

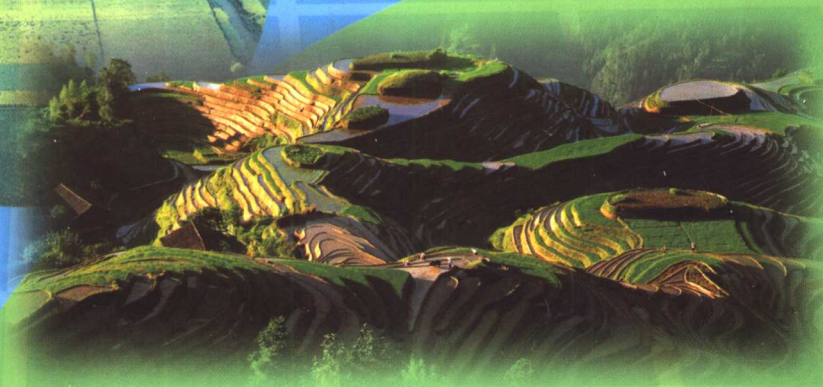


中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

工程水文基础

农业水利技术专业

主编 耿鸿江



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为中等职业教育国家规划教材。全书共分六章,主要介绍水文基础知识、水文资料的收集、水文统计、年径流的分析与计算、小流域设计洪水的计算及径流调节计算等工程水文基础知识。

本书为中等职业学校农业水利技术专业教材,也可供水利水电类中等职业学校和高职高专学校师生及相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程水文基础/耿鸿江主编. -北京:中国水利水电出版社, 2002

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5084-1332-6

I. 工… II. 耿… III. 工程水文学-专业学校-教材 IV. TV12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 097133 号

书 名	中等职业教育国家规划教材 工程水文基础 (农业水利技术专业)
作 者	主编 耿鸿江
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 9.5 印张 225 千字
版 次	2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月第一次印刷
印 数	0001—3100 册
定 价	12.50 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002 年 10 月

前 言

本书是根据教育部《面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划》、水利水电中专教研会 2001 年制订的《中等职业学校农业水利技术专业指导性教学计划》及《工程水文基础教学大纲》编写的。

为了适应中等职业教育的新形势，深化教学改革，本书以提高学生全面素质为目的，以适用、实用、够用为原则，以培养学生创新精神和实践能力为重点，降低知识重心，淡化学科体系，以小流域和无资料地区的水文及水利计算为核心，以河流水资源（水文情势）的形成、水文资料的收集、水文资料的统计、水文要素的概率预估及其径流调节确定工程规模为线索，重新组织课程结构。频率计算、相关分析和瞬时单位线等关键计算都给出了计算机算法，每章都配有一定的系统算例，章后还编写了大量的思考题与练习题，这些题目数量合理，综合性强，计算题都给出了参考答案，便于学生独立计算。本书的内容和体系与传统教材有很大区别，以尽量突出现代职业教育的特色。

本书由云南省水利水电学校耿鸿江（编写绪论、第三章、第五章）、江西省水利水电学校朱国华（编写第一章、第四章）和安徽水利水电职业技术学院于玲（编写第二章、第六章）三位同志编写，相互间对各章教材进行了校对。本书由耿鸿江主编。

本书在编写过程中，参阅引用了有关院校的教材和生产科研单位的技术资料，未一一注明，在此，编者对所有的作者均表示感谢。同时也对给予编写本书大力支持的各位专家学者表示衷心的感谢。

本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定，由华中科技大学张勇传院士担任责任主审，华中科技大学李承军、康玲副教授审稿，中国水利水电出版社另聘河南省水利水电学校孙中华主审了全稿，提出了许多宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。

最后，我们恳切地希望各校师生及其他读者对本教材的缺点和错误提出批评指正。

编 者

2002 年 8 月

出版说明	
前 言	
绪论	1
思考题	6
第一章 水文基础知识	7
第一节 河流与流域	7
第二节 降水	11
第三节 蒸发与下渗	15
第四节 径流	18
思考题与练习题	22
第二章 水文资料的收集	24
第一节 水文测站与水文站网	24
第二节 水文要素的直接观测	25
第三节 水文资料的间收集	32
思考题与练习题	36
第三章 水文统计	38
第一节 水文统计的基本概念	38
第二节 样本的统计参数和抽样误差	40
第三节 水文样本的频率分析	42
第四节 适线法频率计算	49
第五节 相关分析	55
思考题与练习题	58
第四章 年径流的分析与计算	60
第一节 概述	60
第二节 具有实测径流资料时设计年径流的计算	62
第三节 缺乏实测径流资料时设计年径流的计算	69
第四节 设计年径流成果合理性分析	72
思考题与练习题	73
第五章 小流域设计洪水的计算	76
第一节 概述	76

第二节	设计暴雨的计算	76
第三节	综合瞬时单位线法推求设计洪水	82
第四节	推理公式法推求设计洪峰流量	90
第五节	其它方法推求设计洪峰流量	93
第六节	设计洪水过程线的绘制	96
第七节	设计洪水成果合理性分析	98
	思考题与练习题	100
第六章	径流调节计算	102
第一节	概述	102
第二节	水库兴利调节计算	106
第三节	水库防洪调节计算	114
第四节	水能计算简介	122
	思考题与练习题	125
附表	127
参考文献	140

绪 论

一、自然界水的分布

地球的自然环境由大气圈、岩石圈、水圈和生物圈所构成。地球上的水资源从广义上来说,是指地球上所有形式的水,如海洋水、冰川水、湖泊水、地下水、土壤水、生物水和大气水等。地球上水资源的总储量达 13.86 亿 km^3 ,其中海水占 96.5%,约覆盖地球总面积的 71%。天然淡水量约 0.35 亿 km^3 ,占总储量的 2.53%,而其中的 99.86%是深层地下水和两极、高山冰雪等难以为人们所利用的静态水量。与人类活动密切相关的江、河、湖等地表淡水总量为 10.46 万 km^3 ,占淡水总量的 0.3%,特别是河流的淡水,只占全球淡水总量的 0.006%,如表 0-1 所示。从狭义上讲,水资源是指人类可以利用的、逐年可以得到恢复和更新的淡水量,大气降水是它的补给来源。

表 0-1 地球上的水体分布情况

项 目	总 水 量 (10^6km^3)	所 占 百 分 比 (%)	淡 水 量 (10^6km^3)	所 占 百 分 比 (%)
世界总水量	1385.98461	100	35.02921	100
海 水	1338.0	96.5		
地下水	23.4	1.7	10.53	30.06
土壤水	0.0165	0.001	0.0165	0.05
冰雪总量	24.0641	1.74	24.0641	68.7
其中: 南极	21.6	1.56	21.6	61.7
格陵兰岛	2.34	0.17	2.34	6.68
北极	0.0835	0.006	0.0835	0.24
山岳	0.0406	0.003	0.0406	0.12
冰地下水	0.3	0.022	0.3	0.86
地表水	0.18999	0.014	0.10459	0.3
其中: 湖泊	0.1764	0.013	0.091	0.26
沼泽	0.01147	0.0008	0.01147	0.03
河川	0.00212	0.0002	0.00212	0.006
大气中水	0.0129	0.001	0.0129	0.04
生物内水	0.00112	0.0001	0.00112	0.003

二、自然界的水循环

据估算,全球平均年降水量为 57.7 万 km^3 ,而由表 0-1 可知,大气的储水量为 1.29 万 km^3 ,大气水量平均约 8 天就要交替一次。这些补充的水量是从哪里来的?是什么原因使水资源得以恢复和更新呢?

地球表面的广大水体,在太阳辐射作用下,大量水分被蒸发,上升到空中,被气流输送到各地。在这过程中,遇冷凝结而以降水形式落到地面上,再从河道或地下流入海洋。水分这样往返循环不断交替的现象叫水循环。水循环的内因是水的物理特性,即气态、液态和固态的相互转化,外因是太阳辐射和地心引力。此外,地形、地质、土壤和植被等对

水循环也有一定的影响。

自然界的水循环，按其涉及的地域和规模可分为大循环和小循环，如图 0-1 所示。从海洋表面蒸发的水汽被气流带到大陆上空，遇冷凝结，形成降水。降水到达地面后，其中一部分直接蒸发返回空中，另一部分形成径流，从地面或地下汇入海洋，这种海陆间水分交换的过程称为大循环。海洋上蒸发的水汽有一部分直接凝结成降水又落回海洋，或从陆地蒸发的水汽在空中凝结成降水又落回到陆地，这种海洋系统或陆地系统的局部水循环称为小循环。前者称海洋小循环，后者称内陆小循环。

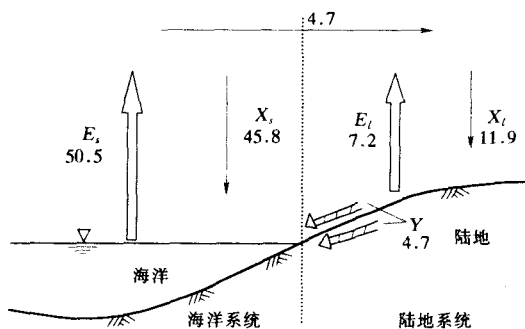


图 0-1 自然界水循环示意图 (单位: 万 km^3)

E_o —海洋年蒸发量; E_l —陆地年蒸发量; X_o —海洋年降水量; X_l —陆地年降雨量; Y —陆地年径流量

内陆小循环对内陆地区的降水有重要作用，因内陆远离海洋，直接接受海洋输送的水汽不多，需通过内陆局部地区的水循环使水汽随气流不断向内陆输送。水汽在内陆上空冷凝降水后，一部分形成径流，一部分再蒸发为水汽向更远的内陆输送，依此循环。但愈向内陆，水汽愈少，这就是沿海湿润，内陆干旱的原因。

自然界的水循环情势，从长期来看，大体上是稳定的，水分的运动是遵循物质不灭定律的，对于陆地、海洋或全球的任一时段内，来水量等于出水量与区域内蓄

水量变化之和，即水量平衡。水循环过程中全球水量平衡的基本要素为降水量、蒸发量、河川径流量和区域内蓄水量的变化。对于长期平均而言，蓄水量的变化正负值可以相互抵消，因此多年平均情况下的水量平衡方程为：陆地降水量为蒸发量与径流量之和；海洋蒸发量为降水量与径流量之和；全球的降水量等于蒸发量。据估算，地球上每年参与水循环的总水量约为 57.7 万 km^3 ，海洋年蒸发量为 50.5 万 km^3 ，海洋年降水量为 45.8 万 km^3 ，两者差值 4.7 万 km^3 的水量被气流送到陆地上空。陆地上每年降水量约为 11.9 万 km^3 ，比陆地上每年蒸发量多 4.7 万 km^3 ，这部分多余的水量通过江河又流回到海洋。

水循环中水的存在、运动和变化，统称为水文现象。各种水文现象在时间或空间上的变化称为水文过程。水循环是一切水文现象及水资源变化的根源。

三、我国水资源的特点

(一) 水资源总量不少，但人均水资源量很低

根据 20 世纪 80 年代初全国的水资源评价成果，我国多年平均年降水总量为 61889 亿 m^3 ，折合降水深 648mm。河川径流量为 27115 亿 m^3 ，折合径流深为 284mm。地下水资源总量约为 8288 亿 m^3 ，扣除地表水与地下水相互转化的重复水量，我国水资源总量为 28124 亿 m^3 。我国的水资源总量仅次于巴西、前苏联、加拿大、美国和印度尼西亚，居世界第六位。但根据 1997 年人口统计，全国人均水资源量为 2220 m^3 ，不到世界人均水资源量的 1/4，排在世界各国的第 121 位。预测到 2030 年我国人口增至 16 亿时，人均水资源量将降至 1760 m^3 。按国际上一般承认的标准，人均水资源量少于 1700 m^3 的为用水紧张国家，因此，我国未来水资源的形势是十分严峻的。

(二) 水资源的时间分布不均衡, 水旱灾害频繁

由于受季风的影响, 我国降水量年内分配极不均匀, 南方汛期水量占年水量的 60%~70%, 北方则为 80% 以上。不但容易形成春旱秋涝, 而且水资源量中大约 2/3 左右是洪水径流量。此外, 我国降水量年际之间变化很大, 南方地区最大年降水量与最小年降水量的比值为 2~4 倍, 北方地区为 3~8 倍。年径流量的最大与最小的比值, 长江、珠江和松花江为 2~3 倍, 黄河为 4 倍 (断流除外), 淮河为 15 倍, 海河高达 40 倍, 并且出现连续丰水年或连续枯水年的情况。降水量和径流量的年际剧烈变化和年内高度集中, 使水资源利用困难, 极易造成水旱灾害。近一个世纪以来, 受气候变化和人类活动的影响, 我国水旱灾害更加频繁, 平均每 2~3 年就有一次水旱灾害。1991 年、1996 年、1998 年长江和松花江大洪水, 1999 年、2000 年北方及黄淮流域的大旱, 灾害损失愈来愈大。水旱灾害仍然是中华民族的心腹之患。

(三) 水资源的空间分布不均衡, 水、土资源区域分布不匹配

我国的水资源南多北少, 而耕地和人口北多南少。造成了南方水量有余, 北方水量短缺的局面, 如表 0-2 所示。

表 0-2 我国水资源、耕地、人口的分区统计表

分区名称			占全国的百分比 (%)				人均水量 (m ³ /人)	亩均水量 (m ³ /亩)
			水资源量	人口*	耕地**	GDP		
内流区域 (含额尔齐斯河)			4.6	2.1	5.7	1.7	4876	1589
外流区域	北方	东北诸河	6.9	9.6	20.2	10.4	1646	660
		海滦河	1.5	10.0	11.3	11.6	343	259
		淮河和山东诸河	3.4	16.2	15.2	14.1	487	437
		黄河	2.6	8.5	12.9	6.7	707	400
		北方四区 (合计)	14.4	44.3	59.6	42.8	747	471
	南方	长江	34.2	34.3	23.7	33.2	2289	2783
		华南诸河	16.8	12.1	6.7	13.5	3228	4501
		东南诸河	9.2	5.6	2.5	8.1	2885	5344
		西南诸河	20.8	1.6	1.8	0.7	29427	23090
		南方四区 (合计)	81.0	53.6	34.7	55.5	3481	4317
全 国			100	100	100	100	2220	1888

* 1997 年全国人口统计结果。

** 耕地面积采用 1993 年数据。

我国南方耕地占全国的 34.7%, 人口占全国的 53.6%, 拥有水资源量却占全国的 81%, 特别是西南诸河流域, 耕地占全国的 1.8%, 人口占全国的 1.6%, GDP 占全国的 0.7%, 而水资源量占全国的 20.8%, 人均水资源量为全国平均的 13 倍, 亩均水资源量为全国平均的 12 倍。北方耕地为全国的 59.6%, 人口为全国的 44.3%, 而水资源量仅为全国的 14.4%, 西南诸河人均水资源量为海滦河的 86 倍, 亩均水资源量为 89 倍。

(四) 水土流失严重, 江河含沙量高

随着人口的膨胀, 过度砍伐树木、放牧、山坡垦田、不合理的耕作和开矿挖土等, 使地面被覆遭到严重破坏, 水土流失严重。到 1989 年底, 我国水土流失面积已扩展到 367 万 km², 占全国陆地面积的 38.2%, 每年流入江河的泥沙有 50 亿 t, 流失的肥力相当于

全国化肥年产量的9倍之多。我国因水土流失而损失耕地7万多 hm^2 ，荒漠化面积扩展到2460 km^2 ，草地退化面积达130万 km^2 。

水土流失不但造成土壤瘠薄、草地退化和荒漠化等生态系统恶化，而且使河流的含沙量增大，河道中下游河床不断抬高，行洪能力减小，防洪难度增加。1998年长江大洪水的洪峰流量虽比1954年的小，但洪水位却超过1954年。水土流失造成泥沙淤积严重，使水库库容减少，效益降低。此外，从多沙河流引水灌溉，泥沙处理也是个问题。

(五) 水质污染严重，水环境恶化

我国河流的天然水质是相当好的，但由于人口的不断增长和工业的迅速发展，废水的排放量增加得很快，水体污染日趋严重。2000年废水日排放量为620亿t，80%以上的废水未经任何处理直接排入水域，使河流、湖泊、水库遭受了不同程度的污染。

根据2000年水质监测结果，全国11.4万 km 河长中污染河长(Ⅳ类以上)占41.3%，被调查的24个湖泊中，4个湖泊部分水体受到污染，11个湖泊水污染严重。据1988年对118座城市浅层地下水普查结果，115座城市地下水受到不同程度的污染，其中重度污染占40%。水资源污染后失去使用价值，使缺水雪上加霜，被称为水资源污染性短缺或水质性缺水。治理水污染，保护江河及供水安全已成了当务之急。

我国以占全球6%的可更新水资源、9%的耕地，保障了占全球22%人口的温饱和和经济发展，这是我国水利建设的重大成就。但也为此付出了上述“水多、水少、水浑、水脏和生态环境不断恶化”的沉重代价。以水资源紧张、水污染严重和洪涝灾害为特征的水危机已成为我国目前国民经济可持续发展的制约因素，因此，合理开发利用和保护水资源，防治水旱灾害、水土流失和水质污染，以水资源的可持续利用支持我国社会经济的可持续发展是非常重要和紧迫的任务。

四、水文学及工程水文的内容

水文学是研究地球上各种水体的一门科学，它研究各种水体的存在、循环和分布，探讨水体的物理和化学特性以及它们对环境的作用，包括它们对生物的关系。水体是指以一定形态存在于自然界一定空间中的水，如大气中的水汽，河流、湖泊、沼泽、海洋里的水和地下水。各种水体都有自己的特性和变化规律，因此，水文学可按其研究的对象分为水文气象学、河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、海洋水文学和地下水文学等。

各种天然水体中，河流与人类生活的关系最为密切，因此，河流水文学与其它水体水文学相比，发展得最早最快，目前已成为内容比较丰富的一个学科。正是由于这个原因，一般所说的水文学指的就是河流水文学。河流水文学按其研究的任务的不同，可划分为下列几个主要分支学科。

(1) 水文测验及水文调查。通过适当的水文测验手段、资料整编方法、实验研究方法、水文调查方法等，收集和整理各种水文资料。

(2) 水文预报。在研究水文规律的基础上，预报未来短时期的水文情势，为防汛抗旱服务。

(3) 水文分析与计算。在研究水文规律的基础上，预估未来长时期的水文情势，为水资源开发利用措施的规划、设计、施工和运用提供水文数据。

(4) 水利计算与规划。在水文分析与计算的基础上, 综合研究水文情势、用水需要、调节方法和经济论证等, 对水利工程的规模和工作情况, 提出经济合理的决策。

工程水文是结合工程建设的需要, 逐渐形成和发展的一门应用技术, 即应用水文知识于工程建设的一门学科。它主要研究所有与工程(主要是水利水电工程)的规划、设计、施工和运行有关的一切水文问题。

五、工程水文在水利水电工程中的作用

各种形式的水资源的开发利用措施都必须是在充分掌握水体的水文变化规律和水资源的承载能力的基础上制定和实施的。其中每一项工程在实施过程中, 都可以划分为规划设计、施工、管理运用三个阶段。每一个阶段都需要进行水文计算, 而每个阶段水文计算的任务又是各不相同的。

(1) 规划设计阶段。主要是通过对比不同方案的投资和效益, 选定最优方案。而工程水文是计算工程投资和效益的基础。例如, 设计水库和灌区时, 若把河流水量估算偏大, 据此设计的水库容积和灌区面积就会过大, 不仅不能发挥工程的效益, 造成资金的浪费, 而且供水超过水资源的承载能力, 使流域的生态系统遭到破坏, 影响到水资源可持续利用; 反之, 来水估算偏小, 使工程设计偏小, 水资源就不能得到充分利用。特别是对河流洪水量的估算, 更关系到工程本身的安全和下游人民生命财产的安全。因此, 在工程规划设计阶段, 工程水文的任务是为工程设计提供未来的水文数据, 如设计年径流和输沙量、设计洪水等, 可作为选择工程的参变数(如死库容与死水位、兴利库容与正常蓄水位、调洪库容与设计洪水位、灌溉面积、水电站的保证出力和多年平均年发电量等)和确定主要建筑物尺寸(如坝高、溢洪道尺寸、引水渠道尺寸、装机容量等)的依据。

(2) 施工阶段。为了修建临时性水工建筑物, 如围堰、导流隧洞等, 需计算施工期设计洪水。施工期设计洪水的大小关系到施工建筑物的造价与安全。

(3) 管理运用阶段。需要知道未来时期的来水情况, 以便据此编制水量调度计划。如有防洪任务的水库, 需要进行洪水预报, 以便提前腾空库容或及时蓄滞洪水。另外在工程建成以后, 还要不断复核和修改设计阶段的水文计算成果, 对工程进行改造。

总之, 为开发利用水资源以及防治水旱灾害而兴建并管理好各种水利工程, 都必须应用工程水文这门学科, 预估河流未来的水文情势, 在水资源承载能力的基础上, 在保证河流和流域的生态环境用水的前提下, 确定工程的规模和效益。

在农业水利技术等专业设置《工程水文基础》课程的目的, 是使学生学习有关水文学的基本概念, 水文资料的收集方法与途径, 掌握年径流的分析计算方法, 小流域设计洪水的计算, 并了解径流调节计算的一般知识。本课程为农业水利技术等专业的技术基础课, 与《水力学基础》、《农田灌溉与排水》和《水工建筑物》等课程联系紧密。

六、水文现象的基本规律及工程水文的研究方法

(一) 水文现象的基本规律

水文现象作为一种自然现象, 它有三种基本规律。

(1) 水文现象的确定性规律。水文现象同其它自然现象一样, 具有必然性和偶然性两个方面。在水文学中通常按数学的习惯称必然性为确定性, 偶然性为随机性。

众所周知, 河流每年都有丰水期和枯水期的周期性交替, 冰雪水源河流具有以日为周

期的水量变化。产生这些现象的基本原因是地球的公转和自转。在一个流域上降落一场暴雨，这条河流就会出现一次洪水。如果暴雨强度大、历时长、笼罩面积大，产生的洪水就大。显然。暴雨与洪水之间存在着因果关系。这就说明，水文现象都有其客观发生的原因和具体形成的条件，它是服从确定性规律的。

(2) 水文现象的随机性规律。河流断面丰水期出现的最大洪峰流量、枯水期的最小流量或年径流量的数值，每年都是不重复的，具有随机性的特点。但是，通过长期观测，可以发现，特大的洪水流量和特小的枯水流量出现的机会较少，中等洪水和中等枯水出现的机会较多，而多年平均年径流量却是一个趋近稳定的数量。水文现象的这种随机性规律需要由大量资料统计出来，所以，通常又称为统计规律。

(3) 水文现象的地区性规律。水文现象除了受具有地区性规律的地理因素影响外，还受气候因素（如降水、蒸发、气温等）所制约，而这些气候因素同样是有地区性规律的，所以水文现象也在一定程度上具有地区性规律。

(二) 工程水文的研究方法

根据水文现象上述的基本规律，工程水文的研究方法相应地可分为以下三类。

(1) 成因分析法。如上所述，水文现象与影响因素之间存在着确定关系。通过对观测资料或实验资料的分析，可以建立某一水文要素与其影响因素的定量关系。这样，就可以根据当前影响因素的状况，预测未来的水文状况。这种利用水文现象确定性规律来解决水文问题的办法，称为成因分析法。这种方法能够求出比较确切的结果，在水文现象分析和水文预报中得到广泛的应用。

(2) 数理统计法。根据水文现象的随机性规律，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频率分布，从而得出工程规划设计所需要的水文特征值。利用两个或多个变量之间的关系，进行相关分析，可以展延水文系列或作水文预测。

(3) 地区综合法。根据气候要素及地理要素的地区性规律，可以按地区分析受其影响的某些水文特征值的地区分布规律。这些分析可以用等值线图或地区经验公式表示，如多年平均年径流深等值线图、洪水地区经验公式等。利用这些等值线图或经验公式，可以间接地推求出观测资料短缺地区的水文特征值。这就是地区综合法。

工程水文的上述三种基本方法，在实际工作中常常交叉使用，相辅相成，互为补充。

思 考 题

1. 什么是水资源？水资源为什么具有可恢复性？
2. 物质不灭定律在自然界水循环中是如何体现的？
3. 我国水资源存在的问题及其对策是什么？
4. 工程水文在水利水电工程中的作用是什么？
5. 水文现象有哪些基本规律，相应地要采用哪些研究方法？

第一章 水文基础知识

第一节 河流与流域

河流与流域是河川径流的发生场，河流与流域的特征对河流水文情势有着直接或间接的影响。

一、河流及其特征

河流是接纳地面径流和地下径流的泄水道，是水文循环的循环路径之一。流入海洋的河流称为外流河。如长江、黄河、淮河、海河等。流入内陆湖泊或消失于沙漠之中的河流称为内流河。如青海的布喀河、新疆的塔里木河等。虽说陆地上河流量远不及海洋水之多，然而它却与人们的关系最为密切，从传说中的大禹治水到'98长江抗洪抢险、黄河小浪底水利枢纽工程竣工和长江三峡水利枢纽工程的建设，几千年来，人们对河流兴利除害，斗争不息。因此，河流也就成为水文学研究的对象了。

(一) 河长

河流的长度是指河流自河源至河口沿河道主流线的自然弯曲长度，以公里计。河长通常是在水系地形图上用求线仪或卡尺丈量所得。河流一般划分为河源、上游、中游、下游、河口等五段。各个河段由于不同的地貌特征，故有它不同的特点，主要表现在河槽、比降、流速等方面。例如：长江发源于唐古拉山主峰各拉丹东雪山西南侧，源头为沱沱河；河源至湖北宜昌为上游段；宜昌到江西湖口为中游段；湖口到入海处为下游段；河口处有崇明岛，江水最后流入东海。长江干流的长度为6300km，是我国最长的河流，居世界第三位。

(二) 水系

地表水与地下水可通过地面与地下途径，由高处流向低处，汇入小沟、小溪、最后汇成大小河流。河流分为支流与干流，构成脉络相通的泄水系统，称为水系，又叫水系或河网。直接流入海洋的河流称干流，汇入干流的河流称一级支流，汇入一级支流的支流称二级支流，以此类推。

1. 水系的几何形态

根据干支流的分布形态不同，水系的几何形态可分为：

- (1) 扇形水系。河流的干支流分布形如扇骨状，如海河。
- (2) 羽形水系。河流的干流由上而下沿途左右汇入多条支流，形如羽毛状，如红水河。
- (3) 平行水系。河流的干流在某一河岸平行接纳几条支流，如淮河。
- (4) 混合水系。一般大的江河多为以上二至三种水系组成，混合排列。水系形状如图1-1所示。不同形状的河系，会产生不同的水情。

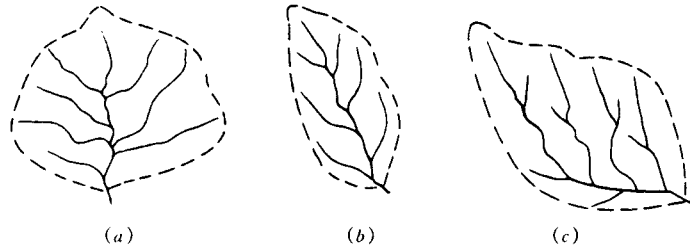


图 1-1 水系形状示意图
(a) 扇形; (b) 羽形; (c) 平行形

2. 河网密度

单位流域面积上的河流总长度称为河网密度, 单位为 km/km^2 。河网密度大, 说明水系排泄水流能力强, 汇流时间短, 洪水涨落快, 洪峰高。河网密度计算公式为

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{F} \quad (1-1)$$

式中 $\sum_{i=1}^n l_i$ ——流域内各干、支流长度的总和, km ;

F ——流域面积, km^2 ;

D ——河网密度, km/km^2 。

(三) 河床和河谷

两山之间狭长弯曲的洼地叫山谷, 排泄水流的谷地叫河谷。由于地质构造和水流侵蚀的作用, 河谷的横断面一般可分为峡谷、广宽河谷和台地河谷三种类型。谷底的过水部分称为河床或河槽。

河槽横断面是指与水流方向相垂直的断面, 也称过水断面。当河水涨落变化时, 则过水断面的形状和过水面积的大小也随着变化, 如图 1-2 所示。

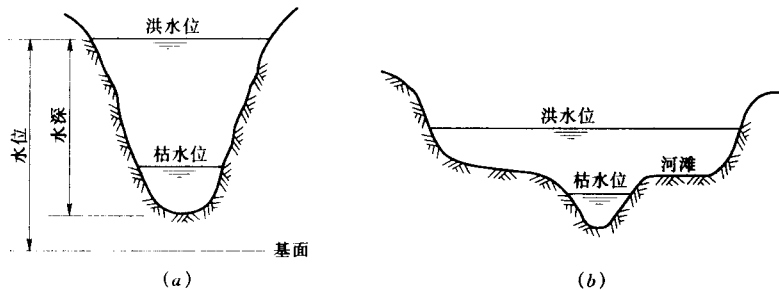


图 1-2 河槽横断面图
(a) 单式横断面; (b) 复式横断面

(四) 河流比降

(1) 河道水面比降。河流任一河段两断面的水面高差称为水面落差, 而单位河长的水面落差就叫水面比降。比降通常用小数或千分数表示。

(2) 河道河底比降。河源与河口处的河底高差称为河流总落差, 单位河长的河底落差

叫河道河底比降，又称河道纵比降。它的推求方法是將河道干流底部地形变化的转折点进行分段，如图 1-3 所示，并按下式计算河道平均纵比降。

$$\bar{J} = \frac{(Z_0 + Z_1)l_1 + (Z_1 + Z_2)l_2 + \cdots + (Z_{n-1} + Z_n)l_n - 2Z_0L}{L^2} \quad (1-2)$$

式中 Z_0, Z_1, \dots, Z_n ——自出口断面起，向上沿干流底部各转折点的高程，m；

l_1, l_2, \dots, l_n ——干流底部各转折点间的距离，m；

L ——河道全长，m；

\bar{J} ——河道平均纵比降。

(3) 河道平均纵比降。如图 1-3 中虚线所示。因此，若用图解法近似求河道平均纵比降时，可使图中多边形 $AGCB$ 与 $GDEH$ 的面积相等，即 $F_1 = F_2$ 。A、H 两点的高差除以 L 即得河道平均纵比降。

二、流域及其特征

流域是指河流某断面汇集地表水和地下水的区域。当不指明断面时，流域系对河口断面而言。流域的各种特征直接影响到河流的径流变化。

(一) 流域的几何特征

1. 流域面积

流域的边界通常为山脊或高地岭脊的连线，它起着分水的作用，故称分水线，又叫分水岭。如我国秦岭以南的水流归入长江，以北的水流归入黄河，所以秦岭山脊的连线是长江和黄河的分水线。分水线除地面分水线外，还有地下分水线，如图 1-4 所示。当地面、地下分水线重合的流域称闭合流域，否则称为非闭合流域。

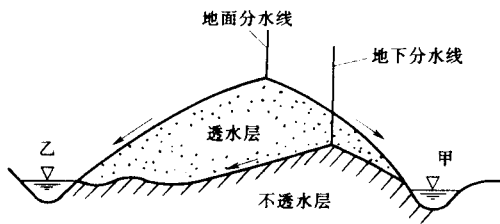


图 1-4 地面与地下分水线示意图

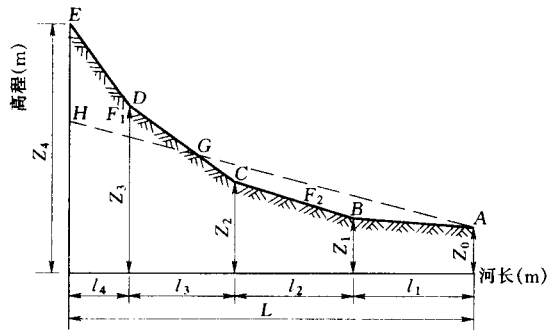


图 1-3 河道纵断面示意图

流域面积是指地面分水线所包围的面积，单位为 km^2 。在实际工作中，由于地下分水线难以确定，常以地面分水线包围的面积为集水面积，也称流域面积。山区河流的分水线，由地形图按水系的分布，勾绘山脊的连线。平原河流的下游部分地面分水线在地形图上难以勾绘，需要通过实地勘查才能确定。当绘出地面分水线后，它所包围的面积可用

求积仪或数方格的办法量出其面积的大小。流域面积大小是衡量河流大小的重要指标，在其它条件相同的情况下，流域面积的大小，决定河川径流的多少，所以一般河流的水量总是越往下游越丰富。

【例 1-1】 用数方格法求得某流域在图中的面积为 100cm^2 ，图的比例为 1:100000，试求该流域的实际面积。

解：图的比例 1:100000 为长度比，计算时应将其换算为面积比，即 $1^2:100000^2$ ，所以该流域实际面积为

$$F = 100 \times 100000^2 \text{ (cm}^2\text{)} = 100 \times 10^{10} \text{ (cm}^2\text{)} = 100 \text{ (km}^2\text{)}$$

2. 流域形状

流域形状可用流域形状系数描述，流域形状的不同，对河川径流的集中程度有着一定的影响。

(1) 流域长度。流域的几何中心轴长称流域长度，用符号 L 表示，单位为 km。流域轴线确定方法是以河口为圆心，采用不同半径划弧线与分水线相交，连接弧线与分水线相交的各条弦线。弦线的中点连线就是流域的几何中心轴长。当流域两岸分布较为对称时，则流域长度接近主河道长度。

(2) 流域平均宽度。流域平均宽度是流域面积与流域长度的比值，用符号 B 表示，即 $B = F/L$ ，单位为 km。若集水面积相接近的两个流域， L 越长， B 越窄。相反， L 越短， B 越宽。前者河川径流难以集中，后者河川径流易于汇集。

(3) 流域形状系数。流域形状系数是流域平均宽度与流域长度的比值，用符号 K 表示，即 $K = B/L$ 。 K 是一个无因次系数。当 $K \approx 1$ 时，流域形状则接近方形，则水流易于集中； $K < 1$ 时，流域形状则为狭长形，水流难以集中； $K > 1$ 时，流域形状则为扁形，水流也易于集中。

(二) 流域的自然地理特征

1. 流域的地理位置

流域的地理位置，可用流域的边界或流域中心的地理坐标经纬度表示。它间接反映了流域距离水汽源地的远近及与其它流域的关系。流域的地理位置不同，其降水，蒸发等水文要素均有差异，河川径流及变化过程也有区别。

2. 流域的气候条件

流域的气候条件包括降水、蒸发、温度、风等天气变化要素，它们对河川径流的变化有着直接的影响，其中尤以降水和蒸发的影响最大。

3. 流域的下垫面条件

流域的下垫面包括地形、地质、土壤、植被、湖泊、沼泽等。

(1) 流域的地形特性。流域的地形特性除用地形图描述外，还可以用流域平均高程和流域平均坡度来描述。流域平均高程指的是流域范围内地表的平均高程。流域高程的不同，影响到降水、气温的变化，从而影响到径流的变化，相同地区内流域平均高程愈高，年降水量愈大，年蒸发量愈小，年径流量愈大。流域平均坡度指的是流域范围内地表坡度的平均状况。流域坡度越陡，水流集中越快，地表径流比重越大，表土越易流失，河流泥沙越多。

(2) 流域的地质与土壤特性。流域内地质与土壤的特性，对下渗水量的多少以及河流含沙量的多少都有着直接的影响。如地质构造是风化的裂隙，将会增加下渗量，减少地面径流。土壤的物理性质，如沙土渗透性强，粘土渗透性弱，黄土易于冲刷等，以上这些因素都不同程度影响着河川径流的变化。

(3) 流域的植被。流域的植被覆盖程度可用植被率来表示，植被率是指流域内植被面

积占流域面积的百分数。植被能增加地面的糙率，延长地面汇流的时间，增加下渗和地下径流，故有涵养水源、减小洪水危害和保持水土的作用。1998年长江特大洪水提醒人们，要从根源上减少洪水灾害，需在长江中、上游地区大规模退耕还林，提高长江流域的植被率。

(4) 流域的湖泊与沼泽。流域内湖泊与沼泽，对河川径流能起到调蓄作用，它可以延续洪水、增加枯水期径流量和水面蒸发量，对促进水文循环，改善气候条件起着积极作用。通常以湖泊、沼泽面积占流域面积的百分数（即湖泊、沼泽度）来比较对径流的影响程度。

(5) 人类活动的影响。人类在改造自然的活动中修建了不少水库、塘堰、梯田，以及造林、城市化等，明显改变了流域的下垫面条件，因而使径流发生变化，影响到水量与水质。因此人类活动对径流的影响是间接的，主要是通过下垫面的变化影响径流的时空分布。

第二节 降 水

降水是指由空中降落到地面上的雨、雪、雹、霜等液态水和固态水的总称。它是水文循环和水量平衡的基本要素之一，是形成河川径流的先决条件。河流的水量来源于降水，其中主要来源于降雨和降雪。在我国的大部分地区影响径流变化的是降雨。

一、降雨的成因和类型

(一) 降雨的成因

在水平方向上物理性质（温度、湿度等）比较均匀的大块空气叫气团。空中产生降雨的现象需要两个基本条件：一是空气中要有大量的水汽；二是空气上升运动的动力。当带有水汽的气团受某外力作用作上升运动时，由于气压减小，上升的空气体积膨胀，消耗内能，气温降低，使原来未饱和的空气不仅达到饱和状态，而且造成水汽凝结。当凝结物的体积越来越大，空气托浮不住时，便降落到地面而形成降雨。

(二) 降水的类型

按空气向上抬升的原因不同，降雨可分为锋面雨、地形雨、对流雨和台风雨四种类型。

1. 锋面雨

当冷气团与暖气团相遇时，因两者的性质不同（冷气团的温度低、湿度小；暖气团的温度高、湿度大），在它们接触处所形成的不连续面称为锋面。锋面与地面的相交地带叫做锋。当冷气团势力强大主动向暖气团推进时，因冷空气较重而楔进暖气团下方，于是暖气团被迫作上升运动而形成的降雨称冷锋雨，如图 1-5 (a) 所示。冷锋雨一般强度大，历时短，雨区面积较小。当暖气团势力强大主动向冷气团推进时，暖气团将沿界面爬升于冷气团之上而形成的降雨称暖锋雨，如图 1-5 (b) 所示。暖锋雨的特点为雨区范围大、历时长。

2. 地形雨

当气团运行时遇到山脉高原的阻挡，被迫沿山坡作上升运动，由于动力冷却而成云致