

高等学校教材

水文水利计算

武汉水利电力学院 叶守泽 主编



高等学校教材

水文水利计算

武汉水利电力学院 叶守泽 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书论述了工程水文和水利计算的基本原理与方法。全书共分十七章,包括水循环、水文测验、水文统计、设计年径流与设计洪水、水文预报、水文模型、水质评价、水库兴利调节和防洪计算,以及水电站水能计算等内容。

本书为高等学校农田水利工程专业通用教材,也可供其他水利类专业师生和水利工程技术人員参考。

高等学校教材

水文水利计算

武汉水利电力学院 叶守泽 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 21.5印张 490千字
1992年11月第一版 1992年11月北京第一次印刷

印数0001—3500册

ISBN 7-120-01613-X/TV·590

定价5.60元

前 言

本教材为高等学校农田水利工程专业的通用教材，是根据水利部“1990~1995年高等学校水利水电类专业本科、研究生教材选题和编审出版规划”及农田水利工程专业“《水文水利计算》教材编写大纲”编写的。在编写过程中，除征求有关专业师生的意见和吸收过去教材编写经验之外，力求在保证论述学科的基本知识和基本计算方法的基础上，适当反映本学科领域的新内容。

全书共十七章，按90学时规定的字数编写，分为两个部分，一是工程水文，二是水利计算。工程水文方面以径流形成过程、水文统计方法、设计年径流及设计洪水为主要内容；同时，扼要论述了水文测验及水文资料收集、可能最大洪水、水文预报、水文模型、水质及水质评价等方面的知识。水利计算方面着重介绍径流调节计算的原理与方法、中小型水库的兴利和防洪计算及控制运用方法。

本书第一、二、三、六、八、十、十一、十二、十五、十六章由武汉水利电力学院叶守泽编写；第五、十三、十七章由河海大学许静仪编写；第七、九、十四章由武汉水利电力学院王祥三编写；第四章由武汉水利电力学院李记泽编写。叶守泽担任全书的主编及定稿工作。

本教材由河海大学叶秉如教授主审。主审人对书稿进行了认真的审查，提出了很多修正和补充意见，编者在此深表感谢。

限于编者水平，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1991年12月

目 录

前 言

第一章 绪论	I
第一节 水文水利计算的研究内容	1
第二节 水文水利计算在农田水利建设中的任务	1
第三节 水文现象的基本特性	2
第四节 现代水文学的特点	3
第二章 水循环及径流形成	4
第一节 水循环及水量平衡	4
第二节 河流和流域	6
第三节 降水	8
第四节 蒸发	13
第五节 下渗	15
第六节 径流及径流形成过程	16
第三章 水文测验及水文资料收集	21
第一节 水文测站	21
第二节 水位观测	22
第三节 流量测验	23
第四节 流量资料整编	27
第五节 泥沙测验及计算	31
第六节 水文资料收集	33
第四章 水文统计的基本方法	36
第一节 概述	36
第二节 概率的基本概念	37
第三节 随机变量的概率分布及其统计参数	38
第四节 水文频率分布线型	44
第五节 皮尔逊Ⅲ型分布参数估计方法	50
第六节 现行水文频率计算方法——配线法	55
第七节 相关分析	62
第五章 设计年径流分析计算	73
第一节 概述	73
第二节 具有长期实测资料的设计年径流量分析计算	75
第三节 具有短期实测资料的设计年径流量计算	78
第四节 缺乏实测资料的设计年径流量计算	84
第五节 设计年径流年内分配的分析计算	87

第六节	日流量历时曲线	88
第六章	由流量资料推求设计洪水	90
第一节	概述	90
第二节	设计洪峰流量及设计洪量的推求	91
第三节	设计洪水过程线的推求	97
第四节	有关设计洪水的几个新问题	100
第七章	由暴雨资料推求设计洪水	103
第一节	概述	103
第二节	暴雨特性的分析及暴雨资料的审查	103
第三节	设计面暴雨量的推求	105
第四节	设计暴雨的时、空分布	108
第五节	设计净雨的推求	110
第六节	设计洪水过程线的推求	119
第八章	小流域设计洪水计算	140
第一节	概述	140
第二节	小流域设计暴雨计算	140
第三节	计算洪峰流量的推理公式	143
第四节	计算洪峰流量的地区经验公式	150
第五节	设计洪水过程线的推求	152
第九章	可能最大暴雨和可能最大洪水的估算	157
第一节	可能最大暴雨的基本知识	157
第二节	可能最大暴雨估算方法——典型暴雨极大化法	160
第三节	可能最大暴雨等值线图集的应用	162
第四节	可能最大洪水的推求	164
第十章	水文预报	166
第一节	概述	166
第二节	短期洪水预报	166
第三节	水文预报精度评定	176
第十一章	水文模型	180
第一节	概述	180
第二节	系统理论模型	180
第三节	概念性模型	183
第十二章	水质及水质评价	190
第一节	水体污染	190
第二节	水质指标	191
第三节	水质评价	194
第十三章	中小型水库的兴利调节计算	197
第一节	水库特性曲线、特征水位及特征库容	197
第二节	中小型水库设计标准	201

第三节	水库水量损失及水库死水位选择	202
第四节	水库兴利调节计算原理及调节分类	204
第五节	年调节水库兴利调节计算	206
第六节	多年调节水库兴利调节计算的长系列法	217
第七节	多年调节水库兴利调节计算的数理统计法	223
第十四章	小型水电站的水能计算	235
第一节	水能利用的基本知识	235
第二节	水电站的设计保证率	238
第三节	电力系统的负荷及其容量组成	239
第四节	无调节、日调节水电站的水能计算	242
第五节	年调节水电站的水能计算	253
第六节	灌溉水库水电站的水能计算	260
第十五章	水库防洪计算	269
第一节	概述	269
第二节	水库调洪计算的原理和方法	271
第三节	水库防洪计算	280
第四节	入库洪水计算	285
第五节	溃坝洪水计算	291
第十六章	中小型水库汛期控制运用	296
第一节	水库汛期控制运用计划的编制	296
第二节	中小型水库抗洪能力计算	306
第十七章	中小型水库兴利控制运用	309
第一节	水库年度供水计划的编制	309
第二节	水库兴利调度图的绘制和应用	312
第三节	中小型水库简易供水计划	319
第四节	综合利用水库调度	321
附表	324
附表1	皮尔逊Ⅲ型频率曲线的高均系数 Φ_p 值表	324
附表2	皮尔逊Ⅲ型频率曲线的模比系数 K_p 值表	326
附表3	三点法用表—— S 与 C_s 关系表	328
附表4	三点法用表—— C_s 与有关 Φ 值的关系表	329
附表5	1000hPa地面到指定高度(高出地面米数)间饱和假绝热大气中的可降水量(mm)与 1000hPa露点($^{\circ}\text{C}$)函数关系表	330
附表6	瞬时单位线 S 曲线查用表	332
参考文献	338

第一章 绪 论

第一节 水文水利计算的研究内容

水文水利计算包括两方面的内容，一是水文计算，二是水利计算。

水文学是研究地球上各种水体的起源、存在、分布、循环和运动规律，探讨水体的物理和化学特性以及它们对环境作用的一门科学。水体是指以一定形态存在于自然界中的水的总体，如大气中的水汽，地面上的河流、湖泊、沼泽、海洋和地面下的地下水。各种水体都有自己的特性和变化规律，因此，水文学可按其研究对象分为水文气象学、河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、海洋水文学和地下水水文学。

水文学是地球科学的组成部分，同时，也是现代技术科学的一个领域。它有许多实际用途。运用水文学的理论和方法，为国民经济建设提供水文设计数据和水文预报，为农业、林业和国土整治规划提供水文依据，这就形成了水文学的一个分支学科——应用水文学。应用水文学的范围很广，其中用于工程建设（主要是水利工程）的称为工程水文学，主要内容为水文计算和水文预报。

水文计算是为防洪排涝、水资源开发利用和桥涵建筑等工程或非工程措施的规划、设计、施工和运用，提供水文数据的各种水文分析和计算的总称。其主要任务是，估算工程在规划设计阶段和施工运行期间可能出现的水文设计特征值及其在时间和空间上的分布。

水利计算指的是水资源系统开发和治理中对河流等水体的水文情况、国民经济各部门用水需求、径流调节方式和经济论证等进行分析计算。通过水利计算获得的成果，可为建筑物的设计和设备工作状态的选择提供数据，以便确定建筑物的规模和设备的运行规程，同时也为各种水资源工程的投资和效益、用水部门正常工作的保证强度和工程修建后的后果等作经济分析、综合论证提供定量依据。

水利计算分为灌溉工程的兴利计算、水电站的水能计算、水库防洪计算以及综合利用水库的水利计算。径流调节是指对河川径流在时间和空间上的再分配，使之适应国民经济各用水部门的需要。径流调节计算按服务对象分防洪径流调节计算和兴利调节计算，它是各类水利计算的基础工作。

第二节 水文水利计算在农田水利建设中的任务

兴建农田水利工程，其目的在于通过工程设施来调节和改变农田水分状况和地区水利条件，使之符合发展生产的需要。农田水利工程包括蓄水工程、引水工程、提水工程、防洪排涝工程等，从修建到运用，一般要经过规划设计、施工、管理3个阶段。每一阶段都需要进行水文水利计算，但是，各阶段计算的任务不相同，各有侧重点。

一、规划设计阶段

工程规划设计阶段主要是为确定工程规模提供水文数据。水文计算的任务就是要研究工程修建后，在长期使用期限内的水文情势，提出作为工程设计依据的水文特征数值（如设计年径流、设计洪水、固体径流等）。水利计算的任务则是根据设计水文数据，通过调节计算，选定工程枢纽参数（如正常蓄水位、死水位、装机容量等），并确定主要建筑物的尺寸（如坝高、溢洪道尺寸、引水道尺寸等），然后详细计算各项水利经济指标，进行经济论证。

二、施工阶段

工程施工阶段水文计算的任务是为了确定临时性水工建筑物（如施工围堰、导流隧洞和导流渠等）的规模提供施工期设计洪水。为了使施工现场不受洪水淹没，保证工作正常进行，施工期还要提供中、短期水文预报信息，为防汛抢险和截流当好参谋。

在编制施工详图阶段，水利计算的任务一般是制定枢纽运行计划，主要是编制枢纽初期运转的调度图。另外随着枢纽主体工程的逐步完成，还需研究多年调节水库的初期充蓄问题。

三、运用管理阶段

工程运用管理阶段，需要知道面临时期的来水情况，以便编制水量调度方案，合理调度，充分发挥工程效益。因此，在这一阶段水文预报工作十分重要。例如，汛前根据洪水预报信息，在洪水来临之前，预先腾出库容拦蓄洪水，使水库安全渡汛，下游也免遭洪水灾害。到汛末时，又及时拦蓄尾部洪水，以保证灌溉、发电等方面的需求。此外，在工程运用期间随着水文资料的积累，还要经常地复核和修正原设计的水文数据，改进调度方案或对工程实行必要的改造。

第三节 水文现象的基本特性

自然界水文现象的发生和发展过程，由于受气象要素和地质、地貌、植被等下垫面因素以及人类活动的影响，情况是十分复杂的。但是，人们可以从中寻求出一些规律和特性，认识这些规律和特性，有利于开展水文研究和业务工作。

1. 周期性

众所周知，河流每年都具有洪水期和枯水期的周期性交替现象，冰雪水源河流则具有以日为周期的流量变化，海洋潮汐也具有日周期变化等，产生这些现象的基本原因是地球的公转和自转造成的。

2. 随机性

影响水文现象的因素很多，有的因素如气象要素变化莫测，它们之间的组合随时不同，由于这些影响的复杂性和多样性，致使水文现象出现的时间和数量都是不确定的，表现出随机性的特点。例如，河流某断面各年出现的最大洪峰流量的大小和出现的具体时间不会完全相同，不同年份的流量过程也不会完全一致。

3. 地区性

由于气候要素和地理要素具有地区性规律，因此，受其影响的水文现象也在一定程度上具有地区性的特点。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量也呈现出同样的地区性变化。又如湿润地区河流的径流年内分配一般较为均匀，而干旱地区河流的径流年内分配就很不均匀。

从上述水文现象的基本特性可以看出，水文现象的变化规律是错综复杂的。为了寻找它们的变化规律，作出定性的和定量的描述，首要的工作是进行长期的、系统的观测工作，收集和掌握充分的水文资料。根据不同的研究对象和资料条件，采取各种有效的分析和计算方法。在水文计算中经常采用的方法有成因分析法、数理统计法以及地区综合法等，这些方法是相辅相成，互为补充的。当今水文模型的应用，包括物理模型和数学模型，特别是水文数学模型引起了人们的重视，丰富了现有的水文计算方法。

第四节 现代水文学的特点

水文科学是地球科学的组成部分，也是现代技术科学的一个领域。水文科学是研究地球上水体的起源、存在、分布、循环、运动变化规律的科学。从1856年达西定律或1851年推理公式的提出算起，水文科学体系的形成和发展已将近140多年。今天的水文科学已发展成为一系列分支学科组成的涉及整个水资源并与多个边缘科学相互渗透的一门学科。尽管当今国际上对水文科学的现状和发展存在着不同的认识和论点，但是，由于人类改造自然的能力迅速增强，人与水的关系已经由古代的趋利避害发展到了现代较高水平的兴利除害的新阶段。这个阶段赋予水文科学以新的动力和新的特色。

现代化工业和农业的发展，加速了对水资源的需求，同时造成水源污染，加剧了水资源的供需矛盾。水文科学的研究领域，不能停留在原有的水平，不仅要提供水文资料并为工程建设提供水文数据作为主要任务，而且还要实时地为水资源评价、水资源管理以及充分利用和保护水资源提供水文信息和依据。

大规模的人类活动对自然环境产生了多方面的影响，水质污染问题已成为生产建设和社会发展的一个重要制约因素。研究和评价人类活动的水文效应，揭示人类活动影响下水文现象的变化规律，评价和预估水体质量，已成为水文科学面临的新课题。

现代科学技术的发展使获取水文信息的手段和水文分析方法有了长足的进步。例如，利用空间遥感技术探测水文要素；应用核技术获取微观水文信息。另外，水文模拟方法、水文随机分析方法、水文系统分析方法使人们研究水文现象的能力发展到了新的水平。

随着科学技术的进步，水文科学研究内容不断发展更新，既有微观的水文学问题，也有宏观的水文学问题。同时，水文科学和其他边缘学科正在不断地相互渗透，相互影响，学科间的空隙逐渐得到填补，水文科学许多新分类的不断涌现，例如水资源水文学、业务水文学、比较水文学、古水文学、随机水文学、环境水文学等，为水文科学的研究增添了许多新的色彩。

第二章 水循环及径流形成

第一节 水循环及水量平衡

一、水循环

存在于地球上各种水体中的水，在太阳辐射与地心引力的作用下，以蒸发、降水、入渗和径流等方式进行的往复交替的运动过程，称为水循环或水分循环。

实际上，水循环过程中的蒸发、降水、入渗及径流等环节，往往交错并存，情况比较

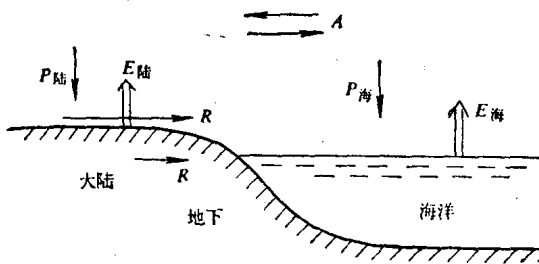


图 2-1 地球上的水循环示意图

复杂。水循环不仅有发生于海陆之间的交换过程，而且在地球上局部地区也可发生独立的循环交换过程。前者称为大循环，后者称为小循环。所以说，地球上的水循环是由一系列大小循环组合成的一个复杂的动态系统。如图 2-1 所示，用 P 表示一个时期的降水量； E 表示同一时期的蒸发量； R 表示同一时期从陆地流入海洋的

径流量； A 表示海洋与陆地之间的水汽输送量。该图反映了大小水循环的模式。

二、地球的水量平衡

地球上任一区域在一定时段内，进入的水量与输出的水量之差等于该区域内的蓄水变量，这一关系叫做水量平衡。它是质量守恒定律在水文循环中的特定表现形式。进行水量平衡的研究，有助于了解水循环各要素的数量关系，估计地区水资源数量，以及分析水循环各要素之间的相互关系。

若以地球陆地作为研究范围，其水量平衡方程为

$$E_{\text{陆}} = P_{\text{陆}} - R + \Delta U_{\text{陆}} \quad (2-1)$$

式中 $E_{\text{陆}}$ ——陆地蒸发量；

$P_{\text{陆}}$ ——陆地降水量；

R ——入海径流量；

$\Delta U_{\text{陆}}$ ——陆地在研究时段内蓄水量的变量。

在短时期内，时段蓄水量的变量 $\Delta U_{\text{陆}}$ 可正可负，但在多年情况下，当观测资料年数趋近无穷大时，正负值可以相互抵消，蓄水量总的变化接近于零。因此，在多年平均情况下的水量平衡方程式为

$$\bar{E}_{\text{陆}} = \bar{P}_{\text{陆}} - \bar{R} \quad (2-2)$$

式中 $\bar{E}_{\text{陆}}$ ——陆地的多年平均年蒸发量；

$\bar{P}_{\text{陆}}$ ——陆地的多年平均年降水量；

\bar{R} ——多年平均年入海径流量。

对于海洋而言，多年平均年蒸发量 $\bar{E}_{海}$ 应等于多年平均年降水量 $\bar{P}_{海}$ 与多年平均年入海径流量 \bar{R} 之和，即

$$\bar{E}_{海} = \bar{P}_{海} + \bar{R} \quad (2-3)$$

将上二式合并，即得全球水量平衡方程

$$\bar{E}_{陆} + \bar{E}_{海} = \bar{P}_{陆} + \bar{P}_{海} \quad (2-4)$$

或

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

即全球多年平均年蒸发量(\bar{E})等于全球多年平均年降水量(\bar{P})。表 2-1 列出了全球水量平衡各要素的数量。

表 2-1 全球水量平衡表

地表部位	面积 (10^6 km^2)	多年平均年降水量		多年平均年蒸发量		多年平均年入海径流量	
		mm	km ³	mm	km ³	mm	km ³
陆地	149	800	119000	485	72000	315	47000
海洋	361	1270	458000	1400	505000	130	47000
全球	510	1130	577000	1130	577000		

注 表中数据引自《地球的世界水平衡和水资源》，1974年俄文版。

三、流域水量平衡

根据水量平衡原理，对于非闭合流域，即流域的地下分水线与地面分水线不相重合，可列出如下水量平衡方程式

$$P + E_1 + R_{表} + R_{地} + S_1 = E_2 + R'_{表} + R'_{地} + S_2 \quad (2-6)$$

式中 P —— 降水量时段内区域的降水量；
 E_1 、 E_2 —— 时段内的水汽凝结量和蒸发量；
 $R_{表}$ 、 $R_{地}$ —— 时段内地面径流和地下径流流入量；
 $R'_{表}$ 、 $R'_{地}$ —— 时段内地面径流和地下径流流出量；
 S_1 、 S_2 —— 时段初和时段末的蓄水量。

令 $E = E_2 - E_1$ 代表净蒸发量，则上式成为

$$P + R_{表} + R_{地} + S_1 = E + R'_{表} + R'_{地} + S_2 \quad (2-7)$$

上式即为非闭合流域的水量平衡方程。对于一个闭合流域，即流域的地下水分水线和地面分水线重合，显然， $R_{表} = 0$ ， $R_{地} = 0$ 。若令 $R = R'_{表} + R'_{地}$ ， $\Delta S = S_2 - S_1$ ，则闭合流域水量平衡方程为

$$R = P - E - \Delta S \quad (2-8)$$

对多年平均情况而言，上式中蓄水变量项 ΔS 的多年平均值趋近于零，故上式可简化为

$$\bar{P} = \bar{R} + \bar{E} \quad (2-9)$$

式中 \bar{P} 、 \bar{R} 、 \bar{E} —— 流域多年平均年降水量、径流量和蒸发量。

第二节 河流和流域

河流是一种天然水体，它是在一定地质和气候条件下形成的河槽与在其中流动的水流的总称。由地壳运动形成的线形槽状凹地为河流提供了行水的场所，大气降水则为河流提供了水源。河流是地球上水循环的重要路径。一条河流接受补给的区域，称为该河流的流域。河流补给包括地面水补给和地下水补给，一般把地面水的集水面积作为流域面积。

一、河流

1. 水系、干流和支流

干流、支流和流域内的湖泊、沼泽彼此连接组成一个庞大的系统，称为水系。水系的名称通常以它的干流或注入的湖泊、海洋命名，如长江水系、太湖水系等。

干流和支流是一个相对的概念。在一个水系里面，一般以长度或水量最大的河流作为干流，注入干流的河流为一级支流，注入一级支流的为二级支流，依此类推。但干流划分有时根据过去习惯而定，如岷江和大渡河，后者长度和水量都大于前者，但却把大渡河称为岷江的支流。

2. 河流分段

河流一般分为河源、上游、中游、下游及河口五段。河源是河流发源处，可以是溪涧、泉水、湖泊或沼泽等。上游直接连接河源，一般落差大，水流急，下切和侵蚀作用强，多急流险滩和瀑布；中游段比降变缓，下切力减弱，旁蚀力加强，河道有弯曲，两岸有滩地，河床较稳定；下游段比降平缓，流速较小，常有浅滩、沙洲，淤积作用较显著。河口是河流的终点，即河流注入海洋、湖泊或其它河流的地方。有些河流最终消失在沙漠之中，无明显河口，这种河流称为瞎尾河。

3. 水系形态

根据干、支流的分布和组合情况，水系可分为扇形、羽毛形、平行状和混合形等形态。水系形态对河流水情有重要影响。扇形水系，汇流时间短，洪水集中，容易形成洪灾。羽毛形水系，各支流洪水交错汇入干流，近水先去，远水后来，洪水比较缓和。

4. 河流长度

自河源沿河道至河口的长度称为河流长度，可在十万分之一或更大比尺的地形图上用曲线仪或小分规量出。

5. 河网密度

河网密度是指流域内干支流的总长度 ΣL 和流域面积 F 之比值，以 D 表示，即

$$D = \frac{\Sigma L}{F} \quad (\text{km/km}^2) \quad (2-10)$$

6. 河流的弯曲系数

河流的弯曲系数 φ 等于河流实际长度 L 与河流两端间的直线 l 之比值，即

$$\varphi = \frac{L}{l} \quad (2-11)$$

河流弯曲系数表示河流平面形状的弯曲程度，一般平原区河流弯曲系数比山区的大，下游的比上游的大。

二、流域

1. 流域面积

分水线所包围的面积称为流域面积或集水面积，以 F 表示。它是流域的主要几何特征，是衡量河流大小的重要指标。测定流域面积，通常在适当比例尺的地形图上画出流域分水线，用求积仪量出它所包围的面积，或者用面积公式法或数方格法算出所包围的面积。

2. 流域长度

流域的几何中心轴长称为流域长度，以 L_A 表示。以河口为圆心，画出不同半径的若干圆弧与分水线相交于两点，连两点得割线，取这些割线中点的连线长度即为流域长度。

3. 流域形状系数

流域形状系数是流域平均宽度 B 和流域长度 L_A 之比，以 K 表示。它反映流域形状的特性，如扇形流域 K 值大，狭长形流域 K 值小。流域平均宽度 B 可用下式计算：

$$B = \frac{F}{L_A} \quad (2-12)$$

K 值按下式计算：

$$K = \frac{B}{L_A} = \frac{F}{L_A^2} \quad (2-13)$$

4. 流域自然地理特征

流域的地理位置、地形、气候、土壤、地质、植被以及湖沼等，都是与流域水文情势有密切关系的自然地理特征。因此，在研究流域的水文问题时，需要对流域的自然地理特征有一定的了解。

流域的地理位置是用流域所处的经纬度范围来表示的。它反映了流域的气候与地理环境的特性，也是水文区域性变化的一个标志。

流域的气候条件包括降水、蒸发、温度、湿度和风等。径流情势的变化主要决定于降水，而降水又与其它气象因素有着密切关系。

土壤、岩石性质和地质构造影响入渗及地下水的补给，因而也影响到了径流的变化。

植被增加能减缓地面径流，增加入渗和地下径流。森林覆盖率加大可使年雨量有所增加，同时也增加了流域蒸发量。流域上植被覆盖程度以植被面积 $f_{植}$ 占流域面积 F 之比值来表示，叫做植被率。

湖泊、沼泽率是湖泊、沼泽面积占流域面积的百分数，它反映了湖泊、沼泽在流域内所占比重的大小。湖泊、沼泽对洪水有调蓄作用，湖泊、沼泽率大的流域，河流的洪峰较低，径流在年内分配较均匀。

流域地形特征对流域内降水和径流的变化有很大影响。除用地形图表示地形的特征之外，还可用流域的平均高程和平均坡度来表征。

第三节 降 水

从云雾中降落到地面的液态水或固态水，如雨、雪、雹、霰等称为降水。此外，由于大气中的水汽在地面或地物上直接凝结的结果，也会形成液态水或固态水，如露、霜等。但是大量的降水还是雨和雪。降水是气象要素之一，也是自然界水循环过程中最为活跃的因素，降水量时空分布的变化规律，直接影响河川径流情势，所以在水文水利计算中必须研究降水，特别是降雨。

一、降水的成因及分类

地面湿热气团因各种原因而上升，体积膨胀做功，消耗内能而冷却。当温度降低到露点以下时，气团中的水汽便开始凝结为水滴或冰晶，形成了云。云中的水滴或冰晶，继续吸附水汽凝结于其表面，或由于互相碰撞而结合成大水滴或冰粒，当其重量达到不再能被上升气流所顶托的时候，则下降为降水。

降水的特性主要决定于上升气流、水汽供应和云的微物理特性，其中尤以上升气流最为重要。按照上升气流的特性，降水可分成对流性的、地形性的和系统性的3种。

(一) 对流性降水

由于地表局部受热，气温向上递减率过大，使大气层结不稳定，因而水汽发生垂直上升运动，形成动力冷却而降雨，称为对流雨。对流雨雨面不广，历时较短，但上升速度很大，降雨强度的变化也很大。

(二) 地形性降水

湿空气在运移途中，受山脉等地形抬升，因动力冷却而形成降雨，称为地形雨。过山脉后，气流沿山坡下降而增温，故迎风面雨多，背风面雨少，甚至出现干旱少雨区域，称雨影区。

(三) 系统性降水

锋面、气旋、切变线等天气系统，在天气低层的辐合流场，引起大范围的上升运动，产生连续性降水，称为系统性降水。这些系统的范围很大，持续时间很长，但降水强度变化不大。锋面雨、气旋雨都属于系统性降水。

1. 锋面雨

在较大范围内存在着水平方向的物理性质，如温度、湿度等比较均匀的大团空气，称为气团。两个温湿特性不同的气团相遇时，其接触处有一较大温差的狭窄过渡区，叫做“锋”。锋在水平方向伸展范围与气团尺度相当，长的可达几千 km，短的几百 km。锋区（过渡区）宽度不大，近地面层只有几十 km，高空可达 200~400 km。锋区有上下两个界面，称为锋面，上界处于暖气团与锋区之间，下界处于冷气团与锋区之间，如图 2-2 所示。

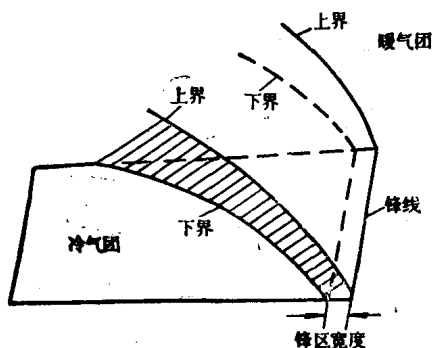


图 2-2 锋的示意图

冷暖气团相遇时，冷气团沿锋面楔进暖气团，迫使暖气团上升，发生动力冷却而成雨，称为冷锋雨[见图2-3(a)]。冷锋雨强度大，历时较短，雨区范围较小。若暖气团行进速度快，暖气团将沿界面爬升到冷气团之上，冷却致雨，称为暖锋雨[见图2-3(b)]。暖锋雨强度小，历时长，雨区范围大。冷暖气团势均力敌，在某一地区摆动或停滞的锋称为准静止锋。准静止锋大多是冷锋前进移动减慢而成，坡度很小，近似缓行冷锋天气，阴雨天气比较持久。

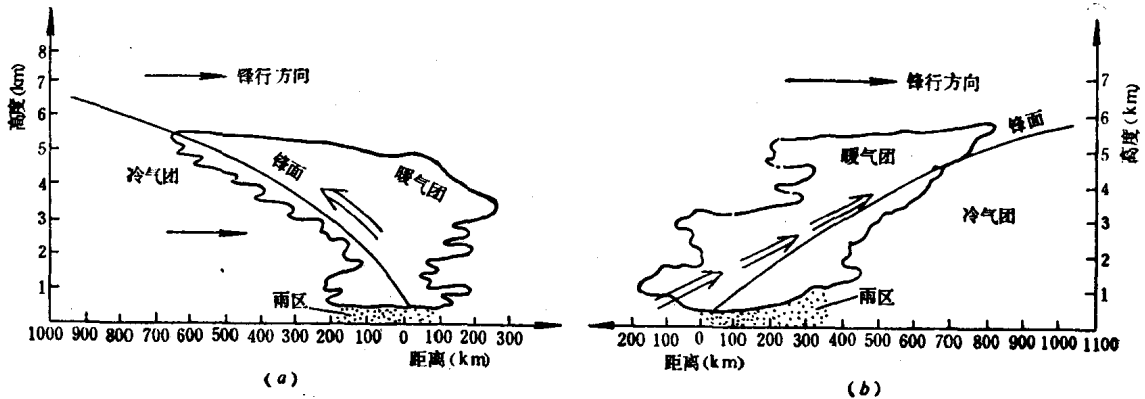


图 2-3 锋面雨示意图
(a)冷锋雨；(b)暖锋雨

2. 气旋雨

气旋是一个低压区，在此低压区内，空气从外围流向中心，中心的气压最低，形成涡旋运动。在北半球，涡旋运动为逆时针方向。当一地区气旋过境，由于气流向低压中心辐合而引起大规模的上升运动，使空气冷却致雨，称为气旋雨。

气旋的发生、发展，与锋区的位置以及高空中的低压系统活动有关。由锋面波动发展而成的气旋模式如图 2-4 所示。气旋前方是宽阔的暖锋云系及相伴随的连续性降水天气，气旋后方是比较狭窄的冷锋云系和降水天气，气旋中都是暖气团天气，有层云或毛毛雨。

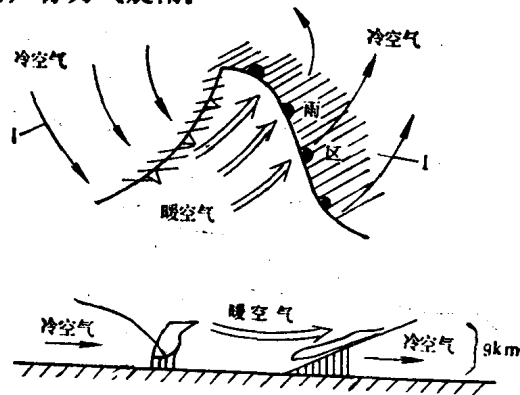


图 2-4 气旋模式

在低纬度的海洋上形成的强烈暖心气旋性涡旋，称为热带气旋。我国气象部门把中心附近地面最大风速达到 8~11 级的热带气旋称为台风，12 级以上的称为强台风。台风雨在海上形成，水汽供应充足，上升运动比较强烈，带来狂风暴雨，对沿海地区影响很大。我国对出现在 150°E 以西的太平洋和南海台风，按每年出现的先后顺序编号，向全国发布预报。

二、降水观测

我国大部分地区的降水以降雨为主，北方地区冬季以降雪为主。本节主要讲述降雨

观测。

(一) 观测

降水量以降落在地面上的水层深度表示，以 mm 为单位。观测降水量的仪器有雨量器和自记雨量计。

雨量器上部的漏斗口，内径是 20cm，下部放储水瓶收集雨水（见图 2-5）。器口一般距地面 70cm。观测时用空的储水瓶将雨量器中的储水瓶换出，用特制的量杯测定储水瓶中的雨水。

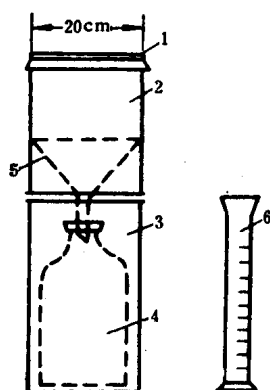


图 2-5 雨量器示意图

1—器口；2—承雨器；3—雨量筒；
4—储水瓶；5—漏斗；6—量雨杯

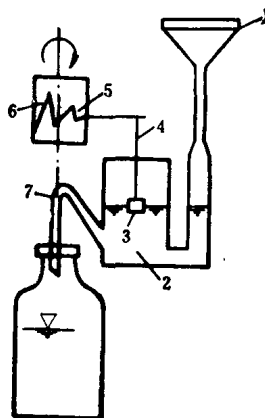


图 2-6 自记雨量计构造示意图

1—承雨器；2—浮子室；3—浮子；4—连杆；5—
自记笔；6—自记钟；7—虹吸管

用雨量器观测降雨，一般采用定时分段方法。日雨量以每日上午 8 时作为分界。观测站通常在每日 8 时与 20 时观测两次，雨季增加观测段次，雨大时还要加测。

自记雨量计能自动连续地把降雨过程记录下来，其构造如图 2-6 所示。雨水从承雨器进入浮子室，浮子即随水面上升并带动连杆，使自记笔在附于自记钟的记录纸上把雨量刻画出来。当浮子室的水面上升至虹吸管顶部时，浮子室内雨水在虹吸管的作用下排至储水瓶，此时，自记笔从记录纸上沿下落至原点。以后随着降雨的增加，浮子室继续充水，自记笔又重新向上移动。

(二) 降水特性的描述

降水特性主要包括降雨量、降雨历时和降雨强度。降雨量是指一定时段内降落在某一点或某一面积上的深度，以 mm 为单位。降雨历时是指一次降雨所经历的时间，以分钟 (min)、小时 (h)、日 (d) 等单位。降雨强度表示单位时间内的降雨量，以 mm/min 或 mm/h 计。雨强大小反映了一次降雨的强弱程度，故常用雨强进行降雨分级，常用分级标准如表 2-2 所示。

降雨在时程上的分配，可用降雨强度过程线表示。降雨强度可以是瞬时的或时段平均的，如图 2-7 所示。瞬时降雨强度过程线是根据自记雨量计的观测记录整理绘制的，过程线下所包围的面积就是这次降雨的总雨量。时段平均降雨强度过程线则是根据雨量器按规定时段进行观测的雨量记录绘制的，过程线下各时段内的矩形面积表示该时段内的降