

高等学校教学系列配套用书

TUMU GONGCHENG SHUIWENXUE YUANLI JI XITI JIEFA ZHINAN

叶镇国 编著

土木工程水文学

原理及习题解法指南

● 人民交通出版社

高等学校教学系列配套用书

土木工程水文学原理及习题解法指南

Tumu Gongcheng Shuiwenxue Yuanli Ji Xiti Jiefazhinan

叶镇国 编著

人民交通出版社

内 容 简 介

本书总结了编著者 40 余年教材编写与教学实践经验,取材内容经历了近 20 届学生的应用实践。全书内容突出了工程实用性、专业针对性及教学启发性。引用了最新规范、专用图表及有关水文特征值的全国等值线图,编入了 20 世纪得到世界各国推广应用的_水文计算新成果,填补了国内水文学习题环节的空白。列举了大量算例,对每一习题作了引而不发的解法指南,可为学生减负增效、弄通更多的水文计算原理与方法。

全书内容共六章。包括:河川径流、泥沙运动、河床演变、水文资料的收集与整理方法、水文统计的原理与方法、设计年径流、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、可能最大降水与可能最大洪水推算方法等。

本书为全国高校试用教材《土木工程水文学》(叶镇国编著,2000.1)的配套用书,也可作有关本科、成教、高职、自考生、研究生及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程水文学原理及习题解法指南 / 叶镇国编著.
北京:人民交通出版社, 2001. 11
ISBN 7-114-04132-2

I.土... II.叶... III.土木工程—工程水文学—高等学校—教学参考资料 IV.TU18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 084506 号

高等学校教学系列配套用书

土木工程水文学原理及习题解法指南

叶镇国 编著

正文设计:彭小秋 责任校对:宿秀英 责任印制:张 凯

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

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 18.25 字数: 448 千

2002 年 3 月 第 1 版

2002 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册 定价: 33.00 元

ISBN 7-114-04132-2
U · 03021

前 言

土木工程水文学素有“工程耳目”之称,其计算结果关系到工程的安全、经济、实用、工程方案的合理选择以及城市发展规模大计,是水利工程、给水排水工程及桥涵工程等专业人员的必备知识。

土木工程水文学并不追求其原理方法的较深奥理论,但侧重于计算方法,强调解法程序,依靠实测资料,计算工作量较大。50年代初,按前苏联经验,习题环节有习题课及水文作业保证。随着我国教学改革的深入发展,对课程门数、教学时数都作了较大的调整。非水利类专业的水文学习题课、水文作业及水文测验等内容60年代初已作了精简。50~70年代的全国通用水文学教材只有算例,没有习题内容;80年代后的新编教材每章末也只附加了《复习与思考题》,对指导学生的学习虽然有一定作用,但全都是问答题,难以取代习题的作用。由此可见,水文学课程的习题环节长期处于相当薄弱情况,很值得研究与开发。

习题是巩固所学理论,培养学生独立思考与分析能力,拓宽学生应用思路、完成必要演练等方面的重要教学环节。习题不但应有概念性问答题,而且应有数值演练等内容。为此,著者于80年代末,曾编写了《水文学习题集》,化问题为计算题,对于一些计算量较大的水文计算问题,采用了“化整为零”的办法分割成许多小题,取得了良好的“积零为整”的教学效果。这本《水文学习题集》几经修改,校内使用13届,并得到一些兄弟院校使用,其中大部分习题后又编入了著者合编的全国教材《水文学》(1989),首次为水文学教材增加了习题内容。但是,由于学生学习负担较重,能完成的习题量远远不足。无视学生这一实际情况,片面强调水文学的习题量自然并非良策,听任现状,让学生得不到全面的演练也不可取。为学生的减负增效,著者总结了40余年来《水力学》、《水文学》教材编写探索与教学实践经验,特出版奉献此书。本书在国内目前尚属首例,希望能对开发习题环节的教学效果研究与提高水文学课程教学质量方面能有抛砖引玉作用。

本书的编著有所革新。内容突出了“方法”应用,引用了最新规范、专用图表与等值线图。作为教学系列配套用书选用了《土木工程水文学》全书习题及《水力学与桥涵水文》(叶镇国编著,1998)全国教材的大部分习题,选入了有关河床演变,泥沙运动的计算题;编入了20世纪各国广为应用的水文计算新成果;可能最大降水与可能最大洪水推算方法、算例及习题,填补了多年来水文学教材内容的空缺,充实和完整了由降水资料推算设计洪水的传统方法。全书内容取材考虑了工程实用性、专业针对性、水文学科最新发展及水文计算面临的新问题。对于每道习题的解答方式亦考虑了一定的教学法探索。题解由三大部分组成,有提示,解法指南与答案等。大部分习题不作全解答,或只提供解答思路,或只提供算式,或指出参阅课文部分,或只提供答案。学生必须通过亲自动手才能获得具体解答,才能弄通更多原理与方法。习题解法引而不发,寓启发式于习题演练之中,引导学生亲尝梨子的味道,激发学生的学习积极性。热切希望有利于教和学,有利于广大读者。

限于水平和经验,敬希读者指正。

编 著 者

2001年10月23日于长沙

目 录

第一章 河川径流	1
§ 1-1 水文现象的特性与研究方法	1
§ 1-2 河流及流域特征值计算	5
§ 1-3 河川径流及其计量方法	12
§ 1-4 固体径流及其特征值计算	18
§ 1-5 感潮河段的水文情势	25
§ 1-6 河床演变	28
§ 1-7 习题解法指南	32
第二章 水文资料的收集与整理方法	38
§ 2-1 水位、流速与流量测算	38
§ 2-2 河流泥沙测验	48
§ 2-3 降水观测及资料整理方法	50
§ 2-4 习题解法指南	54
第三章 水文统计的原理与方法	61
§ 3-1 水文统计基本知识	61
§ 3-2 机率与频率	63
§ 3-3 随机变量的机率分布	68
§ 3-4 经验累积频率曲线	70
§ 3-5 理论累积频率曲线	73
§ 3-6 抽样误差	79
§ 3-7 现行频率分析方法	81
§ 3-8 相关分析	84
§ 3-9 算例	92
§ 3-10 习题解法指南	99
第四章 设计年径流量	108
§ 4-1 年正常径流量计算	108
§ 4-2 设计年径流量推算	109
§ 4-3 设计年径流量的年内分配	110
§ 4-4 设计枯水径流量计算	114
§ 4-5 洪、枯水调查	116

§ 4-6 算例	119
§ 4-7 习题解法指南	124
第五章 按流量资料推算设计洪峰流量	128
§ 5-1 有连续实测流量资料设计洪峰流量的推算	128
§ 5-2 含特大值的不连续流量系列设计洪峰流量推算	130
§ 5-3 按洪水调查资料推算设计洪峰流量	133
§ 5-4 潮汐河口的设计潮水位计算	135
§ 5-5 径流调节原理	136
§ 5-6 算例	141
§ 5-7 习题解法指南	146
第六章 按降水资料推算设计洪峰流量与可能最大洪水	158
§ 6-1 小流域面积暴雨洪峰流量的结构式	158
§ 6-2 设计暴雨强度公式	159
§ 6-3 小流域面积设计暴雨洪峰流量推理公式	170
§ 6-4 推理公式参数计算	174
§ 6-5 可能最大降水与可能最大洪水推算	185
§ 6-6 算例	196
§ 6-7 习题解法指南	206
附录	221
附录 1 沉降粒径 ~ 沉降速度关系曲线图	223
附录 2 爱因斯坦推移质输沙率公式 Ψ - Φ 曲线图	224
附录 3 海森机率格纸的横坐标分格表	225
附录 4-1 取水工程建筑物设计频率标准	226
附录 4-2 设计降水的重现期	226
附录 4-3 现行城市的等级和防洪标准(GB 50201—94)	226
附录 4-4 工矿企业的等级和防洪标准(GB 50201—94)	226
附录 4-5 汽车专用公路各类建筑、构筑物的等级和防洪标准(GB 50201—94)	227
附录 4-6 一般公路防洪标准(GB 50201—94)	227
附录 4-7 国家标准轨距铁路防洪标准(GB 50201—94)	227
附录 4-8 乡村防护区防洪标准(GB 50201—94)	227
附录 4-9 潮汐河口挡潮枢纽工程主要建筑物的防洪标准(GB 50201—94)	227
附录 4-10 水库工程建筑物的防洪标准(GB 50201—94)	228
附录 5 $\Gamma(n)$ 值表	229
附录 6 P-III 型曲线 Φ_p 值表	232
附录 7 P-III 型曲线 K_p 值表 ($C_s = C_v$)	236
附录 8 克里茨基与闵凯里曲线 K_p 值表	248
附录 9 P-III 型曲线三点法 S 与 C_s 关系表	255

附录 10	全国年降水量分布图	260
附录 11	全国年最大 24h 点雨量均值 H_{24} 等值线图	261
附录 12	全国暴雨衰减指数 n_1 等值线图 ($t < 1h$)	262
附录 13	全国暴雨衰减指数 n_2 等值线图 ($1h < t < 24h$)	263
附录 14	全国年最大 24h 点雨量离差系数 C_{v24} 等值线图	264
附录 15	湖南省年最大 24h 点雨量均值 $\bar{H}_{24}$ 等值线图	265
附录 16	湖南省年最大 24h 点雨量离差系数 C_{v24} 等值线图	266
附录 17	天然河道糙率表	267
附录 18	公式(6-32)参数 $K_1, K_2, \beta_1, \beta_2, \lambda$ 值表	269
附录 19	汇流时间分区及公式(6-32)参数 $K_3, K_4, \alpha_1, \alpha_2, \beta_3$ 值表	271
附录 20	φ, τ 的综合图解方法	272
附录 21	1000mb 地面到指定压力(mb)间饱和假绝热大气中的可降水量(mm)与 1000mb 露点关系表	273
附录 22	1000mb 地面到指定高度(高出地面米数)间饱和假绝热大气中的可降水量 (mm)与 1000mb 露点关系表	277
主要参考文献		280

第一章 河川径流

§ 1-1 水文现象的特性与研究方法

一、水文现象的特性

江、河、湖、海中水位、流量变化,源于天空降水。降水沿地表流动的水流,称为径流。它在重力作用下进入土壤或岩层的过程,称为入渗;沿土壤或岩石裂缝流动的水流,称为地下径流,又称为基流,它是长久无雨期河水的补给源。地表水因太阳热力作用成为汽态升入天空的现象,称为蒸发。蒸发升入空中的汽态水又可因冷凝而成液态或固态,并以雨、雪、雹、霰的形式降于大陆或海洋,这些统称为降水。降水、径流、蒸发、入渗、河川流量、水位及泥沙搬运等,统称为水文现象。降水、径流、蒸发如上所述有着周而复始的过程,称为自然界的水分循环现象,如图 1-1 所示。发生在海洋上或大陆上的水分循环,称为小循环;发生在海洋与大陆间的水分循环,称为大循环。降水与径流、蒸发间的等量关系,称为水量平衡。由此有:

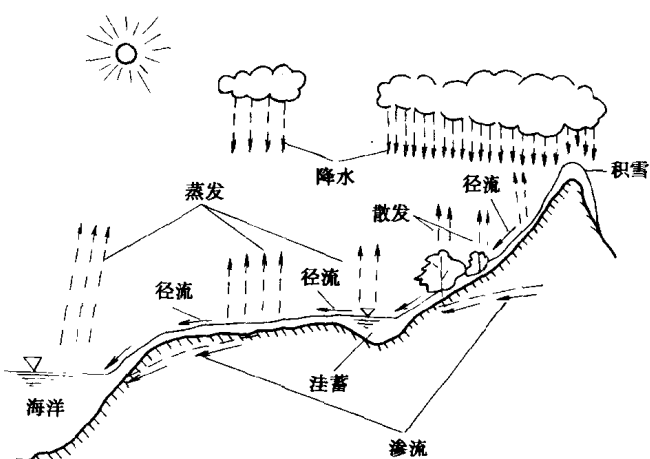


图 1-1 自然界的水分循环

$$X = Y + Z \pm \Delta W \pm \Delta q \quad (1-1)$$

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 ——区域蓄水量;

Δq ——区域经地下或地表流失或获得的径流增量。当 $\Delta q = 0$ 时,称为封闭域。

对于封闭区域,水量平衡关系可表达为:

$$X = Y + Z \pm \Delta W \quad (1-2)$$

公式(1-1)、(1-2)称为水量平衡方程。若计算时段为一年,则称为年水量平衡方程。对于多年平衡情况,有:

$$X_0 = \frac{1}{n} \sum X_i$$

$$Y_0 = \frac{1}{n} \sum Y_i$$

$$Z_0 = \frac{1}{n} \sum Z_i$$

$$\overline{\Delta W} = \frac{1}{n} \sum \Delta W_i$$

为书写简化,水文学中对和的算式常略去其上、下限的表示符号,即

$$\sum X_i = \sum_1^n X_i$$

实践证明:对于多年平均值,有:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta W} &= \frac{1}{n} \sum \Delta W_i = 0 \\ \left. \begin{aligned} X_0 &= Y_0 + Z_0 \\ \alpha_0 + \beta_0 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1-3) \end{aligned}$$

式中: α_0 ——多年平均径流系数, $\alpha_0 = \frac{Y_0}{X_0} < 1$;

β_0 ——多年平均蒸发系数, $\beta_0 = \frac{Z_0}{X_0} < 1$ 。

径流系数及蒸发系数都是估算降水损失的折减系数。它表明,地表径流量及蒸发量都源于降水,但小于降水量。全球及我国主要河流的水量平衡情况见表 1-1、见表 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	1016	0.53

水量平衡原理是水文现象运行变化的基本规律,其影响因素可有多种,主要有:

1. 气候因素

气压、气温、湿度、风力、风向、降水等统称气候因素。它受大气环流及气团等大气运动影响和支配。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。其中还可有冷、热气团之分。物理性质不同两气团间的过渡区,称为“锋”。锋面处的急流

及波动可造成大范围的空气旋涡,称为气旋,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、水汽运动及变化主要取决于太平洋暖湿气团进退早晚、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。因此东南沿海地区降水多,向北递减。南方水汽输入主要来自印度洋,亦造成降水,但因受重重山岭阻隔,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;北冰洋的水汽借强劲的北风经西伯利亚、蒙古进入我国西北,有时甚至可经两湖盆地直达珠江三角洲,但水汽少,降水量不大;北方鄂霍次克海的水汽随东北风进入东北地区,对该地区的降水起了很大作用。但是,进入我国上空的水汽,大部分不参加水分循环,据 1977 年资料,只有 12% 的水汽形成了径流,其余均经我国上空逸出。水汽的输出口主要是东部上空和沿海诸河,所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. 下垫面因素

水分循环所处的自然地理条件,如地形、土壤、地质构造及地貌、植被情况、河系组成及湖泊沼泽等,统称为下垫面因素。它对于蒸发、下渗及径流都有不可忽视的影响。汽流经起伏较大的山区被迫上升放热,因而在来流方向的山前常产生地形雨,山后汽团受重力作用下降,放热过程终止,降水量明显减小;地表植被良好地区可减小蒸发,增加入渗,延滞地面径流的汇集速度;湖泊沼泽面积大,水面蒸发大,水分小循环快,对于小区气候可有良好的作用。

3. 人类活动

兴修水利、封山育林、退田还湖、现代化城市的新兴与发展、我国即将实施的南水北调工程等都可直接影响区域内的水分循环。

综上所述,水文现象有着如下特性:

1. 随机性与重现性

水文现象由于影响因素极其众多而复杂,同一断面处的实测河川径流量及区域中的降水量和蒸发量,每年都可有不同结果;每年同一日期的流量也可有不同。在同一观测条件下,同一现象结果的不定特性,称为此现象的随机性。俗话说:“天有不测风云,人有旦夕祸福”,这是对事物随机性的一种经验之谈与形象写照。水文现象的随机性集中反映在出现的时间与数值大小或过程方面。水文现象的过程,常用过程线表示,即逐时出现的数值。例如年内流量过程线、水位过程线等。

根据多年观测发现,水文现象的数值大小也有一定的重现性,即再发生的可能性。数值越大或越小的水文值,其重现的年距越长。水文统计法中常用“重现期”、“发生频率”等名词表示水文现象可能性大小。水文现象的重现性通常是出现可能性(发生频率)的一种通俗表述,在长时段内也是水文现象的基本规律性。重现性用“千年一遇”、“百年一遇”等称谓。显然,千年一遇的流量比百年一遇的流量稀遇,即千年一遇的流量大于(或小于)百年一遇的流量。因此水文计算中常用重现期作设计标准(详见第三章)。

水文现象的随机性出于影响其数值变化的因素不在自身而在众多复杂的他因;其重现性则是地球自转、公转及其他天体运行对气候因素制约的结果。例如,水文特征值都有季、年或多年的重现性。

2. 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,其水文现象的特性相似。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;相对变化幅度也不

例外,同一地区的河流,其汛期与枯水期都十分相近,径流变化过程也十分相似。因此,水文计算中常以此作为缺乏实测资料地区移用资料的分析依据,并称之为相似比照法或水文比拟法。此外,还可建立各类经验公式或专用计算图表供相似流域移用。

所谓特殊性,即局限性。凡地理位置不同或气候与地理条件有明显差异的地区,其水文现象变化规律不同。一些经验公式或专用图表要注意其区域性应用限制。

二、水文现象的研究方法

土木工程水文计算所考虑的问题在于水文特征值的量值,并不涉及其物理过程。因为只要河中水位超过设计洪水位时,沿河堤防工程将无法抗御洪水灾害,河水将漫溢而成洪灾。

确定水文设计值的研究方法有三类:

1. 数理统计法

研究随机事件发生规律性的数学方法,称为数理统计法。它在水文计算中的应用,称为水文统计法。所谓随机事件,即在一定条件下,出现结果不定的事情。水文计算中常遇的水位、流量、降水量等水文现象,它的发生也具有随机性。水文统计法以《概率论》为理论依据,立足于水文现象的实际发生记录资料,运用数理统计方法,从大量发生的现象中寻找其再现规律性,为工程设计提供依据,预估未来的水文情势。因此,它是目前水文计算的主要手段(详见第三章)。

2. 地理综合法

此法按照水文现象的地区特性,利用大量实测资料制订了一些经验公式及水文参数专用图表(如各类等值线图)等可供工程设计选用。详见第四、五、六章的水文计算。

3. 成因分析法

此法按照水文现象的物理成因建立水文现象特征值的数学模型及求解问题的计算方法。但是,由于水文现象的影响因素极其复杂,有关形成的机理难以完全掌握,定量计算还有难度。因此,有关计算参数还需要与数理统计法相结合。例如,计算设计流量,可以利用多年实测流量资料按数理统计法推算或按经验公式推算,也可以按成因法建立降水径流关系式推算。设河流某断面以上的雨水汇集区的面积为 $F(\text{km}^2)$,称为流域面积;集水面积内单位时间的降水量为 $i(\text{mm/h})$,称为降水强度。二者均由实测确定(关于 F, i 的确定方法待后详述)。令

$$Q = f(i, F)$$

按量纲齐次性原理,上式可写成:

有

$$Q = ki^a F^b$$
$$[Q] = [i]^a [F]^b$$
$$L^3 T^{-1} = [LT^{-1}]^a [L^2]^b$$
$$L: \quad 3 = a + 2b$$
$$T: \quad -1 = -a$$
$$\therefore \quad a = 1, b = 1$$
$$Q = KiF$$

水文计算的惯用单位为 $[Q]$ —— m^3/s , $[F]$ —— km^2 , $[i]$ —— mm/h ,则单位换算系数 $K = 0.278$ 。因实测 i 为毛雨量(未计降水损失的雨量),由此,上式可写成:

$$Q = 0.278 \Psi i F \tag{1-4}$$

式中: Ψ ——降水损失系数,又称洪峰径流系数。

上式即按成因法建立的流量计算公式,又名推理公式。关于 Ψ 、 i 的确定详见第六章, F 见本章 § 1-2。

§ 1-2 河流及流域特征值计算

河川径流是《土木工程水文学》的主要研究对象。其内容包括水位、流量、泥沙(即固体径流)及影响河川径流的地理因素等。河流及流域特征值是水文学的基本知识及水文计算中的基本要素,也是编制设计说明书时常需涉及的内容。

一、河 流

汇集地面径流及地下径流的水道,称为河道,它和其中的径流,合称为河流。

1. 河流分段

一条发育完整的河流,按其形态及水力特征,可分为五种河段。

1) 河源——河流的水源地。溪涧、泉水、冰川和沼泽等往往都是河流的源头。

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 1-2a)所示,又称山区河段。

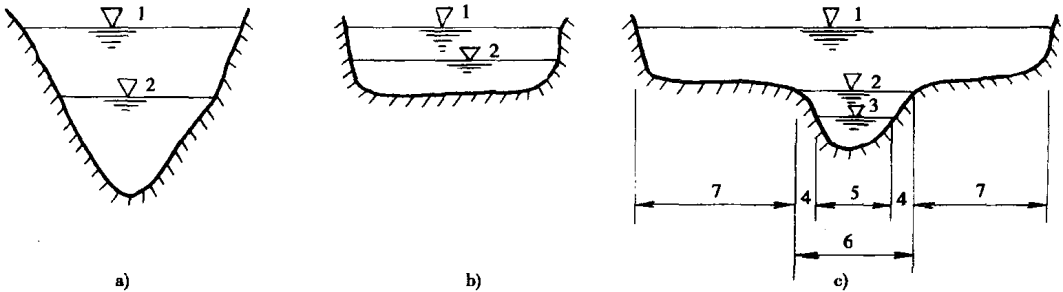


图 1-2 各类河段断面特征

a)上游河段;b)中游河段;c)下游河段

1-洪水位;2-中水位;3-低水位;4-边滩;5-主槽;6-河槽;7-河滩

3) 中游——上游以下的河流中段。基本特征是河流纵比降较平缓、河床冲淤接近平衡,两岸较开阔、河床稳定、水量较大,河谷断面多呈“U”字形,如图 1-2b)所示。又称山前区或半山区河段。

4) 下游——中游以下,河口以上的河段。其特征是纵坡平缓、流速小、泥沙淤积、沙洲众多、河弯连绵、断面多呈“复式断面”形状,河滩宽阔,如图 1-2c)所示。又称平原区河段。

5) 河口——河流注入湖、海或其他河流的地方,它是河流的终点。其特征是断面开阔、流速骤减、泥沙大量沉积而成平面上呈扇形的沙洲,常称为河口三角洲。

有的河流,由于沿途渗漏蒸发损失,常在与其它河流汇合前枯竭而没有河口,称为“瞎尾”河,其末端称为“瞎尾”。这类河流常见于沙漠地带。我国新疆地区一些河流属此类。

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. 水系

由干流、支流及湖泊组成的河流系统,称为水系,又称为河系或河网。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。也有以地理区域或同一地理区域内性格相近几条河流作为综合命名。如湖南省的湘、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,但位于同一地理区域,取名为华北平原水系。

二、河流的基本特征值

河流的基本特征值是河流特性的数值指标。工程应用及水文计算中常用的有:

1. 河长

河源至河口的河流溪线长度,称为河长,常以 L 表示。河流溪线又称为中泓线,即河流沿程的深水线。通常利用 1:50000 ~ 1:100000 地形图量取。

2. 河流的弯曲系数

河源至河口的河长或河段长度与其间直线长度比值,称为河流的弯曲系数。常用 φ 表示。

$$\varphi = \frac{L}{l} \quad (1-5)$$

式中: l ——直线长度。

显然, $\varphi > 1$, φ 愈大,河流愈弯曲。 $\varphi = 1$, 河道顺直。 φ 可表示河段的弯曲程度。

3. 河流的横断面与横比降

河中水流的过水断面,称为河流的横断面。它垂直于水流的流向,如图 1-3 所示。记住其中有关主槽、边滩的习惯定义,在水文计算中将会有较大的方便。下游河槽多呈复式断面,中水位的河槽,通常称为河槽,如图 1-2c)-6 所示;低水位的河槽称为主槽,是常年流水的地方,如图 1-2c)-5 所示;其中河滩分为两种,即边滩与河滩,如图 1-2c)-4,7 所示,4 称为边滩,7 称为河滩,是通行洪水的河槽部分。河槽常年流水、糙率较小,河滩平时杂草丛生,糙率较大。

河槽水流在弯道处因受离心惯性力及断面流速分布不均匀影响,面流流向凹岸,底流流向凸岸,纵向水流呈螺旋式运动,并在断面上呈单环图象,此称为水内环流现象,如图 1-3a)、b) 所示。弯道水流这一特性,造成了弯段河流断面凹岸受冲刷,凸岸受淤积,凹岸水面高,凸岸水面低。其水面线沿宽度变化具有对数型曲线形状。

河流沿横断面方向的水面坡度,称为横比降。按水力学原理,横比降可用下式计算

$$I_x = \frac{dz}{dx} = \frac{v^2}{gx} \quad (1-6)$$

$$\left. \begin{aligned} I_f &= \frac{F}{G} = \frac{v^2}{R_0 g} \\ R_0 &= \frac{1}{2}(r_1 + r_2) \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

或

令 $\bar{x} = R_0$, 则公式(1-6)可写成:

$$I_x = \frac{v^2}{gR_0}$$

由此可得弯段水流凹、凸两岸的水面超高 z_0 , 如图 1-3b) 所示, 有:

$$z_0 = 2.3 \frac{v^2}{g} \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (1-8)$$

$$\text{或} \quad z_0 = BI_f \quad (1-9)$$

式中： x, z ——坐标值，如图 1-3b) 所示；

v ——断面平均流速；

r_1 ——凸岸曲率半径；

r_2 ——凹岸曲率半径；

R_0 ——横断面两岸平均曲率半径；

B ——水面宽度。

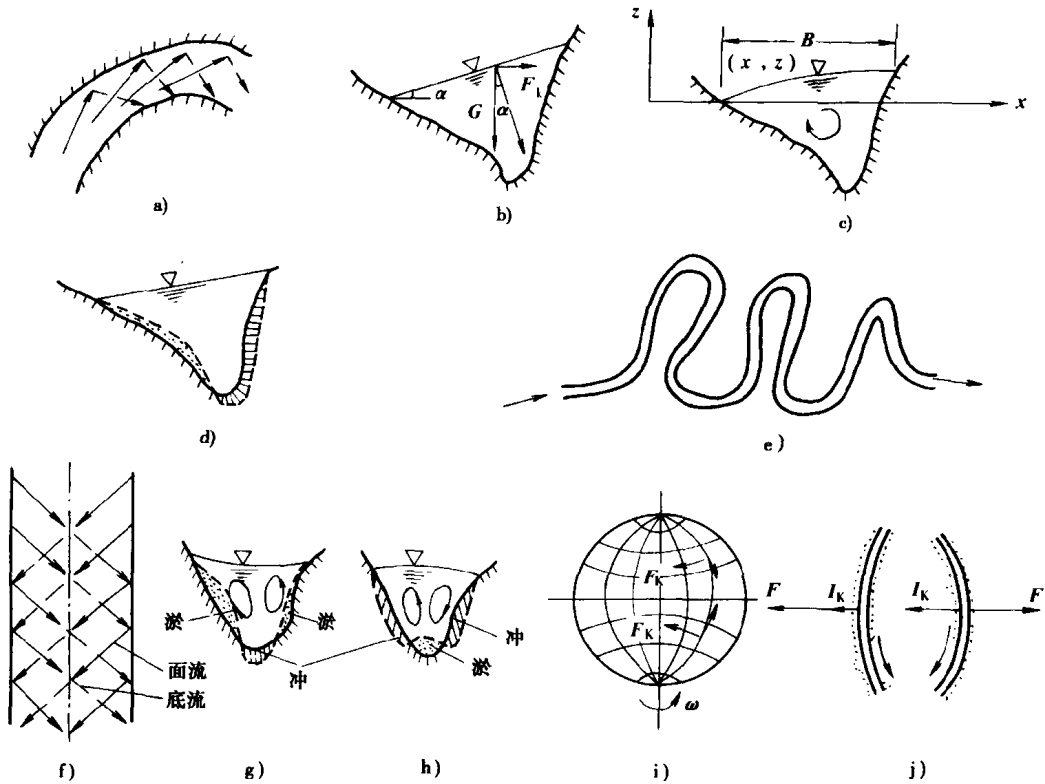


图 1-3 断面横比降及水内环流现象

a) 弯段河道螺旋流；b) 弯段断面水流所受的重力与离心力；c) 弯段断面水内单环流现象；d) 弯段断面的冲淤现象；e) 平原河流的平面形态；f) 直段河道中的螺旋流；g) 退水时直段断面中的双环流现象；h) 涨水时直段断面中的“水拱”及双环流现象；i) 地球自转偏力作用；j) 弯道水流所受惯性力与地球自转偏力的叠加横比降

如图 1-3g)、h) 所示，地球自西向东自转，对于地表流动的水流将产生自转偏力作用，以 F_k 表示，有

$$\left. \begin{aligned} F_k &= Ma_k = 0.0001458 Mv \sin \varphi \\ I_k &= \frac{a_k}{g} = 0.0001458 \frac{v}{g} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

式中： I_k ——地球自转偏力引起的断面横比降；

a_k ——地球自转偏力产生的加速度；

v ——断面平均流速；

φ ——地球纬度。

如图 1-3h) 所示，设惯性力合力为 F_0 ，水面横比降为 I_0 ，有：

$$\left. \begin{aligned} F_0 = F + F_k \text{ 时, } I_0 = I_f + I_k \\ F_0 = F - F_k \text{ 时, } I_0 = I_f - I_k \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

因离心惯性力较大,通常忽略地球偏力的影响,取:

$$I_0 = I_f = \frac{v^2}{R_0 g} \quad (1-12)$$

4. 河流的纵剖面与纵比降

沿河流中泓线的剖面,称为河流的纵剖面,又称为纵断面。常用纵剖面图表示,如图 1-4 所示。它包括河流的水面线与河底线。纵比降则为其数值特征,它包括水面比降与河底比降。

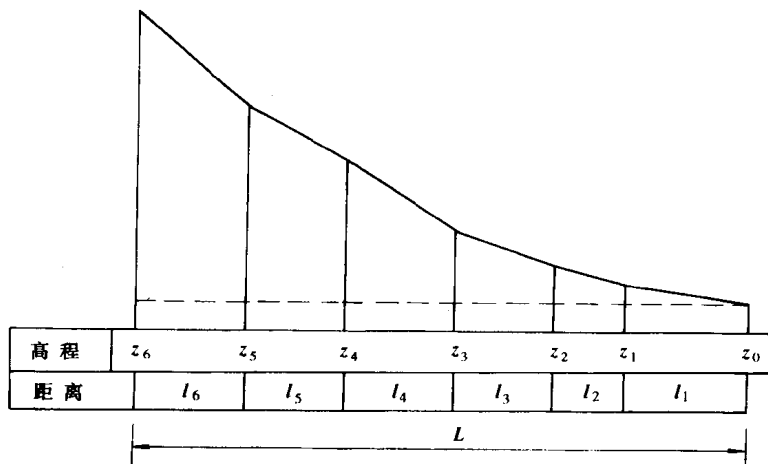


图 1-4 河流纵剖面及纵比降

纵比降也是河流水力特性参数之一,常用 I 表示。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。在水力学中,称为“坡度”,有:

$$\left. \begin{aligned} \text{河段比降: } I &= \frac{\Delta z}{l} \\ \text{全河: } I_c &= \frac{(z_0 + z_1)l_1 + (z_1 + z_2)l_2 + \cdots + (z_{n-1} + z_n)l_n - 2z_0L}{L^2} \\ L &= \sum l_i \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

式中: l, l_i ——河段长度;

Δz —— $z_2 - z_1$, 河段前后断面的水位差;

L ——河长;

z_0 ——河口处最低高程。

公式(1-13)即河流各段比降的加权平均值,河流比降一般都非常小,常用千分率“‰”表示。如湖南的湘江 $I_c = 0.134‰$ 沅江, $I_c = 0.594‰$ 。

5. 河流的流域

河口断面以上河流的集水范围,称为该河流的流域。如长江在吴淞口以上的集水范围,称为长江流域,黄河河口以上的汇水区域,称为黄河流域。流域的特征、可分为几何特征和自然地理特征两类。

1) 流域的几何特征——流域的几何特征包括流域面积、流域长度、流域平均宽度,流域的形状系数等。

(1) 流域面积 F ——如图 1-5 所示,地面上的山脊线或地面分水线两侧是不同的雨水汇水区。由此可知,一条河流河口以上分水线所围成的汇流区面积,称为流域面积,常用符号 F 表示,其单位为 km^2 。由公式(1-4)可知, F 也是计算洪峰流量的水文要素。

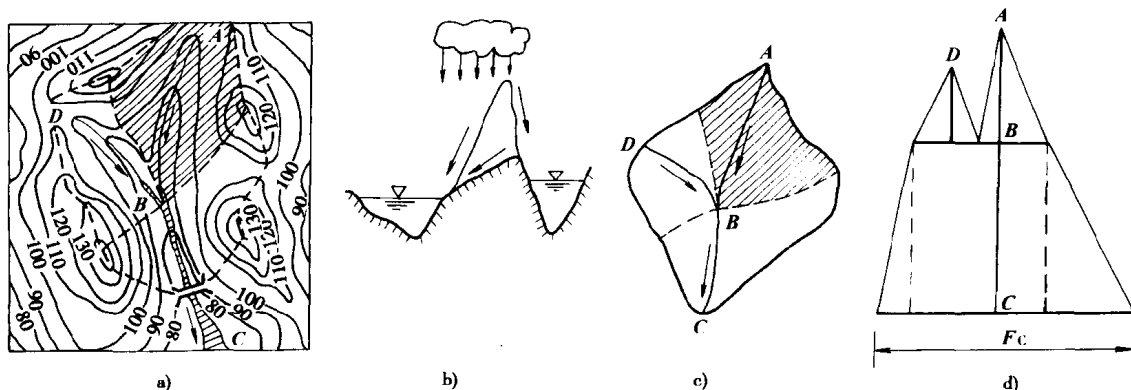


图 1-5 河流的流域图示

a)地面分水线;b)地面与地下分水线;c)流域形状;d)流域面积增长图

流域的边界通常利用 1:50000 ~ 1:100000 地形图勾绘。流域面积可用求积仪法或数方格法计算。数方格法即在流域平面图中绘制方格,确定方格的单元面积,然后按所得方格数计算流域面积。由此所得流域面积沿河长的增长情况,可用流域面积增长长度图表示,如图 1-5d)所示,其中纵向线段长度表示河长,横向线段长度表示流域面积,两侧斜线构成的三角形外轮廓表示流域面积沿河长增长情况。流域面积愈大,河川径流量愈大,但降水分布愈不均匀。例如:长江流域面积 $F_1 = 1\,807\,199\text{km}^2$,年径流总量 $W_1 = 9\,793.53 \times 10^8\text{m}^3$,黄河 $F_2 = 752\,443\text{km}^2$,年径流总量 $W_2 = 574.46 \times 10^8\text{m}^3$;湖南省的湘水流域面积 $F_a = 94\,660\text{km}^2$,多年平均流量 $Q_a = 2\,410\text{m}^3/\text{s}$,资水 $F_b = 28\,142\text{km}^2$,多年平均流量 $Q_b = 758\text{m}^3/\text{s}$,沅水 $F_c = 89\,163\text{km}^2$, $Q_c = 2\,120\text{m}^3/\text{s}$,澧水 $F_d = 18.496\text{km}^2$, $Q_d = 523\text{m}^3/\text{s}$,其中湘水流域面积最大,澧水流域面积最小,多年平均流量在四条河流中,湘水流量最大,澧水最小。

如图 1-5c)所示,河流断面 C 以上河段汇水范围的面积,称为 C 断面以上的汇水面积,亦称为 C 断面的流域面积,用符号 F_c 表示。如图中的阴影线范围所示为 AB 河段 B 断面的汇水面积。工程设计所涉及的流域面积,多属汇水面积。读者应熟悉地形图的测绘才能较准确地勾绘出汇水区的范围。

(2) 流域长度 L_0 ——从河源到河口或汇水区出口的流域中线长度 L_0 ,称为流域长度。通常用河流的干流长度代替,即取 $L_0 = L$ 。

(3) 流域的平均宽度 B ——流域面积与流域长度之比,称为流域平均宽度。有:

$$B = \frac{F}{L} \quad (1-14)$$

(4) 流域形状系数 ξ ——流域平均宽度与流域长度之比,称为流域的形状系数,常以 ξ 表示。有:

$$\xi = \frac{B}{L} \quad (1-15)$$

一般有 $\xi < 1$ 。 ξ 愈小,流域愈呈狭长形状, ξ 愈大,流域愈近方形或圆形。 ξ 愈大,河流洪

水愈易集中并常有较大的洪灾。 ξ 愈小,洪水不易集中。

(5) 流域的延伸系数 ζ ——流域分水线长度 l 与等面积圆的圆周长 l_d 之比,称为流域的延伸系数,以符号 ζ 表示。设流域面积为 F ,有:

$$\begin{aligned} l_d &= 2\pi r \\ \therefore r &= \sqrt{\frac{F}{\pi}} \\ \text{有 } l_d &= 2\pi r = 2\sqrt{\pi F} \\ \therefore \zeta &= \frac{l}{l_d} = 0.2821 \frac{l}{\sqrt{F}} \end{aligned} \quad (1-16)$$

上式中 $\zeta < 1$ 。 ζ 愈小,流域形状愈接近于圆形,洪水愈易于集中;相反,如流域形状愈不规则,则 ζ 愈大,洪水愈不易集中。

(6) 流域不对称性系数——表征河流两侧流域面积分布特性系数,称为流域不对称性系数。按下式计算:

$$\zeta_c = \frac{\frac{F_{\text{左}} - F_{\text{右}}}{F_{\text{左}} + F_{\text{右}}}}{2} = 2 \frac{F_{\text{左}} - F_{\text{右}}}{F} \quad (1-17)$$

式中: $F_{\text{左}}$ ——河流左岸流域面积;

$F_{\text{右}}$ ——河流右岸流域面积;

F ——流域面积。

ζ_c 值愈小,表示流域面积在河流两侧的分布愈对称,河流的位置愈居流域的中间。

2) 流域的自然地理特征

(1) 地理位置——流域的地理位置通常以流域中心经纬度及其四周山岭、河流、河源对海洋的距离表示。在一般情况下,相近流域的自然地理及水文条件比较相似。如两流域在东西向展延较长时,其纬度相近,气候、水文、植被等条件亦多相似。

(2) 气候条件——气温、温度、蒸发、降水及风,统称为气候条件。在广大地区上它有成因的一致性,因而在水文情势上可有相似性。

(3) 地形条件——流域地形条件常用平均高程及平均坡度表示。流域平均坡度大,则汇流时间短,径流过程急促,洪水常猛起猛落。就平均值而言,各类水文特征值(如降水、径流量)在极大程度上与地形图等高线变化趋势相似,即地势增高,均值也随之增大。因此,山区河流洪水易涨易退,径流变化多大于平原河流。

(4) 地质及土壤特性——流域中的岩土组成的颗粒大小、组织结构、透水性、断层、节理、裂缝及地质构造等,统称为地质及土壤特性。这一特性可较明显地影响流域中的径流量及其变化,而且与流域的侵蚀及河流泥沙情况关系很大。例如,若流域中多页岩、板岩、沙岩、石灰岩及砾岩等,因其易风化、易透水,将导致下渗量大,地面径流量减小;地面分水线与地下分水线不一致(非闭合流域)时,水资源将通过地下流失;沙土下渗大于粘土,其地面径流量小于粘土地区;黄土地区易于冲蚀,河流往往挟沙量很大。我国黄河流经黄土高原,河水含沙量居世界首位。此外,深色紧密的土壤易蒸发,疏松及大颗粒土壤蒸发量少;透水岩层蕴藏地下水多,这类流域中的河川径流通常变化平稳、变幅较小;透水性小的土壤或岩层,降水的人渗量小,地面径流大,地下径流小,旱季可出现河水干涸、断流。

土壤的下渗特性常用下渗率表示。单位时间内的下渗水量,称为下渗率,常用 f 表示。其