

結合水文模式與氣象資料預報長期逕流量之研究

Long-term Runoff Forecasting by Combining Hydrological Models and Meteorological Records

國立成功大學
水工試驗所
助理研究員

楊道昌
Tao-Chang Yang

國立成功大學
水利及海洋工程學系
碩士

陳姜琦
Chiang-Chi Chen

國立成功大學
水利及海洋工程學系
碩士班研究生

吳雷根
Lei-Ken Wu

國立成功大學
水利及海洋工程學系
教授

游保杉
Pao-Shan Yu

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洪汛期間與枯水期間水庫蓄水量之操作與管理。因此，本研究結合連續型降雨-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 年之歷史旬降雨與逕流量資料來進行。分析結果發現：本模式對於旬流量具有良好的模擬精度。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，本研究進一步比較模式之預報能力與直接利用平均值為參考基準等兩種方式之優劣。由分析結果可得知：本研究發展之長期入流量預報系統具有預報未來三旬水庫入流量之潛力。

關鍵詞：連續型降雨-逕流模式，長期天氣展望，流量預報。

ABSTRACT

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. It's found that

the hybrid model proposed herein has potential to forecast three ten-day ahead inflows.

Keywords: Continuous rainfall-runoff model, Long-term weather outlook, Inflow forecasting.

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。近三十年來，水文模式發展甚為迅速，大多為各大學或水利機構因研究及業務需要發展而成。因此，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，但是，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)連續型模式(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，並可依使用資料之時間尺度進行日流量、月流量，或年流量之模擬。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)黑盒模式(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。詳細水文模式之種類劃分與模式架構等可參考集水區水文電腦模式

(computer models of watershed hydrology, Singh, 1995)一書，該書收錄世界各地較為廣泛使用之水文模式共 25 個，及有關模式參數率定與可靠度分析等。

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，水庫集水區自埧址起算，其集水面積為 481 平方公里。埧址最大年逕流量為 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埧址觀測的資料，而溫度資料則採用台南氣象站觀測資料，資料長度均為 33 年(1969 年至 2001 年)。

三、連續型降雨-逕流模式

HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansav-

delning)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 模式已成爲北歐地區降雨-逕流模擬之標準工具, 而且廣泛應用在全球 30 幾個國家。楊道昌與游保杉(1997)曾進行適當修正, 並首度將其應用於台灣南部地區, 研究中發現其以日爲時間單位模擬長年流量歷線具有良好能力。爲配合水庫操作, 本文將嘗試改以旬爲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:

(A) 土壤含水量估算部份

由土壤含水量之多寡依(1)式將降雨量分爲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, $Q_s(t)$ 爲第 t 旬提供逕流反應部份之水量(mm/10-day); $P(t)$ 爲第 t 旬之降雨量(mm/10-day); $S_{sm}(t)$ 爲第 t 旬之土壤含水量(mm); FC 爲田間容水量(mm), 待率定參數; β 爲待率定參數。貯蓄於土壤表層之水量則爲 $P(t)$ 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, $E_p(t)$ 爲第 t 旬之勢能蒸發量(mm/10-day); $E_a(t)$ 爲第 t 旬之實際蒸發量(mm/10-day); LP 爲待率定參數。

(B) 逕流反應部份

逕流反應部份主要將集水區逕流結構概念化爲上、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

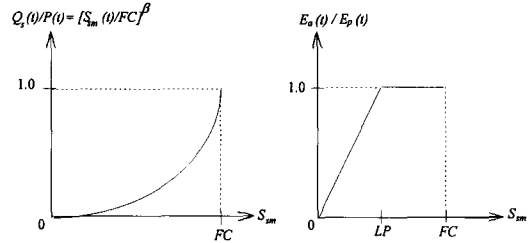


圖 1 土壤含水量估算部份與實際蒸發量-勢能蒸發量間之關係示意圖

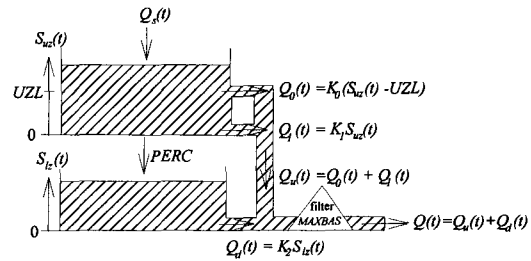


圖 2 逕流反應部份之模式架構示意圖

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, 並依下式計算上、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, $Q_u(t)$ 爲第 t 旬之上層水桶出流量(mm/10-day); $Q_d(t)$ 爲第 t 旬之下層水桶出流量(mm/10-day); $Q(t)$ 爲第 t 旬之總出流量(mm/10-day); $S_{uz}(t)$ 爲第 t 旬之上層水桶貯蓄量(mm); $S_{lz}(t)$ 爲第 t 旬之下層水桶貯蓄量(mm); UZL 爲上層水桶孔口高度(mm); K_0 爲上層水桶孔口高度 UZL 之退水常數; K_1 爲上層水桶之退水常數; K_2 爲下層水桶之退水常數。

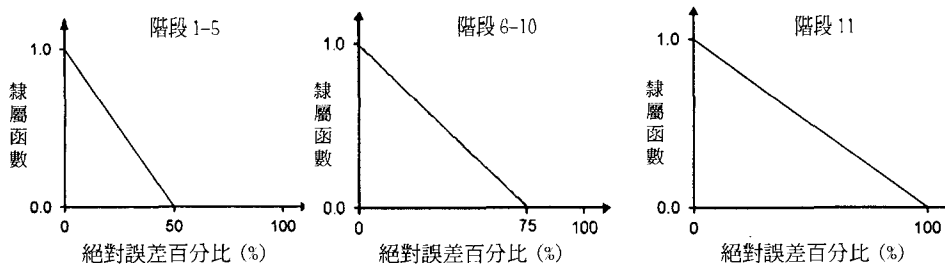


圖 3 不同流量階段目標函數值可接受之隸屬函數

(C)連續方程式

土壤含水層、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 *Ce* 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)，來率定模式中的之參數(分別為 *FC*、*LP*、 β 、*UZL*、*PERC*、*K₀*、*K₁*、*K₂*，與 *Ce*)。對於參數率定的方法，本文採用目前較具效率之參數搜尋法-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*)、百分比偏差(*PBIAS*)、Nash-Sutcliffe 統計值(*NS*)。前述 *PBIAS* 與 *NS* 之公式如下：

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \dots\dots\dots(11)$$

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

因水文模式需要使用同時期之雨量、溫度及

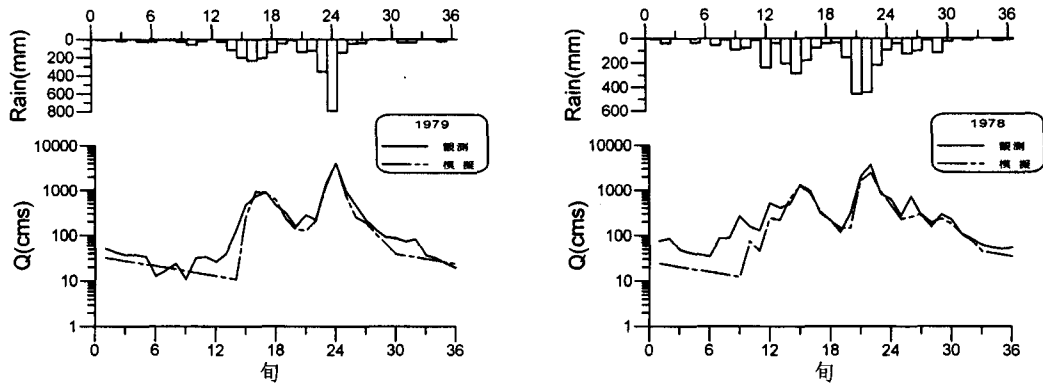


圖 4 水文模式率定結果最佳(1979 年)及最差(1978 年)之模擬及觀測流量歷線

表 1 水文模式率定結果之評鑑指標

西元年	R	V_s/V_o	PBAIS	NS
1969	0.946	0.988	1.245	0.877
1970	0.929	1.243	-24.256	0.803
1971	0.951	0.827	17.300	0.894
1972	0.961	0.849	15.151	0.908
1973	0.942	1.099	-9.942	0.861
1974	0.962	0.941	5.867	0.924
1975	0.972	0.951	4.946	0.941
1976	0.973	0.959	4.118	0.939
1977	0.967	1.035	-3.541	0.934
1978	0.897	0.872	12.845	0.791
1979	0.991	0.983	1.715	0.982
1980	0.989	0.657	34.268	0.897
1981	0.976	1.005	-0.512	0.952
1982	0.972	0.871	12.907	0.938
1983	0.915	1.054	-5.439	0.835
1984	0.966	0.878	12.182	0.926
1985	0.981	1.002	-0.232	0.963
1986	0.942	0.762	23.779	0.851
1987	0.967	0.869	13.068	0.929
1988	0.979	0.958	4.186	0.958
1989	0.984	0.901	9.868	0.953
1990	0.954	0.851	14.935	0.897
1991	0.965	0.892	10.842	0.929
1992	0.987	0.988	1.163	0.973
1993	0.968	0.980	1.968	0.899

表 2 水文模式驗證結果之評鑑指標

西元年	R	V_s/V_o	PBAIS	NS
1994	0.983	0.959	4.121	0.958
1995	0.981	1.006	-0.645	0.945
1996	0.967	0.825	17.510	0.894
1997	0.952	0.994	0.639	0.906
1998	0.963	1.043	-4.310	0.926
1999	0.960	1.018	-1.778	0.920
2000	0.980	0.962	3.829	0.952
2001	0.970	0.916	8.388	0.933

填址的資料，而溫度資料則採用台南氣象站資料，資料長度均為 33 年(1969 年至 2001 年)。本文將資料分成兩組，第一組資料是取前 25 年，進行模式參數率定工作；另一組是取其餘 8 年之資料進行模式驗證。

本文以 $FMOF$ 為目標函數進行參數率定，各年率定結果之評鑑指標如表 1。本文進一步挑選所有驗證年中率定結果最佳(1979 年)與最差(1978 年)之模擬歷線與觀測歷線(最佳與最差係以相關係數為準則進行挑選)，如圖 4 所示，由表中可看出各年之率定結果均有一定的模擬能力。本文接著再利用率定之最佳參數進行模式驗證，驗證部分則以 1994 至 2001 年之溫度、雨量資料為輸入資料，並以率定之最佳參數為模式參數輸入進行驗證。驗證結果之每年評鑑指標如表 2 所列，所有驗證年之全年流量模擬與觀測歷線分別置於圖 5。由圖中顯示各年均有很好的驗證結果。

流量資料，來率定模式參數，再以此模式輸入所欲推估時期之雨量與溫度，即可得同時期之推估流量。本文所使用之旬流量與旬雨量資料為曾文

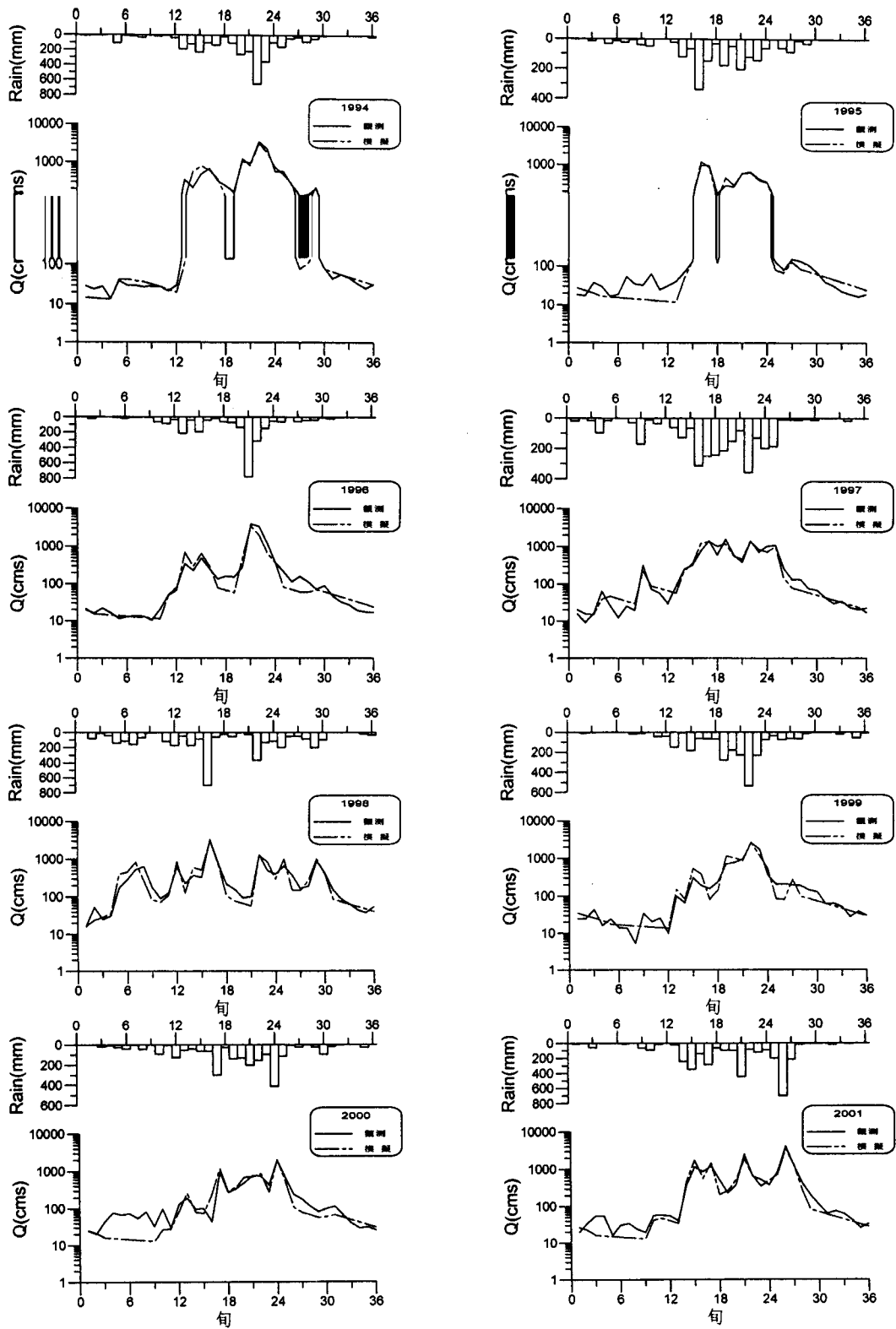


圖 5 水文模式驗證時期(1994-2001 年)之模擬及觀測流量歷線

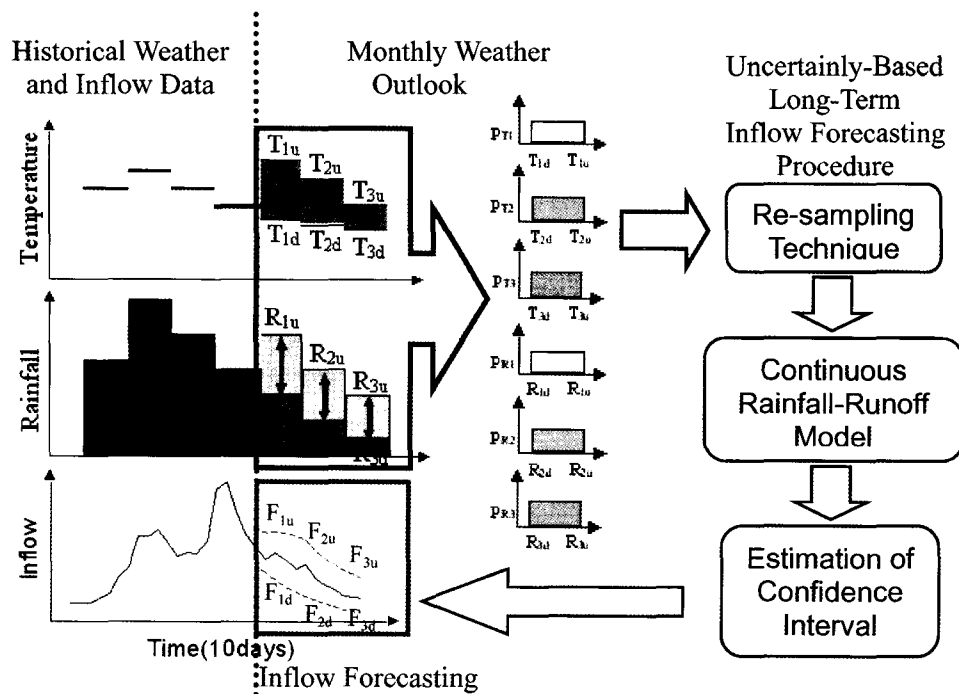


圖 6 長期入流量預報系統之系統架構圖

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。

五、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

水文模式具有模擬氣候因子(雨量、溫度)與逕流間之轉換機制，若能適切結合長期天氣預報，便可進行長期逕流預報。對於延長水庫上游集水區入流量預報之前置時間，具有一定程度之貢獻。

在長期天氣預報方面，中央氣象局之月長期天氣展望中提供台灣地區北、中、南、東部該月內各旬之氣溫與雨量的預報值範圍(不確定區間)，該資訊可做為水文模式之輸入資料，以預報未來三旬水庫上游集水區之入流量可能發生範圍。本文將選擇台灣南部(高雄氣象站)各旬平均溫度與雨量之預報範圍，利用高雄氣象站與曾文水庫之歷年觀測資料，經由迴歸關係將高雄氣象

站預報結果轉換成曾文水庫預報範圍值，做為水文模式之輸入值，以進行未來三旬水庫入流量之推估。

結合水文模式與月長期天氣展望之完整長期逕流預報系統架構圖如圖 6 所示。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 $[R_{1d}-R_{1u}]$ 、 $[R_{2d}-R_{2u}]$ ，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

三句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 條未來三句之入流歷線。(經本文分析發現 $N=1,000$ 即可使平均值與標準偏差趨於穩定，故本文採用 $N=1,000$ 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，可計算預報未來三句入流歷線之 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-2001 年之「中央氣象局之長期天氣展望資料電子版」進行流量預報，取其雨量與溫度之預報範圍值，並假設預報值在範圍內之機率分佈為均勻分佈，利用蒙地卡羅法取樣並做為水文模式輸入以預報未來一至三句之流量歷線。同時針對每次發佈的長期天氣展望，配合長期入流量預報系統即可推求未來三句流量預報之信賴區間。由於枯水期之長期雨量預報範圍並不大，預報未來三句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句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 1998 年枯水期為例，進行比較如圖 7 所示。圖 7 為各預報句分別利用前述兩種方式預報未來第一句、第二句，與第三句之誤差比較圖。由圖中可看出預報句中：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。

由於逕流量預報之誤差來源可能來自於水文模式產生的誤差與長期氣象預報所產生之誤差兩者的疊加結果。若考慮長期氣象預報之結果完全正確(即假設未來三句之雨量與溫度預報值等於實際觀測值)，做為水文模式之輸入值進行逕流預報，再將其預報誤差與以入流量歷年平均值當作預報值之誤差進行比較，以瞭解預報時單純由水文模式造成之誤差程度。分析結果如圖 8 所示(以 1998 年枯水期為例)。圖 8 仍顯示各預報句分別利用前述兩種方式預報未來第一句、第二句，與第三句之誤差比較圖。由圖中仍大致可看出預報句別以長期入流量預報系統(考慮長期氣象預報結果完全正確條件下)之誤差結果較小。

為更進一步瞭解不同方式之預報精度，本文將所有預報結果整理如圖 9 及圖 10，其中，橫軸為歷年各句平均值與各句觀測值之誤差量；縱軸為長期入流量預報系統各句預報值與觀測值之誤差量，若圖中偏 45° 線以下之點數較多表示縱軸之誤差較小，即長期入流量預報系統預報結果較以入流量歷年平均值當作預報值之方式佳。反之，偏 45° 線以上之點數較多表示橫軸之誤差較小，則表示長期入流量預報系統預報結果較以入流量歷年平均值當作預報值之方式差。由圖 9 及圖 10 約略可看出：長期入流量預報系統進行預報之結果較具優勢。

為更清楚表達利用不同預報方式預報結果之優劣，本文進一步統計圖 9 與圖 10 中偏 45° 線以上(即歷年句平均值預報結果較以長期入流量預報系統預報結果佳)與偏 45° 線以下(即長期入流量預報系統預報結果較以歷年句平均值預報結果佳)之點數，及前述兩者佔所有點數之百分比，分別如表 3 所列。由表中可得知：以歷年句平均值預報較佳的點數僅佔 31%；而以長期入流量預報系統較佳之點數約佔 69%，即在大部

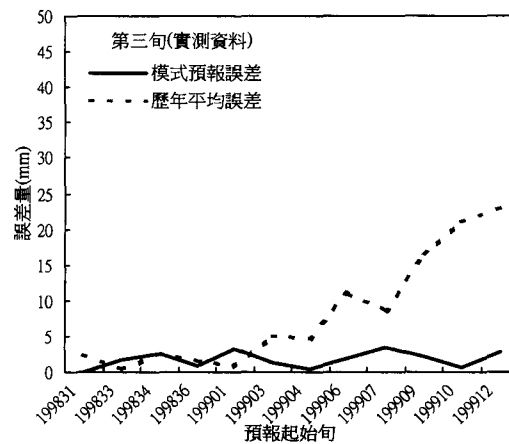
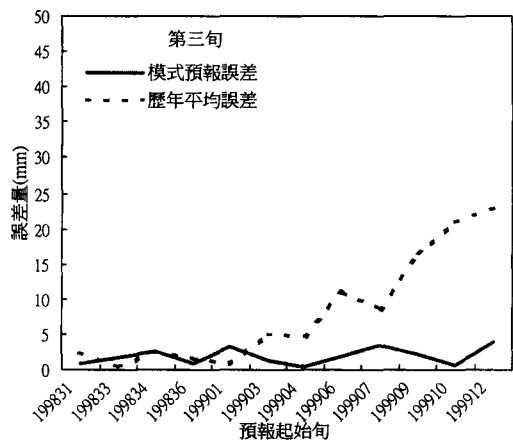
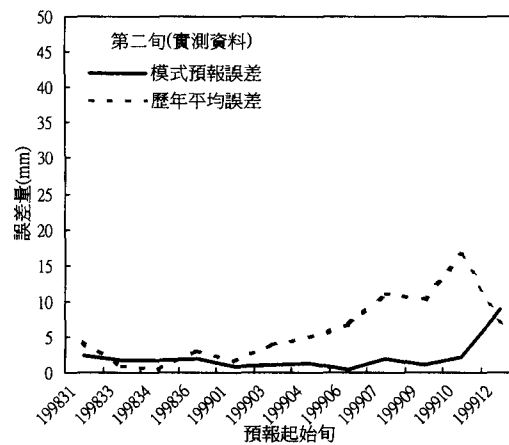
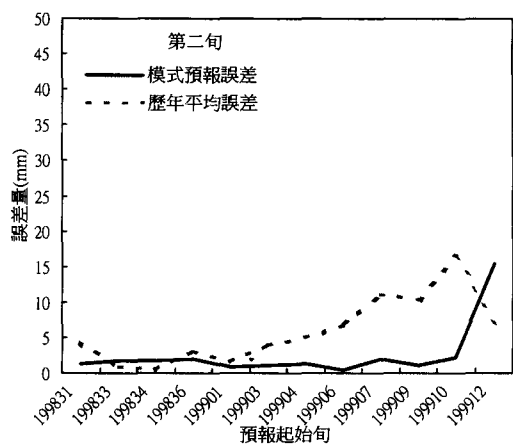
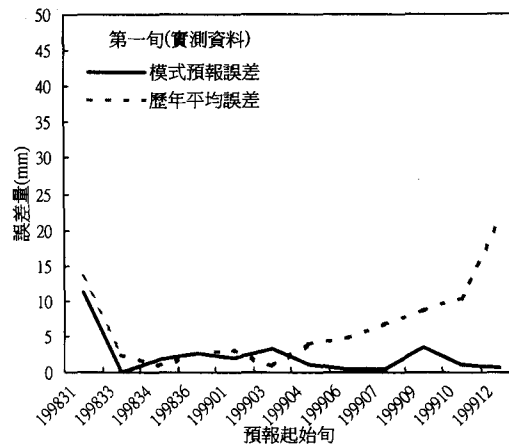
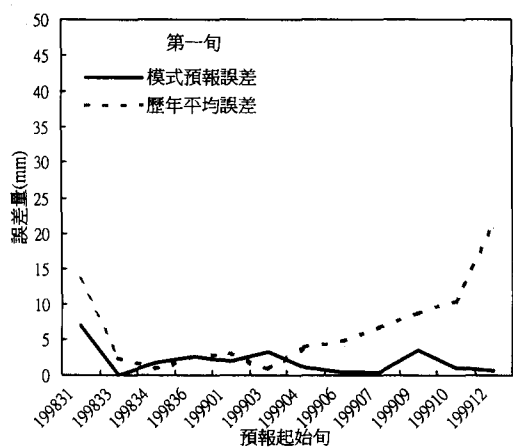


圖 7 模式預報值(利用預報資料)、歷年平均值與實測流量之誤差(1998 年枯水期)

圖 8 模式預報值(利用實測資料預報)、歷年平均值與實測流量之誤差圖(1998 年枯水期)

分預報次數中，仍以長期入流量預報系統的誤差較以歷年平均值預報結果的誤差小。且由表 3

可看出長期入流量預報系統「利用預報資料」與「利用實測資料」之預報結果相差不大，此乃由

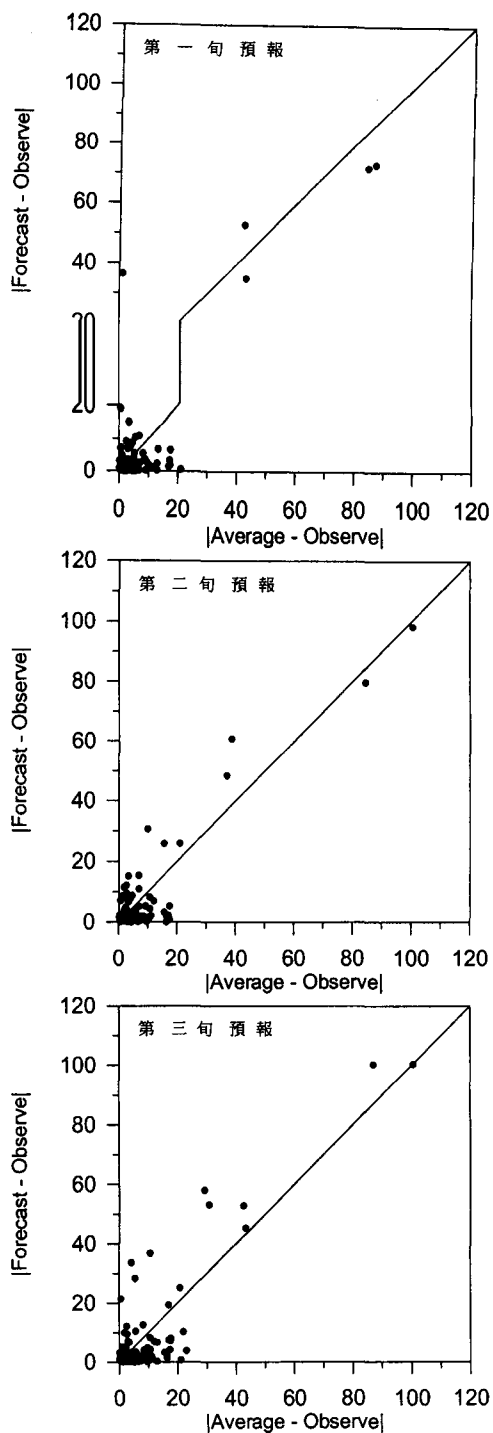


圖 9 流量預報值(利用預報資料)、歷年平均值與實測流量之誤差圖

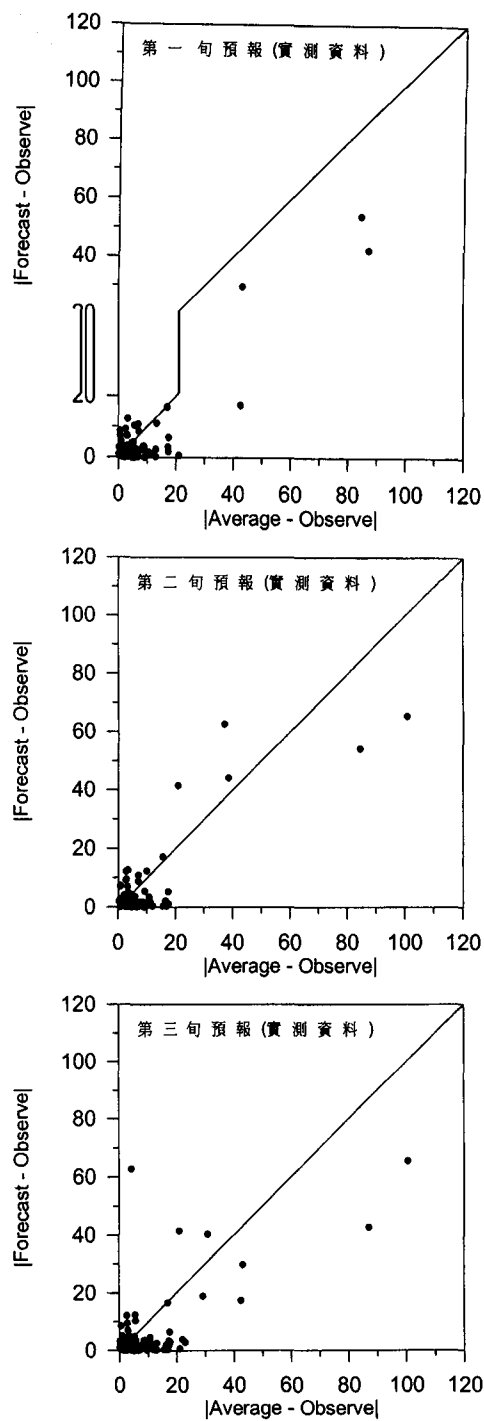


圖 10 流量預報值(利用實測資料預報)、歷年平均值與實測流量之誤差圖

於枯水期雨量不豐且天氣型態較穩定，氣象預報之結果精度較佳，故利用氣象預報方式與以實際氣象因子進行預報之結果相差不大。

六、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

表 3 長期入流量預報系統與以歷年平均值為預報值之預報結果比較

預報旬	全部 預報點數	圖 9 統計結果		圖 10 統計結果	
		長期入流量預報系 統較佳之點數 (利用預報資料)	歷年平均值為預報 值較佳之點數	長期入流量預報系 統較佳之點數 (利用實測資料)	歷年平均值為預報 值較佳之點數
第一旬	94	65(69%)	29(31%)	68(72%)	26(28%)
第二旬	94	60(64%)	34(36%)	62(66%)	32(34%)
第三旬	94	62(66%)	32(34%)	71(76%)	23(24%)

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。

本文採用之連續型降雨-逕流模式原以日為模擬時間單位，為配合水庫操作，嘗試改以旬為模擬時間單位來進行模式之率定與驗證。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—一·三·三—林—R—之經費補助及中央氣象局之長期天氣展望電子版資料於此敬表由衷感激。另外亦對中央氣象局盧孟明博士提供寶貴意見，致上萬分的謝意。

參考文獻

Bergström, S., 1976, "Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments," Report RHO 7, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden.
 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.
 Hamon, W. R., 1961, "Estimating potential evapotranspiration", *Journal of Hydraulics Division*, 87(3), pp107-120.
 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.
 Smith J. A., 1991, "Long-range streamflow forecasting using non-parametric regression", *Water Resources Bulletin*, Vol. 27, No 1, pp 39.
 楊道昌、游保杉, 1997, 「目標函數對連續型降雨-逕流模式率定之影響」, 台灣水利季刊, 第四十五卷, 第四期, 第 66-73 頁。
 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。

收稿日期：民國 92 年 1 月 8 日
 修正日期：民國 92 年 3 月 12 日
 接受日期：民國 92 年 3 月 17 日