



范世香 程银才 高雁 编著

洪水设计与防治

HONGSHUI SHEJI YU FANGZHI



化学工业出版社



HONGSHUI SHEJI YU FANGZHI

北京·

本书系统地介绍了洪水设计与防治的基本概念、原理和方法,内容详实全面,体裁新颖,配有一定的计算实例,实用性强。主要内容包括:洪水设计的数理统计方法、用流量资料推求设计洪水、用暴雨资料推求设计洪水、小流域设计洪水及可能最大洪水的估算,防洪工程、水库防洪计算、防洪减灾工作体系、洪水预报及森林植被对暴雨洪水的影响。

本书可供从事水文、水利、防汛、河道整治、桥涵设计、排水等领域的工程技术人员和管理人员参考,也可作为高等院校相关专业的本科生及研究生教材。

洪水设计与防治

洪水设计与防治

图书在版编目(CIP)数据

洪水设计与防治/范世香,程银才,高雁编著. —北京:
化学工业出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-122-01674-4

I. 洪… II. ①范…②程…③高… III. 洪水-水灾-灾
害防治-研究 IV. P426. 616

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 192310 号

责任编辑:刘兴春
责任校对:宋 夏

文字编辑:徐雪华
装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数386千字 2008年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

暴雨洪水是一种自然现象，常造成江河沿岸的河谷、冲积平原以及河口三角洲、海岸地带的淹没，但并不是有洪水的地方都会产生洪水灾害，洪水灾害是伴随着人类的出现以及人类的经济和社会活动而产生的。因此，洪水灾害不仅仅表现为一种自然灾害，它具有自然属性与社会属性的双重性。洪水灾害的自然属性强调洪灾的自然破坏力对人类社会造成危害与损失；洪水灾害的社会属性则强调由于人类社会的主客观原因和社会行为的失调导致和加剧洪水灾害的形成。

由于我国特殊的地理位置、地形特征和气候条件，我国洪水发生频繁，加之巨大的人口压力及洪水高风险区的高度开发利用，使我国成为世界上洪涝灾害出现频次最高的国家之一，频繁的洪水灾害每年都给社会经济和人民的生命财产造成巨大损失。面对洪水灾害，世界各国政府和人民采取了各种防洪措施（包括防洪工程措施和防洪非工程措施）来减免洪灾造成的损失。因此，对洪水、洪水灾害及洪灾的防治研究有着特别重要的意义。

目前由于经济发展水平的制约，我国各地的防洪标准仍然偏低，加之我国幅员辽阔，暴雨（特别是台风暴雨）经常在局部地区发生，所以面临的防洪任务依然是严峻的，但愿本书的出版对于洪水的防治有所裨益。

本书的主要特点就是洪水的设计与防治融为一体，体裁新颖，涉及的内容甚广。在洪水设计方面，主要介绍了洪水设计的统计学方法、用流量资料推求设计洪水、用暴雨资料推求设计洪水、小流域设计洪水以及可能最大洪水的估算。在洪水防治方面，主要介绍了防洪的工程措施、水库防洪计算，并结合我国洪水灾害的特点，分析了我国防洪减灾的体系的构成。最后，简要论述了森林植被对暴雨洪水的影响。

本书共分十章，由范世香、程银才、高雁编著，其中第一、三、四、十章由范世香编著，第六、七、八、九章由程银才编著，第二、五章由高雁、范世香编著。在本书编著过程中，加入了作者近年来的研究成果，部分章节内容引用了许多专家、学者已有的研究成果，并力求在参考文献中详尽地列出，但也可能有所遗漏，在此向他们表示衷心的感谢。在本书编写过程中力求系统性，然而，河道洪水预报是防洪减灾的重要组成部分，由于篇幅所限，没有将该内容加入到本书中，读者可参考相关文献。

本书可作为水文水资源、水利工程等专业的教学参考书，并可供防汛、桥涵、渡河工程及给排水等相关专业的工程技术人员参考。

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中不当之处在所难免，恳请读者提出修改意见或建议。

编著者

2007年11月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 洪水的概念及其影响因素	1
一、洪水的概念	1
二、影响洪水的因素	1
第二节 防洪标准与选择	3
一、防洪安全问题	4
二、防洪标准的选择	4
第三节 洪水设计的理论基础与防洪措施	5
一、洪水设计的理论基础	5
二、防洪措施	6
第二章 洪水设计的统计学方法	8
第一节 随机变量的概率分布	8
一、概率与频率	8
二、随机变量及概率分布	9
三、随机变量的统计参数	10
四、随机变量的正态分布	12
第二节 洪水特征值的频率分布线型	13
一、经验频率曲线	13
二、理论频率曲线	15
三、频率与重现期的关系	16
第三节 皮尔逊Ⅲ型分布的参数估计	17
一、矩法	17
二、三点法	18
第四节 抽样误差	19
第五节 洪水设计适线法	20
一、目估适线法	20
二、优化适线法	20
三、分布参数对频率曲线的影响	21
第三章 用流量资料直接推求设计洪水	25
第一节 洪水过程线与洪量计算	25

一、洪水过程线分析	25
二、洪水过程线的分割	25
三、径流成分的划分	26
四、洪量的计算	27
第二节 洪水设计标准的确定	28
一、工程安全设计标准	28
二、校核洪水标准确定的原则	29
三、防护对象的防洪标准	30
第三节 设计洪水特征值的推求	30
一、资料的“三性”审查	30
二、洪水特征值的选样	32
三、特大洪水的处理	33
四、理论频率曲线的选择	34
五、统计参数的确定	35
第四节 设计值的合理性分析与安全修正	36
一、设计值的合理性分析	36
二、安全修正问题	37
第五节 设计洪水过程线的拟定	38
一、典型洪水过程线的选择	38
二、放大方法	39
第六节 资料不足或缺乏时设计洪水的推求	42
一、利用上下游测站的洪水资料插补延长	42
二、利用本站的峰、量关系插补延长	43
三、利用暴雨径流关系插补延长	43
四、根据相邻河流洪水特征值进行插补延长	43
第七节 设计洪水的地区组成与分期设计洪水	44
一、设计洪水的地区组成	44
二、分期设计洪水	45
第八节 古洪水研究在稀遇洪水设计中的作用	46
一、现行频率计算方法存在的问题	46
二、古洪水研究简介	47
三、古洪水特征值的确定	48
四、古洪水研究成果的应用举例	48
第四章 用暴雨资料间接推求设计洪水	51
第一节 降雨	51
一、降雨的形成与分类	51
二、降雨特征表示法	52
三、我国降雨量的时空变化规律	53
四、面雨量的计算	54

第二节 暴雨资料的整理	54
一、暴雨特性分析	54
二、暴雨资料的整理	55
第三节 面暴雨量的设计	56
一、直接算法	57
二、间接算法	58
第四节 面暴雨的时空分布设计	60
一、设计面暴雨的时程分配	60
二、设计面暴雨的地区分布	62
第五节 蓄满产流方式下的设计面净雨量推求	62
一、降雨径流相关图法	62
二、数学模型算法	67
第六节 超渗产流方式下的设计面净雨量推求	70
一、初损后损法	70
二、下渗曲线法	72
第七节 地面净雨汇流计算——等流时线法	75
一、概念	76
二、汇流计算	76
第八节 地面净雨汇流计算——经验单位线法	78
一、经验单位线	78
二、经验单位线的推求	79
三、经验单位线不同时段转换	81
四、经验单位线法存在的问题及处理	83
第九节 地表净雨汇流计算——瞬时单位线法	85
一、瞬时单位线的推求	85
二、参数 n 、 K 的确定	86
三、瞬时单位线转换为实用单位线	89
第十节 地下净雨汇流计算	91
一、概化三角形法	91
二、线性水库演算法	92
第十一节 设计洪水计算中几个相关问题	93
一、计算方法的外延	93
二、计算方法的移用	93
三、设计土壤含水量	93
第五章 小流域洪水设计	97
第一节 概述	97
一、小流域洪水设计特点	97
二、主要计算方法	97
第二节 暴雨公式与设计暴雨的推求	98

一、暴雨公式的建立与应用	98
二、无暴雨资料地区参数确定与设计雨量的计算	100
三、设计暴雨时程分配	100
四、设计净雨计算	100
第三节 推理公式法设计洪峰流量	101
一、推理公式的基本形式	101
二、水科院公式	101
第四节 洪峰流量设计的地区经验公式法	107
一、单因素公式	107
二、多因素公式	108
第五节 设计洪水过程线的推求	108
一、概化过程线法	108
二、综合经验单位线法	109
三、综合瞬时单位线法	110
第六章 可能最大洪水的估算	112
第一节 大气中的可降水量	112
一、大气中的可降水量 W	112
二、可降水量 W 计算方法	113
第二节 可能最大暴雨 (PMP) 计算方法	114
一、形成暴雨的物理条件和降水量公式	114
二、PMP 计算方法分类	115
第三节 当地暴雨放大法	116
一、典型暴雨的选择	116
二、典型暴雨可降水量的计算	116
三、最大可降水量的计算	117
四、水汽放大	117
五、效率放大	117
第四节 暴雨移置法	118
一、移置的条件	118
二、移置的具体步骤	119
三、移置改正	119
第五节 暴雨组合法	120
一、暴雨组合法概念	120
二、组合暴雨的方法	121
三、组合暴雨的极大化	121
四、暴雨时空放大	122
第六节 可能最大暴雨 (PMP) 等值线图集的应用	122
一、PMP 等值线图	122
二、暴雨时、面、深关系	122

89	三、暴雨时程分配	123
90	第七节 可能最大洪水(PMF)的推求	124
901	一、净雨过程的计算	124
901	二、洪水过程线的计算	124
	第七章 防洪工程	125
10	第一节 防洪工程措施与非工程措施	125
901	一、防洪工程措施	125
901	二、防洪非工程措施	126
80	第二节 水土保持工程	126
801	一、水土流失	126
801	二、我国的水土流失	127
901	三、水土保持	128
901	四、水土保持在防洪减灾中的作用	129
	第三节 堤防工程	130
901	一、我国的堤防及其类型	130
901	二、堤防设计	132
901	三、堤防护坡工程	136
901	四、堤防的管理养护	136
10	第四节 分洪工程	137
901	一、分洪工程的作用与组成	137
901	二、分洪道设计	139
901	三、蓄滞洪区	139
901	四、分洪闸	142
901	五、泄洪闸	146
901	第五节 水库防洪工程	147
901	一、不考虑预报的防洪调度方式	148
901	二、考虑短期水文预报的防洪调度方式	148
901	三、防洪补偿调节	149
901	四、分期洪水防洪调度	150
901	五、水库非常运用防洪调度中的有关问题	150
901	六、关于拟定防洪调度方式时要考虑的一些问题	152
901	第六节 河道整治工程	153
901	一、河道整治目的、要求及原则	153
901	二、平原河道的整治措施	154
901	三、河道整治建筑物	161
	第八章 水库防洪计算	167
901	第一节 概述	167
901	一、水库的调洪作用	167

二、水库调洪计算的任务	169
第二节 水库调洪计算	169
一、水库泄流建筑物的泄流能力	169
二、水库调洪计算原理	170
三、水库调洪计算方法	170
第三节 水库防洪计算	177
一、水库防洪计算的任务	178
二、溢洪道无闸门控制水库的防洪计算	178
三、溢洪道有闸门控制水库的防洪计算	179
第四节 启用非常泄洪设施时水库防洪计算	182
一、水库的非常泄洪设施	182
二、非常泄洪设施的启用标准	183
三、启用非常泄洪设施时的调洪计算	183
四、方案比较和选择	184
第五节 入库洪水计算	184
一、概述	184
二、入库洪水计算方法	185
三、入库设计洪水计算	189
第九章 我国防洪减灾体系	190
第一节 我国的洪水灾害及其特点	190
一、洪水及其种类	190
二、洪水灾害	190
三、我国历史上大洪水	191
四、我国洪水灾害的特点	192
第二节 我国防洪减灾体系	194
一、我国防洪减灾历史	194
二、我国防洪减灾体系建设与发展	194
三、我国现代防洪减灾体系	195
第三节 防洪工程体系	196
一、常规防洪工程体系	196
二、非常防洪工程体系	197
第四节 防洪非工程体系	198
一、水雨情测报	198
二、洪水预报预警	198
三、防汛指挥调度的通信系统	199
四、与防洪有关的政策法规体系	200
五、洪水风险管理	201
六、洪水保险	204
第五节 我国防洪组织与管理体系	207

一、行政首长防汛责任制为核心的防汛责任制体系	207
二、各级防汛指挥部及其办事机构	207
三、防汛抗洪指挥支持体系	208
四、国外防洪组织体系	208
第六节 防洪应急响应体系	208
第七节 “3S”技术在防洪减灾中的作用	209
一、空间信息技术	209
二、防洪减灾的现代化	211
三、空间信息技术在防洪减灾中的作用	211
四、空间信息技术在防洪减灾中的应用趋势	212
第十章 森林植被对暴雨洪水的影响	213
第一节 概述	213
第二节 森林植被对暴雨洪量的影响	213
一、森林植被对降雨的截留作用	213
二、森林植被对蒸散发的影响	215
三、森林土壤的持水性	217
四、森林植被对河流泥沙的影响	217
五、森林植被与大气降水	217
第三节 森林植被对暴雨洪水的调节作用	218
一、森林植被调节暴雨洪水的机理	218
二、森林植被调节暴雨洪水的研究实例	219
附录	223
附录1 频率格纸样式	223
附录2 皮尔逊Ⅲ型频率曲线的离均系数 ϕ_p 值表	224
附录3 皮尔逊Ⅲ型频率曲线的模比系数 K_P 值表	225
附录4 三点适线法 S 与 C_s 关系表	227
附录5 三点适线法 C_s 与有关 Φ 值的关系表	228
附录6 瞬时单位线 S 曲线查用表	230
附录7 1000hPa 地面到指定高度(高出地面米数)间饱和假绝热大气中的 可降水量(mm)与1000hPa地面露点($^{\circ}\text{C}$)函数关系表	236
附录8 1000hPa 地面到指定压力(hPa)间饱和假绝热大气中的可降水量 (mm)与1000hPa地面露点($^{\circ}\text{C}$)函数关系表	238
参考文献	240

第一章 绪论

第一节 洪水的概念及其影响因素

一、洪水的概念

洪水是指在江河断面发生的历时较短、流量较大、水位陡涨陡落的一种水流运动，它往来势凶猛，具有很强的破坏力，一旦江河堤坝漫溢或溃决，便会造成洪灾。洪灾是对人类危害较大的常见自然灾害之一，每年在我国的一些局部地区都会有不同程度的洪灾发生，给当地人民群众的生命财产造成重大损失，严重阻碍了社会经济的发展，所以，目前我国所面临的防洪任务仍然是十分艰巨的。自然灾害在一般情况下是不可抗拒的，尤其是暴雨洪水，是不受人们支配而随机发生的客观现象。我们知道，水资源具有利害两重性，水利工作者的主要任务就是要趋利避害，在经济、技术条件允许的情况下，应尽最大可能减少或免除洪水灾害，确保防护目标安全是防洪防汛工作的第一要务。

对于洪水的分类，从洪水发生地区可分为江河洪水、湖泊洪水、潮汐洪水等；从洪水成因可分为暴雨洪水、融雪洪水、冰凌洪水、溃坝洪水等。通常，江河暴雨洪水是危害最大、也是最常见的洪水类型，因此，洪水设计与防治主要涉及江河暴雨洪水。

洪水的大小通常用洪峰流量、洪水历时及洪量来定量表述，称为“洪水三要素”。洪峰流量是指洪水通过某一江河断面时所产生的最大流量，用 m^3/s 表示；洪水历时是指洪水通过江河断面从起涨到消退的行洪时间，通常用 d 或 h 表示；洪量是指一次洪水的总水量，通常用 m^3 表示（或折算成流域的平均水深，用 mm 表示）。在同一条件河流上，洪水越大破坏力越强。有时，为了更具体地刻画洪水特征和满足防洪工程设计的需要，通常采用洪水过程线进行定量描述。所谓洪水过程线是针对某一河流断面，在行洪过程中，洪水流量随时间的变化过程。

二、影响洪水的因素

影响洪水的因素是多方面的，洪水的产生及其洪水的大小也是多因素综合作用的结果。对洪水的影响因素大体上可分为两大类：一类是降雨因素；另一类是下垫面因素。了解洪水的影响因素，对洪水的设计和防治是有益的。

1. 降雨因素

大气降雨与气象条件有关，气象条件又受到大气环流、太阳辐射及天体运动所制约，往往会产生不同的天气过程而致雨，如气旋雨、对流雨、锋面雨及台风雨等。气象条件决定了降雨特性，降雨特性一般用降水“三要素”表示，所谓降水三要素，是指在一次天气过程中，所产生的降水总量（ mm ）、降雨历时（ h ）及降雨强度（ mm/h 或 mm/min ）。降雨特性

是成洪的主导原因,雨量大、强度也大的暴雨,要比雨量少、强度也小的暴雨产生的洪水大。另外,暴雨的时空分布对洪水也有重要影响,例如,先小后大的降雨过程要比先大后小的降雨过程产生的洪水大;暴雨中心发生在流域中下游形成的洪水往往要比发生在中上游时形成的洪水要大;暴雨中心从上游向下游移动时,要比从下游向上游移动时所产生的洪水大。

降雨特性受控于降雨形成机制的两个主要气象要素,一是产生空气上升冷却的动力因子,二是空气中水汽的含量及补给来源。我国绝大多数江河的汛期主要是伏汛和秋汛,称为主汛期,因为在夏秋季节大气活动十分活跃,形成动力上升的天气系统频发,同时也是空气中水汽含量最高的季节,所以也是暴雨的多发季节。虽然各大江河的主汛期不完全同步,但都在5月至9月的主雨期范围内,并且多集中在夏季6月至8月三个月,往往一二个月的降雨量可达全年降水量的25%~55%,甚至一个月的降水量几乎由几次大的降水过程所决定。所以,洪水的发生一般与暴雨的发生在季节上基本是同步的,这种现象在北方地区尤其明显。如1963年海河流域大面积降雨,最大一天的降雨量达865mm,超过了当地多年平均年降水量,造成了十分罕见的洪涝灾害。我国东南沿海地区,降水常与台风有关,江淮一带的梅雨季节常会出现台风暴雨或特大暴雨。如1954年长江流域的梅雨季节,大范围持续性降雨,同遇淮河洪水并涨,致使江淮地区遭受重大洪灾;又如1975年8月,强台风在我国登陆,深入到河南省驻马店地区的林庄一带,出现了24h降雨量达到1060mm的特大暴雨,导致水库溃坝,洪水泛滥成灾,给当地人民群众造成极大的人员伤亡及财产损失;2006年,台风在浙江、福建沿海一带多次登陆,产生特大暴雨而形成了洪灾,也造成了很大的损失。

2. 下垫面因素

下垫面因素包括地质、地貌、植被、土壤水分、湖泊及流域面积等。另外,人类活动对下垫面条件产生扰动,所以也间接地对洪水产生影响。

(1) 地质 地质条件包括土壤的发育厚度、层次分布、颗粒组成、结构及岩层的水理性质等,它们直接影响到土壤的空隙性、透水性、持水性和给水性。地质条件关系到流域的产汇流机制,对于洪水径流成分的组成比例有重要的影响作用。透水性好、持水性差的土壤能够产生较大比重的地下径流;反之,透水性差、持水性好的土壤,产生的地下径流就少。由于地下水汇流十分缓慢,所以地下径流比重大时,河道洪水往往是历时长,洪峰小,有利于形成“肥胖型”的洪水过程。

(2) 地貌 地貌条件主要指流域内的地形起伏变化和流域的平均坡度,对流域汇流有重要影响。如果地形起伏变化大并且流域坡度也大,地表径流和地下径流的汇流速度较快,有利于形成“尖瘦型”的洪水过程。另外,高大的山脉,对迎面而来的暖湿气流产生抬升作用,导致地形雨,增加当地的降雨量。在坡度较大的山区,遭遇暴雨时还容易发生地质灾害,如泥石流、山洪等,增加固体径流和洪量,加剧了洪水的破坏力。

(3) 植被 植被条件是指植物的现存状况,包括乔木、灌木、草本植物及农作物等。对洪水影响作用的实际效果而言,植被主要是指森林植被。森林植被的好坏可用森林的数量和质量指标进行定量描述。森林的数量指标通常采用覆盖率表示,即一个流域内或一个地区有林面积与总面积的比值,它反映了一个流域或地区的森林化程度的高低;森林的质量指标通常采用单位面积的林木蓄积量(或称材积量),它反映了森林植被的优劣状况和不同的林龄。如森林覆盖率相同,发育良好的成熟林,其蓄积量较大,生长发育不好或中幼林的蓄积量较小。森林植被不仅影响流域产流(洪量),而且影响流域汇流(洪水的峰值和洪水历时),特

别是对洪水的调蓄作用比较明显。在森林植被数量多、质量好的流域上,林冠层和枯枝落叶层对暴雨截留量较大,一次降雨截留量最大可达 20mm 左右;由于林地土壤植物根系发达,土壤动物繁多,在土壤中形成了良好的水分通道,所以森林土壤的渗透性较强,下渗能力要比无林地大得多,而且一般大于降雨强度,容易增加地下径流比重。再有,土壤表面的枯枝落叶层和腐殖质层增加了地表粗糙度,阻碍地表水流的运动,对坡面径流起到延滞和调节作用。所以在多数情况下,森林植被能够减少洪量、降低峰值,延长洪水历时,往往有利于形成“肥胖型”的洪水过程。另外,森林具有保土作用,发生暴雨洪水时能显著地减少河道水流的泥沙含量,河流泥沙也称为“固体径流”。从某种意义上来说,森林植被能够减少固体径流,这对防洪是十分有利的。

(4) 土壤水分 土壤水分条件反映了暴雨开始时的土壤干湿状况,通常用土壤含水率(%)、土壤蓄水量(mm)或前期影响雨量(mm)表示。土壤水分条件与蒸发能力、前期降雨量的大小、时间间隔及土壤物理性质等因素有关,特别是蒸发能力的影响最为重要。土壤水分条件主要影响到暴雨的产流量(即洪量),体现在两个方面:其一,雨前土壤越湿润,下渗率越小,减少降雨的下渗损失;其二,雨前土壤水分越多,需要补充的土壤缺水量越少,对降雨量的损失就越少。因此,土壤越是湿润,产流越多,洪量越大;反之就越小。

(5) 流域面积 流域面积的大小,决定了汇集降水的范围。流域面积大,受雨范围广,汇流水量就多,洪水就大;反之就小。

(6) 湖泊 流域内湖泊的多少也对洪水产生重要影响,这是因为湖泊有蓄水功能,对暴雨洪水能起到调节作用,湖泊越多,洪峰越小,洪水过程线有利于向“肥胖型”转化。

(7) 人类活动 除了以上各种影响因素外,现代的人类活动对洪水产生间接的影响,是不可忽视的一个重要方面,如土地利用格局的变化、城市化、农田水利设施、水利枢纽工程、调水工程、农业措施等,这些都反映在流域下垫面条件的变化对洪水的影响。

第二节 防洪标准与选择

前已述及,洪水大小可以用洪水“三要素”进行定量表述,在同一河流的同一断面进行比较时,相对来说是比较直观的。然而,在不同的河流之间进行比较,特别是对防洪而言,仍有不足之处,甚至没有实际意义。例如,洪峰流量为 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 时,在大江大河中就是常遇的中小洪水,甚至是平水或枯水,而在中小河流上,可能就是非常罕遇的大洪水或特大洪水。所以,洪水大小还需要用另外一种衡量标准,这种标准就是用洪水出现的频率(或发生概率)来进行界定。这是因为洪水的发生是随机的,各种大小不同洪水的出现都有一定概率或频率。洪水发生频率的大小,表示了它的稀遇程度,频率越小就越稀遇,说明这种洪水就越大。换言之,表示洪水数量大小的“三要素”一般是与它发生的频率成反比的,而且它的出现频率也是符合某种概率经验分布的,这就为洪水的设计提供了理论依据。

关于洪水的防治,不可能对所有可能发生的洪水都进行防御。从经济的观点来看,也是不必要的。所以要按照某种频率的洪水进行设防,这种频率的洪水就是防洪标准,依照该标准进行推算的洪水就是设计洪水,以这种设计洪水为依据进行工程设计就是工程的设计标准,防洪标准和设计标准具有相同的内涵。目前在实施防洪工程时,都是根据防洪标准先进行洪水设计,以此确定防洪工程的规模和尺寸,再进行土建工程的结构设计。另一方面,洪水设计不仅在防洪工程的规划、设计及施工过程中需要,而且在水利工程建成后的管理运行

阶段, 为了对工程进行合理操作、编制调度方案和安全复核, 也经常需要进行洪水设计。

一、防洪安全问题

要减免洪水灾害, 必须按照某一标准修建防洪工程对洪水进行设防, 因而就存在两类防洪安全问题, 一类是指防洪工程对防护目标的防洪安全 (如水库对下游有防洪任务、江河堤坝承担两侧目标的防洪等); 另一类是指防洪工程本身的防洪安全 (即工程安全, 如水库大坝)。

防护目标通常是利用河流两侧的堤坝进行防洪, 河槽对洪水调节作用很小, 只要求预估通过防洪区河流断面的洪峰流量即可。如果在防护目标的上游利用蓄洪区分洪, 则仅要求预估可能出现的洪水总量即可。当上游水库为下游承担防洪任务时, 如果下游是堤防工程, 还存在两个方面的问题, 一是根据防护对象的防洪标准和堤坝的承载能力 (这种承载能力用安全泄量表示), 要求确定上游水库的最大允许泄量 (即洪峰流量), 这个最大允许泄量不能超过下游安全泄量; 二是如果下游防护区距上游水库较远, 可能有区间洪水发生时, 要考虑区间洪水与上游水库最大泄量的遭遇问题。根据防护区的防洪标准和区间洪水, 确定上游水库的最大允许泄量, 不能超过防护区的安全泄量, 否则, 就需要对防护区的河流堤坝进行安全加固。

对于水库工程本身的防洪安全, 就是要预估工程所在地点可能出现的洪水情况, 除了确保下游防洪安全以外, 再核算工程本身的安全问题, 确定水库的坝高, 分析水工建筑物各部分构件的应力状况和工作条件。根据水库调洪原理可知, 在一定的调洪方式下, 水库的入洪过程影响到水库的泄洪过程。换言之, 水库出流过程是入流过程的函数, 而不是由几个入流洪水特征值所决定的, 如洪峰流量、时段洪量, 总洪量等。因此, 对于水库防洪设计来说, 需要预估的不仅是可能出现的洪水特征值, 而是要预估水库工程所在断面可能出现的洪水过程。

另外, 水库溃坝造成的洪灾损失是巨大的, 如果没有水库工程本身的安全, 就谈不上下游防护目标的安全, 所以水库工程本身安全的重要性大于下游防护目标安全的重要性, 因此水库工程的防洪标准要大于下游防护区的防洪标准。

二、防洪标准的选择

既然不可能对所有可能发生的洪水进行设防, 那么就要选择一定频率的洪水进行设防, 因此, 就要选择某一频率作为防洪标准。设计标准的选择既是非常重要又是一个十分复杂的问题。在防洪工程规划设计时 (如水库、堤坝、蓄洪滞洪区), 原则上要通过防洪安全问题的论证, 进行工程投资与效益之间的经济比较, 经过多种标准洪水、多种泄洪方式的各种方案综合分析, 从中选定最优方案, 这个最终方案所确定的洪水标准就可作为设计标准。

由于水利工程发生安全事故后所造成的损失是十分巨大的, 特别是水库防洪工程尤其如此。所以, 往往要求工程被破坏的风险率极小, 换言之, 要求设防的洪水频率极小, 如洪水重现期为百年一遇 (洪水频率 $P=1\%$)、千年一遇 (洪水频率 $P=0.1\%$)、甚至万年一遇 (洪水频率 $P=0.01\%$) 等。然而, 目前洪水设计中通常采用的频率分析计算方法, 精度不高, 尤其是罕见的特大洪水其误差可达 100% , 甚至更大, 这就动摇了进行经济合理分析与比较的基础。另一方面, 防洪安全事故是非常稀遇的小概率事件, 必须采用 1 万甚至 100 万计的洪水资料进行计算, 才能比较可靠地估算出防洪后果的可能性, 实际上这是不可能做到

的。即使依赖于人工生成的洪水资料系列,由于目前还没有可供实用的多维洪水流域模型作为人工系列的生成工具,仍然无法得到或满足供洪水设计所需要的资料系列。此外,在直接的效益计算中,如人员伤亡的经济价值估算以及间接地洪灾损失估算也存在着巨大的实际困难。在国外,成本(投资)与效益分析也只是偶尔用于事故风险率较高、洪灾损失较轻、人员伤亡风险甚微的防洪安全设计中,如城市雨洪排水、桥涵工程等。

因此,投资与效益分析的实际操作受到了严酷的限制,所以在防洪安全设计工作中,仍然只得采用统一规定的设计标准,作为防洪设计方案的选用、并以防御该标准洪水作为确定工程规模的依据。根据我国实际情况,1994年国家已经颁布了GB 50201—94《中华人民共和国防洪标准》,制定有相应的设计标准作为强制性国家标准,可供查用。实际工作中,防护区或防护目标的防洪标准可根据防护对象的重要性进行选择,防洪工程本身安全的防洪标准可根据水利枢纽工程等别及水工建筑物等级进行选择(详见第三章)。

第三节 洪水设计的理论基础与防洪措施

一、洪水设计的理论基础

洪水设计就是对未来洪水做出概率预估,或者说对某一频率的洪水(设计标准)进行估算,为防洪工程的规划设计提供符合设计标准的水文数据,或为工程的运行管理、安全复核提供依据。进行这些具有频率概念的水文数据的估算,其内容包括洪峰、洪量以及洪水过程线。人们不禁要问,为什么说洪水设计就是概率意义上的预估呢?

洪水是一种水文现象,而这种水文现象是水文循环的必然结果,发生水文循环的内因是水的“三态”转化,外因是由于太阳辐射和地球引力提供了强大的动力条件。从水文循环形成机制和形成洪水的主导因素“暴雨”来分析,在一个地区洪水的产生具有两个重要特征,一是确定性,二是随机性。所谓确定性是因为水文循环具有以年为周期而发生的规律,河流每年都具有洪水期(或丰水期)和枯水期的交替现象,洪水期一般都发生在夏秋季节,也就是说某条河流每年发生洪水是必然的,只是大小不同,产生这种现象的根本原因是地球公转和自转造成的。另一方面,洪水主要成因是暴雨,在一定的下垫面条件下,暴雨一旦确定形成,洪水与其有密切的成因关系,那么,洪水的产生也就是必然的,而且也是确定的。所谓随机性是因为影响洪水的因素太多,特别是暴雨形成机制的气象要素变化莫测。尽管同一地区的下垫面条件是缓变的,也可以认为是稳定不变的,但是致雨的各种气象要素随时会有不同的组合方式,对暴雨的影响具有复杂性和多变性。因而,与暴雨有成因关系的洪水,每年出现的具体时间和大小都是不确定的,这就是水文循环的不重复性,暴雨洪水表现出随机性。例如,某河流断面各年出现的最大洪峰流量、洪量及洪水历时,其数量和出现的具体时间是不会完全相同的。

由于洪水是一种具有确定性和随机性的自然现象,所以洪水存在两种基本规律,即成因规律和统计规律。洪水确定性的一面,符合成因规律,可以采用一般的数学物理方法进行描述;洪水随机性的一面符合统计规律,就是说,它的出现频率符合某种概率分布,可以采用数理统计的方法进行分析,这就是洪水设计的理论基础。特别是,洪水发生频率是以年最大值作为统计分析的样本,所以数理统计方法就成为洪水设计的有力工具。需要指出的是,目前的科学水平,只能认识到洪量和洪峰在经验上服从某种概率分布,而洪水过程是否也服从

某种概率分布还没有获得人们的认同。

此外,洪水设计还具有洪水预报的性质。一般短期洪水预报只能预报未来几天或几小时的洪水情况,往往是根据已经出现的暴雨或洪水信息,由前一过程预测未来后一过程,此时必然性起主要作用,可以利用洪水的确定性的成因关系及在河道中的传播规律进行预报。例如,由河道的上游洪水预报下游洪水,由暴雨推求洪水等。然而,随着预见期的增长,形成洪水的暴雨也是未知数,事先是无法确定的,而且其他影响因素也更为复杂多变,此时必然性的一面退居次要地位,随机性一面显示了重要性。因此,当洪水预报要求预见期很长时,就需要采用统计方法进行概率预报。概率预报不同于短期实时预报,概率预报只能预估某种洪水出现的可能性大小(或者说某种可能性的洪水大小),而不能预报出现的具体发生时间。

对于一些重要的大中型水库蓄水工程,本身的防洪安全问题是至关重要的。因为一旦失事,将造成比工程前更为巨大的损失,这种情况是要绝对避免的,所以要求设防标准极高。特别是主体工程“大坝”要采用万年一遇、甚至十万年一遇的标准进行设计,这主要是考虑到确保大坝工程的万无一失,绝对不允许垮坝。然而,目前的洪水设计方法受到各种条件的限制(如资料系列不足、理论方法不完善等),即使采用极高标准仍感到没有把握,然而又不可能无限加大工程量和投资,为了做到既确保大坝安全,又经济合理,使工程设计恰到好处,就要试图寻求一个洪水“上限”作为大坝的校核洪水标准,称为“可能最大洪水”,也称保坝洪水。这种洪水就不能看作是随机发生的,其设计也就不能采用数理统计的方法,而是采用气象学与成因分析相结合的方法。

二、防洪措施

对暴雨洪水要采用工程措施和生物措施相结合的方法进行防治。工程措施包括水利工程措施和水土保持措施,生物措施是指植被生态建设,特别是森林植被的恢复与重建尤为重要。一般又将生物措施包括在水土保持措施中。

1. 水利工程措施

水利工程措施包括水库(蓄水)工程、堤防工程、河道整治工程、开挖减河及分洪滞洪工程等专门针对一定标准洪水而设防的工程。

堤防工程包括海堤、江堤、河堤、湖堤、围堤等,用它来保护受洪水威胁的防护对象,如城镇、工矿、农田及关系国计民生的重要基础设施,是最常见的防洪工程措施。水库蓄水工程可以调节洪水,削减下泄洪峰流量,减轻或免除对下游的洪水威胁。水库工程还可以结合发电、灌溉、航运、城镇供水、库区养殖及旅游等进行水资源的综合利用,水库是兴利除害、实现多目标用水的理想防洪工程。河道整治是清除河道行洪障碍物、提高河道泄洪能力、提高防洪标准的措施之一,包括浚深、拓宽河槽、加固堤坝、裁弯取直、整修河工建筑物及拆除行洪障碍物等,保障河流在发生设计洪水时安全下泄。开挖减河是为了扩大泄洪出路,减轻河道干流的下游压力而另开辟的新河。分洪工程是把河道容纳不下的部分洪水,分引到附近其他的河流、湖泊或分洪区的措施。滞洪工程是利用天然洼地、湖泊进行临时分洪的措施,起到延缓洪水传播时间、削减洪峰流量、减轻对下游威胁的作用。本书关于洪水防治工程的内容,只涉及防洪工程的设计参数或指标,具体的土建结构设计与施工可查阅其他相关的书籍。

2. 水土保持措施

水土保持措施目前还无法和洪水标准(或者说重现期)相联系,所以一般将它与水利工