

张柏山 主编

世界江河

防洪与
治理

(上册)

SHIJE

JIANGHE

FANGHONG YU ZHILI



黄河水利出版社

世界江河防洪与治理

(上册)

张柏山 主编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书分为上、下两册,上册主要介绍洪水和防洪的现代理念、世界江河洪灾概况、国内外防洪史、防洪措施、世界各国的防洪减灾经验及世界洪水多发国家的防洪战略与措施,下册为世界江河防洪与治理实例,主要介绍国内外 18 条河流的洪水与防治,水资源综合治理、开发、利用和保护的经验教训,选择其中几条与黄河进行比较,并结合中国社会、经济和黄河治理开发保护中存在的重大问题,提出相应的治黄方略、措施和政策建议。

本书可供国内从事水利、治河、防汛以及水利规划、设计、科研和教学的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

世界江河防洪与治理/张柏山,陆德福主编. —郑州:
黄河水利出版社,2004.2

ISBN 7-80621-760-6

I. 世… II. ①张…②陆… III. 河道整治—研究—世界 IV. TV88

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 000953 号

出版社:黄河水利出版社

地址·河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码 450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:29.5

字数:718千字

印数:1—1500

版次:2004年2月第1版

印次:2004年2月第1次印刷

书号:ISBN 7-80621-760-6/TV·346 定价(上、下册):60.00元

前 言

洪水,自古以来就是世界各国人民的心腹之患。在常见的十多种自然灾害中,洪水灾害发生之频繁,影响范围之广,造成损失之大,均居前列。因此,江河防洪古往今来都是关系到人民安危和国家盛衰的大事。

洪水,一方面对人民生命财产、国家经济建设构成严重威胁,影响社会、经济的稳定和发展;另一方面,按照现代认识,洪水并非完全有害(它既是江河物质输移的载体,又是维系河流及其流域生态系统平衡的重要条件),也是一种资源,是可利用水资源的重要组成部分(尤其是在像中国这样水资源时空分布不均、严重缺水的国家)。

可以说,洪水在提供资源的同时,如果控制不好,就会对人类造成严重灾害,已成为制约社会、经济发展的主要自然因素之一。因此,人们越来越清醒地认识到,不能孤立地研究防洪问题,应该充分考虑怎样把洪水利用起来。为此,近年来防洪调度已由过去单纯的防洪减灾(排洪入海了事)向结合洪水资源利用方向转变(利用洪水资源,回灌补充地下水等)。

洪水灾害具有自然和社会双重属性,它们都是灾害的本质属性,缺一不可为灾害。由此引申出统一协调的治理途径,即以工程技术措施改造洪水,同时调整社会经济发展以适应洪水。适应并非消极避让,而是同时尊重外界自然和人类社会,以求得社会可持续发展。众所周知,通常所说的自然灾害其实并非都是自然发生的,近百年来导致洪水灾害损失上升的主要原因是人类活动。灾害的双重属性进一步阐明了灾害的本质属性,这是一种哲学思维方面的进步。

20世纪80年代,我国一些学者和水利界人士在反思防洪实践和借鉴国外防洪理念的基础上,提出了洪水风险只能减轻、不能消除以及洪水灾害双重属性的概念,工程措施和非工程措施相结合的防洪思想随之形成。20世纪最后十年的国际减灾十年活动使上述防洪观念进一步普及,并在各界逐步达成共识。

1998年洪水以后,引发了我国决策层对前50年防洪思路的反思。随后,以现代水利和可持续发展水利取代工程水利成为制定未来防洪政策的出发点,研究水利与国民经济之间的关系,使防洪为社会可持续发展服务成为新时期防洪减灾研究的必然。

世界银行1995年的调查报告指出:占世界人口40%的80个国家正面临着水危机,发展中国家约有10亿人喝不到清洁的水,17亿人没有良好的卫生设施,每年约有2500万人死于饮用不清洁的水。联合国秘书长安南在2001年“世界水日”讲话中指出:“获得安全饮用水是人类的基本需求,也是基本的人权。污染过的水损害了人们的身体健康和社会健康,是对人类尊严的侮辱。……即使是今天,洁净水仍然是许多人根本得不到的奢侈品。世界上有10多亿人无法获得改善的水源,同时还有25亿人生活在没有基本卫生条件的环境里。这些人不仅在世界上最为穷困,而且健康状况最不理想。实际上,缺乏安全的水供给导致了发展中国家80%的疾病和死亡。”淡水资源的缺乏不是个别国家所独有的问题,而是全球在发展中面临的问题,并且有愈来愈加剧的趋势。从未来水资源开发利用和水资源与人类的关系分析可以预测,21世纪的水资源同20世纪的石油问题和危机一样,将上升为全球的另一种资源危机,它的影响将会远远大于20世纪石油的影响。

中国是一个水资源缺乏的国家,水资源总量为 28 124 亿 m^3 ,其中河川径流 27 115 亿 m^3 ,居世界第四位,水资源总量并不少。但我国人均水量只有 2 350 m^3 ,只有世界人均占有水量的 27%,在世界上排名第 110 位。耕地每公顷平均水量 27 867 m^3 ,约为世界的 3/4。中国政府对未来水资源有比较清醒的认识,并十分重视水资源的开发、利用和保护。在我国国民经济发展“第十个五年计划”中,把水资源、粮食和油气资源的安全列为我国三大安全问题,充分体现了我国政府在人类社会的生存与发展方面所做的努力。

由上文可知,水多了,造成洪水泛滥会发生灾难;水缺乏了,无水可用也是一种灾难。洪水是一种资源,洪水资源与其他许多资源一样,利用好了是一种资源,利用不好,就会发生严重灾害!

由此联想到防洪,现在看来,只讲防洪并不全面。按照现代观念,对待洪水一要防,二要利用,防用并举才是惟一正确的途径。

由此再联想到河流的防洪与治理,防止河流泛滥成灾,只是问题的一个方面,单纯地强调排洪入海减轻灾害的时代已经过去,对河流水资源(包括洪水资源)综合治理、开发、利用、保护的时代已经到来。

黄河是我国的第二条大河,黄河水资源是我国西北和华北地区的主要水源,黄河的问题与中国水资源的问题密切相关。同时,黄河的安澜也与中国的安定联系在一起,黄河的治理是安国兴邦的大事。

众所周知,黄河的问题几乎包含了我国河流所有的问题,诸如生态环境、水资源及防洪等等。近几十年来的实践表明,黄河治理开发是我国水资源开发的关键问题,已被比喻为解决中国水资源问题的“钥匙”。假如黄河的问题得到了妥善的解决,解决中国河流开发与治理中存在的问题便有了希望。

黄河是世界上最复杂、最难治理的河流之一,其治理开发的难度和“症结”在于泥沙,由于大量的泥沙使下游河道严重淤积,形成地上“悬河”,直接威胁到两岸甚至整个黄淮海平原人民生命财产的安全,成为中华民族之“忧患”。近年来,又出现了缺水、断流加剧及水污染严重等新问题。这与人口、资源、环境和经济社会协调发展很不适应,与黄河在国民经济和社会发展中的地位也极不相称。而黄河又是中华民族的发祥地,经济开发历史悠久,文化源远流长,曾经长期是我国政治、经济和文化中心。黄河水利是中国水利的先驱,也是世界水利发展史上的典范。从大禹治水到黄土高原大规模的流域综合治理,从智伯渠到如今的引黄济津,从 20 世纪中叶三门峡水利枢纽的兴建到小浪底水利枢纽的蓄水运行,从过去“三年两决口”的洪水泛滥到新中国成立后的岁岁安澜,无处不凝结着中华民族智慧的结晶和镌刻着中国水利发展的轨迹。新中国成立后,在党和政府的领导下,我国的治黄事业取得了史无前例的成就,结合下游防洪和堤防建设,相继在黄河干流上兴建了三门峡、刘家峡、龙羊峡、小浪底等多项水利枢纽,变“水害”为“水利”,同时在中游黄土高原地区实施了大规模的水土保持工作,有效地减少了入黄泥沙,形成了“上拦下排、两岸分滞”的防洪工程体系。近年来,黄河水利委员会加快“三条黄河”建设,“维持黄河健康生命”,让黄河长治久安的治黄新理念正顺利实施,必将对黄河的安澜、国民经济的持续发展、社会的稳定起到积极的促进作用,治黄事业在中国水利史上写下了并将继续写下光辉灿烂的篇章。

黄河的治理与开发,对中国的水利事业产生了重大的影响,特别是在泥沙控制、防洪、水库泥沙、高含沙河流的水利工程设计等方面的治理和研究成果,引起了世界各国的关注,并

对世界河流泥沙的综合治理和水利工程建设产生了深远的影响。

黄河经历了几千年的治理开发历程,为我国河流的治理积累了丰富的经验,形成了一系列治理开发思路和治理方略,基本奠定了现代治黄技术和理论基础。但是,黄河的问题还没有从根本上解决。

作为治黄工作者,在新形势下,我们要站在黄河边,放眼全世界。我们不仅要研究黄河出现的新情况、新问题,更要研究世界各国河流治理开发的成功经验和失败教训。在世界众多的江河治理开发过程中,各国根据自己国家的国情、发展状况和社会背景,对本国河流(或流经本国的国际河流)进行了治理开发及一系列的研究工作,特别是发达国家在河流和流域治理的过程中经历了治理、破坏、保护、发展的过程,有力地推动了流域和区域经济的发展,形成了各具特色的河流(流域)治理开发经验和模式,并总结出了一系列的治河方略,这些经验形成了世界上河流治理开发的宝库。美国的田纳西河流域把开发、治理、管理、经济等有机地结合起来,形成了一个完整的、高标准的流域保护和经济发展体系;法国的罗纳河,把流域的保护与水资源开发利用并重,使流域内的生态系统基本处于良好状态,起到了经济发展的先锋和纽带作用等。面对全球的发展变化和时代潮流以及现代科技的进步和发展,国际上一些发达国家在河流(流域)治理开发方面取得了比较成功的经验,特别是在流域管理模式、现代化技术的应用等方面走在了前面。研究、学习、吸取世界各国特别是发达国家在防洪、河流治理开发方面的成功经验、失败教训和管理模式,对黄河的治理开发来说,无疑是一条捷径。正是基于此,我们收集海量资料,选择国内外有代表性的 18 条河流进行剖析,对洪水多发国家防洪、河流(流域)管理和综合治理开发的成功经验、失败教训和管理模式进行深入研究,并结合中国社会、经济和黄河治理开发保护中存在的重大问题,提出相应的治黄方略、措施和政策建议,编辑出版了《世界江河防洪与治理》一书。

该书分为上、下两册。上册分为两部分,第一部分主要介绍洪水和防洪的现代理念、世界江河洪灾概况、国内外防洪史、防洪措施及世界各国防洪减灾经验;第二部分选择 7 个有代表性的国家,介绍洪水多发国家的防洪战略与措施。下册为世界江河防洪与治理实例,主要介绍国内外 18 条河流的洪水与防治,水资源综合治理、开发和利用的经验和教训,并选择其中几条与黄河进行比较,提出加强黄河流域综合治理开发与管理的建设性意见。上册由张柏山主编,牛红生任副主编。下册由陆德福主编,朱晓光任副主编。全书由陆德福统稿、定稿,张柏山审核。参与本书资料收集、翻译、整理和著录的有牛红生、朱晓光、刘艳玲、王全兰、李英。

编者

2003 年 10 月

目 录

上册

第一部分 世界江河防洪与治理综述

第一章 绪论	(1)
第一节 洪水、洪灾及防洪的基本概念	(1)
第二节 世界防洪史	(14)
第三节 防洪对社会、经济发展和生态环境的影响	(22)
第二章 世界江河洪灾概况	(43)
第一节 国外江河洪灾概况	(43)
第二节 中国河流洪灾概况	(47)
第三节 国内外防洪减灾发展趋势分析	(50)
第四节 国内外河流治理开发特点分析	(62)
第三章 防洪措施	(67)
第一节 防洪措施概述	(67)
第二节 防洪工程措施	(68)
第三节 防洪非工程措施	(70)
第四节 国外防洪措施的发展	(71)
第五节 国外防洪工程措施和防洪非工程措施	(71)
第六节 我国防洪工程措施和防洪非工程措施	(74)
第四章 世界各国防洪减灾管理经验	(98)
第一节 美国防洪减灾的组织与管理	(98)
第二节 莱茵河流域各国防洪减灾的经验	(102)
第三节 日本的防洪对策	(108)
第四节 对中国防洪减灾问题的思考	(110)

第二部分 世界洪水多发国家的防洪战略与措施

第五章 概述	(115)
第六章 荷兰防洪战略和措施的演进	(118)
第一节 荷兰的洪水与防御	(118)
第二节 荷兰防洪战略的演进与新战略的形成	(123)
第七章 德国的防洪战略和措施	(125)
第一节 德国的洪水灾害与防洪概况	(125)
第二节 德国的防洪措施及其发展战略	(126)
第三节 社会减灾责任	(129)
第四节 借鉴和启迪	(129)
第八章 印度的防洪战略与措施	(131)
第一节 印度的洪水灾害	(131)
第二节 印度防洪措施的历史沿革	(132)
第三节 印度的防洪工程措施	(133)
第四节 印度对防洪工程措施的反思	(134)
第五节 印度的防洪非工程措施	(135)
第六节 印度防洪减灾的总方针和发展新趋势	(137)
第九章 孟加拉国的防洪战略与措施	(139)
第一节 孟加拉国概况	(139)
第二节 孟加拉国洪水灾害特点	(139)
第三节 孟加拉国的防洪工程措施	(140)
第四节 孟加拉国的防洪非工程措施	(142)
第十章 英国的水资源管理与防洪新战略	(144)
第一节 英国的水资源管理	(144)
第二节 英国的防洪新战略	(145)
第十一章 美国的防洪战略与措施	(149)

第一节	美国的洪水灾害与管理	(149)
第二节	美国防洪的若干举措	(152)
第三节	美国新的防洪战略和措施	(155)
第四节	21 世纪美国江河防洪减灾对策	(156)
第十二章	日本的防洪战略与措施	(167)
第一节	日本的洪水灾害情况	(167)
第二节	日本防洪工程发展简史	(168)
第三节	日本的防洪标准	(169)
第四节	日本的防洪战略与措施	(169)
第五节	日本重视综合防洪的特点	(173)
第六节	日本防洪减灾的一体化建设	(174)
第七节	日本建立以减灾为目标风险管理机制的经验	(176)
第八节	日本防洪发展新趋势	(177)
第十三章	中国未来防洪方略的思考	(178)
第一节	20 世纪 90 年代我国防洪形势与特点	(178)
第二节	对未来防洪方略的思考	(179)
第三节	对我国未来防洪对策的展望	(181)
第四节	中国防洪减灾的新策略	(183)

第一部分 世界江河防洪与治理综述

第一章 绪 论

第一节 洪水、洪灾及防洪的基本概念

一、洪水及防洪的现代理念、分类与特性

(一)洪水

所谓洪水,是指河流因大雨或融雪而引起的暴涨的水流,也可以说是河流中在较短时间内发生的水位明显升高的大流量水流。洪水往往来势凶猛,具有很大的自然破坏力,淹没滩地,漫溢或冲垮两岸堤防。因此,研究洪水特性,掌握其发生与发展规律,积极采取防治措施,把洪水造成的损失降到最低限度,是研究洪水的主要目的。

(二)防洪的现代理念

洪水并非完全有害(它是江河物质输移的载体,是维系流域生态系统平衡的重要条件),也是一种资源,是可利用水资源的重要组成部分(尤其在像中国这样水资源时空分布不均、严重缺水的国家)。因此,人们越来越清醒地认识到,不能孤立地研究防洪问题,应该充分考虑怎样把洪水利用起来。为此,近年来防洪调度已由过去单纯的防洪减灾(排洪入海了事)向结合洪水资源利用方向转变(利用洪水资源,回灌补充地下水等)。

洪水灾害具有自然和社会双重属性,它们都是灾害的本质属性,缺一不称其为灾害。由此引伸出统一协调的治理途径,即以工程技术措施改造洪水,同时调整社会经济发展以适应洪水。适应并非消极避让,而是同时尊重外界自然规律和人类社会需求,以求得社会可持续发展。人们越来越认识到,通常所说的自然灾害其实并非都是自然发生的,近百年来导致洪水灾害损失上升的主要原因是人类活动。灾害的双重属性进一步阐明了灾害的本质属性,这是一种哲学思维方面的进步。

20世纪80年代,我国一些学者和水利界人士在反思防洪实践和借鉴国外防洪理念的基础上,提出了洪水风险只能减轻、不能消除,以及洪水灾害双重属性的概念,工程措施和非工程措施相结合的防洪思想随之形成。20世纪最后10年的国际减灾十年活动使上述防洪观念进一步普及,并在各界逐步达成共识。

中国'98洪水以后,引发了决策层对前50年防洪思路的反思。随后,以现代水利和可持续发展水利取代工程水利成为制定未来防洪政策的出发点,研究水利与国民经济之间的关系,使防洪为社会可持续发展服务成为新时期防洪减灾研究的必然。

(三)洪水的分类

洪水按其成因和地理位置的不同,又可分为暴雨洪水、融雪洪水、冰凌洪水、山洪以及溃

坝洪水等。海啸和风暴潮等,也可以引起洪水灾害,在此一并加以研究。

1. 暴雨洪水

暴雨洪水系由暴雨通过产流、汇流在河道中形成的洪水。美国、印度、日本、中国等国家是多暴雨的国家,暴雨洪水的发生很频繁,造成的灾害也很严重。因此,研究暴雨洪水的特征及其规律性,采取有效的防洪措施,最大限度地缩小洪水灾害,是研究暴雨洪水最主要的目的。

(1)暴雨洪水的成因。除形成暴雨的气象因素外,暴雨在一个较短时间内,集中地降落或扣除植被截留和湿润土壤后的雨水在坡面和河网中流动并向下游汇集,愈集愈多,形成洪水。暴雨结束,洪水并不随之终止,而要持续一段时间,历时长短视流域大小、下垫面情况与河道坡降等因素而定。洪水大小不仅同暴雨量级关系密切,而且与流域面积、土壤干湿度、植被、河网密度、河道坡降以及水利工程设施有关。在相同的暴雨条件下,流域面积承受的雨水愈大,洪水愈大;在相同暴雨和相同流域面积条件下,河道坡度愈陡,河网愈密,雨水汇集愈快,洪水愈大;即使上述条件都相仿,洪水也不一定相同。例如,暴雨发生前土壤干旱,吸水较多,形成的洪水就小,在久旱遇雨的中国北方干旱与半干旱地区这种现象尤为突出。水库工程和水土保持工程可以拦蓄部分暴雨洪水,而开挖河道则可使水流畅通,增加沿河洪峰流量,减少洪涝灾害。

(2)暴雨洪水的季节和年际变化。暴雨具有明显的季节性与地区性,因此,洪水亦显示出强烈的时间变化特点。暴雨洪水的年际变化也很大,而且还有连续出现丰水或枯水年现象。湿润地区的年际变化一般较干旱地区的小。

(3)暴雨洪水的影响因素。①天气过程:大流域的大洪水,一般由长历时的天气过程所造成;中小流域的大洪水,则往往由短历时或局部地区暴雨所造成。②暴雨中心的位置:暴雨中心偏于流域上游时,洪峰流量较小;暴雨中心偏于下游时,洪峰流量较大。③暴雨中心移动的方向:暴雨中心移动方向沿河而上时,洪峰流量较小,反之较大。④流域下垫面条件:在植被较好的地区,特别是林区的河流,洪水涨落平缓,洪峰模数(单位面积产生的洪峰流量)明显减小;而在植被较差地区的河流,如黄土流失地区,一遇暴雨,水沙俱下,洪峰模数很大。在岩石裸露或土层很薄的地区,下垫面的吸水能力很差,易于形成暴雨洪水。

(4)暴雨洪水的预报。根据前期和现实的场次暴雨资料及有关水文气象信息,对暴雨形成的洪水过程进行预报,简称雨洪预报。暴雨洪水预报是水文预报的重要内容,包括流域内一次暴雨的径流量,及其在流域出口断面形成的径流过程,前者称降雨产流预报,后者称流域汇流预报。预报的项目一般包括洪峰水位(或流量)及其出现时间、洪水降落过程及洪水总量。

影响暴雨洪水形成的因素众多,有产生暴雨的天气形势、暴雨特性,如暴雨量、暴雨强度及范围、暴雨移动途径等;下垫面条件,如地形、地质、土壤、植被及河网特征等。

暴雨洪水预报方法多系在产流、汇流理论基础上的经验性方法。例如20世纪40年代,在分析暴雨径流形成规律基础上提出的降雨径流相关分析的产流预报,在河道洪水波传播运动原理基础上,提出的相应水位、演算河道洪水的汇流预报,以及应用汇流曲线,如单位线、等流时线等流域汇流方法。20世纪60年代以后,流域水文模型的研究和应用发展很快,主要提出了分层计算蒸发、分单元考虑产流、分水源考虑汇流的一种概念性模型,对模型参数进行自动优化,模型结构不断改进完善,同时采用系统识别技术改进模型参数估计,应

用人机对话技术进行实时校正,提高预报精度。近年来,卫星遥感技术及测雨雷达等现代化手段与水文预报模型结合应用,完整的、功能齐全的、使用方便的洪水预报系统的建立,进一步提高了暴雨洪水预报的预见性和准确性。

2. 融雪洪水

融雪洪水系由流域内积雪(冰)融化形成的洪水。高寒积雪地区,当气温回升至 0°C 以上,积雪融化,形成融雪洪水。若此时有降雨发生,则形成雨雪混合洪水。融雪洪水主要发生在严重积雪或冰川发育的地区。

从物理观点来看,融雪是热动力过程,可用能量平衡方法进行研究。融雪热来自净辐射,以及大气、土壤、雨水和水汽凝结释放的热量。来自太阳的辐射热量,一部分被雪面反射到天空或被风吹散,剩余部分热量则用于蒸发和促使积雪融化。除了净辐射外,影响融雪的因素还有气温、湿度、风速与降水等。积雪底部的土壤缓慢地将热量传送给积雪,致使积雪底部融化,使土壤水分趋于饱和。因此,积雪地区的径流系数(即河川径流与融雪水的比值)一般较大。因气温在冰点以下,积雪不会消融,因此,常用积累正气温作为判断积雪融化的重要指标。

单纯的融雪洪水具有明显的日变化。在高纬度寒冷地带,气温转暖后,白天气温超过 0°C ,积雪融化促使河水上涨,晚间气温下降至 0°C 以下,积雪停止消融,洪水渐退。次日又重复出现上述过程。洪水每日的涨落很有规律,形成锯齿形洪水过程。由于积雪融化有一个较长的过程,因此,融雪洪水并不与积雪融化同时发生,而是要滞后一段时间,且洪水过程亦较长。在此期间,若发生降雨,雨水将使雪的热容量与毛管持水容量降低,从而促使积雪急速消融和软化。因此,在积雪融化季节遇上暴雨,往往会在同量级的融雪洪水上增加暴雨洪水,形成更大的雨雪混合型洪水。

我国新疆、黑龙江等地区常常发生融雪洪水。美国、加拿大、俄罗斯等国家的一些地区,在春季积雪大量融化时,如恰遇暴雨,则在量大、历时长的融雪径流之上,又增加高峰的暴雨洪水,往往酿成更大的洪灾。

融雪洪水的预报:根据热量平衡原理,对流域面上的季节性积雪融化形成的洪水进行预报。融雪洪水预报对于积雪量大的地区的灌溉、航运、水库水量调度、工矿、城市取水及木材浮运等具有重要意义。融雪过程就是大气与雪层的热量交换以及雪层与水体内部的热量交换的热量平衡过程。融雪的出水量,即产生于土壤表面的融雪水量,取决于供给雪层的热量和雪层的物理特性。融雪热量的主要来源包括太阳净辐射、空气中的感热传导和对流输送、空气中的水汽在雪面上的凝结、土壤的热传导、降雨供热。影响融雪出水量的雪层特性,包括雪的密度、热容量、导热性、透热性、反射率及雪层的结构等。对流域来说,还要考虑出水面积。融雪洪水过程和降雨洪水过程有很大的不同,融雪强度与气温变化过程关系密切。

融雪出水量计算与融雪径流预报:融雪径流预报首先需确定融雪出水量,它是由融雪而产生于土壤表层的水量。融雪径流是扣除土壤入渗和蒸发损失后流经出口断面的水量。只有当单位时间内从融雪层流到地面的水量(即出水强度)大于下渗强度时,才产生径流。最简易的融雪水量计算方法是融雪系数法,即度-日数法,公式表示为: $M_s = C_s \sum t_+$ 。式中, M_s 为融雪水深,mm; $\sum t_+$ 为累积日平均正气温, $^{\circ}\text{C}$; C_s 为融雪系数,即日平均正气温 1°C 所融化的雪量,一般为 $0 \sim 9\text{mm}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d})$,实用上可取 $2 \sim 5\text{mm}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d})$ 。 C_s 值在一个地区内并非常数,它随融雪历时增长而增大,又随积雪面积减少而减小,在林地又比平地小。根据

流域高程曲线,估算零度等温线与雪线之间的融雪面积,并求得流域平均累积正气温,代入上式,即可计算全流域平均融雪水深 M_s 。推求融雪出水量 M_w 时,应加上纯雪中滞蓄的水量 W_s 。融雪径流预报,除了考虑融雪出水量外,还需考虑地下蓄水量、前期土壤缺水量、融雪期降水量等,常采用相关关系推求。融雪径流的主要损失项目是入渗和填洼。季节性冻土影响融雪期冻土径流的形成,主要有3个方面:①改变土壤的入渗强度;②改变土壤的蓄水量;③改变土壤的蒸发量。因冻土融化耗热,使地表热交换作用减弱,土壤蒸发量减小。

融雪洪峰量的预报:常采用反映雪层受热量的一定高程上的累积正气温与流量建立相关图来推求。也可以用雪线以上高程的最高气温同最大流量建立关系。如果缺乏高山气象资料,可用相当于雪线高程的探空资料同流量建立关系。融雪洪峰流量是最高气温的函数,与雪线高程、辐射强度、积雪厚度、前期气温变化以及融雪期的降水量等因素有关,且受积雪与融雪分布的不均匀性影响。由于雪线位置随季节变化,所以相同气温在不同季节对径流量的影响是不同的。对雪线较稳定、雪层较厚的流域,累积前期气温才是主要的影响因素。考虑诸因素的综合作用,可从流域的热量平衡方程出发,建立融雪洪峰流量与气象要素以及其他因子间的经验回归方程式。

洪峰出现时间的预报:可利用融雪径流滞后于气温变化的特点,建立最高气温出现日期与最大流量发生日期的关系,或确定气温转正(或大于某一温度)的日期与洪峰日期之间的关系。此外,还可建立包括降雪和积雪过程以及融雪中的热量交换等内容在内的融雪径流模拟模型。

3. 冰凌洪水

冰凌洪水系由河川中因冰凌阻塞和河槽蓄水量下泄而引起显著的涨水现象。冰凌洪水又称凌汛,它是热力、动力、河道形态等要素综合因素作用的结果。按洪水成因,冰凌洪水又可分为冰塞洪水、冰坝洪水和融冰洪水3种。

冰塞洪水:河流封冻后,冰盖下面冰花、碎冰大量堆积,阻塞部分过水断面,造成上游河段水位显著壅高。当冰塞融解时,蓄水下泄形成洪水过程。冰塞常发生在水面比降由陡变缓的河段。大量的冰花、碎冰向下游流动,当冰盖前缘处的流速大于冰花下潜流速时,冰花、碎冰下潜并堆积于冰盖下面形成冰塞。冰塞的规模大小不等,大河冰塞河段可长达几十公里,冰花厚度达5m以上,冰花、碎冰堆积面积可占横断面的70%以上,大型冰塞体可存在于整个冬季。如河道较窄,上游来水来冰量多,下游过水断面堵塞严重,气候严寒,则壅水位高,影响距离远,持续时间长。

冰塞洪水往往淹没两岸滩区的土地和村庄,甚至大堤决溢。例如,1982年1月黄河龙口到河曲河段发生的大型冰塞,长30km,最大冰花厚度9.3m,壅高水位超过历史最高洪水位2m多,局部河段高出4m以上,给当地工农业生产造成重大损失。

冰塞体随气温、水温的升高而逐渐融解,槽蓄水量释放较慢,形成平缓的洪水过程。

冰坝洪水:大量流冰在河道内受阻,冰块上爬下插,堆积成横跨断面的坝状冰体,严重阻塞过水断面,使冰坝的上游水位显著壅高,当冰坝突然破坏时,槽蓄水量迅速下泄,形成冰峰向下游演进。

冰坝洪水多发生在由南向北流的河段内。下游河段纬度高,封冻早、解冻晚、封冻历时长、冰盖厚;上游河段纬度低,封冻晚、解冻早、封冻历时短、冰盖薄,当河段气温突然升高,或上游流量突然增大,迫使冰盖破裂形成开河时,上游来水加上区间槽蓄水量携带大量冰块向

下游流动。但下游河段往往处于固封状态,阻止冰水下泄,形成冰坝,使冰坝的上游水位迅速壅高,冰坝的下游水位明显下降。当冰坝发展到一定规模,承受不了上游的冰水压力时,便突然破坏,同时沿程又汇集更多的水量、冰量,向下游流动,在下游的弯曲、狭窄及固封河段又会形成冰坝。冰坝的形成和破坏阶段往往造成冰害,轻则流冰撞毁水工建筑物,淹没滩区土地、村庄,重则大堤决溢,给国计民生带来严重损失。据不完全统计,黄河下游 1875 ~ 1938 年的 63 年中,因凌汛决口就有 24 次,平均两年多决口一次。松花江在 1981 年开江期,仅依兰至富锦的 365km 江段,就有冰坝 16 处,冰坝高度达 6 ~ 13m 之多。

冰坝洪水形成的主要条件是:①上游河段有足够数量和强度的冰量;②具有输送大量冰块的水流条件;③下游有阻止大量流冰的边界条件,如河道比降由陡变缓处,水库回水末端,河流入湖、入海口地区,河流急弯段,稳定封冻河段及有冰塞的河段等。

冰坝洪水有几个明显的特点:①流量不大水位高。冰凌使水流受阻,流速减小,尤其是卡冰结坝使水位壅高,使河道水位在相同流量时比无冰期高得多。②凌峰流量沿程递增。因为封冻后河槽阻拦部分来水,河槽蓄水量不断增加,开河时,急剧释放出来,向下游演进,沿途冰水越集越多,形成越来越大的凌峰。③冰坝上游水位上涨幅度大、涨率快。当下游过水断面被冰坝严重堵塞后,由于上游冰水齐下,来势凶猛,因此,水位大幅度上涨,且涨率快。

融冰洪水:系封冻河流或河段主要因热力作用冰盖逐渐融解,河槽蓄水下泄而形成的洪水。开河前由于太阳辐射增强,日照时数增长,气温升至 0℃ 以上,封冻冰盖上融下化,岸边、河心融冰相继出现,冰盖的温度显著降低,敞露水面,上下游贯通,槽蓄水量缓慢释放而产生洪水。融冰洪水来势平稳,凌峰流量较小。

冰情观测:系对寒冷地区河流、湖泊和水库在冬季结冰、化冻等冰凌现象进行的观测工作。有关冰情演变过程一般可分为 3 个时期:结冰期、封冻期和解冻期。结冰期,河流产生大量冰花,其厚度不大,结构松散,遇障碍物极易破碎,对建筑物本身没有危害,但在流冰期长,冰花量大的河流,一些引水渠道和进水口常因冰花堵塞而使整个枢纽不能正常运行。封冻期,河流、湖泊和水库的冰盖厚度随累积负气温的增长而增厚。在气温回升时期,冰盖受热膨胀产生静水压力,在一定条件下将危及土坝护坡、进水塔、桥墩等水工建筑物的安全。解冻期,冰盖破裂产生流冰,在气温急剧回升形成的“武开河”的年份,解冻期冰、水量大而集中,易形成冰坝,壅高水位,威胁堤防安全。此外,这一时期的流冰质地坚硬,厚度及平面尺寸较大,在水流或风力作用下,具有很大的破坏力,不仅危及水工建筑物本身的安全,还可能在闸孔、桥墩、进水口处发生堵塞形成冰坝,危及整个枢纽的安全和造成上游堤坝决口。河道上兴建水工建筑物后,明显地改变了原来上下游的水力、热力条件,从而产生新的冰情。如回水末端由于流速锐减,容易形成冰塞、冰坝。大型水库的下游,由于水库调蓄了水流的热量,即使在严冬,出库水流的温度仍可高于 0℃,致使下游河道有一段不封冻,影响下游原有的冰上交通、气候和环境。开展冰情观测,了解和掌握冰情演变规律对其水工建筑物的影响,可为河道凌汛的防守和水利工程防凌设计、运行和管理提供科学依据。

冰情预报:应用气象、水文、冰情历史资料,现时信息和河道特征,根据热力学和水力原理,对各种冰情要素进行预报,对结冰河流、湖泊、水库的防凌、航运、冰上运输、水利工程的施工和运行管理,以及工农业生产和国防建设,都有重要意义。

中国古籍《易经》中就有关于冰情方面的记载。后来有些流域和地区流传冰情预报含义的谚语。例如黄河下游就有“一九封河,三九开,三九不开等春来”之说。1949 年以来,我国

北方一些流域机构和水文总站相继开展了冰情预报。19世纪中叶,俄国、加拿大学者发表了封冻、解冻和春汛灾害的报告。20世纪20~30年代,法国、苏联学者提出了封冻、解冻和春汛预报方法,70年代以来,由国际水力学研究协会发起召开了多次国际性冰情学术会议,促进了冰情预报的理论和方法的发展。

冰情预报方法可分为以热量平衡原理为基础的分析计算法和冰情、气象水文观测资料基础上的经验相关法两大类。冰情预报方法以经验相关法为主,也建立了封冻预报、冰盖下流量过程演算的数学模型。预报内容包括封冻、解冻、冰厚、冰塞和冰坝等项目。

封冻预报,包括流冰开始日期、封冻日期、冰塞、冰厚及其承载力等。流冰开始日期预报就是预报河流水温下降到0℃的时间,以此近似地作为流冰开始日期。可先由热量平衡方程式用气温等因素来推求水温,再结合失热量的计算来预报流冰开始日期。封冻日期预报,首先要做出封冻趋势预报,再用气温转负日期等指标反映冰凌的数量和冻结力,用封冻前水位(流量)反映水流的曳引力,再考虑河流的水力因素作用,而与封冻日期建立相关图来预报。

冰塞预报,主要预报冰塞壅水高度。冰塞主要与冰流量有关,或与气温、流量有关,而流量又与流速有关,所以通过预报(计算)冰流量或气温、流量来预报冰塞壅水高度。一般用经验相关法和水力学计算法。

冰厚预报,常用累积负气温等反映河流水体的失热情况。我国应用黄河、辽河、松花江、黑龙江的资料,建立了累积负气温与冰厚的关系式 $d_g = 2.08 \sum T^{0.53}$, 式中, d_g 为冰厚; $\sum T$ 为累积负气温。冰的承载力是冰厚和气温的函数,预报冰厚和气温后,考虑荷载种类,就可预估冰盖的允许荷载能力。

解冻预报,通过分析太阳辐射与水内热量交换的热力因素和水位上涨的抬升力的水力因素,预报冰盖变形、裂缝等解冻现象。它包括解冻形势、解冻日期、冰坝、解冻最高水位(最大流量)及其出现日期等项目。

解冻形势预报,是依上游冰盖解冻时形成的冰水来量,预报下游封冻河段能否安全通过,主要从冰情和冰盖下河道的过水能力来判断。如能安全通过,即可形成“文开河”,否则造成“武开河”。解冻日期预报是分析冰塞表面与大气间的热交换,冰盖下与河床、水流间的热交换及解冻的水力因素的指标,与解冻日期建立经验关系进行预报。

冰坝预报,是预报冰坝出现地点、时间、冰坝壅水高度以及冰坝溃决,下游水位等。

水库冰情预报,水库的地理位置、库容、调节方式、流域水文特性等因素可引起水库水情和冰情的显著变化,水库冰情预报主要是预报水库回水末端冰塞壅高水位和预报大坝下游零温断面位置及封冻前缘位置。冰塞壅高水位预报同前。由于水库调蓄了水量和热量,下游有相当长的河段不封冻。零温断面位置预报依据热量平衡方程,计算进入水库下游河段和散失的热量来预报零温断面至坝址的距离。封冻前缘位置预报可建立封冻前缘至坝址的最短距离(即最小不封冻距离)与某时期最小旬单宽流量、单宽热流量和出库水体水温的经验公式。

要提高冰情预报的精度,必须加强研究冰情的物理机制,并与天气预报密切结合。

4. 山洪

山洪系由流速大、过程短暂、挟带大量泥沙和石块、突然暴发的破坏力很大的小面积山区水流形成的洪水。山洪主要由强度很大的暴雨、融雪在一定的地形、地质、地貌条件下形

成。在相同暴雨、融雪条件下,地面坡度愈陡,表层物质愈疏松,植被条件愈差,就愈易于形成山洪。由于山洪具有突发、时间短促、破坏力很强等特点,山洪的防治已成为当前许多国家防灾的一项重要内容。

山洪的分类:山洪按径流物质和运动形态,可分为普通山洪和泥石流山洪两大类。普通山洪以水文气象为发生条件,在遇到暴雨或急剧升温情况下,易于形成暴雨山洪、融雪山洪或雨雪混合山洪。这种山洪的泥石含量相对较少,其容重一般小于 $1.3\text{t}/\text{m}^3$;流速很大,有时高达 $5\sim 10\text{m}/\text{s}$,甚或更高。它对河槽的冲蚀作用很强,基本上不发生河槽沉积。以裸露基岩为主的石山区,最易于发生这种山洪。泥石流山洪是山洪的一种特殊形态,除水文气象因素外,还需要表层地质疏松为条件。从力学观点区分,泥石流有重力类泥石流和水动力类泥石流两种主要类型。重力类泥石流是坡面上松散的土石堆积物发生失稳和突然运动的现象。雨水侵入虽为主要原因,但它不一定与洪水同步发生,其运动范围亦较小。水动力类泥石流发生于暴雨期间,与洪水同步发生,称泥石流山洪。泥石流山洪的泥石含量很高,容重一般为 1.3 (稀性泥石流)~ 1.5 (稠性泥石流) t/m^3 ,甚至超过 $2\text{t}/\text{m}^3$ 。在黄土山区,由于岩石很少,则常形成泥流山洪。泥石流的流速,一般较普通山洪为低,在发展过程中,常伴有冲蚀和沉积两种作用。在峡谷河槽和涨水过程中,冲蚀作用明显;在河槽展宽地带和落水过程中,沉积作用明显;特别是在河口处,常有巨量沉积物堆积,有的形成石海,最大石块达数十到数百吨。山洪尤其是泥石流山洪,冲毁农田、林木、村镇、铁路、桥梁,并淤堵河川,可造成极为严重的灾害。

山洪的分布:山洪多发生在温带和半干旱地带的山区。那里往往暴雨强烈,表层地质疏松且植被较差,为山洪的形成提供了条件。我国山洪分布很广,除干旱地区以外的山区均有发生,尤以淮河、海河和辽河流域的山区最为强烈。泥石流山洪主要分布在西南、西北和华北山区,其他地区也有零星分布。

山洪的防治:山洪的防治措施包括非工程措施和工程措施两类。非工程措施有降雨天气预报、山洪预报和警报,其目的是防患于未然,尽量减少山洪灾害和损失。由于山洪预报的预见期短,往往不能满足需要,因此,也可开展山洪可能性预报,根据天气形势和流域的地质、地貌情况(如有无滑坡先兆等)做出推断,以便采取相应的对策。工程措施主要是水土保持措施,主要包括坡面治理、沟道治理和小流域综合治理。其中,坡面治理主要有梯田、山坡截留沟和种草植树等,目的是拦截径流,增加土壤蓄水能力,减少水土流失,这是防治山洪的根本性措施。沟道治理主要采取在沟道上修建谷坊、淤地坝、拦沙坝和小型水库等,增加蓄水,减少或延缓径流,以达到消减山洪的目的。小流域综合治理是坡沟兼治,农、林、牧、水各种措施结合,以收到防治山洪的最大效果。

山洪侵蚀:山区河流洪水对沟道堤岸的冲淘、对河床的冲刷或淤积过程称为山洪侵蚀。山洪侵蚀是水力侵蚀的形式之一,由于山洪具有流速高、冲刷力大和暴涨暴落的特点,因而破坏力大,并能搬运和沉积泥沙石块。受山洪冲刷的河床称为正侵蚀,被淤积的称为负侵蚀。山洪侵蚀改变河道形态,冲毁建筑物和交通设施,淹没农田和居民区,可造成严重危害。世界上经常遭受山洪侵蚀危害的国家有日本、中国、俄罗斯、美国、奥地利、法国、意大利、瑞士、印度等国。中国山洪侵蚀危害分布很广,其中以西南山区、西北山区、黄土高原、华北山区和东北辽西山地最为严重。

影响山洪侵蚀的因素包括降雨、地形、土壤、地质、植被和人类生产活动等。

5. 溃坝洪水

溃坝洪水系由坝失事、堤决口或冰坝溃决造成的洪水。溃坝洪水具有突发性和来势凶猛的特点,对下游工农业生产、交通运输及人民生命财产威胁很大。工程设计和运行时,需要预估万一大坝失事对下游的影响,以便采取必要的应急措施。

溃坝原因可归纳为5种:①自然力的破坏,如超标准大洪水、强烈地震及库岸滑坡;②大坝设计标准偏低,泄洪设备不足;③坝基处理和施工质量差;④运行管理不当,盲目蓄水或电源及通讯故障等;⑤军事破坏。其中超标准洪水及基础处理问题是溃坝的主要原因。

坝的溃决,按溃决的范围分为全溃和局部溃两类,按溃坝过程分为瞬时溃与逐渐溃,组合成4种情况。具体一个坝的可能溃决情况与坝型、库容、壅水高度和溃坝原因有关。混凝土坝溃决时间很短,可认为是瞬时溃。土石坝溃决有个冲刷过程,有的长达数小时,为逐渐溃。拱坝溃决一般为全溃或某高程以上溃决,如法国的马尔帕塞拱坝。重力坝失事为一个坝段或几个坝段向下游滑动,如美国的圣弗朗西斯重力坝。峡谷中的土石坝溃决可能全溃,如中国的石漫滩水库大坝;丘陵区河谷较宽,土坝较长,多为局部溃,如美国的提堂坝和中国的板桥水库大坝。

6. 海啸

海啸系由海底地震(包括海底地壳的变动、火山爆发、海中核爆炸等)造成的沿海地区水面突发性巨大涨落现象。在海岸地带因山崩、滑坡等使大量的土砂、砾岩倾斜入海,也会引起海啸。这种海底地形短暂而剧烈的变化,也使邻近海面和海水压力相应发生变化导致海啸。当海底地壳因地震而塌陷时,海水先是向塌陷处集中,之后在惯性力作用下使该处的海面形成高度不大但范围很广的水面隆起。在重力作用下,该水面隆起部分就成为海面波动的动力因素,并发展成为海啸。当海底因地震而产生隆起时,则在该处的海面亦随之发生隆起,形成海面向四周传播。海底火山爆发时,喷出的大量岩浆抬高了海面,产生了从火山发源地向四周传播的巨大波动。水下核爆炸引起的海啸与其类似。

海啸为长波,在大洋中传播时,波高一般不大,几十厘米到1m左右,但波长可达数百公里,周期20~80min。海水运动几乎可以从海面传播到海底附近,具有很大的能量,传播速度可达500km/h,能传播很远的距离。海啸在向大陆沿岸方向传播时,由于水深逐渐变浅,传播速度虽有所减缓,但因能量集中,使波高急剧增大而成为海啸巨浪,高度可达10~20m,给沿海工程建设和人民生命财产造成巨大的灾害。根据海啸资料记载,历史上太平洋地壳为海啸多发的海域,世界上70%左右的海啸都发生在这个地区。

7. 风暴潮

风暴潮系由气压、大风等气象因素急剧变化造成的沿海海面或河口水位的异常升降现象。风暴潮是一种气象潮,由此引起的水位升高称为增水,水位降低称为减水。风暴潮可分为两类:一类是由热带气旋引起的;另一类是由温带气旋引起的。在热带气旋通过的途径中均可见到气旋引起的风暴潮,而且大多发生在夏、秋两季,称为台风风暴潮。温带气旋所引起的风暴潮在沿海各地都可能发生,且主要发生在冬春两季。这两类风暴潮的差异是:前者的特点是水位的变化急剧,而后者是水位变化较为缓慢,但持续时间较长。这是由于热带气旋较温带气旋移动得快,而且风和气压的变化也往往急剧的缘故。

目前,广泛使用的风暴潮预报方法有两种。第一种是经验统计法,即依据实测资料,建立经验关系式;第二种方法是动力数值计算法,即从动力学的观点出发,建立运动方程和连