

全国高等林业院校试用教材

流域水文学

张增哲 主编

水

学

前 言

本教材根据林业部1980年召开的全国林业水土保持专业教学计划会议所制订的教学计划精神以及水文学教学大纲，在原编水文学教材的基础上，经几年的教学实践，尤其是在当前教学改革形势下，对原编教学大纲进行了必要的修订，调整充实了一些章节，增加了水质一章内容，并为体现水土保持水文学的特点，将原水文学改名为流域水文学。最后该书经专业教材编委会审查，交付出版。

该书内容包括：水分循环、水量平衡及水资源、河川径流形成及其影响因素、水文统计的基本知识、设计年径流的计算、小流域设计洪水的计算、水土保持径流、泥沙观测和水质等7章内容。

本教材由张增哲主编。第一章由陈利华编写，第二章和第五章由杨雨行编写，第三章、第四章、第六章和绪论由张增哲编写，第七章由余新晓编写。

本教材由水利部农村水利与水土保持司高博文高级工程师及北京林业大学水土保持系王礼先教授审阅并提供了宝贵的意见，教材中有些材料引自兄弟学校和生产单位编写的教材、资料、技术文献、刊物等，编者在此一并致谢。

本教材的编写，对编者来说是一次大胆的尝试。限于水平，谬误之处，希望读者批评指正。

编 者
1991年10月

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

第一章 水分循环、水量平衡及水资源	8
-------------------------	---

第一节 自然界的水分循环	8
--------------------	---

一、水在地球上的分布	8
------------------	---

二、水分循环现象及模式	4
-------------------	---

三、水分循环的类型	5
-----------------	---

四、水分循环周期	6
----------------	---

第二节 水量平衡	7
----------------	---

一、水量平衡原理	7
----------------	---

二、水量平衡方程	7
----------------	---

第三节 水资源	9
---------------	---

一、水资源的特性	9
----------------	---

二、我国水资源的数量与分布	10
---------------------	----

三、我国水资源开发利用现状及主要问题	11
--------------------------	----

第二章 河川径流的形成及其影响因素	13
-------------------------	----

第一节 河流与流域	13
-----------------	----

一、概述	13
------------	----

二、河系特征	14
--------------	----

三、流域的特征	17
---------------	----

第二节 径流的形成	19
-----------------	----

一、径流的形成	19
---------------	----

二、径流的表示法和度量单位	22
---------------------	----

三、地面径流与地下径流的分割	23
----------------------	----

第三节 径流形成的影响因素	24
---------------------	----

一、气候因素	24
--------------	----

二、流域下垫面因素	26
-----------------	----

三、人类活动对径流的影响	27
--------------------	----

第三章 水文统计的基本知识	29
---------------------	----

第一节 概述	29
--------------	----

第二节 机率的基本概念和基本定理	30
------------------------	----

一、事件	30
------------	----

二、机率与频率	30
---------------	----

三、机率的主要定理	31
-----------------	----

四、频率密度曲线和频率分布曲线	32
-----------------------	----

五、重现期	34
-------------	----

第三节 统计参数	34
----------------	----

一、算术平均值 $\bar{x}$ 、中值和众值	34
二、离差系数 C_v	35
三、偏差系数 C_s	37
第四节 经验频率曲线	37
一、经验频率	37
二、经验频率曲线的绘制与使用	38
第五节 理论频率曲线	39
一、皮尔逊Ⅲ型曲线	39
二、克里茨基——冈凯里曲线	42
第六节 现行频率计算方法——适线法	43
第七节 抽样误差	45
一、误差的来源	45
二、抽样误差的计算	45
第八节 相关分析	48
一、概述	48
二、直线相关的回归方程	49
三、相关系数及相关系数的误差	50
四、回归直线的误差	51
第四章 设计年径流的计算	56
第一节 正常径流量的求算	56
一、有长期实测资料时正常年径流量的计算	57
二、有短期实测资料时正常年径流量的推算	57
三、无实测资料时正常年径流量的推算	62
第二节 径流的年际变化	65
一、具有实测资料时设计年径流量的计算	65
二、缺乏实测资料时设计年径流量的计算	65
第三节 径流的年内分配	66
第四节 枯水径流	69
一、枯水径流的形式	69
二、枯水径流的计算	70
第五节 多年平均年输沙量的估算	70
一、影响河流输沙量的因素	71
二、多年平均年输沙量的估算	71
第五章 小流域设计洪水的计算	74
第一节 小流域设计洪水概述	74
一、估算小流域设计洪水的目的及设计洪水标准	74
二、小流域设计洪水的特点	75
三、小流域设计洪水的推求方法	75
第二节 水科院推理公式法	76
一、推理公式的基本形式	76
二、设计暴雨的计算	81
三、产流计算	83
四、汇流计算	86
五、设计洪峰流量 Q_m 的计算	89
六、推求设计洪量及洪水过程线	91

第三节 小流域暴雨径流研究组提出的洪峰流量计算公式	94
一、公式的特点和建立	94
二、公式参数的确定	95
三、设计洪峰流量的简化公式和计算方法	103
四、设计洪水过程线的计算	106
第四节 综合瞬时单位线法、经验公式法和洪水调查法	108
一、综合瞬时单位线法	108
二、经验公式法	111
三、洪水调查法	112
第五节 水库调洪计算	115
一、水库的调洪作用和调洪计算的目的	115
二、水库调洪计算的基本原理	115
三、列表试算法	116
四、 $q - \frac{V}{\Delta t} + \frac{q}{2}$ 辅助线法(单辅助线法)	118
五、简化三角形法	120
第六章 水土保持径流、泥沙观测	123
第一节 水土保持径流、泥沙观测的特点与站网规划部署	123
一、水土保持径流、泥沙观测的特点	123
二、水土保持径流、泥沙观测站网规划与部署	123
第二节 径流场径流、泥沙观测	124
一、径流场场地的选择及查勘	124
二、径流场(小区)的设计和布置	125
三、径流场(小区)径流、泥沙观测方法及仪器设备	126
第三节 小流域径流、泥沙观测	129
一、实验小流域的选择、查勘及规划部署	129
二、小流域径流观测断面及观测方法的选择	130
三、小流域径流观测方法	135
第四节 天然河沟及人工控制断面径流、泥沙常规观测方法	137
一、水位观测	137
二、流量测验	140
三、泥沙测验	147
第五节 其他项目观测	152
一、降水	152
二、蒸发散	152
三、土壤入渗	154
四、土壤含水量的测定	155
五、土内径流观测	156
六、地下水位观测	156
第七章 水质	157
第一节 河流水的化学成分和水质指标	157
一、溶液和浓度	157
二、河流的水质成分	157
三、水质指标	158
第二节 水的水化学分类	158

一、矿化度分类	158
二、水化学分类	159
第三节 河流离子的径流	159
第四节 水污染和水体保护	160
一、污染源和污染过程	160
二、水体自净作用	162
三、水体保护	163
第五节 人类活动对水质的影响	165
主要参考文献	166
附表一 经验频率 $P = \frac{n+1}{m} \times 100$ 值表	167
附表二 皮尔逊 III 型曲线查算表	168
附表三 瞬时单位线 S 曲线查用表	179

绪 论

水在地球上分布最广泛、最活跃、也是最重要的物质之一。水是地球上万物生命之源，也是生态系统中最有影响因素。

水在生态环境中的作用犹如人体中的血液一样不可缺少。水体的运动可以直接、间接地影响地球上各种环境条件的变化，自然环境又可以影响水分循环路径和水体的变化规律。因此，水与环境条件之间是相互依存和相互制约的。而人类在地球上生存、繁衍、发展的历史长河中，时刻都在利用和影响水和自然环境。当人类的活动违反了自然界的客观规律时，则会给人类带来很多意想不到的不利影响。如盲目垦山、采伐森林，破坏了地表植被，降水和径流就会侵蚀地表，导致水土大量流失、地力下降，泥沙下泄，又使下游河道淤塞、河床抬高，甚至水旱灾害频繁出现，给人们的生产、生活乃至生命财产的安全带来极大威胁。因此，人类在多大程度上能成为水的主人，即能否正确地驾驭它，对人类本身将有很大的影响。

水文学是研究水体在自然循环中的各种现象、内在联系及其变化规律的科学。水体是指以一定形态存在于自然界中水的总称。如在大气中的水汽，在地面上的江河、湖泊、冰川和海洋中的水，在地下的地下水。因研究对象的不同，水文学可分为水文气象学、陆地水文学和海洋水文学等。由于陆地表面各水体，在形成过程中各具有不同的特点，随着近代科学的发展，对这些水体的研究都具有它们独特的规律而形成专门的学科。因此，在陆地水文学中又可分为：水体水文学、地表水文学、流域水文学、地下水文学、环境水文学等。若从应用角度划分，可分为工程水文学、水文分析计算、水文预报学等，还可从研究方法和理论研究角度划分多种分支学科，这里不一一列举。总之，由于国家经济建设的需要，新技术的促进和有关学科的渗透，水文学的各个领域都有了较20年前更广泛和深入的发展，原有的水文学分支更进一步形成和分化成独立的学科，还有一些新的分支学科也形成了，或正在形成中。

我国是一个多山的国家，山区丘陵区面积占国土总面积的70%，还是一个水土流失十分严重的国家。据50年代初统计，水土流失面积约占国土总面积的1/6。水土流失不仅给当地人民的生产生活带来极大困难，而且由于泥沙输移下泄，淤塞下游河道、水库，一遇洪水将给下游的工农业生产乃至人民生命财产的安全造成严重威胁。新中国成立以后，党中央、国务院对水土保持工作十分重视。早在50年代，水土保持工作在许多地区就开展了流域治理，积累了很多经验。但在我国系统总结并普遍推广水土保持以自然集水单元——小流域进行综合治理，是在1980年开始的，当年水利部在山西省吉县召开了13省（区）水土保持小流域综合治理经验交流会议，交流了流域治理的经验，制定了《水土保持小流域治理办法》，对推动这项工作起到了积极的作用。

一个闭合小流域能较完整地反映从降雨引起的产流、产沙及汇流输沙的全部过程，有利于了解和掌握水的运动、运行规律和各水文特征值的变化及其影响机制。

水土保持工作以小流域为单元进行综合治理，有利于按照客观规律和自然特点，合理地

开发利用水土资源,有利于把治坡与治沟、生物措施与工程措施、长远利益与当前利益结合起来,最大限度地提高土地利用率和劳动生产率,从而加快了治理速度,提高了经济效益和生态效益。1980年以后,以小流域为单元进行水土流失综合治理,迅速地在全国推广开来。截至1986年底统计,全国在水蚀地区每年安排开展重点治理的小流域达7000条。根据近几年统计资料,以小流域为单元治理水土流失的面积约占总治理的一半左右,这表明小流域治理已成为我国治理水土流失的主要形式。

流域水文学正是基于水土保持工作发展和实践的需要,并随着水文科学技术的进步及气象学、地貌学、土壤学、地质学、山坡水文学、农业水文学、森林水文学、土壤物理学等有关学科的渗透,而逐步发展形成的一门水文学的分支学科。

流域水文学是以闭合流域为模式,以水分循环和水量平衡原理为理论基础,通过河川径流形成及其影响因素,使学者掌握水的运动、运行规律、水与环境条件之间的相互依存、相互制约的关系,以及人类通过改变环境条件对径流的影响,为小流域水土流失的治理工作奠定理论基础。设计年径流、多年平均年输沙量、设计洪水是小流域水土保持水利工程规划设计的重要依据,通过水文计算,合理地确定工程措施的规模 and 标准,使工程既经济合理,又安全可靠。水土保持径流、泥沙观测,是研究水土流失规律及小流域综合治理效益不可缺少的内容,它可为学者提供研究方法和技能。水土保持工作不仅是除害,更重要的是兴利问题,掌握水质标准和分析方法可为水资源的开发利用提供依据。

流域水文学是水土保持专业的主要专业基础课程之一,它既是一门基础理论科学,又是一门应用科学。

由于降水、蒸发、水位、流量、含沙量等水文要素受气候、下垫面、人类经济活动等因素的影响,在年际和年内不同时期其变化是复杂的,这些现象称为水文现象。根据长期观测和分析,水文现象具有不重复性、地区性和周期性的基本特征。

根据上述基本特征,流域水文学与水文学的研究方法基本相同。有以下几种。

1. 成因分析法:按水土保持基本站网和室内外试验的资料,从具体现象出发,研究水文现象的形成过程,揭示流域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及定量关系。

2. 数理统计法:基于水文现象特征值的出现具有随机性质,以机率理论为基础,根据长期水文观测资料,运用数理统计方法,求取水文现象特征值的统计规律,或主要水文现象与其影响因素之间的统计规律。

3. 地理综合法:从气候要素及其他自然地理要素的分布具有地区性的特点出发,求出各测点水文要素的分类分区特征值,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,它们是相辅相成、互为补充的。

流域水文学是一门新兴学科,尚不成熟。现代科学技术的发展以及观测研究手段和方法的进步,必将逐步深入地推动流域水文学的发展。

第一章 水分循环、水量平衡及水资源

第一节 自然界的水分循环

一、水在地球上的分布

水是地球上分布最广泛的物质之一。它以汽态、液态和固态三种形式存在于空中、地面与地下，成为大气中水、海洋水、陆地水（包括河水、湖水、沼泽水、冰雪水、地下水）以及存在于所有动、植物有机体内的生物水，组成了一个统一的相互联系的水圈。

表1-1 世界上水的储量

水的类型	分布面积(10^6 km^2)	水量(10^6 km^3)	水深(m)	占总储量(%)	占淡水储量(%)
世界海洋	36130.0	133800.0	3700	96.5	—
地下水	13480.0	2340.0	174	1.7	—
其中淡水		1053.0	78	0.76	30.1
土壤水	8200.0	1.65	0.2	0.001	0.05
冰雪水	1622.75	2406.41	1463	1.74	68.7
湖泊储水	205.87	17.64	85.7	0.013	—
1.淡水湖	123.64	9.1	73.6	0.007	0.26
2.咸水湖	82.23	8.54	103.8	0.006	—
沼泽水	268.26	1.147	4.28	0.0008	0.03
河道水	14880.0	0.212	0.014	0.0002	0.006
大气水	51000.0	1.29	0.025	0.001	0.04
生物水	61000.0	0.112	0.002	0.0001	0.003
总储量		138598.461	2718	100	—
淡水		3502.9210	235	2.58	100

海水：世界上海洋的面积为 $3613 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，占地球表面积的 71%。海水的体积为 $1338 \times 10^5 \text{ km}^3$ ，占地球总储水量的 96.5%。

冰雪水：据估算，陆地上现代冰川的总面积超过 $16 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，总体积为 $27 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。若以冰的密度为 0.9 g/cm^3 计算，折合液态水为 $24 \times 10^6 \text{ km}^3$ 多，约为地表河流、湖泊总储水量的 127 倍，因而素有“天然的固态水库”之称。

地下水：地下水通常是指储存在地壳含水层中的重力水。由于全球各地的地质构造，岩石条件等变化复杂，很难对地下水储量作出精确的估算，从已发表的数值来看，大小之间可差一个数量级。现根据苏联学者 1974 年所发表的研究成果，从地面至深达 2 km 的地壳内，地下水总储量为 $234 \times 10^5 \text{ km}^3$ ，其中地下淡水的体积为 $105 \times 10^5 \text{ km}^3$ ，约为贮存在河床、湖

泊与沼泽中的淡水量的 100 倍。

土壤水：土壤水主要是指储存在地表最上部约 2 m 厚的土层内的水。据调查土层的平均湿度为 10%，相当于含水深度为 0.2 m，如以陆地上土壤覆盖总面积 $82 \times 10^6 \text{ km}^2$ 计算，那么土壤水的储量为 16500 km^3 。

湖泊水：世界上大小湖泊多达数百万个，但是它们之间面积、容积相差十分悬殊。据苏联学者的研究，湖泊蓄水量主要集中于少数大湖，其中面积超过 100 km^2 的 145 个大湖的蓄水量为 $1683 \times 10^3 \text{ km}^3$ ，占全球湖泊总储水量的 95%。据此计算，全球湖泊总储水量为 $1764 \times 10^3 \text{ km}^3$ ，其中淡水有 91000 km^3 。

沼泽水：沼泽是一种特殊的水体，并没有开阔的水域，它只是陆地上层土壤中含有大量停滞水分的过湿地段。地球上沼泽的总面积约为 $2682 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，若按沼泽中平均含水 95% 来计算，可得出地球上沼泽水的总量约为 11470 km^3 。

河水：由于河水不停地流动，所以很难确定地球上所有河流同一时刻储存的水量。一般由河流的多年平均流量来计算河床的平均容水量，从而可以估算出全世界河床静贮水量有 2120 km^3 ，占地球上总储水量的 0.0002%。

大气水：大气中的水分包含水汽、水滴和冰晶。同一时刻大气中水分总量为 12900 km^3 ，占世界储水总量的 0.001%，占淡水储量的 0.04%，如果这些水分全部凝结并均匀地落到地球表面，将形成 25mm 厚的水层。

生物水：生物水是指生命有机体中所含有的水分。据研究，这部分水量约占生命物质重量的 80%，而全球生物圈中生命物质的总量有 $14 \times 10^{12} \text{ t}$ 左右。据此计算，全球生物水的总量为 1120 km^3 ，占地球总储水量的 0.0001%。

二、水分循环现象及模式

地球表面的广大水体，在太阳辐射作用下，大量水分被蒸发，上升至空中，为气流带动

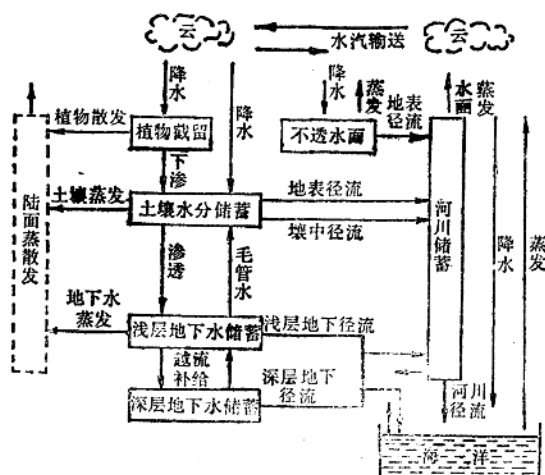


图 1-1 水分循环示意图

输送至各地，在水汽上升和输送过程中，遇冷凝结而以降水形式降落到地面或水体上，再以河流或地下水的形式汇入海洋。水分这样往返不断转移交替的现象叫水分循环或称水循环。形成水分循环的内因是水的物理特性，因水随着温度的不同，以固体、液体、气体三种形态出现，因而使水分在循环过程中的转移、交换成为可能。外因是太阳的辐射和地心引力。太阳辐射是地表热能的主要源泉，它促使冰雪融化、水分蒸发、空气流动等，因而是水分循环的动力；地心引力是促使水流流归海洋的动力。除此而

外，水分循环路线的构造和性质、流域的地质、地貌、土壤、植被情况，对水分循环也有一

定的影响。

水分循环一般包括三个阶段，即降水、径流和蒸发。水分循环的组成可分为两大部分，即大气部分——水汽阶段和降水阶段；地面部分——径流阶段和蒸发阶段。每个部分都包括三个方面，即水分的输送、暂时储存和状态变换。

图 1-1 即为发生在海陆之间的水分循环基本模式。

三、水分循环的类型

(一) 大循环与小循环

根据水分循环的过程，自然界水分循环可分为大循环和小循环两种。

自海洋面上蒸发的水汽，随着大气环流移动到陆地上空，在一定的天气条件下，凝为雨水落到地面。降落的水量中，一部分又重新蒸发，另一部分下渗及形成地面径流，汇入江河，而最后又返回海洋。这种海洋与大陆之间水分的交换过程叫大循环。

陆地上的水在没有回到海洋之前，又蒸发到空中去，或从海洋上蒸发的水汽在空中凝结，又以降水的形式降落在海洋中，这些局部的循环，叫小循环。如图 1-2 所示。

大循环还是由许多小循环组成的复杂过程。

(二) 内陆水分循环

对水利、水电工作者来说，最关心的是内陆水分，因为这一部分直接关系到人类改造自然的问题。

从海洋蒸发的水汽，其中一部分被气流带至大陆上空，遇冷凝结降雨，在海洋边缘地区部分降雨形成径流返回海洋，部分水汽则蒸发上升，随同海洋输送来的水汽再向内陆输送至离海洋更远的地方，凝结降雨，然后再蒸发到空气团中去，这样愈向内陆的水汽愈少，直至远离海洋的内陆，由于水汽含量很少而不能形成降雨为止。这种循环过程称为内陆水分循环，它实际上也是小循环的一种。

在循环过程中，成为径流回到海洋的水分，对内陆水分循环不再发生作用，而蒸发后吹向内陆的水汽则继续参加水分循环。这种水分包括大气下层的水汽、土壤上层的水分、植物根系范围内的水分和覆盖地面的冰雪上层的水分等，所有这些水分经过再蒸发，顺着风向吹至内陆，重复增加大陆的水汽。

在一个区域，如地面、地下储水较丰富，蒸发水汽含量较多，且风向常向内陆吹动，则内陆水分循环也较活跃。在内陆水分循环旺盛的区域，水分能深入内地，因而就使在远距海洋的地方与河流上游也可能有丰富的水汽，产生较多的降水量。

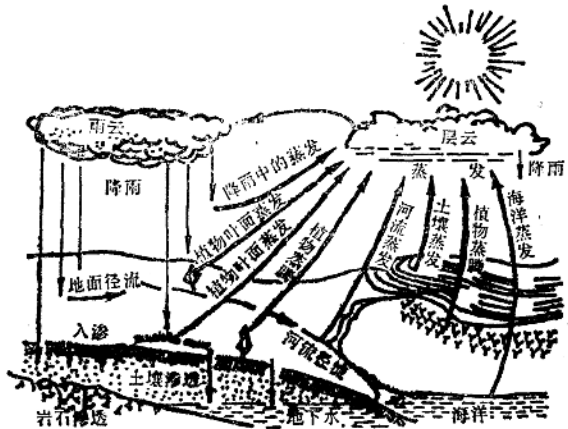


图 1-2 内陆水分循环

四、水分循环周期

从水资源开发利用的角度来看, 不单需要了解各种水体的储量, 还要关心它们各自交替更新的速度和周期的长短。因为水体的更新速度越快, 其水资源的利用率就越高, 在遭受污染以后, 水质的恢复也越快; 反之, 水体交换更新的周期越长, 其可开发利用的数量就越受到限制, 水体的自净能力相对来说也较低。

通常, 水分的交替更新周期用下式做近似计算:

$$T = \frac{W}{\Delta W}$$

式中 T ——交替周期(年或日、时);
 W ——水体的储量(立方公里或亿立方米);
 ΔW ——该水体每年参与水循环的活动量($\text{km}^3/\text{年}$)。

例如, 世界海洋的总储水量为 $1338 \times 10^7 \text{ km}^3$, 每年参与水分循环的水量为 505000 km^3 (以海洋年总蒸发量为准), 据此计算, 海水全部更新1次, 至少需要2650年。又如世界河流的河床中瞬时储水量为 2120 km^3 , 而每年入海的径流总量为 47000 km^3 , 因此在1年内河床中的水量, 可更换22次, 平均每16天就更换1次。而大气水的更替速度还要快, 平均循环周期只有8天。然而位于极地的冰川以及永冻带的地下冰, 其更替的速度极为缓慢, 循环周期长达10000年。

表1-2 各种水体循环交替的周期

水体名称	交替周期	水体名称	交替周期
极地冰川	10000年	沼泽水	5年
永冻带地下冰	9700年	土壤水	1年
世界大洋	2650年	河水	16天
高山冰川	1600年	大气水	8天
深层地下水	1400年	生物水	几小时
湖泊水	17年		

上表所列的各种水体的交替周期, 是在有规律的、逐步轮换这一假设条件下得出的所需的平均时间。实际情况要复杂得多: 如深海盆地的水需要依靠大洋深层环流才能缓慢地发生交换; 而海洋表层的海水, 因直接受到蒸发和降水的影响, 其交替周期无需2000多年, 尤其是边缘海的交替周期更短。以我国的渤海为例, 其总储水量约 $19 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 而黄河、辽河、海河多年平均的入海水量达 $1455 \times 10^9 \text{ m}^3$, 仅此一项, 渤海的循环周期只需13年左右, 如进一步考虑蒸发和降水的影响, 实际的循环周期10年都不到。又如世界湖泊平均交替周期为17年, 而我国长江中下游地区的湖泊, 由于出入湖泊的水量大, 交换速度快, 一年中就可更新几次。

最后应该指出, 研究水分循环的根本目的在于认识水分循环的规律, 揭露水文现象及其变动规律的内在联系, 从而正确地决定人类改造和利用自然的措施。同时, 还应认识到我国经过几年来实现农田水利化, 采取水土保持措施和土壤改良措施以后, 对加强内陆水分循环, 增加地方性的蒸发和降水、改变地区的气候状况, 已起了一定的影响, 从而证明人类改

造水分循环这一自然现象是完全可能的。

第二节 水量平衡

一、水量平衡原理

水分循环是说明水文现象运动变化等性质的最好形式，然而要掌握各水文要素间的数量关系，常用水量平衡法来解决。

自然界的水分循环，从多年长期的观点来看，大体上是不变的。从海洋上蒸发上升的水汽，随气流流向大陆，经过降雨，以径流的形式又回到海洋。根据物质不灭定律，对任意时段、任何区域，收入（输入）的水量和支出（输出）的水量之间的差额，必等于该时段区域内蓄水的变化量，这就是水量平衡原理。

水量平衡原理是水文、水资源研究的基本原理，它有助于对水分循环建立定性和定量的概念，并能深入分析组成水分循环的各要素的作用，以及它们之间的相互关系，并在已知某要素的条件下，推求另一未知要素，因此具有重大的理论意义和实用价值。

二、水量平衡方程

（一）通用水量平衡方程

水量平衡方程是水分循环的数学模式。基于上述水量平衡原理，对任一区域，可列出如下水量平衡方程：

$$I - A = \pm \Delta W$$

式中 I —— 区域内水量收入项；
 A —— 区域内水量支出项；
 ΔW —— 研究时段内蓄水变化量。

上式为水量平衡方程式的最基本形式，对于不同的地区和不同的问题，还需进一步分析收入项 I 和支出项 A 的具体组成，而后列出适合该地区的水量平衡方程。现以陆地上任一地区作为研究对象，设想沿该地区边界作一垂直的柱体。以地表作为柱体的上界，以地面以下的某一深度处的平面为下界（以上下不发生水交换的深度为准），则可列出如下水量平衡方程式：

$$P + E_1 + R_{表} + R_{地下} + W_{初} = E_2 + R'_{表} + R'_{地下} + q + W_{末}$$

式中 P —— 研究时段内的降水量；
 E_1 —— 研究时段内水汽凝量；
 $R_{表}$ —— 研究时段内地面流入的水量；
 $R_{地下}$ —— 研究时段内从地下流入的水量；
 $W_{初}$ —— 柱体内研究时段初始蓄水量；
 E_2 —— 柱体内蒸发量；
 $R'_{表}$ —— 研究时段内从地表流出的水量；
 $R'_{地下}$ —— 研究时段内从地下流出的水量；
 q —— 研究时段内工农业、生活净用水量；

W_* ——研究时段末柱体内蓄水量。

由于式中 E_1 为负蒸发量, 令 $E = E_2 - E_1$, 为时段内净蒸发量; $\Delta W = W_* - W_{\text{始}}$ 为时段始末蓄水的变化量, 则上式可改写为

$$(P + R_{\text{表}} + R_{\text{地下}}) - (E + R'_{\text{表}} + R'_{\text{地下}} + q) = \pm \Delta W$$

此式即为通用水量平衡方程式。在此基础上, 根据研究对象的不同, 就一定时段内有关的收入与支出及其盈亏补偿等项目, 可建立各种特定的水量平衡方程。

(二) 流域水量平衡方程

流域水量平衡原理, 在水文、水资源研究工作中具有重要意义。许多水文、水资源分析计算工作, 都是以流域水量平衡方程为基础的, 因此得到了广泛的应用。

对于地面、地下分水线不相重合的非闭合流域, 根据上述通用水量平衡方程, 并考虑到无外流域的地表来水, 即 $R_{\text{表}} = 0$, 可建立如下水量平衡方程, 即:

$$P + R_{\text{地下}} = E + R'_{\text{表}} + R'_{\text{地下}} + q \pm \Delta W$$

如流域闭合, 即流域内地面分水线与地下分水线重合, 则 $R_{\text{地下}} = 0$, 并令 $R = R'_{\text{表}} + R'_{\text{地下}}$, 不考虑工农业、生活用水项, 即 $q = 0$ 的情况下, 可建立任意时段内闭合流域的水量平衡方程:

$$P = E + R \pm \Delta W$$

式中 符号同前。

如研究闭合流域多年平均水量平衡, 由于历年的 ΔW 有正、有负, 其累积值趋近于零, 于是上式可表示为

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

式中 $\bar{P}$ ——流域多年平均降水量;

$\bar{E}$ ——流域多年平均蒸发量;

$\bar{R}$ ——流域多年平均径流量。

上式表明, 对闭合流域, 在多年平均状况下, 流域的降水量等于蒸发量与径流量之和。因此, 只要知道其中两项, 便可用水量平衡方程, 推求出第三项。如果将上式两边同除以 $\bar{P}$, 则:

$$\frac{\bar{R}}{\bar{P}} + \frac{\bar{E}}{\bar{P}} = \bar{\alpha} + \bar{\beta} = 1$$

式中 $\frac{\bar{R}}{\bar{P}} = \bar{\alpha}$, ——多年平均径流系数;

$\frac{\bar{E}}{\bar{P}} = \bar{\beta}$, ——多年平均蒸发系数。

上述两个系数值均在 0--1 的范围内变动, 其和等于 1。在干旱地区, 径流系数 $\bar{\alpha}$ 可趋近于零, 蒸发系数 $\bar{\beta}$ 则相应地较大。由此可知, $\bar{\alpha}$ 值和 $\bar{\beta}$ 值有强烈的地区性分布规律, 它们综合地反映了流域内干湿的程度, 成为自然地理分区上的重要指标, 并且可用来分析研究区域的水文特性, 概略了解降雨与径流之间的关系, 初步检查水文分析计算成果的精度等, 因而具有重要的价值。

第三节 水资源

一、水资源的特性

(一)水资源的涵义

水作为一种自然资源,其使用价值表现为水量、水质和水能三个方面。

地球上存在各种形式的水体,通过水循环彼此相互联系,相互渗透,构成了一个完整的水圈。广义上说,水圈中各种水体或各种形态的水,对人类都有着直接或间接的使用价值,都可视为水资源。但是限于当前的经济和技术条件,对含盐量较高的海洋水和分布在南极洲的大陆冰川,目前大规模开发和利用还有许多困难。因而,通常所说的水资源,是指大陆上可供生产、生活直接利用的江河、湖沼以及储存在地下的淡水资源,这部分水量还不到地球总储水量的万分之一。如从满足长期开发利用需要的角度来衡量,所谓水资源,仅指区域内逐年可以恢复、更新的淡水量。而最能反映该地区水资源数量特征的就是河川径流量,以及部分浅层地下淡水资源。所以在水资源分析评价工作中均以地表径流量以及部分积极参加水循环的地下径流量作为水资源量。

(二)水资源的基本特性

水资源有着许多与其它自然资源不同的特性,这些特性表现为补给的循环性、变化的复杂性,利用的广泛性和利与害的两重性。

1. 补给的循环性 水资源与其它矿产资源不同,在于其循环过程中不断地恢复和更新。水循环过程的无限性,赋予水资源具有“取之不尽,用之不竭”的特点。另一方面,水循环受太阳辐射等条件的制约,每年更新的水量又是有限的,而且自然界中各种水体的循环周期不一,在估计水资源时,随统计时段的不同,水资源的恢复量也不同,这反映出水资源是动态资源的特点。

2. 变化的复杂性 表现为两个方面:一是地区分布的不均衡(表1-3)。有些国家无论从水资源的绝对拥有量或人均拥有量都比较高,而另一些国家水资源拥有量相对来说则比较贫乏。

另一个方面是变化的不稳定性。水资源变化的不稳定性,除了表现为地表水、地下水的

表1-3 各洲的径流量及人均值

各 洲	径 流 量		占 总 径 流 量 (%)	人 均 年 径 流 量	
	mm	km ³		人口(百万) (1971年资料)	1000m ³ /年
欧 洲	306	3210	7	654	4.9
亚 洲	332	14410	31	2161	6.7
非 洲	151	4570	10	290	15.8
北 美 洲	339	8200	17	327	25.1
南 美 洲	661	11760	25	185	63.6
澳 洲	453	348	1	12.7	24.7
大 洋 洲	1610	2040	4	7.1	287.0
南 极 洲	156	2310	5		
合 计	314	4680	100	3637	12.9

表1-4 部分国家地表年径流量比较

国 家	巴西	苏联	加拿大	埃及	孟加拉国	中国	全球平均
地表年径流量(km ³)	5190	4710	3120	555	1230	2610	49800
人均指标(m ³ /年·人)	47500	18500	136750	1356	1129	2700	12900

具有年内变化、年际变化外，又具有不重复变化的特点。我国的一些河流还出现连续多年年或少水年组的变化特点。水资源的这一特性为人类的开发利用和管理带来一定的困难。

3. 利用上的广泛性 水资源在工农业各部门和人类生活上使用极为广泛。从水资源的利用方式来看，可分为消耗用水量和借用水量两种：引水灌溉，生活用水，以及在液态产品中作为原料等，都属于消耗性用水，其中可能有一部分回归到河道，但量已减少，而且水质已发生了变化；另一种水资源使用形式为非消耗性的，如养鱼、航运、水力发电等等。水资源这种综合效益是其它任何自然资源无法替代的。此外，水还有很大的非经济性价值，自然界中河流、湖泊等水体作为环境的重要组成部分，有着巨大的环境效益，不考虑这一点，就不能真正认识水资源的重要性。

4. 利与害的两重性 “水能载舟，亦能覆舟”。这种水利与水害的双重性，是水有别于其它自然资源的又一特点。纵观世界各大城市的分布，绝大多数是沿着江河发展的，即使是沿海城市，也多位于入海河口，这不仅由于江河提供了航运交通之便，还因为这些江河提供了丰富的淡水资源。但是一个地区水分过多，也会给人类带来灾难，洪水泛滥会冲毁田园村舍，农田积水会造成严重减产，干旱或半干旱地区大水漫灌，地下水位超过临界深度会引起土壤次生盐渍化。因此，进行水资源开发利用时，要全面考虑兴利除害的双重目的。

二、我国水资源的数量与分布

我国疆域辽阔，又濒临海洋，水汽来源丰富。总体来说，全国水资源总量非常可观。据调查计算，全国年平均降水总量超过 $6 \times 10^{13} \text{ m}^3$ ，约占全球陆地降水总量的4.7%，折合降水深为628 mm，其中约有44%的降水形成径流。

据统计，全国有大小河流6000多条，河流总长度430000 km。多年平均年径流总量为 $265 \times 10^{11} \text{ m}^3$ （包括地下径流排泄量及冰雪融水补给量），占世界河川总径流量的5%以上，在世界各国中位居第六。全国地下水的总补给量（包括降水的补给量与地表水的入渗补给量）约 $77 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 多。但是，由于我国人口超过10亿，如以人均来计算，每人平均拥有的水资源量仅 2600 m^3 上下，只有世界人均水资源量的四分之一，在世界各国中居85—87位。

以下将主要介绍与本专业密切有关的地表径流资源的地区分布情况。

我国河川径流主要依靠降水补给，所以在地区分布上与降水量的分布，密切对应，并具有明显的地带性规律，按各地径流量的多少，并参照降水量与蒸发量的地区分布，全国大致可划分为丰水、多水、过渡、少水及缺少五个明显不同的地带。

1. 丰水带 年径流深大于900 mm，包括东南和华南沿海、云南西部和西藏东南部，相当于多雨地带。台湾中部及西藏东南角径流深可达到2000—4000 mm，台湾局部山地年径流深达到6000 mm，年径流系数大于0.6。

2. **多水带** 年径流深 200—900 mm, 位于秦岭、淮河以南, 长江中下游以及云贵和广西广大地区。年径流系数一般为 0.4—0.6。

3. **过渡带** 年径流深 50—200 mm, 包括黄淮海大平原, 陕西、山西和东北大部、四川西北和西藏东部, 相当于半湿润地带。年径流系数一般为 0.2—0.4。

4. **少水带** 年径流深 10—50 mm, 包括东北西部、内蒙古、宁夏、甘肃大部、新疆西部和北部, 相当于半干旱地带。除部分冰雪融水补给山区河流外, 年径流系数在 0.1—0.2。

5. **缺水带** 年径流深不足 10 mm, 包括内蒙古、宁夏、甘肃的沙漠、青海柴达木盆地、新疆塔里木盆地和准噶尔盆地, 相当于干旱地带。大部分地区年径流深近于零, 有面积广大的无流区。

表1-5 全国径流带主要特征值表

径流带名称		降水量 (mm)	径流深 (mm)	陆面蒸发量 (mm)	径流系数 (%)	相应的自然景观
干燥带	缺水带	<200	<10	<200	<10	荒漠
	少水带	200—400	10—50	200—300	10—20	半荒漠、草原
过渡带		400—800	50—200	300—400	20—40	森林草原、落叶阔叶林
湿润带	多水带	800—1600	200—900	400—600	40—60	落叶阔叶林、常绿阔叶林、热带雨林、亚热带山地常绿林
	丰水带	>1600	>900	>600	>60	

由此可知, 我国地表径流分布极不均匀, 缺水带与丰水带相比, 径流深可相差近百倍。其中, 长江与珠江两个流域, 其面积之和为全国总面积的 24%, 而地面径流量却占全国地面径流总量的 52%; 而西北内陆河区, 面积占全国的 35.5%, 而地面径流量只占全国的 4.5%; 黄河、淮河、海河三个流域, 其面积之和为全国总面积的 14%, 而地面径流量约占全国的 4.9%, 南丰北歉, 非常明显。

三、我国水资源开发利用现状及主要问题

我国水资源开发利用的一个特点, 就是南方与北方不平衡, 南方多水地区利用程度较低, 北方少水地区, 水资源开发利用程度都比较高(表 1-6)。其中黄淮海流域片地表水开发率最高达 52% (如果包括地下水利用量则利用率可达 70% 左右)。

如果分开河系来看, 以多年平均年径流量为基数, 海河、辽河利用程度较高, 达到 60—65%, 淮河和黄河接近 40%, 内陆河为 35%。南方多水地区利用程度较低, 长江、珠江、浙、闽诸河在 15% 左右。西南诸河还不到 1%。

地下水年开发利用量约 $4 \times 10^{11} \text{ m}^3$, 主要集中于北方平原地区。浅层地下水开采量约占平原地区地下水综合补给量的 23.6%。目前海河平原浅层地下水的利用率已达到 90%, 黄河流域为 49%, 辽河流域为 32%, 其它地区浅层地下水利用率不到 30%。

目前, 我国在水资源开发利用方面存在的主要问题有以下几个方面: ①水土资源组合极不平衡; ②旱涝灾害频繁; ③水源地区的保护较差和水域污染严重; ④水资源综合利用重视不够。因此, 水资源的合理开发、利用与保护是当前急需解决的重大问题。