

遺傳演算法與類神經網路於地表地下 聯合營運之應用

Applying Genetic Algorithm and Neural Network on the Conjunctive Use of Surface and Subsurface Water

國立交通大學
土木工程學系
教授

張良正*

Liang-Cheng Chang

國立交通大學
土木工程學系研究所
博士候選人

陳宇文

Yu-Wen Chen

國立交通大學
土木工程學系研究所
博士候選人

朱宏杰

Hone-Jay Chu

中興工程
環境工程二部
工程師

黃浚璋

Chun-wei Huang

摘 要

於傳統地表地下聯合營運管理模式中，常見的地下水反應方程式之處理方式可分為嵌入法(Embedding Method)與響應矩陣法(Response Matrix Method)，嵌入法是將一個地下水數值模式完整嵌入，其計算量容易隨問題的增大而遽增；響應矩陣法則以線性矩陣方程式近似系統之反應行為，然因其線性假設，並不適用於非線性之非拘限含水層管理問題。因此，本研究應用類神經網路學習地下水位變化，藉此建立一個可長期預測地下水位變化之類神經網路，並將其嵌入一個逐時刻優選之地表地下聯合營運模式，以遺傳演算法串連地表水與地下水兩系統，兩者間之調配原則採用「指標平衡」概念，並在維持地表地下互動的精神下，兩系統乃各自計算，地表水調配部分則以線性規劃求解，地下水系統之描述則採用前述之類神經網路。本研究進一步探討不同的營運方式對系統供水效能之影響，研究結果顯示，相較於地表水源易受水文條件之影響，地下水為相對穩定的供水來源，在地下水系統平均供水量僅佔總需求量之 7.48% (112.15 萬噸/旬)案例中，聯合營運可以大幅降低缺水指數(SI)，最高可由 2.93 降低至 0.79。此外，本模式透過不同的地下水分層設計，能夠實施不同強度之地下水使用策略，相較於「地表水先用地下水後供」之營運方式，可提供更彈性的地下水營運方式及大幅降低整體缺水情形。

關鍵詞：遺傳演算法，類神經網路，指標平衡，地表地下聯合營運。

*通訊作者，國立交通大學土木工程學系教授，30010 新竹市大學路 1001 號，lcchang31938@gmail.com

ABSTRACT

In the two traditional conjunctive use approaches, the embedded method and the response matrix method, are used to present groundwater system response. The embedded method embeds a groundwater numerical model in the management model but this method is usually associated with huge computational loading. The response matrix method approximates the system response as a linear matrix function but has no ability to deal with nonlinear problems in unconfined aquifer management. This study uses a BackPropagation Neural Network (BPN) which is a hypothetical way to simulate the nonlinear system response for groundwater management.

This study proposed a stepwise optimal management model for conjunctive use of surface and subsurface water. The supply model for the conjunctive use problem was determined by a hybrid approach including Genetic Algorithm (GA), BPN and linear program (LP). GA was used to integrate a surface water system, constructed using LP, with a groundwater system, constructed using BPN. The operation rule curve and principle of 'index balance' were applied to supply water from both the surface water and subsurface water. The proposed model investigated the impact on operation strategies. A small amount groundwater supply can significantly increase the water supply reliability.

Simulation results show that with only the groundwater supply increasing by 7.48% can significantly decrease the shortage index (SI). Besides, this work also demonstrates the 'rule curve' principle to control the priority of groundwater usage and is a flexible and effective strategy for the conjunctive use of surface and subsurface water.

Keywords: Genetic algorithm, Artificial neural network, Principle of index balance, Conjunctive use.

一、前言

近年來由於全球氣候變遷造成旱澇發生的頻率升高，台灣雖然為雨量充足的海島型氣候，但降雨不均且河川大都流短坡陡，造成水資源在時間及空間的分布上極為不平均，水資源保存不易，加上社會發展迅速，對水資源的需求日益增加，因此水資源的開源與節流實為重要。隨著環境保護意識的高漲，使得新水源的開發變得不易，如何運用現有的水資源作妥善的規劃與調配實為當前的重要課題，如能將地下水資源與地表水資源整合進行聯合營運，將可在水資源運用上獲得更大的效應，因此如何妥善及有效率地規劃管理地下水資源，使其與地表水資源聯合營運時發揮最大效應為一重要課題。

地下水管理之相關模式中，多藉由優選方法進行管理策略之決定。Gorelick (1983)指出傳統地下水管理模式或地表地下聯合營運模式中，在地下水反應方程式部分之處理，可以區分為嵌入法 (Embedding Method) 與響應矩陣法 (Response Matrix Method) 兩類方法。嵌入法乃直接嵌入一個地下水數值模式，因此其可提供的地下水位資訊遠多於系統需求，然而由於許多優選方法皆藉由迭代方式逐步求得管理策略，需要反覆執行地下水反應方程式，因此在於現地較複雜問題中，容易因為整體計算量急遽增加而難以求解；響應矩陣法則將地下水反應方程式以線性矩陣方程式近似，其計算量極小，且提供恰好足夠之地下水資訊，然而基於其線性假設，因此不適用於非線性之非拘限含水層管理問題。

類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)為常見的資料探勘方法之一，其藉由大量且簡單的人工神經元相連結，來模仿生物神經網路。人工神經元是以生物神經元為範本，將外界的輸入加以簡單的運算，再將其結果輸出到外界環境或者其它人工神經元。其應用範圍十分廣泛，有：水資源工程之流量預測(楊等，1995)、股票市場預測(Kimoto and Asakawa, 1990)、電子電路診斷(Kagle 等，1990)等。但在類神經網路廣泛的運用範圍裡，網路中之輸入神經元及輸出神經元大都為不同變數且不為時間的函數，而較少將該時刻之輸出值作為下個時刻輸入值循環傳遞之連續預測網路模擬法。

在連續預測網路模擬法之文獻方面，過去Coppola 等人(2003)曾採用坦帕灣當地地下水位與相關水文資料來訓練類神經網路，並以訓練好之類神經網路來進行時序水位連續預測，發現可成功運用於短期之地下水位預測，但就長期規劃而言地下水位的預測仍需要其他數值模式加以協助；另外謝明富(1999)應用於學習單自由度結構物受地震力後所產生的非線性遲滯動力行為之模擬模式上也有良好的成果。綜合上述文獻，類神經網路可以處理較為複雜之非線性系統，且其計算量遠較數值模式之嵌入法小，因此類神經網路可作為非拘限含水層地下水管理反應元件的良好選擇。

在地表地下聯合營運研究上，徐年盛(1995)發展以淡水河流域為例之地表水與地下水聯合營運模擬模式，其整體模式為一個以線性規劃設計為主的網流模式，目標函數為總成本最小值。Randall *et al.* (1997)利用一具有多標的目標函數之線性規劃系統來建立地表地下聯合營運的模式，標的權重之數值大小用以反應操作策略上的優先順序。整個問題除了所有相關的方程式均為線性之定義外，其地下水系統的處理方式將無法呈現地下水抽水量、補注量對地下水位隨時變的動態性。顏榮祥(1999)以線性規劃法建構南部地區水資源調配之系統模式，聯合運用地表水與地下水，考量用水效益與水利法標的優先順序及水權的優先順序，對未來南部地區在不同水文狀態

下之配水情形進行初步的研究。前述研究均受限於線性規劃之限制，難以應用於非線性非拘限含水層之地表地下聯合營運問題中。

Watkins and Mckinney (1998) 建立一地表地下聯合營運的非線性規劃模式，其目標函數為地表地下總成本最小，其中包含所有水工結構物之固定成本(包括水庫庫容、管線容量與抽水及補注井的投資設計)與操作成本。在地下水系統的處理方面，採用響應矩陣法(Response Matrix)處理地下水反應方程式，雖然在管理上可以處理非線性問題，但受限於響應矩陣法之限制，並無法直接處理非拘限含水層之地表地下聯合營運問題；楊朝仲(2002)應用遺傳演算法與可微分動態規劃法於多目標地表地下聯合營運規劃上，其在地下水系統的處理上，直接嵌入一個地下水水流模擬模式(ISOQUAD)，然由於嵌入法的特性，對於現地問題而言，其計算量將大幅增長。

綜合以上所述，本研究首先將應用類神經網路反應地下水反應方程式，綜合類神經網路在運算上的高速效率與對於非線性問題之精確性。其次，本研究藉由類神經網路進一步發展一個逐時刻優選之地表地下聯合營運模式，地表水源與地下水源間之調配原則採用「指標平衡」概念，其中地下水系統部分則採用前述之類神經網路，地表水部分則以線性規劃求解。

二、應用類神經網路建立地下水模擬模式

2.1 資料的產生與處理

本研究應用 U.S.G.S.所開發的地下水數值模式(MODFLOW)，進行一個均質、等向的二維非拘限含水層模擬，固定抽水井位置，模擬大量之抽水與水位之變化關係。模式網格建置如圖 1 所示，模擬範圍係 17,000 (m) × 17,000 (m) 大小的矩形，切割分成 170 × 170 個網格，每個網格大小為 100 (m) × 100 (m)。水文地質參數設定為均等向，其中水力傳導係數為 0.001 (m/sec)，有效孔隙率為 0.2，儲水係數為 0.2，含水層的厚度為 110 (m)。上下兩邊之邊界條件為無流量邊界條件，左右兩邊的邊界條件為定水頭邊界條件，分

表 1 驗證案例之最大相對誤差

	驗證案例 A 之最大 相對誤差值	驗證案例 B 之最大 相對誤差值
觀測井 1	0.015	0.021
觀測井 2	0.017	0.017
觀測井 3	0.022	0.032
觀測井 4	0.016	0.019
觀測井 5	0.016	0.027

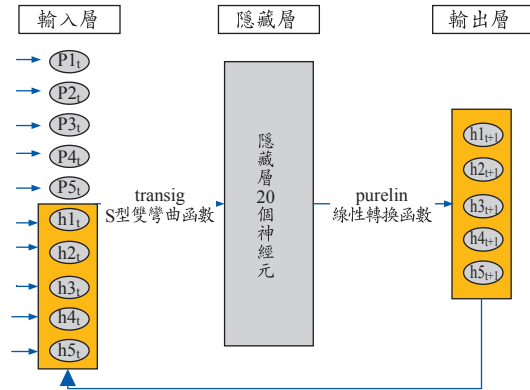


圖 4 連續預測流程圖

(階梯函數驗證案例)之驗證結果，類神經網路與 MODFLOW 之模擬水位有相同之水位走勢，且各觀測井的最大相對誤差均低於 5%以下，因此可證實類神經網路的確足以模擬不同抽水型態下之水位變化，可以作為地表地下聯合營運中之地下水反應方程式。

三、逐時刻優選地表地下聯合營運模式

當地表水系統中水庫不只一座時，我們如何決定各水庫之供水順序呢？目前水庫與水庫間放水策略常用的方法之一乃以「指標平衡」作為供水順序之原則，此方法最早為美國陸軍兵工團工程師所提出，其基本精神為保持各蓄水單元蓄水量之平衡。運用指標平衡方法可平衡水庫與水庫間入流量相對於庫容之豐枯狀態，以獲得水資源調配時之最大效益。

指標平衡方法對水庫操作規線之分層賦予整數之基本指標 I_i ，系統中之任一水庫在 t 時刻，若其放水後之蓄水量位在水庫之第 i 分層，

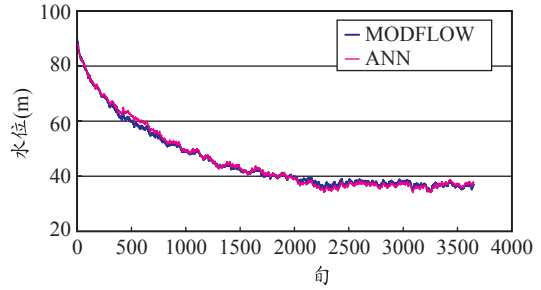


圖 5 驗證案例 A 三號井水位圖

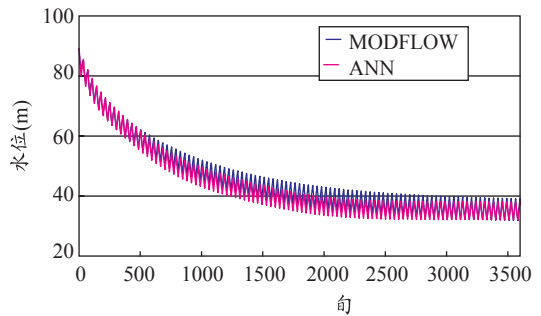


圖 6 驗證案例 B 三號井水位圖

則其指標可表示如下：

$$I_s^t = I_i + \frac{V^t - V_i}{V_{i+1} - V_i}, (V_{i+1} \geq V^t > V_i) \dots\dots\dots (1)$$

其中， I_s^t ：第 t 時刻時指標值； I_i ：第 i 層基本指標； V^t ：第 t 時刻放水後之蓄水量； V_i ：第 i 層底對應之蓄水量； V_{i+1} ：第 $i+1$ 層層底(即第 i 層頂)所對應之蓄水量；由上述可知，「指標」為水庫在 t 時刻存放於對應分層(規線)之蓄水體積相對該分層之整體體積的比值，當不同水庫規模有所差異時，應用水庫庫容與其蓄水量之比值，可以更客觀地評估蓄水狀態。指標平衡基本運算式則如下式所示。

$$G_{mn}^t = |I_{s,m}^t - I_{s,n}^t|, m, n \in N_F \dots\dots\dots (2)$$

其中， G_{mn}^t ：第 t 時刻第 m 與第 n 水庫之指標差值； $I_{s,m}^t$ ：第 t 時刻第 m 水庫放水後之指標，其計算如式(1)所示； $I_{s,n}^t$ ：第 t 時刻第 n 水庫放水後之指標，其計算如式(1)所示； N_F ：參與指標平衡操作之水庫群集。

本研究中將引入此構想，將地下水含水層作分層設計，並且與地表水系統進行指標平衡之操作，以保持地表水系統與地下水系統間蓄水指標之平衡為原則，建立地表地下聯合營運模式。然而，地下水系統的蓄水體積並不容易估算，因此本研究中以地下水系統所有的觀測井的平均水位來推估地下水指標，地下水指標可表示為式(3)所示。

$$I_g^t = I_i + \frac{\tilde{h}^t - \tilde{h}_i}{\tilde{h}_{i+1} - \tilde{h}_i}, (\tilde{h}_{i+1} \geq \tilde{h}^t > \tilde{h}_i) \dots\dots\dots(3)$$

其中， \tilde{h}^t 為第 t 時刻地下水系統放水後所有觀測井網平均水位， \tilde{h}_i 為第 t 時刻地下水系統第 i 層底對應之平均水位， \tilde{h}_{i+1} 為第 t 時刻地下水系統第 i+1 層底(第 i 層頂)對應之平均水位。地表地下水系統指標平衡式如下所示：

目標函數：

$$Z^t = \min_{\bar{X}^t, \bar{P}^t} \left\{ \sum_{i \in N_D} W_{SH,i} SHR_i^t + W_G \left(G_{sys}^t + \sum_{m \in N_F} \sum_{n \in N_F} G_{mn}^t \right) + W_{SL} (Z_{SL}^t + Y_{SL}^t) \right\} t = 1 \sim T, W_{SH,i} > W_G > W_{SL} \dots\dots\dots(5)$$

其中 SHR_i^t ：第 t 時刻第 i 需求節點之缺水率(缺水量與需求量之比)； Z_{SL}^t ：第 t 時刻地表水系統之空庫容積與庫容比； Y_{SL}^t ：第 t 時刻地下水系統之空庫容積與庫容比； \bar{X}^t ：第 t 時刻地表水之決策變數向量(各水庫節點放水量)； \bar{P}^t ：第 t 時刻地下水之決策變數向量(各抽水井抽水量)； $W_{SH,i}$ ：第 i 需求節點缺水率之權重； W_G ：指標差值項之權重； W_{SL} ：地表水系統與地下水系統空庫容積與庫容比之權重； N_D ：需求節點之集合； N_F ：欲進行指標平衡放水之水庫群集； T ：總模擬期距。

限制式：

1. 地表水質量平衡式

(1) 蓄水節點：

$$V_i^{t+1} = V_i^t + \sum IF_i^t - E_i^t - \sum X_i^t - OF_i^t \dots\dots\dots(6)$$

$$\forall i \in N_s, t = 1 \sim T$$

$$G_{sys}^t = |I_s^t - I_g^t|, t = 1 \sim T \dots\dots\dots(4)$$

其中 G_{sys}^t ：第 t 時刻地表水系統與地下水系統之指標差值； I_s^t ：第 t 時刻地表水系統(對等水庫)放水後之指標； I_g^t ：第 t 時刻地下水系統放水後之指標；

本研究以指標平衡操作來維持各時刻地表水系統與地下水系統之蓄水平衡。本模式求解地表地下水聯合營運問題時，將考量以下四項原則：

1. 該時刻的系統缺水率為最小。
2. 該時刻的地下水系統與地表水系統之間指標差值為最小。
3. 該時刻的地表水水庫之間指標差值為最小。
4. 該時刻的地表水系統與地下水系統蓄水減少量為最小。

各原則考量的優先順序為 1>2=3>4，因此各時刻地表地下水聯合營運問題可表示如下：

其中 V_i^t, V_i^{t+1} ：第 t 與第 t+1 時刻初第 i 水庫節點之蓄水量； IF_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；

(2) 非蓄水節點：

$$\sum_{i \in \Lambda} X_{i,j}^t - \sum_{k \in \Phi} X_{j,k}^t = 0 \dots\dots\dots(7)$$

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

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； 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；

(3) 需求節點

$$D_j^t = \sum_{i \in A} X_{i,j}^t + \sum_{k \in N_p} P_{j,k}^t + SH_j^t \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\forall j \in N_D, t = 1 \sim T$$

其中 D_j^t : 第 t 時刻第 j 需求節點之公共需求量 ;
 SH_j^t : 第 t 時刻第 j 需求節點之缺水量 ; $P_{i,j}^t$:
第 t 時刻第 i 抽水井抽至第 j 需求節點之抽水量 ; N_p : 抽水井群之集合 ; N_D : 需求節點之集合 ;

2. 地下水反應方程式

$$\tilde{h}^{t+1} = f(\tilde{h}^t, \tilde{P}^t) \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\tilde{h}^t \in R^t, \tilde{P}^t \in R^t, t = 1 \sim T$$

其中 $\tilde{h}^t, \tilde{h}^{t+1}$: 第 t 及 $t+1$ 第時刻地下水系統狀態變數(水位)向量 ;

3. 其他不等式

(1)地表水水庫蓄水限制

$$V_{d,i} \leq V_i^t \leq V_{u,i}; \forall i \in N_S, t = 1 \sim T \quad \dots\dots\dots(10)$$

其中 $V_{d,i}, V_{u,i}$: 第 i 水庫之呆水位與滿水位對應之

次問題 :

$$J^*(\tilde{P}^t) = \min_{\tilde{X}^t} \left\{ \left(\sum_{i \in N_D} W_{SH,i} SHR_i^t \right) + W_G \left(\sum_{m \in N_F} \sum_{n \in N_F} G_{mn}^t \right) + (W_{SL} Z_{SL}^t) \right\} \quad \dots\dots\dots(13)$$

限制式 :

$$(6), (7), (8), (10)$$

在(12)式所定義的主問題中, 決策變數為地下水系統各抽水井群於該時刻之抽水量做為染色體, 以遺傳演算法進行求解, 搭配類神經網路, 主要求解非線性部分; 在次問題中, 以主問題給定一組地下水抽水量決策變數條件下, 其決策變數為各水庫於本時刻之放水量, 目標函數與各限制式均屬於線性方程式, 因此可選用線性規劃法求解。模式演算流程如圖 7 所示, 其中遺傳演算法之設定為每一代給定五十條染色體, 也就是地下水系統決策變數抽水量, 進

蓄水量 :

(2) 地下水位限制

$$\tilde{h}_{min} \leq \tilde{h}^t \leq \tilde{h}_{max}, t = 1 \sim T \quad \dots\dots\dots(11)$$

其中 $\tilde{h}_{max}, \tilde{h}_{min}$: 地下水系統分層設計之最高與最低平均水位 ;

本問題之最佳化數學表示式已詳列如上所示, 由於問題中包含了非線性方程式(地下水流方程式), 因此傳統水資源調配模式常見之線性規劃法, 並不適用。因此目標函數式(5)及其限制式(6)至(11)所定義之原問題, 分解為下列之主次問題, 以遺傳演算法求解主問題, 主次問題詳列如下 :

主問題 :

$$Z^t = \min_{\tilde{P}^t} \left\{ J^*(\tilde{P}^t) + W_G G_{sys}^t + W_{SL} Y_{SL}^t \right\} \quad \dots\dots\dots(12)$$

限制式 :

$$(9), (11)$$

行搜尋, 收斂條件設定為當連續 20 代解不變時視為收斂。

四、聯合營運案例展示

本研究設計不同案例來顯示地表地下聯合營運方式, 與單純地表水獨立營運或是傳統地表先供地下補不足之聯合營運方式之差異。此外, 亦比較兩種不同地下水資源供應條件之操作情形, 由於本研究透過分層設計可有彈性地提供地下水資源供水策略, 相較於傳統聯合營運方式, 在較少量之地下水供應時, 更能顯示本模式有效率調配之重要性。模擬案例設計說明如下 :

表 2 聯合營運案例介紹表

案例編號	營運方式	地下水系統分層設計	地下水最大抽水量
I	地表水獨立營運	無	0 (萬噸/旬) / 0 (cms/井)
II	非偶合聯合營運	無	129.6(萬噸/旬) / 0.3 (cms/井)
III	偶合聯合營運	分層設計一(低強度供給)	
IV		分層設計二(高強度供給)	
V	非偶合聯合營運	無	216 (萬噸/旬) / 0.5 (cms/井)
VI	偶合聯合營運	分層設計一(低強度供給)	
VII		分層設計二(高強度供給)	

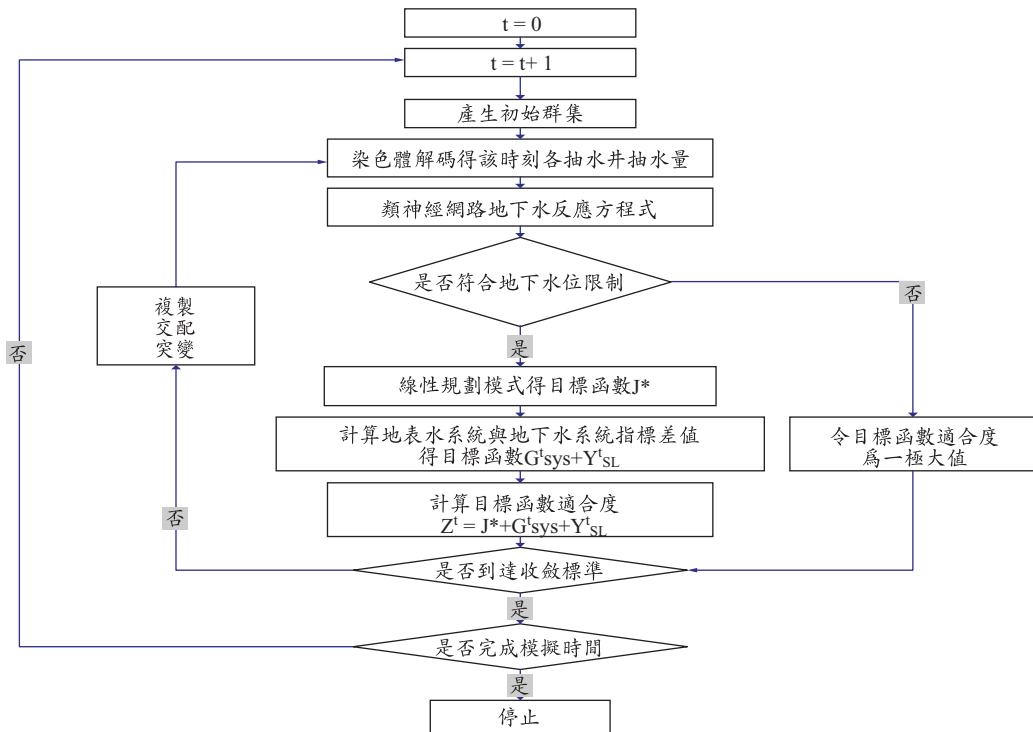


圖 7 聯合營運模式演算流程圖

由表 2 所示，在相同的地表水水文條件與地表水系統設定下，在各案例中，系統需求量各時刻均為 1,500 萬噸/旬。本研究以地下水最大抽水量、營運方式與地下水分層設計三個變因。以下將詳細說明：

4.1 營運方式

在營運方式上，共分為「地表水獨立營運」、「地表地下非偶合聯合營運」與「地表地下偶合聯合營運」三種：

(1)地表水獨立營運

地表水獨立營運係以地表水庫儲存豐水期之河川水量，並在枯水期時使用這些水量，因此缺水與否與降雨不確定性有極大之關係，所有案例之地表水庫入流量歷線如圖 8 所示。本營運方式之系統圖如圖 11 所示，為兩個不同容量之並聯水庫，兩水庫之操作規線如圖 9 與圖 10 所示。

(2)地表地下非偶合聯合營運

地表地下非偶合聯合營運為傳統之地表水先供應需求，意即當地表水系統已無法滿足需求

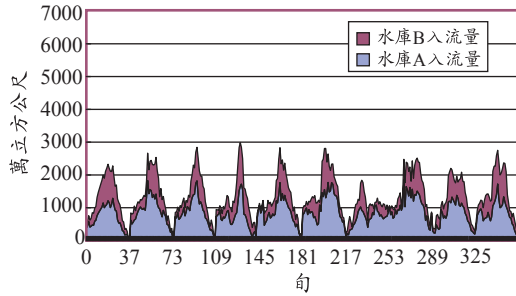


圖 8 水庫入流量圖

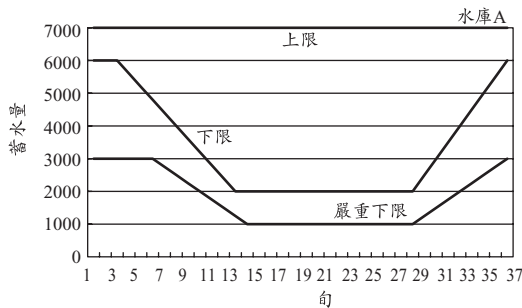


圖 9 水庫 A 操作規線圖

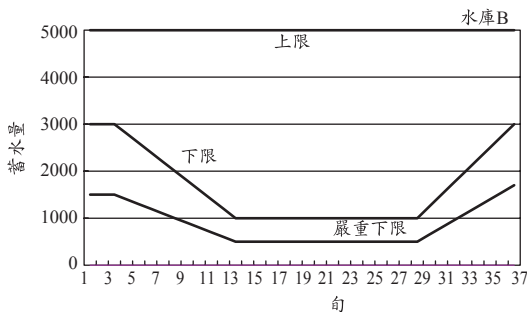


圖 10 水庫 B 操作規線圖

時，才由地下水系統進行供給。因此在演算上，由於已經訂出供水順序，因此可以先由地表水獨立營運模式計算後，再將缺水量帶入地下水營運模式，在此以 MODFLOW 模式進行地下水位模擬，因此稱爲非偶合形式之聯合營運，本營運方式之營運圖如圖 12 所示，除了前述之兩個並聯水庫外，再加入一個前述章節建立之地下水系統(如圖 1)。

在本營運方式中，各時刻之地表水供應策略必與獨立營運供應策略一致，而在缺水方面，則

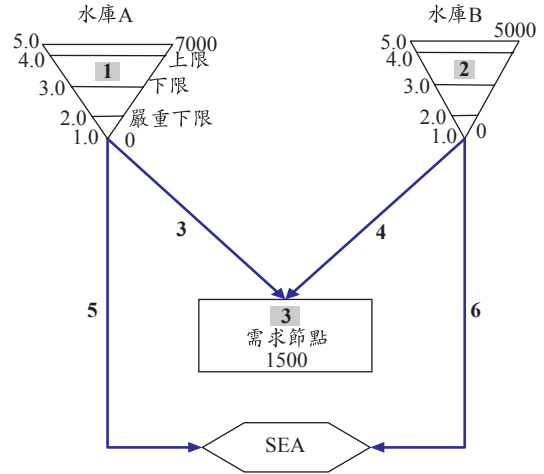


圖 11 地表水營運系統圖

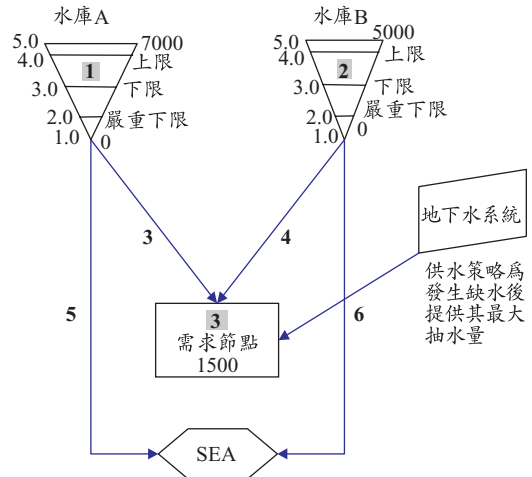


圖 12 地表地下聯合營運系統圖(1)(地表水先供)

因爲地下水系統之加入，進一步降低缺水情形，而降低幅度則視地下水系統之最大抽水量而定。

(3)地表地下偶合聯合營運

即爲本研究所發展之聯合營運模式，在演算上運用本模式同時考量地表水與地下水兩系統之儲水量，同時決定聯合調配方式，因此可稱爲偶合形式之聯合營運。本研究之營運系統如圖 13 所示，包含兩個並聯水庫與一個地下水系統，透過設計的地下水分層操作規線，同時考量地表水與地下水目前之儲蓄量，提供兩系統之調度水量。

表 3 案例 I 之模擬結果

旬計劃缺水指數		2.93	
年計劃缺水指數		1.20	
缺水旬數		135	
需求節點年計畫需求量 (萬立方公尺)		54000【1500/旬】	
供水量 (萬立方公尺)	A 水庫	年平均供水量	30627.47
		旬平均供水量	850.76
	B 水庫	年平均供水量	18161.13
		旬平均供水量	504.48

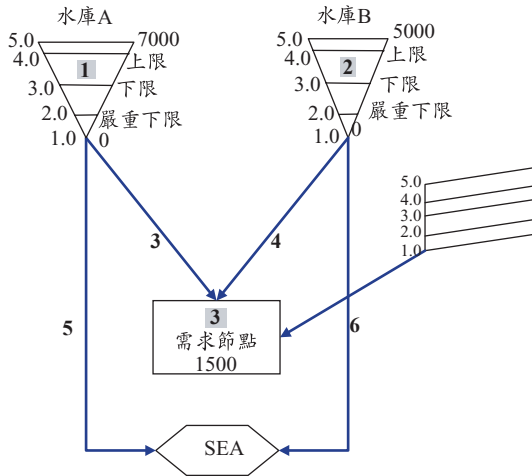


圖 13 地表地下聯合營運系統圖(偶合營運)

4.2 地下水最大抽水量

在地表水獨立營運案例中，不另行搭配地下水系統，亦即地下水系統供水能力為 0 (cms)。在聯合營運案例中，其地下水系統之最大抽水量則分別設計為 129.6 萬噸/旬(0.3 cms/井)與 216 萬噸/旬(0.5 cms/井)，意為設計加入兩種不同大小之水資源看各種供水策略對於紓緩缺水情形之表現。

4.3 地下水分層方式

本研究在此參考地表水之規線操作方式，透過分層概念與指標平衡，發展地表地下偶合聯合營運，在此設計不同的地下水分層，以提供不同

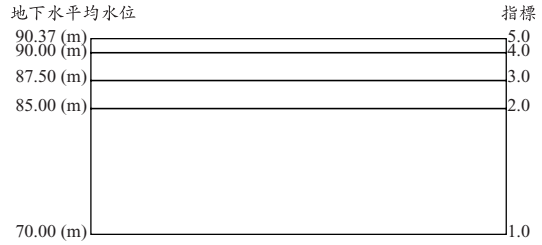


圖 14 地下水系統分層設計圖(分層設計一)

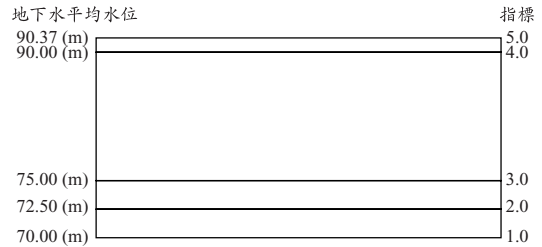


圖 15 地下水系統分層設計圖(分層設計二)

的地下水供水策略，以下設計兩種不同之分層設計。

(1)分層設計一

此分層設計概念為讓上幾層之分層較薄而下層較厚，相對於地表水水庫，高優先使用的分層較薄，亦即減少地下水使用的強度，實際地下水分層如圖 14 所示。

(2)分層設計二

此分層設計概念為讓上層較厚下層較薄，相對於地表水水庫，高優先使用的分層較薄，亦即增加地下水使用的強度，實際地下水分層如圖 15 所示。

模擬案例成果分析：案例 I 模擬結果如表 3 所示，旬缺水指數為 2.93，年缺水指數為 1.20，缺水旬數為 135 旬，A、B 兩水庫合計旬平均供水量為 1355.24 萬噸，為缺水情形嚴重之案例，其他案例聯合營運模擬成果如表 4 所示，系統缺水情形如圖 16 與 17 所示。本研究發展之地表地下聯合營運模式，透過上小節所述之案例，主要之成果可以歸納成以下兩點：

(1)透過不同地下水分層設計可以展示不同之地下水供水策略：

以案例 III、IV 為例，由地下水分層設計，

表 4 聯合營運模擬成果分析表

案例編號	地表水旬平均供水量 (萬立方公尺/旬)	地下水旬平均供水量 (萬立方公尺/旬)	旬缺水指數 SI	缺水旬數 (/360)
II	1355.24	47.93	1.54	125
III	1347.56	67.61	1.13	111
IV	1353.06	89.21	0.79	89
V	1355.24	76.57	0.91	112
VI	1354.48	100.66	0.51	83
vII	1350.22	112.15	0.50	62

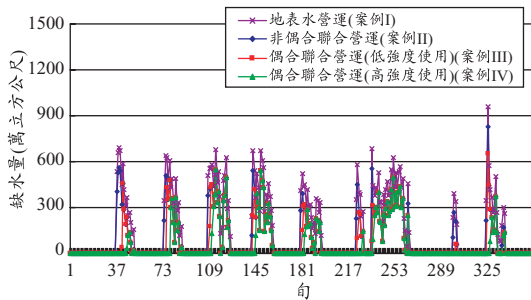


圖 16 地下水供水最大 0.3 (cms/井)案例缺水量分析圖

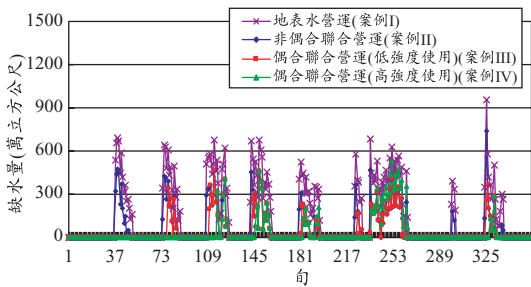


圖 17 地下水供水最大 0.5 (cms/井)案例缺水量分析圖

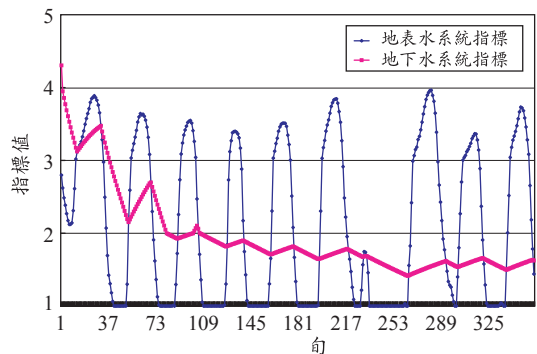


圖 18 案例 III 系統放水後之指標

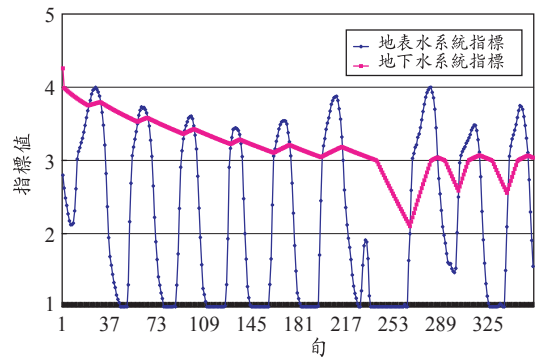


圖 19 案例 IV 系統放水後之指標

可使得地下水系統有不同之啓用時機，案例 IV 之分層設計理念是以上層較厚而下層較薄，因此相較於案例 III，相同水位往往其指標數值是較高，使得地下水指標有較高機會高於地表水指標(由圖 18 與圖 19 所示)，亦使得其會有較早之地下水啓用時機。

(2)有效管理、積極運作：

若以不同地下水系統最大供水量與系統需

求量來看，當最大供水量為 129.6 (萬噸/旬)時，相對於 1500 (萬噸/旬)之需求量，地下水系統最多僅能供應 8.64%之水量，在此最大供水量之條件下，三種聯合營運模式之旬缺水指數(SI)分別為 1.54、1.13 與 0.79 (案例 II、III、IV)，與地表水獨立營運旬缺水指數 2.93 相比，其改善幅度為 47.44%、61.43%與 73.04%，顯示相較於傳統非

偶合聯合營運，本模式在營運上為相對有效率的；若最大供水量提升為 216 (萬噸/旬)時，地下水系統可供應至 14.40%之水量在此一最大供水量之條件下，三種聯合營運模式之旬缺水指數(SI)分別為 0.91、0.51 與 0.50 (案例 V、VI、VII)，與地表水獨立營運旬缺水指數 2.93 相比，其改善幅度為 68.94%、82.59%與 82.94%。

□□□□□□□□□□□□□□□□
 □□□□□□□□□□□□□□□□
 水條件下，兩種分層設計可以分別提升 29.5%與 54.0% (案例 IV、V)；在較大供水條件下，兩種分層設計僅可提升 19.8%與 20.3% (案例 VI、VII)。由此顯示，當系統可利用資源少時，營運效率好壞將會大幅影響系統表現；反之，當系統可利用資源多時，營運效率對系統表現影響較小。兩種地下水供水情形條件下，皆以提早啟動地下水之供水策略(分層設計二)對缺水的情形改善為最佳，意味著在符合相同最低水位限制情況下，經由本模式有效率之管理，能使用最大之地下水潛能量。

五、結論

本研究發展逐時刻優選之地表地下聯合營運模式，其中地下水系統採用類神經網路，地表水系統採用線性規劃求解，如此本模式可兼具線性規劃之高計算效率與遺傳演算法可以涵蓋線性與非線性之彈性。以類神經網路來做為非線性之非侷限地下水系統水位變化之模擬，大幅降低了地下水模式與最佳化模式結合時之計算量，亦使地下水系統之考量不再只能考量小範圍之區域或線性之拘限含水層。此外，經聯合營運案例顯示，若以地下水高強度使用策略所設計之地下水分層，其系統缺水指數明顯低於低強度使用策略之分層，如此顯示地下水高強度使用策略之分層設計二，其旬平均抽水量與系統需求量比僅佔 7.48%，但對缺水情形卻能有最佳之改善。

參考文獻

1. Coppola, E., F. Szidaroszy, Mary Poulton, and Emmanuel Charles “Artificial Neural Network

Approach for Predicting Transient Water Levels in a Multilayered Groundwater System under Variable State , Pumping and Climate.” *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 8, No. 6, pp. 348-360, 2003.

2. Gavin J. Bowden, Graeme C. Dandy and Holger R. Maier, “Data Transformation for Neural Network Models in Water Resources Application”, *Journal of Hydroinformatics*, Vol. 125, No. 3, pp. 143-153, 2003.

3. Gill, Murray, & Wright, *Practical Optimization*, 1981.

4. Gorelick, S. M., “A Review of Distributed Parameter Groundwater Management Modeling Methods”, *Water Resources Management*, Vol. 19, No. 2, pp. 305-319, 1983.

5. Randall, D., L. Cleland, C.S. Kuehne, et al., “Water Supply Planning Simulation Model Using Mixed-Integer Linear Programming”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 123, No. 2, pp. 116-124, 1997.

6. Watkins, David W. & Daene C.McKinney, “Decomposition Methods for Water Resources Optimization Models with Fixed Costs”, *Advances in Water Resources*, Vol. 28, No. 6, pp. 283-295, 1998.

7. 李志鵬，「新型態多水庫聯合營運最佳規線之探討」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2003。

8. 楊朝仲，「應用遺傳演算法與可微分動態規劃於地表地下水聯合營運之多目標規劃」，國立交通大學土木工程研究所博士論文，2002。

9. 蕭金財，「動態控制理論與遺傳演算法應用於地下水管理及污染整治」，國立交通大學土木工程研究所博士論文，2001

10. 謝明富，「應用倒傳遞神經網路模擬非線性遲滯動力行為」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，1999。

11. 施柏屹，「倒傳遞類神經網路學習收斂之初

步探討」，國立中央大學機械工程研究所博士論文，1997。

12. 徐年盛，區域性地表水與地下水最佳聯合營運模式之研究，國科會專題研究報告,1995。
13. 顏榮祥、周乃昉、陳家榮，南部區域水資源管理調配策略之比較，第九屆水利工程研討

會，139-148，1998。

收稿日期：民國 97 年 2 月 19 日

修正日期：民國 97 年 5 月 2 日

接受日期：民國 97 年 5 月 8 日