



Hydrology

水文學

李光敦 著

水 文 學

李 光 敦 著

國立台灣海洋大學河海工程學系教授

五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

水文學／李光敦著．

--三版．--臺北市：五南，2005 [民94]

面；公分

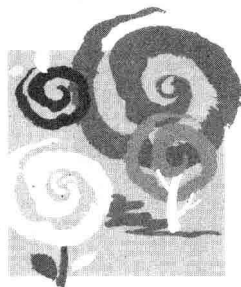
含索引

ISBN 978-957-11-4016-2（平裝）

1. 水文學

351.7

94010642



5G14

水文學

作 者 — 李光敦(93.2)

發行人 — 楊榮川

總編輯 — 龐君豪

主 編 — 黃秋萍

責任編輯 — 蔡曉雯

出版者 — 五南圖書出版股份有限公司

地 址：106台北市大安區和平東路二段339號4樓

電 話：(02)2705-5066 傳 真：(02)2706-6100

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

劃撥帳號：01068953

戶 名：五南圖書出版股份有限公司

台中市駐區辦公室/台中市區中山路6號

電 話：(04)2223-0891 傳 真：(04)2223-3549

高雄市駐區辦公室/高雄市新興區中山一路290號

電 話：(07)2358-702 傳 真：(07)2350-236

法律顧問 元貞聯合法律事務所 張澤平律師

出版日期 2002年 2月初版一刷

2003年 10月二版一刷

2005年 7月三版一刷

2009年 3月三版六刷

定 價 新臺幣480元

三版序

一本適合大學階段的水文學書籍究竟應包含哪一些章節，這是作者在撰寫本書過程中所反覆思考的問題。坊間目前各種中英文版的水文學書籍，無不企圖囊括所有水文學領域之範圍；因而導致同學在學習階段，以及後續準備考試過程，無法正確掌握重點，造成事倍功半之情形。因此本書是以目前各大學的共同授課內容為主，並檢視近十年來高普考與各研究所入學考題，以其中超過百分之九十的出現率，而劃定本書的編輯範圍。是以本書應已提供足夠的應考資訊，雖然遺珠之憾仍在所難免。

過去三年來，本書已獲得讀者普遍性的肯定，先前初版時的部分錯誤，已分別在兩次再版時予以更正。相較於坊間其它水文學書籍，本書採用較多的圖例說明，並嘗試應用水力學理論來解釋水文現象，以澄清水文為黑盒系統之譏。第一章旨在說明水文學之定義與水文循環現象。由於水文分析過程中一般均視集水區為一獨立系統，因此第二章先行闡述集水區之定義與地文特性，以確立水文系統觀念。第三章至第五章則分別闡述降雨、蒸發與蒸散、以及入滲之現象與分析方法。第六章至第九章分別說明地下水、集水區降雨逕流演算、水庫與河道演算、以及水文統計與頻率分析；此四章在一般考試中所佔的比例甚重，讀者應多加注意。第十章則為工程實務上之水文量測方法，讀者可以作選擇性的閱讀。

本書中每一章節均有例題與習題，作者與楊其銓先生並編纂有水文習題精解，以方便讀者在詳讀理論之後，作進一步的練習。本書之習題大部份均取自於近年高普考與各研究所入學考題，習題中標示有#號者，表示為較少出現或較不重要的考題，讀者可自行斟酌閱讀。本書另附有授課教師上課之課程大綱，可作為一般課堂用講義，或作為同學考前複習之重點整理，讀者如有需要可自行前往<http://ind.ntou.edu.tw/~ktlee/> 網站下載檔案。本書撰寫過程首先要感謝的是楊其銓先生的協助，沒有他在初稿上所投入的大量心力，本書實無法順利完成。初稿完成後，研究室裡的研究生們提供諸多改進意見，鄭璟生先生惠予提

供封面照片，在此致上謝意。最後要感謝已逝的顏本琦教授，教導以嶄新的觀點來詮釋水文學，給予作者深刻的啟發。

多年來在學習水文學的過程裡，同時也領略徜徉山水間的愉悅。在緊湊研究工作中僅有的假日裡，妻子慧玲與幼子祖正總能與我共享山水的清幽，而讓我重拾工作的動力。如同這本書的封面，水文學的內涵盡在山巔水湄之間。希望這本書帶給讀者的不祇是學識上的增進，更是對大自然一種重新的體認。

李光敦 謹識 2005/06

國立臺灣海洋大學河海工程學系

目 錄

第一章 導論.....	1
1.1 水文學之定義 3	
1.2 水文循環 3	
1.3 水文模擬方法 8	
1.4 水文學之應用 9	
1.5 台灣地區之地文與水文概況 9	
第二章 集水區地文與水文特性.....	15
2.1 集水區邊界與河川網路特性 17	
2.1.1 集水區邊界 17	
2.1.2 河川網路 18	
2.2 集水區地文特性分析 20	
2.2.1 面積與長度 20	
2.2.2 高程差與坡度 22	
2.2.3 河川級序定律 24	
2.2.4 排水密度與河川頻率 29	
2.3 集水區水文特性分析 30	
2.3.1 逕流分類與歷線特性 31	
2.3.2 基流分離 33	
2.3.3 降雨特性與歷線形狀 34	
2.3.4 流量延時曲線 36	
第三章 降雨.....	43
3.1 降雨之成因 45	

- 3.1.1 基本氣象因子 45
- 3.1.2 降雨機制 53
- 3.2 降雨種類 55
- 3.3 降雨紀錄補遺與校正 58
 - 3.3.1 降雨紀錄補遺 58
 - 3.3.2 降雨紀錄校正 61
- 3.4 降雨分析 64
 - 3.4.1 集水區平均降雨 64
 - 3.4.2 降雨強度—延時—頻率曲線 67
 - 3.4.3 降雨深度—面積修正曲線 71
- 3.5 設計暴雨 73
 - 3.5.1 設計雨型 73
 - 3.5.2 可能最大降雨 76
- 3.6 降雨損失 77
 - 3.6.1 截留 78
 - 3.6.2 窪蓄 79

第四章 蒸發與蒸散..... 87

- 4.1 蒸發機制 89
- 4.2 自由水面之蒸發估計方法 90
 - 4.2.1 質量傳遞法 90
 - 4.2.2 能量平衡法 91
 - 4.2.3 水平衡法 94
 - 4.2.4 彭門法與其它混合計算方法 94
 - 4.2.5 蒸發皿量測法 96
- 4.3 蒸散機制 98
- 4.4 蒸發散估計方法 98
- 4.5 減少蒸發散方法 103

第五章 入滲..... 107

- 5.1 土壤特性 109
- 5.2 土壤水份入滲機制 114
- 5.3 入滲現象 117
- 5.4 入滲量測 119
- 5.5 入滲公式 121
 - 5.5.1 荷頓入滲公式 121
 - 5.5.2 菲利普入滲公式 123
 - 5.5.3 格林—安普入滲公式 125
 - 5.5.4 美國水土保持局入滲公式 127
- 5.6 入滲指數 133
- 5.7 積水發生時間 135
- 5.8 入滲公式修正 138

第六章 地下水與水井力學..... 151

- 6.1 地下含水層與地下水 153
 - 6.1.1 地下含水層特性 153
 - 6.1.2 地下水流特性 155
- 6.2 飽和含水層水份流動 161
 - 6.2.1 限制含水層水份移動 161
 - 6.2.2 非限制含水層水份移動 165
- 6.3 定常性水井力學 168
 - 6.3.1 限制含水層水井力學 168
 - 6.3.2 非限制含水層水井力學 170
 - 6.3.3 複合井流場 171
- 6.4 非定常性水井力學 179
 - 6.4.1 西斯公式 180
 - 6.4.2 可柏—賈可柏公式 182

6.5 含水層特性與地下水流特性 185

第七章 集水區降雨逕流演算..... 201

7.1 集流時間 204

7.1.1 漫地流速度 204

7.1.2 管流速度與渠流速度 205

7.1.3 利用水文紀錄資料或集流時間公式推求集流時間 206

7.2 流量歷線與集流時間 209

7.3 合理化公式 212

7.4 單位歷線 217

7.4.1 單位歷線定義 217

7.4.2 單位歷線推求方式 219

7.4.3 不同延時單位歷線間之轉換 221

7.4.4 單位歷線之應用 228

7.5 瞬時單位歷線 232

7.5.1 線性水庫 234

7.5.2 時間一面積法 239

7.6 合成單位歷線 244

7.6.1 美國水土保持局三角形歷線法 245

7.6.2 史奈德法 246

第八章 水庫演算與河道演算..... 261

8.1 洪水波運移特性 263

8.2 包爾斯水庫演算法 268

8.3 朗吉—古達水庫演算法 273

8.4 河道水文演算法 280

8.4.1 馬斯金更河道演算法 280

8.4.2 馬斯金更法之 K 值與 X 值檢定 285

8.5 河道水力演算法 289

第九章 水文統計與頻率分析..... 301

- 9.1 水文統計理論 303
 - 9.1.1 水文資料選取 303
 - 9.1.2 機率定則 306
 - 9.1.3 水文量重現期 308
 - 9.1.4 統計參數 311
- 9.2 頻率分析理論 315
 - 9.2.1 頻率分析通式 315
 - 9.2.2 常用的機率分佈 316
- 9.3 合適機率分佈之選取 324
 - 9.3.1 適合度檢定 325
 - 9.3.2 機率點繪法 329

第十章 水文量測..... 341

- 10.1 雨量量測 343
 - 10.1.1 非自記式雨量量測 343
 - 10.1.2 自記式雨量量測 344
 - 10.1.3 雷達雨量量測 345
- 10.2 水位量測 347
 - 10.2.1 非自記式水位量測 347
 - 10.2.2 自記式水位量測 348
- 10.3 流速量測 349
 - 10.3.1 流速計量測 349
 - 10.3.2 浮標量測 352
 - 10.3.3 超音波量測 353
- 10.4 流量量測 354
 - 10.4.1 流速一面積法 355
 - 10.4.2 稀釋法 357
 - 10.4.3 水工結構物量測法 360
 - 10.4.4 坡度一面積法 361

索引.....	371
---------	-----

附錄.....	383
---------	-----



A horizontal row consisting of sixteen identical small diamond-shaped symbols arranged side-by-side.

水文學是一門與日常生活息息相關的科學，舉凡上至積雲落雨，下至百川匯流，均屬於水文學之範疇。本章首先說明水文學的定義，並詳細描述水文循環過程中，水體之各種傳輸現象。而後概略介紹目前用以模擬水文過程之模擬模式，以及如何將水文模式的模擬結果，應用於實際水資源工程設計之上。最後介紹台灣地區之地文與水文狀況，使讀者瞭解我們目前所處的水文環境，以及亟需解決的水文問題。

1.1 水文學之定義

水文學 (hydrology) 屬於地球科學學門，是研究地球上水的發生、循環、分佈、物理與化學特性以及和所有生物間的關係。水文學相關的學科包括氣象學 (meteorology)、氣候學 (climatology)、地質學 (geology)、地理學 (geography)、地形學 (geomorphology)、沉滓學 (sedimentology) 與海洋學 (oceanography) 等。

工程水文學 (engineering hydrology) 屬於應用地球科學之學門，是利用水文學原理解決人類在地球上，水資源開發所面臨的工程問題。針對水在時間與空間上之變化特性，工程水文學試圖模擬水文循環過程中，水體總量與時間分佈之關係，以作為水資源工程設計之標準，並進一步瞭解工程設施所面臨的風險。

1.2 水文循環

水文循環 (hydrologic cycle) 是指地球上的水在大氣、土壤與海洋之間連續的循環過程。簡單的水文循環可由水份自海面吸收太陽能量，產生蒸發而後進入大氣之中；當此水蒸氣因凝結作用 (condensation) 而產生降水 (precipitation)，以雨、雪以及霜等不同的形態落於地表，最後受重力影響

經由河溪再度流入海洋之過程。

如圖 1-1 所示，當降雨 (rainfall) 自空中落下時，首先落於樹梢或建築物，此現象稱之為截留 (interception)。直接落於地面的雨滴，部分滲入地底稱之為入滲 (infiltration)；部分則漫流於地表，稱之為漫地流 (overland flow)。此漫地流經河川網路系統進入河川者，稱之為地表逕流 (surface runoff)。上述滲入地表的水流在尚未深達地下水位 (groundwater table) 之前，便行流出地面者，稱之為中間流 (interflow)；而直接深層滲漏 (percolation) 至地下水位以下，在地下水層流移而進入河川者，稱之為地下水 (groundwater)。

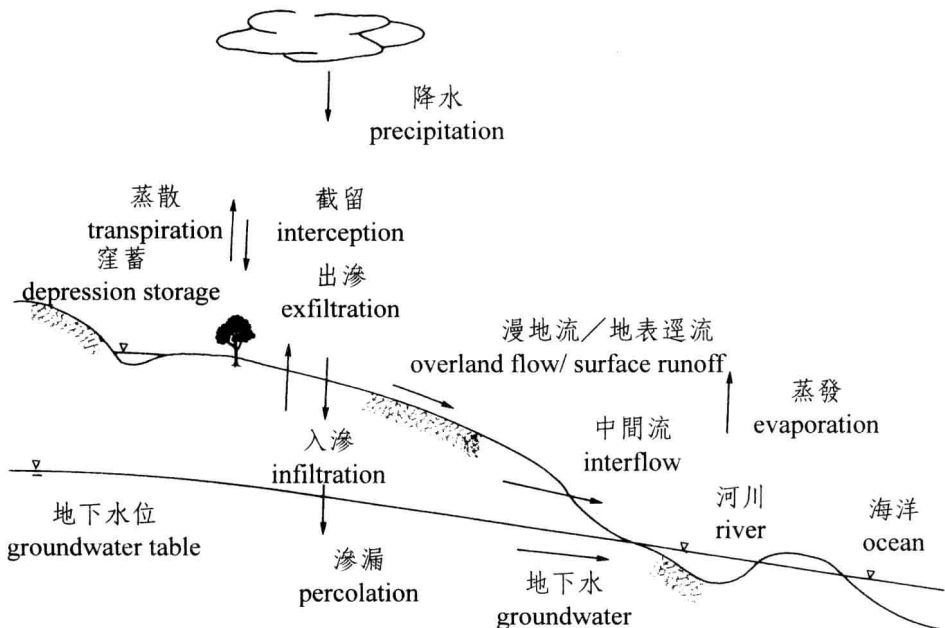


圖 1-1 水文循環

在地表面漫流的水，因地面之凹陷而聚積者，稱之為窪蓄 (depression storage)。當日照旺盛時，土壤或水面（如：窪蓄、河川、湖泊與海洋）之水分，因吸收太陽能量由液態轉為汽態者，稱之為蒸發 (evaporation)。若水分子是由土壤中經植物根系上傳至莖葉而散失至大氣中，則稱之為蒸散 (transpiration)。上述之水流傳輸現象，可表示如圖 1-2 之簡化流程圖。歸納而言，水文循環中之汽體傳輸現象 (vapor-transport) 包括：

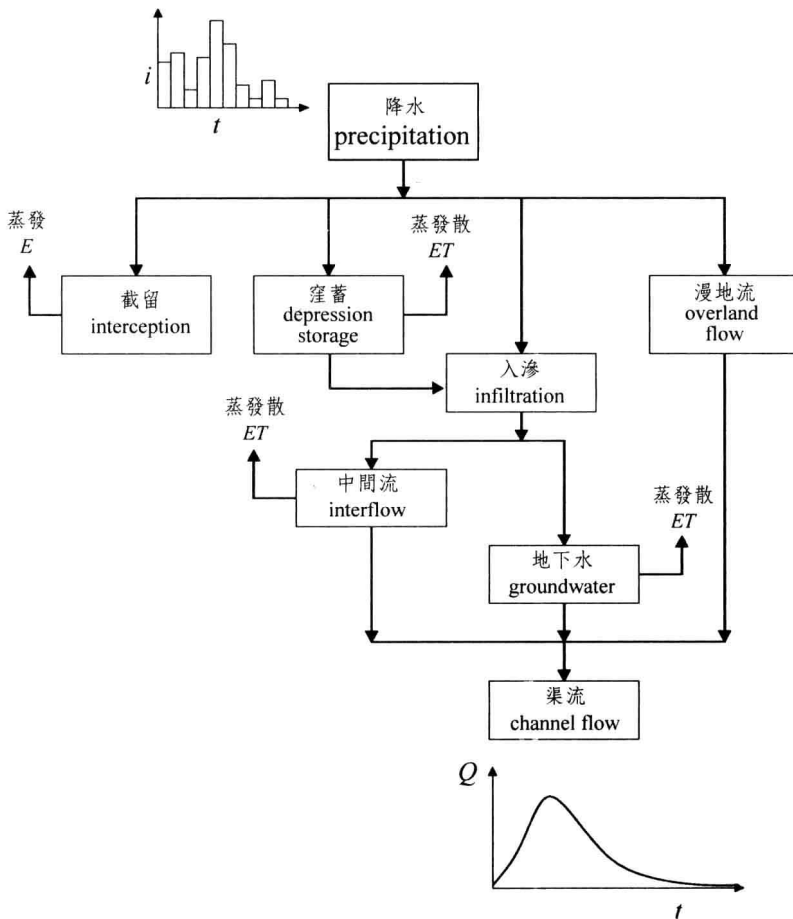


圖 1-2 水文循環示意圖

1. 蒸發 (evaporation)：由地表或水面散失水份至大氣中；

2. 蒸散 (transpiration)：由植物體散失水份至大氣中。

水文循環中之液體傳輸現象 (liquid-transport)包括：

1. 降水 (precipitation)：水份由大氣中以不同形態降至地表；

2. 漫地流 (overland flow)：水份於地表漫流而後進入河川；

3. 入滲 (infiltration)：水份由地表滲入土壤之中；

4. 出滲 (exfiltration)：當表層土壤乾燥，土壤水份由下層傳輸至地表；

5. 中間流 (interflow)：地表入滲之水份在尚未達到地下水位之前，即進入河川；

6. 地下水 (groundwater)：地表入滲之水份經深層滲漏至地下含水層而後流入河川。

在水文學中，是將集水區 (watershed) 或流域 (basin) 視為一個獨立系統，以進行水文分析工作。一般而言，集水區用以描述面積較小的集水範圍，而流域則是指面積較大的集水區。依照質量守恆定律，系統之平衡方程式可表示為

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

式中 I 為系統輸入量； O 為系統輸出量； dS/dt 為單位時間內系統之貯蓄改變量。

若分析一個集水區內之水文循環過程，則集水區地表面以上之水文平衡方程式 (hydrologic budget equation)，可表示如下

$$P - (E + T + INF + Q) = \frac{\Delta S_s}{\Delta t} \quad (1-2)$$

式中 P 為降水量； E 為蒸發量； T 為蒸散量； INF 為入滲量； Q 為地表逕流量； $\Delta S_s / \Delta t$ 為單位時間內集水區地表之蓄水改變量。而集水區內地表面以下之水文平衡方程式可表示如下