

GONGCHENG SHUIWENXUE

# 工程水文学

齐梅兰 编著



北京交通大学出版社

<http://press.bjtu.edu.cn>

内容简介

本书是土木工程专业的一门重要课程，也是土木工程专业学生必修的一门专业基础课。本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为土木工程专业及相关专业的教材，也可供从事土木工程的工程技术人员参考。

# 工程水文学

齐梅兰 编著

责任编辑：李淑娟

图书在版编目(CIP)数据

工程水文学 / 齐梅兰编著. — 北京：北京交通大学出版社，2008.11

ISBN 978-7-81123-432-4

I. ①工… II. 齐… III. 工程水文学—高等学校—教材 IV. TV13

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第173701号

责任编辑：李淑娟

北京交通大学出版社 北京交通大学出版社

北京市西城区黄蜂窝大街26号 邮编：100044

印刷：北京京华印刷厂

发行：全国新华书店

开本：185×230 印张：13.25 字数：300千字

北京交通大学出版社

· 北京 ·

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社发行部联系。地址：北京市西城区黄蜂窝大街26号。电话：010-51686000。E-mail: press@bjtu.edu.cn

## 内 容 简 介

本书根据土木工程中需要的相关水文学知识编写而成。本书重点阐述工程水文学的基本原理与研究方法,并主要介绍土木工程中常用的水文设计方法。全书共分7章,内容包括:水文规律及研究方法、水文循环和河川径流、河流水文观测与资料处理、工程水文预报原理与方法、水文统计基本概念与方法、设计洪水推求及工程水文中的其他问题。工程水文中的其他问题主要介绍特殊情况下水文的不同特点和研究方法,如设计枯水推算、城市水文问题、潮汐河口潮水位统计计算及模型试验方法。

本书主要面对道路、交通、工程建筑等土木工程类本科学学生,也可用于市政、环境专业本科教学,还可作为从事此类工程设计、施工、工程管理的技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程水文学/齐梅兰编著. —北京:北京交通大学出版社,2008.11  
ISBN 978-7-81123-437-4

I. 工… II. 齐… III. 工程水文学-高等学校-教材 IV. TV12

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第173704号

责任编辑:刘 洵

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街44号

邮编:100044

印刷者:北京东光印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印张:12.25 字数:269千字

版 次:2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81123-437-4/TV·1

印 数:1~1000册 定价:21.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043,51686008;传真:010-62225406;E-mail:press@bjtu.edu.cn。

# 前 言

地球表面由水和土组成，地球上的土木工程与它们密不可分。为了工程的安全和水土环境的和谐，必须处理好水文问题。作者根据多年来从事土木工程水文研究的体会，认为土木工程本科生开设工程水文学课程是非常必要的。道路、桥梁、管涵及各种土木建筑工程的规划和设计常常涉及水文研究与计算。跨越远距离的长大工程遇到大江大河径流，小流域内工程遇到暴雨径流，都需要研究径流规律，将其作为规划和设计依据，以避免工程遭遇水害。

目前的工程水文学教材多适合于水利类专业，也有只针对桥涵专业的，而面向土木工程领域的很少。在课堂教学中，作者根据土木工程专业的水文学课时特点和该专业常遇到的水文学问题，对教学内容进行了设计，并恰当地融入了编者的部分科研成果，教学效果良好。本书就是在此基础上整理而成。本书注意以阐述水文规律和基本原理为根本，以介绍基本的研究和计算方法为目的，并注意反映工程水文研究的最新进展。其宗旨就是培养学生研究问题的思维和解决问题的能力。本书还结合目前我国土木工程的发展趋势，简介了与海洋、环境、城市相关的水文分析，以拓展应用范围。

根据高等学校土木工程专业学生水文学课时减少的改革，在本书的编写中，体现了简明、扼要和工程应用性强，同时也不失内容完整性的特点。本书适合于课堂 32 学时左右的教学使用。全书共分 7 章，除第 1 章绪论以外，其他 6 章的内容包括水文循环和河川径流、河流水文观测与资料处理、工程水文预报原理与方法、水文统计基本概念与方法、设计洪水推求及工程水文中的其他问题。

本书由北京交通大学土建学院齐梅兰编写，研究生劳尔平、甘森参加了部分图表的编辑工作。在本书的编写过程中，参考和引用了一些相关教材的内容。本书的出版，得到了北京交通大学教材出版基金的资助。编者谨此一并致谢。

对于书中的错误和不足，敬请读者指正。

编 者

2009 年 1 月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工程水文学概述	1
1.2 水文现象及其基本规律	2
1.3 水文学的研究方法和特点	3
思考题	4
第 2 章 水文循环与河川径流	5
2.1 水循环与水量平衡	5
2.1.1 地球上的水储量及其分布	5
2.1.2 水分循环	6
2.1.3 水量平衡	7
2.2 降水、蒸发与下渗	8
2.2.1 降水	8
2.2.2 蒸发	14
2.2.3 下渗	14
2.3 河川径流	19
2.3.1 河流与流域	19
2.3.2 河川径流的形成及度量	22
2.4 河流泥沙	26
2.4.1 泥沙及其基本特征	26
2.4.2 河流中的泥沙输运	30
思考题	32
第 3 章 河流水文观测与资料处理	33
3.1 水文资料获取途径	33
3.1.1 水文观测	33
3.1.2 水文调查	34

3.2	水文测站的设立	34
3.2.1	河流稳定性对水文测站的影响	34
3.2.2	水文测站的设立	36
3.2.3	观测时间间隔	38
3.3	水位观测及资料整理	39
3.3.1	水位观测	39
3.3.2	水位观测资料整理	40
3.4	流量观测及资料整理	41
3.4.1	过流断面测量	42
3.4.2	流速测量	42
3.4.3	断面流量计算	44
3.4.4	其他测流方法	45
3.4.5	流量资料处理及应用	47
3.5	泥沙观测及分析	53
3.5.1	河流泥沙研究目的	53
3.5.2	泥沙观测	53
3.6	洪、枯水调查	56
3.6.1	调查目的	56
3.6.2	洪水调查	56
3.7	其他水文情势观测	57
3.7.1	冰情观测	57
3.7.2	潮汐河口水文	58
	思考题	60
	第4章 工程水文预报原理与方法	61
4.1	概述	61
4.1.1	水文预报的概念	61
4.1.2	水文预报的意义	61
4.1.3	水文预报的分类	62
4.2	短期洪水预报	63
4.2.1	洪水特征	63
4.2.2	河段洪水预报的水动力学方法	63
4.2.3	水文学方法	65

4.3	枯水预报	74
4.3.1	枯水预报的意义	74
4.3.2	枯水预报的基本原理	75
4.4	施工期水文预报	76
4.4.1	施工期水文预报的意义	76
4.4.2	围堰水情预报	76
	思考题	79
<b>第5章 水文统计的基本概念与方法</b>		<b>80</b>
5.1	概述	80
5.1.1	水文统计的意义	80
5.1.2	水文统计的理论基础	80
5.2	水文统计的基本概念	81
5.2.1	事件、概率与频率	81
5.2.2	总体、样本、统计学	82
5.2.3	随机变量	83
5.3	随机变量的概率分布及其统计参数	84
5.3.1	随机变量的概率分布	84
5.3.2	重现期与保证率	89
5.3.3	随机变量的统计参数	90
5.4	统计参数的估计	93
5.4.1	矩法	94
5.4.2	统计量的无偏估计	95
5.4.3	抽样误差	95
5.5	水文频率分布曲线型式	96
5.5.1	正态分布	96
5.5.2	皮尔逊Ⅲ型分布	97
5.6	水文频率计算方法	99
5.6.1	经验频率	99
5.6.2	统计参数初估	101
5.6.3	理论频率曲线计算	102
5.6.4	统计参数对频率曲线的影响	104
5.7	水文变量的相关分析与回归分析	105

5.7.1	概述	105
5.7.2	简单线性相关分析	105
5.7.3	一元线性回归分析	107
5.7.4	一元非线性回归	110
5.7.5	多元线性回归	112
	思考题	113
<b>第6章 设计洪水推求</b>		115
6.1	设计洪水概述	115
6.1.1	防洪的意义	115
6.1.2	设计洪水的概念	115
6.1.3	防洪设计标准	117
6.1.4	设计洪水的推求	118
6.2	由流量资料推求设计洪水	119
6.2.1	样本选取与资料审查	120
6.2.2	样本插补与延长	121
6.2.3	样本构成	121
6.2.4	设计洪峰流量推求	122
6.2.5	设计洪峰流量推求示例	128
6.2.6	设计洪水估计值的抽样误差及合理性检查	132
6.3	由暴雨资料推求设计洪水	133
6.3.1	意义及方法	133
6.3.2	暴雨频率分析	134
6.3.3	由设计暴雨转换成设计净雨	135
6.3.4	设计洪水计算	137
6.4	小流域设计洪水	141
6.4.1	小流域设计洪水的特点	141
6.4.2	小流域设计暴雨	141
6.4.3	用推理公式法推求设计洪峰流量	143
6.5	设计洪水水位和过程线	150
6.5.1	设计洪水水位	150
6.5.2	设计洪水过程线	151
	思考题	152



第7章 工程水文中的其他问题	153
7.1 设计枯水推算	153
7.1.1 设计枯水问题	153
7.1.2 由实测资料推求设计枯水流量	153
7.1.3 缺乏资料时设计枯水的估算	154
7.2 城市水文问题	155
7.2.1 暴雨径流的特点	156
7.2.2 设计暴雨	157
7.2.3 水文资料特点	158
7.2.4 城市水文设计内容	158
7.3 潮汐河口设计潮水位计算	159
7.4 其他的工程水文研究手段	160
7.4.1 概述	160
7.4.2 物理模型试验	161
7.4.3 定床模型试验	161
7.4.4 工程应用实例	164
 附录 A 皮尔逊Ⅲ型频率曲线的离均系数 $\Phi$ 值表	 169
 附录 B 皮尔逊Ⅲ型频率曲线的横比系数 $K_p$ 值表	 173
 附录 C 频率格纸的横坐标分格表	 182
 参考文献	 183

# 第1章

## 绪 论

### 1.1 工程水文学概述

#### 1. 水文学

自然界的水以气态、液态和固态三种形式存在于空中、地面、地下及生物体内，组成了一个相互联系、相互转化的水圈。水文学就是研究陆地上江河、湖泊、沼泽、冰川、地下水和海洋等各种水体的存在、分布、循环、物理化学性质等因素的变化规律的学科。随着水文学研究的深入及其在生产实践中的广泛应用，形成了水文学的各种分支学科，如水文学气象学、河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、地下水文学、海洋水文学、环境水文学等。

河流作为水的重要载体之一，在陆地表面的分布最为广泛，与人类活动密切相关。河流在为农田灌溉、水力发电、航运、工矿及生活用水等提供便利的同时，也给公路、铁路、桥梁等交通设施、建筑物等土木工程造成了一定的障碍。为了用水和工程建设的需要，河流水文规律较早得到了研究，形成了河流水文学。

河流水文学是主要研究地表水的科学，它包括水文测验与调查、水文实验、水文分析与计算、水文预报、水文地理、河流动力学等内容，这些也是本书的核心内容。

水文测验与调查，通过水文测验设施观测和野外、史记等的调查，收集基础水文资料信息；水文实验，通过室内和野外实验，研究水量、水质变化的机制，以及水文循环、径流形成的基本规律；水文分析与计算，也称为水文预测，根据水文要素变化的基本规律，预测水文现象在未来一定时期内可能出现的概率；水文预报，根据水文要素及其影响因素的已知状态，对其未来预见期内的状态作出回答；水文地理，研究水文要素与流域面积、地面坡降等地理因素间的关系；河流动力学，通过水、沙运动的力学机制，研究水文要素与河流形态变化的关系，包括河床的冲刷与泥沙淤积等。

#### 2. 工程水文学

工程水文学是将水文科学应用于工程建设，为工程规划、设计、施工及运行管理提

供水文依据的一门科学,属于水文学的一个重要分支,主要研究工程中所需的水文分析计算和水文预报的基本理论和方法,预测、预报各水文现象(如降水、水位、流量、水质等)的变化情势。

### 3. 工程水文学的应用

人类生存的基本环境空间由气圈、水圈和地圈构成,其中气和水只是水分的不同存在形式,均属于水文学的研究范畴。工程水文学为人类了解自然规律、科学安排国民经济活动提供依据。因此,它的应用范围很广,如拦河筑坝的水能源利用工程,水资源工程,跨河或穿河桥梁等公路与铁路交通工程,城市与工矿给排水工程,水、油、气等能源的管道输送工程,邻河工程,河流资源的保护与可持续利用,等等。工程水文学应用于工程建设的各个阶段。

工程规划设计阶段,根据工程设计标准,需要通过水文分析与计算,预测工程运用期河流或流域的来水量及其变化,以便确定工程的设计规模。若区域水量预计过大,则工程规模偏大,导致工程投资过大。反之,则工程规模偏小,致使建筑物达不到预期设计标准,运用标准降低。在这一阶段,工程对环境的影响评估、水土保持方案编制等也需要水文学知识。

工程施工阶段需要预报或估算施工期的设计洪水,以便确定围堰、导流建筑物的规模,同时水文预报还为科学安排施工进度所用。例如,河流环境下的桥墩基础施工常用围堰、导流堤。

工程运行管理期间需要进行实时水文预报,提高工程运用效益,水文洪水预报更是汛期防汛、应急抢险、防灾减灾、保证工程建筑物安全等所必不可少的重要信息。跨河公路及铁路桥梁等工务管理,每年都需要根据水文预报和线路、大桥设备情况在汛前进行防汛准备,尽早采取预防措施,避免交通线路发生洪水灾害。

本书主要研究与土木工程相关的河流水文学,属工程水文学范畴。

## 1.2 水文现象及其基本规律

水文现象是指地球上的水受外部作用而产生的永无休止的运动形式,如降水、蒸发、渗流、径流等。

水文现象具有必然性和偶然性两种规律。在水文学中称必然性为确定性,称偶然性为随机性。

### (1) 水文现象的确定性规律

水文现象的确定性规律是指该现象必然出现的规律,这种确定性规律一般具有因果关系。如某河流的流域上降落一场暴雨,该河流就会涨水,出现一次洪水过程;如果暴雨强度大,降雨历时长,则会出现较大的洪峰。再如,河流年内周期性地交替出现汛期

(洪水期)与非汛期(枯水期),是因地球的公转和自转产生的,是确定性的,也具有因果关系。这就说明了水文现象具有客观的发生原因及其形成条件,服从确定性规律。

### (2) 水文现象的随机性规律

某些水文现象的出现是不确定的,称为随机性规律。例如,河流每年最大洪峰流量的出现时间是不固定的,各年最大洪峰流量的大小也不同,说明这两种水文现象具有随机性的特点。通过大量的观测资料可以发现,特大和特小洪水流量出现机会少,中等洪水流量出现机会较多,洪水大小与其出现的机会形成一定的统计分布,即水文现象服从随机性规律。

水文现象是十分复杂的,往往既受到确定性因素的作用,又受到随机性因素的作用。在实际应用中,应抓住起主要作用的因素。

受气候及地理条件影响,水文现象在不同地区具有不同的特性,在有的水文学书中称之为地区性规律。例如,我国东南沿海地区多年平均降雨量及河川年径流量大,而西北内陆地区小,形成不同地区的降雨径流规律。在此意义上,又可以认为水文现象具有三种规律,其中地区性规律是确定性规律和随机性规律的综合反映。

## 1.3 水文学的研究方法和特点

### 1. 水文学的研究方法

河流水文学主要通过水文要素观测和水文调查获取水文信息,通过室内或野外实验和合理的方法研究水文变化规律。相应于水文现象的基本规律,水文学的研究方法有成因分析法、数理统计法和地区综合法三种。

#### (1) 成因分析法

当某种水文现象与其影响因素之间存在明确的因果关系时,可通过观测资料或实验数据分析,建立水文要素与其影响因素之间的定量关系。这种从水文现象的成因即确定性规律出发解决水文问题的方法,称为成因分析法。它在水文预报、降雨径流分析中应用广泛。

#### (2) 数理统计法

水文学的数理统计法,就是以概率论为基础,运用数理统计方法,对于具有随机性的水文现象,分析得到其统计规律。工程设计往往需要预估工程未来长时期(数十年、甚至百年以上的时间)运行的水文现象,如百年内可能出现的最大洪峰流量。对于年最大洪峰流量等随机性水文要素,难以用确定性方法实现预估,只能依据以往长期观测的资料,探求其统计规律。

#### (3) 地区综合法

某些水文现象具有地区性变化规律,在水文分析计算中,可建立地区水文等值线图

或经验公式,此即地理综合法。例如,不同河段流量与河槽形态的经验关系、不同流域河川径流量与地形参数的经验关系等。我国各地均有地区水文图册等资料,可用于推求观测资料短缺地区的水文特征值,尤其在小流域地区应用较多。

以上三种研究方法,在解决工程水文学实际问题时,需要根据不同的水文特点灵活运用,或同时并用。

## 2. 水文学的研究特点

水文学主要具有以下三方面的研究特点。

① 研究的范围大。水文循环在自然界各种水体的存在与转换过程中起着纽带作用,是水文科学研究的主要对象和核心内容。由于水文循环,水文科学把大气圈、岩石圈、生物圈等水的载体和人类活动影响的各种水文现象作为一个整体进行研究。例如,研究某个流域的水量变化时,根据水量平衡,既要考虑流域上空大气中水汽输送、水分含量的变化、降水和蒸发,也要考虑流域的地面径流、土壤含水量和流域内外地下水的交换,而且还要考虑流域内植被蒸、散发及人类活动的影响。

② 涉及的学科面广。相关学科主要包括自然地理学、水文地质学、土壤学、大气科学、工程流体力学、泥沙运动力学等。水文学还力图用数学、物理学和化学的基本原理解释各种水文现象及其规律。

③ 实践性强。水文学以野外和实验室观测为主要研究手段,获取自然界已发生的水文现象变化信息,进行资料分析,预测或预估水文情势未来状况,直接为人类的生活和生产服务。例如,提供洪水预报和各种水情预报,对旱涝灾害的发生作出中长期预测,为水利工程在未来运转时期中可能遇到的特大洪水作出概率预估等。

## 思考题

1. 什么是水文学?
2. 水文现象的基本变化规律有哪些?各举实例说明。
3. 水文学的基本研究方法有几种?
4. 什么是工程水文学?
5. 水文学在工程中有哪些应用?

## 第2章

# 水文循环与河川径流

## 2.1 水循环与水量平衡

### 2.1.1 地球上的水储量及其分布

地球上水的总量为  $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，以气态、液态、固态形式存在于空中、地面（包括海洋）和地下。各种形式的水的储量及分布见表 2-1。地球水储量中 97.47% 为咸水（主要为含盐量较高的海洋水），2.53% 为淡水（主要为冰川和冰盖）。可供人类生活、生产用的淡水资源仅占全球水总储量的 0.01%。水资源是很宝贵的财富，过多的人类活动会导致水质恶化，可用淡水资源比例减小。人类在生产、生活中应合理开发、利用和保护赖以生存的水资源。

表 2-1 地球水储量

水体种类	水 量		咸 水		淡 水		
	$10^3 \text{ km}^3$	%	$10^3 \text{ km}^3$	%	$10^3 \text{ km}^3$	%	
海洋水	1 338 000	96.54	1 338 000	99.04	0	0	
冰川与冰盖	24 064.1	1.736	0	0	24 064.1	68.7	
地表水	湖泊水	176.4	0.013	85.4	0.006	91	0.26
	沼泽水	11.47	0.000 8	0	0	11.47	0.033
	河流水	2.12	0.000 2	0	0	2.12	0.006
	重力水	23 400	1.688	12 870	0.953	10 530	30.06
地下水	地下冰	300	0.022	0	0	300	0.86
	土壤水	16.5	0.001	0	0	16.5	0.05
大气水	12.9	0.000 9	0	0	12.9	0.04	
生物水	1.12	0.000 1	0	0	1.12	0.003	
全球总储量	1 385 984.6	100	1 350 955.4	100	35 029.2	100	

## 2.1.2 水分循环

地球上的水,在太阳辐射及地心引力的作用下,不断地运动变化,形成一个以降雨(降水)、蒸发、入渗、径流等组成的周而复始的不断转化、迁移和交替的过程,称为水分循环。根据循环路径,有大循环和小循环之分,自然界水文循环示意图如图 2-1 所示。从海洋或陆地蒸发的部分水汽在适当条件下凝结,形成降水,又落到海洋或陆地,这种海洋(陆地)—空中—海洋(陆地)的局部性水分循环称为小循环。从海洋(或陆地)蒸发的部分水汽被气流输送到陆地(海洋)上空,在一定条件下凝结成降水,落至陆地(或海洋),又经陆地植物截留、地面拦蓄、土壤入渗之后形成地面径流和地下径流,最终汇流入海洋,这种在海洋与陆地之间的水分循环称为大循环。

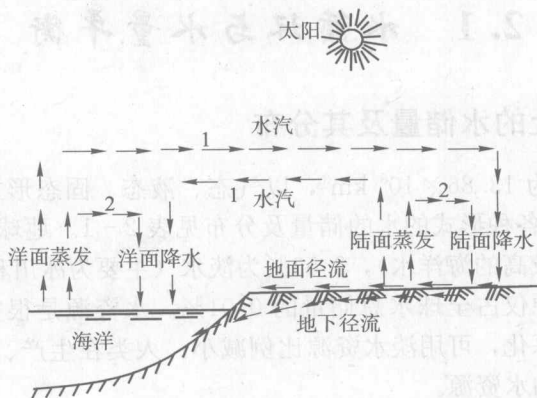


图 2-1 自然界水文循环示意图

1—大循环; 2—小循环

水分循环,主要受气候、自然地理条件和人类活动等因素的影响。气候因素包括气压、气温、风向、风力等。自然地理条件,也称为水文循环的下垫面因素,包括地形、地貌、土壤、地质构造、植被、河系、湖泊及沼泽等。人类活动主要通过改变下垫面条件影响水分循环,如修建水库、池塘、渠道工程、道路工程、城市化的建筑物等,影响水分循环中的径流、入渗和蒸发条件。随着全球人口增长和技术进步,人类活动已成为影响自然气候的一个重要因素。人类在以多种方式干扰环境,大气中温室气体增多并影响全球气候变暖,也必然影响水文循环规律。

自然界水分循环的一个重要作用是水体自然净化:受污染的水体通过循环得到净化,成为人类可利用的再生资源。但是自然界水分循环有一定的周期和速度,人类对水资源的污染需要控制,与之相适应,才能持续利用。

### 2.1.3 水量平衡

#### 1. 水量平衡原理

在水文循环过程中,任一区域、任一时段内的进入水量与输出水量之差必等于该区域、该时段内蓄水量的变化量,即水量平衡。它是水文学的基本原理,在水文学研究中被广泛应用。水量平衡原理可用如下方程式表达,即

$$W_1 - W_0 = \Delta W \quad (2-1)$$

式中,  $W_1$  ——在给定的时段内输入该区域的总水量,  $m^3$ ;

$W_0$  ——在给定的时段内输出该区域的总水量,  $m^3$ ;

$\Delta W$  ——在给定的时段内该区域蓄水量的变化量,  $m^3$ 。

式(2-1)为水量平衡方程的通用形式,对不同的研究对象,还需要具体分析其输入、输出量的组成,并写出相应的水量平衡方程式。受水文循环控制,区域内水量的输入与输出形式一般为降水、蒸发、径流、与外区域的输入、输出交换等。

计算时段的长短,对水量平衡计算有影响。对于短时段,如以月计,月降水量、月径流量、月蒸发量相对较小,蓄水量的变化量  $\Delta W$  值可正可负。对于多年长时段,由于区域内各年蓄水增量时正时负,故多年平均变化值趋近于零,即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta W_i \rightarrow 0 \quad (2-2)$$

式中,  $n$  为年数。以降水、蒸发、径流表示区域出入水量,则多年平均水量平衡方程式为

$$\bar{P} = \bar{R} + \bar{E} \quad (2-3)$$

式中,  $\bar{P}$  ——区域多年平均降水量,  $mm$ ;

$\bar{R}$  ——多年平均径流量,  $mm$ ;

$\bar{E}$  ——多年平均蒸发量,  $mm$ 。

#### 2. 全球水量平衡

对于多年平均,全球陆地和海洋水量平衡方程可分别写为

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

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

式中,  $\bar{E}_c$ ,  $\bar{E}_s$  ——分别为陆地和海洋上的多年平均蒸发量,  $mm$ ;

$\bar{P}_c$ ,  $\bar{P}_s$  ——分别为陆地和海洋上的多年平均降水量,  $mm$ ;

$\bar{R}$  ——陆地流入海洋的多年平均径流量,  $mm$ 。

将式(2-4)和式(2-5)相加,得到以全球为研究对象的多年平均水量平衡方程



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

即全球的降水量等于蒸发量, 见表 2-2。

表 2-2 全球多年平均水量平衡

分 区	面积/ ( $10^6 \text{ km}^2$ )	降 水		蒸 发		入海径流	
		$10^3 \text{ km}^3$	mm	$10^3 \text{ km}^3$	mm	$10^3 \text{ km}^3$	mm
世界海洋	361	458	1 270	505	1 400	47	130
世界陆地	149	119	800	72	485	47	315
全 球	510	577	1 130	577	1 130		

## 2.2 降水、蒸发与下渗

### 2.2.1 降水

#### 1. 降水及其形成

水分中的液态或固态的水汽凝结物, 从云中降落至地面的现象, 称为降水。雨、雪、霰、雹、霜、露等都是降水现象, 其中以雨、雪为主。降水是径流形成过程中最主要的因素, 也是水文循环中最活跃的水文因子。

水汽、上升运动和冷却凝结是降水形成的三个主要因素。即从海洋、湖、水库、潮湿土壤及植物等各种水体蒸发的水汽, 由于它本身的分子扩散和受气候、地理因素作用升入高空, 在上升过程中温度降低, 凝结为云滴, 随着水汽不断上升凝结, 云滴不断增大, 至其重量大于气流的顶托力时降落至地面。

#### 2. 降水量

描述降水特征的基本要素有: 降水量、降水历时、降水强度、降水面积及暴雨中心等。降水量指在一定时段内降落在某一点或某一面积上的总水量, 常用深度表示, 单位为 mm。降水持续的时间称为降水历时, 以 min, h 或 d 计。单位时间的降水量称为降水强度, 以 mm/min 或 mm/h 计。降水笼罩的平面面积称为降水面积, 以  $\text{km}^2$  计。降水强度较大的局部地区称为暴雨中心。

按照降水量的大小, 可将降水主要划分为小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨、特大暴雨 6 个等级, 如表 2-3 所示。24 小时雨量小于 0.1 mm 时, 称为微量雨。

表 2-3 降水量等级

24 h 雨量/mm	<0.1	0.1~10	10~25	25~50	50~100	100~200	>200
等级	微量	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨	特大暴雨