

微分水文灰色模式之研究與應用

Study on Differential Hydrologic Grey Model And Its Application

國立臺灣大學農業工程學研究所教授

國立臺灣大學農業工程學系研究生

王如意
Ru-yih Wang

莊文南
Wen-nan Chuang

摘要

本研究之目的係利用灰色系統理論以探討水文灰色模式之架構及其在逕流預測上之應用。文中提出一微分水文灰色模式（簡稱DHGM模式），其特色為在一般水文信息不完全條件下可以建立降雨—逕流模式，並處理灰參數之識別，進而發展至流量預測。本研究主要著重於：(1)水文灰色系統模式化、(2)灰參數之檢定及(3)逕流過程之灰色預測等三層次之研析。

文中首先以灰色系統理論建立微分水文灰色模式。模式建立後，再以合適之優選方法檢定DHGM模式中參數值，並配合實測資料，作為模式驗證之憑藉。由演算結果顯示模式具有良好之精確性，足可證實微分水文灰色模式之適用性，且經參數優選後所得歷線，較由參數初始值所得者，具有顯著之改善現象，可知虎克—傑偉斯優選法對模式精確度具有良好之提升功能。能進一步將模式應用於流量預測，引用移動平均法及GM(1,1)法來預報降雨量。由降雨量之預測至逕流量模擬，可建立一逐時預報之水文系統。

為檢證模式之合適性，本研究以曾文溪流域為驗證區。依據地形特性，劃分為曾文水庫集水區與曾文溪流域下游平原區。經以各分區作為模式驗證之憑據，由其結果顯示本模式具有良好之相關性與精確度。因此，本研究中理論演繹方式及模擬結果，可提供本省流域水資源利用、集水區經營及水庫防洪運轉等規劃設計之參考與應用。

關鍵詞：灰色系統、降雨—逕流模式、參數優選法、移動平均法、GM(1,1)法、即時預報。

ABSTRACT

The purpose of this study focuses on the model-building problem of hydrologic grey system and runoff forecasting, using ideas of the grey system theory. The differential hydrologic grey model (abbreviated as DHGM) has firstly been applied, which can not

only describe the imperfection of hydrologic information in the model building but can also provide new approaches to dealing with the non-unique parameter identification and the uncertainty of runoff forecasting. The major contents of this study involved are of the following three aspects : (1)the modeling of hydrologic grey system,(2)the grey parameters identification and (3) the grey forecasting of runoff procedure.

First of all, the differential hydrologic grey model by applied grey system theory was adopted in this study. After the rainfall-runoff model was established, parameters of DHGM model was calibrated in sequence by using the optimization algorithm. Furthermore, runoff model was verified by the observed data. Results showed that the parameters of DHGM model can be systematically estimated, leading to better model performances. In order to apply the model in runoff forecasting, moving average method and GM (1,1) method were finally adopted to link the rainfall and runoff processes and construct a real-time on-line forecasting model.

In order to verify the appropriation of the model, the Tseng-Wen River Basin was chosen as a verification area. According to the topographic characteristics, two study zones were divided as the upstream watershed of Tseng-Wen Reservoir and the downstream plain zone of Tseng-Wen, Chi, respectively. After verification, good correlation and accuracy in model analysis can be proved. Therefore, the deductive approach and simulated result of this research can provide references and applications to the planning of water resources utilization, the management of watershed and the reservoir operation for flood prevention of basins in Taiwan.

Key Words : Grey System, Rainfall-Runoff Model, Method of Parameter Optimization, Moving Average Method, Grey Model (1,1), Real Time Forecasting.

一、緒 論

台灣為颱風路徑之要衝，每年颱風季節來臨時，常引發洪水災害；冬春之季又常久旱不雨，這種降水之時空分佈不均性，乃是台灣水資源開發及運用上一大問題。有鑒於此，研究由降雨形成逕流間關係之水文模擬，用於洪水預報、水資源利用等工程之規劃與應用，一直是水文學上重要之課題。

本研究擬探討灰色系統方法，著重於內涵不明確、外延明確之水文歷程。以補充內在信息及視降兩一逕流為一“灰過程”之觀念，建立模式；並輔以參數優選之方法，以檢定與驗證模式之精度。所採用之模式為微分水文灰色模式 (Differential Hydrologic Grey Model)，簡稱DHGM^[6,10]。在水文系統模式建立中，普遍存在著信息不完整現象。由於水文模擬之灰色問題比較常見，研究水文灰色

系統模式之建立與預報，具有甚大之實用價值。

文中首先對於灰色系統理論做一基礎性之介紹，並以此描述模式之基本架構，以及數學原理、推導之詳細過程。文中亦介紹參數優選法理論，主要是Hooke-Jeeves法理論，研究並確定合適之參數，並藉由移動平均法^[3](moving average method)及GM (1,1)^[5](grey model)法，建立雨量預報模式，再由雨量預測到流量模擬，構成一完整之預報體系。為了驗證模式之精確度，以曾文溪流域為研究集水區，期能建立研究集水區適用之水文模擬模式，並對防洪及水資源規劃之研究有所助益。

二、灰色系統理論與方法

2-1 灰色系統理論概述^[4]

灰色理論係大陸學者鄧聚龍教授於1982年3月在國際上首先所提出者。第一篇灰色系統之論文發表

於北荷蘭出版公司出版Systems and Control Letter之刊物上，題目為“Control Problem of Grey System”，該論文發表後引起國際重視及好評。在系統論與控制論中，常用顏色深淺來形容信息完備程度，一般情況下，“白”指信息完全；“黑”指信息一無所知；“灰”則指信息不完全或不確知。例如，灰數（grey numbers）、灰元（grey elements）、灰關係（grey relations）等。若系統中有信息不完全或不確定之現象，則稱為系統之灰色性。這種具有灰色性之系統，稱為灰色系統，簡稱灰系統（grey system）。

在客觀之世界中，有甚多抽象系統沒有物理原型，或系統之作用機制不太清楚，吾人只能任憑邏輯推理，然後用各種模型加以表達。人們不可能即時認識事物之規律，只能經過不斷地錯誤探索來修正主觀意識，並不斷提高客觀事物之透明度。所以嚴格來說，灰色系統是絕對的，而白色系統與黑色系統則是相對的。

灰色系統理論係設定系統之隨機性與模糊性是具有灰色性之兩個不同方面之不確定性，系統灰色性不但包含了隨機性與模糊性，而且還包含了這兩種不確定性以外之諸多特性。

2-2 灰色系統分析與模式建立方法

灰色系統理論將隨機過程看作一種灰色過程，認為一切隨機量都可以當作是在一定範圍內變化之灰色量加以處理。經過對灰色過程之生成方法，將具有隨機性之數列，轉化成一個具有較強烈規律性之數列，且可用少量數據及存在灰色信息之情況下，建立出連續微分方程模式。

灰色系統分析及模式建立之方法，具有以下幾個明顯特點：

1. 灰色模式建立可以是系統輸出之單序列模式，而傳統方式只能以輸入到輸出雙序列建立模式。
2. 不忽略灰色信息存在，而是發展一套新的方法來處理及運用灰信息。
3. 充分利用已知信息；系統之最後結果，即總輸出資料和信息或多或少可以得到，灰色理論將這些信息充分加以利用。
4. 對於系統由“黑”到“白”之過渡過程，就如人們對事物認識過程，都是對事物灰度不斷降低之過程。

灰色系統之所以能建立微分方程模式，是基於

下述概念、觀點、方法及途徑。

1. 灰色理論將隨機量當作在一定範圍變化之灰色量。
2. 灰色理論將無規律原始數列生成為較有規律之生成數列再來建立模式。
3. 灰色理論針對符合光滑離散函數條件數列進行模式建立。
4. 灰色理論認為微分方程是背景值與各階灰導數之某種組合。
5. 經過GM模式得到之數據，需經逆運算做還原後才能夠使用。

2-3 灰色生成與灰色數學^[5]

將原始數列 $\{x^{(0)}\}$ 中之數據 $x^{(0)}(k)$ ，按某種要求作數據處理（或數據變換），稱為生成。利用生成數來建立模式，此乃灰色系統理論的重要特點之一。

1. 累加生成（Accumulated Generating Operation；簡寫為AGO）

$$x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k x^{(0)}(m) \quad (1)$$

式中， $x^{(0)}$ ：原始數列；

$x^{(1)}$ ：一次累加生成數列。

則稱 $\{x^{(1)}\}$ 為 $\{x^{(0)}\}$ 之一次累加生成數列。記為1-AGO。累加生成能使任意非負數列，轉化為遞增之數列。換言之，經過累加生成後得到之新數列，其隨機性弱化、規律性增強。

2. 累減生成（Inverse Accumulated Generating Operation；簡寫成IAGO）

令 $\{x^{(r)}\}$ 為r次生成數列，對 $\{x^{(r)}\}$ 作i次累減，記為i-IAGO，定義為 $\alpha^{(i)}$ ，則有如下基本關係：

i次累減為i-IAGO，其運算式為：

$$\alpha^{(i)}(x^{(r)}(k)) = \alpha^{(i-1)}(x^{(r)}(k)) - \alpha^{(i-1)}(x^{(r)}(k-1)) \quad (2)$$

累減生成是累加生成之逆生成，當對r-AGO進行r-IAGO時，則得原始數據 $\{x^{(0)}\}$ ，此即所謂還原。

3. 灰導數（Grey Derivative）與背景值（Background value）

一般白導數定義為：

$$\frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}$$

隨著 Δt 之縮小，而趨近於零，可記為：

$$\frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}$$

或者以離散形式記為：

$$\frac{dx}{dt} = x(k+1) - x(k) = \alpha^{(1)}(x(k+1))$$

此乃表示 $\frac{dx}{dt}$ 為 $x(k+1)$ 之一次累減生成。根據上式可以看出 $\frac{dx}{dt}$ 係 $x(k+1)$ 與 $x(k)$ 等二元組合之等效值，稱 $x(k+1)$ 與 $x(k)$ 之二元組合為偶對。根據這種關係知， k 不同，偶對不同， $\frac{dx}{dt}$ 亦不同。吾人稱 $\Psi(k)$ 為 k 時刻 $\frac{dx}{dt}$ 之背景值。在灰理論中，在 Δt 足夠小之前題下，且假設變量從 $x(t)$ 到 $x(t+\Delta t)$ 不會出現突變。為此，可以取 $x(k+1)$ 與 $x(k)$ 之平均值，作為 $\frac{dx}{dt}$ (即 x 之 $1-1$ AGO 值) 在 Δt 這一時距之背景值，也就是以：

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{2}(x(k+1) + x(k)) \quad (3)$$

作為 k 到 $k+1$ 時段間內 $\frac{dx}{dt}$ 之背景值 $\Psi(k+1)$ 。

4. 灰微分方程

建立一個微分方程要考慮以下三個條件：

- (1) 信息強度無限 (由 $\frac{dx}{dt}$ 定義)；
- (2) 背景值為灰；
- (3) 背景值與 $\frac{dx}{dt}$ 滿足平行映射之關係。

2-4 灰色預測 (Grey Forecasting) 概述^[5]

利用灰色動態 GM 模式之預測，稱為灰色預測，灰色系統所建立之“GM(n,h)”模式，是微分方程之時間連續函數模式，括號中之 n 表示微分方程之階數， h 表示變量個數，它可以表示及描述事物所發展出的連續動態過程之本質特性。

1. 微分擬合建模方法

灰色理論係基於關聯空間、光滑離散函數等概念，定義灰導數及灰微分方程，並且利用離散數據列建立微分方程動態模式。其乃為本徵性系統之基本模式，而且模式非唯一，故稱為灰色模式。微分擬合建模原理可用下述定理概括：

若以 h 個序列 n 階微分方程來表達之動態模式，即 GM(n,h) 模式，可表示為：

$$\begin{aligned} & \frac{d^{(n)}(x_1^{(1)})}{dt^n} + a_1 \frac{d^{(n-1)}(x_1^{(1)})}{dt^{n-1}} + \dots + a_n x_1^{(1)} \\ & = b_1 x_2^{(1)} + b_2 x_3^{(1)} + \dots + b_{h-1} x_h^{(1)} \end{aligned} \quad (4)$$

則微分方程之係數向量 θ ：

$$\theta = [a_1, a_2, \dots, a_n; b_1, b_2, \dots, b_{h-1}]^T$$

因此(4)式可改寫為：

$$Y_N = B \cdot \theta \quad (5)$$

欲求式(5)之解，可以經由最小二乘法，即求滿足下式：

$$\text{Min } \|B \cdot \theta - Y_N\|$$

之解。令其解為 θ^* ，即，

$$\text{Min } \|B \cdot \theta^* - Y_N\|$$

則上式成立之充要條件為：

$$B^T(B \cdot \theta^* - Y_N) = 0$$

則：

$$B^T B \theta^* = B^T Y_N$$

如果上式滿足 $(B^T B)^{-1}$ 存在之條件，則：

$$\theta = \theta^* = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (6)$$

其中，累加矩陣 B 及常數向量 Y_N 為：

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(2) + x_1^{(1)}(1)) & x_2^{(1)}(2) & \dots & x_h^{(1)}(2) \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(3) + x_1^{(1)}(2)) & x_2^{(1)}(3) & \dots & x_h^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(N) + x_1^{(1)}(N-1)) & x_2^{(1)}(N) & \dots & x_h^{(1)}(N) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Y_N = [\alpha^{(n)}(x_1^{(1)}(2)), \alpha^{(n)}(x_1^{(1)}(3)), \dots, \alpha^{(n)}(x_1^{(1)}(N))]^T \quad (8)$$

2. 模式類型選擇 GM(n,h) 模式為 n 階 h 個變量之微分方程，不同 n 與 h 之 GM 模式，有不同之意義與用途，且適用於不同數據。大體上可分為三類：

- (1) 作為預測模式：常用 GM(n,1) 模式，只研究一個變量序列。至於階數 n ，一般不超過 3 個，通常為了計算簡單，取 $n=1$ 。因此，從預測角度來建模，一般選定 GM(1,1) 模式。
- (2) 作為狀態模式：常用 GM(1,h) 模式，因為它可以反應 $h-1$ 個變量對於某一變量一階導數之影響。
- (3) 作為靜態模式：一般是 GM(0,h)，及 $n=0$ ，因為是靜態的，所以不考慮變量之導數。

三、微分水文灰色模式(DHGM)之研析

本研究提出一種水文灰色系統建模之方式，把具有因果關係之降雨—逕流過程視為“灰過程”。用經由時序變換之微分水文灰色模式來描述，簡記

為DHGM。本文不僅討論了偶序列DHGM(2,2)模式之建立，而且利用參數優選法以確定模式中之三個參數值，並以此作為驗洪驗證及預測之基礎。

3-1 降雨—逕流過程微分模式之建立^[6]

1. 微分模式之建立

$$\frac{d^n Q^{(m)}}{dt^n} + a_1(\otimes) \frac{d^{n-1} Q^{(m)}}{dt^{n-1}} + \dots + a_n(\otimes) Q^{(m)} = b_0(\otimes) \frac{d^l I^{(m)}}{dt^l} + \dots + b_{l-1}(\otimes) \frac{dI^{(m)}}{dt} + b_l(\otimes) I^{(m)} \quad (9)$$

式中， $Q^{(m)}$ ：流量灰過程之m次累加生成變換；

$I^{(m)}$ ：降雨灰過程之m次累加生成變換；

$a_i(\otimes), b_i(\otimes)$ ：灰參數。

此模式有其特點：

儘管原序列空間 $\{I^{(0)}(k), Q^{(0)}(k)\}$ 呈暴漲暴落之變化，但變換序列空間 $\{I^{(m)}(k), Q^{(m)}(k)\}$ 則呈有規律地上昇，較易於分析及模擬。其目的就是在弱化原始數列之隨機性，增強其規律性，並為模式之建立提供中間信息。由於降雨—逕流具有明顯之因果律，本文討論其中具有偶序列特徵之DHGM(2,2)模式，如下所示：

$$\frac{dQ^{(m)}(t)}{dt} + a_1(\otimes)Q^{(m)}(t) = b_0(\otimes) \frac{dI^{(m)}(t)}{dt} + b_1(\otimes)I^{(m)}(t) \quad (10)$$

其中 $m \geq 1$ ，其解可以拉普拉斯轉換 (Laplace transform) 求得，

$$Q^{(m)}(t) = ce^{-a_1(\otimes)t} + b_0(\otimes)I^{(m)}(t) + d \int_0^t e^{-a_1(\otimes)\tau} I^{(m)}(t-\tau) d\tau \quad (11)$$

$$c = Q^{(0)}(1) - I^{(0)}(1)b_0(\otimes) \quad (12)$$

$$d = b_1(\otimes) - a_1(\otimes)b_0(\otimes) \quad (13)$$

式(11)之代表意義可歸納如下：

① $Q^{(m)}(t)$ 由三項組成，第一項反應洪水初始狀態，第二項為降雨變率作用，第三項為灰色系統之響應關係。

② 水文灰色系統之內部性質主要由灰參數 $a_1(\otimes)$ 、 $b_1(\otimes)$ 反映。當 $a_1(\otimes) < 0$ 時，影響規律為增長型；若 $a_1(\otimes) > 0$ 則為衰減型。降雨—逕流過程則屬於後一類。

③ DHGM 模式能夠描述水文現象及灰色過程，

但要達到實際應用之目的，吾人必須研究其識別，即模式白化之問題。

2. 水文灰色系統DHGM模式之識別

式(9)可以展開成為M維之線性空間方程式。並且可以將灰色參數表成為 $\theta(\otimes) = [a_1, a_2, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_l]$ ，此為線性之矩陣方程式，即：

$$Y_N(\otimes)_{N \times 1} = B(\otimes)_{N \times M} \theta(\otimes)_{M \times 1} + e_{N \times 1} \quad (14)$$

若能進一步確定灰參數 $\theta(\otimes)$ 之白化值，則最終可以達到灰系統識別之目的。因此，DHGM 模式識別可分為如下兩個問題：

第一、利用灰導數白化之多重信息，求得灰色系統矩陣 $B(\otimes)$ 及向量 $Y_N(\otimes)$ 之白化值。

第二、利用誤差值(e)為最小來當作目標函數，然後使用最小二乘法，以求得參數矩陣 $\theta(\otimes)$ 之白化值。這兩個問題分述如下：

① 灰色系統矩陣 $B(\otimes)$ 及向量 $Y_N(\otimes)$ 之白化

A. 灰導數 $\frac{d^i X^{(m)}}{dt^i}$ 在 $t=t_k$ 時之雙重信息背景值為：

$$\frac{d^i X^{(m)}}{dt^i} \Big|_{t=t_k} = \frac{1}{2} [\alpha^{(i)}(X^{(m)}(k)) + \alpha^{(i)}(X^{(m)}(k-1))]$$

B. 灰導數 $\frac{d^i X^{(m)}}{dt^i}$ 在 $t=t_k$ 時之邊界信息背景值為

$$\frac{d^i X^{(m)}}{dt^i} \Big|_{t=t_k} = \alpha^{(i)}(X^{(m)}(k))$$

對於式(9)，它相對 $t_k, k=1, 2, \dots, n$ 個節點，有灰導數之邊界及雙重信息白化值，即：

$$\frac{d^n Q^{(m)}}{dt^n} \Big|_{t=t_k} = \frac{1}{2} [\alpha^{(n)}(Q^{(m)}(k)) + \alpha^{(n)}(Q^{(m)}(k-1))]$$

$$\frac{d^i Q^{(m)}}{dt^i} \Big|_{t=t_k} = \hat{\otimes} [\alpha^{(i)}(Q^{(m)}(k))] = \alpha^{(i)}(Q^{(m)}(k))$$

$$\frac{d^j I^{(m)}}{dt^j} \Big|_{t=t_k} = \hat{\otimes} [\alpha^{(j)}(I^{(m)}(k))] = \alpha^{(j)}(I^{(m)}(k))$$

它依灰色參數向量 $\theta(\otimes)$ 可展開成為 $M=n+l+1$ 維線性空間。系統之矩陣方程式為：

$$\hat{Y}_N(\otimes)_{N \times 1} = \hat{B}(\otimes)_{N \times M} \theta(\otimes)_{M \times 1} + e_{N \times 1} \quad (15)$$

其中：

$$\hat{B}(\otimes) = \begin{bmatrix} -\otimes [\alpha^{(n-1)}(Q^{(m)}(2))] & \dots & -\otimes [\alpha^{(0)}(Q^{(m)}(2))] & \alpha^{(1)}[I^{(m)}(1)] & \dots & \alpha^{(0)}[I^{(m)}(1)] \\ -\otimes [\alpha^{(n-1)}(Q^{(m)}(3))] & \dots & -\otimes [\alpha^{(0)}(Q^{(m)}(3))] & \alpha^{(1)}[I^{(m)}(2)] & \dots & \alpha^{(0)}[I^{(m)}(2)] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\otimes [\alpha^{(n-1)}(Q^{(m)}(N))] & \dots & -\otimes [\alpha^{(0)}(Q^{(m)}(N))] & \alpha^{(1)}[I^{(m)}(N)] & \dots & \alpha^{(0)}[I^{(m)}(N)] \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\theta(\otimes) = [a_1, a_2, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_l]^T \quad (17)$$

$$\hat{Y}_N(\otimes) = [\alpha^{(n)}(Q^{(m)}(2)), \dots, \alpha^{(n)}(Q^{(m)}(n))]^T \quad (18)$$

$$e = [e_1, e_2, \dots, e_n]^T \quad (19)$$

由上述定理，對特別的DHGM(2,2)偶序列模式，取一次累加變換，即(m=1, n=1)，則式(10)變為：

$$\frac{dQ^{(1)}}{dt} + a_1(\otimes)Q^{(1)} = b_0(\otimes)\frac{dI^{(1)}}{dt} + b_1(\otimes)I^{(1)} \quad (20)$$

系統矩陣方程式為：

$$\begin{bmatrix} Q^{(0)}(2) \\ Q^{(0)}(3) \\ \vdots \\ Q^{(0)}(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[Q^{(1)}(1) + Q^{(1)}(2)] & I^{(0)}(1) & I^{(1)}(1) \\ -\frac{1}{2}[Q^{(1)}(2) + Q^{(1)}(3)] & I^{(0)}(2) & I^{(1)}(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[Q^{(1)}(N-1) + Q^{(1)}(N)] & I^{(0)}(N-1) & I^{(1)}(N-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{n-1} \end{bmatrix} \quad (21)$$

②灰色參數向量 $\theta(\otimes)$ 之白化

目標函數為：

$$\text{Min } E\{\theta(\otimes)\} = \|\hat{Y}_N(\otimes) - \hat{B}(\otimes)\theta(\otimes)\|^2 \quad (22)$$

由最小二乘法理論，DHGM模式參數 $\theta(\otimes)$ 便可以識別，其白化值為：

$$\hat{\theta}(\otimes) = (\hat{B}^T \hat{B})^{-1} \hat{B}^T \hat{Y}_N \quad (23)$$

3-2 降雨—逕流過程之灰色預測

1. DHGM(2,2)模式之基本推估

經過DHGM(2,2)模式識別獲得參數 $a_1(\otimes)$ 、 $b_0(\otimes)$ 、 $b_1(\otimes)$ ，再由式(11)與 Δt 離散數據列 $\{I^{(1)}(k)$ 、 $Q^{(1)}(k)\}$ 可導出降雨量與逕流量之基本預測關係方程式。

$$\hat{Q}^{(1)}(k+1) = ce^{-a_1(\otimes)k} + b_0(\otimes)I^{(1)}(k) + d \sum_{i=1}^k I^{(1)}(k-i+1) \quad (24)$$

$$\hat{Q}^{(0)}(k+1) = \hat{Q}^{(1)}(k) - \hat{Q}^{(1)}(k-1) \quad (25)$$

其中， $\hat{Q}^{(1)}(k+1)$ ：逕流量之一次累加推估值；

$\hat{Q}^{(0)}(k+1)$ ：逕流量之推估值。

2. 預測模式之建立^[1,3]

由式(24)知，DHGM模式能就目前之觀測流量，推估下一時刻之流量。如擬做更長期之流量推估，需配合降雨量之預報。本文以①移動平均法 (moving average method)，以及②灰色系統之GM(1,1)等預測方法，簡略預估降雨量。

①三小時移動平均法

移動平均法預測之基礎，在假設推估量將遵從目前所存在之趨勢繼續進行。如圖(1)所示，任一時刻之雨量，以其鄰近的三小時之平均雨量為代表雨量，再以最近二小時代表雨量之平均坡度，外插而求得預測雨量。

平均雨量計算：

$$R_{t-1} = \frac{1}{3}(r_{t-2} + r_{t-1} + r_t)$$

$$R_{t-2} = \frac{1}{3}(r_{t-3} + r_{t-2} + r_{t-1})$$

以外插法估計下一時刻之雨量 \hat{r}_{t+1} 得：

$$\hat{r}_{t+1} = R_{t-1} + 2(R_{t-1} - R_{t-2})$$

因此可得：

$$\hat{r}_{t+1} = r_t + \frac{1}{3}r_{t-1} + \frac{1}{3}r_{t-2} - \frac{2}{3}r_{t-3} \quad (26)$$

同理，

$$\hat{r}_{t+2} = \frac{4}{3}r_t + \frac{1}{3}r_{t-1} + \frac{1}{3}r_{t-2} - r_{t-3} \quad (27)$$

$$\hat{r}_{t+3} = \frac{5}{3}r_t + \frac{1}{3}r_{t-1} + \frac{1}{3}r_{t-2} - \frac{4}{3}r_{t-3} \quad (28)$$

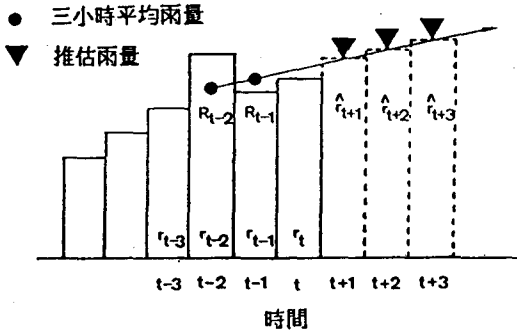
②三小時GM(1,1)降雨量數列預測

GM(1,1)預測至少需要四個數據。因此，降雨量預測以前四個小時降雨資料為已知值，去預測未來三小時即第五、六、七小時之降雨量，然後再根據新加入信息即第五小時的降雨量去預測第六、七、八小時之降雨量。依此類推，即可得到即時 (real time) 預測之降雨量。

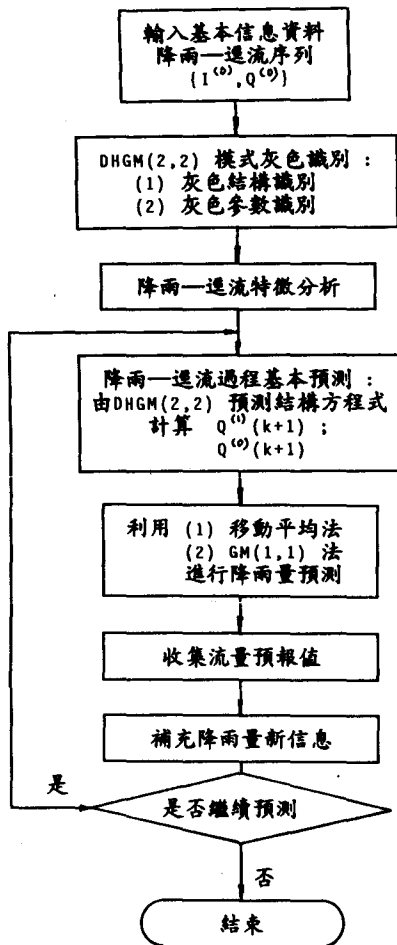
以上述方法，選擇曾文溪流域上游三場，下游

一場颱風事件，分別預測一、二及三小時之降雨量，並將雨量預測結果做為DHGM模式之輸入量，繼續演算各時刻之逕流量，構成一自降雨至逕流間上下連貫之預報模式。

DHGM模式之識別與預測流程圖，見圖(2)。



圖(1) 移動平均降雨預測示意圖



圖(2) DHGM(2,2)模式識別與預測流程圖

四、模式改進途徑與參數優選

4-1 改進途徑^[5]

灰色系統模式改進途徑有多種，方法之一便是改造原始數列，敘述如下：

改造之主要目的，是減弱極端值之影響而強化原始數列之大致趨勢，並且儘可能地將原始數列改造成具有指數遞增變化之數列。要達成此種目的之常用方法有：

1. 指數加權法

即對原始數列 $\{x^{(0)}(t)\}$ 按下列方式

$$y^{(0)}(t) = \alpha x^{(0)}(t) + (1 - \alpha)x^{(0)}(t - 1) \quad (29)$$

$$t = 1, 2, \dots, n, \quad 0 < \alpha < 1$$

生成新的數列 $\{y^{(0)}(t)\}$ ，然後對 $\{y^{(0)}(t)\}$ 代入原模式進行改進。一般情況下，利用參數優選法去確定 α 值，使得估計值與觀測值最為吻合。

2. 滑動平均法

原始數列 $\{x^{(0)}(t)\}$ ； $t = 1, 2, \dots, n$ 滑動平均值計算公式為：

$$x^{(0)}(t) = \frac{x^{(0)}(t-1) + 2x^{(0)}(t) + x^{(0)}(t+1)}{4} \quad (30)$$

對於兩端點之計算可用公式：

$$x^{(0)}(1) = \frac{3x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2)}{4} \quad (31)$$

$$x^{(0)}(n) = \frac{x^{(0)}(n-1) + 3x^{(0)}(n)}{4} \quad (32)$$

本模式則利用第(1)種方法，即指數加權法來改善模式之精度，並配合參數優選法來定出三個參數值。其處理過程是將原始雨量資料經由(29)式變換成一新的數列，之後將此一新數列帶入優選程式之中，再由優選程式中，改變 α 值，直到推估流量與實測流量之間誤差值最小為止，此時可以得到三個參數值，此乃最佳參數。

4-2 參數優選法^[7]

一般參數優選法大致上可分為有限制式之優選法 (constrained method of optimization) 及無限制式之優選法 (unconstrained method of optimization)。本模式並無限制式之存在，因此選用無限制式之優選法。

非線性規劃不含限制式最小化問題，可表式如下：

$$\text{Minimize } F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (33)$$

式中，F：目標函數（objective function）；

x_j ：參數；

n：參數個數。

解決無限制式最小化問題（unconstrained minimization problem）之方法相當多，大致可分為如下兩類：

1. 直接搜尋法（Direct search method）
2. 坡降法（Descent method）

本研究中所引用目標函數之特性，其一次或二次微分非常不易求得。故坡降法一般需要目標函數之微分值，對本研究而言並不適用，因此乃採用直接搜尋法中之Hooke-Jeeves法來當作本研究之參數優選法。

4-3 Hooke-Jeeves直接搜尋法 [7,9]

本法利用座標輪換法搜尋有利方向，然後在確定了有利方向後，用型態移動（pattern move）來尋求最佳點。其步驟如下：

1. 試驗移動（exploratory move）

從開始點出發，給定一個步長，此步長可以在各座標方向不同；也可以在搜尋中改變步長。沿不同之座標方向搜索，若目標函數值沒有增加（求極小），則可認為試驗成功，否則返回原地。然後以同樣之步長在相反方向試驗，對成功點保留。當所有n個座標都已經試驗過之後，試驗移動便告完成。所得之最終點稱為最佳點。

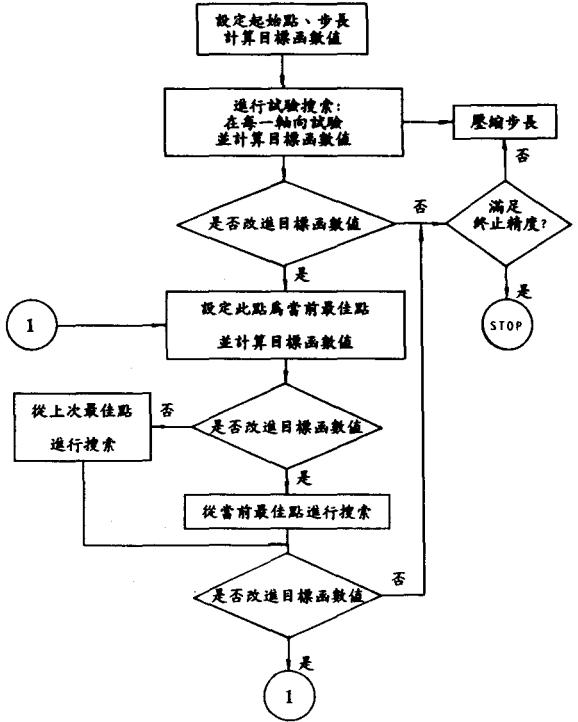
2. 型態移動（pattern move）

型態移動是從當前最佳點開始，沿著當前最佳點和上次最佳點間連線之方向，新的模式點為：

$$x_p^{(k+1)} = x^{(k)} + (x^{(k)} - x^{(k-1)}) \quad (34)$$

吾人發現，此種模式前進可能並沒有使目標函數減小，這時只是臨時接受 $x_p^{(k+1)}$ 點，並以此為最佳點進行試驗移動，假如試驗移動所得之最佳點優於上次之最佳點 $x^{(k)}$ 那麼這個點即被接受為新的最佳點 $x^{(k+1)}$ ，否則，試驗移動沒有改善目標函數，丟棄這個模式移動所得的點，並且返回 $x^{(k)}$ 重新搜索。即從 $x^{(k)}$ 點重新開始試驗搜索去找尋新的型態方向。當

一個試驗搜索失敗時，壓縮步長（除以大於1的數，例如2），並重新開始試驗搜索。當搜索步長小於給定之精度要求時，則搜索停止。其演算法流程圖如圖(3)。



圖(3) Hooke-Jeeves演算法流程圖

4-4 參數檢定與驗證

參數檢定與驗證為任何模式應用前之基本步驟。其目的乃是找出一組模式參數，使得模式產生之結果儘可能地與觀測值相近。經過檢定之模式參數與實際降雨—逕流記錄作比較，以驗證模式及參數之可靠性。因此，參數檢定與驗證為模式建立之必要程序。至於檢定過程中，如何判斷計算值與觀測值套配程度，本文以目標函數之選擇為依據，著重於整體流量誤差為最小，可表示如下：

$$\text{Obj Min } \left\{ \sum_{i=1}^n [Q_{\text{obs}}(i) - Q_{\text{est}}(i)]^2 \right\} \quad (35)$$

其中， $Q_{\text{obs}}(i)$ ：i時刻之觀測流量(cms)；

$Q_{\text{est}}(i)$ ：i時刻之計算流量(cms)；

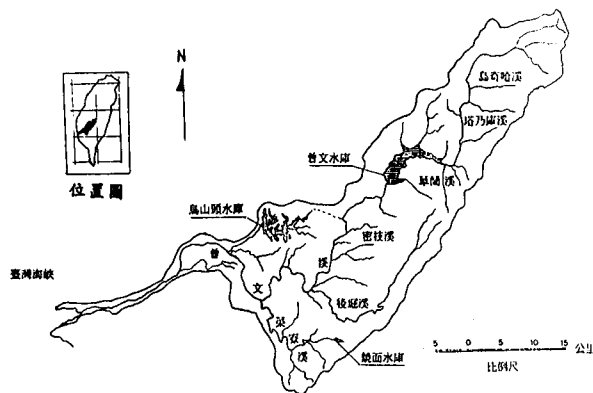
N：觀測流量延時。

五、模式之檢定及驗證

為驗證DHGM模式之精確性及Hooke-Jeeves參數優選法之合適性，本研究選擇曾文溪流域為研究流域。

5-1 曾文溪流域概況簡介^[2,3]

曾文溪流域位於嘉義與台南二縣，發源於阿里山脈之西南坡，流經台南縣山上鄉附近進入平原。於台南市注入台灣海峽，全流域面積1,177平方公里，主流長138.47公里。本流域重要支流有後嵵溪於中游玉井附近匯入本流，茶寮溪則於山上水源地北約1公里匯入，其流域概況如圖(4)所示。



圖(4) 曾文溪流域集水區地形圖

本流域內有曾文、烏山頭、鏡面及正在施工中之南化等四座水庫，其中曾文水庫集水面積為481平方公里，烏山頭水庫58平方公里，鏡面水庫2.7平方公里，南化水庫104平方公里。

5-2 水文資料處理

1. 流域分區

曾文溪流域上游因有曾文庫之建立，水文連續性受到人工建築物之阻隔，故將曾文溪流域分成上游水庫集水區及下游平原集水區，茲分別討論如下：

(1) 上游水庫集水區

曾文溪流域上游曾文水庫集水區內設有馬頭山、樂野、水山、里佳與表湖等五個自計雨量站，其各別所控制之集水區範圍示如圖(5)，並以曾文水庫壩址為水文站。



圖(5) 曾文溪流域徐昇氏雨量站面積控制圖

(2) 下游平原集水區

區內除曾文溪流量外，尚有烏山頭及鏡面水庫，因其溢洪道均採用自然溢流方式，至目前為止尚無可資利用之自記水位記錄，故暫不予考慮。於本區中選取西阿里關、南化及曾文新村等三個自記雨量站之雨量記錄作為模式之輸入值，以西港站及麻善大橋流量站之流量記錄作為模式驗證之依據。

由於曾文溪下游平原區之水文站，自民國71年起，已由西港站移至距其上游約10公里處之麻善大橋站。至西港站集水面積為644.9平方公里，至麻善大橋集水面積614.9平方公里，故西港站移至麻善大橋站之流量記錄，可用下式表示：

$$Y_m = Y_h \left(\frac{A_m}{A_h} \right)^n$$

式中， Y_m ：麻善大橋之流量，(cms)；

Y_h ：西港站之流量，(cms)；

A_m ：麻善大橋之集水面積，(km²)；

A_h ：西港站之集水面積，(km²)；

n ：係數。

因西港站與麻善大橋之集水面積相差極微，可令 $n=1$ 。

2. 平均雨量

為進行集水區降雨—逕流之推估，首先須由雨量站之記錄推算該區之平均雨量。平均雨量之推求，乃引用目前普遍採用之徐昇氏多邊形(Thiessen's polygons)法。本文探討之上游水庫集

水區及下游平原集水區等二區域，各雨量站控制面積分別列於表(1)及表(2)，並示如圖(5)。

3.有效雨量與基流量

傳統降雨—逕流模擬中，超滲降雨所形成者為直接逕流量，未包含降雨前河川既存之基流量，故於演算前應先求有效雨量及將基流量扣除，在缺乏入滲、土壤及蒸發散量資料下，本文採用 Φ 指數 (Φ -index) 方法以推求有效雨量。由於此法未能考慮降雨損失之時變性，故與實際情況稍有差異。對於流量歷線之基流分離，乃假設每次水文事件之基流量為一定，其對計算結果影響甚微。

4.選用之降雨—逕流記錄

本文中選取民國65年至79年間發生之十六場颱風洪事件，做為水文模擬及驗證之基本資料，屬於上游水庫集水區者有十場，其中七場用作模式參數檢定，三場用於驗證精確程度；屬於下游平原集水區者有六場，其中五場用於檢定，一場用於驗證。所研析資料列如表(3)。

5-3 模式校驗

為探討模式之適用性，本文分別以效率係數、洪峰流量誤差、洪峰到達時刻誤差等為校驗標準，以校驗模式之精確性。

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

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [Q_{obs}(i) - Q_{est}(i)]^2}{\sum_{i=1}^N [\bar{Q}_{obs}(i) - Q_{est}(i)]^2} \quad (36)$$

其中, N : 觀測流量延時(hr);

$Q_{obs}(i)$: 第*i*時刻之觀測流量(cms);

$Q_{est}(i)$: 第*i*時刻之模式推估流量(cms);

$\bar{Q}_{obs}(i)$: 觀測流量之平均值(cms);

CE值越接近1, 表示模式之精確性越高。

2.洪峰流量誤差 (Error of Peak Discharge) , EQP

$$EQP = \frac{Q_{p,est} - Q_{p,obs}}{Q_{p,obs}} \times 100\% \quad (37)$$

其中, $Q_{p,est}$: 模式推估之洪峰流量(cms);

$Q_{p,obs}$: 觀測之洪峰流量(cms)。

當EQP值小於零時, 表示模式推估之洪峰流量低於觀測洪峰流量; 而EQP值大於零時, 則表示模式推估值大於觀測值, 於工程規劃上應較為安全。

3.洪峰到達時刻誤差 (Error of Time to Peak) ,

ETP

$$ETP = T_{p,est} - T_{p,obs} \quad (38)$$

其中, $T_{p,est}$: 模式推估之洪峰到達時刻;

$T_{p,obs}$: 觀測之洪峰到達時刻。

當ETP值小於零時, 表示模式推估之洪峰到達時刻較觀測值提前, 當ETP值大於零時則為落後, 當ETP值越接近零, 表示模式之精度越高。

六、結果與討論

(一)上游水庫集水區

1.選擇七場颱風洪事件以DHGM模式演算結果列於表(4), 所獲致結果如下:

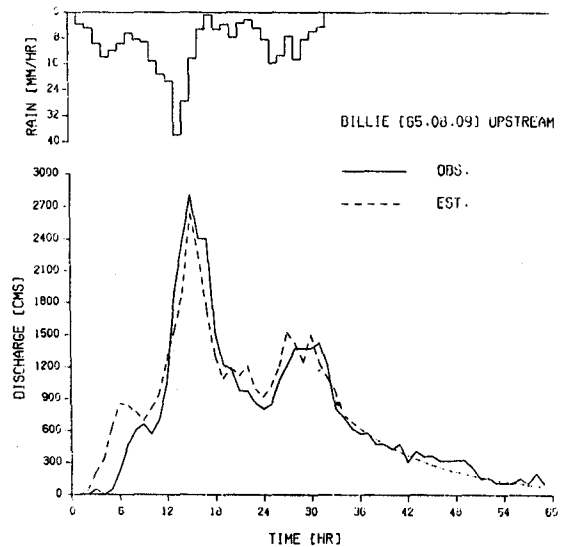
(1)效率係數以安迪颱風最低(0.764), 而以歐菲莉颱風最高(0.971)。

(2)尖峰流量誤差以安迪颱風最大(-20.85%), 而以歐敏颱風最小(-1.41%)。

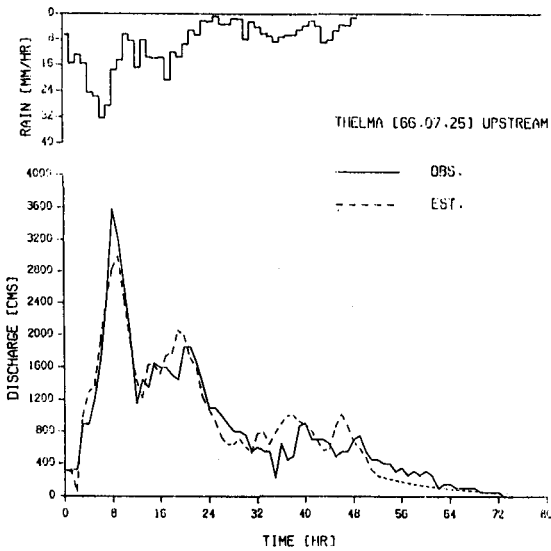
(3)總逕流量誤差以薇拉颱風最大(-5.56%), 而以賽洛瑪颱風最小(-1.22%)。

(4)峰時誤差皆在1小時以內。

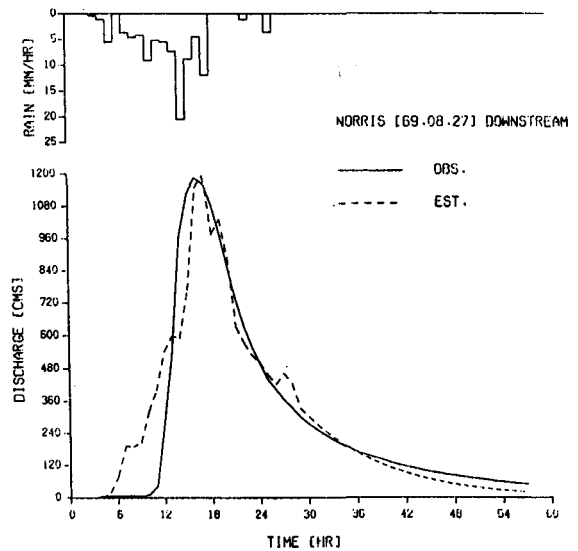
2.選擇BILLIE (民國65年) 及THELMA (民國66年) 兩場颱風洪結果示如圖(6)、圖(7)。



圖(6) 曾文水庫集水區模擬驗證圖 (畢莉)



圖(7) 曾文水庫集水區模擬驗證圖(賽洛瑪)



圖(8) 曾文水庫下游集水區模擬驗證圖(諾瑞斯)

3.表(5)表示研析颱洪事件之參數值。

(二)下游平原集水區

1.選擇五場颱洪事件於麻善大橋水文站以DHGM模式演算結果列於表(6),所獲致結果如下:

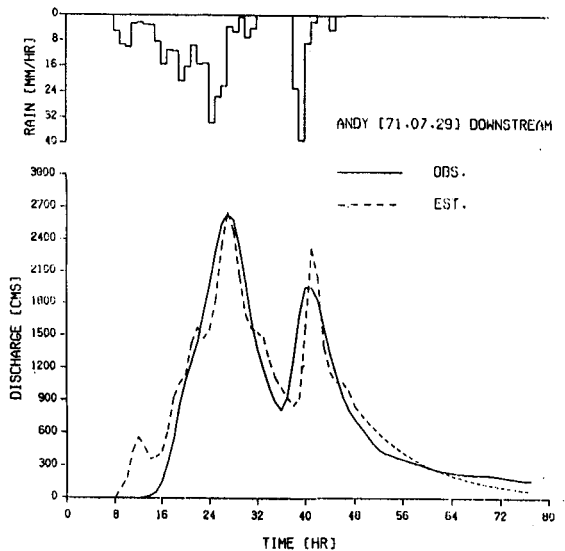
- (1)效率係數以亞力士颱洪最低(0.884),而以艾貝颱洪最高(0.946)。
- (2)尖峰量誤差以歐敏颱洪為最大(13.84%),而以亞力士颱洪最小(-0.16%)。
- (3)總逕流量誤差以歐敏颱洪最大(-5.82%),而以諾瑞斯颱洪最小(-2.98%)。
- (4)峰時誤差除歐敏、艾貝颱洪為延遲2小時,其餘均在1小時以內。

2.選擇NORRIS(民國69年)及ANDY(民國71年)兩場颱洪結果示如圖(8)、圖(9)。

3.表(7)表示研析颱洪事件之參數值。

(三)審視各模擬流量歷線與觀測歷線之結果,本研究採用之DHGM模式可相當精確地表現出實際歷線之大致趨勢。

(四)本模式所引用之 a_1 (⊗)、 b_0 (⊗)、 b_1 (⊗)等三參數,會隨著不同之暴雨型式、降雨臨前狀況、流域特性以及地文因子而變動。其中;參數 a_1 (⊗)、 b_1 (⊗)與流域之入滲能力、土壤臨前狀況及地文條件等有關,且總是為正值。而參數 b_0 (⊗)則直接與暴雨作用有關,並涉及雨型、降雨過程變化等有關,它可能是正值,亦可



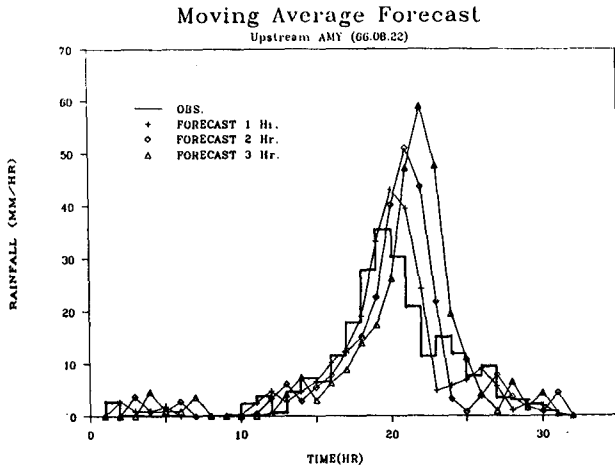
圖(9) 曾文水庫下游集水區模擬驗證圖(安迪)

能是負值。一般而言,在同一流域參數 b_0 (⊗)呈現出同為正值或同為負值。

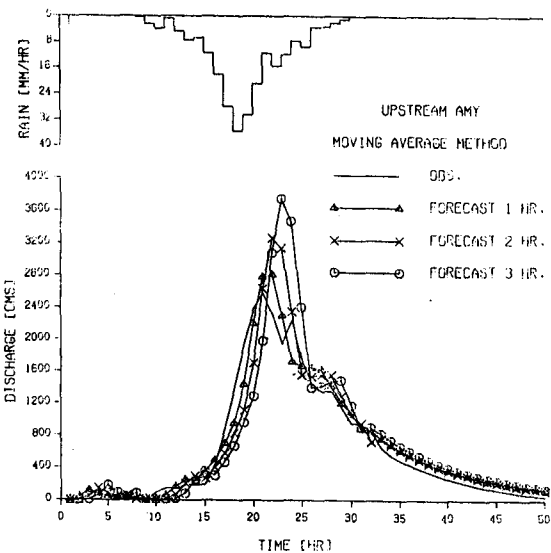
(五)以曾文溪流域而言,上游水庫集水區,控制面積小,且測站比下游平原集水區多,因此參數 a_1 (⊗)、 b_1 (⊗)在上游水庫集水區較下游平原集水區呈現較為一致的趨勢。其原因亦是上游水庫集水區開發較少,地文特性歷年來改變不多,因此此二參數變化不大。而下游平原集水區,因控制

面積大，且只有三個測站，加上土地開發改變了地文特性，因此參數 a_1 (⊗)、 b_1 (⊗)就變得較不具均一性。

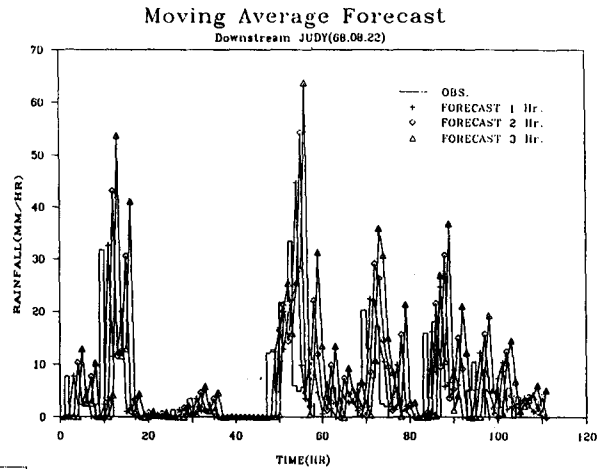
- (丙)參數 b_0 (⊗)在上游水庫集水區及下游平原集水區呈現出較大之振動範圍。其主要原因乃是參數 b_0 (⊗)一般與暴雨作用有關，由曾文溪流域識別之結果， b_0 (⊗)均大於零。相比之下， b_0 (⊗)之敏感度大，而 a_1 (⊗)、 b_1 (⊗)則穩定得多。
- (丁) Φ 指數之推求，一般以直接逕流量與超滲降雨量之體積相等為原則。就理論而言， Φ 指數愈大，



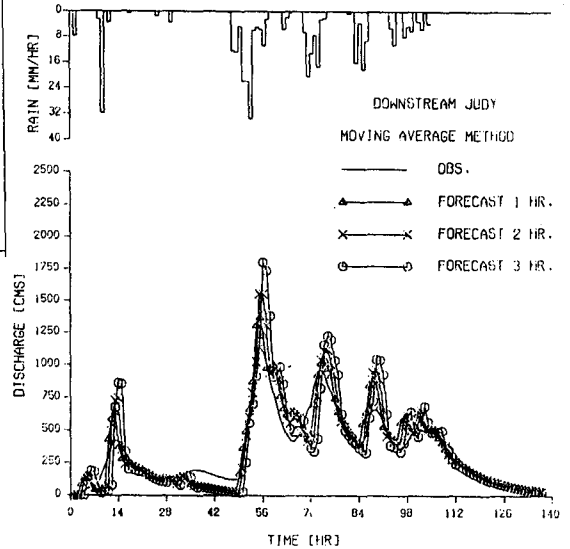
圖(10) 移動平均法降雨量預測結果圖(上游、愛美)



圖(11) 移動平均法降雨量預測配合DHGM模式流量預測結果圖(上游、愛美)

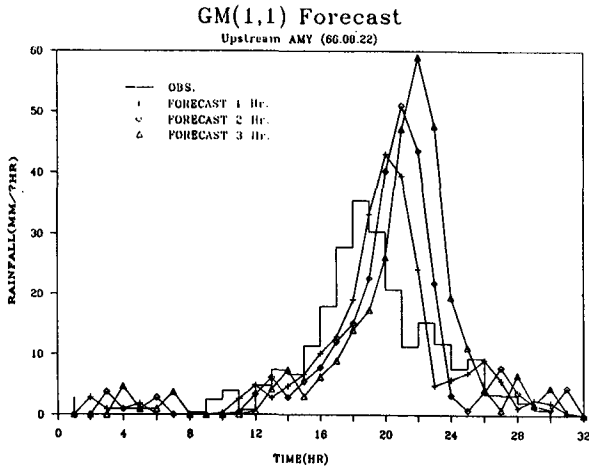


圖(12) 移動平均法降雨量預測結果圖(下游、茱迪)

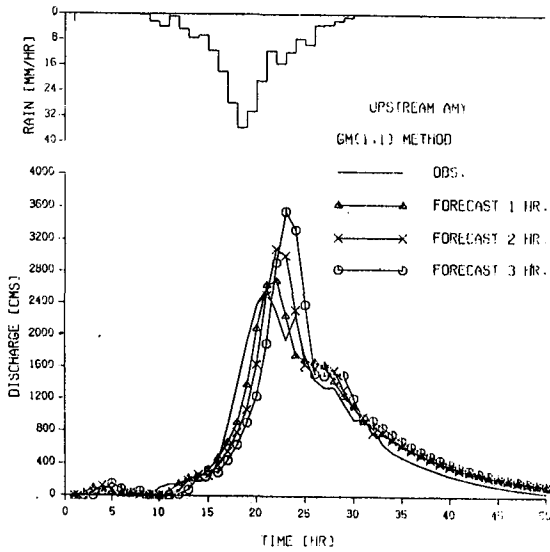


圖(13) 移動平均法降雨量預測配合DHGM模式流量預測結果圖(下游、茱迪)

表示降雨前流域表面較為乾燥，雨前基流量理應較小； Φ 指數愈小，表示降雨前流域較為濕潤，雨前基流量理應較大。整體而言，在洪水歷線開始時，計算值大抵在昇水段部份高估，而在退水段部份予以低估。主要原因不外是以 Φ 指數來代表長延時洪水事件之降雨損失時，雨前流域狀況無法特別予以考慮，致使前期降雨損失低估。而在退水段時期，流域較為濕潤之狀況下，降雨損失理應減小，然而 Φ 指數為一常數，造成損失之高估，使得退水段流量計算值有偏小之結果。



圖(14) GM(1,1)降雨量預測結果圖(上游、愛美)

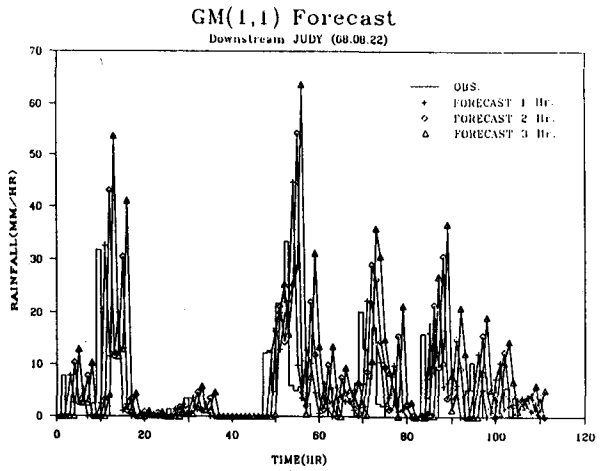


圖(15) GM(1,1)降雨量預測配合DHGM模式流量預測結果圖(上游、愛美)

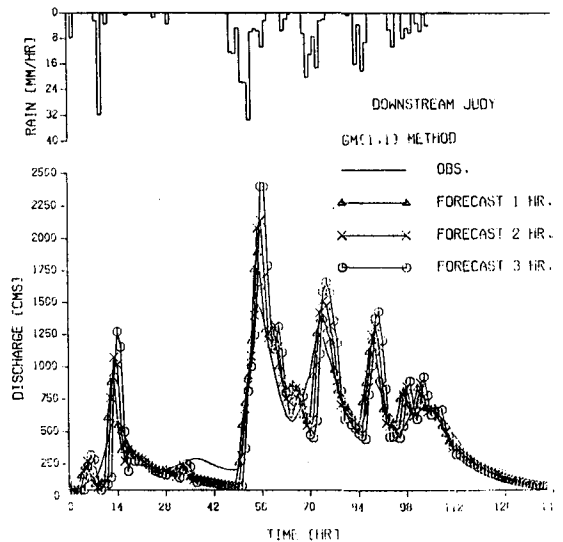
(八)利用平均移動法，預測曾文溪流域上游三場及下游一場颱風一至三小時之降雨，其結果如表(8)，並選擇AMY(民國66年)及JUDY(民國66年)兩場颱風之降雨預測圖示於圖(10)、圖(12)，及其流量預測圖如圖(11)、圖(13)所示。利用GM(1,1)法，其結果如表(9)，並選擇AMY(民國66年)及JUDY(民國66年)兩場颱風之降雨預測圖示於圖(14)、圖(16)，及其流量預測圖如圖(15)、圖(17)所示。就預報結果觀之，一小時之結果尚佳，二小時及三小時即未臻於理想。一般而言，預報時

間愈長，尤其於降雨量尖峰附近，較不易獲得準確之估計；惟所得之結果，對洪水趨勢之提早預警，仍具有參考價值。

(九)本模式係以各場颱風為參數檢定依據，所得之參數均不相同，其應用驗證範圍乃是以當年或近期發生之洪氾為準。因此應用上可能在一長時期缺少洪氾之資料時，要做驗證與預測之工作恐較困難；亦即每年之第一場颱風來臨時，模式預測之參數乃是以去年檢定出之參數為依據，其間流域地文特性可能變化，例如土地開發改變流域之逕流係數，故預測之結果可能不盡理想。



圖(16) GM(1,1)降雨量預測結果圖(下游、茱迪)



圖(17) GM(1,1)降雨量預測配合DHGM模式流量預測結果圖(下游、茱迪)

表(1) 曾文溪流域上游各雨量站控制面積表

雨量站名	馬頭山	樂野	水山	里佳	表湖
控制面積	181.4	42.4	44.3	128.7	84.3
權重	0.38	0.09	0.09	0.27	0.17

表(2) 曾文溪流域下游各雨量站控制面積表

雨量站名	曾文新村	西阿里關	南化
控制面積	110.3	122.7	367.3
權重	0.18	0.20	0.62

表(3) 所研析曾文溪流域降雨 - 逕流事件表

區分	颱風名稱	發生日期	流量延時	類別
上游水庫集水區	畢莉 (Billie)	65.08.09	59	檢定
	賽洛瑪 (Thelma)	66.07.25	74	檢定
	薇拉 (Vera)	66.07.31	52	檢定
	愛美 (Amy)	66.08.22	52	驗證
	歐敏 (Irving)	68.08.14	66	檢定
	茱迪 (Judy)	68.08.22	95	驗證
	安迪 (Andy)	71.07.29	122	檢定
	艾貝 (Abby)	75.09.19	39	檢定
	歐菲莉 (Ofelia)	79.06.23	73	檢定
	楊希 (Yancy)	79.08.18	84	驗證
下游平原集水區	歐敏 (Irving)	68.08.16	62	檢定
	茱迪 (Judy)	68.08.22	137	驗證
	諾瑞斯 (Norris)	69.08.27	57	檢定
	安迪 (Andy)	71.07.29	118	檢定
	亞力士 (Alex)	73.07.02	67	檢定
	艾貝 (Abby)	75.09.19	63	檢定

表 (4) 曾文溪流域上游集水區 DHGM(2,2) 模擬結果表

項目 名稱	觀測值		D H G M 模式 模擬值					
	QP	TP	QP	TP	CE	EQP	VER	ETP
	(cms)	(hr)	(cms)	(hr)		(%)	(%)	(hr)
畢 莉	2803.0	15	2640.4	15	0.899	-5.82	-3.04	0
賽洛瑪	3582.5	8	2996.2	9	0.905	-16.37	-1.22	1
薇 拉	1675.5	23	1459.1	23	0.916	-12.91	-5.56	0
歐 敏	1086.5	24	1071.2	25	0.912	-1.41	-2.40	1
安 迪	2622.5	44	2075.7	45	0.764	-20.85	-1.41	1
艾 貝	1388.5	9	1575.2	8	0.947	13.45	-3.29	-1
歐菲莉	2196.5	30	2283.5	29	0.971	3.96	-2.27	-1

表 (5) 上游水庫集水區 DHGM(2,2) 模擬參數值

名 稱	日 期	a 1	b 0	b 1
BILLIE	65.08.09	0.0890	36.812	12.075
THELMA	66.07.25	0.0850	77.481	11.378
VERA	66.07.31	0.1052	25.030	14.469
IRVING	68.08.14	0.0859	12.761	11.440
ANDY	71.07.29	0.0586	28.050	7.008
ABBY	75.09.19	0.1339	65.687	17.862
OFFLIA	79.06.23	0.0834	39.708	11.200

表(6) 曾文河流域下游集水區DHGM(2,2)模擬結果表

項 目	觀 測 值		D H G M 模 式 模 擬 值					
	QP	TP	QP	TP	CE	EQP	VER	ETP
名 稱	(cms)	(hr)	(cms)	(hr)		(%)	(%)	(hr)
歐 敏	1458.5	9	1660.3	7	0.922	13.84	-5.82	-2
諾 瑞 斯	1185.5	16	1193.8	17	0.884	.70	-2.98	1
安 迪	2636.0	27	2648.4	27	0.913	.47	-3.37	0
亞 力 士	1358.5	18	1355.9	20	0.935	-0.16	-3.78	2
艾 貝	773.0	17	822.8	15	0.946	6.44	-3.93	-2

表(7) 下游平原集水區DHGM(2,2)模擬參數值

名 稱	日 期	a 1	b 0	b 1
IRVING	68.08.16	0.1599	8.758	25.971
NORRIS	69.08.27	0.0984	31.994	16.351
ANDY	71.07.29	0.0875	30.166	14.680
ALEX	73.07.02	0.1313	12.301	21.246
ABBY	75.09.19	0.0958	1.949	15.816

表(8) 移動平均法預測雨量配合DHGM模式演算結果表

	Qp(cms)	Tp(hr)	CE	EQP(%)	ETp
上游水庫集水區	愛美颱風洪 (AMY) [66.08.22]				
觀測值	2589.5	21	----	----	---
預測一小時	2687.7	22	0.95	8.30	1
預測二小時	3095.5	22	0.85	25.99	1
預測三小時	3553.2	23	0.67	44.72	2
上游水庫集水區	茱迪颱風洪 (JUDY) [68.08.22]				
觀測值	2222.5	27	----	----	---
預測一小時	1848.9	29	0.91	-13.91	2
預測二小時	1960.7	14	0.87	-7.83	-13
預測三小時	2151.7	15	0.76	2.28	-12
上游水庫集水區	楊希颱風洪 (YANCY) [79.08.18]				
觀測值	2342.5	14	----	----	---
預測一小時	2209.3	18	0.65	-11.95	4
預測二小時	2425.3	19	0.55	-3.45	5
預測三小時	2641.0	20	0.40	5.01	6
下游水庫集水區	茱迪颱風洪 (JUDY) [66.08.22]				
觀測值	1148.0	55	----	----	---
預測一小時	1468.7	55	0.86	19.34	0
預測二小時	1673.9	55	0.75	35.65	0
預測三小時	1881.9	56	0.51	57.26	1

表 (9) GM(1,1)法 預測雨量配合 DHGM 模式 演算結果表

	Qp(cms)	Tp(hr)	CE	EQP(%)	ETp
上游水庫集水區 愛美颱風洪 (AMY) [66.08.22]					
觀測值	2589.5	21	----	----	----
預測一小時	2687.7	22	0.94	3.79	1
預測二小時	3095.5	22	0.86	19.54	1
預測三小時	3553.2	23	0.69	37.21	2
上游水庫集水區 茱迪颱風洪 (AMY) [66.08.22]					
觀測值	2222.5	27	----	----	----
預測一小時	1848.9	29	0.90	-16.81	2
預測二小時	1960.7	30	0.87	-11.78	3
預測三小時	2151.7	15	0.77	-3.19	-12
上游水庫集水區 楊希颱風洪 (AMY) [66.08.22]					
觀測值	2342.5	14	----	----	----
預測一小時	2209.3	17	0.63	-5.69	3
預測二小時	2425.3	17	0.50	3.54	3
預測三小時	2641.0	18	0.45	12.78	4
下游平原集水區 茱迪颱風洪 (AMY) [66.08.22]					
觀測值	1148.0	55	----	----	----
預測一小時	1468.7	55	0.83	27.93	0
預測二小時	1673.9	56	0.70	45.82	1
預測三小時	1881.9	56	0.43	63.93	1

七、結論與建議

(一)結論

- 1.一般集水區降雨—逕流關係之研究，牽涉因子甚廣，主要是依據流域之物理特性及所得之氣象、水文及地文資料以模擬水文現象。不同之流域特性，具有不同之水文反應。DHGM模式之特點就是無需考慮中間流、地下水傳遞、蒸發散量、截留量等之內涵因子；即視此類內涵因子為信息不完整之灰現象，可僅就降雨—逕流過程進行模擬。此一概念正好符合一般模擬降雨—逕流過程時，此類內涵因子作用具有機制不明白或資料不完整之特性。本論文經以曾文溪流域之記錄流量驗證，均獲得良好之模擬結果，值得推廣。
- 2.DHGM(2,2)灰色模式結構簡單，計算方便，不僅有較簡易之輸入格式，而且較適合用於描述具有因果及變率很大之降雨—逕流過程，洪水預測亦容易執行。
- 3.採用優選法進行模式參數檢定，所獲得之結果較客觀且可節省試誤時間等優點。本研究採用非線性無限制式優選法之Hooke-Jeeves直接搜尋法從事參數檢定，並配合經驗給予多組初始值，以獲得較接近整體最佳之參數，較傳統試誤法可節省可觀之時間，更可應用至其它不同目標之模式。
- 4.移動平均法及GM(1,1)法等降雨量預測法均是依據傳統方法，由以往趨勢推求未來時刻可能發生之降雨，較適用於大陸型氣候或氣象狀況穩定之地區。本省位於太平洋之海島，影響氣候變化之因子甚多，較不易獲致準確之預測值，惟本研究所研擬之雨量預測方法，可供參考應用。

(二)建議

- 1.本模式所引用之 a_1 (⊗)、 b_0 (⊗)、 b_1 (⊗)等三參數，皆與流域性以及暴雨型式、地文因子及降雨臨前狀況有關。本研究僅就模式識別之參數白化值應用於預測上，並無針對參數值與其影響因子間存在之真正關係作討論，此乃本模式今後可繼續努力之方向。
- 2.逕流量預報之結果，一小時之預測值尚稱理想，但二、三小時之結果並不臻理想；其原

因乃颱風暴雨作用強烈且雨量大小不一，因此降雨趨勢不易掌握，所以愈長延時之預測其效果愈差。其改進之方法，需對降雨趨勢進一步了解，並配合現場氣候資料或高科技之觀測方法，如雷達或衛星探測等，才能較精確地預測降雨量，此乃氣象及水文學者仍孜孜努力之方向。

- 3.基本資料實為從事水文研究之重要憑藉，研究中發現因曾文溪下游水文站不足或資料不完整，對於研究結果之準確性恐有影響，因此建議應於曾文溪下游具代表性地點及重要支流匯流口處增設若干水文站，建立持續且完整之記錄，以利爾後進一步研究之需要。
- 4.洪水預報工作必須逐時由自記雨量站及自記流量站所傳回之電傳資料，更新預測模式之有關參數。因此，應重視基本資料觀測站之運轉功能，期使於暴雨期間發揮洪水預報之準確性。
- 5.水文預報除建立完善之降雨—逕流模式外，尚需依賴準確之降雨預測。今後倘能建立一完整之颱風降雨模式或配合雷達或衛星傳回之氣象資料發展準確之降雨預報方法，再結合DHGM模式模擬流量，將能為本省防洪及水資源規劃提供更準確之依據。

參考文獻

- 1.王如意、易任：應用水文學，上、下冊，國立編譯館出版，茂昌圖書公司發行，民國73年9月。
- 2.阮忠信：「水文灰色系統模式之研析及其與參數優選法之應用」，國立台灣大學農工研究所碩士論文，民國81年6月。
- 3.王如意等：「曾文溪左側各集水區適用逕流模式之建立與驗證」，國科會防災科技研究報告，民國78年1月。
- 4.王學萌等：灰色系統模型，華中理工大學出版社，1991。
- 5.易德生、郭萍：灰色理論與方法，石油工業出版社，1992。
- 6.夏軍：「水文系統DHGM模型識別與實時灰色預測」，灰色系統論文集，1989。
- 7.孫德敏：工程最優化方法及應用，中國科學技術

大學出版社，1991。

8.鄧聚龍：農業系統灰色理論與方法，中國農業系統工程出版社，1987。

9.Kuester, J. L., and Mize, J. H., Optimization Techniques with Fortran, 1973.

10.Xia Jun, "Research and Application of Grey Sys-

tem Theorem to Hydrology," The Journal of Grey System 1, pp43-pp52, 1989.

收稿日期：民國82年7月29日

接受日期：民國82年8月17日

專營土木、水利、建築等工程

全毅營造有限公司

負責人：黃美枝

地址：彰化縣埔心鄉埤腳村大溪路2段468號

電話：(04)8296372, 8291098

專營土木、水利、建築等工程

先亨營造有限公司

負責人：卓貴美

地址：彰化縣員林鎮員鹿路60巷72號

電話：(04)8351976