

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫暨子計畫三：水資源面向環境承載力、累積性衝擊評 量及政策環評與總量管制之相關性研究(1)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2621-Z-002-016-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：童慶斌

共同主持人：廖述良，葉欣誠，陳慶和，林裕彬

計畫參與人員：陳韻如、陳思璋

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 11 月 17 日

摘 要

永續發展之含意為在不導致生態環境退化下持續經濟社會發展，利用總量管制的手段，確保各項發展所導致之累積性衝擊不超過環境承载力。本研究依據此觀念建立水資源環境管理架構，以提供管理者一個管理、審查與監測的機制，並分別探討建立水質與水量總量管制分析方法與基準。研究中以單位面積負荷作為水質管理的依據，並且也是政策環評與計畫環評相互承接的準則。並研擬落實單位面積負荷於環評制度可能遭遇之困難與解決方案。

本群體計畫為三年度計畫，此為第一年計畫成果，主要是說明水質與水量總量管制分析與基準之研擬，並以案例說明之。在水質方面，則是依據頭前溪流域特性建立一假設流域，在多目標規劃下，評估在不同目標函數的權重，其總量分配之結果。在水量評估方面，建立水資源系統動力模式評估承载力與累積性衝擊，並選擇淡水河流域為評估案例，推估其系統最大供水能力（承载力），並評估在不同氣候變遷下，其對供水系統永續性之影響。以提供管理者因應在氣候變遷下，對水資源分配與管制可提早進行規劃與提出預防措施。

Abstract

Sustainable development means continuously supporting development without degrading ecosystems, which can use the total quantity control measure to insure that cumulative impacts from all projects will not exceed environmental carrying capacity. Based on the concept, this study proposes a framework of sustainable water resources management and discusses the principles of total quantity control for both water quantity and quality. This framework includes mechanism of management, investigation and examination of water environment. A manager can use the framework to analyze the total of water quality and quantity. The unit area pollutant load introduced in this study is the criterion of water quality management and can be applied to link SEA and EIA. The possible difficulties and solutions to apply the unit area pollutant load in practice are also addressed.

This is a three year project, and this year is the first year. The analysis of water quantity and quality in the total quantity control method as well as their principles of management have been discussed in this year. The TouChen River was taken for an example to explain the total quantity control method. The results indicate the different weights for a multi-objective problem will affect the allocation of carrying capacity. In the aspect of water quantity, a system dynamics model for evaluating cumulative impacts and carrying capacity for a water supply system is built. The TanHsui River is taken as an example. The model is applied to evaluate maximum potential water supply as carrying capacity, and the climate change impacts are also evaluated. The study of climate change impacts provides decision makers to prepare response strategies in advance.

水資源面向環境承载力、累積性衝擊評量及政策環評 與總量管制之相關性研究計畫

目 錄

頁次

摘要

Abstract

第一章 前言

- 1.1 計畫緣起 1-1
- 1.2 計畫目標與工作項目 1-2
- 1.3 研究架構與章節說明 1-4

第二章 文獻回顧

- 2.1 台灣水資源環境介紹 2-1
- 2.2 水資源總量管制文獻回顧 2-3
- 2.3 水污染管制方法之探討 2-4
- 2.4 水質模式適用性探討 2-9
- 2.5 水資源供水模式探討 2-16

第三章 水資源環境管理架構

- 3.1 政策環評、計畫環評、與總量管制之相互關係 3-1
- 3.2 管理、審查、與監測機制 3-2
- 3.3 水資源環境管理決策支援系統說明 3-5

第四章 水體水質總量管制分析與基準研擬

- 4.1 水質承载力與累積性衝擊之評估 4-1
- 4.2 水質總量管制模式之建立 4-2
- 4.3 污染排放總量分配之原則 4-4
- 4.4 總量管制策略之建立 4-9
- 4.5 案例分析 4-11

第五章 落實水質總量管制可能遭遇之問題與解決方案	
5.1 流域水質總量管制	5-1
5.2 點源污染為主之管理模式	5-2
5.3 非點源污染之特性	5-3
5.4 總量管制考量非點源污染可能方式與遭遇之問題	5-3
5.5 小結	5-6
第六章 水資源總量管制分析與基準研擬	
6.1 水資源系統之累積性影響與承载力	6-1
6.2 水資源永續指標與評估模式	6-3
6.3 永續性評估	6-5
6.4 水量總量管制策略	6-11
第七章 結論與建議	7-1
參考文獻	
附錄一	附錄 1-1
附錄二	附錄 2-1

表 目 錄

	頁次
表 1.2.1 第三階段各年度之主要工作項目	1-4
表 3.2.1 環境管理制度之說明	3-3
表 4.5.1 集污區各項土地利用面積表	4-11
表 4.5.2 各集污區之間的衝擊係數表	4-11
表 4.5.3 目標函數各項權重表	4-12
表 4.5.4 Case 1 的結果 (單位面積污染負荷量)	4-13
表 4.5.5 Case 2 的結果 (單位面積污染負荷量)	4-13
表 4.5.6 Case 3 的結果 (單位面積污染負荷量)	4-14
表 4.5.7 Case 4 的結果 (單位面積污染負荷量)	4-14
表 4.5.8 Case 5 的結果 (單位面積污染負荷量)	4-14
表 4.5.9 Case 6 的結果 (單位面積污染負荷量)	4-14
表 6.3.1 SRES 情境資料之 A2 情節分析結果	6-8
表 6.3.2 SRES 情境資料之 B2 情節分析結果	6-8
表 6.3.3 IS92a 情境資料之 GG_A1 情節分析結果	6-8
表 6.3.4 IS92a 情境資料之 GS_A1 情節分析結果	6-9

圖目錄

	頁次
圖 1.3.1 研究架構.....	1-6
圖 3.2.1 總量管制流程.....	3-4
圖 3.3.1 決策過程之各個原件	3-8
圖 3.3.2 決策支援系統.....	3-9
圖 4.1.1 河川水質承載力推估流程	4-2
圖 4.2.1 總量管制之評估架構.....	4-4
圖 4.4.1 總量管制落實之決策流程	4-10
圖 6.2.1 永續發展指標.....	6-5
圖 6.3.1 氣候變遷影響評估流程	6-7

第一章 計畫緣起、目標與工作項目說明

1.1 計畫緣起

地球只有一個，在人類不斷的被開發利用大自然的資源情形之下，原本保持的平衡狀態已不復存在，取而代之的是熱帶雨林的面積逐漸減少、臭氧層破洞持續擴大、北極冰架不斷融化等等現象的發生，要回覆以往的平衡已不可能。人類與大自然實為生命之共同體，因人類不當的使用資源，造成愈來愈嚴重的生存發展的環境破壞，管理者應正視破壞所發生的各種災害及問題，瞭解大自然之供需平衡關係，找出適當的管理方式，使資源的可再利用且能綿延不絕，是全球目前的重要課題。

從水資源的角度來看，水為維繫地球上所有生態體系運作所必備之物質，人類的各項發展與水息息相關，台灣過去水資源開發方案多從需求面的角度出發，優先滿足需水之要求，忽略了對環境的衝擊及壓力，再加上經濟社會的快速發展，需水量的上升，使得水資源的供給已是捉襟見肘，許多發展也因此受限於水資源供給而遲緩。另外，在水體水質方面，因過度的運用有限的自然資源與大量污染排放，導致台灣自然環境所遭受的破壞更形嚴重，對環境問題更不容忽視。

在 1980 年 3 月，聯合國大會向全球發出呼籲：「必須研究自然的、社會的、生態的、經濟的以及利用自然資源體系中的基本關係，確保全球的永續發展」，所謂的永續發展，聯合國布倫特蘭委員會(Brundtland Commission)於 1987 年提出「永續發展」基本意義為「能滿足當代的需要，而同時不損及後代子孫滿足其本身需要的發展」，其中的含意是在不導致生態環境退化下持續經濟社會發展，利用總量管制的手段來確保各項發展所導致之累積性衝擊不超過環境承载力。

環境破壞與社會經濟發展活動有密切關連，如何在其中取得一個平衡點，以達到永續發展之目標，是目前最重要之經濟社會發展與環境管理課題。維持可持續發展則必須限制發展所造成之累積性衝擊不可超過環境承载力，由高階決策過程中，將環境承载力與總量管制方法與精神整合於政策環境影響評估（ Strategic Environmental Assessment, SEA 簡稱政策環評）中，透過總量管制方法，有效進行環境管理，以合理分配與使用環境

承載力。為能達到以系統性的管理方式，建立一個上下策略與制度能相互承接的管理環境理系統，較高之位階的政策環評（SEA）階段，建立總量分析與管制基準，計畫環境影響評估（Project Environmental Impact Assessment, EIA）再依據政策環評之結果作為管理之基準。

本研究群體於過去在永續會第一階段（1998~2001年）之研究成果『水土資源永續發展指標體系與評量方法之建立』已完成永續發展與永續指標之相關定義與評估方式之建立，並利用系統動力模式建立水資源系統以作為評估水資源之永續性。第二階段（2001~2004年）之為建立『環境承載力、總量管制與政策環評理論與實務發展之研究—環境永續性評估、管理程序與方法之建立』，完成永續發展、政策環評與承載力相互間之關係，並對國內所採用之政策環評矩陣進行初步之修正建議，後續將建立合適之政策環評評估程序與項目，以提供計畫環評審查之依據。本群體目前正在執行第三階段（2005~2007年）之研究計畫為「環境永續性評價與管理—環境承載力及累積性衝擊評量與政策環評、總量管制之相關性研究」，而本子計畫根據分工將注重於水資源面向之研究，其中包含水質與水量之評估。於此第一年計畫成果中，主要是說明水質與水量總量管制分析與基準之研擬，並以案例說明之。

1.2 計畫目標與工作項目

本研究為三年度之計畫，整體計畫主要則是整合政策環評、總量管制、承載力與累積性衝擊相互間之關係，建立一完整性水資源環境管理架構及決策支援系統，以提供未來管理者進行政策環評與計畫環評之參考，研究中並分析案例說明落實在環境管理之可能性，於最後一年將分析的尺度提升至地方尺度與國家尺度。其此階段各年度之主要工作項目如下表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 第三階段各年度之主要工作項目

三年度之計畫目標 (93~95 年)	
第一年	<ul style="list-style-type: none"> ○ 政策環評、承载力、累積性衝擊與總量管制之相互關係與分析程序之建立 ○ 建立評估承载力與累積性評估方法與程式庫架構，並分析模式應用於台灣之可行性 ○ 彙整承载力與累積性模式分析所需相關資料 ○ 探討與分析流達率之標準評估流程與方法 ○ 建立合理分配總量於點源與非點源之策略與最佳化模式 ○ 修正改善多目標規劃以同時考量公平性與效益性之總量管理策略 ○ 探討現有污染排放量大於總量區域之削減策略
第二年	<ul style="list-style-type: none"> ○ 建立政策環評之標準流程 ○ 以政策環評為依據建立計畫環評之水資源審查基準 ○ 根據累積性衝擊特性，考量空間污染排放權轉換之問題 ○ 增加承载力與累積性評估模式可行性分析 ○ 水資源水量總量管制策略建立 ○ 水質、水量政策環評、承载力、累積性衝擊與總量管制等議題之整合
第三年	<ul style="list-style-type: none"> ○ 建立國家尺度之政策環評 ○ 建立地方尺度策略環評、累積性衝擊、與永續性指標 ○ 建立總量管制與累積性衝擊評估之資料與模式庫 ○ 藉由決策支援系統發展環境管理與監測之工具

本年度主要計畫目標釐清政策環評、承载力、累積性衝擊與總量管制之相互關係，並建立水質與水量總量管制評估方式，分析相關模式應用於台灣之可行性。針對水質管理方面，說明落實總量管制可能遭受之問題，以及提供相關的管理與污染消滅策略。今年度詳細之工作項目如下：

1. 蒐集與分析國內外總量管制相關文獻與污染管制方法與之模式。
2. 探討相關水質模式應用於台灣之可行性，並整理其模式原理與其所需之資料。
3. 建構水資源環境管理架構與決策支援系統。
4. 建立政策環評、承载力、累積性衝擊與總量管制之相互關係。
5. 建立水質環境承载力與累積性衝擊評估方法與流程，並彙整模式所需相關資料。

6. 應用單位面積負荷做為政策環評與計畫環評相互連接之依據。
7. 建立總量分配之策略與模式，點源污染與非點源污染合理分配之探討。
8. 探討與分析點源污染流達率之影響，以作為未來總量分配修正之參考。
9. 落實總量管制於目前水污染環境可能遭遇之問題探討。
10. 建立水資源供需方面環境承载力模式與累積性影響評估原則與技術
11. 水資源系統總量管制之建立與案例分析說明。

1.3 研究架構與章節說明

本研究主要之架構是建立水資源環境管理系統，此系統包含資料庫蒐集、評估方法與策略庫之建立三大部分，最後並以案例作為方法落實之說明。資料庫中包含相關的觀測資料與模式資料等，而評估方法主要是以永續發展為原則，藉由水質模式與水資源系統模式，評估環境承载力與累積性衝擊，進而結合優化模式有效的分配水資源總量，並將此分配的總量建立於單位面積上，未來便可依據此所分配到之單位面積之特性，做為環境影響評估之基準。

本報告書中於第二章描述目前台灣地區水資源狀況，以及回顧過去總量管制與污染管制方法之研究報告，並介紹相關的水質與水資源評估模式，以作為本研究方法建立與模式採用之理論基礎。而於第三章則是說明水資源環境管理架構，包含其管理、審查與監測的機制，以及決策支援系統之說明，以做為後續建構水資源管理系統之參考。第四章是建立水體水質總量管制評估程序，以及總量分配原則，並以頭前河流域特性作為評估案例，說明其總量分配結果。對於未來總量管制可能遭遇之相關問題，則是於第五章說明之。第六章則是描述水資源總量管制建立模式與評估方法，並應用系統動力模式建立與分析現況水資源評估系統，以做為評估案例說明之。最後則是將本研究之結論與建議描述於第七章。

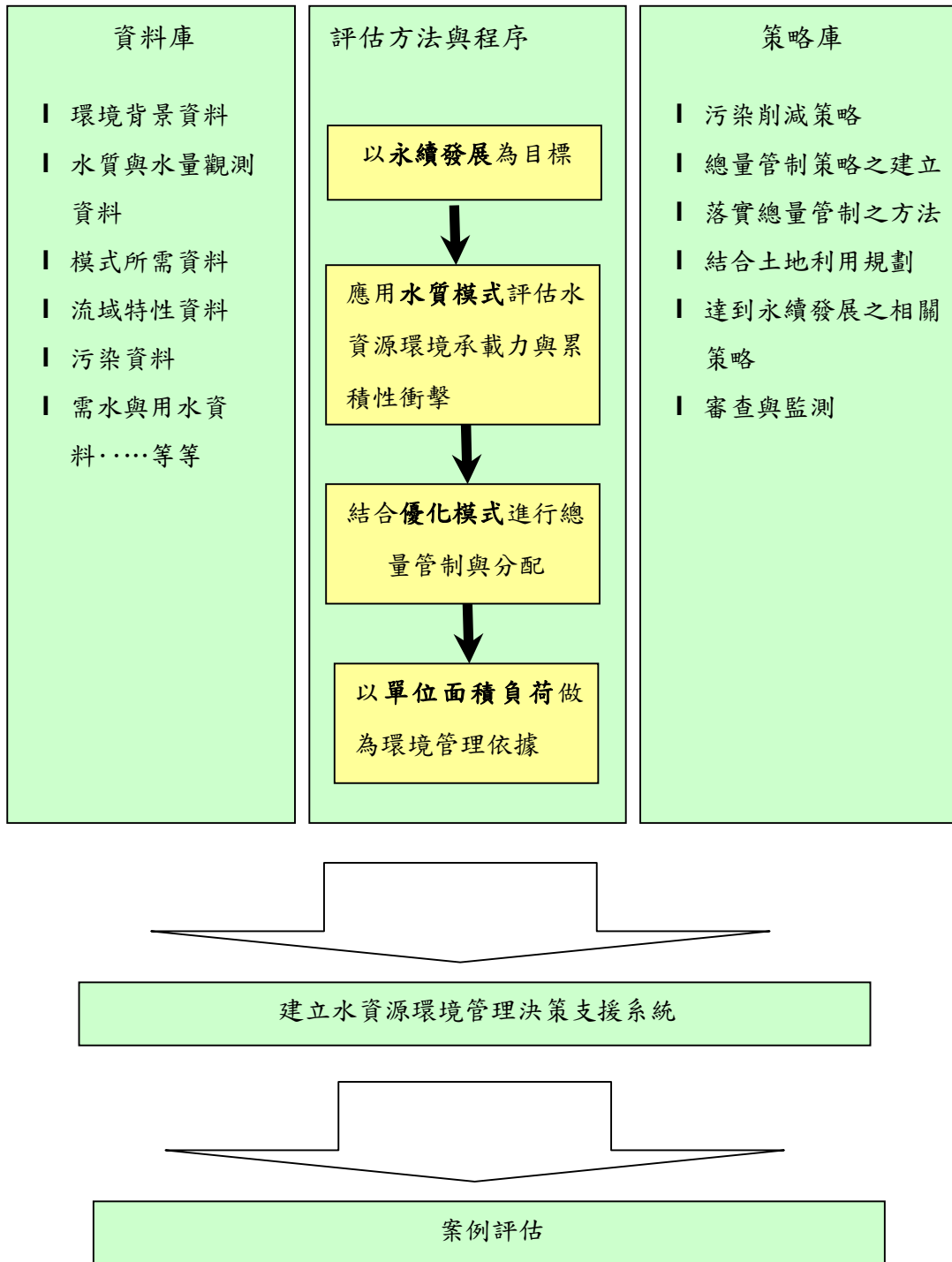


圖 1.3.1 研究架構

第二章 文獻回顧

此章節將說明台灣水資源環境狀況，以瞭解目前水資源的問題，必須有效的採取相關措施，以維持水資源永續性。並藉由蒐集與分析過去的相關管制方式，作為本研究分析的基礎，文中探討過去水資源總量管制實施方式與污染管制方法，以及分析水質模式應用於台灣地區進行污染管制的適應性，於最後一小節則是介紹應用於評估水資源供需系統之系統動力模式。

2.1 台灣水資源環境介紹

台灣地區降水分佈不均勻且地勢陡峭，年平均雨量約 2,500 公厘，山區降雨則高達 3,000~5,000 公厘。在每年颱風季節期間的暴雨雨量，一小時最大降雨量達 300 公厘，一日最大量更可達 1,748 公厘，因雨量太過集中，所以大部份降雨都流入海洋，導致可利用的水量有限，因此水資源工程多是以建立攔水蓄水工程以控制地表逕流或引用水源作為民生、工業與農業發展之用，以解決水資源供給不均勻之問題。目前台灣地區已建水庫 50 座，利用工程工法處理水資源問題時，其水資源開發案或多或少都會對生態環境造成不可回復之傷害，且水資源的開發工程面臨者土地取得、環境衝擊、欠缺優良壩址及開發益本比不高等因素之影響。

目前台灣地區之年總降雨量為 1,030 億噸，扣除直接由河川排入海中之損耗，加上地下水之入滲量 40 億噸，所能供給之水量共約為 157 億噸/年，但年總需水量達 176.36 億噸，在此狀況下水源供給不足部分則由抽取地下水來支應，沿海地區因長期超抽地下水源，導致地層下陷等之環境反撲現象，使社會擔負更多的環境成本。目前地表水除了東部及宜蘭地區河川流量尚可利用外，西部河川可穩定且容易引用之流量幾已開發殆盡。因此故今後台灣水資源開發策略，除仍應繼續開發地表水外，當更注重地下水之永續經營與管理，以其具有調豐濟枯功能與地下水聯合運用，提高整體水資源之利用效率。

近年來，由於高度的都市化與工業化的持續發展，台灣地區之需水量、用水結構均隨著產業結構之變遷產生變化，所以造成許多水源缺乏的問題，在地區永續發展中所有環境限制因子中，水資源是為最重要的限制

因子。臺灣水資源之開發相當不易，而隨著產業發達與都市發展，水資源質與量二者亦須隨之提高其水準。要解決此問題，應從下面幾個方向努力：

一、水資源開發

應研發多元化的水資源開發方式，尋求不同的替代方案，而不應只考慮興建水壩，特別在台灣適合興建水壩之地區已相當稀少。

二、建立正確利用水資源觀念

水源為有限資源觀念，加強推行節約用水，提高用水回收使用效率，加強水資源基本資料之觀測、蒐集與分析，以期水資源有效控制、分配及永續利用。

三、產業結構調整

配合國家永續發展理念，汰除高耗水、耗能產業，產業發展政策需加以考慮，臺灣缺乏水資源的環境限制。

四、檢討水資源管理政策

水資源之最主要的來源為地下水與河川逕流，河川的水來自集水區，因此集水區為涵養水資源最重要之根本。水資源相關主管機關應依據水資源之總量，檢討水資源之分配以及集水區土地利用管理政策，嚴格取締濫墾、濫伐有效管制土地不當使用。

本研究將藉由建立水資源系統模式，分析在不同方案之下，水資源系統供需之情形，利用水量調配、改善現有工程設備或利用其他管理手段來增加整體供水能力，而無需額外新建水利工程，來減少對環境的衝擊，不失為一適當水資源規劃方案。除加強節約各項用水外，利用聯合營運區域性水資源，調配不同水源提高用水率，作為現階段努力的方向，以達到水資源永續發展之目標。

2.2 水資源總量管制文獻回顧

總量管制目前在水污染方面運用，依水污染防治法第九條規定，水體之全部或部分，有下列情形之一，省（市）主管機關應依該水水體之涵容能力，以廢（污）水排放之總量管制方式管制之：

- 一、因事業密集，以放流水標準管制，仍未能達到該水體之水質標準者。
- 二、需特予保護者。

依據水污染防治法中的總量管制之法令，目前並非強制要求所有區域都必須進行總量管制，但以永續發展的觀點，各流域應都需進行總量管制，且考量世代公平性之原則，以維持環境資源永續性。總量管制便是藉由系統分析的優化原理，藉由目標函數與限制式訂定將環境承载力做最佳之分配，在水質方面便是在水質標準之限制下，考量公平性與效率等因素，將涵容能力最佳分配。

國內外對於總量管制過去有部分相關之研究，國內部分包含謝毓玲（2001）發展一個模式來分析工業區污水處理廠與河川水質的關係，利用「灰色規劃」求得在河川涵容能力下的允許之最大污染量。過去高正忠教授（1992）則是利用 QUAL2E 模式進行水質模擬，則是採用上述「最大污染負荷法」、「等去除率法」、「分區等去除率法」、「分類分區等去除率法」與「分區等濃度法」等污染管制方式，建立管理數學模式，並以多目標規劃模式，在考量水質、成本、公平性與 BOD 曲線下之面積等四大決策目標下，推求污染總量。陳奎麟（1996）發展一套系統化的河川流域總量管制流程及是否實施總量管制之篩選與排序準則，並根據所規劃出之流程發展與建立一套擴充性佳之交談式河川流域總量管制管理系統。

國外總量管制之研究方面，在 1972 年美國在就已在 Clean Water Act 規定 TMDL，但各州與區域都未實行，從 1998 年開始美國 Department of Environmental Quality (DEQ) 機構，才開始規劃 "Total Maximum Daily Loads (每日總污染最大負荷) or TMDLs，以針對遭受污染的水體進行污染削減與維持水體水質的工作。TMDLs 是指在滿足水質標準下，水體所成承受最大污染負荷量，並分配給各項污染源。TMDL 分成主要分成三個部分，點源、非點源及預留一部份模式可能推估錯誤的保留項三項，各項排放的污

染量不可超過分配的污染負荷量，其超過的部分則需消滅。TMDL 各項的說明於第五章詳述之。

國內過去在評估總量管制方面之研究，多數是以現有污染推估量進行消滅以符合水體水質標準之限制，以削減過後的污染量視為可允許排放之污染分配量。而過國外之 TMDL，將污染量分配分為三個部分，以預留之方式，以提供未來使用者污染排放之權力。但這些方法會遭遇兩個主要問題，其一為涵容量推估將受污染量推估之影響，污染量推估又具有相當之不確定性；其二為雖可使現有的污染量經過處理與消滅過後符合水體水質標準，然後續的開發案並無法獲得與現有污染有相同的污染排放權利，對於後續開發者其公平性考量欠佳，有學者建議保留一定比例給後代子孫，但要留多少才符合世代公平，且不造成涵容能力閒置浪費？因此，過去的評估方法往往難以實際推動，亦或造成該區域發展的限制。污染分配世代公平性考量，將於本研究的總量管制方法改善之。

在水量總量管制方面，根據「台灣地區水資源開發計畫綱領」，其考量各項用水的需求，包含農業工業民生等用水，若再考慮保育水量每年 15 億噸，則未來台灣地區(不含澎湖、金門及馬祖)至民國 110 年各標的需水量，但在高成長之情況下，其總需水量將超出總量管制之 200 億噸，若是須在節約高成長之情況下，總需水量則會略低於總量管制之目標，將可達成總量管制之目標，因此未來管理水資源必須積極落實各標的之節約用水，節約用水將是未來為達成水資源永續發展重要措施之一。

2.3 水污染管制方法之探討

目前水污法對於環境水體水質管制，主要是依據放流水標準及河川水質標準，要求各固定污染排放源，必須符合放流水標準方可排入河川水體，整體的河川水質不可超過公告的水質標準。管理者為了改善河川水體水質狀態，將排放標準加嚴，如此雖個別排放量將會減少，但經過處理至符合放流水標準後，始排入河川中仍會使河川水質逐漸惡化，因部分污染排放者可能應用水稀釋的方式，降低污染排放濃度，但排入河川的污染總量並未減少，且對於污染源集中地區的水質仍難有顯著改善。

在水污染防治管理與排放分配(Waste Load Allocation)的研究上，最重要的工作之一是如何在各項水質與社會限制條件下，創造最大社會利益。

在過去的水質污染管制的優化研究中，最低削減成本一直都是此類研究最常被採用的目標函數。從早期的 Sobel 在 1965 年以水質提升最小成本為目標函數，另外在 Charles 等在 1968 年則是以污水處理廠的總處理費用最低為目標函數。Glenn(1972)、David(1973)、Bayer(1977)、Lohani(1979)則是利用在滿足各檢查點的 BOD 下，以 BOD 去除率最小成本作為目標函數。張乃斌與蕭代基於 1999 年，同樣以污染防制成本最小為目標函數評估最佳污染分配。在多目標研究方面，Brill(1976)提出以每污染排放單位污染削減率差異最小為目標函數，並提出三種公平性定量的方法。Chadderon(1985)提出 22 種不同的考慮公平性的方法。高正忠(1997)以公平性為目標函數，應用 7 種的排放分配模式，推求最佳污染分配。

下文中分別介紹幾個不同的水污染管制方法，分別為目前台灣所採用的放流水標準法（濃度排放標準）、總量管制方法、均勻的污染處理技術法、均勻的污染去除率法、限制污染產生量法、最小成本法，以及應用鼓勵性規劃案，以刺激排放者削減污染量，其方法包含排放權交易與補償津貼。

一、放流水標準

台灣的水污染管制方法，主要是採用的放流水標準，此準則係指對放流水品質或其成分之規定限度，事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之排放應符合放流水標準。期間歷經多次修正，其管制限值係採漸進式且愈趨嚴格，同時依製程不同，規定有不同之管制限值。放流水標準屬全國劃一之排放標準，環保機關依據此標準認定工廠排放廢水是否違反水污法，並據以核發排放許可證。藉由放流水標準之推動實施，以控制污染物之排放，達到污染防治之目的，改善河川污染。

以放流水標準作為管制依據，是希望各工廠以積極的污染處理設備，進行廠內改善或設置污水處理設施，以符合放流水標準。因是以濃度作為管制依據，雖管制限值係採漸進式且愈趨嚴格，但卻容易發生部分工廠以清水稀釋的方式，降低污染濃度再排入河川中，如此的管制方式，對於排入河川中的污染總量，並無減少，其污染對河川的衝擊尚存在，並非積極的改善污染問題，因此污染管制應以總量管制的方式，限制排入之總量，方可有效的控制污染。

二、總量管制

總量管制污染管制方式，是藉由系統分析的優化原理與水質模式，由目標函數與限制式訂定將環境承载力做最佳之分配，推估河川各河段之最大允許污染流入量。

總量管制之優點為，可考量世代公平性之原則，以維持環境資源永續性，將涵容能力最佳分配，控制排入河川的總量，避免河川污染的累積性衝擊超過環境承载力，以達到水質標準。但總量的推估，受到模式與資料不確定影響，若未能精確的核算出各河段之允許污染流入量，且污染源未系統化及污染源太多，在分配各允許污染量將會面臨困難。但其推估的總量可作為環境管理依據，對於環境污染提前進行規劃，採取應對措施。詳細的總量管制推估方式與落實，可參閱第四章水質總量管制之說明。

三、均勻的排放技術

均勻的排放技術是要求各個污染排放者，必須採用相同的污染排放技術或設備。此污染處理技術的種類統一由管理者決定之，在污染控制方法上是較容易管理，只需檢查各個污染排放者，是否安裝同樣的處理設備即可。不過管理者必須定期檢測，以確保該設備可持續維持其處理效率。

由於要求所有的排放者必須設置同樣的處理設備，是較不符合成本效益。且此管理方法亦不會激勵或促使排放者，尋求或是創新另一種較具經濟性的污染處理方式，以減少污染的產生量。

因要求相同的污染處理設備，便是符合相互間的公平性，但無法確保周圍的水體水質能符合水質標準，可藉由分析的水質模式，設定其欲達到的水質目標，以決定合適的處理技術。此方法主要針對管理現有污染排放者，但若是經濟成長或是有新的排放者加入，若沒有要求現有的污染排放者提升其污染處理技術，其水體水質將會降低，故此管理方法必須定期的依據環境狀態改變，重新訂定管理規則。

四、排放濃度管制方式

排放濃度的管制法，是由管理者決定最大污染排放濃度。在公平性的考量上，通常迫使管理者，要求排放者或是同一類型的污染排放者，必

須符合相同的排放濃度標準。此方法與前述的均勻的排放技術法相似，但就其污染處理技術而言，此管制法較均勻的排放技術法具有彈性，且排放者可採用較新或是成本效益較高的處理技術，污染排放者可以利用任何一種污染處理方式以符合規定的標準，如改善製造程序等。

但此方法可能會促使排放者利用稀釋的方式，降低污染濃度，而不是以去除污染量的方式，以符合水質標準。因此若採用此方法，必須再藉由立法規定，限制排放者不可利用大量清水稀釋污染濃度。

排放濃度的管制法必須設定監測排放濃度的系統，以確保各個污染源排放濃度符合規定。對於經濟成長與新的開發者加入，都必須再重新規劃評估，以避免環境的惡化。

五、訂定污染去除率準則

訂定污染去除率以管制污染，是屬於傳統末端的處理設備的管制，而不是改善各個污染產生者的製成程序。此管制方式是由管理者設定各個污染排放者最小的污染去除率，大部分應用於管理市政污水處理設備。為符合公平性的考量，通常是要求各個污染排放者或同一污染類型的排放者，需符合相同的污染去除率。相對的，此管制法的處理技術上，較均勻的排放技術法具有彈性，排放者可自行選擇處理設備，污染的去除率能符合規定的標準即可。

由於污染去除率法，是在污染處理過程中，以一定比例方式去除污染量，主要是在限制排放到環境的污染總量，因此不會促使排放者利用稀釋的方式，以達到管制的水質標準。但管理者必須同時監測流入的污染濃度與排放的的污染濃度，因此其所需花費的管理費可能較高。

六、訂定污染產生量標準

此管制方式是依據其污染排放者所生產的產品，相對可能產生的污染量進行管制。例如限制每單位產品允許產生的污染量（產生的污染量/每單位生產的產品, kg/ton）或是限制每單位燃料允許產生的污染量（產生的污染量/每單位消耗的燃料, kg/ton）。此管制法一般是應用在工廠的污染管理，對於主要的製造成品或是需消耗的資源進行管制。在公平性考量上，可以訂定相同的污染產生標準。

此管制方法的優點是不會促使排放者利用大量清水稀釋污染量的問題，且在製造的程序中不會增加污染量的產生。此管理法刺激排放者，利用最高的成本效益法減少污染量。其缺點是當經濟成長或是增加新開發者時，無法維持環境的品質。

七、最小成本法

由管理者決定在滿足訂定的水質標準下，排放者在處理污染工作的最小成本。這個管制方法的優點是以較直接的方式維持環境品質，而不是透過個別排放者控制。污染控制是受到模式正確性之限制。如果模式為穩態模式，對於預測真實環境短期的影響，將可能會發生誤差問題。

最小成本法分析前需蒐集與分析大量的資料，因此其管理費是較為昂貴。這個規劃案是很少被實際應用在污染控制策略上，其分析結果主要是作為一個基準，多是應用於與其他替代方案的成本比較之。

八、排放權交易 (Transfer Discharge Permit)

排放權交易是指在均勻的排放濃度、均勻的污染移除率或單位成品所產生的污染的基本標準等處理方法下，給予排放者排放污染的權力。當排放者處理污染物的成本，較其所分配到的排放許高時，排放者便會向較有效率的排放者購買剩餘的排放權。

在一個自由交易的市場上，排放權是有價值之物，因此排放交易在排放者之間轉換，對於排放權出現時，市場會有一個平衡的價格。這個交易是自發性的發生在排放者之間，任何一個排放者在此交易的過程中都會或得財政上的利益，才會促使此項交易進行。此交易的價格大約是等於污染者處理污染物的邊際成本。排放權交易制度刺激較有成本效益的污水處理排放者，且有較高的污染去除率，將持有較少的排放權，當允許那些較少經濟效益的排放者可以擁有相對高的排放許可。Eheart(1980)

排放權交易法提供一個永續發展的優點，此規劃建構總允許排放許可維持固定，且當經濟發展發生時，總允許排放量不增加。排放交易規劃的管理費是比收稅或是補償或是最小成本等規劃，所需花費的管理成本低。在面對經濟成長時，對於新開發者與現有排放者，公平性的問題是存在排放交易規劃中。如果新的開發者進入，要求要增加排放許可，若此排放許可在新開發者進入之前是不存在時，排放量將不是維持常數。

若新開發者要進入該系統中，管理者可允許新開發者必須跟現有排放者購買排放許可權，現有排放者不需負擔額外的污染處理費用，此部分的費用由新開發者負擔。此規劃制度，是有效率的要求新開發者去負擔更新現有排放者的處理，且負擔他們自己的處理設備。在這個選擇下，對新開發者而言，所需負擔的成本亦相當高，因此新開發者可能會採用替代方案，選擇別的區域進行開發，而不在此區域中進行開發行為。

如果管理者欲提供新開發者免費的排放權，則必須從現有使用者中取得相同的排放數量。若要維持總污染量為常數，將必須要求現有使用者或是新開發者採用較高的污染去除率。此管理方法中，總允許排放的污染量是由管理者決定的，確保環境品質維持在一定的程度，且在該系統中環境品質將不會受到經濟改變與成長的影響。

在排放權交易制度中，管理者只考慮總量或是控制總量，但對於其排放的位置並無控制，因此，污染排放可能會被集中在熱點處，必須多設水質監測站以確保水質符合標準，或是限制交易、要求交易需要有事前的批准等方式，以避免環境品質的下降。

九、補償制度或給予津貼

此污染管制方法是政府支付部分污染削減成本給予排放者，若排放者採取污染管制的措施，則此污染削減所需花費的成本由政府支付。補償制度可視為另一種減輕稅的規劃案。若排放者有進行污染削減措施者，給予財政經費上的補償，但極有可能造成政府財政上的負擔，因給予的補助必須高於其污染處理的邊際成本，才可刺激污染排放者有效的改善污染問題。此管理方法必須監測污染排放量或是污染控制的設備。

2.4 水質模式適用性探討

由於國內外之相關水質模式相當多，各個模式有一定之使用限制條件與範圍，本研究根據目前國內外常用之水質模式，簡單介紹其模式特性、限制、模式原理。下面小節則分別描述 BASINS、HSPF、QUAL2E、QUAL2K、GWLf 與 SWAT 等模式。

2.4.1 BASINS 模式

BASINS 水質模式是(Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)目前美國環境保護署結合 GIS 軟體與數值模式來作為環境保育、分析的工具。BASINS 能提供總量管制(Total Maximum Daily Load, 簡稱 TMDL)的發展。發展總量管制(TMDL)需要有一整合集水區內點源及非點源的方式,而 BASINS 是一個結合非點源污染模式、河川水質模式,以及地理資訊系統的綜合型模式,此綜合型模式在總量管制(TMDL)之分析及分配計算上,提供了甚多的方便,又因其非點源污染模式採用了連續性的模擬方式,故對於研擬有季節性變化之控制策略特別適合。雖美國環保署列舉了許多 TMDL 分析的工具,但因為 BASINS 具有的很多優點,故仍為目前使用最多模式。BASINS 是一套多用途的環境分析系統,可用來做集水區及水質的研究。但由於模式內容,所需資料庫相當多,且格式複雜,美國當局以建立相關的資料庫,已提供使用者模擬時使用,但此模式架構應用於台灣時,將會面臨無足夠資料可進行模擬,且資料取得不易等問題。

2.4.2 HSPF 模式

一、模式原理

HSPF (Hydrological Simulation Program-fortran) 模式涵蓋的地表及地表下污染物的傳輸,可應用於較複雜的集水區環境。水文特性、氧化作用、光解作用、生化衰減、揮發與吸附皆可由本模式描述與模擬。模式之吸附項是以一階的動態過程描述。水質模擬以集塊式進行模擬。懸浮固體涵蓋砂、粉土與黏土三部分來描述。單一有機化學物質及其轉換的物質皆可描述。目前,有潛力的因子多應用先前地區,後來多著重於非點源污染最佳化管理模式之應用。本模式需要率定參數。由於具有不同的模組,因此可依照獲得資料的不同進行變化。模式中包含集水區水文評估、地表水水質評估(含一般性污染源及有毒及有機污染物)、土壤及地下水(含飽和層與未飽和層)中污染物皆可模擬、懸浮質與推移質的化學反應、污染物的衰變與轉換。需輸入資料包含降雨、時蒸發、時溫度、時風速、日輻射、時葉潛能蒸發散、時露點溫度與時雲覆蓋量等。可輸出的資料則有連續性流量資料、氮鹽與農藥濃度,與各種頻率與延時的分析結果。

二、模式適用條件與應用

- Ⅰ 適合在複雜的集水區條件下，模擬污染負荷與水質。
- Ⅰ 連續式與事件式皆可模擬。
- Ⅰ 單一、連續、中間輸入、複合或非點源污染物皆可應用。

三、可評估之水質項目

可模擬七種污染物，包含河川載的沙、粉土與黏土、一種農藥及使用者指定之有毒污染物如 BOD、硝酸鹽、磷酸鹽。

四、模式限制

本模式技術應用 Stanford Watershed Model(SWM)為適合初始規劃的地區，且限制使用於十分複雜的河川與儲水設施。需要額外的水質觀測資料以校正模式與較高規格的模式訓練。

2.4.3 QUAL2E 模式

一、模式原理

QUAL2E 水質模式係由美國環保署所發展完成之多功能河川水質模式。它係針對樹枝狀河川而言，QUAL2E 模式之基本理論為一維的傳統延散質量傳輸方程式。它可描述河川水質隨時間與空間之變化情形，QUAL2E 模式允許模擬相當多的污染因子，其河川演算採用數值內差分法，污染傳輸部分則採用一維的有限差分。河川系統可細分為不同支流的組合，各支流的長度可不同，但各支流需以相同的網格進行細分，每一個網格皆需遵守質量守恆與熱守恆，可考慮各網格的傳輸過程及點源與點滅。模式中可對相關污染物進行不確定分析、一階動差誤差分析，及蒙地卡羅模擬(Monte Carlo Simulation)。模式的內容則是包含溫度、鹽類、BOD-DO、氮循環、磷循環、葉綠素(作為浮游生物指標，底棲植物不考慮)、保守性物質、非保守性物質等分析。

二、可評估之水質項目

有 DO(Dissolved Oxygen)、BOD(Biochemical oxygen)、溫度、葉綠素指標、氨態氮、亞硝酸氮、硝酸氮、有機氮、有機磷、溶解磷、其他非保守性物質及三種保守性物質。

三、模式限制

模式只考慮穩態流況，由於受到氣象資料輸入項的限制，較小時間變化不易描述。適用於 Windows98 系統，雖美國 EPA 作了部分修正可於 WindowsNT 與 Windows2000 下可執行，但在執行上尚會出現無法執行的問題，因此執行 QUAL2E 還是以 Windows98 系統下穩定性較佳。模式中河段最多只能分成 25 個河段，且每個河段不能超過 20 個計算單元，源水單元最多可到 7 個，且最多只能有 6 個匯流點及 25 個流出或流入單元。

2.4.4 QUAL2K

一、模式原理

美國環保署於 2003 年 12 月發展水質模式 QUAL2K 模式 1.0 版，此模式為模擬河川水質之模式，其安裝於 Windows me/2000 或是 WindowsXP 系統上，QUAL2K 可視為 QUAL2E 模式現代化的視窗版本，程式是利用 Microsoft EXCEL 的 VBA 所撰寫。

QUAL2K 與 QUAL2E 同為是一維穩態模擬的模式，在河道中是假設垂直向與側向充分混和，皆是利用氣象函數模擬每日之熱平衡。所有水質模擬變數是以日模擬尺度。熱能與質量輸入，可模擬點源與非點源負荷與抽離。模式的河段劃分單元方式：QUAL2K 是以不同間距的方式劃分各河段單元，如此可加入多種污染負荷與抽離於任何河段中。QUAL2E 是以等間距的方式劃分各河段單元。

二、使用限制

QUAL2K model 架構於 Excel 活頁簿(workbook)中，使用的軟體與介面為 Win98、Win2000、WinXP，且程式由 Excel 巨集語言(VBA)所撰寫，

介面展示於微軟之 Excel 作為展示介面，故僅能藉由 Excel 活頁簿執行 QUAL2K。QUAL2K 為模擬主要河道，支流無法直接清楚以其支流型式模擬，但能以主要河道上一個點污染源型式來表示之。

三、可評估之水質項目

模擬污染物類型如下:傳統性污染物(氮、磷、溶氧、生化需氧量、底泥需氧量、藻類)、PH、固著性生物(Periphyton)、病原體(Pathogens)。

QUAL2K 模式除了模擬評估水質項目視為 QUAL2E 模式現代化的視窗版本外，還包括加入以下新的要素：CBOD 的模擬、缺氧的模擬、沈澱物與水之相互間之關係、底層水藻、光線的消滅、pH 值與病原體。

2.4.5 GWLF 模式

一、模式原理

GWLF (General Watershed Loading Functions) 是由康乃爾大學所發展的。主要是用來評估來自於大尺度的農業與都市集水區中氮與磷的點源與非點源負載。GWLF 模式包含了降雨與逕流、土壤沖蝕與沈積物，還有總磷與總氮的負載推估等模擬。

本模式可評估河川流量、營養鹽、土壤沖蝕與河川載的移動等，對於較複雜集水區有應用價值。地表逕流是使用 SCS 曲線值法，土壤沖蝕係採用 USLE 公式進行推估，都市營養鹽是採用指數累積及 wash-off 方式進行推估。應用沈澱物的傳輸率與傳輸的容量計算沖蝕量，進而推估每個區域的沈澱物產生量。化糞池營養鹽可由不同型式的化糞池及人口數進行推估進行推估。地表水與地下水流量可以集塊式推估，涵蓋一個飽和層與一未飽和層，日為水平衡應用之時間尺度。本模式無需使用水質觀測資料進行模式參數校正。GWLF 模式是以日為單位作為時間模擬的間距，也可做每年與季節性的時間尺度分析。此模式用利用簡單的傳輸路徑進行模擬，主要是依據流達率的觀念。GWLF 可用於混合的集水區。時間尺度是屬於連續。模式中所需資料包含：

- (一) 日降雨量與溫度及土地利用資料
- (二) 污染傳輸參數
- (三) 化學參數
- (四) 點源污染
- (五) 在化糞池系統中，需輸入每一人所排放出的營養鹽與因植物的攝取而造成每單位營養鹽的損失以及人口數量。

模式輸出的資料則是月時間尺度降雨量、蒸發散量、河川流量、地下水流量、集水區沖蝕量、沈澱物產生量、總磷與總氮於河川的負荷。不同土地利用的年沖蝕量、不同土地利用對河川之污染量與化糞池的年負荷量。

二、使用限制

GWLF 模式的優點是以集水區之物理特性建構之模式，因此並沒有大量的參數值必須一一檢定之。目前的版本尚未加入有毒物質與金屬的考量。GWLF 是一個結合 semi-distributed/lumped 參數的集水區模式，模式無法模擬空間分散性區域的污染源，但可簡單的匯集每個區域進入至集水區總量的負載。

三、可評估之水質項目

總營養鹽、溶解營養鹽（含氮與磷）與沈澱物。

2.4.6 SWAT

一、模式原理

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 模式由美國 USDA 的 ARS(Agricultural Research Service)所發展，SWAT 發展為一可預測土地變

遷對水質、水量、泥沙產量、污染物傳遞之影響等，並可配合實際土壤、土地利用及管理方式的污染模擬模式。

模式本身係以物理性描述為基礎，僅需要輸入相關資料即可進行模擬並驗證，無須參數率定，此亦為本模式特點之一，與一般以輸入變數與輸出變數建立迴歸關係作為模擬依據不同。SWAT 在模擬時間上是具有連續性為日的時間模擬尺度，且屬於長時期模擬之模式，並不適用於事件式洪水的模擬。在空間上，模式將集水區細分為更小的子集水區，子集水區更可細分為數個 HRU(hydrologic Response Unit)，以反應不同的土地利用或土壤條件，並可指定 HRU 水流的流向。模擬方面可模式分為土與水兩部分，分別探討水、泥沙、污染物及殺蟲劑的傳遞。

在土地方面，以 HRU 為模擬單元，分別模擬水量在互相傳遞，在氣候資料的輸入上包括日降雨量、最大及最低溫度、輻射量、風速及相對濕度，輸入資料可選擇以實際資料輸入或是以月平均資料合成日所需資料，地表逕流量則 SCS 曲線值法進行模擬，土壤水分則考慮蒸發散及土壤水分的橫向移動，本模式仍考慮植物在氮與磷循環中的吸收作用及作物的生長，土壤沖蝕量則依照 MUSLE(Modified Universal Soil Loss) (Williams, 1975)的沖蝕公式。本模式亦容許對於每一個 HRU 進行不同的土地管理措施。在推算水體、泥沙、污染物及殺蟲劑於河道中的量後，污染物於河道中的傳遞過程則以 QUAL2E 進行修正來模擬。

二、模式優點

模式無須參數率定流程，可適用於無流量記錄地區，乃基於本模式主要為物理性模式，且水文上主要應用 ARS 的 TR55 的流量推估方式，而此方式在美國已經建立完整資料庫；相同的，其採用 MUSLE 也是 USDA 長期建立所需要的參數資料庫，因此可廣泛應用。再者，對於輸入參數改變對於水質或其他狀態變數的影響容易掌握。

三、使用限制

本模式主要為長時期土地利用改變、管理的評估模式，不適用於暴雨條件下的污染物模擬，且模擬時間尺度限制為日。由於本模式是 ARS 結合該單位長期所發展的各種模式，所以對該單位而言，使用時極為方便，因各項參數幾乎已經完成建立，正如 TR55 或 MUSLE 模式中參數一樣；相

對的，台灣地區使用時，這些參數仍須重新建立或是尋求相互對應之關係，應用此模式於台灣與其他模式 HSPF 比較時，在參數建立上，仍須花費相當多的人力與物力。

四、可評估的水質項目

硝酸氮濃度、有機氮、氨態氮、生化需養量(BOD)、水中容氧量(DO)、有機磷及保守性物質傳輸的推算，大致與 QUAL2E 相同。

2.5 水資源供水模式探討-系統動力模式

水資源的問題是隨時間性變化的，並非靜態系統，因此在分析上其系統是非常龐大且複雜的，系統動力學便是解決此類動態問題最佳工具之一。由於系統動力學架構簡易又具有效率，不需很多複雜的數學式，加上以圖形來建構整個系統，可一目了然整個系統的各個原件。因此近幾年來對於水資源系統的問題，不論是國外或國內都有很多研究報告，是利用系統動力模式作為架構。本節將介紹過去以系統動力模式應用於分析水資源之相關研究，並說明其模式之原理及應用在水資源永續管理之評估方式。

2.5.1 應用系統動力模式於水資源問題之相關研究

過去利用系統動力模式來分析水資源系統之研究報告有 Palmer and Palmer et al.之河川流域管理計畫(Palmer 1994; Palmer et al.1993, 1995)、Keyes and Palmer(1993)之乾旱研究計畫、Matthias and Frederick(1994)探討沿海地區海平面上升之情況、Fletcher(1998)針對水資源缺乏時之管理系統、Simonovic et al.(1997) and Simonovic and Fahmy(1999)在埃及針對 Nile River 作長時間水資源之規劃及水資源政策的分析、陳明業(2002)「淡水河水資源系統動力模式與永續管理策略之研究、詹麗梅(2001)「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，都採用系統動力模式來建構水資源系統，可見系統動力學近年來受到重視之程度。另外針對水資源系統供水潛能分析，一般常以缺水指數(SI)等於 1 作為供水標準，經濟部水資源局(1998)委託中興工程顧問股份有限公司所作之「台灣地區南部區域水資源綜合發展計畫專題報告[四]地表水資源運用現況及其供水潛能」即採用 ARSP(Acres Reservoir Simulation Package)模式為水資源調配模式，缺水指數(SI)等於 1 作為其供水規劃準則，計算台灣南部地區水資源系統可供水量。經濟部水資源局(1999)亦委託巨廷工程進行台灣地區

北部區域水資源綜合發展之研究，期能配合國土綜合開發計畫，合理調配運用水資源，促進經濟產業繁榮發展，並兼顧維護自然環境生態、提升國民生活品質，並落實水資源永續利用政策。

2.5.2 系統動力模式介紹

一、模式原理

系統動力學起源於 1961 年美國麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)，Forrester 與他同僚應用回饋控制理論(feedback control theory)分析工業系統。之後於 1969 年 Forrester 最有名之系統動力學應用為 Forrester 的都市動態(Urban Dynamics)研究，其研究藉由系統動力模式分析整個都市的發展情形，主要考慮工商業的發展及居住與人口之間之相互關係，起初因為社會工商業的發展迅速，人口成長迅速，而由於人口不斷的成長，此區域的有限資源耗盡，使得整個都市發展開始老化，人口逐漸衰退。

在作分析前，將系統範圍作一清晰的界定是必要的，此系統會根據不同界定而有不同的研究範圍，所謂的系統是指將一實際的現象找出各個不同之單元後，而各個不同的單元都會有其相關性，此相關聯之單元便集成一系統，而過程便稱為系統分析。系統分析是要將複雜的物理及環境現象加以分析，找出其組成單元集各單元彼此間之關聯，以作為解決問題之工具。因此，不僅是一定性之說明，更需要定量之分析(童慶斌，1999)。

系統動力模式中，最主要的三個原件分別為儲存(stock or level)、流量(flow or rate)、助動(converter or auxiliary)原件，而原件之間則以具有箭頭線段鍵結，以表示原件間相互關係。儲存是描述系統中的資源量，也就是描述在特定的時間內量的變化情形，在此研究中便以水庫或攔河堰作為儲存。由流量可獲得儲存變化的情形，故儲存量之變化會受到流量的影響，如水庫的入流量、蒸發量與標的供水量，便是流量的一種，流量可能是增加儲存量的(水庫的入流量)，亦可能是出流量以減少儲存量(蒸發量)。助動原件則是應用於輔助描述儲存或流量，例如攔河堰的操作規則等。

二、模式優點

系統動力模式是一個非常適合應用於水資源系統的研究方法，系統動

力學與時間演進具有密切的連動關係，適合應用在與時間演進有關之課題研究，水資源系統亦與時間有密切之關係，且系統動力學之軟體 Vensim 在操作上亦比一般的語言程式簡單，其優勢在於運用視窗化的圖形操作介面可輕易的建立起所需的系統模式架構圖，系統的整體架構和連接關係均透過圖形清楚的呈現，同時每一原件亦只需建立其數學函數關係方程式即可反映出其隨時間之變化特性，所以操作起來方便且容易上手。

水資源系統架構是非常複雜，但若是能將每個相關因子原件化，並賦於適當之數學式，再將這些原件組合起來成一個系統，便可建立一水資源系統動力模式系統，並透過此水資源系統動力模式，能輕易地針對各項策略，作一水資源供需情形的評估。

三、使用限制

本模式無法針對水庫之排洪量進行模擬，使得高流量時誤差較大，但本計畫主要目的是在探討水資源使用之情形，排洪的水量對於下游用水區使用水資源的情形並無太大影響。

四、可評估的水資源項目

透過系統動力模式，模擬水資源系統真實情況，藉由此模式探討各種不同輸入下，現實生活中水資源系統會產生何種結果。將模式建立起來後，先以計畫供水量作為需水量，將歷史流量代入水資源系統動力模式中，計算其缺水指數或相關服務準則指標基準，若指標未符合供水規劃準則，便將計畫供水量作修改，再重新模擬，一直到其指標能符合預定之供水規劃準則，此計畫供水量之值即為整個水資源系統可供水量，也就是該水資源系統之環境承载力，之後便可針對水資源作永續性的評估。

第三章 水資源環境管理架構

本章節將說明水資源環境管理的架構，以永續發展為主要目標，由上至下，將政策環評與計畫環評加予結合，應用於水資源總量管制。並說明環境管理制度中之管理、審查與監測機制，以及未來可以作為決策者參考之水資源環境管理決策支援系統架構。

3.1 政策環評、計畫環評與總量管制之相互關係

政策環境影響評估 (Strategic environmental assessment, SEA) 為國家決策階級的環評，為高階層與涵蓋範圍廣泛的環境影響評估。而計畫環境影響評估 (Environmental impact assessment, EIA) 則是以計畫導向的環境影響評估 (EIA)，這類環評多半為計畫級階層，一般而言多半分開獨立執行。

政策環評與計畫環評應為一個綜合的架構，上下相互連結之環境管理系統，而不是各自獨立的管理系統，由此架構協助永續性策略及區域計畫，評量環境價值以及其他衝擊，以確保國家的永續發展。政策環評 (SEA) 能扮演將環境考量融入政策、計畫及方案制定過程中，協助永續發展的推動 (Sadler and Verheem, 1996)。SEA 對於開發行為具有補充、互補，並促使導向永續發展的作用 (Therivel and Partidario, 1996)，亦可協助研提累積性及非直接影響的減輕對策，及選擇與界定各種替代方案。

SEA 評估流程第一步驟在判別那些政策需要進行那些項目環境影響評估，可由推理機結合評量矩陣判斷；第二步驟是提出可能之後續計畫；第三步驟根據選定項目針對個別計畫進行預測性評估；第四步驟為建議替代方案與建立個別 EIA 之限制條件。建立政策環評之標準流程，是為了提供計畫環評審查之依據，建立 EIA 審查相關表格。目前世界各國有提出 SEA 之架構與方法來看，仍有許多國家並無標準方法，採用之方法中除了美國與紐西蘭採用計畫 EIA 方法外，大部分利用專家建立 Checklist or Check matrices。然 Checklist or Check matrices 為定性評估，其評估結果無法為後續 EIA 之依據。SEA 應為 EIA 之上位評估工作，以確保政策不影響永續力外，且 SEA 的評估結果，應視為 EIA 管理的依據。

為達成 SEA 與 EIA 相互結合，以及將污染排放分配的管理策略考量在 SEA 位階等目標，研究中將管理策略的訂定與總量的推估，視為高位階

的環評，因此將主要評估模式建立於在 SEA 位階，在考量永續發展目標下，將承载力與累積性衝擊納入 SEA 評估中，以推估環境所能允許的污染最大污染負荷。在總量管制中最主要的工作項目是總量分配管理策略部分，在符合水質標準下，有效的、公平的分配污染排放量。未來計畫環評則可依據各土地利用單元所分配的允許污染總量，進行環境管理。如此便可簡化 EIA 之工作，且亦可達到 SEA 與 EIA 相互結合的目的。

在 EIA 階段，開發者將只需審核 SEA 列出之相關項目，若通過許可便可進行開發，不需重新建立評估模式，而造成各開發者評估模式與基準不同，如此計畫環評可省略許多繁雜評估步驟，並可確保各項計畫符合永續發展之方向。

若某項政策的實施其衝擊程度，將影響整個區域的承载力或是增加累積性衝擊，進而影響永續發展時，則必須衡量其因應措施與重新考量此項政策實行的可行性，必須藉由模式再重新評估與分配總量，以允許此項政策的實行或是需提出其替代方案與其減輕衝擊的可能方案。於過去的研究中，已將影響承载力與累積性衝擊之各項因子列出，因此各項政策的執行前，可藉由定性的方式評估是否可能造成相關因子變動且影響重大，則需啟動政策環評，以重新分析與分配總量。相同的，當個別計畫所造成的衝擊，若大至影響環境承载力時，無法單以單位面積負荷作為審查依據，亦需藉由模式評估該項開發案的加入，對於整個流域的衝擊影響，若該項計畫一定要開發時，則需重新分配污染總量。

本研究是以單位面積負荷作為政策環評與計畫環評相互銜接的依據，由於過去並無此方面之研究，目前若實際落實於各部會時，將可能造成無所適從，因此後續章節將說明此水資源環境管理架構中，其管理與審查與監測之機制等，以作為未來政府單位之決策者建立管理制度之參考。

3.2 管理、審查與監測機制

本研究建立之環境管理制度，是以流域為主要的管理單元。以永續發展做為環境管理原則，以總量管制為手段，進而依據總量管制所推估之單位面積負荷，視為環境管理的依據。環境開發案的審查，則可由第三方諮詢顧問公司，協助環評委員事先審核各項開發案的評估程序與結果的正確性。最後，環境管理制度應建立持續監測環境品質之系統，以確保各項衝

擊與污染不至超過環境承载力，造成環境品質下降。如表 3.2.1 所示，環境管理制度中，包含管理原則、管理手段、管理方法等，應在較上位階的政策環評階段評估之，依據永續發展原則，建立管理手段與方法，確定環境整體性的發展目標後，各項計畫的審核與監測追蹤檢查等，則由計畫環評階段實行之。

表 3.2.1 環境管理制度之說明

環境管理制度	內容	說明	
管理原則	永續發展	政策環評評估環境是否符合永續性	政策環評階段
管理手段	總量管制	累積性衝擊不超過環境承载力	
管理方法	單位面積負荷	將各項環境資源分配於單位土地面積	
審查	第三方諮詢顧問公司 環評審查委員	由第三方諮詢顧問公司，評估各項開發案評估程序與報告是否正確，此評估報告再提供環評委員審核，是否可通過該項開發計畫	計畫環評階段
監測	環境監測系統	建立環境品質監測系統，監控各個污染源，避免環境再遭受污染	

一、管理原則-永續發展

各項政策的實施前，都應評估是否影響永續發展，是否符合世代公平性原則，並應確保未來世代亦能享有足夠得資源使用。環境保護與社會與經濟發展，應平衡考量，過於限制經濟發展，易造成資源不善用的問題，但若經濟發展過程中，對環境可能有重大的、不可避免的破壞，經濟發展與環境保護無法兼籌並顧時，則應以環境保護為優先考量。因此，在環境管理中，評估各項政策發展，需確保經濟發展下，對環境所帶來的衝擊，不可超過環境承载力，方可符合資源永續性之精神。

二、管理手段-總量管制

在環境管理制度中，本研究以總量管制方法作為環境管理的手段，藉由相關水質模式的協助，推估各區域之環境承载力（允許最大污染涵容量），並結合優化模式有效與合理的分配總量。如下圖 3.2.1，依據政府建立的資料庫，由高位階的政策環評執行水質模式與優化模式的評估，以推

估與分配總量，進而公告將各地區所分配的總量，以供後續進行現有污染削減或審核新開發案的環境管理依據。

總量管制依據統一的水質模式，評估各項污染源對於各河段的水質的影響，進而分析其累積性衝擊。並由依據的水質標準，推估各區域允許最大污染涵容量。在此因由政府統一進行總量分配，採用模式與資料相同，其模擬系統結果應也相同，唯一不同的是開發位置之擾動。因此不要求後續各個開發計畫，都進行水質模擬分析，亦也不至於發生資料欠缺或採用資料或模式不同，造成分析結果不一致的情形。後續的開發者只需查詢其污染排放是否符合公佈的允許排放量即可。

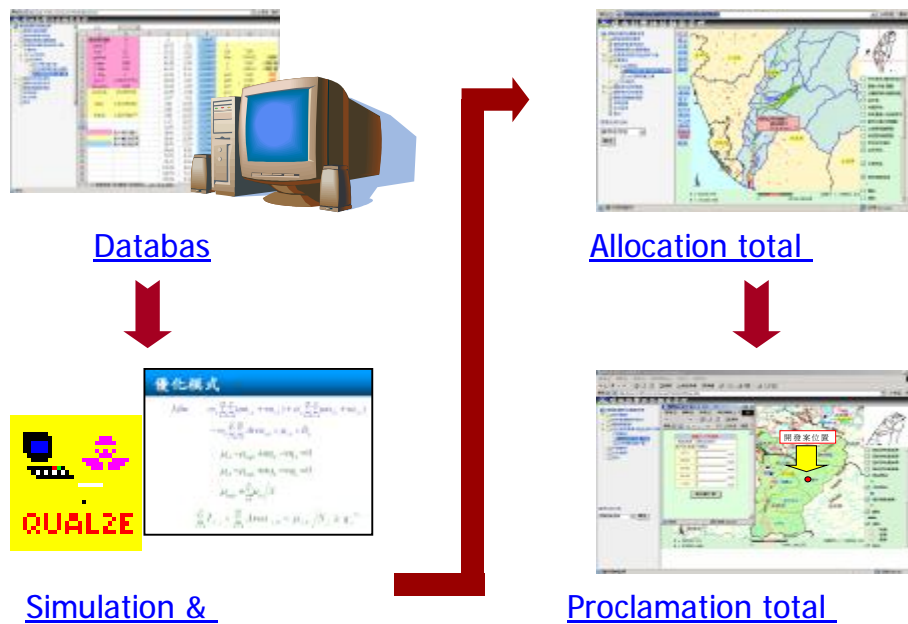


圖 3.2.1 總量管制流程

三、管理方法-單位面積負荷

依據前述的總量管制推估所得之各地區所分配之污染總量，則可進一步依據其流域所佔之土地利用面積，將允許的污染量分配在各個土地單元，計算單位面積污染負荷。如下式由總量管制推估所得的各集污區的最大污染排放量(P_{maxi})除以集污區之面積(A_i)，便可得單位面積負荷(U_{pi})。其詳細推估方式與應用方式將於第四章說明之。

$$Up_i = \frac{P \max_i}{A_i}$$

四、環評審查-環評委員與第三方諮詢顧問公司

應用單位面積污染負荷進行環境管理，由於利用模式推估總量時，已考量污染在空間上所造成的累積衝擊的影響，因此只要符合單位面積的污染負荷，其排放的污染源便不會超過環境承载力（涵容能力）。因此環評審查只需審核其污染排放是否符合單位面積負荷即可，減少的環評繁雜的審查工作，此明確的判斷式，提供環評審查一相同的審查基準，將不會發生不同模式評估或不同顧問公司評估其結果不同之情形。

由於在此研究中建議總量推估的程序，統一由較高位階的政策環評進行水質模擬與最佳化分配。但若開發案影響原有評估的環境承载力時，則需重新評估總量的分配時，則需要提出重新進行水質模擬與最佳化的分配的流程。為確保評估其評估程序與報告是否正確，在此環評審查過程中，可委託諮詢顧問公司開發審核工具，提出該項模擬使用資料與分析結果是否一致與評估可能產生之不確定性，由於此諮詢顧問公司是屬於第三者，對此開發的通過與否無相關利益問題，可以公平的審核，此審核的結果便可提供環評委員審查該開發案是否可通過之參考。

五、監測計畫-環境品質之監測

監測計畫是持續對環境品質進行監測與調查，以提供管理者瞭解環境狀態。若原分配的污染總量，無法負荷經濟與人類成長的速度時，造成環境品質狀態下降。管理者將可由監測資料中，發現此環境惡化的警訊，則可儘速提出相關的改善措施，或重新分配總量或修正管理措施，避免環境持續惡化。且環境品質之監測，亦可確保現有污染超過允許排放量者，有持續進行污染消滅工作，以及追蹤各項開發案通過後，其污染排放符合。因此，環境監測計畫是環境管理制度不可或缺的工作之一。

3.3 水資源環境管理決策支援系統說明

在環境管理中，當決策者在考量多重環境因素下，需決定一個最適當的策略或管理方案時，單以直覺或是經驗，是較不足的且不易找出最佳方

案。需要一個較客觀合理的評估系統，在決策過程中，以協助決策者能在多重決策組合或是在多個目標中，找到一個最佳的組合或最佳的目標，因此決策支援系統成為環境管理不可或缺的工具之一，決策資源系統包含了直覺、經驗、專業知識與科學方法，可以在短時間內依據決策者的不同需求或是偏好，以找出最佳的方案。建議未來環境管理規劃中，應加入決策支援系統，因此在本研究中提出一個環境水資源管理的決策支援系統之架構，以作為後續建立此決策支援系統之參考。

在環境水資源管理的決策支援系統中，應包含資料庫、模式庫與管理策略，其程序包含環境問題的分析，相關資料的取得與知識經驗的取得，部分資料可在資料庫中取得相關資料，以分析之，進一步依據提供的模式庫中，選定相關的分析模擬模式，將環境問題以量化的方式評估之，最後可以指標表示之，提供決策者環境變化的趨勢，最後管理者可在管理策略資料庫，參閱過去經驗或是專家經驗，所建立的之規則或是專家系統，以做出最佳的決策。

決策的過程主要分為兩個階段，第一階段為政策環評階段，另一個階段則為計畫環評階段。其決策過程之各個原件可參考圖 3.3.1。在政策環評階段的決策過程包含資料蒐集、環境模式與水質模式模擬，藉由模式模擬真實的環境狀況，加入政府的目標或是欲執行的政策，利用最佳化模式，推求最佳的政策方案，以建立環境管理規則，以作為計畫環評之參考。計畫環評則可依此準則，進一步可依據其污染排放者之預期的目標，規劃其可採用污染處理技術或是設備。當各項計畫環評實施後，必須確認社會與環境的反應，該項政策與計畫的實行，社會與環境是否能接受，若其衝擊大到造成社會與環境回應是負面時，則必須重新調整政策的實行，重新尋求另一較佳的解或是替代方案。

依據此決策原件應用於水資源環境管理決策支援系統架構，加入總量管制的管理方式，於政策環評階段，政府的目標政府欲達成的水質目標或是促進經濟效益目標，藉由相關資料的蒐集，考量各項環境因子，可藉由環境模式評估環境承载力，而水質方面的累積性衝擊與涵容能力，則可由水質模式評估之。藉由政策最佳化，推得環境允許的總量與分配方式，並推得單位面積污染負荷，依據此單位面積污染負荷，作為計畫環評管理的依據。因此在計畫環評階段，則不需再評估該向開發計畫可能對環境造成的衝擊，只需評估最經濟且有效率的污染處理方式，以符合所分配的允許排放量。若各項計畫的衝擊大到無法符合分配的污染量，或是其衝擊可能

影響環境承载力，將會造成環境的負面影響時，則需重新評估總量與累積性衝擊，重新規劃總量的分配。

於圖 3.3.1 的決策過程中各個原件，需要各項相關的資料庫、模式庫與策略庫，以支援與協助各項決策的訂定。未來水資源管理決策支援系統，可結合地理資訊系統，將各項資料與評估結果，利用地理資訊系統展示，於模式部分則可以個別評估，最後利用連結的方式展示其模擬成果。決策支援系統而在策略資料庫中，則是將專家的意見與總量管制實行的策略納入此資料庫中，對於未來落實總量管制遭遇問題時，便可參考策略庫之相關建議，避免發生無所適從的窘境，且能有效應付相關的環境問題。

因此在圖 3.3.2 中資料庫則包含了環境背景資料、模式所需資料、水質、水量、氣象資料、污染資料等等。在模式庫則包含水質模式、水文模式、總量分配模式、最佳化模式等等。因各個水質模式有其不同特性與適用性，模式庫中可以提供不同的水質模式供決策者參考，本研究於 2.4 節中探討數個水質模式的適用性，未來可以作為建立決策支援系統之參考。而在策略資料庫中則需包含污染管制方法、污染削減策略、替代方案、監測計畫等等，以提供管理者對於總量分配執行的管制依據，並對於超過污染分配量的排放者，可提供相關的污染消減策略或替代方案，對於政策實行後，必須建立環境監測計畫，以確保各個污染排放者的符合規定，水質狀況並無惡化。

本研究為三年度的計畫，今年為第一年的計畫成果，主要是建立水資源管理決策支援系統的架構，後續研究中，將結合以案例，進一步探討分析之。

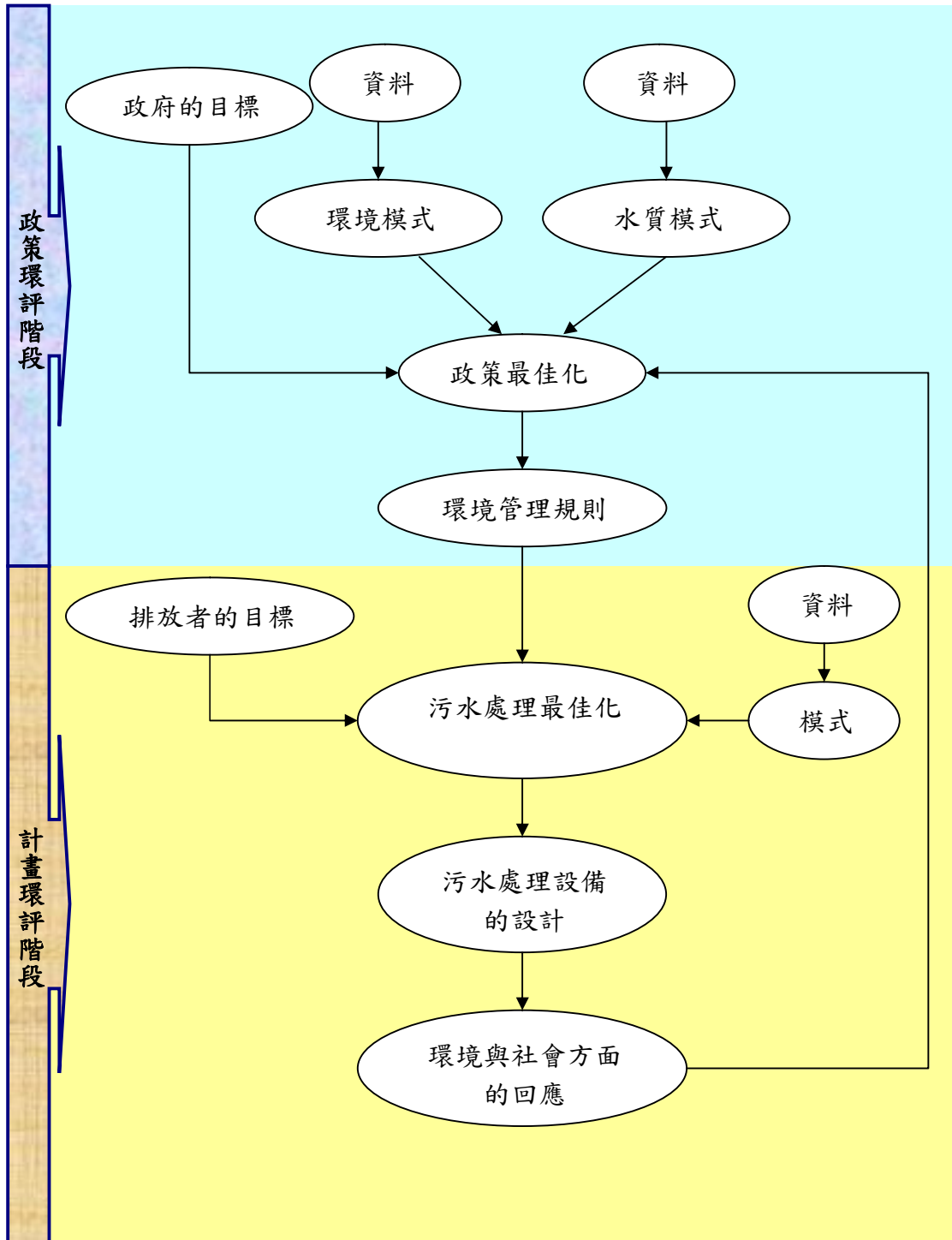


圖 3.3.1 決策過程之各個原件

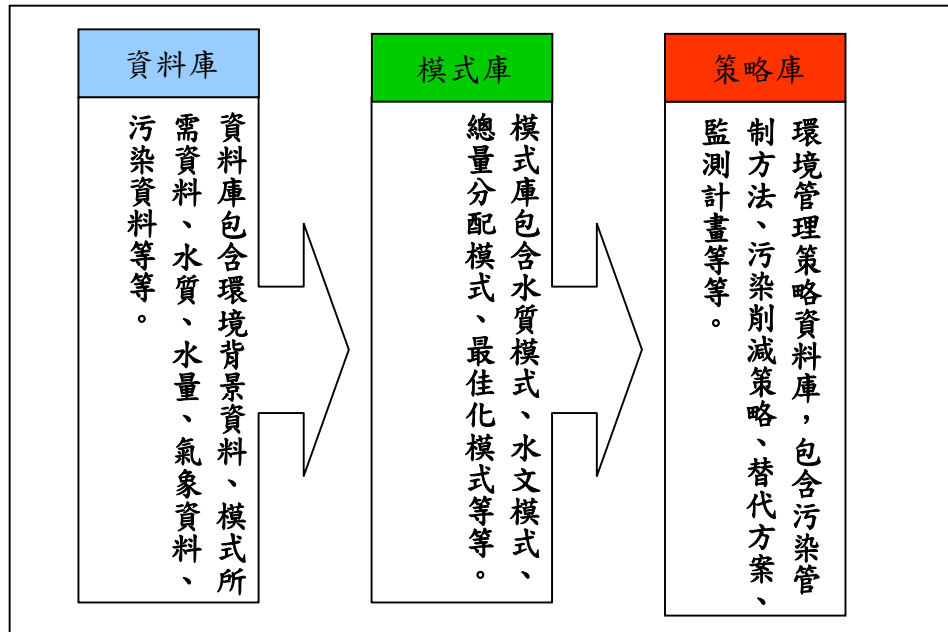


圖 3.3.2 決策支援系統

第四章 水體水質總量管制分析與基準研擬

目前水污染防治法中，對於該水體未能達到水體水質標準者，或經主管機關認定需特予保護者，需以總量管制方式管制之，但目前尚未實際落實總量管制於水體水質管理，影響總量管制最主要的因子為承載力與累積性衝擊，因此本章節將說明此兩項因子評估方式、總量管制推估方式，以及其分析流程與建立總量分配原則，以供未來管理者落實總量管制之參考。文中並以頭前溪特性假設一流域，以 BOD 水質項目作為分析案例說明總量分配的結果。

4.1 水質承載力與累積性衝擊之評估

環境承載力是指在人類生存和自然生態不致受害的前題下，某一環境面向所能容納的污染物的最大負荷量。環境在污染物的累積濃度（累積衝擊）不超過環境標準規定的最大容許值的情況下，每天所能容納某一污染物的最大負荷量。就水質而言，承載力是指在一定的水域，在不影響生態系統下，可維持公告之水體水質標準，其水體一天所能容納污水與污染物的最大能力，換言之，承載力便是水質涵容能力。有關推估河川涵容能力的方法很多，且仍在發展中。其中包含 Churchill 很早便根據河川中 BOD 負荷量與溶氧量下降之迴歸關係，求得河川之涵容能力。李錦地及黃政賢（1984）曾根據河川歷年的降雨量、水文站之流量紀錄及水質站 BOD 濃度，對台灣各主要河川進行涵容能力之研究，以河川流量推估河川之總污染負荷量。

本研究評估承載力的流程如圖 4.1.1，首先由流域地形與排水管線等資料，界定各集污的範圍，並推估各集污區中的污染產生量，進而藉由 QUAL2E 水質模式評估 BOD 污染物於水體中的反應情形，評估污染所在的位置對下游河段之影響，以建立各河段污染衝擊之反應矩陣，藉由此反應矩陣便可推得其污染量對下游可能造成之累積衝擊。由反應矩陣結合優化模式，配合各河段之水質標準之限制式，以各河段允許排入最大污染量為目標函數，推估流域各河段之允許排放的總量（承載力）。

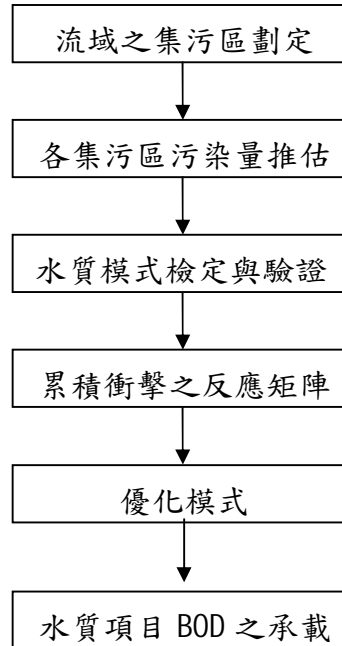


圖 4.1.1 河川水質承載力推估流程

4.2 水質總量管制模式之建立

本研究建立之水質總量管制模式，是將總量管制的評估位階提高至政策環境影響評估，由政策環評負責容許污染排放分配之問題，以確保一流域或河段之水質維持在法定標準，其各項計畫環評之污染排放累積影響不可超過環境承載力（管制之總量），此方法是採主動式將承載力依累積特性於以分配，再依分配量探討削減或管制新開發案，而非被動發生污染後再於以消減至承載力。在總量（環境承載力）已知下，透過管理模式將總量作最佳分配，進而再依此分配量管理現有污染的削減或管制新開發案加入等問題。

總量管制之整體評估架構如圖 4.2.1，其總量管制之架構是以永續發展為目標，以政策環評之位階，進行總量的評估與分配，其中的承載力與累積性衝擊推估已於前一節說明之，其優選模式則是依據欲達到的目標評估，目標函數可考量世代公平性，排放者相互間之公平性，成本效益等，其優化模式於下節總量分配原則說明，總量管制是依據其流域中各集污區面積，將各集污區的承載力除以集污區面積，以推得流域的單位面積之污

染負荷 (Upi)，以此作為環評案件污染管制之依據。

未來計畫環評開發者則只需輸入污染排入量與削減率 (處理過後實際排入河川之污染量)，及開發案的面積與所在集汙區的單位面積污染負荷，便可知該開發案是否可通過審查。未來單位面積污染負荷，於環評審查，如下式所示

$$P_x(1-E_x) \leq Ap_x \times Upi$$

當開發案其可能產生之污染量 (Px)，經過污染削減後 (Ex)，剩餘排出的污染量 ($P_x(1-E_x)$)，不可超過其允許最大污染排放量 ($Ap_x \times Upi$)。此允許最大污染量是依據由該開發案的開發面積 (Ap_x) 以及該位置所分配到的單位面積污染量 (Upi) 所獲得。若上該式無法成立，則開發者必須進行污染消滅，使污染排放符合允許之排放量。

開發案的污染消滅，若開發案污染排放量超過允許排放量 ($Ap_x \times Upi$)，則開發者可以下列兩種方式改善之，一為提高去除率或削減率或增加規劃面積。增加去除率可直接減少污染排放；管制中，增加規劃面積可增加容許污染負荷，此項策略所增加面積乃指綠地或緩衝綠帶之面積，其亦可扮演 BMPs 之功能而加強去除率。

利用單位面積污染負荷作為審查基準，可減少不公平性之問題，由使用者自行負擔污染消滅，而不是將污染削減之問題，轉嫁至新的開發者，如此新的開發案，則有機會可以進入該系統中。且如此一來，未來之計畫環評則不需進行水質模擬，除非開發案的規模大到影響環境承载力，則必須重新水質模擬評估，重新規劃其承载力與總量分配，水質模擬統一在進行水質政策環評位階時評估，將累積性衝擊納入考量，將承载力換算成單位面積污染負荷，作為計畫環評之依據。可使計畫環評之審查基準具有一定之公信力，並可減少計畫環評之評估程序。

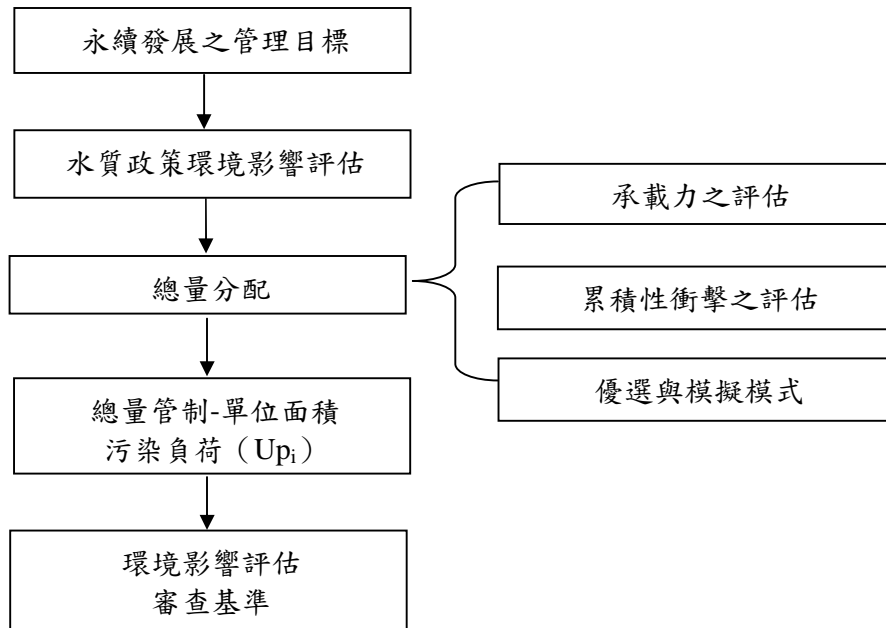


圖 4.2.1 總量管制之評估架構

4.3 污染排放總量分配之原則

環境水質管理實際上並無所謂可排放污染總量，嚴格說應為在考量污染排放分配管理策略下之總污染可排放量；亦即先有污染排放分配管理策略才有總量，而非先有總量再決定分配。因此，在總量管制中最主要的工作項目是在總量分配管理策略部分，如何在符合水質標準下，有效的、公平的分配污染排放量。進行總量分配時，必須藉由模擬水質模式評估污染在水體中反應的情況，以及污染造成的累積衝擊的影響與承載力，進而結合優化模式，在水質標準的限制式下，尋求各土地利用單元所能分配的允許污染量。

本研究進行總量分配時，考量了土地利用與集污區相互間排放量之公平性，以及非點源污染可能造成的不確定性。此優選模式主要目的是希望建立以單位面積土地污染負荷量為變數，在滿足水質標準下。創造整個流域最大可排放總量以及在每個土地利用與各集污區之間，創造最為公平的排放負荷。本模式中，河川流量大小，影響污染濃度甚巨。而河川流量會隨著季節與各氣象事件變動，具有高度的隨機性。以下就針對模式的各部分說明之。

一、目標函數

本優選模式的目標函數可以分為最大污染可排放總量以及污染負荷公平性兩個部分。

(一) 最大污染可排放總量

一般而言，在流域中污染的產生量與經濟與民生活動量成正比，但是排放量不得超過河川水質標準，否則將會危害河川用途。因此，本模式以流域的最大可排放總量為目標函數之一，期望推求在滿足河川水質條件下，流域最大的污染可排放總量。本模式決策變數為每個集污區內每種土地利用的單位土地面積污染負荷量(單位面積污染最大可排放量)。整個集污區的污染可排放總量為每個集污區中每個土地利用單位面積污染負荷量與面積乘積的總和，其方程式如下。另外，由於不同土地利用所排放污染的特性以及所產生的各種效益不同。本模式進一步針對不同土地利用，給予不同的排放權重 LW_k ：

$$\text{Max} \quad \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{k=1}^{N_k} \text{Area}_{i,k} \times LW_k \times m_{i,k}$$

$\text{Area}_{i,k}$ ：集污區 i ，土地利用 k 的面積。

LW_k ：不同土地利用污染排放權重。

$m_{i,k}$ ：集污區 i ，土地利用 k 的單位面積污染負荷量（污染量/面積）。

N_i ：集污區數。

N_k ：土地使用類別。

(二) 污染負荷公平性

在污染負荷的分配過程中，除了考慮排放量的多寡之外，為了達到污染分配的公平性，本模式採用 Brill et al(1976)年所提出的公平性評估方法---偏離平均的總和最小為目標函數。本模式的公平性目標函數分為兩部分，一部分為相同集污區內不同土地利用的公平性，一部分為不同集污區相同土地利用的公平性。

(三) 土地利用公平性

目標為相同土地利用在不同集污區內的單位面積污染負荷量，與流

域內所有相同土地利用單位面積污染負荷量平均的偏離最小。以方程式表示如下：

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{N_i} |m_{i,k} - m_{avg,k}| \\ m_{avg,k} = & \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} m_{i,k} \end{aligned}$$

其中 $u_{avg,k}$ 為所有土地利用 k 的平均單位面積污染負荷量。將上式帶有絕對值的方程式，加入變數 $uu_{i,k}$ 與 $vu_{i,k}$ 轉換為一般線性方程式如下：

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{N_i} (uu_{i,k} + vu_{i,k}) \\ m_{i,k} - m_{avg,k} + uu_{i,k} - vu_{i,k} = & 0 \\ m_{avg,k} = & \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} m_{i,k} \\ uu_{i,k} \ \& \ vu_{i,k} \geq & 0 \end{aligned}$$

(四) 集污區公平性

目標為相同集污區內不同土地利用的單位面積污染負荷量，與流域內所有土地利用單位面積污染負荷量平均 $\mu_{i,avg}$ 的偏離最小。以方程式可以表示下：

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{N_i} |m_{i,k} - m_{i,avg}| \\ m_{i,avg} = & \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} m_{i,k} \end{aligned}$$

其中 $u_{i,avg}$ 為集污區 i 的平均單位面積污染負荷量。同樣的，將上式帶有絕對值的方程式，加入變數 $ua_{i,k}$ 與 $va_{i,k}$ 轉換為一般線性方程式如下：

$$\text{Min} \quad \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{N_i} (ua_{i,k} + va_{i,k})$$

$$m_{i,k} - m_{i,avg} + ua_{i,k} - va_{i,k} = 0$$

$$m_{i,avg} = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} m_{i,k}$$

$$ua_{i,k} \text{ \& } va_{i,k} \geq 0$$

(五) 多目標的目標函數

將土地利用、集污區公平性以及最大可排放量三者分別以權重，串接成為一個目標函數如下。

$$\text{Min} \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{N_i} [w_u (uu_{i,k} + vu_{i,k}) + w_a (ua_{i,k} + va_{i,k}) - w_b \times \text{Area}_{i,k} \times LW_k \times m_{i,k}]$$

二、限制條件

在建構本優化模式的限制條件之前，先說明本模式所採取的基本假設。本優化模式的基本假設如下列幾點：

I 流域內 BOD 背景濃度值，視為除了點源污染之外其他 BOD 的污染來源，包括自然 BOD 值與點源污染的 BOD 值總和。在此本研究將 BOD 背景濃度值視為定值，推估在考量水質標準限制下，流量 Q_{75} 情況下允許排放之 BOD 污染量。

I 河川流量視為隨機變數。

為了滿足水質濃度的限制條件，到達第 i 集污區檢查點的水質濃度必須小於水質標準 S_i 。 M_i 為各點源污染源在第 i 檢查點的點源污染水質 BOD 總量。 Q_i 為流量。 B_i 為該集污區河川 BOD 背景濃度，水質標準扣除環境背景值後，剩餘的污染量再進行分配。

$$S_i \geq M_i / Q_i + B_i$$

$$S_i - B_i \geq \frac{M_i}{Q_i} \Rightarrow S_i^* \geq \frac{M_i}{Q_i}$$

流量 Q_i 為隨機變數，因此可利用 chance constrained 的方法將隨機變數轉化為定值，使原本的限制條件，轉化為具有風險特性的限制條件。水質的限制條件的滿足 α_i 的信賴度的方程式如下。而 $(q_i)^{\alpha_i}$ 是指在歷史資料統

計上，超越機率為 α_i 的 Q_i 對應值。

$$\Pr [M_i \leq S_i^* \times Q_i] \geq \alpha_i \Rightarrow M_i \leq S_i^* \times q_i^{\alpha_i}$$

第 i 個集污區在水質檢測點 BOD 污染總量 M_i 的推估。第 j 集污區的
第 k 個點源污染到第 j 集污區水質檢測點的流達率為 $R_{(j,k) \rightarrow j}$ 。 $I_{j \rightarrow i}$ 為第 j
集污區的污染對於第 i 集污區檢查點的衝擊係數(衝擊係數：為假設一單位
污染量對下游所造成之衝擊影響，其一單位可假設為 1000kg 或 100kg)。
 $Area_{j,k}$ 點源污染所被分配的面積， $\mu_{j,k}$ 點源污染的單位面積負荷量。

$$M_i = \sum_{j=1}^{N_i} \left[\frac{I_{j \rightarrow i}}{q_i^{\alpha_i}} \times \sum_{k=1}^{N_k} (R_{(j,k) \rightarrow j} \times Area_{j,k} \times m_{j,k}) \right]$$

本研究中點源污染的總量推估是採用定流量 Q_{75} 的假設流量(即 α_i 的信
賴度為 75%)，評估在此流量下，若必須符合水質標準限制與公平性目標
函數等情況，各個土地利用允許排放的污染量。其優化模式如下所示。至
於非點源污染的分配，亦是利用下模式評估之，但於推估 M_i 的污染量部分
則不是採用定流量下的水質反應矩陣，而是利用模擬模式的方式，推各可
能產生的非點源污染量，進而結合下列模式之其他限制式與目標函數，推
估非點源污染的分配量。

整個優化模式

Subject :

$$\text{Min} \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{N_i} [w_u (uu_{i,k} + vu_{i,k}) + w_a (ua_{i,k} + va_{i,k}) - w_b \times Area_{i,k} \times LW_k \times m_{i,k}]$$

S.T :

$$m_{i,k} - m_{avg,k} + uu_{i,k} - vu_{i,k} = 0$$

$$m_{avg,k} = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} m_{i,k}$$

$$m_{i,k} - m_{i,avg} + ua_{i,k} - va_{i,k} = 0$$

$$m_{i,avg} = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} m_{i,k}$$

$$M_i = \sum_{j=1}^{N_i} \left(\frac{I_{j \rightarrow i}}{q_i^{\alpha_i}} \times \sum_{k=1}^{N_k} (R_{(j,k) \rightarrow j} \times Area_{j,k} \times m_{j,k}) \right)$$

$$M_i \leq S_i^* \times q_i^{\alpha_i}$$

$$\text{All variable} \geq 0$$

本研究便依據此優化模式，推估各集污區單位面積污染負荷，在考量土地利用與集污區相互間排放量之公平性，以及非點源污染可能造成的不確定性，以頭前溪之流域特性假設一流域評估其在不同目標函數權重下，其單位面積分配的結果，於 4.5 節說明之。

4.4 總量管制策略之建立

由於目前的各項污染排放標準是依據放流水標準的管理制度，雖有部分開發案污染超過水質標準，但亦有符合此準則者。因此未來要落實此永續環境管理制度時，對於目前通過水質標準的開發案者，將會造成反彈，如何不影響其原有符合準則之權利，又可落實永續環境管理制度，亦是一向待需解決之問題。因此本研究建立一落實總量管制策略的決策過程，分別說明現有污染符合水質標準者與新的開發案加入管理，其評估流程如圖 4.4.1，詳細評估流程如下所述。

一、評估是否超過 水質標準與放流水標準

首先應評估該流域各污染源是否符合水質標準與放流水標準，若現況污染源不符合放流水標準，則建議採用單位面積污染負荷之總量管制方式進行環境管理。要求現存的開發案污染源，必須依據其所佔之開發面積，削減至允許的排放量，新開發案加入，則必須以開發面積與實際污染排放量，檢核是否符合單位面積污染負荷之標準。

若現有污染符合水質標準者，則可將現有符合水質標準之開發案排放量與環境背景值，視為環境基準線，進行總量分配時，則扣除環境基準線以下的污染量，以推求環境可允許之最大染負荷，因此單位面積污染負荷，是以 $[(\text{承载力}-\text{環境基準線})/\text{集污區面積}]$ 推估之。

二、評估各集污區是否有剩餘之涵容能力

若目前的污染狀況嚴重，無剩餘涵容能力，因此無法允許新的開發案進入時，則必須消減目前現有之污染量，至符合單位面積污染的分配量。新的開發案進入，則必須符合 $[\text{Min}(\text{開發面積} \times \text{單位面積負荷}, \text{現有污染消減量})]$ 的限制式。所以新的開發案必須等現有污染達到消減目標，且其排

放量不可大於現有的削減量，方可允許進入此系統中。

若尚有剩餘之涵容能力，則對於符合單位面積污染負荷之新開發案，便可允許開發。現有開發案污染排放，若超過所分配之單位面積污染負荷，則必須進行消滅。

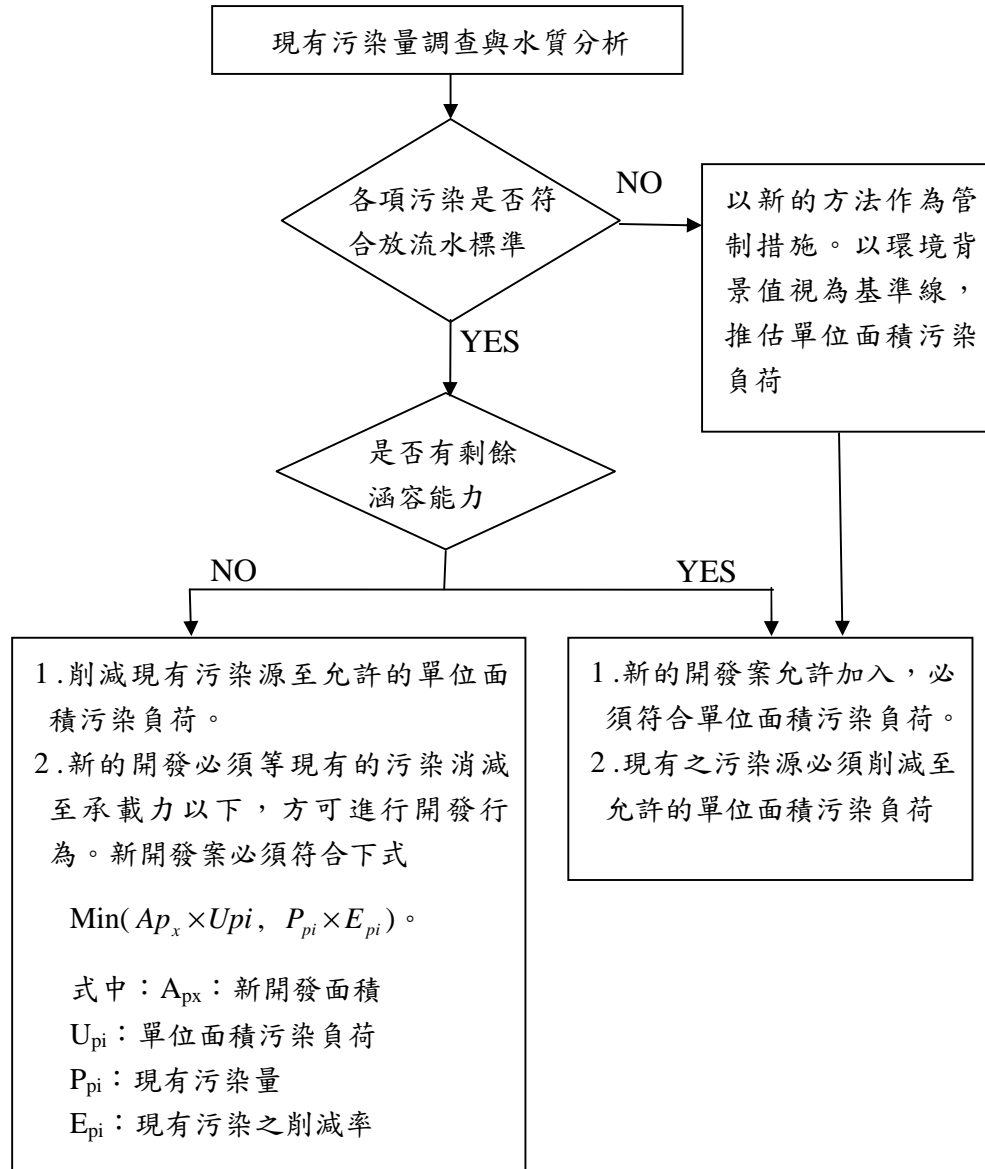


圖 4.4.1 總量管制落實之決策流程

由上述之決策程序，對於目前不符合水質標準者，則必須進行削減，且現有符合標準者亦可適用此法進行管制。後續新進開發案則必須是以總量分配的單位面積負荷，作為排放污染之準則。且必須等現有污染削減至

符合之標準，方可容許新的開發案進入，如此較符合公平性，不至於要求新進的開發者必須提出削減措施，才可通過環評審查。

4.5 案例分析

依據前述優化模式，本研究比照頭前溪之特性假設一流域，進行評估。本次研究選擇頭前溪上游為模式的應用實例。此流域總面積為 622.98 平方公里。在流域內共分為 11 個集污區，每個集污區內有五種土地利用，集污區的編號從下游到上游，由小到大。各集污區的土地利用面積如下表：

表 4.5.1 集污區各項土地利用面積表（單位：平方公里）

集污區 土地利用	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
水利地	2	2.2	1.28	1.35	2	2.2	1.28	1.35	2.32	1.04	6.66
交通用地	2.5	5.5	0.96	8.1	2.5	5.5	0.96	8.1	2.32	0.62	3.33
林地	0.3	0.11	4	8.1	0.3	0.11	4	8.1	17.4	93.6	316.35
草地	3.2	0.44	1.76	1.35	3.2	0.44	1.76	1.35	1.15	3.53	3.33
農地	2	2.75	8	8.1	2	2.75	8	8.1	34.8	5.2	3.33
總和	10	11	16	27	10	11	16	27	57.99	103.99	333

本次研究不考慮每個點源在每個集污區中的流達率，所有流達率都設為 1。僅考慮每個集污區之間污染的衝擊係數。本次實例各集污區之間的衝擊係數如下表。

表 4.5.2 各集污區之間的衝擊係數表

衝擊 係數	TO-11	TO-10	TO-09	TO-08	TO-07	TO-06	TO-05	TO-04	TO-03	TO-02	TO-1
11	4.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4.7	4.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2.99	3.35	3.38	0	0	3.59	0	0	0	0	0
8	0	0	0	5.44	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	3.26	4.22	0	0	0	0	0	0
6	3.42	4.44	0	0	0	3.7	0	0	0	0	0
5	0.22	0.22	0.24	1.78	2.3	0.23	3.36	0	0	0	0
4	0.05	0.05	0.06	0.43	0.56	0.06	0.82	5.16	0	4.39	0
3	0.04	0.04	0.05	0.36	0.46	0.05	0.68	4.27	4.88	3.63	0
2	0.06	0.06	0.07	0.51	0.65	0.07	0.95	0	0	5.11	0
1	0.04	0.04	0.04	0.32	0.41	0.04	0.6	3.77	4.32	3.21	4.65

模式中，目標函數中有集污區、土地利用公平性，以及排放總量三個可調整的權重。其中的排放總量部分，分別有五種土地利用的排放權重。集污區的管理決策者，可以透過上述權重的調整，決定公平性與排放總量相對關係，以決定每種土地利用的排放重要性。

本研究研擬了幾種在不同權重的狀態下，透過優選模式可以反應出幾種不同的情境與狀態。各種權重狀態列表如下：

表 4.5.3 目標函數各項權重表

case	狀態	目標函數（單位不同）			排放量（相同單位）				
		土地利用 公平性	集污區 公平性	排放 總量	水利 地	交通 用地	林地	草地	農地
1	不考慮公平性	0	0	1	1	1	1	1	1
2	所有權重相同	1	1	1	1	1	1	1	1
3	提高公平性權重	5	5	1	1	1	1	1	1
4	提高公平性權重	10	10	1	1	1	1	1	1
5	提高公平性權重	100	100	1	1	1	1	1	1
6	考慮不同土地利 用的排放權重，但 不考慮公平性。	0	0	1	1.2	1	0.3	0.5	1.5

模式與求解

本實例為線性的優化模式，總共有 291 個變數，138 個限制條件。本研究採用十分有效率且簡潔的 Lingo8.0 求解。

結果與分析

Case 1 不考慮每個集污區與土地利用的公平性。在此情況下，決定每個集污區的差異只有受到河川位置、衝擊係數、以及水質限制的影響。其結果顯示在滿足水質限制條件下，當達到最大可排放總量時，各集污區的單位面積負荷量的分佈情況。由於不同土地利用的排放權重相同，因此在相同集污區內不同土地利用單位面積負荷的差異並不代表任何意義。

Case 2 加入集污區與土地利用公平性權重，並將三個目標權重設為相同。隨著將公平性加入考量，每個集污區內部同土地利用的單位負荷差異變小，不過各個集污區內的差異還是存在。

Case 3~5 提高公平性的權重，造成集污區之間以及土地利用之間單位面積負荷的差距明顯縮小。表示透過權重的調整，將影響單位面積負荷差異。但是過度的提高權重，例如 Case 5。則將造成所有的單位面積負荷都相同，如此無法表現出各集污區的各項條件與土地利用之差異。

Case 6 調整不同土地利用污染排放量的權重。使得不同土地利用間的單位面積負荷量差距產生變化，當然污染排放權重越大（農地）的單位面積負荷量自然越大。另外，由於此 case 並沒有考慮公平性，因此可以看出每個集污區單位面積負荷量的有很大的差異。

表 4.5.4 Case 1 的結果（單位面積污染負荷量）

集污區 土地利用	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
水利地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
交通用地	10.88	0	10.88	4.01	37.07	0	54.29	0.45	0	0.15	1.94
林地	3.43	0	16.62	0	23.29	0	208.18	0.45	0	0.6	3.65
草地	2.85	0	0	0	115.98	0	0	0.89	0	0	3.65
農地	0	0	55.59	16.06	9.01	0	9.01	0.45	0	0	9.01

表 4.5.5 Case 2 的結果（單位面積污染負荷量）

集污區 土地利用	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
水利地	8.29	8.29	8.29	11.8	16.41	8.29	14.46	0.45	0	6.63	8.29
交通用地	8.29	8.29	8.29	12.17	16.41	8.29	12.43	0.45	0	8.29	8.29
林地	8.29	8.29	9.24	12.17	16.41	8.29	35.11	0.45	0	0	3.38
草地	8.29	8.29	8.29	8.29	16.41	8.29	19.62	0.45	0	4.97	8.29
農地	8.29	8.29	16.41	16.41	16.41	8.29	93.93	0.45	0	4.97	7.06

表 4.5.6 Case 3 的結果 (單位面積污染負荷量)

集污區 土地利用	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
水利地	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37
交通用地	10.37	10.37	10.37	15.77	10.37	10.37	10.37	10.37	10.15	5.18	10.37
林地	10.37	10.37	10.37	21.37	10.37	10.37	10.37	10.37	9.73	0	0
草地	10.37	10.37	10.37	15.55	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	5.18	10.37
農地	10.37	10.37	10.37	15.77	10.37	10.37	10.37	10.37	10.15	5.18	10.37

表 4.5.7 Case 4 的結果 (單位面積污染負荷量)

集污區 土地利用	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
水利地	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38
交通用地	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38
林地	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	0	1.83
草地	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38
農地	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38

表 4.5.8 Case 5 的結果 (單位面積污染負荷量)

集污區 土地利用	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
水利地	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
交通用地	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
林地	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
草地	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
農地	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18

表 4.5.9 Case 6 的結果 (單位面積污染負荷量)

集污區 土地利用	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
水利地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
交通用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
草地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
農地	18.67	0	65.2	20.07	244.4	0	119.61	1.48	0	10.66	361.47

第五章 流域點源與非點源污染總量管制之問題探討

5.1 流域水質總量管制

水體接受的污染負荷包括來至點源、非點源與環境背景污染，在考量總量管制時必須考量不同來源及其特性。不同污染源其在時間與空間上之排放特性有相當不同，因此，在降低污染排放之處理與管制上有不同之手段。

點源污染之排放在時間特性上為持續性排放，在空間特性上則為可鑑別且非連續之排放位置，可藉由技術性處理降低污染排放，在管理上可利用排放許可加以管制，如我國環保署水污染防治法第十四條規定「事業排放廢（污）水於地面水體者，應向直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關委託之機關申請，經審查登記，發給排放許可證或簡易排放許可文件後，始得排放廢（污）水...」，美國之 National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)亦規範都市廢水處理廠、工業點源排放、與集中式畜牧之廢水排放許可。非點源在時間特性上為隨機性排放，與水文之隨機事件有關，在空間特性上則為擴散性且難以鑑別排放位置，因此無法以排放許可加以管制，在降低污染排放之策略上多借重管理之手段，如利用最佳管理策略（Best Management Practices, BMP）。

美國在污染總量管制上主要是以 Total Maximum Daily Loads (TMDL) 為主要管制架構，其精神在考量不違反水體用途之水質標準下，將水體可容忍之污染負荷容量（Loading Capacity）分配給點源污染負荷（Wasteload Allocation, WLA）、非點源污染負荷（Loading Allocation, LA）與考量模式分析不確定性及後代保留量之 Margin of Safety (MOS)，附錄一中提供三個美國案例說明其點源與非點源分配原則與案例。本研究延續近年來藉由 QUALE 模式探討在低流量時點源污染之涵容能力，並進一步建立單位面積負荷作為審查基準，且可藉由土地傳遞負荷已滿足後代之需求，但當非點源為不可忽略之污染源時，研究架構將有所不足，因此，本章主要在探討如何在總量管制中考量非點源污染。

5.2 點源污染為主之管理模式

美國 TMDL 與台灣地區過去有關優選流域污染排放量以符合訂定之水質標準之研究，其在建立數理規劃模式過程，往往結合穩態 (steady state) 水質模擬模式，配合低流量之分析，模擬決定不同排放點對下游影響程度之反應矩陣，再以共同去除率、最小成本等為目標函數，決定排放源之消減。然此研究考慮穩態，且考量特定排放點污染排放對下游之影響，因此，其較適合應用於點源污染之分析。

QUALE 模式所需資料相對較少，適合應用於發展點源污染負荷評估與結合優化模式建立單位面積負荷，作為點源污染管制基準，此部分研究成果可參閱本計畫過去幾年之研究報告。雖然此部分已有相當研究與應用案例，但仍有許多問題必須小心處理

1. 在模擬分析前必須建立合理河川流量水平衡關係
2. 集污區污染產生量、流達率合理推估為模式驗證之重要關鍵
3. 水質測站位置與資料品質亦為模式驗證之重要關鍵以分
4. 合理參數優選

本研究團隊除了第二點外，已分別進行相關研究探討 (林嘉佑，2005；蔡宗擘等，2005)。第二點需大量現地調查與資料分析，此部分建議政府應建立大型計畫分析探討，建立資料收集之 QA 與 QC 之標準流程。此外，根據過去之研究經驗，流達率對單位面積負荷評估有顯著影響，然在缺乏足夠之分區現地調查資料下，實難精確推估合理之流達率，過去研究將其視為參數反推，雖為可行方法，然在水質資料不足下，其參數不確定性過高。流達率資料評估為建立點源總量管制與單位面積負荷基準之最大挑戰。

5.3 非點源污染之特性

流域污染來源包括點源與非點源污染。點源污染排放特性在空間尺度上具有不連續性，而在時間上較具連續性，且污染排放量一般而言較為穩定；而非點源與點源污染性不同，排放特性在空間尺度上具有屬於連續擴散性，而在時間上較不具連續性，因此非點源污染排放具有高度不確定性，在防治上遠較點源污染困難，因此為流域污染主要污染來源。非點源污染主要污染物為營養鹽(Nutrient)，包括氮與磷。

非點源污染主要由大氣降雨事件驅動，且非點源污染主要傳遞方式與水文循環有密切之關係，地表污染傳輸與逕流有關、而地下水污染則與入滲等機制息息相關。

流域污染量與降雨體積、入滲、集水區儲水特性、土壤入滲性與其他水文之參數有很大關係，因此非點源污染與水文循環有很強之關聯性。非點源污染具有強之隨機(random)特性，而其主要之隨機特性來自於降雨。非點源污染與水循環息息相關，則集水區水文特性改變亦將直接影響非點源污染量，而土地利用是改變集水區水文特性之重要因子。非點源污染常發生於較高流量及洪水時，主要在於 storm water 為主要傳輸媒介。然而點源污染與地下水污染則在低流量時較嚴重。

流域 sediment 產生，除了本身為污染物外，亦為吸附性污染物之傳輸媒介。非都市地(Rural) Sediment 主要來自於沒有保護之土壤表面，其無限供應，但部份傳送；都市(Urban) Sediment 主要來自於沖刷累積於不透水表面之物質，為有限供應，非常有效傳輸，大部份被沖走進入下水道而進入水體。一般 Sediment Model 包含下列分析項目：

- 一、地表累積
- 二、從地表沖刷
- 三、傳輸至地表水體

5.4 總量管制考量非點源污染可能方式與遭遇之問題

美國 Department of Environmental Quality (DEQ) 於 1998 年提出之”Total Maximum Daily Loads”(TMDL)，是指在滿足水質標準下，水體所成承受最大污染負荷量，並分配給各項污染源。在美國環保署中，針對

每一項水質標的，如溶氧、磷與重金屬等都是單一獨立的評估報告書。各項水質標準則是依據各州區域地方訂定，不同的水體標的其水質標準不同。在美國的 Section 303 of the Clean Water Act 中以明文規定各項水質之標準，且對於應用利用技術仍無法削減之嚴重污染水體必須執行 TMDL。在美國環保署之 TMDL 主要依據現有之點源與非點源來源推估總污染量，再依據 TMDL 分配的負荷量進行消滅。TMDL 是將所有點源污染與非點污染對單一污染物的分配負載的總和，因此美國將 TMDL 分成主要分成三個部分，點源、非點源及預留一部份模式可能推估錯誤的保留項三項，在水質標準之下，各項排放的污染量不可超過分配的污染負荷量，其超過的部分則需消滅，計算當中亦需評估水質在季節性的變化。

$$TMDL=WLA+LA+MOS \quad (5.1)$$

WLA (*wasteload allocation*) 是分配給點源污染負荷的量、LA (*load allocation*) 是分配給非點源污染的負荷量、及 MOS (*margin of safety*) 是保留分配量，因水質模式推估與資料來源等都隱含著不確定性，因此這一部份分配量相當於是安全係數的保留，亦有文獻指出這一部份將欲預留給未來的使用者。

美國環保署的 TMDL 中第三個部分 (MOS) 相當於是預留一個安全範圍，若是點源或非點源污染量因特殊狀況而超過原分配的允許排放量，至少第三個部分的分配量是尚未使用到的排放量，所以對於第一與第二部分的排放量超過，並不會造成河川的嚴重污染，河川的污染量是在可控制範圍。但此項總量管制的規劃，雖預留了未來使用者的排放量，但此保留的部分將造成資源不善用的情況，不符合永續發展之精神，因此，此分配量的保留項必須進一步探討。

非點源污染在總量管制上仍有相當研究空間，本節就相關問題探討，以作為後續研究參考。總量管制必須分析在水質標準及可承受之風險下，容許排放之污染總量，此總量並必須合理分配於流域。點源污染由於污染排入量較穩定，其風險可由河川流量序率特性決定，如超越機率 75% 之 Q_{75} 流量表示低於其值之機率為 25%，以此流量分析總量，則水質不符合水體標準亦約 25%。然非點源污染之污染排入量與水文事件息息相關，亦具有相當不確定性。因此，在水體標準與一定風險下決定總量，則除流量具序率特性外，污染排入量亦然，因此風險分析時要一併考量。

流域總量管制在考量非點源污染應先建立流域規劃，然後再考量點源

與非點源污染負荷之分配問題，根據參考相關國外文獻整理，在處理上應可分成下列三類

一、點源污染固定，探討非點源污染之負荷分配

美國 TMDL 應用時機為在 NPDES 排放許可與在經濟考量下處理技術無法再提升，而水質仍然嚴重污染，則必須透過總量管制來加以訂定改善策略。台灣亦然，當流域污染排放均符合放流水標準，但河川水質不符合水質標準時，則必須進行總量管制，當技術性處理均已進行至最大，如污水處理廠只能進行二級處理，為環境改善，此時在總量管理策略上可將流域點源污染視為固定，再探討各子集水區非點源如何配合最佳化管理作業消減，已滿足水質標準。

二、非點源污染負荷固定，探討點源污染負荷之分配或污染排放削減策略

此處理方式採用時機與上面所述相似，當違反水質標準時推動，然當點源污染削減仍有改善空間，並為達到水質標準之可行方案時，可將非點源污染源併同環境背景值考量，將分析決策變數訂為點源污染削減率，此研究考量方式在過去已有相當多之國內外研究報告。

三、優選點源與非點源污染負荷之分配策略

然當非點源與點源污染削減均為可行方案時，則其優化分配原則在過去研究相對較少，污染負荷分析牽涉到污染傳輸本身與模擬之不確定性，尤其當將非點源污染列入決策考量，則必須以風險來評估其不確定性。在方程式 (5.1) 中分配給點源之 WLA 其本身隱含一定風險，如本研究討論以低流量 Q_{75} 來分析點源 BOD 之負荷承載能力，即代表 25% 流量會小於 Q_{75} ，在污染排放量不變下，隱含 25% 水質會違反水體標準之風險；方程式 (5.1) 中 WLA 包括非點源污染與環境背景值分配之負荷，其當然亦具有隨機特性。如何考量可接受風險下分配總負荷 (total loading capacity) 給點源與非點源，為本管理之重點。然此類相關研究相當少，是否建立序率性數理規劃模式或建立風險評估模擬模式來探討最佳之污染負荷分配仍須後續探討。

5.5 小結

本章簡略介紹非點源污染傳輸特性，並討論流域總量管制中如何處理非點源污染問題，點源污染可藉由監視、控制，瞭解排入量與排入點，但非點源污染則不然，非點源污染排入量必須藉由模式分析，如 GWLF 與 BASINs 之水質模式等，然在台灣應用上往往遭遇資料不足以支持參數推估，相關非點源模式討論與比較可見附錄二。然現今在流域總量管制研究中同時考量點源與非點源污染之最佳化研究相當少，將來在流域總量管制中要納入非點源污染，則下列為必須完成之重要研究課題：

- 一、非點源污染資料收集（土壤、土地利用、水文、污染源等）
- 二、非點源污染模式發展
- 三、點源污染與非點源污染最佳化分配序率性數理規劃模式或模擬模式
- 四、不同污染源間之交易制度
- 五、最佳管理策略與效益評估方法建立

第六章 水資源總量管制分析與基準研擬

本章節主要說明水資源系統供水量之永續性，以及影響永續性之累積性影響與承載力的評估方式，並進一步藉由建立相關永續指標，評估農業與公共用水面向之最大可供水量。文中並分析氣候變遷對水資源永續性之衝擊，與目前實施之「台灣地區水資源開發綱領計畫政策評估說明書」，對永續發展的影響。於最後一節，說明應用單位面積負荷於水資源總量管制之策略之評估方法，以做為未來水資源環境管理之參考。

6.1 水資源系統之累積性影響與承載力

水資源開發方案多從需求面的角度出發，優先滿足需水之要求，忽略了對環境的衝擊及壓力，但經濟社會的快速發展，需水量的上升，使得水資源的供給已是捉襟見肘，許多發展也因此受限於水資源供給而遲緩。因此本研究是以系統性的方式分析水資源永續性，藉由總量管制與累積性衝擊評估，作為管理層面的依據，使決策者有效的掌握可用與妥善的分配水資源，以確保水資源系統整體之永續性發展。水量總量管制的管理方式，是以供給為限制，其水資源系統之環境承載力便是主要限制條件，而不同產業的累積需水量則為累積性影響。下文中將說明其水資源承載力與累積性影響之評估方式。

水資源之環境承載力即是可供水量，而一個水資源系統之可供水量之界定，並非等同於河川流量、或是淨水廠處理容量之總和、或是水庫蓄存容量之總和，而是需考慮整個水資源系統相關供水的方式，如水文、氣候、水庫、攔河堰、淨水場等系統性整合，將會影響到水資源之可供水量。

研究中透過水資源系統動力模式，模擬水資源系統真實情況，評估系統內各個供水設施與流量狀況，以評估水資源系統最大可供水量。模式中以計畫供水量作為需水量，將歷史流量代入水資源系統動力模式中，計算其缺水指數或相關服務準則指標基準，若指標未符合供水規劃準則，便將計畫供水量作修改，再重新模擬，一直到其指標能符合預定之供水規劃準則，此計畫供水量之值即為整個水資源系統可供水量，亦是此水資源系統之環境承載力。其系統動力模式之原理與水資源系統之建立方式，可參

閱陳思璋（2005）。

藉由系統動力學理論將水資源系統轉換成系統動力模式，並利用水庫放流量及下游水文流量測站驗證模式的合理性，並加入各區域用水之需水量與環境承载力比較作分析之後，利用永續發展指標探討水資源之永續性，其最大可供水量推估方式如下所示。

一、總可供水量

一個流域系統內的可供水量，其主要來源是來自於降雨所造成之河川流量、水庫蓄水量、地下水量等等。本研究主要針對以河川流量為主要供水來源之系統建立分析模式，進而計算整個系統之總可供水量。在進行總可供水量計算時，由於性質之差異，本研究將總可供水量分成「農業可供水量」以及「民生與工業可供水量」兩個部分。利用模式分別計算之後，再進行相加，最後加總之結果即為該之水資源系統的總可供水量。

二、農業可供水量

農業的可供水量主要來自於灌溉需水量、畜牧需水量以及養殖需水量之總和，但是相較於灌溉需水量，畜牧與養殖的需水量所佔比例相當少，平均不到 10%，因此研究中之農業需水量將僅只限於灌溉需水量。根據前水資源局的研究報告(1997)指出，農業灌溉需水量可由下式來決定：

$$\text{灌溉需水量} = \text{田間需水量} \times \text{輸水損失係數}$$

田間需水量必須經過田間水平衡關係來估算，而輸水損失係數由於各地不同必須由實地量測才能取得，因此在相關資料蒐集較為不易的情形之下，在本研究中所使用之農業灌溉需水量，主要來自於前水資源局 1999 年之研究報告『台灣地區北部區域水資源綜合發展計畫（II）』，該報告中以各灌區民國 81 年至民國 85 年之旬計畫用水量之平均值，作為各旬的需水量。因此在本研究中沿用上述報告書中的資料，在模擬求解各旬之農業需水量時，將旬平均的計畫用水量帶入。因此整年度之農業需水量（或是在計算 ASI 時，每一時期的農業需水量），將為各旬計畫供水量之總和。

三、民生與工業可供水量

民生用水和工業用水雖然性質不同，但是就供水的角度而言卻都必須先經過淨水廠的處理，因此民生與工業之可供水量可視為一體來考慮，將該年度之民生需水量以及工業需水量計算之後相加，即可得到民生與工業之可用水量。

當分析農業可供水量、民生及工業可供水量時，本研究將分別採用不同的指標求農業、民生、工業的最大可供水量，並將農業、民生、工業三者最大可供水量加總後，視為此水資源系統之環境承载力，進而藉由總量管制的精神來達到永續發展的目的。在農業用水方面將利用前述農業可供水指標(Agriculture Supply Index, ASI)來計算，民生、工業用水方面則採取缺水指數(Shortage Index, SI)來分析。上述推估水資源系統之環境承载力(總可供水量)，所應用之相關永續與缺水指標之推估方法於下節說明之。

6.2 水資源永續指標與評估模式

本研究透過系統動力模式，可以分析不同情形下水資源系統所反應出來之結果，而在水資源永續性方面之探討，主要的研究方法先定出水資源系統之供水規劃準則，利用水資源系統動力模式模擬當年缺水指數(Shortage Index)等於1之情形下，水資源系統之最大可供水量，此量定義為環境承载力，之後再根據整個水資源系統之需水量與環境承载力，定出一水資源永續指標，藉由此永續指標之變化，分析流域水資源之永續性。

一、缺水指數

水資源系統之供水規劃準則若採取非常嚴苛之條件，會使得可供水量非常低，並不符合經濟效益原則，發生缺水情形是普遍存在的，需要關心的是缺水情形是否在可容忍之合理範圍內，例如將供水規劃準則訂為完全不發生缺水，也就是在真實情況下每一個時間點水量都能滿足計畫供水，這樣是不合理的，因為有可能在某一個時間點上其實水源是不足以符合計畫供水，但是由於其供水規劃準則訂作過於嚴格，導致需要修改計畫供水，調低計畫供水之值，而使得可供水量之值過於偏低，本研究在公共用水上依據過去規劃慣例，先使用年缺水指數作為供水準則。

缺水指數定義如下

$$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i}{S_i} \right)^2$$

其中 SI 為缺水指數(shortage index)，N 為模擬總年數， D_i 與 S_i 分別為年缺水量與年計畫供水量。

缺水指數主要是在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)的平方來呈現年缺水之程度，再將年缺水率平方，主要的目的是要將不同年間之缺水狀況平均化，對於較嚴重之乾旱狀況給予較高的權重；而國內的研究報告常以缺水指數(SI)=1 之狀況下作為供水規劃準則(平均每年缺水 10%)，例如經濟部水資源局(1998)委託中興工程顧問股份有限公司所作之「台灣地區南部區域水資源綜合發展計畫專題報告[四]地表水資源運用現況及其供水潛能」即採用 ARSP 年缺水指數(SI)等於 1 作為其供水規劃準則；因此本研究將以缺水指數(SI)=1 之情形下，推估水資源系統整體之可供水量，也就是此水資源系統之環境承载力。

二、水資源永續發展指標

利用最大可供水量來探討水資源使用之情況，若當總需水量小於環境承载力，表示目前水資源使用情形是符合永續發展，一旦總需水量大於環境承载力時，便可能要針對目前用水情形作一些消減計畫，降低需水量，抑或是透過一些方式來提高環境承载力，例如：改善售水率、提高淨水場之設備設計容量。而水資源使用不符合永續性發展，可藉由永續發展指標來幫助了解目前水資源具不具有永續性；首先先將指標無因次化，使其值介於 0 至 1 之間。當總需水量小於環境承载力時，其指標定為 1，表示此水資源使用是符合永續發展的，而總需水量大於環境承载力時，指標值便會從 1 遞減為 0，離永續性越遠，一旦超過臨界值，指標值永遠為零，。而永續發展指標等於 1 時，代表的是水資源使用情形具有永續性，但不是代表永遠不缺水，在定出供水規劃準則時，是以年缺水指數(SI)等於 1，來求得環境承载力，年缺水指數(SI)等於 1 其中即隱含了 1 百年之下平均每年缺水 10%，並非指標值等於 1 時，水資源系統會永遠不缺水。而永續發展指標的訂定方式如下：

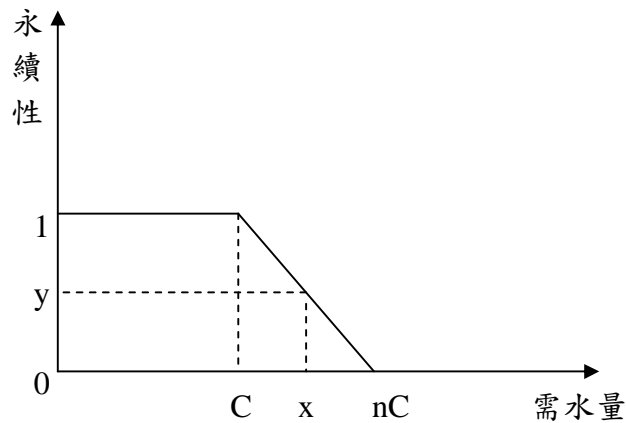


圖 6.2.1 永續發展指標

其中 C 表示環境承载力， n 為一數值，主要目的是要定出當需水量超過環境承载力多少百分比後，整個水資源系統是完全不具有永續性，而當需水量介於在 C 及 n 倍 C 之間其永續發展指標會從 1 減至零， x 即表示需水量，介於在這之間時所對應的指標值 y ，其 y 值求法如下：

$$\begin{aligned} \frac{0-1}{nC-C} &= \frac{0-y}{nC-x} \\ \Rightarrow y &= \frac{1}{nC-C} \times (nC-x) \\ \Rightarrow y &= \frac{1}{(n-1)} \times \left(n - \frac{x}{C} \right) \end{aligned}$$

故整個永續發展指標數值方程式如下：

$$SDI = \begin{cases} 1 & \text{if } x \leq C \\ \text{Max} \left[0, y = \frac{1}{(n-1)} \times \left(n - \frac{x}{C} \right) \right] & \text{if } x > C \end{cases}$$

6.3 永續性評估

近年來氣候變遷導致大氣與水文特性改變，對於台灣部分地區可能造成雨量或是強度增加，使河川流量產生一定之變化，且對供水系統之穩定度將因之而有所影響，亦可能導致極端值的發生的頻率或是極端值的大小產生改變，而造成水資源可供水量之衝擊，甚至影響水資源永續性。因此本研究分析未來可能的氣候變遷的情境，探討對水資源系統之供水系統之

影響，以提供管理者因應在氣候變遷下，極端事件的發生與對水資源可供水量（水資源系統環境承载力）的衝擊，可提早進行規劃與預防措施。

一、氣候變遷之預設情境

氣候變遷衝擊評估之研究最重要為未來氣候預設情境之設立，透過大氣環流模式預測方能真正以物理性評估大氣溫室氣體增加導致全球暖化的特性。在衝擊影響評估的應用上，採以大氣環流模式預測改變量修正氣象合成模式參數，再合成資料的方式來產生衝擊評估模式所需輸入之氣象資料，最後由評估模式分析獲得衝擊影響。研究流程如圖 6.3.1 所示。利用預設之氣候變遷情境所產生之氣象模擬資料，產生 100 年的資料，透過 GWLF 模式，模擬產生研究區域之上游河川流量預測資料。

二、未來用水趨勢

在需水量部分，以 2025 年作為代表，根據相關之預測成長趨勢及評估模式，模擬研究區域之民生、工業，其中民生、工業用水之成長趨勢係依據綱領計畫預測值，計算在 2025 年民生、工業需水量；農業用水部分，依據政府農業用水政策，未來之農業用水量將以維持現況用水量為原則，故本研究以現有之農業用水保留量視為各用水區未來之農業用水。

本研究利用預設之氣候變遷情境所產生之氣象模擬資料，透過 GWLF 模式，模擬水資源系統動力模式所需之上游河川流量資料，接著採用上述之需水情勢資料，開始進行模擬在氣候變遷之下水資源系統永續狀態之變化。

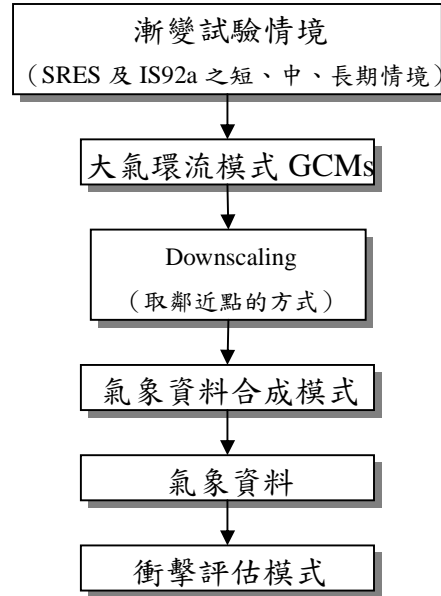


圖 6.3.1 氣候變遷影響評估流程

三、氣候變遷案例說明

本研究以淡水河流域水資源系統為案例，說明氣候變遷對水資源承载力之影響。其水資源系統之說明，可參閱陳思瑋之論文（2005）。此案例分析的氣候變遷預設情境採用 IPCC 提供之 SRES 及 IS92a 輸出資料，並分別就短期作探討，其中 SRES 預設情境包含 A2 及 B2 兩種排放情境，以及 IS92a 預設情境包含 GG_A1 (Greenhouse Gas 1% pa_ Ensemble Member 1 Available period 1% per annum forcing GHG only) 及 GS_A1 (Greenhouse Gas and Sulphate Aerosol 1% pa_ Ensemble Member 1 Available period 1% per annum forcing GHG and Sulphates) 兩種排放情境，下表 6.3.1、表 6.3.2、表 6.3.3、表 6.3.4 所示，為此四種之氣候變遷預設情境之下模擬結果，台北、板新與石門地區最大可供水量。

本研究採用先調動屬於較上游取水的石門地區需水量，之後再調動板新地區之計畫需水量。另外農業需水量會受到氣候變遷及政府政策之影響，政府政策方面，根據加入 WTO 之農地資源調整因應措施，會釋出部分農地面積，因此未來的農業需水量會隨著氣候變遷及政府政策而產生很大之變化，故在農業年灌溉最大可供水量方面，由於未來農業需水量之值並無法很確定，無一比較基準，本研究將不分析在氣候變遷下農業年灌溉最大可供水量，主要是針對公共用水之最大可供水量作探討。

表 6.3.1 SRES 情境資料之 A2 情節分析結果

A2 情節	臺北區			板新區			石門區		
	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI
CGCM2	3378712	↑	1.00	1322000	↑	1.00	1348274	↑	1.00
HADCM3	3374767	↑	1.00	1331962	↑	1.00	1348274	↑	1.00
CSIRO-Mk2	3267260	↓	1.00	1188751	↓	1.00	1234849	↓	1.00
CCSR	3317562	↓	1.00	1288860	↓	1.00	1324603	↑	1.00
R30	3353068	↑	1.00	1302964	↑	1.00	1322630	↑	1.00
ECHAM4	3215973	↓	1.00	1143677	↓	1.00	1140164	↓	1.00

表 6.3.2 SRES 情境資料之 B2 情節分析結果

B2 情節	臺北區			板新區			石門區		
	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI
CGCM2	3293890	↓	1.00	1253847	↓	1.00	1305863	↓	1.00
HADCM3	3297836	↓	1.00	1215775	↓	1.00	1286137	↓	1.00
CSIRO-Mk2	3263315	↓	1.00	1178690	↓	1.00	1206247	↓	1.00
CCSR	3350110	↑	1.00	1304937	↑	1.00	1326575	↑	1.00
R30	3229781	↓	1.00	1176718	↓	1.00	1290082	↓	1.00
ECHAM4	3286986	↓	1.00	1256904	↓	1.00	1298959	↓	1.00

表 6.3.3 IS92a 情境資料之 GG_A1 情節分析結果

GG_A1 情節	臺北區			板新區			石門區		
	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI	環境承載力 (CMD)	變化 情形	SDI
CGCM2	3340247	↑	1.00	1281858	↓	1.00	1056329	↓	0.04
HADCM3	3328411	↑	1.00	1287874	↓	1.00	1294027	↓	1.00
CSIRO-Mk2	3206110	↓	1.00	1173759	↓	1.00	1111562	↓	0.08
CCSR	3339260	↑	1.00	1293890	↑	1.00	1299945	↓	1.00
R30	3291918	↓	1.00	1208773	↓	1.00	1273315	↓	1.00
ECHAM4	3295863	↓	1.00	1253847	↓	1.00	1296986	↓	1.00

表 6.3.4 IS92a 情境資料之 GS_A1 情節分析結果

GS_A1 情節	臺北區			板新區			石門區		
	環境承载力 (CMD)	變化 情形	SDI	環境承载力 (CMD)	變化 情形	SDI	環境承载力 (CMD)	變化 情形	SDI
CGCM2	3281068	↓	1.00	1273868	↓	1.00	1311781	↓	1.00
HADCM3	3389562	↑	1.00	1349025	↑	1.00	1352219	↑	1.00
CSIRO-Mk2	3206110	↓	1.00	1178690	↓	1.00	1162849	↓	1.00
CCSR	3344192	↓	1.00	1289945	↓	1.00	1302904	↓	1.00
R30	3160740	↓	1.00	1170701	↓	1.00	1039562	↓	0.02
ECHAM4	3368849	↑	1.00	1318942	↑	1.00	1367014	↑	1.00

根據各氣候變遷預設情境下所模擬的結果大部分永續發展指標都等於 1，只有少部分的值是低於 1 的，而且都發生在石門地區，石門地區在無氣候變遷影響下其需水量已接近環境承载力，若再加上某幾個氣候變遷預設境情其變化情形較大時的影響，使得 SDI 不再是 1，需水量會超過環境承载力；在板新用水區由於有台北用水區的支援，故整個板新地區的用水不論是在未來亦或是在氣候變遷影響下仍舊是符合水資源利用的永續性，但前提是要台北用水區確實能依照政策上所實行的支援板新用水，否則板新地區的缺水情況依然是很嚴重。而台北地區由於供水能力上升、售水率改善，整體的水資源供水能力大於需求量，所以要如何調配支援鄰近用水區值得後續研究。至於各用水區的環境承载力分別有提高或降低，整體而言是以下降的居多，主要受到河川流量受到氣候變遷的影響下而有所變化，因氣候變遷所增加之河川流量並無法有效加以利用，而在缺水時，其缺水程度又更加嚴重，才會使得整體的環境承载力是呈下降的情況。

最後本研究探討了在氣候變遷下水資源永續性變化的情形，其結果是大部分的情境下是符合水資源利用的永續性，但並不代表以目前水資源系統在氣候變遷下是完全不缺水的，除了不斷地提到在求環境承载力時其中隱含了平均每年缺水 10%，永續發展指標等於 1 並非完全不缺水之外，另外本研究也假設水資源系統未來是能完全照著政策執行，例如台北用水區的售水率改善及支援板新用水區等，是在上述的前提假設下分析大漢溪-新店溪水資源系統受氣候變遷影響的結果，這樣的結果是符合永續性的，但若是未來水資源政策有所改變，依舊可以利用系統動力模式的優點-易修改模式，探討在不同政策情況下，水資源系統永續性變化的情形。

四、水資源政策對永續性之影響

「台灣地區水資源開發綱領計畫」乃由經濟部水資源局依據行政院環保署於民國 89 年 12 月 20 日 (89) 環署綜字第 0070499 號公告「政府政策環境影響評估作業辦法」第三條之規定應辦理政策環境影響評估作業所擬定之水資源開發之政策評估說明書。其政策評估說明書內主要以總量管制為前提，以「積極推動節約用水」、「加強水資源運用改善水資源利用效率」及「適度開發水源」作為台灣地區至民國 110 年水資源開發之策略，擬定各項因應未來水資源供需平衡及永續發展之開發計畫，再依據環保署於民國 90 年 1 月 15 日修正之「政府政策環境影響評估作業規範」之評估項目來說明水資源開發計畫之適用情形。

然而，根據「台灣地區水資源開發綱領計畫」評估說明書中，各項水資源開發計畫之評估過程，雖依照「政府政策環境影響評估作業規範」中之評定項目進行評估，卻僅以條列式的說明其開發對環境所可能造成的影響，其中並無具體之分析方法及評定標準，評估過程亦無考慮各開發類型對環境所造成的累積性影響，而水資源開發綱領的評估結論為：以推動節約用水策略、水庫加高及越域引水為優先，讓我們不禁懷疑，其評估說明之作用僅在於為政策背書，並未以客觀公正的態度及科學的方式來評定水資源開發對環境影響之問題。

如何對開發案進行完整的評估作業，讓其環境影響評估制度非僅是流於形式，而是實際將總量管制之精神落實在每個開發計畫中，做出正確之決策，並以嚴謹的態度來建立一套完整的評估作業流程，而這套評估流程非僅針對計畫環評，亦等同應用於政府政策面之環境影響評估，其為一上下相互連結之環境管理系統之綜合架構，由高位階的政策環評進行水資源系統之模擬及最大可供水量之分析（即環境承载力分析），以總量管制之手段進行水量之最佳分配，有效管理台灣地區之水資源系統，達到永續發展之目標。

6.4 水量總量管制策略

依據上述各項指標，可利用不同之農業可供水指標(ASI)下，求出工業與民生之可供水量(當缺水指數 SI=1 時)之各種可能組合，將每一種組合之農業可供水量及工業、民生可供水量相加，最大值即為此水資源系統之環境承载力，也就是水資源總供給量。

在總量管制策略方面，評估出農業可供水量之承载力後，再將此可供水量結合灌溉率，進而推估出可灌溉之農田面積，此總共可灌溉農田面積即是農業用水總量管制的手段。

- 一、當此可灌溉農田面積大於現況耕種面積，表示現況是不會超過環境承载力的，在未來的發展計畫中，可以容許更多之農田耕種面積，前提是要符合環境承载力之下所作的開發。
- 二、若推估之可灌溉農田面積小於現況耕種，則必須作消滅計畫，也就是減少農田耕種面積，進而達到總量管制之目的。從另一方面來看，灌溉率(RA)的倒數乘以期距(T)即為農業灌溉用水之單位面積負荷(μA)，當總農業用水超過其可供水量，則可採取兩項主要措施，一為減少農業灌溉面積，一為改善灌溉率。

$$m_A \left(\frac{m^3}{area} \right) = S_A (m^3) / Area = \frac{1}{R_A} \left(\frac{area}{m^3/s} \right) \times T(s)$$

於工業用水方面，依據不同之工業類別，其單位面積工業用水量則不同，因此先計算出研究區域內所有工業總需水量；另外透過水資源總供給量可知此區域工業方面之可供水量，將可供水量扣除目前工業總需水量後，此水量便是往後可允許開發之水量，未來一旦有新的開發案要加入，必須先了解開發案的工業類別，進而得到其單位面積需水量，再將可允許開發之水量結合單位面積需水量，求出可允許開發之工業面積。

- 一、當可供水量大於工業總需水量時，表示現況發展尚未超出環境承载力，因此允許增加未來工業需水量增加。
- 二、反之，若可供水量小於目前工業總需水量，則未來加入新的開發

案時，必須作一些消減計畫，達到總量管制之目的。另可從分配角度進行區域發展規劃，即以不同產業單位面積用水負荷（ $\mu_{i,k}$ ）為決策變數，以工業可用水量（ S_I ）為限制條件，再以經濟發展與社會公平為目標進行規劃，以達到工業區產業與單位用水負荷規劃，並據以維持工業供水總量管制目標。

$$S_I = \sum_{k=1}^{n_k} (m_{I,k} \times A_k)$$

其中 S_I 為分配給工業之可供水量； $m_{I,k}$ 為產業別 k 之單位面積用水量； A_k 為產業別 k 之規劃面積。

民生用水方面，分配民生可供水量後，另外再結合每人每日用水量，可求出單位面積下可供水人口數，並與現況單位面積人口數比較，探討在目前之情況下，甚至可針對未來人口成長，評估其是否符合永續發展。同樣以分配角度來看，生活用水單位面積負荷（ m_D ）如下式等於人口密度（ r ）乘上每人每日用水量（ v ），當區域規劃決定住商土地利用面積，配合可供水量，則人口密度與每人每日需水量為可優選之決策變數。

$$m_D \left(\frac{m^3}{Area} \right) = r \left(\frac{Capita}{Area} \right) \times v \left(\frac{m^3}{Capita} \right)$$

在水量方面，除了對各標的用水作一總量管制之外，總量調配也是未來本研究管理重點，水量的調配指標的用水間的水量移轉，例如土地利用改變導致之用水特性改變，或直接將農業用水部分使用移轉給工業用水已提升經濟效益。由於各標的用水使用特性不同，再加上一流域內其各個土地利用情形不盡相同，可分開探討，但必須都以單位面積的方式來管制，不論是在農業、工業、民生方面。

利用單位面積方式，除了與水質管理方面結合，這也是未來環境管理的方式，一個新的開發案，其單位面積可供給水量及可排放污染量是固定的，將此開發案的總面積乘上單位面積可供給水量便是此開發案之可用水量，乘上單位面積可排放污染量便是總排放污染量，這樣的管理方式不但方便，並藉由環境承載力的評估，可針對現況及未來情形，作一環境上的管理，進而達到永續性發展。然此類問題尚必須透過經濟面、社會面等各方面來探討及優化，此部分將於第二年度評估之。

第七章 結論與建議

本研究主要是針對水資源面向，建立水資源環境管理架構，以永續發展為目標，總量管制為管理手段，並加以整合其政策環評、總量管制、承载力與累積性衝擊相互間之關係，建立承载力與累積性評估方法。將總量分配於單位面積土地上，以利於未來環境管理者管制水質與水量，避免超過環境承载力，而違反永續發展原則。研究中相關結論與建議如下描述之。

研究中彙整過去國內外相關總量管制評估方式以及相關評估模式，過去的總量管制之研究，多是只限於評估階段，尚未實際落實於水資源管理，其污染管制多是從現有污染消滅為主要管理方向，並為考量未來使用者的需求，甚至對於高污染區域，完全禁止新的開發案進入或是需達到零排放之要求，如此環境管理方式，並不符合永續性之世代公平性原則。且於國外之 TMDL 污染管制方式，雖考量點源與非點源污染之分配，並預留了未來使用者的排放量，但此保留的部分將造成資源不善用的情況。因此本研究是以建立單位面積負荷作為審查基準，且可藉由土地傳遞負荷已滿足後代之需求。

永續性水資源環境管理架構，是以流域為主要的系統管理單元，並以永續發展做為管理目標，滿足以環境承载力為限制條件之總量管制策略，進而依據總量管制所推估之單位面積負荷，視為環境管理或開發計畫環境影響評估之基準。環境開發案的影響評估報告書審查架構上，本研究建議可由環保署委託第三方諮詢顧問公司，協助環評委員事先審核各項開發案提供資料、的評估程序、與模式分析結果的正確性。最後，環境管理制度應建立持續監測環境品質之系統，以確保各項衝擊與污染不至超過環境承载力，造成環境品質下降。未來本研究將繼續發展建立決策支援系統，將水資源總量管制評估，所需之資料庫與相關模式加以整合，並建立一策略庫，做為環境管理者之參考，本研究已完成此部分之架構說明，將於後續研究建立完成此水資源決策資源系統。

研究中分別建立完成水體水質與水量總量管制方法，以及累積性衝擊與承载力評估流程。對於水污染總量管制方面，提出相關總量分配原則，並以頭前溪流流域特性之假設流域，考量公平性與最大總可排放量兩個目標下，最佳的總量分配。當提高公平性的權重，將使得集污區之間與土地利用之間的單位面積負荷差距明顯縮小。透過權重的調整，將影響單位面積負荷差異，但若過度的提高權重，將造成所有的單位面積負荷都相同，如

此無法表現出各集污區的各项條件與土地利用之差異。然如何建立工具以協助決策者分析權重之影響，將於後續建立決策支援系統工作上探討。

應用 QUALE 模式分析點源污染，在穩態下，且考量特定排放點污染排放對下游之影響，並結合優化模式建立單位面積負荷，作為點源污染管制基準時，在模擬分析前必須建立合理河川流量水平衡關係，且集污區污染產生量、流達率合理推估對模式驗證影響重大，與單位面積負荷評估有顯著影響，因此建議政府應建立大型計畫分析探討，建立資料收集之 QA 與 QC 之標準流程。應用 QUALE 模式分析點源污染總量管制策略之研究上，其他重要工作項目建議為

1. 在模擬分析前必須建立合理河川流量水平衡關係
2. 集污區污染產生量、流達率合理推估為模式驗證之重要關鍵
3. 水質測站位置與資料品質亦為模式驗證之重要關鍵以分
4. 合理參數優選

在總量管制上，點源污染由於污染排入量較穩定，其風險可由河川流量序率特性決定，但非點源污染之污染排入量與水文事件息息相關，亦具有相當不確定性。因此分析非點源污染，必須考量流量與污染排入量具序率特性，在水體標準與一定風險下決定總量。流域總量管制在考量非點源污染應先建立流域規劃，然後再考量點源與非點源污染負荷之分配問題，在處理上可分成三類，分別為 1) 點源污染固定，探討非點源污染之負荷分配，2) 非點源污染負荷固定，探討點源污染負荷之分配或污染排放削減策略，3) 優選點源與非點源污染負荷之分配策略等三類。

未來在流域總量管制中若要納入非點源污染之分配，則必須先完成之非點源污染資料收集、非點源污染模式發展、點源污染與非點源污染最佳化分配序率性數理規劃模式或模擬模式、不同污染源間之交易制度與最佳管理策略與效益評估方法建立等議題，以推得正確的污染總量，合理的分配點源污染與非點源污染。

在水資源供水總量管制方面，本研究藉由系統動力學將現實情況中水資源系統轉換成系統動力模式，並訂定公共用水及農業用水之供水規劃準則，利用年缺水指數、農業供水指標，找出最大可供水量即為環境承载力，進而藉由永續發展指標以瞭解各用水區之水資源利用情形。因系統動力模式中易修改模式的優點，未來評估任何一個水資源政策之衝擊影響，只需更改模式中的幾個原件，便可探討在不同政策下水資源永續性變化的情形

以確保環境資源的開發利用所帶來的累積衝擊，能在其環境可容受的範圍內進行，且能維護社會正義與世代公平原則，進而達到永續性之發展。

由於近年來氣候變遷導致大氣與水文特性改變，文中分析未來可能的氣候變遷的情境下，可能對水資源可供水量之衝擊與水資源供水系統永續性影響，以提供管理者因應在氣候變遷下，對水資源分配與管制可提早進行規劃與提出預防措施。本研究探討了在氣候變遷下水資源永續性變化的情形，其結果是大部分的情境下是符合水資源利用的永續性，但並不代表以目前水資源系統在氣候變遷下是完全不缺水的，除了不斷地提到在求環境承载力時其中隱含了平均每年缺水 10%，永續發展指標等於 1 並非完全不缺水之外，另外本研究也假設水資源系統未來是能完全照著政策執行，例如台北用水區的售水率改善及支援板新用水區等，是在上述的前提假設下分析大漢溪-新店溪水資源系統受氣候變遷影響的結果，這樣的結果是符合永續性的，但若是未來水資源政策有所改變，依舊可以利用系統動力模式的優點-易修改模式，探討在不同政策情況下，水資源系統永續性變化的情形。

延續第一年（93 年度）之研究成果，本研究計畫於 94 年度將進一步探討建置水量總量管制、承载力與累積性衝擊評估模式，並由水質總量管制落實於環保署，針對所遭遇的問題，進一步探討其解決的方法與策略，以利於後續環保署於進行環境管理與決策之參考。根據本計畫之研究內容規劃，未來之研究重點相繼完成後應可預期下列成果：

1. 水資源供需承载力模式與累積性影響評估原則與技術之建立；
2. 建立水質與水量總量分配原則與總量管制策略；
3. 建立政策環評與計畫環評之相關性架構與其銜接可能遭遇的問題；
4. 建立水量計畫環評之評估流程與審核基準；
5. 建立水資源總量管制最佳化模式，並進一步修正水質總量管制的最佳化模式
6. 針對現有污染排放量大於總量建立削減策略
7. 整合水質與水量政策環評、承载力、累積性衝擊與總量管制等相關問題
8. 探討模式不確定性對水質環境承载力之影響

參考文獻

1. 行政院環保署，「政府政策影響評估作業辦法」，2000。
2. 行政院環保署，「政府政策影響評估作業規範」，2002。
3. 經濟部水利署，「台灣地區水資源開發剛領計畫政策評估說明書」，2000。
4. 陳思璋，「淡水河水資源永續性評估暨管理之研究」，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文，2005。
5. 謝毓玲，在總量管制下工業區污水處理廠之擴充策略，逢甲大學環境工程與科學學系碩士論文，2001。
6. 高正忠，多目標總量管制分析，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，1993。
7. 陳奎麟，河川流域水質管理之研究:總量管制管理系統之發展與建立，國立中央大學環境工程學系碩士論文，1996。
8. 陳永森與陳章波，「臺灣水資源環境空間永續利用」
<http://news.ngo.org.tw/issue/sustain/sustain-00112301.htm>
9. 黃建智，流域集水區非點源污染模式之研究，國立成功大學環境工程學系碩士論文，2002。
10. Sobel, M. J. (1965). Water quality improvement programming problems. *Water Resources Research* 1(4), 477-487.
11. Bayer, M. B., 1977. A modeling method for evaluating water quality policies in nonserial river streams. *Water Resources Bulletin*, 13(6): 1141-1151.
12. Lohani, B. N. and P. Adulbhan, 1979. A multi-objective model for regional water quality management. *Water Resources Bulletin*, 15(4):1028-1038.
13. ReVelle, C. S., Loucks, D. P. and Lynn, W. R. 1968 Linear programming applied to water quality management. *Water Resource Research* 4(1),1-9
14. Graves, G. W., Hatfield, G. B. and Whinston, A. B. (1972). Mathematical programming for regional water quality management. *WRR* 8(2) ,273-290
15. Graves, G. W., Hatfield, G. B. and Whinston, A. B. (1972). Mathematical programming for regional water quality management. *WRR* 8(2) ,273-290
16. Brill, E.D., Liebman, J.C., Reville, C.S., 1976 Equity Measure for Exploring Water Quality Management Alternative, *WRR* 12(5), 845-850.
17. Chadderton R.A. and Kropp I.S. (1985) An evaluation of eight wasteload allocation methods. *J. Wat. Resour. Bull.* 23, 833-839

18. Churchill, M.A., H.L. Elmore, and R. A. Buckingham, The prediction of stream reaeration rates, J. Sanit. En. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 88(SA4), 1-46, 1962
19. Monarchi, D.E. , Kisiel, C. C. and Duckstein, L.(1973). Interactive multiobjective programming in water resources: a case stud. WRR 9(4), 835-850
20. Kao, J.-J. and Tsai, C.-H. 1997. Multiobjective TP Load Reduction Analysis for an Off-Stream Reservoir. ASCE Joarnal of Water Resources Planning and Management, Vol. 123, No. 4, pp. 208-215.
21. Bayou Courtableau TMDL For Salinity/Total Dissolved Solids Subsegment 060204 ,US EPA Region 6, May 3, 2001.
22. Protocol for Developing Nutrient TMDLs,US EPA EPA 841-B-99-007, November 1999.
23. United States Environmental Protection Agency, Protocol for Developing Nutrient TMDLs, 1999.

附錄一 美國相關 TMDL 研究案例說明

附錄一提供三個點源與非點源總量分配之說明，分別為美國 Bayou Courtableau 流域針對總溶解固體的 TMDL 的評估(US EPA Region 6,2001) 與湖泊的總磷 TMDL 的分配 (US EPA 841-B-99-007, 1999) 為範例說明，其在總量管制上 TMDL 的污染分配情形。第三個案例是評估河川營養鹽之 TMDL。

美國環保署在建構 TMDL 時，其主要要素可分為下列三個步驟，分別為選擇指標與目標、監控目標來源分析、來源、水質以及目標物管制與分配。TMDL 的計畫報告書，必須要包含對於可用水體水質標準的描述，例如水體的設計用途、對於可用水體之量化或質化評定標準、以及防止水體持續惡化之政策。所謂的 numeric water quality target 是指量化的數值可以用來量測目前的水體是否達到了可用水體水質的標準。因此 numeric water quality target 及代表整個 TMDL 必須努力的目標。指標選擇則是依據各地區之特性不同，所選擇之指標亦不同，如部分湖泊的評估則是以葉綠素濃度為指標，而有些湖泊則是以總磷為指標，評估 TMDL 之前必須確定欲達成之目標，方可進行後續的改善措施。在分析目標來源時，有幾項重要的因素需要被考慮。包括，定義來源的種類（例如：非點源、點源、背景、大氣等），這些來源的相關位置與排放量、重要的傳輸系統（例如：地表逕流、滲透）以及排放時間尺度的考量。

TMDL 的計畫報告必須要描述一個水體對於某種特殊污染物的的涵容量。也就是所謂的水體負載能力，根據美國環保署的定義，涵容能力是代表一個水體可以接收某一種污染物的最大排入量，且此排入量並不會影響到水體原本的水質狀態。因此 TMDL 的計畫書必須要描述，用來建立量化水質目標以及特定污染物來源之相關效應的分析方法及其基本概念。

根據美國環保署所提供的準則與法規，TMDL 的計畫必須包含點源污染物分配的計畫 (wasteload allocations, WLAs)，用來確認現存的與未來將增加的點源污染，與尚有多少比例的涵容容量可以分配。如果州政府決定，只將涵容容量分配給非點源污染仍然可以達到水質標準的話，在考量了所有的污染源之後，TMDL 也可以將 WLA 建議為零。除此之外，TMDL 也必須包含非點源負載物分配的計畫 (load allocations, LAs) 與 WLA 相對的，LA 是用來確認現存的與未來將增加的非點源污染以及環境背景值當中，尚有多少比例的涵容容量可以分配。同樣的如果州政府決定，只

將涵容容量分配給點源污染仍然可以達到水質標準的話，在考量了所有的污染源之後，TMDL 也可以將 LA 建議為零。除了上述兩點之外，TMDL 還必須包含承擔風險的機制，TMDL 必須提供數值上的「緩衝區間」，以防止一些不可知的因素造成的水質惡化。

一個完整的 TMDL 的計畫報告，必須要包含對於當地點源污染、非點源污染、自然背景值的相關描述。同時 TMDL 的計畫報告對於的區域狀況也必須給予合理的說明，例如：1.集水區內土地利用分佈的情形、2.人口特性，野生動物資源以及其他會造成污染之因子的分佈狀況、3.過去以及未來可能的發展趨勢、4.最後 TMDL 也必須針對其所規劃的替代方案提出解釋與分析說明。TMDL 建議書中必須描述可行性的定性水質標準，包括指定用水還有可行性的定量或敘述性的水質標準與不使其水質下降的污染控制政策。發展總量管制所需要的資料包括：

- ⊙ 水質測量。(例如：營養鹽、藻類、溶氧)
- ⊙ 河川水量和斷面形狀。
- ⊙ 集水區範圍。
- ⊙ 河川流量。
- ⊙ 鄰近地區排入水量。
- ⊙ 生物資訊。(例如：魚類、無脊椎動物、水生植物)
- ⊙ 集水區內土地利用情況。
- ⊙ 溫度和降雨的資料。
- ⊙ 土壤和地質的資料。
- ⊙ 地理資料。

美國環境保護署規定 TMDL 需要包含現存與未來可能的非點源污染以及自然背景值的污染承載分配。並且規定只要在自然背景值與非點源污染值可以被分離出來的地方，就必須採取分配承載管制。如果該地區沒有非點源污染來源或沒有自然背景值甚至承載分配等於 0，則必須提出合理的解釋。如果該地區的分配承載為 0，那點源污染管制就以該地區所量測的可用水水質為標準。

案例一

在 Bayou Courtableau 流域其水質為了能達到接觸性娛樂與魚類及野

生生物能夠生存的標的，其公告之 total dissolved solid (TDS) 的水質濃度必須維持在 220mg/l，其點源污染的來源如下表，表中列出共有五個污水處理廠之名稱、編號及其污水處理廠的設計流量最後一欄 (wasteload allocation) 為該污水處理廠在 TMDL 中所分配到之負荷量。而非點源污染來源主要為農業與上游森林污染量伴隨著逕流對水體水質之衝擊，其中亦包含污水處理廠的水管腐壞而滲流出的污染量，以及郊區與鄉村住宅無污水處理廠處理過的污染物經由逕流留入水體中。其 TMDL 的計算主要依據流量與濃度計算，下列方程式便是用以計算 TDS 負載之公式。

$$\text{Load} = C \text{ mg/l} \times Q \text{ cfs} \times 5.39 \text{ lb/day or } C \text{ mg/l} \times Q \text{ cfs} \times 8.34 \text{ lb/day}$$

現有的污染負荷推估：河川流量記錄資料統計 45 年平均流量為 1114cfs，由 12 次的河川鹽度水質調查得知該河川 TDS 之平均濃度為 334.22mg/l。因此現有污染負荷為

$$\text{Current Load} = 334.22 \times 1114 \times 5.39 = 2006810.62 \text{ lb/day}$$

TMDL 負荷推估：TMDL 的計算是必須符合公告水質標準下，允許排放之最大污染量，因此 TMDL 的推估是利用公告 TDS 濃度 220mg/l 來計算，在平均的河川流量下，允許之最大負荷為

$$\text{TMDL} = 220 \times 1114 \times 5.39 = 1320981.20 \text{ lb/day}$$

削減量：當現有的污染量超過 TMDL 的負荷量便需要削減，其削減量如下

$$\text{Reduction} = 2006810.62 - 1320981.20 = 685829.42$$

$$\text{Reduction rate} = 685829.42 / 2006810.62 \times 100\% = 34\%$$

點源污染之分配負荷量：點源污染主要來源是污水處理廠的污染量，在此推估 TDS 在點源污染分配到的負荷量則是以污水處理廠之設計容量為依據，五個污水處理廠的設計流量總和為 0.072425MGD (可見表 1) 其排放的 TDS 污染量必須符合公告的 220mg/l 的濃度，因此其分配到的污染量便是

$$\text{WLA} = 220 \times 0.072425 \times 8.34 = 132.89 \text{ lb/day}$$

非點源污染的分配量：在此非點源污染並無相關規定與公告必須在何種流量下的負荷，在此亦是以河川平均流量為依據，TMDL 扣除點源污染分配到的負荷量，便是分配給非點源的污染量。

$$LA = 1320981.20 - 132.89 = 1320848.30 \text{ lb/day}$$

保留（安全）分配量（MOS）：在 U.S.EPA 中對此項分配量的估算採取兩種表示方式一為暗示性（implicit）一為明確式（explicit）。在此報告中式採用暗示性，並無明確的數字推算。在此因為下列理由已經在推估過程中高估污染負荷量，這部分高估的量即可視為 MOS，作為模式不確定性或資料不確定性的安全保留量。

- 利用平均流量計算目前的負荷以獲得削減量
- 將 TDS 視為不會退化的物質
- 將全流域的 TDS 水質標準皆是以 220mg/l 為標準，而不是採用單一點的水質標準符合即可，並無因不同季節而水質標準而有所不同。
- 點源污染的負荷是以設計流量為依據，並不是以平均流量，如此便是高估現有的污染負荷。

若為明確式的 MOS 推估大多都是以推估的點源負荷分配量的 10% 與非點源負荷分配量的 20%，兩者累加視為 MOS。因為在 Bayou Courtableau 流域中對 TDS 的水質要求是一到十二月都相同是 220mg/l，故在此對 TDS 並無計算季節性不同的 TMDL。

案例二

美國環保署評估湖泊總磷之 TMDL，其分析在保護湖泊的可用性下，其總磷之 TMDL 的量為 250000kg/yr(685 kg/day)。推估目前湖泊中磷的負荷是 300000kg/yr，其中來自農業的非點源污染是 200000kg/yr（在可能最糟情況下的非點源污染量），其中 100000kg/day 是來自兩個點源污染（兩家污水處理廠分別為 75000kg/yr 與 25000kg/yr）。因為現有污染源超過 TMDL 之負

荷，所以必須進行削減之工作。在此 TMDL 中的 MOS (margin of safety) 是以總量的 10% 推估而得，作為分析過程中部確定性可能造成的誤差項。所以 MOS 分配到的量為 25000kg/yr。由分析的結果中得知針對現有的農業非點源污染採用 BMP 法，將可使磷的污染負荷消減 33%。因此對於非點源污染的 LA (load allocation) 則是 $200000 \times (1-0.33) = 134000 \text{Kg/yr}$ 。而點源污染若要符合 TMDL 之分配，其 WLA (wasteload allocation) 可由下式獲得

$$WLA = TMDL - LA_s - MOS = 250000 - 134000 - 25000 = 91000 \text{ kg/yr.}$$

因此點源污染排放之總磷的量不可超過上述 91000kg/yr，依據現有之污染排放量等比例方式消減，兩個污水處理廠所需分配的污染負荷量 (WLA) 亦是以等比例的方式推估分別為

$$\text{污水處理廠一：} 75\% \times 91000 = 68250 \text{ kg/yr}$$

$$\text{污水處理廠二：} 25\% \times 91000 = 22750 \text{ kg/yr}$$

因此現有的非點源污染量必須消減 66000kg/ yr，兩個點源污染源則分別必須必須消減 6750kg/ yr 與 2250kg/yr。

美國環保署的 TMDL 中第三個部分 (MOS) 相當於是預留一個安全範圍，若是點源或非點源污染量因特殊狀況而超過原分配的允許排放量，至少第三個部分的分配量是尚未使用到的排放量，所以對於第一與第二部分的排放量超過，並不會造成河川的嚴重污染，河川的污染量是在可控制範圍。但此項總量管制的規劃，雖預留了未來使用者的排放量，但此保留的部分將造成資源不善用的情況，不符合永續發展之精神，因此，此分配法的保留項必須進一步探討。

案例三

下面則是以位於 Laguna de Santa Rosa 之河川為案例說明，美國營養鹽 TMDL 之評估評估方式，其 TMDL 報告書必須含有下列十項項目。

Basic data

水體：河川

污染物：營養鹽

設計用途：多種

水體大小：約 12 英里

集水區面積：255 平方英里

水質標準：非離子化氮濃度：0.025mg-N/L、溶氧量：7.0mg/L

指標：同上

分析方法：Load-response relationship

Introduction

Laguna de Santa Rosa 的總量管制計畫（TMDL）是由多個階段式計畫所組成的。首先進行估計需要削減的污染總量，接下來以實際的行動進行污染量的消滅並進行污染物的控制，最後建立水質監測系統用以評估計畫執行的效率。

Problem identification

Laguna de Santa Rosa 是 Russian River 的一條支流，由於有過多的營養鹽排放入 Laguna de Santa Rosa 之中，造成其氮化物含量過高，而溶氧量過低。這兩個水質指標在 Laguna de Santa Rosa 中都超過的美國環保署所公布的標準。

Description of the applicable water quality standards and numeric water quality target

根據美國環保署所訂定的標準，非離子化氮濃度為 0.025mg-N/L 是所有與「氮」有關之水質指標的目標值。而，此一水質指標又會受到溫度與 pH 值的影響，在 Laguna 地區溫度與 pH 值對於氮化物所造成的毒素都處在最差的狀態之下。因此水質改善的首要目標便是希望能將水質降到標準值之內。

Source Assessment

在 Laguna 地區，藻類的活動一項相當頻繁，而藻類的生長需要兩種營養鹽的供應：氮和磷。這個問題在 1995 年之後受到重視，研究者懷疑在這個集水區之中，是否由不正常營養鹽排放問題存在。因此美國政府在 89~93 年進行了一個兩階段的計畫，用來評估並分析這個集水區之中營養鹽的來源何在？

第一階段的計畫（1989~1991）由北部海洋地區水質控制理事會 North Coast Regional Water Quality Control Board (NCRWQCB) 負責執行。其研究的成果為：都市逕流、動物的排泄物、Santa Rosa 在郊區的開墾計畫所造成的廢水，是當地氮氮污染物的主要來源。第二階段的計畫（1991~1993）則由 Santa Rosa 負責。研究人員針對不同來源的氮氮負載量以及有機值含量進行估計。這些來源包含污水系統、開放空間、農業操作、都市逕流、以及郊區開墾所造成的廢水。

Loading capacity — Linking water quality and pollutant sources

在 Laguna 地區，氮化物的濃度過高是因為不同的氮營養鹽來源所造成的。因此 NCRWQCB 將其焦點放在控制 Laguna 地區氮營養鹽的供給，作為控制氮化和物的主要方式。當氮營養鹽的供給被控制之後，水體中藻類的生長就會被限制住，因此水中的溶氧量便會提高同時也降低了氮化合物的濃度。

NCRWQCB 研究人員將 Laguna 地區分成了 4 個區域，並在每一個區域的最下游建立了測量點，進行氮、氮濃度與流量的量測。總氮與總氮的濃度集中指標與季節性的河川流量資訊將被整合在一起。這兩種資訊可以提供每一個區域在該季節內，尚有多少負載量可以排放入河川之中。

Allocations

在 Laguna 地區，TMDL 建議了多種不同的分配情境，每一種情境都能夠滿足，4 個區域季節性的涵容能力標準。這些用來削減負載的分配情境主要是用來：

- | 滿足水質標準
- | 盡可能的描述Laguna地區的流量以及污染物負載的動態特性
- | 提供一個合理的時間表，讓相關人員可以針對負載削減進行調整
- | 提供一個合理並且是可以達成的負載削減目標
要達成這樣的目標必須透過以下幾點方法來進行：
 - | 含有營養鹽的非點源污水削減計畫
 - | 都市逕流負載削減計畫
 - | Santa Rosa地區廢水處理廠升級計畫
 - | 污水處理系統升級計畫

Monitoring Plan

在完成的上述階段性的任務之後，TMDL 還必須建立一個監測計畫。因此 NCRWQCB 在 Laguna 地區的 4 個區域控制點，都進行季節性的水質監測。這樣的監測可以提供在 Laguna 地區現行的水質狀況，並且為將來的 TMDL 計畫提供善的方向。

研究者建立的一個水質改善的時間表希望每一個階段的水質都能夠逐漸達到美國環保署所訂定的標準：

1. 到了1996年六月，至少必須達到美國環保署標準的60%
2. 到了1998年六月，至少必須達到美國環保署標準的70%
3. 到了2000年六月，至少必須達到美國環保署標準的80%

Implementation Plans

Waste Reduction Strategy for the Laguna de Santa Rosa 包含了所有有關 Laguna 地區 TMDL 的一些實行措施，諸如：

- | 針對鄰近地區的動物排泄物進行削減的計畫
- | 暴雨逕流研究計畫
- | NPDES 准許計畫
- | 由 Laguna Watershed Coordinated Resource Management

and Planning Task Force所發起的自願清理行動

Reasonable Assurances

當 TMDL 完成的點源或非點源污染的水質改善計畫時，美國環保署要求其提供一定的保證，確保當地的水質短期內不受污

附錄二 非點源污染之相關模式

表 AP2.1 中度複雜模式

比較因子		NPSMAP	GWLF	P8-UCM	SIMPTM	Auto-QI	AGNPS	SLAMM
土地利用	都市	●	●	●	●	●	—	●
	農業	●	●	—	—	—	●	—
	點源	⊙	⊙	●	—	—	●	●
時間尺度	全年	—	—	—	—	—	—	—
	單場暴雨	○	—	●	—	—	●	—
	連續	●	●	—	—	●	—	●
水文	逕流	●	●	●	●	●	●	●
	基流 ¹	○	●	—	○	○	—	○
污染負荷	沈積	—	●	—	●	●	●	●
	營養鹽	●	●	●	●	●	●	●
	其他	—	—	●	●	●	—	●
輸出	統計	⊙	○	—	○	—	—	○
	圖形	⊙	⊙	●	—	—	●	○
	格式選項	●	●	●	●	○	●	●
輸出	需求度	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
	率定	○	○	○	○	⊙	○	⊙
	預設值	●	●	⊙	⊙	○	⊙	⊙
	使用介面	●	●	●	⊙	⊙	⊙	●
最佳管理策略	評估	○	○	●	⊙	⊙	⊙	⊙
	設計標準	—	—	●	○	⊙	⊙	○
文件		●	●	●	○	⊙	●	⊙

1. baseflow ●高 ⊙中等 ○低 —不適用 (摘譯自 USEPA, 1992)

資料來源：高正忠 (2003) 數學模式在環境系統之應用講習會，中央大學環工所。

表 AP2.2 詳細模式

比較因子		STORM	ANSWERS	DR3M	SWRRBWQ	SWMM	HSPF
土地利用	都市	●	—	●	○	●	●
	農業	—	●	—	●	○	⊙
	點源	●	—	●	●	●	●
時間尺度	全年	—	—	—	—	—	—
	單場暴雨	○	●	○	○	●	●
	連續	●	—	●	●	●	●
水文	逕流	●	●	●	●	●	●
	基流 ¹	○	—	○	●	●	●
污染負荷	沈積	●	●	●	●	●	●
	營養鹽	●	●	●	●	●	●
	其他	●	—	—	●	●	●
輸出	統計	○	—	●	●	●	●
	圖形	—	●	⊙	⊙	○	○
	格式選項	●	●	●	●	●	●
輸出	需求度	⊙	●	●	⊙	●	●
	率定	○	○	⊙	⊙	●	●
	預設值	⊙	○	●	●	⊙	⊙
	使用介面	—	—	⊙	⊙	—	—
最佳管理	評估	⊙	⊙	●	⊙	●	●
策略	設計標準	⊙	⊙	⊙	—	●	●
文件		●	⊙	⊙	●	●	●

1. baseflow ●高 ⊙中等 ○低 —不適用 (摘譯自 USEPA, 1992)

資料來源：高正忠 (2003) 數學模式在環境系統之應用講習會，中央大學環工所。

表 AP2.3 中度模式（方法）功能比較表

模式式方法	土地利用主要適用範圍	水理	沖蝕/沈積	污染負荷	污染物	時間尺度
NPSMAP	混合集水區	SCS 曲線碼	N/A	逕流濃度	N, P	連續
GWLF	混合集水區	SCS 曲線碼	MUSLE	單位負荷率	N, P	連續
P8-UCM	都市	SCS 曲線碼 TR20 修正式	N/A	非線性累積函數	TSS, N, P, 金屬	暴雨序列
SIMPTM	都市	梯型歷線	Yalin 修正公式	非線性累積函數	多項 ¹	單場序列
Auto-QI	都市	水平衡	N/A	累積及刷出	多項 ¹	單場暴雨連續
AGNPS	農業	SCS 曲線碼	MUSLE	潛勢因子	N, P	單場暴雨
SLAMM	都市準水區	以小暴雨為依據所所得之係數	N/A	非線性累積及刷出函數	N, P, COD 微生物	連續

¹ 依現有污染參數式預設資料。(摘譯自 USEPA, 1992)

N	氮	O&G	油或石油
MUSLE	USLE 之修正公式	TSS	總懸浮物
COD	生化需氧量	刷出	washoff
P	磷	N/A	未提供

資料來源：高正忠（2003）數學模式在環境系統之應用講習會，中央大學環工所。

表 AP2.4 複雜模式（方法）功能比較表

模式式方法	土地利用主要適用範圍	水理	沖蝕/沈積	污染負荷	污染物	時間尺度
ANSWERS	農業	分散儲存模式 ²	分離傳輸公式	潛勢因子(依與沈積物之相關性而定)	N/A	單場暴雨
SWMM	都市	非線性貯水池 ³	MUSLE	累積/刷出函數	多項 ¹	單場暴雨連續
HSPF	混合集水區	地表及土壤程序中水平衡	分離刷出公式	負荷/刷出函數 地下水濃度	多項 ¹	單場暴雨連續
STORM	都市	逕流係數 SCS 曲線碼	USLE	累積/刷出函數	N, P, OD, 金屬	連續
SWRRB	農業	SCS 曲線碼	MUSLE	負荷函數	N, P, OD, 金屬微生物	連續
DR3M	都市	地表貯存水之平衡動態波法	依逕流體積及尖峰流量而定	累積/刷出函數	TSS, N, P, 金屬	連續

¹ 依現有污染參數式預設資料。

N	氮	O&G	油或石油
MUSLE	USLE 之修正公式	TSS	總懸浮物
COD	生化需氧量	刷出	washoff
P	磷	N/A	未提供
USLE	萬用土壤沖蝕公式	負荷函數	Loading functions
分離	Detachment	動態波	Kinematic wave

(摘譯自 USEPA, 1992)

資料來源：高正忠（2003）數學模式在環境系統之應用講習會，中央大學環工所。

表 AP2.5 中度模式（方法）之輸入出資料比較

模式或方法	主要輸入資料	輸出資料
NPSM AP	氣象及水文資料（小時或日） （最多一年） 流域及渠道參數 點源及污染物參數(如衰減等)	逕流及養分負荷 污染物負荷分配
GWLF	氣象及水文資料(日) 土地利用及土壤參數 養分負荷率	逕流、沈積物及養分之月及年 時間序列
P8-UCM	氣象及水文資料(時暴雨或一 系列暴雨) 土地利用及土壤參數 BMP 資料	日逕流及污染物負荷 BMP 去除效率
SIMPTM	雨量統計資料，流域參數 累積及刷出率（預設值）	逕流體積及水文歷線特性 TSS/沈積物及污染物之刷出
Auto-QI	時/日雨量 流域及土地利用資料 BMP 去除資料	逕流及污染物之連續式或單場 暴雨模擬
AGNPS	流域、土地、管理、壤資料 雨量資料，BMP 去除資料	暴雨逕流體積及尖峰流量 沈積物、養分及 COD 濃度
SLAMM	時降雨資料 污染特性、區域、土壤種類 不透水性及交通流量 結構物特性	每一區之污染負荷 BMP 評估及成本估計

(摘譯自 USEPA, 1992)資料來源：高正忠(2003)數學模式在環境系統之應用講習會，中央大學環工所。

表 AP2.6 中度模式（方法）之輸入出資料比較

模式或方法	主要輸入資料	輸出資料
STORM	時降雨量資料 累積及刷出參數 逕流係數及土壤種類	單一暴雨的逕流及污染負荷 貯存及處應用性形及泛流 ¹ 數 時水文歷線及污染物歷線
ANSWERS	時降雨量資料 流域、地利用及土壤資料 BMP 設計資料	預測暴雨逕流(體積及尖峰) 沈積物分離與傳輸 農業 BMP 的相對效率分析
DR3M	氣象及水文資料 與逕相關的流域特性資料 渠道資料及動態波參數 流域貯水特性 累積及刷出係數	排水系統中任一地區的連續逕 流與污染物性生量 暴雨事件之總計資料 水文歷線及污染物歷數
SWRRB	氣象及水文資料 流域承受水體資料 土地利用及土壤種類 池及貯水池資料	連線式逕流及沈積物產生量 尖峰排放量 水質濃度及負荷
SWMM	氣象及水文資料 土地利用分佈及特性 累積及刷出參數 衰減係數	連續式及單一暴雨的逕流與污 染物負荷 河川及貯水池中之傳輸 控制策略之分析
HSPF	氣象及水文資料 土地利用分佈及特性 負荷因子及刷出參數 承受水體特性，衰減係數	逕流及污染負荷的時間序列 對承受水體之衝擊分析 控制分析

(摘譯自 USEPA, 1992)資料來源：高正忠(2003)數學模式在環境系統之應用講習會，中央大學環工所。