

國立交通大學

土木工程研究所

碩士論文

大甲及大安溪流域水量改善策略對 BOD 之
影響研究

**The Impact of Water Resource Strategies
on BOD for in Dajia and Daan Basin**

1896

研究生：林君儀
指導教授：張良正 博士

中華民國九十八年七月

大甲及大安溪流域水量改善策略對 BOD 之影響

**The Impact of Water Resource Strategies on BOD
for in Dajia and Daan Basin**

研究生：林君儀
指導教授：張良正

Student : Chun Y. Lin
Advisor : Liang C. Chang

國立交通大學
土木工程學系碩士班
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Civil Engineering
July 2009
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

大甲及大安溪流域水量改善策略對 BOD 之影響研究

學生：林君儀

指導教授：張良正博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

本研究以系統動力學為基本分析工具，並以大甲及大安溪流域為研究區域，建立涵蓋水量調配與水質影響之區域水資源策略分析模擬模式。並進一步就現有系統及增加越域引水、興建人工湖及自來水管線汰換等不同調適策略，應用所建置之模式探討各改善策略對生化需氧量（BOD）之影響。

依現況建立流域河川及水庫水質系統動力模式，再結合水資源調配系統動力模式，推求德基水庫及其河川的 BOD。水庫部份以二次規劃法推求不同土地形態下的單位面積負荷係數及流達率，配合降雨量分配，進一步推求水庫 BOD。河川 BOD 的流達率亦以二次規劃法推求。案例模擬發現，其中越域引水及興建人工湖策略會造成下游河段 BOD 惡化，自來水管線汰換策略則會讓 BOD 變好。故對河川 BOD 影響而言，以自來水管線汰換策略影響最小。

結果顯示本研究發展之流域水量水質模式，可探討不同水量改善策略對於 BOD 的影響，提供更完整之參考資訊，以為決策者參考。

The Impact of Water Resource Strategies on the BOD of Dajia and Daan Basin

Student : Chun-Yi Lin Advisor : Dr. Liang-Cheng Chang

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

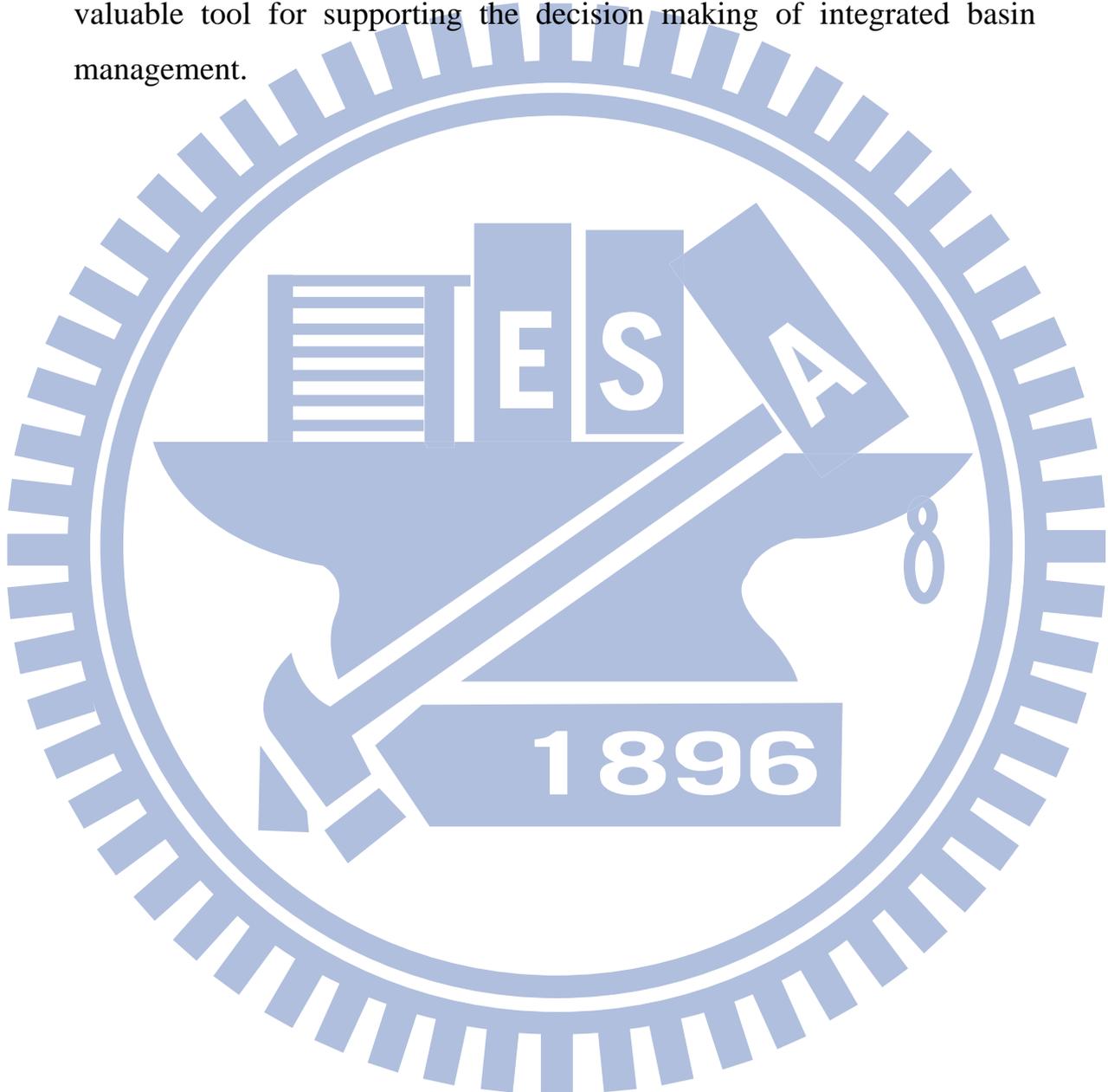
Abstract

This research develops an integrated simulation model that combines water quality and water quantity simulation models by using system dynamics (SD). A proposed model was applied to assess performance of various policies on sustainable water resources management of Dajia and Daan basin. This assessment focused on evaluating the impacts of water resources developing alternatives on reservoir and river water quality. Two supply-side strategies - Taichung artificial lake and trans-basin diversion, and one demand-side strategy - water supply pipelines replacement, were examined by using the model with The Taichung basin as studied area.

Parameters related to water quality modeling were calibrated by using the quadratic programming. The water quality simulation model consists of two parts; simulation of BOD transport on reservoir upstream catchment and that on reservoir downstream river. BOD loading coefficients for different landscapes and transport coefficients of BOD in river flow were calibrated. Simulation results indicated that BOD concentration in river downstream section will increase and surpass the water quality criteria after a trans-basin diversion and Taichung artificial

lake were constructed. On the contrary, the BOD in the downstream river section will decrease after a water supply pipeline replacement.

The results demonstrated that the proposed policy assessment model can effectively investigate the performance of various scenarios and is a valuable tool for supporting the decision making of integrated basin management.



謝 誌

在交大這幾年時間，做了許多事：台中及中壢大學來回奔波的修了不少課，也修了教育學程（雖然最後放棄了）、拿了 2 萬歐元歐盟教育部伊莫拉斯獎學金、參與並舉辦一次全國性研討會，也讓我第一次連續 48 小時沒睡、第一次自己發文去要資料、第一次開車送計劃報告、兩年時間在語言中心當聽力課助教、第一次當班代服務同學，太多印象的事了！親愛的交大，我的好多人生的第一次都是在這幾年獻給“您”！

感謝恩師張良正教授對於本研究的細心指導及求學階段中對學生的待人處事與學問研究方面的訓練，讓學生對於很多事情的判斷及想法，有別以往在大學時的思考方式。此外，在學術研究以外各方面，學生感受到恩師的親和力，在求學階段，無時無刻關心我。謝謝口試委員明新科技大學陳鴻輝副教授、逢甲大學蘇惠珍助理教授、楊朝仲助理教授細心認真指正拙文，並於口試期間提出相當寶貴的意見，使本文更加完備，在此謹致衷心謝意。特別是在交大求學期間，謝謝惠珍學姐及朝仲學長在參與建教計劃中的訓練與指導，讓我收獲良多。

感謝屏東科技大學葉一隆教授，若沒有您在學術研究方面啟發與鼓勵，就沒有今天就讀交大完成碩士學業的我。感謝中央研究院環境變遷中心高樹基助理研究員，謝謝基哥在中研院期間在生活及各方面對於我的照顧，讓我第一次在頂尖中央學術機構學習不少。再次感謝上述兩位老師幫忙寫推薦信，讓我獲得歐盟獎學金這項榮譽。感謝中央大學吳瑞賢教授，是您讓我國科會大專生計劃得以審核通過。

而在研究室方面必須先感謝何智超學長，耐心的指導我一步步完成論文，計畫上的專業知識及無私的奉獻值得令我學習，我想您會被稱為計劃之神實在當之無愧、陳宇文學長及蔡瑞彬學長的專業知識及

帶點顏色的幽默對話，讓我成長不少、葉明生學長的思考邏輯、陳鴻輝學長多張技術證照及廣大人脈關係，都讓我欽佩，張老師底下的學生，個個都是英雄豪傑。有幸認識各位學長，深感榮幸。

接著我要感謝碩士班的同學：小蘇、浚瑋、任馥，謝謝瑋哥及小蘇在課業及學業上勉勵、明穎及昭延學長鼓勵、很懷念跟茹小妹、怡釧、正偉、全哥、牛奶車、柏成、為善、昱維、阿牛、韋圻、瀚聖在研究室渡過無數歡樂時光，特別是有小當家之稱柏成、茹小妹及韋圻，讓我在那段時間大飽口福。謝謝阿海、冠宇、雲直、阜峻等學弟，在我撰寫論文期間及口試時的幫忙，謝謝你們，祝福你們順利畢業。謝謝歷任助理幼臣、俊明、祐誠在各方面幫忙。

感謝我的心靈導師陳端，在人生處世各方面指導及提攜，帶領我進入認識悉曇梵文的世界，謝謝真如法林這個大家庭中諸位師兄弟的鼓勵。感謝好友坤祥、小宇、小黑、冰凍龜、Howard、Jeffery 及學弟葉小雄等人勉勵。謝謝我的摯友陳伯存博士，謝謝你在我人生的求學路上不斷地鼓勵我，祝福你在博士後研究更上層樓。

最後非常感謝遠在高雄的家人：父親林青課、母親郭婷婷及小妹林汐柔對我的全力支持，在我失意的時候，替我加油打氣。謝謝又又日本及高雄來回奔波及支持，僅將此研究現給我最愛的家人及週遭支持、關心我的人。

最後要感謝的是吉米，你是我寫論文重要推手及文思泉湧來源，真得謝謝你的幫忙！

這幾年我最深體悟就是，交大=交作業大學，無論是課業及研究學問都很紮實。

Jimmy 20090729

章節目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
謝誌.....	IV
章節目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	X
第一章 緒論.....	1
1.1 研究緣起及目的.....	1
1.2 研究架構.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
第三章 研究方法.....	10
3.1 水資源系統調配動力模式.....	10
3.1.1 系統動力學之發展歷程.....	10
3.1.2 系統動力學原理說明.....	10
3.2 水庫污染源的推估.....	17
3.2.1 非點源污染的推估.....	17
3.2.2 水庫水質的推估.....	18
3.3 流域點源污染的推估.....	19
3.4 水質評估指標選定.....	20
3.5 水量評估指標選定.....	21
第四章 流域水資源調配及水質策略模擬模式建立.....	23
4.1 研究區域概述.....	23
4.1.1 流域環境自然概況.....	23

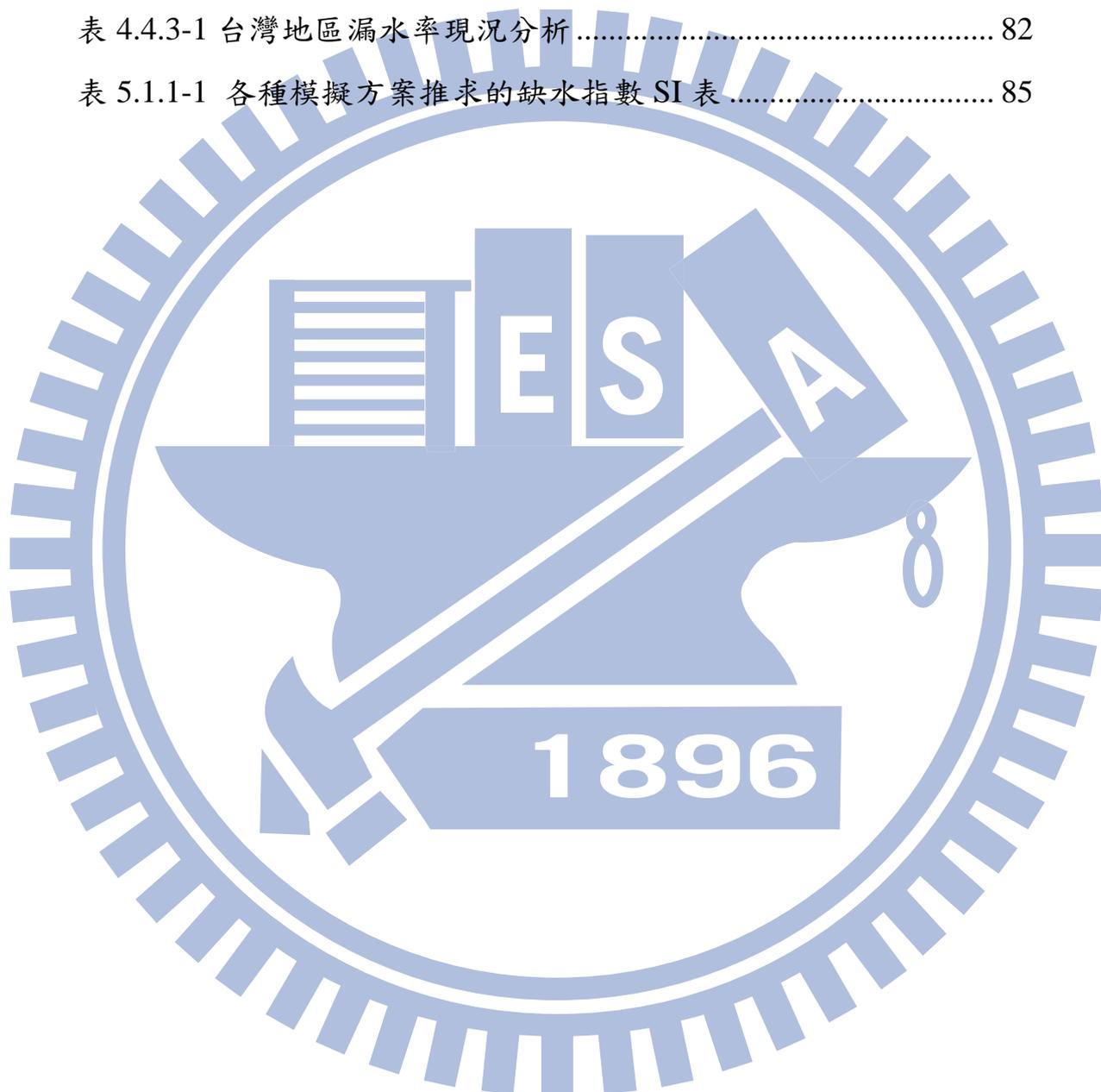


4.1.2 德基水庫集水區概況.....	25
4.1.3 流域水資源調配系統、設施、水文水質概述.....	32
4.1.4 流域水資源調配系統需求用水推估.....	44
4.2 模式架構說明.....	50
4.3 流域水質系統動力模型建立.....	53
4.3.1 集水區非點源污染模式推估與率定.....	53
4.3.2 水庫水質系統動力模型建立.....	57
4.3.3 河川水質系統動力模型建立與率定.....	58
4.4 流域水資源調配系統動力模型建立.....	74
4.4.1 水資源調配系統模式架構說明.....	74
4.4.2 地表水資源調配模式建立.....	75
4.4.3 水資源調配系統調適策略.....	77
第五章 情境模擬及分析.....	84
5.1 零方案及各種策略模擬結果.....	84
第六章 結論與建議.....	97
6.1 結論.....	97
6.2 建議.....	99
參考文獻.....	100

表目錄

表 3.4.2-1 地面水體分類及水質標準(BOD).....	21
表 4.1.2-1 82 年至 90 年德基水庫集水區土地利用衛星影像判釋結果	29
表 4.1.2-2 84 年至 90 年間德基水庫集水區土地利用變遷面積.....	29
表 4.1.2-3 71 至 85 年德基水庫上游平均旬降雨量.....	31
表 4.1.3-1 德基水庫發電運轉規線表.....	36
表 4.1.2 大甲溪水區、水體分類及水質標準公告說明表.....	42
表 4.1.3-3 台中地區之目標年人口推估表.....	45
表 4.1.3-4 台中地區之目標年普及率.....	45
表 4.1.3-5 台中地區之目標年抄見率.....	45
表 4.1.3-6 台中地區之目標年每人每日用水量(節約用水).....	46
表 4.1.3-7 台中地區之目標年生活用水需求量推估(節約成長).....	46
表 4.1.3-8 已編定(編定中) 工業區之目標年需水量表.....	48
表 4.1.3-9 台中地區之目標年工業用水需水量.....	49
表 4.3.1-1 各種土地利用型態之面積.....	53
表 4.3.1-2 各種土地利用之 BOD 負荷係數範圍.....	55
表 4.3.1-3 率定 BOD 單位負荷係數及流達率.....	55
表 4.3.3-1 大甲溪流域匯集支流及排水幹線一覽表.....	58
表 4.3.3-2 一般流達率建議值.....	62
表 4.3.3-3 河段內集污區推估的人口數.....	63
表 4.3.3-4 各河段人口平均年成長率.....	64
表 4.3.3-5 河段內集污區推估的豬隻數.....	66
表 4.3.3-6 87-93 年大甲溪流域畜養豬隻平均年成長率.....	66
表 4.3.3-7 各河段事業污染推估值.....	69

表 4.3.3-8 第一河段水質、流量測站實測資料及推估水質濃度.....	70
表 4.3.3-9 第二河段水質、流量測站實測資料及推估水質濃度.....	71
表 4.3.3-10 第三河段水質、流量測站實測資料及推估水質濃度.....	72
表 4.3.3-11 各河段豐、枯水期之流達率	72
表 4.4.3-1 台灣地區漏水率現況分析	82
表 5.1.1-1 各種模擬方案推求的缺水指數 SI 表	85



圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	4
圖 3.1.1 水庫供水操作之因果回饋環路圖	12
圖 3.1.2 水庫供水操作之系統動力流圖	12
圖 3.1.3 水資源供需示意圖	15
圖 3.1.4 水資源供需因果回饋圖	16
圖 4.1.1 德基水庫集水區地理位置圖	26
圖 4.1.2 德基水庫集水區土地利用類別圖	27
圖 4.1.3 德基水庫集水區雨量站分布圖	30
圖 4.1.4 大安溪、大甲溪流域圖	34
圖 4.1.5 台中地區現況水源調配系統圖	35
圖 4.1.6 德基水庫發電運轉規線圖	36
圖 4.1.7 德基水庫高程-面積-容量曲線圖	37
圖 4.1.8 台中地區現大甲溪石岡壩歷年流量圖	40
圖 4.1.9 大甲溪流域劃定及水體水質分類公告圖	41
圖 4.1.10 生化需氧量 Boxplot 圖	43
圖 4.2.1 流域水質系統架構圖	52
圖 4.3.1-1 德基水庫集水區 91 年土地利用分類圖	54
圖 4.3.1-2 水庫水質檢定結果圖	57
圖 4.3.2 水庫水質系統動力推估模式圖	57
圖 4.3.3 大甲溪流域匯集支流及排水幹線系統圖	59
圖 4.3.4 流域水質系統動力模式圖	60
圖 4.3.5 生活污染系統動力推估模式	65
圖 4.3.6 畜牧污染系統動力推估模式	68
圖 4.3.7 事業污染系統動力推估模式	68

圖 4.3.8 第一河段水質檢定結果圖	73
圖 4.3.9 第二河段水質檢定結果圖	73
圖 4.3.10 第三河段水質檢定結果圖	74
圖 4.4.1 台中地區現況水源調配系統圖	76
圖 4.4.2 大安溪及大甲溪水源聯合運用輸水工程圖	78
圖 4.4.3 越域供水系統動力模型	78
圖 4.4.4 台中人工湖水源演算模擬之系統架構	80
圖 4.4.5 台中人工湖水源調配系統動力模型	81
圖 4.4.6 自來水管線汰換系統動力圖	83
圖 5.1.1 各種策略下水庫 BOD 水質 Boxplot 圖	86
圖 5.1.2 各種策略下第一河段水量 Boxplot 圖	87
圖 5.1.3 各種策略下第一河段 BOD 水質 Boxplot 圖	87
圖 5.1.4 各種策略下第二河段水量 Boxplot 圖	88
圖 5.1.5 各種策略下第二河段 BOD 水質 Boxplot 圖	89
圖 5.1.6 零方案策略第三河段水量 Boxplot 圖	90
圖 5.1.7 零方案策略第三河段 BOD 水質 Boxplot 圖	90
圖 5.1.8 越域引水策略第三河段水量 Boxplot 圖	91
圖 5.1.9 越域引水策略第三河段 BOD 水質 Boxplot 圖	92
圖 5.1.10 自來水管線汰換策略第三河段水量 Boxplot 圖	93
圖 5.1.11 自來水管線汰換策略第三河段 BOD 水質 Boxplot 圖	93
圖 5.1.12 興建人工湖策略第三河段水量 Boxplot 圖	94
圖 5.1.13 興建人工湖策略第三河段 BOD 水質 Boxplot 圖	95

第一章 緒論

1.1 研究緣起及目的

台灣年平均雨量雖然高達 2,510 公厘，為世界平均降雨量之 2.6 倍，但每人平均降雨量分配卻只有世界平均值的 1/6，而且因為河流短、地勢陡，降雨量均直流入海。此外，降雨量分佈不均，約 80% 集中於五至十月之豐水期，且大部分為颱風暴雨，因此水資源水量之調配更加困難。然除了水文狀況時間與空間分部不均外，隨著經濟發展及人口快速成長，導致到水資源的需求與日俱增，因此如何有效調配水資源為一重要課題。

過往水資源政策偏向開發新水源，然由於人民對環保及生態的意識抬頭，開發新水源的困難度也比以往增加。因此，水資源開發政策已從過去開發新水源的面向轉為現有水源設施聯合調配及需求面之管理。透過區域性整體水利設施靈活彈性的聯合運用或降低需求以減少新水源開發對環境或生態之衝擊，因此為政府目前所積極推動政策方針。

然除了水量供應問題外，工業發展與土地開發亦造成水質上的隱憂。就上游集水區而言，台灣因地形陡峭，河川源短流急，上游集水區遇暴雨時，土質鬆軟處本即易於出現崩塌，加以過往對水土保持工作之重要性缺乏認知，森林濫伐及山坡地濫墾情形嚴重，導致集水區之水源涵蓄能力及水庫水質不佳，依據環保署對台灣地區 22 座主要調查水庫水質結果，以八十六年水庫優養化情況最為嚴重，20 座檢測水庫中有 15 座呈現優養化狀況，因此有必要加強水庫集水區之經營管理，以確保水庫能提供質優量足之水資源。而人口集中造成都市化現象及工業發展所排出之市鎮廢水、工業廢水、畜牧廢水及垃圾滲出水等，夾帶大量污

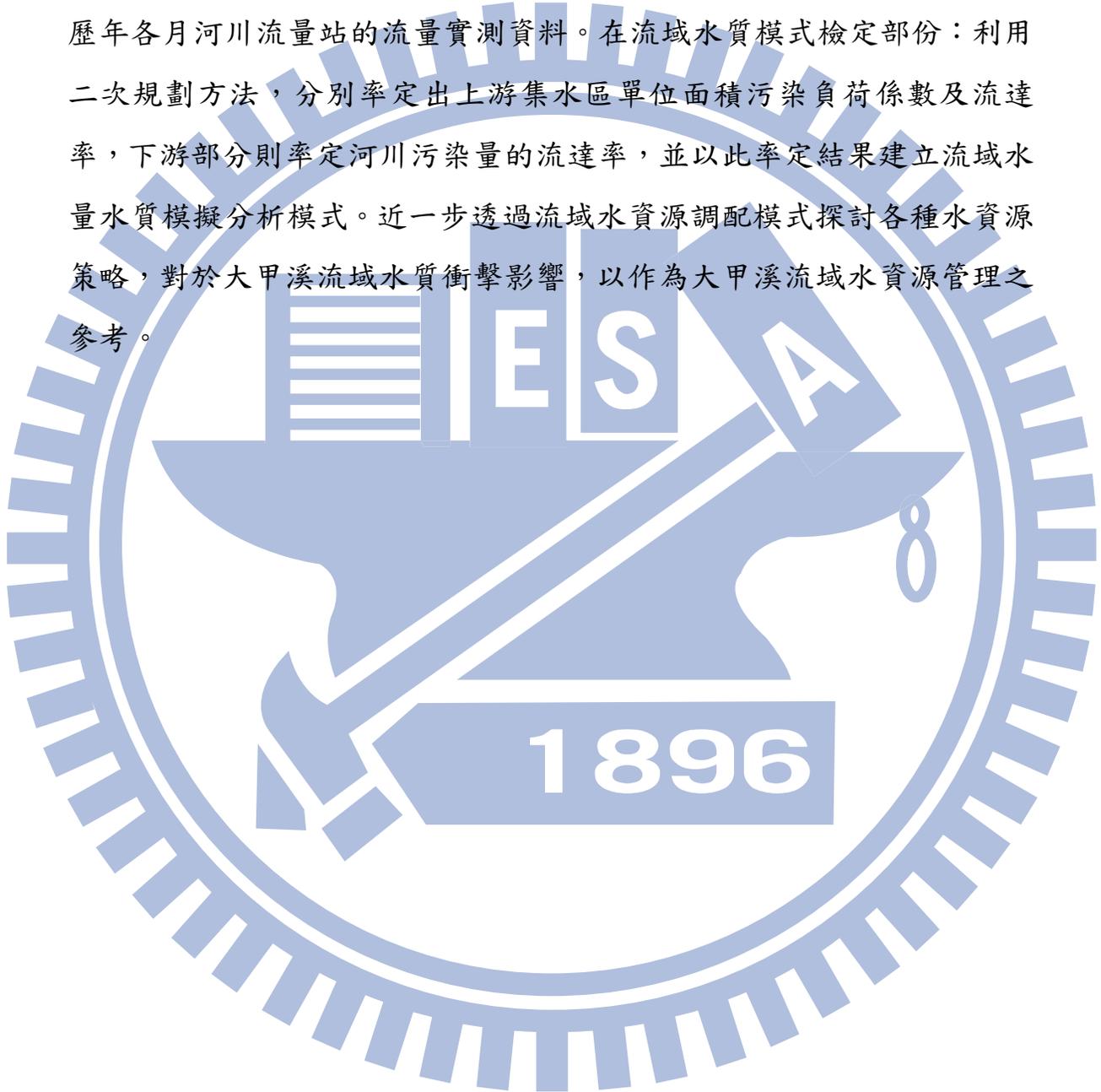
染物排入河川，由於廢水量大，超過河川之涵容能力，致使台灣之大小河川大都受到不同程度的污染。據行政院主計處的資料顯示，2000 年台灣地區 50 條重要河川中，河川污染的主要來源中，家庭污水佔 49.7% 最高，其次為工業廢水佔 36.3% 及畜牧廢水佔 14%。由上述原因導致部分之河川水資源無法有效利用，未來若能有效改善水質，則可提升河川水源的利用率。

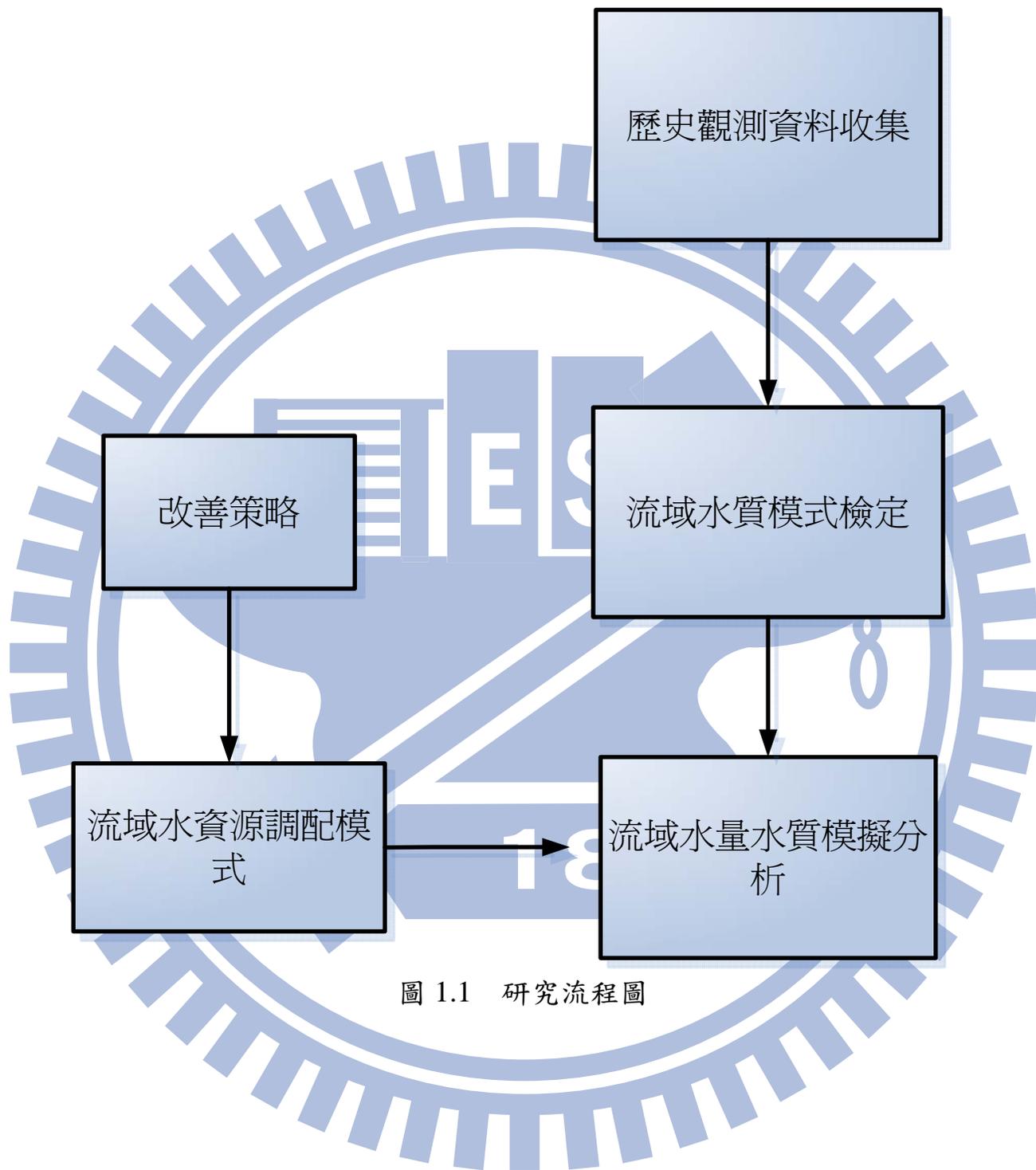
有鑑於此，本研究以「水量」及「水質」的系統思考方向，選定大台中地區包括大甲溪和大安溪流域為研究地區，建立涵蓋水量調配與水質影響之區域水資源策略分析模式，推求德基水庫及河川 BOD 水質濃度。其中河川 BOD 濃度的流達率以二次規劃推求；水庫 BOD 濃度則是以德基集水區 88 年土地利用情形，以二次規劃及單位面積負荷係數法出推求不同土地形態下的單位面積負荷係數及流達率，配合降雨量分配計算入庫的污染量，並進一步推求德基水庫 BOD 水質。應用所建立的流域水質模式，探討不同水資源調適策略對於流域河川水質的影響，以提供更完整而清晰之參考資訊，作為決策者參考。

1.2 研究架構

本研究流程圖如圖 1.1 在歷史觀測資收集部分：先收集大甲溪流域之相關歷史資料，雨量部份收集中央氣象局、台電及水利署研究區域雨量站資料，包括桃山、思源、平岩山、環山、無明山、捫山、黎山、松茂、佳陽山、志佳陽大山、達見、松峰一共 12 個雨量站的日降雨量資料，資料年份為民國 71 - 民國 85 年，一共 15 年。土地利用面積資料由逢甲大學地理資訊系統中心所提供民國 88 及 91 年土地利用分類圖層、

水庫水質及水量資料則參考 91 年德基水庫集水區第四期整體治理規劃報告採用其中民國 88 及 91 年實測資料、並參考環保署及水利署水文水資源資料管理供應系統，收集歷年各月水質測站的河川水質實測資料及歷年各月河川流量站的流量實測資料。在流域水質模式檢定部份：利用二次規劃方法，分別率定出上游集水區單位面積污染負荷係數及流達率，下游部分則率定河川污染量的流達率，並以此率定結果建立流域水量水質模擬分析模式。進一步透過流域水資源調配模式探討各種水資源策略，對於大甲河流域水質衝擊影響，以作為大甲河流域水資源管理之參考。





第二章 文獻回顧

一、水質相關文獻

當集水區之林地、稻田、果園、茶園、菜園使用之有機肥料、農藥及養殖漁業、畜牧業產生之污染以及社區之生活排水所產生有機污染量超過水庫自淨能力時，將發生水庫水體優養化現象。因此水庫集水區土地利用型態為影響水庫水質的主要原因之一。詹智全（2001）指出國內尚未有水質是否優養化規定的標準方法，相關研究各有不同，也因此造成優養化評估結果有所差異，目前國內外對水庫及和川水質研究結果如下：

國內對於集水區污染已有多數之相關研究，主要進行污染源之調查、污染負荷量（Pollutant Loads）及最佳管理作業等方面之研究。推估集水區污染負荷量的研究有：蔣本基等（1987）經由採樣台北縣三峽地區之都市及農業區域，來分析暴雨逕流的水量及水質，探討暴雨逕流所產生之非點源污染；蘇煌池（1992）以負荷-阻抗概念推估水庫涵容能力之可靠度及建立BOD、總氮及總磷之年污染負荷；余忠賢（1996）利用單位面積、直接測量和相關分析三種方法，推估德基水庫非點源污染之年總污染量；郭振泰等（1996）、陳怡靜（2000）利用德基水庫入流松茂站的實測值及相關污染值線性迴歸經驗式，推估出每年入流德基水庫污染總量；溫清光等（1999）（2001）對於曾文水庫及翡翠水庫等遊憩活動、農業活動、社區、施工活動及工業活動系列之非點源污染調查，並加以推估污染的負荷量；林宜秀（2003）以石門水庫集水區水質及流量資料，利用單位面積法推估集水區污染量及保護帶的設置。

在河川及水庫水質部份，蘇煌池（1992）、李家鼎（2006）、呂銘淵（2007）把BOD列為水庫水體參考水質指標之一。江漢全（1996）指出BOD是測定生物性可氧化有機物唯一方法，國內水質監測在估算水承受水體自淨能力上是不可缺少一項指標；張智華（1997）針對台灣南部工業區及石化廠調查，並以swmm模擬推估SS、BOD、COD等單位面積年負荷量。

在國外，在集水區污染方面：Tony（1989）探討集水區的污染類別中，以農業區的地表逕流為主要來源，從農業區的污染源排放至水體；Duda（1993）提出美國環保署1990年資料顯示，污染之來源主要為降雨逕流、農業活動、礦場排水及水利工事等。

河川水質模式自 Streeter-Phelps（1925）兩人發表之Ohio River 之BOD-DO 模式開始有大量相關研究；O'Conner（1960）以質量平衡證明 Streeter-Phelps 之方程式，建立完整的理論基礎。Steel（1965）、Chen（1970）將模式應用在感潮河段、湖泊、水庫及海洋等水質污染及水體優養問題；由於對湖泊、水庫的水質重視而使理論發展漸趨成熟，為方便對水質預測，模式逐漸被發展出來，Vollenweider（1983）視水體為黑盒子而發展的零維模式，分析湖泊、水庫優養化的特性，此法簡單具實用價值。

台灣河川水質惡化主要因為受到有機性污染因子影響，其中生化需氧量為表示河川受有機物的污染程度。Sawyer（1995）生化需氧量數據在環工上有及廣泛之應用，它是測定家庭污水或是工業廢水最重要的試驗。它亦是用來測定可被生物氧化的有機物量的方法，故生化需氧量可作為河川污染的主要準則；澳州學者Scholz, G.(2002)與Bennett(2002)

均提及流域水資源的開發與利用，除滿足人類的需求外，還必需盡可能地維持河川的健康。而周慧珍（1992）指出美濃水庫越域引水，會提高高屏溪BOD濃度；鄒鄉銘（1998）則指出不同水庫操作對於水庫下游河川的BOD濃度產生影響。

二、以系統動力學為基礎，兼顧水量與水質面向之相關文獻

本研究以系統動力學為基礎，綜合分析水量及水質之相互影響，故相關文獻說明將以應用系統動力學進行分析之文獻進行探討。

在系統動力學研究方面，有效率的水資源規劃與管理是不容忽視的，此一議題考量及政策面相關研究如下：XU et al.(2002)應用水資源系統動力學(WRSD)分析中國大陸黃河流域的永續性；Stave(2003)將系統動力學應用於拉斯維加斯的水資源管理上；詹麗梅(2001)利用系統動力學理論建立區域供水系統之模擬模式，其中包含需水量預測與用水調配模擬模式，並建立永續性評價指標體系與評價方法，以探討不同供水策略對供水系統永續性之影響；黃鈺珊(2001)建構流域水資源使用與都市系統動力模型，並以情境分析，針對當前高屏溪流域之水資源與都市發展政策進行政策試驗，檢視其是否達到永續發展之理念；李明益(2001)建立河川流域系統與水管理決策的系統動力學模式；張鴻斌（2003）以系統動力思考角度探討污水下水道接管率的開闢與水污染增加速度的時間關係，並進一步導入都市成長管理策略分析及引進BOT公私合營模式，探討都市水污染長期變化趨勢。

探討有關於河川水質方面研究：李魁裕（2001）同時進行高屏溪水量改善和水質改善方案的成本效益分析，特色為使用排放轉換函數結合

水質改善方案的成本效益分析，排放轉換函數是以 QUAL2E 水質模式模擬。陳函馨（2002）以系統動力學建立感潮河川水理水質模式，了解河川水質變化情形，並推估水質改善各階段河川涵容能力；李孟璵(2002)以高雄愛河為研究對象，利用河川水質模式，配合上游集水區的人口變化、土地使用以及降雨型態的差異，並使用系統動力學的軟體 STELLA 來建構模式模擬現況。童智偉(2000)則依據驅力-狀態-反應之永續指標架構，探討流域性環境水質之永續力。以濁水溪流域為例，配合 VENSIM 系統動力學軟體建立環境管理決策支援系統，進行水質評量系統及動態模擬分析。

Simonovic (1997)將系統動力學應用於埃及的水資源策略分析上，L. Gabriel et al. (2000) 架構出一個同時結合了水量模式 (MOSIM) 和水質模式 (QUAL2E-UNCAS) 的水資源管理決策支援系統，並將其運用在 Piracicaba 流域；Sharon et al. (2001) 整合水量模式 (MODSIM) 和水質模式 (HEC-5Q) ，並將其運用在 Klamath 流域，藉由此一整合模式的模擬結果，篩選出能改善水質並滿足水量要求的策略；H.C.Guo(2001) 將系統動力學應用於中國大陸洱海(Erhai)湖流域的水質規劃與管理；C.C.Yang 等（2008）建立台灣中部地區大甲溪流域整體水量系統模式，由指標計算結果來篩選出符合永續指標的策略組合，並進一步分析策略組合財務面的衝擊；李任馥(2007) 提供高屏溪流域水量水質改善參考外，並展示用系統動力學於河川水量水質管理策略評估的可行性；陳禹志(2007) 以大甲溪流域為研究對象，針對各項污染源架構出因果回饋環路，模擬評估增加河川生態基流量、養豬離牧、風景區遊憩污染防治及鄉鎮污水下水道系統等相關防治方案之成效。

本研究以系統動力學為基本分析工具，以大甲及大安溪流域為研究區域，建立涵蓋水量調配與水質影響之區域水資源策略分析模擬模式，並就現有系統透過多元化改善策略，應用所建置之模式探討各改善策略對河川水質之影響，做為流域水量及水質管理策略評估的可行性。



第三章 研究方法

3.1 水資源調配系統動力模式

3.1.1 系統動力學之發展歷程

系統動力學發源於 1960 年代，美國麻省理工學院 (Massachusetts Institute of Technology, MIT) 之史隆管理學院 (Sloan School of Management) 的 Forrester 與同事在福特基金會 (Ford Foundation) 及史龍基金會 (Alfred P. Sloan Foundation) 的贊助下，以回饋控制理論 (feedback control theory) 分析工業系統，並應用在企業系統之管理工作上。後續應用系統動力學的研究非常多如：1969 年，Forrester 利用系統動力這個新觀念進行都市動態 (Urban Dynamics) 之研究。1970 年代初期，Meadows et al. (1972) 應用系統動力模式分析探討全球未來一世紀人口成長與工業發展之關係。Francisco et al. (1993) 利用系統動力模式來進行環境政策的評估與研究。Guo et al. (2001) 則利用系統動力模式分析中國大陸雲南省洱海湖盆地 (Lake Erhai Basin) 之地區性環境計畫及其環境管理策略。近年來系統動力學應用日益廣泛，應用之課題包括了模擬地表水污染、模擬水庫供水系統、生態系統族群變化、大氣化學與污染傳輸、溫室氣體與全球暖化和現金流量的問題。

3.1.2 系統動力學原理說明

系統動力學理論係結合控制 (Cybernetics)、系統論 (System Theory)、資訊理論 (Information Theory)、決策論 (Decision Theory)、電腦模擬 (Computer Simulation) 等理論成為一體的管理新方法、新工具和新概念。系統動力學為描述、探索和分析複雜系統內流程、訊息、組織疆界與策略的一種嚴謹的研究方法，其可透過量化的系統模擬

與分析來進行系統結構與行為之設計。系統動力學是處理訊息回饋系統之動態行為的一種方法論，它提供一種實驗的、定量分析的方法，因此對於極複雜的動態、回饋且具時間滯延(Time Delay)的問題，能提供整體、長期且較週延的解決方法。

系統動力學除了強調系統與時間之連動性外，另一重要之基礎為因果之關連性，該意義有三：(1)藉由因果關係的確認來說明系統之問題；(2)藉由因果關係的確認將複雜之問題作簡潔而系統化之表示；(3)藉由變數間之因果關係來說明系統之範圍。其中，因果關係之表示旨在說明兩個變數間之關係為正向或負向，而無數量上之意義，意即數量之大小並不會影響到因果鍵之存在與否。進而若將一系列之因果鍵串接成因果回饋關係環路，則可將因果關係發展為正向之因果回饋關係環路或負向之因果回饋關係環路；正向之因果回饋關係環路，係表示任何變數的變動，最後將使該原生變動之變數朝同方向加強其變動幅度，造成自我之強化，而負向之因果回饋關係環路，則表示任何變數的變動，最後將使該原生變動之變數產生抑制變動之效果，造成自我之規律。藉由因果回饋圖的繪製，我們可以清楚了解各變數的因果關係與作用方向，並瞭解結構的基本特性。例如圖 3.1.1 為水庫供水操作之因果回饋環路，其表示水庫蓄水量越多則可利用水量(入流量+水庫蓄水量)越多，當可利用水量越多或需求量越大時水庫供水量就可以越多，但供水量越多的結果亦會導致水庫蓄水量的減少，如此即構成了一個封閉的負回饋迴路，這表示水庫蓄水量(累積變數)會隨著時間的前進，而趨近於某一個平衡水位。

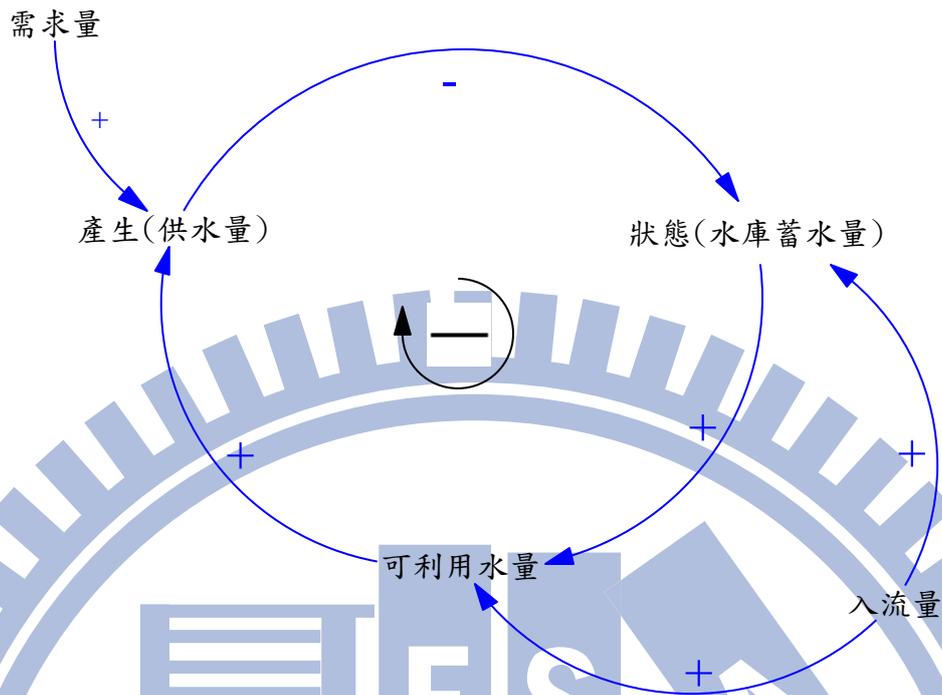


圖 3.1.1 水庫供水操作之因果回饋環路(本研究繪製)

參考上述因果回饋環路，利用系統動力學的四個基本物件：存量 (Stock)、流量(Flow)、箭線(Connector)以及輔助變數(Auxiliary)來建構系統動力流圖，如圖 3.1.2 所示。

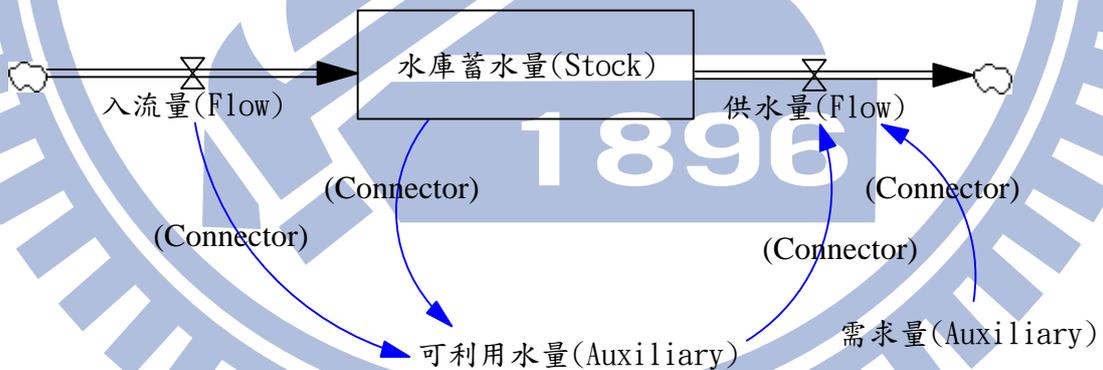


圖 3.1.2 水庫供水操作之系統動力流圖(本研究繪製)

1. 存量 (Stock) 係表示某一系統變數在某一特定時刻的狀態，其數值大小是累加了流入率 (Inflow rate) 與流出率 (Outflow rate) 的淨差額所產生之結果，可說是系統過去活動結果之累積，如同水庫中蓄水量即屬於一存量之概念。

2. 流量 (Rate) 則表示某種儲存變數變化之快慢，代表著一種瞬間的

行為，其數值多由存量變數與輔助變數之交互關係來決定，如同水庫的入流量與供水量即屬於流動之概念。

3.輔助變數 (Auxiliary) 則用來針對前兩種變數進行各變數間交互關係之補充說明，類似一般計算方程式中之參數，如水庫中之可利用水量即屬此概念。

4.箭線(Connector)則用來連接變數間之關係，如可利用水量變數是由入流量變數與水庫蓄水量變數組成。

於系統動力流圖各物件內輸入相關資料與數學式後，即為一系統動力模型，此模型將能進行不同策略組合的情境模擬。

圖 3.1.3 為一水資源供需示意圖，包含了入流量、河川放水量、需求供水量及未控制流量等。可以將變數區分為外部變數和內部變數，外部變數是指可由觀測資料或其他相關報告蒐集而得，包含入流量、水庫庫容量、淨水廠處理能力、管線限制及需求量，內部變數則包含河川放水量，需求供水量、未控制流量以及水庫蓄水量等，其量化關係必需依序計算求得。配合系統動力學的四大元件：存量、流量、輔助變數跟箭線建立系統動力流圖，如圖 3.1.4 所示。最後輸入各變數間之量化數學式，即可完成水資源調配模式。

內部變數其量化關係並需依序計算，首先計算下游河川放水量，其量化數學式可由下式 (3-1) 表示：

$$OB_{k,t} = \min\left(\sum_{i \in L_k} I_{i,t} + S_{k,t}, R_{k,t}\right) \quad (3-1)$$

變數下標的第一個字母代表節點符號，下標的第二個字母代表時間狀態， $OB_{k,t}$ 是指在 t 時刻節點 k 之河川放水量， $I_{i,t}$ 是指 t 時刻線段 i 的流量， $S_{k,t}$ 是 t 時刻節點 k 的蓄水量， L_k 是指所有流入節點 k 的入流線段集合， $R_{k,t}$ 表示節點 k 在 t 時刻之下游保留量，其涵蓋了生態

保留水量以及下游優先水權保留量， $R_{k,t}$ 可由方程式 (3-2) 表示：

$$R_{k,t} = \sum_{i \in M} DR_{i,t} + B_{k,t} \quad (3-2)$$

$DR_{i,t}$ 是下游 t 時刻線段 i 之優先水權量， $B_{k,t}$ 表示節點 k 在 t 時刻的生態保留水量， M 是指所有下游優先於 K 點取水之需求量 ($D_{k,t}$) 的需求節點集合，生態基流量 $B_{k,t}$ 通常則以河川流量超越機率 95% 的量來估算。

需求供水量可由方程式 (3-3) 表示：

$$OD_{k,t} = \min \left[\sum_{i \in L_k} (I_{i,t}) + S_{k,t} - OB_{k,t}, \sum_{j \in N_k} (D_{j,t}), Cmax_k, Pmax_k \right] \quad (3-3)$$

$OD_{k,t}$ 是指從節點 k 在 t 時刻之需求供水量， $D_{j,t}$ 是指 t 時刻取水節點 j 之目標需求量， N_k 是指取水來源取自節點於 k 之所有需求節點集合， $Cmax_k$ 是指於取水來源取自節點 k 之淨水場處理能力， $Pmax_k$ 是取水來源取自節點 k 之管線最大輸送容量。

若 K 點為非蓄水節點，則未控制流量可由 (3-4) 式推估，若為蓄水節點，則未控制流量可由 (3-5) 式推估。

$$ON_{k,t} = \sum_{i \in L_k} I_{i,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} - Smax_{k,t}$$

$$if \sum_{i \in L_k} I_{i,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} > Smax_{k,t} \quad (3-4)$$

$$ON_{k,t} = 0$$

$$if \sum_{i \in L_k} I_{i,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} \leq Smax_{k,t}$$

$$ON_{k,t} = \sum_{i \in L} (I_{i,t}) - OB_{K,t} - \sum OD_{k,t} \quad (3-5)$$

其中 $ON_{k,t}$ 是指節點 k 在 t 時刻的未控制流量， $Smax_{k,t}$ 是指節點 k 在 t 時刻的最大蓄存體積。

節點 k 在下一時刻(t+1)的體積則由質量平衡來決定，可由(3-6)式來表示：

$$S_{k,t+1} = S_{k,t} + \sum_{i \in L_k} I_{i,t} - \sum_{j \in W_k} O_{j,t} \quad (3-6)$$

$S_{k,t+1}$ 是指節點 k 在 t+1 時刻的體積， $O_{i,t}$ 是指節點 k 在 t 時刻的出流量，其包含河川放水量、需求水量、未控制流量， W_k 是指從節點 k 所有的出流量集合，若節點 k 為非蓄水節點，則 $S_{k,t}$ 和 $S_{k,t+1}$ 為 0。

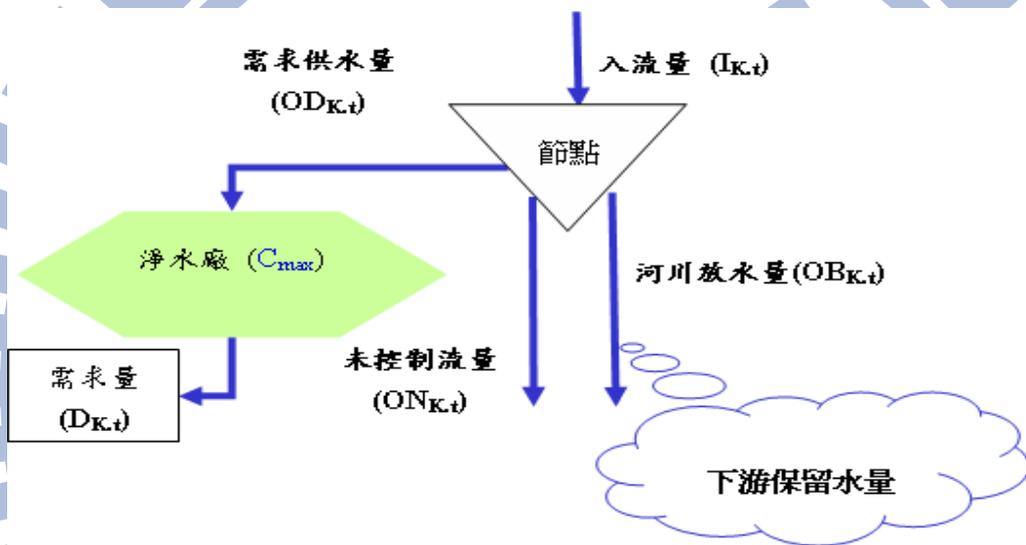


圖 3.1.3 水資源供需示意圖

(資料來源：區域水資源永續利用之策略模擬與分析報告)

3.2 水庫污染源的推估

3.2.1 非點源污染的推估

本研究採用單位面積污染負荷法，所謂單位面積污染負荷（Unit Load）或或稱為排出係數（export coefficient），表示一地區單位土地面積在單位時間的污染排出量，單位一般為 kg/ha/yr。單位負荷係數值是根據長期取樣觀測來確定，或者是通過對流域內單一土地利用的集水區的污染負荷係數做長期的觀測，然後用此通量除以監測年數和集水區面積來計算。余忠賢（1996）指出當湖泊或水庫的流域面積很大，土地利用類型多且複雜，而又不可能常年測量區域污染負荷，所以可以採用單位面積法。因不同的用地型態對水庫水質的影響程度有所差異，故在推估水體承受因人為開發、使用行為所衍生的污染負荷量時，必須先界定出各種用地型態可能產生的單位污染負荷量。

欲利用單位污染負荷法推估水體污染負荷量時，需先將集水區範圍內的土地依用地型態加以分類，再將各類用地之單位污染負荷量配合集水範圍內各用地型態的面積，即可推估集水區的總污染量。

其推估公式如式（3-7）所示：

$$M = \sum_i^n W_i \times A_i \quad (3-7)$$

式中：

M: 集水區各種土地利用的年污染負荷總量

A_i : 集水區內 i 類土地利用的總面積

W_i : 集水區內 i 類地型態的單位面積污染的產生量

並非所有集水區污染負荷總量會在同時間流入水庫水體，本研究將集水區污染量的流達率列入考慮，故將（3-7）式改寫成（3-8），再將流達率的污染總量以月降雨量來分配如（3-9）式。

$$M = \sum_{i=1}^n (A_i \times W_i \times C_i) \quad (3-8)$$

$$M_i = M \times \frac{P_i}{P} \quad (3-9)$$

式中：

C_i :集水區內 i 類土地利用型態的流達率

M_i : t 月時刻的入流污染量 P :總平均降雨量 P_i : t 月時刻降雨量

3.2.2 水庫水質的推估

水庫水體受到污染主要是集水區上游入流污染物所影響，本研究以一質量平恆的簡化模式，建立較簡單、方便使用之水庫水質評估模式，如 (3-10) 式所示。

$$S_{t+1} \times c_{t+1} - S_t \times C_t = M_t - C_{out} \times O_t = M_t - \frac{1}{2}(C_t + C_{t+1}) \times O_t \quad (3-10)$$

整理後水庫污染量濃度如 (3-11) 式，下所示

$$C_{t+1} = \frac{M_t - 0.5 \times O_t \times C_t + S_t \times C_t}{S_{t+1} + 0.5 \times O_t} \quad (3-11)$$

S_t : 初始水量， O_t :水庫放流量， S_{t+1} :下一時刻水量， C_t : 初始濃度， C_{t+1} : 下一時刻濃度， M_t : t 時刻的入流污染量，

3.3 流域點源污染的推估

台灣河川水質惡化主要因為受到有機性污染因子影響，其中生化需氧量為表示河川受有機物的污染程度。生化需氧量數據在環工上有及廣泛之應用，它是測定家庭污水或是工業廢水最重要的試驗。它亦是用來測定可被生物氧化的有機物量的方法，故生化需氧量(BOD)可作為河川污染的主要準則(Sawyer, 1995)。

台灣河川因地理特性流速皆快且急速，故河川本身自淨能力影響較小，衰減係數依據行政院環境署「台灣地區河川水質模式應用現況及準則研擬之可行性研究」中，由計算生化需氧量衰減率結果得知，可發現衰減作用於水質推估中影響很小，故本研究不考慮衰減作用。

由於取水的資料不易取得，故本研究將不考慮取水濃度。在河段水質污染，只考慮點源污染的影響，暫不考慮非點源污染的影響。利用質量平衡方法推估河川水質濃度並考慮流達率，如 3-12 式所示：

$$C_{i,t} = \frac{M_{i,t} \times R_{i,t} + C_{i-1,t} \times Q_{i-1,t} \times \Delta t}{Q_{i,t} \times \Delta t} \quad (3-12)$$

$M_{i,t}$: t 時刻 i 河段之生化需氧量

$C_{i,t}$: t 時刻 i 河段之生化需氧量濃度

$C_{i-1,t}$: t 時刻 i 河段上游之生化需氧量濃度

$R_{i,t}$: t 時刻 i 河段之流達率

$Q_{i-1,t}$: t 時刻 i 河段上游之流量

$Q_{i,t}$: t 時刻 i 河段之廢水流量

3.4 水質評估指標選定

現行我國有飲用水標準及地面水體分類及水質標準兩項水質標準，本研究採用環保署訂定地面水體分類及水質標準，如表 3.4.2-1 所示。其中，法規第四條明文規定陸域地面水體分類分為甲、乙、丙、丁、戊五類，其適用性質如下：

一、甲類：適用於一級公共用水、游泳。

二、乙類：適用於二級公共用水、一級水產用水。

三、丙類：適用於三級公共用水、二級水產用水、一級工業用水。

四、丁類：適用於灌溉用水、二級工業用水及環境保育。

五、戊類：適用環境保育。

其中：

A、一級公共用水：指經消毒處理即可供公共給水之水源。

B、二級公共用水：指需經混凝、沈澱、過濾、消毒等一般通用之淨水方法處理可供公共給水之水源。

C、三級公共用水：指經活性碳吸附、離子交換、逆滲透等特殊或高度處理可供公共給水之水源。

D、一級水產用水：在陸域地面水體，指可供鱒魚、香魚及鱸魚培養用水之水源；在海域水體，指可供嘉臘魚及紫菜類培養用水之水源。

E、二級水產用水：在陸域地面水體，指可供鯪魚、草魚及貝類培養用水之水源；在海域水體，指虱目魚、烏魚及龍鬚菜培養用水之水源。

F、一級工業用水：指可供製造用水之水源。

G、二級工業用水：指可供冷卻用水之水源。

(資料來源:水污染防治法。)

表 3.4.2-1 地面水體分類及水質標準

分類	監測項目						
	PH	溶氧量 (DO) mg/L	生化需氧量 (BOD) mg/L	大腸桿菌 (CFU/100ML)	懸浮固體 (SS) mg/L	氨氮 (NH ₃ -N) mg/L	總磷 (TP) mg/L
甲	6.5-8.5	6.5 以上	1 以下	50 個以下	25 以下	0.1 以下	0.02 以下
乙	6.0-9.0	5.5 以上	2 以下	5,000 個以下	25 以下	0.4 以下	0.05 以下
丙	6.0-9.0	4.5 以上	4 以下	10,000 個以下	40 以下	0.4 以下	—
丁	6.0-9.0	3 以上	—	—	100 以下	—	—
戊	6.0-9.0	2 以上	—	—	無漂浮物 且無油污	—	—

(資料來源：行政院環境保護署)

3.5 水量評估指標選定

由於全球氣候暖化的影響，未來台灣發生乾旱與洪澇的機會越來越大，就供水而言必須維持農業用水、工業用水與生活用水的穩定供水量，因此本研究將以過去水利單位常用之缺水指數 SI(shortage index)來評量供水的穩定度，以下將就該指標之定義與目標進行介紹。

(1)定義：缺水指數簡單描述年缺水量與年計畫供水量間之關係，以缺水率(年缺水量/年計畫供水量)之平方表現年缺水之程度，並以全期各年缺水率平方之平均為代表，將不同年間之缺水狀況予以平均化，對特殊之枯旱狀況給予較高之權重。其可表示如下：式中 N 為模擬總年數

$$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\text{年缺水量}}{\text{年計畫供水量}} \right)^2$$

(3-13)

(2)目標：此一準則須考慮用水人缺水之忍耐能力及水源調配支援之能力，若用水人之忍耐能力越高則供水規劃準則可採較低之標準，若其他水源支援能力低則供水規劃準則須採較高之標準，反之亦然。然而，因為用水人對缺水之忍耐能力及水源調配支援能力的影響因素錯綜複雜，一般在規劃水庫供水準則時無法細部分析，這些行為之影響可依照過去使用之經驗來訂定，過去水利單位常以缺水指數 SI(shortage index)=0.5~2.0 作為供水計算標準，前水資會則使用缺水頻率為十年一缺之狀況作為標準，使用不同供水準則將會有不同之供水狀況及品質。本研究中將以 SI=1 作為缺水風險評判指標。

第四章 流域水資源調配及水質策略模擬模式建立

4.1 研究區域概述

4.1.1 流域自然環境概況

1、大甲河流域

大甲溪本流發源於中央山脈之雪山及南湖大山，全長 124.2 公里，流域面積為 1,235.7 平方公里，年平均逕流量約 21 億立方公尺。上游地形群山環峙、河谷峭聳，源頭係由伊卡瓦溪及南湖溪匯流而成，其中以源出於劈亞南鞍部的伊卡瓦溪為本流，東側納入七家灣溪後向南流。至於南湖溪則發源於南湖大山，並有合歡溪及畢祿溪的匯流。伊卡瓦溪及南湖溪於太保久處匯流後始成為大甲溪幹流。

大甲溪上游左岸發源於南湖大山、中央尖山及合歡山良南湖溪、耳無溪及合歡溪等支流；右岸則發源於大壩尖山、次高山、大雪山之七家灣溪、四季朗溪、志樂溪及匹亞桑溪等支流。德基水庫至谷關間長 25 公里之河床，平均坡降 1/43，河床寬約 20 至 30 公尺，岸峻流急，岩盤外露，為大甲溪水力最豐之一段，兩岸重山峻嶺，稜線部份標高約為 2,500 至 3,000 公尺。自谷關以下至天輪電廠間兩岸較為開展，河床寬達百公尺，再西行至馬鞍寮以後，西出山嶺，約束頓減，河寬達 500 公尺以上。在天輪至石岡間大甲溪東側之山勢較高，約在 500 至 2,000 公尺之間；西側則山勢較緩，平均高度在 500 至 600 公尺左右。

納入匹亞桑溪、小雪溪、馬崙溪、鞍馬溪、稍來溪、十文溪等數條溪，流經谷關、白冷、馬鞍寮等至東勢流入平原。下游地形開展寬闊、坡度平緩、坡降僅 1/90，過石岡後蜿蜒西流，而在清水鎮及大安鄉交界處附近流入台灣海峽。

在大甲溪下游將大肚溪台地與后里台地截開分離，呈網狀流路，迂迴於台中盆地北端，並堆積大量砂礫於河口，造成沖積扇，復與大安溪沖積扇相疊，成一合流沖積扇。

大甲河流域分屬 3 縣之 13 鄉鎮其行政區域宜蘭縣是上游發源地與蘭陽河流域鄰接，山地屬太平鄉；南投縣是上游合歡溪發源地屬仁愛鄉；上游山區為的台中縣和平鄉。中下游為東勢鎮、新社鄉、石岡鄉、豐原市、后里鄉、神岡鄉、外埔鄉、大甲鎮、清水鎮、大安鄉共 7 鄉 4 鎮。本流域交通發達，主要鐵路有縱貫鐵路山、海 2 線；主要公路除國道 1 號、3 號及 4 號高速公路外，尚有省道台 1 線、台 3 線、新竹豐原線（尖豐公路）及台 8 可通至其他各縣市，另外鄉、鎮公路更是四通八達。

2、大安河流域

大安溪發源於苗栗、新竹縣界之大壩尖山與雪山北斜面。上源有二，北源為馬達拉溪，南源為雪山溪，兩溪匯流後稱大安溪，至象鼻溪流轉向南行，其間納入大雪溪、北坑溪及南坑溪等支流，至士林附近納匯雪山坑溪，繼納烏石坑溪，經過雙琦後轉向西行，至卓蘭納老莊溪，行至火炎山附近納景山溪，經火炎山山麓，由大甲鎮西勢附近注入台灣海峽。流路全長 95.8 公里，流經苗栗、台中兩縣，流域面積約 758 平方公里。本流域水源不穩，年平均逕流量約 13.3 億立方公尺，取水灌溉農田約 10,770 公頃。大安河流域灌溉事業目前均由台中農田水利會負責，營運績效卓著。但因河川豐枯水期流量差異極為懸殊，因此，本區域水資源蘊藏雖屬豐沛，但枯水期逕流量很低，水源不敷分配應用。鯉魚潭水庫位於大安溪支流景山溪之中上游，水庫容量 1.26 億立方公尺，壩址以上景山溪之集水面積 53.45 平方公里，年平均逕流量約 0.8 億立方公尺。整個流域在地勢上東部較為高

峻，向西傾斜，自卓蘭起海拔 500 公尺以下之丘陵起伏其間，蜿蜒連綿。除濱海地區，平原殊不多見。

大安河流域分屬 2 縣其行政區域為苗栗縣的泰安鄉、卓蘭鄉、三義鄉與苑裡鄉，台中縣為和平鄉、東勢鄉、后里鄉、外埔鄉、大甲鄉與大安鄉。其交通方面主要有台 3 線及苗 55 號線道，南北貫穿集水區，另外有 5 條產業道路及 12 條農路分佈其中。

4.1.2 德基水庫集水區概況

1. 德基水庫概述

德基水庫集水區涵括大甲溪在德基大壩以上天然稜線以內之流域範圍（圖 4.1.1）。大甲溪位於台灣中部，全長 140 公里，總流域面積為 1,236 平方公里。大甲河流域雨量豐沛，中上游河道陡急，水力資源豐富；下游河道較緩，兩岸平原地勢平坦，土壤肥沃，為農產富庶之區。

為開發大甲溪之水力資源，台灣電力公司首於民國 50 年 10 月完成谷關壩發電廠。接著在民國 62 年 12 月於其上游完成德基大壩，以其大量容積調蓄大甲溪地表逕流發電。其後又陸續於下游興建青山、天輪及馬鞍寮壩，設電廠發電。

德基大壩為一座混凝土拱壩，大壩高 180 公尺，壩頂標高為 1,411 公尺，滿水位標高為 1,408 公尺。滿水位時水庫水域面積約為 4.54 平方公里，迴水端上及梨山，長達 14 公里，標高 1,409.5 公尺以下之水庫原始總容積為 262,207,000 立方公尺。

依經濟部民國 91 年 3 月 20 日公告德基水庫蓄水範圍為設計最高

洪水位標高 1,408 公尺與其迴水所及蓄水域及大壩壩體、排洪道、排砂道、左右岸翼牆、取水口等結構物及壩體下游消能池水域之水面及地面，其範圍位於台中縣和平鄉梨山村，面積 457.9775 公頃（其中蓄水域面積 454 公頃，結構物設施用地面積 3.9775 公頃）。

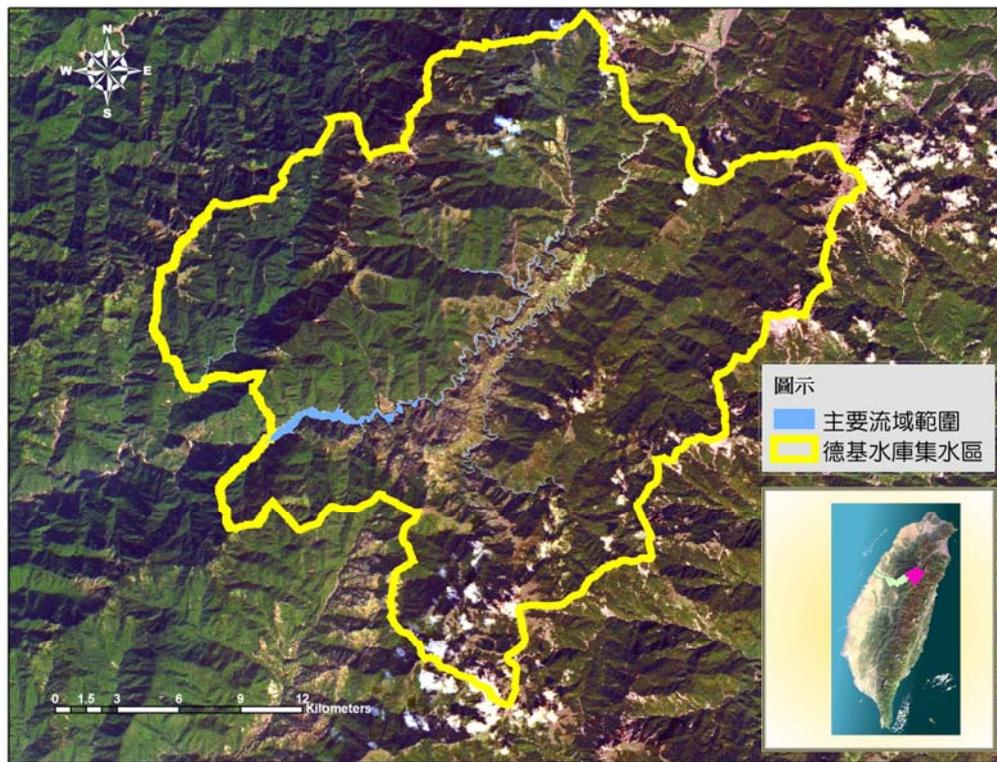


圖 4.1.1 德基水庫集水區地理位置圖

2. 土地利用狀況

德基水庫集水區總面積 60,160.68 公頃，土地屬國有林班地者佔 90% 以上（參見圖 4.1.2），近年來國有林之經營管理以保育為主，並無伐木行為，除局部發生森林火災或豪雨崩塌外，植被鮮有變動。除林班地外，位於德基大壩以上左岸及台八線與台七甲線沿岸地帶，共有 4,390.64 公頃屬於已開墾利用之土地。

德基水庫集水區內農地利用，在坡度平坦、水源充足地區多種蔬

菜，目前蔬菜栽培面積已超過 400 公頃，主要分布於有勝溪、七家灣溪等河谷沖積地及福壽山、武陵、環山嶺脊平坦地區，另外在華崗及靠近花蓮之 73、74 林班亦有較大面積之蔬菜分布。

此外，德基水庫集水區在第三期治理計畫執行期間收回超限利用土地 203.60 公頃，第四期治理計畫計收回超限利用土地 14.05 公頃，對非法超限利用行為之抑止及輔導土地作合理利用，頗具成效。

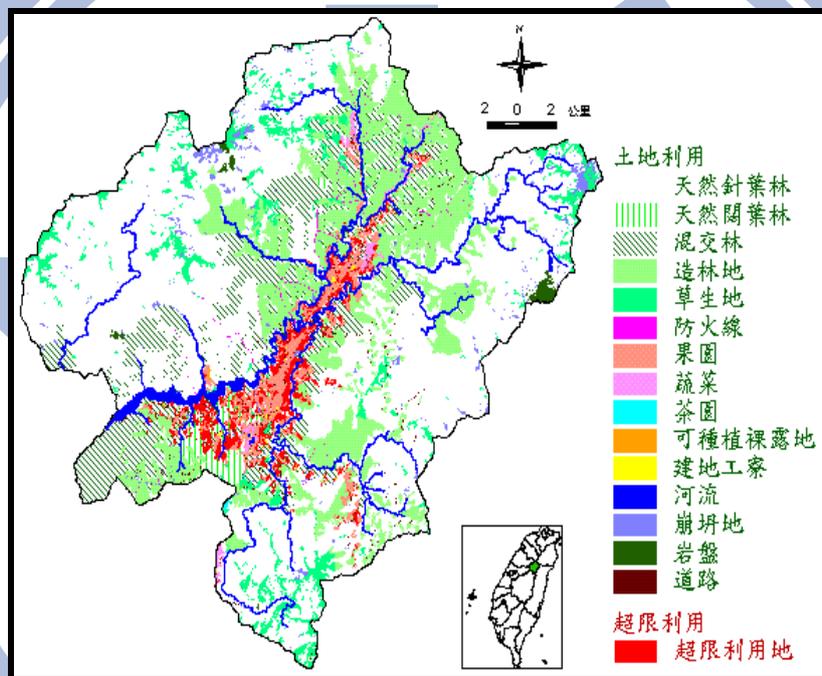


圖 4.1.2 德基水庫集水區土地利用類別圖

(資料來源：91 年德基水庫集水區第四期整體治理規劃報告)

3. 土地利用變遷分析

德基水庫集水區於民國 82 年 12 月、民國 83 年 9 月、民國 84 年 1 月、民國 84 年 10 月與民國 90 年 10 月之各年土地利用情形如表 4.1.2-1 所示，檢討民國 84 年 10 月與民國 90 年 10 月間之土地利用變遷情形如表 4.1.2-2 所示。台灣中部九二一大地震發生於民國 88 年 9

月 21 日，由表 4.1.2-2 之土地利用變遷情形得知，九二一大地震發生前後，德基水庫集水區之土地利用型態有明顯之變化，其中果園(含茶園)面積減少 627.88 公頃、農墾地面積減少 275.19 公頃，林地面積增加 2,666.34 公頃、草地面積增加 921.29 公頃、裸露地面積增加 999.05 公頃。

在九二一大地震發生後，果園(含茶園)面積與農墾地面積均有明顯減少，由降雨逕流等途徑將果園(含茶園)與農墾地之營養源帶入水庫之量也應相對減少，因此水庫水質九二一大地震後初期應相對變佳。由九二一大地震前後之土地利用變遷情形顯示裸露地面積增加近 1,000 公頃，若果園(含茶園)與農墾地減少(約近 1,000 公頃)之部分面積轉變為裸露地，致其表土可能易被暴雨沖蝕進入水庫，則經過一段時間後將影響及水庫水質之變化。

表4.1.2-1 82年至90年德基水庫集水區土地利用衛星影像判釋結果

資料時間	82年12月		83年9月		84年1月		84年10月		90年10月	
	面積 (公頃)	百分比 (%)								
果園(含茶園)	3,186.52	5.30	3,013.09	5.00	3,118.39	5.18	3,130.94	5.20	2,503.06	4.19
農墾地	443.62	0.74	443.32	0.74	318.64	0.53	464.84	0.77	189.65	0.32
林地	48,905.76	81.29	49,333.11	82.00	49,077.85	81.58	49,996.58	81.44	52,662.92	88.12
草地	296.7	0.49	464.16	0.77	677.37	1.13	471.98	0.79	1,393.27	2.33
水體	863.42	1.44	863.42	1.44	863.42	1.44	863.42	1.44	657.51	1.10
建地/道路	281.08	0.47	313.42	0.52	292.71	0.49	301.25	0.50	43.59	0.07
裸露地	2,931.16	4.86	1,288.85	2.14	1,140.83	1.90	1,310.36	2.18	2,309.41	3.86
無立木地	2,803.63	4.66	3,917.33	6.51	4,167.82	6.93	4,125.25	6.86	—	—
雲	448.79	0.75	523.98	0.87	503.65	0.84	496.06	0.82	—	—
總計	60,160.68	100.00	60,160.68	100.00	60,160.68	100.00	60,160.68	100.00	59,759.42	100.00

(資料來源：91年德基水庫集水區第四期整體治理規劃報告及地理資訊系統於主要水庫集水區管理之應用(2/2))

表4.1.2-2 84年至90年間德基水庫集水區土地利用變遷面積

土地利用類別	84年10月至90年10月間土地利用變遷面積	
	公頃	百分比(%)
果園(含茶園)	-627.88	-1.04
農墾地	-275.19	-0.46
林地	2,666.34	4.43
草地	921.29	1.53
水體	-205.91	-0.34
建地/道路	-257.66	-0.43
裸露地	999.05	1.66

(資料來源：91年德基水庫集水區第四期整體治理規劃報告及地理資訊系統於主要水庫集水區管理之應用(2/2))

4. 降雨量概述

本區域位於中低緯度之交界，屬亞熱帶氣候區每年 10 月至翌年 4 月盛行東北季風，因中央山脈阻隔，故雨量較少。而每年 4 月至 9 月間盛行西南風、梅雨及颱風導致雨量豐沛。

大甲溪流域之降雨量以 4 至 9 月為最多，因流域此時處於迎風地帶，雨量頗豐，同時因天氣炎熱造成對流旺盛導致雷雨益增。而到了 7、8 月多颱風季節，更會受氣流影響挾帶大量颱風雨。每年 10 月至翌年 3 月則為乾早期，因地處東北季風背風地帶，雨量甚少。

本研究依據中央氣象局所提供之民國 71 年至 85 年雨量測站資料，計算出德基水庫上游平均旬降雨量（如表 4.1.2-3）。雨量站的選定大甲溪流域選定桃山、思源、平岩山、環山、無明山、捫山、黎山、松茂、佳陽山、志佳陽大山、達見、松峰等雨量站，一共 12 站，其雨量站分布位置如圖 4.1.3。



圖 4.1.3 德基水庫集水區雨量站分布圖

表 4.1.2-3 71 至 85 年德基水庫上游平均旬降雨量

時間 (旬)	平均降雨量 (mm)
1	22.29
2	30.54
3	32.22
4	63.02
5	94.83
6	73.48
7	75.16
8	93.59
9	84.68
10	100.80
11	106.34
12	73.55
13	84.11
14	82.40
15	158.44
16	139.02
17	56.77
18	77.48
19	56.44
20	36.39
21	111.44
22	97.18
23	86.47
24	108.76
25	89.88
26	85.02
27	82.70
28	34.43
29	19.07
30	31.24
31	16.74
32	29.50
33	16.25
34	7.89
35	14.83
36	34.43

4.1.3 流域水資源調配系統、設施、水文水質概述

1. 流域水資源設施

大甲溪流域內主要水源調節設施為德基水庫與石岡壩，如圖 4.1.4。德基水庫儲蓄存上游主支流流量外，另自大甲溪支流志樂壩藉輸水隧道進行大甲大安聯合運用，增加蓄水量。石岡壩攔蓄德基水庫發電用水與德基水庫至石岡壩間未控制流量，可說是大甲溪水源運用之樞紐，其水源引至豐原淨水廠處理後供應大台中地區，為大台中地區公共用水之主要來源。

2. 地表水源調配之系統架構圖

大台中地區水源調配系統圖如圖 4.1.5 所示，主要供給水源為大甲溪、大安溪兩大水源，其中大甲溪流域主要的水源調配結構物有德基水庫、石岡壩及豐原淨水場，德基水庫除引用大甲溪主流蓄存外，另自大甲溪支流志樂溪越域引水。另外大安溪流域主要的水源調配結構物有鯉魚潭水庫、士林攔河堰及鯉魚潭淨水場，其中鯉魚潭水庫位於大安溪支流景山溪，為一離槽水庫，為補充本身水源之不足，另自大安溪主流上之士林攔河堰越域引水。

大甲溪主要蓄水設施為德基水庫、石岡壩，農業用水依各圳路取水位置予以合併考慮用水需求，區分為大甲溪上游灌區(白冷圳、大茅埔圳、老圳、東勢本圳、八寶圳堰上游灌區)、石岡堰灌區(葫蘆墩圳、八寶堰中下游灌區)、大甲溪下游灌區(埤頭山圳、內埔圳、虎眼一圳、虎眼二圳、五福圳、高美圳)等三個農業需求予以計算，公共用水主要經由石岡壩進入豐原淨水場再配送至大台中地區。

大安溪主要蓄水設施為士林攔河堰、鯉魚潭水庫、景山溪攔河堰等。農業用水則依特性區分為士林堰灌區(卓蘭圳、埔尾橫圳、矮山

圳、口潭圳、石壁坑、新店圳、頂店圳、后里圳、七公圳、城圳)、
鯉魚

潭灌區(鯉魚潭圳)、三灌圳(苑裡圳、日南圳、九張犁圳)，公共
用水則是由鯉魚潭水庫直接輸送至鯉魚潭淨水場再配送至大台中地
區。

3.現況地表水源調配之運用原則

大甲溪和大安溪之水工結構物運用規則說明如下：

(1)德基水庫運用要點規定

德基水庫現行發電規線乃以水位進行控制操作(其發電規線如
表 4.1.3-1 及圖 4.1.6)，然本研究之水量模式以蓄水體積進行模擬演
算，因此規線值必須根據水位-面積-容積曲線(如圖 4.1.7 所示)進行轉
換，單位轉換後之發電規線如表 4.1.3-1 所示。德基水庫運用原則說
明如下：

(1)水庫水位高於運用規線時，以電力系統調度為主，並配合下
游各標的用水需求放水。模擬時尖峰發電所需水量以天輪電廠發電水
路設計量(138 秒立方公尺) 每日滿足尖峰發電 6 小時計算。

(2)水庫水位等於或低於運用規線時，除電力系統處於緊急狀況
外，應配合下游各標的用水需求放水。下游公共用水標的放水量以目
前豐原淨水場處理能力 85 萬 CMD 為限。

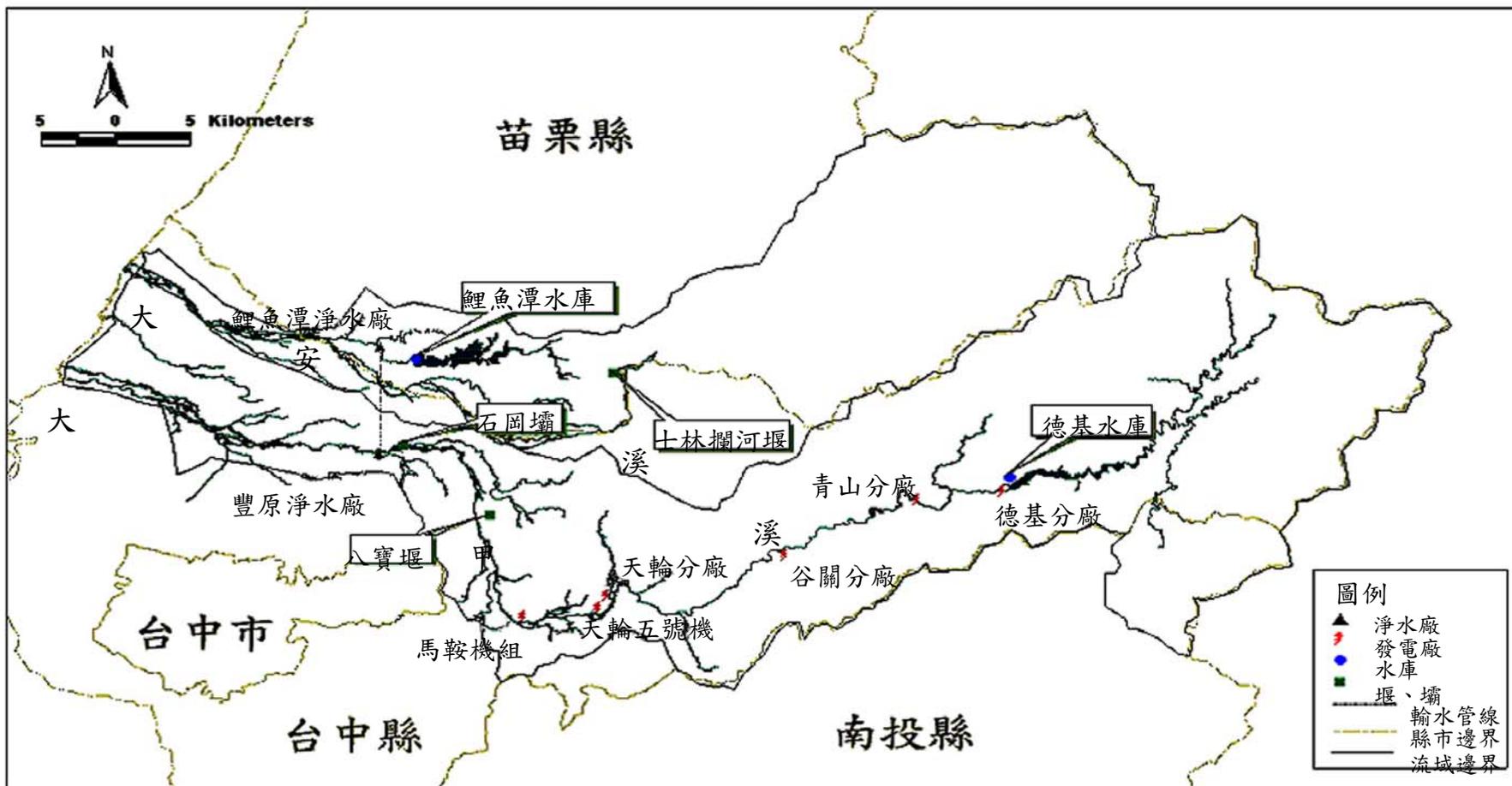


圖 4.1.4 大安溪、大甲河流域圖

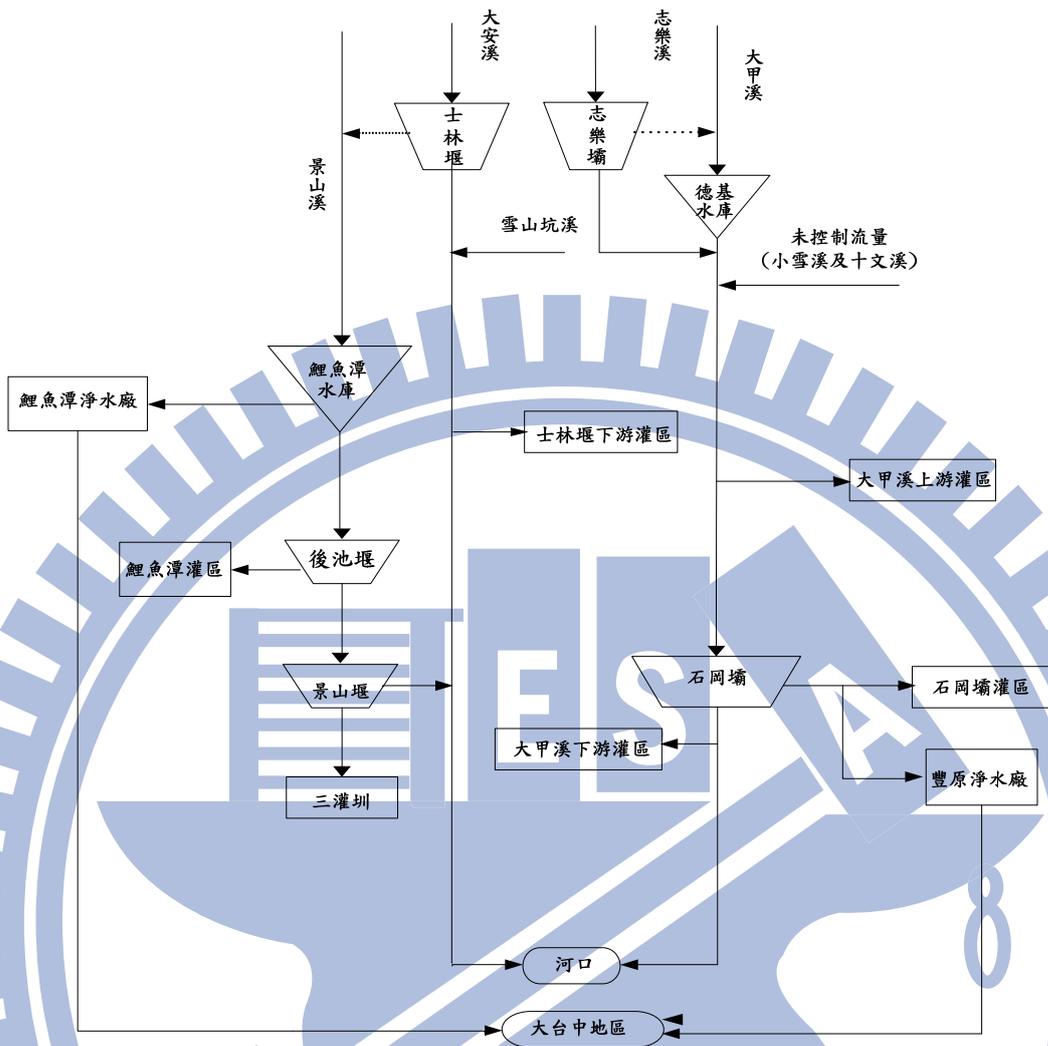


圖 4.1.5 台中地區現況水源調配系統圖

(資料來源：區水資源永續利用之策略模擬分析)

表 4.1.3-1 德基水庫發電運轉規線表

月	旬		水位 (m)	容積 (10 ⁴ m ³)	月	旬		水位 (m)	容積 (10 ⁴ m ³)
1	上	1	1405.9	20120	7	上	19	1371.7	9457
	中	2	1405.5	19933		中	20	1377.4	10724
	下	3	1405.2	19793		下	21	1383.1	12268
2	上	4	1404.8	19620	8	上	22	1388.8	13940
	中	5	1404.5	19500		中	23	1394.5	15740
	下	6	1404.1	19340		下	24	1400.2	17780
3	上	7	1400.9	18060	9	上	25	1402.2	18580
	中	8	1397.8	16908		中	26	1404.1	19340
	下	9	1394.6	15772		下	27	1406.1	20213
4	上	10	1391.4	14748	10	上	28	1408	21100
	中	11	1388.2	13760		中	29	1407.7	20960
	下	12	1385.1	12830		下	30	1407.5	20867
5	上	13	1381.9	11932	11	上	31	1407.2	20727
	中	14	1378.7	11062		中	32	1407	20633
	下	15	1375.5	10230		下	33	1406.7	20493
6	上	16	1372.4	9593	12	上	34	1406.4	20353
	中	17	1369.2	8913		中	35	1406.2	20260
	下	18	1366	8065		下	36	1405.9	20120

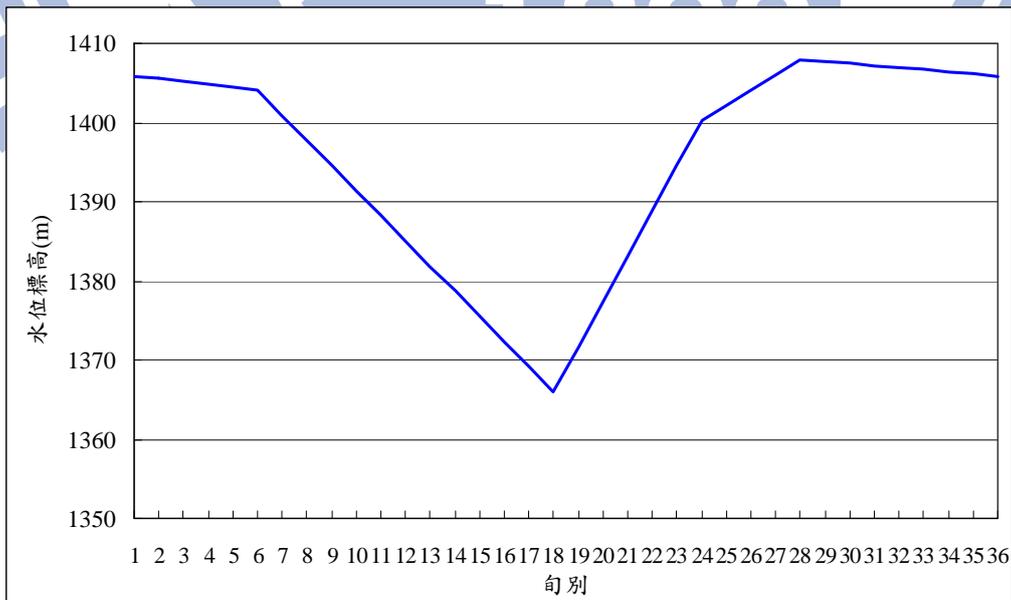


圖 4.1.6 德基水庫發電運轉規線圖

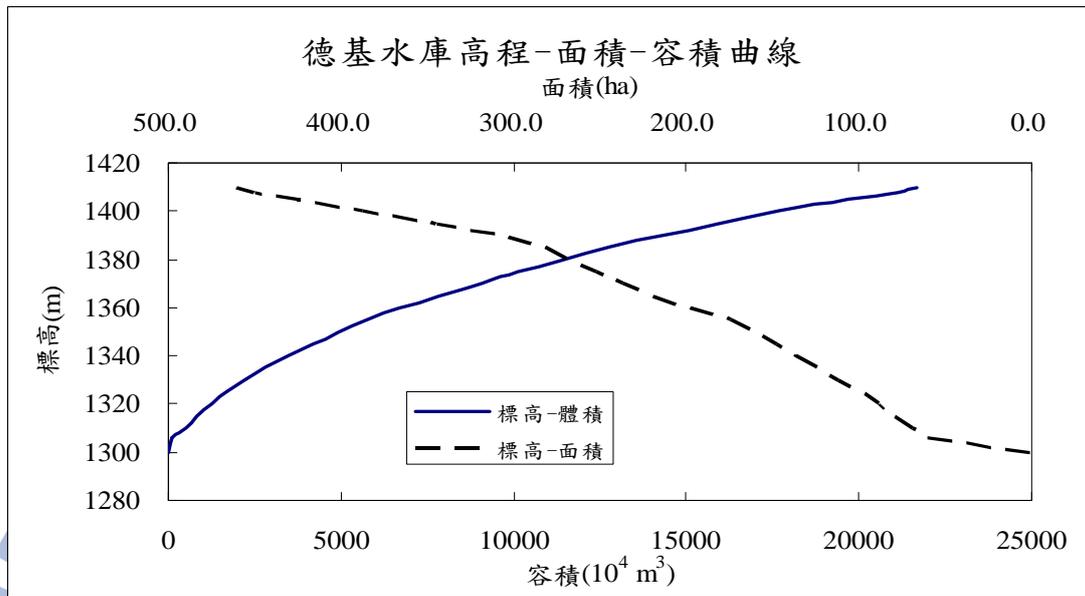


圖 4.1.7 德基水庫高程-面積-容積曲線圖

（資料來源：區水資源永續利用之策略模擬分析）

(2) 石岡壩運用原則

大台中地區之公共用水係透過南幹渠向石岡壩取水，石岡壩水量之來源如下：

1. 上游德基水庫至石岡壩間之未控制流量。
2. 德基水庫配合供水計畫，為滿足需求所釋放之水量。
3. 德基水庫依照台電公司發電計畫而發電之尾水量。

(3) 豐原淨水場處理說明

豐原淨水場 921 震災前目前處理能力為 130 萬 CMD，九二一震災後為穩定供水目前處理能力為 85 萬 CMD，因此本研究之模擬皆以處理能力 85 萬 CMD 為其模擬條件。

(4)士林攔河堰之操作原則

天然進流量扣除下游保留流量後小於 302.4CMD 時，依台電公司調度處之調度作每日調節運用，配合發電引水。

然進流量小於 6,912 萬 CMD 並扣除下游保留流量後大於 302.4 萬 CMD 時，得視需要調節士林壩水位，以設計引水量 302.4 萬 CMD 引水。

天然進流量大於 6,912 萬 CMD 時，應停止引水。

鯉魚潭水庫進行檢查、維修時，應配合減少引水或停止引水；鯉魚潭水庫進行防洪運轉或緊急操作時，應停止引水。

壩、引水隧道及相關設施，因維修、檢查、緊急事故或天災等，本壩得停止蓄水或引水。

(5)鯉魚潭水庫營運操作原則

鯉魚潭水庫主要透過專管將水送至鯉魚潭淨水場以供應大台中地區公共用水，以供給公共用水為主，不提供農業用水，其下游農業用水僅能引取天然流量。

鯉魚潭水庫水源來自景山溪及大安溪越域引水，但由於農業各圳路對於天然流量有優先使用之權力，因此鯉魚潭水庫僅可蓄存天然流量滿足農業需求後之剩餘流量。由於該系統之農業需求量在天然(水庫位於圳路取水口上游)或人為(未增加發電效益，將三灌圳之權益量以越域引水方式送進鯉魚潭水庫)條件影響下皆需經過鯉魚潭水庫，因此鯉魚潭水庫除每日供應大台中公共用水外，亦須將農業需求之權益水量放出，其放水原則如下：

1.每日供應景山溪各灌溉圳路需水量，惟依各圳計畫用水量供

應，但以該日景山溪之天然流量與各圳水權量兩者中較小者為限。

2.水庫每日供給苑裡圳、日南圳、九張犁圳需水量，惟依各圳計畫用水量供應，但已由士林調整池引入該三圳之權益引水量與水權量兩者之小者為限。

(6)鯉魚潭淨水場處理說明

鯉魚潭淨水場目前已完成二期擴充，因此現況處理能力為 110 萬 CMD。因此本研究之模擬皆以處理能力 110 萬 CMD 為其模擬條件。

(7)水源運用順序

大甲大安溪聯合營運之水源運用順序是以大甲溪水源先提供，不足量再由大安溪水源提供。另外需求之滿足順序為先滿足民生用水、其次為農業用水、最後才滿足工業用水，其中民生用水和工業用水必須經過淨水場處理後供應，然各淨水場之原水水源各有不同，因此配合水源運用順序和需求滿足順序，台中民生用水和工業用水之引用水源順序為先由豐原淨水場提供，不足則由后里淨水場提供，最後才由鯉魚潭供應。另外豐原淨水場的原水來自石岡壩引水；鯉魚潭淨水場之原水水源先由石岡壩越域引水提供，最後才由鯉魚潭水庫提供；后里淨水場之原水水源首先由石岡壩之越域引水提供，人工湖水源次之，最後才由鯉魚潭水庫提供。

4.流域水文概述

大甲溪流域 5 至 10 月期間降雨量最多，因流域此時處於西南風迎風地帶，雨量頗豐，同時天氣炎熱造成對流旺盛導致雷雨益增。而到了 7、8 月多颱風季節，更會受氣流影響挾帶大量颱風豪雨。每年 11 月至翌年 2 月則為乾早期，因地處東北風背風地帶，雨量甚少，

乾早期雨量約維持在全年雨量之 19% 左右。由歷年大甲溪石岡壩觀測流量(如圖 4.1.8),顯示大甲溪歷年流量枯旱排序前 3 位為民國 80、92、91 年。

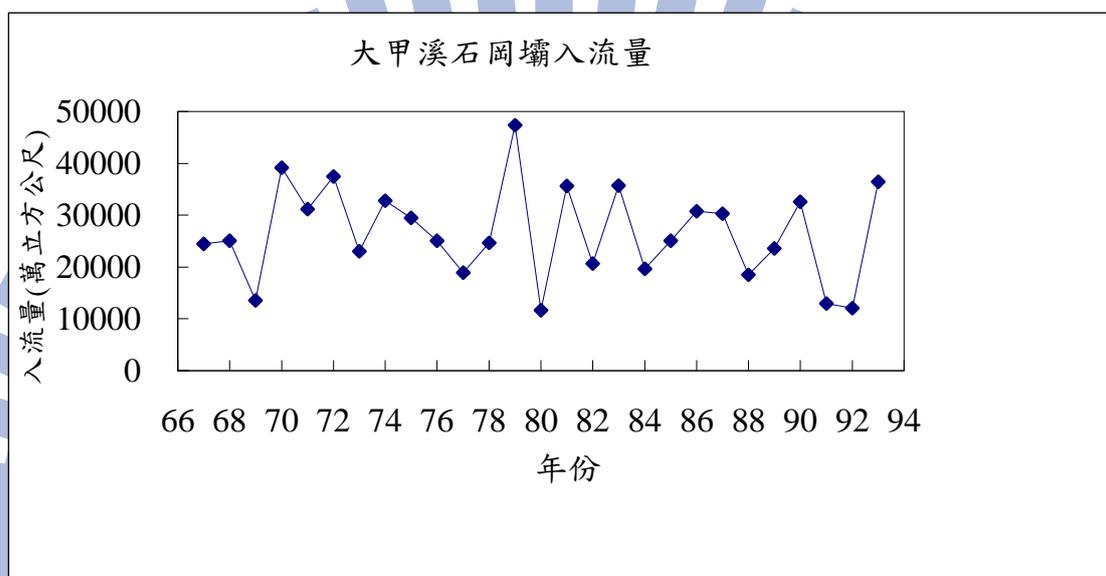


圖 4.1.8 台中地區現大甲溪石岡壩歷年流量圖

5.流域水質資料概述

行政院環保署為了讓國內各大河川水質能進行有效的管理，因此依河川污染防治法制定了各大流域的河川水體水質標準，並且同時在各大河川流域內設置了數個河川水質監測站，進行長期監測來確保水質安全。依據水污染防治法第六條規定：「中央主管機關應依水體特質及其所在地之情況，劃定水區，訂定水體分類及水質標準」。另第五條規定：「為避免妨礙水體之用途，利用水體以承受或傳運放流水者，不得超過水體之涵容能力」。行政院環保署參考上述定義所制定的水體水質標準如第三章節表 3.4.2-1。

表 4.1.3-2 大甲溪水區、水體分類及水質標準公告說明表

水區名稱	水區範圍	河段	水體分類
大甲溪水區	總流域面積共 1,235.73 平方公里，行政區域包括台中縣之和平鄉、新社鄉、石岡鄉、東勢鎮、豐原市、后里鄉、神岡鄉、外埔鄉、清水鎮、大甲鎮、大安鄉等之部分。	發源地至大茅埔取水口	甲類
		大茅埔取水口至石岡壩	乙類
		石岡壩至出海口	丙類

(資料來源：行政院環境保護署公告)

(2) 流域污染現況

本區域的污染源主要來自生活污水，其次為畜牧廢水和工業廢水以及部分的遊憩污水。大甲溪橋站以上石岡壩以下的河段，水質在丙類水體標準上下，無法供給飲用，只能作為工業及灌溉用水。石岡壩下游的水質，在東勢橋、后豐大橋、高速公路、大甲橋下設有水質監測站，作定期檢測。東勢橋測站的水質，可代表大甲溪主流承受污染後流入石岡壩水源區的水質，其以往的檢測，溶氧量均合乎甲類水體標準，生化需氧量則介於乙類至丙類水體標準；后豐大橋測站的水質，因為受到來自豐原、后里、神岡等地的生活污水及工業廢水的污染，水質明顯惡化；高速公路橋測站的水質，由於溪水自淨作用而減緩污染程度，水體標準為丙類；大甲溪橋測站已接近出海口，屬感潮河段，雖有大甲、外埔、清水等鄉鎮污水排入，但是受到潮水稀釋，水體標準介於乙~丙類。

(3) 流域水質水體達成率

本研究以環保署監測站民國96年的1~8月份的年大甲溪水質監測資料，針對生化需氧量（Biochemical oxygen demand, BOD）作為觀測項目，來進行統計分析。

生化需氧量（BOD）方面，長青橋和龍安大橋有 75% 的達成率。東勢大橋、石岡壩達成率為 100% 符合乙類水體標準，下游部分后豐大橋也有 100% 的達成率，大甲溪橋的達成率介於 65~70% 之間，而高速公路橋水質最差，達成率不到 50%。圖 4.1.10 為生化需氧量 Boxplot 圖。

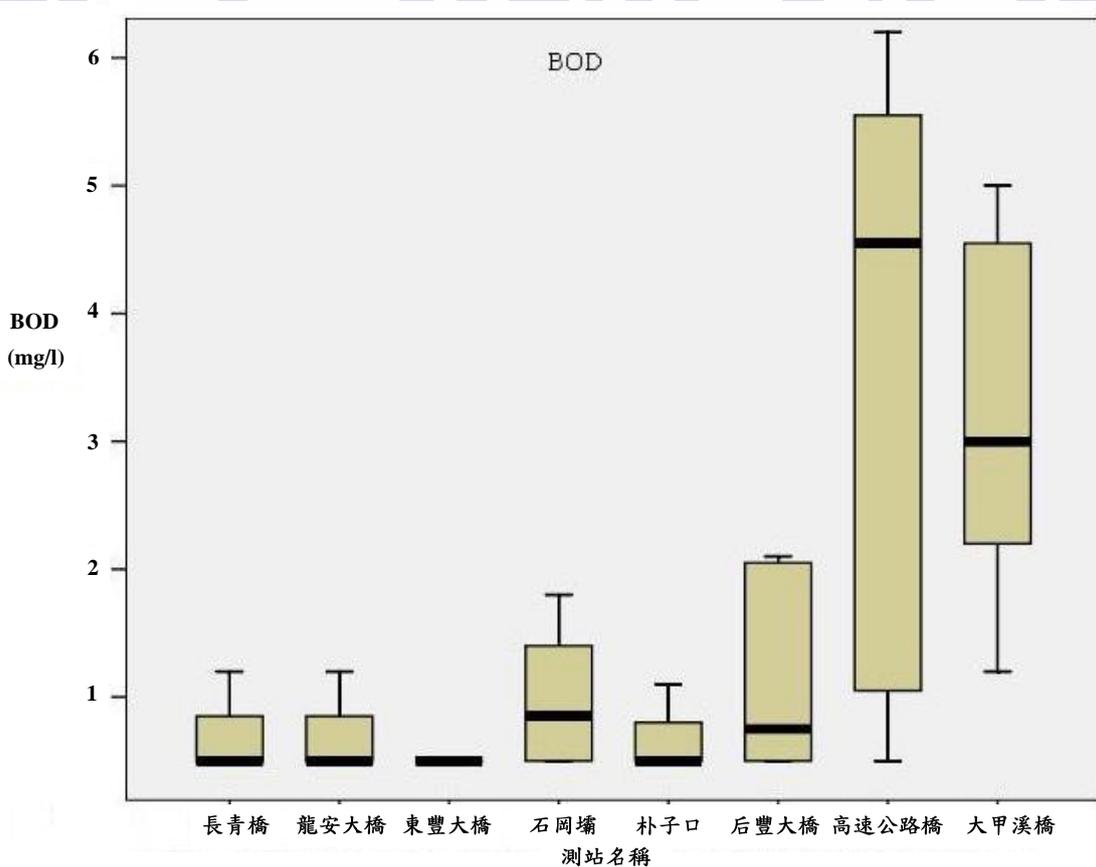


圖 4.1.10 生化需氧量 Boxplot 圖

(資料來源：區域水資源永續利用之策略模擬分析報告)

整體而言，大甲溪歷年的水體分類水質標準達成率均介於 65~100% 之間，其中河川污染程度指數 (River Pollution Index, RPI) 屬未 (稍) 受污染的河段約維持在 90% 以上，水質狀況尚可符合水體公告標準。再由單項水質檢驗結果分析可知，生化需氧量(BOD)超過水體分類水質標準的項目。石岡壩上游的水質大致可以符合乙類水體，仍可供給二級公共給水，惟於豐水期懸浮固體偏高，增加豐原淨水場的處理負荷。若以個別監測站分析，則最下游的高速公路橋及大甲溪橋測站的水質狀況較差。

4.1.4 流域水資源調配系統需求用水推估

參考中水局民國 95 年「中部地區水資源利用整體檢討規劃」之推估各標的用水未來需求，其相關資料分述如下：

一、生活用水

本研究生活用水需求主要以中水局(2006)「中部地區水資源利用整體檢討規劃」及自來水公司(2007)「台灣自來水現代化經營管理綱要計畫」中所推估的資料，其推估節約用水之未來生活用水量。採用公式如 4-1 式，各參數詳細資料見表 4.1.3-3~表 4.1.3-6；推估結果詳見表 4.1.3-7。

自來水配水量 = 人口數 × 普及率 × 每人每日用水量 / 抄見率

自行取水量 = 人口數 × (1 - 普及率) × 每人每日用水量 (4-1)

表4.1.3-3台中地區之目標年人口推估表

單位：萬人

目標年	95年	96年	97年	98年	99年	100年	101年	102年	103年	104年	105年	106年	107年	108年	109年	110年
人口數	261.5	263.4	265.3	267.2	269.1	271	272.7	274.3	276	277.6	279.3	280	280.8	281.5	282.3	283

資料來源：中部地區水資源利用整體檢討規劃

表4.1.3-4台中地區之目標年普及率

單位：%

目標年	95年	96年	97年	98年	99年	100年	101年	102年	103年	104年	105年	106年	107年	108年	109年	110年
普及率	90.50	90.94	91.38	91.82	92.26	92.7	92.96	93.22	93.48	93.74	94.00	94.50	95.00	95.50	96.00	96.50

資料來源：中部地區水資源利用整體檢討規劃

表4.1.3-5台中地區之目標年抄見率

單位：%

目標年	95年	96年	97年	98年	99年	100年	101年	102年	103年	104年	105年	106年	107年	108年	109年	110年
抄見率	58.30	58.30	58.30	58.30	58.30	62.06	62.06	62.06	62.06	62.06	65.20	65.20	65.20	65.20	65.20	65.20

資料來源：台灣自來水現代化經營管理綱要計畫

表4.1.3-6台中地區之目標年每人每日用水量(節約用水)

單位：公升

目標年	95年	96年	97年	98年	99年	100年	101年	102年	103年	104年	105年	106年	107年	108年	109年	110年
每人每日用水量	286	285.4	284.8	284.2	283.6	283	281.8	280.6	279.4	278.2	277	276	275	274	273	272

(資料來源：中部地區水資源利用整體檢討規劃)

表4.1.3-7台中地區之目標年生活用水需求量推估(節約成長)

單位：立方公尺/日

目標年	95	96	97	98	99	100	101	102
自來水系統	1245108	1228677	1213221	1198256	1183956	1170471	1176109	1181266
自行取水量	71049.55	68107.97	65130.51	62117.48	59069.17	55985.89	54100.19	52184.7
總需水量	1316157	1296785	1278351	1260373	1243025	1226457	1230209	1233451
目標年	103	104	105	106	107	108	109	110
自來水系統	1186805	1191864	1197302	1202331	1207754	1212712	1218064	1222948
自行取水量	50278.59	48344.93	46419.66	42504	38610	34708.95	30827.16	26941.6
總需水量	1237084	1240209	1243722	1244835	1246364	1247421	1248891	1249889

(資料來源：中部地區水資源利用整體檢討規劃)

二、工業用水

本研究工業用水需求主要以中水局(2006)「中部地區水資源利用整體檢討規劃」中所推估之低成長、中成長及高成長之工業用水資料，本研究將採用中成長之工業用水資料：中成長係包括低成長加上報編及編定中工業區完成後所需之用水。台中地區已編定及(編定中)工業區之目標年需水量見表 4.1.3-8。各不同目標年之工業用水之推估結果詳見表 4.1.3-9。



表4.1.3-8已編定(編定中) 工業區之目標年需水量表

單位：立方公尺/日

工業區名稱	95年	96年	97年	98年	99年	100年	101年	102年	103年	104年	105年	106年	107年	108年	109年	110年
台中市精密機械科技園區	0	700	1,500	2,600	3,600	6,200	6,200	6,200	6,200	6,200	6,200	6,200	6,200	6,200	6,200	6,200
仁化工業區	230	900	1,300	1,700	2,100	2,220	2,220	2,220	2,220	2,220	2,220	2,220	2,220	2,220	2,220	2,220
聚興工業區	176	176	264	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
環隆科技工業園區	0	10	1,445	1,755	1,858	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065
中科三期后里基地計畫	1,000	5,000	20,000	35,000	60,000	85,000	110,000	135,000	150,000	161,000	161,000	161,000	161,000	161,000	161,000	161,000

(資料來源：中部地區水資源利用整體檢討規劃)

表4.1.3-9台中地區之目標年工業用水需水量

單位：立方公尺/日

項目	95年	96年	97年	98年	99年	100年	101年	102年	103年	104年	105年	106年	107年	108年	109年	110年
低成長 (含自行取水)	491,836	524,229	634,493	666,107	684,253	713,155	779,382	779,757	780,133	780,508	780,883	781,258	781,633	782,009	782,384	782,759
中成長 (含自行取水)	493,733	533,189	665,415	717,364	766,551	828,710	923,687	952,812	970,438	983,463	983,838	984,213	984,588	984,964	985,339	985,714
高成長 (含自行取水)	493,733	533,189	665,415	717,364	766,551	828,710	923,687	952,812	970,438	983,463	983,838	984,213	984,588	984,964	985,339	985,714
低成長 (不含自行取水)	173,256	205,636	315,895	347,510	365,661	394,572	460,800	460,175	460,550	461,925	462,300	462,676	463,051	463,426	463,801	464,176
中成長 (不含自行取水)	175,153	214,596	346,817	398,767	447,959	510,127	605,105	633,230	650,855	664,880	665,255	665,631	666,006	666,381	666,756	667,131
高成長 (不含自行取水)	175,153	214,596	346,817	398,767	447,959	510,127	605,105	633,230	650,855	664,880	665,255	665,631	666,006	666,381	666,756	667,131

(資料來源：中部地區水資源利用整體檢討規劃)

4.2 流域水質模式架構說明

本研究流域水質架構模式如圖 4.2.1，建立流域水質模式，透過流域水量模式策略操作，討論對於流域水質影響結果。

水質模式將德基水庫水質及下游河川水質分為兩大部份說明如下：

1. 德基水庫水質：

以二次規劃率定集水區不同土地利用形態下單位負荷污染係數及集水區流達率（式 4-2），推求德基水庫入庫流旬污染量（式 4-3），進而推求水庫污染 BOD 濃度（式 4-4），比對水庫 BOD 濃度則以民國 88 及 91 年實測當月為主，依水庫上、中、下游不同分層濃度取平均，做為當月份比對的水庫平均濃度。

$$M = \sum_{i=1}^n (A_i \times W_i \times C_i) \quad (4-2)$$

$$M_t = M \times \frac{P_t}{P} \quad (4-3)$$

C_i : 集水區內 i 類土地利用型態的流達率

M_t : t 時刻的污染量 P : 總平均降雨量 P_t : t 時刻降雨量

$$C_{t+1} = \frac{M_t - 0.5 \times O \times C_t + S_t \times C_t}{S_{t+1} + 0.5 \times O} \quad (4-4)$$

S_t : 初始水量， O_t : 水庫放流量， S_{t+1} : 下一時刻水量， C_t : 初始濃度， C_{t+1} : 下一時刻濃度， M_t : t 時刻的入流污染量

2. 下游河段部分：

在建立大甲溪河川水質系統中，依照劃分的集污區、環保署水質測站

及水體水質分類標準為依據劃分三個河段，以水質測站為區分：第一河段以長青橋站到龍安橋站、第二河段龍安橋站石岡壩站、第三河段石岡壩站至大甲溪橋站。

第一河段率定來源水質為長青橋水質測站、來源流量為天輪流量站，比對龍安橋橋水質測站、流量為天冷流量站。

第二河段率定來源水質為龍安橋水質測站、來源流量為天冷流量站，比對石岡壩水質測站、流量為石岡壩入流量站。

第三河段率定來源水質為石岡壩水質測、來源流量採用本研究水量調配模式推估的歷年石岡壩平均月入流量，比對石岡壩水質測站、流量則採用本研究水量調配推估的歷年出海口平均月出流量。

依 4-5 式分別以二次規劃法率定不同河段的流達率，進一步推求不同河段污染流達量及河川 BOD 濃度。

$$C_{i,t} = \frac{M_{i,t} \times R_{i,t} + C_{i-1,t} \times Q_{i-1,t} \times \Delta t}{Q_{i,t} \times \Delta t} \quad (4-5)$$

$M_{i,t}$: t 時刻 i 河段之生化需氧量

$C_{i,t}$: t 時刻 i 河段之生化需氧量濃度

$C_{i-1,t}$: t 時刻 i 河段上游之生化需氧量濃度

$R_{i,t}$: t 時刻 i 河段之流達率

$Q_{i-1,t}$: t 時刻 i 河段上游之流量

$Q_{i,t}$: t 時刻 i 河段之廢水流量

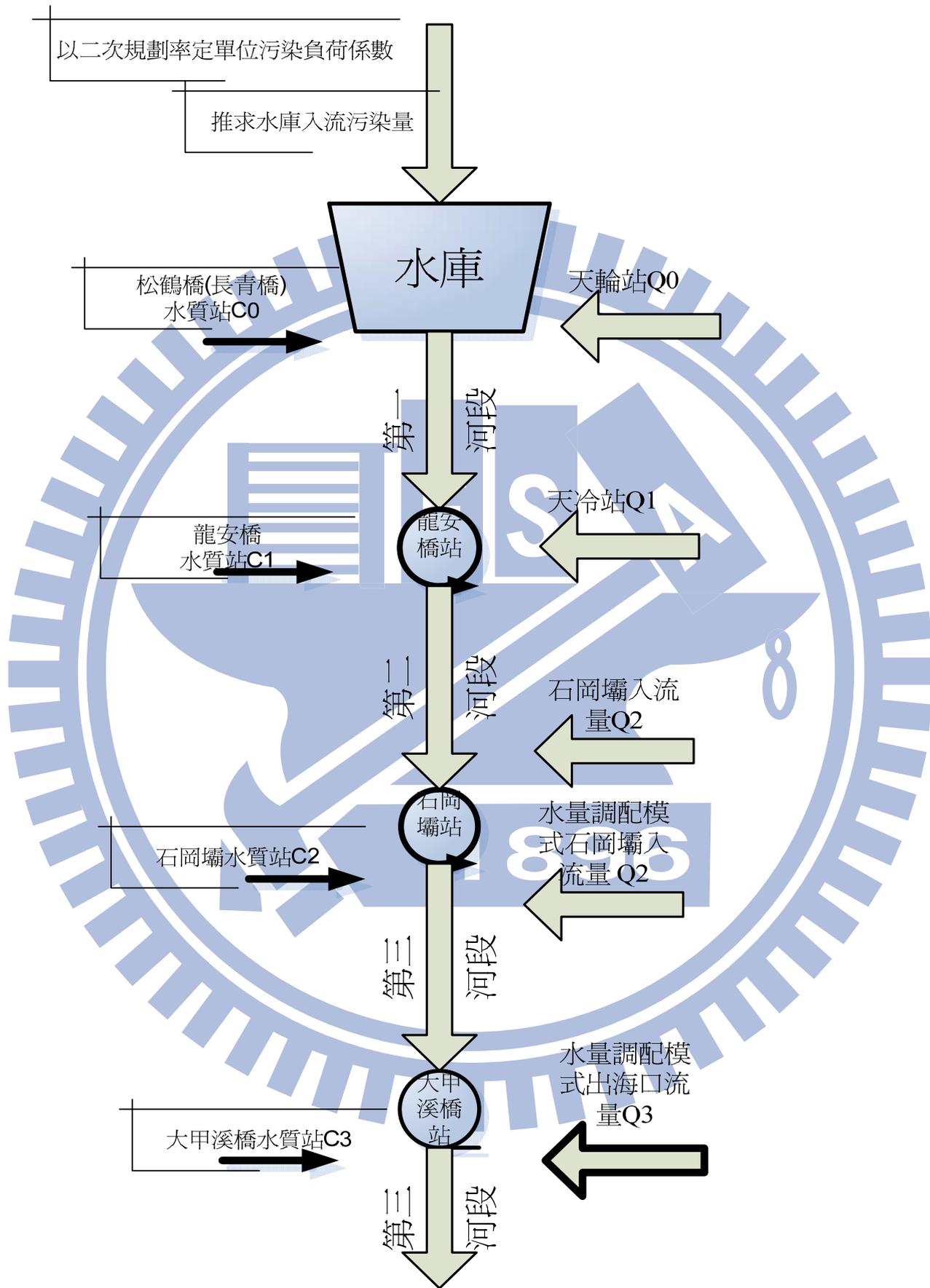


圖 4.2.1 流域水質系統架構圖

4.3 流域水質系統動力模型建立

4.3.1 集水區非點源污染模式推估與率定

本研究以民國 88 年及 91 年德基水庫集水區不同土地利用形態，並就土地利用情形（如圖 4.3.1-1）來加以分類並計算其面積，並參考第二章國內相關文獻訂定出各種土地利用型態之單位面積 BOD 負荷係數及流達率的範圍如表 4.3.1-2 所示。非點源污染係指在降雨逕流的淋洗及沖刷下，地表與地下之污染物以分散的方式進入河川、湖泊，海洋等承受水體，造成水體污染。因此，非點源污染的產生與降雨有密切關係。本研究推估係以每年產出污染量配合降雨量的月分配百分比，計算出非點源之污染物的總量。收集研究區域桃山、思源、平岩山、環山、無明山、捫山、黎山、松茂、佳陽山、志佳陽大山、達見、松峰一共 12 個雨量站的日降雨量資料，資料年份為民國 71 - 85 年，一共 15 年。

表 4.3.1-1 各種土地利用型態之面積（單位:ha）

本研究土地利用分類	原始土地利用分類	88 年土地利用面積 (ha)	91 年土地利用面積 (ha)
農地、旱地	農地、果園、茶園	2427.9	1435.1
草地、河川地、河流	草地、河川地	6227	5925.6
林地	林地	50589	51940
建地	建地、社區、游憩	39	11.6
荒地、道路、墓地	其他(道路、荒地、墓地)	101	71.5

（資料來源：逢甲大學地理資訊系統中心）

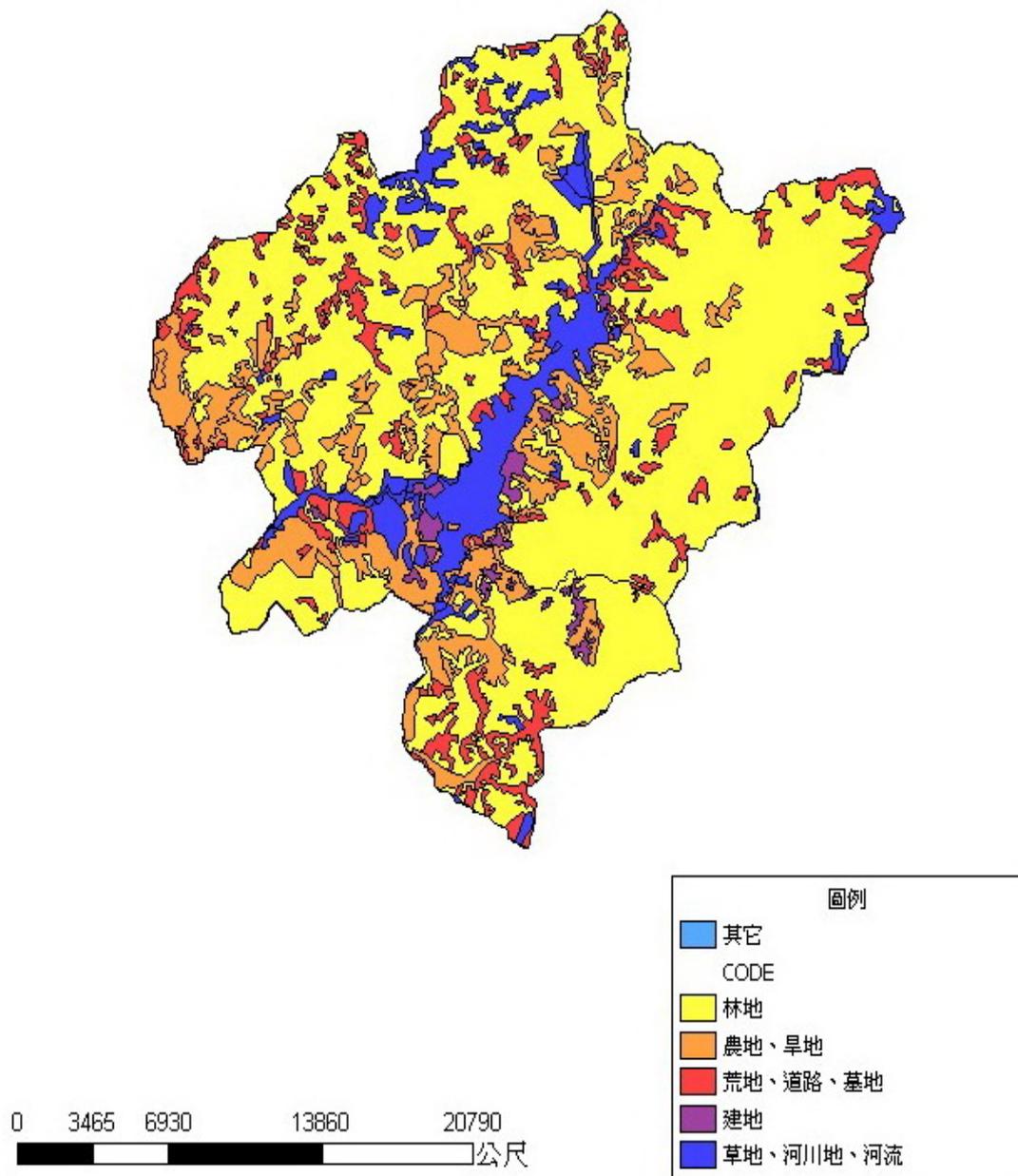


圖 4.3.1-1 德基水庫集水區 91 年土地利用分類圖

(資料來源：逢甲大學地理資訊系統中心)

表 4.3.1-2 各種土地利用之 BOD 負荷係數範圍(單位:kg/ha/yr)

本研究土地利用分類	原始土地利用分類	單位面積負荷係數範圍
農地、旱地	農地、果園、茶園	18-25
草地、河川地、河流	草地、河川地	2.7-5
林地	林地	5-19.5
建地	建地、社區、游憩	50-191
荒地、道路、墓地	其他(道路、荒地、墓地)	36-50

(資料來源：德基水庫及水區第 4、5 期整體規劃報告)

表 4.3.1-3 率定 BOD 單位負荷係數(單位:kg/ha/yr)及流達率

本研究土地利用分類	原始土地利用分類	單位面積負荷係數	流達率
農地、旱地	農地、果園、茶園	59.5	0.6
草地、河川地、河流	草地、河川地	5.5	0.6
林地	林地	8.31	0.47
建地	建地、社區、遊憩	51.13	0.6
荒地、道路、墓地	其他(道路、荒地、墓地)	37.29	0.6

以二次規劃法來率定上游集水區的 BOD 單位負荷係數及流達率，比對的水庫 BOD 濃度則以 88 及 91 年實測當月為主，依水庫上、中、下游不同分層濃度取平均，做為當月份比對實測的水庫平均濃度。

二次規劃法率定 BOD 單位負荷係數及流達率的目標函數及限制式如 4-6 式，率定的結果如表 4.3.1-3，水庫水質檢定結果如圖 4.3.1-2。

目標函數：
$$\text{Min} \sum_{T=1}^2 (C_t - C_t')^2,$$

限制式：1.
$$C_t = \frac{M_t - 0.5Q_t \times C_t + S_t \times C_t}{S_{t+1} + 0.5 \times Q_t}$$

2. $1.8 < W_1 < 25, 2.7 < W_2 < 5, 5 < W_3 < 19.5, 50 < W_4 < 191, 36 < W_5 < 50$ (4-6)

3. $1 < C_1 < 1, 0.1 < C_2 < 1, 0.1 < C_3 < 1, 0.1 < C_4 < 1, 0.4 < C_5 < 1$

式中：T：年份， C_t ：月時刻水庫 BOD 推估濃度， C_t' ：月時刻水庫 BOD 實測濃度， M_t ：入庫月污染量， Q_t ：月時刻放水量， S_t ：月時刻蓄水量， S_{t+1} ：下個月時刻蓄水量， W_{1-5} ：五種土地利用分類單位負荷污染係數， C_{1-5} ：五種土地利用分類的流達率。

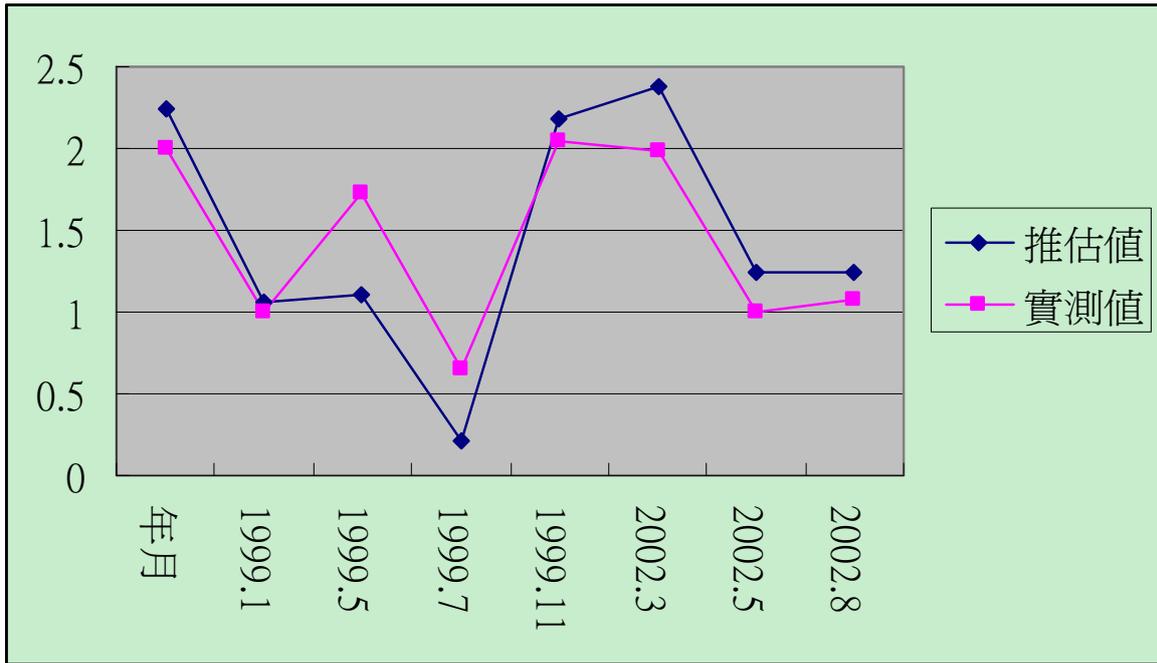


圖 4.3.1-2 水庫水質檢定結果圖

4.3.2 水庫水質系統動力模型建立

根據表 4.3.1-3 率定出的 BOD 單位負荷係數及流達率，並參照式 4-2、式 4-3 及式 4-4，建立水庫水質系統動力推估模式系統（如圖 4.3.2 所示）。

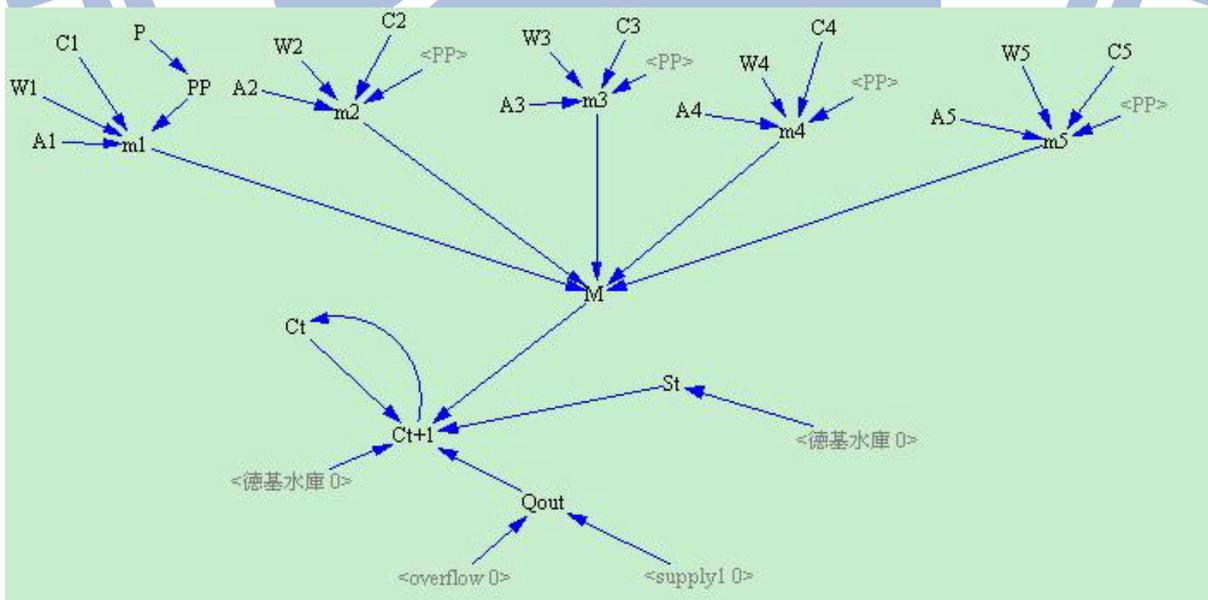


圖 4.3.2 水庫水質系統動力推估模式圖

4.3.3 河川水質系統動力模型建立與率定

河川污染隨水流而來，為了確實掌握各主要污染源對河川所造成的影響，首先必須清楚瞭解河川支流走向及鄉鎮界等等，河段劃分主要是在河川適當的位置選定分段點，並依據河川流域及支流劃分集污區來建立大甲溪的系統。表 4.3.3-1 為大甲溪流域匯集支流及排水幹線一覽表。圖 4.3.3 為大甲溪流域匯集支流及排水幹線示意圖。

表4.3.3-1 大甲溪流域匯集支流及排水幹線一覽表

匯集支流 及排水幹線	集污區		排入口距 河口距離	水體分類	
	鄉鎮	村里			
旱坑幹線	東勢鎮	詒福	30.8km	乙類	
阿娘坑幹線	東勢鎮	上城、下城	30.2km		
砂蓮溪	東勢鎮	北興、中寧、東安 南平、延平、泰昌 上新、廣興、福隆 隆興、中崙、新盛 粵寧、興隆、泰興	25.5km		
食水崙溪幹線	石岡鄉	全部	22.6km		
	新社鄉	全部			
牛稠坑溝幹線	后里鄉	舊社、墩東 敦南、廣福	14.7km		
	東勢鎮	埤頭			
旱坑及月眉溝 排水	后里鄉	太平、月眉、眉山 聯合、中和、厚里 樂業、敦北、墩西 義里、后里	11.2 km		丙類
軟埤仔溪及陽 明排水	豐原市	東湳、西湳、朴子	10.7Km		
	神岡鄉	圳前、溪洲、神洲 豐洲、新莊			
三崁中溝	外埔鄉	三崁、六分	7.7 km		
水美湖底溝	外埔鄉	水美	6.8 km		

(資料來源:區域水資源永續利用之策略模擬分析)

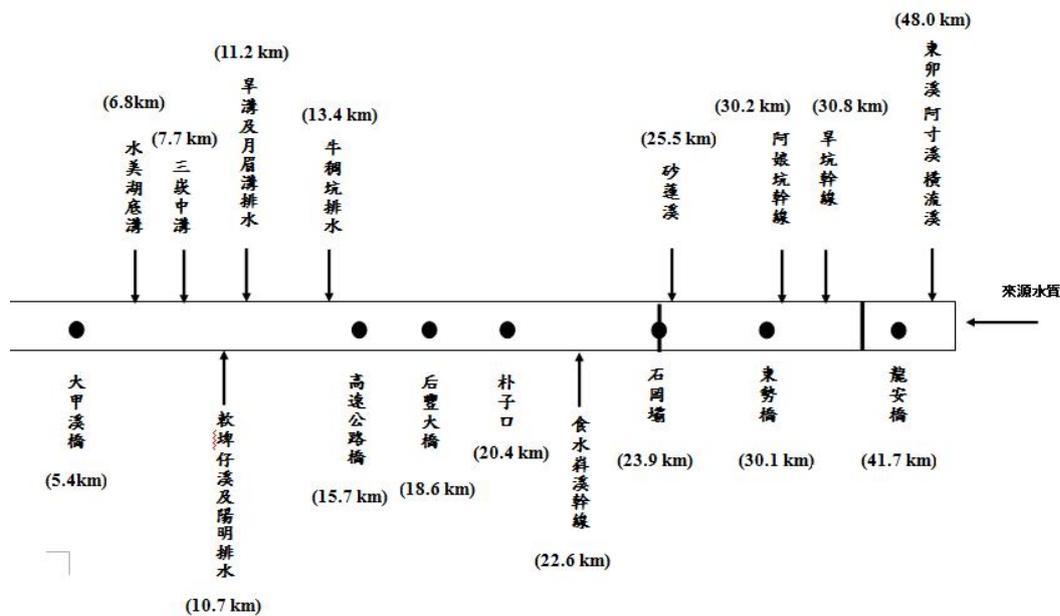


圖 4.3.3 大甲河流域匯集支流及排水幹線系統圖

(資料來源:區域水資源永續利用之策略模擬分析)

本研究對污染物推估之主要項目為生化需氧量(BOD)，BOD 通常可定義為：水中易受微生物分解的有機物質，在某特定時間及溫度下，被微生物的分解氧化作用所消耗的氧量。一般所稱的生化需氧量係以 20°C 培養 5 日後所測得的結果，記做 BOD₅。BOD 可表示水中生物可分解的有機物含量，間接也表示了水體受有機物污染的程度。BOD 數據在環工上有極廣泛之應用，它是測定家庭污水或是工業廢水最重要的試驗，所得的數據為安定化所需之氧量來表示廢水的強度。它亦是用來測定可被生物氧化的有機物量的唯一方法，並可用於決定承受水體之 BOD 或氧化作用的速率，故 BOD 可作為河川污染的主要準則。對於河川相關污染源的推估，主要是以質量平衡的觀念來進行，其計算方程式如 4-5 式，以表 3.4.2-1 的地體水質標準為水質指標依據。

在整體污染之系統動力模式中，利用各河段推估出的模擬數值結合並推算，來進行模擬河段之水質推估。大甲溪水質系統動力模式如圖 4.3.4。第一河段污染來源為和平鄉谷關地區的遊憩污染，其餘第二河段的污染來源為依集污區中各行政區域污染源，其中包括有生活污染、畜牧污染和事業污染。在設計系統動力模型時，將分別對於三個河段所承受的各项污染源建置其專屬的系統動力模型，反應這些污染對於大甲溪流域河川水質的影響。

一、各河段系統動力模型建立：

各河段污染類型包括遊憩污染、生活污染、畜牧污染及事業污染。以下針對各類型污染推估方式做一詳細介紹。

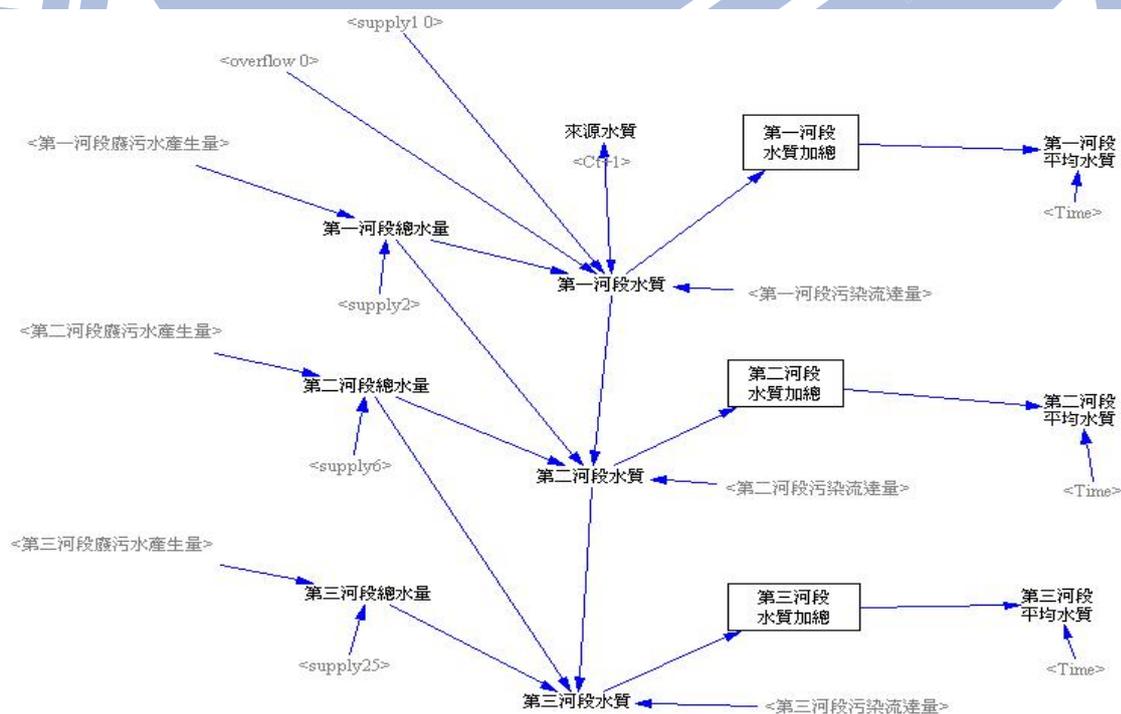


圖 4.3.4 流域水質系統動力模式圖

1. 遊憩污染

第一河段污染主要來源為和平鄉谷關地區的遊憩污染，在台灣地區有相當多的風景區可供民眾進行旅遊，雖然帶動風景區的經濟發展，卻也同時對於風景區本身環境造成衝擊。就本研究區域內，以谷關風景區所造成的遊憩污染對於大甲溪河川水質有較顯著的影響，和平鄉谷關風景區，除了風景區本身所吸引的遊客外，另外還有更多旅客因為谷關地區的溫泉慕名而來。當地也有相當多的溫泉旅館，所產生的點源污染相當可觀。所以第一河段污染針對著遊憩污染進行模擬推估，對於谷關之遊憩污染的推估步驟如下：

- (1) 推估谷關地區遊客數及當地住戶人數，參考交通部觀光局參山國家風景區管理處提供的資料及民國 93 年大甲溪流域污染源稽查管制計畫報告中，谷關地區每年遊客人次大約為 350,000 人，年成長量率 0.03%，其中谷關地區的遊客住宿率約為 20%，當地住戶人數約為 800 人。
- (2) 推估河段內廢污水產生量，第一河段內的廢污水的來源為遊憩污水。推估方式為由谷關地區旅客數乘以住宿之每人每日遊憩污水產生量（245 升/日）以及非住宿之每人每日遊憩污水產生量（245 升/日），最後相加這兩項數據得到第一河段廢污水產生量。
- (3) 推估河段內污染流達量，第一河段的污染流達量基本來源為遊憩污染流達量，是由遊憩污染負荷量扣除遊憩污染處理量得到遊憩污染排放量，最後排放量乘以該河段的流達率得到遊憩污染流達量。細節如下：
 - A. 遊憩污染負荷量推估方式為由推估出的谷關地區遊客數乘以住宿率得知旅客住宿人數，再由旅客居住人數乘以每人每日遊憩污染負荷量（0.04kg/日），再加上當地住戶的污染負荷量就等於遊憩污染

負荷量。

- B. 遊憩污染處理量部分，考量當地遊憩污染處理情形，包括公共下水道系統接管率、專用下水道系統普及率及污水處理設施設置率等因素。關於遊憩污染去除率部分，是考慮化糞池處理效率，大約為40%。
- C. 遊憩污染流達量部份，由遊憩污染負荷量扣除遊憩污染處理量得知遊憩污染排放量，再由排放量乘以該河段的流達率等於遊憩污染流達量。
- D. 流達率定義為到達河川的流達量和排放源頭的排放量的比值，數值部分是參考行政院環保署建議的流達率約 0.1~1 之間（如表 4.3.3-2）。本研究依據此項數據範圍，依二次規劃法率定而出。

表 4.3.3-2 一般流達率建議值

地區分別	流達率
農村地區	0.0-0.2
都市地區	0.2-0.6
郊區	0.1-0.6
都市中心區	0.6-1.0
公共下水道	1.0

（資料來源：行政院環保署網站）

2. 生活污染

生活污染的水質水量部份，會隨著鄉鎮市的人口數、生活方式及生活習慣的有所不同。對於生活污染推估步驟如下：

- A. 推估河段內集污區各行政區人口數，資料來源依據各區公所戶政單位之民國96年人口統計資料和台中縣政府主計室的歷年人口資料。表4.3.3-3為河段內集污區推估的人口數，表4.3.3-4為推估民國70-93年間大甲河流域人口年平均成長率。

表 4.3.3-3河段內集污區推估的人口數

河 段	集污區		人口數	合計
	鄉鎮	村里		
第一河段	和平鄉	南勢、天輪、博愛	11205	11205
		中坑、梨山、平等		
第二河段	東勢鎮	詒福	1958	41635
	東勢鎮	上城、下城	2253	
	東勢鎮	北興、中寧、東安南平、延平、泰昌上新、廣興、福隆隆興、中崙、新盛粵寧、興隆、泰興	37424	
第三河段	石岡鄉	全部	16180	139835
	新社鄉	全部	25831	
	后里鄉	舊社、墩東敦南、廣福	14055	
	東勢鎮	埤頭	814	
	后里鄉	太平、月眉、眉山、聯合、中和、厚里、樂業、敦北、墩西、義里、后里	31559	
	豐原市	東湳、西湳、朴子	19491	
	神岡鄉	圳前、溪洲、神洲豐洲、新莊	23115	
	外埔鄉	三崁、六分	4789	
	外埔鄉	水美	4001	

(資料來源：區域水資源永續利用之策略模擬分析)

表 4.3.3-4 各河段人口平均年成長率

河段	人口平均年成長率
德基水庫至石岡壩段	-0.3%
石岡壩至河口段	0.96%

(資料來源：區域水資源永續利用之策略模擬分析)

- B. 推估河段內生活污水產生量，是由各個排水分區的人口數乘以每人每日用水量，再乘以每人每日污水產生百分比（80%）得出，一般每人每日污水產生量會隨著生活水準的提高而日益增加。
- C. 推估河段內生活污染流達量，由生活污染負荷量扣除生活污染處理量得到生活污染排放量，最後排放量乘以該河段的流達率得到遊憩污染流達量。系統動力如圖4.3.5，期推估細節如下：
- 生活污染負荷量推估方式為每個排水分區的人口數乘以每人每日污染負荷量（0.04kg/日）得出。
 - 生活污染處理量部分，考量當地生活污染處理情形，包括公共下水道系統接管率、專用下水道系統普及率及污水處理設施設置率等因素。關於生活污染去除率部分，是考慮化糞池處理效率，大約為40%。
 - 生活污染流達量部份，由生活污染負荷量扣除生活污染處理量得知生活污染排放量，再由排放量乘以該河段的流達率等於生活污染流達量。
 - 流達率定義為到達河川的流達量和排放源頭的排放量的比值，數值部分是參考行政院環保署建議的流達率約 0.1~1 之間（如表 4.3.3-2）。本研究依據此項數據範圍，依二次規劃法率定而出。

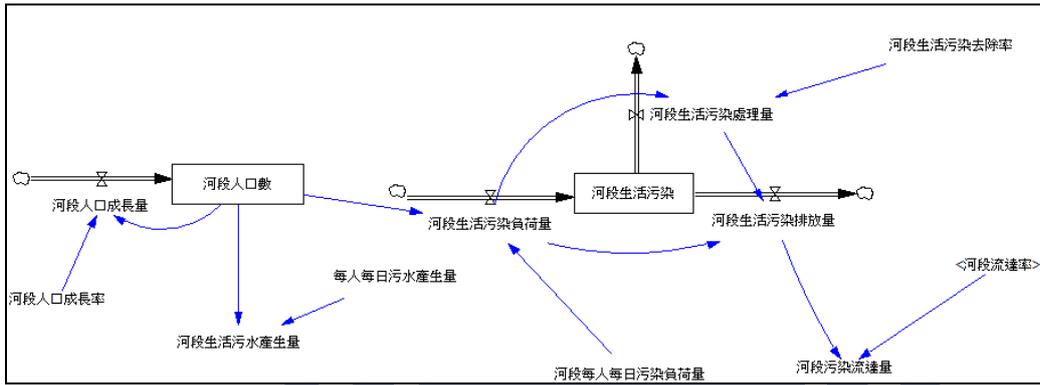


圖 4.3.5 生活污染系統動力推估模式

3. 畜牧污染

畜牧污染量主要來自於所飼養的家禽家畜，其中包括牛、羊、豬、雞、鴨及鵝等，其中雞多為圈養式，且排泄物含水量低、產量少，故不列入推估中；而牛、羊、鴨及鵝的數量及排泄物對環境污染的程度，遠不及豬隻對環境品質影響的衝擊大，故推估之畜牧污染以養豬業為主。對於畜牧污染推估步驟如下：

- A. 推估河段內集污區各行政區域所畜養的豬隻數，資料來源為民國97年行政院農業委員會豬隻數統計資料和民國87-93年台中縣政府主計室統計年報資料。表4.3.3-5為河段內推估的豬隻數，表 4.3.3-6為推估民國87-93年大甲河流域畜養豬隻年平均成長率。

表 4.3.3-5 河段內集污區推估的豬隻數

河段	集污區		豬隻數	合計
	鄉鎮	村里		
第二河段	東勢鎮	詒福	228	228
	東勢鎮	上城、下城		
	東勢鎮	北興、中寧、東安 南平、延平、泰昌 上新、廣興、福隆 隆興、中崙、新盛 粵寧、興隆、泰興		
第三河段	石岡鄉	全部	0	63042
	新社鄉	全部	673	
	東勢鎮	埤頭	0	
	后里鄉	舊社、墩東 敦南、廣福	46260	
	后里鄉	太平、月眉、眉山 聯合、中和、厚里 樂業、敦北、墩西 義里、后里		
	豐原市	東湳、西湳、朴子	1953	
	神岡鄉	圳前、溪洲、神洲 豐洲、新莊	5786	
	外埔鄉	三崁、六分	8370	
	外埔鄉	水美		

(資料來源：區域水資源永續利用之策略模擬分析)

表 4.3.3-6 87-93年大甲溪流流域畜養豬隻平均年成長率

河段	豬隻平均年成長率
德基水庫至石岡壩段	-0.139%
石岡壩至河口段	-0.055%

(資料來源：區域水資源永續利用之策略模擬分析報告)

- B. 推估河段內畜牧廢水產生量，是由各個排水分區的豬隻數乘以每頭豬每日污水產生量得出畜牧廢水產生量（30升/日）。
- C. 推估河段內畜牧污染流達量，由畜牧污染負荷量扣除畜牧污染處理量得到畜牧污染排放量，最後排放量乘以該河段的流達率得到畜牧污染流達量。其系統動力模式如圖4.3.6，估算細節如下：
- a. 畜牧污染負荷量推估方式為每個排水分區的豬隻數乘以每頭豬每日污染負荷量（0.16kg/日）得出。
 - b. 畜牧污染處理量部分，由於畜牧業之廢水原水水質與處理後之廢水水質差異甚大，經行政院環保署列管之畜牧業由於排放水必須符合放流水標準，均已設置廢水處理設施，而非列管部份因為養豬規模較小，大多為無處理設備，而本研究中假設河段內的養豬戶皆有設置處理設備。而畜牧污染去除率的部分是考慮三階段式處理系統，大約為 80%。
 - c. 畜牧污染流達量部份，由畜牧污染負荷量扣除畜牧污染處理量得知畜牧污染排放量，再由排放量乘以該河段的流達率等於畜牧污染流達量。
 - d. 流達率定義為到達河川的流達量和排放源頭的排放量的比值，數值部分是參考行政院環保署建議的流達率約 0.1~1 之間。本研究依據此項數據範圍，依二次規劃法率定而出。

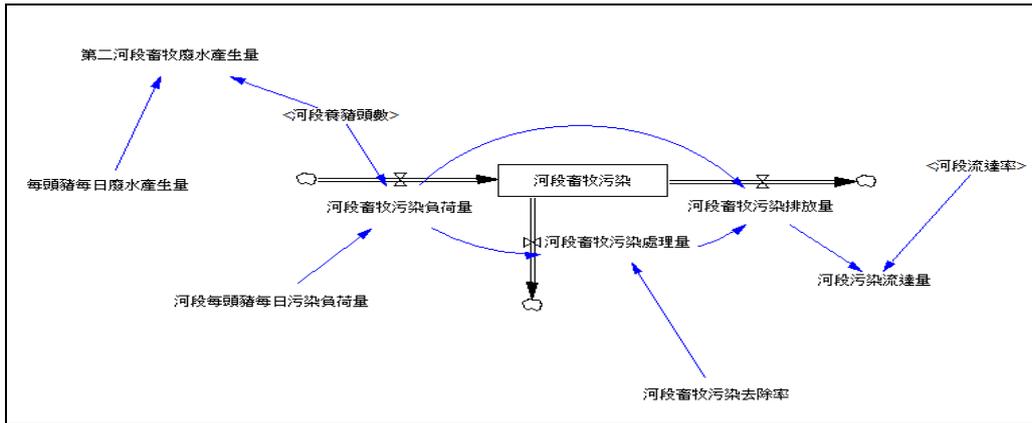


圖 4.3.6 畜牧污染系統動力推估模式

4. 事業污染推估系統動力模式

因台中主要工業區如大里工業區及台中港關連工業區等皆不在大甲溪集污範圍內，且相關大型工業區皆有做污水處理等相關處理設施。其於零星工廠因總類過多無法統計各個污染排放資料。在本研究中，將以大甲溪流域水污染防治規劃報告以及其他相關資料進行對事業廢水水量和污染量的推估值。表 4.3.3-7 為各河段事業污染推估值。圖 4.3.7 事業污染系統動力推估模式。

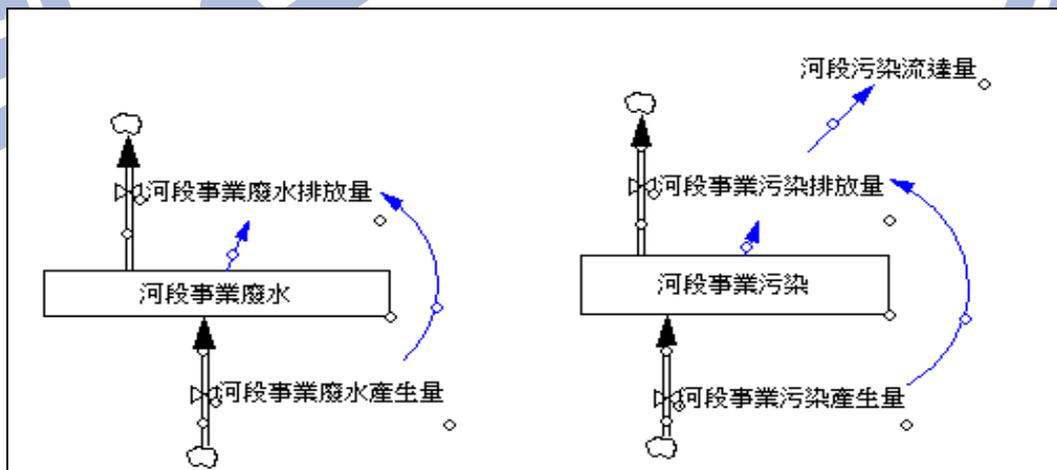


圖 4.3.7 事業污染系統動力推估模式

表4.3.3-7 各河段事業污染推估值

河段	事業廢水產生量(CMD)	事業廢水排放量(kg/day)
第二河段	1941	20.78
第三河段	4042.7	71.23

(資料來源：台中縣環保局，九十三年大甲河流域污染源稽查管制計畫)

二、水質系統模型率定

在大甲溪河川水質系統中(如圖 4.2.1)，本研究以二次規劃法率定流達率時劃分成三大河段，長青橋水質測站至龍安橋水質測站為第一河段、龍安橋水質測站至石岡壩為第二河段、石岡壩至出海口為第三河段。

推估第一河段水質濃度的目標函數及限制式如式 4-7。率定來源水質為長青橋水質測站、來源流量以天輪流量站等歷年各月份的實測平均值為依據，推估各月水質濃度，比對龍安橋水質測站、天冷流量站等歷年各月份的平均值(如表 4.3.3-8)，率定出流達率如表 4.3.3-11，水質檢定結果圖如圖 4.3.8。

$$\text{目標函數: } \text{Min} \sum_{t=1}^{12} (C_{1,t} - C'_{1,t})^2,$$

限制式:

$$1. \quad C_{1,t} = \frac{M_{1,t} \times R_{1,t} + C_{0,t} \times Q_{0,t} \times \Delta t}{Q_{1,t} \times \Delta t}$$

$$2. \quad 0.1 < R_{1,t} < 1$$

式中，t:月時刻， $C_{1,t}$ ：第一河段推估月 BOD 濃度， $C'_{1,t}$ ：第一河段實測月 BOD 濃度， $M_{1,t}$ ：第一河段污染流達量， $R_{1,t}$ ：第一河段流達率， $C_{0,t}$ ：來源月 BOD 濃度， $Q_{0,t}$ ：來源月流量， $Q_{1,t}$ ：第一河段月流量。

表4.3.3-8 第一河段水質、流量測站實測資料及推估水質濃度

月	推估污染 總量(kg)	天輪流量 站 (m ³)	長青橋水 質(mg/l)	天冷流量 站 (m ³)	推估濃度 (mg/l)	龍安橋水 質(mg/l)
1	5353	49183077	0.98	40095648	1.34	1.34
2	5382	72307200	1.18	78540672	1.15	1.27
3	5413	85100421	0.96	104180832	0.84	0.86
4	5443	81559131	1.33	113132160	1.01	1.02
5	5474	177174263	1.38	179366496	1.35	1.35
6	5505	280762377	1.28	295133440	1.24	1.25
7	5536	168857819	1.19	157464416	1.25	1.25
8	5568	143784165	0.87	267875712	1.53	1.53
9	5600	242759314	0.91	120936960	1.24	1.24
10	5632	84932064	0.96	89038944	0.98	1.04
11	5665	62148754	0.86	50688000	0.77	0.77
12	5698	42647781	1.10	38631456	1.20	1.20

推估第二河段的水質濃度的目標函數及限制式如式 4-8。率定之來源水質實測值為龍安測站、來源流量以天冷流量站等歷年各月份的實測平均值為依據，推估各月水質濃度，比對石岡壩水質測站、石岡壩入流量等歷年各月份的平均值（如表 4.3.3-9），率定出流達率如表 4.3.3-11。水質檢定結果圖如圖 4.3.9。

$$\text{目標函數: } \text{Min} \sum_{t=1}^{12} (C_{2,t} - C'_{2,t})^2,$$

限制式: (4-8)

$$1. C_{2,t} = \frac{M_{2,t} \times R_{2,t} + C_{1,t} \times Q_{1,t} \times \Delta t}{Q_{2,t} \times \Delta t}$$

$$2. 0.1 < R_{2,t} < 1$$

式中，t:月時刻， $C_{2,t}$ ：第二河段推估月 BOD 濃度， $C'_{2,t}$ ：第二河段實測月 BOD 濃度， $M_{2,t}$ ：第二河段污染流達量， $R_{2,t}$ ：第二河段流達率， $C_{1,t}$ ：第一河段月 BOD 濃度， $Q_{1,t}$ ：第一河段月流量， $Q_{2,t}$ ：第二河段月流量。

表4.3.3-9 第二河段水質、流量測站實測資料及推估水質濃度

月	推估污染 總量(kg)	天冷流量 站 (m ³)	龍安橋水 質(mg/l)	石岡壩入 流量 (m ³)	推估濃度 (mg/l)	石岡壩水 質(mg/l)
1	28391.73	40095648	1.34	45743017	1.10	1.10
2	28383.55	78540672	1.27	45312684	0.82	0.82
3	28375.63	104180832	0.86	118437602	0.95	0.95
4	28367.58	113132160	1.02	94517207	1.04	1.04
5	28359.52	179366496	1.35	195724257	1.13	1.13
6	28351.59	295133440	1.25	310282840	1.28	1.41
7	28343.54	157464416	1.25	199630542	1.13	1.18
8	28335.74	267875712	1.53	239464265	1.60	1.60
9	28327.64	120936960	1.24	105307760	1.65	1.65
10	28319.81	89038944	1.04	102330950	0.79	0.79
11	28311.75	50688000	0.77	66303667	0.93	0.93
12	28303.93	38631456	1.20	53994076	0.97	0.97

推估第三河段的水質濃度的目標函數及限制式如式 4-9。率定之來源水質實測值為石岡壩水質測站（歷年各月份的平均值）、來源流量以本研究水量調配模式推估石岡壩歷年各月平均入流量為依據，推估各月水質濃度，比對大甲溪橋水質測站（歷年各月份的平均值）、本研究水量調配模式推估出海口的歷年各月平均流量（如表 4.3.3-10），率定出流達率如表 4.3.3-11。水質檢定結果圖如圖 4.3.10。

$$\text{目標函數: } \text{Min} \sum_{t=1}^{12} (C_{3,t} - C'_{3,t})^2,$$

$$\text{限制式:} \tag{4-9}$$

$$1. C_{3,t} = \frac{M_{3,t} \times R_{3,t} + C_{2,t} \times Q_{2,t} \times \Delta t}{Q_{3,t} \times \Delta t}$$

$$2. 0.1 < R_{2,t} < 1$$

式中，t:月時刻， $C_{3,t}$ ：第三河段推估月 BOD 濃度， $C'_{3,t}$ ：第三河段實測月

BOD 濃度， $M_{3,t}$ ：第三河段污染流達量， $R_{3,t}$ ：第三河段流達率，

$C_{2,t}$ ：第二河段月 BOD 濃度， $Q_{2,t}$ ：第二河段月流量， $Q_{3,t}$ ：第三河段月流量。

表4.3.3-10 第三河段水質、流量測站實測資料及推估水質濃度

月	推估污染 總量 (kg)	模式石岡壩 入流站 (m ³)	石岡壩水 質 (mg/l)	模式出海口 流量 (m ³)	推估濃度 (mg/l)	大甲溪橋水 質 (mg/l)
1	186207	53800238	1.10	20219520	5.26	5.26
2	186099	91063525	0.82	50359264	3.81	3.81
3	185992	134064364	0.95	76687389	3.69	3.69
4	185887	137811091	1.04	78221149	2.60	2.60
5	185781	154517091	1.13	98000531	2.49	2.49
6	185678	233624364	1.41	198514571	2.55	2.55
7	185574	153057818	1.18	180820702	2.03	2.06
8	185472	218988364	1.60	178086545	2.67	2.67
9	185371	196237636	1.65	164963835	3.09	3.23
10	185271	115296727	0.79	70702631	2.72	2.72
11	185171	90176942	0.93	50901525	2.39	2.39
12	185073	57408367	0.97	20463351	4.16	4.16

二次規劃法率定各河段之豐水期及枯水期的流達率如表 4.3.3-11，各河段水質檢定結果圖如圖 4.3.8、圖 4.3.9 及圖 4.3.10 所示。

表 4.3.3-11 各河段豐、枯水期之流達率

河段	豐水期流達率	枯水期流達率
第一河段	1	1
第二河段	1	0.828
第三河段	1	0.834

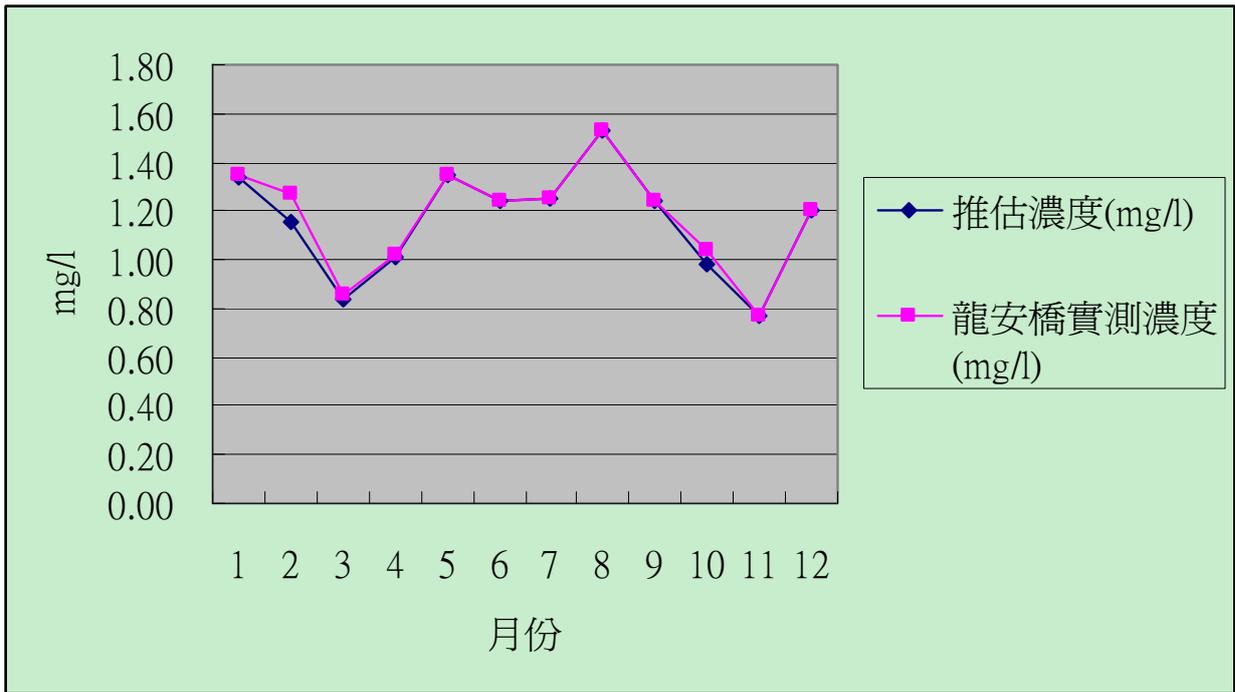


圖 4.3.8 第一河段水質檢定結果圖

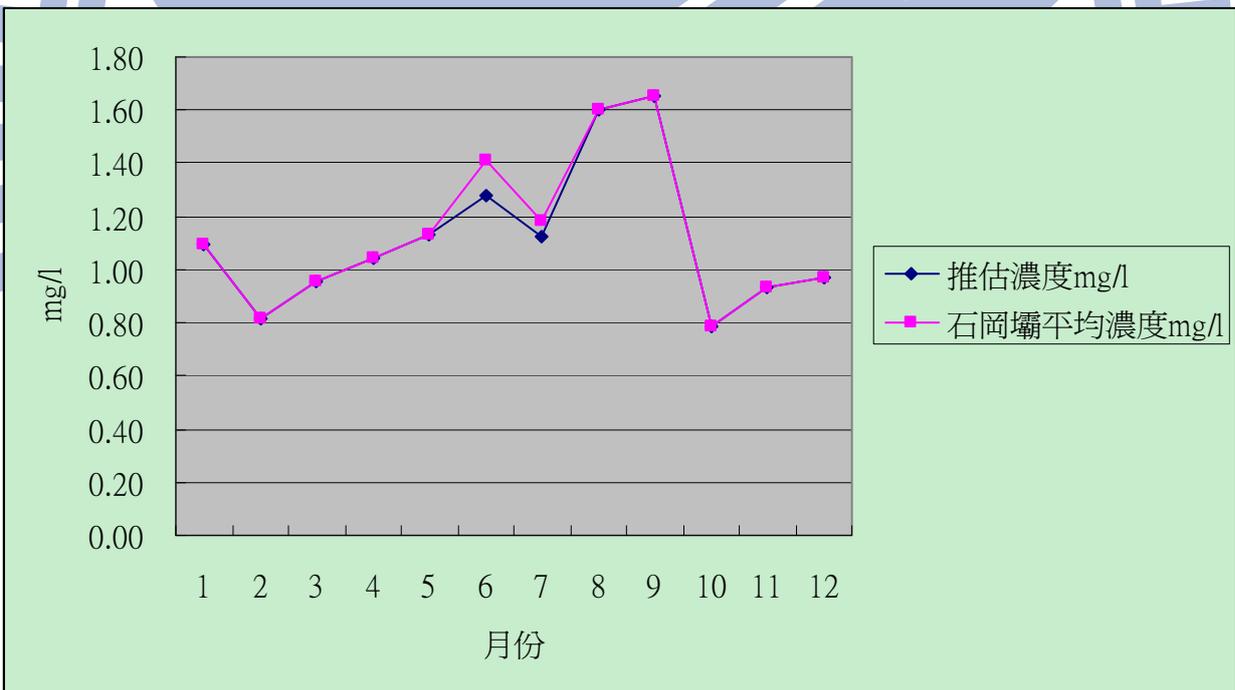


圖 4.3.9 第二河段水質檢定結果圖

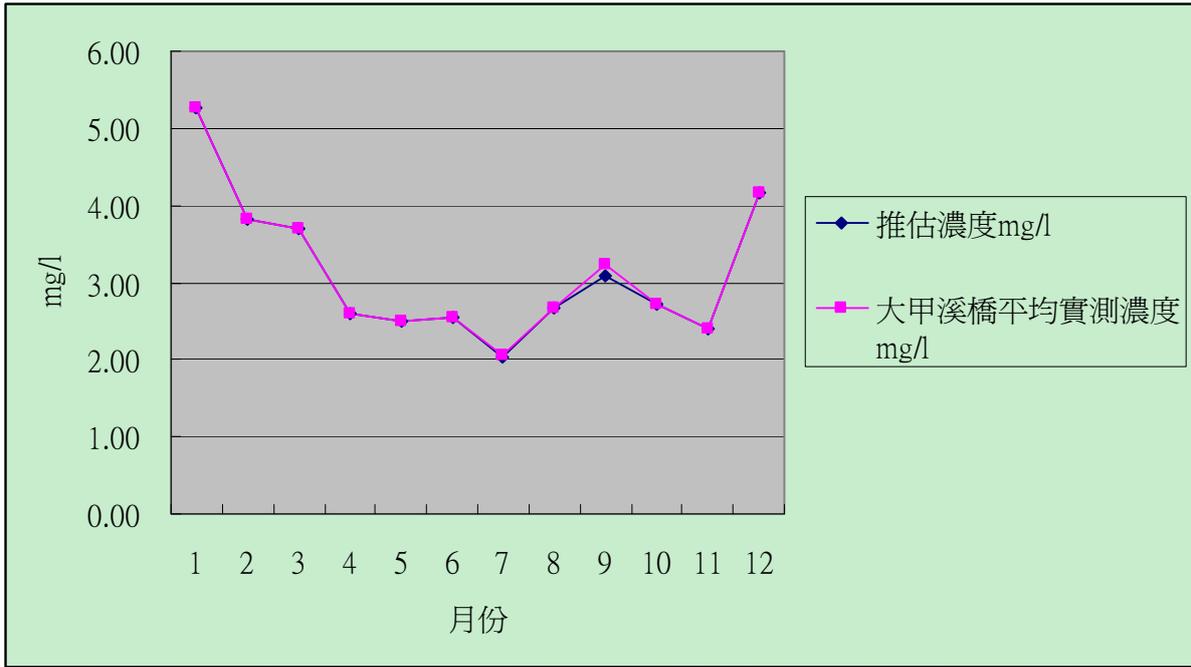


圖 4.3.10 第三河段水質檢定結果圖

4.4 水資源調配系統動力模型建立

4.4.1 水資源調配系統模式架構說明

現況台中供水情形為大安溪鯉魚潭水庫、大甲溪石岡壩和部分地下水供應每日供應 130 萬噸，但隨著中部科學園區的進駐與人口成長，造成用水量的劇增，以現有之供水系統無法滿足其未來需求量，如此將導致供需失衡而產生區域性缺水的問題。

台中地區水源調配系統圖如圖 4.1.5 所示，主要供給水源為大甲溪、大安溪兩大水源，其中大甲溪流域主要的水源調配結構物有德基水庫、石岡壩及豐原淨水場，德基水庫除引用大甲溪主流蓄存外，另自大甲溪支流志樂溪越域引水。另外大安溪流域主要的水源調配結構物有鯉魚潭水庫、士林攔河堰及鯉魚潭淨水場，其中鯉魚潭水庫位於大安溪支流景山溪，為一離槽水庫，為補充本身水源之不足，另自大安溪主流上之士林攔河堰越域引水。

大甲溪主要蓄水設施為德基水庫、石岡壩，農業用水依各圳路取水位置予以合併考慮用水需求，區分為大甲溪上游灌區(白冷圳、大茅埔圳、老圳、東勢本圳、八寶圳堰上游灌區)、石岡堰灌區(葫蘆墩圳、八寶堰中下游灌區)、大甲溪下游灌區(埤頭山圳、內埔圳、虎眼一圳、虎眼二圳、五福圳、高美圳)等三個農業需求予以計算，公共用水主要經由石岡壩進入豐原淨水場再配送至台中地區。

大安溪主要蓄水設施為士林攔河堰、鯉魚潭水庫、景山溪攔河堰等。農業用水則依特性區分為士林堰灌區(卓蘭圳、埔尾橫圳、矮山圳、口潭圳、石壁坑、新店圳、頂店圳、后里圳、七公圳、城圳)、鯉魚潭灌區(鯉魚潭圳)、三灌圳(苑裡圳、日南圳、九張犁圳)，公共用水則是由鯉魚潭水庫直接輸送至鯉魚潭淨水場再配送至台中地區。

4.4.2 地表水資源調配模式建立

參考圖 4.1.5 之大甲大安溪水源調配系統圖，利用系統動力學的四個基本物件：存量 (Stock)、流量 (Flow)、箭線 (Connector) 以及輔助變數 (Auxiliary)，搭配 3.4 節各線段之量化數學關係式，並配合 4.4.2 節之各項水工結構物之水源調配之運用原則，建構出大甲大安聯合營運之水源調配系統動力模型如圖 4.4.1 所示。

4.4.3 水資源調配系統調適策略

本研究模擬的水資源調配系統調適策略有三種，分別為越域引水、人工湖策略與自來水管線汰換系統，以下將分別詳細介紹各調適策略的相關資料。

1.越域引水

由於大甲溪系統無論在豐枯水期皆有剩餘流量，為提升大甲溪上游發電尾水之利用率，預計將大甲溪多餘的發電尾水，引入大安溪流域，除了供后里圳使用外，亦引水至鯉魚潭淨水場以供台中地區公共用水使用，將大甲溪剩餘流量以直接輸送或交換用水之方式，直接或間接的蓄存於鯉魚潭水庫，以增加系統之供水能力。另外配合后里淨水場的興建，其取水水源亦考量由越域引水渠道增設取水口取水，而其另一取水來源則來自鯉魚潭水庫。本研究參考「大安溪及大甲溪水源聯合運用輸水工程規劃」報告，將各管線之流量限制納入系統考量，此輸水管建議延伸至鯉魚潭淨水場及台中水利會后里圳，以於大甲溪豐沛時，利用大甲溪川流水交換大安溪后里圳農業用水，並將原大安溪后里圳灌溉用水蓄存於鯉魚潭水庫。其工程示意圖如圖 4.4.2 所示。另外配合水源運用，越域引水模擬模式可表示如圖 4.4.3 所示。

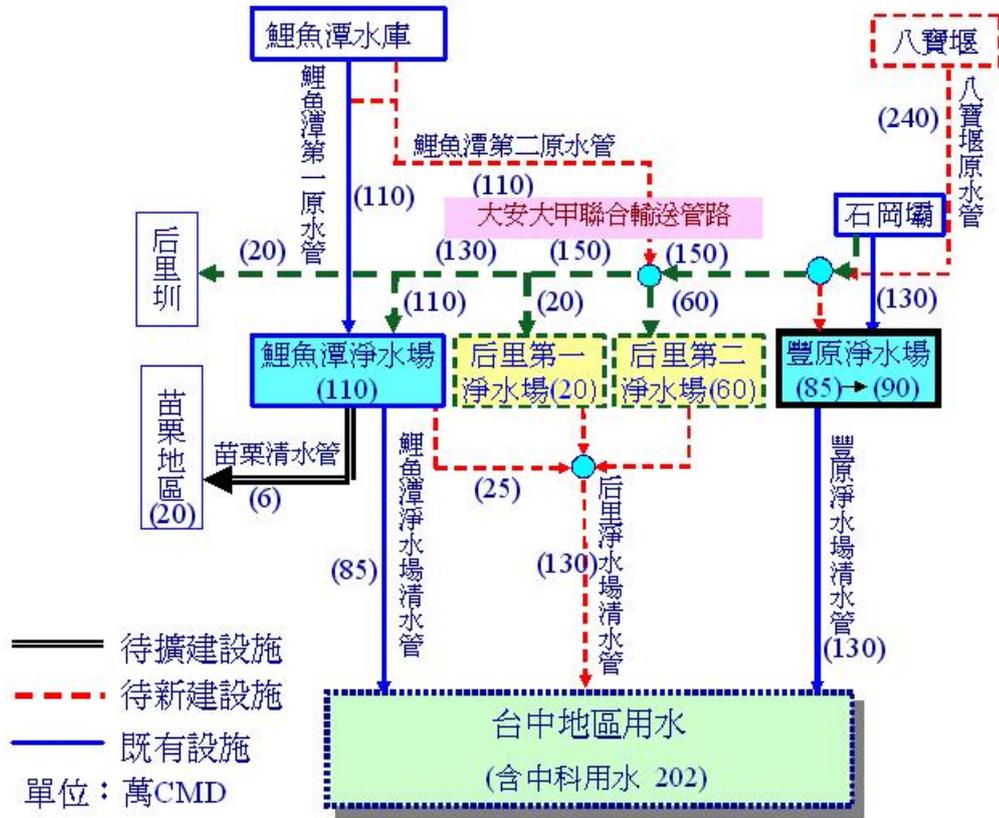


圖 4.4.2 大安溪及大甲溪水源聯合運用輸水工程圖

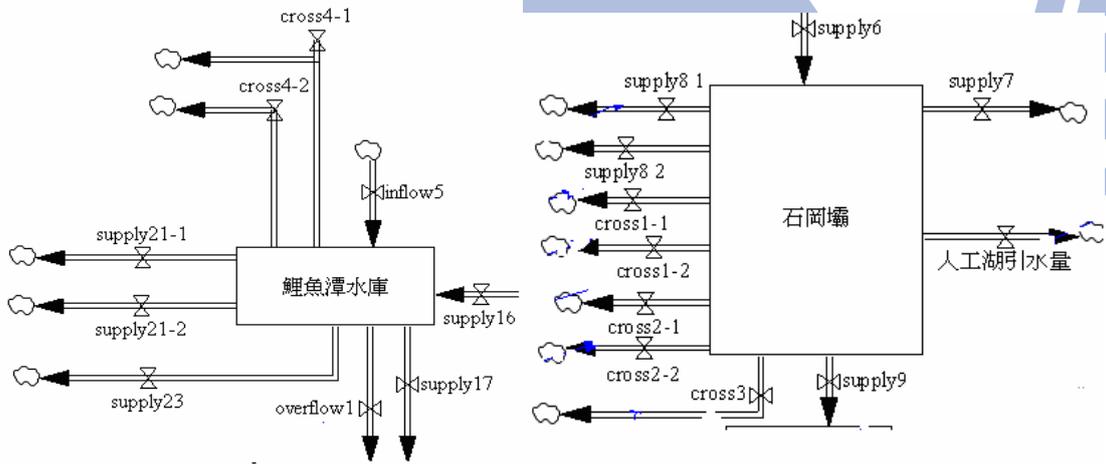


圖 4.4.3 越域供水系統動力模型

2.人工湖

人工湖係指在平原之地面上或地面下建造之人為蓄水設施，一般位於地勢較平坦之平原區，係以挖掘或挖掘與填築的方式興建，因其深度不如山區水庫需要廣大的面積，且兼具供水防洪、觀光與地下水補注的功能故為可行的水資源調適策略。為因應日後中科用水遽增，須另覓新水源供應。但因現階段水資源政策在考量環保意識高漲，及水庫推動不易情形下，水利署擬於大甲溪中下游利用休耕農地或公有地興建平地水庫(人工湖)，擬定台中人工湖策略與初步規劃方案，以因應台中地區未來之用水需求。其工作範圍為大甲溪流域中下游，主要行政區域包含台中縣石岡鄉、后里鄉及外埔鄉，初步設計的面積約 313.4 公頃，總蓄水體積約 2,800 萬立方公尺，保留蓄水體積 262 萬立方公尺，有效庫容 2,577 萬立方公尺，年供水量 7,300 萬立方公尺。台中人工湖水源演算模擬之系統架構如圖 4.4.4 所示。台中人工湖引水來源為石岡壩剩餘流量，配合大甲大安之水源運用，供應給台中地區生活用水和工業用水，其供水順序應在現有水源系統(大甲大安系統)之後。

在規劃開發之初須針對供水效益作為主要評估及考量之重點，其次才為附屬效益之考慮，如此方符合水源開發之意義。依照系統圖 4.4.4，設計模式承接石岡壩的剩餘流量，超過最大蓄水體積時則有溢流量流至下游進入台灣海峽。由於未有相關地下水交換量資料，目前暫以封底看待，人工湖模擬模式可表示如圖 4.4.5 所示。

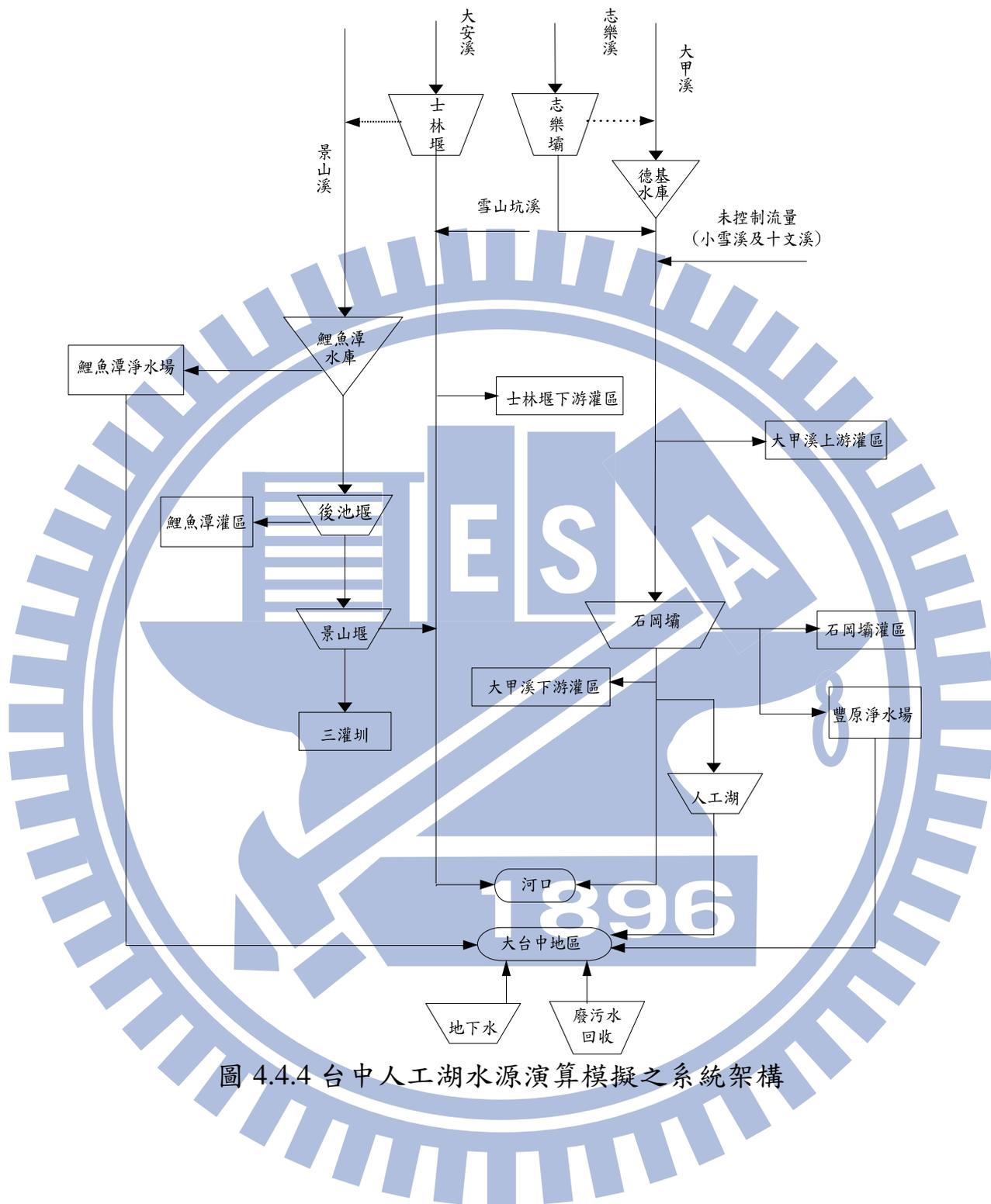


圖 4.4.4 台中人工湖水源演算模擬之系統架構

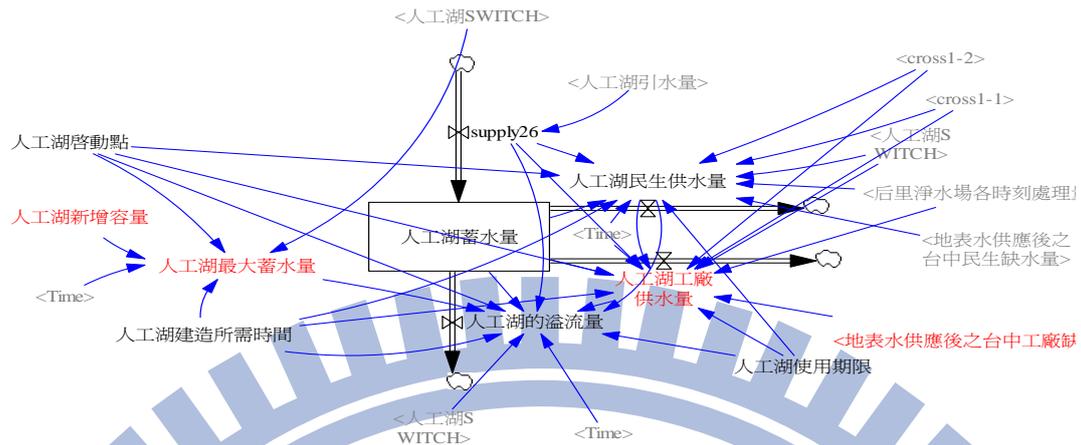


圖 4.4.5 台中人工湖水源調配系統動力模型

3. 自來水管線汰換

台灣地區由於管線使用期限已久，再加上漏水率偏高，為節省水資源並提高可應用之有效水量，因此對於管線的更新實為一種值得各界關心之議題。目前自來水公司計算漏水率的方式為：

$$\text{漏水率} = (\text{配水量} - \text{抄見量} - \text{無計費有效水量}) / \text{配水量} * 100\%$$

經推估可得台灣地區各年之漏水率以及水公司第四管理區處民國 93 年之漏水率如 4.4.3-1 所示。顯示目前中部地區之漏水率甚高，因此盼藉由管線汰換工程來降低偏高的漏水率，以緩和台中之用水壓力。本研究考量之生活需求量推估與抄見率有關，根據水公司及日本經驗公式分析，根據每年汰換管線長度達總管線長度之 3.3%，可提升抄見率 1%。假設自來水管線壽命為 20 年，因此前 20 年管線汰換工程可以降低漏水率，20 年後之管線汰換工程僅能控制漏水復發率。因此考量管線汰換工程壽命後，其模擬模式可表示如圖 4.4.6 所示。

表4.4.3-1 台灣地區漏水率現況分析

時期及供水系統別	配水量	抄見量	無計費水量	漏水率
	(立方公尺)	(立方公尺)	(立方公尺)	(%)
民國 63 年	423,384,502	...	29,636,915	
民國 64 年	456,733,547	...	31,971,348	
民國 65 年	486,641,970	325,943,007	34,064,938	26
民國 66 年	551,052,131	366,487,228	38,573,649	26
民國 67 年	651,925,230	447,447,054	45,634,766	24
民國 68 年	727,644,563	508,369,477	50,935,119	23
民國 69 年	782,900,812	538,833,841	54,803,057	24
民國 70 年	853,480,779	584,738,935	59,743,655	24
民國 71 年	942,414,123	644,062,391	65,968,989	25
民國 72 年	1,031,206,336	712,132,591	72,184,444	24
民國 73 年	1,083,904,966	756,904,884	75,873,348	23
民國 74 年	1,176,534,442	814,598,239	82,357,411	24
民國 75 年	1,243,916,916	889,288,257	87,074,184	22
民國 76 年	1,347,399,718	969,003,431	94,317,980	21
民國 77 年	1,483,392,954	1,069,925,699	103,837,507	21
民國 78 年	1,605,463,323	1,144,641,106	112,382,433	22
民國 79 年	1,705,602,227	1,219,087,155	119,392,156	22
民國 80 年	1,817,857,010	1,306,615,916	127,249,991	21
民國 81 年	1,952,799,874	1,360,225,970	136,695,991	23
民國 82 年	2,056,485,560	1,444,119,693	143,953,989	23
民國 83 年	2,126,372,015	1,500,611,441	148,846,041	22
民國 84 年	2,139,027,452	1,590,143,685	149,731,922	19
民國 85 年	2,195,113,081	1,634,195,636	153,657,916	19
民國 86 年	2,293,765,435	1,738,590,335	160,563,580	17
民國 87 年	2,378,114,042	1,820,371,639	166,467,983	16
民國 88 年	2,494,432,792	1,877,391,601	174,610,295	18
民國 89 年	2,845,438,541	1,946,879,600	199,180,698	25
民國 90 年	2,931,265,573	1,980,953,513	205,188,590	25
民國 91 年	2,880,050,003	1,955,505,389	201,603,500	25
民國 92 年	2,959,327,403	2,000,069,396	207,152,918	25
民國 93 年	2,981,172,447	2,054,880,445	208,682,071	24
第四區管理處(93 年)	538,848,953	283,651,820	37,719,427	40

(資料來源：民國 93 年自來水年報)

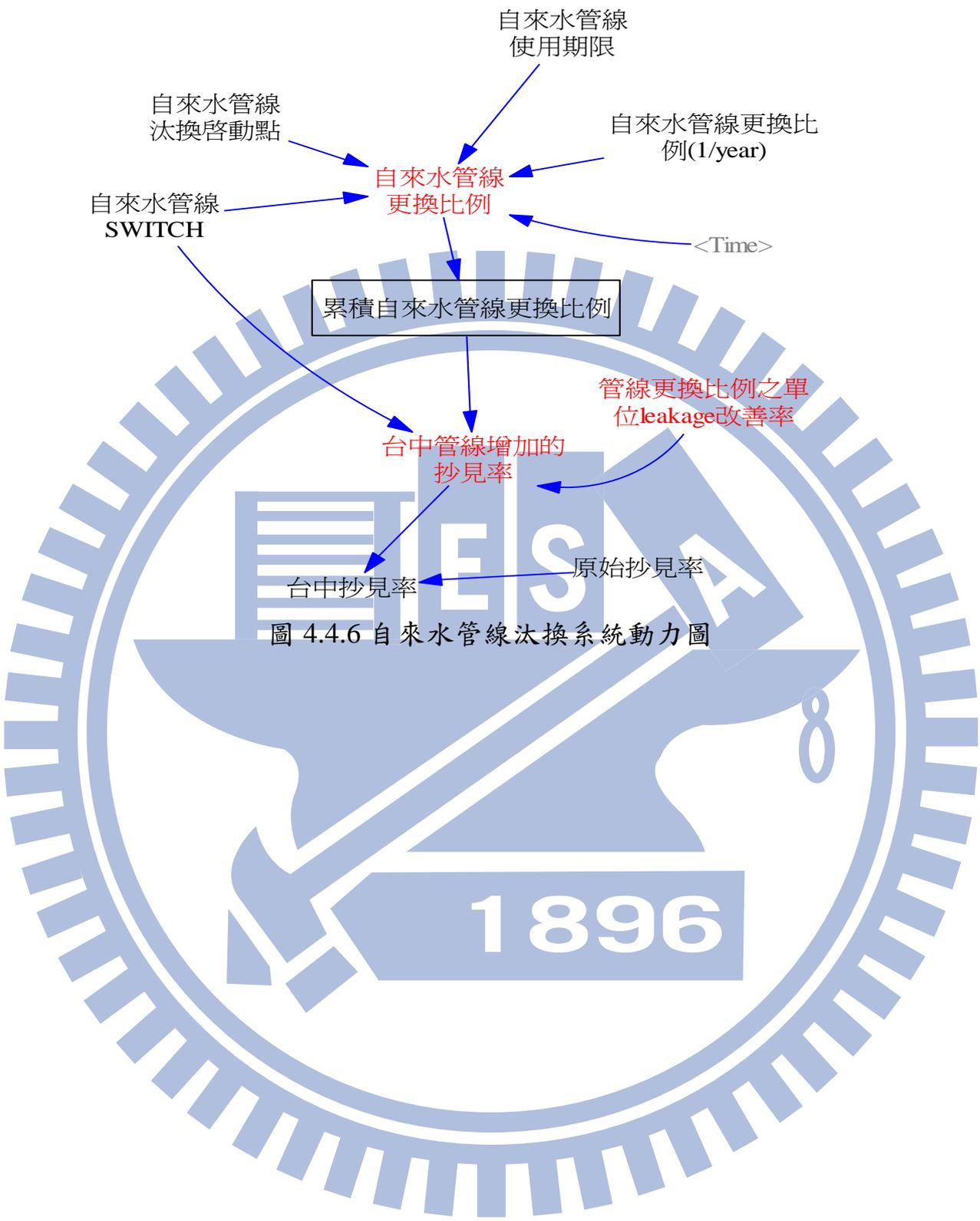


圖 4.4.6 自來水管線汰換系統動力圖

第五章 情境模擬及分析

5.1 零方案及各種策略模擬結果

依據前述章節完成相關系統動力模型建置，以進行大甲溪整體流域水量對於生化需氧量(BOD)衝擊影響的策略情境模擬。本研究考量之影響的策略有：越域引水、興建人工湖、自來水管線汰換及零方案等策略。

其中點源污染推估乃以 95 年為基準年，將第四章所獲得的資料作為模型數據輸入依據，包括模擬起始年的人口數、豬隻飼養數、遊客人數...等，推得大甲溪流域內之生活污染、畜牧污染、事業污染以及遊憩污染等。

由上述收集的相關數據進行模擬，模擬期距為民國 95 年(第 1 旬)至民國 109 年(第 540 旬)共 15 年間，模擬結果依水量、水庫水質、河川水質及綜合探討進行說明，說明如下：

一.水量部份:

由於全球氣候暖化的影響，未來台灣發生乾旱與洪澇的機會越來越大，就供水而言必須維持農業用水、工業用水與生活用水的穩定供水量，因此本研究將以過去水利單位常用之缺水指數 SI(shortage index)來評量零方案及各種策略方案模擬情況下的供水穩定度。

各種方案推估之缺水指數 SI 如表 5.1.1-1 所示。由結果可發現現況系統之缺水風險偏高($SI > 1$)，因此有必要新增供水策略來改善桃園地區之供水問題。由表得知改善最佳之策略為越域引水工程(含淨水

場)，其次為人工湖，自來水管線汰換工程最後，其中自來水管線每年汰換率不高(汰換率 2%/年)，故改善效率有限，缺水風險仍偏高(SI>1)；越域引水工程和人工湖工程則皆可有效降低缺水風險(SI<1)，該兩項工程皆引用石岡壩剩餘流量，雖人工湖本身蓄水體積(2800 萬噸)可蓄豐濟枯，然人工湖僅能供應公共用水需求，而越域引水除了供應公共用水需求外，尚可支援后里圳，因此大安溪原先供應至后里圳可節省下來並透過士林堰引水至鯉魚潭水庫儲存，故越域引水工程之供水改善效率優於人工湖工程。

表 5.1.1-1 各種模擬方案推求的缺水指數 SI

方案	缺水指數 SI
現況系統（零方案）	1.668
越域引水	0.4651
人工湖	0.9293
自來水管線汰換	1.358

二、水庫水質方面:

將水庫水質以箱型圖(BOXPLOT)表示，模擬結果發現不論是現況系統或其他策略(越域引水、人工湖及自來水管線汰換)下，其水庫水質箱型圖幾乎不變，各方案之水庫水質箱型圖如圖 5.1.1 所示，由圖發現水庫水質在 4、5 月時，BOD 質相對而言較高，但整體水質幾

乎皆低於 1mg/l 以下，符合甲類水體標準。結果顯示，策略的加入對於水庫水質之影響甚微。

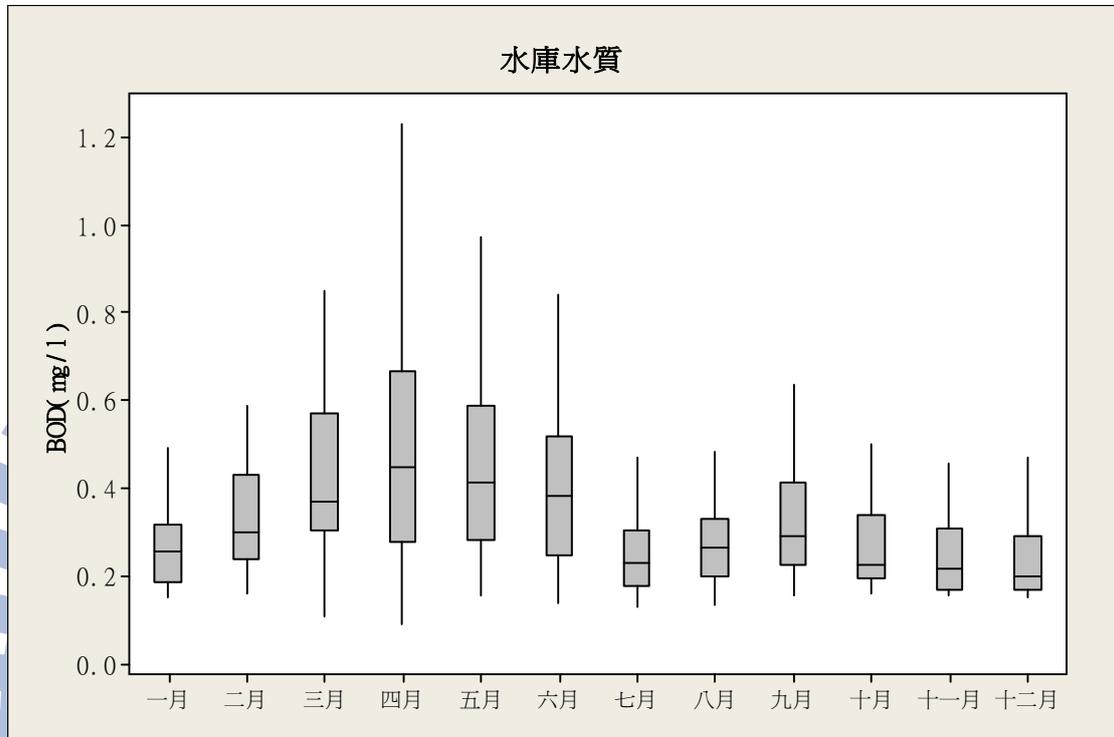


圖 5.1.1 各種策略下水庫 BOD 水質 Boxplot 圖

三、河川水質:

1. 第一河段:

將第一河段之水質與流量以箱型圖(BOXPLOT)表示，模擬結果發現不論是現況系統或其他策略(越域引水、人工湖及自來水管線汰換)下，其第一河段水質與流量箱型圖幾乎不變，各方案之第一河段水質與流量箱型圖如圖 5.1.2 和 5.1.3 所示，由圖發現第一河段流量在 6、8、9 月時，流量較高，變異也較大；1、2、12 月時流量較低，變異也較小。第一河段水質在 1~4 月時，BOD 值相對而言較高，但整體水質皆低於 1mg/l 以下，符合甲類水體標準。結果顯示，策略的加

入對於第一河段水質之影響甚微。

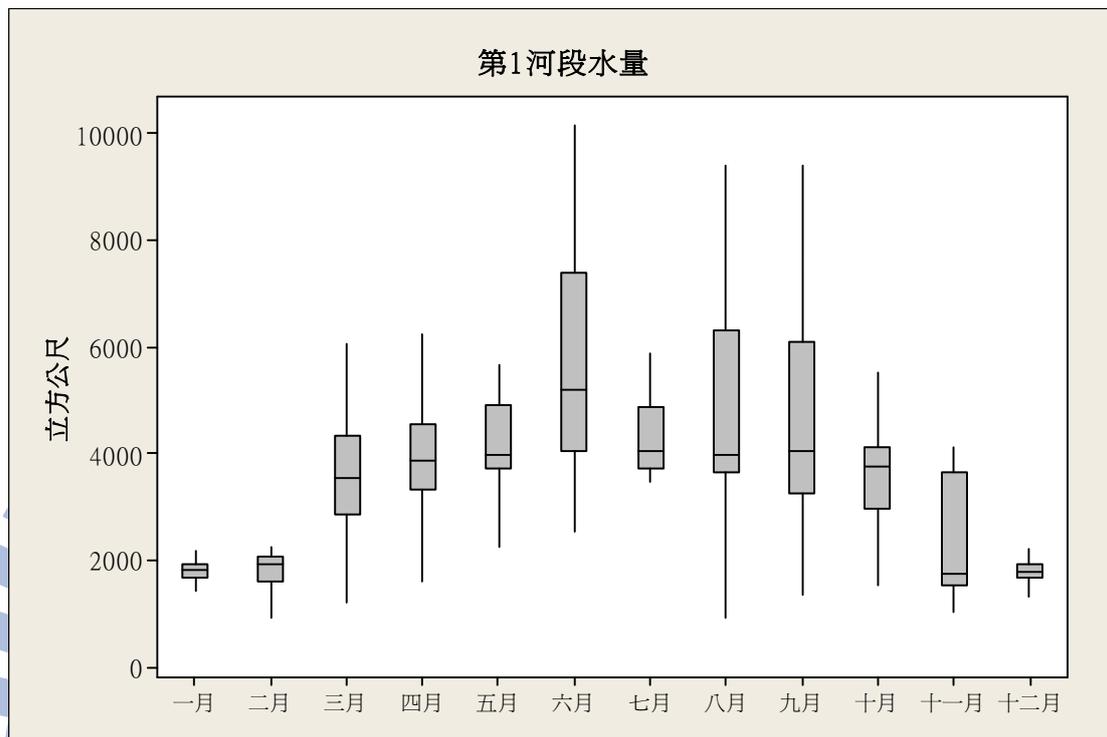


圖 5.1.2 各種策略下第一河段水量 Boxplot 圖

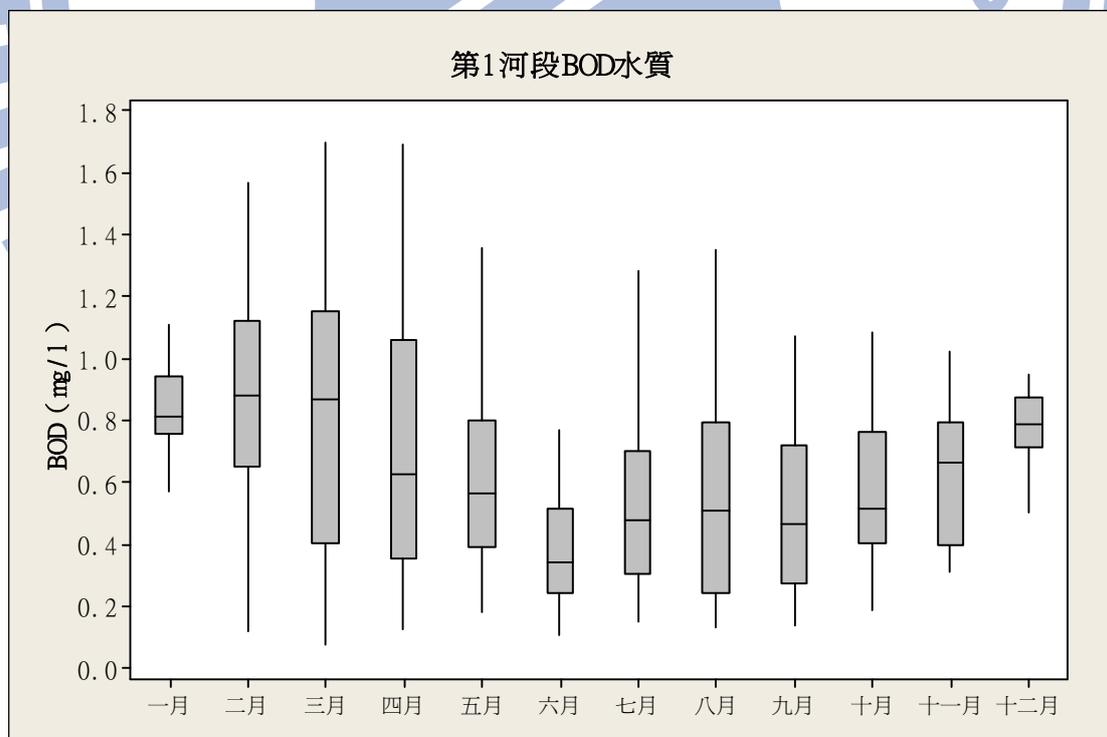


圖 5.1.3 各種策略下第一河段 BOD 水質 Boxplot 圖

2. 第二河段:

將第二河段之水質與流量以箱型圖(BOXPLOT)表示，模擬結果發現不論是現況系統或其他策略(越域引水、人工湖及自來水管線汰換)下，其第二河段水質與流量箱型圖幾乎不變，各方案之第二河段水質與流量箱型圖如圖 5.1.4 和 5.1.5 所示，由圖發現第二河段流量在 6、8、9 月時，流量較高，變異也較大；1、2、12 月時流量較低，變異也較小。第二河段水質在 1~4 月時，BOD 值相對而言較高，但整體水質皆低於 2mg/l 以下，符合乙類水體標準。結果顯示，策略的加入對於第二河段水質之影響甚微。

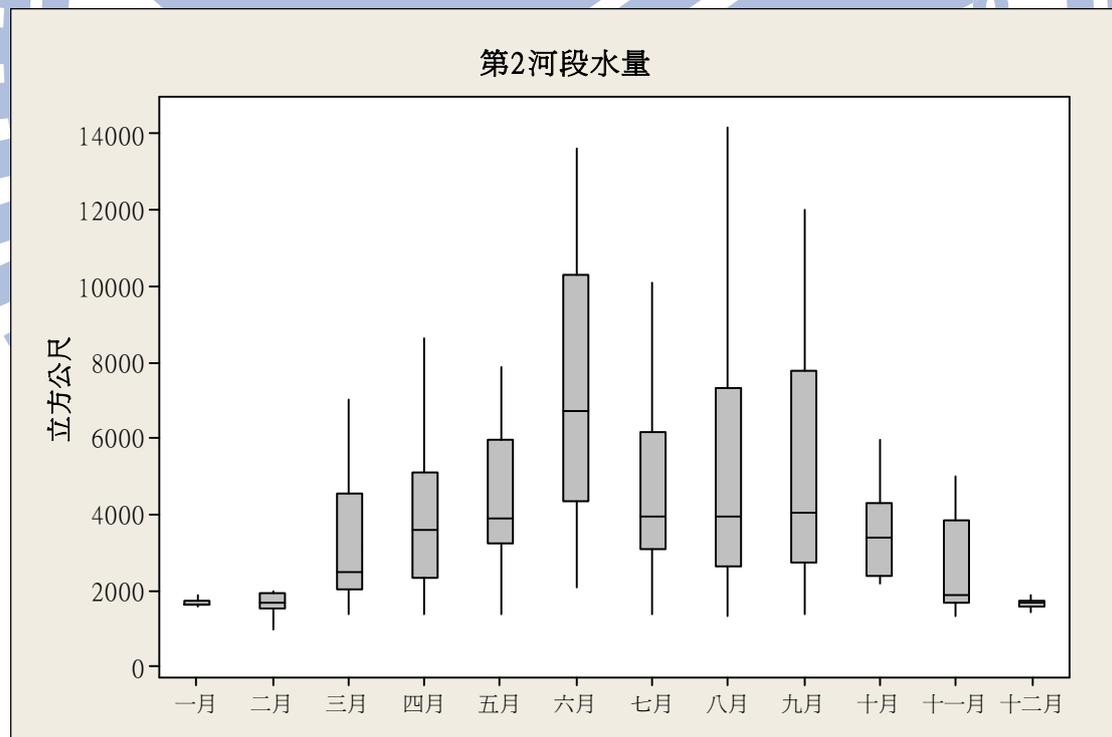


圖 5.1.4 各種策略下第二河段水量 Boxplot 圖

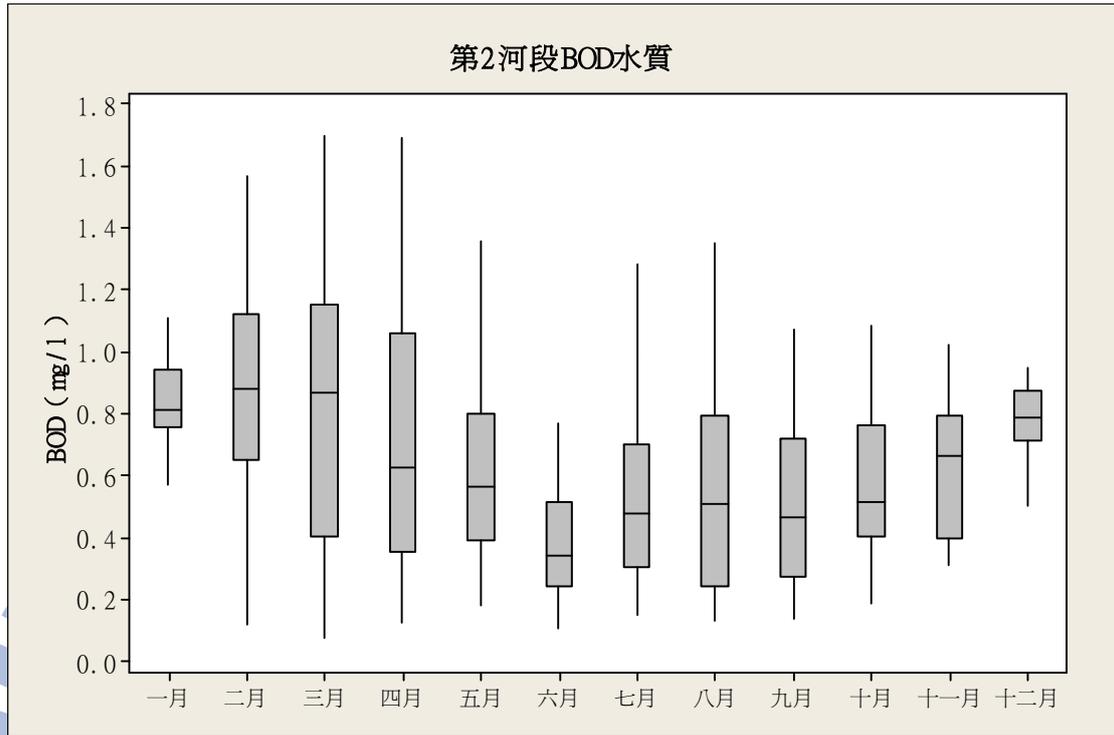


圖 5.1.5 各種策略下第二河段 BOD 水質 Boxplot 圖

3. 第三河段:

(1) 零方案 (現況) 策略

將第三河段之水質與流量以箱型圖(BOXPLOT)表示，零方案之第三河段水質與流量箱型圖如圖 5.1.6 和 5.1.7 所示，由圖發現零方案在第三河段流量在 6 月時，流量較高，變異也較大；1、2、12 月時流量較低，變異也較小。零方案之第三河段水質 BOD 值偏高，整體水質皆高於 4mg/l 以上，不符合丙類水體標準，僅 6 月水質略佳，約有 75% 之機率低於 4mg/l 標準。結果顯示，現況系統下，第三段河段已受到嚴重污染。

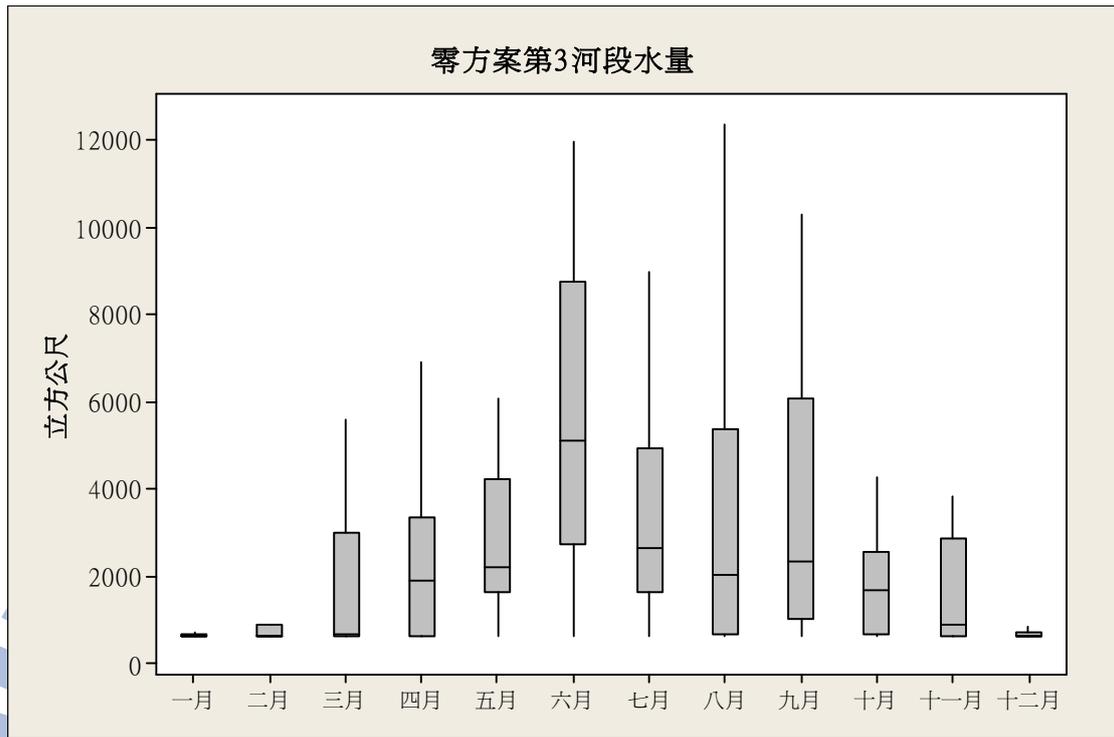


圖 5.1.6 零方案策略第三河段水量 Boxplot 圖

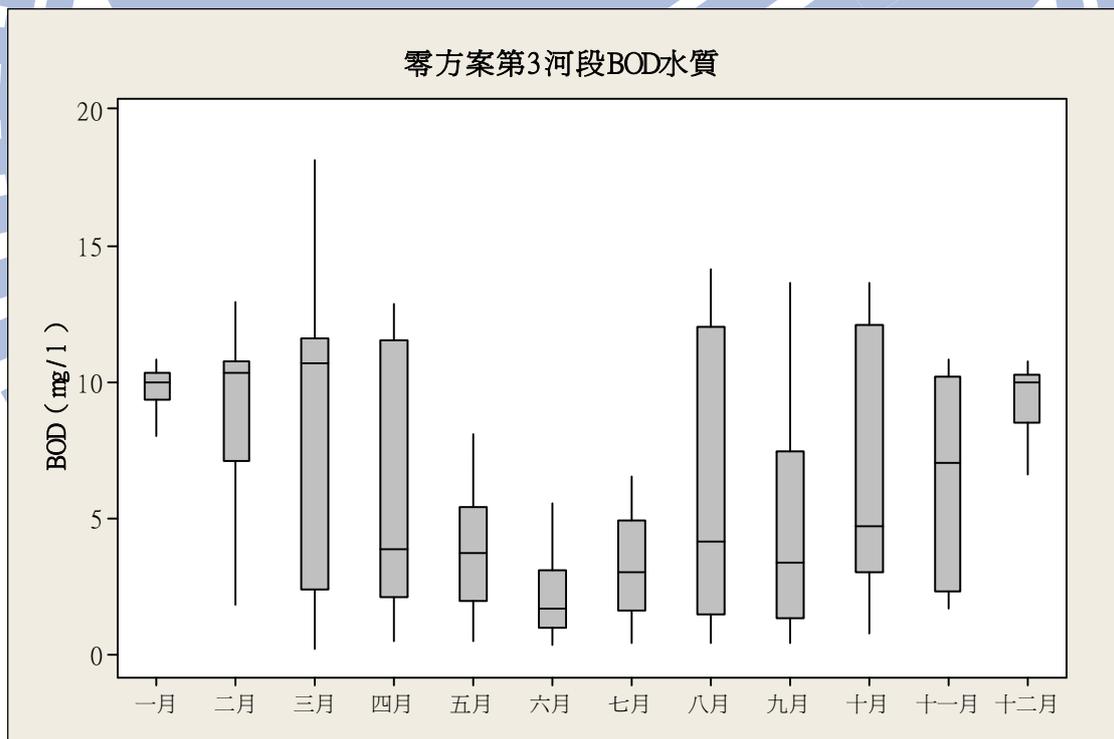


圖 5.1.7 零方案策略第三河段 BOD 水質 Boxplot 圖

(2) 越域引水策略

將第三河段之水質與流量以箱型圖(BOXPLOT)表示，越域引水策略在第三河段水質與流量箱型圖如圖 5.1.6 和 5.1.7 所示，由圖發現越域引水策略在第三河段流量在 6 月時，流量較高，變異也較大；1、2、12 月時流量較低，變異也較小，因越域引水策略將剩餘流量引至后里淨水場使用，故河川流量較零方案低，故造成 BOD 濃度普遍也比零方案略高，整體水質皆高於 4mg/l 以上，不符合丙類水體標準，僅 6 月水質略佳，約有 75% 之機率低於 4mg/l 標準。結果顯示，越域引水策略施行下，相較於零方案而言，污染情況提高，以 5、7 及 9 月之污染提高較為明顯。

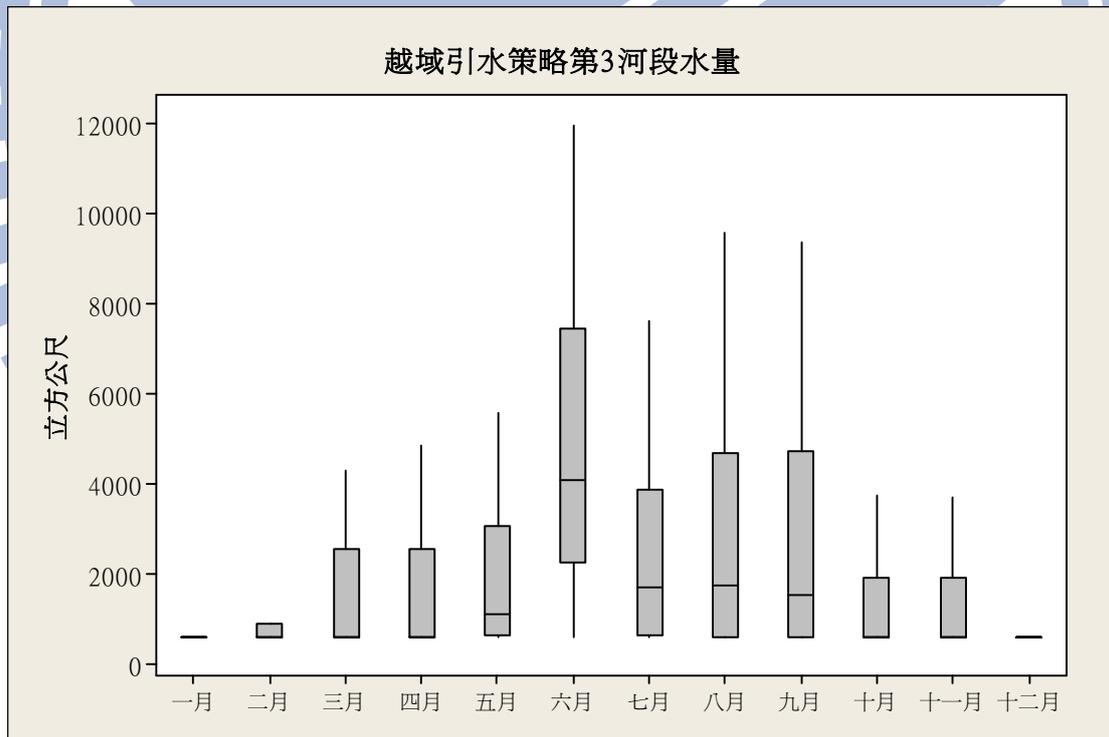


圖 5.1.8 越域引水策略第三河段水量 Boxplot 圖

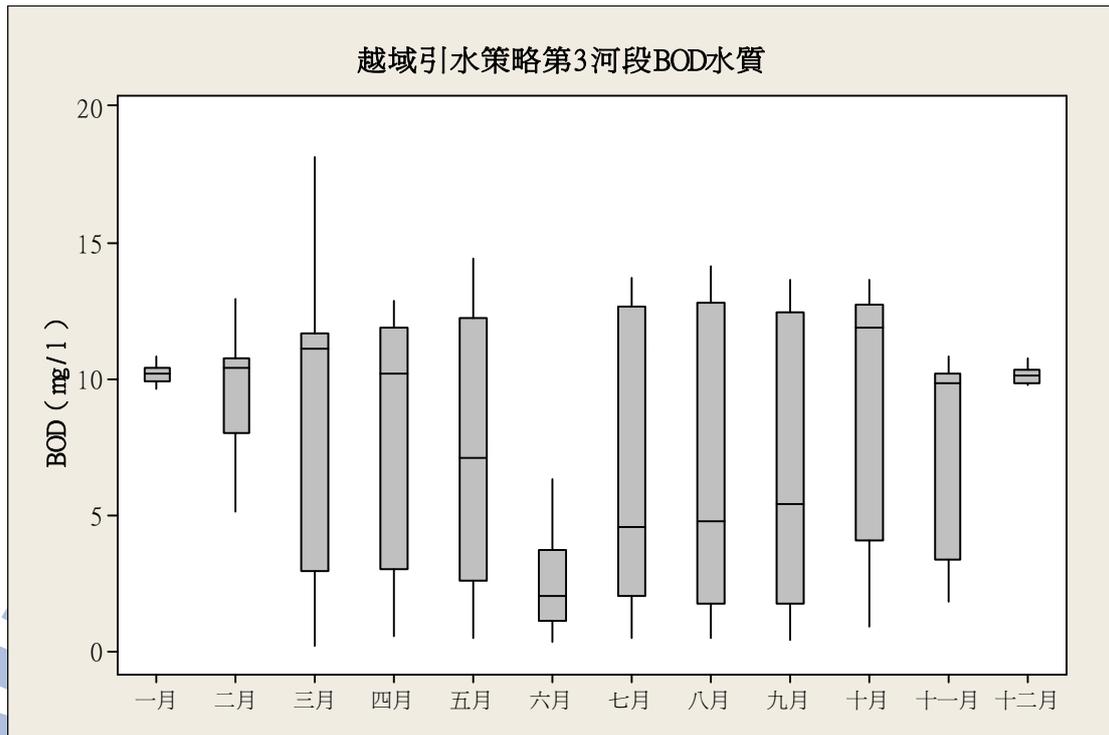


圖 5.1.9 越域引水策略第三河段 BOD 水質 Boxplot 圖

(3) 自來水管線汰換策略

將第三河段之水質與流量以箱型圖(BOXPLOT)表示，自來水管線汰換策略在第三河段水質與流量箱型圖如圖 5.1.10 及 5.1.11 所示，由圖發現自來水管線汰換策略在第三河段流量在 6 月時，流量較高，變異也較大；1、2、12 月時流量較低，變異也較小，與零方案比較得知，自來水管線汰換策略造成河川流量略為提升(但不顯著)，故 BOD 濃度相對於零方案亦略為降低，整體水質仍高於 4mg/l 以上，不符合丙類水體標準，僅 6、7 月水質略佳，約有 75% 之機率低於 4mg/l 標準。結果顯示，自來水管線汰換施行下，相較於零方案而言，污染情況略為降低。

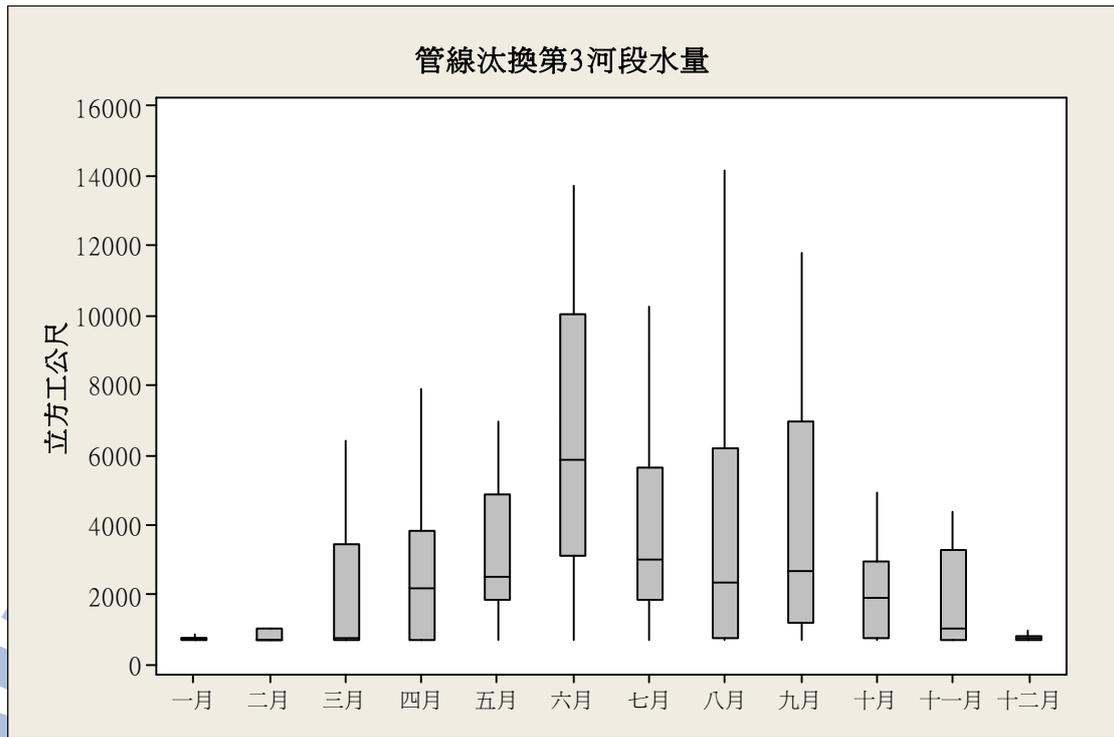


圖 5.1.10 自來水管線汰換策略第三河段水量 Boxplot 圖

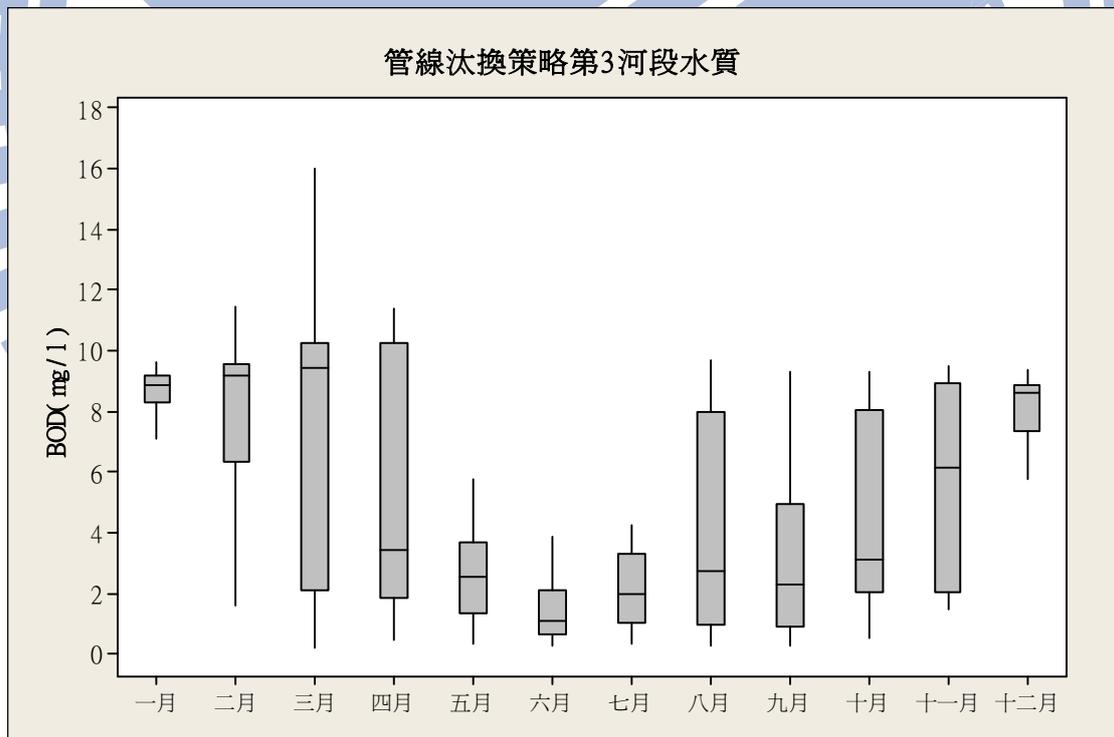


圖 5.1.11 自來水管線汰換策略第三河段 BOD 水質 Boxplot 圖

(3) 興建人工湖策略

將第三河段之水質與流量以箱型圖(BOXPLOT)表示，興建人工湖策略在第三河段水質與流量箱型圖如圖 5.1.12 及圖 5.1.13 所示，由圖發現興建人工湖策略在第三河段流量在 6 月時，流量較高，變異也較大；1、2、12 月時流量較低，變異也較小。與零方案比較得知，人工湖策略對於河川流量影響變化較小，故 BOD 濃度相對於零方案之變化亦不明顯，整體水質仍高於 4mg/l 以上，不符合丙類水體標準，僅 6、7 月水質略佳，約有 75%之機率低於 4mg/l 標準。結果顯示，人工湖策略施行下，相較於零方案而言，污染情況並未有明顯提高。

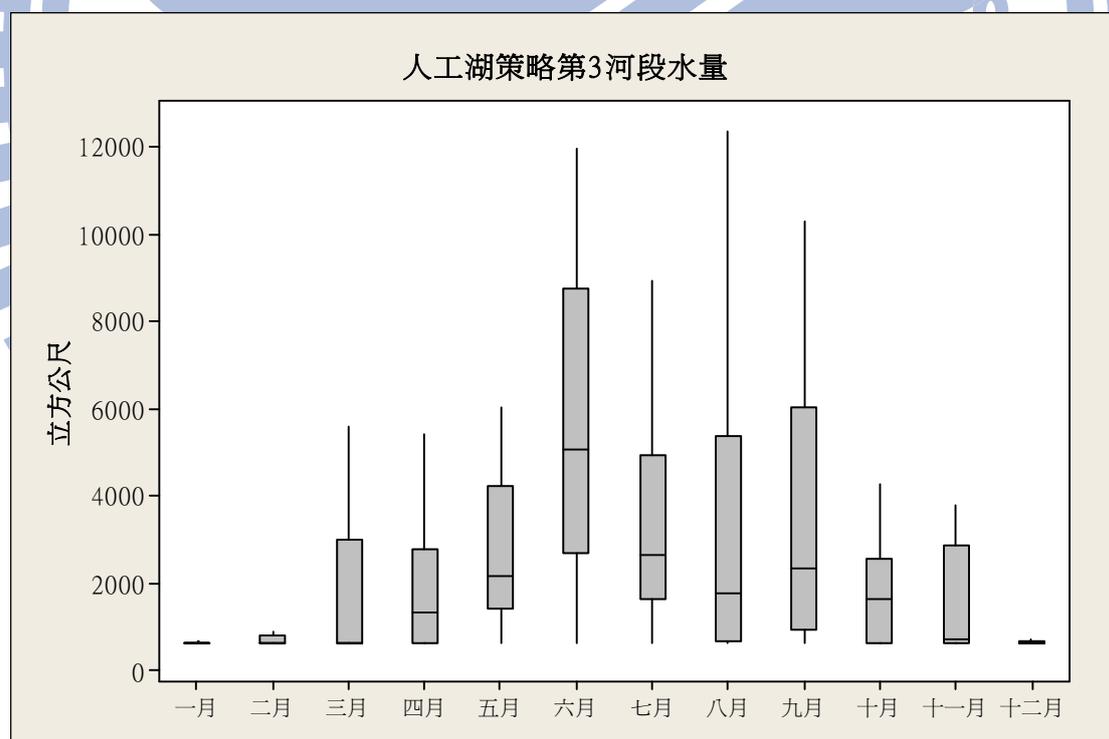


圖 5.1.12 興建人工湖策略第三河段水量 Boxplot 圖

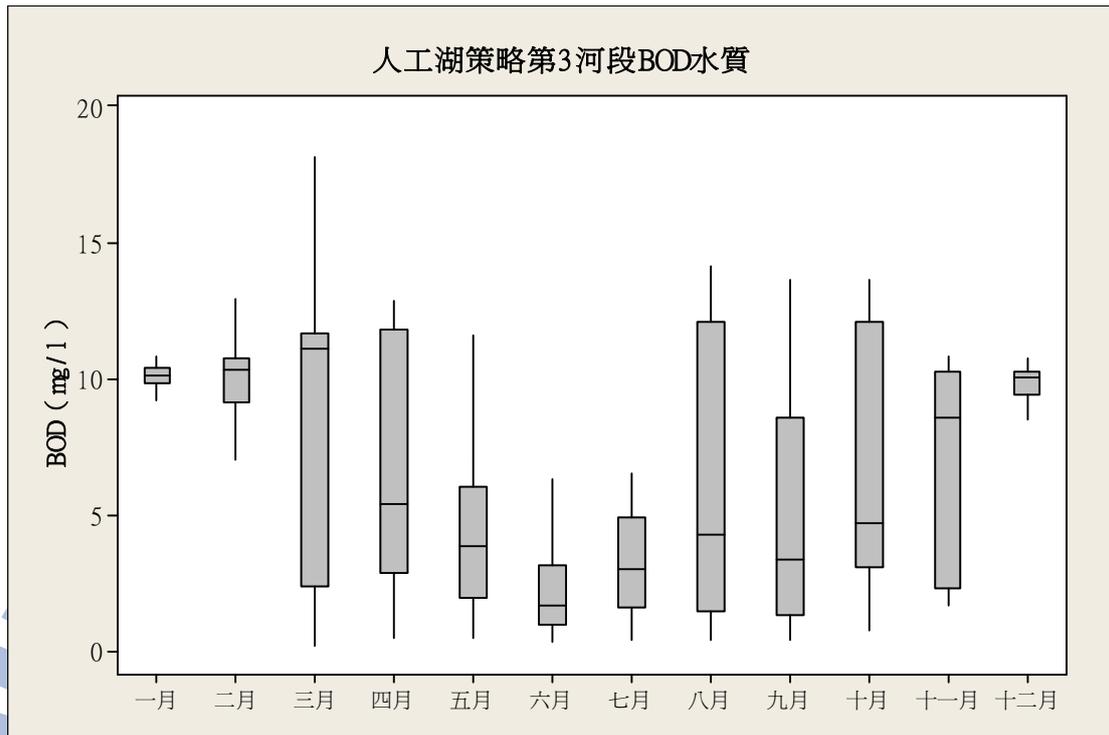


圖 5.1.13 興建人工湖策略第三河段 BOD 水質 Boxplot 圖

四、綜合探討：

- (1) 在零方案或各策略的施行下，水庫水質、第一河段水質與第二河段水質皆可符合其規劃標準。但第三河段河段則無論在零方案或各種策略下，皆不符合丙類水體規範。
- (2) 越域引水策略雖然最可有效降低缺水風險 (SI=0.4651)，但對於第三河段河川污染之提高卻最為顯著，尤以 5、7 及 9 月之污染提高較為明顯。
- (3) 自來水管線汰換策略雖然對於缺水風險的降低並不顯著 (SI=1.358)，但卻降低第三河段河川污染，惟第三段河段現況已受嚴重污染，雖然有略為降低，但整體而言，仍不符合丙類水體規範。

(4) 人工湖策略亦可有效降低缺水風險 (SI=0.9293)，惟降低程度較越域引水策略略低，但其相對於零方案而言，對於第三河段河川污染之提高並不顯著。



第六章 結論與建議

6.1 結論

1. 對於缺水指數改善最佳之策略為越域引水工程(含淨水場)，其次為人工湖，自來水管線汰換工程最後。
2. 就水庫水質而言，在零方案或各策略的施行下，德基水庫水質良好，BOD 大都在 1mg/l 以下，符合甲類水體標準，亦符合現行公告甲類水體標準，尚無優養化之虞。
3. 就河川水質而言，本研究針對大甲溪水質進行評估分析，評估結果發現：
 - (1) 在零方案或各策略的施行下，第一河段水質與第二河段水質皆可符合其規劃標準。但第三河段河段則無論在零方案或各種策略下，皆不符合丙類水體規範。
 - (2) 越域引水策略雖然最可有效降低缺水風險 ($SI=0.4651$)，但對於第三河段河川污染之提高卻最為顯著，尤以 5、7 及 9 月之污染提高較為明顯。
 - (3) 自來水管線汰換策略雖然對於缺水風險的降低並不顯著 ($SI=1.358$)，但卻降低第三河段河川污染，惟第三段河段現況已受嚴重汙染，雖然有略為降低，但整體而言，仍不符合丙類水體規範。
 - (4) 人工湖策略亦可有效降低缺水風險 ($SI=0.9293$)，惟降低程度較越域引水策略略低，但其相對於零方案而言，對於第三河段

河川污染之提高並不顯著。

4. 本研究案例模擬發現：越域引水策略會造成第三河段水質快速惡化，人工湖策略則造成第三河段水質稍加惡化，自來水管線汰換會讓第三河段水質變好。策略對第三河段河川水質優劣的影響順序分別為：自來水管線汰換策略最好，其次是興建人工湖，越域引水策略次之，故就對河川水質的影響而言，以自來水管線汰換策略影響最小。
5. 以石岡壩為分界，大甲中、上游段皆符合現行公告水體標準，大甲溪下游段因大量民生污水與工業廢水匯入造成河川水質超出現行公告水體標準。
6. 本研究探討不同水資源改善策略對於流域河川水質的影響，以提供更完整而清晰之參考資訊，以為決策者參考。

6.2 建議

1. 目前本研究所採用之水質標準，乃參考現行環保署公告水體標準，建議未來可針對大台中或其他區域適用之指標及其標準作進一步探討。
2. 本研究水量部份已考量大甲大安溪聯合營運，惟水質部分僅考量大甲溪流域，由於水質水量應整體考量，因此建議後續應加入大安溪流域水質之評估並推求鯉魚潭水庫上游集水區入庫污染量。
3. 建議改變上游土地利用面積情形，模擬出不同土地利用狀況下，水資源調配策略對於河水川水質衝擊的影響。
4. 建議水庫集水區入庫污染量需多加考量上游點源污染量的推估，在下游河川部份則應增加對河川非點源的污染量的估算。

參考文獻

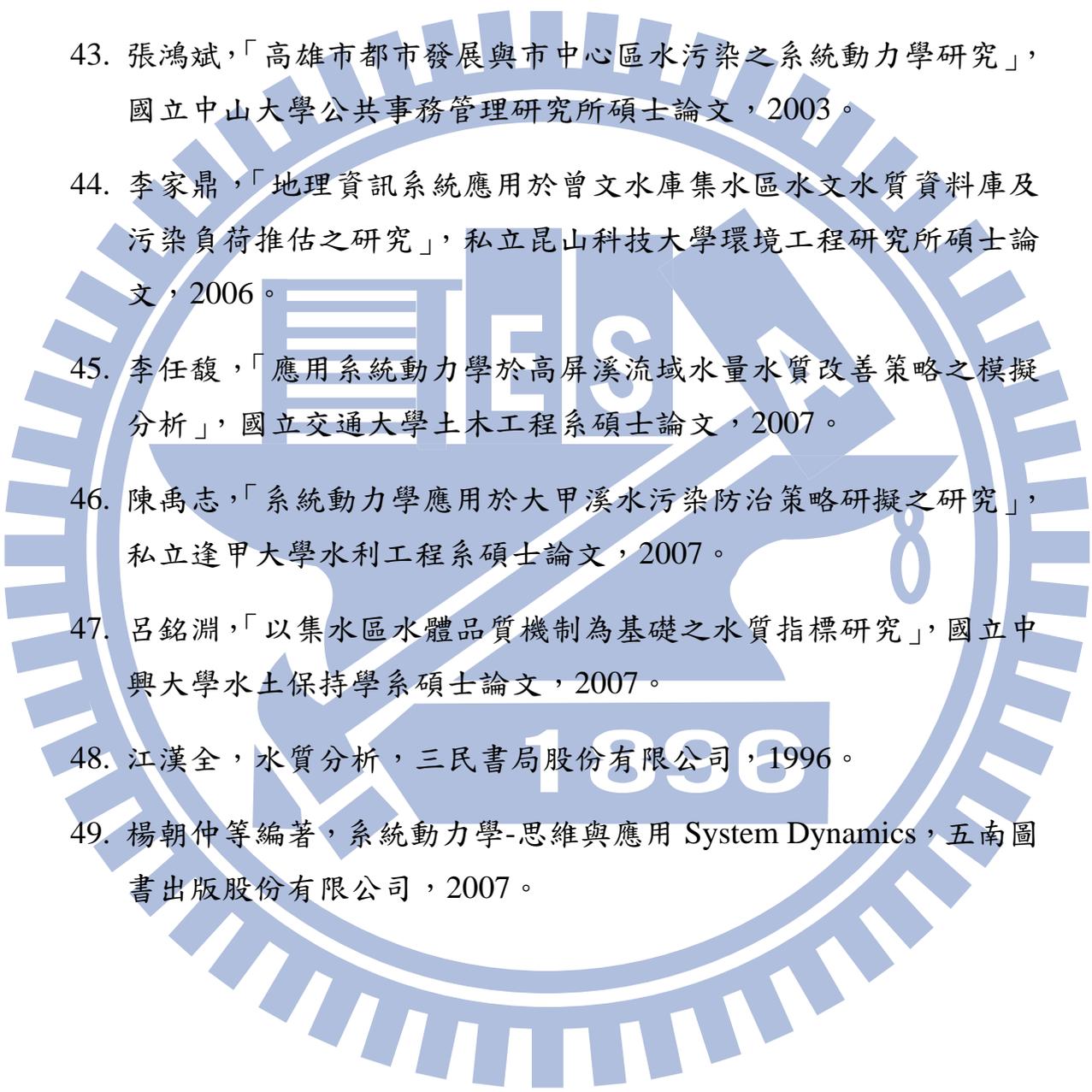
1. Sawyer, C. N. McCarty, P. L. and Parkin, G. F., Chemistry for Environmental Engineering, Chap. 22: Biochemical Oxygen Demand, McGraw-Hill Company, 1995.
2. Streeter, H.W. and E.B. Phelps, "A Study of the Pollution and Nature Purification of Ohio River" , U.S Pub. Health Service, Pub. Health Bull, No.146, 1925.
3. O'Conner, D.J., "Oxygen Balance of an Estuary" ,J. Sanit. Eng. Div.,Proceedings ASCE 86,SA3,35,1960.
4. Steel, J.H., "Primary Production in Aquatic Environments", C.R Goldmen, Mem. Inst Idrobiol. , Univ. of California Press, Berkely, California, pp383-398, 1965.
5. Chen, C. W., "Concepts and Utilities of an Ecological Model", J. Sanit. Div. ASCE., Vol.95, No.SA5, Paper No.7602, 1970.
6. Vollenweider, R. A., "The Scientific Basis of Lake and Stream Eutrophication with Particular Reference to Phosphorus and Nitrogen as Eutrophication Factors", Tech. Rep. OEDC., DAS/SCI/68.27, 1983.
7. Tony, P., Ron, S. H. R., and Merlyn, B., "Soil Erosion and Nonpoint Sources Pollution Control in an Idaho Watershed", Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 24, pp. 323-328, 1989.
8. Duda, A.M., "Addressing Nonpoint sources of water pollution must Become An Interational Priority", Water Science and Technology, vol.28, No.3~5, 1993.
9. Azevedo, L. Gabriel T. de, Timothy K. Gates, Darrell G. Fontane, John W. Labadie and Rubem L. Porto, "Integration of Water Quantity

- and Quality in Strategic River Basin Planning”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 85-97, 2000.
10. Guo, H.C., L.Liu, G.H.Huang, G.A.Fuller, R.Zou and Y.Y.Yin, “A System Dynamics Approach for Regional Environmental Planning and Management: A Study for the Lake Erhai Basin”, *Journal of Environmental Management*, 61, pp93-111, 2001.
 11. XU, Z. X., K. Takeuchi, H. Ishidaira and X. W. Zhang, “Sustainability Analysis for Yellow River Water Resources Using the System Dynamics Approach”, *Water Resources Management*, Vol.16, pp.239-261, 2002.
 12. Bennett, Jeff, Harrison, Steve and Tisdell, Clem, “The Role of Non-market Valuation in Forest Management and Recreation Policy”, *Economic Analysis and Policy (EAP)*, Queensland University of Technology (QUT), School of Economics and Finance, vol. 32(2), pp 1-10, June Spec,2002.
 13. Scholz Fabian G; Bucci Sandra J; Goldstein Guillermo; Meinzer Frederick C; “Franco Augusto Hydraulic redistribution of soil water by neotropical savanna trees.”, *Tree physiology* ,22(9):603-12,2002.
 14. Simonovic, S.P. and Li, L. “Methodology for Assessment of Climate Change Impacts on Large-Scale Flood Protection System”, *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 129, 5, pp361-371, 2003.
 15. Stave, Krystyna A., “A System Dynamics Model to Facilitate Public Understanding of Water Management Options in Las Vegas.”, *Journal of Environmental Management*, 67, pp303-313, 2003.
 16. C.C.Yang,L.C.Chang,C.C.Ho, “Application of System Dynamics with

Impact Analysis to Solve the Problem of Water Shortages in Taiwan”,
Water Resources Management, Vol.22, pp.1561-1577, 2008.

17. 台北翡翠水庫管理局，翡翠水庫水質模擬與應用，1999。
18. 經濟部水利處南區水資源局，「曾文水庫水質調查及改善計畫」，經濟部水利處，2001。
19. 經濟部水資源局，90 年台灣地區水資源永續發展綜合值行計畫書，2001
20. 經濟部水利署水利規劃試驗所，大甲溪攔河堰可行性規劃計畫，經濟部水利署，2002。
21. 經濟部水利署中區水資源局，大安溪及大甲溪水資源聯合運用初步規劃報告，經濟部水利署，2005。
22. 經濟部水利署，多元化水源開發綱領計畫，2005。
23. 經濟部水利署中區水資源局，大甲溪水源運用規則，經濟部水利署，2006。
24. 經濟部水利署，區域水資源永續利用之策略模擬與分析(總報告)，2007。
25. 經濟部水利署，流域水資源永續利用下可開發量評估機制研究計畫，2008。
26. 蔣本基、郭振泰、顏有利等，「非點源之都市及農業區逕流對河川污染負荷影響之研究」，台大環工所研究報告第 145 號，1987。
27. 陳怡靜、吳先琪，「德基水庫集水區暴雨期磷營養研究」，集水區保育，p161~177，2000。
28. 周慧珍，「水庫及跨域引水對河川水質之影響」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，1992。

29. 蘇煌池，「水庫涵容能力可靠度分析」，國立成功大學環境工程學系碩士論文，1993。
30. 余忠賢，「德基水庫集水區非點源污染負荷之研究」，國立臺灣大學農業工程學系碩士論文，1996。
31. 張智華，「工業區非點源污染初期沖刷之研究」，國立成功大學環境工程學系碩士論文，1996。
32. 鄒鄉銘，「基於平恆下游水質效益之水庫旬操作規則」，國立交通大學環境工程所碩士論文，1998。
33. 劉紀宏，「水庫入流污染物負荷量推估方法之研究」，國立臺灣大學土木工程學系碩士論文，2000。
34. 童智偉，「濁水河流域水質永續指標及評量系統之建立」，私立逢甲大學土木及水利工程所碩士論文，2000。
35. 詹智全，「國內水庫優養化評估因子及藻類指標間之相關分析研究」，國立中興大學環境工程學系碩士論文，2001。
36. 詹麗梅，「區域供水系統系統動力模型建立與策略評估-以大基隆供水區為例」，國立海洋大學河海工程系碩士論文，2001。
37. 黃鈺珊，「高屏河流域水資源永續發展政策規劃之系統動態學研究」，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文，2001。
38. 李魁裕，「高屏溪水質水量改善之成本效益分析」，國立臺北大學資源管理研究所碩士論文，2001。
39. 李明益，「河川流域水管理系統動力模式之發展與建立」，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，2002。
40. 李孟聰，「高雄地區愛河水環境生態復育與水污染防治策略分析」，國立中山大學海洋環境及工程系碩士論文，2002。

- 
41. 陳函馨，「以系統動力學建立感潮河川水理與水質模式」，國立中山大學海洋環境及工程系碩士論文，2002。
 42. 林宜秀，「限制開發行為對水庫集水區水質保護之探討」，國立中央大學土木工程系碩士論文，2003。
 43. 張鴻斌，「高雄市都市發展與市中心區水污染之系統動力學研究」，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文，2003。
 44. 李家鼎，「地理資訊系統應用於曾文水庫集水區水文水質資料庫及污染負荷推估之研究」，私立昆山科技大學環境工程研究所碩士論文，2006。
 45. 李任馥，「應用系統動力學於高屏河流域水量水質改善策略之模擬分析」，國立交通大學土木工程系碩士論文，2007。
 46. 陳禹志，「系統動力學應用於大甲溪水污染防治策略研擬之研究」，私立逢甲大學水利工程系碩士論文，2007。
 47. 呂銘淵，「以集水區水體品質機制為基礎之水質指標研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文，2007。
 48. 江漢全，水質分析，三民書局股份有限公司，1996。
 49. 楊朝仲等編著，系統動力學-思維與應用 System Dynamics，五南圖書出版股份有限公司，2007。