

摘 要

近十五年來，模式應用在總量管制之河川、湖泊水質污染模式 (Water Quality Models) 的發展及運用突飛猛進，主要原因是一些工業先進國家急需保護環境，解決水污染問題，加上電腦技術的進步及與水污染相關之科學如生物學、化學、生態學、作業研究 (Operations Research)、數值方法 (Numerical Methods) 的快速進展。

一般而言，模式 (Models) 可被區分為敘述模式 (Descriptive Models)、物理模式 (Physical Models) 及數學模式 (Mathematical Models)。數學模式是利用數學方法來描述物理系統 (Physical System)，通常是用數學方程式來表示系統參數 (System Parameters) 與輸入變數、輸出變數 (Input and Output Variables) 之間的關係。這些方程式可能是一個簡單的式子，也可能是必需用電腦來解的數千個複雜的聯立方程式。目前，美國模式應用在總量管制也日趨增多，從美國法令清水法 (Clean Water Act) 1972 頒定總量管制立法後，總量管制在美國 EPA、州政府及縣政府正積極展開，而模式也在總量管制應用上擔任重要不可或缺角色，期望使水質符合水體水質標準而更加清澈。

考察及訓練內容

一、集水區總量管制之介紹

現行的水污染防治法相關法令中，作為取締工廠排放污染物之依據的放流水標準，係採濃度標準來管制。其對象是針對工廠、礦場或經中央主管機關指定之事業，對其排放廢水之排放口所採取的一種管制污染方法。執行時則以濃度多少 ppm (parts per million百萬分之一 or mg/l) 來進行測定，為的是防止高濃度的工廠事業，廢水經由排放口排入到河川、海洋或湖泊任何水體而使水體環境惡化。

大部份工廠作業人員甚至業主本身具有環境保育觀念並不多見。一般都認為將工廠製成產品所產生的廢水、廢棄物，移至工廠之外就沒事了。也就是認為將廢水排放到廠外的河川、湖泊、海洋，將廢棄物由垃圾清潔人員收走或傾倒在廠外的空地就算是排除工廠內部污染的問題了，而不願花額外的經費在處理工作上。然而在放流水標準方面，水污染防治法中有明文規定：排放廢水濃度不得超過放流水標準。由於廠商負責人不願花經費在處理污染設備上。因此，一旦排放廢水濃度超過放流水標準時就運用稀釋原理，注入大量的水來稀釋，使其濃度降低，以符合放流水標準免遭取締受罰。造成大部份工廠超抽地下水來稀釋，以降低濃度只為符合放流水濃度標準之要求，卻引發另一環境問題 - 地層下陷及海水入侵等現象。雖然加入大量的水可以降低其濃度，

但是根據物質平衡（Mass balance）的觀念，其排放廢水濃度降低而總水量增加其所排放的污染物總量卻沒有減少。故總量管制發展為水污染管制未來重要課題。

隨工商業蓬勃發展，事業廢水顯著增加，部分河川的水質在傳統的放流水標準管制下，並未見改善，故應於水污法中引進總量管制之觀念，其乃是以水體水質為主要考量，藉由總量的管制使污染量能低於河川涵容能力，俾有效地改善水質。

總量管制可以下式簡單表示：

$$\text{TMDL} = \text{WLA} + \text{LA} + \text{MOS}$$

WLAs：表示點源之分配量（Waste Loads Allocation）

LAs：表示非點源之分配量（Loads Allocation）

MOS：表示邊際安全係數（Margin of Safety）

TMDL：TMDL = LC(Loading Capacity)表示水體最大之負荷量。

由於分配量影響人民權益極大，需要有精密之計算工具，才能令污染者心服口服。因此，近二十年來，美國大力推廣總量管制相關模式，從簡單之篩選模式至複雜之多元模式，以供各種不同流域或水體之規劃使用。

二、集水區總量管制對象訂立及排序

總量管制實施時，首先需決定那些區域需納入管制，此項工作是確立實施流程後首需進行的工作，初期實施時，若完全依法令規定進行初步篩選可能需納入的水體過多，如此，所需花費在進

行相關分析、擬定計畫書、審查及修正等工作的經費、人力及時間均不符合效益，且不易得到預期成效，故初期建議在篩選時至多宣告一至三個管制候選區為原則。而水體方面，因工商業的急速發展，很多水體水域的污染防治均已到了不容忽視的地步，河川、水庫與湖泊、海洋及地下水均在此之列，然考量現況，部份水體及水域實行總量管制之可行性較低，如海域及地下水等，較難評估，且管制制度尚未成熟，短期內恐難實施總量管制。因此初期建議以河川、水庫與湖泊及港灣為主要對象。

(一)總量管制候選水體對象依據

符合以下任何一項之水體得列入總量管制候選水體。

- 1.需特予保護且水質未達水質目標或水質正惡化中之水體。
- 2.污染物曾在近三年內造成環境危害事件者。
- 3.水質不符合目標水質20%者。
- 4.水質連續兩年持續惡化者。
- 5.污染量推估超過預估涵容能力30%。

但在沒有下水道的地區，若削減事業污水之點源污染量仍無法達到顯著地改善水質時，暫不宜列入。

(二)候選水體對象背景資料

- 1.水體及其上游之流域示意圖。
- 2.水體上下游邊界水質表。
- 3.水體水質目標（近、中、長程）。

- 4.水體污染源（含點源及非點源）分佈及污染量推估。
- 5.水體涵容能力分析（含流量、水質及流達率分析）
- 6.水體相關計劃執行情形及其成效或影響。
- 7.水體污染過去兩年之管制稽查報告。
- 8.簡易水質模式報告及詳細模式所需資料與資料缺乏之程度。

(三)總量管制候選區域對象之排序

候選區選擇有二種方式一為ELECTRE METHOD，此法以超越關係以及最小優勢方案並藉由淘汰較差方案，來縮小所要選取的方案數目。另一法為層級分析法AHP法利用問卷調查方式建立各替代方案間的成對比較，以向量代表各替代方案的優先順序，作為各方案間的評估結果。

AHP與ELECTRE兩種方式比較因AHP必需透過問卷調查來評估受訪者較無耐心填寫故較不客觀。而ELECTRE Method評估過程較AHP法客觀，權重建立後不需再經過冗長的問卷即可得到結果，資料的輸入也不似AHP法般的繁瑣，確實適合做為將來區位篩選的模式。

三、集水區總量管制點源及非點源探討

總量管制對象主要可分為點源及非點源污染管制二部份，以下就此二部份，分別說明。

點源污染總量管制

點源污染如事業廢水、家廢污水等，傳統上是以濃度標準進行

管制，濃度管制法簡單易懂，此法假設低濃度較不易造成重大水質影響，當污染源少時，此假設可成立，然而當污染源及廢水量增加時，即使在低濃度的狀況下，河川水質仍可能會顯著地受到影響。加上一些不守法的排放者以抽地下水稀釋廢水，而不實際處理廢水，如此更加速水體水質之惡化。總量管制之觀念於是引進新的水污法中，希望藉由總量的管制使污染排放量能低於河川涵容能力，使水質能有效地改善。

至於應用於估算涵容能力之水質模式，目前美國已有成熟之模式可用，然而每一個模式均有其限制，所得結果之精確性亦可能因不同使用者而有不同程度之差異。而涵容能力之計算及總量削減與分配之影響評估在總量管制中甚為重要，對模擬結果精確度之要求較一般水污染防治規劃為高，因此發展一套針對模式品質保證QA/QC、採樣規範、及流達率估算之指導與評估程序亦甚為重要。QA/QC可保證模式之模擬品質，採樣規範可協助當在進行河川水質監測採樣工作時，能配合模式需要取得較有效的數據，以供模式驗證。而污染流達率資料在總量估算上甚為重要，亦須要有一個規範。另外，設計流量沿用Q75之適用性亦有必要進一步探討。尤其南北兩地河川流量特性不同，加上很多河川上游有水庫存在，水庫操作情形亦影響流量之變化。

非點源污染總量管制

在非點源污染方面，水質保護區及山坡地之開發一直是受爭議

的事件，高爾夫球場之興建、山坡地開發、水庫上游之超限農墾等，已是不容忽視的環保問題，非點源之管制遠較點源污染困難，若未能即早預先防範污染之擴大，未來將需要更多的經費來進行整治。當點源逐漸受到控制，非點源污染在美國國家已變成一項重要工作（USEPA, 1987, 1990）。

目前具體地將非點源污染納入總量管制系統的，以美國較完整，總量管制流程（USEPA, 1976, 1989, 1991），非點源污染主要透過負荷分配（Load Allocation, LA）制度進行管制。因其有較龐大及長時間的人力進行模式發展，已有相當多的模式。故可應用在總量管制上，以使水質改善更加清澈。

四、美國集水區總量管制法令與管制程序

美國在水污染防治的工作上，由聯邦政府環境保護署（U.S. EPA）定出政策性、原則性的法律條文，再由各州政府或地方分署根據母法依照該州或地區的特性，訂定適合該州或地區的施行條例，以有效進行水污染防治的工作。美國對於各種工業污染物總量管制的規定，分別列於各工業分類的放流水限值標準中；EPA訂定一套辦法，廣泛而詳細地調查評估各類工業的各種不同放流限值，適切的將性質相近似的工廠劃分歸類，以規範各類工業污染源的總量排放標準，而更能合理且有效地規範工業污染物的排放。

在美國「聯邦水污染控制法」（Federal Water Pollution Control

Act) 中明文規定，任何工廠、事業、或個人將污染物排入水體中，必須領有EPA或經EPA授權之州所發給的「排放許可證」方可排放，即有名的「NPDES」制度。申請「排放許可證」時需擬具放流水監測系統計畫，並依規定提供申請許可證所需資料，如廢水特性、污染物成分、排放污水量及測定方法等。申請書須先送至州政府存檔，30天之內送至區域之EPA許可證審理處(The Regional EPA Permit Section) 審理；在審核期間需先擬出一份草案，包括各項管制標準、監測系統設備、以及工作進度要求的草案。州政府在預備發放許可證30天前，需將許可證內容公告週知，此時，也可要求舉辦地區性聽證會。聯邦水污染防制法中規定，只有公告草案並經地方EPA，行政首長核准後，始可發給排放許可證。

美國「NPDES許可證」申請程序，其優點在於主管單位能主動掌握污染排放源所排放之污染物種類，以及所排放之污染負荷量，並依據聯邦水污染防制法的目標之要求減低排放量；擁有排放許可證後即務必遵守規定，否則將會受到刑事處分。透過「NPDES許可證」制度，可對事業單位加以列管，可使主管機關確實掌握有進行生產、操作的工廠數量及排放情形，以防止不利於水體正常使用的情形發生。

然而在新的聯邦水污染控制法中已明定了總量管制條文(FEDERAL Water Pollution Control Act, section 303(d)，文中用waterquality based control及total mass daily load(TMDL)等名詞)，

其重要條文如下：

- 1.(a)當水體無法以301(b)(1)(A)及301(b)(1)(B)有效控制其水質在水體標準下時,州政府應界定出這些水域及訂定優先管制的順序。
 - (b)同上，但以維持水體溫度，避免使魚類或其它野生動物受到傷害而影響生態平衡為主。
 - (c)州政府應以(a)所列之水域及優先順序，針對各種污染物質計算容許之TMDL，並考慮季節變化及邊際安全性（margin of safety）。
 - (d)類似(c)，但著重於溫度。
- 2.當污染物質依304(a)(2)(D)節規定被提出時，在180天內州政府須依第(1)節內容向上級(Administrator)提出總量管制申請計劃，而上級須在30天內回覆是否批准所提之總量計劃。
- 3.州政府須對所有未列入(1)(A)及(1)(B)中之水體分別依304(a) (2)所列之污染物及熱排水計算TMDL值，同樣地，TMDL之計算須考量季節變化及邊際安全性。
- 4.對修改排放限制之規定：
 - (a)當未達到水體水質標準時：總量管制計劃執行後，任何排放限制之修正只可在以下二種情形下進行 (i)所有依 TMDL或 WLA (waste load allocation) 修正之累積影響仍可保證水體水質標準； (ii)水體用途依法修正時。

(b)當達到水體水質標準時：須在滿足水體水質不變差政策原則（antidegradation policy）下，方可進行修改。

圖 1 為美國總量管制程序，首先為確認水質問題，於清水法305(b)列出可疑受損或受威脅之水體後進行水體評估，經由監測資料與水體水質標準比較，若超過水體水質標準則正式列入清水法303(d)正式候選區域，經由總量管制模式作點源削減，非點源削減分配及邊際安全削減分配改善水體，若水質經削減分配後達水體水質標準，則提出候選區域之排除，當候選區排除後，則長期監測該候選區之水質監測，每四年提出檢討修正。

圖1 美國河川集水區總量管制流程圖

五、總量管制分類方式

基本上，若要使整個河川流域之水資源得到最有效的利用，則應該以資源多目標之觀點進行水管理，但是，在環保機關的立場，所關心的是，如何使未受污染的河川保持原貌，以及使已受污染的河川恢復舊有風貌。有其追求的目標與權限，由於至今各國之河川流域管理的單位多以行政區域劃分，無統一的單位加以統籌管理，以致在進行水質管理策略之擬定工作時，多無法也不願意將其他相關目標納入考量。故過去與現在之實際考量與執行上，仍舊多以單目標之最佳化模式來進行水質管理策略之擬定工作，較少將多目標予以納入考量。

一般而言，水質管理之主要目的乃在於決定水質管理策略，以管制流域內各污染源之排放量，期能使河川水體之水質達到特定的水質標準，進而達到水資源保護之目的。過去在水質管理研究領域上，一般多以單目標之最佳化模式，配合最佳化之技巧（多為線性規劃）來進行水質管理策略之擬定工作，只是各種最佳化模式所考慮的目標〔多以廢（污）水處理成本極小〕與限制條件〔河川水質標準與廢（污）水處理效率等限制〕有所不同而已。於所考慮的目標為可排入的污染負荷為最大，限制條件則包括河川水質標準、廢（污）水處理效率、公平性等限制。

而所採用的污染總量分配方法主要以最大污染負荷法、等去除率法、分區等去除率法、分類分區等去除率法及分區等濃度法等

五種方法。上述五種方法概述如下：

- 1.最大污染負荷法：本法之目標在於整個流域可排入水體之污染負荷為最大，但在追求此一目標的同時，除需滿足技術（污染去除效率）與法令（水體分類水質標準）等相關限制條件，此外若因排放濃度低於該處水體水質分類標準之排放口，對於水體而言具有污染稀釋的功效，可不需參與污染總量分配程序；且其餘參與總量分配之排放源，最小去除率之限制源自於放流水標準的規定，而最大去除率則僅要求其處理至水體水質分類標準為止。
- 2.等去除率法：追求的目標仍是整個流域可排入水體之最大污染負荷，但是，在限制條件裏，除上述之限制條件外，尚需增加各污染源（排入水體者）去除率必須相等之限制條件。換言之，本法旨在將水體之涵容能力平均分攤給所屬各排放者。然而針對前述最大去除率限制以及部份排放源未參與總量分配程序加以考量後，有可能出現各排放源之去除率不等的情形。故與傳統所謂之「等去除率法」相較之下，本計畫所使用的應屬廣義的等去除率法。
- 3.分區等去除率法：此方法和等去除率法相似，不同點僅在於本法將施行總量管制之流域分為數個區域，而同一區（可能有幾個污染源）污染源之去除率相同，但不同區污染源之去除率並不相同。
- 4.分類分區等去除率法：此方法和分區等去除率法最大的不同在於

本法針對各類分區分別訂定其去除率限制範圍，並依此做為污染總量分配原則。首先除各類分區內之排放源應達成統一之去除率外，若因排放濃度低於該處水體水質分類標準之排放源，對於水體而言具有污染稀釋的功效，則可不需參與污染總量分配程序；且參與總量分配之排放源，去除率最高僅要求至達到水體水質分類標準為止。除此之外，各排放源仍需遵循放流水標準做為個別最小去除率之限制條件，雖然此一限制條件在本案例大部分的情形下應非作用限制式。

5.分區等濃度法：本法亦是將施行總量管制之流域分為數個區域，同一區內之排放源(除前述不需參與總量分配程序及已削減至水體分類水質標準的排放源外)均需去除至相同之排放濃度，而不同分區內之排放源則不需去除至相同濃度。故本法與等去除率法的相異之處僅在於其限制條件為各排放源之排放濃度需相等，而等去除率法則為各排放源之去除率需相等。

六、總量管制模式發展及介紹（含模式分類）

（一）總量管制模式發展

西元1925年Streeter和Phelps二氏研究Ohio River水質後，發表了計算河川BOD-DO的Streeter-Phelps方程式（Streeter and Phelps, 1925），開啟了水質模式的發展與應用。1938年Velz研究發表了表面更新模式（Surface-Renewal Model）（Velz, 1938）；1941年Fair等人研究河川底泥對溶氧之影響（Fair, 1941）；

1958年O' Connor和Dobbins發表了廣泛被應用的再曝氣半經驗公式 (O' Connor and Dobbins, 1958); 1963年O' Connor利用質量平衡的原理闡述Streeter-Phelps方程式 (O' Connor, 1963), 至此水質模式的發展具備理論基礎。

1960年以後，水質模式之發展更為蓬勃，Thomann(1964)、Dobbins(1964)、O' Connor (1967)及Di Toro(1968) 等學者的努力研究，對於光合作用、底泥耗氧、氮系統及植物呼吸作用的考慮，使水質模式可應用於更複雜的系統，同時進一步使水質模擬之結果，更能確實反應出實際水質狀況。至目前為止，水質模式之研究方向與應用，已著眼於湖泊的優養問題及毒性物質對水質的影響。

(二)總量管制模式介紹

1.使用模式的觀念

一般人往往誤解使用模式的目的，因而有必要先作一說明，在使用及評估模式時，一般人往往先問模式準不準，雖然，模式的準確性甚為重要，但使用模式的更重要目的是希望藉由模式了解所面對問題的可能變化範圍，即使模式針對某一特定時間狀況及區域求得非常準確的結果，但對不同時間、狀況會產生甚異常結果時，則如此的模式並沒有多大用處。更須注意的是，一個好模式可能因使用者對模式及參數的不了解，而設定錯誤的參數值，雖在表面上符合率定的實

測值，但實際用於推測時，則與合理範圍相去甚遠。另外，有些模式雖不能準確模擬實況，但卻可用於比較不同方案之優劣。因而使用模式首先須確定分析的目的是什麼及了解模式的適用性，進而選定適當地模式，然後了解模式的參數值，收集、分析及設定參數，之後才進行率定與驗證的工作。且這樣地工作若能長期地做下去，在逐年的修正下，則一定會找到或發展出適用於某區域的模式。

非點源污染之模擬比點源困難度高很多，加上非點源污染評估往往不易取得大量的資料來驗證，尤其是國內流域性的監測網尚未建立，資料往往不足，雖然國外有不少依地區特性（physical based）模式可用，不必率定，但其所用的參數表經常不太適用於國內。使得模式模擬結果與實際值差異頗大。

雖然有上述之困難，但不表示應停用模式分析，反而應儘早使用模式分析，逐漸建立參數，才能建立適當模式，即使在美國先進國家，一個模式也是歷經數年的測試修正才廣為分析者使用。

2. 模式分類

(1) 流域負荷模式：又分以下三種模式

簡易模式：資料需求量少，可在短時間評估出需注意的區域。往往是在時間及經費不足的情形下使用，這些方

法只分析大區域的整體變化，對局部變化的影響不太適用。這些方法是架構在長期應用所得的經驗公式下，若能長期修正，對某特定區域之總體平均污染量之評估不致相去太遠。此種方法通常用於算年平均或單場暴雨的污染量。

中度模式：可評估不同污染源之影響及衝擊，有些可與地理資訊系統相結合，但不少模式採用一些簡化的公式，使誤差有時會很大。主要是用於找出一個大區域中的重點區域或用於初步評估一些非點源污染削減最佳計畫(BMP)的效果。有些中度模式可分析季節性的變化，通常亦可分析不同土地利用的影響，不過此種分析往往需先有一些經驗公式可用。因而通常需要一些區域性的資料。

詳細模式：此種模式不只是分析整體性變化，若有足夠及適當的資料，可分析流域中任一區域的水質及水流等資料。但因較複雜，所需的資料較多及需花較多時間，且往往需由專家來進行模擬工作。

(2)現場負荷模式

對總量管制之點源與非點源皆有探討，提供微尺寸管制決策參考依據。

(3)承受水體模式：又分以下幾種模式

水動力模式：模式如 RIVMOO, DYNHYD5, EFDC 和 CH3D-WES 可以單獨使用或外部連接水質模式，如 WASP5 和 CE-QUAL-ICM 等模式。其它模式則是內部連接水質及毒性模擬計畫如 QUAL-RIV 和 CE-QUAL-W2，此種模式係以時間變化描述水之傳輸。

水質模式：模擬化學和生物程序根據內部和外部輸入資料和反應。其中優養化模式包括模擬生物輸入資料，營養物、藻類生長在河川湖、水池及感潮河段地段。此水質模式包括穩態水質模式（Steady-State models）及動態水質模式（Dynamic water-Quality models）。其中穩態水質模式 QUAL2E 及動態水質模式 WASPS 和 HSPF 最常被 USEPA 使用。

混合層模式：混合層模式被定義為近場模式，他們被限制在廢水處理場排放污染混合區域，此種模式較少被使用。

(4) 整合模式系統：此種模式為總合數種模式串聯使用，可增加模式功能，但較複雜，此種模式需有 4 種功能配套較易使用 容易使用 不同模式可以彼此連結 可以連結模式到資料庫 所用模組（modules）讓使用者很易去選擇特殊分析。其中 BASINS 最常被 USEPA 使用，此模式為由 QUALIE 和 HSPF 兩種模式共同組成，另現民間開發 WARMF 也較常

使用。

圖 2 為總量管制模式分類表，表1至表5為模式之名稱及一些因子作比較。

Figure 2 Overview of Models

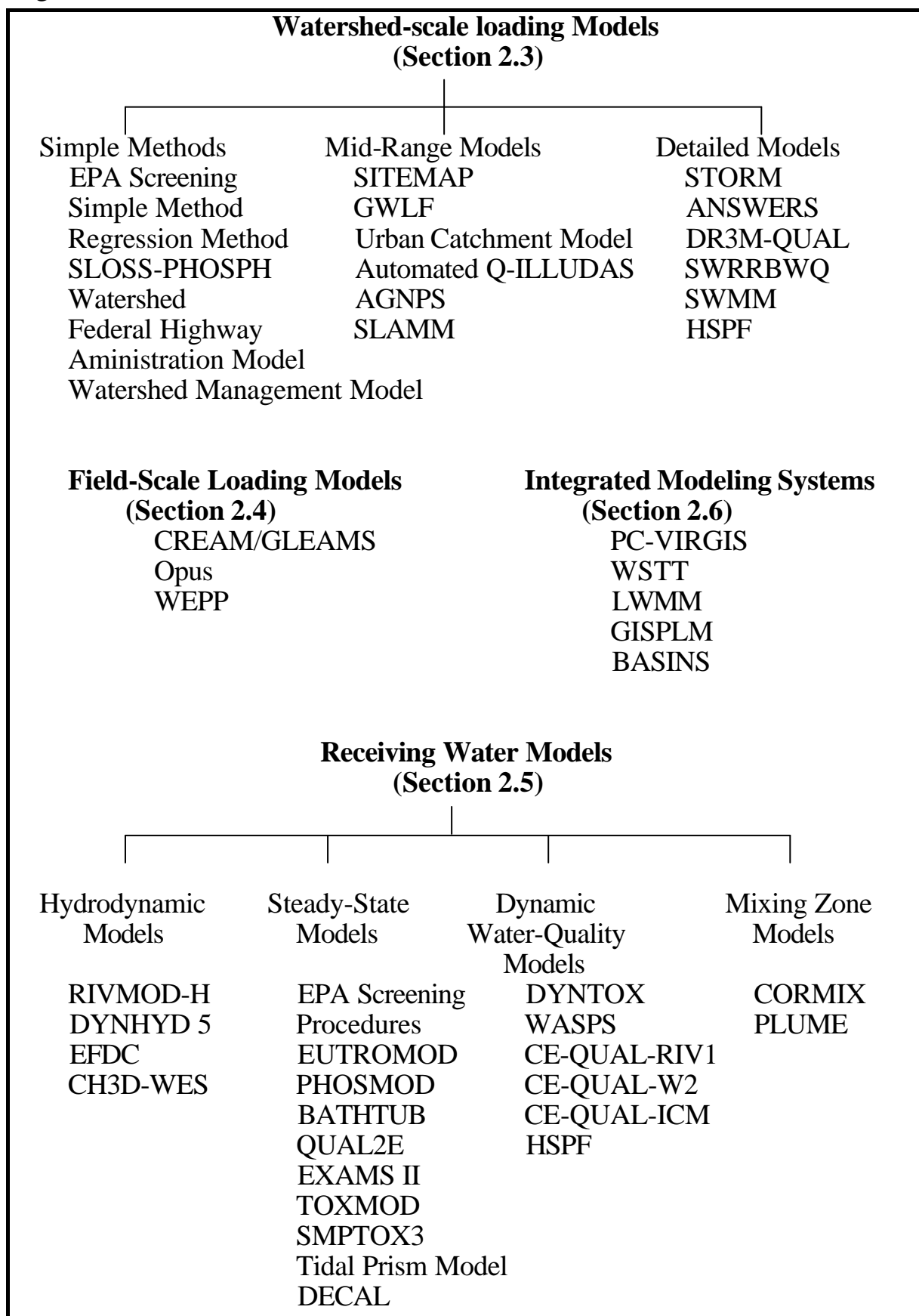


Table 3. Evaluation of Model Capabilities-Simple Models

Criteria		EPA Screening ¹	Simple Method	Regression Method	SLOSS-PHOSPH ²	Watershed	FHWA	WMM
Land Uses	Urban	?	?	?	-	?	? ³	?
	Rural	?	-	?	?	?	?	?
	Point Sources	-	-	-	-	?	-	?
Time Scale	Annual	?	?	?	?	?	?	?
	Single Event	?	?	?	-	-	?	-
	Continuous	-	-	-	-	-	-	-
Hydrology	Runoff	- ⁴	?	-	-	-	?	?
	Baseflow	-	-	-	-	-	-	?
Pollutant Loading	Sediment	?	?	?	?	?	-	-
	Nutrients	?	?	?	?	?	?	?
	Others	?	?	?	-	?	?	?
Pollutant Routing	Transport	-	-	-	-	-	-	-
	Transformation	-	-	-	-	-	-	?
Model Output	Statistics	-	-	-	-	?	?	?
	Graphics	-	-	-	-	?	-	?
	Format Options	-	-	-	-	?	-	?
Input Data	Requirements	?	?	?	?	?	?	?
	Calibration	-	-	-	?	?	-	?
	Default Data	?	?	?	?	?	?	?
	User Interface	-	-	-	-	?	?	?
BMPs	Evaluation	?	?	-	?	?	?	?
	Design Criteria	-	-	-	-	-	-	-
Documentation		?	?	?	?	?	?	?

1 Not a computer program
 2 Coupled with GIS
 3 Highway drainage basins

4 Extended versions recommend use of SCS-curve number method for runoff estimation

? High ? Medium ? Low -Not incorporated

Table 4. Evaluation of Model Capabilities—Mid-Range Models

Criteria		SITEMAP	GWLF	P8-UCM	Auto-QI	AGNPS	SLAMM
Land Uses	Urban	?	?	?	?	-	?
	Rural	?	?	-	-	?	-
	Point Sources	?	?	?	-	?	?
Time Scale	Annual	-	-	-	-	-	-
	Single Event	?	-	?	-	?	-
	Continuous	?	?	?	?	-	?
Hydrology	Runoff	?	?	?	?	?	?
	Baseflow	?	?	?	?	-	?
Pollutant Loading	Sediment	-	?	?	?	?	?
	Nutrients	?	?	?	?	?	?
	Others	-	-	?	?	-	?
Pollutant Routing	Transport	?	?	?	?	?	?
	Transformation	-	-	-	-	-	-
Model Output	Statistics	?	?	-	-	-	?
	Graphics	?	?	?	-	?	?
	Format Options	?	?	?	?	?	?
Input Data	Requirements	?	?	?	?	?	?
	Calibration	?	?	?	?	?	?
	Default Data	?	?	?	?	?	?
	User Interface	?	?	?	?	?	?
BMPs	Evaluation	?	?	?	?	?	?
	Design Criteria	-	-	?	?	?	?
Documentation		?	?	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

Table 5. Evaluation of Model Capabilities—Detailed Models

Criteria		STORM	ANSWERS	DR3M-QUAL	SWRRBWQ/ SWAT	SWMM	HSPF
Land Uses	Urban	?	-	?	?	?	?
	Rural	-	?	-	?	?	?
	Point Sources	?	-	?	?	?	?
Time Scale	Annual	-	-	-	-	-	-
	Single Event	?	?	?	?	?	?
	Continuous	?	-	?	?	?	?
Hydrology	Runoff	?	?	?	?	?	?
	Baseflow	?	-	?	?	?	?
Pollutant Loading	Sediment	?	?	?	?	?	?
	Nutrients	?	?	?	?	?	?
	Others	?	-	-	?	?	?
Pollutant Routing	Transport	-	?	?	?	?	?
	Transformation	-	-	-	-	?	?
Model Output	Statistics	?	-	?	?	?	?
	Graphics	-	-	?	?	?	?
	Format Options	?	?	?	?	?	?
Input Data	Requirements	?	?	?	?	?	?
	Calibration	?	?	?	?	?	?
	Default Data	?	?	?	?	?	?
	User Interface	?	-	?	?	?	-
BMPs	Evaluation	?	?	?	?	?	?
	Design Criteria	?	?	?	-	?	?
Documentation		?	?	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

Table 6. Evaluation of Capabilities—Hydrodynamic models

	Externally Coupled Models				Internally Coupled Models		
	RIVMOD	DYNHYD 5	FEDC	CH3D-WES	CE-QUAL-RIV 1	CE-QUAL-W2	HSPF
Waterbody Type							
Rivers/Streams	?	?	?	?	?	?	?
Lakes/Reservoirs	?	?	?	?	?	?	?
Dimension							
1-D	?	?	?	?	?	?	?
2-D	-	-	?	?	-	?	-
3-D	-	-	?	?	-	-	-
Input Data Requirements							
Requirements	?	?	?	?	?	?	?
Calibration	?	?	?	?	?	?	?
Grid generation/Interface	-	-	?		-	-	-
Output Data							
Format options	?	?	?	?	?	?	?
Graphics	?	?	?	?	?	?	?
Hydrologic Structure	?	?	?	?	?	?	?
Simulation							
Expertise Required for Application	?	?	?	?		?	?
Documentation	?	?	?	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

Table 7. Evaluation of Capabilities—Steady-state water quality models.

	EPA SCREENING	EUTROMOD	PHOSMOD	BATHTUB	QUAL2E	EXAMSII	TOXMOD	SMPTOX4	TPM	DECAL
Waterbody Type										
Rivers/Streams	?	-	-	-	?	?	-	?	-	-
Lakes/Reservoirs	?	?	?	?	?	-	?	-	-	-
Estuaries	?	-	-	-	?	-	-	-	?	-
Coastal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Physical Processes										
Advection	?	-	-	?	?	?	-	?	?	?
Dispersion	?	-	-	?	?	?	-	?	?	?
Particle Fate	?	?	?	?	-	?	?	?	?	?
Eutrophication	?	?	?	?	?	-	-	-	?	-
Chemical Fate	?	-	-	?	?	?	?	?	?	?
Sediment-Water Interactions	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
External Loading- Dynamic	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Internally Calculated NPS Loading	-	?	-	-	-	-	-	-	-	-
User Interface	-	?	?	?	?	?	?	?	-	?
Documentation	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

七、總量管制模式篩選及應用

(一)模式選擇準則如下：

- 1.硬體電腦可運用方便性：現今個人電腦強有力的發展，此硬體電腦因素較為不限制之因子，但仍需加以考慮其技術方便性。
- 2.專業訓練人才有效性：總量管制模式已變得更加方便給使用人運用，但是一個專業有經驗人才或環境工程師，對模式參數發展及關鍵評估模式結果是無價的。
- 3.總量管制模式應能配合不同計畫長期使用：如果一些未來計畫需要使用一特殊模式，它是有利的一項措施對目前此特殊模式來說，甚至對目前之計畫較不適合，因長遠亦可採行。有時去大力投資一個模式從一個計畫轉化另一計畫使用是有利用節省人力物力的。
- 4.公司人員模式使用經驗成熟度：公司人員對特殊模式使用熟練度是相當重要的，在這一方面沒有暖身期花在模式運用上將可減少使用此模式經費及節省時間。
- 5.模式受大眾接受程度：如果模式未寬廣使用且為大眾老百姓接受，它是很難去建立信譽及解釋其結果。
- 6.利益團體共同決議模式為可接受方式：牽涉在此計畫中各種不同利益團體願意接受模式結果，並有幫助完成政策之執行。

(二)模式於總量管制各階段之選擇尺度

確定參數時應使用較低層次模式或不使用模式皆可在總量管制候選區域排序時使用較低層次至中等層次模式，在發展總量管制之時使用中等層次至較複雜模式，在設計或完成時使用較複雜模式監測及效益評估時應使用中等層次至較複雜模式。

(三)初步模式選擇之考慮

1.一個獨立模式可能是不夠多方面使用：在模式分類討論章節中大部分模式都是獨立使用在某一特殊目的，獨立模式無法解釋所有集水區污染物複雜相互關係。在面對集水區保護環境管理人，一主要當務之急，並非不僅是那一個模式要用，而且是多少個獨立模式合起來用以支持一集區環境保護工作概念設計。故模式皆合去建立一工作網，以成功模擬污染物隨時間及空間而變之結果是必需的。

2.一個複雜高層次模式能被運用在各種詳細層次：雖然沒有一個模式是理想運用在各方面，但一良好複雜高層次模式如SWMM及HSPF即是很有利應用各種不同之層次，在許多方面與其從一個計畫轉換不同模式到另一計畫，不如一直用一個良好較複雜在各種不同科學和工程應用，所得之結果較更為精確。

(四)集水區總量管制模式應用及選擇

大部分集水區總量管制模式包括三項成分，第1項為水文部

分，其為評估從集水區域或次集水區逕流量及河川流量，第2項為浸蝕及沈澱部分可計算被帶到承受水體的沈澱總量，第3項為計算污染負荷之水質，基本之模式功能列於表6.7.8.含土地利用、水文浸蝕及沈澱、污染負荷、污染物質及時間尺度比較。許多簡單模式當模擬污染負荷時來考慮水文過程，當處理都市區域時簡單模式根據統計方法及經驗方法在逕流係數及不透水程度計算逕流數據，然簡單模式較困難以統計方法求得鄉村及農業之該項數據。

詳細模式用較複雜公式模擬逕流及沈澱之輸出係數。水文要素通常包含一組決定方程式去代來水平衡方程式之成分如滲透、蒸發、地下水補注和滲透等。這些模式也用浸蝕和沈澱輸出機械機制作物理之描述如土壤、分離、傳輸及沈澱，污染物流出預測通常根據一小時階段指數衰退功能而產生。這些模式如果缺乏充分數據將會使模式校正困難，在大部分之情況，適當之試驗數據及現場監測是必需的。集水區總量管制模式主要發展為土地利用和土地活動，較少部分模式是評估混合土地之利用。在詳細模式中HSPF似乎是對複雜土地利用功能最多的。SWMM, STORM和DR3M-QUAL主要設計運用在都市地區，而ANSWERS和SWRRB為運用在農業地區。在中度模式中，SITEMAP和GWLF是運用在鄉村和都市集水區，GWLF模式可提供長時期在各種不同時間序列污染負荷值，如每季每日之污染負荷值，GWLF也評估土地利用型態，點源和水點源負荷水

源區之影響。簡單模式一般應用在鄉村和都市概念的關係，其使用特殊或較少數據即可。

集水區總量管制模式輸入及輸出分析資料列於表9、10、11及12。

集水區總量管制模式規劃應用，設計分析及水質影響分析列於表13、14及15。

Table 6. A Descriptive List of Model Components – Simple Methods

Model	Main Land Use	Hydrology	Erosion/ Sediment	Pollutant Load	Pollutants	Time Scale
EPA Screening Procedures	Mixed watershed	N/A	USLE- MUSLE	Loading functions, potency factors	Wide range ¹	Mean annual
The Simple Method	Urban	Runoff coefficient	N/A	Mean concentration	NURP data: TSS, P, metals, O&G	Variable (annual, monthly, event)
Regression Method	Urban	N/A	N/A	Regression equations	TSS, N, P, COD, metals	Storm event
SLOSS/PH OSP	Rural	N/A	USLE	Loading functions	P	Annual
Watershed	Mixed watershed	N/A	USLE	Unit area loading	Wide range	Annual
PHWA	Highways	Runoff coefficient, observed data	N/A	Median concentration	TSS, N, P, organics, metals	Storm event
WMM	Mixed watershed	Runoff coefficient	N/A	Event mean concentration	N, P, lead, zinc	Annual

¹ Depends on available pollutant parameters and default data.

N=nitrogen O&G=oil and gas P=phosphorus TSS=total suspended solids
COD=chemical oxygen demand

Table 7. A Descriptive List of Model Components – Mid-Range Methods

Model	Main Land Use	Hydrology	Erosion/Sediment	Pollutant Load	Pollutants	Time Scale
SITEMAP	Mixed watershed	SCS curve number	N/A	Runoff concentration	N,P	Storm event, Continuous
GWLF	Mixed watershed	SCS curve number	Modified USLE	Unit loading rates	N,P	Storm event, Continuous
P8-UCM	Urban	SCS curve number (modified), TR 20	N/A	Nonlinear accumulation	TSS, N, P, metals	Storm event, Continuous
Anto-QI	Urban	Water balance	N/A	Accumulation and wash-off	Wide Range	Storm event, Continuous
AGNPS	Agriculture	SCS curve number	Modified USLE	Potency factors	N,P	Storm event
SLAMM	Urban watershed	Small storm-based coefficient	N/A	Nonlinear accumulation and wash-off	N, P, COD, bacteria, metals	Storm event, Continuous

1 Depends on available pollutant parameters and default data.

N=nitrogen O&G=oil and gas P=phosphorus TSS=total suspended solids
 COD=chemical oxygen demand

Table 8. A Descriptive List of Model Components – Detailed Methods

Model	Main Land Use	Hydrology	Erosion/Sediment	Pollutant Load	Pollutants	Time Scale
STORM	Urban	Runoff coefficient-SCS curve numbers - Unit hydrograph	USLE	Buildup/wash-off functions	P,N, COD, metals	Continuous
ANSWERS	Agriculture	Distributed storage model	Detachment transport equations	Potency factor (correlation with sediment)	N/A	Storm event
DR3M-QUAL	Urban	Surface storage balance kinematic wave method	Related to runoff volume and peak	Buildup/wash-off functions	TSS, N, P, organics, metals	Continuous
SWRRBWQ/SWAT	Agriculture	SCS curve number	Modified USLE	Loading functions	N,P, COD, metals, bacteria	Continuous
SWMM	Urban	Nonlinear reservoir	Modified USLE	Buildup/wash-off functions	Wide range ¹	Storm event, continuous
HSPF	Mixed watershed	Water balance of land surface and soil processes	Detachment/wash-off equations	Buildup/wash-off functions and sub-surface concentrations	Wide range ¹	Storm event, continuous

1 Depends on available pollutant parameters and default data.

N=nitrogen O&G=oil and gas P=phosphorus TSS=total suspended solids
 COD=chemical oxygen demand

Table 9. Input and Output Data - Simple Methods

Models	Main Input Data	Output Information
EPA Screening Procedures	Watershed and land use data Loading factors (default values)	Mean annual sediment and pollutant loads
The Simple Method	Annual rainfall data Land use and imperviousness data Pollutant mean concentration BMP removal efficiencies	Runoff volume and pollutant concentration/load, storm or annual
Regression	Mean annual rainfall Mean minimum January temperature Drainage areas and land use Percent imperviousness	Mean annual storm event load and confidence interval
SLOSS/ PHOSPH	Rainfall erosivity factor Soil, crop, topography, and land use data	Mean annual loads of sediment and phosphorus
Watershed	Rainfall erosivity factor Land use and soil parameters Unit loading rates BMP cost information	Mean annual pollutant loads; BMP cost-effectiveness
FHWA	Site and receiving water data Flow and storm event concentrations	Statistics on storm runoff and concentrations; impacts on receiving water
WMM	Land use and soil data Annual precipitation and evaporation Inputs from baseflow and precipitation Event mean concentrations in runoff Reservoir, lake, or stream hydraulic characteristics Removal efficiencies of proposed BMPs	Annual urban and rural pollutant loads from point and nonpoint sources, including septic tanks; load reductions from combined effects of multiple BMPs; in-lake nutrient concentrations as related to trophic state; concentrations of metals

Table 10. Input and Output Data- Mid-Range Models

Models	Main Input Data	Output Information
SITEMAP	Meteorologic and hydrologic data, hourly or daily (maximum one year) Watershed and channel parameters Point sources and pollutant parameters (e.g., decay)	Runoff and nutrient loadings Pollution load allocations
GWLF	Meteorologic and hydrologic data, daily Land use and soil data parameters Nutrient loading rates	Monthly and annual time series of runoff, sediment, and nutrients
P8-UCM	Meteorologic and hydrologic data, hourly storm or storm sequence Land use and soil parameters BMP information	Daily runoff and pollutant loads BMP removal efficiencies
Auto-QI	Hourly/daily rainfall Watershed and land use data BMP removal rates	Continuous or storm event simulation of runoff and selected pollutants
AGNPS	Watershed, land use, management, and soil data Rainfall data, topography BMP removal data	Storm runoff volume and peak flow Sediment, nutrient, and COD concentrations
SLAMM	Hourly rainfall data Pollution source characteristics, areas, soil type, imperviousness, and traffic Structure characteristics	Pollutant load by source area BMP evaluation and cost estimates

Table 11. Input and Output Data - Detailed Models

Models	Main Input Data	Output Information
STORM	Hourly rainfall data Buildup and wash-off parameters Runoff coefficient and soil type	Event-based runoff and pollutant loads Storage and treatment utilization and number of overflows Hourly hydrographs and pollutographs
ANSWERS	Hourly rainfall data Watershed, land use, and soil data BMP design data	Predicts storm runoff (volume and peak flow) Sediment detachment and transport Analysis of relative effectiveness of agricultural BMPs
DR3M-QUAL	Meteorologic and hydrologic data Watershed characteristics related to runoff Channel dimensions and kinematic wave parameters Characteristics of storage basins Buildup and wash-off coefficients	Continuous series of runoff and pollutant yield at any location in the drainage system Summaries for storm events Hydrographs and pollutographs
SWRRBW Q/SWAT	Meteorologic and hydrologic data Watershed and receiving waterbody parameters Land use and soil data Pond and reservoir data	Continuous water and sediment yield Peak discharge Water quality concentrations and loads
SWMM	Meteorologic and hydrologic data Land use distribution and characteristics Accumulation and wash-off parameters Decay coefficients	Continuous and event-based runoff and pollutant loads Transport through streams and reservoirs Analysis of control strategies

Table 12. Input Data Needs for Watershed Models

<p>1. System Parameters</p> <ul style="list-style-type: none"> Watershed size Subdivision of the watershed into homogenous subareas Imperviousness of each subarea Slopes Fraction of impervious areas directly connected to a channel Maximum surface storage (depression plus interception storage) Soil characteristics including texture, permeability, erodibility, and composition Crop and vegetative cover Curb density or street gutter length Sewer system or natural drainage characteristics
<p>2. State Variables</p> <ul style="list-style-type: none"> Ambient temperature Reaction rate coefficients Adsorption/desorption coefficients Growth stage of crops Daily accumulation rates of litter Traffic density and speed Potency factors for pollutants (pollutant strength on sediment) Solar radiation (for some models)
<p>3. Input Variables</p> <ul style="list-style-type: none"> Precipitation Atmospheric fallout Evaporation rates

Source: After Novotny and Chester, 1981.

Table 13. Range of Application of Watershed Models-Simple Methods.

Simple Methods	Watershed Analysis			Control Analysis		Receiving Water Quality
	Screening	Intermediate	Detailed	Planning	Design	
EPA Screening	?	-	-	-	-	?
The Simple Method	?	-	-	?	-	-
Regression	?	-	-	-	-	-
SLOSS/ PHOSPH	?	-	-	-	-	-
Watershed	?	-	-	?	-	-
FWHA	?	-	-	?	-	?
WMM	?	?	-	?	-	?

? High ? Medium ? Low - Not Available

Table 14. Range of Application of Watershed Models-Simple Methods.

Mid-Range Methods	Watershed Analysis			Control Analysis		Receiving Water Quality
	Screening	Intermediate	Detailed	Planning	Design	
SITEMAP	?	?	?	?	-	?
GWLF	?	?	?	-	-	-
P8-UCM	?	?	?	?	?	-
Auto-QI	?	?	?	?	?	?
AGNPS	?	?	?	?	?	?
SLAMM	?	?	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

Table 15. Range of Application of Watershed Models-Detailed Methods

Detailed Methods	Watershed Analysis			Control Analysis		Receiving Water Quality
	Screening	Intermediate	Detailed	Planning	Design	
STORM	?	?	?	?	?	?
ANSWERS	?	?	?	?	?	?
DR3M-QVAL	?	?	?	?	?	?
SWRRBQ/ SWAT	?	?	?	?	?	?
SWMM	?	?	?	?	?	-
HSPF	?	?	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

(五)總量管制承受水體模式應用及選擇

在此種模式去模擬承受水體反應考慮事項為1.水體種類2.水體流率是穩態或動態3.需被模擬之各種水動力水質、毒性和沈澱步驟4.被參數修正、校正及率立可運用之數據。水動力模式，穩態水質模式及動態水質模式主要之物理、化學、被模擬參數及水文資料應用如表16、17及18。水動力模式、穩態水質模式及動態水質模式主要輸入及輸出數據應用如表19、20及21。水動力模式、穩態水質模式及動態水質規劃應用、設計分析列於表22、23及24。

(六)總量管制生物評估模式應用及選擇

如同流域負荷模式及承受水體模式選擇及應用相似，生物評估模式需考慮以下幾個因素：

1.目標：包括目前狀況評估、河川復原優先排列計畫，土地利

- 用改變未來情形之預測。
- 2.目的：包括決定及預測棲息地種類、棲息地的品質和數量，居住種類完整性。
 - 3.完成目標詳細程度：包括簡單、中度及複雜三種。
 - 4.數據可利用性：包括參考情況。
 - 5.擁有其他生物評估、承受水體模式及負荷之可應用性。
 - 6.專家所需之程度，許多技巧需要專業生物學家去收集及分析數據。
 - 7.考慮成本。

以下之表列數據能幫助評估及選擇適當技巧對於集水區之評估及總量管制之發展。表25及26提供一技術成分詳實描述包括生物及棲息地之評估及方法論。表27及28呈現一簡短之輸入及輸出方法對每一種涉及模式而言。表29及30呈現生物評估技巧及模式之潛在應用範圍包括陸地上、海域及濕地之生物棲息地評估，和深海底生物群聚，漁類群聚及生物累積和群聚模式之評估。

Table 16. A Descriptive List of Model Components-Hydrodynamic Models

Model	Dimension	Horizontal Coordinate System	Vertical Coordinate System	Vertical Mixing	Solution Technique
Externally Couple					
RIVMOD-H	1-D	N/A	N/A	N/A	Implicit
dynhyds	1-d	Link Node	N/A	N/A	Explicit Runge-Kutta
EFDC	1-D, 2-D (x/y, x/z), 3-D	Cartesian, orthogonal boundary fitted, laterally averaged	Staircase Cartesian, sigma transformation to local bathymetry	Turbulence closure	Implicit
CH3D-WES	1-D, 2-D (x/y, x/z), 3-D	Cartesian, orthogonal boundary fitted, laterally averaged	Staircase Cartesian	Turbulence closure	Implicit
Internally Coupled					
CE-QUAL-RIV1	1-D	N/A	N/A	N/A	Implicit (RIV1H)
CE-QUAL-W2	1-D, 2-D (x/z)	Cartesian, laterally averaged	Staircase Cartesian	Wind shear	Implicit
HSPF	1-D	N/A	N/A	N/A	Implicit

Table 17. A Descriptive List of Model Components-Steady-State Water Quality Models

Model	Waterbody Type	Parameters Simulated	Processes Simulated	
			Physical	Chemical/Biological
EPA Screening Methods	River, lake/reservoir, estuary, coastal	Waterbody nitrogen, phosphorus, chlorophyll. or chemical concentrations	Dilution, advection, dispersion	First-order decay empirical relationships between nutrient loading and eutrophication indices
EUTROMOD	Lake/reservoir		Dilution	Empirical relationships between nutrient loading and eutrophication indices
PHOSMOD	Lake/reservoir	DO, phosphorus	Dilution	Empirical relationships between nutrient loading and eutrophication indices
BATHTUB	Lake/reservoir	DO, nitrogen, phosphorus, chlorophyll	Dilution	Empirical relationships between nutrient loading and eutrophication indices
QUALZE	Rivers, (well-mixed/shallow lakes or estuaries)	DO, CBOD, temperature, organic N, ammonia, nitrite, nitrate, organic P, dissolved phosphorous, phytoplankton, fecal coliform, arbitrary nonconservative substances, three conservative substances	Dilution, advection, dispersion, heat balance	First-order decay, DO-BOD cycle, nutrient-algal cycle
EXAMSII	Rivers	Conservative and nonconservative substances	Dilution, advection, dispersion	First-order decay, process kinetics, daughter products, exposure assessment
TOXMOD	Lake/reservoir	Conservative and nonconservative substances	Dilution, advection, dispersion	First-order decay, sediment burial and release
SYMPTOX4	River/reservoir	Conservative and nonconservative substances	Dilution, advection, dispersion	First-order decay, sediment exchange
TPM	Estuaries	DO, CBOD, NBOD, temperature, ammonium, nitrate, nitrite, organic nitrogen, total phosphate, organic phosphorus, salinity, inorganic suspended solids, dissolved labile, and refractory particulate organic carbon, dissolved silica, particulate biogenic silica, fecal coliform, total active metal	Dilution, advection, dispersion, heat balance, particle fate	First-order decay, DO-BOD cycle, nutrient-algal cycle, carbon cycle, silica cycle, benthic algae, sediment digenesis
DECAL	Coastal	Sediment, conservative and nonconservative substances	Dilution, advection, dispersion, particle fate	First-order decay,

Table 18. A Descriptive List of Model Components-Dynamic Water Quality Models

Model	Waterbody Type	Parameters Simulated	Processes Simulated	
			Physical	Chemical/Biological
DYNTOX	River	Conservative and nonconservative substances	Dilution, advection	First-order decay
WASPS	Estuary, river, (well mixed/shallow lake)	DO, CBOD, NBOD, ammonium, nitrate, nitrite, organic nitrogen, total phosphate, organic phosphorus, inorganic suspended solids, fecal coliform, conservative and nonconservative substances	Dilution, advection, dispersion, reaeration	First-order decay, process kinetics, daughter products, hydrolysis, oxidation, volatilization, photolysis, equilibrium adsorption. Settling, DO-CBOD, nutrient-algal cycle
CE-QUAL-RIV1	Rivers	DO, CBOD, temperature, ammonia, nitrate, algae, coliform, phosphate, organic nitrogen	Dilution, advection, dispersion, heat balance	First-order decay, DO-CBOD, nutrient-algal cycle
CE-QUAL-W2	Lakes	DO, CBOD, NBOD, temperature, ammonium, nitrate, nitrite, organic nitrogen, total phosphate, organic phosphorus, salinity, inorganic suspended solids, dissolved, labile, and refractory particulate organic carbon, dissolved silica, particulate biogenic silica, fecal coliform, total active metal	Dilution, advection, dispersion, heat balance	First-order decay, DO-CBOD, nutrient-algal cycle, carbon cycle
CE-QUAL-ICM	Estuaries, rivers, lakes, coastal	DO, CBOD, NBOD, temperature, ammonium, nitrate, nitrite, organic nitrogen, total phosphate, organic phosphorus, salinity, inorganic suspended solids, dissolved labile, and refractory particulate organic carbon, dissolved silica, particulate biogenic silica, fecal coliform, total active metal	Dilution, advection, dispersion, heat balance, particle fate, sediment diagenesis	First-order decay, DO-BOD, nutrient-algal cycle, carbon cycle, silica cycle, zoo-plankton, sediment diagenesis
HSPF	River, (well-mixed/shallow lakes)	DO, BOD, nutrients, pesticide, sediment, organic chemicals, and temperature	Dilution, advection, heat balance, particle fate, cohesive/noncohesive sediment transport	First-order decay, process kinetics, daughter products, hydrolysis, oxidation, volatilization, photolysis, benthic demand, respiration, nutrient-algal cycle

Table 19. Input and Output Data - Hydrodynamic Models

Model	Main Input Data	Output Information
Externally Coupled		
RIVMOD-H	River geometry and boundary conditions, inflows, withdrawals, meteorologic data	Water surface elevations, velocities, and temperatures
DYNHYD5	Waterbody geometry and boundary conditions, inflows, withdrawals, meteorologic data	Water surface elevations, velocities
EFDC	River geometry, bathymetry, geometric data, grid system, and boundary conditions, inflows, withdrawals, meteorologic data	Water surface elevations, velocities magnitude , and orientation, temperature, salinity, and conservative tracer
CH3D-WES	River geometry, bathymetry, geometric data, grid system, and boundary conditions, inflows, withdrawals, meteorologic data	Water surface elevations, velocity magnitude and orientation, temperature
Internally Coupled		
CE-QUAL-RIV1	River geometry and boundary conditions, inflows, withdrawals, meteorologic data	Water surface elevations, velocities, and temperatures
CE-QUAL-W2	Waterbody geometry, bathymetry, and boundary conditions, inflows, withdrawals, meteorologic data	Water surface elevations, velocities, longitudinal and vertical, and temperature
HSPF	River geometry and boundary conditions, inflows, withdrawals, meteorologic data	Water surface elevations, velocities, and temperatures

Table 20. Input and Output Data - Steady-State Water Quality Model

Model	Main Input Data	Output Information
EPA Screening Methods	Climate, waterbody morphometry, external loading	Waterbody nitrogen, phosphorus, chlorophylla, or chemical concentrations
EUTROMOD	Climate, lake morphometry, watershed characteristics (land use)	Lake DO, nitrogen, phosphorus, and chlorophylla concentrations
PHOSMOD	Climate, lake morphometry, external loading, benthic flux	Lake DO, phosphorus, and chlorophylla concentrations
BATHTUB	Climate, lake morphometry, external loadings	Lake DO, nitrogen, phosphorus, and chlorophylla concentrations
QUAL2E	Climate, river geometry, stream network, flow, boundary conditions, 26 physical, chemical, and biological properties for each reach, inflows/ withdrawals	DO, CBOD, nitrogen, phosphorus, conservative and nonconservative constituent concentrations
EXAMSII	Stream geometry, flow, chemical loadings, total pollutant and suspended solids concentrations, physical/ chemical coefficients	Chemical exposure, fate and persistence
TOXMOD	Lake morphometry, initial conditions, external loadings, benthic flux	Conservative and nonconservative substance concentrations
SYMPTOX4	Stream geometry, flow, total pollutant and suspended solids concentrations, physical/ chemical coefficients and rates	Conservative and nonconservative substance concentrations in total, dissolved and particulate forms, in the water column and bed sediments. Suspended solids concentration in water column.
TPM	Climate, geometric data, boundary conditions, up to 140 parameters for full simulation of water quality kinetics	DO, CBOD, NBOD, temperature, ammonium, nitrate, nitrite, organic nitrogen, total phosphate, organic phosphorus, salinity, inorganic suspended solids, dissolved, labile, and refractory particulate organic carbon, dissolved silica, particulate biogenic silica, fecal coliform, total active metal
DECAL	Coastal geometry, tidal oscillations, loadings, initial and boundary conditions	Contour plots of suspended particle concentrations in lower water layers. Daily averaged deposition rates of organic material.

Table 21. Input and Output Data - Dynamic Water Quality Model

Model	Main Input Data	Output Information
DYNTOX	River geometry, flow (continuous records or statistical summaries), external loadings, boundary conditions	Conservative and nonconservative substance concentrations, plots of return period for water quality violations below each discharge
WASP5	Waterbody geometry, climate, waterbody segmentation, flow (or input from hydrodynamic model), boundary conditions, initial conditions, benthic flux, external loadings, spatially variable and time-variable functions, rate constants	DO, CBOD, NBOD, ammonium, nitrate, nitrite, organic nitrogen, total phosphate, organic phosphorus, inorganic suspended solids, fecal coliform, conservative and nonconservative substance concentrations for each segment and user-defined time interval
CE-QUAL-RIV1	River geometry, climate, river segmentation, upstream boundary conditions, initial conditions, external loadings, benthic flux, spatially variable and time-variable functions, rate constants	DO, CBOD, temperature, ammonia, nitrate, algae, coliform, phosphate, organic nitrogen concentrations for each segment and user-defined time interval
CE-QUAL-W2	Lake geometry, climate, waterbody segmentation, boundary conditions, initial conditions, external loadings or withdrawals, benthic flux, spatially variable and time-variable functions, rate constants	DO, CBOD, NBOD, temperature, ammonium, nitrate, nitrite, organic nitrogen, total phosphate, organic phosphorus, salinity, inorganic suspended solids, dissolved, labile, and refractory particulate organic carbon, dissolved silica, particulate biogenic silica, fecal coliform, total active metal concentrations for each segment and user-defined time interval
CE-QUAL-ICM	Waterbody geometry, climate, grid, flow (or input from hydrodynamic model), boundary conditions, initial conditions, external loadings, spatially variable and time-variable functions, rate constants	DO, CBOD, NBOD, temperature, ammonium, nitrate, nitrite, organic nitrogen, total phosphate, organic phosphorus, salinity, inorganic suspended solids, dissolved, labile, and refractory particulate organic carbon, dissolved silica, particulate biogenic silica, fecal coliform, total active metal concentrations for each segment and user-defined time interval
HSPF	River, well-mixed/shallow lakes	DO, CBOD, nutrients, pesticide, sediment, and organic chemical concentrations for each segment and user-defined time interval

Table 22. Range of Application--Hydrodynamic Models.

Model	Hydrodynamic Analysis			Water Supply-Control Analysis Operations/ anagement	
	Screening	Intermediate	Detailed	Planning	Design
Externally Coupled					
RIVMOD-H	?	?	?	?	?
DYNHYD5	?	?	?	?	-
EFDC	?	?	?	?	?
CH3D-WES	?	?	?	?	?
Internally Couple					
CE-QUAL-RIV1	?	?	?	?	?
CE-QUAL-W2	?	?	?	?	?
HSPF	?	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

Table 23. Range of Application--Steady-State Water Quality Models.

Model	Screening	Intermediate	Detailed	Management Planning and Analysis
EPA Screening Methods	?	?	-	?
EUTROMOD	?	?	-	?
PHOSMOD	?	?	-	?
BATHTUB	?	?	-	?
QUALZE	?	?	?	?
EXAMSII	?	?	-	?
TOXMOD	?	?	-	?
SMPTOX3	?	?	?	?
TPM	?	?	?	?
DECAL	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

Table 24. Range of Application--Dynamic Water Quality Models.

Model	Water Quality Analysis			Management Planning and Analysis
	Screening	Int.	Detailed	
DYNTOX	?	?		?
WASP5	?	?	?	?
CE-QUAL-RIV1	?	?	?	?
CE-QUAL-W2	?	?	?	?
CE-QUAL-ICM		?	?	?
HSPF	?	?	?	?

? High ? Medium ? Low - Not Incorporated

Table 25. A Descriptive List of Model/Technique Components -
Habitat Assessment Techniques

Technique/ Model	Habitat Type assessed	Habitat Parameter	Habitat Level Assessed	Methodology
HEP/HIS	Terrestrial/ aquatic	Quantity and quality	Single or multiple species	Modeling of habitat quantity and quality using key parameters collected from field; can simulate effects of future
HES	Terrestrial/ aquatic	Quantity and quality	Community	Modeling of habitat quantity and quality using abiotic and biotic field-collected data; can simulate effects of future
WET II	Wetland	Quality	Single or multiple species	Collection and analysis of physical, chemical, and biological predictors to assess wetland functions
HGM	Wetland	Quality	Community	Data collection and classification; development and comparison to reference conditions
Visual-based Habitat Assessment	Aquatic	Quality	Community	Multimetric collection and analysis; comparison to reference conditions
OHEI	Aquatic	Quality	Community	Multimetric collection and analysis; comparison to reference conditions
Rosgen's Stream Classificatio	Aquatic	Quantity and quality	N/A	Collection and analysis of morphological stream data; classification to predict stream behavior
IFIM (PABSIM/ TSLIB)	Aquatic	Quantity and quality	Single or multiple species	Modeling of aquatic habitat quantity and quality using key parameters collected from field; can simulate effects of future development/conditions
SNTEMP/ SSTEMP	Aquatic	Quality	N/A	Modeling of stream temperature using stream geometric, hydrologic, and meteorologic data

Table 26. A Descriptive List of Model/Technique Components -
Species/ Biological Community Assessment Techniques

Technique/ Model	Biota Assessed	Data Source	Methodology
RBP I	Benthic macroinvertebrates	Field	Visual only
RBP II	Benthic macroinvertebrates	Field	Analysis of eight metrics in the field; comparison to reference conditions
RBP III	Benthic macroinvertebrates	Field	Analysis of eight metrics in the field and laboratory; comparison to reference conditions
RBP IV	Fish	Questionnaire	Analysis of questionnaire data
RBP V (IBI)	Fish	Field	Analysis of 12 metrics in the field; comparison to reference conditions
ICI	Benthic macroinvertebrates	Field	Analysis of 10 metrics in the field; comparison to reference conditions
IWB	Fish	Field	Analysis of species abundance and diversity in the field; comparison to reference conditions
PVA	Any	Field/literature	Modeling of wildlife population stability using data describing birth, death, and growth rates
FGETS	Any	Field/literature	Modeling of fish bioaccumulation of chemicals based on biological attributes and physicochemical properties

Table 27. Input and Output - Habitat Assessment Techniques

Technique/ Model	Output Information	Main Input Data
HEP/HIS	A quantitative assessment of the quality and quantity of available habitat for selected wildlife species in terms of proposed or anticipated land use changes, and the cost-effectiveness of different management alternatives to achieve desired HUs for a selected species.	Data to be collected include delineation of cover types (e.g., deciduous forest, coniferous forest, grassland, residential woodland) within the project area; size (acreage) of existing habitat for each evaluation species; selection of evaluation species; Habitat Suitability Index (HIS) reflecting current habitat conditions for each evaluation species; future habitat conditions for each evaluation species. HIS data collection includes (1) species-specific habitat use information such as general information (e.g., geographic distribution); age, growth, and food requirements; water quality, depth, and flow; species-specific habitat requirements; reproductive information; (2) species-specific life history information for each life stage (spawning/ embryo, fry, juvenile, and adult); (3) suitability indices for each habitat variable.
HES	A quantitative assessment of the quality and quantity of available habitat for entire wildlife communities in terms of proposed or anticipated land use changes.	Baseline data on habitat types and land uses in the project area. Size (acreage) of each habitat type and land use for existing and future conditions. Measurements of key variables (e.g., percent understory, number of large trees, number of mast trees, species associations, number of snags) identified for each habitat and land use type for existing conditions. Projected measurements of same key variables for future conditions.
WET II	A "broad-brush," quantitative assessment of potential project impacts on several wetland habitat functions.	Baseline data (e.g., water source, hydrodynamics, surface roughness, vegetation cover, soil type) characterizing the following wetland functions and values: groundwater discharge, groundwater recharge, sediment stabilization, flood flow alteration, sediment retention, toxicant retention, nutrient transformation, production export, wildlife diversity, aquatic diversity, recreation, uniqueness/heritage.
HGM	A quantitative assessment of the functioning of wetlands that uses the concepts of hydrogeomorphic classification, functional capacity, reference domain, and reference wet/ands.	Baseline data to develop a reference set of wetlands representing the range of conditions that exist in a wetland ecosystem and its landscape in a reference domain. Baseline data on the condition of assessment wetland variables (e.g., surface and subsurface water storage, nutrient cycling, retention of particulates, organic matter export, spatial structure of habitat, distribution and abundance of invertebrates and vertebrates, plant community characteristics, etc.) measured directly or indirectly using indicators to develop a relationship between variable conditions in the assessment wetland and functional capacity of the reference set.
Visual-based Habitat Assessment	A quantitative assessment, based on qualitative information, of aquatic habitat quality in wadable streams and rivers.	Data to be collected include instream cover (fish) (riffle/run only), bottom substrate/available cover (glide/pool only), epifaunal substrate (riffle/run only), pool substrate characterization (glide/pool only), embeddedness (riffle/run only), pool variability (glide/pool only), channel alteration, sediment deposition, frequency of riffles (riffle/run only), channel sinuosity (glide/pool only), channel flow status, bank vegetative protection, bank stability, riparian vegetative zone width.

Table 27-1. Input and Output - Habitat Assessment Techniques(continued)

Technique/ Model	Output Information	Main Input Data
QHEI	A quantitative assessment based on qualitative information. Developed to help distinguish the influence of habitat effects on fish communities in midwestern streams.	Data to be collected include substrate (type, origin, and quality), instream cover (type and amount), channel morphology (sinuosity, development, channelization, stability, modifications/other), riparian zone and bank erosion (riparian width, floodplain quality, and bank erosion), glide/pool and riffle/run quality (max. depth, morphology, current velocity, riffle/run depth, riffle/run substrate, and riffle/run embeddendness), gradient, drainage area, percent pool, percent glide, percent riffle, percent run.
Rosgen's Stream Classification	A quantified classification system that can be used to predict stream behavior and to apply interpretive information. Interpretations can be used to evaluate a stream's sensitivity to disturbance, recovery potential, sediment supply, vegetation controlling influence, and streambank erosion potential.	Data to be collected depend on the level of classification: Level 1: landform, lithology, soils, climate, depositional history, basin relief, valley morphology, river, profile morphology, general river pattern. Level 2: channel pattern, sinuosity (usually expressed as Schumm's ratio), gradient or slope, entrenchment or entrenchment ration (width of floodplain: the bankfull width of channel surface), channel bed material, width/depth ratio. Level 3: riparian vegetation, depositional patterns, meander patterns, confinement features, fish habitat indices, flow regime, river size category, debris occurrence, channel stability index, bank erodibility.
IFIM (PHABSIM)/TSLIB	A quantitative assessment (usually in graphical form) of the changes in a given species' habiat with changes I hydrologic regime.	Detailed data collection is required for both physical (e.g., depth, velocity, stream channel characteristics, riparian cover) and biological (e.g., life history and habitat preference information for the species of concern) characteristics of the stream.
SNTEMP/SSTEMP	Minimum, mean, and maximum daily water temperature for a stream segment.	20 input parameters are required that describe the stream geometry (e.g., segment length, elevation, roughness, shading), hydrology (e.g., segment inflow and outflow, dam locations), and meteorology (e.g., air temperature, relative humidity, solar radiation).

Table 28. Input and Output - Species/Biological Community

Assessment Techniques

Technique/Model	Output Information	Main Input Data
Screening-level approaches	RBPI Based on a macroinvertebrate community assessment, RBPI determines whether an impairment exists in a stream (or whether further investigation is needed) and gives a generic indication of impairment cause (e.g., habitat, organic enrichment, toxicity).	Characterize and rate substrate/instream cover, channel morphology, and riparian/bank structure; measure conventional water quality parameters; examine physical characteristics; determine relative abundance of benthic macroinvertebrates.
	RBPIV Based on a fish community assessment, RBP IV determines whether an impairment exists in a stream (or whether further investigation is needed) and gives a generic indication of impairment cause.	Characterize and rate substrate/instream cover, channel morphology, and riparian/bank structure; measure conventional water quality parameters; examine physical characteristics; questionnaire survey regarding fish communities; survey ecoregional reference reaches and randomly selected streams.
Multimetric approaches	RBPII Based on benthic macroinvertebrate collection and analysis, RBP II characterizes the severity of an impairment into one of three categories, gives a generic indication of its cause, and ranks and prioritizes streams of further assessment.	Characterize and rate substrate/instream cover, channel morphology, and riparian/bank structure; measure conventional water quality parameters; examine physical characteristics; examine riffle/run community and sample coarse particulate organic matter; 100-organism subsample identified in field to family or order level; functional feeding group analysis of riffle/run and coarse particulate organic matter in the field. Data describing reference conditions are also necessary.
	RBPIII Based on benthic macroinvertebrate collection and analysis, RBP III characterizes the severity of an impairment into one of four categories, gives a generic indication of its cause, establishes a basis for trend monitoring, and prioritizes streams for further assessment.	Characterize and rate substrate/instream cover, channel morphology, and riparian/bank structure; measure conventional water quality parameters; examine physical characteristics; examine riffle/run community and sample coarse particulate organic matter; collect riffle/run benthos, collect coarse particulate organic matter sample; determine shredder abundance; perform riffle/run analysis in laboratory, identify 100-organism subsample to species level and perform functional feeding group analysis. Data describing reference conditions are also necessary.
	ICI ICI provides a quantitative measure of overall macroinvertebrate community condition.	Data necessary for development of the ICD include total number of taxa, number of mayfly taxa, number of caddisfly taxa, number of dipteran taxa, percent mayfly composition, percent caddisfly composition, percent tribe tanytarsini midge composition, percent other diptera and noninset composition, percent tolerant organisms, and number of qualitative EPT taxa. Data for reference conditions are also necessary.

Table 28-1. Input and Output - Species/Biological Community Assessment Techniques(continued)

Technique/Model	Output Information	Main Input Data	
Multimetric approaches (continued)	RBP V (IBI)	Based on fish collection and analysis, RBP V computes a quantitative index that incorporates individual, population, community, zoogeographic, and ecosystem-level information to evaluate biological integrity as one of five classes; it also gives a generic indication of impairment cause, establishes a basis for trend monitoring, and ranks and prioritizes streams for further assessment.	Data to be collected include substrate/instream cover, channel morphology, and riparian/bank structure; conventional water quality parameters; physical characteristics; major habitats and cover types; total number of native fish species; number and identity of darter species; number and identity of sunfish species; number and identity of sucker species; number and identity of intolerant species; proportion of individuals as tolerant species; proportion of individuals as omnivores; proportion of individuals as insectivorous cyprinids; proportion of individuals as piscivores (top carnivores); number of individuals in sample; proportion of individuals as hybrids; proportion of individuals with disease, tumors, fin damage, and skeletal anomalies. Data describing reference conditions are also necessary.
	IWB	The IWB provides a quantitative measure of the quality of a fish assemblage.	Data to be collected include number of individuals/kilometer; biomass of individuals/kilometer; Shannon-Weaver diversity index (number of individuals in sample and number of individuals of species in the sample). Data describing reference conditions are also necessary.
Population Viability Analysis (PVA)	PVAs supply a quantified analysis of the stability of a specified population following a change in environment, population structure, or behavior.	Data required include the age structure of the population being studied, and the survival and fecundity of each age.	
FGETS	FGETS predicts the temporal dynamics of a fish's whole-body concentration of nonionic, nonmetabolized, organic chemicals that are bioaccumulated from water and food.	Data required include morphological, physiological, and trophic parameters that describe the gill morphometry, feeding and metabolic demands, and body composition for the species in questions; and relevant physicochemical parameters that describe partitioning to the fish's lipid and structural organic fractions for a specific chemical.	

Table 29. Range of Application - Habitat Assessment Techniques and Models.

Technique/Model	Habitat Assessment		
	Terrestrial	Aquatic	Wetland
HEP/HIS	?	?	-
HES	?	?	-
WET II	-	-	?
HGM	-	-	?
Visual-based Habitat Assessment	-	?	-
QHEI	-	?	-
Rosgen's Stream Classification	-	?	-
IFIM (PHABSIM/TSLIB)	-	?	-
SNTEMP/SSTEMP	-	?	-

Level of complexity addressed: ? High ? Medium ? Low - Not Applicable

Table 30. Range of Application - Species/Biological Community Assessment Techniques and Models.

Technique/Model	Assessment Type		
	Benthic community	Fish community	Single-species (Bioaccumulation and population modeling)
RBP I	?	-	-
RBP II	?	-	-
RBP II	?	-	-
RBP IV	-	?	-
RBP V (IBI)	-	?	-
ICI	?	-	-
IWB	-	?	-
PVB	-	-	?
FGETS	-	-	?

Level of complexity addressed: ? High ? Medium ? Low - Not Applicable

八、總量管制模式之率定

(一)總量管制模式之涵容能力分析建立

河川模式分析目前仍是以BOD-DO模擬為主，故河川的涵容能力定義為在下影響河川正常水體之用途條件下，河川每日所能排入之BOD量。涵容能力之計算基準因每條河川之用途不盡相同，應根據法令規定之水體標準來計算各河川容許之污染量，選擇適當之設計流量及設計溫量。

計算河川涵容能力之步驟如下所列：

- 1.河川基本資料之收集(水質調查及水理調查)。
- 2.選取設計流量。
- 3.收集污染源資料（包括原始污染負荷量及流達率）。
- 4.選取已通過檢定、驗證之水質模式。
- 5.選定水質模擬點。
- 6.估算涵容能力。

(二)總量管制之模式建立

利用水質數學模式進行水污染研究第一步為模式之建立，也即依水體及污染物之特性，將控制方程式寫出，選擇一個適當的解法，寫成電腦程式，並進程式之試跑、偵錯。模式種類之選擇應該依照所需精確度、可研究之時間、可用之錢數、電腦種類、資料之多寡等各種因素而決定。也可利用別人已建立發展之模式，以節省時間、人力。複雜的模式並不是最好的

模式；若野外數據充足，利用程式的人（Modeler）有能力及時間，則複雜的模式可以產生較詳細、精確的結果，幫助吾人進行更好的工程規劃、設計。如前所述，有時簡單的模式，已足夠我們的精度需求；如果野外數據不多，水體複雜性低，時間、金錢不足時，可以選擇比較簡單的模式。

(三)總量管制模式建立之檢定（Calibration）

模式建立建展完成後，第二階段為檢定模式中之係數、參數，也即利用一組野外實測數據為依據，改變模式中之參數、係數，一直至模式之結果與實測數據吻合或接近為止，以決定模式中最適當之係數、參數。當然，工作中包括輸入一個水體之水文、幾何條件與已知之邊界起始條件。

複雜的模式中，係數種類多（可能有數十個），且互相牽制，因此為一繁雜的工作。也可用優選法來推求最佳參數值，此即為反向推求問題。

(四)總量管制模式建立之驗證（Verification）

模式經過檢定後，為了增加對模式準確度之信心，需有驗證工作。模式之驗證需要另外一組野外實測資料（如河川之BOD、DO），將另一組獨立（即不同於檢定時之情況）的輸入資料、邊界條件等輸入模式，將所得之結果（即BOD、DO之濃度分佈）與實測資料比較，若吻合情況良好，則可以設模式之準確性已被驗證；若結果相差太多，則模式還是有瑕疵，需

再研判其原因。

(五)總量管制模式建立之敏感度分析 (Sensitivity Analysis)

為了瞭解模式中所用之參數、係數對模擬結果之重要性，可再進一步進行敏度分析。其過程為改變係數、參數之值，決定模擬結果之改變幅度大小為何？若係數之微小差異引致模擬結果大變動，則可知道此係數對模式很重要，給我們指引，可能要進一步瞭解此係數之正確值（譬如實地量取或進行室內、室外實驗），以增加模式結果之正確性。反之，則表示此係數對模式結果之影響較不重要。敏感度分析也可幫助我們進行水質規劃、分析。

(六)總量管制模式建立之應用

模式經過前面五個階段，便可被利用來作各種情況之水質模擬、預測、分析、研究，甚至被利用於優選模式中之物理限制式 (Physical constraints) 模式架構組織如圖3。根據這些模擬結果，可用來幫助吾人設計合乎經濟原則之污水處理廠、管制廢水排放、總量分配等之總量管制，這也是模式的最後目的與主要功用。

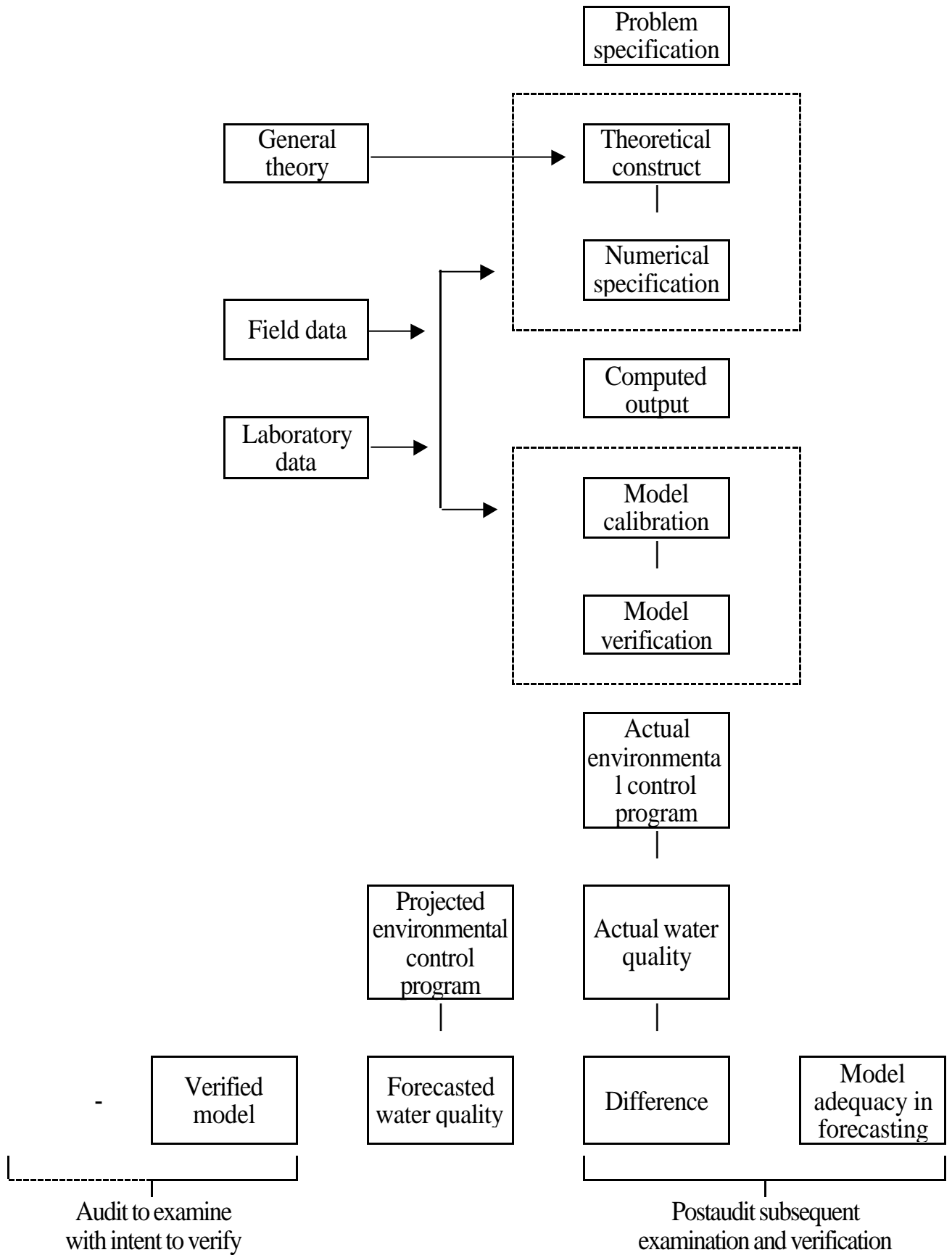


Figure 2 Principal components of modeling framework. (a) Steps up through verification. (b) Postaudit of models.

九、點源與非點源總量管制模式應用

(一)點源對總量管制模式應用

傳統之總量管制是指管制各點源每日排放出來之污染量不得超過容許排放量。而各污染源容許排放量大部分是根據下面方法決定的：

- 1.使用水質模式求水體的涵容能力 (assimilative capacity)
- 2.決定水體涵容能力的保留容量，一般保留15%至30%
- 3.水體的涵容能力減去保留容量得容許排入總量
- 4.考慮各污染源的大小、廢水處理的難易度、處理成本、公平性等因素，將容許排入總量分配給各污染源，即為各污染源的容許排放量，環保單位再依此容許排放量管制各污染源。此即為總量管制。

由上面步驟可知，水質模式是應用在求水體的涵容能力上。水質模式可分為確率模式(determinate models)和概率模式(stochastic models)兩大類，但以前者較常用。確率模式多是由質量平衡(mass balance)原理導出，依水體水質和水理變動情形，模式可分為定常模式與動態模式；若依維度分可分為零維、一維、二維和三維。最早且最有名之水質模式為1925年美國人Streeter-Phelps之何水的DO-BOD模式。通常很少用三維模式，較複雜之二維動態模式為：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left[E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right] \pm S(x, z, t) \quad (1)$$

式中， C =水質濃度 $[M/L^3]$

t =時間 $[T]$

U_i =流速 $[L/T]$

E_i =擴散係數 $[L^2/T]$

S =生成或消失項 $[M/L^3/T]$

(1)式中右邊前二項代表傳流項，為水流對物質產生的傳送。

三、四項為擴散項，代表物質在水中受擴散，紊流等所產生的傳送。最後一項則代表該物質本身的生化反應現象，此項隨模擬物質的不同而異。

二維模式常用於水庫和感潮河川，非感潮河川只用一維模式即可。一維模式將(1)式中有關 z 變數去掉即可(即對 z 取平均)。由於動態模式多為二次微分方程式加上動量與連續兩水力方程式，不易求得解析解，故用數值解法。由於數值解法方法很多，加上(1)式最後一項所考慮的生化反應的不同，因此有許多之水質模式產生。較常用的動態水質模式有QUAL-IIIE、WASP、CE-QUAL-W2，或是專門用在感潮河川之ESTURY等。美國EPA最新發展出來的BASIN套裝模式，就是結合GIS與HSPF、QUAL-IIIE而成，HSPF用來估計集水區產生點源與非點源之污染量，再用QUAL-IIIE模擬水體水質和計算TMDL(Total Maximum Daily Loads)，進一步以總量管制各污染源。

(二)非點源對總量管制模式應用

主要非點源模式有SWMM、STORM、AGNPS、

ANSWERS、HSPF VAST及VANTU等數種模式，其中模擬單場降雨者除STORM外其它模式皆可模擬，模擬連續降雨者為SWMM、STORM及HSPF，模擬SS除AGNPS外皆可，有機物BOD及COD除AGNPS和ANSWERS較差外，其餘皆可模擬，氮氮該等模式皆可模擬，總磷除ANSWERS和VANTU外其餘模式皆可模擬，DO僅SWMM、HSPF、VAST及VANTU等模式可模擬，模擬能力SWMM、HSPF、VAST為較優者，STORM、AGNPS、ANSWERS尚可，數據及人力需求SWMM、AGNPS、ANSWERS、HSPF為較高者，VAST及VANTU為中等，而STORM所需較少，另模式複雜度以SWMM、HSPF較複雜，而STORM、AGNPS、ANSWERS、VAST和VANTU為中等。詳細主要非點源總量管制應用比較表如表31。

表31. 主要非點源模式比較

特性項 \ 模式		SWMM	STORM	AGNPS	ANSWERS	HSPF	VAST	VANTU
適用地區		都市區	都市區	農業區	農業區	都市與非都市	都市與農業區	都市與農業區
模擬時間尺度	單場降雨	✓		✓	✓	✓	✓	✓
	連續模擬	✓	✓			✓		
模擬污染項目	SS	✓	✓		✓	✓	✓	✓
	BOD	✓	✓			✓	✓	✓
	COD	✓	✓	✓	✓	✓		
	N	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	P	✓	✓	✓		✓	✓	
	DO	✓				✓	✓	✓
BMP模擬能力		高	中	中	中	高	高	有
數據及人力需求		高	低	中高	中高	極高	中	中
模式之複雜度		高	中	中	中	高	中	中

(三)總量管制模式應用

模式應能計算非點源的污染負荷量，並動態的模擬水體之水量和水質，可以評估各種點源和非點污染源管理措施的效應。點污染源的管理措施包括：垃圾管理、廢水處理。非點源污染源的管理包括：土地利用之改變、水土保持、農業耕作管理、肥料施用管理、水邊保護帶之設立、觀光管理、牲畜管理及其他結構性的管理[集水池、場、防沙牆等]等。

非點源最佳化管理措施[BMP]措施模式應能模擬和評估以上之管理方案才為真正總量管制適用模式，其措施如下：

1.經由點源及非點源以模式計算，並檢驗水體水質是否有達到水質標準，如未達到水質標準則採取以下措施：

以模式計算點源及非點源減少分配污染負荷量，包括點源一級、二級及三級廢水處理廠及非點源如農地肥料使用、殺菌劑使用情形整理配合，再以模式優選組合，組合可能情形如下：

點源

- a.一級廢水處理改善
- b.二級廢水處理廠改善
- c.增設三級廢水處理廠

非點源

- a.減少殺菌劑使用量
- b.減少農藥使用量

- c.增加沉沙池、沉澱池等硬體結構性BMP最佳管理措施
- 2.由以上負荷減少方案再以模式進行模擬選出數個可行搭配方案且符合水質標準方案再加以選擇。
- 3.再以成本之方式配合上項已選擇方案，以選擇最佳方案。
- 4.考慮利益團體，利益團體包括：
 - (1)民眾
 - (2)環保團體
 - (3)在地工廠或公司
 - (4)政府機構利益團體應參與整個水體保護策略的整組過程，包括：模式篩選及應用，以使各方都能接受模式之應用。
- 5.以上模式篩選方案配合成本和效益，利益團體之協議，共同考慮才可選擇最可行方案，以使管理方案真正可行。

十、STREAM及ESTURY模式探討及應用

(一)STREAM模式探討及應用

STREAM模式為1960年由美國曼哈頓學院 (Manhattan College)所發展(Mueller, 1960)，用以研究Sacramento River之水質，利用質量守衡定律描述物質於河水中之傳輸現象，並以Streeter-Phelps類型之方程式描述水質項目之反應關係，而在一維、定常態及非感潮水體之基本假設下，求解得方程式的解析解，可適用於BOD及DO水質系統之模擬，計算各段

落的CBOD、NBOD、DO deficit (缺氧濃度) 及BO濃度。

STREAM模式(Mueller, 1960), 利用質量守衡定律描述物質於河川水體之傳輸現象, 以解析法來進行水質模擬, 此模式與 ESTUARY 不同之處乃將 BOD 分成 Nitrogenous BOD(NBOD)及ultimate carbonaceous BOD(CBOD_u)兩項, 並可分開輸入河水與污水之污染源, 再曝氣係數亦採用 O'Connor-Dobbins方程式, 功能上稍較精確且符合實際水質變化狀況。

(二)ESTURY模式探討及應用

ESTURY模式是由美國曼哈頓學院所發展出來之定常態有限差分程式, 可用以模擬一維感潮及非感潮河段之物質傳輸, 模擬項目包括非保存性物質如BOD、DO, 保存性物質如鹽份之分佈。模擬程式係以Fortran-77電腦語言寫成, 計算時可同時進行單系統差分模式及雙系統差分模式之演算。

ESTURY模式乃假設每一段落均為完全混和(Complete Mixing), 以有限差分法進行數值分析, 在水質參數方面, 河川的BOD濃度之去除可以下式表示:

$$K_1=K_d+K_3$$

其中, K_d 為祛氧係數

K_3 為不消耗溶氧之BOD去除係數

此模式僅考慮 K_d , 即假設大部分的BOD因氧化作用而減少, 並以一迴歸式($K_d=1.796*Q^{-0.49}$)及溫度修正式($K_d=K_{d(20)}$

) $*1.047^{(T-20)}$ 簡化之，再曝氣係數則採用O'Connor-Dobbins方程式，同時，該模式亦可模擬保存性物質，如鹽類之分佈，其延散係數需由水質資料進行檢定之，應用上相當簡便。

以上兩模式可謂近代水質模式之先驅，於模式建立時便以Sacramento River做分析，且每年在紐約市Manhattan College舉辦講習課程，並以此二模式教授講員，隨著許多功能強大的水質數學模式的快速發展，如QUAL2、WASP系列等，其應用上目前已不多見，Wu-Seng Lung(2000)曾以STREAM模式探討美國Gettysburg的Rock Creek及Virginia州的Roanoke River中DO與CBOD、NBOD間的變化，以作為當地污水處理廠之設計及擴充之參考。

十一、QUAL2E和WASP5模式探討及應用

(一)QUAL2E模式探討及應用

原始的QUAL-II模式乃是在1972年Water Resources Engineers, Inc.(WRE)在與U.S. Environmental Protection Agency的合同之下更改及擴充由F.D. Masch and Associates, 及Texas Water Development Board (1970)所發展的QUAL-I河川水質模式而建立。並且為反應某些特定使用者的需求而發展了許多不同的版本，例如針對藻類-養份-光合作用之間的相互作用修正的SEMCOG版等。其中，SEMCOG版之QUAL-II後來經由覆審、編輯及修正，並且廣泛被使用；後

更經使用者們一連串程式輸入及輸出的修正，將改良過的 QUAL-II 模式重新命名為 QUAL2E (Brown and Barnwell, 1985)。自從 QUAL2E 發行後，模式亦持續的改良，如加入了河段氣象因子、模式模擬之不確定性分析功能等。本研究所採用之 QUAL2E 版(3.0 版)乃是在 Tuft University, Department of Civil Engineering 與 EPA Center for Water Quality Modeling (CWOM), Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia 之間的合作協議下所發展的，其包括了前一版 QUAL2E(2.2 版)的變更及廣泛的不確定性分析(UNCAS)與定常態模擬功能。

QUAL2E 是一個完整且具彈性的河川水質模式。可依使用者的需求組合模擬十五種水質成份。能模擬的成份有溶氧 (Dissolved Oxygen)、生化需氧量 (biochemical Oxygen Demand)、溫度、葉綠素 a (藻類)、有機氮 (Organic Nitrogen)、氨氮 (Ammonia)、亞硝酸氮 (Nitrite)、硝酸氮 (Nitrate)、有機磷 (Organic Phosphorus)、溶解磷 (Dissolved Phosphorus)、大腸菌 (Coliforms)、任何非保存性物質 (Arbitrary Nonconservative Constituent)、三種保存性物質 (Conservative Constituents)。此模式可模擬充份混合的枝狀河川。其理論假設傳流 (Advection) 和延散 (Dispersion) 這兩種主要傳輸方式只在水流的主要流向 (河川或運河的順軸) 較顯著。它允許多污染物排

入(Discharge)、取水(Withdrawal)、支流(Tributary flows)、進流(Inflow)和出流(Outflow)的增量。它還能計算流量補注所需要的稀釋流量以符合任何預先設定的溶氧量。以水力學上來說，QUAL2E只適用於在模擬時段內之流域水流和流入污染負荷為定常態的狀況下(Steady state)。

QUAL2E主要用來模擬河川水質沿水流方向之變化，其模式應用時，首先將一河川系統根據其水理特性分成數個河段(Reaches)，每一河段具有相同或一致性(Uniformity)的水理特性，即在一河段中的任何斷面之流量、水深、流速均視為相同。每一河段又等分成數個同長的計算單元(Elements)。因此所有河段的計算單元數必需為整數。在QUAL2E中，計算單元分為七種類型：

- 1.源水單元(Headwater element)
 - 2.標準單元(Standard element)
 - 3.匯流點上游之單元(Element just upstream from a junction)
 - 4.匯流點單元(Junction element)
 - 5.河系最下游單元(Last element in system)
 - 6.流入單元(Input element)
 - 7.取水口單元(Withdrawal element)
- 源水單元為所有的支流、主河川系統之起始，它們必需

是源水河段的第一單元。標準單元乃是不符合其餘六種單元類型的單元。因流量增加在所有單元類型中皆被允許，流量增加乃是標準單元中唯一允許的輸入。類型三單元乃是用來指定在匯流點略上游主幹一個單元。匯流點單元(類型四)則有一個模擬支流進入。單元類型五為河川系統中最後的一個計算單元；類型五單元應該只有一個。類型六與七代表了流入點（污染負荷及未模擬支流）和取水處。而在程式發展中設置了某些單元數目限制。這些限制為：

- 1.河段：最多25段
- 2.計算單元：每段不超過20個，或總數不超過250個
- 3.源水單元：最多7個
- 4.匯流點單元：最多6個
- 5.流入及流量單元：最多25個

QUAL2E能以定常態(Steady)或動態(Unsteady)水質模式運算，因而為一非常有用的水質規劃工具。當以定常態模式運算時，它可用來研究污染進流負荷對水質的衝擊(量、質與位置)，也可和實地採樣計畫配合使用，來確定非點源污染負荷的量與品質特性。而以動態操作此模式時，使用者可研究每日氣候變化對水質（主要為溶氧與溫度）的影響，並可研究因藻類生長及呼吸而導致的每日溶氧變化。但是，在QUAL2E中無法模擬如源水水流或點源負荷負荷等動態變化

之影響。

QUAL2E模式除了可模擬前面所提過之十五種水質項目外，還包括以下的考量與特點：

- 1.考慮藻類、氮、磷、溶氧相互作用。
- 2.考慮藻類成長速率與光之間的作用。
- 3.配合河段之氣象條件模擬溫度。
- 4.不特定非保存性物質。
- 5.在水理方面可以考慮：
 - ．負向流動情況（例如當取水大於流量）。
 - ．沿河段流量漸增的情況。
- 6.以梯形渠道或階段排入及速度排入曲線來指定渠道水力特性之選項。
- 7.輸入/輸出可視個人需要採英制或公制。

另外，新版的不確定性分析模式QUAL2E-UNCAS的功能包括下列：

- 1.敏感度分析(Sensitivity analysis)--輸入變數變動的階乘設計組合之選項目。
- 2.一階誤差分析(First order error analysis)--包括均值敏感度係數矩陣及變異數矩陣成份的輸出。
- 3.蒙地卡羅模擬(Monte Carlo simulation)--包括輸出變數分佈頻率及統計摘要。

QUAL2E-UNCAS提供模擬者在定常態水質模擬中進行不確定性分析。使用者可依以上這些功能評估模式輸入資料的敏感度和不確定性對模式預測值的影響。模式預估時將不確定性數量化，有助於評估水質的風險。此不確定性分析方法提供使用者對不確定性最有影響的輸入變數評估，並進行最有效率的資料收集及研究。

(二)WASP5模式探討及應用

WASP (Water Quality Analysis Simulation Program，簡稱WASP)模式是由美國環保署與曼哈頓學院共同研發的水質分析模式加以修改而成(Ambrose, et al., 1988)。從1970年開始發展至今，中間經過多次的修改，曾用於不同水體（包括河川、河口、湖泊及污水處理單元）之水質規劃上，模擬對象由水體之生化需氧量(BOD)、溶氧量(DO)、保存性追蹤劑(conservative tracers)如氯化物、浮游植物、養份，到複雜的毒性物質反應皆有，是一相當完備的模式。本文將採用WASP的最新版本WASP5(Ambrose, et al., 1993)，介紹其功能及使用程式並進行急水溪的水質模擬。

WASP5模式利用動態分段(dynamic compartment)的方式對模擬水體進行水質模擬。此模式最大的優點是可由使用者依水體情況的需要，決定看是要建立一維、二維或是三維的水體模式，考慮線性或非線性的反應、時變或非時變過程、

點源或非點源等，可說是具有非常大的彈性空間。若為時變過程尚可指定各輸入資料為時間變數，如延散係數、流量、溫度、污染量、邊界條件及初始條件等。WASP5模式可提供使用者對自然或人為之水體水質污染進行模擬、預測，模擬的對象包括河川、湖泊、水庫、感潮河川及海岸等水體，而可模擬的項目包括傳統性污染物及毒性物質等。

在WASP5系統中包括了兩個獨立的架構，分別為動態水理模擬(DYNHYD5)及水質模擬(WASP5)，它們可以分別運作，亦可聯合操作。當WASP5在模擬水體分段區間內污染物的傳輸與作用時，可以連結DYNHYD5，計算水體區間的流動情形。依模擬對象又分優養模擬程式(EUTRO5)及毒性物質模擬程式(TOXI5)兩部份。

如2.1的內容所述，WASP在水質模擬分為優養模擬程式(EUTRO5)及毒性模擬程式(TOXI5)。本文在應用上模擬急水溪的DO、BOD及優養，故只對EUTRO5作介紹。

EUTRO5模式可執行湖泊、河川、水庫等多水體的模擬，是一個相當優良的模式，可模擬八大系統(systems)，並可視其模擬對象將其難度分級(complexity level)，可參考表32。由表中知，等級四、五、六的模擬中，八個系統都有模擬，所不同的是，等級四只作簡單的優養模擬，等級五作複雜的模擬，而等級六連水體底床的水生植物也都併入考慮，故有加以區分。模擬的水體最多可分為300個段落(segments)、

50個邊界(boundary conditions)、50個污染點(waste loads)、21個參數(parameters)、104個水質常數(constants)及17個時間函數(time functions)。在參數中有溫度、鹽度、底泥需氧量等；而時間函數主要也是配合參數使用，以溫度為例，模擬時間若很長的話，則溫度變化就不可忽略，此時配合這情況定義一個溫度的時間函數，使溫度成為時間變的函數。水質常數指的是 K_2 曝氣係數 (reaction rate constant)、 K_1 生化需氧量的耗氧率 (BOD deoxygenation rate) 等；在模式中的常數，是由使用者自定，有的亦可由模式計算，如 K_2 曝氣係數，若不輸入模式就會由流量、溫度及水深等，依照各種不同的情況代入不同的公式計算而得。

表32 EYTR05的八十系統及難度分級

系統	簡稱	名稱	難度分級的等級					
			1	2	3	4	5	6
1	NH3	氨氮		×	×	×	×	×
2	NO3	硝酸氮			×	×	×	×
3	PO4	無機磷				×	×	×
4	CHL	藻類				×	×	×
5	CBOD	生化需氧量	×	×	×	×	×	×
6	DO	溶氧	×	×	×	×	×	×
7	ON	有機氮			×	×	×	×
8	OP	有機磷				×	×	×

×代表有模擬的項目

水質模式WASP5依各種不同的水體可作一維、二維及三維的模擬，表面水體變寬大時，可將水體作二維的分段；水體變深時，也可向Z軸方向作分層，當底泥過深時，可分為

數層；有支流的河川，也能作分段計算，可以靈活的運用。
 因有這個靈活特性，所以WASP5可以輕易的用在各種水體上，如河川、湖泊、水庫、海灣等。

(三)WASP、QUAL2E及ESTURY比較

表33為WASP模式與QUAL2E及ESTUARY的簡單比較。在模式理論中WASP與QUAL2E均是以基本物理概念為基礎，故其模擬項目上，故可模擬優養、毒性物質等多項水質濃度，而ESTUARY是以DO、BOD Streeter-Phlps方程式發展出來的數學模式，受理論公式之限制只能模擬DO、BOD兩種水質項目。

表33 WASP與其它水質模式比較表

	WASP	QUAL2E	ESTUARY
模式理論	質量平衡與動量平衡方程式	一維傳流、擴散質量傳輸等式	BO-BOD Streeter-Phlps方程式
模擬項目	有EUTRO5和TOXI5可分別模擬優養及毒性物質	可組合模擬15種水質項目	只可模擬DO、BOD兩項
河川分段	可分300個段落	可分25個河段，每個河段不超過20單元	可分99個段落
分段之彈性	可作一、二及三維的計算，故可模擬水庫、河川，河口及海灣	為一維分段，可計算網狀河川，但有匯點限制	不能有匯流點，故網狀河川，要分別模擬
源頭單元	沒有限制	10個	無
匯流點	沒有限制	9個	無
曝氣係數值	模式提供三個公式，亦可自行輸入	模式提供八個公式，亦可自行輸入	模式提供一個公式，亦可自行輸入
動態或定常態計算	動態、定常態	動態、定常態	只能定常態
其它	有DYNHYD5水理模式可配合水質模式作動態模擬	模式中有附風險的程式，可算水質項目的風險	無

在河川分段方面，WASP模式最多可分300個段落

(Segments)，其特性在2.4節有說明，本節以說明QUAL2E及ESTUARY，並比較這三個水質模式在分段方面的異同；QUAL2E模式最多可分為25個河段(Reaches)，每一河段具有相同或一致性(Uniformity)的水理特性，即在一河段中的任何斷面之流量、水深、流速均視為相同。每一河段又等分成數個同長的計算單元(Elements)，最多可分為20個單元。而其計算單元又分七種類型。分別為源水單元、標準單元、匯流點上游之單元、匯流點單元、河系最下游單元、流入單元和取水單元。由於QUAL2E對河川計算單元的功能指定分明，因此在網狀河川分段上可以輕易完成，但對三維水體就較無法勝任。而WASP模式並沒有這麼麻煩，每個段落(Segments)，均可有入流、出流、點源、匯流等功能，因此在分段上更加的有彈性，不但可以模擬網狀河川，對二維、三維之水體也是可以輕易分段。Estuary模式跟上兩個模式比起來就顯得遜色許多，Estuary最多只能分為99個段落，且只能作單純河川主流的分段，無法對網狀河川分段，如果是網狀河川，就要分次模擬了。

WASP模式可進行動態的模擬，甚至其水質參數、荷負量、流量等，也是時間函數的型態輸入模式可配合動態模擬，當然只要將所有的參數設成常數，就是定常態模擬了。而QUAL2E雖可然也可進行動態模擬，但是其水質參數、點源

荷負均不能以動態變化進行配合，比起WASP可說略微不足了。而ESTUARY無法以動態模擬，只能進行定常態的模擬。

曝氣係數方面，WASP模式提供三個曝氣係數經驗公式，若是使用沒有輸入曝氣係數，則模式會以水深、流速選擇公式計算。QUAL2E模式有八個曝氣係數公式，可由使用者指定公式計算，如果需要也可以不透過模式計算，直接輸入模式中。ESTUARY模式僅提供一個曝氣公式計算，也可以自行輸入。

另外，新版的QUAL2E-UNCAS模式還有提供敏感度分析、一階誤差分析程式及蒙地卡羅模擬提供模擬者在常態水質模擬中進行不確性分析。使用者可依以上之這些功能評估模式輸入資料的敏感度和不確定性對模式預測值的影響。

WASP與QUAL2E模式是較為複雜的模式，因其強大的計算功能，自然其需要的資料也需較為詳細，而ESTUARY模式是一簡易的模式，只能模擬DO、BOD故且所需要的參數也較少；模式的選擇常視當時情況即使用的需求而定，如果只是要模擬DO、BOD，而水體又不複雜，ESTUARY是不錯的模式；若需模擬多種水質項目，則WASP與QUAL2E較能勝任，當水體較不單純時，WASP是較佳的選擇，使用者如需有關水質項目的風險，QUAL2E有提供許多之附屬程式可

供計算其風險機率。

十二、AGNPS 和 SWMM 模式探討及應用

(一)AGNPS 模式探討及應用

農業非點源污染模式 (Agricultural Non-Point Source Pollution Model, Young, et al, 1995)簡稱為 AGNPS 模式。為 USDA Agricultural Research Service、Minnesota Pollution Control Agency 與 Soil Conservation Service 所共同開發的模式。此模式的發展源於美國聯邦法律規定各州應評估集水區上游地表沖蝕量及其對水質之影響。模式設計的目的主要用以推估逕流性質,特別是沈積物量(Sediment)營養物成分(Nutrients)與農藥,經由不斷的發展與更新版本,目前最新的版本為 AGNPS5.00。

AGNPS 屬於單場暴雨事件(single event)、混合參數(lump-sum parameter)與計算污染物負荷(pollutant loading)的模式;此模式屬格網(cell)式模式,適用於模擬單場暴雨事件之非點源污染分析,可模擬集水區及各個網格的土壤流失及總磷與總氮等水質參數,及推估相對的污染潛勢。該模式將集水區分割成一些網格,並給定一個集水區出口。其基本原理是暴雨產生沖蝕及逕流,因而引起流失(loss)及運移(transport)二種作用,AGNPS 藉由分析引起此二大作用之機制,並透過這些實際的區域特性(physical-based)而訂定與水質、水文相關參數,應用於單場暴雨發生下,估算集水區內,非點源產生的污染負荷量,並顯示排出源及污染潛勢的空間分佈。藉由此結果,可用以評估不同

土地利用型態的經營價值及對水質之影響程度，進而作為集水區經營規劃與管理之參考依據。

更新功能

以下就 AGNPS5.00 新增功能做一簡要介紹

1. 提供三角水文歷線之選項
2. 提供 SCS TR55 方法計算尖峰流量
3. 考慮營養成分於渠道流中之衰減因素
4. 提供 5 種土壤類別供計算沖蝕量
5. 使用 Einstein 方法模擬物之傳輸
6. 可選某網格來模擬沈積物之累積情形(依 SCS TR55 方法計算)
7. 於輸入土壤養分資料中增加了視窗介面
8. 可同時輸入肥料氮及磷成份
9. 額外沖蝕之土壤特性可另行設定
10. 每一貯水池之入滲率可分別設定
11. 使用權重式坡度計算尖峰流量
12. 使用二種曼寧係數，一用於漫地流，一用於渠道流
13. 三角歷線每一段均計算渠道及沈積物運算
14. 較多之點源可供選擇
15. 飼牧場之氮磷量可分別設定
16. 改以 C 語言發展模式

17. 貯水池之養分衰減

非點源污染分析 - 總磷

在非點源污染中，對總磷量進行有效的控制是重要的工作之一，因含磷量是藻類生長的限制因子，且為湖泊水庫水體優養化重要指標之一：AGNPS 5.00 對於總磷量之推估方式分為兩部分，一是可溶性磷，一是附著於沈積物(Sediment)上之磷。

可溶性磷

AGNPS 5.00 對可溶性磷的推估，是依據可溶性磷伴隨逕流在集水區中傳輸的程序，對每一個網格進行演算，將流入目前網格之磷量進行加總，並考慮在流流至網格出口延時期間磷的衰減量以推估可溶性磷量。

附著於沈積物之磷

附著於沈積物中之磷乃是以陸地沈積物產量(Overland phosphorus sediment yield)與溝渠磷產量(Gully phosphorus yield)相加計算之，模式中以產生的沈積物量乘以土壤含氮濃度再乘以氮飽和比率以估算附著於沈積物中之氮量。

非點源污染分析 - 總氮

水體中含氮量過高，則會增加水處理成本，降低水體用途，氮亦是造成湖泊、水庫優養的因子之一，AGNPS 5.00 對於總氮的推估和總磷的推估方式類似，亦是根據可溶性氮與附

著於沈積物上之氮進行演算；

可溶性氮

AGNPS 5.00 中可溶性氮的演算原理乃是基於可溶性氮伴隨逕流在集水區中傳輸的程序，首先依據 CREAMS 公式計算逕流中含氮，再針對每個網格進行計算，將流入目前網格的氮量進行加總，且考慮流至集水區出口延時期間氮之衰減量估算之。

附著於沈積物之氮

附著於沈積物中之氮乃是以陸地上氮沈積物產量 (Overland nitrogen sediment yield) 與溝渠氮產量 (Gully nitrogen yield) 相加計算之，模式中以產生的沈積物量乘以土壤含氮濃度再乘以氮飽和比率以估算附著於沈積物中之氮量。

非點源污染分析 - 農藥

AGNPS 5.00 模式中對於農藥量之推估是以網格為演算基礎；計算網格內溶解、沈積與滲漏的農藥，並考慮降雨沖刷、逕流、入滲、滲漏、粒子、大小、分配係數等因子以進行演算。

農藥的總量亦分為可溶性農藥與附著於沈積物 (Sediment) 上之農藥二部分，考慮農藥附著於不同粒子大小及農藥在沈積物與逕流中重新分配等因子進行估算，摘要其演算程序如下（詳細說明請參見附錄 A.3）：

- 1.計算有效農藥量
- 2.分別計算土壤與植物中的農藥量
- 3.分別計算殘餘在土壤與植物中的農藥量
- 4.計算在地面的農藥量
- 5.計算逕流中的農藥量與農藥濃度
- 6.計算滲漏的農藥量與滲漏的百分比
- 7.計算可溶性農藥量與可溶性農藥濃度
- 8.計算附著於沈積物上之農藥量、農藥濃度與百分比

(二)SWMM 模式探討及應用

美國環境保護署(U.S.EPA)發展之都市降雨逕流重理模式(Storm Water Management Model, 簡稱 SWMM), 是美加及世界各國廣泛應用於都市暴雨逕流之水文、水力及水質問題的模擬與分析。以下就 SWMM 的發展沿革模式結構及運算功能作簡單介紹, 以期模式使用者有初步的完整概念。

1. SWMM 概述

SWMM 是美國環境保護署為都市區域暴雨逕流所發展出來的一套包含水量與水質運算功能豐富的管理模式。第一版 SWMM 是在 1969-1971 年由下列三個單位共同研究發展而成的電腦程式版本：

- (1) Metealt-Eddy, Inc.
- (2) University of Florida.

(3) Water Resources Engineers, Inc.

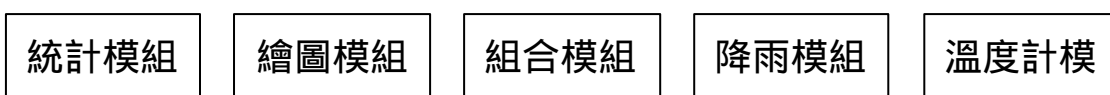
目前以由：Huber and Dickinson, (1988), Roesneretal (1988) 更新改版至第四版 (Version 4.0)，但原始版模式運算原理及內容，仍具有參考價值。第一版 SWMM 僅能模擬分析合流式下水道溢流污染問題，第四版 SWMM 之模擬分析功能已擴展至下列各項問題：

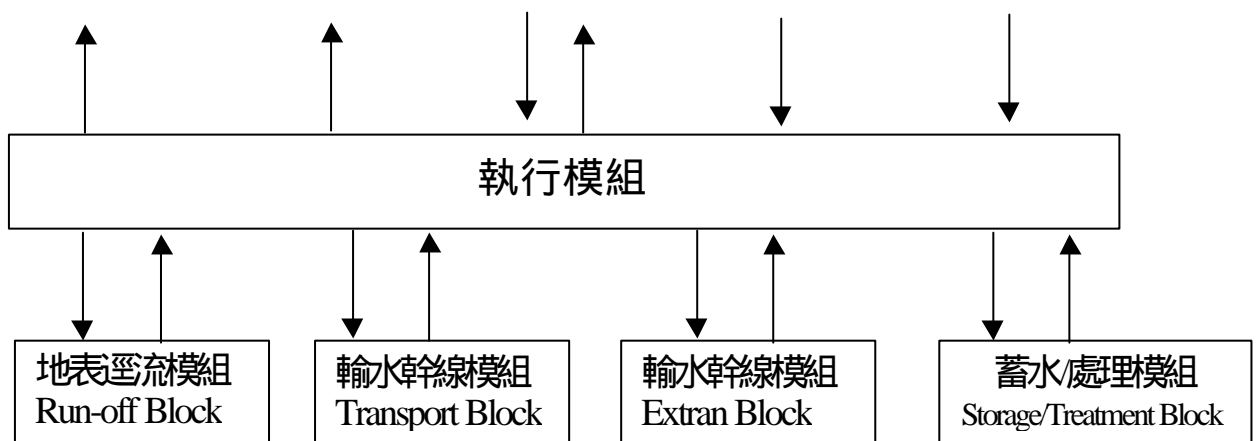
- (1) 分流制與合流制下水道之水文水力分析。
- (2) 都市非點源污染負荷。
- (3) 都市排水系統設計及未來系統規劃評估。
- (4) 下水道水質分析
- (5) 複雜排水系統水理運算。
- (6) 單場降雨或連續性降雨模擬都市雨水逕流之水量及水質分析。

2. SWMM 模式架構

SWMM 電腦程式是以 FORTRAN 語言撰寫，且 U.S.EPA 可提供原始程式碼內容供使用者自行改寫以配合實際需求。程式內容是由運算模式、輔助模式及執行組結合而成；如圖 4 所示。

輔助模組





運算模組

圖 4. SWMM 程式模組架構(Huber and Dickinson, 1988)

各項模組之功能如下所述：

a. 運算模組(Computational Blocks)

(1)地表逕流模組(Run-off Blocks)

利用降雨資料計算出逕流量、污染負荷及水質。

(2)幹線輸水模組(Transport Block)

以運動波方法進行水力演算；並可推算晴天水量及水質問題。

(3)幹線輸水模組(Extran Block)

利用一維 Saint Venant 方程式作水力演算(不包括水質)，因 Extran 模組係以動態流進行水力演算，可模擬流況包括：

動態迴水演算

迴路型排水網路系統

壓力管流演算

(4)蓄水 / 處理模組(Storage/Treatment Block)

蓄水量演算及處理設施之水質模擬。

程式模組之流量演算特性如表所列。

	地表逕流模組 (Run-off Block)	輸水幹線模組 (Transport Block)	輸水幹線移模組 (Extran Block)
1.流量演算方法	非線性水庫 階梯式管溝	動力波 階梯式管溝	完全方程式 互動性管網
2.計算機費用	低	中	高
3.洪峰歷線衰減	有	有	有
4.洪峰歷線圖	弱	有	有
5.管內貯留	有	有	有
6.迴水及下游控制效應	無	無*	有
7.逆水流況	無	無	有
8.滿流演算	弱	弱	有
9.壓力流況	無	無	有
10.樹枝型管網	有	有	有
11.迴路型管網	無	無	有
12.指定管溝型狀限制數	5	16	8
13.水力設施單元 (如 Pumps、Weirs、 Orifices)	WO	PWO	PWO
14.晴天水量及基流演算	部分	有	有
15.污染歷線演算	有	有	無
16.土砂沖淤	無	有	無
17.外部輸入水文歷線/ 污染歷線資料	無	有	有

*蓄水設施之水平面迴水演算

b. 輔助模組(Service Blocks)

(1)繪圖模組(Graph Block)

模式演算結果可利用 Graph 模組在印表機上輸出水文歷

線、污染歷線或其它時間序列圖(須有適當的改寫介面，才能在廣泛使用之試算表或圖形軟體輸出 SWMM 演算結果)。

(2)組合模組(Combine Block)

組合模組主要功能是串接前後模組之演算資料及檔案，使演算能順利進行。

(3)降雨模組(Rain Block)

降雨模組可處理長期性之降雨序列資料(以 1 hr 或 15 分鐘為單元)，輸入逕流模組進行連續性模擬演算。

(4)溫度模組(Temp Block)

溫度模組可處理長時間溫度、蒸發量、風速及融雪資料，輸入逕流模組進行演算。

(5)統計模組(Statistic Block)

統計模組有下列運算功能：

分離連續性降雨模擬結果，形成單場暴雨逕流。

依設計規範將暴雨事件排序(例如洪峰量、總逕流量、污染負荷及污染物平均濃度等)。

依降雨頻率及重現期距率定逕流及污染物參數。

模式演算結果的表格化與圖形化。

原始資料之轉化(例如對數轉換)。

降雨時序分析。

EPA SYNOP 程式內定之統計分析功能。

c. 執行模組 (Executive Block)

程式執行模組主要功能是指定檔案之編排資料及程式模組之執行次序。

3. 資料輸入與輸出

依據操作手冊(Huber and Dickinson, 1988, Roesneretal, 1988)說明，SWMM 模式是依據實例降雨資料進行暴雨逕流演算，有關模式參數資料輸入項目包括：

降雨 (降雨組體圖、臨前狀況)

地貌 (地表狀況、地形資料)

氣象 (蒸發量、氣溫等)

集水區管理狀況。

輸水、蓄水及處理設施特性資料。

污染歷線及污染負荷量。

SWMM 是由 Runoff、Transport 及 Extran 模組結合成下水道或排水系統之水力與污染演算之核心程式，蓄水 / 處理模組則是評估分析各項措施與設施在洪水控制與污染防治之成效。SWMM 模式無承受水體水質演算功能，EPA 之暴露評估模式中中心(Center for Exposure Assessment Modeling CEAM)改寫 SWMM 之運移模組，加掛 WASP 5 程式，可進行承受水體水質模擬分析。

4. SWMM 之優點缺點

- (1)SWMM 模式可配合使用者之需求，容許分離各項模組演算，例如不須考慮逕流模組部分，以外部輸入逕流資料直接做輸水模式演算，而且其輸出結果仍可為一下模組之輸入數據資料，可簡化大型模擬系統之複雜性及率定驗證工作。
- (2)SWMM 模式容許選用公制單位或其他慣用單位。
- (3)SWMM 模式提供部分參數之預設值，若無預設值之參數，在使用手冊內容中有各項建議值可參考引用。
- (5)SWMM 模式之資料輸入與結果輸出頗不友善與不便，輸入之檔案資料係以 ASCII 檔編輯，並以表列格式輸出結果。水文歷線與污染歷線可用行列式印表機輸出，或以表格式資料轉檔進入繪圖軟體處理後再繪圖。上述各種不便之處，經由 US EPA 及使用單位努力，已經可知 GIS 或 CAD 並聯使用，增加 SWMM 之功能性(EPA 在 1993 年以後開始提供 Window 版及 CD-ROM 版)。
- (6)(5)SWMM 程式約 1-2 年改版一次，可透過 US EPA 獲得程式檔案與文件，聯絡資料如下：

Model Distribution Coordinator

Center for Exposure Assessment Modeling (CEAM)

U.S. EPA

960 College Station Road

Athens, Georgia 30605-2720 USA

Phone : (706) 546-3549

Internet address : ftp:ftp. Epa.gov

5 小結

SWMM 模式在美國環保署、顧問公司及學術單位齊力研究發展下，已成為功能齊全且廣泛運用的都市排水系統分析軟體，SWMM 可由 US EPA 電腦開放區中(網路)取得，成本非常低廉（僅收工本費），且程式容易改寫介面改善使用性，加上在世界各國已有數以百計之實際範例可供參考，提昇模式之前瞻性及延續性。

十三、GLEAMS 和 HSPF 模式探討及應用

(一) GLEAMS 模式探討及應用

GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management, 1993) 模式是由 University of Georgia 的 Bio & Ag. Engineering Department 與 USDA-ARS 之 Southeast Watershed Research Lab 所共同發展，此模式之前身為 CREAM 模式。主要應用於小區域 (fildscale)的模擬，可模擬之水質項目包括逕流、沈積物、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、總氮、總磷等。

以下數小節就 GLEAMS 模式作一簡要介紹：

1. 模式介面功能

GLEAMS 模式可於 IBM 相容電腦於 DOS 下作業系統環境下執行，此模式提供一編輯功能，可使用者輸入資料，進行水文、沖蝕、農藥、營養物等參數的編輯；此外模式中並有診斷錯誤之功能、輸入錯誤訊息供指導使用者更正錯誤，令模式模擬之過程更為順利。

2. 使用說明及功能簡介

- (1) 使用修正型 SCS Curve Method (U.S. Sconservation Service, 1972) 模擬降雨逕流
- (2) 可用 Priestly-Taylor 或 Penman-Monteith 方法(Jesen et., 1990)模擬蒸發

(3)更新每項作物之根深(root depth)

(4)侵蝕之模擬加入粒子大小之考量

(5)對氮、磷營養成分模擬因子考慮更為周延

氮之部分包括氨化、硝化、脫硝、固定、消耗、滲漏及逕流等

磷之部分包括礦化、逕流、消耗及滲漏等

(6)加入管理策略因子包括施肥量與種類、灌溉量及耕作因子等

水文因子

GLEAMS 模式中之水文部分對逕流量之推估使用修正型 SCS 曲線碼法推估降雨之逕流；蒸發散潛勢則使用 Penman-Monteith (Jesen et al., 1990) , Priestly-Taylor(1972)方法推估。

營養鹽成分 - 氮

GLEAM 模式中對於氮之模擬主要考量因子為氨化(ammonification)、硝化(nitrification)、脫硝作用(denitrification)、揮發(volatilization)、吸收(uptake)、固定(fixation)等作用，以經驗或半經驗公式與模式結合而進行模擬，模式中氮之循環圖如圖 5 所示。

營養鹽成分 - 磷

GLEAM 模式中磷的模擬主要採用 Sharpley 等人(1984)所發展的一長期推估土壤沖蝕與作物性量之模式，此模式曾與 EPIC

模式(Sharpley & Williams, 1990)合併成功的應用於一大範圍之土壤、作物及氣候區，GLEAMS 模式中則針對此模式並加入礦化作用之修正，GLEAMS 模式中磷的循環圖如圖 6 所示。

AM：氮化 NI：硝化 DN：脫硝 VL：揮發 IM：固定化
UP：吸收 FX：固定

圖 5 GLEAMS 氮循環圖

AM：氮化 NI：硝化 DN：脫硝 VL：揮發 IM：固定化
UP：吸收 FX：固定

圖 6 GLEAMS 磷循環圖

農藥成分

GLEAMS 中農藥成分之模擬主要針對農藥特性、土壤質地、氣候影響、管理策略、表面逕流滲漏與附著等交互作用而進行，模式中亦對施藥後農藥在根深區的質傳進行時間的模擬。

(二)HSPE 模式探討及應用

HSPF (Hydrological Simulation Program Fortran Model)為美國環保署(USEPA)與 Hydrocomp Inc. 所共同發展之模式，為一集合水文、水理、水質於一體之模擬程式。HSPF 發展之目的為模擬集水區之水文、泥砂、殺蟲劑、營養物及其它水質成分，可用於水資源規劃、設計與管理，且可用或然率方法分析水文及水質問題。

1996 年美國環保署所發展之 BASINS(Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)模式中，將 HSPF 提供了一個簡單的視窗介面。HSPF 可從 BASINS 中執行或獨立執行，根據 BASINS 提供 GIS 圖層資料，對所切割之子集水區執行 HSPF 模式，執行過程會將該子集水區對應之土地利用資料、河川特性資料及點源資料會被擷取整合於模式介面中，如圖 7 所示，另模式所需之氣象資料及相關參數設定值，則須於模式介面中輸入。

圖 7 HSPF 模式之視窗介面圖

HSPF 為一連續模擬模式，以降雨、溫度、日照強度、土地利用型態、土壤特性和農業耕作方式作為基本輸入資料，根據基本輸入資料，HSPF 最初模擬結果為水量、水質隨時間之變化，從地面經過不同土壤層至地下含水層之傳輸狀況，如圖 8 所示，可預測逕流量、泥砂運移量、營養物、殺蟲劑、毒性物質及其它水質成份的濃度。HSPF 再利用這些結果，考慮河道特性，模擬河道中水量及水質之變化，因此 HSPF 模式可模擬集水區內之水量及水質變化情形。

圖 8 水文傳輸圖

國外 Chew 等人(1991)將 HSPF 加以修改和校正應用於 North Reelfoot Creek 流域，對污染控制策略前後之水質變化進行分析。Moore 等人(1992)使用經由 Chew 等修改之模式於美國 North Reelfoot Creek 集水區模擬、評估可執行之最佳管理作業。

十四、BASINS 和 WARMF 模式探討及應用

(一) BASINS 模式探討及應用

BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)為美國環保署(USEPA)發展的集水區多目標環境分析系統，此系統結合地理資訊系統(GIS)、集水區資料庫、及多種水質模擬評估工具，不但美國國內的政府機關、學術單位及民間環境顧問公司廣為使用，也漸漸被其他國家所採用。

為因應美國各州及地方團體以集水區為導向的趨勢，以及1977年 Clean Water Act中對水體進行總量管制(total maximum daily load, TMDL)的要求，美國環保署於1996年發展BASINS，以集水區概念為主要架構，將評估TMDL所需之點源及非點源污染分析整合成為一完整的系統。BASINS的三大宗旨包括：(1)落實環境資訊的調查(2)進行環境系統的分析(3)提供評估管理方案的架構。

BASINS最大特點在於它採整合式(integrating)的系統。傳統集水區評估的方法裡，資料的準備、分析、模式應用及結果輸出評估等步驟常以不同的工具或系統做處理，缺乏整合性且費時，BASINS克服這些缺點，將集水區資料及評估工具整合於ArcViewGIS架構下，包括五大項目：

✳環境資料庫

✳水質及點源污染負荷評估工具(TARGET、ASSESS、Data Mining)

✳工具箱，包括資料匯入、子集水區劃分、資料管理等功能

✳水質模式，包括NPSM(WinHSPF)、QUAL2E及TOXIRROUTE

*資料輸出後置處理工具(GenSen)

BASINS系統及應用式皆在Windows環境下，圖9為BASINS主介面，介面上方為工具列、左方為資料庫圖層說明、主畫面即為GIS圖層展示。GIS的應用使集水區資料以視覺化呈現，使用者可直接於圖上選取欲模擬的區塊，進入水質模式進行各項模擬或做資料評估，並可提供集水區在TMDL方面的分析，從資料的展示、整合、模式模擬、至結果輸出呈現，皆可在BASINS系統中完成。

BASINS包含了WinHSPF及QUAL2E兩大水質模式，Win HSPF(前身為HSPF、NPSM模式)為一非點源污染模式，可根據集水區內水文變化及土地利用的型態連續模擬非點源污染量，QUAL2E則為模擬點源污染於河川系統中傳輸的河川水質模式。除此之外，美國環保署亦為BASINS發展其他輔助工具，如管理程式WDMUtil可將氣象資料製做成可供BASINS使用之WDM檔，集水區切割工具(Watershed Delineation Tool)讓使用者自行將集水區切割成為欲模擬之子集水區，資料匯入工具(Import Tool)可讓使用者將其他GIS資料匯入BASINS，方便模擬工作。

BASINS有廣大的使用群，因此相關工具及模式發展、更新速度頗快，美國環保署於2000年底推出BASINS3.0版，除更新模式及輔助工具外，3.0版改變了對各項工具的管理方式，新發展的BASINS Extension Manager功能，將各應用模式、資料管理、集水區評估等工具都視為BASINS的”extension”，對工具做更有效的管理，如此使用者在執行project時BASINS只會load所需工具，節省軟硬體空間，程式發展者也易於維護更新各項工具，不需更新整個BASINS系統。

BASINS 為一公開軟體，文件、技術支援也相當豐富，網站 www.epa.gov/ost/basins/ (圖10) 上提供了各式相關資料供使用者參考查詢，值得介紹的是其中的BASINS Listserver(圖11)，透過電子郵件，以“討論區”的方式，除了發布BASINS相關訊息，更提供使用者之間及使用者及程式技術人員相互討論、集思廣益的機會，尤其是初學者提問題的好地方。

圖9 BASINS介面

圖10 BASINS網站之網址

圖11 BASINS提供服務圖

➤應用

BASINS 由美國環保署所發展，提供了完備的美國環境資料庫，因此廣被 BASINS 由美國環保署所發展，提供了完備的美國環境資料庫，因此廣被美國政府機關及學術單位所使用，進行集水區模擬的相關研究，如 Adema(1999)應用 BASINS 於美國維吉尼亞州某集水區，分析不同程度都市化之土地利用對集水區的衝擊。除了集水區水質模擬，BASINS 可進一步應用於集水區總量管制(TMDL)及集水區管理決策，如 Dom et al. (2001)以美

國馬里蘭州某一集水區為案例，探討城市發展面積與水質改變之關係，說明 BASINS 在集水區水質管理決策上之應用。

由於 BASINS 環境資料庫，水質模式與資料處理評估合一的架構，以及軟體公開，技術支援豐富，BASINS 其他國家的使用者也逐漸增加，常可見到加拿大，印度，台灣等國家的使用者在 BASINS Listserv 討論區與其他使用者交流。

(二) WARMF 模式探討及應用

WARMF 為一整合型之模式，參考模式有美國陸軍工兵團水文工程中心發行的 WQRRS (Water Quality for River-Reservoir System)，美國環保署發行的 WASP (Water Quality Analysis Simulation Program)；在農業集水區方面有美國喬治亞大學發行的 ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation Model)，美國農業部發展的 CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems)，和 AGNPS (Agricultural Nonpoint Source Pollution Model)；在都市集水區方面有美國環保署發展的 SWMM (Storm Water Management Model)；包括整個集水區和水庫的有美國環保署發行的 HSPF (The Hydrological Simulation Program-Fortran) 和電力研究所發行的 ILWAS (Integrated Lake-Watershed Acidification Study)。

基本上，集水區的水文過程和各種離子的模擬，本模式取

長於 ILWAS，土壤的崩離和沈澱在地表的運移取長於 ANSWERS，沈澱在河川的傳送、擴散、沈積和再懸浮參考 HSPF，沈澱 水庫的模擬參考 WQRRS 和 WASP，農藥在植物和土壤的變化過程參考 CREAMS，在河川和水庫的變化參考 WASP。模式的型式是詳細的、決定性的、機械式的、分布參數的、動態的、非線性和模擬性的。模式具有廣泛的分析能力，其本身很複雜，但使用起來並不困難。

WARMF 是一決策支援系統(decision support system, DSS) 為設計用在集水區和總量管制。它包括工程、數據總量管制模組，是一完整 Window 之圖形使用者界面系統(graphical user interface, GUI)。

對於 TMDL 發展，使用者能夠遵照一步一步之步驟去達到 1.水體用途如養殖魚類，可游泳、供水等用途而能達到清水法 303(d)水質限制要求 2.達到水質標準如最少 3 天平均 DO 超過 5mg/l 3.總量管制污染物 4.計算總量管制以調整污染直到達成水質指標。

圖形使用者界面供給緊密界面在使用者與 WARMF 模式和 WARMF 模組之間。經過使用者界面，使用者能進入、評估人及修配輸入數據，操作模擬，展現地理資訊系統圖形和統計輸出，WARMF 模式已有自己的地理資訊系統。它不須 ARCVIEW 去展現輸出模式方法：

1. 分流域或土地區分，河川分段及水庫分層
2. 將土地分成地表迴和土壤分層
3. 處理為河川分段或水庫
4. 規劃水或水質成分到河川分段經過水源或地下水側流。
5. 規劃水或水質成分從河川一段到另一段
6. 規劃水域水質成分到一個水庫
7. 規劃水或水質成分從一個水庫到河川
8. 執行熱堆積計算去決定在河川段面或水庫斷面之水溫
9. 考慮水轉向，灌溉
10. 考慮土壤腐蝕、沈積浸蝕、化學轉換、藻類生長、藻類營養動力
11. 用相同 QVALIE 或 WASPS 之熱堆積和質量平衡方程式模式將土壤分成 5 層，河川使用為 ，水庫為流 ，在污染源方面考慮點之源、非點源、空氣沈降等，可模擬水質成分為總溶解固體、懸浮固體、溫度、病原菌、殺蟲劑、生化需氧量、溶氧、氮、磷、藻類、鋁、鋅、錳、鐵、硫酸鹽、酸鹼值，其中非點源最佳設計畫使用緩衝帶、滯劑池、沈澱池、沈砂池及衝道掃除等。

應用：

1. 在加州之 Cata Wba river basin 解決原生動物污染。
2. 在加州 Taboe 湖去評估污染交易計畫靠購買灌溉水權增加

河川自淨能力以減少非點源負荷。

3. 在西維吉尼亞州之 Cheat river Basin 對於黃銅礦污染解決酸鹼值、總鐵鋁、鋅及錳等從酸性礦物排出污染。
4. 在賽夕尼亞州 Chartiers creek Basin 解決酸性礦物排出及集合式下水道污染。
5. 在科羅拉多州 Dillas Lake 解決生活污染水而使水源可供飲水。
6. 應用在田納西州之 Oostanula Creek Basin 中。

表 34 為整合模式 WARMF 與 BASINS 之比較表

表34 Comparasion of WARMF and BASINS MODEL

	WARMF3.1	BASINS2.0
Design Philosophy	WARMF is a decision support system for the watershed approach. It contatins simulation model, database, built-in GIS. It provides tools for consensus and TMDL WARMF is designed for use by stakeholders of different backgrounds. It makes the translations between water quality and usability and between management plans and model inputs.	BASINS 2 is for tegulators to assess the condition of river basins. It contains a collection of national databases and water quality models. It does not provide a procedure to calculate TMDL. Users must find out answers for themselves. A stakeholder would not know what to look for and where to find it. Regulators are in command and control.
Computer Platform	IBM PC. With 486 or Pentium processor, 16 MBRAM, 100 MB hard disk space	IBM PC, Pentium processor, 64, MB RAM, 150 MB hard disk space
Software Requirements	Based on Integrated Lake Watershed Acidification Study (ILWAS) model, enhanced with algorithm of ANSWERS	Windows 95/NT, Arc View Version 3.0a and Arc View Dialog Designer
Liver Model	ILWAS. Enhanced with WASP5	Non-point Source Model (NPSM) based on parts of Hydrological Simulation Program-FORTRAN(SHPF)
River Model	ILWAS. Enhanced with WASP5	QUAL2E, TOXIROUTE, NPSM
Lake/Reservoir Model	ILWAS. WQRRS, CEQUAL-W2	None
Spatial Resolution	Flexible resolution, generally applied at ll digit hydrologic units. User can also modify it to a finer resolution.	Eight digit hydrologic units by default, but may be modified manually by user.
Type of simulation	Physically based dynamic simulation, normally run with a daily time step for many years.	QUAL2E & TOXIROUTE uses only a low flow or a mean flow. NPSM can run a dynamic simulation for many years.
Fertilizer & cropping	Simulated	Not simulated
Atmospheric deposition	Simulated	Not simulated
Buffer zone	Simulated	Not simulated
Risk Analysis	Can evaluate the risk of failing to achieve the water quality objective of a plan.	Not simulated
Pollution Trading	Cost sharing between point and nonpoint	Not simulated
Data Requirements	Digital elevation maps, land use, soil, daily meteorology, monthly air quality, point source data, and model coefficinets.	7Q10, USGS Reach File, point source data for QUAL2E and TOXIROUTE. USGS land use coverage, meteorology, model coefficients for NPSM.
Data Supplied	Data base includes DEM, land use, point loads, meteorology, air quality, and observed hydrology and water quality. This data for the specific river basin is imported from federal, state, and local sourecs, most of which is available over the Internet or from publised CDs.	Data for all river basins in an EPA region, from national database. Data for a specific river basin can be sparse. Users are encouraged to import local data for accuracy and resolution. Meteorology, point source load, and observed water quality may not be for the same period.
Input/output proccdure	Input data can be entered or viewed by couble-clicking at a catchment, river, or reservoir on the basin map. Comparison of model results and observed data can be viewed by double-clicking at a monitoring location on the basin map.	NPSM, QUAL2E, TOXIROUTE have their own input procedures using menus and buttons.

十五、總量管制水質模式之建立

本總量管制首先訂定模式建立之流程如附圖12，再分別介紹流程中之步驟。

(一)河川水質模式建立之流程

河川水質模式流程，內容共包括七個步驟：

- 1.水質模擬項目之確定
- 2.水體特性之判斷
- 3.資料收集
- 4.水質模式之評選
- 5.河川分段
- 6.參數之選取
- 7.模式之率定

本模式以模擬BOD-DO模式為主，但是上述之七個步驟，卻是建立河川水質模式之通用流程，亦即如優氧模式或毒性物質模式，通常均可依此一流程予以建立，只是每個步驟之內容（作法）不同而已。

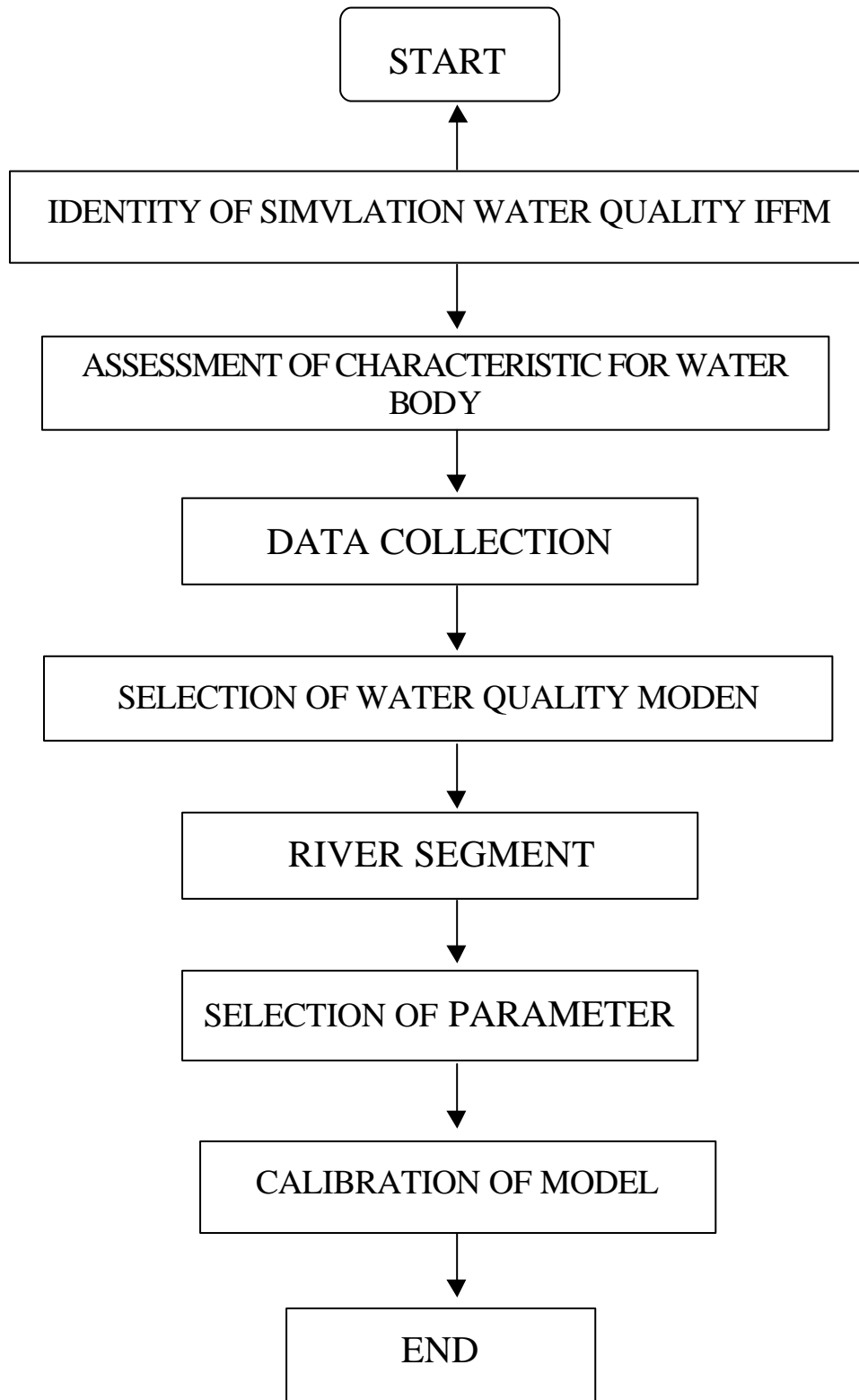


圖 12 ERCTION OF WATER QUALITY MODEL

(二)水質模擬項目之確定

確定水質模擬項目是建立水質模式的第一個步驟，目的是在協助評選出適當的水體水質模式。由於水質模式開發時各有不同程度的學理假設，所以沒有任何一個水質模式對各種情況之水體均適合模擬，況且有些時候因資料缺乏或模擬目的之考量，以太過於複雜的水質模式來解決單純的水質問題，反而只有徒困擾、事倍功半。進行水質模式模擬之前，首先確定要模擬之水質項目，才可衡量相關資料是否足夠，進而考慮採用模式架構的複雜性，例如模式可模擬的水體維度、水質系統，以及是否具備水理模擬能力等。最後才能由諸多模式中，評選得最適合的水質模式，所以確定水質模擬項目是評選水質模式的首要程序。

如何確定水質模擬項目，其實並無一定的準則，因為以往進行水質模擬乃先有水質模式，再依模式可模擬項目收集資料，模擬後判定模式對水體的適用性，如果模式率定被使用者接受，則水質模擬項目即是模式可模擬之水質項目。此種反向的操作乃著眼於建立模式，模擬項目之確定只是一種型式，對於以往水質模式較少而選擇空間較小的情況下，此種過程並沒有錯誤。

以下四點，作為確定水質模擬項目之程序：

1.水質問題之確認

確認水質問題才能瞭解影響之因素有那些。通常欲進行水質模擬乃水體出現問題，例如溶氧過低魚、蝦及藻類死亡、水生態改變乃優

氧化等。另外，可能水體未受到破壞或污染，為了防止未來污染問題之發生，而就特殊目的進行水質模擬。

2.瞭解水體用途

瞭解水體用途才能知道規定的水質標準。大體而言，水體用途可區分為給水用水、遊憩用水、農漁產用水及生態保育用水等四類，表35有更詳細地將此四類水體用途所包含的用水項目列出，每一種水體用途其水質標準並不相同，所以必須先瞭解水體用途，才能知道規定的水質標準。

3.瞭解水質標準

根據水質標準所規定的水質項目，作為水質模式之模擬項目。每一個水體用途分類各有其水質項目之要求標準，水體要能滿足水質標準，才能不妨害其正常之功能。

4.確定水質模擬項目

水質標準所規定的水質項目可能有多個，此時可依水質資料及問題之重點選定水質模擬項目。

(三)水體特性之判斷

一般水體可區分為河川、湖泊、水庫、河口、海岸及地下水等，每一種水體的水理及水質特性不盡相同，水質模擬前應先予以瞭解，對模式之評選及參數之選取會有幫助。河川可分為水理及水質加以探討。

表35 水體用途及用水項目

水體用途	用 水 項 目
給水	家庭用水(飲料、沐浴、洗滌、廁所)工業用水(鍋爐、製造、冷卻)、公共用水(清洗街道、公廁、消防)、政府機關及公司行號用水、農業灌溉用水
遊憩	游泳、划船、垂釣、滑水、水上摩托車、艇等水上親水活動，旅館、遊樂區之遊客餐飲及廁所用之水，環境綠化及景觀維護用水
漁、農產用水	淡、鹹水之貝類及漁業養殖用水，雞、鴨、牛、羊等禽畜之畜牧用水
生態保育用水	水鳥、候鳥、魚類、貝類及蝦蟹類之運動棲息，紅樹林、水筆仔等珍貴植物保育之用水

1. 河川水理特性分析

河川水理特性包括流量、流速、水深、坡降、潮汐及斷面變化等。流量是最主要的水理特性，因為流速、水深、潮汐水位及渠道斷面等均與其相關，如果河川之平均流量或枯流量較小，代表其稀釋作用能力較弱，故可承受的污染量較低。流速、水深及坡降與水體的混合作用有關，這些水理參數可直接影響水質特性，例如污染物的分解作用、再曝氣作用及光合作用等。感潮河川受海水漲退潮作用之影響，流速及水位之變化較非感潮河川複雜，鹽水之密度高於淡水，可能造成水質之分層現象。此外，大河川之主、支流交匯處，可能會有特殊流況之發生，所以均要特別注意加以考量。

針對水體的水理特性作研判，主要有以下四個考量的要點，瞭解後對評選水質模式有很大的幫助：

(1) 水理資料是否充分

若流量、流速、水深及斷面等資料充分，水質模式可考量不需具備水理運算功能，而直接利用現成資料計算水質參數，或是依模式要求之資料輸入，便可模擬河川水質。

(2)河段是否感潮

感潮河川之水理及水質特性較為複雜，所以有一些水質模式不能應用於感潮河川，又如果水理及水質特性隨時間之變化不大，則可考量進行潮平均之模擬，而不需採用動態水質模式。

(3)河水是否分層

此點乃係指模式維度之考量，分層包括垂直方向或水平方向。以感潮河段為例，海水與淡水密度之不同，使水質可能有垂直方向的分層分佈，此時為了確實掌握水質狀況，至少要採用二維水質模式。

(4)主、支流交匯情況

主、支流交匯處流況較複雜，例如可能有水平方向的二次流產生，此時便可考量用水平二維水質模式，有時更需採用具水理計算功能之模式。

2.河川水質特性分析

水質特性包括污染物種類、藻類生長、硝化作用及底泥成份等。雖然水質模式依模擬系統可分成溶氧模式、優養模式、毒性物質模式及地下水質模式等四種，但有一些模式可同時模擬兩種以上水質系統，所以應視水質特性選擇便捷的水質模式。基本上，為了便於決定

水質參數以及評選水質模式，水體水質特性有必要依以下四點進行研判：

(1)水質資料是否充分

水質模擬時，除了決定水質參數必須要有可靠的水質資料外，越複雜的模式進行率定，其所要求的資料就越多，所以水質資料是否充分，乃評選水質模式之要點。例如以動態水質模式進行感潮河川之水質模擬，必須要有時變的水質資料，以配合潮汐水理資料給定，模擬結果才能掌握住水質特性，如果資料不夠則應避免採用動態模式。

(2)藻類生長情形

河水中藻類(葉綠素)之多寡，除可用以研判水生植物之光合作用產氧量是否要考量外，某些地區甚至可能需進行優養模擬，所以此點可作為評選水質模式之依據。

(3)硝化作用是否明顯

硝化作用之過程會消耗溶氧，如果硝化作用很明顯，則必須妥善考量給定硝化參數。

(4)瞭解底泥的成份

底泥需氧量之量測並不簡單，經由底泥成份之瞭解，除可決定底泥需氧量外，底泥中重金屬或毒性物質之含量，有助於提早發現一些尚未發生的水質問題。

(四)資料收集

在水質模式選定前，收集資料的目的是供評選水質模式之用，水質模式選定後，資料收集主要是為了提供建立水質模式之需，所以資料收集乃建立水質模式過程中，一個重要且隨時應進行的步驟。根據本研究所訂定之流程，水質模式之評選視水質模擬項目及水體特性而定，所以為協助評選得適當的水質模式，可由第(二)及(三)節瞭解要收集的資料有那些。

大致上，所需要收集的資料歸類為以下四項：

1.溫度資料

乃係指水溫或氣溫資料。水質應用上定 20 為標準水溫，許多水質特性會隨水溫改變，所以要利用水溫資料來修正水質參數。如果無實測水溫資料，氣溫資料可作為一個給定之參考基準。

2.水理資料

包括流量、水深、流速、渠道坡度、通水斷面積及潮汐流況等資料。流量資料主要是可用來推估設計流量，並可藉由迴歸分析求得其他水理參數，以供作水理模式之輸入資料。水質模擬時，水深、流速、渠道坡度及通水斷面積主要是用來推估水質參數，對於不具水理運算能力之水質模式，這些水理參數被要求直接輸入以計算水質參數，或是使用者計算得水質參數後，再輸入水質模式。潮汐流況之水流較複雜，許多公式之選用必須視感潮與否而定，所以必須加以觀測。另外，河水水是否分層及主支流交匯之流況，亦要一併予以觀測及注意。

3.水質資料

水質參數、係數及實測水質資料之收集，乃為進行水質模擬不可缺乏的步驟。本研究有介紹如何量測及計算水質參數與係數，但若以往有作過相關研究之資料，可收集以作為參考，主要的BOD-DO模式參數包括延散係數、再曝氣係數、底泥需氧量及去氧係數等。實測水質資料主要供模式率定之用，收集的資料內容視選定的水質模式而定，未確定水質模式之前，平時可依水質標準所規定的水質項目，建立完善的水質資料庫以供隨時取用。

4.污染源資料

水質模式要求輸入污染源資料，主要包括污水流量及污染負荷量。以BOD-DO模式而言，污染源可能來自家庭、都市污水、工業廢水或農業放流水等，這些資料反應出水體承受之污染特性。通常模式所指的污染負荷為污染源中的BOD含量，若有考慮水體的硝化作用，則污染負荷應再包括污染源中的氨氮含量。污染源有分點源及非點源兩種，一般水質模式主要可模擬點源污染，若欲考量非點污染，則評選時要留意模式是否具備此功能。

(五)水質模式之評選

自然界水體之運移及物化反應過程複雜，會隨時間及空間之不同而有所差異，所以水體特性無法完全以方程式代表，故於水質模式開發時，通常會依水體之特性及模擬的水質項目，作一些學理上的假設以簡化模式架構。由於每個模式可模擬的水體特性及水質項目不盡相

同，所以進行水質模前，必須先就水體特性、水質模擬項目及資料之多寡等因素加以考量，選定適合的水質模式再予以應用，如此才可避免於實際模擬時遇到各種難題。

先前的三個步驟主要的目的在協助評選水質模式，所以在此將之綜合歸納，得到以下七點可作為評選水質模式之依據。

1.可模擬項目之確認

確認要模擬的水質項目是否包括於模式之可模擬項目之中，例如BOD、DO、藻類、硝化作用及養份(氮及磷系統)等。

2.是否具有水理計算功能

如果已有完整的水質資料，可直接輸入水質模式或另進行水理模擬，則水質模式可不用具備水理計算能力。

3.適用水體之考量

考量模式可模擬之水體，例如湖泊、水庫、海口等。至於模式是否要求可適用於感潮河川，視模擬水體之特性或模擬目的而定。

4.維度的考量

模擬維度越多需要輸入的資料越多，模式架構及輸入格式越複雜，視水體特性及模擬目的考量模擬之維度。

5.污染源之特性考量

主要指模式對點源與非點源污染之模擬功能。大部分水質模式直接輸入污染物負荷，以考量點源之污染，但支流排入之污染因隨其流量而變，如果以點源的方式考量，無法反應出其污染量隨時間變化

之特性，故對於大河川之支流流量大時，應以輸入污染物濃度考量為較佳，至於模式內部其實仍以污染之量考量。

6.繪圖功能之考量

為了便於模式率及觀察模擬結果，模式最好具有繪圖輸出功能，但此點非屬必要。

7.模式操作之難易度

許多模式由國外引進，可能無詳細的使用手冊或中文說明書，而造成對模式之不瞭解及參數給定的困擾。另外，模式是否提供單位換算功能，而不需使用者自行逐一轉換再輸入，此點有必要加以考量。

(六)河川分段

天然河川渠道變化極不規則，水質模式為便於運算處理，必須將模擬河段依水理、水質特性及模擬目的予以分段，才可使各段落之特性行為能為水理及水質參數所代表。當河道流況特殊(如橋樑、彎道或陡坡)或有大支流匯入時，對水質模擬之結果會有很大的影響。當進行河川水質規劃時，利用水質模式之目的為模擬河川水質，以瞭解河川水質之現況及未來變化。因此，對於有污染源排入、水質變化特殊、水質資料較完整及易於觀測與特別目的要求之地點應予以區分，以便於模擬所得之資料，能確實提供作分析及決策之用。

一般而言，水質模擬為求模擬結果與真實水質狀況易於比較，

可依下列原則對河道進行分段：

1. 水理特性有顯著變化之處。
2. 主、交匯之處。
3. 橋樑或有實測水質資料之觀測點。
4. 污染源排入之處。
5. 每個段落之長度不宜過長，通常盡量不超過2公里，尤其下游河段應在1公里以內。

河道劃分完成後，配合推估得之排入污染負荷量及污水流量，在實測或設計流量與溫度下進行水質模擬，模擬結果除可作為驗證參數之外，亦可瞭解、預測水體水質狀況與特性。

(七)參數之選取

進行水質模擬時，主要輸入的參數包括設計溫度、設計流量、飽和溶氧量及水質參數與係數。一般而言，參數之選取著眼於必須有完整的資料，再依據水體特性選用推算公式，才能得到理想的參數值。

1. 設計溫度

設計溫度之決定應視模擬目的而定，率定模式時則輸入實測水溫。以河川DO濃度而言，規劃及防治河川水質污染時，設計溫度越高代表水質之要求較高。設計溫度沒有固定的決定準則，通常視水溫記錄或氣溫資料而定，一般大約為26 或27 。

2. 設計流量

美國設計流量有採Q75及7Q10兩種，不管採用何種設計流量，詳細而完整的流量記錄不可缺少，尤其不具備水理計算功能的水質模式，設計流量通常左右模擬結果。

3.飽和溶氧量

飽和溶氧量與水溫、河水鹽度及水面壓力有關，資料量測及收集時，應注意將此三者納入考量。由於大部分污染以河川下游較嚴重，而河川下游靠近海平面，所以壓力可以假設等於一大氣壓，至於水溫及河水鹽度因量測容易，所以一般水質資料通常都有包含，所以飽和溶氧量之計算較無問題。雖然並非所有水質模式均要求輸入飽和溶氧量，但由於其直接影響DO模擬之結果，所以要確實推算不可任意給定。

4.水質參數

在水質模式中，水質參數代表水體水質之行為，所以如果能正確的估算得水質參數值，模擬之結果將可充分反應出水質特性。

(八)模式之率定

水質模式選定後，依所需之參數及資料輸入模式，必須再經模式率定才可實地應用，所以模式率定是建立水質模式的最後一個步驟。簡言之，模式率定乃係指藉由調整水質參數或係數，使實測水質資料與模擬結果比較，兩者差異小而模擬結果可被接受之過程。

一般水質模式之率定方法，有優選法及試誤法兩種：

1. 優選法

此法須水質模式另配合優選模式才可進行，優選模式中有定義一作業函數(performance function)，此函數代表優選效益值，當效益值達到要求之標準，水質模式才算率定完成。作業函數由使用者依認定的效益訂定，例如模擬值與各觀測點實測值之總差異量，可被定為一種負面的效益，作業函數即以數學式用來表示其間之關係，此負面的效益若小至某種程度，而可為使用者所接受，則水質模式即可告率定完畢。

優選法率定模式之過程，乃先將水質資料及推算得到之水質參數輸入水質模式，當水質模式模擬後輸出結果，由優選模式來判斷是否滿足標的效益，若不滿足則調整模式參數繼續重新模擬，如此循環直至達到要求之效益為止。此法除定義作業變數不易外，如何結合水質模式及調整水質參數，均為不易解決的問題，所以應用上較少使用。

2. 試誤法

試誤法率定水質參數，可簡單分為以下六個步驟：

(1) 確定率定之水質參數

針對模擬項目之不同，模式所需率定之參數對模擬結果之重要性亦有輕重之分，尤其各種水體之水質特性變化極大，某些參數可能在模擬時不予以考慮，所以就不需加以率定，此對模式率定過程而言，可節省許多時間及收集資料所耗費之人力。

(2)決定初始水質參數

由經現場或實驗室量測進而推算得之水質參數，因模式架構及理論假設之關係，輸入模式後模擬結果與實測資料不夠接近，故才有模式率定之必要。而因模式乃是在符合現狀況下開發出來的，所以現場量測得之水質參數應與適當的模式參數值相差不多，否則應代表模式不適用，故初始水質參數其實即現場或實驗室量測得之水質參數。

(3)選取率定模式之實測水質資料

如果模擬區域之實測水質資料充分，則可選擇多場資料用以確實率定參數，但因流況的變異性及採樣的時機與誤差等因素，並非所有實測水質資料均適宜用來率定模式。由於集污區污染流達量乃根據各項污染源推估得到，如果此污染流達量推估正確，則沿模擬河段之污染流達量，排入水體應會形成濃度高低不等的分佈。污染流量達量輸入模式後，各段落濃度視其污染負荷量與上游濃度而定，所以模擬結果會與污染流達量濃度分佈一致。因此，實測水質資料之濃度分佈，若與污染流達量濃度分佈之趨勢相同，才是適當的率定模式之實測水質資料；反之，則不應選定以率定模式。然而，如果大部份實測水質資料之濃度分佈趨勢，均與污染流達量濃度分佈不一致，則可能污染流達量之推估有誤。

(4)進行水質參數之敏感度測試

由於操作者可能不具理論背景，所以當模式參數過多時，無法有效及快速地決定要調整那一個水質參數，使模擬結果能迅速逼近實測資料，故率定模式前可先進行水質參數之敏感度測試，以瞭解參數對模擬結果之敏感程度，以作為率定模式時調整參數之依據。水質參數之敏感度，乃係指增加或減少參數某定量百分比(通常為10%或20%)，觀測模擬項目之變化尺度，由於每次只調整單一參數，所以由變化尺度之大小，即可瞭解各參數對模擬結果之敏感程度。

(5)檢定水質參數

初始水質參數輸入模式後，可進行各種流況之水質項目模擬，模擬之結果並與相同流況之實測水質資料比較，以調整找到適當的各段落水質參數。水質參數之檢定主要係調整參數，使模擬結果逼近實測水質資料，由於用以率定模式之實測水質資料有先經過篩選，所以模擬結果與實測水質資料之分佈應趨勢會一致，故可由上游向下游針對較敏感的參數進行調整，使模擬結果迅速逼近實測水質資料，再作其他參數之細部調整，最後找到適當的各段水質參數。

(6)驗證水質參數

當經由參數之檢定使模擬結果逼近實測水質資料後，並非代表所有流況之水質，都可以利用此組檢定得之參數加以模擬，必須另外找到數場實測水質資料來進行水質參數驗證。驗證水質參數之目的，乃希望率定後之參數可適合於各種流況之水質模

擬，所以並非檢定之結果良好即可，有時最佳之水質參數組合，其檢定之結果並非最好。而唯有同時通過參數檢定與驗證過程，參數才可算完成率定。

模式率定過程其實要靠理論觀念及經驗，對於BOD-DO模式應用於台灣地區，可先自行模擬鹽份分佈(保存性物質)，以率定得河川延散係數，再曝氣係數、底泥需氧量及光合作用產氧量通常直接以適合的公式計算，而最後便只有去氧係數需率定。至於參數率定時要增加或減少，就必須靠理論觀念判斷，例如DO模擬結果過低，可提高再曝氣係數或減少去氧係數，以提升DO模擬值。

十六、模式應用程序

模式應用程序分三階段，第一階段為模式方法發展、資料收集及模式輸出及結構，第二階段為模式校正、驗正及率正，第三階段為監測、事後審核使用替代方案分析，模式應用程序如圖 13，在發展模式方法考慮因素為模式發展目的，模式技巧的知識，了解被模擬問題，模式需那些資訊來配合，模式所需資料庫運用數據是否足夠。

模式之應用程序分四大類 1.控制程序 2.時間尺度 3.空間尺度 4.模式檢試，模式應用組成架構如圖 14，其中控制程序如圖 15，包括模入資料如時間系列空間和景觀、承受水體、數學應算如景觀、集水區模式及承受水體模式輸出資料包括時間序列等。時間尺寸要在集水區模式選擇具代表性時間間段如乾季、濕季及重要時點，另要選擇具代表性時間階段，如長期平均、短期日和小時平均及相對比較分析。時間尺寸度在承受水體模式亦要選擇具代表性時間，另選擇具代表性階段為考慮模式步驟如優養化及沈澱機制及能相對比較分析。高間尺寸考慮為流域負荷評估計畫發展及完成，污染控制設計，河川水質傷害及分析及水資源最佳化管理完成信用。空間尺度在集水區模式分為如個集水區加以水資源最佳化管理措施如圖 16。

圖13 模式應用程序

圖14 模式組成架構

圖15 模式控制程序

圖16 集水區模式分為數個次集水圖關係圖

空間尺度在承受水體模式可分為1.2.3.模式應用如圖17，維模式應用為較少之橫向之變化，較少或無垂直方向分層，無死角循環區域，適用在有較好混合河川。二維模式應用為有方向變化，較少橫方向分層，複雜水平循環模型，適用在較淺混合良好湖或河口。三維模式應用為有橫向方變化，垂直分層存在，複雜水平及垂直循環，要適當水平與垂直數據供模式校正之用，適用在深湖泊寬廣混合較差海口。

圖17 1.2.3.維模式應用

數據收據包括1.地理位置數據如河川流域網、土地利用、土壤分類、集水區邊界地形圖、水質及生物監測站位置、氣象站位置、設備位置圖、廢棄物位置、開挖或廢棄礦產設備，水庫位置2.監測數據如河川橫切面率光曲線、水庫體積、表面積、排放特性及水深量測、流量連續資料及尖峰資料，氣象連續記錄、降雨、溫度、風速、濕度、露點、蒸發、太陽輻射、水質之化學、生物及沈澱數據等，3.土地行為及活動如冰點之源最佳化管理，廢棄物棄置、農業行為像穀物、牲畜、肥料經營、殺蟲劑利用、自然資源像木材砍伐、探礦等。

去支持校正建議所需監測包括測站空間分布，瞬間的監測、河川流量、優養化模式校正資料、病原模式校正資料、溫度模擬資料、沈澱傳輸模擬資料。

模式測式中校正所需資料為可利用監測資料，有關之區域，水文範圍及與水質相關情形，對驗正所需資料為獨立時間區間、不同位置，可利用監測資料校正所驗與時間關係如圖18，校正與驗證地點選擇圖如圖19，模式結構在集水區模式考慮關鍵因素為適當排水面積，經過研究面積水文情形變化土地利用分類排列，模式結構水利變化如圖20，模式結構土地利用理想狀況之技巧為監測獨立土地利用子集水區，從附近監測資料利用，從一地區外插至另一地區（根據不透水區域），模式結構理想狀況如圖21。

圖18 模式校正與驗正時間關係圖

圖 19 模式校正與驗證地點排列

圖20 模式結構水利變化圖

圖21 模式結構理想狀況

模式中流量校正分析考慮因素包括每年水平衡，季節分佈暴雨流量，基礎流量及水文成分分佈，其中比較方法包括，時間比較校正曲線如年平均、月平均、星期平均、日平均及小時平均、流量一頻率曲線圖、線型迴歸方程序式曲線及統計比較。平年均校正圖如圖 22，小時校正圖如圖 23，流量一頻率校正圖如圖 24，月及星期線型迴歸校正曲線如圖 25。

圖 22 模式年平均校正圖

圖 23 模式小時平均校正圖

圖24 模式流量一頻率校正圖

圖25 模式月平均及星期平均線性迴歸

水文校正時經常出現不準確情形如圖26,解決對策包括1.從代表性氣象站取得降雨資料2.從特殊期間仔細審查降雨和流量資料。

圖26 水文校正因雨量站不具代表性之不準確圖

圖27為較少蒸發傳輸導致模式不準確性,解決之法為1.增加深層滲透損失2.增加蒸發傳輸3.檢查流量轉換並未包括在此模式中。

圖27模式校正之水文蒸發傳輸較少不準確圖

圖28為地面坡度非準確之校正偏差圖，解決對策包括調整地面流量之坡度2.調整地面粗糙係數

圖28 水質模式校正因地面坡度偏差之不準確圖

圖29為太高表面逕流之校正偏差圖，解決對策包括1.調整滲透2.調整混合流。

圖29 水質模式因太高表面逕流之不準確圖

水質校正分析考慮因素為年平均負荷，季節變化在暴雨時之濃度，混合流和地下水成分，來源供獻，相同應用流量校正作比較方法，圖30為模式於暴雨時未反應於集水區中，解決對策為確實比較模擬與觀察之流量。

圖30 水質模式校正因暴雨期未反應之不準確圖

圖31為模式連續高估尖峰時水質濃度，解決對策為從來源調整污染負荷參數。

圖31 水質模式連續高估尖峰時水質濃度不準確圖

圖32, 33分別為模式模擬水質濃度圖

圖32 模式模擬溶氧濃度圖

圖33 模式模擬氨氮濃度圖

十七、總量管制應用實例說明

密西根 Macatawa 湖特性，總湖面積為 1,780 英畝集水區面積 114,560 英畝，平均水深 12 英呎，最大水深 40 英呎，資料顯示此湖有優養化狀態，有高的磷含量及高的葉綠素 a，較高濁度、低溶氧及高的沈澱物，有 44 個點源污染水源區，非點源污染佔 91% 總磷之比例。

取樣分別在 84 年、85 年及 86 年，分 5 站，取樣分表面、底層及中間深度，共分總磷、硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨、懸浮微粒、總溶解固體、深綠素 a 為整個深度皆量測另在 5 英呎深度增加監測透明度、溫度、溶氧、電導度及酸鹼質，流域圖如 34。

圖 34 密西根 Macatawa 流域圖

指定用途為水生動物生活及遊憩，整治目標為達到0.5mg/L總磷標準，集水區測站共44站每月2次，6個自動濕季測站，使用USGS儀器每天測流量，測站分佈圖如35。

圖35 密西根Macatawa流域總量管制測站位置圖

建立總量管制從模式考慮有選擇 BATHTVB, GWIF, AGNPs, SWAT, SWMM, HSPF，從中選擇最適模式為HSPF，而考慮選擇分析程度時如污染負荷分配必須斟酌污染源價值，總量分配、經費及可交換性，總量分配時對環境危害影響，必須考慮本身可承受之因子如可利用數據，可利用時間等等詳如圖 36。

圖36 總量分析時考慮因素

模式考量所需資料為水庫進口之磷濃度，根據以下基礎，所得水庫歷史平均磷濃度如圖37。

1. 每年磷負荷
2. 水利停留時間
3. 平均水庫深度

圖37 水庫歷史平均磷濃度

模式不確定因素如下：

- 1.密西根水庫入侵
- 2.密西根水庫熱邊際效應
- 3.大的流量導致磷繞流
- 4.上游濕地可能移掉總磷

污染負荷在此案，可分為非點源污染及點源水污染，非點源污染估計方式如下：

- 1.評估每天負荷
- 2.根據化學偵測及6個自動測站監測
- 3.找尋最適分層
- 4.估計79%排放面積

另未評估到排放面積以平均年負荷來外插，經評估結果，總負荷約126,100lbs。點污染源估計方式主要從44個點源而得，估計每年負荷為12,418 lbs，目前可允許負荷量為33,839 lbs/year，而在夏季點源佔總污染量具較高比率。

經模式評估本案總量分配如下：

- 1.總量管制分配污染負荷量為55,000 lbs/year
- 2.點源分配污染負荷量為20,000 lbs/year
- 3.非點源分配污染負荷量為35,000 lbs/year

此項負荷量包括72%在非點源之削減及自然背景上

- 4.安全係數並不直接故未考慮

本總量管制之完成階段根據模式評估預計以非點源最佳管理計畫 (BMPS)可減少75%污染負荷，另當地地方策略及計畫須由地方政府來完成。

再確認計畫如下：

- 1.預計於西元2008年再確認
- 2.評估是否已達水體水質標準
- 3.0.50mg/l 總磷濃度為目標
- 4.較早再確認為達以下標準
 - (1) 每年負荷減少90,000 lbs/year
 - (2) 磷濃度達到水體水質標準

十八、總量管制模式應用實例

➤實例 1

(1)美國馬里蘭州Lower Beaverdam Creek集水區

以下案例應用BASINS於美國馬里蘭州的Lower Beaverdam Creek集水區，於BASINS整合土地利用、河川、氣象、水質等資料，並利用NPSM非點源污染模式模擬集水區水質情況,進一步推估集水區內污染總量分佈情形。

Lower Beaverdam Creek集水區面積約9753acres，主要土地利用型態包括住宅與工業區(74%)、林地(22%)、農業(3%)等，由於集水區內高比例的不透水土地型態，極有可能因雨水逕流造成非源污染。

BASINS的應用模擬可分為三個階段，分別為資料蒐集彙整、模式校驗、及結果輸出。BASINS模擬需使用土地利用、河川、集水區邊界等GIS資料，Lower Beaverdam Creek集水區GIS如圖38(土地利用)及圖39(集水區範圍)所示，圖中Lower Beaverdam Creek集水區被細分為25個子集水區，子集水區劃分可利用BASINS Watershed Delineation Tool依數值高程資料完成。另外，當地氣象資料亦經由BASINS氣象檔編寫工具製作為氣象檔，以模擬連續時間之水質變化。

此案例以、BASINS中NPSM非點源污染模式進行模擬，NPSM可根據降雨、溫度、土地利用型態、和土壤特性作為基本輸入資料，模擬水量、水質隨時間變化情形。首先以實測流量資料，包括集水區出流點流量、高-低流量分佈型式、暴雨流量、流量季節變化等資料進行水文參數率定，率定結果如圖40至圖41所示。水文模擬完成後，再以實測

水質資料進行水質模擬及水質參數率定，模擬項目包括BOD、總磷、總氮及鋅、鉛等重金屬，模擬污染物濃度隨時間之變化情形結果如圖42至圖44所示。

根據水質模擬結果，BASINS可進一步配合各子集水區土地利用型態及面積估算各子集水區年污染輸出量，如圖45至圖49所示，由此即可分析Lower Beaverdam Creek集水區年單位面積污染負荷量，為decision-maker提供集水區規劃管理必要之資訊。

圖38 Lower Beaverdam Creek集水區土地利用

圖39 Lower Beaverdam Creek集水區

圖40 水文模擬率定結果

圖41 單場暴雨模擬率定結果

圖42 BOD模擬率定結果

圖43 總氮模擬率定結果

圖44 總磷模擬率定結果

圖45 鋅模擬率定結果

圖46 BOD年單位輸出量

圖47 總氮年單位輸出量

圖48 總磷年單位輸出量

圖49 鋅年單位輸出量

➤ 實例 2

Wright, *et al.* (1998) 利用QUAL2E模式模擬美國Blackstone River(如圖50所示), Blackstone River長0.2miles, 在計算上將其分25個reaches, 229個elements。模擬的項目有Flow, CBOD₅, TKN, Ammonium, NO₂+NO₃, Ortho-P, Chl-a及DO等, 模式與實測結果如圖51所示, 結果顯示吻合度良好。

圖50 Blackstone River及其集水區示意圖

圖51 模擬與實測結果

➤實例 3

Lung and Larson (1995)利用WASP5模式模擬美國Upper Mississippi River and Lake Pepin (如圖52所示), 從Lock & Dam No.1到Lock & Dam No.2分割成81分段(segment), 從Lock & Dam No.2到lake的出口分割成

80分段，每個分段長約4公尺。圖53為 Total P模擬與實測結果。

圖52 Upper Mississippi River and Lake Pepin示意圖

圖53 Total P模擬與實測結果

參、心得與建議

- 一、由於全國河川中高屏溪點源與非點源資料庫較為齊全，建議可以高屏溪為優先進行示範性總量管制之措施。
- 二、以各種不同模式進行不同河川測試以選擇較適當之適合模式。
- 三、發展非點源模式，且配合非點源加強宣導，目前管制非點源之營建工

地、工業已強制執行，未來可擴展到農業、社區及遊憩等不同之非點源污染防治發展。

四、點源已有許多成熟模式，然需配合總量分配，以達成功效，另下水道應需加強進行，方能使未來總量管制進行順利。

五、發展完善水質監測計畫以提供總量管制模式之校正、驗證及率定。

六、總量管制項目以目前模式可輸出項目如BOD、NH₃-N及T-P為未來總量管制之主要項目。

七、美國總量管制步驟已從有機物如Nitrogen、phosphate、COD、BOD，發展到以人造有機物PCB和重金屬如Hg，故模式應繼續修正，台灣目前尚未有總量管制方式，應加速腳步，急起直追，以使總量管制模式落實在水污染管制中，使水質更加清澈。

八、國內目前僅使用單一模式且多為河川或水庫數學模式，為考慮水質集水區及承受水體三者合一再加上總量分配為一總合總量模式，此乃台灣水污染管制當務之急。

九、模式校正及驗證都需大量監測資料，目前台灣所有較齊全資料多集中於水質數據，對於集水區GIS資料尚缺乏，故應盡速建立集水區資料以達模式在總量管制之應用。

十、台灣應立即著手作總量管制(相差美國有20年以上)初步工作，包括加強立法、總量管制制度宣導、建立，集水區資料建立以迎項趕上先進國家(如美國)水污染管制工作。

十一、模式一般都相當複雜，在模式建立時應建立一套民眾參予總量管制

模式應用之機制，以在總量管制工作上，所受阻力較少，讓民眾對總量管制模式一同參予，以增加總量管制之支持度及接受度。

十二、國內應發展整合模式如BASINS〔FSPA+QUALE+ MODULE(消減模組)〕及Warmf模式以整合點源及集水區非點源污染進而以一MODULE(模組)進行污染負荷消滅，運用在總量管制上，如僅發展點源或非點源水污染模式，此方向是質疑且較為不適用的。

十三、點污染之總量管制在下水道系統尚未建立及國內自動監測系統尚未成熟時，實施上較先進國家困難，如何在此困境下訂定一個適當地總量管制策略是決策者與研究者的一大挑戰。若以近期之可能發展情形而言，初期宜以事業廢水為進行總量管制之主要對象，在監測系統未建立前，可配合排放許可制度及徵收排放費進行總量管制。

十四、在進行非點源污染分析時，往往需要借重數學模式協助進行，然而目前並沒有通用的本土化非點源模式，雖然美國已有相當多的模式或估算程序，但因國內特性坡度、土壤特性、雨量強度、污染特性均與國外不甚相同，應用於國內情形時，會有估計量達數倍誤差之結果，有必要探討各模式之適用性，進一步將其本土化。並配合不同工作需要，分別發展準確度、難易程度、複雜程度不同之模式，尤其是國內基本資料不全，故應加強資料收集、建立及完整性，以發展一個適當模式，應用於總量管制非點源模式之分析工作。

集水區總量管制模式應用

目 錄

摘要	1
壹、考察內容	
一、集水區總量管制之介紹	2
二、集水區總量管制對象訂定及排序	3
三、集水區總量管制點源及非點源探討	5
四、美國集水區總量管制法令及管制程序	7
五、總量管制分配方式	12
六、總量管制模式發展及介紹	14
七、總量管制模式篩選及應用	26
八、總量管制模式之率定	53
九、總量管制模式應用	57
十、STREAM及ESTURY模式探討及應用	61
十一、QUAL2E及WASP5模式探討及應用	63
十二、AGNPS和SWMM模式探討及應用	74
十三、GLEAMS和HSPF模式探討及應用	86
十四、BASINS和WARMPF模式探討及應用	92
十五、總量管制水質模式之建立	101
十六、總量管制模式應用程序	119
十七、總量管制應用實例	132
十八、總量管制模式應用實例	137
貳、心得與建議	148
參、參訪照片	150
肆、附錄	156

表目錄

表1	Evaluation of Model Capability-simple Models	21
表2	Evaluation of Model Capability-Mid-Range Models	22
表3	Evaluation of Model Capability-Detailed Models	23
表4	Evaluation of Capability-Hydrodynamic Models	24
表5	Evaluation of Model Capability-Steady-State water quality Models	25
表6	A Descriptive List of Model Components-Simple Methods	29
表7	A Descriptive List of Model Components-Mid-Range Methods	30
表8	A Descriptive List of Model Components-Detailed Methods	30
表9	Input and Output Data-Simple Methods	31
表10	Input and Output Data-Mid-Range Models	32
表11	Input and Output Data-Detailed Models	33
表12	Input Data Needs for watershed Models	34
表13	Range of application of watershed Models-simple Models	35
表14	Range of application of watershed Models-Detailed Methods	35
表15	Range of application of watershed Models-Detailed Methods	36
表16	A descriptive List of Model Components-Hydrodynamic Models	38
表17	A descriptive List of Model Components-steady-state water Quality Models	39
表18	A descriptive List of Model Components-dynamic water Quality Models	40

表19	Input and Output data-hydrodynamic Models	41
表20	Input and Output data-steady-state water quality Model	42
表21	Input and Output data-dynamic water quality Model	43
表22	Range of application-hydrodynamic Models	44
表23	Range of application-steady-state water quality Models	44
表24	Range of application-dynamic water quality Models	45
表25	A descriptive List of Model/technique components-habitat assessment techniques.	46
表26	A descriptive List of Model/technique components-species /biological community Assessment techniques	47
表27	Input and output-habitat assessment techniques	48
表28	Input and output-species/biological community assessment techniques	50
表29	Range of application-habitat assessment techniques and Models	52
表30	Range of application-species/biological community assessment techniques and Models	52
表31	主要非點源模式比較	59
表32	EYROS的八十系統及難度分級	70
表33	WASP與其水質模式比較表	71
表34	Comparison of warmp and basins Models	100
表35	水體用途及用水項目	105

圖目錄

圖1	美國河川集水區總量管制流程圖	11
圖2	Overview of Models	20
圖3	Principal Components of Modeling framework	56
圖4	SWMM程式模組架構	80
圖5	CLEAMS 模式氮循環圖示	88
圖6	GLEAMS 模式磷循環圖示	89
圖7	HSPF模式之視窗介面圖	90
圖8	水文傳輸圖	91
圖9	BASINS 模式介面圖	94
圖10	BASINS 網站之網址	95
圖11	BASINS 提供服務圖	95
圖12	ERECTION of Water quality Model	102
圖13	模式應用程序圖	120
圖14	模式組成架構圖	120
圖15	模式控制程序圖	121
圖16	集水區模式分為數個次集水區關係圖	121
圖17	1.2.3維模式應用圖	122
圖18	模式校正與驗正時間關係圖	124
圖19	模式校正與驗證地點排列圖	124
圖20	模式結構水利變化圖	125
圖21	模式結構理想狀況	125
圖22	模式平均校正圖	126
圖23	模式小時平均校正圖	126

圖24	模式流量一頻率校正圖	127
圖25	模式月平均及星期平均線性迴歸圖	127
圖26	水文校正因雨量站不具代表性之不準確圖	128
圖27	模式校正之水文蒸發傳輸較少不準確圖	128
圖28	水質模式校正因地面坡度偏差之不準確圖	129
圖29	水質模式因太高表面逕流不準確圖	129
圖30	水質模式校正因暴雨期未反應之不準確圖	130
圖31	水質模式連續高估尖峰時水質濃度不準確圖	130
圖32	模式模擬溶氧濃度圖	131
圖33	模式模擬氨氮濃度圖	131
圖34	密西根 Macatawa 流域圖	132
圖35	密西根 Macatawa 流域總量管制測站位置圖	133
圖36	總量分析時考慮因素	134
圖37	水庫歷史平均磷濃度	134
圖38	Lower Beaverdam creek 集水區土地利用	138
圖39	Lower Beaverdam creek 集水區	139
圖40	水文模擬率定結果	139
圖41	單場暴雨模擬率定結果	139
圖42	BOD 模擬率定結果	140
圖43	總氮模擬率定結果	140
圖44	總磷模擬率定結果	140
圖45	鋅模擬率定結果	141
圖46	BOD 年單位輸出量	141
圖47	總氮年單位輸出量	142
圖48	總磷年單位輸出量	142

圖49	鋅年單位輸出量	143
圖50	Blackstone river及其集水區示意圖	144
圖51	模擬與實測結果	144
圖52	Apper Mississippi riverand lake pepin示意圖	145
圖53	Total P模擬與實測結果	146