

洪水的估算与控制

B. D. 黎查茲著

水利电力出版社

洪水的估算与控制

B. D. 黎查茲著

顧慰祖 潘怡源譯

水利电力出版社

內 容 提 要

本書从理論上研究了洪水估算中的徑流量及徑流過程問題。基于成因分析導出了計算洪水諸要素的公式以及流量過程綫的推求方法。本法首先是从簡化了的理想的标准情况出發，即降雨特性及流域特性等各項因素在時間上及空間上均屬穩定不變，再研究天然流域上各種不均勻情况對徑流情况的影响，并作了定性及定量的分析。所考慮的各種變異因素計有：暴雨历时及面积，暴雨的空間分布及時間分布，暴雨的移動徑流系数的空間分布及時間分布，集水区内坡度的变化等等。此外还介紹了洪水控制的一些基本知識，最后并列出了詳細的算例。

B. D. RICHARDS

FLOOD ESTIMATION AND CONTROL

CHAPMAN & HALL LTD. London 1955

洪水的估算与控制

根据 1955 年倫敦增訂本第 3 版翻譯

顧恩祺 潘怡源譯

11058279

水利电力出版社出版(北京西郊科聯路三號)

北京市書刊出版登記證出字第 105 号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店發行

850×1168 毫米开本 * 6% 印張 * 177 千字 * 定价(第 10 类)1.20 元

1958 年 8 月北京第 1 版

1958 年 8 月北京第 1 次印刷(0001—2,600 册)

序

特大洪水一經发生，就会造成严重的灾害，所以土木工程师們在针对这些洪水进行工程設計时，就必须要对任一特殊情况下可能产生的洪水的最大强度作足够的估計。过去所发生过的历次洪水的实测資料，对此固然有所帮助，但是不幸得很，这方面的資料在英国大不列顛羣島很少有，而且，对于采取必要的步骤去取得这类有价值的資料方面，英国也較其他国家落后。

水庫攔河壩的冲毀会引起下游洪水的猛漲，造成生命财产的損失，这使得大家都集中地注意到如何来避免这种灾害的发生，并因此而通过了1930年的水庫法令（即水庫安全条例）。在这一法令中規定在某一庫容以上的一切現有水庫，都必须由有經驗的土木工程师們来进行檢查。如果水庫的情况不够安全，他們就有权指令这一水庫进行某些补充工作。当一个工程师已經有資格参加水庫安全問題的工作时，就发給他一定的証明。英国的大多数水庫都是由土壩筑成，靠它来攔蓄河流的水量，所以如果没有适宜的設備去排除超过庫容的洪水量，便会使土壩发生漫頂过水的現象。这时，由于引起了壩身土壤的严重冲刷，就可能使土壩崩坍，同时使下游河段內发生巨大的洪水而造成水灾。对于任一已知情况下可能发生的洪水极大强度值，土木工程师們的观点并不完全一致；所以土木工程师学会决定設立一个專門委员会来研究“关于水庫运用中的洪水問題”，这个委员会的一个初步报告已在1933年7月出版，本書作者也参与了这个报告的研究。

洪水委员会还收集了一些洪水的資料，但其数量是十分不足的。根据这些資料并曾提出了两个綫解图，这些图表明了在不同范围的集水区内可能产生的正常的极大洪水的情况。但这些图只能用在英国的“山嶺”地区，目前大部分庫容較大的水庫，都在这种地区之內。同时这些图只能代表正常情况或平均情况，因此在提出这个报

告时，洪水委员会曾指出：“根据较精细的原则及假定来作严格的处理时，它并不能适合，所以对于每一种特殊情况，都必须根据其特点作必要的鉴定”。

在“洪水的估算与控制”一书中，作者从理论观点上对洪水问题作了研究。作者对这一问题的第一个贡献，曾于1937年3月在土木工程师学会会刊上发表。这篇论文引起了人们很大的兴趣，并经土木工程师学会评定发给克朗白登奖。

该书作者的一些计算是基于某些假定的情况的，其研究成果有很大的价值，特别是专门讨论当这些假定情况发生各种变异时修正洪水流量估算值的那些章节。他对英国一些洪水极大流量值的估算结果，与洪水委员会所可能取得的实测资料是如此接近，所以如果适当地选取各种情况下的相应的变异修正成果以后，他的公式一般的可以应用到任何国家去^①。

洪水问题对于土木工程师是很重要的，因为它与许多工程的设计，如水库、排洪河道、公路、铁路等等都有关系，本书作者的这一著作对此定有很大帮助。当这次战争结束以后，建设工作必会加快进行，所以目前这本书的出版是很适时的。

W.J.E. 伯恩尼

1944年于韋斯敏斯特

① 本書的方法及公式對於我國是否適用的問題，須要作專門的研究以後才能肯定，目前還不宜直接採用——譯者注。

目 錄

第一章 緒論	7
第二章 影响洪水强度、洪水历时及洪水徑流量的 各种因素	13
第三章 洪水公式	16
(一)各种公式 1.狄更斯公式 2.狄更斯公式的修正 3.雷維斯公式 4.英格利斯公式 5.芬宁公式 6.土木工程师学会洪水委员会的 洪水公式 7.查米尔公式 8.克莱格公式 9.尔欣德公式 10. 萊利公式 11.皮提斯公式 12.伊茲科夫斯基公式	
(二)洪水頻率、或然率及單位过程綫的一些方法 富尔洪水頻率公式 或然率方法: 1.理論或然率方法 2.經驗曲綫 單位过程綫方 法分析法 集水区情况的变化	
第四章 降雨	31
降雨强度为時間的函数	32
降雨强度为面积的函数	33
英国大不列颠羣島 美国东部地区 澳大利亞西部地区 印度中部 地区 非洲南罗得西亞地区 小結	
降雨强度为時間与面积的函数	45
降雨系数 R 值	46
降雨强度	48
第五章 洪水集流時間、洪水强度及洪水徑流量	50
公式推导	50
各种因素的相对重要性	54
集水区的前期湿润情况	60
第六章 洪水估算公式中的各种系数	60
系数 a (集水区面积)	61
系数 L (集水区長度)	61
系数 R (降雨系数)	61

系数 C (一般的系数)	61
系数 s (集水区坡度)	65
系数 K (径流系数)	65
第七章 洪水的上漲及下落: 洪水流量过程綫	70
流量过程綫的推导	70
对于大面积水庫計算方法的修正	73
洪水流量过程綫的形狀随集水区面积的变化	74
理論洪水流量过程綫的修正	74
集水区的前期水流 1. 地下徑流的綫流 2. 前期洪水 3. 連續暴雨	77
第八章 降雨分布及降雨强度的各种变化对洪水流量	
过程綫的影响	81
1. $T > t$ (暴雨历时大于集流時間)	82
2. $T < t$ (暴雨历时小于集流時間)	83
3. 暴雨面积小于集水区面积	88
4. 集水区面上降雨强度的变化	92
5. 暴雨期間降雨强度的变化	93
6. 移动暴雨	101
第九章 集水区的坡度和徑流系数的变化对于洪水流量	
过程綫的影响	113
7. 集水区內坡度的变化	113
8. 集水区面上徑流系数 K 值的变化	117
9. 暴雨期間徑流系数 K 值的时程变化	120
第十章 洪水估算問題的总结	121
(一) 洪水估算方法的总结	121
降雨的平均强度	121
洪水估算方法的基础	121
各种标准情况的变异及其对估算洪水的影响	122
洪水估算理論对于大面积集水区的应用	126
(二) 估算洪水与一些实测洪水的比較	127
土木工程师学会洪水委员会的材料	128
汶霧湖集水区的洪水資料	131

太晤士地区的洪水資料	134
西部苏格蘭山区的洪水	138
1952年8月兪河河口的洪水	140
(三)洪水預報	146
第十一章 洪水控制	149
洪水控制的两种主要方式	149
(一)調节水庫	151
滯洪作用	151
具有开敞式堰泄水設備的水庫	152
入流量 Q 为常数	152
1. 水庫庫面面积为常数	152
2. 水庫庫面面积随水深而增大	155
入流量 Q 为变数	159
1. 水庫庫面面积为常数	159
2. 水庫庫面面积变化时	163
結語	164
具有底孔泄水設備的水庫	165
入流量 Q 为常数	165
1. 水庫庫面面积为常数	165
2. 水庫庫面面积变化时	165
入流量 Q 为变数	166
同时具有底孔及溢流堰的水庫	166
具有虹吸堰的水庫	167
(二)蓄洪水庫	168
具有各种形式的进水口的蓄洪水庫	169
1. 調节閘門	169
2. 开敞式堰	169
3. 有自动下降閘門的堰	170
4. 自动閘門	170
5. 虹吸堰	170
調节水庫及蓄洪水庫的位置	171

調節水庫的位置	171
蓄洪水庫的位置	171
梯級調節水庫及梯級蓄洪水庫	172
梯級調節水庫	172
梯級蓄洪水庫	172
第十二章 土壤侵蝕與洪水的關係	172
第十三章 洪水計算的實例	180
附 錄	204
I. 各種 t 值的相應 $\frac{t^3}{t+1}$ 值表	204
II. 在第 4 至第 10 各章內所用的符號總表	208
III. 本書公式採用公制單位時的各種單位換算係數	211

第一章 緒 論

“洪水”這一名詞，在涵義上有些不够清楚，因為可以用這一名詞來表達這樣兩種不同的意義：一是當有很大的雨量降落時，在河道內所產生的流量；二是由於這種大雨，在地勢低窪地區所可能引起的積水量。對於第一種涵義的“洪水”，可以更好地採用“洪水強度”來表示在任何時間時通過河道內的水量的瞬時流率；“洪水徑流量”表示到達此時間時所流過的總水量；“洪水的極大強度”表示洪水的洪峯流率；“洪水總徑流量”表示在洪水期間內由集水區所流出的全部水量。同樣，對於第二種涵義的“洪水”，以採用“氾濫積水”這樣的名詞較好，因為實際上這僅是當河槽某一部分的排水能力不足以排除由暴雨所產生的大量水量時，河水溢出兩岸，並使附近的低窪地區積水，所造成的局部影響的一種特殊情況。這種氾濫積水的現象，可能是一種有規則的和週期性的現象，也可能是由於降落了特大暴雨，或由於河道內冰壩或坍岸等引起的暫時性的堵塞而造成的一種特殊的狀況。

洪水問題與很多工程科學部門有關係，此外，它還特別與水的控制問題密切有關。

水庫蓄水是為了供應居民用水、水力發電或灌溉等等，但同時也必須為排除超出水庫庫容的水量建立適當的泄洪設備。如果水庫是由河道水量直接補給，則河道中可能會出現的一些洪水的情況，就是一個重要的問題。上述的泄洪設備，可以採用開敞式堰、虹吸堰、控制閘門、自動閘門等形式，或採用其中兩種或兩種以上聯合應用的形式。但不論那一種情況，在設計那些必要的工程時，都必須需要有一推算的洪水過程綫，以說明洪水上漲及下落的情況以及洪水的極大強度值等。

在一些低水頭的水力發電工程中，各種洪水情況對於水頭及尾水位有很大的影響，故洪水情況往往是水電站設計中最關緊要的問題。

題。在這些情況下，就必須求得河道中各處的洪水水位情況。

至于橫越河道的橋梁，其孔徑的大小也受該河洪水極大強度值的影響。

在鐵路工程及公路工程中，需要有適當的排除洪水量的路溝，而在路溝的設計問題中，也要牽涉到洪水的極大強度值。

由以上這些少數的例子，不僅說明了土木工程中的很多部門都要牽涉到洪水問題；而且也說明了正確地推測和估算各種洪水情況的必要性，因為對於工程設備，既要求安全，同時還要求經濟。

所以洪水問題決不只是水利工程師們所需要的專門知識，對於其他部門的工程師們，如鐵道工程師，能夠研究一下洪水問題的話，顯然也是有些好處的。

洪水的估算是個特別複雜和困難的問題。影響洪水情況的一些自然規律是可以認識的，一般也是可以加以論證的，困難是在於如何應用這些自然規律。

由於這些規律一般是可以予以應用的，所以，一些實測的洪水資料就自然能作為理論推算之用。工程師通常所關心的是：推算出某已知集水區內所可能發生的最惡劣的各種洪水情況，或者求定其洪水頻率，以便定出什麼樣情況的洪水可以認為是可能發生的常態洪水。在已知的集水區內工程師能夠獲得某些洪水的詳細資料，但是他必須要根據這些資料來推求其與可能發生的最大洪水之間的關係，或者求定常態洪水的大小和其頻率。即使洪水能年年發生或者較此更頻繁地發生，但它們的強度將是變化的，而且可能在一百年之中才遇到一次特大的非常洪水。只有求定了可能發生的最大洪水並根據這樣洪水去做工程，才能是完全安全的。但是，這樣做在經濟上卻是不可能的。因此，人們就不得不在抵制災害方面，滿足於較低的保證範圍。根據這樣的情況，就需要計算一下洪水的頻率了。

最理想的資料是有某集水區在長時期內所有主要洪水的各種詳細記錄，但這種資料卻很少見。當然，收集這些資料的重要性是十分顯明的，然而實際上卻不可能那麼如願地普遍地去進行這種工作。

除非遇到某些特殊情况，某次洪水的大小常取决于降雨的强度与分布，以及集水区的各种流域特性。在大多数国家内，降雨资料总比河流的流量资料要多一些，而且范围也广一些，所以这些长时期的降雨资料，就能为推求洪水的频率以及由实测洪水资料外推出最大可能的洪水准备条件。

为推算最恶劣的洪水情况所采取的方法，必须根据所采用的资料情况而定。一般说来，洪水的推算约有以下几种方式：

1. 如有许多降雨及洪水的长期全面的实测资料，则根据对这些资料的分析研究，就能够推算出洪水的频率及洪水极大强度。

2. 如在某已知集水区內，没有上述这样的资料，但是在鄰近的集水区內却有这些资料时，就有可能利用比照法来推定本集水区內的洪水情况。

3. 如果只有某几次洪水的实测资料可用，而这些洪水资料与降雨资料有相关关系存在，就可以点繪出洪水强度与降雨量之间的关系曲线。由此，即可推定出較大降雨量的相应洪水强度值了。

4. 如果某些洪水的实测资料与其相应的水位有相关关系存在，就能点繪出此河道的水位流量关系曲线。如果知道了此河同断面处最大洪水水位的历史痕迹，也就可以根据水位流量关系曲线的延長以求得最大洪水情况。

5. 根据河道內順直河谷中段的橫断面、該段河床的平均坡度以及历史上的最高洪水水位，即可对洪水的最大强度作出近似的估算。

6. 应用某些經驗公式来推求洪水情况。

在上述各种方法中，第1及第2种方法，如果资料好的話，是最可靠的方法。第3种方法也是能够用的較好的方法，用此法也能求得比較可靠的結果。第4种方法取决于洪水位的調查是否可靠。一般說，高水位痕迹往往会很快地消失，而同时地方上的一些关于洪水水位情况的描述报导，也不一定能完全加以相信。对于断面不稳定的河槽，即有冲刷和淤积現象时，此法是不可靠的。第5种方法易于产生較大的誤差，用此法估算洪水时，比降最好能采用河流

的实际水面比降而不用河床比降。所以，如果能在洪水期间加以测定、或在洪水期过后立即调查其高水位痕迹，就可能使估算成果较为可靠。最后一种应用经验公式计算的方法，是有其实用价值的，但应用时不仅要有降雨强度资料，同时还要具备集水区的各种流域特性资料。所以，经验公式的应用，也包括了这些系数的选用问题，这些系数一般可以按比照法或按经验予以确定。

应该记住这样的事实：洪流本身的精确测验，在目前还是有很大困难的；除此以外，由于河槽的不稳定，也会引起许多麻烦，因为河槽在洪水洪峰时期可能被冲刷，但在洪水退落时期，却又可能被重新淤积起来。在这种情况下，如果横断面是在洪水发生以前或者在洪水过后取的，就不能代表洪水峰时的真实断面，应用这种不正确的断面来计算，就会把洪水的极大强度值估算得很不准确。即使在河床相当稳定的河道中，其横断面也可能发生缓慢的变化，因此，由某些资料所求出的水位流量关系曲线，还需要作定期的校核。所以，在河床不稳定的河道内，洪水测验方法本身就存在着一些特别困难的问题；如果河床在不断地变化，则洪水强度和水深之间的关系，将是一个不定的关系。因此在这种类型的河道内，已知的洪水最高水位对于洪水极大强度值的推算，其用处就比较小了，因为在最高水位记录下来以后，实际上河道横断面已经发生了变化。

在本书范围内，不拟讨论各种常用的河道的测流方法以及水位流量关系的确定等问题。这些问题在许多著作中已有详尽的讨论和介绍，例如派珂著的“水的控制”一书中就有。本书的目的主要还是去分析各式各样影响洪水过程的因素，并研究这种种因素的相对重要性。

洪水往往是由于降落了特大的雨量以后才造成的。在一些气候寒冷的国家中，洪水也可能是由于冬季在集水区面上的积雪到春天溶化后所造成的；有时，由于同时有较暖的降雨而使雪的溶化加剧。另外在冰岛还发生了与上述不同的特殊情形，该地有些灾害性

洪水，是由于火山爆发时大冰河内冰的溶化而形成的。

明显地影响洪水大小的两个因素是：集水区面积的大小及降雨的强度。除此以外，还有许多其他较重要或较次要的因素在起着作用。是否能够推导出一个数学的公式，使之包括上述的一切因素呢？首先，这样做在实际应用中实在是太复杂了，其次，这许多详尽的资料收集也是不可能的，而且一些不正确的和不可靠的数据，势必会降低精细的数学分析的价值。另一方面，也可以极端地加以简化，即忽略去一些因素；或者只用一个特定的系数来代表许多因素，这个系数在所用的公式中对于某一特殊的集水区来说可能不一定是正确的。如欲推导出一个既实用而又较准确的经验公式，就必须要在两种极端之间采取折衷的办法。这种折衷方法必须建立在一些正确的基本假定的基础上，同时还要包括每一个影响洪水情况的主要因素，这些因素必须由测量资料、水文测验资料来求定；或者有时须要的话，可以用比照法求定，当然，在这种情况下，工程师的经验及判断，也起着一些作用。

当获得了在形式上较合理的洪水公式以后，困难就在于用它与一些实测洪水资料去作验证。对某已知集水区所可能产生的极大洪水，可以采用估算的方法估出，并使之与实测的极大洪水作比较，但是事先应该查明：在实际洪水产生时的各种情况，与估算时假定的相应情况是否相同，其中特别是降雨强度及降雨的时程和地区的分布情况。如果公式是用于确定某集水区所可能发生的最大洪水，则用公式求出的估算结果，必须要等于或大于已有的最大洪水的实测记录，此公式才能合格。但由于较大的洪水，其测验本身也易于发生相当大的误差，所以在验证公式时，就增加了困难。

在本书第2章中，就影响洪水情况的各种主要因素，作了一般的叙述和讨论。在以后的各章中，则逐次叙述本书的各种公式。现行的一些较好的公式，则在第3章中叙述；并对这些公式所直接应用的一些因素或间接应用到的经验系数作了讨论。此外，在美国应用很广的洪水频率、或然率及单位过程线方法等也在第3章中的

第二部分內作了簡短的敘述。

作者在1937年提出了一個公式（見土木工程師學會會刊1937年3月号），之後，又在1939年作了補充（見土木工程師學會會刊1939年4月号）。所提出方法的優點是：它以合理的理論為依據，並引進了一些係數以考慮影響洪水情況的許多主要因素；此外，它不僅能用於推定洪水的極大強度值，並且還能繪出完整的洪水流量過程綫，這在洪水調節的問題中，是頗為重要的。這一公式竭力在上述非常複雜及過份簡單的兩個極端中，取得較好的折衷。對於公式的推導均作了詳細的敘述，由此即能看出各種因素之間的相互關係及其相對重要性。由於公式本身是基於某些假定的均一情況的，當然可能會有各種與此均一情況不同的變異情況，這些可能的變異情況所能產生的影響，也用了許多實際數字來加以討論和說明。在第10章中總結了上述各種研究的結果，並對一些應用上的問題作了討論；在第10章中的第2部分則列舉了一些實際算例，把估算的洪水與实测的洪水記錄相比較；在第3部分內，還敘述了洪水的預報問題。

希望在今後的日子裡，在許多地區內能把水文實測資料累積得如此豐富，使工程師們能夠獲得比較重要的河道的真實可靠的資料，而能根據這些資料去進行各種工程的設計。這樣，就能直接求定各種洪水情況而不再須要去與一些公式糾纏了！但在这种美好的幻想普遍實現以前，人們還必須要根據有限的資料、根據一些理論上的研究去估算洪水。當沒有洪水資料可以應用時，就必須要應用各種洪水公式；當有一些資料但資料不足時，則可採用這些公式進行補充。

前面已經指出，對於某些洪水問題涉及到的只是適當的排水河道的設施，可以只須要研究洪水的極大強度值；而其他一些與洪水控制有關的問題中，就須要推算出洪水流量過程綫。關於洪水控制問題，在第11章中討論。

土壤侵蝕情況與洪水的關係，也是一個重要的問題。當土壤侵

蝕的范围很广时，洪水量及洪水峯都有可能会增大。由于土壤侵蝕必然会跟着发生河道内的淤积，所以情况就更加坏些。土壤侵蝕問題是很特殊和很复杂的問題，在第 12 章內仅从土壤侵蝕在控制洪水方面的重要性的角度出发，作了簡短的叙述。在英国，或一般地在北欧地区，土壤侵蝕現象很輕微，但是在別的地方，这种現象是相当广泛而且有的已发展成为严重的問題了。

在第 13 章內，列举了具体的算例，用以說明洪水估算及洪水調节的各種計算方法。

在附录 I 內，列出了对于各种 t 值的 $\frac{t^3}{t+1}$ 数值表，此值是本書中一个主要公式內所要用到的。

在附录 II 內，为了方便起见，把从第 4 至第 10 各章內所用到的一些符号归納了一下。

第二章 影响洪水强度、洪水歷時 及洪水徑流量的各种因素

洪水主要是由降落在集水区上的暴雨所造成的；另外一种比較特殊的情况是：降水量先以雪的形式在集水区內儲积起来，而后，由于这些积雪的溶化而引起了洪水，或者使洪水增大和增强。

降雨强度在全集水区而上的分布是不一致的，在集水区的某些部分上，可能一点降雨也沒有。同时，降雨强度在一次暴雨期間也可能有时程的变化。如果在全集水区上降雨是連續的、均匀的面且是平均的分布，則在集流点处（或者在集水区出口断面处）就往往能得到不断增大的水量。由于水量不断地由集水区較远的一些面积上流出，当集水区最远部分的水量流至出口断面处时，洪水强度就到达了最大值；这时，全集水区的面积都将参与了洪水的形成。当然，暴雨也可能在此最大值出現以前停止降落。

所以，如果降雨在集水区面上的分布是均匀一致的，而且有足夠的暴雨历时^①，則洪水强度及洪水徑流量都將随着集水区面积和降雨强度的增大而增大。但如暴雨历时較短，不足以使全集水区在同时間內都参与洪水形成时，則洪水水量虽將随集水区面积之增大而增大，而洪水强度就不一定如此了。所以時間因素就成为一个很重要的因素，特別是在暴雨历时与集流時間的关系上。所謂集流時間，是指水流由集水区的最上游端点流达集流点即出口断面处所需要的时间。

已經相当可靠地証实了，降雨的面积越大，其面平均强度与其最大强度的比值就越小。此外也已經可靠地証实了，当暴雨的历时越長，則降雨的平均强度也就越小。所以降雨的平均强度应是面积及暴雨历时的某种逆函数。

降落于集水区面上的实际降雨量，其中有一部分因土壤吸收及某些其他原因而損失，只有其中的某一部分水量能够流达集流点即出口断面处。这一部分水量与总雨量的比值，称为徑流因素或徑流系数。其数值取决于一系列的自然情况，例如土壤的情况和植物复盖的情况等等。

集水区的坡度越陡，水流流走的时间也越短，所以集流時間也就越短。

对于形狀較長而寬度較狹的集水区，其最上游端点至出口断面处的距离較之同面积的形狀較短而寬度較大的集水区要長得多，所以它的集流時間也要長一些。

最后，如果当暴雨开始降落时，集水区面上已經为前期降雨所湿润，則表面水流流至出口断面处的時間就更短一些。

可見，影响洪水量及洪水强度的因素是很多的，現在可以把它們区分为雨两大类：一是降雨特性，二是集水区的流域特性。

① 足夠的暴雨历时，系指暴雨历时等于或大于集流時間，暴雨历时較短，指暴雨历时小于集流時間——譯者注。