

应用水文学原理

董·姜·斯·敦 著
威廉·P·克乐斯

040

水利出版社

511

732/8040

K3

应用水文学原理

董·姜 斯 敦 著
威廉·P·克乐斯

吳 瑞 鉉 譯
李 昌 華

水利出版社

1958年4月

本書是作为大学中水文学教本而寫的，因此書中并未引用高深的数学与水力学的概念。由于本書內容相当丰富而且实用，所以对于从事水文工作的同志也有很大的参考价值。

本書內容主要包括：降水与徑流資料的收集与整理；降水与徑流的基本关系；陸地的作用；用單位綫法分析和綜合流量过程綫；洪水演進；入滲原理与流量过程綫的分析；流量过程綫与流域特征的关系；統計分析在水文中的应用等。

应用水文学原理

原 書 名	ELEMENTS OF APPLIED HYDRO- LOGY
原 著 者	[美國] DON JOHNSTONE, WILLIAM P. CROSS
原 出 版 处	THE RONALD PRESS COMPANY, NEW YORK
原出版年份	1949
譯 者	吳瑞鉉 李昌華
审 校 者	張書农 吳承祺 李駕三
出 版 者	水利出版社（北京西郊科学路二里溝） 北京市書刊出版業營業許可証出字第 080 号
印 刷 者	水利出版社印刷厂（北京西城成方街 13 号）
發 行 者	新華書店

254 千字 850×1168 1/32 开 9 3/8 印張

1958 年 4 月第一版 北京第一次印刷 印数 1—1,700

統一書号：15047·136 定价：(10)1.90 元

序

水文学曾被看作是一門“系数科学”，以及对一般人沒有多大用处的冷門。这并不奇怪，因为水文学所研究的关系相当复雜，并且在許多方面还没有研究清楚。同时，水文变数很难加以測量，而需要精巧复雜的技術，因此水文学不得不与多少是难以捉摸的机率概念發生密切的关系，而机率概念的解釋則其特性是憑智巧較多，而仔細分析較少的。

但是，作者相信水文学并不是一門“系数科学”，而是范围相当廣泛的，因而应予列入土木工程师基礎教育的一門科学。同时我们还相信，如能正确地學習，水文学的价值还远不止是它的实际用途。举例說，在其他工程科学中，我們能够学会利用大自然本身作为实验室的艰深的技巧嗎？在其他工程科学中，我們能更快地体会到工程分析的限制性和更牢固地养成对假定与事实不符的情况經常加以注意的習慣嗎？材料試驗机与測量儀器的精度以及結構設計方法的数学正确性必然时时会引導缺乏想像力的学生把工程概念看得过于簡單。在水文学中，我們重新回到了那种令人奮發的境界，因为在那里，頑固的大自然坚持着不服从人們为她的習性建立起來的規律。

水文学可能列入大学課程的概念促使了我們筹划与寫作本書。寫作本書的目的有二：（1）打下本学科的基礎；（2）培养解决一般工程問題时的分析观点。因此，書中有一些問題是繞着弯兒解决的，而有許多著名的老公式都沒有提及，就是提到的，也主要是为

了分析他們的缺點與限制。參加水文學實際工作的學生可以隨工作需要而選用特殊的公式。我們希望的是：他們能養成明智地評價這些公式的習慣。在另一方面，把水文學作為次要課程的學生則將通過水文學這門課程激發他們對自己所從事的任何工作進行一些獨立的思考。

在寫作本書時，對使本書適合大學生的數學水平與水力學水平是感到很棘手的。對於水力學，我們假定學生並不熟悉變量流與變速流的概念，而已經知道了伯努利定理、明渠等速流的一般概念、以及臨界水深與能坡的概念。在數學方面，我們假定學生只學過初步的微積分以及略知最小二乘法平差的概念。在表達數學分析時，我們嘗試了重邏輯而不重詭辯，其目的是在於激發基本分析所需的獨立思考能力。這說明了本書為什麼經常應用函數表示式而不出解析公式。同時也說明了為什麼我們在利用經驗公式時這樣謹慎從事，只有一個公式在應用時未加任何限制——曼寧公式。

擬定出一套有意義而又不需要過多計算工作的習題與問題也是一個困難。很多水文問題包括有算術累積或統計分析，因而很少能免去大量的繁冗計算，並且從這些計算中並不能取得很大的益處。因而，在某些情況下，我們建議教師先整理一下初步資料，使學生可以把時間主要用于習題中計算較少的部分。我們也避免了採用規定的數據，因為我們認為初學者應當利用他早已熟悉的或者可以走去訪問的鄰近河流的水文資料。

我們希望本書至少可以實現它的一部分目的；但作者知道本書缺點尚多，因而歡迎任何改正錯誤，擴大題材或修改表達方式的建議。

在一本有關一門年青與急速發展的科學的著作中，對所有業經提出的觀念與方法，不可能給以充分的信任。因此作者已嘗試地指出了與這門科學的幾個重大發展有關的水文學家的名字，但無疑還有很多重要的遺漏。在發展水文科學這方面所作出的貢獻是美國地質調查局水利資源所的許多重大成就之一；作者之一必須感謝該機

構中同事們的有益的幫助與鼓勵以及多年來在該機構工作所獲得的
水文學知識[●]。

董·姜斯敦

威廉·P·克勒斯

1949年1月

● 以下為感謝名單，今從略——譯者注。

目 錄

第一章 緒論.....	(9)
水文学与有关科学——水文学的实际应用——水循环——本書概要——参考文献	
第二章 降水資料的收集与整理.....	(24)
降水——資料的收集——点降雨資料的整理——点暴雨頻率——等雨量綫圖——面積上平均降水深度的計算——个别暴雨的研究——積雪与積雪測量——参考文献	
第三章 徑流資料的收集与整理.....	(67)
河流水文測驗的基本概念——比降变动的影響——施測流量的特殊方法——徑流資料的圖示——水文机构及水文資料的來源——参考文献	
第四章 降水与徑流的基本关系.....	(113)
一般的定义和討論——年徑流量与年降水量之間的关系——損失水量与溫度的关系——水文簿記方程式——参考文献	
第五章 陸地的作用.....	(129)
降水期間陸地的作用——干旱期間陸地的作用——参考文献	
第六章 用單位綫法分析和綜合流量过程綫.....	(152)
基本問題——單位綫原理——由复式暴雨求單位綫——單位綫的应用——單位綫在理論上与实用上的缺点——参考文献	
第七章 洪水演進.....	(180)
緒論——簡化簿記方程式——經過蓄水庫和滯洪水庫的洪水演進——河道中的洪水演進——特殊問題与特殊方法——参考文献	

第八章 入渗原理与流量过程綫的分析..... (216)

引言——从小面積上的資料推求入渗曲綫——从較大面積上的
資料推求入渗曲綫——入渗原理的应用及其缺点——参考文
献

第九章 流量过程綫与流域特征的关系..... (237)

緒論——白納德法——麥克卡賽法——施耐德法——克拉克
法——結束語——附錄——参考文献

第十章 統計分析在水文中的应用..... (264)

緒論——普通原則——頻率研究——相关分析——顯著性測
驗——参考文献

論題、問題与特殊指定的習題..... (298)

內容索引..... (304)

第一章 緒論

水文学与有关科学

水文学的实际应用

1-1. 建築物設計

1-2. 都市給水及工業給水

1-3. 灌溉

1-4. 水力发电

1-5. 防洪

1-6. 航运

1-7. 水土保持

1-8. 污水处理

水循环

本書概要

参考文献

水文学与有关科学

廣义的水文学應該是“研究水的性質、現象和分布的科学”。但科学家和工程师們所用的水文学这个名詞的意义通常較為狹窄。例如，当一个机械工程师設計蒸汽机时，我們不会想到他是在应用水文学原理；当一个植物学家研究水在植物莖內的运动时，我們也不会認為他是在作水文研究。甚至水躍这样的現象也認為是属于流体力学的范围而不属于水文学的范围。

工程上一般采用的水文学的定义是：“水文学是研究地球陸面

以上及陸面以下的水的存在和运动的一門科学”。这里所說的“陸面”当然也包括湖泊和河流等內陸水面在內。根据以上的定义，我們可以認為水文学在上面与气象学相界，在底下与地質学相界，而在大陸边界則与海洋学相界，但是，它們之間的分界并不是十分明确的。这几門科学并不是互不相关的；而且它們的观点虽則不同，所涉及的对象則很难分清。从天空中的云到陸地、海洋、以至又重新成为天空中的云的水运动的整个循环，对于气象学家、水文学家、地質学家和海洋学家都同样重要；但是他們研究这个問題的立場則是各不相同的。气象学家主要注意的是循环中的降水階段；他分析气团的运动和作出气温、風速和風向以及降水的短期預报。水文学家測量河流和地下水的流量，分析河流的水情，然后根据他自己測得的記錄和气象学家的預报，作出关于洪水、枯水与常水的短期或長期流量預报；他測量滲入土中和地下水庫中的水量，并注意蒸發和散發損失；他还研究開發水利資源的方法，以及預測改善江河情况和地下水庫情况的效果。地質学家的兴趣在于地球本身的構造，水对于他不过是引起地球表面以及內部構造变化的一些物理作用及化学作用的作用物而已，这些作用包括冰川作用，侵蝕作用，泥沙的輸送及沉積，冰冻与融解以及化学作用等。水文学家可以从地質学家那里獲得有关地下蓄水庫的位置、大小以及补給來源的知識。海洋学家的注意力大部分放在潮汐运动、波浪作用、洋流以及类似的現象上。

很明顯，这些科学的研究对象有很大一部分是共同的；并且，只要我們選擇一下，与水文学有关的科学項目还可更加擴大。例如，气象、水文与地質的資料是气候学的基础，而气候学在加入生物学观点以后又融入植物生态学之中；生态学与農藝的关系就更密切了。如果完成这个循环，那就可以發現水文学家在利用生态学的知識推算地下水埋藏深度、地下水位的季節变化和可能的蒸發率；他們和農学家合作以探求适当的水土保持措施，这些措施系用以防止土壤遭受冲蝕和避免水中夾帶泥沙，以及向需水的地方供水和排

除水多地方的水量。

水文学的实际应用

把水文学在实际上的应用作一簡短的介绍，对于以后更詳細的研究是有帮助的。在这里我們將提到水文学在建筑物設計、給水、灌溉、水力發電、防洪、航运、水土保持以及污水处理等几方面的用途。

1-1. 建筑物設計

如果流水触及一座桥梁的桥面系統，即易發生意外。除非是較短而重的板梁桥，很少有可能把桥梁結構設計得能够支持由这种情况引起的側压力。因此，在設計任何桥梁之前，必需先相当精确地确定桥梁跨越的河流所需的最大过水断面面積。这是一个水文学上的問題。我們不但要知道河流以往的最高水位，还需要估計河流未來可能达到的更高的水位和它的頻率，以便使保护建筑物不受破坏所增加的費用与重新修建的費用达成平衡。此外，往往必須在河流沒有任何記錄的情况下作出預測，当桥座和桥墩可能阻遏水流时或者河流在改道或裁直后通过桥孔时，还必需考慮河槽变动对于水位的影响。

在公路与铁路建設中，涵洞的造价每在总支出中占相当的比重，有时，涵洞会修筑得不致被一次超过設計过水流量（甚至是超过得相当多的）的洪水所破坏，在这种情况下，我們會遇到因公路或铁路被淹，使交通暂时中断而造成种种不便的問題。在这里又需要对交通間或中断所造成的損失和修建大排水建筑物的費用之間的經濟平衡加以分析。水文学可以为这种研究提供統計資料，而水力学原理則是分析建筑物对水流的影响的基础。

和涵洞設計問題类似的是都市下水道設計問題。虽然都市地区的水文学本身自成一項研究，并且比起那些外形相似的地区來要复

雜得多。

任何类型的水庫都应当具备讓洪水从壩頂或壩旁通过的設備。溢洪建築物往往是壩中最費錢的一部分；因此从經濟方面來說，要求溢洪道应尽可能小些。但在另一方面，讓非溢流部分的頂部漫过洪水是很危險的，而对于土壩，漫溢几乎一定会造成事故，引起下游地区生命財產的毀滅。所以，妥善的水文設計是安全与經濟的壩工設計的先决条件。水文学家不僅要估計不同大小洪水的頻率，还应計算水庫調節洪水的效果。后面这一点需要強調一下，因为有时它会被忽視，而結果將造成因建築物設計得太大而引起不必要的浪費。例如，某一条河流的洪水流量可能达20,000秒立方呎，但是由于水庫的蓄水作用，溢洪道的泄洪量只需要4,000秒立方呎即足以保證壩不被漫溢。

讀者应注意水文設計与水工設計的区别。本節中所說的水文設計所涉及的是确定建築物所要应付的水量的多少；水工設計則以此为根据來确定建築物的形狀。一个工程师在作一个水工設計时不考慮水文条件，并不比确定結構構件尺寸时不考慮可能的荷重要好一些。

1-2. 都市給水与工業給水

即使在美国水源最丰富的地区，滿足市区及工業需要的水源的探測与開發也已成为日益引人关心的事情。許多門外漢并不理解，而有的工程师也不知道，可以利用的水源常常是布置重要工業时的决定性因素和城市發展的限制因素。很少有几个城市能像紐約那样从很远的地方去取水——蓄水庫远离市区100哩以外。对于小市鎮來說，開發一个近处的水源以增加供应給一个新的罐頭制造工厂100加侖/分的水量，正和用远距离水庫供水系統來供水給大城市一样重要。

二十世紀30年代初期的大旱災使人們理解到了在全國內能够滿足供水要求的范围还是不大的，因而促成了大量開發輔助的水源。

但是这次大旱灾也帶來了一种虛假的安全感，因为在人們的意念中已經認為可能發生的最坏的情况已經过去了。水文学家則要懂得多些。他首先注意到了在“气象上相似”的一些地区上，有些地区的旱灾要比旁的一些地区輕些，換句話說，具有同样干旱程度和出現机率的一次旱灾，在“下一次”可能在許多地区造成比上次更嚴重的灾情。其次，他有着大量地質資料和植物学資料，这些資料說明在那些干旱年份中还远沒有达到最坏的情形。最后，水文学家还知道，近年來在許多地区日益增加的抽水量可能已經把地下水位降低到了这样一种程度，即一次不如二十世紀30年代之初那样嚴重的旱灾也可能使河川流量及地下水儲量出現新的最低值[●]。把这种知識应用于特定的情况和求出可靠的水量方面的解答是水文学中最複雜和最重要的問題之一。

1-3. 灌溉

灌溉的水文問題与給水的水文問題相似，但灌溉的規模較大，因为灌溉五十个中型農庄与供給十萬人口的城市所需的水量相等。不久以前，灌溉方面的水文学还是比較簡單的；在很多情况下，分析只是限于下列几个簡單的步驟，例如：“有一个容積 100,000 畝-呎的蓄水庫之比。河流在洪水最小的年份中，在第一次融雪以后的一个星期中能產生 200,000 畝-呎的水量；夏季的蒸發量是 10,000 畝-呎，而剩下來的 90,000 畝-呎可灌溉 45,000 畝農田。”現在，仍然还有一些地方可以应用这样簡單的分析方法。但是碰到的限制条件日益增多，而問題的複雜性也相应增加了。在某些河流上，用水量大大地超出了总流量，而下游的工程不得不依賴來自上游工程的“回归水量”。在另一些地方，灌溉工程依靠地下水庫供給水量，这些地下水庫是以在透水地区上灌水的办法來人为地补充水量的。为了記錄下供水情况和确定安全的抽水量，需要有一套精

● 由于几乎所有的河流都自地下水蓄水庫取得枯水流量，所以即使是地面补給的研究本質上也往往可能是地下水水文学中的一个問題。

細的水文記載制度。水文學家越來越經常被請去研究新的工程，這些工程位于水源已經很少的地區；有時也被請去為处于困境中的工程尋找新的水源或發掘更經濟的用水方法。

在西經 105 度以西的地方，我國（美國）的經濟基礎主要是灌溉農業。將來，整個這一地區的持久的安全與發展將日益依賴于水文學家的眼光和本領。在濕潤地區，也有越來越多的農民認識到設置灌溉設施來灌溉特種作物是有利的。

1-4. 水力發電

對於規劃任何水力發電工程來說，水文研究都是不可缺少的；而對於已建成的水電站來說，亦須依靠經常的水文記載和預報制度來定出日常作業表。

要確定一座只進行日調節的川流式水電站是否合適，必需可靠地預計該河流可能出現的絕對最小日流量，以及其他各種不同的低水流量出現的頻率。絕對最小流量決定着單獨的水電站的基本出力；低水流量資料則可用來估計為了維持較高的可靠出力而必須由其他電源供應的電量。

對於蓄水式水電站來說，低的季流量比起低的日流量來是更重要的研究項目。在決定水電站的基本出電力、最經濟壩高和水輪機組的容量時，還必須研究水庫的泄降情形。水電站落成後，接着來的是如何經濟地加以利用的問題。水庫是否必須有節制地泄放，以便有充足的蓄存水量來應付一個漫長的干旱時期，還是可以大量地放水而同時停閉系統中的火力發電站？顯然，問題的答案要靠對河流情況的水文預報來獲得，預報期有時可能長達好幾個月。有很多大電力廠廠主按照以下的路線進行工作：進行大規模的積雪測量和經常記載地下水位以及土壤含水量以取得基本資料。

1-5. 防洪

筑堤防洪雖由來已久，但在本世紀初以前，其他防止水災的方

法一直沒有受到很大的重視。這些方法包括攔蓄洪水的水庫，使洪水暢流的治河工程，以及把洪水引導他去的分洪工程等。防洪工程可小至某一城市舉办的局部的疏浚或河槽裁直工程，而大則為全流域性的工程，花費的工款以千萬甚至以億美元計，密雅密與莫思京貢河的水庫羣和密西西比河下游的筑堤～裁彎～分洪綜合工程就是如此。

設計任何防洪工程都必須以可靠的水文研究為基礎。在水文研究中，首先應從統計上分析各種大小洪水的可能的頻率，以便合理地預測未來可能發生的洪災。其次，必須綜合出“設計洪水”，以及做出一些能防禦這種洪水的初步方案。然後，再選出幾個較好的方案，用理論分析或模型試驗或者是把兩種方法綜合起來加以詳細的研究。由於任何形式的防洪工程都會改變河道的天然情況，因此保護了一個地方往往會使另一個地方的洪水災害更為加劇，這個事實使得防洪研究更為複雜。最後，必須把最好的一兩個方案加以更詳盡的研究，仔細地研究它們在遇到設計洪水以外的洪水時可能發生什麼情況。因為有的工程可以完全控制小於設計洪水的一切洪水，而其他一些工程卻要在遇到“主要”洪水時方才發揮作用。同樣地，某些工程可以抵抗大於設計洪水的洪水，甚至在這種情況也還能起一定的防禦作用，而有的工程却在遇到超過設計洪水的時候時，會發生嚴重的損毀，完全不起任何作用，甚至還可能造成增加的災害。

洪水演算的基本理論與技術的不斷發展對於卓越而又經濟的防洪工程規劃是很重要的。昔日在局部性的工程中應用的研究方法已不適用於規模宏大的流域性治理工程了，而從工程和政治方面來考慮是日益轉向於舉辦流域性治理工程的。

與防洪關係最密切的是洪水預報。生活在河谷中的千百万人和我們收聽天氣預報一樣鄭重其事地收聽着氣象局每天的洪水水情預報。在大水時，這種預報被用來有計劃地撤退受到威脅的地區的居民和財產，組織鐵路和公路的搶險隊，以及在都市自來水廠和其他

公用事業中采取緊急措施。這些具有非常高的精確度的預報，是水文學家與氣象學家合作的結果。

1-6. 航运

在俄亥俄河上和密西西比河上游，以及在許多小河流上，都因河道渠化而有了通航的可能。所謂渠化就是用一連串的閘壩造成許多水池。渠化工程中的水文問題的中心是研究建築物將對洪水水位產生怎樣的影響，船隻過閘需用多少水量以及什麼地方可以獲得和保存這個水量（指小河而言）。

在坡降平緩的河流上，航运工程包括疏浚、整治河綫和固定河床。如果河流沒有沖淤，那末水文研究就比較簡單，它主要是進行水力計算以確定整治工程在不同流量下對水面縱剖面的影響。挾沙河流的水文問題則要複雜得多。譬如說，在某一河段上，一次疏浚可能使河床永遠固定；而在另一河段上，疏浚好的河流會很快地淤塞，使得疏浚幾乎白白的浪費。又如，適合於某一地點的某種護岸工程，在用於外形幾乎相同的另一地點時却可能不斷地被河流沖壞。據說沖積河流都有頑強的“個性”，對於粗暴地束縛它們的措施是非常憎惡的。現代的工程實踐已經考慮到了這一點，在制伏河流方面已經比較有成效了，而且河流的“性格”也已更加被人所了解了。處理的辦法是尽可能探明河流要求怎樣活動，然後幫助它完成這種活動。當不可能自由活動時，河流對建議比對命令要更容易接受些。所以某幾種順壩和丁壩之叫做“治導工程”是很恰當的。

河岸沖蝕及泥沙的輸送與沉積在過去幾十年一直是主要的研究題目，但至今許多問題仍還需要繼續研究。活動河床模型試驗，以流體力學和懸移質動力學為基礎的理論分析，以及天然河流的懸移質和推移質的統計分析都是分析這些現象的有效的方法。

1-7. 水土保持

1930年初發生的大沙暴使人們注意到了土壤並不是一種用之