

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 水文不確定性影響水庫供水風險之評估

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2625-Z-002-043-

執行期間：93 年 12 月 01 日至 94 年 11 月 30 日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：林國峰

共同主持人：張斐章

計畫參與人員：黃珮瑜、吳明璋

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 1 月 28 日

## 中文摘要

石門水庫自蓄水運作以來，歷經多次颱風暴雨的侵襲，大量洪水非但造成蓄水及水質的問題，其挾帶的大量泥沙亦造成水庫庫容空間減少而縮短水庫之壽命及影響水庫調節蓄洪之功能，同時也降低了水庫的供水機能。如何使台灣現有的水庫能夠有效的儲存水資源並且達到最大的供水機能是一項在現階段最重要也最迫切的課題。

水庫穩定供水的能力與上游集水區水文條件息息相關，而水庫上游集水區的水文不確定性不只直接關係水庫之入流量多寡亦影響流入水庫之泥砂量。本研究主要目的為建立水文不確定性與石門水庫供水風險之間的關係。首先，以多變量分析方法確立不確定因子的項目。接著，以一階不確定分析來進行水庫淤砂量的不確定性分析，以及利用蒙地卡羅模擬法配合適合的降雨逕流模式計算水庫供水能力。最後，訂定指標以實際評估討論石門水庫之供水風險，可提供石門水庫管理局或相關單位做為水庫整治、操作規劃與供水管理之參考。

關鍵詞：石門水庫，水文不確定性，不確定分析，風險分析。

## Abstract

The objective of this project is to establish the relationship between uncertainty in hydrology and the risk of Shihmen reservoir water supply system. Firstly, we examine the influence of different uncertainty factors using multivariate data analysis methods. Secondly, first order analysis of uncertainty is used to determine the uncertainty in silt yield. Thirdly, the risk of the reservoir water supply system is evaluated by Monte Carlo simulation method. Finally, the corresponding discussions are presented and the conclusions are drawn. The results can serve as references for evaluating the risk of Shihmen reservoir water supply system.

KEY WORDS: Shihmen reservoir, uncertainty in hydrology, uncertainty analysis, risk analysis.

## 目錄

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 中文摘要 .....                     | I  |
| Abstract.....                  | I  |
| 目錄 .....                       | II |
| 表目錄 .....                      | IV |
| 圖目錄 .....                      | V  |
| 1. 前言 .....                    | 1  |
| 2. 研究目的 .....                  | 1  |
| 3. 國內外相關研究之文獻回顧 .....          | 2  |
| 4. 研究方法 .....                  | 3  |
| 4.1. 資料蒐集 .....                | 3  |
| 4.2. 不確定性因子之確立 .....           | 3  |
| 4.2.1. 逐步迴歸 .....              | 3  |
| 4.2.2. 相關性分析 .....             | 4  |
| 4.3. 降雨及泥砂產生量不確定性分析 .....      | 4  |
| 4.4. 水文不確定性與石門水庫供水風險之關係 .....  | 5  |
| 4.4.1. 建構降雨—逕流模式 .....         | 5  |
| 4.4.2. 檢定降雨機率分佈型式 .....        | 6  |
| 4.4.3. 蒙地卡羅模擬法 .....           | 7  |
| 4.4.4. 建立水文不確定因子與水庫風險之關係 ..... | 8  |
| 4.5. 水庫風險評估 .....              | 8  |
| 5. 實例演算與結果 .....               | 9  |
| 5.1. 淤砂量之不確定因子與不確定性分析 .....    | 9  |
| 5.1.1. 資料蒐集與解析 .....           | 9  |
| 5.1.2. 不確定性因子之確立 .....         | 11 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 5.1.3. 不確定性分析 .....         | 12 |
| 5.2. 降雨量之不確定因子與不確定性分析 ..... | 12 |
| 5.2.1. 資料蒐集 .....           | 12 |
| 5.2.2. 不確定性因子之確立 .....      | 12 |
| 5.2.3. 不確定性分析 .....         | 13 |
| 5.3. 水庫供水風險評估 .....         | 13 |
| 參考文獻 .....                  | 14 |

## 表目錄

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 表一 水文資料 .....                       | 18 |
| 表二 地文資料與集水區物理特性 .....               | 18 |
| 表三 其它相關資料 .....                     | 18 |
| 表四 石門水庫現階段規線資料 .....                | 18 |
| 表五 石門水庫現階段計畫供水量 .....               | 19 |
| 表六 前人研究應用於石門水庫 .....                | 19 |
| 表七 三種迴歸型式逐步迴歸加入變數之順序表 .....         | 20 |
| 表八 三種迴歸型式經檢定各變數是否具顯著影響後之結果 .....    | 20 |
| 表九 前人研究與本研究最適模式比較 .....             | 20 |
| 表十 水庫入流量相關因子資料整理 .....              | 20 |
| 表十一 不同時間間隔之降雨對入流量之相關性分析 .....       | 21 |
| 表十二 不同稽延時間之降雨與流量對水庫當期流量之相關性分析 ..... | 21 |
| 表十三 月降雨量之機率分佈型式 .....               | 21 |
| 表十四 模擬流量分析 .....                    | 22 |
| 表十五(a) 缺水指標分析 .....                 | 22 |
| 表十五(b) 可靠度分析 .....                  | 23 |

## 圖目錄

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 圖一 MLP架構.....               | 23 |
| 圖二 不同初始水位之SI值.....          | 24 |
| 圖三 不同初始水位之 $\alpha$ 值 ..... | 24 |

## 1. 前言

臺灣地區因為氣候條件與地形、地勢等因素，降雨量於每年豐水與乾枯時期差異甚多，而且降雨也常集中落於深山峻嶺之間，加上台灣山區地勢陡峭、河流湍急，諸如此類的情況造成台灣地區雖然平均年降雨量為 2512 公釐約為世界平均年降雨量的 2.6 倍，但是所形成的逕流量卻僅有約 18% 被所攔蓄利用，可見台灣水資源儲存的困難。然而近年來由於環境與生態意識的影響，興建新的大型水庫來儲存水資源已為難推行之計畫，所以，清楚瞭解台灣現有的水庫的入流量變化資訊與使水庫達到最大的供水機能是一項在現階段最重要的課題。

石門水庫自民國 53 年完工後開始蓄水運作以來，歷經多次颱風暴雨侵襲影響，使得水庫集水區山坡地沖刷問題嚴重，以致於洪水挾帶大量泥沙流入水庫，減少水庫庫容空間而縮短水庫之壽命及影響水庫調節蓄洪之功能，同時也降低了水庫的供水機能。以今年的艾莉颱風（2004 年 8 月）為例，透過水利署的初步估計，艾利颱風為石門水庫帶入了將近 2,000 萬立方公尺淤積量，約佔石門水庫總設計容量的 15%。為了能有效的管理與水庫水資源永續經營的理念，我們必須能清楚的了解水庫上游集水區的水文情況與水庫入流量與泥沙產生量之關係，如此才能知道水庫的有效蓄水量來確保水庫的供水能力。然而，因為這些水文資料在本身與量測上均存在著空間與時間的不確定性，造成水庫的有效蓄水量也會有不確定性，讓水庫在供水機能的評估工作上不易明確的訂定。

## 2. 研究目的

由於水庫穩定供水的能力與上游集水區水文條件息息相關，本研究（子計畫一：水文不確定性影響水庫供水風險之評估）主要目的就是找出及確立石門水庫上游集水區中具有不確定性之各項因子並討論其不確定性。接著，再建立這些水文因子的不確定性對水庫入流量、泥沙產生量所造成之影響，以及嘗試找出各個不確定性因子之間所造成之聯合效應的關係。最後，考慮水庫的有效蓄水量與下游需水量即可對石門水庫做供水能力之評估，而得到的評估結果亦可供石門水庫管理局或相關單位做為水庫整治、操作規劃與供水管理之參考。

未來，全台多座水庫亦都將面臨泥砂嚴重淤積而使水庫容量減少、降低水庫可蓄水量的問題，所以如何使水庫在旱季或雨季均能維持正常的供水機能，並確保水庫水資源的永續經營利用，將是刻不容緩，亟待解決的重要課題。

### 3. 國內外相關研究之文獻回顧

隨著世界人口增加以及工業活動日趨興盛，使得人民對於水資源的需求也隨著越來越高，造成可利用的有限水資源已經逐漸的不夠使用，所以如何使現有之水庫所儲存的水資源達到永續與有效的利用已經是近年來十分重要的研究課題，同時這也是各國政府所積極努力的目標。

影響水庫供水能力主要因素為水庫之有效蓄水量，然有效蓄水量會受到水庫入流量以及泥沙淤積量影響，而降雨量的多寡與降雨強度的大小均為控制水庫入流量與泥沙沖蝕量的最大原因。有關降雨—入流量、降雨—泥沙產生量之相關研究在國內外均有相當多的著墨。

有關降雨—入流關係已經發展的模式在國外有美國陸軍工程師團發展的 HEC-1、菅原正巳的 Tank Model、美國環保署的 SWMM 模式、美國地質調查所的 USGS 模式以及近年來發展的類神經網路 (ANN)；而針對石門水庫之降雨—入流關係的國內研究則有劉 (2003) 對枯早期石門水庫之入流量預測，田 (2002) 對石門水庫在颱風期間區域總雨量最佳化估計，葉 (2002) 石門水庫集水區降雨逕流模擬研究，蔡 (2001) 對石門水庫旬流量預測模式研究。

集水區泥砂生產過程複雜，與之相關的因素甚多，如產砂量推估的研究有土壤流失公式 (USLE)，陳樹群等 (1998) 提出的土壤沖蝕指標模式來評估泥沙量，以及林文賜 (2001) 以集水區空間資訊萃取對坡面泥砂之產量推估。而應用於石門水庫的相關研究則有歐陽元淳 (2002) 對石門水庫集水區土壤沖蝕之研究，陳孟威 (2001) 以及邱昱嘉 (2002) 利用類神經網路、HSPF 水文模擬模式、及鈹-137 模式於石門水庫集水區對暴雨產砂量做推估研究等。而在工程實務經驗上，仍普遍採用經驗或半經驗式迴歸式，如盧炳堃 (2004)，利用曾文水庫淤積量及集水區之地文水文資料進行迴歸分析，得知集水區降雨特性與水庫淤積量關係顯著。

關於不確定性以及風險分析 (Risk Analysis) 已廣泛應用在水文各個領域 (Yen and Tang, 1976; Kite, 1977; Hormadka, 1988; Rosbjerg and Madsen, 1995; Chen et al., 1996)，針對降雨與水庫供水風險評估之研究，如顏等 (1992) 研究水資源風險與可靠度分析，廖 (2002) 以水庫規劃對供水可靠度做研究評估，劉 (1993) 對水庫做最佳供水之缺水風險分析，蘇等 (1997) 對石門水庫操作做研究評估，李 (2002) 以總缺水率、單旬最大缺水率、風險度、及缺水事件最大缺水量四項指標組合成綜合指標進行評估，而本計畫主持人近年來對於不確定性、可靠度分析以及風險分析評估之相關議題，均有相當豐富之研究 (林等, 1994; 林, 1995; 林, 1996; 林, 1997; 林與何, 1997; 林與賴, 1997; 林與陳, 1997; 林與何, 1998a, 1998b; 賴, 1998; 林等, 1999; 林等, 1999; 林與陳, 1999; 林與何, 1999; 林與王, 2000; 施與林, 2001; 林與王, 2001;

林與陳，2002；林與陳，2003；Lin et al., 1995；Lin and Chen, 2003； Lin et al., 2004)。

## 4. 研究方法

本計畫研究項目中包含石門水庫上游歷年氣象水文資料收集與解析、不確定性因子之確立、降雨及泥砂產生量不確定性分析、水文不確定性與石門水庫供水風險之關係、以及水庫風險評估。以下將依序詳述。

### 4.1. 資料蒐集

近年來幾場暴雨颱風，均對石門水庫的運作產生很大影響，因此，本計畫首先回顧前人對於石門水庫的相關研究報告，目的在於吸收前人之經驗，以充分了解近年來石門水庫的運作以及變化。接著，收集石門水庫上游歷年氣象資料（溼度、溫度…等）、水文資料（降雨、水庫入流量）、及地文資料（土地利用狀況、植被、坡度…），分析取得其統計上之特性以供後續研究。有關本計畫所收集之相關資料如表一至表三所示。

### 4.2. 不確定性因子之確立

由於可能影響的因子甚多，因此，本文利用多變量分析法（multivariate data analysis），分析各項因子對於水庫入流量以及水庫泥砂產量之關係，以分別確立上述兩者之不確定性因子項目。

#### 4.2.1. 逐步迴歸

當迴歸模式中增加任何一個解釋變數，多少會使模式的解釋能力增加，而決定是否增加影響變數的原則，主要是新增變數加入後，應變數的誤差變異數減少的比例是否顯著。當變數眾多時，無法採用測試全部的變數集合才求取最適模式，因而發展一種尋求變數的「最適子集合」的標準方法，稱之為逐步迴歸（Walpole Myers, 1987）。本文將採用逐步迴歸中之向前選擇法（forward selection）來確立水庫泥砂產量之不確定性因子，其程序如下：

- a. 當進行y之簡單迴歸時，選擇有最大 $R^2$ 值之變數，稱之為起始變數 $x_1$ ，式中 $e_i = y_i - \hat{y}_i$ ， $y_i$ 為實測淤砂量， $\hat{y}_i$ 為估計淤砂量。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

- b. 在 $x_1$ 存在情況下，選擇進入模式後能使 $R^2$ 值大於步驟a之值，且增加幅度

最大之變數，即可使(2)式為最大之變數 $x_j$ ，稱之變數 $x_2$ 。

$$R(\beta_j|\beta_1) = R(\beta_1, \beta_j) - R(\beta_1) \quad (2)$$

c. 選擇能使(2)式為最大之變數 $x_j$ ，稱之變數 $x_3$ 。

$$R(\beta_j|\beta_1, \beta_2) = R(\beta_1, \beta_2, \beta_j) - R(\beta_1, \beta_2) \quad (3)$$

d. 持續進行此程序，直到新進變數不能使解釋之迴歸顯著增加為止。

各步驟中可以F檢定或T檢定以決定是否增加此變數。如步驟b中，可以f值檢定 $x_2$ 在模式中之適合性，如(4)式。其中 $s^2$ 為含有變數 $x_1$ 和 $x_2$ 之模式的誤差均方。在一預設之顯著水準下，若 $f < f_\alpha(1, n-3)$ ，則 $x_2$ 不會進入模式而使過程中止，反之，則繼續進行下一個影響變數的測試。

$$f = \frac{R(\beta_2|\beta_1)}{s^2} \quad (4)$$

#### 4.2.2. 相關性分析

至於水庫入流量部分，歷年文獻中多數認為水庫入流量與集水區降雨量有高度相關性，因此本研究中將以降雨量作為主要探討因子。於分析過程中，將以相關係數（coefficient of correlation, CC）作為評估指標，以求出在何種時距下之降雨量資料與入流量之相關性最高。並一併討論不同時期的降雨量對水庫入流量之影響。相關性的計算方式如下式所示。

$$CC = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

計算之 CC 值越大，則表示兩資料數列  $x$  與  $y$  之相關性越大。相關性分析的部分在入流量分成兩個部分來進行。首先，探討水庫入流量與降雨量之間的關係。以 CC 作為指標評估在哪一種時間間隔之情形下兩者相關係最高。之後，本研究亦探討水文資料之稽延效應，即當期之水庫入流量會受前幾期降雨量與前幾期入流量影響。

### 4.3. 降雨及泥砂產生量不確定性分析

一階不確定性分析（First Order Analysis of Uncertainty）屬於近似機率之分析，其可求得系統中應變數之平均值（Mean）及標準偏差（Standard Deviation），亦即可了解系統模式中各個不確定性因子所造成之聯合效應，本研究將以此分析水庫泥砂產量之不確定性，理論如下：

假設一水文關係式：

$$Y = g(x) \quad (6)$$

其中  $Y$  為一隨機變數， $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  有  $k$  個隨機變數。

將  $Y$  在各變數知平均值處以泰勒展開法展開，保留第一階之項，忽略二階以上之高階項，並取其期望值及變異數可得：

$$E\{Y\} = \mu_Y \approx g(\bar{x}) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}\{Y\} \approx & \text{Var}\{g(\bar{x})\} + 2\text{Cov}\left[g(\bar{x}), \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial g(x)}{\partial x_i}\right)(x_i - \bar{x}_i)\right] \\ & + \text{Var}\left\{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial g(x)}{\partial x_i}\right)_{x=\bar{x}} (x_i - \bar{x}_i)\right\} \end{aligned} \quad (8)$$

因  $g(\bar{x})$  為常數，故  $\text{Var}\{g(\bar{x})\} = 0$ ， $\text{Cov}\left[g(\bar{x}), \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial g(x)}{\partial x_i}\right)(x_i - \bar{x}_i)\right] = 0$ ，

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Var}\{Y\} = \sigma_Y^2 \approx & \text{Var}\left\{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial g(x)}{\partial x_i}\right)_{x=\bar{x}} (x_i - \bar{x}_i)\right\} \\ = & \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial g(x)}{\partial x_i}\right) \left(\frac{\partial g(x)}{\partial x_j}\right) \text{Cov}(x_i, x_j) \end{aligned} \quad (9)$$

若  $i \neq j$  時， $\text{Cov}(x_i, x_j) = 0$ ，

$$\Rightarrow \text{Var}\{Y\} = \sigma_Y^2 \approx \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial g(x)}{\partial x_i}\right)^2 \sigma_{x_i}^2 \quad (10)$$

由以上推求，可得系統中應變數之平均值及標準偏差。

#### 4.4. 水文不確定性與石門水庫供水風險之關係

##### 4.4.1. 建構降雨—逕流模式

類神經網路 (artificial neural networks) 是近年來相當受矚目及歡迎的降雨—逕流過程模擬的工具。藉由若干神經元 (neuron) 的連結，類神經網路可以簡單的演算方式模擬高度非線性現象。另外，類神經網路比傳統降雨—逕流模式優秀之處在於具有可以推估神經元鍵結權重 (類神經網路的參數) 的演算法。

也就是說，以類神經網路為基礎的降雨—逕流模式，其參數可以由該演算法輕易獲得。另一優點為，類神經網路可以依照每個流域不同的特性，讓使用者能改變其架構，以適應不同流域特性而模擬降雨—逕流過程，這是比傳統概念型模式優秀之處。

在類神經網路理論中，常將靜態網路（static network）用於模擬降雨—逕流過程。在本計畫中，以靜態網路之多層感知機（multilayer perception, MLP）網路來架構降雨—逕流模式，有關 MLP 之架構可可見圖一。MLP 是常被用來進行降雨—逕流過程模擬的一種網路。其輸入往往需要若干個不同時段的降雨資料以及欲模擬的位置的前幾個流量資料，可以下列方程式說明：

$$Q(t) = F \left( \begin{matrix} p_i(t), p_i(t-1), p_i(t-2), p_i(t-3) \cdots p_i(t-n), \\ Q(t-1), Q(t-2) \cdots Q(t-h) \end{matrix} \right) \quad i = 1 \cdots m \quad (11)$$

其中  $F(\ )$  是代表描述降雨—逕流過程的靜態網路、 $p_i(t)$  為  $t$  時刻雨量站  $i$  的降雨資料、 $p_i(t-1)$  為  $t-1$  時刻雨量站  $i$  的降雨資料、 $p_i(t-2)$  為  $t-2$  時刻雨量站  $i$  的降雨資料、 $p_i(t-3)$  為  $t-3$  時刻雨量站  $i$  的降雨資料、 $p_i(t-n)$  為  $t-n$  時刻雨量站  $i$  的降雨資料， $Q(t)$  為  $t$  時刻的逕流量， $n$  與  $h$  分別為降雨與流量時間稽延的數目， $m$  為雨量站個數。

另一個在使用類神經網路進行模擬降雨—逕流過程的問題在於輸入項。以類神經網路為基礎的降雨—逕流模式通常需要一至兩個主要的輸入項，其一是稽延時間（time-lagged）的資料。採用類神經網路來模擬降雨—逕流歷程的水文學者通常需要前幾個時段（time step）的降雨資料以建立流域中降雨與逕流之間的時間相依性。另一個以類神經網路為基礎的降雨—逕流模式所需要的主要輸入項，就是研究區域的前幾期流量資料。然而選擇前期時段的水文資料的數目多寡，會影響以類神經網路為基礎的降雨—逕流模式之效能。

#### 4.4.2. 檢定降雨機率分佈型式

由歷年相關研究可知，雨量為影響流量之主要水文因子。為了解雨量之分布特性，進而產生可供模擬分析之資料，本研究將藉由  $\chi^2$ -test 檢定降雨機率分佈型式。有關  $\chi^2$ -test 檢定之方法如下所述：

$\chi^2$ -test 乃是將  $N$  個樣本分配至  $m$  組內，各組觀測之實際頻率為  $O_j$ ,  $j=1,2,\dots,m$ ，期望之理論發生次數為  $E_j$ ，則統計量  $\chi^2$  為：

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^m \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (12)$$

其自由度 d.f. 為  $m-k$ 。其中  $m$  為分組數， $k$  為限制度（number of restrictions），

及統計量失去個  $k$  自由度。而分組數可參考下式而決定。

$$m = 1 + 3.3 \times \log(N) \quad (13)$$

依據  $\chi^2$  分配表可以查出期望之理論發生次數值  $E_j$ ，配合實際觀測資料之  $O_j$  值即可計算得  $\chi^2$  值。若實際分佈與理論分佈相差越多，則  $\chi^2$  值越大。當  $\chi^2$  值大於顯著水準之臨界值，則放棄虛無假設，因此，可以透過檢定實際分佈與假設分佈是否相同。

#### 4.4.3. 蒙地卡羅模擬法

本計畫有關流量方面之分析是採用蒙地卡羅模擬法（Monte Carlo Simulation Method）模擬。蒙地卡羅模擬法是一種產生隨機樣本的方法，利用此法可解決具有已知（或設定）機率分佈之隨機變數問題。此法乃利用隨機亂數大小等於一般機率分佈之累積機率的特色，將具有原機率分不知隨機變數統計量代入，繁衍出符合原機率分佈之樣本。重複此模擬過程，即可獲得多組符合原機率分佈之樣本數，由此再進行可靠度或風險分析。

在模擬繁衍過程中，首先需得到介於 0 與 1 之間均勻分佈之隨機變數，稱為  $U(0,1)$  隨機變數。其值通常經由線性轉換之模數殘值（residues of modulus） $m$  之迴歸關係求得，其過程如下：

$$x_{i+1} = (ax_i + c) \pmod{m} \quad (14)$$

其中， $a$ 、 $c$ 、 $m$  為非負整數。若  $k_i$  為  $(ax_i + c)/m$  之整數部分，即

$$k_i = \text{int} \left( \frac{ax_i + c}{m} \right) \quad (15)$$

則相對應之模擬殘值  $m$  與  $x_i$ ， $x_{i+1}$  之關係為

$$x_{i+1} = ax_i + c - mk_i \quad (16)$$

$$u_{i+1} = x_{i+1} / m \quad (17)$$

其中， $u_{i+1}$  為介於 0 與 1 間之數值。由 Greenberger (1961) 證明得知  $x_i$ ， $x_{i+1}$  之間的相關係數為：

$$\rho = \frac{1}{a} - \left( \frac{6c}{am} \right) \left( 1 - \frac{c}{m} \right) \pm \frac{a}{m} \quad (18)$$

由於蒙地卡羅模擬法所得之可靠度值並非唯一，其與樣本數多寡有密切關係，若樣本數繁衍太少，易造成樣本集中於一處，致使評估錯誤。因此，繁衍之隨機變數必須足夠，方可得客觀之結果。

#### 4.4.4. 建立水文不確定因子與水庫風險之關係

欲探討水文不確定性與石門水庫供水風險之關係，首先建立水文不確定因子與水庫蓄水量之關係。一個水庫的蓄水量多寡，影響該水庫供水能力，即供水風險，而水庫之入流量為決定蓄水量之因子，入流量又取決於雨量因子。因此，本研究由前述模擬所得之流量，可模擬水庫蓄水量變化，再配合水庫本身操作以及計畫供水量多寡，便可進行風險分析 (Chow, 1988)，以量化之風險指標評估水庫供水風險。現階段水庫規線操作規則與水庫計畫供水量資料分別列於表四與表五。

#### 4.5. 水庫風險評估

本計劃分別採用缺水指標 (SI) 與可靠度 ( $\alpha$ ) 兩項指標評估石門水庫之供水風險，並以一月份水位為初始條件，考慮在不同初始水位的情況下，年供水風險之相應變化。

關於可靠度  $\alpha$ ，風險分析 (Risk Analysis) 之敘述如下。假設一系統之負荷 (loading)  $L$  為隨機變數，此系統之承受能力 (resistance or capacity)  $R$  亦為隨機變數，則定義此系統之可靠度  $\alpha$  為  $R \geq L$  之機率。

$$\alpha = P(R \geq L) \quad \text{或}$$

$$\alpha = P(W \geq 0) \quad (19)$$

其中， $W$  為一表現函數 (performance function)，有下列幾種型式：

$$(1) \quad W = R - L$$

$$(2) \quad W = \frac{R}{L} - 1$$

$$(3) \quad W = \ln\left(\frac{R}{L}\right)$$

因此，系統的風險 (Risk) 則定義為

$$\alpha' = P(L > R) = 1 - \alpha \quad (20)$$

若針對上式，假設系統負荷 ( $L$ ) 與承受能力 ( $R$ ) 為獨立之隨機變數，採用直接積分法 (method of direct integration)，可求得可靠度  $\alpha$

$$\alpha = \int_0^{\infty} f_R(r) \left[ \int_0^r f_L(l) dl \right] dr = \int_0^{\infty} f_R(r) \cdot F_L(r) dr \quad (21)$$

而本計畫中另一個量化水庫供水風險之指標為美國陸軍工兵團所使用之缺

水指標 (shortage index, SI)，有關缺水指標的計算方法則如下所示：

$$SI = \frac{100}{N} \times \sum \left( \frac{\text{年缺水量}}{\text{年需水量}} \right)^2 \quad (22)$$

其中，N 為演算年數，此時計算得到的 SI 值為年缺水指標。缺水指標越小表示水庫遭遇較少之缺水情況。反之，缺水指標越大表示水庫遭遇較多之缺水情況。

## 5. 實例演算與結果

### 5.1. 淤砂量之不確定因子與不確定性分析

#### 5.1.1. 資料蒐集與解析

集水區泥砂生產過程複雜，與之相關的因素甚多，而在工程實務經驗上，仍普遍採用經驗或半經驗式，其中以迴歸方式評估泥砂量或影響泥砂運移之遞移率居多。

關於計算泥砂量之相關研究，包含吉良八郎(1971)以日本 137 座水庫之淤砂量來迴歸集水區面積及年逕流量與泥砂生產量之關係式 (23 式)；何智武等人(1983)，曾以石門、德基、曾文、霧社等水庫相關資料，建立國姓水庫之年泥砂產量 (24 式)；李育錦(1987)，利用台灣翡翠、石門、德基、曾文四水庫資料，推估水庫年淤砂量 (25 式)；盧炳堃(2004)，利用曾文水庫淤積量及集水區之地文水文資料進行分析，得知集水區降雨特性與水庫淤積量關係顯著 (26 式)。

$$Q_{st} = a(Q/A)^b \Rightarrow \log(Q_{st}) = \log(a) + b \cdot \log(Q/A) \quad (23)$$

$$q_s = a \times P^b \times C^c \times S^d \Rightarrow \log(q_s) = \log(a) + b \cdot \log(P) + c \cdot \log(C) + d \cdot \log(S) \quad (24)$$

$$\log(Y) = a + b \cdot \log(R) + c \cdot \log(M) + d \cdot \log(C) \quad (25)$$

$$Y = a \cdot \exp(b \cdot M) \Rightarrow \ln(Y) = \ln(a) + b \cdot M \quad (26)$$

以上各式中， $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ ...為係數， $Q_{st}$ 為年泥砂量 (ton)， $Q$ 為年逕流量 ( $m^3$ )， $A$ 為集水面積 ( $km^2$ )， $q_{st}$ 為年平均泥砂產量 ( $ton/km^2$ )， $P$ 為年降雨量 (m)， $C$ 為森林覆蓋率 (%)， $S$ 為平均坡度 (%)， $Y$ 為水庫年淤積量 ( $m^3$ )， $R$ 為平均起伏量 (m)， $M$ 為年最大單日降雨總量 (mm)。

關於遞移率之相關研究，包含陳中憲 (1988) 以濁水溪流域進行研究，得遞

移率主要與集水區起伏量比及觀測區段與主流河道平均坡度比值有關；劉永得（1989）在石門水庫進行研究，除以上兩個影響因素外，多考慮了分岔比；阮香蘭（1992）則是由覆蓋率、防砂壩攔砂量、觀測區段與主流河道平均坡度比值來推估石門水庫集水區之遞移率；賴益成（1998）認為僅針對一集水區研究，適用範圍較狹隘，因而以西勢、翡翠、石門、明德、德基、霧社、白河及曾文等八座水庫資料推求集水區遞移率。計算遞移率之因子多為地文因子，綜合以上研究，其推估式模式如下：

$$Q_{st} = a + b \cdot Q + c \cdot SI + d \cdot VI + e \cdot G + \dots \quad (27)$$

$$SDR = a + b \cdot A + c \cdot (S_a/S) + d \cdot (R/L) + e \cdot B_r + f \cdot C + g \cdot V_c + \dots \quad (28)$$

亦即國內研究多為線性迴歸模式。較為不同的是賴益成（1998）推求之遞移率為對數線性模式，如(29)式。

$$SDR = a \times T^b \times D_k^c = \log(a) + b \cdot \log(T) + c \cdot \log(D_k) \quad (29)$$

以上各式， $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d \dots$ 為係數， $SI$ 為泥砂生產指標， $VI$ 為植生指標， $G$ 為地貌係數， $SDR$ 為遞移率（%）， $S_a$ 為主流坡度， $R/L$ 為起伏量比， $B_r$ 分岔比， $V_c$ 為防砂壩年平均攔砂量， $T$ 為運移因子， $D_k$ 為排水密度

除了直接推估泥砂量及計算運移因子遞移率之外，在泥砂沖蝕的相關研究中，為簡化架構而使用指標模式，賴樹群（1998）等人，以台灣集水區之資料，建立了本土化的指標，其中一個與水文相關的指標為降雨指標（ $RI$ ），其標訂方式，為依據月降雨標準偏差值（ $S_p$ ，mm），與年總雨量（ $P$ ，m）來計算，如下式。

$$RI = \text{Int}(S_p \times P/62.5) + 1 \quad (30)$$

楊介碩（1989）提到，當降雨型式為暴雨，則邊坡崩壞發生主要受降雨強度影響，當平均強度達 35mm/hr 以上時，發生崩壞之危險性很高，而若雨勢較緩，當連續降雨量達 300mm 以上者，崩壞危險性亦高；而蔡逸凡（2004）於文中，亦訂定不同的降雨強度及降雨量作為門檻值，門檻值以上為有效，門檻值以下則歸為無效降雨，進而研究在此條件下，對於水庫集水區泥砂產生量的影響。

探討水庫集水區之泥砂相關研究頗多，包含集水區土石崩坍量、泥砂產量、泥砂遞移率、輸砂量、淤砂量…等，本研究由以上研究中，擷取出可能影響淤砂量之六項水文因子，以及三種迴歸關係式的型式，分列於下：

六項水文因子：

- 年總流量 ( $Q$ ,  $m^3$ )：由日流量累加得。
- 年總雨量 ( $P$ ,  $mm$ )：由各站時雨量資料以徐昇網法計算得流域平均雨量後累加。
- 降雨指數 ( $RI$ )：由月降雨標準偏差值 ( $S_p$ ,  $mm$ ) 與年總雨量 ( $R$ ,  $m$ ) 經下式計算得。

$$RI = \text{Int}(S_p \times P/62.5) + 1 \quad (31)$$

- 年最大單日降雨總量 ( $M$ ,  $mm$ )。
- 一年中降雨強度大於 35mm/hr 的降雨累積量 ( $I_{35}$ ,  $mm$ )：經石門水庫資料分析，以 35mm/hr 的雨量強度為分界，一年中大於此門檻值之雨量累加量與淤砂量相關性最高。
- 單場降雨總量大於 450mm 的降雨累積量 ( $E_{450}$ ,  $mm$ )：經石門水庫資料分析，以 450mm 為分界，一年中單場降雨事件降雨量大於此門檻值之雨量累加值與淤砂量相關性最高。

三種迴歸模式：

$$\text{Type I} \quad y = a + \sum_{j=1}^n b_j x_j \quad (32)$$

$$\text{Type II} \quad \log(y) = a + \sum_{j=1}^n b_j \cdot \log(x_j) \quad (33)$$

$$\text{Type III} \quad y = a \cdot \exp\left(\sum_{j=1}^n b_j x_j\right) \quad (34)$$

本文將以以上六項可能影響變數配合三種迴歸模式進行迴歸分析，以瞭解水庫淤砂量主要受何機制影響，並於文獻中整理出的此三種迴歸型式中各選出一至二則代表不同型式的迴歸式以比較之。文獻公式出處與屬於本研究中歸類於何種類型列於表六。以絕對誤差總量 (35 式) 為參考指標評估模式優劣，由結果顯示，於前人研究中顯示指數型迴歸模式應用於石門水庫最佳 (表中\*記號者)，隨後將以此結果與本研究之迴歸結果比較。

$$E = \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| \quad (35)$$

#### 5.1.2. 不確定性因子之確立

由向前選擇法逐步加入變數的概念，下一個選擇進入模式的變數，需能使  $R^2$  值大於原模式之值，且增加幅度最大之變數，而三種迴歸型式加入變數的順

序因變數的運算方式不同而有些許差異，列於表七。

依表格所列順序，陸續加入影響變數進行迴歸分析，再如研究方法所述，以 F 檢定判斷每加入一個變數，其對於模式的解釋能力是否有顯著的改善，亦即由此判斷加入的變數對於應變量（淤砂量）是否有顯著的影響。經由檢定，結果如表八。接著，將本研究求得之最適模式（表中\*記號者）與前人研究之最佳模式相較，並分別由 F 檢定及 T 檢定檢驗此四種模式與實際石門水庫淤砂量統計特性是否相同，結果列於表九。

由結果可知，應用於石門水庫之最適模式為本研究迴歸所得之 Type III，亦即指數模式中含兩個顯著影響變數，分別為一年中降雨強度大於 35mm/hr 的降雨累積量（ $I_{35}$ ，mm）及年最大單日降雨總量（ $M$ ，mm），即：

$$y = 320485.34 \cdot e^{(0.005917I_{35} + 0.003058M)} \quad (36)$$

此模式非但解釋能力較優，經過檢定更顯示其與實際石門水庫淤砂量之統計特性相同。

### 5.1.3. 不確定性分析

將(36)式帶入(7)式之  $g(x)$ ，經計算整理可得應變數（淤砂量）之平均值：

$$E\{Y\} = \mu_Y \approx 320485.34 \cdot e^{(0.005917\bar{I}_{35} + 0.003058\bar{M})} \quad (37)$$

將(10)式帶入(10)式之  $g(x)$ ，經計算整理可得應變數（淤砂量）之變異數：

$$\text{Var}\{Y\} = \sigma_Y^2 \approx (3595998.28 \cdot \sigma_{I_{35}}^2 + 960486.57 \cdot \sigma_M^2) \cdot e^{(0.011834\bar{I}_{35} + 0.006116\bar{M})} \quad (38)$$

其中  $E\{y\}$  為年產砂量  $y$  之平均值， $\text{Var}\{y\}$  為年產砂量  $y$  之變異數， $\bar{I}_{35}$  為  $I_{35}$  之平均值， $\bar{M}$  則為  $M$  之平均值， $\sigma_{I_{35}}$  為  $I_{35}$  之標準偏差， $\sigma_M$  則為  $M$  之標準偏差。

## 5.2. 降雨量之不確定因子與不確定性分析

### 5.2.1. 資料蒐集

以石門水庫管理局提供之原始資料（如表一所列），整理成本計畫中所需之資料格式。整理結果如表十所示。

### 5.2.2. 不確定性因子之確立

使用整理後之水文資料，依(5)式計算水庫入流量與降雨量之 CC 值。首先探討要採用何種單位之時間間距，分別計算以日、旬、月三種不同之時間間隔

下之 CC 值，計算結果如表十一所示。由結果可以看出，採用月為時間單位時入流量與降雨量資料間之相關性最大，所以本計畫以月降雨量當作影響月入流量之最重要因子。

確立月份為最適合之時間間距後，接著即要探討資料時間稽延的效應。分別計算不同時段前的資料對目前之入流量資料的 CC 值大小。計算結果如表十二所示。結果顯示，當期月降雨量與當期月入流量相關性最高，高達 0.903。此外，將相關性最高之三者取出作為以類神經網路（ANN）建構之降雨—逕流模式的輸入。因此降雨—逕流模式的輸入項為前一期降雨、當期降雨、前一期入流量資料。可以數學式表示成下式：

$$Q(t) = F(Q(t-1), p(t), p(t-1)) \quad (39)$$

### 5.2.3. 不確定性分析

本研究利用蒙地卡羅模擬法（Monte Carlo simulation method），進行水庫入流量之不確定性分析。首先，以現今廣泛應用的類神經網路（ANN）建構適合石門水庫之降雨—逕流模式；於模式中，降雨量為輸入因子，因而在模擬階段中，必須產生大量模擬的集水區降雨量資料，基於此，本研究以  $\chi^2$ -test 檢定各降雨量屬於何種機率分佈型式，藉以產生相同分佈之降雨資料。接著，將降雨量資料輸入已建構之降雨—逕流模式可得模擬流量資料，經由統計分析，可得水庫入流量之統計特性。

進行模擬前，必先決定影響水庫入流之主要因子為何，並依此建構水庫之降雨逕流模式。本研究由相關性分析確立主要影響因子，結果指出水庫入流總量與集水區降雨總量之相關性以月為時間單位時為最高；接著，考慮集水區集流時間的延時效應，顯示僅當期月降雨總量與當期月入流總量相關性較高，因而採用集水區月降雨總量作為月入流量之主要不確定性因子。而關於石門水庫之降雨—逕流模式之建構，則採用三層架構的類神經網路，以歷史資料及誤差倒傳遞學習法訓練之。

此外，以  $\chi^2$ -test 檢定各月降雨量資料屬於何種機率分佈形式，檢定結果包含常態分佈、極端值第一類分佈與皮爾森第三類分佈三種機率分佈型式，各月分相應結果如表十三所示。藉由各月分之機率分佈，可模擬大量月降雨量資料（共 3000 筆），之後，將月降雨量資料放入此類神經網路中進行蒙地卡羅模擬，可得模擬入流量資料，進而分析之，結果如表十四所示。

## 5.3. 水庫供水風險評估

根據上一步驟所得之模擬入流量資料，再配合石門水庫管理局所提供的水庫規線操作規則與計畫供水量資料即可計算水庫蓄水量之變化情形。本計畫考

慮在不同的初始條件情形下討論水庫之供水風險。考慮年初一月份之水庫水位高度為 200 公尺、205 公尺、210 公尺，...，到 245 公尺等不同情況下，模擬經過一整年的降雨入流與放水出流操作後，探討年底十二月之水庫蓄水量變化情形。並採用缺水指標 (SI) 與可靠度 ( $\alpha$ ) 兩項指標評估石門水庫之供水風險，結果如表十五(a)(b)所示。由結果可以看出，在一月初始水位高程越高的情況下，未來一年的石門水庫供水之缺水指標 (SI) 會越低，而供水之可靠度 ( $\alpha$ ) 則會越高。由圖二與圖三亦可清楚地看出上述趨勢，可提供石門水庫管理局或相關單位做為操作規劃與供水管理之參考

## 參考文獻

- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Chen, C.W., Herr, J., Goldstein, R.A., Sagona, F.J., Rylant, K.E., Hauser, G.E., 1996. Watershed risk analysis model for TVA's Holston river basin. Water Air and Soil Pollution 90(1-2): 65-70.
- Greenberger, M., 1961. Notes on a new pseudo-random number generator. Journal of the ACM(JACM) v.8 n.2:163-167.
- Hormadka, T.V., 1988. Uncertainty estimates for surface runoff models. Advances in Water Resources 11: 2-14.
- Kite, G.W., 1977. Frequency and risk analysis in hydrology. Water Resources Publications, pp.150-120.
- Lin, G.F., Chen, L.H., 2003. A reliability-based selective index for regional flood frequency analysis methods. Hydrological Processes 17(13): 2653-2663.
- Lin, G.F., Chen, L.H., Lai, J.N., 2004. Reliability-based delineation of debris-flow deposition Areas. Natural Hazards 32(3): 395-412.
- Lin, G.F., Wang, Y.M., Lin, Y.P., 1995. Uncertainty analysis of rainfall-runoff modeling. Proceedings of International Water Resources Engineering Conference, ASCE, San Antonio, Texas, pp. 1096-1100.
- Rosbjerg, D., Madsen, H., 1995. Uncertainty measures of regional flood frequency estimators. Journal of Hydrology 67: 209-224.
- Yen, B.C., Tang, W. H., 1976. Risk-safety factor relation for storm sewer design. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE 104(4): 509-516.

- Walpole Myers, 工程機率與統計, 第十章, 335-382 頁, 國立中央圖書館出版, 曉園出版社, 台北市, 1987。
- 田瓊菁, 2002。 “颱風期間區域總雨量估計最佳化之研究”, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
- 吉良八郎, 1971。 “關於儲水池堆砂問題”, 土木論文集, pp173。
- 何智武、段錦浩, 1983。 “國姓水庫集水區泥砂產量之試驗分析研究”, 國立中興大學農學院水土保持研究所, 108p。
- 阮香蘭, 1992。 “石門水庫集水區之河相與輸砂特性研究”, 國立中興大學水土保持所碩士論文。
- 李錦育, 1987。 “林地環境因子對水土資源保育影響之研究”, 國立台灣大學森林學研究所博士論文。
- 李皓志, 2002。 “二種不同限水機制對缺水影響分析及最佳限水策略之擬定”, 私立淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文。
- 林文賜, 2001。 “集水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究”, 國立中興大學水土保持系博士論文。
- 林國峰、王育民、林元鵬, 1994。 “降雨-逕流模式不確定性之研究”, 第七屆水利工程研討會論文集, pp. D67-D76。
- 林國峰, 1995。 “不確定性之最佳估計與水文系統之序率分析(I)”, 國科會研究計畫報告, 國立台灣大學土木工程學系。
- 林國峰, 1996。 “不確定性之最佳估計與水文系統之序率分析(II)”, 國科會研究計畫報告, 國立台灣大學土木工程學系, NSC85-2211-E002- 053。
- 林國峰, 1997。 “水文系統之不確定性分析”, 國立台灣大學慶齡工業中心研究計畫報告, 國立台灣大學土木工程學系。
- 林國峰、何秉均, 1997。 “波高對直立堤影響之可靠度分析研究”, 八十六年度農業工程研討會論文集, pp. 705-711。
- 林國峰、賴俊男, 1997。 “可靠度分析於土石流危險區域之研究”, 八十六年度農業工程研討會論文集, pp. 563-570。
- 林國峰、陳儒賢, 1997。 “可靠度分析應用於區域洪水頻率分析方法選擇之研究”, 八十六年度農業工程研討會論文集。 pp. 105-111。
- 林國峰、何秉均, 1998a。 “外廓防波堤之可靠度研究”, 第九屆水利工程研討會論文集, pp. A9-17。

- 林國峰、何秉均，1998b。“深水防波堤滑動安定之可靠度分析”，第二十屆海洋工程研討會論文集，pp. 343-349。
- 林國峰、賴俊男，1998。“土石流堆積區域之風險分析”，第一屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會論文集，pp. 155-159。
- 林國峰、郭建華、何秉均，1999。“颱風引起波浪對沈箱防波堤滑動之可靠度分析研究”，第 21 屆海洋工程研討會論文集，pp. 275-282。
- 林國峰、朱壽詮、何秉均，1999。“漁港外側沈箱防波堤之可靠度分析研究”，八十八年度農業工程研討會論文集，pp. 763-770。
- 林國峰、陳儒賢，1999。“區域洪水頻率分析方法選擇性指標之研究”，八十八年度農業工程研討會論文集，pp. 711-717。
- 林國峰、何秉均，1999。“颱風時期防波堤之可靠度分析”，農業工程學報，第 45 卷第 2 期，pp. 11-20。
- 林國峰、王俊明，2000。“水文系統不確定性之最佳估計”，農委會研究計畫報告，國立台灣大學水工試驗所研究報告第 389 號。
- 林國峰、王俊明，2001。“水文系統不確定性之最佳估計”，農業水資源經營技術八十九年度研究計畫成果發表討論會論文集，pp.153-169。
- 林國峰、陳谷榕，2002。“放射性廢料處置場含水層地下水水流與核種遷移模式模擬之不確定性分析(1/2)”，核能研究所研究計畫報告，國立台灣大學土木工程學系。
- 林國峰、陳谷榕，2003。“放射性廢料處置場含水層地下水水流與核種遷移模式模擬之不確定性分析(2/2)”，核能研究所研究計畫報告，國立台灣大學土木工程學系。
- 林俊輝，1984。“國姓水庫集水區泥砂產量推估之研究”，國立中興大學水土保持所碩士論文。
- 邱昱嘉，2002。“應用 HSPF 模式與銻-137 技術於集水區產砂量推估之研究”，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 施清芳、林國峰，2001。“廢料罐腐蝕深度於時間歷程之不確定性研究”，核研季刊，第 41 期，pp.117-121。
- 陳中憲，1988。“濁水溪上游及曾文溪上游河道輸砂量及泥砂來源之關係探討”，國立中興大學水土保持所碩士論文。
- 陳樹群、沈學汶、何智武，1998。“土地利用對水庫淤砂之影響(三)”，經濟

部水資源局。

陳孟威，2001。“類神經網路應用於石門水庫集水區暴雨產砂量推估之研究”，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。

葉宗泰，2002。“石門水庫集水區降雨逕流模擬”，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。

楊介碩、李德河，1989。“邊坡破壞時間與降雨相互關係之研究”，第三屆大地工程學研討會，五月，pp. 107-115。

蔡安源，2001。“流量預測模式之研究”，國立海洋大學河海工程學系碩士論文。

蔡逸凡，2003。“推測水庫淤砂量變動趨勢之降雨指標”，國立臺灣大學地理環境資源所碩士論文。

廖培明，2002。“水庫規劃供水之可靠度評估”，逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文。

歐陽元淳，2002。“水庫集水區土壤沖蝕之研究-以石門、翡翠水庫為例”，國立台灣大學地理環境資源資源學研究所碩士論文。

劉業主，1993。“水庫最佳供水之缺水風險分析”，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。

劉敏梧，2003。“枯早期水庫入流量預測模式之研究”，國立中興大學土木工程學系碩士論文。

劉永得，1989。“石門水庫上游集水區泥砂來源與運移特性之分析研究”，國立中興大學水土保持所碩士論文。

賴益成，1998。“集水區泥沙遞移率之推估研究”，中興大學水土保持學系碩士論文。

顏本琦、徐享崑、郭振泰，1992。“水資源風險與可靠度分析簡介”，臺灣水利，第 40 卷第 4 期，pp. 1-11。

蘇明道、徐忠寶、陳維英，1997。“石門水庫操作規則之推導及評估”，臺灣水利，第 45 卷第一期，pp. 58-67。

表一 水文資料

| 資料名稱     | 年份         | 資料筆數   |
|----------|------------|--------|
| 小時雨量     | 民國 46~92 年 | 411888 |
| 小時流量     | 民國 55~92 年 | 350520 |
| 流入水量日報表  | 民國 54~92 年 | 14242  |
| 流出水量日報表  | 民國 53~92 年 | 14607  |
| 多目標運用統計表 | 民國 56~92 年 | 43     |

表二 地文資料與集水區物理特性

| 名稱       | 數值                    | 名稱         | 數值                                   |
|----------|-----------------------|------------|--------------------------------------|
| 集水面積(A)  | 76340 Km <sup>2</sup> | 地貌係數(G)    | 136.3×10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> |
| 平均坡度(S)  | 48.96 %               | 排水密度(Dk)   | 0.771 Km <sup>-1</sup>               |
| 主流坡度(Sa) | 2.94 %                | 植生指標(VI)   | 13.275                               |
| 平均起伏量(R) | 982.8 m               | 分岔比(Br)    | 4.1                                  |
| 主流長(L)   | 96.79 Km              | 泥砂生產指標(SI) | 6.843                                |

表三 其它相關資料

| 資料名稱       | 資料收集年份     | 資料筆數 |
|------------|------------|------|
| 雨量站座標      | ---        | 16   |
| 水庫淤砂資料     | 民國 55~93 年 | 39   |
| 水庫清淤資料     | 民國 66~92 年 | 27   |
| 各子集水區年輸砂量值 | 民國 54-89 年 | 172  |

表四 石門水庫現階段規線資料

|          | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月  | 5 月  | 6 月  |
|----------|-----|-----|-----|------|------|------|
| 上限 (m)   | 245 | 243 | 240 | 230  | 220  | 220  |
| 下限 (m)   | 240 | 235 | 230 | 220  | 215  | 215  |
| 嚴重下限 (m) | 225 | 220 | 220 | 215  | 205  | 205  |
|          | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
| 上限 (m)   | 236 | 240 | 240 | 245  | 245  | 245  |
| 下限 (m)   | 220 | 225 | 225 | 230  | 235  | 240  |
| 嚴重下限 (m) | 210 | 210 | 210 | 210  | 215  | 220  |

表五 石門水庫現階段計畫供水量

| 月份  | 天數 | 桃園公共給水(萬噸) | 板新給水(萬噸) | 農業給水(萬噸) | 總和(萬噸)  |
|-----|----|------------|----------|----------|---------|
| 一月  | 31 | 3224       | 2170     | 492.73   | 5886.73 |
| 二月  | 28 | 2912       | 1680     | 3,379.64 | 7971.64 |
| 三月  | 31 | 3224       | 1860     | 3,654.13 | 8738.13 |
| 四月  | 30 | 3120       | 1560     | 3,262.31 | 7942.31 |
| 五月  | 31 | 3224       | 1395     | 3,041.46 | 7660.46 |
| 六月  | 30 | 3120       | 1350     | 3,164.20 | 7634.20 |
| 七月  | 31 | 3224       | 1395     | 3,824.49 | 8443.49 |
| 八月  | 31 | 3224       | 1612     | 3,676.41 | 8512.41 |
| 九月  | 30 | 3120       | 1800     | 3,220.29 | 8140.29 |
| 十月  | 31 | 3224       | 1860     | 3,264.84 | 8348.84 |
| 十一月 | 30 | 3120       | 2100     | 2,957.76 | 8177.76 |
| 十二月 | 31 | 3224       | 2170     | 492.73   | 5886.73 |
| 總和  |    | 37960      | 20952    | 34431    | 93343   |

ps:操作規則

\*水位標高在下限以上依計畫配水量全額供水。

\*水位標高在下限與嚴重下限之間，公共給水依計畫配水量全額供水，農業用水依計畫配水量之 85%為原則供水。

\*水位標高在嚴重下限以下，公共給水依計畫配水量之 80%為原則供水，農業用水依計畫配水量之 50%為原則供水。

表六 前人研究應用於石門水庫

| 類型         | 文獻         | E (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) |
|------------|------------|-------------------------------------|
| Type I     | 阮香蘭(1992)  | 45296.27                            |
| Type I     | 賴益成(1998)  | 80469.69                            |
| Type II    | 吉良八郎(1971) | 32078.50                            |
| Type II    | 李錦育(1987)  | 29314.99                            |
| * Type III | 盧炳堃(2004)  | 26737.23                            |

表七 三種迴歸型式逐步迴歸加入變數之順序表

| 迴歸型式     | 1               | 2                | 3                | 4  | 5 | 6  |
|----------|-----------------|------------------|------------------|----|---|----|
| Type I   | I <sub>35</sub> | E <sub>450</sub> | RI               | M  | Q | P  |
| Type II  | I <sub>35</sub> | E <sub>450</sub> | M                | RI | Q | P  |
| Type III | I <sub>35</sub> | M                | E <sub>450</sub> | Q  | P | RI |

表八 三種迴歸型式經檢定各變數是否具顯著影響後之結果

| 迴歸型式       | 顯著影響變數個數 | E (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) |
|------------|----------|-------------------------------------|
| Type I     | 1        | 24363.38                            |
| Type II    | 1        | 27833.55                            |
| * Type III | 2        | 18225.16                            |

表九 前人研究與本研究最適模式比較

| 迴歸型式     | 變數個數 | F-test                     | T-test            | E (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) |
|----------|------|----------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| 盧(2004)  | 1    | $\sigma^2 \neq \sigma_0^2$ | $\mu^2 = \mu_0^2$ | 26737.23                            |
| Type III | 2    | $\sigma^2 = \sigma_0^2$    | $\mu^2 = \mu_0^2$ | 18225.16                            |

ps：下標為零者，為實測值之統計值，沒有下標者，為該模式結果之統計值。

表十 水庫入流量相關因子資料整理

| 水文資料          |            |        |
|---------------|------------|--------|
| 資料名稱          | 年份         | 筆數     |
| 日降雨總量         | 民國 55~92 年 | 13875  |
| 月降雨總量         | 民國 55~92 年 | 456    |
| 年降雨總量         | 民國 55~92 年 | 35     |
| 年最大日降雨量       | 民國 55~92 年 | 35     |
| 單場降雨累積總量與降雨延時 | 民國 55~92 年 | 約 8250 |
| 徐昇權重值         | -----      | 16     |
| 年總流量          | 民國 53~92 年 | 35     |
| 旬降雨量          | 民國 55~92 年 | 1368   |
| 旬入流量          | 民國 55~92 年 | 1368   |
| 月入流量          | 民國 55~92 年 | 456    |

表十一 不同時間間隔之降雨對入流量之相關性分析

|                | 相關性 (CC) |
|----------------|----------|
| 日降雨量 V.S. 日入流量 | 0.661    |
| 旬降雨量 V.S. 旬入流量 | 0.862    |
| 月降雨量 V.S. 月入流量 | 0.903    |

表十二 不同稽延時間之降雨與流量對水庫當期流量之相關性分析

|       | 各期月入流量 V.S.<br>當期月入流量 | 各期月降雨量 V.S.<br>當期月入流量 |
|-------|-----------------------|-----------------------|
| Lag-0 | ---                   | 0.903                 |
| Lag-1 | 0.294                 | 0.381                 |
| Lag-2 | 0.067                 | 0.163                 |
| Lag-3 | -0.052                | 0.040                 |
| Lag-4 | -0.153                | -0.059                |

表十三 月降雨量之機率分佈型式

| 月份 | 機率分佈型式 | 月份  | 機率分佈型式 |
|----|--------|-----|--------|
| 一月 | 極端值第一類 | 七月  | 極端值第一類 |
| 二月 | 皮爾森第三類 | 八月  | 極端值第一類 |
| 三月 | 皮爾森第三類 | 九月  | 皮爾森第三類 |
| 四月 | 極端值第一類 | 十月  | 皮爾森第三類 |
| 五月 | 常態     | 十一月 | 皮爾森第三類 |
| 六月 | 極端值第一類 | 十二月 | 極端值第一類 |

表十四 模擬流量分析

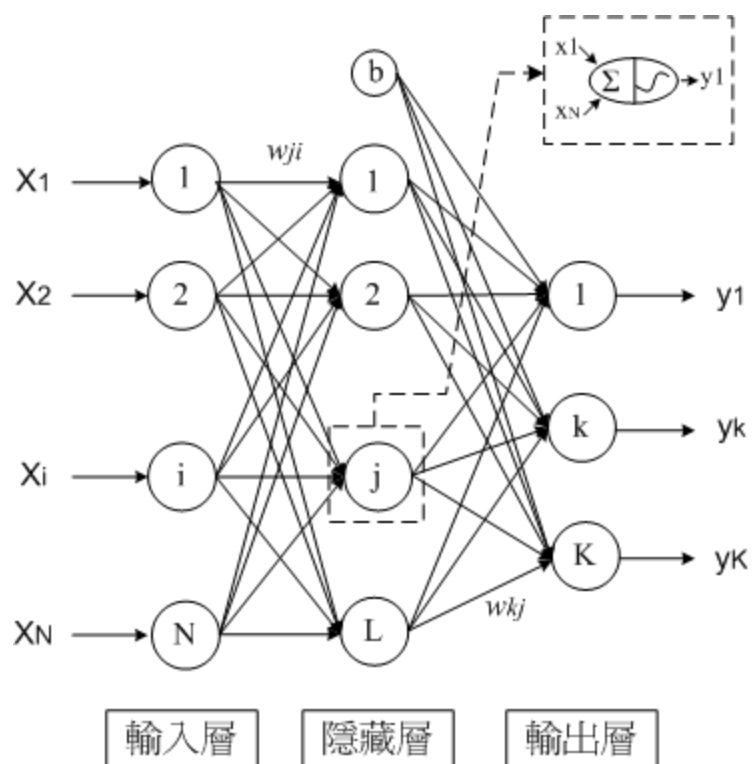
| 月份                                       |    | 一     | 二     | 三     | 四     | 五     | 六     |
|------------------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 總流量平均值 ( $10^6\text{m}^3$ )              |    | 40.2  | 67.0  | 80.7  | 79.8  | 107.5 | 176.7 |
| 超過平均值之機率 (%)                             |    | 37    | 27    | 34    | 37    | 43    | 42    |
| 平均數的 95%<br>信賴區間<br>( $10^6\text{m}^3$ ) | 上限 | 39.8  | 64.8  | 78.6  | 78.2  | 105.6 | 173.4 |
|                                          | 下限 | 40.6  | 69.2  | 82.8  | 81.5  | 109.3 | 180.1 |
| 月份                                       |    | 七     | 八     | 九     | 十     | 十一    | 十二    |
| 總流量平均值 ( $10^6\text{m}^3$ )              |    | 174.0 | 250.7 | 283.1 | 155.6 | 57.8  | 37.8  |
| 超過平均值之機率 (%)                             |    | 37    | 39    | 38    | 34    | 39    | 36    |
| 平均數的 95%<br>信賴區間<br>( $10^6\text{m}^3$ ) | 上限 | 169.7 | 244.0 | 275.9 | 151.2 | 56.8  | 37.5  |
|                                          | 下限 | 178.2 | 257.5 | 290.2 | 159.9 | 58.9  | 38.1  |

表十五(a) 缺水指標分析

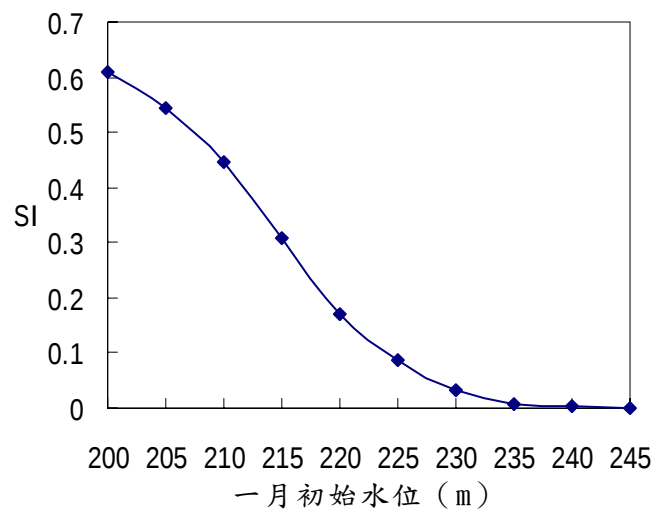
| 一月初始水位高程 (m) | 缺水指標 SI 值 |
|--------------|-----------|
| 200          | 0.610     |
| 205          | 0.546     |
| 210          | 0.448     |
| 215          | 0.309     |
| 220          | 0.172     |
| 225          | 0.088     |
| 230          | 0.032     |
| 235          | 0.008     |
| 240          | 0.003     |
| 245          | 0.001     |

表十五(b) 可靠度分析

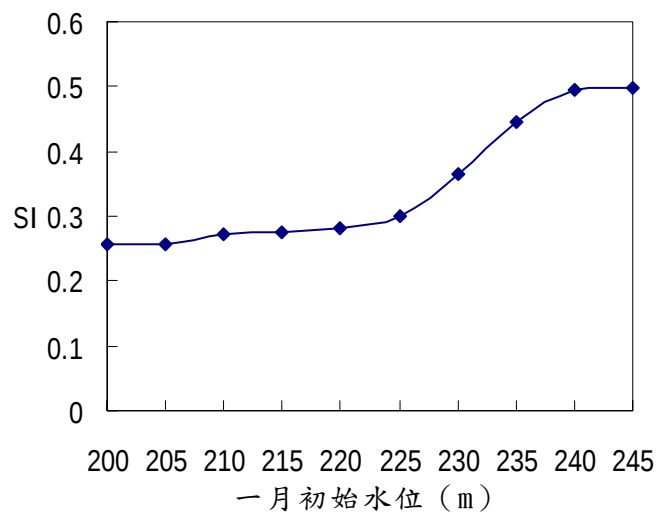
| 一月初始水位高程 (m) | 可靠度 $\alpha$ 值 |
|--------------|----------------|
| 200          | 0.256          |
| 205          | 0.258          |
| 210          | 0.271          |
| 215          | 0.276          |
| 220          | 0.282          |
| 225          | 0.300          |
| 230          | 0.366          |
| 235          | 0.446          |
| 240          | 0.495          |
| 245          | 0.497          |



圖一 MLP 架構



圖二 不同初始水位之 SI 值



圖三 不同初始水位之  $\alpha$  值