

數值模式 規畫利器

淡水河整治流域性規劃與管理「兼論
水質模式之應用」



郭 振 泰

出生：民國三十八年七月

學歷：美國康乃爾大學水質源工程博士

經歷：美國 A W A R E , Inc. 工程師

美國 General Software Corporation 工程師

國立台灣大學土木工程系副教授

現職：國立台灣大學土木工程系教授

郭 義 雄

出生：民國二十八年十一月四日

學歷：美國約翰霍浦金斯大學博士

現職：美國維吉尼亞州威廉瑪麗大學海洋學院教授

完整性的全流域管理已成為國際上集水區管理的趨勢，完整性的流域管理須考慮整個集水區的各项問題，不能僅由某一方面著手。流域性整治須考慮水量、水質、地面水、地下水、多用途（例如：給水、發電、遊憩）、多標的（例如：經濟效益、環境保護、區域發展）等各项問題。淡水河整治，應能考慮以上諸多問題，才算完整，唯有如此，才能發揮河川整治的最大功能。

一、流域機構 完整管理

(一) 枯流量情況之水質

目前國內的水污染防治採用的河川設計流量乃以河川的 Q75 為主，亦即依所規劃的方案執行後，河川的水質平均而言，將有 25% 的機會無法符合標準。以淡水河初期整治目標為水中溶氧 1ppm 為例，其工程費用高達 500 億元，近期內八里海洋放流系統啟放後，希望河川溶氧在旱季不發臭（溶氧在 1ppm 以上），可是在旱季時（上游淡水流量在 Q75 以下時）可能水質無法達成目標，而令民衆質疑其整治效果。

淡水河上游有不少污染源並未收集處理、截流，影響到下游的水質。另外像垃圾場的滲漏水，及其它各種非點源污染仍存在。全面採用截流及大系統放流，也使得河川淡水流量減少，不利於河川之稀釋作用，減少涵容能力。另外底泥之耗氧及高溫下飽和溶氧之降低，也不利於水質情況。根據作者在基隆河之初步模式分析，在旱季時，未來水質改善情況，有達不到預期目標的風險，因此在低流量情況下，未來整治工程完成後之水質，值得進一步詳細分析與預測。

(二) 水庫操作對下游水質之影響

雖然淡水河下游為一感潮河川，但其水質變化明顯地受河川淡水流量之影響，而河川淡水流量，與上游水庫之操作息息相關，尤其是受新店溪

上游翡翠水庫及大漢溪上游石門水庫的影響甚鉅。翡翠水庫的主要功能為公共給水、發電，石門水庫的主要功能為灌溉、給水、發電、防洪，二座水庫均未把環境保育（水污染防治）列為重要目標。雖然水庫下游的取水口（包括新店溪上的青潭堰及大漢溪上的鳶山堰）有最低環保基流量放流的規定，但在旱季水源不足時，往往被忽略了，使得取水口以下的水質大受影響，而且發生魚類大量死亡的事情，令人遺憾。因此，如何把環保基流量列入水庫操作目標，及如何在水庫各使用目標之間作一取捨，以兼顧河川下游的水質，值得吾人深入分析。

(三)水源區污染問題

淡水河的三大支流上游均為自來水水源區，基隆河上游有西勢水庫、新山水庫及六堵取水口，其中西勢水庫集水區之污染較少，故水質較佳；而新山水庫之水源取自基隆河，水質不佳。翡翠水庫集水區之茶園、農業及坪林市鎮廢水之污染，影響到翡翠水庫之水質及優養程度，雖然翡翠水庫之水質算是台灣地區較佳者，但與先進國家相比，仍有一段距離。另外，直潭壩、青潭堰以上之水源，受到烏來地區及屈尺一帶生活污水之污染，目前新烏地區、坪林地區之污水下水道及污水處理廠仍在興建或規劃設計階段，未來完成後，生活廢水之污染可大量減少，但茶園、農業、遊憩人口的污染仍將存在，應進一步管制並實施最佳管理作業(Best Management Practices, BMPs)。未來水源區污染改善之成本，應由自來水費中支出，才算公平，以達成「受益者付費之原則」。目前水價太低，未反映出水源保護及水資源開發的實際成本。淡水河下游的污染整治、河岸的綠美化及親水設施的建立應加速完成，使得假日往水源區活動的民衆可大量減少，以減少水源區之污染。

大漢溪石門水庫集水區的農業及遊憩活動，影響到水庫水質甚鉅。而大壩以下至板新水廠取水口有一段距離，所受到各種污染十分嚴重，有待

管制。目前有取水口往上移至大壩的建議，所需經費約數億元之多，這是一種「環境保護失敗主義」的作法，不值得採納。根本的作法應為大力進行水污染防治，加強水源的保護工作。

(四)河岸綠美化及生態公園之設置

目前淡水河及其支流有一些河岸公園、高灘地利用及生態保育公園之規劃及設置，例如新店溪的萊茵計畫、華中橋雁鴨自然公園、基隆河截彎取直段之利用、關渡自然公園等，這些公園的設置可以發揮親水、遊憩、觀景的效果，增進人民生活品質。但這些設施對各種效果的達成，有待淡水河水質早日顯著改善，依目前水質惡化之情況，功效有限。河川綠美化及各種設施的設置，須考慮到防洪功能的影響，符合水利法規，採用生態設計方法，考慮水環境保育功能，而不設立大量的人工設施。另外，淡江輪目前因淡水河水質不佳，無法達到遊河賞景的功能，未來水質改善後，如何加強航運遊憩的設施，值得早日規劃。

(五)流域性管理機構

流域性管理局的設立，可以解決目前集水區管理事權分散的問題。過去許多水利機構的研究指出，國內可優先成立「淡水河流域管理局」及「高屏河流域管理局」，以增進集水區管理與河川整治之功效。以水庫集水區管理為例，站在地方的立場，地方首長考慮到地方的發展與選票，不會完全限制居民的農業及開發活動；而由水源保護的觀點，水庫下游的用水集團希望集水區能限制其發展與活動。此種衝突，可透過一個整合性的集水區管理機關，健全集水區居民的回饋、補償辦法，對集水區保護與利用找到一個平衡點，進而依據相關法律加以執行與落實。

淡水河流域水量、水質問題的整合，污水處理系統之營運等問題，均需有一個事權統一的流域性管理機關來統籌辦理。依國內的情況，要成立淡水河流域管理局，應是知易行難，以目前的立法與行政效率，談何容

易。

(六)其他

許多有關前瞻性水質規劃、防洪工程之問題，在本次研討會的其他文章已詳細分析，在此不重覆。許多前瞻性的課題，例如：淡水河水質改善後，水質模式如何進行查驗(postaudit)，以及河口的藻類可能濃度會增加，底泥需氧量可能降低，須事先加以評估、預測。翡翠水庫的供水能力飽和後，如何有不同的替代方案，且兼顧到環境的保護及永續發展。至於全球變遷對氣候、環境、水資源、水質的影響，也應及早分析因應。

二、數值模式 輔助決策

(一)緒論

流域管理之目標，可大略分為水量調節與水質維護，前者之目的在減少洪患時淹水之災害與確保乾旱時足量之水源，後者之目的則在於提升水體之利用價值。水體中如污染物質過量，即使有適當的水量，亦失去為人類利用之價值，本節對河川流域管理之討論，只針對水質方面而言。

人類對水量問題之記載由來已久，例如大禹治水，李冰修都江堰，皆是先民為水量問題而奮鬥之故事。相反地，早期水質問題之記載，則鳳毛麟角，少數例子如相傳巴比倫文化之衰微即水質鹹化所致。水質問題之漸趨頻繁，要在十九世紀後期產業革命以後，因工業開始發達，用水量劇增，人口漸向都市集中，廢棄物與污水匯集，水質問題逐漸突顯，首先是水源遭受破壞，再次是水中生態失去平衡，水生資源大量減少。

淡水河本身為感潮河川，潮波自河口上溯，其影響遠及大漢溪之城林橋，新店溪之秀朗橋，基隆河之江北橋。感潮河川因水量充足，航運方便，水體利用價值高，往往成為人口集中之地，很多著名大港口（如上海、巴爾提摩、漢堡等）及國家首都（如台北、華盛頓、倫敦等）皆座落

於感潮河段上。由於人類的超度利用，很多感潮河川，頻頻發生不勝負荷之現象，水源遭受破壞，水生資源減少，甚有污染嚴重，水質惡劣到影響居民生活環境品質及都市景觀者。淡水河系即是污染嚴重一例，有目共睹，甚至不時有鼻共聞。

(二)數值模式之功能

近三、四十年來，各工業化國家對河川（包括感潮與非感潮）及河口之研究與整治，皆不遺餘力，目的是在求了解河川之水理、水質狀況，掌握河川之污染物涵容能力，俾便對河川作最高度的有效利用，且同時保持河川水體的健康。

河川水質，除污染物隨水流漂動，受物理輸送程序之控制外，尚因水中物質，因生物作用和化學反應等等而轉變，其間各種控制因子之相互關係錯綜複雜，需要利用一套數學方程式把它們的因果關係串聯起來。然而這些方程式往往相當複雜，無法求得解析值，所幸電腦技術，一日千里，可以用來求得複雜方程式的數值解，故數值模擬不但可以把各種影響水質的因果關係表明出來，更可演算出各種不同的水質控制與管理方案所能達成之效果，提供效益分析之依據。例如數值模式可以用來預測截流工程完成後，淡水中溶氧量改善之程度，作為更進一步水質規劃之依據。

(三)數值模擬與水質管理

水質參數眾多，諸如溶氧、細菌、鹽分、毒性物質等等，各個水體，有它不同的問題，需要不同的模式來探討。其中最特顯的問題是溶氧不足，故有關溶氧的數值模式，應用最廣，歷史較久而發展也較為完善，以下僅就溶氧模式在美國使用的情形，作簡略的描述。

河川水中的溶氧，因水中有機物的分解和氨氮的硝化而消滅，污染輕者，因溶氧不足而影響生態的平衡及水生資源的產量；污染嚴重者因缺氧而水色發黑，散發惡臭，破壞景觀，危害人體健康。污染物對河川溶氧之

影響可分為兩個階段，直接耗氧和間接耗氧。排入河川之污染物中，如含過量碳和氮之化合物，當它們分解氧化時，消耗大量水中之溶氧，天然的曝氣作用無法及時補充，致使水中溶氧濃度低於法定標準，此乃污染物之直接耗氧。排入河川之物質中，如果營養鹽太多，則發生優養問題，水中氮磷等濃度高，促使浮游藻類超量繁殖，大部份未能為浮游動物或魚蝦等所攝食，死亡後沈降河底，慢慢腐化分解，消耗溶氧，使河底深處發生低氧或缺氧之現象，此乃污染物之間接耗氧。

就美國河川而言，污染物直接耗氧問題，一般發生在污水排放口下游某些距離處，是局部現象。在台灣就淡水河而言，因為大部份污水尚未集中處理與排放，污染物直接耗氧之問題遍及所有河段，造成全面性的水質低於標準。美國在 1960 年代，水質數值模式之應用，即偏重於點源污染物直接耗氧之管制，所用模式大部份為簡單的「生化需氧量——溶氧模式」，利用模式演算在設計條件下河川的污染物涵容能力，訂定點源許可排放量。當時因模式簡單，數據短缺，計算誤差大，加以政府並未投入足夠資金作污水處理改善工程，故污染防治成效不彰，類似台灣在 1980 年代情形。

1970 年美國環境保護署成立，1972 年聯邦水污染防治法修正案通過，聯邦政府撥放大量補助款給州及地方政府，水污染防治工作才逐漸見效，這段時期，對水污染之管制，採取兩種策略，雙管齊下，一是以技術為基準的管制，所有點源排放之污水皆需作到「最佳可行性技術」以上之處理，對家庭污水而言，除少數海洋放流者可以用一級處理以外，皆需作到二級處理。此策略之主要用意是，無論河川水質狀況如何，管制成效如何，廢水處理，總是會有效益，值得投資。淡水河之截流，一級處理，海洋排放，即與此策略類似。

另一策略是以水質為基準，在污染嚴重之河段，如果污水經過「最佳

可行性技術」之處理，仍然無法使河川水質達到法定標準，則州政府之主管機構需對點源污染之排放量加以限制，在污水排放許可上，明訂許可排放量，至於許可排放量之多寡，往往以數值模式演算之結果來決定，台灣目前對此種「總量管制」的方法正在研究中，而尚未實際達到實施階段。

經過十多年的努力，到了 1980 年代後期，大部份美國河川因污染物直接耗氧造成的問題逐漸減少，針對溶氧問題而言，水質規劃與整治的重點轉移到污染物間接耗氧的問題，也就是優養問題，淡水河系的水質改善，尚未達到這個階段，以下僅就美國東海岸伽薩披蚶海灣水質整治之規劃與執行，有關優養問題的部份作個簡介。

(四)水質規劃與整治一例

伽薩披蚶海灣位於美國東海岸中部，跨越維吉尼亞和馬利蘭兩州，南北長約289公里，東西寬平均22.4公里，平均水深約8公尺，潮波沿注入海灣的河川上溯至國都華盛頓及維吉尼亞首府瑞奇曼，著名的大港口，如巴爾提摩、諾福克等皆座落於海灣或其支流感潮河川上。總流域面積廣達十六萬平方公里，橫跨六個州及華盛頓特區。1977年至1982年間，美國聯邦政府每年撥款五百萬元，由環保署主導，對整個海灣及其支流之感潮河川的水質，作系統的診斷，經過五年的研究與監測，斷定該海灣之污染問題可分為三大類：(1)優養化及其引起的水底深處缺氧或低氧，(2)淺處水底附著植物大量消滅，(3)局部的毒性物質污染。

美國的水質規劃與整治工作之執行，權責操在州及地方政府，為解決上述幾個問題，海灣所在地各州及聯邦環保署簽了合約，議定水質整治工作之推動，不另設流域性專責機構，僅利用現成政府架構，組織各種委員會，擬定政策並促使整治工作之推動，其委員會之結構如圖一所示：

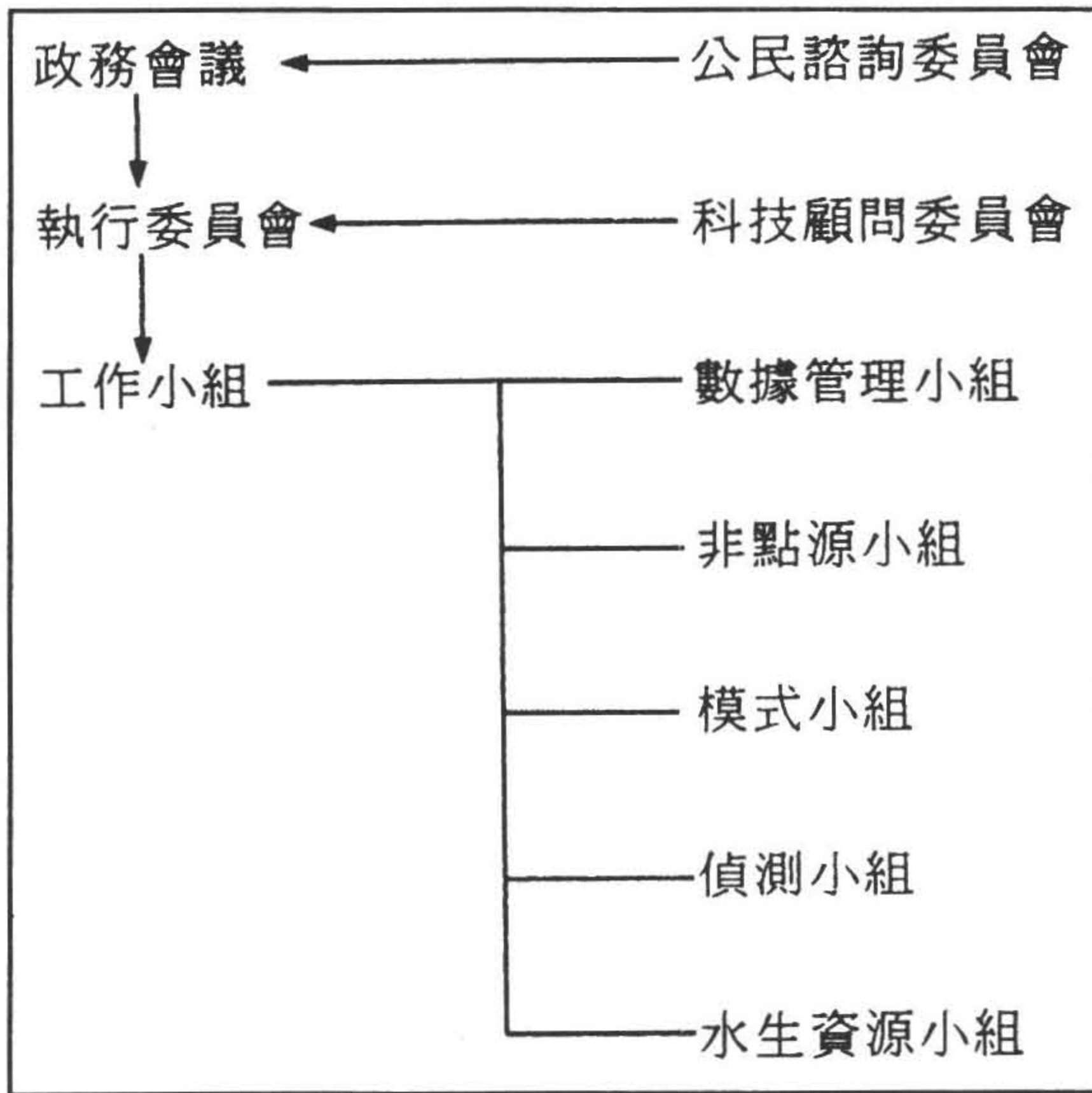


圖1 伽薩披蚵海灣水質規劃、整治委員會之組織

政務會議由各州州長及環保署署長組成，每年開會一次，為最高決策機構，執行委員會由各州州長選派高級幕僚及環保署行政人員組成，下設6個工作小組，每組由環保署派1至2個專業人員，負責行政協調，聯邦政府其他相關單位，各州政府及學術研究機關派人參與小組工作，研擬整治方案，送交執行委員會，該委員會再借重科技顧問委員會之意見與建議，擬定政策性的方案，提交政務會議採納。

上述6個工作小組，各有專責，例如偵測小組則負責協調及推動水質測量之工作，協調聯邦政府及各州政府之經費及人員，把整個海灣及所附帶感潮河川，分成5個部份，由5個機關、學校定期測量，自1984年開

始，累積十數年之數據，用來評估水質因整治工作推動而改善之程度，所得數據，也同時供數值模式檢定與驗證之用。

模式小組，負責數值模式之發展、應用及模式演算結果之分析，針對優養及水底深處缺氧問題，研擬對策，其所利用之數值模式如圖 2 所示。流域模式用來演算在各種不同整治方案下流域內非點源污染物之產生量；動力模式計算水之流動及對水中物質輸送的來龍去脈；水質模式則演算各種營養鹽及浮游藻類在水體中隨空間、時間之變化，因而求得水中溶氧之濃度。模式小組利用檢定驗證後之模式，演算各種不同程度污染源控制下，水體中溶氧改善的情形。執行委員會利用模式演算資料，配合水生資源小組提供之水中溶氧目標，加上政治、經濟之考量，議定出一個污染源整治目標，在公元兩千年以前，要把流域內總氮和總磷產生量（包括點源和非點源）減少到 1985 年時的百分之六十。各州政府和地方政府即依此一目標，擬定執行方案，進行水質整治工作。整治工作，多管齊下，有些得以行政命令推動，有些須經過立法程序，前者之例包括排放的污水污染物濃度之限制，後者之例包括含磷清潔的限制使用等等。

(五)淡水河系水質模擬簡介及展望

數值模擬應用於淡水河系水質規劃工作，始於 1970 年代初期，採用 Streeter-Phelps 公式之修正式，模擬生化需氧量及溶氧在河川之分布狀況。其後各個污染整治計畫，採用數種不同之模式，皆以模擬生化需氧量及溶氧為主，及至 1991 年中興工程顧問社採美國環保署發行之 WASP5 模式，經過模式校正與驗證等必要程序，然後利用它來估算設計流量狀況下，各階段整治設施完成後，河川中生化需氧量與溶氧量之程度。

淡水河系水中缺氧或溶氧不足，仍然處於污染物直接耗氧問題之階段，故以往模式大多只限於模擬生化需氧量和溶氧之分佈。WASP5 為一相當完整之水質模式，應用於生化需氧量和溶氧之模擬，遊刃有餘，唯

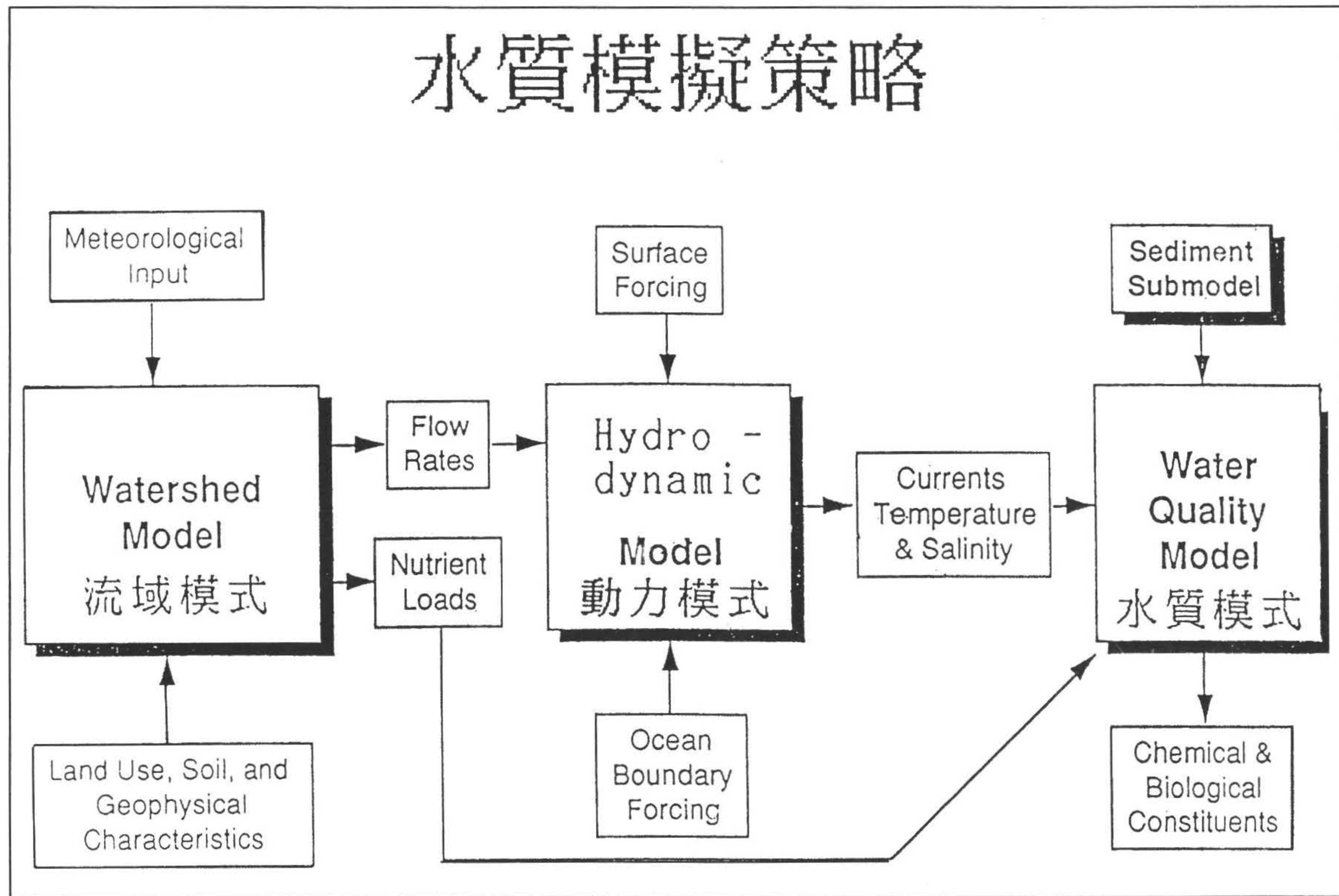


圖 2 水質模擬之過程

獨 WASP 系列之模式，並不包括水理之計算，應用於水理比較簡單之非感潮河段，足可勝任，而應用於水理複雜之感潮河段，因其對水理資料的處理，理論基礎薄弱，往往需要另外以動力模式來演算河川水理狀況，供給水理資料，作為 WASP 模式之輸入數據。

目前淡水河系污染整治工作，仍然停留在第一期整治階段，其對河川中溶氧之目標只求高於每公升一毫克，利用 WASP5 而沒有另加水理計算，尚可被接受為初步之估算，唯水污染整治乃是長遠的工作，越至後期，經費越是龐大，對模式精確度之要求也需跟著提高，感潮段水理模式之建立，不可或缺。近年來以淡水河系水質模擬為目標之水理模式有：台灣大學環境工程研究所之碩士論文（水工所研究報告）模擬基隆河截彎取直後之水理變化；再有土木工程研究所之碩士論文利用上述水理模式，附加水質模式，模擬基隆河感潮段在民國 90 年及 100 年各項預定整治方案實施後所能達到的水質狀況。目前則有台大水工試驗所正在發展整個淡水河系感潮段之水理模式，其演算結果可作為 WASP5 之水理輸入資料，或者可利用該水理模式為架構，直接發展一個互相配合之淡水河系水質模式，為日後淡水河系更進一步的污染防治工作提供決策參考資料。

三、水質模擬 不可或缺

未來的淡水河整治工作，須強調「永續發展」的原則，採用流域性整體規劃與管理的方法，同時兼顧水質、水量、地表水、地下水、多目標、多用途等各項問題。河川水質管理與整治是多元性的工作，牽涉到政治、經濟、社會、教育、文化、科技等等，非全民參與，難以奏效。整治工作，花費龐大，需要有明確的目標，避免事倍功半。水質雖是「質」的問題，仍然需要以「量」來衡量它，尤其是法定水質標準，非「量」不可，例如水中溶氧濃度不得少於每公升五毫克，大腸菌數目每一百毫升不得多

於兩百個等等。某種污水排放管制的程度，是否能夠使河川中水質達到這些標準，需要藉助數值模式的演算來預測。各個流域水質整治的方案，能夠使河川水質改善到何種程度，是否能夠達到預定目標，不同方案之取捨等，水質模擬是項不可或缺的工作，而數值模式是流域水質規劃整治的過程中一個有力的工具。

參考資料

- 註 1 行政院環保署，淡水河系污染整治實施方案檢討規劃報告，上、下冊，EPA-83-G107-09-09，中興工程顧問社承辦，民國八十三年六月。
- 註 2 郭振泰、駟尚廉、林曜松、郭義雄、鍾文祥、郭耀程、劉炯錫，「基隆河整治對河川影響及監測系統之評估(三)：研究子題二：基隆河整治對河川水質之影響(三)」，台大水工試驗所研究報告，台北市政府養工處委託，民國八十四年一月。
- 註 3 郭振泰，“台北都會區水資源的永續發展”，邁向 21 世紀永續都市發展生態設計研討會論文集，台北市政府建設局、文化大學景觀系等主辦，民國八十三年十一月十一、十二日，台北市，pp.42-58。
- 註 4 陳樹羣，「河川動態水質數學模式之建立與應用」，台大土木研究所碩士論文，民國七十三年六月。
- 註 5 S. P. Simonovic et al. (editors), Modeling and Management of Sustainable Basin-scale Water Resource System, IAHS Publication No. 231, IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK, 1995.