

2019

全国二级造价工程师职业资格考试 辅导用书

An illustration of a construction site with several high-rise buildings under construction, a crane, and a bulldozer, set against a golden-brown background.

建设工程计量 与计价实务

水利工程

全国二级造价工程师职业资格考试辅导用书编委会 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

2019

全国二级造价工程师职业资格考试辅导用书

建设工程计量 与计价实务

水利工程

全国二级造价工程师职业资格考试辅导用书编委会 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书依据全国二级造价工程师职业资格考试大纲的要求编写，内容包括水利工程专业基础知识（主要讲述水文与工程地质；常用材料的分类、基本性能及用途；水利工程等别与水工建筑物级别；水工建筑物分类及基本形式；机电、金属结构设备类型及主要技术参数；水利工程常用施工机械；水利工程施工技术），水利工程造价构成（主要讲述水利工程总投资构成；工程部分造价构成；建设征地移民补偿、环境保护工程、水土保持工程造价构成；水文项目和水利信息化项目总投资及造价构成），水利工程计量与计价（主要讲述水利工程设计工程量计算；水利工程定额分类、适用范围及作用；水利工程造价文件类型及作用；水利工程概算、估算文件编制；水利工程工程量清单编制；水利工程投标报价编制），水利工程合同价款管理（主要讲述合同价类型及适用条件；计量与支付；合同价格调整）。

本书内容精练，紧扣考试大纲，是一本实用的考试复习用书，可作为二级造价工程师职业资格考试的辅导用书，也可供大中专学生自学工程造价知识使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

建设工程计量与计价实务. 水利工程 / 全国二级造价工程师职业资格考试辅导用书编委会编. —北京: 中国电力出版社, 2019. 5 (2019. 8重印)

全国二级造价工程师职业资格考试辅导用书
ISBN 978-7-5198-3138-7

I. ①建… II. ①全… III. ①水利工程—建筑造价管理—资格考试—自学参考资料 IV. ①TU723.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 083583 号

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：王晓蕾（010-63416210）

责任校对：黄 蓓 太兴华

装帧设计：王英磊

责任印制：杨晓东

印 刷：北京天宇星印刷厂

版 次：2019 年 5 月第一版

印 次：2019 年 8 月北京第二次印刷

开 本：16

印 张：16.5

字 数：406 千字

定 价：68.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

前 言

工程造价是规范建设市场秩序、提高投资效益、逐渐与国际接轨的重要环节，是专业性、经济性、技术性、政策性、综合性非常强的一项工作，对从事工程造价的人员具有较高的要求。

近年来，随着社会对工程造价认识的不断深入，我国对工程造价管理的改革也不断深入，特别是2013年住房和城乡建设部颁布的《建设工程工程量清单计价规范》(GB 50500—2013)，对建设工程造价的编制工作产生了十分深远的影响。2018年7月20日，住房和城乡建设部、交通运输部、水利部、人力资源和社会保障部等四部委联合印发了《造价工程师职业资格制度规定》和《造价工程师职业资格考试实施办法》；2018年12月28日，住房和城乡建设部标准定额司会同有关部门组织编制了2019年版《全国二级造价工程师职业资格考试大纲》，由此造价工程师职业资格考试对于考生的要求也发生了很大的变化。

为了满足二级造价工程师的应试、教育培训，以及自学工程造价知识等方面的需求，我们根据最新的考试大纲和现行的法律法规、标准规范等相关文件，组织编写了《全国二级造价工程师职业资格考试辅导用书》。本套丛书共分为五册，包括《建设工程造价管理基础知识》《建设工程计量与计价实务（土木建筑工程）》《建设工程计量与计价实务（安装工程）》《建设工程计量与计价实务（水利工程）》和《建设工程计量与计价实务（交通运输工程）》。

本书覆盖面广、内容丰富，在编写上力求深入浅出、循序渐进、通俗易懂，既可作为二级造价工程师职业资格考试的培训教材，也可作为建设、设计、施工和工程咨询等单位从事工程造价的专业人员用书，以及高等院校工程造价专业的教学参考用书。

本书在编写过程中，参考了大量的文献资料，得到了有关高等院校、建设主管部门、建设单位、工程咨询单位、监理单位、设计单位、施工单位等方面的领导和工程技术及管理人员，以及对本书提供宝贵意见和建议的学者、专家的大力支持，在此向他们表示由衷的感谢！

为了配合考生的复习备考，我们配备了专家答疑团队，通过QQ群(881719803)免费为考生解答疑难问题，解决学习过程中的疑惑。限于作者水平有限，书中难免有疏漏和不当之处，恳请广大读者对我们的疏漏之处给予批评和指正。

编者

2019年4月

目 录

前言

第一章 水利工程专业基础知识	1
第一节 水文与工程地质	1
第二节 常用材料的分类、基本性能及用途	29
第三节 水利工程等别与水工建筑物级别	42
第四节 水工建筑物分类及基本形式	51
第五节 机电、金属结构设备类型及主要技术参数	71
第六节 水利工程常用施工机械	76
第七节 水利工程施工技术	86
第二章 水利工程造价构成	118
第一节 水利工程总投资构成	118
第二节 工程部分造价构成	124
第三节 建设征地移民补偿、环境保护工程、水土保持工程造价构成	131
第四节 水文项目和水利信息化项目总投资及造价构成	141
第三章 水利工程计量与计价	155
第一节 水利工程设计工程量计算	155
第二节 水利工程定额分类、适用范围及作用	158
第三节 水利工程造价文件类型及作用	176
第四节 水利工程概算、估算文件编制	190
第五节 水利工程工程量清单编制	219
第六节 水利工程投标报价编制	234
第四章 水利工程合同价款管理	239
第一节 合同价类型及适用条件	239
第二节 计量与支付	245
第三节 合同价格调整	249
参考文献	257

第一章

水利工程专业基础知识

第一节 水文与工程地质

水工建筑物都是建设在天然地基上，而构成天然地基的物质是地壳中的岩石和土。地基的水文地质条件和工程地质条件将直接影响建筑物的安全。

一、水文学概述

1. 水文学的研究

水文是自然界中水的各种变化和运动等的现象。水文学是研究地球上水的形成、循环、时空分布、化学和物理性质以及水与环境的相互关系的学科。

工程水文学是水文学的一个分支，是为工程规划设计、施工建设及运行管理提供水文依据的一门科学。自然界中水的运行变化形态概括有：

(1) 降水，包括空气中气态水遇冷凝而成液态和固态的雨、雪、雹、霰等形式下降于大陆或海洋。

(2) 蒸发，是由大陆或海洋上的液态水或固态水升入天空成为气态水的过程。

(3) 入渗，地表水在重力作用下进入土壤或岩层中的过程。

(4) 径流，分为地表径流和地下径流，水沿地表流动为地表径流，水在地下土壤或岩石裂缝中的流动为地下径流。

降水、蒸发、入渗和径流都是交通工程、环境工程以及水利工程等研究的对象。

2. 水文学的分类

根据研究对象及任务的侧重情况，水文学有多个分支。

(1) 广义的水文学分类。水文学可分为水文气象学、水文地质学和地表水水文学三大类。

1) 水文气象学是研究水文循环和水分平衡中与降水、蒸发之间的有关问题，是气象学与水文学之间的边缘探索。

2) 水文地质学是研究地下水的形成、分布、运动、资源特征、开发利用等与地质环境相互作用下在时间和空间上的变化。

3) 地表水水文学是研究地球表面不同水体（如坡面流、河流、湖泊、湿地、河口、海洋等）水文现象形成、发展变化规律及其相互联系的学科。

(2) 按基础理论与应用分类。水文学可分为水文学原理和应用水文学。

1) 水文学原理是研究水文循环、水流运动及与之相关的溶质输移转化机理，如水在大气、岩石和生物圈中的作用，与人类活动相互影响的机理及效应。

2) 应用水文学是研究水文学在各项经济建设中的应用，主要有水文预报、水文计算和

水利计算等。

(3) 按研究对象分类。水文学可分为河流水文学、湖泊水文学、河口水文学、海洋水文学、地下水水文学、冰川水文学、湿地水文学、环境水文学、生态水文学等。随着生产发展的需要和研究工作的深入,人们对生态和环境的保护日益感到重视,需要对环境水文学、生态水文学给予更多关注,以便保护人类共同生活的家园——地球。

(4) 按研究方法分类。水文学可分为系统水文学、动力水文学、随机水文学、同位素水文学、确定性水文学、水文测验学、实验水文学等。其中,动力水文学阐述了蒸发、输移等水文过程的动力机制,为大尺度水文模型模拟奠定了基础。系统水文学依据科学原理创建得出,近些年来得到广泛的应用。

(5) 按服务范畴分类。水文学可分为工程水文学、农业水文学、森林水文学和城市水文学等。

1) 工程水文学是为工程规划、设计、施工、管理运行决策提供水文依据的学科,主要包括水文预报、水文计算、水利计算和水资源评价等。

2) 农业水文学是研究水分—土壤—植物系统中与作物生长有关的水文问题以及植物散发和土壤水的运动规律的学科。

3) 森林水文学是研究森林生态系统中水文过程和森林与水分循环相互影响的学科,包括森林对水量、水文情势和水质的影响以及水分循环过程中对森林生长发育的作用。

4) 城市水文学是研究发生在城市环境内部和外部,受到城市化影响的水文过程的学科。

3. 水文学的内容

(1) 水文资料。水文测验、资料整编和发布,是水文分析计算和研究的基础性工作。水文资料有降水、蒸发、水位、流量、泥沙、水温、水质等,可通过不同的水文测验设施进行观测并系统整理,然后以水文年鉴或水文数据库的形式提供给有关部门应用。

(2) 水文实验研究。水文实验研究包括室内的和野外的,研究水量水质变化的物理机制和水文循环及径流形成的基本规律。

(3) 水文分析与计算(也称水文预测)。根据水文要素变化的规律来统计,预测未来一段时期内某一水文现象平均出现的概率,如工程运用期间的百年一遇洪水,其出现概率为1%,为工程规划提供依据。

(4) 水文预报。根据水文现象的成因规律,由现时已经出现的雨情、水情、沙情等现象来预报未来一定时期内(称预见期)径流、泥沙等的大小和变化,为防洪、发电、灌溉等实时决策提供依据。

(5) 水文地理。研究水文特征与地理特征间的关系,例如,多年平均洪峰流量与流域面积、降雨、河流、坡降间的相关关系,以及水文特征值随地区的变化规律,用以解决无实测资料流域的水文计算问题。

(6) 河流动力学。河流的冲刷与泥沙淤积计算,对河流防洪和工程安全具有重要意义,这部分内容已形成一门组立的学科——河流动力学。

(7) 其他。如水情、水质、兴利和防洪调度等。

4. 水文现象的特点

世界上的事物和现象普遍具有内在联系,经常处于不断运动变化之中,水文现象亦是如此。根据水文现象的基本特点可以归纳为周期性与随机性、相似性与特殊性两个方面。

(1) 周期性与随机性。水文现象在随着时间推移的过程中具有周期性与随机性的特征。

例如, 河流一般具有以年为单位的周期性变化, 河流最大流量每年都发生在多雨的汛期, 最小流量多发生在雨雪稀少的枯水期; 冰川补给河流最大量一般发生在气温最高的夏季七八月间; 潮汐受月球运行影响的周期变化, 这些都是由于四季交替气温变化所引起对河川径流等影响的主要原因。

但是, 河流每一年的流量变化过程与往年的变化都是不一样的, 每年的最大与最小流量数值也各不相同, 这些是水文现象在数值上所表现出随机性, 即带有偶然性。影响河川径流的因素极为复杂, 各因素本身也不断地发生着变化, 在不同年份的不同时期, 各因素间的组合也不相同, 因此受其制约的水文现象都具有随机性。

(2) 相似性与特殊性。水文现象在受到地理位置的约束下, 在空间上具有相似性, 有时也存在某种特殊性。例如: 在湿润地区的河流, 其水量丰富, 年内分配也比较均匀, 而在干旱地区的大多数河流则水量不足, 年内分配也不均匀; 降水量和径流量在南方大、北方小, 在沿海大、内陆小, 在山区大、平原小。同一地区内的不同河流, 其汛期与枯水期都十分相近, 径流变化过程也都十分相似。这些现象均可称为地区相似性。相邻流域所处的地理位置与气候因素虽然相似, 但由于地形地质等条件的差异, 会产生不同的水文规律。例如, 在同一地区, 山区河流与平原河流其洪水运动规律就各不相同; 沿海与内陆河流, 地下径流丰富的河流与地下径流贫乏的河流, 其径流变化规律各不相同。这些都属于特殊性。

水文现象在经验性的分析上, 结果往往具有一定的地域局限性, 所以这就是与相似性对立的特殊性。

水文现象需要在各种流域设立水文站进行年复一年的长期观测, 积累资料, 统计计算, 分析其变化规律, 还应对历史上和近期发生过的大暴雨、大洪水及特枯水等进行调查研究, 以便全面了解和分析水文现象随机性、特殊性的变化规律。

二、水的分布与循环

1. 地球中水的分布

地球是一个有着丰富水资源的行星。地球的演化, 生物及人类的起源, 都与水息息相关。地球中水的起源有多种猜想。例如, 地球形成时便有大量的水存在, 地球浅表的水(包括海洋、河湖的水以及地下水)主要来自地球内部。地球的各个层圈, 从地球浅表面到地球深部, 都存在水。

地球浅表赋存地表水、地下水、大气水、生物体及矿物中的各种形态水体, 以自由态 H_2O 分子形式存在, 液态为主, 其他为气态和固态。地球全部水体的总储量约为 $1\,385\,984.6$ 万亿 m^3 , 其中陆地储量约为 $47\,984.6$ 万亿 m^3 , 约占全球水体总储量 3.5% , 海洋储量约为 $1\,338\,000$ 万亿 m^3 , 约占全球水体总储量 96.54% 。地表水与地下水分布各占 $1/2$ 左右。地球上各种水的分布见表 1-1。

表 1-1 地球上各种水的分布

水体种类	水量		咸水		淡水	
	储量/万亿 m^3	占比 (%)	储量/万亿 m^3	占比 (%)	储量/万亿 m^3	占比 (%)
海洋水	1 338 000	96.54	1 338 000	99.04	0	0

续表

水体种类	水量		咸水		淡水		
	储量/万亿 m ³	占比 (%)	储量/万亿 m ³	占比 (%)	储量/万亿 m ³	占比 (%)	
地表水	合计	24 253.79	1.75	85.4	0.006	24 168.39	69
	冰川与冰盖	24 064.1	1.736	0	0	24 064.1	68.7
	湖泊水	176.1	0.013	85.4	0.006	90.7	0.26
	沼泽水	11.47	0.0008	0	0	11.47	0.033
	河流水	2.12	0.0002	0	0	2.12	0.006
地下水	合计	23 730.81	1.71	12 870	0.953	10 860.81	30.92
	重力水	23 400	1.688	12 870	0.953	10 530	30.06
	地下冰	300	0.022	0	0	300	0.86
	土壤水	16.79	0.001	0	0	16.79	0.05
	大气水	12.9	0.0009	0	0	12.9	0.04
	生物水	1.12	0.0001	0	0	1.12	0.003
全球总储量	1 385 984.6	100	1 350 955.4	100	35 029.2	100	

含盐量不超过 1g/L 的淡水占地球水体总量的 2.5%，其余 97.5% 皆为咸水。总量为 35 029.2 万亿 m³ 的淡水中，固态水（冰盖、冰川等）约占 68.7%，其余 30.92% 的液态水在地下含水层和永久冻土层中；河流、湖泊、土壤中所存储的淡水仅占 0.316%。由此可见淡水资源的珍贵，为了人类生活的可持续利用，必须重视水资源的调查、评价、合理开发和保护工作。

2. 水文循环

水文循环是大气水、地表水和地壳浅表地下水之间的水分交换。

液态水在太阳辐射下转换为气态，上升进入大气圈并随气流运移。在一定条件下，气态水凝结，在重力作用下，落到地面，渗入地下，以地表径流和地下径流方式运移。因此，太阳辐射和重力是水文循环的一对驱动力。

降落的雨水，部分形成地面径流为江河湖沼，部分渗入地下，部分被植物吸收并蒸发。渗入地下的水，有的被植物吸收或滞留于包气带，有的转入饱水带，最后经蒸发和植物散发返回大气。江河湖沼中的水及地下水，相互转换，其中部分转换为生物体中的水，部分以泉水或地下水的形式注入河流回归海洋。落到海洋的降水，通过蒸发转换返回大气，如图 1-1 所示。

按水循环的规模和过程可分为大循环和小循环。海陆间的水分交换过程为大循环或外循环；海陆内部的水分交换为小循环或内循环。形成水文循环的各种水，交替更新速度差别很大。大气水的循环再生周期仅 8 天，每年平均更换约 45 次。河水循环再生周期平均为 16 天，每年更新约 23 次。湖水循环再生周期平均为 17 天。海洋水循环再生周期为 2500 年。

水文循环对于保障生态环境以及人类生存与发展至关重要。一方面，通过不断转换，水质得以持续净化；另一方面，通过不断循环再生，水量得到持续补充。

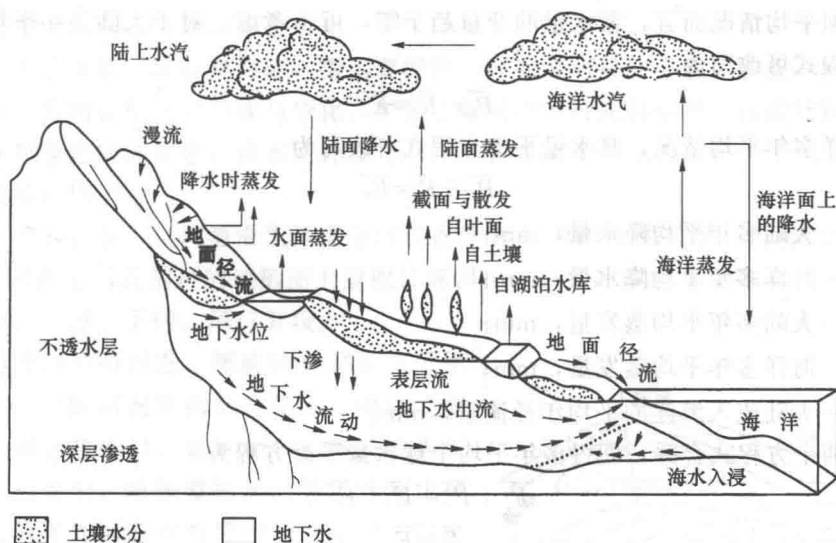


图 1-1 水文循环示意图

3. 水量平衡

(1) 地球上的水量平衡。根据质量守恒定律,在水文循环过程中,对任意一个区域、任意一个时段进入水量与输出水量之差必等于其蓄水量的变化量,这就是水量平衡原理,是水文学的基本原理。水量平衡法是分析研究水文现象(如水循环过程中的基本因素降水量和蒸发量,或地表和地下径流量以及地下蓄水量的变量),建立水文要素之间定性或定量关系,了解其时空变化规律的主要方法之一。

根据水量平衡原理,可列出水量平衡方程。对某一区域,其水量平衡方程式为

$$I - O = \pm \Delta S \quad (1.1)$$

式中 I ——给定时段内输入该区域的总水量, mm;

O ——给定时段内输出该区域的总水量, mm;

ΔS ——时段内区域蓄水量的变量, mm。

式(1.1)为水量平衡方程的通用式,对不同的研究对象,需具体分析其输入、输出量的组成,写出相应的水量平衡方程式。

以大陆作为研究对象,则水量平衡方程式为

$$P_c - R - E_c = \Delta S_c \quad (1.2)$$

以海洋为研究对象,则水量平衡方程式为

$$P_o + R - E_o = \Delta S_o \quad (1.3)$$

式中 P_c ——大陆上的降水量, mm;

P_o ——海洋上的降水量, mm;

R ——流入海洋的径流量(包括地表和地下径流量), mm;

E_c ——大陆上的蒸发量, mm;

E_o ——海洋上的蒸发量, mm;

ΔS_c ——大陆上研究时段内蓄水量的变量, mm;

ΔS_0 ——海洋上研究时段内蓄水量的变量，mm。

对于长期平均情况而言，蓄水量的变量趋于零，可不考虑。对于大陆多年平均情况，其水量平衡方程式可改写为

$$\overline{P_c} - \overline{R} = \overline{E_c} \quad (1.4)$$

对于海洋多年平均情况，其水量平衡方程式可改写为

$$\overline{P_0} + \overline{R} = \overline{E_0} \quad (1.5)$$

式中 $\overline{P_c}$ ——大陆多年平均降水量，mm；

$\overline{P_0}$ ——海洋多年平均降水量，mm；

$\overline{E_c}$ ——大陆多年平均蒸发量，mm；

$\overline{E_0}$ ——海洋多年平均蒸发量，mm；

\overline{R} ——大陆流入海洋的平均年径流量，mm。

将以上两个方程式合并，即得多年平均全球水量平衡方程为

$$\overline{P_c} + \overline{P_0} = \overline{E_c} + \overline{E_0} \quad (1.6)$$

$$\overline{P} = \overline{E} \quad (1.7)$$

式(1.7)表明，全球多年平均降水量 \overline{P} 和多年平均蒸发量 \overline{E} 相等。

(2) 区域水量平衡。区域水平衡是针对某特定区域内水资源的分析、计算和评价，研究该区域内降水、蒸发、地表水、地下水之间的转换关系。

某一时段(年、月)内，区域的水量平衡方程为

$$P = R + E + U_g \pm \Delta V \quad (1.8)$$

式中 P ——降水量，mm；

R ——河川径流量，mm；

E ——总蒸散发量，mm；

U_g ——地下潜流量，mm；

ΔV ——区域内调蓄量总和，mm。

多年平均情况，由于 $\overline{\Delta V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V \rightarrow 0$ ，方程式改变为

$$\overline{P} = \overline{R} + \overline{E} + \overline{U_g} \quad (1.9)$$

区域水资源量为

$$\overline{W} = \overline{P} - \overline{E} = \overline{R} + \overline{U_g} \quad (1.10)$$

由于区域内地表水与地下水补给有重复情况，估计水资源量时，对地表水和地下水要求分项计算，也要计算重复的水量，因此，区域水资源量一般方程式为

$$\overline{W} = \overline{R} + \overline{U} + \overline{D} \quad (1.11)$$

式中 \overline{W} ——区域多年平均年水资源量，mm；

\overline{R} ——区域多年平均年河川径流量，mm；

\overline{U} ——区域多年平均年地下水总补给量，mm；

\overline{D} ——重复水量，mm。

三、水文基础知识

1. 河流

河流是陆地表面宣泄水流的通道，是溪、川、江、河等的总称。河流流经的谷地称为河

谷，河谷底部有水流的部分称为河床或河槽，河槽的横断面称为水断面。沿水流方向，左边的河岸称为左岸，右边的河岸称为右岸。

河水携带着能量，冲刷着河床，搬运着泥沙，改变着河谷的面貌，因此，河水流经地区的地理特征也影响着径流的形成与变化。要了解河流，首先要掌握河流的特征以及河流与径流等水文现象之间的关系，让水文计算与分析更符合河流实际情况。

河流的特征如下：

(1) 河流的长度。自河源沿主河道至河口的距离称为河流的长度，简称河长，记为 L ，以 km 计。可在适当比例尺的地形图上量取计算得出。一条河流沿水流方向，自高向低分为河源、上游、中游、下游、河口五段。

(2) 河流的平面形态。河流的平面形态可用地形图表示。山区河流平面形态复杂，河岸陡峭曲折不齐，多急弯卡口，宽窄相间。河底多为岩石，常有巨石突出，或深潭跌水，等深线变化很大。平原河流平面形态有微弯型、分叉型、蜿蜒型和散乱型。如图 1-2 所示，在蜿蜒河段的地形图中，凹岸水深较大，为深槽；凸岸则形成浅滩。两反向河湾之间的直段，水深较浅，为浅槽。深潜呈交替出现，有一定的规律性。

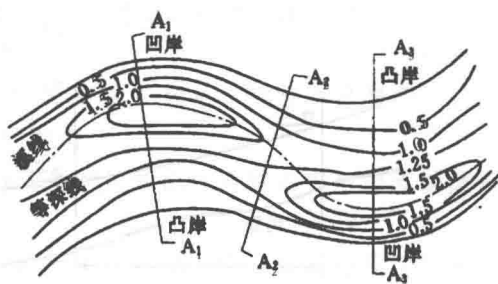


图 1-2 蜿蜒型河道平面形态图

(3) 河流断面。

1) 横断面。垂直水流方向的剖面，称为横断面。断面内自由水面相对于某一基面的高程，称为水位。枯水期水流所占部分为基本河床，又称为主槽。洪水泛滥所及部分为洪水河床，又称为滩地。根据横断面形状的不同，可分为单式断面和复式断面，如图 1-3 所示。河流横断面能显示河床的横向的变化。断面内通过水流部分的面积为过水断面面积，记为 A ，以 m^2 计，面积的大小随着断面形状和水位的变化而变化。

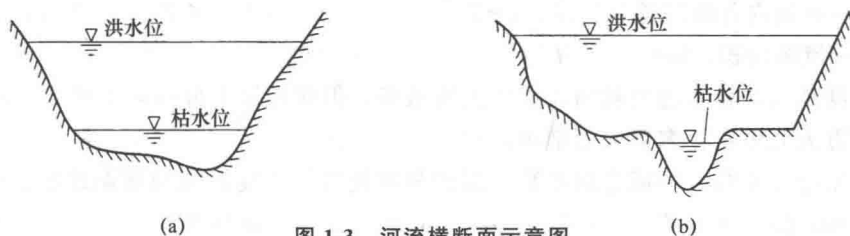


图 1-3 河流横断面示意图

(a) 单式断面；(b) 复式断面

2) 纵断面。河流中沿水流方向各断面最大水深点的连线，称为中泓线或溪线。河流从上游至下游沿深泓线所切取的河床和自由水面线间的剖面，称为河道纵断面，如图 1-4 所示。河流纵断面能反映河床的沿程变化。

(4) 河道纵比降。任意河段两端（水面或河底）的高差称为落差，单位河长的落差称为河道纵比降，又称坡度。当河段纵断面近于直线时，可按式 (1.12) 计算。

$$J = \frac{Z_2 - Z_1}{L} = \frac{\Delta Z}{L} \quad (1.12)$$

式中 J ——河段的比降，以小数或千分数计；

Z_2 、 Z_1 ——河段上、下断面水位或河底高程，m；

L ——河段长度，m。

当河流纵断面的河底呈折线或曲线形时，如图 1-5 所示，即河流沿程各河段的比降各不相同，可在纵断面图上，通过下游端断面的河底处向上游做一斜线，使之以下的面积与原河底线以下的面积相等，该斜线的坡度即为河道河底的平均比降，其计算式为

$$J = \frac{(Z_0 + Z_1) L_1 + (Z_1 + Z_2) L_2 + \dots + (Z_{n-1} + Z_n) L_n - 2Z_0 L}{L^2} \quad (1.13)$$

式中 Z_0, Z_1, \dots, Z_n ——从下游到上游沿程各转折点的高程，m；

L_1, L_2, \dots, L_n ——相邻两高程点间的距离，m；

L ——河道全长，m。

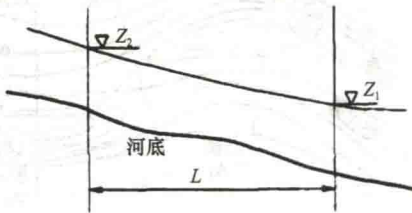


图 1-4 河段纵断面示意图

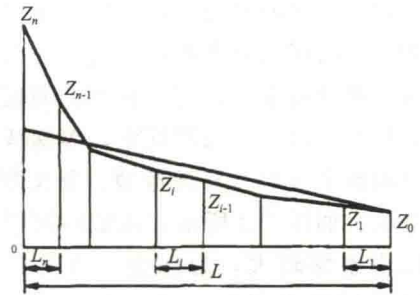


图 1-5 河道纵断面图

河流比降一般都比较小，常用千分率表示。

(5) 河网密度。河系中河道的密集程度可用河网密度表示。河网密度等于河系干支流的总长度和与流域面积之比，即

$$D = \frac{\sum L}{F} \quad (1.14)$$

式中 D ——河网密度， km/km^2 ；

$\sum L$ ——流域内各级河道总长度， km ；

F ——流域面积， km^2 。

河网密度越大，排水能力越强。我国河流虽多，但在地区上分布并不均匀，河网密度总的趋势是南方大北方小，东部大西部小。

(6) 河流弯曲系数。河流弯曲系数 φ 指的是河流实际长度 L 与河流两端的直线距离 l 的比值，即 $\varphi = L/l$ 。

2. 流域

流域是地表水和地下水的分水线所包围的集水区域，习惯上指地表水的集水区域。地表水分水线与地下水分水线在垂直投影面上重合的流域，称为闭合流域，反之为不闭合流域。分隔相邻两个流域的山岭或高地，河水从这里流向两个相反的方向，称为分水岭。分水线是分水岭最高点的连线，如图 1-6 所示。

流域特征是流域的形状特征、结构特征、自然地理特征和人类活动影响的总称。

(1) 流域的形状特征。流域形状特征主要有流域面积、流域长度和流域平均宽度以及流域平均高度等。

1) 流域面积。是指流域地面分水线与河口断面之间所包围的平面面积，记为 F 表示，以 km^2 计。

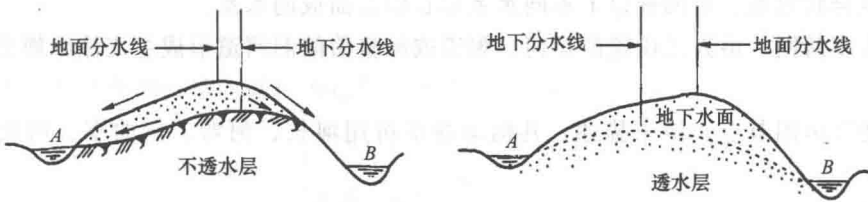


图 1-6 地面分水线和地下分水线示意图

- 2) 流域长度。是指从流域出口断面至分水线的最长直线距离，记为 L 表示，以 km 计。
- 3) 流域平均宽度。是指流域面积与流域长度的比值，记为 B 表示，以 km 计。
- 4) 流域形状系数。是指流域平均宽度 B 与流域长度 L 之比，称为流域形状系数 K ，即

$$K = B/L = F/L^2 \quad (1.15)$$

扇形流域 K 较大，容易形成洪峰较高的洪水；狭长流域 K 较小，洪水不易集中。它可以在一定程度以定量的方式反映流域的形状对洪流的影响。

5) 流域面积增长率。是指沿干流自上而下单位河长增长的部分流域面积与全流域面积的比值。

6) 流域平均高程。是指流域内各相邻等高线间的面积乘以其相应平均高程乘积之和与流域面积的比值。

(2) 流域的结构特征。流域的结构特征主要包括河网密度、河道维持常数、河流频度、流域平均坡度和流域不对称系数等。

1) 河网密度。是指单位流域面积上的河流长度。

2) 河道维持常数。是指河网密度的倒数，即为了维持一单位长度的河道必须提供径流的汇水面积。

3) 河流频度。是指单位流域面积上的河流数目。

4) 流域平均坡度。是指流域内最高最低等高线长度的一半及各等高线长度乘以等高线间的高差乘积之和与流域面积的比值。

5) 流域不对称系数。是指流域内干流左右两岸流域面积之差与两岸流域平均面积的比值。

(3) 流域的自然地理特征。流域的地理位置以流域所在的经纬度表示，它可以反映流域所在的气候带，说明流域距离海洋的远近，反映水文循环的强弱。

流域的气候特征主要有降水、蒸发、湿度、气温、气压、风等要素，这些都在影响着河流的形成和发展，是决定流域水文特征的重要因素。

3. 水系（河系）

干流、支流和流域内的湖泊、沼泽或地下暗河相互连接组成的系统，称为水系（河系）。在水系中，直接汇集水流注入海洋或湖泊的称为干流，汇入干流的称为一级支流，汇入一级支流的称为二级支流。以此类推。

按照形态，水系可以分为以下几种：

(1) 树枝状水系。干支流呈树枝状的水系。

(2) 扇状水系。干支流组合而成的流域轮廓形如扇状的水系。

(3) 羽状水系。干流两侧支流分布较均匀，近似羽毛状排列的水系。

(4) 平行状水系。支流近似平行排列汇入干流的水系。

(5) 混合状水系。由两种以上不同水系形状组合而成的水系。

(6) 人工河网。由人工构筑的运河、渠道或经整治的旧河道形成主支流纵横交错的网状系统。

水系特征可用节点、链来描述,几何学特征可用河长、河弯、弯曲率、河底比降等来描述。

4. 径流

流域内的降水形成沿着地面与地下汇入河川、湖泊、水库、洼地等流动的水流,称为径流。在地面形成径流的水流称为地表径流,渗入地表土壤、岩石孔隙流动的水流称为地下径流。河川径流是指下落到地面上的降水,由地面和地下汇流汇集到河槽并沿河道流动的水流。洪水主要由地面径流形成,而地下径流在枯水期时可以起水量补给作用。

(1) 径流的形成。流域内自降水开始到水流汇集形成径流并流出口断面或河口的全过程,称为径流形成过程,通常可分为四个阶段,如图 1-7 所示。

1) 降水阶段。水分以各种形式从大气降落到地面的供水过程,称为降水。它是径流形成的首要环节。降水的主要形式有雨、雪、雹等。

降水的大小与其所在的时间、空间分布上决定了径流的大小和变化过程。降水量以降落到地面上的水层深度表示,以 mm 为单位,常用雨量器和自记雨量计。

将观测的雨量进行整理计算,并将逐日降水量和汛期降水量的摘录与其他水文资料存入水文年鉴或水文数据库中,通过这些资料绘制降雨强度过程线和降雨量积过程线,计算流域平均雨量,反映各地区降雨分布情况和降雨的时程变化。

2) 流域蓄渗。流域蓄渗是指降水经历了植物叶面截留、地面洼蓄、流域蒸发及土壤入渗等过程。降雨量扣除损失后的雨量就是净雨量。净雨是径流的来源,而径流是净雨汇流后的结果,净雨量等于径流量。

雨水被树木、杂草,以及农作物的茎叶拦截的现象称为植物截留。植物截留足够的水量后,地面上的雨水将会下渗。土壤表层(30~40cm)比较疏松,入渗率大,优先补充,入渗率会随着土壤含水量增加而逐渐降低,当降雨强度超过其入渗能力时,便会产生超渗水量,多出的水在重力作用下由高向低流动形成水流。在流动过程中,遇坑成洼,填满坑洼后继续流动,形成地表径流,直至河系。填入坑洼的水量会消耗于蒸发或入渗地下,这部分水量称为坑洼损失水量。

3) 坡地漫流。超渗雨满足填注后产生的地面净雨沿坡面流到附近河网的过程,称为坡地漫流。坡地漫流没有明显固定的沟槽,由无数细小水流组成,雨大时可形成片流。首先在流域内透水性差的地方和坡面陡峻处开始,然后完成蓄渗过程的区域逐渐扩大范围以至遍及全流域。

4) 河槽集流。坡面径流汇入河网,从支流到干流,从上游至下游,最后到达流域出口断面或河口的集流过程,称为河槽集流过程。汇入河网的水流,会使河槽内的水量增加,水位上升,这是涨水过程。河槽容蓄的这部分水量,在降雨结束后才慢慢地流向下游,使流域出口断面的流量增长过程变得缓慢,延长流动历时,对河床起到调蓄作用,

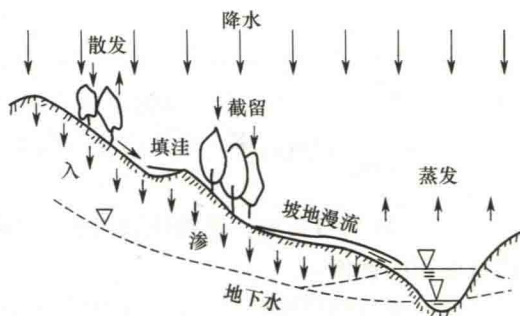


图 1-7 径流形成过程

亦是退水阶段。

地面径流的形成过程，从其水体的运动性质可分为产流和汇流过程，从发生的区域可分为流域面进行的过程和河槽内进行的过程，如图 1-8 所示。

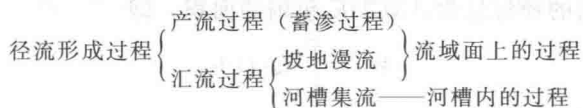


图 1-8 径流形成过程

降雨、蓄渗、坡地漫流和河槽集流，是从降雨开始到水流流出流域出口断面经历的全过程，它们在时间上没有截然的分界，是同时交错进行的。

(2) 径流的影响因素。根据径流形成过程得出，各种自然因素如降水蒸发、地形地质、湖泊沼泽等，都在不同程度上影响着河川径流。自然影响因素可分为气候因素和下垫面因素两类。

1) 流域的气候条件。流域的气候条件是影响径流量的决定性因素，其中以降水和蒸发为主，直接影响流域内的径流量和损失量。

①降雨。降雨过程对径流形成过程影响最大，是影响径流的主要因素。空气中的水汽随气流上升时，遇冷凝结成水滴，降落到地面上，形成降雨。

降雨的特性包括降雨量、降雨历时、降雨强度、降雨面积及降雨中心等。降雨量为一定时段内降落在某一点或某一面积上的总雨量，常用深度表示，以 mm 计；降雨历时是指一次降雨所经历的时间，以 min 或 h 计；降雨强度为单位时间内的降雨量，以 mm/min 或 mm/h 计；降雨面积是指降雨笼罩的水平面积；降雨中心是指降雨量最大的局部地区。

②蒸发。把流域作为一个整体，发生在这一蒸发面上包括水面蒸发、陆面蒸发、植物散发等各种蒸发的总和，称为流域总蒸发，又称流域散蒸发。单位时间内的蒸发量称为蒸发率。在充分供水条件下，某一蒸发面的蒸发率，称为可能最大蒸发率或蒸发能力，记为 EM。一般情况下，蒸发面上的蒸发率只能小于或等于蒸发能力。

③下渗。降落到地面的雨水从地表渗入土壤的运动过程，称为下渗。下渗不仅直接决定了地面径流的大小，同时也影响土壤中水分的增长，以及表层径流和地下径流的形成。因此，分析下渗的物理过程的规律，对认识径流形成的物理机制有重要意义。

2) 流域的下垫面因素。流域的面积大小、地形、土壤、地质、植被、湖泊等几何及自然地理因素，称为下垫面因素，这些对出口断面的径流量有直接的影响。如流域形状狭长险峻、水量较小、宽度小时，则流速快。植物茎叶能截留部分降雨，植物根系又能贮藏大量水分，则可改造土壤和气候。湖泊也有贮存水量、调节径流的作用。修建水库对河流能起蓄洪调节作用，并使流域内的蒸发面积增大，从而加大蒸发量。

(3) 径流的表示方式。河川径流一年内和多年期间的变化特性，称为径流情势，前者称为径流的年内变化或年内分配，后者称为年际变化。河川径流情势常用流量、径流量、径流深、径流模数和径流系数来表示。

1) 流量。单位时间内通过河渠或管道某一过水断面的水体体积，记为 Q 表示，以 m^3/s 计。流量随时间的变化过程，用流量过程线表示，记为 $Q-t$ ，如图 1-9 所示。图中流量为瞬时数值。流量过程线上升部分为涨水段，下降部分为退水段，最高点的流量值称为洪峰流量，简称洪峰，记为 Q_m 表示。

工程水文中常用的流量有年最大洪峰流量、日平均流量、旬平均流量、月平均流量、季

平均流量、年平均流量、多年平均流量和指定时段的平均流量等。

2) 径流量。径流量是指时段 T 内通过某一断面的总水量, 记为 W 表示, 以 m^3 、万 m^3 或亿 m^3 计。

图 1-9 中 T 时段内的径流量为 $ABCDE$ 包围的面积, 即

$$W = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt \quad (1.16)$$

式中 $Q(t)$ —— t 时刻流量, m^3/s ;

t_1 、 t_2 —— 时段始、末时刻。

实际工作中, 常将流量过程线划分为 n 个计算时段, 如图 1-10 所示, 当 $Q_0 = Q_n$ 时, 按式 (1.17) 计算。

$$W = 3600 \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t \quad (1.17)$$

式中 Δt —— 计算时段, h 。

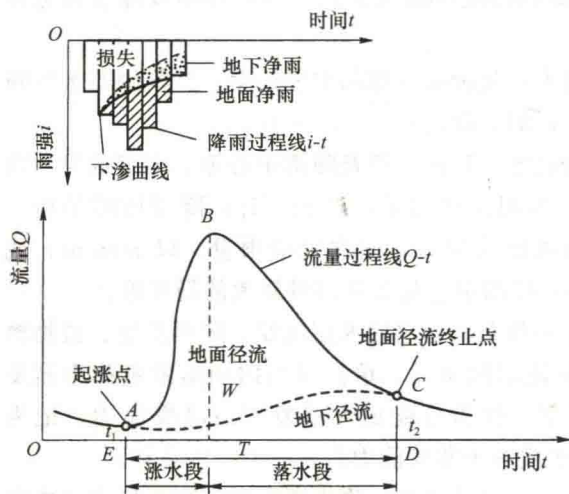


图 1-9 流域降雨-净雨-径流关系示意图

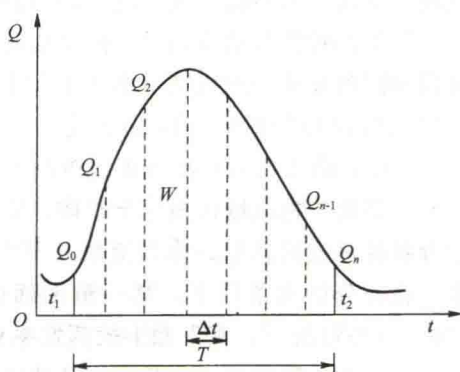


图 1-10 径流量计算示意图

由此可求出时段 T 内的平均流量为

$$\bar{Q} = \frac{W}{t_2 - t_1} = \frac{W}{T} \quad (1.18)$$

若已知时段平均流量, 则径流量又可用平均流量计算。

$$W = \bar{Q}T \quad (1.19)$$

式中 T —— 径流历时, $T = t_2 - t_1$, s ;

\bar{Q} —— 时段 T 内平均流量, m^3/s 。

3) 径流深。将径流量 W 平铺在整个流域面积上所得的水层深度, 称为径流深, 记为 R 表示, 以 mm 计, 即

$$R = \frac{W}{1000F} = \frac{\bar{Q}T}{1000F} \quad (1.20)$$

式中 W —— 时段 T 内径流量, m^3 ;

F —— 流域面积, km^2 。

4) 径流模数。径流模数是指流域出口断面流量 Q 与流域面积 F 的比值, 记为 M 表示,