



高等学校教材

专科适用

# 水文学原理

山东水利专科学校 梁学田 主编



高等学校教材

//////////////////// 专科适用 //////////////////////

# 水文学原理

山东水利专科学校 梁学田 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书为高等专科学校水文、水资源专业的通用教材。全书共分十三章，主要讲述径流形成的基本原理、陆地上主要水体的水文现象及水文规律。

本书也可供其他水利专业的大专院校师生和从事水文、水资源工作的技术人员参考。

高等学校教材 专科适用  
**水文学原理**  
山东水利专科学校 梁学田 主编

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

水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 17.5印张 396千字  
1992年6月第一版 1992年6月北京第一次印刷

印数0001—2240册

ISBN 7-120-01473-0/TV·534

定价4.60元

# 前 言

本教材是根据水利部“1990—1995年高等学校水利水电专业专科教材选题出版规划”以及《水文学原理》教材编写大纲编写的。

全书共分十三章，按75学时编写，作为水资源与水文专业专科通用教材。本书重点讲述水文循环、水量平衡的基本概念、河流流域特征、河流水情、降水、土壤水、下渗、蒸发、流域产流、汇流及河道水流等内容；对于其它水体（湖泊、水库、沼泽、冰川与融雪径流、河口）的水文现象及水文规律也作必要的介绍；此外，对于泥沙及水资源的有关知识也作了扼要的讲述。本书考虑到全国的通用性，内容涉及面较宽，讲授时各校可根据本地区的特点作适当取舍。

本书的第一、二、三、六、七、十二、十三各章由山东水利专科学校梁学田编写，第八、九、十、十一章由陕西机械学院沈冰编写，第四、五章由山东水利专科学校林洪孝编写。由梁学田任主编。全书由黑龙江水利专科学校季山主审。

编者在编写时，力求在取材上能满足专科水资源与水文专业的教学要求和体现专科教材的特色，在内容上能反映当代水文学比较成熟的新观点和新成果，但由于编者的教学经验和学术水平所限，书中难免会有错误和不当之处，恳请各校师生及各位读者批评指正。

本书在编写时，曾参考和引用了有关教材和论著，编者在此谨向有关作者一并致谢。

编者

1991年5月

# 目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 水文学研究的内容及其发展	1
第二节 地球上水的分布及水分循环	4
第三节 区域与流域水量平衡方程	7
第四节 水文现象的基本特点及研究方法	11
第二章 流域特征及河流水情	14
第一节 流域及水系特征	14
第二节 河流的纵横断面	18
第三节 径流形成过程概述	23
第四节 河流的水情	26
第五节 洪水、枯水与冰情	34
第三章 降水	40
第一节 降水类型及特征	40
第二节 降水资料的分析与插补	43
第三节 流域平均降水量计算	45
第四节 影响降水的因素及我国暴雨的时空分布	48
第四章 土壤水及下渗	51
第一节 土壤的物理性质及土壤水的存在形式	51
第二节 土壤含水量及水分常数	55
第三节 土壤水的水力特性	59
第四节 土壤水运动的基本方程	64
第五节 土壤含水量的测定	69
第六节 下渗的物理过程及规律	71
第七节 下渗理论	74
第八节 下渗经验公式	81
第九节 天然条件下的下渗	83
第十节 下渗实验与分析	87
第五章 蒸发与散发	90
第一节 水面蒸发	90
第二节 土壤蒸发	97
第三节 植物散发	102
第四节 区域蒸发	105
第六章 流域产流	109
第一节 包气带的水文特性	109

第二节	包气带水分运行 .....	116
第三节	不同径流成分的产生原理 .....	122
第四节	产流模式和冻土区产流 .....	128
第五节	产流模式和产流面积在流域上的分布 .....	132
第六节	流域产流过程及降雨径流关系 .....	137
第七节	山坡流域产流的野外观测实验成果 .....	145
第七章	河道水流 .....	149
第一节	河道洪水波及其运动 .....	149
第二节	河道不稳定流运动微分方程 .....	151
第三节	洪水波分类及其运动特征 .....	155
第四节	槽蓄方程及特征河长 .....	162
第五节	线性洪流演进方法 .....	168
第六节	连续演算与河槽汇流系数 .....	177
第八章	流域汇流 .....	184
第一节	概述 .....	184
第二节	流域汇流计算基本途径 .....	187
第三节	流域汇流系统分析 .....	192
第四节	线性分散流域汇流模型 .....	201
第九章	湖泊与水库 .....	209
第一节	湖泊、水库的形成、分类与形态特征 .....	210
第二节	湖水的物理、化学性质概述 .....	213
第三节	湖水运动及湖泊水库水量平衡 .....	218
第四节	湖泊水库淤积与岸变 .....	226
第十章	沼泽、冰川与融雪径流 .....	230
第一节	沼泽 .....	230
第二节	冰川 .....	233
第三节	积雪与融雪径流 .....	238
第十一章	泥沙 .....	244
第一节	河流泥沙来源及特征 .....	244
第二节	泥沙运动规律 .....	246
第十二章	河口 .....	251
第一节	河口类型与河口分段 .....	251
第二节	河口区的潮汐与潮流 .....	253
第三节	河口区的水流特性 .....	256
第四节	河口区泥沙与河床演变 .....	259
第十三章	水量转化与水资源 .....	262
第一节	水资源概念与水量转化 .....	262
第二节	水资源评价方法简介 .....	265
第三节	我国水资源状况 .....	269

# 第一章 绪 论

## 第一节 水文学研究的内容及其发展

### 一、水文学的研究内容和分科

水是一切生命生存的基础，是人类社会生活和各项生产活动绝对不可少的且无任何物质可以代替的重要资源。为了开发利用、管理水资源，为了有效地防止和减少水旱灾害，迫使人们从各个方面对水进行深入的研究，经过长期的观测、实验、研究和总结，逐渐形成了水文学。水文学是研究地球上各种水体的形成、运动过程、分布规律及其相互联系、转化规律的科学。水文学是在人类长期开发利用水资源、并与水旱灾害作斗争的生产实践中，通过观测、实验、分析计算、深入研究各种水文现象及其规律而形成的一门学科。

地球上水的存在形式是多种多样的，它总是以气态、液态、固态的形式存在于地球的表面、地球的大气层中和地球的土壤岩层中，以一定形态存在于某一环境之中，且具有独特的水文规律和人文特征的水，统称为水体。例如，江河、湖泊、冰川、海洋中的水以及地下水、大气中的水汽等。自然界中的这些水体之间的水分不断进行交换和转移，并在时空分布上不断发生变化，从而构成了复杂的水文现象。例如，海洋和大陆上的水，通过蒸发形成大气中的水汽，空气中的水汽又以降水形式落到海洋或陆地表面，从而成为海洋水、地表水；降水的一部分下渗成为土壤水和地下水，而地表水和地下水又通过不同的途径最终汇流于海洋或内陆湖泊。

随着水文学的发展，逐渐形成了研究重点和研究对象各有侧重的水文学分支。这些分支按研究水体的不同，可分为以下学科：

(1) 水文气象学 主要研究大气中水分的形成、水汽输送、水汽运动及分布规律。它是水文学与气象学之间的边缘科学。如在一定的气象条件下，推求可降水量，在降雨的定量预报和可能最大降水的推求中，都应用这种水文气象学的方法。

(2) 海洋水文学 主要研究海水的物理性质、化学性质、海水的运动和各種海洋现象的发生、发展规律及其内在联系。海水的物理化学性质如温度、盐度、密度、水色、透明度等；海洋现象如洋流、潮汐、波浪、泥沙等。

(3) 陆地水文学 主要研究大陆表面上各种水体的水文现象的特点。按研究水体的不同又可分为：①河流水文学；②湖泊、水库水文学；③沼泽水文学；④冰川水文学；⑤河口水文学。

(4) 地下水文学 又称水文地质学，主要研究地壳表层内的地下水的形成、分布与运动规律及其物理化学性质。

一般狭义的水文学是指陆地水文学，而水文气象学、海洋水文学、水文地质学通常有专门的学科进行研究。本课程基本上是在研究陆地水文的水文现象和原理，重点是与人类生活和生产关系最为密切的河川水文学，对于湖泊、沼泽、冰川和河口等水体的水文现象，

也作必要地介绍。

水文学原理主要是研究河流、湖泊、冰川、地下水、河口等水体（其中主要是河流）的水文现象和水文规律，以水文循环为核心、河流水文规律为重点，阐明水文循环各要素和水文现象的物理机制和相互转化关系，及其时空变化规律。水文循环要素一般是指降水、蒸发、下渗、径流等。由于径流是河川水文学的核心，本教材将对径流的产生和汇流的各环节，作较深入地探讨，从而为产流计算和流域汇流计算打下较坚实的理论基础。

本课程在水文水资源专业中是一门专业基础课，它的任务一方面是为后继专业课（如水文测验整编、地表水资源及水文分析、水文预报、地下水资源计算与评价等课程奠定基础理论知识；另一方面，通过本课程的学习，使我们对各种水文现象及其物理机制，有一个系统的、整体的认识，以便在进行水资源评价、水文分析计算、水文预报以及水资源规划时，能遵循水文现象的基本规律和水文成因的机制，去寻求正确的计算方法和确定合理的工程措施。

## 二、水文学发展概况

### 1. 水文学简史

水文学象其他自然科学一样，是在人类生活需要和生产实践的推动下发展起来的。根据水文学各个时期发展的特点，可分为诞生时期、发展时期和现代化时期三个阶段。

（1）诞生时期 古代的人们为了利用河流灌溉、掌握河水消退规律，开始了原始的水位、雨量和水流特性的观察。如公元前3000多年，埃及人对尼罗河水位的观测；在公元前2000多年，我国人民为了防止黄河洪水，就开始注意对水位和天气状况的观察。但水文学逐渐形成一门科学是在公元1600年之后。随着各种水文仪器的出现，以及水力学、气象学的发展，才逐渐奠定了水文学的稳固基础，从而成为一门系统的科学。如毕托管、瓦尔德曼流速仪的出现；水力学中的伯努利定理、谢才公式、达西定律、曼宁公式的提出等，这些都为研究水流运动和河道水流运动提供了观测数据和计算基础。公元1674年法国人P.佩罗（P.Perrault，1608—1686年）第一次根据赛纳河观测的降雨和径流资料，计算出赛纳河在伯格底以上流域的年径流量是年降水量的1/6，这是人们第一次建立的年降雨径流之间的定量关系。这一结论的公布，被认为是现代水文学的开始。

（2）发展时期 这一时期指1900—1950年。其特点是：水文学逐渐形成一门完整系统的学科。随着人们对水文规律全面深入地研究，水文学在生产实践中逐渐得到更广泛的应用，并推动水文学向现代化方向发展。

由于水利、水电、交通事业的大量发展，提出了许多水文问题，从而大大推动了工程水文学的发展；由于防洪和工程管理运行的需要，促进了水文预报和水文计算工作的发展；为了满足水文计算和水文预报对水文资料的需求，水文站网也得到了发展。这一时期，水文学除了应用传统的水文相关和经验公式之外，还相继出现了结合成因分析的水文预报和水文计算方法，如用于洪水计算的推理公式和相关因素预报方法等；同时对水文过程的物理机制进行观测，实验研究和深入分析，如谢尔曼的单位线、霍顿的下渗理论，海森、耿贝尔的水文统计理论，白纳德关于水文气象学的研究，恩斯坦提出的泥沙推移理论等。



(3) 现代化时期 这一时期指本世纪50年代至今。一方面, 由于水文科学理论的深入发展和其他学科的渗透, 如概率论与统计学、计算数学、系统工程学、气象学等, 水文计算和水文预报出现了许多新方法。另一方面, 由于计算机的应用和遥感、遥测等新技术的应用, 水文学进入现代化时期, 如各类水文模型的提出、可能最大降水的估算、水文资料的存储和检索系统的出现等。同时也形成了一些新的水文分支学科, 如随机水文学, 城市水文学、农业水文学、环境水文学等。

## 2. 我国水文学的发展

公元前2000多年, 我们的祖先为了与黄河水患作斗争, 就注意了水位涨落变化。著名的《水经》于东汉问世, 经后人加工, 发展成为40卷本的《水经注》, 这是一本首次系统地描述黄河、长江、淮河等水系水文情况和水利开发情况的著作。清代傅泽洪等人综合历代水利文献, 编纂了《行水金鉴》, 记述了我国主要河道沿革, 水利兴废和河道变迁情况。在水文观测方面, 公元前250年, 李冰在四川灌县都江堰设立石人测量水位, 用以了解灌溉引水量, 后又改为石刻水则, 为各地所仿效。公元764年, 四川涪陵白鹤梁刻制“石鱼”图案, 上刻有水标及枯水标记, 作为长江枯水程度的标志。由于封建制度的长期统治, 生产落后, 一直到解放前, 我国水文科学的发展都比较迟缓。

我国近代水文科学于19世纪末叶才开始, 如1841年北京开始观测雨量, 1865年汉口开始观测水位, 松花江于1898年开始观测水位, 淮河于1912年开始观测水位、流量、泥沙, 华北各河于1919年开始设站, 其他地区大多在1930年左右设站。多数测站因日本侵略战争和国民党反动派反人民的内战遭破坏而停止工作。解放前的水文工作由于设备简陋、技术力量薄弱、资料残缺, 处于比较落后的状态。

我国水文学和水文事业的全面发展, 并逐步走向现代化是解放后才真正起步的。特别是在50年代末和60年代初, 以及党的十一届三中全会以来, 由于大规模水利水电建设事业的推动, 使得水文科学逐渐向现代化和世界水平靠近。解放后我国水文事业所取得的成就主要有以下几方面:

(1) 在水文站网建设方面 站网是进行水文观测、搜集水文资料和对江河进行水情监测的各项基础水文工作基地, 测站数量和密度是水文工作发达与否的标志之一。解放后, 各类测站由300多处发展到20000多处, 其中水文站3500多处以上。站网分布按科学规划实行了合理布局, 目前在全国范围内, 已初步形成了一个完整合理的站网体系, 基本上满足了水文资料搜集和对主要江河、湖、库进行水情监测工作的要求。

(2) 水文测验和整编方面 解放后, 随着测站数量的增加, 测站类型、观测项目不断增加; 测验技术和仪器设备不断更新和改进, 测验精度不断提高, 有自记水位计、自记雨量计的站点已占站点总数的近60%, 超声波、同位素、电子技术等新技术已应用于水文测验中。无线电通讯网和自动遥测系统及卫星遥感系统也已开始在少数地区使用。我国《水文测验规范》的颁布, 并几经修订, 多年使用, 对于统一技术标准, 提高测报质量起到了指导性的作用。在水文资料整编方面, 已把解放后和部分解放前各测站的历年水文资料, 逐年汇编, 刊印成《水文年鉴》, 这对于水文科学的研究和满足各项建设事业对水文资料的需求, 起了重大作用。为了统一技术标准, 还编制了《水文资料整编规范》。应用

电子计算机进行整编，已全面推广使用。

(3) 水文预报、水文水利计算方面 为了满足防汛抗旱的需要，现在全国水情站已有8700多处，一些重要河段和水库建立了无线电通讯网点或架设了专线电话。主要江河、湖泊、水库都开展了水文预报。近年来，适合于我国的流域模型的研制，计算机的应用，自动测报系统的试点工作，使得我国的水情水文预报工作逐渐向现代化方向靠近。

在水文水利计算方面，通过流域综合规划和工程设计，已总结出适合我国水文特性的水文水利计算方法。各省、区都编制了满足水文计算需要的水文图集、水文手册。全国和各省、区编制了用来推求可能最大洪水的可能最大降雨等值线图。全国和各省(区)都进行了水资源调查与评价工作。

建国后，水文科学与水文事业虽取得了显著成绩，但与四化建设的要求还不适应，与国外先进水平相比还存在差距。如水文站网密度还不能满足生产要求；测验设备和技术在边远地区比较落后；计算技术、资料处理技术比较落后；对水文现象的认识、水文规律的研究尚待深入；等等。

## 第二节 地球上水的分布及水分循环

### 一、地球上水的分布及储量

地球上的地理圈是由大气圈、水圈、岩石圈和生物圈所构成。水圈包括地球所有形式的水，主要有地面水、地下水、大气水和生物水四大部分。地面水包括海洋、湖泊、河流、

表 1-1 地球上各种水体储量

序 号	类 别	储 量 (万km <sup>3</sup> )	占总量的%	占淡水储量的%
1	海 洋 水	133800	96.5	
2	地 下 水	2340	1.7	
	其中 1.地下咸水 2.地下淡水	1287 1053	0.94 0.76	30.1
3	土 壤 水	1.65	0.001	0.05
4	冰川与永久雪盖	2406.41	1.74	68.7
5	永久冻土层水	30.0	0.022	0.86
6	湖 泊 水	17.64	0.013	
	其中 1.咸水 2.淡水	8.54 9.10	0.006 0.007	0.26
7	沼 泽 水	1.147	0.0008	0.03
8	河 网 水	0.212	0.0002	0.006
9	生 物 水	0.112	0.0001	0.003
10	大 气 水	1.29	0.001	0.04
	总 计	138598.461	100.0	
	其中 淡水	3502.921	2.53	100.0

(资料来源: World Water Balance and Water Resources of the Earth, UNESCO, 1973)

冰川、沼泽等水体储存的水，它是地球上水量组成的主要部分。地下水通常指地面以下地壳表层中储存于土壤和岩层中的水。大气水是指地球大气层中的水汽。生物水是指地球上一切生物有机体内的水分。

根据联合国（1978年）有关文件提供的资料，地球上水的总量为13.86亿 $\text{km}^3$ （表1-1）。海洋中的水量为13.38亿 $\text{km}^3$ ，占地球总水量的96.5%，可见海洋聚集了地球上水量的绝大部分，海洋面积为36130万 $\text{km}^2$ ，占地球总面积（51000万 $\text{km}^2$ ）的71%，由于地球表面有70%以上面积被水覆盖，所以地球有“水的行星”之称。

据估算地球上全部河流、湖泊及沼泽的总水量约为19万 $\text{km}^3$ ，占地球总水量的0.014%。这部分水与人类生产关系最为密切，是水文学的主要研究对象。大陆冰川与永久雪盖总水量约为2406万 $\text{km}^3$ ，占地球淡水总量的68.7%，为地球上最大的淡水水体，但目前尚难开发利用。地下水（重力水和毛管水）中的淡水储量约为1053万 $\text{km}^3$ ，占地球总淡水量的30.1%，其中相当一部分可开发利用，是人类生产生活所需要淡水资源的重要来源之一。

地球大气层中的水汽总量为1.29万 $\text{km}^3$ ，占淡水储量的0.04%，其量虽不多，但却是各种水体中最活跃的一个，大气水因降水而减少，却又通过各种水体的蒸发而得到补充，在一定时期内保持动态平衡，大气水的更替周期相当短，平均只有8天。

由表1-1可见，全球淡水量为3502.9万 $\text{km}^3$ ，其中可以开发利用的淡水资源只有4.7万 $\text{km}^3$ 。

## 二、自然界的水分循环

地球上的各种水体，在太阳辐射的作用下，不断地因蒸发而变成水汽进入大气，再经气流的水平输送和上升凝结形成降水，落回地面或海洋，落到地面的雨水，一部分蒸发返回大气；另一部分以地面径流和地下径流的形式注入海洋。自然界中的水分这种不断蒸发、输送和凝结形成降水、径流的循环往复过程，称为水文循环。水文循环对人类的生存和各项生产活动具有重大的意义，正是由于水分循环，才提供了江河湖泊等水体的淡水资源，以及江河的水能资源。水文循环过程如图1-1所示。

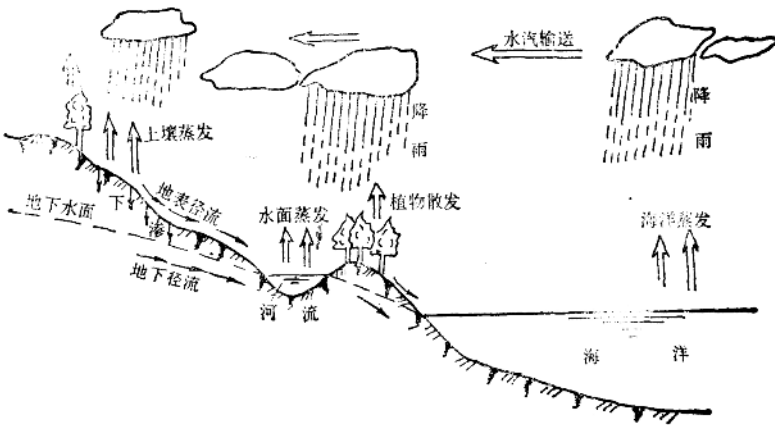


图 1-1 水分循环示意图

水分循环的能量是太阳辐射。水在自然界中循环的路径极其复杂，且不断地变化。大气环流机制和海陆分布决定了地球上大气水汽的运行规律，而地表性质和地貌地形则决定了地表、地下径流的运动规律。水分循环的范围贯穿整个水圈，向上延伸到10km左右，下至地表以下平均1km深处。

### 1. 大循环与小循环

按水分循环的规模和过程，通常可分为大循环与小循环。海洋上蒸发的水汽，被气流输送至大陆上空，凝结形成降水、落至地面，一部分以地表和地下径流的形式又汇注于海洋；而另一部分则蒸发返回大气中，这种海陆间的水分交换过程称大循环。在大循环中，空中水汽主要是由海洋上空向陆地输送，而陆地也向海洋输送少量水汽，但这部分量仅占海洋蒸发量的8%。通常把海洋向陆地输送的净水汽量称为有效水汽输送量，它是陆地降水的主要来源。

海洋上空蒸发的水汽，在海洋上空凝结后，以降水形式落到海洋中，或陆地上的水经蒸发凝结又降落到陆地上，这种局部的水分循环称小循环，前者称海洋小循环，后者称内陆小循环。

在水分循环过程中，水的物理状态、水质、水量等都在不断地变化，水分的交换，主要是通过蒸发、水汽输送、降水和径流四个环节进行。水分循环不是稳定的和连续的过程，各循环要素在时间上和空间上变化非常剧烈。同一地区，有时出现暴雨和洪水，有时则长期干旱；不同地区之间，由于受到海陆分布、大气环流、地形等影响，有些地区湿润多雨，河流水量丰沛，而另一些地区，则干旱少雨，以至成为沙漠。

### 2. 影响水分循环的因素

影响水分循环的因素很多，可以归纳为四类：一是气象因素，如温度、风速、风向、湿度等；二是自然地理条件，如地形、地质、土壤、植被等；三是人类活动，包括各种水利措施和农业措施等；四是地理位置。

在以上四类因素中，气象因素是主要的，起主导作用的因素。因为在水分循环的四个环节中，有三个（蒸发、水汽输送、降水）取决于气象条件。径流虽受地形、地质、土壤、植被等下垫面条件的影响，但径流的形成及其时、空变化则律在很大程度上仍取决于气象条件。

自然地理条件主要是通过蒸发和径流来影响水分循环的。有利于蒸发的地区，水文循环活跃，而有利于径流的地区，不利于水分循环。

人类活动对水分循环的影响，主要表现在调节了径流、加大了蒸发、增加了降水等水分循环环节上。人类活动是通过改变下垫面的性质，进而影响水分循环各环节的。

### 3. 我国水分循环的路径

由于我国的地理位置、与各大洋的相对位置关系以及受到大气环流和季风的影响，决定了我国的水汽来源为：太平洋、印度洋、大西洋、北冰洋和鄂霍次克海，相应形成了五个水分循环系统。

(1) 太平洋水分循环 我国有相当长的海岸线濒临太平洋，由于太平洋中的黑潮暖流，流经我国东南沿海，暖流洋面温度高，蒸发旺盛，洋面上空的暖湿空气受东南季风和

台风的影响,大量向内陆输送。进入大陆后,又与西伯利亚冷空气团交锋,成为华东、华北地区的主要降雨。降水分布从东南沿海向西北内陆递减,我国的主要河流如长江、黄河、淮河、珠江和浙、闽、台的河流,其水源主要来自这一循环的降雨,这些河流均注入太平洋。

(2) 印度洋水分循环 印度洋是我国南方主要水汽来源之一。冬季有明显湿舌从孟加拉湾伸向我国的西南部,形成这一地区的冬季降水;夏季由于印度低压的发展,盛行西南季风,把大量的水汽输送到我国西南、中南、华东以至河套以北地区,成为我国夏季的主要降水源泉。所形成的降水,一部分由西南地区的一些河流,如雅鲁藏布江、怒江等汇入印度洋;另一部分降水还参与了太平洋的水分循环。

(3) 内陆水分循环 我国西北新疆内陆地区的水分循环,主要是内陆水分循环系统,其西去太平洋甚远,但由于高空西风盛行,地势平坦,仍有少量大西洋水分于春季随气旋东来,参与内陆水分循环。

(4) 北冰洋水分循环 北冰洋水汽,借强盛的北风随西伯利亚气团进入我国西北。当西伯利亚气团强盛时,也可深入我国腹地,但因其水汽含量很少,引起的降水量并不多。流入北冰洋的河流有额尔齐斯河。

(5) 鄂霍次克海水分循环 鄂霍次克海和日本海的湿冷气团,在春夏之间由东北季风进入我国东北北部地区,降水后形成的径流,经黑龙江注入鄂霍次克海。

此外,华南地区受热带辐合带的影响,可把南海的水汽输送到华南地区,形成降水后经珠江流入南海。

我国大陆上空的水汽输入输出从多年平均情况来看(1973~1981年连续9年平均值),总输入量为 $18215\text{km}^3$ ,总输出量为 $15840\text{km}^3$ ,净输入量为 $2376\text{km}^3$ ,相当于全国面积上的平均深度 $234\text{mm}$ ,占总输入的13%。也就是说进入我国上空的水汽,并不全部参加水文循环,其中只有13%参加循环,以径流形式流入海洋。

### 第三节 区域与流域水量平衡方程

#### 一、水量平衡原理

水量平衡是物质不灭定律在水文学中的具体应用,它是研究水文现象的基本工具。应用水量平衡可对水文循环建立定量概念,从而了解各循环要素如降水、蒸发、径流之间的定量关系,这对于水资源评价、水文水利计算、水文预报都具有重要作用。

根据物质不灭定律,对于任一自然区域(或某一水体),在给定的时段内,各种形式的输入水量应等于各种形式的输出水量与区域内在该时段的储量的增量之和。据此原理可列出水量平衡方程:

$$I=O+(W_2-W_1)=O+\Delta W \quad (1-1)$$

式中  $I$  —— 给定时段内输入区域的各种水量之和;

$O$  —— 给定时段内区域输出的各种水量之和;

$W_1, W_2$  —— 区域内给定时段始、末的储水量;

$\Delta W$ ——时段内储量的增量,  $\Delta W = W_2 - W_1$ 。区域内储水量增加,  $\Delta W > 0$ , 储水量减少,  $\Delta W < 0$ 。

上式为水量平衡的基本方程, 应用时要注意两个问题: 一是平衡区域, 二是计算时段。平衡区域可以是一个流域, 或某个水体 (如海洋、湖泊、水库), 也可以是这些水体的一部分 (如某一河段)。计算时段要根据所研究的问题而定, 如果是研究大范围的水量平衡问题, 计算时段常取月、年、多年。如果是研究某个不大的水体, 一般取较短的计算时段, 如日、时等。水量平衡原理除了用来定量计算水文循环各要素间数量关系外, 还广泛用于水文计算、水文预报的计算问题, 如河道演算、水库调洪计算等。

## 二、全球水量平衡方程

如研究区域为地球上的全部海洋, 所取计算时段为年, 则对某一年的水量平衡方程为

$$P_{\text{洋}} + R = E_{\text{洋}} + \Delta W_s \quad (1-2)$$

式中  $P_{\text{洋}}$ ——海洋上某一年的降水量;

$R$ ——大陆流入海洋的某年径流量;

$E_{\text{洋}}$ ——海洋上某一年的蒸发量;

$\Delta W_s$ ——海洋某一年的储水增量。

式 (1-2) 中各量的单位, 均以 mm 计。

根据观测, 对于多年平均情况, 海洋水量没有明显的增加和减少, 地球上各处的海平面没有变化, 即对于多年平均情况,  $\Delta W_s$  接近于零, 故水量平衡方程为

$$\bar{E}_{\text{洋}} = \bar{P}_{\text{洋}} + \bar{R}_{\text{洋}} \quad (1-3)$$

式中  $\bar{E}_{\text{洋}}$ 、 $\bar{P}_{\text{洋}}$ ——分别为海洋上多年平均的蒸发量和降水量, mm;

$\bar{R}_{\text{洋}}$ ——大陆多年平均流入海洋的径流量, mm。

式 (1-3) 表明, 对于海洋, 多年平均蒸发量应等于多年平均降水量和大陆流入海洋的多年平均径流量之和。

根据以上原理, 可以得到陆地多年平均的水量平衡方程

$$\bar{E}_{\text{陆}} = \bar{P}_{\text{陆}} - \bar{R} \quad (1-4)$$

式中  $\bar{E}_{\text{陆}}$ 、 $\bar{P}_{\text{陆}}$ ——大陆多年平均蒸发量和多年平均降雨量, mm;

$\bar{R}$ ——大陆多年平均流入海洋的径流量, mm。

上式表明, 对于全球外流区的大陆, 多年平均蒸发量等于多年平均降雨量与多年平均流入海洋的径流量之差。

对于没有径流入海洋的大陆内流区, 其多年平均降水量  $\bar{P}_{\text{内}}$ , 完全消耗于蒸发  $\bar{E}_{\text{内}}$ , 故对于大陆内流区的水量平衡方程为

$$\bar{E}_{\text{内}} = \bar{P}_{\text{内}} \quad (1-5)$$

将 (1-3) 和 (1-4) 式相加, 即得全球多年平均的水量平衡方程

$$\bar{E}_{\text{洋}} + \bar{E}_{\text{陆}} = \bar{P}_{\text{洋}} + \bar{P}_{\text{陆}} \quad (1-6)$$

即 
$$\bar{E} = \bar{P} \quad (1-7)$$

式中  $\bar{E}$ 、 $\bar{P}$ ——分别为全球多年平均蒸发量和多年平均降雨量, mm。

此式表明, 对于全球来说, 多年平均蒸发量等于多年平均降雨量。如以全球作为一个

闭合系统，则在这个系统内部的局部地区或是某些特殊年份内，无论发生多么大的洪水或干旱，但对于整个系统来说，它所含的水量永远是恒定的。

地球上的水量平衡各要素的数量，见表1-2。

表 1-2 地球上多年平均水量平衡要素

区 域	水 量 衡 要 素	蒸 发		降 水		径 流	
		水 (km <sup>3</sup> )	水层深度 (mm)	水 (km <sup>3</sup> )	水层深度 (mm)	水 (km <sup>3</sup> )	水层深度 (mm)
海 洋		505000	1400	458000	1270	47000	130
大陆外流区		630 0	529	110000	924	47000	395
大陆内流区		9000	300	9000	300		
全 球		577000	1130	577000	1130		

### 三、通用水量平衡方程

假定在陆地上任取某一区域，区域的地面和地下边界有河道和地下水流，可以进出水量，区域内有湖泊、水库、河道和地下含水层等蓄水体。设想沿区域的边界作一个垂直的柱体，柱体底部为地面以下的某一水平面，假设在该水平面上下的水量不进行交换，则在计算时段内区域的水量平衡方程为：

$$P + R_e + R_g = E + R'_e + R'_g + q_e + \Delta W \quad (1-8)$$

式中  $P$  —— 区域内计算时段的降水量；

$R_e$ 、 $R_g$  —— 分别为计算时段内经地面、地下流入区域内的径流量；

$E$  —— 区域内计算时段的净蒸发量，等于蒸发量与凝结量的差值；

$R'_e$ 、 $R'_g$  —— 分别为计算时段内经地面、地下流出的径流量；

$q_e$  —— 区域内计算时段内的总用水量；

$\Delta W$  —— 区域内计算时段的蓄水增量。

式(1-8)为任意区域、任意时段的通用水量平衡方程，式中各量可以统一用深度(mm)单位，也可统一用体积(m<sup>3</sup>)单位。

如果研究区域是包括大气层在内的空间，可将以上设想的柱体，向上延伸至对流层顶，则此柱体的水量平衡方程为

$$R_e + R_g + D = D' + R'_e + R'_g + q_e + \Delta W + \Delta M \quad (1-9)$$

式中  $D$ 、 $D'$  —— 分别为计算时段内输入、输出柱体的水汽量；

$\Delta M$  —— 计算时段柱体内水汽含量的增量。

水量平衡方程中的各项，必须采用同一的单位，一般以水层深mm表示，这样可便于对不同区域的水平衡要素进行比较。

### 四、流域水量平衡方程

对于一个天然流域，如果地面分水线与地下分水线一致(称为闭合流域)，则不可能有水从外流域经地表或地下流入，故式(1-8)中的 $R_e$ 、 $R_g$ 均为0，再令流出的总水量为 $R = R'_e + R'_g$ ，则式(1-8)可写为

$$P = E + R + q_0 + \Delta W \quad (1-10)$$

式中  $q_0$  为流域内国民经济的净耗水量，其中灌溉耗水量消耗于蒸发，可计入流域总蒸发  $E$  之中；工业净耗水量一部分消耗于蒸发，一部分是产品带水，消耗于蒸发部分也计入  $E$  之中；而产品带水则数量相对很小，可略去不计。于是对闭合流域给定时段的水量平衡方程可写为

$$P = E + R + \Delta W \quad (1-11)$$

如果所取计算时段为一年，则上式为闭合流域年水量平衡方程。此时  $P$  为流域平均年降水量， $R$  为流域年径流深， $\Delta W$  为年终与年初流域蓄水量的增量。如  $\Delta W$  为正值，则表示年内的降水一部分消耗于径流和蒸发，其余则储蓄在流域之内；如  $\Delta W$  为负值，表示年径流和蒸发不仅来源于降水，还有一部分取自流域原有的蓄水量。

由于年蓄水增量  $\Delta W$ ，对于不同的年份有正有负，所以对于多年平均情况，正负值可抵消，故  $\Delta W$  的多年平均值近于零。据此可得出闭合流域多年平均水量平衡方程

$$\bar{P} = \bar{E} + \bar{R} \quad (1-12)$$

式中  $\bar{P}$ 、 $\bar{R}$ 、 $\bar{E}$ ——分别代表流域的多年平均降水量、径流量和蒸发量。

式(1-12)表明，对于闭合流域，多年平均流域的降水量等于多年平均径流量与多年平均蒸发量之和。由此可见，降水、蒸发和径流是水量平衡中的三个基本要素。由于降水和径流易通过观测取得比较可靠的数据，而流域蒸发是流域上水面蒸发，土壤蒸发和植物散发的综合值，一般难以直接观测，所以当已知流域多年平均降水和径流时，可以通过(1-12)式推求流域多年平均蒸发量，这一原理，被广泛用于水资源评价及其他水文计算工作中。

对于非闭合流域或较小的流域，地面、地下分水线不一致，且小河的河床下切较浅，地下径流不完全通过流域出口断面，故有一部分水量以地下渗流方式流至外流域。在这种情况下，式(1-12)不能成立。

对于内流区的河流，其径流最终全部消失在沙漠中，故  $\bar{R} = 0$ ，水量平衡方程为

$$\bar{P} = \bar{E}$$

表明内流河流域，多年平均降水量完全消耗于流域蒸发。

将式(1-12)方程的两端同除以  $\bar{P}$ ，则

$$\frac{\bar{R}}{\bar{P}} + \frac{\bar{E}}{\bar{P}} = 1 \quad (1-13)$$

令  $\bar{R}/\bar{P} = \alpha_0$ ， $\bar{E}/\bar{P} = \beta_0$ 。

式中  $\alpha_0$ ——多年平均径流系数；

$\beta_0$ ——多年平均蒸发系数。

式(1-13)可写作

$$\alpha_0 + \beta_0 = 1$$

$\alpha_0$ 、 $\beta_0$ 两个系数的数值变动在0与1之间，其大小反映了一个地区的气候和下垫面特性。在湿润地区， $\alpha_0$ 较大，如我国长江、珠江流域及浙、闽、台地区的河流， $\alpha_0$ 一般都大于0.50；在半湿润地区及干旱地区 $\alpha_0$ 较小，如我国黄河流域 $\alpha_0$ 为0.15；沙漠地区 $\alpha_0$ 很小。



几乎接近于零。而蒸发系数的变化规律则相反，一般湿润地区 $\beta$ 较小，而干旱地区较大。

我国主要河流的水量平衡要素见表1-3，全国水量平衡估算值见表1-4。

表 1-3 我国主要河流的水量平衡要素

河 名	流域面积 ( $\text{km}^2$ )	水 量 平 衡 要 素			多年平均径流 系 数
		降 水 (mm)	蒸 发 (mm)	径 流 (mm)	
松 花 江	549665	525	380	145	0.23
黄 河	752443	468	382	86.5	0.19
淮 河	261504	867	633	234	0.27
长 江	1807199	1060	529	531	0.50
珠 江	452616	1547	727	820	0.53
雅鲁藏布江	246000	699	225	474	0.68
台湾(省)	35990	1903	887	1016	0.53

表 1-4 全国水量平衡要素

流 域		面 积 (占全图%)	降 水 量 (mm)	径 流 量 (mm)	蒸 发 量 (mm)	径 流 系 数
外 流 区	太 平 洋	56.72	918	391	527	0.43
	印 度 洋	6.51	739	518.6	220.4	0.72
	北 冰 洋	0.53	357	215.9	141.1	0.76
	总 计	63.76	896	403.4	492.6	0.45
内 流 区		36.24	152	36	116	0.23
全 国 合 计		100.0	648	284	364	0.45

#### 第四节 水文现象的基本特点及研究方法

##### 一、水文现象的基本特点

水文现象受气候和自然地理因素的综合影响，而这些因素的组合和变化，决定了水文规律变化的特点。这些基本特点可归纳为两个方面：

(1) 时程上的周期性与随机性 所谓周期性是指水文现象的过程，大致以某一时段为循环周期。例如河流的水量变化，在一年之中有丰水期（汛期），有枯水期，尽管各年的总水量有大有小，但各年水量变化的丰枯交替的过程，各年是相似的，一般河流均有以年为时段的周期。河流水量以年为周期的变化规律，在水文分析计算和水利计算中有广泛的应用，例如一般以年为时段研究各种水文特征值（年降雨量、年径流量、年最大洪峰等）的变化规律，研究各种水文要素的变化过程。水文现象的周期性还表现在日变化、月变化的循环上，如潮汐的日变化、月变化周期；由冰雪补给的河流，因受气温的日变化周期性的影响，表现出明显的日周期变化。此外，还发现水文现象具有多年变化的周期，不过，它不象年变化周期那样明显。

水文现象的周期性，不象数学上的周期函数那样，各周期的变化过程和相应数值完全