

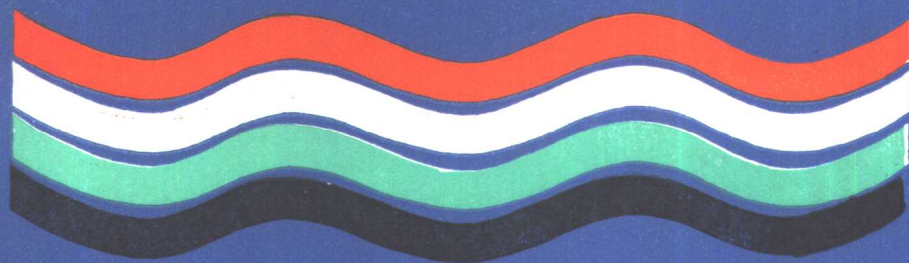
高等学校教材

工程水文学

上册
河川水文
第二版

(港口与航道工程专业用)

詹道江 主编
陈守煜 主审



人民交通出版社

高等学校教材

工程水文学

Gongcheng Shuiwenxue

上册

河川水文

第二版

(港口与航道工程专业用)

詹道江 主编

陈守煜 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书分上、下两册，上册为河川水文，下册为海岸水文。上册由河海大学(原华东水利学院)、重庆交通学院合编。上册第二版对第一版作了重要修订与补充。全书共分六章，分别阐述水循环、河川水文基础知识、水文测验、数理统计、水资源综合利用及水文分析计算、设计流量与设计水位计算方法。本书根据我国实际，反映了我国水文学特别是港口与航道工程水文学的特点。本书为高等学校港口与航道工程专业的教材，亦可供本专业工程技术人员和相近专业人员参考。

本书上册由河海大学詹道江主编，大连工学院陈守煜主审。各章编写人员：第一章詹道江；第二章重庆交通学院顾恒岳；第三章重庆交通学院陈德章；第四、五、六章河海大学毛赛珠。

高等学校教材

工程水文学

上 册

河川水文

第 二 版

(港口与航道工程专业用)

詹道江 主编

陈守煜 主审

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 印张：8.75 字数：216千

1979年6月第1版

1988年12月第2版第4次印刷

印数：13,351—16,750册 定价：1.80元

目 录

第一章 绪论	1
§1-1 水文循环	1
§1-2 水文学	3
§1-3 水文学的研究方法	4
第二章 河川水文基础知识	5
§2-1 河流和流域	5
§2-2 径流形成过程及其主要影响因素	11
§2-3 河川水文情势	21
第三章 水文测验和资料收集	24
§3-1 水文测站	24
§3-2 水位观测	26
§3-3 流量测验	31
§3-4 水位—流量关系曲线	35
§3-5 泥沙测验	51
§3-6 洪、枯水调查及实测水文资料收集	58
第四章 水文统计基础知识	62
§4-1 概述	62
§4-2 概率的基本概念	63
§4-3 随机变量及其概率分布	65
§4-4 统计参数的估计	77
§4-5 现行水文频率计算方法——适线法	81
§4-6 频率计算中的两个特殊问题	86
§4-7 相关分析	88
第五章 水资源综合利用及年径流分析计算	97
§5-1 水资源综合利用各组成部分与特点	97
§5-2 水库的特征水位和相应库容	98
§5-3 设计年径流及其年内分配	100
第六章 设计流量及设计水位	107
§6-1 设计洪水	107
§6-2 设计通航水位及设计流量	115
附表	124
附表 1 $P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ 表	125

附表 2	皮尔逊III型频率曲线的离均系数 Φ 值表	126
附表 3	皮尔逊III型频率曲线的模比系数 K_p 值表	128
附表 4	三点法—— S 与 C_s 关系表	132
附表 5	三点法—— C_s 与 Φ_p 值关系表	133
主要参考书目	135

第一章 绪 论

§1-1 水文循环

地球上约有97.25%的水是在海洋里。海洋面上的水因太阳辐射而蒸发，产生的水蒸气被移动的气团输送至大陆。在适宜的条件下，水蒸气凝结，成云致雨。落到地面上的降水以几种方式消散：一部分暂时存留于落点附近的土壤中，经蒸发和植物散发而返还大气之中；一部分经地面和表土层流向河槽，称为地面径流；还有一部分则渗入地面以下，渗透至水分饱和的地下水水面，称为地下水。地面径流和地下径流经河川流向海洋，海洋中的水又因太阳辐射而蒸发，如此循环不已，称为水的大循环。太阳是循环的总能源，循环的源汇则是海洋。如图1-1所示。

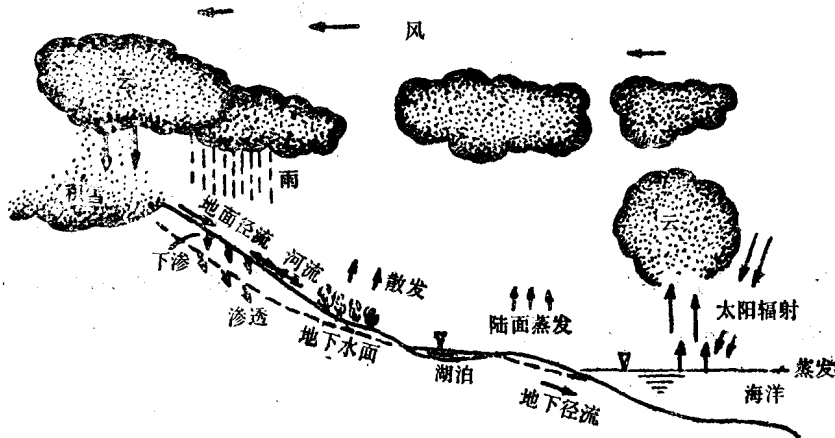


图1-1 水文循环示意图

图1-1只是水循环的粗略示意图。实际远比此图复杂：第一，循环可以短路，例如海洋面上蒸发的水蒸气凝结成雨后可以直接降落于海上，陆地上蒸发的蒸气凝结成雨后也可直接降落于陆地上，这称为小循环。第二，循环并非稳定不变，干旱时期，循环似乎停止，而洪涝时期，循环又似乎不停不歇。第三，循环的强度、频率因地理纬度及气候情况而不同。循环的各个部分都是很复杂的。

从长期来看，水循环是处于平衡状态的。例如海洋多年的平均水面高程并没有什么变化，大陆上的总水量也无增减，只是个别年份有些变动，因而可以认为，自然界中水分总量是一个常数。

对于地球而言，可以写出两个等式：

$$\text{海洋方面} \quad Z_0 = X_0 + Y$$

$$\text{陆地方面} \quad Z_c = X_c - Y$$

式中： Z_0 、 Z_c ——海洋与陆地的多年平均蒸发量；

X_0 、 X_c ——海洋与陆地的多年平均降水量；

Y ——多年平均入海径流量。

合并上述两式得

$$Z_0 + Z_n = X_0 + X_n$$

上式说明，就多年平均而论，地球上的总蒸发量等于多年的平均降水量。具体说来， Z_0 为 $3.5 \times 10^5 \text{km}^3$ ， Z_n 为 $0.7 \times 10^5 \text{km}^3$ ， X_0 为 $3.2 \times 10^6 \text{km}^3$ ， X_n 为 $1.0 \times 10^6 \text{km}^3$ 。

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），一年中的水量平衡方程式可写为

$$X + U_1 = Y + Z + U_2$$

或

$$X = Y + Z + U_2 - U_1 = Y + Z + \Delta U$$

式中： X ——年降水量；

Z ——年蒸发量；

Y ——年径流量；

U_1 、 U_2 ——分别表示年初和年终流域蓄水量， ΔU 表示其差量或称为蓄水变量。

流域多年的水量平衡方程式可以写成

$$U_0 + X_1 = Y_1 + Z_1 + U_1$$

$$U_1 + X_2 = Y_2 + Z_2 + U_2$$

.....

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

$$U_0 + \sum_1^{n-1} U + \sum_1^n X_i = \sum_1^n Y_i + \sum_1^n Z_i + \sum_1^{n-1} U + U_n$$

上列诸式中， U_0 为第一年开始时流域的蓄水量， U_1 为第一年末第二年初的蓄水量，余类推。 U_n 为第 n 年末的流域蓄水量。简化上式，可得

$$X'_0 = Y'_0 + Z'_0 + \frac{U_n - U_0}{n}$$

式中，

$$X'_0 = \frac{\sum_1^n X_i}{n} \text{——流域多年平均降水量；}$$

$$Y'_0 = \frac{\sum_1^n Y_i}{n} \text{——流域多年平均径流量；}$$

$$Z'_0 = \frac{\sum_1^n Z_i}{n} \text{——流域多年平均蒸发量。}$$

在多年平均情况下，流域蓄水量的变化项 $\frac{U_n - U_0}{n}$ 甚小，可以略去，于是流域最后的水量平衡方程式可写成如下形式：

$$X_0 = Y_0 + Z_0$$

式中 X_0 、 Y_0 、 Z_0 分别表示流域多年（长期）平均降水量、径流量、蒸发量。

水量平衡实质上是质量守恒原理的一种表现形式，水量平衡方程式可以广泛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。

能充分反映水资源数量和特征的是河流的年径流总量，它不仅包含大气降水和高山冰雪融水产生的动态地面水，而且也包括绝大部分动态地下水，所以常用多年平均径流量来估算河流的水资源。我国年径流总量约为27 114亿 m^3 人均水量为2 744 m^3 ，仅为世界人均水量10 800 m^3 的四分之一。而加拿大和苏联则分别为世界人均水量的12和3.9倍，因而我国水资源并不富裕。我国水土资源组合也不平衡。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82%，但耕地只占全国的38%，黄河、淮河、海河三大流域径流量只占全国的6%，但耕地却占全国的40%。南北水土资源分布十分不均匀，再加上水资源在时间上变化很大，年际和年内分配很不均匀，这些都是我国水旱灾害和农业生产不稳定的自然原因。我国水资源的这些特点给水资源利用带来许多特殊问题。但我国河流众多，海岸线很长，据统计，流域面积100 km^2 以上的天然河流总长达42万 km 。海岸线总长达18 000 km 有余（不包括沿海岛屿），所以发展水运的条件是很优越的。

§1-2 水文学

水文学探讨地球上各种水体（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。

水文学应用于工程就称为工程水文学，包括有关控制和利用水资源工程的规划、设计与运用所需要的水文学知识。

工程水文学应用的范围很广：水利水电、交通运输、农业灌溉、城市建设、核能利用、环境保护等都需要各种水文数据作为工程规划、设计、施工及管理运用的依据。例如对于港口及航道工程来说，

- 1) 需要根据河流的水文特性，提供最高洪水位，作为确定码头仓库及跨越航道建筑物（如桥梁）标高及净空高度的依据。
- 2) 需要提供设计洪水流量，作为设计渠化枢纽溢洪建筑物尺寸的依据。
- 3) 船闸闸首门槛标高、引航道底高以及整治、疏浚等都需要提供设计最低通航水位。
- 4) 在综合利用水资源时，需要了解有关年径流及年内分配情况，以便协调各用水部门的要求，保证航运利益。
- 5) 在工程的施工、运行管理中还需要洪、（枯）水预报，以便施工和制定运行方案。不过水文预报一般由水文机构发布。

各项工程所需要的水文数据都要用工程水文学方法计算分析才能求出。水文数据关系工程的安全与经济。例如船闸的设计洪水估算过小，会使洪水期间船闸不能正常运行，有时甚至发生水毁事故。如设计洪水流量偏大，又会造成浪费，因此对于从事航运工程的人员来说，水文学是一门不可缺少的基本技术学科。

§1-3 水文学的研究方法

水文现象本是一种物理现象。水文现象与其影响因素之间存在着确定性关系，可以用数

学物理方程式来研究水文问题。这种方法在水文学中称为成因方法，也是本专业人员学习物理学和力学系统课程常用而且熟悉的方法。

但是，水文现象的影响因素错综复杂，如果全凭成因方法，每每无法用严格的数学物理方程式得出确切结果。例如河流的最高洪水位就是一种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，气温、气压、湿度等天气要素的控制，这样众多的因素，我们无法用成因方法去预测来年的最高水位和最大洪水。这类现象在水文学中称为随机现象。随机现象须用概率论和数理统计方法研究。在水文学中广泛使用这种方法，学习本课程时应当予以充分重视。

必须指出，成因方法与数理统计方法在水文学中各有各的用途，是相辅相成的，不宜互相排斥。

工程水文学由于结合了工程实际，已经取得了一定的发展。但从整个水文学的发展趋势来看，这门技术学科还必须进一步完善，改进。

水文学是一门独立学科，是无可争议的地球物理学分支。近代水文学的发展，说明现在的工程水文学是存在一些问题的：

1)工程水文学满足于为决策者提供资料与水文数据，对于形成水文现象的原因研究不足。

2)工程水文学以流域为研究单位，但有许多水文现象是跨流域的，有时甚至需要作全球尺度的研究，才能解决问题。

3)由于现代取得信息的手段不断进步，遥测遥控，信息储存及相应的高级计算机的发展，空间资料的取得已比较不受限制，工程水文学应当充分利用这种信息，不能局限于过去的简单观测资料。例如，降雨的分析，不能停留在点雨量、面雨量分析上而应该是空间模型和天气系统模型。

工程水文学将为克服这些缺点而努力，这也就预示了它的发展方向。

第二章 河川水文基础知识

§2-1 河流和流域

一、河 流

自古以来，河流就作为天然航道为人们所利用。为了研究河流的流速、流量、水位和泥沙等变化规律，首先要了解河流的组成要素及特征，现分别叙述如下。

1. 干流、支流和水系

降水经地面和地下补给河流，是河水的主要来源。由于重力的作用，河水不断切割和冲刷河床，在顺流而下的过程中，水流又不断向两旁侵蚀，使河床逐渐扩大。这样，最初的小沟变成小溪，再由小溪发展成为小河，直至大江、大河。

直接流入海洋或内陆湖泊的河流叫做干流。汇入干流的河流叫做河流的一级支流；汇入一级支流的河流叫做干流的二级支流……。干流及其支流构成了脉络相通的水流系统，这些经常有水流的大小河流，称为河系或水系。如果把不是经常有水流的小水沟也包括在内，便叫做河网。

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，如汉江水系、洞庭湖水系等。

2. 河谷与河槽

流域内地形低洼、狭长弯曲、底部纵向倾斜的凹地叫谷。有水流的谷地叫河谷。河谷是水流与谷地互相影响、互相作用的结果。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、宽谷和阶地河谷三种类型，如图2-1所示。

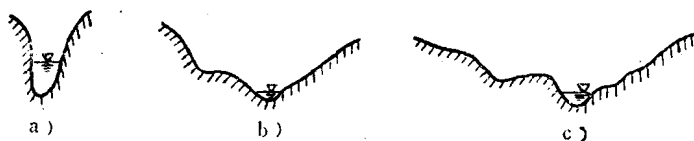


图2-1 河谷示意图

a)峡谷；b)宽谷；c)阶地河谷

谷的最下部叫做谷底，连结谷底最深处的线叫做谿线。

谷底被水占据的部分称为河床或河槽。在枯水和中水时期水流经过的河槽称为基本河槽。在洪水时期水流漫溢到两岸河漫滩上所形成的宽河槽称为洪水河槽。

3. 河流的分段

一般天然河流按照河谷和河槽情况，冲刷和淤积的程度，流速和流量大小以及水情变化等特点，分为河源、上游、中游、下游和河口五段。

1)河源 是河流开始的地方，即河流最初具有地面水流的地方。河流的源头有些是地下水，有些是冰川或融雪，也有些是沼泽和湖泊。因此我们所指的河源，往往不是一点一线，而是面状的河源。

2)上游 直接连结河源,位于河流的上段。它的特点是落差大,水流急,下切强,洪高涨落比较急剧。

3)中游 位于河流中段,流量一般比上游大,河床坡度较平缓,河岸两旁常有滩地出现,河道亦渐渐呈缓和曲线,冲刷和淤积不大显著。

4)下游 位于河流最下一段,它的特点是河槽坡度平缓,流速小,流量较大,河槽大部分处于淤积状态,河道多蜿蜒曲折,浅滩、沙洲到处出现。

5)河口 是河流流入海洋、湖泊或其它河流的地方。有的河流消失在沙漠里,那就没有河口,称为瞎尾河。一般河口比河源明显,因此河流长度都可以从河口算起。由于河口流路突然扩大,流速锐减,水流挟带的泥沙就大量沉积在这里,形成沙洲或河口三角洲。

4.河流的基本特征

1)河流的长度 从河源到河口的距离,称为河长。河流的长度,通常是根椐实测的河道地形图,沿着河流的谿线用下述方法量得的。

(1)细线法 用一根细线,沿着河流弯曲的形状直接量出,然后按比例尺换算为实际河长。这个方法只适用于粗略估计,而且只能用于弯曲度很小的河道。

(2)曲线计法 用一种特制的曲线计,沿着图上河流的谿线滚动,根据记录的转数便可得到河长。这个方法的缺点与细线法相同,优点是量测比较迅速。

(3)两脚规法 在地图上沿着河流的谿线,用两脚规逐段计量。地图的比例尺愈大,测量的精度就愈高。河流的曲折度和两脚规的开距大小,同样会影响测量的精度。

应该指出,无论用上述哪一种方法量出的河长,只是一个近似值,它永远比真实的河长要短。这是因为,一方面由于测绘时经过若干简化,没有把弯弯曲曲的真实情况反映在图上,所以图上的河长比实际的要短;另一方面在进行丈量时,由于以弦长来代替弧长,因此量得的结果要比图纸上的短些。为了改善这种情况,有种种修正建议,但这些都是经验性的。在实际工作中,最好还是根据弯曲度不同的河段实测长度与图上量得的长度作比较,求出两者间的关系作为修正的依据。

2)河流的断面

(1)河流的纵断面 是指沿河流谿线的断面。可测出谿线上河底若干地形变化转折点的高程,以河长为横坐标,高程为纵坐标,即可绘出河槽的纵断面图,如图2-2所示。河流的纵断面图可以用来表示河流的纵坡和落差的沿程分布。它是推算水流特性和估计水能蕴藏量的主要依据。

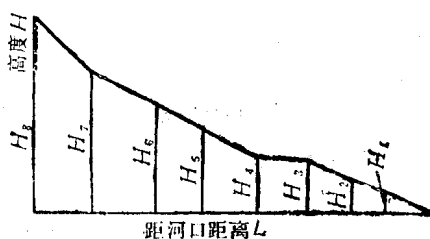


图2-2 河流纵断面图

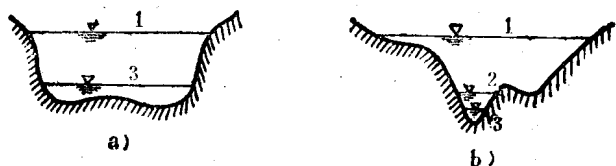


图2-3 河流横断面图

a)单式; b)复式

1-洪水位; 2-中水位; 3-枯水位

此外，在地形图上标出各水位站位置，根据各站同时水位资料，即可连成水面纵断面图。

(2) 河流的横断面 是指与水流方向相垂直的断面。它的上界是水位，当水位变化时，断面面积随之变化。通常把经常过水的断面称为过水断面，不经常过水而只在洪水时期才有水流的部分称为大断面。横断面根据形状的不同又可分为单式和复式两类，如图2-3所示。河流横断面是计算流量的重要依据。

河流的纵、横断面都是随着时间变化的。由于泥沙淤积，纵断面的下游一般在不断增高，上游则被刷深。横断面经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的地质构造、河槽组成物质和水流等情况。

3) 河流比降 单位长度河段的落差称为该河段的比降，即

$$i = \frac{h_1 - h_2}{l} = \frac{\Delta h}{l} \times 1000\%$$

式中： i ——河底或水面比降，以千分率‰表示；

h_1 、 h_2 ——分别为河段开始和终点的河底高程或水位，m；

Δh ——河底或水面落差，m。由河底落差算得的为河底比降，由水面落差算得的为水面比降，当水流为均匀流时，二者相等；

l ——河段长度，测量时以km计，计算时换算为m。

河流比降自河源向河口逐渐减小。河槽因受河水侵蚀而被不停地刷深，比降随之愈变愈缓，但其终限一般不低于海平面，海平面即为河流的侵蚀基准面。支流的侵蚀基准面是支流流入干流处的干流水面。

相对说来，河底一般比较稳定，而河流的水面比降则在不同水位时有很大的变化。河口受海洋潮汐影响，比降变化更大，有时会出现负值，发生海水倒灌现象。

5. 山区河流的一般特性

山区河流流经地势高峻、地形复杂的山区。山区河流的河谷就是在长期的历史过程中由于水流不断纵向下切和横向拓宽而形成的。

河谷断面往往呈V型或U型，如图2-4所示。两岸谷坡陡峻，坡面呈直线形或曲线形。在岩层抗冲性能显著不同的条件下，也能形成所谓侵蚀阶地的阶梯形，谷底与谷坡之间常无明显的界限。河面比较狭窄，中水河床与洪水河床之间无明显的分界线。

山区河流的平面形态极为复杂，急弯、卡口，比比皆是。两岸和河心常有巨石突出，岸线很不规则，急滩深潭，上下交错，且常呈台阶状。在落差集中处，往往形成陡坡跌水甚至瀑布。山区河流河底由岩石组成，侵蚀作用比较缓慢，河道基本上是稳定的。

由于山区坡面陡峻，岩石裸露，山区河流在降雨之后，往往一天以至数小时之内即出现洪峰。雨过天晴，洪水又即消退。图2-5所示即为山区河流的水位过程线。由图可见，洪峰呈锯齿形，而且变化甚大。

山区河流的流量变幅极大，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，

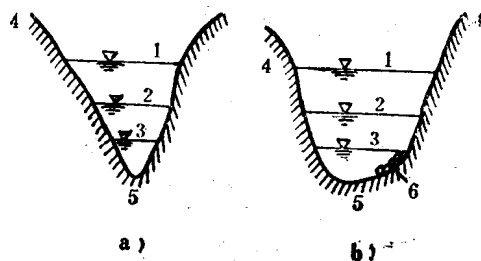


图2-4 山区河流河谷示意图

a) V形河谷；b) U形河谷

1、2、3—洪水、中水、枯水水位，相应水位下的河床为洪水、中水、枯水河床；4—谷坡；5—谷底；6—卵石边滩

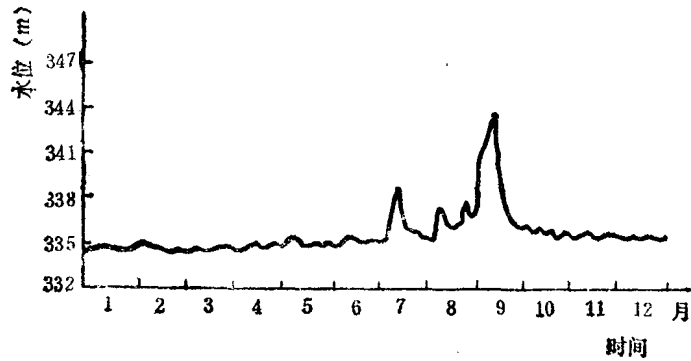


图2-5 山区河流水位过程线

较小的山区河流的比数更大，甚至可能超过一千倍。

与上述河床形态和水文条件相对应，在水力条件方面，山区河流的水面比降一般都比比较大，平均在1%左右。不但比降大，而且由于河床形态不规则，比降随时间和沿程变化也比较大。河床上的急弯、卡口、急滩都能在不同水位时造成不同程度的壅水，引起上、下游比降的较大变化。由于比降大和河槽窄，山区河流的流速也比较大，在某些险滩河段上，流速往往高达6~8m/s之巨，成为急流。因此，山区河流的流象比较乱，在险滩河段，常有跌水、水跃、急滩等出现，流象极为险恶，不利于航行。

山区河流含沙量随地区不同而异。在岩石风化不严重和植物被复较好的地区，含沙量较小；相反，在岩石风化严重和植物被复差的地区，则不但含沙量大，而且在山洪暴发时甚至形成含沙量极大、挟带巨大石块的泥石流，但有沿程递减趋势。

6. 平原河流的一般特性

平原河流流经地势平坦广阔的平原地区，河谷往往宽达数千米。

平原河流的冲积层都比较深厚，常达数千米，甚至数百米以上。冲积层的组成因高程而异，最深处多为卵石，其上为夹沙卵石，再上为粗沙和中细沙。这种泥沙组成的分层现象是

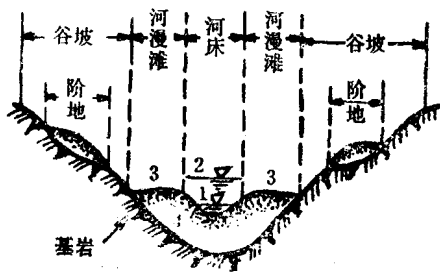


图2-6 平原河流河谷河漫滩示意图

1-枯水位；2-洪水水位；3-滩唇；4-冲积层

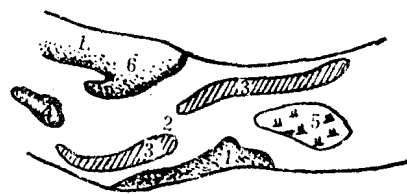


图2-7 河流主槽中各种成因淤积体

1-边滩；2-浅滩；3-深槽；4-江心滩；5-江心洲；6-沙嘴

与平原河道的形成过程分不开的。一般说来，卵石层多为冰川期水量较大、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。在河床形态方面，平原河流的河谷多为发育完全的河漫滩河谷，如图2-6所示。谷坡一般比较平缓，谷坡与谷底之间有比较明显的分界线，但这仅仅是对一部分比较狭窄的河谷而言，在河道下游具有广阔冲积平原的地

方，则往往没有明显的谷地存在，谷底与谷坡的分界线也难于辨认。

平原河流的显著特点之一是存在着广阔的河漫滩。河漫滩在洪水时为水流所淹没，在枯水时则露出水面。由于洪水漫溢易集中在滩唇部分落淤，这样淤积的结果，在靠近河槽处形成地势较高的自然堤，而在近谷坡处则形成地势甚低的洼地，洼地有时有湖沼。由于河漫滩上的土壤极为松软，随着主河槽的摆动或河流的改道，一处河漫滩逐渐为水流所冲刷，而另一处则生成新的河漫滩。

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，如图2-7所示。紧靠河岸洪水时淹没而枯水时裸露在外的沙滩称为边滩；连结上下边滩的水下沙梗称为浅滩；位于江心的较高沙滩称为江心洲，较低的河滩称为江心滩；沙滩中比较狭长的与水流成斜交的称为沙嘴。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。与此相应，河床的形态也处在不断变化和发展的状态之中。

平原河流的横断面形状依所在位置的不同有抛物线形、不对称的三角形和W型等数种，如图2-8所示。河床一般比较宽而浅，有一定的规律。其河道的平面形式，根据不同的外在条件有微曲、蜿蜒和散乱等数种。

平原河流的水文条件与山区河流有很大不同。由于平原地区坡面平缓、汇流时间较长，洪水涨落较为平缓，如图2-9所示。相应地洪水持续时间较长，洪水与枯水的流量比值较小。此外，平原河流尽管流量一般较大，但因河面宽广，水位变幅较小，超过10m的甚少。

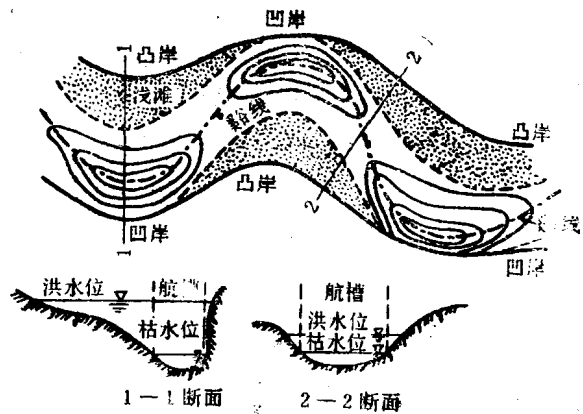


图2-8 平原河流横断面图

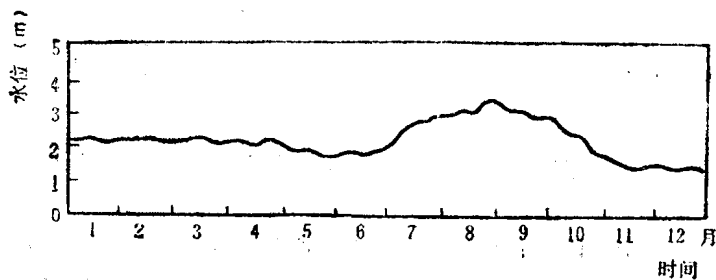


图2-9 平原河流水位过程线

平原河流由于河床纵坡平缓，水流畅通，水面比降较小，一般都在 $1/1000 \sim 1/10000$ 以下。由于比降小，河槽宽广，流速也较小，一般都不超过 $2 \sim 3 \text{ m/s}$ ，水流也较平顺。

二、流域

在陆地上，由于降水形成的水流长期冲蚀，形成了无数河道。每条河道都汇集着与其毗连的某一区域的降水，这个集水区就称为流域。流域和出口断面是一一对应的，如图2-10所示。

• 枯水时高出水面，大水时淹没水下，满布草皮，有时有成片密林、湖沼，一般说来地势平坦的地带称为河漫滩。

当出口断面为1时，其相应流域面积为 A ；出口断面为2时，其相应流域为面积 A 加面积 B ，即长虚线所包围的全部区域。

1. 流域的分水界

流域是河流的集水区域。流域的边界叫做分水界、分水线或分水岭。分水岭通常位于流域四周的山脊线上，有山岭的地方很容易区分，如秦岭是黄河与长江的分水岭，秦岭以北由降水产生的径流流入黄河，秦岭以南的径流则流入长江。但也有两条河流分水的地方不一定是山岭，而可能是一片平坦的地方，或是湖泊、沼泽。象黄河和淮河分水的地方就比较平坦，并无山岭而是以黄河南岸大堤为界线的。所以将流域边界叫做分水界或分水线，要比较称之为分水岭更恰当些。

由于注入河流的水量除地面径流外，还有地下径流，因此就得考虑地面分水线和地下分水线的问题。地面分水线与地下分水线不一定是重合的，这是因为地下水位与地质构造有密切关系。例如在图2-11中，因不透水岩层的倾斜方向与地面起伏情况不一致，所以地面分水线便和地下分水线不重合。至于喀斯特地区（即石灰岩溶洞地区简称岩溶地区），如我国四川、云南、贵州、广西一带，很多地下暗河成伏流现象，则其地下分水线与地面分水线的差别可能很大。在地面分水线和地下分水线相重合的流域，叫做闭合流域；地面分水线和地下分水线不重合的流域，叫做非闭合流域。一般大中河流多为闭合流域。

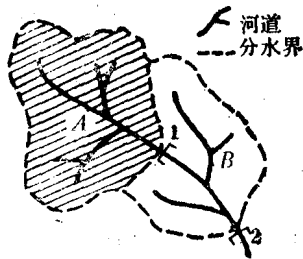


图2-10 流域示意图

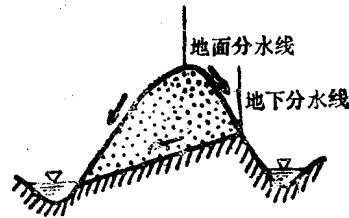


图2-11 分水线图

2. 流域面积

流域的分水线和出流断面所包围的面积，称为流域面积，在水文学上又称集水面积，其单位为 km^2 。

流域是给河流供水的区域，如其它条件相同，则流域面积大小决定着河流径流的多少。所以一般河流的水量总是从河源到河口越往下游越丰富。但也不能一概而论。例如黄河从河源到兰州一段，水量随流域面积增加而增加，但兰州到青铜峡一段，水量却没有什么变化，由青铜峡至包头一段，水量反而减少了。包头以下，流经山西、陕西之间的峡谷到达陕州，水量又增加了。这是因为青铜峡至包头一段是干旱地区，不但沿途得不到水量补给，反而有大量河水渗入地下，或为灌溉所引用。因此分析河流径流沿程变化时，必须全面考虑影响河流径流的各种因素。显然，流域面积对河流水量的影响十分重要。

流域面积一般可根据地形图上分水线所包围的面积，用求积仪或数方格法求出。

河道中的水流特性反映了各个相应流域面积上的自然地理因素（流域形状、地形、地质、土壤、植被等），和水文气象因素（降水、蒸发、径流等）的综合影响。

§2-2 径流形成过程及其主要影响因素

径流是由降水产生的、自流域内汇集到河网并沿河槽下泄的水流的总称。由降水到水流流出口断面的全部物理过程，称为径流形成过程。径流是陆地上重要的水文现象，是水循环和水量平衡的基本要素，是引起河流、湖泊、沼泽等陆地水体水情变化的直接因素，也是自然生态环境中最活跃的因子。

按径流存在的空间位置，可分为地表径流和地下径流。地表径流是指降水经损耗后沿地表流动的水流，按其形成的水源条件还可以分为降雨径流和融雪径流。地下径流是指下渗的降水在地下运动着的水流，往往以地下水的形式补给河流，由于流经途径及通过的介质不同，沿程所受阻力也不同，所以地面径流汇入河流的速度比地下径流快得多。

对于不同流域，由于自然地理及下垫面条件的差异，径流的组成比是不同的，同一流域的不同季节，甚至一次洪水过程之中，其径流的组成比也是变化的。地面径流和地下径流汇集于河道并向出口运动的过程，称为流域汇流。

一、径流形成过程

如前所述，径流形成过程是自降水开始到水量流出河流出口断面的整个物理过程的总称。显然这个过程是大气降水和流域自然地理条件综合作用的产物。由于大气降水的多变性和流域自然地理条件的复杂性，使径流形成过程十分复杂。从流域实测降水过程和流量过程线(图2-12)来看：在久旱无雨时期，河流流量很小，并以缓慢的速度逐渐减小，这个时期河流的水量由地下水补给；当有降水时，河流水位开始上涨，流量出现一个相应的涨落过程，对每一次降水，一般都有一个相应的涨水过程。若将这些流量过程与其对应的降水过程相比较，有下列不同之处：

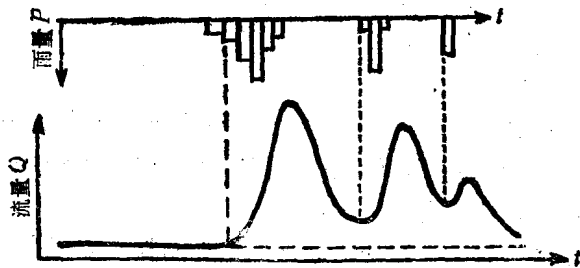


图2-12 降雨径流过程线

- (1) 流量变化过程较降水过程平缓；
- (2) 洪峰出现的时间要比雨峰滞后；
- (3) 总径流过程经历的时间要比降水历时长；
- (4) 总径流量一般总是小于相应的降水量。

可见，由流域上的降水过程转换为流量过程时，由于受到流域下垫面和各种因素的综合作用，导致它们在发展过程中存在着这些差异。

径流形成过程是一个极为复杂的过程，为了对径流形成现象在概念上有一个初步的认识，现将径流形成的物理模型，简单地概括为五个阶段，即：降水过程，流域蓄渗过程，坡地漫流过程，河网汇流过程和地下径流过程。

1. 降水过程

径流是由降水引起的。因此，流域上降水过程也是径流形成过程的一部分。每次降水的量及其在空间和时间上的变化，都各不相同。就空间分布而言，降水可以笼罩全流域，也可

以只降在局部地区。同时，流域内的降水强度也有变化，有时均匀，有时不均匀，有时在局部地区形成暴雨中心，并向某一方向移动等等。降水的这种变化过程，诸如降水量、降水强度、笼罩面积、雨型及时程分配，暴雨中心位置及移动途径等，直接决定径流过程的趋势，所以降水过程是径流形成过程的重要环节。

2. 流域蓄渗过程

水分渗入土壤的过程称为下渗。

水在地面上的洼地停蓄称为填注。图2-13为降水初期理想的流域蓄渗过程。

在降水初期，除极少部分直接降落于河槽水面上的所谓槽上降水 C 外，绝大部分落在流域地表。若地面有植被覆盖，则植物枝叶首先截留部分雨水，称为植物截留 I 。当降水强度小于下渗强度时，则经植物截留后多余的雨水，或直接降落地表的雨水，均渗入土壤中用 f 代表。只有当降水强度超过当时的下渗强度，或土壤水分已达到饱和状态时，就开始填注 D 。

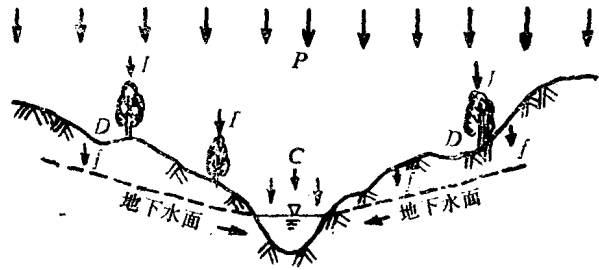


图2-13 流域蓄渗过程

植物截留自降水一开始就进行着。截留的降水量，由于重力作用或风力作用而向下跌落或沿枝茎下流，以及耗于蒸发。雨停后，植物上截留的水分大部分蒸发掉。

下渗的过程自降水开始到降水终止一直进行，而且雨停后还要持续一段时间。只要有地表水存在就有下渗的存在。下渗强度在降雨初期特别大，以后随着降雨历时的增加而逐渐降低，最后趋向于稳定。

洼地蓄水的来源有二：一是直接降落在洼地上的超渗雨；二是由附近坡面流入的水量。洼地蓄满后就外流。洼地蓄水在降雨期间不断地损耗于下渗和蒸发。一般雨止后，洼地蓄水往往还会保持一定的时间。

蓄渗过程的特点是，流域中的降雨并不直接产生径流，而是首先损耗于植物截留、下渗、填注、蒸发，而且大部分是耗于下渗。由于这阶段降雨不产生径流，所以这个过程也称为损失过程。蓄渗量的大小以及蓄渗过程的发展是与流域的土壤、植被、地形及降雨的特性

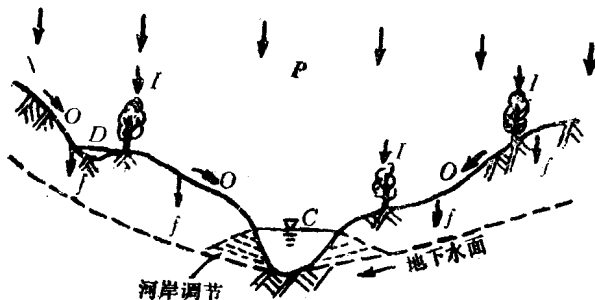


图2-14 坡面漫流过程

密切相关的。对于不同流域或同一流域的不同时期，其蓄渗量和蓄渗过程会有很大的差异。如久旱不雨，地面干燥，蓄渗量大，反之则小；如流域地形平坦，洼地众多，则蓄渗量也大，历时长；若雨强小，历时长，则蓄渗量大，过程也长。可见，这一阶段的河流水量除直接降落于河槽的雨量外，基本上没有得到补充，河流水情仍维持原状。

3. 坡面漫流过程

当降雨强度大于下渗强度或土壤水分已达饱和后，雨水开始沿坡面流动，称为坡面漫流