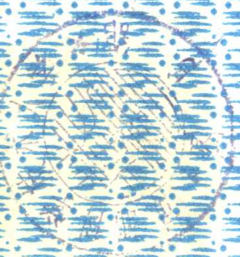
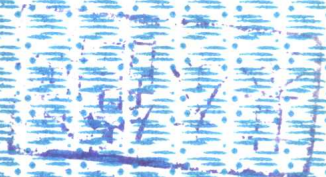


930355

优化技术在防洪中的应用

许自达 编著



河海大学出版社

920355

TV87

3823

赠 阅
请 交 换

TV87

优化技术在防洪中的应用 3823

许自达 编著

叶秉如 审校

河海大学出版社

责任编辑：卢黎明

特约编辑：周忠芳

责任校对：张世立

优化技术在防洪中的应用

许自达 编著

叶秉如 审校

*

河海大学出版社出版

(210024南京市西康路1号)

江苏省新华书店发行

大丰县第二印刷厂印刷

*

开本850×1168毫米 1/32 印张7.875 插页1 字数200千字

1990年10月第一版 1990年10月第1次印刷

印数1—1000册

*

ISBN 7-5630-0338-8/TV·41

定价：2.10 元

内 容 提 要

本书主要介绍优化技术用于防洪生产实践。全书共分四章，除第一章叙述一些防洪基本知识和有关优化技术外，其它三章都是介绍优化技术在防洪工程措施与非工程措施中的应用，并结合我国实情举了24个实例。

编写本书的目的是献给省、地、县各级广大防洪工程技术人员，也可供其它水利水电技术人员和大专院校师生参考。

序 言

本书是根据著者多年的生产实践，结合我国实际情况，参照国外有关资料，模仿《水利土木工程系统分析方法》一书格式编写的。为了使广大水利工作者便于参考，故内容着重于分析方法和算例。因动态规划法适用性较强，並容易被水利水电技术人员所掌握，所以分析方法以动态规划为主，同时也举了一些其它优化方法的算例，有些算例还是我国实际工程的例子，並將计算机计算的较大算例，扼要地改为手算的形式表示。书中部分内容已在有关刊物上发表过，期望得到广大读者的指正。

单位领导为编写此书创造了条件。本书初稿出来后，全国政协委员、水利防洪规划专家陆钦侃教授级高级工程师和河海大学著名教授叶秉如老师先后向出版社作了推荐；在出版过程中，又得到河海大学校长梁瑞驹教授的支持和叶秉如教授的精心审校，以及出版社同志的大力帮助。在此，对以上支持本书编著和出版的领导专家、教授以及有关同志表示感谢。

由于对防洪非工程措施接触和调查还不多，拟具备一定条件时再行补充，也希望广大防洪工作者共同研究，以期花费较小的代价，取得较大的防洪效果，将我国的防洪技术向前推进一步。

本书誊写、画图由裘允化同志协助完成。

编 著 者

1990年2月26日

目 录

第一章 防洪规划与运用的基本知识	(1)
第一节 防洪措施及其特点	(2)
一 工程措施.....	(3)
二 非工程措施.....	(4)
第二节 防洪的一般计算方法	(5)
一 洪水演进.....	(5)
二 洪水调节.....	(13)
第三节 防洪经济分析	(18)
一 防洪经济分析的特点	(18)
二 防洪经济分析的任务	(20)
三 防洪效益计算	(20)
四 防洪措施费用计算	(22)
五 防洪经济计算	(24)
第四节 防洪应用中的一些优化方法	(26)
一 动态规划.....	(27)
二 线性和非线性规划	(34)
三 判别式	(41)
四 其它方法.....	(45)
第二章 防洪工程措施规划	(49)
第一节 大坝防洪	(49)
一 基本设想.....	(50)
二 计算示例.....	(52)

第二节 库区上游防洪	(58)
一 基本设想	(59)
二 实例计算	(60)
第三节 下游防洪	(68)
一 防洪标准选择	(68)
二 工程规划	(73)
三 防洪库容分配	(97)
四 工程措施开发顺序	(109)
第三章 防洪工程措施运用	(125)
第一节 水电站洪水优化调度	(125)
一 单一水电站水库洪水调度	(126)
二 水电站群洪水调度	(135)
第二节 防洪水库优化调度	(140)
一 单一水库防洪调度	(146)
二 水库群防洪调度	(164)
第三节 整体防洪优化调度	(190)
一 基本设想	(190)
二 计算示例	(197)
第四章 非工程措施规划与运用决策	(215)
第一节 非工程措施规划	(215)
一 防汛规划	(215)
二 居民安全规划	(223)
第二节 非工程措施优化决策	(230)
一 防汛	(230)
二 居民紧急撤离	(238)
参考文献	(243)

第一章 防洪规划与运用的基本知识

防洪是人类与自然界作斗争的主要任务之一。中华民族与洪水作斗争有悠久的历史，从大禹治水开始，至今已有 4000 多年。由于我国幅员辽阔，江河众多，洪灾相当频繁。根据历史记载，自春秋战国到解放前的 2000 多年中，黄河决口改道达 1500 多次，其中重大改道 26 次，平均三年就有二次决口。长江自公元前 185 年至 1949 年发生大小洪灾 220 多次，平均约 10 年一次。建国以来，党和政府对防洪十分重视，40 年来全国整修、新修江河堤防（包括圩垸、海塘）达 17.5 万 km，保护面积 5.08 亿亩，其中主要堤防 4.6 万 km，保护面积 3.35 亿亩；修建大中小型水库 86000 多座，总库容 4200 亿 m^3 ，其中蓄水 1 亿 m^3 以上的大型水库约 335 座，总库容 3007 亿 m^3 ，大大提高了防御大江大河洪灾的能力，保护国家、人民的财产和人民生命已取得显著效果。以黄河为例，建国 40 年来未曾决过口，年年安全渡过夏、秋大汛。此外，在全国已建立、健全各级防汛机构和一个完整的防汛通讯系统。但是，总的来讲，到目前为止，防洪在水利领域内还是比较突出的问题。长江、黄河、海河、淮河、珠江等七大江河都还存在不同程度的洪患问题。

因为洪灾不但造成物质财富的损失，还可能威胁到人民的生命，在相当一个时期内产生一系列的不良后果，严重时甚至会打乱整个国民经济计划。因此，当汛期来临时，有关部门都把防汛工作放在各项工作的首位。如果其它综合利用与防洪发生矛盾时，必须首先满足防洪要求，尽可能减少洪灾损失，必要时确保重点牺牲一般；当水库大坝防洪安全与下游防洪发生矛盾时，必

须以确保大坝安全为最高原则。

由于彻底防止洪灾是不可能的。因此，防洪的目的主要在于防止某一定防洪标准下的洪水灾害和减少超标准洪水的损失。其任务是采取一切必要的措施，为下游和库区上游的防洪；尽一切力量确保堤、坝安全。

防洪应从整体出发，做好全流域的整体防洪规划，贯彻中央提出的“蓄泄兼施，以泄为主”的方针，正确处理好整体与局部、需要与可能、近期与远景、干流与支流、上游与下游、防洪与兴利等各方面的关系这一精辟的系统思想。在整体规划的基础上，根据国力分期实施，逐步提高防洪标准。与此同时，应充分发挥现有防洪措施的作用，更好为防洪服务。

第一节 防洪措施及其特点

防洪是为了对付洪灾。而洪灾是由洪水产生，但发生洪水不等于就产生洪灾。只有当发生的洪水超过自然地理条件（江河、湖泊）或现有防洪工程（堤防、水库等）容许的蓄、泄能力情况下，才产生洪灾。

由于洪水有天然洪水和人为洪水之分，故洪灾也可分为天然洪灾和人为造成的洪灾。天然洪灾由于超量的暴雨、融雪、冰凌、海啸所形成。人为造成的洪灾因水库调度不当所引起；也有本来可以不发生洪灾，只因在天然河滩上违章建筑，使河道泄洪能力大为降低而造成洪灾，这也属于人为造成的洪灾。

天然洪灾发生，一般事先有一定的象征，並有一定的定性预见期。如连日大暴雨，河水位不断上涨，冰坝愈结愈高等等，故相对比较容易防止。而人为造成的洪灾，有的事先很难预料，无预见期。如水库大坝失事，一旦突然发生，很难对付，所造成的灾害往往是毁灭性的。

为了对付洪灾，需要采取相应的措施，通称为防洪措施。防洪措施主要可分为工程措施和非工程措施两大类，有时这两类也很难区分。此外还有法令性的行政措施，也可概括在非工程措施的范畴之内。

一、工程措施

工程措施包括堤防（河堤、圩垸，围堤等），水库（蓄洪、滞洪水库）、分蓄洪区（分洪、蓄洪、滞洪区等），河道整治（疏导、截弯取直、清障等），分洪道等。多泥沙河流上的拦泥库、拦沙坝也属于防洪工程措施之一。我国历史上创造的四种防洪方略：“蓄、塞、疏、浚”，也就是指的工程措施，其分别代表蓄水工程法，堤防工程法，疏水工程法，浚河工程法。

工程措施的特点是比较可靠，具有永久性，效果亦较显著，但初期投资大，修建后产生不利的后果，不容易立即改进或恢复。

在工程措施中，堤防的防洪效果最好，在容许泄量的范围内，其下泄的洪量原则上是无穷的，同时它不受洪水组成的变化或发生时间早晚的影响，无负作用，即使万一某一堤段失事，灾民也无怨言，故为防洪工程措施中的主体。堤防还可以逐步加高加固，即使在防汛抢险时，还可以临时加高。它可以分期施工，进度不受施工场地限制，同时还可以作为受淹居民临时撤退避水的场所，作为非工程措施应用。但要挖占较多的土地，平时除某些主堤能作为简易公路外，基本上无其它综合利用。

水库的防洪效果随水库所处的位置和洪水组成情况不同而异。因受库容限制，调蓄洪水有一定的限度。因此，其防洪效果远不如堤防直接。同时库容的取得需要淹没损失换来的，並有一定的负作用，其一是，建库后库区洪水传播时间加快，洪峰增加，其二是，万一运用得不好容易出事，因此在下游洪水上涨时，水库下泄量是不允许超过入库流量加大放水的，即使如此，下游受灾，有时还免不了受到灾区人民的误解和指责。例如某年赣江支

流上控制面积仅 2750km^2 的一座中型水库，仅为某城镇控制面积的 3.6% ，且相距 500 多 km ，该水库放水小于入库流量，某城受淹，还认为与该水库放水有关。但结合灌溉，发电、给水等综合利用兴建水库为下游防洪还是可取的。上游库区防洪主要由于修建水库所引起，当洪水来临时，上、下游防洪经常会产生矛盾，故水库防洪，合理调度是个关键。

分蓄洪区（包括滞洪区）主要作为堤防、水库超过承受蓄、泄能力时的辅助措施，其防洪效果亦和它所处的位置有关，虽不及堤防，但比水库要好。初期投资虽然相对较小，但动用一次需要动员居民临时撤离，困难较多，而且临时损失费用较大，所以不到不得已的时候，一般不轻易动用。从理论上讲，计划分洪比溃垸损失要小得多，但不少地方防汛部门动用分洪区的原则是“先溃后分洪”，据称灾民认为自溃是天意，其损失只按救济处理；计划扒口分洪则为人意，所受损失要作赔偿处理，而且一次赔偿往往不能了结，这也是实践经验的总结，有一定的道理。

分洪道的防洪效果接近于堤防，但初期投资较大，开辟新河需要损失更大量的土地，故没有有利的地形条件，很少开辟分洪道。分洪道除辅助河道渲泄一定的洪水外，还有航运之利。

河道整治，加大河道泄洪能力，实质上等于加高堤防，是一项积极的工程措施。如果河道长年不进行整治，泄洪能力逐年减少，用加高堤防来补偿，久而久之，就会形成地上河。因此，在条件允许下，进行清淤、清障，花钱不多，效果显著，能起到堤防泄洪的优点，弥补加高堤防带来的缺点。但截弯取直必需慎重，否则会造成河势不稳，带来不良后果。

二、非工程措施

非工程措施指备用船只等交通工具，建桥修路，植树造林，水土保持，筑安全台、安全区，安全楼，水情预报、报警，防汛抢险，临时组织居民撤离、洪泛区的管理和分区等。也有将防洪

保险、宣传、教育也列为非工程措施。行洪区在国外是作为一项非工程措施，但具体到我国地少人多的特点，行洪区都有居民，並从事多种经营，有些还变成了分（滞）洪区。因此，是否列入非工程措施，意见不一。

非工程措施是工程措施不可缺少的辅助措施。非工程措施愈完善，防洪愈主动，特别是水情预报和防汛抢险非常重要。前者预见期愈长，后者组织得愈好，则遭受的洪灾损失愈小。当前国外就是实行工程措施与非工程措施相结合的防洪政策。

第二节 防洪的一般计算方法

到目前为止，无论系统分析和优化技术都不能全部替代防洪的一般计算方法，为了配合优化技术在防洪中的应用，这里有必要对后者作一简单的介绍。

一、洪水演进

洪水演进主要用于泄洪工程。因其属于非控制防洪系统，包括堤防（河道）、分洪道、行洪区等，有些滞洪区也具有泄洪工程的性质。今以河道作为泄洪工程的代表。

洪水在河道内向下游传播时，属于缓变不稳定流，服从于圣维南方程组。由于其受附加比降的影响不断发生变形，其结果使得波前愈来愈短，波后愈来愈长，洪峰不断降低，波前部分的水量不断向波后部分转移。因此，在防洪计算中，上、下游洪水不能直接相加，必须进行演进。洪水演进的方法有多种，这里只介绍常用的槽蓄曲线法和马斯京根法二种。

（一）槽蓄曲线法

槽蓄曲线法主要用于水流比较复杂的河道。对任何河段，可以有限差的形式求得水量平衡方程式为

$$\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)\Delta t + \Delta I \Delta t - \left(\frac{O_1 + O_2}{2}\right)\Delta t = W_2 - W_1 = \Delta W \quad (1-1)$$

式中 I_1, I_2 ——时段初、末入流；

ΔI ——区间流量；

O_1, O_2 ——时段初、末出流；

W_1, W_2 ——时段初、末河段槽蓄量；

Δt ——洪水演算的时段。

又知河段槽蓄量是当时入流和出流的函数，即

$$W = f(I, O) \quad (1-2)$$

这一函数式相当于运动方程式。如入流过程 I 和区间流量过程 ΔI 为已知，可将 ΔI 产生情况并入 I 内，则联解 (1-1)、(1-2) 式，即可求得流出 O 的过程线。

1. 槽蓄曲线绘制 槽蓄曲线可利用河道地形图或纵横断面求得，也可用实测水位、流量资料求得。其绘制的公式如下：

(1) 用地形图绘制，其公式为

$$S_z = \int_{z_0}^z F dz \quad (1-3)$$

式中 S_z ——分段（河段）平均水位为 Z 时所相应分段（河段）的槽蓄量；

F ——分段水面面积；

Z_0 ——基流时水位或河底高程。总槽蓄量为各分段槽蓄量之和。

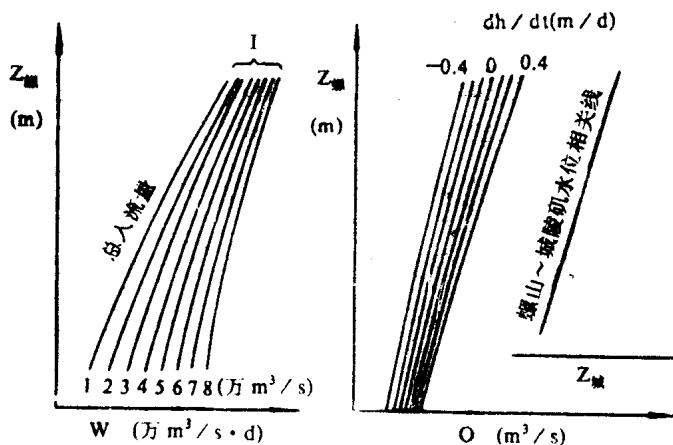
(2) 用纵横断面资料绘制，其公式为

$$S = \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)\Delta L_1 + \left(\frac{A_2 + A_3}{2}\right)\Delta L_2 + \dots + \left(\frac{A_{n-1} + A_n}{2}\right)\Delta L_n \quad (1-4)$$

式中 A ——河槽横断面积，

ΔL ——两断面之间距。

(3) 用实测水文资料绘制。可利用进、出断面流量资料选取多次完整的洪水过程用连续方程式计算逐时入流量与出流量的差额（有区间洪水，应考虑加入），再加合理的底水容积，然后进行累积即可求得以入流为参数的槽蓄量。如几次洪水求得的槽蓄量可能有差别，一般可取平均情况。今列出比较复杂的长江沙市至螺山（城陵矶）河段的槽蓄以及受涨落率影响的螺山水位流量曲线见图1-1。



(a) 沙市至螺山河段槽蓄曲线示意图 (b) 螺山水位流量关系示意图

图 1-1 沙市至螺山河道特性图

2. 演进工作曲线的绘制 如将 (1-1) 式水量平衡方程式略去 ΔI 改变如下形式

$$I_1 + I_2 - 2O_1 + \left(O_1 + \frac{2W_1}{\Delta t}\right) = \left(O_2 + \frac{2W_2}{\Delta t}\right) \quad (1-5)$$

然后按表 1-1 格式计算以入流为参数的 $O \sim \left(O + \frac{2W}{\Delta t}\right)$ 工作曲线

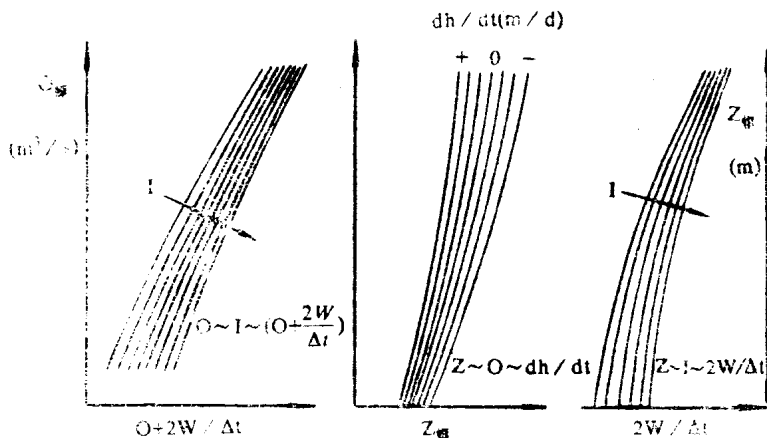
表 1-1

演进工作曲线绘制计算表

I	Z	O	W	$\frac{2W}{\Delta t}$	$O + \frac{2W}{\Delta t}$
(m ³ /s)	(m)	(m ³ /s)	(m ³ /s·Δt)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

先在图 1-1(a) 上取一入流 I , 查得相应 I 的一组水位 Z_k 及 W_k 值 ($k=1, 2, \dots, m$), 填入表中第 (2)、(4) 栏; 再由一组 Z_k 在图 1-1(b) 的稳定线 ($dh/dt=0$ 之线, 暂不考虑涨落率) 上查得一组 O_k , 填入表中第 (3) 栏; 然后计算 $2W/\Delta t$, $O + 2W/\Delta t$ 值, 分别填入表中第 (5)、(6) 栏。表中 Δt 为洪水演算所取的时段, 在长江取 1 天作为演算时段。

以表 1-1 中第 (1) 栏 I 为参数, 点绘第 (3) 栏与第 (6) 栏的关系, 并附以 $Z \sim O \sim \frac{dh}{dt}$, $Z \sim I \sim \frac{2W}{\Delta t}$ 关系线, 即得该河段的洪水演算工作曲线, 见图 1-2。



2. 计算示例:

【例1-1】 今以长江沙市至螺山段1954年洪水演算作为示例, 见表 1-2。这是长江中下游洪水演算中最复杂的一个河段。

表 1-2 沙市至螺山(城陵矶)河段洪水演算

螺山(城陵矶)日期 (m,d)	沙市至螺山河段总入 1 (m ³ /s)	螺山出流 O (m ³ /s)	河段的槽蓄量 2W/Δt (m ³ /s)	$I_2+I_2-2O_1+(O_1+2W_1/\Delta t)-O_2+2W_2/\Delta t$ (m ³ /s)	涨落率 dh/dt (m/d)	Q dh/dt (m ³ /s)	受下游支流顶托减少螺山断面过流 Δq (m ³ /s)	螺山水位 Z _螺 (m)	换算为城陵矶水位 Z _城 (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
6 25	45200	42700	462000	504700		47400	4700	30.0	30.75
26	41100	43800	461300	505600	0.65	48600	4800	30.65	31.5
27	58100	42200	475000	517200	-0.15	45000	2800	30.5	31.3
28	67700	47600	511000	558600	0.25	51400	3800	30.75	31.55
29	61900	51900	541100	593000	0.35	55800	3900	31.1	31.90
30	65500	52400	564200	616600	0.15	54800	2400	31.25	32.10
7 1	73000	53700	596600	650300	0.30	56200	2500	31.55	32.40
2	75600	57900	633600	691500	0.40	61000	3100	31.95	32.80
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

注 城陵矶为长江防洪控制站之一,但是为水位站,螺山在其下游不远,为流量站。

表中总入流 I 包括: ①宜昌~沙市演算后的沙市出流; ②松滋口加太平口分流; ③洞庭湖四水来水加区间径流等三部分组成。
表 1-2 其它各栏计算说明如下: 从第 2 天 6 月 26 日起, 根据前一

天 6 月 25 日的 I_1 、 O_1 、 $O_1 + 2W_1/\Delta t$ 及 26 日的 $I_2 = 41100$, 按公式 (1-5) 求得 $O_2 + 2W_2/\Delta t = 505600$; 依此值由图 1-2 查 $I_2 = 41100$ 得螺山出流 O_2 ; 再由 O_2 查图 1-2 涨落率为零的 $Z \sim O \sim \frac{dh}{dt}$ 曲线得螺山水位 $Z_{螺}$, 即为初步试算的当天水位 Z_2 , 与前一天 6 月 25 日水位 Z_1 之差为当天的涨落率 dh_2/dt ; 再根据求得的 Z_2 与 dh_2/dt 暂不考虑下游顶托影响, 重新查图 $Z \sim O \sim \frac{dh}{dt}$ 曲线, 进一步求得螺山出流 $O_{dh/dt}$; 用 $O_{dh/dt}$ 减去下游支流来水顶托的流量 Δq , 即为螺山欲求的出流 O' ; 最后以 $O_2 + \frac{2W_2}{\Delta t} - O' = 2W_1/\Delta t$; 再用 I_2 、 $2W_2/\Delta t$ 查图 1-2 中的 $Z \sim I \sim 2W/\Delta t$, 可得校正水位 Z'_2 . 若 Z'_2 与 Z_2 相符或 $|Z'_2 - Z_2| \leq \varepsilon$, 则 Z_2 与相应的 O_2 即为第 2 天 26 日所求, 便可进行 27 日计算. 否则应调整 Z_2 重复上述求解, 直至 Z'_2 与 Z_2 相符或 $|Z'_2 - Z_2| \leq \varepsilon$ 为止.

这里需要指出, 上例计算是为简化计, 人为地分割一个河段作为示例. 在实际演算中, 是要考虑洪水传播时间逐时段(天)从宜昌→沙市→城陵矶(螺山)→汉口→湖口(大通)一段一段地连续演算下去, 而且每段都要进行一定的试算, 直至符合各种条件后, 再转入第 2 个时段(天). 如上面举例说明的 26 日, 要将 26 日一直演算到湖口, 符合各种条件后再进行 27 日的计算. 演算相当复杂, 如用手算, 一次 60 多天的洪水过程演算一个方案需要花费 15~20 个工作日.

(二) 马斯京根法

马斯京根法主要用于求水流条件简单区间来水不大的河段. 本法应用“示储流量 Q' ”的概念, 使 Q' 与河段槽蓄量 W 之间的关系是单一的, 且简化成直线, 即

$$W = KQ' \quad (1-6)$$