

附件一 各項河川水質模式使用指南

BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) 與 HSPF (Hydrological Simulation Program Fortran) 模式 使用指南

一、模式介紹

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，包括 QUAL2E/QUAL2K、HSPF、SWAT 及 PLOAD，藉由外掛 HSPF 演算非點源污染，可模擬集水區內之水量及水質變化情形。以下對 BASINS 及 HSPF 模式作一介紹。

BASINS

(一) 模式發展

BASINS 全名為 Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources，為美國環保署 (USPEA) 於 1996 年發展結合 GIS 軟體與數值模式來作為環境保育、分析的工具分析系統，此系統結合 GIS、集水區資料庫、多種水質模式及評估工具。

BASINS 是以集水區的範疇為概念，將集水區資料及評估總量管制 (TMDL) 所需之點源及非點源污染分析，整合於內建 GIS 平台的架構下，此綜合型模式適合進行總量管制 (TMDL) 之分析及分配計算，又因其非點源污染模式採用連續性的模擬方式，對於研擬有季節性變化之控制策略亦適合。

(二) 模式架構

BASINS 的操作畫面如圖 1，系統架構如圖 2 所示，其三大目標為：(1) 落實環境資訊的調查、(2) 進行環境系統的分析、及 (3) 提供評估管理方案的架構。

水質模擬評估工具包含點源模式 QUAL2E/QUAL2K，集水區模式

PLOAD，非點源模式 HSPF 及土壤水質作用之 SWAT。QUAL2E/QUAL2K (The Enhanced Stream Water Quality Model) 是一個完整且具彈性的一維、穩態河川水質模式，主要用於模擬河川系統在受點源污染排放下，河川水體中各種生化反應過程及水質變化情形；PLOAD (Pollutant Load) 是一個簡單的集水區負荷量估算模式，利用輸出係數 (Export Coefficient) 估算子集水區每年非點源之平均污染負荷量；HSPF (Hydrological Simulation Program – Fortran) 及 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 則皆為可連續模擬之集水區模式。同時也提供一些資料處理的輔助工具，包括集水區手動或自動切割工具、後處理程式 GenScn (用於WinHSPF及SWAT)、以及氣象資料檔製作管理程式 WDMUtil 等。另有三個評估工具，ASSESS 評估小範圍、TARGET 評估大範圍之水質與點源排放資料，Data Mining 為資料庫間之連結與篩選。

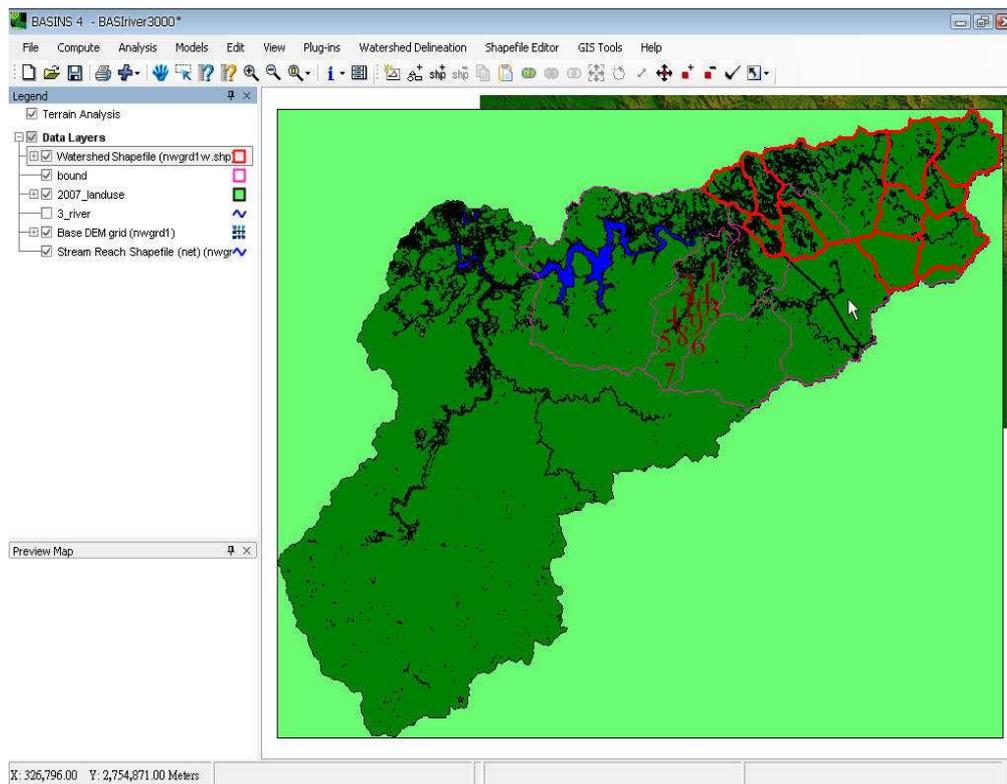


圖1 BASINS模式操作介面

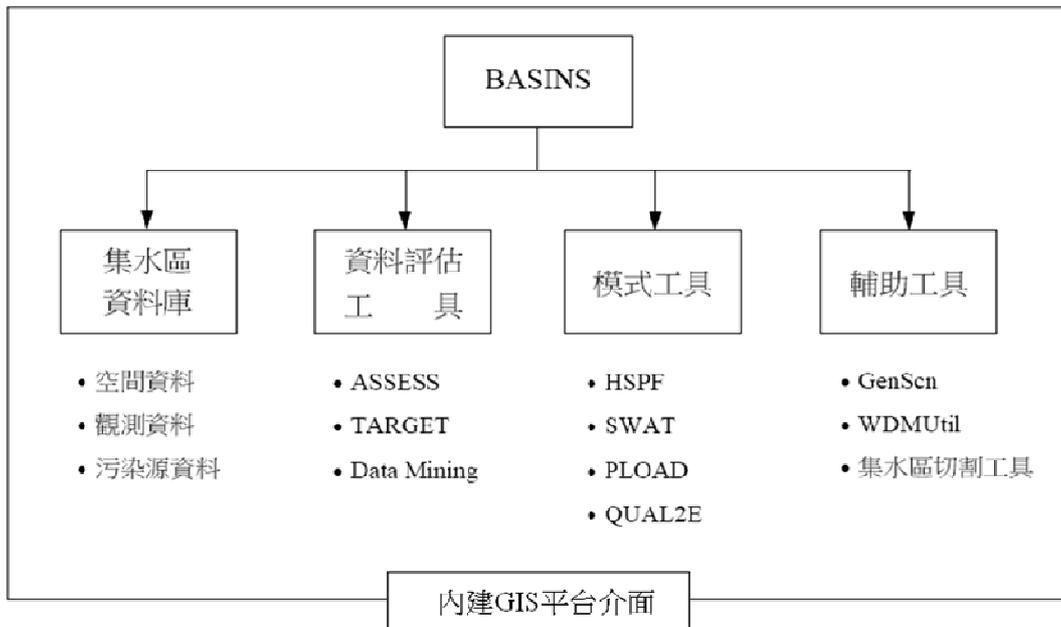


圖2 BASINS架構圖

利用 GIS 功能可快速將模式所需各項資料參數等轉換為模式所需資料，再連結所提供之數值模式進行模擬演算，其模擬結果可回到 GIS 系統功能介面進行成果查詢展示。

HSPF

(一) 模式發展

BASINS 非點源污染模式以 HSPF (Hydrological Simulation Program Fortran) 為主要架構。其為美國環保署 (USEPA) 與 Hydrocomp Inc. 所共同發展之模式，集合水文、水理、水質於一體，能夠連續模擬降雨逕流量、污染物負荷量、分析點源排放量及演算河道中流量與水質分布歷線。

(二) 模式架構

HSPF 模式中含有許多模組 (module)，經由模組的選取來模擬演算各項水理、水質或沖蝕參數。模式中分為三個部分，為 PERLND、IMPLND 及 RCHRES，分別代表集水區中的透水區、不透水區及河道之模擬。其架構說明分別如下。

1. PERLND 模組

PERLND 主要是在模擬滲透地區的水質與水量之相關反應程序，在 HSPF 中是最常被應用之的模組，可模擬水在漫地流、中間流與地下水流三種路徑下的移動過程。透過以下副程式（表1）之執行可計算 PERLND 透水區模組之水文、水理及水質。依據模擬需求不同所需採用之模組如表2。

表 1 PERLND 模組副程式功能

副程式	功能
ATEMP	校正不同高程時的溫度
SNOW	模擬冰雪的堆積和融化
AEM	依不同高程調整空氣溼度
SNOW	模擬冰雪的堆積和融化
PWATER	模擬透水區的降雨逕流
SEDMNT	模擬泥砂的生成及運移
PSTEMP	估算土壤溫度
PWTGAS	估算水溫和氣體溶解度
PQUAL	利用逕流和泥砂產生的關係模擬水質成分
MSTLAY	估算土壤的含水量及流量比例
PEST	模擬殺蟲劑的行為
NITR	模擬氮的行為
PHOS	模擬磷的行為
TRACER	模擬追蹤劑的行為

資料來源：Bicknell,B.R., Imhoff,J.C., Kittle,J., Donigian,A.S., and Johansen,R.C., Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 11*, U.S.EPA, Environment Research Laboratory, Athens, GA, 1996.

表 2 模擬單元 (PERLND)

	Adjusted Air Temp	Snow	Basic Hydrology	Soil Erosion	Soil Temperature	Water Temperature	Dissolved Oxygen	Carbon Oxygen	General WQ	Pesticides	Nitrogen	Phosphorus	Tracers
ATEMP	●	◎ ³	○	○	◎ ³	◎ ³	◎ ³	◎ ³	○	○	◎ ³	◎ ³	○
SNOW		●	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○
PWATER			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
SEDMNT				●					● ²	●	●	●	
PSTEMP					●	◎ ¹	◎ ¹	◎ ¹		○ ⁴	◎ ¹	◎ ¹	
PWTGAS						●	●	●					
PQUAL									●				
MSTLAY										●	●	●	●
PEST										●			
NITR											●		
PHOS												●	
TRACER													●

● 必須
 ◎ 建議
 ○ 可選擇
 1 除非有觀測值或計算值可以取代否則仍然是需要的
 2 只有在欲模擬的物質與沉積物有關時才有效
 3 假如觀測站與模擬區域之間有高程上的差異，則建議使用 ATEMP
 4 當一階吸脫附被用來取代平衡 Freundlich 時需要使用 PTEMP

資料來源：USEPA, 1999, BASINS Technical Note. NO.3

圖 3 為 PERLND 的內容與架構，可以依據欲模擬的水質項目勾選模組，或是直接將該項模組加入。對於沒有模擬的項目則不需勾選加入，將會增加參數的數量與增加模擬所需的時間。

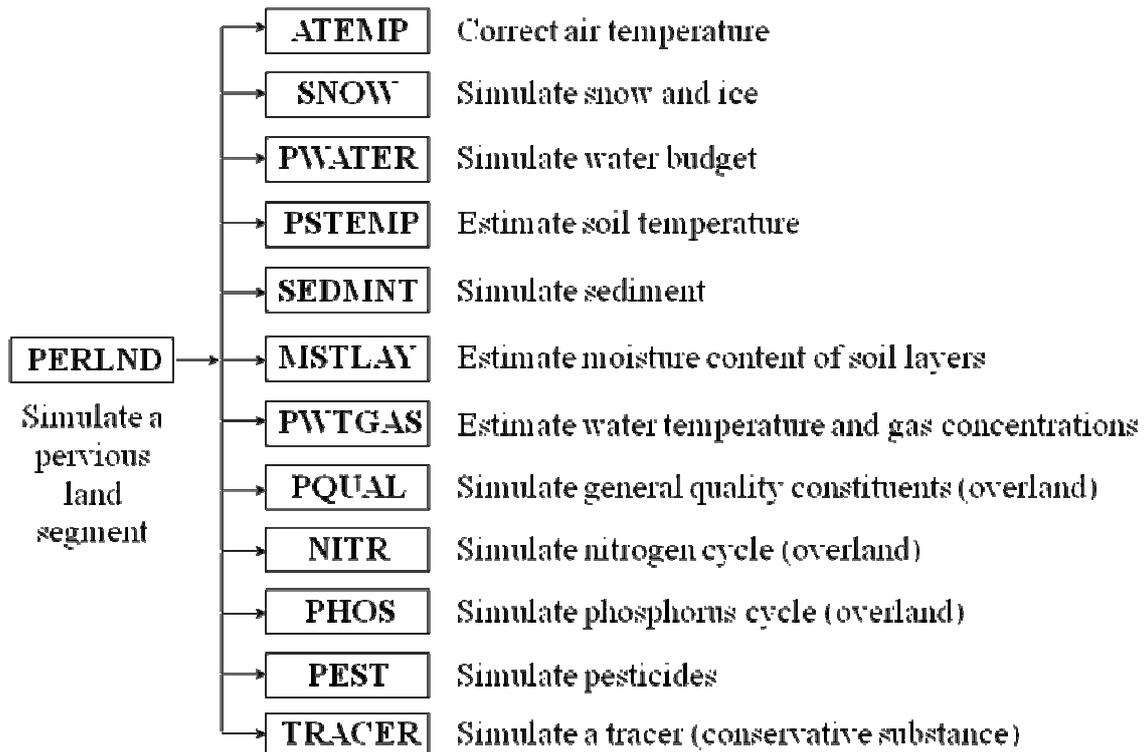


圖 3 PERLND 架構

資料來源：USEPA,1999, *BASINS Technical Note. NO.3*

2. IMPLND 模組

IMPLND 模組是應用於集水區中不滲透地區的模擬，主要是模擬只有少量的或是幾乎沒有滲透情形發生的地區，如都市地區。透過以下副程式（表3）之執行可計算 IMPLND 透水區模組之水文、水理及水質。依據模擬需求不同所需採用之模組如表4。

表 3 IMPLND 模組副程式功能

副程式	功能
ATEMP	根據不同高程來調整空氣溫度
SNOW	冰雪堆積和融化之模擬
IWATER	降雨逕流之模擬
SOLIDS	泥砂生成及運移之模擬
IWTGAS	水溫和氣體溶解濃度之估算
IQUAL	利用逕流和泥砂之關係來模擬污染物濃度

資料來源：Bicknell,B.R., Imhoff,J.C., Kittle,J., Donigian,A.S., and Johansen,R.C., Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 11*, U.S.EPA, Environment Research Laboratory, Athens, GA, 1996.

表4 模擬單元 (IMPLND)

	Adjusted Air Temp	Snow	Basic Hydrology	Solids	Water Temperature	Dissolved Oxygen	Carbon Oxygen	General WQ
ATEMP	●	◎ ²	○	○	◎ ²	◎ ²	◎ ²	○
SNOW		●	○	○	○	○	○	○
IWATER			●	●	●	●	●	●
SOLIDS				●				● ¹
IWTGAS					●	●	●	
IQUAL								●
◎ 建議 ● 必須 ○ 可選擇 1 只有在欲模擬的物質與沉積物有關時才有效 2 假如觀測站與模擬區域之間有高程上的差異，則建議使用 ATEMP								

資料來源：USEPA, 1999, *BASINS Technical Note*. NO.3

圖4 是 IMPLND 模組架構，模組中 ATEMP 與 SNOW 模組原件與 PERLND 模組的架構相同可共用，此部分的參數不需重新輸入與設定。其他模組是針對非滲透地區的模擬，如 IWATER 模組原件是評估不滲透地區的水文歷程，SOLIDS 則是模擬固體的累積量與移動，地表的水溫與氣體濃度是在 IWTGAS 中模擬，PERLND 與 IMPLND 模擬過程中不同之處是 SOLIDS 部分的評估，IMPLND 可模擬每場獨立暴雨事件都市的固態污染的累積量與移動過程，若需模擬這一項，模擬者必須設定固態污染累積率及移動量為隨時間而變化，以及推估在非滲透區域的固體沖刷的參數（類似在 PERLND 的 SEDMNT 的模組），並需提供潛能因子推估固體移動的要件。

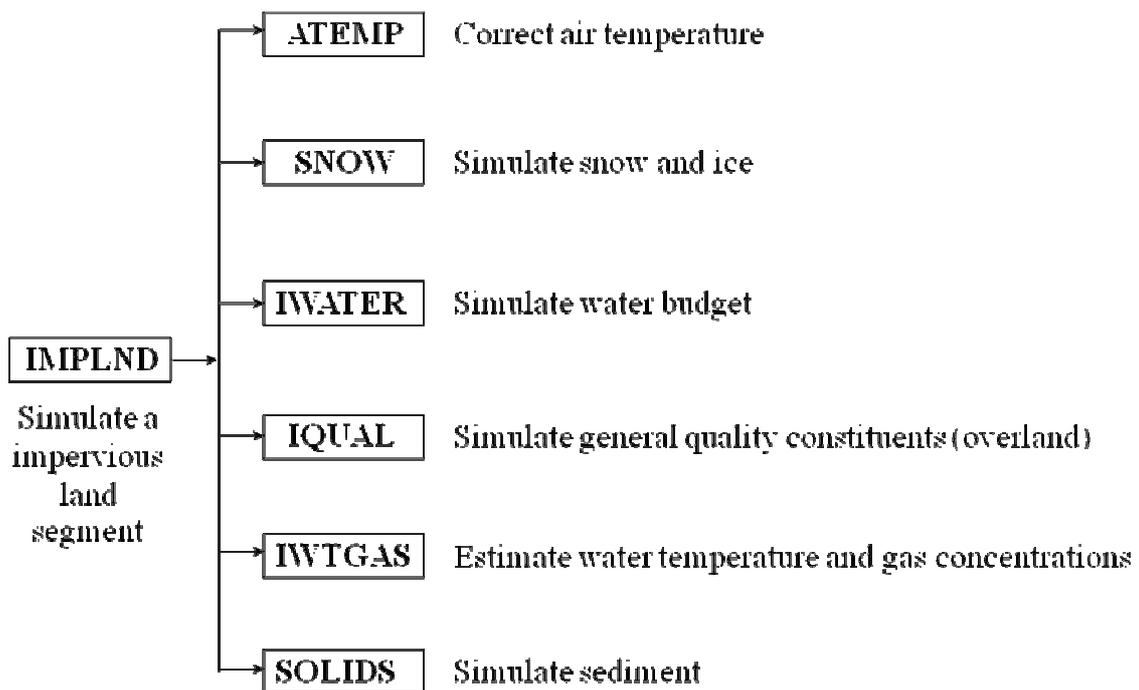


圖 4 IMPLND 模組之架構

資料來源：USEPA, 1999, *BASINS Technical Note. NO.3*

3. RCHRES 模組

RCHRES 模組可模擬入滲區與非入滲區流入河川中或水庫中的水質情形。此模組主要模擬明渠與暗渠或充分混合的湖泊。透過以下副程式（表5）之執行可計算 RCHRES 透水區模組之水文、水理及水質。

表 5 RCHRES 模組副程式功能

副程式	功能
HYDR	模擬水力情形
ADCALC	模擬以平流輸送物質
CONS	模擬保守性物質傳輸
ADVECT	模擬水中所有物質傳送
HTRCH	模擬熱交換與水溫
SEDTRN	模擬有機沈積物的行為
GQUAL	模擬一般水質項目
OXRX	模擬河道中 DO 與 BOD 濃度
NUTRX	模擬河道中無機氮與無機磷
PLANK	模擬浮游生物
PHCARB	模擬 pH、二氧化碳、總無機碳及鹼度

資料來源：Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J., Donigian, A.S., and Johansen, R.C., Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 11*, U.S.EPA, Environment Research Laboratory, Athens, GA, 1996.

依模擬需求不同所需採用之模組如表 6。

表 6 模擬單元 (RCHRES)

	Flow Routing	Conservative	Water Temperature	Sediment	General WQ	Pesticides	Dissolved Oxygen	BOD	Inorganic Phosphorus	Inorganic Nitrogen	Benthic Algae	Phytoplankton	Organic C, N&P	Zooplankton	pH	Carbon Dioxide	Total Inorganic Carbon
HYDR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ADCALC		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
CONS		●													◎	◎	◎
HTRCH			●	◎ ²	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
SEDTRN				●	◎ ³	◎ ³	○ ⁵	○ ⁵	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴	● ⁴
GQUAL					●	●											
RQUAL	OXRX						●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	NUTRX						○ ⁶	○ ⁶	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	PLANK						○ ⁶	○ ⁶	○ ⁶	○ ⁶	●	●	●	●	●	●	●
	PHCARB														●	●	●

● 必須
 ◎ 建議
 ○ 可選擇
 1 除非有觀測值或計算值可以取代否則仍然是需要的
 2 只有在使用 Toffaletti 法或 Colby 法計算泥砂傳輸時使用
 3 只有在模組模擬水質與泥砂有關使用，建議先分解作用使用說明考慮泥砂遮蔽變化
 4 非常建議在 NH₄/PO₄ 與泥砂有關時使用
 5 非常建議在 NUTRX 也使用時而且泥砂有關時使用
 6 非常建議在考慮全部營養和生物循環時使用

資料來源：USEPA, 1999, BASINS Technical Note. NO.3

圖5是 RCHRES 模組架構。HYDR 是主要在模擬河道水理的部分，ADCALC 模擬污染物質對流傳輸的原件，CONS 是模擬保守性物質，HTRCH 模組是模擬水溫，SEDTRN 則是模擬無機的沉澱物，GQUAL 模擬一般的水質成分，RQUAL 模擬生化轉換過程之水質情形。

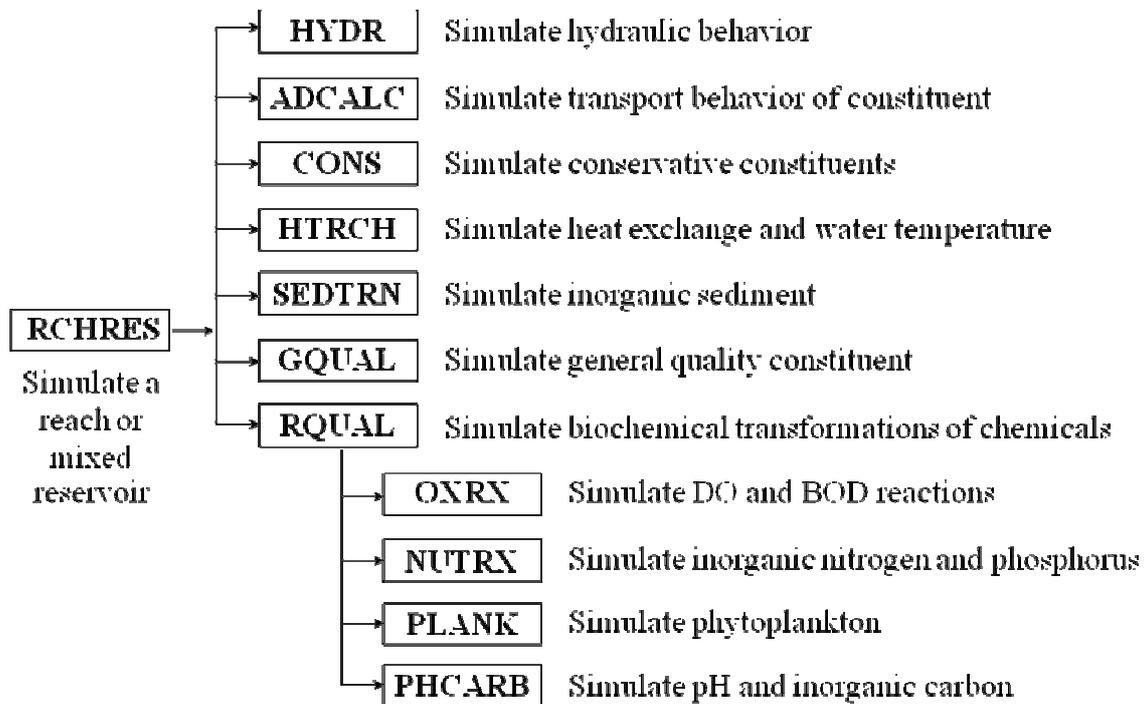


圖 5 RCHRES 模組之架構

資料來源：USEPA, 1999, *BASINS Technical Note*. NO.3

WinHSPF為一連續性模擬模式，以降雨、溫度、土地利用型態、土壤特性和農業耕作方式等作為基本輸入資料，根據基本輸入資料，考慮截留、入滲、蒸發散，及地表逕流（Surface Runoff）、中間流（Interflow Outflow）、地下水流（Groundwater Outflow）等水文傳輸情形，可預測逕流量、泥砂運移量、營養鹽、殺蟲劑（Pesticide）、毒性物質及其它水質成分的濃度與負荷量，亦可考慮河道行為（Hydraulic Behavior），模擬河道中水量及水質之變化。模式介面如圖6所示。

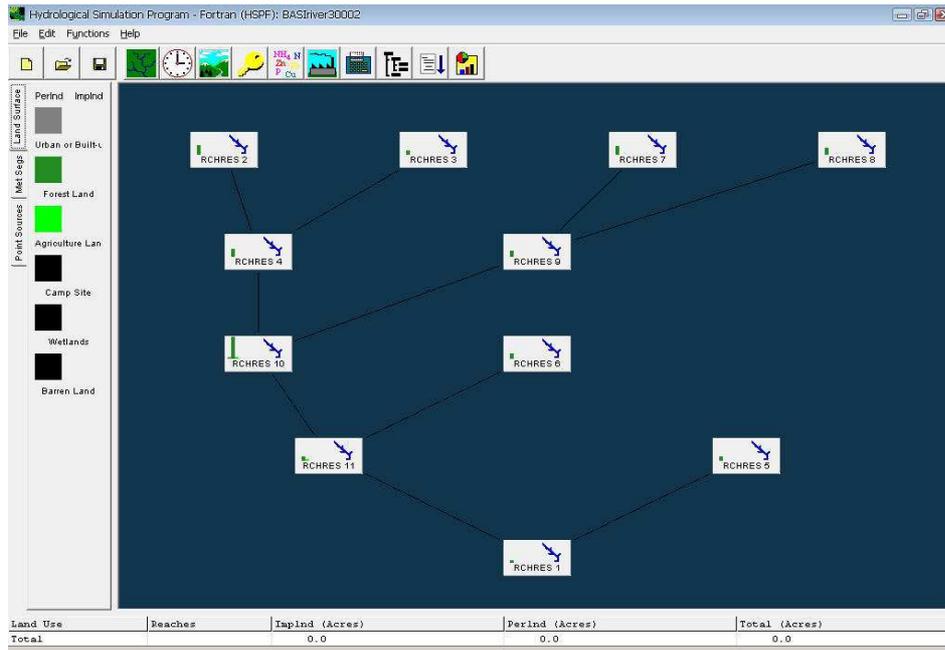
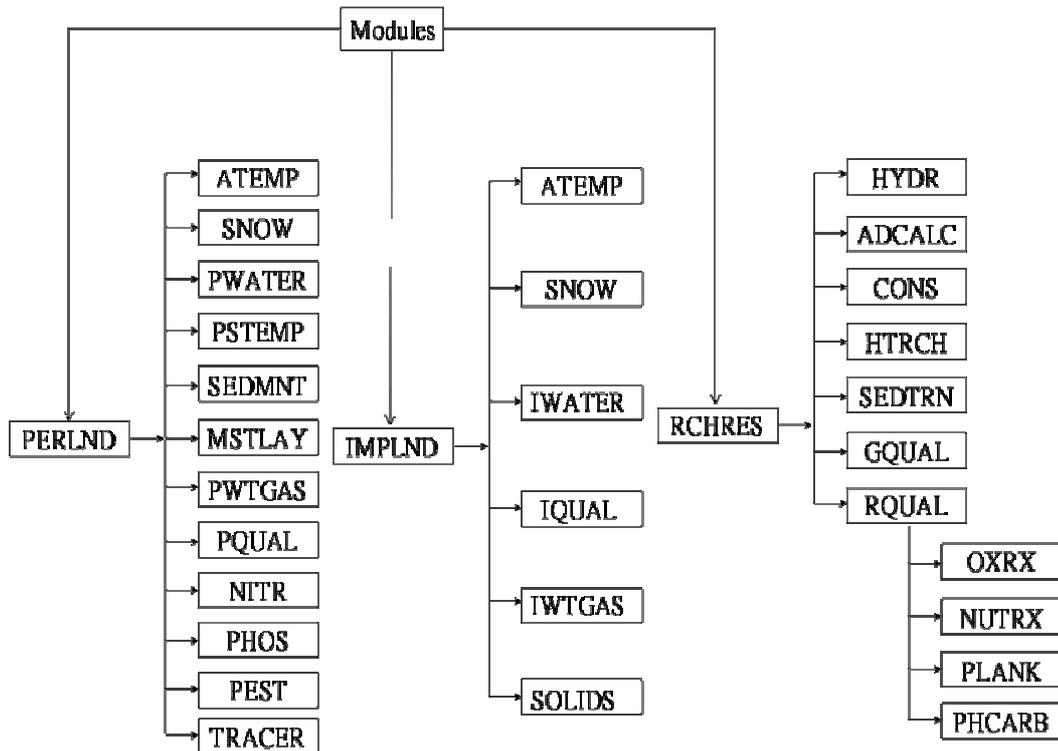


圖6 HSPF 模式介面

二、 模擬原理

HSPF 模式由 PERLND、IMPLND 及 RCHRES 三大模組組成如表7，透過各模組之副程式演算，進行河川之水文、水質模擬。以下針對主要之模組副程式作一概念介紹。

表7 HSPF模式模組



水文模擬原理：

(一) PWATER 副程式

PWATER 主要模擬透水區水文收支變化 (Water Budget)，考慮降雨、截留、入滲、滯蓄、漫地流、中間流、地下水流及蒸發散等因子，演算流程如圖7，最後匯成總出流量之途徑有：地表出流量 (Surface Outflow)、中間流出流量 (Interflow Outflow) 和地下水流出流量 (Groundwater Outflow)，其水文循環歷程可由下列十項副程式：

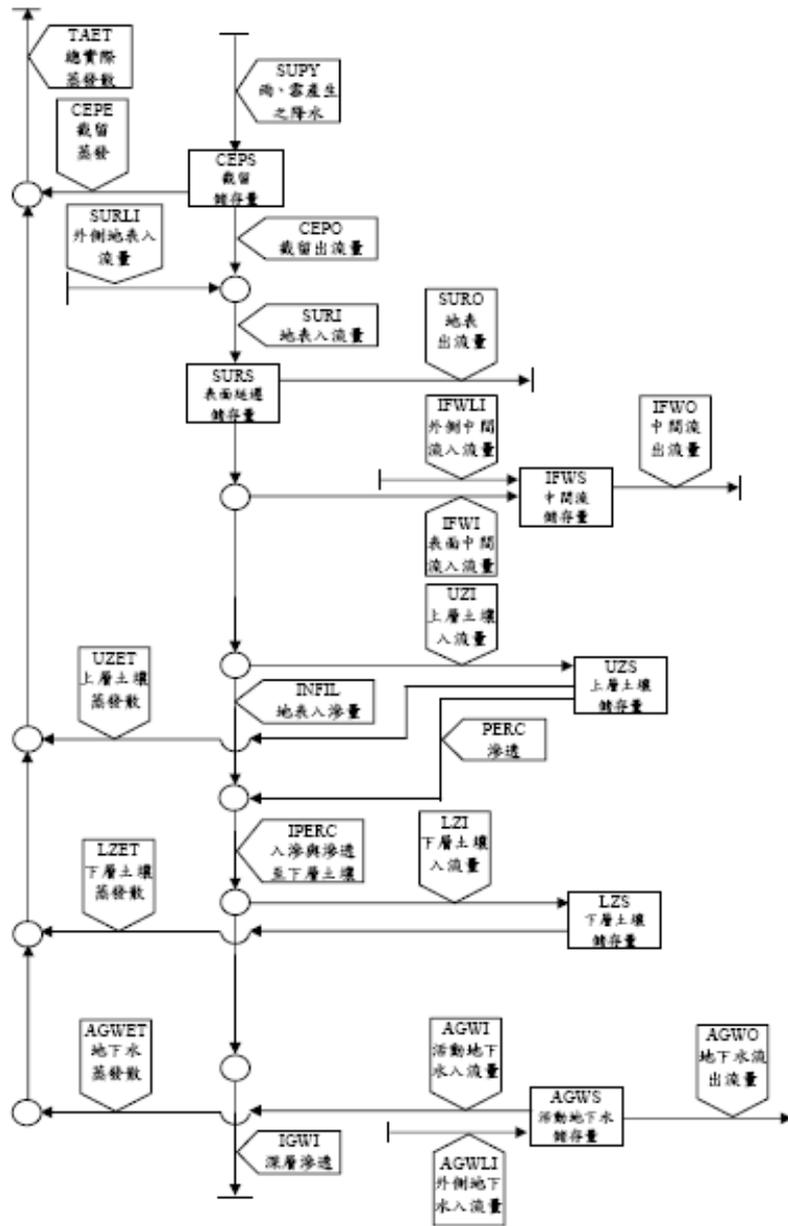


圖 7 P-WATER 副程式之演算流程

資料來源：Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J., Donigan, A.S., and Johansen, T.H., Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 12*, U.S.EPA, Environment Research Laboratory, Athens, GA, 2001.

1. ICEPT 副程式－模擬草木或其他覆蓋之截留水量

截留量可能存在牧草葉片、植被的葉子、樹枝、樹幹和莖內，當水分超過截留量，則流出形成入滲或逕流，亦會因蒸發而損失水分。

2. SURFAC 副程式－分配地表用水量

地表用水量可入滲至上層土壤形成中間流，或在地表形成滯留（Detention）或逕流，能模擬連續性的入滲量變化，而入滲量又會隨著土壤含水量和入滲面積而改變，將地表用水量分配為入滲、中間流與地表滯留或逕流。

3. DISPOS 副程式－分配水量供應

DIVISN、UZINF 和 PROUTE 三個次副程式，以決定各分區之供應含水量。

4. UZINF1、UZINF2 副程式－決定多少直接逕流成為上層土壤含水量

5. PROUTE 副程式－計算地表逕流量

使用 Chezy 曼寧公式及相對於出流深度與滯留量之經驗公式，來決定地表逕流。

6. INTFLW 副程式－模擬中間流

7. UZONE 副程式－模擬上層土壤含水量之運作

計算在上層土壤中的向下滲透量，僅在(UZRAT-LZRAT)大於0.01 時才會發生。

8. LZONE 副程式－模擬下層土壤含水量之運作

下層土壤含水量來源包括直接入滲量與上層土壤滲流（LZFRAC）。

9. GWATER 副程式－模擬地下水流

決定非活動地下水（Inactive Groundwater）及深層地下水（Deep Groundwater）之水量。

10. EVAPT 副程式－模擬蒸發散損失之水量

由以下五個次副程式計算實際蒸發散，ETBASE（計算河川基流所提供之ET）、EVICEP（計算截留量所提供之 ET）、ETUZON（計算上層土壤含水量所提供之 ET）、ETAGW（計算地下含水層所提供之 ET）、ETLZON（計算下層土壤含水量所提供之 ET）。

(二) HYDR副程式

HYDR 主要模擬河道的水文反應，演算流程如圖8，主要是一以連續方程式模擬其水理行為，並利用深度-體積-流量關係，建立河段之幾何形狀，演算其水理特性。

$$VOL - VOLS = IVOL + PRSUPY - VOLEV - ROVOL$$

VOL：模擬時間內的最終水量 (ft³)

VOLS：模擬時間內的初始水量 (ft³)

IVOL：流入量 (ft³)

PRSUPY：河道區之降雨量

VOLEV：河道區之蒸發量

ROVOL：河道區之流出量

$$ROVOL = (KS \times ROS + COKS \times ROD) \times DELTS$$

KS：權重因子 ($0 \leq KS \leq 0.99$)

$$COKS = 1 - KS$$

ROS：演算時距開始的河段總初流率

ROD：演算時距開始的最終總需求流出率

DELTS：演算時距 (sec)

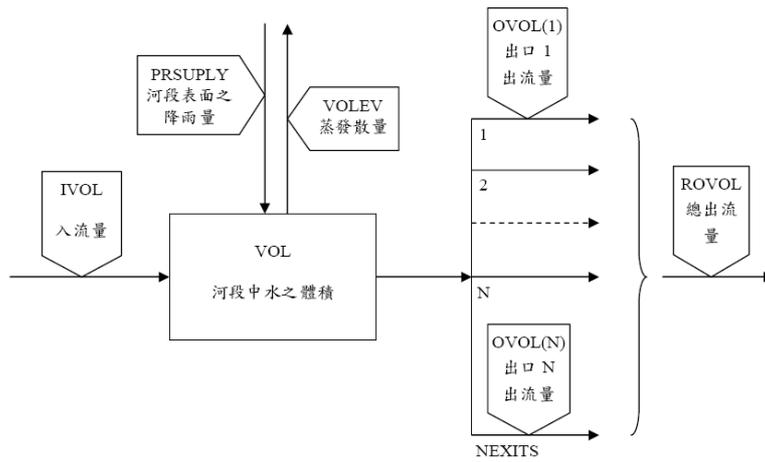


圖8 HYDR 副程式之演算流程

資料來源：Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J., Donigian, A.S., and Johansen, T.H.,
Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 12*, U.S.EPA,
Environment Research Laboratory, Athens, GA, 2001.

水質模擬原理：

(一) SEDMNT副程式

SEDMNT 主要在模擬泥砂之生成 (Production) 及運移 (Removal)，考慮大氣沉降及降雨引起的土壤分離 (Detachment of Soil)、漫地流沖刷等因素，計算由地表土壤、泥砂所攜帶之總輸出量，演算流程如圖9，主要由以下三個副程式所組成：

1. DETACH 副程式—模擬降雨引起之土壤分離
2. SOSED 副程式—模擬漫地流引起之泥砂運移
3. ATTACH 副程式—模擬分離土壤的再附著量 (Re-attachment)

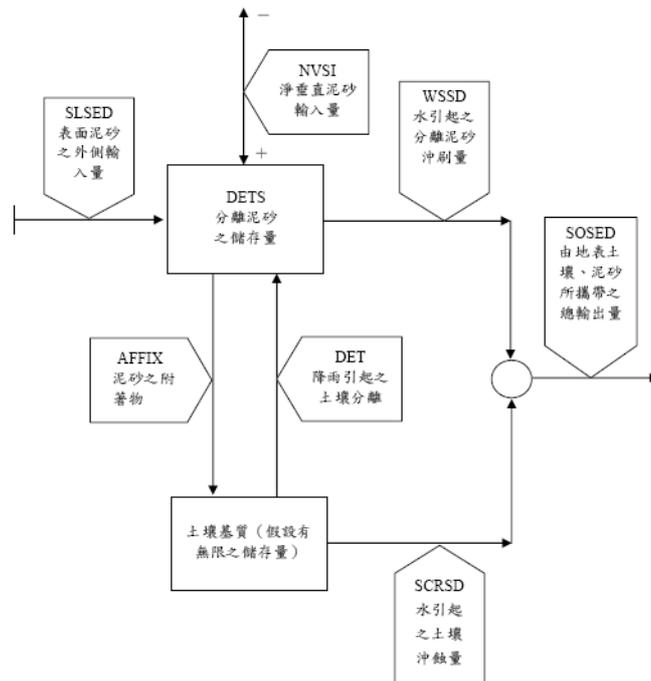


圖9 SEDMNT 副程式之演算流程

資料來源：Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J., Donigian, A.S., and Johansen, T.H., Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 12*, U.S.EPA, Environment Research Laboratory, Athens, GA, 2001.

(二) SEDTRN副程式

SEDTRN 模擬無機泥砂之行為，考慮河道中懸浮及底床之砂土 (Sand)、粉土 (Silt)、黏土 (Clay) 儲存量，藉由沖蝕和沉澱的轉換過程，計算河道中之泥砂總出流量，演算流程如圖10，主要以下列二項副程式所組成：

1. BDEXCH 副程式—模擬底床凝聚性 (Cohesive) 泥砂之交換過程

底床凝聚性泥砂是依賴底床表面之剪應力 (Shear Stress) 來進行交換動作，若底床剪應力小於臨界剪應力時，則產生沉澱；若底床剪應力大於臨界剪應力時，則產生沖蝕。

2. SANDLD 副程式—模擬砂土和礫石之行為

非凝聚性之泥砂是由水流所攜帶，若泥砂量少於流水動力條件下可攜帶之泥砂量，則不足之泥砂會由底床中被沖蝕出，直到實際泥砂傳輸率和水流攜帶量相當；反之，泥砂傳輸率超過水流可攜帶量時，則會產生沉澱。

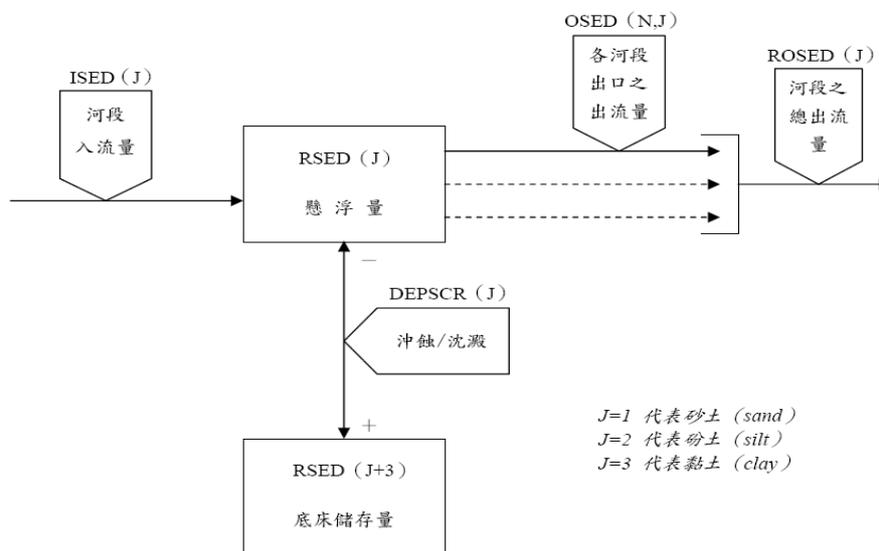


圖10 SEDTRN 副程式之演算流程

資料來源：Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J., Donigan, A.S., and Johansen, T.H., Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 12*, U.S.EPA, Environment Research Laboratory, Athens, GA, 2001.

(三) PQUAL副程式

PQUAL主要是運用水和泥砂之關係模擬水質，考慮路面和土壤之沖蝕、沉澱、運移等因素，包括地表、中間流、地下水流之模擬物質出流量，演算流程如圖11，主要以下列四項副程式所組成：

1. QUALSD 副程式—模擬和泥砂有關之運移量
2. QUALOF 副程式—模擬和漫地流有關之運移與累積量
3. QUALIF 副程式—和中間流有關之模擬

設定各污染物在中間流之濃度值，每月的值可以隨當地氣候、水文條件而有所不同。

4. QUALGW 副程式—和地下水流有關之模擬

設定各污染物在地下水流之濃度值，每月的值可以隨當地氣候、水文條件而有所不同。

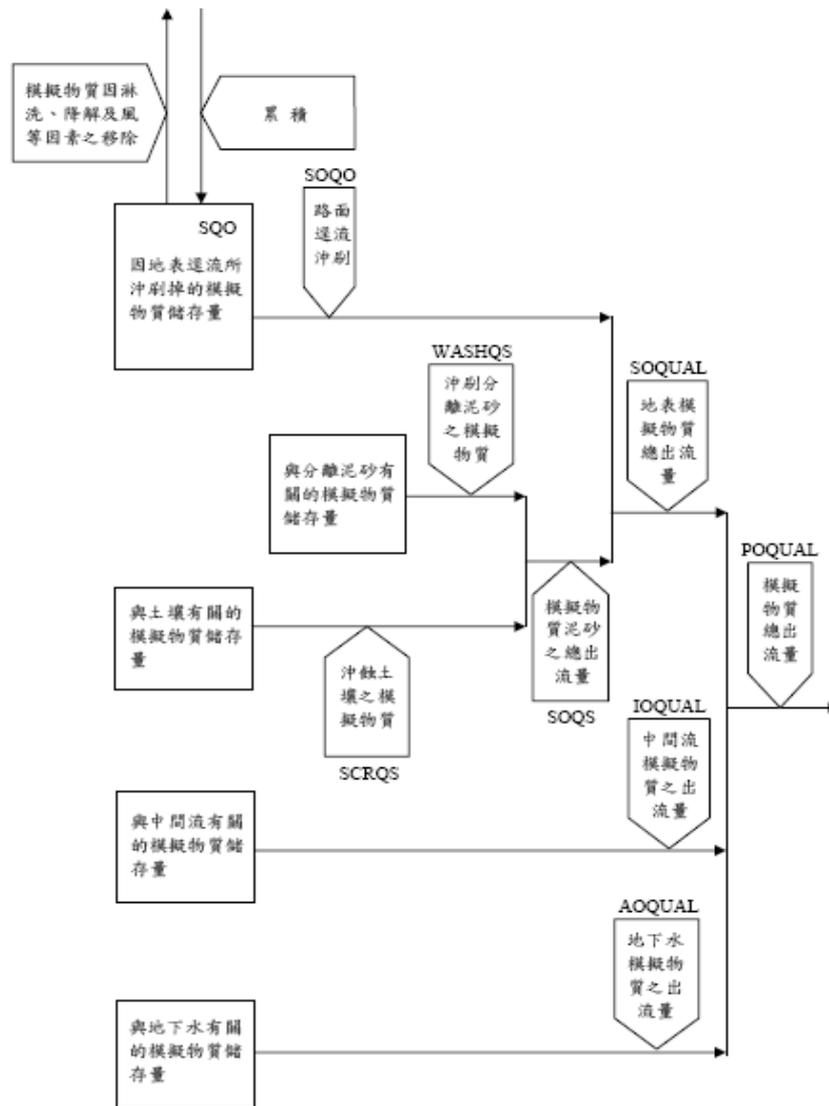


圖11 PQUAL 副程式之演算流程

資料來源：Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J., Donigan, A.S., and Johansen, T.H.,
 Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 12*, U.S.EPA,
 Environment Research Laboratory, Athens, GA, 2001.

三、模式之建立與校正

應用HSPF模式推估水文、水質狀況，其執行步驟為先置入模擬區域之圖層，編輯其氣象資料，建立相關水文、水質參數進行模擬，透過過去水文、水質觀測站之實測資料進行參數率定、驗證，藉由參數的調整，使模擬值與實際值之差異達到最小，增加模擬結果可靠度。

(一) 資料輸入

1. GIS相關資料 (表8)

表8 GIS相關資料

資料	檔案形式
河道流域圖層資料	.adf ; .shp ; .shx
數值高程資料	.bmp ; .adf ; .bpw ; .mwleg
土地利用資料	.cpg ; .dbf ; .sbn ; .sbx ; .shp ; .shx
邊界圖層資料	.mwsr ; .shp ; .shx ; .adf

2. 氣象資料

模式氣象資料需要以小時為單位之資料。包括降雨、蒸發量、溫度、風速、日輻射、露點溫度等資料如表9，其中以降雨資料最為重要，乃因不同的降雨資料造成不同的逕流量改變。此外，模式使用英制單位，使用模式時需注意轉換問題。

表9 HSPF模式所需之氣象資料

名稱	說明	軟體單位 (A)
PERC	降雨量	In/hr
EVAP	蒸發量	In/hr
A TEM	溫度	°F
WIND	風速	Mph
SOLR	日照量	Ly/hr
PEVT	蒸發散潛勢	In/hr
DEWP	露點溫度	°F
CLOU	雲覆蓋量	tenths

(二) 水文模擬

水文模擬方面，主要依據集水區物理特性如氣象資料、地文資料及水文資料模擬水文反應，不同集水區有不同之水文情況，透過HSPF 中集水區模擬透水區 PERLND 之副程式 PWATER 及不透水區 IMPLND 之副程式 IWATER 進行集水區演算，配合河道模擬 RCHRES 之副程式 HYDR 分別連結單一集水區進行演算。

透水區之初始水文狀態可由上層土壤儲存量 (UZS)、中間流存量 (IFWS)、活動地下水流存量 (AGWS)、下層土壤儲存量 (LZS) 及地下水坡度指標 (GWVS) 等參數依環境現況加以設定。

(三) 水質模擬

水質模擬方面，在模擬 BOD、NH₃、NO₃、PO₄及TN，HSPF 模式可直接選取污染物，利用集水區透水區一般水質副程式 PQUAL 及不透水區一般水質子模組 IQUAL 模擬，透水區的水質或污染物，可以利用 HSPF 中的 PQUAL 模組，考慮流出水量和泥砂量的關係，來達到模擬的目的。流域模擬物質的來源可分為二種，即地表面 (surface) 和地表下 (subsurface)。地表面流出物的行為較次表面複雜，且較具活動力，因為物質在地表所受到的影響，大多屬於土壤的吸附、分離、溫度、光線、風、大氣沉降或直接人為因素等作用。依據此種觀念，模擬流程可分為二種，一是隨吸附泥砂運移的物質，另一種是隨著逕流累積、沖刷而運移，地表面流出物質濃度為出水量和物質累積量的函數；物質在地表下的運移行為，包含溶解於中間流和地下水的來源，在模式裡可分別以不同的數值，來表示模擬物質在中間流與地下水的濃度。河川水質副程式採用 RQUAL，可進一步考慮污染物在水體中之生化反應；若非上述幾種污染物，在河道中可利用一般水質模組 GQUAL 利用模擬物不同，選擇衰退方法模擬污染物。

懸浮固體物方面，懸浮物的運移能力主要受自然因素，如風、降雨或人為因素所造成的分離土壤泥砂量，以及地表受漫地流作用而產生之泥砂沖刷。此模組之功能為模擬泥砂從土體分離、附著和傳輸運送之現象，利用

HSPF 中集水區模擬透水區 PERLND 之副程式 SEDMNT 及不透水區 IMPLND 之副程式 SOLIDS 進行集水區演算，配合河道模擬 RCHRES 之副程式 SEDTRN 分別連結單一集水區進行演算，模擬懸浮載在河道中之沖刷及運移過程。

(四) 參數率定驗證

1. 水文參數

參數率定順序，首先考慮模擬值與觀測值河川流量體積 (Streamflow Volumes) 之平衡關係，再考慮歷線形狀 (Hydrograph Shape)、尖峰流量 (Peak Flows)、退水 (Recession) 等時間性問題，率定時可參考 BASINS Technical Note 之建議調整如表10，再依流域之地文狀況及水理特性加以修正。

表 10 BASINS/HSPF 模式常用水文參數表

參數名稱	定義	單位	最小值	最大值
PWATER				
LZSN	下層土壤含水量	in	0.01	100
INFILT	入滲能力指標	in/hr	0.0001	100
LSUR	漫地流長度	ft	1	none
SLSUR	漫地流坡長	ft/ft	1×10^{-7}	10.0
KVARY	地下水出流參數	1/in	0.0	none
AGWERC	地下水退水率	-	0.001	0.999
INFEXP	入滲公式指數	-	0.00	10.0
INFILD	最大與平均入滲量比值	-	1	2.0
DEEPFR	地下水入流參數	-	0.00	1.0
BASETP	基流蒸發散參數	-	0.00	1.0
AGWETP	地下水流蒸發散參數	-	0.00	1.0
CEPSC	截流量	in	0.00	10
UZSN	上層土壤含水量	in	0.01	10
NSUR	曼寧 N 值	-	0.001	1.0
INTFW	中間流入流參數	-	0.00	none
IRC	中間流退水率	-	1×10^{-7}	0.999

表 10 BASINS/HSPF 模式常用水文參數表 (續)

參數名稱	定義	單位	最小值	最大值
LZETP	下層土壤蒸發散參數	-	0.0	1.5
CEPS	截留儲存量	in	0.00	100
SURS	表面儲存量	in	0.00	100
UZS				
IFWS	中間流儲存量	in	0.00	100
LZS	下層土壤儲存量	in	0.001	100
AGWS	活動地下水流儲存量	in	none	100
GWVS	地下水坡度指標	in	0.00	100
HYDR				
KS	水力路徑之權重因子	-	0.00	0.99
DB50	底床泥沙顆粒直徑之中位數	in	0.0001	100

資料來源：USEPA, 1999

下層土壤名義含水量 (LZSN) 增加會使地下水流的出流增加；上層土壤名義含水量 (UZSN) 和土地利用有關，可用來調整歷線初始及上升部分，增加 UZSN 會使地表逕流減少，增加滯留於上層區水分之蒸發散；Viessman et al. (1989) 建議 LZSN 在潮濕氣候條件下，可先估計為年降雨量之八分之一，再加上 100mm；而林地之 UZSN 約為 LZSN 的 0.14 倍。

入滲能力指標 (INFILT) 主要與土壤特性有關，分配降雨成為地表逕流或入滲至地表下，增加 INFILT 會使下層區和地下水流增加，造成基流量增加，表面逕流減少。

漫地流長度 (LSUR)、漫地流坡度 (SLSUR) 會影響到表面逕流量，坡度愈陡，LSUR 值愈低，則表面逕流增加，而曼寧 N 值 (NSUR) 在正常範圍下對流量之影響並不明顯。

中間流入流參數 (INTFW) 增加可降低尖峰流量，但歷線峰值寬度增加。中間流退水率 (IRC) 表示現在中間流出流量與前一天中間流出流量的比值，影響逕流歷線中峰值與基流 (Base Flow) 間退水區

之形狀，IRC 低會使中間流行為趨向漫地流，而高的 IRC 會使中間流行為趨向地下水基流，減少IRC 使退水變緩，尖峰流量減小。

地下水入流參數 (DEEPFR) 為進入深層地下水層之損失比例，也可用來表示其他未測量到之損失，增加 DEEPFR 會使流量減少，增加次表面 (Subsurface) 的損失。地下水退水率 (AGWRC) 表示現在地下水出流量與前一天地下水出流量的比值，在不考慮地下水入流和出流的關係，增加 AGWRC 可使基流退水變緩。地下水出流參數 (KVARY) 表示地下水儲存量每天所流出一定比例的量，設定高的 KVARY 會使流出的比例增加，通常是最後率定的參數。

2. 水質參數

水質參數中模擬物最大儲存量 (SQOLIM) 表示該模擬物能夠儲存的能力，若河川流量大時，值越大相對污染量也增大，對於基流影響並不顯著。地表逕流沖刷率 (WSQOP) 表示地表逕流在單位小時內能沖刷90%污染量之流速，若數值愈大，表示此污染物愈難被沖刷，和模擬結果有反比的關係。中間流模擬物質濃度 (IOQC) 為中間流物質濃度大小，對於流量大時，值越大污染量越大，但是對於基流影響也不顯著。地下水模擬物質濃度 (AOQC) 為地下水物質濃度大小，其值越大表示藉由地下水所攜帶之污染量越多，與模擬物有著正比的關係。

懸浮固體物參數中在透水區部分，操作管理參數 (SMPF) 代表防止土壤沖刷措施之好壞，值介於 0 與 1 之間，參數值愈接近 0 表示地表管理愈佳，產生的懸浮物愈少；反之，若參數值愈接近1，表示此土地利用產生的懸浮物多。土壤分離係數 (KRER) 依照土壤特性給定。土壤分離指數 (JRER) 描述因為降雨強度不同造成土壤分離之指數關係。地表覆蓋參數 (COVER) 代表地面被覆的程度，其值介於 0 與 1 之間，若參數值愈接近1，表示地面覆蓋佳，產生懸浮物少。運移係數 (KSER)、運移指數 (JSER) 用於計算地表水具有之運移能力。沖蝕係數 (KGER)、沖蝕指數 (JGER) 可計算地表水所具有之

沖刷土壤能力，運移指數（JSER）和沖蝕指數（JGER）和懸浮物有反比的關係存在。此外，泥沙沖蝕模組之模擬結果亦受到降雨逕流模組之影響，懸浮固體量之多寡與逕流模擬之出流量成正相關，因此必須先率定驗證降雨逕流模組之參數，確定無誤之後再調整輸砂模組之參數才可以獲得正確的結果。在河道輸砂演算方面，模式中將懸浮載分為砂、矽砂、以及黏土三種成分分別計算，主要影響模擬結果為 Sandload power function 之係數（KSAND）與指數參數（EXPSND）影響最大，參數值越高模擬輸出量也會提高。

率定時可參考 BASINS Technical Note 之建議調整如表11，再依流域之水質特性加以修正。

表11 BASINS/HSPF模式常用水質參數表

參數名稱	定義	單位	最小值	最大值
PQUAL				
SQO	起始存量	lb/ac	0.00	none
POTFW	土壤沖刷因子	lb/ton	0.00	none
POTFS	土壤本體受沖刷因子	lb/ton	0.00	none
ACQOP	模擬物質累積率	lb/ac-day	0.00	none
SQOLIM	模擬物質最大累積存量	lb/ac	10 ⁻⁶	none
WSQOP	地表逕流沖刷率	in/hr	0.01	none
IOQC	中間流模擬物質濃度	lb/ft ³	0.00	none
AOQC	地下水模擬物質濃度	lb/ft ³	0.00	none
SEDMNT				
SMPF	操作管理因子	-	0.001	1
KRER	土壤分離係數	-	0.00	none
JRER	土壤分離指數	-	none	none
AFFIX	土壤再壓密率	1/day	0.00	1
COVER	土壤覆蓋率	-	0.00	0.1
NVSI	大氣落塵量	lb/ac-day	none	none
KSER	分離泥砂之沖刷係數	-	0.00	none
JSER	分離泥砂之沖刷指數	-	none	none
KGER	土壤沖蝕係數	-	0.00	none

表 11 BASINS/HSPF 模式常用水質參數表 (續)

參數名稱	定義	單位	最小值	最大值
JGER	土壤沖蝕指數	-	none	none
DETS	分離泥砂之初始存量	tons/ac	0.00	none
SEDTRN				
BEDWRN	河床深度	ft	0.001	none
POR	河床孔隙率	-	0.1	0.9
KSAND	泥砂承載公式之係數	-	0	none
EXPSND	泥砂承載公式之指數	-	0	none
TAUCD	底床之沉澱臨界剪應力	lb/ft ²	1×10 ⁻⁴	none
TAUCS	底床之沖蝕臨界剪應力	lb/ft ²	1×10 ⁻⁴	none
M	底床之沖蝕臨界剪應力	lb/ft ² /day	0	none

資料來源：USEPA, 1999

四、系統需求

BASINS模式作業系統最佳需求為Windows95/98/XP。

參考文獻

- [1] Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J., Donigian, A.S., and Johansen, R.C., Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 12*, U.S.EPA, Environment Research Laboratory, Athens, GA, 1996.
- [2] Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J., Donigian, A.S., and Johansen, T.H., Hydrological Simulation Program-FORTRAN, *User's Manual for HSPF Version 12*, U.S.EPA, Environment Research Laboratory, Athens, GA, 2001.
- [3] USEPA, 1999, *BASINS Technical Note*. NO.3
- [4] 財團法人臺灣環保文教基金會，1999。翡翠水庫上游集水區茶園非點源污染最佳管理作業，經濟部水利署臺北水源特定區管理局委託。
- [5] 童慶斌等，2004。環境影響評估推估模式與環境基準之建立，行政院環境保護署委託，國立臺灣大學生物環境系統工程學系執行。

QUAL2K (River and Stream Water Quality Model) 使用指南

一、模式演進與架構

QUAL2K 為 USEPA 於 2000 年根據 QUAL2E (The Enhanced Stream Water Quality Model) 發展而成，為目前使用最廣泛的水質模式之一。QUAL2K 為一系列水質模式逐漸發展而成，最早為 1970 年由 Texas Water Development Board 所建立的河川水質模式 QUAL-I。1972 年為因應不同使用者的需求，改良許多不同的版本，如修正藻類、養分及光合作用三者間交互作用而成 QUAL-II，經一連串的修正、編輯，將改良之 QUAL-II 重新命名為 QUAL2E。QUAL2K 為 USEPA 改良 QUAL2E 之水質模式，可用於模擬河川污染傳輸，使用者可根據不同的需求，任意組合 16 種水質參數，包括溶氧、生化需氧量、溫度、葉綠素 a、有機氮、氨氮、亞硝酸氮、硝酸氮、有機磷、溶解磷、大腸桿菌、任何非保存性物質及三種保存性物質等，模擬項目彈性極大。

模式利用基本水理傳輸方程式 (advection-dispersion equation) 及質量守恆式，可假設點源廢水排放、汲水、支流流入及沿河道增加或減少入流量，模擬污染物在質、量及排放位置對河川水質之影響。QUAL2K 模式之基本理論為一維的傳統擴散傳輸方程式，於穩態進行模擬，可描述河川水質隨空間之變化情形。過去 QUAL2E 水質模式僅能單點輸入，必須先對流域進行集水區的劃分，於水質模擬時，將推估之污染量於集水區的出口處輸入計算。USEPA 於 QUAL2K 水質模式中，允許不同單位長度的單元存在，可將每一河段分成具有等間距或不等間距之計算單元，且相同河段內單元具有相同之水利特性 (坡度、斷面積及粗糙度) 與生物係數 (藻類沉降率等)。

二、模式概念及理論

應用 QUAL2K 水質模式推估各河段水質狀況，其執行步驟主要是先劃分集污區及模擬河段，模擬過程尚須建立水質相關參數與水理參數 (河川斷面、流速、流量等)，由過去水質觀測站之實測資料進行參數率定及驗證，方可進行模式模擬。以下就模擬過程中主要三項輸入 (河道網格、水量參數、水質參數)，作概念及理論的介紹。

(一) 河道網格分割

QUAL2K是將單獨一條河流視為一序列網格，每一網格之間距並無等間距之限制，依所劃分之間距進行各單元計算。污染源可依距離或範圍輸入，每個計算單元藉輸入水質及各項參數不同而運算傳輸至下一個格點；每個網格之計算單元具有相同的水力特性，為單一河流概念，劃分概念如圖1所示。

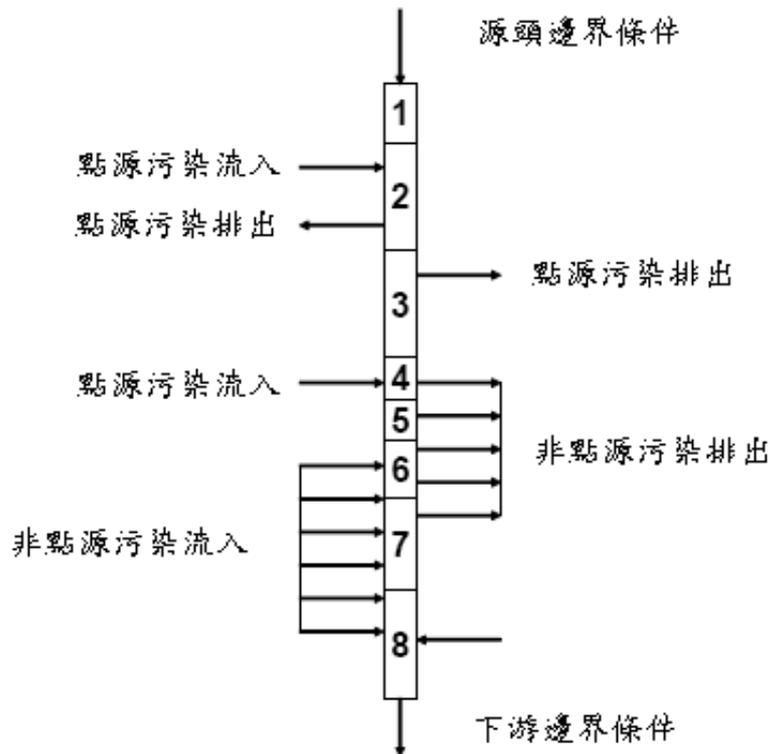


圖1 QUAL2K 河段劃分概念圖

資料來源：Chapra and Pelletier, 2003

(二) 水量模擬介紹

QUAL2K 模式計算水力條件是假設為定常態 $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ 。針對水理計算，模式以控制斷面，質量守恆的原則來建構，其中 QUAL2K 估算方式有三種：堰流量計法 (weirs)、率定曲線法 (rating curves)、曼寧方程式 (Manning equations)，

模擬者得依據相關研究區域資料豐富程度及適用程度，選擇合適之水理估算方式，以下介紹此模式水理輸入原理：

1. 堰流量計法 (weirs)

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

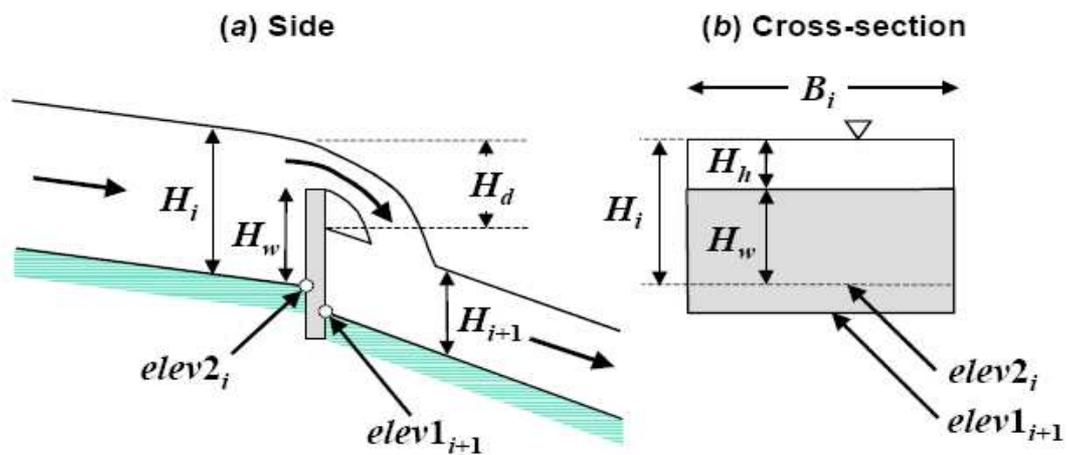


圖 2 銳緣堰 (sharp-crested) 示意圖

其中，

H_i ：堰上游之水深 (m)

H_{i+1} ：堰下游之水深 (m)

$elev2_i$ ：上游段距海平面之高度 (m)

$elev1_{i+1}$ ：下游段距海平面之高度 (m)

H_w ：堰高至 $elev2_i$ 之距離 (m)

H_d ：每段表面水位落下之間距 (m)

H_h ：堰的水頭 (m)

B_i ：每段 i 的寬度 (m)

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

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

其中，

Q_i ：出流量 (m³/sec)

可轉變成

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

可由電腦程式計算出每一單元 i 之流速與斷面積，公式表示如下：

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

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

2. 率定曲線法 (rating curves)

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

$$U = aQ^b$$

$$H = cQ^d$$

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

其中，

Q ：流量 (m³/sec)

U ：平均流速 (m/sec)

H ：平均水深 (m)

A_c ：斷面積 (m²)

a 、 b 、 c 、 d ：經驗常數

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

表1 流量、流速及水深函數之參數建議值

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

資料來源：Chapra,S.C. and Pelletier,G.J.2007. QUAL2K

3. 曼寧方程式 (Manning equations)

假設每個河段皆如梯形渠道 (Trapezoidal channel)，如圖3所示，其建議之曼寧n值如表2所示，曼寧方程式如下：

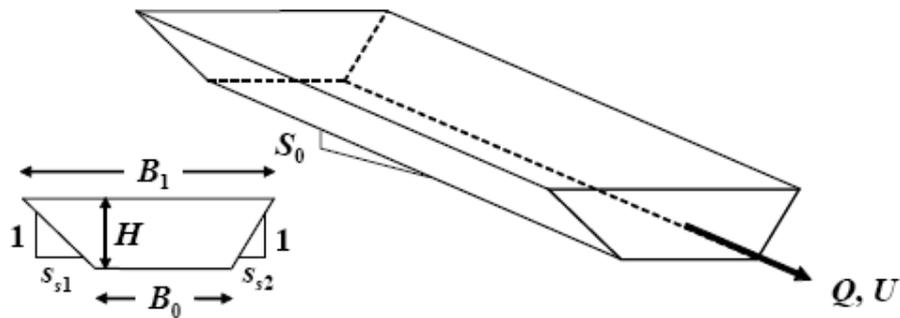


圖3 梯形渠道 (Trapezoidal channel) 示意圖

資料來源：Chapra, Pelletier and Tao, 2007

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

其中，

Q：流量 (m³/sec)

A_c：河道之斷面積 (m²)

P：濕周

n：曼寧係數

S₀：坡度 (%)

梯形河道斷面面積公式如下：

$$A_c = [B_0 + 0.5(S_{S1} + S_{S2})H]H$$

其中，

B₀：河道底寬 (m)

S_{S1}、S_{S2}：河道兩邊坡度 (%)

H：斷面深度 (m)

濕周之計算公式：

$$P = B_0 + H\sqrt{S_{S1}^2 + 1} + H\sqrt{S_{S2}^2 + 1}$$

當以上三式皆求出時，即可解下式之每斷面深度

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

表 2 曼寧係數 n 值之參考表

MATERIAL	n
人造渠道 Man-made channels	
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides:	
Concrete	0.02
mortared stone	0.023
Riprap	0.033
自然渠道 Natural stream channels	
Clean, straight	0.025-0.04
Clean, winding and some weeds	0.03-0.05
Weeds and pools, winding	0.05
Mountain streams with boulders	0.04-0.10
Heavy brush, timber	0.05-0.20

資料來源：Chapra, Pelletier and Tao, 2007

(三) 水質模擬介紹

QUAL2K將每個單元視為穩定狀態（steady state），因此整體而言濃度僅與位置有關而與時間無關，時間的控制是依travel time決定，而travel time則依河道分段長度與河川流速來決定，除河道底部藻類外，各營養鹽每一單元的濃度變化如下列公式，其示意圖如圖4所示：

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_{i-1}} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i$$

其中，

W_i ：注入河段的水質外部負荷（external loading）。

營養鹽的輸出入及沉降關係圖說明如圖 5，其各符號說明如表 3。

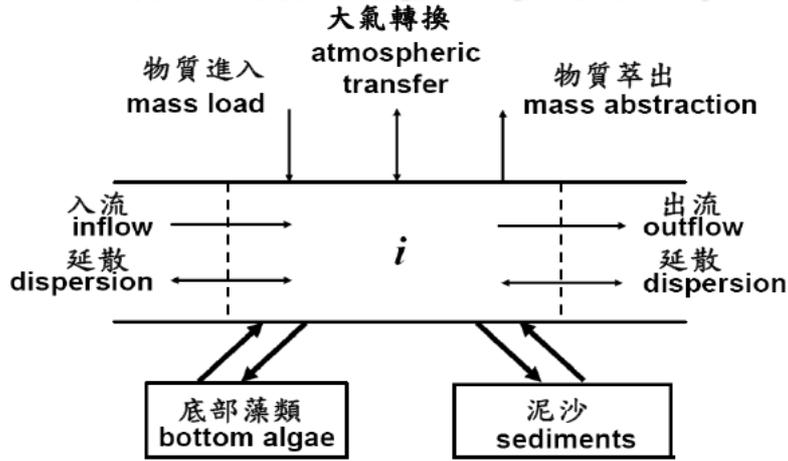


圖 4 QUAL2K 中營養鹽的質量平衡示意圖

資料來源：Chapra and Pelletier, 2003

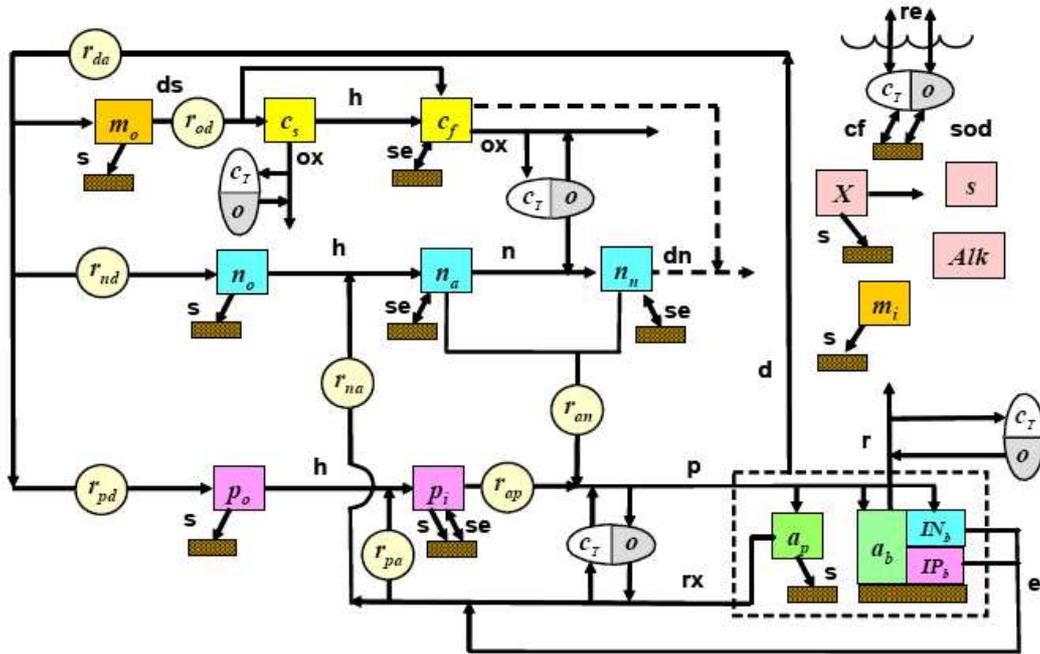


圖 5 QUAL2K 的質量傳輸模式流程圖

資料來源：Chapra, Pelletier and Tao, 2007

表 3 QUAL2K 的質量傳輸模式流程代表符號說明表

mo	Detritus	s	Settling	ab	Bottom algae
no	Dissolved organic nitrogen	p	Photosynthesis	n	Nitrification
na	Ammonia nitrogen	h	Hydrolysis	dn	Denitrification
nn	Nitrate nitrogen	po	Dissolve organic phosphorus	d	Dry weight
cs	Slowly reacting CBOD	pi	Inorganic phosphorus	ds	Dissolution
cf	Fast reacting CBOD	ap	Phytoplankton		

三、模式建立及校正

一般河川水質模式建立流程如圖 6，並介紹選用 QUAL2K 模式後的流程。模擬程序主要為先劃分污染區域及河段，進而推估各區域之污染量。以下針對河段劃分、參數輸入、污染源調查、參數率定、驗證及最後模式可輸出項目等重要模式操作步驟做介紹。

(一) 河道劃分

在QUAL2K水質模式中，集污分區及河段的劃分皆為首要工作，劃分原則關係到水質模擬的結果，故需制定相關的劃分原則，以使結果達到合理性。QUAL2K河段劃分單元的數目也有其限制，若模擬的範圍超過原先所預設的範圍，就必須要重新編譯或調整變數以符合原先程式的限制，其限制如下：

1. 河段：分段不超過 50 段。
2. 計算單元：每段不超過 20 個，或總數不超過 500 個。
3. 源頭單元：最多為 10 個。
4. 匯流點單元：最多為 9 個。
5. 流入及流出單元：最多 50 個。

由於 QUAL2K 模式之計算方式是將整個流域依水理特性切割成若干河段，再將每一個河段分成若干間距之計算元素，並假設在相同河段內之元素具有相同之水力特性及生物反應參數。河段劃分可依下列原則進行：

1. 污染源排入點之上、下游。
2. 支流匯流點或排水排入點之上、下游。
3. 水源取水口之上游。
4. 設有水質採樣站處。
5. 水力條件（如流速、水深、河寬等）有較大改變處。
6. 平直河段每間隔若干距離處。
7. 感潮河段界限處。
8. 水體分類。

(二) QUAL2K 所需參數輸入

QUAL2K於水質模擬使用時，需輸入五大類型資料，包括區域污染量、水體水文資料、氣象資料、模式相關參數及水質監測等資料。模擬程序主要為先劃分區域污染區及河段，進而推估各區域污染區的污染量。模擬過程中尚需建立相關水質參數及水理參數（流速、流量及河川斷面等），並利用實際監測資料進行參數率定、驗證，再以校正後的水質參數模擬區域水體如：溶氧、生化需氧量及氮氮傳輸的情形，QUAL2K所需參數資料整理如表4。

(三) 污染源之調查

河川污染源主要由點污染源及非點污染源所構成，而河川污染源之調查，包括該研究河川上游之民生污水、工廠污水、畜牧業污染排放、遊憩污染、農業及森林的非點源污染排放。

(四) 參數率定及驗證

當前1至3項皆輸入完畢，即應參考相關參數的修定，執行表5內各項參數修改。表5為QUAL2K各項參數的設定，並參考相關報告（Washington State Department of Ecology, 2006），附上參數設定值建議範圍。

表4 所需輸入之QUAL2K參數

參數分類	詳細項目	單位	
水理參數	堰流量法	堰上下游水位	
		堰的高度寬度	meter
	率定曲線法	a,b,c,d係數值	
	曼寧公式法	曼寧係數	
		河道坡度、河岸坡度	
		河床寬	meter
河道	每個監測站的高程 (meter)	meter	
氣象參數	氣溫	°C	
	露點溫度	°C	
	風速	meters/sec	
	雲覆蓋量	% of sky covered	
	陰影		
水文水力資料	河川流量	cms	
	流速	m/s	
	水深	meter	
	流經時間	hr	
河川水溫	溫度	°C	
水質	導電度	umbos	
	溶氧	mg/L	
	生化需氧量	mg/L	
	總氮、有機氮、氨氮、硝酸		
	總磷、有機磷、無機磷		
	鹼度 (alkalinity)	mg CaCO ₃ /L	
	pH		
	總懸浮固體	mg/L	
	河床底部藻量	g/square meter	
	河內輸砂需氧量		
	微粒有機物		
監測參數	根據所要模擬之營養鹽的各測站監測資料		

資料來源：USEPA (2005)，及本研究整理

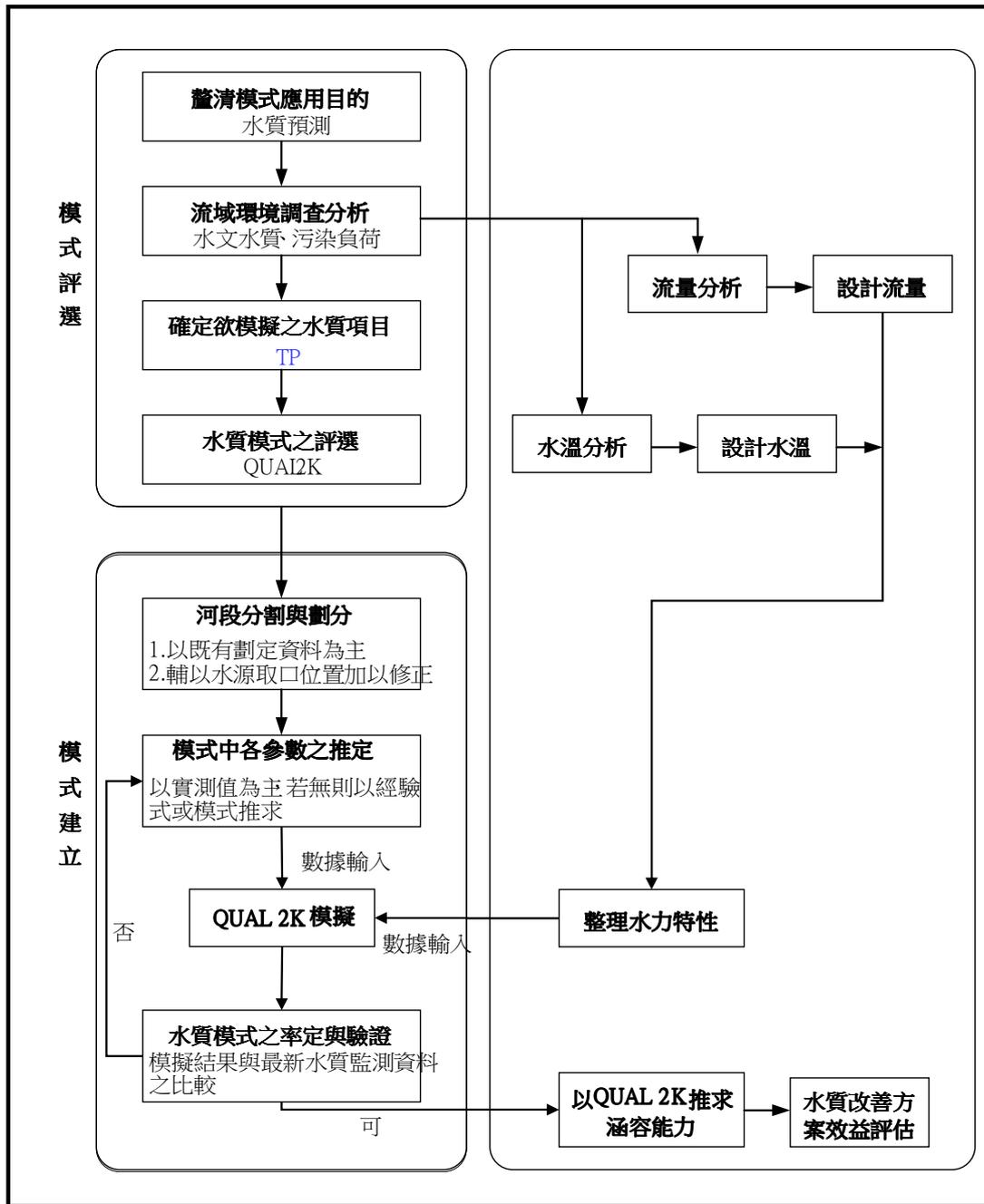


圖6 水質模式建立流程

表5 水質模擬所需輸入的參數數值

<i>Parameter</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>	<i>Symbol</i>	min	max
Stoichiometry:					
Carbon	40	gC	gC	30	50
Nitrogen	7.2	gN	gN	3	9
Phosphorus	1	gP	gP	0.4	2
Dry weight	100	gD	gD	100	100
Chlorophyll	1	gA	gA	0.4	2
Inorganic suspended solids:					
Settling velocity	0.3	m/d	v_i	0	2
Oxygen:					
Reaeration model	User specified				
User reaeration coefficient α	3.93		α		
User reaeration coefficient β	0.5		β		
User reaeration coefficient γ	1.5		γ		
Temp correction	1.024		a		
Reaeration wind effect	None				
O ₂ for carbon oxidation	2.69	gO ₂ /gC	r_{oc}		
O ₂ for NH ₄ nitrification	4.57	gO ₂ /gN	r_{on}		
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential				
Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0.60	L/mgO ₂	K_{socf}	0.6	0.6
Oxygen inhib model nitrification	Exponential				
Oxygen inhib parameter nitrification	0.60	L/mgO ₂	K_{sona}	0.6	0.6
Oxygen enhance model denitrification	Exponential				
Oxygen enhance parameter denitrification	0.60	L/mgO ₂	K_{sodn}	0.6	0.6
Oxygen inhib model phyto resp	Exponential				
Oxygen inhib parameter phyto resp	0.60	L/mgO ₂	K_{sop}	0.6	0.6
Oxygen enhance model bot alg resp	Exponential				
Oxygen enhance parameter bot alg resp	0.60	L/mgO ₂	K_{sob}	0.6	0.6
Slow CBOD:					
Hydrolysis rate	0.1	/d	k_{hc}	0	5
Temp correction	1.07		hc	1	1.07
Oxidation rate	0	/d	k_{dcs}	0	5
Temp correction	1.047		dcs	1	1.07

表5 水質模擬所需輸入的參數值 (續)

Parameter	Value	Units	Symbol	min	max
Fast CBOD:					
Oxidation rate	0.23	/d	k_{dc}	0	5
Temp correction	1.047		dc	1	1.07
Organic N:					
Hydrolysis	0.2	/d	k_{hn}	0	5
Temp correction	1.07		hn	1	1.07
Settling velocity	0.1	m/d	v_{on}	0	2
Ammonium:					
Nitrification	1	/d	k_{na}	0	10
Temp correction	1.07		na	1	1.07
Nitrate:					
Denitrification	0	/d	k_{dn}	0	2
Temp correction	1.07		dn	1	1.07
Sed denitrification transfer coeff	0	m/d	v_{di}	0	1
Temp correction	1.07		di	1	1.07
Organic P:					
Hydrolysis	0.2	/d	k_{hp}	0	5
Temp correction	1.07		hp	1	1.07
Settling velocity	0.1	m/d	v_{op}	0	2
Inorganic P:					
Settling velocity	2	m/d	v_{ip}	0	2
Inorganic P sorption coefficient	0	L/mgD	K_{dpi}		
Sed P oxygen attenuation half sat constant	0.05	mgO ₂ /L	k_{spi}	0	2
Phytoplankton:					
Max Growth rate	2.5	/d	k_{gp}	1.5	3
Temp correction	1.07		gp	1	1.07
Respiration rate	0.2	/d	k_{rp}	0	1
Temp correction	1.07		rp	1	1.07
Death rate	0.2	/d	k_{dp}	0	1
Temp correction	1.07		dp	1	1.07
Nitrogen half sat constant	25	ugN/L	k_{sPp}	0	150
Phosphorus half sat constant	5	ugP/L	k_{sNp}	0	50
Inorganic carbon half sat constant	1.30E-05	moles/L	k_{sCp}	0.0000013	1.30E-04
Light model	Half saturation				
Light constant	100	langleys/d	K_{Lp}	28.8	115.2
Ammonia preference	25	ugN/L	k_{hnxp}	25	25
Settling velocity	0.5	m/d	v_a	0	5

表5 水質模擬所需輸入的參數數值 (續)

<i>Parameter</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>	<i>Symbol</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
Bottom Algae:					
Growth model	Zero-order				
Max Growth rate	50	mgA/m ² /d or /d	C_{gb}	100	500
Temp correction	1.07		$_{gb}$	1	1.07
First-order model carrying capacity	1000	mgA/m ²	$a_{b,max}$	1000	1000
Respiration rate	0.1	/d	k_{rb}	0	0.5
Temp correction	1.07		$_{rb}$	1	1.07
Excretion rate	0.05	/d	k_{eb}	0	0.5
Temp correction	1.07		$_{db}$	1	1.07
Death rate	0.1	/d	k_{db}	0	0.5
Temp correction	1.07		$_{db}$	1	1.07
External nitrogen half sat constant	300	ugN/L	k_{sPb}	0	300
External phosphorus half sat constant	100	ugP/L	k_{sNb}	0	100
Inorganic carbon half sat constant	1.30E-05	moles/L	k_{sCb}	0.0000013	1.30E-04
Light model	Half saturation				
Light constant	100	langleys/d	K_{Lb}	1	100
Ammonia preference	25	ugN/L	k_{hmb}	1	100
Subsistence quota for nitrogen	0.72	mgN/mgA	q_{0N}	0.0072	7.2
Subsistence quota for phosphorus	0.1	mgP/mgA	q_{0P}	0.001	1
Maximum uptake rate for nitrogen	72	mgN/mgA/d	$_{mN}$	1	500
Maximum uptake rate for phosphorus	5	mgP/mgA/d	$_{mP}$	1	500
Internal nitrogen half sat constant	0.9	mgN/mgA	K_{qN}	1.05	5
Internal phosphorus half sat constant	0.13	mgP/mgA	K_{qP}	1.05	5
Detritus (POM) :					
Dissolution rate	0.5	/d	k_{dt}	0	5
Temp correction	1.07		$_{dt}$	1.07	1.07
Fraction of dissolution to fast CBOD	1.00		F_f		
Settling velocity	0.1	m/d	v_{dt}	0	5
Pathogens:					
Decay rate	0.8	/d	k_{dx}	0.2	1.4
Temp correction	1.07		$_{dx}$	1.07	1.07
Settling velocity	1	m/d	v_x	1	1
Light efficiency factor	1.00		$_{path}$	0	1
pH:					
Partial pressure of carbon dioxide	347	ppm	p_{CO2}		

(五) 模式輸出項目

使用者可根據不同的模擬需求，任意組合16種水質參數輸出，選擇所要模擬之項目，表6詳列 QUAL2K 模式可以分析的項目。

表6 QUAL2K模式輸出項目

Variable	中文項目	Symbol	Units*
Conductivity	導電度	s	μmhos
Inorganic suspended solids	無機懸浮固體	mi	mgD/L
Dissolved oxygen	溶氧	o	mgO ₂ /L
Slowly reacting CBOD	慢反應生化需氧量	cs	mgO ₂ /L
Fast reacting CBOD	快反應生化需氧量	cf	mgO ₂ /L
Dissolved organic nitrogen	溶解有機氮	no	μgN/L
Ammonia nitrogen	氨氮	na	μgN/L
Nitrate nitrogen	硝酸氮	nn	μgN/L
Dissolved organic phosphorus	溶解有機磷	po	μgP/L
Inorganic phosphorus	無機磷	pi	μgP/L
Phytoplankton	浮游植物量	ap	μgA/L
Detritus	碎屑	mo	mgD/L
Pathogen	致病菌	x	cfu/100mL
Alkalinity	鹼度	Alk	mgCaCO ₃ /L
Total inorganic carbon	總無機碳	cT	mole/L
Bottom algae	底部藻類	ab	gD/m ²

資料來源：Chapra and Pelletier, 2003

四、系統需求

QUAL2K所需要的電腦需求為windows ME/2000/XP及Microsoft office 2000或更高級等作業環境系統。QUAL2K本身為Excel操作介面，無需程式語言能力，學習及操作難易度適中。圖7為QUAL2K的操作介面。

	A	B	C	D	E
1	QUAL2K FORTRAN				
2	Stream Water Quality Model				
3	Steve Chapra, Hua Tao and Greg Pelletier				
4	Version 2.07				
5					
6					
7	System ID:				
8	River name	Sugar River		Open Old File	
9	Saved file name	SR081704v2_7dummy			
10	Directory where file saved	C:\Q2Kv2_07		Run Fortran	
11	Month	8			
12	Day	17			
13	Year	2004			
14	Time zone	Eastern			
15	Daylight savings time	Yes			
16	Calculation:				
17	Calculation step	0.0625 hours			
18	Final time	3 day			
19	Solution method (integration)	Euler			

圖7 QUAL2K 操作介面

參考文獻

- [1] Chapra, S.C. and Pelletier, G.J. 2003. *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and Users Manual*. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- [2] Chapra, S.C., Pelletier, G.J. and Tao, H. 2007. *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual*. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- [3] US Environmental Protection Agency - Region III, Pennsylvania 19103-2029, 2005, Modeling Report for Total Maximum Daily Load for Skippack Creek, Montgomery County, Pennsylvania.
- [4] Washington State Department of Ecology, 2006, Henderson Inlet Watershed Fecal Coliform Bacteria, Dissolved Oxygen, pH, and Temperature Total Maximum Daily Load Study.

SWMM (Storm Water Management Model) 使用指南

一、模式介紹

都市暴雨逕流管理模式 (Storm Water Management Model, SWMM) 為美國環保署所開發，以 FORTRAN 語言撰寫，使用者可依實際情況自行改寫程式碼。第一版 SWMM 始於 1971 年，歷經數次版本升級，廣泛使用於都市地區，分析雨水逕流和設計規劃下水道排水系統，亦有許多應用在非都市地區的案例。最新版 SWMM 5.0 是由美國環保署和 Camp Dresser & McKee 工程顧問公司共同開發，發展視窗化介面，讓使用者更容易了解與操作，且提供一個 GIS 整合平台可輸入與編輯資料，進行水文、水力和水質模擬，及以不同形式圖表查看模擬結果，如以色彩呈現不同流域面積和輸送系統、列出具時間序列的圖表、動態圖片、資料統計和頻率分析等等。

SWMM 模式概念是由水及多個環境區塊組成的排水系統，包括氣候區塊、土地利用區塊、地下水區塊、傳輸區塊等 4 個部分組成。氣候區塊，表示降雨及污染物之沉降；土地利用區塊，為子集水區接受氣候區塊之降雨或融雪資料後，其入滲量會進入地下水區塊或地表逕流及污染物會進入傳輸區塊；地下水區塊，接受子集水區入滲量後，會模擬含水層之水量進入傳輸區塊；傳輸區塊，包含渠道、管線、抽水機等傳輸元件以及人孔、滯洪池等導洪、儲水設施，這個區塊主要是由節點與連結線模擬。

SWMM 主要應用於排水系統設計、滯洪池、控制下水道溢流策略，評估污水下水道漏水衝擊，研究廢水負荷分配中非點源污染負荷，評估 BMP 設施削減雨天污染負荷之效能。

二、模擬原理

(一) 地表逕流

SWMM 是以質量平衡的方式，將每個子集水區之地表以非線性蓄水模型進行模擬，如圖 1 所示。集水區入流量來自降雨、融雪或上游集水區之逕流。集水區入流量之排出方式，包括蒸發、入滲、窪蓄、逕流。當入流量超出集

水區的入滲量，入流量會儲存在集水區表面形成蓄水深 d ，若蓄水深 d 超出最大窪蓄水深 d_p 即形成地表逕流 Q 。 W 、 S 、 n 分別表示集水區的寬度、坡度、粗糙係數。

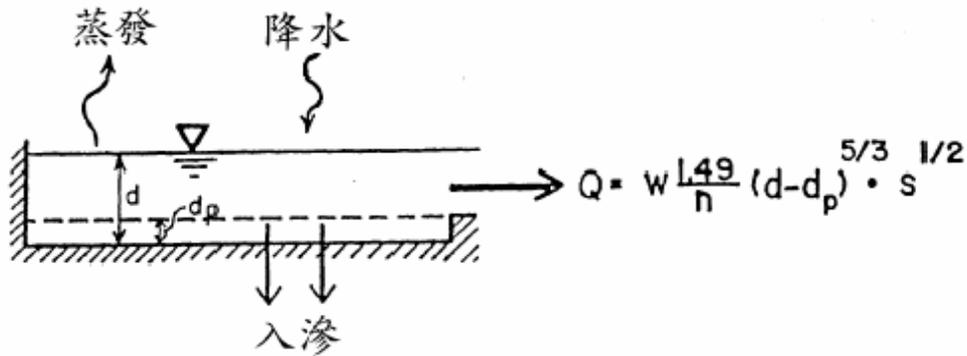


圖 1 非線性蓄水模型示意圖

(二) 入滲量

SWMM 模式提供 Horton's Equation、Green-Ampt Method 及 SCS Curve Number method 等三種設定方式。其中 Horton's Equation 為經驗式，適合模擬降雨強度遠大於入滲量的情況；Green-Ampt Method 則由入滲理論推導而來，能有效模擬入滲過程；SCS Curve Number method 用來估算逕流，僅考慮土壤、土地使用型態及臨前水分之函數。

(三) 地下水

SWMM 將地下水分二種情況（參照圖 2），上層為未飽狀態與下層為完全飽和狀態。各參數表示如下：

f_I ：地表入滲

f_{EU} ：上層蒸散量

f_{EL} ：下層蒸散量

f_U ：由上層向下層傳遞之滲流量

f_L ：由下層更深入補助之滲流量

d_U ：上層水深

d_L ：下層水深

f_G ：地下水側流入排水系統

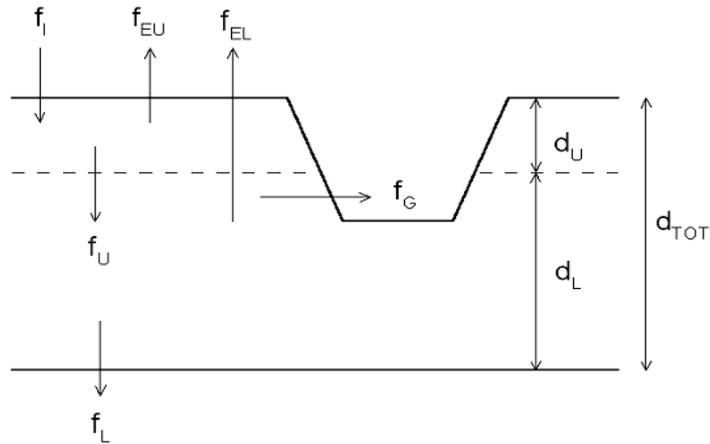


圖 2 地下水二層模式示意圖

(四) 流體演算方法

SWMM 在管線內流體演算，包括質量守恆、動量方程式、聖凡南 (St. Venant) 方程式等 3 種演算方法，用於模擬穩態流、擬變量流及變量流。

(五) 水質模擬

在水質模擬，SWMM 以晴天累積 (Buildup) 及逕流沖刷 (Washoff) 表示。

1. 晴天累積

在晴天污染物累積方面，模式中主要透過不同污染累積方程式，進行地表污染累積的模擬，所使用的方程式主要有以下三種：

- A. Power-Linear
- B. Exponential
- C. Michaelis-Menton

以上三種塵土累積曲線如圖 3 所示。而實際街道測量塵土累積曲線如圖 4。因為污染物累積形式，隨地域不同而變化很大，所以方程式和參數的選用，應視當地實際情況而定。

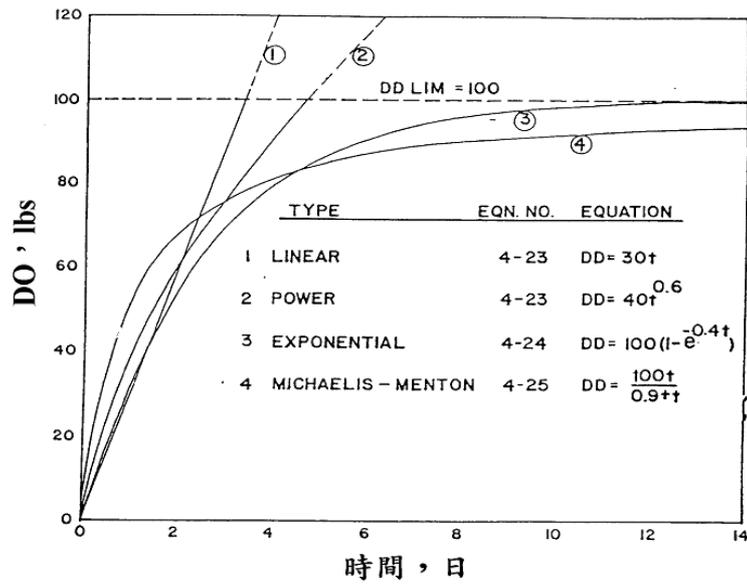


圖 3 四種塵土累積模式 (Huber, 1984)

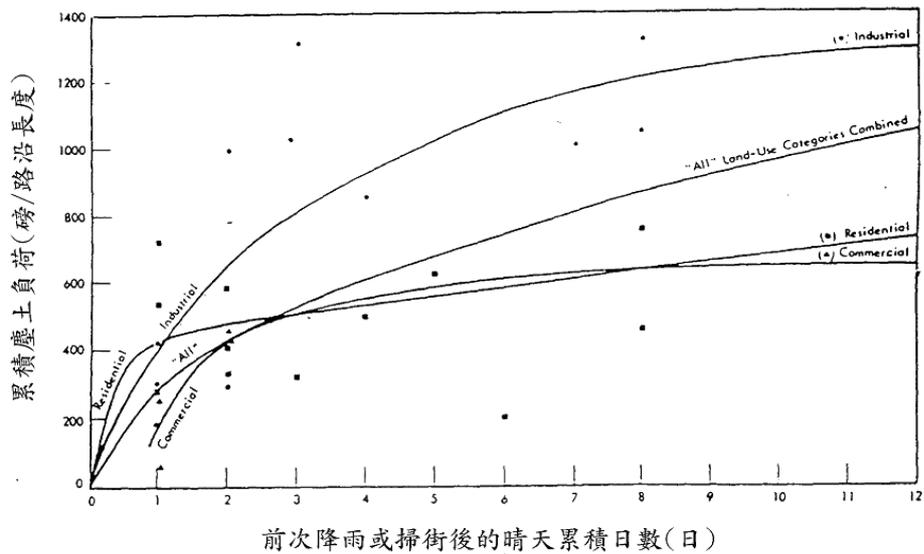


圖 4 實測街道塵土累積曲線 (Huber, 1984)

2. 污染物冲刷部分 (Washoff)

在污染物冲刷模拟方面，模式中以 Power-exponential 與 Rating curve method。其中 Power-exponential 假设污染物被冲刷出的速率与累积在次集水区表面的污染物成正比，污染物可以被完全冲出，Power-exponential 方法假设集水区內不透水和透水区域的逕流速率一致。Rating curve method 是根据沉积物的特性发展出来，污染物的冲刷

量速率與逕流成指數關係，亦即沖刷量隨著流量增加而增加。在 SWMM 模式中，Rating curve method 可以假設有沖刷上限。

三、模式所需資料與參數

模式需輸入六大項資料，分別為（一）基本設定、（二）氣候資料、（三）水文資料、（四）水力資料、（五）水質資料、（六）曲線資料。

（一）基本設定

1. 一般選單：輸入程序模式、入滲模式、混合選項、水流路徑模式。
2. 日期選單：選擇模擬開始與結束時間，及模擬前晴天日數。
3. 時間選單：設定逕流發生時的天氣情況，及計算流體時間間隔。
4. 動力波選單：設定慣性項、定義超臨流、選擇力學方程式、變量時間間隔。

（二）氣候資料

1. 溫度：輸入日期、時間、溫度值。
2. 蒸發：輸入常數值或輸入不同日期時間之蒸發值。
3. 風速：月平均值。

（三）水文資料

1. 雨量站：設定雨量站位置、屬性資料（降雨格式、雨量單位、測站名稱等等）。
2. 集水區：輸入名稱、面積、寬度、坡度、不透水面積比、不透水曼寧係數、儲水深度、不透水不儲水面積比以及雨量站、出口、地下水等。
3. 含水層：設定名稱、孔隙率、含水量、水力傳導係數、坡度、上下含水層蒸發量、底部高程、水位等。
4. 水文歷線：設定名稱、選擇雨量站、輸入不同時間的水文歷線與出

水深度。

(四) 水力資料

1. 節點選單：

人孔，名稱、位置、入流量、管底高程、最大水深、初始水深、超出水深、淹水面積；儲水設施，名稱、位置、入流量、處理、底部高程、最大水深、初始水深、淹水面積、蒸發因子、入滲、儲水曲線；排水終點，名稱、位置、入流量、處理、底部高程、閘門、邊界條件。

2. 連結線選單：

管線，名稱、上下游節點名稱、形狀、最大水深、管長、粗糙係數、初流量、最大流量、水頭損失係數、閘門、箱涵；抽水機，名稱、進出口節點、抽水曲線、開啟與關閉之上游結點水深；孔口，名稱、上下游節點名稱、種類、形狀、高度、寬度、出流係數、閘門、開關時間；堰，名稱、上下游節點名稱、種類、高度、長度、坡度、出流係數、閘門；排水口，上下游節點名稱、上游水深、率定曲線種類及其係數、閘門。

3. 水力斷面：斷面名稱、里程、高程、左右岸粗糙係數、修正係數。

(五) 水質資料

1. 污染物：設定名稱、單位、雨水中濃度、地下水中濃度、晴天時濃度、衰減係數、混合污染物中所占比例。
2. 土地利用：基本項，輸入名稱、街道係數；晴天污染累積，選擇污染物晴天累積函數及其最大污染累積量、污染累積率；污染沖刷，污染物名稱、濃度計算函數及其各項係數、BMP 設施削減污染效率。

(六) 曲線資料

使用者可依案例需求輸入下列曲線：

1. 控制曲線：輸入控制值及控制環境
2. 分散曲線：輸入入流量及出流量
3. 抽水曲線：輸入體積及抽水量
4. 率定曲線：輸入水深及出流量
5. 形狀曲線：輸入水深與總水深比值及寬度與總水深比值
6. 儲水曲線：輸入水深及面積
7. 潮汐曲線：輸入時間及潮汐水位

將上述常用參數及其美制、公制單位彙整如表 1。

四、可模擬之水質項目

SWMM 可模擬都市逕流之污染物如表 2，以事件平均濃度表示各污染物的濃度範圍，使用者可根據需求選定不同的污染物。

表 1 SWMM 常用參數表

PARAMETER	US CUSTOMARY	SI METRIC
Area (Subcatchment)	acres	hectares
Area (Storage Unit)	square feet	m ²
Area (Ponding)	square feet	m ²
Capillary Suction	inches	millimeters
Concentration	mg/L (milligrams/liter) ug/L (micrograms/liter) Count/L (counts/liter)	mg/L ug/L Count/L
Decay Constant (Infiltration)	1/hours	1/hours
Decay Constant (Pollutants)	1/days	1/days
Depression Storage	inches	millimeters
Depth	feet	meters
Diameter	feet	meters
Discharge Coefficient Orifice Weir	dimensionless CFS/foot ⁿ	dimensionless CMS/meter ⁿ
Elevation	feet	meters
Evaporation	inches/day	millimeters/day

表 1 SWMM 常用參數表 (續)

PARAMETER	US CUSTOMARY	SI METRIC
Flow	CFS (cubic feet / second) GPM (gallons / minute)	CMS (cubic meters/second) LPS (liters/second)
Head	feet	meters
Hydraulic Conductivity	inches/hour	millimeters/hour
Infiltration Rate	inches/hour	millimeters/hour
Length	feet	meters
Manning's n	seconds/meter	seconds/meter ^{1/3}
Pollutant Buildup	mass/length mass/acre	mass/length mass/hectare
Rainfall Intensity	inches/hour	millimeters/hour
Rainfall Volume	inches	millimeters
Slope (Subcatchments)	percent	percent
Slope (Cross Section)	rise/run	rise/run
Street Cleaning Interval	days	days
Volume	cubic feet	cubic meters
Width	feet	meters

資料來源：STORM WATER MANAGEMENT MODEL USER'S MANUAL Version 5.0

表 2 都市逕流水質

Constituent	Event Mean Concentrations
TSS (mg/L)	180 - 548
BOD (mg/L)	12 - 19
COD (mg/L)	82 - 178
Total P (mg/L)	0.42 - 0.88
Soluble P (mg/L)	0.15 - 0.28
TKN (mg/L)	1.90 - 4.18
NO ₂ /NO ₃ -N (mg/L)	0.86 - 2.2
Total Cu (ug/L)	43 - 118
Total Pb (ug/L)	182 - 443
Total Zn (ug/L)	202 - 633

資料來源：U.S. Environmental Protection Agency. (1983). Results of the Nationwide Urban Runoff Program (NURP), Vol. 1, NTIS PB 84-185552, Water Planning Division, Washington, DC.

五、系統需求及操作介面

(一) 系統需求

1. CPU Pentium 200 以上等級
2. 作業系統要用 Windows 98 以上
3. 螢幕解析度要 800*600 以上
4. RAM 256MB 以上

(二) 操作介面

操作介面主要分為二部分，資料輸入工具列（如圖 5 虛線框框）及地圖顯示工具（如圖 6）。其中，資料輸入工具列已將模式所有資料與參數按照順序排列，可讓使用者輕鬆完成設定；地圖顯示工具列，將不同參數值用不同顏色地圖表示，易於使用者檢查資料正確性，並增加資料分析的廣度。

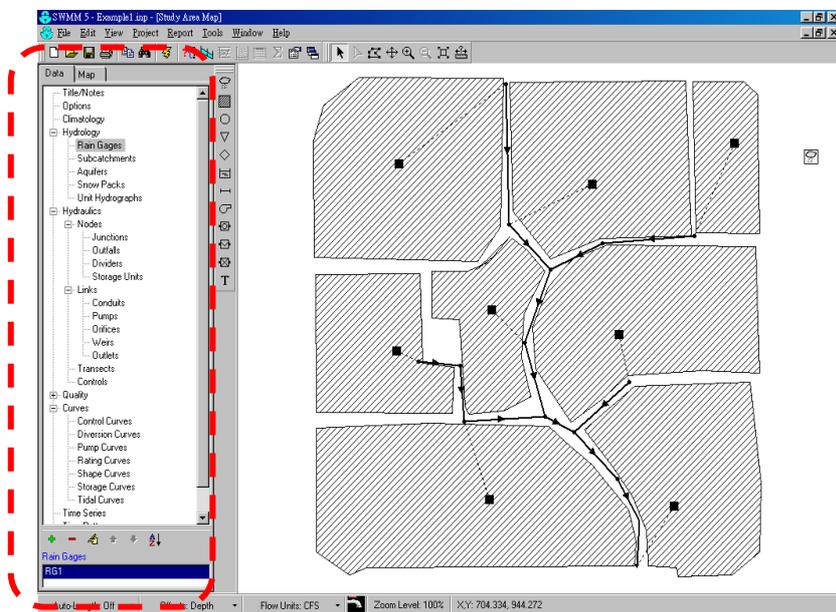


圖 5 資料輸入工具列

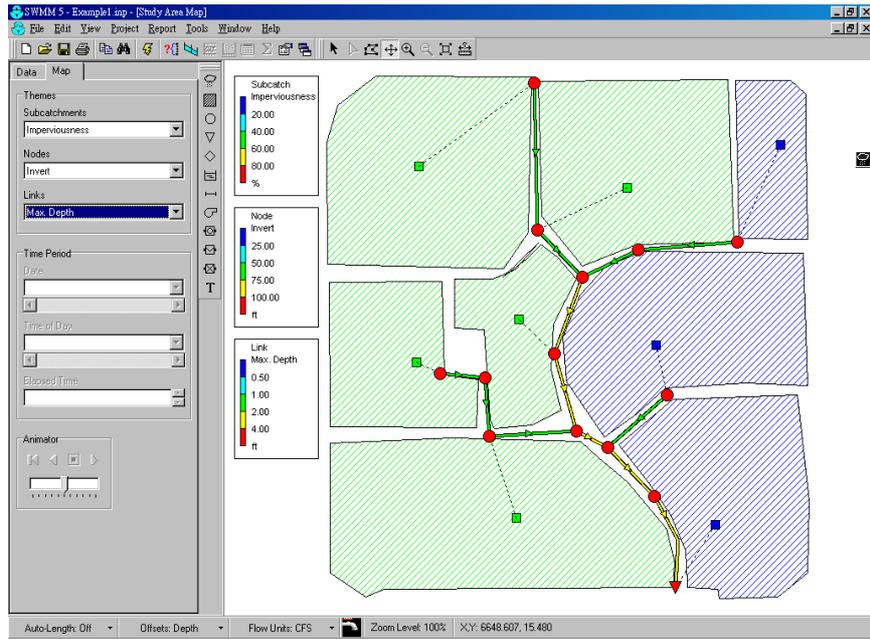


圖 6 地圖顯示工具

參考文獻

- [1] STORM WATER MANAGEMENT MODEL USER'S MANUAL Version 5.0
- [2] U.S. Environmental Protection Agency. (1983). *Results of the Nationwide Urban Runoff Program (NURP)*, Vol. 1, NTIS PB 84-185552, Water Planning Division, Washington, DC.

WASP (The Water Quality Analysis Simulation Program) 使用指南

一、模式介紹

WASP7 (The Water Quality Analysis Simulation Program)，源自美國曼哈頓學院 (Manhattan College) 發展，再經美國環保署 (USEPA) 修改而成。其最原始的版本於1983年開發，綜合了許多模式的概念，之後 WASP 經多次修訂後發展成 WASP5，而 WASP5 及其以前的版本之操作系統皆為 DOS，直到發展成 Windows 系統之 WASP6，2005年發布了最新版本 WASP7。該模式能用於觀測水體水質受物理、化學等自然現象的影響，並可預測水體受人為活動污染後之水質變化，可模擬水文動力學、河流一維之不穩定流、湖泊及河口三維之不穩定流；常態污染物 (氮、磷、溶氧及營養鹽等) 和有毒污染物 (有機化學物質、金屬及沉積物)，整理如表1，依污染物之性質可分為八種模組，分別為優養化模組 (Eutrophication)、進階優養化模組 (Advanced Eutrophication)、簡單毒性物模組 (Simple Toxicant)、非離子毒性物模組 (Non-Ionizing Toxicant)、有機毒性物模組 (Organic Toxicant)、汞模組 (Mercury)、熱模組 (Heat) 及臨時性模組 (Temporary)，模擬結果可作為水污染決策管理的依據 (Wool et al., 2000)。

表1 WASP模式簡介

WASP 模式	
當前版本	7.3
操作系統	Windows 95/98/ME/2000/XP
關鍵字	水生生物、評估、執行、排放、環境影響、水文、金屬、國家污染排放去除系統 (NPDES)、非點源、點源、地表水、測試/分析、總量管制相關。
媒介	地表水
污染物類型	常態污染物 (溶氧、生化需氧量、氮、磷、底泥需氧量及藻類等)、有機化合物、金屬、汞、致病菌、溫度。

(一) 模式特性

1. 可模擬水體一維、二維及三維之問題。
2. 可分析多種水質問題，適用水體包括池塘、溪流、湖泊、水庫、感潮與非感潮河川、河口、及海岸水域。
3. 考慮時變或非時變性、線性與非線性分析及點源與非點源污染。
4. 該模式為免費軟體可由美國環保署網站直接下載。
5. 模式可連結外部水理模式，水理現象可經由水理模式模擬其結果，再匯入 WASP 模式中，使其水質模擬更為完善；污染物也可從污染負荷模式中匯入其污染物質。外部連結模式詳表如表2。

表2 外部連結模式

Loading Models	Hydrodynamic Models
SWMM	
HSPF	EFDC
LSPC	DYNHYD
NPSM	EPD-RIV1
PRZM	SWMM
GBMM	

資料來源：黃民宗，2008

(二) 模式用途

在美國已成功用來模擬美國五大湖之優養化與 PCB 污染變化及 Potomac Estuary 之優養化情形；在國內（郭振泰等，1985、1987）利用 WASP5 發展德基水庫水庫體積固定不變之二維水質模擬；（吳芳池，2003）利用 WASP 評估愛河之涵容能力；（楊州斌，2005）利用 WASP5 模擬岡山本洲工業區滯留池及二重疏洪道之水質。因此，延用其概念模式進行水質模擬相當合適的。

由於 WASP 是純粹河道水質模式，並無法模擬集水區非點源污染的產量，因此需藉由其他模式的配合如 VAST，因此以 WASP 進行環境影響評估時，如是屬於非點源污染之開發案則需與其他模式配合，反之主要受點源污染之開發案則採用 WASP 較適合（梁文盛，2008）。

(三) 模式運用之限制條件

- A.水質模擬項目：16項
- B.網格劃分數量：4,000個
- C.化學反應參數：210個
- D.環境特性常數：45項
- E.時間函數定義：23個
- F.污染負荷輸入：50個
- G.邊界條件設定：150個

(四) 模式架構

一般採用 WASP 基本架構中優養化模組 (Eutrophication Module, EUTRO) 模組，可模擬8個常態水質指標，即氨氮、硝酸鹽、無機磷、浮游植物、生化需氧量、溶氧、有機氮及有機磷，其複雜程度如表3所示。

表3 WASP模式之Eutrophication模組複雜程度

項目	名稱	複雜程度					
		1	2	3	4	5	6
1	氨氮		×	×	×	×	×
2	硝酸鹽			×	×	×	×
3	無機磷				×	×	×
4	浮游植物				×	×	×
5	水生物						×
6	生化需氧量	×	×	×	×	×	×
7	溶氧	×	×	×	×	×	×
8	有機氮			×	×	×	×
9	有機磷				×	×	×
10	底泥					×	×
複雜程度	敘述						
1	Streeter-Phelps DO/BOD and Descriptive SOD						
2	Modified Streeter-Phelps with NBOD						
3	Linear DO Balance with Nitrification						
4	Simple Eutrophication with Descriptive SOD						
5	Intermediate Eutrophication with Sediment Diagenesis						
6	Advanced Eutrophication with Sediment Diagenesis						

資料來源：U. S. EPA (2009)，WASP7 Course (註：“×”表有模擬。)

WASP 中之 Eutrophication 模組水質變化關係，利用前述之水質指標構成4個相互作用的子系統，分別描述氮循環、磷循環、溶氧平衡及浮游植物動態變化等關係，供使用者於水質模擬參考，如圖1所示。

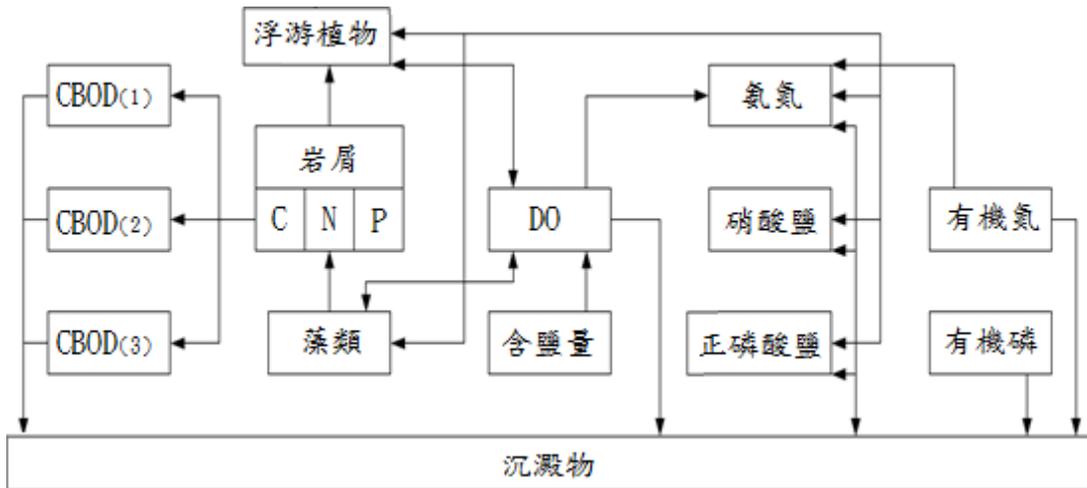


圖 1 EUTRO 模組基本架構

二、模擬原理

模式的基本原理為「質量守恆」，一般質量守恆方程式包括所有物質進入網格後，經由直接及擴散、傳輸及延散輸送、物理、化學及生物轉化機制後，離開該水體的過程，其程式如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_L + S_B + S_K$$

其中，

C：水質組成成分的濃度，mg/L。

t：時間座標，days。

x、y、z：空間座標，m。

U_x, U_y, U_z ：縱向、橫向、及垂直方向的流速，m/day。

E_x, E_y, E_z ：縱向、橫向、及垂直方向的延散係數， m^2/day 。

S_L ：直接及擴散負荷率（direct and diffuse loading rate）， $g/m^3\text{-day}$ 。

S_B ：邊界負荷率（boundary loading rate）， $g/m^3\text{-day}$ 。

S_K ：整體動力轉化速率，正值為來源（source），負值為損耗（sink）， $g/m^3\text{-day}$ 。

由式中，等號左邊為水體中水質濃度對時間的變化，等號右邊為對流、延散、沉降、釋出及生化反應等現象，所造成體積中水體水質的質量變化。

三、模式所需資料及參數

(一) 基本設定

1. 水體網格劃分

考量於下列位置進行劃分：

- A. 點源污染注入或支流匯入點。
- B. 水理條件發生顯著變化處。
- C. 大量取水河段。
- D. 感潮河段界線。
- E. 平直河段每隔數百公尺分段，水理變化不明顯處可整合。
- F. 已有河川斷面實測資料處。

2. 模擬時段選定

選擇時段用來率定、驗證及模擬，一般會選擇枯水期來建立模式，其污染程度較明顯。

3. 初始濃度設定

採模擬時段第一次水質監測成果為初始濃度。

4. 污染量推估

點源污染及非點源污染量，單位為 kg/day 。

5. 流量定義

採模擬時段內流量監測結果之中位數作為設計流量。

6. 邊界設計濃度設定

採模擬時段之水質測站監測值之中位數。

(二) 氣候資料

氣象測站測之雨量、蒸散量及風速等。

(三) 水文資料

河川大斷面資料、流量流速及曼寧 n 值等。

(四) 水質資料

河川監測站之水質、污染物濃度及衰減係數等。

(五) 模式參數

在進行水質模式之驗證前，須依據以往之文獻或實測資料來估算各項水質參數之可能值，再經過驗證之調整求得符合河川特性之水質參數，將 WASP 模式常用參數，依美國環保署提供之參數範圍預設值及文獻提供之參數建議值，加以匯整為 WASP 常用水質參數表，如表4所示，而模式各輸入單元所需之資料輸入整理如表5。

表4 WSAP常用水質參數表

參數名稱	定義	單位	美國環保署		急水溪 檢定值
			最小值	最大值	
Ammonia					
Nitrification Rate Constant@20°C	20°C 硝化速率常數	day ⁻¹	0	10	0.01
Nitrification Temperature Coefficient	20°C 硝化溫度係數	-	0	1.07	1.07
Half Saturation Constant for Nitrification Oxygen Limit	硝化反應氧限制之半飽和常數	mg O ₂ /L	0	2	2
Nitrate					
Denitrification Rate Constant@20°C	20°C 脫硝速率常數	day ⁻¹	0	0.09	0.01
Denitrification Temperature Coefficient	20°C 脫硝溫度係數	-	0	1.04	1.04
Organic Nitrogen					
Dissolved Organic Nitrogen Mineralization Rate Constantt@20°C	20°C 溶解性有機氮礦化速率常數	day ⁻¹	0	1.08	0.05
Dissolved Organic Nitrogen Mineralization Temperature Coefficient	溶解性有機氮礦化溫度係數	-	0	1.08	1.08
Organic Nitrogen Decay Rate Constant in Sediments@20°C	20°C 沉積物中有機氮衰減速率常數	day ⁻¹	0	0.0004	0.0004
Organic Nitrogen Decay in Sediment Temperature Coefficient	沉積物中有機氮衰減溫度係數	-	0	1.08	1.08
Fraction of phytoplankton Death Recycled to Organic Nitrogen	浮游植物死亡加入有機氮循環之比例	-	0	1	0.5

資料來源：本計畫整理

表4 WSAP常用水質參數表 (續)

參數名稱	定義	單位	美國環保署		急水溪 檢定值
			最小值	最大值	
Organic Phosphorus					
Mineralization Rate Constant for Dissolved P@20°C	溶解性磷在 20°C 時礦化速率常數	day ⁻¹	0	0.22	0.02
Dissolved Organic Phosphorus Mineralization Temperature Coefficient	溶解性有機磷礦化溫度係數	-	0	1.08	1.08
Organic Phosphorus Decay Rate Constant in Sediments@20°C	沉積物在 20°C 時有機磷衰減速率常數	day ⁻¹	0	0.0004	0.0004
Organic Phosphorus Decay in Sediments Temperature Coefficient	沉積物中有機磷衰減溫度係數	-	0	1.08	1.08
Fraction of Phytoplankton Death Recycled to Organic Phosphorus	浮游植物死亡加入有機磷循環之比例	-	0	1	0.4
CBOD (Ultimate)					
CBOD Decay Rate Constant @20°C	CBOD 在 20°C 時之衰減速率常數	day ⁻¹	0	5.6	0.1
CBOD Decay Rate Temperature Correction Coefficient	CBOD 衰減速率溫度修正係數	-	0	1.07	1.07
CBOD Decay Rate Constant in Sediments@20°C	沉積物在 20°C 時 CBOD 衰減速率常數	day ⁻¹	0	0.0004	0.0004
CBOD Decay Rate in Sediments Temperature Correction Coefficient	沉積物中 CBOD 衰減速率溫度修正係數	-	0	1.08	1.08
CBOD Half Saturation Oxygen Limit	CBOD 氧限制之半飽和濃度	mg O ₂ /L	0	0.5	0.5

資料來源：本計畫整理

表5 WASP各單元之輸入資料

編號	名稱	說明	單位	
1	模擬控制 (Data Set)	模式模擬前給予定義，說明模擬區域、起始時間設定、水理模式設置、是否連結外部非點源污染資料等。	水體之格點數	1、2、3...
			模擬系統	day
2	輸出檔間隔 (Print Interval)	設定所需擷取模擬時間，單位以天為計。	時間間隔	day
3	段落屬性 (Segments)	為水體資料輸入，分別為水體資料、環境參數及初始條件。水體資料方面，需提供初始水體體積及水理參數及網格單元數目，以表示各網格單元之流量函數。環境參數方面，須考量動力學時間函數問題。初始條件方面，需輸入每個網格之初始濃度。	格點平均 段面數	1、2、3...
			格點長度	m
			初始水體體積	m ³
			初始水體平均 水深	m
			初始水體流速	m/sec
			各段落濃度 初始值	m ³ /sec
4	系統屬性 (System Data)	為 15 項水質模擬選定，並設定其最大邊界濃度及污染負荷量。	-	
5	參數設置 (Parameters Data)	為水體環境控制設定，選取所需水體環境的參數，如水溫、氣溫等。	溫度	°C
6	常數 (Constants Data)	為水質常數設定，考慮水質模擬過程中，不隨時間及空間改變。	-	
7	負荷 (Loads)	設定污染物進入該網格單元位置及污染量，由於模式並未考慮流達率，故輸入的污染源必須是污染流達量。	點源及非點源 污染量	kg/day
8	時間函數 (Time Functions)	為模式之水體環境參數資料，可依不同時間輸入資料，如水溫、風速、日照等。	-	
9	延散 (Exchanges)	須考慮模擬水體是否為感潮河段，進而考慮延散係數。輸入資料為網格間平均斷面積、長度及延散係數，以計算各網格間延散情況，延散係數可以線性時間函數輸入。	-	
10	流量 (Flows)	流量資料可直接輸入；或由其他水理模式輸入，輸入格式為*.hyd 檔，以計算水體流動情形。	流量	m ³ /sec

資料來源：本計畫整理

表5 WASP各單元之輸入資料(續)

編號	名稱	說明	單位
11	邊界濃度 (Boundaries)	提供 15 項水質邊界濃度，以線性時間函數輸入。	BOD、DO、ON、NH ₃ 、NO ₃ 及 PO ₄ 等 mg/L
12	輸出控制 (Output Control)	選擇要輸出及產生 CSV 檔之水質項目。	-
13	執行 (Execute Model)	模式開始模擬。	-

資料來源：本計畫整理

四、可模擬之水質項目

BOD、DO、氮、磷、浮游生物、懸浮物、養分、藻類、重金屬及有害物質等。

五、系統需求及操作介面

(一) 系統需求

從發展至今在軟體操作介面上由原先的 DOS 作業系統進階到 Microsoft Windows 系統，Windows 95/98/ME/2000/XP 皆可使用。

(二) 操作介面

模式進入畫面如圖2，其操作介面如圖3所示。

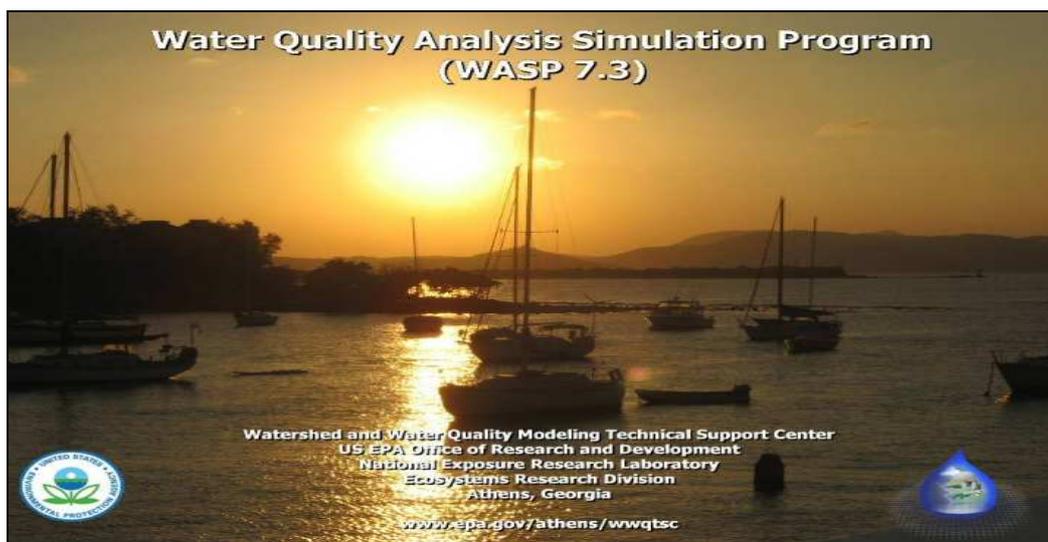


圖2 Wasp模式進入畫面

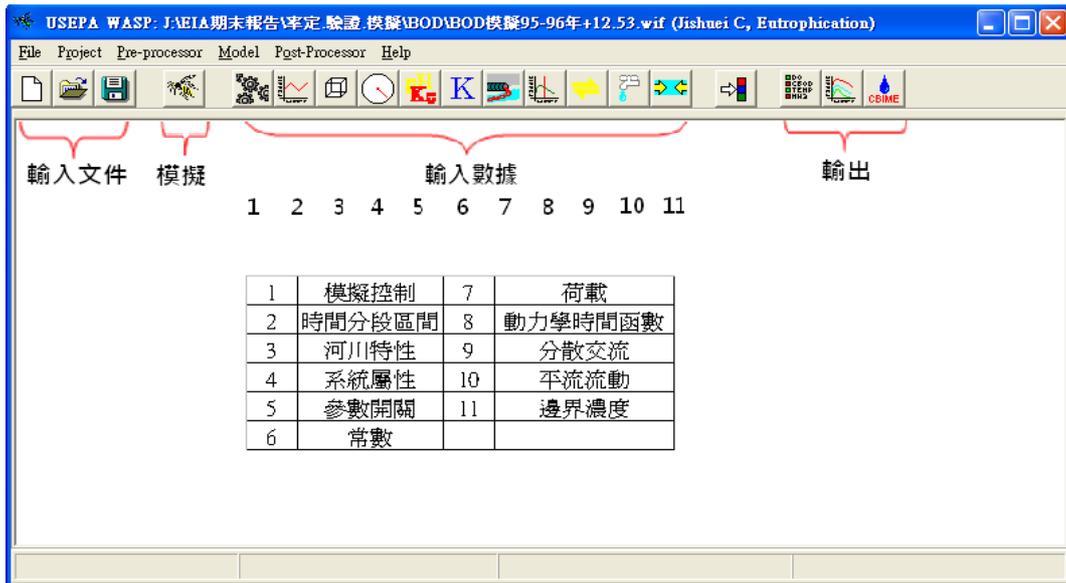


圖3 WASP操作介面

參考文獻

- [1] U.S. EPA, 2009. WASP7 Course.
- [2] Wool, T.A., R.B. Ambrose, J.L. Martin, E.A. Comer, 2000, Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) version 6.0 DRAFT: User's Manual, U.S. EPA, Athens, Georgia.
- [3] 吳芳池, 2003。河川流域管理-WASP 水質模式評估愛合之整治方案, 國立中山大學環境工程研究所碩士論文。
- [4] 梁文盛, 2008、2009。自來水水質水量保護區環境影響因子調查與資料建置及涵容能力分析研究(1/4)、(2/4), 經濟部水利署。
- [5] 郭振泰等, 1984、1985、1987。德基水庫水質模擬與探討(一)、(二)、(三), 年, 水資會/台大土木工程研究所。
- [6] 黃民宗, 2008。自來水水質水量保護區之涵容能力分析, 國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
- [7] 楊州斌, 2005。濕地水質及生態模式之發展, 國立台灣大學土木工程學系研究所博士論文。