

國立宜蘭大學環境工程學系
碩士論文

Department of Environmental Engineering
National Ilan University
Master Thesis

QUAL2K 模式於美崙溪流域水污染整治之應用
The Application of QUAL2K for Water Pollution
Remediation in Mei-Lun River

研究生：高育琦

Graduate Student：Yu-Chi Gao

指導教授：江漢全博士

Advisor: Hann-Chyuan Chiang Ph. D

中華民國一〇二年七月

July, 2013

國立宜蘭大學碩士學位論文
指導教授推薦函

環境工程 學系 高育琦 君所提之論文

(題目):

QUAL2K 水質模式於美崙溪流域之應用

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授

江廣全

(簽章)

系所主管

林凱峰

(簽章)

中華民國 102 年 3 月 25 日

口試委員會審定書

環境工程 學系 高育琦 君所提之論文

(題目):

QUAL2K 模式於美崙河流域水污染整治之應用

經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員

周錦子

翁銘千

江漢全

指導教授

江漢全

中華民國 102 年 6 月

摘要

過去河川污染整治案例，多以解決單一問題為工程目標，在許多環境因子相互影響下，經常導致整治成效不如預期。水質模式之建置，可應用於削減策略之成效評估及準確預估。

花蓮縣美崙溪流經花蓮縣人口活動較密集之區域，大量生活廢水及畜牧廢水導致中、下游河川污染指數(RPI)、氨氮(NH₃-N)、生化需氧量(BOD)等水質測項偏高，美崙溪的新生橋及中正橋水質測站已成為全縣18個測站水質污染最嚴重者，應予以加強管制。

由本研究建立之水質模式已可符合 MAPE 檢定之高精確度至合理預測等級範圍內，表示 QUAL2K 所建立之河川水質模式在不同氣候及流量狀況下，美崙河流域水質之模擬結果可作為呈現其水質空間變化趨勢之用。應用美崙河流域之 QUAL2K 模式模擬下水道興建完成接管之水質改善成效，預計可明顯改善 BOD 污染濃度至未(稍)受污染程度(<3.0 mg/L)，NH₃-N 污染濃度亦有改善情形。另假設美崙河流域養豬戶可達到 100% 三段式處理設備開機率之目標，以及 50% 三段式處理設備開機率及 50% 二段式處理設備開機率之目標，模擬結果發現中、下游 BOD 污染濃度有明顯改善情形，嘉國橋段污染濃度可降低至未(稍)受污染程度，中、下游河段 NH₃-N 污染情形略為改善。

近年來美崙河流域隨著時空遷移，污染情形已有相當大的變化，應建立準確之水質模式，並釐清流域內之污染源及污染量，配合實際檢測之河川水質，對水質參數進行率定及驗證，以達到水質模式之準確性，此統合性的規劃，對於河川流域中各種不同之污染性質，可預測流域水質污染狀況，實可作為削減策略之參考依據。

關鍵字：水質模式、QUAL2K、污染量推估、美崙溪

Abstract

The past cases of river pollution remediation, mostly for resolved a single issue to the project objectives. Many environmental factors influence each other, often to leading the effectiveness of remediation not as good as expected. Building water quality model can be applied to assess the effectiveness and accurate estimates for the reductive strategies.

The Meilun River at Hualien County streams through dense population activities in the region. A large number of domestic sewage and livestock wastewater resulting the monitoring items at midstream and downstream with river pollution index (RPI), ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), biochemical oxygen demand (BOD) to slanting high. Shinshen Bridge station and Jhongjheng Bridge station become to the most polluted of 18 water quality monitoring stations in Hualien County, it should be strengthened controls.

This study established the water quality model has been to meet the high accuracy to MAPE (Mean Absolute Percentage Error) test to a reasonable range within the predicted level. The river water quality patterns created by QUAL2K in different climatic and flow conditions, the simulation results by water quality of Meilun River basin show a trend present the spatial purposes of water quality. Applying the QUAL2K model of Meilun River basin simulate the effectiveness of water quality improvement when the sewer construction completed over. Expected to improve the BOD pollution concentrations significantly to non-polluted level (<3.0 mg/L), and $\text{NH}_3\text{-N}$ pollution concentration also. Also assume pig farmers achieve the target 100 % operation rate of three-stage equipment, and 50 % operation rate of three-stage equipment as 50 % operation rate of the two-stage equipment in Meilun River basin. The simulation results show that concentrations of BOD pollution situation improved significantly in the

midstream and downstream. The pollutant contaminations of JiaKou Bridge can be reduced to non-polluted level, and the pollution situation of $\text{NH}_3\text{-N}$ in the midstream and downstream improved slightly.

In recent years, Meilun River basin migrated with the time and space, pollution situation has changed considerably. Should establish accurate water quality models and clarify the amount of pollution and pollution in the basins. With the actual testing of the river water quality, calibrating and verificating the water quality parameters in order to achieve the accuracy of the model water quality. This unified planning in a variety of different pollution nature for river basin, can predictable water pollution situation in the basins, and in fact to used as a reference for reduction strategies.

Keywords: Water Quality Modeling, QUAL2K, estimate the amount of pollution, Meilun River

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1-1
1-1 研究動機	1-1
1-2 研究目的	1-3
1-3 研究流程	1-3
第二章 文獻回顧	2-1
2-1 水質模式之發展	2-1
2-2 水質模式之比較	2-5
2-3 水質模式之評選	2-7
2-4 QUAL2K 之演進及介紹	2-9
2-5 QUAL2K 之架構及理論	2-12
2-6 研究區域背景資料	2-20
第三章 研究方法	3-1
3-1 流域水質現況分析	3-2
3-2 流域污染量推估	3-3
3-3 現場檢測及模擬河段劃分	3-12
3-4 水理參數推求	3-14
3-5 模式參數率定及驗證	3-26
第四章 結果與討論	4-1
4-1 水質現況分析	4-1
4-2 污染量推估	4-5
4-3 現場檢測及模擬河段劃分	4-11
4-4 水理參數設定	4-15

4-5 模式參數率定	4-17
4-6 模擬結果驗證	4-21
4-7 削減策略之應用	4-24
第五章 結論與建議	5-1
5-1 結論	5-1
5-2 建議	5-3
參考文獻.....	參-1



圖目錄

圖 1-1	研究流程圖	1-4
圖 2-1	QUAL2K 河川水質模式之發展示意圖	2-10
圖 2-2	QUAL2K 河川分割示意圖	2-12
圖 2-3	QUAL2K 模擬河川概念圖	2-13
圖 2-4	格點 i 之質量守恆(Chapra <i>et al.</i> , 2007).....	2-15
圖 2-5	QUAL2K 質量傳輸模式流程圖	2-15
圖 2-6	美崙河流域水質測站分佈圖	2-21
圖 2-7	美崙河流域地質分佈圖	2-23
圖 2-8	花蓮縣近年(2003-2011 年)之氣溫變化	2-26
圖 2-9	花蓮縣近年(2003-2011 年)雨量分佈	2-26
圖 2-10	侵台颱風路徑分類圖	2-27
圖 2-11	美崙河流域土地使用分區面積	2-29
圖 2-12	美崙河流域集污區污染量推估魚骨圖	2-36
圖 2-13	101 年度美崙河流域實測之污染量魚骨圖	2-37
圖 3-1	美崙河流域之集污區及分區主要排入點示意圖	3-4
圖 3-2	銳緣堰(sharp-crested)示意圖	3-14
圖 3-3	梯形渠道(Trapezoidal channel)示意圖	3-18
圖 3-4	再曝氣係數與深度、流速的關係圖	3-23
圖 4-1	美崙溪近 10 年豐枯水期 RPI 值分佈情形.....	4-2
圖 4-2	美崙溪近 10 年豐枯水期 BOD 濃度分佈情形.....	4-2
圖 4-3	美崙溪近 10 年豐枯水期河川水質 SS 分佈情形.....	4-3
圖 4-4	美崙溪近 10 年豐枯水期 NH ₃ -N 濃度分佈情形.....	4-4
圖 4-5	美崙溪近 10 年豐枯水期河川水質 DO 分佈情形	4-4
圖 4-6	美崙溪水質模式河段劃分及污染源輸入點示意圖	4-14
圖 4-7	生化需氧量濃度(BOD)模擬結果	4-19
圖 4-8	氨氮濃度(NH ₃ -N)模擬結果	4-20
圖 4-9	生活污水污染削減之 BOD 模擬結果.....	4-26

圖 4-10 生活污水污染削減之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 模擬結果..... 4-26

圖 4-11 畜牧廢水污染削減之 BOD 模擬結果..... 4-28

圖 4-12 畜牧廢水污染削減之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 模擬結果..... 4-28



表目錄

表 2-1	國外水質模式之發展	2-2
表 2-2	國內水質模式之發展	2-3
表 2-3	國內常使用之水質模式比較表	2-6
表 2-4	環保署現階段認可之河川水質評估模式	2-8
表 2-5	QUAL2K 質量傳輸模式流程代表符號說明表	2-16
表 2-6	美崙河流域水系資料表	2-20
表 2-7	(2003-2011 年)花蓮縣之氣候統計結果	2-25
表 2-8	美崙河流域土地分區面積表	2-28
表 2-9	美崙溪水質測站基本資料	2-31
表 2-10	河川污染指標(RPI)等級分類表	2-31
表 2-11	美崙溪歷年(2002-2011 年)河川污染程度百分比	2-32
表 2-12	美崙溪歷年(2002-2011 年)水質類指標之水質達成率	2-32
表 2-13	美崙河流域集污區涵蓋行政區域一覽表	2-34
表 2-14	各類污染源污染量推估方法	2-35
表 3-1	美崙溪各行業污染物排放狀況	3-6
表 3-2	各行業之事業廢水濃度值	3-9
表 3-3	一般流達率建議值	3-11
表 3-4	水質檢驗方法	3-13
表 3-5	流量、流速及水深函數之參數建議值	3-16
表 3-6	曼寧係數 n 值之參考表	3-17
表 3-7	美崙河流域於枯水期間之水量實測值(101 年 11 月 26 日)..	3-18
表 3-8	美崙溪水質模式各河段水理參數值	3-19
表 3-9	QUAL2K 模式預設溫度修正 θ 值	3-20
表 3-10	BOD 及 DO 之影響因子	3-21
表 3-11	祛氧係數建議值	3-22
表 3-12	再曝氣係數建議值(20°C)	3-23
表 3-13	QUAL2K 模式相關文獻水質參數值	3-25

表 3-14 MAPE 預測能力等級表	3-27
表 4-1 美崙溪流域各集流分區之人口數	4-6
表 4-2 美崙溪流域各集污區生活污水污染量推估結果	4-7
表 4-3 美崙溪流域各集污區事業廢水污染量推估結果	4-7
表 4-4 美崙溪流域各集污區畜牧廢水污染量推估結果	4-8
表 4-5 美崙溪流域各集污區農田迴歸水污染量推估結果	4-9
表 4-6 美崙溪流域各集污區污染量推估結果	4-9
表 4-7 美崙溪流域各集污區污染之流達率與流達之污染量	4-10
表 4-8 101 年 11 月 26 日美崙溪流域河川主流之水質水量調查結果	4-11
表 4-9 美崙溪水質水量調查點	4-12
表 4-10 美崙溪水質模式源頭參數值	4-16
表 4-11 美崙溪水質模式 ML_01~ML_08 模擬結果及檢定平均值	4-18
表 4-12 本研究水質模式各河段之水質參數率定值	4-19
表 4-13 美崙溪水質模式平均絕對百分誤差(MAPE)檢定值	4-21
表 4-14 水質模式模擬結果配合水體水質標準之比較結果	4-22
表 4-15 污水下水道用戶接管之削減成效 (單位：%)	4-27
表 4-16 養豬廢水處理設備開機率之削減成效 (單位：%)	4-29

第一章 緒論

1-1 研究動機

「河川」是地球上明顯的生態系統，在環境中扮演著生物賴以維生之主要資源的重要角色，亦在地球上提供了水資源和環境景觀的功能(汪靜明，2001)。Hunsaker and Levine(1995)亦指出，河川係作為大氣及地景上污染物匯聚的承接者，可由水質良窳反映了地景的狀況，亦可作為環境品質監測及評估的一個重要指標。然而，河川水質變化之原因，不僅是人為的污染，也可能是來自河川本身所屬的地質、地形影響，亦有可能是氣候所影響(Interlandi and Crockett, 2003)。天候、河川流速及土地利用皆為影響河川系統水質的因素，河川污染之型式可能有下列兩種：一、礦物的含量受季節性及氣候所影響，因此屬於自然污染型式；二、有機物及營養物則屬於人為來源。

台灣本島地形狹長且起伏變化大，南北長約 394 公里，東西寬約 144 公里，總面積約 36,188 平方公里，以陡峭的中央山脈由北至南貫穿，地勢高峻陡峭，山脈東西兩側逐漸降低為較平緩的丘陵或台地，西部較多寬廣平原、丘延伸至海岸線，而位於山脈以東區域，較西部狹窄，地形以高山、縱谷為主，全島氣候具有高溫、強風且多雨之特色，但各區域之氣候則各有差異。花東縱谷地處台灣東部，位於花蓮縣與台東縣之間，此區域河川每年 5 至 10 月為豐水期，10 月以後流量迅速下降，以 2 至 3 月為枯水期中最少的月份。

花蓮縣境內之重要河川由北至南依序為和平溪、立霧溪、美崙溪、吉安溪、花蓮溪及秀姑巒溪等 6 條，其中和平溪、花蓮溪及秀姑巒溪為中央管的河川，其餘 3 條則為花蓮縣管河川。一般而言，河川水質監測項目包括水溫、pH 值、溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD)、懸浮固體(S.S.)、氨氮(NH₃-N)、重金屬(Cd、Zn、Hg)等項目，其中 DO、BOD、S.S.及 NH₃-N 等 4 項水質監測結果，經計算後可轉換為河川污染指數(RPI, River Pollution Index)，用以評估水質狀況為未(稍)受污染、輕度污染、中度污染及嚴重污染等 4 種污染程度，當 RPI<2 時，河川水質為未(稍)受污染，而當 RPI>6 時，則屬嚴重污染。

此外，依據行政院環保署於 1998 年 1 月 21 日發佈之「地面水體及水質標

準」，其中第四條規定陸域水體分為甲、乙、丙、丁及戊 5 類。有關花蓮縣河川之水體分類，計有美崙溪水區、花蓮溪水區及秀姑巒溪水區已劃定了水體分類。因此，藉由花蓮縣 6 條河川之監測資料，同時進行 RPI 值評估及是否符合河川水體分類水質之情形分析，以凸顯河川水質污染之問題所在。建置各河川之人為污染警戒值，將有利於河川整體水質管理。

為改善河川水質，使水資源達到永續使用的目標，除了加強事業放流水管制外，水污染防治法於民國 80 年將總量管制策略納入，明文規定主管機關應依水體涵容能力，以廢(污)水排放總量管制方式管制之，然實際管制方式並未加以規範。傳統作法之行政管制，係直接規定各污染源許可排放總量，另一種作法為排放交易制度，透過排放許可證交易，使總污染防治成本最小，無論採用何種削減總量，都必須使用適當的水質模式評估水體涵容能力，將策略擬定建立在合理的污染涵容量推估與分配的基礎上，以有效進行水質管理。

花蓮縣河川水質污染源可分為生活污水、工業廢水、畜牧廢水及非點源四部份，其中以生活污水的防治為首要，然在污水下水道工程完成前不易有顯著成果，故加強污染預防觀念益顯重要。

美崙溪流經花蓮縣人口活動較密集之區域，大量生活廢水及畜牧廢水導致中下游河川污染指數(RPI)、氨氮(NH₃-N)、生化需氧量(BOD)等水質測項偏高，美崙溪的新生橋及中正橋水質測站已成為全縣 18 個測站水質污染最嚴重者，應予以加強管制。花蓮縣曾於 2003 年進行美崙溪水質水量調查，並建置其污染魚骨圖，然而，近年來美崙河流域隨著時空遷移，污染情形已有相當大的變化，惟一不變的，美崙溪仍為花蓮縣河川污染的熱區，有鑑於此，本研究透過總量管制的概念，利用 QUAL2K 水質模式模擬河川水質變化情形，並進一步評估削減策略之成效，以作為美崙溪河川污染改善措施成效之參考。

1-2 研究目的

本研究針對美崙溪近年測站之水質，進行統計分析，由於自然中水體水質傳輸及生化反應會隨時間與空間的不同而有所差異，因此透過 QUAL2K 水質模式可迅速預測水體之水質狀況，藉以瞭解美崙溪流域水質污染狀況，然後依污染源貢獻量擬定管制策略，供環保局作為美崙溪污染管制之參考。本研究目的的如下：

1. 蒐集美崙溪流域環境背景資料及污染負荷資料。
2. 利用 QUAL2K 水質模式模擬美崙溪河川水質狀況。
3. 建立美崙溪之水質模式。
4. 評估相關削減策略之改善成效。

1-3 研究流程

過去河川污染整治案例，多以解決單一問題為工程目標，在許多環境因子相互影響下，經常導致整治成效不如預期。水質模式之建置，可應用於削減策略之成效評估及準確預估。近年來美崙溪流域隨著時空遷移，污染情形已有相當大的變化，應建立準確之水質模式，並釐清流域內之污染源及污染量，配合實際檢測之河川水質，對水質參數進行率定及驗證，以達到水質模式之準確性，此統合性的規劃，對於河川流域中各種不同之污染性質，可預測流域水質污染狀況，實可作為削減分配策略之參考依據。

本研究規劃流程如圖 1-1 所示，首先為研究動機與目的的建立，第二階段為文獻回顧，分為水質模式之發展及相關污染整治及應用兩大部分，本研究蒐集水質模式相關文獻資料，以及國內外相關應用，另整理研究區域相關規劃報告，第三階段則為流域環境調查，包括流域環境背景資料、水理水文分析、現況污染負荷及污染量推估，第四階段為建立美崙溪水質模式，包括模式河段劃分及設計參數等，最後，經過參數的率定及驗證，將建立之水質模式應用於削減策略之改善成效，作結果與討論並給予建議。

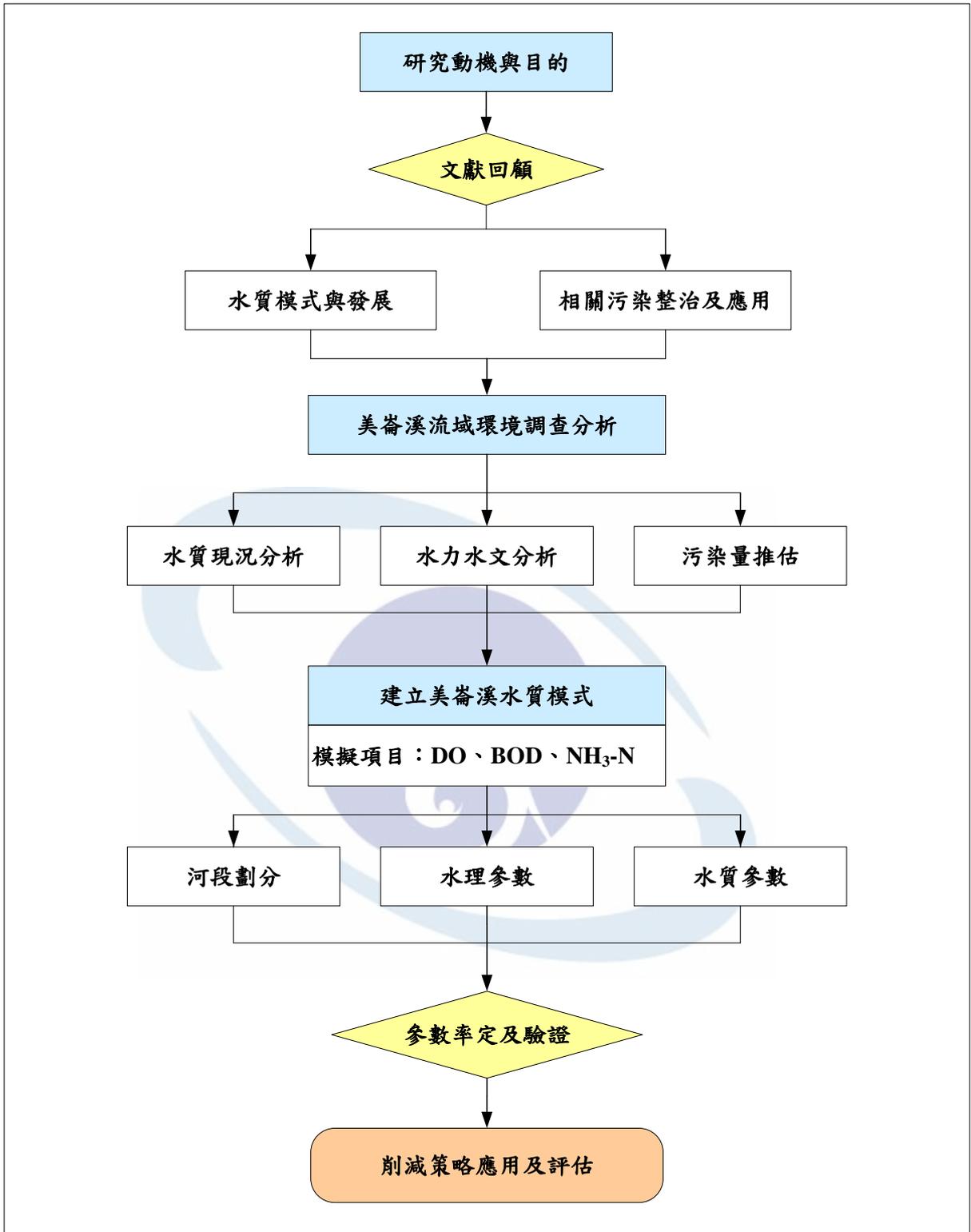


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2-1 水質模式之發展

河川水體水質受水理、水文、物理反應、生化反應、地理狀況及生活型態等因素所影響，故水質變化相當複雜。為分析各項水質變化及分佈情形，利用水理、生化等理論為基礎，針對影響水質變化及傳輸作用的各項因子，建立數學模式，藉由改變某些水質參數，評估其影響程度，對水質狀況進行合理推估與預測，作為環境決策者之參考依據(廖，2008)。

水質模式至今已廣泛運用於污染整治上，包括河川、湖泊、水庫、地下水、感潮河川、濕地等水體；在模擬項目上也由簡單的 BOD、DO 模式，發展到複雜的優養模式及毒性水質預測模式(黃，2001)。美國環保署將水質模式發展分為集水區負荷模式及承受水體水質模式兩大類型(USA EPA Website)。其中，集水區負荷模式係模擬污染源傳輸至承受水體的過程中，污染物的累積與變化，推估各類型土地利用型態下，地表逕流所貢獻的污染量。而承受水體水質模式，係為模擬污染物與水體(湖泊、溪流、河川)之傳輸與變化，當中部分模式包括優養化的模擬，針對與污染物對於水體及其環境的衝擊程度作模擬，包括動力模式、穩態水質模式及動態水質模式。

河川水質模式發展至今已有一個世紀，主要研究發展整理列如表 2-1 所示，水質模式分析技術起源於西元 1925 年 Streeter 和 Phelps 兩位學者對美國俄亥俄州河(Ohio River)之污染控制研究。西元 1938 年 Velz 研究表面更新模式(Surface-renewal Model)應用於河川曝氣方面。西元 1954 年 Churchill 首先發表水質統計模式，以迴歸方程式表示水質間關係。O'Connor 和 Dobbins 兩人結合表面更新模式及雙薄膜理論(Two film theory)於 1956 年發表了再曝氣理論(Reaction coefficient)，即廣泛被使用的再曝氣係數(K_2)之半經驗公式，並指出河川再曝氣係數與河水流速、平均水深及水力坡降有關，O'Connor(1963) 使用質量平衡原理，證明 Streeter-Phelps 方程式，使得水質模式可應用於感潮河段、湖泊及海洋，並具備了理論基礎(張，2004；廖，2008)。Thomann(1964)、Dobbins(1964)、O'Connor(1967) 及 Di Toro(1968) 等學者分別對底泥需氧量、

表 2-1 國外水質模式之發展

年份	說明
1870-1900	觀念最早開始於英國，繼而在美國發展
1925	Streeter 和 Phelps 兩人考量有機物(BOD)在河川中受到細菌分解及再曝氣能力之影響，藉由分析美國 Ohio River 之河川水質，發表計算河川 BOD ₅ 及 DO 相互之間關係的 Streeter-Phelps 方程式。
1938	Velz 發展 Surface-renewal Model 曝氣方面之研究。
1941	Fair、Moore 及 Thomas 探討河川底泥耗氧之研究。
1954	M.A. Churchill 發表水質統計模式，應用迴歸方程式，探討水質間相互影響關係。
1956	D.J. O'Connor 和 W.E. Dobbins 結合雙薄膜理論 (Two filmtheory) 及 Surface-renewal Model，發表了河川再曝氣理論，後來被廣泛被使用，即為再曝氣係數(K ₂)之半經驗公式，研究指出河川再曝氣係數與河水平均水深、流速和水力坡降有相關性。
1963	O'Connor 運用質量平衡原理，證明 Streeter-Phelps 方程式，模式運用此方程式後，可模擬感潮河段、湖泊及海洋，此方程式更具備了模擬理論之基礎。
1970	Thomann、Dobbins、O'Connor 及 Di Toro 等學者分別對底泥需氧量、光合作用、植物呼吸作用、氮氮及逕流等研究，將納入考量與水質之變化，這些研究使得水質模擬系統更為複雜。

本研究整理。

光合作用、植物呼吸作用、氮氮及逕流等研究，將納入考量與水質之變化，這些研究使得水質模擬系統更為複雜。

國內水質模式之發展，如表 2-2 所示，早期由歐陽嶠暉(1963)利用 Camp 方程式研究淡水河溶氧之分佈情形，後由前經合會與美國甘德麥工程顧問公司(1971)進行淡水河本流及各支流感潮段下游之水質研究；經濟部水資源統一規劃委員會(1980)曾進行淡水河流域水污染防治規劃，其後由水資會(1983)修改 STREAM 水質模式，建立淡水河系之水質模式；陳樹群(1984)應用 Thomann 有限段落法修正淡水河流域水質模式；連上堯(1988)對基隆河段之水理與水質狀況進行模擬；陳筱華(1989)利用 QUAL2E 水質模式模擬基隆河現況；美商賽

表 2-2 國內水質模式之發展

年份	說明
1963	歐陽嶠暉利用 Camp 方程式研究淡水河溶氧之分佈情形。
1971	前經合會與美國甘德麥工程顧問公司進行淡水河本流及各支流感潮段下游之水質研究。
1980	經濟部水資源統一規劃委員會進行淡水河流域水污染防治規劃。
1983	水資會修改 STREAM 水質模式，建立淡水河系之水質模式。
1984	陳樹群應用 Thomann 有限段落法修正淡水河流域水質模式。
1988	連上堯對基隆河段之水理與水質狀況進行模擬。
1989	陳筱華利用 QUAL2E 水質模式模擬基隆河現況。 美商賽蒙斯李顧問公司針對基隆河系之流域污染，進行防治規劃之研究。
1990	美商賽蒙斯李顧問公司對淡水河系進行污染防治規劃研究，以 HEM 水理模式模擬感潮河段，非感潮河段則採用 QUAL2E 水質模式。 柳文成以一維模式探討淡水河系污水截流系統對基隆河之影響。
1994	中興顧問社以 WASP5 模式對淡水河系污染整治實施方案進行檢討。
1995	鐘文祥以 HEM-2D 模式模擬基隆河水質狀況。
1996	康晉展運用 QUAL2E、ESTURAY 及 STREAM 三種水質模式，模擬新店溪非感潮河段之水質狀況。
1998	康晉展應用點污染源截除率，模擬基隆河感潮河段之水質變化。

本研究整理。

蒙斯李顧問公司(1989)針對基隆河系之流域污染，進行防治規劃之研究；美商賽蒙斯李顧問公司(1990)對淡水河系進行污染防治規劃研究，以 HEM 水理模式模擬感潮河段，非感潮河段則採用 QUAL2E 水質模式；柳文成 (1990)以一維模式探討淡水河系污水截流系統對基隆河之影響；中興顧問社(1994)以 WASP5 模式對淡水河系污染整治實施方案進行檢討；鐘文祥(1995)以 HEM-2D 模式模擬基隆河水質狀況；康晉展(1996)運用 QUAL2E、ESTURAY 及 STREAM 三種水質模式，模擬新店溪非感潮河段之水質狀況；康晉展(1998)應用點污染源截除率，模擬基隆河感潮河段之水質變化(王，2008)。

水質模式發展至今，已能涵蓋河川、湖泊、感潮河川及溼地等水體，模擬項目也由簡單的 BOD-DO 模式發展到優養模式、毒性模式，並且從定常態模擬發展到動態模式，藉由動態水理模式的連結，使模擬過程更接近實際狀態。



2-2 水質模式之比較

水質模式依其模擬目的不同，可分為 BOD-DO 模式、優養模式、毒性物質模式等，或以模擬之水域不同加以區分，如非感潮河段、感潮河段、河口、港口、海洋及湖泊等。水質模式模擬主要目的分述如下(劉，2006；陳，2007)：

- (一)計算各類水體標準下，其污染物之許可排放量，做為水質管制之依據(推估河川涵容能力)。
- (二)評估各種污染整治措施之水質改善結果，做為改善優先順序之依據。
- (三)預測各種污染管制措施執行後，水體水質標準是否達成預定目標
- (四)利用模式模擬，找出水體水質之因果關係(例如優養模式可找出 C、N、P 與藻類之因果關係)。

模式發展至今，從穩態模擬(Steady-State)發展為動態模擬(Dynamic Model)，藉由動態水體模式的結合使模擬更接近實際狀態，穩態與動態主要係以時間上穩定及不穩定劃分，穩態模式不考慮時間上的變化，而動態模式在輸入變數與系統參數時，隨時間之變化可作調整。模式分類以空間尺度作為劃分，則可分為零維、一維、二維及三維，維度愈高模式複雜度愈高，通常在湖泊及水庫之模擬可使用零維模式，而河川水質模擬一般以一維模式進行分析，港口區水質模式則至少以二維模式進行模擬較佳，海洋污染物傳輸模擬，則以二維以上之模式模擬較能符合實際狀況(黃，2001；吳，2003)。水質模式的操作介面也由 MS DOS 系統轉換為 Window 介面，提高數據輸入的便利性與加快模擬速度(王，2008)。

在永續發展的目標下，水資源的運用已是全球共同關注的焦點，水質模式為現今水污染整治不可或缺的評估工具，其應用的範圍包括河川、湖泊、水庫、地下水、感潮河川、濕地等，主要利用水質模式來計算各類水體標準下，污染物之許可排放量，作為水質管制之依據，評估各種污染整治措施之水質改善成效，亦可運用水質模式模擬水質水體之因果關係。近年來，國內較常使用的模式為 QUAL2K、WASP、HSPF、ESTUARY、STREAM、HAR03、RECEIV-、WQRPS 及 Link-Node 等模式，表 2-3 為國內常使用之水質模式比較表，包括

模式之適用水體、常態或動態模式、水力計算及可模擬之污染物等(環保署，2011)。

表 2-3 國內常使用之水質模式比較表

模式名稱	適用水體	常態或動態模擬	水力計算	計算維度	可模擬之污染物項目
QAUL2K	◆ 非感潮河川 ◆ 感潮河川	定常態或擬動態	否	一維	DO、CBOD _S 、CBOD _f 、藻類、有機氮、氨氮、亞硝酸鹽氮、有機磷、溶解磷、大腸桿菌、碎屑、浮游植物
QAUL2E	◆ 非感潮河川 ◆ 感潮河川	定常態或擬動態	否	一維	DO、BOD、藻類、有機氮、氨氮、亞硝酸鹽氮、有機磷、溶解磷、大腸桿菌
WASP	◆ 河川 ◆ 水庫 ◆ 湖泊 ◆ 感潮河段及海口	動態	是	水質三維 水力一維	DO、BOD、有機氮、氨氮、硝酸鹽氮、無機磷、浮游生物、毒性物質
HSPF	◆ 河川 ◆ 水庫	動態	是	一維	DO、BOD、毒性物質、養分
ESTUSRY	◆ 非感潮河川 ◆ 感潮河川	定常態	否	一維	DO、BOD、氯鹽
STRESM	◆ 非感潮河川	定常態	否	一維	DO、BOD、
HARO3	◆ 非感潮河川 ◆ 感潮河川	定常態	否	三維	DO、BOD、氯鹽
RECEIV-II	◆ 非感潮河川 ◆ 感潮河川	動態	是	二維	DO、BOD、藻類
WQRPS	◆ 河川 ◆ 水庫	動態	是	深度一維	DO、BOD、藻類
Link-Node	◆ 感潮河段及海口	動態	是	二維	NDO、CBOD、藻類、養分

資料來源：行政院環境保護署，「流域別水污染總量管制暨配套措施之研究」，2005。

2-3 水質模式之評選

河川水質模式通常依水體特性及所欲模擬的水質項目而給予學理上的假設，每一水質模式可模擬的水體特性及水質項目皆不盡相同，故河川水質模式之評選，須就水體特性、水質模擬項目及現況資料等因素加以考量，因此在選用水質模式時，所需考量之因素包括現有河川之實測水理及水質資料、河川水體水文之特性分析、欲模擬之水質項目、空間及時間變動因子等(黃，2009)。在選用水質模式時，所需考慮之主要因素有：

1. 水體特性：流況、水理、水質、感潮段與否。
2. 輸入資料複雜度：水理及水質資料。
3. 所需經費與時間。
4. 欲模擬之指標：如生化需氧量、氨氮、溶氧等。
5. 模擬精準度：是否考慮時間變動因子。
6. 已建立完成之水質模式。

依據「環境影響評估河川水質評估模式技術規範」，河川水質評估模式之使用，應考量模擬區域其水文及流域特性，開發行為及區域環境之特性，以及模式之限制條件，現階段認可之河川水質評估模式及適用條件如表 2-4 所示。本研究進行之水質模式建立水體為河川，採用模式模擬河川水質之目的為進行污染削減策略分析，係以一維之水質平均質進行分析，僅考慮空間對河川水質之變化，配合流域水體水理特性及水質污染特性，美崙河流域以生化需氧量(BOD)及氨氮(NH₃-N)為模擬之重點項目，目前國內外已有許多相關研究，其研究內容概要詳見附件一，國內利用 QUAL2E 及 QUAL2K 模式針對數條重要河川建立氨氮、BOD 水質模式，如朴子溪、北港溪、基隆河、淡水河、高屏溪、新店溪、南勢溪、大漢溪、筏子溪、舊濁水溪、東港溪...等河流，而 QUAL2K 係依循 QUAL2E 改良後之模式，具有可設定不同長度河段進行模擬之彈性。考量以上各項條件及參考資料，本研究選用 QAUL2K 河川水質模式作為美崙河流域應用之水質模式。

表 2-4 環保署現階段認可之河川水質評估模式

模式名稱	適用條件
質量平衡公式	承受水體：排水路、缺乏水理資料的小型河川 放流水：放流水水量小於承受水體設計流量的百分之十 污染源：點源、非點源
BASINS/HSPF	承受水體：位於自來水水質水量保護區 污染源：點源、非點源 污染物屬性：沉積物(SS)*、有機物(BOD)*、營養鹽(NH ₃ -N, TP)*
QUAL2K	承受水體：屬於為甲類、乙類及丙類水體河川 污染源：點源 污染物屬性：有機物(BOD)*、營養鹽(NH ₃ -N, TP)*
SWMM	承受水體：不拘 放流水：工廠或工業區地表逕流 污染源：非點源 污染物屬性：沉積物(SS)*、有機物(BOD)*、營養鹽(NH ₃ -N, TP)*
WASP	承受水體：屬於為甲類、乙類及丙類水體河川 污染源：點源 污染物屬性：有機物(BOD)*、營養鹽(NH ₃ -N, TP)*

*：括弧中僅列舉部分污染物項目，非模式限制項目。

資料來源：環境影響評估河川水質評估模式技術規範。(2011)

2-4 QUAL2K 之演進及介紹

QUAL2K(The Enhanced Stream Water Quality Model)為美國環保署(USEPA)發展的一套水質模式，主要模擬河川受污染時之水體水質變化情形，目前被廣泛應用於河川水質與水量管理的相關研究。QUAL2K 河川水質模式之發展如圖 2-1 所示，水質模式最早為 1970 年由 Masch and Associates 及 Texas Water Development Board 所建立的 QUAL- I 河川水質模式。1973 年為因應不同的使用需求，Water Resources Engineers, Inc. (WRE)與 USEPA 合作改良許多不同的版本，如修正藻類、養分及光合作用三者間交互作用而成 QUAL- II。經過一連串的修正、編輯，於 1985 年在模式中加入河段氣候因數、模式模擬不確定性分析等功能，將改良之 QUAL- II 重新命名為 QUAL2E(WERC Website)(Thayer *et al.*, 1967；Linfield *et al.*, 1985)。

QUAL2K 為 USEPA 於 2000 年後改良 QUAL2E 之水質模式，模擬河川污染傳輸之項目，使用者可根據不同需求任意組合 15 種水質參數，包括溶氧、生化需氧量、溫度、葉綠素 a、有機氮、氨氮、亞硝酸氮、硝酸氮、有機磷、溶解磷、大腸桿菌、任何非保存性物質及三種保存性物質等，模擬項目彈性極大(環保署，2011)。

國內已有許多相關研究，完整之水質模式應用，最早由連上堯(1988)利用水理模式及 QUAL2E 模擬基隆河枯水期水質情形，並由駱尚廉等人(1989)於隔年探討其 BOD 之硝化作用；余明琦(1995)利用 QUAL2E-UNCAS 水質模式提供之蒙地卡羅模擬及 LINDO 線性規劃軟體，進行蘭陽溪流域水質模擬與驗證，進而推求河川涵容能力；康晉展(1996)運用 QUAL2E、ESTUARY 及 STREAM 水質模式模擬新店溪流域水質變化情形；梁明志(1997)率先結合河川水質模式 QUAL2E 與地理資訊系統，研究烏溪流域水質變化情形；國內陸續有應用 QUAL2E 水質模式搭配 LINDO 線性規劃軟體之研究，評估河川水質變化及其涵容能力，包括高屏溪、南勢溪、淡水河本流、基隆河、新店溪及大漢溪等河川(黃，2001；陳，2003；張，2004)。

初期國外研究則有美國 New Jersey Whippany River 及巴西 Corumbata'1 River 之水質模式研究，以及結合一階誤差分析和蒙地卡羅分析法模擬印度

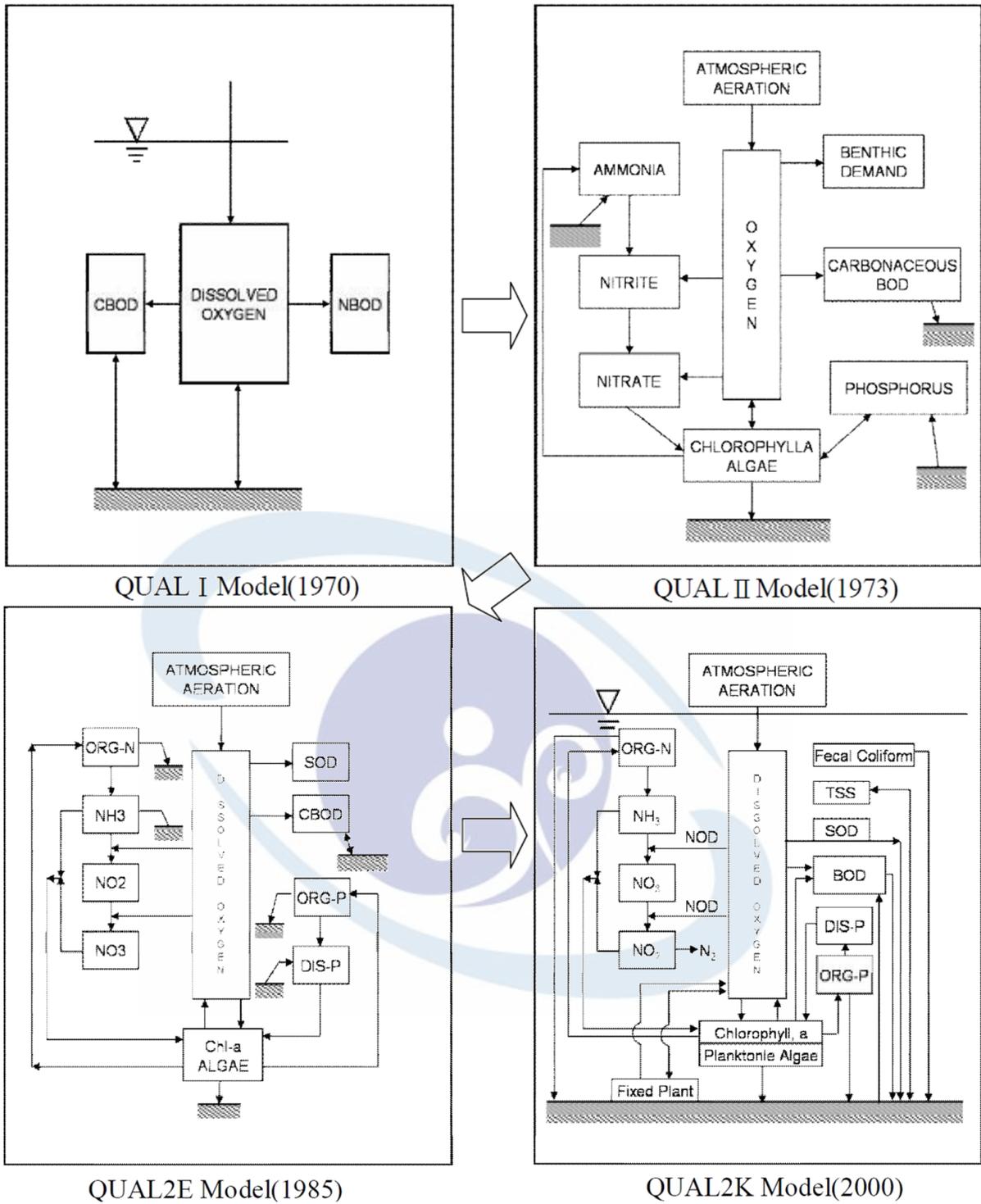


圖 2-1 QUAL2K 河川水質模式之發展示意圖

圖片來源：Park *et al.*，2002。

Yamuna river 水質變化之研究。此外，隨模式的改良，韓國 Nakdong 河之研究，進行 QUAL2K 與 QUAL2E 的比較，顯示 QUAL2K 有較好的領域量測(George *et al.*, 1993；Azzellino *et al.*, 2006；Paliwal *et al.*, 2007；Park *et al.*, 2002)。

隨 QUAL2E 水質模式改良為 QUAL2K 水質模式，國內研究開始進一步評估各削減策略之效益，包括大漢溪及支流三峽河、筏子溪、蘭陽溪、南崁溪、朴子溪、武洛溪、北港溪、淡水河、舊濁水溪、高屏溪、東港溪及旱溪等河川。其中，莊德豐等人(2007)以 QUAL2E 結合 HEM-2DT，進行朴子溪之水理、水質分析演算模擬，推估河川水質污染情形或評估污染改善成效；陳貞樺(2007)以 QUAL2K 模式分豐水期與枯水期模擬北港溪之水質情形；王惟申(2008)以 HEC-RAS 水理模式搭配 QUAL2K 及 Modified Streeter-Phelps 水質模式，進行整合應用於淡水河感潮河段之水質模擬探討；紀証耀(2008)應用馬可夫鏈關聯矩陣建立流量之時間關聯性及 QUAL2K 水質模式模擬高屏溪之水質狀況，配合各項越域引水計畫及現行水體分類水質標準，設計不同情境分析適合引水方案；黃珮瑜(2012)以 QUAL2K 水質模式模擬大漢溪中下游河段及其 8 座人工溼地並檢討人工溼地改善水質濃度之效益(張，2005；劉，2006；陳，2006；邱，2006；陳，2007；廖，2008；林，2008；黃，2009；曾，2010；林，2011)。

國外之 QUAL2K 模式應用，例如美國 Lower White River、尼泊爾巴格馬蒂河、韓國 Namdaecheon River、馬來西亞 Tebrau River、印度 Ghataprabha River 及中國紅旗河等。(Barreca *et al.*, 2002；Kannel *et al.*, 2007；Fan *et al.*, 2009；Cho *et al.*, 2010；Zainudin *et al.*, 2010；P.B.kalburgi *et al.*, 2010；Mathew *et al.*, 2011；Zhang *et al.*, 2012)

2-5 QUAL2K 之架構及理論

QUAL2K 水質模式利用基本水理傳輸方程式(advection-dispersion equation)及質量守恆式，如圖 2-2 所示，河川水質沿水流方向之變化，模式將河川根據水理特性分成數個河段(reach)所組成，每一個河段之間距並無等間距之限制，依所劃分之間距進行各單元計算。而每一個河段又可分成數個計算單元(elements)，各河段內之計算單元具有相同的水力特性，如圖 2-3 所示，可假設點源廢水排放、汲水、支流流入及沿河道增加或減少入流量，模擬污染物在質、量及排放位置對河川水質之影響。

應用 QUAL2K 水質模式推估各河段水質狀況，其執行步驟主要是先劃分集污區及模擬河段，模擬過程須建立水質相關參數與水理參數(河川斷面、流速、流量等)，由過去水質觀測站之實測資料進行參數率定及驗證，方可進行模式模擬。模擬過程中主要 3 項輸入(河道網格、水量參數、水質參數)，概念及理論的介紹如下：

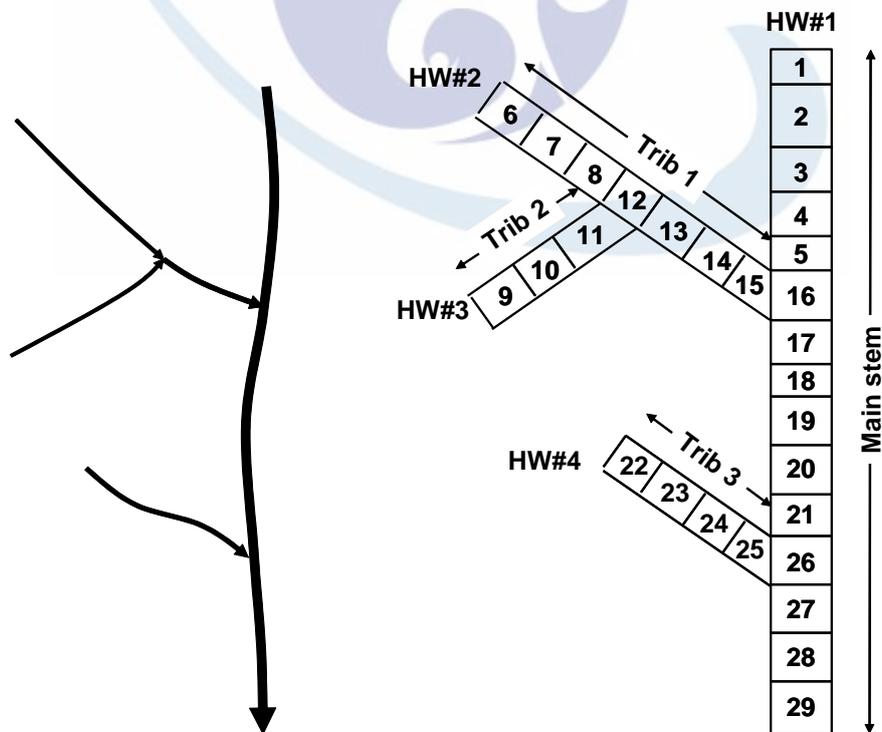


圖 2-2 QUAL2K 河川分割示意圖

資料來源：Chapra *et al.*, 2007。

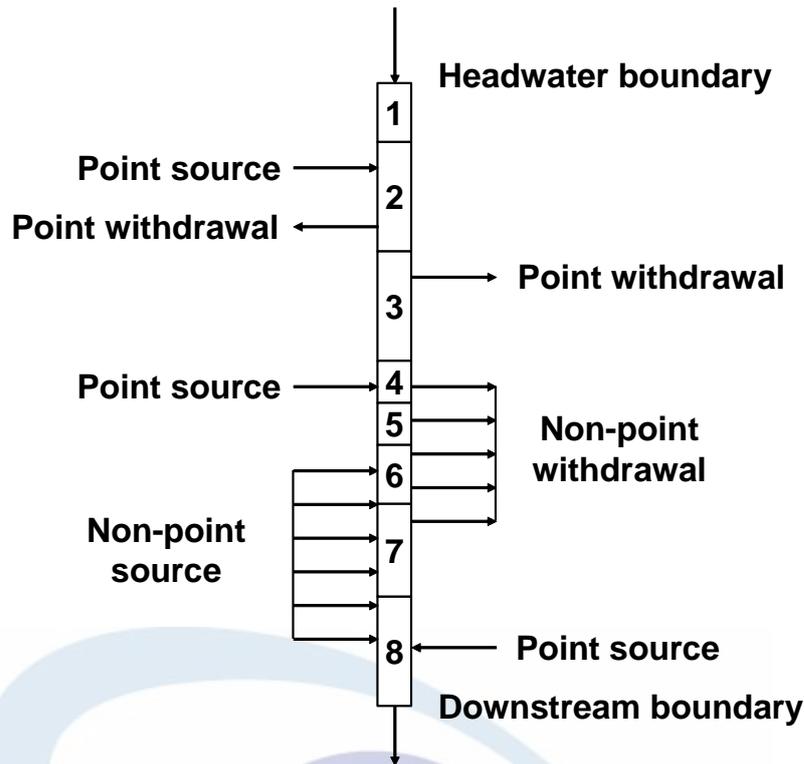


圖 2-3 QUAL2K 模擬河川概念圖

資料來源：Chapra *et al.*, 2007。

一、河道網格分割

將單獨一條河流視為一序列網格，每一網格之間距無等間距之限制，依所劃分之間距進行各單元計算。污染源可依距離或範圍輸入，每個計算單元藉輸入水質及各項參數不同而運算傳輸至下一個格點；每個網格之計算單元具相同之水力特性，為單一河流概念(Chapra *et al.*, 2007)。

二、水量模擬

QUAL2K 模式計算水力條件是假設為定常態 $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ 。針對水理計

算，模式以控制斷面，質量守恆的原則來建構，其中 QUAL2K 估算方式有三種：堰流量計法 (weirs)、率定曲線法(rating curves)、曼寧方程式(Manning equations)，模擬者得依據相關研究區域資料豐富程度及適用程度，選擇合適之水理估算方式。

三、水質模擬

QUAL2K 將每個單元視為穩定狀態(steady state)，因此整體而言濃度僅與位置有關而與時間無關，時間的控制是依 travel time 決定，而 travel time 則依河道分段長度與河川流速來決定。如圖 2-4 所示，模式為依循質量守恆原則，其動力學與質量傳輸程序如圖 2-5 所示，圖中各符號之代表涵義詳表 2-5。QUAL2K 模式之基本控制方程式為一維傳流延散方程式(Advection-Dispersion Equation)，該方程式包括傳流、延散、水質間相互反應之源與減等物理、化學和生物作用。QUAL2K 在穩定狀態(steady state)下，描述河川水質隨時間與空間之變化情形，其允許傳流和延散這兩種傳輸方式只在水流的主要流向，及假設每一個計算河段為完全混合(completely mixing)。其控制方程式如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_x D \frac{\partial C}{\partial X} \right)}{A_x \partial X} - \frac{\partial (A_x UC)}{A_x \partial X} + \frac{dC}{dt} + \frac{S}{A_x d_x} \quad (2-1)$$

式中，各符號表示如下：

$\frac{\partial C}{\partial t}$ ：局部之濃度變化(包括延散、傳流、源、減、稀釋等作用)

$\frac{\partial \left(A_x D \frac{\partial C}{\partial X} \right)}{A_x \partial X}$ ：延散作用項

$\frac{\partial (A_x UC)}{A_x \partial X}$ ：傳流作用項

$\frac{dC}{dt}$ ：每項水質在河川中物理、化學、生物作用和水質間相互作用情形

$\frac{S}{A_x d_x}$ ：源與減(包括外部支流排水抽水、內部之化學變化等)

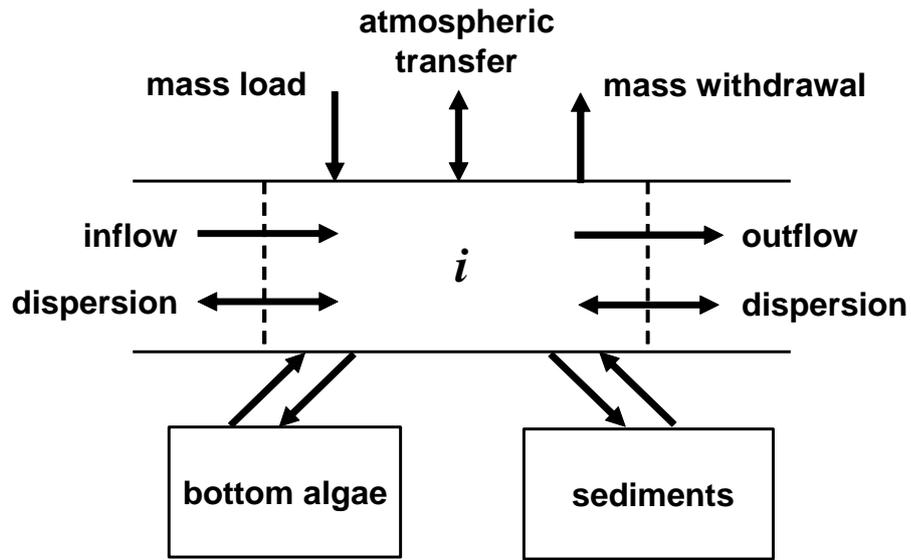


圖 2-4 格點 i 之質量守恆(Chapra *et al.*, 2007)

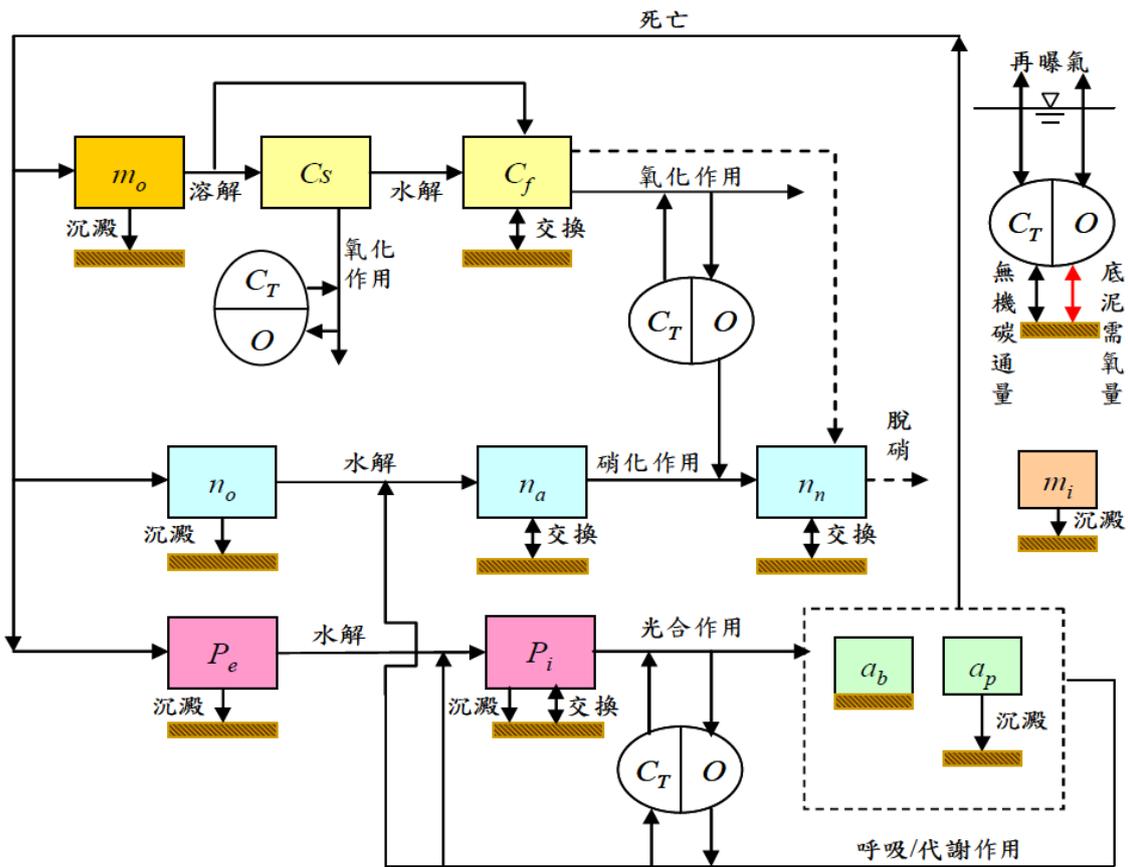


圖 2-5 QUAL2K 質量傳輸模式流程圖

資料來源：Chapra *et al.*, 2007。

表 2-5 QUAL2K 質量傳輸模式流程代表符號說明表

m _o	Detritus	p _o	Dissolve organic phosphorus
n _o	Dissolved organic nitrogen	p _i	Inorganic phosphorus
n _a	Ammonia nitrogen	a _p	Phytoplankton
n _n	Nitrate nitrogen	a _b	Bottom algae
c _s	Slowly reacting CBOD	n	Nitrification
c _f	Fast reacting CBOD	d _n	Denitrification
s	Settling	d	Dry weight
p	Photosynthesis	d _s	Dissolution
h	Hydrolysis		

資料來源：環保署，2011。

本研究應用 QUAL2K 探討美崙河流域主要污染河段污染削減策略對水質之影響，以生化需氧量(BOD)及氨氮(NH₃-N)為主要水質改善評估項目，以下針對每個水質變數說明如下(Park *et al.*, 2002；王，2008；廖，2008；林，2011)：

一、溶氧(DO)

(一) 影響河川中溶解氧濃度之因素

1. 大氣再曝氣作用(Reaeration)。
2. 藻類光合作用增加溶氧、呼吸作用消耗溶氧。
3. 細菌分解有機物消耗溶氧。
4. 底泥耗氧作用。
5. 硝化作用。
6. 支流或其他排水之流入而增加溶氧。

(二) 溶氧微分方程式

$$\frac{\partial O}{\partial t} = K_2(O_s - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho_1)A - K_1L - \frac{K_5}{D} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{D} \quad (2-2)$$

式中，各符號表示如下：

O_s ：DO 飽和濃度，mg/L

O : DO 濃度, mg/L

K_1 : BOD 祛氧係數, day^{-1} (以 e 為底)

K_2 : 再曝氣係數, day^{-1} (以 e 為底)

K_5 : 底泥耗氧率, $\text{g}/\text{m}^2\text{-day}$

α_3 : 每單位藻類光合作用所產生的 DO, mg-O/mg-A

α_4 : 每單位藻類呼吸作用所消耗的 DO, mg-O/mg-A

α_5 : 每單位氮氮氧化之攝氧量, mg-O/mg-N

α_6 : 每單位亞硝酸鹽氮氧化之攝氧量, mg-O/mg-N

N_1 : 氮氮濃度, mg-N/L

N_2 : 亞硝酸鹽氮之濃度, mg-N/L

β_1 : 氮氮之生物氧化速率係數, day^{-1}

β_2 : 亞硝酸鹽氮之氧化速率, day^{-1}

μ : 藻類之比生長率, day^{-1}

ρ_1 : 藻類之呼吸率, day^{-1}

L : 最終 BOD 之濃度, mg/L

D : 平均水深, m

A : 藻類生長質量濃度, mg-A/L

λ_1 : 每平方公尺的水生植物呼吸作用所消耗的 DO, $\text{g-O}^2/\text{m}^2\text{.day}$

λ_2 : 每平方公尺的水生植物光合作用所產生的 DO, $\text{g-O}^2/\text{m}^2\text{.day}$

二、生化需氧量(BOD)

河川水中的溶氧平衡主要來源藉由河川本身之再曝氣功能及光合作用所產生的氧氣，溶氧的消耗包括含碳分子及含氮的有機生化需氧(即 CBOD 及

NBOD)、底泥耗氧及藻類呼吸時所使用的氧(環保署, 1998)。

(一) 影響河川中有機物 BOD 濃度之因素：

1. 水中生物分解有機物使 BOD 濃度減少。
2. 因沈澱、吸附、脫氮及揮發作用使 BOD 濃度減少。
3. 河川底泥分解或沖刷使水中 BOD 濃度增加。
4. 藻類死亡使水中 BOD 濃度增加。

(二) 生化需氧量一階反應方程式

QUAL2K 假設 BOD 為一階反應, 對於有機物沈澱、揮發等作用對 BOD 去除影響不大, 故將 K_3 值忽略不計, 其方程式如下：

$$\frac{dC}{dt} = -K_1L - K_3L \quad (2-3)$$

式中, 各符號表示如下：

L：最終 BOD 之濃度, mg/L

K_1 ：BOD 耗氧係數(Deoxygenation Rate Coefficient), day^{-1}

K_3 ：因有機物沈澱、揮發等引起之 BOD 祛除係數, day^{-1}

K_r ：($K_1 + K_3$) = BOD 總去除率係數, day^{-1} 。 K_1 、 K_3 值均為 20°C 以 e 為底。

三、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)

在自然水體中, 氮的循環由有機氮經微生物分解為氨氮, 到亞硝酸鹽氮, 最後到硝酸鹽氮。透過硝化菌的硝化作用, 氨氮會氧化為硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮, 氨氮及硝酸鹽氮皆適合生物吸收利用, 但其生理上比較偏好氨氮(陳, 2002)。

氨氮的反應速率式如下(環保署, 1998)：

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 - \frac{\sigma_3}{d} - F_1 \alpha_1 \mu A \quad (2-4)$$

式中，各符號表示如下：

N_1 ：氨氮濃度，mg-N/L

N_4 ：有機氮濃度，mg-N/L

β_1 ：氨氮之生物氧化速率係數，day⁻¹

β_3 ：有機氮對氨氮之水解速率，與溫度有關，day⁻¹

σ_3 ：氨氮沈降率係數，day⁻¹

d ：水流平均深度，ft

F_1 ： $P_N N_1 / (P_N N_1 + (1 - P_N) N_3)$ ，藻類釋放出氨氮部份

P_N ：氨氮之優先因子(0-1.0)(QUAL2K 模式中包含了 P_N ，其意義為當氨及硝酸鹽氮濃度相等時，從藻類氮排出氮之部份)

過去 QUAL2E 水質模式僅能單點輸入，必須先對流域進行集污區的劃分。QUAL2K 水質模式可允許不同單位長度的單元存在，可將每一河段分成具有等間距或不等間距之計算單元，且相同河段內單元具有相同之水力特性(坡度、斷面積及粗糙度)與生物係數(藻類沈降率等)。它可描述河川水質隨時間與空間之變化情形，其計算方式是將整個流域依水理特性切割成若干河段，再將每一河段分成若干間距之計算元素，且相同河段內元素具有相同之水力特性(如坡度及斷面積等)與生物係數(如藻類呼吸、光合作用及沉澱率等)(廖，2008)。

QUAL2K 水質模式主要模擬項目為浮游生物、有機磷、無機磷、有機氮、氨氮、硝酸鹽氮、碳生化需氧量以及溶氧共 8 個變數，8 個水質變數可以(1)浮游植物動力學、(2)磷循環、(3)氮循環及(4)溶氧平衡等 4 個交互作用系統表示，各水質因子之反應式相當複雜，詳細反應式可參見 QUAL2K 使用手冊(Chapra *et al.*, 2007)。

2-6 研究區域背景資料

本研究蒐集研究區域相關環境背景資料，包括地理位置、地形、地質、土壤及礦產資源、水文、氣候、土地利用情形等，並依環保署統計年報初步評估河川水質現況，另彙整美崙溪相關規劃報告內容說明如下。

2-6-1 流域自然環境背景

花蓮縣兩大河川花蓮溪及秀姑巒溪，坡度較大且流速較快，而美崙溪主流發源於七腳川山，流域位屬花蓮海岸沖積平原地形區，山區與平地區分明顯，其流域北與三棧溪流域為鄰，南為吉安溪流域所圍繞，東鄰太平洋。上游河段由南北七腳川溪與嵐山溪合流，從水源橋以下進入平原，另一支流須美基溪匯於嘉國橋下游，經花蓮市區入海，流域水系資料如表 2-6 所示，美崙溪全長 15.40 公里，流域面積 77.6 平方公里，平均坡度 1：120，流域內人口眾多，工商活動頻繁，流域內之行政區包括秀林鄉、新城鄉、吉安鄉及花蓮市等地，其流域及水質監測站之示意圖，如圖 2-6 所示，環保署分別於水源橋、玉成橋、新城橋及中正橋等 4 處設置水質監測站。

一、 地理位置

花蓮縣地處台灣東部，礙於交通之不便，經濟發展壓力不若西部之沉重，因此在過去數十年的經濟發展過程中，自然環境意外地免於遭受工業污染的厄運，相較於台灣其他各地區而言，仍幸運地保有好山好水，被譽為台灣的最後一塊淨土。花蓮縣東濱太平洋，西倚中央

表 2-6 美崙河流域水系資料表

發源地	七腳川山
主要支流	無
幹線長度：15.40 公里，流域面積 77.6 平方公里，計畫洪水量 1,140 sec/m ³	
平均坡度	1：120
流經區域	秀林鄉、吉安鄉、新城鄉及花蓮市
出海地點	花蓮市

資料來源：行政院環保署水質監測網公告資料

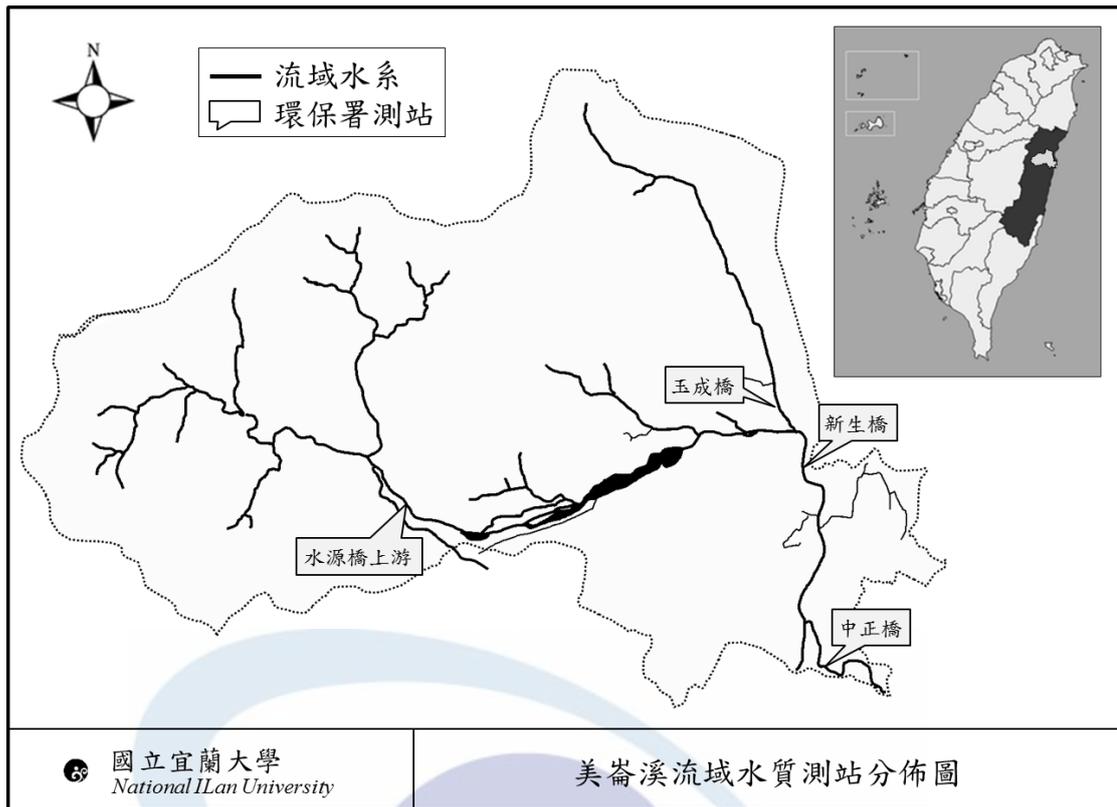


圖 2-6 美崙河流域水質測站分佈圖

山脈，與台中、南投、高雄 3 縣為界，北接宜蘭，南連台東。東西寬由 27 至 43 公里不等，南北最長 137.5 公里，總面積 4628.57 平方公里，約佔全省八分之一，面積居全省各縣市之冠，另外，本縣土地狹長且多山地，自然環境變化很大，發展條件與西部縣市不同。

二、地形

本縣境內多山地，高度在海拔 100 公尺以上面積佔 91%，坡度 5% 以上者佔 89%，平原地區僅佔 7%，除部份分佈於美崙溪沖積扇外，大部份成長條狀分布於花東縱谷兩側；河川佔 6%，為縱橫交叉之流路；山岳佔花蓮縣總面積的 87%，三千公尺以上之山峰約 40 座。全縣地形分為中央山脈、海岸山脈及縱谷平原區：(一)中央山脈區，歷歲月之地震水蝕，形成斷崖峽谷，益增壯觀之勢。(二)海岸山脈區，花東海岸位於台灣島上最受板塊作用影響的地區，地形舉昇劇烈、地質構造比較破碎，在地形上也顯得複雜、崎嶇，由於近岸海底地形較

深，面臨海域遼闊，因此受到嚴重的波浪侵蝕，造成東岸多岩岸的現象。(三)縱谷平原區，本縣境內平地，包括河川下游河床，或由海岸堆積、河川沖積、洪涵地堆積、或以地盤隆起與河流改道襲奪而成。而平原兩側諸溪，直瀉一出谷口即成網狀流路，河床拓寬，遂成沖積扇，包括和平溪三角洲平原、立霧溪三角洲平原、花蓮海岸平原、台東縱谷平原等。

三、地質

依據中央地質調查所編著之臺灣地質圖，美崙溪集水區相關地層之分布如圖 2-7。流域內地質構造上游為大南澳片岩，下游為沖積層及卑南山礫岩。其中，大南澳片岩(大理岩)：泛指以方解石和白雲石兩種礦物組成之變質結晶石灰岩，主要分布於美崙溪、嵐山溪及八堵毛溪之上游源頭。大南澳片岩(黑色片岩、綠色片岩、燧石)：分布於美崙溪中上游到谷口處，地層中夾有矽質片岩、黑色片岩與綠色片岩三種。矽質片岩類包括變質砂岩、石英片岩、燧石層和片狀砂岩，主要是由各種砂岩與燧石層變質而成。黑色片岩在許多地方為很多小石英脈所穿切，片狀和凸鏡狀的燧石也夾在黑色片岩中。黑色片岩呈深灰至灰黑色，而且具有發育良好的葉理面。綠色片岩常夾在黑色片岩的中間，主要呈厚層或薄層或凸鏡體，和其他變質岩成為互層，黑色片岩、層狀燧石及變質石灰岩是和綠色片岩最常共生一起的岩石。

四、土壤及礦產資源

花蓮縣以沖積土面積最大，佔耕地面積 90%，其母岩基質主要為片岩及少部分之火成岩及砂頁岩等，此類土壤含有較高之鐵、錳、鎂等成分，容易經氧化還原作用而淋失，縣內之土壤型態包括紅壤、黃壤、灰化土壤、高山腐植土、水成土及幼年土等 6 種，概分佈於台地、丘陵地、山林密茂之處、低溫潮溼高山、或地勢低平水源充足之處。在礦產資源方面，本縣擁有豐富的礦產，以非金屬礦物為主，包括大理石、白雲石、蛇紋岩、石綿、滑石、雲母、長石、水晶、寶石等，其中以大理石、石灰石分布最廣。

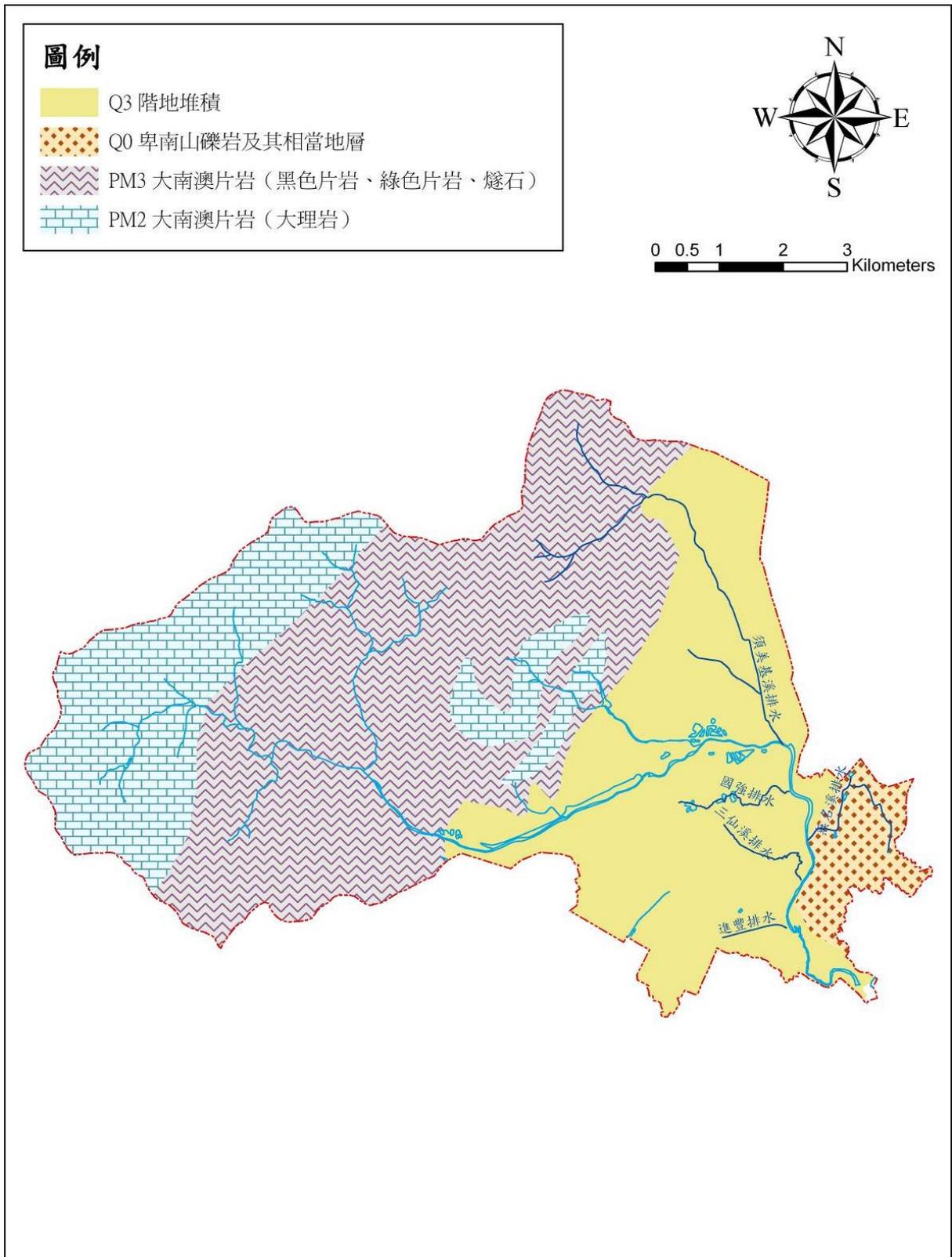


圖 2-7 美崙河流域地質分佈圖

資料來源：中央地質調查所

五、 水文

本縣境內河川有兩大主流，包括北面的花蓮溪，及南邊的秀姑巒溪。其中秀姑巒溪全長 81.20 公里，為全縣最長之河流。本縣河流每年 5 月至 10 月為豐水期，10 月以後流量迅速下降，而以 2、3 月為枯水期中雨量最少的月份，且各河川單位面積輸沙量極大，年沖蝕深度平均為 8.0 公厘，此量冠於本省其他地區，足見泥沙問題之嚴重。另外，各水系源流多、長度短，且水流湍急，容易氾濫成災。鯉魚潭面積 104 公頃，為東部地區最大的內陸湖泊具有特殊的山林景觀及田野風光。本縣地下水主要蘊藏於縱谷平原，蘊藏量以花蓮溪流域最多；因沖積層屬粗糙、孔隙多、透水及含水性能強，為良好的地下水蘊藏地區。本縣除近岸海域受漲退潮影響外，終年大多受由南往北之黑潮主流流經的影響，流向為北或東北，唯沿岸地區坡度大，深度深，加上岩石散佈，暗礁聳立，流度較大，漩渦迭起，水溫隨海水深度遞減，海水甚為清澈。

六、 氣象

依據中央氣象局花蓮測站之氣候統計資料，本計畫統計近年(2003-2011 年)之月平均值，包括氣壓、氣溫、降雨量與降雨日數、相對濕度、日照時數及颱風等，列如表 2-7 所示，說明如下：

- (一) 氣壓：美崙河流域位處於亞熱帶，夏季主要受熱帶性低氣壓影響，統計近年月平均氣壓，月平均最低值出現於 8 月，而冬季受西伯利亞冷高壓之影響，於 1 月間氣壓最高。
- (二) 氣溫：花蓮縣近年之月平均值介於 17.9°C(1 月)~28.6°C(7 月份)之間，全年平均氣溫為 23.6°C，其變化趨勢如圖 2-8 所示。
- (三) 降雨量與降雨日數：花蓮縣之月平均降雨量分佈在 51.9 mm(1 月)~358.5 mm(9 月)之間，月平均降雨日數以 15 天(9 月)為最多，而 7 天(7 月)為最少。如圖 2-9 所示，花蓮縣地區之豐水期為 5 至 10 月，以 7、8 月為最豐，約有 80%之降雨量集中於此 6 個月中，而 11 月至隔年 4

表 2-7 (2003-2011 年)花蓮縣之氣候統計結果

項目 時間	氣壓 (hPa)	氣溫 (°C)	降雨量 (mm)	降雨日數 (day)	濕度 (%)	日照時數 (hour)
1 月	1018.5	17.9	57.6	12	75	64
2 月	1016.3	19.2	70.0	12	76	83
3 月	1015.3	19.7	81.9	13	75	84
4 月	1011.9	22.5	65.0	13	77	99
5 月	1007.8	25.3	150.5	13	79	134
6 月	1005.1	27.0	163.2	12	80	177
7 月	1004.9	28.6	239.4	7	77	275
8 月	1003.8	28.4	278.0	10	77	233
9 月	1007.1	27.1	397.3	15	78	162
10 月	1012.1	24.9	390.2	13	73	132
11 月	1015.3	22.6	183.9	13	74	94
12 月	1017.7	19.3	73.1	9	70	89
全年	1011.3	23.6	179.2	12	76	136

資料來源：中央氣象局全球資訊網，本計畫統計。

月則為枯水期，最低平均降雨量發生於 1 月，且雨量於 11 月以後驟降，豐、枯水期之分水嶺明顯。

(四) 相對濕度：花蓮縣相對濕度變化較小，全年濕度在 65 %~73 %之間，梅雨季(4~6 月)及颱風季節(7~9 月)平均濕度最高。

(五) 日照時數：年平均日照時數約為 3,633 小時，月平均日照時數在 64 小時(1 月)~275 小時(7 月)之間。

(六) 颱風：依中央氣象局統計，2003-2011 年有發布颱風警報之侵台颱風共計 58 次，其侵襲路徑可分為九類，如圖 2-10 所示，其中，本縣位於東部地區首當颱風其衝，屬於第三類路徑，由登陸地點分佈情形統計，侵台之颱風由東部登陸之颱風次數最多，本縣受颱風影響甚大。

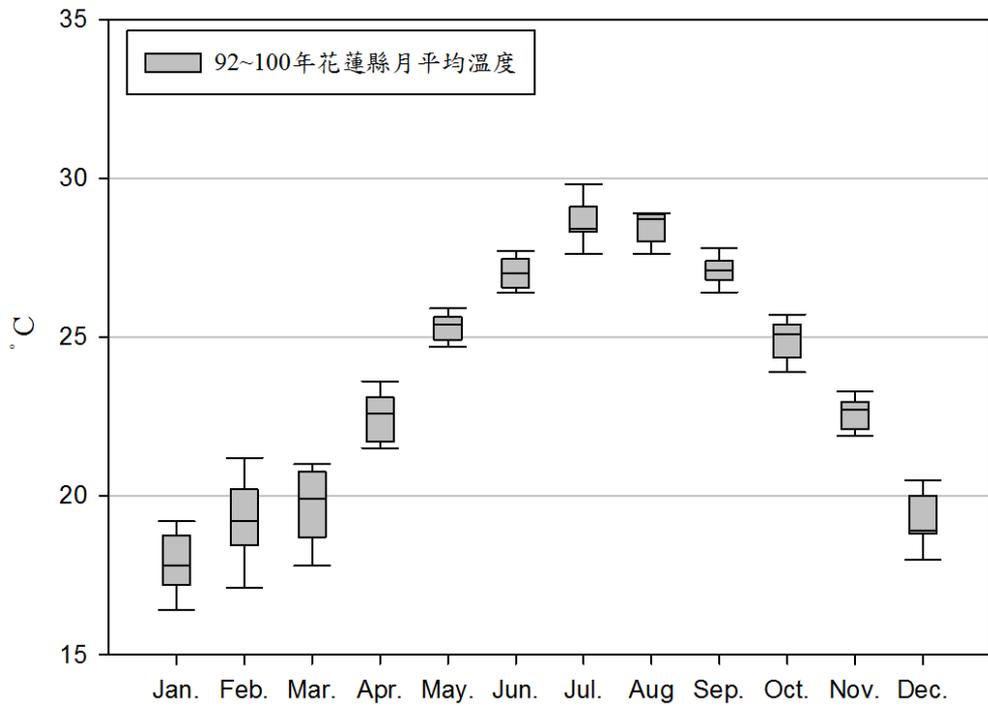


圖 2-8 花蓮縣近年(2003-2011 年)之氣溫變化

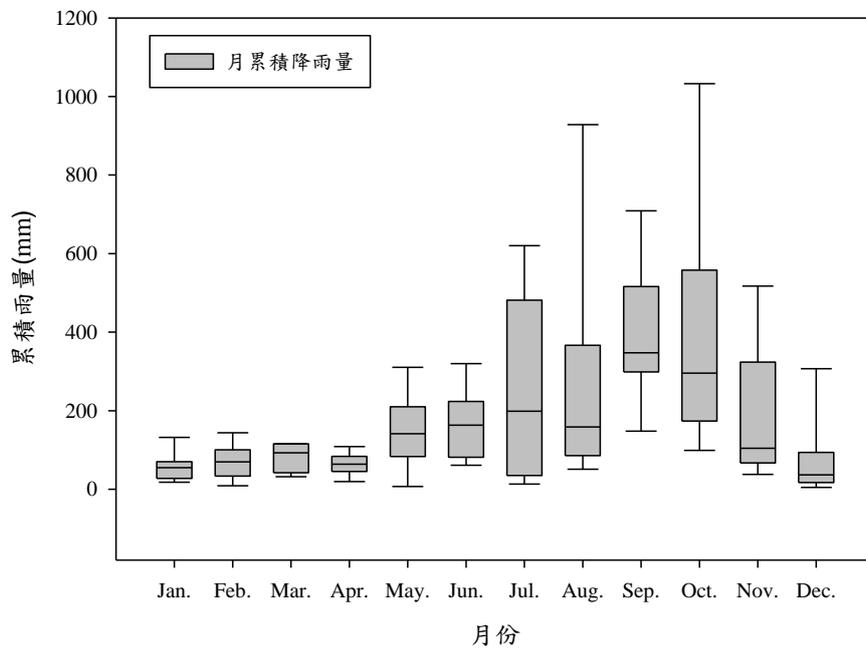


圖 2-9 花蓮縣近年(2003-2011 年)雨量分佈

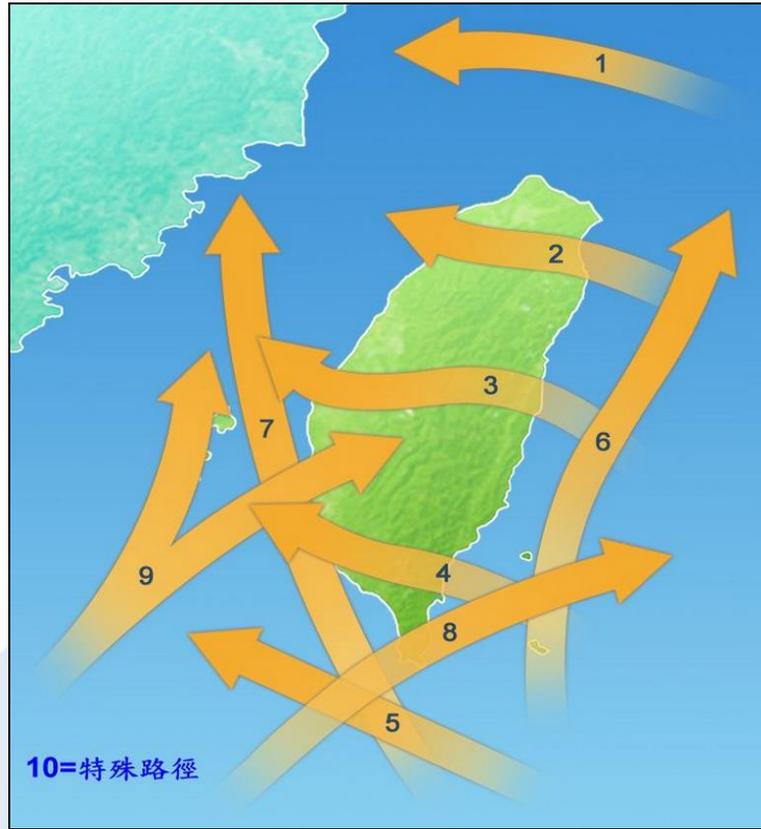


圖 2-10 侵台颱風路徑分類圖

資料來源：中央氣象局全球資訊網

2-6-2 土地利用情形

美崙溪流域土地使用分區面積共 6554.63 公頃，其中林班地所佔面積最大(48.22%)，分布區域為美崙溪上游秀林鄉山區，其次為都市計畫區(22.55%)，主要分布在美崙溪中下游區域，及須美基溪排水左岸，包括花蓮市、新城鄉及吉安鄉的都市計畫區。其餘為一般農業區(9.68%)、山地保育區(8.71%)、特定農業區(4.87%)及特定專業區(2.69%)，詳見表 2-8 及圖 2-11。

表 2-8 美崙溪流域土地分區面積表

名稱	面積(公頃)	百分比
一般農業區	644.17	9.68%
山坡地保育區	579.52	8.71%
未登錄	16.57	0.25%
林班地	3208.55	48.22%
河川區	6.02	0.09%
特定專用區	178.92	2.69%
特定農業區	324.28	4.87%
國家公園	67.70	1.02%
都市計畫區	1500.37	22.55%
森林區	124.97	1.88%
鄉村區	3.54	0.05%
總計	6654.63	100.00%

資料來源：內政部營建署

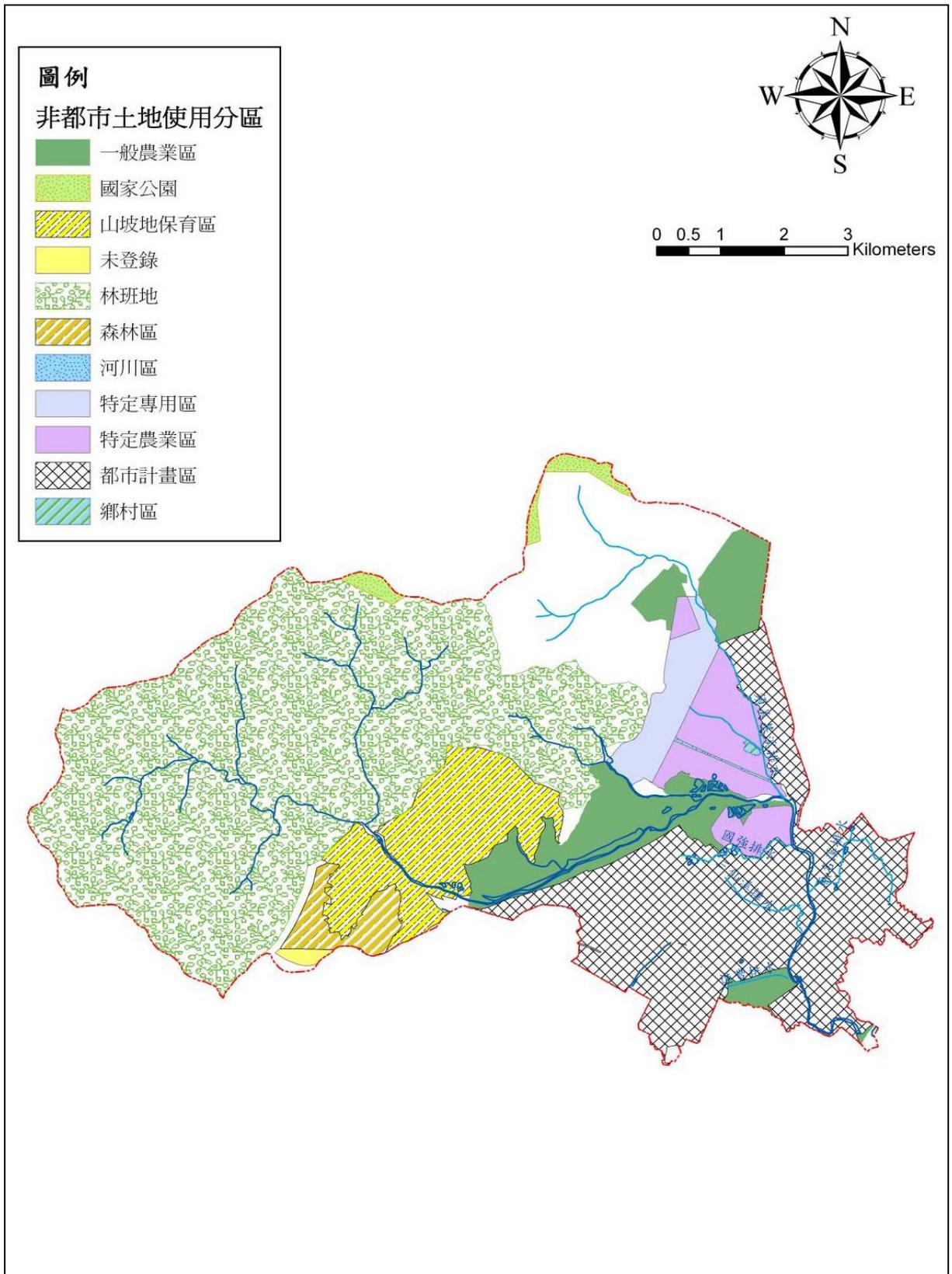


圖 2-11 美崙河流域土地使用分區面積

資料來源：經濟部水利署「易淹水地區水患治理計畫」第一階段實施計畫，2005。

2-6-3 美崙溪水質現況

河川水質監測的主要目的，係掌握河川水質之污染現況及其變化情形，以提供訂定水污染防治策略的參考。然而，河川污染型式可分為自然因素及人為因素兩種，河川水質監測項目之變化，有可能受河川地質、地形、位置、氣候及土地利用所影響(Billett et al., 1997; McNeil et al., 2005; Robson and Neal, 1997; Neal et al., 2006; Rothwell et al., 2010)，若礦物的含量受季節性及氣候所影響，可能屬於自然污染型式；而有機物及營養物則可能屬於人為來源(Vega et al., 1998)，如農牧活動、工業活動、河川疏浚及生活廢水等人為活動(Buck et al., 2004; Garvey et al., 2004; Chang, 2008)。因此，透過指標傳達之水質狀況亦會有所變異，故需探討其主要變化因素，進而對症下藥，尋得因應措施與解決方法，以清楚判讀指標意義，並保有良好的環境品質。

為了解河川水質污染情形，美崙溪目前共設有 4 個水質監測站，如表 2-9 所示，包括水源橋上游測站、玉成(嘉里二號)橋測站、新生橋(嘉新村)測站及中正橋測站。

河川污染指標(RPI)為目前環保署對於河川水質監測最常用評估河川污染程度之水質指標。河川污染指標乃將溶氧(DO)、生化需氧量(BOD)、懸浮性固體(SS)及氨氮(NH₃-N)等四種水質參數，以表 2-10 之分類方式，將河川水質等級分為未(稍)受、輕度、中度及嚴重污染等四種污染程度，分別由各污染程度給予一對應點數，由四項水質點數相加再除以四求得積分值，並判定河川污染程度。根據 RPI 指標進行河川污染程度分析，除可了解該河川水質是否有受到污染，亦可根據各水質項目所得之點數值推測污染形成之主因。

依據環保署公告之環境水質監測年報統計資料，本流域之歷年(2002~2011 年)河川污染情形如表 2-11 所示，RPI<2 污染程度河段長度約佔 56.0%，但仍有 25.6%河段屬於中度污染情形，河段全線有 0.3%嚴重污染情形。此外，「花蓮縣環境保護計畫」之水質類環境品質分項指標中，另訂有 DO、NH₃-N、BOD、SS 及重金屬等測項之水質達成率，其計算方式係以該流域測站監測項目，分別計算符合水體分類水質標準的達成率，而統計美崙溪 DO、NH₃-N、BOD、SS 及重金屬歷年(2002~2011 年)水質達成率情況，如表 2-12 所示，整體而言，

重金屬之水質達成率最高，平均 99.4 %，其次為 SS 之 93.7 % 及 DO 之 84.7 %，而以 BOD 及 NH₃-N 之水質達成率較低，分別僅 58.3 % 及 26.7 %，可知要提升美崙溪之水質，應以 BOD 及 NH₃-N 污染物之削減為首要工作。

分析美崙河流域水質現況結果，可發現主要污染物為 BOD 及 NH₃-N，依豐、枯水期分類，比較 RPI 值及 BOD、NH₃-N 濃度變化趨勢之差異，顯示枯水期間污染略為顯著，故本研究模擬時間訂為枯水期間，並配合 2012 年度花蓮縣環境保護局於枯水期(11 月)執行之水質水量監測資料，作為水質模式建立之輸入資料參考來源。

表 2-9 美崙溪水質測站基本資料

測站編號	測站名稱	測站位置	水體分類	經度	緯度
1246	中正橋	花蓮縣花蓮市中正路	丙	121.6119540	23.9803260
1245	新生橋	花蓮縣新城鄉嘉新村	丙	121.6083950	24.0094050
1244	玉成橋	花蓮縣新城鄉嘉里村	乙	121.6049460	24.0168970
1243	水源橋上游	花蓮縣秀林鄉水源村	甲	121.5460740	24.0057850

資料來源：環保署，全國環境水質監測資訊網

表 2-10 河川污染指標(RPI)等級分類表

水質項目	污染程度			
	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
DO(mg/L)	>6.5	4.6~6.5	2.0~4.5	<2.0
BOD(mg/L)	<3.0	3.0~4.9	5.0~15	>15
SS(mg/L)	<20	20~49	50~100	>100
NH ₃ -N(mg/L)	<0.5	0.50~0.99	1.0~3.0	>3.0
點數	1	3	6	10
積分	<2.0	2.0~3.0	3.1~6.0	>6.0

資料來源：環保署，全國環境水質監測資訊網

表 2-11 美崙溪歷年(2002-2011 年)河川污染程度百分比

污染程度 年份	未(稍)受污染 百分比	輕度污染 百分比	中度污染 百分比	嚴重污染 百分比
	RPI<2	$2 \leq \text{RPI} \leq 3$	$3 < \text{RPI} \leq 6$	RPI>6
2002	38.0	26.0	36.0	0.0
2003	33.0	10.0	57.0	0.0
2004	48.8	19.2	32.1	0.0
2005	57.9	17.4	24.7	0.0
2006	58.7	27.0	14.3	0.0
2007	60.2	11.6	26.6	1.5
2008	75.2	13.3	11.5	0.0
2009	64.5	20.7	14.8	0.0
2010	59.4	21.5	19.2	0.0
2011	64.9	14.6	19.4	1.1
平均	56.0	18.1	25.6	0.3

資料來源：環境水質監測年報，本研究統計。
單位：%。

表 2-12 美崙溪歷年(2002-2011 年)水質類指標之水質達成率

年份	DO	NH ₃ -N	BOD	SS	重金屬
2002	89.1	6.5	6.5	93.5	100.0
2003	68.8	18.8	8.3	100.0	93.8
2004	85.4	22.9	45.8	95.8	100.0
2005	77.0	27.0	58.3	89.5	100.0
2006	89.5	31.2	70.8	83.3	100.0
2007	81.2	35.4	60.4	81.2	100.0
2008	93.7	31.2	81.2	97.9	100.0
2009	93.7	33.3	89.5	97.9	100.0
2010	81.2	27.0	83.3	100.0	100.0
2011	87.5	33.3	79.1	97.9	100.0
平均	84.7	26.7	58.3	93.7	99.4

資料來源：環境水質監測年報，本研究統計。
單位：%。

2-6-4 美崙溪歷年規劃報告

依據「花蓮縣河川流域防治規劃計畫(2003年)」，如表 2-13 所示，美崙溪流域集污區包括花蓮新站、美崙山分區、須美基溪分區、八堵毛溪分區、德興分區、石壁堂分區及水源地分區等 7 個集污區。美崙溪流域尤以中下游地區污染濃度較高，主要污水排放口集中於抽水站之出水口，而美崙溪流域中上游地區大部分為農林地，多為水稻、養殖或其他零星雜作為主，但近年農舍開發甚多，使上游生活污水增加。針對生活污水、事業廢水、畜牧廢水及農田排放水等各污染量及流量推估方法，如表 2-14 所示，推估污染量結果顯示，主要為中下游新生橋至中正橋河段生活污水之排放，如圖 2-12 所示，美崙溪流域集污區污染量推估魚骨圖，係應用地理資訊系統，將污染源依各集污區分別作統計，依據「花蓮縣河川流域防治規劃計畫(2003年)」美崙溪流域之集污區污染量推估結果，花蓮新站分區之排水為最大，其次依序為美崙山分區排水、須美基分區排水。

為持續更新美崙溪流域之污染現況調查，花蓮縣環保局於「101 年度花蓮縣河川流域稽查管制暨緊急應變協力處理計畫」中，進行美崙溪流域水質水量調查工作，分河川主流(MR)及重大排水(MD)，由檢測結果可知，嘉國橋上游至新生橋間，以及三號橋至尚志橋間，有重大污染匯入水體，至水體水質產生明顯污染情形。另於 101 年 11 月 12 日進行水量調查，將各採樣點水質水量之調查結果，分主流污染負荷量及重大排水污染量作統計，重大排水採樣點包括製作 101 年度美崙溪流域實測之污染量魚骨圖，如圖 2-13 所示。整體而言，美崙溪流域主要污染負荷為生化需氧量及氨氮污染，由水質水量之檢測結果，可發現實測結果之重大排水污染量已有減少，與集污區污染量推估魚骨圖之污染量差異，推估為集污區污染量推估缺少流達率之計算，然美崙溪氨氮污染濃度大部分仍為嚴重污染情形，可能為非點源污染與養豬廢水之污染排放所影響。

表 2-13 美崙河流域集污區涵蓋行政區域一覽表

編號	集污區 名稱	面積	鄉鎮別	村里別
ML01	花蓮新站 分區	468.3 ha	新城鄉 花蓮市 吉安鄉	嘉新村 國強里、國聯里、民勤里、國光里、國防里、民德里、民生里、民權里、國富里、國魂里、國華里、國安里、國風里、國威里、民治里、民有里、民族里、民主里 北昌村
ML02	美崙山 分區	420.9 ha	新城鄉 花蓮市	嘉里村、嘉新村 民心里、民享里、國強里、民意里、民政里、國聯里、民運里、民勤里、民立里、國光里、國防里、民德里、民生里、民權里
ML03	須美基溪 分區	1,714.0 ha	秀林鄉 新城鄉 花蓮市	佳民村、水源村 康樂村、北埔村、佳林村、嘉里村、嘉新村 國強里
ML04	八堵毛溪 分區	810.2 ha	秀林鄉 新城鄉 花蓮市	佳民村、水源村 佳林村 國福里
ML05	德興分區	449.3 ha	秀林鄉 花蓮市	水源村 國福里
ML06	石壁堂 分區	659.4 ha	秀林鄉 新城鄉 花蓮市 吉安鄉	水源村 佳林村、嘉新村 國福里、國強里、國慶里、國富里 太昌村、永安村、北昌村
ML07	水源地分 區	3,235.0 ha	秀林鄉	佳民村、銅門村、水源村

資料來源：花蓮縣流域河川污染防治規劃計畫(2003)

表 2-14 各類污染源污染量推估方法

污染源項目	污水量推估方法	污染量推估方法
一般生活污水	<ol style="list-style-type: none"> 每人每日用水量平均為 275(1pcd) 推估 80 % 為污水量：220.16(1pcd) 各分區人口已扣除公共污水下水道服務人口數(由公共污水下水道服務範圍之村里統計)。 	<ol style="list-style-type: none"> 污染產生量：BOD 40 g/人日、TN 12 g/人日、TP 2 g/人日。 生活雜排水與化糞池排水之比例為 66.67 % 與 33.33 %。
事業廢水 (不含畜牧業之其餘事項)	根據環保局「水污染源管制資料系統」許可、定檢申報資料予以推估。	根據環保局「水污染源管制資料系統」許可、定檢申報資料予以推估。
畜牧廢水	<ol style="list-style-type: none"> 豬隻頭數依據行政院農業委員會統計結果 單位頭數污水量：30 l/day。 	<ol style="list-style-type: none"> 污染產生量：BOD 100 g/頭天、TN 5.4 g/頭天、TP 21 g/頭天、NH₃-N 12 g/頭天。 污染去除率： <ol style="list-style-type: none"> 若正常操作三段式處理設施(固液分離、厭氧、好氧處理功能)其處理效率 BOD 及 SS 去除率可達 97 %；若僅是開機(僅具厭氧處理功能)只有二段之處理效率，則 BOD 及 SS 去除率可達 90 %；若僅設置而未開機操作者，視同僅有化糞池功能，則 BOD 及 SS 去除率可達 30 %。 NH₃-N 正常操作三段式處理設施時，去除率可達 100 %，若未正常操作則無去除率。 TP 正常操作三段式處理設施時，去除率可達 10 %，若未正常操作則無去除率。 本推估調查結果設置率 95 %、開機率(只有二段處理效率者)40 %、正常操作率 1 %。
垃圾滲出水	滲出水量取平均降雨強度 I=6.45 mm/day、C 值(掩埋場內降雨量成為滲出水之比例)=0.5。	<ol style="list-style-type: none"> 原滲出水水質：BOD 2000 mg/L、TN 1000 mg/L、NH₃-N 600 mg/L、TP 61 mg/L。 去除率：初級返送 BOD 去除率可達 30 %，NH₃-N 不削減；三級處理 BOD 去除率可達 95 %，NH₃-N 去除率可達 80 %；簡易掩埋者 BOD、NH₃-N 皆不削減。
非點源	—	<ol style="list-style-type: none"> 根據三大流域內土地利用現況分水田、旱作、草生地、社區、林地、高爾夫球場、遊憩用地、裸地、河川水系與其他等類別統計單位面積。 參考環保署 91 年「高屏溪流域非點源污染防治具體措施規劃」報告採用各土地種類單位面積之污染輸出量，予以推估污染量。

資料來源：花蓮縣流域河川污染防治規劃計畫(2003)

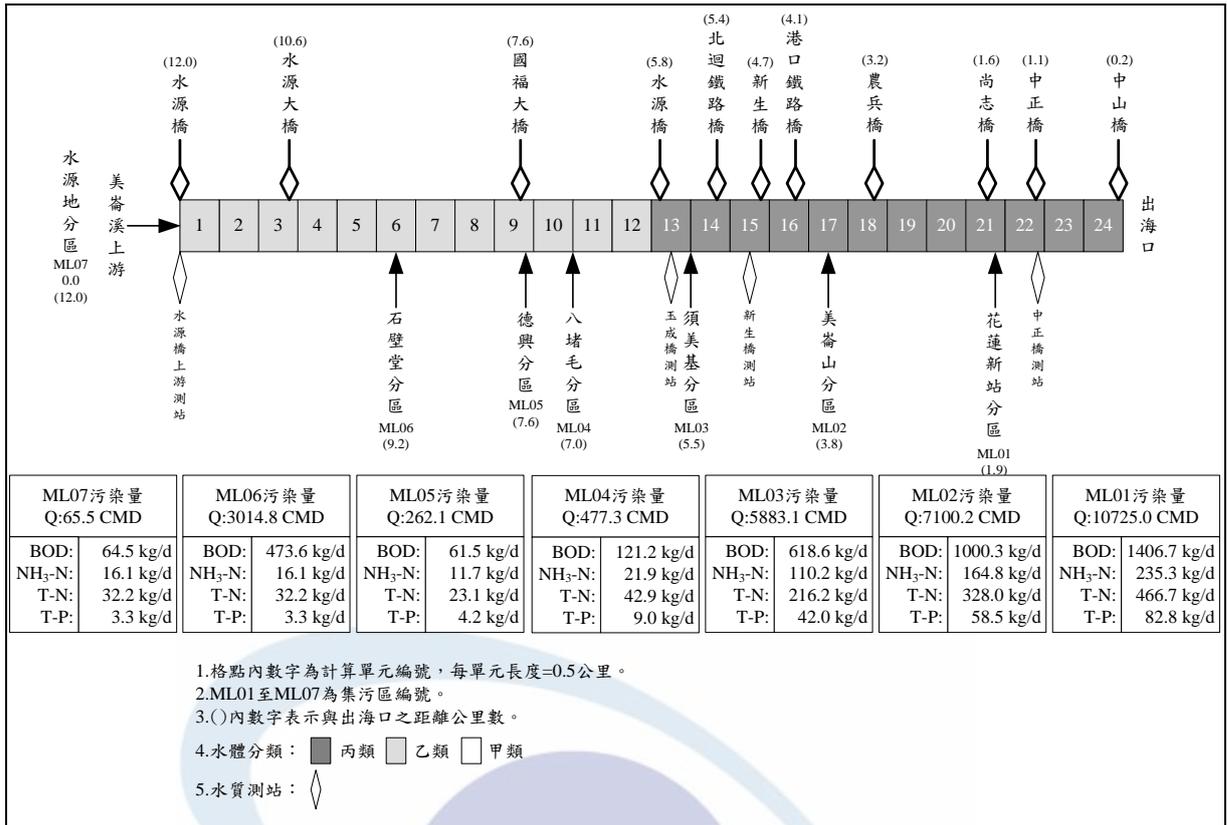


圖 2-12 美崙河流域集污區污染量推估魚骨圖

資料來源：花蓮縣流域河川污染防治規劃計畫(2003)

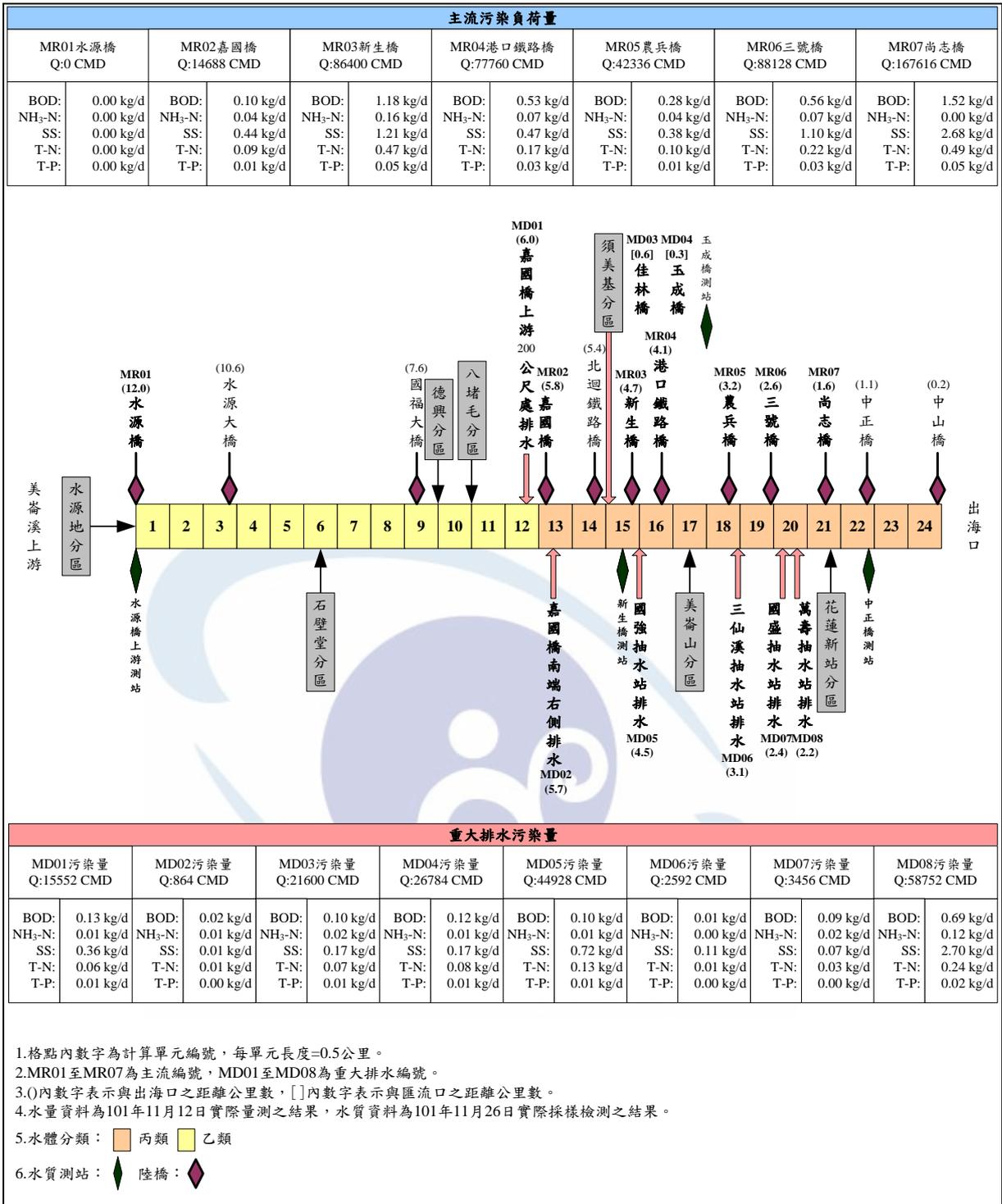


圖 2-13 101 年度美崙河流域實測之污染量魚骨圖

資料來源：101 年度花蓮縣河川流域稽查管制暨緊急應變協力處理計畫(2012)

第三章 研究方法

水質模式之建立，除了模式評選、集污區劃分及污染量推估外，尚有其他輸入資料之蒐集彙整及分析，包括模擬河段劃分、水理條件、邊界條件以及配合河川水質檢測資料進行參數率定等，研究區域背景資料包括集污區、河系、各類型污染源位置、污染型態、污染量確認及土地利用等資料彙整，此外，河川、水庫之水質水量資料，以及流域自然、人文、社會環境之資料，以進行流域污染量推算、水質模式建立及污染整治措施研擬時參考之依據。QUAL2K 於水質模擬使用時，需輸入五大類型資料，包括區域污染量、水體水文資料、氣象資料、模式相關參數及水質監測等資料。模擬程序主要為先劃分區域污染區及河段，進而推估各區域污染區的污染量。模擬過程中尚需建立相關水質參數及水理參數，並利用實際監測資料進行參數率定、驗證(環保署，2011)。

3-1 流域水質現況分析

部分文獻指出，花蓮縣地區之豐水期為 5 至 10 月，以 7、8 月為最豐，約有 80 % 之降雨量集中於此 6 個月中，而 11 月至隔年 4 月則為枯水期，最低平均降雨量發生於 1 月，且雨量於 11 月以後驟降，豐、枯水期之分水嶺明顯(江漢全等人，2009；許麗淑，2010)。因此，本研究將每年的 5 月至 10 月歸類為豐水期，將 11 月至隔年 4 月歸類為枯水期，進行統計分析。

環保署自 2002 年起，將河川流域水質監測由每 3 個月執行一次改為每月進行監測。本研究依據環保署全國環境水質監測資訊網所公告之水質監測資料，選擇河川水質重要指標 RPI 值及 BOD、NH₃-N 濃度，利用圖表的方式呈現近年美崙溪之水質狀況，依豐、枯水期分類，比較各項參數變化趨勢之差異。

3-2 流域污染量推估

3-2-1 集污區劃分

依據「花蓮縣河川流域污染防治計畫」針對 BOD 及 NH₃-N 等污染量，其設計流量為參考環保署「花蓮縣美崙溪、吉安溪、花蓮溪等流域污染防治規劃」中，所量測之水量資料作為魚骨圖之設計流量，配合地理資訊系統(GIS)空間分析及資料處理的功能，將美崙溪流域參考航照圖及市鎮雨水排水幹線圖等劃定集污區，集污區劃定原則如下：

- (一)以水系流向為主，範圍盡可能配合行政區界(如村里鄰界)。
- (二)每一集污區內皆含一條大支流(或大排水路)。
- (三)中、下游都會區之集污區劃定，以都市排水系統資料為主。
- (四)考慮地面水體分類界線。

美崙河流域之集污區包括水源地分區、德興分區、石壁堂分區、八堵毛分區、須美基溪分區、美崙山分區及花蓮新站分區等 7 個集污區。除集污區劃定外，每個集污區會有一個排入點，排入點的位置決定於最主要排水幹渠上。各集污區之排入點位置及環保署水質監測站位置如圖 3-1 所示。



圖 3-1 美崙河流域之集污區及分區主要排入點示意圖

3-2-2 污染源管制情形

以「水污染源管制資料管理系統」查詢污染源管制現況之結果，如表 3-1 所示，美崙河流域列管污水下水道系統共計 17 家(包括社區下水道系統 6 家及指定地區或專用場所專用下水道 11 家)，列管事業共計 66 家，其中，畜牧業計 11 家，主要分佈於八堵毛溪分區、須美基溪分區及花蓮新站。實際排放廢水至地面水體者計 56 家，「101 年度花蓮縣流域及水污染稽查管制暨緊急應變協力處理計畫」，統計美崙溪各行業污染物排放狀況，總排放量以其他指定地區或場所專用下水道 9 家共排放 2,357.33 CMD，佔 39.3 % 為最多，其次為土石加工業 8 家共排放 1,624.9 CMD，佔 27.1 %，BOD 污染物總排放量以其他指定地區或場所專用下水道 9 家共排放 38.96 kg/d，佔 58.9 % 為最多，其次為醫院、醫事機構 3 家排放 7.07 kg/d，佔 10.7 %，SS 污染物總排放量則以土石加工業 8 家共排放 66.73 kg/d，佔 50.9 % 為最多，其次為其他指定地區或場所專用下水道 9 家共排放 38.94 kg/d，佔 29.7 %。

表 3-1 美崙溪各行業污染物排放狀況

行業別	排放家數	原廢水總產生量			放流水污染物總排放量			削減率	
		廢水量 (CMD)	BOD (kg/day)	SS (kg/day)	廢水量 (CMD)	BOD (kg/day)	SS (kg/day)	BOD	SS
土石加工業	17	298	-	532.9	74	-	2.5	-	100%
其他中央主管指定機關	2	19	3.4	1.8	19	0.4	0.4	88%	78%
其他指定地區或場所專用下水道	2	27	2.0	1.4	17	0.3	0.3	85%	79%
社區下水道其流量大於 250 立方公尺/日	6	350	41.9	40.6	350	5.2	4.2	88%	90%
洗衣業	1	5	-	0.5	5	-	0.1	-	80%
洗車場	6	7	-	0.5	7	-	0.2	-	60%
食品製造業	2	2	-	0.2	2	-	0.0	-	100%
修車場	2	21	-	0.8	21	-	0.2	-	75%
畜牧業(一)	15	139	502.4	290.6	135	3.3	5.1	99%	98%
遊樂園(區)	1	2	1.5	0.8	2	0.0	0.0	100%	100%
實驗、檢(化)驗、研究室	1	14	0.8	0.9	14	0.1	0.0	88%	100%
餐飲業	2	3	0.5	0.3	3	0.1	0.1	80%	67%
醫院、醫事機構	3	356	31.7	18.1	356	7.1	3.7	78%	80%
觀光旅館(飯店)	8	650	72.3	43.3	652	22.1	17.4	69%	60%
總計	68	1893	656.5	932.7	1657	38.6	34.2	94%	96%

資料來源：本研究整理「水污染源管制資料管理系統」101 年度定檢申報資料之統計結果。

3-2-3 流域污染量推估

污染量推估的主要目的在於掌握污染源的結構，以作為相關削減策略擬定的依據。由於國內各重要河川流域的污染源分析及污染量推估已散見於許多相關報告中，故收集彙整各類污染量的推估方法並適切改良應用於研究流域中。為提高推估效率及推估品質，乃透過電腦技術的輔助，結合地理資訊系統(GIS)空間分析及資料處理的功能，將前置作業所收集之各類污染推估流程整合於系統中，而構建一套完整的污染量推估系統，可作為未來污染源分析與探討污染量變化之工具。而各污染量推估流程主要架構於 GIS 的集污區圖，利用 GIS 為工具，經由中間衍生資料演算計算得各集污區之污染量。由於管制方案及削減政策的改變會影響污染量的推估，故開發之污染量推估系統可針對相關之影響參數值進行手動修改，以隨管制方案與削減政策之實施而更新污染量推估模式，以期能有效輔助各類方案預期污染量推估工作的執行，亦有利於流域管理政策之擬定。

因此，本研究蒐集調查美崙溪事業污染源管制資料，並彙整水污染源管制資料管理系統中，各事業申請許可及定檢申報之數據，進行流域污染源之全面調查，包括事業、養豬場、社區、工業區等進行定位，利用調查定位之空間資料，分生活污水、工業廢水及畜牧廢水等各集污區之污染量推估。各類污染量推估方法如下：

(一) 生活污水

研究估算之現況人口數，係以行政院主計處提供之 101 年最新人口資料為現況人口數為計算之基準。依據自來水事業單位統計年報之資料，每人每日用水量平均為 258 公升，而污水量與用水量之比例多以 0.8 比值來推估每人每日用水量，故假設每人每日污水產生量為 206.4 公升。根據近年國內河川整治規劃報告，生活污水之 BOD 污染量介於 150~250mg 之間，本研究採用每人每日 BOD 污染量為 190 mg/L、SS 為 190 mg/L、NH₃-N 則為 35 mg/L、TP 為 2.2 g 與 TN 為 13 g(污水下水道設計指南，1996；台北縣政府環境保護局，

2002)。生活污水又分為糞尿及雜排水兩種，故取化糞池收集為生活污水中之 1/3，化糞池設置率假設為 100%，其對 BOD 之去除率為 30%、對 SS 之去除率為 40%，對於氮、磷則無去除效率(歐，1996)。目前花蓮縣境內生活污水可分為社區下水道所排放之污水與一般生活污水，兩者放流水質不同，社區下水道之推估主要依據花蓮縣環保局列管社區下水道放流口污水量與污水水質資料推估之；而一般生活污水則針對計畫區流域內村里鄉鎮之人口數，調查推估各集流分區之一般生活污水量與污染量。

(二) 事業廢水

計畫區流域內之事業依其性質分類為食品飲料、紡織、石化塑膠、金屬機械、皮革、電器電子、造紙印刷、及其他八大類別，雖然事業定義上包含畜牧業，但由於畜牧業污染量有其特殊性，另將其單獨列為一類污染源獨立計算，因此本項污染源所指事業係不包括畜牧業之其他所有水污染防治法所定義行業別之事業。

由於本項污染源之污染量資料其產生量及排放量資料主要皆由「水污染源管制資料管理系統」各項欄位資料整合計算而得，包括事業之「產生水量」、「排放水量」、各種「產生水質」、各種「排放水質」等資料，經本研究搜集分析後，由於其定檢項目主要為以 BOD 及 SS 為主，故在氨氮方面之個別行業適用項目之污染特性則亦參考工業局污染防治服務團之相關特性表加以修正，如表 3-2，而飯店/旅館業污染源污水型態近似生活污水，故以生活污水之推估方法換算其污染量，據此推估出總污染量代表計畫區流域內各事業廢水污染之貢獻度。

(三) 畜牧廢水

畜牧污染量主要來自於所飼養的家禽家畜，包括豬、牛、雞、鴨，其中雞多為圈養式，且排泄物含水量低、產量少，故不列入推估對象中；而牛、鴨飼養的數量對環境污染的程度，遠不及豬對環

表 3-2 各行業之事業廢水濃度值

行業別	BOD 濃度(mg/L)	NH ₃ -N 濃度(mg/L)
化工業	500	79
毛條業	3160	160
染整業	180	—
食品業	300	35
修車廠	70	—
造紙業	400	—
製藥業	1270	—
紡織業	200	—
醱酵業	300	114
石化業	523	100

資料來源：廢水脫氮之重要性及相關法規，工業污染防治中心，民國 84 年。

境品質影響的衝擊大，故畜牧廢水的推估主要以豬為主。如同生活污水污染量之推估，本項推估亦分為產生量及排放量。畜牧廢水污染量推估將以單位豬頭數所產生的單位污水量及單位污染量乘以其豬頭數而得。養豬廢水之廢水量受到豬隻每日糞尿排泄量、本身之生理特性、及養豬戶之沖洗豬舍習慣而略有差異，不同體重之豬隻在任意飼料或限食飼料下其糞尿量有所差異。除了豬隻所排放的糞尿外，每日清掃豬舍之沖洗水量，亦為計算養豬廢水之重要指標。台灣之養豬戶習慣以水沖洗地面，夏季並為豬隻沖涼，廢污之稀釋率約在 5~15 倍之間，根據歷年來養豬戶申報的水量資料所作的統計分析結果及相關研究報告，本研究推估所使用每頭豬所排放的廢水量約為 40L/day。

在水質方面，養豬廢水的主要污染來源為豬糞尿中之固體物及液體，加上部份飼料濺落以及豬舍之沖洗廢水，其中污染物 90% 來自豬糞尿，僅有 10% 來自飼料及其他。豬糞尿廢水一般皆屬於高污染廢水，固體物量佔總廢水的 20~30%，而其 pH 值則在 7.0~9.0 左右，新鮮豬糞尿廢污之生化需氧量約為 50,000~90,000 mg/l，因此污染量相當大。以新鮮豬糞尿的組成來看，豬糞中水分佔 72~80%、

有機物(含粗蛋白、纖維素及脂類)佔 12~25%、總氮佔 1.45%、磷佔 0.19%及氧化鉀 0.6%，豬尿的主要成份則為尿素及銨態氮。綜合國內專家學者之研究成果並經評估加以引用，其污染量數據資料具科學性。綜合言之，本研究畜牧廢水污染量推估所採用之各污染產生量為 BOD 100g/頭/天、TP 5.4g/頭/天、TN 26.7g/頭/天與 NH₃-N 16g/頭/天，其餘家禽家畜則暫不予考慮的方式進行畜牧污染量推估。

畜牧廢水之排放量需考量養豬廢水三段式處理之處理效率，依據農委會相關資料及環保署近年針對養豬廢水實際現勘調查之結果，目前養豬戶多已設置三段式處理設施，經固液分離、厭氧處理及好氧處理後，排出放流水，然開機率偏低，根據農委會於 1993 年之調查結果，全國統計正常操作之處理設施(BOD 及 SS 去除率為 97%，NH₃-N 去除率為 60%，TP 去除率為 10%)為 1%，有二段式處理效率者(BOD 及 SS 去除率為 90%)為 40%，其餘則為未開機僅有化糞池作用(BOD 及 SS 去除率為 30%)(農委會，1993；花蓮縣環境保護局，2003)。近年花蓮環保局積極輔導及稽查養豬廢水處理，故本研究假設正常操作三段式處理設施為 10%，有二段式處理效率者為 50%，其餘則視為未開機直接排入厭氧槽，僅有類似化糞池之作用。

由於資料庫中各畜牧業頭數資料與實際在養之頭數落差甚大，事業許可管制制度中對於養豬頭數之資料原就缺乏查核更新之機制，因此以許可資料之養豬頭數作為推估計算較不能符合現況，故本研究推估方式係將農業處統計之鄉鎮豬隻數，依各集污區所列管之養豬戶數比例分配，再由各集污區分配豬隻頭數乘上推估參數(單位水量、單位污染量)的作法計算畜牧污染量。

(四) 農田迴歸水

農田迴歸水為農田灌溉用水或有效雨水經作物吸收、蒸散與田間土壤滲漏、窪蓄、蒸發後其多餘水量經由田間排水系統收集之水量。

依據農委會在花蓮縣農地資源空間整體發展構想及空間配置計畫中，農田面積灌溉總面積之統計結果(農委會，2007)，參考環保署在水體品質評估及污染量推估計畫中採用 30%作為迴歸水量(環保署，1995)。本研究以灌溉用水量之 30%推估農田迴歸水污染量。另農田迴歸水水質之推估，本研究採用環保署水污染防治實施方案規劃作業手冊建議，農田迴歸水水質 BOD₅ 為 7.0 mg/L，SS 為 45.0 mg/L(環保署，1993)。

另外關於流達量分析部分，污染物從發生源流到河川主流時污染量會有某種程度的減少，此真實流達河川之污染量稱之為流達量，而流達量與污染源排放量的比值即為流達率。流達率會和生物分解、沉澱、土壤吸附或滲入等自淨作用，以及河川或排水系統的構造、坡度、長度、流量、面積、人口密度及水土性質等有關。

一般而言，流達率可藉由現地測量排水幹線排入河川前之水質及水量，藉由推估之污染排放量，求得集污區之流達率。如無實際量測之水質水量數值，則可參考行政院環保署「水污染防治實施方案規劃作業手冊」中，BOD 一般流達率建議值，如表 3-3 所示。

表 3-3 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	0.6-1.0
公共下水道	1.0

資料來源：行政院環境保護署，水污染防治實施方案規劃作業手冊，民國 82 年。

3-3 現場檢測及模擬河段劃分

水理水質模式中，河段劃分為首要之工作，劃分之原則關係著水質模擬的結果，模式須依流域天然河道變化，依其水理水質特性與以分段。QUAL2K 水質模式係將整個河川依水理特性分割成數河段，再將每一河段分成若干間距的計算單元，假設各河段具有相同之水利特性及生物反應參數。河道網格分割對於水質變化特殊、水質資料完整及易於觀測與特別要求之地點予以區分，使各河段之水理水質特性符合流域實際之變化。依據環保署公告之「環境影響評估河川水質評估模式技術規範」(環保署，2011)，本研究之河段劃分原則主要包括：

1. 模擬邊界點。
2. 主、支流匯流點。
3. 水源取水口之上游。
4. 設有橋樑或水質採樣站。
5. 水力特性有顯著變化之處(如流速、水深、河寬等)。
6. 平直河段每間隔若干距離處。
7. 感潮河段界線處。
8. 水質水體分類界線處。
9. 重大污染排入點。

本研究參考前花蓮縣環保局「101 年度宜蘭縣水污染源稽查管制計畫暨緊急應變演練計畫」，整理美崙溪各河道斷面的水力特性，包含平均流速、平均水深、河道有效河寬、河道通水斷面積及流量等資料，再參考水體分類，配合現地勘查及水質水量調查，以美崙河流域之水質與水理特性劃分模擬河段。

現場水質檢測項目包括酸鹼值、電導度、溶氧、生化需氧量、氨氮、懸浮固體、正磷酸鹽、硝酸鹽氮、凱氏氮及總磷等 10 項，依行政院環保署公告之標準地表水採樣方法採集水樣，水質檢驗方法則如表 3-4 所

示，依行政院環境保護署環境檢驗所(NIEA)公告之水質檢測方法進行檢測。各水質項目除水溫、pH 值、DO 為現場檢驗外，其餘項目均依標準檢驗法之規定保存，在規定時間內完成分析。

表 3-4 水質檢驗方法

項目	檢驗項目	檢驗方法	檢驗程序
1	水溫	NIEA W217.51A	現場測定
2	酸鹼值(pH)	NIEA W424.51A	現場測定
3	溶氧(DO)	NIEA W455.52C	現場測定
4	生化需氧量(BOD)	NIEA W510.54A	檢驗室分析
5	氨氮(NH ₃ -N)	NIEA W448.51B	檢驗室分析
6	懸浮固體(SS)	NIEA W210.56A	檢驗室分析
7	正磷酸鹽(PO ₄ ³⁻)	NIEA W427.52B	檢驗室分析
8	硝酸鹽氮(NO ₃ -N)	NIEA W419.50A	檢驗室分析
9	凱氏氮(TKN)	NIEA W420.52B	檢驗室分析
10	總磷(TP)	NIEA W427.53B	檢驗室分析

3-4 水理參數推求

河川的水理資料係指河川流量、流速與河川水面寬度，主要用以計算河川污染物在水體中的傳輸現象(劉，2006)。QUAL2K 模式中的參數如再曝氣係數、延散係數等都是水深的函數(廖，2008)。

一、水量模擬

QUAL2K 模式計算水力條件是假設為定常態 $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ 。針對水力計算，模式以控制斷面，質量守恆的原則來建構，其中 QUAL2K 估算方式有三種：堰流量計法(weirs)、率定曲線法(rating curves)、曼寧方程式(Manning equations)，模擬者得依據相關研究區域資料豐富程度及適用程度，選擇合適之水理估算方式(Leopold and Meddow, 1953)，以下介紹此模式水力輸入原理：

(一) 堰流量計法(weirs)

此堰僅能發生在每一河段的末端，以下說明其堰流量之建構方式，示意圖如圖 3-2 所示。

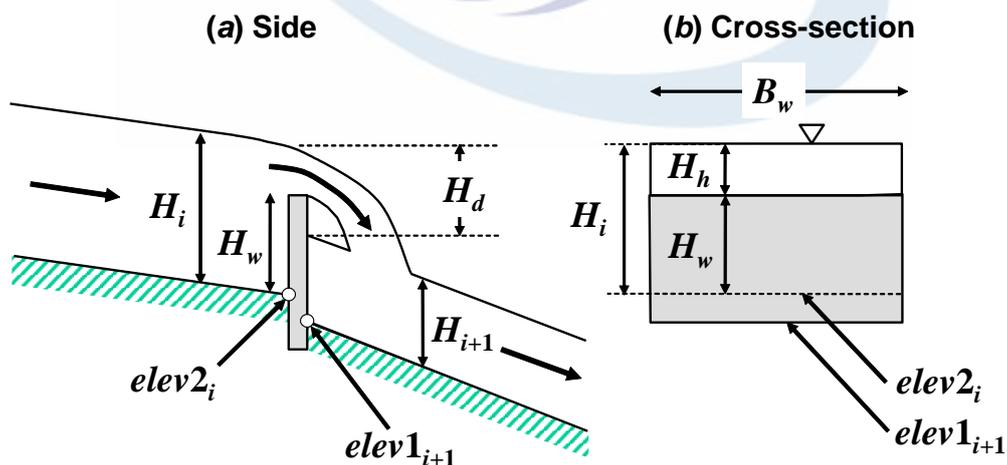


圖 3-2 銳緣堰(sharp-crested)示意圖

資料來源：Chapra *et al.*, 2007.

其中，

H_i ：堰上游之水深(m)

H_{i+1} ：堰下游之水深(m)

$elev2_i$ ：上游段距海平面之高度(m)

$elev1_{i+1}$ ：下游段距海平面之高度(m)

H_w ：堰高至 $elev2_i$ 之距離(m)

H_d ：每段表面水位落下之間距(m)

H_h ：堰的水頭(m)

B_i ：每段i的寬度(m)

對於銳緣堰(sharp-crested) $H_h/H_w < 0.4$ ，有關於流量計算方程式如下：

$$Q_i = 1.83 B_w H_h^{3/2}$$

其中， Q_i ：出流量(m^3/sec)可轉變成

$$H_h = \left(\frac{Q_i}{1.83 B_w} \right)^{2/3}$$

可由電腦程式計算出每一單元i之流速與斷面積，公式表示如下：

$$A_{c,i} = B_i H_i$$

$$U_i = \frac{Q_i}{A_{c,i}}$$

(二) 率定曲線法(rating curves)

利用每河段中的平均流速以及平均水深，推估每河段流量，此方法為假設河道為矩形渠道，其應用公式如下：

$$U = aQ^b$$

$$H = cQ^d$$

$$A_c = \frac{Q}{U}$$

其中，

Q：流量(m³/sec)

U：平均流速(m/sec)

H：平均水深(m)

A_c：斷面積(m²)

a、b、c、d：經驗常數

經驗常數之求法可由水位流量率定曲線計算截距與斜率而得，但其 b、d 之總和僅能小於或等於 1，當其和等於 1 時為矩形渠道；a、c 值則為推求之常數，無此限制。QUAL2K 提供之常數建議值如表 3-5 所示。

表 3-5 流量、流速及水深函數之參數建議值

方程式	指數	一般標準值	範圍值
U=aQ ^b	b	0.43	0.4-0.6
H=cQ ^d	d	0.45	0.3-0.5

資料來源：Chapra *et al.*, 2007.

(三) 曼寧方程式(Manning equations)

假設每個河段皆如梯形渠道(Trapezoidal channel)，如圖3-3所示，其建議之曼寧n值如表3-6所示，曼寧方程式如下：

$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{n} \frac{A_c^{5/3}}{p^{2/3}}$$

其中，

Q：流量(m³/sec)

A_c：河道之斷面積(m²)

P：濕周

表 3-6 曼寧係數 n 值之參考表

MATERIAL	n
人工渠道 Man-made channels	
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides:	
Concrete	0.020
mortared stone	0.023
Riprap	0.033
自然渠道 Natural stream channels	
Clean, straight	0.025-0.04
Clean, winding and some weeds	0.03-0.05
Weeds and pools, winding	0.05
Mountain streams with boulders	0.04-0.10
Heavy brush, timber	0.05-0.20

資料來源：Chapra *et al.*, 2007. Chow *et al.*, 1988.

n：曼寧係數

S_o ：坡度(%)

梯形河道斷面面積公式如下：

$$A_c = [B_0 + 0.5(S_{S_1} + S_{S_2})H]H$$

其中，

B_0 ：河道底寬(m)

S_{S_1} 、 S_{S_2} ：河道兩邊坡度(%)

H：斷面深度(m)

濕周之計算公式：

$$P = B_0 + H\sqrt{S_{S_1}^2 + 1} + H\sqrt{S_{S_2}^2 + 1}$$

當以上三式皆求出時，即可解下式之每斷面深度

$$H_{K+1} = \frac{(Q_n)^{3/5} [B_0 + H_{K-1} \sqrt{S_{S1}^2 + 1} + H_{K-1} \sqrt{S_{S2}^2 + 1}]^{2/5}}{S^{3/10} [B_0 + 0.5(S_{S1} + S_{S2})H_{K-1}]}$$

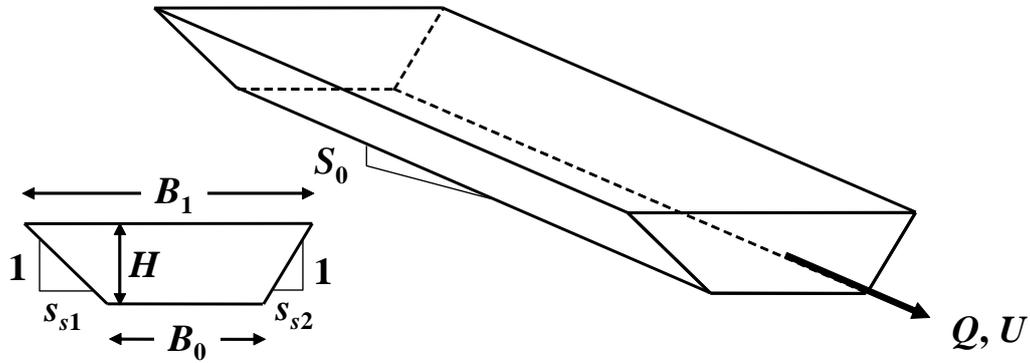


圖 3-3 梯形渠道(Trapezoidal channel)示意圖

資料來源：Chapra *et al.*, 2007.

美崙河流域目前無設置水文站，故無長期之流量紀錄，參考「101 年度花蓮縣河川流域稽查管制暨緊急應變協力處理計畫」實際量測數值，包括嘉國橋、新生橋、港口鐵路橋、農兵橋、三號橋及尚志橋等 6 處，實測結果如表 3-7 所示。本研究選用曼寧方程式進行水理計算，彙整美崙溪河段模擬設定之水理參數值如表 3-8 所示，其中，各河段之曼寧係數係參考「花蓮縣河川流域污染防治規劃計畫」之設定值。

表 3-7 美崙河流域於枯水期間之水量實測值(101 年 11 月 26 日)

量測點	水流量 (m ³ /s)	平均流速 (m/s)	平均水深 (m)	通水段面積 (m ²)
嘉國橋	0.16788	0.05	0.24	3.40
新生橋	1.00219	0.52	0.14	1.93
港口鐵路橋	0.90341	0.03	1.20	27.15
農兵橋	0.48550	0.03	0.62	15.20
三號橋	1.01679	0.21	0.44	4.96
尚志橋	1.93913	0.19	0.64	9.95

資料來源：101 年度花蓮縣河川流域稽查管制暨緊急應變協力處理計畫。

表 3-8 美崙溪水質模式各河段水理參數值

河段 編號	曼寧係數 (n)	底床斜率 (m/m)	河底寬度 (m)	斷面積 (m ²)	平均水深 (m)
1	0.028	0.0083	5.00	0.32	0.05
2	0.025	0.0083	8.75	1.02	0.12
3	0.025	0.0083	10.10	3.40	0.24
4	0.025	0.0083	19.20	1.93	0.14
5	0.025	0.0083	23.60	27.15	1.20
6	0.025	0.0083	20.00	15.20	0.62
7	0.021	0.0083	10.00	9.95	0.64

資料來源：1.花蓮縣環境保護局，2003，花蓮縣河川流域污染防治規劃計畫。

2.花蓮縣環境保護局，2012，101 年度花蓮縣流域及水污染稽查管制暨緊急應變協力計畫。

二、模式參數

溫清光教授於 1980 年研究結果指出怯氧係數與再曝氣係數為水質模式中最為重要之參數，應加以準確估計。水理參數主要包括河川斷面、流量、水溫及反應速率之參數，重要參數設計說明如下。

(一) 設計流量：

一般河川水質在低流量時污染較為嚴重，水質模式使用之設計流量採用流域枯水期之流量為設計流量，台灣地區多採用河川枯流量頻率分析之結果，以 Q_{75} 作為水質設計流量。

(二) 設計水溫：

水溫之變化影響河川飽和溶氧多寡，對水質模式中 BOD 怯氧係數及再曝氣係數等各項參數造成影響(廖，2008)。高溫時微生物分解有機物速率較快，且水體再曝氣作用及硝化作用也較大，對底泥耗氧作用影響亦較大，使水體處於惡劣之狀態(黃，2009)。台灣河川設計水溫所訂定的原則，多以設計流量所接近月份中測得水溫最高月份的平均水溫當作河川之設計溫度(環保署，1998)。

由於水溫變化會影響河川水質，故水質參數必須考慮溫度校正，水溫模擬通常以攝氏 20°C 為正常溫度，當溫度不等於攝氏 20

°C 時，就必須對各參數做修正。公式如下：

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

式中，

K_T = T°C 溫度之係數值

K_{20} = 20°C 下之係數值

θ = 溫度修正係數，且各水質參數之溫度修正係數不同。

QUAL2K 模式中數值 θ 可由使用者設定，若沒有使用者設定數值時，將使用模式設定值，如表 3-9 所示。

表 3-9 QUAL2K 模式預設溫度修正 θ 值

參數	符號	預設值
BOD 衰減	K_1	1.047
BOD 沉降	K_3	1.024
再曝氣	K_2	1.024
SOD	K_4	1.060
有機氮衰減	β_3	1.047
有機氮沉降	σ_4	1.024
氨氮衰減	β_1	1.083
氨氮沉降	σ_3	1.074
亞硝酸氮衰減	β_2	1.047
有機磷衰減	β_4	1.047
有機磷沉降	σ_5	1.024
溶解磷源	σ_2	1.074
藻類生長藻類呼吸作用	μ	1.047
藻類沉降	σ_1	1.024

資料來源：Brown *et al.*, 1987.

(三) 怯氧係數：

BOD 怯氧係數包含生化耗氧係數及除生化耗氧之外底泥沉澱耗氧祛除係數。生化耗氧係數亦稱為祛氧係數 (Deoxygenation

coefficient)，為河中微生物分解有機物所消耗河水溶氧之速度，其速度隨污染物之種類與微生物生存環境而異。因流域河川坡度陡、流速大，故除生化耗氧係數以外之 BOD 祛除速率，由沉澱、吸收、揮發等造成。BOD 可分為 CBOD(碳生化需氧量)及 NBOD(氮生化需氧量)，由於 NBOD 發生較晚且不易測量，所以簡化型水質模擬大多只考慮到 CBOD 值(環保署，1998)。

河川中的溶氧平衡主要來自河川本身的再曝氣作用與植物的光合作用所產生的氧氣，而溶氧的消耗則包含碳分子及含氮分子的生化需氧量(即 CBOD 及 NBOD)、底泥的耗氧與藻類呼吸作用所消耗掉的氧氣，河川中 DO 及 BOD 祛除的原因，如表 3-10 所示。河川 BOD 的消失率等於祛除率，加上不消耗溶氧之有機物沈澱、揮發所引起的 BOD 祛除率。表示如下：

$$K_r = K_1 + K_3$$

K_r = 河川中 BOD 消失率(祛除率)

K_1 = 祛氧係數

K_3 = 因有機物沉澱、揮發等所引起之 BOD 祛除係數

表 3-10 BOD 及 DO 之影響因子

DO		BOD	
來源	消耗	來源	消耗
再曝氣 光合作用 逕流流入	底泥耗氧	沖刷	沈澱
	藻類呼吸	底泥分解	分解
	硝化作用	逕流流入	吸入
	有機物分解	生物死亡	揮發

資料來源：1.花蓮縣環境保護局，2003，花蓮縣河川流域污染防治規劃計畫。

在下水道及污水處理廠已普及化之情況下，有機物在到達承受水體前大多已沈降，因此 K_3 對 BOD 的去除量不大，可將其忽略，

而 K_r 視為與祛氧係數 K_1 相當(環保署，1998；柳，2011)。BOD 去除係數 K_r 可代表水體中，所有污染物被氧化及沈澱等過程之反應速率(柳，2011)。

河川水質模式多假定 BOD 之祛除屬一階反應，故 BOD 祛除模式可寫為：

$$\frac{dL}{dt} = -K_r L \quad \Rightarrow L = L_0 e^{-K_r t}$$

其中， L 為在 t 時間剩餘的 BOD 濃度， L_0 為最初 BOD 濃度， t 為時間。

祛氧係數之推求可於實驗室中以 5 天時間連續偵測水樣之 BOD 值，再經過數學運算，得到水樣之最終 BOD 及實驗室祛氧係數 K_1 ，其 K_1 值範圍如表 3-11 所示。

表 3-11 祛氧係數建議值

污染程度	祛氧係數 K_1 (以 e 為底) day^{-1}
未處理之廢水	0.35~0.6
良好生物處理放流水	0.10~0~15
輕度污染河川	0.1~0.12

資料來源：李公哲等，1985。

(四)再曝氣係數：

河川再曝氣係數是指空氣中的氧氣與河川水面接觸，而發生氧氣傳輸作用，可增加河川溶氧，此為河川自淨作用的主要因素之一(廖，2008)。再曝氣係數對溶氧的影響甚大，水體在流動的狀態下，水體表面與空氣接觸後，使水體增加溶氧量，模式之再曝氣係數越大，所模擬溶氧的結果也會越大(林，2006)。係數之大小受水溫、水深、流速及流量等因素影響，其關係如圖 3-4 所示，一般再曝氣係數不易由現場實測，多採經驗公式推求，如表 3-12 所示。綜合

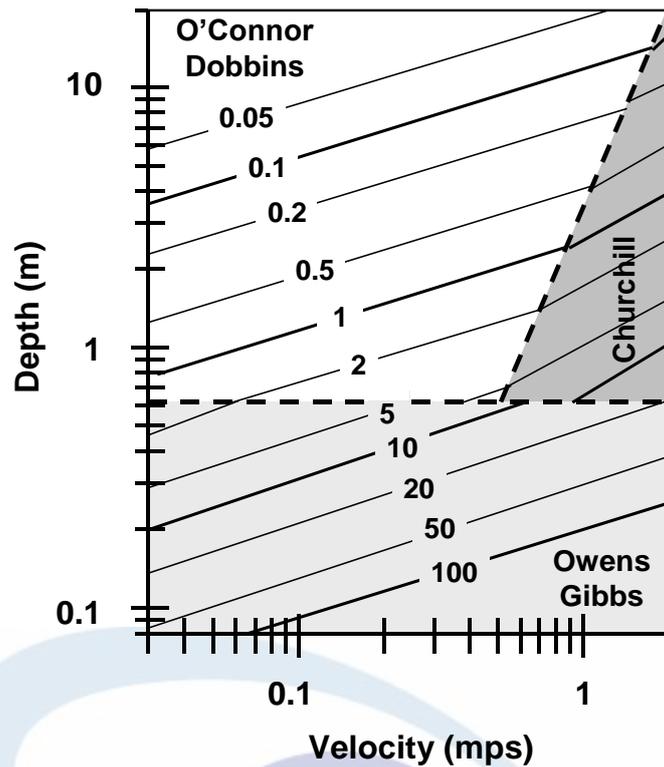


圖 3-4 再曝氣係數與深度、流速的關係圖

資料來源：Chapra *et al.*, 2008.

表 3-12 再曝氣係數建議值(20°C)

流況	再曝氣係數 K_2 (以 e 為底) day^{-1}
水塘或迴水	0.12~0.23
滯留河川或湖泊	0.23~0.35
慢速大河	0.35~0.46
中等流速大河	0.46~0.69
快速河川	0.69~1.15
急流或瀑布	> 1.15

資料來源：李公哲等，1985。

O'connor、Owens 及 Thackston 等多人研究結果，QUAL2K 水質模式中，已有 8 種預估及推算再曝氣係數之方法可選擇，包括 O'connor and Dobbins、Owens、Churchill 及 Churchill 等模式常用，國內水質模式應用多採 O'connor and Dobbins 之經驗公式(柳，2011)。

(五)延散係數：

延散作用由於方向性平均及污染物濃度梯度所造成的分子擴散及紊流擴散現象，與流速、流量及距河口距離有關，流速越大延散係數越大，越靠近河口則延散作用越大(環保署，1993)。

美崙溪主要污染河段之污染來源以畜牧廢水、生活污水為主，本研究以 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 進行水質模擬，主要水質參數參考 QUAL2K 建議範圍值及國內相關研究規劃報告，包括蘭陽溪、花蓮溪、大漢溪、舊濁水溪、高屏溪及東港溪之設定參數值，整理如表 3-13 所示。

以水質模式模擬水體水質，除了要有可靠之水質資料率定模式外，給定適當之水質參數值亦是一項重要的課題。水質參數代表水體水質之行為特性，尤其在缺乏可用的水質實測資料，模式率定無法有效進行時，水質參數之合理給定及確認更突顯其重要性。

表 3-13 QUAL2K 模式相關文獻水質參數值

水質參數	¹ QUAL2K 建議範圍	² 蘭 陽 溪	³ 花 蓮 溪	⁴ 大 漢 溪	⁵ 舊 濁 水 溪	⁶ 高 屏 溪	⁶ 東 港 溪
祛氧係數	0~5	0.05	0.05	0.55	4	0.2	0.3
再曝氣係數	--	--	--	--	Internal	O'connor -Dobbins	Thackston -Krenkel
氨 氮 硝化係數	0~10	0.2	0.1	0.25	0.5	0.4	0.7
溫度校正 係數	1~1.07	1.083	1.083	1.083	1.07	1.083	1.083
脫硝係數	0~2	0.2	2	0.35	1	0.2	0.2
硝酸 鹽 氮 溫度校正 係數	1~1.07	1.047	1.047	1.047	1.07	1.047	1.047
底泥脫硝 傳輸係數	0~1	0	0	0	0	0	0
溫度校正 係數	1~1.07	1.074	1.074	1.074	1.07	1.074	1.074
有機 氮 水解係數	0~5	0.1	0.1	0.04	0.05	0.02	0.02
溫度校正 係數	1~1.07	1.047	1.047	1.047	1.07	1.047	1.047

資料來源：1.行政院環境保護署，2011、2.花蓮縣政府環境保護局，2003、3.劉醇慶，2006、4.張鈞凱，2005、5.廖俊強，2008、6.黃日昇，2009。

3-5 模式參數率定及驗證

河川水質模式檢測之統計分析檢定方法主要可分為殘差法(Residual)、迴歸分析法(Regression Analysis)、估計標準誤差法(Standard Error of Estimate)以及平均絕對百分誤差法(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)(廖，2008；曾，2010)。

本研究主要模擬項目為 BOD 及 NH₃-N，其主要參數包括祛氧係數(K₁)、再曝氣係數(K₂)、有機氮水解係數、氨氮硝化係數及脫硝係數等 5 項水質參數，為確保水質模式反應參數之正確性，先統計行政院環境保護署近 5 年之枯水期水質監測數據，以 101 年枯水期間之環保署水質監測站監測結果，計算其最大值、最小值與平均值，依平均絕對百分誤差法(MAPE)檢定及評估，於 QUAL2K 模式建議之參數設定範圍內，利用逼近法調整水質參數。最後，再循「環境影響評估河川水質評估模式技術規範」規定，選用 100 及 101 年度枯水期間(11~4 月)之 2 組 6 筆實測值，進行水質模式之驗證，評估水質模式之合理性。

其中，平均絕對百分誤差法(MAPE)檢定法為行政院環境保護署所公告之檢定方法，可就不同模式、不同組實測數據比較，當 MAPE 值越小，表示模擬值與實際值越接近。其運算公式如下：

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_i \left(\left| \frac{n_i - u_i}{n_i} \right| \times 100\% \right)$$

式中，T：總數

n_i：模擬值

u_i：實測值

依 MAPE 之大小，將模式之預測能力分成 4 個等級，如表 3-14 所示，MAPE<10% 為高精確度，MAPE 在 10%~20% 為良好的預測，MAPE 在 20%~50% 為合理的預測，當 MAPE>50% 則為不正確的預測。

表 3-14 MAPE 預測能力等級表

MAPE	預測能力等級
<10%	高精確度
10%~20%	良好的預測
20%~50%	合理的預測
>50%	不正確的預測

資料來源：DeLurgio, 1998。



第四章 結果與討論

依據環保署「環境影響評估河川水質評估模式技術規範」，河川水質評估模式之使用，應考量模擬區域其水文及流域特性，開發行為及區域環境之特性，以及模式之限制條件。以現階段認可之河川水質評估模式及適用條件，選用適當之水質模式模擬流域水質變化。水質模式建立之流程，包括模擬河段劃分、模式參數之推定及配合河川水質檢測資料進行參數率定，推估各測站 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等污染物濃度，配合水體水質標準，可進一步計算流域各集污區之污染負荷，作為訂定污染削減及水質改善策略之參考。

4-1 水質現況分析

本研究依據環保署全國環境水質監測資訊網所公告之 2002~2012 年河川水質監測資料，選擇河川水質重要指標 RPI 值及 BOD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度，利用圖表的方式呈現近年美崙溪之水質狀況，依豐、枯水期分類，比較各項參數變化趨勢之差異，各項說明分述如下：

- (一) 河川污染指標(RPI)：如圖 4-1 所示，中、下游之新生橋測站及中正橋測站於豐、枯水期間之 RPI 值，皆有 50 % 之 RPI 值屬於中度污染以上($\text{RPI}>3$) 情況，而枯水期之 RPI 值較豐水期高，尤以中正橋之分佈情形差異為最大，顯示美崙溪流域中、下游之各污染源排入致影響水質。
- (二) 生化需氧量(BOD)：如圖 4-2 所示，中、下游之新生橋測站及中正橋測站於豐、枯水期間之 BOD 濃度，皆有 50 % 之 BOD 濃度屬於輕度污染程度 ($3.0 \text{ mg/L} \leq \text{BOD 濃度} < 5.0 \text{ mg/L}$)，豐、枯水期間之 BOD 濃度分佈情形無明顯差異，與上述 RPI 值之分析一致。
- (三) 懸浮固體(SS)：如圖 4-3 所示，全線 SS 濃度值大致分佈於未(稍)受污染程度 ($\text{SS 濃度} \geq 2.0 \text{ mg/L}$)，豐、枯水期間之 SS 濃度分佈情形無明顯差異。

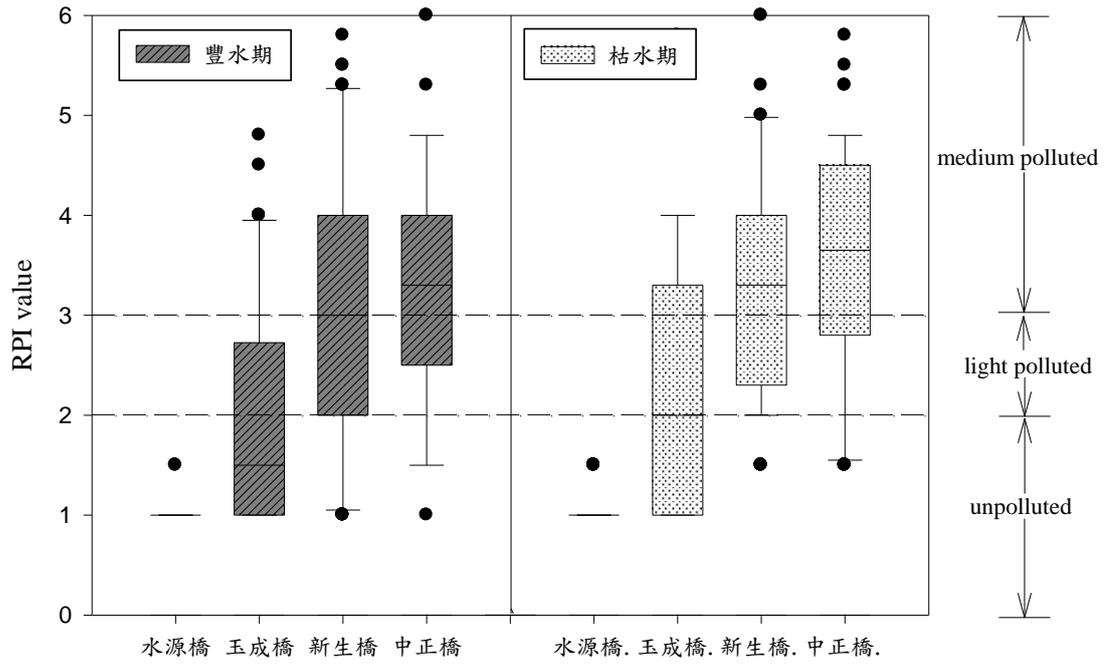


圖 4-1 美崙溪近 10 年豐枯水期 RPI 值分佈情形

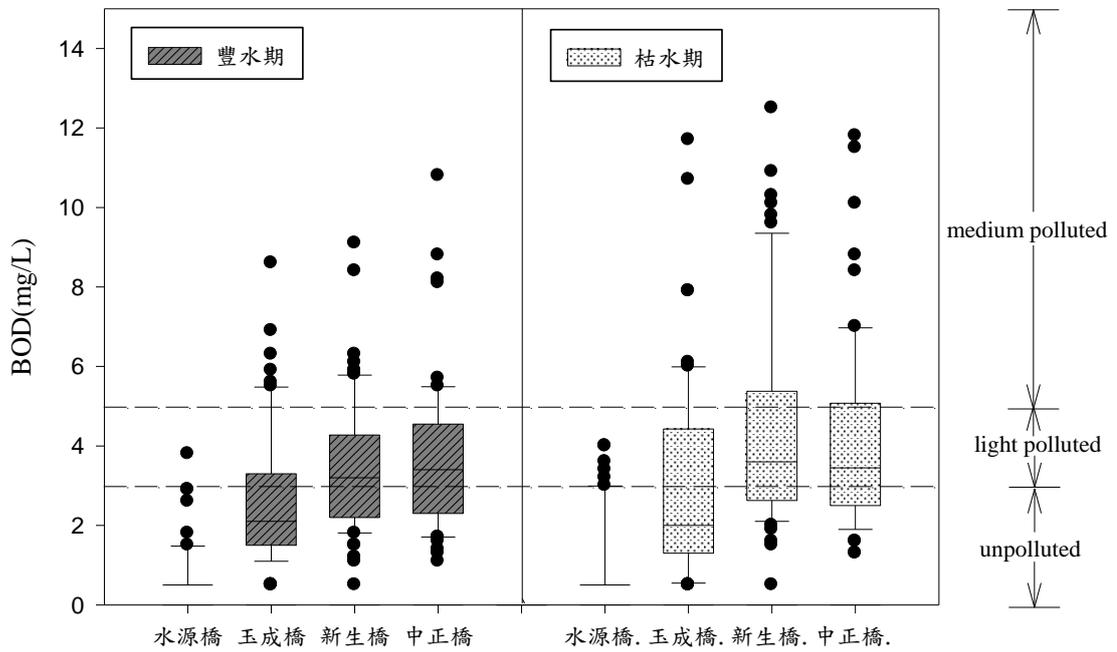


圖 4-2 美崙溪近 10 年豐枯水期 BOD 濃度分佈情形

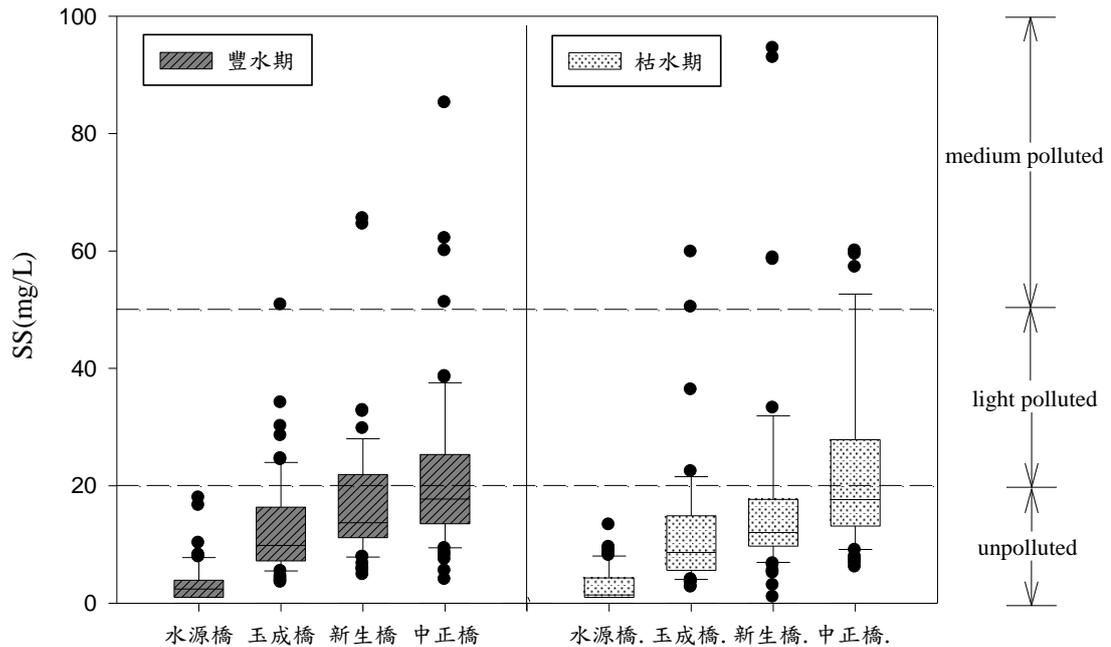


圖 4-3 美崙溪近 10 年豐枯水期河川水質 SS 分佈情形

(四) 氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$): 如圖 4-4 所示, 中、下游之新生橋測站及中正橋測站於豐、枯水期間之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度, 皆有 50 % 之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度屬於中度污染程度 ($\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度 ≥ 3.0 mg/L), 而枯水期之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度較豐水期高, 顯示美崙溪流域中、下游之污染排入影響河川水質。

(五) 溶氧(DO): 如圖 4-5 所示, 水源橋上游測站及須美基溪支流之玉成橋測站, 皆分佈於未(稍)受污染程度(DO 濃度 ≥ 6.5 mg/L), 中、下游之新生橋測站及中正橋測站之 DO 濃度則分佈於輕度污染(4.5 mg/L $<$ DO 濃度 ≤ 6.5 mg/L), 而豐、枯水期間 DO 濃度之分佈情形無明顯差異。

分析美崙溪流域水質現況結果, 可發現主要污染物為 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$, 依豐、枯水期分類, 比較 RPI 值、DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、BOD、SS 濃度變化趨勢之差異, 顯示枯水期間污染略為顯著, 故本研究模擬時間訂為枯水期間, 並配合 2012 年度花蓮縣環境保護局於枯水期(11 月)執行之水質水量監測資料, 作為水質模式建立之輸入資料參考來源。

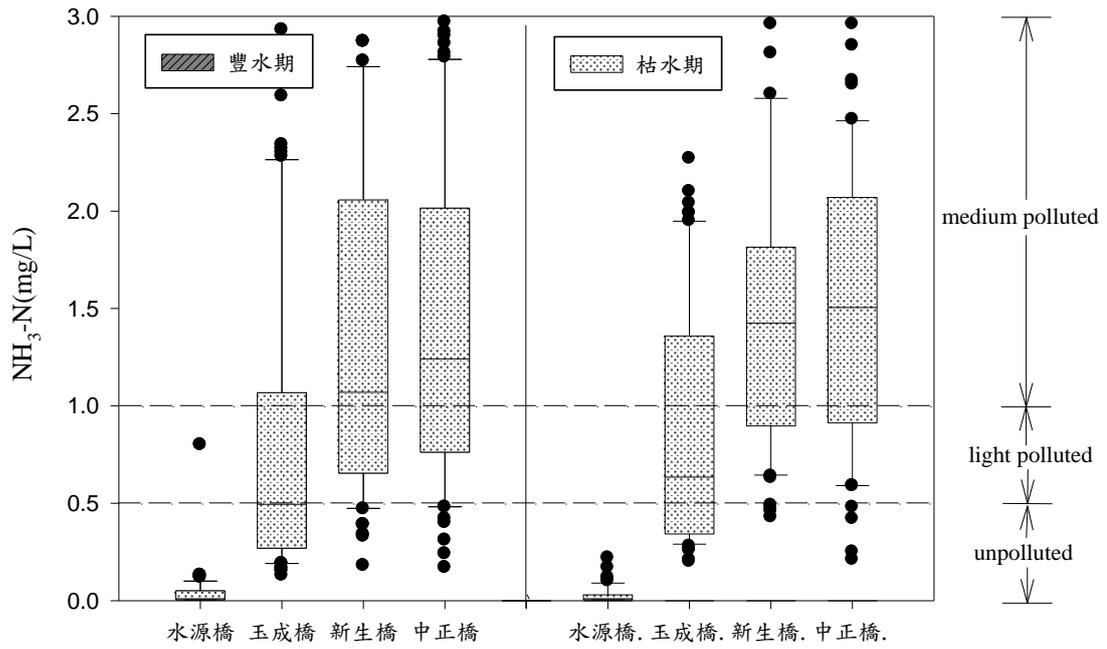


圖 4-4 美崙溪近 10 年豐枯水期 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度分佈情形

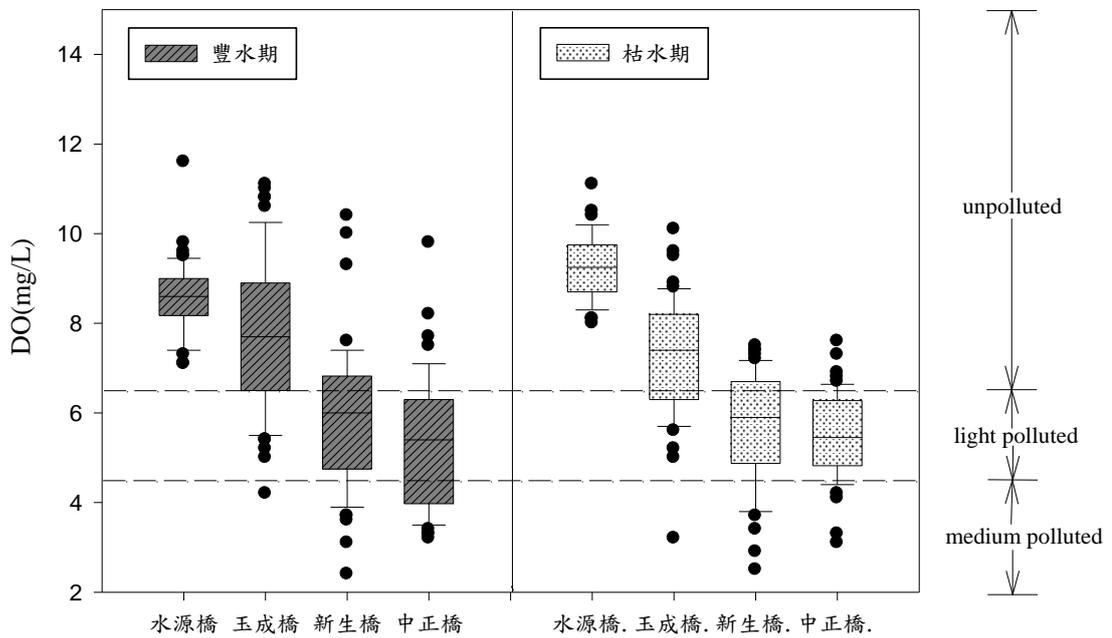


圖 4-5 美崙溪近 10 年豐枯水期河川水質 DO 分佈情形

4-2 污染量推估

河川污染源可依污染排入之方式分為點源污染(Point Source)及非點源污染(Non-Point Source)。點源污染係為污染物由一固定地點排放，包括生活污水、工業廢水及畜牧廢水等有特定排放源者；非點源污染則為分散進入承受水體的物質，例如暴雨逕流及農田迴歸水等透過攜帶作用，經由地表逕流、中間流及地下水流等傳輸而進入承受水體，對於水資源的正常用途有直接或間接的負面影響，而無法追究其排放對象者(廖，2008；曾，2010)。

本研究係針對枯水期作模擬研析，因此本研究將一般晴天時之暴雨逕流對河川水體之影響忽略不計(環保署，1993)。參考相關文獻及政府公開資料推估生活污水、畜牧廢水、事業廢水及農田迴歸水之結果如下。

(一) 生活污水

依花蓮縣各鄉鎮市公所公告之 101 年 12 月村里人口數，以集污區範圍及建築密度分佈，將研究區域各集污區人口數統計如表 4-1 所示，以花蓮新站集污區 16,091 人及美崙山集污區 15,085 人為人口最多之區域，美崙溪流域共計 47,142 人。至 101 年底，美崙溪流域涵蓋之污水下水道僅完成主次幹管之工程，將陸續進行用戶接管，大部份生活污水由化糞池處理後排放，化糞池所收集之污染量僅佔生活廢水污染量約 40%(環保署，1999)。本研究依上述方法，統計各集污區生活污水之污水量，以及推估 BOD 及 NH₃-N 污染量列如表 4-2 所示，以美崙山集污區及花蓮新站集污區為最多，花蓮新站集污區之 BOD 及 NH₃-N 污染排放量約為 241.9 kg/d，美崙山集污區之 BOD 及 NH₃-N 污染排放量約為 226.8 kg/d。

(二) 事業廢水

本項污染源之污染量資料其產生量及排放量資料主要皆由「水污染源管制資料管理系統」各項欄位資料整合計算而得，由於其定檢項目尚未管制 NH₃-N 濃度為主，故在氨氮方面之個別行業適用項目之污染特性則亦參考工業局污染防治服務團之相關特性表加以修正，並將觀光旅館業以生活污水型態，依廢水排放量換算其氨氮污染量，各集污區之事業廢水污染

量推估如表 4-3 所示，以美崙山集污區之污水量 17,834.4 CMD 為最高，BOD 污染量以美崙山集污區為最高，共計 31.7 kg/d 佔 55 %，依據統計資料顯示，大部分污染源來自觀光旅館(飯店)，而 NH₃-N 則以須美基溪 67.0 kg/d 為最高，佔 65 %，大部分污染源來自專用下水道。

表 4-1 美崙溪流流域各集流分區之人口數

編號	集污區名稱	面積	涵蓋鄉鎮	人口數(人)	合計(人)
M1	水源地分區	3,235.0ha	秀林鄉	891	891
M2	石壁堂分區	659.4ha	秀林鄉	3	5,770
			新城鄉	32	
			花蓮市	4,224	
M3	德興分區	449.3ha	吉安鄉	1,511	1,348
			秀林鄉	94	
M4	八堵毛溪分區	810.2ha	花蓮市	1,254	2,221
			秀林鄉	100	
			新城鄉	662	
M5	須美基溪分區	1,714.0ha	花蓮市	1,459	5,736
			秀林鄉	213	
			新城鄉	5,482	
M6	美崙山分區	420.9ha	花蓮市	41	15,085
			新城鄉	1,440	
M7	花蓮新站分區	468.3ha	花蓮市	13,645	16,091
			新城鄉	116	
			吉安鄉	3,154	

資料來源：花蓮縣政府全球資訊網站公告之村里人口數，本研究整理。

表 4-2 美崙河流域各集污區生活污水污染量推估結果

編號	集污區	人口數	污水量 (CMD)	BOD (kg/d)	NH ₃ -N (kg/d)
M1	水源地	891	182.9	26.8	6.4
M2	石壁堂	5,770	1,190.9	173.5	41.7
M3	德興	1,348	278.2	40.5	9.7
M4	八堵毛溪	2,221	458.4	66.8	16.0
M5	須美基溪	5,736	1,183.9	172.5	41.4
M6	美崙山	15,085	2,075.7	226.8	72.6
M7	花蓮新站	16,091	2,214.1	241.9	77.5
總計		47,142	7,585.2	948.7	265.5

表 4-3 美崙河流域各集污區事業廢水污染量推估結果

編號	集污區	列管家數	污水量 (CMD)	BOD (kg/d)	NH ₃ -N (kg/d)
M1	水源地	0	0.0	0.0	0.0
M2	石壁堂	13	327.4	5.8	0.0
M3	德興	0	0.0	0.0	0.0
M4	八堵毛溪	2	124.8	0.7	0.0
M5	須美基溪	18	1,605.6	3.5	67.0
M6	美崙山	20	17,834.4	31.7	1.0
M7	花蓮新站	12	854.4	16.3	34.3
小計		66	20,746.6	57.9	102.3

資料來源：「水污染源管制資料管理系統」101 年之定檢申報資料，本研究統計。

(三) 畜牧廢水

根據水污染源管制資料管理系統列管之養豬業資料以及農業處統計之 101 年 5 月花蓮縣各鄉鎮飼養豬隻數量，共計 7,059 頭，依各集污區位置分配，各集污區養豬數量分配結果如表 4-4 所示，並假設正常操作三段式處理設施為 10%，有二段式處理效率者為 50%，其餘則視為未開機僅有化糞池作用。統計結果以須美基溪集污區之養豬頭數 4,172 頭為最多，其污水排放量為 282.3 CMD，BOD 污染量為 138.9 kg/d，而 NH₃-N 污染量為 62.8 kg/d。

表 4-4 美崙溪流域各集污區畜牧廢水污染量推估結果

編號	集污區	養豬頭數	污水量 (CMD)	BOD (kg/d)	NH ₃ -N (kg/d)
M1	水源地	0	0.0	0.0	0.0
M2	石壁堂	481	19.2	16.0	7.2
M3	德興	481	19.2	16.0	7.2
M4	八堵毛溪	0	0.0	0.0	0.0
M5	須美基溪	4,172	166.9	138.9	62.8
M6	美崙山	0	0.0	0.0	0.0
M7	花蓮新站	1,925	77.0	64.1	29.0
小計		7,059	282.3	235.1	106.2

本研究統計。

(四) 農田迴歸水

依據農委會於 98 年度農田面積灌溉總面積之統計結果，並參考環保署在水體品質評估及污染量推估計畫中採用 30% 作為迴歸水量據農田水利會統計，花蓮縣年均灌溉水量約為 103,467 萬立方公尺，本研究推估各集污區農田迴歸水量及污染量之結果如表 4-5 所示，以石壁堂集污區之迴歸水量為最大，其次為須美基溪集污區，BOD 污染量共計 7.0 kg/d。

根據生活污水、畜牧廢水、事業廢水與農田迴歸水之推估結果，計算美崙溪流域污染量如表 4-6 所示，研究區域內每天之污水排放量為 1,028,979.9 CMD、BOD 污染量為 1,248.7 kg/day、NH₃-N 污染量為 473.9 kg/day。其中生活污水、事業廢水與畜牧廢水之 BOD 污染量分別佔全流域 80.0 %、4.6 % 及 18.8 %，其中以生活污水所佔比重較大，其次為畜牧廢水，將可作為未來相關延續計畫進行結果之比對。而生活污水、事業廢水與畜牧廢水之 NH₃-N 污染量分別佔全流域 56.0 %、21.6 % 及 22.4%，亦以生活污水所佔比重較大。

由污染量推估之結果發現，美崙溪下游水質惡化的主要原因來絕大部分來自於生活污水的貢獻量，因此，建議於花蓮市區推動生活污水減量與污水自然淨化處理設施之設置為主要之整治方案，配合督促工務局加速花蓮地區污水下水道系統建立。

表 4-5 美崙溪流流域各集污區農田迴歸水污染量推估結果

編號	集污區	灌溉面積 (HA)	迴歸水量 (CMD)	BOD (kg/d)
M1	水源地	286.6	19,501.5	0.1
M2	石壁堂	5581.2	379,768.4	2.7
M3	德興	900.7	61,287.4	0.4
M4	八堵毛溪	1679.6	114,287.1	0.8
M5	須美基溪	4824.8	328,299.8	2.3
M6	美崙山	672.2	45,739.3	0.3
M7	花蓮新站	756.6	51,482.3	0.4
小計		14701.7	1,000,365.8	7.0

本研究統計。

表 4-6 美崙溪流流域各集污區污染量推估結果

編號	集污區	污水量 (CMD)	BOD (kg/d)	NH ₃ -N (kg/d)
M1	水源地	19,685.4	26.9	6.4
M2	石壁堂	381,306.0	198.0	48.9
M3	德興	61,584.9	57.0	17.0
M4	八堵毛溪	114,870.3	68.3	16.0
M5	須美基溪	331,256.2	317.1	171.2
M6	美崙山	65,649.4	258.8	73.6
M7	花蓮新站	54,627.8	322.7	140.7
小計		1,028,979.9	1,248.7	473.9

本研究統計。

本研究參考 2003 年之「花蓮縣河川流域污染整治計畫」調查結果，並配合行政院環保署「水污染防治實施方案規劃作業手冊」中，BOD 一般流達率建議值作調整，各集污區污染之流達率及污染流達量如表 4-7 所示，以花蓮市區內的花蓮新站集污區之流達率 0.7 為最高，其餘則視為農村或郊區。各集污區之污染流達量，以花蓮新站集污區為最高，該地區為美崙溪流流域人口密度較高之都市。

表 4-7 美崙溪流域各集污區污染之流達率與流達之污染量

編號	集污區名稱	流達率	BOD 流達 污染量(kg/d)	NH ₃ -N 流達 污染量(kg/d)
M01	水源地	0.03	0.81	0.19
M02	石壁堂	0.01	1.98	0.49
M03	德興	0.1	5.70	1.70
M04	八堵毛溪	0.03	2.05	0.48
M05	須美基溪	0.3	95.14	51.36
M06	美崙山	0.1	25.88	7.36
M07	花蓮新站	0.7	225.87	98.49

本研究統計。



4-3 現場檢測及模擬河段劃分

為瞭解研究區域河川水力特性及水質之實際狀況，本研究於 101 年 8 月 20 日進行現勘調查工作，並於 101 年 9 月 4 日進行第一次採樣，101 年 10 月 23 日進行第二次採樣，101 年 11 月 26 日進行第三次採樣。其中，研究於枯水期間(101 年 11 月 26 日)之調查結果，如表 4-8 所示，MR01 水源橋上游採樣點河川乾涸無水量。由主流之污染負荷量可發現，大部分檢測項目為 MR02 嘉國橋之污染情形最為顯著，其氨氮濃度(2.65 mg/L)、懸浮固體濃度(30.00 mg/L)、正磷酸鹽濃度(0.68 mg/L)、凱氏氮濃度(5.69 mg/L)及總磷濃度(0.86 mg/L)皆為最高，而溶氧濃度(7.00 mg/L)為最低，其次為 MR03 新生橋及 MR07 尚志橋兩個調查點，由檢測結果可知，嘉國橋上游至新生橋間，以及三號橋至尚志橋間，有重大污染匯入水體，至水體水質產生明顯污染情形。

表 4-8 101 年 11 月 26 日美崙河流域河川主流之水質水量調查結果

調查點名稱	水源橋 上游	嘉國橋	新生橋	港口鐵 路橋	農兵橋	三號橋	尚志橋
調查點編號	MR-01	MR-02	MR-03	MR-04	MR-05	MR-06	MR-07
酸鹼值	-	7.04	7.42	7.45	7.49	7.59	7.39
導電度(μmho/cm)	-	449	422	441	448	467	507
溶氧(mg/L)	-	7.00	7.40	6.95	7.59	8.26	7.52
生化需氧量(mg/L)	-	7.00	13.70	6.80	6.69	6.40	9.10
氨氮(mg/L)	-	2.65	1.85	0.86	0.83	0.79	0.02
懸浮固體(mg/L)	-	30.00	14.00	6.00	9.00	12.50	16.00
正磷酸鹽(mg/L)	-	0.68	0.34	0.23	0.19	0.19	0.21
硝酸鹽氮(mg/L)	-	0.72	1.07	1.20	1.05	1.17	1.43
凱氏氮(mg/L)	-	5.69	4.36	1.92	1.30	1.32	1.52
總磷(mg/L)	-	0.86	0.55	0.41	0.31	0.34	0.32

現場勘查情形如表 4-9 所示，依照河段劃分原則包括 1. 模擬邊界點、2. 主、支流匯流點、3. 水源取水口之上游、4. 設有橋樑或水質採樣站、5. 水力特性有

顯著變化之處(如流速、水深、河寬等)、6.平直河段每間隔若干距離處、7.感潮河段界線處、8.水質水體分類界線處、9.重大污染排入點，其中，MR 為主流調查點編號，MD 為重大排水調查點編號，並針對此 15 個調查點進行水質檢測。

表 4-9 美崙溪水質水量調查點

編號	位置	初勘情形	設點原則	備註
MR-01	水源橋	—	1.4.8.	水源橋上游測站
MD-01	嘉國橋上游 200 公尺	畜牧及養殖廢水，水量大	9.	—
MR-02	嘉國橋	—	2.6.8.	—
MD-02	嘉國橋南端右側	出水口水量些許	9.	—
MD-03	佳林橋 (嘉里三街)	須美基溪，清澈	9.	—
MD-04	玉成橋 (嘉里二號橋)	須美基溪，目視有 輕微污染	9.	嘉里二號橋測站
MR-03	新生橋	—	2.4.5.6.8.	新生橋測站
MD-05	國強抽水站排水	—	9.	—
MR-04	港口鐵路橋	—	2.6.8.	—
MR-05	農兵橋	—	2.5.6.8.	—
MD-06	三仙溪抽水站排水	—	9.	—
MR-06	三號橋	—	2.6.8.	—
MD-07	國盛抽水站排水	—	9.	—
MD-08	萬壽抽水站排水	—	9.	—
MR-07	尚志橋	數個出水口匯流	1.2.6.8.	—

註：MR 為主流調查點編號，MD 為重大排水調查點編號。

美崙溪自距河口 12 公里處共有 12 座橋，主流設有 3 個水質監測站，本研究依河段劃分原則將美崙溪劃分成 7 個河段，如圖 4-6 所示，期間有 7 個排入點，包括水源橋分區排水、石壁堂分區排水、德興分區排水、八堵毛溪分區排水、須美基溪分區排水、美崙山分區排水及花蓮新站分區排水，各模擬河段簡

述如下。

1. 源頭自水源橋向東至國福大橋 4.4 公里為第 1 河段，水源橋設有水源橋上游水質監測站，河段水系表面多為礫石，枯水期間常為伏流水，中間有水源地分區、石壁堂分區及德興分區之排水匯入。
2. 國福大橋至嘉國橋 1.8 公里為第 2 河段，德興分區及八堵毛溪分區排入之污染源開始有較多生活污水進入水體，河寬較窄。
3. 嘉國橋至新生橋 1.1 公里為第 3 河段，中間有須美基溪分區排水，須美基溪為美崙溪流域主要支流，支流匯入後水系向南轉折，新生橋設有新生橋水質監測站。
4. 新生橋至港口鐵路橋 0.6 公里為第 4 河段，中間有美崙山分區排水匯入，河寬較寬，流量及流速大。
5. 港口鐵路橋至農兵橋 0.9 公里為第 5 河段，河寬逐漸變窄，流速趨緩。
6. 農兵橋至尚志橋 1.6 公里為第 6 河段，河寬逐漸變寬，且中間有花蓮新站分區大量排水匯入後，流量及流速增加。
7. 尚志橋至中正橋 0.5 公里為第 7 河段，中正橋設有中正橋水質監測站，距離出海口 1.1 公里，為本模式模擬終點。

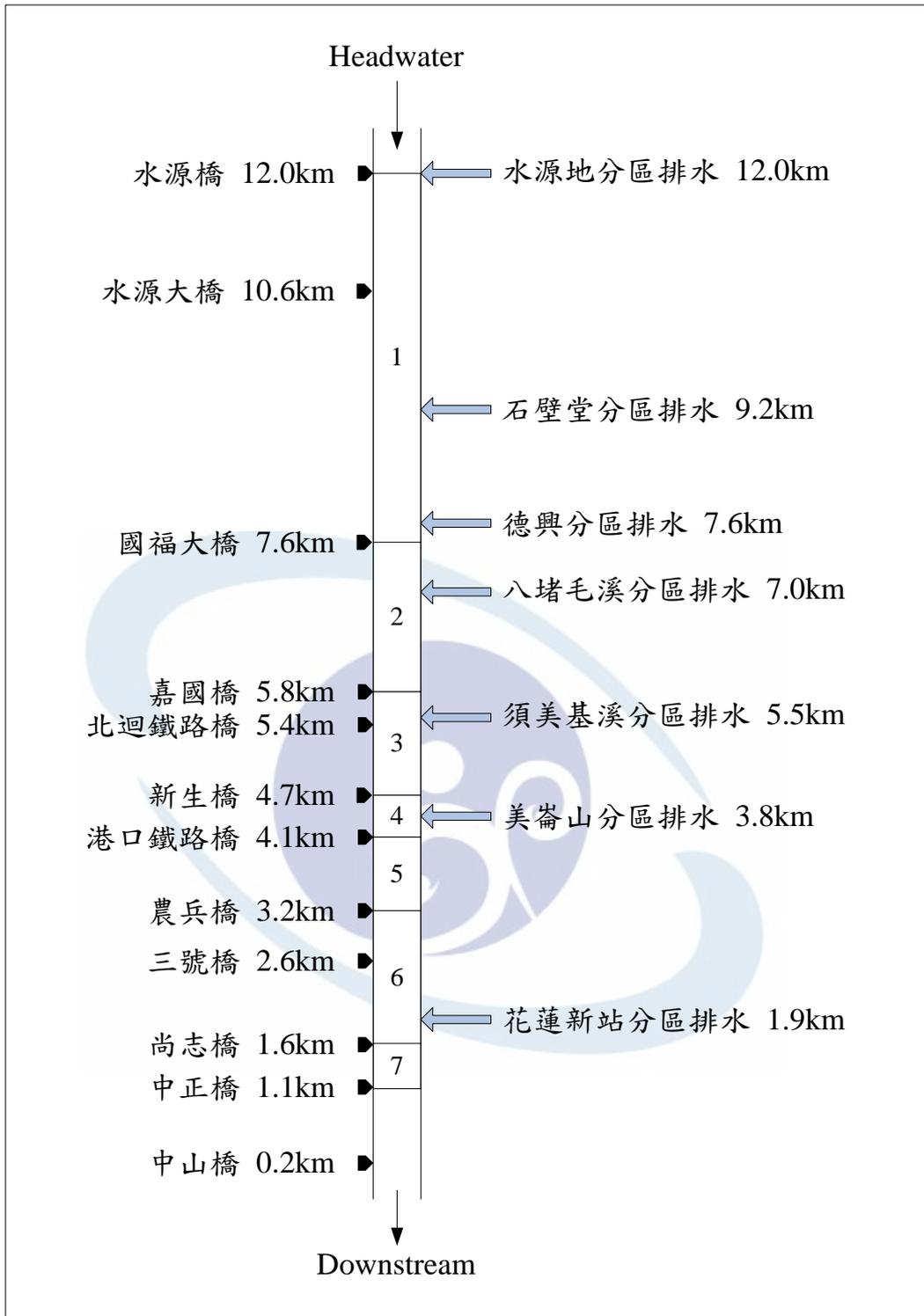


圖 4-6 美崙溪水質模式河段劃分及污染源輸入點示意圖

4-4 水理參數設定

水質模式建立之輸入資料庫，包括源頭、各河段及模式運算之水理水質參數。其中，水理參數包括河川斷面、流量、水溫及反應速率之參數，其主要參數設定如下。

(一) 設計流量：

本研究係參考花蓮縣環保局於 101 年實際量測之流量，枯水期間模擬源頭之水源橋多無地表逕流，然上游河段之河道以礫石為主，多為伏流水，較不易量測實際水量，故本研究將其流量假設為 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(二) 設計水溫：

由於河川水質模擬與流量一般設定於枯水期之流量，美崙溪流域之枯水期發生於 11 月至 4 月，故本研究參考美崙溪於枯水期間之水溫，平均溫度約 21.8 度。

(三) 怯氧係數：

美崙溪流域上游河床坡度陡、流速快，且污染量少，有機物沈澱、揮發等所引起 BOD 去除之影響較小，故本研究將怯氧係數之預設值設定為 0.0 (1/day)。

(四) 再曝氣係數：

本研究亦採用 O'Connor and Dobbins 方程式，簡述如下：

在低流速等方向的條件下：

高流速而無等向的狀況下：

$$K_2(20^\circ \text{C}) = \frac{480 D_m^{0.5} S_0^{0.25}}{d^{1.5}} \times 2.31$$

其中，

S_0 ：河床坡度

d ：平均水深

K_2 ：再曝氣係數(1/day)

D_m ：分子擴散係數

$$D_m = 1.91 \times 10^3 (1.037)^{T-20}$$

本研究源頭之參數設定，包括流量、高程、坡降、曼寧係數及河底寬，如表 4-10 所示，其中，高程及河底寬度係參考花蓮環保局於 2011 年量測之實際值，曼寧係數係參考 2003 年之「花蓮縣河川流域污染整治計畫」設計值，坡降則為環保署公告之美崙溪水系資料換算之結果。

表 4-10 美崙溪水質模式源頭參數值

參數	單位	設定值
流量(Flow Rate)	m ³ /s	0.100
高程(Elevation)	m	16.000
坡降(Channel Slope)		0.008333
曼寧係數(Manning Coefficient, n)		0.0280
河底寬度(Bot Width)	m	5.00

4-5 模式參數率定

本研究主要模擬項目為 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，其主要參數包括祛氧係數(K_1)、再曝氣係數(K_2)、有機氮水解係數、氨氮硝化係數及脫硝係數等 5 項水質參數，其中，再曝氣係數為模式以 O'Connor and Dobbins 方程式自動運算。為確保水質模式反應參數之正確性，以水源橋上游、新生橋及中正橋水質監測站，於近 5 年(2008~2012 年)枯水期間測得之平均值，水源橋上游測站之 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度平均值分別為 0.50 mg/L 及 0.006 mg/L，新生橋測站之 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度平均值分別為 2.67 mg/L 及 1.323 mg/L，中正橋測站之 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度平均值分別為 2.71 mg/L 及 1.437 mg/L，依平均絕對百分誤差法(MAPE)檢定及評估，於 QUAL2K 模式建議之參數設定範圍內，利用逼近法調整水質參數，率定過程依順序作編碼為 ML_01~ML_08，彙整如表 4-11 所示，依序說明如下。

- (一)ML_01：研究係先以模式預設值直接進行模擬，其 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 檢定結果分別為 28.1 % 及 26.6 %，已可符合預測能力等級之合理預測範圍(20 % ~ 50 %)。
- (二)ML_02：將主要參數設定為模式建議範圍之最小值，其 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 檢定結果分別為 27.9 % 及 26.3 %，顯示美崙溪水質模式之參數設定值接近建議範圍之最小值。
- (三)ML_03：將主要參數設定為模式建議範圍之最大值，其 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 檢定結果分別為 62.0 % 及 51.6 %，為不正確的預測範圍。
- (四)ML_04：參考國內相關研究及美崙溪之 QUAL2E 水質模式設定值，調整各參數，其 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 檢定結果分別為 23.4 % 及 26.2 %，預測能力皆有上升。
- (五)ML_05：依 ML_04 設定之參數值，調降有機氮水解係數為 1/2 倍，其 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 檢定結果分別為 23.4 % 及 26.2 %，結果顯示並無影響。
- (六)ML_06：依 ML_04 設定之參數值，調降硝化係數為 1/2 倍，其 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 檢定結果分別為 23.4 % 及 26.1 %，結果顯示預測能力下降。

表 4-11 美崙溪水質模式 ML_01~ML_08 模擬結果及檢定平均值

測站名稱		水源橋	新生橋	中正橋	MAPE 平均值
編號	水質項目	上游			
ML_01	BOD(mg/L)	0.50	1.83	4.40	28.1%
	NH ₃ -N(mg/L)	0.007	0.915	1.930	26.6%
ML_02	BOD(mg/L)	0.50	1.87	4.58	27.9%
	NH ₃ -N(mg/L)	0.007	0.938	2.003	26.3%
ML_03	BOD(mg/L)	0.50	1.05	2.06	62.0%
	NH ₃ -N(mg/L)	0.007	0.615	1.106	51.6%
ML_04	BOD(mg/L)	0.50	1.78	3.40	23.4%
	NH ₃ -N(mg/L)	0.007	0.915	1.897	26.2%
ML_05	BOD(mg/L)	0.50	1.78	3.39	23.4%
	NH ₃ -N(mg/L)	0.007	0.916	1.898	26.1%
ML_06	BOD(mg/L)	0.50	1.78	3.40	23.4%
	NH ₃ -N(mg/L)	0.007	0.927	1.943	26.4%
ML_07	BOD(mg/L)	0.50	1.69	3.07	23.2%
	NH ₃ -N(mg/L)	0.007	0.915	1.888	26.0%
ML_08	BOD(mg/L)	0.50	1.69	3.06	23.1%
	NH ₃ -N(mg/L)	0.007	0.933	1.869	24.9%

(七)ML_07：依 ML_04 設定之參數值，將中、下游河段(第 3~7 河段)之脫硝係數調整為 2 倍，其 BOD 及 NH₃-N 檢定結果分別為 23.2 % 及 26.0 %，預測能力皆上升。

(八)ML_08：依 ML_07 設定之參數值，將中、上游河段(第 1~4 河段)之脫硝係數調降，其 BOD 及 NH₃-N 檢定結果分別為 23.1 % 及 24.9 %，預測能力皆上升。

本研究選用率定編號 ML_08 之參數值作為美崙溪水質模式建立之設定值，各河段率定結果如表 4-12 所示，美崙溪水質模擬結果，BOD 及 NH₃-N 濃度隨距離之變化情形如圖 4-7 及圖 4-8 所示。由圖中可發現，無論是 BOD 或 NH₃-N 模擬值均可反應出河川水質變化趨勢，且多落在實際監測值附近，顯示模擬結果良好。

表 4-12 本研究水質模式各河段之水質參數率定值

河段 編號	怯氧係數 (1/day)	有機氮水解 係數(1/day)	硝化係數 (1/day)	脫硝係數 (m/day)
1	0.05	0.10	0.05	0.20
2	0.05	0.10	0.05	0.20
3	0.10	0.08	0.10	0.80
4	0.10	0.08	0.10	0.80
5	0.50	0.04	1.00	2.00
6	0.50	0.04	1.00	2.00
7	0.50	0.04	1.00	2.00

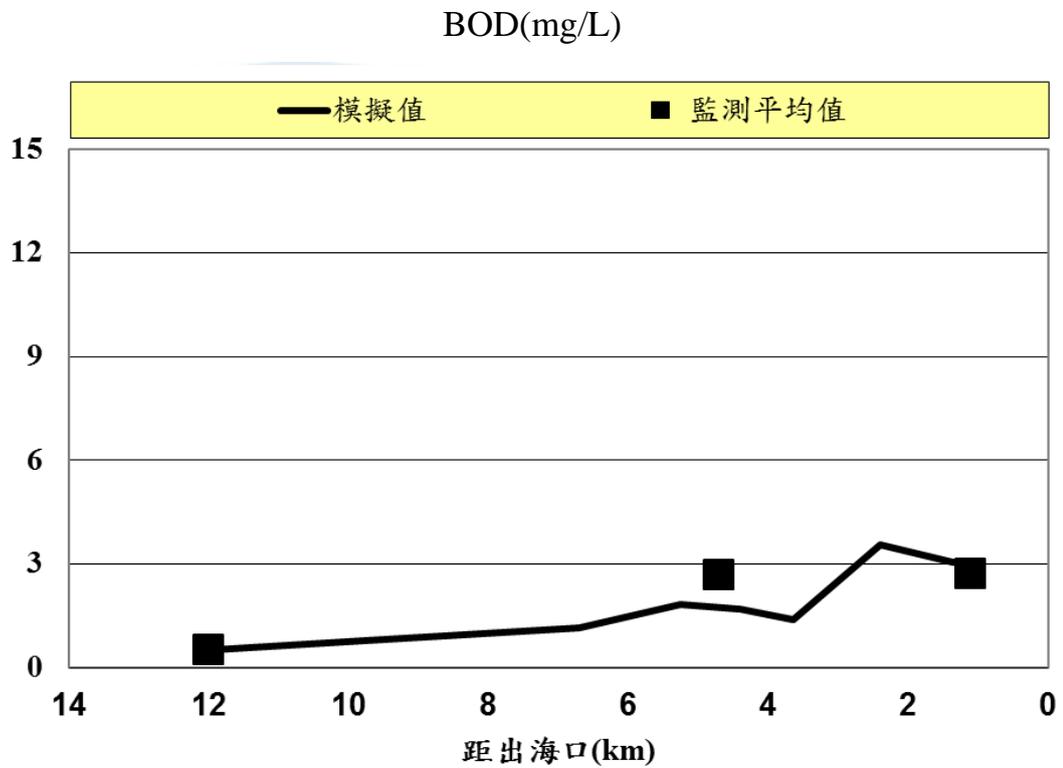


圖 4-7 生化需氧量濃度(BOD)模擬結果

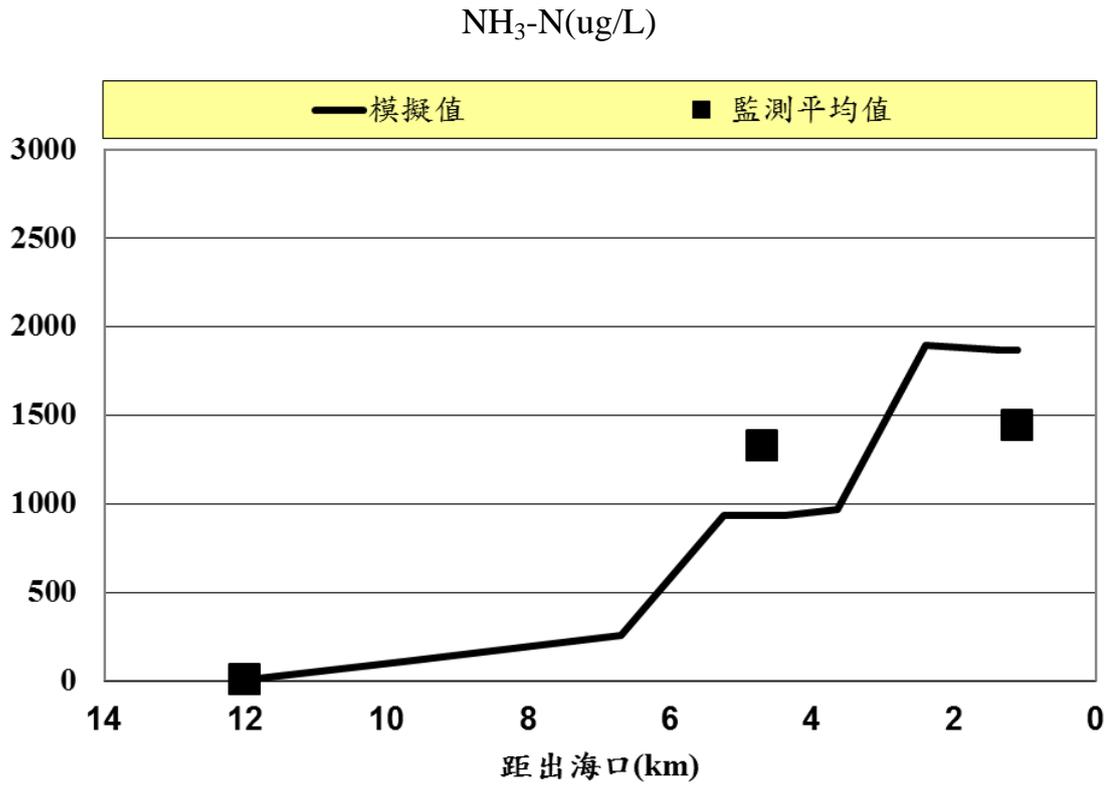


圖 4-8 氨氮濃度(NH₃-N)模擬結果

4-6 模擬結果驗證

依據環保署公告之環境影響評估河川水質評估模式技術規範中，水質模式建立流程之驗證，須至少以 2 組 5 筆之實測資料進行驗證。本研究水質模擬主要以生化需氧量(BOD)及氨氮(NH₃-N)為主，於 QUAL2K 模式中輸入前述水文水質監測資料與流域集污區資料，在 101 年枯水期間選擇其中 5 個月份，水源橋上游、新生橋及中正橋等 3 個水質監測站，共 3 組 5 筆之水質監測資料，進行平均絕對百分誤差法(MAPE)檢定，檢定結果如表 4-13 所示，水源橋上游之 BOD 濃度檢定結果(0.0 %)為高精確度，水源橋上游之 NH₃-N 濃度檢定結果(19.8 %)及中正橋之 BOD 濃度檢定結果(14.5 %)為良好的預測，而新生橋之 BOD 及 NH₃-N 檢定結果(45.4 %及 26.3 %)，以及中正橋之 NH₃-N 檢定結果(24.6 %)則皆為合理的預測範圍內，MAPE 平均值皆未達到預測能力等級之不正确預測等級範圍(>50 %)，顯示本研究建立之美崙溪水質模式，實可作為呈現其水質空間變化趨勢之用。

表 4-13 美崙溪水質模式平均絕對百分誤差(MAPE)檢定值

測站	水源橋上游		新生橋		中正橋		
	BOD	NH ₃ -N	BOD	NH ₃ -N	BOD	NH ₃ -N	
實測值	單位						
單位	mg/L						
101 年 枯水期	1 月	0.5	0.01	2.5	1.02	1.9	0.91
	2 月	0.5	0.01	2.2	1.13	3.2	1.24
	3 月	0.5	0.01	2.6	1.05	2.9	1.29
	11 月	0.5	0.01	3.1	1.37	2.3	1.14
	12 月	0.5	0.01	2.7	1.41	1.9	1.51
模擬值	0.5	0.01	1.7	0.93	3.1	1.87	
MAPE 平均值	0.0%	19.8%	45.4%	26.3%	14.5%	24.6%	
預測能力等級	高精確度	良好的預測	合理的預測	合理的預測	良好的預測	合理的預測	

本研究整理。

另將本研究建立之 QUAL2K 水質模式之 BOD 及 NH₃-N 模擬結果，與 101 年度枯水期間水質監測現況值作比較，配合水體水質標準，如表 4-14 所示，各河段之 BOD 污染濃度已可符合水體水質標準，而 BOD 及 NH₃-N 污染濃度於新生橋之模擬結果均略低於現況值，顯示該河段之污染推估可能有污染源未統計到或有申報不實之虞，然中、下游 NH₃-N 污染濃度超出水體水質標準，建議除持續污水下水道之用戶接管外，應掌握河川沿線污染匯入點及污染量，並積極輔導畜牧業者削減污染量，以改善中、下游河川水質。

表 4-14 水質模式模擬結果配合水體水質標準之比較結果

項目	水質模式模擬結果		水體水質標準		101 年度枯水期現況	
	BOD	NH ₃ -N	BOD	NH ₃ -N	BOD	NH ₃ -N
單位	mg/L					
水源橋 上游	0.5	0.01	≤2.0	≤0.3	0.5	0.00
新生橋	1.7	<u>0.93</u>	≤4.0	≤0.3	2.65	<u>1.35</u>
中正橋	3.1	<u>1.87</u>	≤4.0	≤0.3	2.65	<u>1.40</u>

水質模式之建立，需要蒐集流域內各種資料進行彙整及分析，包括模擬河段劃分、水理條件、邊界條件以及配合河川水質檢測資料進行參數率定等。其中，污染量推估的主要目的在於掌握污染源的結構，以作為相關削減策略擬定的依據，如僅統計水污染源管制資料管理系統之資料，其差異較大且正確性低，因此，本研究除蒐集調查美崙溪基本資料外，彙整水污染源管制資料管理系統中，各事業申請許可及定檢申報之數據，同時進行流域污染源之全面調查，包括事業、養豬場、社區、工業區等進行定位，利用調查定位之空間資料，分生活污水、畜牧廢水及工業廢水等各集污區之污染量推估。

過去河川污染整治案例，多以解決單一問題為工程目標，在許多環境因子相互影響下，經常導致整治成效不如預期。水質模式之建置，可應用於削減策略之成效評估及準確預估。近年來美崙河流域隨著時空遷移，污染情形已有相

當大的變化，應建立準確之水質模式，並釐清流域內之污染源及污染量，以達到水質模式之準確性，再針對各污染源對水質變化之影響權重，此統合性的規劃，對於河川流域中各種不同之污染性質，可預測流域水質污染狀況，實可作為削減分配策略之參考依據。



4-7 削減策略之應用

花蓮縣目前河川水質尚稱良好，然美崙溪仍有部分河段達中度污染程度，且河川水質達成率亦頗有努力空間，故仍須加強河川水質的維護。本縣河川水質污染源可分為生活污水、工業廢水、畜牧廢水及非點源四大部份，其中以生活污水的防治為首要。

河川污染削減策略一般可分為兩大基本原則，包括污染源管制及污染量削減，除管制流域內污染源及其排入污染種類外，亦推動設置污水處理及製程改善等污染削減辦法。有效減少污染物質進入水體，使河川污染負荷不超過其涵容能力，另一方面，可設置截流系統、攔河堰集合川表面曝氣等設施，以增加河川本身之淨化能力。

分析美崙河流域污染量較大的污染源，河川水質管制策略主要分為生活水管制、工業廢水管制、畜牧廢水管制及其他等管制策略，為維護或改善美崙溪之水質，除了加強生活污水處理及事業廢水排放管制外，亦辦理水污染防治相關法規及減量技術等教育宣導，同時推動源頭減量及污染處理的污染削減工作，以減少美崙溪河川之污染負荷。美崙河流域河川水質現況，可知水質達成率最差之項目為 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，參考「美崙溪 RPI 及其污染物研析暨污染管制策略研究」報告，近年河川水質變化趨勢分析結果，發現美崙河流域於近 5 年之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 DO 與近 10 年之分佈情形並無改善，而「水污染源管制管理系統」之列管事業，無 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度之申報資料，建議將 $\text{NH}_3\text{-N}$ 納入列管事業申報之水質檢測項目中，以作為執行美崙河流域污染削減工作之參考。為使美崙河流域水質達水體水質分類標準之目標，應發展準確的污染魚骨圖及河川水質模式，依總量管制概念擬訂污染源削減策略，以期在有限的資源內提升美崙河流域水質的改善成效。

歷年美崙溪污染負荷統計結果，顯示流域污染主要為生活污水，其次為畜牧廢水，為解決生活污水之污染，主要以建置污水下水道系統，以改善並降低生活污水排放至水體之污染量，而畜牧廢水方面，主要以提升養豬廢水處理技術及效率為主。本研究將建立完成之 QUAL2K 水質模式應用於污染削減策略的改善成效評估，包括污水下水道完成用戶接管後之河川水質改善成效，以及

輔導養豬戶設置污染削減設備，使開機率達到 50% 之河川水質改善成效。模擬結果分別說明如下：

一、 生活污水削減

污水下水道為生活污水控制的主要方式，花蓮地區污水下水道系統建設於民國 88 年度實施初期，營建署與花蓮縣政府即合作分工辦理各項污水下水道工程標案建設，施設範圍主要為美崙溪流域及吉安溪流域，其中，美崙溪流域興建下水道之集污區，包括石壁堂分區、須美基溪分區、美崙山分區及花蓮新站分區等 4 個集污區。迄民國 100 年度止，完成了花蓮水資源回收中心、東昌污水加壓站及後備軍人公園污水加壓站等廠站暨美崙溪過管橋施設；主次幹管部份，完成了花蓮市、吉安鄉境污水主幹管 27.4 公里，污水次幹管 43.5 公里施設，預計於 102 年及 103 年間陸續完成用戶接管工程。

本研究應用美崙溪流域之 QUAL2K 模式模擬下水道興建完成接管後，依各區域完成用戶接管後，預計水質改善之成效。假設石壁堂分區、須美基溪分區、美崙山分區及花蓮新站分區完成削減後，分別可削減 20%、40%、70% 及 60%，BOD 污染濃度模擬結果如圖 4-9 所示，預計下水道用戶接管完成後，可明顯改善 BOD 污染濃度至未(稍)受污染程度(<3.0 mg/L)，NH₃-N 污染濃度模擬結果如圖 4-10 所示，NH₃-N 污染濃度亦有改善情形，整理新生橋測站及中正橋測站之削減率，如表 4-15 所示，可發現石壁堂集污區完成用戶接管後，水質無明顯變化，而須美基溪集污區完成用戶接管後，新生橋測站之 BOD 及 NH₃-N 污染濃度明顯改善，新生橋下游之美崙山及花蓮新站集污區，以花蓮新站集污區完成用戶接管之削減成效最為顯著，美崙溪流域完成污水下水道用戶接管後，預計新生橋測站之 BOD 及 NH₃-N 污染濃度分別可改善 37.0% 及 16.0%，中正橋站之 BOD 及 NH₃-N 污染濃度之改善成效可達 58.5% 及 35.9%。

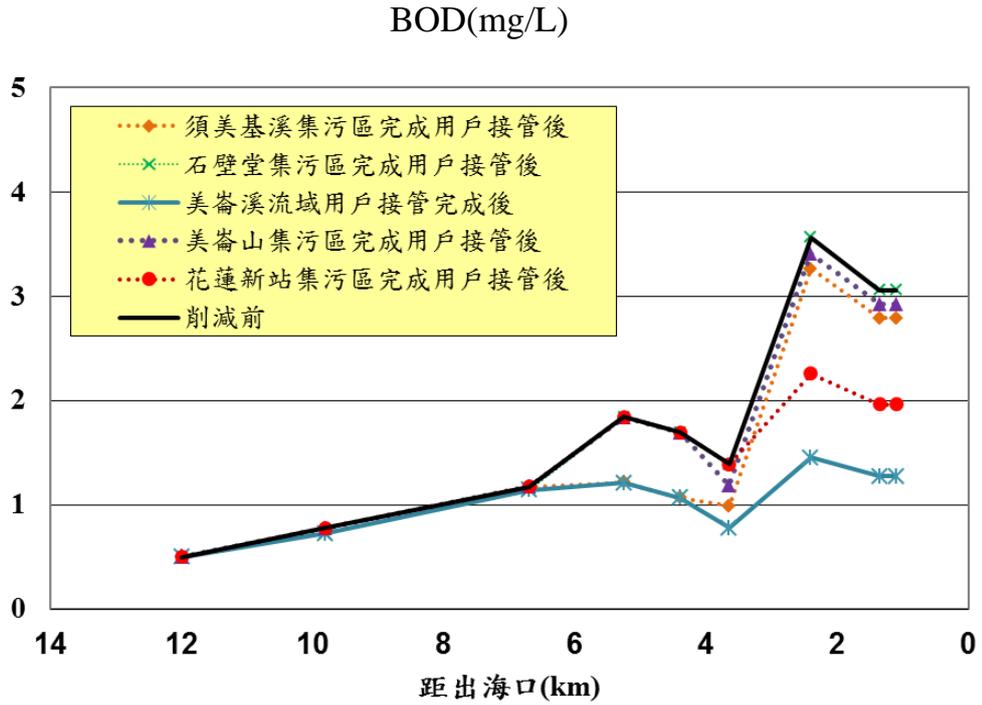


圖 4-9 生活污水污染削減之 BOD 模擬結果

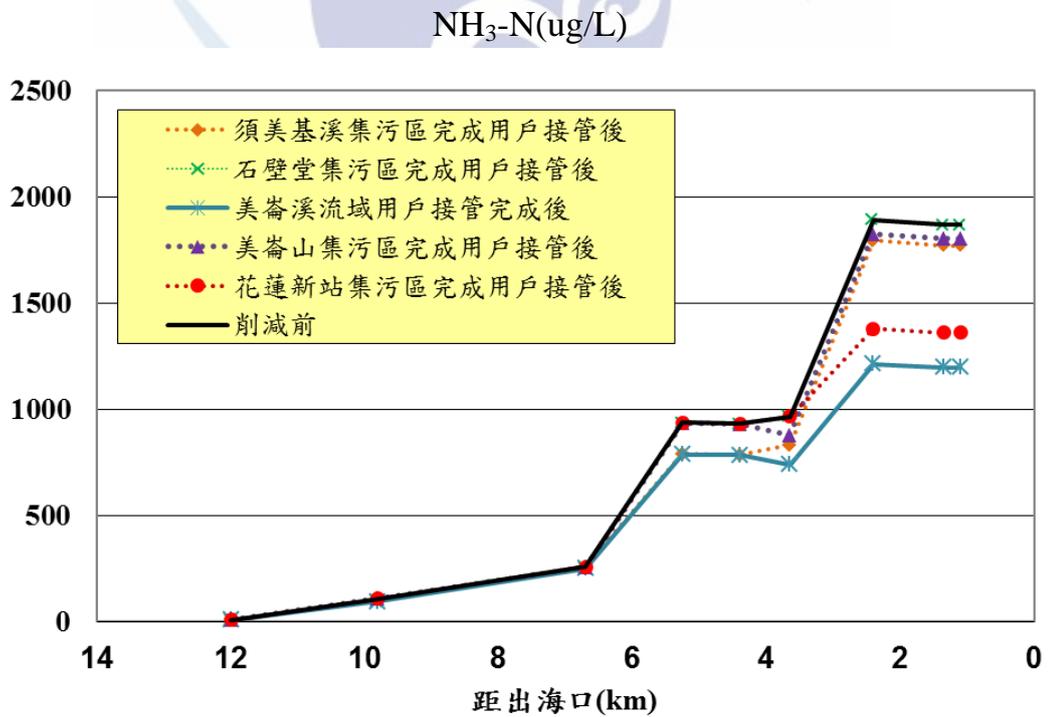


圖 4-10 生活污水污染削減之 NH₃-N 模擬結果

表 4-15 污水下水道用戶接管之削減成效（單位：%）

削減策略	新生橋測站		中正橋測站	
	BOD	NH ₃ -N	BOD	NH ₃ -N
1	0.1	0.1	-0.1	0.0
2	36.8	15.9	8.8	5.1
3	0.0	0.0	4.5	3.5
4	0.0	0.0	35.9	27.1
5	37.0	16.0	58.5	35.9

註：1. 僅石壁堂集污區完成用戶接管之削減率；2. 僅須美基溪集污區完成用戶接管之削減率；3. 僅美崙山集污區完成用戶接管之削減率；4. 僅花蓮新站集污區完成用戶接管之削減率；5. 美崙溪流域完成用戶接管之削減率。

二、 畜牧廢水削減

本縣近年持續宣導各養豬戶定期申報廢水處理設備及水質檢驗測定報告，並加強不定期稽查次數檢視其廢水處理設備開機率，同時輔導業者改善自身臭味及廢水問題，評估養豬再生綠能技術的可行性，以達到畜牧廢水污染削減的目標，改善河川水質。

一般養豬戶正常操作之廢水處理設備(BOD 及 SS 去除率為 97%，NH₃-N 去除率為 60%，TP 去除率為 10%)，本研究假設美崙溪流域養豬戶可達到 100% 開機率的目標，以及 50 % 開機率及 50% 二段式處理效率，BOD 污染濃度模擬結果如圖 4-11 所示，發現中、下游 BOD 污染濃度有明顯改善情形，嘉國橋段污染濃度可降低至未(稍)受污染程度(<3.0 mg/L)，NH₃-N 污染濃度模擬結果如圖 4-12 所示，中、下游河段 NH₃-N 污染情形略為改善，整理新生橋測站及中正橋測站之削減率，如表 4-16 所示，可發現當美崙溪流域養豬戶達到三段式處理設備 50 % 開機率及二段式處理設備 50 % 開機率之目標，新生橋測站之 BOD 及 NH₃-N 污染濃度分別可改善 40.7 % 及 10.8 %，中正橋站之 BOD 及 NH₃-N 污染濃度之改善成效可達 23.5 % 及 7.4 %，而達到三段式處理設備 100 % 開機率之目標時，新生橋測站之 BOD 及 NH₃-N 污染濃度分別可改善 41.6 % 及 21.7 %，中正橋站之 BOD 及 NH₃-N 污染濃度之改善成效可達 23.6 % 及 14.8 %。

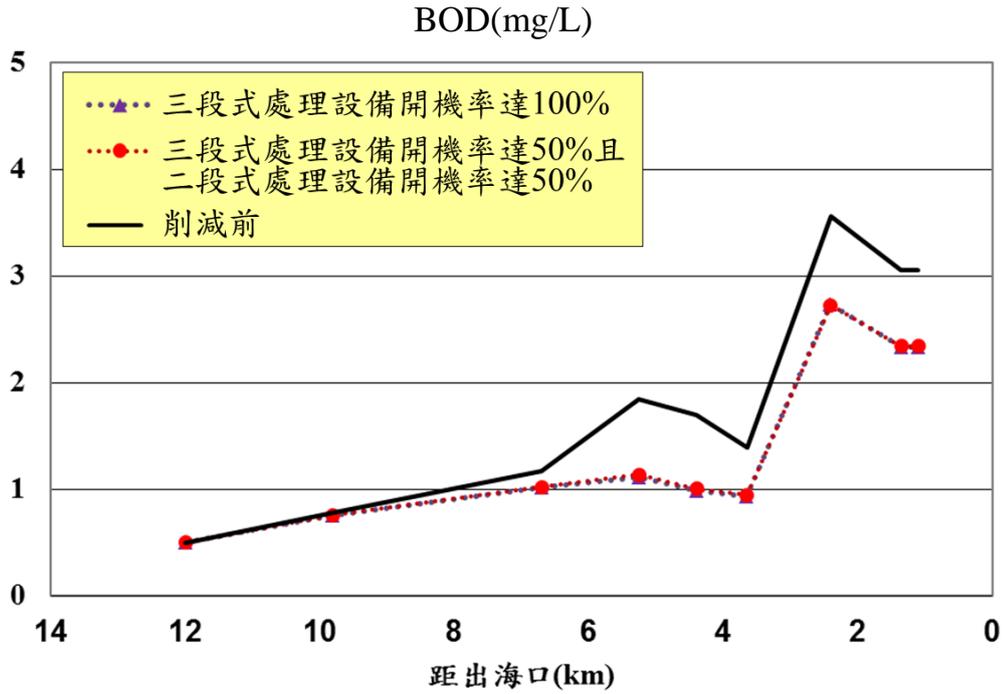


圖 4-11 畜牧廢水污染削減之 BOD 模擬結果

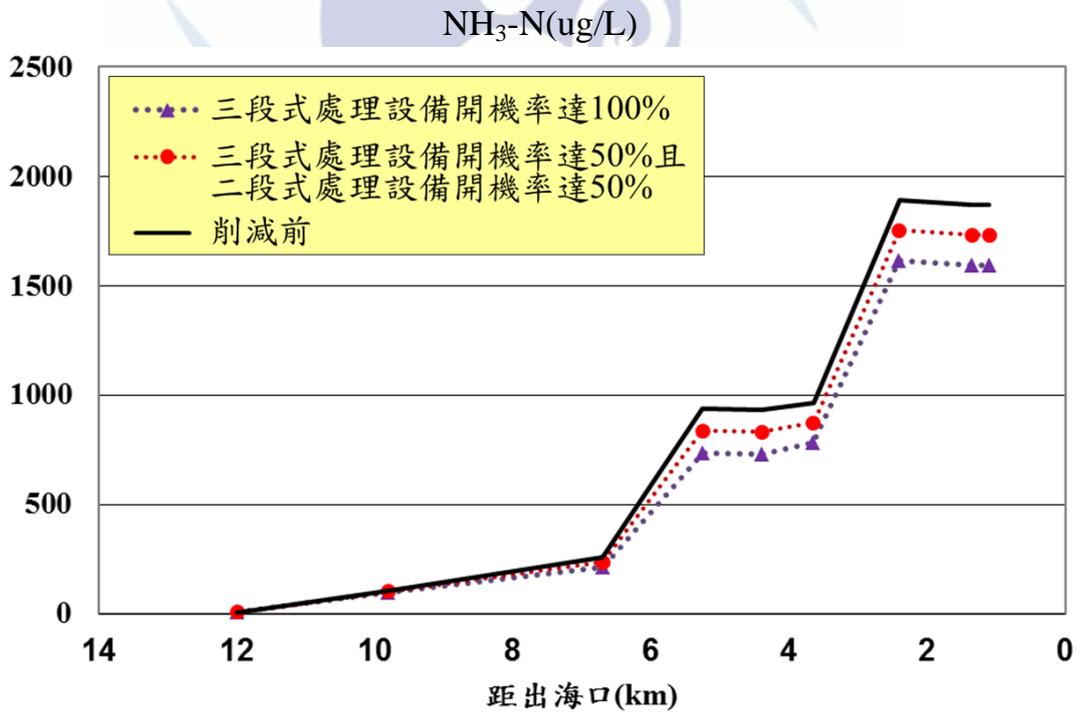


圖 4-12 畜牧廢水污染削減之 NH₃-N 模擬結果

表 4-16 養豬廢水處理設備開機率之削減成效 (單位：%)

削減策略	新生橋測站		中正橋測站	
	BOD	NH ₃ -N	BOD	NH ₃ -N
三段式處理設備開機率達 100%	41.6	21.7	23.6	14.8
三段式處理設備開機率達 50% 且 二段式處理設備開機率達 50%	40.7	10.8	23.5	7.4



第五章 結論與建議

5-1 結論

1. 統計美崙溪 DO、NH₃-N、BOD、SS 及重金屬歷年(2002-2011 年) 水質達成率情況，重金屬之水質達成率最高，平均 99.4%，其次為 SS 之 93.7% 及 DO 之 84.7%，而以 BOD 及 NH₃-N 之水質達成率較低，分別僅 58.3% 及 26.7%，可知要提升美崙溪之水質，應以 BOD 及 NH₃-N 污染物之削減為首要工作。
2. 分析美崙溪流域水質現況結果，可發現主要污染物為 BOD 及 NH₃-N，依豐、枯水期分類，比較 RPI 值及 DO、NH₃-N、BOD、SS 濃度變化趨勢之差異，RPI 值及 NH₃-N 濃度以枯水期間之污染略為顯著。
3. 統計美崙溪各行業污染物排放狀況，總排放量以其他指定地區或場所專用下水道 9 家共排放 2,357.33 CMD，佔 39.3% 為最多，其次為土石加工業 8 家共排放 1,624.9 CMD，佔 27.1%，BOD 污染物總排放量以其他指定地區或場所專用下水道 9 家共排放 38.96 kg/d，佔 58.9% 為最多，其次為醫院、醫事機構 3 家排放 7.07 kg/d，佔 10.7%，SS 污染物總排放量則以土石加工業 8 家共排放 66.73 kg/d，佔 50.9% 為最多，其次為其他指定地區或場所專用下水道 9 家共排放 38.94 kg/d，佔 29.7%。
4. 研究區域內每天之污水排放量為 1,028,979.9 CMD、BOD 污染量為 1,248.7 kg/day、NH₃-N 污染量為 473.9 kg/day。其中生活污水、事業廢水與畜牧廢水之 BOD 污染量分別佔全流域 80.0%、4.6% 及 18.8%，其中以生活污水所佔比重較大，其次為畜牧廢水，將可作為未來相關延續計畫進行結果之比對。而生活污水、事業廢水與畜牧廢水之 NH₃-N 污染量分別佔全流域 56.0%、21.6% 及 22.4%，亦以生活污水所佔比重較大。
5. 美崙溪流域範圍為花蓮縣人口稠密地區，活動所產生之廢、污水部

分不受管制，由雨水下水道排入水體，沿線實際現況調查，發現有放養牛群及民眾任意丟棄生活垃圾於沿線河床的情形。

6. 研究於枯水期間(101 年 11 月 26 日)之調查結果，由主流之污染負荷量可發現，大部分檢測項目以嘉國橋之污染情形最為顯著，而溶氧濃度(7.00 mg/L)為最低，其次為新生橋及尚志橋兩個調查點，由檢測結果可知，嘉國橋上游至新生橋間，以及三號橋至尚志橋間，有重大污染匯入水體，至水體水質產生明顯污染情形。
7. 由模擬結果得知，以 QUAL2K 水質模式建立之美崙河流域河川水質模式，依據 MAPE 檢定模擬率定與驗證之結果，MAPE 平均值皆未達到預測能力等級之不正确預測等級範圍(>50%)，顯示本研究建立之美崙溪水質模式，實可作為呈現其水質空間變化趨勢之用。
8. 將美崙溪枯水期間之水質現況及水質模式模擬結果，與水體水質分類標準作比較，可發現各河段現況及模擬之 BOD 污染濃度可符合水體水質分類標準，而 NH₃-N 污染濃度之模擬結果略低於現況值，顯示污染推估仍有污染源未統計到或有申報不實之虞，且中、下游 NH₃-N 污染濃度超出水體水質標準。
9. 應用美崙河流域之 QUAL2K 模式模擬下水道興建完成接管後，依各區域完成用戶接管後，BOD 污染濃度模擬，預計下水道用戶接管完成後，可明顯改善 BOD 污染濃度至未(稍)受污染程度(<3.0 mg/L)，NH₃-N 污染濃度亦有改善情形。
10. 研究假設美崙河流域養豬戶可達到 100%開機率的目標，以及 50%開機率及 50%二段式處理效率，模擬結果發現中、下游 BOD 污染濃度有明顯改善情形，嘉國橋段污染濃度可降低至未(稍)受污染程度，中、下游河段 NH₃-N 污染情形略為改善。

5-2 建議

1. 水質模式之建置，須蒐集、彙整及分析所需之基本資料，包括各類型污染源位置、污染型態、污染量確認及土地利用等資料彙整，此外，相關水文資料，以及人文、社會環境等相關資料，以進行流域污染魚骨圖繪製、水質模式建立及污染整治措施研擬時參考之依據。河川水量為污染量計算及水質模式模擬之重要參數，如要準確掌握水體水質變化情形，建議設置水文觀測站作長期監測。
2. 事業廢水之推估方法，其污染源之污染量資料其產生量及排放量資料主要係依據「水污染源管制資料管理系統」最新定檢申報之申報資料，檢討歷年管制資料，建議將 $\text{NH}_3\text{-N}$ 納入列管事業申報之水質檢測項目中，以作為執行美崙河流域污染削減工作之參考。
3. 近年花蓮縣農舍林立，隨著觀光旅遊之發展，尤其以民宿業農舍之生活污水為大宗，仍未列入事業廢水及生活污水等各集污區污染推估之統計中，建議假設污染推估之安全係數，較為符合實際污染量。
4. 過去河川污染整治案例，多以解決單一問題為工程目標，在許多環境因子相互影響下，經常導致整治成效不如預期。水質模式之建置，可應用於削減策略之成效評估及準確預估，應配合水理水力特性，建立準確之水質模式，並釐清流域內之污染源及污染量，以達到水質模式之準確性，再針對各污染源對水質變化之影響權重，此統合性的規劃，對於河川流域中各種不同之污染性質，可預測流域水質污染狀況，實可作為削減分配策略之參考依據。
5. 本研究利用初步完成之水質模式，模擬美崙河流域針對生活污水及畜牧廢水之削減策略成效評估，其中， $\text{NH}_3\text{-N}$ 污染濃度在中、下游河段仍未符合水體水質標準，應加強輔導及稽查，並確實掌握河川沿線污染匯入點及污染來源，此外，積極規劃河川淨化設施，配合 QUAL2K 水質模式模擬情境，研究及評估不同設施對河川水質改善之成效，以提升河川自淨能力，改善美崙溪河川水質。

參考文獻

中文：

1. 工業污染防治中心，1995，廢水脫氮之重要性及相關法規。
2. 中興顧問社，1994，淡水河系污染整治實施方案檢討。
3. 內政部營建署，2004，污水下水道設計指南。
4. 王惟申，2008，水質水理模式整合應用於水質模擬之研究，碩士論文，明志科技大學生化工程研究所。
5. 江漢全、戴文堅、許麗淑、張晉豪、張靖為，2009，降雨對花蓮縣RPI 指標之影響-以花蓮溪與秀姑巒溪為例，2009 資源與環境學術研討會論文集。
6. 行政院經濟合作委員會台北區衛生下水道規劃小組，1971，淡水河系水污染及河川涵容能力研究。
7. 行政院農業委員會，1991，雲林縣灌區迴歸水有效利用調查研究。
8. 行政院農業委員會，1993，豬糞尿處理設施設計、施工手冊。
9. 行政院農業委員會，2007，花蓮縣農地資源空間整體發展構想及空間配置計畫。
10. 行政院環保署環境監測及資訊處，環境水質監測年報。
11. 行政院環境保護署，1998，國家環境保護計畫。
12. 行政院環境保護署，1993，水污染防治實施方案規劃作業手冊。
13. 行政院環境保護署，1993，花蓮縣美崙溪、吉安溪、花蓮溪等流域污染防治規劃。
14. 行政院環境保護署，1995，水體品質評估及污染量推估計畫。
15. 行政院環境保護署，2005，流域別水污染總量管制暨配套措施之研究。

16. 行政院環境保護署，2011，環境影響評估河川水質評估模式技術規範。
17. 余明琦，1995，不確定性分析在蘭陽溪流域水污染防治規劃上之應用，碩士論文，逢甲大學土木及水利工程研究所。
18. 李公哲、溫清光、郭振泰、李漢鏗、陳樹群，1985，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，行政院環境保護署。
19. 花蓮縣環境保護局，2003，花蓮縣河川流域污染防治規劃計畫。
20. 花蓮縣環境保護局，2011，花蓮縣環境保護計畫(100年版)
21. 花蓮縣環境保護局，2011，100年度花蓮縣流域及水污染稽查管制暨緊急應變協力處理計畫。
22. 邱智慧，2006，徵收水污染防治費對河川水質之影響，碩士論文，臺灣大學環境工程學研究所
23. 莊德豐，劉明全，葉安晉，陳佩足，2007，水理水質模式於嘉義縣朴子河流域之建立及運用，美和技術學院學報，26卷，2期，73~90頁。
24. 林俊宏，2006，曝氣對淡水河系水質改善之研究(以 WASP 模式探討)，碩士論文，國立聯合大學環境與安全衛生工程學系碩士班。
25. 林雅茹，2011，應用水質模式研擬東港溪流域之水質管理策略，碩士論文，屏東科技大學環境工程與科學系所。
26. 林順良，2008，彰化縣境內舊濁水溪非感潮河段整治方案之探討，碩士論文，大葉大學環境工程學系碩士在職專班。
27. 美商賽蒙斯李顧問工程公司，1989，基隆河流域性污染整治規劃報告。
28. 美商賽蒙斯李顧問工程公司，1990，淡水河系污染整治規劃報告。
29. 紀証耀，2008，以馬可夫鏈蒙地卡羅法探討水資源利用之不確定性

- 分析，碩士論文，國立高雄大學土木與環境工程學系碩士班。
30. 柳文成，2011，河川與河口水質模擬與污染削減預測-以朴子溪為例，臺灣水利，59 卷，2 期，43~62 頁。
 31. 郭振泰、郭文健、溫清光、高正忠，1998，高屏溪、東港溪污染量調查及整治規劃之高屏溪總量管制，行政院環境保護署。
 32. 康晉展，1996，新店溪水質模擬與不確定分析，碩士論文，國立台灣大學環境工程研究所。
 33. 連上堯，1988，枯水期基隆河水理與水質模式之研究，碩士論文，國立台灣大學農業工程研究所。
 34. 黃日昇，2009，應用 QUAL2K 建立高屏溪及東港溪河川水質模式與管理策略之研究，碩士論文，屏東科技大學環境工程與科學系所。
 35. 梁明志，1997，結合地理資訊系統與河川水質管理模式之研究，碩士論文，國立中興大學環境工程學系。
 36. 黃聖授，2001，高屏溪涵容能力之評估，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所。
 37. 黃珮瑜，2012，QUAL2K 模式評估人工溼地改善大漢溪水質之研究，碩士論文，淡江大學水資源及環境工程學系碩士班。
 38. 黃騰毅，2005，QUAL2K 運用於淡水河系用戶接管最適化配當之研究，碩士論文，國立聯合大學環境工程與安全衛生研究所。
 39. 許麗淑，2010，降雨對河川 RPI 指標之影響-以花蓮溪與秀姑巒溪為例，碩士論文，國立宜蘭大學環境工程研究所。
 40. 張鈞凱，2005，大漢河流域污染調查與削減策略評估，碩士論文，國立台灣大學環境工程系研究所。
 41. 張秀琴，2004，利用 QUAL2E 水質模式模擬淡水河系興建污水下水道之水質影響，碩士論文，中原大學土木工程學系。

42. 陳威宏，2003，溫泉廢水對於水環境之影響－以南勢溪流域為例，碩士論文，國立台北科技大學環境規劃與管理研究所。
43. 陳函馨，2002，以系統動力學建立感潮河川水理與水質模式，碩士論文，國立中山大學海洋環境及工程學系研究所。
44. 陳榮凱，2007，以 QUAL2K 水質模式模擬狹長型人工濕地之研究，碩士論文，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系
45. 陳貞樺，2007，應用 QUAL2K 模式分析北港溪水質之研究，碩士論文，中興大學水土保持學系所。
46. 陳宜清，柳孟宏，2006，QUAL2K 模式應用於河川水質管理(以筏子溪為例)，環境與管理研究期刊，8 卷，2 期，89~112 頁。
47. 陳筱華，1989，河川污染特性及水質數學模式之探討－以基隆河為例，碩士論文，國立台灣大學環境工程研究所。
48. 陳樹群，1984，河川動態水質數學模式之建立與應用，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所。
49. 曾淑君，2010，QUAL2K 應用於台中市河川水污染防治之研究，碩士論文，逢甲大學環境工程與科學所。
50. 經濟部水利署「易淹水地區水患治理計畫」第一階段實施計畫，2005。
51. 經濟部水資會，1980，淡水河水污染整治規劃報告。
52. 經濟部水資會，1983，淡水河流域河川水質數學模式之研究。
53. 溫清光，1980，確定水質模式之系統鑑定與敏感度分析，博士論文，國立成功大學土木工程研究所。
54. 劉醇慶，2006，利用 QUAL2K 探討蘭陽溪氮鹽削減之影響，碩士論文，國立東華大學。
55. 駱尚廉，陳筱華，1989，基隆河水質模式探討(I)缺氧硝化作用與模

式參數，中國土木水利工程學刊，1 卷，3 期，213~227 頁。

56. 廖俊強，2008，QUAL2K 於舊濁水溪水污染防治之應用，碩士論文，逢甲大學水利工程與資源保育研究所。
57. 鐘文祥，1995，基隆河之水質模擬與風險分析，碩士論文，國立台灣大學土木工程學研究所。

英文：

58. Barreca, J. (2002) "Quality assurance project plan lower white river temperature study", Water Quality Program Southwest Regional Office Olympia, WA 98504-7775.
59. Billett, M. F., Lowe, J. A. H., Black, K. E, Cresser, M. S. (1997) "The influence of parent material on small-scale spatial changes in streamwater chemistry in Scottish upland catchments", Journal of Hydrology, volumes 187, page 311-331.
60. Buck, O., Niyogi, D. K. and Townsend, C. R. (2004) "Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments", Environmental Pollution, volume 130, page 287-299.
61. Brown, L.C and Barnwell, T.O. (1987) "The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual.", Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development;U.S.EPA/600/3-87/007
62. Chang, H. (2008) "Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea", Water Research, volume 42, page 3285-3304.
63. Chapra, S. C., Pelletier, G. J. and Tao, H. (2007) "QUAL2K: A

- Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality”,
Version 2.04: Documentation and Users Manual. Civil and
Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
64. Chapra, S. C., Pelletier, G. J. and Tao, H. (2008) ”QUAL2K: A
modeling framework for simulating river and stream water quality”,
Version 2.11: Documentation and Users Manual.
 65. Cho, J.H., Ha, S.R. (2010) “Parameter optimization of the QUAL2K
model for a multiple-reach river using an influence coefficient
algorithm”, Science of the Total Environment, Vol.408, pp. 1985-1991.
 66. Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988) “Applied
Hydrology.” New York, McGraw-Hill, pp .592.
 67. DeLurgio (1998) “Forecasting Principle and Application,
McGraw-Hill”, New Jersey.
 68. Di Toro, D. M. (1972) “Recurrent Relations for First-order Sequential
Reaction in Natural Waters”, Water Resources Research, 8(1), 50-57.
 69. Fan, C., Ko, C.H., and Wang W.S. (2009) “An innovative modeling
approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact
of tidal effect on River Water quality simulation”, Journal of
Environmental Management, Vol. 90, pp. 1824-1832.
 70. Garvey, E., Hunt, C., Foster, C., Atmadja, J., Pang, H., Hayes, D.,
Fidler B., and Hess, A. (2004) ”PCBs, dredging and resuspension:
setting a standard for the Hudson River remediation”, Proceedings of
the Water Environment Federation, WEFTEC 2004: session 1 through
session 10, page 905-934.
 71. Hunsaker, C. T. and Levine, D. A. (1995) “Hierarchical approaches to
the study of water quality in rivers”, BioScience, volume 45, page

193-203.

72. Interlandi, S. J. and Crockett, C. S. (2003) “Recent water quality trends in the Schuylkill River, Pennsylvania, USA: a preliminary assessment of the relative influences of climate, river discharge and suburban development”, *Water Research*, volume 37, page 1737-1748.
73. Leopold, L.B. and Maddox, T. (1953) “The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications”, Professional Paper 252, U.S. Geological Survey, Washington, DC.
74. Linfield C. and Thomas O. Brown, Jr (1985) “Computer Program Documentation for the Enhanced Stream Water Quality Model QUAL2E”, Department of Civil Engineering Tufts University and Environmental Research Laboratory.
75. Mathew, M., Yao, Y., Cao, Y., Shodhan, K., Ghosh, I., Bucci, V., Leitao, C., Njoka, D., Wei, I., Hellweger, F. L. (2011), “Anatomy of an urban waterbody: A case study of Boston’s Muddy River”, *Environmental Pollution*, Vol.159, pp.1996-2002.
76. McIntyre, N. R., Wagener, T., Wheater, H. S. and Chapra, S. C. (2003) Risk-based modelling of surface water quality: a case study of the Charles River, Massachusetts, *Journal of Hydrology*, volume 274, page 225-247.
77. Neal, C., Neal, M., Hill, L. and Wickham, H. (2006) “River water quality of the River Cherwell: An agricultural clay-dominated catchment in the upper Thames Basin, southeastern England”, *Science of the Total Environment*, volume 360, page 272-289.
78. O’ Connor, D. W. (1956) “Mechanism of Reaeration in Natural Stream.” *American Society of Civil Engineers. Proceedings. Vol.123*, pp. 641-684.

79. Robson, A. J. and Neal, C. (1997) "A summary of regional water quality for Eastern UK rivers", *Science of The Total Environment*, volumes 194-195, page 15-37.
80. Rothwell, J. J., Dise, N. B., Taylor, K. G., Allott, T. E. H., Scholefield, P., Davies H. and Neal, C. (2010) "A spatial and seasonal assessment of river water chemistry across North West England", *Science of the Total Environment*, volume 408, page 841–855.
81. Streeter, H.W., and Phelps, E.B. (1925) "A Study of Pollution and Natural Purification of the Ohio River", *Public Health Bulletin*, NO.146, pp.1-75.
82. Thayer, H. P. and Krutchkoff, R. G. (1967) "Stochastic Model for BOD and DO in Stream", *Journal of the Sanitary Engineering Division: Proceedings of the American Society of Civil Engineers.*, SA3, pp.59-72.
83. Thomann, R.V. (1980) "Systems Analysis and Water Quality Management", Publishing Co., Inc., Boston, Massachusetts.
84. Vega, M., Pardo, R., Barrado, E. and Deban, L. (1998) "Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis", *Water Research*, volume 32, page 3581-3592.
85. Velz, C. J. (1938) "Deoxygenation and Reoxygenation", *Proceeding of ASCE*, 65(4), 677-680.
86. Park, S.S. and Lee, Y.S., (2002) "A water quality modeling study of the Nakdong river, Korea", *Ecological Modeling*, Vol. 152, pp. 65-75.
87. Kalburgi, P. B., Shivayogimath, C. B. and Purandara, B. K. (2010) "Application of QUAL2K for water Quality Modeling of River

Ghataprabha, India”, Journal of Environmental Science and Engineering, Vol.4, No.12, pp.6-11.

88. Zainudin, Z., Rahman, N. A., Abdullah, N., Mazlan, N. F. (2010) “Development of water quality model for Sungai Tebrau using QUAL2K”, Journal of Applied Sciences Vol.10, pp.2748-2750.
89. Zhang, R., Qian, X., Li, H., Yuan, X. and Ye, R. (2012) “Selection of optimal river water quality improvement programs using QUAL2K: A case study of Taihu Lake Basin, China”, Science of the Total Environment, Vol.431, pp.278-285.

參考網址：

90. 水污染源管制資料管理系統，<http://waterpollute.epa.gov.tw/>
91. 交通部中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>
92. 交通部中央氣象局颱風資料庫，<http://rdc28.cwb.gov.tw/>
93. 全國法規資料庫，<http://law.moj.gov.tw/>
94. 全國環境水質監測資訊網，<http://wqshow.epa.gov.tw/>
95. 行政院農業委員會網站，http://www.coa.gov.tw/show_index.php
96. 行政院環境保護署網站，<http://www.epa.gov.tw/ch/>
97. 行政院環境保護署環境地理資訊系統，<http://gis.epa.gov.tw/>
98. 宜蘭縣政府主計處，<http://bgacst.e-land.gov.tw/>
99. 行政院環境保護署環境品質資料倉儲系統，
<http://edw.epa.gov.tw/topicWater.aspx>
100. 行政院環境保護署全國環境水質監測網，
<http://wq.epa.gov.tw/WQEPA/Code/?Languages=>