

给水科学与工程本科系列教材

GAISHUI KEXUE YU GONGCHENG BENKE XILIE JIAOCAI

# 工程水文学

GONGCHENG SHUIWENXUE (第2版)

向文英 ■ 主编      张 智 ■ 主审



清华大学出版社

<http://www.tsp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书按照全国高等学校给水排水专业最新教学大纲编写,内容包括河川径流、水文统计的基本概念原理、设计年径流量、设计洪水径流、设计枯水径流以及降水径流分析与小流域暴雨洪水的计算等,并附有水文计算的专用表。

本书为高等院校给水排水工程专业和土木工程专业本、专科教材,并可作为给水排水专业注册工程师考试以及相关专业技术人员参考教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程水文学/向文英主编. —2版. —重庆:重庆大学出版社,2011.2

给排水科学与工程专业本科系列教材

ISBN 978-7-5624-2979-1

I. ①工… II. ①向… 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004913号

## 工程水文学

(第2版)

向文英 主编

张 智 主审

责任编辑:林青山 版式设计:林青山

责任校对:邹 忌 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:12 字数:300千

2011年2月第2版 2011年2月第2次印刷

印数:3 001—6 000

ISBN 978-7-5624-2979-1 定价:20.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 编审委员会

给排水科学与工程本科系列教材是在给排水科学与工程专业指导委员会已列出本专业教材的基础上,结合更名后专业教育的具体情况进行的补充修正以及完善,同时也是新一轮教改研究的重要组成部分,达到适合新专业目录下的教学改革的需要。为了保证系列教材的编写质量以及权威性,特设立给排水科学与工程本科系列教材编审委员会,人员组成如下:

|         |        |          |             |
|---------|--------|----------|-------------|
| 主任委员    | 龙腾锐    | 教授、博士生导师 | 重庆大学        |
| 常务副主任委员 | 李长惠    | 社长       | 重庆大学出版社科技分社 |
| 副主任委员   | 范瑾初    | 教授、博士生导师 | 同济大学        |
|         | 蒋展鹏    | 教授、博士生导师 | 清华大学        |
| 委 员     | 龙腾锐    | 教授、博士生导师 | 重庆大学        |
|         | 李长惠    | 社长       | 重庆大学出版社科技分社 |
|         | 范瑾初    | 教授、博士生导师 | 同济大学        |
|         | 蒋展鹏    | 教授、博士生导师 | 清华大学        |
|         | 张 智    | 教授、博士生导师 | 重庆大学        |
|         | 黄廷林    | 教授、博士生导师 | 西安建筑科技大学    |
|         | 陶 涛    | 教授、博士生导师 | 华中科技大学      |
|         | 张 勤    | 教授、硕士生导师 | 重庆大学        |
|         | 何 强    | 教授、博士生导师 | 重庆大学        |
|         | 郭劲松    | 教授、博士生导师 | 重庆大学        |
|         | 周 健    | 教授、博士生导师 | 重庆大学        |
| 秘 书     | 张 勤(兼) | 姜文超      |             |

重庆大学出版社  
重庆大学城环学院水科学与工程系  
二〇〇六年七月十六日

# 序

---

我国给水排水工程(给排水科学与工程)专业教育自开办至今,近60年来,从专业名称到学科内涵,从教学计划到新课程的开设,经历了多次深化教育改革的研究与讨论。

专业的设置,必须具备两个基本条件:一是人们的生活(包括物质生活和精神生活)或国民经济建设所必需的;二是它具有有别于其他专业的自身独特的学科理论基础。就给水排水工程专业而言,它的主要任务是供给人们生活或国民经济建设持续发展所需的符合质量(水质)标准的水。世界上没有哪一个人或哪一个生产工艺过程不需要水的。为了供给人们或国民经济所需的符合水质要求的水,给水排水工程的工作者必须具有相对有别于其他专业人员的基础理论和科学知识,包括工程力学,特别是流体力学;化学,特别是水化学、有机化学和生物化学;生物学,特别是水微生物学等。

本系列教材是为高等学校给水排水工程专业师生教与学出版的。它的主要特点是:

第一,具有鲜明的工程性。目前,国内兴办给水排水工程专业的学校各式各类,但给水排水工程专业的毕业生绝大多数都从业于给水排水工程的设计、施工和运营,即从事于给水排水工程领域的工作,其执业身份是注册公用设备工程师。本系列教材突出了学生毕业后所从事的这一工程技术特性。

第二,具有较强的实用性。尽管给水排水体现了水在人类社会的一个循环过程,即人们从自然界取水,经一系列工程措施后,将自然界的水处理到符合水质要求后供人们利用,然后将人们用过后污染了的水收集起来,再经一系列工程措施处理到自然界可以接受的水质后排入自然。这是一个循环过程,因此有学者不无道理地将它称之为水的社会循环。但是,这个统一的循环过程是分步完成,前半环是由给水系统工程完成,而后半环是由排水系统工程完成,这两者面对的对象和要达到的目标是有区别的。从教学的角度上讲,把这统一的循环过程按上半环、下半环及这两个半环的交接处(建筑物)分别进行讲授,可能比较符合人们的思维规律,因为从工程的角度上讲,这三者之间各有各的特点。这样做,既便于教师教学又便于学生学习。本系列教材按这一思路编写可能较适宜于教与学。

第三,具有较好的新颖性。本系列教材编者收集了近20年来专业技术上出现的新工艺、新设备、新材料以及近年来的新规范等,在编写中都相应有所体现。

希望本系列教材在编者、教师和学生的共同努力下,通过教学实践能逐步有所改善或提高,对给水排水工程的学科建设有所贡献。

龙腾锐

2008年9月10日

# 前 言

---

水——生命之源,它在自然界循环过程中既能造福于人类,也能给人类带来灾难。影响水体在自然界的循环规律因素很多,体现在水文现象的变化多端性,人类要控制自然的愿望目前还难以实现。因此,水文学这一学科与其他学科不同,只有在长期观测水文现象的基础上总结规律,从而掌握水体的自然循环规律,遵循自然规律,并为人类服务。

本书根据全国给水排水工程专业教学大纲编写,并结合了给水排水专业注册工程师考试要求。教材中融入最新大型工程作为例证,以及相关学科的最新知识。

教材共分7章,按32至48学时编写。在教材的编写中尽量考虑到不同层次同学的需要与要求,由浅入深、循序渐进,抛砖引玉,以期有益于教学和读者。教材中从水循环、河川径流的形成过程、水文资料的收集与整理、水文统计的基本原理及方法入手,详细阐述了设计年径流量、设计洪水径流与设计枯水径流的推求方法;从降水的形成到暴雨洪峰流量的推算等多方面进行了阐述。本书涉及的知识面广,实用性强。

本书是在第1版经7年的应用修编而成,也凝练了编者7年的教学与科研经验。在广大的同仁和师生们的共同努力下作了较大的调整和修订。

教材由重庆大学向文英编写,重庆大学张智教授主审。编写过程中参考了大量的相关教材和最新的研究成果,打破专业局限,拓宽专业知识面,力求作到科学性、理论性、系统性和专业针对性。经反复修改、审查编写了这本教材。编写过程中得到了重庆大学城环学院领导、同仁和师生们的大力支持,引用了有关院校、科研单位的相关资料,在此一并致谢。

由于出版时间的限制,以及水平有限,书中难免有缺点、错误,恳切希望广大读者批评指正。

编者  
2010.9 于重庆大学

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>1 绪论</b> .....           | 1  |
| 1.1 我国水资源概况 .....           | 1  |
| 1.2 工程水文学的研究对象及其作用 .....    | 2  |
| 1.3 水文现象的特点与水文学的研究方法 .....  | 3  |
| <b>2 水循环与河川径流的形成</b> .....  | 5  |
| 2.1 水循环与水量平衡 .....          | 5  |
| 2.2 河流、流域与分水线 .....         | 7  |
| 2.3 河川径流的形成及主要影响因素 .....    | 12 |
| 2.4 径流的表示法和度量单位 .....       | 15 |
| 习题 2 .....                  | 17 |
| <b>3 水文测验与水文资料的收集</b> ..... | 18 |
| 3.1 水位观测 .....              | 18 |
| 3.2 流量观测 .....              | 19 |
| 3.3 水位流量关系曲线的绘制与延长 .....    | 24 |
| 3.4 泥沙观测 .....              | 29 |
| 3.5 降水观测 .....              | 32 |
| 3.6 水文资料的收集与历史洪枯水调查 .....   | 35 |
| 习题 3 .....                  | 38 |
| <b>4 水文统计基本原理与方法</b> .....  | 39 |
| 4.1 水文统计的基本概念 .....         | 39 |
| 4.2 经验累积频率曲线与理论累积频率曲线 ..... | 47 |
| 4.3 统计参数 .....              | 54 |
| 4.4 抽样误差 .....              | 58 |
| 4.5 现行水文频率计算方法 .....        | 62 |
| 4.6 相关分析 .....              | 69 |
| 习题 4 .....                  | 75 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>5 设计年径流量</b> .....                                | 77  |
| 5.1 年径流量与年正常径流量 .....                                | 77  |
| 5.2 有长期实测资料的设计年径流量及年内分配 .....                        | 78  |
| 5.3 具有短期或不连续实测资料的设计年径流量和年内分配 .....                   | 83  |
| 5.4 缺乏实测资料的设计年径流量和年内分配 .....                         | 84  |
| 5.5 水库调节与径流的关系 .....                                 | 87  |
| 习题 5 .....   | 89  |
| <b>6 设计洪、枯水径流</b> .....                              | 90  |
| 6.1 洪水与设计洪水 .....                                    | 90  |
| 6.2 设计洪峰流量的分析 .....                                  | 92  |
| 6.3 含特大值不连续系列设计洪峰流量的推算 .....                         | 95  |
| 6.4 枯水径流分析 .....                                     | 98  |
| 6.5 设计枯水径流的推求 .....                                  | 99  |
| 习题 6 .....   | 105 |
| <b>7 降水径流分析</b> .....                                | 106 |
| 7.1 降水径流分析 .....                                     | 106 |
| 7.2 下渗曲线与超渗产流 .....                                  | 110 |
| 7.3 流域汇流计算方法 .....                                   | 112 |
| 7.4 设计暴雨与设计洪水 .....                                  | 115 |
| 习题 7 .....   | 117 |
| <b>8 小流域暴雨洪峰流量的计算</b> .....                          | 118 |
| 8.1 小流域设计暴雨计算 .....                                  | 118 |
| 8.2 暴雨洪峰流量的推理公式 .....                                | 123 |
| 8.3 暴雨洪峰流量的地区性经验公式 .....                             | 138 |
| 习题 8 .....   | 139 |
| <b>附录</b> .....                                      | 140 |
| 附录 1 海森概率格纸横坐标分格距离 .....                             | 140 |
| 附录 2 $P$ —Ⅲ 型曲线离均系数 $\Phi_p$ 值计算表 .....              | 141 |
| 附录 3 $P$ —Ⅲ 型曲线模比系数 $K_p$ 值表 .....                   | 163 |
| 附录 4 $P$ —Ⅲ 型曲线三点法 $S$ 与 $C_s$ 关系表 .....             | 163 |
| 附录 5 $P$ —Ⅲ 型曲线三点法 $C_s$ 与 $\Phi_p$ 关系表 .....        | 165 |
| 附录 6 克里茨基与闵凯里曲线模比系数 $K_p$ 值计算表 .....                 | 169 |
| 附录 7 不同置信水平 $\alpha$ 下的相关系数最低值 $\gamma_\alpha$ ..... | 176 |
| 附录 8 城市暴雨强度经验公式 .....                                | 177 |
| <b>参考文献</b> .....                                    | 181 |

# 1 绪 论

---

## 1.1 我国水资源概况

水是人类赖以生存和从事生产不可缺少的物质,广义水资源包括海洋、地下水、冰川、湖泊、土壤水、河川径流、大气水等在内的各种水体,在全球范围内总量约为  $1.45 \times 10^{15} \text{ m}^3$ 。狭义概念水资源则是指逐年可以恢复更新的那一部分淡水量,除去海水、冰川、深层高矿化地下水后,这部分水量约为  $4.7 \times 10^{13} \text{ m}^3$ ,约占总量的 0.003%。

我国是个缺水大国,水资源并不丰富,淡水资源总量在巴西、前苏联、加拿大、美国、印度尼西亚之后,居世界第 6 位,但人均占有量很低,约为  $2420 \text{ m}^3$ ,相当于世界人均占有量的  $1/4.8$ 。全国多年平均降水量约  $6.0076 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。全国河川多年平均径流总量约  $2.638 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,地下水资源补给量约  $7.718 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,两者之和为  $3.4098 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,扣除重复水量  $6.888 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,则全国多年平均水资源总量为  $2.721 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,相当于 284 mm 水深。

我国淡水资源不仅人均量小,时空分布也很不均匀。东南地区年降水量高的可达 1600 mm,西北地区只有 500 mm 左右,有的地区甚至不到 200 mm。长江流域和长江以南地区径流量占全国 82%,耕地却只占全国的 38%;黄、淮、海河三大流域径流量占全国的 66%,而耕地只占全国的 40%;且外流河水系占 95.8%,内陆河水系仅占 4.2%。我国各地降水量年际差别也很悬殊,丰水年与枯水年降水量之比,南方地区为 1.5~3 倍,北方地区为 3~6 倍;降水量在年内差别也很大,大部分地区全年 60%~80% 的降水量集中在夏季和秋季的三四个月内。因而,在我国北方地区水资源缺乏更为突出。

随着人类经济活动和生产的迅速发展,水污染日益严重,并危及到水资源与经济的进一步协调发展,我国已展开了一场治理水源污染的热潮,对水文现象的研究也将更有助于全面、有效地治理水源污染。

## 1.2 工程水文学的研究对象及其作用

水体以一定形态存在于自然界中,并不断地相互转换形成循环往复的水体运动,如大气中的水蒸气,地面上的江河、湖泊、沼泽、海洋和地下水体,各种水体都有自己的特性和变化规律。水文学则是研究地球上各种水体变化规律的一门科学,它研究各种水体的存在、循环和分布,并涉及水体的物理、化学特性以及它们对环境的作用,与生物的关系。水文学是地球物理学的一个分支。广义的水文学可分为地表水文学、水文气象学与水文地质学。水文气象学研究大气中水汽运动的规律;水文地质学则是研究地下不同形态水的运动规律。地表水文学分为陆地水文学、海洋水文学两大类。陆地水文学根据研究对象不同,又分为河川水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、河口水文学,根据研究内容不同分为水文测验学、水文地理学、普通水文学、工程水文学。

水文测验学主要研究水文资料的收集、量测和成果整编的手段、方法以及布设水文站网的理论等;水文地理学根据自然地理因素与水文特征之间的相互关系,研究水文现象的地区性分布与变化的规律;普通水文学研究自然界中各种水体的水文特征、基本变化规律以及相互依存的一般性问题。

工程水文学则是研究流域内规划、设计、施工、运营、管理各种与工程有关的水文问题,其主要内容为水文计算与水文预报。如水利工程、给排水工程、灌溉工程、交通桥梁工程、航道工程设计所需的水文特征值的计算,并涉及水文分析的基本原理与方法,水文情势的长期性预报,等等。

在水利工程、取水工程、灌溉工程中,工程规模的大小取决于河水流量的大小。河水流量估算过大,将使工程规模设计过大,造成不必要的浪费;反之,估算过小则达不到设计要求,不能充分利用水利资源,无法发挥工程效益。例如,以地表水为水源的取水工程,水源设计供水量的大小与水源取水条件的状况将直接由水文条件给定。如流量、水位、泥沙、冰凌的状况。排水工程中,雨水的排泄、洪水的防御,其设计暴雨、洪水的大小直接决定于水文资料的收集、分析与计算。工程在规划、设计期间,对河流洪水量的估算直接关系到工程规模和投资的大小;在施工期间,施工期设计洪水的估算则关系到工程的安全性、经济性;运营管理期间,根据水文预报进行径流调节,充分利用水库的调节功能,拦蓄洪水、变害为利,确保工程本身的安全性和下游人民的生命与财产安全。工程水文学对在流域内规划、设计、施工、运营、管理各种水工程,具有极其重要的意义。

## 1.3 水文现象的特点与水文学的研究方法

### 1.3.1 水文现象的基本规律

蒸发、降水、地下径流、地面径流统称水文现象。水文现象具有周期性、随机性、地区性与相似性等特点。

#### 1) 水文现象的周期性与随机性

众所周知,河流每年都重复着洪水期、枯水期的周期性交替变化的过程。以冰雪为河源的河流具有以日为周期的水量变化,产生这种现象的根本原因在于地球绕太阳的公转与自转。当流域上降落一场暴雨,流域内的河流就会出现一次洪水。其暴雨强度、历时、笼罩面积的大小直接决定本次洪水的大小。暴雨与洪水存在着必然的因果联系,这些水文现象存在着某种确定性的必然规律,并周期性显现其规律性,这就是水文现象的周期性,但这种周期性规律决不是一成不变的。

受各流域气象条件、地理条件、生态与水土保持状况的影响,流域内不同年份的降雨量、径流量各不相同,某些年份可能为丰水年,某些年份可能为枯水年或平水年。与此同时,各年份中最大洪峰流量、最枯径流量出现的时间、大小也各不相同,流量过程线也完全不同。长期的水文观测发现,特大洪水流量与特小枯水流量出现的频率较低,中等洪水、枯水的频率较大,虽多年平均的年径流量基本趋于一稳定数值,但各年的年径流量均不相同。水文现象就是这样不断地随时间、地点发生变化,这种现象称水文现象的随机性。水文现象的这种随机性决定了水文学的基本研究方法——数理统计法。

#### 2) 水文现象的相似性与特殊性

水文现象的周期性规律决定了水文现象的相似性。与此同时,水文现象的随机性也决定了水文现象必然具有特殊性。

如果两流域或地区气象条件、地理位置、自然地理条件等相似,则两地水文现象在一定程度上存在着相似性。如,同一地区不同河流,若汛期、枯水期相似,则径流的变化过程也具有相似性。当某一水文站缺少某时段的水文资料时,可选用具有相似性的水文站作为参证站,以弥补资料的不足。

当然,不同地区、不同流域各自处于不同的地理位置,具有不同的气象条件及下垫面条件,因而各自的水文现象决不会完全相同,而是具有其本身独特的规律性。例如,山区河流与平原河流、沿海与内陆河流、北方与南方河流,其径流变化规律各异。因而,实际工程中,不同地区、不同流域、不同河段都需设置水文站长期观测河流的水位、流量、泥沙、流速等水文特征值的变化,以便全面分析、计算水文参数,最终总结出水文现象的变化规律,为工程规划设计提供准确的设计依据。

### 1.3.2 工程水文学的研究方法

根据水文现象的特点,按工程不同要求,对水文现象的分析、研究必须以实测水文资料为依据,水文学的研究方法可以分为以下3种:

#### 1) 成因分析法

水文现象与其影响因素之间必然存在着某种确定性关系,依靠这种关系从某水文现象的观测资料和相关因素试验资料的分析研究中,可以建立水文现象与其影响因素之间的定量关系,从而达到预测未来水文现象的目的。这一方法为一理想方法,称为成因分析法,它是人们正在探索的方向。然而由于水文现象的影响因素较多且错综复杂,其形成机理还不完全清楚或不能做定量的计算,因而成因分析法主要用于水文现象的基本分析和水文预报。

#### 2) 数理统计法

水文现象的随机性特点决定了必须以概率理论为基础,运用数理统计方法,对实测水文资料系列进行分析计算,求得水文现象特征值的统计规律,从而得出工程规划、设计所需的水文特征值,并根据这一规律预测未来的水文特征值的变化范围。水文计算中广泛使用这种方法,预估某些水文特征值的概率与分布,推求一定的设计频率标准下的设计值。

#### 3) 地理综合法

水文现象在各地区、各流域具有相似性与特殊性,其主要原因是受各地区自然地理条件综合因素的影响,水文现象的变化在地区分布上呈现一定的规律性。这种地区性规律可以用地区性经验公式来反映水文特征值的变化与分布。若与地形图结合,可绘制水文特征值的等值线图。如,多年平均年径流量等值线图、暴雨洪峰流量地区性经验公式等。利用这些等值线图或经验公式,可以查得实测资料短缺地区的水文特征值。这一方法揭示了水文现象在各流域、各地区的分布规律性。

以上3种方法,相辅相成,互相补充。在实际工程中,结合工程实际、地区特点,综合分析、合理选用,互为校核,尽可能收集较多的实测长系列资料,选用合理方法精确计算,为工程规划设计提供准确的水文分析成果。

## 2 水循环与河川径流的形成

### 2.1 水循环与水量平衡

#### 2.1.1 水循环

受太阳的辐射,地球上的水蒸发成为水蒸气,被移动的气流团输送、上升,在适宜的条件下遇冷凝结形成雨云,受地球引力作用下降落至地面。部分雨水经地面渗入地下,形成地下径流,其余部分经地面汇入河槽,形成地面径流。在整个运动过程中,不断产生蒸发、降水、地面径流、地下径流过程,这种循环往复的水体运动称为水循环,如图 2.1。水循环可以从海面蒸发,降水至陆地,分别由地下、地面径流经河流汇入海洋,这种海陆间的水体循环称大循环。当海面蒸发再降水至海面,或陆地上的水体蒸发再降水到陆地,这种局部水体的循环称小循环。在整个循环过程中,降水的形式有降雨、降雪、降霰、降雹 4 种形式。南方以降雨为主,北方则多以降雪为主。蒸发的水体来源有:海洋蒸发、陆地上水面蒸发、地面蒸发、叶面蒸发、截留蒸发等 5 种形式。其中,叶面蒸发是指从植物叶孔中逸出水汽的现象;截留蒸发是指未降落到地面而被植物截留的降水的重新蒸发;地面蒸发则是

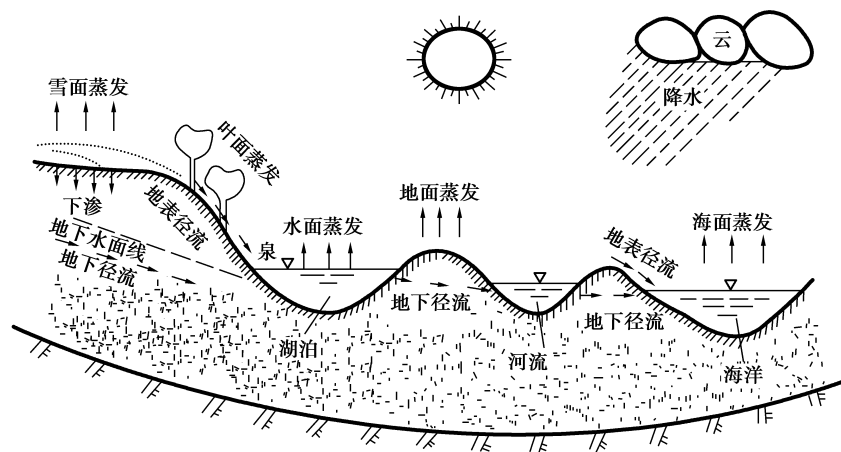


图 2.1 水循环示意图

指土壤孔隙中的水体产生的蒸发。

总之,蒸发是降水的根本来源,降水则是径流的源泉。径流分为两种形式:地面径流、地下径流。降落到地面上的雨水,一部分渗入土壤,经入渗、渗透运动形成地下径流,另一部分经坡面漫流汇入河槽,形成河槽集流即地面径流。地面径流是水体在地面上的流动现象,包括坡面漫流和河槽集流两个过程;地下径流是水体在地下含水层内的流动现象。

以上所述的蒸发、降水、地面径流、地下径流统称为水文现象。

### 2.1.2 水量平衡

水体的循环过程密切关系着人类的发展,它使得人类生活、生产中不可缺少的水资源具有可再生性。水体的循环途径、强弱,决定了各地区、各流域水资源的地区分布与时程分布。与此同时,人类通过农业措施、水利措施(水库的径流调节)等对水循环产生影响。

从长期来看,水循环中的水量变化满足物质的不灭定理。蒸发量、降水量与径流量满足质量守恒原理,即从多年看,水循环处于动态的平衡状态,自然界中的水分总量为一个常数。对某一流域一定时段内,流域流入与流出的水量之差应等于该流域该时段的蓄水量的变化。就整个地球而言,可以写出以下两个等式:

海洋多年平均水量平衡方程为:

$$X_s = Z_s - Y \quad (2.1)$$

陆地的多年平均水量平衡方程为:

$$X_0 = Z_0 + Y \quad (2.2)$$

将以上两式合并,得全球水量平衡方程:

$$X_s + X_0 = Z_s + Z_0 \quad (2.3)$$

式中  $X_s$ 、 $X_0$ ——海洋、陆地的多年平均降水量,  $X_s = 4.58 \times 10^5 \text{ km}^3$ ,  $X_0 = 1.19 \times 10^5 \text{ km}^3$ ;  
 $Z_s$ 、 $Z_0$ ——海洋、陆地的多年平均蒸发量,  $Z_s = 5.05 \times 10^5 \text{ km}^3$ ,  $Z_0 = 0.72 \times 10^5 \text{ km}^3$ ;  
 $Y$ ——多年平均的入海径流量,  $\text{km}^3$ 。

由上可知,对于整个地球而言,多年平均的降水量等于多年平均的蒸发量。

对某一流域或地区,水量平衡与流域内的蓄水有关。流域内的水库、湖泊对该流域的水量起到调节作用。当某一闭合流域,地面分水线与地下分水线重合,则某时段内流域蒸发、降水、径流、蓄水满足如下的水量平衡方程:

$$X = Z + Y + \Delta U \quad (2.4)$$

式中  $X$ ——该时段流域内的降水量;

$Z$ ——该时段流域内的蒸发量;

$Y$ ——该时段流域内的径流量;

$\Delta U$ ——该时段流域内的蓄水量,为该时段末蓄水量减去时段初蓄水量,  $\Delta U = U_2 - U_1$ 。

对于多年平均流域蓄水量  $\Delta U_0 = 0$ ,则流域多年平均水量平衡方程变为:

$$X_0 = Z_0 + Y_0 \quad (2.5)$$

等式两边同时除以  $X_0$ , 得:

$$Z_0/X_0 + Y_0/X_0 = 1 \quad (2.6)$$

式中  $X_0$ ——流域多年平均的降水量;  
 $Z_0$ ——流域多年平均的蒸发量;  
 $Y_0$ ——流域多年平均的径流量;  
 $Y_0/X_0$ ——多年平均的径流系数;  
 $Z_0/X_0$ ——多年平均的蒸发系数。

## 2.2 河流、流域与分水线

### 2.2.1 河流

地面上的降水,除了蒸发、下渗、蓄水外,全部沿河流到达海洋。河流是水循环的一条重要途径。

降落到地面上的雨水,在重力作用下由高处向低处流去,首先沿坡面漫流汇入小溪、小沟,再汇入河槽,形成河槽集流,也称河川径流。河槽内具有一定能量的水体一方面冲刷河槽,搬运泥沙,改变河槽面貌;另一方面,河槽的形状又决定了河水的流动方向与流动状态。

#### 1) 河谷与河槽

水流流经地形低洼、狭长、弯曲、底部纵向倾斜的凹地称为河谷。河谷的底部河床称为谷。河谷的横断面形状由于地质构造的不同而各有差异,一般可分为峡谷、宽谷、阶地 3 种类型,如图 2.2 所示。

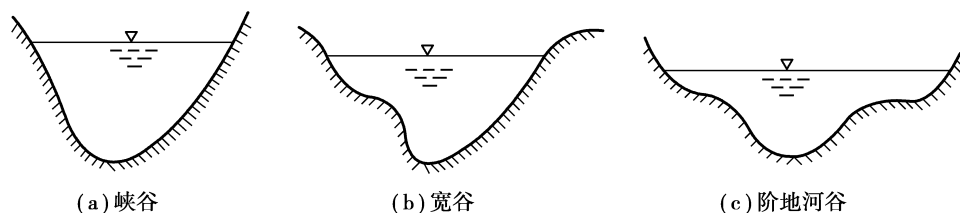


图 2.2 河谷示意图

谷的最下部称为谷底,谷底最深处的连线称为溪线或中泓线。谷底被河水占据的部分称为河床或河槽。枯水期河水通过的部分称基本河槽或主槽,洪水期河水泛滥通过的部分称为滩地。河水与河槽相互作用,相互制约。

#### 2) 河流的分段

天然河流按照河谷、河槽冲刷或淤积的程度,以及河水在相应河段的流速、流量变化等特点,可分为河源、上游、中游、下游、河口 5 段。

①河源:河流的发源地称为河源。河源可以是冰川、融雪、地下水(泉水),还可以是沼泽、湖泊。河源不是一点一线,而是呈面状分布。

②上游:河流的上游连接河源,具有较高的位置势能,在重力作用下向下流去,受河谷地形影响,水流湍急,落差大,冲刷强烈,奔驰于深山峡谷之中,常常出现瀑布、急滩。

③中游:随着河槽地势渐趋缓和,两岸逐渐开阔,河面增宽,水面比降减缓;小溪、小沟等水流汇入河槽,河中流量渐增,水流流速渐缓。

④下游:河流的下游与河口相连。河流与河槽的相互作用,使得河流的下游河槽淤积严重,河流进入冲刷平原,沙洲连绵不断,河面宽度急增,流速小,流量大,水面比降平缓。

⑤河口:河流的终点。河流最终注入海洋、湖泊或其他河流。沙漠中的河流,因河槽内渗透运动强烈,河流没有出口,经一定流程后河水消失,由地面径流转入地下径流,这种河流称为瞎尾河。在一般情况下,河口比河源明显,河口处断面突然扩大,水流流速骤减,河水挟带的泥沙大量沉积在这一带,从而形成河口三角洲或沙洲。

### 3) 干流、支流与水系

对于一条发育完整的河流,当直接汇入海洋或内陆湖泊时称为干流。汇入干流的河流称为干流的一级支流,汇入一级支流的河流称为二级支流。由干流与支流构成的一个脉络相通的河流系统,称为河系或水系。由小溪、小沟、支流、干流组成的水流系统也称为河网。

水系通常用干流的名称来称呼它,如长江水系、黄河水系、珠江水系等。但在研究某一支流或某一地区的问题时,也可用支流的名称来称呼它,如湘江水系、洞庭湖水系等。

### 4) 河流的基本特征

#### (1) 河流基本特征的代表方法

河流的基本特征一般可用河长、弯曲系数、河流断面、比降来表示。

河源到河口的流程长称为河长。测定河流的长度通常是在河道地形图上量取河道中泓线的长度。中泓线亦称溪线,即河槽中水深最大点的连线,如图 2.3 所示。地形图中河长的量取方法有 3 种:细线法、曲线计法、两脚规法。

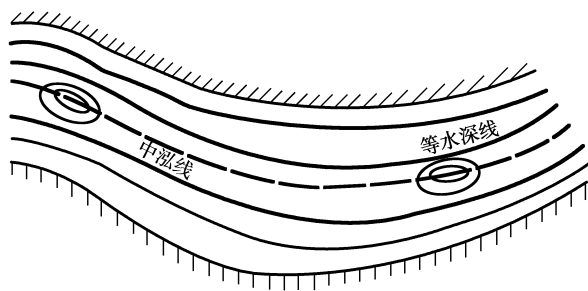


图 2.3 河流等水深线图

细线法即用一根细线,沿着中泓线的弯曲形状直接量取,然后按地形图比例换算为实际河长。这种方法适于粗略估算,且适于河流弯曲度不大的河道。曲线计法是用一种特制曲线计,沿着图上河流的中泓线滚动,根据记录的转数可得河长。这种方法的缺点与细线法相同,优点在于量测速度快。两脚规法则是用两脚规沿河流中泓线逐段量取,累加求

得。地形图的比例愈大,两脚规开距愈小,测量精度愈高。在1:50 000及1:100 000的地形图上,两脚规的开距一般可取1~2 mm。

河流的弯曲程度可以用弯曲系数表示。弯曲系数为河长与河源到河口的直线距离之比。河流弯曲程度直接影响到河流水力特性,如水位、流速、流态、冲刷与淤积变化等。

弯曲河流中,受柯氏力与离心惯性力作用使得凸岸水深较浅,凹岸水深较深。同时在横断面上形成二次流动,水面流速较大,由凸岸流向凹岸,使得凹岸受到冲刷;水底流速较小,由凹岸流向凸岸,凸岸河床产生泥沙淤积,如图2.4所示。在取水工程中,取水口位置的选取,既要考虑有足够的水深,又必须考虑取水建筑物不被冲刷破坏的安全性。因此,取水口位置宜选在水深较大的凹岸,同时又要避开冲刷最利害的顶冲点。

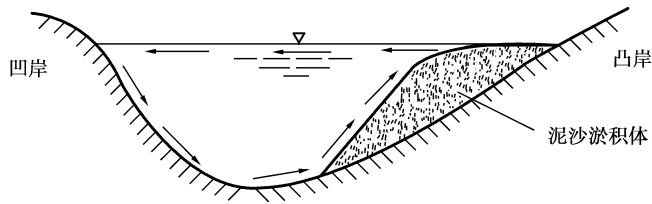


图2.4 弯曲河流横断面图

河流上、下游两断面无论水面或水底总存在一定的高差,单位长度上的水面高差称为该河段的水面比降,以 $J$ 表示;单位长度上的河底高差称为河道底坡,以 $i$ 表示。水面比降与河道底坡统称纵比降。计算公式如下:

$$J = \frac{H_1 - H_2}{l} \quad (2.7)$$

$$i = \frac{Z_1 - Z_2}{l} \quad (2.8)$$

式中  $J$ ——河流1、2断面间的水面纵比降,%;

$i$ ——河流1、2断面间的底坡,%;

$H_1$ 、 $H_2$ ——河流1、2断面的水面高程,mm;

$Z_1$ 、 $Z_2$ ——河流1、2断面的河底高程,mm。

#### (2) 山区河流与平原河流的一般特性

山区河流其河谷断面往往呈V形或U形,河面狭窄、两岸谷坡陡峻,坡面呈直线或曲线,如图2.5所示。在平面形态上急弯、卡口比比皆是。两岸和河心常有巨石突出,岸线极不规则,急滩深潭,上下交错,且常呈台阶状。在高差变化较大处往往形成跌水甚至瀑布,但因山区河流的河底由岩石组成,侵蚀缓慢,河道基本稳定。

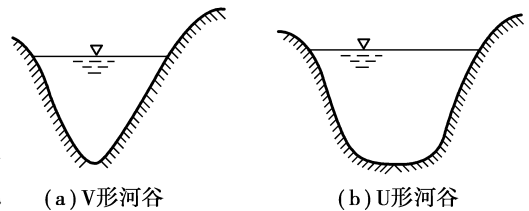


图2.5 山区河流河谷示意图

由于以上特点,山区河流纵比降大,汇流时间短,流速大,水位及流量变幅大,洪水涨落迅速、猛烈,如图2.6所示。较大的山区河流的洪水流量往往为枯水流量的百倍或数百

倍,甚至更大,最大流速可达 $6\sim 8\text{ m/s}$ 。山区河流含沙量随地区不同而不同,岩石风化不严重、植被较好的地区,含沙量小;相反,岩石风化严重、植被较差地区,不但含沙量大,且山洪暴发时,易形成泥石流。

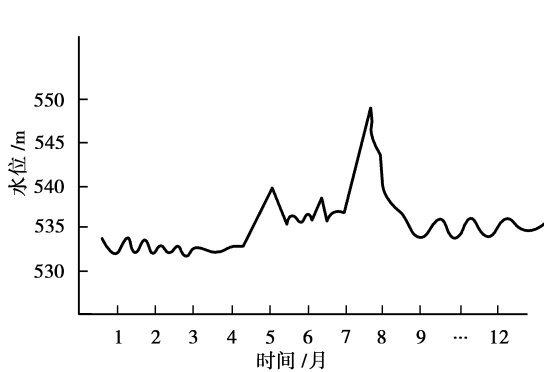


图 2.6 山区河流水位过程线

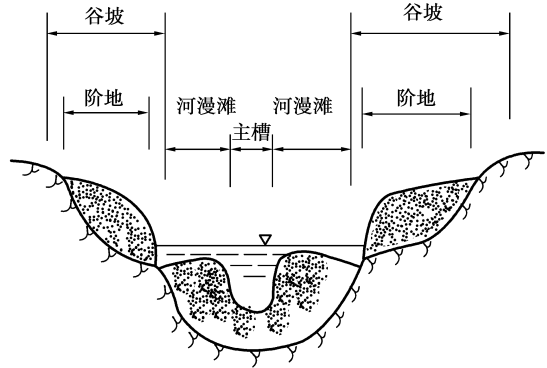


图 2.7 平原河流河谷、河漫滩示意图

平原河流因河谷地势平坦,经多年的冲积过程,一般冲积层较厚,常达数百米,甚至数千米,河谷宽阔,多为发育完全的河漫、河谷,如图 2.7 所示。枯水期河水通过的部分为河道的主河槽,洪水期河水漫过的部分为河漫滩,河漫滩以后的谷坡易形成阶地。河漫滩上的土壤极为松散,随着主河槽的摆动或河流改道,河漫滩随之消失或形成新的河漫滩。

平原河流平面形态上总是弯弯曲曲的。主河槽中,由于水流与河床相互作用,不断发生冲淤变化,从而形成各种淤积体,如图 2.8 所示。其中紧靠河岸,洪水期淹没、枯水期裸露部分的河漫滩称为边滩;连接上、下边滩的水下沙埂称为浅滩;位于江心,位置较高的沙滩称为江心洲,较低的沙滩称为江心滩,沙滩中比较狭长与水流斜交的称为沙嘴。这些淤积体可统称为沙丘,它们随水流的运动、变化而不断变化和发展。

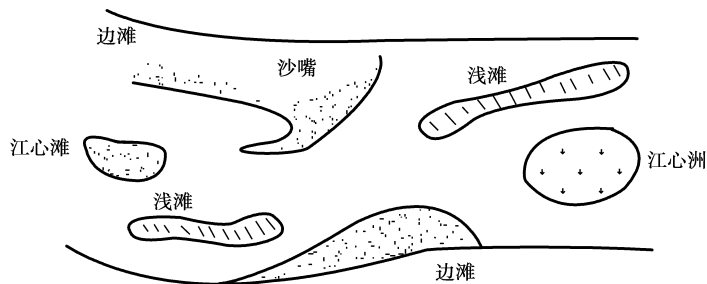


图 2.8 河流主槽中各种淤积体示意图

平原河流的水文条件与山区河流差异较大。平原河流坡面平缓,纵比降小,一般在 $1/1\ 000\sim 1/10\ 000$ 以下,流域汇流时间长,洪水涨落平缓,持续时间长,洪水与枯水流量的比值较小。尽管平原河流流量较大,但因河面宽阔,水位变幅小(超过 $10\text{ m}$ 的更小),流速小(一般不超过 $2\sim 3\text{ m/s}$ ),河流中泥沙逐渐淤积,沙洲连绵不绝,断面复杂。