

# 結合長期天氣展望資料預報曾文水庫枯水期之入流量

游保杉

國立成功大學水利及海洋工程學系  
教授

吳雷根

國立成功大學水利及海洋工程學系  
碩士班研究生

## 摘要

水庫放水操作經常以水庫上游集水區之入流量為參考依據，倘能先前預報入流量將有助於水庫之操作管理。因此，本文結合連續型降雨-逕流模式與氣象局長期天氣展望之預報結果，進行未來三旬之水庫長期入流量預報。模式之率定與驗證工作採用曾文水庫 33 年之歷史旬降雨與流量資料進行模式率定與驗證工作。分析結果發現：本模式對於以旬為時間單位模擬降雨-逕流間行為具有良好精度。由於傳統水庫操作對於未來入流量之預報是以各旬歷年入流量之平均值為參考基準，因此本文進一步比較此模式之預報與直接利用平均值參考基準等兩種方式之優劣。

## Inflow Forecasting of Tsengwen Reservoir in the Dry Period using Long-term Weather Outlook

### ABSTRACT

Long-term inflows of reservoir from upstream catchment are important information for reservoir operation. If the inflows of reservoir can be forecasted precisely, that may benefit the reservoir operation and management. This study aims to forecast three ten-day ahead inflows by using a continuous rainfall-runoff model coupled with the long-term weather outlook provided by the Central Weather Bureau. Model calibration and verification by using 33-year historical records of Tseng-Wen reservoir reveal that the continuous rainfall-runoff model has good performances on ten-day flow simulation. This work further compared ten-day inflow forecasted in the study with the historical average ten-day inflow, which is always chosen as a reference for reservoir operation.

### 一、前言

水文模式為模擬降雨與逕流間各種水文現象之重要工具，目前已廣泛應用在即時洪水預報、水資源規劃與管理、水工結構物設計流量之決定，與氣候變遷對水文環境衝擊之影響等決策性問題。水文模式亦隨著不同需求演繹成不同種類。大體上而言，依能否描述水文參數或變量之空間變異性可分為：(1)集塊型模式(lumped model)與(2)分佈型模式(distributed model)。集塊型模式並不考慮水文歷程、輸入資料，與集水區幾何特性等之空間變異，而分佈型模式則具有考慮水文歷程、輸入資料，與集水區幾何特性等空間變異之能力。若針對水文事件模擬時間長短之能力為劃分準則，又可區分為：(1)連續型模(continuous-time model)與(2)事件型模式(event based model) 連續型模式可模擬長時距之流量歷線，可依使用資料之時間尺度進行日流量、月流量等之模擬。而事件型模式為了精確模擬較短時距之暴雨事件，其時間尺度一般則採用時流量(甚至更小延時)進行分析。若以模擬自然水文現象之真實程度可區分為：(1)黑盒模(black box model)、(2)概念型模式(conceptual model) 與(3)物理型模式(physically-based model)。黑盒模式係直接以系統參數來控制模式，並不考慮模式內部的變化情形，只討論模式輸入與輸出間之關係。物理型模式是以嚴謹之水力學原理，來描述每一階段的水文歷程。概念型模式則介於黑盒模式與物理型模式之間，

利用概念化之水文歷程來模擬整個降雨-逕流機制，並以一些具有物理意義的水文參數來控制各個階段的水文歷程。

水庫入流量之長期預報，對於水庫管理單位放水操作與乾旱預警，具有相當重要之參考價值。長期流量預報之方法通常可利用流量序列之自相關特性(記憶效應)或利用統計回歸方式與時序列方式建立流量與雨量間之關係，來進行長期流量預報(Mimikou and Rao, 1983; Smith, 1991; Irvine and Eberhardt, 1992)。另可利用水平衡觀點，先行以降雨-逕流模式建立氣象因子(降雨、溫度等)與流量之關係後，透過氣象因子之長期預報結果，代入降雨-逕流模式進行長期流量預報。本文擬利用水文模式配合氣象局發佈之長期天氣展望，進行水庫入流量長期預報模式之建立，以支援水庫管理單位進行放水操作決策與乾旱預警之參考。

### 二、研究區域概述

曾文水庫位於嘉南地區之曾文溪上游，自民國 63 年開始營運。平均年運水量達 11 億立方公尺，對嘉南地區 7 萬餘公頃農田之灌溉及公共給水方面具有相當效益。曾文水庫之設計蓄水量為 7 億立方公尺，水庫集水區自填址起算，其集水面積為 481 平方公里。填址最大年逕流量為 2,033 百萬立方公尺，最小年逕流量為 301 百萬立方公尺，平均年逕流量為 1,160 百萬立方公尺。其中約有 85% 的年逕流量發生在六月至九

月颱風季節。本研究使用之旬流量與旬雨量資料為曾文填址觀測的資料；而溫度資料因曾文填址取得觀測資料並不完整，因此利用獲得之週期與台南氣象站觀測資料建立回歸關係，將台南氣象站觀測溫度資料經由此回歸關係轉成曾文填址的觀測資料，資料長度均為 33 年(1969 年至 2001 年)。

### 三、連續型降雨-逕流模式

HBV 模式發展於 1976 年首度成功地應用於瑞典北部之流域(Bergström,1976)。經歷了二十多年，HBV 模式已成為北歐地區降雨-逕流模擬之標準工具，並已廣泛應用在全球 30 幾個國家。楊道昌與游保杉(1997)曾進行適當修正，並首將其應用於台灣南部地區，研究中發現其以日為時間單位模擬長年流量歷線具有良好能力。為因應水庫操作，本文將嘗試改以旬為模擬時間單位來進行模式之率定與驗證。模式架構、率定方法，與評鑑指標，簡扼分述如下：

#### (一)模式架構

主要包含土壤含水量估算及逕流反應兩個主要部份：

##### 1. 土壤含水量估算部份

由土壤含水量之多寡依(1)式將降雨量分為提供逕流反應部份之水量與貯蓄於土壤表層之水量。其關係示意圖如圖 1 所示。

$$Q_s(t) = \left[ \frac{S_{sm}(t)}{FC} \right]^\beta \cdot P(t) \dots\dots\dots(1)$$

上式中， $Q_s(t)$  為第  $t$  旬提供逕流反應部份之水量(mm/10-day)； $P(t)$  為第  $t$  旬之降雨量(mm/10-day)； $S_{sm}(t)$  為第  $t$  旬之土壤含水量(mm)； $FC$  為田間容水量(mm)，待率定參數； $\beta$  為待率定參數。貯蓄於土壤表層之水量則為  $P(t)$  扣除  $Q_s(t)$  後之剩餘量。由土壤含水量之多寡依(2)式計算實際蒸發量。其關係示意圖亦如圖 1 所示。

$$E_a(t) = \begin{cases} E_p(t) \cdot S_{sm}(t) / LP & S_{sm}(t) \leq LP \\ E_p(t) & S_{sm}(t) > LP \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

其中， $E_p(t)$  為第  $t$  旬之勢能蒸發量(mm/10-day)； $E_a(t)$  為第  $t$  旬之實際蒸發量(mm/10-day)； $LP$  為待率定參數。

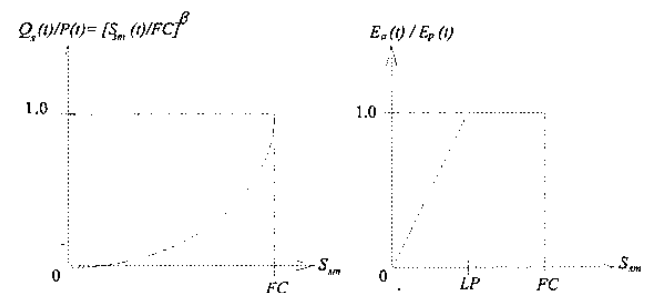


圖 1 土壤含水量估算部份與實際蒸發量-勢能蒸發量間之關係示意圖

##### 2. 逕流反應部份

逕流反應部份主將集水區逕流結構概念化為上、下兩個水桶。上層水桶接受提供逕流反應部份之水量( $Q_s$ )，迅速釋放地表逕流與中間流，並部份提供滲漏量到下層水桶。而下層水桶接受來自於上層水桶之滲漏量後，並釋出基流量。由降雨量提供逕流反應部份之水量( $Q_s$ )流入上層水桶後，並依(3)、(4)及(5)式計算上、下層水桶之出流量。整個逕流反應部份之架構如圖 2 所示。

$$Q_u(t) = \begin{cases} S_{uz}(t) \cdot (K_0 + K_1) - K_0 \cdot UZL & S_{uz}(t) > UZL \\ K_1 \cdot S_{uz}(t) & S_{uz}(t) \leq UZL \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_d(t) = K_2 \cdot S_{lz}(t) \dots\dots\dots(4)$$

$$Q(t) = Q_u(t) + Q_d(t) \dots\dots\dots(5)$$

其中， $Q_u(t)$  為第  $t$  旬之上層水桶出流量(mm/10-day)； $Q_d(t)$  為第  $t$  旬之下層水桶出流量(mm/10-day)； $Q(t)$  為第  $t$  旬之總出流量(mm/10-day)； $S_{uz}(t)$  為第  $t$  旬之上層水桶貯蓄量(mm)； $S_{lz}(t)$  為第  $t$  旬之下層水桶貯蓄量(mm)； $UZL$  為上層水桶孔口高度(mm)； $K_0$  為上層水桶孔口高度  $UZL$  之退水常數； $K_1$  為上層水桶之退水常數； $K_2$  為下層水桶之退水常數。

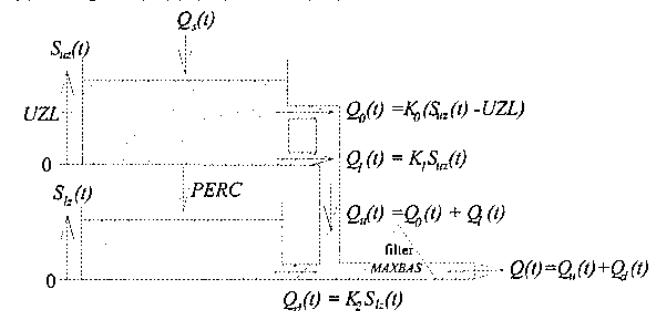


圖 2 逕流反應部份之模式架構示意圖

##### 3. 連續方程式

土壤含水量層、上層水桶與下層水桶三部份之連續方程式分別如下：

$$dS_{sm} / dt = P - Q_s - E_a \dots\dots\dots(6)$$

$$dS_{uz} / dt = Q_s - Q_u - PERC \dots\dots\dots(7)$$

$$dS_{lz} / dt = PERC - Q_d \dots\dots\dots(8)$$

其中， $PERC$  為每旬上層水桶至下層水桶之滲漏量(mm/10-day)。為考量勢能蒸發量資料可能之誤差，本文引進  $C_e$  參數先行乘上勢能蒸發量進行修正。另本模式不直接利用蒸發量為輸入資料，而利用觀測溫度資料為輸入資料，並於模式中利用 Hamon 公式(Hamon, 1961)計算勢能蒸發量，以進行模式參數率定。

#### (二)率定方法

為了有效進行模式參數之率定，於率定的過程中需適當選擇：(1)最佳化參數搜尋方法與(2)適合度量測，即目標函數(objective function)，來率定模式中之參數(分別為  $FC$ 、 $LP$ 、 $\beta$ 、 $UZL$ 、 $PERC$ 、 $K_0$ 、 $K_1$ 、 $K_2$ ，與  $C_e$ )。對於參數率定的方法，本文採用目前較具效

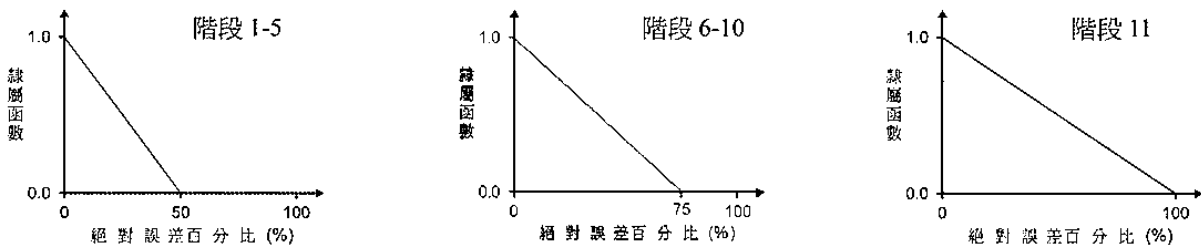


圖 3 不同流量階段目標函數可接受之隸屬函數

率之參數搜尋法-SCE 法(shuffled complex evolution global optimization algorithm, Duan *et al.*,1992, 1993, 1994)。而目標函數之選擇,本文則利用模糊多目標函數(fuzzy multi-objective function, *FMOF*) (楊道昌, 1999), 進行模式參數率定。

*FMOF* 可針對各個流量階段之目標函數定義其可接受之隸屬函數, 尋求同時滿足各個目標之妥協解。模糊多目標函數定義如下:

$$FMOF = 1 - \bigwedge_{i=1}^{11} \mu(MPE_i) \dots\dots\dots(9)$$

其中:  $MPE_i$ : 第  $i$  個流量階段之平均絕對百分比誤差;  $\mu(MPE_i)$ : 第  $i$  個流量階段之平均絕對百分比誤差的隸屬函數值;  $\bigwedge$ : 取小運算符號。本文利用上述目標函數前, 需適當將流量範圍分為若干階段。今利用旬流量延時曲線百分比延時為 1%、10%、20%、...、與 90% 等十個流量值, 劃分為十一個流量階段。並設定各個流量階段平均絕對百分比誤差之隸屬函數(本文設定方式如圖 3)。

(三)評鑑指標

為了解模式模擬流量歷線之優劣, 本文選擇四種評鑑指標, 分別為模擬與觀測流量之相關係數( $R$ )、模擬與觀測流量體積比( $V_s/V_o$ )與 Nash-Sutcliffe 統計值( $NS$ )。 $NS$  之公式如下:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \dots\dots\dots(10)$$

式中,  $Q_i$  為第  $i$  個觀測流量,  $q_i$  為第  $i$  個模擬流量,  $\bar{Q}$  為平均觀測流量,  $n$  為總個數。本文將利用上述指標, 進行每年模擬歷線之評鑑工作。

四、模式率定與驗證結果

水文模式需要使用同時期之雨量、溫度及流量資料來率定模式參數, 再輸入所欲推估時期之雨量、溫度與土壤臨前條件於此模式中, 即可得同時期之推估流量。本文所使用之資料為曾文埧址之旬流量、旬雨量資料進行模式參數率定工作, 另一組是取其餘 8 年資與旬平均溫度資料, 資料長度均為 33 年(1969 年至 2001 年)。本文將資料分成兩組, 第一組是取前 25 年料進行模式驗證。

本文以 *FMOF* 為目標函數進行參數率定, 各率定年結果之評鑑指標如表 1。接著再利用率定之最佳

數進行模式驗證, 以 1994 至 2001 年之溫度、雨量資料為輸入資料進行模式之驗證, 其各驗證年之評鑑指標如表 2。進一步挑選所有率定與驗證年中模擬結果之最佳與最差的模擬歷線與觀測歷線, 由於本文主要模擬的週期為枯水期(11 月至隔年 4 月, 即 31 旬至隔年 12 旬), 故以枯水期之模擬與觀測流量體積比( $V_s/V_o$ )為指標進行選取, 其結果如圖 4 及圖 5 所示。由表與圖中可看出各年模擬流量之結果, 均有一定的模擬能力。經由前述之模式率定與驗證工作發現, 本文提出之連續型降雨-逕流模式具有合理模擬集水區旬流量之特性。

表 1 水文模式率定結果之評鑑指標

西元年	$R$	$V_s/V_o$	$NS$	枯水期 $V_s/V_o$
1969	0.961	0.818	0.893	
1970	0.927	1.019	0.849	0.750
1971	0.949	0.731	0.805	0.853
1972	0.958	0.775	0.862	0.539
1973	0.963	0.942	0.897	0.799
1974	0.924	0.835	0.816	0.831
1975	0.961	0.849	0.877	0.751
1976	0.969	0.857	0.857	0.729
1977	0.960	0.933	0.901	0.561
1978	0.953	0.771	0.818	0.572
1979	0.985	0.911	0.958	0.824
1980	0.972	0.636	0.669	0.741
1981	0.960	0.940	0.909	0.783
1982	0.975	0.764	0.863	0.926
1983	0.949	0.874	0.826	0.895
1984	0.924	0.720	0.715	0.584
1985	0.955	0.878	0.882	0.871
1986	0.926	0.678	0.791	0.517
1987	0.969	0.806	0.868	0.499
1988	0.969	0.855	0.909	0.640
1989	0.970	0.793	0.841	0.508
1990	0.974	0.757	0.860	0.678
1991	0.959	0.799	0.815	0.861
1992	0.981	0.842	0.894	0.671
1993	0.968	0.922	0.935	0.858

表 2 水文模式驗證結果之評鑑指標

西元年	$R$	$V_s/V_o$	$NS$	枯水期 $V_s/V_o$
1994	0.968	0.845	0.888	0.830
1995	0.945	0.825	0.847	0.710
1996	0.992	0.743	0.855	0.907
1997	0.931	0.837	0.838	0.857
1998	0.958	0.857	0.850	0.780
1999	0.984	0.887	0.934	0.955
2000	0.946	0.825	0.828	0.602
2001	0.945	0.816	0.827	0.872

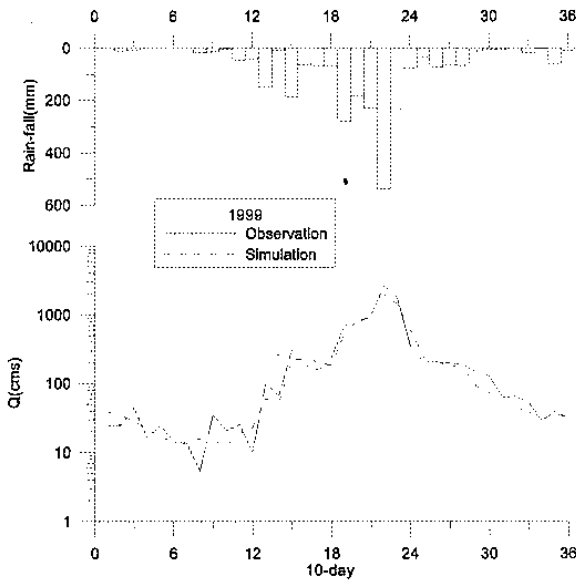


圖 4 模式率定與驗證年中最佳之模擬與觀測歷線

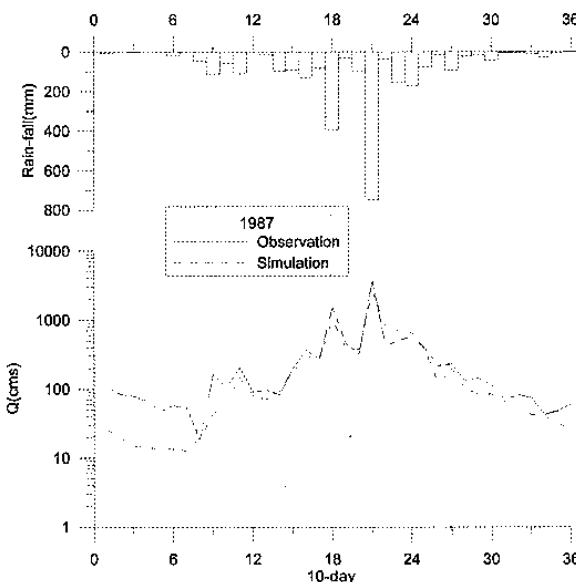


圖 5 模式率定與驗證年中最差之模擬與觀測歷線

## 五、長期氣象預報之修正與精確度分析

### (一) 長期氣象預報之修正

由於中央氣象局之月長期天氣展望在南部地區以高雄氣象站為發佈依據，因此需修正長期氣象預報使適合於本研究區域。首先將已蒐集之曾文水庫與高雄氣象站氣象與水文資料(1969~1998年)，使用全週期對應同一旬雨量平均值及溫度平均值建立兩站氣象因子的迴歸關係，以進行氣象局長期預報資料之修正，如式(11)及式(12)。

$$Y_R = 1.458 \cdot X_R + 10.511 \dots\dots\dots(11)$$

$$Y_T = 0.958 \cdot X_T - 0.542 \dots\dots\dots(12)$$

式中， $Y_R$  為曾文水庫雨量值， $X_R$  為高雄氣象站雨量值  
 $Y_T$  為曾文水庫溫度值， $X_T$  為高雄氣象站溫度值

### (二) 長期氣象預報之精確分析

本文針對枯水期(11月至隔年4月，即31旬至隔年12旬)氣象長期預報資料進行探討，以瞭解輸入本預報系統氣象預報資料的精確度。將已蒐集之1994年至2001年枯水期高雄氣象站所發佈氣象預報資料範圍的平均值，代入本文所建立的迴歸關係式(式(11)、式(12))，轉換成曾文水庫預報資料；以平均誤差的方式來探討氣象局預報資料的精確性與特性，將曾文水庫觀測的氣象資料與轉換後的預報資料相減，再將同一旬的誤差累加取平均值。枯水期預報未來三旬之雨量與溫度精確分析結果如表3與表4所示，其中預報溫度多是低估的情形，而預報雨量於11月至1月稍有高估情形，2月至4月則有低估的情形。

利用此迴歸關係將高雄站氣象預報資料轉換成曾文水庫預報資料之方法，在溫度預報上具有合理預報，而在雨量預報上則有較大的誤差量(包括中央局氣象預報誤差及迴歸關係誤差)，在此先直接採用此轉換後之預報資料，做為模式輸入。

表 3 枯水期預報未來三旬雨量之平均誤差

預報起始旬	觀測雨量平均值 (mm)	雨量預報誤差平均 (mm)				
		第一旬	第二旬	第三旬		
11 31	6.7	3.7	2.8	13.5	7.5	12.1
11 33	2.8	3.8	14.2	10.3	8.7	-2.7
12 34	3.8	14.2	8.6	6.8	-3.4	5.8
12 36	8.6	5.5	15.6	2.8	7.0	-1.9
1 1	5.5	15.6	17.0	7.9	0.4	-2.1
1 3	17.0	19.2	42.0	-0.4	-4.3	-11.8
2 4	19.2	42.0	25.7	-4.2	-10.5	-7.8
2 6	25.7	27.7	26.0	-8.5	-8.8	-4.8
3 7	27.7	26.0	37.7	-10.6	-4.5	-3.7
3 9	37.7	40.9	40.4	-8.1	-4.0	-15.0
4 10	40.9	40.4	53.2	-18.1	2.3	-8.1
4 12	53.2	96.0	109.4	-8.5	-66.1	-20.5

表 4 枯水期預報未來三旬溫度之平均誤差

預報起始旬	觀測溫度平均值 (°C)	溫度預報誤差平均 (°C)				
		第一旬	第二旬	第三旬		
11 31	22.7	21.7	21.4	0.0	0.8	-1.3
11 33	21.4	20.0	19.7	-1.2	-0.9	-1.9
12 34	20.0	19.7	19.7	-1.2	-1.5	-2.0
12 36	19.7	18.4	18.2	-2.2	-1.8	-1.5
1 1	18.4	18.2	19.7	-1.2	-1.9	-2.7
1 3	19.7	18.0	19.1	-2.8	-1.0	-1.2
1 4	18.0	19.1	17.1	-0.8	-0.7	0.9
2 6	17.1	20.0	21.1	1.1	-1.1	-0.2
3 7	20.2	21.1	23.6	-1.2	-0.3	-2.2
3 9	23.6	22.4	23.3	-2.6	0.0	0.1
4 10	22.4	23.3	24.0	0.4	0.0	0.1
4 12	24.0	24.3	25.0	0.4	1.3	0.6

## 六、結合水文模式與月長期天氣展望預報水庫入流量

### (一) 預報系統建構

結合水文模式與月長期天氣展望之長期逕流預報系統架構圖如圖 6 示。由於前述未來三旬之溫度與雨量預報值(共六個)具有不確定範圍,如系統圖中標示未來三旬溫度值預報範圍分別為 $[T_{1d}-T_{1u}]$ 、 $[T_{2d}-T_{2u}]$ 與 $[T_{3d}-T_{3u}]$ 及未來三旬雨量值預報範圍分別為 $[R_{1d}-R_{1u}]$ 、 $[R_{2d}-R_{2u}]$ 與 $[R_{3d}-R_{3u}]$ 。因此本文嘗試利用蒙地卡羅法(Monte Carlo Method)進行取樣,由上述六個預報範圍挑選適當組數做為輸入參數進行模擬。由於上述六個預報值乃是一固定範圍,利用蒙地卡羅取樣時本文假設預報值於範圍內為均勻分佈,如系統圖中標示未來三旬溫度值預報之機率分佈函數分別為 $P_{T1}$ 、 $P_{T2}$ 與 $P_{T3}$ 及未來三旬雨量值預報之機率分佈函數分別 $P_{R1}$ 、 $P_{R2}$ 與 $P_{R3}$ ,再進行取樣與模擬。最後推求所有組數之模擬逕流結果其平均值與標準偏差,進而推求未來三旬預報入流量歷線之 95%信賴區間,如系統圖中標示之未來三旬預報入流量信賴區分別為 $[F_{1d}-F_{1u}]$ 、 $[F_{2d}-F_{2u}]$ 與 $[F_{3d}-F_{3u}]$ 。

蒙地卡羅法進行預報值信賴區間之估算,進行步驟說明如下:

1. 利用隨機亂數挑選 N 組 0-1 之亂數(每組六個),利用上述六個雨量與溫度預報值機率分佈函數( $P_{R1}$ 、 $P_{R2}$ 、 $P_{R3}$ 、 $P_{T1}$ 、 $P_{T2}$ 與 $P_{T3}$ )所轉換後之累積機率函數,將亂數值轉換成 N 組輸入值。

2. 利用 N 組輸入值代入水文模式進行模擬,可得 N 條未來三旬之入流歷線。(經本文分析發現 $N=1000$ 即可使平均值與標準偏差趨於穩定,故本文採用 $N=1000$ 進行以下不確定分析)。

3. 透過 N 條入流歷線之平均值與標準偏差,可計算預報未來三旬入流歷線之 95%信賴區間(分別為 $[F_{1d}-F_{1u}]$ 、 $[F_{2d}-F_{2u}]$ 與 $[F_{3d}-F_{3u}]$ )。

### (二) 預報結果

本研究採用 1994 年至 2001 年修正後之長期氣象預報進行流量預報。由於枯水期之長期雨量預報範圍並不大,預報未來三旬之流量信賴區間亦小,因此本文針對枯水期之逕流預報僅採用蒙地卡羅法推估之平均值為預報值。由於傳統水庫操作對於未來入流量之預報係以各旬歷年入流量平均值為參考基準。為比較本文提出之長期入流量預報系統之預報能力與直接利用歷年入流量平均值為參考基準等兩種方式之優劣,本文將對此兩種方式進行比較。

以下本文針對枯水期之預報情形比較不同方式預報誤差。本文首先將長期入流量預報系統預報結果與以入流量歷年平均值當作預報值等兩種方式所產生的誤差(預報值與實測值之絕對誤差),以 1999 年枯水期為例,進行比較如圖 7 所示。由圖中可看出大部分預報旬中:長期入流量預報系統之預報誤差較小於以入流量歷年平均值當作預報值之預報誤差。

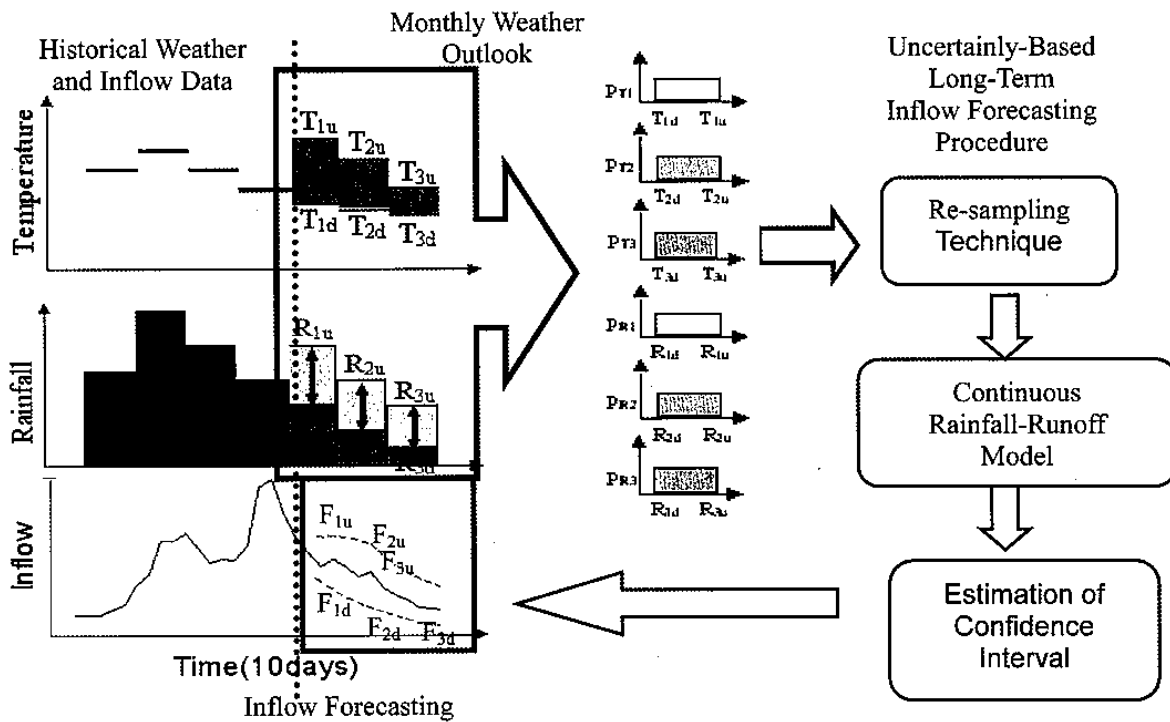


圖 6 長期入流量預報系統之系統架構圖

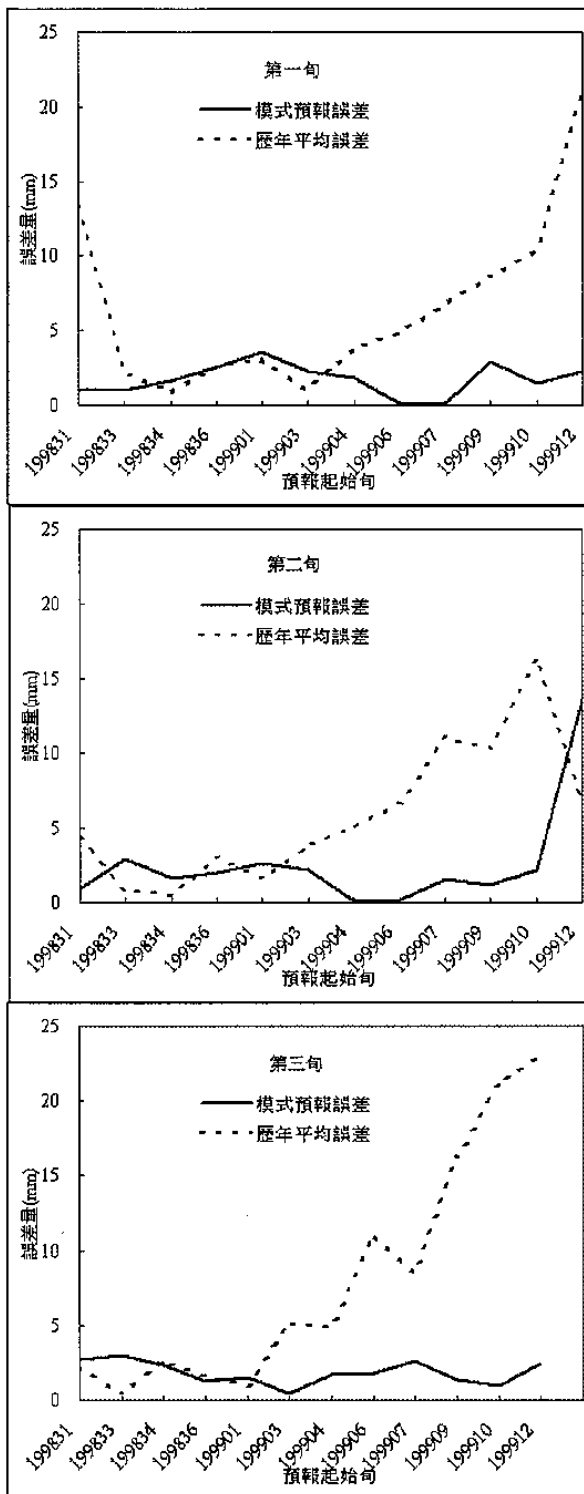


圖 7 模式預報值(利用預報資料)、歷年平均值與實測流量之誤差(1999 年枯水期)

## 七、結論與建議

本文主要探討水庫長期入流量預報之可能機制與方法，採用連續型降雨-逕流模式，配合氣象局月長期天氣展望之預報結果，建構水庫長期入流量預報系統，分別進行未來三旬之入流量預報，以提供水庫管理單位進行操作管理之參考。本文提出長期入流量預報系統係結合水文學與大氣科學兩大領域之分析工具，期以此方式之結合延長逕流量預報前置時間與提高預報精度。

分析結果顯示：本文採用之連續型降雨-逕流模式對於以旬為時間單位具有一定程度之流量模擬精度，且由長期入流量預報系統預報水庫入流量之能力亦較直接採歷年旬流量平均值為預報值佳。由於整個長期入流量預報系統之預報過程中仍有部份旬別產生相當之誤差量，此部分誤差同時包含了天氣預報及水文模式模擬之誤差，未來仍需進一步探討如何降低氣象預報與水文模式模擬之不確定性，以提升逕流量預報之精度。

## 誌謝

本研究承蒙農委會農業科技研究計畫九一農科——三·三—林—R—之經費補助及中央氣象局提供長期天氣展望資料於此敬表由衷感激。另外亦對中央氣象局盧孟明博士與台南水工所楊道昌博士提供寶貴意見，致上萬分的謝意。

## 參考文獻

- Duan, Q., S. Sorooshian, and V. K. Gupta, 1992, "Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models", *Water Resources Research*, 28(4), pp1015-1031.
- Duan, Q., V. K. Gupta, and S. Sorooshian, 1993, "A shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization", *J. Optimization Theory Appl.*, 76(3), pp501-521.
- Duan, Q., S. Sorooshian, and V. K. Gupta, 1994, "Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models", *J. of Hydrology*, 158, pp265-284.
- Irvine, K.N. and A.J. Eberhardt, 1992, "Multiplicative, Season ARIMA models for lake Erie and lake Ontario water levels", *Water Resources Bulletin*, Vol. 28, No2, pp 385.
- Mimikou, M. and Rao, A. R., 1983, "Regional Monthly Rainfall-Runoff Model", *J. Wat. Resour. Plan. Manag. ASCE* 109(1), pp. 75-93.
- Singh, V.P., 1995, "Computer models of watershed hydrology", *Water Resources Publications*, Highlands Ranch, Colorado, U.S.A.
- 楊道昌, 1999, 「區域連續型降雨-逕流模式之研究」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, 博士論文。
- Pao-Shan Yu and Tao-Chang Yang, 2000, "Fuzzy multi-object function for rainfall-runoff model calibration", *Journal of Hydrology*, 238(2000), pp. 1-14
- Henrik Madsen, Geoffrey Wilson and Hans Christian Ammentorp, 2002, "Comparison of different automated strategies for calibration of rainfall-runoff models", *Journal of Hydrology*, 261 (2002), pp. 48-59