

台灣地區設計雨型之特性評估

Characteristics Evaluations of Design Rainfall Hyetographs for Taiwan

國立臺北科技大學土木工程技術系副教授

張 守 陽

Shou-young Chang

摘 要

本研究目的在於研析現有設計雨型與自行研發設計雨型之特性。文中以降雨事件法說明雨型參數設計值於實際降雨事件之位序，繼而探討雨型各延時降雨之重現期距特性，並比較不同雨型對逕流演算可能造成之差異，以建立客觀的評估方法。主要成果分述如下：

IDF法雨型尖峰降雨之“均值偏差”於各地區之並不一致，顯示此法之不穩定性；由於IDF公式法雨型低估短延時降雨比例，使累積曲線形狀與重視期距降雨曲線無法密合。以絕對差值、差值平方和及K-S等三差值進行密合度評估，於不同重現期距降雨條件下，皆以二次多項式分佈雨型、常態分佈法雨型及無因次移動平均法雨型模擬最接近重現期距降雨曲線。

各雨型經單位歷線演算所得逕流歷線重心變化之幅度不大。於小基期之逕流演算，雨型原有之不規則性造成逕流演算之歷線變動較為明顯，尤其平均法雨型更出現雙峰之流量歷線，同時使其尖峰時間掌握具不確定性。當基期增加，逕流歷線會逐漸平滑而形成鐘型狀，不但使不同設計雨型演算所得之尖峰流量差異降低，亦會使尖峰逕流時間差異減少。不同雨型於五小時基期條件下，二次多項式法及對數常態分佈法雨型演算之尖峰流量分別達級序平均法雨型者之2及3.4倍，因此小基期集水區之設計雨型將影響洪峰設計頗鉅，應慎重選擇設計雨型。

關鍵詞：設計雨型，穩定性評估，重現期距，逕流演算。

ABSTRACT

This study aims to evaluate the characteristics of design rainfall hyetographs objectively options for hourly rainfall data of Taiwan. Various evaluation methods were developed to have a better understanding of return period of rainfall pattern. Consequently, the influence on runoff hydrograph with different rainfall hyetographs were investigated. The primary conclusions may be stated as follows:

The Accumulated-hyetographs of LNOR can be well fitted in with Frequency-rainfall curve at the higher return period. Better performances based on both Median-deviation evaluation and Frequency rainfall fitness are PAR, IDF, NOR and MAM methods in order. But the parameters for IDF method derived from various regions are with significant discrepancy. This shows the IDF method can not yield consistent results at different areas. In a word, all the rainfall hyetographs designed in this study performed well and stably with various evaluations.

Through rainfall-runoff simulation with a triangular unit-hydrograph, the weighting times for all hydrographs derived from various rainfall hyetographs resembled each other. The irregularity of a hyetograph will inherently influence the corresponding hydrograph to be undulate for watersheds with a small base time. Hence, there may produce a double-peak-flow hydrograph at some regions especially by using HUFF method. While the base time is about 5 hours, the peak discharge simulated by LNOR and PAR patterns will be 3.4 and 2 times of that by PILG method respectively. As the base time increase, not only the shape of hydrograph will be smooth and bell-shaped, but also the difference of peak discharge among various design hyetograph will decrease. For watersheds with small base time, the peak discharge and the time to peak of the hydrograph are sensitive to the design hyetograph used in the simulation. Therefore, the choice of a design hyetograph for a watershed with small base time should be cautious.

Keywords : Design rainfall pattern, Consistency analyses, Return period analyses, Runoff simulation.

一、前言

於水文學上，暴雨在時間上之分佈稱為「降雨組體圖」(rainfall hyetograph)或簡稱為雨型(rainfall pattern)[王如意，易任 1990]。依降雨特性設計之「雨型」配合頻率分析所得「暴雨量」即可推求所謂「設計暴雨」(design storm)。設計暴雨除應用於集水區之暴雨排水設計外，舉凡水土保持、防洪工程、滯洪池設計、暴雨污水(stormwater pollution)及水庫操作等與水資源及環境相關工程之規劃與設計時，皆需以此做為集水區系統模式演算之輸入，經單位歷線演算後，再以流量歷線為規劃設計之依據。設計暴雨不但影響流量歷線之尖峰流量與其到達時間，對於暴雨逕流於時間之分佈亦深具影響，因此降雨組體圖之設計在水利及環境工程設計上扮演極為重要的角色。

降雨組體圖之影響因素包括水文、氣象、地理環境等複雜條件，尤其大氣現象變化萬千，各水文氣象要素不但繁複而且彼此間相互影響，因此降雨

組體圖之設計不易完全從物理觀念著手，其設計結果亦難藉物理觀念探析與評估。現有降雨組體圖設計方法[余濬，1988]多源自於國外[Huff, 1967, Pilgrim, 1975, Yen, 1980等]地區，各降雨組體圖多藉由降雨記錄經簡易之數學計算而得，部份反映了其降雨結構及其特殊地理配置，以此等條件所得之設計降雨組體圖，是否符合台灣地區之水文氣象特性，即有待進一步評估。更重要的是，目前現有設計雨型多採用尖峰降雨誤差、尖峰時間誤差及平均估計誤差等參數進行評估，對實際降雨資料之離散程度未曾加以比較。除未能建立客觀的評估方法外，設計雨型各延時降雨與重現期距降雨之特性，以及不同設計雨型對暴雨逕流可能造成之差異，更少有前人探討。

1-2 前人研究

級序平均法(Pilgrim與Cordery method)[Pilgrim與Cordery(1975)]計算方法近似於平均法設計雨型(Huff method)[Huff, 1967, Chow et al., 1988]。此二種設計雨型雖於平均估計誤差最小，但各設計雨型誤

差值皆頗接近，即使選擇較小誤差之設計雨型方法，亦難以判斷此設計雨型之代表性。

Yen 與 Chow(1980) 提出三角形法設計雨型 (Yen's Method) 僅考慮降雨之重心時間，應用上頗為便利，可用於短延時簡易雨型之設計；但是尖峰降雨前後之降雨量加以線性套配，未能考慮其間降雨量之機率分佈特性，勢將影響暴雨逕流量於時間之分佈。

美國水土保持局之二號分佈 (SCS type II distribution) [Bedient and Huber, 1988] 藉由降雨強度—延時—頻率公式 (Intensity-Duration-Frequency, IDF 公式)，求取不同重現期距下不同延時之最大降雨量，再考慮降雨之尖峰時間，將尖峰降雨前後之降雨量依大小重新分配，套配結果，仍未考慮事件中降雨量之機率分佈特性。

顏清連等 (1989) 提出無因次移動平均法設計雨型 (dimensionless moving average method)，以移動平均法求算每三小時平均雨量，並藉降雨尖峰值予以無因次化後，將各場降雨累加平均之，以求取設計雨型。林國峰與張守陽 (1991) 以錯誤嘗試法 (trial and error) 修改其無因次化時間 (即時間除以尖峰降雨時間) 之上限值，使符合實際降雨資料之重心時間。修改後之設計雨型對於無因次化方式之適切性仍有待進一步評估。

前人對雨型評估，多直接以雨型與所蒐集之降雨事件相減，計算其累積之差值，進行所謂之「誤差」評估。然而降雨現象變化萬千，即若有龐大降雨資料，擬從中篩選出兩場相同，甚至近似之暴雨事件幾乎為不可能，尤其長延時降雨事件更無特定形狀可言，因此其設計雨型與實際降雨量之「平均估計誤差」值都不小，不同設計雨型誤差值亦頗接近 [張守陽，1993]，故即使選擇較小誤差之設計雨型方法，亦難以判斷此設計雨型之「代表性」。

林國峰與張守陽 [林國峰、張守陽，1991-1994] 廣泛分析台灣地區降雨特性，發現逐時雨量雖較具逢機特性，但仍存在部分程度之持續性，各降雨事件之降雨量分佈近似常態分佈及對數常態分佈。其中探討七種現有及自行開發之設計雨型，分別為平均法、級序平均法、三角形法與移動平均法及對數常態機率分佈法、常態機率分佈

法與二項式機率分佈法；其自行開發之雨型考慮降雨量之機率分佈特性，可彌補類似三角形法設計雨型之線性套配，以減少對暴雨逕流量於時間分佈之影響。

張氏等之研究雖能深入探討降雨特性，分割降雨事件，藉此統計特性開發嶄新之設計雨型，並且進行標準變量分析取代現有之評估方法 [張守陽，1994，1995，1997b]，以瞭解設計雨型之參數設計值位於所有降雨事件參數範圍之情形。但各雨型重現期距降雨之特性與各雨型設計對逕流可能造成之差異，尙未能進一步研析。

有鑑於此，本研究目的在於綜合檢討不同設計雨型，以台灣為應用對象，建立客觀的評估方法，探討各延時降雨與重現期距降雨之特性，最後比較不同雨型設計對暴雨逕流可能造成之差異，以尋求符合台灣地區降雨特性之設計雨型，希冀提供工程規劃設計應用之參考。

二、理論探討

2-1 降雨事件定義

張守陽 [1990-1993] 初步將降雨事件分割方法分成三方案。方案一仿前人方法為連續降雨事件，中間不容許停雨；方案二為降雨事件中容許一小時之停雨，亦即降雨開始及結束前後兩小時並無降雨量；方案三則為降雨事件前後三小時並無降雨量，亦即降雨事件中容許一或二小時之中斷降雨。針對河川及集水區之治理計畫時之所需長延時降雨 (18 小時~ 30 小時)，如實際颱風事件，容許短暫歇雨，則可用方案三降雨事件進行雨型之分析研究。而於都市排水計畫或區域排水工程需較短延時雨型，如雷陣雨事件，則可用方案一加以探討。

由於歷年來侵襲台灣且造成災害之降雨多分佈於每年 5 月至 10 月之汛期，為不擬被較小降雨事件影響分析結果，張氏擷取發生於各年在此期間且總雨量大於中值總雨量 (總雨量累積分佈圖中，累積機率為百分之五十之降雨量) 之大降雨事件，做為設計雨型分析的對象。張守陽 [1995b，1997a] 再深入分析逐時雨量之降雨特性與評估降雨事件分割方法，研析不同降雨分割事件之特性參數，以作為設計降雨事件之參考。經廣泛研析後

採發生於每年五月至十月之汛水期，總雨量大於中值總雨量之降雨事件，且事件中得以二小時之中斷降雨，以此等條件分割 18 ~ 30 小時延時降雨事件，再以此降雨事件進行雨型設計。

2-2 設計雨型

降雨事件分割完成後，將各事件降雨組體圖換算為「百分比降雨」（各小時降雨量除以該事件總降雨量再乘以 100 %），而後累加之，求出各場降雨之累積百分比雨型，再分別轉換為 24 小時延時之百分比降雨組體圖，以此組體圖進行雨型設計。

現有雨型設計多利用平均無因次累積降雨組體圖或考慮降雨重心與尖峰降雨條件以求算設計雨型。主要前人設計雨型如平均法 (HUFF)、級序平均法 (PLG)、三角形法 (YEN)、降雨強度公式法 (IDF) 與移動平均法 (MAM) 之設計方法請參考顏清連 (1989)。為避免部份前人設計雨型之線性套配，張守陽 (1994, 1995) 考慮降雨事件中降雨量分佈之統計特性，以減少對暴雨逕流量於時間分佈之影響，因此藉降雨量統計分析結果，開發二次多項式分佈雨型、常態分佈法雨型及對數常態分佈法雨型，此等雨型設計方法簡述如下：

1. 二次多項式分佈雨型 [林國峰、張守陽，1991，1992，1997b]

當將一降雨事件之逐時降雨量由小至大加以排序 (sorting)，排序後組體圖之降雨量 P 雖與時間 t 無關，但由於組體圖橫座標仍為時間單位，為說明不同降雨量，本文勉以時間區分之。排序後組體圖形狀大致近似拋物線，可以以下列二次多項式形式，利用迴歸分析加以套配：

$$P(t) = at^2 + bt \quad (2-1)$$

式 (2-1) 代表之拋物線通過原點；其中 $P(t)$ 為經過排序後之降雨組體圖； a 與 b 為待定係數，可藉迴歸分析求算。以實際資料套配式 (2-1) 求得之二次多項式後，計算各延時 t 之降雨比值 P 後，加以位序排列，使成單峰形狀，並使排序後之重心時間符合實際降雨事件之重心時間 (林國峰、張守陽，1991)，此單峰狀組體圖即為二次多項式分佈之雨型。

2. 機率分佈雨型

由 K-S 檢定得知降雨量在一降雨事件中之機率

分佈可以以對數常態分佈或常態分佈加以描述 [林國峰、張守陽，1991，1992]，由此可藉各降雨事件之降雨量分析所得之機率分佈統計參數，進而推導常態分佈法雨型或對數常態分佈法雨型。此降雨時列之合成方法 (generation of synthetic sequences of rainfall) 說明如下：

(1) 求出降雨事件中各時段之降雨量 P 占該事件總雨量之百分比，繼而計算各降雨事件降雨量 (百分比) 之平均值 \bar{P} ，標準偏差 SD 及偏態係數 C_s 。(若為對數常態分佈法雨型，則降雨量先取對數。)

(2) 以欲求之降雨延時 t_d 配合標準常態密度函數，將此密度函數圍成之面積分割成 t_d 等分，求各等分下所對應之標準變量 (standardized variate) 值 Z ($= (P - \bar{P}) / SD$)。例如：若擬求算二十四小時設計雨型 ($t_d = 24$)，則需配合機率分佈函數以挑出 24 個降雨值，為求得發生機率相等之降雨量，將密度函數圍成之面積分割成 24 等分，繼而計算各等分對應之標準變量 Z 。

(3) 若為常態分佈法雨型，則求得 t_d 個 Z 值後，求算 $P(Z) = (\bar{P} + Z \times SD)$ ，若為對數常態分佈：則 $P(Z) = 10^{(\bar{P} + Z \times SD)}$ 。

(4) 求算出 t_d 個設計降雨百分比值 $P(Z)$ ，使成單峰形狀，並使排序後之重心時間符合實際降雨事件之重心時間，此排序後組體圖即為機率分佈雨型。

本文中各種設計雨型之代碼如下：二次多項式機率分佈法以 PAR 表示；對數常態機率分佈法與常態機率分佈法分別表示為 LNOR 與 NOR。

2-3 新評估方法

如第 1-2 節所述，由於降雨現象變化萬千，設計雨型之「代表性」難以判斷，因此可說無所謂「正確雨型」，亦無所謂之「誤差」評估。有鑑于此，為選擇得以說明該地區之合理降雨型態，宜比較設計雨型與實際降雨記錄之關係，以及對逕流演算可能造成之差異，經配合工程需要，以求取適切設計雨型。本研究即藉雨型「特性」之探討以評估雨型，方法如下：

1. 降雨事件評估

本文藉各降雨事件之重心、尖峰雨量及其尖峰降雨時間之平均值及標準偏差，分別求算設計雨型參數標準變量如下：

$$Z_i = \frac{P_i - P_M}{P_{SD}} \quad (2-2)$$

其中： Z_i 為雨型參數 P_i 之標準變量， P_M 與 P_{SD} 分別為實際降雨事件該參數之平均值與標準偏差值。依據統計學原理，標準偏差 SD 代表資料對其平均值之離散程度。

若降雨事件各參數機率分佈得以常態分佈套配，即可以依此分佈下標準變量涵蓋之面積換算為機率百分比值，稱為「位序百分比」值。例如：標準變量為零時，參數設計位序值恰為實際降雨事件該參數之平均值，其位序百分比值則為百分之五十；若參數之標準變量為1，則其位序百分比值則為84.1，亦即有84.1%之降雨事件之該參數值小於參數設計值。

一般設計雨型之評估，多以尖峰降雨及尖峰時間二參數設計值為最重要考量，為綜合探討設計雨型這二參數設計值與各參數均值之差異程度，將此二參數之位序百分比各減均值50後，求取平方和，再開根號，本文將此稱為「均值偏差百分比」(mean deviate percentage，簡稱MDP)可作為設計雨型尖峰降雨與尖峰時間之總體表現評估。若二參數設計值分別以 P_{peak} 及 P_{time} 表示，則均值偏差百分比MDP可表示如下：

$$MDP = \sqrt{(P_{peak} - 50)^2 + (P_{time} - 50)^2} \quad (2-3)$$

藉位序百分比與均值偏差百分比可直接了解參數設計值與實際降雨事件參數之綜合位序關係，本文將此分析稱為「降雨事件評估」。

2. 重現期距雨量特性評估

雖然某再現期特定延時設計暴雨組體圖不必含蓋相同再現期之較小延時之降雨，不過於暴雨設計時，其小延時之降雨強度若以另一極端值事件設計，則此暴雨設計之發生機率將同為低微。因此以工程設計觀點，當擬設計某特定延時暴雨雨型時，若各延雨量時能具備程度大致相當之「重現期距雨量」特性，亦即雨型設計同時考量其各延時降雨具備「近似」再現期之或然率，應是較為客觀且易被接受。因此本文希冀各降雨組體圖於評估過程，得以探討各延時最大降雨量之

重現期距特性，作為設計雨型選擇之參考。本研究配合多種不同方法共同說明24小時延時暴雨雨型累積百分比圖與重現期距降雨累積百分比圖之密合度。研究方法如下：

(1) 求算雨型累積百分比圖：計算24小時雨型於不同延時之最大降雨量，再由小延時最大降雨起累積其降雨並換算成百分比，於24小時延時之累積值恰為百分之百。

(2) 將各延時重現期距降雨量除以其再現期日雨量，計算至24小時延時，其比值亦換算為百分比後製圖，最大比值亦為百分之百，本文將此圖簡稱為「重現期距降雨圖」。

(3) 進行上述雨型累積百分比圖與重現期距降雨圖之密合度(testing of goodness of fit of data)比較，以下列四種方式評估：

① 絕對差值：計算上述二圖各延時「雨量百分比」差值，取絕對值後求其總和。

② 差值平方和：計算各延時「雨量百分比」差值，再將差值平方和累加。

③ K-S差值：將「累積百分比圖」視為分佈的一種，若擬掌握觀測資料與擬設分佈(重現期距降雨圖)之最大差值，即可藉K-S Test之「二分佈最大差值」觀念探討累積百分比圖之密合度[王如意，易任 1990]：

$$D_n = \max |F(x) - S_n(X)| \quad (2-4)$$

其中 D_n 為二分佈最大差值； $F(X)$ 為累積理論值； $S_n(X)$ 為累積觀測值。

④ 奇方(Chi-square)差值：同理，若將「累積百分比圖」視為一種分佈，奇方差值亦可用來說明二分佈之密合情形，其差值計算如下：

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \quad (2-5)$$

其中： χ^2 為Chi-square差值； n_i 為觀測值； e_i 為理論值。

另外，為突顯較小延時降雨之重要性，本文僅以如下之延時：1、2、3、4、6、8、10、12、18及24小時等數據進行分析，藉以增加小延時降雨之權重(weighting)。若各差值愈小，則二曲線圖之密合度愈高，意即降雨組體圖中各延時降雨具備近似再現期之或然率。

3. 逕流演算評估

當應用降雨—逕流模式演算流量歷線時，降雨組體圖勢將影響整個逕流歷程線，尤其是尖峰流量與尖峰流量時刻。各種設計降雨組體圖影響流量歷線之程度為何，應為選擇設計降雨組體圖之一重要之考量。因此另從流量觀點，藉不同單位歷線演算，進行逕流演算之敏感度分析，客觀探討不同雨型設計對逕流分佈之影響。

一般之降雨—逕流模式演算多藉由單位歷線 (unit hydrograph, 簡寫為 UH) 作為降雨與逕流間之核心函數 (kernel function)，以求算流量歷線，其中最簡易者應屬三角形單位歷線。於總逕流量已知條件下，決定三角形單位歷線之參數有二：一為單位歷線基期 (base time) M ；另一為單位歷線尖峰時間與基期之比 R (或為單位歷線重心)。張守陽 [1983] 於研究基隆河集水區系統時發現：於集水面積 8.25 ~ 204.8 平方公里條件下，其單位歷線基期 M 約為 8 ~ 24 小時；另外毛克斯氏 (Mockus) [王如意, 1983] 分析許多集水區之單位歷線發現歷線重心 R 約 0.375；張守陽 [1994a] 研究單位歷線重心 R (由 0.2 至 0.6) 之差異對流量歷線之尖峰流量與尖峰流量到達時刻之影響，發現其影響輕微，而單位歷線基期 M 則明顯影響逕流尖峰流量與尖峰流量到達時刻。因此本文以單位歷線基期 M 為主要變數，採 5 ~ 30 小時，歷線重心 R 則採毛克斯氏建議值 (0.375)，進行逕流演算敏感度分析。

由於各設計雨型皆以百分比形式進行研析，若假設雨型每一百分比代表一個單位有效降雨水深，則一百個單位 (百分之百) 有效降雨水深，經單位歷線演算，其總逕流量應為一百個單位直接逕流水深。由此設計，將總逕流量分割為一百個單位 (百分比) 逕流量時，每一個逕流單位 (百分比) 等於一直接逕流水深，如此演算之逕流歷線仍可以以百分比形式表示之。各逕流演算在此相同條件下進行分析比較，計算式如下所示：

$$Q(t) = \sum_{i=1}^t I(i)U(t-i) \quad (2-6)$$

其中， $Q(t)$ ：時間 t 之逕流； I ：有效降雨； U ：單位歷線。

三、結果與討論

本研究以中央氣象局台灣地區主要雨量站逐

時雨量資料，設計雨型並進行雨型之特性分析。為瞭解地域性差異，將台灣分割為北部、東部及西南部三大區域。其中以中部三義火燄山為界，區分北部地區與西南部地區；並以中央山脈隔出西南部地區與東部地區。其中七成雨量測候站為平地測候站，其高程小於一百公尺；而玉山、阿里山與日月潭海拔較高，大於一千公尺。各雨量站之逐時降雨記錄年限，以蘇澳雨量站記錄最長，而台北、花蓮、台東、台南及臺中為創立年份較早之五個大站，其雨量站記錄最長，各採用 39 年逐時雨量記錄，其餘雨量站則大多採 30 年記錄。

3-1 雨型設計

首先針對每年五月至十月之汛期發生之逐時降雨資料進行降雨事件分割，事件中得以二小時之中斷降雨，以此條件分割出 18 ~ 30 小時延時之降雨事件 [張守陽, 1995a, 1995b]。事件分割後，採用總雨量大於中值總雨量之降雨事件。再將各事件降雨組體圖換算為「百分比降雨」(各小時降雨量除以該事件總降雨量再乘以 100%)，而後累加之，求出各場降雨之累積百分比雨型，再分別轉換為 24 小時延時之百分比降雨組體圖，以此組體圖進行雨型分析。

本文共探討四種現有雨型：平均法、級序平均法、三角形法及降雨強度公式法雨型，如圖 1-1 所示；並探討四種修改與自行開發之設計雨型，分別為：移動平均法及對數常態機率分佈法、常態機率分佈法與二項式分佈法雨型，如圖 1-2 所示。各設計雨型皆以百分比雨型式表示之。由於各雨型設計時皆配合實際降雨事件之重心平均值，所以各求算所得之降雨重心均相當近似。相對的，各經位序排列後成單峰狀雨型之尖峰時間皆頗接近；但平均法與級序平均法設計雨型尖峰時間經由各對應時刻相加，顯得無規則可尋；又平均法與級序平均法設計雨型，經尖峰消滅結果，其雨型尖峰百分比位偏低，位於 4.89 ~ 7.03 % 之間。而對數常態機率雨型尖峰可高達 27.76 ~ 36.36 %，與平均法雨型尖峰降雨值差值頗為懸殊。各雨型分析主要成果，請參閱台灣大學水工試驗所研究報告第 144、163、193 號及「台灣地區降雨歷時分佈之特性」報告 (1994a, 1995a)。

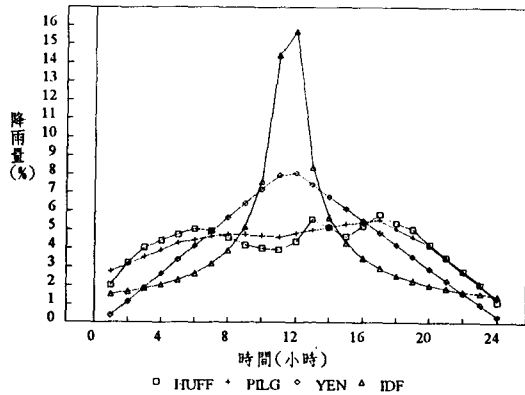


圖 1-1 前人研展雨型之比較

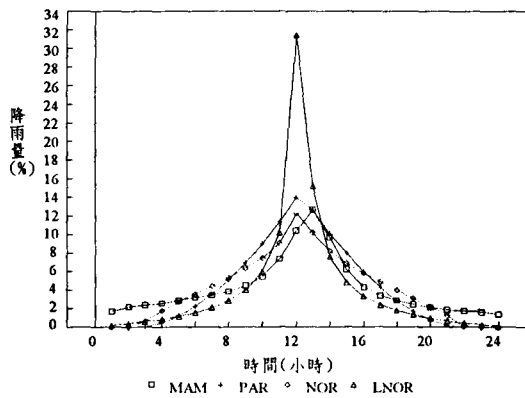


圖 1-2 個人研展雨型之比較

3-2 各設計雨型之一般性評估 [張守陽, 1995b]

由台灣各設計雨型一般性評估結果可知，各延時設計雨型之重心誤差頗為接近，此乃因以實際數據平均或依實際降雨重心加以位序排列後，使重心時間皆接近實際降雨資料之平均值。由台灣各區各雨型「尖峰降雨誤差」評估（附錄一）可發現各設計雨型於北部、東部及西南部具相同趨勢。於本文研究之延時範圍降雨而言，以二次多項式法最佳，常態分佈法雨型次之，此可能在較充分資料迴歸下所得之二次多項式，可對尖峰降雨求得較佳之模擬。而對數常態機率雨型尖峰誤差，在各區域設計雨型中皆最高。於尖峰時間誤差之比較上，以平均法與級序平均法設計雨型之誤差較大。

前人對雨型評估多直接以雨型與所蒐集之降雨事件逐一相減，計算其累積之差值，進行所謂

之「誤差」評估。例如：平均估計誤差（見附錄一）即為設計雨型與所有降雨事件資料逐時相減，將此差值求算均方根 (mean square root) 而得，頗似客觀。圖 2-1 為各區域設計雨型平均估計誤差計算結果，其中以平均法誤差最小，次為級序平均法，無因次移動平均法及三角形法亦有較小誤差。由於各設計雨型與各場實際降雨逐時比較後累加其差值，其誤差皆不小，除對數常態機率雨型外，各誤差值皆頗接近，即使選擇較小誤差之設計雨型方法，亦難以判斷此設計雨型之代表性。

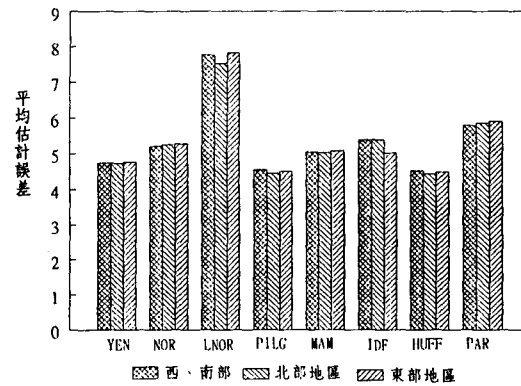


圖 2-1 台灣各區各雨型「平均估計誤差」

若由如此接近之平均估計誤差以決定設計雨型，則此所謂之「誤差」評估即有斟酌之必要。因此，為選擇得以說明該地區之合理降雨型態，宜適切說明設計雨型與實際降雨記錄之關係，以及對逕流演算可能造成之差異，經配合工程需要，以求取適切設計雨型。

3-3 降雨事件法評估

由於各降雨事件特性參數離散度頗大，本文計算各設計雨型參數之標準變量，客觀的比較其與實際事件之關係。由於台灣地區主要雨量站降雨事件主要參數（降雨重心、尖峰降雨及尖峰時間）之機率分佈得以常態分佈描述 [張守陽, 1997a]，「位序百分比」便可依常態分佈下標準變量值涵蓋之面積百分比求得，可用來說明雨型參數設計值與實際降雨事件之位序關係。另外為評估設計降雨尖峰與尖峰時間之總體表現程度，將此二參數之位序百分比各減均值 50 後求取均方

根，是為「均值偏差百分比」。

各區雨量站「均值偏差百分比」求算結果如圖 2-2 所示。由圖 2-2 可發現，各地區雨量站皆以二多項式分佈法之「均值偏差」最小，說明此法之設計較接近百分之五十之評估依據，其次為常態機率法及移動平均法。值得注意的是：IDF 法雨型雖於北部地區有較小之均值偏差，但於東部地區則排名第四，經研析後，本文認為：經由實際降雨資料推導 IDF 公式時，若其相關係數 (correlation coefficient) 不佳時，即會造成 IDF 法雨型在不同地區使用時不具一致性。

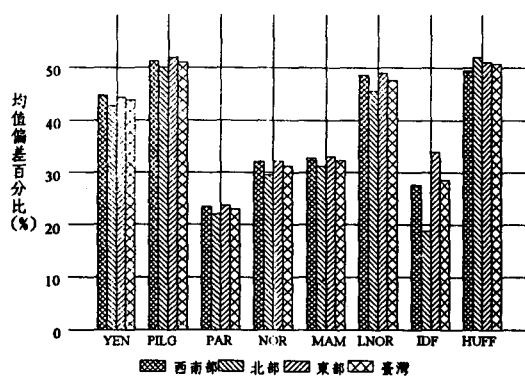


圖 2-2 台灣地區各雨型均值偏差百分比評估

台灣地區各雨型參數位序百分比及均值偏差百分比計算結果之平均值及標準偏差列於表 1。由表 1 之標準偏差分析則可了解各雨型參數設計值於不同地區之差異程度，藉此可進行穩定性 (consistency) 評估。各雨型之降雨重心位序百分比平均值皆接近 50%，其中平均法雨型、三角形法雨型與無因次移動平均法雨型之離散情形最小，其餘雨型差異亦不大。

以尖峰降雨而言，各雨型之尖峰降雨位序百分比平均值相差懸殊，除了對數常態分佈法雨型高達 97.3%，遠大於平均值外，其餘各雨型尖峰降雨位序皆小於 50%，亦即此參數百分比設計偏低。其中以二次多項式分佈及 IDF 法雨型雨型較近平均值；三角形法雨型尖峰設計值為 6.8%，約為實際事件平均降雨尖峰值 16%~19% [張守陽, 1994] 之三分之一，各雨型中以傳統之平均法、級序平均法最低，分別為 2.8% 與 3.2%，遠

小於實際降雨事件該參數之平均值。

表 1-1 臺灣地區各雨型之降雨事件法評估平均值

雨型\評估	降雨重心位序	尖峰降雨位序	尖峰時間位序	均值偏差
YEN	50.0	6.8	45.7	43.9
PILG	50.8	2.8	44.9	51.0
PAR	52.7	27.6	51.4	23.0
NOR	52.5	19.2	51.4	31.2
MAM	50.1	18.7	57.6	32.3
LNOR	52.3	97.3	51.4	47.6
IDF	49.6	23.3	50.4	28.6
HUFF	50.1	3.2	46.8	50.7

表 1-2 臺灣地區各雨型之降雨事件法評估標準偏差

雨型\評估	降雨重心位序	尖峰降雨位序	尖峰時間位序	均值偏差
YEN	0.1	2.6	6.2	2.6
PILG	1.8	1.3	19.1(x)	5.2
PAR	5.8	2.7	5.0	2.3
NOR	0.0	4.0	2.9	3.9
MAM	0.0	4.0	2.9	3.9
LNOR	5.8	2.8	5.0	2.8
IDF	5.8	13.1(x)	4.8	9.7(x)
HUFF	0.0	1.4	19.8(x)	4.7

(x)：穩定性差

各尖峰時間位序百分比經平均後，其值由 44.9%~57.6% 不等，移動平均法之尖峰時間位序百分比略高其它設計雨型，亦即略高於實際降雨事件該參數之平均值。唯需注意平均法雨型與級序平均法雨型參數之標準偏差竟近於 20%，此明顯顯示此二種平均法雨型於不同地區對尖峰時間之掌握不一致。

由於 IDF 法雨型於尖峰降雨之離散程度甚高，達 13.1%，顯示此法呈現不穩定之現象；其餘雨型離散程度則不大，顯示其它方法於台灣各區雨型設計時，其特性皆相當一致。由表 1-1 可知，各雨型之均值偏差評估表現較佳者 (數值愈小者)，依序如下：二次多項式分佈雨型、IDF 法雨型、常態分佈法雨型及無因次移動平均法雨型。而本文研展雨型中，除了對數常態分佈法雨型之均值偏差較大外，各均值偏差皆頗理想，其標準偏差亦皆小，說明新方法之尖峰降雨與尖峰時間之總體表現程度不錯，且於不同地區模擬結果相當一致。

3-4 重現期距雨量分析

為分析設計暴雨之「重現期距雨量」特性，本研究以花蓮站為分析對象，進行雨型累積百分

比圖與各延時重現期距降雨圖之密合度比較，以考量降雨組體圖中各延時之再現期降雨之或然率特性。

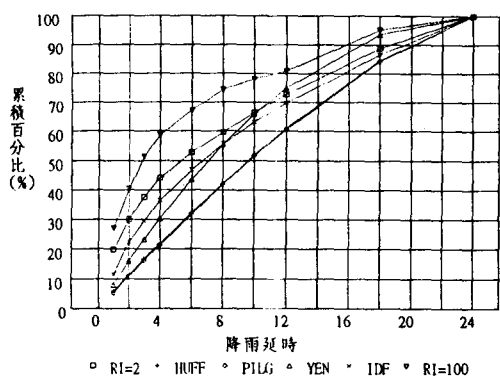


圖 3-1 累積百分比雨型與各延時重現期距降雨

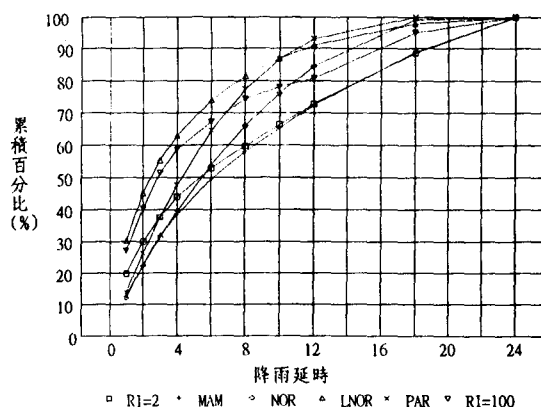


圖 3-2 累積百分比雨型與各延時重現期距降雨

首先計算雨型中不同延時之最大降雨百分比，累加後求得雨型累積百分比圖，再與重現期距降雨圖描繪於同一圖上。圖 3-1 為前人研究四種雨型累積百分比與兩年及一百年重現期距降雨圖之比較。由圖發現，IDF 公式法雨型累積曲線形狀最近似各延時重現期距降雨曲線，不過由於其短延時降雨比重較低，以致於整條曲線向下平移，與重現期距降雨曲線並無交集。圖 3-1 中除了三角形法累積雨型與兩年重現期距降雨有交點外，其餘三種現有累積雨型皆位於各重現期距降雨曲線之下，顯示短延時降雨比重低估。圖 3-2 為個人研展雨型累積百分比與各重現期距降雨曲線之比較，由圖不難發現，各研展雨型比起上述前人研

究四種雨型皆有所交集，初步說明研展雨型於某些延時之密合情形較佳。

分別計算絕對差值、差值平方和、K-S 差值及奇方差值等四種方式以綜合評估各累積雨型與各重現期距降雨之密合程度，各差值計算結果列於表 2。由表 2 可知絕對差值、差值平方和及 K-S 等三差值於不同重現期距降雨條件下，其差值於排序上雖略有震盪，但皆以二次多項式分佈雨型、常態分佈法雨型及無因次移動平均法雨型模擬較貼切。對數常態分佈法雨型於奇方差值分析有相當不錯之結果，而且由四種密合度分析皆發現，對數常態分佈法於高重現期距條件下各差值都較小，顯示對數常態分佈法較適用於高重現期距雨型之模擬。總體言之，平均法雨型、級序平均法雨型與三角形法雨型不論以何種方式比較，其密合度皆明顯不如其它五種雨型。

表 2. 累積雨型與重現期距降雨之密合度比較

差值	RP/RI	2年	5年	10年	20年	50年	100年
絕對差值	NOR	65.5	67.1	70.0	77.0	89.9	103.8
	PAR	94.6	86.2	82.7	80.9	79.5	84.0
	MAM	32.8	50.4	68.5	87.7	113.8	133.7
	LNOR	153.0	135.2	117.1	97.9	71.8	51.9
	IDF	50.1	67.9	86.0	105.2	131.3	151.2
	YEN	74.8	87.6	100.9	117.7	141.7	161.6
	HUFF	144.9	162.7	180.8	200.0	226.1	246.0
	PILG	147.9	165.7	183.8	203.0	229.1	249.0
	NOR	562	562	635	806	1193	1605
	PAR	1465	1185	980	857	847	958
差值平方和	MAM	190	360	609	962	1587	2176
	LNOR	2766	2160	1626	1145	634	355
	IDF	326	570	893	1322	2051	2717
	YEN	859	1169	1553	2054	2886	3636
	HUFF	2594	3257	3998	4871	6206	7334
	PILG	2700	3374	4127	5013	6365	7507
	NOR	11.8	10.6	11.0	13.5	17.2	20.1
	MAM	7.6	9.0	11.1	13.8	17.5	20.3
	LNOR	21.8	19.2	16.6	14.2	11.8	10.2
	IDF	8.2	10.7	13.3	16.0	19.6	22.4
K-S 差值	PAR	20.5	19.3	17.7	16.1	14.0	14.1
	YEN	14.3	16.5	19.1	21.8	25.4	28.2
	HUFF	22.3	25.3	27.8	30.6	34.2	37.0
	PILG	22.8	25.7	28.3	31.0	34.6	37.4
	PAR	20.0	17.7	17.1	18.6	24.1	31.0
	NOR	13.8	16.9	22.1	30.1	45.1	59.8
	MAM	8.8	14.3	21.9	32.6	51.1	68.5
	IDF	13.6	21.1	30.9	43.9	65.9	86.1
	YEN	47.0	60.7	77.4	98.7	133.3	164.2
	奇方差值	HUFF	140.9	171.8	207.0	249.3	314.9
PILG		154.2	186.9	224.1	268.9	338.1	397.4
LNOR		41.2	32.1	24.1	16.8	9.0	4.8

為消弭圖形之震盪情形，將各重現期距降雨加以平均，並繪製四種差值於同一紙上以便於比較，如圖 4 所示。由圖可知二次多項式分佈雨型、常態分佈法雨型及無因次移動平均法雨型與各重現期距平均降雨較為吻合，對數常態分佈法雨型僅於絕對差值分析略差外，其餘差值評估亦有不錯之密合度。

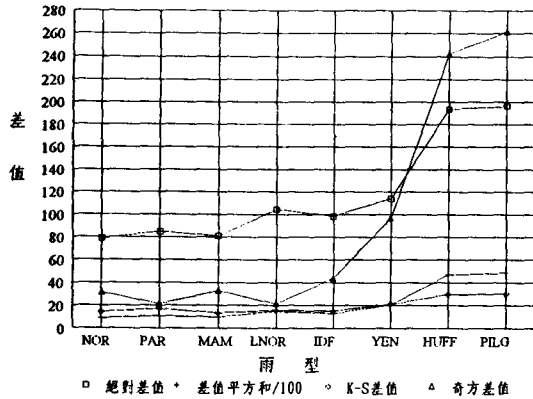


圖 4 累積雨型與重現期距降雨之密合度比較

3-5 逕流演算評估雨型

於降雨-逕流模式演算流量歷線中，吾人所關切的為流量歷線之尖峰流量與尖峰流量到達時刻，此為工程設計時選擇設計降雨組體圖之一重要之考量。因此另從流量觀點，以台北雨量站為對象，藉不同基期之三角形單位歷線，進行逕流演算敏感度分析，以評估各設計雨型之特性。

首先對各重現期距 IDF 法雨型，分別以四小及 32 小時基期之單位歷線進行逕流演算，結果如圖 5-1 及 5-2 所示。由圖 5-1 可知不同重現期距條件之小基期逕流演算下，其歷線形狀相似，尖峰流量相差約兩個單位，亦即總逕流量之百分之二；而基期大者演算之尖峰流量差值則不到千分之三（圖 5-2），不同重現期距雨型對尖峰流量影響不大。圖 5-3 為 IDF 法雨型不同基期之逕流演算，其尖峰流量隨基期之增加而衰減，其尖峰時間隨基期之增加而延後，符合物理意義。

將相同基期（5 及 30 小時）之各雨型逕流演算結果整理於圖 6，以比較不同雨型演算造成之流量歷線差異。由圖 6-1 可發現：於較小基期之集水區，不同設計雨型造成之流量歷線差異較為明顯，尤其平均法雨型更出現雙峰之流量歷線。而由圖 6-2 得知，基期增加不但使不同設計雨型演算所得尖峰量之差異降低，亦會使尖峰逕流時間差異減少。圖 6 可說明各設計雨型於不同單位歷線基期條件下流量歷線之變化情形。

由各雨型經不同基期之逕流演算可發現，於小基期下，雨型原有之不規則性（如：HUFF,

PILG, MAM 等）會造成逕流歷線呈現不規則形狀，但而隨基期之增加，逕流歷線會逐漸平滑而形成鐘型狀。因此雨型之不規則狀會明顯影響具小基期單位歷線之集水區逕流歷線形狀，而大基期（如 12 小時以上）之逕流演算，其歷線形狀較為規則。

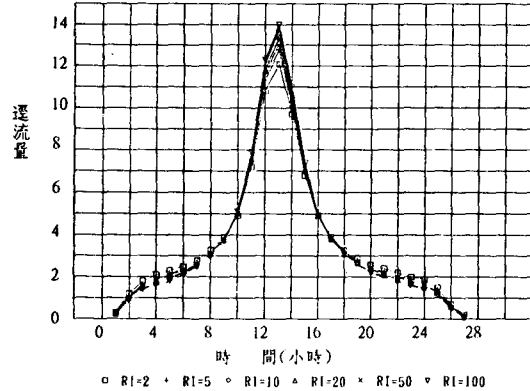


圖 5-1 降雨強度公式法雨型之逕流演算 (UH 基期 = 四小時)

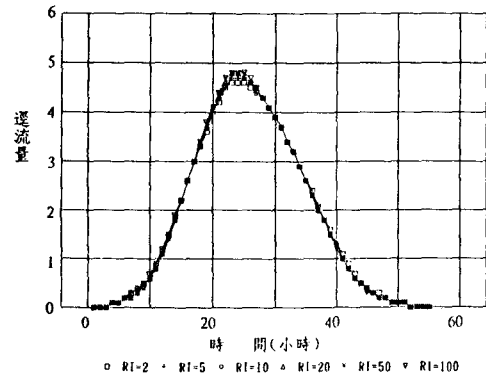


圖 5-2 降雨強度公式法雨型之逕流演算 (UH 基期 = 32 小時)

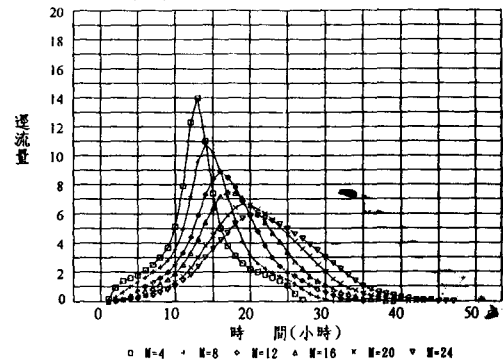


圖 5-3 降雨強度公式法雨型不同基期之逕流演算

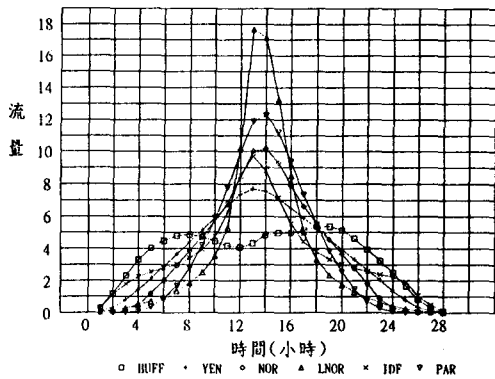


圖 6-1 各雨型之逕流演算(UH 基期 = 5 小時)

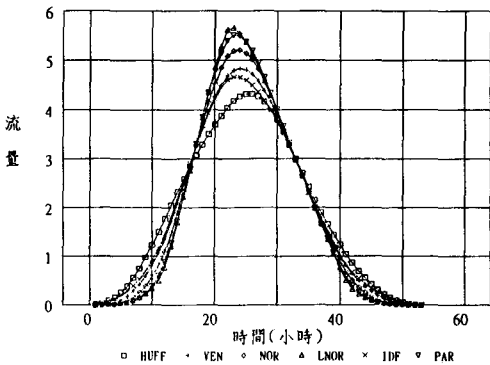


圖 6-2 各雨型之逕流演算(UH 基期 = 30 小時)

為能進一步了解各設計雨型於不同基期單位歷線之逕流演算影響，將各逕流歷線之重心、尖峰時間及尖峰流量值整理分析後整理於表 3，並繪於圖 7。於不同雨型與基期條件下(圖 7-1，表 3-1)，各雨型逕流演算之歷線重心變化僅由 0.46 至 0.48，變化幅度甚小，歷線重心大致隨基期增加而略為減小。

圖 7-2(表 3-2)為台北站不同雨型逕流演算之尖峰時間與歷線延時之比值。由圖 7-2 可知於不同基期下，平均法雨型及級序平均法雨型之尖峰逕流時間比值產生較明顯差異，變化幅度由 0.49 至 0.68，但分析其它雨量站[張守陽，1995a 之附錄 7]，此差異似乎不復明顯存在，可見二平均法雨型於設計時不易掌握尖峰降雨時間，繼而於逕流演算時，使其尖峰逕流時間與歷線延時之比值於不同基期下亦產生明顯差異。

表 3-1 各雨型逕流演算之歷線重心(台北)

雨型\基期	5	10	15	20	25	30
IDF	0.469	0.470	0.469	0.469	0.462	0.462
HUFF	0.476	0.475	0.474	0.473	0.466	0.466
YEN	0.476	0.475	0.474	0.473	0.466	0.466
MAM	0.476	0.475	0.474	0.473	0.466	0.466
PILG	0.476	0.476	0.475	0.474	0.466	0.466
LNOR	0.477	0.476	0.475	0.474	0.466	0.466
NOR	0.478	0.476	0.475	0.474	0.467	0.467
PAR	0.478	0.477	0.476	0.475	0.467	0.467

：單位：小時

表 3-2 各雨型逕流演算之尖峰時間比值(台北)

雨型\基期	5	10	15	20	25	30
LNOR	0.464	0.455	0.447	0.465	0.438	0.434
IDF	0.464	0.455	0.447	0.442	0.438	0.434
YEN	0.464	0.485	0.474	0.465	0.458	0.453
PAR	0.500	0.485	0.474	0.465	0.438	0.434
NOR	0.500	0.485	0.474	0.465	0.458	0.453
MAM	0.500	0.485	0.474	0.465	0.458	0.453
PILG	0.643	0.576	0.525	0.512	0.479	0.472
HUFF	0.679	0.606	0.553	0.512	0.500	0.491

表 3-3 各雨型逕流演算之尖峰流量(台北)

雨型\基期	5	10	15	20	25	30
PILG	5.370	5.177	5.023	4.882	4.668	4.353
HUFF	5.378	5.188	4.920	4.796	4.629	4.321
YEN	7.695	7.108	6.545	5.953	5.353	4.830
MAM	10.373	8.403	7.109	6.213	5.480	4.905
NOR	10.153	8.790	7.701	6.746	5.892	5.206
IDF	12.508	9.368	7.626	6.501	5.606	4.978
PAR	12.245	10.414	8.773	7.417	6.312	5.504
LNOR	17.894	12.419	9.579	7.811	6.568	5.674

表 3-4 各雨型逕流演算之尖峰流量比值(台北)

雨型\基期	5	10	15	20	25	30
PILG	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
HUFF	1.00	1.00	0.98	0.98	0.99	0.99
YEN	1.43	1.37	1.30	1.22	1.15	1.11
MAM	1.93	1.62	1.42	1.27	1.17	1.13
NOR	1.89	1.70	1.53	1.38	1.26	1.20
IDF	2.33	1.81	1.52	1.33	1.20	1.14
PAR	2.28	2.01	1.75	1.52	1.35	1.26
LNOR	3.33	2.40	1.91	1.60	1.41	1.30

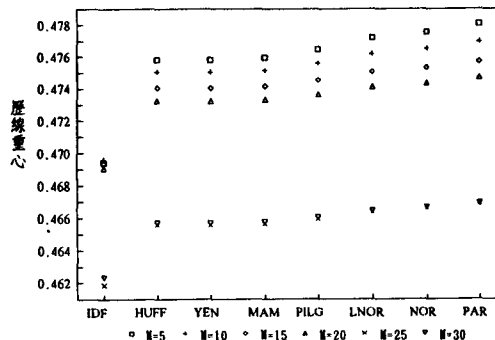


圖 7-1 各雨型之歷線重心(台北)

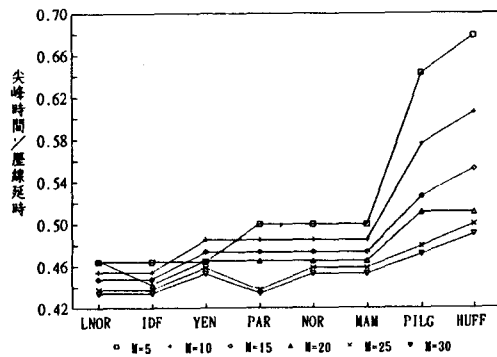


圖 7-2 各雨型逕流演算之尖峰時間比值(台北)

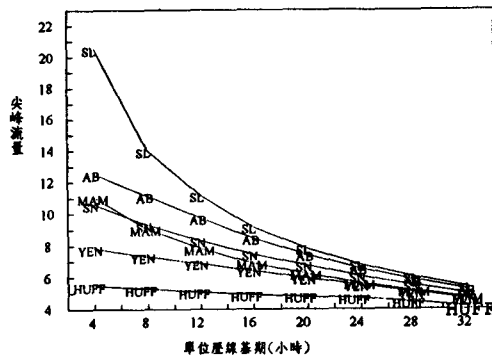


圖 8-1 各雨型不同基期逕流演算之尖峰流量

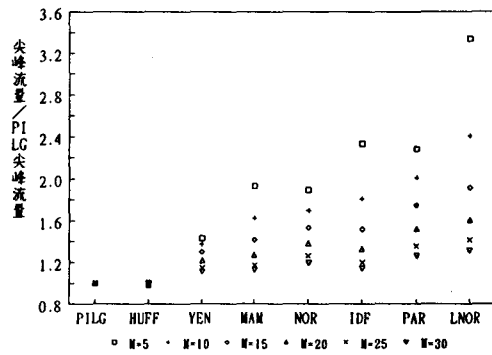


圖 8-2 各雨型逕流演算之尖峰流量比值(台北)

圖 8(表 3-3) 為各雨型經不同基期演算尖峰流量結果之比較。由圖 8-1 可知，於較大基期(如 30 小時)，其尖峰流量差異較小，此由於較大基期下，產生洪峰衰減現象，因此各設計雨型計算之尖流量差值減小。但於較小基期時，不同設計雨型將造成尖峰流量之明顯差異。為說明此差異程度，本文以較小尖峰流量之級序平均法雨型演算結果作為參考值，求算其它雨型相對於此參考值之倍數(表 3-4)，繪圖於圖 8-2。由圖 8-2 可知，於 30 小時之較高基期，不同雨型之逕流演算，其尖峰流量僅有兩成之差距。但於五小時基期條件下，對數常態分佈法雨型演算之尖峰流量可高達參考值之 3.4 倍，而二者雨型之尖峰降雨百分比值為 4.72 ~ 6.37 倍。前述經評估不錯之二次多項式分佈雨型之尖峰值亦為平均法雨型者之兩倍。因此小基期集水區之設計雨型將影響工程設計結果頗鉅，應慎重選擇。

四、結論與建議

4-1 結論

本研究以降雨事件法、重現期雨量及逕流演算等方法，對設計雨型特性進行綜合評估。主要成果分述如下：

1. 降雨事件法評估

經均值偏差評估，各雨型表現較佳者，依序為二次多項式分佈雨型、IDF 法雨型、常態分佈法雨型及無因次移動平均法雨型。但是 IDF 法雨型尖峰降雨誤差值於各地區之離散程度甚高，顯示此法之不穩定性；平均法雨型與級序平均法雨型於不同地區之尖峰時間誤差之標準偏差竟達 20%，顯示二平均法雨型對尖峰時間之掌握甚不理想。各設計雨型中以二次多項式分佈雨型各參數於不同地區之標準偏差皆小，模擬結果具一致性。

2. 重現期雨量評估：

IDF 公式法雨型累積曲線形狀與各延時重現期距降雨曲線最近似，但由於低估短延時降雨比例，使整條曲線向下平移。以絕對差值、差值平方和及 K-S 等三差值密合程度評估於不同重現期降雨條件下，皆以二次多項式分佈雨型、常態分佈法雨型及無因次移動平均法雨型模擬較佳。對

數常態分佈法雨型於奇方差值分析有不錯之結果，且隨重現期距增加而密合度愈高。平均法雨型、級序平均法雨型與三角形法雨型不論以何種方式比較，其密合度皆明顯不如其它五種雨型。

3. 逕流演算評估

經小基期三角形單位歷線之逕流演算，雨型原有之不規則性會使其逕流演算造成之歷線差異較為明顯，尤其平均法雨型更可能出現雙峰之流量歷線；當基期增加，逕流歷線會逐漸平滑而形成鐘型狀，不但使不同設計雨型演算所得之尖峰流量差異降低，亦會使尖峰逕流時間差異減少。

各雨型逕流演算之歷線重心變化僅由 0.46 至 0.48，變化幅度不大。不同基期單位歷線演算下，平均法雨型及級序平均法雨型之尖峰逕流時間與歷線延時比值有明顯差異，可見二平均法雨型於逕流演算時，其尖峰流量時間掌握具不確定性。

不同雨型於 30 小時基期單位歷線之逕流演算，其尖峰流量約有兩成之差距。至於五小時基期條件下，對數常態分佈法及二次多項式分佈雨型演算之尖峰流量分別達平均法雨型者之 3.4 及 2 倍。因此小基期集水區之設計雨型將影響洪峰設計甚鉅，應慎重選擇。

4-2 建議

1. 降雨特性之研究應由其降雨物理結構、性質著手分析，但由於氣象現象變化萬千，各集水區於工程設計規劃時，實難以求取一代表該集水區水文特性之「代表雨型」，即使針對特定、單一性質之颱風雨或雷陣雨，亦不易求取此等降雨之代表雨型，因此僅能就工程需求而求算「設計雨型」，也因此作者認為對「設計雨型」僅能探討其特性，而並非評估其「優劣」。
2. 本文之常態分佈及均值偏差百分比評估是以各降雨事件中值數 (50%) 為評估依據，若考量不同工程風險性，例如以 75% 予以評估時，各雨型之適切性亦可能有所不同。實際上，總雨量之發生機率可考慮水文極端值事件，而於雨型設計上則考量降雨事件降雨分佈之一般趨勢並以中值數為評估依據，應是一合理可行之暴雨設計。

五、謝 誌

本研究承蒙 行政院國家科學委員會經費補助 (計畫編號：NSC-83-0209-E-027-001)，謹此致謝。研究期間，多承國立台灣大學土木工程學研究所顏清連教授、林國峰教授，農業工程學研究所王如意教授、許銘熙教授不時賜與寶貴意見與指正，美國加州大學柏克萊分校沈學汶教授指正，敬致謝忱。

六、參考文獻

1. 張守陽，「基隆河集水區系統降雨分析與水文預測之研究」，台灣大學農業工程學研究所碩士論文，民國七十二年六月。
2. 余濬，「降雨設計雨型之研究」，台灣大學土木工程學研所碩士論文，民國七十七年六月。
3. 顏清連等，「台北都會區大眾捷運系統防洪排水設計之研究」，台灣大學水工試驗所研究報告第一百號，民國七十八年十二月。
4. 林國峰、張守陽，「台灣地區雨型之初步研究」，台灣大學水工試驗所研究報告第一一八，民國八十年七月。
5. 王如意、易任，應用水文學，上、下冊，國立編譯館出版，茂昌圖書有限公司發行，民國 79 年 9 月。
6. 林國峰、張守陽，「台灣地區雨型之研究 (一)」，台灣大學水工試驗所研究報告第一百四十四號，民國八十一年十二月。
7. 林國峰、張守陽，「台灣地區雨型之研究 (二)」，台灣大學水工試驗所研究報告第一百六十三號，民國八十二年六月。
8. 王如意、張斐章，「台灣地區重現期距雨量之研究 (三)」，台灣大學水工試驗所研究報告第一百九十二號，民國八十三年六月。
9. 林國峰、張守陽，「台灣地區雨型之研究 (三)」，台灣大學水工試驗所研究報告第一百九十三號，民國八十三年六月。
10. 許銘熙、黃宏斌，「台灣地區雨量強度一延時一頻率關係之研究 (三)」，台灣大學水工試驗所研究報告第一百九十四號，民國八十三年六月。
11. 徐享崑、游保杉 (1993)，「雨量分佈之研究」，國科會專題研究計畫成果報告，計畫編

- 號：NSC-82-0410-E-006-177，民國83年。
12. 張守陽 (1994a)，「台灣地區降雨歷時分佈之特性(一)北部地區」，國科會專題研究計畫成果報告，計畫編號：NSC-82-0115-E-027-032，民國83年3月。
 13. 張守陽、林國峰 (1994b)，「台灣北部降雨特性與時間分佈之研究—以二十四小時延時為例」，第七屆水利工程研討論文集，民國83年7月。
 14. 張守陽 (1995a)，「台灣地區降雨歷時分佈之特性(二)台灣地區」，國科會專題研究計畫成果報告，計畫編號：NSC-83-0209-E-027-001，民國84年7月。
 15. 張守陽 (1995b)，「降雨事件分割之研究」，農業工程學報，vol. 41, No. 3, 民國八十四年九月。pp47 ~ 60。
 16. 張守陽 (1997a)，「台灣地區廿四小時延時降雨事件之研究」，中華水土保持學報，第二十八卷第三期。民國八十六年九月。
 17. 張守陽 (1997b)，「台灣地區廿四小時設計雨型之研究」，農業工程學報，第四十三卷第二期，民國八十六年六月。
 18. Bandyopadhyay, M. (1972). "Synthetic Storm Pattern and Runoff for Gauhati, India," Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 98, pp.845-857.
 19. Bedient, P. B. and Huber, W. C. (1988). Hydrology and Floodplain Analysis, Addison-wesley publish company
 20. Bras, R. L. (1990). Hydrology, Addison-wesley publish company.
 21. Chow V. T., Maidment, D. R. and Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology, McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering.
 22. Chen, C. L. (1976). "Urban Storm Runoff Inlet Hydrograph Study, Vol.4: Synthetic Storms for Design of Urban Highway Drainage Facilities," Report No. FHWA-RD-76-119, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Research and Development, Washington D. C.
 23. Haan, C. T. (1979). Statistical Methods in Hydrology, The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
 24. Huff, F. A. (1967). "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms," Water Resour. Res., 3(4), 1007-1019.
 25. Keifer, C. J., and H. H. Chu. (1957). "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design," Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 83 p. 1332.
 26. Pilgrim D. H. and Cordery, I. (1975). "Rainfall Temporal Patterns for Design Floods," Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 101, pp. 81-95.
 27. Wenzel, H. G. [1982], "Rainfall for Urban Stormwater Design," Water Resources Monograph 7, AGU, Washington, D. C., pp.335-67.
 28. Yen, B. C. and Chow, V. T. (1980). "Design Hyetographs for Small Drainage Structures", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 106, pp.1055-1076.
 29. Yen, C. L., et. al (1989). "A study on Storm Drainage and flood Mitigation of Taipei Rapid Transit System," Technical Report No. 100, Hydraulic Research Laboratory, National Taiwan University.

附錄一、一般性雨型評估

前人雨型評估方法[顏清連等，1989]如下：

(1)降雨重心誤差 (error of weighting time)

$$EWT = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{|t_{cg} - \bar{t}_{cg}|}{t_{cg}} \right)_i \quad (A1-1)$$

式中， t_{cg} ：實際降雨之降雨重心； \bar{t}_{cg} ：設計雨型之降雨重心。

(2)尖峰降雨誤差 (error of rainfall peak)

$$ERP = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{|P_p - \bar{P}_p|}{P_p} \right)_i \quad (A1-2)$$

式中， P_p ：實際尖峰降雨； \bar{P}_p ：設計雨型尖峰降雨。

(3)尖峰時間誤差 (error of time to peak)

$$ETP = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{|T_p - \bar{T}_p|}{T_p} \right)_i \quad (A1-3)$$

式中， T_p ：實際降雨之尖峰時間； \bar{T}_p ：設計雨型降雨之尖峰時間。

(4)平均估計誤差 (mean of sum of square error)

$$SSE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{1}{t_d} \sum_{j=1}^t (P_i - \bar{P}_i)^2 \right\}^{1/2} \quad (A1-4)$$

式中， P_i ：實際降雨量百分比； \bar{P}_i ：設計雨型降雨量百分比。

收稿日期：民國86年5月14日

修正日期：民國86年7月4日

接受日期：民國86年7月21日