

中等专业学校教材



陆地水文学

(第三版)

湖北省水利学校 丁之江 主编



中等专业学校教材

陆地水文学

(第三版)

湖北省水利学校 丁之江 主编

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书是中等专业学校陆地水文专业的教材。

本书重点是论述河川水文的基本概念和降雨径流形成原理。内容包括：陆地水文学的任务，水文现象的特点；自然界的水分循环与水量平衡；河流和流域特征与水文现象的关系；降水、土壤水、下渗、蒸散发的物理成因及其时空变化规律；产流与汇流的过程及基本理论；河流的水情、冰情、沙情；河床演变的一般规律；湖泊、水库、沼泽、冰川、河口等水体的水文特点；环境及生态学的概念，水环境污染及环境水文的概念。

本书也可作为在职水文技术人员的培训教材和业余自学的参考。

中等专业学校教材

陆 地 水 文 学

(第 三 版)

湖北省水利学校 丁之江 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 11.75印张 263千字

1979年11月第一版 1985年11月第二版

1992年11月第三版 1992年11月北京第五次印刷

印数21351—23990册

ISBN7-120-01615-6/TV·591

定价2.90元

前 言

本书是根据1988年4月水利电力部颁发的陆地水文学教学大纲及1989年1月水利部印发的“1990~1995年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划”编写的。编写时以《陆地水文学》第二版为基础，注意深广度力求符合中专的实际水平；注意基础理论与基本概念的论述；注意基本技能与分析能力的培养；注意与其他课程的配合；注意水文学科的发展。

本书论述以河川水文为主，以降雨径流形成原理为核心，对其他陆地水体的水文特点作必要的叙述。在叙述流域特征、降水、土壤水、蒸散发、下渗、河流水情、沙情等水文现象时，均以“径流形成过程”为主题选取内容。还对环境和生态学作一定的介绍，为水环境污染及环境水文奠定必要的基础。本书结构体系按水文现象的发生和发展过程编排，使读者对各水体水文现象的因果关系得到完整的概念。本书对水文现象的因果关系进行定性分析，而定量分析计算将由陆地水文专业的后续课程介绍。

本书由湖北省水利学校丁之江主编，成都水力发电学校邓先俊主审。绪论、第三、五、九、十章由丁之江编写；第一、二、四章由陕西省水利学校陈家敏编写；第六、七、八章由江苏水利工程专科学校周侧编写。全书正文、插图等由丁之江整理及编排。全书插图由湖北省水利学校陈秋元描绘。

本书编写时，引用了河海大学、成都科学技术大学、长江水利委员会、黄河水利委员会等院校和生产单位的教学资料及生产成果，在此表示感谢。

由于编者水平有限，希各校师生及读者对本书存在的问题，给予指正，以便修改。

编 者

1992年1月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一节 陆地水文学研究的内容与任务	1
第二节 水文现象的特点	2
第三节 研究水文现象的方法	3
第四节 水文事业发展简况	4
复习思考题	6
第一章 水分循环与水量平衡	7
第一节 地球上及我国的水资源分布	7
第二节 自然界的水分循环	9
第三节 水量平衡	11
复习思考题	12
第二章 河流与流域特征	13
第一节 流域及流域特征	13
第二节 河流与水系特征	18
第三节 河流纵断面	20
第四节 河流横断面	22
第五节 河流的水位与流量	24
第六节 径流的计量单位	27
复习思考题	28
第三章 降水	29
第一节 降水的成因及类型	29
第二节 降水的时空分布	31
第三节 影响降水的因素及降水资料的审查	35
第四节 流域平均降雨量计算	38
复习思考题	40
第四章 土壤水、下渗与蒸发	41
第一节 包气带	41
第二节 土壤水	43
第三节 下渗	48
第四节 蒸发	54
复习思考题	59
第五章 降雨径流	60
第一节 径流的形成过程	60
第二节 包气带的水文特性	64
第三节 产流机制及产流方式	67

第四节	流域产流及产流量计算的途径·····	74
第五节	流域汇流·····	78
	复习思考题·····	90
第六章	河流水情·····	92
第一节	河流的水源补给类型及其径流过程的特点·····	92
第二节	洪水·····	95
第三节	枯水·····	97
第四节	径流情势·····	100
第五节	河流的水温及河流的冰情·····	104
第六节	融雪径流·····	108
	复习思考题·····	112
第七章	河流泥沙与河床演变·····	114
第一节	河流泥沙的来源与影响因素·····	114
第二节	泥沙特性·····	116
第三节	泥沙运动·····	121
第四节	河床演变简述·····	128
	复习思考题·····	133
第八章	河口水文·····	134
第一节	河口的类型和分段·····	134
第二节	河口潮汐·····	135
第三节	河口区的水文特性·····	138
第四节	河口区的泥沙动态·····	140
第五节	河口演变·····	142
	复习思考题·····	143
第九章	湖泊、水库、沼泽、冰川·····	144
第一节	湖泊的类型及形态特征·····	144
第二节	湖水的物理化学性质·····	148
第三节	湖水运动·····	151
第四节	湖泊沉积·····	153
第五节	水库·····	154
第六节	沼泽·····	158
第七节	冰川·····	162
	复习思考题·····	164
第十章	环境水文·····	165
第一节	环境及生态学的概念·····	165
第二节	水环境污染·····	168
第三节	环境水文·····	173
第四节	水利工程对环境的影响·····	177
	复习思考题·····	180
主要参考文献	·····	181

绪 论

第一节 陆地水文学研究的内容与任务

一、陆地水文学研究的内容

存在于地表的海洋、江河、湖泊、沼泽、冰川中的水称为地表水；以水汽的形式存在于大气层中的水称为空中水；下渗到土壤岩层中的水称为地下水。以一定形态存在于某一位置而且各自具有独特性质的水，统称为水体。

由于水有液态、气态、固体三态，位于不同位置的水体，它们之间的水分经常进行交换和转移。这样水分在时间过程上和地区分布上（简称时空分布）不断发生变化，这种变化就是复杂的水文现象。水文学就是研究自然界水体的变化、运动、相互交换及时空变化规律的学科。

随着科学的发展，空中水已是气象学研究的对象；海洋已是海洋学研究的对象；地下水已是水文地质学研究的对象；而江河、湖泊、沼泽、冰川则是陆地水文学研究的对象。

陆地水文学主要研究大陆地表水，重点是河流，主要研究内容是：河流和流域的主要特征；河川径流的形成过程；分析影响河川径流的基本因素；河流水情时空变化的基本特点；河流泥沙运动与河床演变的一般特性。此外，还研究湖泊、水库、沼泽、冰川等水体的一般水文特征。

二、陆地水文学的任务

水文工作是国家经济建设的重要前期工作和基础工作。水资源的数量和质量，它的时空分布特征，开发利用和科学管理，直接关系到国家的能源开发，国土整治、农业区划、环境保护和其他国民经济开发等一系列重大问题的决策和经济效益。

我国河流及湖泊众多。流域面积在 1000km^2 以上的河流有5800多条。蓄水量在 1km^3 以上的湖泊有200多个，湖泊蓄水量约7500亿 km^3 。河流的水能蕴藏量约60亿kW。开发利用这些天然资源，陆地水文学将起先导作用。如天然水资源的时空分布和人们对水的需求极不协调，我国北方的降水量少，河流的水量少，满足不了人们的需求，而南方的降水量多，河流的水量多，且经常发生洪涝灾害。天然来水与人们需求之间的不相协调，就需要将天然来水人为地加以重新分配。修建水利工程蓄水，以丰补枯，这些水利工程的规划设计、运行管理必须掌握水体的时空变化规律。工农业的发展，人口的高度集中，人们在需水的同时，还在不断地污染水。据研究，到2000年我国城镇生活污水量将达到215亿 m^3 ，工业废水量将达到561亿 m^3 。松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江、珠江等七大江河干流的污水将普遍增大。我国水态环境有进一步恶化的趋势，各河流水质下降，并导致生态环境的恶化，严重影响人民生活和经济的发展。因此，防止水的污染及水资源的保护，都需应用陆地水文学的基本知识和基础理论。

由于生产和经济的日益发展,陆地水文学对地表水数量和质量的研究深度和广度也日益发展,科学分工也较细,因此本课程在专业中的任务是为《水文测验》、《水文资料整编》、《水文水利计算》、《水文预报》、《水化学》、《区域水资源》等课程奠定基础理论。

第二节 水文现象的特点

河流的水文现象受气象因素和自然地理因素的综合影响。这些因素时空变化的组合,决定了不同地区河流水文现象的基本特点。由实测资料分析,水文现象的基本特点可归纳为以下两点。

一、时程上的周期性与随机性

影响水文现象的气象因素,随着地球自转和公转,而具有日、年甚至多年为周期的循环变化,故水文现象也具有周期性变化。这种周期变化,大致以某一时段为循环周期,周而复始近似地重演着。按周期长短,有日周期、年周期及多年周期之别。如河流流量变化,一般是每年的夏秋季大,称为汛期,冬春季小,称为枯水期,几乎年年如此,这种循环为年周期变化。在长期的实测资料中,还发现有些水文现象具有多年周期变化的趋势。

水文现象的周期变化,一般具有相似性,即在某周期内其数量在时程上的变化趋势大致相似。掌握水文现象时程变化的周期性,有助于利用水文现象的历史演变规律,去预估未来演变趋势。

水文现象在时程上虽具有周期性和相似性,但不是简单的重复,如某河流每年7月份的流量都较大,但各年7月份的流量在数量上不会完全相等,不会重复出现,这就是随机性。又称偶然性。造成偶然性的原因是影响水文现象的因素甚多,且组合复杂。由于水文现象具有随机性的特点,因此可以应用数理统计理论来研究水文现象。同时,因水文现象具有不重复性的特点,就需要对水文现象进行长期的观测,以能正确地揭示水文现象的时空变化规律。

二、地区上的相似性与特殊性

气象因素具有分带的规律性,即在同一纬度带内其气象因素的变化情况是相似的。自然地理因素也具有可以分区的规律,这样就形成水文现象变化具有地区相似性的规律。因此,可以利用地区相似性的特点,对水文现象进行分区和分类型来研究,寻求地区性规律。通过对有代表性的典型地区的水文现象进行长期的观测研究,将成果推广运用到同类型的地区。如水文站网布设、水文实验研究、水文分区或河流分类,都是应用水文现象地区相似性原理。

相邻河流地理位置相近,气象条件也相似,当自然地理条件有差别时,就会有不同的水文变化规律,这就是与地区相似性对立的特殊性。如相邻地区的山区河流与平原河流的水文现象变化显然是不相同的,而各具有特殊性。所以应用水文现象地区相似性的基本特点时,要注意各自的特殊性。

第三节 研究水文现象的方法

陆地水文学是研究地表水的学科。目前对地表水的规律还没有充分掌握，现行研究地表水的方法，都要布设各类站网，测量和记录水文现象，收集整理水文资料。水文资料的数量和质量对研究水文现象有决定性的意义。根据水文现象的基本特点，按不同的目的和要求，水文现象的研究方法有下面几种。

一、统计分析法

水文现象具有随机性和不重复性的特点，可将水文特征值看作是偶然事件，即为互相独立的随机变量。根据这一原理，将实测的水文资料进行频率计算，研究其统计规律，就可对水文现象的变化作出超长期的预估，以满足工程设计的需要。还可以通过各种水文现象之间，或水文现象和有关因素之间，进行相关分析，求得一定的经验关系。这种频率计算和相关分析等统计方法，目前在水文计算、水文预报、水文资料整编中广泛的应用。

必须指出，统计分析法不是纯数学的演算。在进行统计分析之前，先要分析水文现象之间，水文现象与有关因素之间的物理成因的联系，这样才能得到满意的结果。如频率计算中样本的选择，计算成果的合理分析，地区的综合，相关分析中相关要素的选择等，都要以成因分析为基础。

二、成因分析法

根据大量的水文观测资料，分析水文现象的形成过程，揭露各因素间的内在联系的因果关系，寻求成因规律，从而建立水文现象各要素间的定量关系，以供生产实践的需要，这就是成因分析法。如水文实验研究中的降雨径流实验便是成因分析法的一种。它是在野外选择有代表性的特定试验区，实测降雨、蒸发、下渗、径流的过程。以研究降雨到径流之间各个环节的定量关系，并建立降雨转化为径流的数学关系方程或图表。这种关系式或图表反映了水文现象各因素之间的因果关系。也可以将已揭露的复杂的水文过程，用模拟的方法近似地表达，这种表达便是水文模型法，是成因分析法的一种。成因分析法是研究水文现象的主要方法，目前还在发展中，它是避免盲目经验处理或概化，提高水文成果精度的重要途径。

三、地理综合法

水文现象具有地区性的特点，因此水文现象的变化规律可以在地区上进行综合。水文等值线、水文区划、水文比拟法等都是地理综合法的具体应用。如甲乙两地区气象因素和自然地理条件相似，其水文现象具有相似的变化规律，则可将甲地区的水文资料移用到乙地区去，这就是水文比拟法。在进行地理综合，运用水文现象地区性规律时，要注意由于地貌特征等非地带性因素的干扰，而造成地区间的差异。

以上三种方法不是孤立的，而是相辅相成的。如现在运用的水文预报方法，主要应用成因分析法，但同时以相关分析为重要手段。在区域水文预报中采用地理综合法。水文计算中虽以统计分析为主，但计算方案的选择，成果精度的检查，又必须应用成因分析法及地理综合法加以补充和修正。

第四节 水文事业发展简况

一、水文学发展的阶段

水文学最早是地理学的一个分支,是研究陆地上水体现象的专门科学。最初,主要以河川中的水流为对象进行观察,描述其分布特点及季节变化。后来,扩展到湖泊等天然水体的描述,并把陆面和海洋的水作为地理特征进行研究,对水文现象的观察和描述重于对各种水文要素数量上的估计。这个阶段开始建立的包括降水、径流、蒸发的水循环比较完整的概念,是建立水文学过程的一个重大进展。这些观察是为了说明自然现象,重在定性分析,还没有和水的开发利用联系起来。这个阶段,水文学作为一门科学开始形成,因其自然科学的特征较强,可以说是地理水文学的形成和发展阶段,也是水文学发展史中的第一阶段。

20世纪以来,随着近代工业的发展和科学技术的进步,人类对水的利用从自发状态逐步发展用工程来控制并改变天然河川径流。在大量蓄引水及防洪工程的兴建及其设计中,逐步形成了工程水文学,并且很快在水文学中占据主要位置,带动了水文测验技术及站网的发展。水文不再是一门纯自然科学,而成为结合自然科学和技术科学的应用科学。虽然从18世纪末期已开始有水文计算的萌芽,但是工程水文学明显地成为专门学科,则是20世纪30年代。特别是1932年谢尔曼提出净雨转化径流过程的单位线,1941年耿贝尔建议用极值分布来作水文资料的频率分析,使海任所倡议的数理统计在水文学中广泛得到应用。水文测验、水文计算和水文预报有了较快的发展。水文科学也逐步成为更加成熟的独立学科。这就是水文学发展成为工程水文学的第二阶段。

从20世纪50年代开始,电子计算机和空间技术的发展,促使科学技术飞跃发展。工业的发展及人口的增长,使得不少地区水资源的供需关系出现紧张局面。大量污水水排放,污染了河流和地下水源,一些地区出现了水源危机。一直认为是“取之不尽、用之不竭”的天然水资源,被人们认识到并不是如此富余,水资源问题成为全世界所关注的社会性问题。因此,水文学研究的内容不仅限于水在自然界的循环、平衡和变化,而扩展到水在人类社会圈中的另一个循环、平衡和变化,即水的“供需排”的关系。这个“第二循环和平衡”在人类的经济生活和社会发展中愈来愈占有重要的位置。水文学在其发展过程中出现了一个转折点,即由工程水文学向水资源水文学的转化,这就是水文学发展进入第三阶段,并具有自然科学、技术科学和社会科学的综合内容。人类认识到,水文科学探讨的水文基本规律已不能局限于一个流域、一个国家的境内,甚至不能限于一个地理区域范围内,而需要从全球的角度,从水在围绕地球的气圈、岩石圈和水圈中的地位和作用中去探讨。还认识到,水文科学不仅要研究自然界的水文现象,还要联系到人类生活^⑤,因而除了上述三个圈外,还需要研究“社会圈”。这一阶段的另一特征是,在水文学中引入了“系统”的概念,出现了水文学的系统方法。在计算机数学和空间技术的推动下,水文学领域出现了一些新的理论和方法,各种水文模拟和多参数的水文模型,合成水文学等概念,为传统水文学提出了更加广阔的思路。

二、我国水文工作简况

我们的祖先在防洪抗旱及兴修水利的斗争中积累了许多宝贵经验。远在公元前2000多年,就注意了水位的涨落,在有关的文献上对河流的洪水、径流、冰情等作出了定性的描述。如《水经》于东汉问世,到南北朝时校订成为《水经注》,系统地描述黄河、长江、淮河等水系的源头、干支流、灌溉、航运等情况。清代傅泽洪等人综合历代的水利文献,编纂《行水金鉴》,评述河道的沿革,水利兴废和河道的变迁情况。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,并为各地仿效。长江涪陵白鹤梁“石鱼”水标及枯水题记,作为长江枯水的标志,经考古查证,石鱼水标始于公元764年。

因封建制度的长期统治,生产落后,我国水文工作没有大的进展。我国近代水文科学从19世纪中叶才逐渐发展。如北京1814年开始观测雨量,汉口1865年开始观测水位,松花江1899年开始观测水位,淮河1912年开始观测水位和流量,1919年在陕县设站观测黄河的水位、流量、含沙量。华北各河也于1919年以后开始设站。其他地区大多在1930年左右陆续设站观测水文要素。总之,中华人民共和国成立前的水文工作处于停顿和落后状态,设备简陋,技术力量差,资料残缺未加整理分析。

中华人民共和国成立后,在大规模的水利水电建设的推动下,水文工作发展较快。在水文站网建设方面:1989年底统计,共有水文站3450处,水位站1263处,雨量站16273处,地下测井点13648处,水质监测站1400多处,实验站64处。这些站网所收集的资料为水利水电建设和管理运用、防洪抗旱起了重要作用,并为分析评价开发水资源提供了依据。据规划,到2000年全国水文站网将发展到6000处左右,要在主要河流上建成几处自动测报系统,按流域建成几处资料中心,实现资料处理现代化。1949年以来,逐年资料整理成水文年鉴刊布,至1985年共刊布约2200册。自1964年起,每年的水文年鉴有10卷74册。这是测验成果的精华。

在水文情报和预报方面:为防洪抗旱的需要,每年汛期全国布设近万个报讯站,构成完整的水文情报网,掌握全国江河和主要水利工程的水情。预报方案和通讯设备也得到发展,预报范围既有大江大河,也有中小河流和水库、灌区、水电站等水利工程。还向朝鲜、苏联、越南、印度、巴基斯坦、孟加拉、泰国等国家报讯。自20世纪70年代以来,在降雨径流预报方面,引用和改进国外的流域模型,并创建了新安江模型等适合我国情况的流域模型,提高了科学水平和预报精度。实时联机洪水预报已有一些软件投入使用。在接到水情信息后,可在几分钟或十几分钟内得出预报和调度计算的结果。

在水资源评价方面:我国东部各大河流结合水利规划工作曾作过多次的分析和估算。20世纪80年代初期根据全国农业区划工作的需要,对我国水资源进行了初步评价。通过对水资源的数量、质量、地区分布、年内和年际变化、地表水和地下水的相互转换、水资源开发利用状况的全面分析,用水预报和供需平衡分析,提出了现在和将来我国的水资源问题。预测1990、2000、2030年的需水量和不同频率的可供水量,提出对策和建议。

在水文水利计算方面:水文水利计算工作发展很快,通过流域综合规划及一系列工程设计,总结出许多适合我国水文特性的水文分析计算方法。为了满足大、中、小型水利水

电工程水文计算的需要，编制了各种水文计算规范、手册、水文图集等。水文与气象部门配合编制了全国可能最大降水等值线图，为推求各地区可能最大洪水创造了一定的条件。近年来，对全国大中小河流各河段发生的历史洪水进行全面调查和分析，并整编刊印成册，为水文计算提供了一定的基础。

我国水文工作的成就，除以上几个方面外，还表现在新技术的应用方面。如开展超声波测水深、水位；光电管、同位素测含沙量及泥沙颗粒分析；电子计算机在资料整编、水文预报、水文计算中广泛应用；探索了卡尔曼滤波技术在水文预报中的应用；卫星技术、遥控遥测技术、中子法测土壤含水量已在水文测验和水文实验研究中得到应用。

我国水文工作虽有较大的发展，但与国外先进水平相比还存在差距。如水文站网和水质监测站网的数量和密度还不能满足要求，需要增设和调整。测验和查勘的设备与技术在有的地区较落后，测报质量尚不能满足要求。水文现象的某些内在联系还认识不够。作好水资源的调查和评价工作，保护水源仍是一项艰巨的工作。

复 习 思 考 题

1. 水文现象是怎样发生的？
2. 陆地水文学研究的对象和任务是什么？
3. 水文现象有哪些特点，掌握这些特点有何意义？
4. 水文现象研究方法有哪几种，它们之间有什么联系？
5. 我国水文工作有哪些成就，还存在哪些薄弱环节？

第一章 水分循环与水量平衡

人们为了开发利用水资源，就必须掌握水文变化规律。研究水分循环和水量平衡正是揭示这种规律的基本途径和方法，也是认识各种水文现象的重要基础。因此，本章讲述这两个问题，为本课程建立轮廓的概念，给后继各章奠定基础。

第一节 地球上及我国的水资源分布

一、地球上水的分布

地球上总表面积为5.1亿 km^2 ，其中海洋占70.8%；陆地只占29.2%，且大部分都在北半球。

地球上以各种形式存在的水，大体上可分为地面水、地下水、大气水和生物水四大类。据有关部门估算（表1-1），地球上的总储水量为13.86亿 km^3 ，但96.5%聚集在海洋里。地球上的咸水占全球总储水量的97.47%，淡水量仅占2.53%，约为0.35亿 km^3 。

表 1-1 地球上各种水体的储水量

水的类型	储水量 (10^4km^3)	占全球总储水量的%		水的类型	储水量 (10^4km^3)	占全球总储水量的%	
		占总储水量	占淡水总量			占总储水量	占淡水总量
海洋水	133800.00	96.54		地下水	2340	1.70	
咸水湖水	8.54	0.006		其中地下淡水	1053	0.76	30.1
淡水湖水	9.10	0.007	0.26	土壤水	1.65	0.001	0.05
冰雪水	2406.41	1.740	68.70	冰冻带水	30.0	0.022	0.86
沼泽水	1.15	0.001	0.03	大气水	1.29	0.001	0.04
河流水	0.21	0.0002	0.006	生物水	0.112	0.0001	0.003

在淡水量中，有68.7%是分布在人迹罕至的南北极和高山地带的永久积雪与冰川等固态水，难以开发利用；31%埋藏在地下，其中土壤水和浅层地下水，是人们开发利用的主要淡水资源之一；江河及湖泊等地表淡水，约占0.3%，数量不大，但与人类的关系最为密切，为陆地水文学的主要研究对象。

全球的淡水中，还有极少量的大气水，它是最活跃的水分，对人类的作用极其巨大；生物水量可以说是微不足道，但它却是一切生物不可缺少的组成部分。

由上述可见，在全球近14亿 km^3 的储水量中，可能为人类利用的淡水量只是极小部分，主要是河流水、浅层地下水、土壤水和淡水湖泊水。全世界的河川径流总量约为3.8万 km^3 ，淡水湖水为9.1万 km^3 ，它们还不足海洋水量的万分之一。据估算，全球可供开发利用的淡水量只有4.7万 km^3 左右，但它对人类生产与生活至关重要，是最重要的基本物质资源。

二、水资源的涵义

目前对水资源尚无非常明确的定义。广义地说,自然界中的各种水统称为水资源。表1-1中的各种水,都可直接或间接地被人们利用,因此都是广义的水资源的组成部分。

经多年或历史年代储存下来的冰川、内陆湖泊水及深层地水等,因循环交替期很长,更换缓慢,一旦被大量取用就难以恢复,故目前认为它们不宜作为水资源。大气降水形成的地面水和浅层地下水等,交替期短,更换得快,是可恢复的动态水,狭义水资源即指这些水。可见,地球上的淡水资源并不十分富裕,仅为全球总水量的十万分之三。

特定区域的水资源涵义更为具体,大气降水便是广义的总水资源。由降水补给的地表水、包气带水和浅层地下水组成区域的广义水资源。它的一部分形成地表径流、壤中流和地下径流,并构成河川径流排泄到区域外;另一部分以蒸散发形式回归大气层中。河川径流与人类的关系最为密切,故常将它作为特定区域的狭义水资源。

须知,水质也是水资源的内涵之一。质和量是不可分割的两个方面,人们利用水资源,既要求有一定的量,又要求水质符合标准,两者缺一不可,否则将会失去其经济价值。

三、我国水资源情况

我国水资源的总补给量是大气降水,全国多年平均年降水量为628mm,折合6万亿 m^3 。但时空分布极不均匀,夏季水量可占全年的60%~70%,年际丰枯变化也很大;东南沿海有的地方年降水量高达5000mm,西北内陆有的仅10mm,有45%国土处于年降水量小于400mm的干旱地带。

我国河湖众多,年径流总量约为2.65万亿 m^3 (表1-2),约占全球径流总量的7%。另外,还有7500亿 m^3 的湖泊蓄水量和近8000亿 m^3 的可供采用的地下水。扣除重复部分的水量,据有关部门初步估算,全国水资源总量约2.8万亿 m^3 ,仅次于巴西、苏联等国,居世界第六位。但人均占有水量仅2550 m^3 ,只是世界人均占有水量的1/4;耕地亩均占水量也只是世界平均的1/2,故水资源不富裕,尤其是水资源的时空分布极不均匀,水土资源组合很不平衡,洪涝干旱频繁出现,致使水和人、土间的矛盾日趋尖锐。

表 1-2

我国各流域的径流资源

流域区	面积 (km^2)	年径流总量		流域区	面积 (km^2)	年径流总量	
		亿 m^3	占总量的%			亿 m^3	占总量的%
黑龙江片	896756	1192	4.49	浙闽台诸河	241855	2781	10.48
辽河片	345207	486	1.83	珠江片	578141	4684	17.66
海滦河片	319029	292	1.10	西南诸河	844138	4820	18.17
黄河流域	794712	688	2.59	额尔齐斯河	50000	103	0.39
淮河片	327443	766	2.89	内陆河片	3354289	1116	4.21
长江流域	1808500	9600	36.19	全 国	9559370	26528	100.00

长江以南湿润多雨区,人口占全国的54%,耕地只占全国的36%,却占有水资源总量的82%,因此水多而有余。在干旱少雨的北方,人口占全国的46%,拥有64%的耕地,水

量仅占18%。其中尤以海、滦、淮河更为突出，如海滦河地区的人均占水量仅有 258m^3 ，地多水少，缺水十分严重。目前全国已有230多个城市发生不同程度的水荒，部分农牧区的人畜饮用水十分困难。北方地区水危机已经出现。

在现有水资源利用上，一方面深感水源不足而缺水告急，另一方面却普遍高定额用水，浪费严重。我国许多河流的含沙量之高已闻名于世，但水土流失面积还在不断扩大。随着工农业生产的发展和人民生活水平的提高，水资源污染日益严重，既减少了可利用水资源，又恶化了环境。据不完全统计，全国主要河流已有23.3%的河段不能用于灌溉，4.5%的河段鱼虾绝迹，这种趋势仍在继续发展，必须采取有效而果断的措施，加强水源的保护。

第二节 自然界的水分循环

一、水分循环现象

地球上的水受太阳热而蒸发升空后随气流运行，遇冷凝成降水回落地面，一部分又蒸发；其余受重力作用或形成径流归海，或渗入地下。地下水部分蒸发，另一部分最终也经河道回归海洋。这种周而复始的水分运行交替过程便是水分循环（图1-1），又称水文循环。它是地理环境中最重要和最活跃的物质循环之一。造成水分循环的内因是三态水的相互转化；外因是太阳辐射和地心引力。此外，还受气象、下垫面条件等多种因素的影响。

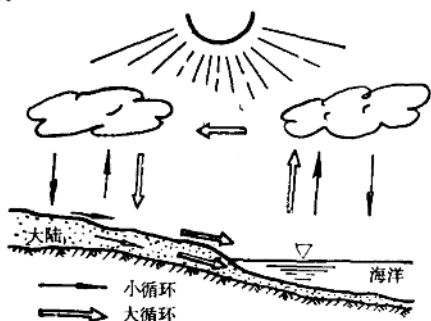


图 1-1 地球上的水分循环示意图

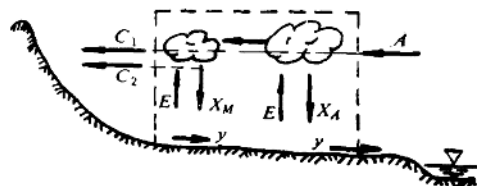


图 1-2 内陆水分循环示意图

二、大、小循环及内陆循环

由海洋蒸发的水汽被气流带至大陆上空，冷凝成降水落到地面后，部分蒸发，其余经地面与地下汇归海洋，这种海陆间的水分交替过程称为大循环或外循环。大循环中的水汽是海陆间相互输送的，只是由陆地输往海洋的水汽量甚少，总的是水汽由海洋输向大陆，其有效输送量为两者之差，它是陆上降水的主要水汽来源。

陆地水经蒸发冷凝成降水又落回地面，或海洋上蒸发的水汽凝成降水后又落回海洋，这种海洋或陆地上自成系统的局部地区水分循环称为小循环。

内陆水分循环，可用图1-2来说明。进入该地区的外来水汽量 A ，一部分成为降水，落于该地区内称为外来降水量 X_A ，剩余的部分水汽量 $C_1 = A - X_A$ 被输送到该地区以外。

当地蒸发的水汽量 E 中,一部分变为降水 X_m ,其余的水汽 $C_s = E - X_m$ 被输送到该地区以外。在降水中,一部分成为径流 Y 流出此地区,其余水量供给当地蒸发。这种局部水分循环称为内陆水分循环。内陆水分循环是全球水循环的一部分。在内陆循环中,水汽因沿途不断耗于降水变成径流,对循环不再发生作用,故愈向内陆腹地水汽愈少,径流量也小,气候干燥。但若循环途径储水丰富,蒸发旺盛,风向内陆地区,内陆循环可增强,造成较多的降水,河川径流增大。

三、水分循环中水的运动和交换

水分循环中,水大体沿着海—空—陆—海或陆(海)—空—陆(海)的路线,通过蒸发、降水、径流形成和水汽输送四个重要环节作运动和交换。水分一方面在地面和空间以蒸发与降水方式,地面和地下间以蒸发与下渗方式进行垂向交换,另一方面又在海陆间进行横向交换,海洋向大陆输送水汽,而陆地则向海洋输送水汽和注入径流。

在水分循环过程中,海洋的蒸发量必然多于降水量,水汽随气流输往大陆,因蒸发而缺的水量,则由大陆的径流和水汽来补偿。大陆因得自海洋的大量水汽,使降水量大于实际蒸发量,其余水以径流汇入海洋。在大陆的外流区,因以径流将余水注入海洋,必有等量水分从海洋上空净输入陆地,以保持区内水量平衡。在内流区,多年平均降水量基本上等于蒸发量,成一独立的水循环系统。内流区虽不直接通海,但可借助大气环流运动,在高空进行水汽输送,也可能有少量的地下水交换,故仍有少数水分参与海陆间的内外循环运动。

大循环运动包含许多小循环。水分循环中的蒸发、降水和径流三个环节是相互联系和制约的,且受气象、自然地理条件和人类活动等影响而随时空变化。因此,水分循环中水分运动和交换过程也是随时空而复杂变化。它们的变化反过来又直接影响气候等的变化,并为人类造就巨大的水资源,给自然界,特别是对人类生产和生活带来重大的作用。全球经常参加循环运动的有效水量虽不多,但因水循环并非是以恒定的水量作稳定地运转,而是通过一组路径,在自然界随时空而变化的循环运动,并从一种状态转变为另一种状态,从而形成千变万化的水文现象。

四、我国水文循环的路径

我国处于西伯利亚干冷气团和太平洋暖湿气团交绥带,一年内降水量和输送水汽等的变化,主要决定于暖气团的进退早晚,冷气团强弱及西太平洋强热带风暴情况。

我国的水汽主要来自太平洋,由东南季风和热带风暴,将大量水汽输向内陆形成降水,雨量自东南沿海向西北递减,而径流则自西向东及自北向南注入太平洋。其次是印度洋水汽随西南季风进入我国西南、中南、华北以至河套地带,成为夏秋季降水的主要源泉之一,径流的一部分自西南一些河流注入印度洋,另一部分流入太平洋。

大西洋的少量水汽随盛行的西风环流和气旋东移,也能参加我国内陆腹地的水分循环。北冰洋水汽借强盛的北风经西伯利亚和蒙古进入我国西北,风力大而稳定时,可越过两湖盆地直至珠江三角洲,但水汽含量少,引起的降水并不多,小部分径流由额尔齐斯河注入北冰洋,大部汇归太平洋。鄂霍次克海和日本海的水汽随东北季风进入我国,对东北地区春夏季降水起着相当大的作用,径流注入太平洋。

我国河流与海洋相通的外流区域占全国总面积的64%，河水不入海洋而消失于内陆沙漠、沼泽和汇入内陆湖泊的内流区域占36%。最大的内陆河是新疆的塔里木河。

第三节 水 量 平 衡

一、水量平衡原理

自然界的水分循环，虽然是随时空而变，但从长时期的平均情况看，大体上不变，如海洋输向大陆的水汽，经降水以径流形式又回归海洋。根据物质不灭定律，任一地区在给定时段内，各种输入水量总和 I 等于输出水量总和 D 与区域内时段始末储水 (W_1 、 W_2) 变化的代数之和。这就是水分循环中的水量平衡。据此原理，可列出水量平衡方程：

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

上式为水量平衡的基本方程，对于不同的平衡区域和不同的时段，应具体分析该区、该时段内应有的输入和输出项的各个组成部分，才能正确建立相应的水量平衡方程。

研究水量平衡，不仅有助于对水分循环建立定性的概念，而且也能进行定量计算，了解水循环要素——降水、蒸发、下渗、径流之间的关系及其作用。水量平衡原理广泛用于解决许多水文分析计算问题，如流域的产汇流计算，水库出流过程推求，河流洪水过程预报等。在水文测验、资料整编、水文预报及水文水利计算中，常用水量平衡进行成果的合理性检查，误差判断，精度评定等。此外，通过区域的水量平衡分析计算，可以了解水资源的分布状况，为合理制定开发利用方案提供依据。

二、通用的水量平衡方程

划出地面上的某一部分为平衡区，设想该区内有塘、库、湖、沼等水体，底为地面以下某一上下间已无水量交换的平面，则在 Δt 时段内该柱体的输入量 I 包括：降水量 P ，地面入流量 y_1 ，地下入流量 S_1 ，时段初蓄水量 W_1 ；支出量 D 包括：总蒸发量 E ，地面流出量 y_2 ，地下流出量 S_2 ，时段末蓄水量 W_2 ，总取用水量 q （以上各项均以水深 mm 计），则任意柱体任意时段 Δt 内通用的水量平衡方程为

$$(P + y_1 + S_1) - (E + y_2 + S_2 + q) = W_2 - W_1 = \pm \Delta W \quad (1-2)$$

由此公式可以分析本区域入流量、出流量和蓄水量三者之间的关系。

三、流域水量平衡方程

对于流域，只有一条外流河，故式 (1-2) 中的 $y_1 = 0$ ，可将 y_2 写成 y ，流域的蓄水量变量 ΔW 的正负值，表示河湖、地下水水位的升降和积雪量的增减，则水量平衡方程可写成

$$P + S_1 = E + y + S_2 + q \pm \Delta W \quad (1-3)$$

如果是闭合流域，相邻流域间的地下水交换量为零，即 $S_1 = S_2 = 0$ ；若再假设各部门的取用水量亦为零，则闭合流域任一时段 Δt 的水量平衡方程为

$$P = E + y \pm \Delta W \quad (1-4)$$

上式中如流域蓄水量的变量 ΔW 为正，表示在该时段内的降水量除耗于蒸发和径流外，尚有剩余被贮存在流域内。反之，若为负值，则表示该时段的蒸发和径流不仅耗尽降水量，还