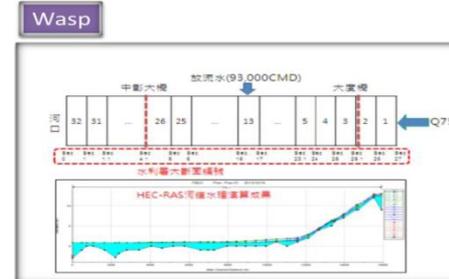
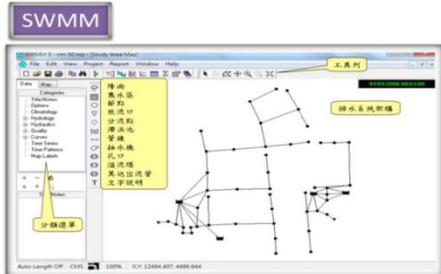
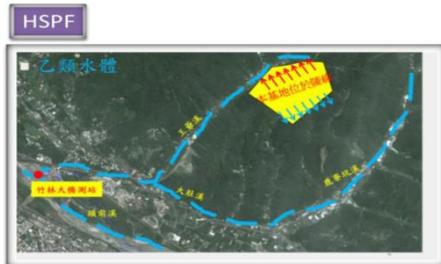


水質總量管制



林鎮洋

國立臺北科技大學土木系特聘教授兼水環境研究中心主任

國立台灣大學環境工程學研究所兼任教授

<http://140.124.61.21/jylin/chinese.htm>



簡報大綱

- ◆ 大家都說總量管制
- ◆ 美國水污染防治
- ◆ 水質模式理論基礎
- ◆ 我國第一步：環評河川水質評估
- ◆ 水體重金屬總量削減（被污染農地）
- ◆ 下一步：水庫水質總量管制



2008年臺北（人口約800萬）



成長管理

空氣污染

- 環保署於**88年**修訂空污法，參酌美國新設污染源審核制度（New Source Review, NSR）之抵換作法與美國南加州RECLAIM（Regional Clean Air Incentives Market）之**指定削減**精神，建構國內**總量管制**之法源基礎，將防制區管理與區域總量管理制度納入空污法中；於92年，開始推動防制區管理。
- 歷經多次研修，於100年完備「既存固定污染源污染物排放量認可準則」及「固定污染源空氣污染物削減量差額認可保留抵換及交易辦法」兩項子法，另完成排放量認可指引及空氣污染物削減量差額管理平台等配套工具。於103年11月，環保署與**經濟部**召開研商公聽會，其後，納入經濟部工業局、能源局及國營事業委員會等意見，完成高屏地區總量管制計畫（初稿）修正；於103年12月12日預告訂定「高屏地區空氣污染物總量管制計畫」草案；於104年1月7日，召開「高屏地區空氣污染物總量管制計畫（草案）」研商公聽會，參與對象包括地方主管機關、公私場所、環保團體及當地居民等單位；於104年5月會銜經濟部。並於**104年6月30日公告高屏地區空氣污染物總量管制計畫**。



生物總量



大冠鷲

黃俊源攝



條紋松鼠

林勝惠攝



朱鷓

陳加盛攝



土地承載力



廖靜蕙（環境資訊中心特約記者）

2013年紀錄片《看見台灣》，忠實呈現了**清境農場**現況，然而卻是讓人啞口無言與愕然，從平面看高大夢幻的童話城堡，從空中看卻是滿目瘡痍，濫墾濫伐不下於平地。這讓人不得不問，國土傷痕從何而來？





總量/飽和量

現況

因應對策

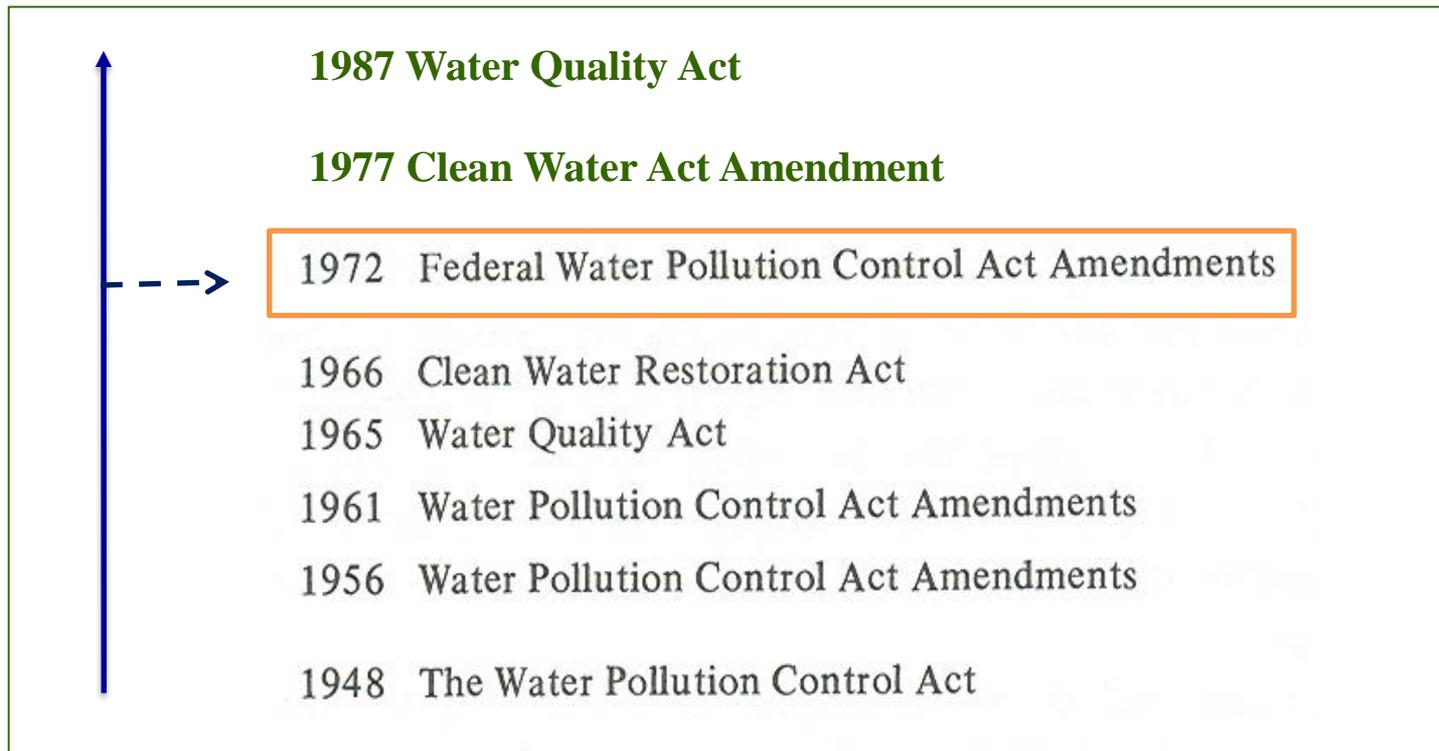
人口	?	OK (人口調查)	×
空氣污染	△ (訂定目標)	△ (現調+模式)	△ (技術可行， 實際難為)
生物總量	?	△	△
土地承載力	△	OK	×
水質	△ (Q ₇₅ 、M ₅₀)	△ (現調+模式)	△ (技術可行， 實際難為)

美國聯邦淨水法案簡介

Introduction to US Federal Clean Water Act

美國水染防治聯邦法律的演變

History of Water Pollution Control in U.S.



美國水污染防治

美國1972聯邦淨水法案的目標：

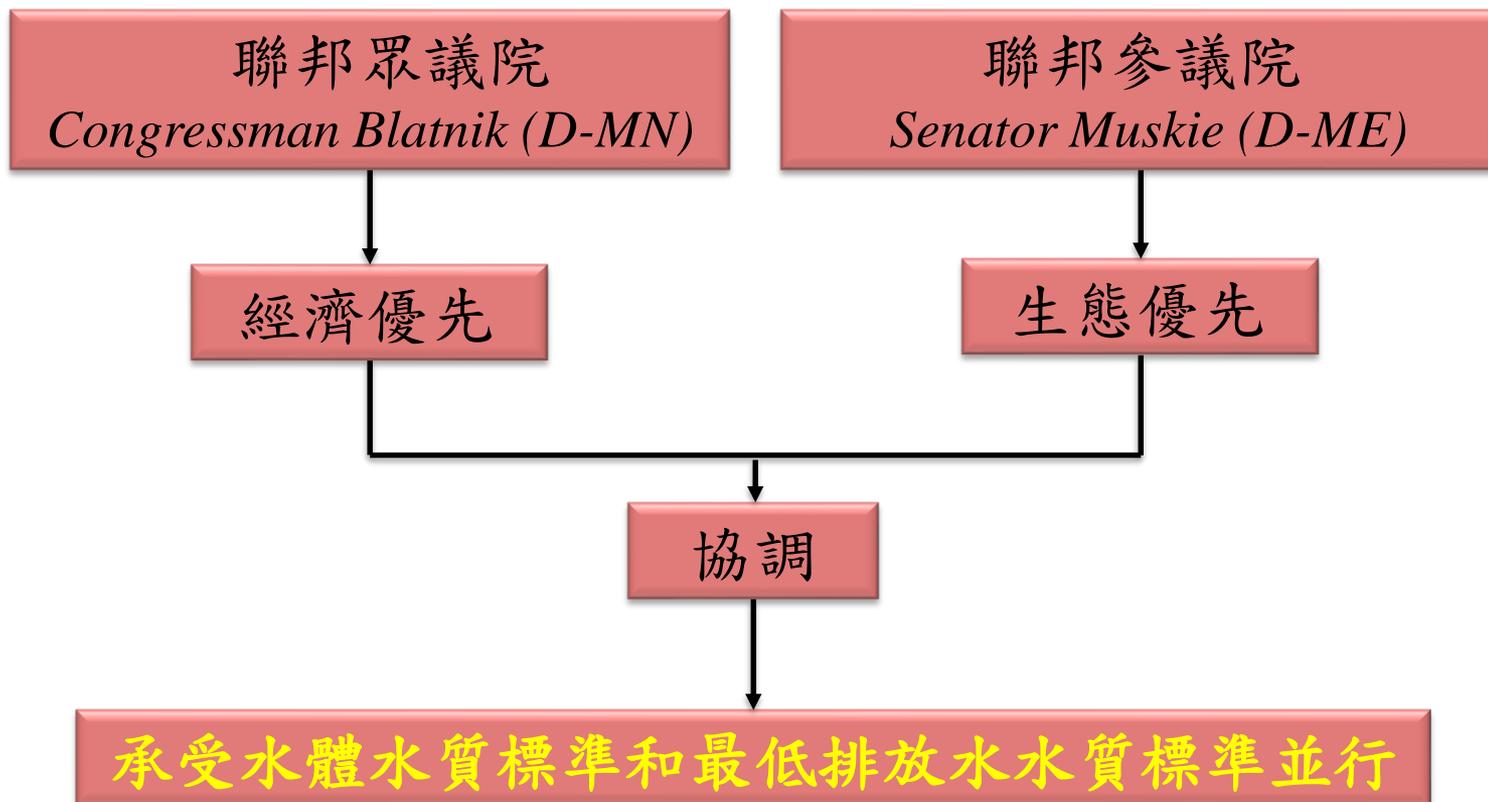
淨水法案的目標是恢復/維護水環境並達到水體在未受污染前的水質狀態。

The objective of this Act is to restore and maintain the chemical, physical, and biological integrity of the Nation's waters.



美國1972聯邦淨水法案的行動方針

行動方針的形成



行動方針的實施

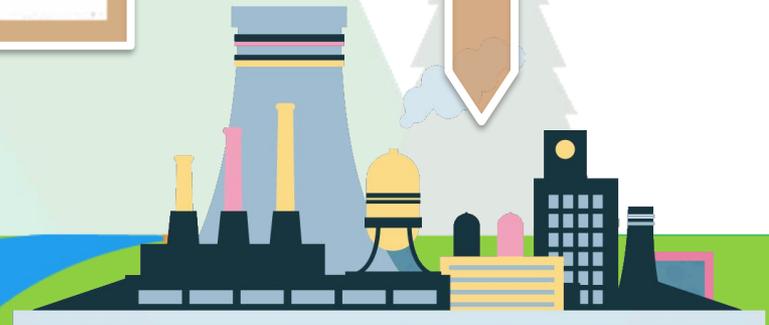
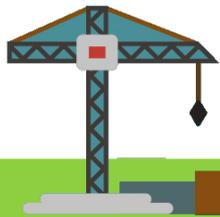
水質模式分析

承受水體水質標準

Water quality approach: determine water quality needed for planned uses of the river (fish and wildlife, drinking water, recreation, etc.) in the form of chemical and biological standards which support such uses. If the water does not meet these standards, develop plans for doing so. This approach considers pollution from point sources (factories, sewage treatment plants) and from nonpoint sources (farm and residential storm runoff).

最低放流水水質標準

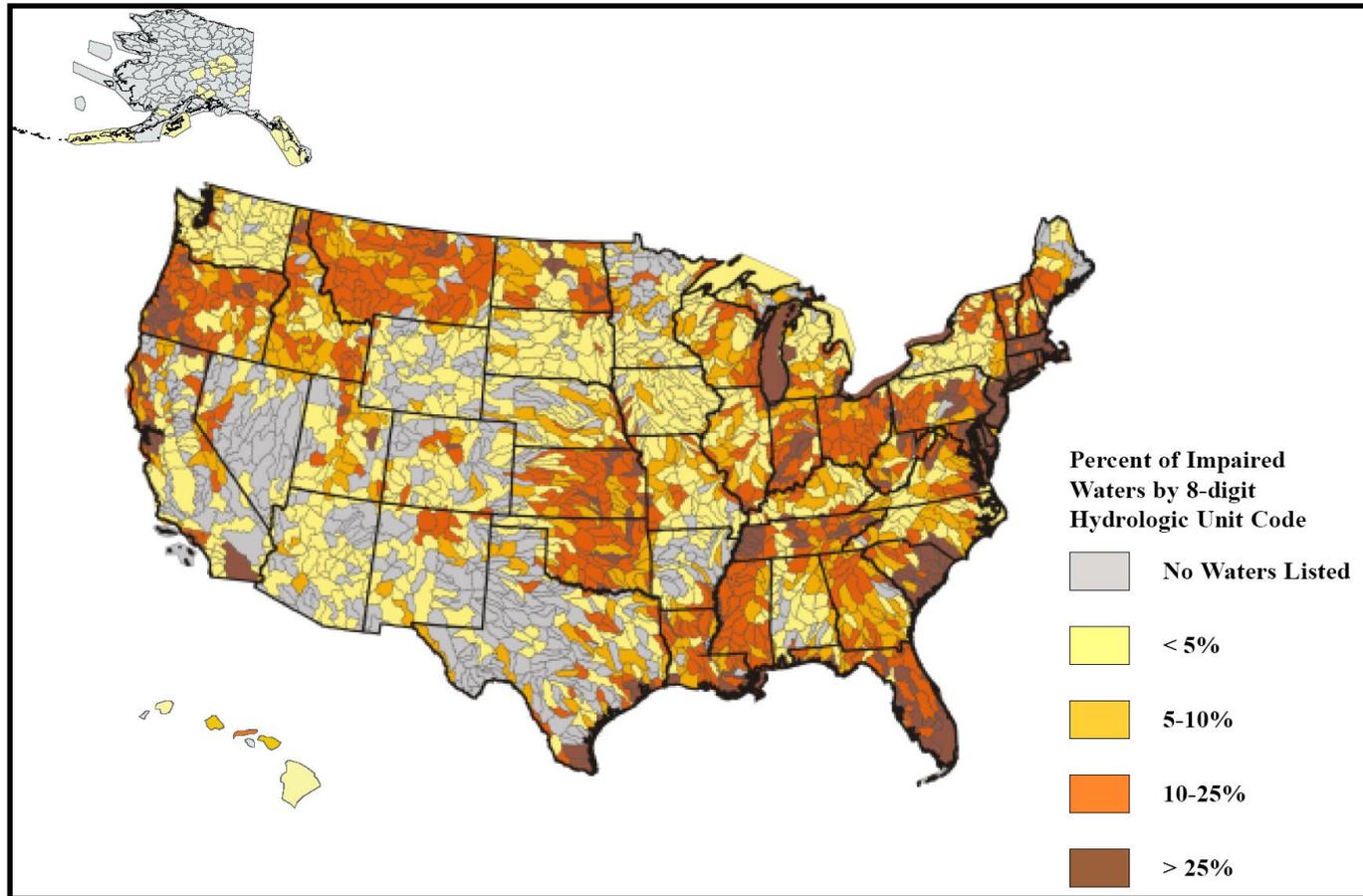
Technology-based approach: identify point source polluters (factories, sewage treatment plants) and ensure that they stay within discharge limits attainable under current water pollution technology. This approach does not consider nonpoint sources of pollution.



1972聯邦淨水法未盡全功

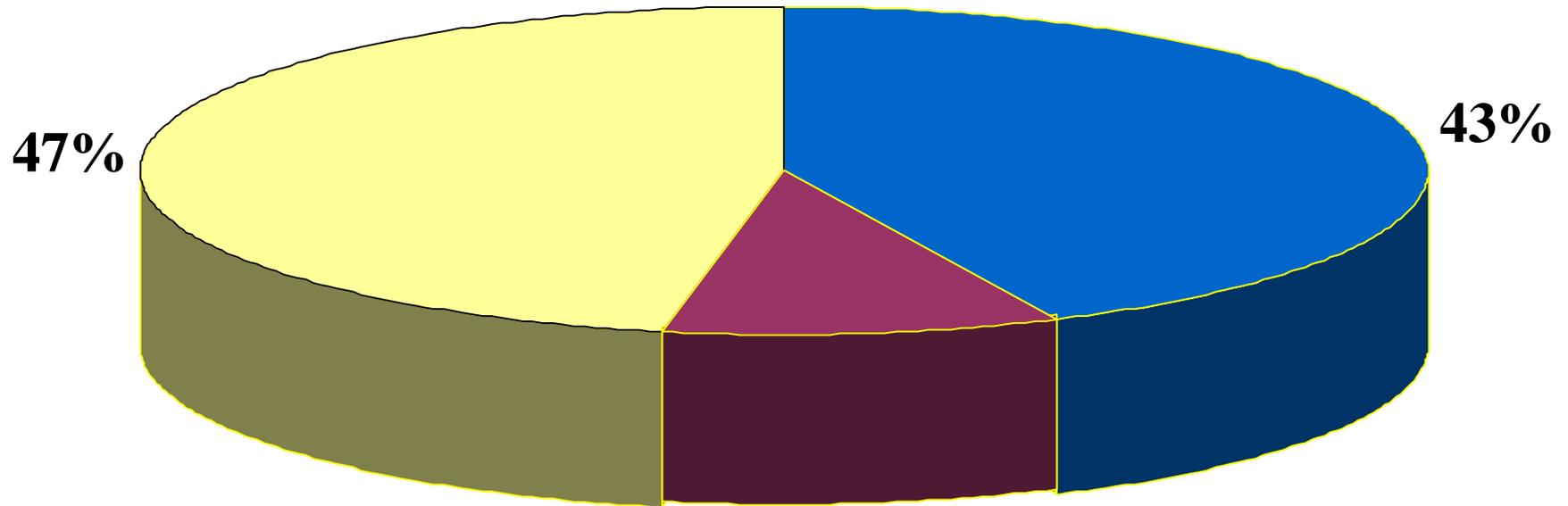
1972 Clean Water Act: A Partial Successful Story

National Inventory of Impaired Waters, 2003

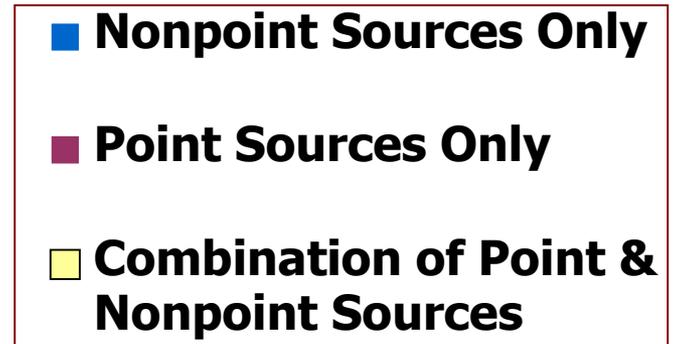


淨水法治理目標未能完全達成的原因

Causes of Water Quality Impairment



10%



聯邦淨水法1987年修正案及非點源污染防治

1987 Clean Water Act and Non-Point Pollution Control

Section 319 was added to 1987 Water Quality Act. It directs states to develop and implement management programs targeting their major nonpoint sources. Federal grants, covering up to 60 percent of the program costs, also were authorized to assist states in tackling this difficult pollution problem.

- Water Pollution Control Act --- Pre-1987 (NPDES)
- Clean Water Act of 1987
- Stormwater Discharge Permit - Phase I (1990)
- Stormwater Discharge Permit - Phase II (1998)
- Farm Act of 1998 (USDA Programs)
- Other Federal Agency Programs -- USGS, FHWA, COE
- State Nonpoint Pollution Control Programs - Virginia
- Local or Regional Programs -- Chesapeake Bay, Puget Sound
- Grass Root Programs -- Izaak Walton League, Friends of --



Total Maximum Daily Load (TMDL)

水質總量管制

- TMDL Define (TMDL 之定義)
- $TMDL = WLA + NPS + MOS$
 - * TMDL = Total Maximum Permissible Load(水體涵容能力)
 - * WLA = Point Source Allocation (點源污染分配量)
 - * NPS = Nonpoint Source Allocation (非點源污染分配量)
 - * MOS = Margin of Safety (安全差距量)
- TMDL is a “water-quality” based process, which is more cost-effective than “performance” based ones (TMDL 是以水質標準為基礎, 經濟效益高)





Elements in the TMDL Process

總量管制之內涵

- Define Water Quality Problem (水質問題之鑑定)
- Set Water Quality Goals (設定水質目標)
- Calculate TMDL (計算污染許可總量)
- Consider Design Conditions (考慮設計條件)
 - *Point Source Allocation (點源污染分配)
 - *Nonpoint Source Allocation (非點源污染分配)
 - *MOS Determination (安全差距量之確定)
- Promote Public Participation (鼓勵民眾參與)





TMDL Computation

許可污染總量之計算

- Design Low Flow (設計低流量)
 - *7Q10 (十年頻率七日平均低流量)
 - * Q_{75} (百分之七十五低流量)
- Storm Conditions (暴雨情況)
 - *No design storm yet defined (尚未訂定設計暴雨)
 - *Small storms are more important (小型暴雨較重要)
 - *Suggest assuming a 7Q10 river flow, combining with a small storm such as a 1-year storm for TMDL computation (建議以十年一次, 七日平均低流量加上一小型暴雨, 如一年頻率者), 來計算TMDL





Nonpoint Source Pollution Loading Methods of Estimation

- The Simple Method

$$L = P \cdot P_j \cdot \{0.05 + 0.009 (I)\} \cdot C \cdot A$$

where L = pollutant loading (kg/yr)

P = average annual rainfall depth

P_j = correction factor for rainfall that produce no runoff
e.g., 0.9 can be used for Washington, D.C.

I = percent imperviousness

C = flow-weighted mean pollutant concentration, mg/L

A = area of site





Nonpoint Pollution Loading Estimate

- Unit Loading Functions

For each land use pattern, a unit loading function is derived, e.g., $L = 5 \text{ kg/yr/hectare}$ of BOD_5 for a residential area with medium density

- Modeling Analysis

Many stormwater management models are available, e.g. SWMM, HSPF, AGNPS, STORM, VANTU (developed by UVa/NTU). More recently, the USEPA is promoting the use of BASINS





Tools for TMDL Computation

TMDL 計算之工具（模式）

- Nonpoint Source Computation（非點源污染量之計算）
- Water Quality Models（水質分析模式）
 - *QUAL2K
 - *EUTRO5
 - *WASP5
 - *CE-QUAL
 - *BASINS



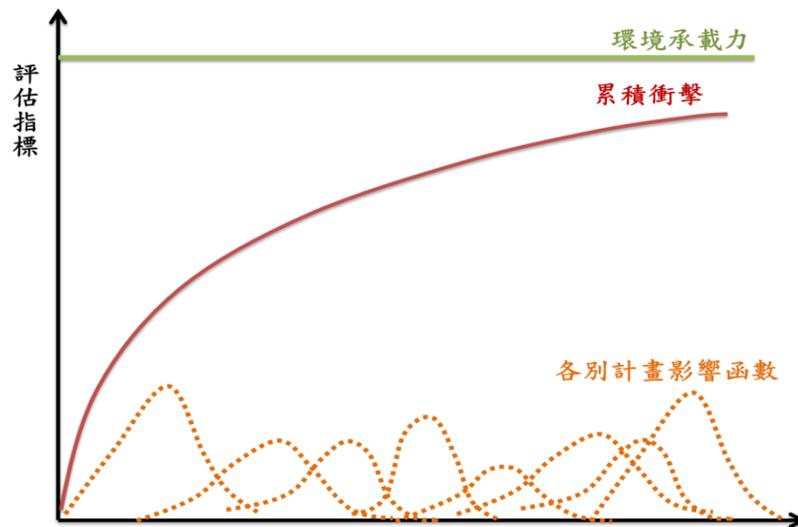
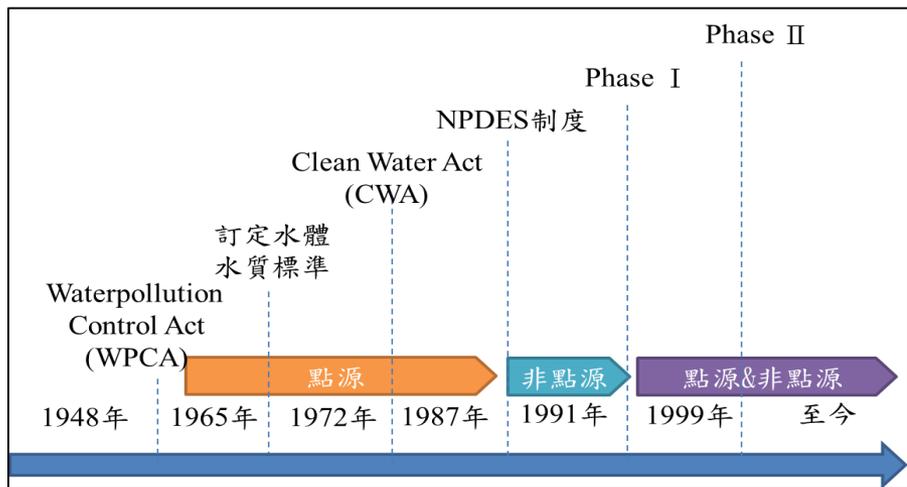


Best Management Practices

- Non-structural BMPs
 - Nutrient Management
 - Pesticide Management
 - Land Use Planning
- Structural BMPs
 - Detention Basins - Dry, Extended, Wet
 - Infiltration Practices
 - Porous Pavement
 - Swales and Filter Strips
 - Constructed Wetlands

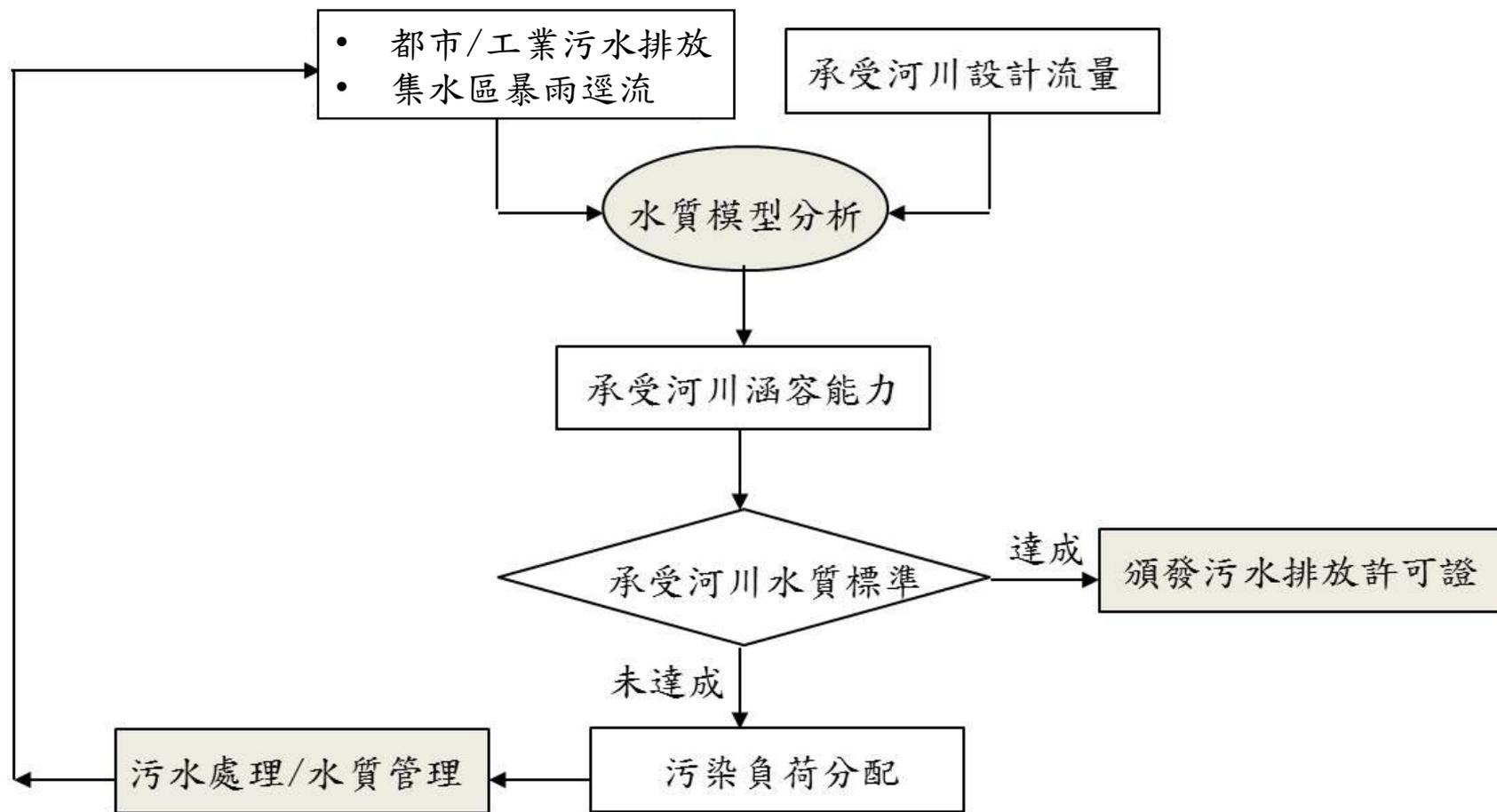
台灣BMP技術參考手冊





水質模式理論基礎

I. 承受水體水質標準與河川水質模式分析

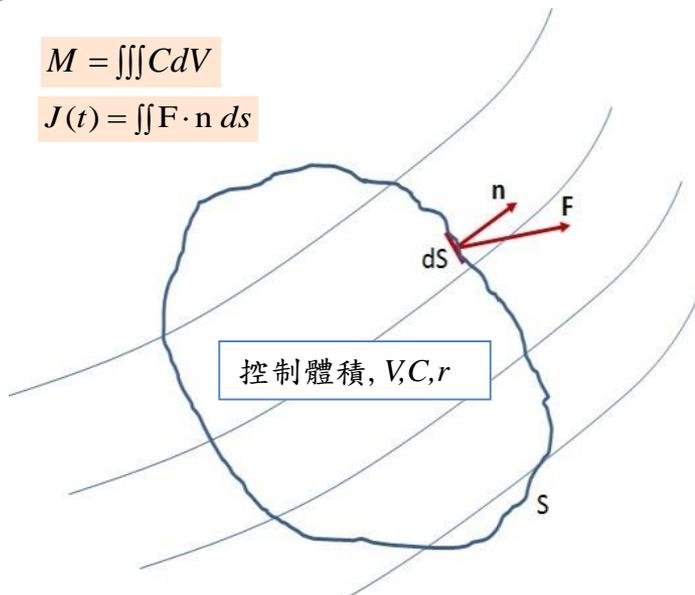


II. 河川水質模式的理論基礎

質量守恆定律

$$M = \iiint C dV$$

$$J(t) = \iint \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} ds$$



質量守恆定律:
$$-\frac{\partial M}{\partial t} = J(t) \quad (1)$$

質量變化率:
$$\frac{\partial M}{\partial t} = \iiint \frac{\partial C}{\partial t} dV \quad (2)$$

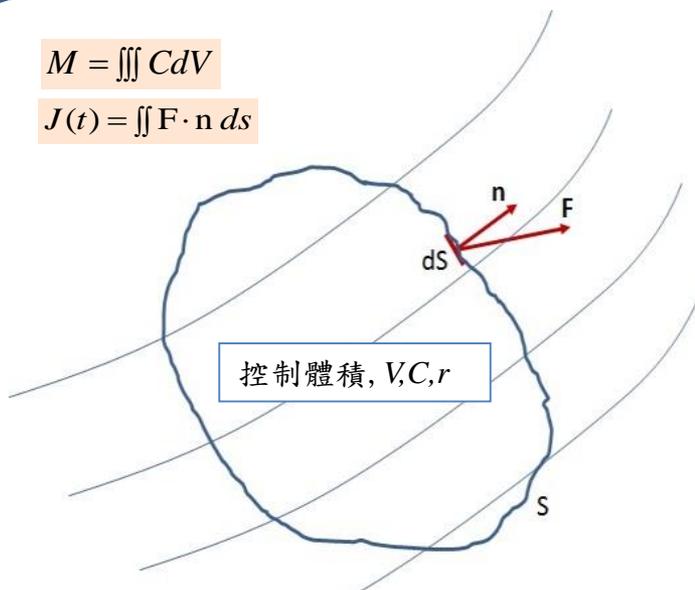
質量流率:
$$J(t) = \iint \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} ds = \iiint \nabla \cdot \mathbf{F} dV \quad (3)$$

II. 河川水質模式的理論基礎

質量守恆定律與連續方程式

$$M = \iiint C dV$$

$$J(t) = \iint F \cdot n ds$$



質量守恆定律:
$$-\frac{\partial M}{\partial t} = J(t) \quad (1)$$

質量變化率:
$$\frac{\partial M}{\partial t} = \iiint \frac{\partial C}{\partial t} dV \quad (2)$$

質量流率:
$$J(t) = \iint F \cdot n ds = \iiint \nabla \cdot F dV \quad (3)$$

結合(1)(2)(3):

$$\iiint \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot F \right) dV = 0 \quad (4)$$

保守性物質的連續方程式:

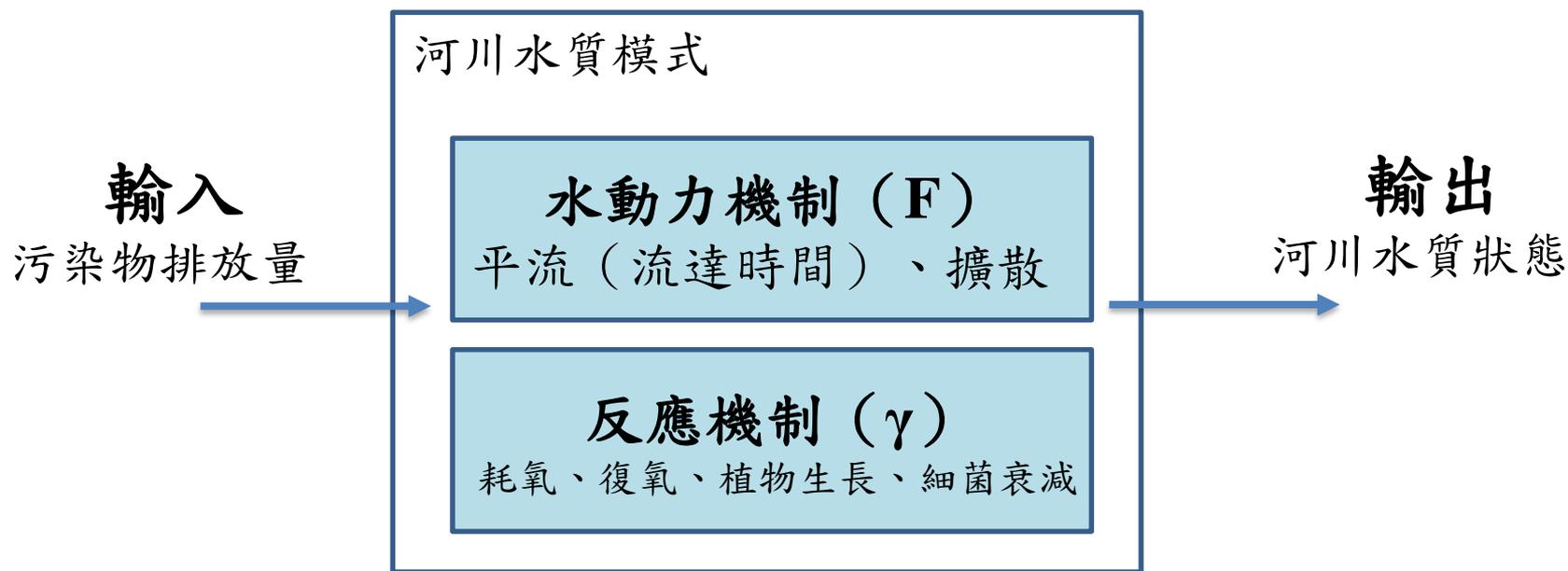
$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot F \quad (5)$$

反應性物質的連續方程式:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot F + r \quad (6)$$

河川水質模式的基本數學結構

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{F} + r \quad (6)$$



質量傳輸模式

平流和擴散質量傳輸：
$$F = qC - D\nabla C \quad (7)$$

結合(6)和(7)：
$$\frac{\partial C}{\partial t} + (\nabla qC - \nabla D\nabla C) - r = 0 \quad (8)$$

水是非壓縮性流體：
$$\frac{\partial C}{\partial t} + q\nabla C - D\nabla^2 C - r = 0 \quad (9)$$

(9)式在迪卡爾座標系統內：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \left(u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} - D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) - r = 0 \quad (10)$$

河川溶氧傳輸模式的控制方程式

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \left(u \frac{\partial D}{\partial x} + v \frac{\partial D}{\partial y} + w \frac{\partial D}{\partial z} - E_x \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} - E_y \frac{\partial^2 D}{\partial y^2} - E_z \frac{\partial^2 D}{\partial z^2} \right) - (k_1 L_c + k_n L_n - k_2 D + S_B + P - R) = 0 \quad (11)$$

上式中

D = 溶氧欠缺量 = $C_s - DO$

u, v, w = 流速

E_x, E_y, E_z = 擴散係數

k_1 = 碳化物(L_c)的耗氧係數

k_n = 氮化物(L_n)的耗氧係數

S_B = 底泥耗氧係數

P = 水中植物生長(供氧)率

R = 水中植物呼吸(耗氧)率

- 求解上式的先決條件：(1)邊界條件和初始條件，(2)水動力性質，(3)反應機制。
- 通常需應用數值方法求解。
- 一維的**QUA2K模式**是根據公式(11)推導而出。

水動力模式

水質模型方程式(9)中的水流速度和擴散係數隨水動力性質而改變。在進行完整的河川水質模型分析時，通常是先作水動力模擬，再將計算到的流速和擴散係數代入質量傳輸模型。

非壓縮流體的水動力數學模式由以下的方程式組成。

連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (12)$$

運動方程式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - g \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 v \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 w \end{aligned} \quad (13)$$

河川水動力模式

河川(一維，非壓縮，非粘滯流體)水動力數學模式由以下的方程式組成。

連續方程式:
$$\frac{\partial(Q)}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (14)$$

運動方程式:
$$\frac{1}{A} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} - g(sf - s) = 0 \quad (15)$$

流量 $Q = uA$ 。 A 是河川斷面積，只隨距離而變。

III. 水污染整治規劃

河川水動力模式的簡化

連續方程式：

$$\frac{\partial(uA)}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (13)$$

運動方程式：
(Kinematic wave)

$$\cancel{\frac{\partial u}{\partial t}} + u \cancel{\frac{\partial u}{\partial x}} + g \cancel{\frac{\partial h}{\partial x}} - g(s_f - s) = 0 \quad (14)$$

註解：

- 廣泛使用的一維河川水質模式 **QUA2K** 假設水流為穩定流 ($uA=Q=$ 常數)，因此(13)可忽略。
- (14)式則採用曼寧公式(Manning equation)。曼寧公式是kinematic wave方程的經驗公式。

河川溶氧傳輸模式的簡化及Streeter-Phelps模式

$$\frac{\partial D}{\partial t} + (u \frac{\partial D}{\partial x} + v \frac{\partial D}{\partial y} + w \frac{\partial D}{\partial z} - E_x \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} - E_y \frac{\partial^2 D}{\partial y^2} - E_z \frac{\partial^2 D}{\partial z^2}) - (k_1 L_c + k_n L_n - k_2 D + S_B - P - R) = 0$$

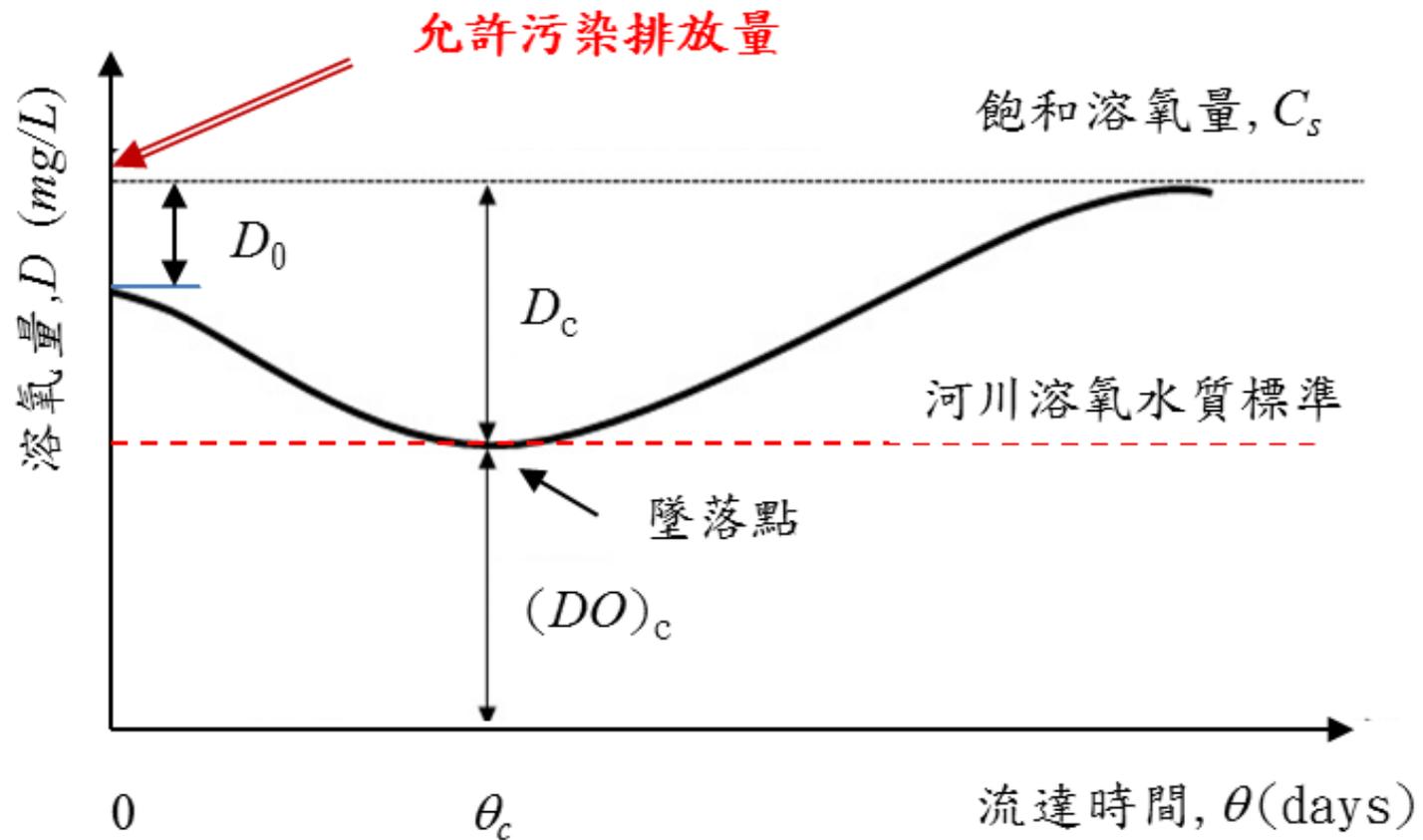
簡化後就得到應用最廣的Streeter-Phelps模式的控制方程：

$$u \frac{\partial D}{\partial x} + k_1 L - k_2 D = 0$$

Streeter-Phelps模式也常被寫成：

$$\frac{dD}{d\theta} + k_1 L - k_2 D = 0 \quad ; \quad \theta = x/u = \text{流達時間}$$

應用Streeter-Phelps 模式於河川污染整治規劃



IV. 水質模式發展簡史

羅光楣，2014

年代	說明
1870-1900	水質模式之觀念最早始於英國，之後開始於美國發展。
1925	Streeter和 Phelps兩人考量有機物在河川中會受到細菌分解及河川本身曝氣能力之影響，藉由分析 Ohio River之河川水質，發表了計算河川 BOD ₅ 及 DO 相互之間影響的 Streeter-Phelps 方程式。
1938	Velz 發展 Surface-Renewal Model 有關曝氣方面之研究。
1941	Fair、Moore 及 Thomas 探討河川底泥耗氧之研究。
1954	Churchill 發表水質統計模式，應用迴歸方程式探討水質間相互影響之關係。
1956	O'Connor 和 Dobbins 結合雙薄膜理論 (Two Film Theory) 及 Surface-Renewal Model，發表河川再曝氣理論，後來被廣泛使用，即再曝氣係數(K ₂)之半經驗公式，研究中指出河川再曝氣係數與河水平均水深、流速和水力坡降有相當之關連性。
1963	O'Connor 運用質量平衡原理，證明 Streeter-Phelps 方程式，模式應用此方程式後，可模擬感潮河段、湖泊及海洋等水體，此應用法更替後續水質模式之模擬理論立下了基礎。
1970	Thomann、Dobbins、O'Connor 及 DiToro 等學者分別對底泥需氧量、光合作用、植物呼吸作用、氨氮及逕流等研究，納入水質變化之考量，這些研究使得水質模擬系統更為完整。
1970-2002	Masch and Associates 及 Texas Water Development Board 於 1970 年所發展之 QUAL-I 河川水質模式，經 Water Resources Engineers, Inc. 與 USEPA 合作下，並於 1972 年建立 QUAL-II。隨後於 1987 年建立 QAUL2E，模式加入氣候因數、模式模擬之不確定性分析等功能。Park and Lee 並增加新的模擬因子包括碳質生化需氧量、脫硝作用、pH 及病原體等。
2002-至今	2002 年 USEPA 將 QUAL2E 修正為 QUAL2K 河川水質模式。

我國第一步：環評河川水質評估

過去水質環境影響評估內容

沒有明確技術規範的結果：

- ◆2005-2009年環保署環境影響說明書(154件)與評估書(19件)，**僅約10%的案件進行水質評估**。
- ◆其中多以**質量平衡方程式**計算，水質模式應用僅有QUAL2E/QUAL2K、WASP、ESTURARY。如：

水質模式	案件名稱
ESTURY	新竹香山區海埔地造地開發計畫環境影響評估報告書(2001)
QUAL2E/QUAL2K	大安大甲溪水源聯合運用輸水工程計畫環境影響說明書(2007) 曾文水庫越域引水計畫環境影響評估報告書(2002) 天花湖水庫工程環境影響評估報告書初稿(2009)
WASP	桃園科技工業區開發變更計畫環境影響說明書(2005) 台塑鋼鐵股份有限公司一貫作業鋼廠建廠計畫(2006) 景美溪堤防新建及加高工程環境影響評估報告書(2000)

環評河川水質評估

作業準則

◆開發行為環境影響評估作業準則第十二條：

開發行為產生之廢（污）水排放至河川、海洋、湖泊、水庫或灌溉、灌排系統者，應評估對該水體水質、水域生態之影響，並訂定因應對策。

前項排放廢（污）水之承受水體，**自放流口以下至出海口前之整體流域範圍內有取用地面水之自來水取水口者**，應依開發行為類型、廢（污）水特性、承受水體用途及水質、廢（污）水處理設施之處理能力等因素進行分析及評估。**（民國98年10月23日修正）**

➡ 配合此修正條文，更需提供水質分析及評估方法。

過去水質環境影響評估內容

原「開發行為環境影響評估作業準則」中水質評估方式建議：

- ◆ 『由量測、水質模擬分析及水文狀況資料，計算污染物總排入量、排入濃度、稀釋混合狀況，並依相關水污染防治法規之水質標準，比較說明受影響程度。』
- ◆ 『**水質模式推估**及質量平衡方程式』。

沒有水質模式規範？

環評河川水質評估

- ◆ 「開發行為環境影響評估作業準則」第四十九條規定，中央主管機關**得視需要**會商有關機關**訂定評估技術規範**，並公告之。
- ◆ **2009年**環保署開始水質評估技術規範之發展：
 - ◆ 環境影響環境影響評估地面水水質評估模式研究(2009)
 - ◆ 研訂河川水質評估模式技術規範(2010)
 - ◆ 評估河川水質評估模式技術規範推動計畫(2011)



「環境影響評估河川水質評估模式技術規範」在2011年11月27日上網公告，並在民國2012年3月1日正式實施。

環境影響評估技術規範訂定歷程

87年 07月 28日	91年 02月 15日	91年 02月 15日	91年 02月 15日	91年 03月 28日	92年 01月 09日	92年 01月 09日	92年 12月 29日	96年 08月 02日	99年 04月 09日	101年 03月 01日
空氣品質模式評估	道路交通噪音評估模式	營建工程噪音評估模式	鐵路交通噪音評估模式	生態評估植物	環境振動評估模式	航空噪音評估模式	生態評估動物	生態評估海洋	健康風險評估	河川水質評估模式



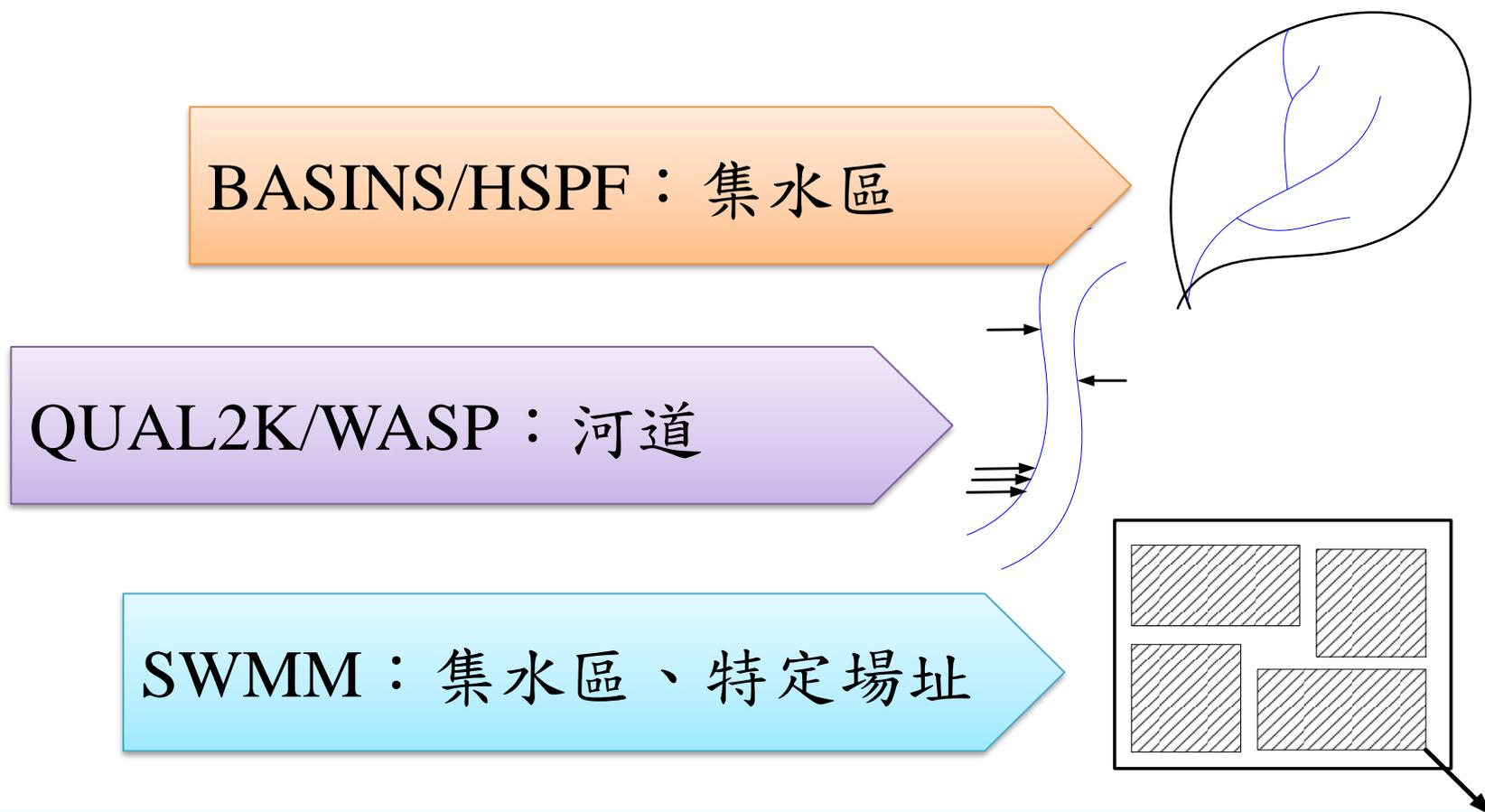
河川水質評估模式技術規範

- ◆ 10點條文：推薦**五個模式**方法。
- ◆ 一個附圖：分**施工階段**與**營運階段**評估流程。
- ◆ 三個附件：
 - ◆ 附件一 模式使用指南
 - ◆ 附件二 模式輸入資料
 - ◆ 附件三 模擬結果摘要表



河川水質評估模式技術規範

規範認可之水質評估模式(規範第五點)



河川水質評估模式技術規範

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



河川水質評估模式技術規範

承受水體設計流量

承受水體有流量紀錄者，設計流量應採用等於或小於日流量延時曲線中超越機率百分之七十五所對應之流量 (Q_{75})，無流量紀錄者採枯水期實測值。

放流水水量採擬申請排放許可證之設計最大排放水量非點源污染模擬得採用實際降雨資料或採重現期距為二十五年之降雨強度 (I_{25}) 作為設計雨量。



特予保護農地之水體
重金屬總量削減管制

環保法規總量管制規定

	空氣污染	溫室氣體	水污染
法源依據	空氣污染防治法第8~12條	溫室氣體減量及管理法第18、20、22條	水污染防治法第9條
權責機關	中央主管機關 指定總量管制區，訂定管制計畫，公告實施總量管制。	中央主管機關 公告納入總量管制之排放源，分階段訂定排放總量目標	地方主管機關 擬定總量管制方式(含管制區範圍及管制事項)
公告條件	<ul style="list-style-type: none">➤ 建立污染源排放量查核系統及排放交易制度➤ 由中央主管機關會同經濟部分期分區公告實施	<ul style="list-style-type: none">➤ 實施排放量盤查、查證、登錄制度，並建立核配額、抵換、拍賣、配售及交易制度➤ 中央主管機關會商有關中央目的事業主管機關報請行政院核定公告實施之。	由 地方主管機關 擬訂總量管制方式，報中央會商目的事業主管機關核定

環保法規排放交易

	空氣污染	溫室氣體	水污染
法源依據	空氣污染防治法 第12條	溫室氣體減量及管理法第18條	無
總量管制區	依地形、氣象條件交互影響，空氣污染物可能互相流通之縣（市）指定為總量管制區	無 (公告納入總量管制之排放源)	<ul style="list-style-type: none"> •因事業、污水下水道系統密集，以放流水標準管制，仍未能達到水體之水質標準者 •需特予保護者。
排放交易	<ul style="list-style-type: none"> • 公私場所依需求透過契約交易 • 主管機關拍賣釋出削減量差額 	國內外間買賣或交換	<p><u>研究可行性及效益</u> 說明：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.美國環保署認可水質可交易污染物為總氮、總磷、懸浮固體、耗氧污染物等。 2.日本、韓國等均未實施水質交易 3.水體重金屬排放具累積性，不會經由河川自淨作用改善。 4.少數事業排放造成水體污染，交易市場規模及誘因待研究。

推動條件研析

由地方主管機關訂定施行

依水污染防治法第9條規定，事業或污水下水道密集地區，廢(污)水排放已依放流水標準管制，因排放密集致總排入污染量超過水體涵容能力，無法達成水質標準，或有特殊保護需要者，由**地方主管機關**以廢(污)水排放總量方式管制。

全面實施條件未成熟

全國生活污水占生化需氧量排放量的70%，公共污水下水道普及率僅約38%，於污水下水道接管率未普遍，以總量管制方式管制河川水污染總量條件並未成熟。

縮小管制範圍，保護糧食安全

為因應立法委員質詢要求及監察院調查案件，保育我國優質農地，保護糧食安全，以受污染及具污染潛勢農地為保護目標，規劃推動水污染總量管制。

總量管制-分級管制

● 管制原則：

- 依水污染防治法第9條，由地方政府劃設總量管制區，擬訂管制計畫
- 透過事業廢水排放限值管制，降低管制區內污染排放總量

第一級管制區

● 管制條件

- 灌溉水源水質 > 灌溉用水水質標準
(六項重金屬)

● 管制方式

- 不得新設或增加排放六項重金屬製程事業之排放許可證(文件)
- 既設事業排放水質限期改善至總量管制區放流水標準限值(緩衝期2年)

第二級管制區

● 管制條件

- 灌溉水源水質 < 灌溉用水水質標準
(六項重金屬)

● 管制方式

- 新設業者依總量管制區放流水標準管制
- 既設事業加嚴至放流水標準限值二分之一(緩衝期2年)

- 工業區專用污水下水道系統不分區，依放流水標準二分之一限值管制(緩衝期2年)

放流水標準(草案)

➤ 總量管制區內之銅、鋅、鉻、鎳、鎘、六價鉻，依管制層級區分新設、既設事業或下水道系統管制限值

對象		銅	鋅	鉻	鎳	鎘	六價鉻
第一級 管制區	新設事業	不得新設或變更增加排放六項重金屬製程事業					
	既設事業 (緩衝期2年)	0.2	2.0	0.1	0.2	0.01	0.025
第二級 管制區	既設事業 (緩衝期2年)	1.5	2.5	1.0	0.5	0.015	0.25
	新設事業	0.2	2.0	0.1	0.2	0.01	0.025
工業區專用污水 下水道系統(緩衝期2年)		1.5	2.5	1.0	0.5	0.015	0.25
管制區外業者(現行標準)		3.0	5.0	2.0	1.0	0.03	0.5

單位：mg/L

水措及許可申請管理辦法

農地特定保護之水體水質總量管制區
(地方主管機關公告)

管制區內承受水體中
特定重金屬濃度高於
灌溉用水水質標準

第一級農地總量
管制區

不得核發新申請或變更增加排
放六項重金屬製程事業之排放
許可證(文件)

經廢止排放許可證(文件)者，
不得再核發排放許可證(文件)

總量管制施行後5年，承受水
體特定重金屬仍未符合灌溉用
水水質標準，事業有違反本法
第73條所定情節重大者，其排
放許可證(文件)有效期間屆
滿後，不得再核發

第二級農地總量
管制區

經廢止排放許可證(文件)者，
不得再核發排放許可證(文件)

註1：特定重金屬指銅、鋅、鎳、
總鉻、六價鉻、鎘

註2：農地總量管制區之污染源，
若採用掛管或設置共同管線將廢
(污)水排放於管制區外，考量
其放流水不影響管制區內之水體，
故重金屬管制限值不加嚴

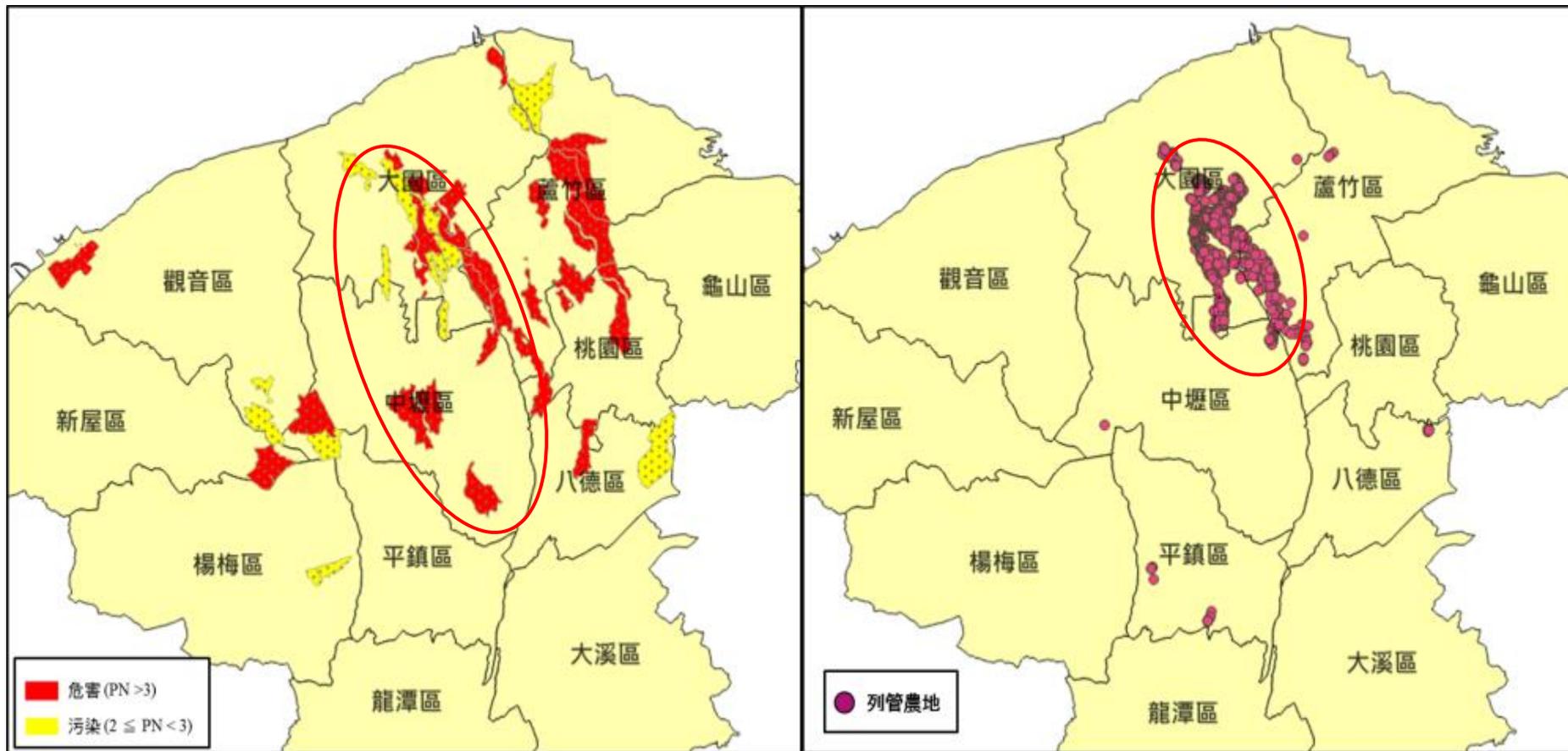
管制區內承受水體中
特定重金屬濃度低於
灌溉用水水質標準

總量管制區劃設及影響分析

(以桃園為例)

農地污染現況

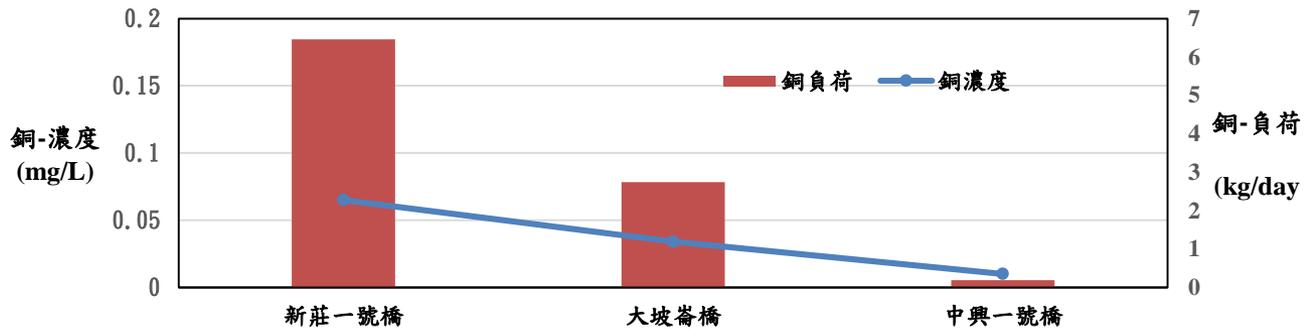
桃園市已公告列管之農地控制場址共**250公頃**(1,869筆)



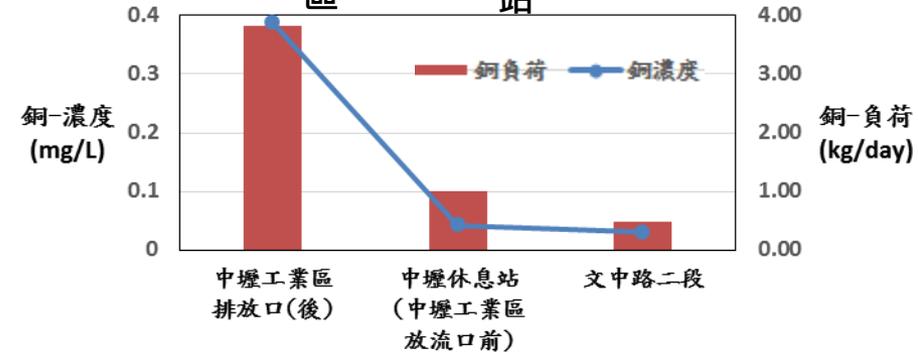
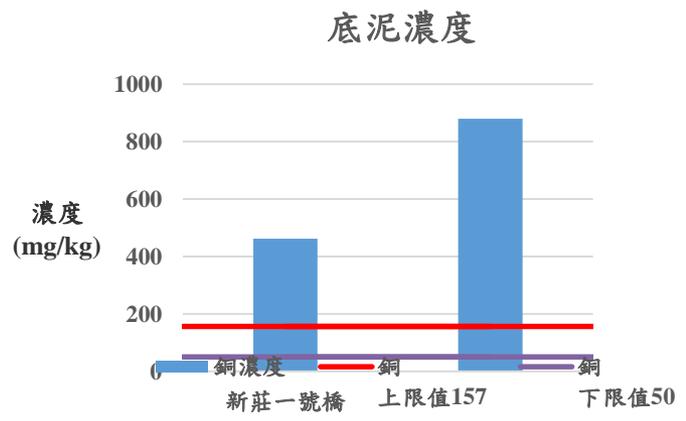
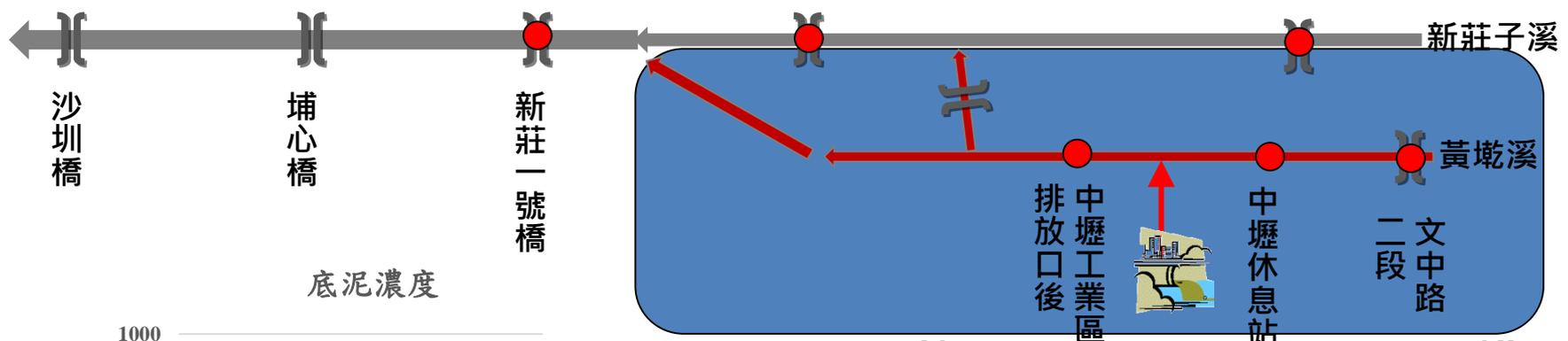
高污染潛勢灌溉小組與列管農地均集中於
大園區(新街溪+埔心溪流域)

重金屬來源分析—桃園

● 水質調查點位
 ← 第一級管制區

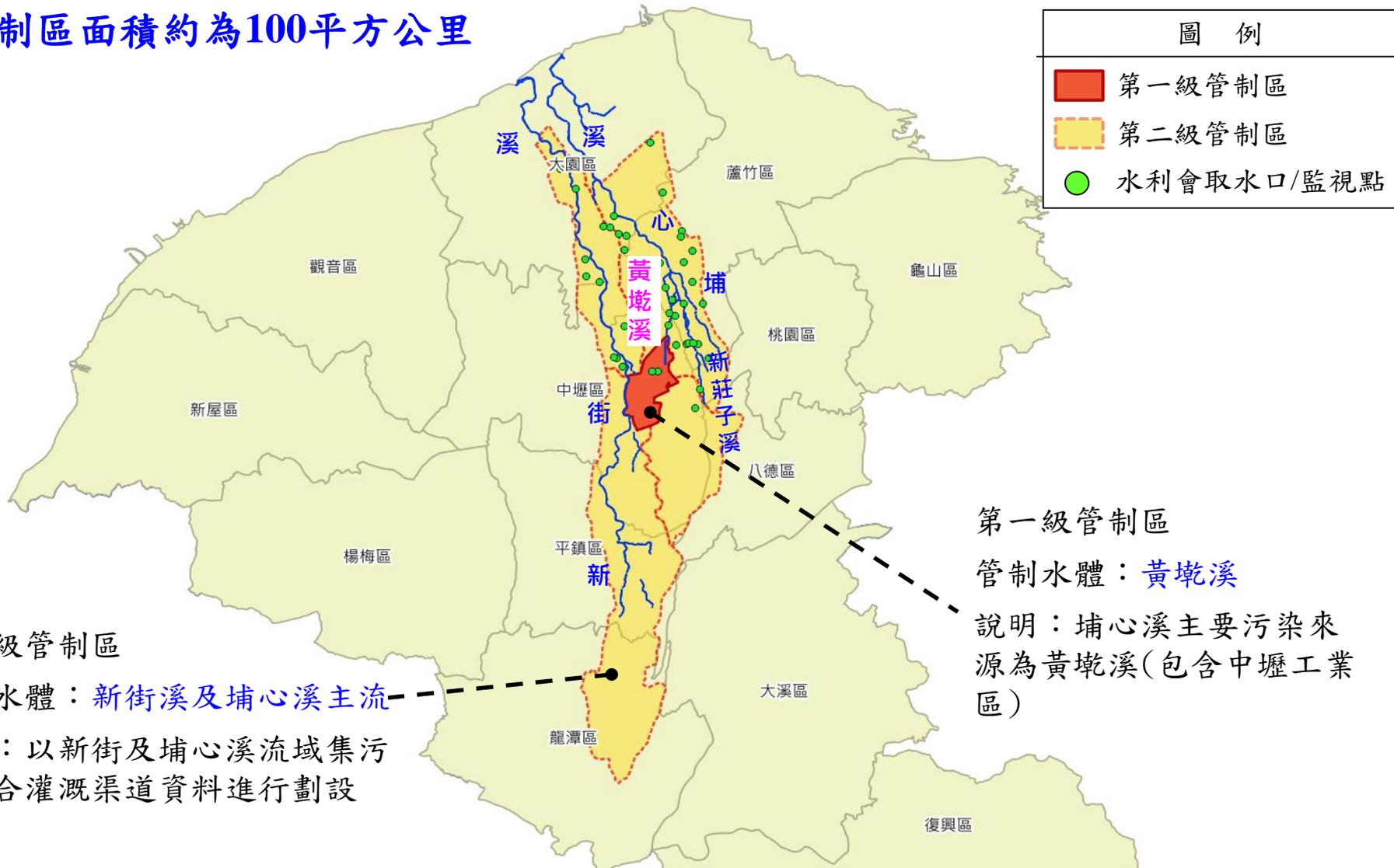


台灣海峽



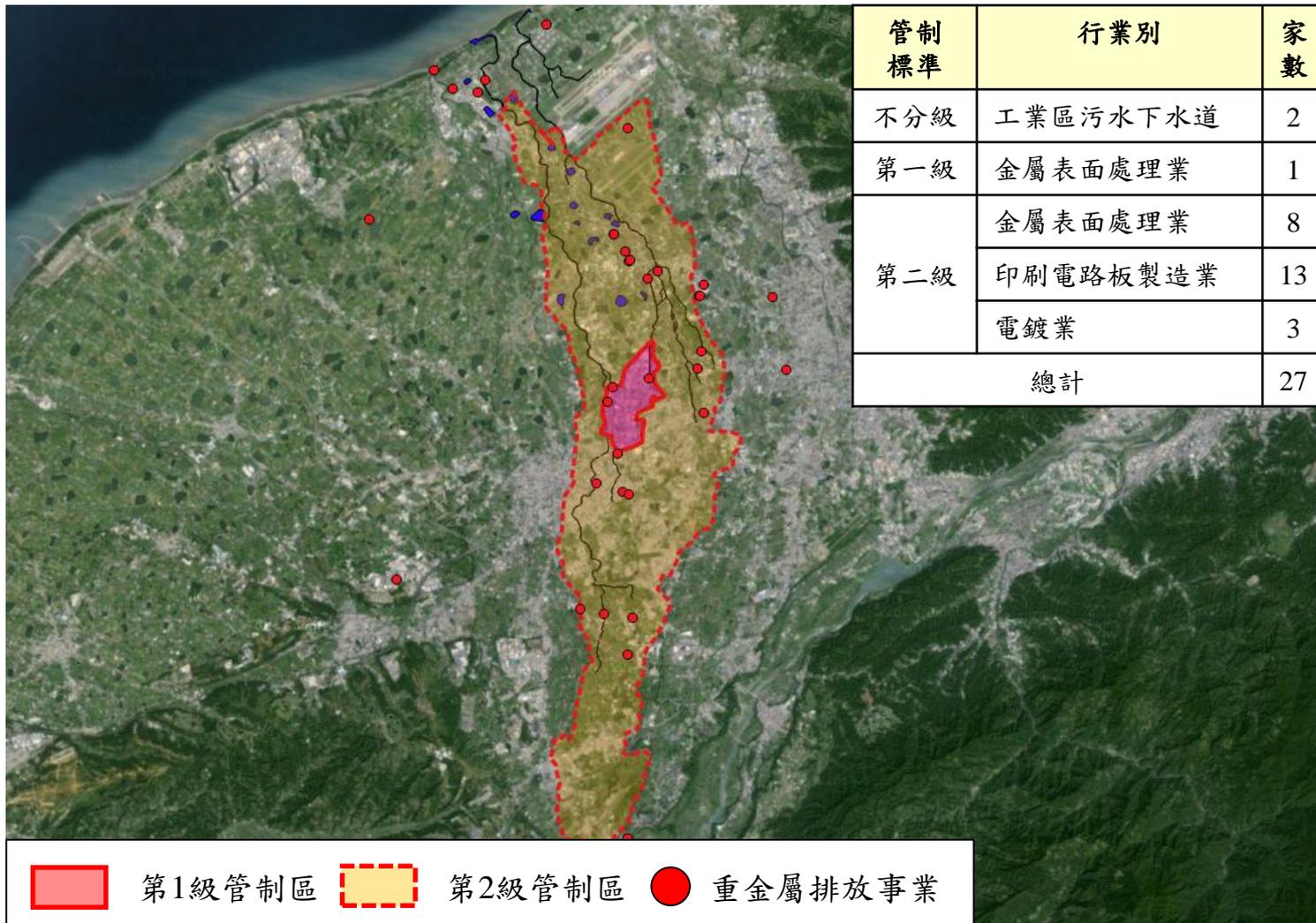
管制區域劃設—桃園

- 管制區面積約為100平方公里



桃園-影響事業統計

- 管制區內重金屬排放事業共有27家。



處理技術可行性評估

管制區	事業 總家數	近3年定期檢測申報資料符合加嚴後管制標準情形(家數)						
		符合率	銅	鋅	鎳	鎘	總鉻	六價鉻
工業區 下水道 (不分區)	2	100%~80%	2	2	2	2	2	2
第一級	1	100%~80%	1	1	1	1	1	1
第二級	24	無申報	2	15	10	13	18	10
		100%~80%	14	8	12	11	6	14
		80%~50%	7	1	1	-	-	-
		<50%	1	-	1	-	-	-

- 工業區下水道系統與第一級管制區內之事業排放預期可符合加嚴後標準。
- 第二級管制區中有2家事業可能不符合鎳、銅加嚴後放流水標準
(符合率低於50%)

總量管制初步劃設評估

- 本署優先輔導推動之桃園市、臺中市及彰化縣3縣市，初步劃設結果，總計涵蓋3工業區專用下水道系統及69家列管事業。
- 經分析大部分事業之定期檢測申報水質資料均可符合加嚴後標準(符合率 $>50\%$)。僅9家列管事業符合率低於 50% 。
- 工業區污水下水道系統則均可符合加嚴後管制值(符合率 $>80\%$)。
- 對既存事業規劃2年緩衝期，以利既存事業規劃改善廢水處理設施或採行因應改善措施。



下一步：水庫水質總量管制

- 美國環保署要求州政府推動水庫（湖泊）集水區內污染物之總量管制（TMDL）之規劃，削減點源與非點源。
- TMDL計畫法源為清水法（Clean Water Act, CWA）及美國聯邦法規環境保護篇。美國環保署至2008年核可TMDL案件數已超過34,300件。



水庫水質總量管制

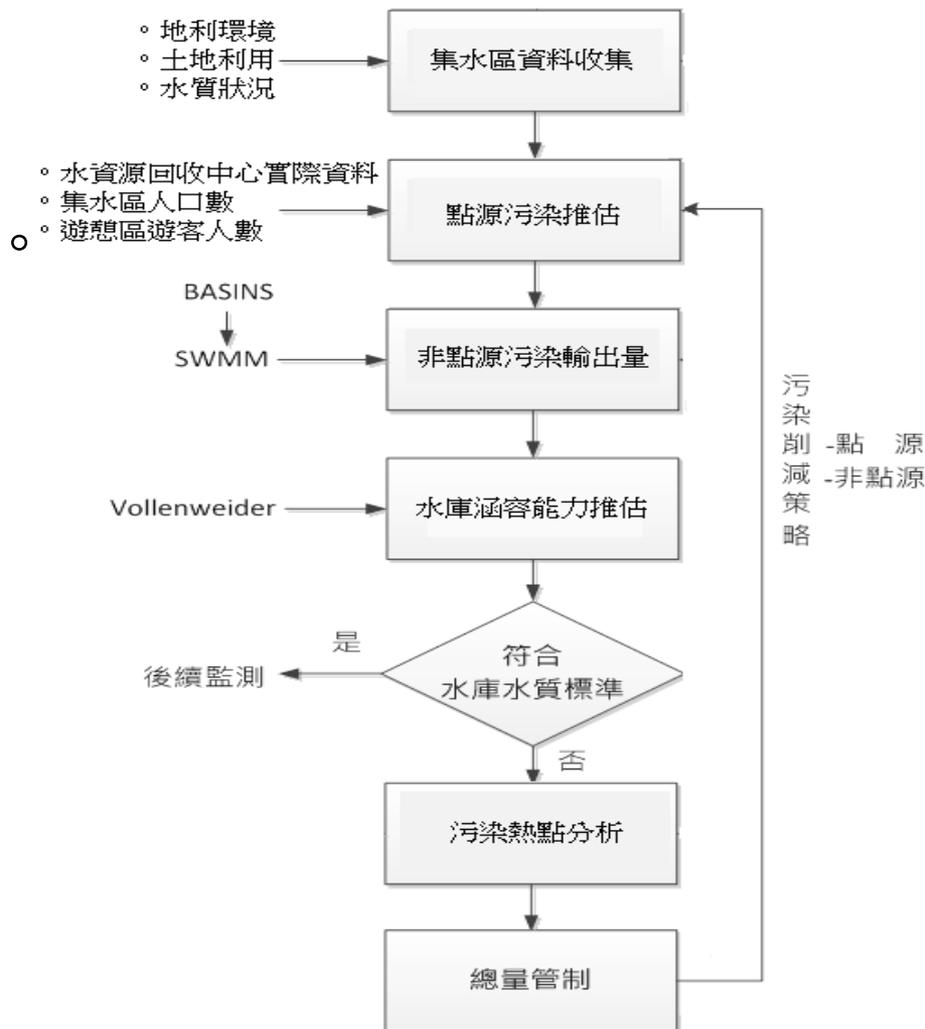
水庫集水區水質模式評估污染削減效益及水質改善效果

• 水質管制策略：

- 一個別污染源採**放流水管制**，應符合**放流水標準**
- 水體水質仍受損時，以水體涵容能力採**總量管制**。

• 總量管制：

- 以集水區為範圍，以水體可承受污染負荷量，作為管制基準。



石門水庫污染量推估-點源

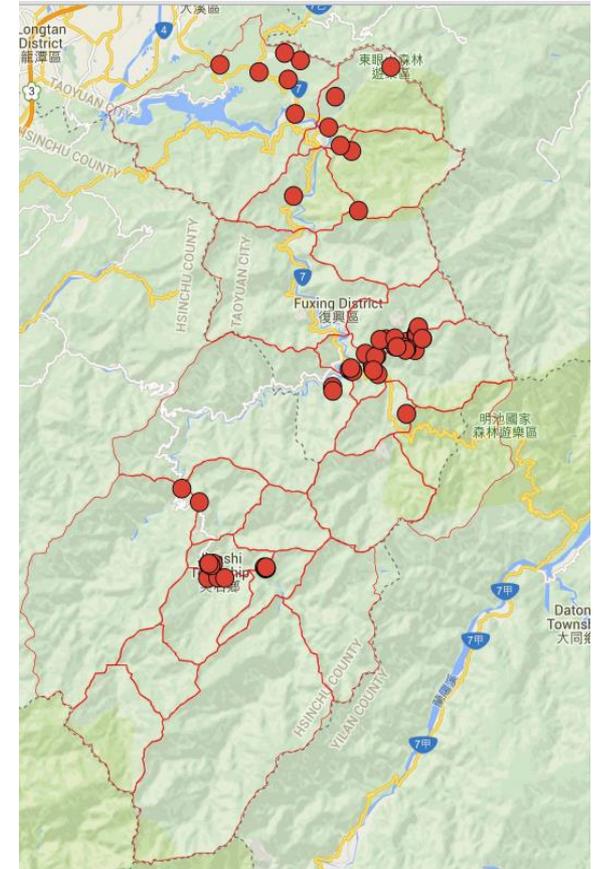
• 生活污水

- 生活污水量：每人每日200公升計算。
- 污水濃度：依據復興鄉都市計畫區水資源回收中心2014年之平均總磷進流濃度3.6 mg/L。
- 有經過處理的生活污水：放流水標準2 mg/L。

• 遊憩污水

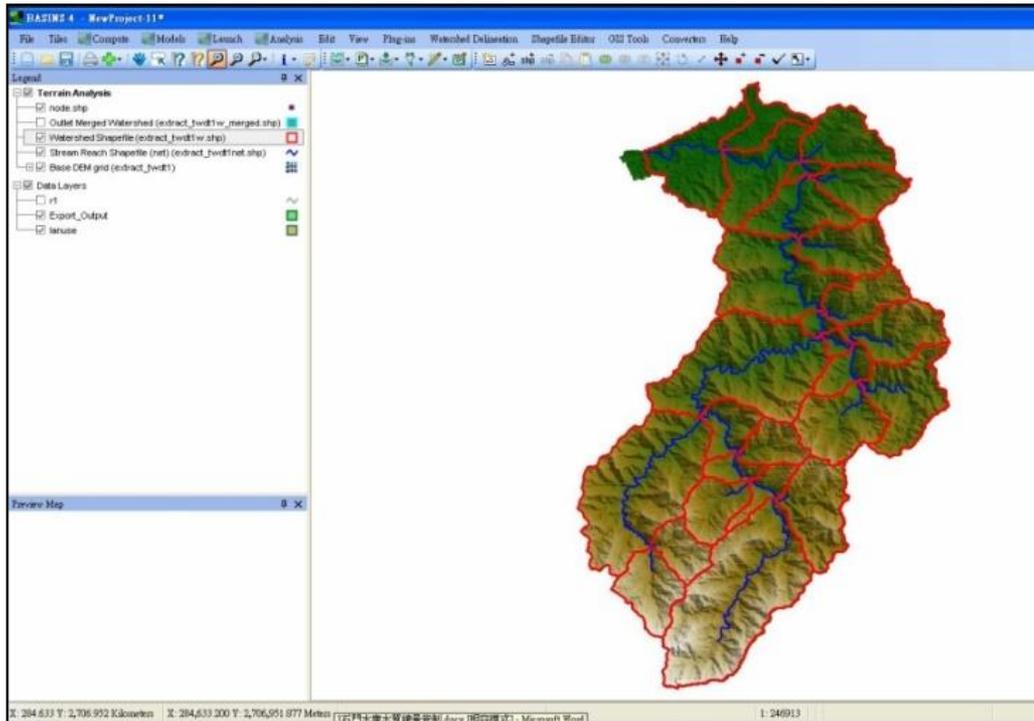
- 觀光污水：各遊憩區域之廁所用之水。
- 住宿污水：過夜旅客，污水水量與水質與生活污水相同。粗估約有87家民宿，推估可容納之人數約為1988人。

• 點源合計總磷為4,990 kg/yr。



石門水庫污染量推估-非點源

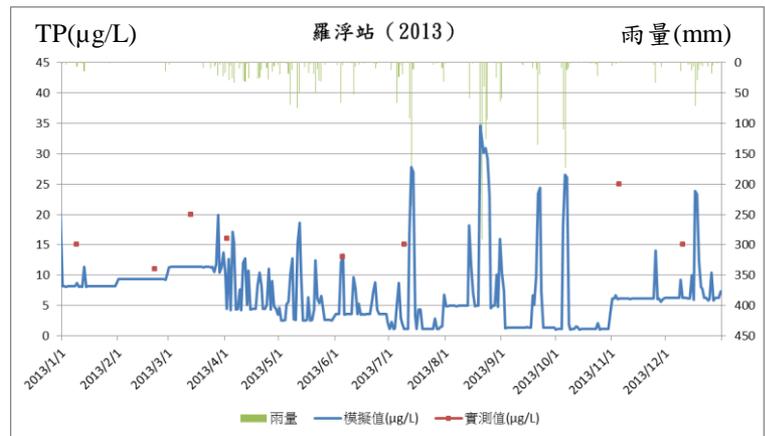
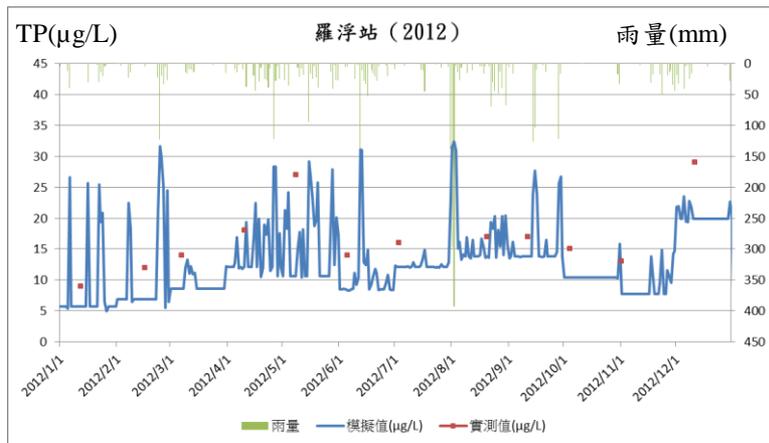
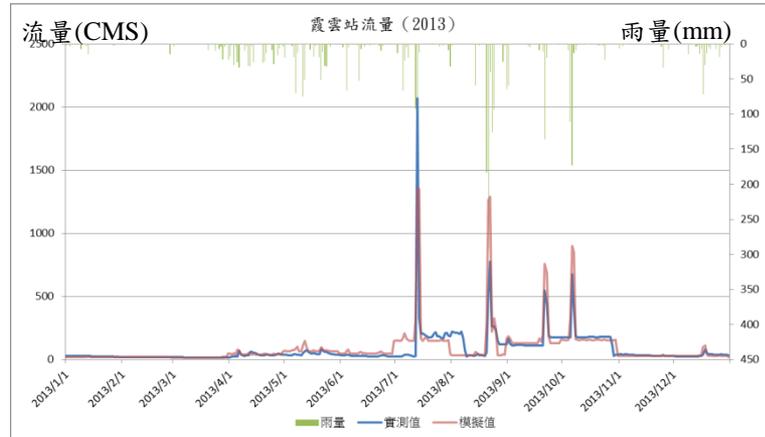
- 利用集水區模式：BASINS及SWMM推估非點源污染量。



1. 劃分成25個子集水區
2. 計算出面積、坡度與土地利用分佈情形等

- 流量率定驗證地點：霞雲站
- 水質率定驗證地點：羅浮站
- 率定年份：2009-2011
- 驗證年份：2012-2013

模式率定驗證



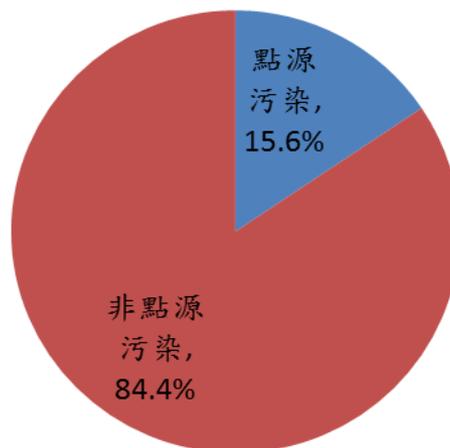
模式判定指標	範圍值	接受值	率定	驗證
決定係數(R ²)	0~1	> 0.5	0.83	0.64
平均百分比(MAPE)	0~1	<15% 高準確預測	35 %	50 %
		10%~20% 優良預測		
		20%~50% 合理預測		
		>50 % 不準確預測		

	面積 (ha)	農業用地面積比例 (%)	森林用地面積比例 (%)	都市建地面積比例 (%)	總磷輸出量 (kg/yr)
S01	7,990	9.4	74.5	3.3	4,089
S02	2,436	4.9	90.1	2.0	1,199
S03	340	8.9	68.8	7.8	225
S04	2,698	2.3	93.1	0.8	1,064
S05	1,878	2.1	90.9	1.4	612
S06	2,394	3.3	95.0	0.5	584
S07	4,961	2.6	91.0	1.0	2,528
S08	1,884	10.9	85.5	1.8	1,075
S09	2,659	5.0	92.3	0.8	1,293
S10	7,920	5.2	86.6	1.6	2,635
S11	426	4.7	77.9	2.5	120
S12	341	12.6	76.2	4.6	256
S13	3,498	0.1	91.2	0.3	1,001
S14	1,113	7.6	88.0	1.5	674
S15	3,014	2.6	94.1	0.2	1,395
S16	1,494	4.8	89.4	0.8	584
S17	8,183	2.1	92.5	0.5	2,318
S18	1,422	0.0	98.3	0.2	354
S19	758	6.4	85.1	1.4	303
S20	3,239	0.1	93.6	0.1	821
S21	973	2.5	93.4	0.5	242
S22	1,916	4.2	91.7	0.5	615
S23	9,450	0.0	94.1	0.0	2,608
S24	1,411	0.0	98.8	0.0	229
S25	2,290	0.0	93.3	0.0	223
	74,689				27,044

污染量推估結果

石門水庫集水區總磷污染量

污染來源	總磷年總污染量(kg/yr)
點源污染	4,990
非點源污染(含林地)	27,044
合計	32,034



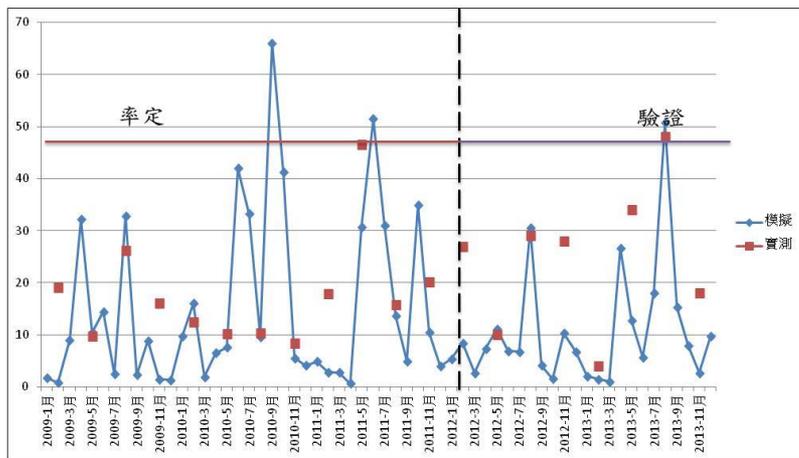
水庫涵容總量推估

■ 利用零維水庫總磷模式 Vollenweider，計算水庫總磷濃度。

- 關鍵參數：總磷沉降率。經驗證後石門水庫總磷沉降率為 10 m/yr。
- 由目標總磷濃度，推得容許的總磷輸入量。

$$\frac{\Delta PV}{\Delta t} = M - (P * Q) - (PV * \sigma)$$

假設 steady-state，則 $\frac{\Delta PV}{\Delta t} = 0$



全年水庫入流體積(m ³ /yr)	Q _{in}	查詢水庫水情資料
全年水庫出流體積(m ³ /yr)	Q _{out}	查詢水庫水情資料
磷損失的比例	R _p	(v/v+q _s)
總磷沉降率(m/yr)	v	10(率定驗證得出)
進到水庫的水量/水庫表面積	q _s	Q _{in} /A
水庫表面積(m ²)	A	8,000,000
全年磷輸入量(g/yr)	M	SWMM模式模擬總磷負荷 /水體涵容總量
總磷濃度(g/m ³)	P	模式模擬值所對應之水庫濃度 /目標總磷濃度

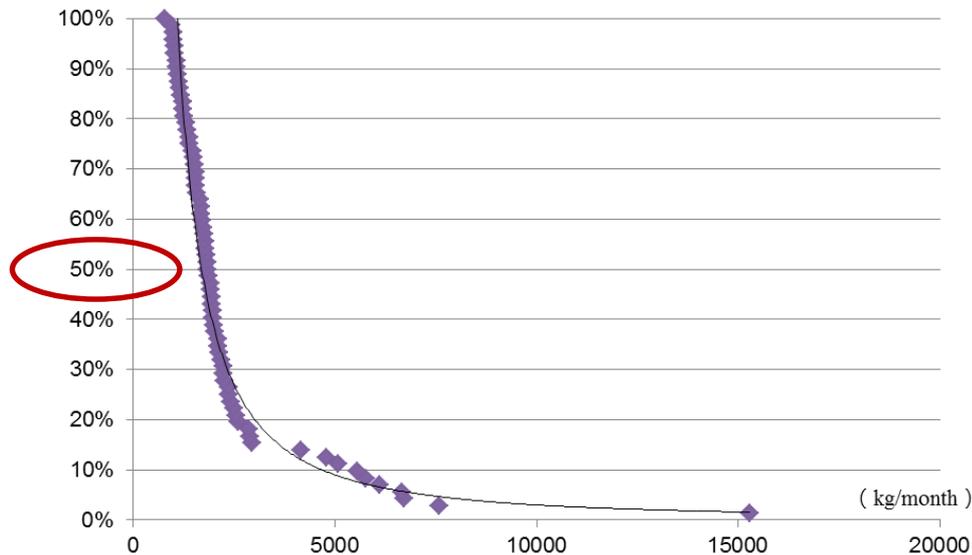
石門水庫涵容總量

■ 目標總磷濃度為 $20 \mu\text{g/L}$ 。

■ 超越機率50%。

- 也就是依據水庫流量變化下，發生機率50%的涵容總量，在此總量限制下，有50%的機會保護水體不超過目標濃度。

石門水庫 ($20\mu\text{g/L}$)

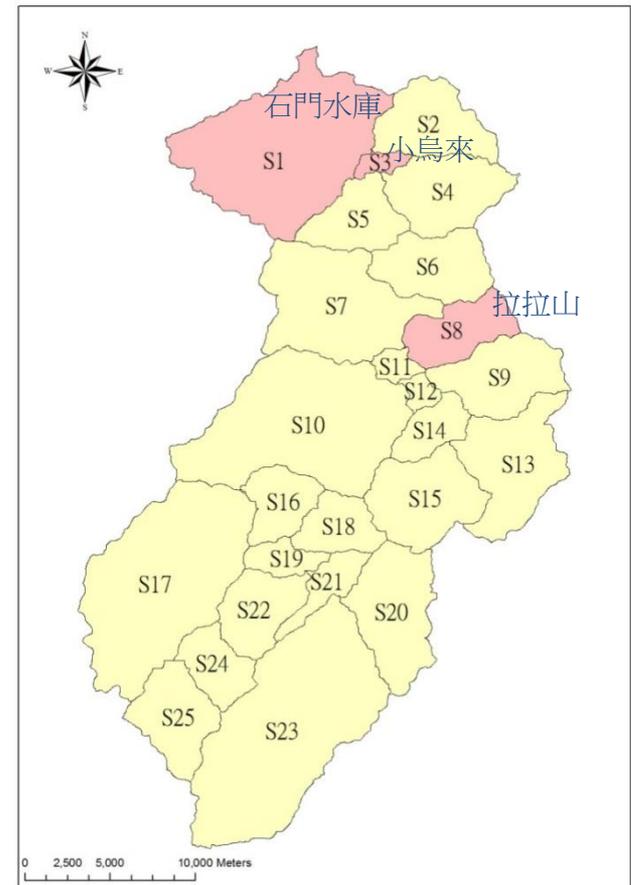


負荷百分比	目標總磷 $20(\mu\text{g/L})$
$M_{25}(\text{kg/yr})$	28,363
$M_{50}(\text{kg/yr})$	22,209
$M_{75}(\text{kg/yr})$	16,776
$M_{90}(\text{kg/yr})$	1,3039

污染熱點分析

- 在資源有限的情況下，可先從集水區內的污染熱點優先進行治理。由前述污染源推估，建議污染熱點可考慮：
 - 總污染量
 - 點源比例
 - 單位面積污染負荷

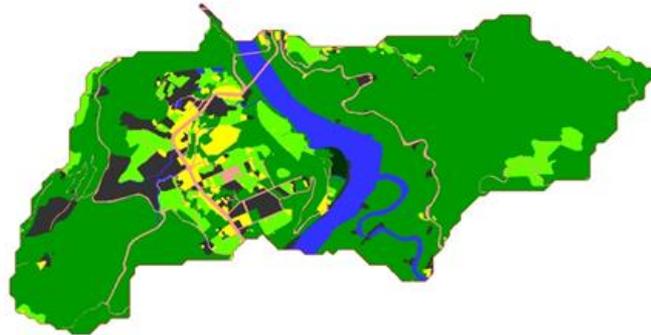
排序	單位面積 污染負荷量	點源污染 比例	污染貢獻 占總量比例
1	S3	S3	S1
2	S12	S1	S10
3	S1	S21	S7
4	S8	S11	S23
5	S14	S8	S17
6	S2	S19	S15
7	S7	S10	S2
8	S9	S5	S9
9	S19	S12	S8
10	S15	S2	S4



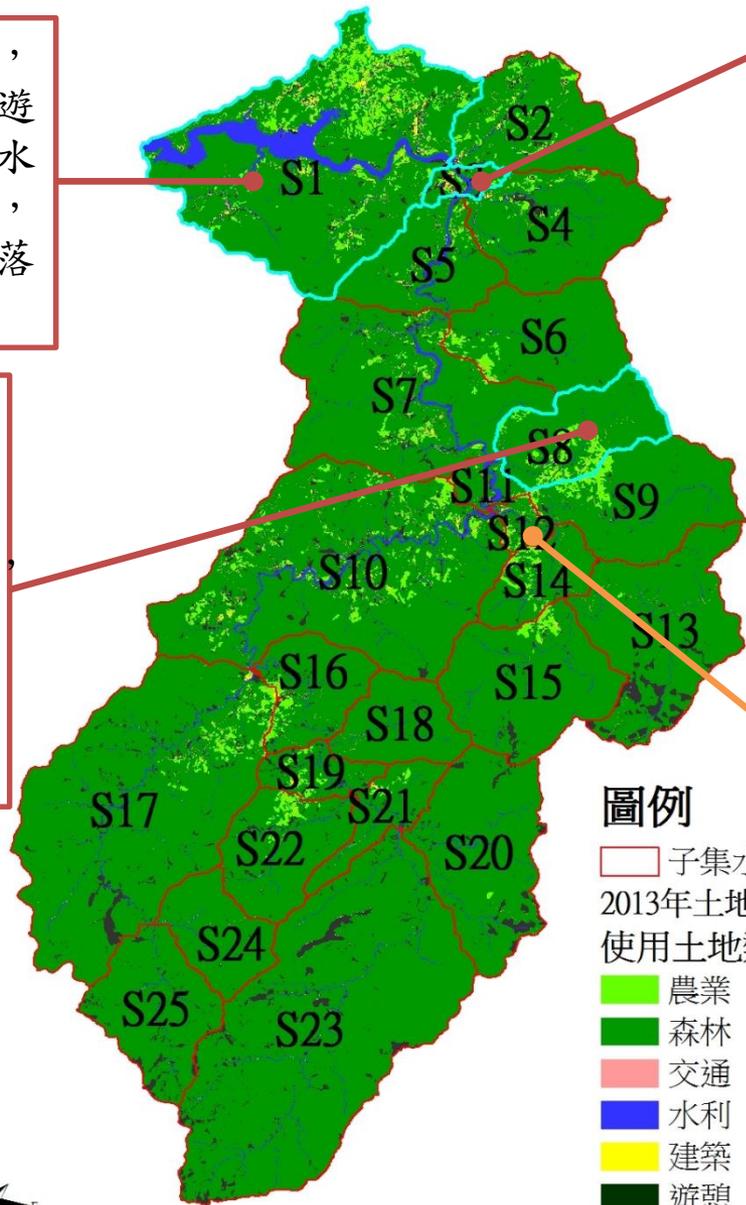
S1為石門水庫周圍，鄰庫區內之餐廳及遊憩區眾多，且子集水區內包含許多鄉鎮，因此住宅區也多坐落於此。

S8，雖然也有部分之住宅區和餐廳，但並無S1及S3多，但此區域主要為巴陵拉拉山以種植水蜜桃為名，山上多為農地，因此該區域主要削減為非點源污染為主。

S3中，大多數為建築用地，且該區中有小烏來風景區，遊客所產生之污染量皆沒有進行處理。



此外，在單項排序列於前面的S12與S14不納入熱點，是因為S12之污染總量太少，佔總體污染量之比例小於1%，若將其首重處理，亦難以看出成效，而S14則是因為點源比例少，但兩者可建議於下階段優先處理。



圖例

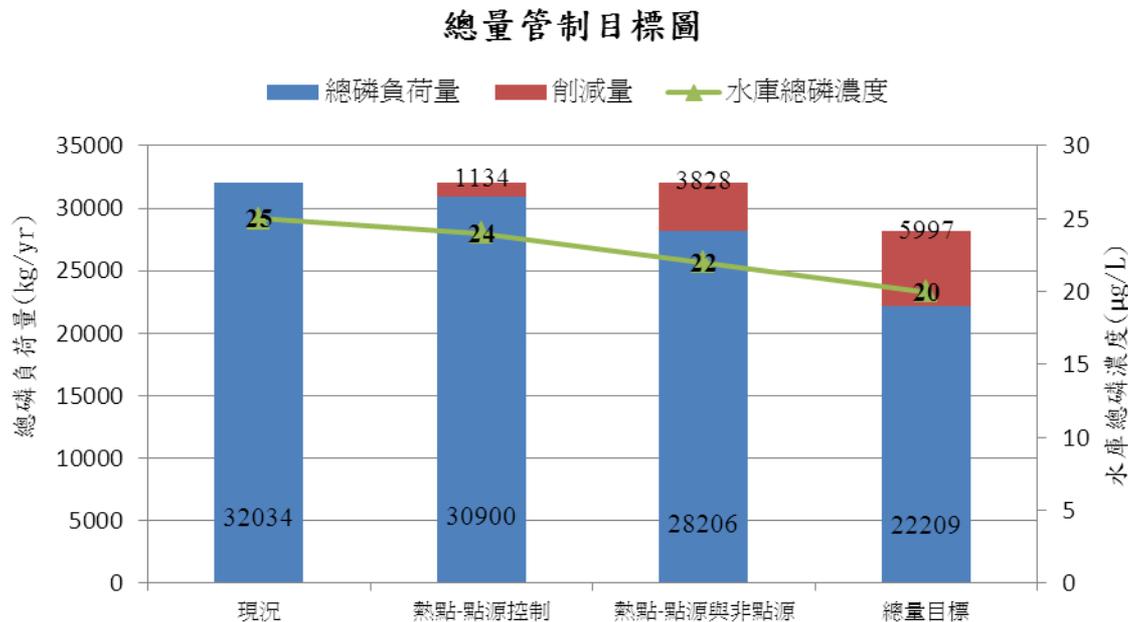
- 子集水區
- 2013年土地利用
- 使用土地類別
- 農業
- 森林
- 交通
- 水利
- 建築
- 遊憩
- 其他



0 2,850 5,700 11,400 Meters

污染削減與水質效益

- 現況：石門水庫現況總磷濃度 $25 \mu\text{g/L}$ ，總磷負荷為 $32,034 \text{ kg/yr}$ 。
- 目標：總磷濃度目標值為甲類水體水質標準 $20 \mu\text{g/L}$ ，總磷涵容總量應控制在 $22,209 \text{ kg/yr}$ (M_{50})，即總削減率為 30.7% 。
- 建議先由3處污染熱點子集水區控制(短期目標)：

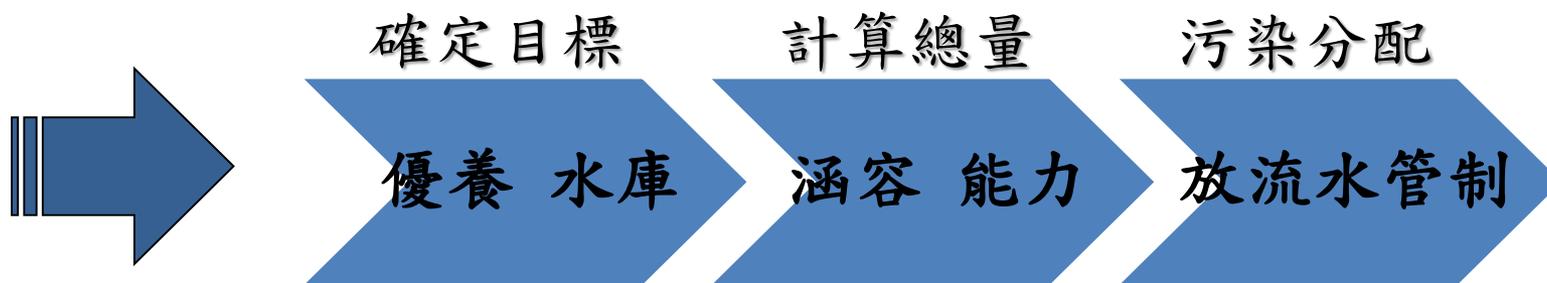


3處熱點控制後，水庫總磷預計從 $25 \mu\text{g/L}$ 降至 $22 \mu\text{g/L}$

水庫污染負荷量之管制策略初擬與推動總量管制方式初期引導

總量管制法源依據：

- **水污染防治法第7條**：...直轄市、縣(市)主管機關得視轄區內環境特殊或需特予保護之水體，**就排放總量或濃度**、管制項目或方式，增訂或加嚴轄內之**放流水標準**.....
- **水污染防治法第9條**：水體之全部或部分，有下列情形之一，直轄市、縣(市)主管機關應依該**水體之涵容能力**，以廢(污)水排放之**總量管制**方式管制之....



水庫污染負荷量之管制策略初擬與推動總量管制方式初期引導

美國總量管制典型操作流程

1. 相關者的參與。

2. 集水區評估：蒐集目標水體的資本資訊，了解影響水質的各種原因，釐清主要水質問題以及總量管制目標。

3. 分析污染負荷與水質關係：應用合適的量化方法，連接污染源以及水質影響，計算允許容受的污染總量。

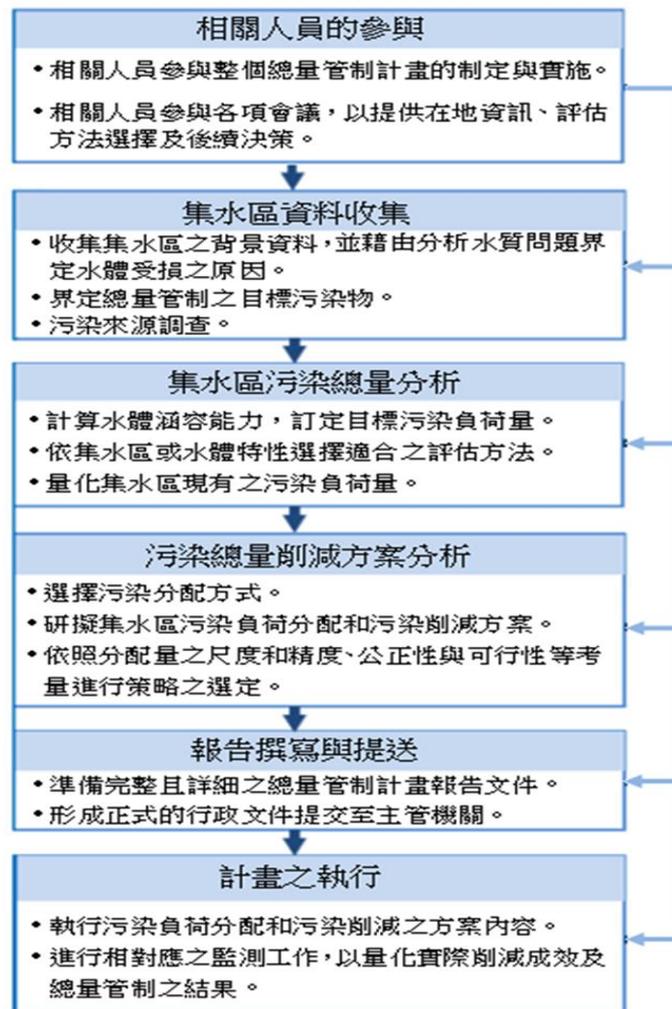
4. 污染分配分析：選定污染分配方式，以情境模擬不同污染分配方式的組合，最後選擇最佳污染分配結果。

5. 報告撰寫以及提送。

6. 執行TMDL。

- 完成水庫總量管制之污染源調查方法、污染量推估、水質模擬等**技術文件**。

總量管制實施程序





■ The End ■

謝謝聆聽
敬請指教

WERC

Water Environment Research Center

國立台北科技大學水環境研究中心