



行政院環境保護署

# 水庫集水區非點源管理技術手冊

報告人：陳起鳳 教授

國立臺北科技大學水環境研究中心

民國109年10月23日



# 水庫集水區非點源管理技術手冊

採樣

非點源採樣原則以及  
污染量計算技術  
指引

模式

水庫集水區及水庫  
水質模式技術指引

熱區

水庫集水區污染熱  
區擇定原則及總量  
管制削減成效評估  
指引

非點源相關技術指引





# 非點源管理技術手冊一

## ❖ 非點源採樣原則以及污染量計算技術指引

- 目前國內無一致的採樣原則。
- 確保數據品質以及代表性。





# 大綱

分三部分：

- ❖ 非點源採樣原則
- ❖ 污染量計算技術
- ❖ 計算範例



# 壹、非點源採樣原則

1.1

非點源採樣原則及流程

1.2

採樣前準備工作

1.3

水質採樣時機與頻率

1.4

採樣點的選擇

1.5

水質採樣樣本品管

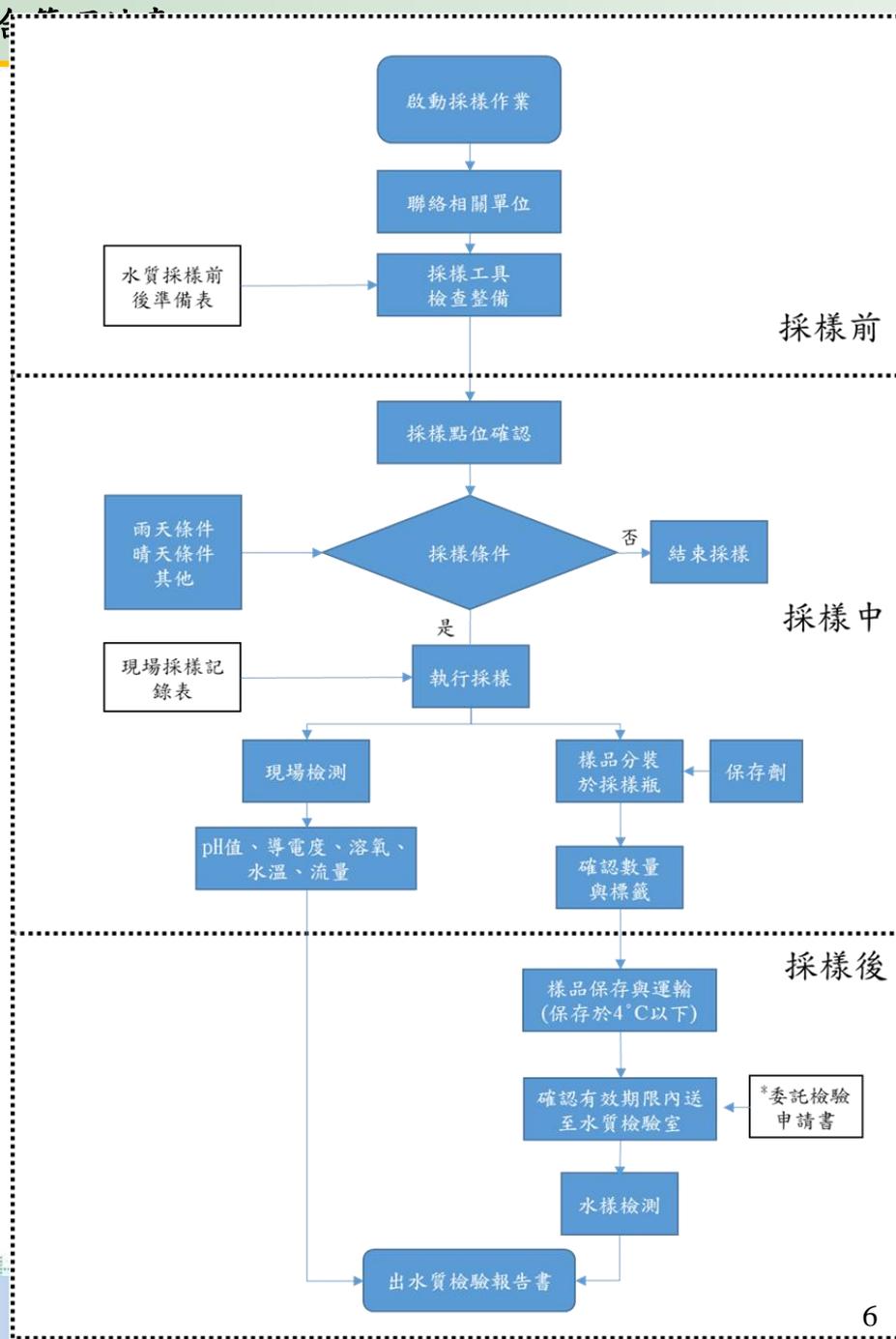
1.6

水質檢測項目與方法



## 1.1 非點源採樣作業原則及流程

- 執行採樣工作時，各階段工作內容及所需表格如右：
- 白底為該步驟所需使用的表單





## 1.1 非點源採樣作業原則及流程

### • 雨天水質採樣作業流程：







## 1.3 水質採樣時機與頻率

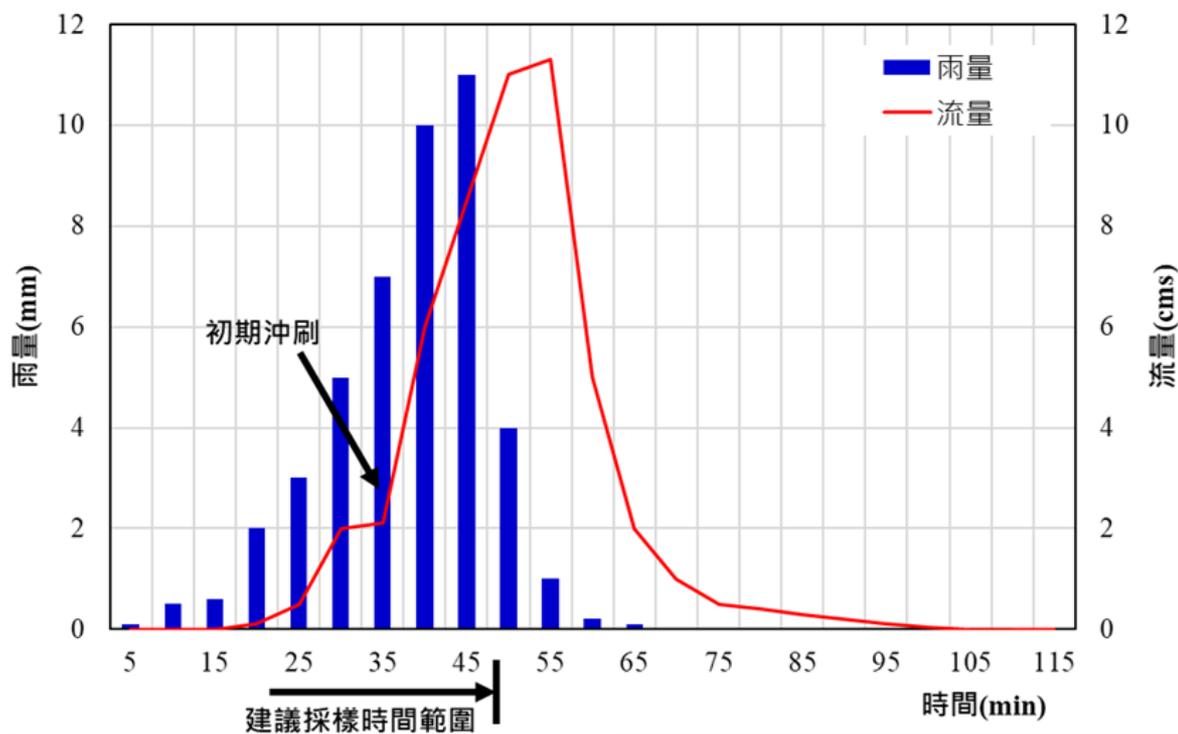
每場降雨事件後河川採樣，建議應滿足下列條件：

1. 確保採樣時之降雨能夠產生足夠之逕流，當次降雨事件之累積降雨量至少應在**10 mm**以上，且於**24**小時內採集水樣。
2. 為有效採集當次暴雨逕流污染，於該次暴雨採樣前**48**小時不得有超過**10 mm**以上之降雨。
3. 暴雨事件延時應確保較集水區之集流時間為長，可以利用採樣點附近之排水溝渠或農田之排水流路研判該次降雨是否已產生地表逕流。
4. 選擇暴雨事件時，亦應注意事件之雨量強度及延時之代表性。

## 1.3 水質採樣時機與頻率

- 每場降雨事件後土地利用採樣，建議應滿足下列條件：

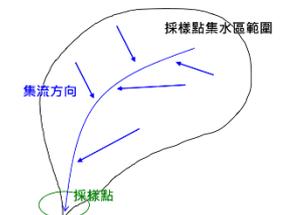
- 1.土地利用採樣時，當次降雨事件後開始有地表逕流時即可開始採樣，且建議至少在下雨過後30分鐘內開始採集樣本。
- 2.為了有效採集當次暴雨逕流污染，於該次暴雨採樣前48小時不得有超過10 mm以上之降雨。





## 1.3 水質採樣時機與頻率

### • 現場採樣記錄表

計畫現場採樣紀錄表					
採樣地點		採樣日期		降雨量	
GPS座標		採樣時間		降雨強度	
採樣人員		流量		樣本類型	Ex: 河川樣本、 農地樣本
採樣方式	<input type="checkbox"/> 手動 <input type="checkbox"/> 自動	樣本種類	<input type="checkbox"/> 抓樣 <input type="checkbox"/> 混樣(備註：_____)		
現場水質量測結果			現場照片		
溶氧(mg/L)					
酸鹼值					
導電度( $\mu$ mho/cm)					
水溫( $^{\circ}$ C)					
氣溫( $^{\circ}$ C)					
樣品編號					
備註		有效樣本 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	Ex: 		

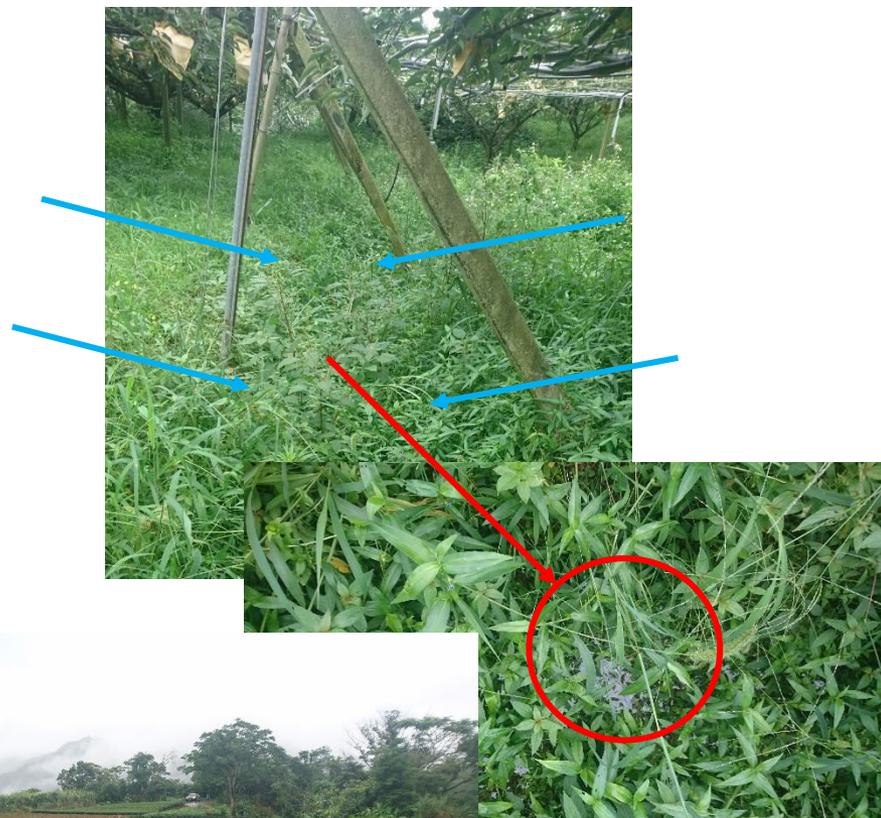


## 1.4 採樣點的選擇

- 採樣點選擇依目的而定：
  - 1.河道主（支）流
  - 2.主要的非點源污染來源
  - 3.非點源污染削減設施
- 若研究目標為非點源對河川水質影響：
  - 採樣點則選擇河川上游及下游數點，以及支流，做為採樣位置。河川採樣可以反應雨天非點源污染沖刷後對河川水質所造成的影響
- 若研究目標為不同非點源污染來源特性：
  - 採樣點則選擇不同土地利用類型，如農地、道路等，尋找土地逕流匯流處
- 若研究目標為非點源污染削減設施成效評估：
  - 採樣點選擇進入設施前入流以及設施出流口位置

## 1.4 採樣點的選擇

- 農業用地暴雨採樣



農業用地採樣點

## 1.4 採樣點的選擇

- 道路用地暴雨採樣



道路用地採樣口



## 1.5 水質採樣樣本品管

- 現場採樣品管措施說明如下：

### 1.採樣方法之討論：

一般可分為不連續式隨機性採樣及連續式混合性採樣兩種方式，依其目的不同決定採樣方法。採樣時需注意獲得具代表性之水樣，並避免被污染之可能。

- (1)採樣用具之準備
- (2)用具校正
- (3)現場採樣記錄
- (4)樣品運送及接收

### 2.有關水質採樣其它注意事項如下：

- (1)在取樣前，採樣瓶要用擬採之水樣洗滌二、三遍以上。
- (2)水樣會因化學性或生物性之變化而改變其性質，故採樣與檢驗間隔之時間愈短，所得之結果愈正確可靠。
- (3)若採樣後不能立刻檢驗，則水樣需以適當方法保存以延緩其變質。保存之方法包括pH值控制、冷藏或添加試劑等，以降低生物性之活動及成份之分解、吸附或揮發等。
- (4)水樣之溫度、pH值或溶解之氣體量（如氧、二氧化碳等）變化很快，需於採樣現場測定。
- (5)由於pH值-鹼度-二氧化碳平衡之改變，碳酸鈣可能沉澱出來，而減低水樣之鹼度及總硬度。
- (6)細菌檢驗用水，採樣時最好使用滅菌袋，或使用經滅菌理之採樣瓶，樣品袋（瓶）中不應保存有空氣。



## 1.6 水質檢測項目與方法

- 常見的水質檢測項目包含氫離子濃度指數(pH)、溫度(T)、導電度(EC)、溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)、懸浮固體(SS)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、總磷(TP)、大腸桿菌群、總氮(TN)等項目，各檢測項目所需之樣品量及檢測方法如下：

水質調查項目	單一測站所需樣品量及容器	備註
pH、水溫、比導電度、溶氧量	1L PE瓶	現場測量
生化需氧量	1L PE瓶	交由環檢所認證之檢驗公司分析
化學需氧量	500 mL PE瓶	
懸浮固體	1L PE瓶	
氨氮	500 mL PE瓶	
總磷	250 mL 棕色玻璃瓶	
大腸桿菌群	無菌袋	
總氮	500 mL PE瓶	



# 貳、污染量計算技術指引

2.1

點源污染量

2.2

非點源污染量



## 2.1 點源污染量

點源污染量：

- **點源污染量 = 生活污染量 + 遊憩污染量 + 畜牧污染量 + 事業污染量**

### (一) 生活污染量

生活污染量估算方式一般作法以每人污水量乘上污水水質濃度承上居住人口數，為該地區的生活污水產生量，此產生量再考慮流達率或處理率，則為排出或輸出量。

$$\text{生活污染產生量} = \frac{\text{每人每日用水量} \times \text{污水折減係數} \times \text{集水區人口數} \times \text{污染濃度}}{1,000,000} \times 365$$

生活污染產生量：kg/yr、每人每日用水量：公升(L)、污水折減係數：0.8（通常採每人每日用水量的80%作為產生的污水量）、污染濃度：mg/L。



## 2.1 點源污染量

### (二) 遊憩污染量

遊憩污染量來源分為住宿污水及觀光污水。

#### 1. 住宿污染量

$$\text{住宿污染產生量} = \frac{\text{每人每日用水量} \times \text{污水折減係數} \times \text{年住宿人數} \times \text{污染濃度}}{1,000,000}$$

住宿污染產生量單位為**kg/yr**，每人每日用水量：公升(L)、污水折減係數：0.8（通常採每人每日用水量的80%作為產生的污水量）、污染濃度：mg/L。

#### 2. 觀光污染量

$$\text{觀光污染產生量} = \frac{\text{遊憩污水} \times \text{年觀光人數} \times \text{污染濃度}}{1,000,000}$$

觀光污染產生量：kg/yr、遊憩污水：13公升（沖廁所12L+洗手1L）、污染濃度：mg/L。



## 2.1 點源污染量

### (三) 畜牧污染量

畜牧污染指得是所飼養的家禽家畜所產生的污水，但在推估上須注意屬於圈養式或放牧式，以及是否有現場處理設備，以準確推估排放量。

若為放牧式飼養方式，則需另外估算其非點源污染量。

- 產生量：單位頭數(牛豬雞鴨等)所產生的單位污染量乘以總個數
- 處理量與流達量分別將產生量乘上處理率以及流達率。

$$\text{污染產生量} = \frac{\text{畜牧日產生量} \times \text{總頭數} \times \text{天數}}{1,000}$$

年污染量產生量：kg/yr、畜牧日產生量：g/day、天數：365天（一年）、總頭數：總養殖（豬、牛、雞、鴨）數



## 2.1 點源污染量

### (四) 事業污染量

事業污染量的推估方式有二：

1. 利用不同事業類別，依單位面積輸出量乘上面積，推估輸出總量

$$\text{事業污染產生量} = \text{單位面積污染量} \times \text{面積}$$

事業污染產生量：kg/yr、單位面積污染量： $\frac{kg}{ha \times yr}$ 、面積：ha。

2. 調查每日排放廢水量以及排放濃度，兩者相乘可得每日排放總量。再加上流達率，得到流達總量。

$$\text{事業污染產生量} = \text{申報排水量} \times \text{污染濃度}$$

事業污染產生量：kg/yr、日排放廢水量：CMD、排放濃度：mg/L。



## 2.2 非點源污染量

- 非點源污染的負荷量推估方式可分為：

### 1. 單位面積污染係數法

污染量 = 土地面積 × 單位面積輸出係數

不同土地利用單位面積輸出係數(摘要)

土地類型	單位面積輸出係數 (kg/ha-yr)			
	SS	BOD	TN	TP
高密度都市	-	313.5	50	7.6
道路	1099	98	7	5.3
道路	-	120.22 (COD)	14.73	1.20
聚落	212~939	48.4~223.5	76.6~233.2	0.5~6.8
火龍果	2,088	740.7 (COD)	15.58	18.52
綠竹筍	5,890	1,395.5 (COD)	11.31	28.84
水蜜桃	1,467	536.6 (COD)	12.15	22.27

### 2. 集水區模式法

水質模式操作方式請參考「水庫集水區及水庫水質模式技術指引」。



# 參、計算範例

3.1

點源污染量

3.2

非點源污染量



## 3.1 點源污染量

- 此處範例介紹以石門水庫為例的情形下，生活污水、遊憩污水的總磷污染量算法。
- 石門水庫集水區無畜牧與事業廢水。

### (一) 生活污染量

石門水庫集水區2018年平均人口數合計為18,784人

桃園市2018年之每人每日生活用水量為266公升

污水折減係數0.8

總磷濃度採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

$$\text{總磷的生活污染產生量} = \frac{266 \times 0.8 \times 18,784 \times 3.6}{1,000,000} \times 365$$

推估集水區生活污水總磷污染量為5,252 kg/yr



## 3.1 點源污染量

### (二) 遊憩污染量

#### 1. 住宿污染量

推估住宿污染量為**389 kg/yr**

$$\text{總磷的住宿污染產生量} = \frac{266 \times 0.8 \times (1,988 \times 0.7 \times 365) \times 3.6}{1,000,000}$$

每人每日用水量：266公升、污水折減係數：0.8、年住宿人數：507,934人（每天1,988人、住房率7成、365天）、總磷濃度：3.6 mg/L。

#### 2. 觀光污染量

觀光污染量為**139 kg/yr**

$$\text{總磷的觀光污染產生量} = \frac{13 \times 2,969,086 \times 3.6}{1,000,000}$$

遊憩污水：13公升、年觀光人數：2,969,086人、總磷濃度：3.6 mg/L。



## 3.2 非點源污染量

非點源污染量：

- 以石門水庫為例，單位面積污染係數法及模式法計算方式。

(一) 單位面積污染係數法

石門水庫的果樹種植面積共969.5公頃、果園單位面積輸出係數：4 kg/ha-y  
集水區果樹共提供總磷**3,878 kg/yr**

$$\text{果樹總磷污染量} = 969.5 \times 4$$

森林面積68,183.1公頃、單位面積輸出係數：0.2 kg/ha-y  
集水區森林使用土地共提供總磷**13,637 kg/yr**

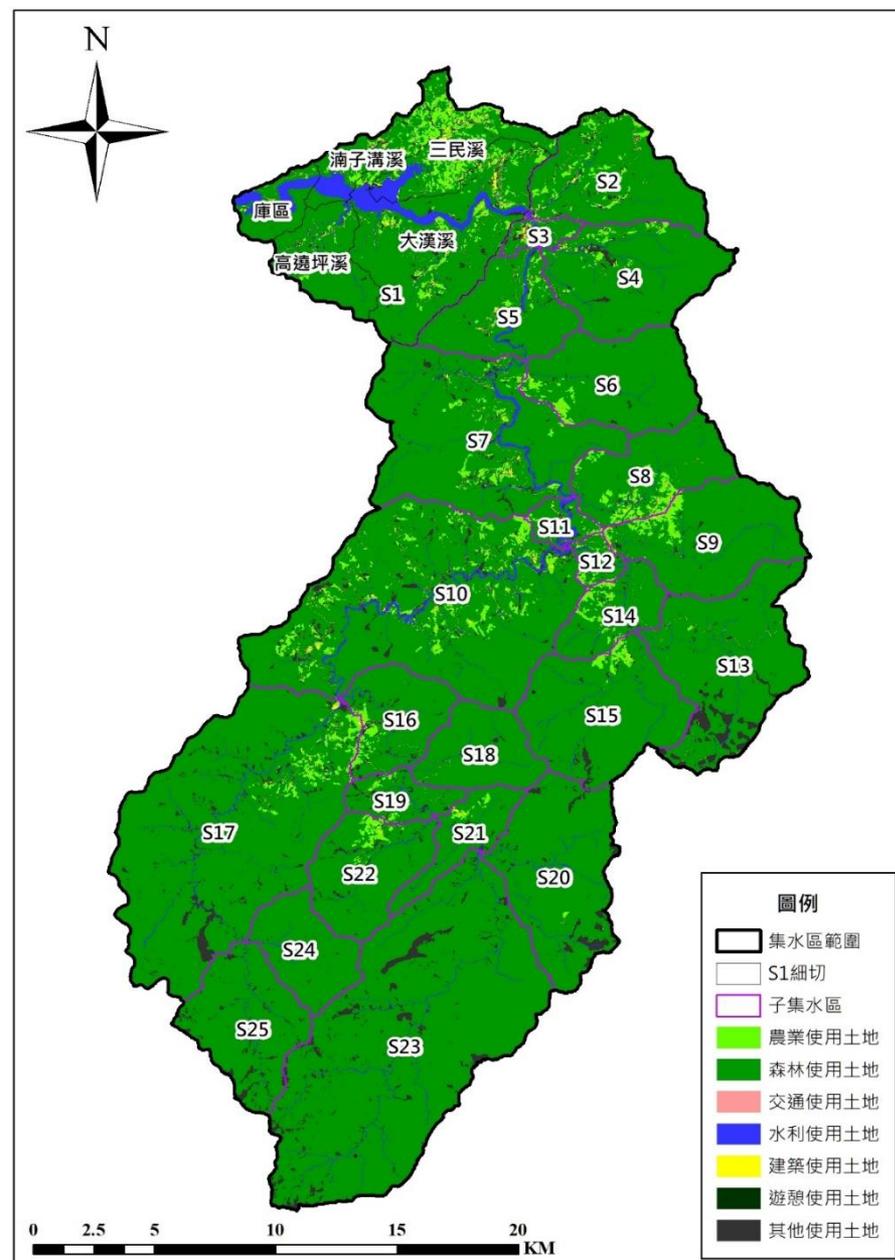
$$\text{林地總磷污染量} = 68,183.1 \times 0.2$$

依此計算所有土地類型的非點源污染量

## 3.2 非點源污染量

### (二) 集水區模式法

- 假設石門水庫的水質污染評估模式採用SWMM。
- 共區分為25個子集水區





## 3.2 非點源污染量

- 點源污染量以前述的方式計算，再扣除當地的污染處理設施所處理的污染量。
- 非點源污染量則是SWMM模式經率定驗證後模擬結果。
- 石門水庫集水區年污染量  
 點源污染量5,367 kg/yr (18%)  
 非點源污染量24,978 kg/yr(82%)  
 推估合計每年產出總磷30,344公斤

集水區	面積 (公頃)	點源污染(kg/yr)			非點源污染(kg/yr)			污染 總量 (kg/yr)	單位面積 污染負荷量 (kg/ha)
		生活 污水	遊憩 污水	小計	可控 非點源	不可控 非點源	小計		
S1	7,990	2,219	142	2,361	2,236	1,986	4,222	6,583	0.83
S2	2,436	188	26	214	449	784	1,233	1,447	0.59
S3	340	193	46	239	94	130	223	462	1.36
S4	2,698	172	11	183	243	833	1,076	1,259	0.47
S5	1,878	142	6	148	128	503	630	779	0.41
S6	2,394	50	0	50	184	426	610	660	0.28
S7	4,961	177	0	177	600	1,877	2,478	2,655	0.54
S8	1,884	146	136	282	668	489	1,157	1,439	0.76
S9	2,659	120	55	175	488	755	1,243	1,419	0.53
S10	7,920	683	11	694	632	1,019	1,650	2,344	0.30
S11	426	38	0	38	43	81	124	162	0.38
S12	341	51	22	73	150	119	269	342	1.00
S13	3,498	4	0	4	13	972	985	989	0.28
S14	1,113	54	6	60	312	334	647	707	0.63
S15	3,014	35	0	35	332	940	1,272	1,307	0.43
S16	1,494	35	0	35	186	300	486	521	0.35
S17	8,183	253	11	264	366	1,424	1,790	2,053	0.25
S18	1,422	0	0	0	0	287	287	287	0.20
S19	758	82	28	110	117	148	266	376	0.50
S20	3,239	0	0	0	11	649	660	660	0.20
S21	973	92	28	120	52	163	216	335	0.34
S22	1,916	88	17	105	190	350	541	646	0.34
S23	9,450	0	0	0	0	2,475	2,475	2,475	0.26
S24	1,411	0	0	0	0	174	174	174	0.12
S25	2,290	0	0	0	0	265	265	265	0.12
總計	74,689	4,823	544	5,367	7,495	17,483	24,978	30,344	-
比例	-	<b>17.69%</b>			<b>82.32%</b>			100%	-



# 非點源管理技術手冊二

## ❖ 水庫集水區及水庫水質模式技術指引

- 需透過科學方法了解未監測採樣地區或時間狀況。
- 需工具整合評估集水區與水體水質關係。





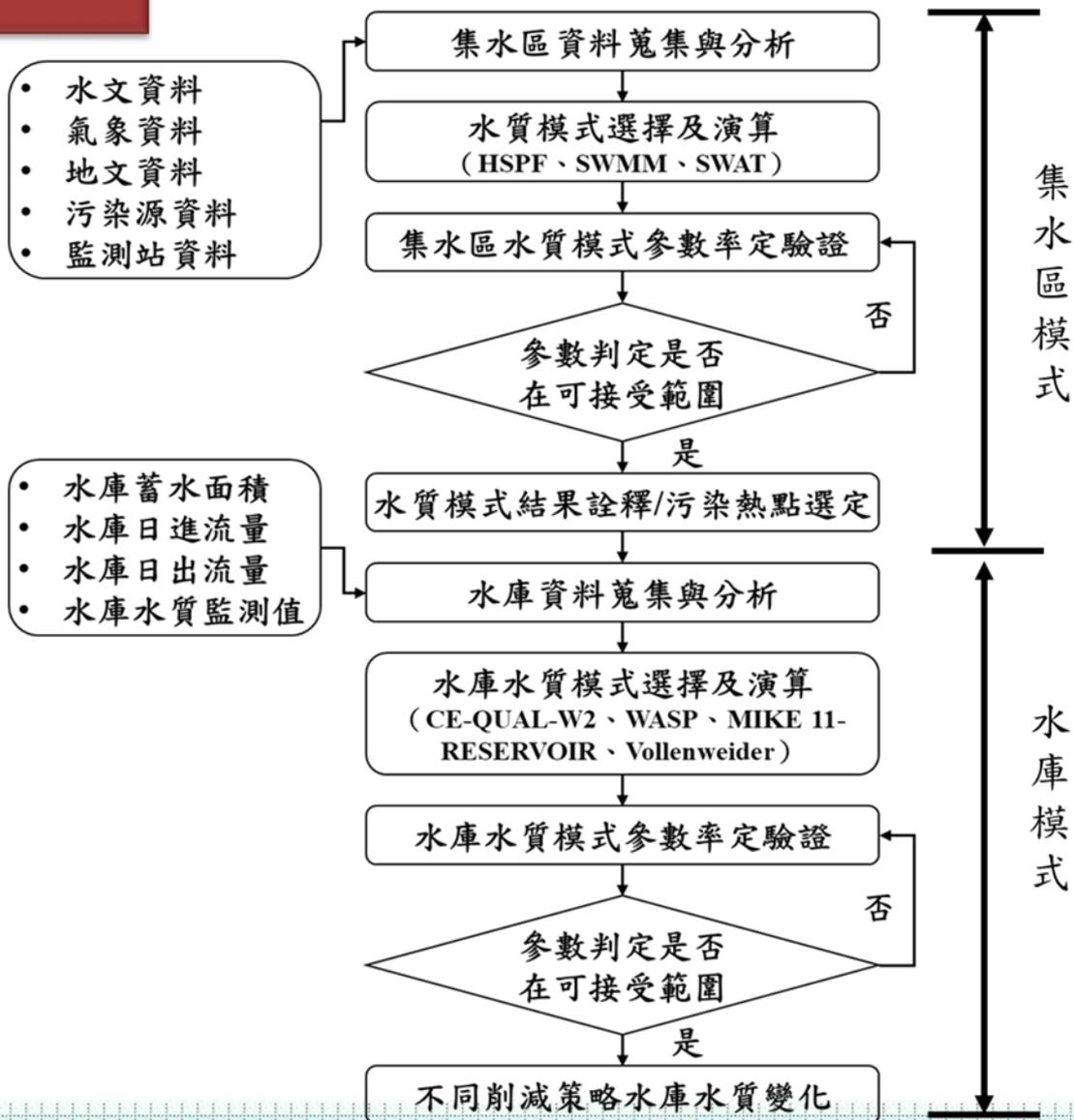
# 大綱

- ❖ 模式應用流程
- ❖ 模式工具介紹
- ❖ 模式操作流程(SWMM)
- ❖ 應用案例與模式結果詮釋說明



## 壹、模式應用流程

- 集水區模式用於評估降雨後水在集水區內的流動以及對水質的影響。
- 水庫模式呈現庫區內水質變化。
- 探討集水區污染或污染熱區或對溪流河川的水質影響：集水區模式
- 集水區控制策略對水庫水質的成效：集水區模式+水庫水質模式





## 步驟一：集水區資料蒐集與分析

### (一) 資料蒐集

執行模式前需先蒐集現地相關資料：

#### 1. 水文資料

降雨量、流量

#### 2. 氣象資料

溫度、風速、輻射量、蒸發散量、露點溫度、雲覆蓋度、濕度

#### 3. 地文資料

土地利用、高程、土壤類型、氣象站、流量站位置

#### 4. 污染源資料

集水區居住、觀光、工業、污染處理設施、污水下水道接管資料

#### 5. 監測站資料

水質監測站的水質資料、水庫水質監測資料

### (二) 資料分析

蒐集完成後對資料進行勘誤，將各項資料整理成模式所需的格式，對資料進行初步分析。

- 徐昇式法轉換子集水區降雨量
- 計算子集水區污染量，參考「非點源採樣原則以及污染量計算技術指引」



## 步驟二：集水區水質模式選擇與演算

水質模式分為集水區水質模式以及水庫水質模式，常見如下：

- 集水區水質模式：HSPF、SWAT及SWMM
    - 資料前處理時會使用到的模式平台BASINS
  - 水庫水質模式：CE-QUAL-W2、MIKE 11、WASP、EFDC、Vollenweider
- 選擇模式原則：

### 1.可取得的資料

越複雜的模式需要的資料量越大，以可取得之資料為選擇模式時優先考量

### 2.水質模擬的目的

探討集水區污染、污染熱區或對溪流河川的水質影響：**集水區水質模式**

評估水庫水質的變化：**水庫水質模式**

評估集水區的水質變化對水庫水質的影響：**集水區水質模式+水庫水質模式**

模式名稱	適用地區	模擬項目	資料量
HSPF	都市區、集水區	懸浮固體、氮、磷、細菌 溶氧、重金屬	極高
SWMM	都市區、集水區	懸浮固體、氮、磷、細菌 生化需氧量、重金屬	高
SWAT	集水區	懸浮固體、氮、磷、細菌 生化需氧量、重金屬	中



## 步驟三：集水區水質模式參數率定驗證

為確保模式所使用的參數與實際情況相符，需對模擬值與實測值進行率定驗證。

- **先流量**率定驗證，確認流量模擬達可接受程度後，**再水質**率定驗證

### (一) 流量率定驗證

流量監測數據通常較為完整且連續

- 建議流量率定及驗證時間長度採一年以上，以涵蓋豐枯水期的流量狀況
- 缺乏資料的情形下，率定及驗證至少**五筆**以上。

### (二) 水質率定驗證

依「環境影響評估河川水質評估模式技術規範」建議，水質的率定及驗證

- 同一個點位**五筆**以上
- 或同一個時間不同位置的**五筆**以上

項目	筆數	說明
流量	一年以上，或同年度至少五筆。	率定或驗證用的監測資料皆需涵蓋豐枯水期。
水質	同一年度同一位置至少五筆，或 同一時間同河段不同位置五筆。	可用晴天作為點源污染監測資料 雨天作為非點源的監測資料。



## 步驟四：水質模式結果詮釋/污染熱點選定

- 以子集水區為單位，輸出每個子集水區的污染量，後續以此污染量數據評估集水區污染分佈及優先改善的區域
- 污染熱點選定方式有
  1. 單位面積污染負荷
  2. 點源污染比例
  3. 可控制之非點源污染量
  4. 污染量貢獻比例
  5. 子集水區與庫區的距離

詳細的污染熱點選定方式參考「水庫集水區污染熱區擇定原則及總量管制削減成效評估指引」。



## 步驟五：水庫資料蒐集與分析

由集水區水質模式得出集水區的總污染量，再將成果輸入水庫水質模式中評估水庫內水質變化。

### （一）資料蒐集

在執行模式前須要先蒐集水庫相關資料，例如：

- 水庫蓄水面積
- 水庫日進、出流量
- 水庫水質監測值
- 其他水庫水質模式所需資料

### （二）資料分析

對蒐集的資料進行初步分析，排除異常值後再進行模式分析

## 步驟六：水庫水質模式選擇及演算

水庫水質模式種類同步驟二介紹，建議依據可蒐集到的資料選擇水庫水質模式。越複雜的模式所需的資料量越多，如EFDC需要數值地形以建立水庫網格，以及準確的邊界條件（水文、氣象、水質）模式才能正常啟用。



## 步驟七：水庫水質模式參數率定驗證

同集水區水質模式，模擬的成果皆須經過率定驗證以確認參數適用於該水庫。

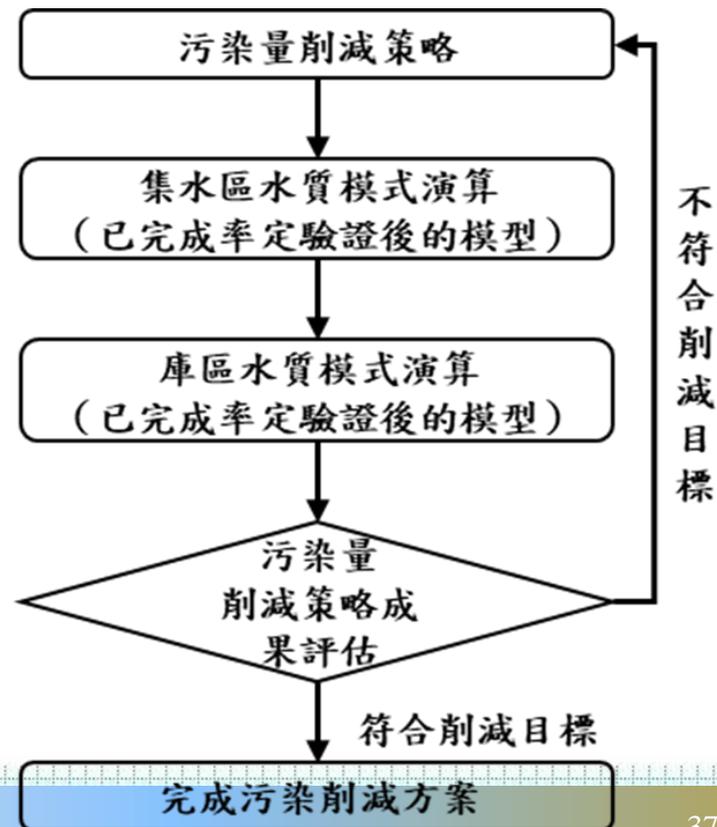
過去水庫監測資料一季僅一筆，之後改為每月一筆，建議：

- 各至少一個年度
- 或至少率定五筆、驗證五筆

## 步驟八：不同削減策略水庫水質變化

以不同的削減策略改變集水區相對應的數值，集水區模式模擬的污染量再輸入水庫水質模式中，可得到削減策略在執行前後的水庫水質變化情形

### 污染削減策評估流程





## 貳、模式工具介紹

2.1

集水區水質模式

2.2

水庫水質模式

2.3

率定驗證統計指標



## 2.1 集水區水質模式

臺灣常用之集水區模式有：

模式名稱	輸入資料	說明
BASINS(整合平台)	地文：高程(DEM)、土地利用圖資、 河系圖資、集水區圖資	利用GIS整合資料，前處理後續水質模式所需的各項參數。
HSPF	水文：降雨量、蒸發量 氣象：溫度、風速、輻射、蒸發散潛 勢、露點溫度、雲覆蓋量 地文：土地利用	模式所需基礎資料較多，且輸入資料需以小時為單位，模式使用單位為英制，需注意單位轉換問題。
SWMM	水文：降雨量 地文：土地利用	模式所需資料量較少，降雨可以選擇使用小時或是日為單位。
SWAT	水文：降雨量 氣象：溫度、風速、輻射、相對溼度 地文：土地利用、土壤類型	模式所需資料量較多，國內外有許多應用案例可參考，由於SWAT以日為單位進行連續模擬，不適用於單一暴雨、洪水事件的細部模擬。

## 2.2 水庫水質模式

水庫水質模式與集水區模式不同，屬於水體水質模式，評估混合後的水體水質或水庫內各分層水質情形。常見的水庫水質模式如下：

模式名稱	輸入資料	說明
CE-QUAL-W2	水文：進流量、出流量 氣象：降雨量、氣溫、露點、風速、風向及雲覆蓋度 水質：進流濃度 其他：水庫網格	所需資料量較多，可控制模擬時間間距。
MIKE11 - Reservoir	水文：進流量、出流量 氣象：降雨量、氣溫、初始水溫、相對溼度 水質：進流濃度 其他：水庫網格	國內使用此模式的案例較少，此模式可處理不規則結構物、底床變動之問題。
WASP	水文：進流量、出流量 水質：進流濃度 其他：水庫網格	使用上需設定水庫網格可模擬水體一維、二維及三維之問題。
EFDC	水文：進流量、出流量 氣象：降雨量、氣溫、初始水溫、風速、風向、相對溼度 水質：進流濃度、出流濃度 其他：水庫網格、數值地形	需要及廣泛完整的資料模擬之後才會準確，網格模擬真實現地情況。
Vollenweider	水文：進流量、出流量 水質：日進流量（濃度）、日出流量（濃度） 其他：水庫蓄水面積	零維模式假設水體是完全混合的情形，輸出的水庫濃度為整個水體混合後的平均值。



## 2.3 率定驗證統計指標

率定驗證建議指標：

- 皮爾遜積矩相關係數  $r$  (Pearson product-moment correlation coefficient)
- 決定係數  $R^2$  (Coefficient of determination)
- 平均百分比 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)
- 模式有效性係數 NSE (Nash Sutcliffe efficiency)
- 百分比偏差 PBIAS (Percent BIAS)

可接受範圍如下表

模式判定指標	範圍值	接受值
相關係數 ( $r$ )	-1~1	>0.7
決定係數 ( $R^2$ )	0~1	>0.5
平均百分比 (MAPE)	-1~1	<15% 高準確預測
		10%~20% 優良預測
		20%~50% 合理預測
		>50% 不準確預測 (模擬值不可信)
模式有效性係數 (NSE)	$-\infty$ ~1	0 ~ 1
百分比偏差 (PBIAS)	0~ $\infty$	<30% (正負值代表高估或低估)



# 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

4.1 鯉魚潭集水區資料蒐集與分析

4.2 集水區水質模式選擇與演算

4.3 集水區水質模式參數率定驗證

4.4 水質模式結果詮釋/污染熱點選定

4.5 水庫資料蒐集與分析

4.6 水庫水質模式選擇及演算

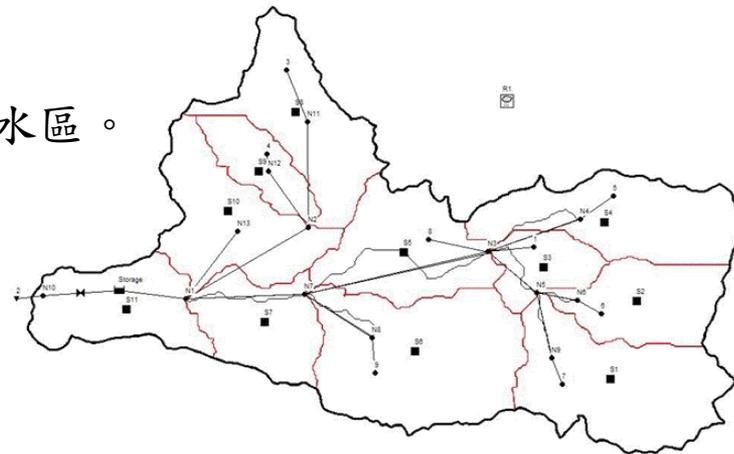
4.7 水庫水質模式參數率定驗證

4.8 不同削減策略水庫水質變化

## 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

- 根據第一章的模式應用流程，以鯉魚潭水庫集水區作為應用案例
- 鯉魚潭集水區資料蒐集與分析：
  1. 水文資料：景山溪流量、越域引水量、降雨量
  2. 氣象資料：無其他資料
  3. 地文資料：集水區邊界、高程、土地利用、河系及氣象站位置圖資
  4. 污染源資料：遊憩地點、人口居住分布
  5. 監測資料：過去無水質監測資料
- 集水區水質模式選擇與演算：

此處集水區水質模式採用SWMM。  
以BASINS平台進行集水區分割為11個子集水區。

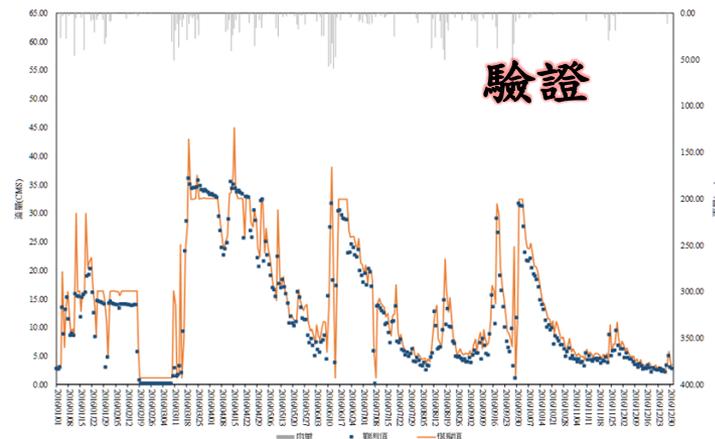
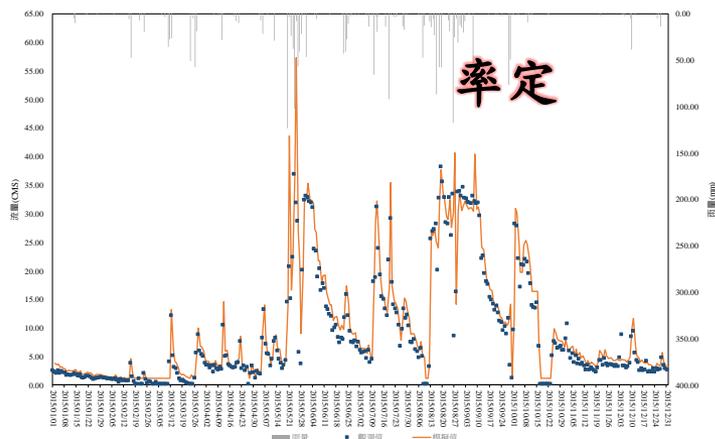




## 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

- 集水區水質模式參數率定驗證：  
採用決定係數 ( $R^2$ )及平均百分比 (MAPE)
- 流量率定驗證：  
2015年為率定時間，2016年為驗證時間，驗證結果如下表，均在可接受範圍內

模式判定指標	接受範圍值	接受值	率定	驗證
決定係數 ( $R^2$ )	0~1	> 0.5	0.92	0.95
平均百分比 (MAPE)	0~1	< 15% 高準確預測	30%	20%
		10% ~ 20% 優良預測		
		20% ~ 50% 合理預測		
		> 50% 不準確預測		





## 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

### • 水質率定驗證：

1. 由於鯉魚潭水庫集水區並無水質觀測站，故水質率定驗證採用現場採樣資料。
2. 水質模擬分為點源污染（晴天）及非點源污染（雨天）的率定驗證。

### 晴天

模式判定指標	污染物	範圍值	接受值	率定	驗證
平均百分比 (MAPE)	總磷	0~1	< 15% 高準確預測	26%	37%
			10% ~ 20% 優良預測		
			20% ~ 50% 合理預測		
			> 50% 不準確預測		

### 雨天

模式判定指標	污染物	範圍值	接受值	率定	驗證
平均百分比 (MAPE)	總磷	0~1	< 15% 高準確預測	35%	15%
			10% ~ 20% 優良預測		
			20% ~ 50% 合理預測		
			> 50% 不準確預測		

## 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

### • 水質模式結果詮釋/污染熱點選定

#### 1. 水質模式結果詮釋

點源污染量以前述蒐集的資料參考「水庫集水區污染熱區擇定原則及總量管制削減成效評估指引」計算得出。

以模式進行非點源污染計算，得出非點源污染量。考量降雨影響，本案例模擬三年情形後再平均，最後得到每年平均非點源污染量為7,677公斤。

鯉魚潭水庫集水區總磷污染負荷量為每年9,292公斤。

子集水區	TP (kg/yr)			單位面積污染負荷量 (kg/yr-ha)
	點源	非點源	總計	
S1	234.48	974.14	1,208.62	1.73
S2	18.02	439.65	457.67	1.20
S3	89.82	442.75	532.57	2.56
S4	45.62	482.52	528.14	0.92
S5	203.21	1,012.77	1,215.98	2.39
S6	231.13	1,713.90	1,945.03	2.27
S7	208.3	726.37	934.67	2.54
S8	288.9	890.94	1,179.84	2.22
S9	46.45	283.95	330.40	1.57
S10	225.71	519.71	745.42	1.41
S11	24.00	190.03	214.03	0.52
總計	1,615.66	7,676.71	9,292.35	1.77

## 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

### • 水質模式結果詮釋/污染熱點選定

#### 2. 污染熱點選定

考慮流達率等問題，先排除較遠之子集水區。

以單位面積污染負荷量進行排序，同時考慮總污染量、污染源可控制性(點源優先、非點源中農業優先)等因素。

(有關污染熱區選擇方式請參考「水庫集水區污染熱區擇定原則及總量管制削減成效評估指引」)



### 鯉魚潭水庫污染熱區



## 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

### • 水庫資料蒐集與分析：

蒐集水庫相關資料，包含水庫蓄水面積、水庫日進流量、水庫日出流量以及水庫水質監測值。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
日期	入流量(萬m <sup>3</sup> )		日期	入流量(萬m <sup>3</sup> )		日期	入流量(萬m <sup>3</sup> )		日期	出流量(萬m <sup>3</sup> )		日期	出流量(萬m <sup>3</sup> )		日期	出流量(萬m <sup>3</sup> )		日期	水質(mg/L)		日期	水質(mg/L)
2015/1/1	44.76		2016/1/1	37.5	0.00	2017/1/1	34.91		2015/1/1	59.64		2016/1/1	64.66		2017/1/1	76.87		2015/1/1	0.014657		2016/1/1	0.016283
2015/1/2	48.04		2016/1/2	33.78	0.00	2017/1/2	34.47		2015/1/2	59.71		2016/1/2	64.59		2017/1/2	76.43		2015/1/2	0.014657		2016/1/2	0.016702
2015/1/3	42.25		2016/1/3	52.19	0.00	2017/1/3	38.97		2015/1/3	59.47		2016/1/3	64.42		2017/1/3	77.23		2015/1/3	0.015578		2016/1/3	0.015747
2015/1/4	45.19		2016/1/4	141.26	0.00	2017/1/4	36.63		2015/1/4	59.55		2016/1/4	64.41		2017/1/4	78.6		2015/1/4	0.015165		2016/1/4	0.018143
2015/1/5	27.99		2016/1/5	100.48	0.00	2017/1/5	31.71		2015/1/5	59.4		2016/1/5	64.43		2017/1/5	77.41		2015/1/5	0.016617		2016/1/5	0.009853
2015/1/6	42.51		2016/1/6	142.39	0.00	2017/1/6	37.84		2015/1/6	59.75		2016/1/6	61.8		2017/1/6	75.41		2015/1/6	0.016599		2016/1/6	0.005749
2015/1/7	31.36		2016/1/7	153.01	0.00	2017/1/7	37.58		2015/1/7	59.97		2016/1/7	64.97		2017/1/7	74.65		2015/1/7	0.017853		2016/1/7	0.019288
2015/1/8	28.68		2016/1/8	117.33	0.00	2017/1/8	33.61		2015/1/8	60.08		2016/1/8	65.24		2017/1/8	74.26		2015/1/8	0.017907		2016/1/8	0.00585
2015/1/9	32.49		2016/1/9	97.89	0.00	2017/1/9	37.67		2015/1/9	61.01		2016/1/9	64.79		2017/1/9	74.75		2015/1/9	0.019343		2016/1/9	0.012172
2015/1/10	29.03		2016/1/10	93.83	0.00	2017/1/10	26.96		2015/1/10	60.38		2016/1/10	64.52		2017/1/10	74.8		2015/1/10	0.018999		2016/1/10	0.007317
2015/1/11	28.17		2016/1/11	120.44	0.00	2017/1/11	37.58		2015/1/11	59.51		2016/1/11	64.41		2017/1/11	74.68		2015/1/11	0.01918		2016/1/11	0.008159
2015/1/12	28.68		2016/1/12	158.46	0.00	2017/1/12	29.55		2015/1/12	59.56		2016/1/12	64.3		2017/1/12	73.8		2015/1/12	0.019332		2016/1/12	0.008159
2015/1/13	31.71		2016/1/13	151.11	0.17	2017/1/13	29.29		2015/1/13	59.39		2016/1/13	64.55		2017/1/13	73.53		2015/1/13	0.019387		2016/1/13	0.004937
2015/1/14	37.07		2016/1/14	156.04	11.02	2017/1/14	47.09		2015/1/14	59.28		2016/1/14	64.71		2017/1/14	73.29		2015/1/14	0.025542		2016/1/14	0.004669
2015/1/15	29.03		2016/1/15	126.32	1.34	2017/1/15	44.67		2015/1/15	59.45		2016/1/15	64.94		2017/1/15	73.52		2015/1/15	0.020862		2016/1/15	0.005695
2015/1/16	28.77		2016/1/16	145.84	0.34	2017/1/16	38.1		2015/1/16	59.22		2016/1/16	64.9		2017/1/16	73.81		2015/1/16	0.020899		2016/1/16	0.006319
2015/1/17	28.51		2016/1/17	182.39	0.00	2017/1/17	34.47		2015/1/17	59		2016/1/17	66.12		2017/1/17	73.65		2015/1/17	0.019599		2016/1/17	0.004852
2015/1/18	22.98		2016/1/18	162.35	0.00	2017/1/18	31.1		2015/1/18	58.92		2016/1/18	69.63		2017/1/18	73.77		2015/1/18	0.021596		2016/1/18	0.012076
2015/1/19	22.98		2016/1/19	192.76	0.00	2017/1/19	34.65		2015/1/19	58.91		2016/1/19	70.61		2017/1/19	73.82		2015/1/19	0.022236		2016/1/19	0.003884
2015/1/20	26.09		2016/1/20	204.85	0.00	2017/1/20	26.18		2015/1/20	59.04		2016/1/20	70.06		2017/1/20	72.26		2015/1/20	0.021504		2016/1/20	0.003655
2015/1/21	32.31		2016/1/21	214.19	0.00	2017/1/21	30.76		2015/1/21	59.14		2016/1/21	70.22		2017/1/21	69.92		2015/1/21	0.020537		2016/1/21	0.003543
2015/1/22	24.02		2016/1/22	171.07	0.00	2017/1/22	27.39		2015/1/22	58.87		2016/1/22	70.6		2017/1/22	70.06		2015/1/22	0.020933		2016/1/22	0.005523
2015/1/23	26.78		2016/1/23	143.42	0.00	2017/1/23	25.32		2015/1/23	58.92		2016/1/23	67.23		2017/1/23	70.59		2015/1/23	0.021106		2016/1/23	0.005971
2015/1/24	24.11		2016/1/24	98.5	0.00	2017/1/24	27.99		2015/1/24	58.99		2016/1/24	67.32		2017/1/24	69.45		2015/1/24	0.022206		2016/1/24	0.012958
2015/1/25	18.58		2016/1/25	156.12	0.00	2017/1/25	27.91		2015/1/25	58.82		2016/1/25	71.07		2017/1/25	69.37		2015/1/25	0.024228		2016/1/25	0.004778
2015/1/26	23.59		2016/1/26	154.05	0.00	2017/1/26	22.12		2015/1/26	58.49		2016/1/26	72.89		2017/1/26	70.36		2015/1/26	0.02322		2016/1/26	0.004663
2015/1/27	26.01		2016/1/27	154.31	0.00	2017/1/27	23.76		2015/1/27	58.15		2016/1/27	77.23		2017/1/27	71.96		2015/1/27	0.022377		2016/1/27	0.004664
2015/1/28	21.69		2016/1/28	157.77	0.00	2017/1/28	26.18		2015/1/28	58.21		2016/1/28	75.71		2017/1/28	71		2015/1/28	0.023101		2016/1/28	0.004665
2015/1/29	24.54		2016/1/29	177.98	0.00	2017/1/29	27.99		2015/1/29	58.28		2016/1/29	74.95		2017/1/29	69.41		2015/1/29	0.022513		2016/1/29	0.006403
2015/1/30	23.07		2016/1/30	80.35	0.00	2017/1/30	21.69		2015/1/30	54.21		2016/1/30	77.8		2017/1/30	69.21		2015/1/30	0.023334		2016/1/30	0.019259
2015/1/31	22.55		2016/1/31	67.22	0.00	2017/1/31	29.03		2015/1/31	51.06		2016/1/31	81.4		2017/1/31	69.26		2015/1/31	0.023895		2016/1/31	0.035233
2015/2/1	19.01		2016/2/1	169.26	0.00	2017/2/1	25.66		2015/2/1	55.32		2016/2/1	82.54		2017/2/1	69.19		2015/2/1	0.024254		2016/2/1	0.004888
2015/2/2	22.46		2016/2/2	166.41	0.00	2017/2/2	25.83		2015/2/2	58.8		2016/2/2	83.38		2017/2/2	69.35		2015/2/2	0.024307		2016/2/2	0.005925
2015/2/3	19.61		2016/2/3	166.75	0.00	2017/2/3	25.32		2015/2/3	58.57		2016/2/3	83.59		2017/2/3	68.82		2015/2/3	0.025089		2016/2/3	0.005067
2015/2/4	18.06		2016/2/4	158.98	0.00	2017/2/4	10.63		2015/2/4	58.2		2016/2/4	83.55		2017/2/4	67.33		2015/2/4	0.025558		2016/2/4	0.00466
2015/2/5	18.14		2016/2/5	154.66	0.00	2017/2/5	4.41		2015/2/5	58.13		2016/2/5	83.54		2017/2/5	67.7		2015/2/5	0.02575		2016/2/5	0.004674
2015/2/6	19.7		2016/2/6	150.08	0.00	2017/2/6	24.97		2015/2/6	57.12		2016/2/6	83.26		2017/2/6	67.06		2015/2/6	0.02584		2016/2/6	0.004675
2015/2/7	21.95		2016/2/7	147.14	0.00	2017/2/7	10.89		2015/2/7	59.44		2016/2/7	83.96		2017/2/7	65.71		2015/2/7	0.023664		2016/2/7	0.00487
2015/2/8	15.21		2016/2/8	152.24	0.00	2017/2/8	22.98		2015/2/8	60.12		2016/2/8	84.73		2017/2/8	65.12		2015/2/8	0.025857		2016/2/8	0.00467
2015/2/9	15.9		2016/2/9	152.32	0.00	2017/2/9	3.72		2015/2/9	58.21		2016/2/9	84.82		2017/2/9	64.97		2015/2/9	0.022927		2016/2/9	0.004655
2015/2/10	22.46		2016/2/10	136.34	0.00	2017/2/10	3.54		2015/2/10	58.28		2016/2/10	94.63		2017/2/10	64.83		2015/2/10	0.025881		2016/2/10	0.004647

## 水庫入/出流量及水質監測值



## 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

- 水庫水質模式選擇及演算：  
資料缺乏，水庫水質模式選用Vollenweider。  
將前面集水區水質模式輸出結果做為水庫水質模式輸入值，並加入水庫進流量、出流量、水庫面積等所需資料後執行計算，通過率定驗證後才應用。

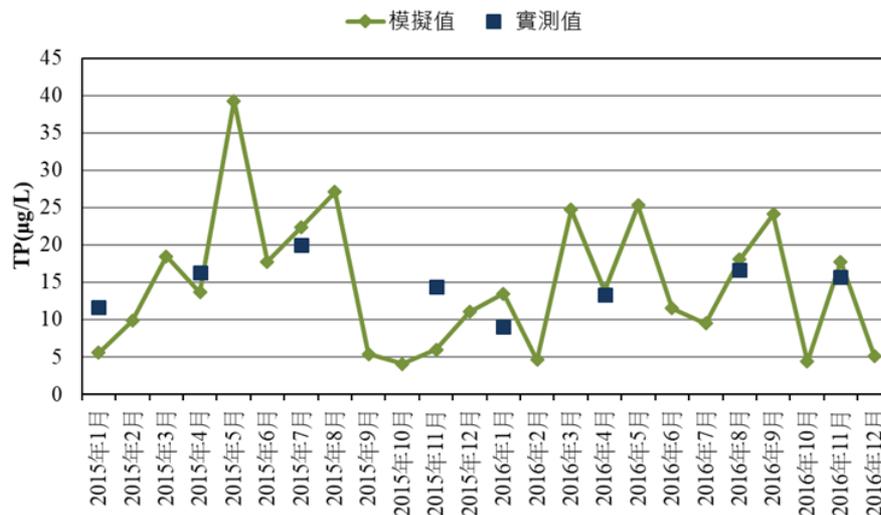
### Vollenweider模式重要參數

全年水庫入流體積 (m <sup>3</sup> /yr)	Q <sub>in</sub>	查詢水庫水情資料
全年水庫出流體積 (m <sup>3</sup> /yr)	Q <sub>out</sub>	查詢水庫水情資料
磷損失的比例	R <sub>p</sub>	(v/v+q <sub>s</sub> )
總磷沉降率 (m/yr)	v	20 (率定驗證得出)
進到水庫的水量/水庫表面積	q <sub>s</sub>	Q <sub>in</sub> /A
水庫表面積 (m <sup>2</sup> )	A	4,380,000
全年磷輸入量 (g/yr)	M	SWMM模式模擬 /目標涵容總量
總磷濃度 (g/m <sup>3</sup> )	P	模式模擬值所對應之水庫濃度 /目標總磷濃度

## 肆、應用案例與模式結果詮釋說明

### • 水庫水質模式參數率定驗證：

Vollenweider公式重要參數為總磷沉降率( $v$ )，每座水庫之水文及地文特性不同有所改變，因此需要驗證。



**Vollenweider率定驗證圖**

### • 不同削減策略水庫水質變化：

設計集水區污染源削減策略，利用集水區模式得到新的污染輸出量後，帶入驗證後的水庫水質模式，即可評估不同削減策略對水庫水質改善成效。

(污染削減策略及削減效益評估請參考「水庫集水區污染熱區擇定原則及總量管制削減成效評估指引」)



# 非點源管理技術手冊三

## ❖ 水庫集水區污染熱區擇定 原則及總量管制削減成效 評估指引

- 決定污染熱區，作為優先管理區域。





# 一、水庫集水區污染熱區擇定原則

1.1

污染熱區擇定原則

1.2

擇定優先治理區域





## 1.1 污染熱區擇定原則

- 篩選污染熱區的參考條件如下，這些參考條件並無權重或優先順序之分，各案例可依該地區情況自行調整，可全部條件都使用，也可選擇其中一項或數項作為討論基礎：

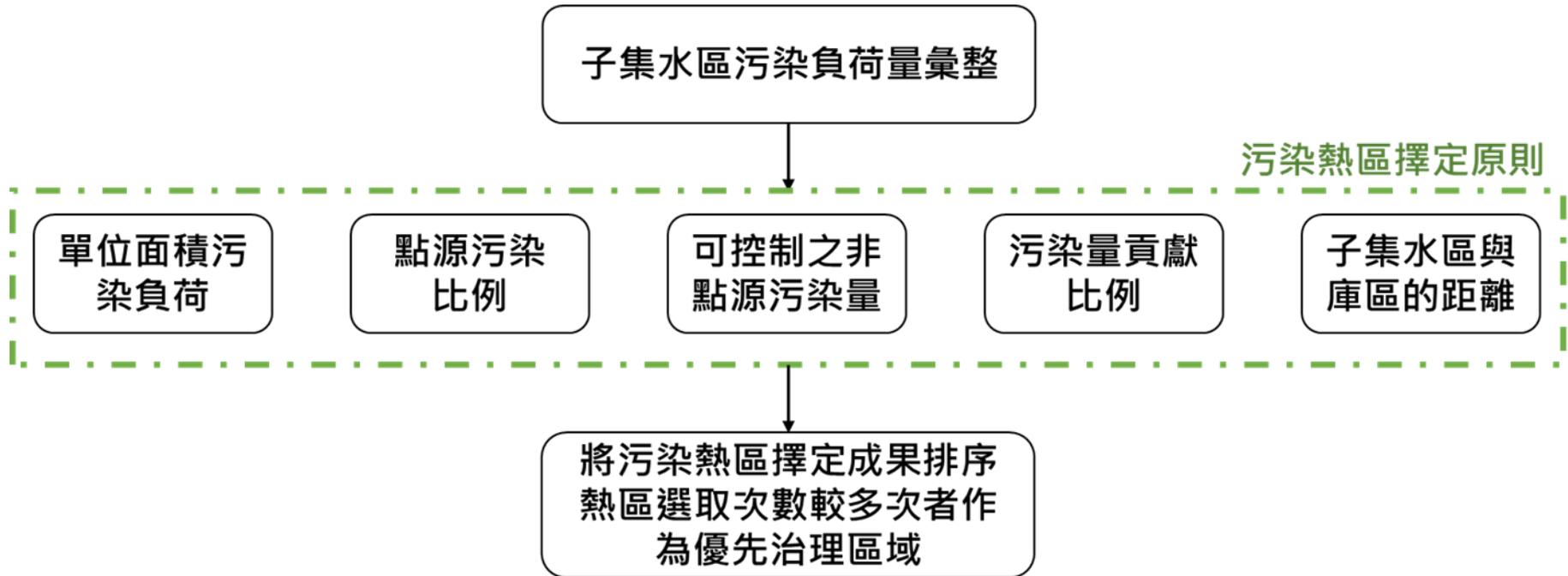
1. 單位面積污染負荷
2. 點源污染比例
3. 可控制之非點源污染量
4. 污染量貢獻比例
5. 子集水區與庫區的距離





## 1.2 擇定優先治理區域

選擇最優先管理的區域時，可先依各因子結果排序，再綜合考量集水區特性，決定最優選的治理區域。





## 1.2 擇定優先治理區域

### (一) 初步篩選

由於水庫子集水區上游距離庫區較為遙遠，考慮污染流達至河川或水庫等水體過程中，將受生物分解、沉澱、土壤吸附或入滲等自淨作用而減少，**建議可先排除距離庫區較遠的子集水區。**

### (二) 優先區域擇定方式

抉擇最優先治理區域時，除了可先排除較遠區域外，**再依擇定原則排名次數決定最優先治理區域。**

另外也建議各案例應依據**政策需求**、**該地區居民的意願**或是其他**權重評估**的方式自行選擇最優先治理區域。





## 1.2 擇定優先治理區域

(三) 以鯉魚潭水庫為例

整理熱區選取因子所需資料如下表

\*此處表列非點源污染量採用SWMM水質模式模擬而得

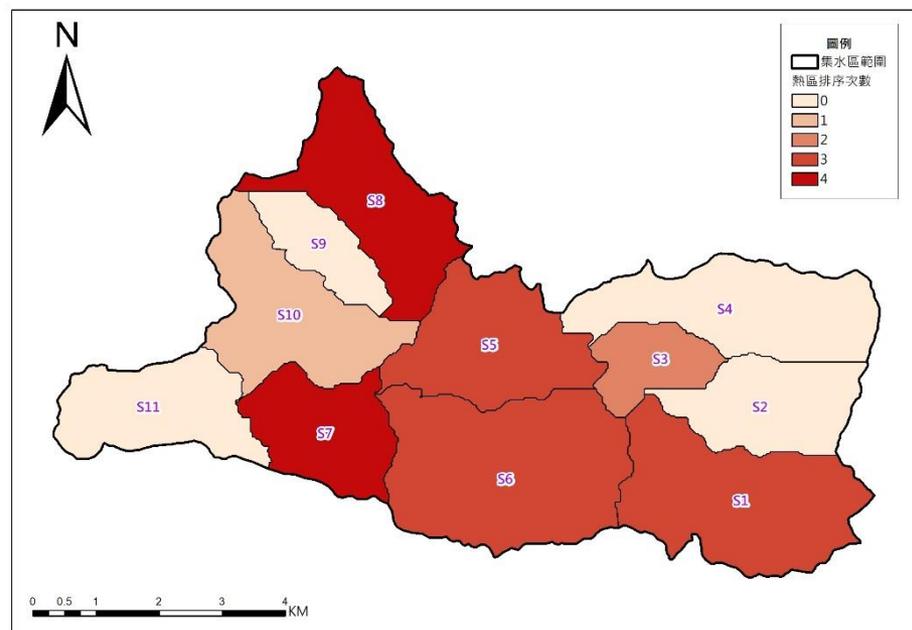
子集水區	面積(ha)	總磷(kg/yr)				單位面積 污染負荷 (kg/yr-ha)	點源污染 比例 (%)	污染貢獻 比例 (%)
		點源	非點源*		總計			
			農業	合計				
S1	698.34	234.5	704.3	974.1	1,208.6	1.73	19	13
S2	380.94	18.0	295.2	439.7	457.7	1.20	4	5
S3	207.73	89.8	362.2	442.8	532.6	2.56	17	6
S4	573.05	45.6	288.4	482.5	528.1	0.92	9	6
S5	508.79	203.2	925.3	1,012.8	1,216.0	2.39	17	13
S6	855.90	231.1	1,523.0	1,713.9	1,945.0	2.27	12	21
S7	367.88	208.3	658.6	726.4	934.7	2.54	22	10
S8	531.99	288.9	768.9	890.9	1,179.8	2.22	24	13
S9	211.00	46.4	222.9	284.0	330.4	1.57	14	4
S10	559.41	225.7	389.1	519.7	745.4	1.41	30	8
S11	412.92	24.0	153.5	190.0	214.0	0.52	11	2
總計	5,277.94	1,615.7	6,291.4	7,676.7	9,292.4	-	-	-

## 1.2 擇定優先治理區域

(三) 以鯉魚潭水庫為例  
將子集水區的評估成果優先順序加以排序。  
將排序前5名的熱區次數繪製成圖。

熱區排序前5名選取次數圖

排序	單位面積 污染負荷	點源污 染比例	可控制之 非點源污 染量	污染量貢 獻比例
1	S3	S10	S6	S6
2	S7	S8	S5	S5
3	S5	S7	S8	S8
4	S6	S1	S1	S1
5	S8	S3	S7	S7
6	S1	S5	S10	S10
7	S9	S9	S3	S3
8	S10	S6	S2	S4
9	S2	S11	S4	S2
10	S4	S4	S9	S9
11	S11	S2	S11	S11



註：次數4次代表該子集水在四個因子都是排名前五名。

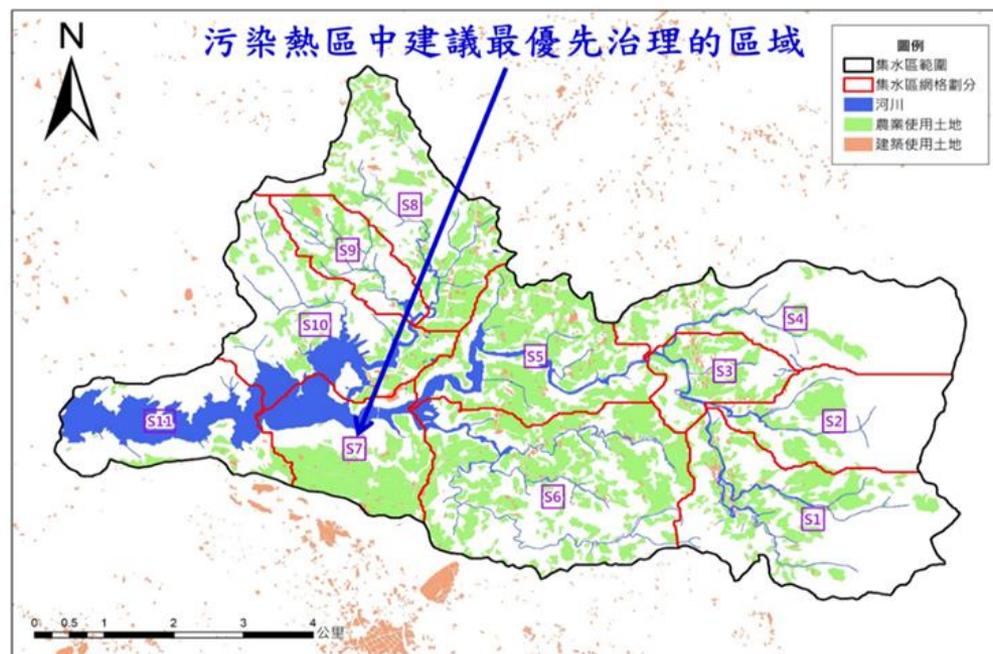


## 1.2 擇定優先治理區域

(三) 以鯉魚潭水庫為例

依距離排除較遠區域(如S1、S2、S3、S4、S8)，再根據排序結果(前表)挑選出S5、S6、S7子集水區。

盤點各項因素後，建議單位污染量較高、點源比例較高(宿營地多)的S7作為最先治理的區域。



### 鯉魚潭水庫優先治理區域評估

- 農業污染量最多區域為S5、S6
- 距離庫區近的集水區S5、S7
- S7遊憩污染量最多、單位面積汙染量高



## 二、總量管制削減成效評估

2.1

國內水體污染總量管制現況

2.2

水庫總量管制依據

2.3

水庫涵容能力分析

2.4

污染削減成效評估（以鯉魚潭水庫為例）

2.5

污染量削減方法



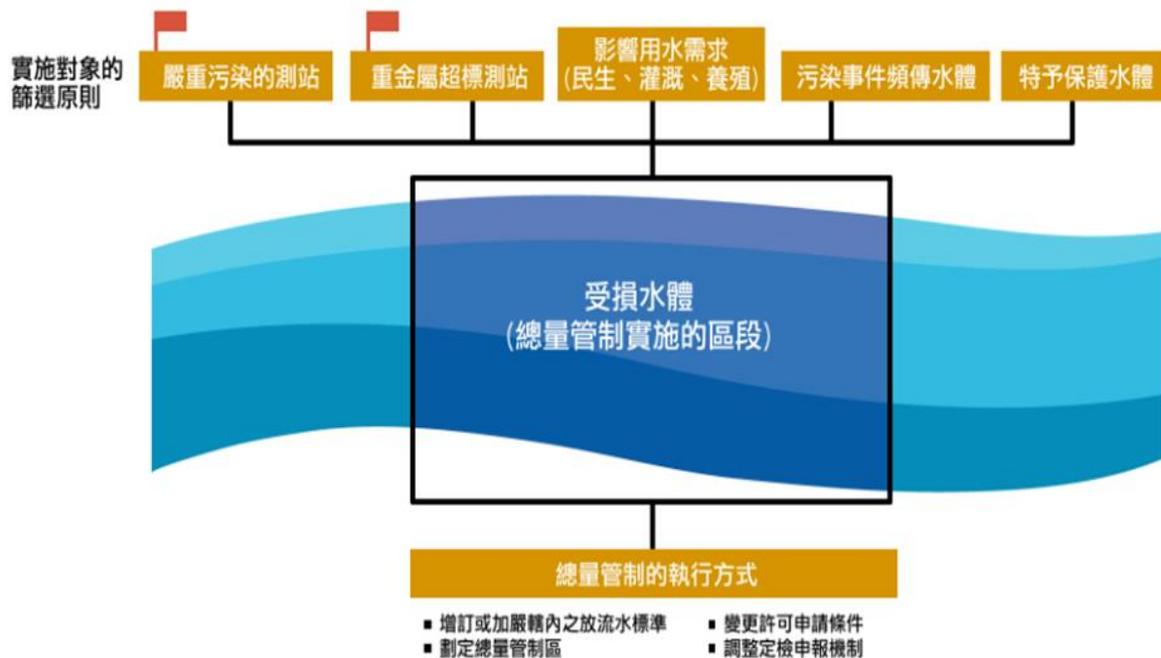


## 2.1 國內水體污染總量管制現況

### (一) 法源依據

- 我國總量管制法源依據為水污染防治法第7條及第9條。
- 截至108年12月底，已公告全國共15處水體劃定總量管制區或加嚴放流水標準。

(二) 總量管制實施對象：以下圖的5個原則篩選污染總量管制實施對象。





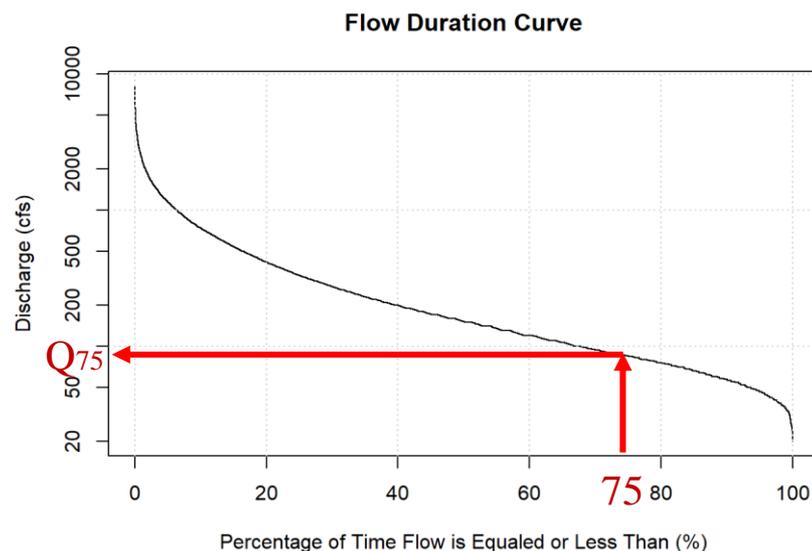
## 2.1 國內水體污染總量管制現況

### (三) 總量管制區管制規定與實施目標

- 第一階段：完成總量管制水體清單並逐年檢視修訂，針對河川污染指標**RPI**為嚴重污染的河段、重金屬污染河川等優先推動管制。
- 第二階段：擴大實施區域排水、湖潭、水庫總量管制作為；河川嚴重污染及重金屬污染測站個數減少50%；完成全台高污染潛勢灌溉小組農地特定保護區總量管制。
  - 109年新修訂的「推動水污染總量管制作業規定」中，將卡爾森優養化指數(Carlson Trophic State Index, CTSI)達**優養程度之水庫**，列為屬地方主管機關得優先實施總量管制之水體。即本手冊管制對象。
- 第三階段：全國河川RPI嚴重污染測站均降至中度污染；全國河川重金屬水質符合保護人體健康相關環境基準；各民生、灌溉、養殖用水取水口水質均符合相關標準。

## 2.3 水庫涵容能力分析

- 推動總量管制的困難之一在於水體涵容總量的制定。
- 多數共識以河川低流量 $Q_{75}$ （75%的日流量大於此值）乘上水體水質標準（濃度），作為河川涵容能力。

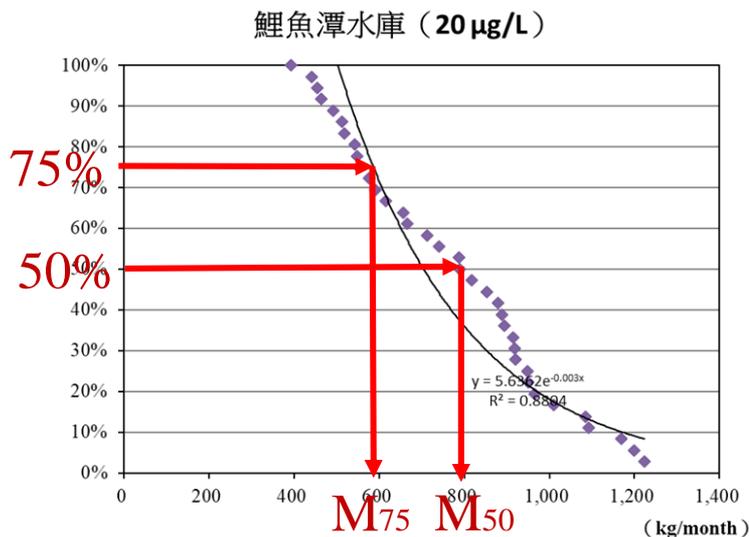


- 但水庫的涵容能力制定方式尚未有通用做法。
- 本手冊建議引進超越機率概念，如河川 $Q_{75}$ 也是歷年日流量紀錄中，有75%超過此值，視為 $Q_{75}$ 。同理，可整理水庫歷年體積變化，**利用超越機率找到某可接受機率下的容許負荷量。**





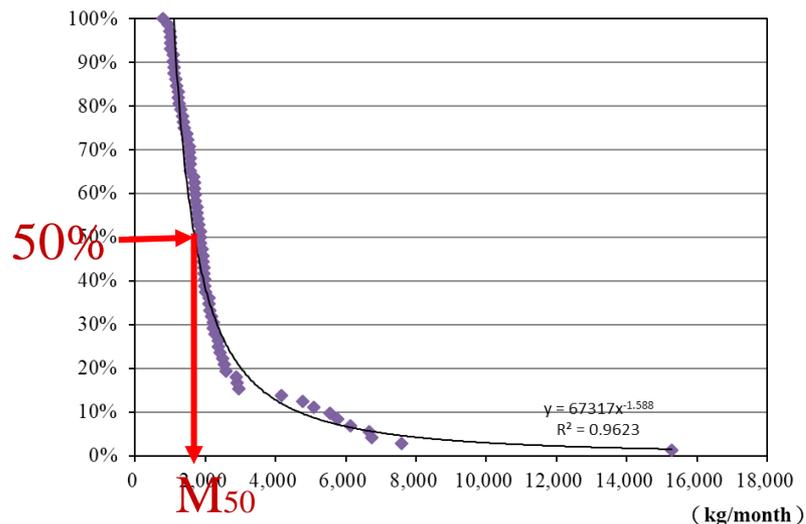
## 目標濃度對應負荷百分比關係



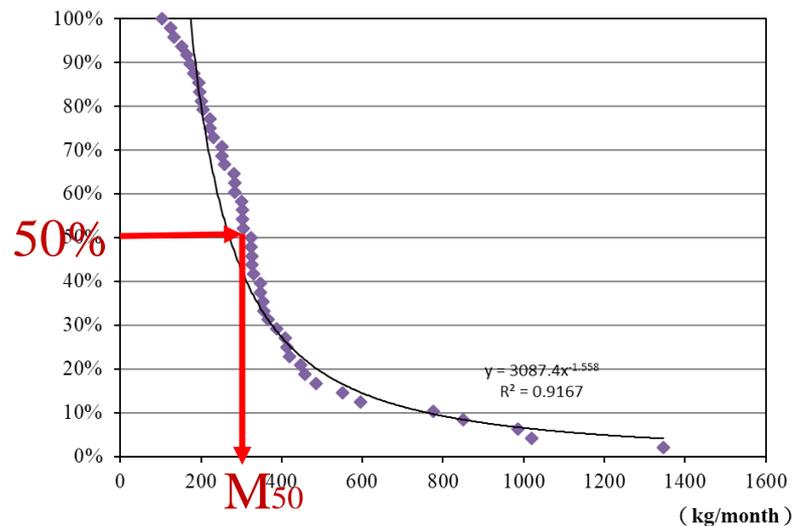
利用驗證後的水庫模式，以目標濃度為定值，反推得容許負荷量，再繪製容許負荷超越機率圖。

繪製超越機率圖時，資料筆數至少需要48筆月容許負荷量。

石門水庫 (20 µg/L)

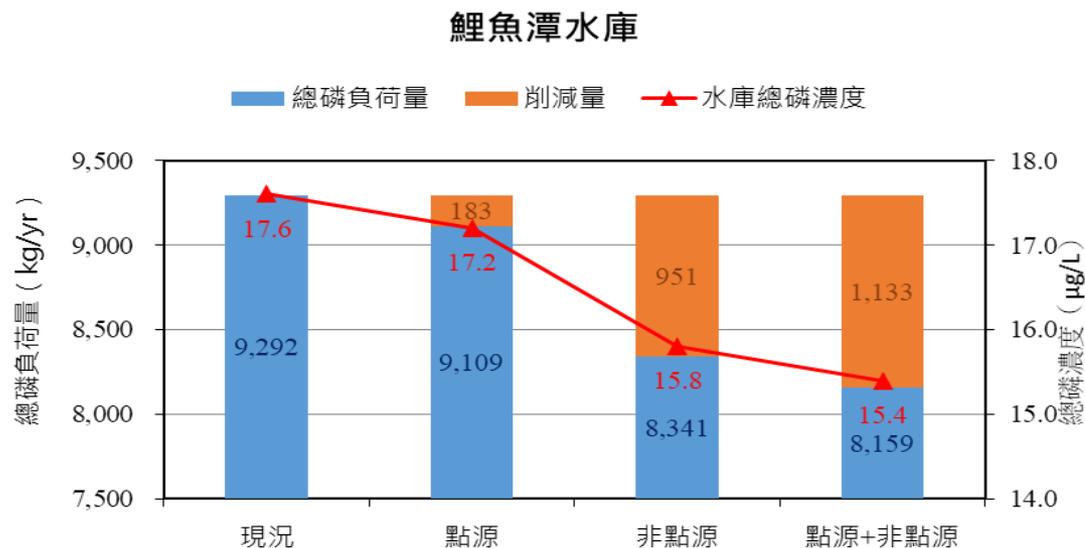


明德水庫 (20 µg/L)



## 2.4 污染削減成效評估 (以鯉魚潭水庫為例)

- 確認集水區污染熱區後，再加入污染削減策略，即可運用模式工具預測削減策略對水質改善成效。
- 例如鯉魚潭水庫：
  - (一) 處理**污染熱區**之點源污染的總磷濃度至2 mg/L以下  
預估約可削減**183 kg/yr**，其削減過後之總磷污染負荷量為9,109 kg/yr。
  - (二) 削減污染熱區非點源污染量50%  
預估約可削減**951 kg/yr**的總磷，水庫總磷污染負荷量為8,341 kg/yr。
  - (三) 結合削減熱區點源污染及非點源污染兩種方案  
約可削減**1,133 kg/yr**的總磷，水庫總磷污染負荷量為8,159 kg/yr。

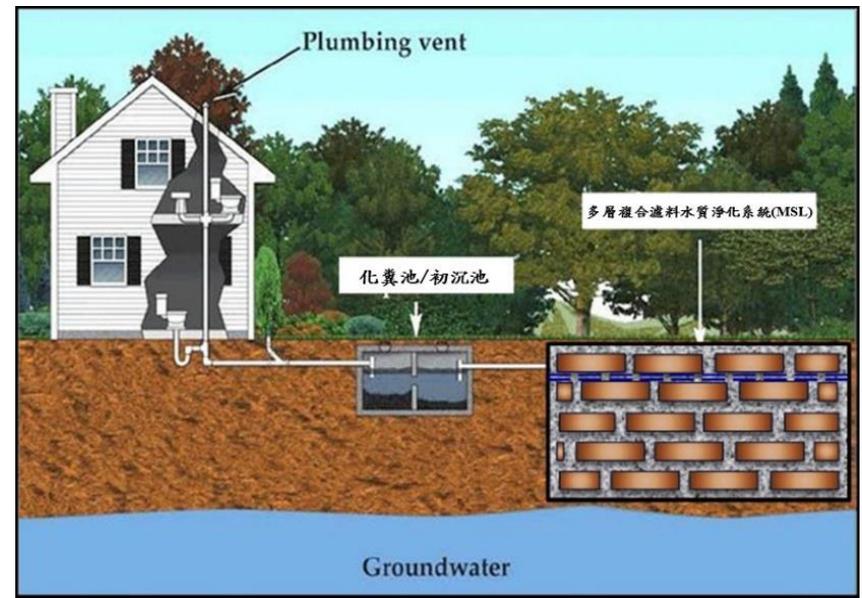
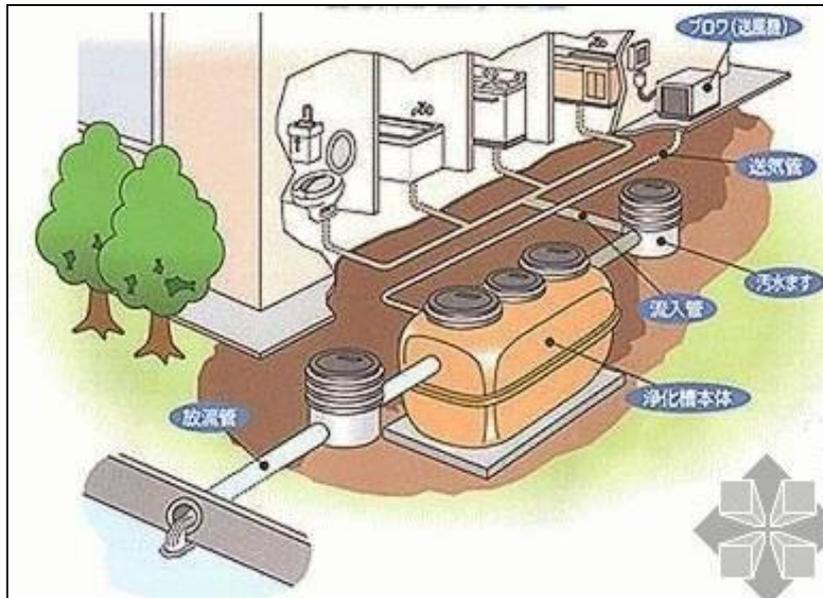




## 2.5 污染量削減方法

### (一) 點源污染削減措施

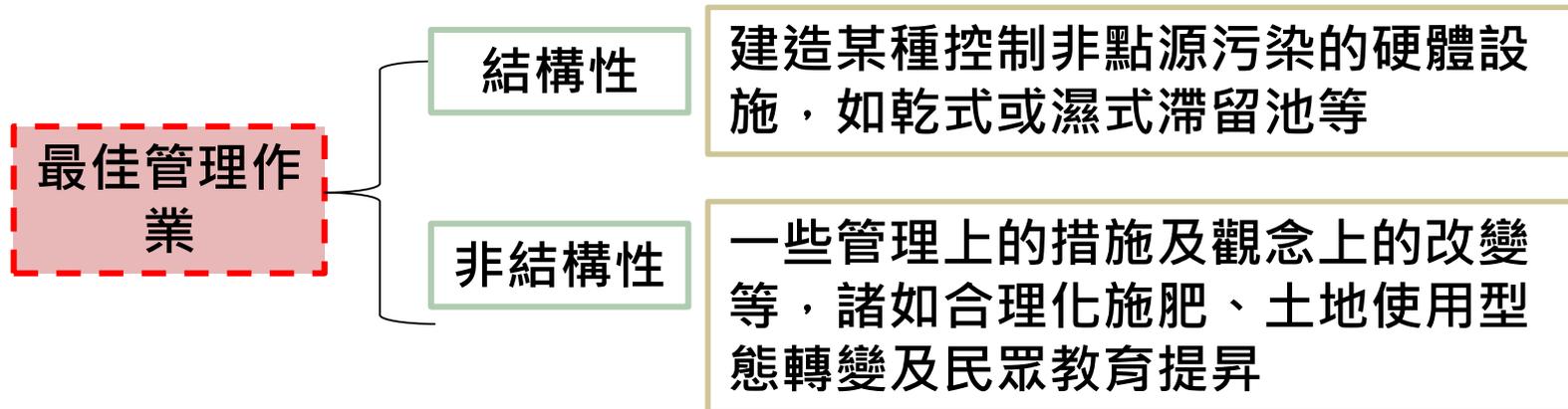
水庫集水區內點源污染可採用分散式處理系統，如「**合併式淨化槽**」或「**多層複合濾料水質淨化系統(MSL)**」。



## 2.5 污染量削減方法

### (二) 非點源污染削減措施

- 各種有效控制非點源污染方法及措施，皆以「最佳管理作業 (Best Management Practices, BMPs)」名詞稱之。
- 削減措施類型詳參考「非點源採樣原則以及污染源計算技術指引」介紹。





報告完畢 感謝參與