

# 第一章 前言

## 1.1 研究動機與目的

石門水庫於民國90~94年間，多次遭受洪水事件侵襲，而發生多次因濁度過高所引起之供水不足及數星期停水之事件，如民國93年艾利及94年海棠颱風，因豪雨挾帶大量泥砂進入水庫，導致水質（高濁度）遠超過淨水場處理能力之標準，造成無法正常供水，對桃園地區之民生與工業造成莫大衝擊。

有鑒於此，本研究目的在針對石門水庫發展高濁度下供水風險分析方法，其中包括利用單位特性歷線法(Unit Characteristic Hydrograph Method)與類神經網路(Artificial Neural Network)發展濁度預測模式，並以單位特性歷線法之濁度預測結果，配合高濁度水資源供水調配模式，以韋伯點繪法(Weibull Plotting Method)綜合供水調配模式所產生多場高濁度事件缺水量，計算出在高濁度下之不同缺水忍受度的缺水風險。

## 1.2 研究流程

本研究流程如圖1.2所示，首先蒐集研究所需之歷史水文觀測資料，包含雨量、流量、濁度與水工結構物基本資料等；接著以年最大值序列(Annual Maximum Series)與暴雨資料分析法進行降雨量與設計雨型之分析，再以設計降雨之觀念配合拉丁超立方取樣法 (Latin Hypercube Sampling Technique, LHS) 進行雨量歷線合成，然後以三角型單位歷線之觀念進行降雨逕流模式建置，配合多組雨量歷線合成之結果，可求得多組流量歷線；而高濁度供水調配受淨水場濁度處理能力及水庫防洪操作影響，本研究以單位特性歷線法與類神經網路進行濁度歷線預測模式建置，比較上述兩種方法後，採用單位特性歷線法模擬之濁度預測結果，再配合波爾斯法建立考量濁度及水庫防洪操作之供水調配模式，計算各高濁度事件下之缺水量，最後再以韋伯點繪法綜合前述多場高濁度事件缺水量，計算出高濁度事件下不同缺水忍受度的缺水風險。



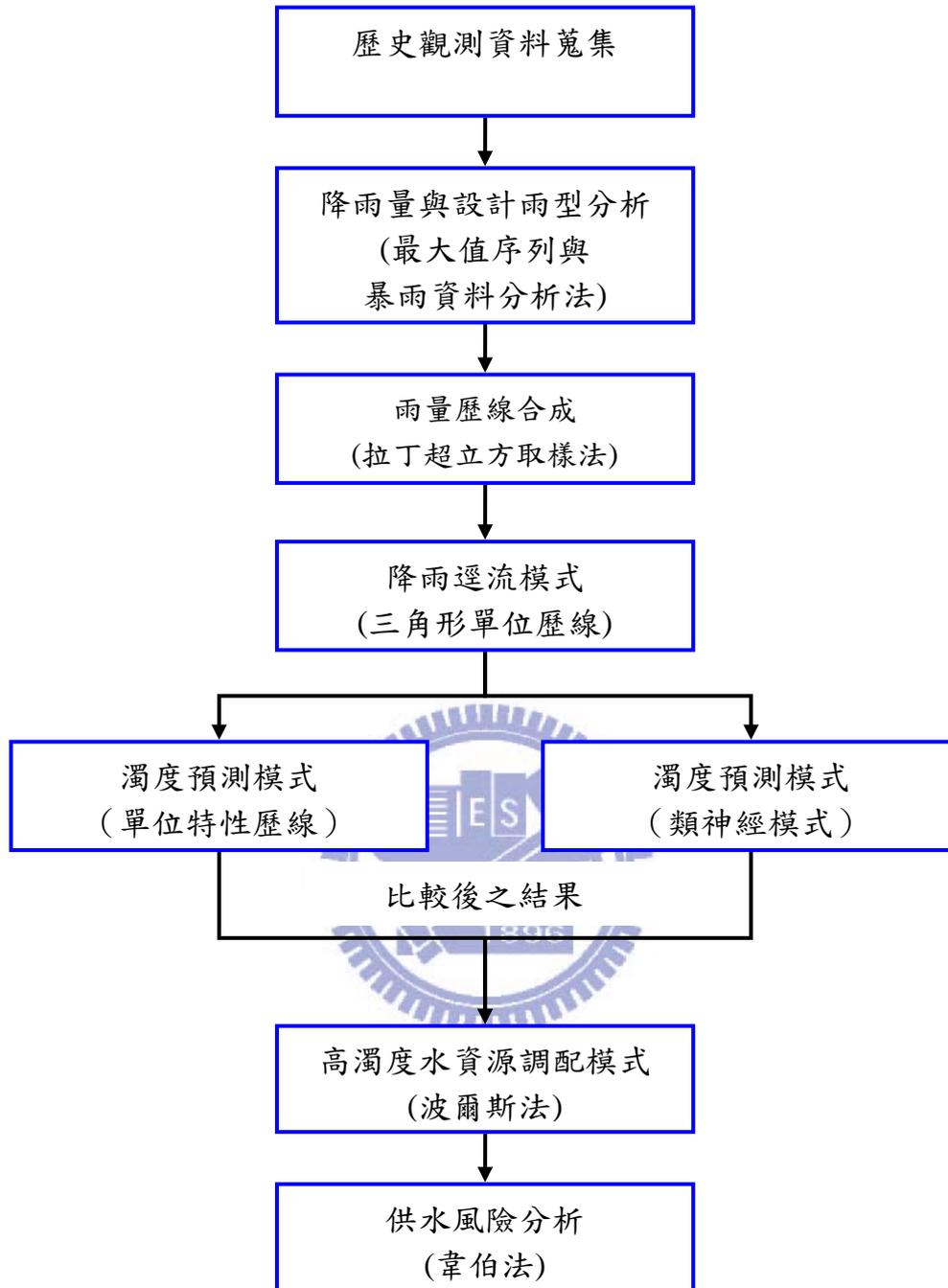


圖 1.2 研究流程

## 第二章 文獻回顧

台灣地區因地震頻繁造成多數集水區上游土石鬆軟，汛期時易發生高濁度供水問題，而濁度與懸浮載泥砂濃度相關程度很高，因此本研究蒐集國內外濁度預測或泥砂濃度預測之相關文獻進行探討，經本研究彙整後，將濁度(或泥砂濃度)預測分為三大類，即數值預測模式、經驗/統計預測方法及實驗方法。

數值預測模式乃是以泥砂運移物理機制為控制方程式，建立數值模式進行泥砂運移量計算，如Toniolo (2007) 建立濁度流(turbidity)水平一維數值模式，以探討水庫因砂率之變化，主要將水庫分為上、中、下游三段進行模擬分析，並與實驗結果比較。Chou (2010) 探討洪水操作對於水庫濁度之影響，根據Kynch的批次沉降(Batch Settling)定理，建立考量垂向一維濁度變化之GWASIM模式，濁度主要受水平進、出流量、垂向對流及泥沙沉降影響。

經驗/統計預測方法乃是以現地觀測數據，利用統計方法求得濁度(或泥砂濃度)與預測因子間的轉換函數，由於入流量與濁度(或泥砂濃度)息息相關，因此常以入流量作為濁度預測因子，最常見之經驗公式為Einstein (1950) 根據力學與統計學所提出之挾砂力公式，即含砂量與流量關係呈指數關係( $Q_s = kQ^n$ ，式中 $Q$ 為流量， $Q_s$ 為含砂量， $k$ 與 $n$ 為迴歸係數)，Colby 和 Hembree (1955)、Toffaletti (1969)、Fleming (1969) 及Sun 等人 (2001) 皆應用Einstein經驗公式進行河川濁度(或泥砂濃度)推估，國內研究如趙信嘉 (1990)、楊錦釗 (1997)、經濟部水利署水利規劃試驗所 (2002) 及程勝璟 (2003) 亦利用Einstein經驗公式進行河川濁度(或泥砂濃度)，各文獻之詳細說明詳見表2-1所示。另外類神經模式也常被廣泛被應用於河川濁度預

測，國外研究有Nagy等人（2002）以類神經網路進行美國多條河川含砂量預測，模式以剪應力、坡度、水深比、福祿數、雷諾數等8個輸入參數反映河川泥砂濃度之變化。Sarangi和Bhattacharya（2005）以類神經模式應用於印度Banha集水區之河川泥砂濃度預測，模式中影響河川泥砂濃度因子包含流量與地文因子。國內研究有王英銘（2005）以自組性類神經網路架構GMDH（Group Method of Data Handling）演算法為基本架構，利用每日暴雨量及入流量建立攔河堰濁度預測模式。李念勳（2007）利用類神經網路對八掌溪觸口橋之水位、濁度及硝酸鹽濃度進行預測，其中影響 $t$ 時刻濁度之因子包含 $t-1$ 時刻日雨量、 $t-1$ 時刻流量與 $t-1$ 時刻濁度。由前述文獻發現，大部分經驗/統計預測模式多應用於河川或攔河堰濁度(或含砂濃度)預測，鮮少應用於水庫濁度預測。

實驗方法乃以水工試驗求得相關數據，再利用統計方法歸納濁度與實驗數據之關係。相關文獻有Meyer和Muller（1948）以獨立因素的經驗分析方法進行一系列的推移質水槽試驗，並依此試驗結果建立推移質輸砂公式。黃振傑（2007）利用現場砂樣於試驗室調配標準濃度渾水樣，量測濁度值，並以庫區現地水樣的濃濁度觀測資料，迴歸出現地水樣之濃度與濁度關係率定曲線。經濟部水利署（2005及2006）以沉降筒試驗探討清水清渾水交界面受入、出流量之影響，並提出石門水庫防渾操作原則。

由於數值預測模式多以複雜泥砂運移機制作為控制方程式，因此需要大量計算量，本研究嘗試以簡單水文機制(單位特性歷線)取代複雜泥砂運移機置，建立計算量較低之水庫濁度數值預測模式，並同時建立類神經水庫濁度預測模式以進行比較。

表 2-1 Einstein 懸移質濃度經驗公式相關文獻說明

分類	說明
國外 文獻	Colby and Hembree (1955) 修正 Einstein 懸移質濃度經驗公式，並應用於內布拉斯加州(Nebraska)之 Nio-brara 河之懸移質濃度推估。
	Toffaleti (1969) 修正 Einstein 懸移質濃度經驗公式，並應用於美國地區之各中、大型河川懸移質濃度推估。
	Fleming (1969) 利用 Einstein 經驗公式分析世界 250 條河川懸移質濃度，發現不同水文及地質環境下，所得到的 $k$ 和 $n$ 值差異頗大，因此， $k$ 和 $n$ 值應視每條河川的特性而定。
	Sun et al. (2001) 以 Einstein 懸移質濃度經驗公式分析澳洲南部之集水區河川懸移質濃度，並與多項式迴歸預測結果進行比較。
國內 文獻	趙信嘉 (1990) 以 Einstein 懸移質濃度經驗公式分析東港溪港西抽水站及荖濃溪新發大橋上游流量與含砂濃度關係，相關係數達 0.92 以上。
	楊錦釗 (1997) 以 Einstein 懸移質濃度經驗公式分析旗山溪上游流量與含砂濃度關係，其相關係數達 0.99。
	程勝璟 (2003) 以 Einstein 懸移質濃度經驗公式分析旗山溪甲仙攔河堰上游流量與含砂濃度關係。
	經濟部水利署水利規劃試驗所 (2002) 以 Einstein 懸移質輸砂率公式分析濁水溪自強大橋與彰雲橋實測流量與懸移輸砂量之關係，相關係數達 0.8 以上。

## 第三章 相關理論說明

### 3.1 頻率分析與雨型設計理論介紹

水文事件之統計分析為分析不同重現期距之水文量，此可作為後續水庫高濁度分析之基礎，因高濁度事件發生於總期距為數小時之事件型暴雨，因此本研究參考一般工程設計常用的設計降雨來產生事件型降雨；設計降雨是由設計降雨深度(Design Depth)與設計雨型(Design Hyetograph)兩部分所組成，設計降雨深度是經由水文頻率分析所求得之降雨量，設計雨型則為降雨量在時間上之分布情況。以下將分別介紹水文頻率分析及降雨型態設計之理論基礎。

#### 一、頻率分析

水文頻率分析流程如圖3.1-1所示，其流程說明如下：



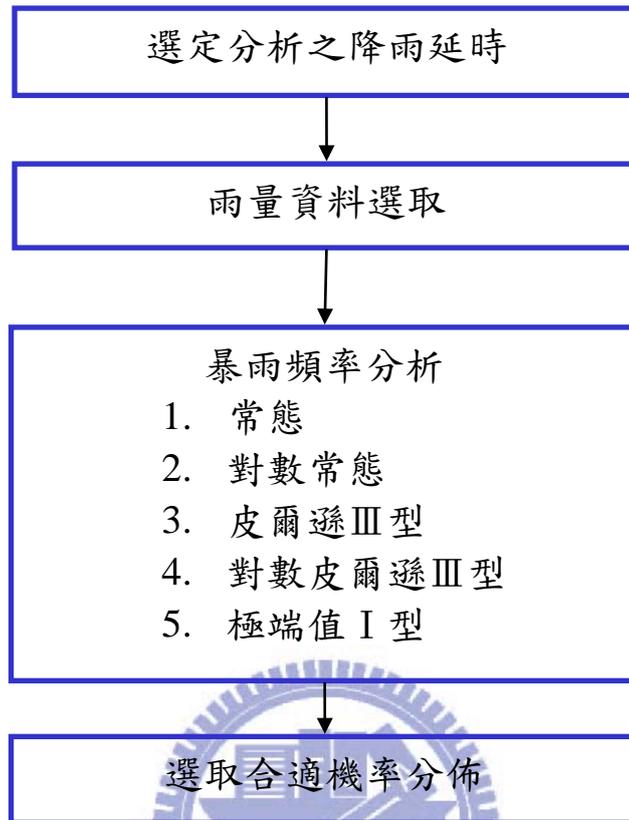


圖 3.1-1 水文頻率分析流程

#### (一)選定分析之降雨延時

頻率分析的第一步驟為決定該暴雨的降雨延時，主要依據集水區水文、地文特性來選定，一般河川治理工程設計，通常採用一日或二日暴雨，若為都市排水工程設計，通常採用12小時或6小時暴雨，惟本研究主要目的為探討高濁度事件的供水情況，需合成多組不同颱風事件，故降雨延時乃以統計歷史颱風事件延時為基礎，利用拉丁超立方取樣法決定之，拉丁超立方取樣法之說明詳見3.6節。

## (二)雨量資料選取

若採用全部量測的雨量資料進行分析，稱為完全延時序列(Complete Duration Series)，若祇選擇數量大於某一門檻值的資料序列進行分析，稱為部份延時序列(Partial Duration Series)。

一般頻率分析通常採用部分延時序列進行分析，部分延時序列可由年超過值序列法(Annual Exceedence Series)和極端值序列法(Extreme Value Series)法求得，一般較常採用的為極端值序列法，故本研究以極端值序列法中的年最大值序列法作為水文資料選取之標準。兩種序列選取法之說明如下：

### 1. 年超過值序列法

若選定特殊的門檻值，使得序列中超過此門檻值之資料數目恰等於紀錄中之年數，則稱此序列為年超過值序列。

### 2. 極端值序列法

選取紀錄中，固定時距內所發生的最大或最小值；如採用每年紀錄之最大值，則此種序列稱為年最大值序列。

## (三)暴雨頻率分析

水文紀錄資料因受集水區水文與地文環境之影響，有其特殊之統計性質。某特定重現期水文量之大小，可以頻率分析通式表示之：

$$x_T = \mu + \sigma \cdot K_T \dots\dots\dots (3-1式)$$

式中  $x_T$  為重現期T之水文量； $\mu$  為水文資料之平均值； $\sigma$  為水文資料之標準偏差； $K_T$  稱為頻率因子(Frequency Factor)。

$K_T$  頻率因子通常跟不同機率分布型態來決定之，常見之雨量統計分佈型態有常態(Normal)、對數常態(Log Normal)、皮爾遜III型(Pearson III)、對數皮爾遜III型(Log Pearson III)及極端值I型(Extreme I)等五種分佈。水文頻率分析結果詳見4.2節。

#### (四)選取合適機率分佈

本研究以誤差平方和 (Error Sum of Squares, SSE) 及標準誤差 (Standard Error, SE) 作為評估指標。SSE與SE之定義如式3-2和式3-3所示：

$$SSE = \sum_{i=1}^n (X_i - R_i)^2 \dots\dots\dots (3-2 \text{ 式})$$

$$SE = \sqrt{\frac{SSE}{(n-r)}} \dots\dots\dots (3-3 \text{ 式})$$

式中  $n$  為樣本數， $r$  為自由度， $X_i$  和  $R_i$  為相同發生機率下之雨量模擬值與雨量理論值。雨量模擬值為在某機率分佈下，特定發生機率之雨量模擬值，雨量理論值則以韋伯點繪法計算之，將歷史暴雨量資料由大至小排列，計算雨量所對應之超越機率  $P$ ，此雨量即為特定發生機率下之雨量理論值，超越機率  $P$  之計算如下：

$$P\% = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (3-4 \text{ 式})$$

式中  $m$  為資料筆數之排序名次， $n$  為樣本數

## 二、降雨型態設計

雨型設計目的在於設計暴雨總降雨深度之時間分配關係，一般常用的評估方法有：暴雨資料分析法、降雨強度公式法、實際

降雨雨型及序率馬可夫 (Simple Scaling Gauss-Markov, SSGM) 雨型；由於石門水庫集水區範圍較大，集流時間較長，加上本研究目的為提出一綜合考量高濁度時之供水風險分析步驟，因此選擇計算較為容易且適用於集流時間較長的分析方法—暴雨資料分析法進行雨型設計之估算。分析步驟說明如下：

#### (一) 選取歷史降雨事件

由歷史雨量事件中，配合選定之降雨延時，以年最大值選取法找出各年連續最大N小時之雨量時間分佈，再以各場暴雨事件之雨量累積曲線來判定各場降雨時間分佈型態是否相似，若差異太大者，則不納入分析。

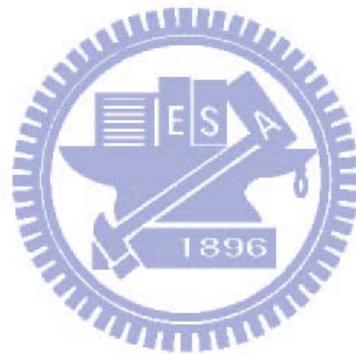
#### (二) 計算無因次雨型

計算每場暴雨每一小時雨量與該場暴雨總雨量之百分比，並依大小順序重新排列，以計算數場暴雨排序後之雨量百分比之平均值。

#### (三) 以位序法決定降雨時間分配型態

依前述雨量百分比平均值配置成所需之降雨分配型態，其配置方法通常採用位序法。一般常用中央位序法進行配置，即假設尖峰流量發生於1/2降雨延時，故將降雨百分比之最大值放置在中間，再依右大左小（或左大右小）順序排列，以得到降雨時間分配型態。但往往實際降雨尖峰流量多呈現偏態，因此本研究將以偏態位序法進行配置，即由選取數場暴雨事件，分析各場次之降雨延時  $T_d$ 、尖峰降雨時間  $T_a$ ，計算出暴雨前進係數  $\gamma = T_a / T_d$ ，將各場暴雨之前進係數取平均做為該水文站之平均前進

係數 $\gamma$ 。由降雨延時 $n$  小時乘以平均前進係數 $\gamma$  值，可計算出降雨百分比第一順位所落之區間位置，再依右大左小(或左大右小)順序排列，當一邊已排滿時，將剩餘之順位由大而小排在未滿之另一邊，即可求出該站之降雨時間分配型態，此即為設計雨型，設計雨型結果詳見4.2節。



### 3.2 降雨逕流模式

歷線分析方法甚多，有時為了應用方便，將歷線之形狀假設為三角型。一般降雨逕流模式可分為適用於事件型流量或長期流量，本研究主要考量事件型流量推估，故以三角形單位歷線法進行估算。三角形單位歷線之概念簡單，用途卻頗重要，尤其對海島型國家，小集水區之水文歷線分析，更屬簡便。

三角形單位歷線法係假設單位時間有效降雨量所形成之流量歷線呈三角形，如圖3.2-1所示，其形狀依美國水土保持局(U.S. Soil Conservation Service)之經驗公式推定。經驗公式如下：

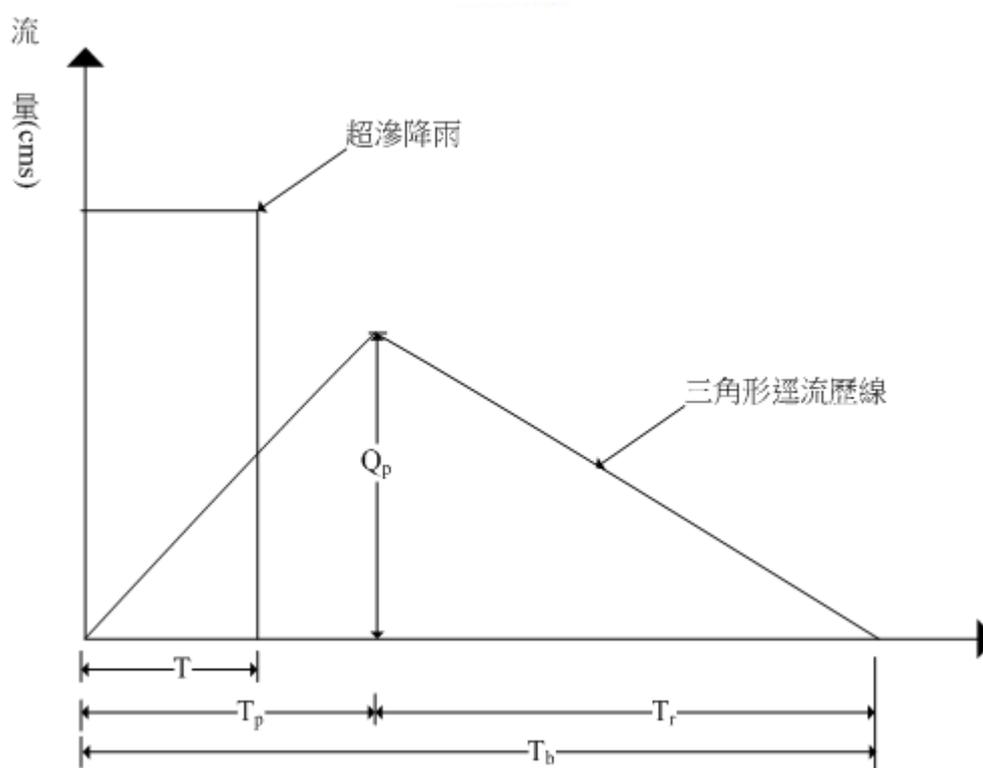


圖 3.2-1 三角型單位歷線示意圖

$$T_b = 2.67T_p \dots\dots\dots (3-5式)$$

$$T_p = T_r / 2 + 0.6T_c \dots\dots\dots (3-6式)$$

$$Q_p = 0.208AR_e / T_p \dots\dots\dots (3-7式)$$

其中  $T_b$  : 歷線基期(hr) ;

$T_p$  : 歷線洪峰時間(hr) ;

$T_c$  : 集流時間(hr) ;

$A$  : 集水面積(km<sup>2</sup>) ;

$R_e$  : 超滲降雨量(mm) ;

$Q_p$  : 洪峰流量(cms) ;

$T_r$  : 單位降雨延時(hr) ;



### 一、Kirpich 公式

Kirpich (1940)利用美國田納西州六個農業集水區之水文紀錄，推導集流時間公式如下：

$$t_c = 0.02 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \text{ (hr)} \dots\dots\dots (3-8式)$$

式中L為集水區河道長度(m)；S為集水區平均坡度(m/m)。

### 二、Rziha 公式

台灣及日本常用公式，與合理化公式流達之時間公式相同，其公式如下：

$$t_c = \frac{L}{72 \cdot S^{0.6}} \quad (\text{hr}) \dots\dots\dots (3-9\text{式})$$

式中L為集水區河道長度(m)；S為集水區平均坡度(m/m)。

### 三、美國加州公路及公共工程局公式

$$t_c = \left( \frac{11.9L^2}{H} \right)^{0.085} \quad (\text{hr}) \dots\dots\dots (3-10\text{式})$$

式中L為集水區河道長度(m)；H為集水區最高與最低高程差(m/m)。

本研究以單位歷線與三角形單位歷線之基本觀念，分別運用於單位特性歷線模式與降雨逕流模式建置，其流程與結果詳見第四章。



### 3.3 濁度預測模式

Kynch批次沉降理論(Batch Settling)將水庫分為多層，各分層之水庫泥沙濃度(濁度)與水庫入、出流泥砂量、泥砂沉降及水庫上下對流有關，屬垂向一維模式，其示意圖如圖3.3-1所示。由於泥沙沉降受泥砂顆粒形狀與泥砂絮團能力影響，水庫上下對流受季節轉換(溫度變化)影響，兩者缺乏實測資料且不易估算，故本研究僅以水庫入、出流泥砂量資料，配合單位特性歷線法 (Unit Characteristic Hydrograph Method) 進行水庫取水口濁度預測。

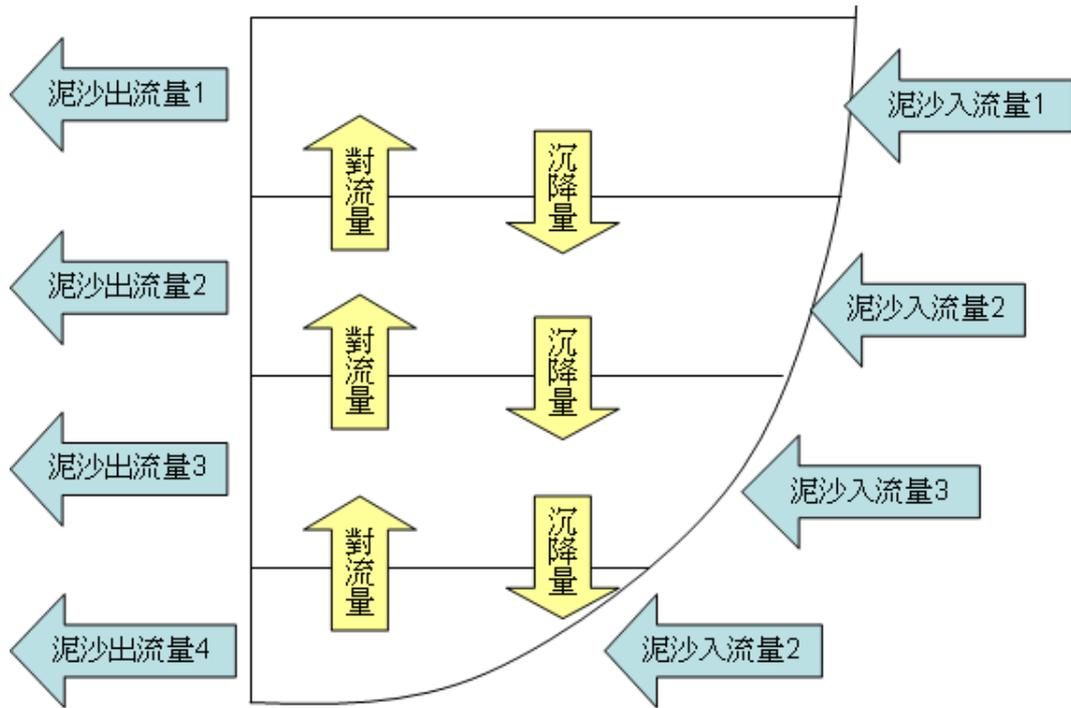


圖 3.3-1 垂向一維泥沙平衡示意圖

單位特性歷線法乃模仿自單位歷線(Unit Hydrograph)理論。單位歷線為薛爾曼氏(L.K. Sherman)於 1932 年所發展之理論。其定義為：在某一特定延時 T 內，對時間、空間而言，皆均勻落於一集水區之單位有效降雨所形成之直接逕流歷線。本研究將其定義延伸為單位特性歷線，即在某單位時距內，水庫分層單位泥砂入(出)流量，造成水庫取水分層濁度變化歷線。由於本研究考量水庫分層濁度變化乃受水庫分層泥砂入、出流量之綜合影響，故水庫分層濁度歷線可表示為：

$$TS_{T \times tb} = MI_{T \times tb1} \times UI_{tb1 \times 1} - MO_{T \times tb2} \times UO_{tb2 \times 1} \dots \dots \dots (3-11 \text{ 式})$$

$$\begin{bmatrix} ts_2 \\ ts_3 \\ ts_4 \\ \vdots \\ \vdots \\ ts_{T+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mi_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ mi_2 & mi_1 & 0 & \dots & 0 \\ mi_3 & mi_2 & mi_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ mi_T & mi_{T-1} & mi_{T-2} & \dots & mi_{T-tb1+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ui_1 \\ ui_2 \\ ui_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ ui_{tb1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} mo_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ mo_2 & mo_1 & 0 & \dots & 0 \\ mo_3 & mo_2 & mo_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ mo_T & mo_{T-1} & mo_{T-2} & \dots & mo_{T-tb2+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} uo_1 \\ uo_2 \\ uo_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ uo_{tb2} \end{bmatrix} \quad (3-12 \text{ 式})$$

其中  $TS_{T \times 1}$  為  $t+1$  時刻水庫分層濁度歷線矩陣， $ts_t$  為  $t$  時刻水庫分層濁度， $MI_{T \times tb1}$  為水庫分層泥砂入流量構成的下三角矩陣， $mi_t$  為  $t$  時刻水庫分層泥砂入流量， $MO_{T \times tb2}$  為水庫分層泥砂出流量構成的下三角矩陣， $mo_t$  為  $t$  時刻水庫分層泥砂出流量， $UI_{tb1 \times 1}$  為水庫分層泥砂入流單位特性歷線矩陣， $ui_t$  為水庫分層泥砂入流單位歷線  $t$  時刻泥沙量， $UO_{tb2 \times 1}$  為水庫分層泥砂出流單位特性歷線矩陣， $uo_t$  為水庫分層泥砂出流單位歷線  $t$  時刻泥沙量， $T$  為整場暴雨的基期， $tb1$  為水庫分層泥砂入流單位歷線的基期， $tb2$  為水庫分層泥砂出流單位歷線的基期。

本研究假設水庫分層泥砂入、出流量與水庫分層入、出流量呈正比，因此水庫分層  $t$  時刻泥砂入流量  $mi_t$  可表示為：

$$mi_t = A_1 \times I_t \quad \dots \dots \dots (3-13 \text{ 式})$$

水庫分層  $t$  時刻泥砂出流量  $mo_t$  可表示為：

$$mo_t = A_2 \times O_t \quad \dots \dots \dots (3-14 \text{ 式})$$

式 3-13 和 3-14 之  $A_1$  及  $A_2$  為常數。令新泥砂入、出流單位特性歷線( $ui'_t$  及  $uo'_t$ )分別為：

$$ui'_t = A_1 \times ui_t \quad \dots \dots \dots (3-15 \text{ 式})$$

$$uo'_t = A_2 \times uo_t \quad \dots \dots \dots (3-16 \text{ 式})$$

故式 3-12 可改寫為

$$\begin{bmatrix} ts_2 \\ ts_3 \\ ts_4 \\ \vdots \\ \vdots \\ ts_{T+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ I_2 & I_1 & 0 & \dots & 0 \\ I_3 & I_2 & I_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ I_T & I_{T-1} & I_{T-2} & \dots & I_{T-tb1+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ui'_1 \\ ui'_2 \\ ui'_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ ui'_{tb1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} O_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ O_2 & O_1 & 0 & \dots & 0 \\ O_3 & O_2 & O_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ O_T & O_{T-1} & O_{T-2} & \dots & O_{T-tb2+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} uo'_1 \\ uo'_2 \\ uo'_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ uo'_{tb2} \end{bmatrix} \quad (3-17 \text{ 式})$$

式 3-17 中，新泥砂入、出流單位特性歷線( $ui'_i$  及  $uo'_i$ )待定，本研究假設單位特性歷線為三角形，故每個單位特性歷線有三個參數待定，即尖峰泥砂量、到達尖峰泥砂量時間以及泥砂歷線基期，本研究以遺傳演算法 (Genetic Algorithms, GA) 進行參數率定，其目標函數設定為觀測濁度與預測濁度之誤差平方和最小，遺傳演算法較傳統最陡坡降演算法容易跳出局部最佳解，且對於變數的變化範圍限制較為彈性，其詳細理論介紹詳見附錄一。

另外為探討單位特性歷線法之預測效率，本研究以類神經建立濁度預測模式作為對照組，探討兩者預測效率之優劣，比較分析詳見 4.4 節，類神經理論介紹詳見附錄二。

### 3.4 水庫演算

水庫演算 (Reservoir Routing) 乃由水庫上游某已知點之入流情況以演算下游某點洪水波鋒之大小與發生之時間，乃洪水演算中最重要者。本研究以波爾斯法 (The Puts Method) 進行演算，詳細介紹於下：

此法假設水庫流量與其蓄水量不變而忽略洪水波峰經過所產生水面坡峰之變化，為美國陸軍兵工團波爾斯氏 (L. G. Puts) 於 1928 年創擬。雖然此法假設過份理想，但在水庫演算時多被應用。

波爾斯法所根據之理論為式 3-18 水文方程式：

$$I - O = \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots (3-18 \text{ 式})$$

假設在  $\Delta t$  之演算時間內，下列關係成立：

$$\text{在 } t_1 \text{ 時， } I_{t_1} - O_{t_1} = \frac{S_{t_1}}{\Delta t} ; t_2 \text{ 時， } I_{t_2} - O_{t_2} = \frac{S_{t_2}}{\Delta t}$$

故  $\Delta t = t_2 - t_1$  時，

$$\frac{I_{t_1} + I_{t_2}}{2} - \frac{O_{t_1} + O_{t_2}}{2} = \frac{S_{t_2} - S_{t_1}}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \dots\dots\dots (3-19 \text{ 式})$$

或

$$\bar{I} - \bar{O} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \dots\dots\dots (3-20 \text{ 式})$$

式中， $\Delta t$  為洪水演算時距。 $\Delta S$  為在  $\Delta t$  中河川蓄水改變量，即

$\Delta S = S_{t_2} - S_{t_1}$ 。 $\bar{I}$  為在  $\Delta t$  中河川之平均入流量，即  $\bar{I} = \frac{1}{2}(I_{t_1} + I_{t_2})$ 。 $\bar{O}$  為

在  $\Delta t$  中河川之平均放流量，即  $\bar{O} = \frac{1}{2}(O_{t_1} + O_{t_2})$ 。

式3-19中， $I_{t_1}$ 、 $I_{t_2}$ 、 $O_{t_1}$ 、 $S_{t_1}$ 為已知， $O_{t_2}$ 、 $S_{t_2}$ 為未知。將式3-19中已知諸項移至等號左邊，未知兩項移至等號右邊，則式3-19可改寫為：

$$\frac{1}{2}(I_{t_1} + I_{t_2})\Delta t + (S_{t_1} - \frac{1}{2}O_{t_1}\Delta t) = S_{t_2} + \frac{1}{2}O_{t_2}\Delta t \dots\dots\dots(3-21)式$$

演算之方式即由式(3-21)左邊已知項推算  $S_{t_2} + \frac{1}{2}O_{t_2}\Delta t$ ，再由  $O_{t_2}$

與  $S_{t_2} + \frac{1}{2}O_{t_2}\Delta t$  關係曲線中求出  $O_{t_2}$ 。 $S + \frac{1}{2}O\Delta t$  稱為蓄水指示量

(Storage- indication)。為達到此種演算過程，在演算前，應求出該水庫以往之水文紀錄，繪製如圖3.4-1之水庫性能曲線，求得  $O$  與

$S + \frac{1}{2}O\Delta t$ ， $O$  與  $S$  或  $S$  與  $S + \frac{1}{2}O\Delta t$  之關係。

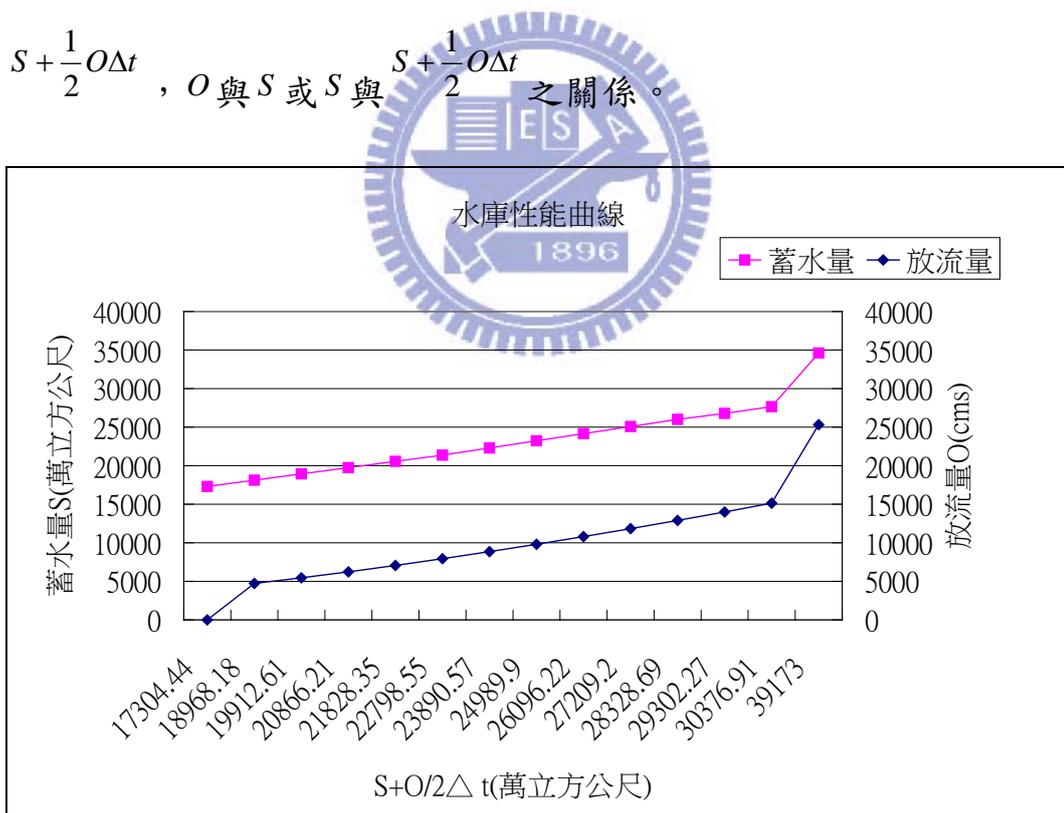


圖 3.4-1 石門水庫性能曲線

本研究高濁度調配模式僅考量淨水場之入流或出流量，再配合原有之管線限制進行供水量模擬。此外水庫於汛期時進行洪水操作，因此放水量將影響下一時刻之水庫濁度，因此高濁度調配模式之水庫洪水演算需納入石門水庫特性曲線一併探討。



### 3.5 蒙地卡羅分析

蒙地卡羅法 (Monte Carlo Simulation Method, MCS) 最早是由美國 Los Alamos 科學實驗室兩位科學家 Ulam 與 Metropolis 所創的 (Metropolis, Ulam, 1949; 柯建州, 2001)。當初是為了要設計核子防護罩，必須知道中子穿透各種材質的程度，但因為這個問題太困難而無法有分析解，又因為十分危險無法由實驗得知，因此他們利用高速電子計算機以隨機數去模擬這個實驗，將這種模擬法命名為蒙地卡羅。

與蒙地卡羅模擬法息息相關的兩個理論，是所謂的大數法則與中央極限定理。由於每次的模擬，都可以視為從相同而獨立的機率分佈中抽樣，因此模擬出來的樣本平均數的變異數，就和母體分佈的變異數成正比，和抽樣的數目，也就是模擬的次數成反比，並不用考慮到不同模擬結果之間的共變數，因此在執行很多次的模擬以後，將所得的每個數值予以平均，所得到的樣本平均數，不但在大數法則下，是估計母體平均數的不偏估計式，也因為樣本平均數的抽樣分配，在中央極限定理之下，具有常態分配的本質，也可以很容易的進行統計推論和區間估計的工作。

本研究透過蒙地卡羅模擬法，以隨機變數產生多組資料進行模擬多組互相獨立(供水量)的結果，以韋伯法計算缺水之風險。

### 3.6 拉丁超立方取樣法

當蒙地卡羅法之隨機參數較多時，選取樣本數需夠大，才能在定義域中被均勻選取，因此為在有限的樣本數內合理的描述輸入參數對模式輸出之統計動差，本研究採用拉丁超立方取樣法進行隨機參數取樣(總降雨量與降雨延時)，再進行雨量歷線之推估。其基本概念乃依據各輸入參數之統計特性(分佈型態及定義域範圍)，採分組(每組之機率相同)的取樣方法來產生各參數之隨機樣本；利用拉丁超立方取樣法可有效率地計算模式輸出值的統計特性，也就是利用有限之樣本數合理的描述輸入參數對模式輸出之統計動差。拉丁超立方取樣法步驟說明如下：

- 一、 根據每一隨機參數  $X_i$  之統計分佈型態，於隨機參數  $X_i$  之定義域範圍內劃分為  $K$  組，並使得每一組被取得的機率均為  $1/K$ 。
- 二、 於隨機參數  $X_i$  各組區間內，以亂數選取參數值，各隨機參數  $X_i$  共選取  $K$  個參數值。
- 三、 將各隨機參數  $X_i$  之  $K$  個參數值隨機配對，使取樣點均勻分布於整體求解空間。

圖3.6-1為LHS分析流程之簡例，假設有兩個隨機參數 $X$ 和 $Y$ ，其皆屬於常態分佈，於隨機參數 $X$ 和 $Y$ 之定義域範圍內劃分為4組，利用累積機率密度函數作為劃分依據，使各組區間的被選取的機率均相等，然後分別從 $X$ 和 $Y$ 之區間內，隨機選取變數值，然後再隨機配對，構成取樣樣本。

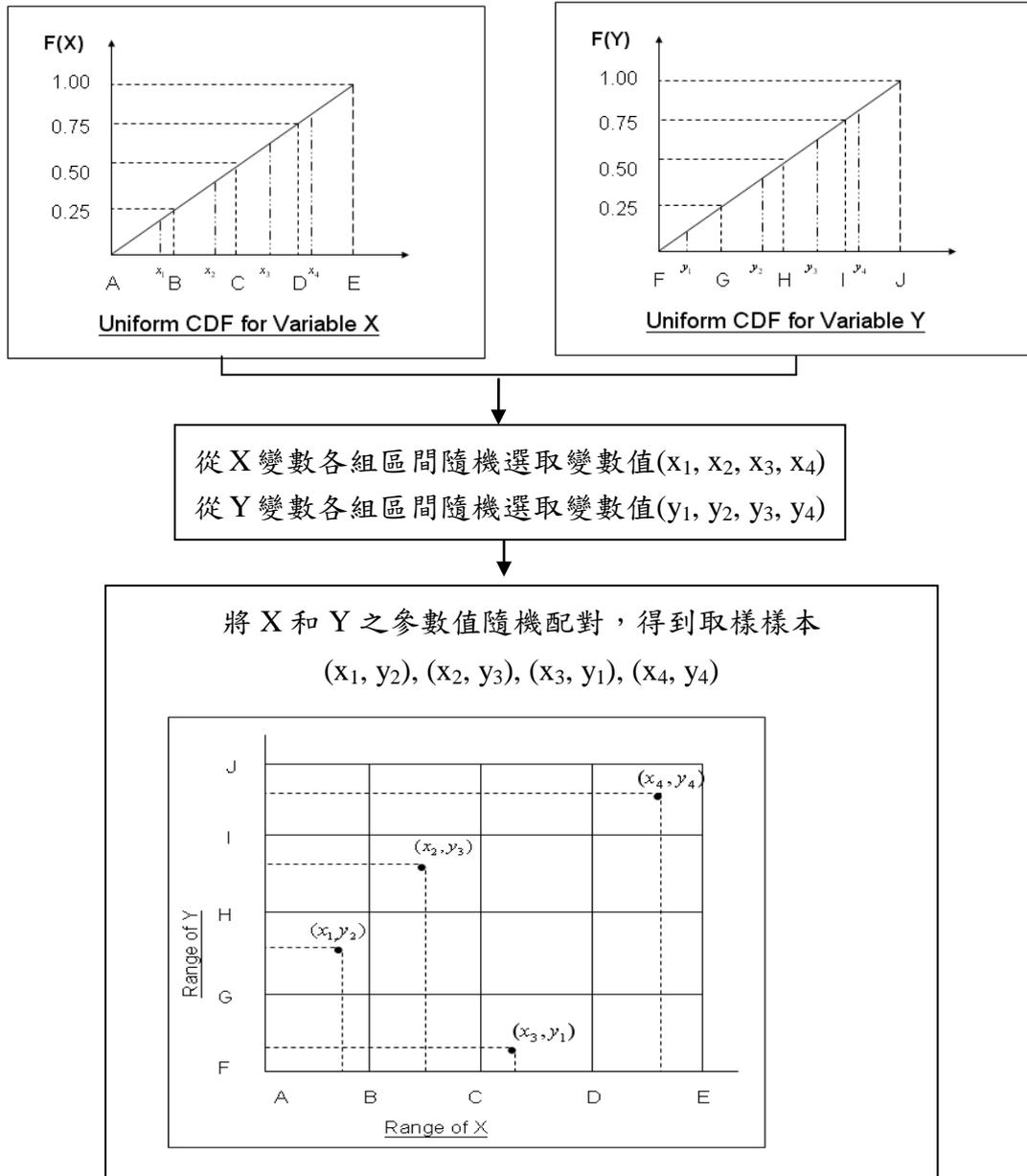


圖 3.6-1 拉丁超立方取樣法簡例流程示意圖

## 第四章 水庫高濁度供水風險分析

本研究在探討水庫高濁度事件下之供水風險分析。風險分析之流程如圖4-1：

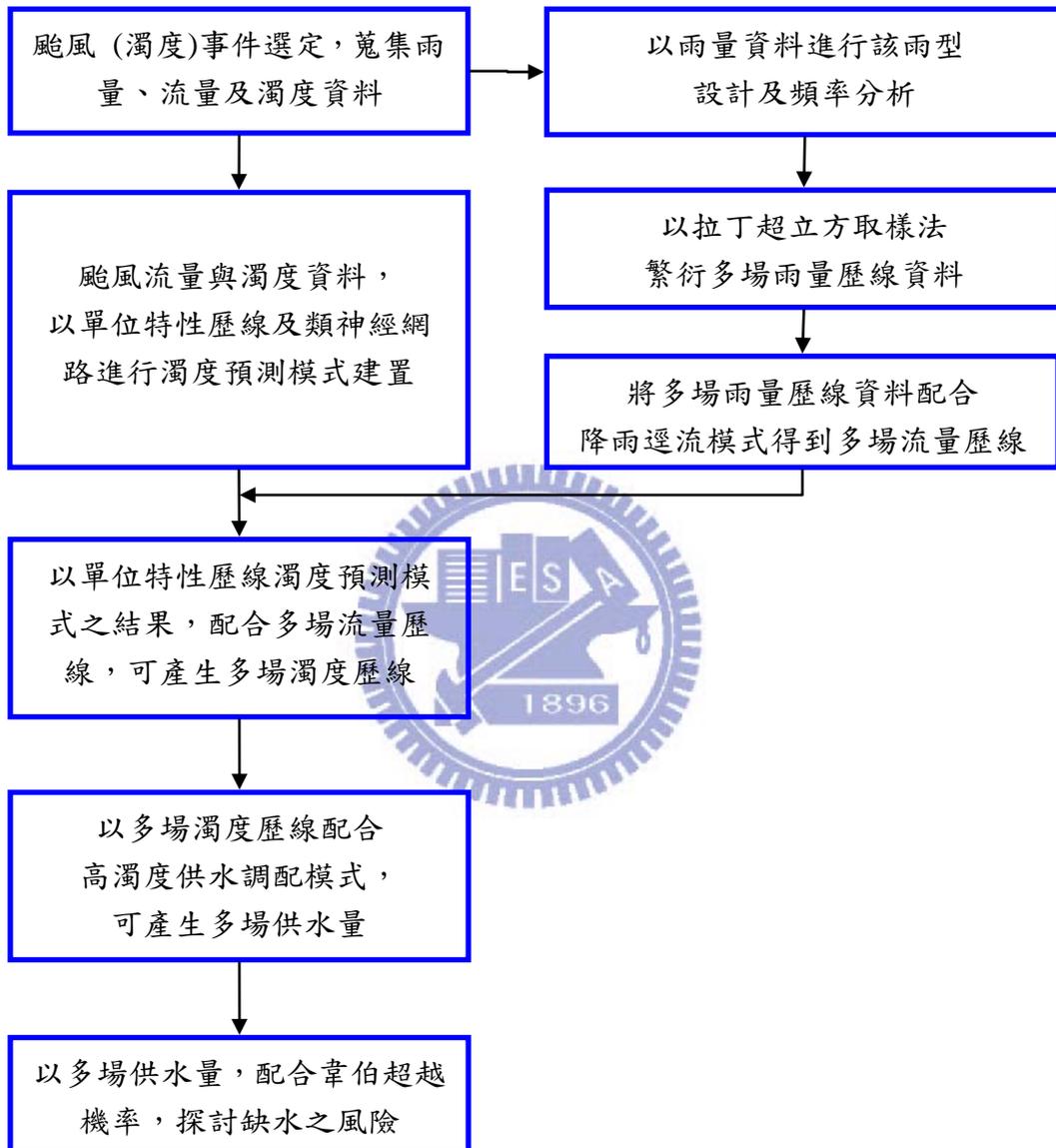


圖 4-1 高濁度供水風險分析流程

## 4.1 研究區域概述

石門水庫集水區位於大漢溪中上游段，其庫區位於桃園縣境內，橫跨龍潭、大溪及復興等3鄉鎮，集水區面積為763.4 平方公里，滿水位標高為245公尺，在民國96年所量測到的水庫總容量為2.014億立方公尺。就建設石門水庫而言，主要目的為灌溉、防洪、給水、發電與觀光等效益，目前石門水庫集水區主要的功能是調節供水與灌溉，其每日平均由水庫調蓄之供水量約80 萬立方公尺。主要供應台北縣、桃園縣及新竹縣之用水，而對北部地區農業生產、工業的發展、人民生活水準的提高，以及防止水旱災害等方面均有重大的貢獻。

### 一、流域概述

大漢溪原名大嵙崁溪，位於台灣北部，為淡水河系3大主要支流之一。東接新店河流域與蘭陽河流域，南有大甲河流域及大安河流域，西臨桃園沿海河系流域、鳳山河流域及頭前河流域。本溪發源於品田山，流經新竹縣之尖石鄉、關西鎮與桃園縣之復興鄉、龍潭鄉、龜山鄉、大溪鎮及台北縣之三峽鎮、鶯歌鎮、樹林鎮、土城鎮、板橋市、新莊市及三重市，再於江子翠匯入淡水河，幹流長135公里，流域面積1,163平方公里，平均坡降1/37，其集水區示意圖如圖4.1-1所示。

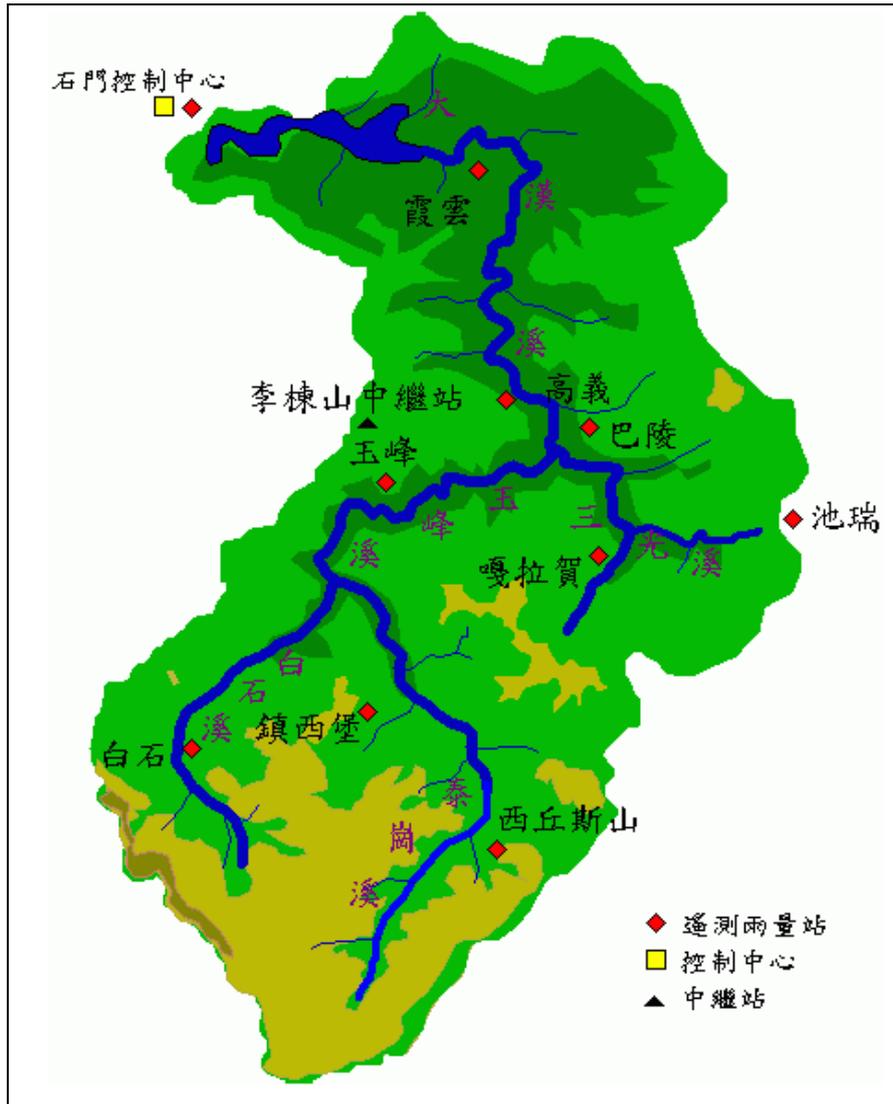


圖 4.1-1 石門水庫上游集水區示意圖

資料來源：經濟部水利署北部水資源局

該流域之相關水工結構物說明如表4.1-1，此外大漢溪流域之各淨水場之細部說明詳見表4.1-2。桃園地區主要淨水場出水能力與濁度之關係分別如表4.1-3所示。大漢溪流域各設施詳細地理位置如圖4.1-2所示。

表 4.1-1 大漢溪流域之相關水工結構物

名稱	水源	蓄水容 量 (萬噸)	用途	備註
石門 水庫	大漢 溪	30,912	灌溉、發電、公共、給 水、防洪、觀光	有效蓄水量 25,188 萬立方公尺； 現有效蓄水庫 21,887.5 萬立方公尺石 門大圳設計流量 18.4CMS
後池 壩	大漢 溪	16.80	灌溉、公共給水	有效蓄水量 320 萬立方公尺； 現有效蓄水庫 218.7 萬立方公尺 桃園大圳設計流量 16.8CMS 南勢溪 支流
榮華 壩	大漢 溪	31.63	攔砂、發電	有效蓄水量(攔砂量)1,240 萬立方公 尺
鳶山 堰	大漢 溪	126	公共給水	
三峽 堰	三峽 河	5.787	公共給水	

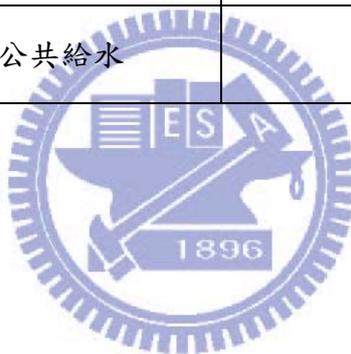


表 4.1-2 大漢河流域之淨水場說明

供水區域	供水淨水場	供水區域	備註
南桃園	石門淨水場	與平鎮淨水場同供水範圍	支援平鎮淨水場供水
	平鎮淨水場	平鎮、中壢、新屋、大園、觀音、楊梅、八德高地地區與新竹縣(湖口、新豐)	提供南桃園所有工業區用水
	龍潭淨水場	龍潭、大溪與復興部分地區	考量龍潭淨水場擴建
北桃園	中大湳淨水場	桃園、龜山、蘆竹、大園(中正機場一帶)、八德低地地區與台北縣(林口)	提供北桃園所有工業區用水
	板新淨水場	包括蘆洲、泰山、五股、八里、樹林、新莊、土城、鶯歌、三峽、板橋等	經尖山加壓站加壓後支援北桃園 10 萬 CMD

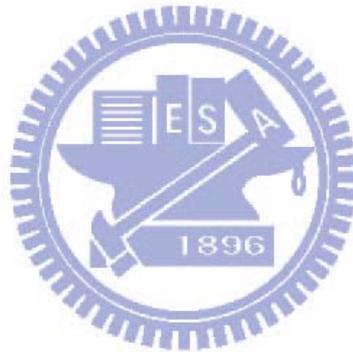


表 4.1-3 桃園用水區主要淨水場現況處理能力與濁度之關係

單位：CMD

處理能力 濁度(NTU)	大湳淨水 場	平鎮淨水 場	石門淨水 場	龍潭淨水 場	備註
$NTU \leq 1000$	300,000	600,000	120,000	50,000	正常供 水
$1000 < NTU \leq 2000$	250,000	420,000	96,000	40,000	減量供 水
$2000 < NTU \leq 5000$	150,000	360,000	90,000	37,500	減量供 水
$5000 < NTU \leq 10000$	70,000	240,000	60,000	25,000	減量供 水
$10000 < NTU$	0	0	0	0	停止供 水

資料來源：台灣省自來水公司第二區管理處提供。



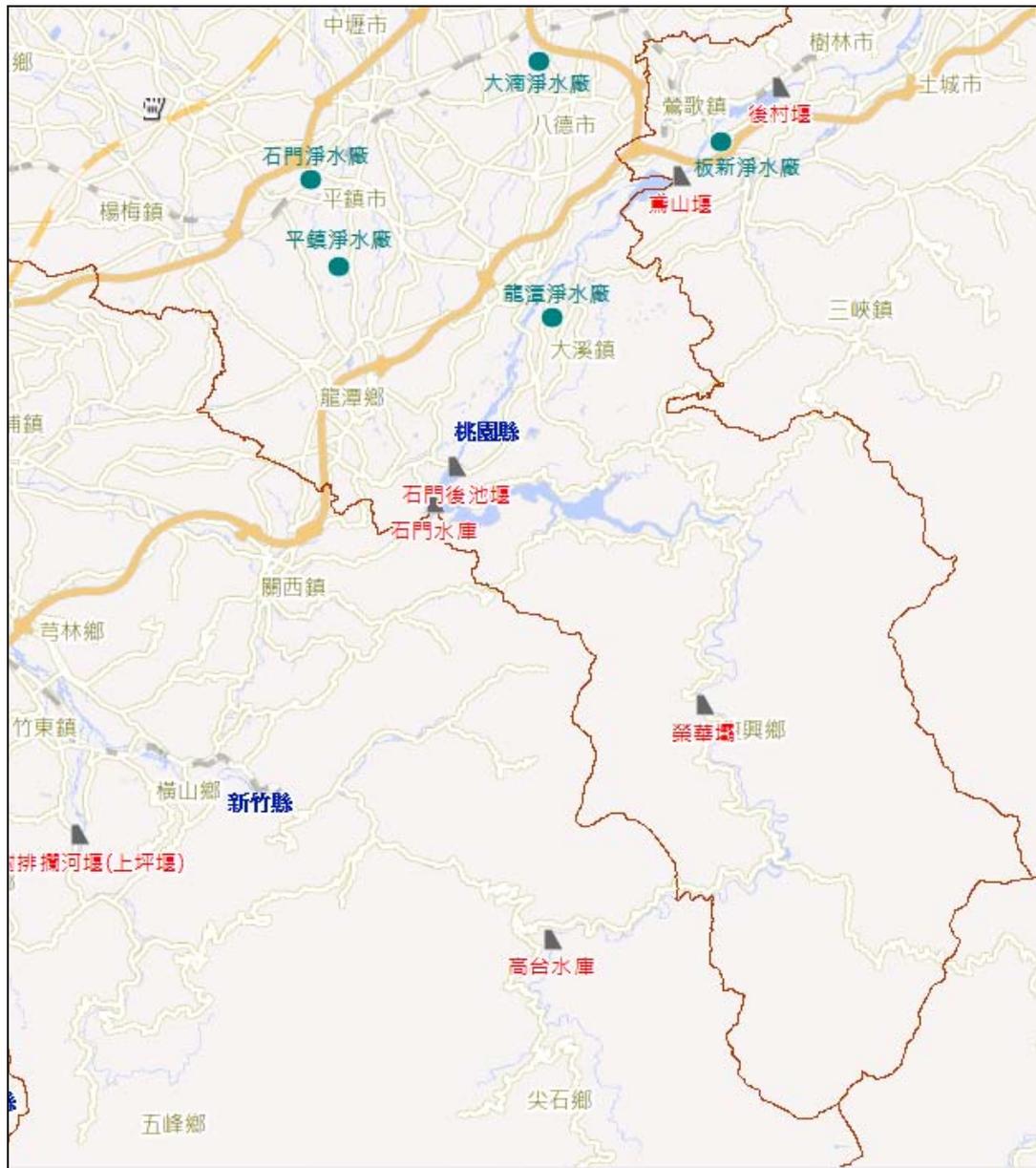


圖 4.1-2 桃園地區各設施詳細地理位置

資料來源：經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統

## 二、氣象與水文

石門水庫集水區內年平均雨量約在2,300公厘左右，降雨日數以5~10月降雨日較多，且以6月份最多，11月份最少。本區內月平均溫度各地均以1月份時為最低，不及 $15^{\circ}\text{C}$ ，在7、8月份較高，約 $24^{\circ}\text{C}\sim 27^{\circ}\text{C}$ ，平均氣溫約為 $20^{\circ}\text{C}$ 左右。另外，月平均濕度皆在80%以上，且各地蒸發量大致與月平均氣溫成正比，全年平均蒸發量約在1,100公厘左右。

## 三、地質與土地利用

石門水庫集水區之出露地層，可以屈尺斷層為界，分為東南側雪山山脈帶之古第三紀岩層及西北側屬西部麓帶之新第三紀岩層。古第三紀岩層分佈於集水區之東南側，屬輕度變質岩層，岩性以硬頁岩、板岩及砂岩為主。新第三紀岩層分佈於集水區之大漢溪主流沿岸地區及地勢較平緩之台地山麓地帶，膠結程度低，易受風化沖刷。整體而言，集水區岩性脆弱，劈理、節理及裂縫發達，且經強力擠壓破碎，加以地勢陡峻，暴雨時易遭沖蝕。

石門水庫集水區之土地利用以國有林班地503.24平方公里為最廣，佔全集水區面積之69.46%；山地保留地167.88平方公里居次，佔21.99%；私有地23.5平方公里居第三，佔3.10%；其他用地41.58平方公里，佔5.45%。其中山地保留地為集水區人為活動最頻繁地區，因人口急速增加，土地需求殷切，更因溫帶果樹之引進，致超限利用嚴重，泥砂產量大增，影響水庫淤積及水質。

## 四、水庫營運概況

石門水庫主要依循「台灣省石門水庫多目標運用規則」為水庫營

運管理之原則。然近幾年來，隨著社會經濟產業結構的改變、人口的增長以及我國加入WTO後農業政策之轉變，石門水庫之營運以及水資源之調配有所變化。以下分別以灌溉、給水、發電及防洪等主題，說明石門水庫近年來之營運與水資源調配狀況。

### (一)灌溉

石門水庫灌溉地區包括台北、桃園與新竹等3縣共22個鄉鎮，原計畫灌溉面積為53,661公頃。然水庫完工以來，隨著工業發展迅速，農業成本增加，且因工廠、高速公路及國際機場等設施之興建，原有農地面積逐年減少，造成水庫供水灌溉面積從54,540公頃（民國55年）減至36,500公頃（民國90年），而水庫灌溉用水量亦由每年 $6.7 \times 10^8$ 立方公尺減至每年 $4.7 \times 10^8$ 立方公尺（民國90年），減少之供水量，需調配予公共給水，以滿足其日漸成長之需求量。

### (二)給水

石門水庫原計畫設計供水量為25.8秒立方公尺，其中公共給水僅佔1.1秒立方公尺，而原計畫供水桃園地區22個鄉鎮，隨著社會變遷以及人口成長，工業用水與家庭用水急遽增加。台灣自來水公司於民國65年增設板新供水場，民國72年再增設大湳淨水場，使得石門水庫公共給水之供應範圍擴及台北板新地區，實際供水量由每年 $7.54 \times 10^6$ 噸（民國55

年)增加至每年  $3.97 \times 10^8$  噸 (民國 90 年)，目前石門水庫供應公共給水及工業用水原水，每日已增至 70 萬餘噸，供應範圍增至 32 地區，飲用人口增至 180 萬人。

### (三)發電

石門水庫及其上游目前共有石門與義興兩座電廠，其中石門電廠屬水庫式發電，兼顧長期性系統供電安全，以石門水庫操作規線為其運用準則。義興電廠位於榮華攔砂壩下游，屬於調整池式發電廠，由於位於石門水庫上游，故發電後之水資源仍可留在庫區內作為其他供水之用途。

### (四)防洪

石門水庫原規劃設計之最大可能洪水量為 10,900 秒立方公尺，其相應溢洪道之設計排洪量為 10,000 秒立方公尺，水庫最高洪水水位為 249.5 公尺，後經民國 52 年葛樂禮颱風帶來破紀錄之洪水，考慮水庫安全，大壩壩頂加高及溢洪道上游欄杆改建胸牆後，水庫最高洪水經提高為標高 251 公尺，其相應之溢洪道最大可能排洪量為 11,400 秒立方公尺，民國 68 年又經規劃研究分析，石門水庫最大可能洪水為 14,500 秒立方公尺，相應之水庫排洪量為 13,800 秒立方公尺，因此增建

洩洪容量各為 1,200 立方公尺之排洪隧道二條，於民國 73 年 1 月完成。

#### (五)雨量

本研究選用石門水庫集水區內 10 個雨量站，分別為石門、巴陵、高義、長興、三光、白石、玉峰、嘎拉賀及鎮西堡，其資料長度為民國 64~97 年之時雨量資料，雨量站分佈如圖 4.1-3 所示，細部資訊詳列於表 4.1-4。

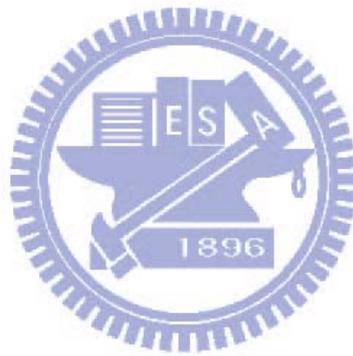


表 4.1-4 石門水庫集水區各雨量站資料

站名	TM 2 度分帶 X 座標	TM 2 度分帶 Y 座標	標高(m)	年平均雨量(mm)
石門	273451	2745097	255	2614
巴陵	289171	2731177	1220	2146
高義	285756	2734043	620	2195
嘎拉賀	289655	2726339	1260	2282
長興	280209	2743888	350	2595
三光	286273	2729607	630	1952
秀巒	278034	2723777	840	1908
玉峰	279650	2728315	780	2204
白石	275537	2720438	1620	2479
鎮西堡	280235	2718811	630	2136



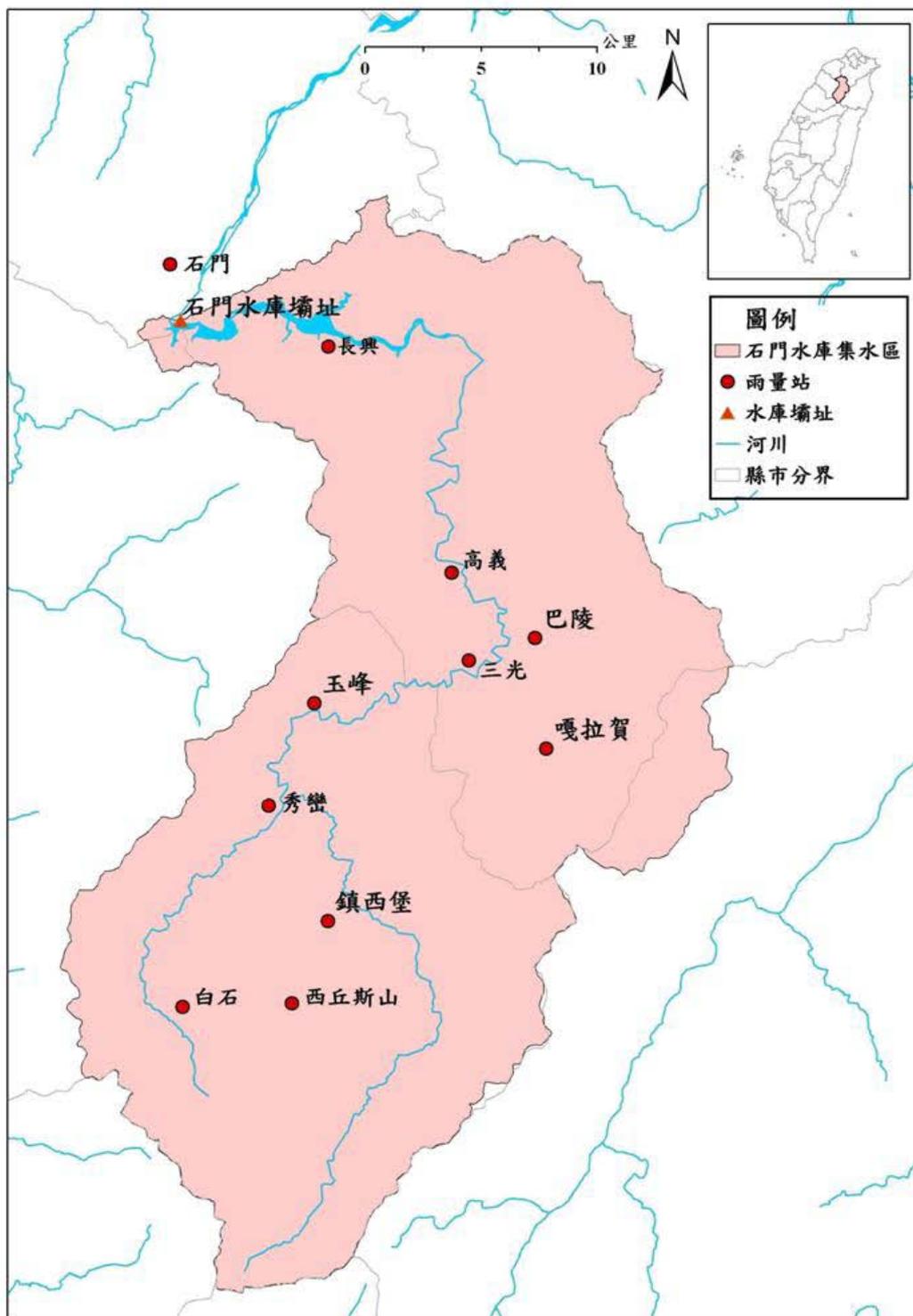


圖 4.1-3 石門水庫集水區雨量站位置圖

## (六)流量

石門水庫集水區內設有霞雲、高義、玉峰、稜角、秀巒等流量站，本研究由於範圍遍及整個集水區，故採用石門水庫入流量及放流量之時流量及日流量資料為依據，其時間長度為民國 47~97 年，年平均入流量為 147,270 萬立方公尺。

## (七)濁度

本研究為探討高濁度事件之缺水風險，故以民國 94 年後，石門水庫壩頂緊急抽水功能啟用時間為高濁度事件濁度取用之起始點，中央氣象局發布之颱風事件共 29 場，將濁度資料進行彙整，各颱風濁度資料統計表如表 4.1-5，本研究以多場颱風事件分析石門水庫在高濁度下之缺水風險分析。

表 4.1-5 民國 94~98 年颱風濁度資料統計表

年度 (民國)	颱風	發布期間	水庫濁度(NTU/時)
94 年	珊瑚	08/11~08/13	△
	泰利	08/30~09/01	△
	卡努	09/09~09/11	△
	丹瑞	09/21~09/23	△
	龍王	09/30~10/03	△
95 年	珍珠	05/16~05/18	△
	艾維尼	07/07~07/09	△
	碧利斯	07/12~07/15	△
	凱米	07/23~07/26	△
	桑美	08/09~08/10	△
	寶發	08/07~08/09	△
	珊珊	09/14~09/16	△
96 年	帕布	08/06~08/08	△
	梧提	08/08~08/09	△
	聖帕	08/16~08/19	△
	韋帕	09/17~09/19	△
	柯羅莎	10/04~10/07	△
	米塔	11/26~11/27	△
97 年	卡玫基	07/16~07/18	△
	鳳凰	07/26~07/29	×
	如麗	08/19~08/21	×
	辛樂克	09/11~09/16	△
	哈格比	09/21~09/23	×
	薔蜜	09/26~09/29	×
98 年	蓮花	06/19~06/22	×
	莫拉菲	07/16~07/18	×
	莫拉克	08/05~08/10	△
	芭瑪	10/03~10/06	△

△：資料缺漏、×：無此資料。

資料來源：中央氣象局

## 4.2 頻率分析與降雨型態設計

### 4.2.1 頻率分析

本研究蒐集石門水庫集水區歷史雨量資料進行頻率分析，採用石門、巴陵、高義、長興、三光、秀巒、白石、玉峰、嘎拉賀、鎮西堡等10個雨量站資料，雨量站介紹已詳列於4.1節，石門水庫集水區之平均雨量則以各站雨量配合其控制面積進行估算。

本研究採用設計降雨概念配合拉丁超立方取樣法進行雨量歷線繁衍。設計降雨主要由設計總降雨量與設計雨型兩部分所組成，總降雨量及設計雨型皆與降雨延時有關，故進行雨量歷線繁衍時，有兩個隨機變數(總降雨量與降雨延時)待定，其中降雨延時之機率分佈根據歷史颱風事件共50場(詳見表4.2-1)，由降雨延時組體圖顯示，相當接近常態分佈，如圖4.2-1所示，故以常態分佈近似之，其降雨延時平均值為2.131天，標準偏差為1.077天。

總降雨量之機率分佈根據水文頻率分析選定，然總降雨量機率分佈隨降雨延時而異，根據歷史颱風事件顯示，暴雨發生延時介於10~141小時，本研究降雨延時採用日為單位，故需四捨五入為日單位，當不足一日則以一日代表，為降低機率分佈評估組數，本研究降雨延時以日為單位，僅分析一日、二日、三日及四日等不同延時之重現期距與降雨量機率分佈型態。

表 4.2-1 石門水庫民國 89~97 年各颱風降雨延時之平均值與標準偏差統計表

民國	颱風	降雨延時(小時)	民國	颱風	降雨延時(小時)
89 年	啟德	55	93 年	納坦	72
	碧利斯	47		南瑪都	46
	巴比倫	48	94 年	海棠	74
	寶發	35		馬莎	55
	雅吉	25		珊瑚	27
	象神	67		泰利	34
90 年	西馬龍	36		卡努	20
	奇比	16		丹瑞	34
	尤特	41	龍王	23	
	桃芝	40	95 年	珍珠	51
	納莉	93		碧利斯	96
	利奇馬	141		凱米	57
海燕	33	桑美		40	
91 年	雷馬遜	60		寶發	59
	娜克莉	48		帕布	39
	辛樂克	68	梧提	31	
92 年	蘇迪勒	26	96 年	聖帕	91
	莫拉克	17		韋帕	59
	梵高	30		柯羅莎	84
	杜鵑	38		米塔	48
93 年	敏督利	52	97 年	卡玫基	33
	蘭寧	38		鳳凰	60
	艾利	63		辛樂克	122
	海馬	53		哈格比	19
	米雷	40		薔蜜	73
降雨延時之平均值：2.131 日(51.14 小時)，標準偏差：1.077 日(25.84 小時)					

資料來源：本研究整理。

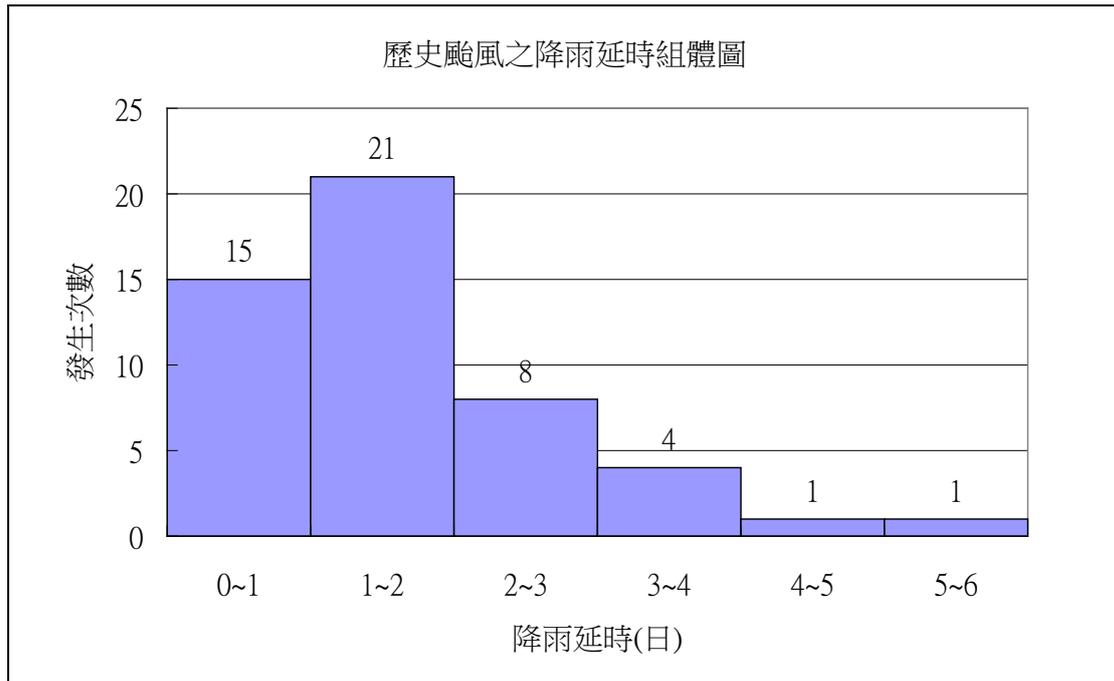


圖 4.2-1 石門水庫民國 89~97 年颱風降雨延時組體圖

本研究以民國64~97年之歷史時雨量資料，作為頻率分析之資料，並以年最大值序列法選取不同降雨延時之暴雨，不同降雨延時暴雨量統計紀錄如表4.2-2所示，再分別以常態(Normal)、對數常態(Log Normal)、皮爾遜III型(Pearson III)、對數皮爾遜III型(Log Pearson III)及極端值 I 型(Extreme I)等五種分佈進行暴雨量重現期距頻率分析，結果如表4.2-3~4.2-6。

為檢定石門水庫不同降雨延時之暴雨量機率分佈，本研究以韋伯點繪法為基礎，判定標準即為當SSE或SE數值越小，表示該機率分佈理論值與觀測值越趨接近，故SSE或SE數值最小者即為最佳機率分佈。檢定結果如圖4.2-2~4.2-5所示，最大一日、二日、三日及四日暴雨皆以對數皮爾遜III型分佈為最佳統計分佈。

表 4.2-2 石門水庫集水區歷年日暴雨統計表

單位:mm

年份(民國)	一日暴雨量	二日暴雨量	三日暴雨量	四日暴雨量	五日暴雨量	六日暴雨量	七日暴雨量
64	209.5	239.1	257.4	267.9	277.7	282.1	285.4
65	370.9	371.3	385.8	399.2	399.7	411.5	412.0
66	258.1	268.2	274.2	284.9	289.5	295.8	302.3
67	263.2	273.4	274.2	274.7	274.8	274.8	274.8
68	345.7	428.7	435.7	454.9	459.0	467.8	472.8
69	159.6	165.4	184.5	187.6	193.1	195.1	197.4
70	313.0	349.4	350.4	355.5	366.7	383.0	383.8
71	196.3	220.8	236.4	240.9	242.2	245.0	258.4
72	114.4	144.8	152.3	177.3	184.0	236.2	260.3
73	292.6	300.2	309.3	339.5	355.9	364.7	365.8
74	475.2	541.6	564.6	578.8	587.4	587.7	587.9
75	255.7	400.8	483.9	499.0	522.8	528.1	528.1
76	247.7	306.8	310.0	316.1	319.6	319.6	319.6
77	77.4	109.8	156.0	157.6	158.6	182.3	216.7
78	271.1	392.6	467.4	501.8	509.2	513.8	517.8
79	385.7	470.5	515.0	526.9	528.9	534.6	540.7
80	134.0	161.1	182.4	204.6	239.3	257.8	274.5
81	250.9	358.0	436.7	455.5	467.6	472.7	476.7
82	64.7	81.7	101.5	139.3	157.0	160.8	162.3
83	399.3	448.2	454.7	454.7	470.4	484.5	488.6
84	82.0	110.8	131.8	142.9	147.9	158.2	175.0
85	589.6	711.2	713.0	719.0	731.5	731.5	743.3
86	380.9	493.2	510.8	517.1	536.1	539.8	545.1
87	429.2	507.8	507.9	507.9	508.0	509.8	524.0
88	92.9	112.5	122.5	151.2	173.8	185.9	197.0
89	293.4	331.4	337.4	355.1	388.2	388.8	443.9
90	381.6	696.8	828.6	844.6	848.5	854.2	858.4
91	374.2	442.3	482.3	486.4	503.2	512.3	512.7
92	115.0	133.9	134.0	134.0	134.4	134.4	134.6
93	794.7	1047.6	1064.0	1069.0	1102.5	1109.7	1110.5
94	728.0	886.3	890.7	906.2	912.7	912.8	912.8
95	147.9	248.4	251.6	288.2	289.2	292.6	296.1
96	520.9	627.3	632.4	636.7	638.1	638.9	639.0
97	415.8	721.9	912.8	932.4	935.6	936.1	936.1

表 4.2-3 石門水庫集水區一日暴雨各重現期距推算結果

(單位:mm)

重現期距(年)	常態分佈	對數常態分佈 常態分佈	皮爾遜 III 型分佈	對數皮爾遜 III 型分佈	極端值 I 型分佈
2	306.8	256.7	280.4	270.6	277.8
3	382.8	338.4	361.2	353.2	351.6
5	455.3	440.5	447.6	447.3	433.7
10	532.9	584.1	550.1	564.7	537.0
25	615.7	789.3	670.5	707.7	667.4
50	669.2	958.7	754.5	808.8	764.2
100	717.3	1141.9	834.2	904.4	860.3
200	761.3	1340.2	910.5	994.9	956.0
資料年數:1975~2008、平均值：306.8、標準偏差：176.4、變異係數：0.57					

表 4.2-4 石門水庫集水區二日暴雨各重現期距推算結果

(單位:mm)

重現期距(年)	常態分佈	對數常態分佈 常態分佈	皮爾遜 III 型分佈	對數皮爾遜 III 型分佈	極端值 I 型分佈
2	385.4	319.4	348.2	331.1	347.2
3	485.5	422.5	455.1	435.0	444.4
5	581.0	551.9	570.2	557.6	552.6
10	683.2	734.5	707.4	717.8	688.6
25	792.2	996.3	869.5	925.2	860.3
50	862.6	1213.1	982.9	1080.8	987.8
100	926.0	1448.2	1090.7	1236.0	1114.3
200	983.9	1703.1	1194.2	1391.0	1240.3
資料年數:1975~2008、平均值：385.4、標準偏差：232.4、變異係數：0.60					

表 4.2-5 石門水庫集水區三日暴雨各重現期距推算結果

(單位:mm)

重現期距(年)	常態分佈	對數常態分佈 常態分佈	皮爾遜 III 型分佈	對數皮爾遜 III 型分佈	極端值 I 型分佈
2	413.3	345.5	375.1	352.6	372.8
3	519.6	452.5	488.4	460.0	475.9
5	621.0	585.3	609.9	588.8	590.9
10	729.6	771.0	754.4	761.1	735.3
25	845.3	1034.4	924.7	992.0	917.7
50	920.1	1250.7	1043.7	1171.5	1053.1
100	987.4	1483.5	1156.7	1356.2	1187.4
200	1049.0	1734.4	1265.0	1546.5	1321.3
資料年數:1975~2008、平均值：413.3、標準偏差：246.8、變異係數：0.60					

表 4.2-6 石門水庫集水區最大四日暴雨各重現期距推算結果

(單位:mm)

重現期距(年)	常態分佈	對數常態分佈 常態分佈	皮爾遜 III 型分佈	對數皮爾遜 III 型分佈	極端值 I 型分佈
2	426.7	363.0	388.1	366.4	386.4
3	532.4	467.8	500.9	471.2	489.0
5	633.2	595.8	622.0	597.4	603.2
10	741.1	771.9	766.1	767.4	746.7
25	856.2	1017.4	936.3	998.2	928.1
50	930.5	1216.0	1055.2	1180.4	1062.6
100	997.4	1427.7	1168.2	1370.6	1196.2
200	1058.6	1653.5	1276.6	1569.3	1329.2
資料年數:1975~2008、平均值：426.7、標準偏差：245.3、變異係數：0.57					

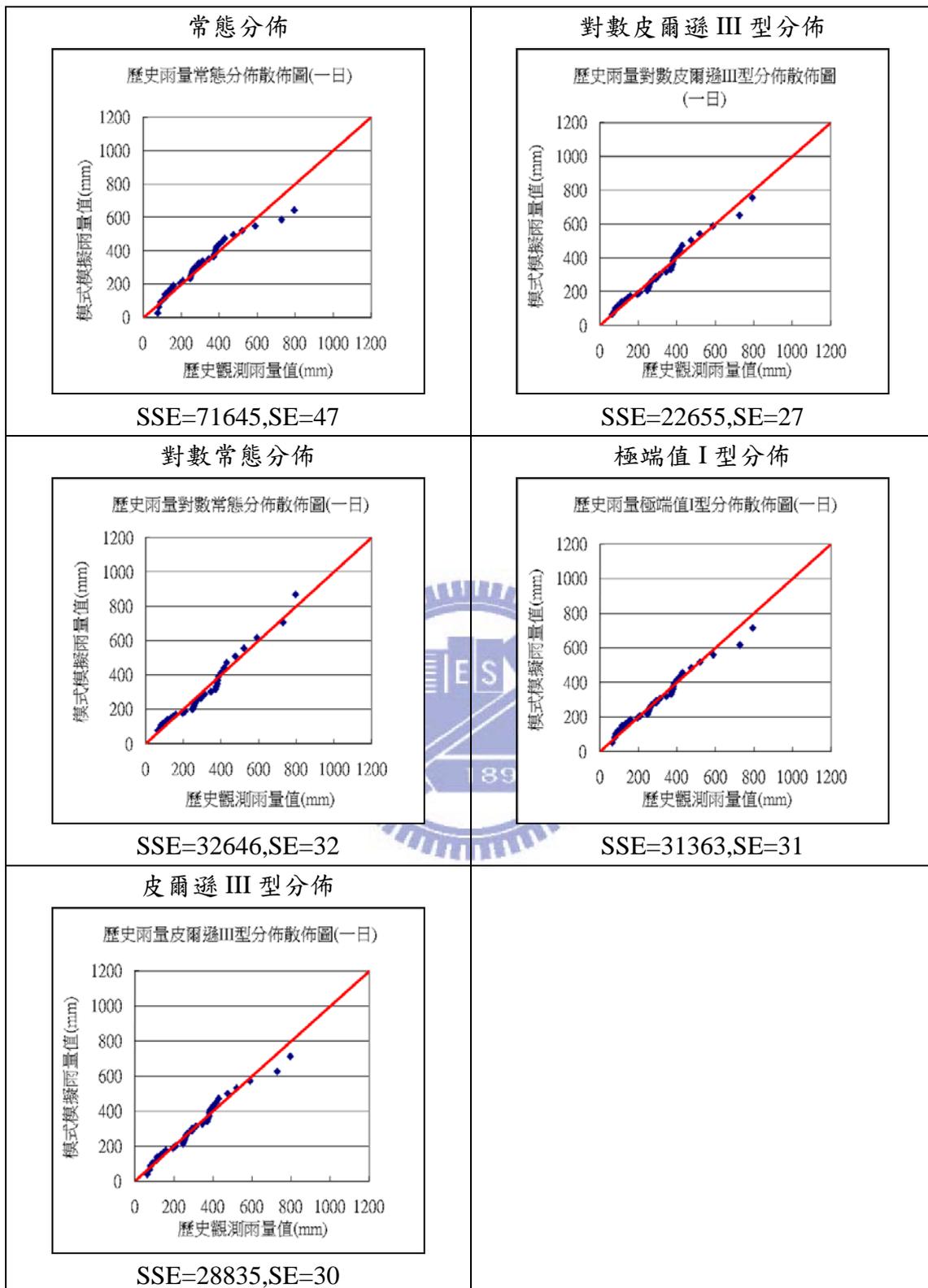


圖 4.2-2 一日暴雨點繪法檢定結果

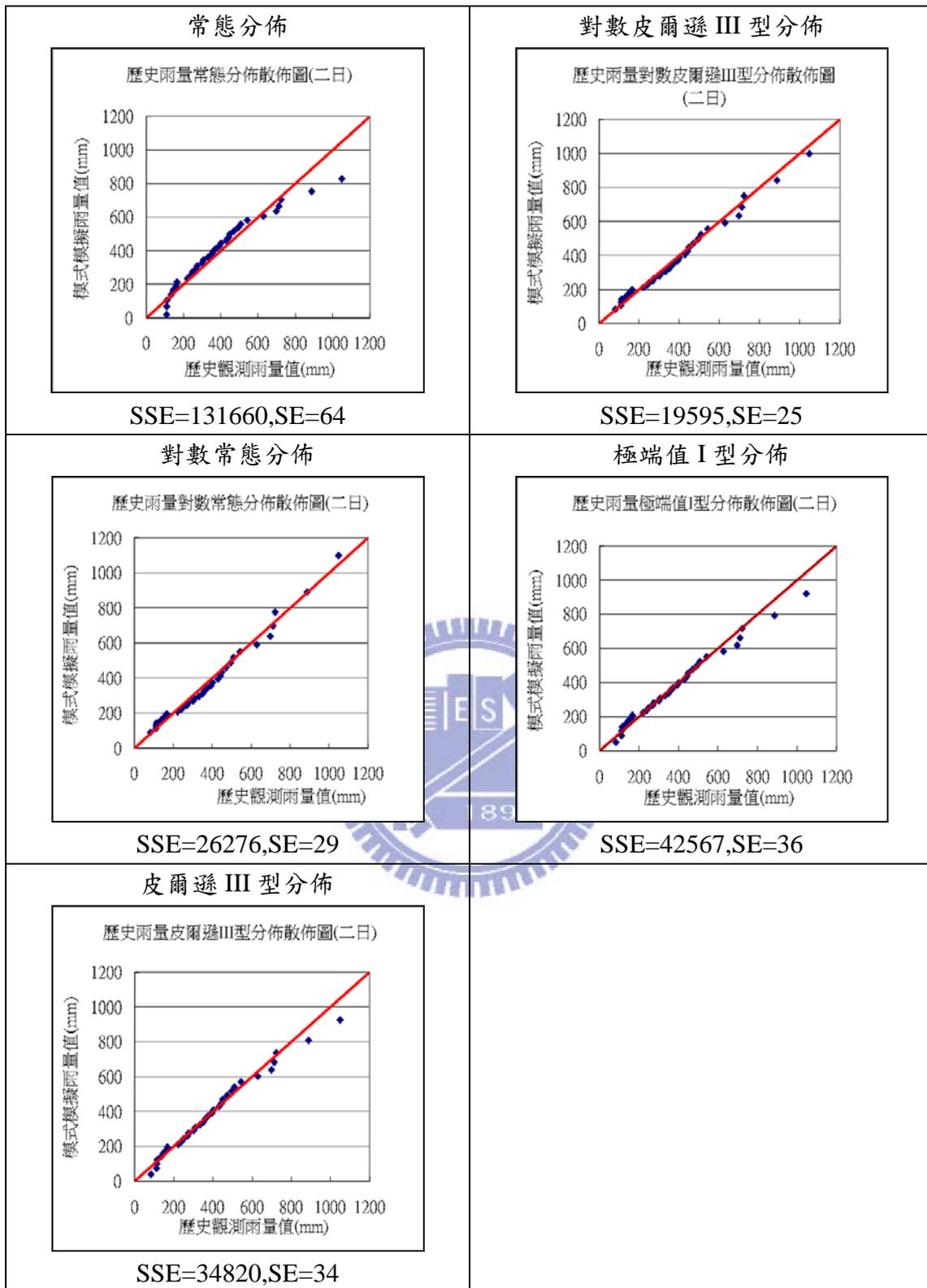


圖 4.2-3 二日暴雨點繪法檢定結果

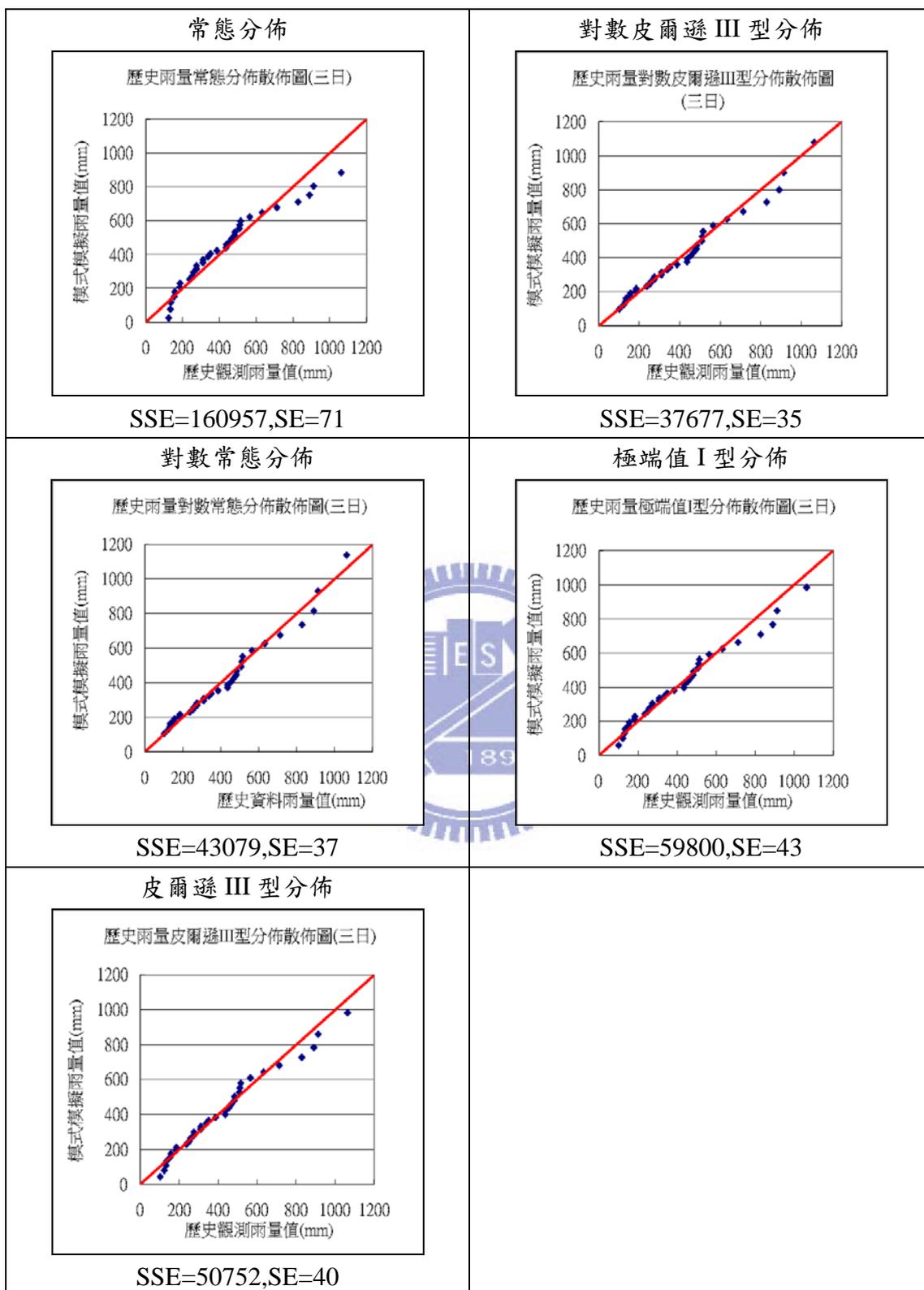


圖 4.2-4 三日暴雨點繪法檢定結果

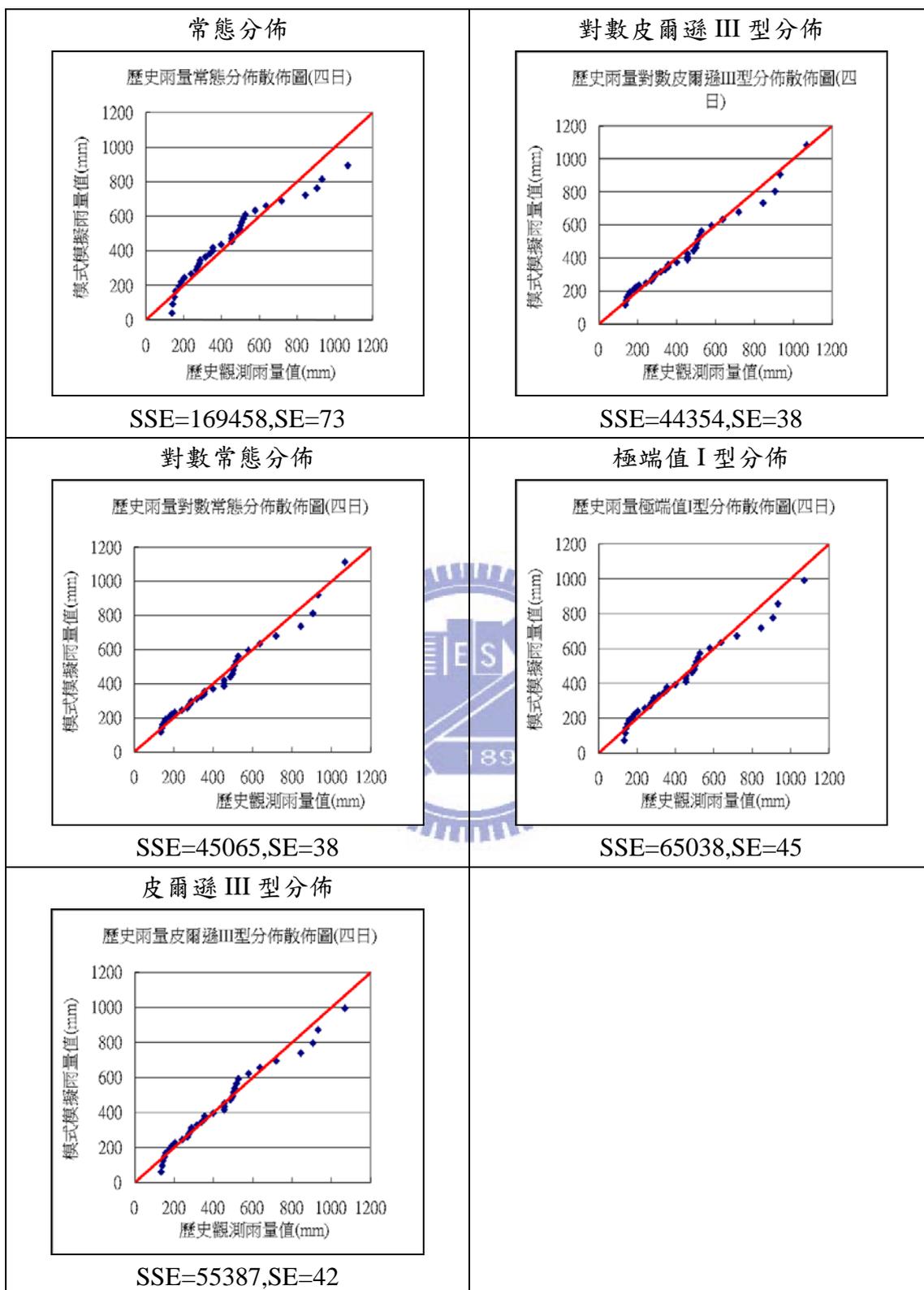


圖 4.2-5 四日暴雨點繪法檢定結果

#### 4.2.2 降雨型態設計

本研究以民國64~97年歷史時雨量資料，利用暴雨資料分析法估算石門水庫設計雨型，以年最大值選取法選取不同延時之暴雨，不同延時之設計雨型如圖4.2-6~4.2-9，結果顯示最大一日、二日及三日暴雨設計雨型呈現中央略為右偏，最大四日暴雨設計雨型呈現中央略為左偏。

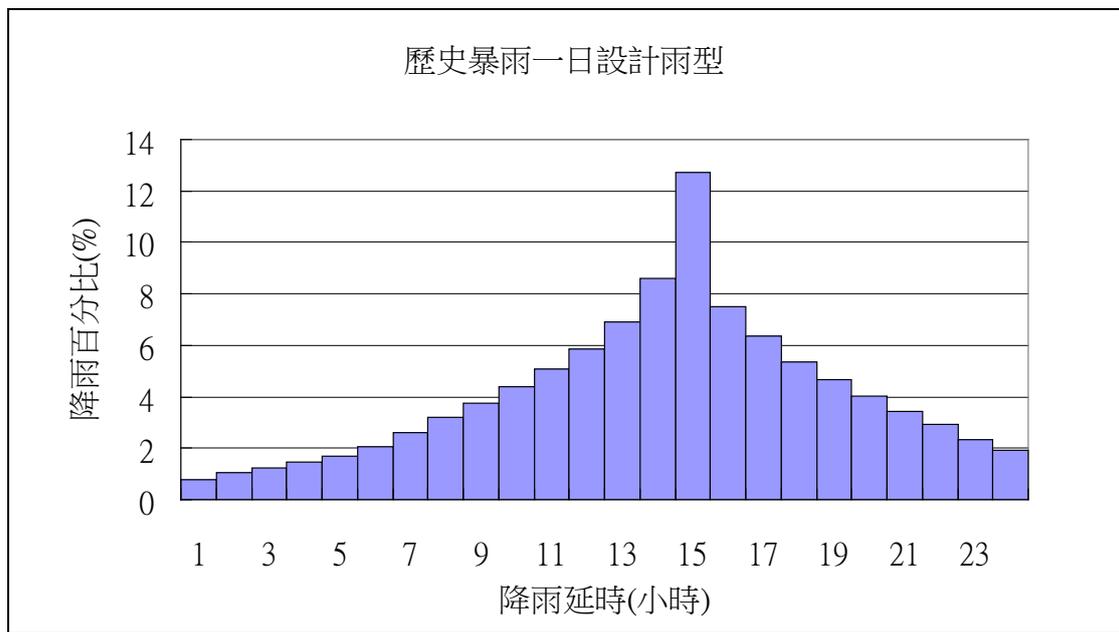


圖 4.2-6 石門水庫歷史最大一日暴雨設計雨型

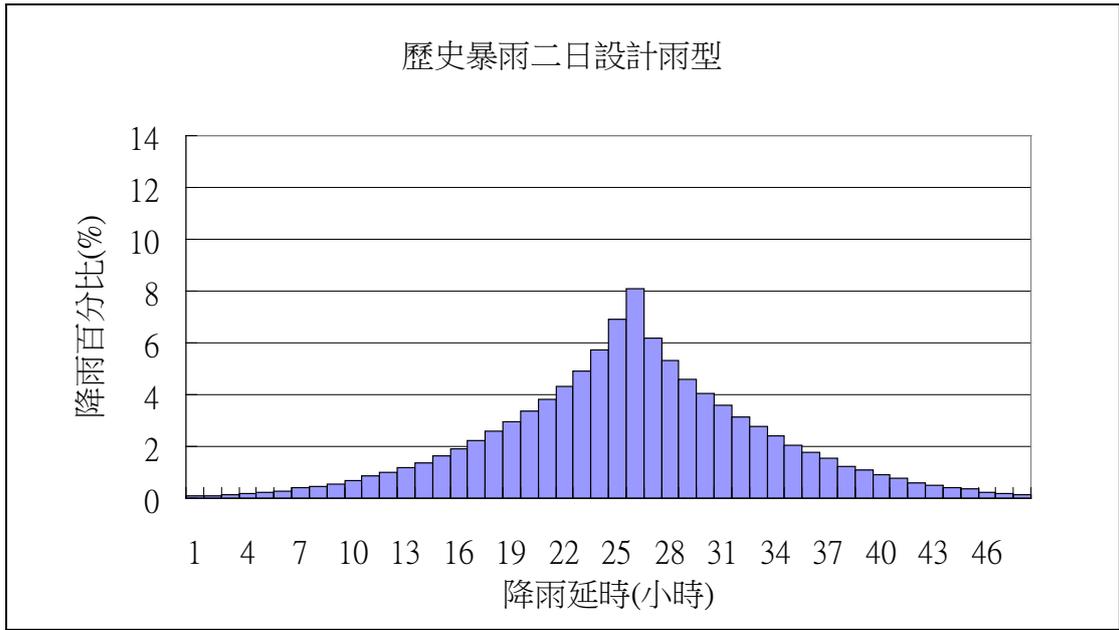


圖 4.2-7 石門水庫歷史最大二日暴雨設計雨型

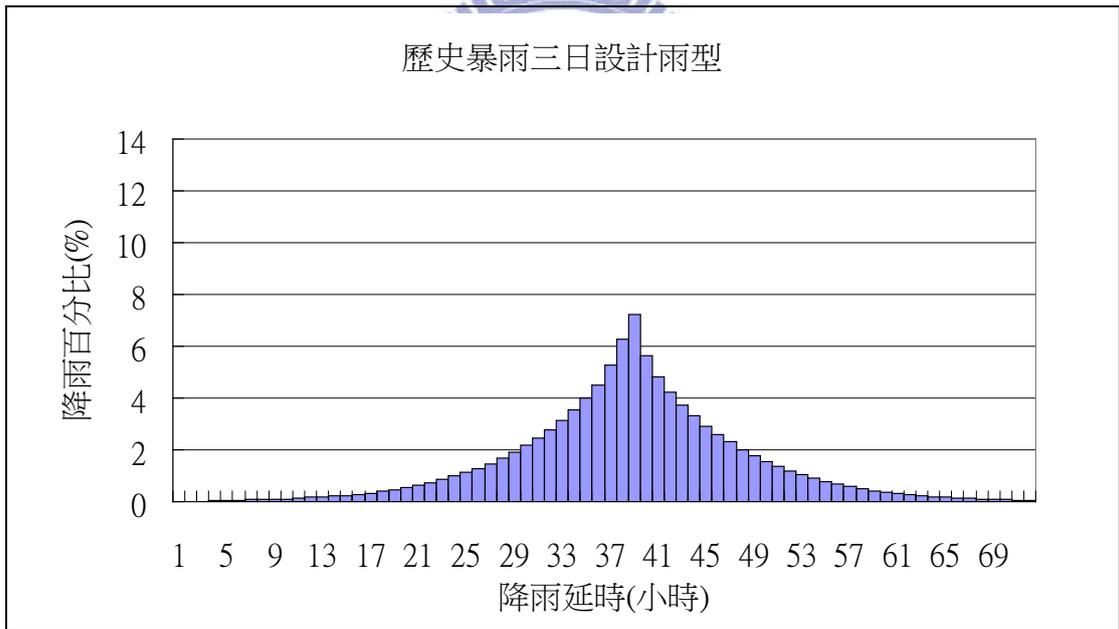


圖 4.2-8 石門水庫歷史最大三日暴雨設計雨型

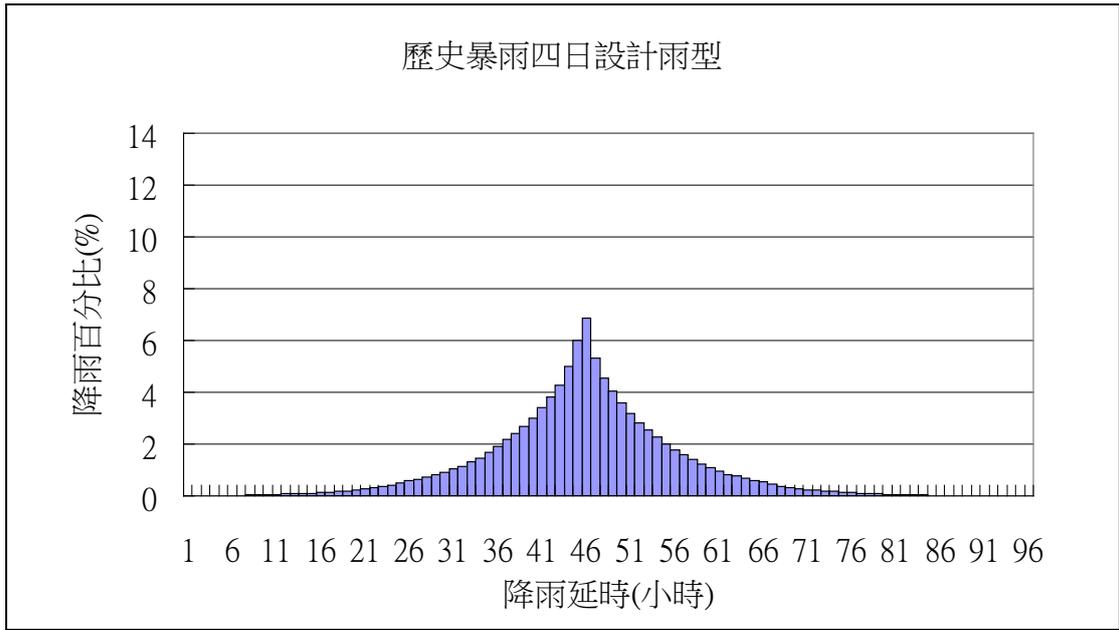
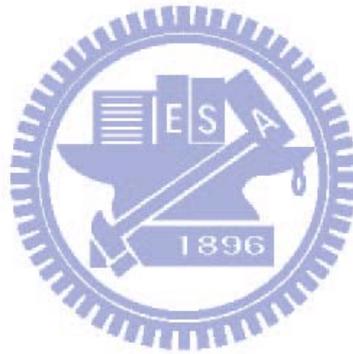


圖 4.2-9 石門水庫歷史最大四日暴雨設計雨型



### 4.2.3 石門水庫歷史資料雨量歷線繁衍

進行完頻率分析與雨型設計後，本研究以拉丁超立方取樣法來繁衍多組事件型雨量歷線，將總降雨量與降雨延時依其機率分佈合成200組，使各組被選取之機率為1/200，利用亂數決定各組區間內之選取值，然後再將降雨量與降雨延時之各組選取值進行隨機配對，以進行雨量歷線繁衍。惟本研究降雨延時採用日為單位，原選取之降雨延時為小時單位，故需四捨五入為日單位，當不足一日則以一日代表；合成雨量歷線之降雨延時、總降雨量與降雨強度發生次數組體圖如圖4.2-10~4.2-12所示，結果顯示，繁衍後高降雨延時與總降雨量有減少的趨勢，而降雨強度則呈現中央略為左偏之分佈。

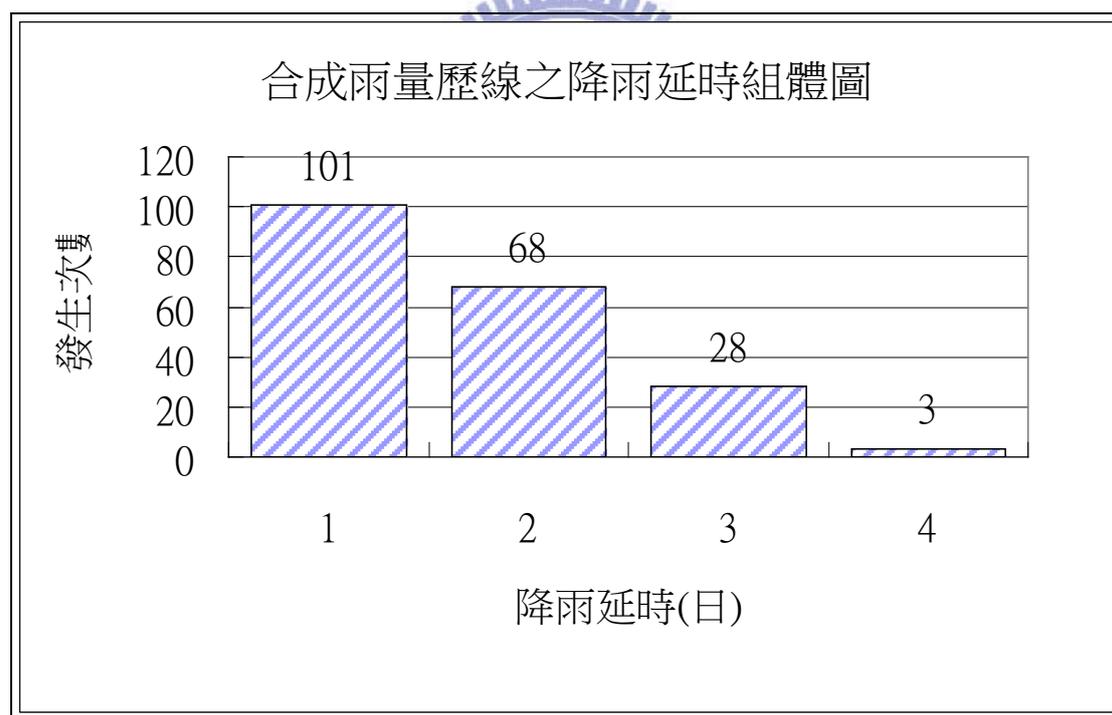


圖 4.2-10 合成雨量歷線之降雨延時發生次數組體圖

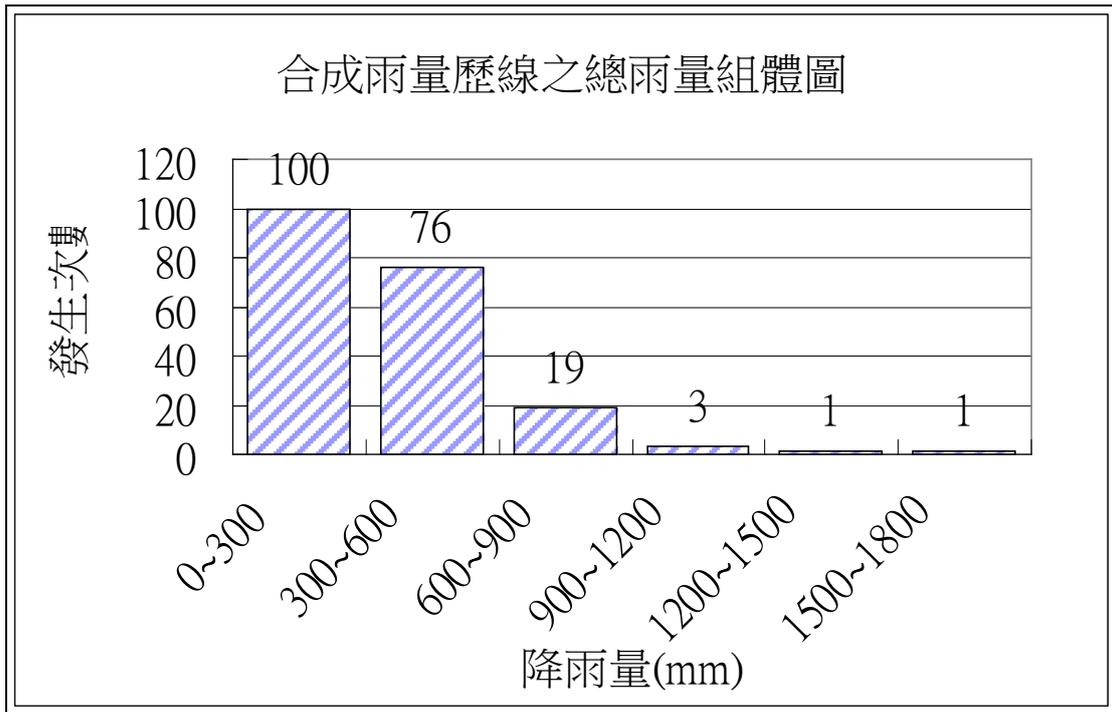


圖 4.2-11 合成雨量歷線之總降雨量發生次數組體圖

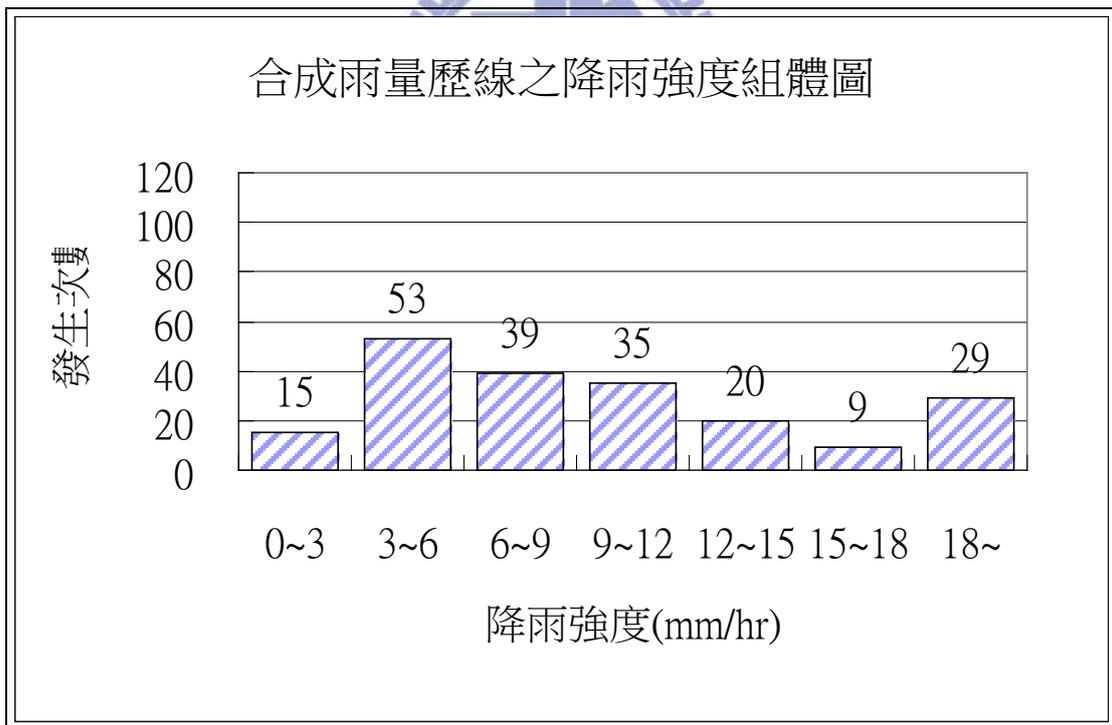


圖 4.2-12 合成雨量歷線之降雨強度發生次數組體圖

### 4.3 石門水庫降雨逕流分析

本研究以三角型單位歷線法針對多組石門水庫事件型雨量進行逕流量推估，其推估式詳見式3-5~3-7，其中集流時間採用美國加州公路及公共工程局公式進行推估，其參數設定為石門水庫集水區面積763.4平方公里，集水區主要流路長度90公里，集水區高程差3,300公尺，集水區高程圖詳見4.3-2，入滲係數設定為2mm/hr，另外亦將河川基流量納入考量，河川基流量乃統計多場颱風事件降雨前之河川流量，其平均值約為34.4 cms。合成流量歷線之尖峰流量發生次數組體圖如圖4.3-1，結果顯示繁衍後高尖峰流量之發生次數有減少的趨勢。

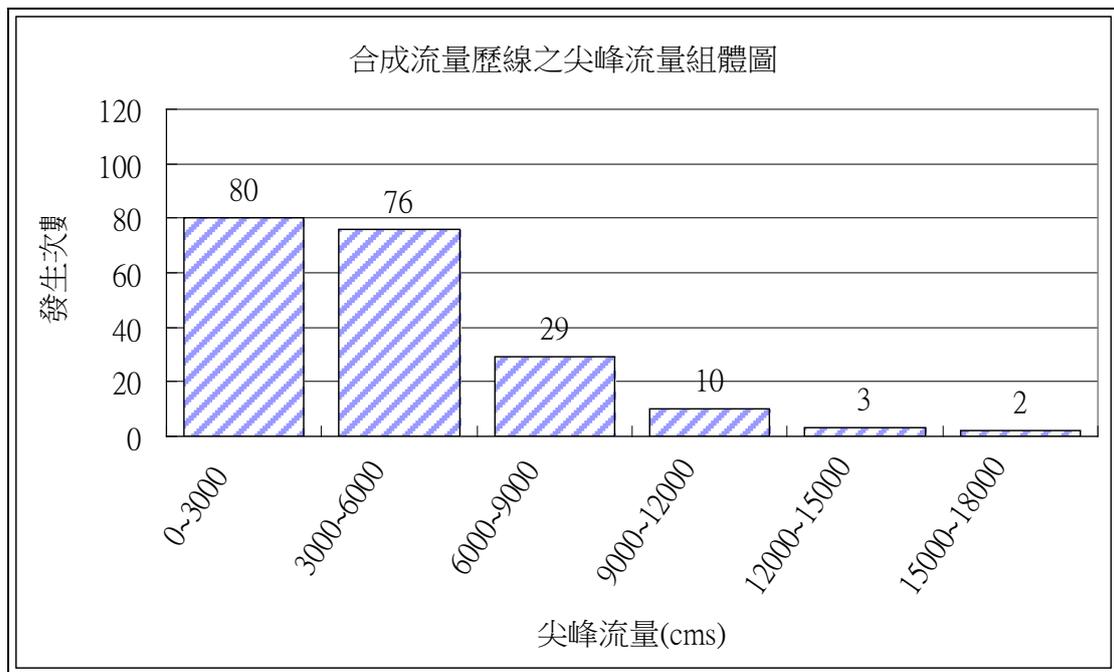


圖 4.3-1 合成流量歷線之尖峰流量發生次數組體圖

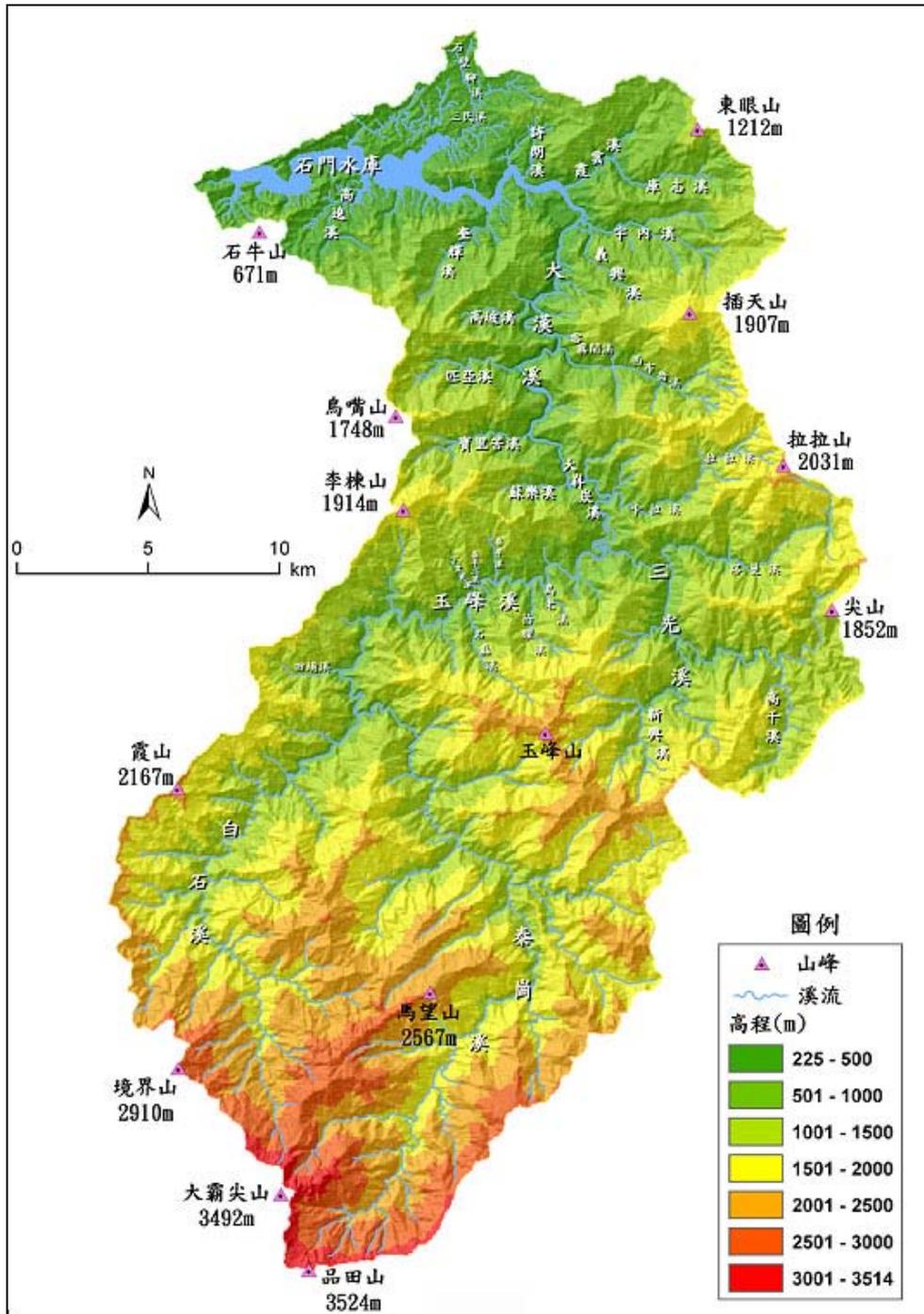


圖 4.3-2 石門水庫集水區高程圖

## 4.4 石門水庫高濁度預測模式建立

本研究利用颱風流量資料進行濁度預測之模擬，擬找出一單位特性歷線，無論任何發生於石門水庫集水區之颱風或暴雨事件皆能適用；本研究分別以單位特性歷線及類神經網路進行濁度預測模式建立。

### 4.4.1 單位特性歷線法

本研究認為濁度之變化受入流量或放流量之影響不甚相同，故認為濁度單位特性歷線須分別代表入流量(或放流量)與濁度之關係，考量入流量(或放流量)不會即刻的影響水庫之濁度，故假設濁度單位特性歷線為三角形歷線，故每組濁度單位特性歷線皆有三個參數待定，兩組共六個參數待定，即入流量尖峰濁度，到達尖峰濁度時間以及濁度歷線基期與放流量尖峰濁度，到達尖峰濁度時間以及濁度歷線基期，本研究之參數以遺傳演算法進行優選，優選之目標函數為觀測濁度與預測濁度誤差平方和最小。

因濁度預測結果須配合洪水演算來進行放水，因此 $t$ 時刻之放水量由 $t$ 時刻濁度與洪水演算來決定，本研究濁度預測利用蒐集之 $t-1$ 時刻入流量 $I_{t-1}$ 、放流量 $O_{t-1}$ 資料進行 $t$ 時刻濁度 $C_t$ 之分析。本研究主要分析石門水庫上層濁度，故分析時所採用的颱風資料乃依據石門水庫壩頂緊急抽水功能完工後之取水濁度，且由於濁度資料乃經採樣後於實驗室分析所得，若採樣濁度過高，需加水稀釋後再分析，因此原始濁度資料可能存有實驗之人為誤差，且部分颱風場次濁度資料不甚完整或者濁度過低，本研究以三個步驟進行篩選並說明，此處篩選以歷史颱風事件流量資料之完整度與濁度資料之合理性進行篩選，篩選之步驟如下：

(一)首先以石門水庫壩頂緊急抽水功能啟用為高濁度事件取用之起始點，民國 94~98 年間，中央氣象局發布之颱風事件共 29 場，將蒐集流量及濁度資料進行彙整，各颱風資料完整程度如表 4.4-1。

(二)本研究為探討高濁度下水庫供水之風險，參照表 4.1-3 桃園用水區主要淨水場現況處理能力與濁度之關係，當「濁度值小於 1000NTU 時，各淨水場正常供水」，對於高濁度事件的探討並無影響；經篩選後，可使用之颱風事件如表 4.4-2。其中發現龍王與聖帕颱風，雖然濁度值部分時刻大於 1000NTU，如圖 4.4-1 與圖 4.4-2，占整體濁度資料的比例甚低，因淨水場能正常供水，對於供水風險分析反映較不顯著，因此該類事件不納入單位特性歷線分析之考量。

(三)一般而言，發生尖峰濁度之時刻必於發生尖峰流量之時刻後，則若有該類事件發生，亦不納入本研究分析之考量，如圖 4.4-3 泰利颱風之流量與濁度關係。

因此本研究採用民國96年韋帕、柯羅莎及民國97年辛樂克三場颱風事件，並將可能存有之人為實驗誤差進行刪除，說明如下：

- A. 韋帕：圖 4.4-4 為韋帕颱風之觀測流量與濁度關係圖，本研究將第 45、47 及 49 等三個時刻濁度資料視為此事件之可能實驗誤差，故將三個值刪除後，應用於模式之分析，刪除後之圖形詳見圖 4.4-5。
- B. 柯羅莎：圖 4.4-6 為柯羅莎颱風之觀測流量與濁度關係圖，本研究將第 35、37 及 51 等三個時刻濁度資料視為此事件之可能實驗誤差，故將三個值刪除後，應用於模式之分析，刪除後之圖形詳見圖 4.4-7。
- C. 辛樂克：圖 4.4-8 為辛樂克颱風之觀測流量與濁度關係圖，本研究將第 55、59 及 129 等三個時刻濁度資料視為此事件之可能實驗誤差，故將三個值刪除後，應用於模式之學習，刪除後之圖形詳見圖 4.4-9。

颱風事件資料實驗誤差篩選後，本研究即以民國96年韋帕及柯羅莎、民國97年辛樂克三場颱風事件來進行單位特性歷線之分析。

表 4.4-1 民國 94~98 年颱風資料完整度

年度	颱風	發布期間	最大濁度(NTU)	水庫入、放 流量(時)	水庫濁度 (NTU)
94 年	珊瑚	08/11~08/13	17000	×	△
	泰利	08/30~09/01	8800	○	△
	卡努	09/09~09/11	80	×	△
	丹瑞	09/21~09/23	18	×	△
	龍王	09/30~10/03	4700	○	△
95 年	珍珠	05/16~05/18	6	○	△
	艾維尼	07/07~07/09	93	×	△
	碧利斯	07/12~07/15	22	○	△
	凱米	07/23~07/26	43	○	△
	桑美	08/09~08/10	9	○	△
	寶發	08/07~08/09	65	×	△
	珊珊	09/14~09/16	83	○	△
96 年	帕布	08/06~08/08	5.7	×	△
	梧提	08/08~08/09	5.8	×	△
	聖帕	08/16~08/19	3760	○	△
	韋帕	09/17~09/19	5500	○	△
	柯羅莎	10/04~10/07	3900	○	△
	米塔	11/26~11/27	420	○	△
97 年	卡玫基	07/16~07/18	7.8	△	△
	鳳凰	07/26~07/29	—	△	×
	如麗	08/19~08/21	—	×	×
	辛樂克	09/11~09/16	2420	○	△
	哈格比	09/21~09/23	—	×	×
	薔蜜	09/26~09/29	—	△	×
98 年	蓮花	06/19~06/22	—	×	×
	莫拉菲	07/16~07/18	—	×	×
	莫拉克	08/05~08/10	380	×	△
	芭瑪	10/03~10/06	320	×	△

○：資料完整、△：資料缺漏、×：無此資料。

資料來源：中央氣象局

表 4.4-2 民國 94~98 年單位特性歷線分析可使用颱風事件

年度	颱風	發布期間	最大濁度 (NTU)	雨量 (時)	水庫入、放 流量(時)	水庫濁度 (NTU/時)
94 年	泰利	08/30~09/01	8800	○	○	△
	龍王	09/30~10/03	4700	○	○	△
96 年	聖帕	08/16~08/19	3760	○	○	△
	韋帕	09/17~09/19	5500	○	○	△
	柯羅莎	10/04~10/07	3900	○	○	△
97 年	辛樂克	09/11~09/16	2420	○	○	△

○：資料完整、△：資料缺漏

資料來源：本研究整理

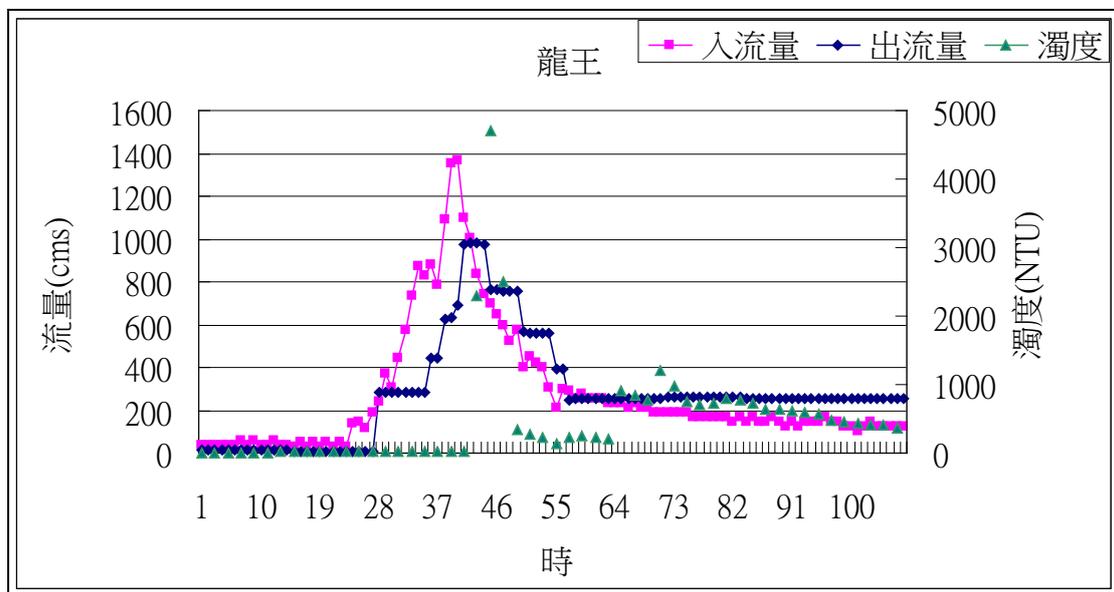


圖 4.4-1 龍王颱風之流量與濁度關係圖

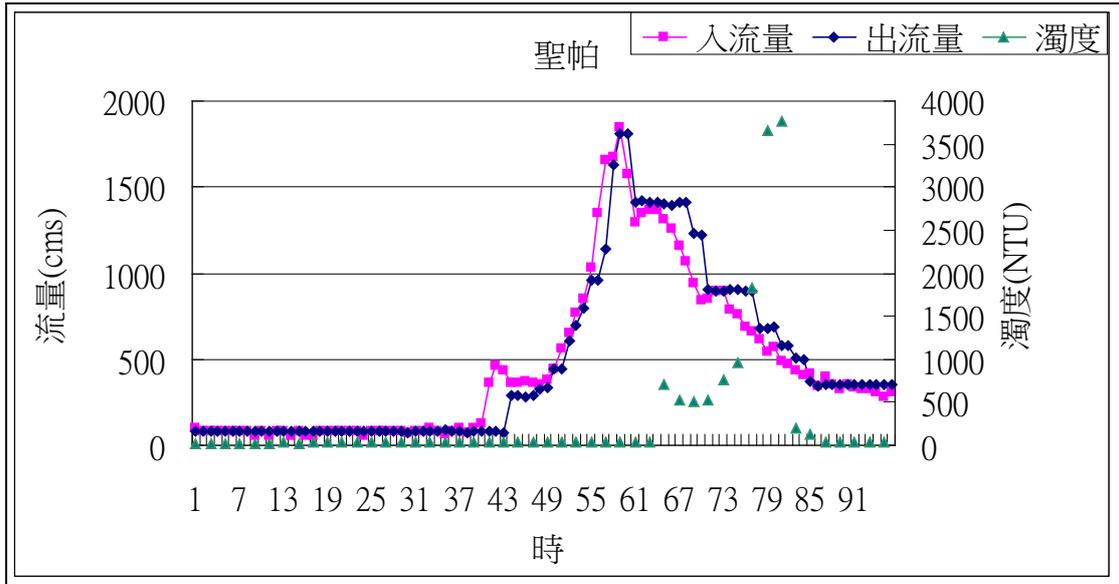


圖 4.4-2 聖帕颱風之流量與濁度關係圖

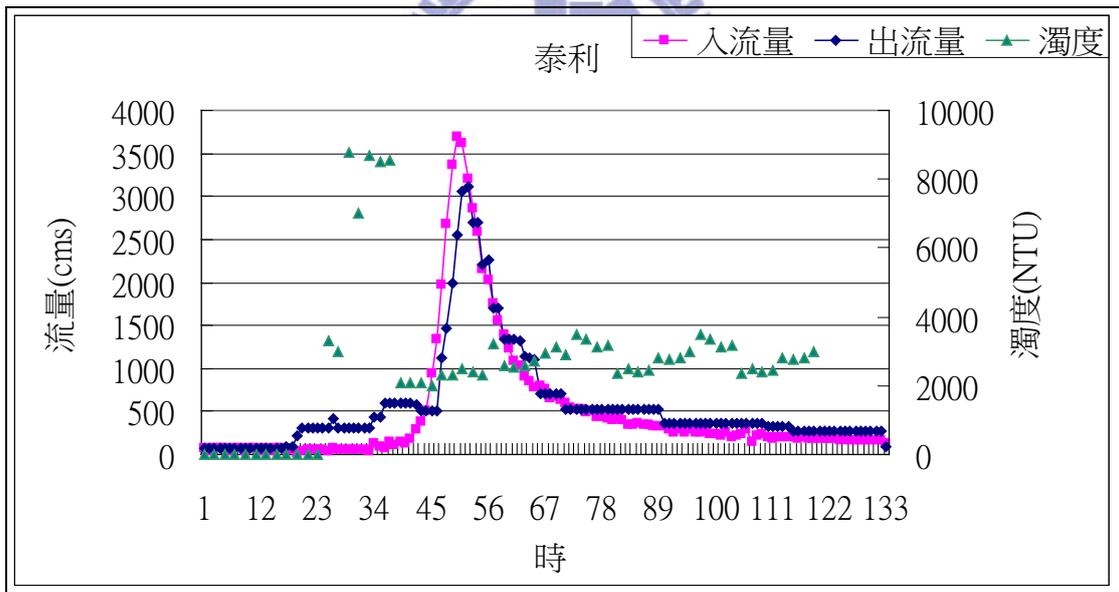


圖 4.4-3 泰利颱風之流量與濁度關係圖

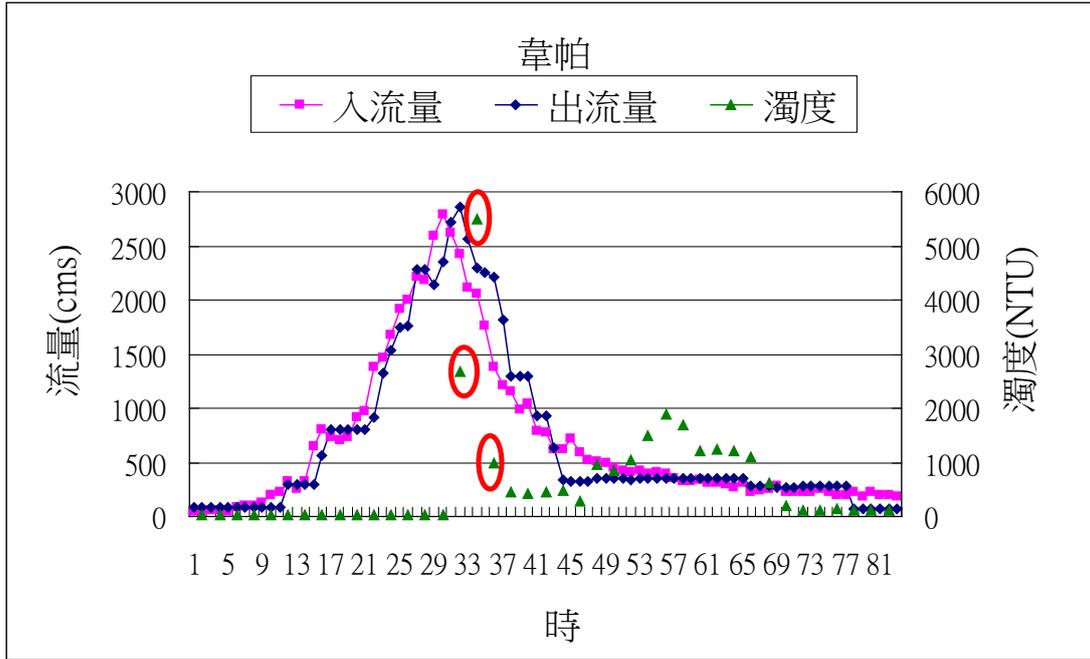


圖 4.4-4 韋帕颱風流量與濁度關係圖

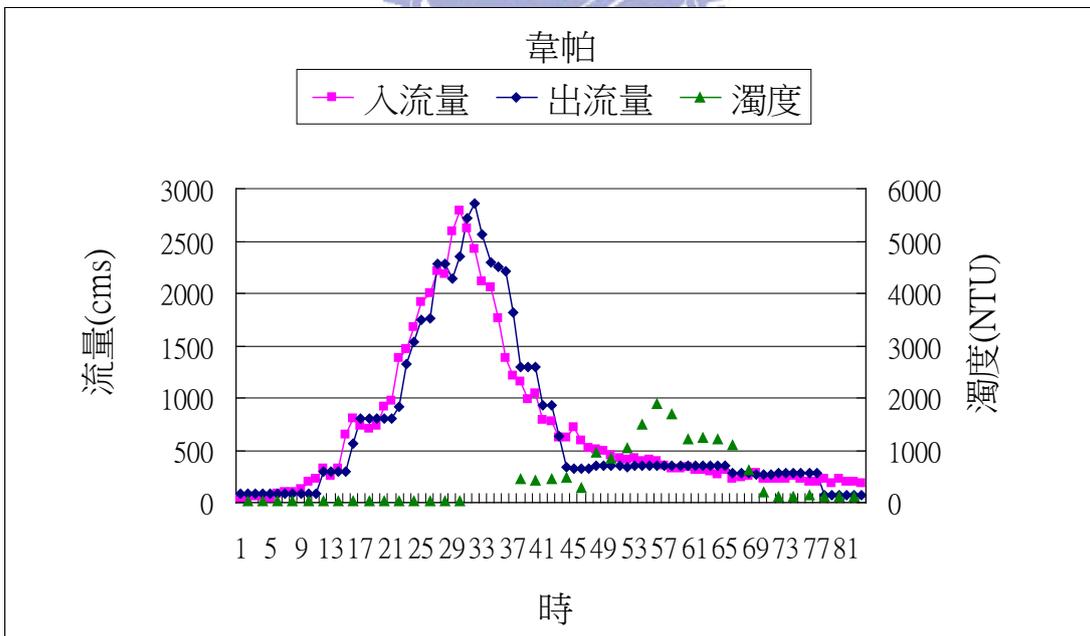


圖 4.4-5 韋帕颱風流量與濁度關係圖(刪除可能實驗誤差後)

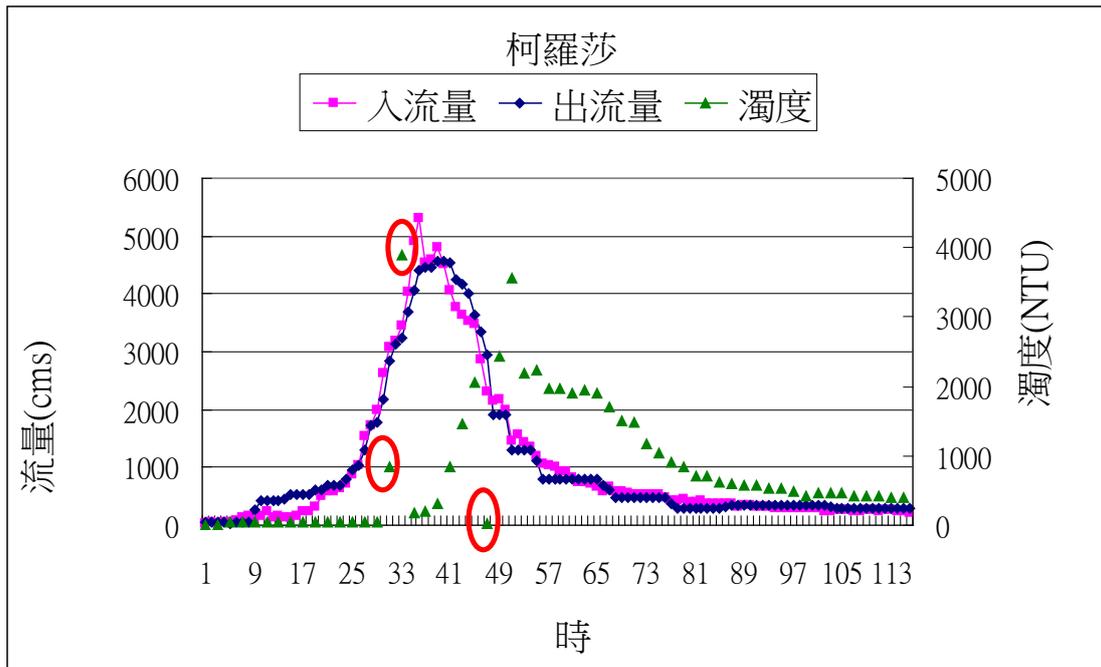


圖 4.4-6 柯羅莎颱風流量與濁度關係圖

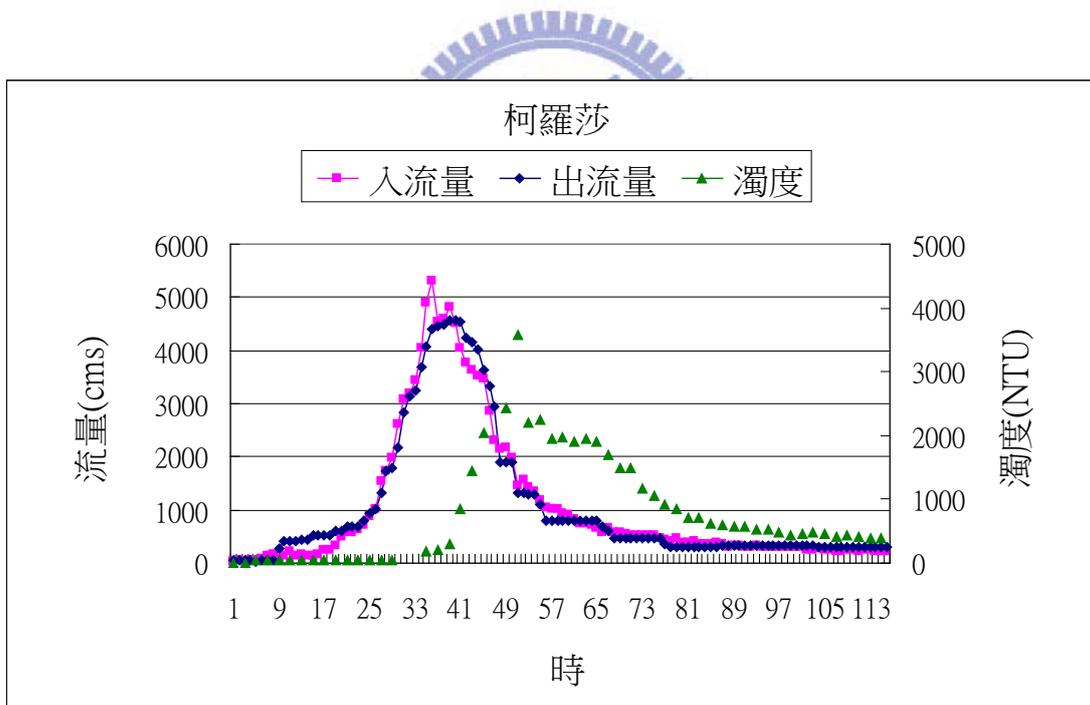


圖 4.4-7 柯羅莎颱風流量與濁度關係圖(刪除可能實驗誤差後)

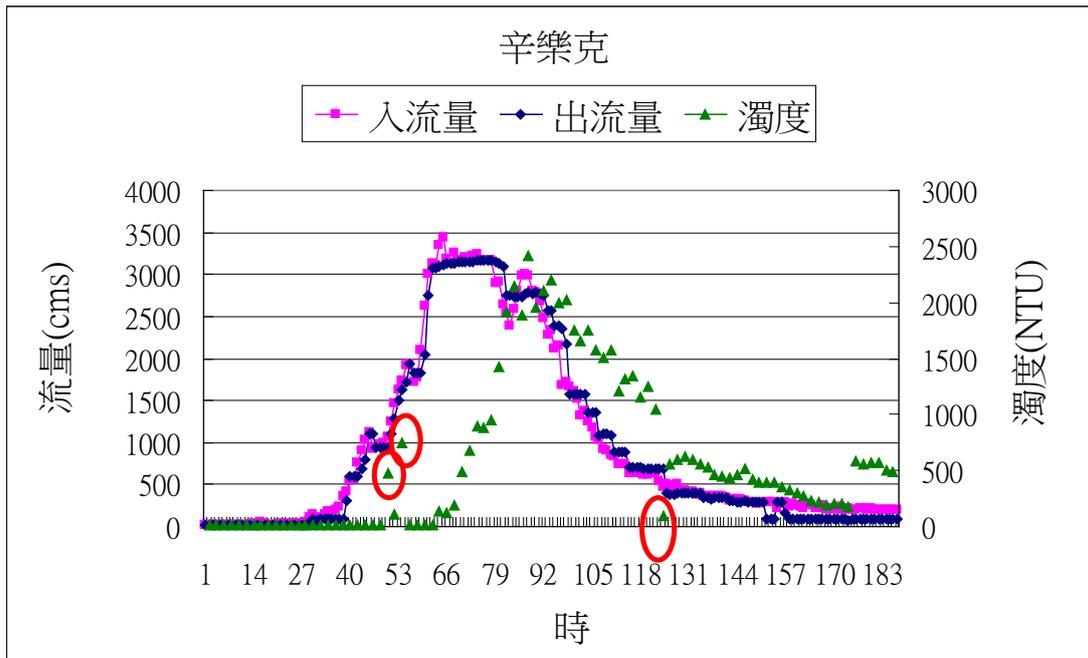


圖 4.4-8 辛樂克颱風流量與濁度關係圖

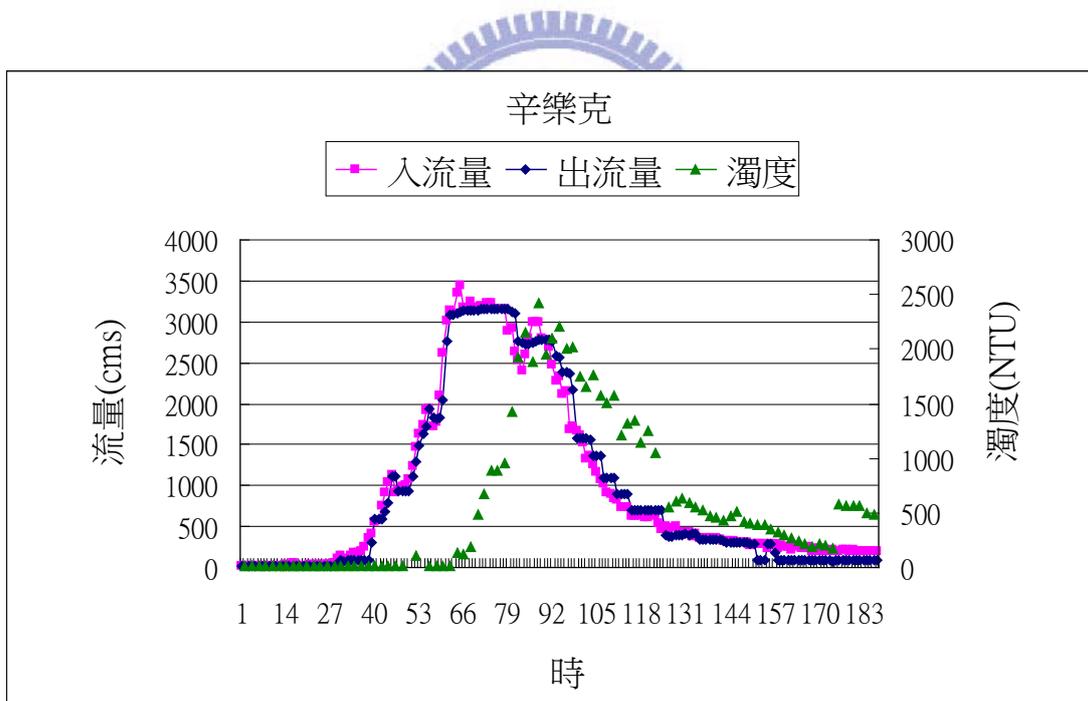


圖 4.4-9 辛樂克颱風流量與濁度關係圖(刪除可能實驗誤差後)

#### 4.4.2 濁度單位特性歷線法

本研究以 $t-1$ 時刻觀測入流量 $I_{t-1}$ 、放流量 $O_{t-1}$ 進行 $t$ 時刻濁度 $C_t$ 預測。以遺傳演算法優選時，初始群集設為2500條染色體，突變率為0.01，交配率為0.6，保留菁英數目為4條，收斂條件為疊代次數為200代，且須連續出現20次最佳值不變。

濁度單位特性歷線法模擬結果如圖4.4-10~4.4-12，本研究以預測與觀測濁度相關係數及均方根誤差(RMSE)作評估指標，模擬結果見表4.4-3；結果顯示，韋帕、柯羅莎及辛樂克颱風相關係數皆高達0.87以上，顯示單位特性歷線法有良好之預測精度；將相關係數排序，以柯羅莎預測結果為最佳，辛樂克則次之，韋帕最後；若以均方根誤差排序，以韋帕預測為最佳，柯羅莎則次之，辛樂克最後；優選後之入流濁度及放流濁度單位特性歷線如圖4.4-13所示，顯示入流濁度與放流濁度單位特性歷線之尖峰濁度，到達尖峰濁度時間及濁度歷線基期分別為0.39NTU、第17小時及19小時與0.39NTU、第17小時、15小時。此處入流濁度單位特性歷線即為每一單位入流量所產生的濁度歷線。

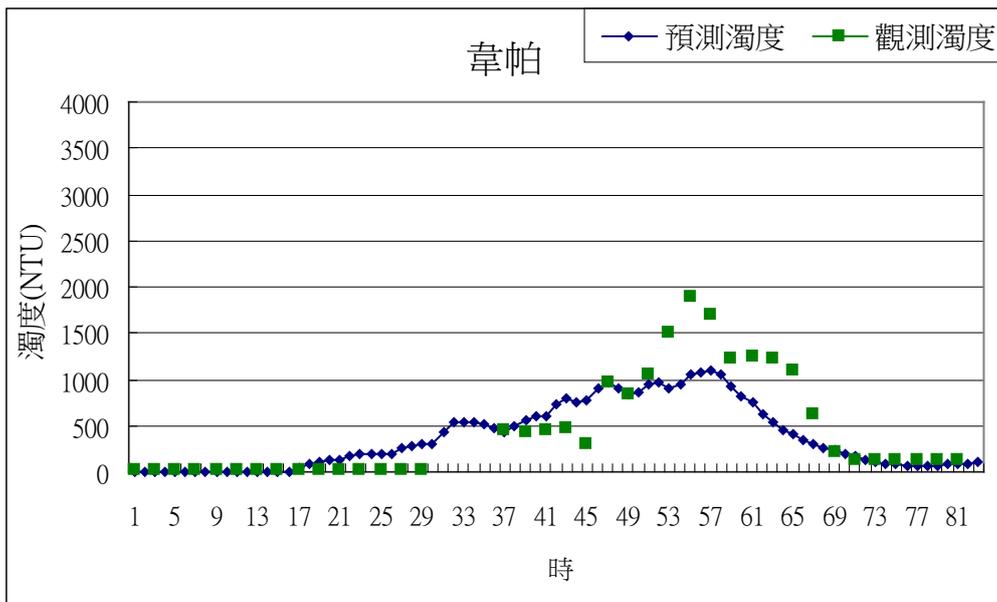


圖 4.4-10 韋帕颱風單位特性歷線預測與觀測濁度資料比較

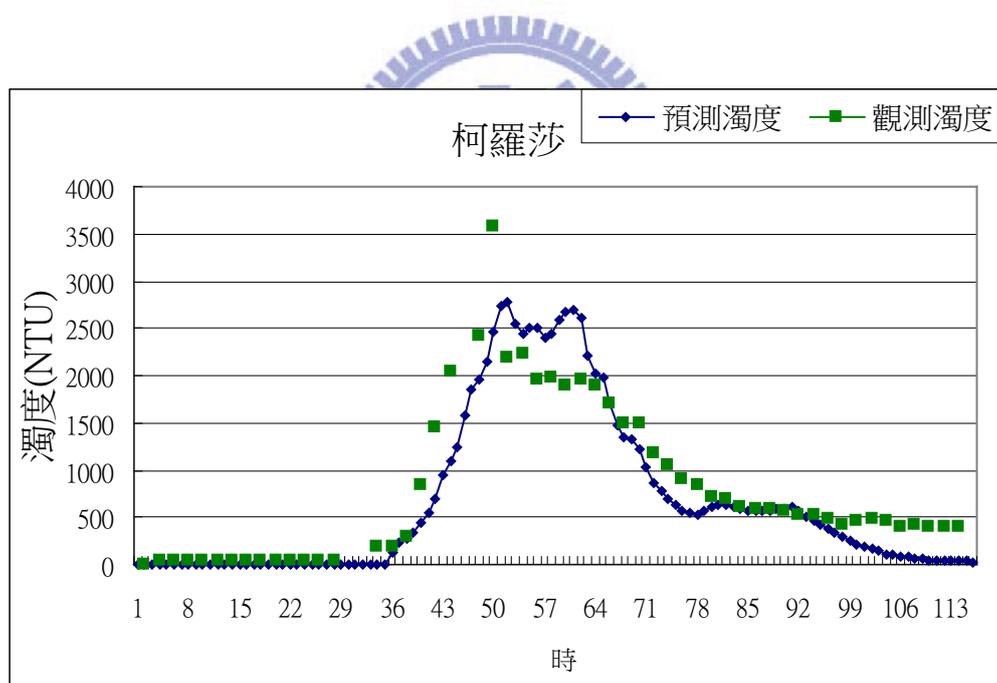


圖 4.4-11 柯羅莎颱風單位特性歷線預測與觀測濁度資料比較

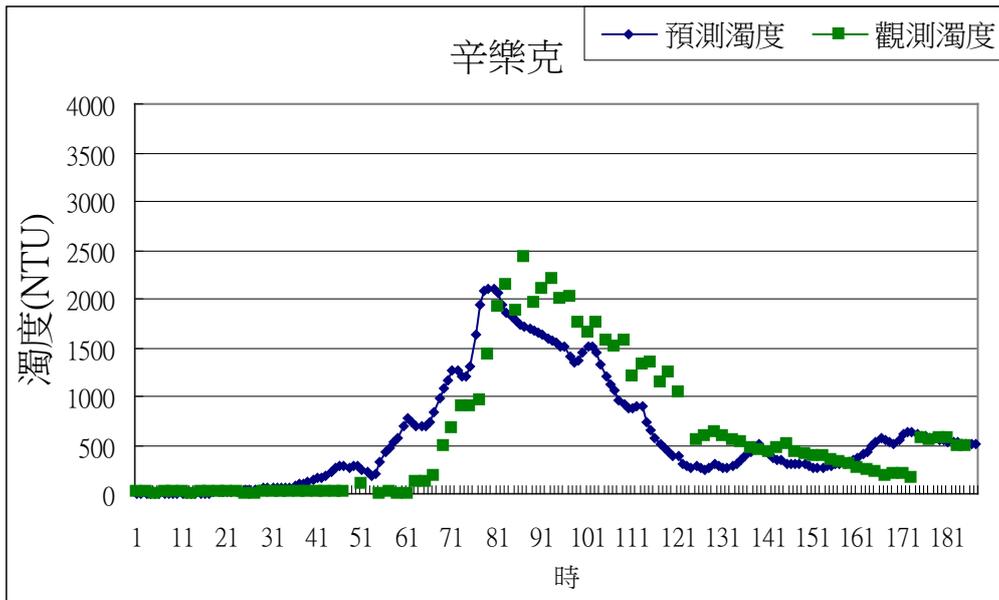


圖 4.4-12 辛樂克颱風單位特性歷線預測與觀測濁度資料比較

表 4.4-3 颱風事件單位特性歷線之預測與觀測濁度之指標值

評估指標 颱風事件	預測與觀測濁度 相關係數	預測與觀測濁度 誤差平方和
韋帕	0.870	301
柯羅莎	0.925	348
辛樂克	0.883	359

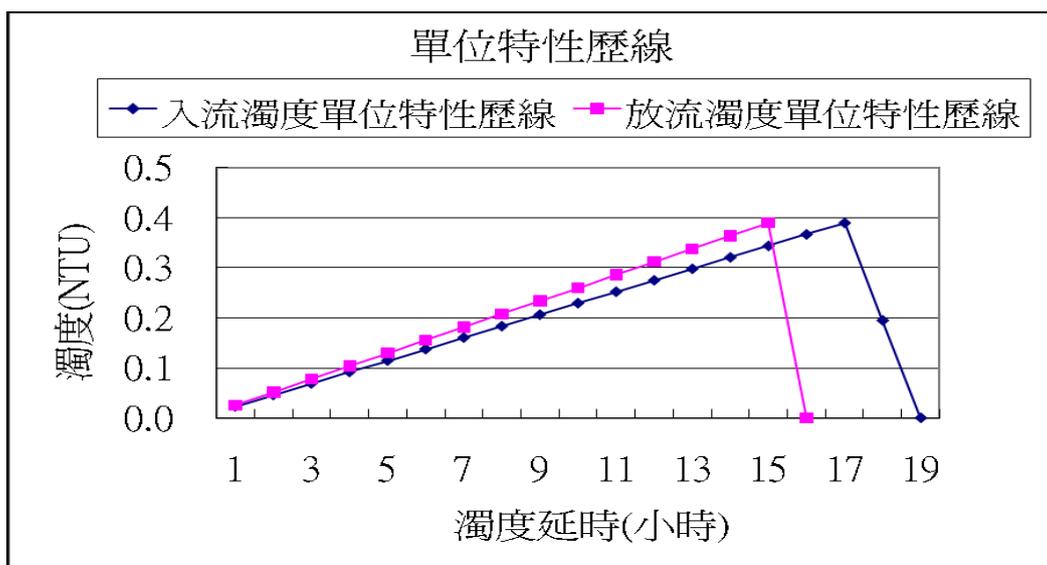


圖 4.4-13 入流與放流濁度單位特性歷線

#### 4.4.3 類神經網路濁度預測

本研究也是以韋帕、柯羅莎及辛樂克三場颱風事件以類神經網路進行濁度連續預測，作為單位特性歷線法之對照比較。除了以t-1時刻觀測入流量 $I_{t-1}$ 、放流量 $O_{t-1}$ ，亦將前時刻之濁度納入連續預測之考量，惟觀測濁度資料為每兩小時一筆數據，故本研究類神經模式t-1時刻觀測入流量 $I_{t-1}$ 、放流量 $O_{t-1}$ 及t-2時刻濁度 $C_{t-2}$ 資料進行t時刻 $C_t$ 之預測。

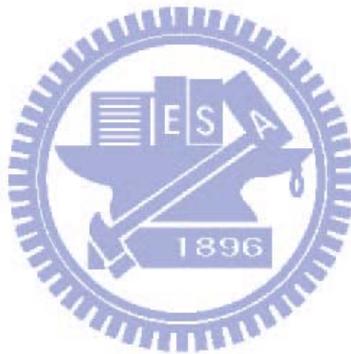
本研究進行了各種訓練方式並找出最佳參數設定，例如：增加節點數、改變各層間之間轉換函數、疊代次數及正規化後誤差平方和大小等，但以下列設定之訓練結果為最佳：

1. 隱藏層：層數為1層、節點數為3個。
2. 輸入層到隱藏層之轉換函數為雙彎曲正切函數(tansig)、隱藏層到輸出層之轉換函數為線性函數(purelin)。
3. 收斂限制：最大疊代次數2000代、正規化後誤差平方和需小於0.0001。

透過以上各項設定後，且為了測試類神經模式之強健性(robust)，本研究進行了十次的訓練，並統計每次預測結果之指標值如表4.4-4所示，結果顯示，韋帕颱風預測結果較差，相關係數最高僅0.66，柯羅莎及辛樂克颱風則皆有出現良好之預測精度，相關係數最高達0.955與0.947，但十次訓練結果差異甚大，顯示類神經模式應用於濁度預測之強健性仍然不佳，無法使每場事件都有良好的精度，因此後續高濁度供水風險分析採用本研究所提出的單位特性歷線法之濁度預測結果。

表 4.4-4 颱風事件類神經模式預測與觀測濁度之指標值

評估指標 訓練次數	韋帕		柯羅莎		辛樂克	
	觀測與 預測濁 度相關 係數	觀測與 預測濁 度誤差 平方和	觀測與 預測濁 度相關 係數	觀測與 預測濁 度誤差 平方和	觀測與 預測濁 度相關 係數	觀測與 預測濁 度誤差 平方和
training1	0.555	714	0.874	418	0.878	545
training2	0.592	540	0.685	650	0.789	577
training3	0.446	529	0.801	570	0.927	258
training4	0.273	779	0.955	256	0.691	716
training5	0.660	493	0.765	567	0.909	363
training6	0.461	648	0.834	453	0.917	437
training7	0.332	649	0.767	555	0.708	726
training8	0.436	806	0.865	433	0.914	680
training9	0.486	548	0.810	496	0.947	357
training10	0.537	683	0.809	484	0.893	467



#### 4.5 石門水庫高濁度供水調配模式

完成降雨逕流模式與濁度預測模式之建置後，接著進行高濁度水資源供水調配模式模擬，由於鳶山堰及三峽堰之濁度資料不足以進行高濁度供水分析，故本研究高濁度分析範圍僅考量石門水庫供應南、北桃園之供水情況。

通常高濁度多發生在汛期，此時水庫的蓄水量以量而言應足以供應下游需求量，惟因高濁度影響下游淨水場之處理能力降低，進而造成缺水發生，因此水資源調配問題乃控制於淨水場的處理能力(請參照表4.1-3)，而非水庫的蓄水量變化，故可將高濁度調配模式簡化至僅考量淨水場之進出流量，再配合原有之管線限制進行供水量模擬。此外水庫在汛期時進行洪水操作，而此放水量將影響下一時刻之水庫濁度，因此高濁度供水調配模式需納入石門水庫洪水操作，本研究以波爾斯法(參照式3-21)進行水庫洪水演算，其基於質量守恆定律，可根據水庫性能曲線決定之，石門水庫性能曲線(請參照圖3.4-1所示)。

#### 4.6 石門水庫高濁度之供水風險分析

本研究石門水庫供水風險分析主要探討在高濁度事件下，各暴雨事件之缺水率變化，因農業用水不受高濁度影響，故本研究僅針對公共用水進行高濁度風險分析，高濁度缺水風險可定義為事件缺水率大於使用者缺水忍受度的機率，即  $Risk = Pr(HSH > SH_R)$ ，其中Risk代表風險， $HSH$  為高濁度事件缺水率， $SH_R$  為使用者缺水忍受度。亦即高濁度缺水風險可表示為  $HSH$  超越  $SH_R$  的機率。

由於鳶山堰和三峽堰僅有日濁度資料，而本研究所需之精度為小時，故鳶山堰和三峽堰之供水不納入考量。因此本研究以庫區供水所到達之淨水場處理能力(包含石門、龍潭、平鎮及大湳淨水場)總和作為系統之供水需求量，經高濁度調配模式(含洪水操作)模擬後，求得各事件高濁度下之缺水率，並以韋伯點繪法 (Weibull plotting) 繪製事件缺水率超越機率曲線，此超越機率曲線即為缺水風險曲線，透過缺水風險曲線可獲得不同缺水忍受度下之缺水風險。

高濁度之缺水風險曲線如圖4.6-1所示，結果顯示歷史合成事件下，發生高濁度缺水事件(即事件缺水率 $>0$ )的風險為57%，頻率相當高；若假設公共用水缺水忍受度為5%，則高濁度事件之缺水風險為34%，顯示石門水庫在現況下發生高濁度缺水事件的頻率亦相當高。

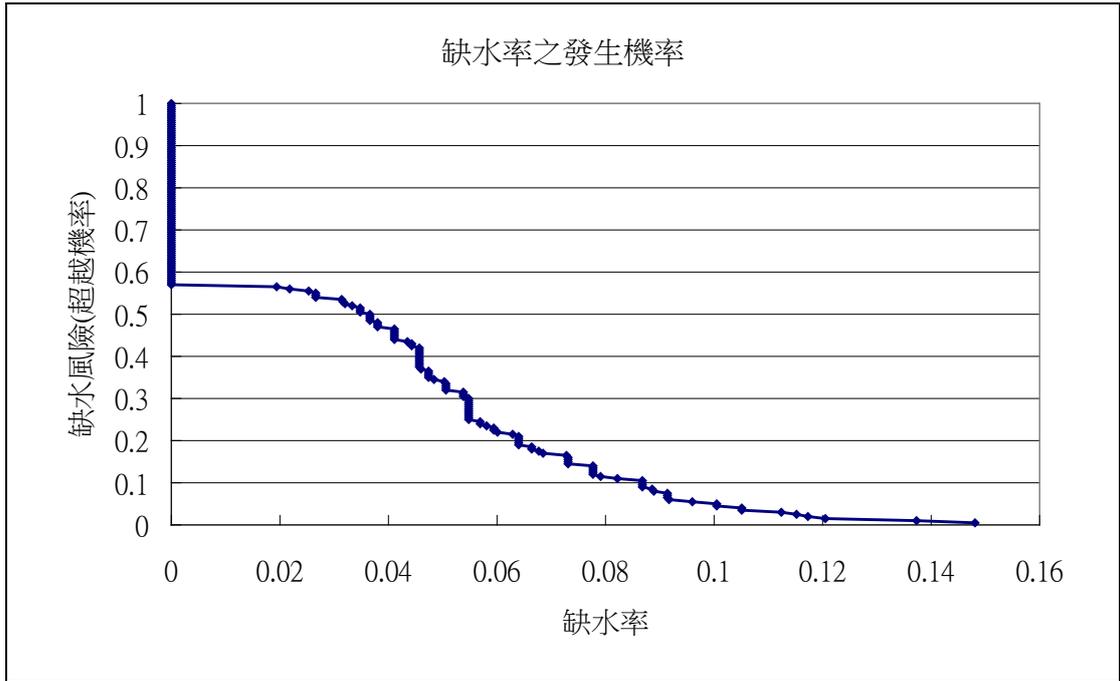


圖 4.6-1 高濁度之缺水風險曲線



## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

1. 本研究利用單位特性歷線法建立濁度預測模式，並與類神經濁度連續預測模式結果進行比對，模擬結果顯示，單位特性歷線法各場颱風事件之觀測與預測濁度值相關係數皆可高達0.87以上，而類神經預測模式雖然也有良好之預測精度，但部分(韋帕颱風)事件之連續模擬結果欠佳，且類神經連續模式經多次訓練結果顯示，每次模擬結果變異性頗大，模式學習之強健性不佳，本研究提出之單位特性歷線法則無此問題。
2. 高濁度水資源供水調配模式除考量淨水場現況處理能力受濁度影響外，亦將防洪操作對於水庫濁度之影響納入考量，以確實反映水庫實際操作影響。
3. 就合成雨量歷線之降雨延時而言，組體圖呈現左偏，仔細分析其結果，原因為本研究模式將不足一日之颱風事件以一日表示，有許多場次歸類於此區間內；若將此區間細分的話，分佈狀況即與歷史統計結果相近。
4. 水庫高濁度之供水風險結果顯示，發生高濁度缺水事件機率高達57%，若假設公共用水缺水忍受度為5%，發生缺水超過缺水忍受度之機率仍達34%，顯示石門水庫確實存有高濁度缺水問題之隱憂。

## 5.2 建議

1. 本研究由於資料的問題，尚未考量石門水庫下游支流如三峽河等，於高流量期間之入流及其濁度，建議相關單位未來應加強濁度資料的監測，並將各支流列入計算以使問題的考量更加完整。
2. 本研究以石門水庫庫區之洪水操作及其下游淨水場現況處理能力來推估其供水量，僅針對供給量的部份來探討，建議可進一步考量經濟面之影響，即缺水發生對產業的損失，或家庭支出減少對經濟成長的影響等。
3. 本研究各模式皆有相當程度上的可靠度，目前僅應用於石門水庫中，可將此分析架構流程應用於其它亦有高濁度問題困擾的水庫之中。

