尖峰發電型態之水資源系統進行管理調配分析。 2. 水庫下游攔河堰壩最適開發容量評估。

的概念模擬，WRASIM 採用較接近實體系統架構之處理方式，模式中設計一終端節點代表供水系統最下游之水流終端位置，如圖 1 所示。單位時段內流入此節點之流量會再循著終端需求箭線離開實體系統，終端需求箭線之上限為模式預設之極大值，其權重係數為一極大的正值，此箭線上之流量即可視為單位時段內無法利用而流入最終接受水體之系統總剩餘流量。

如圖 1 之平面圖形代表單位時段內系統水資源在空間上的配置分析。如同 MODSIM 的作法，WRASIM 原則上係在虛擬需求或蓄水箭線上設定權重係數，成為系統的水量分配機制，確保符合各項需求或蓄水之優先順序。WRASIM 定義虛擬需求或蓄水箭線上單位水流的權重值如下：

$$c_i = -1000 + 10 \times \text{prior}_i \dots\dots\dots (4)$$

式中： c_i = 第 i 條虛擬箭線之單位水流權重， prior_i = 第 i 條箭線之水流優先順序。根據(4)式，水流優先順序設定範圍介於 1 至 99 之間的權重為負值，且第 1 優先順序的權重值為最小的 -990，若水流優先順序設定值大於 100 時，權重為正值，不同順序間的箭線權重係數以 10 為間

距，可避免以虛擬箭線權重為主所決定的配水結果受到微量實體箭線權重之影響。在對系統內箭線設定符合水量分配優先順序之權重係數後，則依據如第(1)~(3)式之數學命題，可應用網流規劃法求得符合用水及蓄水優先順序之水量分配結果。

現階段 WRASIM 模式之計算核心沿用超限演算法，惟其僅可處理線性純網流問題。若一系統有無法以網流型態表示之運用條件，例如：一定流量比例的水路損耗、蒸發量、淨水場處理損失、非線性流量率定曲線及水流時間稽延效應等，WRASIM 均須迭代調整相關箭線的上下限，使不同箭線的流量可在迭代計算過程中逼近非純網流型態的真值。

3.3 WRASIM 模式分析模組功能介紹

為能分析台灣地區各類的水資源廣域運用課題，WRASIM 模式包含一系列的模組提供各類功能選項，參見表 1。其中較常需要考慮的水源運用相關事項，包括水庫運用規線、尖峰發電與環境基流量、高濁度對供水之衝擊等，其模擬原理說明於下述各小節。

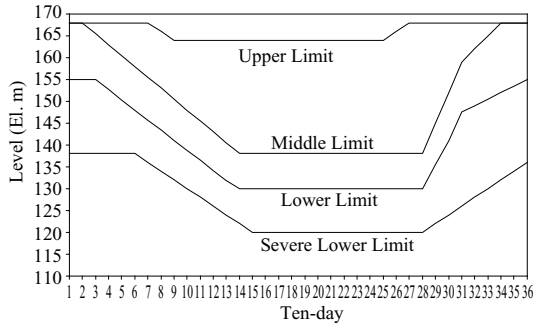


圖 2 翡翠水庫運用規線 (2004 年公告)

3.3.1 水庫運用規線之模擬

在台灣地區經濟部水利署要求所有水庫均需依照運用規線(Operating Rule Curves)操作。由於枯水程度的變異大，缺水時往往採取 1 至 2 種限水階段，再配合其他標的運用，水庫運用規線將水庫的蓄水空間劃定為若干個區間，並對各蓄水區間規定目標供水量或供水折扣，水庫蓄水在不同區間時便可適切反映系統的水文豐枯狀態，並提出相應的管理因應作為，以為水庫管理單位操作放水之依據。

WRASIM 模式將水庫容量依據水庫運用規線之數目區分為若干個蓄水區間，並以多條虛擬蓄水箭線表示各蓄水區間；需求節點之總需求水量亦依運用規線所規定的不同限水標準區分為數個子需求，每個子需求代表不同限水折扣間的增供水量，並各以一條虛擬需求箭線表示，再對此諸虛擬蓄水與需求箭線依序設定合適的權重係數，依此原則設定的網路架構可明確地遵循水庫運用規線之規定模擬供水。最後網流規劃自動依據各虛擬箭線的權重大小，將水量分配給各需求或蓄水，其結果可確保單位時段內的放水量符合水庫蓄水所對應的供水規定。

舉例而言，圖 2 所示為翡翠水庫之現況運用規線，共有嚴重下限、下限、中限與上限等四條，假設在各區間的供水方式為：

1. 當水庫蓄水在嚴重下限以下時，水庫供水採原計畫供水之 60% 折扣供應；
2. 當水庫蓄水在下限及嚴重下限之間時，水庫供水採原計畫供水之 80% 折扣供應；

3. 當水庫蓄水在中限及下限之間時，水庫放水應充分滿足計畫需水量，並依此水量發電；
4. 當水庫蓄水在上限及中限之間時，除滿足計畫需水量之外，翡翠電廠得配合電力系統於尖峰用電時段滿載發電；
5. 當水庫蓄水在上限以上時，除滿足計畫需水量，翡翠電廠得 24 小時滿載發電，以將水庫蓄水調降至上限。

依據上述供水原則，使用者對翡翠水庫設定 5 條虛擬蓄水箭線，分別對應嚴重下限以下、嚴重下限至下限間、下限至中限間、中限至上限間與上限至滿庫間等 5 個蓄水區間。對需求節點則應設定 3 條虛擬需求箭線，將總需求水量區分為 60%、20%、20% 等 3 個子需求，分別對應不同限水標準下的系統應增供水量。圖 3 中各條虛擬箭線之權重設定原則如下式：

$$c_{60\%}^D < c_{SLL}^S < c_{20\%}^D < c_{LL}^S < c_{20\%}^D < c_{ML}^S < c_{UL}^S < c_F^S \dots \dots \dots (5)$$

式中： $c_{\alpha\%}^D$ = 代表 $\alpha\%$ 需求水量之單位水流權重， c_{SLL}^S = 代表嚴重下限以下蓄水容積之權重係數， c_{LL}^S = 代表下限至嚴重下限間蓄水容積之權重係數， c_{ML}^S = 代表中限至下限間蓄水容積之權重係數， c_{UL}^S = 代表上限至中限間蓄水容積之權重係數， c_F^S = 代表上限以上蓄水容積之權重係數。

3.3.2 水庫尖峰發電放水量之模擬

附設水力電廠之大型水庫若具有尖峰發電效益時，於其運用規線中通常會設定一條指定水力標的放水量的專用規線。當水庫蓄水高於發電規線蓄水量，亦即預期蓄水在未來可充分滿足下游消耗性用水需求，為免蓄水因後續時段發生溢流而耗損，水庫管理單位可斟酌增加放水量以增加發電收益，提高用水效率，直至水庫水位降至該規線以下。通常此非消耗性水力用水會優先在一日內的特定尖峰時段自水庫集中放出，發電放水量與水庫蓄水量及尖峰時數有關。尖峰放水所發電量可以較高價格售予電力公司，供其進行電力調度，以滿足尖峰調頻所需。

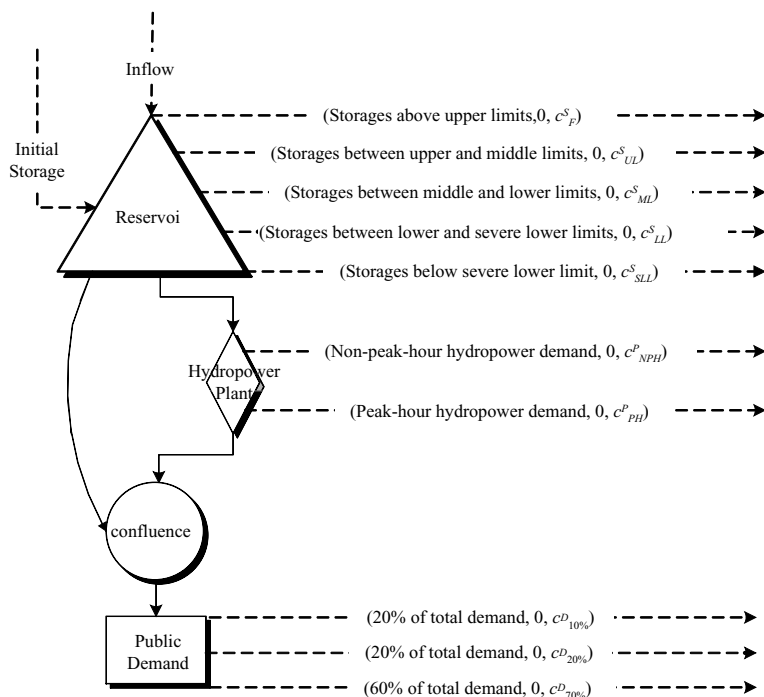


圖 3 WRASIM 模擬水庫運用規線之概念示意圖

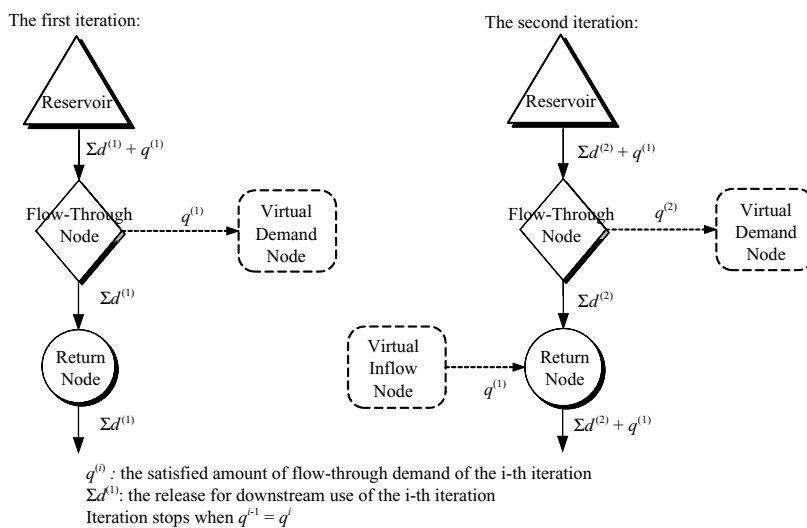


圖 4 流經需求節點之迭代計算

尖峰發電用水需求雖屬於非消耗性的在槽用水，但亦存在與其他消耗性的離槽用水及水庫蓄水之間對水量使用的競合關係，因此有其應被優先滿足的相對順序。本文採用流經需求的概念 (Shafer, 1979 ; Labadie *et al*, 1986) 模擬此類非消

耗性的在槽用水需求，此法係以流經需求節點接受非消耗性用水，並透過迭代計算使位於該流經需求節點下游的延續節點獲配該非消耗性水量，圖 4 所示為一流經需求之迭代計算過程示意圖。

表 2 濁度與淨水場出水能力關係

鳶山堰水質測站所測得之濁度 (NTU)	板新淨水場出水能力 (萬 CMD)
0~500	1.20
501~800	0.84
801~1200	0.60
1201~2000	0.42
2001~4000	0.24
4001~6000	0.20
>6000	0.00

資料來源：台灣自來水公司

如圖 3 所示之完整水庫運用規線模擬概念，加入流經需求後，第(5)式可修正為：

$$c_{60\%}^D < c_{SLL}^S < c_{20\%}^D < c_{LL}^S < c_{20\%}^D < c_{ML}^S < c_{PH}^P < c_{UL}^S < c_{NPH}^P < c_F^S \dots\dots\dots (6)$$

式中： c_{PH}^P = 代表尖峰時段滿載發電需求水量之單位水流權重， c_{NPH}^P = 代表非尖峰時段滿載發電需求水量之單位水流權重。

流經需求雖可模擬具有優先順序的非消耗性用水，惟流經水力電廠箭線之上變數為水量而非發電量，因此發電需求之水量上限應採用「滿足尖峰發電量的水庫應放水水量」，此應放水水量與滿載發電時數、水力電廠特性及水庫水位高程有關。其中當水庫水位高時，發電有效水頭較大，較少的放水水量即可達成預定之發電量；反之當水位較低時，欲達相同發電量則需較大的水庫放水水量。WRASIM 模式運用迭代計算推估單位時段內水庫平均蓄水位下的尖峰發電需用水量，在起始演算時，模式先依據時段開始的水庫蓄水量計算此時段之尖峰發電需放水量的初始值，並在執行網流水量分配運算後，依據單位時段內實際的水庫平均蓄水量修正尖峰發電需用水量，並繼續迭代計算至水庫平均蓄水位與尖峰發電需用水量不再改變為止。

3.3.3 受原水濁度限制之淨水場處理能力

受降雨集中、河川坡陡流急及 921 地震引起土層鬆動等水文、地文條件影響，近年來台灣地區河川在暴雨後的原水濁度極易升高至超過淨水場的設計處理能力，進而造成系統在濁度降低

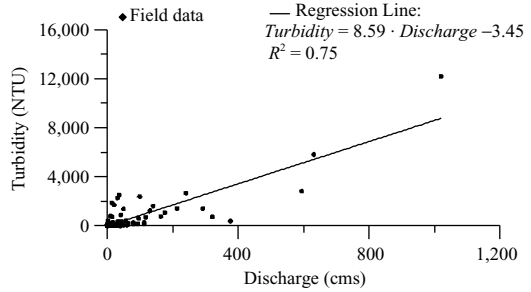


圖 5 依實測記錄推估之大漢溪流量-濁度關係

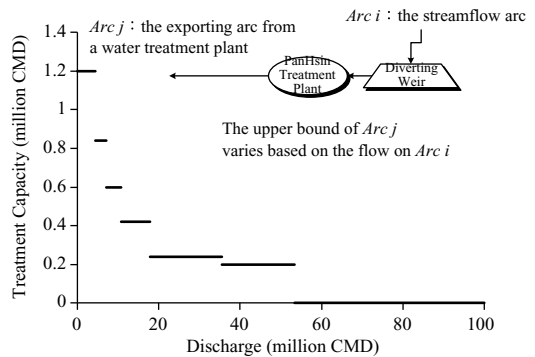


圖 6 隨流量大小遞減之水場出水能力

前無法充分供應自來水所需水量。由於淨水場處理能力受到原水濁度的限制而降低，因此並非所有豐沛流量均可供系統利用。以台灣北部板新用水區之板新淨水場為例，其淨水處理能力與原水濁度關係如表 2 所示。

為將此種特殊情況納入分析，使用者需先推估河川流量與濁度之關係，示如圖 5；再將其轉換成河川流量與淨水場處理能力之關係，示如圖 6。輸入上述條件後，模式會依據河川箭線的流量判斷淨水場出水箭線之上限值，再藉由迭代計算使河川箭線流量與淨水場出水箭線上限之關係符合圖 6 所示。

3.4 WRASIM 模式輔助分析模組

除了網流模式的計算模組外，為提高模式的利用便利性，發展 WRASIM 的同時也配合開發了廣域水資源之網路圖架構建置介面及模式參數設定程式。利用全視窗交談式介面程式建立或編修網路架構與參數之專案檔，以提高分析效

率，減少資料誤植所致之分析錯誤或甚至無法執行。另藉由管理輸出成果之資料庫與展示介面，可快速檢視各箭線之流量歷程、需求節點之供需歷程與水庫節點之蓄放水歷程等歷線圖，並自動計算各類供需評鑑指標，以評估比較不同方案之分析結果。

此一輸入與輸出的前後處理功能與 WRASIM 模式搭配，可讓使用者有效使用模式，實務上快速分析一系統的水資源運用及設計所需的設施容量，提升模式運用效率。

為利於使用者正確使用 WRASIM 模式，確保複雜系統的配水正確性及提高模式運用效率，另以搜尋網路內所有可能路徑之演算法為基礎，建置一客觀決定各條箭線單位流量權重的自動化前處理設定程式(Israel and Lund, 1999)，由使用者先列出各需求與水源之配水相對優先順序及其他水量分配原則，配合箭線權重設定原則，經前處理程式分析後，建議各條箭線的適切單位流量權重，以減少模式學習時間及錯誤使用，確保模式應用成效。

四、實例應用分析與討論

台北縣轄之板橋、新莊及鄰近地區為台北生活圈的重要衛星都市，近年來社區發展迅速，工商繁榮，人口增加，家用及公共給水需求急速成長，原由大漢溪供給之水源已不敷所需，必須儘速擬定因應措施，以改善其用水問題。

為促進水資源之有效利用，經濟部水利署自 2001 年起提出「板新地區供水改善計畫(第一期)」、「板新地區供水改善計畫(第二期)」等供水方案，考慮以人為調整之區域水資源調配利用來改善板新用水區之供水情勢。計畫內容主要係改善並擴建區域供水系統內的引水工程、淨水設施、輸配水管線等，以將新店溪流域之剩餘水源導引供應至板新用水區，並使原供應板新用水區之大漢溪水源可南調回供桃園用水區。計畫最終目標為滿足台北、板新及桃園用水區至 2021 年之用水需求，屆時主要由新店溪流域之翡翠水庫負責供應台北及板新用水區家用及公共給水需求，而大漢溪流域之石門水庫則負責供應桃園用

水區之家用及公共給水與農業用水。

本實例分析旨在應用 WRASIM 模式評估在不同供水策略下，新店溪與大漢溪水源透過翡翠與石門水庫的聯合運用系統，台北、板新及桃園用水區於 2021 年時的可能供水情勢。因翡翠與石門水庫之並聯運用系統架構龐大，系統內的水量分配機制複雜，本文將藉由應用 WRASIM 模式分析此一以傳統模擬方法難以掌握的複雜用水課題，以展示 WRASIM 模式的分析功能。

4.1 分析範圍

與板新地區用水相關的水資源系統有新店溪系統及大漢溪系統，兩系統現有水利設施位置如圖 7 與圖 8 所示，系統概述與相關資料敘述於下。

4.1.1 新店溪水資源系統

新店溪上游主要支流為北勢溪與南勢溪，二溪匯合後稱之新店溪。其中，北勢溪已開發有翡翠水庫，集水面積 303 平方公里，有效容量為 $336 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，開發標的為調節供應台北地區之公共給水。營運時需配合南勢溪天然流量，以共同滿足台北用水區之家用及公共用水需求與下游河道環境基流量。

粗坑壩位於南勢溪與北勢溪匯流口下游約 1.3 公里處，集水面積 652 平方公里，現況有效蓄水量 $0.12 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，主要功能為抬高河川水位以穩定增加下游粗坑電廠發電效益。直潭壩位於新店溪最狹窄處，1993 年實測之蓄水容積為 $3.38 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，主要功能為攔蓄新店溪水供應公共給水。直潭取水口位於壩址右岸上游約 200 公尺處，設計取水量為 31.25 cms，即 $2.70 \times 10^6 \text{ CMD}$ ，原水藉重力經直潭原水路輸送至直潭淨水場處理。青潭堰位於新店溪小粗坑，在粗坑電廠下游約 800 公尺處，有效蓄水量 $0.83 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，主要功能為調蓄粗坑電廠尖峰發電之尾水，並抬高新店溪河川水位，維持取水口正常水位以順利引取原水供應公共給水。青潭取水口位於堰體上游右岸約 60 公尺處，設計取水量為 12.56 cms，約 $1.08 \times 10^6 \text{ CMD}$ 。輸水方式為重力流，原水由青潭原水路的主線與支線輸送至長興及公館二淨水場處理。

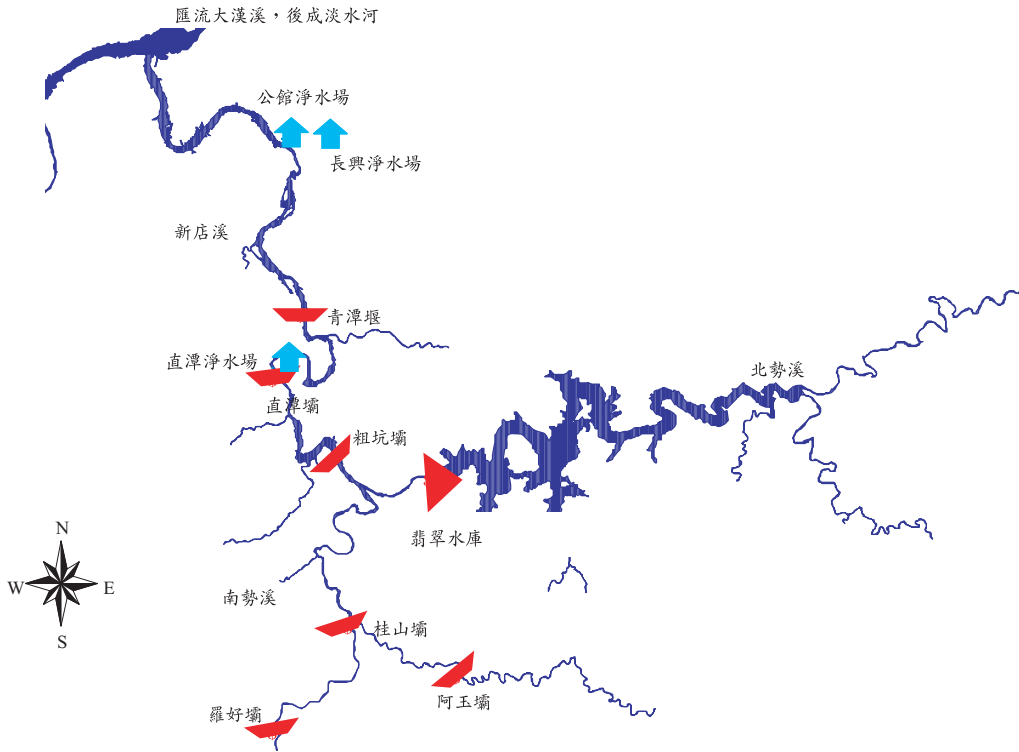


圖 7 新店河流域供水設施位置圖

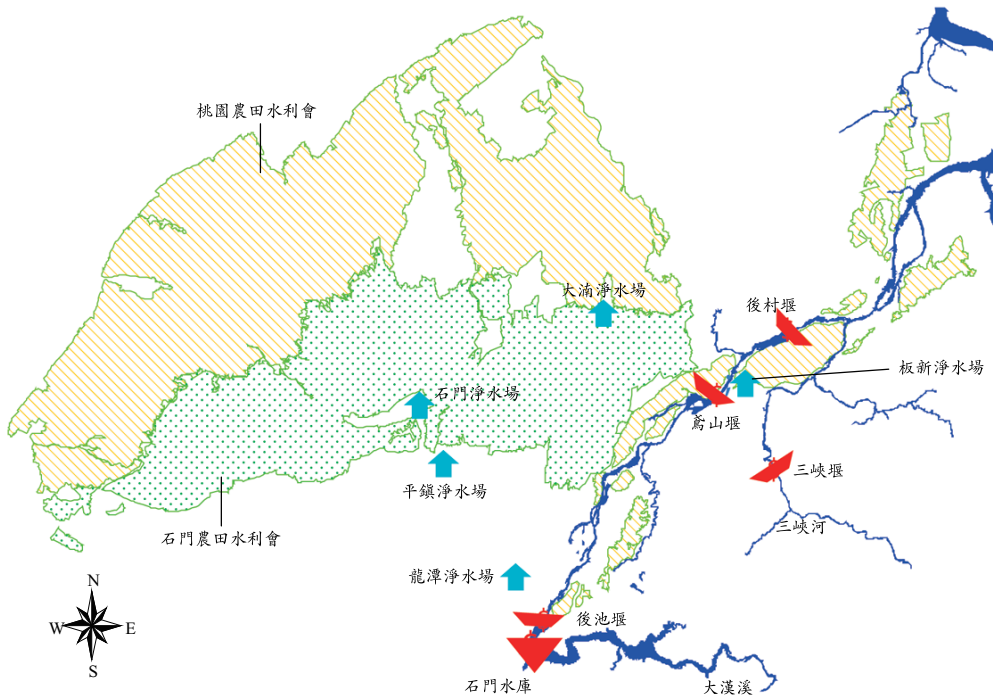


圖 8 大漢河流域供水設施位置圖

新店溪系統主要淨水場包括公館淨水場、長興淨水場、直潭淨水場。公館淨水場與長興淨水場現況處理能力分別為 0.410×10^6 CMD 與 0.467×10^6 CMD，未來暫無擴建計畫。直潭淨水場現況處理能力為 2.70×10^6 CMD，共有五座淨水場。直潭第六座淨水場擬於 2011 年完工，屆時處理能力將提升至 3.40×10^6 CMD，以增供板新地區之用水量。

新店溪水源之運用主要由翡翠水庫攔蓄北勢溪水源，並配合南勢溪天然水源，供應台北用水區與板新用水區之家用及公共給水。翡翠水庫現行運用規線所定義之計畫供水量為供應台北地區 2.40×10^6 CMD 清水，以及板新地區 0.53×10^6 CMD 清水。至 2021 年時，水利署預估台北用水區的家用及公共給水需求將成長至 2.45×10^6 CMD，而板新用水區的家用及公共給水需求將成長至 0.97×10^6 CMD。翡翠水庫現況運轉所依據之運用規線及設定之供水原則如第三章舉例所述。

4.1.2 大漢溪水資源系統

大漢溪發源於品田山，為淡水河系三大主要支流之首。系統內的主要蓄水設施有：石門水庫、後池堰與鳶山堰。石門水庫位於大漢溪中游，為系統內的最大蓄水設施，擁有 225×10^6 m³ 的蓄水容量。石門水庫原建庫標的為灌溉、發電、公共給水、防洪及觀光，目前調節供應公共給水之功能愈形重要。後池堰緊鄰於石門水庫大壩下游處，容量約 2.20×10^6 m³，功能主要為調節石門電廠發電尾水。鳶山堰位於石門水庫下游約 19 公里處，用以攔蓄石門水庫放水、灌溉回歸水及水庫下游兩側集水區之逕流量，1997 年的有效庫容約 5.2×10^6 m³。除上述蓄水設施外，在大漢溪支流三峽河中游設有三峽堰與抽水站，每日抽取三峽河之天然流量至多 50 萬 CMD，並輸送至鄰近鳶山堰之板新淨水場處理，輔助供應板新用水區及北桃園用水區的家用及公共給水。

此系統除由石門水庫攔蓄大漢溪水源，配合三峽堰抽水量與鳶山堰攔蓄水量，供給桃園用水區及板新用水區之家用及公共給水外，並供應桃園台地及水庫下游灌區的農業用水。農業用水需

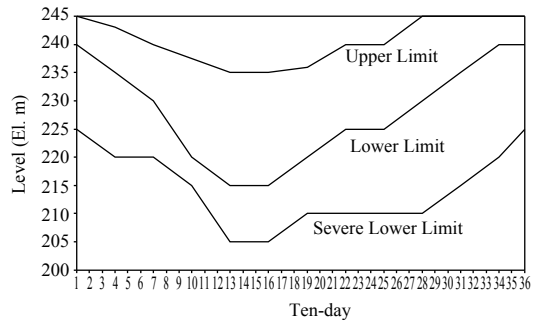


圖 9 石門水庫運用規線(2007 年 5 月 28 日修正)

求集中於 2 月至 11 月間，平均需水量約為 1.23×10^6 CMD，主要自石門大壩上游之石門大圳與後池堰左側之桃園大圳取水。桃園用水區的家用及公共給水現況需求約為 0.91×10^6 CMD，板新地區現狀需求則約為 0.88×10^6 CMD。水利署預估桃園地區家用及公共給水需求於 2021 年為 1.28×10^6 CMD，而屆時板新地區用水轉由新店溪水源負責供應。桃園用水區之取水方式除由石門水庫大壩上游經石門大圳送至平鎮、龍潭及石門淨水場外，另有於鳶山堰攔引抽送大滴淨水場，及部分於後池堰取水經桃園大圳送至大滴淨水場者。板新地區用水需求則主要由鳶山堰攔引水量送板新淨水場處理，並自三峽堰抽水支援。

石門水庫現行運用規線係經濟部水利署於 2002 年 10 月 31 日公告，如圖 9 所示，規線共含上限、下限及嚴重下限三種水位。水庫運用要點規定當水庫水位在嚴重下限以下時，應對各標的用水採取相關限水措施，惟由歷年實際運轉經驗可知，當枯早年水量不足時，主管機關經常移用農業用水，以充分滿足家用及公共給水之需求，並支付農業用水水權相當的補償費用。此外，運用要點亦規定當水庫水位在上限以上時，得允許石門電廠配合電力系統於尖峰時段滿載發電以調降蓄水位。

4.2 分析方案與條件

圖 10 所示為簡化之新店溪及大漢溪水資源系統網流示意圖，實際分析所用之架構包含 63 個節點與 83 條箭線。雖然水利署規劃於 2021 年

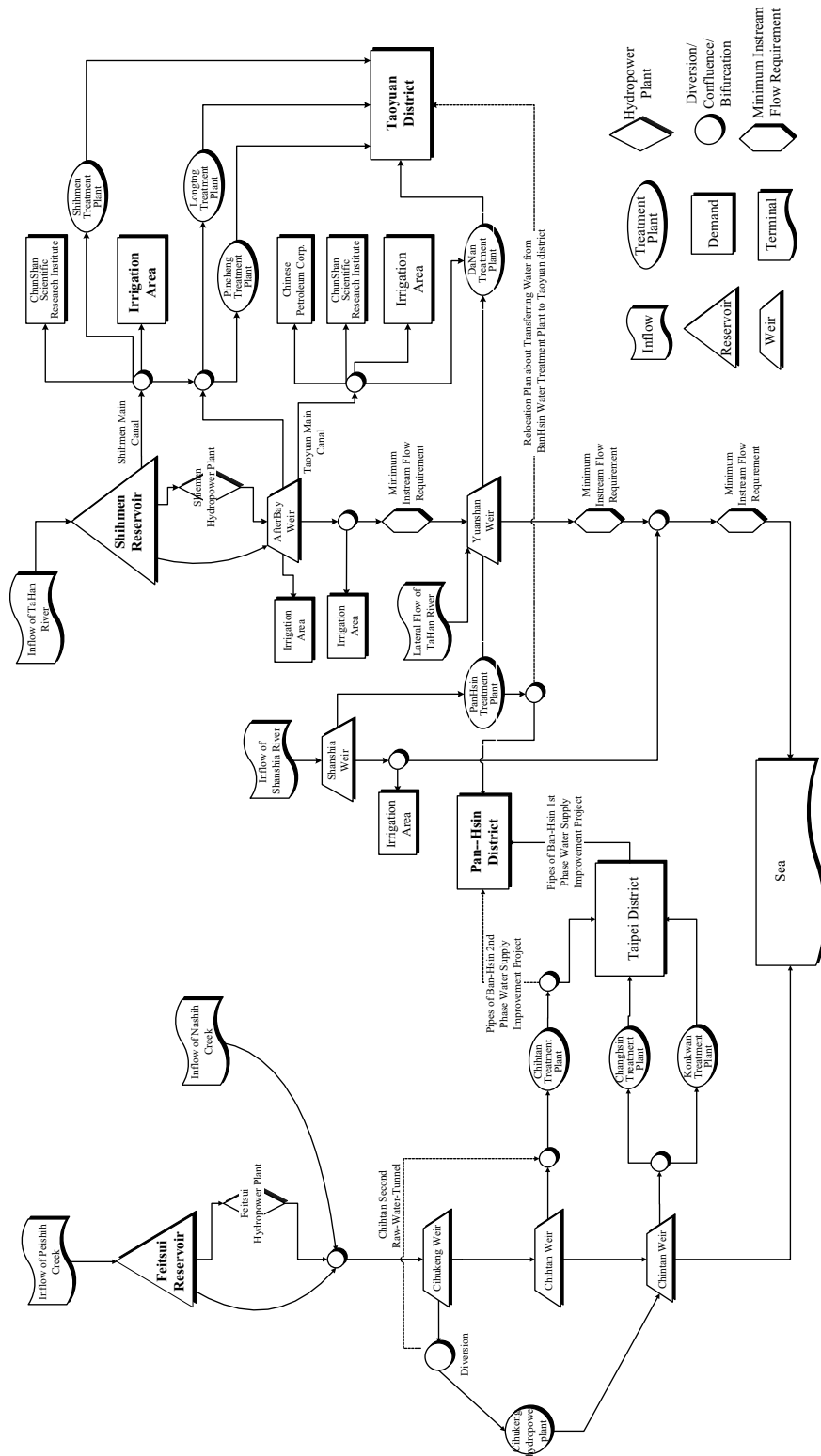


圖 10 新店溪及大漢溪水資源系統

時將板新用水區完全劃為新店溪系統的責任供水範圍，但因板新用水區並不屬於翡翠水庫原計畫的供水範圍，且翡翠水庫供水標的中除公共給水並附帶發電外並無其他標的用水，以致在嚴重枯旱時期並無農業用水可供移用，因此台北自來水事業處與台北翡翠水庫管理局均要求在確保其原責任供水區之最小必要用水量無虞後，方願意增供板新地區用水。

本文參照「板新地區供水改善計畫二期工程檢討評估暨新店溪水源開發計畫檢討：水源專題報告」（經濟部水利署水利規劃試驗所，2005b）提出的供水規劃，設定新店溪系統在翡翠水庫水位低於運用規線嚴重下限時即停止供應板新用水區，因而集中對台北用水區之供水相當於維持其在運用規線下限位置以下之限水標準。當翡翠水庫水位高於嚴重下限時，系統方根據運用規線規定依序補足台北及板新用水區於各階段的可獲分配水量。綜合上述討論，在此方案 I 中新店溪系統之水量分配優先順序如下：(1)滿足新店溪系統 6 成用水需求，而此水量全部供應台北用水區，(2)維持翡翠水庫蓄水至嚴重下限，(3)滿足新店溪系統至 8 成用水需求，並對台北與板新用水區維持相同之供水率，(4)維持翡翠水庫蓄水至下限，(5)充分滿足台北與板新用水區之用水需求，(6)維持翡翠水庫蓄水至中限，(7)翡翠水庫執行尖峰發電，(8)維持翡翠水庫蓄水至上限，(9)翡翠水庫執行滿載發電，(10)蓄滿翡翠水庫，(11)若有多餘水量，將翡翠水庫下游各堰壩蓄滿。

因新店溪水源優先保障台北用水區之必要用水，當翡翠水庫蓄水低於嚴重下限時，板二計畫建議板新用水區僅仰賴大漢溪系統供應。但為提高系統自來水的用水效率，減輕石門水庫負荷，且保障大漢溪原用水標的之權益，避免出現局部地區嚴重缺水，本文另設定大漢溪系統在嚴重枯旱時僅備援供應板新用水區至 80% 需求水量，亦即僅在翡翠水庫無法供應板新用水區之 80% 用水需求時，大漢溪系統方支援板新用水區至其 80% 計畫需求水量。綜合上述討論，在方案 I 中大漢溪系統之水量分配優先順序如下：(1)滿足桃園與板新用水區 8 成用水需求，滿足桃園地

區農業用水 5 成用水需求，(2)維持石門水庫蓄水至嚴重下限，(3)滿足桃園用水區至 9 成用水需求，滿足桃園地區農業用水至 7.5 成用水需求，(4)維持石門水庫蓄水至下限，(5)充分滿足桃園用水區與農業用水之用水需求，(6)維持石門水庫蓄水至上限，(7)石門水庫執行尖峰發電，(8)蓄滿石門水庫，(9)若有多餘水量，將石門水庫下游各堰壩蓄滿。

為對照上述新店溪水源優先供應台北地區之供水情勢，本文另模擬一板新與台北用水區採同樣限水標準之聯合運用對照案例，不限定翡翠及石門水庫對板新地區的責任供水量，以供決策者瞭解如果略增台北用水區之缺水量，對減輕板新地區缺水程度之影響。在此對照案例中，對翡翠及石門兩水庫近似限水標準的規線蓄水區間設定相同的蓄水優先順序，例如嚴重下限以下蓄水容積擁有同等級的蓄水優先順序。此方案 II 中整體系統的水量分配順序如下：(1)滿足台北與板新用水區 6 成用水需求，滿足桃園用水區 8 成用水需求，滿足桃園地區農業用水 5 成用水需求，(2)維持翡翠與石門水庫蓄水至嚴重下限，(3)滿足台北與板新用水區至 8 成用水需求，滿足桃園用水區至 9 成用水需求，滿足桃園地區農業用水至 7.5 成用水需求，(4)維持翡翠與石門水庫蓄水至下限，(5)充分滿足系統內各標的用水需求，(6)維持翡翠水庫蓄水至中限，維持石門水庫蓄水至上限，(7)翡翠與石門水庫執行尖峰發電，(8)維持翡翠水庫蓄水至上限，蓄滿石門水庫，(9)翡翠水庫執行滿載發電，(10)蓄滿翡翠水庫，(11)若有多餘水量，將翡翠與石門水庫下游各堰壩蓄滿。

上述兩方案的主要差異在於兩系統對板新用水區的聯合供應策略。方案 I 中以新店溪系統為常態時期供應板新用水區之主要水源，而當新店溪系統自身水源不足時，則由大漢溪系統備援供應板新用水區。方案 II 則不限定翡翠及石門水庫的責任供水量與地區，採用儘量維持系統內各用水區可獲得相同等級供水，並維持兩水庫蓄水平衡的聯合運用策略。在此整體考量下，系統供應板新用水區之水量端視翡翠及石門水庫之蓄

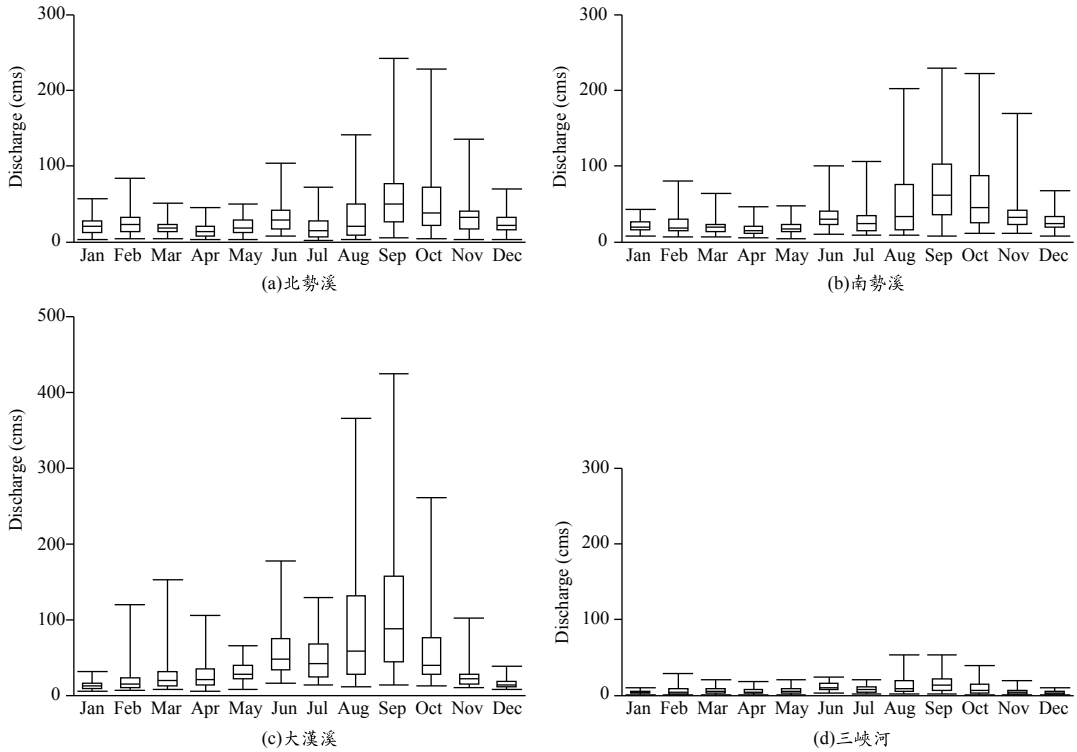


圖 11 系統主要入流位置之月平均流量 Box-Whisker 圖

水狀態而定，原則上擁有較高蓄水等級之水庫將儘量先放水供應共同供水之板新用水區，以儘量將兩水庫之蓄水調整至同等級的蓄水位置。

本文模擬上述二案例之系統入流條件取 1958 年至 2004 年間的南、北勢溪日流量記錄、石門水庫日進水量記錄與三峽流量站之日流量記錄，圖 11 所示分別為此四個主要入流序列資料於分析時程內之各月流量統計鬚盒圖。於分析時對系統內各淨水場設定 5% 之淨水損耗，對新店溪系統則另考慮 10% 之河道滲漏損失。雖然大漢溪河道沿岸有小部分農業灌區的回歸水流出，但予以忽略不計，整體而言不另計大漢溪河道之淨滲漏損失。兩系統內各公共用水地區於 2021 年之需求水量參照第 5 節所述之資料。

本文採用缺水指數(Shortage index, SI)為衡量缺水潛勢之評鑑指標，缺水指數計算式如下：

$$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{DF_i}{D_i} \right)^2 \dots\dots\dots (7)$$

式中， SI = 缺水指數， N = 分析總年數， D_i = 第 i 年之需水量， DF_i = 第 i 年中之缺水量。

4.3 模式應用結果與討論

上述二方案模擬結果之缺水評鑑指標如表 3 及表 4 所示，圖 12 與圖 13 為兩個模擬方案中新店溪供應板新地區用水之各旬平均供水量比較圖。分析結果討論如下：

1. 方案 I：優先保障台北用水區枯旱用水的運用策略

本方案由翡翠水庫負責供應板新用水區平日常用水，但遇嚴重枯旱時，板新地區則轉由石門水庫備援供應至計畫需求水量的 80%，此一設定乃基於新店溪僅在豐水期有相當數量之剩餘流量，而石門水庫有農業標的用水可移用供應家用及公共給水，因此於枯旱時期保留翡翠水庫蓄水以保障對台北用水區之供水。

由表 3 及表 4 等分析結果顯示，台北用水區之年缺水指數明顯低於其他用水區的家用及公

表 3 各方案模擬成果之缺水指數

Demands Scenarios	Indices			
	Domestic of Taipei	Domestic of Ban-Hsin	Domestic of Taoyuan	Agricultural of Taoyuan
Case I	0.222	0.337	0.351	1.514
Case II	0.243	0.218	0.305	1.453

表 4 各方案模擬之水庫平均日蓄放水量與發電量

Scenarios	Storage ($10^6 \times M^3$)		Daily Release ($10^6 \times M^3$)		Hydropower Generation (MWH)	
	Feitsui	Shihmen	Feitsui	Shihmen	Feitsui	Shihmen
	Case I	208.27	165.29	2.57	3.89	568.19
Case II	224.96	159.61	2.58	3.89	573.18	651.83

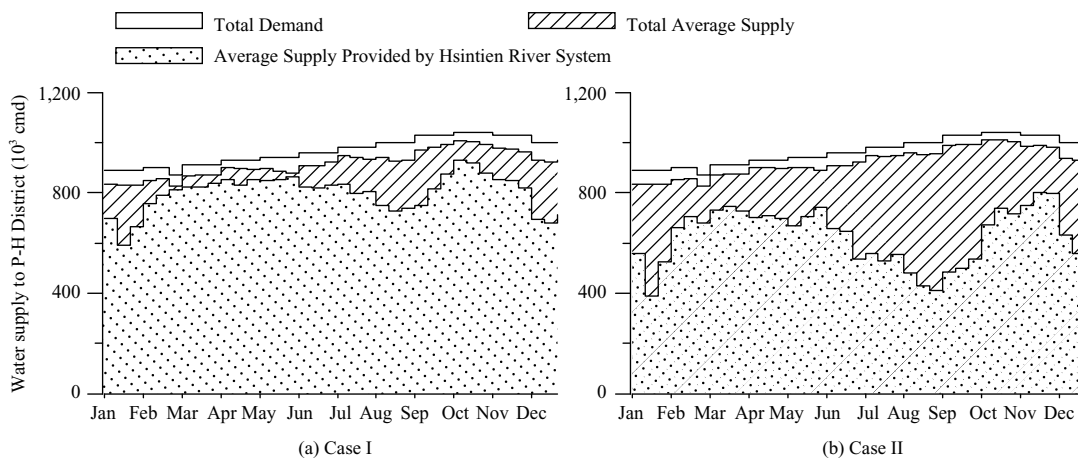


圖 12 板新用水區於分析時程(1958-2004)內之旬平均供需歷程

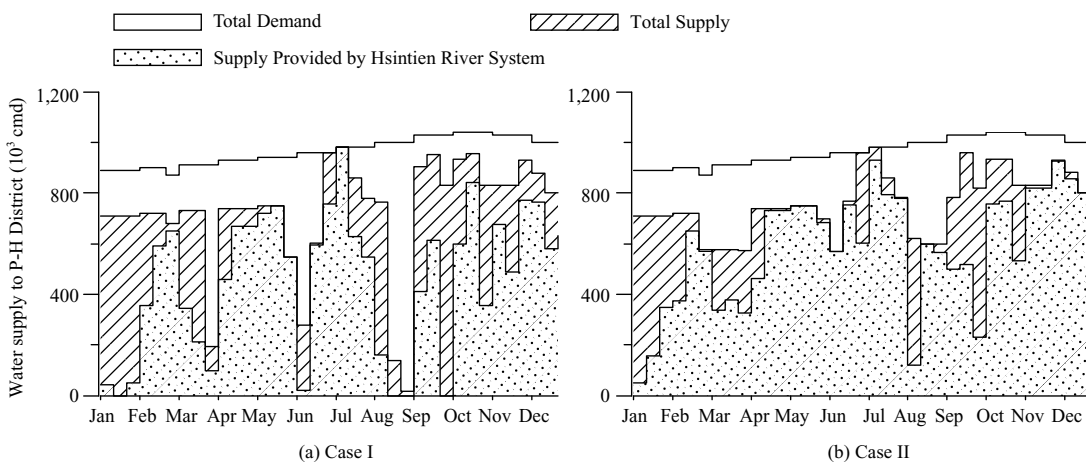


圖 13 板新用水區於最乾早年(2003)內之旬平均供需歷程

共給水，惟大漢溪水文之豐枯水季水量差距較新店溪懸殊，且石門水庫庫容小於翡翠水庫，因此當翡翠水庫蓄水低於嚴重下限時，石門水庫未必有足夠蓄水可支援板新用水區，而備援板新用水的結果可能顯著減少大漢溪系統各供水標的可獲配水量，因此導致板新、桃園用水區之缺水指數偏高。

2. 方案 II：對台北、板新用水區採同樣限水標準的運用策略

在此方案中，枯旱時期對板新地區之供水由翡翠及石門水庫之蓄水相對位置決定，並不侷限特定的單獨系統，原則上擁有較高蓄水位置的水庫優先放水供應板新共同供水區。

分析結果顯示大漢溪系統會增加供應板新地區用水，而翡翠水庫則於平時減少供應板新用水區，可保存其部分蓄水留待枯水季承擔較多的板新地區用水需求。因翡翠水庫於嚴重枯旱時期必須支援板新地區用水，台北用水區之缺水指數略微提升，但板新、桃園地區之家用及公共給水缺水指數則明顯減少，系統內各用水區的供需情勢維持在較平衡的狀態，另一方面，翡翠、石門兩水庫之總發電量亦高於方案 I 的運用結果。

3. 上述兩方案均會發生一水庫進行尖峰發電放水，而另一水庫之蓄水卻低於允許尖峰發電之規線位置。因應此系統未來可能實施二水庫聯合運轉，應重新檢討二水庫之聯合放水及尖峰發電策略，調整適當的尖峰發電規線，或要求僅當兩水庫蓄水均在尖峰發電規線以上時方允許同時進行尖峰發電，以確保尖峰發電所增放水量為後續時段不需利用之水量，提高系統的供水可靠度。

4. 本文所模擬之二方案代表兩種不同管理手段，因網流模式可高效率地分配系統水量，並確保優先引用系統內的川流剩餘水量，未來實務操作上欲達成此高效率的模擬成果，現地管理單位必須加強對河溪水文的即時監控、提升局部區域間水量相互調度支援之輸水能力、重新評估二系統對板新用水區之責任供水量、並考慮制訂二水庫之聯合運用規線、蓄水平衡曲線等。

五、應用實績

由於具有高度的通用性，WRASIM 已被用於分析台灣許多流域水資源的開發規劃評估與管理調配，且被水利署水利規劃試驗所採用，以分析廣域的水資源運用課題。已完成的分析事項包括：

1. 分析蘭陽溪系統、基隆河系統、新店溪及大漢溪聯合系統、鳳山溪、頭前溪及中港溪聯合系統、大安溪與大甲溪聯合系統、八掌溪與急水溪聯合系統、濁水溪系統、曾文溪及高屏溪聯合系統、四重溪系統等各控制點的剩餘水量，並評估擬議的開發方案在不同開發規模下對系統用水增加的供水能力。(經濟部水利署中區水資源局，2004；經濟部水利署水利規劃試驗所，2005a；經濟部水利署中區水資源局，2006b；經濟部水利署南區水資源局，2006a；經濟部水利署南區水資源局，2008a；經濟部水利署南區水資源局，2009)。
2. 模擬新店溪及大漢溪系統在各種水源設施開發方案組合下的系統供水能力，以分析滿足未來用水需求及系統備援能力之最經濟開發策略。(經濟部水利署水利規劃試驗所，2008b)
3. 模擬大漢溪系統的日常水資源分配運用，探討系統水資源的利用效率並建議改善策略。(經濟部水利署水利規劃試驗所，2007)
4. 對石門水庫蓄水在高濁度情況下，探討板新及桃園用水區之最佳水源調度策略，並協助分析中庄調整池、三峽調整池所需容量與供水能力，及評估相關導水管路之最經濟設計容量。(經濟部水利署水利規劃試驗所，2008a；經濟部水利署水利規劃試驗所，2008b；經濟部水利署水利規劃試驗所，2008c)
5. 分別模擬台北盆地及桃園台地之地面水及地下水聯合運用，建議地下水的最適運用策略。(經濟部水利署水利規劃試驗所，2006；經濟部水利署水利規劃試驗所，2008b)
6. 串接自基隆河迄中港溪之北區水資源系統所

- 有重要的既有及擬議中的水源設施與用水區聯通管，分析在枯旱、高濁度原水或設施故障等情況下的北區水資源整體最佳調度，以建議在上游地區應開發之備援水源設施，及下游各自來水用水區之間的導水及備援聯通管網。(經濟部水利署水利規劃試驗所，2005a)
7. 分析大安溪及大甲溪聯合運用系統在各種越域引水方案及增建后里淨水場下的供水能力，並評估大甲溪發電廠在不同用水情勢下的發電量。(經濟部水利署中區水資源局，2005；經濟部水利署中區水資源局，2006a)
 8. 檢討大甲溪八寶攔河堰工程開發規模。延續大安溪及大甲溪的聯合運用模式，探討在大甲溪諸發電廠維持尖峰發電型態時，八寶堰的有效庫容與大台中地區系統供水能力之關係，據以研判工程的經濟開發規模。(經濟部水利署中區水資源局，2007a)
 9. 探討拆除大甲溪的青山、谷關、天輪及馬鞍等水庫與攔河堰，對大台中都會區之供水與台電公司發電量之影響。(經濟部水利署中區水資源局，2007b)
 10. 檢討濁水溪下游各農業用水水權在取水地點上移至集集堰後的合理水權量，並模擬分析湖山水庫的供水能力。(經濟部水利署中區水資源局，2006b)
 11. 評估鹿寮水庫更新增大庫容後，在單獨運用及與八掌溪的蘭潭、仁義潭水庫聯合運用時之供水能力，以設計鹿寮水庫所需容量與越域引水路的導水容量。(經濟部水利署南區水資源局，2006a)
 12. 分析白河水庫既有水源在不同庫容狀況下之供水能力，並增加考量漂水溪越域引水狀況下之供水能力。(嘉南農田水利會，2006)
 13. 模擬曾文與烏山頭水庫之串聯運用，分析曾文水庫不同蓄水量下的可能缺水風險，並據此評估曾文水庫在颱風來臨前實施調節性放水的最適預降水位。(經濟部水利署南區水資源局，2008b)
 14. 評估曾文水庫越域引水計畫之供水能力，及曾文水庫、烏山頭水庫、南化水庫、高屏溪攔河堰及曾文水庫越域引水計畫等之聯合運用供水能力、荖濃溪攔河堰可越引水量，並據以制訂曾文越引計畫完成後的曾文－烏山頭水庫聯合運用規線。(經濟部水利署南區水資源局，2009)
 15. 探討高屏溪攔河堰在原水高濁度期間的最適取水策略、及高雄－台南自來水系統在高濁度原水限制坪頂淨水場出水量下之最佳配合供水與調度策略。(經濟部水利署南區水資源局，2006b)
 16. 模擬牡丹水庫蓄水利用及四重河流域的水資源運用，以協助制訂該水庫的運用規線。(經濟部水利署南區水資源局，2008a)

六、結論與建議

本文以網流規劃法為基礎，發展一通用性廣域水資源供需模擬模式，命名為 WRASIM，以評估廣域水資源之聯合運用。運用網流模擬之要件在於以網路表示水資源實體系統，以及設定適當的網路水流權重以反映實體系統的水量分配規則或原則。WRASIM 模式透過在各類水流的虛擬箭線上設定權重，以反映不同蓄水或取水的優先順序，若有需要亦可在實體箭線上設定權重以導引水流流向。

藉由設定適當之網路水流權重，WRASIM 可考量包括：單一水庫運用規線模擬、多水庫聯合運用、在槽用水需求、系統損耗水量、水力發電等水文、水資源過程；此外亦可模擬高濁度原水限制淨水場可出水量、及尖峰發電放水量在一日內的不均勻分佈過程、地面水地下水聯合運用等水資源運用的特殊要項。此外，WRASIM 在實務上可分析之問題包括：(1)水資源規劃：剩餘流量模擬、新增設施供水能力評估、備援水源及聯通管設計、地面水-地下水聯合運用；(2)水資源常態管理：水權取水及剩餘流量模擬等；(3)水資源緊急調度：枯旱水源水量不足、設施故障、原水濁度飆高等。

WRASIM 模式功能完整，由於架構具彈性，可僅藉由編輯輸入資料檔，即可分析不同水

資源系統之水源運用，具有極高的通用性。其次，水量分配概念明確，可模擬大區域複雜系統之用水，計算效率高，為少數可以進行廣域水資源運模擬的軟體之一。

本文於實例分析中藉由評估板新用水區之供水情勢，展示如何使用 WRASIM 模式正確模擬翡翠及石門水庫並聯系統之水資源運用，包括設定箭線權重以使翡翠及石門水庫之蓄水利用符合各自運用規線的規定，且對其聯合供水的板新用水區評估不同限水標準的供水情況。結果顯示若遵循現行的供水策略構想，設定新店溪系統於翡翠水庫蓄水低於嚴重下限時即停供板新區用水，台北用水區的缺水指數為所有區中最低者，可最大保障對台北用水區之供水。另一方面，若不限定翡翠及石門水庫的責任供水量與地區，而視水庫蓄水狀態彈性調整各自對板新區的供水量，於嚴重枯旱時再由翡翠水庫負擔較多板新區的用水，則可顯著提升所有家用及公共給水標的用水之穩定性，並增加兩水庫的總發電量。

因為水資源運用分析的主要條件為純網流型態的水量守恆連續方程式，僅有少數非純網流型態的限制條件，未來另可考慮以其他可分析網流增益的嵌入式網流命題解法(Mcbride, 1985)替換計算核心，則可於命題中直接納入非純網流型態之限制式，提高在非線性條件下水量分配之計算效率。

七、誌謝

本研究由經濟部水利署水利規劃試驗所提供研究經費(水資源科技專案計畫名稱：「通用性區域水資源調度與供需分析模式建立」，編號：093-R-11-00-1-013-03)；研究期間承蒙經濟部水利署謝勝彥副署長、中區水資源局彭瑞國前副局長、水利規劃試驗所王國樑課長、潘哲哲正工程司、鍾寬茂正工程司、徐明童副工程司等針對實務觀點建議模式分析功能；台灣大學劉佳明教授、逢甲大學陳昶憲教授、中興大學陳榮松教授、淡江大學水資源管理與政策研究中心胡文章顧問等學者針對計算原理建議模式發展方向；台灣省自來水公司前副總工程師謝發清先生提供

水源調配方案之建議，水利署水文技術組蘇俊明科長、台北市自來水事業處朱孟聰專員、翡翠水庫管理局朱孝恩股長、台灣自來水公司第二區管理處陳永彬課長及第十二區管理處陳清棋課長等提供現地運轉資料，方便本研究得以順利完成，特此一併致謝。

八、參考文獻

1. 周乃昉，1992，「區域性地面水量調配之網流模擬」，第六屆水利工程研討會論文集，國立交通大學，新竹，pp.850~862。
2. 周乃昉、林挺生，1993，「地面水庫對調節河溪涵容流量之貢獻」，水資源技術評估與推廣研討會論文集，台灣，台南，pp.152~163。
3. 嘉南農田水利會，2006，「白河水庫永續經營規劃」。
4. 魏志強，1997，「線性規劃法與網流法應用於地表水系統水權模擬之比較」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
5. 鄭克偉，1998，「流域性水資源系統運用規劃優選模式之建立與應用」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
6. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2004，「通用性區域水資源調度與供需分析模式建立」。
7. 經濟部水利署中區水資源局，2004，「大安溪及大甲溪水資源聯合運用初步規劃」。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2005a，「北部地區水資源系統備用水源及管網之分析檢討」。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2005b，「板新地區供水改善計畫二期工程檢討評估計新店溪水源開發計畫檢討—水源專題報告」。
10. 經濟部水利署中區水資源局，2005，「大安溪及大甲溪水資源聯合運用初步規劃」。
11. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2006，「通用性區域水資源調度與供需分析模式建立(三)」。
12. 經濟部水利署中區水資源局，2006a，「大甲溪八寶攔河堰工程計畫檢討(一)」。
13. 經濟部水利署中區水資源局，2006b，「從水

- 文觀點探討取水位置改變後之合理水權量—以濁水溪集集攔河堰農業用水為例」。
14. 經濟部水利署南區水資源局, 2006a, 「鹿寮水庫更新改善可行性規劃」。
 15. 經濟部水利署南區水資源局, 2006b, 「高屏堰高濁度缺水分析及改善策略檢討」。
 16. 經濟部水利署水利規劃試驗所, 2007, 「水資源計畫之規劃與管理模式整合研究—以桃園地區為例(1/2)」。
 17. 經濟部水利署中區水資源局, 2007a, 「大甲溪八寶攔河堰工程計畫檢討(二): 工程可行性規劃」。
 18. 經濟部水利署中區水資源局, 2007b, 「大甲溪台電公司轄管水庫攔河堰存廢對水資源利用及相關事項影響檢討(初步評估)」。
 19. 經濟部水利署水利規劃試驗所, 2008a, 「三峽調整池初步規劃(二)」。
 20. 經濟部水利署水利規劃試驗所, 2008b, 「水資源計畫之規劃與管理模式整合研究—以桃園地區為例(2/2)」。
 21. 經濟部水利署水利規劃試驗所, 2008c, 「中庄調整池工程可行性規劃」。
 22. 經濟部水利署南區水資源局, 2008a, 「牡水庫運用要點檢討」。
 23. 經濟部水利署南區水資源局, 2008b, 「曾文水庫防洪運轉調洪策略與作業程序檢討-曾文水庫汛期間防洪運轉水庫水位預先洩降可行性檢討」。
 24. 經濟部水利署南區水資源局, 2009, 「曾文水庫越域引水工程計畫—曾文水庫運用規線檢討及水庫運用要點修訂」期中報告。
 25. 鍾寬茂, 2006, 「水資源調配模擬模式之開發及其應用」, 水利, 第 16 期, 第 223~234 頁。
 26. Acres International Corporation, 1998, *ARSP User's Manual*. 263 pp.
 27. Andrews, E. S., F. I. Chung and J. R. Lund, 1992, "Multilayered, Priority-Based Simulation of Conjunctive Facilities," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.118, n1, 32-54.
 28. Barr, R. S., F. Glover and D. Klingman, 1974, "An Improved Version of the Out-of-kilter Method and a Comparative Study of Computer Codes," *Mathematical Programming*, Vol.7, n1, 60-85.
 29. Brendecke, C. M., W. B. DeOreo, E. A. Payton and L. T. Rozaklis, 1989, "Network models of water rights and system operations," *Journal of Water Resource Planning and Management*, Vol.115, n5, 684-696.
 30. Chung, F. I., M. C. Archer and J. J. DeVries, 1989, "Network Flow Algorithm Applied to California Aqueduct Simulation," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.115, n2, 131-147.
 31. Dai, T. and J. W. Labadie, 2001, "River Basin Network Model for Integrated Water Quantity/Quality Management," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.127, n5, 295-305.
 32. Faux, J. C., J. W. Labadie and R. C. Lazaro, 1986, "Improving Performance of Irrigation/Hydro Projects," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.112, n2, 205-224.
 33. Fredericks, J. W., J. W. Labadie and J. M. Altenhofen, 1998, "Decision Support System for Conjunctive Stream-Aquifer Management," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.124, n2, 69-78.
 34. Frederick N.-F. Chou, Chih-Wei Cheng and Chia-Wen Wu, 2006, "Graphical I/O Interfaces of a Regional Water Resources Allocation Model," *Proceedings of the 7th International Conference on HydroScience and Engineering (ICHE 2006)*, Philadelphia, PA, USA, Sept.
 35. Fulkerson, D. R., 1961, "An Out-of-Kilter Method for Minimal-Cost Flow Problems," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, Vol.9, n1, 18-27.
 36. Graham, L. P., J. W. Labadie, I. P. G. Hutchison and K. A. Ferguson, 1986, "Allocation of Aug-

- mented Water Supply Under a Priority Water Rights System,” *Water Resources Research*, Vol.22, n7, 1083-1094.
37. Israel, M. S. and J. R. Lund, 1999, “Priority Preserving Unit Penalties in Network Flow Modeling,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.125, n4, 205-214.
38. Kuczera, G. and G. Diment, 1988, “General Water Supply System Simulation Model: WASP,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.114, n4, 365-382.
39. Labadie, J. W., D. A. Bode, and A. M. Pineda, 1986, “Network Model for Decision-Support in Municipal Raw Water Supply,” *Water Resources Bull*, Vol.22, n6, 927-940.
40. Labadie, J. W. and M. Baldo, 2001, “Discussion of ‘Priority preserving unit penalties in network flow modeling’ by M. Israel and J. Lund,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.127, n1, 67-68.
41. McBride, R. D., 1985, “Solving Embedded Generalized Network Problem,” *Euro. Journal of Operational Research*, Vol.21, 82-92.
42. Shafer, J. M., 1979, *An Interactive River Basin Water Management Model: Synthesis and Application*. Technical Report No. 18, Colorado Water Resources Research Institute, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
43. Srdjevic, B., Y. D. P. Medeiros and A. S. Faria, 2004, “An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water Management Scenarios,” *Water Resources Management*, Vol.18, n1, 35-54.
44. Texas Water Development Board, 1972, Economic Optimization and Simulation Techniques for Management of Regional Water Resource Systems; River Basin Simulation Model SIMYLD-II – Program Description. System Engineering Division, Austin, Texas.
45. Van der Krogt, Ir. Wil N.M., 2003, *RIBASIM Technical Reference Manual*. Delft Hydraulics, 159 pp.
46. Wurbs, R. A. and A. Yerrameddy, 1994, “Reservoir/River System Analysis Models: Conventional Simulation versus Network Flow Programming,” *Water Resources Development*, Vol.10, n2, 131-142.
47. R. A. Wurbs, 2001, *Reference and users manual for the water rights analysis package*. Technical Report 180, Texas Water Resources Institute, Texas A&M University.
48. Yerrameddy, A. and R. A. Wurbs, 1996, “Water Resources Allocation Based on Network Flow Programming,” *Civil Engineering System*, Vol. 13, 75-87.

收稿日期：民國 98 年 6 月 9 日

修正日期：民國 98 年 7 月 30 日

接受日期：民國 98 年 8 月 4 日