

水 文 學

Introduction to Hydrology

原著者：Viessman、Knapp
Lewis、Harbaugh

譯述者：蔡光雄、盧 堅



科技圖書股份有限公司

水 文 學

Introduction to Hydrology

原著者：Viessman、Knapp
Lewis、Harbaugh

譯述者：蔡光雄、盧 堅

科技圖書股份有限公司

行政院新聞局登記證 局版台業字第 1123 號

版權所有 • 翻印必究

水 文 學

原著者：Viessman、Knapp
Lewis、Harbaugh

譯述者：蔡光雄、盧 堅

發行人：趙 國 華

發行者：科技圖書股份有限公司

台北市重慶南路一段 49 號四樓之 1

電 話：3118308 • 3118794

郵政劃撥帳號 0015697-3

80年10月2版

特價新台幣 350 元

ISBN:957-655-070-X

水 文 學 水 文 學 水 文 學

原 序

水 文 學 水 文 學 水 文 學 水 文 學

在從事天然資源的運用與開發時，爲求減少生態環境遭受破壞，對每位工程師與科學家在經營管理天然資源的工作前，其最重要的工作是能確實瞭解生態環境的特性。本書中所探討的天然資源。即爲人類生存所不可或缺的天然資源——水。

對講授水文學的老師，本書能提供充分的教材，足供學生研習一學期甚至兩學期之用。雖然本書內容主要在於提供大學部學生學習研討，但對一年級研究生，同樣亦可適用。再者，本書重點在強調水文理論與其對實際水文問題的應用。相信對讀者，必可獲益。

本書的第二版中，在水文模擬方面及其大小流域所遭受的實際水文問題與水文技術的運用等各方面，均予加強，並作充分補充。對都市水文方面亦加重視。本書對以往水文分析、水資源規畫的合理化模式，亦重新強調。在水質模式一章，更作進一步介紹水質與水量間的關係。

再者本書對許多電算機程式在水文學上的應用亦作詳細說明。並附有許多實例解說，更可說明水文理論的發展。同時將統計與數值分析方法亦予介紹。

作者對每一主題均收集許多資料，希望這些實用的知識，能使讀者獲益。在此感謝提供資料的同仁。更望水文界先進與讀者們再給予批評指正。

Warren Viessman, Jr.

John W. Knapp

Gary L. Lewis

Terence E. Harbaugh

(The lete)

水文學

目 錄

原 序

第一章 緒 論

1-1	水文學的定義	1
1-2	簡 史	1
1-3	水文循環	3
1-4	水文預算	4
1-5	水文方程式的應用	9
1-6	水文資料	11
1-7	水文計量用普通單位	11
1-8	水文學對環境問題的應用	12
1-9	習 題	13
	參考文獻	14

第二章 降 水

2 水 文 學

2-1	水 蒸 汽	16
2-2	降 水	23
2-3	降水量的分佈	30
2-4	點降水	35
2-5	區域降水	37
2-6	可能最大降水	39
2-7	總降水量與淨降水量	40
2-8	習 題	41
	參考文獻	43

第三章 水文摘要

3-1	蒸發作用	45
3-2	蒸散作用	56
3-3	蒸發散作用	60
3-4	蒸發散模擬	61
3-5	截留量模擬	65
3-6	窪蓄量模擬	68
3-7	入滲作用	71
3-8	習 題	87
	參考文獻	91

第四章 河川流量

4-1	影響逕流的流域特性	95
4-2	降水河川流量的基本關係	105
4-3	歷 線	108
4-4	歷線的組成	109
4-5	流域內的表面流現象	109
4-6	歷線分量	112

4-7	地水降	115
4-8	分離技術	117
4-9	歷線的基期	120
4-10	流域延時與稽延時間	120
4-11	單位歷線的演繹	123
4-12	單位歷線的導出	125
4-13	S - 歷線法與稽延法	136
4-14	單位歷線的矩陣解法	140
4-15	單位歷線的合成法	143
4-16	Snyder 法	143
4-17	SCS 法	147
4-18	Gray 法	150
4-19	水文學中的模擬方法	157
4-20	求逕流量的統計與機率法	158
4-21	河川流量預報	159
4-22	習 題	160
	參考文獻	160

第五章 點頻率分析

5-1	機率觀念	17
5-2	機率分佈	174
5-3	分佈動差	180
5-4	分佈特性	181
5-5	機率分佈型態	183
5-6	連續頻率分佈	185
5-7	頻率分析	189
5-8	點繪分佈	190
5-9	頻率因數	192

4 水 文 學

5-10 統計的信賴度與頻率研究	196
5-11 其他頻率分析	201
5-12 習 題	208
參考文獻	216

第六章 區域分析：聯合分佈與時間序列

6-1 其他機率觀念	218
6-2 多變量分佈	223
6-3 湊合迴歸式	225
6-4 隨機時間序列	229
6-5 一般水文特質	234
6-6 複迴歸法	240
6-7 習 題	245
參考文獻	250

第七章 水文與水力演算

7-1 河道的水文演算	253
7-2 運用瀦蓄指示法作水庫的水文演算	261
7-3 流域的水文演算	266
7-4 河道的水力演算	272
7-5 水庫的水力演算	294
7-6 流域的水力演算	305
7-7 習 題	309
參考文獻	316

第八章 地下水水文學

8-1 緒 論	318
8-2 地下水流—一般性質	320

8-3	水的地下分佈	321
8-4	地質因素	322
8-5	地下水位的波動	324
8-6	地下水與地表水間的關係	324
8-7	靜水壓力	325
8-8	地下水流	326
8-9	Darcy 定律	326
8-10	滲透性	328
8-11	流 勢	331
8-12	流體動力方程式	331
8-13	流線與等勢線	336
8-14	邊緣條件	340
8-15	流線網	342
8-16	水力導水度的變化	345
8-17	異向性	346
8-18	Dupuit 理論	347
8-19	開發地下水源法	352
8-20	朝向井的穩定非限制放射流	353
8-21	朝向井的穩定限制放射流	355
8-22	在等速流狀況的水井	356
8-23	井 場	357
8-24	虛像法	359
8-25	不穩定流	361
8-26	滲漏含水層	366
8-27	部分貫入井	367
8-28	鹽水侵入	367
8-29	地下水文用的電算機與數值法	368
8-30	地下水流域的開發	368

6 水文學

8-31 習題	370
參考文獻	374

第九章 雪水文學

9-1 緒論	378
9-2 積雪與逕流	379
9-3 雪的量測與調查	381
9-4 點與區域降雪特性	383
9-5 融雪過程	385
9-6 雪融逕流量的推定	400
9-7 習題	426
參考文獻	427

第十章 水文綜合分析與模擬

10-1 水文的綜合分析	430
10-2 水文模擬	442
10-3 主要水文模擬模型	452
10-4 連續性河流模擬模型的研究	478
10-5 雨量－逕流，事件的模擬模型	501
10-6 地下水模擬	535
10-7 雪水文學的數位模擬	541
10-8 水文模擬的應用	545
10-9 習題	547
參考文獻	550

第十一章 都市與小區域之水文研究

11-1 緒論	554
11-2 都市與小流域的尖峯流量公式	557

11-3	都市逕流模型	586
11-4	小流域模擬使用漸變非穩定流公式	613
11-5	土地利用的效應	617
11-6	習 題	624
	參考文獻	629

第十二章 水文設計

12-1	水文設計用資料	635
12-2	水文設計中的頻率級位	637
12-3	設計用暴雨	648
12-4	次要結構物設計—SCS法	673
12-5	飛機場的排水設計	692
12-6	都市暴雨排水系統設計	695
12-7	習 題	698
	參考文獻	701

第十三章 水質模型

13-1	水質模型	703
13-2	湖泊沖流率的原水水質模型	706
13-3	陳與Orlob模型	714
13-4	Lombardo 與 Franz 模型	719
13-5	QUAL-I 與DOSAG-I 模擬模型	720
13-6	EPA 暴雨管理模型	725
13-7	Cincinnati 大學都市逕流模型	726
13-8	地下水質模型	727
13-9	習 題	728
	參考文獻	728

附 錄

第一章

緒 論

1-1 水文學的定義

水文學 (hydrology) 是一門地球科學。是研討地球內部水分的特性及其移動、分佈所發生的現象，及其相互間的關係，並與地質學、氣候學、氣象學以及海洋學等均有極密切的關係。本書所強調的主題是，針對工程水文方面而言。

1-2 簡 史

早期的哲學家集中注意力於研究地表水流產生的過程以及其他有關不同的水文循環期間，水分所產生的現象，來源與其如何由海洋輸送到大氣而到陸地，再回到海洋的水循環系列的問題上。很不幸，早期的這些推測，常發生錯誤。例如 Homer 相信有大的地下貯水池的存在，以供給河川、海洋、泉水及深井的水源。更有趣而值得注意的是，Homer 了解到水流在希臘輸水道的兩岸輸送斷面積與流速間的相關性。這種知識，一直到羅馬時代就被遺忘了。因此，有關斷面積、流速與流率間的相互關係知識，仍未被人所知悉。一直到文藝復興運動時

期才被 (Leonardo da Vinci) 所發現。

在紀元前一百年，Vitruvius 在他的 *De Architectura Libri Decem* (中世紀工程師主要手冊) 著作第八輯中，曾提出一項理論，漸被認為是水文循環系統上新觀念的先驅者。他假設雨與雪降落在多山區後，入滲到地表內，然後在低窪地區消失而變成河流與泉水。

固然，在早期所提出不甚精確的理論，它僅可適當的敘述各種不同水文理論的實際運用，亦往往有相當的成效。例如，在紀元前 4000 年，為將原始不毛地開墾成農業生產用地，運用這些理論，橫跨尼羅河建築一個水壩。經過好幾千年後，從開羅運送淡水到蘇彝士運河，亦相繼完成。美索不達米亞城為了防止洪害，亦曾建造高的土牆。希臘、羅馬水道的修築以及中國的灌溉工程與洪患控制工作，均是這些理論運用的顯著實例。

到十五世紀末期，基於水文現象的觀測，對水文學的探討更趨科學化、具體化。Leonardo da Vinci 與 Bernard Palissy，對於水循環各有明確的見解，他們的理論是基於觀測而得的，要比從純理論得到為多，但到十七世紀為止，對直接努力於獲得水文變動的定量測法，似乎很少為人所悉。

水文學的現代科學觀念的產生，一般均認為開始於十七世紀時，Perrault, Mariotte, Halley 等所作的研究。Perrault 氏在塞納河灌溉區，經過三年觀測所得降雨量測法。運用此法與逕流量測法及已知排水區的大小，他證明運用降雨量足以適當地解釋河川流量，也研製蒸發與毛細管現象的量測法。Mariotte 氏計量塞納河的流速，經由河川橫斷面量測與已知流速以求得流量。英國天文學家 Halley 曾測出地中海的蒸發率與討論水分蒸發量足以解釋河川支流流到海中的流出量。像這些量測方法，雖很粗陋，但有關水文現象的研究已能提供可信賴的結論。

至十八世紀，在水文理論與水文儀器設備上有很大的進步，例如 Bernoulli 的水壓計 Piezometer、Pitot 管，Bernoulli 理論，與 Ch-

ezy 公式(8)等，均為顯著的例。

到十九世紀，實驗水文學興起，在地下水文方面與地表水的量測法各有顯著進步，如Hagen-Poiseuille的毛細管流等公式，Darcy 定律，Dupuit-Thiem的水井公式等均屬之。有系統的河川計量（stream gauging）方法的開端，在此時期亦被探討成功。對現代水文方面，在十九世紀中，基礎理論雖被完全樹立，但這些理論與努力，均由自然界的經驗而得，對天然的水文基礎方面尚未完全建立，或受廣泛認可。到二十世紀初期有很多早期的經驗公式不能適用，而逐漸被發現。因此，有興趣的各政府機構，開始發展水文研究計畫，從一九三〇年到一九五〇年，合理化分析開始以取代經驗主義(3)Sherman的單位歷線（unit hydrograph），Horton氏的滲流理論（infiltration theory），Theis的不平衡提議（nonequilibrium approach）在水井水力學上的運用等均是進步的顯著例子(12)～(14)。

自一九五〇年起，一種理論應用到實際水文問題上，已廣泛地取代過去的陳舊方法。更因科學知識的進展，對水文關係式的理論基礎，提供更好的解釋。尚有不論在實用與經濟觀點上，高速度的數位電腦機的出現與發展，以及數學的處理方式已完全控制過去的一切。而人力、模型、方法與機械的實際而有效運用，均有專文報導(7)。

1-3 水文循環

水文循環，是指水從海洋運送到大氣，降落至陸地，再流回到海洋的連續循環過程。其中又含有許多附屬循環。例如，水分在未回到海洋之前，內陸水分因受蒸發作用（evaporation）而昇至大氣，然後再由降水回到陸地，即為一例。然促使整個地球水分運送系統（transport system）的動力，全部均由太陽提供完成蒸發所需的能量。值得特別注意的是，經過循環過程後，水質也會有些改變。例如，海洋中的鹽水，經過蒸發作用而成為淡水。

全部的水循環，係由整個地球內部的天然水分所構成。故對世界

水問題所針對的區域、國家、國際、大陸與整個地球的比例等各方面來探討(17)。再者，整個地球內，可用淡水的總供給量，實際上受到相當的限制，與海洋中的鹽水區域範圍相比較，可說是微乎其微。此外，一個國家內部流動的水分亦不能同時被供給到世界其他區域。

Raymond L. Nace，曾談到水資源(water resources)是一個區域性的世界根本問題(17)。故現代水文學者不得不克服這些各種大小差別且有顯著優先次序的根本水文問題。此外，更要小心集中注意力在技術上的研究發展，進而控制氣象狀況。因一個地區氣候的改變，將嚴重影響到水文狀況以及其他區域的水資源特性。

1-4 水文預算

因整個地球的可用水量是固定的，不可毀滅的。故整個地球的水文系統可視為一種封閉狀態。常被工程水文家作分析用的開放型水文附屬系統雖有很多，但對任何水文系統而言，水預算法(water budget)尚為一種能引用作為解釋水文構成因子的方法。

用圖 1-1 的簡單限制系統來解釋。圖 1-1 的平面乃為一個完全不滲透的傾斜面，除角隅 A 的出口外，其餘四面均被圍起。因這個平面被假設為一個理想的平面，沒有窪處可以滯蓄水分。若有暴雨進入，

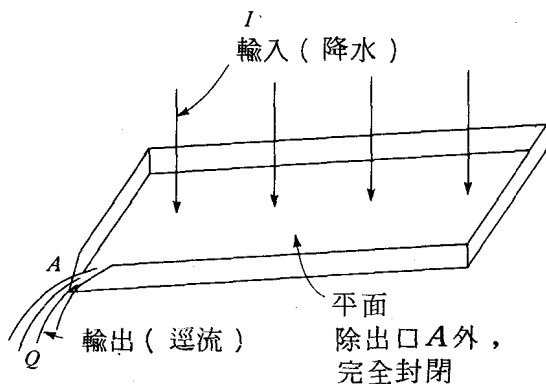


圖 1-1 簡單水文系統模型

則流出的必定是表面逕流 (surface runoff)，而且將從 A 處流出。故這個水文系統的水預算，可用下列微分方程式表示之

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \quad (1-1)$$

式中 I = 每單位時間內的流入量

Q = 每單位時間內的流出量

dS/dt = 滯蓄在水文系統內每單位時間的改變量。

要一直等到假設平面上積聚達最小深度時，才有流出量產生，但當暴雨增強時，平面上的水深亦隨之增加。在流入量停止時，平面上的水分就變成流出量，而由此水文系統中流出。在整個系統流入期間，均將蒸發量以及四周圍牆上的少量水分忽略不計外，所有的流入量最後均變成流出量。提出這初步解釋，即是認為，任何水文系統，可用此水文預算式來描述，同時此水文預算式亦足以解釋系統內流入量的多少與滯蓄量的變化。但這簡單的水文預算式，經常易被誤解，因在式中的每一項目，均無法很容易而適當的被定量化 (quantified)。

一種較普遍的水文預算意見，可解釋各種水文循環因子，並對複雜的水文區域提供解決問題的技術。而這些區域可能有地形上的範圍、政治上的限制、或其他特殊條件的束縛等。一個集水區或排水流域，是指被一條河川形成好幾條川流系統所匯集的固定地形區。以往的水資源研究之所以被引導至集水區或排水流域方面，主要是因其能作水預算的簡單應用。雖然，可用資料與分析方法的精確程度在實際狀況上將決定此水預算的可行性 (feasibility)，但理論上對任何區域均可計算。

為要定出一個普遍化的水文預算，可利用圖 1-2，圖 1-3 與圖 1-4 作為解釋。圖 1-2 是一個水文循環的觀念模式 (model)，降水 (precipitation) 以雨 (rain)、雪 (snow)、雹 (hail) 等形狀，來自大氣中的水氣，並構成主要的流入量。其中一部分降雨 (rain-fall) 可能被樹木、草類以及其他植物與構造物所截留，最後又由蒸