

高等学校水利学科教学指导委员会组织编市

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·港口航道与海岸工程

# 工程水文学

(第四版)

主编 邱大洪 (天津理工大学)

主审 薛鸿超 (河北大学)



人民交通出版社  
China Communications Press

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

Gongcheng Shuiwenzue

# 工程水文学

(第四版)

(港口航道与海岸工程专业)

主 编 邱大洪[大连理工大学]

主 审 薛鸿超[河海大学]

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为高等学校水利学科港口航道与海岸工程专业规范核心课程教材。全书共分八章,内容包括:水循环,河川水文基础知识,河川水文测验,水文统计基础知识,河道工程设计水位及流量推求,海浪,潮汐,以及近岸海流等。

本书为高等学校港口航道与海岸工程专业本科生教材,亦可供本专业研究生、工程技术人员及相近专业的研究人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程水文学/邱大洪主编.—4版.—北京:人民交通出版社,2011.7

ISBN 978-7-114-09149-0

I. ①工… II. ①邱… III. ①工程水文学—高等学校—教材 IV. ①TV12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 096825 号

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

书 名:工程水文学(第四版)

著 作 者:邱大洪

责任编辑:钱悦良

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:18.5

字 数:432.00千

版 次:2011年7月 第4版

印 次:2012年1月 第2次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-09149-0

印 数:2001~4000册

定 价:46.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 港口航道与海岸工程专业教材 编审分委员会名单

## 主任委员

郑金海(河海大学)

## 副主任委员

王元战(天津大学)

康海贵(大连理工大学)

## 秘书长

冯卫兵(河海大学)

## 委员(排名不分先后)

许锡宾(重庆交通大学)

刘晓平(长沙理工大学)

张小峰(武汉大学)

刘月琴(华南理工大学)

陈一梅(东南大学)

张洪雨(哈尔滨工程大学)

李华军(中国海洋大学)

刘曙光(同济大学)

孙东坡(华北水利水电学院)

孙志林(浙江大学)

王志东(江苏科技大学)

喻国良(上海交通大学)

陈子燊(中山大学)

陈刚(西安理工大学)

# 高等学校水利学科专业核心课程教材 编审委员会名单

## 主任委员

张长宽(河海大学)

## 副主任委员

陈 楚(水利部人才资源开发中心) 王国仪(中国水利水电出版社)

彭建民(中国水利教育协会) 余锡平(清华大学)

谈广鸣(武汉大学) 姜 峰(大连理工大学)

练继建(天津大学) 陈建康(四川大学)

周孝德(西安理工大学) 李建林(三峡大学)

刘 超(扬州大学) 刘汉东(华北水利水电学院)

## 秘 书 长

吴胜兴(河海大学)

## 委 员

刘建明(水利部黄河水利委员会) 董雅平(水利部长江水利委员会)

任立良(河海大学) 梅亚东(武汉大学)

袁 鹏(四川大学) 吴吉春(南京大学)

唐洪武(河海大学) 马震岳(大连理工大学)

胡志根(武汉大学) 郑金海(河海大学)

王元战(天津大学) 康海贵(大连理工大学)

黄介生(武汉大学) 张展羽(河海大学)

杨培岭(中国农业大学) 蔡焕杰(西北农林科技大学)

王志锋(南昌工程学院)

# 序

随着我国水利事业与高等教育事业的快速发展以及教育教学改革的不断深入,水利高等教育也得到很大的发展与提高。与20世纪末相比,水利学科专业的办学点增加了将近1倍,每年的招生人数增加了将近2倍。通过专业目录调整与面向新世纪的教育教学改革,在水利学科专业的适应面有很大拓宽的同时,水利学科专业的建设也面临着新形势与新任务。

在教育部高教司的领导与组织下,从2003年到2005年,各学科教学指导委员会开展了本学科专业发展战略研究与制订专业规范的工作。在水利部人教司的支持下,水利学科教学指导委员会也组织课题组于2005年年底完成了相关的研究工作,制定了水文与水资源工程,水利水电工程,港口航道与海岸工程以及农业水利工程四个专业规范。这些专业规范较好地总结与体现了近些年来水利学科专业教育教学改革的成果,并能较好地适应不同地区、不同类型高校举办水利学科专业的共性需求与个性特色。为了便于各类港口航道与海岸工程专业学校参照专业规范组织教学,考虑到港口航道与海岸工程专业的特殊性和历史延续性,经水利学科教学指导委员会研究决定,由港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会与人民交通出版社共同策划,组织编写出版港口航道与海岸工程专业“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

核心课程是指该课程所包括的专业教育知识单元和知识点,是本专业的每个学生都必须学习、掌握的,或在一组课程中必须选择几门课程学习、掌握的,因而,核心课程教材质量对于保证水利学科各专业的教学质量具有重要的意义。为此,我们不仅提出了坚持“质量第一”的原则,还通过专业教学讨论、提出,专家咨询组审议、遴选,相关院、系认定等步骤,对核心课程教材选题及其主编、主审和教材编写大纲进行了严格把关。为了把本套教材组织好、编著好、出版好、使用好,我们还成立了高等学校水利学科专业规范核心课程教材编审委员会以及各专业教材编审分委员会,对教材编纂与使用的全过程进行组织、把关和监督。充分依靠各学科专家发挥咨询、评审、决策等作用。

本套教材第一批共规划港口航道与海岸工程专业11种,计划在2010年年底之前全部出齐。尽管已有许多人为本套教材作出了许多努力,付出了许多心血,但是,由于专业规范还在修订完善之中,参照专业规范组织教学还需要通过实践不断总结提高,加之,在新形势下如何组织好教材建设还缺乏经验,因此,这套教材一定会有各种不足与缺点,恳请使用这套教材的师生提出宝贵意见。本套教材还将出版配套的立体化教材,以利于教、便于学,更希望师生们对此提出建议。

高等学校水利学科教学指导委员会  
港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会  
人民交通出版社  
2008年7月

# 前 言

本书是在1999年出版的第三版《工程水文学》课程教材的基础上,由高等学校水利学科教学指导委员会港口航道与海岸工程专业教学指导分委员会与人民交通出版社共同策划,组织编写出版的港口航道与海岸工程专业“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

本书作者长期从事港口航道与海岸工程专业的教学和研究工作,深刻理解学习和掌握好工程水文学方面的知识对港口、航道与海岸工程建设管理的重要性。因此,本书在内容上注重基础理论和基本概念,同时注重理论联系实际。其最大的特点就是,与现行的《海港水文规范》相接轨,指导工程实际应用;注重在不同情况下(具有长期资料、短期资料以及实测水文资料缺乏)各种水文要素设计值的推求原理与方法。

本书内容编排主要包括两大部分,河川水文学和海岸水文学。河川水文学主要包括河川水文基础知识、河川水文测验、水文统计基础知识、河道工程设计水位及流量推求;海岸水文学主要讲解海浪、潮汐、近岸海流等方面的基础知识与设计值的推求方法。在本书修订过程中,主要进行了以下几方面的修改:(1)更新水文、水资源数据;(2)为适应海洋测量方法与技术的迅速发展,增加了对潮位、潮流测量新方法的介绍。(3)在第八章,近岸海流增加了潮流的调和分析部分。

本书由大连理工大学邱大洪主编、河海大学薛鸿超主审。各章编写人都来自大连理工大学:第一、七、八章康海贵;第二~五章王本德;第六章孙大鹏。

本教材的编写得到了大连理工大学2011年教材建设出版基金项目的资助,在此表示感谢。

作 者  
2011年4月

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 水文循环	1
第二节 河川和海洋资源	3
第三节 水文学	5
第四节 水文学的研究方法	6
第二章 河川水文基础知识	8
第一节 河流和流域	8
第二节 径流形成过程及其主要影响因素	12
第三节 河川水文情势	15
第三章 河川水文测验	18
第一节 水文测站	18
第二节 水位观测	19
第三节 流量测验	23
第四节 水位~流量关系曲线	31
第四章 水文统计基础知识	37
第一节 随机变量及其概率分布	37
第二节 统计参数的估计	49
第三节 水文频率计算求矩适线法	53
第四节 相关分析	61
第五章 河道工程设计水位及流量推求	71
第一节 设计洪水	71
第二节 设计通航水位与设计流量推求	76
第六章 海浪	85
第一节 海浪要素和分类	85
第二节 风况基础知识	88
第三节 海浪观测	101
第四节 海浪要素统计规律	107
第五节 海浪谱基础知识	122
第六节 根据海浪观测推算设计波浪	132
第七节 根据气象资料推算风浪尺度	156
第八节 波浪浅水变形	182
第七章 潮汐	214



第一节	潮汐现象及其成因	214
第二节	潮位观测与潮汐预报	225
第三节	海岸工程设计潮位推算	232
第四节	风暴潮	243
<b>第八章</b>	<b>近岸海流</b>	<b>251</b>
第一节	近岸海流系统及其生成原因	251
第二节	海流观测与资料分析	256
<b>附录</b>		<b>262</b>
附表 1	$P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ 表	262
附表 2	皮尔逊 III 型累积频率曲线的离均系数 $\Phi_p$ 值表	264
附表 3	皮尔逊 III 型累积频率曲线的模比系数 $k_p$ 值表	268
附表 4	第 I 型极值分布律的 $\lambda_{pn}$ 值表	275
附表 5	泊松—耿贝尔复合极值分布 $\beta$ 值表	277
附表 6	正态概率积分表	279
附表 7	二项—对数正态复合极值分布的 $x_R$ 值表	281
附表 8	浅水波高、波速和波长与相对水深的关系表	282
<b>参考文献</b>		<b>284</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 水文循环

地球上遍布着水,其准确数量较难估计,特别是海洋水量和地下潜存的水量。根据联合国2009年《世界水资源发展报告》统计数据,地球上共有积蓄水约13.86亿 $\text{km}^3$ ,其中海洋水约13.38亿 $\text{km}^3$ ,占96.5%,陆地水约4798万 $\text{km}^3$ ,占不足3.5%,大气水约1.3万 $\text{km}^3$ ,只占近0.001%。陆地水中,数量最大的是冰盖和冰川积蓄的水量,有2436万 $\text{km}^3$ ,占陆地水的50.8%,其中80%位于南极地区。可供人类直接利用的河流和淡水湖泊水量仅9.31万 $\text{km}^3$ ,而地下淡水量有1053万 $\text{km}^3$ ,为河流和淡水湖泊水量的113倍。

存在于海洋中的水,在太阳辐射下,从其表面蒸发至大气中形成水蒸气,随着移动的气团运动,在适宜的条件下,凝结成雨云,形成雨、雪或冰雹降落到地面或海洋中。落到地面的水体,受到地心引力的作用,相当部分经过地面和表土层汇集入河流,形成地面径流;部分渗入地面以下,除少量可暂时存留在落点附近的土壤中,经蒸发和植物散发返还大气外,仍将在地下继续流动汇集至水分饱和的地下水层中,形成地下径流,也称为地下水。大量地面径流和地下径流经河川流入海洋,组成地球上的部分水体从海洋到大气再回到海洋的循环运动,这部分水体称为流动水,而这种复杂的水循环体系则称为水文循环,见图1-1。太阳是循环的总能源,而太阳辐射和地心引力则是运动的动力,循环的源与汇都是海洋。

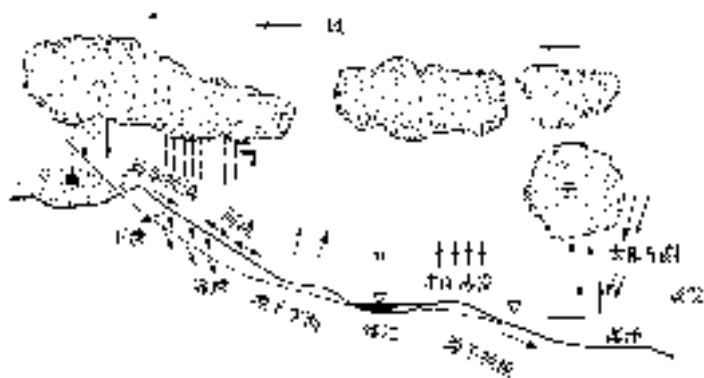


图1-1 水文循环示意图

实际上,地球上水的循环远比上述过程复杂得多:一是,上述大循环还可以包含许多小循环,例如,从陆地上蒸发的水蒸气凝结成降水后仍回落到地面上,形成的地下径流汇入湖泊或河川后也会有蒸发—降水过程。二是,循环的强度、频率因地理纬度和气候情况而不同,在局

部地区的干旱时期,循环似乎处于停止状态,而洪涝时期,循环的强度和频率又显著增大。

从较长时期来看,地球上的水循环是处于相对平衡状态的。例如,海洋多年的平均水面高程基本上变化甚微,大陆上的总水量也趋于不变,只是不同年份之间有一定差别,因此可以假设,自然界水的总量是一个常值。

对于地球而言,可以写成两个等式:

$$\text{海洋方面} \quad Z_{oc} = X_{oc} + Y \quad (1-1)$$

$$\text{陆地方面} \quad Z_{con} = X_{con} - Y \quad (1-2)$$

式中:  $Z_{oc}$ 、 $Z_{con}$  —— 海洋与陆地多年平均蒸发量;

$X_{oc}$ 、 $X_{con}$  —— 海洋与陆地多年平均降水量;

$Y$  —— 多年平均入海径流量。

合并以上两式得

$$Z_{oc} + Z_{con} = X_{oc} + X_{con} \quad (1-3)$$

此式说明,就多年平均而论,地球上的总蒸发量等于地球上的降水量。具体地说,  $Z_{oc}$  为  $4.25 \times 10^5 \text{ km}^3$ ,  $Z_{con}$  为  $0.71 \times 10^5 \text{ km}^3$ ,  $X_{oc}$  为  $3.85 \times 10^5 \text{ km}^3$ ,  $X_{con}$  为  $1.11 \times 10^5 \text{ km}^3$ , 而流入海洋的多年平均径流量  $Y$  为  $0.397 \times 10^5 \text{ km}^3$ 。

对于一个闭合流域(即地面分水界与地下分水界相重合的流域),1年中的水量平衡方程式可写为

$$X + U_1 = Y + Z + U_2 \quad (1-4)$$

式中:  $X$  —— 年降水量;

$Z$  —— 年蒸发量;

$Y$  —— 年径流量;

$U_1$ 、 $U_2$  —— 该流域年初和年终的蓄水量。

应用上式,在  $n$  年中流域内各年的水量平衡方程式可写为

$$\begin{aligned} U_0 + X_1 &= Y_1 + Z_1 + U_1 \\ U_1 + X_2 &= Y_2 + Z_2 + U_2 \end{aligned} \quad (1-5)$$

.....

$$U_{n-1} + X_n = Y_n + Z_n + U_n$$

以上各式中,  $U_0$  为第1年开始时流域的蓄水量,  $U_1$  为第1年末和第2年初流域的蓄水量, 其余类推,  $U_n$  为第  $n$  年末流域蓄水量,  $X_n$ 、 $Y_n$ 、 $Z_n$  ( $n = 1, 2, \dots, n$ ) 分别为第  $n$  年流域的年降水量、年径流量和年蒸发量。

把以上各式相加,可得流域  $n$  年的水量平衡方程如下

$$U_0 + \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n Z_i + U_n \quad (1-6)$$

如令:  $X_0 = (\sum_{i=1}^n X_i)/n$  —— 流域多年平均降水量;

$Y_0 = (\sum_{i=1}^n Y_i)/n$  —— 流域多年平均径流量;

$Z_0 = (\sum_{i=1}^n Z_i)/n$  —— 流域多年平均蒸发量。

则多年的水量平衡方程可写为

$$X_0 = Y_0 + Z_0 + \frac{U_n - U_0}{n} \quad (1-7)$$

在多年平均的情况下,流域蓄水量的变化项  $(U_n - U_0)/n$  甚小,可忽略不计,则闭合流域的最后的多年平均水量平衡方程可写为

$$X_0 = Y_0 + Z_0 \quad (1-8)$$

上式表明,对于一个闭合流域,多年(长期)的平均降水量同多年的平均径流量和蒸发量的关系处于一个平衡状态,这种水量平衡实质上是质量守恒原理的一种表现形式,水量平衡方程可广泛地应用于任何隔离水体,在水文分析计算中是一个有力的工具。

以上分析表明,在一个闭合流域内,运动的水量既然保持平衡,则该流域内的蓄水量,如单就自然元素而言,虽然会有年变化,但就长期而言,在多年内可基本保持不变。但是,由于人为因素,如过度地开采地下水,将会导致流域特性的改变从而打破其原有的平衡状态。

## 第二节 河川和海洋资源

在第一节的分析中可以看到,就全球的水循环而言,海洋上的蒸发量大于海洋上的降水量,而陆地上的蒸发量小于陆地上的降水量,从而形成了从陆地向海洋的径流量,这个径流量中的绝大部分是通过河流流入海洋的,就多年平均而言,它们之间是平衡的。

就一个闭合流域而言,其多年平均的降水量、径流量和蒸发量也保持相对平衡,这样可以在每一个流域中保持着一定的蓄水量。这些陆地上的动态水和静态水都是人类赖以生存的重要资源。

根据《2009年中国统计年鉴》数据,到2009年止我国多年平均年径流总量为26377.0亿 $m^3$ ,多年平均地下水资源量为8122.0亿 $m^3$ ,扣除两者之间重复计算的水量7064.7亿 $m^3$ 后,全国多年平均年水资源总量为27434.3亿 $m^3$ 。世界各国都把河川的年径流总量作为反映水资源数量的特征,我国的多年平均径流总量居世界第六位,因此,从世界范围看,我国的河川年径流总量还是比较丰富的。但由于我国人口众多,人均年占有径流量仅为2071.1 $m^3$ ,为世界人均量的1/4。由此可见,一方面,就人均占有量而言,我国仍然是一个水资源短缺的国家。另一方面,我国的水土资源组合也很不平衡,全国约有45%的国土位于降水量小于400mm的干旱少水地带。长江流域和长江以南地区径流量占全国总径流量的83.4%,但国土面积只占全国的36.5%,耕地面积约占全国的38%,黄河、淮河、海河三大流域总径流量只占全国的6.2%,国土面积占全国的15.1%,而耕地面积却占全国的40%。此外,我国水资源在时间分布上变化也很大,年际和年内分配都很不均匀,最大与最小年径流量的比值,长江以南的中等河流在5以下,北方河流都在10以上。连续4个月径流量占年径流量的比例,长江以南及云贵高原以东地区为60%左右,多出现在每年的4~7月;长江以北为80%以上,海河平原高达90%,多出现在6~9月;西南地区为60%~70%,出现于6~9月或7~10月。我国水资源在南北空间分布上和年际、年内的时间分布上的极不均匀现象都是造成我国水旱灾害和农业生产不稳定的自然因素,这些特点给水资

源的利用带来许多特殊问题。

我国地形极为复杂,西南地区的青藏高原有世界屋脊之称,是世界上最高的地区,此处产生的许多自西向东的河流具有较大的落差与水能资源。由国家发改委 2005 年发布的《2005 全国水力资源复查成果报告》,我国水力资源理论蕴藏量年发电量为 60829 亿 kW·h,平均功率为 69440 万 kW;可开发装机容量 54164 万 kW,年发电量 24740 亿 kW·h;经济可开发装机容量 40180 万 kW,年发电量 17534 亿 kW·h,居世界首位,可见我国有着极为丰富的水能资源,但按人口平均计算,则每人年发电量为 1897kW·h,仅为当时世界平均的每人年发电量 2723kW·h 的 69.66%。因此也可以说,相对地,我国的水能资源并不十分丰富。

我国是一个海洋大国,海岸线绵延曲折,长达 18000 余公里,沿海岛屿星罗棋布,有许多优良的海湾。渤海是我国的内海,面积约为 7.7 万 km<sup>2</sup>。我国的近海有黄海、东海和南海,管辖海域总面积 300 多万 km<sup>2</sup>,都是太平洋的边缘海,由此可通向世界各国,是我国富饶的海疆。在我国的海岸带和近海海域内蕴藏有各种丰富的资源。从 1980 年开始,我国进行了大规模的海岸带和海涂资源综合调查,历时 6 年,完成了这一规模巨大的考察工作。其后又进行了全国岛屿资源的调查。我国近海海域还蕴藏着丰富的石油和天然气资源。据 2008 年国土资源部和石油有关部门的估计,海洋石油资源量约为 240 亿 t,天然气资源量 14 万亿 m<sup>3</sup>。我国的海洋能源也很丰富,海洋能通常指海水中蕴藏的可再生自然能源,主要为潮汐能、波浪能、海流能(潮流能)、海水温差能和盐差能。更广义的海洋能源还包括海洋上空的风能、海洋表面的太阳能以及生物质能等。究其原因,潮汐能和潮流能源于太阳和月亮对地球的引力变化,其他均源于太阳辐射。其中,潮汐能、潮流能和波浪能为机械能,海水温差为热能,海水盐差为密度能。我国可开发的海洋能资源极为丰富,可开发装机容量为 200kW 以上的潮汐能源坝址共有 424 处,总装机容量为 2179 万 kW,年发电量约 624 亿 kW·h;波浪能理论平均功率为 1285 万 kW;潮流能 130 个水道的理论平均功率为 1394 万 kW;我国的温差能资源蕴藏量大,在各类海洋能源中占居首位,主要分布在南海和台湾以东海域,据初步统计,南海温差能资源实际可利用装机容量达 13.21 亿~14.76 亿 kW;盐差能为 1.1 亿 kW,主要集中在各大江河的出海处;近海风能资源是陆上风能资源的 3 倍,预计达到 7.5 亿 kW。海洋资源的开发,传统的海洋产业如海洋渔业、海洋运输业和海水制盐业等在新中国成立后有了很大的发展;而新兴的海洋产业,如海洋石油、海水资源利用工业和海洋旅游业等也有了很快的发展,至于未来的海洋产业,如海洋能利用、海底锰结核的勘察开发等也有了良好的开端,并进行了卓有成效的工作。

港口航道与海岸工程是为开发海洋运输业服务的。新中国成立以来,在恢复原有港口的基础上,迅速新建和改建了一批港口。特别是改革开放以来,我国港口建设进入了一个新时期。《国民经济和社会发展第十一个五年计划》提出国家积极发展水路运输,完善沿海沿江港口布局,重点建设集装箱、煤炭、进口油气和铁矿石中转运输体系,扩大港口吞吐能力。改善出海航道、提高内河通行条件,建设长江黄金水道和长江三角洲、珠江三角洲高等级航道,推进江海联运。根据《2009 年中国港口年鉴》数据,到 2008 年全国港口完成货物吞吐量 70.22 亿 t,其中沿海港口完成 44.89 亿 t,内河港口完成 25.33 亿 t。10 万吨级以上泊位 142 个,货物吞吐量超过亿吨的港口有 16 个。到 2009 止,全球前十个集装箱大港我国便占有 6 席,我国是世界上港口吞吐量、集装箱吞吐量增长最快的国家。在世界十大集装箱年吞吐量超过千万标箱的

港口中,我国就占据了5席,港口货物吞吐量连续6年居世界第一,上海成为世界第一大港。在我国沿海港口不断发展完善的同时,我国内河航道、港口建设也取得显著增长,内河货运量持续增长,运输船舶大型化、标准化趋势明显。根据2006《全国内河航道与港口布局规划》,我国将建成高等级航道1.9万km(约占全国航道里程的15%),其中三级及以上航道14300km、四级航道4800km,分别占75%和25%。

总之,我国的河川和海洋都蕴藏着丰富的资源,有待于去综合开发和利用。所有这些水资源的开发利用,都需要进行相应的工程建设,包括河川工程和海岸及近海工程,为此需要了解和掌握这些工程环境中各方面的资料,其中水文资料和数据以及各种水文现象的成因和可能变化的预测是在进行工程建设时必须充分了解和掌握的。

### 第三节 水 文 学

水文学探讨的是地球上各种水体(江、河、湖、海)的存在、循环和分布,化学和物理性质以及它们对环境的影响。水文学是地球物理学的一个分支。

应用于实际工程的水文学称为工程水文学,包括有关控制或利用河川和海洋资源所建造的工程,其规划、设计、施工与运行管理所需要的水文学知识。

工程水文学的应用范围很广:水利水电、交通运输、农业灌溉、城市建设、核能利用、海上油气勘探与开发、渔业生产和环境保护等,都需要各种水文数据和资料作为工程规划、设计、施工与运行管理的依据。

就港口与航道工程专业的工程技术人员而言,必须了解和掌握建设港口和航道所需的各种水文的和自然的原始资料,其中水文资料和数据乃是十分关键的资料。

为了在河流上建设港口与航道,需要了解和掌握的有关河川水文的知识主要有:根据工程建设所在河段的河流水文特性,提供最高洪水位,设计最低通航水位、设计洪水流量等,以作为码头、船闸、引航道、跨越航道建筑物(如桥梁)、航道整治、疏浚等高程设计和渠化枢纽溢洪建筑物尺寸设计的依据;根据所在河段演变的历史状况、水沙运动特点和今后可能发展的趋势,提供有关资料和数据,作为港址选择、航道选线和码头岸线布置的依据;在综合利用水资源时,需要了解有关年径流及其在年内的分配情况,以便协调各用水部门的要求,保证航运的需要;在工程的施工、运行管理中还需要了解洪、枯水预报,以便组织施工和制订运行方案,其中水文预报本身一般是由专门的水文机构发布的。

为了在沿海建港,需要了解和掌握的海岸水文知识主要有:建港所在海岸地段及其附近海域的海浪、潮汐、近岸海流和泥沙运动的历史状况以及今后可能发展的趋势,提供设计海浪要素、各种设计水位、设计海流流速和流向、海岸演变和泥沙运动的趋势和强度等水文资料和数据,作为沿海港址选择、港口总平面布置、航道选线 and 设计、码头和防波堤等建筑物和构筑物设计等的依据。

进行观测、收集、掌握和整理分析本专业所涉及的河川和海岸水文资料,就是本课程所要解决的主要任务。其内容包括:①水文现象变化规律的研究;②水文资料的测验和收集方法;③水文资料的整理、分析、统计和计算方法。

《工程水文学》课程教材共分八章:第一章绪论,第二章至第五章河川水文,第六章至第八

章海岸水文。教材内容是根据教学要求和教学时数而选定的。需要说明的是:河流、河口及海岸地区的泥沙运动对港口和航道建设来说是一个需要研究的十分重要的问题,也是一种重要的水文现象。但根据1997年交通部高等学校港口及航道工程教学指导委员会的商定,有关这部分知识将在本专业的另外两门课程《河流动力学》和《海岸动力学》中讲授,因此本教材中不涉及这方面的内容。此外,有关水资源综合利用及其相应的水文知识也将在本专业或相近专业的其他课程中讲授,本教材中也未列入这方面的内容。

本教材第一章绪论,主要介绍水文循环的基本概念,我国河川和海洋资源概况,《工程水文学》课程的基本内容以及水文学研究方法的特点。第二章河川水文的基础知识,主要讲述河流和流域的特征,径流形成过程及其主要影响因素,以及河川水文情势的基本概念。第三章讲述河川水文测验的基本方法,资料的整理和分析。第四章水文统计基础知识,主要讲述有关水文资料,作为一种随机变量,如何进行统计和分析,以便得出可供工程应用的水文频率计算和进行相关分析的方法。第五章讲述推求设计洪水、设计通航水位和设计流量的方法。第六章海浪,主要讲述海浪结构的特征,其要素的统计规律及有关海浪谱的基础知识,重点在如何根据观测资料来推断工程设计所需要的海浪尺度,以及深水波浪进入浅水后的变化。第七章潮汐,主要讲述潮位的变化规律,对其变化进行量的统计和推求,并简单地介绍风暴潮的成因和推算方法。第八章扼要讲述近岸海流的基础知识及其观测分析方法。

#### 第四节 水文学的研究方法

水文现象是一种物理现象。水文现象及其影响因素之间存在着一定的确定性关系,可以用数学物理方法来研究水文问题。这种方法在水文学中称为成因方法,这是本专业技术人员在学习物理学和力学等课程中常用的和熟悉的方法。

但是,水文现象是一个在各种因素综合作用下不断变化的过程,而各种因素的出现和组合都存在着一定的偶然性,如果全凭成因方法去研究它,往往无法用严格的数学物理方法得到确定的结果,这种带有偶然性的水文现象,在水文学中称为随机现象。

此外,人们对于这种水文随机现象的了解总是存在着时间上和空间上的局限性,而且我们的任务不仅是要从它的历史发展过程中去发现它变化的规律性,更重要的是要推断其未来可能的发展进程,以便给工程建设提供可靠的科学依据。例如,河流的最高洪水水位就是一个非常复杂的水文现象,它受到河流洪水、河槽冲淤的影响,而洪水又受到暴雨的影响,暴雨又受到天气系统,如气温、气压、湿度等要素的控制,这样众多的因素,常常无法用成因方法去预测未来若干年内可能出现的最高水位和最大洪水。又如,海浪也是一个十分复杂的水文因素,它的起因主要是由风场引起的,而风场在时间上和空间上的变化与其他的气候系统的变化又密切相关,海浪在风的作用下的发生、发展以及传播还受到水深、海岸形态、海底土质等地理、地貌、地质因素的影响,也无法完全用成因方法去预测某一海域在未来若干年内可能出现的最大海浪及其分布特征。

在认识和掌握这些随机现象的规律以及预测其未来的发展进程时,通常需要应用概率论和数理统计方法来进行研究,这是水文学中广泛使用的方法。学习本课程时应当予以充分的重视。

必须指出,成因方法和数理统计方法在水文学的研究中各有各的用途,是相辅相成的,不应互相排斥。由于学习《工程水文学》的目的是要了解水文现象的历史和预测其未来,因此必须充分认识到现场调查和收集积累资料的意义,以及运用历史唯物主义和辩证唯物主义的观点对资料进行分析处理的重要性。在这方面,我们要学会运用“实践、认识、再实践、再认识”这一认识客观世界的规律,去收集、整理、分析和统计各种水文现象,以便使我们的估算比较切合实际,尽量减少它与实际可能性之间的差异,从而作出比较正确的推断。这一点必须在教学中予以强调。



## 第二章 河川水文基础知识

### 第一节 河流和流域

#### 一、河流

##### 1. 河流的形成和分段

降水扣除损失以后剩余的水体,在重力作用下,经地面与地下沿着一定方向和路径流动,最初水流侵蚀地面,冲成沟壑,形成小溪。许多小溪汇集成小河,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,河水在顺流而下的过程中,不断切割和冲刷河床,并向两侧侵蚀,使河床逐渐扩大。若干小河又汇合成为大的江河,最后流入海洋或内陆湖泊。

这些脉络相通的大小河流所构成的系统,称为水系(或河系)。水系中直接流入海洋或湖泊的河流部分称为干流。汇入干流的河流叫做一级支流;汇入一级支流的河流叫做干流的二级支流,等等。水系通常用干流的名称来称呼它,如长江、黄河、珠江、黑龙江水系等。

一般天然河流,按照河谷和河床情况,冲淤程度,水情变化等特点,分为河源、上游、中游、下游和河口五段。

河源是河流最初具有水流的地方,它可能是溪涧、泉水、冰川、湖泊或沼泽等。

上游是紧接河源的河流上段,多处于深山峡谷中,坡陡流急,河谷下切强烈,流量小而水位涨落急剧,常有急滩或瀑布,河底纵断面多呈阶梯形。

中游是河流的中间段,两岸多丘陵,常有滩地,河床坡度较平缓,冲淤不明显。

下游是河流的下段,一般处于平原区,河槽宽阔,流量大,流速小,坡底缓,淤积明显,浅滩和河湾较多。

河口是河流流入海洋或湖泊的河段。有的河流消失在沙漠里,称为瞎尾河,即没有河口。一般河口流路突然扩大,流速锐减,泥沙大量沉积,形成沙洲或拦门沙浅滩。

##### 2. 河流的基本特征

河流的基本特征,一般用河流断面、河流长度及河流比降来描述。

(1) 河流断面。河流断面有横断面和纵断面。垂直于水流方向的断面称为河流横断面,其一般形状如图 2-1 所示。横断面内,自由水面用某一水准基面的高程标定,称为水位。水位变化时,断面面积随着变化,通常过水断面能反映其径流量大小;而遭遇设计标准洪水(或可能最大

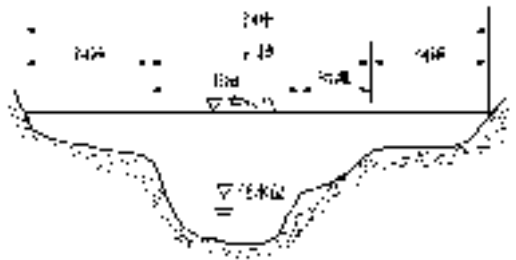


图 2-1 河流横断面的一般形状

洪水)时的过水断面称为大断面。高水位以下的河床划分为河槽与河滩两部分。河槽是泄洪与输沙的主要通道;河槽中沿两岸较高的、可移动的泥沙堆积体称河滩或边滩,中部经常行水的称为主槽。河滩只有汛期时才有水流,无明显的底沙运动。只有河槽而无河滩的断面称为单式断面,有河槽又有河滩的断面称为复式断面。

河流中沿水流方向各横断面最大水深点的连线,称为中泓线或谿线,沿河流中泓线的断面称为河流纵断面。它描述河床的沿程变化,见图 2-2。由于水流与河床的相互作用,河流的纵、横断面都是随时间变化的。通常,纵断面下游不断淤高,上游则被刷深;横断面左右则常处于冲淤交替的过程中。河流断面的发展变化主要决定于河槽所在地区地质、地形、河槽组成物质和水流等情况。

(2)河流长度。从河源到河口的距离称为河流长度。近似的河流长度,可依据实测河道地形图,沿着中泓线,用分规或其他方法,直接量得,但常比实际值小,因为地形图不能反映河道较小的弯道变化,故需做修正。

(3)河流比降。单位长度河段的落差称为该河段的比降。河流比降有水面比降与河底比降。某一河段的比降可按下式计算

$$i = (H_2 - H_1)/l = \Delta H/l \quad (2-1)$$

式中:  $i$  ——河底或水面比降,以百分率(%)或千分率(‰)表示;

$H_1$ 、 $H_2$  ——河段下游端和上游端水面或河底的高程,m;

$l$  ——河段长度,m;

$\Delta H$  ——水面或河底落差,m。

河流比降受很多因素的影响,变化很大;河口附近的比降受泥沙淤积、潮水倒灌或大河大江顶托的影响,变化更大,有时会出现负值;河槽受河水侵蚀刷深,比降越变越缓,但终归不会低于海平面。河底比降相对于水面比降较稳定,水面比降还将随不同的水位而变化。河流比降一般自河源向河口逐渐减小,沿程河段的比降都不相同,参见图 2-2。

### 3. 山区与平原河流的一般特性

根据河流流经的地形特点,一般分为山区河流和平原河流两大类。对于较大的河流,上游段多属山区河流,下游段则为平原河流,而中游段常兼有两类河流的特性,是过渡性河段,称为山前区、半山区河流。对于较小河流,各段可能都属于山区河流或平原河流。

(1)山区河流。流经地势高峻、地形复杂的山区。受水流不断地纵向切割和横向拓宽,河谷断面形成为发育不完全的 V 字形或 U 字形,见图 2-3,断面狭窄,坡面呈直线形或曲线形。

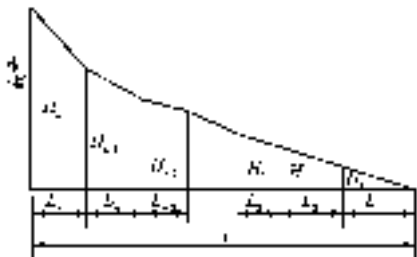


图 2-2 河流纵断面图



图 2-3 山区河流河谷示意图

a) V 字形;b) U 字形

山区河流沿程多为峡谷段与开阔段相间,平面形态非常复杂,两岸与河心常有巨石突出,急弯、卡口到处可见。纵断面陡峻,急滩、深潭上下交错,常呈台阶状。

由于山区河流坡面陡峻,岩石裸露,洪水汇流时间短,暴涨暴落,水位变幅极大,往往一昼夜上涨达 10m 之多;丰、枯流量比也很大。

山区河流的比降大,多在 1‰ 以上,而且沿程变化较大。落差多集中于局部河段,某些河段的流速可高达 6~8m/s。水流流态紊乱,回流、旋涡、跌水和跃水交替出现,很不利于航运。

山区河流的河床多由基岩、乱石或卵石组成,冲刷变形缓慢,河床比较稳定,但易受地震、山崩、滑坡、泥石流等的影响,河道可能突然被堵塞。

(2)平原河流。流经地势平坦的平原地区。河流形成过程主要表现为水流对挟带物质的堆积作用,形成数十米至数百米深厚的冲积层。自下而上各层为卵石、沙夹卵石、粗沙、中沙和细沙,枯水位以上的河滩表层则为粘土、粘壤土。最深层的卵石多为冰川期河水量较大、海平面较低时的堆积物;而沙层则为近代水量较小、海平面较高时的堆积物。

平原河流的河谷多为发育完全的河漫滩形态,见图 2-4。谷坡平缓,河漫滩宽阔。河漫滩在洪水时期被水流淹没,在枯水时期则露出水面。由于河漫滩的土质松软,随着主河槽的摆动或河流的改道,一处河漫滩逐渐被水流冲刷掉,而另一处则生成新河漫滩。

在平原河道的主河槽中,由于水流和河床的相互作用,往往形成各种淤积体,见图 2-5。紧靠河岸枯水时裸露在外的沙滩称为边滩;连接上下边滩的水下沙梗称为浅滩;位于江心的较高与较低的沙滩分别叫作江心洲与江心滩;沙滩中比较狭长且与水流斜交的称为沙嘴。这些淤积体总称沙丘,它们在水流作用下处于不断地运动、变化和发展的状态之中,造成河床形态的持续变化。

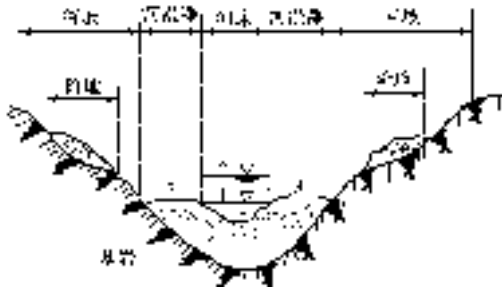


图 2-4 平原河流河谷河漫滩示意图  
1-枯水位;2-洪水水位;3-滩唇;4-冲积层



图 2-5 河流主槽中各种成形淤积体  
1-边滩;2-浅滩;3-深槽;4-江心滩;5-江心洲;6-沙嘴

平原河流的横断面形状依所在位置的不同有抛物线形、不对称三角形和 W 形等数种,见图 2-6。河床一般比较宽而浅,有一定的规律。其河道的平面形式有顺直、微弯、蜿蜒、分汊和游荡型等数种。

平原河流由于河床纵坡平缓,水流通畅,水面比降较小,平均在 0.1‰~1‰ 以下,加之河槽宽阔、流速较小(小于 2~3m/s),所以水流较平顺。

平原河流流经地势缓坦的平原区,汇流时间较长,洪水涨落较平缓,持续时间长,洪枯流量比值小。水位变幅亦较小,一般小于 10m。

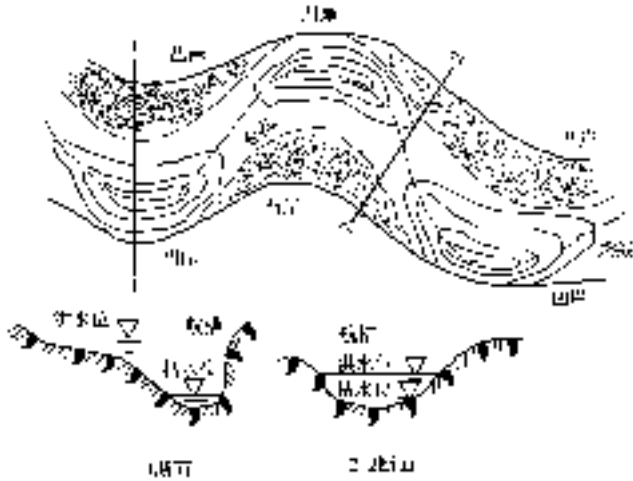


图 2-6 蜿蜒性河道平面状况及横断面图

## 二、流域

### 1. 流域、分水线与流域面积

降水落到地面形成的径流,被高地、山岭分隔而汇集到不同的河流中,汇集水流的同一区域称为某河流的流域。概括地说,流域就是河流的集水区域。

分隔水流的高地、山岭的山脊线,就是相邻流域的分界线,称分水线(或分水岭)。汇入河流的地面水和地下水往往具有不同的分水线。地面分水线和地下分水线相重合的流域,叫做闭合流域;地面与地下分水线不重合的流域叫做非闭合流域。

应指出,流域和出口断面是一一对应的。流域的分水线和出口断面所包围的面积,称为流域面积,或称集水面积。其单位为  $\text{km}^2$ 。中小流域面积一般根据实测地形图用求积仪或数方格的方法求出,大江河流域的河长与面积可依据分辨率高的卫星遥感影像图,通过计算机处理推求。

### 2. 流域特征

流域是河水补给的源地,流域的特征直接影响河川径流的形成和变化过程。流域的特征一般分为两类,即几何与自然地理特征。

(1)几何特征。主要指流域面积和流域形状。流域面积大小直接影响汇集的水量多寡和径流的形成过程。若自然地理条件相同,流域面积越大,径流量就越大,对径流变化的调节作用也越大,因而洪水涨落比较平缓;反之亦然。流域形状主要影响径流汇集时间长短和径流的过程状态。如流域狭长而呈羽形(图 2-7a),其出口断面洪峰流量小,径流过程历时长、变化小;若流域宽阔呈扇形(图 2-7b),则出口断面洪峰流量大,径流过程历时短,变化大。

(2)自然地理特征。主要是流域的地理位置和地形。地理位置一般以流域中心和周界的经纬度来表示,因为一切水文特征、气象特征,如降雨、蒸发和径流深等

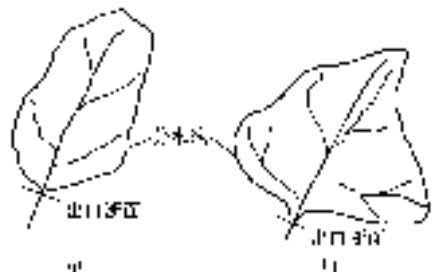


图 2-7 流域形状示意图

都与地理位置有密切关系。流域的地形一般以流域的平均高度、平均宽度和平均坡度表示,这是由于流域平均高度直接影响流域降水,气温与蒸发等;流域平均宽度和平均坡度影响径流的产量、下渗、汇流时间与过程和土壤流失等。

流域内的地质、土壤、森林植被覆盖率和湖泊率等,也都是与径流形成过程有关的自然地理特征。

## 第二节 径流形成过程及其主要影响因素

### 一、径流形成过程

流域内的降水,扣除损失后一部分形成地面水流,一部分渗入地表土壤,在含水层内形成地下水,两者汇集到河网并沿河槽流出流域的出口断面,这种水流称为径流。由降水开始到水流流经流域出口断面的全部物理过程,称为径流形成过程。它是大气降水、蒸发和流域自然地理条件综合作用的过程。由于大气降水、蒸发的多变性和流域自然地理条件的多样性,使径流形成过程十分复杂。为了初步阐明径流形成现象的概念,有利于分析研究,可将其形成物理过程概化为四个阶段,即降水过程、流域蓄渗过程、坡面漫流过程和河槽集流过程。流域蓄渗过程俗称产流过程;坡面漫流和河槽集流过程统称汇流过程。图 2-8 与图 2-9 为径流形成过程和汇流过程示意图。

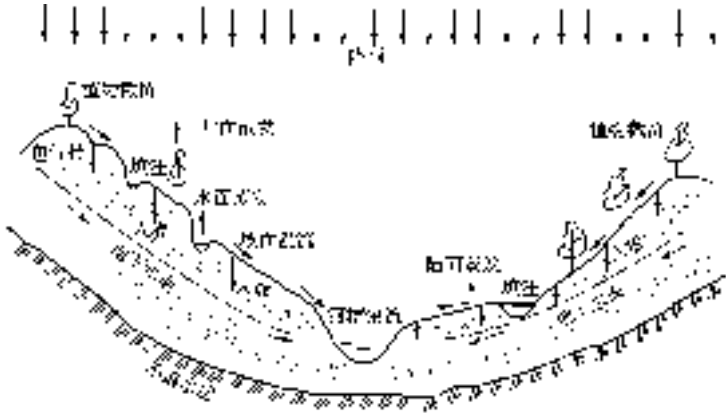


图 2-8 径流形成过程示意图

#### 1. 降水过程

降水是径流形成的主要因素。降水是降雨、降雪、降冰雹等统称。有的河流径流主要靠降雨补给;有的靠降雨和降雪补给;也有主要靠气温升高融雪和冰川补给。论述径流形成概念时,常把降水狭义地看作降雨。

降雨过程的特征,主要由降雨量、降雨强度、时程分配、雨型、空间分布、笼罩面积、暴雨中心



图 2-9 汇流过程示意图

位置和暴雨移动路径等物理量描述。

实际上,降雨过程中的各特征物理量变化都各不相同,因而径流过程的特征变化亦有差异,所以降雨过程常是径流形成过程的重要环节。

### 2. 流域蓄渗过程

降雨开始时,除直接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。首先,雨水被流域内生长的树木、杂草及农作物的茎叶截留一部分,称植物截留。然后,落到地面上的雨水,部分渗入土壤,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,称超渗雨,它将产生地面水流动;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,达到一个稳定值,称为稳定入渗;另外,还有一部分雨水被蓄留在坡面的坑洼里,称为填洼。

植物截留、入渗和填洼的整个过程,称为流域蓄渗过程;这部分雨水不产生地面径流,对降雨径流而言,称为损失,扣除损失后剩余的雨量,称为净雨。所谓的产流过程,就是由降雨扣除损失求净雨的过程。

### 3. 坡面漫流过程

流域蓄渗过程完成以后,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是不一致的。由局部区域的坡面漫流,逐渐增多形成全流域坡面漫流。若降雨历时短,或局部暴雨,则很难形成全流域坡面漫流。客观上,坡面漫流的过程也有入渗、降雨和蒸发过程伴随着,这是一个复杂的过程。

### 4. 河槽集流过程

坡面漫流的雨水汇入河槽后,顺着河道由小沟到支流,由支流到干流,最后达到流域出口断面,这个过程称为河槽集流。汇入河槽的水流,一方面继续沿河槽迅速向下流动,另一方面也使河槽内的水量增多,水位亦随之上升;河槽容蓄的这部分水量,在雨止和坡面漫流结束后才缓慢地流向下游,使流域出口断面的过流量变得平缓,历时延长,从而起到河槽对洪水的调蓄作用。另外,入渗到土壤饱和层形成的地下水流,经地下水库调蓄汇集到河槽的历时将更长,通常与下一次降雨形成的径流衔接。

可见,所谓的汇流过程,就是净雨经坡面、地下水库和河槽调蓄,在时程上再分配的过程。

还应指出,降雨、蓄渗、坡面漫流和河槽集流,是从降雨开始到出口断面产生径流所经历的全部过程,它们在时间上并没有明显的分界,而是交错进行的。

## 二、影响径流的主要因素

从径流的形成过程来分析,影响径流的主要因素是气象气候因素、下垫面因素和人类活动因素。

### 1. 气象气候因素

气象气候因素中的降水(雨、雪)和蒸发是影响径流的最重要因素。

(1)降雨。空气中的水汽随气流上升,绝热膨胀冷却而凝结成水滴降落到地面上,形成降雨。一般根据水汽上升的原因分成四类,即①气旋雨,是气旋(即低气压)过境带来的雨;②对流雨,是地面受热,使下层湿空气上升冷却凝结的雨;③地形雨,是暖湿空气遇到高山阻挡被抬升凝结成的雨;④台风雨,是台风过境或边缘影响带来的雨。

不同的降雨类型,其降雨特征是有差异的,即降雨量,降雨强度,降雨时、空分布,降雨历时等不相同,对径流的形成影响程度是不一样的。如台风雨,降雨量大,强度大,波及面也广,产生的洪水过程是峰高、量大。又如地形雨,通常降雨量自山脚往山上逐渐增大,因此形成的洪水过程属峰高且偏后类型。又如对流雨,多雷阵雨天气,降雨强度虽然大,但历时短、范围小,所以形成峰高量小,陡涨陡落类型的洪水过程。再如气旋雨,通常历时较长、范围较大,若降雨走向是自流域下游往上游,则形成的洪水过程属起涨早、峰低、过程较胖类型;若降雨走向是自流域上游往下游移动,则形成的洪水过程属起涨晚、峰高偏后类型。有时较长历时的降雨过程是由两种天气类型的降雨组合成的,这种洪水过程量大、历时长,且属双峰型。

可见降雨因素不仅是径流形成的重要影响因素,而且是影响径流形成全过程的因素。

(2)蒸发。是水由液体状态变成气态的物理过程。流域总蒸发是由水面(湖、洼池、河槽和库水面)蒸发、陆面蒸发和植物散发组成。植物截留、填洼及渗入土壤包气带的前期降雨量称为损失量,是通过蒸、散发消耗掉的。若这部分量蒸发消耗的少,则下次降雨损失量就小点,相应产流量大些;反之则下次降雨损失加大,产流量减少。中国湿润地区年蒸发量占年降水量的30%~50%,干旱地区达80%~95%,其余部分才形成径流。可见蒸发是影响径流形成的又一重要因素,它主要影响径流的产流过程。

## 2. 下垫面因素

下垫面因素主要包括地形、土壤、地质、植被、湖沼和流域形态等。这些因子,一方面直接影响径流的大小和过程;另一方面通过气象气候因素间接影响径流。

(1)地形。流域地形特征,如地面高程、坡度、切割程度等,直接影响汇流过程。地势越陡,切割越深,坡面漫流和河槽集流速度越高,汇流时间越短,降雨损失小,流量过程线形状比较尖瘦,反之则较平缓。另外,随地面高程的增加,年平均降雨也增加;但气温却下降,因而蒸发量减小。综合效应使径流量随高程的增加而增加。

(2)土壤和地质。土壤的物理性质,含水量和岩层分层,倾斜情况,透水岩层的厚薄,储存地下水的地质条件等因素,明显地影响着流域降雨的入渗过程。在深厚的风化壳和第四纪疏松堆积物的地表,由于透水性强,一部分雨水入渗补给地下水,再经地下水库调蓄源源不断地补给河槽,从而减缓了河川径流的变化。土壤层深厚的黄土高原,入渗雨水几乎很少形成地下水或回补给河槽。岩溶地貌分布区,能使大量的降雨和地面径流入地下,常出现地面及地下水分水线不重叠。

(3)植被与湖沼。植被的截留雨水作用,减少了径流量,但是,它可增加地面糙度、改变土壤结构,具有高度持水性,有利于入渗,减缓坡面漫流速度,使河川径流获得良好的调节作用。湖沼一方面有流域蓄水量调节作用,影响径流的变化,另一方面因增加了流域蓄水面积,从而增加了蒸发量,减少了总径流量。

(4)流域形状和面积。这是两个影响径流形成过程的重要因子。流域面积大,径流总量大,其中地下径流量相应增多,使得径流过程较稳定。流域形状若是羽型或窄长型,则流域汇流历时长,过程线较平缓;若是扇型流域,各支流几乎同时汇入出口断面,故洪水过程线陡峻,汇流历时短。

上述的下垫面诸影响因子,有的影响径流形成的全过程,有的只影响一、两个阶段。

### 3. 人类活动对径流的影响

人类活动对径流的影响主要归纳为三类,即农业、林牧业和水利措施。

(1)农业措施。主要有坡地改梯田、旱田改水田、深耕密植等。起到拦截径流与泥沙作用,使下渗和蒸发增大,减少了径流。

(2)林牧业措施。主要是种草种树,增加植被覆盖率,使泥沙流失量减少,使下渗和蒸发增大,减缓坡面漫流速度,使流域汇流过程缓慢,即增加了调节能力。

(3)水利措施。包括谷坊、灌渠、塘堰和大、中、小型水库以及跨流域引水工程等,主要对径流期调蓄作用,改变汇流过程。

另外,随国民经济、人口增长,较大流域内城市化水平变化亦属人类活动范畴,其硬覆盖、引排水增加等,也在改变着产、汇流特征。

上述人类活动诸影响因子,基本上只影响径流形成过程的一、两个阶段。

## 第三节 河川水文情势

### 一、河川水文情势

河川水文要素,如水位、流量、泥沙和冰情等多年的一般变化情况,称为河川水文情势。它是流域气候、自然地理条件、下垫面特征及人类活动等因素综合作用的结果。通过分析大量河川径流资料可看出,河川水文情势的主要特点是不重复性、地区性、周期性和模糊性。

#### 1. 不重复性

河川的流量,水位或泥沙过程随时随地都在变化着。同一测站,年与年之间的过程是不一样的,不同测站的过程差异更大,上游站的流量过程与下游站的流量过程没有重合的。这是因为,影响气候和水文要素的因子非常多,现象很复杂,经过多种因素的综合作用,各年径流情势就不可能完全相同。这种性质称为不重复性,可用多因子综合分析法寻求此特性。另外,同一测站有的年份汛期来得早,流量大,泥沙量多;有的年份汛期来得迟,流量偏小,泥沙也少。即某年汛期何时到来,洪峰多大,含泥沙多少,最高水位能达到多高等事先都不知道,这种不重复性亦称随机性,其特性通常用数理统计方法进行分析。

#### 2. 地区性

由于各地区都有气候条件、自然地理和流域下垫面特征,因此反映在水文情势上就有明显的地区性。例如中国南方多雨,河流汛期早,地下水位高,植被覆盖率高,通常洪水量大,涨水较缓,退水历时较长;中国北方少雨,汛期较迟,地下水埋藏深,植被覆盖率低,通常洪水量小,涨水、退水都很快;西北地区一些靠融雪补给的河流,径流变化与温度关系密切;山区小河流多暴涨暴落,平原大河流涨落比较平缓。同一地区或流域水文气象自然地理特征相似的河流,或同一河流的上下游站,水文情势又有相似之处。由于水文情势具有地区性,因此当存在同一地区气候条件及其特性相似的流域时,便有可能借助水文比拟法或地区经验公式与图表,去解决缺乏资料站的水文情势问题。



### 3. 周期性

所谓的“周期”性,是指河川径流水文情势的变化特征经过一定的时间间隔再现的特性。通常水文情势都有明显的以1年为“周期”的循环性,因为影响水文的因素中,气候因素的变化是以年为周期,地球绕太阳旋转1年有春、夏、秋、冬四季之分,各季有其特殊的气候条件。例如中国长江流域夏季气温高,雨量充沛;冬季气温低,雨量稀少,年年如此;松花江流域,春季融雪形成一次春汛,夏季暴雨又形成夏汛,这种周期,长期以来没有本质的变化。因此可利用这个性质来推求和预估1年内水文情势变化的一般情况和可能情况。

### 4. 模糊性

河川水文情势的变化还存在明显的“中间过渡”性,即从一种水文情势过渡到另一种情势的特性,亦称模糊性。如非汛期到汛期中间有一个过渡时期,此期间任何1天,既属于非汛期,又属于汛期,但是隶属程度不同。在中国的北方江河,越接近7、8月,属于汛期的程度大,而属于非汛期的程度小些。反之,越接近1、2月,属于非汛期的程度大,而属于汛期的程度很小。通常称汛期或非汛期属模糊概念,可用模糊集合论来描述它。丰水年或枯水年亦属模糊概念等。

## 二、径流的度量单位

为了说明某一地区某一时段内径流的大小和便于比较,在研究和计算时常用下列度量单位:

### 1. 流量( $Q$ )

流量指单位时间内流过断面的水体体积,常用单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ 。把瞬时流量按时间求平均值,可得到某时段的平均流量,如日、旬、月平均流量,年平均流量和多年平均流量等。

### 2. 径流总量( $W$ )

径流总量指某时段  $T$  内流过断面的总径流体积,常用单位为  $\text{m}^3$ 、亿  $\text{m}^3$  或  $\text{km}^3$  等。

### 3. 径流深( $y$ )

径流深是径流总量平均分布在流域上的水深,常用单位为  $\text{mm}$ 。

如计算时段长  $T(\text{s})$ ,时段平均流量  $Q(\text{m}^3/\text{s})$ ,流域面积为  $F(\text{km}^2)$  的径流总量为  $W(\text{m}^3)$  和径流深为  $y(\text{mm})$ ,则计算式为

$$W = Q \cdot T \quad (2-2)$$

$$y = \frac{Q \cdot T}{F \times 10^6} \times 10^3 = \frac{Q \cdot T}{1000F} \quad (\text{mm}) \quad (2-3)$$

### 4. 径流模数( $M$ )

径流模数是单位流域面积上所“产生”的“流量”,常用单位为  $\text{L/s} \cdot \text{km}^2$ ,  $\text{L}$  为升 ( $0.001\text{m}^3$ ),计算式为

$$M = \frac{Q}{F} \times 10^3 \quad (\text{L/s} \cdot \text{km}^2) \quad (2-4)$$

时段  $T$  内平均径流模数与总径流深关系为

$$y = \frac{M \cdot T}{10^6} \quad (\text{mm}) \quad (2-5)$$

年径流深

$$y_{\text{年}} = \frac{365 \times 86400}{10^6} M = 31.64M \quad (\text{mm})$$

#### 5. 径流系数 ( $\alpha$ )

径流系数是某时段降雨量  $x$  (mm) 所形成的径流深  $y$  的比例数, 以小于 1 的数或百分数表示, 其计算式为

$$\alpha = \frac{y}{x} \quad (2-6)$$

因为降落到流域上的雨水总有损失, 所以  $\alpha$  一般只能小于 1。

# 第三章 河川水文测验

## 第一节 水文测站

### 一、水文站的分类

水文资料是水文分析、计算和预报的基础。大部分水文资料是通过水文测站取得的,并每年整编后,以数据库的形式存储在水文勘测部门计算机内,可随时调用,或以《水文年鉴》的形式刊印成册。

水文站按设站的目的和性质可分为三类。

#### 1. 基本站

基本站是国家水文部门在全国大中河流上统一布设和分级管理的永久性水文站,它按照《水文测验技术规范》的要求,长期地、系统地进行水位、流量、泥沙、降水和蒸发等项目观测,整编和存储,以满足各有关部门的综合需要。

#### 2. 实验站

实验站是根据特定的实验研究任务而设定的站,如径流实验站、河床演变实验站、河口实验站和水库蒸发实验站等。

#### 3. 专用站

专用站是为专门目的或特定工程的需要而设立的站,如港航勘测中临时布设的水文站;水库与水电站施工期临时水文站;水库洪水预报专门设置的降雨自动测报站等。

基本站因观测项目不同,又分为流量站、水位站、雨量站和泥沙站等。

### 二、测站的布设

测站的布设包括测验河段的选择和测站上布设的内容。

#### 1. 测验河段的选择

建立水文测站之前,要先选择测验河段,它选择的恰当与否对测验工作影响很大,选择测验河段的原则在《水文测验试行规范》中有明确规定。测站河段应符合两个条件:①必须满足设站的目的和要求;②在保证成果具有必要精度的前提下,有利于简化资料整理工作。具体说,就是要尽可能使所选测验河段的水位流量关系曲线成为单一式的,从而可根据观测的水位较容易推求流量,减轻测验工作。根据水力学的原理可知,过水断面积、糙率、水力半径及水面比降是影响河段流量的主要因素。因此,在平原河流上,所选测验河段应尽可能顺直匀整,河段长不小于河宽的3~5倍,才能保证比降的一致;河岸及河床应尽量稳定、不易滋长水草;应不受下游干流支流汇入或湖泊等引起回水因素的变动影响。在山区河流上,所选测验河段应尽量避开石梁、急滩、卡口和乱石阻塞的影响,选择在河道顺直匀整,流态稳定的河段。

## 2. 基本水文站的布设

在基本水文测站上,主要是测水位、流量、泥沙、降水与蒸发等项资料。为此,通常在测站上设置水准点、水尺、测流断面及基线,建立各种测量标志,配置必要的仪器、工具,测量河段地形,填写测站考证簿等。

(1) 布设基线和基本测流断面。通常在测站所选河段中部某位置处布设基本测流断面,使其垂直于断面平均流向,见图 3-1。然后在河岸上布设与基本测流断面相垂直的基线,基线的长度,应使基本测流断面上最远点的仪器与断面的夹角  $\alpha > 30^\circ$ 。

(2) 布设浮标测流断面和比降断面。浮标断面包括上、中、下浮标断面,中断面与基本测流断面重合,上、下浮标断面间距一般不小于断面最大平均流速乘 50~80s。

比降观测的目的,是便于用流量资料来计算河道的糙率。比降断面设在基本测流断面的上、下游,要求两断面间的河段要顺直,断面形状基本一致,河底坡度和水面比降不应有明显的转折,两断面的间距应使测得的比降误差小于 15%,具体计算方法可参照规范。

(3) 设立水准基点及水尺。水准基点是测定水文站建筑和水尺高程的主要依据。应设在测站附近,基础稳固,在最高洪水位以上,以免受淹。

为了观测河段的水位变化,需在基本测流断面上设立基本水尺;为观测水面比降,还需在上、下比降断面设立水尺。

(4) 仪器及工具设置。主要是测船或自动观测缆车,流速仪,自动计算微机和控制设备;另外还设置测降水和蒸发的设备。

(5) 其他。应进行河段地形(包括水下地形)、河道纵、横断面测量;绘制河段的水面流速和流向图等。

## 3. 港航勘测中临时水文测站布设

在进行航运开发过程中,为了借用距工程较远的基本水文站资料,常常需要设立临时水文站,进行短期必需的水文观测,为相关分析准备资料。

设立这类临时水文站的要求是:①测站必须设立在工程所在的位置;②测站布设内容,应与工程要求的观测目标一致。一般以水位观测为主,或观测水面比降和水面流向。当临时测站距基本水文站较远,或在基本水文站与工程所在处之间有较大支流汇入时,需测验水位与流量,建立水位~流量关系。

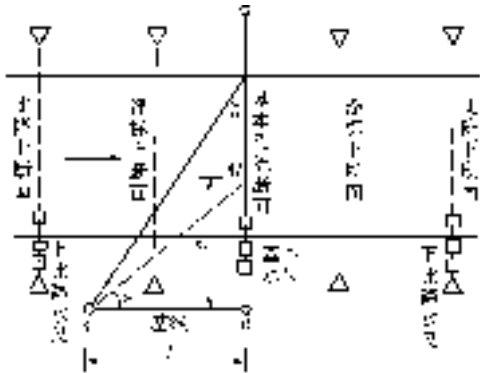


图 3-1 测站布设示意图

# 第二节 水位观测

## 一、水位观测设备及其布置

河川水位观测,主要指河流、水电站水库、闸坝、湖泊、港口码头等水位观测。目前,观测水

位的设备主要是水尺和自记水位计。

### 1. 水尺

水尺是最简便、最可靠的水位观测装置。常用的水尺有直立式、倾斜式和矮桩式等数种。其中直立式的是最基本的类型。一般要求水尺安装都能够测得最高洪水位和最低洪水位,且上下留有 0.5m 的富余。

### 2. 自记水位计

目前有多种自记式水位计,按测量方法分类有机械式、电容式、超声波式三种;按传递距离分类有就地记录式、远地记录式两种;按传递方式分类有无线和有线两种。记录的周期已由日发展到月和季;记录的方式已由模拟记录纸发展到计算机存储、显示或打印。

## 二、水位观测的内容和要求

### 1. 水文站的水位观测内容和要求

水文站水位观测内容包括基本水尺和比降水尺的水位,具体要求是:

(1) 观测时段要求。一般是每日 08 时和 20 时各观测一次,称二段制观测;枯水期每日 08 时观测一次;汛期水位变化大,实施四段制(每日 02、08、14、20 时观测)或八段制(每日 02、05、…、20、23 时观测);当发生洪水时,为了能测得洪水的涨、落过程和最高洪水位,常需每隔半小时或数分钟观测一次。

(2) 比降水尺的水位观测要求。比降水位是计算水面比降、分析河床糙率的依据,亦是分析水位流量关系的重要资料。观测的次数,以能观测到各级水位的水面比降为准。凡观测比降水位时,都必须观测基本水尺水位,而且要求同步观测。

(3) 精度要求。受风和水面起伏影响的水尺,在无静水设备时,要读水面起伏的平均值;基本水尺读至 1cm,比降水尺估读到 0.5cm。

(4) 在施测流速、流向和泥沙时,亦需同时观测基本水尺水位。

若采用自记水位计,水位观测将大大简化,观测者的任务就是监控计算机的正常运行,或是按时换记录纸、按要求摘录时段水位、定时水位校测和设备检查。

### 2. 港、航测设中的临时水位观测

临时水位观测具有观测时间短、无需测得连续过程的特点,大多以水尺为观测设备,主要内容要求是:

(1) 滩险整治和新建港区的临时水位观测。对于船闸枢纽,为了建立坝下游水位~流量关系线,需在坝下设水尺观测。对于滩险水面变化的预测,需在滩的上、中、下三处设水尺。在弯道处还需两岸相对设水尺,观测横比降。对于港区,一般在码头附近设水尺观测即可。

(2) 沿河同步水位观测。即在一较长河段上布设一系列水位桩,并同时观测读数,以便测得该河段同一时刻的瞬时水面线。它是将基本站最低设计通航水位转移到整治河段上的依据,亦是河道航运规划中不可少的资料。为了准确的测得它,凡水面发生转折处都应设水尺,观测时机应选在河水位比较平稳的枯水期,接近最枯水位时为最好。临时水位观测只需 1~3 次即可,之后便可撤去。

## 三、水位观测资料的整理

水位观测资料整理的内容包括日、月、年平均水位计算,编制“逐日平均水位表”、绘制日

平均水位过程线与日平均水位历时曲线等。

1. 日平均水位计算

(1) 算术平均法。当日内水位变化缓慢或等时距观测(或摘录)时采用此法,计算式为

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (3-1)$$

式中:  $\bar{H}$  ——日平均水位, m;

$H_i$  ——各次水位观测值, m;

$n$  ——1日内观测水位的次数。

(2) 面积包围法。若一日内水位变化大且观测时距不等,则采用0~24时的水位过程线所包围的面积除一日的时间来计算日平均水位,称为面积包围法。结合图3-2,计算式为

$$\bar{H} = \frac{1}{2 \times 24} [H_0 a + H_1(a+b) + H_2(b+c) + \dots + H_{n-1}(m+n) + H_n] \quad (3-2)$$

式中:  $a, b, c, \dots, m, n$  ——各观测时距, h;

$H_0, H_1, \dots, H_{n-1}, H_n$  ——各观测水位, m;

$\bar{H}$  ——日平均水位, m。

在计算中,若零时与24时无实测值,则应根据前后相邻水位直线内插求得。

2. 编制“逐日平均水位表”

用式(3-1)或式(3-2)计算逐日平均水位,填入

表3-1内;每月、每年按算术平均法求月、年平均水位,统计最高、最低值和相应的日期;表中各种保证率水位值,是将1年中日平均水位按大至小次序排列后,取指定时所对应的水位。

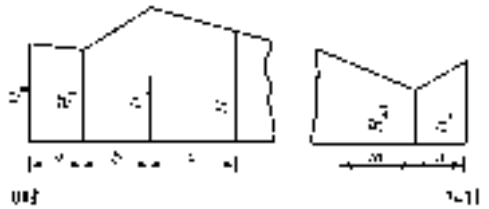


图3-2 面积包围法示意图

长江××站逐日平均水位表  
冻结基面高程0.168m(吴淞基面) 表3-1  
水位以m计

日	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		207.07	206.93	206.49	206.78	207.92	209.75	220.42	215.02	218.53	213.62	209.93	208.23
2	05	90	45	207.28	72	210.14	217.26	47	22	30	86	18	
3	04	85	46	87	87	09	215.71	24	50	212.88	69	13	
4	08	77	44	53	92	209.70	214.98	214.70	219.06	62	53	24	
5	11	76	42	21	75	49	82	83	33	40	44	34	
6	08	81	46	04	99	44	215.41	215.47	48	10	43	49	
7	00	89	46	206.97	208.48	210.09	216.02	216.01	49	211.98	33	45	
8	206.91	87	44	207.20	73	211.20	217.23	82	217.86	212.09	17	36	
9	85	78	45	63	209.09	64	61	219.48	216.59	211.95	15	25	
10	84	76	43	208.44	210.37	47	216.31	85	215.71	92	09	13	
11	82	74	42	43	33	08	215.49	217.76	49	79	208.99	13	
12	87	69	39	16	209.62	04	46	216.70	43	72	96	11	
13	90	71	45	207.93	19	210.81	214.97	215.21	18	62	209.01	06	