

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

供水系統綜合可靠度分析-以石門水庫為例

Integrated Reliability Analysis on Water Supply Systems

- Shihmen Reservoir as a Case Study

研究生：蔡昀直

指導教授：楊錦釗 博士

許永佳 博士

中華民國一百零一年八月

供水系統綜合可靠度分析-以石門水庫為例

Integrated Reliability Analysis on Water Supply Systems

- Shihmen Reservoir as a Case Study

研究生：蔡昀直

Student：Yun-Jhih Tsai

指導教授：楊錦釗

Advisor：Jinn-Chuang Yang

許永佳

Yung-Chia Hsu

國立交通大學
土木工程研究所
碩士論文



A Thesis
Submitted to Department of Civil Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in
Civil Engineering
August 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年八月

供水系統綜合可靠度分析-以石門水庫為例

學生：蔡昀直

指導教授：楊錦釗 博士

許永佳 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

水庫為台灣主要的原水供水來源，原水經過淨水廠處理後經由配水管網將自來水提供至使用者。近年來石門水庫由於高強度降雨造成原水濁度升高導致淨水廠無法負荷處理而停水，而這樣的問題於過去相關研究顯示供水系統可靠度，多集中於原水段或配水段，僅考慮各段的水量是否足夠而未考慮水質問題。因此，單以水量探討供水可靠度或缺水率、脆弱度、恢復度等風險概念，可能過於樂觀估計的情況。

為了真正了解供水系統的可靠度，本研究提出一個供水系統原水段可靠度之分析流程，建立供水系統原水段水量與濁度的模擬模式。以歷年的供水整體評估模擬結果顯示，倘若考慮濁度之影響，將使得缺水指數、恢復度及脆弱度提高而可靠度降低。而未考慮濁度之影響時，將使得缺水指數、恢復度及脆弱度降低而可靠度提升。雖然颱風高濁度對於長期整體供水系統可靠度影響程度不大，但颱風影響期間內高脆弱度及低可靠度之問題，仍是不容忽視的。

關鍵字：時間序列、缺水指數、可靠度分析、供水系統、石門水庫、濁度、風險

Integrated Reliability Analysis on Water Supply Systems - Shihmen Reservoir as a Case Study

Student : Yun-Jhih Tsai

Advisor : Jinn-Chuang Yang

Yung-Chia Hsu

Department of Civil Engineering
National Chiao-Tung University

ABSTRACT

Raw water sources in Taiwan mainly come from reservoirs. Water treatment plants are commissioned to purify raw water to become drinking water. Through water distribution network, purified water can be delivered to the water consumers. Recently, the high turbidity of raw water induced by intensive rainfalls overloads the water treatment plants and causes water supply temporarily disrupted in the Shihmen Reservoir water supply area. Previous studies generally focus on the quantity of water rather than its quality. As consequence, it leads to underestimate the risk of water shortage and overestimate the resiliency, and vulnerability.

This study presents a water supply system reliability analysis methodology and develops its evaluation model that takes into account both quality and quantity of water. Historical flow records and data generated by the time series model are both used in the water supply system reliability evaluation model. Results show that the indices such as water shortage index, resiliency and vulnerability increase if raw water turbidity is considered. Conversely, the reliability of water supply system reduces. Though the effect of higher turbidity is not found significant on system reliability in long term, short term events such as typhoons that can cause high turbidity still cannot be ignored.

Keywords : time series , shortage index , reliability analysis , water supply systems , shimen reservoir , turbidity , risk

誌謝

在研究所就學期間，承蒙恩師楊教授錦釗與許博士永佳的細心指導與諄諄教誨，使本論文得以順利完成，在此致上最誠摯的謝忱與敬意。

感謝口試委員吳教授瑞賢及張教授哲豪細心指正審閱並給予寶貴建議與指教，使本論文不足之處更加完善，在此謹致衷心謝意。

在學期間，感謝蔡教授東霖提攜與照顧，感謝胤隆學長、世偉學長、浩榮學長、建華學長、弘恩學長、文祿學長、昇學學長、仲達學長、仁凱學長、柏傑學長、彥酉學長、聖翔學長、家偉學長、綾玲學姐、東洲學長、紹唐學長、唯泰學長及彥瑜學姐等給予的協助與照顧；感謝同窗舒勤、建翔、芳綺、岱玲、信富、韋豪、家榮在艱苦的研究所生活互相扶持與關懷；謝謝學弟妹瑋廷、醇國、亞雯、蓉瑩、健賓、于軒、莉玲。感謝身旁一直相互扶持的好友群們，在此對所有貴人們致上誠摯謝意。

感謝前人在此論文題目方向中所做的研究及建議，在此學術中的浩瀚，提供莫大的光明。

最後，感謝家人在我所就學的這段頗長的歲月中，給予我最大的寬容與支持。謹將此論文榮耀，屈膝奉上，與你們一同分享。

有太多的言語，無法在此言明，一切溢於言表，僅將這一切永懷於心。

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
誌謝	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
符號說明	VIII
第一章、緒論	1
1.1. 研究目的與動機	1
1.2. 章節介紹	2
第二章、文獻回顧	3
2.1. 供水系統分析	3
2.2. 時間序列	5
2.3. 分配模式	5
2.4. 相關缺水指標	6
2.4.1. 缺水百分率日數 (deficit percent day index, DPD)	6
2.4.2. 缺水指標 (shortage index, SI)	7
2.4.3. 一般化缺水指標 (generalized shortage index, GSI)	7
2.4.4. 修正缺水指標 (modified shortage index, MSI)	8
2.5. 相關風險分析	8
第三章、研究方法與理論分析	10
3.1. 序率水文模式理論	10
3.1.1 時間序列預測資料之驗證	12
3.1.2 模式評鑑標準	13
3.2. 分配模式理論	14
3.2.1. 模式之建立	14
3.2.2. A 矩陣之求法	15
3.2.3. B 矩陣之求法	16
3.2.4. 相關矩陣之計算	18
3.2.5. ϵ 矩陣的建立	19
3.2.6. 分配模式步驟	19
3.3. 風險理論	20
3.3.1. 可靠度 (reliability, α)	20

3.3.2.	恢復度 (resiliency, β)	21
3.3.3.	脆弱度 (vulnerability, γ)	22
3.4.	研究區域	23
3.5.	模式建立	26
3.5.1.	模擬條件	26
3.5.2.	模擬步驟	27
3.5.3.	模式驗證	30
3.5.4.	旬、日模擬比較	31
3.5.5.	模式條件設定	31
3.5.6.	石門水庫運用要點	32
第四章、	案例分析	33
4.1.	操作規線運作與否	33
4.2.	農業用水停灌	34
4.3.	固定水庫庫容及歷史流量下改變需求水量	35
4.4.	固定歷史流量及需求水量下改變水庫庫容	36
4.5.	分層取水工影響	37
4.6.	固定水庫庫容及需求水量下配合繁衍流量	38
第五章、	結論與建議	41
5.1.	結論	41
5.2.	建議	43
參考文獻		44



表目錄

表 1.1	石門水庫及其集水區整治計畫.....	50
表 2.1	相關指標比較.....	51
表 3.1	MAPE 評估預測準確度之準則.....	52
表 3.2	石門水庫資料一覽表.....	52
表 3.3	大漢河流域之淨水廠供水能力及區域說明.....	53
表 3.4	淨水廠處理能力.....	53
表 3.5	石門水庫系統農業及工業用水需求.....	54
表 3.6	各目標年自來水系統需求水量表.....	55
表 3.7	大漢河流域之生態基流量.....	56
表 3.8	石門水庫近年颱風期間洪峰流量量測之濁度(NTU)資料.....	56
表 3.9	石門水庫颱風事件洪峰流量與原水濁度相關資料彙整.....	56
表 3.10	民國 98 年 12 月實測蓄水容積資料.....	57
表 3.11	旱災災害等級區分.....	58
表 3.12	石門水庫淤積一覽表.....	59
表 3.13	模式驗證比較表.....	60
表 3.14	模式模擬結果比較表.....	60
表 3.15	旬日模擬結果比較表.....	61
表 3.16	石門水庫運用規線.....	61
表 4.1	不同打折數之關係表.....	62
表 4.2	不考慮農業之需求水量關係表.....	63
表 4.3	不同目標年考慮需求水量之關係表.....	64
表 4.4	需求水量關係表.....	65
表 4.5	不同目標年不同庫容之關係表.....	66
表 4.6	庫容關係表.....	67
表 4.7	不同目標年模擬_有分層取水工.....	68
表 4.8	不同目標年模擬_無分層取水工.....	68
表 4.9	繁衍之流量統計特性(1/3).....	69
表 4.10	繁衍之流量統計特性(2/3).....	70
表 4.11	繁衍之流量統計特性(3/3).....	71
表 4.12	繁衍值結果比較表.....	72

圖目錄

圖 1.1	論文組織架構流程圖.....	73
圖 2.1	序率水文分析流程圖.....	74
圖 3.1	時間序列評估流程圖.....	75
圖 3.2	石門水庫集水區範圍圖.....	76
圖 3.3	石門水庫原水供應地區.....	76
圖 3.4	大漢溪相關水利設施分佈圖.....	77
圖 3.5	石門水庫供水區域取水系統示意圖.....	78
圖 3.6	石門水庫灌溉與非灌溉用水占總供水比例.....	79
圖 3.7	洪峰流量與濁度相關資料圖.....	79
圖 3.8	模式驗證比較圖.....	80
圖 3.9	石門水庫運用規線圖.....	80
圖 4.1	不同打折數之關係圖.....	81
圖 4.2	不考慮農業之需求水量及各指標關係圖.....	82
圖 4.3	不同目標年考慮需求水量及各指標關係圖.....	83
圖 4.4	需求水量及各指標關係圖.....	84
圖 4.5	庫容及各指標關係圖.....	85
圖 4.6	艾利颱風原水濁度圖.....	86
圖 4.7	艾利颱風石門大圳分層濁度圖.....	86
圖 4.8	不同目標年考慮分層取水工及各指標關係圖.....	88
圖 4.9	繁衍流量與原始流量 47 年各旬流量平均比較.....	89
圖 4.10	繁衍流量與原始流量 47 年總流量比較.....	89
圖 4.11	部分繁衍流量序列與原始流量序列比較.....	91
圖 4.12	缺水指數機率分佈曲線.....	92
圖 4.13	可靠度機率分佈曲線.....	92
圖 4.14	恢復度機率分佈曲線.....	93
圖 4.15	脆弱度機率分佈曲線.....	93
圖 4.16	考慮高濁度缺水指數機率分佈曲線.....	94
圖 4.17	考慮高濁度可靠度機率分佈曲線.....	94
圖 4.18	考慮高濁度恢復度機率分佈曲線.....	95
圖 4.19	考慮高濁度脆弱度機率分佈曲線.....	95

符號說明

A：為X、Y矩陣之協變異數矩陣所組成之參數矩陣

AIC(M)：Akaike's information criterion

B：為X、Y矩陣之協變異數矩陣所組成之參數矩陣

BIC(M)：Bayesian information criterion

(B)：時間序列模型

DF_t ：缺水量

d：差分次數

DPD：缺水百分率日數

DR：缺水率

GSI：一般化缺水指標

I_t ：入流量

MT_i ：第i年內旬缺水率

M：分析旬數

MAE：平均絕對值誤差

MAPE：平均絕對誤差百分比

MSE：平均誤差平方

MSI：修正缺水指標

N：分析年數

$ND_t\%$ ：某時期之日缺水率

NY_i ：第i之年總缺水率

O_a ：農業用水

O_e ：生態基流量

OF_t ：溢流量



O_p ：公共用水

O_t ：總需求水量

Q_t ：實際值

Q'_t ：觀測值

RMSPE：平均平方根百分比誤差

S_{\max} ：水庫之最大蓄水容量

S_{\min} ：水庫之最小蓄水容量

S_t ：第t日之日初蓄水量

S_{t+1} ：第t+1日之日初蓄水量

ST_i ：第i年內旬缺水率之平方和

SI：缺水指標

SSE：誤差平方和

T：日

VD_i ：缺水時期之需水量

VF_i ：分析年間之總缺水量

X：用以分配為子序列的母序列，為標準常態變量矩陣

Y：由母序列分配而得之子序列時間，其為標準常態變量矩陣

y_t ：時間序列

α ：可靠度

β ：恢復度

γ ：脆弱度

ε ：具 $N(0, 1)$ 分佈之隨機變數矩陣

θ ：移動平均參數

φ ：自迴歸參數

ε_t ：殘差

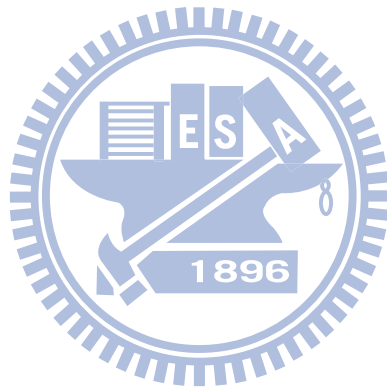


Δt : 缺水天數

$\hat{\sigma}_a^2$: 殘差數列

$\hat{\sigma}_\varepsilon^2$: σ_ε^2 最大概似估計值

$\hat{\sigma}_\varepsilon^2$: 數列之樣本變異數



第一章、緒論

1.1. 研究目的與動機

石門水庫於53年6月完工至今，已運作將近50年，期間遭遇過數次乾旱及颱風時期造成的高濁度事件。於民國93年艾利颱風，石門水庫集水區內平均降雨量高達973公厘，造成集水區崩塌使得石門水庫嚴重淤積，庫區內原水濁度飆高，由於淨水廠處理能力之限制無法負荷，進而造成取水困難，致使桃園地區停水長達半個月之久，嚴重影響水庫營運及供水穩定度，後來建置壩頂抽水設備，濁度雖降低，然而濁度仍與流量呈現高度相關，於較大洪水事件中仍無法完全避免。

為確保石門水庫正常營運功能，經濟部水利署辦理「石門水庫及其集水區整治計畫」，如表1.1所示，以延長水庫運轉壽命，保障民眾之用水權益。

石門水庫為桃園地區供水系統原水供應來源，原水供應的水質與水量為主要缺水的議題；以供水系統的原水段來看，足夠的水量不一定能夠保證無缺水；因此，供水可靠度亦需要考慮水質問題。

一般水資源模擬皆採用缺水指標做為設計準則，缺水指標為表示系統之長期平均缺水狀態，而未針對某一年之缺水強度與缺水延時加以考量。然而在水文隨機過程影響下，實際上各年之缺水狀況並無一致，因此需求水量之供給存在相當不明確的缺水風險。為理解供水系統中各區細部狀況，以及避免短時間缺水集中之嚴重性，計算時改以「旬」為計算尺度單位。

在過去相關研究僅考慮各段水量未考慮水質問題。單以水量作為供水可靠度或風險分析，將會有估計樂觀的情況。此外，在颱風發生期間，其影響時間通常以「時」為單位，若以分配模式將旬流量分配至時流量，有可能造成誤差，因此為避免誤差加上探討高濁度和原水不足對於供水風險

影響，因此將「旬」尺度單位換算為「日」尺度單位計算。經由計算之後，我們進一步探討，缺水強度和缺水延時所造成的影響，以及建立供水系統水量與水質模擬模式。

並進行序率水文分析，以時間序列分析繁衍所需的合成流量，將採用「旬」合成流量並以分配模式將旬流量分配至「日」流量；藉由水庫運轉規線，並考慮高濁度之水庫操作運轉及流量與濁度關係，以建立原水段供水系統水質與水量之可靠度分析模式，再以供水系統風險分析作為過去研究的比較。並且以缺水指數做為評估指標，且採用不同目標年需求水量評估石門水庫供水系統風險。

1.2. 章節介紹

本研究以五個章節探討供水系統風險分析，茲將本文各章節內容扼要說明如下，本研究之論文組織架構流程圖，如圖1.1所示：

第一章為緒論，主要闡述本研究之動機目的，並介紹全文之架構。

第二章為文獻回顧，彙整國內外缺水指標、風險指標、分配模式與時間序列等相關議題之文獻資料，且回顧前人之相關研究，最後提出本研究所採用之方法與研究重點。

第三章為研究方法與理論分析，說明本文中利用之風險指標及研究背景，石門水庫供水區域及其供水系統模擬之方法，模式驗證及日旬不同尺度比較說明。

第四章為案例分析，利用民國53年至99年資料做為模擬年間，分析研究背景在各不同供水策略之下，對模式演算結果進一步的探討與分析。此外將利用不同目標年需求水量、供水打折數、農業供水為零和時間序列繁衍流量做為不同案例背景。

第五章為結論與建議，總結研究成果作綜合性之規劃說明，對模擬情境做出結論陳述，並對不盡完備或日後改進之處提出建議。

第二章、 文獻回顧

本研究將採用模擬法，並進行序率(stochastic)水資源分析，時間序列分析(time series analysis)可以用來繁衍所需的合成流量(synthetic flow)資料。

將採用旬合成流量並以分配模式(disaggregation model)將旬流量分配至日流量；藉由水庫運轉規線，並考慮高濁度之水庫操作運轉及流量與濁度關係，以建立原水供水水質與水量之可靠度分析。如圖 2.1 所示。

2.1. 供水系統分析

為提高供水系統之穩定度，需有適當的運用規則、限水措施、備用水源、水源調度及正確的供水規則。Yeh(1985)指出水資源規劃上可分模擬法(simulation methods)和優選法(optimization methods)，更發展出多目標規劃等方法，用以討論不同情況下的情境模擬。

(1) 模擬法：為最早使用於水資源調配與規劃之方法，係以數學方法描述系統的特性，應用於已知系統操作規則下並以數值方式進行水庫系統模擬演算，現行水庫運用規線的制訂方式多採用此法，主要應用試誤法計算，探討各種水文條件下，長期的水資源運用情況。

模擬模式中，使用者可自行輸入系統中各項的運行規則限制，藉由輸出結果判斷是否達到理想結果，需要多次的演算並修正才可決定系統中規則，可詳細地考慮模式內各項細節與複雜性，其缺點為不能像優選模式提供數學意義上的最佳解，系統會依使用者制定之規則模擬，並不會自行規劃出最佳解。模式通常是為特定分析區域案例撰寫，如欲適用於其他區域須再針對其案例進行修改。

美國陸軍工兵團(1973)所發展之 HEC-5 為著名的模式，可用以模擬水庫在有無洪水時期對於蓄水的利用和防洪控制，另荷蘭戴伏特水工所(Delft Hydraulics)與經濟部水資會合作發展一針對台灣地區設計的水量分配模式

(river basin simulation, RIBASIM)，亦屬於模擬法的一種。游山峰(1998)透過模擬法對 M-5 規線進行分析並比較出各修訂規線間之差異與優劣。

(2) 優選法：是將系統的操作問題以目標函數與數學限制式，透過電腦運算求得最佳解，應用於系統操作規則不明確下，以尋求最佳解的方式，使用的方法有線性規劃、動態規劃、非線性規劃和遺傳演算法等，常應用於多目標水庫操作問題。

(3) 多目標規劃：當需解決多目標決策時，可滿足不同標的所發展的數學方法。在解決多目標規劃時，各目標常會互相衝突，解決的方法有權重法和限制式法等，根據各項標的的權重或是利用限制條件式進行優選法。系統動力學為模擬法的一種，系統動力學與時間演進具有密切的關係，非常適用於水資源系統的分析，近幾年運用系統動力學在水資源規劃上的相關研究如下：

蔡耀逸 (2007)，透過系統動力模式，探討在不同的供水規則和民眾用水情況，研擬出在缺水時期實際可行之應對方案及供水型態，研究區域為桃園；劉子明 (2010)，建立高屏溪流域之水資源分析模擬模式，探討供水系統容忍缺水範圍，探討現有水資源供水系統的供水承載力與供水能力，並建立氣候分區降尺度，評估氣候變遷對水資源供水系統所帶來的衝擊和缺水之風險性，為一整合評估系統。

模擬法主要應用於已知系統操作規則之下，以數值方法來模擬系統的反應，如放水量與蓄水量變化等，因此多應用於長期規劃模擬；而優選法主要應用於系統操作規則未知的情況下，尋求最優的操作方法。

因此本研究採用模擬法，藉以評估模擬石門水庫供水系統的風險性。

2.2. 時間序列

時間序列理論模式，以 Box 與 Jenkins (1976) 所提出的單變量 ARIMA (autoregressive integrated moving average) 模式最被廣為採用；楊豐榮(1984) 採用 HEC-5 所繁衍淡水河流域八個測站的月流量並以分配模式，將月流量分配之日流量；孫永信 (1988) 利用分季 ARMA 模式合成淡水河流域三峽站的旬流量，其結果顯示分季模式具有良好的合成效果；郭振泰等 (1991) 利用 TFN 及 ARIMA 模式應用在淡水河之時流量預測，以作為水庫操作之入流量資料；陳昶憲等 (1997) 利用 TFN 及 ARIMA 模式建立及分析烏溪流域洪水預測模式；陳昶憲等 (1998) 以多變量 ARIMA 模式，利用多變量參數互饋之特性，以探討烏溪流域各測站間時間稽延所產生的權重影響；游山峰 (1998) 乃針對石門水庫之運轉規則，利用歷史流量資料及序率水文模式所繁衍之合成流量，配合各標的用水量，以模擬水庫之運轉，並對水庫操作規線進行分析比較。溫漢章(2001)考慮流量具有偏態性與各站間可能具有相關性，提出四種合成流量的途徑，利用單站或複站 ARMA 模式產生合成旬流量。

由前人研究中可知，時間序列理論有眾多學者研究其繁衍及預測之特性，因此本研究乃利用時間序列理論針對石門水庫進行模擬分析得到多組繁衍之旬流量資料，再將預測繁衍結果進行供水可靠度分析。

2.3. 分配模式

分配模式(disaggregation model)的觀念最早是 Harms and Campbell(1967) 提出概念模式。Valencia and Schaake (1973)建立月流量繁衍之分配模式，依各月平均流量與年平均流量的關係，將年流量分配之各月份而繁衍出月流量序列。建立數學型式的分配模式(稱 VS 模式)，並為此模式提供了一個良好基礎，其後的修正模式都是建立在此基礎上。Mejia and Rousselle(1976，

稱為 MR 模式)加上欲求水文量的稽延一階(lag-1)變量，MR 模式彌補了 VS 模式的缺點，但也增加了許多的參數及計算時間。Lane(1979)簡化 MR 模式，建議一次一季的水文量，雖然精度會稍微降低，卻省略了大量的參數，其優點足以掩蓋其缺點。李方中(1986)採用 Lane 的模式，以三個分配模式：(1)時間型單站、(2)時間型複站及(3)空間型複站，來推衍濁水溪流域的集集、桶頭及西螺等三站之旬流量。徐世忠(1996)建立灰色年需水量預測模式，再利用分配模式將年需求水量分配到月需水量，提高需水量預測精度；溫漢章(2001)考慮流量具有偏態性與各站間可能具有相關性，提出四種合成流量的途徑，利用單站或複站 ARMA 模式產生合成旬流量，並利用分配模式將相對較大尺度的合成旬流量，分配成相對較小尺度的日流量。

本研究因為要探討缺水天數和高濁度造成缺水確切的量，所以計算上以「日」為計算單位。且為方便藉由時間序列預測和繁衍流量，繁衍出「旬」流量資料，再以分配模式分配成「日」流量。

2.4. 相關缺水指標

由於用來評估系統缺水評估之指標甚多，在台灣地區主要參考評估指標包含，缺水指數、缺水百分率日數及通用缺水指數。因此本研究直接針對供、需水兩方面角度切入，以缺水率之相關概念作為計算，評估所遭受之缺水嚴重程度，並且利用缺水評鑑指標來具體量化描述。參考蘇文瑞(2000)、王宗南(2006)、王鈺閔(2009)對於各式缺水指標整理如表 2.1。

2.4.1. 缺水百分率日數 (deficit percent day index, DPD)

1977 年日本水資源公團之期刊中曾提出利用「渴水評價」作為缺水情況評估。徐享崑(1988)以考慮單次事件中缺水率以及連續缺水天數的乘積，作為表示民眾對於缺水忍受度之依據。溫漢章(2001)及王宗南(2006)則以 $DPD=1500\% \cdot \text{day}$ 作為研究中之缺水容忍門檻。如依據東京世運會大缺

水後之調查問卷(1964)，其忍耐值約在 1000 至 1500%-day。

其優點可顯示出缺水強度與缺水延時，適合做為界定缺水忍受程度的依據，缺點為無缺水頻率之觀念在內，用於研判長期供水能力時並無明確之規範作用，計算式表示如下：

$$DPD = (ND_t\%) \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

$ND_t\%$ ：某時期之日缺水率。

Δt ：缺水天數。

2.4.2. 缺水指標 (shortage index, SI)

由美國陸軍工兵團水利工程中心(1975)所提出之缺水指標(shortage index)。因供水準則須考慮用水者對缺水狀況之忍耐能力及水源調配供應。缺水指標反應出缺水所造成對社會的影響為缺水率之平方，目前臺灣設計供水規劃準則一般使用缺水指標，如台南縣南化水庫(1985)。

其優點可顯示出長期之缺水狀況，有明確之規範包含缺水程度、發生頻率及缺水嚴重性等意義，缺點則是無法瞭解某一年內之缺水程度及缺水延時。其定義：

$$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N (NY_i)^2 \quad (2.2)$$

N ：分析年數。

NY_i ：第*i*之年總缺水率。

2.4.3. 一般化缺水指標 (generalized shortage index, GSI)

黃金山(1986)結合美國之缺水指數與日本之缺水百分率日數的優缺點，發展出一般化缺水指數(GSI)，徐享崑(1988)應用一般化缺水指標做為描述缺水情況之指標，優點是對缺水強度及缺水延時更為敏感，可進行短期及長期之水資源規劃與評估使用，更能反應年度內之連續缺水訊息，亦可用以評估短期之即時操作，其公式如下：

$$GSI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{ST_i}{36}\right)^2 \quad (2.3)$$

$$ST_i = \sum_{t=1}^{36} (MT_i)^2 \quad (2.4)$$

N：分析年數。

ST_i ：第i年內旬缺水率之平方和。

MT_i ：第i年內旬缺水率。

2.4.4. 修正缺水指標 (modified shortage index, MSI)

徐享崑、蘇瑞榮 (2002) 建議若研究區域水文氣候呈現較大變異性時，計算時改以「旬」為時間單位避免短時間缺水集中之嚴重性。

$$MSI = \frac{100}{M} \sum_{i=1}^M (MT_i)^2 \quad (2.5)$$

M：分析旬數。

MT_i ：第i年內旬缺水率。

2.5. 相關風險分析

風險分析，發展起源於飛機發明初期，為飛機失效日益增多的失事事件而進行一系列分析研究。至於水資源規劃管理方面，Yen and Ang (1971) 及 Tang and Yen (1972) 以雨水下水道為例，首先介紹風險及可靠度分析在水利工程上之可行性，同時 1978 年美國也開始要求進行水資源系統規劃與分析時，必須明確考慮設計上的風險與不確定性因素。Hashimoto et al., (1982) 利用可靠度 (reliability)、恢復度 (resiliency) 及脆弱度 (vulnerability) 三風險指標作為評估供水系統之特性標準；郭振泰等 (1986) 對淡水河流域高臺、坪林兩規劃水庫，進行水庫出水量之可靠度分析；萬象 (1990) 於石門水庫對不同操作策略比較其風險性；顏本琦 (1992) 提到一般工程均無可避免地牽涉到不確定性與風險，概略分述水利工程風險；廖元熙 (1993) 以鯉魚潭水庫及石岡壩聯合營運進行水庫系統最佳營運及風險分析；黃振聖 (1996) 以曾文水庫系統進行最佳營運與風險分析，利用合成流量為輸入資料，以序率模擬分析的方法作缺水指數的風險分析；Xu (1998) 利用

可靠度、恢復度及脆弱度分析日本福岡市供水系統之優劣；蕭政宗(1999)探討單一水庫系統的缺水特性，依缺水時刻的長短分為單時刻缺水、缺水事件、年度缺水及整體時程等四個層次綜合分析缺水現象，缺水風險分析則以不同缺水量之迴歸期來表示；謝進南（1999）對高屏溪水資源系統做可用度分析研究。對於可靠度與可用度做出不同定義。以系統平均最大缺水量之倒數做為脆弱度，以顯示系統對於發生缺水之調節能力；溫漢章(2001)利用序率模式產生合成流量在濁水溪上游各水利設施之運轉原則與集集攔河堰運用要點草案，探討集集攔河堰各用水標的之風險；王宗南(2006)認為水資源系統在水文不確定性的因素下，各年缺水事件之缺水量與延時亦不相同，宜以不同的缺水指數做為各水系水庫容量之設計標準；李孟恩(2011)利用可靠度、恢復度、脆弱度結合風險管理概念定義缺水風險指標。藉以顯示系統發生錯誤的機率、從錯誤狀態中恢復為正常運作之機率或連續缺水天數之倒數，受損程度與不同等級風險定義下的系統錯誤狀況，明確描述系統在模擬時間的缺水特性；陳伯豪(2011)使用系統動力學概念，模擬石門供水系統在不同的供水策略改變下，各淨水廠的供水情況，分析各淨水廠、南桃園及北桃園之系統可靠度、缺水指標和缺水百分日指標，探討系統發生錯誤機率和系統之供水情形。

因此，本研究採用可靠度、恢復度和脆弱度，並藉此三種指標，分別顯示系統發生錯誤之機率，從錯誤狀態中恢復為正常運作狀態之機率，和系統錯誤狀況之受損程度，分別描述系統在模擬時間之缺水特性，以了解供水系統現況。

第三章、 研究方法與理論分析

本章節為介紹研究方法與理論分析，詳細描述研究區域及說明模式模擬條件和驗證，並且探討以日流量模擬之必要性。然後以時間序列模式繁衍流量且以分配模式縮小尺度供本模式模擬，並探討不同案例所造成供水系統之影響程度，最後以風險方式評估整體供水系統。

3.1. 序率水文模式理論

所謂時間序列是指一系列隨時間變化且具有隨機性觀測之數據，且此數據在時間的前後有相互關聯的性質，簡稱為時間序列。

序率水文模式乃利用統計將水文變量之水文特性與統計特性，以數學加以描述而成。以歷史記錄流量為依據，建立序率水文模式，以合成或預測未來河川之各種可能流量，其優點為可以合成長期距之可能流量資料，用以進行水資源利用方案之規劃及風險、可靠度分析，時間序列流程，如圖 3.1 所示。

由於序率流量的優點可以保有歷史流量的統計特性且可以考量流量資料可能存在之不確定性，同時考量實測記錄資料不足，所以以繁衍 (generation) 的方式推衍較長期之流量資料，以供模擬與優選分析之用。以下就序率水文模式之建立與理論作深入的說明。

分析探討時間序列內在統計規律之方法就統稱為時間序列分析法。ARIMA 模式係由 Box and Jenkins 於 1970 年所提出的時間序列隨機形成之預測模式，一個完整的 ARIMA 模型使用以下三個工具來預測時間數列：(1)自我迴歸 (AR-autogressive terms)；(2)差分處理項 (I-integrated)；(3)移動平均項 (MA-moving average terms)。經過這三個工具結合，即可建立一個完整的 ARIMA 預測模式。茲分別說明如下：

(1) 自我迴歸模型AR(p)

在 p 階的自我迴歸過程中 AR(P)中，假定當期的觀測值 Y_t 是由過去 P 期的觀測值之加權平均及當期之隨機誤差項所產生而成。

AR(p)模型以下列數學式表示：

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \cdots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

(2) 移動平均模型MA(q)

在 q 階之移動平均過程中 MA(q)，每個觀測值 Y_t 是由過去 q 期之隨機誤差之加權平均所產生而成。

MA(q)模型以下列數學式表示：

$$Y_t = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \cdots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3.2)$$

(3) 混合自我迴歸-移動平均模型 ARMA(p,q)

定態的隨機過程由於具有移動平均與自我迴歸兩種過程之特質，而不能採用純粹的移動平均模型或純粹的自我相關模型。必須合併成(p,q)階的自我迴歸移動平均模型的混合模型，通常以 ARMA(p,q)來表示。

ARMA(p,q)模型以下列數學式來表示：

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \cdots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \cdots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3.3)$$

(4) 差分項 (integrated term)

以上各模式皆應用在定態性時間數列上。所謂定態性資料代表，為一時間數列其統計特性不隨時間之變化而改變。具體而言，定態性時間數列乃是一個隨機過程的特殊現象，且此種隨機過程之統計特性例如平均值及變異數，並不隨時間的變化而改變。實際上，通常碰到的時間數列往往是非定態性的數列。對於此類非定態性的時間數列，通常對其採取連續差分後，可轉化為定態性的數列。

(5) 自我迴歸整合移動平均模式(ARIMA)

一非定態數列經 d 次差分後，即可產生定態的 ARMA 數列，稱之為「自我迴歸整合移動平均模式」，簡稱謂 ARIMA(p,d,q)。

若一時間數列 $\{y_t\}$ 為 ARIMA，則對任意 t 可寫成

$$\phi_p(B)(1-B)^d y_t = \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (3.4)$$

由於 ARIMA(p,d,q) 所表示的形式過於廣泛，所以必先由樣本資料初步認定模型，經由不斷的修正，再選擇最適當的模型來進行預測。根據 Box and Jenkins 的研究方法，在實證上要建立一個適當的模型，則必須要經過認定、估計、診斷性檢查與預測等四個步驟。如圖 3.1 所示。

3.1.1 時間序列預測資料之驗證

模式在繁衍流量上必須經過與原始流量之統計特性差異性的檢定，來判定繁衍流量值是否與原始流量值具有相同統計特性。關於預測效益評估模式及準則方法眾多，較常見的方法含平均絕對值誤差、平均百分比誤差及平均平方根百分比誤差，以下為這些方法之計算方式：

1. 誤差平方和(sum of squares error, SSE)

$$SSE = \sum_{i=1}^N (Q_t - Q'_t)^2 \quad (3.5)$$

其中： N ：預測值數目， Q_t ：實際值， Q'_t ：觀測值。

SSE 的值越小，表示預測值與觀測值的離散程度小，模型較佳。

2. 平均誤差平方(mean square error, MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_t - Q'_t)^2}{N} \quad (3.6)$$

MSE 的值越小，表示預測值與觀測值的離散程度小，模型較佳。

3. 平均絕對值誤差 (mean absolute error, MAE)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_t - Q'_t| \quad (3.7)$$

從MAE的大小，可以了解預測值與觀測值的差異程度。若評估準則的值越接近原點，表示預測誤差越小，模型越佳。

4. 平均絕對誤差百分比 (mean absolute percentage error, MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_t - Q'_t}{Q_t} \right| \times 100\% \quad (3.8)$$

一般而言，MAPE因為其分母為實際值，所代表為百分比，因此不會有因數值之大小而產生比較基礎不穩固之問題，可以了解預測值與觀測值的離散程度，評估預測準確度之準則，如表3.1所示。

5. 平均平方根百分比誤差 (root mean square percentage error, RMSPE)

$$RMSPE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum \left(\frac{Q_t - Q'_t}{Q_t} \right)^2} \times 100\% \quad (3.9)$$

其評估準則與平均絕對值百分比誤差(MAPE)相同。

3.1.2 模式評鑑標準

假設一組資料可以含有M個參數統計模式來擬合，Akaike 於1973 年以一種模式做為判定準則，此準則被稱為AIC(Akaike's information criterion)。

$$AIC(M) = n \ln \hat{\sigma}_a^2 + 2M \quad (3.10)$$

$\hat{\sigma}_a^2$ ：殘差數列。

M：為模式中參數個數。

n：為觀測值個數。

當模式之最適階次被選取，則M為p與q的函數使得AIC(M)為最小。Shibata 於1976 年證明AIC準則會對階次趨向於高估的現象，故發展出一套

貝氏最小AIC過程稱為BIC(Bayesian information criterion)。本文以模擬中所求得之BIC值最小選擇為最恰當之代表模式。BIC準則其模式如下：

$$\text{BIC}(M) = n \ln \hat{\sigma}_\varepsilon^2 - (n - M) \ln \left(1 - \frac{M}{n}\right) + M \ln n + M \ln \left[\frac{\left(\frac{\hat{\sigma}_\varepsilon^2}{\hat{\sigma}_\varepsilon^2} - 1\right)}{M} \right] \quad (3.11)$$

式中

$\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ ：為數列之樣本變異數。

$\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ ：為 σ_ε^2 最大概似估計值(殘差變異數)。

因同一場次數列樣本變異數與觀測值個數均固定，由(3.11)式中可知BIC判定之準則為殘差變異數小，即擬合值較好，且模式中參數個數也同樣要求不可太多，故此準則符合擬合精度之要求與參數精簡原則。

3.2. 分配模式理論

本研究為探討缺水天數和高濁度造成缺水確切的量，因此所採用之時間尺度不能太大，若以繁衍的旬流量輸入模式模擬中，所產生之結果仍嫌不夠精確，故以較小之時間尺度合成流量模式。有鑑於此，本研究以分配模式將較大尺度之合成「旬」流量分配至較小尺度之合成「日」流量。

3.2.1. 模式之建立

本研究採用 Valencia 及 Schaake 在 1973 年提出之模式，在此分配模式 (disaggregation model) 中，其關係式為一線性相依模式 (liner dependent model)：

$$Y = AX + B\varepsilon \quad (3.12)$$

其中

Y：由母序列(key series or indepent series)分配而得之子序列時間(subseries or depent series)，其為標準常態變量矩陣。

X ：用以分配為子序列之母序列，亦為標準常態變量矩陣。

ε ：具 $N(0, 1)$ 分佈之隨機變數矩陣。

A 、 B ：為 X 、 Y 矩陣之協變異數矩陣(covariance)所組成之參數矩陣(matrices of parameter)，其為歷史資料所推得之矩陣。各矩陣之因次如下式所示：

$$[Y]_{m \times 1} = [A]_{m \times n} [X]_{n \times 1} + [B]_{m \times m} [\varepsilon]_{m \times 1} \quad (3.13)$$

本研究採旬流量分配之日流量，且由1旬分配至10日(或8、9、11日)，則 $n=1$ ， $m=10$ (或8、9、11)。

參數矩陣之計算

3.2.2. A矩陣之求法

由(3.12)式中，對等式左右兩邊各乘以 X 之轉置矩陣(transpose matrix) X^T 得：

$$[YX^T] = [AXX^T] + [B\varepsilon X^T] \quad (3.14)$$

等式兩邊取期望值(expected value)則可表示為：

$$E[YX^T] = E[AXX^T] + E[B\varepsilon X^T] \quad (3.15)$$

因上式中為 ε 獨立之隨機(random)變數矩陣

故

$$E[\varepsilon X^T] = 0 \quad (3.16)$$

是以

$$E[YX^T] = AE[XX^T] \quad (3.17)$$

以歷史序列求得之期望值以 S 表示，則：

令

$$S_{YY} = E \left[YY^T \right] \quad (3.18)$$

$$S_{XX} = E \left[XX^T \right] \quad (3.19)$$

$$S_{YX} = E \left[YX^T \right] \quad (3.20)$$

$$S_{XY} = E \left[XY^T \right] \quad (3.21)$$

則

$$A = S_{YX} \cdot S_{XX}^{-1} \quad (3.22)$$

式中 S_{XX}^{-1} 表 S_{XX} 之反矩陣(inverse matrix)。

3.2.3. B矩陣之求法

將(3.12)式左右各乘以Y之轉置矩陣得：

$$\left[YY^T \right] = \left[AXT^T \right] + \left[B\epsilon Y^T \right] \quad (3.23)$$

等式兩邊取期望值(expected value)則式可表為：

$$S_{YY} = E \left[YY^T \right] = AS_{XY} + BB^T \quad (3.24)$$

$$BB^T = S_{YY} - AS_{XY} \quad (3.25)$$

上式中 S_{YY} 、 AS_{XY} 為對稱矩陣(symmetric matrix)故亦為對稱矩陣，由於此對稱矩陣之分解並非唯一，令B為一下三角矩陣(lower triangular matrix)(Young, 1968)如下：

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ b_{21} & b_{22} & 0 & 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ M & & & & & & M \\ M & & & \ddots & & & M \\ M & & & & & & M \\ b_{m1} & b_{m2} & b_{m3} & \Lambda & \Lambda & \Lambda & b_{mm} \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (3.26)$$

$$B^T = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & M & M & M & b_{1m} \\ 0 & b_{22} & b_{23} & M & M & M & b_{2m} \\ 0 & & b_{33} & M & M & M & b_{3m} \\ \Lambda & & & & & & M \\ \Lambda & & & & \ddots & & M \\ \Lambda & & & & & & M \\ 0 & 0 & 0 & \Lambda & \Lambda & \Lambda & b_{mm} \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (3.27)$$

$$BB^T = \begin{bmatrix} b_{11}^2 & b_{21}b_{11} & \Lambda & b_{m1}b_{11} \\ b_{21}b_{11} & b_{21}^2 + b_{22}^2 & \Lambda & b_{21}b_{m1} + b_{22}b_{m2} \\ b_{31}b_{11} & b_{31}b_{21} + b_{32}b_{22} & \Lambda & b_{31}b_{m1} + b_{32}b_{m2} + b_{33}b_{m3} \\ M & M & & M \\ b_{m1}b_{11} & b_{m1}b_{21} + b_{m2}b_{22} & \Lambda & b_{m1}^2 + b_{m2}^2 + \Lambda + b_{mm}^2 \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (3.28)$$

則

$$BB^T = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & M & M & M & B_{1m} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & M & M & M & B_{2m} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & M & M & M & B_{3m} \\ \Lambda & & & & & & M \\ \Lambda & & & & \ddots & & M \\ \Lambda & & & & & & M \\ B_{m1} & B_{m2} & B_{m3} & \Lambda & \Lambda & \Lambda & B_{mm} \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (3.29)$$

令矩陣為可由，X、Y矩陣協方差矩陣所組成已知對稱矩陣，經由矩陣分解原理，推得其規則為先取 b_{11} 之值，後一次求取第一行之 b_{21} ， b_{31} ， b_{41} ... b_{m1} 之值，在矩陣之第二行先求取對角線之 b_{22} 值 $(b_{22} - b_{21})^{1/2}$ ，次求取 b_{32} ， b_{42} ， b_{52} b_{m2} 之值，最後所有B矩陣之元素皆可求得，其運算通則可寫為：

$$b_{11} = \sqrt{B_{11}} \quad (3.30)$$

$$b_{i1} = \frac{B_{i1}}{b_{11}} ; i = 2,3,k,m \quad (3.31)$$

$$b_{ij} = \left[B_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} (b_{jk})^2 \right]^{1/2} ; \begin{cases} i = j \\ j = 1,2,3,k,m \end{cases} \quad (3.32)$$

$$b_{ij} = \frac{[B_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} b_{jk}b_{ik}]}{b_{jj}}; \begin{cases} i = j + 1, j + 2, j + 3, k, m \\ j = 2, 3, 4, k, m - 1 \end{cases} \quad (3.33)$$

此法實際上就是Cholesky矩陣分解法，此分解法須對新的對角元素開平方，也須除上新的對角元素，若 BB^T 矩陣為不定矩陣(positive definite matrix)時，可能出現負值開平方產生虛根，或 $b_{jj} \rightarrow 0$ 使得 $1/b_{jj} \rightarrow \infty$ 的問題，因此限定在當 BB^T 矩陣為正定矩陣時，才可使用Cholesky矩陣分解法；因為 BB^T 矩陣至少為半正定矩陣(positive semidefinite matrix)，因此可改用修正Cholesky矩陣分解法，其方法為：

令 $BB^T = G = U^T D^2 U$ ，則 $B = U^T D^T = U^T D$ ， $D^2 \geq 0$ ，因為 D^2 為對角矩陣，因此 $D^T = D$ ，其運算通則可寫為：

$$u_{ij} = \frac{[g_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} u_{ki}d_{kk}^2 u_{kj}]}{d_{ii}^2}; i = 1, 2, \dots, j - 1 \quad (3.34)$$

$$d_{jj}^2 = g_{jj} - \sum_{k=1}^{j-1} u_{kj}d_{kk}^2 u_{kj} \quad (3.35)$$

3.2.4. 相關矩陣之計算

欲求知A、B矩陣，則需先求知X與Y之間各相關矩陣， S_{YY} 、 S_{XX} 、 S_{XY} 、 S_{YX} ，此必須由歷史記錄之旬流量(X)和日流量(Y)之相互關係去推求。若總記錄年數為N，t為年別，則協變異數矩陣之不偏(unbiased)推定分別為：

$$S_{YY} = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N \begin{bmatrix} 1 \\ y_t \\ y_t^2 \\ M \\ y_t^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_t^1 & y_t^2 & \wedge & y_t^m \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

$$S_{XX} = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N \begin{bmatrix} 1 \\ x_t^1 \\ x_t^2 \\ \vdots \\ x_t^n \\ M \\ x_t^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & \wedge & n \\ x_t^1 & x_t^2 & \wedge & x_t^n \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

$$S_{XY} = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N \begin{bmatrix} 1 \\ x_t^1 \\ x_t^2 \\ \vdots \\ x_t^n \\ M \\ x_t^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & \wedge & m \\ y_t^1 & y_t^2 & \wedge & y_t^m \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$$S_{YX} = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N \begin{bmatrix} 1 \\ y_t^1 \\ y_t^2 \\ \vdots \\ y_t^m \\ M \\ y_t^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & \wedge & n \\ x_t^1 & x_t^2 & \wedge & x_t^n \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

3.2.5. ϵ 矩陣的建立

隨機變數矩陣內的參數皆具 $N(0, 1)$ 分佈的隨機變數，本文具 $N(0, 1)$ 分佈的隨機變數則由 EXCEL 軟體產生。

3.2.6. 分配模式步驟

- (1) 將取得之歷史記錄按旬、日分組。
- (2) 計算各序列之平均值、標準差及偏態係數。
- (3) 將序列常態化、標準化。
- (4) 計算各序列之相關矩陣， S_{YY} 、 S_{XX} 、 S_{XY} 、 S_{YX} 。
- (5) 計算旬分配至日的模式參數 A、B。
- (6) 將歷史旬流量資料作常態化、標準化。
- (7) 以時間序列模式推衍旬流量資料，推衍資料年數與歷史記錄相同。

- (8) 將經轉換的序列做逆常態化、逆標準化。
- (9) 計算各分配之流量序列之平均值、標準差、偏態係數。
- (10) 重複 7 到 10 的動作 100 次，平均 8、9 所得之各參數及均方根與歷史值比較。

3.3. 風險理論

風險分析研究在近幾年之水資源工程廣泛且有相當程度的成功。水利工程之風險來源甚多(顏本琦, 1992), 本文在此僅考慮流量變化所致之缺水問題。水資源規劃原則來看, 水庫系統之評估指標必須能夠獲取缺水事件之基本性質, 如缺水發生頻率、延時及強度。本文根據 Hashimoto, et al.(1982) 利用可靠度、恢復度及脆弱度三種風險指標評估供水系統之特性。此三個系統表現評估指標的值介於 0 到 1 之間。

3.3.1. 可靠度 (reliability, α)

根據Vogel和Bolognese (1995) 可靠度可視為系統在分析年間正常運作的機率。本文中可靠度的概念為系統正常運作的機率。

$$\text{reliability} : \alpha = \text{Prob}\{X_t \in S\} \quad (3.40)$$

S : 系統正常運作, 即缺水率小於缺水容忍度。

因此, 可靠度計算方式如下:

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{[\zeta]} \quad (3.41)$$

n : 分析年間總日數。

$I_{[\zeta]}$: 當該天被視為可接受風險時 $I_{[\zeta]}$ 等於0, 反之則 $I_{[\zeta]}$ 為1。

3.3.2. 恢復度 (resiliency, β)

恢復度亦稱回復度或彈性度。Hashimoto, et al. (1982) 建議恢復度可以作為系統中從出現錯誤到恢復正常運作之機率。因此在供水系統中即可表示由缺水轉為正常供水狀況的機率。

$$\text{resiliency} : \beta = P\{X_{t+1} \in S / X_t \in F\} \quad (3.42)$$

F：系統出錯，及缺水率超過缺水容忍度。

按Jinno(1995)根據貝氏定理，上式可改寫為：

$$\beta = \frac{P\{X_t \in F \wedge X_{t+1} \in S\}}{P\{X_t \in F\}} \quad (3.43)$$

其中分母部份，為計算 $P\{X_t \in F\}$ ，預先定義0-1判別式：

$$\eta_{[i]} = \begin{cases} 1 & \text{當 } X_t \in F \\ 0 & \text{當 } X_t \notin F \end{cases} \quad (3.44)$$

所以系統中發生缺水之機率為：

$$P\{X_t \in F\} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{[i]} \quad (3.45)$$

故 $\sum_{i=1}^n \eta_{[i]}$ 為系統總缺水天數TF。

而分子部份為計算 $P\{X_t \in F \wedge X_{t+1} \in S\}$ ，亦先定義0-1判別式：

$$\zeta_{[i]} = \begin{cases} 1 & \text{當 } P\{X_t \in F \wedge X_{t+1} \in S\} \text{ 時} \\ 0 & \text{其餘狀況時} \end{cases} \quad (3.46)$$

所以系統中發生缺水而後一天轉為正常供水之機率為：

$$P\{X_t \in F \wedge X_{t+1} \in S\} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \zeta_{[i]} \quad (3.47)$$

若所有缺水事件始末皆在模擬期間內，則為總缺水次數NF。

根據(3.43)式可得知：

$$\beta = \frac{P\{X_t \in F \wedge X_{t+1} \in S\}}{P\{X_t \in F\}} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \zeta_{[i]}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{[i]}} \quad (3.48)$$

若分析以「日」為單位做長時間分析時，則：

$$\beta \approx = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \zeta_{[i]}}{\sum_{i=1}^n \eta_{[i]}} = \frac{NF}{TF} = \frac{\text{總缺水次數}}{\text{總缺水天數}} \quad (3.49)$$

根據以上推導，恢復度可視為缺水事件之平均缺水天數的倒數。一般情況下，恢復度值通常在於 0 到 1 之間，而單次缺水事件內發生越長的缺水天數，則恢復度越小。

在水庫系統中，恢復度的定義可為供水系統之供水量在未能滿足下游需求時，恢復為正常供水情況有多快之評估指標，理想的水庫供水系統應該要有較高的可靠度，且具有較大的恢復度。

3.3.3. 脆弱度 (vulnerability, γ)

脆弱度又稱易損性、易致災性等。就工程角度而言，脆弱度表示災害的特性，如規模與影響程度。在社會經濟、結構等領域則視為對於災害調適與對應的能力。近日研究則是兩者共同結合考慮。

Hashimoto, et al. (1982) 定義脆弱度為描述乾旱現象的嚴重性。通常以缺水率作為表示。袁倫欽 (2001) 定義缺水率 (deficit rate, DR) 為某缺水時期之總缺水量除上該時期總計畫供水量之百分比。

$$DR = \frac{VF_i}{VD_i} \times 100\% \quad (3.51)$$

本文按此等概念結合 Xu (1998) 分析日本福岡市供水系統時之計算方式，以脆弱度來表示缺水時期之平均缺水量與該時期平均需水量之比。

$$\gamma = \frac{\left(\frac{1}{NF}\right) \sum_{i=1}^{NF} VF_i}{\left(\frac{1}{NF}\right) \sum_{i=1}^{NF} VD_i} = \frac{\sum_{i=1}^{NF} VF_i}{\sum_{i=1}^{NF} VD_i} \quad (3.52)$$

VF_i ：分析年間之總缺水量。

VD_i ：缺水時期之需水量。

3.4. 研究區域

本研究選定區域為石門水庫，集水區面積為 763.4 平方公里，滿水位標高為 245 公尺。其集水區位於大漢溪，其庫區位於桃園境內，如圖 3.2 所示。主要供應桃園台地及水庫下游灌溉用水，以及供給石門、龍潭、平鎮、大湳供水區及板新供水區之公共給水，如圖 3.3 所示。

石門水庫除直接供應石門和桃園大圳之用水外，經下游河道沿途分配於各農田水利會所需用水剩餘水量及側流量被攔蓄於鳶山堰，鳶山堰之蓄存水除供應板新淨水廠及大湳淨水廠所需公共給水水量外，並放流供應鳶山堰下游各灌區農業所需用水，如圖 3.4、圖 3.5 所示。

桃園地區自來水主要由四座淨水廠全天候處理及供應。整個淨水系統大致可分為：大湳淨水廠、平鎮淨水廠、石門淨水廠及龍潭淨水廠。各標的用水以生活用水、農業用水及工業用水三者為區分，但近年來臺灣地區生活水平提高與工業或高科技科學園區不斷新設，民生及產業用水量明顯上升，以致民生及產業用水轉向農業用水移用之情形日益普遍。

各標的用水說明如下：

1. 生活用水量：包含自來水供應量和自行取水量。
2. 農業用水量：包括灌溉、養殖及畜牧等總用水量。
3. 工業用水量：包含各式工業所使用之水量總和。

(一) 石門水庫

石門水庫位於大漢溪主流上，集水區域面積為 763.4 平方公里，水庫滿水位標高 245 公尺，呆水位標高 195 公尺，大壩安全容許水位為 251 公尺。原始總容積為 3.09 億立方公尺，民國 99 年 12 月量測有效容積剩餘 2 億 730 萬立方公尺。為一具有發電、灌溉、給水及防洪四大功能之水庫。如表 3.2 所示。

(二) 後池堰

後池堰位於石門水庫下游，集水面積為 3 平方公里，正常蓄水位標高為 137 公尺，最高洪水位標高為 142.23 公尺，總蓄水量為 320 萬立方公尺，計畫有效蓄水量為 220 萬立方公尺。主要之功能為洩洪時之消能作用，並可做為調節發電與灌溉用水，使尖峰發電的水量得平均供給桃園大圳及下游灌區等引用。

(三) 鳶山堰

鳶山堰位於大漢溪上，距石門水庫後池堰下游 19 公里，滿水位標高約 51.5 公尺，最低取水位標高 45.5 公尺，其調節池原有容量為 126 萬立方公尺。目前因上游河道開採河床砂石材料之影響，有效庫容已增加至約 520 萬立方公尺(民國 86 年測量結果)。鳶山堰體南端設重力導水箱涵直接取水供應板新淨水廠，其輸水容量為 100 萬 CMD，另於堰體北端設第二取水口，以加壓方式倒送至大湳淨水廠，其輸水容量為 35 萬 CMD。

(四) 三峽堰

三峽堰位於大漢溪支流三峽河上，其主要功能為攔蓄三峽河河水以供應板新淨水廠所需之原水。設計最大取水量為 60 萬 CMD，而現況水量為 40 萬 CMD。

(五) 分層取水工

為穩定供應桃園用水區民生用水與活化水庫之功能，北水局於石門水庫庫區適當位置增設分層取水工增建三層緊急取水設施，其取水口高程分別於標高 236、228、220 公尺處設置引水口引取原水，設計取水流量為 140 萬 CMD。石門水庫取水後，管線後段與石門大圳連接。此設施可視原水濁度高程變化取水，除確保於颱風或豪雨期間仍能取得低濁度原水，穩定桃園地區正常供水外，亦做為高濁度狀況取水用。

(六) 中庄調整池

中庄調整池位於鳶山堰上游左岸兩公里之中庄廢河道，總蓄水量 710 萬立方公尺，有效庫容 689.7 萬立方公尺。調蓄大漢溪剩餘水量。配合石門水庫排砂操作，排砂期間鳶山堰水源濁度過高，可由中庄調整池供水。而在石門水庫濁度抬升時，提供約 689.7 萬立方公尺的備用水量。供給大湳淨水廠約 30 萬 CMD，板新淨水廠 50 萬 CMD，備援天數約 8 天。

(七) 石門淨水廠原水蓄水池

主要目的為在石門水庫濁度抬升時，提供約 50 萬立方公尺備用水量。

(八) 淨水廠

大漢河流域淨水廠相關資料整理，其說明如下，如表 3.3 所示，淨水廠處理能力，如表 3.4 所示：

1. 石門淨水廠

於石門大圳設置取水口取水，原水取自石門水庫，淨水廠設計處理容量為 12 萬 CMD。

2. 平鎮淨水廠

先前由石門大圳設置取水口取水，原水取自石門水庫，現因平鎮第二原水抽水站工程完工，亦可於後池堰設置加壓抽水設備取水，並由專管送至淨水廠，淨水廠設計處理容量為 60 萬 CMD。

3. 龍潭淨水廠

於石門大圳設置取水口取水，原水取自石門水庫，淨水廠原設計處理容量為每日 5 萬立方公尺。「石門水庫及其集水區整治計畫」完成後，處理能力將提升至 19 萬 CMD。

4. 大湳淨水廠

於桃園大圳取水口取水，進水口設置在桃園大圳北岸，不足量再由鳶山堰取水，以管路加壓輸送上限為 35 萬 CMD。當桃園大圳歲修或其農業



用水量不足時，則大湳淨水廠需求水量全自鳶山堰取水。淨水廠設計處理容量為 30 萬 CMD，「石門水庫及其集水區整治計畫」完成後，處理能力將提升至 45 萬 CMD。

5. 板新淨水廠

原水取自三峽堰及鳶山堰，抽取水量以專管送至淨水廠處理。三峽堰取水專管，最大抽水量為 60 萬 CMD。從鳶山堰設置取水專管，最大輸水量為每日 100 萬立方公尺。淨水廠設計處理容量為 120 萬 CMD。

3.5. 模式建立

3.5.1. 模擬條件

本研究假設石門水庫為單一水源利用，不考慮支流和側流之供水系統，其中給水量為滿足需求水量之水庫放水量，而溢流量則為大於需求水量之水庫放水量，缺水則為水庫實際供水量無法滿足需求水量。

本研究忽略蓄水滲漏損失，水庫放水量盡可能滿足需求水量，直至空庫為止，除非滿庫溢流，亦不提供多於之水量。模擬單一水源利用之供水系統水量運用時，其蓄水過程必須滿足平衡方程式，每一日結束之蓄水量可計算如下：

$$S'_{t+1} = S_t + I_t - O_a - O_p - O_e \quad (3.53)$$

$$S'_{t+1} = S_t + I_t - O_t \quad (3.54)$$

$$S_{t+1} = \begin{cases} S_{\max} & , OF_t = S'_{t+1} - S_{\max}, DF_t = 0 ; \text{if } S'_{t+1} > S_{\max} \\ S'_{t+1} & , DF_t = 0, OF_t = 0 ; \text{if } S_{\min} < S'_{t+1} < S_{\max} \\ S_{\min} & , OF_t = S_{\min} - S'_{t+1}, OF_t = 0 ; \text{if } S'_{t+1} < S_{\min} \end{cases} \quad (3.55)$$

式中，

T：日；

I_t ：入流量；

O_t ：總需求水量；

O_a ：農業用水；

O_p ：公共用水；

O_e ：生態基流量；

S_t ：第 t 日之日初蓄水量；

S_{t+1} ：第 $t+1$ 日之日初蓄水量；

S_{\min} ：水庫之最小蓄水容量；

S_{\max} ：水庫之最大蓄水容量；

DF_t ：缺水量；

OF_t ：溢流量；

當 $DF_t > 0$ 時，代表缺水，水庫會發生空庫；若 $OF_t > 0$ 時，則水庫發生溢流。

3.5.2. 模擬步驟

本研究分析流程，茲說明如下：

1. 首先進行資料搜集及其前置處理，包括水庫入流量、目標需求水量、有效蓄水庫容等。

一、天然入流量

石門水庫流量資料長度：民國53年至99年。

二、標的需求水量

(1). 公共用水需求量

公共用水為石門水庫系統現況旬供水能力平均。本研究採用民國99年「石門水庫供水區整體水源利用規劃」之歷年現況供水旬能力平均統計成果。

(2). 農業用水需求量

石門水庫供應之農業用水區域為石門大圳、桃園大圳及大漢溪中下游灌區。由於近年來實際取水量已較計畫需求水量減少，因此依現在農業發展評估，未來農業需求水量應不會超過現況供水，且在各目標年灌溉用水需求水量亦假設未來實際取水量不再成長。且依我國現行之農業用水政策，農業用水以維持不增加為原則。因此本研究搜集石門大圳與桃園大圳歷年灌溉及配水計畫資料不含93年休耕資料，計算其平均值作為推估值。如表3.5、圖3.6所示。

(3). 目標年需求水量

本研究以不同目標年需求水量，作為需求水量，去模擬評估不同目標年之供水風險。如表3.6所示。

(4). 生態基流量

生態基流量主要考慮為維持河川生態及景觀維護所需之最小水量。此放流量之大小，目前尚無法令規章之規定值，僅能視當地河川特性、重要性及自淨能力而定。本研究採用民國91年「台灣地區水資源開發綱領計畫」，建議每100平方公里放流0.135CMS之保育用水量為保留目標估計生態基流量，如表3.7所示。

(5). 高濁度判斷

民國93年8月24、25日兩日，艾利颱風侵台，新竹白石降雨1700mm，玉峰1600mm，因降雨過度集中，水庫集水區發生嚴重滑坡及土石崩塌，大量泥沙被洪水挾帶至庫區。影響桃園地區供水天數約18天。

民國94年至96年重大颱風事件發生時，包含海棠、馬莎、泰利、卡努、龍王、聖帕、韋帕與科羅莎颱風等。海棠與馬莎份別降下504mm及818mm雨量，影響桃園地區供水分別為6天及9天。

藉由表層原水濁度大於3,000NTU之颱風事件馬莎、柯羅莎及辛樂克，

評估於颱風期間之供水可靠度。表3.8及圖3.7分別為石門水庫颱風事件洪峰流量與原水濁度相關資料彙整。馬莎及科羅沙事件之洪峰流量大於5,000cms且原水濁度大於3,000NTU。辛樂克颱風於石門水庫所測得之洪峰流量3,500cms，雖小於5,000cms，但原水濁度卻仍大於3,000NTU。如表3.9所示。因此本文以流量大於3000cms為高濁度判斷點。

(6). 蓄水容量

水庫水位與容量關係：民國98年12月實測資料。如表3.10所示。

2. 將所需資料，進行蓄水模擬。
3. 本研究針對以下案例分別進行分析：

(1) 操作規線運作與否

為探討石門水庫操作規線運作，在不同的供水打折數，對於缺水指標與供水風險指標之影響。在缺水忍受度不同下，可接受不同的缺水狀況，依據水利署制定的旱災災害等級區分，如表3.11所示。

(2) 農業處於停灌狀況

石門水庫營運將近50年來，歷次水源不足之缺水時期，主要因應處理方式為透過減供水量及執行非常灌溉度過。當該年為極度乾旱，則將採取農業停灌休耕，並且針對農業停灌休耕予以補償。

(3) 固定水庫庫容及歷史流量下改變需求水量

探討需求水量日益增加對於供水系統之影響。

(4) 固定需求水量及歷史流量下改變水庫庫容

石門水庫原設計總容量3.09億立方公尺，民國52年至民國99年12月之間，目前淤積量約9500萬立方公尺，有效容積剩餘2億730萬立方公尺。由歷年淤積量觀測，目前有效庫容體積逐年減少如表3.12所示。因此探討探討庫容縮減對於各指標影響。

(5) 分層取水工影響

探討有分層取水工與沒有分層取水工之差異。

(6) 固定水庫庫容及需求水量配合繁衍流量

以繁衍之流量，探討整體供水之可靠度。

4. 彙整模擬結果

3.5.3. 模式驗證

一般水資源模擬皆採用缺水指標做為設計準則，由缺水指標定義上可知，缺水指數表示系統之長期平均缺水狀態，而未針對某一年之缺水強度與缺水延時加以考量。

然而在水文隨機過程影響下，實際上各年之缺水狀況並無一致，亦指每年缺水事件之發生次數及各事件之缺水總量與延時皆不相同，因此會造成對標的需求之供給有相當不明確的缺水風險存在。為理解供水系統中各區細部狀況，計算以「旬」為計算尺度單位，避免短時間缺水集中之嚴重性。

因此本模式藉由蕭瑩琪(2005)之70年至92年旬出水流量統計資料與石門水庫歷年水位表，比對本研究之模式模擬結果比較。模式設定如表3.13所示，採用相同的進水量與出水量，再以模擬出的水位來做檢定驗證比較。

本研究模式與蕭瑩琪模擬結果，如圖3.8、表3.14所示，其平均絕對誤差百分比為1%，模擬結果比較其相關係數達0.974，然而在低水位時期，可以發現在缺水時期因為水庫低水位時期庫容較小，因受到庫容條件不同所限制及受到不同時期的運作規則不同所影響，所以水位差異變化較大，而造成在極端值差異較大之緣故。

本模式可以合理反應出缺水時期及水位低於嚴重下限之旬期和缺水量，因此可知本模式計算結果合理。

3.5.4. 旬、日模擬比較

在過去研究僅考慮各段的水量但未考慮水質問題。單以水量來看供水風險，可能會有估計樂觀之情況。而且在颱洪發生期間，其影響時間通常以小時為單位，但以分配模式將旬流量分配至時流量，有可能造成誤差，為探討高濁度和原水不足造成供水風險之影響，因此使用「日」計算。在使用日計算之後，我們可以進一步的探討，缺水強度以及缺水延時所造成的影響，以及建立供水系統水量與水質模擬。

所以本模式藉由分配模式保留原始流量之統計特性，將入流量及需求水量之旬流量資料分配為較小尺度單位「日」模擬。其模擬結果如表3.15所示，顯示在整體上旬日模擬相近，但是在每旬期間交界處的缺水量，會因整旬入流量足夠而被忽視之缺水天數。因此為得到更精確的模擬缺水天數及缺水狀況，以「日」流量尺度模擬計算是必須的。

3.5.5. 模式條件設定

1. 系統操作方式：大漢溪水源由石門水庫單一標的運用。
2. 分析總時程：民國53至民國99年，共計47年。
3. 分析單位時間：逐日模擬演算。
4. 石門水庫規線：如表3.16、圖3.9所示，共有上限、下限與嚴重下限3條，將水庫蓄水區分為4個蓄水區間。
5. 供水區內之供水標準，以缺水指標SI為評估因子及供水風險指標。
6. 不考慮輸水、淨水及水庫蒸發損失。
7. 假設表層原水高濁度延續時間不予以考量。
8. 考慮河川生態基流量。
9. 不考慮水庫發電契約。
10. 考慮石門水庫運用規則。
11. 採用現行水庫規線，水庫水位低於嚴重下限以下時，採取供水打折。

3.5.6. 石門水庫運用要點

參考自經濟部水利署水利法規查詢系統公告之石門水庫運用要點：蓄水利用運轉之灌溉與給水運用之放水規則，以中華民國98年7月30日經授水字第09820208240號令規定。水庫運用規線如圖3.9所示。

1. 水庫水位標高在上限以上時，依據計畫配水量供水，並視各標的用水需求增加調配之。
2. 水位標高介於上限與下限之間時，按計畫配水量供水。
3. 水位標高介於下限與嚴重下限之間時，依據計畫配水量供水為原則。為了因應未來可能之持續枯旱，北水局得邀請相關單位預先協商配水量減供之措施。
4. 水庫水位標高在嚴重下限以下時，農業用水依據計畫配水量百分之五十供水為原則，家用及公共給水、工業用水依據計畫配水量百分之八十供水為原則，其實際減供水量由北水局邀集相關單位協商。

第四章、 案例分析

本章節為延續第三章之模式假設案例，分別進行分析：(1).操作規線運作與否，為探討石門水庫操作規線運作，在不同的供水打折數，對於缺水指標與供水風險指標之影響；(2).農業處於停灌狀況，歷次水源不足之缺水時期，主要因應處理方式為透過減供水量及執行非常灌溉；(3).固定水庫庫容及歷史流量下改變需求水量，為探討需求水量日益增加對於供水系統之影響；(4).固定需求水量及水文歷程下改變水庫庫容，由歷年淤積量觀測，目前有效庫容體積逐年減少，因此探討庫容縮減對於各指標影響；(5).分層取水工影響，探討有分層取水工與沒有分層取水工之差異；(6).固定水庫庫容及需求水量配合繁衍流量，以繁衍之流量，探討整體供水可靠度。

4.1. 操作規線運作與否

台灣氣候特性為豐枯水季明顯之地區，除了梅雨與颱風季節之外，皆屬於枯水季，因此在枯水季節河川流量不足之時節，必須仰賴水庫調節來穩定供水，當水庫水量不足時就會發生缺水事件。因此當缺水事件發生時，為了在有限的水資源條件下降低缺水所造成之損失，便要進行水資源管理，主要管理方式為限水措施。在供水要求越來越吃緊的情況之下，當水位低於嚴重下限時，針對不同標的用水之供水採取不同供水打折數，可以減少缺水的延時及降低缺水所造成之損失。

在供水打折數越大的情況下，可以有效的降低缺水指數，可靠度也會提高，雖然缺水頻率次數會提高，但可以避免掉長時間的缺水狀況影響。此案例以目標年120年需求水量，及石門水庫歷史流量47年，初始水位為245公尺，相對應之初始水量為2.11億立方公尺。並考慮不同需求標的打折數，如表4.1、圖4.1所示。可以看出不同需求打折數與目前打折數延用到目標年120年之差異。操作規線主要目的為避免單日之缺水率過高，而將其狀況分

攤為多日缺水但缺水率較低的狀況。因此標的用水忍受度越高，其打折數越大，當打折數越大時，其缺水指數越小，可靠度提高，恢復度提高，脆弱度降低，缺水次數提高。而當某標的用水比例較高時，探討其忍受程度，改變其供水打折數，可有效調節用水量。

4.2. 農業用水停灌

此案例以石門水庫47年歷史流量資料作為本研究區域供水系統之入流資料，統計時間為民國五十三年至民國九十九年，進行供水效益評估。系統初始狀態為水庫初始水位高程245公尺，相對應之初始水量為2.11億立方公尺。並且考慮石門水庫運作規則操作，於水位低於嚴重下限時分別對不同標的需水量進行打折供應，農業用水5折，公共用水8折。設定為當水庫水位低於嚴重下限便判定為缺水。

石門水庫營運將近50年來，歷次水源不足之缺水時期，主要因應處理方式為透過減供水量及執行非常灌溉。當該年為極度乾旱，則將採取農業停灌休耕，並且針對農業停灌休耕予以補償，亦或由埤塘水源供給。

故本案例假設整個桃園地區農業處於停灌的狀態，將農業用水轉移公共用水使用，依據石門入流量資料及不同需求水量下，經由水庫操作規線運作下，可計算出不同供水需求下所對應的缺水指標。其結果彙整於表4.2，其結果如圖4.2所示。

不考慮農業用水之結果顯示當總需求水量為310萬立方公尺/日時，其SI值趨近為1，當總需求水量為250與260萬立方公尺/日時，其SI值趨近於0.5，當需求水量為200萬立方公尺/日時，其SI值趨近為0.2，當SI趨近於0時，總需求水量為100萬立方公尺/日左右。而當需求水量為150萬立方公尺/日以下時，其可靠度為1，此值表示為該供水系統，在此供水量下系統將無缺水之虞慮。當需求水量增加時，其值大於220萬立方公尺/日時，其SI值會有大幅度的提升，此情況說明如果以現況供水當日需求水量大於220萬立方公尺/

日，將無法滿足供需，造成缺水量快速增加。

依據經濟部水利署「石門水庫供水區整體水源利用規劃」推估至民國120年需求水量約150萬立方公尺/日，所以根據供水量為150萬的情況下進行分析。由資料顯示，在現況下之供水系統如果用至民國120年，遇缺水年時，在石門水庫可接受缺水指數0.5以下條件，農業用水全面停灌時，可滿足民眾生活用水以及產業用水。但須針對農業停灌休耕予以補償，亦或考量轉由埤塘水源供給。

4.3. 固定水庫庫容及歷史流量下改變需求水量

此案例以石門水庫47年歷史流量資料作為入流資料，統計時間為民國五十三年至民國九十九年，進行供水效益評估。系統初始狀態為水庫初始水位高程245公尺，相對應之初始水量為2.11億立方公尺。依據不同目標年需求水量作供水系統分析。並且考慮石門水庫運作規則操作，於水位低於嚴重下限時分別對不同標的需水量進行打折供應，農業用水5折，公共用水8折。藉以評估未來不同目標年需求水量的供水風險。設定為當水庫水位低於嚴重下限便判定為缺水。

其結果如表4.3、圖4.3所示，不僅可以從中知道不同目標年顯示需求水量越大時缺水指數SI越高、可靠度降低、恢復度越高。在目標年105年需求水量141萬立方公尺/日為主要的區分點，可靠度將越來越低，而在恢復度的反應之中當需求水量達一極限值時恢復能力也有其限制。

故本案例再依據石門入流量資料及農業需求水量固定126萬立方公尺/日，不同需求水量下，可計算出不同供水需求下所對應的缺水指標。其結果彙整於表4.4，如圖4.4所示，當日需求水量為150萬立方公尺/日期SI值趨近於0；日總需求水量為266萬立方公尺/日，為石門水庫可忍受之缺水指數0.5；而其缺水指數達1為需求水量326萬立方公尺；而當需求水量越大時，影響缺水指數程度越大。

嚴重枯水年屬於極端現象，一旦發生便會造成長時間之連續缺水現象，使得需求水量愈大則其缺水指數愈大，亦即在水庫固定的調節能力下，需求水量不斷增加，所造成的缺水現象亦會持續明顯增加，則其缺水指數亦隨之增加。在需求水量日趨增加之下，可靠度將越來越低。而在恢復度的反應之中，可知其缺水頻率越來越加頻繁。

4.4. 固定歷史流量及需求水量下改變水庫庫容

此案例以石門水庫 47 年歷史流量資料作為入流資料，統計時間為民國五十三年至民國九十九年，進行有效庫容改變時之供水效益評估。系統初始狀態為水庫初始水位高程 245 公尺，相對應之初始水量為 2.11 億立方公尺。依據不同目標年需求水量作供水系統分析。並且考慮石門水庫運作規則操作，於水位低於嚴重下限時分別對不同標的需水量進行打折供應，農業用水 5 折，公共用水 8 折。藉以評估未來不同目標需求水量的供水風險。設定為當水庫水位低於嚴重下限便判定為缺水。

其結果顯示庫容越大缺水指數越低。然而在庫容縮小下，會使得水位常處於嚴重下限，因而受到供水打折數之影響。庫容越大，可靠度越高、脆弱度降低、缺水天數越少、缺水次數越少，如表 4.5 所示。

在固定需求水量與相同入流量序列下，探討不同水庫容量對於供水系統的需求對缺水之影響，假設需求水量皆相同，分別模擬出在水庫庫容縮減之特性，相關資料示如圖 4.5、表 4.6 可知，由庫容 8000 萬立方公尺至 25000 萬立方公尺間，庫容越大水庫其可攔蓄利用的有效之水源愈多，水資源調蓄能力愈大，缺水率亦因調節作用而隨之變小，則其缺水指數亦隨之降低。當可用之有限水源已充分利用時，縱使水庫庫容增加也無法提高水庫供水能力，降低缺水指數。然而當庫容越大及年需求水量越大其缺水指數應隨之下降，且庫容越大可使得整個供水系統可靠度提高。

在庫容 18000 萬立方公尺至 25000 萬立方公尺間，庫容增加而其缺水

指數些微抬升，可能為當水庫水位低於嚴重下限採取供水打折，而受到操作規線所影響，亦或由於缺水指標為表示長期平均之缺水狀況，而某一年內之缺水強度與缺水延時未加以考量之影響，及受到部分極端乾旱事件進而影響整體供水系統之缺水指數。

4.5. 分層取水工影響

此案例以石門水庫 47 年歷史流量資料作為入流資料，統計時間為民國五十三年至民國九十九年，濁度影響供水效益評估。系統初始狀態為水庫初始水位高程 245 公尺，相對應之初始水量為 2.11 億立方公尺。依據不同目標年需求水量作供水系統分析。並且考慮石門水庫運作規則操作，於水位低於嚴重下限時分別對不同標的需水量進行打折供應，農業用水 5 折，公共用水 8 折。藉以評估未來不同目標年需求水量的供水風險。設定為當水庫水位低於嚴重下限便判定為缺水。

藉由表層原水濁度大於 3,000NTU 之颱風事件馬莎、柯羅莎及辛樂克，評估於颱風期間之供水可靠度。表 3.8 及圖 3.7 分別為石門水庫颱風事件洪峰流量與原水濁度相關資料彙整。馬莎及科羅沙事件之洪峰流量大於 5,000cms 且原水濁度大於 3,000NTU。辛樂克颱風於石門水庫所測得之洪峰流量 3,500cms，雖小於 5,000cms，但原水濁度卻仍大於 3,000NTU。如表 3.9 所示。因此本文以流量大於 3000cms 為高濁度判斷點。

由圖 4.6 及圖 4.7 可知，當取水口水位高於高程 220 公尺時，其原水濁度低於 3000NTU 為淨水廠處理能力可接受之範圍。分層取水工取水高程分別為 236、228 及 220 公尺，其目的為當高濁度原水事件發生時，取用表層不受濁度事件影響之原水。因此可以藉以假設評估石門水庫分層取水工之效益。

本文假設條件建立於圖 4.6，由艾利颱風事件所量取之原水濁度圖，而且在艾利極端之颱風事件，取水高層大於 220 公尺以上之表層原水受颱風

影響小，因而假設為分層取水工之效益。由於模式之限制因此假設分層取水工取水口高層為固定，因此未探討低水位高濁度之事件，亦或受到更極端瞬間高入流量或極端降雨所造成之特殊飈洪，而造成表層原水濁度飆高事件。

由表 4.7、表 4.8 及圖 4.8 比較發現，分層取水工在高濁度時期扮演著相當重要的角色，以歷年的供水整體狀況來評估，倘若避免掉高濁度之影響，可使得缺水指數降低、可靠度提高、恢復度降低、脆弱度降低、缺水天數及缺水次數降低。在供水系統分析模擬時，不僅僅只需考慮水量是否足夠，也應考慮到高濁度對於短時期但高缺水量之影響，且針對不同濁度所造成不同之缺水量關係做更深入的探討。

分層取水工目的為可於飈洪期間引取水庫上層較清澈原水，模擬結果顯示可使得整體供水系統缺水指數、脆弱度、恢復度、缺水天數及缺水次數降低和可靠度提高之效益。由於增設取水工目前定位為石門水庫渾濁時之原水供水設施，然而平均每年運轉次數過少，倘若使之時常運轉將可使原先較低水位之取水設施，取水效益轉為其他用途。

4.6. 固定水庫庫容及需求水量下配合繁衍流量

在相同的水庫庫容及需求水量下，探討不同水文歷程的變異程度對缺水特性之影響，欲利用流域之歷史天然流量以時間序列繁衍入流量資料，並統計其日平均值、標準差及離散係數等三種統計特性如表 4.9、表 4.10 及表 4.11 所示，且對於每旬流量特性與 47 年之旬序列圖對比，如圖 4.9、圖 4.10 及圖 4.11 所示，假設每天之需求水量皆相同，模擬後再計算其缺水指數及其風險指標特性，模擬成果資料如圖 4.12 至圖 4.19 所示。

合成流量的主要目的在彌補流量資料不足之問題，倘若模擬記錄資料越多，推衍出來的結果會更穩定進而得到更良好的結果。因此本模式藉由時間序列分析繁衍 100 組流量資料，藉以評估供水系統整體之風險性分析。

系統初始狀態為水庫初始水位高程 245 公尺，相對應之初始水量為 2.11 億立方公尺。並且考慮石門水庫運作規則操作，於水位低於嚴重下限時分別對不同標的需水量進行打折供應，農業用水 5 折，公共用水 8 折。石門水庫歷年高濁度事件皆發生於颱風期間，濁度判斷點為入流量大於 3000cms。設定為當水庫水位低於嚴重下限便判定為缺水。

分析結果顯示其水文過程之變異程度愈大，其缺水指數亦愈大，其義意代表水庫愈不容易合理充份調蓄利用，因此使得無法調節之水量隨之溢流，而當有效利用之水資源愈少，造成無法提供所需水量，因此其缺水指數亦隨之增加。

如圖 4.12 至圖 4.19 所示，以 100 組時間序列繁衍流量模擬現在需求水量下，不考慮濁度影響之情況下，其缺水指數平均為 0.1964、可靠度 0.986、恢復度 0.060 及脆弱度 0.024；考慮濁度影響之情況下，其缺水指數 0.2086、可靠度 0.976、恢復度 0.255 及脆弱度 0.027。其離散係數缺水指數為 0.081、可靠度 0.002、恢復度 0.233 及脆弱度 0.038；考慮濁度影響之情況下，其缺水指數 0.076、可靠度 0.003、恢復度 0.105 及脆弱度 0.035。缺水指數及高濁度缺水指數為 Weibull 機率分佈，恢復度、高濁度可靠度和高濁度恢復度為 lognormal 機率分佈，其餘皆為 normal 機率分佈。

由表 4.12 模擬結果顯示，目前供水系統可靠度達 0.98 以上，然而當考慮濁度影響時，其可靠度為 0.97。雖然颱風高濁度對於整體供水系統影響程度不大，但影響期間內高缺水率之問題，仍是不容忽視的。繁衍值與原始值之結果差異，主要是因為繁衍流量為較穩定之統計特性之序列，無法隨機表現出極端值，而水庫缺水事件雖大多受到極端氣候影響，但對於整體供水穩定程度可以從多組繁衍資料模擬結果判定為可靠的。

高濁度之影響程度，可以由恢復度之差異表示，恢復度所代表的意義為系統中從出現錯誤到回復正常運作之機率。代表著缺水天數增加缺水次

數增加而使得恢復度有明顯的變化。

高濁度影響為可避免之缺水狀態，可藉由備用水源、分層取水工、區域水資源聯合調度及提高原水處理之能力；然而由於極端水文氣象所造成的極端乾旱，在現有缺水處理主要以高忍受度之農業用水停灌，亦或採取供水打折，雖然可以短暫滿足公共用水的使用，但不確定當連續極端乾旱年發生時，是否有足夠的供水能力，因此還需有新水源的開發，埤塘水源維護取用、海水淡化廠及用水回收機制。

以 4.3 節與本節案例比較結果顯示，當年需求水量逐漸增加會造成歷年缺水率明顯增加，使得缺水指數有明顯差異，可靠度將越來越低，在恢復度的反應之中當需求水量達一極限值時恢復能力也有其限制。而極端氣候所造成之連續缺水天數現象不容易在缺水指數上反應，但可藉由可靠度及恢復度上探討分析。



第五章、 結論與建議

此章節針對本研究建立供水系統水量與水資源模擬模式，進行序率水文分析以時間序列繁衍所需之旬流量，且以分配模式分配至日流量，並考慮流量與濁度關係，最後評估供水系統風險所得之分析結果，並且針對所假設之不同案例總結作綜合性規劃說明，且對模擬情境做出結論陳述，最後對不盡完備或日後改進之處提出建議。

5.1. 結論

1. 無論採用何種缺水指標和風險分析，做為水資源規劃設計之準則，在水文隨機過程之不確定性影響下，仍存在著缺水風險。如欲將其風險減低，則需預擬各缺水情境案例，進行調度管理模擬或增備水資源備援系統，藉以避免缺水所造成之損失。所以在水資源規劃時，應根據該區之水文條件，社會需求及缺水忍受之程度，藉以評估訂定出適當該地區之缺水指數。
2. 根據模式模擬結果資料顯示，歷次乾旱缺水事件主要發生間隔於前年的第34旬到次年的14旬之間，又因石門水庫枯水期11月至翌年4月，若該年為乾早年或雨量不足，即會有缺水事件發生，導致原本易發生缺水事件的時期，其連續缺水情況將更為明顯。
3. 水庫供水系統模擬結果，現階段尚可滿足需求水量，不考慮濁度影響時其可靠度達0.951、缺水指數0.301、恢復度0.041及脆弱度0.03；而考慮濁度影響時，其可靠度降為0.936、缺水指數提升至0.324、恢復度0.143及脆弱度0.036。由模擬分層取水工及繁衍流量之案例模擬結果顯示，避免掉高濁度影響時可使得整體供水系統缺水指數、脆弱度和恢復度降低，而提高供水系統可靠度。
4. 標的用水忍受度越高，其打折數可容許範圍越大，模式操作規線運作

案例模擬結果顯示當打折數越大時，可以使得在供水特別時期有較大的調度空間，在公共用水由打 8 折改為 7 折，農業用水固定 5 折時，將使得缺水指數 0.577 降至 0.501，可靠度 0.785 提升至 0.798，恢復度 0.018 提升至 0.025，脆弱度 0.043 降至 0.041。當公共用水打 8 折農業用水打 5 折改為公共用水打 7 折農業用水打 4 折時，缺水指數 0.501、可靠度 0.81，恢復度 0.037，脆弱度 0.04，因此當某標的用水比例較高時，探討其忍受程度，改變其供水打折數，將可有效調節用水量。

5. 由模式模擬結果資料顯示，在現況下之供水系統如果用至民國 120 年，遇缺水年時，在石門水庫可容許之缺水指數 0.5 以下條件，農業用水全面停灌時，可滿足民眾生活用水以及產業用水。當需求水量為 150 萬立方公尺/日以下時，其可靠度為 1，此值表示為該供水系統，在此供水量下系統將無缺水之虞慮。



5.2. 建議

1. 本研究只考慮石門水庫之桃園供水系統之範圍，若能考慮北部區域整體供水，便可彌補不同系統的優劣，由鄰近充裕水源區域調撥供水量，便能更有效調節供水上的問題。如板新地區供水改善計畫二期工程，大漢溪水源南調桃園改善工程、桃園地區南北管網改善計畫與桃竹雙向供水改善計畫工程等。
2. 此研究區域必須為因應逐年增加的需求水量開發新水源，如興建海水淡化廠、合理使用埤塘水源及維護、協調農地以造塘蓄水、石門水庫增設第二後池工程計畫等措施，在新水源開發尚未完成前，應檢討既有水源之有效運用。
3. 由於各標的缺水忍受程度皆不同，未來可制定出不同標的之缺水忍受程度，將可做標的間水量移用參考作用，但須考量不同標的用水標準之差異。及對於因應極度乾旱所採取農業休耕的考量，並且在乾旱時期，對於農業用水移用補償，需做更嚴謹的討論。
4. 在供水系統分析模擬時，不僅僅只是考慮水量是否足夠，也應考慮到高濁度期間之高缺水量影響，且需針對不同濁度所造成不同之缺水量關係做更深入的探討。
5. 本文採用時間序列理論來預測流量，建議也可以使用克力金法、灰色理論及遺傳演算法，或改進時間序列模式來進行流量預測，使其能將極端流量適切的模擬出來。
6. 本研究在日需求水量為相同之值，建議未來能針對其實際使用量，做更為嚴謹的計算。
7. 本研究只針對，石門水庫庫區原水水質做為供水考量，建議未來可以針對下游供水系統，做更嚴謹的評估。

參考文獻

1. 王宗南，「水庫容量風險性設計準則之比較探討」，國立成功大學水利及海洋工程學系，碩士論文，2006。
2. 王鈺閔，「缺水指標與缺水風險之相關性」，國立中央大學土木工程學系，碩士論文，2009。
3. 何智超，「氣候變遷下水資源長期調配與高濁度短期操作風險分析」，國立交通大學土木工程學系，博士論文，2010。
4. 李方中，「河川流量分配模式應用研究」，國立中興大學土木工程學系，碩士論文，1986。
5. 李孟恩，「缺水風險指標之建立及其應用於評估桃園地區水資源系統」，國立中央大學土木工程學系，碩士論文，2011。
6. 周乃昉、吳嘉文，「通用性廣域水資源運用模擬模式」，農業工程學報，第56卷，第1期，1-21頁，2001。
7. 易任、王如意，應用水文學，國立編譯館，1992。
8. 林茂文，時間數列分析與預測，華泰書局，1992。
9. 林哲暉，「桃園地區乾旱時期供水風險之研究」，國立中央大學土木工程學系，碩士論文，2005。
10. 孫永信，「河川旬流量之合成與預測」，國立台灣大學土木工程學研究所，碩士論文，1988。
11. 徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃缺水指標之研究」，經濟部水資源統一規劃委員會，1988。
12. 徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃缺水指標之研究」，經濟部水資源統一規劃委員會，1988。
13. 徐享崑、蘇瑞榮，「二十一世紀議程之水資源管理」，土木水利，第26卷第2期，5-10頁，1999。

14. 袁倫欽，「序率動態規劃配合遺傳演算法之研究—以石門水庫供水系統為例」，國立海洋大學河海工程學系，碩士論文，2001。
15. 張炎銘，「建立乾旱警報系統初論」，臺灣水利，第 39 卷第 4 期，73-83 頁，1991。
16. 張調任、黃文政、吳建民、王慶藏，「大甲溪流域之乾旱分析」，八十四年度農業工程研討會，495-510 頁，1995。
17. 郭振泰、楊德良、萬象、黃錦祥，「淡水河流域水庫通用模擬模式及優選操作模式之發展與應用」，國立台灣大學工學院土木工程學研究所水利工程組研究報告，1986。
18. 陳伯豪，「石門水庫供水系統風險分析」，國立中央大學土木工程學系，碩士論文，2011。
19. 陳昶憲、李姍燁，洪流之多變量時序分析，中華土木保持學報，29(3)：199-209 頁，1998。
20. 陳昶憲、黃偉民、朱益辰，烏溪流量洪流時序分析，台灣水利，45(3)：72-82 頁，1997。
21. 曾仁宏、顏正平，「乾旱指標方法之研究」，第七屆水利工程研討會論文集（上），145-157 頁，1994。
22. 游山峰，「石門水庫運轉規線之研究」，台灣海洋大學河海工程學系，碩士論文，1998。
23. 黃金山，「臺灣水庫規劃缺水忍耐標準之探討」，第三屆水利工程研討會論文集，51-64 頁，1986。
24. 黃振聖，「曾文水庫系統最佳營運與風險分析」，國立台灣大學土木工程學研究所，碩士論文，1996。
25. 楊豐榮，「序率水文模擬之檢定與分配模式之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所，碩士論文，1984。

26. 溫漢章，「利用合成流量進行水資源系統分析—以濁水溪流域為例」，國立臺灣大學土木工程學系，碩士論文，2001。
27. 經濟部水利署，「台灣北部區域水資源經理基本計畫」，2007。
28. 經濟部水利署，「石門水庫水權水量之分析及研究檢討」，2008。
29. 經濟部水利署，「石門水庫運用要點」，2007。
30. 經濟部水利署，「石門水庫增設取水工報告」，2010。
31. 經濟部水利署，「區域水資源經理策略擬定之研究」，2008。
32. 經濟部水利署，「提升水庫供水能力—緊急供水工程暨水庫更新改善執行成果」，2008。
33. 經濟部水利署，「石門水庫及其集水區整治計畫—第 1 階段修正執行計畫」，2008。
34. 經濟部水利署，「石門水庫及其集水區整治計畫—第 2 階段執行計畫」，2008。
35. 經濟部水利署，石門水庫營運四十年特刊，2003。
36. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「中庄調整池可行性規劃」，2009。
37. 經濟部水資源局，「台灣地區北部區域水資源綜合發展計畫」，1999。
38. 經濟部水利署，「台灣新竹科學工業園區旱災應變處理對策」，2002。
39. 經濟部水資源局，「石門水庫各標的用水中長期規劃暨區域產業發展探討及推動之研究」，2010。
40. 經濟部水資源局，「石門水庫供水區域整體水源利用規劃」，2010。
41. 經濟部水資源局，「石門水庫高濁度缺水分析及改善策略探討」，2008。
42. 萬象，「水庫即時優選操作與風險分析之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所，博士論文，1990。
43. 廖元熙，「水庫系統最佳營運及風險分析：以鯉魚潭水庫及石岡壩旬聯合營運為例」，國立台灣大學工學院土木工程學研究所，碩士論文，

1993。

44. 廖培明，「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，2002。
45. 劉子明，「氣候變遷對區域水資源衝擊評估整合系統之研究」，國立台灣大學生物環境系統工程學系，博士論文，2010。
46. 蔡耀逸，「桃園地區短期缺水供需策略之研究」，國立中央大學土木工程學系，碩士論文，2007。
47. 蕭政宗，「單一水庫系統缺水特性之探討」，台灣水利，47(2)：72-91頁，1999。
48. 蕭瑩琪，「石門水庫操作規線與缺水問題之關係探討」，中原大學土木工程學系，碩士論文，2005。
49. 謝進南，「高屏溪水資源系統供水可用度分析研究」，財團法人曹公農業水利研究發展基金會研究報告，1999。
50. 顏本琦、徐享崑、郭振泰，「水資源風險與可靠度分析簡介」，台灣水利，40(4)：1-11頁，1992。
51. 蘇文瑞，「水資源供需指標建立之研究」，國立中央大學土木工程學系，博士論文，2000。
52. Box, G. E. P., and G. M. Jenkins, "Times Series Analysis: Forecasting and Control", Holden-Day, Inc., San Francisco, 1976.
53. Gibbs, W. J., and Maher, J. V., "Rainfall Deciles as Drought Indicators", Australian Bureau of Meteorology Bulletin, pp.47-48, 1967.
54. Harms, A. A., and Campbell, T. H., "An Extension to The Thomas-Fiering Model for The Sequential Generation of Streamflow", Water Resources Research, Vol. 3, No. 4, pp.653-661, 1967.
55. Hashimoto, T., J. R. Stedinger., and D. P. Loucks., "Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation", Water Resources Research, Vol. 18, No.1, pp.14-20., February

- 1982.
56. Hsu, S. K., “Shortage Indices for Water-Resources Planning in Taiwan”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 121, No. 2, March/April, pp. 119-131, 1995.
 57. Lane, W. L., “Applied Stochastic Techniques (LAST Computer Package)”, User Manual. Division of Planning Technical Services, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, Dec. 1979.
 58. McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist., “The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales.”, Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 179-184, 1993.
 59. Mejia, J. M., and Rouselle, J., “Disaggregation Models in Hydrology Revisited” , *Water Resources Research*, Vol. 12, No. 2, pp. 185-186, 1976.
 60. Palmer, W.C., “Meteorological Drought”, U.S. Weather Bureau Research Paper, pp.45-58, 1965.
 61. Shafer, B. A. and L. E. Dezman., “Development of A Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snow Pack Runoff Areas”, *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp.164-175, 1982.
 62. Tang, W. A., and B. C. Yen., “Hydrologic and Hydraulic Design Under Uncertainties”, in *Uncertainties in Hydrology and Water Resources Systems*, ASCE, 1972.
 63. Valencia, D. R., and Schaake, J. C., Jr., “Disaggregation Processes in Stochastic Hydrology”, *Water Resources Research*, Vol. 9, No.3, pp. 580-585, 1973.
 64. Xu, Z., Jino K, Kawamura, A., Takesaki S., Ito k., “Performance Risk Analysis for Fukuoka Water Supply System”, *Water Resource Management*, 12, pp.13-30, 1998.
 65. Yeh, W.W.G., “Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review”, *Water Resources Research* ,21(12),pp.1797-1818,

1985.

66. Yen, B. C., and A. H.-S. Ang., “Risk Analysis in Design of Hydraulic Projects”, Stochastic Hydraulics, 1971.

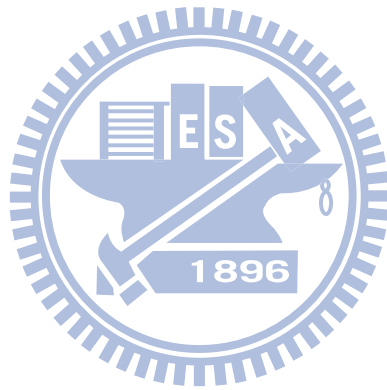


表 1.1 石門水庫及其集水區整治計畫

分項計畫名稱	工作內容	執行機關
一、緊急供水工程暨水庫更新改善	1.提升壩頂緊急抽水能力至96 萬噸及下游輸送管線 2.電廠及永久河道放流口緊急修復 3.桃園、新竹工業區地下水備援供水執行計畫 4.低水位時供水應變工程 5.增設水庫取水工程 6.後池改善、備援水池及河槽人工湖 7.水庫既有設施排砂功能改善工程 8.增設水庫防砂設施工程 9.調查、規劃、試驗及研究 10.水文及水質試驗監控中心新建工程 11.水庫相關設施修復及週邊環境改善 12.水庫泥砂淤積	經濟部(水利署北區水資源局)
二、穩定供水設施及幹管改善	1.改善尖山中繼加壓站 2.石門淨水廠增設50 萬噸原水蓄水池 3.龍潭淨水廠擴建 4.板新大漢溪水源南調桃園(含南北桃連通計畫) 5.桃竹雙向供水計畫	經濟部(台灣省自來水股份有限公司)
三、集水區保育治理	1.土地使用管理計畫 2.土地使用與環境生態、防災監測計畫 3.水庫集水區保育計畫 4.保育防災教育宣導計畫	農委會(水保局、林務局)、交通部、內政部(地政司及營建署)、原民會、經濟部(水利署北區水資源局)、桃園縣政府、新竹縣政府

資料來源：經濟部水利署(2008)，「石門水庫及其集水區整治計畫－第2階段執行計畫」。

表 2.1 相關指標比較

指標	相關指標比較
正常降雨百分率指標 (Nomorliza Index)	量測簡單，可以有效區分單一區域降雨狀況。
十分指數 (Deciles Index)	計算簡單且需要資料較少，且假設條件較少。 Gibbs、Maher(1967)
Palmer Drought Severity Index (PDI)	有效的測量土壤濕度條件，農業上可作為乾旱監控工具。Palmer(1965)
地表水供應指標 (Surface Water Supply Index)	計算方式簡單，能提供一個代表全地區的水供應狀況的度量值。Shafer、Dezman(1982)
標準化降雨指標 (SPI)	根據不同時間尺度將雨量值減去平均值，在除以標準差，可反應不同水資源對於乾旱的可用量。 Mckee,et al.(1993)
雙月連續最大部降雨日及雙月合計雨量	以降雨量反映缺水狀況，可以以月為單位來預估水資源供給面是否足夠。張炎銘(1991)
月豐缺指數	為上一項之改進，對乾旱狀況能適時反應。張炎銘(1991)
集水區綜合性乾旱指標	考量因子較多，可提供詳細之乾旱資訊。張調任等(1991)
乾旱指標	方法簡易，可提供乾旱延時即發生時間與缺水量等乾旱訊息。曾仁宏和顏正平(1994)
水資源供需指標	考量降雨、河川流量及水庫蓄水量等因子，可評估缺水之狀況。蘇文瑞(2000)

資料來源：蘇文瑞(2000)、王鈺閔(2009)

表 3.1 MAPE 評估預測準確度之準則

MAPE值	評估準則
MAPE < 10%	預測能力極佳 (愈接近0愈好)
10% < MAPE < 20%	預測能力優良
20% < MAPE < 50%	預測能力合理
50% < MAPE	預測能力不正確

資料來源：Lee, So and Tang. (2000)。

表 3.2 石門水庫資料一覽表

項目		概述
興辦單位		石門水庫建設委員會
管理機關		經濟部水利署北區水資源局
計畫標的		灌溉、給水、發電、
位置		桃園龍潭鄉、大溪鎮、復興鄉
河系		主流：淡水河 支流：大漢溪
水庫	集水面積	763.4平方公里
	正常蓄水位	245公尺
	最高洪水位標高	249.5公尺
	滿水位面積	8平方公里
	總蓄水量	3億912萬立方公尺(民國53年測) 2億5188萬立方公尺(民國86年測)
	計畫有效蓄水量	2億5188萬立方公尺(民國53年測) 2億3566萬立方公尺(民國77年測) 2億3380萬立方公尺(民國86年測)) 2億579萬立方公尺(民國98年測)
	現有效蓄水量	2億579萬立方公尺

資料來源：經濟部水利署北區水資源局網站(2008)

表 3.3 大漢溪流域之淨水廠供水能力及區域說明

供水區域	供水淨水廠	設計最大供水能力	供水區域	備註
南桃園	石門淨水廠	12萬CMD	平鎮、中壢、新屋、大園、觀音、楊梅、八德低地地區與新竹縣(湖口、新豐)	支援平鎮淨水廠供水
	平鎮淨水廠	60萬CMD	平鎮、中壢、新屋、大園、觀音、楊梅、八德低地地區與新竹縣(湖口、新豐)	提供南桃園所有工業區用水
	龍潭淨水廠	5萬CMD(預計提升為19CMD)	龍潭、大溪與復興部分地區	--
北桃園	大湳淨水廠	30萬CMD(預計擴建為45萬CMD)	桃園、龜山、蘆竹、大園(中正機場一帶)、八德高地地區台北縣(林口)	提供北桃園所有工業區用水
	板新淨水廠	120萬CMD	以支援性質供水至大湳淨水廠，包括蘆洲、泰山、五股、八里、樹林、新莊、土城、鶯歌、三峽、板橋等	最大支援量17萬CMD，增加頂山腳加壓站

資料來源：石門水庫及其集水區整治計畫之經濟效益評估(2009)

表 3.4 淨水廠處理能力

	大湳淨水廠	平鎮淨水廠	石門淨水廠	龍潭淨水廠	備註
NTU ≤ 1000	30	60	12	5.5	正常供水
1000 < NTU ≤ 2000	25	42	9.6	4	減量供水
2000 < NTU ≤ 5000	15	36	9	3.75	減量供水
5000 < NTU ≤ 10000	7	24	6	2.5	減量供水
NTU < 10000	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

表 3.5 石門水庫系統農業及工業用水需求

單位：秒立方公尺

月別	旬別	石門大圳	桃園大圳	中山及中油用水	共計(日)
1	上	0.00	1.18	0.35	1.18
	中	0.00	1.18	0.35	1.18
	下	0.00	1.18	0.35	1.18
2	上	3.50	11.72	0.39	15.22
	中	4.12	13.22	0.39	17.34
	下	4.12	14.14	0.39	18.26
3	上	5.08	14.74	0.38	19.82
	中	5.88	14.51	0.38	20.40
	下	6.68	14.71	0.38	21.40
4	上	5.76	13.16	0.39	18.92
	中	4.96	13.16	0.39	18.12
	下	4.96	13.30	0.39	18.26
5	上	4.78	12.60	0.40	17.38
	中	3.98	12.56	0.40	16.54
	下	3.98	12.47	0.40	16.45
6	上	4.90	12.32	0.40	17.22
	中	5.50	12.32	0.40	17.82
	下	6.10	12.32	0.40	18.42
7	上	6.90	14.40	0.39	21.30
	中	7.10	14.54	0.39	21.64
	下	7.10	14.97	0.39	22.07
8	上	7.04	14.37	0.39	21.40
	中	6.84	14.19	0.39	21.03
	下	6.84	14.02	0.39	20.86
9	上	6.12	12.55	0.40	18.67
	中	5.42	12.55	0.40	17.97
	下	5.82	12.55	0.40	18.37
10	上	6.59	12.71	0.39	19.30
	中	6.59	12.71	0.39	19.30
	下	5.99	12.71	0.39	18.70
11	上	5.67	11.76	0.39	17.43
	中	3.27	11.10	0.39	14.37
	下	2.07	9.62	0.39	11.69
12	上	0.00	1.18	0.36	1.18
	中	0.00	1.18	0.36	1.18
	下	0.00	1.18	0.36	1.18

表 3.6 各目標年自來水系統需求水量表

單位：萬立方公尺/日

目標年		100	105	110	115	120	備註
台灣北部區域水資源經理基本計畫(民國98年2月)	生活用水	73.2	75.0	76.3	-	-	採用「多元化水資源營運管理方案政策評估說明書」推估。
	工業用水	57.8	58.9	60.0	-	-	
	公共給水	131.0	133.9	136.3	-	-	
區域水資料擬定之研究(民國97年12月)	生活用水	73.0	75.6	80.5	83.8	86.5	趨勢量(不含自行取水)
	工業用水	58.7	64.5	66.0	66.7	67.4	中成長(不含自行取水)
	公共給水	131.7	140.1	146.5	150.5	153.9	
台灣地區水資源需求潛勢評估及經理策略檢討(民國98年12月)	生活用水	74.3	74.5	76.9	78.9	78.9	趨勢量(不含自行取水)
	工業用水	56.8	64.5	65.9	66.6	67.3	中成長(不含自行取水)
	公共給水	131.1	139.0	142.8	145.5	146.2	
石門水庫供水區整體水源利用規劃(民國99年12月)	生活用水	74.3	74.5	76.9	78.9	78.9	採用「台灣地區水資源需求潛勢評估及經理策略檢討」成果。
	工業用水	57.0	66.5	68.9	70.5	71.2	
	公共給水	131.3	141.0	145.8	149.4	150.1	
合計平均		131.275	138.5	142.85	148.47	150.06	

資料來源：石門水庫供水區整體水源利用規劃(2010)

表 3.7 大漢河流域之生態基流量

地區	控制點	控制點集水區面積 (平方公里)	生態基流保流量 (萬CMD)	所屬河系
桃園	石門水庫	763.40	8.904	大漢溪
	鳶山堰	869.00	10.136	大漢溪
	三峽流量站	112.60	1.313	大漢溪
	大漢溪與新店溪匯流口	1163	13.67	大漢溪

表 3.8 石門水庫近年颱風期間洪峰流量量測之濁度(NTU)資料

颱風名稱	尖峰流量	表層	5m	10m
海棠	3198	-	475	-
馬莎	5322	-	4700	-
泰利	3689	-	344	-
聖帕	1844	27	-	-
韋帕	2788	183	-	938
柯羅莎	5300	1191	3337	10594

資料來源：石門水庫高濁度缺水分析及改善策略檢討(2008)

表 3.9 石門水庫颱風事件洪峰流量與原水濁度相關資料彙整

降雨事件	量測位置	事件發生時間	總降雨量 (mm)	最大降雨 強度(mm)	洪峰流量 (cms)
馬莎	5m	2005/8/5 ~2005/8/9	830.5	55.8	5322
科羅莎	5m	2007/10/6 ~2007/10/9	691.0	50.4	5300
	10m	2007/10/6~2007/10/9	691.0	50.4	5300
辛樂克	10m	2008/9/15~2008/9/16	982.9	41.7	3500
	15m	2008/9/15~2008/9/16	982.9	41.7	3500

資料來源：石門水庫高濁度缺水分析及改善策略檢討(2008)

表 3.10 民國 98 年 12 月實測蓄水容積資料

水位高程	面積 (平方公尺)	各層容積 (立方公尺)	累積容積 (立方公尺)	備註
180	2,443.23			
185	93,227.39	184,604	184,604	
190	509,273.38	1,367,326	1,551,930	
195	1,083,688.58	3,893,095	5,445,025	呆容量
200	1,403,538.05	6,200,856	11,645,881	
205	1,740,219.47	7,844,326	19,490,207	
210	2,236,543.05	9,915,994	29,406,201	
215	2,621,470.20	12,132,304	41,538,505	
220	3,879,747.82	16,150,604	57,689,109	
225	4,522,796.79	20,985,826	78,674,935	
230	5,540,188.58	25,114,494	103,789,429	
235	6,676,092.76	30,496,599	134,286,028	
240	7,689,792.25	35,884,871	170,170,899	
245	8,748,174.71	41,066,493	211,237,392	總容量
註：	1.有效容量 205,792,367 立方公尺 2.呆容量：係指水庫標高 195m(呆水位)以下之庫容量。 195m→『石門水庫定案報告』所述之石門大圳進水口底部標高。			

資料來源：北區水資源局

表 3.11 旱災災害等級區分

系統別	等級區分	情況說明
公共給水	一級狀況	缺水率30%以上
	二級狀況	缺水率介於20至30%
	三級狀況	缺水率介於10至20%
農業給水	一級狀況	缺水率50%以上
	二級狀況	缺水率介於40至50%
	三級狀況	缺水率介於30至40%

資料來源：台灣新竹科學工業園區旱災應變處理對策(2002)



表 3.12 石門水庫淤積一覽表

期別	起迄年月	間隔	原容量 10 ³ M ³		有效容量 10 ³ M ³		合計 10 ³ M ³			年平均淤積 10 ³ M ³	
			剩餘	淤積	剩餘	淤積	剩餘	淤積	累計淤積	每期	累計
1	52.05-53.03	0.8	43,390	13,850	246,260	5,620	289,650	19,470	19,470		
2	53.03-54.04	1.1	43,220	170	245,660	600	288,880	770	20,240	700	10,653
3	54.04-55.05	1.1	42,080	1,140	244,810	850	286,890	1,990	22,230	1,809	7,410
4	55.05-56.05	1.0	40,450	1,630	244,250	560	284,700	2,190	24,420	2,190	6,105
5	56.05-57.06	1.1	38,630	1,820	244,890	-640	283,520	1,180	25,600	1,073	5,020
6	57.06-58.05	0.9	37,840	790	244,350	540	282,190	1,330	26,930	1,478	4,488
7	58.05-59.06	1.1	34,680	3,160	242,480	1,870	277,160	5,030	31,960	4,573	4,501
8	59.06-60.06	1.0	34,610	70	241,140	1,340	275,750	1,410	33,370	1,410	4,120
9	60.06-61.12	1.5	30,000	4,610	240,520	620	270,520	5,230	38,600	3,487	4,021
10	61.12-63.08	1.7	29,767	233	240,518	2	270,285	235	38,835	138	3,437
11	63.08-64.11	1.2	28,877	890	241,108	-590	269,985	300	39,135	250	3,131
12	64.11-65.11	1.0	29,480	-603	238,477	2,631	267,957	2,028	41,163	2,028	3,049
13	65.11-66.11	1.0	28,440	1,040	238,730	-253	267,170	787	41,950	787	2,893
14	66.11-67.11	1.0	28,534	-94	238,130	600	266,664	506	42,456	506	2,739
15	67.11-68.11	1.0	28,446	88	238,034	96	266,480	184	42,640	184	2,584
16	68.11-69.11	1.0	27,296	1,150	238,357	-323	265,653	827	43,467	827	2,484
17	69.11-70.11	1.0	27,155	141	238,375	-18	265,530	123	43,590	123	2,356
18	70.11-71.11	1.0	26,199	956	238,439	-64	264,638	892	44,482	892	2,281
19	71.11-72.11	1.0	25,554	645	238,986	-547	264,540	98	44,580	98	2,175
20	72.11-73.11	1.0	25,515	39	238,956	30	264,471	69	44,649	69	2,077
21	73.11-74.11	1.0	24,320	1,195	236,456	2,500	260,776	3,695	48,344	3,695	2,149
22	74.11-75.11	1.0	24,615	-295	236,036	420	260,651	125	48,469	125	2,063
23	75.11-76.11	1.0	24,868	-253	235,560	476	260,428	223	48,692	223	1,987
24	76.11-77.11	1.0	25,171	-303	235,669	-109	260,840	-412	48,280	-412	1,893
25	77.11-78.11	1.0	25,330	-159	235,337	332	260,667	173	48,453	173	1,828
26	78.11-79.11	1.0	24,367	963	235,607	-270	259,974	693	49,146	693	1,787
27	79.11-80.11	1.0	24,786	-419	236,590	-983	261,376	-1,402	47,744	-1,402	1,675
28	80.11-81.11	1.0	24,708	78	236,670	-80	261,378	-2	47,742	-2	1,618
29	81.11-82.11	1.0	24,972	-264	237,387	-717	262,359	-981	46,761	-981	1,533
30	82.11-83.11	1.0	22,751	2,221	239,075	-1,688	261,826	533	47,294	533	1,501
31	83.11-84.11	1.0	22,328	423	239,599	-524	261,927	-101	47,193	-101	1,452
32	84.11-85.11	1.0	18,762	3,566	234,495	5,104	253,257	8,670	55,863	8,670	1,668
33	85.11-86.11	1.0	17,954	808	233,826	669	251,780	1,477	57,340	1,477	1,662
34	86.11-87.11	1.0	17,682	272	233,086	740	250,768	1,012	58,352	1,012	1,644
35	87.11-88.11	1.0	17,544	138	232,766	320	250,310	458	58,810	458	1,611
36	88.11-89.11	1.0	17,476	68	232,560	206	250,036	274	59,084	274	1,576
37	89.11-90.11	1.0	15,407	2,069	238,251	-5,691	253,658	-3,622	55,462	-3,622	1,441
38	90.11-92.04	1.5	15,651	-244	237,601	650	253,252	406	55,868	271	1,397
39	92.04-93.03	1.0	15,216	435	237,760	-159	252,976	276	56,144	276	1,369
40	93.03-93.12	0.8	6,216	9,000	218,876	18,884	225,092	27,884	84,028	34,855	2,010
41	93.12-94.12	1.0	4,925	1,291	217,835	1,041	222,760	2,332	86,360	2,332	2,018
42	94.12-95.12	1.0	5,943	-1,017	217,825	9	223,768	-1,008	85,352	-1,008	1,949
43	95.12-96.12	1.0	5,066	877	209,078	8,747	214,144	9,624	94,976	9,624	2,120
44	96.12-97.12	1.0	5,150	-84	209,692	-614	214,842	-698	94,278	-698	2,058
45	97.12-98.12	1.0	5,370	-220	206,009	3,683	211,379	3,463	97,741	3,463	2,088
46	98.12-99.12	1.0	5,832	-462	207,309	-1,300	213,141	-1,762	95,979	-1,762	2,008
合計		47.8		51,408		44,571		95,979			
容量損失			89.81%		17.70%		31.05%				

附註： 1.水庫設計總容量 309,120*10³M³,有效設計容量 251,880*10³M³,原容量 57,240*10³M³。
 2.1~36 期僅測量 34 條主斷面,修正 1/10000 舊地形等高線,以求積儀測面積及計算容積。
 3.第 37 期起,全面均勻測量水深,新測 1/1000 地形圖,電腦檔案計算面積及容積。
 4.第 45 期別尚未驗收完成,僅供參考。

資料來源：北區水資源局年報

表 3.13 模式驗證比較表

名稱	石門水庫操作規線與缺水問題之關係探討_蕭瑩琪	本模式驗證
模擬年限	70~92 年	70~92 年
運轉規則	石門水庫運用規線(M-5 規線)再搭配「經濟部石門水庫運用要點」運轉操作。	石門水庫運用規線(M-5 規線)再搭配「經濟部石門水庫運用要點」運轉操作。
入流量	歷年石門水庫旬進水量統計表	歷年石門水庫旬進水量統計表
需水量	歷年石門水庫旬出水量統計表	歷年石門水庫旬出水量統計表
庫容	23700 萬立方公尺	98 年 12 月量測結果 206,00 萬立方公尺
比較	石門水庫歷年水位表	本研究模擬結果之水位

表 3.14 模式模擬結果比較表

	蕭瑩琪	模擬結果
	到達嚴重下限時間(旬)	到達嚴重下限時間(旬)
72 年	21~26、31~36 旬	19~36 旬
73 年	1~10 旬	1~12 旬
80 年	8~12 旬	8~12 旬
82 年	27~36 旬	27~36 旬
83 年	1~7 旬	1~7 旬
84 年	34~36 旬	32~36 旬
85 年	1~11 旬	1~11 旬
91 年	7~18 旬	7~18 旬
92 年	8~9、36 旬	8~9、36 旬

表 3.15 旬日模擬結果比較表

年	旬模擬	天數	日模擬	天數
54	7~16 旬	100	3/5~6/17	109
55	7~15 旬	90	3/6~6/1	88
56	11~14 旬	40	4/10、4/14~5/22	40
62	8~15、20~27 旬	160	3/20~5/20、5/26~6/1、 7/11~9/30	151
63	9 旬	10	3/20~4/11	23
66	9~15 旬	70	3/26~6/9	76
72	36 旬	10	12/21~12/31	11
73	1~14 旬	140	1/1~5/21	141
82	35~36 旬	20	12/11~12/31	21
83	1~17 旬	170	1/1~7/10	191
85	3~14、19~20 旬	140	1/21~5/27、7/1~7/20	147
91	14~18 旬	50	5/19、5/20、5/25~7/1	40
92	7~36 旬	300	3/8~12/31	299
93	1~22 旬	220	1/1~8/18	230
98			7/28~7/31	4



表 3.16 石門水庫運用規線

月份(月底)	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
上限標高(M)	245	243	240	237.5	235	235	236	240	240	245	245	245
下限標高(M)	240	235	230	220	215	215	220	225	225	230	235	240
嚴重下限標高(M)	225	220	220	215	205	205	210	210	210	210	215	220

表 4.1 不同打折數之關係表

案例	公共用水	農業用水	SI	可靠度	恢復度	脆弱度	缺水天數 總和	缺水次數
1	0.8	0.5	0.577	0.785	0.018	0.043	3682	67
2	0.8	0.4	0.518	0.797	0.024	0.041	3482	84
3	0.8	0.3	0.470	0.806	0.032	0.040	3324	105
4	0.8	0.2	0.454	0.819	0.043	0.039	3110	134
5	0.8	0.1	0.439	0.830	0.050	0.039	2910	145
6	0.8	0	0.427	0.841	0.060	0.038	2735	164
7	0.7	0.5	0.501	0.798	0.025	0.041	3472	86
8	0.7	0.4	0.457	0.810	0.037	0.040	3265	121
9	0.7	0.3	0.441	0.821	0.045	0.039	3079	140
10	0.7	0.2	0.428	0.832	0.052	0.038	2888	149
11	0.7	0.1	0.416	0.844	0.059	0.038	2678	159
12	0.7	0	0.407	0.857	0.081	0.038	2454	200

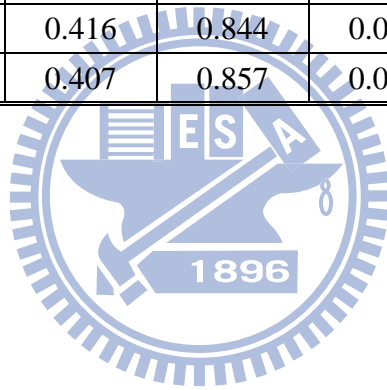


表 4.2 不考慮農業之需求水量關係表

需求水量 (萬立方公尺/日)	SI	可靠度	恢復度	脆弱度
70	0.002	1.000	0.000	0.002
80	0.005	1.000	0.000	0.003
90	0.009	1.000	0.000	0.005
100	0.013	1.000	0.000	0.006
110	0.019	1.000	0.000	0.008
120	0.027	1.000	0.000	0.009
130	0.038	1.000	0.000	0.011
140	0.051	1.000	0.000	0.013
150	0.068	1.000	0.000	0.015
160	0.098	0.999	0.154	0.017
170	0.131	0.992	0.037	0.020
180	0.156	0.979	0.045	0.021
190	0.181	0.962	0.044	0.023
200	0.205	0.940	0.025	0.025
210	0.233	0.912	0.022	0.027
220	0.270	0.883	0.020	0.029
230	0.342	0.850	0.016	0.032
240	0.412	0.817	0.016	0.035
250	0.478	0.781	0.020	0.037
260	0.547	0.742	0.017	0.039
270	0.628	0.699	0.018	0.042
280	0.713	0.657	0.015	0.045
290	0.804	0.619	0.012	0.048
300	0.897	0.586	0.011	0.051
310	1.014	0.557	0.010	0.055
320	1.136	0.522	0.010	0.058
330	1.262	0.485	0.010	0.061
340	1.395	0.453	0.009	0.065

表 4.3 不同目標年考慮需求水量之關係表

單位：萬立方公尺/日

目標年 (目標年需求水量)	100 (131.3)	105 (141)	110 (145.8)	115 (149.4)	120 (150.1)
SI	0.301	0.488	0.511	0.533	0.539
可靠度	0.951	0.824	0.810	0.797	0.794
恢復度	0.041	0.023	0.022	0.021	0.021
脆弱度	0.030	0.039	0.040	0.041	0.041
總缺水天數	848	3015	3266	3491	3538
缺水次數	35	68	73	73	74



表 4.4 需求水量關係表

需求水量(萬立方公尺/日)	SI	可靠度	恢復度	脆弱度
30	0.050	1.000	0	0.009
40	0.094	1.000	0	0.012
50	0.138	0.998	0.065	0.015
60	0.178	0.992	0.037	0.019
70	0.216	0.984	0.065	0.021
80	0.255	0.970	0.044	0.024
90	0.296	0.950	0.044	0.027
100	0.341	0.930	0.033	0.030
110	0.372	0.908	0.030	0.032
120	0.400	0.881	0.024	0.034
130	0.435	0.853	0.023	0.036
140	0.483	0.827	0.023	0.039
150	0.537	0.794	0.020	0.041
160	0.616	0.760	0.021	0.044
170	0.698	0.728	0.021	0.047
180	0.777	0.690	0.022	0.049
190	0.851	0.652	0.018	0.051
200	0.933	0.617	0.016	0.054
210	1.020	0.586	0.014	0.057
220	1.126	0.550	0.013	0.060
230	1.228	0.518	0.014	0.062
240	1.336	0.483	0.013	0.064
250	1.439	0.450	0.013	0.067
260	1.556	0.421	0.011	0.069
270	1.700	0.396	0.011	0.072
280	1.873	0.371	0.011	0.077
290	2.049	0.347	0.009	0.080
300	2.240	0.326	0.009	0.085
310	2.452	0.306	0.008	0.090
320	2.695	0.291	0.007	0.096
330	2.959	0.278	0.007	0.103
340	3.229	0.264	0.007	0.109

表 4.5 不同目標年不同庫容之關係表

目標年 100_(131.3 萬立方公尺/日)							
庫容	SI	可靠度	恢復度	脆弱度	總缺水天數	缺水次數	總天數
15000	0.332	0.874	0.026	0.033	2163	56	17155
16000	0.327	0.892	0.030	0.033	1861	56	17155
17000	0.325	0.907	0.032	0.033	1594	51	17155
18000	0.324	0.920	0.034	0.033	1368	46	17155
19000	0.323	0.929	0.033	0.032	1212	40	17155
20000	0.322	0.938	0.034	0.032	1064	36	17155
21000	0.324	0.944	0.032	0.032	955	31	17155
22000	0.325	0.951	0.036	0.032	842	30	17155
目標年 105_(141 萬立方公尺/日)							
庫容	SI	可靠度	恢復度	脆弱度	總缺水天數	缺水次數	總天數
15000	0.540	0.702	0.018	0.040	5107	92	17155
16000	0.531	0.723	0.020	0.040	4755	95	17155
17000	0.526	0.740	0.020	0.040	4457	89	17155
18000	0.521	0.761	0.019	0.040	4107	80	17155
19000	0.517	0.779	0.021	0.040	3795	79	17155
20000	0.519	0.795	0.019	0.040	3520	66	17155
21000	0.519	0.812	0.019	0.040	3218	60	17155
22000	0.520	0.827	0.016	0.041	2962	48	17155
目標年 110_(145.8 萬立方公尺/日)							
庫容	SI	可靠度	恢復度	脆弱度	總缺水天數	缺水次數	總天數
15000	0.563	0.685	0.017	0.041	5400	93	17155
16000	0.558	0.706	0.019	0.041	5043	96	17155
17000	0.551	0.725	0.020	0.041	4716	92	17155
18000	0.546	0.744	0.022	0.041	4400	95	17155
19000	0.543	0.763	0.020	0.041	4060	80	17155
20000	0.544	0.780	0.019	0.041	3773	71	17155
21000	0.546	0.795	0.019	0.041	3518	67	17155
22000	0.553	0.813	0.019	0.042	3203	62	17155
目標年 115_(149.4 萬立方公尺/日)							
庫容	SI	可靠度	恢復度	脆弱度	總缺水天數	缺水次數	總天數
15000	0.580	0.673	0.018	0.042	5604	100	17155
16000	0.576	0.694	0.019	0.042	5242	100	17155
17000	0.571	0.715	0.018	0.042	4882	90	17155

18000	0.566	0.733	0.017	0.042	4584	78	17155
19000	0.566	0.751	0.019	0.042	4279	82	17155
20000	0.566	0.769	0.019	0.042	3961	77	17155
21000	0.568	0.785	0.018	0.042	3680	65	17155
22000	0.574	0.802	0.019	0.042	3384	66	17155
目標年 120_(150.1 萬立方公尺/日)							
庫容	SI	可靠度	恢復度	脆弱度	總缺水天數	缺水次數	總天數
15000	0.587	0.669	0.018	0.042	5674	104	17155
16000	0.582	0.691	0.019	0.042	5298	101	17155
17000	0.578	0.711	0.018	0.042	4955	89	17155
18000	0.573	0.729	0.017	0.042	4647	80	17155
19000	0.573	0.746	0.018	0.042	4354	78	17155
20000	0.575	0.765	0.017	0.042	4027	70	17155
21000	0.577	0.783	0.019	0.043	3730	72	17155
22000	0.582	0.799	0.020	0.043	3445	69	17155

表 4.6 庫容關係表

庫容	SI	可靠度	恢復度	脆弱度
8000	0.4155	0.667	0.023	0.033
9000	0.3938	0.719	0.023	0.033
10000	0.3748	0.754	0.025	0.032
11000	0.3585	0.786	0.025	0.032
12000	0.3435	0.815	0.027	0.031
13000	0.3309	0.842	0.028	0.031
14000	0.3215	0.866	0.031	0.031
15000	0.3134	0.886	0.032	0.031
16000	0.3090	0.903	0.034	0.031
17000	0.3065	0.917	0.034	0.031
18000	0.3032	0.926	0.035	0.031
19000	0.3011	0.935	0.036	0.031
20000	0.3006	0.942	0.040	0.031
21000	0.3010	0.950	0.038	0.030
22000	0.3024	0.957	0.045	0.030
23000	0.3052	0.964	0.041	0.030
24000	0.3095	0.970	0.037	0.030
25000	0.3184	0.975	0.044	0.031

表 4.7 不同目標年模擬_有分層取水工

單位：萬立方公尺/日

目標年 (目標年需求水量)	100 (131.3)	105 (141)	110 (145.8)	115 (149.4)	120 (150.1)
SI_有分層取水工	0.301	0.488	0.511	0.533	0.539
可靠度_有分層取水工	0.951	0.824	0.810	0.797	0.794
恢復度_有分層取水工	0.041	0.023	0.022	0.021	0.021
脆弱度_有分層取水工	0.030	0.039	0.040	0.041	0.041
總缺水天數_有分層取水工	848	3015	3266	3491	3538
缺水次數_有分層取水工	35	68	73	73	74

表 4.8 不同目標年模擬_無分層取水工

單位：萬立方公尺/日

目標年 (目標年需求水量)	100 (131.3)	105 (141)	110 (145.8)	115 (149.4)	120 (150.1)
SI_無分層取水工	0.324	0.529	0.555	0.578	0.584
可靠度_無分層取水工	0.936	0.810	0.795	0.782	0.779
恢復度_無分層取水工	0.143	0.057	0.054	0.050	0.049
脆弱度_無分層取水工	0.036	0.047	0.048	0.049	0.049
缺水天數_無分層取水工	1102	3267	3518	3742	3789
缺水次數_無分層取水工	158	187	191	186	187

表 4.9 繁衍之流量統計特性(1/3)

單位：萬立方公尺	平均數	標準差	離散係數	最小值	最大值
原始	147299	49474	0.336	56468	275225
繁衍 1	135430	45176	0.334	64230	314249
繁衍 2	134074	40302	0.301	69496	277412
繁衍 3	134101	42112	0.314	69345	288129
繁衍 4	133269	36263	0.272	61624	223532
繁衍 5	133886	40757	0.304	66648	245889
繁衍 6	133612	37307	0.279	63991	270399
繁衍 7	134742	39158	0.291	65669	271168
繁衍 8	134488	40216	0.299	62694	255007
繁衍 9	136780	46915	0.343	67140	323359
繁衍 10	133363	36759	0.276	64637	251110
繁衍 11	136130	41563	0.305	62565	275661
繁衍 12	135583	44398	0.327	67554	280969
繁衍 13	135098	42358	0.314	63452	280254
繁衍 14	134393	38348	0.285	67874	273663
繁衍 15	134387	42878	0.319	61941	296874
繁衍 16	132139	39142	0.296	71685	259370
繁衍 17	134081	41893	0.312	63670	294442
繁衍 18	137318	44224	0.322	64180	288399
繁衍 19	132638	37346	0.282	63203	241927
繁衍 20	132999	35789	0.269	64396	244665
繁衍 21	134842	39609	0.294	65449	253870
繁衍 22	134999	42625	0.316	66747	255793
繁衍 23	137182	43019	0.314	60824	273768
繁衍 24	134494	39333	0.292	63092	270834
繁衍 25	130445	35128	0.269	68230	236888
繁衍 26	133364	37033	0.278	61969	220402
繁衍 27	136008	49787	0.366	62791	374565
繁衍 28	133731	40683	0.304	65569	265575
繁衍 29	132500	37067	0.280	64198	242130
繁衍 30	135866	42955	0.316	62448	267439
繁衍 31	131250	38011	0.290	66286	245481
繁衍 32	133696	40459	0.303	69409	274824
繁衍 33	136209	43083	0.316	63887	290432

表 4.10 繁衍之流量統計特性(2/3)

單位：萬立方公尺	平均數	標準差	離散係數	最小值	最大值
原始	147299	49474	0.336	56468	275225
繁衍 34	134725	40199	0.298	62920	257134
繁衍 35	132029	39578	0.300	64642	280357
繁衍 36	133978	39538	0.295	64508	265504
繁衍 37	134622	38484	0.286	67659	260736
繁衍 38	132655	37495	0.283	63026	239121
繁衍 39	133997	39694	0.296	66232	253616
繁衍 40	132085	36875	0.279	65564	234712
繁衍 41	133147	39200	0.294	67792	250746
繁衍 42	132870	34475	0.259	67048	228020
繁衍 43	134114	41361	0.308	63167	273005
繁衍 44	133961	40737	0.304	63711	266484
繁衍 45	133190	38315	0.288	65060	254972
繁衍 46	133757	36736	0.275	67153	254884
繁衍 47	134131	38813	0.289	67443	260137
繁衍 48	134403	37817	0.281	62892	246247
繁衍 49	131700	39732	0.302	61789	278412
繁衍 50	134875	46768	0.347	65165	347593
繁衍 51	133046	38897	0.292	65691	236577
繁衍 52	137845	47494	0.345	66578	317278
繁衍 53	133822	39507	0.295	67318	253847
繁衍 54	135266	40767	0.301	61684	272496
繁衍 55	133964	42818	0.320	66314	315788
繁衍 56	134786	37378	0.277	62130	217978
繁衍 57	132192	36364	0.275	66851	224520
繁衍 58	135446	40832	0.301	64991	258622
繁衍 59	135741	41657	0.307	65910	277472
繁衍 60	132281	35745	0.270	64382	224848
繁衍 61	133431	42303	0.317	63443	304785
繁衍 62	134606	38790	0.288	65458	261667
繁衍 63	134930	41084	0.304	63996	255333
繁衍 64	136117	41414	0.304	67577	266507
繁衍 65	133939	43795	0.327	69924	318452
繁衍 66	132902	41330	0.311	63232	305977
繁衍 67	133543	39376	0.295	62617	260365

表 4.11 繁衍之流量統計特性(3/3)

單位：萬立方公尺	平均數	標準差	離散係數	最小值	最大值
原始	147299	49474	0.336	56468	275225
繁衍 68	135172	42202	0.312	64364	283337
繁衍 69	134015	42568	0.318	70218	295421
繁衍 70	135454	44740	0.330	62783	294479
繁衍 71	134645	38828	0.288	64893	264940
繁衍 72	136788	42829	0.313	65195	267166
繁衍 73	136146	42817	0.314	63296	277781
繁衍 74	134266	42184	0.314	67507	280791
繁衍 75	133681	36478	0.273	65584	274664
繁衍 76	135061	41325	0.306	66772	284038
繁衍 77	133665	37223	0.278	61504	244906
繁衍 78	134545	37887	0.282	65828	255126
繁衍 79	133419	37538	0.281	70424	234581
繁衍 80	130741	37482	0.287	65064	293517
繁衍 81	134720	40458	0.300	66544	254198
繁衍 82	133947	35747	0.267	61573	231832
繁衍 83	136419	39939	0.293	66935	268168
繁衍 84	137237	49293	0.359	65491	335339
繁衍 85	133347	40777	0.306	70148	262450
繁衍 86	134041	40289	0.301	63496	255039
繁衍 87	133531	39546	0.296	63335	250692
繁衍 88	136075	44615	0.328	63146	283045
繁衍 89	133286	37774	0.283	59523	221888
繁衍 90	136844	43420	0.317	61162	273951
繁衍 91	135754	42817	0.315	63211	268402
繁衍 92	134145	40889	0.305	67120	273550
繁衍 93	133268	37815	0.284	64909	250501
繁衍 94	135465	37675	0.278	64960	256534
繁衍 95	133987	38840	0.290	64415	245066
繁衍 96	132605	38948	0.294	63008	223359
繁衍 97	132605	38948	0.294	63008	223359
繁衍 98	139784	58550	0.419	66908	443437
繁衍 99	134917	41981	0.311	64229	283592
繁衍 100	133568	41223	0.309	68275	252255

表 4.12 繁衍值結果比較表

不考慮濁度	SI	可靠度	恢復度	脆弱度	缺水天數	缺水次數
繁衍值_平均值	0.196	0.987	0.061	0.024	226	13
繁衍值_標準偏差	0.0159	0.0024	0.0141	0.0009	42	3
考慮濁度	SI	可靠度	恢復度	脆弱度	缺水天數	缺水次數
繁衍值_平均值	0.209	0.976	0.256	0.028	406	103
繁衍值_標準偏差	0.0159	0.0026	0.0268	0.0010	44	5



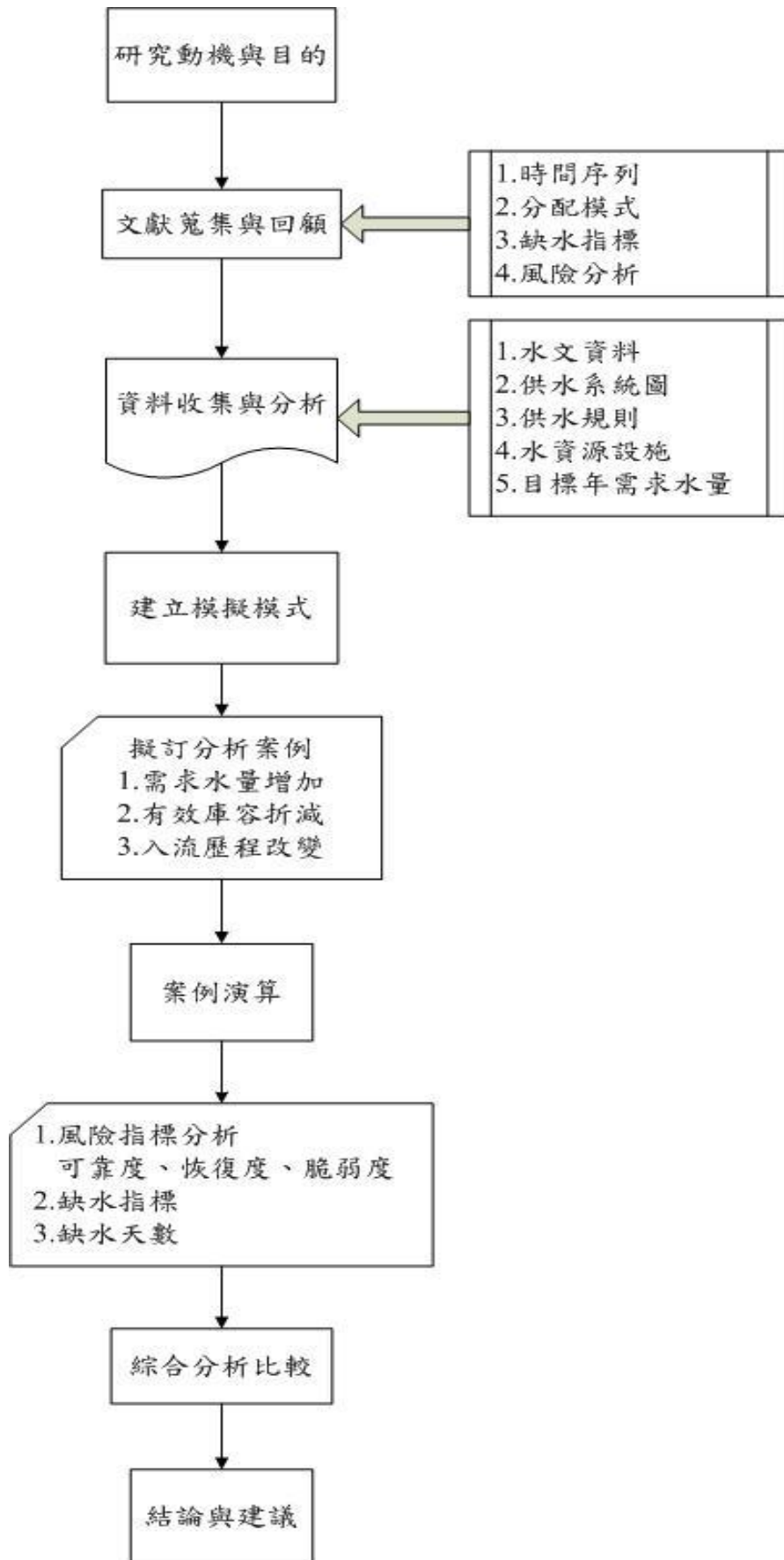


圖 1.1 論文組織架構流程圖

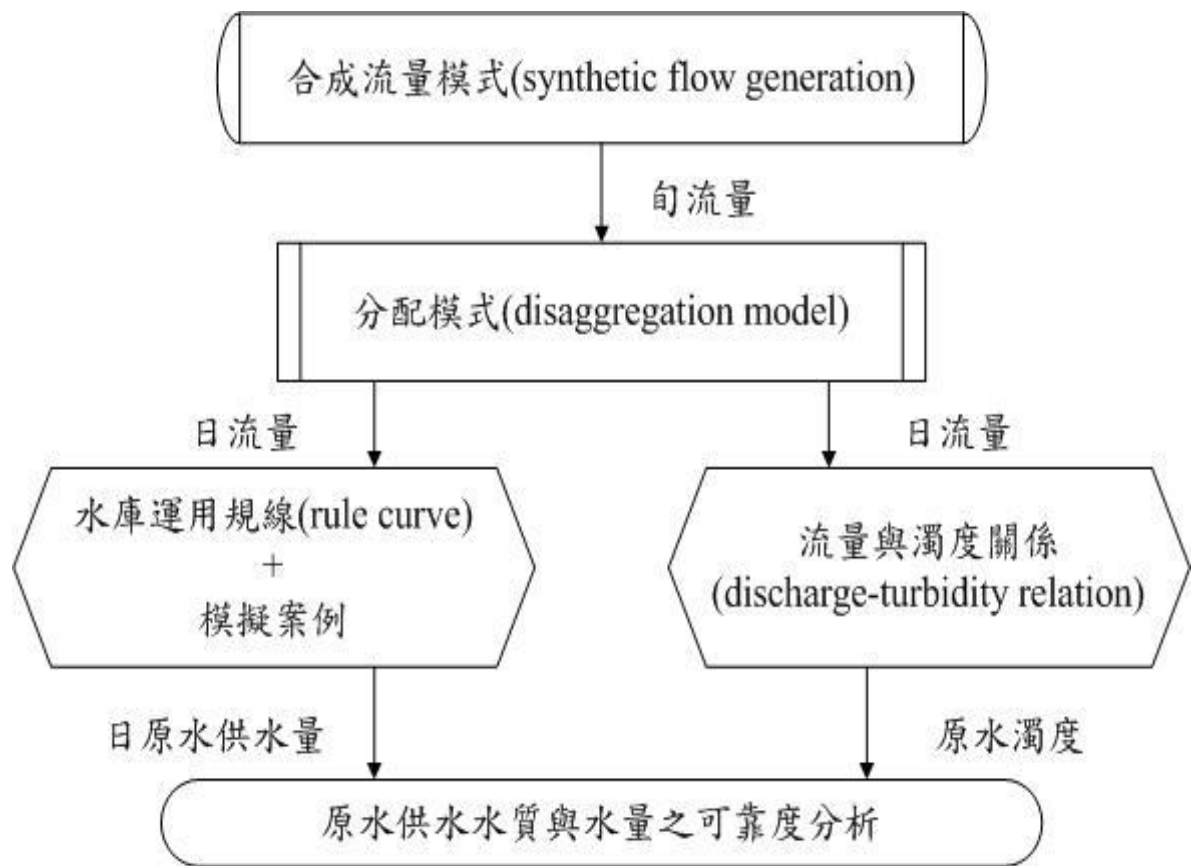


圖 2.1 序率水文分析流程圖

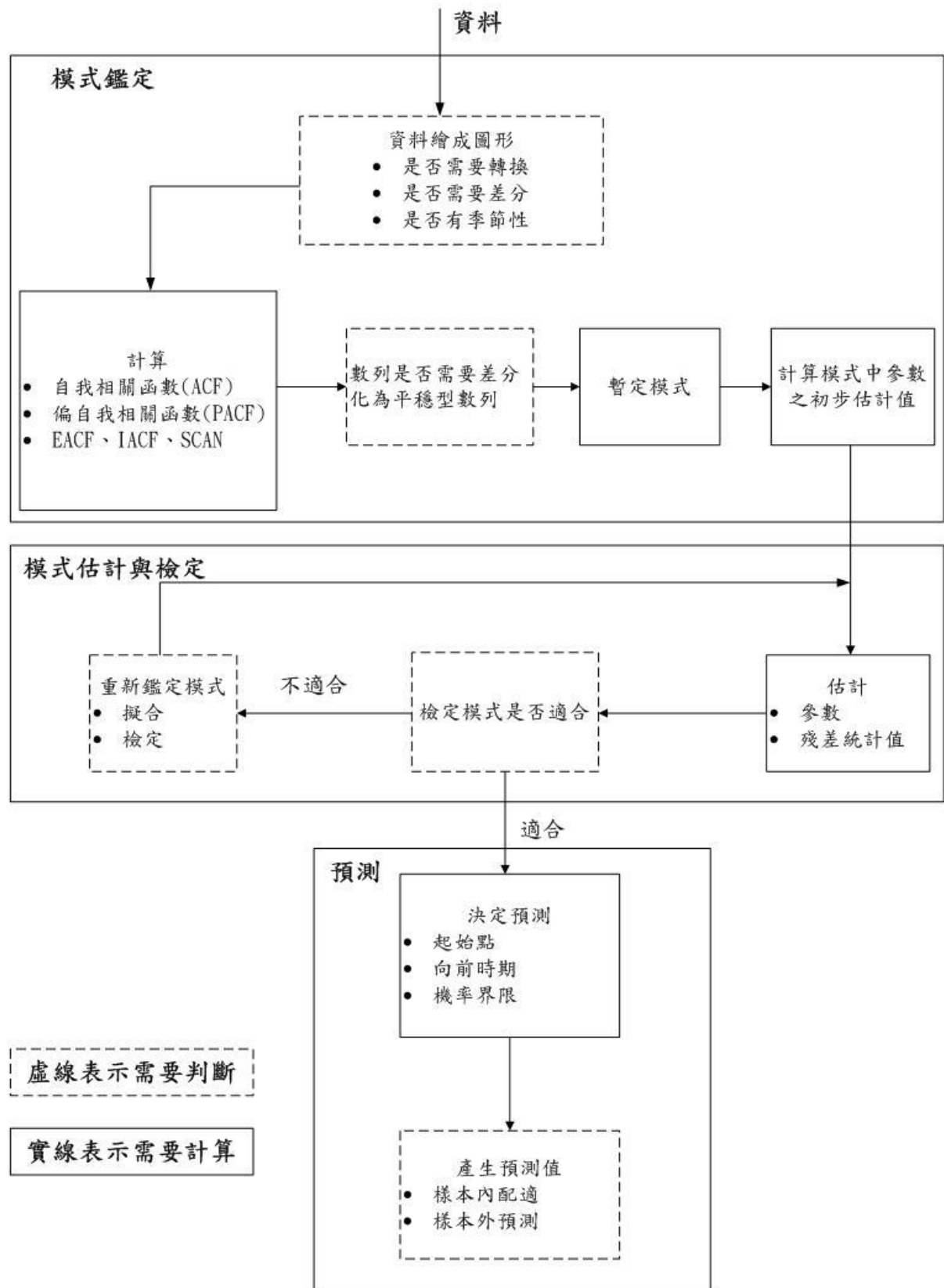


圖 3.1 時間序列評估流程圖

資料來源：時間數列分析與預測，林茂文。



圖 3.2 石門水庫集水區範圍圖

資料來源：北區水資源局

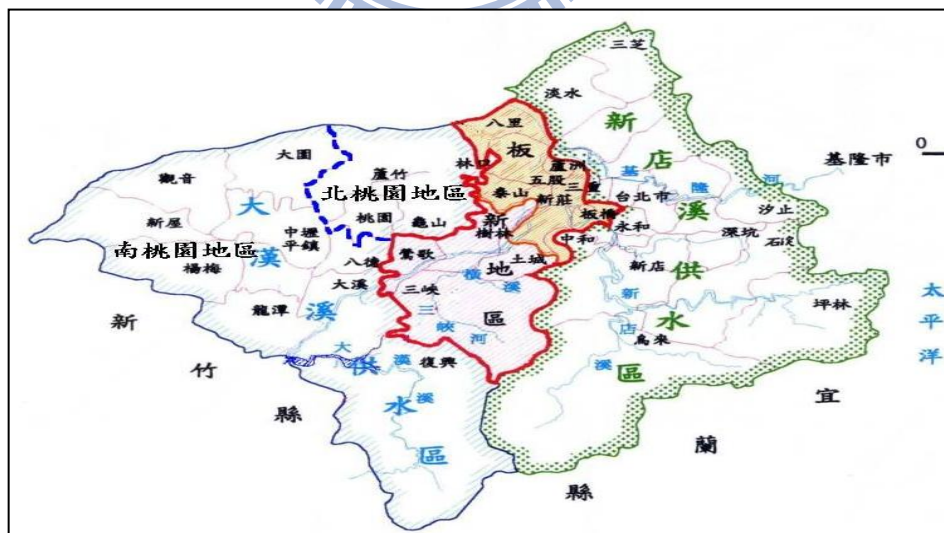


圖 3.3 石門水庫原水供應地區

資料來源：台灣自來水公司

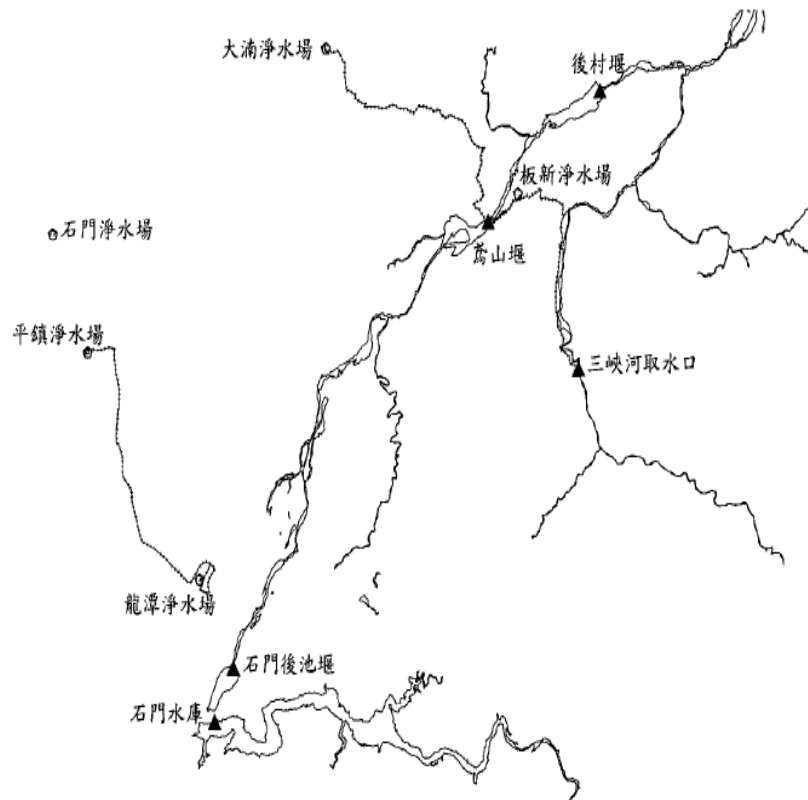


圖 3.4 大漢溪相關水利設施分佈圖

資料來源：通用性區域水資源調度與供需分析模式建立(2004)

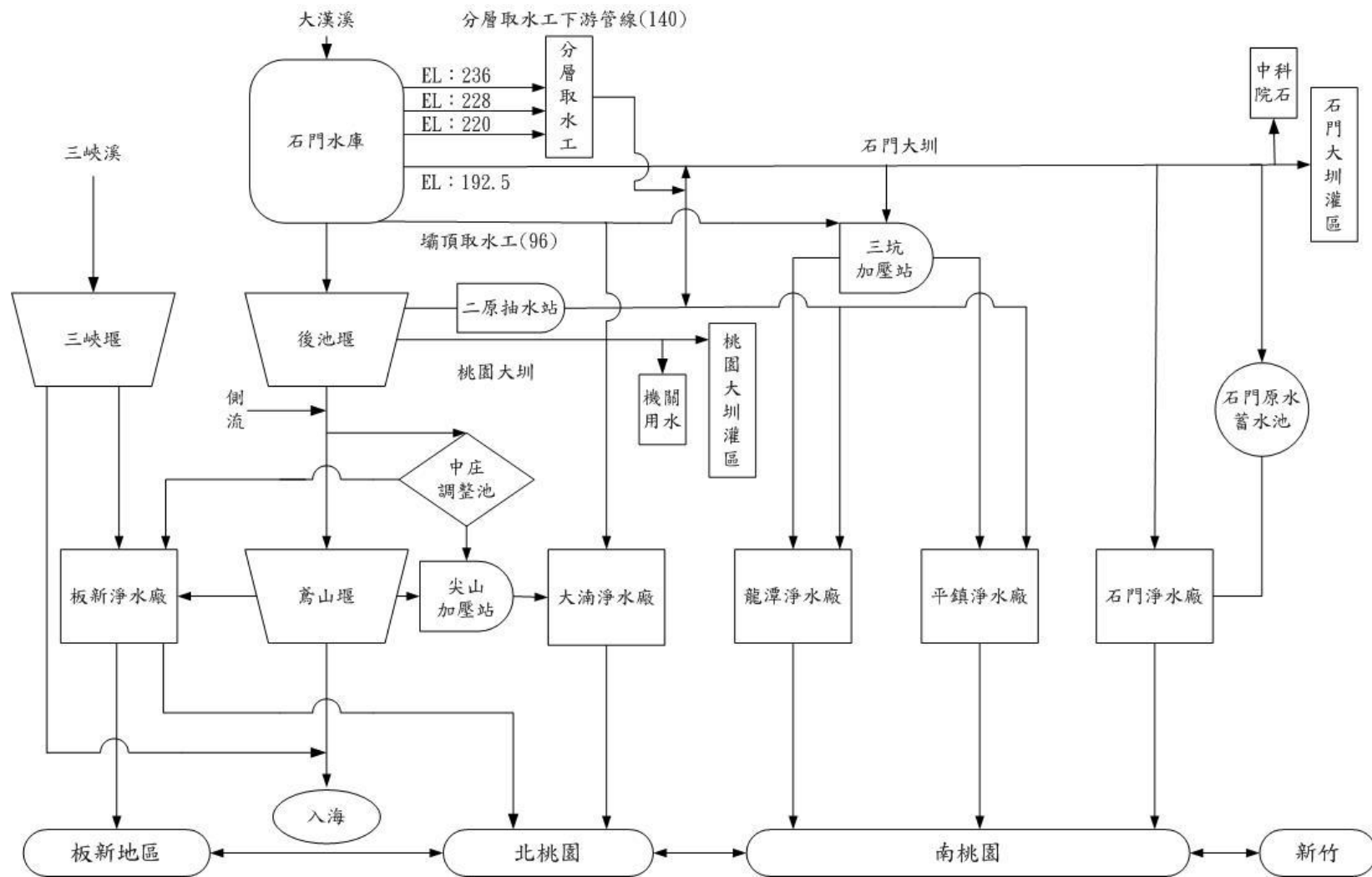


圖 3.5 石門水庫供水區域取水系統示意圖

資料來源：修至，石門水庫供水區整體水源利用規劃(2010)

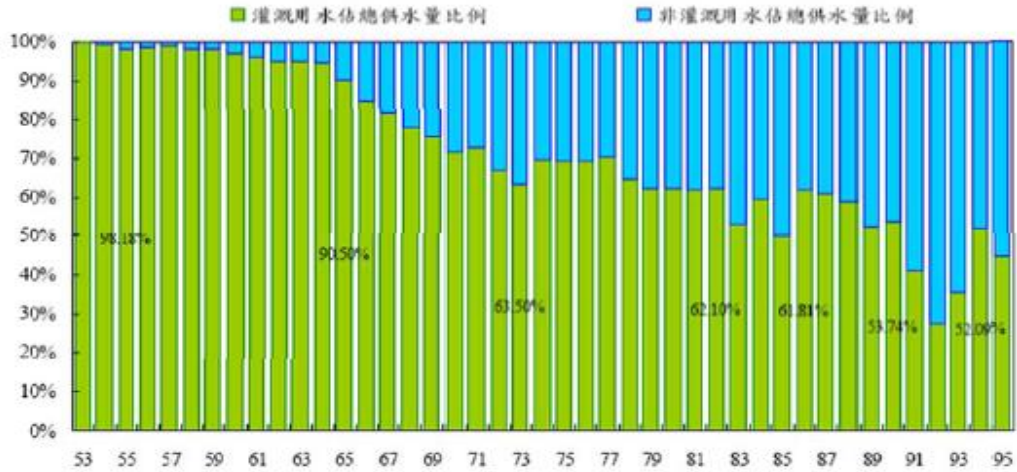


圖 3.6 石門水庫灌溉與非灌溉用水占總供水比例

資料來源：石門水庫水權水量之分析與研究檢討(2008)

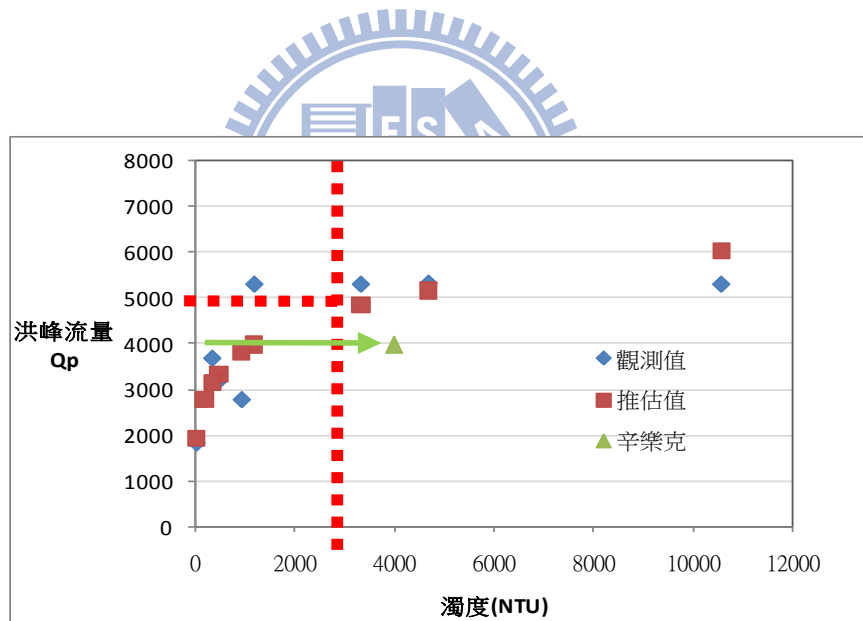


圖3.7洪峰流量與濁度相關資料圖

資料來源：石門水庫高濁度缺水分析及改善策略檢討(2008)

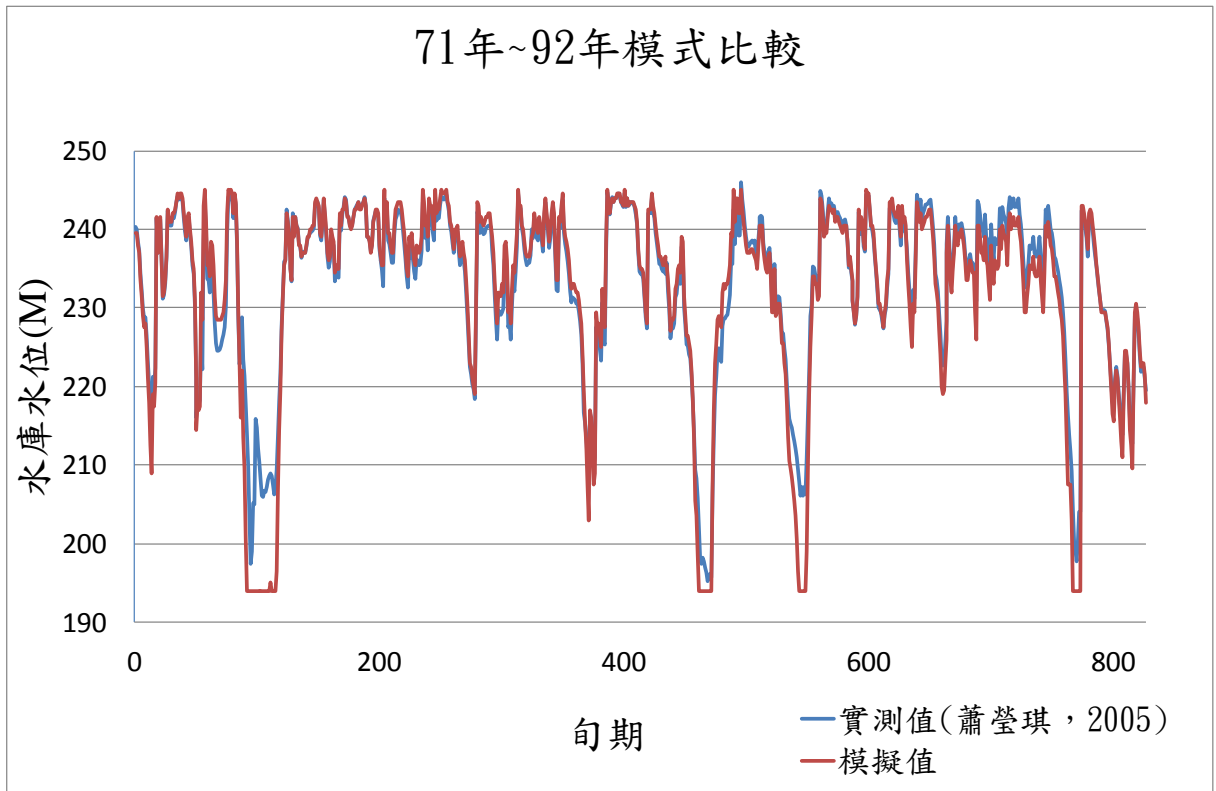


圖 3.8 模式驗證比較圖

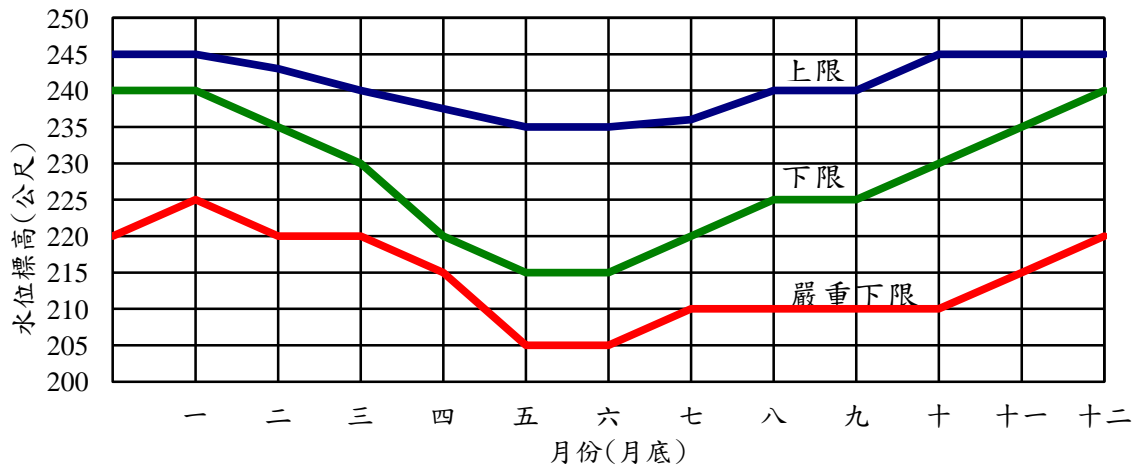


圖 3.9 石門水庫運用規線圖

資料來源：北區水資源局

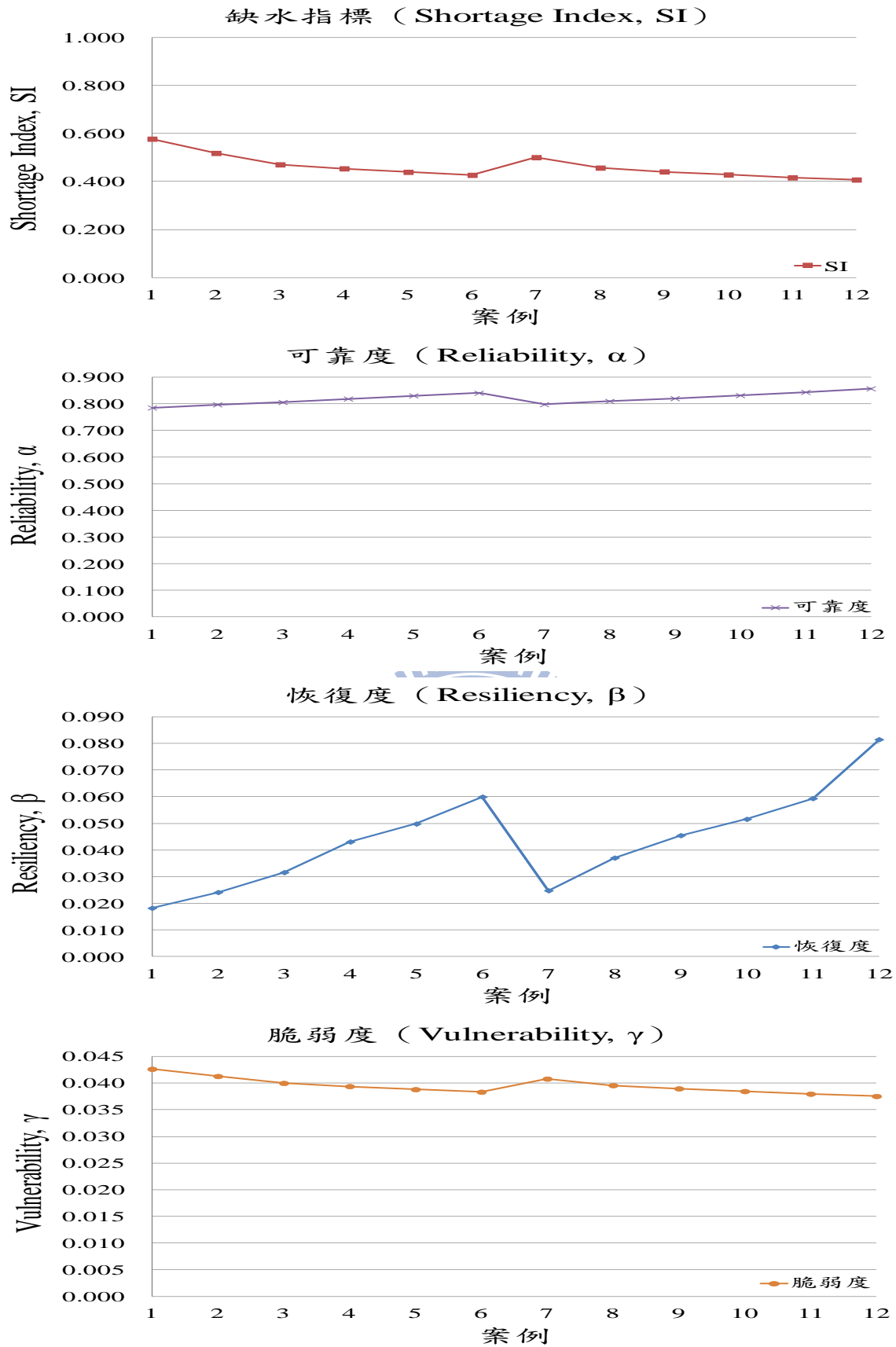


圖 4.1 不同打折數之關係圖

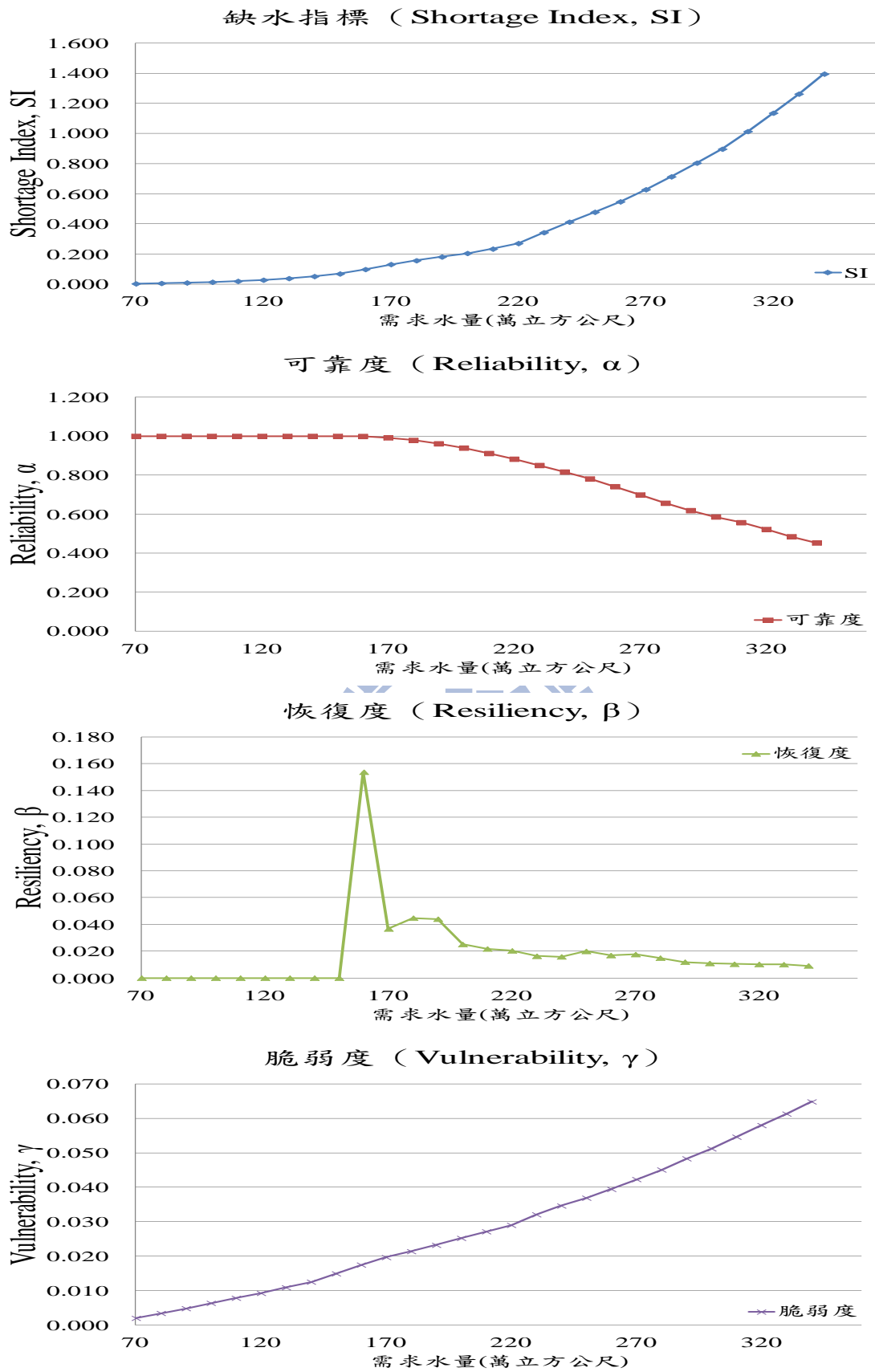


圖 4.2 不考慮農業之需求水量及各指標關係圖

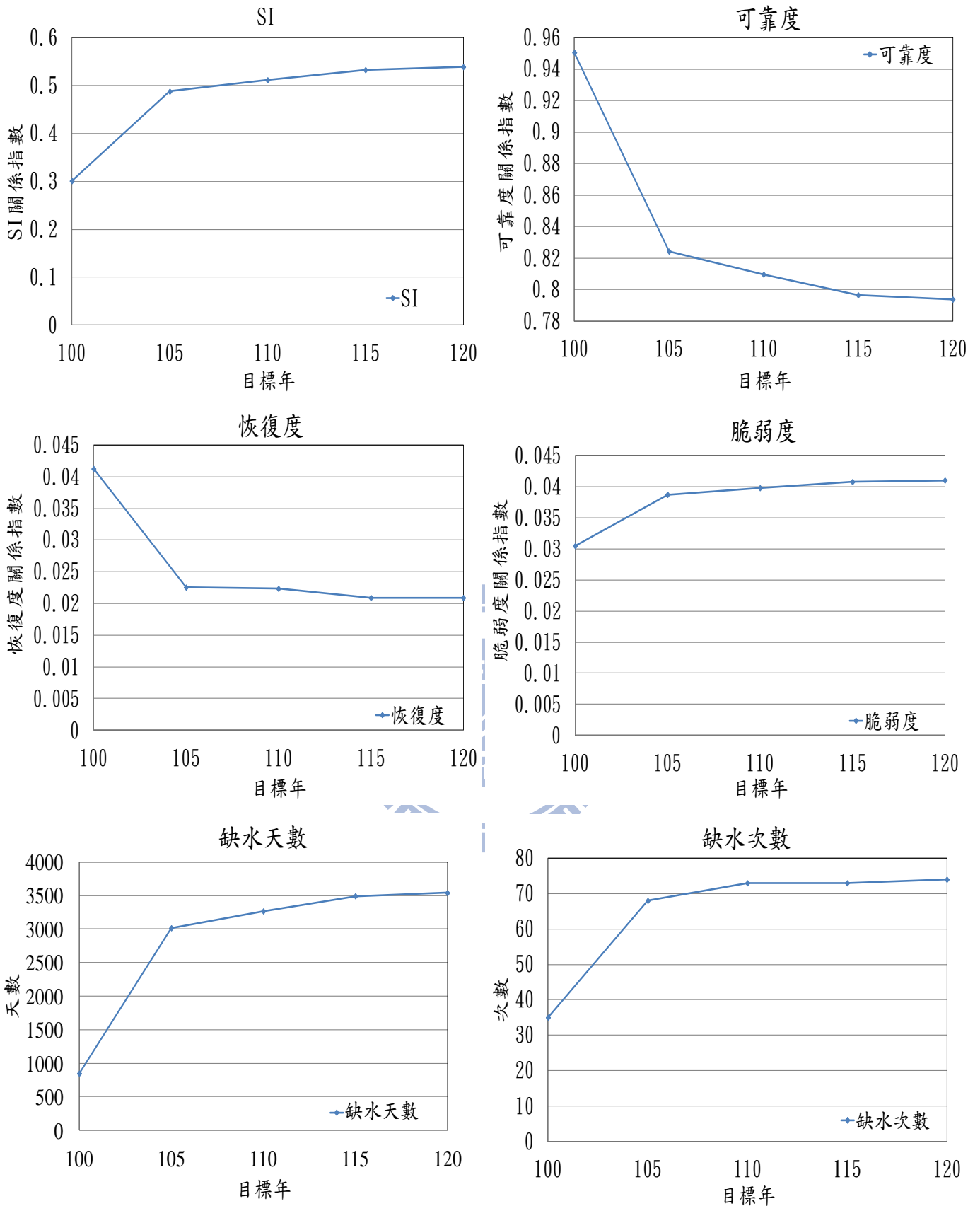


圖 4.3 不同目標年考慮需求水量及各指標關係圖

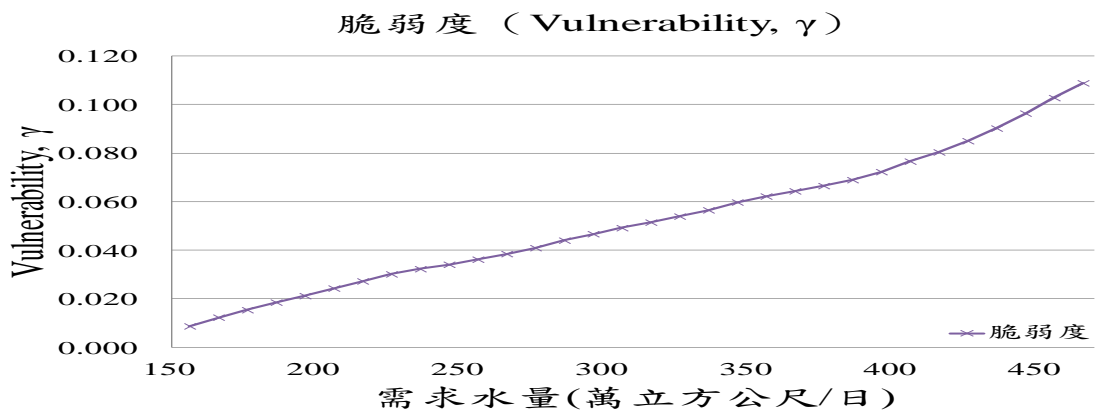
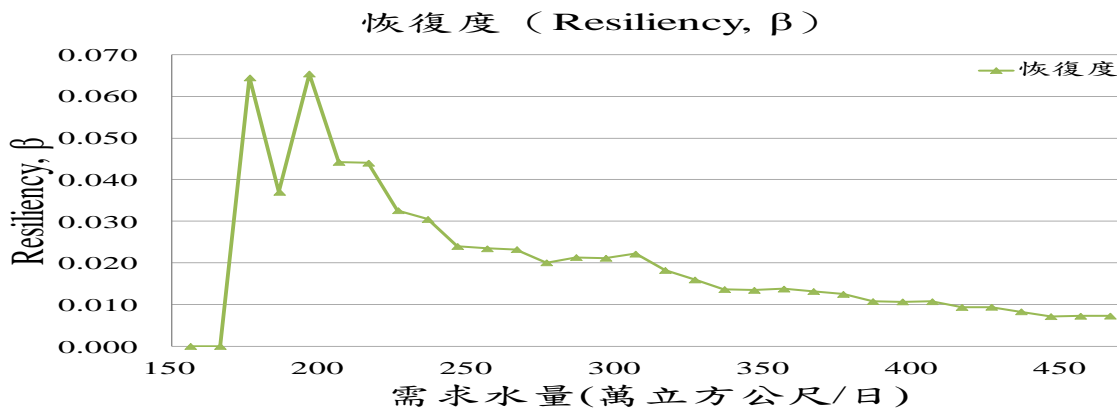
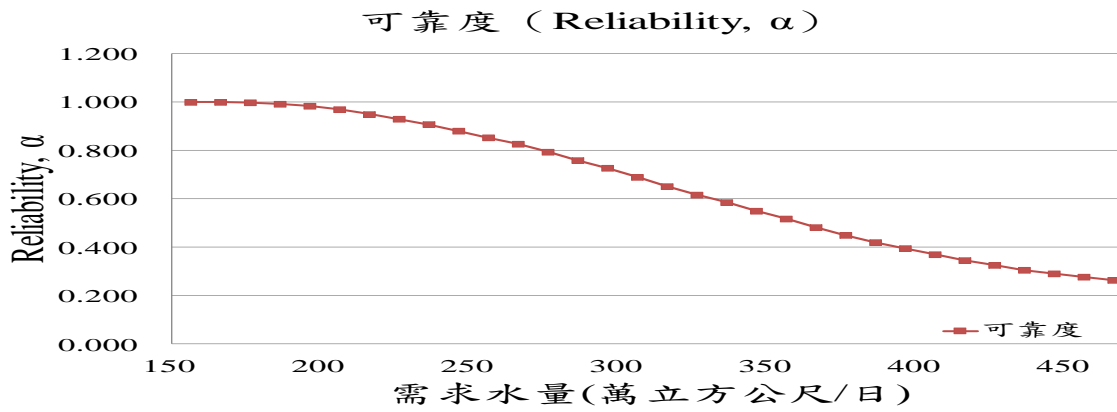
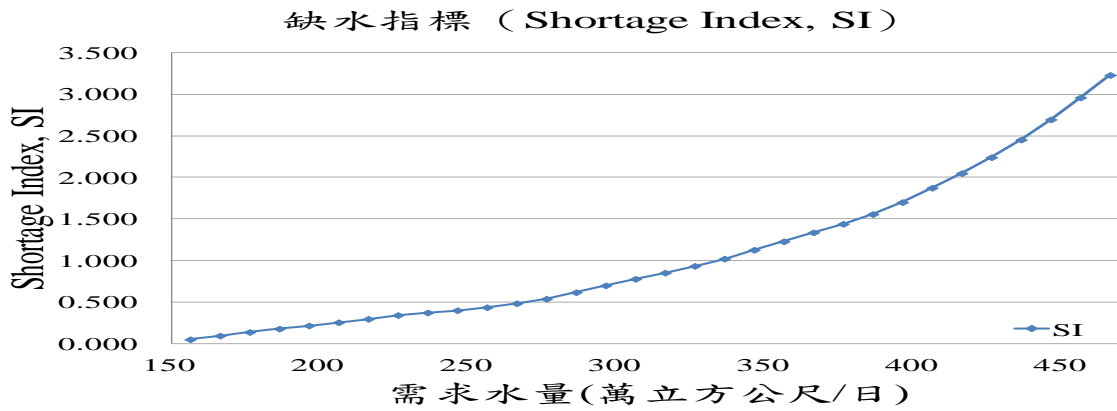


圖 4.4 需求水量及各指標關係圖

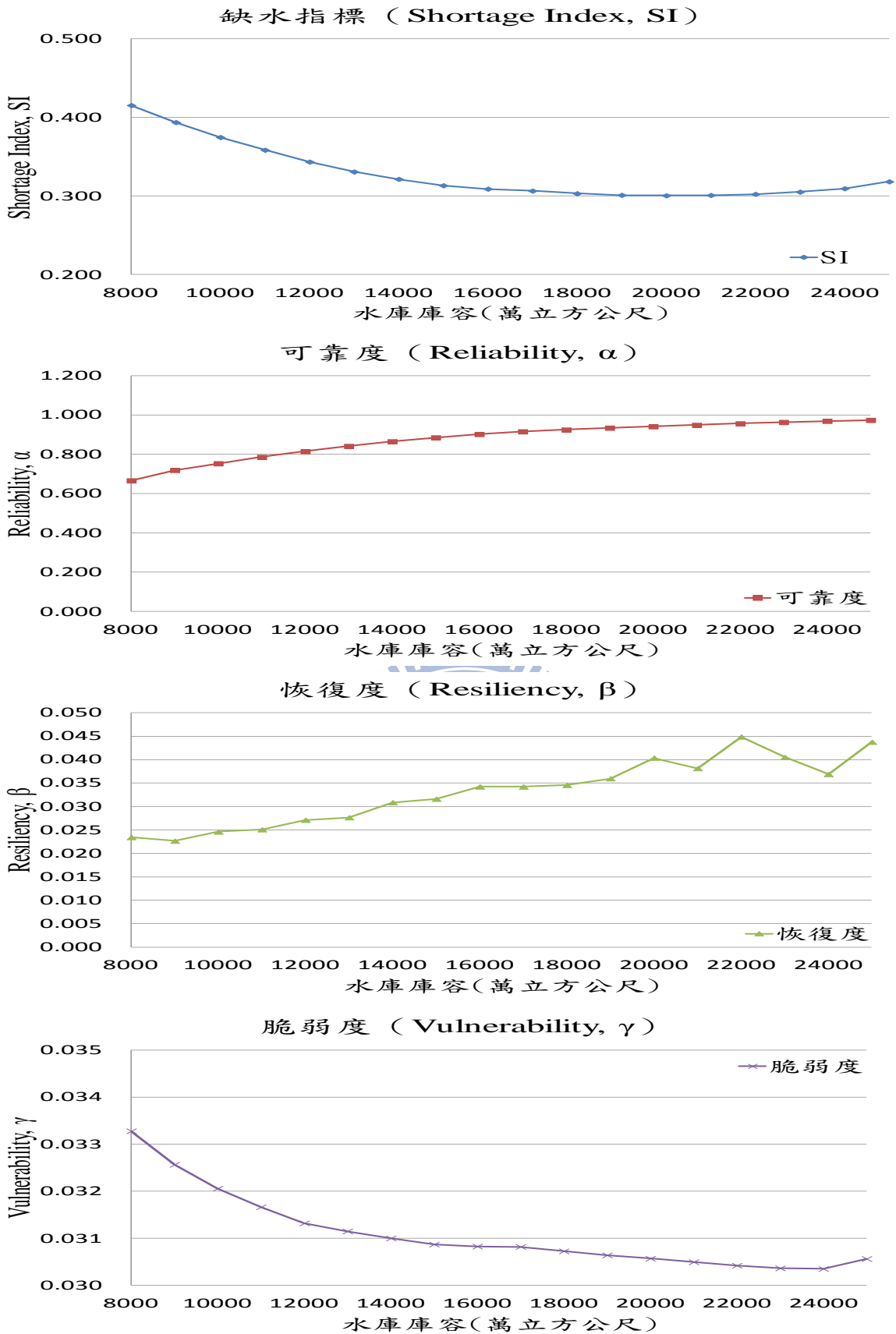


圖 4.5 庫容及各指標關係圖

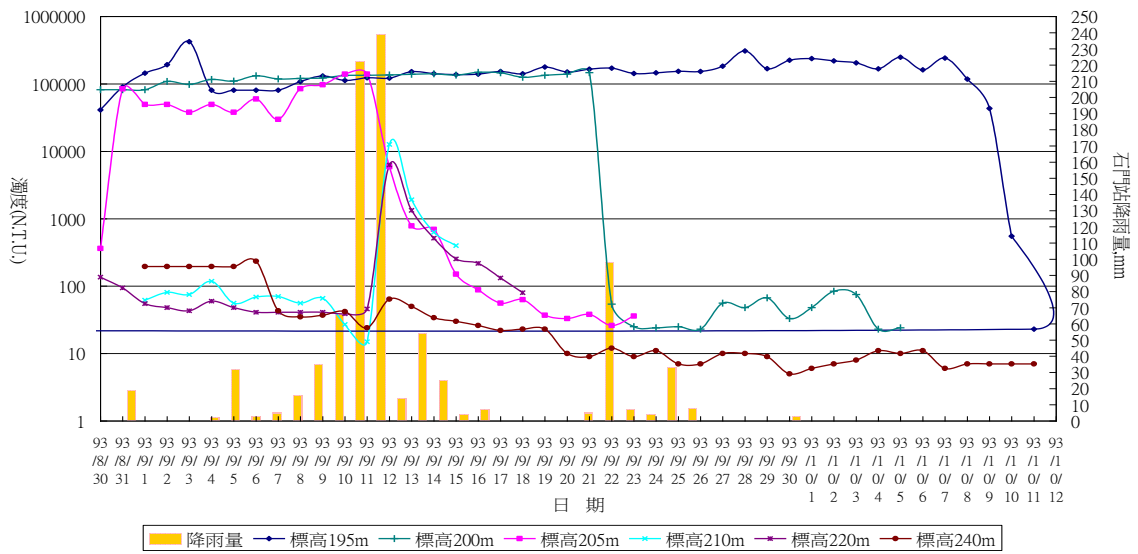


圖 4.6 艾利颱風原水濁度圖

資料來源：北區水資源局

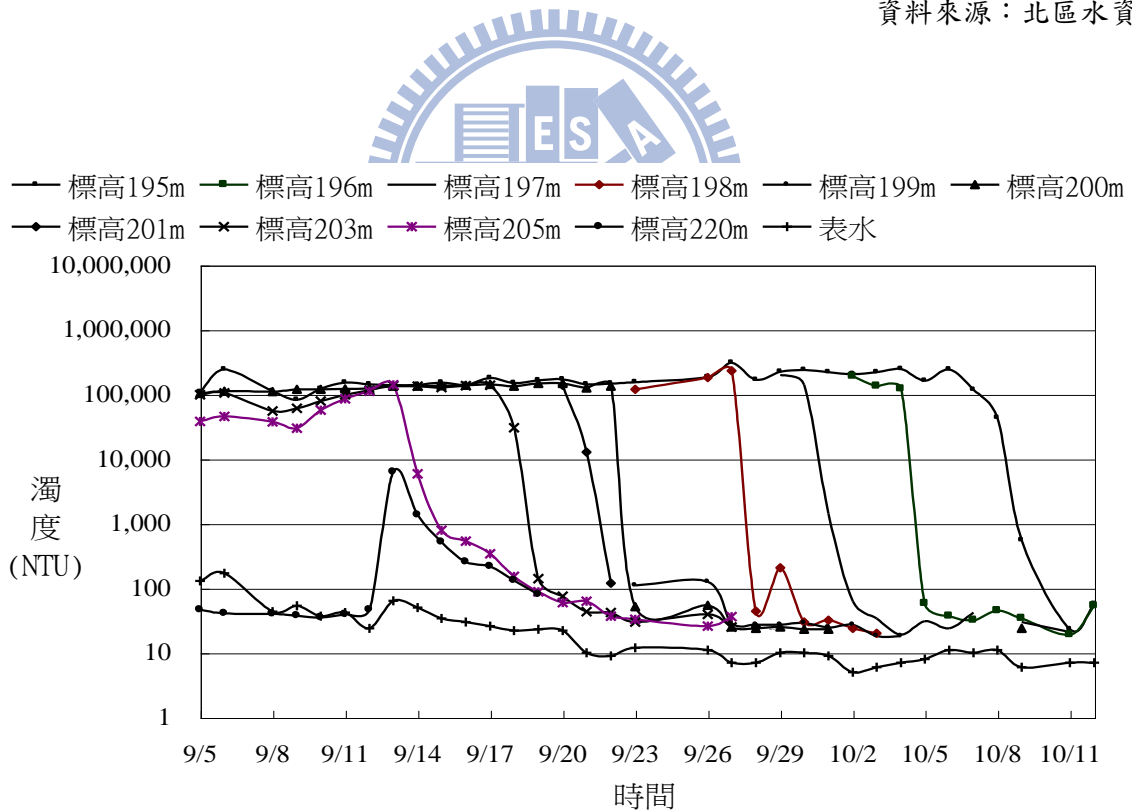
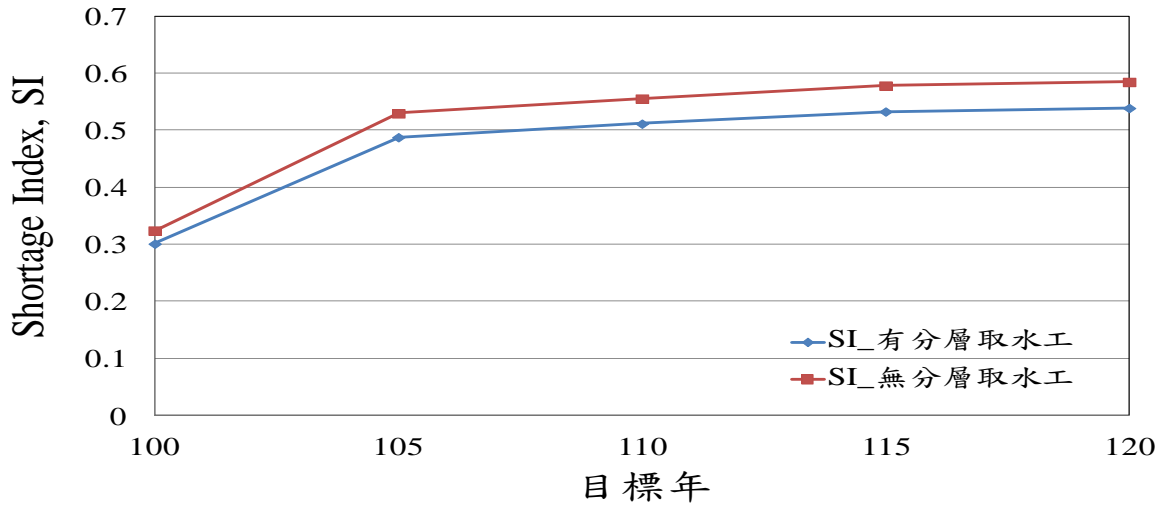


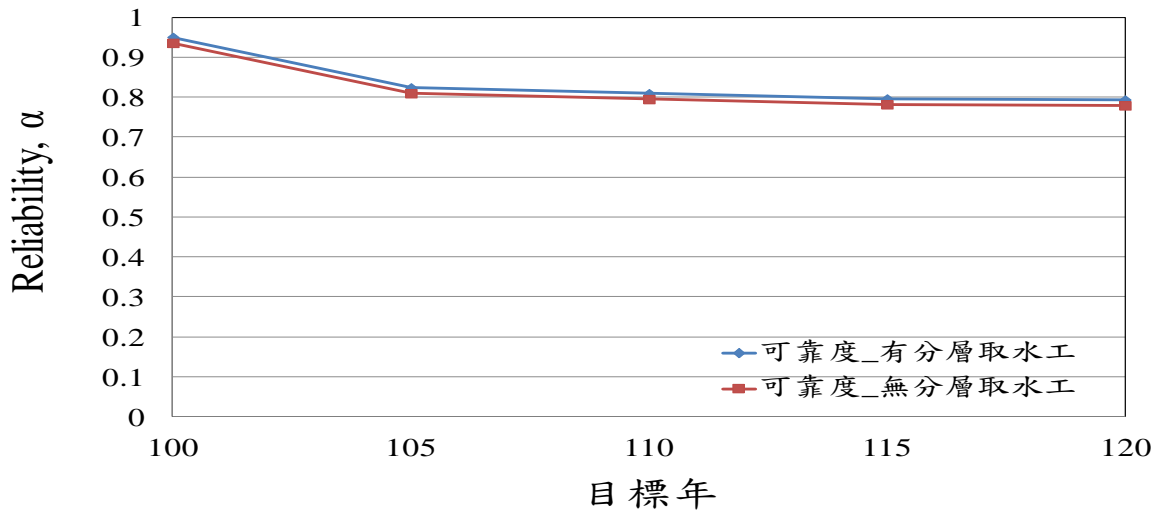
圖 4.7 艾利颱風石門大圳分層濁度圖

資料來源：北區水資源局

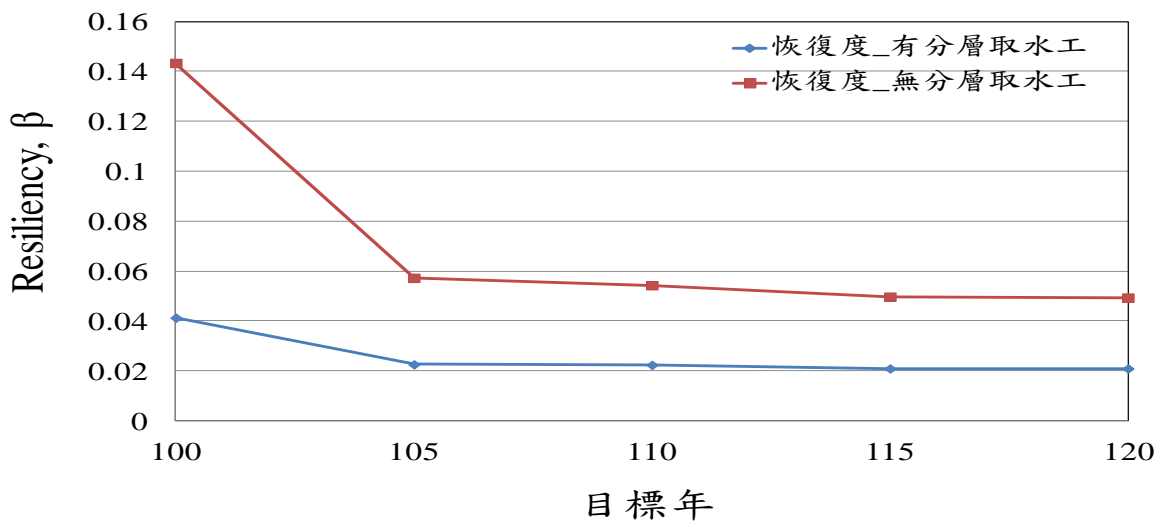
缺水指標 (Shortage Index, SI)



可靠度 (Reliability, α)



恢復度 (Resiliency, β)



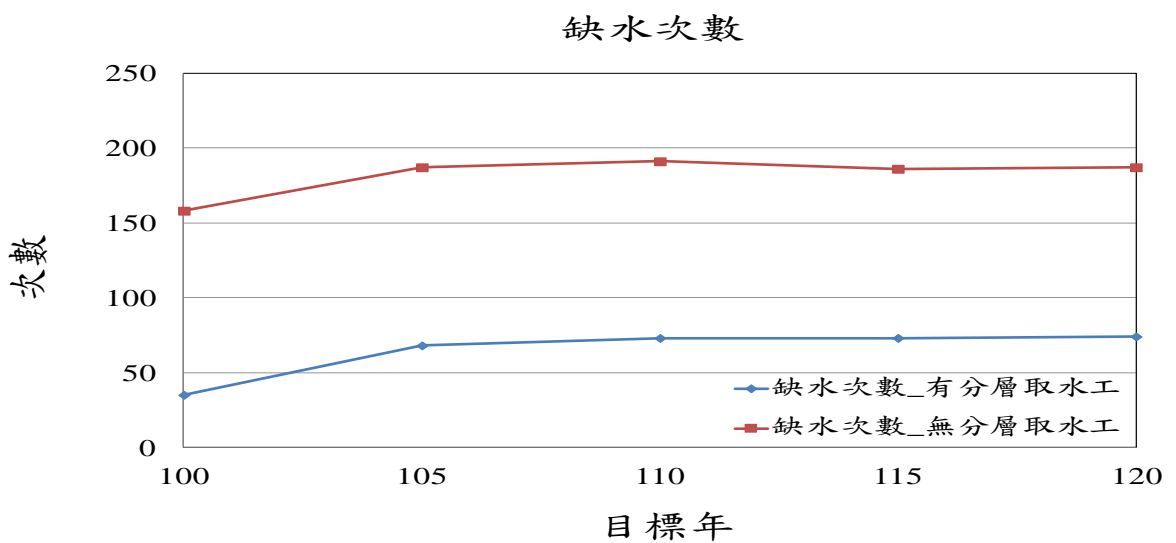
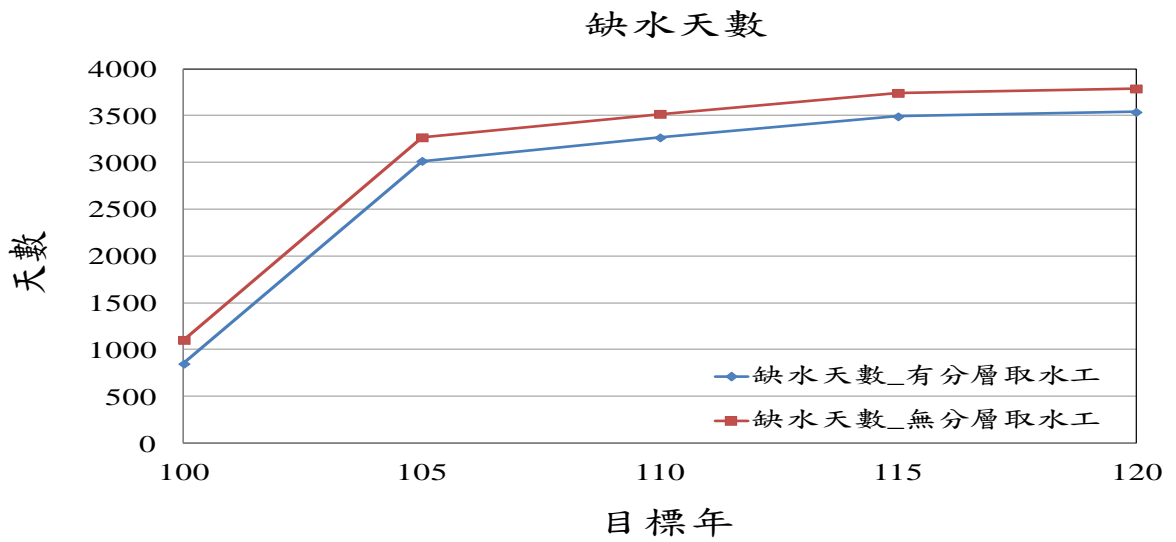
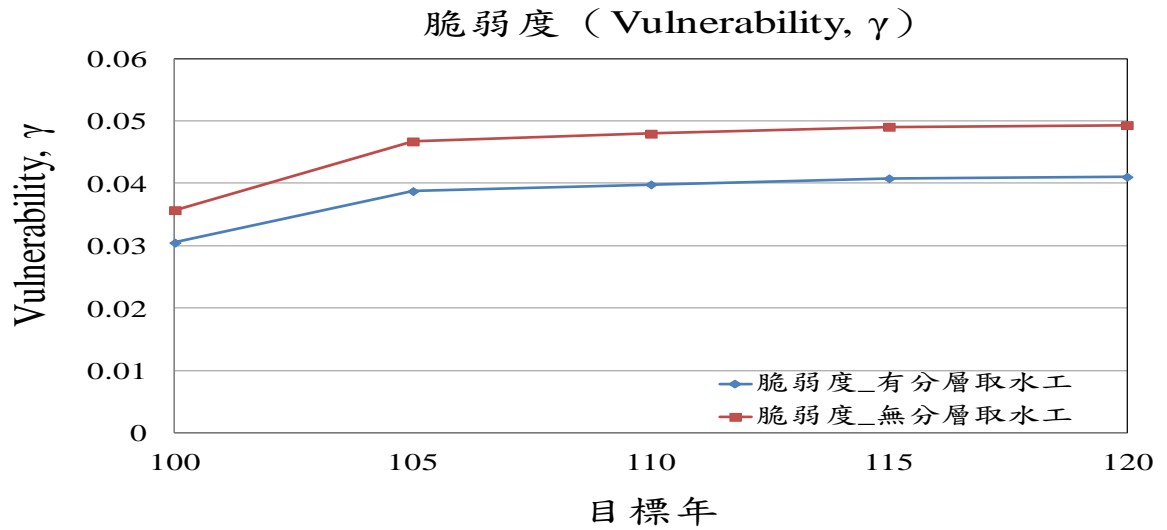


圖 4.8 不同目標年考慮分層取水工及各指標關係圖

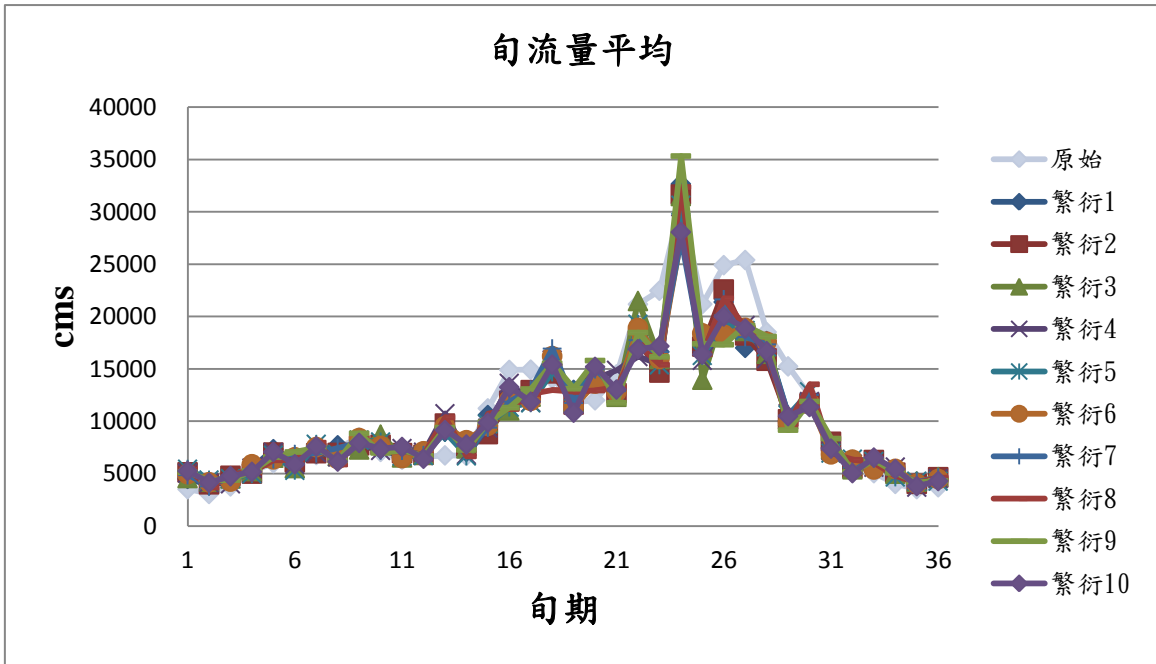


圖 4.9 繁衍流量與原始流量 47 年各旬流量平均比較

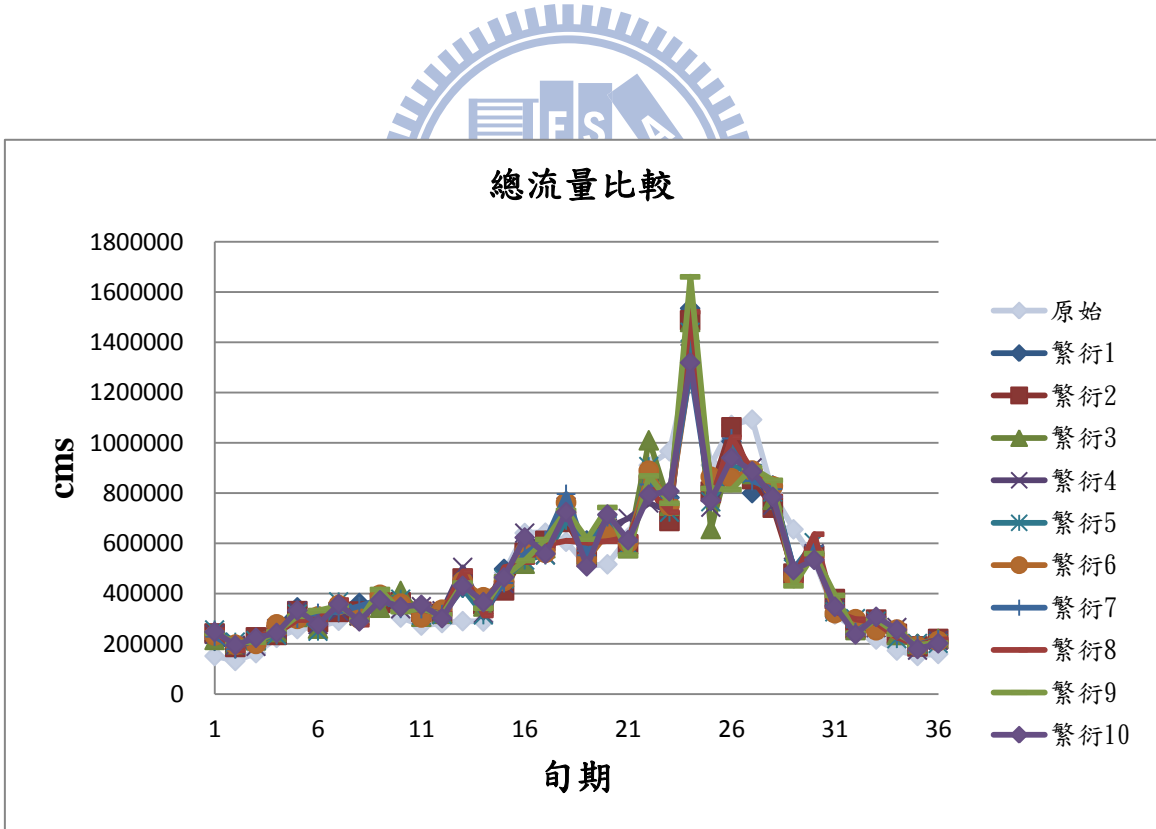
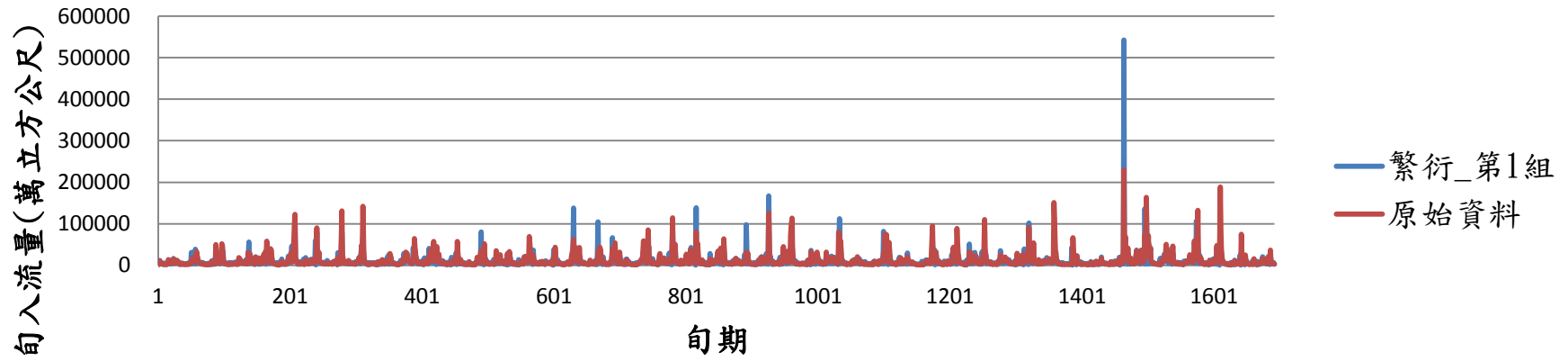
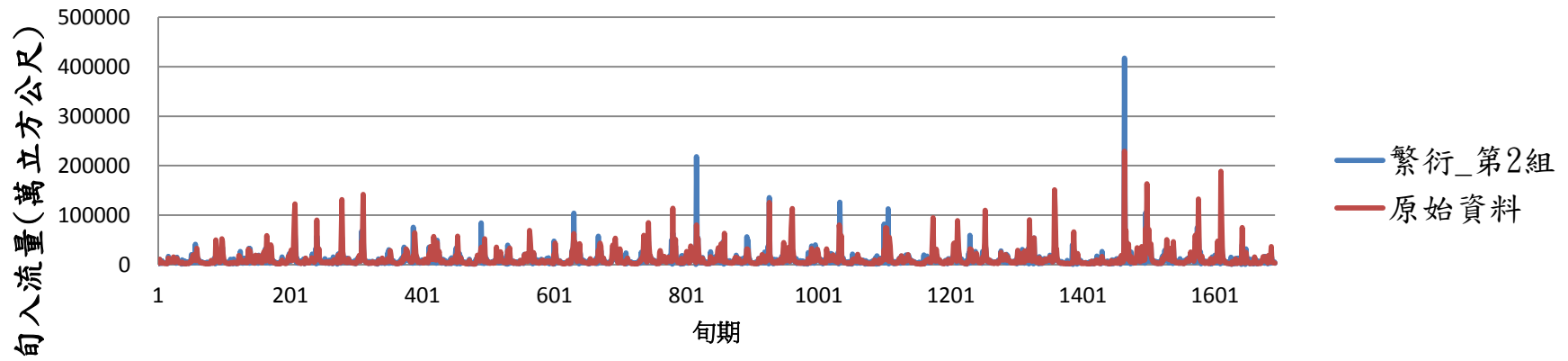


圖 4.10 繁衍流量與原始流量 47 年總流量比較

繁衍_第一組與原始值比較



繁衍_第二組與原始值比較



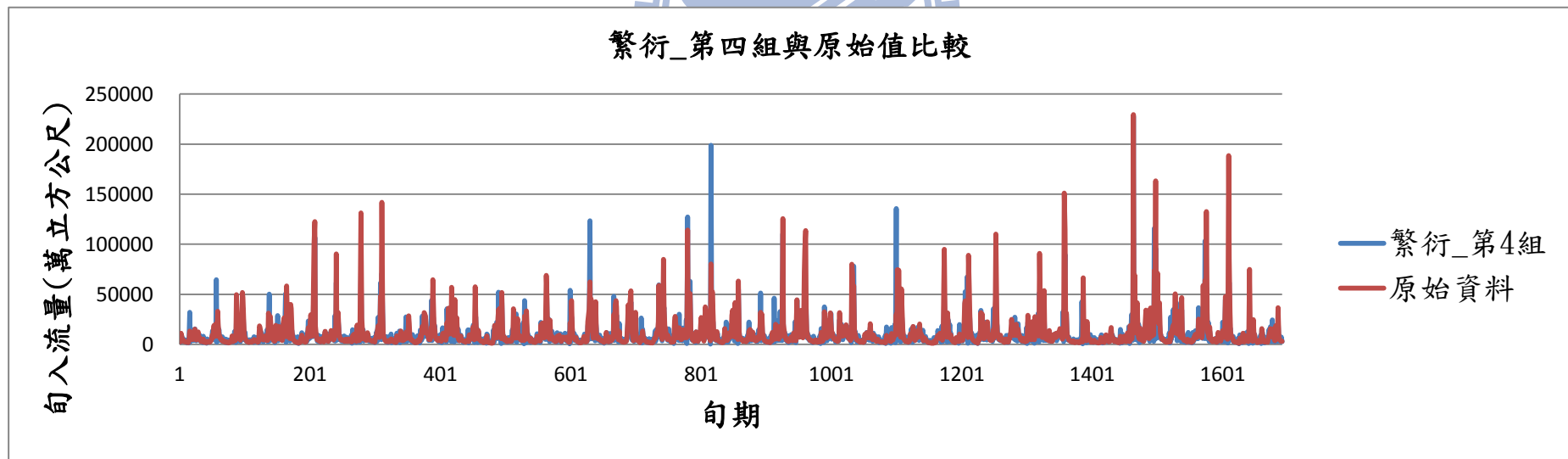
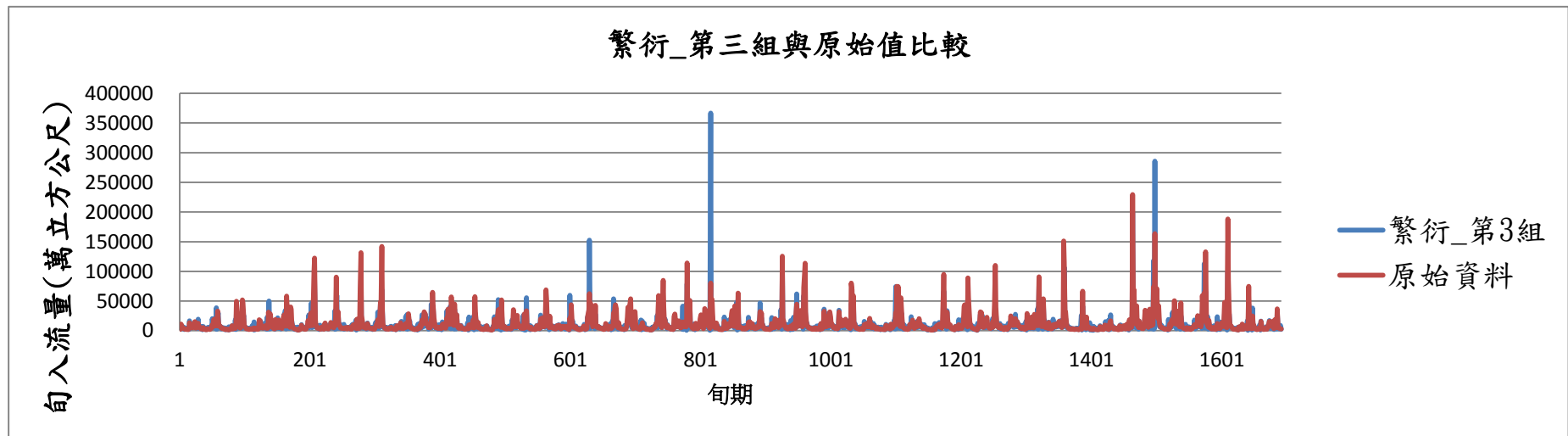


圖 4.11 部分繁衍流量序列與原始流量序列比較

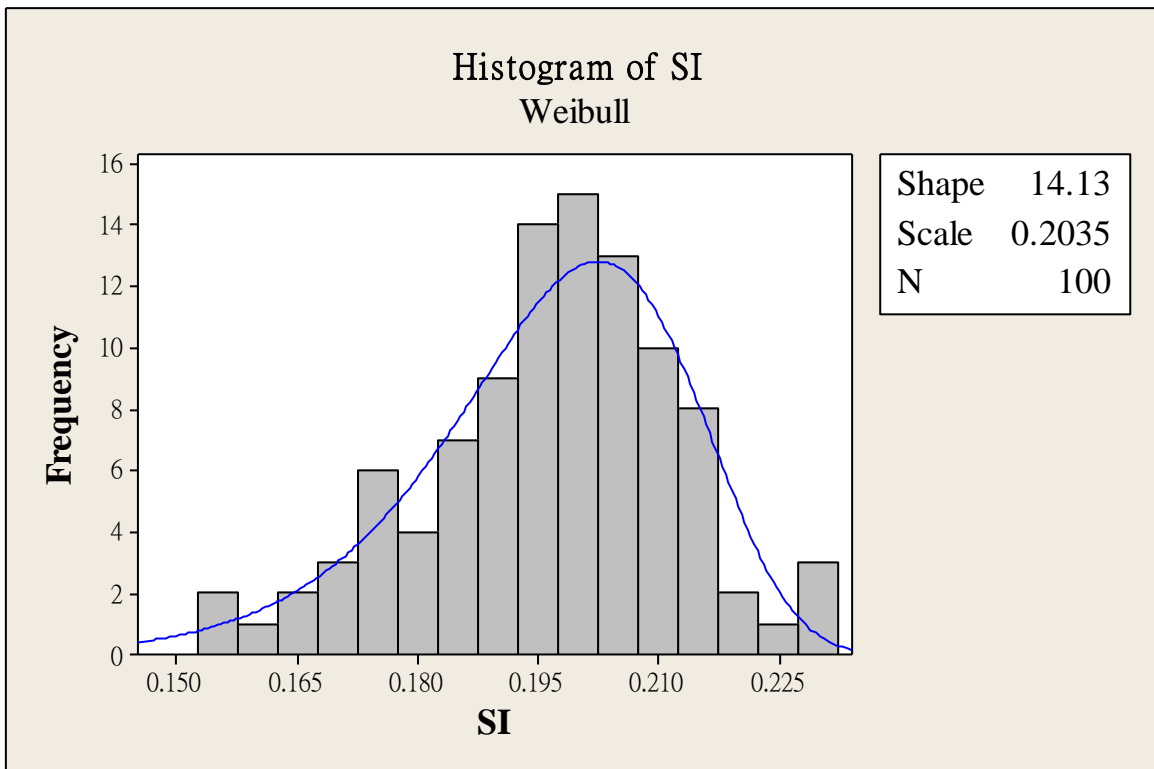


圖 4.12 缺水指數機率分佈曲線

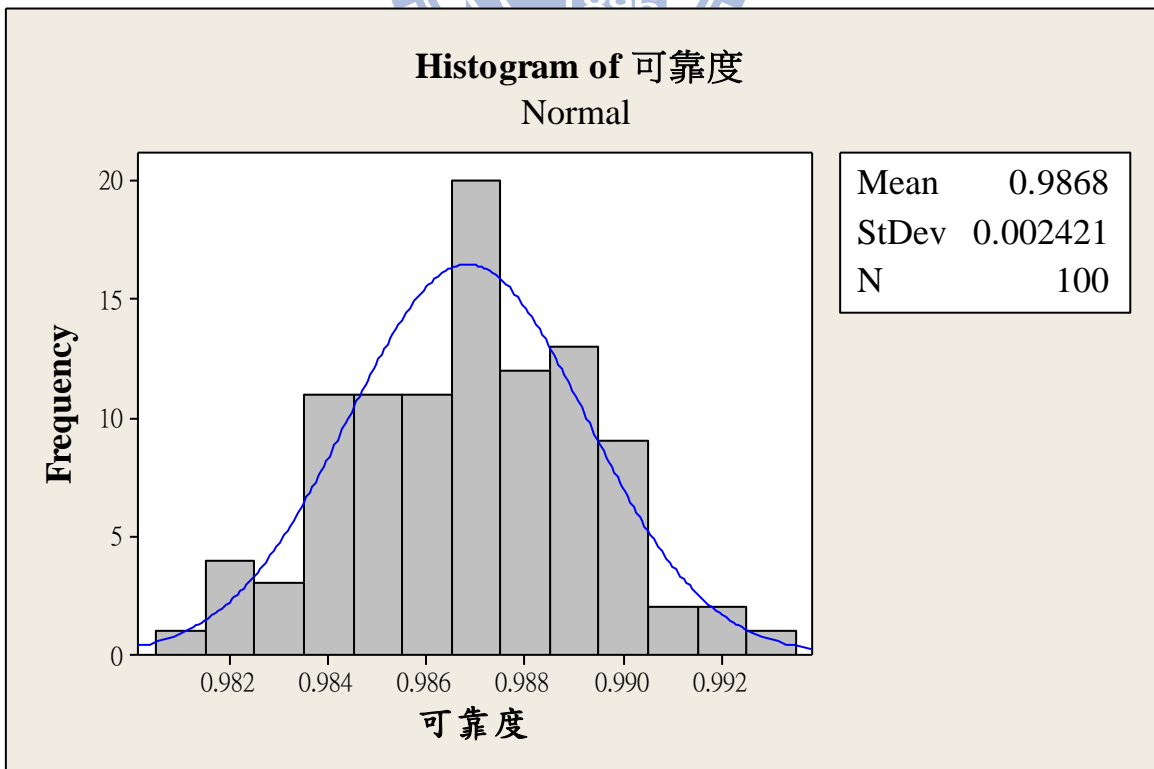


圖 4.13 可靠度機率分佈曲線

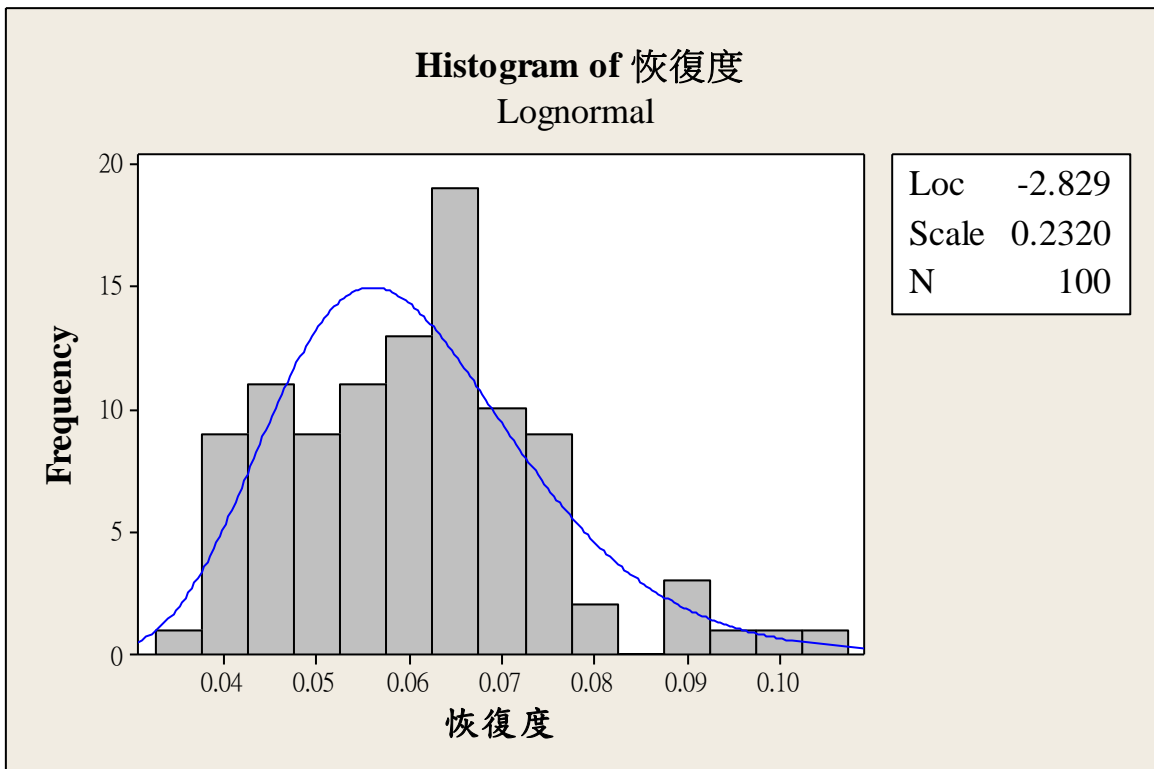


圖 4.14 恢復度機率分佈曲線

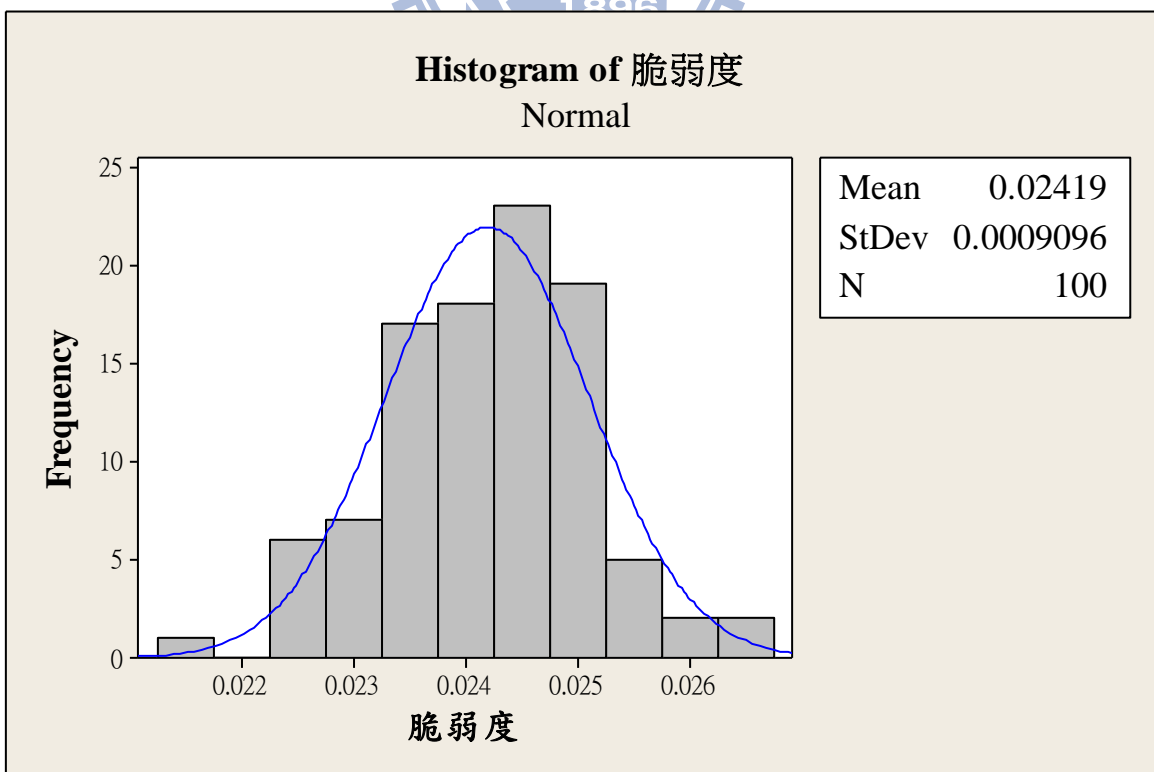


圖 4.15 脆弱度機率分佈曲線

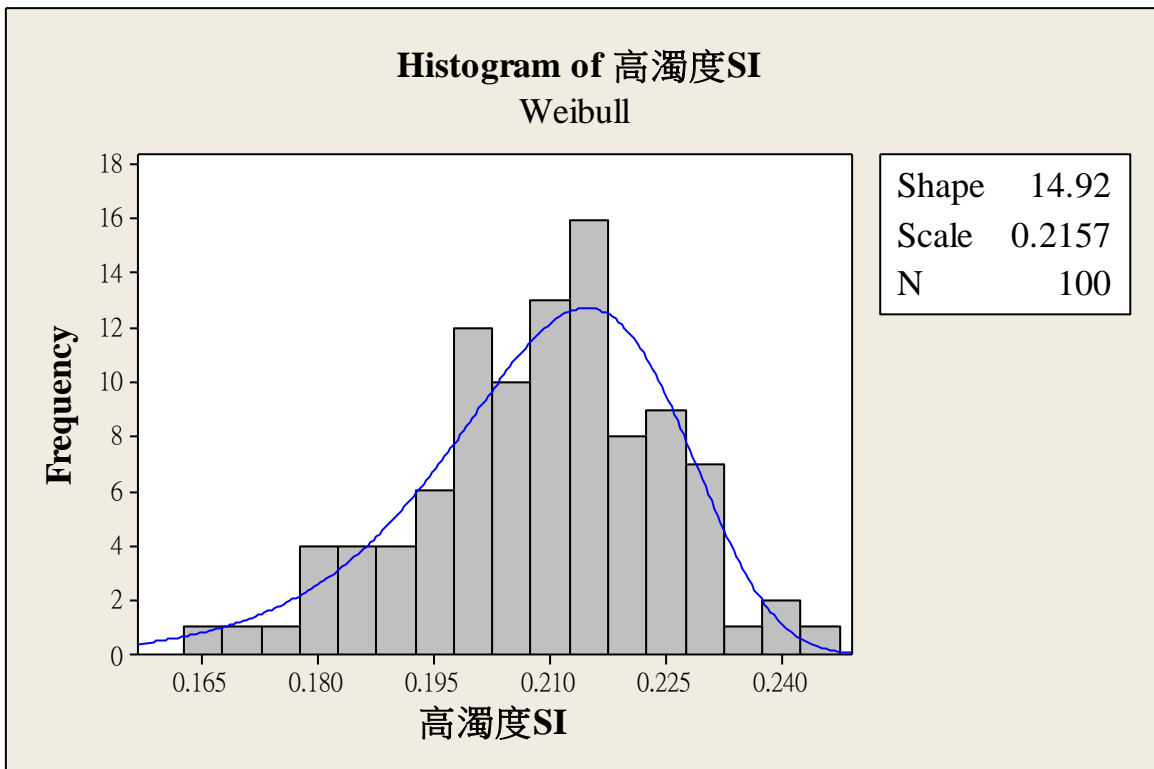


圖 4.16 考慮高濁度缺水指數機率分佈曲線

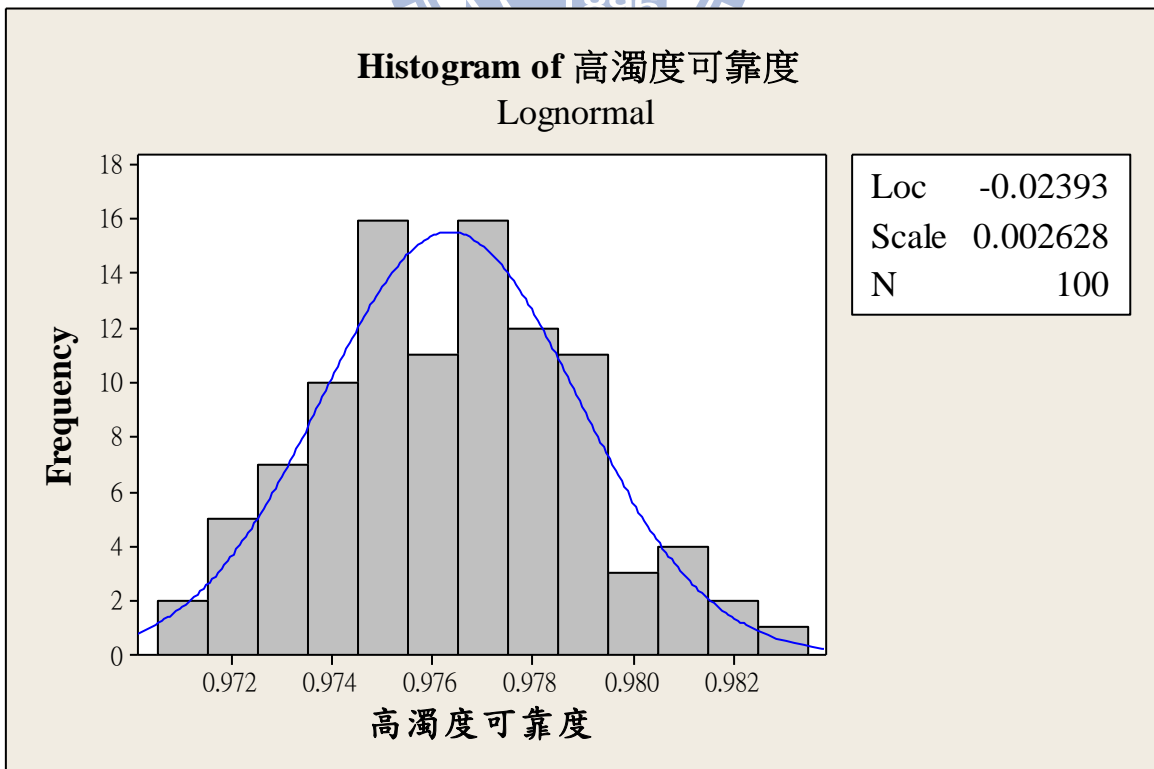


圖 4.17 考慮高濁度可靠度機率分佈曲線

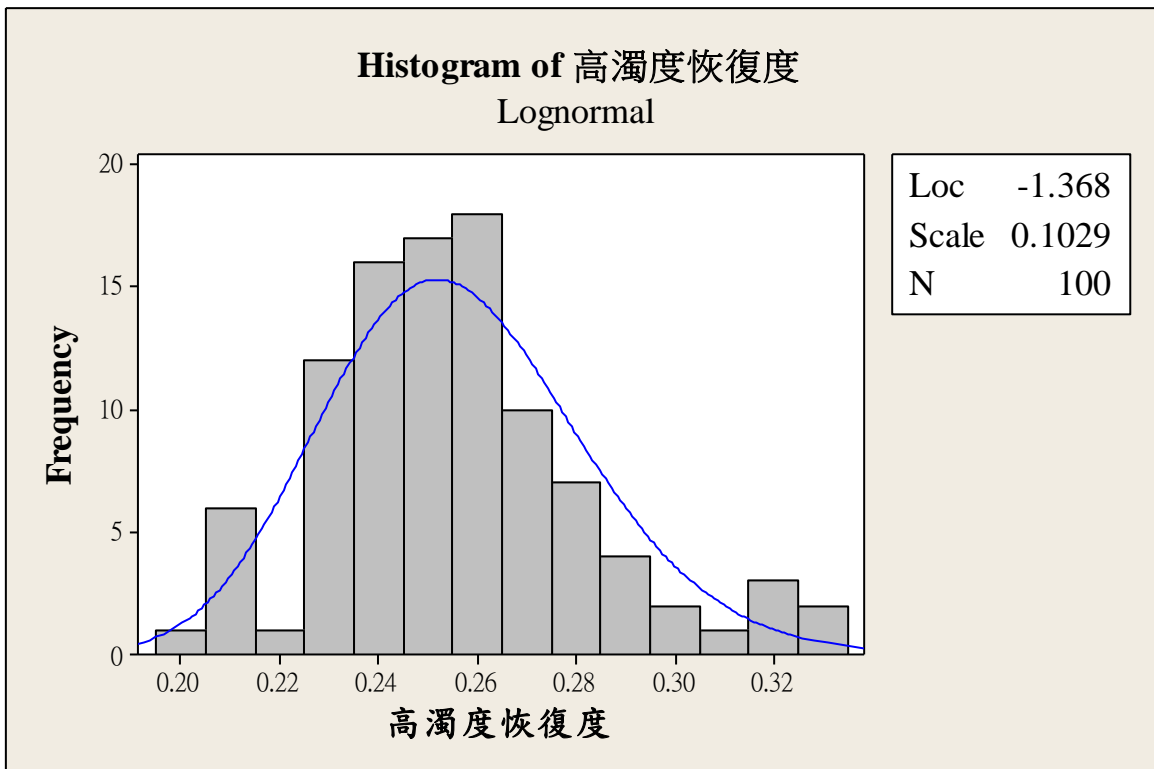


圖 4.18 考慮高濁度恢復度機率分佈曲線

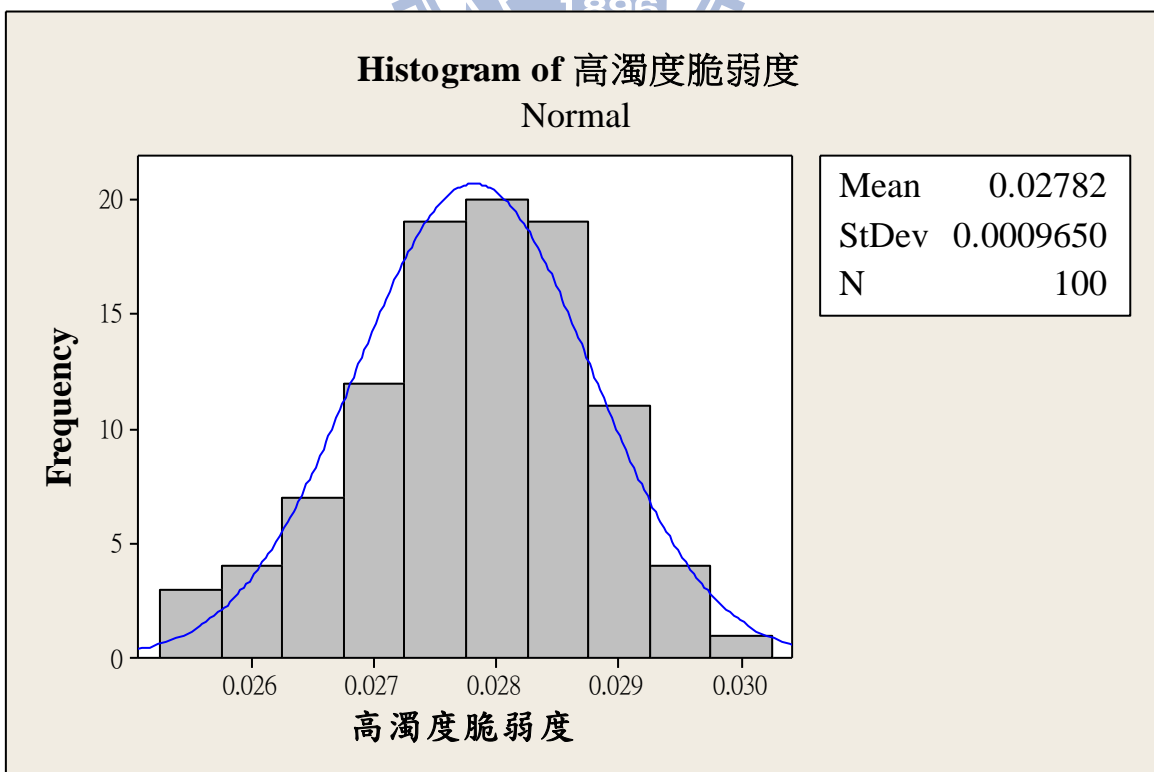


圖 4.19 考慮高濁度脆弱度機率分佈曲線