



普通高等教育“十二五”规划教材

# 江河防洪概论

武汉大学 熊治平 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)



普通高等教育“十二五”规划教材

# 江河防洪概论

武汉大学 熊治平 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书共9章,分别介绍了洪水与洪水灾害的基本知识,江河防洪系统的基本概念,常见四类工程防洪措施(即河道防洪整治、堤防工程、水库防洪工程和蓄滞洪工程)的规划设计、管理与调度运用,非工程防洪措施的思想方法与基本内容,信息技术及其在防洪减灾领域的应用,江河防汛基本知识与堤防抢险实用技术等。

本书在介绍传统的、常规的、习用的防洪治水方法与技术的同时,注意跟从学科发展节律,反映专业学术动态,不仅传承科学合理和行之有效的技术与经验,而且也能突显国内外最新的思想方法与技术成果。本书行文言简意赅,可读易懂,专业实用。

本书可作为高校水利类专业本科生、研究生的学习教材,水利高职高专学校及普通高校公共选修课学生的选修教材,也可用作水利系统中从事防洪工作的领导干部和工程技术人员的技术培训用书

## 图书在版编目(C I P)数据

江河防洪概论 / 熊治平编著. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2013.4  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5170-0851-4

I. ①江… II. ①熊… III. ①防洪—高等学校—教材  
IV. ①TV87

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第089091号

|      |                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 普通高等教育“十二五”规划教材<br><b>江河防洪概论</b>                                                                                              |
| 作 者  | 武汉大学 熊治平 编著                                                                                                                   |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (发行部) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                  |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                               |
| 印 刷  | 北京瑞斯通印务发展有限公司                                                                                                                 |
| 规 格  | 184mm×260mm 16开本 13印张 308千字                                                                                                   |
| 版 次  | 2013年4月第1版 2013年4月第1次印刷                                                                                                       |
| 印 数  | 0001—3000册                                                                                                                    |
| 定 价  | <b>26.00元</b>                                                                                                                 |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

洪水是一种自然现象。“天要下雨”人管不了，但“水要犯人”人可以管。这意思是说，江河暴发洪水不由人的意愿所决定，但洪水泛滥致灾则可在一定程度上实现人为管控，即通常所说的防洪。防洪的目的是防灾减灾和除害兴利，即一方面要防止洪水“猛兽”伤人毁物；另一方面要设法驯兽为友，为人谋利，变“害水”为资源、为效益。因此严格说来，人类防洪，防的是（洪）灾，而不是（洪）水，人类惧怕的是（洪）灾，也不是（洪）水。然而，洪水灾害是最为常见的一种自然灾害，无论国内或在国外，它都是危害性最大、造成损失最严重的自然灾害。人类欲想彻底根治洪水和期望洪灾不再发生的想法都是不现实的。

我国幅员辽阔，江河众多，洪水灾害频繁。自古以来，洪水就是中华民族的心腹之患。历史上有关水灾的记载可以追溯到 4000 年之前。据统计，自公元前 206~1949 年的 2155 年中，我国共发生较大洪水灾害 1029 次，几乎每两年一次，小范围的局部水灾，几乎年年都有。

1949 年新中国成立以来，随着我国人口的不断增加和经济社会的快速发展，与水争地现象及人水矛盾日益突出，洪水灾害日趋严重，洪灾损失呈逐年增大之势。目前全国七大江河中下游及沿海平原地区，约有 35% 的耕地、40% 的人口和 70% 的工农业产值处于洪水威胁之下。全国每年的洪灾直接经济损失，少则几百亿元，多则几千亿元。1998 年长江、松花江特大洪水，触目惊心，国人难忘。当年因灾死亡 4150 人，直接经济损失 2551 亿元，占全年自然灾害总损失的 85%。2010 年全国洪涝灾害，受灾人口 2.1 亿人，因灾死亡 3222 人，失踪 1003 人，直接经济损失 3745 亿元。由此可见，洪水真可谓经济社会发展的致命伤。因此，防洪治水历来是各级政府“天大的事”。

长期以来，我国人民为了求生存、求发展，与洪水进行了艰苦卓绝的斗争，取得了可歌可泣的成就。自 1949 年新中国成立以来，我国主要江河进行

了大规模的防洪工程建设，目前在全国范围内已基本形成科学合理的防洪工程布局 and 较完整的防洪减灾工作体系，防洪减灾效益显著。据水利部《2010年全国水利发展统计公报》，全国已建江河堤防 29.41 万 km，保护人口 6.0 亿人，保护耕地 4700 万  $\text{hm}^2$ ；各类水库 87873 座，总库容 7162 亿  $\text{m}^3$ ；各类水闸 43300 座；蓄滞洪区 97 处，蓄洪容积约 1024 亿  $\text{m}^3$ ；全国水土流失综合治理面积 106.8 万  $\text{km}^2$ 。此外，还有大量江河治理及其他水利工程项目。2010 年全年防洪减灾经济效益达 2479.34 亿元。

但是，我们不能忘记恩格斯的警告：“我们不要过分陶醉于我们对自然的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都报复了我们。”我国因特殊的水文气候、自然地理环境以及经济社会情况，与西方发达国家相比，“国情”、“水情”更复杂，“灾情”更严重，防洪治水难度更大。正如周恩来总理所言：水利比上天还难。

“世上无难事”。水利工作者深深懂得担当与责任；防洪治水工作与国家经济建设和社会发展的重大关系；经济社会愈是发展与进步，防洪治水工作愈是要加强，防洪减灾将是一项长期、复杂而艰巨的任务。水利人将不辱使命，为确保江河安澜、建设“美丽中国”而不懈努力。

防洪减灾，匹夫有责。防洪是一项社会公益性事业，治水通常是在政府领导下的有组织的社会行为。防洪治水工作是水利部门的主要工作，但绝不仅是水利部门和水利工作者的事，同时也是每个公民包括在校大学生的法定义务，因此，需要你我共参与，全社会同给力！

本人多年来一直从事治河防洪工程专业教学工作。为了让更多学生了解水利事业及“治河防洪”专业的基本知识，自 2001 年以来，我在武汉大学全校范围内开设了名为“中国江河防洪”的公共选修课。选课生源来自全校各个学院不同专业。课堂运用多媒体教学方式，在讲授基本知识的同时，配合大量图片和影像资料，这些非水利专业的“门外汉”坐在教室、足不出校，即可饱睹洪水的自然现象与洪水灾害的危害性，并可与天然河流和防汛抗洪现场零距离接触，从而帮助他们快速了解有关水利常识和防洪治水知识，树立水患意识，增强防洪观念，传扬抗洪精神，并自觉为我国的防洪减灾事业服务。

为了满足课程教学需要，我曾编写使用过《江河防洪概论》油印讲义。后经教学试用、修改，并由武汉大学出版社于 2005 年、2009 年两次出版。该

书出版以后，据了解，除武汉大学外，还在清华大学、三峡大学、台湾逢甲大学等大学的在校大学生、研究生中使用。此外，该书还多次用作水利部黄河水利委员会、山东省黄河河务局、湖北省水利厅等单位的专业技术干部培训班的培训教材。

通过 10 多年来的教学实践应用，特别是随着科学技术的快速发展与进步，近年来在江河防洪领域，新思想、新方法、新技术、新成果层出不穷，日新月异。因此，原教材需要与时俱进，重新修订、出版。

本书是原《江河防洪概论》的修订版。其编写想法是，在原教材的基础上，更新知识，整合内容，调整章节，缩减篇幅，增强专业性，扩大读者面。主要修订情况为：去掉原教材第一章河流、第二章水系与流域；压缩原教材第三章洪水及第四章洪水灾害，并将其整合为本书的第一章洪水与洪水灾害；新增第八章信息技术与防洪减灾。其他各章内容，亦均有不同程度的修改与补新。

该书早期版本的读者对象主要是在校学生。此次修订、出版，不仅要满足在校学生的教学需要，而且还需考虑广大水利工作者，特别是从事防洪工作的领导干部和专业技术人员的业务学习需要。因此，本书内容在确保其通识性、可读性与实用性的同时，还酌量加强了其科学性、专业性，以及工程技术性与实践性。

此外，在教材内容设置上，还特别重视其时新性。即在介绍传统的、常规的、习用的防洪治水方法与技术的同时，注意跟从学科发展节律，反映专业学术动态。这样，使新修订出版的教材，既传承科学合理和行之有效的技术与经验，又能突显国内外最新的思想方法与技术成果。教材行文，力求言简意赅，可读易懂，专业实用。

还需说明的是，由于作者所获信息源有限，特别是篇幅原因，教材新增补内容，不可能做到统括江河防洪领域新技术、新成果的全部，而只能是其中有代表性的一部分。诸如：防洪减灾信息技术，土工合成材料技术，河道生态护岸技术，堤防工程除险加固及隐患探测新技术、新仪器，以及江河防汛抢险新技术、新设备，等等。在教材中插入这些新技术内容，尽管只起抛砖引玉作用，但可收推陈出新之效。此外，其中有些新技术成果，可能因其研发时间较短还存在这样或那样的问题，需要今后在科研和实践中进一步完善与改进。因此，仅供读者知悉和各地防洪部门在应用时参考。

防洪文化源远流长，技术知识积淀深厚。因此本书不可能面面俱到，仅限近代“江河”及“中国”范围的基本内容。全书共九章：第一章介绍洪水与洪水灾害的基本知识；第二章阐述江河防洪系统的基本概念；第三～第六章分别介绍常见四大工程防洪措施，即河道防洪整治、河道堤防工程、水库防洪工程和蓄滞洪工程的规划设计、管理与调度运用；第七章介绍非工程防洪措施的思想方法及基本内容；第八章介绍信息技术及其在防洪减灾领域的应用；第九章介绍江河防汛基本知识及堤防抢险实用技术。

本书可作为高校水利类专业本科生、研究生的学习教材，也可用于水利系统中从事防洪工作的领导干部和工程技术人员的业务技术培训。对于水利高职高专类学校及普通高校公共选修课学生，建议有针对性地选择其中有关内容学习。

本书的编写工作断续历经多年。最早可追溯到1992年10月，我们为国家防汛抗旱总指挥部“防汛抢险班”编写的培训教材《防洪工程及近代河工技术》。在我的编写工作期间，曾承蒙多位专家学者指正或提供资料。他们是国家防汛抗旱总指挥部办公室刘玉忠、赵会强、王章立，长江水利委员会石国钰、许全喜、陈敏，湖北省水利厅梅金焕、王煌，湖北省水利水电勘测设计院翁朝晖、李燕清，武汉市水务局丁心红、刘丽侠，湖北省荆州市河道堤防管理局张生鹏，湖北省咸宁市水利局漆昌银，以及武汉大学王运辉、崔承章、梅亚东、谢平等，在此一并致谢。

在本书编写过程中，作者参阅、援引了大量文献和相关网站资料，在此致谢。限于编者水平，书中难免疏漏和欠妥之处，欢迎读者指正。

熊治平

2013年2月

于武昌珞珈山

# 目 录

## 前言

|                    |     |
|--------------------|-----|
| <b>第一章 洪水与洪水灾害</b> | 1   |
| 第一节 洪水             | 1   |
| 第二节 洪水灾害           | 16  |
| <b>第二章 江河防洪系统</b>  | 31  |
| 第一节 江河防洪措施         | 31  |
| 第二节 江河防洪规划         | 36  |
| 第三节 江河防洪系统联合调度     | 42  |
| <b>第三章 河道防洪整治</b>  | 45  |
| 第一节 河道防洪整治规划       | 45  |
| 第二节 河道防洪整治规划设计标准   | 48  |
| 第三节 典型河段防洪整治       | 51  |
| 第四节 裁弯工程           | 56  |
| 第五节 平顺护岸工程         | 61  |
| 第六节 坝垛护岸工程         | 71  |
| 第七节 河道生态护岸技术       | 81  |
| <b>第四章 河道堤防工程</b>  | 89  |
| 第一节 堤防的种类与作用       | 89  |
| 第二节 河道堤防工程规划设计     | 90  |
| 第三节 堤防工程施工、检查与管理   | 102 |
| 第四节 堤防工程除险加固新技术    | 105 |
| 第五节 堤防隐患探测新技术、新仪器  | 111 |
| <b>第五章 水库防洪工程</b>  | 116 |
| 第一节 概述             | 116 |
| 第二节 水库调洪计算         | 119 |
| 第三节 水库防洪调度         | 123 |
| 第四节 水库防洪管理         | 128 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>第六章 蓄滞洪工程</b>      | 131 |
| 第一节 蓄滞洪区的含义与分类        | 131 |
| 第二节 蓄滞洪工程的规划与建设       | 133 |
| 第三节 蓄滞洪区的调度运用与管理      | 136 |
| 第四节 我国蓄滞洪区的建设情况及面临的问题 | 139 |
| <b>第七章 非工程防洪措施</b>    | 141 |
| 第一节 洪水风险图             | 141 |
| 第二节 防洪区洪水风险管理         | 145 |
| 第三节 依法治水与普“水”教育       | 147 |
| 第四节 洪水预报、警报与防汛通信      | 149 |
| 第五节 洪水保险与防洪基金         | 150 |
| 第六节 救灾善后与灾后重建         | 154 |
| <b>第八章 信息技术与防洪减灾</b>  | 156 |
| 第一节 遥感技术系统            | 156 |
| 第二节 地理信息系统            | 158 |
| 第三节 全球定位系统            | 160 |
| 第四节 3S 集成技术系统         | 162 |
| 第五节 水文遥测系统            | 163 |
| 第六节 防洪决策支持系统          | 164 |
| 第七节 防汛抗旱指挥系统          | 166 |
| <b>第九章 江河防汛与堤防抢险</b>  | 168 |
| 第一节 江河防汛工作            | 168 |
| 第二节 堤防抢险技术            | 173 |
| 第三节 防汛抢险新技术           | 192 |
| <b>参考文献</b>           | 198 |

# 第一章 洪水与洪水灾害

## 第一节 洪水

洪水是一种自然现象。但到目前为止，关于洪水的定义还没有统一的说法。一般认为，凡超过江河、湖泊、水库或某海域等容水场所的容纳能力，造成水量剧增或水位急涨的水文现象，统称为洪水。

### 一、洪水的类型

洪水的分类方法很多。按其成因，可分为暴雨洪水、暴潮洪水、冰雪洪水、冰凌洪水、溃口洪水和扒口洪水等几种。

#### 1. 暴雨洪水

由暴雨引起的洪水称为暴雨洪水。特大暴雨引发的暴雨洪水，一般强度大、历时长、面积广、灾情重。我国伏秋季节发生的洪水主要为暴雨洪水。

暴雨洪水最重要的气候要素是降水。影响我国大部地区降水的因素主要是季风和台风。因而我国的暴雨洪水，主要为季风暴雨洪水和台风暴雨洪水。此外，山洪、泥石流也因由暴雨引发，故可列为暴雨洪水的特例。

##### (1) 季风暴雨洪水。

季风是指大范围盛行的、风向随季节而显著变化的风系。有季风的地区，都可出现雨季和旱季等季风气候。季风有夏季风与冬季风之分。夏季风自海洋吹向大陆，将湿润的海洋空气带进内陆，在陆地被迫上升成云致雨，形成雨季；冬季风自大陆吹向海洋，空气干燥，伴以下沉，天气晴好，形成旱季。

我国大部分地区位于季风气候区，降水主要集中在夏季。我国夏季风主要有东南风和西南风两种风向，源地有三个：西北太平洋热带洋面气流、孟加拉气流及南半球越赤道气流。东南季风携带的大量暖湿空气，常易引起华南地区暴雨、江淮地区梅雨以及华北、东北地区暴雨；西南季风引起的降水区域主要是西藏东部、四川西部和云南等地。

##### (2) 台风暴雨洪水。

气象学上，台风专指北太平洋西部（包括南中国海）洋面上生成的强热带气旋。热带气旋是指在热带洋面上生成发展的低气压天气系统。国际气象组织规定，热带气旋按其中心附近的最大风力（或风速）来确定强度并进行分类。

根据我国《热带气旋等级》国家标准规定，我国责任区内的热带气旋分为六个等级：热带低压，风速  $10.8 \sim 17.1 \text{ m/s}$ （风力 6~7 级）；热带风暴，风速  $17.2 \sim 24.4 \text{ m/s}$ （风力 8~9 级）；强热带风暴，风速  $24.5 \sim 32.6 \text{ m/s}$ （风力 10~11 级）；台风，风速  $32.7 \sim 41.4 \text{ m/s}$ （风力 12~13 级）；强台风，风速  $41.5 \sim 50.9 \text{ m/s}$ （风力 14~15 级）；超强台风：风速大于  $51.0 \text{ m/s}$ （风力 16 级以上）。

我国位于太平洋西北岸，是世界上受台风影响最多的国家之一。台风每年都给我国沿海地区的一些省份造成巨大灾害。台风登陆后，常常进入内陆，甚至深入到腹地省份。内陆受其影响最多的是江西省，其次是湖南、安徽、湖北、河南等省。台风所到之处风大雨急，往往会发生强暴雨过程，以致发生灾害性暴雨洪水。著名的河南“75·8”大水，就是因7503号强台风登陆北上豫西南，引发强暴雨而造成了大量的人员死亡和经济损失。2012年是台风登陆我国最多的年份之一，8月2~3日双台风“苏拉”、“达维”同时登陆我国尚属罕见，造成东部多个省（市）、大量人口受灾。

### （3）山洪。

山洪即指山区溪沟中发生的雨洪。山洪多由大暴雨引起，持续时间一般不过几十分钟到几小时，很少超过一天或几天。特点是：历时短、流速快、破坏力大、预测预报难等。我国半数以上的县有山区，山洪发生现象普遍。山洪每年都要造成我国一些地区的重大灾害。

### （4）泥石流。

泥石流即指山地溪沟中突然发生的饱含大量泥沙、石块的洪流。多由暴雨山洪引起，因而可归属特殊山洪之列。泥石流的特点是：暴发突然，运动快速，历时短暂，破坏力极大，常常造成灾难性后果。

2010年8月7日，甘肃舟曲县发生特大山洪泥石流，舟曲县城多条街道被泥土掩埋或一片汪洋。20余栋楼房一些土木结构被冲毁，大量泥石堵塞白龙江河道，形成堰塞湖。截至当年8月30日统计，1467人遇难，298人失踪。据统计，泥石流共造成舟曲2个乡（镇）、13个村、4496户、20227人受灾，因灾死亡1501人，失踪264人。

## 2. 暴潮洪水

暴潮洪水或称海岸洪水，发生于沿海地区，主要由风暴潮或天文潮引起。风暴潮是一种气象潮（又称气象海啸），是由气压、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。由风暴潮引起的水位升高称为增水，水位降低称为减水。风暴潮增水若与天文潮或江河洪水遭遇，则易造成堤岸漫溢，出现风暴潮洪水灾害。

风暴潮又可分为温带风暴潮和热带风暴潮两类，分别由温带气旋和热带气旋引起。两相比较，热带风暴潮影响地域更广，出现频次更多，水位变化急剧，破坏力最大。因而通常所说的风暴潮，主要是指热带风暴潮。

天文潮是地球上海洋受月球和太阳引潮力作用所产生的潮汐现象。由于地球、月球和太阳三者运行的相对位置周期性变化，潮汐的大小和涨落时间逐日不同。又因各地纬度不同和受地形、水文、气象等因素影响，各地潮汐及其变化也有差异。月球距地球较近，其引潮力为太阳的2.17倍，故潮汐现象主要随月球的运行而变。每年春分和秋分时节，如果适逢朔、望日，日、月、地三者近于直线，则形成特大潮。

天文大潮特别是特大潮的出现，常常给沿海地区人民生命财产带来巨大灾害。我国东、南沿海多条河流的河口，特别是钱塘江口，都是感潮河段。为了抵御海潮、风浪袭击，沿海地区修建了大量的海堤及海塘工程。

## 3. 冰雪洪水

冰雪洪水指冰川或积雪消融引发的洪水。在高寒山区，雪线以上区域终年降雪，形成

冰川和永久积雪；雪线以下区域和平原只在冬季积雪，称季节积雪。因而冰雪洪水包括冰川洪水和融雪洪水两类，前者以冰川和永久积雪为主要水源，而后者则以季节积雪融水为主要水源。

冰川洪水又可分为冰川融水型洪水和冰湖暴发型洪水两类。冰川融水型洪水是冰川和永久积雪的正常融化而形成的洪水；冰湖暴发型洪水或称冰湖溃决型洪水，它是冰川洪水的特例，即当冰湖坝体突然溃决或其他原因引起冰湖水体集中排放而形成的峰高、时短的突发性洪水。

融雪洪水发生的时间比冰川洪水早，一般在4~6月间。处在同纬度附近的河流，平原融雪洪水发生时间较山区早。这种洪水若与冰凌洪水叠加则易形成春汛。特大融雪洪水可能造成灾害。我国的融雪型洪水灾害，常发生于新疆北部的一些小河流及山前平原。

冰雪洪水是季节性洪水。在高寒山区和纬度较高地区，河流洪水单纯由冰川融水补给或单纯由积雪融水补给较为少见。常见的情况是，春夏季节强烈降雨和雨催雪化而形成的雨雪混合型洪水。

#### 4. 冰凌洪水

冰凌洪水又称凌汛，是指河流因冰凌阻塞造成的水位壅高，或因槽蓄水量迅速下泄而引起的水位急涨现象。冬春季节常发生在我国北方的某些河流或河段，如东北松花江，黄河上游宁蒙河段、下游山东河段等。按其成因不同，冰凌洪水可分为冰塞洪水和冰坝洪水两类。

每年冬季封河期，河面封冻后，冰盖下大量冰花、碎冰积聚，堵塞河道部分过水断面，形成冰塞，泄流不畅，壅高上游河段水位，严重时可能造成堤防决口，这种现象称为冰塞洪水。

在春季开河期，大量流冰在河道中运动受阻，堆积形成横跨河流的坝状冰体，叫做冰坝。冰坝上游水位不断壅高，下游水位则明显下降，坝体在上下游压力差作用下，一旦猛然溃开，形成所谓“武开河”，则易出现冰凌洪峰。在冰坝严重之处，有时需采取人工爆破措施炸开坝体。在冰坝上、下游河段，常常出现的灾害现象是，堤防漫溢或溃口，田地、城镇受淹和沿河建筑物被毁。

冰凌洪水的主要特点是：凌洪流量沿程增大；同流量下水位高，上涨快；流冰破坏力大。由于冰凌洪水发生在寒冷的冬春季节，因而对抢险工作带来困难。

#### 5. 溃口洪水

溃口洪水是指拦河坝或堤防在挡水状态下突然溃决而形成的特大洪流。溃口洪水的发生，突发性强，难以预测，洪流汹涌，破坏力极大。它可分为溃坝洪水和溃堤洪水两类情况。

溃坝洪水指水库大坝突然溃开发生的洪水。其原因主要有：大坝设计防洪标准低；工程质量差；管理运行不当；或因如地震、战争等突发事件。溃坝洪水一旦发生，其后果往往是毁灭性的。如河南“75·8”大水，板桥、石漫滩等几十座水库溃坝失事，夺走了数以万计的人民生命并造成巨大经济损失。

溃堤洪水是指堤防决口引发的洪水，常因漫溢、管涌、漏洞等险情造成。如长江1998年大水，8月1日湖北牌洲湾长江堤防溃口，8月7日九江长江大堤溃口，以及2010

年6月21日江西省抚河唱凯堤决口等，都造成重大灾害损失。

此外，溃口洪水还有一个特例是，因地质、地震等原因引起山体滑坡，或因特大山洪泥石流，堵江断流后形成堰塞湖，其堰塞体突然溃开而释放的巨大洪流现象。例如，2008年5月12日四川汶川大地震，形成唐家山堰塞湖，其堰塞体堵江29天，后经水利专家和解放军官兵奋力排险才化险为夷，确保了下游130多万人民群众的生命财产安全，否则后果不堪设想。

## 6. 扒口洪水

扒口洪水由人为原因造成。有两类情况：一是在特大洪水时期，为了确保重要城市和地区的防洪安全，牺牲局部保大局，有意扒开一些沿江洲滩民垸堤防以蓄滞洪水。如长江1998年大水，中下游许多洲滩民垸主动扒口弃垸蓄洪、行洪。

另一种情况是，利用扒口洪水作为战争武器。如战国时期诸侯争霸在黄河上的人为决堤；三国时期的水淹七军；明末时期为了镇压李自成的农民起义在黄河上扒开南大堤而水淹开封等。特别令国人痛心的一次是，1938年国民党军队为了阻止日军西犯，扒开郑州花园口黄河大堤，造成洪水泛滥，黄河改道，历时9年，44个县市、1250万人受灾，死亡89万人。

## 二、洪水的基本特性

河流某断面洪水从起涨至峰顶到退落的整个过程称为一场洪水。定量描述一场暴雨洪水

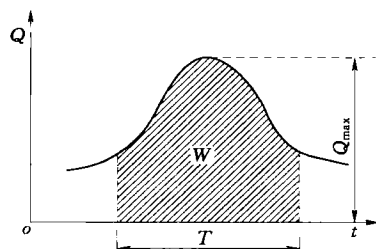


图 1-1 洪水三要素示意图

的指标很多，主要有：洪峰流量及洪峰水位；洪水总量及时段洪量；洪水过程线；洪水历时与传播时间；洪水频率与重现期；洪水强度与等级；等等。在水文学中，常将洪峰流量（或洪峰水位）、洪水总量、洪水历时（或洪水过程线）称为洪水三要素，如图 1-1 所示。各项指标的含义如下。

### 1. 洪峰流量及洪峰水位

河流一次洪水过程的洪峰流量或洪峰水位，常简称为“洪峰”。其中，洪峰流量（ $Q_{\max}$ ）是指一次洪水过程中通过某一测站断面的最大流量，单位  $\text{m}^3/\text{s}$ 。它对应于洪水流量过程线的峰值。

河流洪峰流量因河、因地差异很大。同一河流同一断面，不同年份、不同场次洪水的洪峰流量也不同。例如长江宜昌站，1998 年出现 8 次洪峰，各次洪峰流量见表 1-1。

表 1-1 长江宜昌站 1998 年 8 次洪峰流量及出现日期

| 项 目                               | 第一次   | 第二次   | 第三次   | 第四次   | 第五次   | 第六次   | 第七次   | 第八次   |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 洪峰流量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 53500 | 56400 | 52000 | 61500 | 62600 | 63600 | 56300 | 57400 |
| 出现日期 (月·日)                        | 7.3   | 7.18  | 7.24  | 8.7   | 8.12  | 8.16  | 8.25  | 8.3   |

洪峰水位（ $Z_{\max}$ ）是指一次洪水过程中的最高水位，其出现时间和洪峰流量基本同步。但在多沙河流或不稳定的河段，最高洪水位与洪峰流量往往并非同时出现。在黄河下游，当河床发生冲刷时，最高洪水位可能出现在洪峰流量之前，例如 1958 年，花园口站

最高洪水位 94.42m 出现在 7 月 17 日 23 时 45 分, 而洪峰流量  $22300\text{m}^3/\text{s}$  则见于 18 日 0 时; 夹河滩站最高洪水位 74.31m 及洪峰流量  $20500\text{m}^3/\text{s}$ , 则分别出现在 18 日 10 时和 14 时。相反, 在河床发生淤积或出现高含沙量洪水时, 最高洪水位则往往出现在洪峰流量之后。洪峰流量及洪峰水位对于水利工程设计及河道防洪具有重要意义。

## 2. 洪水总量及时段洪量

洪水总量 ( $W$ ) 是指一次洪水过程通过河道某一断面的总水量, 它等于洪水流量过程线在流量从起涨到落平之间所包围的面积 (图 1-1)。严格说来, 它应除去基流, 以便于和流域内一次暴雨总量相比照。

时段洪量 ( $W_d$ ) 是指一定时段内通过某一断面的洪水总水量。为了研究流域洪水特性和满足水利水电工程设计洪水分析计算需要, 习惯上采用多种标准历时 (如 1d、3d、7d、15d、30d) 的最大洪量  $W_d$  来描述一次洪水过程中径流的分布,  $W_d$  在流量过程 ( $Q-t$ ) 图表上滑动选取, 一般水文统计中所列的  $W_d$  值都包括基流在内。例如, 1998 年长江汉口水文站, 实测 30d、60d 洪水总量分别为 1754 亿  $\text{m}^3$  及 3365 亿  $\text{m}^3$ , 是有实测资料以来的最大相应时段洪水总量。

## 3. 洪水过程线

洪水过程线是在普通坐标纸上, 以时间为横坐标, 流量 (或水位) 为纵坐标, 所绘出的从洪水起涨至峰顶再回落到接近原来状态的整个洪水过程曲线 (图 1-1)。洪水从起涨到峰顶阶段称为涨水段; 从峰顶到回落至接近于雨前原来状态阶段称为退水段。

洪水过程线的形状有胖瘦和单、多峰的区别。它与流域面积、地面坡度、降雨历时以及河道的调蓄能力等诸多因素有关。一般说来, 流域面积较小, 雨前河道或溪沟流量很小或者断流, 降雨历时又很短时, 则洪水历时较短, 洪水过程线比较清晰, 呈尖瘦、单峰状; 反之, 若流域面积很大, 河道基流较高, 且降水又连续不断时, 则洪水历时较长, 过程线常呈肥胖、多峰状。

## 4. 洪水历时与传播时间

洪水历时 ( $T$ ) 是指河道某断面的洪水过程线从起涨到落平所经历的时间。由于形成洪水的流域空间尺度变幅极大, 因而洪水的时间尺度也有巨大的变幅。洪水历时主要与流域面积及其地表面貌、暴雨时空分布、河道特征及其槽蓄能力等因素有关。

河道洪水历时可分为短历时、中等历时、长历时和超长历时四类情况。历时在 2h 以内, 为短历时洪水; 小于 1d, 为中等历时洪水; 在 5~10d 之间, 为长历时洪水; 大于 10d 以上, 为超长历时的洪水, 如长江中下游夏季, 洪水历时往往很长, 汉口站、大通站常在 50d 以上。

洪水传播时间是指河段上、下游断面出现洪峰的时间差。它与洪水流量、河流比降及上、下游断面距离等因素有关。洪水流量大、比降陡、流程短, 则洪水传播时间短; 反之, 则洪水传播时间长。掌握河流洪水传播时间, 对于抓紧做好江河防汛抢险准备工作有重要意义。

## 5. 洪水频率与重现期

水文现象的总体无限, 而实际观测调查到的资料系列属于样本。在水文学上, 样本系列中某洪水要素  $X$  (如洪峰流量、时段洪量) 大于或等于某一数值  $v$  (即  $x \geq v$ ) 的可能性

称为洪水频率（实为累积频率），一般用符号  $P$  表示。其值越小，表示某一量级以上的洪水出现的机会越少，则该洪水要素的数值越大；反之，其值越大，表示某一量级以上的洪水出现的机会越多，则该洪水要素的数值越小。

重现期是指随机变量大于或等于某数值平均多少年一遇的年距，常用  $T$  表示。洪水重现期是指某洪水变量（如洪峰流量、时段洪量）大于或等于某一数值，在很长时期内平均多少年出现一次的可能性。如某一量级洪水的重现期为 100 年（俗称百年一遇），是指大于或等于这样的洪水在很长时期内平均每百年出现一次的可能性，但不能理解为每隔一百年出现一次。

洪水频率  $P$  和重现期  $T$  都可用来表示某种洪水可能出现的机遇，两者互为倒数关系，即  $T=1/P$ 。从概念上讲，重现期更易于理解。例如，某河流在 50 年中可能出现一次  $10000\text{m}^3/\text{s}$  的洪峰流量，相应的频率为 2%，重现期为 50 年，则这种洪水可称为 50 年一遇的洪水。

#### 6. 洪水强度与等级

洪水强度目前衡量指标不太统一。在水利工程科学中，常以洪水频率（或重现期）、洪峰流量（或洪峰水位）、洪水总量、洪水历时等指标表示。这些数值越大，说明洪水强度越大。

洪水等级是衡量洪水大小的一个标准，是确定防洪工程建设规模的重要依据。由于洪水要素的多样性和洪水特性的复杂性，洪水等级可以从不同角度进行划分。通常，可根据洪水重现期  $T$ （或洪水频率  $P$ ）确定洪水等级。在我国，江河洪水一般分为四个等级：重现期小于 20 年一遇为常遇洪水；20~50 年一遇为较大洪水；50~100 年一遇为大洪水；大于 100 年一遇为特大洪水。

### 三、我国江河洪水的特点

我国地域辽阔，地形复杂，气候差异大，洪水种类多。就同一河流来说，不同季节发生的洪水，其成因与特点不尽相同。如黄河下游一年中的洪水有桃汛、伏汛、秋汛和凌汛之分，其中伏汛和秋汛往往前后相连形成伏秋大汛。就洪水发生的范围、强度、频次及其危害程度而言，我国大部分地区的灾害性洪水主要是发生在主汛期的暴雨洪水。我国江河暴雨洪水主要特点如下。

#### 1. 季节性明显

我国江河暴雨洪水具有明显的季节性。各地江河出现洪水的时间与气候雨带的南北移动有关，而气候雨带的移动又受西太平洋副热带高压（简称“副高”）所影响。西太平洋“副高”的强度和位置有明显的季节变化。其主要变化特点是，每年 1~7 月，“副高”主体呈现出向北、向西移动和强度增强的趋势；7 月至次年 1 月，“副高”主体则有向南、向东移动和强度减弱的动向。

受“副高”活动影响，每年 4 月至 6 月上旬，雨带主要分布在长江以南地区，华南出现前汛期暴雨洪水。6 月中旬至 7 月上旬，是长江中下游地区的“梅雨期”。梅雨期暴雨强度虽不很大，但因其持续时期较长、雨区分布较广，若与后期暴雨洪水相衔接，则容易在前期河湖水位较高基础上，造成大范围内的洪涝灾害。

7 月中旬至 8 月初，“副高”到达一年中最北位置，雨带随之北移到华北和东北地区。

这阶段正值热带海洋台风生成与活动最盛时期。台风登陆后,有时深入腹地影响内陆省份。登陆后的台风北上时,若遇北方冷空气,则易形成大面积的暴雨。在北方地区大暴雨中,这类受台风影响的暴雨居多。例如海河 1956 年 8 月暴雨;滦河、西辽河 1962 年 7 月暴雨;河南“75·8”大暴雨等都因台风所致。

8 月底或 9 月初之后,“副高”开始南撤,雨带随之南移。在此期间,有些河流如汉江、嘉陵江、黄河等河流,常因“华西秋雨”而引发“秋汛”。所谓“华西秋雨”,是指秋季自青藏高原东部起,沿陕南、豫西至山东部分地区所形成的降雨带的长时间降雨。如 2003 年 8 月底至 10 月初渭河、黄河发生的洪水,2011 年 9 月汉江、嘉陵江、黄河等流域 40 多条河流发生的洪水,都属于“秋汛”。

由上可见,我国不同地区的河流,每年入汛时间早、晚不一,汛期历时长短有别。一般说来,南方河流入汛早、汛期较长;北方河流,入汛晚、汛期较短。具体讲,江南丘陵地区湘江、赣江、瓯江等河流,是全国入汛最早的地区;汉江、嘉陵江等河流,是全国汛期终止最晚的地区。全国大部分河流的汛期长达 3~4 个月,每年 7~8 月,全国七大江河均可能发生洪水。

## 2. 年际变化大

我国江河洪水年际间变化很大。同一河流同一站点的洪峰流量,各年相差甚远,北方河流则更为突出。如长江以南地区河流,大水年的洪峰流量一般为小水年的 2~3 倍,而海河流域大水年和小水年的洪峰流量之比,可相差几十倍甚至几百倍,如子牙河朱庄站,历史最大年洪峰流量竟是最小年洪峰流量的 856 倍。

历史最大流量(调查或实测)与年最大流量多年平均值之比,长江以南地区河流比值一般为 2~3 倍;淮河、黄河中游地区可达 4~8 倍;海、滦河,辽河流域则高达 5~10 倍。

## 3. 地域分布不均衡,洪水来源与组成复杂

我国暴雨洪水的地域分布不均衡。一般来说,东部多,西部少;沿海地区多,内陆地区少;平原地区多,高原山地少。两广大部,苏、浙、闽沿海和台湾、海南等省,以及长江中下游、淮河流域和海河流域是受暴雨洪水影响最大的地区。

江河洪水的来源与组成一般很复杂。其主要影响因素是流域的自然地理环境和气候条件。特别是大江大河,流域面积大,支流众多,各支流自然地理和气候条件差异较大,则更为如此。

以长江流域为例:长江洪水主要来自上游,宜昌站多年汛期平均水量占大通站 50% 以上。宜昌的洪水,32.4% 来自金沙江,37.4% 来自岷江和嘉陵江。中下游地区洪水,以洞庭湖和鄱阳湖水系比重较大,两湖水系多年平均年来水量占大通站 34.5%。长江流域暴雨洪水遭遇,在正常情况下,中下游与上游、江南与江北的暴雨洪水发生有先有后;但若江南与江北、上游与中下游雨季发生提前或延后相互重叠,则很容易造成上下游和南北两岸暴雨洪水的恶劣遭遇,形成全流域或区域性特大洪水。

再说黄河:黄河下游洪水主要来源于黄河中游地区暴雨。而中游洪水主要有三个来源区,即河口镇至龙门区间(简称河龙区间)、龙门至三门峡区间(简称龙三区间)、三门峡至花园口区间(简称三花间)。黄河下游的大洪水和特大洪水,一般由两个或两个以上的

来源区洪水组成。根据来源区的不同,可分为“上大洪水”、“下大洪水”和“上下较大洪水”三种情况。“上大洪水”是指以三门峡以上的河龙区间和龙三区间来水为主的大洪水;“下大洪水”是指以三门峡以下的三花间来水为主的大洪水;“上下较大洪水”是指以三门峡以上的龙三区间和三门峡以下的三花间共同来水的大洪水。由于洪水来源区及其组合不同,黄河下游不同场次洪水的洪水总量、洪峰流量及水沙组合情况差异很大。

#### 4. 峰高量大,洪水过程与峰型有别

我国的地形特点是东南低、西北高,有利于东南暖湿气流与西北冷空气的交绥;地面坡度大,植被条件差,汇流速度快,江河洪水量级较大。与世界同流域面积的河流相比,我国河流暴雨洪水的洪峰流量量级接近最大记录。我国几条主要河流,流域面积较大,支流众多,干支流洪水遭遇频繁,区间来水多,极易形成峰峰相叠的峰高量大型洪水。

江河某断面的洪水流量(或水位)过程,通常有涨水、峰顶和落水三个阶段。洪水过程线的形状有“尖瘦”与“肥胖”之分。一般说来,小河流域面积小,集流时间短,槽蓄能力小,一次暴雨形成一次洪峰,洪水陡涨陡落,过程线形状呈尖瘦、单一状;而大江大河,流域面积大,洪水来源多,不同场次的暴雨在不同支流所形成的多次洪峰先后汇集到大河时,各支流的洪水过程相互叠加,加之受河网调蓄作用影响,洪水历时延长,涨落速度变缓,过程线肥胖,常常形成一峰接一峰的多峰型态。如长江流域1998年汛期,受干支流洪水遭遇影响,宜昌站出现八次洪峰,高水位持续时间很长。

#### 5. 灾害性大洪水具有重复性、阶段性和连续性

灾害性大洪水的出现周期极不稳定,一些河流往往在某一个时期,十几年或几十年没有大洪水出现;而在另一个时期,可能多次出现。大洪水的发生年份似乎无规可循。但通过对大量历史洪水的调查研究发现,我国主要河流的重大灾害性洪水,在时间上具有一定的重复性、阶段性和连续性。

重复性是指在相同流域或地区,重复出现雨洪特征相类似的特大洪水。如长江1998年大洪水类似于1954年大洪水。

阶段性的意思是,一个流域何时出现大洪水虽难以准确预测,但从较长时间的资料分析发现,一些河流大洪水的发生存在低发期和高发期。

例如海河流域,自“63·8”大水以来未发生大洪水,近50年属于洪水低发期;长江流域20世纪80年代以后步入高发期,曾多次发生大洪水,洪灾损失呈指数上升之势,仅川、鄂、湘、皖、苏及重庆等六省市的受灾面积,约占全国水灾面积的40%以上,长江流域已成为典型的“洪水走廊”。

连续性是指在高发期内大洪水往往连年出现。如长江中下游1995年、1996年、1998年、1999年、2002年连续发生的大洪水;松花江1956年、1957年大洪水;辽河1985年、1986年大洪水;珠江1994年、1996年、1998年大水等等。

### 四、洪水监测与预报

#### 1. 洪水监测

江河洪水主要由暴雨形成。暴雨洪水的监测和预报,关键是对空中致洪云雨的监测。常规暴雨监测方法是,依靠布设在地面的大量气象台(站)定点观测降雨量,再据大量站点所测暴雨资料及有关水文气象信息,通过流域产汇流计算,作出暴雨洪水过程的预报。