

## 1.1 水資源和水質管理

### 1.1.1 水文循環

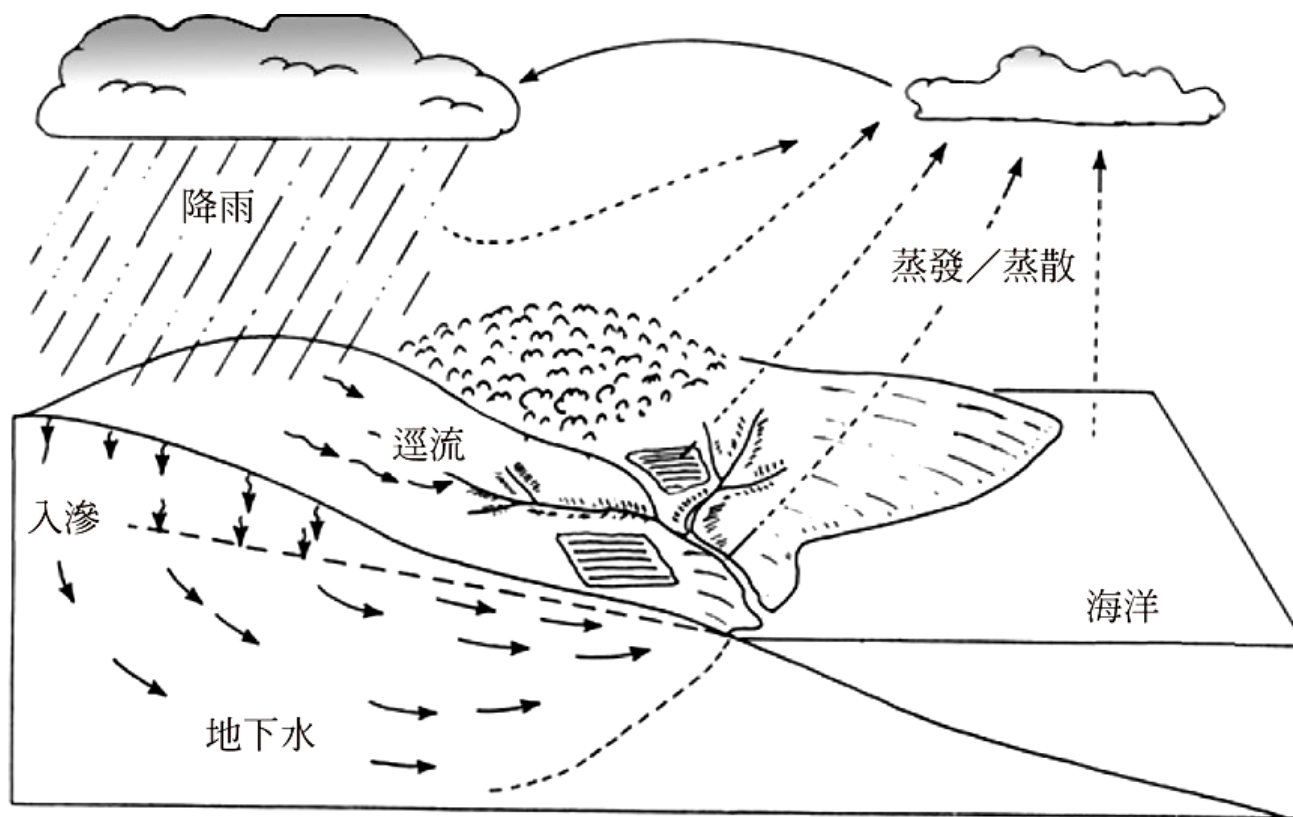
- **水文循環(Hydrologic cycle)**是用來說明水在地球表面、在地層下、在大氣中穩定的流動，以及水量的平衡(圖1-1)。是研討水資源的生成和開發管理上的重要觀念。

1-1

1-2

1-3

1-4



- 1-1
- 1-2
- 1-3
- 1-4

圖1-1 水文循環

- 到達地面的太陽幅射能中的三分之一，也就是400,000TW耗用於推動水文循環中的蒸發/蒸散單元(圖1-2)，而目前地球上人類的總能源消耗量大約是15TW(Economist, 2008)。

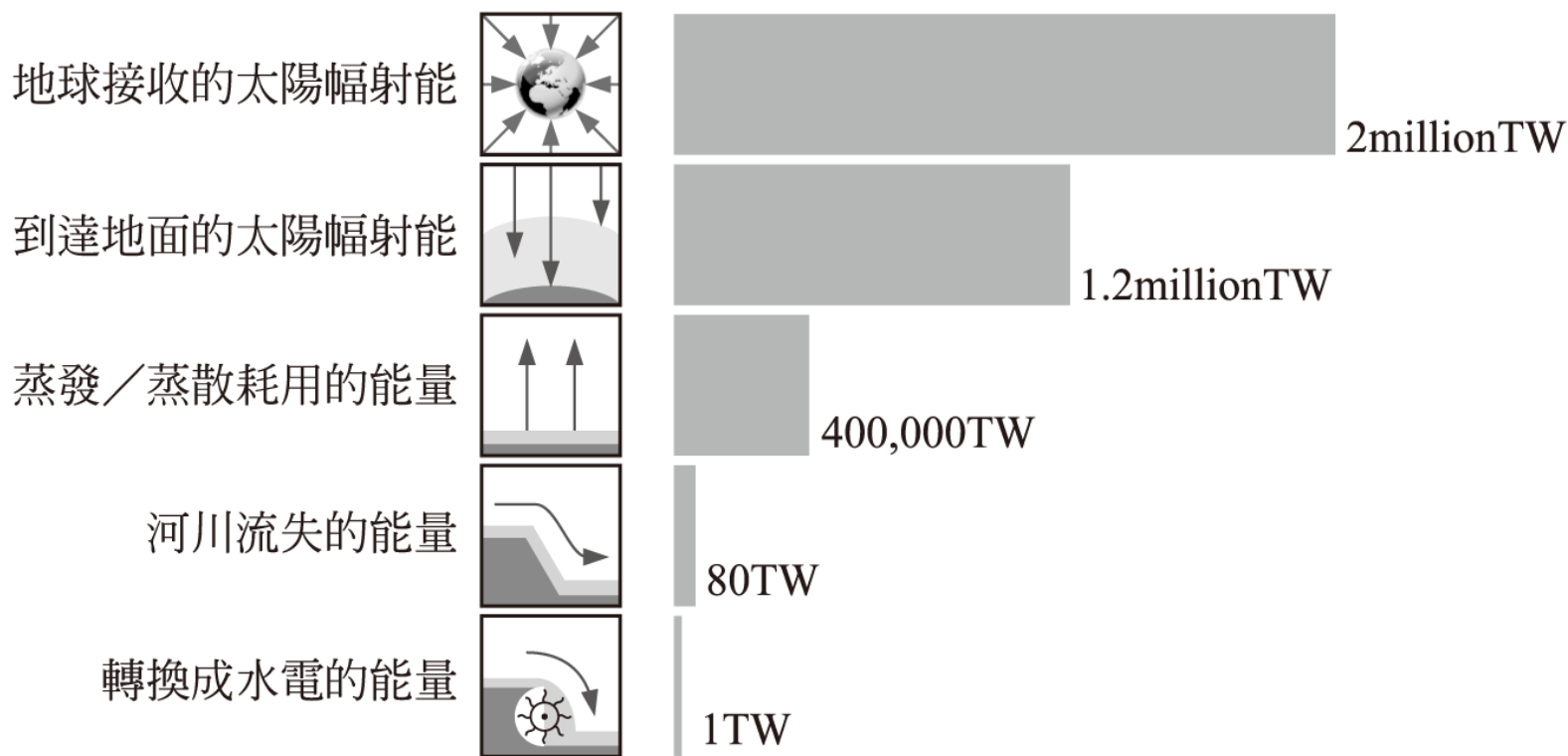
1-1

1-2

1-3

1-4

- 圖1-2指出全球的河川在流向海洋的過程中所損耗的總能量達到80TW，而其中已轉換成水電的能量還不到1TW。



- 1-1
- 1-2
- 1-3
- 1-4

圖1-2 推動水文循環的太陽幅射能

- 建大壩開發水電會造成生態環境改變，因此進一步大量開發有許多限制。能源和水資源在開發運用上相互依賴(Energy and water nexus)，是人類在21世紀所面臨的最大難題。
- 水質模式分析常應用於環境影響評估工作中，因此對於能源和水資源供需難題的解決也深具重要性。

1-1

1-2

1-3

1-4

## 1.1.2 地球淡水資源的分佈

- 從表1-1中可以看到地球每年總降雨量是 $120\text{Tm}^3$ ，而蒸發/蒸散量是 $80\text{Tm}^3$ 。兩者之差是 $40\text{Tm}^3$ ，這是每年從陸地流到海洋的淡水量，也是理論上可供人類利用的淡水量。這一巨大的淡水供給量遠超過人類的需要。但是世界上仍有很多區域面臨嚴重的缺水問題，所以總量不是問題，水資源不足是因為地球上淡水在空間和時間上分佈不均使得大部份的淡水不能被有效地開發使用。另外因為人類活動造成環境污染，破壞了原本良好的水源。

1-1

1-2

1-3

1-4

表1-1 水文循環中平均每年的水份流量

蒸發/蒸散		降雨	
從海洋表面	420 TM <sup>3</sup>	從海洋表面	380 TM <sup>3</sup>
從地面	80 TM <sup>3</sup>	從地面	120 TM <sup>3</sup>
總計	500 TM <sup>3</sup>	總計	500 TM <sup>3</sup>



- 從表1-2可以看出水在地下水層內的流速大約只有在地面水(河流)內流速的萬分之一。因為地下水的流動極其緩慢，所以地下水層是天然水庫，可以調節降雨量的季節性變化，成為良好水源。但是，一旦地下水遭遇污染後，由於流速慢，其內的污染物很難被清除。

1-1

1-2

1-3

1-4



表1-2 水文循環各單元所佔水量及其內水份流動速率

水文循環單元	地球水量分佈(%)	水份流動大約速率
大氣層	0.001	100s kilometer/day
地面水	0.02	10s kilometer/day
地下水	0.52	1 meter/day
冰川	1.88	1 meter/day
海洋	97.58	...

1-1

1-2

1-3

1-4

## 1.1.3 水質管理中的水文分析

- 洪水水文曲線分析提供了防洪工程規劃設計上所需的設計流量，是工程水文學上的一個重要課題，和水污染防治本無直接關係。近年來，非點源污染成為水污染防治工作的重點。也使得包括了水量和水質在內的集水區水質模式成為水污染防治工作上的重要分析工具。
- 在枯水期時流量小，自淨能力低，污染最易發生。在應用水文學中，一條河川的枯水流量特性可以用**流量延時曲線方法(Flow duration curve method)**和**低流量頻率曲線方法(Low flow frequency curve method)**來分析。

1-1

1-2

1-3

1-4

- 流量延時曲線顯示出河川流量等於或低於某特定數值的百分數(圖1-3)。圖1-3比較了兩條河流的流量延時曲線。這兩條河的集水區面積大致相同，但枯水流量特性差異很大。
- 根據圖1-3中兩條流量延時曲線可以看出，河川(1)在枯水期可提供至少100cfs(2.8 m<sup>3</sup>/sec)給水水源，而河川(2)在枯水期可提供100 cfs的機率約有50%。

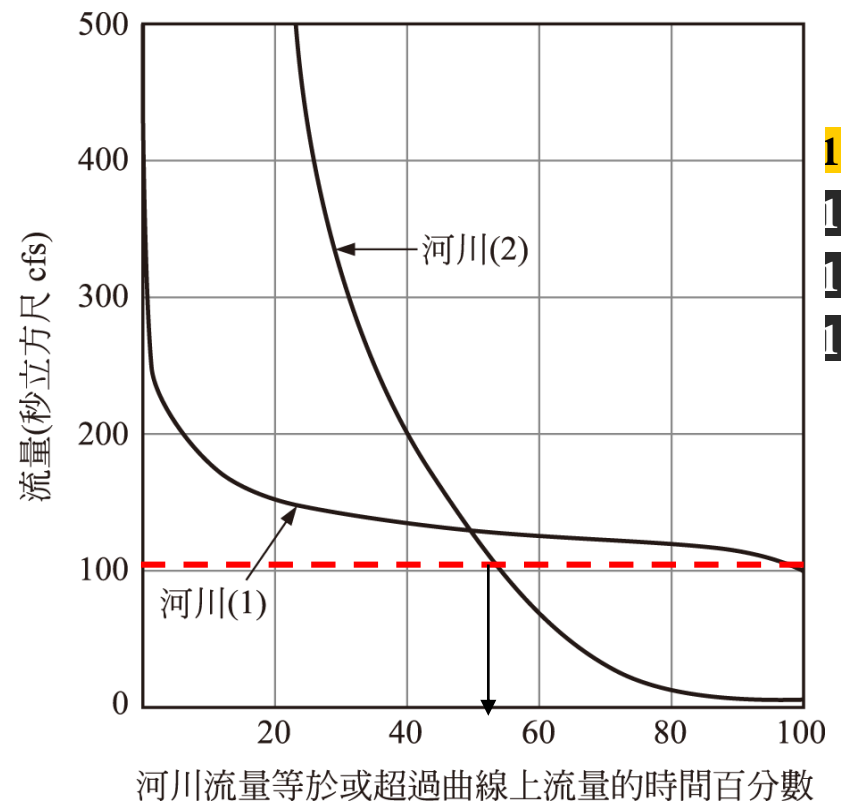


圖1-3 河川流量延時曲線及其供水潛勢

- 假若一條河川有多年的流量記錄，在每1年的記錄中取其流量的**最大值**，然後作統計上的頻率分析就可以計算出該河川的**洪水頻率曲線**。同樣地，若在每一年的記錄中取其流量的**最小值**，也可經由統計上的頻率分析計算該河川的**枯水頻率曲線**。但是在計算洪水頻率曲線上的流量最大值時只須考慮其數值的大小，而計算枯水頻率曲線上的流量最小值時則須考慮流量的大小和延時(Duration)。

1-1

1-2

1-3

1-4

- 圖1-4顯示，就頻率為每10年一次的枯水流量而言，Yellow Creek延時為7天的平均低流量大約只有0.015 m<sup>3</sup>/sec。同樣是10年一次的枯水流量，延時為30天的平均低流量大約是0.05 m<sup>3</sup>/sec。

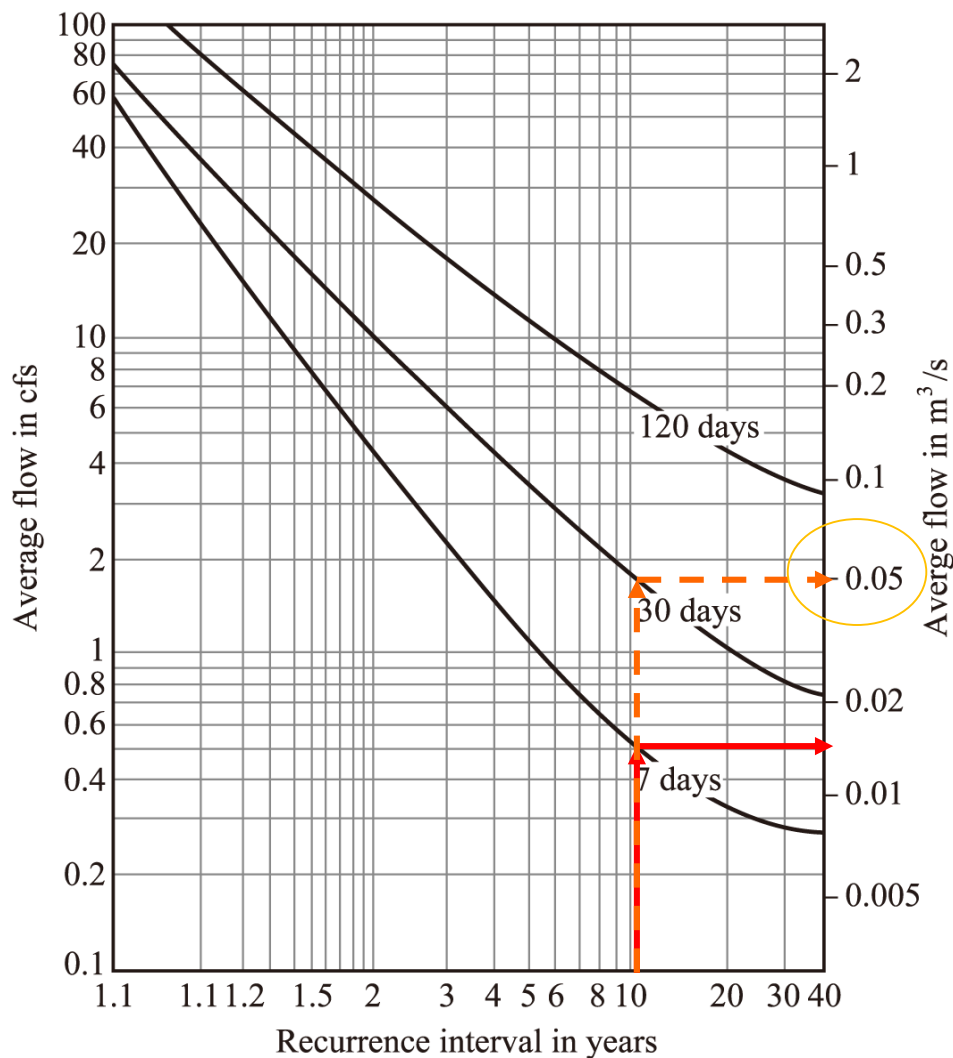
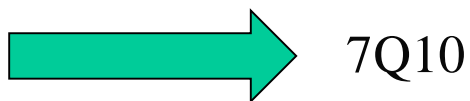


圖1-4 低流量頻率曲線，Yellow Creek near Hammondsville, Ohio  
(資料來源：Linsley et al.,1992)

- 美國聯邦環境保護署規定在應用河川水質模式分析來決定需要的污水處理程度時，受納河川流量必須選用每10年一次連續7天的平均低流量，通稱為MA7CD10。也就是說，在用河川水質模式來分析計算可排放污水量時，要確定當受納河川的流量在MA7CD10枯水流量狀態時，仍能達到河川的水質標準。



1-1

1-2

1-3

1-4



## 1.2 水污染防治及水質模式分析

### 1.2.1 水污染防治工作的演進

- 1849年英國倫敦發生了一場造成多人喪生的霍亂瘟疫。當時由Dr. John Snow主導進行了一項疫病學調查。調查結果指出瘟疫的源頭是作為居民飲用水水源的水井。隨後這座遭受霍亂病菌污染的水井被停止使用，霍亂疫情便逐漸消退(圖1-5)。
- 水污染防治工作上採用大腸桿菌(Coliform bacteria)作為指標細菌，大腸桿菌普遍存在於水環境中，其在水中的含量易於測定。一般情形下，大腸桿菌對於人體無害，但若水中大腸桿菌含量過高，即表示有病菌污染的高風險性。

1-1

1-2

1-3

1-4





- 1-1
- 1-2
- 1-3
- 1-4

圖1-5 Dr. John Snow 1849年倫敦霍亂瘟疫調查位置圖  
(圖中顯示以Board Street水井為中心的霍亂瘟疫區)

- 未受污染的河水中溶氧量保持在接近飽和的狀態。河水中的微生物會分解有機廢物並同時消耗水中的溶氧。水中溶氧量低於 $2 \text{ g/m}^3$ 時，大部份魚類皆無法生存。溶氧量減少也破壞了河水和底泥中的天然動植物生態。完全失去溶氧後，河川進入厭氧狀態，這時河水呈烏黑色並發出惡臭。因為有機廢物在水中的耗氧作用是對河川水質最大的衝擊，所以早期水污染防治工作中就提出用**生化需氧量(Biochemical oxygen demand, BOD)**來表示有機廢物量，並一直沿用迄今。生化需氧量是有機廢物在水中分解時所消耗的溶氧量。

1-1

1-2

1-3

1-4

- 有機廢物在水中分解的速率稱為耗氧率。當河水中的溶氧量低於飽和值時，空氣中的氧會進入水中去補充，此補充的速率稱為復氧率。當河川的復氧率小於耗氧率時就會呈現各種污染狀態。每一條河川都具有一定的自淨能力或稱為污染消化能力。
- 1972年美國國會制訂了淨水法案(1972 Clean Water Act)。在此之前全美大部分城市污水和工業廢水都在沒有任何處理或僅接受初級處理的情形下排入河川或其他受納水體，以至這些水體的污染負荷遠超過其自淨能力而產生嚴重污染水環境。

1-1

1-2

1-3

1-4

- 經過25年的努力，全美大小城鎮和排放廢水的工業都建成並操作污水處理廠，水污染防治有了顯著的成果。但是1989年聯邦環保署的一個全國水質報告披露仍有超過40%河川及其他水體內的水質未能達到標準。該報告更進一步指出未能達成預期目標的主要原因是忽略了對非點源污染的防治，和未注意非傳統污染物包括營養鹽和毒性物質對水質的影響。
- 從1990年代開始，美國水污染防治工作的重點就逐漸由點源污染防治轉向非點源污染防治，同時加強了防治毒性物質和新型污染物質的研究發展。

1-1

1-2

1-3

1-4



## 1.2.2 水質模式分析概要：(1)地面水

- 當一個城市所排放的污水已接受了二級污水處理後仍會造成受納河川污染，此一城市必需對其排放污水加以高級污水處理。高級污水處理方法包括薄膜過濾、活性炭吸附等，都耗資甚鉅。因此對於高級污水處理所須的污染物去除率，必須藉由水質模式分析來作正確的計算(圖1-6)。河川的自淨能力取決於其水動力機制和自然反應機制的共同作用。河川水質模式將這兩種機制在質量守恆定律的基礎上結合。

1-1

1-2

1-3

1-4

- 對點源污染防治而言，排入受納河川的污染量也就是污水處理廠的設計排放量。河川水質模式可以模擬河川對污染物的自淨能力或涵容能力，計算污水排放許可證中的排放量(圖1-6)。

1-1

1-2

1-3

1-4

- 污水消毒原被看成是二級污水處理的一部份，通常是污水被排放前的最後一個處理單元。在隨後的研究中發現很多受納河川都對大腸桿菌有很高的自淨能力，可經由天然稀釋和衰退機制而迅速減少排放污水中的大腸桿菌，所以在大多數情形下，污水消毒並無必要。

1-1

1-2

1-3

1-4



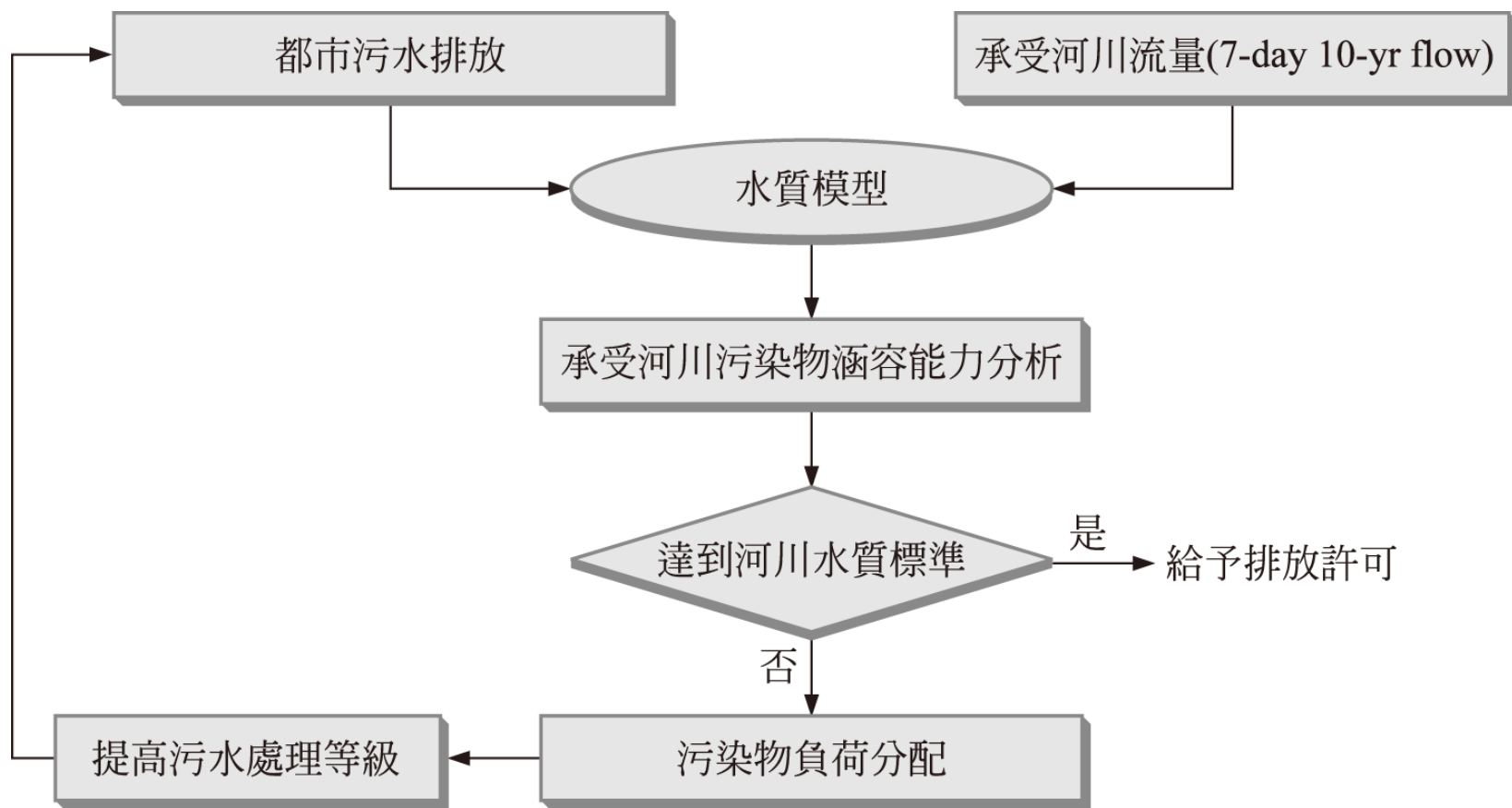
- 另一方面，污水經過氯處理消毒後會產生三氯甲烷等致癌物質，氯處理後產生的餘氯也會對河川生態帶來負面的影響。所以在考慮這些研究結果後，美國聯邦環保署決定不將污水消毒看成二級污水處理的一部份，並要求每一污水處理廠用水質模式來模擬並分析受納河川對大腸桿菌的自淨能力以決定是否有必要在污水排放前加以消毒。

1-1

1-2

1-3

1-4



- 1-1
- 1-2
- 1-3
- 1-4

圖1-6 河川水質管理中的水質模式分析

- 城鎮污水和工業廢水通常經由排放管排入河川或其他受納水體，其所造成的水污染問題被稱作點源污染。非點源污染由暴雨逕流造成，計算非點源污染負荷時究竟應採用什麼流量標準？至今仍未有定論。

1-1

1-2

1-3

1-4

- 非點源污染在受納水體內造成的一個最大的水質污染問題是優養化和藻華現象。這些問題多發生在湖泊、水庫及流速緩慢的河段內。這些水體未受到人類活動干擾時，水藻和其他水生植物在其內的生長會受到某種營養鹽的限制，得以保持良好的生態平衡。通常磷酸鹽是大部份內陸湖泊和河川的限制營養鹽，而硝酸鹽則常是沿海地區湖泊和河川的限制營養鹽。

1-1

1-2

1-3

1-4