



面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

高校土木工程学科
专业指导委员会规划推荐教材

水文学

雒文生 主编



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

面 向 21 世 纪 课 程 教 材

高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

水 文 学

雒文生 主编

赵英林 张小峰 编

中国建筑工程出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水文学/雒文生主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2001. 12

面向 21 世纪课程教材. 高校土木工程学科专业
指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-04642-4

I. 水… II. 雒… III. 水文学-高等学校-教材
IV. P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 051040 号

本教材是根据建设部高校土木工程学科专业指导委员会审定的该门课程教学大纲编写的。全书分为 6 章, 主要内容有: 绪论, 河流与径流, 水文统计基本原理与方法, 设计洪峰流量与水位计算, 桥涵孔径设计, 桥下河床冲刷计算。

本书可作为高校土木工程学科教材, 也可供相关专业师生学习和参考。

面向 21 世纪课程教材 高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

水文学

雒文生 王编

赵英林 张小峰 编

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

世界知识印刷厂印刷

787×960 1/16 印张 13 $\frac{1}{4}$ 字数 276 千字

2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月第一次印刷

印数 1-4000 册 定价 22.00 元

ISBN 7-112-04642-4

TU·4112 (10092)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

本教材为高等学校土木工程专业的通用教材,是根据1999年9月建设部高校土木工程学科专业指导委员会三届二次会议精神,就大学专业调整后要求的《水文学》课程教学大纲内容编写的。编写过程中,多次征求出版社和有关专业师生的意见,及吸收过去教材编写的经验,力求教材内容切合本专业需要,并能适当反映国内外水文科学的先进水平。

全书共6章,内容包括水文测验及资料收集、水文循环及径流形成过程、水文统计基本原理和方法、由流量资料、暴雨资料推求设计洪水、小流域设计洪水、设计洪水位的推求、桥涵孔径设计和桥下河床冲刷计算等。每章均有思考题和习题,便于教学和学习。

本教材由武汉大学水文水资源工程系雒文生主编,其中第1章、第2章§2.1、§2.2和第4章由雒文生编写,第3章由赵英林编写,第2章§2.3及第5章、第6章由张小峰编写。在编写过程中,引用了一些有关院校、生产单位、研究单位编写的教材及技术资料,编者在此一并致谢。

敬请读者对本书存在的缺点和错误予以批评指正。

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 水文学的研究内容	1
§ 1.2 水文现象基本规律及其研究方法	2
§ 1.3 水文科学的发展	3
思考题	4
第 2 章 河流与径流	5
§ 2.1 河流与流域	5
§ 2.2 径流及其形成过程	8
§ 2.3 泥沙运动与河床演变	30
思考题	41
习题	41
第 3 章 水文统计基本原理与方法	43
§ 3.1 水文统计的基本概念	43
§ 3.2 随机变量的概率分布及其统计参数	45
§ 3.3 经验频率曲线与理论频率曲线	51
§ 3.4 现行水文频率计算方法——适线法	54
§ 3.5 相关分析	61
思考题	69
习题	69
第 4 章 设计洪峰流量与水位计算	71
§ 4.1 概述	71
§ 4.2 由流量资料推求设计洪水	73
§ 4.3 由暴雨资料推求设计洪水	86
§ 4.4 小流域设计洪水计算	111
§ 4.5 桥位断面设计洪峰流量及水位的推求	131
思考题	135
习题	136
第 5 章 桥涵孔径设计	139
§ 5.1 桥孔长度	139
§ 5.2 桥面标高	144
§ 5.3 小桥涵断面设计	154
思考题	171

习题	171
第 6 章 桥下河床冲刷计算	173
§ 6.1 桥下一般冲刷	173
§ 6.2 桥墩旁局部冲刷	181
§ 6.3 小桥涵进出口沟床加固	199
思考题	203
习题	203
附录	204
附表 1 皮尔逊Ⅲ型频率曲线的离均系数 ϕ 值表	204
附表 2 瞬时单位线 S 曲线查用表	208
主要参考文献	214

第1章 绪 论

水文科学是地球科学的组成部分，也是现代技术的一个重要领域，在国民经济发展中正在发挥着愈来愈显著的作用，它将为土木工程的规划、设计、施工和管理提供必需的水文依据。本章就其主要内容、特点、研究方法和发展作一扼要介绍。

§ 1.1 水文学的研究内容

大气中的水汽、地球表面的江河、湖泊、沼泽、冰川、海洋和地下水等，都是以一定形式存在于自然界的水体。他们彼此区别，又相互转化和联系，既受周围环境的作用，又对环境产生各式各样的影响。水文学就是研究自然界中这些水体形成、分布、变化、运动、相互转化和与环境相互作用规律的一门科学。因此，按照水体所处位置和特点的不同，水文学可分为水文气象学、河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、海洋水文学、地下水文学等。古往今来，河流与人类生产、生活息息相关，如灌溉、防洪、发电、航运等等，所以河流水文学发展比较早，也比较快，已经成为内容非常丰富的一个水文学分支，为本专业学习的主要内容。

水文学的内容主要有：①水文测验和资料整编与发布，这是水文分析计算和研究的基础性工作。水文资料有降水、蒸发、水位、流量、泥沙、水温、水质等，可通过不同的水文测验设施进行观测，系统整理，然后以水文年鉴或水文数据库的形式提供有关部门应用；②水文实验研究，包括室内的和野外的，研究水量水质变化的物理机制和水文循环及径流形成的基本规律；③水文分析与计算（也称水文预测），主要根据水文要素变化的统计规律，预测未来很长很长的时期内某一水文现象平均出现的概率，如工程运用期间的百年一遇洪水，其出现概率为1%，为工程规划提供依据；④水文预报，主要根据水文现象的成因规律，由现时已经出现的雨情、水情、沙情等预报未来一定时期内（称预见期）径流、泥沙等的大小和变化，为防洪、发电、灌溉等实时决策提供依据；⑤水文地理，研究水文特征与地理因素间的关系，例如多年平均洪峰流量与流域面积、降雨、河流坡降间的相关关系，以及水文特征值随地区的变化规律，用以解决无实测资料流域的水文计算问题；⑥河流的冲刷与泥沙淤积计算，对河流防洪和工程安全具有重要意义，这部分内容已形成一门独立的学科——河流动力学；⑦其他，如水情、水质、兴利和防洪调度等。总之，水文学的内容非常广泛、非常丰富、也极其复

杂,渗透到了国家经济建设的方方面面,我们将视本专业的需要,学习其中的有关部分。

§ 1.2 水文现象基本规律及其研究方法

1.2.1 水文现象的基本规律

1. 水文现象的确定性规律

水文现象同其他自然现象一样,具有必然性和偶然性,在水文学中通常按数学上的习惯,称前者为确定性、后者为随机性。

众所周知,河流每年都具有洪水期和枯水期的周期性交替,冰雪水源河流则具有以日为周期的流量变化,产生这些现象的基本原因是地球公转和自转的周期性变化。在一条河流上降落一场暴雨,相应地就会出现一次洪水。如果暴雨强度大、历时长、笼罩面积广,产生的洪水就大;反之,则小。显然,暴雨与洪水之间存在着因果关系。由此说明:水文现象都具有客观发生的原因和具体形成的条件,从而存在确定性的规律,也称成因规律。但是,影响水文现象的因素极其错综复杂,其确定性规律常不能完全用严密的数理方程表达出来,于是,在一定程度上又表现出非确定性,称随机性。例如根据雨洪成因规律进行洪水预报,尽管能取得较好的效果,但由于计算中忽略了一些次要的偶然因素的干扰,从而使预报成果表现出某种程度的随机误差。

2. 水文现象的随机性规律

河流某断面每年出现最大洪峰流量的大小和它们出现的具体日期各年不同,具有随机性,即未来的某一年份到底出现多大洪水是不确定的。但通过长期观测可以发现,特大洪水流量和特小洪水流量出现的机会很少,中等洪水出现的机会多,多年平均值则是一个趋于稳定的数值,洪水大小和出现机会形成一个确定的分布,这就是所说的随机性规律。因此要掌握这种规律,常常需要由大量的资料统计出来,故又称统计规律。

3. 水文现象的地区性规律

某些水文现象受气候因素,如降水、蒸发、气温等所制约,而这些气候因素是具有地区性规律的,所以这些水文现象也在一定程度上具有地区性规律。例如我国的多年平均降水量自东南沿海向西北内陆逐渐减少,从而使河川多年平均径流深也呈现出同样的地区性变化,它整体上反映了确定性规律和统计规律的综合结果。

1.2.2 水文研究的基本方法

根据上述水文现象的基本规律,其研究方法相应地分为以下三类:

1. 成因分析法

如上所述,水文现象与其影响因素之间存在着成因上的确定性关系。通过对实测资料和实验室资料的分析研究,可以从水文过程形成的机理上建立某一水文现象与其影响因素之间确定性的定量关系。这样,就可以根据过去和当前影响因素的状况,预测未来的水文现象,这种利用水文现象确定性规律来解决水文问题的方法,称为成因分析法,它在水文分析和水文预报中得到广泛应用。

2. 数理统计法

根据水文现象的随机性,以概率理论为基础,运用频率计算方法,可以求得某水文要素的概率分布,从而得出工程规划设计所需的设计水文特征值。利用两个或多个变量之间的统计关系——相关关系,进行相关分析,以展延水文系列或做水文预报。

为了获得水文现象的随机过程,近代又提出了一种随机水文学方法。

3. 地区综合法

根据气候要素和其他地理要素的地区性规律,可以按地区研究受其影响的某些水文特征值的地区变化规律。这些研究成果可以用等值线图或地区经验公式表示,如多年平均径流深等值线图、洪水地区经验公式等。利用这些等值线或经验公式,可以求出资料短缺地区的水文特征值。这就是地区综合法。

每种水文现象都程度不同地存在着以上三种规律性,因此,实际水文计算中,常常根据实际情况和需要,选用一种或几种方法计算,以便得出合理可靠的成果。

§ 1.3 水文科学的发展

水文科学如同其他科学一样,随着人类经济建设的不断需要,由萌芽到成熟,由定性到定量,由经验到理论发展起来,至17世纪后期逐步形成了一门比较独立的学科,从此水文学步入了快速发展时期。

水位的高低是水文学中最直观最重要的因素之一,我国和埃及是水位观测最早的国家。公元前约22世纪,大禹治水已“随山刊木”(即沿河边立木观测水位),以后秦孝文王时(公元前250年)李冰父子的都江堰“石人”,隋代(581~681年)的石刻水则、宋代(960~1279年)的水碑,明代(1368~1644年)的“乘沙、量水器”相继出现,清嘉庆年间(18世纪末)正式设立水位站,系统观测和记录水位。雨量是另一重要的水文要素,明洪武年间(14世纪70年代)开始观测。这一时期的古代著作《吕氏春秋》、《水经》、《论衡》、《河渠史》等,系统地调查、记载我国各大江河的源流、水情,并提出了水文循环的初步概念。15世纪后,欧洲的文艺复兴和产业革命,促进自然科学和技术科学飞跃发展,自记雨量计(C. 雷恩,1663)、蒸发器(E. 哈雷,1687)、流速仪(T.G. 埃利斯等,1870)等水文仪器相继发明,并设立水文站网系统观测水位、流量、降水、蒸发、

泥沙等。尤其1674年P. 贝罗特出版了《喷泉起源》一书,在水文循环的概念下,提出流域水量平衡原理,并用以计算出塞纳河伯格底以上的年径流量为年降水量的 $1/6$,这标志着水文作为一门学科已经初步形成。

20世纪,由于水利、交通、能源等的大规模建设,提出了许多水文问题迫切需要解决;另外,水文观测已经积累了比较多的资料,为解决这些问题打下坚实基础,促使水文的长足发展。许多产汇流理论和水文统计原理与方法,如至今仍广泛应用的霍顿下渗理论、等流时线法、单位线法、马斯京根流量演算法、各种流域水文模型、经验频率公式、输沙率公式等都是这一时期建立的,较好地解决了水文预报和分析计算问题,为工程规划、设计、施工和管理提供了可靠的水文依据,并出版了大量的水文专著,如《应用水文学》(R. K. 林斯雷等,1949)、《工程水文学》(R. K. 林斯雷等,1958)、《山坡水文学》(M. J. 柯克比,1978)、《流域水文模拟——新安江模型和陕北模型》(赵人俊,1984)、《水文预报方法》(长江水利委员会,1979、1993)、《河流泥沙工程学》(武汉水利电力学院,1983)、《泥沙运动力学》(钱宁,1983)与《河床演变学》(钱宁,1986)等。60年代以来,由于人类活动的大规模进行和电子计算机、卫星遥感遥测等高新技术的出现,给现代水文学以新的特点,即水文预报、预测,既要考虑水量,又要考虑水质,并估计人类活动对水文循环的一系列影响;再是水文信息采集、模型计算和优化调度一体化,实现工程管理的水文实时预报综合调度自动化系统,充分发挥水文预报、预测的社会效益和经济效益。

思 考 题

- 1.1 什么是水文学?它研究的主要内容有哪些?
- 1.2 自然界常见的有哪些水文现象?其变化有哪些基本规律?
- 1.3 水文研究的基本方法有哪些?
- 1.4 水文学在土木工程规划、设计、管理中有哪些作用?试举例说明。

第2章 河流与径流

§ 2.1 河流与流域

接纳地面径流和地下径流的天然泄水通道称河流。供给河流地面和地下径流的集水区域叫流域，它由汇集地面径流的地面集水区和汇集地下径流的地下集水区所组成。流域里大大小小的水流，构成脉络相通的系统称河系（河网），又称水系，如图 2-1 所示，为浙江省余英溪姜湾断面以上流域的水系和雨量站分布情况，过姜湾断面的点画线包围的区域即地面集水区。河流的流域和河系是河川径流的补给源地和输送路径，它们的特征都将直接、间接地影响径流的形成和变化。

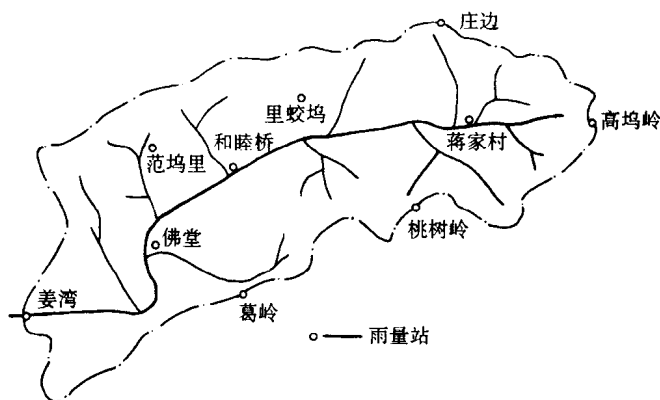


图 2-1 余英溪姜湾断面以上流域水系及雨量站分布图

2.1.1 河流特征

1. 河流长度

自河源沿主河道至河口的长度称为河流长度，简称河长，可在适当比例尺的地形图上用曲线仪量得。

2. 河流分段

一条河流沿水流方向，自高向低沿流程可分为河源、上游、中游、下游、河口区 5 段。河源是河流的发源地，可以是泉水、溪涧、沼泽、冰川等。上游直接连接河源，这一段的特点是河谷窄、坡度大、水流急、下切侵蚀为主，河流中常有瀑布、急滩。中游河段坡度渐缓，下切力减弱，旁蚀力加强，急流、瀑布消失，

河槽变宽，两岸有滩地，河床较稳定。下游是河流的下段，河槽宽、坡度缓、流速小，淤积为主，浅滩沙洲多，河曲发育。河口是河流的终点，即河流注入海洋或内陆湖的地区。这一段因流速骤减，泥沙大量淤积，往往形成三角洲。

3. 河谷与河槽

可以排泄河川径流的连续凹地称为河谷。河谷的横断面形状由于地质构造不同有很大差异，一般可分为峡谷、宽广河谷和台地河谷。谷底过水的部分称河槽，河槽的横断面称过水断面。根据横断面形状的不同，分为单式和复式两类，如图2-2所示。复式断面由枯水河槽和滩地组成，洪水时滩地将被淹没和过水。

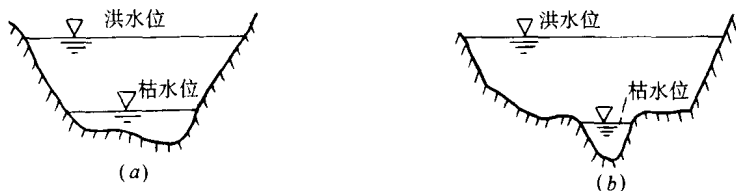


图2-2 河槽断面图

(a) 单式断面；(b) 复式断面

4. 河道纵比降

河段两端的高程差叫落差。单位河长的落差称为河道纵比降，一般称河流坡降。当河段纵断面的河底近于直线时，该河段的落差除以河段长，便得平均纵比降。当河道纵断面的河底呈折线时，如图2-3所示，可在纵断面图上，通过下游端断面的河底处作一斜线，使之以下的面积与原河底线以下的面积相等，此斜线的坡度即为河道的平均纵比降 J ，计算公式为

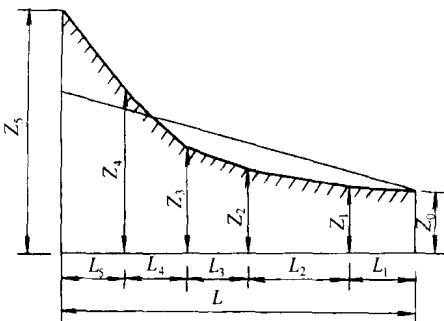


图2-3 河道平均纵比降计算示意图

$$J = \frac{(Z_0 + Z_1)L_1 + (Z_1 + Z_2)L_2 + \cdots + (Z_{n-1} + Z_n)L_n - 2Z_0L}{L^2} \quad (2-1)$$

式中 $Z_0, \dots, Z_n$ ——自下游至上游沿程各转折点的高程；

$L_1, \dots, L_n$ ——相邻两点间的距离；

L ——河道全长。

除上述特征外，还有河流弯曲系数、河网密度、河系几何形态，各级河流的分叉率、河长增长率和集流面积增长率等。

2.1.2 流域特征

1. 分水线和流域

(1) 分水线 当地形向两侧倾斜,使雨水分别汇入两条不同的河流中去,这一地形上的脊线起着分水作用,称为分水线或分水岭。分水线是相邻两流域的分界线。例如降在秦岭以南的雨水流入长江,而降在秦岭以北的雨水则流入黄河,所以秦岭是长江与黄河的分水岭。

流域的分水线是流域的周界。流域的地面分水线是地面集水区的周界,通常就是经过出口断面环绕流域四周的山脊线,可根据地形图勾绘,如图 2-1 中的点画线。流域的地下分水线是地下集水区的周界,但很难准确确定。由于水文地质条件和地貌特征影响,地面、地下分水线可能不一致。

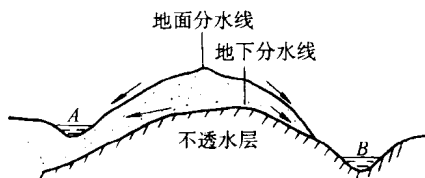


图 2-4 地面分水线与地下分水线示意图

如图 2-4, A、B 两河地面分水线在中间的山脊上,但地下不透水层向 A 河倾斜,其地下分水线在地面分水线的右边,二者在垂直方向不重合,地面、地下分水线间的面积上,降雨产生的地面径流注入 B 河,产生的地下径流注入 A 河,从而造成地面、地下集水区的不一致。除此之外,如果 A、B 之间没有不透水的地下分水线,枯季时, A 河的水还会渗向 B 河,使地下分水线发生变动。

(2) 流域 流域是指汇集地面、地下径流的区域,是相对河流某一断面而言的。例如图 2-4 中 B 断面控制的流域,即是 B 以上的地面、地下集水区,它们产生的径流将由 B 断面流出。A 断面控制的流域则是 A 以上的集水区域,但由于它下切深度浅,其上产生的径流将有一小部分从断面下的透水层中排出,而没有经过 A 断面。

当流域的地面、地下分水线重合,河流下切比较深,流域面积上降水产生的地面、地下径流能够全部经过出口断面排出者,称闭合流域。一般的大、中流域,地面、地下分水线不重合造成地面、地下集水区的差异相对于全流域很小,且出口断面下切较深,常常被看做是闭合流域。与闭合流域相反,或者因地面、地下分水线不一致,或者因河流下切过浅,出口断面流出的径流并不正好是流域的地面集水区上降水产生的径流时,称这种情况为非闭合流域。很小的流域,或岩溶地区的流域,常常是非闭合流域,水文计算时要格外注意,应通过地质、水文地质、枯水、泉水调查等,判定由于流域不闭合可能造成水量差异。

2. 流域的几何特征

流域的几何特征常用流域面积、流域长度、流域形状系数等描述。

(1) 流域面积 流域面积是指流域地面集水区的水平投影面积,如图 2-1 中点画线所包围的面积。通常先在 1/50000 或 1/100000 的地形图上划出流域的地面分

水线,然后用求积仪量出它所包围的面积,这就是流域面积。

(2) 流域长度和平均宽度 流域长度就是流域的轴长。以流域出口为中心作出许多同心圆,由每个同心圆与流域分水线相交点作割线,各割线中点的连线的长度即为流域长度。流域面积 F 除以流域长度 L 的比值为流域的平均宽度 B ,即 $B = F/L$ 。

(3) 流域形状系数 流域平均宽度 B 与流域长度 L 之比为流域形状系数 K ,即

$$K = \frac{B}{L} = \frac{F}{L^2} \quad (2-2)$$

扇形流域 K 较大,狭长流域 K 较小,它在一定程度上以定量的方式反映了流域的形状。

3. 流域的自然地理特征

流域自然地理特征,包括流域的地理位置、气候条件、土壤性质及地质构造、地形、植被、湖泊沼泽等。

(1) 流域的地理位置 流域的地理位置是以流域所处的经度和纬度来说明的,它间接反映流域的气候和地理环境。

(2) 流域的气候条件 包括降水、蒸发、温度、湿度、风等,是决定流域水文特征的重要因素。

(3) 流域的地形 流域的地形特性除用地形图描述外,还常用流域的平均高程和平均坡度来定量地表征。可用格点法计算,即将流域地形图划分成 100 个以上的正方格,定出每个方格交叉点上的高程和与等高线正交方向的坡度,这些高程的平均值即为流域平均高程;这些格点的坡度平均值即为流域平均坡度。

(4) 流域的土壤、岩石性质和地质构造 土壤的性质,如土壤类型、结构;岩石水理性质,如透水性、给水度;地质构造,如断层、节理。它们对下渗和地下水运动有重要影响。

(5) 流域的植被 植被主要指森林,以植被面积占流域面积之比,称植被率,表示植被的相对多少。森林对减少泥沙和洪水有重要作用。

(6) 流域的湖泊与沼泽 湖沼对径流起调节作用,能调蓄洪水和改变径流的年内分配。通常以它们占流域面积的百分数,称湖泊率和沼泽率,来反映它们的相对大小。

人类活动措施,如水利水电工程、水土保持、农业措施、城市化等,将通过改变流域的自然地理条件而引起水文上的变化。例如修建水库,扩大了水面面积,增加了蒸发和对径流的调蓄。

§ 2.2 径流及其形成过程

河川径流源源不断,是由于地球上存在着自然界永不停止的水分循环,即水

文循环。径流即是水文循环中的一个十分重要的环节。河川径流，有时汹涌澎湃，泛滥成灾；有时则水量锐减，难以满足灌溉、发电、航运和人们对水资源的需要。为了尽可能准确地对径流变化过程进行预报、预测，通过水文观测和实验，认识和掌握径流形成机理是非常重要的。

2.2.1 水文循环与水量平衡

1. 水文循环

地球表面的广大水体，在太阳的辐射作用下，大量的水分被蒸发上升至空中，随气流运动向各地输送。水汽上升和输送过程中，在一定条件下凝结而以降水形式降落到陆面或洋面上，降在陆面上的雨水形成地表、地下径流，通过江河流入海洋，然后再由海洋面上蒸发。水分这种往复不断的循环过程称为自然界的水循环，即水文循环。

自然界中水的循环有蒸发、降水、下渗和径流 4 个主要环节。根据地球上水文循环的全局性和局部性，可把水文循环分为大循环和小循环。海洋上蒸发的水汽，被气流带到陆地上空，在一定气象条件下成云致雨，降落到地面，称降水。其中一部分被蒸发，另一部分形成地面径流和地下径流，最后流回海洋。这种海洋与大陆之间水分的不断交换称大循环，如图 2-5 中的 1。洋面蒸发的水汽，上升凝结后又降落在洋面上；或陆面蒸发的水汽上升凝结后又降在陆面上，这种局部的水文循环称小循环，如图 2-5 中的 2。对陆面降水来说，主要是依赖于洋面上大量蒸发源源不断送来的水汽，即大循环起主导作用。

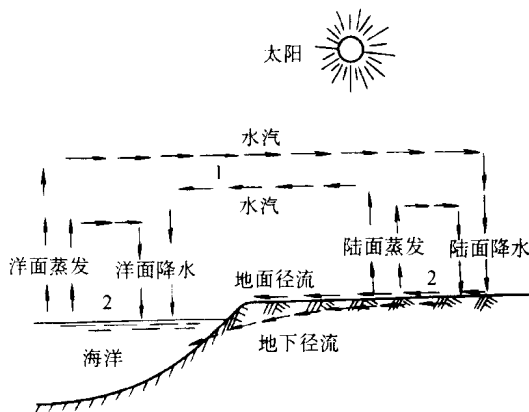


图 2-5 自然界水文循环示意图

1—大循环；2—小循环

我国水文循环的主要水汽来源是东南面的太平洋。随着东南季风，水汽向西北输送。输送途中，首先在沿海地区形成较多的降水。所以，越向西北，空气中

的水汽越少,降水量也越少。来自西南方向印度洋的水汽也是我国水汽的重要来源,对我国西南地区的降水有很大作用,但是由于高山峻岭阻隔,水汽不能深入内陆腹地。还有少量的水汽来自大西洋、北冰洋、鄂霍次克海,仅对局部地区有主要影响。

2. 地球的水量平衡

水文循环过程中,任一地区一定时段内进入的水量与输出的水量之差,必等于其蓄水的变化量,此即水量平衡原理。每年的蓄水变量有正有负,长期多年的平均值趋近于零,故

$$\bar{R} = \bar{P}_c - \bar{E}_c \quad (2-3)$$

对于海洋则为

$$\bar{R} = \bar{E}_0 - \bar{P}_0 \quad (2-4)$$

式中 $\bar{R}$ ——流入海洋的多年平均年径流量;

$\bar{P}_c$ 、 $\bar{P}_0$ ——分别为大陆上和海洋上的多年平均年降水量;

$\bar{E}_c$ 、 $\bar{E}_0$ ——分别为大陆和海洋的多年平均年蒸发量。

二式合并,得全球水量平衡方程为

$$\bar{E}_c + \bar{E}_0 = \bar{P}_c + \bar{P}_0 \quad (2-5)$$

即全球的降水量和蒸发量是相等的,如表2-1所列。由表可知,海洋平均每年将向大陆输送 119000km^3 的降水资源,除去蒸发后,将是为人们运用的径流资源,即一般所说的水资源。由于各地的水文循环情况不同,使水资源在地区分布和时程分配上有很大的差异。另外,某一地区的水资源量也不是永恒不变的,人们可以通过影响水文循环使之改变。例如大规模的灌溉、造林等使陆面蒸发增加,从而使降水增加和径流减少。

地球上多年平均水量平衡表

表 2-1

区 域	面 积 (10^6km^2)	多年平均年降水量		多年平均年蒸发量		多年平均入海年径流量	
		(km^3)	(mm)	(km^3)	(mm)	(km^3)	(mm)
陆 地	149	119000	800	72000	485	47000	315
海 洋	361	458000	1270	505000	1400	47000	130
全 球	510	577000	1130	577000	1130		

3. 流域水量平衡

对于某一流域,水文循环的各个因素也像全球那样,总是处于动态平衡之中,此即流域水量平衡。为使研究更具一般性,可先建立某一区域的通用水量平衡方程。在地面上任意划定一个区域,沿此区域的边界取出一个其底无水量交换的柱体(图2-6)来研究。设在一定时期 T 内,进入此柱体的水量有:降水量 P 、凝结量 E_1 ,地面径流流入量 R_{g1} 、地下径流流入量 R_{g1} ;流出此柱体的水量有:区域蒸

发量 E_2 、地面径流流出量 R_{s2} 、地下径流流出量 R_{g2} ；时段初、末的柱体蓄水量为 S_1 、 S_2 。根据水量平衡原理，该柱体在 T 时段内的通用水量平衡方程式如下：

$$(P + E_1 + R_{s1} + R_{g1}) - (E_2 + R_{s2} + R_{g2}) = S_2 - S_1 \quad (2-6)$$

式中各项均以水深计。

若上述柱体是一个闭合流域，则 $R_{s1} = 0$ ， $R_{g1} = 0$ 。并令 $R = R_{s2} + R_{g2}$ ，为流域出口断面的总径流深； $E = E_2 - E_1$ ，代表净的蒸散发量； $\Delta S = S_2 - S_1$ ，为该流域 T 时段内的蓄水变量，则得闭合流域时段为 T 的水量平衡方程为

$$P - E - R = \Delta S \quad (2-7)$$

对于多年平均情况，上式中蓄水变量 ΔS 的多年平均值趋于零， R 变为多年平均年径流深 $\bar{R}$ ， P 变为多年平均年降水量 $\bar{P}$ ， E 变为多年平均年蒸散发量 $\bar{E}$ ，从而得多年平均情况的闭合流域水量平衡方程为

$$\bar{P} = \bar{R} + \bar{E} \quad (2-8)$$

根据各流域的实测降水、径流资料，并运用流域水量平衡方程，可求得各流域的和区域的多年平均情况的水平衡状况，见表 2-2。

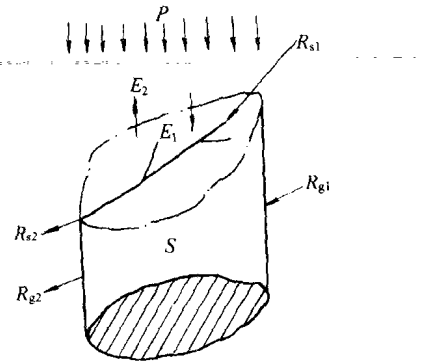


图 2-6 某一区域水量平衡示意图

我国各流域片多年平均水量平衡表

表 2-2

项 目	内陆河	外 流 河										全 国
		黑龙江	辽河	海滦河	黄河	淮河	长江	浙闽台 诸 河	珠江	西南 诸河	额尔齐 斯 河	
年降水量 $\bar{P}$ (mm)	153.9	495.5	551.0	559.8	464.4	859.6	1070.5	1758.1	1544.3	1097.7	394.5	648.4
年径流量 $\bar{R}$ (mm)	32.0	129.1	141.1	90.5	83.2	231.0	526.0	1066.3	806.9	687.5	189.6	284.1
年蒸发量 $\bar{E}$ (mm)	121.9	366.4	409.9	469.3	381.2	628.6	544.5	691.8	737.4	410.2	204.9	364.3
流域面积 (km ²)	3321713	903418	345207	318161	794712	329211	1808500	239803	580641	851406	52730	9545322

2.2.2 水文观测与水文资料收集

1. 降水

水分以各种形式从大气降落到地面，称之为降水。降水的主要形式有雨、雪、霰、雹，其他还有霜、露等。降水的形成主要是由于地面暖湿气团在各种因素的影响下迅速升入高空，上升过程中产生动力冷却，当温度降到露点以下时，气团中的水汽便凝结成水滴或冰晶，形成云层，云中的水滴、冰晶，随着水汽不断凝结而增多，同时还随着气流运动，相互碰撞合并而增大，直到他们的重量不能为上升气流浮托时，在重力作用下降落形成降水。可见，源源不断的水汽输入是降