

高等学校试用教材

土木工程水文学

叶镇国 编著

人民交通出版社

高等学校试用教材

土木工程水文学

TUMU GONGCHENG SHUIWENXUE

叶镇国 编著

人民交通出版社

内 容 简 介

本书参照了原给排水工程、交通土建工程的教学大纲内容,结合了编著者40余年教材编写与教学经验,引用了最新规范,考虑了专业调整后土木工程专业通用需要。全书共七章,内容包括:绪论、河流概论、水文资料的收集与整理方法、水文统计的基本原理与方法、设计年径流量、按流量资料推算设计洪峰流量、按降水资料推算设计洪峰流量等。

本书可作为高等学校土木工程专业用书,适用于本科、成教、高职、自考等教学,也可作为其他相关专业用教材或专业技术人员的参考用书。为了便于读者学习,编著者编写了《土木工程水文学习题解法指南》一书,可与本书配套使用。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程水文学/叶镇国编著. —北京:人民交通出版社,
2000
ISBN 7-114-03569-1

I. 土… II. 叶… III. 水文学-高等学校-教材
IV. P33

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第10056号

高等学校试用教材

土木工程水文学

叶镇国 编著

正文设计:周 圆 责任校对:杨 杰 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010 64216602)

各地新华书店经销

新世纪印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 14.25 字数: 354 千

2000年1月 第1版

2000年1月 第1版 第1次印刷

印数: 0001~4000册 定价: 26.00元

ISBN 7-114-03569-1

U·02571

前 言

水文学是土木工程各专业（如给排水专业、交通土建、环境工程、水利工程等）的一门技术基础课，按课程的基本教学要求，主要介绍**基本原理、方法及其工程应用**。随着教学改革的发展，为适应市场经济及工程建设的实际需要，分工过细的一系多专业现象正在作合理调整，也对新编教材的**科学性、理论性、系统性与专业针对性**提出了新课题。编者从事（土木系）给排水专业与交通土建专业的《水力学》、《水文学》教材编写与教学实践 40 余年。1983 年曾参与主持制订了全国给排水专业《水文学教学大纲》；1992 年主持制订了全国给排水专业《水文学课程基本教学要求》，；1993~1994 年，起草制订了《水力学与桥涵水文课程基本教学要求》、《水力学与桥涵水文教材编写大纲》并经全国路桥专业教学指导委员会审定通过；编写出版了全国统编教材多本，为打破专业分工过细的局限性及拓宽专业知识面作了一些探索，也取得一些良好的教学实践效果。为此，编者希望通过这本新编的《水文学》能有所总结提高，并作为《水文学》教材编写探索、抛砖引玉，期望有益于教学，有益于读者。

本书参照了上述两份教学大纲、两份课程基本教学要求及编者多年来的教学应用实践经验，考虑了土木工程专业培养“通用人才”的需要及教学时数的限制。按照理论阐述及其应用的合理逻辑关系以及教学实践中的反复验证经验，调整了原有水文学教材的章节衔接安排，并在内容上作了一定的充实、增、删；按照专业水文计算的实用需要，为适应扩大知识面，加强综合能力的人才培养需要，本书内容加强了水文测验知识、降水资料的整理与分析、洪水及枯水调查、设计洪水及小流域面积暴雨洪峰流量的推算方法等内容；阐明了计算原理，加强了数理演绎方法；为化解教学难点及应用本书便于精讲，易教、易学、易于掌握有关原理与方法，书中引用了计算程序框图及算例；书中有“*”号部分供各校选讲、选学或作课外阅读材料，以拓宽水文分析与计算知识。限于水平，书中如有欠妥处，敬希广大读者指正。

编 著 者

1998 年 10 月于长沙

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 水文学的研究对象及分类	1
§ 1-2 水文现象的特点与研究方法	2
§ 1-3 水分循环与水量平衡原理	3
思考与习题	6
第二章 河流概论	7
§ 2-1 河流及其流域	7
§ 2-2 河川径流	14
§ 2-3 固体径流	19
§ 2-4 河床演变	24
* § 2-5 潮汐河口的水文情势	27
思考与习题	31
第三章 水文资料的收集与整理方法	34
§ 3-1 水位观测	34
§ 3-2 流速与流量测算	35
§ 3-3 水位与流量关系曲线	39
* § 3-4 河流泥沙测验与冰凌观测	41
§ 3-5 降水观测	45
§ 3-6 水文年鉴与水文手册	53
思考与习题	53
第四章 水文统计的基本原理与方法	56
§ 4-1 水文统计的基本概念	56
§ 4-2 机率与频率	57
§ 4-3 随机变量的机率分布	66
§ 4-4 经验累积频率曲线	68
§ 4-5 理论累积频率曲线	70
* § 4-6 抽样误差	79
§ 4-7 现行频率分析方法	82
§ 4-8 相关分析	88
思考与习题	99
第五章 设计年径流量	101
§ 5-1 年正常径流量推算	101
§ 5-2 设计年径流量推算	102
§ 5-3 设计年径流量的年内分配	107

§ 5-4 设计枯水径流	112
§ 5-5 洪、枯水调查	119
思考与习题	121
第六章 按流量资料推算设计洪峰流量	123
§ 6-1 洪水与设计洪水	123
§ 6-2 按实测流量资料推算设计洪峰流量	124
§ 6-3 含特大值的不连续流量系列设计洪峰流量推算	126
§ 6-4 按洪水调查资料推算设计洪峰流量	129
* § 6-5 潮汐河口的设计潮水位计算	132
* § 6-6 径流调节原理	135
思考与习题	142
第七章 按降水资料推算设计洪峰流量	144
§ 7-1 流域汇流	144
§ 7-2 暴雨强度公式	146
§ 7-3 小流域面积设计暴雨洪峰流量公式	168
§ 7-4 洪峰径流系数及流域最大汇流历时计算	171
§ 7-5 小流域暴雨洪峰流量推算	180
思考与习题	184
附录	186
附录 1-1 取水工程建筑物设计频率标准	186
附录 1-2 设计降水的重现期	186
附录 1-3 现行城市的等级和防洪标准 (GB50201—94)	186
附录 1-4 工矿企业的等级和防洪标准 (GB50201—94)	186
附录 1-5 汽车专用公路各类建筑、构筑物的等级和防洪标准 (GB50201—94)	187
附录 1-6 一般公路防洪标准 (GB50201—94)	187
附录 1-7 国家标准轨距铁路防洪标准 (GB50201—94)	187
附录 1-8 乡村防护区防洪标准 (GB50201—94)	187
附录 1-9 潮汐河口挡潮枢纽工程主要建筑物的防洪标准 (GB50201—94)	188
附录 1-10 水库工程建筑物的防洪标准 (GB50201—94)	188
附录 2 海森机率格纸的横坐标分格表	188
附录 3-1 P—Ⅲ型曲线 Φ_p 值表	189
附录 3-2 P—Ⅲ型曲线 K_p 值表	193
附录 4 克里茨基与闵凯里曲线 K_p 值表	205
附录 5-1 P—Ⅲ型曲线三点法 S 与 C_s 关系表	212
附录 5-2 P—Ⅲ型曲线三点法 C_s 与有关 Φ_p 值关系表	214
附录 6 天然河道糙率表	217
附录 7 参数 $K_1, K_2, \beta_1, \beta_2, \lambda$ 值表 (公式 (7-31c) 中参数)	218
附录 8 参数 $K_3, K_4, \alpha_1, \alpha_2, \beta_3$ 值表 (公式 (7-31c) 中参数)	219
主要参考文献	221

第一章 绪 论

§ 1-1 水文学的研究对象及分类

一、水文学的研究对象

水文学是一门研究水在自然界中运行变化规律的科学。

自然界中水的运行变化形态可有多种，而且十分复杂。空中汽态水可因冷凝而成液态或固态，可以雨、雪、雹、霰等形式下降于大陆或海洋，这些统称为**降水**；江、河、湖、海及大陆上的液态水或固态水，可因太阳的热力作用而成汽态水升入天空，此称为**蒸发现象**；地表水在重力作用下，进入土壤或岩层时，称为**入渗**；沿地表流动的水流，称为**径流**。其中沿地表流动的水流，称为**地表径流**；在地下土壤或岩石裂缝中流动的水流，称为**地下径流**，又称为**基流**，它是长久无雨期中河水的补给源；沿河川流动的水流，称为**河川径流**。**降水、蒸发、径流、入渗**等现象，统称为**水文现象**，又称为**水文要素**，它也是市政工程、交通工程、环境工程以及水利工程等研究的对象。系统地观测、收集与归纳这些水文现象的变化规律，为工程建筑物预示未来运用期间可能面临的水文情势，并为工程设计提供决策依据，这是水文学的基本任务。因此，水文学又有“工程耳目”之称。

二、水文学的分类与课程内容

按照研究对象及任务的侧重情况，水文学有多种。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**三大类。

水文气象学属于气象学中的一个学科，它研究大气中水汽的运行变化规律；**水文地质学**则属于地质学中的一个学科，它研究地下水的运行变化规律；**地表水文学**又分为**陆地水文学**与**海洋水文学**两类。通常所说的水文学多指陆地水文学。随着生产的发展与陆地上径流现象某些规律的特殊性，陆地水文学又有四个分支，即**河川水文学**、**冰川水文学**、**湖泊水文学**与**沼泽水文学**等。

近代的陆地水文学包括四个学科，即：

1. 水文测验学

这一学科研究水文资料的收集、量测、成果整编方法以及水文测站站网的布设理论等。

2. 水文地理学

这一学科根据水文特征值和自然地理因素之间的相互关系，研究水文现象的地区性分布与变化规律。

3. 普通水文学

这一学科研究自然界中各种水体的水文特征值的基本变化规律及彼此间相互依存的一般性问题。

4. 工程水文学

这一学科研究工程规划设计所需要的水文测验以及水文水力计算的原理与方法。预估工程运用期间面临的水文情势。

本书主要叙述从降水到径流入海的这一过程中有关地面径流的运动规律、水文特征值(如水位、流量、降水量等)的测量方法以及其工程应用等问题,基本上属于工程水文学的范畴。水文分析与计算的目的是为充分开发与合理利用水资源,减免水害,充分发挥工程效益。

对于本课程的学习,要注意掌握资料收集、整理与水文计算的原理方法,特别是数理统计方法在水文计算中的应用。本书引用了程序框图阐述计算步骤,希望有助于读者对方法的掌握与理解。

§ 1-2 水文现象的特点与研究方法

一、水文现象的特点

1. 随机性与重现性

在同一观测条件下,同一现象结果不定的特性,称为此现象的随机特性。例如,同一断面处的河中流量,每年实测均可有种种结果,每年同一日期的流量值也可有不同的结果,此即水文现象的随机特性;但是,多年实测发现,各种数值的流量均具有一定的重现性,即再发生的可能性。数值越大或越小的流量,其重现的年距越长,即重现机会越小。水文现象的随机特性是受到时空分布多变因素影响的结果,而其重现性则是与之关系密切的气候因素受到地球自转、公转及其他天体运动制约的结果,因而具有年、季、日及多年的周期性变化规律,即具有一定数值上的重现性。

2. 相似性与特殊性

水文现象的另一种规律性即其相似性与特殊性。

所谓相似性,即地理位置相近、气候因素与地理条件相似的河流或河段,其水文现象特性亦相似。例如:降水量和径流量多为南方大,北方小,沿海大,内陆小,山区大,平原小,其相对变化幅度也存在北方大,南方小,内陆大,沿海小,山区大,平原小;湿润地区的河流,其水量丰富,年内分配(年内流量变化过程)也比较均匀,干旱地区的河流,其水量均不足,年内分配亦不均匀;同一地区的不同河流,其汛期与枯水期都十分相近,径流变化过程也十分相似。水文现象的这一相似性是缺乏实测资料地区移用相似地区实测资料的理论依据,水文学中称之为相似比照或水文比拟法。

所谓特殊性,即地理位置不同或气候与地理条件有差异的河流或河段,其水文现象可有不同的变化规律。例如,山区河流与平原河流、沿海与内陆河流、地下径流丰富地区与地下径流贫乏地区的河流,其径流变化规律各异。因此,一些经验性的分析结果往往有一定的地区性应用局限。

二、水文学的研究方法

1. 数理统计法

以概率论为理论依据,根据试验或观察所得数据,对研究对象的客观规律作出预估或判

断的数学方法，称为数理统计法。它在水文分析与计算中的应用，又称为水文统计法。

数理统计法是研究受随机因素影响的各种现象的数学工具，因此在水文学中得到了广泛的应用。此法的立足点在于“试验”或“观察”。例如，分析水文现象（如水位、流量、降水量等）的发生规律，需要大量的观测资料，每一次观测都可看作为一次试验，观测中所得的数值就是试验结果。水文现象虽然具有随机特性，但并不是没有规律性，只不过这些规律不是一种精确的物理定律，而是在大量现象中才能显示的统计规律性，它是水文分析与计算的预估依据。因此，水文分析与计算中，需要以大量实测资料作依据，对水文现象观测的年代越长，收集的资料越多，分析的结论越可靠（详见第四章）。

2. 地理综合法

此法是根据水文现象的地区特性，利用大量的实测资料，找出其地区特性与分布规律，如经验公式、水文参数及水文特征值等值线图。

3. 成因分析法

此法从物理成因出发研究水文现象的形成过程并建立水文特征值（如水位、流量等）和有关因素之间的数学物理模型，作为水文计算的依据并用以推求未来的水文情势。例如，由暴雨资料推求洪峰流量的公式即属此类（详见第七章）。但因影响水文现象的因素相当复杂、其形成机理还难以完全清楚，定量上仍有很大困难，因此还需结合数理统计方法及地区综合方法以补不足。

§ 1-3 水分循环与水量平衡原理

一、自然界的水分循环

降水、径流、蒸发及入渗等周而复始的变化过程，称为自然界的水分循环，如图 1-1 所示。发生在海洋上或陆上的水分循环，称为小循环，发生在海洋与大陆间的水分循环，称为大循环。

水分循环是水文现象运行变化的基本规律性及其形象描述。据统计，全球海洋上的单位面积多年平均蒸发量 Z_1 及降水量 x_1 有：

$$Z_1 = 1\,400\text{mm}$$

$$x_1 = 1\,270\text{mm}$$

可知 $Z_1 > x_1$ ，多余水汽随大气运行进入内陆；全球陆面上的单位面积多年平均蒸发量 Z_2 及降水量 x_2 有：

$$Z_2 = 485\text{mm}$$

$$x_2 = 800\text{mm}$$

可知 $Z_2 < x_2$ ，多余的水分则以径流形式回归大海。

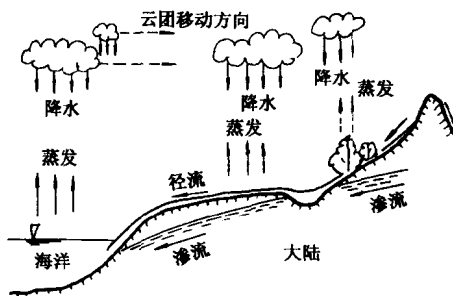


图 1-1 水分循环示意

二、水分循环的作用

1. 形成了各种天气，营造了绚丽的自然景观；

2. 参与了动植物的新陈代谢，可影响各类生物的活动；
3. 体现了自然环境内部能量转移和物质循环过程，向人类提供了取之不尽的能源；
4. 可分散、悬移、溶解各种固体颗粒、气体、离子及生物原生质等，形成水质的本底状态；
5. 对于污染的水体有自净更新功效。例如，水分循环中的蒸发过程中，除极少数物质外，水中杂质将不会转输入下一轮水分循环，因而使宝贵的淡水资源再生并有再利用的价值。

三、水分循环的影响因素

1. 气候

气压、气温、风向、风力等统称气候因素，它受大气环流及气团等大气运动的控制和支配。

大气环流的形成可来自高低纬度地区太阳辐射热量差，也可出于海陆吸热不同。夏季大陆强烈高热可造成热低压，使气流由海洋向大陆运动；冬季则相反，气流则由大陆向海洋运动，并形成一年中风向随季节变换的“季风”。此外，由于受地球自转的影响，还可形成几个气压带和风带。

所谓气团，即数百公里范围内温度、湿度等物理性质在水平方向比较均匀的大团空气。且有冷、热气团之分。物理性质不同两气团间的过渡区，称为“锋”，锋面上的急流及波动可产生大型空气旋涡，称为气旋或反气旋，它常导致各种降水过程。我国地处西伯利亚冷气团与太平洋暖湿气团的进退交锋地区，一年中的降水量、水汽运动及其变化主要取决于太平洋暖气团的进退早晚、西伯利亚冷气团的变化强弱以及八月间太平洋西部的台风情况。

我国的水汽主要来自东南海洋（太平洋），并向西北方向移动，因而在东南沿海地区形成较多的降水，越向北的水汽量越少；其次是南方的水汽输入，主要的水汽来自印度洋，亦造成降水，但因受重重高山峻岭的阻隔，水汽不能深入内陆腹地；西北边疆地区，水汽来源于大西洋，由西风环流带入；北冰洋的水汽借强盛的北风，经西伯利亚、蒙古进入我国的西北，因风力较大，有时甚至可通过两湖盆地而直达珠江三角洲，但水汽量少，降水量不大；北方鄂霍次克海的水汽随东北风带到东北地区，对该地区的降水起了相当大的作用。但是，进入我国上空的水汽，大部分不参加水分循环。据 1977 年分析，只有 12% 的输入水汽形成了径流，其余则经我国的上空逸出。由此可知，我国的水汽主要来自东南、南和西南方向，它的出口主要是东部上空和沿海诸河，水汽形成的径流，大部分经河川注入太平洋，小部分流入印度洋，极小部分流入北冰洋。

2. 下垫面

水分循环所处的自然地理条件，称为下垫面因素。如地形、地貌、土壤、地质构造、岩层性质、植被情况、河系组成以及湖泊沼泽分布情况等，对水分循环都有不可忽视的影响。

3. 人类活动

水分循环过程亦受到人类改造自然的影响。例如封山育林、水土保持等农林改造措施，可改变地形、土层结构和森林植被因素，由此可改变入渗、径流、蒸发条件而影响水分循环；兴修水利，修建水库、渠道工程，密集人口的现代大城市发展等人类活动，都可直接影响或干扰水分循环。

四、水量平衡原理

任意区域在任一时段内，进入此区域的水量必等于离开此区域的水量与此区域内蓄水增

量之和，称为水平衡原理，它是质量守恒定律在水文学中的表达形式，可用下式表达：

$$X = Y + Z \pm \Delta W_0 + \Delta q \tag{1-1}$$

式中：X——区域平均降水量；
Y——区域平均径流量；
Z——区域平均蒸发量；
 ΔW_0 ——区域蓄水增量；
 Δq ——区域经地面或地下流出或流入的径流增量，当 $\Delta q = 0$ 时，称为封闭区域，则公式（1-1）可写成：

$$X = Y + Z \pm \Delta W_0 \tag{1-2}$$

若所取的时段为一年，则公式（1-1），（1-2）称为年水量平衡方程。对于多年平均情况，有：

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{1}{n} \sum_1^n X_i = \frac{1}{n} \sum X_i \\ Y_0 &= \frac{1}{n} \sum_1^n Y_i = \frac{1}{n} \sum Y_i \\ Z_0 &= \frac{1}{n} \sum_1^n Z_i = \frac{1}{n} \sum Z_i \\ \overline{\Delta W_0} &= \frac{1}{n} \sum_1^n \Delta W_{0i} = \frac{1}{n} \sum \Delta W_{0i} \end{aligned}$$

为简化书写，求和算式本书将按上述形式表达。实践证明，对于多年平均值，有 $\overline{\Delta W_0} = 0$ ，则：

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= Y_0 + Z_0 \\ \alpha_0 + \beta_0 &= 1 \\ \alpha_0 &= \frac{Y_0}{X_0} \\ \beta_0 &= \frac{Z_0}{X_0} \end{aligned} \right\} \tag{1-3}$$

式中： α_0 ——多年平均径流系数；
 β_0 ——多年平均蒸发系数。

径流系数与蒸发系数都是估算降水损失的折减系数。水分充沛地区、地面坡度大、植被不良、森林受破坏严重的山区以及岩石地区，坡面集流快，径流系数大；干旱地区，封山育林良好地区，径流系数小，其蒸发系数亦小。据实测统计，全球及我国主要河流的水量平衡情况见表 1-1，表 1-2。

全球水量平衡情况				表 1-1
名 称	水 量 平 衡 要 素 (mm)			备 注
	降 水	蒸 发	径 流	
陆 地	720	470	250	河流流入水
海 洋	1 140	1 240	100	
全 球	1 020	1 020	—	

我国主要河流的水量平衡情况

表 1-2

河 名	水 量 平 衡 要 素 (mm)			多年平均径流系数 α_0
	降 水	蒸 发	径 流	
松花江	525	380	145	0.28
黄 河	492	416	76	0.15
淮 河	929	738	191	0.21
长 江	1 055	513	542	0.51
珠 江	1 438	666	772	0.54
雅鲁藏布江	699	225	474	0.68
台湾各河	1 903	887	1 016	0.53

思考与习题

1-1 扼要说明下列问题：

1. 径流；
2. 水文现象；
3. 降水；
4. 基流；
5. 水文要素；
6. 水分循环；
7. 径流系数；
8. 蒸发系数。

1-2 试述水文现象的主要特点。

1-3 什么是水文统计方法？试述其应用意义。

1-4 试述概率论与数理统计法在水文计算中的主要区别。

1-5 水文现象运行变化的基本规律是什么？

第二章 河流概论

§ 2-1 河流及其流域

一、河 流

1. 河流的分段

汇集地面径流及地下径流的水道，称为河流。一条发育完整的河流，按其形态特征及水力特性可分为河源、上游、中游、下游及河口等河段：

- 1) 河源—河流开始具有地面水流的源地。溪涧、泉水、冰川和沼泽往往是河流的源头。
- 2) 上游—紧接河源的河流上段。其特征是坡陡、流急、河谷下切强烈、常有急滩瀑布，河谷断面多呈“V”字形，如图 2-1a) 所示。
- 3) 中游—上游以下的河流中段。其特征是河流的纵比降较平缓、河床冲淤接近平衡，两岸逐渐开阔、河床稳定、水量增加、河谷断面多呈“U”字形，如图 2-1b) 所示。
- 4) 下游—中游以下的河段。其特征是纵坡缓、流速小、泥沙淤积、沙洲众多、河弯连绵、断面多呈“复式断面”、河滩宽阔，如图 2-1c) 所示。

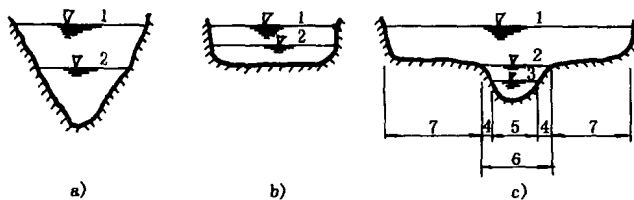


图 2-1 河段断面

a) 上游断面；b) 中游断面；c) 下游断面

1-洪水位；2-中水位；3-低水位；4-边滩；5-主槽；6-河槽；7-河滩

5) 河口—河流注入湖、海或其他河流的地方。它是一条河流的终点。其特点是断面开阔、流速骤减、泥沙大量沉积而成沙洲。因沉积的沙洲其平面呈扇形，常称为河口三角洲。

有的河流，由于沿途渗漏或蒸发损失，常在与其它河流汇合前就已枯竭而没有河口，称为“瞎尾”河，其末端称为“瞎尾”。我国新疆地区许多河流属此类。没有河口的河流或汇入湖泊的河流，称为内陆河流，注入海洋的河流，称为入海河流。

2. 河系

干流、支流及湖泊组成的河流系统，称为水系，又称为河网。其中汇集水流直接注入湖、海的河流，称为干流；流入干流的河流，称为一级支流，汇入一级支流的河流，称为二级支流，……，其余依次类推。

水系通常以干流名称命名，如长江水系、黄河水系等，但也有用地理区域或把同一地理区域内性格相近的几条河作为综合命名，如湖南省境内的湘、资、沅、澧四条河流共同注入

洞庭湖，称为洞庭水系；海河、滦河、徒骇河及马颊河都各自入海，称为华北平原水系。

3. 河流的基本特征

河流的基本特征有河长、河流弯曲系数、纵横断面及纵横比降等（比降在水力学中称为坡度），它们都在实测地形图中量取并定量，它们是水文计算的基本数据。

1) 河长 L

河源至河口的河流溪线长度，称为河长。常以 L 表示。河流的溪线，又称为中泓线，它是河流各断面最深点的连线。河长在地形图中用两脚规量取，地形图的比例尺常用 1:50 000 ~ 1:100 000，两脚规的开距常取 1mm~2mm。任意两断面间的溪线长度，称为河段长度。

2) 河流的弯曲系数 φ

河源至河口的河长 L 与两地间的直线长度 l 之比，称为河流的弯曲系数，常用符号 φ 表示，有

$$\varphi = \frac{L}{l}$$

显然， $\varphi \geq 1$ 。 φ 值愈大，河流愈弯曲， $\varphi = 1$ 时，河道顺直。在河段中，也可有河段的弯曲系数。

3) 河流的横断面及横比降

(1) 河流的横断面

垂直于水流方向的断面，称为横断面，即过水断面。如图 2-1 所示，其中，枯水期流水的部分，称为主槽或基本河槽，洪水期为洪水泛滥淹没的部分，称为洪水河槽，又称河滩。

(2) 河流横比降

河流沿横断面方向的水面坡度，称为横比降。“比降”一词是工程界的习惯称呼，在水力学中称为坡度。产生横比降的原因主要有：

① 弯段离心力作用——在弯段河道中，水流受到重力和离心力的综合作用，如图 2-2a)、b) 所示，离心力恒指向凹岸，迫使水流向凹岸运动，又因水流速度沿垂线分布不均匀，水流的离心力沿垂线分布亦不均匀，由此造成了水流的面流流向凹岸，底流流向凸岸，与纵向流速的合成，水流将以螺旋式运动流向下游，在横断面上，水流呈单环流图像，称为水内环流现象，如图 2-2c) 所示。在图 2-2a) 中，实线箭头表示面流运动方向，虚线箭头表示底流运动方向，图 2-2d) 中，1-凹岸冲刷；2-凸岸淤积。

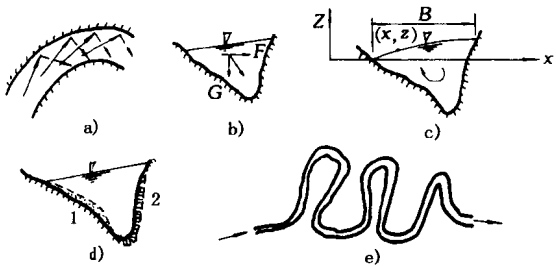


图 2-2 弯段横比降及水内环流现象

- a) 弯段河道螺旋流；b) 重力与离心力作用；
c) 断面单环流现象；d) 断面的冲淤现象；
e) 平原河流呈蜿蜒曲折平面形态

弯段河道的水内环流现象可造成凹岸受冲刷，凸岸发生淤积，促使平原河道的河湾发展，使河流呈蜿蜒曲折的平面形态，如图 2-2e) 所示。由水力学理论可知，静止液体的等压面方程为：

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0$$

沿过水断面方向可按静止液体条件计算，对于单位质量液体所受的离心力和重力有：

$$X = \frac{v^2}{x}$$

$$Y=0$$

$$Z=-g$$

代入上式得：

$$\frac{v^2}{x}dx - g dz = 0$$

$$v^2 \ln x - g z = 0$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{v^2}{gx} \quad (2-1)$$

此即弯段河道水面横比降公式。其坐标系如图 2-2c) 所示。设水面宽度为 B ，凸岸起点 $x=r$ ，凹岸处， $x_{\max}=B$ 。由公式 (2-1) 可知，弯段河道的横比降并非常量，其中 x 为计算点的曲率半径，横比降 $\frac{dz}{dx} \propto \frac{1}{x}$ ，即横比降与曲率半径成反比，凸岸大，凹岸小，自由表面的形状呈对数曲线形状。计算水面横比降时，常取两岸曲率半径的平均值 R_0 ，因有

$$R_0 = \bar{x} = \frac{1}{2} (r_1 + r_2)$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{v^2}{gR_0} \quad (2-2)$$

式中： v ——断面平均流速。

对公式 (2-1) 积分，得断面水位超高方程

$$z = 2.3 \frac{v^2}{g} \lg \frac{x}{r_1} = z(x) \quad (2-3)$$

对于凸岸， $x=r_1$ ， $z=0$ ；对于凹岸， $x=r_2$ ，断面水位最大超高值可按下式计算：

$$z_0 = 2.3 \frac{v^2}{g} \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (2-4)$$

如图 2-2b) 所示，水文学也常用下式计算弯段河道的横比降：

$$\left. \begin{aligned} I_f &= \frac{F}{G} = \frac{v^2}{R_0 g} \\ z_0 &= B I_f \end{aligned} \right\}$$

式中： B ——水面宽度；

R_0 ——平均曲率半径。

凹岸水深大，水质好，是取水口的最佳位置。

②流速分布不均匀影响——如图 2-3a) 所示为直段河道中的螺旋流动现象。其原因是横向与垂线流速分布不均匀。如图 2-3b) 所示，退水时，河中水位下降较快，两岸退水稍慢，

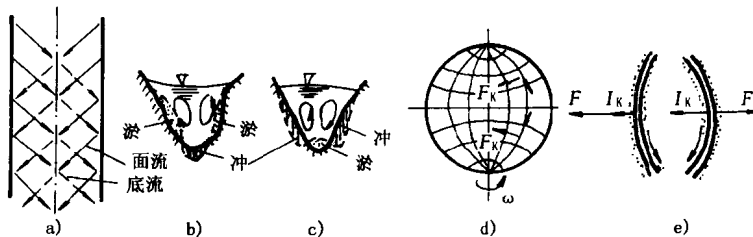


图 2-3 直段横比降及水内环流现象

水流一方面向下游流动，一方面向河中集中，并呈两螺旋流动，在横面上则形成凹形水面，并有两个相反方向的环流图像；如图 2-3c) 所示，涨水时，河中央上涨较快，断面上呈中高岸低的“水拱”水面，并具有两个相反方向的环流。由于环流的作用，涨水时，水流冲刷两岸，故常出现崩岸，泥沙向河中搬运；退水时则河中受冲刷，泥沙向两岸搬运而淤积。

③地球自转偏力的作用一如图 2-3d) 所示，地球由西向东自转，其自转偏力将造成自北向南流动的河流右岸受冲刷；自南向北流动的河流则为左岸受冲刷，自转偏力所产生的加速度有

$$a_K = 0.000\ 145\ 8 v \sin \varphi$$

自转偏力产生的水面比降，有

$$I_K = \frac{a_K}{g} = 0.000\ 145\ 8 \frac{v}{g} \sin \varphi \quad (2-5)$$

式中： φ ——地球纬度；

v ——断面平均流速。

由公式 (2-4)，(2-5)，弯段河道的横比降 I_0 可用下式计算：

$$I_0 = I_f \pm I_K \quad (2-6)$$

如图 2-3e) 所示，当离心力与地球自转偏力惯性力的方向一致时， I_K 取“+”；当离心力的方向与地球自转偏力惯性力方向相反时， I_K 取“-”号。因离心力较大，常取：

$$I_0 = I_f = \frac{v^2}{Rg} \quad (2-7)$$

河道中的水流，其总趋势是在河道的约束下向下游运动，这种依总趋势流动的水流，称为主流，而其中的螺旋流动或其他形式的旋转流动则从属于主流而存在，又称为副流。按其旋转轴线情况，还可有立轴副流，平轴副流与顺轴副流。桥、坝等下游产生的平面回流，称为立轴副流；水跃的表面旋滚或挑坎下游的旋转水流，称为平轴副流；弯段和直段河道中的螺旋流动，称为顺轴副。副流是河床冲淤的主要原因。在河道中设置人工构筑物，如桥梁、涵洞、水泵房、取水设施以及码头等，都有可能造成各种副流而破坏河流的自然平衡。

4) 河流的纵断面及纵比降

(1) 河流的纵断面

沿河流中泓线的剖面，称为河流的纵断面，又称纵剖面。常用纵断面图表示，它包括水面线与河底线。

(2) 河流的纵比降

河流的纵比降包括水面比降与河底比降两部分，又称水面坡度与河底坡度。它是河流纵断面图的特征参数，也是河流水力特性的特征参数之一。比降大的河流，流速大，冲刷力强；比降小的河流，流速小，常生淤积。

设河段长为 l ，高差为 Δz ，按比降定义，有：

$$I = \frac{\Delta z}{l} \quad (2-8)$$

如图 2-4 所示，一条河流，其沿程比降

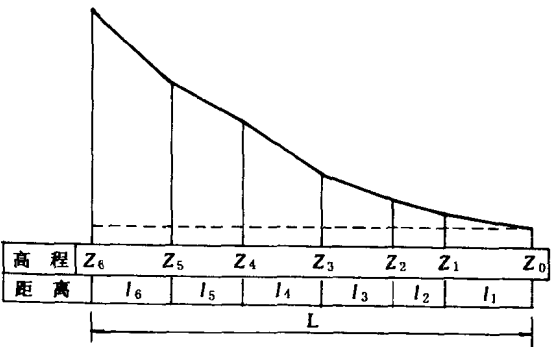


图 2-4 河流纵断面及纵比降

各段不同，常取其各河段比降的加权平均值，按下式计算：

$$I = \frac{(z_0 + z_1) l_1 + (z_1 + z_2) l_2 + (z_2 + z_3) l_3 + \cdots + (z_{n-1} + z_n) l_n - 2z_0 L}{L^2} \quad (2-9)$$

$$L = \sum l_i$$

河流比降一般都比较小，常用千分率“‰”表示。例如，湖南省的湘江，其河长为 856km，平均比降 $I=0.134‰$ ；沅江，长 1 033km， $I=0.594‰$ 。

4. 平原河流的平面形态特征

1) 基本特征

如图 2-5a) 所示，平原河流的基本形态特征有

(1) 河床冲积层厚，平面形态蜿蜒曲折；

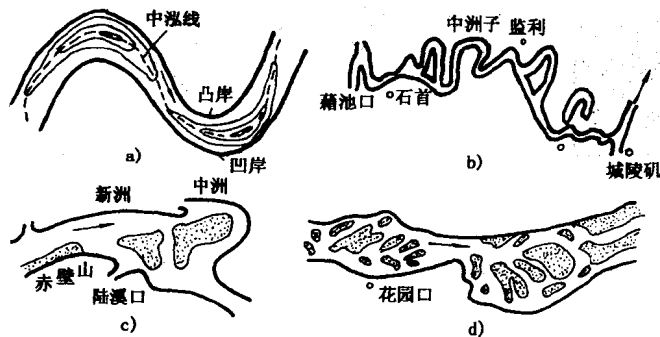


图 2-5 平原河流的平面形态特征

a) 平面形态；b) 长江荆江段；c) 长江陆溪口段；d) 黄河花园口游荡性河段

(2) 沿程河槽深浅相间且交替出现，河湾深、直段浅；

(3) 中泓线与河道中线一般不重合。

2) 平原河道平面形态类型

平原河道的平面形态与河流地质、地貌、流速、流量、水内含沙条件等因素有关，可有下类型：

(1) 弯曲型河段，如图 2-5a)、b) 所示；

(2) 分汊型河段，如图 2-5c) 所示；

(3) 游荡型河段，如图 2-5d) 所示。这类河段的岸线历年变化无常，主流游荡不定，沙洲、沙滩推移快，冲积变化强烈，床面淤高快，河床易于改道，对于取水工程及桥梁工程极为不利。

5. 山区河流的平面形态特征

山区河流一般地质条件良好，多岩石河床，平面形态无上述变化规律，其特征是：

1) 岸线稳定，河床稳固，河岸曲折不齐；

2) 深浅变化急剧，河床纵坡大；

3) 多急弯卡口；

4) 河床窄深，多峡谷。

二、河流的流域

1. 流域定义