

專論

線性擾動響應模式之研究及其於水文預測上之應用

Study on the Linear Perturbation Response Model and  
Its Application to Hydrological Prediction

國立臺灣大學  
農業工程學研究所教授

王如意

Ru-yih Wang

國立臺灣大學  
農業工程學研究所研究助理

林書慶

Shu-ching Lin

國立臺灣大學  
農業工程學研究所博士班研究生

李如晃

Ru-huang Lee

摘要

本研究係以響應函數為學理基礎，進而建立一線性擾動響應模式（linear perturbation response model），並探討集水區內雨量及流量長時期輸入與輸出間之關係，以供水資源規劃與應用之參考。線性擾動響應模式係以歷史時序均值（seasonal means）為長期水文序列之趨勢，並應用傅立葉級數研析其週期性，評估模式中擾動因子之權重。本研究針對線性擾動響應模式之建立、響應函數參數之率定及水資源推估等三方面分別予以研析及探討。

模式建立過程中，增益因子（gain factor）及反應擾動變化強度之特性，並以羅森布洛克優選法率定其最佳之參數值。最後，根據機率觀念，利用轉移機率矩陣權重關係，降低長時期降雨之不確定性，以獲得較可靠之水資源預測。

本研究以八掌河流域及曾文河流域為研究區域，分別建立以日與月為演算時距之單輸入—單輸出模式及多輸入—單輸出模式，並驗證線性擾動響應模式應用於台灣集水區水文推估之適用程度。

關鍵詞：響應函數，線性擾動響應模式，時序均值，增益因子，羅森布洛克優選法，單輸入—單輸出模式，多輸入—單輸出模式。

ABSTRACT

The main purpose of this study is to set up a linear perturbation response model for the investigation of the long-term trend of hydrological time series. The function of the model is to find out the relationship between inputs and outputs of a project river basin.

In this study the long-term trend of the hydrological time series is based on the seasonal means which can be regarded as the basis of the model perturbation. After the modifications, the model can improve the simulation accuracy of hydrological phenomena. Three research scopes of the study can be listed as the building of linear perturbation response model, determination of the parameters of the response function, and estimation of water resources. The model can be used as a reference for the management and application of the water resources.

In the process of modeling, gain factor represents the characteristics of the intensity in the perturbation changes. In determining the parameters of response function, Rosenbrock's optimization approach is used to avoid mistakes and save time, and the optimum parameters can be found precisely and easily. According to the weighting relationship of the transfer probability matrix, more reliable forecasting results in water resources can finally be achieved by determining the probability of the long-term rainfall in the project river basin.

To verify the appropriation of the models adopted, Pa-chang River Basin and Tsengwen River Basin are chosen as the verification areas. Monthly and daily data are used as two different time periods in the linear perturbation response model. Single input-single output model and multiple input-single output model are regarded as two different categories of the proposed linear perturbation response model. Adequate conditions of the model applied in river basins of Taiwan area are also suggested.

Keywords : response function, linear perturbation response model, seasonal means, gain factor, Rosenbrock's optimization approach, single input-single output model, multiple input-single output model.

## 一、前 言

台灣地區雖雨量豐沛，惟受氣象及地理環境之影響，水文現象與地文特性頗為錯綜複雜，於時間與空間上降雨之分佈亦極不均勻。每年五、六月間之梅雨與夏、秋季節之颱風及暴雨為台灣水資源之主要來源；至於冬、春時節，則雨水短缺，時呈旱象，致使灌溉及民生供水困難，尤以台灣南部更形嚴重，乾旱災情時有所聞。

傳統水文模式之演算基準，係以水文學為正值之物理基本定義為出發點，但此基準對一長期水文演算所得之結果，常因為尋求最大水文學之吻合而得犧牲低水文學之擬合，造成於低流量時期流量推估偏大；若推估重心為乾旱之影響時，便得忽略高水文學之突兀，因此在高流量時期又有低估之現象發生；但若要求長時期最佳全面擬合時，則上述兩種狀況皆會影響模式之效果，致降低極值之擬合。為尋求最佳之擬合度，水文分析常不易精確模擬

高、低水文學之變量，亦即水文模擬常採用均化方式。那徐氏 (Nash) 於1983年提出線性擾動模式 (Linear Perturbation Model, 簡稱LPM)，以歷史時序均值 (seasonal means) 為水文學之趨勢及週期性之依據作為模式演算基準<sup>(8)</sup>，對上述之均化影響作修正，而此亦為一種時間序列迴歸模式。愛爾華大學戈爾威學院於1985年之河川逕流預報研習表示，此修正模式較傳統模式為佳，可以普遍適用於廣大之集水區，惟對小集水區之研究尚處在起步中，效果未如大集水區之理想<sup>(8)</sup>。本文擬採用此種均化方式探討台灣高蒸發散量及水文序列極不穩定之水文特性，應用線性擾動響應模式進行研究與修正，以期此模式能適用於台灣長時期水文現象之模擬與預測。

本研究以響應函數 (response function) 理論為基礎<sup>(8)</sup>，建立線性擾動響應模式，再應用羅森布洛克參數優選法求取最佳參數，並以此等合宜參數值為依據轉化成集水區輸入—輸出間之響應

函數關係，藉此關係作本模式參數之校正與驗證。預測方面則以轉移機率矩陣法 (transfer probability matrix method) 作為降雨或流量之預測推估<sup>(5,7)</sup>，代入已建立之線性擾動響應模式以預測未來趨勢。本研究係以八掌河流域及增文河流域為研究區域，以驗證本模式應用於台灣集水區之合適程度，期能建立一適用於台灣長程時間序列特性之水文模式，俾供本省水資源規劃與應用之參考。

## 二、理論背景

因果(cause and effect)、投入與產出(input and output)、入流與出流(inflow and outflow)、刺激與反應 (stimulus and response)，係作用於水文系統之定率關係(deterministic relationship)，而響應函數(response function)則為聯繫前者與後者間之樞紐。於水文應用上，可視水文控制測站之出流為入流經集水區系統響應累積作用後所獲得之結果。降雨輸入為作用於此系統之輸入量，集水區出口之流量則為發生於系統之輸出函數，至於集水區內水文、地文及人為因子之影響所造成之變化則屬系統之內在變化。

### (一)線性擾動系統之特性及基本假設

一系統之輸入與輸出於時序上之關係以函數型態表示如下：

$$O(t) = I(t)H(t) \dots\dots\dots (1)$$

式中， $O(t)$ ：系統之輸出；

$I(t)$ ：系統之輸入；

$H(t)$ ：系統之響應函數。

對一穩定系統而言，其響應函數可被明確地加以率定，然亦可將其響應基準作一適當修正，以突顯輸入量對輸出量於響應基準上之靈敏度。對一季節變化明顯之地區，因季節變化顯著，故其時序均值 (seasonal means) 可代表此一地區水文量隨季節變化之趨勢，而以此作為響應基準將可強調水文因子於趨勢上任何微小擾動之影響，進而得到更高精度之模擬。以歷史時序值作為響應依據之模式可簡示如下：

$$O^*(t) = I^*(t)H(t) \dots\dots\dots (2)$$

式中， $O^*(t)$ ：系統之擾動輸出，即輸出扣除歷史

時序平均輸出值；

$I^*(t)$ ：系統之擾動輸入，即輸入扣除歷史時序平均輸入值。

而此響應基準之改變即是擾動響應函數之特性。

擾動響應函數於水文上之應用，乃是將集水區視為一系統，降雨及外域引水量可視為對系統之輸入，而集水區之出流即是系統之輸出。將上述觀念配合線性系統之運作，即可發展出線性擾動響應模式於在水文上之應用，而模式中擾動基準乃是以歷史時序上之平均值為基底，故此模式可簡略表示如(3)式所示。

$$O(t) = O^*(t) + \bar{O}(t) \\ = I^*(t)H(t) + \bar{O}(t) \dots\dots\dots (3)$$

式中， $\bar{O}(t)$ ：歷史時序輸出之均值。

然對實際之水文事件而言，集水區本身係由諸多之水文參數及地文因子所共同組成，且各因子之間未必有相關聯；同時於本研究中，並未討論地文因子對集水區之影響，僅考慮降雨、外域引水量與逕流間之關係。本研究中假設此三因子存在著線性關係，因此對(3)式之理想模式須作進一步之修正，使其較能符合現實狀況。

台灣河川具有上游坡陡及下游平緩之地文特性，並具流量枯、豐期之區分，其除有明顯之季節性存在外，同時尚有水文量之劇烈變化，因此應用線性擾動響應模式於台灣河川之水文分析時，以歷史時序均值作為擾動之基準較不穩定，需另外考慮殘餘量以修正響應基準不穩定之影響；再則考慮系統之反應效率方面，即集水區之截留 (interception)、窪蓄 (depression storage) 及外域引水量之影響，該等因子對集水區有所增損，因此於響應項中尚須加入一類似逕流係數之增益因子 (gain factor) 作為修正<sup>(3,8)</sup>。故一較為完善且適用於台灣地區之線性擾動響應模式，應將(3)式修正為如(4)式所示。

$$O(t) = g \sum_{i=1}^{n+M} I^*(t-i+1)H(i) + E(t) + \bar{O}(t) \dots (4)$$

式中， $g$ ：增益因子；

$E(t)$ ：殘餘量；

$n$ ：資料個數；

$M$ ：記憶長度 (memory length)

增益因子為一類似逕流係數之參數；然與逕流係數有所不同者為，逕流係數係總出流量與降雨總量間之比值，其中因集水區有截留及窪蓄等損失，故逕流係數大致小於1；而增益因子則為擾動輸出與擾動輸入間之一比例關係，由於輸入及輸出資料經扣除歷史時序均值之處理後，導致模式中之輸入及輸出正負參雜，故增益因子並無如逕流係數須小於1之限制。此外，增益因子之大小乃代表輸入對輸出影響之程度，然基於線性擾動響應模式之特性，輸入與輸出間存在一正面之響應影響。因此，增益因子應大於零方符合物理意義及擾動模式之特性。

對自然之集水區而言，其並非一理想之響應系統，加上台灣河川流量不穩定與變化劇烈等特性，故系統之輸入經響應模式運算後，無法完全反應出系統之實際輸出，此時即會與真值間有一殘餘量之存在，而此殘餘量對時序而言又非一定值，因此更會加深對模式率定之困難度。故無論線性響應模式是以最小二乘法，或採參數優選之那徐氏模式，其殘餘量之大小均難直接予以率定，故需先假設其量經反覆運算後加以修正及率定。本研究於模式模擬時，除模式參數之求取外，同時亦求取各時序之殘餘量與平均殘餘量，然後將此平均殘餘量代入響應模式中優選各參數，依序反覆修正與率定，直至達到優選之精度要求為止，且此時之參數及殘餘量將於往後運算中使用。

為避免颱風、暴雨事件及枯水期之殘餘量過大或過小對往後水文時序序列之影響，以統計學之常態分佈(normal distribution)學理觀點而言，平均值加上正、負兩倍之標準偏差(standard deviation)，此範圍已可包括所有資料約95%，其所捨略者為2.5%之超高值及2.5%之過低值<sup>(5,7)</sup>。因此，本研究擬將殘餘量之極限定為上、下兩倍之標準偏差值，以期過濾颱風、暴雨或乾旱等水文極值情況發生時對模式之不良影響，使模式較能符合一般情況之適用性。

記憶長度之物理意義乃是某一輸入對系統影響之時間長度<sup>(3)</sup>。今若有一系統具零記憶(zero memory)之特性，則系統輸出祇與當時之系統輸

入有關；或假設某一系統具有無限記憶(infinite memory)之性質時，則其輸出會與過去全部歷史資料相關；然一般常假設其為一有限記憶(finite memory)之系統，亦即輸出僅與過去記憶長度相同之歷史資料有關。

於水文之應用中，流域記憶長度之長短決定於流域之蓄水能力及流域之大小。在實際運用時對記憶長度之決定並沒有一相當明確之理論基礎，而常以試算法加上人為之判斷加以決定。若記憶長度之採用值超過所需之最小值，只會增加計算之工作量，對結果並無太大之影響；但若記憶長度之取用值小於所需之最小值時，則易造成脈衝響應函數發生振盪，且無法獲得一個單調之退水過程<sup>(3,10,11)</sup>

一長期水文時間序列可由趨勢、週期性及序率過程所組成，線性擾動響應模式即是基於已知趨勢及週期性之條件下，經由響應函數之率定，藉著輸入之序率過程求取集水區輸出之序率模擬。其中，線性擾動響應模式乃是以歷史時序均值作為水文量之趨勢，以傅立葉級數作為水文週期性之依據，然輸入之序率過程與輸出之序率過程間之響應函數，則以線性擾動響應模式加以表示<sup>(3,8)</sup>

### (二) 歷史時序均值及其滑順化

歷史時序均值係為將歷史資料於同一時序以算術平均法(arithmetical average method)求取時序之均值，將此時序均值作為最簡略之時序預報值，如圖1所示；而此歷史時序均值便為線性擾動響應模式中水文時序之趨勢依據，其表示如下

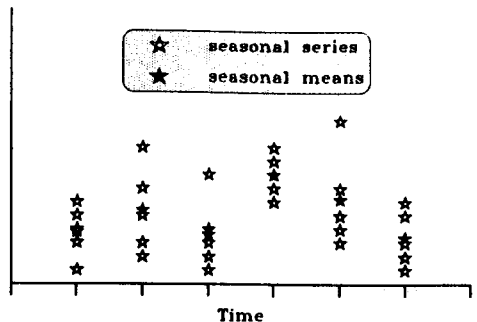


圖 1. 歷史時序均值示意圖

(3) :

$$\bar{q}_d = \frac{1}{L}(q_{d.1} + q_{d.2} + \dots + q_{d.n}) \dots\dots\dots (6)$$

式中,  $\bar{q}_d$  : 第d時序之歷史時序均值;

$q_{d.j}$  : 第i循環第d時序之水文變量(雨量或流量等);

L : 參與計算之循環數。

然由於計算歷史時序均值時, 常因分析資料年限之限制或颱風、暴雨與乾旱等因素之影響, 使所得之歷史時序均值往往因新資料加入後會有極大之變化, 造成模式擾動基準之變動不定, 以致影響模式之效果, 因此尋求一具有時序性且能代表歷史時序均值之擾動基準則顯得極為重要。

傅立葉級數 (Fourier series) 係由一系列正弦 (sine) 與餘弦 (cosine) 之週期性函數所構成, 此等函數具備時間序列之連續特性及週期性; 此外, 傅立葉級數具有一種穩定且平滑之上升及下降曲線之滑順化特性, 並能符合水文事件於時間上有前後之關聯。傅立葉級數於離散點之應用時, 當取用之調和函數項數為資料個數之一半時, 即可消除高階噪音之影響, 且能完全反應出函數之型態。於水文時序變化趨勢代表性之求取時, 一般採用4至5個調和函數項為傅立葉級數之運算基礎<sup>(8)</sup>, 即可得滑順化後之歷史時序均值作為水文事件中之趨勢及週期性, 亦即線性擾動響應模式之擾動基準, 如圖2所示。歷史時序均值經此修正滑順化後, 對受到新加入之水文量影響將會降低, 並保有其穩定性, 其型式如下式所示:

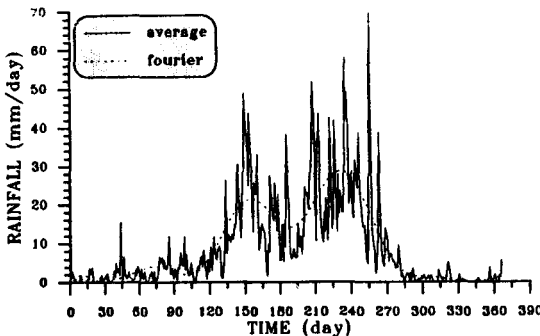


圖 2. 滑順化之歷史時序均值示意圖

$$\bar{q}'_d = \bar{q} + \sum_{j=1}^m \left( A_j \cos \frac{2\pi jd}{N} + B_j \sin \frac{2\pi jd}{N} \right),$$

$$d = 1, 2, \dots, N \dots\dots\dots (7)$$

式中,  $\bar{q}'_d$  : 滑順化後之歷史時序均值;

$\bar{q}$  : 歷史時序均值之平均值;

$A_j, B_j$  : 傅立葉係數;

N : 演算時序數;

m : 調和函數項數。

且 
$$\bar{q} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N \bar{q}_d$$

$$A_j = \frac{2}{N} \sum_{d=1}^N \bar{q}_d \cos \frac{2\pi jd}{N}$$

$$B_j = \frac{2}{N} \sum_{d=1}^N \bar{q}_d \sin \frac{2\pi jd}{N}$$

(二) 線性擾動響應函數

線性擾動響應函數為擾動輸入與擾動輸出間之聯繫橋樑。理想之線性響應關係, 應為單純輸入響應累積之運算, 如下式所示:

$$y_i = \sum_{j=1}^M x_{i-j+1} h_j \dots\dots\dots (7)$$

式中,  $y_i = Q_i - \bar{q}'_i$

$$x_i = I_i - \bar{q}'_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$Q_i, I_i$  : 實際觀測輸出量及輸入量;

$\bar{q}'_i, \bar{q}'_i$  : 實際觀測之輸入量及輸出之滑順化歷史時序均值;

$y_i, x_i$  : 實際觀測之輸入量及輸出量之離均差, 即擾動輸入及擾動輸出;

$h_j$  : 模式之離散型脈衝響應函數;

M : 系統之記憶長度;

n : 資料個數。

然自然界水文循環中, 合乎理想之運作體系並非時時存在, 因此得於(7)式中加入殘差項 $e_i$ , 使其符合實際之情況, 如(8)式所示。

$$y_i = \sum_{j=1}^M x_{i-j+1} h_j + e_i \dots\dots\dots (8)$$

式中,  $e_i$  : 第i時序之殘餘項。

於(8)式中線性擾動響應函數之求取, 雖可採用計算費時之試誤法, 或以最小二乘法原理利用矩陣之型態求解外, 亦可以其他函數型態代替線性擾動響應函數, 但須具備基本之物理意義、僅有少數且易求取之待定參數及能配合參數優選法

之使用以求得最佳參數值等特性，方可替代複雜不易求取之線性擾動響應函數。由於那徐氏模式 (Nash's model) 具有一定函數型態、能有效地模擬水文事件之自然狀態、可表現出集水區之特性與其所需之參數少等優點。因此，以那徐氏模式之參數變化代替複雜之線性擾動響應函數<sup>(8)</sup>。那徐氏模式之數學型態如下式所示：

$$h(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \dots\dots\dots (9)$$

那徐氏模式具有以下兩個特性，第一是當參數伽瑪函數 (gamma function) 因子n與蓄水常數k較小時，此模式呈一漸次衰退曲線，可表現出小集水區貯蓄能力不佳之現象，即集水區有一輸入時系統便立即有出流反應，與此時模式之一衰退曲線相符合；第二是當參數n與k較大時，模式有一明顯之上升及衰退段，此現象亦能代表大集水區之貯蓄特性。

如以最小二乘法原理利用矩陣之型態求解線性擾動響應函數時，常有響應函數產生振盪之情形，且易造成負值之出現，此結果較不符合水文上之物理定義；反觀那徐氏模式則具有一種平滑之衰退曲線，且此模式之取值恆為正值<sup>(3)</sup>。基於以上之比較，本研究採用那徐氏模式配合適當之優選法，以求得系統之響應函數。

為求得長期水文時序之全面最佳擬合，本研究以最大效率係數 (coefficient of efficiency) 為目標函數，即：

$$\text{Obj Max CE} \dots\dots\dots (10)$$

其中，效率係數CE之定義如下：

$$CE = 1 - \frac{\sum(Q_{est} - Q_{obs})^2}{\sum(Q_{obs} - \bar{Q})^2} \dots\dots\dots (11)$$

式中， $Q_{est}$ ：推估之輸出值；

$Q_{obs}$ ：實測之輸出值；

$\bar{Q}$ ：實測輸出值之平均值。

#### 4. 羅森布洛克優選法

由於本研究所訂定之目標函數與參數間並無直接之關係，因此，目標函數對參數之微分型態並不存在，故採用直接搜尋法作為參數優選之方法，並藉由羅森布洛克法 (Rosenbrock's method)<sup>(9)</sup> 中全面搜尋、座標軸之旋轉及搜尋步長之變動

等特性來求解最佳之參數n、k與g，茲簡述如下：

1966年羅森布洛克 (Rosenbrock) 氏改進傳統之座標轉換法而提出此法，故稱為羅森布洛克法，亦稱為旋轉座標軸法。此法於水文模擬之應用上頗為常見，亦為效果較佳之一種參數優選法。

羅森布洛克氏就搜尋方式及座標軸之旋轉時機，對傳統座標轉換法作以下之改進：

##### 1. 搜尋方式：

傳統座標軸轉換法耗費大量時間從事單維搜尋，而羅森布洛克法則採用於某假定一方向上按所給予之步長跨出一步，計算其目標函數值，然後進行比較，依所比較之結果向較有利之方向進行搜尋。

今以一極小值問題為例，以 $x^{(0)}$ 代表出發點， $e^{(1)}$ 表示搜尋方向，而 $h_1$ 則代表步長，F為目標函數值，其具體執行可依下列兩種情況分別進行搜尋：

$$(1) F(x^{(0)} + h_1 e^{(1)}) \leq F(x^{(0)})$$

表示此次為成功之試探。以試驗點 $x^{(0)} + h_1 e^{(1)}$ 為下一步之出發點，並再次輪到沿方向 $e^{(1)}$ 搜索時，將擴大步長，依原來之方向進行試探。

$$(2) F(x^{(0)} + h_1 e^{(1)}) > F(x^{(0)})$$

表示此次為失敗之試探。仍以原來之出發點 $x^{(0)}$ 為下一步之出發點，並再次輪到沿方向 $e^{(1)}$ 搜索時，沿與原來相反方向，縮小步長，再進行試探。

無論此次試探為成功或失敗，僅記錄其試探結果，均不再對此方向 $e^{(1)}$ 進行試探；然後，依序沿各方向重覆上述之步驟，直至各方向均完成此過程，再進行第二輪之試探。

##### 2. 座標軸旋轉時機：

傳統座標轉換法乃沿確定方向反覆輪流進行搜索，即使令步長愈來愈小，亦無法逼近最佳點。為改善此情形，Rosenbrock氏提出，在適當時機應該修改搜索方向，亦即當在每一個方向上都經過由成功到失敗之過程時，就應該改變搜索之方向。

修改搜索方向之方法如下：若以 $Z^{(0)}$ 表示沿目前這組方向剛開始搜索時之位置，以Z表示應該

修改這組方向時試驗點所在之位置，此時可認為，經過這一階段之試探，得到最有效之搜索方向為  $g = Z - Z^{(0)}$ ，而將此方向稱為模矢方向。Rosenbrock氏主張，在下一階段搜索中，應以模矢方向作為搜索方向，其它  $n-1$  個方向應該與模矢方向共同構成一組正交基底。其求取之過程如下：

(1) 令

$$p^{(1)} = Z - Z^{(0)} = d_1 e^{(1)} + d_2 e^{(2)} + \dots + d_n e^{(n)}$$

$$p^{(2)} = d_2 e^{(2)} + \dots + d_n e^{(n)}$$

⋮

$$p^{(n-1)} = d_{n-1} e^{(n-1)} + d_n e^{(n)}$$

$$p^{(n)} = d_n e^{(n)} \dots \dots \dots (12)$$

其中  $e^{(1)}, e^{(2)}, \dots, e^{(n)}$  為這組搜尋方向之單位向量，開始時可取座標軸方向上之單位向量。此時之  $d_i, (i=1, 2, \dots, n)$  乃是在這一搜尋階段試驗點沿  $e^{(i)}, (i=1, 2, \dots, n)$  方向移動之總距離。由於當需要進行搜索方向修正時，在每一個方向上都經試驗成功之過程，因此  $d_1, d_2, \dots, d_n$  都不等於零。所以

由(12)式所確立之向量  $p^{(i)}, (i=1, 2, \dots, n)$  必為是相互線性獨立，且  $p^{(1)}$  與模矢方向同向。

(2) 利用 Gram-Schmidt 方法對這一組向量進行標準正交化，其計算如下所示：

$$q^{(1)} = \frac{r^{(1)}}{\|r^{(1)}\|} \quad i=1, 2, \dots, n \dots \dots \dots (13)$$

其中，

$$r^{(i)} = p^{(i)} - \sum_{j=1}^{i-1} (q^{(j)} \cdot p^{(i)}) q^{(j)}$$

如此一般便可求得一組單位正交向量  $p^{(i)}, i=1, 2, \dots, n$ ，且  $q^{(1)}$  是模矢單位向量。此時可利用此組向量作為下一階段之搜尋方向。

羅森布洛克優選法之執行步驟，如圖3所示。

(iv) 線性擾動響應模式之種類及延展

線性擾動響應模式因系統輸入個數之不同，可區分為單輸入-單輸出(single input-single output)及多輸入-單輸出(multiple input-single output)等兩種模式<sup>(3, 8)</sup>，此兩種模式之特性及應用分述如下：

1. 單輸入-單輸出線性擾動響應模式

此模式係將系統視為一集塊模式處理，故系統輸入為集水區之平均雨量，輸出為集水區之出流量，而其最大之特色是假設集水區具有水文均一性及空間均一性<sup>(8)</sup>。

單輸入-單輸出線性擾動響應模式之數學型態，如(14)式所示。

$$O(t) = g \sum_{m=1}^{n \leq M} \Gamma^n(t-m+1) H(m) + E(t) + O(t) \dots \dots (14)$$

2. 多輸入-單輸出線性擾動響應模式

此模式與單輸入-單輸出模式間最大之不同點，即是系統輸入個數之多寡。多輸入-單輸出模式係將一集水區劃分成數個子集水區，集水區之最終輸出為各子集水區輸入之合成，亦即集水區之輸出具有集水區演算及河道演算之特性。是故，對集水區之輸入而言，可以是降雨、支流流量及集水區以外之匯入水量或外域引水，此種多重選擇之輸入系統，已能考慮到水文及空間之非均一性對集水區之影響，故可將此模式視為一種擬似分佈模式。

多輸入-單輸出線性擾動響應模式之數學型態，如(15)式所示。

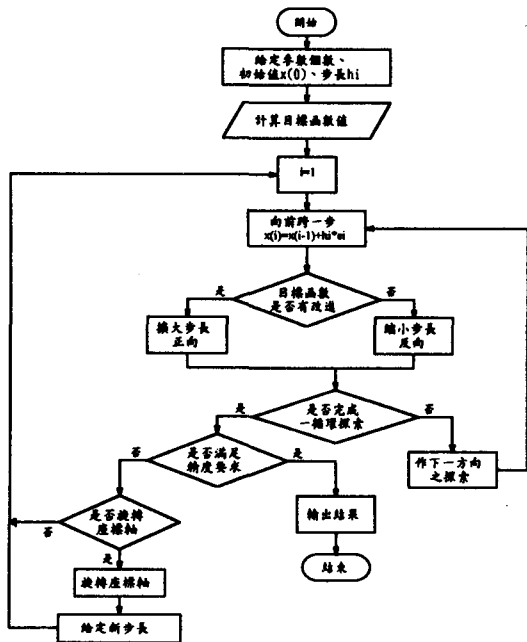


圖 3. 羅森布洛克優選法執行步驟流程圖

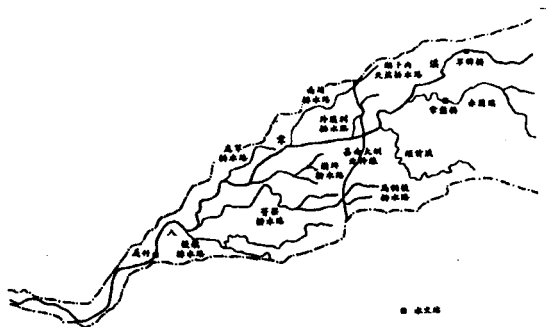


圖 6. 八掌河流域中下游灌溉排水佈置圖

與台南兩縣，於新塢好美村附近注入臺灣海峽，全長約81公里，流域面積約為475平方公里，如圖5所示。八掌溪自軍輝橋以上為上游山區，坡度陡峻，流路狹窄，於觸口流出山峽蜿蜒西向，中下游為平原，河道寬闊，坡降平緩，佔流域面積之60%。由於上游山區降雨量大，中下游段地勢平坦，流路時常變遷，洪水常漫淹至中下游兩岸之集水區而釀成災害。

中下游有赤蘭溪及頭前溪兩大支流，並有湖子內、南靖、外溪洲、鹿草、崩埤、馬稠後、菁寮、後鎮等重要排水路注入主流中，如圖6所示。自厚生橋以下至河口段，沿岸建有新塢、過路子、北馬、溪洲寮等堤防以束縮水流，進而保障兩岸低於河床底之平原區。

### 2. 曾文河流域

曾文溪位於本省南部地跨嘉義縣及台南縣境，流域南部部份位於高雄縣境內，流域東屏中央山脈，北與急水溪、八掌溪為鄰，南邊毗鄰於鹽水溪與二仁溪，西濱臺灣海峽，流域面積約為1176.64平方公里，主流全長約為138.47公里。

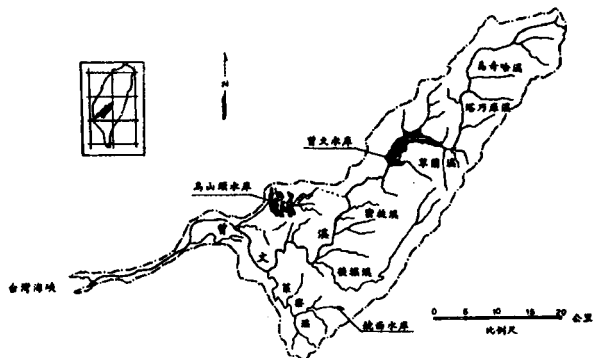


圖 7. 曾文河流域集水區地理位置圖

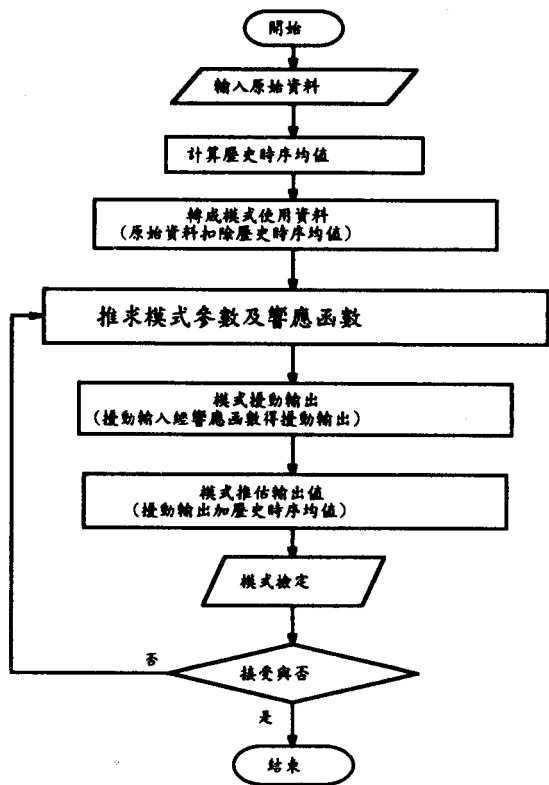


圖 4. 線性擾動響應模式執行步驟流程圖

$$O(t) = \sum_{i=1}^s g_i \sum_{m=1}^{n-m} I_m^*(t-m+1) H_1(m) + E_1(t) + \bar{O}_1(t) \quad (15)$$

式中，s：集水區之輸入個數。

線性擾動響應模式之執行步驟，如圖4所示。

## 三、模式之校正與驗證

### (一) 流域簡介

#### 1. 八掌河流域

八掌溪為本省主要河川之一，發源自阿里山西麓之奮起湖山谷，橫貫本省中南部，流經嘉義

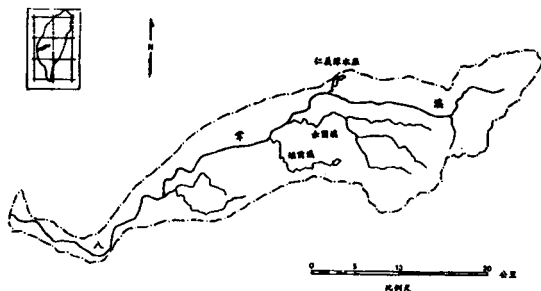


圖 5. 八掌河流域集水區地理位置圖



主流發源自阿里山山脈之萬歲山，中下游有後堀溪、茶寮溪注入主流，進入平原區再納官田溪後，於台南縣七股鄉七股村附近注入臺灣海峽。曾文溪流域內有曾文、烏山頭、鏡面及南化四個水庫，其中曾文水庫集水面積為481平方公里，烏山頭水庫集水面積為58平方公里，鏡面水庫集水面積僅有2.73平方公里，而南化水庫集水面積為104平方公里。其流域概況如圖7所示。

(二)資料之蒐集與處理

本研究係以單輸入—單輸出模式及多輸入—單輸出模式進行水文問題之研析，然由於模式型態之不同，故於資料選取上亦有所迥異，茲分述如下：

1.單輸入—單輸出模式

於單輸入—單輸出模式中，以採用徐昇氏多邊形法處理後之流域平均雨量為系統之輸入。就

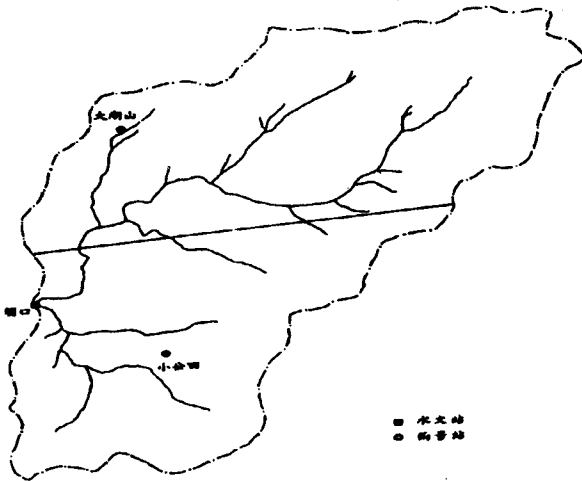


圖 8. 八掌溪觸口站之徐昇氏雨量站面積控制圖

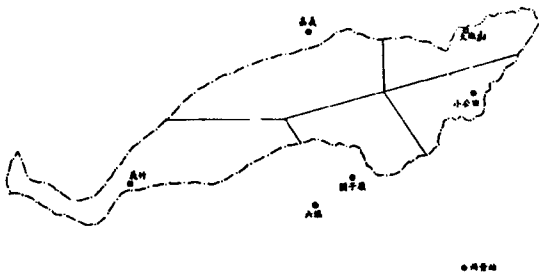


圖 9. 八掌溪全流域之徐昇氏雨量站面積控制圖

八掌溪流域而言，適合從事單輸入—單輸出模式之研究區域，有觸口及義竹兩個地點。

(1)觸口：觸口位於八掌溪上游山區，自成一小型集水區，以八掌溪流域內之大湖山與小公田兩個雨量站，配合觸口水文站資料作為模式執行之依據，如圖8及表1所示。

(2)義竹：義竹位於八掌溪下游厚生橋附近，並為本流域最下游之水文站；於雨量站方面，因本流域計有大湖山、小公田及仁義潭等三個自記雨量站，但因仁義潭之記錄年限過短而不予取用，且另兩個雨量站皆分布於流域上游，惜因雨量站數之不足，故另採用急水溪流域之嘉義雨量站、鹽水溪之關仔嶺與六溪兩個雨量站，共計五個雨量站，如圖9及表2所示。

至於曾文溪流域因有曾文水庫之興建，而將曾文溪流域劃分成曾文水庫集水區與曾文水庫下游集水區為演算區域。

(1)曾文水庫集水區：此集水區所使用之流量資料取自於曾文水庫壩址之水庫出流量；雨量資料則來自曾文水庫管理局所設立之水山、樂野、里佳、馬頭山及表湖等五個自記雨量站，如圖10及表3所示。

(2)曾文水庫下游集水區：曾文水庫下游集水區所利用之雨量站計有西阿里關、南化及曾文新村等三站，示如圖10及表4；此區以西港站及麻善大橋流量站之流量記錄作為此集水區輸出之依據。但因曾文溪下游之西港水文站自民國71年起，已遷至距西港上游約10公里處之麻善大橋水文站；而曾文溪下游至西港之集水面積為644.9平方公里，至麻善大橋為614.9平方公里，若將西港

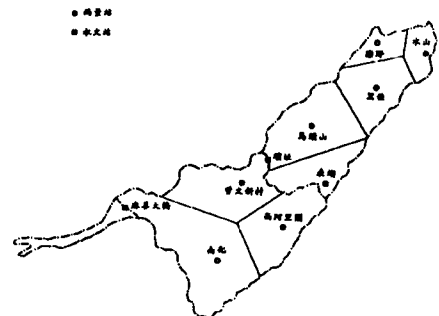


圖 10. 曾文河流域之徐昇氏雨量站面積控制圖

表 1. 八掌溪流域觸口上游集水區各雨量站徐昇氏多邊形控制面積表

雨量站名	大湖山	小公田
控制面積 (Km <sup>2</sup> )	45.42	335.97
權重	0.558	0.442

表 2. 八掌溪流域各雨量站徐昇氏多邊形控制面積

雨量站名	大湖山	小公田	嘉義	關仔嶺	六溪
控制面積 (Km <sup>2</sup> )	81.04	70.82	150.67	78.91	60.00
權重	0.184	0.160	0.341	0.179	0.136

表 3. 曾文水庫集水區各雨量站徐昇氏多邊形控制面積

雨量站名	水山	樂野	里佳	馬頭山	表湖
控制面積 (Km <sup>2</sup> )	44.3	42.4	128.7	181.4	84.3
權重	0.09	0.09	0.27	0.38	0.17

表 4. 曾文水庫下游平原集水區各雨量站徐昇氏多邊形控制面積

雨量站名	西阿里關	南化	曾文新村
控制面積 (Km <sup>2</sup> )	122.7	367.3	110.3
權重	0.20	0.62	0.18

站之流量資料轉至麻善大橋時，則可用下式予以修正：

$$Y_m = Y_h \left( \frac{A_m}{A_h} \right)^k \dots\dots\dots (10)$$

- 式中，Y<sub>m</sub>：麻善大橋之流量；
- Y<sub>h</sub>：西港站之流量；
- A<sub>m</sub>：麻善大橋之集水面積；
- A<sub>h</sub>：西港站之集水面積；
- k：係數。

因西港站與麻善大橋站之集水面積相差甚微，故可令k=1。

2. 多輸入—單輸出模式

於多輸入—單輸出模式中之多輸入可為數個單純之雨量輸入，亦可為雨量配合河川入流量之組合。就八掌溪之特性而言，本研究將八掌溪流域劃分為觸口、軍輝橋以及義竹等三個區域作為研析之範圍。

- (1)觸口：與單輸入—單輸出模式同。
- (2)軍輝橋：以上游觸口之流量資料與急水

溪流內嘉義站雨量記錄之組合為模式輸入，並以軍輝橋流量站為輸出之依據。

- (3)義竹：以急水溪流內嘉義雨量站、八掌溪中游軍輝橋與常盤橋兩個流量站之組合為模式輸入，並以義竹流量站為輸出之依據。

至於曾文河流域則與單輸入—單輸出模式同。

3. 蒸發散量與外域引水之資料處理

就蒸發散量之影響而言，前人大多由雨量中予以扣除<sup>(1)</sup>，但實際上無降雨時亦有蒸發之產生，可知此種扣除方式較不合物理意義；因此本研究將蒸發散量經單位換算後併入河川之流量中，以符合質量不減定律，於模式推估後再將蒸發散扣除，以得蒸發散後之推估值。本研究中八掌溪流域採用嘉義站，曾文河流域則採用台南站之資料，以作為模式對蒸發散量考慮之依據。

關於外域引水問題則發生在八掌溪之下游<sup>(2)</sup>。八掌溪流域在軍輝橋以下屬嘉南平原，為一廣大之農業灌溉區，因八掌溪本身之水源不足以使用，因此取用烏山頭水庫之嘉南大圳北幹線作為農業灌溉用水，此為一季節性用水，於灌溉期義竹站之流量明顯地較中游之軍輝橋及常盤橋之流量和大20到80倍，此一不合理之現象，乃是受農田灌溉後地面排水及地表面下逕流之嚴重影響，且此影響具季節性，因此於模式中之殘餘量因子中予以控制，使其影響降低。

#### ㊦ 模式參數校與驗證中資料之使用期距

由於資料蒐集不易與考慮其完整性之故，本研究對模式參數校正與驗證之資料使用期距如下：

##### 1. 參數校正

(1) 日模式：以民國73~74年間兩年之連續日水文資料作為參數之校正。

(2) 月模式：以民國70~74年間五年之連續月水文資料作為參數之校正。

##### 2. 模式驗證

(1) 日模式：以民國70~77年間每年之連續日水文資料作為模式之驗證。

(2) 月模式：以民國66~68年及民國70~77年間每年之連續月水文資料作為模式之驗證。

#### ㊦ 模式參數驗證之指標

1. 效率係數(Coefficient of Efficiency, 簡寫為CE)：

其定義可表示如(11)式。

2. 逕流體積誤差 (Error of Runoff Volume, 簡寫為ERV)：

$$ERV = \frac{(\sum Q_{est} - \sum Q_{obs}) \cdot \Delta t}{\sum Q_{obs} \cdot \Delta t} \times 100\% \quad \dots\dots (11)$$

3. 最大輸出值誤差 (Error of Peak Discharge, 簡寫為EQP)：

$$EQP = \frac{Q_{est,max} - Q_{obs,max}}{Q_{obs,max}} \times 100\% \quad \dots\dots (12)$$

4. 最大輸出值之時間誤差 (Error of Time to Peak, 簡寫為ETP)：

$$ETP = T_{est,max} - T_{obs,max} \quad \dots\dots (13)$$

以上各式中之參數定義如下：

$Q_{est}$ ：推估之輸出值；

$Q_{obs}$ ：實測之輸出值；

$\bar{Q}$ ：實測輸出值之平均值；

$\Delta t$ ：運算時段；

$Q_{est,max}$ ：推估輸出之最大值；

$Q_{obs,max}$ ：實測輸出之最大值；

$T_{est,max}$ ：推估輸出最大值之時間；

$T_{obs,max}$ ：實測輸出最大值之時間。

### 四、水文時多之預測

本研究係應用轉移機率矩陣方式作為水文時序之預測，為能配合模式之需求分別對各兩站及流量站求其轉移機率矩陣。以轉移機率矩陣配合線性擾動響應模式對水資源之預測步驟如下：

1. 由歷史時序資料建立所需之轉移機率矩陣。
2. 捨棄第一筆實測資料作為下一時刻 $t+1$ 之預測基準。
3. 判定時刻 $t$ 之狀態。
4. 時刻 $t+1$ 之水文預測量係以時刻 $t$ 之實測值為基底，與由時刻 $t$ 至下一時刻 $t+1$ 之改變量，配合轉移機率矩陣之權重所累加而成，如(14)式所示。

$$I'(t+1) = I(t) + \sum_{j=1}^{m'} \Delta I_j p_{i,j} \quad \dots\dots (14)$$

式中， $I'(t+1)$ ：時刻 $t+1$ 之推估值；

$I(t)$ ：時刻 $t$ 之實測值；

$\Delta I_j$ ：由時刻 $t$ 至時刻 $t+1$ 中第 $j$ 個狀態改變量；

$i$ ：時刻 $t$ 實測值所屬之狀態分區；

$P_{i,j}$ ：第 $i$ 狀態之各條件機率值；

$S_{t+1}$ ：於時刻 $t+1$ 之狀態個數。

5. 將所得之水文量預測值代入線性擾動響應模式中，以預測下一時刻可茲利用之水資源。
6. 以此時刻之實測值作下一時刻之預測，但對再下一時刻之預測時，則以下一時刻之實測值作為基底，以求得更精確之預測。

### 五、結果與討論

本研究之目的乃是建立一適用於台灣集水區之

線性擾動響應模式，以期對台灣長時期水資源作有效之模擬與推估。為驗證模式之適用性，選擇本省南部八掌溪流域及曾文溪流域作為模式之研究集水區。茲將所得結果分述如下：

(一)八掌溪流域

1.觸口集水區位於流域之最上游，為一典型之開放式森林集水區。此類型之集水區其直接逕流反應較延遲，洪峰後之退水可分為明顯之兩段落，第一段為短暫且坡度極陡之退水段，此段為降雨形成直接逕流之退水；然集水區中截留及次

表面流等釋出時間較晚且延時甚長，但數量卻頗為豐富，形成退落極緩慢之第二退水段。對觸口集水區而言，日模式可充分顯示出此種森林集水區之水文特性，並未因集水面積較小與河道短坡度大等因素之影響，而急速反應出降雨所造成之逕流。於本集水區中無論是單輸入-單輸出或多輸入-單輸出日模式對參數校正之效率係數均約在0.8左右，而月模式之效率係數可高達0.9，如表5至表7及圖11至圖14所示。然由於每年逢颱風侵襲時前後均將有頗豐富之正殘餘值干擾及森林集

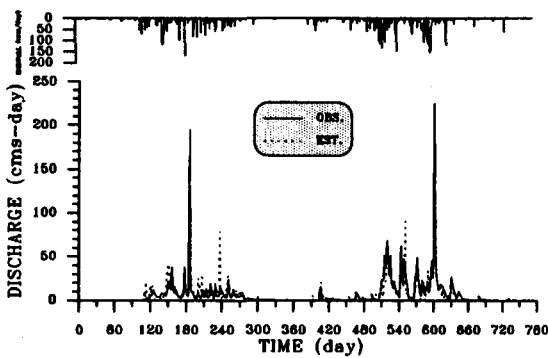


圖 11. 觸口站民國73-74年單輸入日模式之參數校正圖

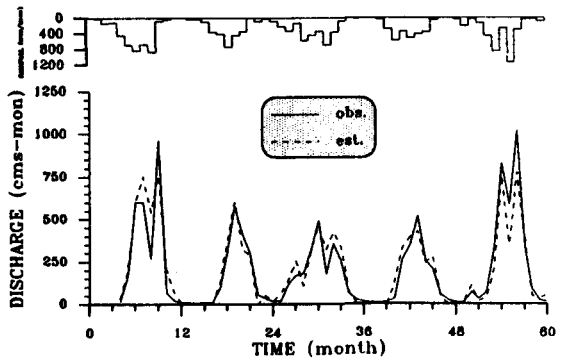


圖 12. 觸口站民國70-74年單輸入月模式之參數校正圖

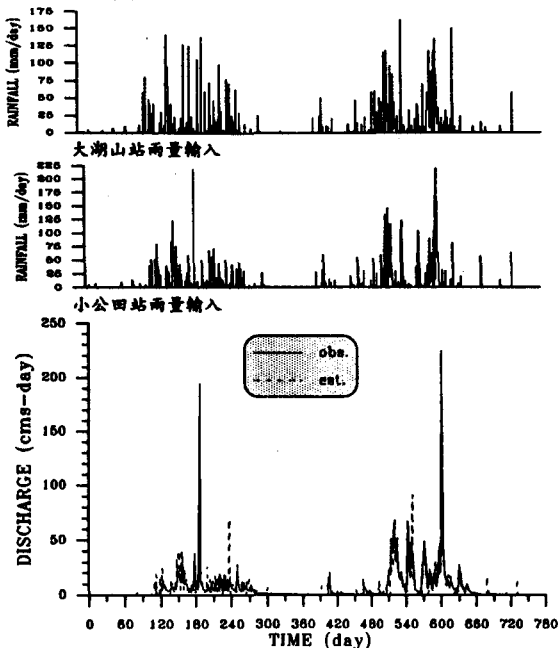


圖 13. 觸口站民國73-74年多輸入日模式之參數校正圖

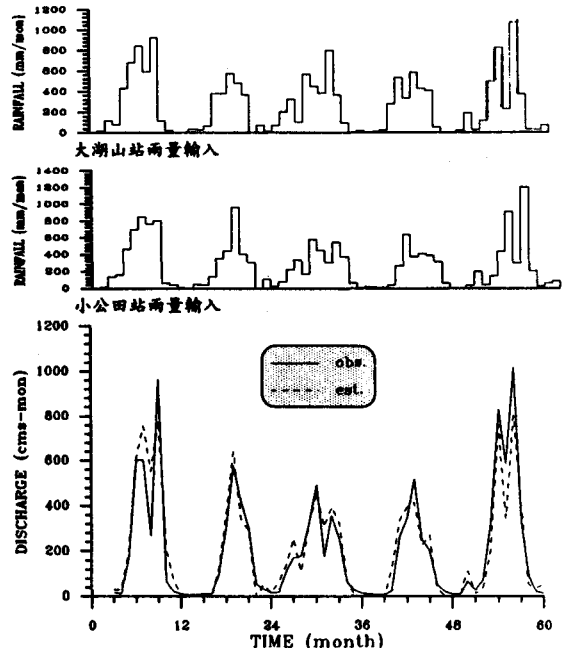


圖 14. 觸口站民國70-74年多輸入月模式之參數校正圖

表 5. 單輸入—單輸出線性擾動響應模式之參數校正表

註：表內之時間單位於日模式為日，月模式為月。

模式	水文站	實測最大流量		模式最大流量		體積誤差 %	效率係數	最大值誤差		記憶長度	增益因子 G	伽瑪函數因子 N	蓄水常數 K
		流量(cms)	時間	流量(cms)	時間			%	時間				
日模式	觸口	225.0	601	140.3	601	13.80	0.782	-37.63	0	8	0.94	1.35	1.63
	義竹	323.0	602	253.8	602	33.10	0.787	-21.43	0	10	2.76	2.12	1.41
	曾文水庫	111.1	601	80.9	185	9.37	0.837	-27.14	-416	3	1.34	0.41	0.96
	麻善大橋	646.0	544	487.2	544	31.39	0.830	-24.59	0	9	3.72	1.85	1.44
月模式	觸口	1016.4	56	773.3	56	-0.65	0.883	-23.92	0	4	1.83	1.27	0.74
	義竹	3607.0	9	3081.3	9	-0.39	0.933	-14.57	0	3	7.76	1.59	0.45
	曾文水庫	626.0	9	487.9	9	8.30	0.898	-22.06	0	3	1.47	0.86	0.65
	麻善大橋	10303.7	9	7789.9	9	-0.86	0.864	-24.40	0	3	14.49	1.79	0.42

表 6. 多輸入—單輸出線性擾動響應日模式之參數校正表

註：表內之時間單位為日。

水文站	實測最大流量		模式最大流量		體積誤差 %	效率係數	最大值誤差		記憶長度	增益因子 G	伽瑪函數因子 N	蓄水常數 K
	流量(cms)	時間	流量(cms)	時間			%	時間				
觸口	225.0	601	165.6	601	-0.28	0.819	-26.40	0	2	0.59	0.57	0.39
									6	1.22	0.58	1.79
軍輝橋	272.0	602	220.3	602	-6.42	0.876	-19.00	0	2	0.19	0.37	0.48
									7	1.54	1.35	1.20
義竹	323.0	602	329.1	602	7.52	0.918	1.90	0	5	0.56	0.68	1.23
									4	1.46	1.10	0.68
									5	2.29	1.31	0.86
曾文水庫	111.1	601	98.4	601	-16.92	0.881	-11.38	0	3	0.04	0.62	0.69
									4	0.29	0.82	0.83
									3	0.28	0.76	0.75
									3	0.16	0.67	0.65
									2	0.28	0.43	0.45
麻善大橋	646.0	544	483.0	544	1.90	0.886	-25.24	0	9	1.23	1.87	1.52
									8	1.16	1.62	1.35
									10	1.12	2.01	1.52

表 7. 多輸入—單輸出線性擾動響應月模式之參數校正表

註：表內之時間單位為月。

水文站	實測最大流量		模式最大流量		體積誤差 %	效率係數	最大值誤差		記憶長度	增益因子 G	伽瑪函數因子 N	蓄水常數 K
	流量(cms)	時間	流量(cms)	時間			%	時間				
觸口	1016.4	56	801.4	56	-1.98	0.890	-21.15	0	3	1.30	0.85	0.64
									4	1.15	1.05	1.00
軍輝橋	1563.9	56	1279.7	56	-6.35	0.917	-18.17	0	3	1.63	1.15	0.64
									3	2.43	1.27	0.51
									3	1.81	1.15	0.67
義竹	3607.0	9	3160.5	9	0.34	0.966	-12.38	0	3	1.89	1.22	0.52
									3	3.41	1.35	0.49
									3	0.09	0.67	0.74
曾文水庫	625.9	9	456.6	9	-0.20	0.904	-27.05	0	3	0.25	0.91	0.69
									4	0.29	0.98	0.93
									3	0.29	0.97	0.85
									3	0.27	0.91	0.68
麻善大橋	10303.7	9	7501.9	9	-3.51	0.868	-27.19	0	4	2.55	1.19	1.00
									2	8.7	1.41	0.42
									4	5.48	1.23	0.76

水區函蓄能力強與退水緩慢等特性，致使日模式之驗證效果未臻於理想，如圖15所示；但此因素並不影響月模式之精度，單輸入-單輸出月模式之效率係數達0.9，多輸入-單輸出月模式更高達0.912，如圖16至圖17所示。

2. 軍輝橋集水區位於流域之中游地區，為一細長形之狹窄集水區，其上接森林集水區觸口水文站之出流，下游則排放至嘉南平原之義竹水文站，集水面積僅有39平方公里。本集水區係採多輸入-單輸出模式予以模擬，嘉義站降雨量與觸

口站流量為模式輸入之依據。由於雨量並非為一連續輸入，因此所佔比重較低，致使軍輝橋之流量受觸口之支配極大，即軍輝橋站與觸口站間有一密切之相關性，而雨量輸入將快速反應於出流上，此可由觸口站流量之增益因子較嘉義站雨量者為高加以闡釋。由於其出流與觸口之同時序流量具高度相關性，因此兩者之差值已相當有限，再經響應函數矮化並減弱其時序之變化，以致破壞兩者間之高度相關，使得於日模式參數校正時之效率係數雖為0.87，如表6及圖18所示，但於驗

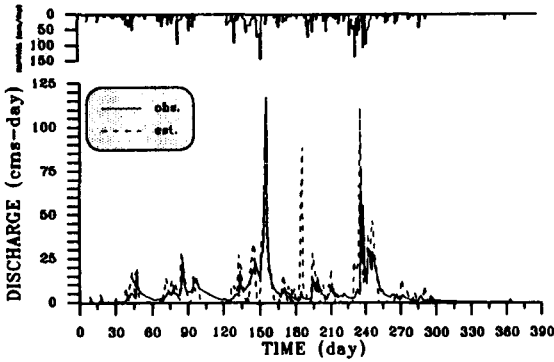


圖 15. 觸口站民國72年單輸入日模式之參數驗證圖

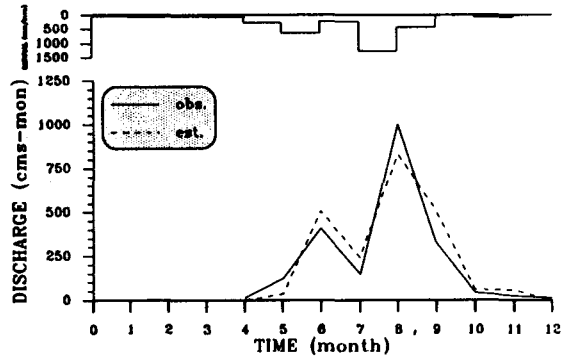


圖 16. 觸口民國68年單輸入月模式之參數驗證圖

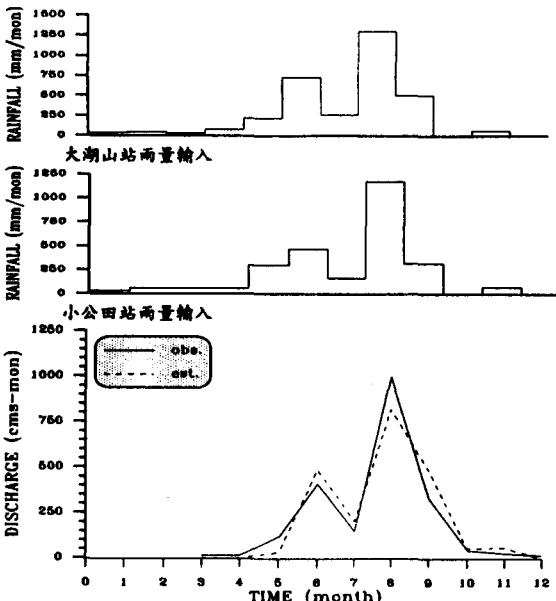


圖 17. 觸口站民國68年多輸入月模式之參數驗證圖

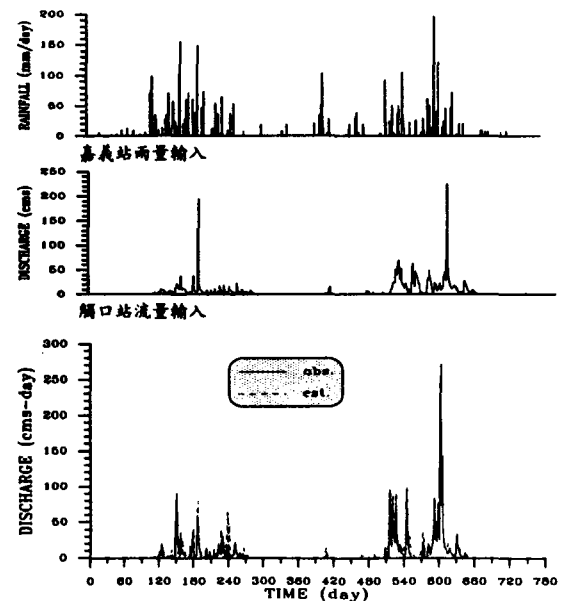


圖 18. 軍輝橋站民國73-74年多輸入日模式之參數校正圖

證時效率係數卻有負值出現；於月模式中卻無此等現象產生，其參數校正及驗證更有效率係數大於0.9者，如表7及圖19至圖20所示。

3. 義竹水文站為八掌河流域之最下游水文站，此區屬嘉南平原之廣大農業耕地，區內設有眾多之灌溉及排水設施以利農作。於農耕期因區內之水資源不足，需引取嘉南大圳北幹線之灌溉用水。對此一具強烈季節特性之外域引水量而言，線性擾動響應模式即是強調以此種具季節性變化之水量為模式擾動基準，故模式執行之成

果亦顯現如此，如表5至表7與圖21至圖24所示。由於民國73及74年之模式參數校正期恰為此區之水文豐沛年，然對模式驗證期而言卻無如此豐沛之水資源，因此僅考慮雨量輸入之單輸入日模式成果較不盡理想；而月模式及多輸入日模式則有效率係數近0.9或以上表現，至於民國68年單輸入一單輸出月模式及77年多輸入一單輸出月模式皆為效率係數近0.98之高精度模擬，如圖25及圖26所示。

(二) 曾文溪流域

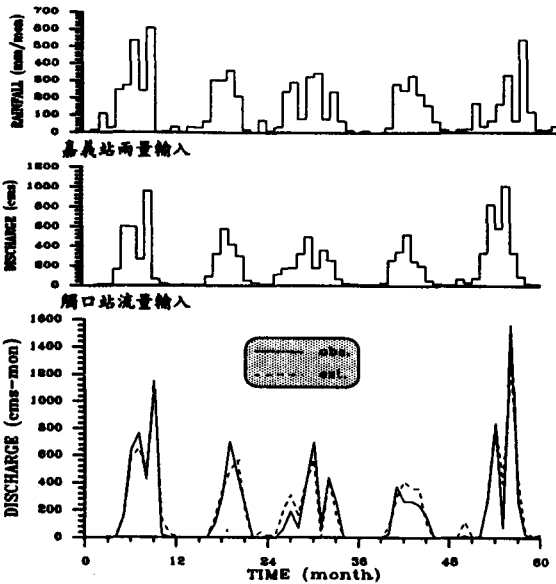


圖 19. 軍輝橋站民國70-74年多輸入月模式之參數校正圖

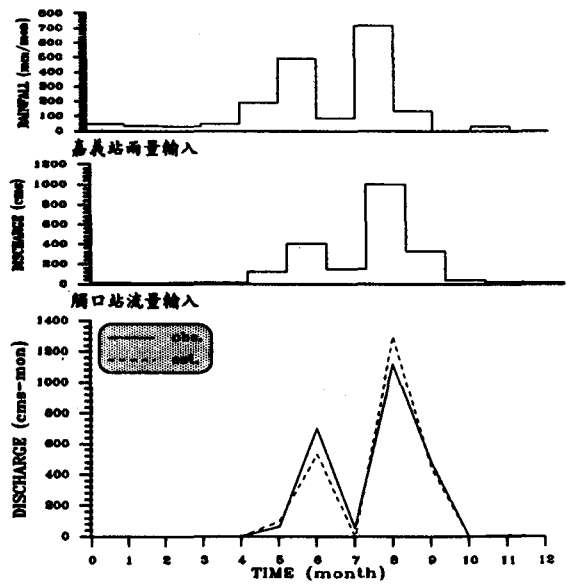


圖 20. 軍輝橋站民國68年多輸入月模式之參數驗證圖

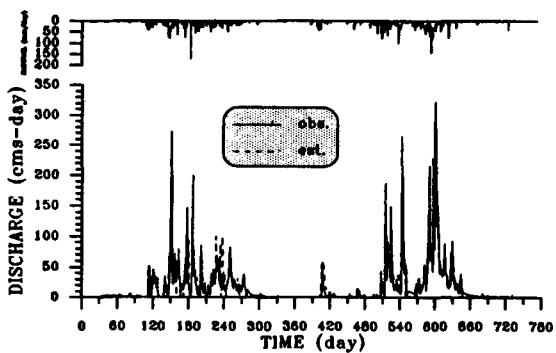


圖 21. 義竹站民國73-74年單輸入日模式之參數校正圖

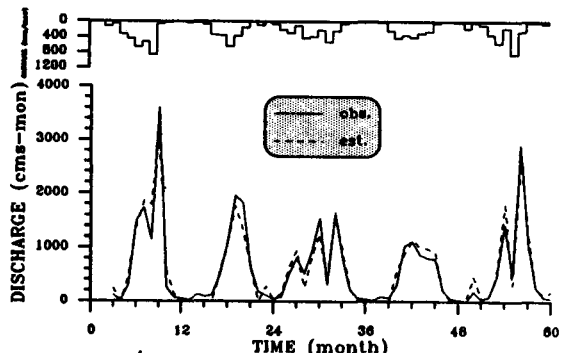


圖 22. 義竹站民國70-74年單輸入月模式之參數校正圖

1. 就曾文水庫集水區而言，雖與八掌溪觸口站以上集水區同屬上游森林集水區，但由於曾文水庫大壩之阻絕地表下逕流及集水區面積亦較觸口廣大等因素，故其雖仍具有有森林集水區之特性，然對模式之影響則未如觸口者為大。此外，曾文水庫長期距流量之計算方法與一般河川之計

算方式有所迥異，乃是以mcd即每日百萬立方米之水庫進流量當作水庫集水區之出流量。模式之模擬成果，於參數校正時其效率係數皆近0.9，如表5至表7與圖27及圖30所示，而驗證結果仍與前述之集水區相同，均以月模式較佳，且民國68年之月模式更有效率係數為0.96之極佳表現，如圖31及圖

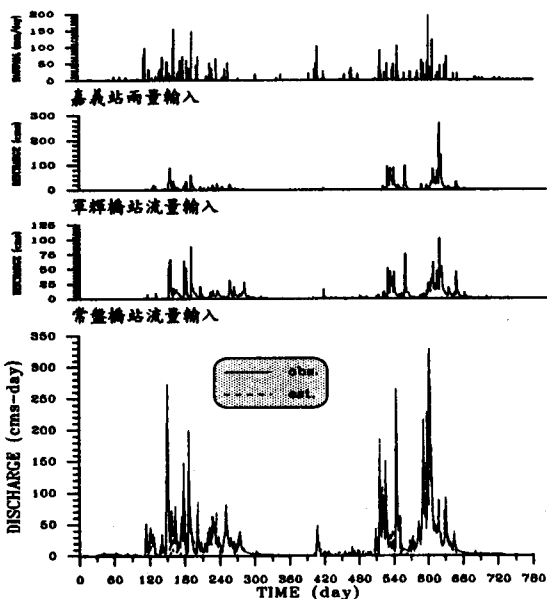


圖 23. 義竹站民國73-74年多輸竹日模式之參數校正圖

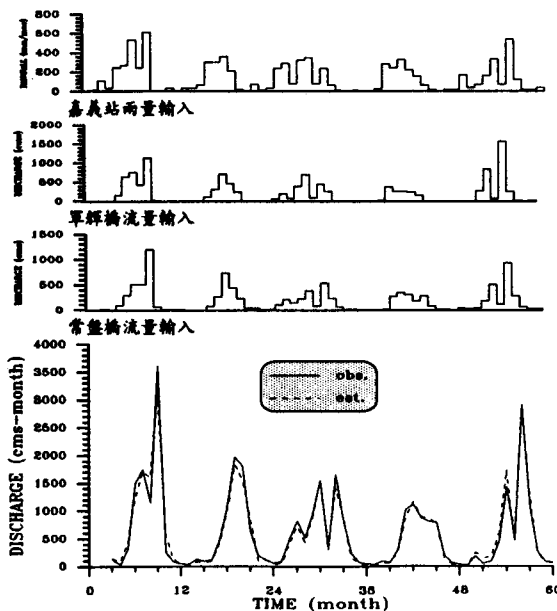


圖 24. 義竹站民國70-74年多輸入月模式之參數校正圖

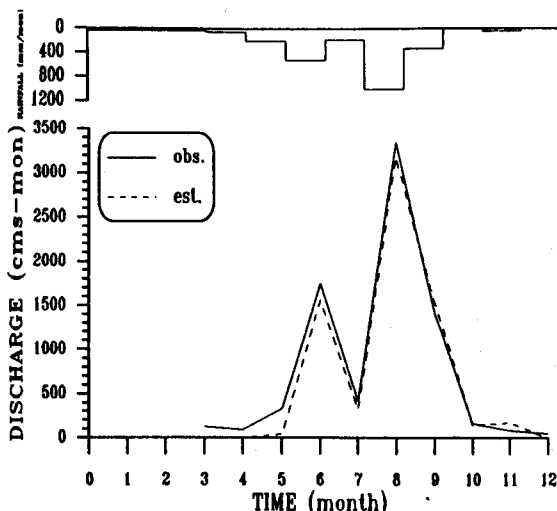


圖 25. 義竹站民國68年單輸入月模式之參數驗證圖

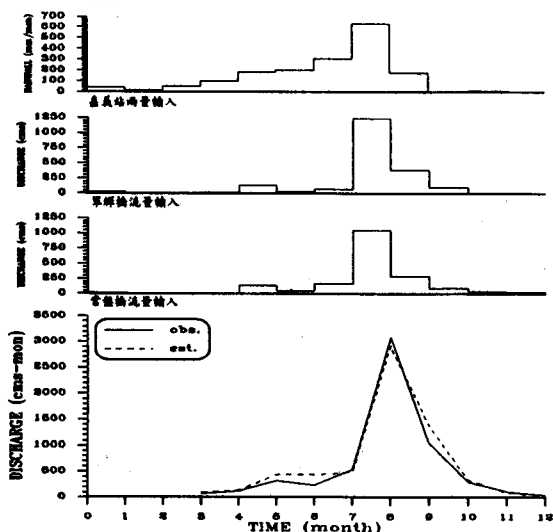


圖 26. 義竹站民國77年多輸入月模式之參數驗證圖



32所示。

2.曾文水庫發電放水對下游平原集水區而言，係屬外域引水。因發電放水量極不穩定且量大及不具季節變化特性等因素，故線性擾動響應模式於此區之應用不及曾文水庫之理想。參數校

正之成果與曾文水庫等集水區相仿，如表5至表7及圖33至圖36所示；模式之驗證以民國68年多輸入一單輸出月模式之效率係數為0.94最佳，如圖37所示。

3.於一集水區中，若主流上建有水庫時，宜

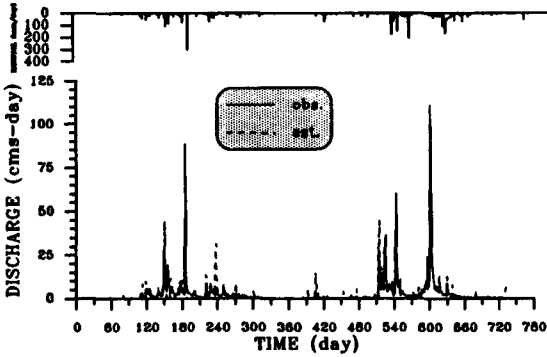


圖 27. 曾文水庫站民國73-74年單輸入日模式之參數校正圖

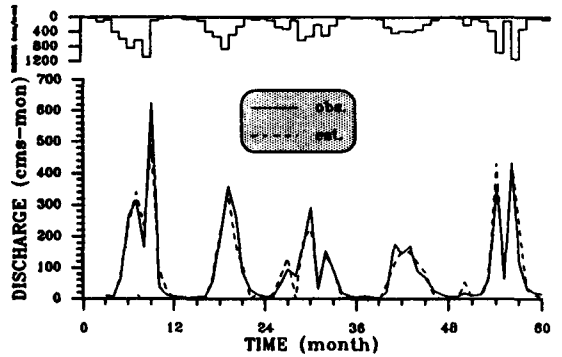


圖 28. 曾文水庫站民國70-74年單輸入月模式之參數校正圖

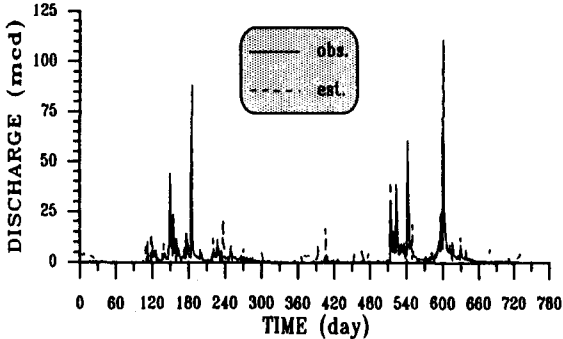
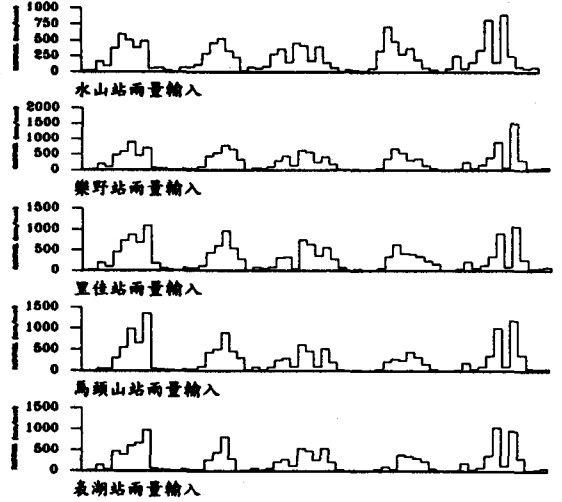
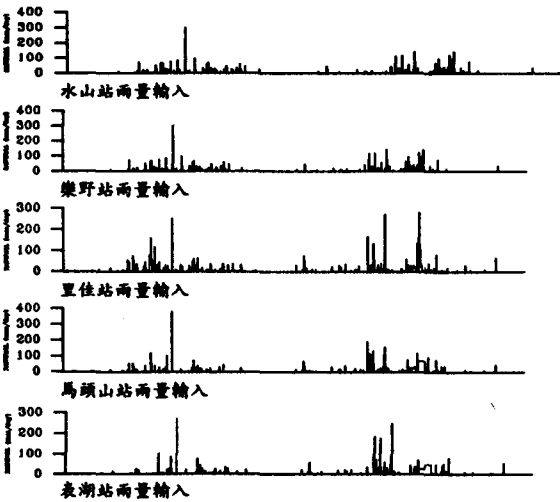


圖 29. 曾文水庫站民國73-74年多輸入日模式之參數校正圖

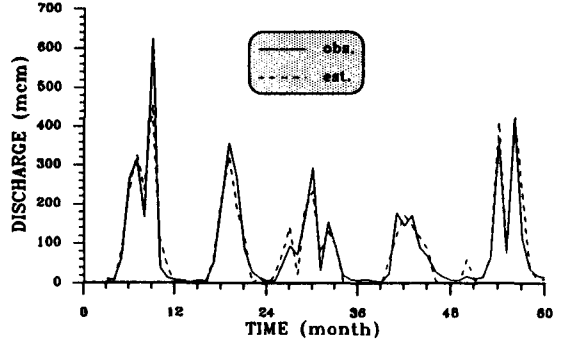


圖 30. 曾文水庫站民國70-74年多輸入月模式之參數校正圖

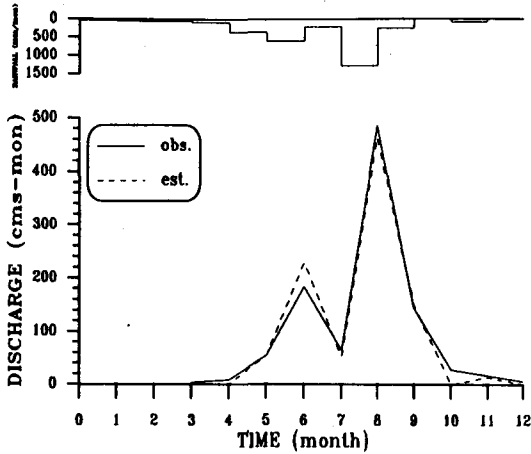


圖 31. 曾文水庫站民國68年單輸入月模式之參數驗證圖

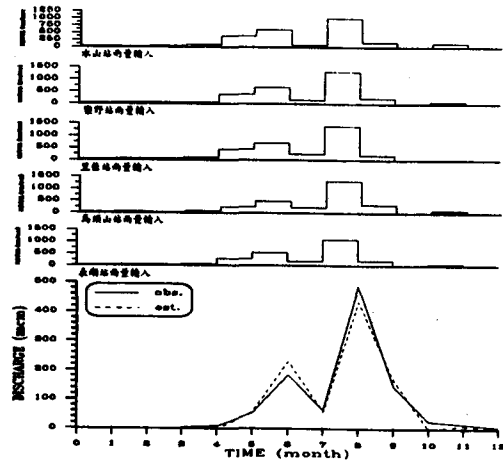


圖 32. 曾文水庫站民國68年多輸入月模式之參數驗證圖

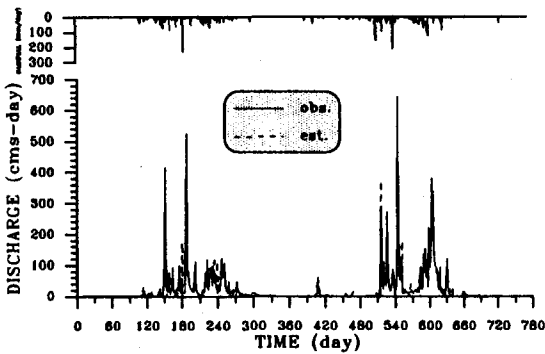


圖 33. 麻善大橋站民國73-74年單輸入日模式之參數校正圖

將集水區細分為水庫上游集水區及水庫下游集水區以利長期距水文模擬之研究，但水庫放水仍應視為對下游集水區之一種外來輸入。由於曾文水庫常與烏山頭水庫串聯使用以提供農業及民生用水，因此，於平時曾文水庫大壩幾乎不放水，然曾文水庫水力發電廠之用水量乃為下游之一水量輸入，其發電之準則是最大發電放水量56cms，每

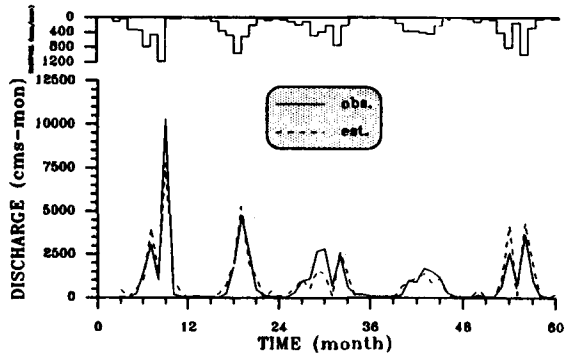


圖 34. 麻善大橋站民國70-74年單輸入月模式之參數校正圖

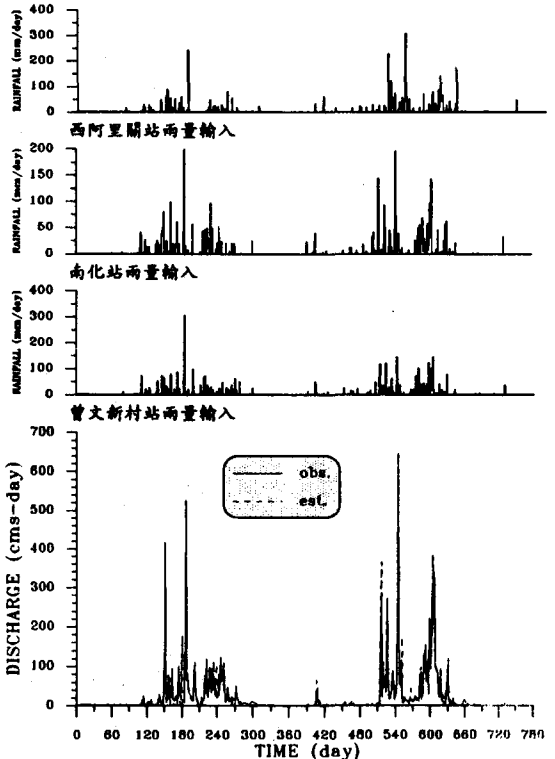


圖 35. 麻善大橋站民國73-74年多輸入日模式之參數校正圖

日最大發電時數為16小時<sup>(4)</sup>，此為一量大且不穩定之輸入，也造成了曾文水庫下游集水區水文

長期推估之困擾，因其時間及數量之不穩定，使得模式中無法以類似八掌溪處理灌溉期利用殘餘量來減低其影響，成為曾文水庫下游集水區長期水文模式應用之最大困難點。

(三)由模式參數校正與驗證之結果得知，月模式之效率係數均較日模式為較高，此乃因月水文量較日水文量有較穩定季節變化，且由歷史均值滑順化之結果可知，於月模式中幾乎可得到完全之擬合，然於日模式內仍有相當之差距，故應用月模式時較能明顯地表現出輸入擾動對輸出之影響，並有較穩定且理想之模擬結果。

(四)在不同模式之參數校正結果中，八掌溪流域之義竹站及曾文溪流域之麻善大橋站，其增益因子均有異於其他各水文站且呈偏大之傾向。究其原因可能是該二區域內受不確定之外域引水量影

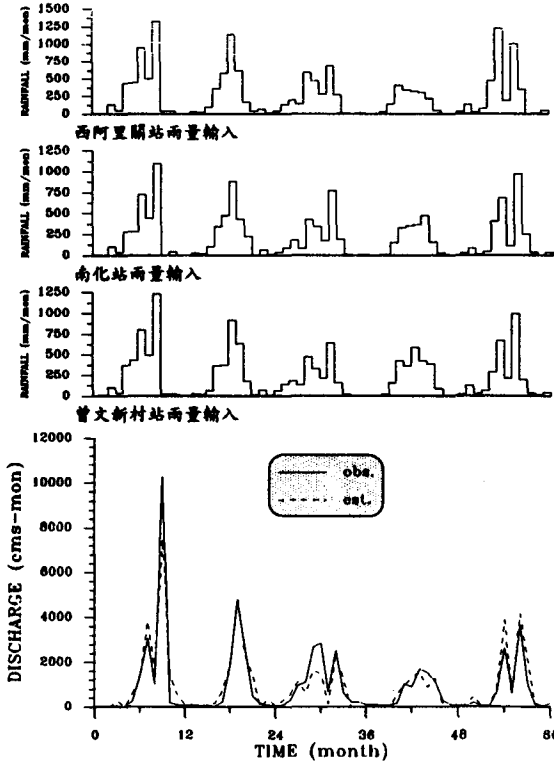


圖 36. 麻善大橋站民國70-74年多輸入月模式之參數校正圖

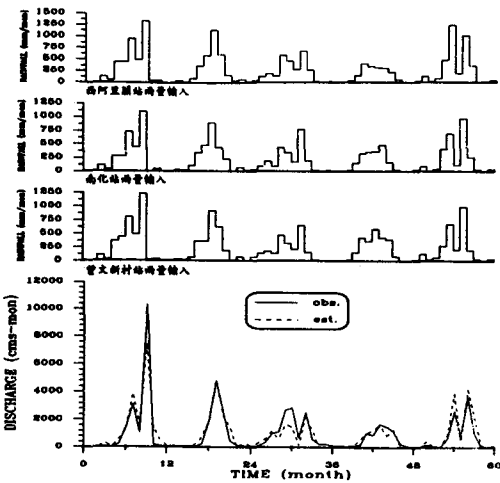


圖 37. 麻善大橋站民國68年多輸入月模式之參數驗證圖

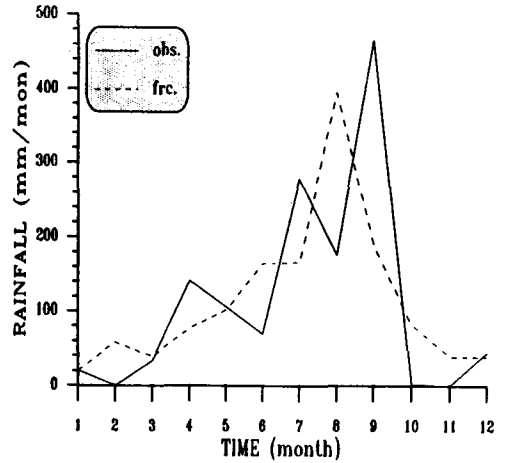


圖 38. 嘉義站民國78年轉移機率矩陣法之月平均降雨量預測圖

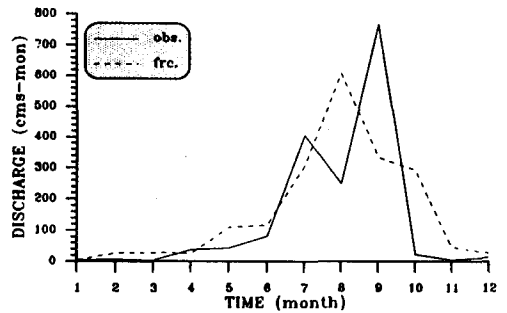


圖 39. 軍輝橋站民國78年轉移機率矩陣法之月平均降雨量預測圖

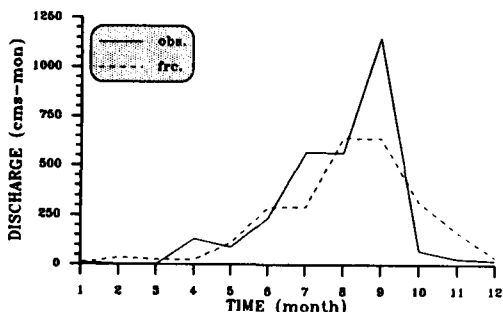


圖 40. 常盤橋站民國78年轉移機率矩陣法之月平均降雨量預測圖

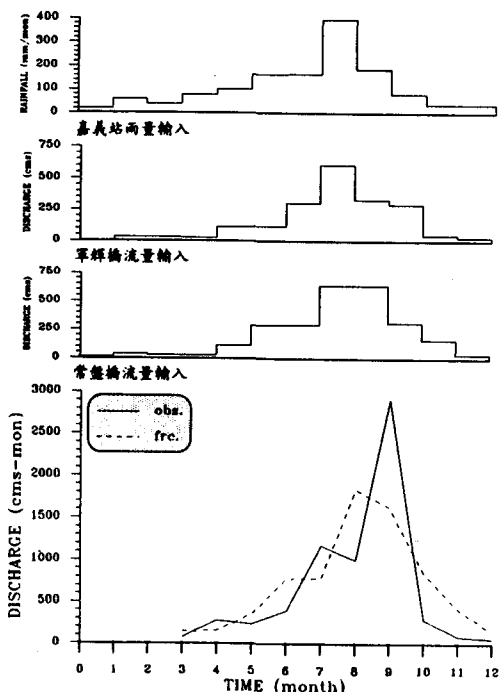


圖 41. 義竹站民國78年多輸入月模式之預測成果圖

響，出流量並非完全由降雨量所供應之故。

(a) 一般之水文模式若僅憑藉歷史水文量之推行，恐仍無法發揮準確之模擬效果。因此研發一準確之氣象—水文預報串聯模式之模擬，當可更精確地掌握水資源之運用與管理。本研究針對日雨量不確定性極高之現象，以全機率理論為基礎，應用轉移機率矩陣方式從事水文預測，並將水文量區分為近百層次，水文時序變量約160餘組，進行降雨量之預測，再套配線性擾動響應模

式，進而推估未來可能進流量。以民國78年為例，最佳者為多輸入月模式義竹站，但其效率係數僅有0.5，如表8至表9及圖38至圖41所示。

## 六、結 論

(一) 單輸入—單輸出線性擾動響應模式係以平均雨量為輸入之模式；而多輸入—單輸出線性擾動響應模式則可應用雨量或流量等不同來源之資料為模式輸入，且考慮流域空間變化之特性，改進單輸入—單輸出線性擾動響應模式僅以平均雨量為輸入並忽略集水區地形變異性之缺點。一般而言，多輸入—單輸出線性擾動響應模式之模擬結果常較單輸入—單輸出線性擾動響應模式為優。

(二) 由於多輸入—單輸出線性擾動響應模式之輸入資料具選擇性變化，較能表現出集水區分區之特性，使模式可獲得較佳之模擬結果。如本研究中因八掌溪中下游無雨量站之設立，故引用嘉義站為此區之雨量輸入依據，而以單輝橋站及常盤橋站之流量作為中游之輸入。因此，多輸入—單輸出之線性擾動響應模式，可以廣泛應用於系統較為複雜之集水區以從事水文長期之模擬。

(三) 由於單輸入—單輸出線性擾動響應模式中三個參數 $n$ 、 $k$ 與 $g$ 特定，而多輸入—單輸出線性擾動響應模式之參數個數則以倍數增加，故本研究對於其合理參數之校驗，係以直接搜尋法作為參數優選之方法，並藉由羅森布洛克法中全面搜尋、座標軸之旋轉及搜尋步長之變動等特性以求解最佳之參數，此不僅可降低傳統試誤法中人為操作失誤且能避免時間之浪費。

(四) 由研析流域模擬之結果得知，日水文量為一上下劇烈振盪之時間序列，易受極值之影響而呈現不穩定性，因此日模式之模擬結果較不理想；然月水文序列因具較穩定之趨勢及週期性，故於此基準之線性擾動響應模式可得頗佳之模擬效果。

(五) 由於多輸入—單輸出線性擾動響應模式可用流量資料取代或彌補流域上游雨量站之不足或雨量資料缺乏，且考慮流域內雨量時間及空間分佈之變異情形。由本研究之結果顯示，多輸入—

表 8. 單輸入—單輸出線性擾動響應模式民國78年之預測成果表

模式	水文站	實測最大流量		模式最大流量		體積誤差 %	效率 係數	最大值誤差	
		流量(cms)	時間	流量(cms)	時間			%	時間
日 模 式	觸口	762.0	256	231.1	256	46.77	0.408	-69.67	0
	義竹	1190.0	256	410.2	257	74.29	0.424	-65.53	1
	曾文水庫	276.3	256	112.4	256	21.66	0.188	-59.31	1
	麻善大橋	1610.0	256	769.9	256	34.31	0.449	-52.18	0
月 模 式	觸口	1064.7	9	1177.5	256	-54.96	-1.145	10.59	1
	義竹	2916.1	9	4183.9	10	-55.16	-1.71	43.48	1
	曾文水庫	494.3	9	544.2	10	-51.86	-1.01	10.10	1
	麻善大橋	5433.5	9	10311.4	10	-135.14	-3.82	89.78	1

註：表內之時間單位於日模式為日，月模式為月。

表 9. 多輸入—單輸出線性擾動響應模式民國78年之預測成果表

模式	水文站	實測最大流量		模式最大流量		體積誤差 %	效率 係數	最大值誤差	
		流量(cms)	時間	流量(cms)	時間			%	時間
日 模 式	觸口	762.0	256	114.6	256	27.89	0.202	-84.96	0
	軍輝橋	306.0	255	69.3	236	54.90	-0.21	-77.34	-19
	義竹	1190.0	256	498.4	257	40.35	0.443	-58.12	1
	曾文水庫	276.3	255	43.9	256	51.20	0.287	-84.09	1
	麻善大橋	1610.0	256	319.5	256	82.38	0.299	-80.15	0
月 模 式	觸口	1064.7	9	575.5	9	-17.98	0.295	-45.95	0
	軍輝橋	766.6	9	293.3	9	43.09	-0.01	-61.75	0
	義竹	2916.1	9	1842.2	9	-8.57	0.554	-36.83	-1
	曾文水庫	494.3	9	222.4	9	20.11	0.484	-55.01	0
	麻善大橋	5433.5	9	3436.6	9	-12.77	0.510	-36.75	0

註：表內之時間單位於日模式為日，月模式為月。

單輸出線性擾動響應模式之模擬結果，較單輸入—單輸出線性擾動響應模式者為佳，因此應用多輸入—單輸出線性擾動響應模式較能擬合台灣集水區之水文特性。

### 七、參考文獻

- 1.王如意、趙啓迪：「台灣南部河川乾涸特性探討及模式建立之研究」，行政院農委會研究計畫報告，民國76年11月。
- 2.台灣省水利局規劃總隊：「農田地表逕流觀測分析研究報告」，民國71年12月。
- 3.袁作新：流域水文模型，大陸水力電力出版社，1988。
- 4.財團法人中興工程顧問社：「曾文溪水力普查報告」，民國75年6月。
- 5.Charles T. Haan, Statistical Methods in Hydrology, The Iowa State University Press, Ames., Iowa, 2nd. ed., 1979.
- 6.Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., Applied Hydrology, McGraw Hill Book Company

Inc., New York, 1988.

- 7.George C. Canavos, Applied Probability and Statistical Methods, Little, Brown Company, 1984.
- 8.J. E. Nash and Bobiker I. Barsi, "A Hybrid Model for Flow Forecasting on Large Catchments," Journal of Hydrology, Vol. 65, PP.125-137, 1983.
- 9.Kuester, J. L. and Mize, J. H., Optimization Techniques with Fortran, 1973.
- 10.R. K. Kachroo, G. C. Liang and K. M. O'Connor, "Application of the Linear Perturbation Model (LPM) to flood Routing on the Mekong River," Hydrological Sciences-Journal-Des Sciences Hydrologiques, 33, 2, 4, pp. 193-214,1988.
- 11.Kothyari U. C., V. Aravamuthan and V. P. Singh, "Monthly Runoff Generation Using the Linear Perturbation Model," Journal of Hydrology, Vol.144, pp.371-379, 1993.

收稿日期：民國83年11月3日

接受日期：民國83年11月11日