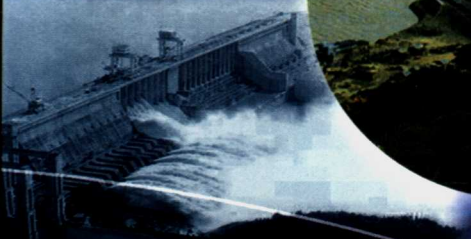


高等学校水利类教材

江河

防洪概论

熊治平 编著



全国优秀出版社
武汉大学出版社

高等学校水利类教材

江河防洪概论

■ 熊治平 编著

武汉大学出版社

江苏工业学院图书馆
藏书章

图书在版编目(CIP)数据

江河防洪概论/熊治平编著. —武汉:武汉大学出版社, 2005.6
(高等学校水利类教材)
ISBN 7-307-04465-X

I. 江… II. 熊… III. 河流—防洪—概论 IV. TV87

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 010593 号

责任编辑:李汉保 责任校对:刘欣 版式设计:支笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北省通山县九宫印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:420 千字

版次:2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04465-X/TV·24 定价:28.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

本书系统地介绍了河流、水系与流域的基本知识;我国的河流水系与流域概况;洪水与洪水灾害的基本特性,我国江河的洪水特点与洪水灾害情况;江河防洪减灾系统及其规划与调度运用;常见的四种工程防洪措施,即河道整治工程、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;非工程防洪措施的思想方法与基本内容;江河防汛基本知识与堤防抢险技术等。

本书注重基本概念、基本知识和基本技术的归纳性介绍。在介绍传统的、常规的、惯用的防洪治水方法与技术的同时,注意凸显近些年来国内外在这方面的新思想、新方法和新技术,力求言简意赅,通俗易懂,简明实用。本书可以作为在校大学生、研究生的教材和防洪部门的技术培训教材,同时也是水利系统中从事防洪工作的领导干部和工程技术人员的重要参考书。

前 言

我国幅员辽阔,江河众多,洪水灾害频繁。全国约有 35% 的耕地、40% 的人口和 70% 的工农业生产受到江河洪水的威胁。全国每年的洪灾直接经济损失,少则数百亿元,多则数千亿元。1998 年长江、松花江大洪水,触目惊心、国人难忘。在党中央、国务院的直接领导下,数百万军民与洪水搏斗了 60 多个日日夜夜,才最终取得抗洪抢险的全面胜利。是年洪灾造成直接经济损失 2 551 亿元,占当年自然灾害总损失的 85%。洪水灾害损失在各类自然灾害中位居首位。洪水是中华民族的心腹大患,不仅严重威胁着人民的生命财产安全,而且影响到社会安定和国家经济建设的可持续发展。因此,防洪治水历来是各级政府的为政之首、安民之策和发展之要。

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 年中华人民共和国成立以来,我国主要江河进行了大规模的防洪工程建设,共修建堤防 27 万 km,水库 8 万多座,水闸 2.5 万座,疏浚河道 10 万 km,开辟蓄滞洪区 97 处,治理水土流失面积 86 万 km²,在全国范围内初步形成了科学合理的防洪布局和较完整的防洪体系。所有这些防洪措施,有效地减少了洪水的酿灾机会及其致灾损失。但是,我们应当清醒地看到,洪水是一种不以人的意志为转移的自然现象,彻底根除洪水和期望洪灾不再发生的想法都是不现实的。因此,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而艰巨的任务。

防洪的目的在于减灾。防洪减灾是一项社会公益性事业,需要全社会的参与和支持。防汛抗洪是每个公民的法定义务。为此,我们以在校大学生、研究生为主要读者对象编写、出版本书并开设这门选修课程。通过介绍我国的河流与河流工程概况,河流、水系与流域的基本知识,洪水与洪水灾害的基本特性,我国河流的洪水与洪水灾害,江河防洪减灾系统,防洪减灾措施,防汛抢险技术,以及防洪治水的思想方法、方针政策和法律、法规等知识,目的在于让学生拓宽知识面,了解有关水利常识和防洪知识,树立水患意识,增强防洪观念,并自觉服务于我国的防洪减灾事业,把自己培养成为既有本专业专业知识,又有防洪理念的新时代高素质人才。

河流是输水输沙的通道,水系是河流的集合,流域是河流的集水区域,河流、水系与流域是一个密不可分的有机整体,共同影响着河流洪水的形成过程及其产、汇、泄规律。本书第一、二章介绍了河流、水系与流域的基本知识以及我国的河流水系与流域概况;第三章讲述了各类型洪水的特征,暴雨洪水的基本特性,我国江河洪水的特点以及近代洪水监测与预报技术;第四章讲述了洪水灾害的分类,洪水灾害的基本特性,洪水灾害的成因、对策、影响及其损失的有关概念,以及我国主要江河的洪水灾害情况;第五章讲述了江河防洪减灾系统的基本组成,包括各类工程与非工程防洪措施的功能、特点、利弊及其优化组合,防洪减灾系统的规划与调度运用;第六章~第九章分别介绍了常见的四大工程防洪措施,即河道整治工

程、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,其中包括我国已建重要防洪工程的简介;非工程防洪措施是一种全新的减灾思想与方法,专设第十章介绍;第十一章介绍了江河防汛的基本知识与堤防抢险技术。全书内容涉及范围较广,信息量较大,以飨各类专业学生与广大读者。

从选课学生的生源特点及广大读者对象考虑,教材内容注重科普性、实用性、时新性和可读性,着力于基本概念、基本知识和基本技术的归纳性介绍,力求避免专业理论的刻意阐述、数学公式的推演和严格意义的工程设计技术内容。在介绍传统的、常规的、惯用的防洪治水方法与技术的同时,注意凸显近些年来在这方面的新思想、新方法和新技术,使本教材既继承传统,保留科学合理和行之有效的技术与经验,又与时俱进,注意吸纳国内、外新潮的思想与方法,做到言简意赅、通俗易懂、简明实用。

本书除可作为在校大学生、研究生的教材之外,也可以作为各级防洪部门进行技术培训的教材。同时还是水利系统从事防洪工作的领导干部和工程技术人员的重要参考书。

本书初稿完成之后,承蒙国家防汛抗旱总指挥部办公室刘玉忠教授级高级工程师和赵会强高级工程师,湖北省水利厅梅金焕高级工程师,湖北省水利水电勘测设计院翁朝晖高级工程师,武汉大学梅亚东、谢平教授的悉心指正,特别是武汉大学王运辉教授对全书内容进行了认真细致的审阅与修正。在编写期间,长江水利委员会水文局石国钰教授级高级工程师、许全喜高级工程师,江务局陈敏高级工程师,湖北省水利厅王煌高级工程师,荆州市长江河道堤防管理局张生鹏高级工程师等专家、学者曾提供过有关参考资料。在此一并致以衷心的感谢!此外,还要感谢武汉大学出版社对本书出版的支持,特别是李汉保等编审同志的辛勤工作。

在本书编写过程中,作者参阅、援引了大量的科技书籍、论文和相关资料。尽管如此,由于江河防洪是一项涉及面极广和影响因素错综复杂的系统工程,我国人民在与洪水的长期斗争中,创造、积累了极其丰富的技术经验,现代科学技术在防洪减灾领域的发展日新月异,因此,本教材不可能包罗当代中国江河防洪的全部知识内容和技术经验。

由于书中所引用的文献资料和相关网站信息较多,凡在参考文献中漏注或误注者,敬请谅解!限于作者水平,不妥之处,亦请读者批评指正!

熊治平

2005年元旦于武昌珞珈山

目 录

第一章 河 流	1
§ 1.1 河流的相关概念	1
§ 1.2 河道水流	5
§ 1.3 河流泥沙	12
§ 1.4 河道演变	26
第二章 水系与流域	47
§ 2.1 水 系	47
§ 2.2 流 域	53
§ 2.3 我国的河流水系与流域	58
第三章 洪 水	69
§ 3.1 洪水的类型	69
§ 3.2 洪水的基本特性	77
§ 3.3 我国江河洪水的特点	84
§ 3.4 洪水监测与预报	87
第四章 洪水灾害	99
§ 4.1 洪水灾害的分类	99
§ 4.2 洪水灾害的基本特性	102
§ 4.3 洪水灾害的成因	106
§ 4.4 洪水灾害的对策	109
§ 4.5 洪水灾害的影响	112
§ 4.6 洪水灾害的损失	115
§ 4.7 我国主要江河的洪水灾害	120
第五章 江河防洪减灾系统	125
§ 5.1 防洪减灾措施	125
§ 5.2 防洪减灾规划	129
§ 5.3 防洪减灾系统的调度运用	135
第六章 河道防洪整治	140
§ 6.1 河道防洪整治规划	140

§ 6.2 典型河段的防洪整治措施	145
§ 6.3 裁弯工程	150
§ 6.4 平顺护岸工程	154
§ 6.5 丁坝、顺坝工程	165
§ 6.6 黄河埽工	172
第七章 河道堤防工程	174
§ 7.1 堤防的种类与作用	174
§ 7.2 河道堤防工程规划设计	175
§ 7.3 河道堤防施工与管理	184
§ 7.4 河道堤防除险加固新技术简介	186
第八章 水库防洪工程	191
§ 8.1 概 述	191
§ 8.2 水库调洪计算	196
§ 8.3 水库防洪调度	199
§ 8.4 水库防洪管理	204
§ 8.5 我国几座大型防洪水库简介	207
第九章 蓄滞洪工程	210
§ 9.1 概 述	210
§ 9.2 蓄滞洪工程的规划与建设	214
§ 9.3 蓄滞洪区的调度运用与管理	217
§ 9.4 蓄滞洪区的洪水风险图	219
第十章 非工程防洪措施	224
§ 10.1 防洪区科学管理	224
§ 10.2 防洪法制建设与公民防洪防灾教育	225
§ 10.3 洪水预报、警报与防汛通信	226
§ 10.4 防洪减灾信息技术	227
§ 10.5 洪水保险	229
§ 10.6 防洪基金	231
§ 10.7 善后救灾与灾后重建	232
第十一章 江河防汛与堤防抢险	235
§ 11.1 江河防汛工作概述	235
§ 11.2 堤防抢险技术	241
§ 11.3 防汛抢险新技术简介	264
参 考 文 献	268

第一章 河 流

河流是在一定气候和地质条件下形成的天然泄水通道，是河槽与水流的总称。大气降水为河流提供了充足的水源，而由地壳运动形成的线形槽状凹地则为河流提供了行水的场所。我国的河流有江、河、水、川、溪等称谓，如长江、黄河、汉水、四川大金川、湖北香溪，等等。

雨水降落地面以后，在重力作用下自高处向低处流动，侵蚀地表，形成沟壑，进而发展为小溪，小溪汇集成小河，若干小河又汇合成为大的江河，最后流入海洋或内陆湖泊。河水流经的谷地称为河谷，河谷底部有水流的部分称为河床。河水在汇流而下的过程中，不断切割、拓展河槽，使河槽断面沿程扩大，以致河流尺度及其泄流能力愈往下游愈大。

河流是自然景观中的重要组成部分，河流的形成和发展引起自然景观的改变。河流也是自然物质循环的重要通道，全世界河流每年向海洋输送数万立方千米水量，数十亿吨泥沙和化学物质。河流对人类生存环境有重大意义，人类通过对河流的开发和利用，不断改善生存环境条件，提高社会生活质量。河流也不时逞凶作恶、危害人类，如有时河水泛滥、决口成灾，有时淤滩碍航、隔断交通，严重时甚至出现断流，威胁人类社会经济发展和生态平衡。人类面对自然界的河流，一方面要研究河流的自然规律，设法让河流造福于人类；另一方面要顺其河性，注意善待河流，与河为友，与河长期和谐共存。

关于河流的话题很多。限于本书范围，本章仅介绍与河流动力学有关的内容，首先简述河流的一些相关概念，再介绍河道水流、河流泥沙及河道演变的相关基本知识。

§ 1.1 河流的相关概念

1.1.1 河流的分段

发育成熟的天然河流，一般可分为河源、上游、中游、下游和河口五段。河源是河流的发源地，河源可能是溪涧、泉水、冰川、湖泊或沼泽等。

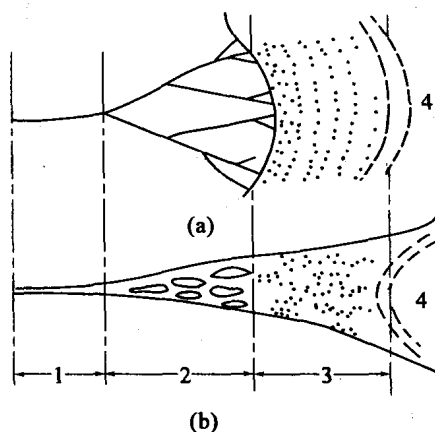
上游是紧接河源的河流上段，多位于深山峡谷，河槽窄深，流量小，落差大，水位变幅大，河谷下切强烈，多急流险滩和瀑布。

中游即河流的中段，两岸多丘陵岗地，或部分处平原地带，河谷较开阔，两岸见滩，河床纵坡降较平缓，流量较大，水位涨落幅度相对较小，河床善冲善淤。

下游即指河流的下段，位处冲积平原，河槽宽浅，流量大，流速、比降小，水位涨落幅度小，洲滩众多，河床易冲易淤，河势易发生变化。

河口是河流的终点，即河流流入海洋、湖泊或水库的地方。入海河流的河口，又称感潮河口，受径流、潮流和盐度三重影响。一般把潮汐影响所及之地称为河口区。河口区可

分为河流近口段、河口段和口外海滨三段，如图 1-1 所示。河流近口段又称为河流段，水流始终向海洋方向流动；河口段，径流与潮流相互消长，流路突然扩大，流速锐减，泥沙大量沉积，形成河口三角洲或三角港，其水流流动方向取决于河道径流与海洋潮流的强弱关系。因而可以把河流近口段与河口段的分界处视为河流真正意义上的终点。



(a) 三角洲；(b) 三角港

1—河流近口段；2—河口段；3—口外海滨；4—前缓急滩

图 1-1 河口区分段图

以长江、黄河为例，长江发源于青藏高原唐古拉山脉主峰格拉丹东雪山西南侧，河源至宜昌为上游，宜昌至湖口为中游，湖口以下为下游。黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地，河源至内蒙古自治区托克托（河口镇）为上游，从托克托至河南省桃花峪为中游，桃花峪至黄河河口为下游。

1.1.2 河流的分级

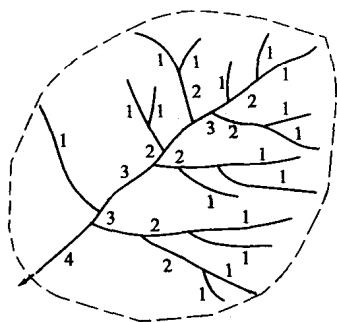


图 1-2 河流分级示意图

流域水系中各种大小不等的沟道与河流，可以用河流的级别来表示。河流分级的方法主要有两类：一是传统分级方法，即把流域内的干流作为一级河流，汇入干流的大支流作为二级河流，汇入大支流的小支流作为三级河流，如此依次类推；二是现代分级方法，即从河流水系的研究分析方便考虑，把最靠近河源的细沟作为一级河流，最接近河口的干流作为最高级别的河流。然而，这在具体划分上又存在不同的做法，图 1-2 便是其中常见的一种。

此外，国家水利部曾依据河道的自然规模及其对社会、经济发展影响的重要程度，将河道分为五个等级，如表 1-1 所示。规定在表 1-1 中满足 (1) 和 (2) 项或 (1) 和 (3) 项者，可以划分为相应等级；不满足上述条件，

但满足 (4)、(5)、(6) 项之一, 且 (1)、(2) 或 (1)、(3) 项不低于下一个等级指标者, 可以划为相应等级。河道等级的划分权限: 一、二、三级河道由国家水利部认定; 四、五级河道由省、自治区、直辖市水利 (水电) 厅 (局) 认定。各河道均由主管机关根据管理工作的需要划出重要河段和一般河段*。

表 1-1 河道分级指标表

级 别	分 级 指 标					
	流域面积 /万 km ² (1)	影 响 范 围				可能开发的 水力资源 /万 kW (6)
		耕 地 /万亩 (2)	人 口 /万人 (3)	城 市 (4)	交通及工 矿企业 (5)	
一	>5.0	>500	>500	特大	特别重要	>500
二	1~5	100~500	100~500	大	重要	100~500
三	0.1~1	30~100	30~100	中等	中等	10~100
四	0.01~0.1	<30	<30	小	一般	<10
五	<0.01					

注: 1. 表内影响范围是指实际发生洪水可能淹没范围内的耕地面积、人口, 以及洪水淹没严重或供水中断对生活、生产产生严重影响的城市、交通及工矿企业。

2. 特大城市是指市区非农业人口大于 100 万; 大城市人口 50~100 万; 中等城市人口 20~50 万; 小城镇人口 10~20 万。特别重要的交通及工矿企业是指国家的主要交通枢纽和国民经济关系重大的工矿企业。

1.1.3 河流的落差与比降

河段两端的高程差叫落差。河流比降一般是指河流纵比降, 即单位河长的落差, 也称坡度。河流比降有水面比降与河床比降之分, 因河床地形起伏变化较大, 故多以水面比降代表河流比降。

设某河段 i 的比降为 J_i , 则

$$J_i = (Z_i - Z_{i-1}) / L_i \quad (1-1)$$

式中: J_i ——河段 i 的水面比降, 常用百分率 (%) 或千分率 (‰) 表示;

Z_i 、 Z_{i-1} ——分别为河段 i 的上、下游断面的水面或高程 (m);

L_i ——河段 i 的长度 (m)。

因河流比降沿程各处可能不同, 为了说明较长距离的河流比降情况, 通常需求其平均比降 J 。其计算公式为

$$J = \frac{(Z_0 + Z_1) L_1 + (Z_1 + Z_2) L_2 + \cdots + (Z_{n-1} + Z_n) L_n - 2Z_0 L}{L^2} \quad (1-2)$$

* 国家水利部水管 [1994] 106 号通知, 1994 年 2 月 21 日。

式中： n ——河段数； L ——各河段长度之和， $L = \sum L_i$ 。

1.1.4 河流的长度与宽度

从河源到河口的长度称为河流长度。河流长度可以沿河道中轴线或深泓线（谿线）在河道地形图上量取。河道中轴线是指河流沿程各断面中点的平面连线。深泓线是指各断面最深点的平面连线。任意两断面间的河流长度称为河段长度。

河流宽度是指河槽两岸间的距离，河流宽度随水位变化而变化。水位常有洪、中、枯水之分，因而河槽宽度相应应有洪水河宽、中水河宽和枯水河宽。通常意义下的河宽多指中水河槽宽度，即河道两侧河漫滩滩唇间的距离，如图 1-3 所示。

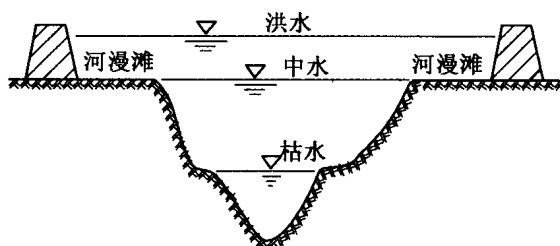


图 1-3 洪、中、枯水河槽示意图

1.1.5 河流的纵剖面与横断面

河流的纵剖面可以分为河床纵剖面和水流纵剖面两类。河床纵剖面是沿河床深泓线切取数据绘制的河床剖面，反映的是河床高程的沿程变化。水流纵剖面代表水面高程的沿程变化。

河流的横断面是指垂直于水流方向的剖面，可以据实测河道地形高程数据绘出横断面图。水面与河床之间的面积为过水断面面积，水位不同，过水断面面积随之不同。对应于洪、中、枯水水位的河槽，分别称为洪水河槽、中水河槽与枯水河槽。

河流纵、横剖面的形态，不同河流、不同河段差异较大，即使同一河流同一河段，也会因时而变，其影响因素主要决定于河槽所在地区的地质构造，河床、河岸物质组成以及上游来水、来沙等情况。

1.1.6 河流的侵蚀基准面与侵蚀基点

河流在冲刷下切过程中其侵蚀深度，往往受某一基面所控制，河流下切到这一基面后侵蚀下切即停止，此基面称为河流侵蚀基准面。河流侵蚀基准面可以是能控制河流出口水面高程的各种水面，如海面、湖面、河面等，也可以是能限制河流向纵深方向发展的抗冲岩层的相应水面。这些水面与河流水面的交点称为河流的侵蚀基点，如图 1-4 所示。河流的冲刷下切幅度受制于侵蚀基点。应该说明，

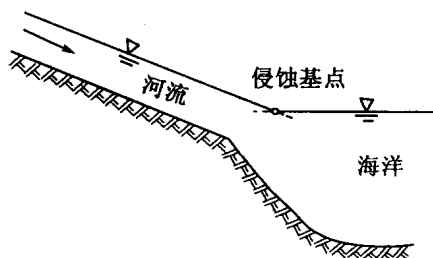


图 1-4 河流侵蚀基准面示意图

所谓侵蚀基点并不是说，在此点之上的河床床面不可能侵蚀到低于此点，而只是说，在此点之上的河流水面和河床床面都要受到此点高程的制约，在特定的来水、来沙条件下，侵蚀基点的情况不同，河流纵剖面的形态及其变化过程会出现明显的差异。

更进一步地，上述侵蚀基准面，可以分为终极侵蚀基准面和局部侵蚀基准面两类。地球上绝大多数的河流注入海洋，海平面是这些河流的共同侵蚀基准面，故海平面可以认为是终极侵蚀基准面。河流注入大的湖泊，湖面也可以视为河流的终极侵蚀基准面。其他如支流汇入干流，汇合点处干流河床形成的侵蚀基准面，以及以内流河中出现的如河流壅塞，山体崩塌，人工筑堤，坚硬的岩石等形成的侵蚀基准面等，都可以视之为局部侵蚀基准面。

§ 1.2 河道水流

1.2.1 河流径流的形成过程

径流是指流域内的降水，经由地面和地下汇入河流后向流域出口断面汇集的水流。其中沿着地表流动的水流称为地面径流；渗入地表土壤在含水层内流动的水流称为地下径流。沿着河槽流动的水流，称为河流径流。由降水开始到水流流经流域出口断面的全部过程，称为河流径流形成过程。流域径流形成的物理过程十分复杂，大致可以分为四个阶段，即降水过程、流域蓄渗过程、坡面漫流过程与河槽集流过程。其中流域蓄渗过程又称产流过程；坡面漫流与河槽集流过程统称为汇流过程。图 1-5 为河流径流形成过程示意图。

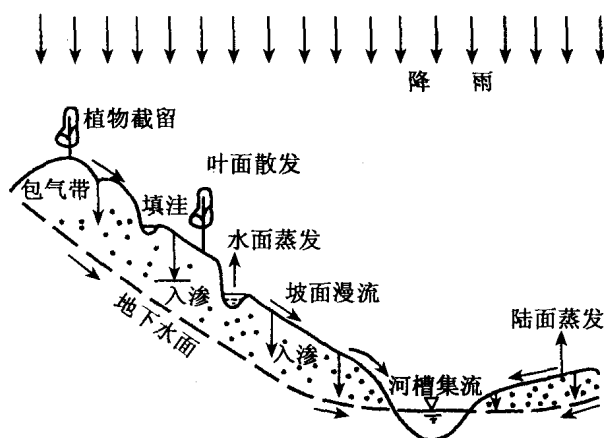


图 1-5 河流径流形成过程示意图

1. 降水过程

降水是降雨、降雪、降雹的统称。因我国大部分地区年降水总量的绝大部分是降雨，故常把降水狭义地看做降雨。

降水过程的特征，主要以降水量、降水强度、降水历时、暴雨中心位置和暴雨移动路

径等物理量描述。其中降水量、降水强度及降水历时,习称为降水三要素。降水三要素常由实测求得。

2. 流域蓄渗过程

降雨开始时,除部分降落于河槽水面上的雨水外,绝大部分落在流域地表,并不立即形成径流。雨水首先被流域地表生长的树木、杂草及农作物的茎叶截留一部分,称植物截留。其次,落到地面上的部分雨水,渗入土壤,称为入渗。单位时间内的入渗量称为入渗强度。降雨开始时入渗较快,若降雨强度大于入渗强度,超过入渗强度的雨,称为超渗雨,超渗雨将产生地面径流;随着降雨量的不断增加,土壤中的含水量逐渐趋于饱和,入渗强度减小,达到某个稳定值时,称为稳定入渗。此外,还有一部分雨水被蓄留在坡面的坑洼里,称为填注。

植物截留、入渗和填注的整个过程,称为流域蓄渗过程。对降雨径流而言,这部分雨不产生地面径流而称为损失,扣除损失后剩余的雨量称为净雨。所谓产流过程,就是由降雨扣除损失得到净雨的过程。

3. 坡面漫流过程

除去流域蓄渗过程的雨水损失以后,剩余雨水沿着坡面流动,称为坡面漫流。流域内各处坡面漫流的起始时间并非同步,而往往是先从局部区域开始,逐渐增多形成全流域性的坡面漫流。若降雨历时短,或暴雨范围仅限局部,则很难形成全流域的坡面漫流。实际上,坡面漫流的过程也伴随着入渗、降雨和蒸发的过程,因而坡面漫流过程是一个复杂的过程。

4. 河槽汇流过程

坡面漫流的雨水汇入沟道,顺着沟道流入支流,由支流到干流,最后达到流域出口断面的过程,称为河槽汇流过程。在河槽汇流过程中,沿途不断有坡面漫流和地下水流汇入其中。因而对于较大的流域,河槽汇流时间较长,河槽调蓄能力较大,在降雨和坡面漫流停止后,所产生的径流还会延长很长的时间。所谓汇流过程,就是净雨经坡面、地下流动和河槽调蓄的再分配过程。

河流洪水的成因及其特性,与其径流形成过程和规律有重要关系。因此,要认识江河洪水,首先需对其所在流域的产、汇流过程与规律有充分的了解。

1.2.2 河流径流的度量方法

河道径流常用下列度量单位:

1. 流量 Q 。是指单位时间内流过河流某断面的水量,常用单位为 m^3/s 。如有瞬时流量、日平均流量、月平均流量、年平均流量和多年平均流量等。

2. 径流量 W 。是指在时段 T 内流过河流某断面的总水量,常用单位为 m^3 、万 m^3 或亿 m^3 。如日径流量、月径流量、年径流量和多年平均径流量等。其计算式为

$$W = QT \quad (1-3)$$

3. 径流深度 y 。即设想将径流总量平铺在整个流域面上所得的平均水层深度,常用单位为 mm 。其计算式为

$$y = \frac{W}{1000F} \quad (1-4)$$

式中: W ——径流量 (m^3); F ——流域面积 (km^2)。

4. 径流模数 M 。即单位流域面积上产生的流量, 常用单位为 $\text{L} / (\text{s} \cdot \text{km}^2)$, L 为升 (0.001m^3)。其计算式为

$$M = 1000 \frac{Q}{F} \quad (1-5)$$

式中: Q ——流量 (m^3/s); F ——流域面积 (km^2)。

5. 径流系数 α 。指某一时段内流域上的径流深度 y (mm) 与降水量 x (mm) 之比。即

$$\alpha = \frac{y}{x} \quad (1-6)$$

α 实质上是降水量与径流量间的损失折减系数。 α 愈小, 表示降水的损失愈大, 形成的径流量愈小; α 愈大, 表示降水的损失愈小, 形成的径流量愈大。显然有 $\alpha < 1$, 意即降落到流域上的雨水总有损失。

上述五项径流指标的换算关系如下

$$y = \frac{W}{1000F} = \frac{QT}{1000F} = \frac{MT}{10^6} \quad (1-7)$$

1.2.3 河道水流的基本特性

天然河道中的水流属于明渠流, 虽然在很多情况下可以沿用水力学中明渠流的相关规律, 但与水力学中的清水明渠流相比, 河道水流在基本特性上有很大的差异, 这些差异使得直接应用水力学明渠流的成果会带来严重偏离。天然河道水流的基本特性主要表现在以下方面^[7]。

1. 两相性

水力学中的明渠流是清水的流动, 属于单相流 (或一相流)。而天然河道的水流, 总不可避免地要挟带一定数量的固体颗粒 (泥沙), 这种含有泥沙的浑水明渠水流, 本质上属于两相流。清水是可以视为连续介质的液体, 而泥沙则是除特殊情况外, 不能视为连续介质的疏散颗粒群体。因此, 这就使得河道水流的一些物理特性与运动特性与清水水流有所区别, 河水含沙量愈大, 这种差别愈大。

2. 三维性

天然河道的河槽形态很不规则, 山区河流更是如此。因此, 严格说来, 天然河道水流为三维流动。

河道水流的三维性与过水断面的宽深比往往互相关联, 宽深比愈小, 三维性愈强烈。在河身较顺直、宽深比较大的宽浅河段, 可能呈现出一定程度的二维性; 而在河身弯曲、宽深比很小的窄深河段, 特别是在深谷高峡的山区河段中, 水流的三维性可以达到惊人的程度。

3. 不恒定性

河道水流的不恒定性主要表现在两个方面: 一是来水、来沙情况随时间的变化而变异; 二是河床经常处于冲淤演变之中。这两个方面的变化彼此关联, 互为因果。

绝大多数河流的水、沙来量和泥沙的“质”, 主要受制于降水。而降水在时空分布上

变化非常大。因此,不同河流的水、沙时空变化也相当大。就变化的相对幅度及强度的一般情况而言,洪水季节大于中、枯水季节,北方地区的河流大于南方地区的河流,小集水面积的河流大于大集水面积的河流,植被较差的地区大于植被较好的地区,沙量的相对变化大于水量的相对变化。

天然冲积性河流,河床由大量可冲性物质即泥沙所组成。水流与河床相互依存,相互作用,相互促使变化发展。水流塑造河床,适应河床,改造河床。河床约束水流,改变水流,受水流所改造。上述来水、来沙情况的不恒定性,不可避免地要引起河床时而剧烈、时而和缓的变化;反之,河床的冲淤变化也必然引起河道水流特性的变化。因此可见,水流与河床的不恒定性是密切关联的。

4. 非均匀性

水力学中的均匀流,是指涉及运动的各物理量沿流程不变的水流。均匀流的前提条件是恒定流。因此,河道水流的非恒定性决定了其非均匀性,或者说,天然河道的均匀流,严格说来是几乎不存在的。

然而,在解决实际问题过程中,对于比较顺直的河段,如果来水、来沙基本稳定,河床基本处于不冲不淤的相对平衡状态,过水断面及流速沿程变化不大,水面与河床床面坡度基本平直且相互平行,则可近似视之为均匀流。

5. 不平衡性

河道水流属水、沙两相流。如果水相与沙相高度和谐,在运动过程中尽管水流中的泥沙与河床上的泥沙彼此交换,但若来水、来沙(数量与质量)保持恒定,河床基本保持不冲不淤状态,没有粗化或细化倾向发生,这种运动过程可称之为河道水流的水、沙平衡状态,或简称为平衡状态。然而,这种近乎绝对的、理想的平衡状态在天然河流中是稀有的。

天然河流中的水、沙运动,经常遇到的是不平衡状态。换言之,实际上大量遇到的情况只有两类:一类是强烈地或一般地向不平衡状态继续发展的情况;另一类是各种程度不等地向新的相对平衡作自我调整的状态。在河流动力学中,理解河道水流的水、沙不平衡性的概念,抓住“相对平衡”和“自我调整”的本质特点,是很重要的。

6. 紊动性

在水力学中,通常按雷诺数 Re ($Re = UR/\nu$) 的大小,将流体运动区分为紊流和层流两大类型。其中 U 为水流平均流速, R 为水力半径, ν 为水流运动粘滞性系数。而紊流又视边壁相对光滑度(相对粗糙度的倒数)可分为光滑区、粗糙区(或阻力平方区),以及介于层流区、光滑区和粗糙区三者之间的两个过渡区。

天然河流,即使是一条涓涓细流,也通常具有较大的雷诺数。因此,层流流型的概念,在天然河道中可以说是不存在的。而大量遇到的天然河道水流,一般都属于紊动强度较大的阻力平方区的紊流。

7. 阻力复杂性

运动水流所受的力主要有重力、惯性力与阻力。其中阻力问题,本来就是普通水力学中性质复杂、影响广泛而又解决得不够的一个问题。在河道水流中,这个问题更显复杂。

研究水流阻力损失是河流动力学的基本问题之一。河道水流阻力损失的大小,关系到河道的泄流能力和输沙能力两个方面。即对于一定的过水断面和比降的河流,水流流速的

大小, 不仅决定其能通过多大流量, 而且直接与泥沙运动强度以及河床的冲淤变化相关。

首先, 让我们回顾一下最简单情形的明渠二维恒定均匀流的阻力问题。

在清水水力学中, 明渠二维恒定均匀流的阻力, 一般用阻力系数 λ 、糙率系数 n 和谢才系数 C 表示。其中阻力系数 λ 为无量纲数, 糙率系数 n 和谢才系数 C 是有量纲的经验系数。

1775 年, 谢才 (A. Chézy) 提出了明渠二维均匀流平均流速计算公式

$$U = C\sqrt{RJ} \quad (1-8)$$

1888 年, 达西-魏斯巴赫 (Darcy-Weisbach) 提出如下公式

$$J = \lambda \frac{1}{4R} \frac{U^2}{2g} \quad (1-9)$$

1890 年出现了至今仍在广泛使用的曼宁 (R. Manning) 公式

$$U = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad (1-10)$$

式中: U ——时均流速; R ——水力半径; J ——比降; g ——重力加速度。

对比上述公式发现, 谢才系数 C 、糙率系数 n 与阻力系数 λ 三者之间有如下关系

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad (1-11)$$

上述公式中, 曼宁公式与谢才公式完全属于经验公式, 其系数 n 、 C 带有量纲。实践经验表明, 对于比较简单情形的二维均匀流来说, 只要在积累较多的经验和资料的基础上, 合理准确地选择糙率系数 n , 那么这两个公式基本可以满足实际要求。

其次, 再讨论河道水流阻力损失问题。在水力学中, 水流阻力损失可以概括为两部分, 即克服流层间粘滞性剪切力的阻力损失和克服紊动剪切力的阻力损失。当雷诺数很大, 水流已经进入阻力平方区时, 可以只考虑紊动剪切力而略去粘性剪切力。因此, 河道水流阻力损失与一般管道或明槽水流的阻力损失的差异, 主要来源于二者紊动的差异。

河道水流的紊动在紊动尺度和紊源上, 远较水力学中顺直管道和棱柱体明槽水流中发生的紊动要复杂得多。后者主要是粗糙边壁附近小尺度的紊动, 由大、中、小尺度构成的紊动结构虽不能完全排除, 但不占主导地位; 而对前者, 根据张瑞瑾教授的研究, 紊源除了普通意义的粗糙边壁外, 还包括河势、河相、成型淤积体、河底或河岸的大凸、大凹、沙纹及沙波等, 这些紊源的尺度是边壁粗糙完全不能比拟的。

因此, 对于河道水流, 糙率系数 n 的内涵是极为复杂的。 n 作为属于阻力平方区的时均流速 U 的表达式中代表水流阻力效果的综合因素, 当然直接与水流中的紊源和紊动结构有关, 与大至河势, 小至河床床沙粒径有关。

随着研究工作的不断深入, 对于一般管流及明槽流中的糙率系数 n , 其复杂性愈来愈为科技工作者们所理解, 因而出现以爱因斯坦、罗佐夫斯基等为首的提出将综合性的糙率系数 n 先分解、再叠加的做法。这种做法在解决某些实际问题中, 如河底与河岸的不同粗糙度对河道水流的影响问题等, 可以取得有关河道水流阻力损失、流速分布等方面某些较为合理的成果。

如上所述仅是基于静止不变的河床即定床而言。然而, 对于天然冲积性河流来说, 河底河岸都是冲淤可变的, 这种河流的阻力称为动床阻力。动床阻力可以分为河底阻力与河