

水環境科學與工程

王松賓 編著

序 言

(研究經過及全文提要)

人類的生存和發展離不開水環境。合宜水環境之重要性更不因時代之遠近，社會之變遷和經濟之發展等而有所改變。尤有甚者，水是一種資源，有良好的資源管理運用，方可滿足人類目前與未來生存與發展之需要。過去，水環境科技方面之努力，多偏重水資源之開發與利用，水質污染防治與水源保育到最近始漸兼顧。有關後二項之科技知識探究，除了現場實務之磨練外，相關書籍期刊之浸潤，能使水環境科技工作者，更益增其效。可惜這方面之知識，僅散見於部份刊物上之零星報導。學界或坊間資料又側重水處理技術之研求，它們均失之完整之水環境科學與工程之全貌知識。因之，筆者遂萌以有限之工作經驗及學習心得，編著本「水環境科學與工程」。

編者有幸於民國 65 年台大海洋研究所畢業後任職台灣省水污染防治所，從事本省水污染防治規劃工作。期間，因工作需要，足跡遍及本省三十餘條主次要河川及西部沿海地區海域，實際負責執行調查與規劃水污染防治工作。民國 68 年承李所長錦地之栽植，由台灣省政府公費派赴美國南加州大學研習環境科學與工程一年，獲授環境工程碩士，並取得博士研究生資格。返國後主持規劃隊業務，繼續過去之研究與規劃工作。民國 71 年復經行政院國家科學發展委員會遴選，再度赴美國南加州大學繼續研究廢污水處理及其海洋放流技術，獲授哲學博士，返國後主持企劃組業務，親身體驗水環境經理決策過程，獲益甚大。此外，在水污染防治所服務期間，筆者還參加數次相關課程之研習與訓練，亦有頗多收益。本書乃就過去在水污染防治所之工作經驗與專業知識之研習等部份心得編著而成。

「水環境科學與工程」共分九章。首章說明合宜之水環境靠適當

之規劃與管理技術以竟其功，闡明規劃與管理之重要性及概述其技術。第二章回顧當前台灣地區之水環境問題，包括缺水現象、水質污染和水源保育問題。河川水之理化運送探究水溶液，逕流之搬運作用以及河川水之化學組成分等是水質管理規劃必備知識，分別於第三章論述。第四章水質之污染途徑及其危害詳細論列水質污染物介入河川之途徑及水質污染之物理和化學性介量，和污染物介量可能造成之危害。合宜之河川分類與水質標準，可以調和各用水人之利益，達到最佳用水目標，分別於第五章論述。第六章研究河川之自淨作用原理，包括理化與生物作用。河川溶氧平衡理論及應用亦詳加討論。廢污水海洋放流是解決流域污染防治之策略之一。海洋污染、海域水質標準以及利用海水稀釋作用原理達成廢水海洋放流目的等原理及其應用分別在第七章討論。第八章論列污染負荷減除策略和技術，包括下水道建設與應用理化與生物法處理廢污水技術，並列舉應用範圍與方式。第九章研討河川水質管理規劃實務。最後，有良好之水源保育與經營，才能使水環境水源永續不斷。水源保育一章詳細討論水循環、水土保持、山崩之防止和道路沖蝕控制等集水區常遭遇之問題。

本書之著成，首先感激家父母艱辛養育之恩。感謝內人王淑珠女士於著者二度赴美進修研究以及公忙期間，撐持家務，不辭辛勞。再者，李所長錦地（現已調升台灣省住宅及都市發展局副局長），於筆者服務水污染防治所期間，不時指導與鼓勵，並給予學習與歷練機會；水污所同事王淑鳳小姐協助繪圖，本書乃得完成，在此一併致謝。

最後，本書初次著述，缺漏或謬誤難免，敬祈先進、專家學者等不吝斧正，俾便來日再行充實或補正，以期更為完備，用以增益水環境科技之工作同好，並助益于我國「合宜水環境」工作之推展，是所企盼。

王松賓 謹識於國立中山大學

民國 73 年元月

目 錄

第一章 水環境之規劃與管理概論	1
1-1 前言	1
1-2 水環境規劃與管理之重要性	1
1-3 水環境規劃與管理科技概述	2
1-4 結語	3
第二章 當前水環境問題回顧	5
2-1 前言	5
2-2 旱季水源缺乏	5
2-3 水質污染	6
2-4 水源之保育與節約用水	7
2-5 結語	7
第三章 河川水之理化運送	9
3-1 水之定義	9
3-2 水溶液	9
3-3 逕流之搬運作用	10
3-4 世界河川水之化學組成份	13
3-5 台灣河川水之化學組成份	21
第四章 水質之污染成分及其危害	25
4-1 前言	25
4-2 污染物分類	25

4-3	污染物介入途徑·····	26
4-4	水質污染之物理性介量·····	26
4-5	水質污染之化學性介量·····	28
4-6	水質污染之生物性介量·····	34
4-7	水污染之危害·····	36
4-8	結語·····	38
第五章	河川分類與河川水質標準·····	39
5-1	前言·····	39
5-2	河川分類之基本認識·····	39
5-3	我國之河川分類與水質標準·····	41
5-4	河川涵容能力之分配·····	42
5-5	放流水標準·····	45
5-6	河川水質生物指標·····	45
5-7	結語·····	48
第六章	河川之自淨作用·····	57
6-1	前言·····	57
6-2	稀釋與擴散作用·····	57
6-3	感潮河段之稀釋與擴散作用·····	60
6-4	吸着及沈澱·····	63
6-5	水之溶氧量·····	65
6-6	生物之代謝機能·····	65
6-7	河川溶氧平衡與生物相的變化·····	66
6-8	有機污染負荷與脫氧和再曝氣作用·····	67
6-9	河川底淤泥的分解·····	69
6-10	細菌之自淨作用·····	74
6-11	河川溶氧平衡·····	75

6-11-1	Streeter-Phelps 氏法	75
6-11-2	O'Connor-Eckenfelder 氏法	81
6-11-3	Camp 氏法	84
第七章	廢污水海洋放流	87
7-1	前言	87
7-2	海洋污染與海域水質標準	87
7-3	廢污水海洋放流技術	89
7-3-1	概述	89
7-3-2	單一浮升噴射——無密度層化分析	91
7-3-3	層化環境內浮升水柱上升高度的限制	96
第八章	污染負荷減除策略和技術	101
8-1	前言	101
8-2	下水道建設	101
8-3	廢污水物理法處理	102
8-3-1	柵除	102
8-3-2	沈澱	104
8-3-3	浮上	112
8-3-4	油脂分離	114
8-3-5	脫水	115
8-3-6	活性碳吸附	116
8-4	廢污水化學法處理	116
8-4-1	中和處理	117
8-4-2	氧化還原	120
8-4-3	化學混凝	124
8-4-4	化學沈澱	127
8-4-5	離子交換	129

8-5 廢污水生物法處理	132
8-5-1 微生物基本原理	132
8-5-2 微生物生長動力學	139
8-5-3 影響微生物生長之環境因子	143
8-5-4 依曝氣作用決定處理流程及方法	145
8-5-5 生物處理法之應用	150
8-5-6 污泥處理與處置	154

第九章 河川水質管理規劃實務 159

9-1 前言	159
9-2 規劃原則	159
9-2-1 規劃範圍	159
9-2-2 規劃年限	159
9-2-3 規劃機構之組織	160
9-2-4 相關計畫之配合	160
9-2-5 目標水質	161
9-2-6 計畫變更及追蹤調查	161
9-3 基本資料調查	161
9-3-1 自然環境調查	161
9-3-2 河川水質及下水道建設狀況	161
9-3-3 土地利用現況	162
9-3-4 人口及工業傾向	162
9-3-5 水利用現狀及將來利用計畫	162
9-4 污染負荷量之計算	163
9-4-1 河川污染量計算	163
9-4-2 河川流量之計算	170
9-5 河川水質預測模式	170
9-6 河川水質控制途徑	171

9-6-1	削減污染負荷量	171
9-6-2	下水道建設	172
9-6-3	工業廢水處理	172
9-6-4	區域開發之控制及維持河川流量	172
第十章	水源保育	173
10-1	前言	173
10-2	水循環	173
10-2-1	降水	173
10-2-2	植生之阻攔作用	174
10-2-3	蒸騰作用	175
10-2-4	蒸發作用	175
10-2-5	滲透作用	175
10-2-6	土壤濕度	176
10-2-7	逕流與溪流	176
10-3	林地水土保持之效用	177
10-4	林地水土保持之方法	178
10-4-1	森林經理	178
10-4-2	人工造林	
10-4-3	森林保護	179
10-4-4	森林利用	180
10-4-5	其他方面	181
10-5	山崩之防止	181
10-5-1	坡地整理	182
10-5-2	疏導水流	182
10-5-3	固定坡面	182
10-5-4	建檔土牆	183
10-5-5	安定山脚	183

10-5-6	建造木樁編柵工程·····	183
10-5-7	鋪植草皮·····	184
10-5-8	崩場地造林·····	184
10-6	道路沖蝕控制·····	185
10-6-1	路肩及邊坡沖蝕之防護·····	185
10-6-2	邊溝之防護·····	185
10-6-3	設置橫排水溝及排水涵洞·····	186
參考資料·····		187
附錄一	水污染防治法·····	189
附錄二	山坡地開發建築管理辦法·····	194
附錄三	加強山坡地推行水土保持要點·····	199

第一章

水環境之規劃與管理概論

1-1 前言

水是地球上最常見的物質，它是一切生物生理上所必須。人體重量的百分之六十到七十都是水份，每天所需的水量約為體重的百分之三。水與人類的生活活動關係更是密切。

水是無色、無臭、無味，化學性質非常穩定，具有強溶解性。水具有冰、水、汽三相。通常用水對象係指液態之水。冰和汽是另外用水相。

地面水來自降雨，或經河川湖泊流入海洋；或滲入地下成為地下水；或蒸發消失，降雨復時時補充。自然界中水之如此之循環過程，為造成人類生存活動之重要項目。

歷史記載，一個水環境合宜之處，常形成人類聚居及文化中心。同時，人類之生存發展，有賴於水環境之合宜。然而，當到達地面之降雨，蒸發損失及剩餘可供控制利用之水量，在人力無法調整而作重大之改變和由於人口之增加，都市化之形成，工業之發展以及農業之擴充，其所需之水量日增，所要求之水質標準與人類生活水準相對提高之同時，只能設法以科學與工程方法要求降水之有效貯存、輸送，水源之保育和防治水質污染等措施，提供合宜之水環境，以確保人類之繼續生存與發展。

1-2 水環境規劃與管理之重要性

論語說：人無遠慮，必有近憂。孫子兵法有云：夫未戰而廟算勝者，得算多；未戰而廟算不勝者，得算少也。可見企劃之概念我國早在孔子時代已有之。規劃乃編擬實現企劃所定目標之手段的一種過程

，屬於企劃過程中之一種思維過程。因此，規劃者對追求合宜之水環境，吾人所應行之方向，方法等務須有細密周詳之考慮，對今後將相繼來臨之各種問題，經仔細思考後，方能擬定計畫加以解決。

水是人類生存發展所必須之一種資源，水環境事業又是一種重要而持續之活動，其歷史悠久，而且不斷地進步。在水資源利用程度甚低時期，人口聚居於氣候及水環境良好之處。河川可供引取之流量充足，污染甚少，而自淨作用大，不發生水污染問題，故水的問題甚少。及人口增加，用水日多，河川低水流量時，漸不足供應。遂須建立水權制度，以保障分配及用水權益。建造水庫及開發地下水，以增加枯水時期內之可用水量。儘管水庫地點及地下水源尚多，亦漸須考究不同用水之相對價值。及至需水量繼續加大，可引取之水源業已分配，可建蓄水庫以調節之地點漸少，增加新水源之成本日高，逐漸地須視水為一稀少珍貴資源，而謀求對全社會價值最大及最經濟之使用。於是同一水源須講求多種使用及多次使用和避免水質污染。而用水之效率及相對之生產價值，成為決定水源分配時之重要考慮。故在人類社會發展過程中，經濟社會情況及需要改變時，用水之習慣自隨之而改變。

綜觀如此複雜之用水問題，合宜水環境之前瞻性規劃，不可或缺。同時，規劃與管理和技術亦須隨而改變，以避免形成各項發展之障礙，而水環境科學與工程內涵乃此項事業規劃與管理必備之科技知識。

1-3 水環境規劃與管理科技概述

科學與技術進步對水環境之規劃與管理有很大的貢獻。降雨為一地區全部水量之來源。降雨經下滲成為地下水，以逕流匯集成為河川湖泊等水體。降雨之量及發生時間，河川湖泊之存在等等，決定可利用之水量及其分佈。為供應日增之需水量，可經由引取地面水，抽用地下水，建造水庫，水污染防治與水再利用，水土保持和節省用水等途徑，增加可供利用之水源。

地面水之引用由來已久。河川湖泊之水源由降雨及逕流補充，其可以引用之水量在一年中各季節變化很大。量水所用之儀器設備、觀測記錄報告系統、水文分析推估方法、以及引水設施之設計建造技術與應用，均在不斷的進步，已使引水量及輸送距離增大，增加獲取水源之機會。惟目前地面水多已引用，低水時期可引用之流量大多已經分配。為滿足都市、工農業繼續發展所需之用水，須以人為之調節管理技術，增加枯水時期之可用水量。

地下水為較乾燥地區之主要水源。以豎井或橫井引汲地下水之技術，其歷史亦頗久。近年來，探查及鑿井技術進步，地下水之利用可至較深之含水層。對地下水回蓄之知識增加，利用以多年期之回蓄量為目標，可以增加可供使用之水量，已漸受應用。

建造水庫蓄存河水流量豐富之水，供應不足時使用是常用之增加可供利用水源之方法。由於建埧技術進步，增加蓄水之能力。又因預報及蓄水運用之技術進步，增大季節的和多年的調節作用，已可增加低水時可用之水量。

水污染防治有二層的意義。積極的意義為使水源水質避免污染變劣，或經由適當處理，使水循環供給多次使用，以增加可用之水量。另一意義乃為保護水域，使水質合乎公共給水、工農業用水、遊憩或環境保育等用水標準，使水能有效的應用。二者在先進國家均受重視，且技術亦已成熟。

合宜的水土保持技術及土地利用，以減少降雨之損耗，延長逕流經歷之時間，增加低水期之水源是永續水源之最佳經理水環境技術。

節約用水，提高用水之效率。減少水在蓄存或輸送時之損失以及將水源移轉供應較高價值之使用等亦是有效利用水資源的經理方式。

1-4 結語

水為人類生命及生活所必須，也是國家經濟發展所必須之資源。由於人口的增加，都市的形成，工業化的發展，其所帶來的問題與因

水有關者為對水量的需要增加和水質之惡化。這二個問題隨着經濟發展及文明進步而益趨複雜。

用水是一種事業。要有效的經理這種複雜事業，首先要有以水環境科學與工程知識為基礎之專精規劃技術，再配合良好的管理方法。在人類無法改變氣候以前，如何有效變更水之存在之時間及存在地點和如何防治水污染，使水資源充分利用以及保育水源等是當今之科技能加以解答的問題。前二項問題涉及水之有效貯存和輸送，屬於水資源之開發，研究者頗多，本書暫不列入研究範圍。水污染防治及水源保育是現階段迫切需要研究之用水問題，本書將優先研討，供水環境科技工作者參考。

第二章

當前水環境問題回顧

2-1 前言

台灣位居亞熱帶，山嶺綿互，平原狹小，河流湍急。儘管年平均降雨量約有 2430 公厘，約等於 874 億立方公尺降水量，但因地區性及季節性的分佈有顯著的不均現象，加上山高坡陡地形，年流入海洋之逕流量佔年平均降雨量之百分之六十一，以及衆多的人口等特殊因素，台灣每人每年僅分得約 5210 立方公尺水量，為美國蘇俄之七分之一，為加拿大之七十分之一，是屬於個人分配水量不豐地區。

為配合今後國家經濟成長與結構之改變和與日俱增之人口壓力，展望未來發展的趨勢，除積極開發新水資源外，對水質污染防治，水源保育等方面的活動做深入的探討，提供今後應努力之方向，做為用水事業規劃與管理實施時參考。

2-2 旱季水源缺乏

本省因受季節天候影響，平均雨季的降水量為年平均降雨量之百分之八十七左右，旱季雨量極為稀少。同時，由於集水區上游之坡地與山坡地經理不完善，致使水源之涵養不理想。又因河川坡陡流急，缺少調蓄之水庫，致大量之河川盈水量都形成地表逕流，流入海洋，無法利用，因之各標的用水都呈現缺水現象。為解決此項問題，除建水庫蓄存雨季降雨外，應儘早做好集水區水源保育涵養水源，以延長逕流經歷之時間，增加低水期之水量。加強保育重於開發利用的觀念，使集水區之保育治理工作盡善盡美。

2-3 水質污染

自然界的水是一種萬能的溶劑，溶有許多物質。它通常不致危害到妨害用水或需要特殊的處理才能使用的程度。水質污染是指水因某種物質如化學品、生物或能量的介入，而變更其品質，以致影響其正常用途，或危害國民健康或生物生存的環境。

所謂水的正常用途，當指對國家經濟利益最大或當地所最需要的最佳安排。通常按照水體特性及其所在地的情況規劃水之用途，同一水體可有一個或多個用途。對於水質的要求，視水的用途而異，每種用途都有其一定的最低要求。當水體有多項用途時，其水質應由各用途中的最高水質標準控制。

引取地面水以供應日增需水量是為目前增加可供利用水源的最經濟可行的一種途徑。然而，隨着經濟之快速成長與人口集中都市，工廠林立，地面水之污染已日趨嚴重，使原本水資源缺乏的問題更加嚴重，其影響所及，已使台灣之農業、漁業受到極大的危害。對於自來水源及生活環境之影響亦逐漸增大。

目前各河川之可靠流量已利用殆盡，尤其是本省西部河川之可靠流量已竭，沿岸工廠廢水及都市污水注入，河流無法涵容，污染情況已不容忽視。因之，如何確保河川水之用途，已至刻不容緩地步。

根據實地調查二十四條主次要河川之結果顯示，十二條河川之部份河段已遭受嚴重污染，七條河川已受到中度污染，其餘五條河川之污染程度尚屬輕微。由於水質污染，使農業灌溉水對稻作造成危害，部份公共給水對國民健康構成潛在的危機。

因此，為解決地面水污染問題，首要以河川水為對象，做好河川水質管理規劃，以維護各河段水體應有之優良水質，方能充分利用水資源。由於河川水質管理規劃為一涉及廣泛之科技，本書將另闢章節詳加研討。

2-4 水源之保育與節約用水

節約爲吾國古有的美德與傳統。在過去人口少，用水事業不盛時期，節約使用水資源比較不明顯，少受重視。自從能源危機及環境問題發生以後，資源之有限已廣受大家體認出來。有限的水資源具有地域性，也許有一天水資源可構成某一地區發展之限制因素。因此，要求節約用水，以減緩環境之限制，不僅爲目前減少所需用水之開發投資，而且能使必須用水者能獲得所需之源。

台灣由於地形、地質、土壤、颱風、森林之濫伐和山坡地之濫墾等因素，使水源之涵養失去平衡，影響用水事業之可靠性、壽命與安全，故應加強對集水區之治理、水土保持及水污染防治等以流域性經營爲單元，統一規劃，分期實施，以收治理之效，並期達成水資源保育與利用的目標。

2-5 結語

台灣因受地形、氣候等天然因素影響，水資源地區性及季節性分佈極不平均。近年來，由於人口的增加，都市化的形成，工農業的發展，已使水資源感到不足。又因工商發達，經濟社會結構改變，造成水質污染，影響水資源正常用途。同時，因爲水、土資源之開發未能有效配合，每每因開發坡地及砍伐森林，破壞了水源涵養，加速表土流失、土壤沖蝕，直接影響中下游人畜生命財產及交通等安全以外，亦影響到水庫及輸水系統之壽命，降低用水事業之效用。最後，節約用水之習慣亦有待加強，使之深植人心。