

中国水利教育协会

高等学校水利类专业教学指导委员会

共同组织



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

工程水文及水利计算

主编 王丽学 刘丹



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水利教育协会

共同组织

高等学校水利类专业教学指导委员会



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

工程水文及水利计算

主编 王丽学 刘丹



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书为高等学校农业水利工程专业通用教材。全书共十五章，主要内容包括：水循环及径流形成、水文资料收集与处理、水文统计的基本知识、设计年径流的分析计算、由流量资料推求设计洪水、流域产流与汇流计算、由暴雨资料推求设计洪水、水文预报、河流水质及河流泥沙、水文模型、径流调节的基本概念、水库的兴利调节计算、小型水电站水能计算、水库防洪计算等。

本书可作为相关专业的教学参考书，还可供水利及其他涉水专业的技术人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

工程水文及水利计算 / 王丽学, 刘丹主编. — 北京:
中国水利水电出版社, 2019. 7
全国水利行业“十三五”规划教材. 普通高等教育
ISBN 978-7-5170-7802-9

I. ①工… II. ①王… ②刘… III. ①工程水文学—
高等学校—教材②水利计算—高等学校—教材 IV.
①TV12②TV214

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第134689号

书 名	全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育） 工程水文及水利计算 GONGCHENG SHUIWEN JI SHUILI JISUAN
作 者	主编 王丽学 刘丹
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.75印张 432千字
版 次	2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	45.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书是根据全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）编制计划编写完成的，是高等院校水利类专业本科的通用教材。本书是为适应目前大部分高校“工程水文及水利计算”课程的学分、学时都在缩减的现状，满足课程内容和学时需要，并结合新时期工程水文及水利计算发展的特点而编写的。

本书为高等学校农业水利工程专业的通用教材，也可作为相关专业的教学参考书。在教材结构方面，力求传承经典、成熟的理论体系；在教学内容方面，力求充分阐述本学科的基本理论和基本计算方法，并在此基础上吸纳本学科领域的部分最新研究成果。在编写过程中，力求做到定义、概念准确，文字精炼。

本书由王丽学、刘丹主编，张静、刘派、刘海生、徐威为副主编，徐淑琴、栾策参加编写。全书共分十五章，编写大纲由编写人员集体讨论，全书由沈阳农业大学王丽学统稿。具体分工如下：刘丹（第四章，第六章，第八章第一~四节），刘海生（第三章，第九章），徐威（第十章，第十一章第一~二节），徐淑琴（第十五章），张静（第十三章，第十四章），刘派（第二章，第十一章第三节），栾策（第五章，第八章第五~七节），王丽学（第一章，第七章，第十二章）。

中国农业大学任树梅教授对全书进行了审稿。本书的出版得到了东北农业大学、沈阳工学院、沈阳农业大学、辽宁生态工程职业学院、中国水利水电出版社的关心和支持。书中有些材料引自有关院校及科研生产单位人员编写的教材及文章，在此，编者向所有关心和支持本书的单位和人士以及本书中给出的和没有给出的相关文献的作者，表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不足及疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2019年5月

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 工程水文与水利计算的研究内容	1
第二节 工程水文与水利计算的主要任务	2
第三节 水文现象的基本规律与研究方法	2
第二章 水循环及径流形成	6
第一节 水循环及水量平衡	6
第二节 河流与流域	8
第三节 降水、蒸发及下渗	12
第四节 径流	20
复习思考题	24
第三章 水文资料收集与处理	25
第一节 水文测站与站网	25
第二节 水位观测	27
第三节 流量测量	31
第四节 水文调查与水文遥感	40
复习思考题	44
第四章 水文统计的基本知识	46
第一节 概述	46
第二节 随机变量及其概率分布	46
第三节 水文频率曲线	50
第四节 现行水文频率计算方法	53
第五节 相关分析	60
复习思考题	67
第五章 设计年径流的分析计算	69
第一节 概述	69

第二节	具有长期实测径流资料时设计年径流量计算	72
第三节	具有短期实测径流资料时设计年径流量计算	78
第四节	缺乏实测径流资料时设计年径流量计算	80
第五节	设计年径流年内分配计算	82
	复习思考题	85
第六章	由流量资料推求设计洪水	86
第一节	概述	86
第二节	设计洪峰流量及设计洪量的推求	88
第三节	设计洪水过程线的推求	99
第四节	分期设计洪水	103
第五节	入库设计洪水	104
第六节	设计洪水的地区组成	105
	复习思考题	106
第七章	流域产流与汇流计算	108
第一节	概述	108
第二节	流域产流汇流要素计算	108
第三节	流域产流分析计算	112
第四节	流域汇流分析计算	118
	复习思考题	128
第八章	由暴雨资料推求设计洪水	130
第一节	概述	130
第二节	直接法推求设计面暴雨量	131
第三节	间接法推求设计面暴雨量	135
第四节	设计暴雨时空分配的计算	137
第五节	设计洪水的推求	139
第六节	小流域设计洪水计算	142
第七节	可能最大降水及可能最大洪水	154
	复习思考题	158
第九章	水文预报	160
第一节	概述	160
第二节	短期洪水预报	161
第三节	中长期水文预报	168
第四节	水文预报精度评定	170
第十章	河流水质及河流泥沙	175
第一节	概述	175
第二节	河流水质	176

第三节	河流泥沙	185
	复习思考题	189
第十一章	水文模型	190
第一节	概述	190
第二节	水文系统理论模型	191
第三节	水文概念性模型	197
	复习思考题	204
第十二章	径流调节的基本概念	205
第一节	径流调节的分类及灌溉设计标准	205
第二节	水库特性曲线及特征水位	207
第三节	库区淹没、浸没和水库淤积	211
第四节	水库水量损失	212
	复习思考题	214
第十三章	水库的兴利调节计算	215
第一节	水库兴利调节计算原理及水库运用分析	215
第二节	水库死水位的选择	217
第三节	年调节水库兴利调节计算	220
第四节	多年调节水库兴利调节计算的长系列法	228
	复习思考题	231
第十四章	小型水电站水能计算	232
第一节	水能利用基本知识	232
第二节	无调节、日调节水电站水能计算	235
第三节	年调节水电站水能计算	241
	复习思考题	245
第十五章	水库防洪计算	246
第一节	水库调洪作用	246
第二节	水库调洪计算的原理与方法	248
第三节	水库防洪计算	257
第四节	溃坝洪水计算	263
附录		267
参考文献		273

第一章 绪 论

第一节 工程水文与水利计算的研究内容

工程水文与水利计算的研究内容有两方面：一是工程水文学；二是水利计算。

一、工程水文学

工程水文学是针对不同涉水工程的性质和需求将水文学的基本理论与方法运用于工程建设与管理，为工程规划设计、施工建设、运行管理提供水文依据的一门科学。

广义的水文学是指研究地球上各种水体的存在、分布、运动及其变化规律，探讨水体的物理和化学特性以及它们对环境作用的一门科学。水体是指以一定形态存在于自然界中的水的总称。如大气中的水汽，地球表面上的江河、湖泊、沼泽、冰川、海洋以及潜藏在地下的地下水等。各种水体都有自己的特性和变化规律，因此，按照水体所处的空间位置不同，水文学可以分为水文气象学、陆地水文学、海洋水文学和地下水文学。

狭义的水文学是指研究对象只限于陆地水体的陆地水文学。陆地水文学按水体不同，又可以分为河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学和河口水文学等。河流与人类的经济生活有密切的关系，因此，河流水文学发展得最早、最快。河流水文学根据研究任务不同，又可以分为水文测验学及水文调查、河流动力学、水文地理学、水文实验研究、水文预报、水文分析与计算以及水利计算与规划等多门学科。

本书所述工程水文的主要内容，是在了解水循环及径流等水文现象相关知识（第二章）及水文统计基本知识（第四章）的基础上，重点阐述进行“两个设计”的分析计算，即设计年径流的分析计算（第五章）与洪水设计。其中洪水设计又分为由流量资料推求设计洪水（第六章）与由暴雨资料推求设计洪水（第八章）。在“两个设计”中，又涉及水文资料的收集与处理（第三章）、流域产流与汇流计算（第七章）等内容。另外，还介绍了河流水质及河流泥沙（第十章），并简要叙述了水文预报（第九章）和水文模型（第十一章）。

二、水利计算

水利计算指的是水资源系统开发和治理中对河流等水体的水文情况、国民经济各部门用水需求、径流调节方式和经济论证等进行分析计算。通过水利计算获得的成果，可为建筑物的设计和设备工作状态的选择提供数据，以便确定建筑物的规模和设备的运行规程，同时也为各种水利工程的投资和效益、用水部门正常工作的保证程度和工程修建后的后果等做经济分析、综合论证提供定量依据。

水利计算的主要内容是在了解径流调节基本概念（第十二章）与工程水文提供的年径流与洪水设计成果的基础上，阐述了“两个计算”，即水库的兴利调节计算（第十三章）

与水库防洪计算（第十五章）。此外还叙述了小型水电站水能计算（第十四章）。

第二节 工程水文与水利计算的主要任务

任何一个流域的开发与水利工程建设过程都必须经历规划设计、工程施工及运行管理 3 个阶段，不同阶段工程水文与水利计算承担不同的服务内容。

规划设计阶段主要是为确定工程规模提供水文数据。水文计算的任务就是要研究工程修建后，在长期使用期限内的水文情势，提出作为工程设计依据的水文特征值（如设计年径流、设计洪水等）。水利计算的任务是根据设计水文数据，通过调节计算，选定工程枢纽参数（如正常蓄水位、死水位、装机容量等），并确定主要建筑物的尺寸（如坝高、溢洪道尺寸等），然后详细计算各项水利经济指标，进行经济论证。

工程施工阶段，水文计算的任务是为了确定临时性水工建筑物（如施工围堰、导流隧洞、导流渠等）的规模提供施工期设计洪水。为了使施工现场不受洪水淹没，保证工作正常进行，施工期还要提供中、短期水文预报信息，为防汛抢险和截流当好参谋。水利计算的任务是定出临时性水工建筑物的尺寸（如围堰高度）。在编制施工详图阶段，水利计算的任务一般是制定枢纽运行计划，主要是编制枢纽初期运转的调度图。另外，随着枢纽主体工程逐步完成，还须研究多年调节水库的初期充蓄问题。

运行管理阶段，需要知道未来一定时期的来水情况，以便编制水量调度方案，合理调度，充分发挥工程效益。因此，在这一阶段，水文预报工作十分重要。例如，汛前根据洪水预报信息，在洪水来临之前，预先腾出库容拦蓄洪水。到汛末时，又及时拦蓄尾部洪水，以保证灌溉、发电等方面的需求。此外，在工程运用期间随着水文资料的积累，还要经常地复核和修正原设计的水文数据，改进调度方案或对工程实行必要的改造。

工程水文不仅对水利水电工程建设有巨大的作用，而且对国民经济许多领域也是非常重要的。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，这些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，而工程水文和水利计算的作用就是为了实现这一目标而解决工程上遇到的实际问题。

第三节 水文现象的基本规律与研究方法

一、水文现象的基本规律

地球上的水在太阳辐射和重力的作用下，以蒸发、降水和径流等方式周而复始地循环，这些现象称为水文现象。自然界水文现象的发生和发展过程，由于受气象要素和地质、地貌、植被等下垫面因素以及人类活动的影响，情况是十分复杂的。但是，人们可以从寻求出一些规律和特性，认识这些规律和特性，有利于开展水文研究和业务工作。总体来说这些水文现象在时间变化上与其他自然现象一样，具有必然性和偶然性，在水文学中通常称前者为确定性，后者为随机性。此外，水文现象在空间变化上，还具有地区性。

(1) 水文现象的确定性规律。河流每年都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绕太阳的公转与自转。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。确定性规律具体又包含了周期性成分和非周期性成分：周期成分是以一定时间间隔重复出现的成分，如河流每年都有一个汛期和一个非汛期，在冰雪水源的河流上水文现象具有日周期变化，有些河流还具有连续干旱或洪涝多年变化的周期；非周期性成分包括趋势性成分和跳跃性成分。趋势性和跳跃性成分是连续或突然上升或下降的一种成分，如水库下游的年径流量在水库修建前后有一个突然下降的成分，有些湖泊由于泥沙淤积水位有逐年上升的趋势。

(2) 水文现象的随机性规律。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，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，故又称统计规律。随机性规律具体包含了独立随机成分和相依随机成分：独立随机成分（纯随机）指现象之间互不影响，完全独立，如河流每年最大洪峰流量年年不同，汛期出现的时间有前有后、有长有短；相依随机成分（自相关）指现象之间按照顺序不是独立的，具有一定的相关关系，如持续丰水年组或枯水年组。

(3) 水文现象的地区性规律。水文现象在空间变化上还具有相似性和特殊性规律：相似性指不同流域所处的地理位置（经纬度、距海远近等）相似，气候条件与下垫面条件也相似，那么由相类似的气候及地理条件综合影响而产生的水文现象，在一定程度上就具有相似性，如湿润地区河流的径流年内分配比较均匀，而干旱地区河流的径流年内分配就很不均匀；特殊性指不同流域虽然所处的地理位置与气候条件相似，但由于下垫面条件的差异，也会有不同的水文现象，这就是水文现象的特殊性，如在同一气候区，山区河流与平原河流的洪水运动规律就不相同。岩溶地区河流与非岩溶地区河流的水文规律也不相同。总之，水文现象的相似性是相对的，而水文现象的特殊性是绝对的。

从上述水文现象的基本特性可以看出，水文现象的变化规律是错综复杂的。为了寻找它们的变化规律，做出定性和定量的描述，首要的工作是进行长期的、系统的观测工作，收集和掌握充分的水文资料。根据不同的研究对象和资料条件，采取各种有效的分析研究和计算方法。在水文计算中经常采用的方法有成因分析法、数理统计法以及地区综合法等，这些方法相辅相成、互为补充。如今水文模型的应用，包含物理模型和数学模型，特别是水文数学模型引起了人们的重视，丰富了现有的水文计算方法。

二、工程水文学研究方法

正是由于水文现象具有确定性规律、随机性规律和地区性规律，工程水文学的主要研究方法相应地分为成因分析法、数理统计法和地理综合法，三者组合的研究方法是耦合法。

(1) 成因分析法。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，称为地区综合法。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。

(4) 耦合法。将成因分析法、数理统计法、地区综合法等进行组合而产生的研究方法，称为耦合法。耦合法是上述三种方法的结合使用，三者相辅相成，互为补充。

在工程水文学中，由于影响水文过程的因素是非常复杂的，成因分析法和数理统计法往往不能截然分开，须结合使用，才能较好地描述水文过程，有效地减少计算成果的误差。如实时洪水预报就是用成因分析法进行产汇流预报，用数理统计法进行误差实时校正。在实际情况下，即使是认识到水文现象的成因规律，往往也是定性的认识，不能从确定性途径建立相应的数学物理方程，需要根据实测资料借助于统计学途径建立相关关系。单位线的地区综合公式就是用成因分析法推求单位线的参数，用地理综合法进行参数的地区综合。同样，要采用数理统计法建立设计变量与参证变量之间的相关关系，必须采用成因分析方法选择合适的参证变量，才能使得所建立的相关关系具备可靠性和有效性。因此，认真地学习、了解和掌握水文过程的成因规律、地理分布规律和统计规律，掌握工程水文学各研究方法的特性，才能较好地解决工程实际问题。

三、水利计算研究方法

水利计算是在工程水文学的基础上，主要利用水量平衡原理进行研究，但它涉及的内容较多，并与其他学科发生交叉，综合性较强。

(1) 水量平衡法。水量平衡法就是基于质量守恒定律的调节计算方法。按照研究的对象和重点，调节计算可分为洪水调节计算和枯水调节计算，洪水调节计算主要解决防洪问题，枯水调节计算重点解决兴利问题。在水库的兴利调节计算中，主要是利用计算时段的来水、用水与水库的蓄水变化进行水量平衡分析，确定调节库容和蓄水变化过程；在中小型水电站的水能计算中，也用到水量平衡方法确定水库的蓄水（水位或水头）变化情况；在水库的调洪计算中，也必须根据水库水量平衡方程与蓄泄方程（或称蓄泄曲线）联合求

解，才能确定水库防洪需要的各种特征值。可见水量平衡原理贯穿整个水利计算的全部内容。

(2) 多学科交叉法。仅依靠水量平衡法难以完成水利计算目标，必须有其他学科的紧密配合才能达到研究目的，如数理统计学、水力学、水利经济学、水能学等。因此，与其他学科一样，从事水利计算研究时，必须具有扎实的相关学科的知识。虽然水利计算是多学科相互交融的一门技术科学，但水量平衡原理起主导地位，所以将水利计算归类为应用水文学范畴也在情理之中，并得到许多专家学者的认可。

第二章 水量平衡原理

第一节 水量平衡原理概述

水量平衡原理是研究自然界中各种水体（如大气圈、水圈、岩石圈、生物圈等）在一定时间内，水的收入与支出相平衡的规律。它是水利计算的理论基础，广泛应用于水文、水资源、水环境、水工程等领域。水量平衡原理的基本概念是：在一个选定的控制体（如流域、水库、城市等）内，水的收入（如降水、径流、蒸发等）等于水的支出（如蒸发、径流、排泄等）加上控制体内水量的变化。水量平衡原理的数学表达式为：
$$I - O + \Delta S = 0$$
 其中， I 为收入水量， O 为支出水量， ΔS 为控制体内水量的变化量。

第二节 水量平衡原理的应用

水量平衡原理在水利计算中的应用非常广泛，主要包括以下几个方面：1. 水文计算：通过水量平衡原理，可以推求流域出口断面的径流量、蒸发量、地下径流量等。2. 水资源评价：通过水量平衡原理，可以评价流域的水资源状况，确定水资源的可利用量。3. 水环境评价：通过水量平衡原理，可以评价水体的水质状况，确定水体的自净能力。4. 水工程设计：通过水量平衡原理，可以设计水工程的规模、布局等。

第三节 水量平衡原理的数学模型

水量平衡原理的数学模型是描述水量平衡过程的数学表达式。根据水量平衡原理，可以建立流域水量平衡模型、水库水量平衡模型、城市水量平衡模型等。流域水量平衡模型的数学表达式为：
$$P - E - R - \Delta S = 0$$
 其中， P 为流域总降水量， E 为流域总蒸发量， R 为流域出口断面径流量， ΔS 为流域内水量的变化量。水库水量平衡模型的数学表达式为：
$$I - O + \Delta S = 0$$
 其中， I 为水库入库水量， O 为水库出库水量， ΔS 为水库内水量的变化量。

第四节 水量平衡原理的计算机模拟

随着计算机技术的发展，水量平衡原理的计算机模拟已成为水利计算的重要手段。通过建立水量平衡模型的计算机程序，可以实现对水量平衡过程的模拟和预测。水量平衡原理的计算机模拟广泛应用于水文预报、水资源管理、水环境评价等领域。水量平衡原理的计算机模拟的基本步骤包括：1. 建立水量平衡模型；2. 收集水量平衡模型所需的数据；3. 编写水量平衡模型的计算机程序；4. 运行水量平衡模型的计算机程序；5. 验证水量平衡模型的模拟结果。

第二章 水循环及径流形成

第一节 水循环及水量平衡

一、水循环

(一) 水循环的概念

水是地球上分布最广泛的物质之一，地球上的水以液态、固态和气态的形式分布在海洋、陆地、大气和生物机体中，这些水构成了地球的水圈。水圈中各种水体在太阳的辐射下不断蒸发变为水汽进入大气，并随气流的运动输送到各地，在一定条件下凝结形成降水。降落的雨水，一部分被植物截留并蒸发，一部分形成地面径流沿江河回归大海，一部分渗入地下。渗入地下的水，有的被土壤或植物根系吸收，最后经蒸发和植物散发返回大气；有的渗入更深的土层形成地下水，以泉水或地下水的形式注入河流回归大海。水圈中各种水体通过蒸发、水汽输送、凝结、降水、下渗，形成地面、地下径流的往复循环过程，称为水循环。

(二) 水循环的成因

水循环的成因包括内因和外因两方面。内因是水的物理三态（固态、液态、气态）在一定条件下的相互转化。外因是太阳辐射和地心引力。太阳辐射为水分蒸发提供热量，促使液态、固态的水变成水汽，并引起空气流动。地心引力使空气中的水汽以降水的形式回到地面，并且促使地表水、地下水汇入大海。另外，陆地的地质条件及地貌类型等都对水循环有一定影响。

(三) 水循环的分类

水循环按不同过程和规模，可分为大循环和小循环，如图 2-1 所示。从海洋上蒸发出来的水汽，被气流输送到大陆上空，遇冷凝结形成降雨降落到地面。其中一部分重新蒸发返回到大气中，另一部分以地面和地下径流的形式沿河流回归大海，这种海陆间的水分交换过程称为大循环。从海洋蒸发的水汽，在海洋上空成云致雨，直接降落到海洋表面，或陆地上的水蒸发后又降落到陆地，这种局部的水循环称为小循环。前者为海洋小循环，后者为内陆小循环，二者具有一定的联系。

(四) 水循环的意义

水循环是地球上最重要、最活跃的物质循环之一，它实现了地球系统水量、能量和地球生物化学物质的迁移与转换，构成了全球性的连续有序的动态大系统。在水循环中，大气中的水分仅占全球总水量的 0.001%，约为 129 亿 m^3 ，但平均每年进出大气的总水量高达 6000 万亿 m^3 ，并以雨、雪、雹、露等形式进行动态循环，使得人类生产、生活不可或缺的水资源具有可再生性和时空分布不均匀性，也就是说没有水循环就没有可供人们利用



图 2-1 水循环示意图

的水资源。

水在自然界中的循环运动对人类生产和生活有着重大影响。研究水循环的目的在于认识它的基本规律，揭示其内在联系，这对合理开发和利用水资源具有十分重要的意义。

二、水量平衡

(一) 地球的水量平衡

根据物质不灭定律可知，在水循环过程中，对于任一区域，在任一时段内，进入的水量与输出的水量之差必等于其蓄水量的变化量，这就是水量平衡原理。根据水量平衡原理，可以列出水量平衡方程。

对某一区域，其水量平衡方程式为

$$I - O = \Delta S \quad (2-1)$$

式中： I 、 O 为给定时段内输入、输出该区域的总水量； ΔS 为时段内区域蓄水量的变化量，可正可负。

式 (2-1) 为水量平衡方程的通用式，对不同的研究对象须具体分析其输入量、输出量的组成，写出相应的水量平衡方程式，如图 2-2 所示。

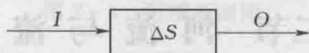


图 2-2 通用水量平衡方程示意图

若以地球的整个大陆作为研究范围，则水量平衡方程式为

$$P_c - R - E_c = \Delta S_c \quad (2-2)$$

若以海洋为研究范围，则水量平衡方程式为

$$P_o + R - E_o = \Delta S_o \quad (2-3)$$

式中： P_c 、 P_o 为陆地和海洋上的降水量； E_c 、 E_o 为陆地和海洋上的蒸发量； R 为流入海洋的径流量（包括地表和地下径流量）； ΔS_c 、 ΔS_o 为时段内陆地和海洋蓄水量的变化量。

对于长期平均情况而言，蓄水量的变化量接近于零，可忽略不计。例如，对于陆地多年平均情况，其水量平衡方程可写为

$$\bar{P}_c - \bar{R} = \bar{E}_c \quad (2-4)$$

对于海洋多年平均情况，其水量平衡方程式为

$$\bar{P}_o + \bar{R} = \bar{E}_o \quad (2-5)$$

式中： \bar{R} 为从陆地流入海洋的多年平均年径流量； \bar{P}_c 为陆地多年平均降水量； \bar{E}_c 为陆地多年平均蒸发量； \bar{E}_o 为海洋多年平均蒸发量； \bar{P}_o 为海洋多年平均降水量。

将式(2-4)、式(2-5)合并，即得多年平均全球水量平衡方程为

$$\bar{P}_c + \bar{P}_o = \bar{E}_c + \bar{E}_o \quad (2-6)$$

即

$$\bar{P} = \bar{E} \quad (2-7)$$

式(2-7)表明，全球多年平均降水量 \bar{P} 和多年平均蒸发量 \bar{E} 相等。

(二) 区域的水量平衡

水资源的定量分析计算是针对某特定区域开展的，需要研究区域内降水、蒸发、地表水、地下水之间的转化关系。

对某时段（年、月），区域的水量平衡方程如下：

$$P = R + E + U_g \pm \Delta V \quad (2-8)$$

式中： P 为降水量； R 为地表径流量； E 为蒸散发总量； U_g 为地下径流量； $\pm \Delta V$ 为区域内蓄水量的变化量。

对于多年平均情况，由于 $\Delta \bar{V}$ 趋近于零，则有

$$P = R + E + U_g \quad (2-9)$$

区域水资源量为

$$\bar{W} = \bar{P} - \bar{E} = \bar{R} + \bar{U}_g \quad (2-10)$$

区域内由于地表水与地下水补给有重复现象，估算水资源量时，对地表水和地下水既要分项计算，又要计算重复水量，所以，区域水资源量计算式一般形式为

$$\bar{W} = \bar{R} + \bar{U} - \bar{D} \quad (2-11)$$

式中： \bar{W} 为区域多年平均年水资源量； \bar{R} 为区域多年平均年地表径流量； \bar{U} 为区域多年平均年地下水补给量； \bar{D} 为重复水量。

第二节 河流与流域

一、河流

(一) 河流的形成与分段

降落在地面的雨水，除下渗、蒸发损失外，形成的地表水在重力作用下，沿着陆地表面上的有一定坡度的凹地流动，这种水流称为地表径流。由地下水的补给区向排泄区流动的地下水称为地下径流。而接纳地表径流和地下径流的天然泄水通道称为河流。河流流

经的谷地称为河谷，河谷底部有水流的部分称为河床或河槽。面向下游，左边的河岸称左岸，右边的河岸称右岸。

一条河流可分为河源、上游、中游、下游及河口五段。

(1) 河源。河源是河流的发源地，可以是泉水、溪涧、沼泽、湖泊或冰川。河源不是一点一线，而是呈面状分布。

(2) 上游。河流的上游连接河源，水流具有较高的位置势能，在重力的作用下流动，受河谷地形的影响，水流湍急，落差大，冲刷强烈，奔流于深山峡谷之中，常常出现瀑布、急滩。

(3) 中游。随着河槽地势渐趋缓和，两岸逐渐开阔，河面增宽，水面比降减缓，两岸常有滩地，冲淤变化不明显，河床较稳定。

(4) 下游。下游与河口相连一般处于平原区，河床宽阔，河床坡度和流速都较小，淤积明显，浅滩和河湾较多。

(5) 河口。河流的终点，即河流注入海洋或内陆湖泊的地方。这一段因流速骤减，泥沙大量淤积，往往形成三角洲。

注入海洋的河流，称为外流河，如长江、黄河等。流入内陆湖泊或消失在沙漠中的河流称为内陆河，如新疆的塔里木河和甘肃省的石羊河等。

(二) 河流基本特征

1. 河流长度 L

自河源沿主河道至河口的距离称为河流长度，简称河长，单位通常为 km。

2. 河流断面

河流的断面分横断面和纵断面两种。横断面是指与水流方向垂直的断面，两边以河岸为界，下面以河底为界，上界是水面。横断面也称过水断面，枯水期水流所占部分为基本河床，也称主槽。洪水泛滥所及部分为洪水河床，也称滩地。只有主槽而无滩地的断面称单式断面，既有主槽又有滩地的断面称复式断面（图 2-3）。

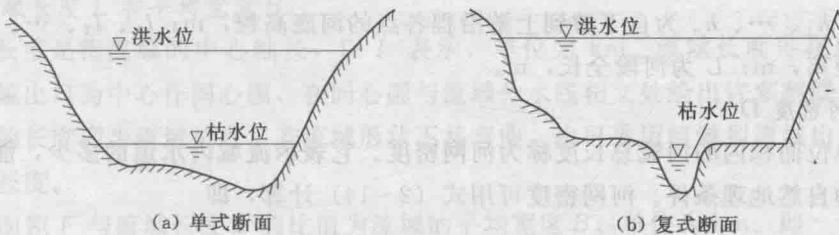


图 2-3 河槽断面图

纵断面是指沿着河流中泓线的剖面，中泓线是河流中沿水流方向各断面最大水深点的连线。用测量方法测出该线上若干河底地形变化点的高程，以河长为横坐标，可绘出河流纵断面图。

3. 河道纵比降 J

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，简称比降。比降常用小数表示，也可用千分数表示。常用的比降有水面比降和河底比降。当河段纵断面近于直

线时，比降可按式(2-12)计算：

$$J = \frac{h_1 - h_0}{l} = \frac{\Delta h}{l} \quad (2-12)$$

式中： J 为河段的纵比降； h_1 、 h_0 为河段上、下端河底高程，m； Δh 为落差，m； l 为河段的长度，m。

当河段纵断面呈折线时，可在纵断面图上，通过下游断面河底处作一条斜线，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的平均纵比降(图2-4)，可用式(2-13)计算：

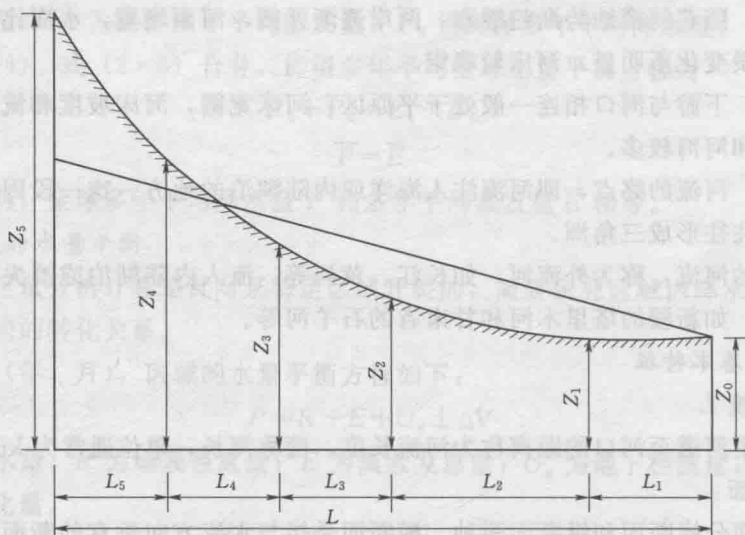


图2-4 河道平均纵比降示意图

$$J = \frac{(h_0 + h_1)l_1 + (h_1 + h_2)l_2 + \dots + (h_{n-1} + h_n)l_n - 2h_0L}{L^2} \quad (2-13)$$

式中： h_0 、 h_1 、 \dots 、 h_n 为自下游到上游沿程各点的河底高程，m； l_1 、 l_2 、 \dots 、 l_n 为相邻二点间的距离，m； L 为河段全长，m。

4. 河网密度 D

平均单位面积内的河流总长度称为河网密度。它表示流域内水道的多少，能综合反映一个地区的自然地理条件。河网密度可用式(2-14)计算，即

$$D = \frac{\sum L_i}{F} \quad (2-14)$$

式中： F 为流域面积， m^2 ； D 为河网密度， $1/km$ ； $\sum L_i$ 为流域内干、支流的总长度，m。

二、流域

(一) 流域及水系

由分水线包围的汇集地表水和地下水的区域，称为该河流的流域。相对于河流某一断面就有一个相应的流域；当不指明断面时，流域则对河口而言，例如长江流域是指吴淞口