

高等学校教材

水文学原理

(一)

河海大学 胡方荣 成都科学技术大学 侯宇光 合编

水利电力出版社

2

09

5112

4704

高等学校教材

水文学原理

(一)

河海大学 胡方荣 成都科学技术大学 侯宇光 合编

水利电力出版社

高等学校教材
水文学原理

(一)

河海大学 胡方荣 成都科学技术大学 侯宇光 合编

*

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 15.25印张 342千字

1988年6月第一版 1988年6月北京第一次印刷

印数0001—2890册 定价2.10元

ISBN 7-120-00303-8/TV·74

内 容 提 要

本书为高等学校陆地水文专业的教材,分水文学原理(一)、水文学原理(二)两册编写,本书为水文学原理(一),它以水文循环为核心,以水源为方向,阐明水文循环各个要素及各种水体水文现象的物理机制和相互关系以及时空分布,为陆地水文专业的基本理论及基础知识。主要内容包括:绪论、水文现象及过程的物理基础、降水、土壤水、下渗、蒸发与散发、地下水、径流、融雪径流、河流泥沙、河口、湖泊(及水库)、沼泽、冰川、水资源与环境等。水文学原理(二)则以径流形成的有关基本原理和理论为基本内容。

本书除作水利院校有关专业的教材外,还可供广大水文工作者学习与参考。

前 言

本书是根据1982年水利电力部制定的高等学校水利电力类专业教材大纲编写的。分水文学原理(一)、水文学原理(二)两册编写。

水文学原理(一)主要阐明各水文平衡要素及河流、湖泊等水体的基础知识、基本理论与基本方法,为陆地水文专业及后继课程服务。水文学原理(二)则以径流形成的基本理论为基本内容。

本书由河海大学水资源水文系胡方荣和成都科学技术大学水文教研室侯宇光合编(胡方荣编写了一、四、五、六、八、九、十、十一等八章,并对全书内容作了统一协调;侯宇光编写了二、三、七、十二、十三、十四、十五等七章);由成都科学技术大学水文教研室吴明远教授主审。

笔者在编写过程中虽力求反映当代国内外水文学方面的成就,但由于我们的知识与水平有限,错误和不当之处在所难免。我们恳切地希望广大读者提出宝贵意见,以便进一步修改。

编者

1985年6月

6/10/85

目 录

前 言

第一章 绪论 (Introduction)	1
第一节 水文学的内容和任务	1
第二节 水文学的发展	2
第三节 水文现象的基本特点及研究方法	5
第四节 世界上水的分布	6
第五节 自然界的水文循环	8
第二章 水文现象及其过程的物理基础	13
第一节 水的物理性质	13
第二节 水文平衡	15
第三节 水文混合	22
第三章 降水 (Precipitation)	26
第一节 降雨类型、特征及表示方法	26
第二节 降水资料的获取及其分析	31
第三节 区域平均降水量计算	34
第四节 影响降水的因素及我国大暴雨在时间及空间上的分布特性	38
第四章 土壤水 (Soil moisture)	42
第一节 土壤的物理性质	42
第二节 土壤水分的作用力及存在形式	43
第三节 土壤含水量及水分常数	45
第四节 土壤水水力特性	47
第五节 土壤水运动的基本方程	50
第六节 土壤含水率的测定	56
第五章 下渗 (Infiltration)	59
第一节 下渗的物理过程及规律	59
第二节 非饱和下渗理论	61
第三节 饱和下渗理论	66
第四节 下渗经验公式	68
第五节 天然条件下的下渗	69
第六节 下渗的测定 (下渗能力曲线的测定)	75
第六章 蒸发与散发 (Evaporation and Transpiration)	77
第一节 水面蒸发	77
第二节 冰雪蒸发	86
第三节 土壤蒸发	87
第四节 植物散发	92
第五节 区域总蒸发	96
第七章 地下水 (Groundwater)	99
第一节 地下水的存在状况及其形成条件	99

第二节	地下水的类型及其特征	102
第三节	岩石的水理性质	108
第四节	地下水的运动	109
第八章	径流 (Runoff)	113
第一节	径流形成过程	113
第二节	河流及流域	118
第三节	河流的水情	125
第九章	融雪径流 (Snowmelt runoff)	147
第一节	积雪	147
第二节	融雪径流	150
第十章	河流泥沙 (River sediment)	155
第一节	河流泥沙的来源	155
第二节	河流泥沙特性	158
第三节	泥沙运动简述	161
第四节	流域产沙	166
第五节	泥石流	168
第十一章	河口 (Estuary)	172
第一节	概述	172
第二节	河口的水文特性	173
第十二章	湖泊 (Lakes)	181
第一节	湖泊形态特征	182
第二节	湖泊类型	185
第三节	湖水热学、光学物理特性与化学性质	186
第四节	湖水运动	192
第五节	湖泊沉积	199
第六节	人工湖泊——水库	201
第十三章	沼泽 (Swamps)	209
第一节	沼泽的形成与类型	209
第二节	沼泽的水文特性	211
第三节	沼泽资源的综合利用	215
第十四章	冰川 (Glaciers)	216
第一节	冰川的形成及其类型	217
第二节	冰川的运动	218
第三节	冰川的积累与消融	222
第四节	冰川径流	225
第五节	冰川水资源利用	227
第十五章	水资源与环境 (Water resources and Environment)	229
第一节	我国水资源的状况	229
第二节	水资源开发利用与对环境的影响	232
主要参考文献		236

第一章 绪 论 (Introduction)

第一节 水文学的内容和任务

水是人类赖以生存的最重要的物质之一。因此，水与人类的关系非常密切。这就迫使人们不得不对它进行研究。水文学，广义地说就是研究地球与水的科学，包括它的性质、现象和分布。说得更详尽一些，水文学是研究地球上各种水体的形成、循环和分布，探讨水体的化学和物理性质以及它们对环境的反应，包括它们与生物的关系。水文学是人类长期与水作斗争，不断地观测、研究水文现象及其规律性而形成的。水体是指以一定形态存在于自然界中的水的总称，例如，江河、湖泊、冰川、沼泽、海洋、地下水以及大气中的水汽等。

水文学，广义地按地球圈层情况可分为水文气象学、地表水文学和地下水文学三种。按地球表面分布情况，又可分为海洋水文学和陆地水文学。

水文气象学 运用气象学来解决水文问题，是水文学与气象学间的边缘科学。主要研究大气水分形成过程及其运动变化规律。亦可释为研究水在空气中和地面上各种活动现象（如降水过程、蒸发过程）的学科。如可能最大降水（PMP）的推求，即属于水文气象学中的问题。

海洋水文学 又称“海洋学”。主要研究海水的物理、化学性质，海水运动和各种现象的发生、发展规律及其内在联系的科学。海水的温度、盐度、密度、水色、透明度、水质以及潮汐、波浪、海流和泥沙等与海上交通、港口建筑、海岸防护、海涂围垦、海洋资源开发、海洋污染、水产养殖和国防建设等有密切关系。

地下水文学 研究地壳表层内地下水的形成、分布与运动的规律及其物理与化学性质、对所处环境的反应、包括与生物的关系的学科。

陆地水文学 主要研究存在于大陆表面上的各种水体及其水文现象的形成过程与运动变化规律。按研究水体的不同又可分为：①河川水文学；②湖泊（包括水库）水文学；③沼泽水文学；④冰川水文学；⑤河口水文学。

一般所谓的水文学指的是河川水文学，包括地面水和地下水的研究。而本课程则稍微广泛些，涉及到除海洋以外陆地上的水体，但以河流为主。

根据任务和研究方法的不同，水文学又可分为以下主要学科。

1. **水文测验及资料整编** 研究如何布设水文站网，通过长期的定位观测收集较准确有代表性的基本水文资料。同时通过水文调查，在短期内对水文现象有影响的自然地理、气象特征、洪水、枯水、特大暴雨和人类活动等特征资料进行调查，然后将上述资料按科学方法与全国统一规范，进行整编、刊印，供国民经济建设各部门使用。

2. **水文水利计算** 根据长期实测及调查的水文资料，加以科学的统计，并结合成因分

析,推估未来长期(如几十年或几百年)的水文情势,为水利水电或其它建设的规划和设计拟定合理的标准。在水文分析计算成果的基础上,根据设计来水与用水情况,进行水量调节计算与经济论证,对工程的位置、规模、工作情况提出经济合理的设计,以满足综合利用水资源的要求。

3. 水文预报 根据实测和调查的水文资料,在研究过去水文现象变化规律的基础上,预报未来短期内或中长期(如几天、几个月)内的水文情势,为防洪、抗旱及水利水电工程的施工、管理运用等提供依据。

此外,还有水文实验研究、河床演变等。

水文学原理是研究这些水体(河流及湖泊、冰川、沼泽、地下水、河口等)的基本规律,以水文循环为核心,水资源为方向,阐明水文循环各个要素和各种水体水文现象的物理机制与相互关系,以及时空分布。

水文工作是国民经济中的一项基础工作,是水资源开发利用的尖兵,是防洪、抗旱、防止水源污染的耳目。在国民经济建设中,水力发电、农田灌溉、防洪排涝、整治河道、发电航运、水土保持、水产养殖、城市工矿用水、修建铁路公路桥涵、国防建设及旅游等,都需要利用水和控制水。但天然河道的水流状况,与用水的要求常不适应。如洪水期水量过多,大量废泄,甚至泛滥成灾;而枯水期水量很少或几乎断流。径流量的分配在空间上和时间上也不能满足要求。为了解决这些供需间的矛盾,必须采取相应的工程措施,如修建水库、开挖人工渠道引水分水,建立抽水站抽水等。将天然水流加以人为的调节,按照需要在地区上、时程上对水量重新分配、调度使用。因此,就必须了解水流特性,掌握水流的运动和时空变化的规律,从而有效地采取各种利用和控制的工程措施。

第二节 水文学的发展

一、水文学简史

英文“Hydrology”一词,来源于拉丁语,意即“水的知识”。根据水文学发展的特点,大体上可分为萌芽时期、奠基时期、实践时期和现代化时期四个阶段。

1. 萌芽时期(公元1600年以前) 这一时期的特点是:为生活和生产的需要,开始了原始的水位、雨量观测,对水流特性进行观察,并对水文循环现象进行推理解释。如在公元前3500~3000年埃及人即开始观测尼罗河的水位,公元前450~350年希腊哲学家柏拉图和亚里斯多德提出水文循环的臆说。公元1452~1519年意大利达·芬奇提出水文循环观点并使用浮标测量流速。

2. 奠基时期(公元1600~1900年) 这一时期的特点是实验水文学的兴起。由于水文测验仪器的出现,使实测水文数据成为科学分析的依据。发现了一些水文学的基本原理,从而奠定了现代水文学的基础。如毕托管,瓦尔德曼流速仪等;提出了伯努利定理,谢才流速公式,地下水流的达西定律,道尔顿蒸发公式,曼宁公式等。特别是在公元1674年法国人P. 贝罗特(Pierre Perrault, 1608~1680年)在巴黎出版《喷泉的起源》一书,将人们对水文循环的认识提高到数量描述的高度,是一个飞跃。书中叙述他在塞纳河进行过三

年的雨量观测,计算出塞纳河在伯格底以上流域内的年径流量只是年降水量的六分之一。他的这一结论的公布,被认为是现代科学水文的开始。为了纪念他对水文学的贡献,1974年联合国教科文组织(UNESCO)和世界气象组织(WMO)联合在巴黎举行了水文科学300周年纪念会。

3. 实践时期(公元1900~1950年) 这一时期的特点是更深入地探讨水文规律,将基本原理应用到生产实践中去,应用水文学得到广泛的发展,也可以说是水文学的近代化时期。

由于科学技术的发展,水利、交通、动力等大量开发,迫切需要解决工程建设中的许多水文问题;又由于实测水文资料的增长,水文站网的发展,促进了水文预报和计算工作。除出现了许多经验公式和预报方法外,还出现了许多结合成因分析的推理公式、合理化公式以及相关因素预报方法等,并对水文过程的机制进行了探讨。如谢尔曼单位线,霍顿下渗理论,海森、耿贝尔开始了水文统计,白纳德开始了水文气象学研究,恩斯坦提出了泥沙推移质的理论分析等。另外,出现了许多水文学著作。

4. 现代化时期(1950年~现在) 进入50年代以后,世界水文科学出现了两个新的因素:一是水文科学理论的深入研究和有关学科的渗透,促使水文计算和水文预报出现了许多新方法;二是电子计算机的应用,大大改变了水文科学的面貌。再结合遥感、遥测和核技术的应用,使水文科学进入现代化时期。如各类水文模型的提出,水文气象学应用于最大可能降水(PMP)的估算,水文自动遥测系统,联机预报系统等。且形成了许多新的水文分支学科,如随机水文学、城市水文学、农业水文学、环境水文学等。

我国劳动人民在与旱涝灾害长期斗争中积累了许多经验。远在公元前2000多年,我们的祖先为了防治黄河的洪水,就注意水位的涨落和天气状况。到公元前几百年,在《山海经》、《尚书》、《管子》、《庄子》、《吕氏春秋》等有关书籍中,对河流的洪水、径流变化、冰情等已有定性的描述和记载,其中还有的对水流运动、降水、蒸发和水文循环等现象作了符合科学的论述。东汉王充在他的《论衡》一书中,更以唯物的观点,批判了人们长期存在的雷、电、风、雨的迷信说法,而给以科学的解释,对水文循环的概念、潮汐的成因等方面都作了精辟的论述。著名的《水经》一书于东汉问世,经后人不断加工校订,发展成为《水经注》40卷,系统地描述了黄河、淮河、长江三水系的源头、干支流、灌溉、水力情况等。至清代傅泽洪综合了历代水利文献,编纂了《行水金鉴》一书,记述了河道沿革和水利兴废情况,包括了数千年间水道的变迁情况。在水文观测方面,公元前250年,李冰在四川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。关于雨量观测早就有所记载,到明仁宗洪熙元年(公元1425年)即正式颁发了“测雨器制度”,将统一制造的高一尺五寸,直径七寸的测雨器公布全国。但由于封建制度长期统治,生产落后,水文工作进展甚微。

我国近代水文科学是19世纪末叶才逐渐开始的。如北京在1841年开始观测雨量,汉口于1865年开始观测水位。1912年成立江淮水利局,在淮河测验水位和流量。1919年顺直水利委员会在陕县淤口设站观测黄河的水位、流量、含沙量。华北各河分别于1918、1919年开始设站观测。抗日战争爆发后,大部分测站遭到破坏而停止工作,只在西南地区发展了

少数测站。以后由于战争等各种原因,水文工作仍处于停滞落后的状态。直到1949年时,全国水文站总数,仅有300多处。

二、新中国的水文事业

1949年新中国成立以后,我国的水文事业得到了较快的发展,这主要表现在以下几个方面。

1. 水文站网建设方面 站网建设是水文科学的基础。至1983年底已发展到21436处(未包括台湾省在内),其中包括水文站3418处,水位站1413处,雨量站16545处,实验站60处。此外,还有地下水观测站12487处,水质监测站1672处。在全国范围内,形成了比较完整、合理的站网,基本上掌握了主要江河湖库的水文情势。

2. 水文测验、水文调查和水文资料整编方面 建国以后,为了适应生产发展的需要,不仅测站数量、类型大大增加,测验项目及其精度要求也在不断增加和提高。至1983年底全国已有自记水位计的站点已达到2693处,占水文测站总数的55.7%;自记雨量计11814处,占雨量点总数的57.9%。另外,还研制了一批适合我国河流水文特性的仪器测具。超声波、同位素、电子等新技术已应用于水文测验中。无线电通讯网及自动遥测系统已开始在少数地区建立。为了统一技术标准,提高测报质量,在实践中经过多次修订,制定了适合我国水文特点的《水文测验规范》。

水文调查,建国伊始,即开展了洪水调查,查明了黄河1843年及长江上游1870年等特大洪水;1973~1975年进行海滦河人类活动调查;1975年8月河南特大暴雨洪水调查,以及80年代开展的水资源评价调查,都是规模大效果显著的调查。60年代以来水文调查还采用了遥感和核技术,并取得了一定的成效。

在水文资料整编方面,30多年来,收集、积累了80万站项年的水文资料,并逐年汇编印成《水文年鉴》2020册,调查和整理了6000多个河段的历史洪水资料。为了统一全国技术标准,还编制了《水文资料整编规范》。为了提高整编的质量和速度,应用计算机进行整编,已逐步得到推广使用。

3. 水文情报预报方面 建国以来,针对防汛抗旱的需要,水文情报测报工作从无到有,由点到面逐步发展起来。现全国水情站已发展到8700多处,基本上能适应防汛抗旱的需要。河南“75·8”大洪水后,在一些重要河段和水库建立了不同规模的无线电通讯网点或架设了标准较高的专线电话。近年来又在一些重要防汛河段上和水库上,运用新技术进行自动测报系统的试点工作,效果较显著。

4. 水文水利计算方面 多年来水文部门、规划设计部门和科研部门共同协作,进行了大量的水文统计和分析计算工作,各地都编制了水文特征统计、水文手册、水文图集等,并先后汇编了全国水文图集、《水利水电工程设计洪水计算规范》和全国可能最大暴雨等值线图等综合性水文成果,在水利水电建设上起到了良好的作用。近年来,根据农业资源调查和农业区划工作的需要,水文、规划、科研等部门进行协作,在全国广泛地进行了水资源调查评价和暴雨径流查算图表编制等工作。1981年12月出版了《中国水资源初步评价》。

其它,在水文实验研究、水文地理、河床演变等方面,也取得了许多成绩。

第三节 水文现象的基本特点及研究方法

一、水文现象的基本特点

水文现象的基本特点可归纳为：在时程变化上存在着周期性与随机性的对立统一，在地区上存在着相似性与特殊性的对立统一。

（一）时程变化上的周期性与随机性

1. 周期性 由于地球的自转和公转，昼夜、四季，海陆分布，以及一定的大气环境，季风区域等，使水文现象在时程变化上形成一定的周期性。

在很多情况下，水文现象的变化规律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与一个枯季，或两个汛期与两个枯季，一般夏秋为汛期，冬春为枯季；关于冰川补给地区，流量过程随气温周期性的变化甚为明显。又如潮汐，随月球运行周期的变化，能产生明显的潮位日变化过程。气温具有日变化的周期，受控制于气温的水文情势（如冰雪水源河流）也具有日周期性。从长期观测的某些资料中，还可发现水文现象具有多年变化的周期性。这种在一定条件下必然出现某种水文现象的特点，被称为水文现象的确定性。

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，所以受其控制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，也存在着不重复性的特点，这就是所谓随机性。如任一河流，不同年份的流量过程不会完全一致。即使在同一地区，由于大气环境的特点，有的年份汛期可能出现早些，有的年份则要迟些，汛期和枯期的水量，也可能各年份大小不同，它们在时间上和数量上都不可能完全重复。

因此，在时程上水文现象的周期性既是必然的，又是偶然的；有确定性的一面，又有随机性的一面。

（二）地区上的相似性与特殊性

1. 相似性 有些流域所处的地理位置（纬度或离海洋远近等）相似，气候与地理条件相似，因而所产生的水文现象在一定程度上有一定的相似性，即具有所谓地带性。如湿润地区所有的河流，水量充沛，年内分配情势较均匀；干旱地区绝大多数的河流，水量不足，年内分配不均匀。

2. 特殊性 不同流域虽所处的地理位置、气候条件相似，但由于下垫面条件差异，而产生不同的水文变化规律。如在同一山区，山区河流与平原河流，其洪水运动规律就不相同；岩溶地区与非岩溶地区，河流水文规律也不相同。地下水源丰富的河流和地下水源贫乏的河流，其水文动态规律有很大的差别。

二、水文现象的研究方法

首先，水文现象的研究，必须建立在实测资料的基础上，以唯物论的认识论和方法论作指导，根据水文现象的基本特性进行分析研究。研究水文规律所需的实际资料，就是对大自然水文现象的实际反映，通常通过水文定位观测，实验研究和水文调查取得。

水文研究的方向,可分为物理方向和地理方向,分别研究水文现象的物理机制和地理分布规律。具体的方法可分为以下三种:成因分析法、数理统计法和地理综合法。

1. 成因分析法 按基本站网或室内外实验资料,从具体实际出发,研究水文现象的形成过程,揭示水文现象的本质及其相互关系,寻求其成因规律及各因素之间的内在联系,建立水文现象各要素与影响各要素变化的定性和定量关系。确定性的水文模型也属此类方法。

2. 数理统计法 基于水文现象特征值的出现具有随机性,以概率理论为基础,根据长期的水文观测资料,运用数理统计方法,求得水文现象特征值的统计规律。或对主要水文现象与其影响因素之间进行相关分析;求出一定的经验关系以供应用,也是另一种统计规律。随机模型即属此类方法。

3. 地理综合法 从气候要素及其它地理景观要素的分布具有地区性的特点出发,求出各测站水文要素的分类地区特征值,建立地区经验公式,绘制各种特征值等值线图,以分析水文现象的地区特征,揭示水文地区规律。

上述三种方法在实际工作中,常常同时应用,它们都各自针对着水文现象基本特点的一个侧面,它们应当是相辅相成,互为补充的,而不应当相互对立、互相排斥。

水文学在为水利工程规划和运行服务过程中,工程水文学又具有其特色,它是在研究水文现象规律的基础上针对着工程的需求有其特点,例如,它不单研究水文过程,而特别注意与工程有关的特征值(如最大流量、最高水位等);另一方面,不同的工程对水文特征值的要求也有差别,大水库注意洪水总量,小水库则注意洪峰流量。

遥感技术、核技术等新技术,近年来也用于水文研究,促进了水文学的发展,并逐渐形成了独立的学科方向。

但总的研究方向,仍属于物理方向和地理方向的范畴。

第四节 世界上水的分布

水在地球上以各种形式存在于地理圈中,形成一个环绕地球的巨大水圈。水在地理圈中的存在形式,大体上可分为地面水、地下水、大气水和生物水四大部分。地面水主要包括海洋、湖泊、河流、冰川、沼泽等各种水体储存的水,也是地球上水量的主要组成部分;地下水主要是指储存在土壤和岩石圈中的水;大气水是指悬浮于大气中的水蒸气,但有时也以液态和固态悬浮于大气圈中;生物水主要指一切生物有机体内的水分,这部分水量虽然占的比重不大,但却是地球上一切生物不可缺少的组成部分。

据估算(根据 World water balance and water resources of the earth UNESCO, 1978),在地球上水的总量为 13.86 亿 km^3 (表1-1),如平铺在地球表面,平均水深可达2718m。但地球上的水量绝大部分聚集在海洋里,地球的总面积为 51000 万 km^2 ,其中海洋总面积为 36130 万 km^2 ,约占地球总面积的71%。海洋中的总水量为 13.38 亿 km^3 ,占地球总水量的96.5%,折合水深可达3700m,如果平铺在地球表面,平均水深可达2624m。由于地球表面有70%以上被水覆盖着,所以地球有“水的行星”之称。

表 1-1

全球水储量

(1 km³ = 10 亿 m³)

水的类型	分布面积 (km ²)	水量 (km ³)	水深 (m)	在全球储水量中的百分数	
				占总储量	占淡水储量
海洋水	361300000	1338000000	3700	96.5	—
地下水(重力水和 毛管水)	134800000	234000000	174	1.7	—
其中 淡水		105300000	78	0.76	39.1
土壤水	82000000	16500	0.2	0.001	0.05
冰雪水	16227500	24064700	1463	1.74	68.7
其中:					
南极	13960000	21600000	1546	1.56	61.7
格陵兰	1802400	2340000	1298	0.17	6.68
北极	226100	83500	369	0.004	0.24
山区	224000	40600	181	0.003	0.12
永冻土层水	21000000	300000	14	0.022	0.86
湖泊水	2058700	176400	85.7	0.013	—
其中:					
淡水湖	1236400	91000	73.6	0.007	0.26
咸水湖	822300	85400	103.8	0.006	—
沼泽水	2682600	11470	4.28	0.0008	0.03
河道水	148800000	2120	0.014	0.0002	0.006
大气水	510000000	12900	0.025	0.001	0.04
生物水	510000000	1120	0.002	0.0001	0.003
总储量	510000000	1365984610	2718	100	
淡水	148800000	3682910	235	2.53	100

(资料来源: World water balance and water resources of the earth UNESCO, 1978)

除了海洋以外,地面上的水主要储存在湖泊、河流、沼泽及人工水库里。据估算地球上全部河流、湖泊及沼泽的总水量约为19万km³,仅占地球上总水量的0.014%,但这部分水与人类关系密切,为水文学主要的研究对象。大陆冰雪总水量约为2406万km³,约占地球总水量的1.74%,折合成水深为1463m,为地球上最多的淡水资源,但难以开发利用。

除地面水以外,还有一部分水渗透到土壤和岩层深处形成地下水。据估算地下水的总储量为2340万km³,其中淡水为1053万km³,折合成水深为78m,占总水量的0.76%,也是淡水的主要来源之一。

大气水总量约有12900km³,折合成水深约为25mm,仅占地球总水量的0.001%,虽然数量不多,但活动能力却很强,是云、雨、雷、闪电的根源。

生物水总量约有1120km³,约占总水量的0.0001%。

从以上数据可以看出,在总数近14亿km³的总水量中,可能为人类利用的淡水资源只占一小部分。它们主要为河川径流、浅层地下水、土壤水和淡水湖等。全世界河川径流总量约为3.8万km³,淡水湖泊的储水量为9.1万km³,陆地表面上这些水量不足海洋水量

的千分之一，而据估算其中可利用的淡水资源约只有4.7万km³。但是，它们对人类却至关重要，是最重要的基本物质资源之一。

第五节 自然界的水文循环

地球上的水并不是静止不变的，而是在不断地运动变化和互相交换着。水在太阳辐射能的作用下，不断地从水面（海洋、河流、湖泊等）、陆面和植物表面蒸发，化为水汽上升到高空，然后被气流带到其它地区，在适当的条件下凝结，又以降水的形式降落到地面上。到达地面的水，在重力作用下，一部分渗入地下成为地下水，一部分形成地面径流流入江河汇归海洋，还有一部分又重新蒸发回到空中。其中渗入到地下的地下水，一部分也逐渐蒸发，一部分最终也流入海洋。水的这种不断蒸发、输送、凝结、降落、产流、汇流的往复循环过程，称水文循环（也可称水分循环）。水文循环是地理环境中最重要、最活跃的物质循环之一。其循环过程如图1-1所示。

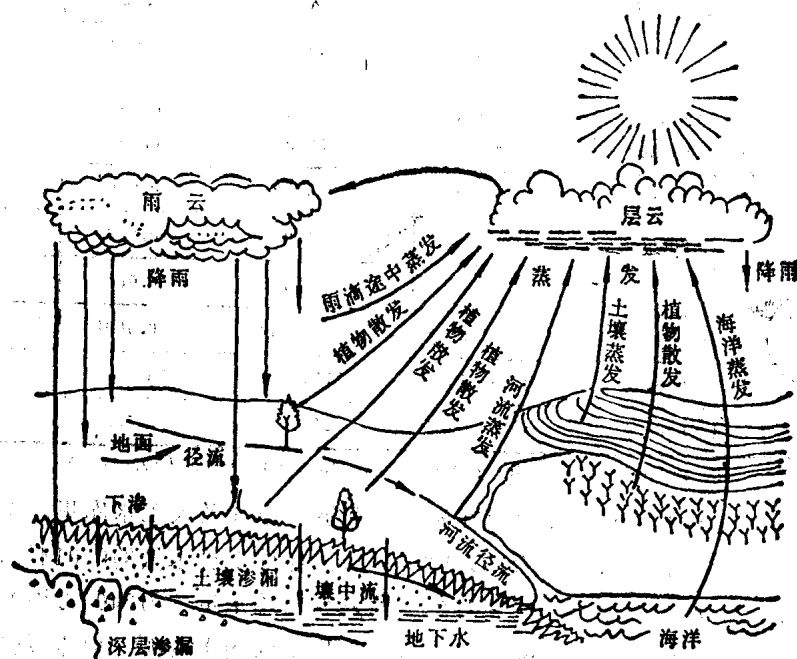


图 1-1 水文循环示意图

形成水文循环的内因，是水的三态（气态、液态、固态）在常温条件下可以相互转化，水文循环的外因是太阳辐射和地心引力。水在自然界中沿着复杂的路径不断地运动和变化着。此外，由于地面性质的不同和地形结构的差异，也能影响水文循环的强度、规模和路径。水文循环的路径贯穿整个水圈，向上延伸到大气中10km左右，下至地壳中平均1km深。

一、大循环与小循环

按水文循环的过程、规模，可分为大循环与小循环。从海洋蒸发的水汽，被气流带到

大陆上空，遇冷凝结而形成降水，降水至地面后，一部分蒸发直接返回空中，其余都经地面和地下注入海洋，这种海陆间的水分交换过程称大循环或外循环。水在大循环运动中，一方面在地面和天空之间通过降水和蒸发进行纵向交换；另一方面又在海洋和陆地之间进行横向交换。海洋从空中向大陆输送大量水汽，陆地则通过地面和地下径流（主要通过河流）把水输送到海洋里去。陆地也向海洋输送水汽，但与海洋向陆地输送的水汽比较，相对地说甚为微小，大约只占海洋蒸发的8%。海洋向陆地输送的水汽减去陆地向海洋输送的水汽，称有效水汽输送量，是陆地上降水的主要来源。

陆地上的水经蒸发、凝结作用又降落到陆地上，或海洋面上蒸发的水汽在空中凝结后，又以降水形式降落在海洋中，这种局部的水文循环称小循环或内循环。前者又可称内陆小循环，后者称海洋小循环。

由陆面蒸发而引起的内陆小循环，对内陆地区的降水有重要作用。因内陆地区距离海洋很远，从海洋直接输送到内陆的水汽不多，需要通过内陆局部地区的水文循环运动，使水汽不断地向内陆输送，这是内陆地区的主要水汽来源。由于水在向内陆输送过程中，沿途会逐步损耗，故内陆距离海洋越远，输送的水汽量越少，降水量越小。沿海地区一般雨量充沛，而内陆地区则雨量稀少，气候干燥，就是这个原因。

二、水文循环运动规律

水文循环无始无终，大致沿着海洋（或陆地）→大气→陆地（或海洋）→海洋（或地面）的路径，循环不已，包括许多过程。一般都要经过蒸发、降水（包括凝结过程）、径流形成（包括地面和地下径流以及下渗过程）和大气水分输送四个重要环节（有的小循环运动可能缺少径流部分或径流部分不太明显），并且有以下几个特点：

1. 海洋的蒸发量多于降水量 储存在海洋上空大气中多余的水汽，通过气流输入到大陆上空。海洋因蒸发而消耗的水分，再由大陆上的径流和高空中由陆地输入海洋的水汽加以补偿。

2. 大陆降水量多于蒸发量 大陆上因为从空中得到了由海洋输送来的水分，使降水量大于蒸发量。大陆上多余的水分，再由地面及地下汇入海洋。

3. 大陆外流区输入水汽量与输出水量基本平衡 在大陆上的外流区内，由于通过地面及地下径流把陆地上多余的水量输送到海洋，高空中必然有等量的水分从海洋上空输送到大陆上空。

4. 大陆内流区降水量和蒸发量基本相等 在大陆上的内流区内，就长时间的平均状态而言，降水量基本上和蒸发量相等，成为一个独立的循环系统。它虽然不直接和海洋相通，但借助于大气环流运动，在高空进行水分输送，也可能有地下径流交换，所以仍有相对较少的水量参加了海陆间的内外循环运动。

从以上关于水文循环简单的说明中，可能使人得到一种错觉，认为循环是以恒定的流量稳定地进行运转。其实并非如此，在汛期有时大雨倾盆，江河横溢。在另一时期，循环则相对平静下来，几乎停止了运转。这些情况是由年内不同季节气象条件的变化所造成的。这种不稳定不仅表现在一年内的各季之间，在年际之间也有明显变化。例如，北京1959年的年降水量为1406mm，而1891年只有168.5mm，相差1237.5mm，比值为8.3倍。

华北、西北干旱地区相对变幅大于东南沿海地区。

地球上一年中的降水量平均为1130mm，折合水量为57.7万 km^3 。而大气对流层中的水汽总含量为12960 km^3 ，据此可推算出地球上一年中的水文循环，大约重复45次，也就是说，存在于大气中的水汽，大约8个昼夜就能完成一次循环。当然这只是一个平均情况，实际上，自然界中水分的交换过程和循环运动随着时间和空间的变化是极为复杂的。

三、水文循环的影响因素

影响水文循环的因素很多，但都是通过对影响降水、蒸发、径流和水汽输送而起作用。归纳起来有四类：一是气象因素如风向、风速、温度、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，包括水利措施和农业措施等；四是地理位置。

在这四类因素中，气象因素是主要的，因为蒸发、水汽输送和降水这三个环节，基本上决定于地球表面上辐射平衡和大气环流情况。而径流情势虽与下垫面（自然地理）条件有关，但基本规律还是决定于气象因素。

自然地理条件主要是通过蒸发和径流来影响水文循环。有利于蒸发的地区，往往水文循环很活跃；而有利于径流的地区，则恰好相反，不利于水文循环。

人类活动，改变下垫面条件，通过对蒸发、径流的影响而间接影响水文循环。通常是有利于蒸发而不利于径流，从而促进了内陆水文循环。

由于大气中的水分只有25mm，而年平均降水总量却有1130mm，可见大气中同时存在的水量是不大的，很多地方1h的降水量就会超过这个数量的几倍多。因此，大气降水必须依靠地面水的不断蒸发和水汽输送来补充。由于地面上各种水体分布不均匀，大气本身的温度、湿度、气压等气象条件在时间上空间上不断变化，使蒸发、水汽输送和大气降水等水循环的几个重要环节在时间上和空间上也不断变化。根据地球上各地长期观测资料证明，多年平均降水量、蒸发量和径流量，在地球上的分布情况与地理位置有很大关系。南北半球都有两个最大值和最小值。最大值约在赤道及南北纬 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间，最小值在两极和中纬度地区。这说明地球上不同区域水循环的情况也是不同的。

四、水文循环的作用和意义

如前所述，全球多年平均降水量为1130mm，多年平均蒸发量应与降水量相等，折合水量577000 km^3 ，还不到地球上总水量13.86亿 km^3 的0.0416%。所以，经常参与水循环运动的有效水量，只不过是地球上总水量中很小的一部分。这部分水量虽然不大，但它对自然界，特别是对人类的生活和生产活动，却有重大的作用和意义。

1. 直接影响气候的变化 由于水面、陆地和植物表面的蒸发等，使大气层中经常含有一定数量的水汽。大气中水汽虽然很少，而且主要集中在距地面2~3km以下的大气层底部，但却是天气变化的主要角色，是产生云、雨、雷、闪电等现象的主要物质基础。空中水汽的多少，又直接影响着气候的特点。水汽多了气候湿润，少了气候干燥。水汽通过蒸发和凝结，可以大量吸收或放出潜热，强烈地吸收和放出长波辐射，对地面气候起到一定的调节作用。所以，只有通过水循环运动，在大气层中保存一定水汽量的情况下，才能为人类和一切生物创造一个比较适宜的生活环境。