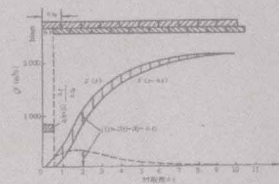
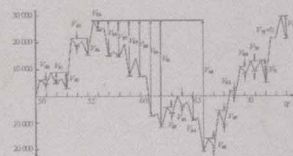
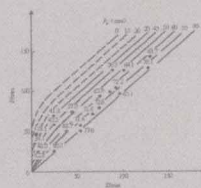
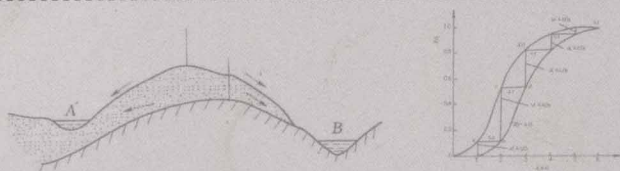


YING
YONG
SHUIWENXUE

应用水文学

范世香 高雁 程银才 编著



中国环境科学出版社

应 用 水 文 学

范世香 高 雁 程银才 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

应用水文学/范世香,高雁,程银才编著. —北京:
中国环境科学出版社, 2012.2
ISBN 978-7-5111-0809-8

I. ①应… II. ①范… ②高… ③程…
III. ①工程水文学 IV. ①TV12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 249336 号

责任编辑 孔 锦
责任校对 尹 芳
封面设计 马 晓

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 2 月第 1 版
印 次 2012 年 2 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 21.5
字 数 450 千字
定 价 52.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

水利工程建设，包括农田基本水利、水利水电工程、交通部门的桥涵设计、城镇排洪设计等，都离不开水文学的基本原理和方法，都要将应用水文学提供的数据或分析计算的参数作为设计依据。

2011 年 1 月，中共中央和国务院发出了《关于加快水利改革发展的决定》，称为“中央 1 号”文件。文件指出：“水是生命之源、生产之要、生态之基。兴水利、除水害，事关人类生存、经济发展、社会进步，历来是治国安邦的大事。”由此可见，我国在未来若干年内，水利建设将是摆在各级政府和水利工作者面前的头等大事。加快水利建设步伐，不仅是财政的投入，也是科技的投入，具体地说就是知识的投入。为了适应这一新形势的需要，服务于大规模水利工程建设，我们集长期的教学与科研经验，编著了这本《应用水文学》，以期为我国水利事业的大发展有所帮助。

本书不仅传承了工程水文学中的相关内容，而且将水库对径流和洪水的调节计算、河道洪水演算与水文分析计算融为一体。书中还编入了作者近年来发表的新成果和新论点，无论是在结构还是在内容方面，都有所创新，在国内首次以《应用水文学》冠名。

作为一次新的尝试，期望《应用水文学》的出版，能够对于我国水资源的开发利用和江河洪水的防治有所裨益，对我国水利事业的发展有所裨益。

《应用水文学》涉及的内容十分广泛，主要是运用水文学的基本原理和方法去解决实际问题。书中主要介绍了流域产流与汇流计算方法、河道洪水演算方法、设计年径流分析计算和设计洪水分析计算方法、水库调节径流原理，水库兴利调节计算及水库防洪调节计算方法，最后还简述了河流泥沙计算和水质评价方法。

本书共分 13 章，由范世香、高雁、程银才编写。其中，绪论及第一、

二、三、四、五章由范世香编写；第六、七、八、十、十三章由高雁编写；第九章由程银才编写；第 11、12 章由范世香、程银才编写。本书在编写过程中，力求完整性和实用性，参考了许多专家、学者已出版的论著，在此一并向他们表示感谢。

本书的出版得到了中国环境科学出版社的大力支持，特别是孔锦编辑为本书的早日面世做了大量工作，她的付出和操劳加快了出版进程，在此表示衷心的感谢。

本书可供水利、交通、给排水等专业技术人员阅读，也可作为高等院校水文水资源、给水排水、水利水电工程、农业水土工程及环境保护等专业的教学参考书。

由于时间仓促，编著者水平所限，书中不当之处在所难免，恳请读者提出修改意见或建议。

编著者

2011 年 10 月于泰山

目 录

绪 论	1
第一章 水文学基础知识	5
第一节 水文循环	5
第二节 河流与流域	7
第三节 降水	12
第四节 土壤水与下渗	19
第五节 蒸散发	22
第六节 径流	25
第二章 流域产流分析计算	34
第一节 降雨径流经验相关法	34
第二节 蓄满产流模型算法	41
第三节 初损后损法	48
第四节 下渗曲线法	51
第三章 流域汇流分析计算	57
第一节 汇流曲线	57
第二节 等流时线法汇流原理	62
第三节 经验单位线法	65
第四节 瞬时单位线法	76
第五节 地下净雨汇流计算	87
第四章 河道洪水演算	90
第一节 河道洪水波	90
第二节 特征河长	96
第三节 线性运动波演算法	100
第四节 线性扩散波演算法	106

第五节	线性特征河长连续演算法.....	113
第六节	马斯京根演算法.....	115
第五章	水文频率分析计算.....	121
第一节	随机变量及其概率分布.....	122
第二节	水文频率分布曲线.....	129
第三节	皮尔逊Ⅲ型分布参数估计.....	134
第四节	水文频率分析计算配线法.....	138
第六章	设计年径流分析计算.....	145
第一节	年径流分析与设计保证率.....	145
第二节	资料充分时设计年径流的分析计算.....	149
第三节	资料不足时设计年径流的分析计算.....	153
第四节	资料缺乏时设计年径流的计算.....	158
第五节	设计年径流的年内分配计算.....	161
第六节	设计水平年与设计代表年(期)的选择.....	163
第七章	直接法推求设计洪水.....	167
第一节	设计标准.....	167
第二节	设计洪峰与时段洪量的分析计算.....	170
第三节	合理性分析与安全修正.....	178
第四节	设计洪水过程线的拟定.....	181
第五节	资料不足时设计洪水的计算.....	186
第六节	设计洪水的地区组成与分期设计.....	189
第七节	入库设计洪水的计算.....	192
第八章	间接法推求设计洪水.....	197
第一节	暴雨资料的分析整理.....	197
第二节	设计暴雨量的分析计算.....	200
第三节	设计暴雨的时空分布计算.....	205
第四节	由设计暴雨推求设计洪水.....	209
第九章	可能最大洪水的估算.....	214
第一节	大气中的可降水量.....	214

第二节	可能最大暴雨 (PMP) 估算方法的分类.....	217
第三节	当地暴雨放大法.....	219
第四节	暴雨移置法	222
第五节	暴雨组合法	226
第六节	PMP 等值线图的应用.....	228
第七节	可能最大洪水的推求.....	231
第十章	小流域设计洪水计算.....	232
第一节	暴雨公式与设计暴雨的推求.....	233
第二节	推理公式法设计洪峰流量.....	237
第三节	地区经验公式.....	246
第四节	设计洪水过程线的推求.....	248
第十一章	水库径流调节原理.....	253
第一节	径流调节分类.....	253
第二节	水库特征	257
第三节	水库水量损失.....	261
第四节	死水位 (死库容) 的选择与淤积.....	263
第五节	水库兴利调节计算原理.....	266
第六节	水库洪水调节计算原理.....	269
第十二章	水库兴利调节计算方法.....	275
第一节	年调节水库兴利调节计算.....	275
第二节	由兴利库容推求调节流量.....	285
第三节	多年调节水库兴利调节计算.....	288
第十三章	水库调洪防洪计算方法.....	294
第一节	水库调洪计算列表试算法.....	294
第二节	水库调洪计算图解法.....	298
第三节	水库防洪水利计算.....	306
第四节	启用非常泄洪设施时水库防洪计算.....	313
附录		316
参考文献		335

绪 论

水文学是研究地球系统中水的存在、分布、运动和循环变化规律的科学，是地理学的一个重要分支。长期以来，水利工程建设需要推动了水文学的发展，水文学的许多实用技术又为水利工程建设提供了有力的支撑，逐步形成了应用水文学。

一、应用水文学的定义与作用

大气中的水汽，地球表面的江河、湖泊、沼泽、冰川、海洋、地下水以及土壤水等，都以一定形式存在于自然界的水体。广义的水文学就是研究自然中这些水体的运动、变化和分布规律的科学。如果按照基础理论与实践应用，水文学可分为理论水文学（水文学原理）与应用水文学。

1. 应用水文学的定义

应用水文学（Applied Hydrology）可以定义为：运用水文学的基本理论和方法去解决工程中面临的实际问题的一门技术科学。它是通过分析河流及其他水体水文要素的变化规律，为工程建设、管理及流域规划设计提供科学依据的一种水文技术。应用水文学强调的是实用性，主要研究将水文学理论应用于工程实践，为水利工程或其他有关工程的规划、设计、施工与运行管理提供参数或科学依据。以往，通常是将水库的兴利调节计算与水库的防洪调节计算作为单独一项内容（水利计算），没有纳入应用水文学的内容。实际上，水库对径流的调节作用以及对洪水的调节作用，都是由水文学理论进行诠释，调节计算方法无论是试算法还是图解法，也都用到水文学的知识，如水库的水量平衡和水库蓄泄关系的运用等。此外，随着水利水电工程的大量兴建，对天然状态的水文现象产生着越来越大的影响，水利计算中往往都要考虑这种作用。因此，将这部分内容归并到应用水文学的范畴是合理的，也是必要的。所以，应用水文学的主要研究内容就有了新的拓展，如流域产、汇流计算，河道汇流计算，设计洪水分析计算，设计年径流分析计算，水库的调节计算及水质分析计算等，在水资源开发利用和防洪工作中都离不开这些水文技术。

2. 应用水文学的作用

水利工程从兴建到运用，一般要经历规划设计、施工和运行管理三个阶段，而每个

阶段都离不开应用水文学的理论和技術方法。

(1) 规划设计阶段。这个阶段主要是确定工程的位置、规模。例如一条河流,在何处布设工程合适,工程的规模,如库容、装机容量等选择多大为宜。要使它们经济合理,关键在于正确预计将来工程运用期间可能出现的各种水文情况。比如设计水库时,若把河流和洪水估算过大,据此设计的库容就会偏大,从而造成浪费;反之,洪水估计过小,设计的库容量小了,将来危及工程本身和下游的安全。另外,合理地估算出洪水大小后,还要知道采用多大的防洪库容才合适。在规划设计阶段,应用水文学的主要任务是为工程设计提供水文数据,如设计年径流、设计洪水等,在此基础上再通过调节计算确定工程规模。

(2) 施工阶段。此阶段需要确定临时性水工建筑物,如围堰、导流隧洞和明渠等,为此要求计算施工期的设计洪水,经调洪演算定出围堰高度和导流洞或渠道的断面尺寸。

(3) 运行管理阶段。随着工程运用期间水文资料的不断积累,还要经常复核和修正原来计算的水文数据。通过调节计算检验工程是否达到设计标准,以便改进调度方案或对工程实行扩建、改建和除险加固等。

应用水文学不仅对水利水电工程建设有巨大的作用,而且对许多国民经济部门也是非常重要的。例如道路桥涵、船运码头、城市排水等,在规划设计和管理中都要用到由水文分析计算提供的数据,在防汛和洪水预报中也是不可缺少的。所以,水文学科在国民经济建设中的作用将越来越重要。水利工作的主要目标是兴利除害,而应用水文学的作用就是为实现这一目标而解决工程上遇到的实际问题,所以,应用水文学是直接为国民经济建设有关部门提供服务的技术科学。

二、水文现象的基本规律及其研究方法

1. 水文现象的基本规律

(1) 确定性规律。水文现象同其他自然现象一样,具有必然性和偶然性,在水文学中通常习惯称前者为确定性,后者为随机性。

河流每年都具有丰水期和枯水期的周期性交替规律,冰雪水源的河流则具有以日为周期的流量变化规律,产生这些现象的根本原因是地球公转、自转的周期性变化。再如,在流域上降落一场暴雨,相应地就会出现一次洪水。如果暴雨强度大、历时长、笼罩面积广,产生的洪水就大;反之,则小。显然,暴雨与洪水之间存在着因果关系。由此说明水文现象都具有客观发生的原因和具体的形成条件,从而存在确定性的规律,也称为成因规律。

(2) 随机性规律。影响水文现象的因素错综复杂,其确定性规律常常不能完全用严

密的数理方程表达出来,于是,在一定程度上又表现出非确定性,称为随机性。例如根据暴雨洪水的成因规律进行洪水预报,尽管能取得较好的效果,但由于计算中忽略了一些次要的偶然因素的干扰,从而使预报成果表现出某种程度的随机误差。河流某断面每年出现最大洪峰流量的大小和它们出现的具体时间各年不同,也具有随机性,即未来的某一年份到底出现多大洪水是不确定的。但通过长期观测可以发现,特大洪水和特小洪水出现的机会很少,中等洪水出现的机会多,多年平均值则是一个趋于稳定的数值,洪水大小和出现机会形成一个确定的概率分布,这就是所说的随机性规律。因为要掌握这种规律,常常需要统计学的知识,由大量的资料分析出来,故又称为统计规律。

(3) 地区性规律。某些水文现象受分区性的气候因素,如降水、蒸发、气温等影响,而这些气候因素是具有地区性规律的,所以这些水文现象也在一定程度上呈现出地区性规律。例如我国的多年平均降水量自东南沿海向西北内陆逐渐减少,从而使多年平均河川径流深也呈现出同样的地区性变化,它综合地反映了确定性规律和统计规律。

2. 水文学研究的基本方法

根据上述水文现象的基本规律,其研究方法相应地分为以下三种。

(1) 成因分析法。如上所述,水文现象与其影响因素之间存在着成因上的确定性关系,通过对实测资料和实验资料加以分析研究,可以从水文过程形成的机理上建立某一水文现象与其影响因素之间确定性的定量关系,这样,就可以根据过去和当前影响因素的状况,预测未来的水文现象。这种利用水文现象确定性规律来解决水文问题的方法,称为成因分析法,它在水文分析计算中得到广泛应用。

(2) 数理统计法。根据水文现象的随机性,以概率理论为基础,运用频率计算方法,可以求得某水文要素的概率分布,从而得出工程规划设计所需要的设计水文特征值。利用两个或多个变量之间的统计关系(相关关系),进行相关分析,以展延水文系列使其更具有代表性。

(3) 地区综合法。根据气候要素和其他地理要素的地区性规律,可以按地区研究受其影响的某些水文特征值的地区变化规律。这些研究成果可以用等值线图或地区经验公式表示出来,如多年平均径流深等值线图、洪水地区经验公式等,称为地区综合。利用这些等值线或经验公式,可以求出资料短缺地区的水文特征值。

以上三种研究方法,在实际工作中常常结合使用,相辅相成,互为补充,以期计算成果合理可靠。

三、水资源的特点及我国水资源概况

1. 水资源的特点

如果仅把河川径流作为水资源来看,水资源具有以下普遍特点。

(1) 系统性。无论是地表水还是地下水，都是在一定的系统内循环运动着，称为水资源系统。系统内的水是不可分割的统一整体，各种水体不断地进行交换。

(2) 流动性。水是一种流体，通过水文循环和各种水文过程的相互转化，形成了一个复杂而庞大的系统。

(3) 可恢复性。由于水文循环的作用，各种水体在不断地更新交替，具有再生性。这种可恢复性有一定限度，局部地区的总量有限，如果超过限度就会引起用水危机。

(4) 时空分布的不均匀性。由于水文循环的路径不同，水资源在地区分配上存在较大的差异，又由于水文循环受大气环流的影响，水资源在时程分配上也变化剧烈。

(5) 利害两重性。水资源是人类包括一切生物赖以生存的基本物质，但由于受大气环流不确定性因素的影响，有时降雨量过分集中，常造成洪涝灾害。

(6) 随机性。在水文循环中由于受到天气系统的影响，如前面所述，各地的水文现象有周期性规律可循，但大多也表现出随机性，从不重复，难以预料。

(7) 一水多用性。水资源作为人类不可或缺的重要资源，具有一水多用性，例如，发电的水还可用来航运、灌溉、养殖等。

从水资源的特点不难理解：兴利和除害是广大水利工作者面临的两项首要任务，两者并举，可望实现变水害为水利的最高目标。也正是由于水资源的这几个特点，才为水文科学的发展提供了原动力。

2. 我国水资源概况

水资源通常指平均每年可以得到的淡水量（包括洪水资源），而大气降水量则是它的补给来源（或毛水资源量）。根据水利部的估计，在我国 960 万 km^2 的辽阔土地上，多年平均年降水量约为 61889 亿 m^3 ，折合平均年降水深为 648.4mm，低于全球陆面 799mm 和亚洲陆面 741mm 的多年平均降水深；全国河流多年平均水资源量为 28124.4 亿 m^3 ，折合平均年降水深为 294.6mm。

我国的水资源量与世界各国比较，仅次于巴西、苏联、加拿大、美国和印尼，居世界第六位。但按人口、耕地面积平均，则处于较低的水平。我国人均水资源量只有 2710 m^3 ，相当于世界人均水资源量的 1/4；亩均水资源量只有 1770 m^3 ，约为世界亩均水资源量的 3/4。因此，我国的水资源并不富裕。同时，我国的水、土资源组合极不平衡。全国有 45% 的国土处于年降水量少于 400mm 的干旱少水地带。长江流域及其以南地区的径流量占全国的 81%，耕地只占全国的 35.9%；北方黄淮海及东北地区，径流量只占全国的 14.4%，而耕地却占全国的 58.3%，南北水土资源的组成相差悬殊。我国水资源年内、年际分配极不均匀，是造成水、旱灾害频繁的重要因素。1950—1983 年的统计资料表明，平均约每三年发生一次较为严重的水、旱灾害。

第一章 水文学基础知识

应用水文学是具有实用性的技术科学,它的形成与发展都是建立在理论水文学之上的。所以,掌握并熟悉应用水文学的有关内容,首先要了解水文学的基础知识。

第一节 水文循环

一、水文循环

地球表面的水体在太阳辐射的作用下,大量水分蒸发至空气中,随气流运动并向各地输送。水汽上升和输送过程中,在一定条件下凝结,以降水形式降落到陆面或洋面上。降落在陆面上的水形成径流,通过江河汇入海洋,然后再由海洋蒸发。水分这种循环往复的变化过程称为水文循环。

自然界的水循环是通过蒸发、降水、下渗和径流四个主要环节(也称为四大水文现象)进行的。根据地球上水文循环的全局性和局部性,可把水文循环分为大循环和小循环。海洋上蒸发的水汽,被气流带到陆地上空,在一定气象条件下成云致雨,降落到地面,称为降水。其中一部分蒸发;另一部分形成径流,最后回归海洋。这种海洋与陆地之间水分的不断交换称为大循环,如图 1-1 中的 1。洋面上蒸发的水汽,凝结后又降落在洋面上;或陆面蒸发的水汽,凝结后又降落在陆面上,这种局部的水文循环称为小循环,如图 1-1 中的 2。对陆面降水来说,主要依赖于洋面蒸发的水汽,即大循环起主导作用。

发生水文循环的内因是“水在常温下能实现三态转化而不发生化学变化”,外因是“太阳辐射和地心引力提供了强大的驱动力”。内因是关键,外因是条件,缺一不可。水文学研究的核心问题有两个,以水文循环为主线,以流域产汇流为重点。水文循环中的“降水、下渗、蒸发、径流”四大水文现象将分别在下面几节论述。

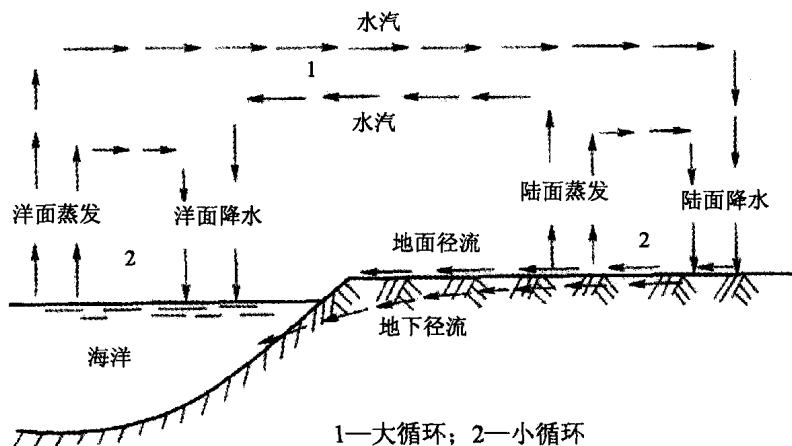


图 1-1 自然界水循环示意

我国水文循环的主要水汽来源是东南面的太平洋。水汽随着东南季风向西北方向的大陆输送。输送途中，首先在沿海地区形成较多的降水，所以越向西北，空气中的水汽越少，降水量也越少。西南方向的印度洋也是我国水汽的一个很重要的来源，对我国西南地区和江淮流域的降水有很大贡献。西北边疆地区，还有少量的水汽是西风环流带来的大西洋水汽，还有随强盛的北风而来的北冰洋水汽。鄂霍次克海的水汽，随东北风进入我国东北地区，对该区降水有重要影响。

二、全球水量平衡

水量平衡是指在水文循环过程中，任一地区在一定时段内进入的水量与输出的水量之差，必等于其蓄水的变化量。水量平衡原理是物质不灭定律在水文学中的具体应用，在水文学研究中是非常重要的工具。

对于陆地来说，每年的蓄水变化量有正有负，多年的平均值趋近于零，因此，多年平均情况的水量平衡方程为：

$$\overline{R} = \overline{P_c} - \overline{E_c} \quad (1-1)$$

同理，对于海洋为：

$$\overline{R} = \overline{E_0} - \overline{P_0} \quad (1-2)$$

式中, $\bar{R}$ 为流入海洋的多年平均径流量; $\bar{P}_e$ 、 $\bar{P}_0$ 为陆地上和海洋上的多年平均年降雨量; $\bar{E}_e$ 、 $\bar{E}_0$ 分别为陆地和海洋的多年平均年蒸发量。式 1-1 和式 1-2 合并, 得全球水量平衡方程为:

$$\bar{E}_e + \bar{E}_0 = \bar{P}_e + \bar{P}_0 \quad (1-3)$$

式 1-3 表明, 全球多年平均降水量和多年平均蒸发量大体上是相等的。如表 1-1 所示, 海洋平均每年向大陆输送 $119\,000\text{km}^3$ 的降水, 除去蒸发的量, 将是可能为人们所用的径流资源, 即一般所说的水资源。由于各地的水文循环情况不同, 使水资源在地区分布和时程分配上有很大的差异。另外, 某一地区的水资源量也不是永恒不变的, 例如大规模的灌溉、造林等, 使陆面蒸发增加, 从而使降水增加, 径流减少。

表 1-1 地球上的水量平衡

区 域	面积/ (10^6km^2)	多年平均年降水量		多年平均年蒸发量		多年平均入海年径流量	
		km^3	mm	km^3	mm	km^3	mm
陆地	149	119 000	800	72 000	485	47 000	315
海洋	361	458 000	1270	505 000	1400	47 000	130
全球	510	577 000	1 130	577 000	1 130		

第二节 河流与流域

研究水文现象, 一般都以河流为对象, 以流域为区域范围。因此, 有必要了解河流与流域的某些基本特征。接纳地面径流和地下径流的天然泄水通道称为河流。河流的地面和地下径流集水区叫流域, 它由汇集地面径流的地面集水区和汇集地下径流的地下集水区所组成。流域里大大小小的水流, 构成脉络相通的系统, 称为河系(河网), 又称为水系。流域和河系是河川径流的补给源和输送路径, 它们的特征都将直接、间接地影响径流的形成和变化。

一、河流特征

1. 河流长度与分段

自河源沿主河道至河口的长度称为河流长度, 简称河长, 用 L 表示, 单位 km 。一条河流沿水流方向, 自上而下可分为河源、上游、中游、下游、河口 5 段。河源是河流

的发源地,可以是泉水、溪涧、沼泽、冰川等。上游直接连接河源,这一段的特点是河谷窄、坡度大、水流急、以下切侵蚀为主,河流中常有瀑布、急滩。中游河段坡度渐缓,下切力减弱,旁蚀力加强,急流、瀑布消失,河槽变宽,两岸有滩地,河床较稳定。下游河槽宽、坡度缓、流速小、以淤积为主,浅滩沙洲多,河曲发育。河口是河流的终点,即河流注入海洋或内陆湖泊的地区,这一段因流速骤减,泥沙大量淤积,往往形成三角洲。

2. 河谷与河槽

可以排泄河川径流的连续凹地称为河谷。由于地质构造不同,河谷的横断面形状有很大差异,一般可分为峡谷、宽广河谷和台地河谷。谷底过水部分称为河槽,河槽的横断面称为过水断面。根据横断面形状的不同,又分为单式断面和复式断面(图 1-2)。复式断面由枯水河槽和滩地组成,洪水时滩地将被淹没。

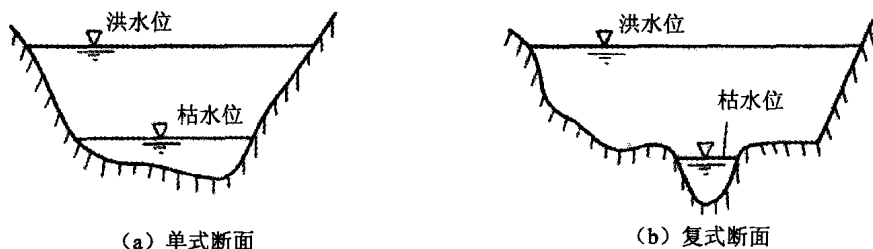


图 1-2 河槽断面

3. 河道纵比降

河段两端的高程差称为落差,单位河长的落差称为河道纵比降,简称河道坡降。当河段纵断面的河底接近于直线时,用该河段的落差除以河段长,便得平均纵比降。当河道纵断面的河底呈折线时,如图 1-3 所示,从下游断面的河底处向上游作一斜线,使斜线以下的面积与原河底线以下的面积相等,此斜线的坡度即为河道平均纵比降 J , 计算公式为:

$$J = \frac{(Z_0 + Z_1)L_1 + (Z_1 + Z_2)L_2 + \cdots + (Z_{n-1} + Z_n)L_n - 2Z_0L}{L^2} \quad (1-4)$$

式中, $Z_0, Z_1, \cdots, Z_n$ 为下游至上游沿程各转折点的高程, m; $L_1, L_2, \cdots, L_n$ 为下游至上游相邻两转折点间的距离, m; L 为河道全长, m。

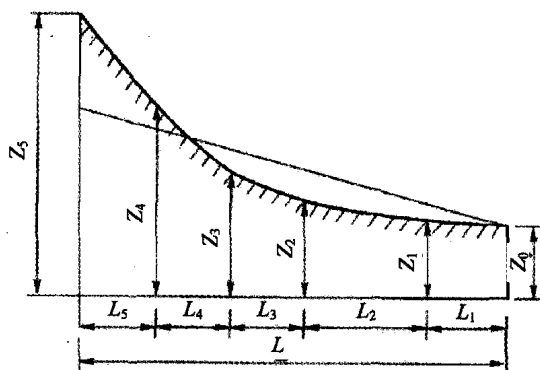


图 1-3 河道平均纵比降计算

4. 河系的几何形态

河系中长度最长或水量最大的河流称为干流，直接汇入干流的为一级支流，汇入一级支流的为二级支流，其余类推。根据干支流分布状况，河系可分为四种类型，①扇状河系，河系如扇骨状分布；②羽状河系，干流沿途接纳许多支流，排列如同羽毛状；③平行河系，几条支流平行排列，在靠近河口处，才很快汇合；④混合型河系，较大的河流多数都是包括上述第二、三种类型的混合排列型。

5. 河网密度

一个流域中，所有河道的总长度与该流域总面积之比，称为河网密度，即： $D = \sum L_i / F$, 1/km。

二、流域特征

1. 分水线和流域

(1) 分水线。如图 1-4 所示，地形向两侧倾斜，使雨水分别汇入两条不同的河流中去，这一地形上的脊线起着分水作用，称为分水线或分水岭。分水线是相邻两流域的分界线，例如降在秦岭以南的雨水流入长江，而秦岭以北的雨水则流入黄河，所以秦岭是长江与黄河的分水岭。流域的分水线是流域周界，也是分水岭的延长线。流域的地面分水线是地面集水区的周界，通常是经过出口断面环绕流域四周的山脊线，可根据地形图勾绘。流域的地下分水线是地下集水区的周界，很难准确确定。由于水文地质条件和地貌特征的影响，地面、地下分水线可能不一致。如图 1-4 所示，A、B 两河的地面分水线即为中间的山脊线，但地下不透水层向 A 河倾斜，两河的地下分水线在地面分水线