

# 未設測站之小型集水區水庫入流量推估 — 以虎頭埤水庫為例

## Inflow Estimation of Ungauged Small Catchment Reservoir – A Case of Hu-Tou-Pei Reservoir

國立屏東科技大學

土木工程系

碩士

台灣省嘉南農田水利會管理組灌溉股

許育榮

Yu-Lung Hsu

國立屏東科技大學

土木工程系

教授

災害防救科技研究中心

主任

葉一隆\*

Yi-Lung Yeh

### 摘 要

虎頭埤水庫位於台灣台南縣，為嘉南農田水利會所管理之水庫，其規模屬中型水庫，集水區面積為 715 公頃。本水庫之集水區無雨量站及進水量監測設備，為求得降雨量與進水量的關係，以作為防洪操作之依據。本文利用設於溢洪道之雨量站，並以水庫水位與溢洪道流量來計算水庫進水量。本文以降雨量為輸入，水庫進水量為輸出，利用 2007 年 6 月至 2008 年 9 月之 13 場降雨之時雨量，以複迴歸分析建立降雨量與水庫進水量關係，以此作為水庫進水量推估模型。並為建立水庫進水量預估模式，本文利用灰色預測模式推估降雨量，再以降雨量推估水庫進水量，其分析結果顯示此法可適於集水區較小之未設測站水庫進水量推估。

**關鍵詞：**降雨量，水庫進水量，複迴歸分析，灰色預測模式，比誤差均方根。

### ABSTRACT

Hu-Tou-Pei reservoir, located in Tainan County, Taiwan, is managed by the Chia-Nan Irrigation Association. The reservoir is of medium scale and the catchment area is 715 ha. Unfortunately, there is no precipitation station and the water intake monitoring gauge in the upstream reservoir catchment area. The relationship between the amount of reservoir

\*通訊作者，國立屏東科技大學土木工程系教授兼災害防救科技研究中心主任，91201 屏東縣內埔鄉學府路 1 號，yalung@mail.npust.edu.tw

water intake and the rainfall in the catchment area is determined using rainfall records from the spillway; the spillway discharge is used to calculate the water intake. In this study, the precipitation was used as the input variable and the water intake of the reservoir was used as the output variable. The hourly rainfall data from 13 precipitation events from June, 2007 to September, 2008 were used to establish the relationship between the rainfall amount and the reservoir water intake using a multiple regression method intended to establish the reservoir water inflow forecast model. This study used the grey forecast model to estimate the amount of rainfall. The results showed that the approaches were applicable to estimate a reservoir inflow with ungauged in a small catchment area.

**Keywords:** Precipitation, Water inflow of reservoir, Multiple regression analysis, Grey forecast model, Root of mean square ratio error.

## 一、前言

氣候變遷導致降水事件之不確定性增高，亦使水資源調配及水庫調洪操作更具困難度。嘉南平原位於台灣西南部，各標的用水之水源多仰賴水庫提供，而極端降雨直接影響水庫防洪操作之困難度並影響水庫蓄水量，使原以集水區降雨及地下水滲流以增加水庫進水量，卻因急遽降雨超過水庫庫容量而溢洪，並因大量的泥砂造成水庫淤積及庫容量減少，使得水庫供水能力降低。

對於中小型集水區之水庫，其降雨條件可視為具均一性，若該水庫之集水區未設雨量站及入流量觀測站，將對水庫之調洪操作將造成困難。對於水庫操作策略之訂定一般有模擬法與優選法，目前台灣水庫操作仍以傳統的規線為主要操作準則，水庫操作規線在設計規劃階段乃是利用歷史流量以模擬法求得(朱壽銓等，2000)，但其範圍太大無法進行更精確操作，且餘有部份彈性需由操作者依經驗進行判斷。因此利用優選法進行水庫即時操作相關研究蘊育而生(徐年盛與黃敏智，2001；Chang *et al.*, 2002；張斐章等，2004；陳正炎等，2006；Chang *et al.*, 2010)。但對水庫集水區上游未設測站之水庫進水量之研究，王安培與廖珩毅(2004)利用模糊理論結合灰色理論為模糊系統模式，以求出颱風對石門水庫旬入流量之模糊隸屬度，再應用灰色系統的預測流域內旬

降雨量與旬流量間之相關度。Zammouri 與 Feki (2005)利用降雨-逕流概念模式推估水庫集水區地表逕流量，依此計算水庫之水平衡。

虎頭埤水庫位於台灣台南縣，規模屬中型水庫，迄今水庫集水區上游區域並無雨量站及進水量監測紀錄，本文欲建立集水區降雨與水庫進水量關係及水庫進水量預測模式。由於中小型水庫集水區規模不大，水庫進水量與降雨量具密切關係。因此，本文應用複迴歸分析建立集水區降雨與水庫進水量之關係，將此關係作為水庫進水量推估模式。並利用灰色預測模式推估降雨量，再以降雨量推估水庫進水量。

## 二、研究區域概述

### 2.1 地理環境

虎頭埤水庫位於台灣台南縣新化丘陵之西端，為中央山脈向西南延伸之尾閭，水庫東南方為尖山嶺，東北方為觀音山，西北方有虎頭山環繞，西南則築堤攔堵溪流蓄水(如圖 1)。本水庫之集水區水系為鹽水溪上游支流虎頭溪，水庫水源上游為茄荖坎溪(又名虎源溪)，水庫設置為灌溉標的之中型水庫，並兼具觀光價值。集水區面積 715 ha，東西寬約 4.8 km，南北約 3.4 km，全區高程在 35 m 至 150 m 之間。集水區溪流虎源溪流向由東南向西北，蓄水面積為 24 ha，滿水位高程為 37 m，防汛期滿水位高程為 36.4 m，有

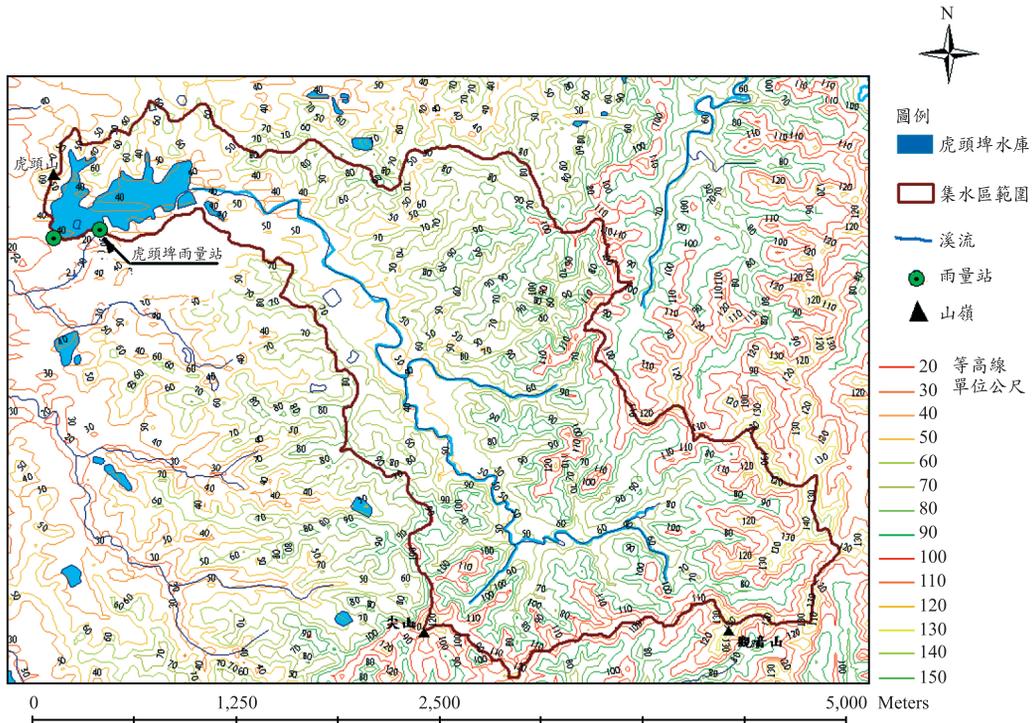


圖 1 虎頭埤水庫集水區範圍

效蓄水量約為  $1,072,531 \text{ m}^3$ 。

## 2.2 水文氣象

依據中央氣象局台南氣象測站自 1900 年至 2009 年共 110 年之氣象資料(中央氣象局台南站, 2010), 分析統計各項氣候資料如表 1。由此表可知最冷平均氣溫為 1 月份  $12.4^\circ\text{C}$ , 最高平均氣溫為 7 月份  $30.0^\circ\text{C}$ , 年平均氣溫為  $23.7^\circ\text{C}$ 。圖 2 為 1900 至 2009 年台南平均雨量圖, 由圖可知每年 6 至 9 月平均雨量較多, 以 8 月平均雨量  $405.9 \text{ mm}$  為最多, 常在本集水區引起豪雨, 平均年雨量為  $1,746.7 \text{ mm}$ 。

## 2.3 虎頭埤水庫容量分析

表 2 為虎頭埤水庫歷年容量測量紀錄, 由表可知本水庫之蓄水面積介於  $247,728 \text{ m}^2$  至  $277,231 \text{ m}^2$  之間, 而水庫之蓄水容量於 1921 年原設計為  $1,357,736 \text{ m}^3$ , 因水庫東南側之淤積嚴重造成蓄水面積縮小, 於 2000 年疏浚  $130,715 \text{ m}^3$ ,

表 1 中央氣象局台南氣象測站 1900~2009 年氣候資料統計表

月份	最高溫度( $^\circ\text{C}$ )	最低溫度( $^\circ\text{C}$ )	平均溫度( $^\circ\text{C}$ )
1	21.6	12.4	17.2
2	23.1	12.5	17.7
3	25.3	14.4	20.5
4	27.4	17.9	24.0
5	29.0	23.0	26.8
6	29.8	24.6	27.9
7	30.0	25.4	28.5
8	29.7	25.3	28.1
9	29.3	24.9	27.6
10	27.8	22.0	25.4
11	25.5	17.8	22.2
12	22.7	14.0	18.7
年平均	26.8	19.5	23.7

2007 年疏浚  $320,000 \text{ m}^3$ , 於 2007 年 5 月 25 日測量所得之水庫蓄水容量為  $1,280,410 \text{ m}^3$ 。

因灌溉取水口高程在  $30.7 \text{ m}$ , 水庫最高水位為  $37 \text{ m}$ , 所以有效蓄水量為高程  $30.7\sim 37 \text{ m}$  間之

表 2 虎頭埤水庫歷年容量測量紀錄

測量時間	蓄水面積(m <sup>2</sup> )	蓄水容量(m <sup>3</sup> )	有效蓄水量(m <sup>3</sup> )
1921年(原設計容量)	263,986	1,357,736	-
1972年 <sup>a</sup>	-	-	1,000,534
1990年 <sup>a</sup>	262,400	-	901,752
1994年2~12月 <sup>b</sup>	267,506	693,667	670,908
1998年12月 <sup>c</sup>	273,111	841,380	799,177
2007年5月25日 <sup>d</sup>	277,231	1,280,410	1,072,531

資料來源：a.台灣省嘉南農田水利會，1995a，虎頭埤水庫集水區調查治理規劃報告。

b.台灣省嘉南農田水利會，1995b，虎頭埤水庫蓄水量調查計畫研究報告，第37頁。

c.台灣省嘉南農田水利會，2007a，虎頭埤及鹽水埤水庫第二次安全評估總報告。

d.台灣省嘉南農田水利會，2007b，虎頭埤及鹽水埤水庫第三次安全評估總報告。

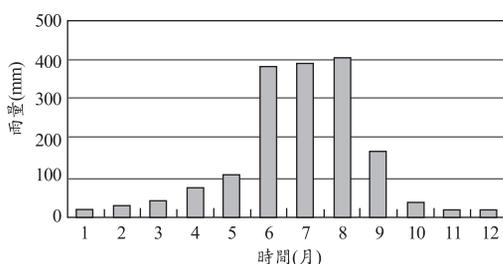


圖 2 中央氣象局台南氣象測站 1900~2009 年之平均降雨量

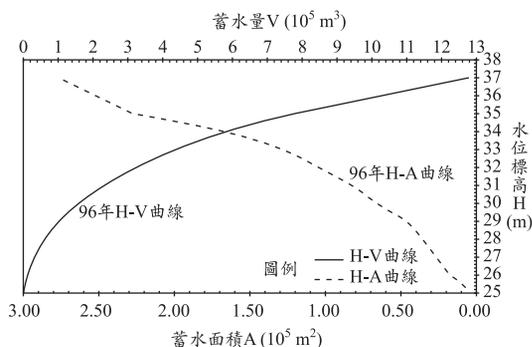


圖 3 虎頭埤水庫水位-面積-蓄水量圖(H-A-V) (台灣省嘉南農田水利會，2007b)

蓄水量。2007年測量水庫容量，主要求得水庫的水位標高-面積-容積之關係總容積、有效容量等，由測得之地形圖估算 H-A-V 曲線以分析水庫蓄水量。圖 3 為虎頭埤水庫 H-A-V 圖，因灌溉取水口高程為 30.7 m 即為呆水位，25~30.7 m 有 5.7 m 之間的水量將滯留水庫內，而 30.7~37 m 間 H-V 曲線呈現接近直線，水庫西側灌溉取水口

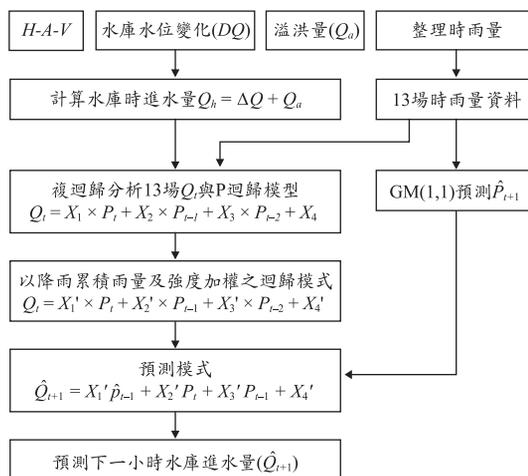


圖 4 分析流程圖

附近最低高程為 29 m，溢洪道附近最低高程在 35 m。

### 三、分析方法

#### 3.1 分析流程

水庫進水量之分析流程如圖 4 所示，其中集水區降雨與水庫進水量的關係建立，則利用設於溢洪道的雨量站所收集之降雨資料、水庫水位變化對應圖(圖 3)與溢洪道放流量來計算每小時之水庫進水量( $Q_h$ )。本文先收集 2007 年 6 月至 2008 年 9 月之 13 場降雨之時雨量，再以複迴歸分析建立降雨量與水庫進水量( $Q_t$ )之關係式，並以此關係式將時序後推 1 小時，作為水庫下 1 小時之進水量( $\hat{Q}_{t+1}$ )之預測模式。由於降雨之初，雨量

紀錄筆數較少，本文利用灰色預測模型 GM(1,1) 預估下 1 小時之降雨量( $\hat{p}_{t+1}$ )，以作為水庫進水量預估模式之輸入變量，以滿足模式預測之降雨參數。

### 3.2 水庫進水量推估

水庫時進水量( $Q_h$ )受水庫每小時蓄水量變化量( $\Delta Q$ )及溢洪道每小時放流量( $Q_a$ )之影響，其中水庫每小時蓄水量變化量( $\Delta Q$ )為水庫  $t$  時間水庫蓄水量( $Q_t$ )與水庫  $t-1$  時間之水庫蓄水量( $Q_{t-1}$ )之差值，而溢洪道每小時放流量( $Q_a$ )為溢洪道  $t$  時間放流量( $Q_{at}$ )與溢洪道  $t-1$  時間之放流量( $Q_{at-1}$ )之平均值。故虎頭埤水庫進水量之計算方式為

$$Q_h = \Delta Q + Q_a \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\Delta Q = Q_t - Q_{t-1} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_a = \frac{Q_{at} + Q_{at-1}}{2} \times 3600 \quad \dots\dots\dots(3)$$

其中

- $Q_h$  : 水庫每小時進水量(m<sup>3</sup>/hr)
- $\Delta Q$  : 水庫每小時蓄水量變化量(m<sup>3</sup>/hr)
- $Q_a$  : 溢洪道每小時放流量(m<sup>3</sup>/hr)
- $Q_t$  : 水庫於  $t$  時間水庫蓄水量(m<sup>3</sup>)
- $Q_{t-1}$  : 水庫於  $t-1$  小時之水庫蓄水量(m<sup>3</sup>)
- $Q_{at}$  : 溢洪道  $t$  時間放流量(cms)
- $Q_{at-1}$  : 溢洪道  $t-1$  小時之放流量(cms)

### 3.3 水庫進水量推估模式分析

為建立虎頭埤水庫集水區降雨逕流到水庫之進水量關係，設水庫  $t$  時間之時進水量  $Q_t$  受  $t$  時間之時雨量  $P_t$ 、前  $t-1$  小時之時雨量  $P_{t-1}$  及  $t-2$  小時之時雨量  $P_{t-2}$  影響，利用複迴歸模式建立其關係式為

$$Q_t = X_1 \times P_t + X_2 \times P_{t-1} + X_3 \times P_{t-2} + X_4 \quad \dots\dots\dots(4)$$

其中  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  及  $X_4$  為迴歸估計之係數。

因每場降雨延時與降雨強度不同，為求得式(4)中之最佳迴歸模式，本文利用式(5)與式(6)來計算降雨量及降雨強度權重百分比，最後利用式

(7)求得最佳迴歸係數。

$$R_j^* = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^n R_j} \times 100\%; j = 1, \dots, n; n = 13 \quad \dots\dots(5)$$

$$M_j^* = \frac{M_j}{\sum_{j=1}^n M_j} \times 100\%; j = 1, \dots, n; n = 13 \quad \dots\dots(6)$$

$$X_i' = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n X_{ij} \left( \frac{R_j}{\sum_{j=1}^n R_j} + \frac{M_j}{\sum_{j=1}^n M_j} \right); \quad \dots\dots(7)$$

$$i = 1, \dots, 4; n = 13$$

其中  $R_j$  為第  $j$  場累積降雨量， $R_j^*$  為雨量權重百分比。 $M_j$  為第  $j$  場最大雨量， $M_j^*$  為雨量強度權重百分比。

### 3.4 降雨量預估模式

若利用式(4)來預測水庫進水量須先預測  $t$  時間之降雨量，本文以動態灰色預測模式(章家振與吳瑞賢，2006)來建立降雨量預測關係式，但為濾除雜訊，找出動態系統之趨勢，本文將 GM(1,1) 建模所用之資料先作移動平均處理。其計算方式如下：

#### (1)數據移動平均處理

令原始雨量觀測序列為

$$x^{(0)}(t) = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad \dots\dots(8)$$

其中  $n \geq 4$

平移處理後之序列為

$$x^{(0)}(t) = \frac{x^{(0)}(t-1) + 2x^{(0)}(t) + x^{(0)}(t+1)}{4} \quad \dots\dots\dots(9)$$

對於兩端點則用下列的公式：

$$x^{(0)}(1) = \frac{3x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2)}{4} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$x^{(0)}(n) = \frac{x^{(0)}(n-1) + 3x^{(0)}(n)}{4} \quad \dots\dots\dots(11)$$

#### (2)累加生成

令移動平均處理後之序列為

$$x^{(0)}(t) = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)) \dots\dots\dots (12)$$

則其一次累加生成  $x^{(1)}$  表示為

$$x^{(1)}(t) = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(n)) \dots (13)$$

其中

$$x^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^t x^{(0)}(k) \dots\dots\dots (14)$$

(3)建立灰預測模型

利用一次累加生成所得之新序列  $x^{(1)}(t)$ ，建立 GM(1,1)模型的微分方程式為影子方程，GM(1,1)之微分方程式可表示為：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \dots\dots\dots (15)$$

(4)灰差分方程式

假設  $Z^{(1)}(k)$  為  $x^{(1)}(k)$  之背景值，取

$$z^{(1)}(k) = \frac{1}{2}(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)) \dots\dots\dots (16)$$

可將式(15)轉化成如下之灰差分方程式

$$x^{(0)}(k) + a \cdot Z^{(1)}(k) \dots\dots\dots (17)$$

(5)建立數據矩陣和求解係數向量

將式(17)展開後，整理成矩陣表示式可得

$$Y_n = B \cdot \hat{a} \dots\dots\dots (18)$$

而  $Y_n$  與  $B$  為數據矩陣， $\hat{a}$  為係數向量。

採用最小二乘法求解式(18)之係數向量，則

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \dots\dots\dots (19)$$

由式(19)可求得參數  $a$  與  $b$ 。

(6)求預測數據

由式(15)及起始條件  $\hat{x}^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$ ，可求得解析解為

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left( x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \dots\dots\dots (20)$$

再將所求得之  $a, b$  值代入式(20)後，可得一次累加生成之預測方程式。再將  $\hat{x}^{(1)}$  做累減生成還原成  $\hat{x}^{(0)}$ ，得到的預測數列為

$$\hat{x}^{(0)}(K+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \dots\dots\dots (21)$$

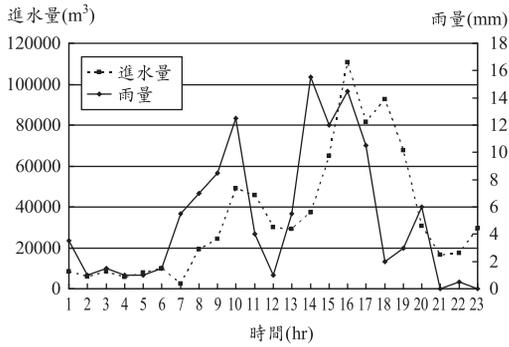
## 四、分析結果與討論

### 4.1 水庫進水量推估

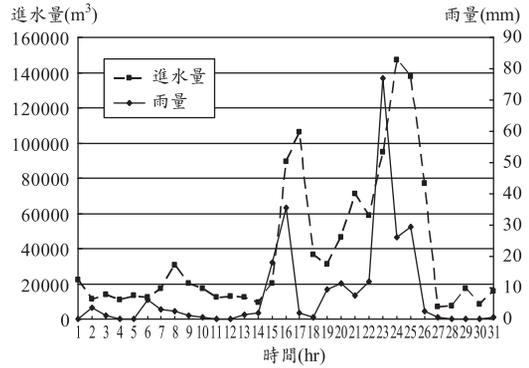
本文利用 2007 年 6 月至 2008 年 9 月之 13 場降雨之時雨量，以式(1)~式(3)可計算水庫進水量之時序值(如圖 5 所示)。由此些圖之研判可知各場降雨所產生之降雨延時、最大時降雨量、最大時進水量，並利用降雨歷線與計算所得之進水量歷線分析可知最大降雨量與水庫最大時進水量之延遲時間，各項資料彙整如表 3 所列。由表中分析可得 2007 年 8 月 19 日之最大時降雨量最大，降雨延時以 2008 年 7 月 28 日之降雨最長，

表 3 水庫進水量推估結果

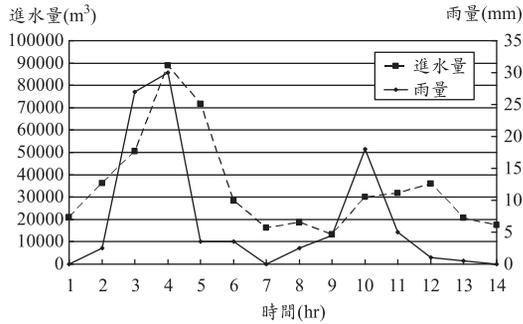
降雨編號	降雨時間	對應圖號	降雨延時(hr)	最大時降雨量(mm)	最大時進水量(m <sup>3</sup> )	進水量延遲時間(hr)
1	20070818	圖 5(a)	23	15.5	110,773	1
2	20070819	圖 5(b)	31	77.0	147,260	1
3	20070821	圖 5(c)	14	30.0	89,007	2
4	20071006	圖 5(d)	33	21.5	85,300	1
5	20080626	圖 5(e)	9	11.5	13,516	1
6	20080627	圖 5(f)	15	41.5	55,372	1
7	20080628	圖 5(g)	20	44.5	74,083	1
8	20080717	圖 5(h)	32	46.0	205,592	1~2
9	20080728	圖 5(i)	36	18.5	95,468	1
10	20080806	圖 5(j)	8	17.0	18,438	1
11	20080807	圖 5(k)	9	10.5	40,195	1
12	20080905	圖 5(l)	12	28.5	46,273	2
13	20080928	圖 5(m)	23	14.5	74,246	2



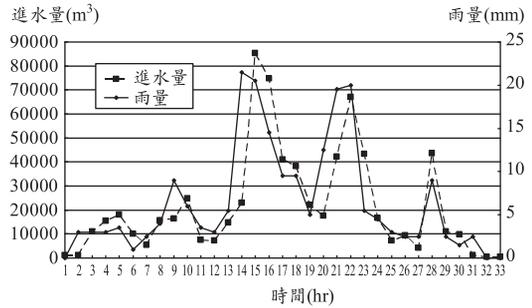
(a) 20070818 降雨量與進水量



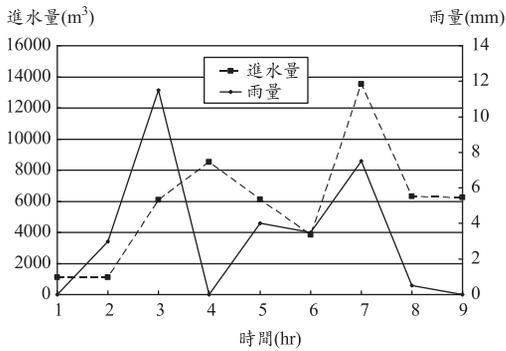
(b) 20070819 降雨量與進水量



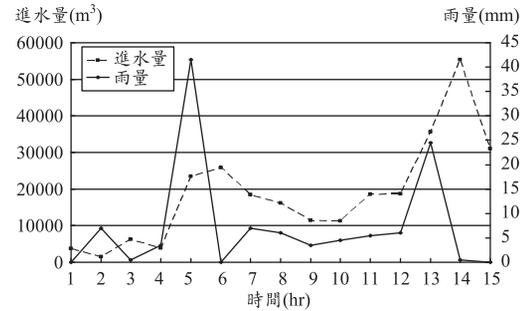
(c) 20070821 降雨量與進水量



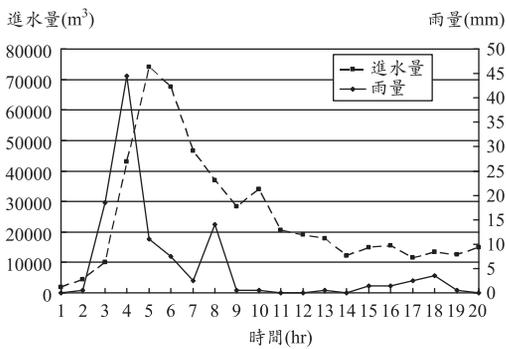
(d) 20071006 降雨量與進水量



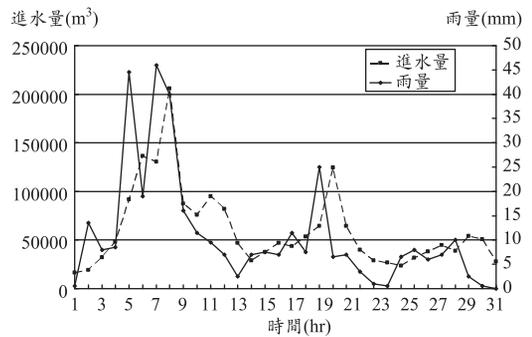
(e) 20080626 降雨量與進水量



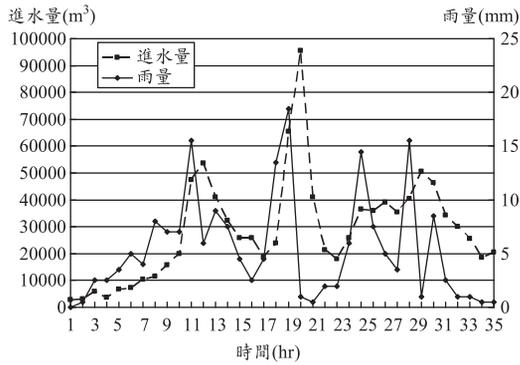
(f) 20080627 降雨量與進水量



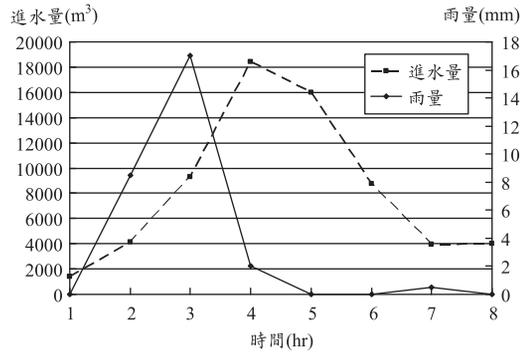
(g) 20080628 降雨量與進水量



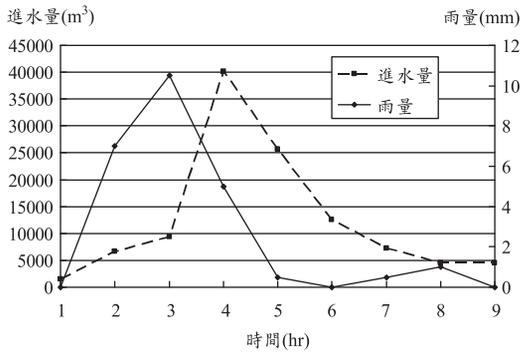
(h) 20080717 降雨量與進水量



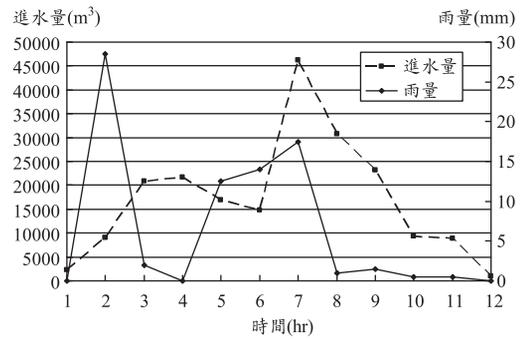
(i) 20080728 降雨量與進水量



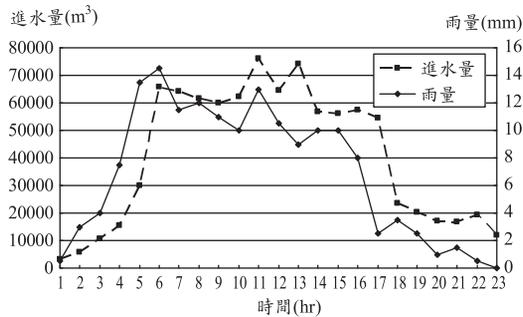
(j) 20080806 降雨量與進水量



(k) 20080807 降雨量與進水量



(l) 20080905 降雨量與進水量



(m) 20080928 降雨量與進水量

圖 5 虎頭埤水庫 2007 年 6 月至 2008 年 9 月之 13 場降雨之降雨量與水庫進水量歷線圖

但對水庫進水量以 2008 年 7 月 17 日之降雨最大。而由整體分析可知進水量之峰值發生在降雨之峰值後 1 小時居多，故虎頭埤水庫集水區降雨逕流特性洪峰將在降雨洪峰延後約 1 小時。

#### 4.2 水庫進水量推估模式分析

為建立虎頭埤水庫集水區降雨逕流到水庫之進水量預測模式，將 2007 年 6 月至 2008 年 9 月

之 13 場降雨及水庫進水量，以式(4)複迴歸分析可得 13 場降雨之迴歸參數如表 4 所列。由表 4 可知以第 13 場降雨之判定係數為最高 0.929，而第 6 場降雨之判定係數為 0.453 最低。而利用式(5)與式(6)所計算之累積降雨量及最大降雨強度權重數如表 5 所列，由式(7)求得之複迴歸參數乘上該場之權數後之降雨與進水量之參數值如表 6 所列，由表 6 可知迴歸係數  $X_1' = 1071.19$ ，

表 4 13 場降雨複迴歸分析雨量與進水量之迴歸參數

降雨編號	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$R^2$
1	1527.62	1207.76	4043.15	32.80	0.832
2	849.41	1595.78	672.39	12889.58	0.917
3	1055.94	1276.87	335.33	15697.40	0.851
4	1208.11	2321.73	-59.26	-984.19	0.864
5	499.33	589.32	523.11	526.69	0.650
6	439.52	827.02	465.54	6074.45	0.453
7	274.45	888.46	1097.73	12631.52	0.890
8	1221.16	2284.87	89.87	21051	0.816
9	465.22	2277.54	1612.73	5372.47	0.694
10	48.91	511.23	667.49	3993.58	0.928
11	-205.53	1964.27	1570.60	3587.19	0.901
12	489.24	752.56	895.01	3248.15	0.760
13	5093.67	-126.62	2925.23	2292.27	0.929

表 5 13 場累積降雨量及最大降雨強度之權重

降雨編號	$X_{1j}$	$X_{2j}$	$X_{3j}$	$X_{4j}$	累積雨量 $R_j$ (mm)	$R_j^*$ (%)	最大雨量 $M_j$ (mm)	$M_j^*$ (%)
1	1527.62	1207.76	4043.15	32.80	117.5	6.65	15.5	4.12
2	849.41	1595.78	672.39	12889.58	254	14.37	77	20.45
3	1055.94	1276.87	335.33	15697.40	98	5.54	30	7.97
4	1208.11	2321.73	-59.26	-984.19	213	12.05	21.5	5.71
5	499.33	589.32	523.11	526.69	30	1.70	11.5	3.05
6	439.52	827.02	465.54	6074.45	110	6.22	41.5	11.02
7	274.45	888.46	1097.73	12631.52	109.5	6.20	44.5	11.82
8	1221.16	2284.87	89.87	21051	351	19.86	46	12.22
9	465.22	2277.54	1612.73	5372.47	194	10.98	18.5	4.91
10	48.91	511.23	667.49	3993.58	28	1.58	17	4.52
11	-205.53	1964.27	1570.60	3587.19	24.5	1.39	10.5	2.79
12	489.24	752.56	895.01	3248.15	78	4.41	28.5	7.57
13	5093.67	-126.62	2925.23	2292.27	160	9.05	14.5	3.85

$X_2'=1441.56$ ,  $X_3'=941.56$ ,  $X_4'=9235.42$ , 故雨量與進水量之複迴歸及加權分析後如式(22)所示, 此為虎頭埤水庫之降雨量推估進水量之推估模式。

$$Q_t = 1071.19P_t + 1441.46P_{t-1} + 941.56P_{t-2} + 9235.42 \dots\dots\dots(22)$$

### 4.3 水庫進水量預估分析

若利用降雨量來預測虎頭埤水庫進水量, 須先預測  $t$  時間之降雨量。本文利用初期降雨之四

筆資料以灰色預測模式來預測降雨量後, 再利用式(22)進行入流量推估, 此推估量可作為水庫是否進行調節性洩洪之參考。

為驗證式(22)推估模式之可用性, 本文利用灰色預測模式推估前述 13 場降雨之降雨量後, 再以式(22)推估水庫進水量, 並與實際進水量比較其推估誤差。本文以相關係數(Correlation coefficient)及比誤差均方根(Root of mean square ratio error, RMSRE)來作為水庫進水量推估的評估標準, 誤差均方根計算公式如式(23)所示。

表 6 複迴歸參數乘上該場之權數後之迴歸參數

降雨編號	$X_1 \times (R+M \text{ 權重})$	$X_2 \times (R+M \text{ 權重})$	$X_3 \times (R+M \text{ 權重})$	$X_4 \times (R+M \text{ 權重})$
1	82.22	65.00	217.61	1.76
2	147.89	277.84	117.07	2244.21
3	71.34	86.26	22.65	1060.57
4	107.28	206.18	-5.26	-87.40
5	11.86	14.00	12.42	12.51
6	37.90	71.31	40.14	523.80
7	24.72	80.02	98.87	1137.75
8	195.85	366.45	14.41	3376.19
9	36.96	180.94	128.12	426.83
10	1.49	15.59	20.35	121.79
11	-4.29	41.00	32.78	74.88
12	29.31	45.08	53.62	194.60
13	328.63	-8.16	188.72	147.89
$\Sigma$	$X_1' = 1071.19$	$X_2' = 1441.56$	$X_3' = 941.56$	$X_4' = 9235.42$

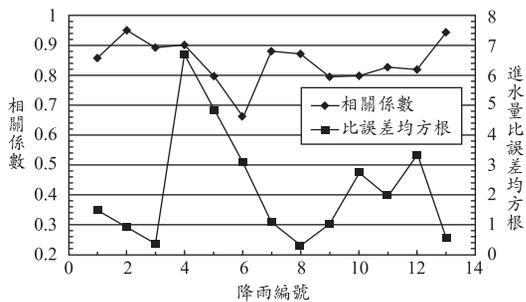


圖 6 2007 年 6 月至 2008 年 9 月計 13 場降雨之水庫進水量推估誤差評估

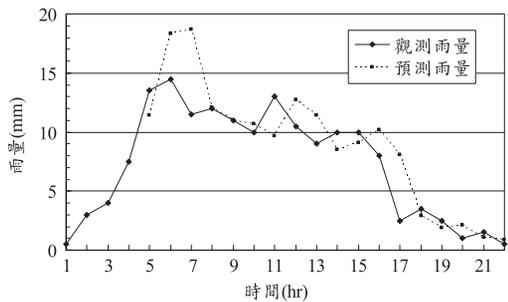


圖 7 20080928 降雨事件之動態灰色預測模式所預測之降雨量與觀測雨量比較圖

$$RMSRE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{E_i}{O_i} - 1 \right)^2} \dots\dots\dots(23)$$

其中  $E_i$  為推估進水量,  $O_i$  為實際進水量。當相關係數之絕對值越大, RMSRE 值越小時, 表示模式推估之精度越佳。由分析結果可得 13 場降雨之相關係數及比誤差均方根如圖 6 所示, 由圖 6 可知在 13 場降雨中以第 2 場降雨(20070819)之相關係數最大, 但比誤差均方根以第 8 場降雨為最小(20080717)。而各場降雨之進水量推估值與實際進水量之相關係數均大於 0.79, 比誤差均方根除第 4 場降雨為 6.69 外, 其他各場降雨均小於 5.0, 顯示本文所建立之水庫進水量推估模式可

用於虎頭埤水庫進水量推估。

另以 2008 年 7 月 17 日之降雨為例, 利用灰色理論預測之降雨量與觀測值比較如圖 7 所示, 由此圖可知在降雨初期之預測精度較差, 有高估現象, 在尖峰降雨後之預測值則較準確, 此現象於防災立場則為保守的操作方式。利用預測之降雨量預測水庫進水量與推估之進水量比較如圖 8 所示, 由圖顯示降雨初期與後期預測之進水量較準確, 中間段則低估, 此問題除水庫進水量係利用水庫蓄水深及溢洪道洩水量推估所得具有不確定性, 雨量預測值亦具不確定性, 但本文所建立之預測模式已可初步提供虎頭埤水庫進水量操作之參考。

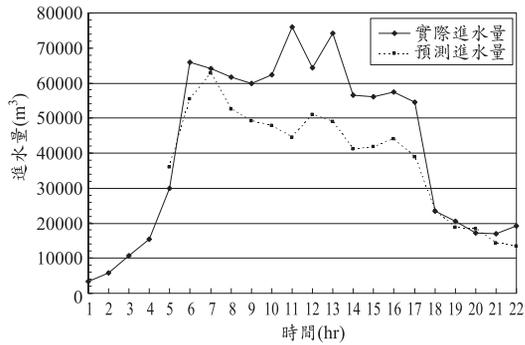


圖 8 20080928 降雨事件之水庫進水量預測與推估  
值之比較

## 五、結 論

對於集水區面積不大，進水量與降雨量具迅速直接反應之特性，可利用降雨資料預測水庫進水量。本文由降雨量與水庫進水量之關係圖可知進水量之峰值發生在降雨之峰值後約 1 小時，故虎頭埤水庫集水區降雨逕流特性延後約 1 小時。另利用灰色理論與資料平移之動態建模可建立降雨預測模式，而水庫進水量之推估模式由推估值與實際進水量之相關係數及比誤差均方根分析結果可適用，所建立模式對虎頭埤水庫於防災操作上可提供參考。

## 參考文獻

1. 朱壽銓，黃文政，黃佩貞，2000，模擬法於水庫操作規線上之應用，台灣水利，48(4): 53-63。
2. 徐年盛，黃敏智，2001，模擬退火法決定日月潭水庫最佳規線之應用，九十年農業工程研討會論文集，907-916。
3. 張斐章，張雅婷，張麗秋，2004，結合人工智慧與專家知識之智慧型水庫操作系統，農業工程學報，50(4): 14-27。
4. 陳正炎，姚嘉耀，謝馥揚，廖苑雅，2006，

運用遺傳演算法推求水庫操作規線之研究—以明德水庫為例，中華水土保持學報，37(2): 173-184。

5. Chang, F. J., S. C. Hui, and Y. C. Chen, 2002, Reservoir operation using grey fuzzy stochastic dynamic programming, Hydrological Processes, 16(12): 2395-2408.
6. Chang, L. C., F. J. Chang, K. W. Wang, and S. Y. Dai, 2010, Constrained genetic algorithms for optimizing multi-use reservoir operation, Journal of Hydrology. 390: 66-74.
7. 王安培，廖珩毅，2004，灰色系統旬入流量預測之研究，中原學報，32(1): 9-20。
8. Zammouri, M. and H. Feki, 2005, Managing releases from small upland reservoirs for downstream recharge in semi-arid basins (Northeast of Tunisia), Journal of Hydrology, 314: 125-138.
9. 中央氣象局台南站，2010，氣候統計，[http://south.cwb.gov.tw/index1.php?web=5&web\\_title=氣候統計#w5](http://south.cwb.gov.tw/index1.php?web=5&web_title=氣候統計#w5)。
10. 台灣省嘉南農田水利會，1995a，虎頭埤水庫集水區調查治理規劃報告。
11. 台灣省嘉南農田水利會，1995b，虎頭埤水庫蓄水量調查計畫研究報告，第 37 頁。
12. 台灣省嘉南農田水利會，2007a，虎頭埤及鹽水埤水庫第二次安全評估總報告。
13. 台灣省嘉南農田水利會，2007b，虎頭埤及鹽水埤水庫第三次安全評估總報告。
14. 韋家振，吳瑞賢，2006，反饋式神經網路與灰色滾動模式在暴雨預測之比較研究，第 15 屆水利工程研討會，第 D-81~D-87 頁。

收稿日期：民國 99 年 12 月 26 日

修正日期：民國 100 年 5 月 3 日

接受日期：民國 100 年 5 月 11 日