

台灣地區不同延時低流量最佳分佈之探討

The Optimal Distribution Functions of Various Duration Low Flows in Taiwan

國立成功大學水利及海洋工程學系
副教授

蕭政宗*

Jenq-Tzong Shaiu

淡江大學水資源及環境工程學系
碩士班研究生

張雅閔

Ya-Min Chang

摘 要

本研究目的為探討台灣地區各河川不同延時低流量之特性，包括不同延時低流量之機率分佈、特定延時最佳機率分佈及其在區域變化的趨勢等。本文首先蒐集台灣地區北部、中部、南部及東部區域紀錄期間超過 20 年且連續不間斷的日流量資料共 58 站，並以年最小 1 日、2 日、3 日、7 日、30 日、60 日、90 日及 180 日流量為不同延時之低流量，以 K-S 及卡方(chi-square)適合度檢定法檢定適合不同延時低流量之機率分佈，再以最小均方根誤差為標準選取各站不同延時低流量之最佳分佈，進而探討最佳分佈在不同延時及區域的變化特性。本文以五種三參數機率分佈來代表河川不同延時之低流量，分別為通用羅吉斯分佈(generalized logistic distribution, GLO)、通用極端值分佈(generalized extreme-value distribution, GEV)、三參數對數常態分佈(three-parameter lognormal distribution, LN3)、皮爾遜第III型分佈(Pearson type III distribution, PE3)及通用帕雷托分佈(generalized Pareto distribution, GPA)，經以 K-S 及卡方適合度檢定此五種分佈可適用於絕大部分台灣地區不同延時之低流量，其中 GLO、GEV 及 LN3 之通過率高達 95%以上，最適於代表台灣地區不同延時之低流量。至於台灣地區各流量站不同延時低流量最佳機率分佈則以 GLO 所佔比例較高，約有 36%~43%，其次為 PE3 及 GEV，約有 10%~29%。低流量最佳機率分佈在各區域間之趨勢並不明顯，在北、中及南區以 GLO 為最佳機率分佈所佔比例較高，在東區則較為分歧，並無一明顯高比例之機率分佈存在。

關鍵詞：低流量，機率分佈函數，線性動差。

ABSTRACT

This study aims to explore the low-flow characteristics in Taiwan, which include

*通訊作者，國立成功大學水利及海洋工程學系副教授，70101 台南市東區大學路 1 號，jtshiau@mail.ncku.edu.tw

distribution functions of low flows, the best data-fit distribution functions and the corresponding spatial patterns for various durations. A total of 58 daily streamflow records with record length exceeding 20 years are collected from Northern, Central, Southern, and Eastern regions in Taiwan. The annual minimum 1-, 2-, 3-, 7-, 30-, 60-, 90-, and 180-day flows are considered as the annual low flows for various durations. The K-S and chi-square goodness-of-fit tests are employed to detect the distribution functions unsuitable to represent low flows. The minimum root mean square error is then used as a criterion to determine the optimal distribution functions for various duration low flows. In this study, five three-parameter distribution functions, including generalized logistic distribution (GLO), generalized extreme-value distribution (GEV), three-parameter lognormal distribution (LN3), Pearson type III distribution (PE3), and generalized Pareto distribution (GPA), are adopted to fit low flows. Generally, these five distributions are suitable to represent the low flows in Taiwan regardless of durations. Over 95% of low flows for various durations in Taiwan can be accepted by the distributions of GLO, GEV, and LN3. However, no single distribution function dominates the optimal distributions function. Approximate 36~43% of streamflow gauge stations of low flows are best fitted by the GLO. The PE3 and GEV are the optimal distributions to represent low flows for another 10~29% of streamflow gauge stations. The spatial pattern for the optimal low-flow distribution functions is not significant. In Northern, Central, and Southern regions, the GLO has the highest percentage. However, no single distribution dominates the optimal low flow distribution in Eastern region.

Keywords: Low flow, Probability distribution functions, *L*-moment.

一、前言

河川流量會隨著降雨的濕、乾季節而有豐枯的變化，但有時在雨量豐沛的時期，也會因為較長時間的不降雨而使得河川處於低流量狀態。河川的低流量與高流量都是屬於完整流制(flow regime)的一部份，然而受到氣象因子如融雪、降雨分佈及水文因子如流域面積、地表覆蓋、河川坡度等因子的影響，每個流域的低流量特性均不一樣。河川低流量在評估供水系統的穩定性、規劃水庫的設計容量、管理河川的水質、維持水力發電的可靠性，甚至是健全河川的生態環境等都具有相當重要的地位，惟其較不若洪水分析般受到廣泛的重視，Kroll 及 Vogel (2002)即指出對於低流量的量測與分析迄今仍未建立標準程序。因此不論是水文分析或是水資源規劃，河川低流量是一項值得深入且全面研究的議題。

Smakhtin (2001)曾對河川低流量的產生機制、影響因素、分析方法包括流量延時曲線(flow duration curve)、頻率分析、基流分離等都有詳盡的回顧。傳統上，低流量分析會以河川流量資料所建構之流量延時曲線來推估其特性，流量延時曲線所代表的關係是大於或等於某特定流量值之時間比例，例如某河川流量站之流量延時曲線分析得知 $Q_{95}=10$ cms，即代表該站有 95%的時間其流量大於等於 10 cms。由於建立此關係曲線時需將流量資料依大小順序排列，因此並無法由所得之時間比例來推估河川低流量是否連續發生及延續的時間長度，例如前例，河川流量低於 10 cms 的 5%時間是否為連續的時段則無從得知。短時間的河川低流量可利用蓄水設施來調節供水量以減少缺水的經濟損失，但長延時的低流量則是影響供水系統水量調節關鍵性的因素，因此不論是水資源規劃或是水庫營運管理，不同延

時低流量的發生頻率是制定供水系統調配措施及緊急調度水源決策的重要因素之一，所以建立推估低流量發生頻率之不同延時低流量機率分佈即為本文之研究重點。

不同延時低流量頻率分析過去即有學者投入研究，但許多研究如 Smakhtin (2001)與 Kroll 及 Vogel (2002)均指出並無一機率分佈可廣被用於代表各地的河川低流量，因此不同地區的河川低流量均會採用適合當地特性之機率分佈來代表，例如 Nathan 及 McMahon (1990)曾以韋伯(Weibull)分佈研究奧地利南部地區 134 個集水區不同延時之低流量；但 Zaidman 等(2003)研究英國地區不同延時年最低流量的機率分佈即採用通用極端值分佈 (generalized extreme-value distribution)、通用羅吉斯分佈(generalized logistic distribution)、皮爾遜第III型分佈(Pearson type III distribution)及通用帕雷托分佈(generalized Pareto distribution)，其研究結果顯示長延時(大於 90 日)低流量以通用帕雷托及通用極端值分佈較為適合。另 Kroll 及 Vogel(2002)於研究美國 1505 處流量站之低流量記錄後指出以皮爾遜第III型分佈及三參數對數常態分佈較為適合。其他低流量相關的研究尚有未設站地點低流量特性之推估(Nathan 及 McMahon, 1992)、區域低流量模式的建立(Yu 等, 2002; Laaha 及 Blöschl, 2006)及從較短紀錄推估低流量特性(Laaha 及 Blöschl, 2005)等。

台灣地區雖然雨量豐沛，但乾溼季明顯，使得河川從每年的十一月至隔年四月有長達半年的期間屬於枯水季節，若豐水季節再因長時期雨量偏低，將會使得河川低流量時期更加延長，對於水源供應的穩定度會有不利的影響，因此了解不同延時低流量及其相對應之發生機率將可輔助制訂調節配水因應策略。台灣地區有關低流量的研究有張啓濱(1966)探討河川枯水流量之估計法，其利用鄰近測站之較長期記錄，以比流量法推估河川低流量；易和張(1982)曾研究淡水河流域的低流量特性，其建議淡水河流域連續 3、7、15 及 30 日之最小平均流量可採用對數皮爾遜第三型與極端值第三型機率分佈作為分析之用；張

及徐(1990)研究兩種推估低流量方法時指出以 Stedinger 及 Thomas 方法推估重現期十年連續七日低流量 $Q_{7,10}$ 比 Riggs 提出之方法更接近理論值；張及官(1991)建議利用基流量資料來推估新測站之低流量特性；游與劉(1998)則以台灣南部地區 33 個水文站之資料發展區域低流量延時曲線，且能應用於未設站之集水區以探討該地區之低流量特性。

本文研究目的為探討台灣地區各河川不同延時低流量之特性，包括不同延時低流量之機率分佈、特定延時最佳分佈之探討與最佳機率分佈在區域變化的趨勢等。本文首先蒐集台灣地區北部、中部、南部及東部區域紀錄期間超過 20 年且連續不間斷的日流量資料，並定義年最小 1 日、2 日、3 日、7 日、30 日、60 日、90 日及 180 日流量為低流量，其次以 K-S 及卡方(chi-square)適合度檢定法檢定適合不同延時低流量之機率分佈，再以最小均方根誤差為標準選取各站不同延時之最佳分佈，進而探討最佳分佈在不同延時及區域的變化趨勢。

二、研究方法

2.1 低流量機率分佈

本文以三參數機率分佈來代表河川不同延時之低流量，採用三參數機率分佈的主要原因在於其比二參數機率分佈更能套配到資料上，但因為參數較多亦需有較多的資料個數方能有較準確的機率分佈參數推估，為彌補此一可能的缺陷，本文採用線性動差(L-moment)來推估參數，其優點在於即使資料個數較少或是有離群值(outlier)的情況下仍能較傳統動差法精確的參數推估(Hosking, 1990)。本文以下列五種常用於水文事件頻率分析的三參數機率分佈來探討八種不同延時河川低流量的最佳機率分佈，此五種機率分佈分別為通用羅吉斯分佈(generalized logistic distribution, GLO)、通用極端值分佈(generalized extreme-value distribution, GEV)、三參數對數常態分佈(three-parameter lognormal distribution, LN3)、皮爾遜第III型分佈(Pearson type III distribution, PE3)及通用帕雷托分佈(generalized Pareto distri-

bution, GPA)，其累積分佈函數 $F(x)$ 分述如下：

1. 通用羅吉斯分佈(GLO)

$$F(x) = \frac{1}{1 + \left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]^k} \dots\dots\dots(1)$$

其中 ξ 、 α 、 k 為參數。

2. 通用極端值分佈(GEV)

$$F(x) = e^{-\left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]^k} \dots\dots\dots(2)$$

其中 ξ 、 α 、 k 為參數。

3. 三參數對數常態分佈(LN3)

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-\xi) - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(3)$$

其中 ξ 、 μ 、 σ 為參數； Φ 為標準常態分佈累積分佈函數。

4. 皮爾遜第III型分佈(PE3)

$$F(x) = G\left(\frac{x - \mu + \frac{2\sigma}{\gamma}}{\left|\frac{1}{2}\sigma\gamma\right|}, \frac{4}{\gamma^2}\right) \dots\dots\dots(4a)$$

其中 μ 、 σ 、 γ 為參數； G 為不完整 gamma 函數 (incomplete gamma function)，其定義如下：

$$G(x, \alpha) = \frac{1}{\Gamma(x)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \dots\dots\dots(4b)$$

其中 Γ 為 gamma 函數。

5. 通用帕雷托分佈(GPA)

$$F(x) = 1 - \left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]^k \dots\dots\dots(5)$$

其中 ξ 、 α 、 k 為參數。

2.2 線性動差(L-moments)

參數推估在頻率分析中是相當重要的步驟，傳統上常見的推估方法有動差法(method of moments)與最大概似法(method of maximum likelihood)，但 Greenwood 等在 1979 年定義機率權重動差(probability-weighted moments)及 Hosking

於 1990 年提出線性動差(L-moments)後，許多研究顯示線性動差可以減小推估值的偏差，彌補動差法於高階動差參數推估值的不精確。Hosking (1990)定義線性動差為機率權重動差的線性組合，其關係如下：

$$\lambda_{r+1} = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* \beta_k, \quad r=0, 1, 2, \dots \dots\dots(6)$$

其中 λ_{r+1} 為第 $r+1$ 階之線性動差； β_k 為第 k 階之機率權重動差，其可利用由小而大排序之觀測值 x_j 來推估，亦即 β_k 可利用下式推估：

$$\beta_k = \frac{1}{n} \sum_{j=k+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-k)}{(n-1)(n-2)\dots(n-k)} x_j, \quad k=0, 1, 2, \dots, n-1 \dots\dots\dots(7)$$

(6)式中的 $p_{r,k}^*$ 為線性組合的係數，定義為：

$$p_{r,k}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \dots\dots\dots(8)$$

依據前述之定義，常用之前四階線性動差與機率權重動差之關係可表為：

$$\lambda_1 = \beta_0 \dots\dots\dots(9a)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \dots\dots\dots(9b)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \dots\dots\dots(9c)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \dots\dots\dots(9d)$$

各階線性動差所代表之意義為 λ_1 代表樣本之平均值、 λ_2 代表樣本之分散度(dispersion)、 λ_3 代表樣本之對稱性、 λ_4 代表樣本之峰度值。Hosking (1990)另定義線性動差比(L-moment ratio)為：

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \quad \tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2}, \quad r=3, 4, \dots\dots\dots(10)$$

其中 τ_r 為第 r 階之線性動差比。

常用的線性動差比之意義說明如下： $\tau = \lambda_2 / \lambda_1$ 可視為線性動差中之變異係數，以 $L-CV$ 來代表； $\tau_3 = \lambda_3 / \lambda_2$ 為量度偏度(skewness)的指標，稱為線性偏度(L-skewness)； $\tau_4 = \lambda_4 / \lambda_2$

為量度峰度(kurtosis)的指標，稱為線性峰度(L-kurtosis)。

2.3 以線性動差推估機率分佈參數

為避免因資料個數少導致參數推估不精確，前節所述五種機率分佈之參數將以線性動差法來推估(Hosking, 1990; Hosking 及 Wallis, 1997)，分述如下：

1. 通用羅吉斯分佈(GLO)

線性動差及線性動差比與機率分佈參數間之關係可表為：

$$\lambda_1 = \xi + \frac{\alpha}{k} [1 - \Gamma(1+k)\Gamma(1-k)] \dots\dots\dots (11a)$$

$$\lambda_2 = \alpha\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) \dots\dots\dots (11b)$$

$$\tau_3 = -k \dots\dots\dots (11c)$$

因此參數 ξ 、 α 、 k 可直接利用 λ_1 、 λ_2 及 τ_3 求出，如下所示：

$$k = -\tau_3 \dots\dots\dots (12a)$$

$$\alpha = \frac{\lambda_2}{\Gamma(1+k)\Gamma(1-k)} \dots\dots\dots (12b)$$

$$\xi = \lambda_1 + \frac{\lambda_2 - \alpha}{k} \dots\dots\dots (12c)$$

其中 Γ 為 gamma 函數。

2. 通用極端值分佈(GEV)

線性動差及線性動差比與機率分佈參數間之關係可表為：

$$\lambda_1 = \xi + \frac{\alpha[1 - \Gamma(1+k)]}{k} \dots\dots\dots (13a)$$

$$\lambda_2 = \frac{\alpha(1-2^{-k})\Gamma(1+k)}{k} \dots\dots\dots (13b)$$

$$\tau_3 = \frac{2(1-3^{-k})}{(1-2^{-k})} - 3 \dots\dots\dots (13c)$$

(13a)式至(13c)式中的參數 ξ 、 α 、 k 並不容易利用 λ_1 、 λ_2 及 τ_3 表示，但以下式近似推估：

$$k \approx 7.8590z + 2.9554z^2, \quad z = \frac{2}{3 + \tau_3} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \dots\dots\dots (14a)$$

$$\alpha = \frac{\lambda_2 k}{(1-2^{-k})\Gamma(1+k)} \dots\dots\dots (14b)$$

$$\xi = \lambda_1 + \frac{\alpha[\Gamma(1+k)-1]}{k} \dots\dots\dots (14c)$$

3. 三參數對數常態分佈(LN3)

線性動差及線性動差比與機率分佈參數間之關係可表為：

$$\lambda_1 = \xi + e^{\frac{\mu + \sigma^2}{2}} \dots\dots\dots (15a)$$

$$\lambda_2 = e^{\frac{\mu + \sigma^2}{2}} \operatorname{erf}\left(\frac{\sigma}{2}\right) \dots\dots\dots (15b)$$

$$\tau_3 = \frac{6}{\sqrt{\pi} \operatorname{erf}\left(\frac{\sigma}{2}\right)} \int_0^{\frac{\sigma}{\sqrt{3}}} \operatorname{erf}\left(-\frac{x}{\sqrt{3}}\right) e^{-x^2} dx \dots\dots\dots (15c)$$

其中 erf 為誤差函數(error function)，定義為：

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \dots\dots\dots (15d)$$

利用上述三式並不容易直接求出參數，但可以以下式近似推估：

$$\sigma \approx 0.999281z - 0.006118z^2 + 0.000127z^5,$$

$$z = \sqrt{\frac{8}{3}} \Phi^{-1}\left(\frac{1 + \tau_3}{2}\right) \dots\dots\dots (16a)$$

$$\mu = \ln\left[\frac{\lambda_2}{\operatorname{erf}\left(\frac{\sigma}{2}\right)}\right] - \frac{\sigma^2}{2} \dots\dots\dots (16b)$$

$$\xi = \lambda_1 - e^{\frac{\mu + \sigma^2}{2}} \dots\dots\dots (16c)$$

其中 Φ^{-1} 為標準常態分佈累積分佈函數之反函數。

4. 皮爾遜第 III 型分佈(PE3)

線性動差及線性動差比可表為：

$$\lambda_1 = \xi + \alpha\beta \quad \dots\dots\dots(17a)$$

$$\lambda_2 = \frac{\beta\Gamma\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)}{\sqrt{\pi}\Gamma(\alpha)} \quad \dots\dots\dots(17b)$$

$$\tau_3 = 6I_{1/3}(\alpha, 2\alpha) - 3 \quad \dots\dots\dots(17c)$$

其中 $I_x(p, q)$ 為不完整 beta 函數(incomplete beta function)，定義如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{1 + 0.2906z}{z + 0.1882z^2 + 0.0422z^3}, \quad z = 3\pi\tau_3^2, \quad \text{當 } 0 < |\tau_3| < \frac{1}{3} \\ \alpha = \frac{0.36067z - 0.59567z^2 + 0.25361z^3}{1 - 2.78861z + 2.56096z^2 - 0.77045z^3}, \quad z = 1 - |\tau_3|, \quad \text{當 } \frac{1}{3} \leq |\tau_3| < 1 \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots(18a)$$

$$\mu = \lambda_1 \quad \dots\dots\dots(18b)$$

$$\sigma = \frac{\lambda_2 \sqrt{\pi\alpha}\Gamma(\alpha)}{\Gamma\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)} \quad \dots\dots\dots(18c)$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\alpha}} \sin(\tau_3) \quad \dots\dots\dots(18d)$$

5. 通用帕雷托分佈(GPA)

線性動差及線性動差比與機率分佈參數間之關係可表為：

$$\lambda_1 = \xi + \frac{\alpha}{1+k} \quad \dots\dots\dots(19a)$$

$$\lambda_2 = \frac{\alpha}{(1+k)(2+k)} \quad \dots\dots\dots(19b)$$

$$\tau_3 = \frac{1-k}{3+k} \quad \dots\dots\dots(19c)$$

因此參數可直接利用 λ_1 、 λ_2 及 τ_3 推求，如下所示：

$$k = \frac{1-3\tau_3}{1+\tau_3} \quad \dots\dots\dots(20a)$$

$$\alpha = (1+k)(2+k)\lambda_2 \quad \dots\dots\dots(20b)$$

$$\xi = \lambda_1 - (2+k)\lambda_2 \quad \dots\dots\dots(20c)$$

2.4 適合度檢定

本文以二種適合度檢定法，包括 K-S

$$I_x(p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^x t^{p-1}(1-t)^{q-1} dt \dots\dots(17d)$$

上述三式中 ξ 、 α 、 β 與參數 μ 、 σ 、 γ 間之關係為：

$$\alpha = \frac{4}{\gamma^2}, \quad \beta = \frac{1}{2}\sigma\gamma, \quad \xi = \mu - \frac{2\sigma}{\gamma} \quad \dots\dots\dots(17e)$$

參數並不容易直接由線性動差及線性動差比來推估，一般以下式近似推估之：

(Kolmogorov-Smirnov)及卡方(chi-square)適合度檢定法，檢定前述五種三參數機率分佈是否適於代表台灣地區不同延時之低流量，分述如下。K-S 檢定法之統計量為理論累積分佈與樣本累積分佈最大差值之絕對值，如下所示：

$$D_n = \text{Max}_{\text{all } x} |F_n(x) - F_0(x)| \quad \dots\dots\dots(21)$$

其中 n 為樣本數； $F_n(x)$ 為樣本之累積分佈； $F_0(x)$ 為理論累積分佈。

在樣本數為 n 及顯著水準(significant level)為 α 的條件下，若 $D_n > D_{(n, \alpha)}$ 時，則否決理論分佈可用來代表觀測樣本的假設，不同樣本數 n 及顯著水準 α 的 $D_{(n, \alpha)}$ 值請參閱 Kottegoda 及 Rosso (1997)。

卡方適合度檢定法之統計量為：

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \dots\dots\dots(22)$$

其中 O_i 為第 i 組觀測個數； E_i 為特定機率分佈在第 i 組之預期發生個數； k 為資料分組數。

判斷特定機率分佈是否適於代表觀測資料的標準為 $\chi_{\alpha, f}^2$ ，其中 α 為顯著水準； f 為自由度，定義為 $k-p-1$ ， p 為參數個數。若理論分佈可用於代表觀測資料，則統計量 χ^2 應小於 $\chi_{\alpha, f}^2$ ，反之則否。相關之 $\chi_{\alpha, f}^2$ 值請參閱 Kottegoda 及 Rosso(1997)。

三、低流量資料

本文依據台灣地區北部、中部、南部及東部區域的範圍，分區蒐集各流量站之日流量記錄，並以年最小不同日數之平均流量代表各站不同延時之低流量，以建立各站不同延時低流量之機率分佈。為求有較精確的推估，本文蒐集流量紀錄的標準為日流量記錄需不間斷且連續達 20 年以上，符合此要求之流量站在北區有 17 站、中區有 19 站、南區有 10 站、東區有 12 站，總計台灣地區共計選取有 58 站。各流量站之基本資料，包括所屬區域、站名、站號、所屬流域及河川、集水面積、高程、記錄年份及統計年數均列於表 1，各流量站相關位置如圖 1 所示。

各區域流量站記錄年限長短不一，介於 20 年至 57 年間，平均紀錄年數為 35 年。各站之集水面積由於各流量站所在位置及河川大小的差異亦有很大的差別，本文所分析的 58 站中以位於北區蘭陽溪流域古魯站(2560H018)的集水面積 10.7 km²為最小，而位於中區烏溪下游之大肚橋

站(1430H025)之集水面積則高達 1980.7 km²，為 58 站中之最大者。

本文以各站日流量記錄年最小不同日數之平均流量為不同延時之低流量，所考慮的延時有 1、2、3、7、30、60、90 及 180 日，共有八種不同延時，各站在記錄期限內之不同延時低流量統計特性以平均值為代表，列於表 2。由表列數據可知，延時愈短，低流量之平均值愈小，各站不同延時之低流量平均值差異甚大，主要原因為各站之集水面積有很大的差距。延時 1、2、3 日之最小平均值發生在南區軍輝橋(1580H007)及左鎮(1630H013)，僅有 0.03 cms；延時 7、30、60、90 日之最小平均值亦發生在南區軍輝橋(1580H007)；而延時 1、2、3、7、30、60、90 日之最大平均值發生在東區花蓮大橋(2420H024)。在延時 180 日時，北區古魯站(2560H018)的低流量平均值只有 0.83 cms，為所有測站最小者；而中區大肚橋站(1430H025)之平均值高達 89.58 cms，為本文所蒐集 58 流量站中之最大者。

表 1 北、中、南、東各區域流量站基本資料

區域	站名	站號	流域	河川名稱	集水面積 (km ²)	高程 (m)	記錄年份	統計年數
北區	玉峰	1140H001	淡水河	大漢溪	335.3	688	1957~2003	47
	稜角	1140H002	淡水河	大漢溪	107.8	525	1957~2003	47
	福山	1140H010	淡水河	南勢溪	106.4	352	1953~2003	51
	秀巒	1140H041	淡水河	大漢溪	115.9	827	1957~2003	47
	高義	1140H043	淡水河	大漢溪	542.0	438	1957~2003	47
	三峽(2)	1140H048	淡水河	三峽河	125.3	30	1957~2002	46
	霞雲	1140H054	淡水河	大漢溪	622.8	249	1963~2003	41
	五堵	1140H058	淡水河	基隆河	204.4	3	1966~1999	34
	介壽橋	1140H078	淡水河	基隆河	94.8	43	1981~2000	20
	新埔(2)	1290H002	鳳山溪	鳳山溪	208.1	42	1970~2004	35
	內灣	1300H013	頭前溪	油羅溪	139.1	249	1971~2004	34
	上坪	1300H014	頭前溪	上坪溪	221.7	211	1971~2004	34
	竹林大橋	1300H016	頭前溪	頭前溪	441.4	101	1980~2004	25
	山腳	2510H001	南澳溪	南澳溪	36.8	773	1959~2000	42
	蘭陽大橋	2560H006	蘭陽溪	蘭陽溪	820.7	2	1950~2000	51
	家源橋	2560H017	蘭陽溪	蘭陽溪	273.5	366	1975~2000	26
	古魯	2560H018	蘭陽溪	番子溪	10.7	227	1980~2005	26

表 1 (續) 北、中、南、東各區域流量站基本資料

區域	站名	站號	流域	河川名稱	集水面積 (km ²)	高程 (m)	記錄年份	統計 年數
中區	平安橋	1340H008	中港溪	中港溪	218.1	26	1985~2004	20
	打鹿坑	1350H001	後龍溪	後龍溪	247.3	173	1956~2005	50
	義里	1400H009	大安溪	大安溪	633.2	189	1967~2002	36
	卓蘭	1400H011	大安溪	大安溪	599.3	325	1973~2004	32
	雪山坑	1400H012	大安溪	雪山坑溪	45.3	598	1976~2003	28
	南湖	1420H014	大甲溪	南湖溪	125.7	1468	1959~1989	31
	環山合流點	1420H015	大甲溪	大甲溪	257.9	1444	1959~2002	44
	四季朗	1420H016	大甲溪	四季朗溪	156.5	1451	1959~2002	44
	七家灣	1420H034	大甲溪	伊卡九溪	110.7	1629	1967~2005	39
	松茂	1420H035	大甲溪	大甲溪	417.1	1434	1971~2005	35
	大肚橋	1430H025	烏溪	烏溪	1980.7	10	1966~2003	38
	南北通橋	1430H032	烏溪	北港溪	408.0	334	1976~2004	29
	觀音橋	1430H037	烏溪	南港溪	338.0	379	1981~2003	23
	南崗大橋	1430H038	烏溪	貓羅溪	253.6	75	1984~2004	21
武界(2)	1510H007	濁水溪	濁水溪	501.3	820	1935~1991	57	
中區	青雲	1510H011	濁水溪	濁水溪	1526.3	364	1977~2000	24
	桶頭(2)	1510H024	濁水溪	清水溪	259.2	235	1956~2005	50
	內茅埔	1510H049	濁水溪	陳有蘭溪	367.4	475	1972~2000	29
	北港(2)	1540H009	北港溪	北港溪	597.5	3	1972~1996	25
南區	觸口	1580H001	八掌溪	八掌溪	83.2	221	1968~2000	33
	義竹	1580H005	八掌溪	八掌溪	441.0	3	1974~2000	27
	軍輝橋	1580H007	八掌溪	八掌溪	122.3	21	1972~1996	25
	新營	1590H012	急水溪	急水溪	226.7	5	1964~2000	37
	左鎮	1630H013	曾文溪	菜寮溪	121.3	14	1972~1996	25
	荖濃	1730H031	高屏溪	高屏溪	812.0	295	1959~2005	47
	三地門	1730H036	高屏溪	隘寮溪	408.5	105	1964~2000	37
	六龜	1730H039	高屏溪	荖濃溪	853.0	229	1982~2004	23
	潮州	1740H002	東港溪	東港溪	175.3	5	1965~2005	41
新埤	1760H004	林邊溪	林邊溪	309.9	4	1981~2005	25	
東區	知本(3)	2170H001	知本溪	知本溪	166.0	54	1979~2003	25
	延平	2200H007	卑南溪	鹿野溪	476.2	151	1957~2005	49
	台東大橋	2200H011	卑南溪	卑南溪	1584.3	25	1949~2002	54
	新武呂(4)	2200H020	卑南溪	新武呂溪	638.8	316	1979~2005	27
	卓樂橋	2370H004	秀姑巒溪	樂樂溪	456.3	194	1985~2004	20
	立山	2370H016	秀姑巒溪	豐坪溪	249.4	171	1959~2005	47
	瑞穗大橋	2370H017	秀姑巒溪	秀姑巒溪	1538.8	63	1970~2005	36
	玉里大橋	2370H018	秀姑巒溪	秀姑巒溪	1008.4	125	1980~2005	26
	仁壽橋	2420H019	花蓮溪	木瓜溪	425.9	119	1960~2004	45
	花蓮大橋	2420H024	花蓮溪	花蓮溪	1506.0	5	1970~2005	36
	馬鞍溪橋	2420H036	花蓮溪	馬鞍溪	136.5	166	1980~2003	24
希能埔	2500H003	和平溪	和平溪	553.0	28	1975~2000	26	



圖 1 各區域流量站相關位置圖

表 2 北、中、南、東各區域各站不同延時低流量平均值

區域	站名	低流量平均值 (cms)							
		1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
北區	玉峰	3.14	3.20	3.24	3.36	3.96	5.06	5.54	11.21
	稜角	1.60	1.65	1.68	1.78	2.11	2.49	2.83	4.15
	福山	3.99	4.04	4.10	4.30	5.27	6.75	7.85	10.73
	秀巒	0.78	0.79	0.80	0.83	1.02	1.42	2.01	4.01
	高義	5.63	5.77	5.82	6.07	7.12	8.92	11.25	18.13
	三峽(2)	0.78	0.84	0.88	1.01	1.64	2.65	3.87	6.60
	霞雲	5.12	5.67	5.91	6.42	7.88	10.11	13.10	22.12
	五堵	0.39	0.40	0.44	0.52	1.47	4.08	7.61	12.89
	介壽橋	0.39	0.42	0.43	0.49	0.99	2.69	4.48	7.07
	新埔(2)	0.29	0.31	0.32	0.37	0.83	1.42	2.43	6.45
	內灣	1.03	1.06	1.09	1.18	1.44	2.01	2.96	6.66
	上坪	1.78	1.80	1.82	1.90	2.39	3.27	4.97	10.41
	竹林大橋	1.02	0.06	1.09	1.29	2.29	4.28	5.91	18.87
	山腳	1.12	1.14	1.16	1.21	1.39	1.67	1.93	2.72
	蘭陽大橋	8.92	9.35	9.66	10.55	13.86	38.78	20.82	30.81
	家源橋	2.68	2.84	2.98	3.42	4.88	5.95	6.82	9.35
古魯	0.25	0.26	0.26	0.28	0.37	0.50	0.62	0.83	
中區	平安橋	0.19	0.20	0.22	0.27	0.42	0.78	1.91	8.37
	打鹿坑	0.89	0.91	0.92	0.97	1.27	1.87	2.60	9.70
	義里	0.74	0.75	0.76	0.80	1.32	2.78	4.49	21.22
	卓蘭	2.48	2.51	2.58	2.72	3.84	5.59	8.35	24.92
	雪山坑	0.50	0.52	0.53	0.55	0.63	0.79	1.07	2.86
	南湖	1.14	1.15	1.16	1.19	1.39	1.73	2.33	4.49
	環山合流點	2.50	2.51	2.53	2.59	3.06	4.08	5.53	11.09
	四季朗	1.88	1.89	1.91	1.96	2.26	2.89	3.66	6.66
	七家灣	1.21	1.22	1.23	1.27	1.48	1.94	2.49	4.25
	松茂	5.06	5.18	5.21	5.34	6.19	8.52	11.21	20.30
	大肚橋	20.84	21.22	21.56	22.50	27.24	33.79	39.26	89.58
	南北通橋	3.43	3.46	3.50	3.66	4.49	5.82	7.52	18.23
	觀音橋	4.11	4.15	4.25	4.51	5.52	6.69	7.58	14.40
	南崗大橋	1.32	1.40	1.47	1.66	2.23	2.82	3.45	8.80
武界(2)	3.80	4.00	4.10	4.97	7.61	10.04	13.50	28.96	
青雲	13.84	14.06	14.27	14.74	16.25	19.87	22.18	45.45	
中區	桶頭(2)	1.02	1.06	1.08	1.14	1.39	1.75	2.29	11.97
	內茅埔	2.92	2.98	3.07	3.31	4.11	5.18	6.09	15.88
	北港(2)	1.43	1.55	1.61	1.79	3.07	4.11	4.94	16.52
南區	觸口	0.30	0.33	0.34	0.36	0.52	0.64	0.84	4.13
	義竹	0.88	0.94	1.02	1.23	1.87	2.74	3.83	12.91
	軍輝橋	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.10	0.13	3.85
	新營	0.21	0.24	0.27	0.33	0.55	0.77	1.26	4.99
	左鎮	0.03	0.03	0.03	0.04	0.08	0.12	0.17	3.16
	荖濃	7.97	8.10	8.21	8.56	10.48	12.28	15.19	47.63
	三地門	0.54	0.57	0.60	0.71	0.91	1.13	1.55	18.84
	六龜	0.67	0.69	0.70	0.75	1.25	3.06	5.46	32.00
	潮州	1.69	1.70	1.72	1.78	2.07	2.44	2.68	8.39
新埤	0.40	0.41	0.42	0.44	0.55	0.69	0.80	11.06	

表 2 (續) 北、中、南、東各區域各站不同延時低流量平均值

區域	站名	低流量平均值 (cms)							
		1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
東區	知本(3)	0.79	0.79	0.79	0.83	1.08	1.46	1.90	6.23
	延平	4.49	4.56	4.62	4.90	5.95	6.97	7.90	18.90
	台東大橋	6.07	6.14	6.22	6.54	8.73	11.73	14.22	44.54
	新武呂(4)	7.98	8.03	8.07	8.37	9.52	11.05	12.84	26.95
	卓樂橋	3.98	4.04	4.13	4.36	5.36	6.24	6.79	11.26
	立山	4.80	4.94	5.04	5.35	6.26	6.98	7.62	10.72
	瑞穗大橋	24.01	24.28	24.60	25.60	30.16	33.83	36.61	55.16
	玉里大橋	5.37	5.48	5.59	5.94	8.05	10.05	11.23	22.22
	仁壽橋	2.65	2.69	2.73	2.86	3.54	4.62	5.66	10.58
	花蓮大橋	27.51	28.02	28.46	29.83	34.66	41.08	45.33	61.46
	馬鞍溪橋	2.83	2.90	3.01	3.27	4.06	4.78	5.39	7.66
	希能埔	6.96	7.05	7.23	7.84	10.07	12.59	14.44	21.85

表 3 各機率分佈在不同延時低流量通過 K-S 及卡方檢定之站數及百分比

		K-S 檢定							
機率分佈		1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
GLO	站數	58	57	57	57	58	58	58	58
	百分比	100	98	98	98	100	100	100	100
GEV	站數	58	57	58	58	57	57	57	58
	百分比	100	98	100	100	98	98	98	100
LN3	站數	58	58	57	58	58	58	58	58
	百分比	100	100	98	100	100	100	100	100
PE3	站數	48	55	53	54	56	53	54	56
	百分比	83	95	91	93	97	91	93	97
GPA	站數	47	49	50	42	45	43	46	53
	百分比	81	84	86	72	78	74	79	91
		卡方檢定							
機率分佈		1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
GLO	站數	58	57	55	56	58	57	58	58
	百分比	100	98	95	97	100	98	100	100
GEV	站數	57	56	56	58	58	56	58	58
	百分比	98	97	97	100	100	97	100	100
LN3	站數	58	56	55	58	56	58	56	57
	百分比	100	97	95	100	97	100	97	98
PE3	站數	51	56	53	53	55	57	57	56
	百分比	88	97	91	91	95	98	98	97
GPA	站數	52	51	52	48	54	53	55	55
	百分比	90	88	90	83	93	91	95	95

四、結果與討論

4.1 不同延時低流量最佳機率分佈

以前述五種三參數機率分佈探討適於代表

八種不同延時的河川低流量，經以 K-S 及卡方適合度檢定法在顯著水準為 5% 的條件下檢定，表 3 所列為各機率分佈在 58 站不同延時低流量通過 K-S 及卡方檢定之站數及百分比，綜合此二種檢

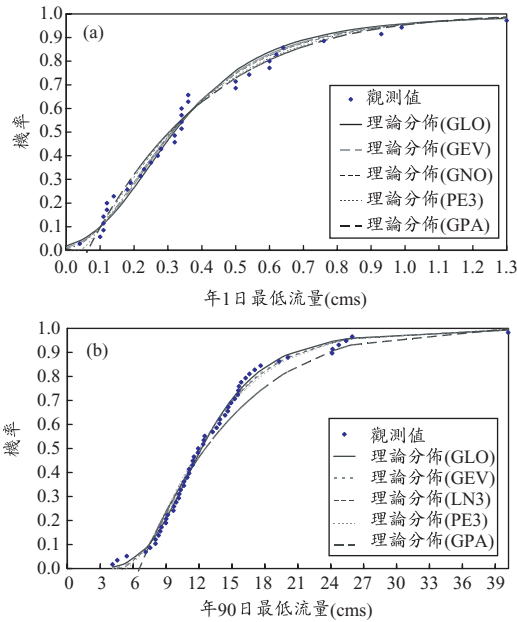


圖 2 (a)北區五堵站(1140H058) 1 日延時及(b)中區武界(2)站(1510H007) 90 日延時觀測值累積分佈與理論累積分佈比較圖

定的結果，以 GLO、GEV 及 LN3 通過率最高，均高於 95%，其中 GLO 在 1 日、30 日、90 日及 180 日延時低流量各站均通過檢定，GEV 則在 7 日及 180 日延時低流量全數通過檢定，LN3 在 1 日、7 日及 60 日延時低流量全數通過檢定。至於 PE3 的通過率則介於 83%(48 站)至 98%(57 站)之間，GPA 的通過率較低，但也在 72%(42 站)以上。就不同延時低流量而言，180 日延時低流量可以此五種三參數分佈來代表的比例最高，其最低通過率有 91%，而 7 日延時低流量最低通過率較低，為 72%，其他延時低流量最低通過率約為 80%。

如圖 2(a)所示為北區淡水河流域五堵站(1140H058)在 1 日延時低流量觀測值累積分佈與五種理論機率分佈之比較圖，五種三參數分佈間之差異並不大，且都可通過 K-S 及卡方適合度檢定；圖 2(b)為中區濁水溪流域的武界(2)站(1510H007)在延時為 90 日之低流量觀測值累積分佈與五種理論機率分佈之比較，其中 GLO、GEV、LN3、PE3 四種分佈可通過 K-S 適合度檢

定，只有 GPA 未通過 K-S 適合度檢定。整體而言，此五種三參數機率分佈可適用於大部分流量站不同延時之低流量，但以 GLO、GEV 及 LN3 最適於代表台灣地區不同延時之低流量。

為有一最佳分佈以代表不同延時之低流量，本文以理論累積分佈與樣本累積分佈間之均方根誤差(root mean square error, RMSE)為判斷標準，定義如下：

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_n(x_i) - F_0(x_i)|^2 \right)^{1/2} \dots\dots (23)$$

其中 n 為資料個數； x_i 為觀測值； F_n 及 F_0 分別代表樣本及理論之累積分佈。

本文以通過檢定之五種理論分佈與觀測值累積分佈間之最小均方根誤差為最佳機率分佈，則北、中、南、東區各站不同延時低流量之最佳機率分佈列於表 4，如前例，五堵站及武界(2)站之最佳分佈分別為 LN3 及 GLO，亦示於圖 2。各區域及台灣地區不同延時低流量最佳分佈統計站數如表 5 所列，在不分區的情況下，不論延時長短，以 GLO 為最佳分佈的站數所佔比例最高，且不同延時間差異不大，約在 38%(22 站)~45%(26 站)之間；最佳分佈次高比例為 PE3 及 GEV，約在 10%(6 站)~29%(17 站)之間，而以 GPA 與 LN3 為最佳分佈的站數所佔比例最低，約在 5%(3 站)~16%(9 站)之間。與各機率分佈通過率結果相比較，GLO 與 GPA 較為一致，GLO 之通過率與最佳分佈之比例均為最高，而 GPA 之通過率及最佳分佈比例均為最低；LN3 較不一致，其通過率甚高，但被接受為最佳分佈之比例卻甚低。

4.2 低流量最佳分佈之區域變化特性

各區域各站不同延時低流量最佳機率分佈之區域分佈如圖 3 所示，不同延時低流量最佳機率分佈在空間分佈上並未有明顯的趨勢存在，在北、中、南區中不同延時低流量最佳機率分佈以 GLO 所佔比例較高，但並非絕對多數，以北區為例，GLO 為最佳機率分佈在不同延時所佔站數比例約在 35%~47%之間，在延時大於 7 日之低流

表 4 北、中、南、東區各站不同延時低流量之最佳機率分佈

區域	站名	最佳機率分佈							
		1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
北區	玉峰	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3	PE3	PE3	GLO
	稜角	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	LN3
	福山	LN3	GEV	LN3	GLO	GEV	PE3	GEV	PE3
	秀巒	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3	GEV	GEV
	高義	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	LN3	GLO
	三峡(2)	GEV	GEV	GEV	GEV	GEV	PE3	GEV	GLO
	霞雲	GEV	GLO	LN3	GEV	GEV	PE3	PE3	GEV
	五堵	LN3	GPA	PE3	PE3	GEV	GLO	GLO	GLO
	介壽橋	PE3	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3
	新埔(2)	PE3	PE3	GPA	PE3	GEV	GLO	LN3	GEV
	內灣	GEV	PE3	GEV	GPA	GEV	PE3	GLO	GLO
	上坪	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3	PE3	GEV	PE3
	竹林大橋	PE3	GLO	GLO	LN3	GLO	LN3	GLO	GLO
	山腳	GEV	GEV	GEV	GEV	GEV	GEV	LN3	LN3
	蘭陽大橋	PE3	PE3	LN3	PE3	GLO	PE3	PE3	LN3
	家源橋	GPA	GPA	GPA	GEV	GEV	GEV	GEV	GLO
古魯	GLO	LN3	PE3	PE3	GLO	LN3	GLO	GLO	
中區	平安橋	GPA	GPA	GPA	GEV	LN3	LN3	PE3	GLO
	打鹿坑	GEV	PE3	PE3	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3
	義里	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3	GEV	LN3	GLO
	卓蘭	PE3	PE3	GPA	PE3	GLO	GLO	PE3	PE3
	雪山坑	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
	南湖	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3	GLO	PE3	GEV
	環山合流點	LN3	LN3	PE3	PE3	PE3	LN3	LN3	PE3
	四季朗	LN3	LN3	LN3	GLO	GEV	LN3	PE3	GLO
	七家灣	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GEV	PE3	GLO
	松茂	GLO	PE3	PE3	PE3	LN3	GLO	GLO	GLO
	大肚橋	PE3	PE3	PE3	LN3	LN3	GLO	GLO	LN3
	南北通橋	GPA	GPA	GPA	PE3	GEV	PE3	GPA	GPA
	觀音橋	PE3	PE3	PE3	PE3	GLO	GLO	GEV	GLO
	南崗大橋	GLO	LN3	GLO	GLO	PE3	GPA	PE3	GPA
武界(2)	GEV	LN3	PE3	GEV	PE3	GEV	GLO	LN3	
青雲	PE3	GPA	PE3	PE3	PE3	GEV	LN3	GLO	
中區	桶頭(2)	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3
	內茅埔	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GPA
	北港(2)	GPA	GPA	GPA	GPA	GPA	PE3	GLO	GLO
南區	觸口	GLO	GLO	GLO	GLO	GEV	GLO	PE3	GEV
	義竹	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GEV
	軍輝橋	GEV	GEV	GEV	GLO	GLO	GPA	LN3	PE3
	新營	GPA	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3	GLO
	左鎮	LN3	PE3	GLO	PE3	PE3	LN3	GPA	GLO
	荖濃	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
	三地門	PE3	PE3	LN3	GLO	GLO	GLO	LN3	GEV
	六龜	GLO	GLO	GLO	GLO	GPA	PE3	LN3	GLO
	潮州	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3
新埤	PE3	LN3	PE3	LN3	GEV	GEV	GLO	GEV	

表 4(續) 北、中、南、東區各站不同延時低流量之最佳機率分佈

區域	站名	最佳機率分佈							
		1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
東區	知本(3)	GPA	GPA	GPA	GPA	GPA	GEV	PE3	GLO
	延平	GPA	GPA	GPA	GPA	GEV	GLO	GLO	GPA
	台東大橋	PE3	PE3	LN3	PE3	PE3	PE3	GPA	PE3
	新武呂(4)	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
	卓蘭橋	GPA	GPA	GPA	GPA	GPA	GPA	GPA	PE3
	立山	GEV	GEV	LN3	GLO	GLO	GLO	GLO	GEV
	瑞穗大橋	PE3	PE3	GEV	GEV	PE3	PE3	PE3	PE3
	玉里大橋	LN3	LN3	LN3	LN3	GPA	PE3	PE3	PE3
	仁壽橋	GEV	GLO	GLO	GEV	PE3	LN3	PE3	LN3
	花蓮大橋	GEV	GEV	GEV	GEV	GEV	LN3	PE3	GLO
	馬鞍溪橋	GLO	GLO	GLO	GLO	PE3	GLO	GLO	GEV
希能埔	GLO	GLO	LN3	LN3	GEV	GLO	GLO	PE3	

表 5 各機率分佈在各區域及台灣地區不同延時低流量之最佳機率分佈站數

單位：站數

	延時	1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
北區	GLO	6	8	7	7	7	5	6	8
	GEV	4	3	3	4	8	2	5	3
	LN3	2	1	3	1	0	2	3	3
	PE3	4	3	2	4	2	8	3	3
	GPA	1	2	2	1	0	0	0	0
中區	GLO	8	6	7	8	7	9	8	9
	GEV	2	0	0	2	2	4	1	1
	LN3	2	4	1	2	3	3	3	2
	PE3	4	5	7	6	6	2	6	4
	GPA	3	4	4	1	1	1	1	3
南區	GLO	4	5	7	8	6	6	4	4
	GEV	2	2	1	0	2	1	0	4
	LN3	1	1	1	1	0	1	3	0
	PE3	2	2	1	1	1	1	2	2
	GPA	1	0	0	0	1	1	1	0
東區	GLO	4	5	3	3	2	5	5	3
	GEV	2	1	2	3	3	1	0	2
	LN3	1	1	4	2	0	2	0	1
	PE3	2	2	0	1	4	3	5	5
	GPA	3	3	3	3	3	1	2	1
台灣地區	GLO	22	24	24	26	22	25	23	24
	GEV	10	6	6	9	15	8	6	10
	LN3	6	7	9	6	3	8	9	6
	PE3	12	12	10	12	13	14	17	14
	GPA	8	9	9	5	5	3	4	4

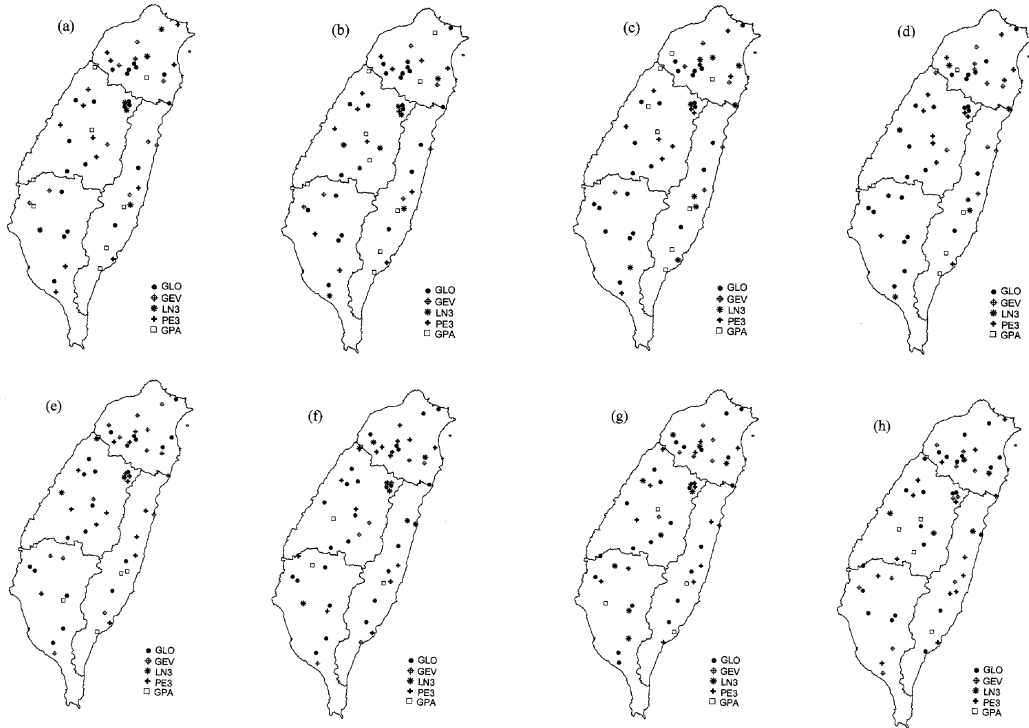


圖 3 台灣地區不同延時低流量最佳機率分佈圖，(a)1 日；(b)2 日；(c)3 日；(d)7 日；(e)30 日；(f)60 日；(g)90 日；(h)180 日

量最佳機率分佈則與 GEV 所佔比例相當，但在 60 日延時則以 PE3 所佔比例最高(47%)；在中區，除 1 日、60 日、90 日及 180 日延時低流量最佳機率分佈以 GLO 所佔比例較高外，GLO 及 PE3 在其餘日數延時低流量最佳機率分佈所佔比例幾乎相同；在南區則以 GLO 為最佳機率分佈所佔比例稍高(40%~80%)。東區不同延時低流量之最佳機率分佈則甚為分歧，無明顯有一佔比例較高之分佈存在。

另以各流量站之地文因子如集水面積及高程為因子探討台灣地區不同延時低流量最佳分佈隨地文因子之變化趨勢，本文以所分析 58 流量站集水面積及高程之中位數(median)為界，分析較大集水面積或較低高程流量站之不同延時低流量最佳分佈是否具有特定的分佈。依表 1 所列數據，本文所採用分界值為 300 km² 及 192 m，即大於此值與小於此值的站數一致，表 6 及表 7 所列分別為以此集水面積及高程為界不同延時

低流量最佳機率分佈屬於 GLO、GEV、LN3、PE3 及 GPA 的站數，由表列站數可知並無特別趨勢存在，即集水面積與高程並非區分低流量不同最佳機率分佈的依據。例如，南區之六龜(1730H039)集水面積 853 km² 與北區之山腳(2510H001)集水面積 36.8 km² 在 1 日延時低流量之最佳機率分佈均為 GLO；另北區之五堵(1140H058)高程 3 m 與中區之雪山坑(1400H012)高程為 598 m 之 180 日延時低流量最佳機率分佈均為 LN3。

五、結論與建議

本文研究目的為探討適用於台灣地區不同延時河川低流量之機率分佈及最佳分佈在各區域分佈的特性，經以台灣地區共 58 流量站八種不同延時低流量資料分析，可獲致以下結論：

1. 本文所採用之五種三參數機率分佈經以 K-S 及卡方適合度檢定可適用於大部分台灣地區不同延時之低流量，其中以通用羅吉斯分佈

表 6 各機率分佈在台灣地區不同延時低流量集水面積大於或小於 300km² 最佳分佈統計表

延時	集水面積	1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
GLO	≥300km ²	9	11	10	8	10	12	13	10
	<300km ²	12	12	14	17	11	13	10	12
GEV	≥300km ²	5	2	2	6	6	4	1	5
	<300km ²	6	5	4	4	10	4	5	6
LN3	≥300km ²	1	3	6	5	2	3	5	4
	<300km ²	5	4	3	0	1	5	4	2
PE3	≥300km ²	9	8	6	7	7	9	8	7
	<300km ²	3	4	4	6	6	5	8	8
GPA	≥300km ²	4	5	5	3	4	1	3	3
	<300km ²	4	4	4	2	1	2	1	1

表 7 各機率分佈在台灣地區不同延時低流量高程高於或低於 192m 最佳分佈統計表

延時	標高	1 日	2 日	3 日	7 日	30 日	60 日	90 日	180 日
GLO	≥192m	16	15	14	15	12	12	10	12
	<192m	5	8	10	10	9	13	13	10
GEV	≥192m	4	2	2	5	8	5	5	5
	<192m	7	5	4	5	8	3	1	6
LN3	≥192m	3	4	3	0	1	3	5	3
	<192m	3	3	6	5	2	5	4	3
PE3	≥192m	3	4	6	7	6	8	7	7
	<192m	9	8	4	6	7	6	9	8
GPA	≥192m	3	4	5	2	2	1	2	2
	<192m	5	5	4	3	3	2	2	2

(GLO)、通用極端值分佈(GEV)及三參數對數常態分佈(LN3)的適用率最高，在所分析的 58 站中至少有 55 站以上不論低流量延時長短均可通過檢定，而皮爾遜第 III 型分佈(PE3)及通用帕雷托分佈(GPA)之通過率稍低，但亦有 72% (42 站)以上的站數可通過檢定。

- 以理論與樣本累積機率間之最小均方根誤差為標準決定低流量最佳分佈，則台灣地區各流量站不同延時低流量最佳機率分佈以 GLO 所佔比例最高(38%~45%)，GEV 及 PE3 次之(10%~29%)，LN3 及 GPA 所佔比例最低(5%~16%)。
- 不同延時低流量最佳分佈在區域間之趨勢並不明顯，在北、中、南區以 GLO 所佔比例稍高，在東區則無一佔高比例之分佈存在。另以流量站之集水面積與高程等地文因子為因素

探討低流量最佳分佈之變化趨勢，其間之關係亦不明顯，即集水面積與高程並非區分不同低流量最佳分佈之依據。

本文以年最小不同日數之平均流量為低流量，在較長延時之低流量分析中即忽略了跨年的效應，因台灣地區從每年十一月至隔年四月為枯水期，此期間之流量可能較年間之流量為低，若要以部分延時系列(partial duration series)的方式選取低流量則需決定其門檻值，且所建立之低流量最佳分佈與年最小系列(annual minimum series)所選取低流量最佳分佈間之關係為何，亦是另一值得研究的議題。另許多未設流量站地點仍需推估低流量的特性，由前述分析可知，許多三參數機率分佈均適於代表各流域不同延時之低流量，因此建立區域性之低流量模式以推估未設測站地點之低流量特性亦值得研究。

參考文獻

1. 張啓濱，1966，河川枯水流量之估計法，台灣水利，第14卷，第3期，第46-52頁。
2. 易任、張震霖，1982，淡水河流域低流量特性之研究，國立台灣大學，農業工程研究所碩士論文。
3. 張斐章、徐國麟，1990，兩種推估低流量方法之探討，台灣水利，第38卷，第1期，第48-57頁。
4. 張斐章、官彥均，1991，新設站推估低流量特性之方法，國立台灣大學，農業工程研究所碩士論文。
5. 游保杉、劉繼文，1998，台灣南部地區低流量特性之研究，國立成功大學，水利及海洋工程學系碩士論文。
6. Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., and Matalas, N. C., 1979, Probability weighted moment: Definition and relation to parameter of several distributions expressed in inverse form, *Water Resources Research*, 15(5), 1049-1054.
7. Hosking, J. R. M., 1990, L-moments: Analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 52(1), 105-124.
8. Hosking, J. R. M., and Wallis, J. R., 1997, *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments*, Cambridge University Press, New York.
9. Kottegoda, N. T., and Rosso, R., 1997, *Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, McGraw-Hill Inc., New York.
10. Kroll, C. N., and Vogel, R. M., 2002, Probability distribution of low streamflow series in the United States, *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(2), 137-146.
11. Laaha, Q., and Blöschl, G., 2005, Low flow estimates from short stream flow records - A comparison of methods, *Journal of Hydrology*, 306, 264-286.
12. Laaha, Q., and Blöschl, G., 2006, A comparison of low flow regionalization methods – Catchment grouping, *Journal of Hydrology*, 323, 193-214.
13. Nathan, R. J., and McMahon, T. A., 1990, Practical aspects of low-flow frequency analysis, *Water Resources Research*, 26(9), 2135-2141.
14. Nathan, R. J., and McMahon, T. A., 1992, Estimating low flow characteristics in ungauged catchments, *Water Resources Research*, 6(2), 85-100.
15. Smakhtin, V. U., 2001, Low flow hydrology: A review, *Journal of Hydrology*, 204(3-4), 147-186.
16. Yu, P. S., Yang, T. C., and Liu, C. W., 2002, A regional model of low flow for southern Taiwan, *Hydrological Processes*, 16(10), 2017-2034.
17. Zaidman, M. D., Keller V., Young A. R., and Cadman D., 2003, Flow-duration-frequency behaviour of British rivers based on annual minima data, *Journal of Hydrology*, 277(3-4), 195-213.

收稿日期：民國 97 年 1 月 24 日

修正日期：民國 97 年 4 月 8 日

接受日期：民國 97 年 4 月 15 日