

高等学校教材

工程水文及水利计算

成都科技大学
华东水利学院 合编
武汉水利电力学院

水利电力出版社

TV12-43
C69

200151

高等学校教材

工程水文及水利计算

成都科技大学
华东水利学院 合编
武汉水利电力学院



水利电力出版社

内 容 提 要

本书为高等学校农田水利工程专业通用教材。全书分两篇共十八章。第一篇为工程水文，共十三章，主要讲述水文学的基本知识、水文计算和水文预报；第二篇为水利计算，共五章，主要讲述水库兴利计算、防洪计算、水能计算和水库的控制运用。

本书也可供其他水利专业师生和工程技术人员参考。

DUC40/16

高等学校教材

工程水文及水利计算

成 都 科 技 大 学

华 东 水 利 学 院 合 编

武 汉 水 利 电 力 学 院

(根据水利出版社纸型重印)

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 27印张 613千字

1981年7月第一版

1983年11月新一版 1983年11月北京第一次印刷

印数 0001—8550册 定价 2.75元

书号 15143·5245

前 言

本教材是根据原水利电力部1978年4月在武汉召开的“高等学校农田水利工程专业教学计划及教材编写规划会议”的精神，以及《工程水文及水利计算》教材编写大纲编写的，并按照教材审稿会议的审查意见修改，最后由主编单位汇总定稿。

全书分两篇：第一篇为工程水文，共十三章，按106学时（包括绪论2学时）编写；第二篇为水利计算，共五章，按44学时编写。本教材内容较多，各院、校可根据地区特点及教学时数酌情取舍。

第一篇以水文循环及径流形成、水文统计的基本知识、设计年径流及设计洪水的推求、水文预报为主要内容，同时，扼要介绍水文观测及水文资料的收集、可能最大暴雨的计算、河流泥沙、排涝水文计算、感潮河段的水文计算、人类活动对径流的影响等方面的基本知识；第二篇以灌溉水库的兴利计算与防洪计算为主要内容，同时扼要介绍水电站的水能计算、灌溉水库汛期控制运用及兴利控制运用等方面的基本知识。

本教材由成都科技大学吴明远、桑良谋主编，参加编写的同志有：成都科技大学吴明远（绪论）、邓育仁（第一章）、潘久根（第二章）、丁晶（第三章）、桑良谋（第十四、十六章）、曾佑澄（第十五章）；华东水利学院蔡文祥（第四、六章）、吴志厚（第五、九章）、刘权授（第八章）、许静仪（第十、十一、十二、十三章）、余晓珍和成都科技大学高荣松（第七章）；武汉水利电力学院袁作新（第十七、十八章）。

本教材由武汉水利电力学院袁作新主审。西北农学院、清华大学、合肥工业大学、武汉水利电力学院、华东水利学院、成都科技大学、水利电力部规划设计管理局、长江流域规划办公室、四川省水利勘测设计院等单位的代表出席了审稿会议，对本书初稿进行了认真地审查，提出了修改意见，对提高教材质量帮助很大。本书引用了有关院、校和生产单位编写的教材及技术资料中的一些材料，编者在此一并致谢。

最后，我们诚恳地希望读者对本书存在的缺点和错误提出批评意见，并将意见寄交成都科技大学水文学及水资源教研室为感。

编 者

1980年9月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一节 工程水文学及水利计算的研究对象	1
第二节 工程水文学及水利计算在农田水利建设中的作用	2
第三节 水文现象的基本规律与水文学的研究方法	3
第四节 我国工程水文学及水利计算的发展概况	4

第一篇 工 程 水 文

第一章 水循环及径流形成	7
第一节 水循环及水量平衡	7
第二节 河流特征	9
第三节 降水	14
第四节 蒸发	19
第五节 下渗	23
第六节 径流的形成	25
第七节 流域水量平衡方程	30
第八节 径流量的表示方法和度量单位	31
第二章 水文观测及水文资料的收集	33
第一节 水文站	33
第二节 水位观测及计算	34
第三节 流量测验	36
第四节 流量资料整编	43
第五节 泥沙测验及计算	48
第六节 水文调查	51
第七节 水文资料的收集	52
第八节 水文资料的审查	53
第三章 水文统计的基本知识	55
第一节 概述	55
第二节 概率的基本概念与定理	56
第三节 随机变量及其概率分布	59
第四节 统计参数估算	69
第五节 现行水文频率计算方法——配线法	73
第六节 二元概率组合	78
第七节 相关分析	82
第四章 年径流分析与计算	92
第一节 概述	92

第二节	影响年径流量及年内分配的因素	95
第三节	具有长期实测径流资料时, 设计年径流量及年内分配的分析计算	96
第四节	具有短期实测径流资料时, 设计年径流量及年内分配的分析计算	104
第五节	缺乏实测径流资料时, 设计年径流量及年内分配的分析计算	109
第五章	由流量资料推求设计洪水	115
第一节	设计洪水计算的基本概念	115
第二节	设计洪峰流量及设计洪量的推求	117
第三节	设计洪水过程线的推求	125
第四节	设计洪水成果的合理性分析	129
第五节	设计洪水中的其它问题	131
第六章	由暴雨资料推求设计洪水	134
第一节	概述	134
第二节	流域产流的分析计算	134
第三节	流域汇流的分析与计算	148
第四节	设计暴雨	166
第五节	由设计暴雨推求设计洪水	178
第七章	小流域设计洪水	182
第一节	小流域设计洪水计算特点	182
第二节	小流域设计暴雨	182
第三节	推理公式	186
第四节	地区经验公式	195
第五节	用洪水调查法推求小流域设计洪水	197
第六节	设计洪水过程线的推求	198
第七节	用综合单位线求小流域设计洪水	201
第八章	可能最大暴雨的计算	205
第一节	概述	205
第二节	气象基本知识	205
第三节	可能最大暴雨的计算方法	212
第四节	可能最大暴雨等值线图的绘制与应用	218
第九章	河流泥沙	221
第一节	概述	221
第二节	推求多年平均年输沙量	221
第三节	输沙量的变化	224
第四节	悬移质的颗粒级配	225
第十章	水文预报	227
第一节	概述	227
第二节	短期洪水预报	228
第三节	枯水预报	239
第四节	冰情预报	242
第五节	长期预报方案简介	243

第十一章	排涝水文计算	248
第一节	概述	248
第二节	平原地区排涝水文计算	249
第三节	圩区排涝水文计算	261
第十二章	感潮河段的水文计算	264
第一节	基础知识	264
第二节	最高潮水位和最低潮水位的计算	269
第三节	排水的设计潮水位与潮型	274
第四节	灌溉设计潮水位与潮型	276
第十三章	人类活动对径流的影响	278
第一节	概述	278
第二节	人类活动对年径流的影响与估算	279
第三节	人类活动对洪水径流的影响与估算	282
第四节	人类活动对河流泥沙的影响与估算	285

第二篇 水利计算

第十四章	灌溉水库的兴利计算	289
第一节	概述	289
第二节	水库特性曲线及特征水位	290
第三节	灌溉设计标准	293
第四节	水库设计死水位的选择	294
第五节	水库兴利调节计算及设计蓄水位的确定	296
第十五章	水电站的水能计算	316
第一节	水能利用的基本概念	316
第二节	设计保证率及设计代表年和代表段的选择	319
第三节	电力系统的负荷及其容量组成	321
第四节	无调节水电站的水能计算	326
第五节	年调节水电站的水能计算	329
第六节	以灌溉为主的水库水电站的水能计算	334
第十六章	水库防洪计算	341
第一节	防洪措施及水库调洪	341
第二节	调洪计算的基本原理与方法	344
第三节	水库防洪计算	353
第四节	启用非常泄洪设施时的调洪计算	357
第五节	水库下游河道的洪水演算	359
第十七章	灌溉水库汛期控制运用	374
第一节	水库汛期控制运用计划的编制	374
第二节	中、小型水库防洪能力图表的编制及应用	385
第三节	多沙河流水库的控制运用	391

第十八章 灌溉水库兴利控制运用	395
第一节 水库年度供水计划的编制	395
第二节 水库兴利调度图的编制和应用	402
第三节 中、小型水库简易供水计划	407

附 录

附表1 皮尔逊III型频率曲线的高均系数 Φ 值表	410
附表2 皮尔逊III型频率曲线的模比系数 K_P 值表	412
附表3 概率格纸的横坐标分格表	416
附表4 瞬时单位线 S 曲线查用表	417
附表5 1000毫巴地面到指定高度(高出地面数)间饱和和假绝热大气中的可降水量(毫米)与1000毫巴露点($^{\circ}\text{C}$)函数关系表	423

绪 论

第一节 工程水文学及水利计算的研究对象

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都是有一定形态存在于自然界中的水体。广义的水文学就是研究自然界各水体的运动、变化和分布规律的科学。按照水体所处空间位置的不同，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。通常所称的水文学就是指研究对象只限于陆地水体的陆地水文学。陆地水文学按不同水体，又可分为河流水文学、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，河流水文学与其它水体水文学相比，它发展得最早最快，现在已成为内容比较丰富的一门学科。

河流水文学根据研究任务的不同，又可分为以下几门学科：

(1) 水文测验学及水文调查 它包括：研究获得水文资料的手段和方法；布设水文站网的理论；整编水文资料的方法以及水文调查的方法和资料整理等。

(2) 河流动力学 研究河流泥沙运动及河床演变的规律。

(3) 水文地理学 根据水文特征与自然地理因素之间的相互关系，研究水文现象的地区性规律。

(4) 水文实验研究 运用野外实验流域和室内模拟模型来研究各种水文现象和水文过程的物理机制。

(5) 水文预报 在研究水文现象变化规律的基础上，预估未来短时期内的水情，为水利工程的施工管理及有计划的控制运用提供依据。

(6) 水文分析与计算 在研究水文现象变化规律的基础上，预报长期水文情势，为水利工程的规划设计拟定合理标准，以便确定工程规模。

(7) 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、经济论证等方面对水利工程的规模及其工作情况，提出经济合理的规划设计。

此外，还有研究水体化学性质的水文化学和研究水体物理基本性质的水文物理。近年来，由于人们研究水利工程对环境的影响，又逐步形成一门新的学科——水利环境学。

工程水文学是将水文学应用于水利工程上的一门技术科学。它的主要内容就是研究有关水文分析与计算和水文预报的基本理论和计算方法。

在高等学校，农田水利工程专业设置《工程水文及水利计算》课程的目的，在于培养学生初步具有河流的知识和改造利用河流的能力。工程水文部分属于基础技术课，水利计算部分属于专业课。本课程与《水力学》、《农田水利学》和《水工结构》等课程联系紧密。

第二节 工程水文学及水利计算在农田水利建设中的作用

农田水利是水利工程的一个重要组成部分，其目的在于通过工程设施来调节和改变农田水分状况和地区水利条件，使之符合发展生产的需要。农田水利建设是促使农业生产发展的重要手段。农田水利工程包括灌溉水库、引水工程、提水工程、防洪排涝工程等，从修建到运用，一般要经过规划设计、施工、管理三个阶段。每一阶段都需要进行水文水利计算，而且，各阶段水文水利计算的任务各不相同。

1) 规划设计阶段主要是为确定工程规模提供水文依据。工程设计必须安全而且经济。如果把河流水量估算过大，就会使工程的规模太大，造成资金的积压和浪费。例如设计水库时，若来水量估算偏大，据以设计的库容就不易蓄满，工程不能发挥预计的效益。如若来水量估算过小，则易使工程容量不够，以致天然水利资源得不到充分利用。特别是当洪水量估计过低时，还会造成工程失事。工程一旦失事，每每造成人民生命财产的重大损失。农田水利工程使用期限一般是几十年，甚至二、三百年以上，因此，规划设计时需要研究工程所在河流未来长时期的水文情势。在工程规划设计阶段，水文分析与计算的任务，就是研究这种长期水文情势，提出作为工程设计依据的水文特征数值（如设计年径流系列、设计洪水、固体径流等）。水利计算的任务则是根据设计水文数据，通过调节计算，选择确定枢纽参变数（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、引水道尺寸等），然后再详细计算各项水利经济指标，进行经济论证。应该指出，在进行水利计算时，必须按照国家的方针政策，根据国民经济各部门的要求，使流域内的水利和土地资源得到充分的综合利用。

2) 在施工期，为了修建施工临时性水工建筑物（如围堰、导流隧洞和导流渠等）需要了解施工期间的来水情况。农田水利工程，特别是大型农田水利工程的施工期较长，一般需要一年或几年。限于目前的科学水平，我们还不能预报这样长期的确切水情。因而施工设计上所需要的水文数据，仍需由水文计算提供。其中主要的就是施工期的设计洪水。显然，施工期设计洪水若估算得偏大，会使施工建筑物规模过大，造成浪费；若施工期设计洪水估算得偏小，就易使施工建筑物遭受损坏，影响施工进度或造成巨大损失。

为了安排施工的日常工作，保证现场不受洪水淹没，短期水文预报是极为重要的。

在编制施工详图阶段，水利计算的任务一般是拟定枢纽运行计划，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——大坝的逐步完成，还需研究多年调节水库的初期充蓄问题。

3) 运营管理阶段。在农田水利工程的运营管理期间，需要知道面临时期的来水情况，以便据以编制水量调度方案。例如，有防洪任务的水库需要洪水预报，以便腾出库容，拦蓄洪水。一方面使水库本身安全渡汛，一方面使下游免遭洪水灾害；到汛末时，必须根据未来的水情及时蓄水，以保证灌溉、发电和航运等方面的需求。有时在工程运营期间，还必须不断复核和修正设计阶段的水文水利计算成果。必要时对工程进行改造。譬如有的工程就因设计洪水偏小，不得不在建成后再扩大溢洪部分。

总之，开发和改造河流、兴建和管理农田水利工程都必须掌握河流长期水文情势和近期的确切水情。工程水文学中的水文计算就是预估未来水文情势的学科。没有正确的水文计算成果，便不能正确地规划设计农田水利工程。工程水文学中的水文预报是预测面临期间的确切水情为工程的施工、运营、管理提供依据的学科。水文预报是运营管理的耳目，没有准确的水文预报便不能管好工程，使工程发挥应有的效益。水利计算成果关系到工程的规模和工程的效益，必须加以重视。

本课程的内容，正是为农田水利建设的各个阶段的需要而安排的。学习农田水利专业的学生必须掌握本课程的基本内容。

第三节 水文现象的基本规律与水文学的研究方法

一、水文现象的基本规律

自然界水文现象极为复杂，但它的变化规律可以归纳为下列两个方面：

(一) 水文现象在时程变化上存在着周期性与随机性

(1) 周期性 水文现象的变化对任何一个水体总是有以年为单位的周期性变化。例如，河流每年都有一个汛期和一个枯季。一般夏、秋为汛期，冬、春为枯季。产生这种现象的基本原因是地球的公转。地球的公转导致了春、夏、秋、冬四季的交替。四季中的降水是有周期性变化的。因而使得河流的水文情势也就具有相应时间的周期性变化。此外，在冰雪水源的河流上，由于气温的日变化，水文现象也具有日周期性的变化。在长期观测的水文系列中，还可发现水文现象有多年变化周期性。

(2) 随机性 因为影响水文现象的因素众多，各因素本身在时间上不断地发生变化，所以受其影响的水文现象也处于不断变化之中。它们在时程上和数量上的变化过程，伴随周期性出现的同时，也存在不重复性的特点，这就是所谓随机性。如任一河流的不同年份的流量过程不会完全一致，它们在时间上、数量上都不能完全重复。事实上，所有水文特征值的出现都可以认为是随机的。

(二) 水文现象在地区上的相似性与特殊性

(1) 相似性 不同流域所处的地理位置（纬度与距海远近等）相似，气候与地理条件也相似，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。如湿润地区的河流的径流年内分配较为均匀，而干旱地区的河流的径流年内分配就很不均匀。

(2) 特殊性 不同流域虽然所处的地理位置和气候条件相似，但由于下垫面条件的差异，也会有不同的水文变化规律。这就是水文现象的特殊性。例如在同一气候地区，山区河流与平原河流的洪水运动规律就不相同。岩溶地区与非岩溶地区的河流水文规律也不相同。事实上，任一河流都有它独自的水文变化规律。因此水文现象的相似性是相对的，而水文现象的特殊性则是绝对的。

二、水文学的研究方法

根据上述水文现象的基本规律，按不同的要求，水文学的研究方法大致可以分为三类：

（一）成因分析法

某一水文现象的发生是众多因素综合影响的结果。也就是说水文现象与其影响因素之间存在着内在联系。通过观测资料和实验资料的研究分析，我们有可能建立水文现象与其影响因素之间的数学物理方程。这样，我们就可以根据当前影响因素的状况，预测未来的水文现象。这种解决问题的方法在水文学中称为成因分析法。成因分析法能够给出比较确切的成果，在水文预报和水文现象基本分析中用得比较广泛。例如，当知道上、下游站的同时水位和洪水的传播时间时，就可由上游站的洪水位来预报下游站的洪水位，这就是所谓相应水位法。又如，影响水面蒸发的因素主要为气象因素。我们可以根据有关的气象因素来计算水面蒸发量。应该指出，任一水文现象的形成过程都是极其复杂的。我们在对水文现象作成因分析时，一般只能考虑其主要因素，而忽略一些次要因素。因此，水文学中的成因分析法是有其局限性的。

近代水文学中的确定性水文模型，可以认为是成因分析法的发展，它可以考虑更多的因素，并提高计算精度。

（二）数理统计法

前面已述及水文水利计算的任务主要是预估未来的水文情势，并据此进行农田水利工程的规划设计、施工及管理工作。但影响未来水文情势的因素是极其错综复杂的，我们不可能用成因分析法一一处理，而只能用数理统计方法去推断水文现象的统计规律，作出概率预估。例如河流某一断面处的每年最大洪水流量，由于影响因素复杂多变，在数值上年年都是不同的。我们虽不能按时序确定它的数量，但却可以应用数理统计方法推求某一大小的最大洪水流量发生的频率。譬如百年一遇或千年一遇的洪水。在水文水利计算中广泛应用数理统计法。

近代水文学中的随机水文学是数理统计法的发展。

（三）地理综合法

根据气候要素及其他地理景观要素的地区规律性，利用许多固定水文测站的长期观测记录，我们可以按地区研究某些水文特征的定量分布。这些研究成果可以用等值线图或地区经验公式表示（如等雨量线图，洪水地区经验公式等），这就是地理综合法。地理综合法是确定资料短缺地区水文特征非常重要的方法。在我国辽阔的土地上，还有许多河流缺乏研究，因而使这种方法具有异常重大的意义。

第四节 我国工程水文学及水利计算的发展概况

河流对于人类生活有着重大的关系。人类在兴水利，除水害的斗争中累积了丰富的水文知识。但是，水文学成为一门完全独立的学科却只有几十年的历史。在这以前的很多年代里，水文学是循着两个方向发展起来的：其一是把它当作一般的区域地理特性的一种要素，对水文学的研究主要局限于定性的水文地理的描述；其二是把水文学当作水利技术的一种辅助知识，水文学的研究以实用为目的，确定最低要求的、统计上的河流定量特性。

我国是世界上文明古国之一。从大量的历史文献中可以看到，我国水文学起源很早，

历史悠久。

根据历史记载，秦孝文王时（公元前250年），李冰为蜀守，和他的儿子二郎在四川灌县作都安堰（后改称“都江堰”）后，即开始了水位观测。后来各代都很重视水位的观测。据宋史《河渠志》记载：宋仁宗“景祐二年（公元1035年）杨怀敏知雄州（今河北），又请立木为水则，以限盈缩”。这是为了便于在黄河上进行修防工作用木制水尺来进行水位观测的一种记载。至清乾隆22年（公元1757年），在淮河高邮的御码头，开始设立“水则”作经常性的水位观测。清嘉庆24年，在永定河的芦沟桥正式设立水位站。

我国的雨量观测工作早在公元十四世纪时就已开始。较世界其他国家都早。据明末顾炎武所著《日知录》记载，明洪武年间（公元1370年左右）就有了雨量观测。西欧各国到公元1639年才出现“雨量器”，比我国晚了二百多年。

我国古代人民很早以前就注意到了水文报讯工作对下游防洪的重要性。《行水金鉴》中就记有明代黄河报讯和防汛的情况。清乾隆年间，淮河中、上游的长台关、息县和正阳关之间，建有驿站，用快马由上游向下游传送水情。

古代人民十分注意河流水文特性的观察。二千多年前庄子曾说过：“秋水时至，百川灌河”。这是说黄河在秋季汛期，各支流都涨水的情形。在宋史《河渠志》中更详细地记述了黄河年内季节变化的情形。

自鸦片战争（1840年）后，帝国主义势力相继入侵我国。他们控制了我国的沿海和内河航运。为了便于掠夺，乃在各重要商埠、港口陆续设立一些水位站和雨量站。

在1915年我国才正式自行设立水文测站。当时的江淮水利测量局在淮河干流上的蚌埠及里运河的码头镇、六闸等地设立水文站，观测水位、流量及含沙量。至1937年，即抗日战争前夕，全国共有水文站328处、水位站486处、雨量站1470处。其中未包括当时被日本帝国主义占领下的东北和台湾地区所设测站数字。

抗日战争时期，大部分水文测站遭到了破坏。至1945年抗日战争胜利时，仅有水文站136处、水位站211处，以后有些发展。到1949年全国解放时，能立即恢复工作的水文测站总数仅有350多个。

国民党统治时期，只研究过少数流域的治理计划：如永定河治本计划、黄河治本探讨、导淮计划等。这些计划也只进行过极粗略的水文水利计算。水文预报工作几乎没有开展。

解放后，随着水利建设的发展，水文工作取得了很大的成就。

首先是建立了一个完整的国家基本水文站网。基本测站已发展到16000个，基本上控制了全国的大、中河流。解放初期就制定了《水文测验规范》，以后又进行了修订。规范的贯彻执行，统一了水文测验技术标准，保证了测验质量。测验仪器设备得到很大的改进，大部分测站实现了缆道测流，有的还使用了自动缆道。大大改变了解放前测验设备异常简陋，测验资料质量差的面貌。水文资料整编工作也取得很大的成绩。当年资料在翌年就整编成册，水文资料能及时供给使用单位。

第二是大力开展水文情报工作。现在，从中央到各大流域和地方防汛指挥机构都能及时掌握各地水情。水文情报预报工作在防汛抗洪斗争中充分发挥了作用。通过实践，水文

预报方法有了很大的进步，已经建立了一套适合我国水文特性的预报方法。

第三，水文水利计算工作也有很大的发展。解放以来，我国对许多大流域进行了规划，并兴建了大量水利工程。水文工作者在我国的水利建设中做出了应有的贡献。从实践工作中总结出了一套适合我国河流水文特性的水文水利计算方法。制定了《水工建筑物设计洪水计算规范》和《水能水利计算规范》等。近年，大力开展了可能最大暴雨的研究，已制成《全国24小时可能最大暴雨等值线图》。

应该看到，我国的水文工作与目前世界一些技术先进的国家相比，很多方面差距是相当大的。在七十年代，一些技术先进国家的水文科学有了迅速的发展。在收集资料方面，运用了遥测遥控技术及卫星遥感技术；在计算技术方面，运用了快速电子计算机；在理论方面发展了随机水文学和水文模型。此外，应用现代化手段建立的资料系统，为资料的查询和提取提供了方便。这些都大大地改变了水文科学的面貌。对于用现行方法难于或无法解决的问题，现在也能较好地得到解决。当前，我国正在进行四个现代化的建设，工程水文学和水利计算也具备了迅速发展的条件。我们中国人是有志气、有才能的，通过我们顽强的工作，我国工程水文学和水利计算的理论水平和技术水平一定会迅速地跻于世界的先进行列！

第一篇 工程水文

第一章 水循环及径流形成

降落到流域表面上的降水如雨、雪等，由地面和地下注入河流，最后流出流域出口断面，这种物理过程叫径流；流出出口断面的这部分水量称为径流量。

径流是陆地上最重要的水文要素之一。径流的变化与人们治水、旱灾害的斗争，以及对水利资源的开发利用都是密切相关的。因此，揭示和了解它的变化规律，分析它与其他水文要素以及与各影响因素的相互关系，掌握径流形成的基本理论是十分重要的。

为了研究径流的形成与变化规律，首先必须了解自然界的水循环，即水在地球上的运动和变化规律，从而定性分析径流及其影响因素，如降水、蒸发等的相互关系；其次，在水循环过程中，根据物质不灭定律，从水量平衡原理定量地研究径流形成过程。

降水和蒸发是水循环中最活跃的因子，又是水量平衡中的基本组成部分。降水、蒸发和下渗也是径流形成的主要因素。因此，本章在讲述水循环和水量平衡以及河流特征之后，将单独介绍降水、蒸发和下渗等因素，最后再阐明径流形成过程。

第一节 水循环及水量平衡

一、自然界的水循环

水从水面和陆地表面蒸发，变为水汽，被气流带到空中，在适当条件下凝结为水滴，以降水的形式落到地面，然后再经蒸发和水汽输送，再以降水的形式落回地面，这样往复循环的过程，叫水循环，如图 1-1 所示。形成水循环的内因是水的物理三态（气体、液体、固体）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影响。

（一） 水的大循环与小循环

水的循环过程可分为大循环和小循环。

从海洋面上蒸发出来的一部分水汽，被气流带到大陆上空，遇冷凝结，成云致雨，降落到地面。其中一部分重新蒸发又回到空中，一部分从地面和地下汇入河川，最后注入海洋。这种海陆间水分的交换过程叫做水的大循环。

陆地上的水蒸发后，在空中凝结成水又降回到陆地，或从海洋上蒸发的水汽，在空中

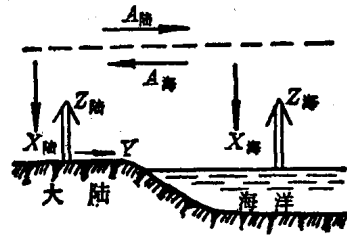


图 1-1 地球上水循环示意图
 $Z_{海}$ —海洋上的蒸发， $X_{海}$ —海洋上的降水，
 $Z_{陆}$ —陆地上的蒸发， $X_{陆}$ —陆地上的降水，
 Y —径流， $A_{海}$ —从海洋向陆地输送的水汽，
 $A_{陆}$ —从陆地向海洋输送的水汽

凝结成水后又降回到海洋中，这种局部的水循环叫做水的小循环。大、小水循环如图1-1所示。

在水循环中，天空、地面、地下之间通过降水、蒸发和下渗进行水分交换。海洋与陆地间也进行水分交换。海洋向陆地输送水汽，而陆地则向海洋注入径流。但是海洋向陆地输送水汽并不是单方面的，而是水汽交换的结果。因为从海洋上蒸发出来的水汽借气流带向大陆，而大陆上蒸发出来的水汽也随气流带向海洋，只是前者比后者要大，因此总的来说，水分是由海洋向大陆输送的。

(二) 内陆水循环

从海洋面上蒸发的水汽，其中一部分被气流带到大陆上空，遇冷凝结，先在海洋边缘降落下来。降落后，一部分形成径流回到海洋，另一部分又进行蒸发，加入继续运动到大陆上空的气流中，被带往距海更远的地区上空，又遇冷凝结降落，其中一部分又形成径流，另一部分又蒸发，继续向内陆推进，循环不止，如图1-2所示。但愈向内陆水汽愈少，直到最后，由于空气中水汽含量太少，不能形成雨雪为止。这种现象叫内陆水循环。因此，内陆水循环愈向内陆转移，一般降水愈小。

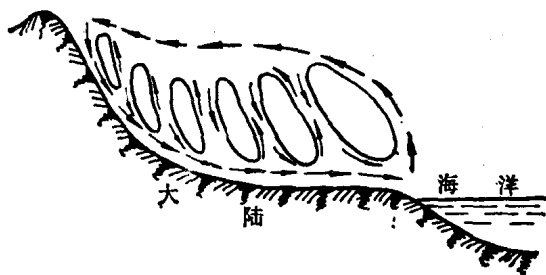


图 1-2 内陆水循环示意图

二、地球的水量平衡

自然界的水分循环，从多年的长期观点来看，大体上是不变的。从海洋蒸发输向陆地的水分，经过降水以径流的形式又回到海洋。根据物质不灭定律，对于任一区域，在任意时段内，来水量等于出水量与区域内蓄水变量之和。即水循环过程中，收支平衡。这就是水量平衡原理。根据此原理可以列出水量平衡方程。

若以地球的整个大陆作为研究水量平衡的范围，则其水量平衡方程为

$$Z_{陆} = X_{陆} - Y + \Delta U_{陆} \quad (1-1)$$

同样，若以海洋作为研究范围，则其水量平衡方程为

$$Z_{海} = X_{海} + Y + \Delta U_{海} \quad (1-2)$$

式中 $Z_{陆}$, $Z_{海}$ ——陆地和海洋蒸发量；

$X_{陆}$, $X_{海}$ ——陆地和海洋降水量；

Y ——入海径流量（包括地面和地下径流量）；

$\Delta U_{陆}$, $\Delta U_{海}$ ——陆地和海洋在研究时段内蓄水量的变化。

在短时期内，时段蓄水量的变量 $\Delta U_{陆}$, $\Delta U_{海}$ 可正可负，但如在多年情况下，正负值可以相互抵消。因此当观测资料年数 n 趋近无穷大时，则

$$\frac{\sum_1^n \Delta U_{陆}}{n} \rightarrow 0 \quad \text{或} \quad \frac{\sum_1^n \Delta U_{海}}{n} \rightarrow 0$$

因此在多年平均情况下的水量平衡为：

$$\text{陆地} \quad \bar{Z}_{\text{陆}} = \bar{X}_{\text{陆}} - \bar{Y} \quad (1-3)$$

$$\text{海洋} \quad \bar{Z}_{\text{海}} = \bar{X}_{\text{海}} + \bar{Y} \quad (1-4)$$

式中 $\bar{Z}_{\text{陆}}$ 、 $\bar{Z}_{\text{海}}$ ——陆地和海洋的多年平均年蒸发量；
 $\bar{X}_{\text{陆}}$ 、 $\bar{X}_{\text{海}}$ ——陆地和海洋的多年平均年降水量；
 \bar{Y} ——多年平均年入海径流量。

将式(1-3)，(1-4)相加得全球水量平衡方程：

$$\bar{Z}_{\text{陆}} + \bar{Z}_{\text{海}} = \bar{X}_{\text{陆}} + \bar{X}_{\text{海}} \quad (1-5)$$

或

$$\bar{Z} = \bar{X} \quad (1-6)$$

即全球多年平均年蒸发量(\bar{Z})等于全球多年平均年降水量(\bar{X})。表1-1列出世界水量平衡各要素的数量。

表 1-1 世界水量平衡表

地 表	面 积 10 ⁶ 公里 ²	多年平均年降水量		多年平均年蒸发量		多年平均年入海径流量	
		毫 米	公里 ³	毫 米	公里 ³	毫 米	公里 ³
陆 地	149	800	119000	485	72000	315	47000
海 洋	361	1270	458000	1400	505000	130	47000
全 球	510	1130	577000	1130	577000		

注 表中的数据引自《地球的世界水平衡和水利资源》一书(俄文)1974年出版。

第二节 河 流 特 征

河流是一种天然水体，它由一定区域内的地面水及地下水所补给，并经常（或周期性）地沿着由它本身所造成的连续延伸的凹地流动着。把地面水和地下水汇入河流并补给河流的区域，即河流的地面集水区和地下集水区，统称为流域。流域里的大小不同的水流路线，构成脉络相通的系统，称为河系，又称水系或河网。

各条河流往往流经不同的自然地理地区，因而其特征也各不相同。河流特征在此主要指河流的流域、河系及河道特征。这些特征都将直接地或间接地影响径流的形成和变化过程。研究河流特征的目的在于掌握河流特征与径流及其它水文现象之间的关系，使水文计算成果更符合实际情况。

在这节将简述河流的这些重要特征及某些特征的计算方法，至于它们对径流及其它水文现象的影响将在以后有关内容中讲述。

一、流域特征

(一) 分水线

流域的周界称为分水线或分水岭。每个流域的分水线就是流域四周最高点的连线，通常就是流域四周的山脉脊线。降落在分水线两侧的水量将分别成为两个流域的径流。如秦岭以南的降水流向长江，秦岭以北的降水流向黄河，秦岭便是长江流域和黄河流域在这一