

中等专业学校教材

陆地水文学

成都水力发电学校主编

水利电力出版社

中等专业学校教材

陆 地 水 文 学

成都水力发电学校主编

水利电力出版社

中等专业学校教材
陆 地 水 文 学
成都水力发电学校主编

*

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
水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 14 $\frac{1}{2}$ 印张 323千字
1979年11月第一版 1983年11月北京第二次印刷
印数 6121—12760册 定价 1.50元
书号 15143·3543

内 容 提 要

本书为中等专业学校陆地水文专业的教材。

本书主要论述河川水文的基本原理和基础知识，对湖泊、水库、河口水文也作了简要的介绍。内容包括：自然界的水分循环与水量平衡、河流与流域特征、降水与蒸发、径流的形成、河流的水源及水情、河流泥沙运动与河床演变、湖泊与水库、河口水文以及水文的研究方法与发展方向等。对于沼泽、冰川水文则从略。

本书亦可供有关水文技术人员及技术工人的参考。

前 言

本书是根据1978年3月水利电力部制定的中等专业学校陆地水文专业教学大纲的要求编写的。

我们结合教学实践，在编写时力求注意加强基础理论和基本概念的论述，注意基本技能和分析问题能力的训练；力求突出重点和贯彻“少而精”的原则；在教材深度和广度方面力求符合中专的要求。此外，对国内外现代水文学的发展方向也作了一些介绍。

本书以阐明河川水文为主，其次是湖泊、水库、河口等水体。在降水、蒸发、下渗、径流、泥沙等水文要素中，以研究径流为重点。本书的体系是按照水文现象的发生和发展过程编排的，以便读者通过学习能对各水体水文现象的因果关系获得一个完整的概念。根据课程的分工，本书着重介绍各水文现象的影响因素、相互关系及成因规律等方面的内容，一般仅作定性的分析，定量的分析计算将在水文预报、水文计算等课程中讲述；关于自然地理、地下水、水质等方面的内容，则由其它有关课程予以介绍。为便于学者复习，在每章末均附有复习思考题。

本书由成都水力发电学校邓先俊、湖北省水利学校丁之江、黄河水利学校吴燮中、扬州水利学校陆祖翼、安徽省水利电力学校顾慰祖等同志编写。参加本书绘图工作的有李淑娟等同志。

本书由邓先俊主编，由顾慰祖主审。

参加本书审稿的除主审和参加编写的学校代表外，还有陕西省水利学校、黑龙江省水利学校、成都工学院等单位的代表，扬州、成都两校的有关同志，对初稿也提出了许多宝贵意见，在此一并致谢。

我们诚恳地希望广大师生及读者对本书的缺点和错误提出意见，便于今后进一步修改。

编 者

1979年4月

目 录

前 言

第一章 总论	1
第一节 陆地水文学研究的内容和任务	1
第二节 陆地水文学在国民经济建设中的作用	2
第三节 我国水文事业发展简况	3
第四节 自然界的水分循环	5
第五节 水量平衡	9
第二章 河流与流域	13
第一节 流域特征	13
第二节 水系特征	23
第三节 河流的纵横断面	27
第四节 流速及环流	33
第三章 降水与蒸发	38
第一节 降水成因和分类	38
第二节 降水的时空分布特征	40
第三节 流域平均降水量计算	45
第四节 影响降水分布的因素	50
第五节 水面蒸发	51
第六节 土壤蒸发	56
第七节 植物散发	58
第八节 区域总蒸发	60
第四章 径流的形成	63
第一节 水位和流量的基本概念	63
第二节 径流的形成过程	66
第三节 产流	77
第四节 汇流	86
第五章 河流的水情	106
第一节 河流的水源补给	106
第二节 径流情势	111
第三节 洪水	115
第四节 枯水	121
第五节 人类活动对径流的影响	124
第六节 河流冰情	126
第六章 河流泥沙与河床演变	132
第一节 河流泥沙来源及其影响因素	132

第二节 河流泥沙特性	133
第三节 泥沙运动概述	140
第四节 河床演变	148
第七章 湖泊与水库	160
第一节 湖泊的形成和分类	160
第二节 湖泊的形态特性和量度	162
第三节 水库的特征水位及特性曲线	166
第四节 湖泊水库的水量及沙量平衡	168
第五节 湖泊水库对河流水文情势的影响	170
第六节 湖水的物理性质与化学性质	172
第七节 湖水运动	177
第八节 湖泊水库的淤积与岸变	182
第八章 河口水文	187
第一节 波浪及其要素	187
第二节 潮汐	190
第三节 河口水情	198
第九章 水文的研究方法和发展方向	204
第一节 水文现象的基本特点	204
第二节 水文现象的研究方法	205
第三节 地表地带性规律和水文区划	206
第四节 径流实验研究	209
第五节 水文模型	212
第六节 电子计算机在水文研究中的应用	215
第七节 遥感技术在水文研究中的应用	219
主要参考文献	223

第一章 总 论

第一节 陆地水文学研究的内容和任务

自然界中的水，以固体、液体、气体的形式，不仅存在于江河、湖泊、海洋之中，也以水汽的形式存在于空中，还有一部分渗入地下成为地下水。这些以一定形态存在于某一位置的水均称为水体。这些水体就是水文学要研究的对象。

地球上的各种水体，虽发生在不同条件下，但它们都有不可分割的相互关系，其间的水量经常进行交换与转移，形成复杂的水文现象。例如陆地水以蒸发的形式变成空中水，空中水经凝结后以降水的形式变成陆地水，而陆地水又以径流的形式汇注于江河、湖泊或海洋中，陆地水还可以下渗的形式变成土壤水及地下水，最后也注入江河、湖泊或海洋。因此，广义的水文学，就是研究各水体的蒸发、降水、径流、下渗等这些水文现象的物理性质、互相联系及其形成过程和运动变化规律的科学。

人类为了控制和利用水利资源，必须深入掌握不同水体的特性和规律性，这就需要对水文学进行分科研究。因此，按照各种水体在地球上所处空间位置的不同，水文学可分为下列学科。

1. 水文气象学 主要研究大气中水分的形成过程及其运动变化规律的科学。
2. 陆地水文学 重点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。按水体的不同，又可分为：（1）河川水文学；（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。
3. 海洋水文学 着重研究海水的物理化学性质、海洋中各种水文现象的形成过程与运动变化规律及水生物过程等。
4. 地下水文学 又称水文地质学，是研究地壳表层内地下水的形成及其运动变化规律的科学。

上述学科中的水文气象学、海洋水文学、地下水文学另有专门学科进行研究，故狭义的水文学是指陆地水文学。在大陆的地表水中，以河川、湖泊、水库等水体与人类生活及生产活动关系最密切，开发利用最广泛，故陆地水文学研究的主要对象是地表水，重点是河川水文学，研究的主要内容是：掌握河流与流域的主要特性，分析影响径流的因素，研究河川径流形成过程的基本规律，搞清河流水源与水情的相互关系及其在时程上、地区上变化的基本特点，以及河流泥沙运动与河床演变的一般规律等。此外，对湖泊、水库、河口等水体的水文特征也要作一定的研究。

按照对大陆各水体研究目的与研究方法的不同，水文学又可分为以下主要的学科。

1. 水文测验学 研究如何布设水文测站网，通过长期的定位观测收集较准确的、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、特大暴雨和水利措施等的特征资料进行调查。一般前者叫定位观测，

后者叫面上调查，合称点面结合，这是掌握区域水文特性的基础工作。

2. 水文资料整编 将定位观测与水文调查所取得的基本水文资料，按科学的方法与全国统一的规范，加以系统的整编，刊印成《水文年鉴》以供国民经济建设各部门使用。

3. 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，为水利水电建设或其它建设的规划、设计、拟定合理标准。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、工作情况等提出经济合理的设计，以满足综合利用水利资源的要求。

4. 水文预报 根据实测及调查的水文资料，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、几月）内的水文情势，为防洪、抗旱及水利水电建设的施工、管理等提供依据。

陆地水文学与上列各学科均有密切的关系，是为这些学科综合服务的。本课程在水文专业中，是一门技术基础课。因此，陆地水文学的主要任务是对河川、湖泊、水库、河口等水体的水文现象进行定性分析，重点是论述河川水文的基本原理和基本知识，弄清各个水文要素的物理成因、相互关系、影响因素等。通过本课程的学习将为学习水文测验、水文资料整编、水文预报、水文水利计算等专业课打下良好的基础。根据各课程的分工对于各水文要素间的定量计算本课程一般不予介绍。

第二节 陆地水文学在国民经济建设中的作用

我国幅员辽阔，河流众多，水利资源的蕴藏量极为丰富，在优越的社会主义制度下，它们将被综合的、有效的用于社会主义建设，促进我国工农业生产的迅速发展。

水文是水利水电建设的尖兵，是防洪、抗旱斗争，防止水源污染的耳目。水文工作是国民经济中的一项基础工作。它通过对水文情势的研究，为水利水电建设提供可靠的依据，以保证工程的经济合理和安全。

在国民经济建设中，水力发电、农田灌溉、防洪排涝、整治河道、发展航运、水土保持、繁殖水产、城市工矿用水、修建铁路公路的桥梁涵洞、以及国防建设等等，都需要利用水、控制水。但天然河道的水流状况，与工程建设的要求常是不相适应的。如枯水期水量很少或几乎断流，而洪水期水量又大量废泄，甚至泛滥成灾。为了解决这些供需间的矛盾，必须采取相应的工程措施，如修建水库蓄水，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，掌握水流的运动变化规律，从而有效的采取各种防治和利用的工程措施。

在拟定河流综合利用的规划时，首先必须掌握河流在正常情况下水量有多少，水量在一年内和逐年间怎样变化，洪水多大，枯水多少，何时发生，历时久暂，以及泥沙的运行情况等等。通过水利计算，研究对水量如何综合开发利用，以便正确的制定流域的规划方案。如无水文资料，则这些工作便很难进行，有时甚至会造成规划方案的错误。

在设计水工建筑物和为灌溉、发电、防洪等的需要而建造蓄水库时，如不知河流总水量、最大流量、及其它特征值，而盲目建坝就难免不是筑高就是筑低。高了会使水库蓄不满，造成浪费，低了则一旦洪水来临会宣泄不及，冲毁堤坝，给下游人民造成灾祸。如兴建水电站，对最小流量了解不准确，而按照较大的流量设计，则当流量较小时，就会迫使水电站停止发电。如引水灌溉，不了解在灌溉季节里水量的多少及其变化，不了解含沙量的大小，以及水温和水的化学成分等，就会形成不是缺水，就是引进的泥沙或水质不利于农作物的生长，反而会造成农业减产的损失。

公路、铁路都要穿过许多河流或沟渠，就要架设桥梁或涵洞。为使桥涵设计在技术经济上合理，又不致被洪水冲毁，就要弄清所跨越的河流或沟渠的水文特性，如最大流量、流速、最高水位等，作为决定桥涵位置、大小、结构等的依据。此外，河流的流量、流速、水深、及其季节变化和持续时间，决定着通航船只的大小及其通航时间。河床的演变规律，又决定着航道的变迁。关于利用河流浮运木材，对木材的浮运量及浮运时间，也需要了解水文情况，才能作好浮运的一切准备工作。

工厂为了取水方便，常设在靠河流处，如不了解河流的水文情况，在洪水来临时可使厂房被淹或被冲毁，而在枯水时因供水不足又可能造成生产和生活的困难。在开采矿山矿井时，如对地下水的情况了解不清或对暴雨洪水的排除估计不足，就会给矿井的正常生产造成很大的威胁。又如城市的工业用水和生活用水，以及下水道的排水等，也需要了解水源的供水能力及水质的时程变化、暴雨特性等水文情况。

河流、湖泊、海洋是水生物之家，这些水体的水文情况，对水生物的繁殖和生长关系很大，如我国长江流域是经济较发达的区域，沿江各城市布置工厂矿山较多，排泄的工业废水逐年增加，江水的水质受到了污染，致使有些鱼类的产卵和生长都受到影响，必须通过水化学的观测分析，才能采取相应的水源保护措施。又如黄河泥沙逐年向渤海淤积，海岸向前延伸，侵占了产鱼地区，也会使鱼类繁殖减少。

以上部分事例说明，水文工作对水利水电建设和其它国民经济建设的成败和效益都起着很大的作用。因此，我们应认真学好水文科学知识，为促进工农业生产的发展，在加速实现四个现代化的过程中，发挥更大的作用。

第三节 我国水文事业发展简况

我国劳动人民在与水旱灾害作长期斗争中积累了许多经验。远在公元前二千多年，我们的祖先为了防止黄河的洪水，就注意水位的涨落和天气状况，在有关文献和书籍上，对河流的洪水、径流变化、冰情等已有定性的描述和记载。如著名的《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》四十卷，系统地描述了黄河、淮河、长江三水系的源头，干支流、灌溉、航运、水力等情况。至清代傅泽洪综合了历代的水利文献，编纂了《行水金鉴》一书，评述了河道沿革和水利兴废情况，概括了数千年间水道的变迁情况。公元前250年李冰父子在四川都江堰设立石人测量水位，用以了解灌溉引水量，后来又改为石刻水则，其后各地的航运、灌溉和江河修防等工程，也予以仿效，安设水则

测量水位，作为闸坝启闭，河堤防洪的标准。但由于封建制度的长期统治，生产极为落后，水文工作没有什么进展。

我国近代水文科学是十九世纪中、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年成立江淮水利测量局，在淮河测验水位和流量。1919年顺直水利委员会在陕县涇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。抗日战争暴发后，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年解放时，全国水文测站总数，仅有三百多处。

我国的水文事业和其它科学事业一样，在全国解放后得到了较快的发展。大规模的经济建设，特别是水利建设，促进了水文事业的迅速前进，为水文科学开辟了无限广阔的前途。建国以来，在近30年的生产实践和科学实验中，广大水文工作者发扬了自力更生，艰苦奋斗的精神，积极开展技术革新和技术革命，不断提高测报质量，改进水文分析计算方法。依靠群众，大办水文，既为长远需要积累了大量资料，也为当时当地大规模的水利水电建设的需要当好了尖兵，走出了适合我国特点的发展水文工作的道路，取得了较大的成绩，这主要表现在以下几方面。

1. 水文站网建设方面 站网建设是水文科学的基础，是关系水文全局的工作。建国以来，各种类型的测站，从解放初的三百多处已发展到一万六千多处。测站遍布全国，实行了科学的布站规划，不仅在大江大河上布足了测站，而且在边远地区如西藏、新疆、内蒙等地的河流也布设了测站；不仅在江河上布站，在湖泊、水库、灌区、水电站等处也布了站；不仅有一般站，也有各式各样的实验站；既有基本站，也有专用站、群众站、委托站、巡测站等。这些遍布全国，星罗棋布的各式各样的测站，控制了全国的水文情势，这对于研究水分变化的地区分布规律，提供了雄厚的物质基础。

2. 水文测验和水文资料整编方面 解放后，为了适应生产发展的需要，不仅测站的数量、类型大大增加，而且测验项目及其精度要求也在不断的增加和提高。如有的站开始只有水位、流量测验项目，后来逐渐增加了泥沙、水化学、蒸发、降水等项目，有的还根据需要增加了水温、冰凌、潮汐、地下水、波浪、土壤含水量等要素的测验。测验仪器设备，随着技术革新和技术革命的不断深入，也大大的加以充实和改进。据1977年底的统计，全国测流测沙缆道就已占测站总数的61%，雨量自记占39%，水位自记占48%。有些地区建立了无线电通讯网，也有少数地区建立了遥控的无人测站。超声波、同位素、激光、电子技术等在水文测验中的应用，也取得了可喜的成绩。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》，并系统地编写了贯彻规范的重要技术文件《水文测验手册》，作为共同遵循的技术规定。

在水文资料整编方面，建国初，为了赶上水利建设的需要，全国各省、区、流域组织了专门的整编机构，对解放前历年积存的水文资料，加以整编、刊印。目前全国各地基本上做到了当年资料次年整编刊印成《水文年鉴》。根据不同河流不同测站的水力特性，创建了许多不同类型的整编方法，这对提高整编成果的精度起了重要的作用，也促进了测验方法的改进。随着测验项目和测站类型的增加，整编内容也相应的有了发展，例如堰闸

站、水库站、水电站、灌区站、泥沙站、水化学站、地下水观测站、实验站等等的整编方法就得到不断的充实。为了统一全国技术标准，还编制了《水文整编规范》。为了提高整编的质量和速度，应用电子计算机进行整编，已逐步得到推

3. 水文情报预报方面 建国以来，水文情报预报也有迅速的发展，为了防洪、抗旱的需要，每年汛期，全国布设了数以千计的报讯站，构成了水文情报预报网，掌握了全国江河和主要水利工程的水情。在预报技术上，随着实测资料的积累，预报方案编制的不断改进，成因分析的不断深入，因而预报的精度，也有了很大的提高。预报项目由洪水预报，发展到对枯水、旱情、冰情、沙情、地下水、水化学等的预报。预见期已由短期预报，发展到利用气象资料进行中、长期预报。预报范围不仅在大江大河上开展，而且在短缺资料地区的中小河流、中小水库以及水电站也较普遍地开展了预报工作。无线电通讯技术和电子计算机，在水文情报和预报中的应用，也有了新的发展。水文预报不仅对保障人民生命财产的安全，起了很大的作用，而且对水库、灌区、水电站、航运等的科学管理和综合利用水利资源也发挥了显著的作用。

4. 水文水利计算方面 建国初，为了根治淮河进行了水文水利计算，以后配合黄河、长江、汉江、永定河、辽河等河流的流域规划与治理，以及许多大中型水利枢纽的设计与施工，较普遍地开展了水文水利计算。在方法上，数理统计法和成因分析法都得到了新的发展，摸索了一些适合我国水文特点的水文计算方法，曾出版《水文计算经验汇编》多集，经过多次修订，编制了《设计洪水规范》，它是总结我国多年来水文计算经验的重要技术文件之一。同时在流域规划，综合利用水库的水利计算方面，也取得了一定的经验，如防洪与发电，发电与灌溉的配合，梯级水库群的调节计算等也有了新的发展。为了满足农业生产的需要，还进行了农村水利规划及中小型水利工程的水文水利计算。普遍开展了小面积的暴雨洪水研究，各省区大都编制了水文手册和水文图集，对于无资料或短缺资料地区的中小水利工程的设计施工都起了较大的作用。近年来，水文与气象部门配合，还编制了全国可能最大降水等值线图，这对于推求各地区可能最大洪水及采用成因分析法求设计洪水，提供了新的途径。

其它，在水文实验研究，水文地理研究等方面，也取得了许多成绩，对促进水文科学的发展，满足国民经济建设的需要，均起了较重要的作用。

上述事实证明，解放后我国水文事业的发展速度是比较快的，取得的成绩是显著的。但决不能因此而满足，停留在现有水平上，按照加速实现四个现代化的需要，特别是加速发展水利水电建设的需要，还很不适应，与国外先进水平相比，不少方面还存在着较大的差距。因此，我们必需继续努力，勤学苦练，认真学习先进的水文科学技术，敢于创新，勇于攀登水文科学技术的高峰，为当好水利水电建设的尖兵，作出新的贡献。

第四节 自然界的水分循环

一、地球上水的分布

地球表面上大量的水储藏于江河、湖泊、海洋之中，占据着广大的面积，其中以海洋所占

面积最大。据估计地球的总面积约为509870000平方公里，其中海洋的面积约为361059000平方公里，占地球总面积的70.8%，陆地的面积约为148811000平方公里，占29.2%。

大部分陆地分布在北半球，占北半球面积的39%。在南半球陆地很少，只占南半球面积的19%。在陆地上的79%的地区河流的径流直接注入海洋，这些地区称为外流区；另外还有21%地区河流的径流流入内陆湖泊、沼泽或沙漠，称为内流区，我国最大的内流区为新疆的塔里木河流域。

海洋水的总体积约为13703230000亿立方米，若将其平铺在地球表面上，水深为2690米。

河流中的储水量，据估计约为12000亿立方米，湖泊及内陆海的储水量约为7500000亿立方米。陆地表面上的这些水量与海洋中的水量相比，不足千分之一，但是它对人类活动的影响却很大。

地球上各河流多年平均的年径流总量等于370000亿立方米，把它平铺在陆地上，折合成水深为247毫米。这些水量中，属于内流区的只占2.5%，其余的都属外流区。

除了地表水外，还有在地层中的地下水。地下水包括三部分：潜水位以上土层内的水分，称为包气带水；潜水位以下隔水层以上土层内的水分，称为潜水；埋藏在隔水层以下不受气象要素直接影响的水分，称为深层地下水。对地下水的储量若以岩石、土壤的平均空隙率为准并假定离地面8~10公里以下的孔隙率很小可略而不计，则其储水量，如平铺在地球表面上，可折合成水深约为200米。

还有以水汽形态存在于大气中的水分，叫空中水。空中水绝大部分在对流层大气中，空中水汽量约为123000亿立方米。如凝结成水，平铺在地球表面可折合成水深为25毫米。这个数量显然很小，所以降水必须依靠地表水的不断蒸发来补充，而其主要来源就是海洋。

了解海洋水、陆地水、河流水、空中水、地下水等的数量分布及地区分布对研究地表各水体的水文特征具有重要的作用。

二、水分循环现象

太阳辐射热是地球表面热能的主要来源。因太阳的辐射热力作用使地球上的广大水面、土壤表层和植物茎叶中的水分不断地蒸发，化为水汽，上升空中被气流带走，以一定方向运动，在适当条件下遇冷凝结为水滴，又以降水的形式落至地面。到达地表的水，在重力作用下，一部分渗入地下成为地下水，一部分流入江河汇归海洋，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。海洋水又经蒸发变成水汽，输送至大陆，再凝成降水，又以地面径流和地下径流的形式汇入海洋，这种往复循环的过程叫做水分循环，如图1-1所示。

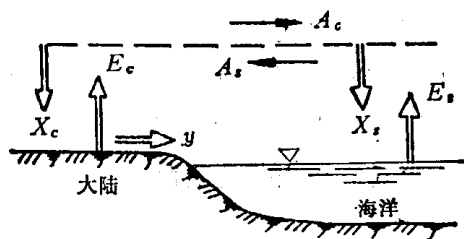


图 1-1 地球上水分循环示意图

E_s —海洋蒸发； X_s —海洋降水； E_c —大陆蒸发，包括土壤蒸发、植物散发、河湖蒸发； X_c —大陆降水； y —径流； A_s —从海洋向陆地输送的水汽； A_c —从陆地向海洋输送的水汽

形成水分循环的内因是水的物理三态（固体、液体、气体）的相互转化。外因是太阳辐射和重力作用。此外海陆的面积分布、水量分

布及水分循环路线的构造和性质，如地形、地质、土壤和植被等对水分循环也有一定的影响。地球上太阳辐射的强度是不均匀的，在赤道地区获得的热能大于中纬地带和极地，因此地球上不同区域的水分循环的强度也是不相同的。

三、大循环与小循环

按水分循环的过程，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，一部分蒸发返回空中，其余部分都经地面和地下注入海洋，这种海陆间水分交换的过程叫大循环或称外循环。

陆地上的水经蒸发、凝结作用又降落到陆地，或从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，这种局部的水分循环叫小循环或称内循环。

在水分循环过程中，天空、地面与地下的水分，通过降水、蒸发下渗、径流等方式进行水分交换，海洋水与陆地水也进行水分交换。海洋向陆地输送水汽，而陆地则向海洋注入径流。河流中的水，日夜不停地注入海洋，其来源主要是天空中的降水，而形成降水的天空水汽，主要靠地球表面的蒸发。如果大陆上的蒸发量与降水量相同，那便没有多余的水量注入海洋，由此可见，大陆上的降水量要比蒸发量大。但这些多余的水汽量显然是从海洋上来的，因而海洋上的蒸发量必然比降水量大，才能有多余的水汽输送大陆，大陆产生径流注入海洋这才能构成海陆间的水分循环。

必须指出，海洋向大陆输送水汽并不是单方面的，而是海陆水汽交换的结果。从海洋上蒸发的水汽借助气流带向大陆，而大陆上蒸发的水汽又随着气流被带向海洋，前者比后者大，因此，海洋向大陆的有效水汽输送量为两者之差。据估计这部分水汽，大约只占海洋蒸发量的8%。

在海陆水分交换构成水分循环的过程中，并不是一成不变的水的“团团转”，而是与无数个蒸发-降水-径流的小循环交织而成的。由于地面受太阳辐射的强弱及地理条件的差异，造成了水循环在各个地区、各个年份都有很大的差别，也形成了多水的湿润地区和少水的干旱地区，每个地区在时程上也存在着洪涝年份和干旱年份的差别。

四、局部地区的水分循环

大陆上局部地区的水分循环，可用图1-2来说明。进入该地区的外来水汽量 A ，其中一部分成为降水，落于该地区内叫外来降水以 X_A 表示，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_N ，其余的水汽量 $C_2 = E - X_N$ 则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。这种局部的水分循环，又称内陆水分循环，它是全球水分循环的一部分。

局部地区的水分循环对降水的形成和分布具有相当重要的作用，对河川径流等水文现象有着重要的影响。在局部地区的水分循环过程中，水汽不断的向内陆输送，但越往内陆，输送的水汽量越少，这是因为有一部分水汽变成径流，最终将流入海洋，对内陆水分循环不起作用。也就是说，从海洋吹向大陆的水汽将沿途损耗而越来越

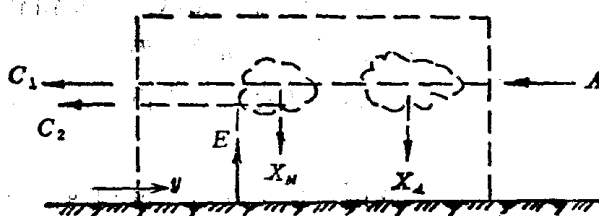


图 1-2 局部地区水分循环

少。因此，远离海洋的内陆腹地往往比较干旱，降水量较小，径流量也较小。从陆地蒸发的水分，有部分将借助气流向内陆移运，但这部分水汽量往往并不大。气候潮湿水量丰富的地区，蒸发量较大，水分循环也比较旺盛和活跃。反过来说，在水分循环活跃的地区，蒸发量必然较大，与不活跃地区相比，降水量将增大。活跃的水分循环不仅对本地区的内部降水，而且对相邻地区的水汽输送都是很有利的，使水分有可能较多的深入内陆腹地形成该处较大的河流。

五、影响水分循环的因素

影响水分循环的因素很多，但都是通过对影响降水、蒸发、径流和水汽输送而起作用的。归纳起来有三类：一是气象因素如风向、风速、温度、湿度等；二是下垫面因素，也就是自然地理条件如地形、地质、土壤、植被等；三是人类改造自然的的活动，包括水利措施和农林措施等。

在这三类因素中，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状况。而径流的具体情势虽然与下垫面条件有关，但其基本规律还是决定于气象因素。

下垫面因素主要是通过蒸发和径流来影响水分循环。有利于蒸发的地区，往往水分循环很活跃，而有利于径流的地区，则恰好相反，对水分循环是不利的。

人类改造自然的的活动，改变了下垫面的情况，通过对蒸发、径流的影响而间接影响水分循环。水利措施可分为两类：一是调节径流的水利工程如水库、渠道、河网等；一是坡面治理措施如水平沟、鱼鳞坑、土地平整等；农林措施如坡地改梯田、旱地改水田、深耕、密植、封山育林等。修水库以拦蓄洪水，使水面面积增加，水库淹没区原来的陆面蒸发变为水面蒸发，同时又将地下水位抬高，在其影响范围内的陆面蒸发也随之增加。此外，坡面治理措施，农林措施，也多有利于下渗，不利于径流。当径流减小，蒸发加快后，降水在一定程度上也有所增加，从而促使内陆水分循环的加强。

六、我国水分循环的路径

我国地处西伯利亚干冷气团和太平洋暖湿气团进退交锋地区，一年内水汽输送和降水量的变化，主要取决于太平洋暖湿气团进退的早晚，西伯利亚冷气团的强弱变化，以及七、八月间太平洋西部的台风情况。

我国的水汽主要来自东南海洋，并向西北方向移运，首先在东南沿海地区形成较多的降水，越向西北，水汽量越少。来自西南方向的水汽输入也是我国水汽的重要来源，主要是由于印度洋的大量水汽随着西南季风进入我国西南，因而引起降水，但由于丛山峻岭阻隔，水汽不能深入内陆腹地。西北边疆地区，水汽来源于西风环流带来的大西洋水汽。此外，北冰洋的水汽，借强盛的北风，经西伯利亚、蒙古、进入我国西北，因风力较大而稳定，有时甚至可直接通过两湖盆地而达珠江三角洲，但所含水汽量少，引起的降水量并不多。我国东北方的鄂毕次克海的水汽随东北风来到东北地区，对该地区的降水起着相当大的作用。

综上所述，我国水汽主要从东南和西南方向输入，水汽输出口主要是东部沿海。输入的水汽，在一定条件下凝结、降水成为径流。其中大部分经东北的黑龙江、图门江、绥芬

河、鸭绿江、辽河，华北的滦河、海河、黄河，中部的长江、淮河，东南沿海的钱塘江、甌江、闽江、华南的珠江，西南的元江、澜沧江以及台湾各河注入太平洋；小部分经怒江、雅鲁藏布江等流入印度洋；还有很小一部分经额尔齐斯河注入北冰洋。

一个地区的河流，其径流的大小及其变化，取决于所在的地理位置，及在水分循环路线中外来水汽输送量的大小及季节变化，也受当地蒸发水汽所形成的“内部降水”的多少所控制。因此，要认识一条河流的径流情势，不仅要研究本地区的气候及自然地理条件，也要研究它在大区域内水分循环路径中所处的地位。

第五节 水 量 平 衡

一、水量平衡原理及其应用

地球上的水分循环，从多年长期的观点来看，大体上是不变的，海洋蒸发向陆地输送的水汽，经降雨以径流的形式又回到海洋。根据物质不灭定律可知：对于任一区域，在给定的时段内，各种输入水量（收入水量）等于输出水量（支出水量）与区域内储水量的变化之和。即水分循环过程中，收支平衡，这就是水量平衡原理。根据此原理，可列出水量平衡方程。

$$I + W_1 = D + W_2$$

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

式中 I ——在一定时段内输入平衡区各种水量之和（总收入量）；

D ——在一定时段内输出平衡区各种水量之和（总支出量）；

W_1 、 W_2 ——在平衡区内时段始末的储水量。

上式为水量平衡方程的一般形式，对不同的地区和不同的问题，应具体分析水量的输入项和输出项的各个组成部分，写成相应的水量平衡方程式。但不同平衡区，不同的时段（如月、年、多年等）平衡方程中的数量是不相同的。

研究水量平衡，不仅有助于对水分循环建立定性的概念，而且也能进行定量的计算，并能了解组成水分循环各要素的作用。水量平衡法还广泛应用于解决其它很多水文问题，例如已知某些水文要素而推求另一水文要素，如已知降水，蒸发可推估径流等；在水文测验、水文资料整编、水文预报、水文计算中，可应用水量平衡原理来进行水文成果的合理性检查分析，亦可用来判断或修正测量中可能发生的误差或错误，评价所得成果的精度等。

二、地球上的水量平衡

若以地球的大陆作为研究水量平衡的平衡区，则其水量平衡式应为

$$E_c = X_c - y \pm \Delta W_c$$

同样，若以海洋作为平衡区，则其水量平衡方程为

$$E_s = X_s + y \pm \Delta W_s$$

式中 E_c 、 E_s ——陆地和海洋上的蒸发量；

X_c 、 X_s ——陆地和海洋上的降水量；

y_0 ——入海河流的径流量；

ΔW_0 、 ΔW_s ——陆地和海洋在研究时段内储水量的变化量。

对于海洋和陆地，从多年平均看来，并没有发现水量有明显的增减趋势。在短时期内上式中的储水变量 ΔW_0 、 ΔW_s 可正、可负，但如在多年平均情况下，正负值可互相抵消，即 ΔW_0 、 ΔW_s 可近似地以零看待，故海洋和大陆，在多年平均情况下的水量平衡方程可写为

$$\text{大陆方面} \quad E_{c_0} = X_{c_0} - y_0 \quad (1-2)$$

$$\text{海洋方面} \quad E_{s_0} = X_{s_0} + y_0 \quad (1-3)$$

式中 E_{c_0} 、 E_{s_0} ——陆地和海洋上的多年平均蒸发量；

X_{c_0} 、 X_{s_0} ——陆地和海洋上的多年平均降水量；

y_0 ——陆地注入海洋的多年平均径流量。

将(1-2)式和(1-3)式相加可得出全球的水量平衡方程式为

$$E_{c_0} + E_{s_0} = X_{c_0} + X_{s_0} \quad (1-4)$$

$$\text{即} \quad E_0 = X_0 \quad (1-5)$$

由(1-4)式可知，等式左边是陆地和海洋的蒸发量，即全球的总蒸发量 E_0 ，等式右边是陆地和海洋的降水量，即全球的总降水量 X_0 ，两者的多年平均值是相等的，这正说明了地球上的水量平衡。其平衡要素的数据如表1-1。

表 1-1 地球上水量平衡各要素的数量

区 域	面 积 (百万平方公里)	降 水 量 (万立方公里)	蒸 发 量 (万立方公里)	径 流 量 (万立方公里)
海 洋	361	41.2	44.9	+3.7
大 陆	149	9.9	6.2	-3.7
全 球	510	51.1	51.1	—

从上表可知，海洋上多年平均蒸发量大于降水量，两者之差即为输送至陆地的水汽量。而大陆上则与此相反，即蒸发量小于降水量，两者之差即为注入海洋的径流量。而全球上的总蒸发量和总降水量恰好平衡。但这种平衡，只在多年平均情况下，才可能满足，因多年时期的 ΔW_0 、 ΔW_s 的代数和为零。这种多年时期的平均趋势称为正常情况。因此，水文要素的多年平均值，一般称为正常值。

三、通用水量平衡方程

设想划出某一平衡区域作为研究对象，这个区域内，可有塘坝，水库、湖泊、沼泽等水体，可有纵横交错的河道、沟网和进出水道。沿这个区域的边界想象地作出一个垂直柱体，柱体的底部为地面以下某一定的面，假设该面以下的水量不再进行交换。根据水量平衡原理即(1-1)式可知：在一定时段内，输入此柱体内的水量，减去自该柱体输出的水量，应等于该柱体内的蓄水变量。