

工程水文学

林 益 冬
孙 保 沫
林 丽 蓉
编

河海大学出版社

工程水文学

林益冬
孙保沫 编
林丽蓉

河海大学出版社

(苏)新登字第 013 号

内 容 提 要

本书阐述了工程水文的基本内容和方法。全书共十章,包括径流形成过程及计算、水文测验、水文统计基础、设计年径流计算、设计暴雨和设计洪水计算、水文预报等内容,并附有水文模型简介和两个完整的水文计算实例。

本书是水利工程类专业的通用教材。可作为农田水利、水力发电、治河工程等专业的大学本科、专科,全日制及成人(函授)教育工程水文学课程的教材,也可供水文水资源及水利工程专业的研究生和工程技术人员参考。

责任编辑 龚 俊
特约编辑 顾忠芳

水 文 学

林益冬 孙保沐 林丽蓉 编

出版发行 河海大学出版社
(南京西康路 1 号, 邮政编码 210098)
印刷 河海大学印刷厂

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 17.25 字数 431 千字

1993 年 12 月第 1 版 1993 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1950 册

ISBN 7—5630—0438—6

TV.62

定价: 11.00 元

前 言

《工程水文学》是高等学校水利工程类专业的通用教材。本教材是依据 1989 年 6 月审定的“水文水利计算”教学大纲，结合编者多年教学实践经验编写的。

全书共十章。主要内容为径流形成过程及计算、水文统计基础、设计年径流计算、设计暴雨和设计洪水计算；同时扼要地讲述了水文测验及水文资料的收集、可能最大暴雨、水文预报等方面的知识；并附有水文模型简介和两个完整的水文计算实例。为便于教学，本教材力求深入浅出，每章都列有学习指导和小结，说明该章的脉络体系，学习的重点和难点，以及学习过程中应注意的地方；此外，还附有思考题与习题，启发自学者的思维，提高分析问题和解决问题的能力，以便自我检查学习效果。

本书由林益冬、孙保沐、林丽蓉合编。第一、六、七、八章和第四章的第二节由河海大学林益冬编写；第二、三、四（第二节除外）、五章由华北水利水电学院孙保沐编写；第九、十章和附录 I 由河海大学林丽蓉编写；附录 I 是采用《工程水文学》教材（1987 年版）中叶守泽、丁晶合编的附录部分。全书由林益冬统稿。

本书由河海大学朱元牲、蔡文祥审稿，他们对书稿进行了认真细致的审查，并提出了许多修改和补充意见，对提高教材质量有很大帮助。本书编写出版过程中曾得到河海大学和华北水利水电学院两校函授部、河海大学出版社和水资源水文系等单位的大力支持。胡治平、张明等同志的精心排版，保证了本书的出版质量。教材中引用了有关院校和生产科研单位编写的教材、资料、技术文献等，编者在此一并致谢。

限于编者水平，书中错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1993 年 10 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 工程水文学的研究内容及其在水利建设中的任务	(1)
第二节 水文现象的基本特性与水文学的研究途径	(2)
第三节 水文学的发展历史和现代水文学的特点	(3)
第四节 工程水文学的学习总导	(3)
第二章 河川径流形成的基本知识	(5)
第一节 水循环及水量平衡	(5)
第二节 河流和流域	(6)
第三节 降水	(8)
第四节 蒸发	(11)
第五节 下渗	(12)
第六节 径流	(13)
第七节 流域水量平衡方程	(16)
第三章 水文测验及水文资料收集	(19)
第一节 概述	(19)
第二节 水位观测与计算	(19)
第三节 流量观测与计算	(20)
第四节 流量资料整编	(23)
第五节 河流泥沙的测算	(30)
第六节 水文调查	(31)
第七节 水文资料的收集	(33)
第四章 水文统计的基本知识及方法	(35)
第一节 概述	(35)
第二节 概率的基本概念	(35)
第三节 随机变量及其概率分布	(37)
第四节 统计参数估算	(44)
第五节 现行水文频率计算方法——适线法	(47)
第六节 相关分析	(51)
第五章 年径流及年输沙量的分析计算	(61)
第一节 概述	(61)
第二节 影响年径流量及年内分配的因素	(63)
第三节 具有实测径流资料时设计年径流量及年内分配的分析计算	(64)
第四节 缺乏实测径流资料时设计年径流量及年内分配的分析计算	(70)
第五节 多年平均年输沙量的估算	(72)

第六章 由流量资料推求设计洪水	(80)
第一节 概述	(80)
第二节 设计洪峰流量及设计洪量的推求	(84)
第三节 设计洪水过程线的推求	(100)
第四节 设计洪水中的其它问题	(104)
第七章 流域产流、汇流的分析与计算	(109)
第一节 概述	(109)
第二节 产流的分析与计算	(111)
第三节 流域汇流的分析与计算	(121)
第八章 由暴雨资料推求设计洪水	(145)
第一节 概述	(145)
第二节 设计暴雨计算	(146)
第三节 由设计暴雨推求设计洪水	(161)
第四节 可能最大暴雨和可能最大洪水估算	(164)
第九章 小流域设计洪水计算	(174)
第一节 概述	(174)
第二节 小流域设计暴雨计算	(175)
第三节 推理公式法推求设计洪峰流量	(180)
第四节 地区经验公式法、洪水调查法推求小流域设计洪峰流量	(191)
第五节 设计洪水过程线的推求	(194)
第十章 水文预报	(200)
第一节 概述	(200)
第二节 短期洪水预报	(202)
第三节 枯水预报	(213)
附录 I 水文模型	(219)
第一节 概述	(219)
第二节 确定性模型	(219)
第三节 随机性模型	(222)
附录 II 水文计算实例	(228)
实例一 平垸水库水文计算	(228)
实例二 小流域设计洪水计算	(240)
附表	(250)
附表 1 经验频率 $P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ 值表	(250)
附表 2 皮尔逊 III 型曲线的离均系数 Φ 值表	(251)
附表 3 皮尔逊 III 型曲线的模比系数 K_p 值表	(253)
附表 4 概率格纸的横坐标分格表	(257)
附表 5 不同信度水平下简相关系数最低值 r_0 表	(258)
附表 6 信度水平 $\alpha = 0.01$ 时复相关系数显著值 r_0 表	(258)

附表 7	瞬时单位线 S 曲线查用表	(259)
附表 8	1000hPa 地面到指定高度(高出地面数)间饱和假绝热大气中的可降水量 与 1000hPa 露点($^{\circ}\text{C}$)函数关系表	(265)
参考文献	(267)

第一章 绪 论

第一节 工程水文学的研究内容及其在水利建设中的任务

一、工程水文学的研究内容

水文学是研究地球上,包括大气层、地表和地下在内的所有各种水体的存在、分布、循环和运动规律的一门科学。探讨水体的物理和化学特性、时空变化以及它们与环境的相互作用是其主要内容。水文学根据其研究对象的不同,可分为水文气象学、陆地水文学和海洋水文学。而陆地水文学发展得最早、最快,目前已形成一门自成体系的自然科学。一般所谓水文学主要是指陆地水文学,它主要研究河流的自然地理特征、河流的水源补给情况、径流形成和变化规律、河流水温和冰情、河流泥沙运动和河床演变、水质以及河流与环境的关系等。

水文学属于自然科学,是地球物理学的一个分支,同时也是工程技术科学的一个组成部分。它有许多实际用途。其中直接为国民经济建设提供水文数据和水文预报,为农业、林业和国土整治规划提供水文依据等部分内容又构成了水文学的一个分支学科——工程水文学。其主要内容为水文测验、水文计算和水文预报。

水文测验是系统地收集和整理水文资料的统称,包括各种水文要素的观测、资料的整编以及通过野外勘测、试验和查考等方式收集水文要素的原理和方法。

水文计算是为水资源开发利用、防洪排涝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分布。

水文预报是根据前期或现时水文、气象资料,主要用水文学、气象学和水力学的原理和方法,对河流等水体在未来一定时段内(一般是几小时或几天)的水文状况作出定量或定性的预测,为防汛、抗旱提供决策依据。

二、工程水文学在水利建设中的任务

河流的天然来水能够满足当地工农业用水和生活需水,则天然来水可以为人类社会所利用,成为自然资源;然而来水过多或过少,又会成为威胁人类生存和社会发展的水、旱灾害。兴建水利工程的目标是“兴利除害”,是解决上述矛盾的主要的技术措施。因此每一项水利建设都必然与水体有密切关系,必须了解水体的存在、分布、循环和运动规律。水利建设在实施过程中可以划分为规划设计、施工及管理运用三个阶段,每一阶段都需要掌握未来水文情势的变化。不过由于各阶段的任务不同,因而要求对水文情势的研究有着不同的内容和特点。

水利工程的规划设计阶段主要是确定工程规模。工程规模主要取决于河流的来水量或洪水。如果对河流水量估计过大,就会使工程设计规模太大,造成资金浪费、反之对来水量估计过小,则工程设计容量不够以致不能充分利用水资源。特别是当河流洪水量的估计偏低,使泄洪能力设计不足,将关系到工程本身安全和下游人民生命财产的安全。在多沙河流上兴建水利工程时,还需估算蓄水,引水工程的泥沙淤积量,以便考虑延长工程寿命的措施。在工程规划设计

阶段工程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值,如设计年径流、设计洪水和输沙量等。

施工阶段的任务是将规划设计好的建筑物建成。为此需要修建临时性的施工建筑物(围堰导流建筑物等)。在该阶段,工程水文计算的任务是为确定临时性水工建筑物的规模提供施工期设计洪水,此外,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。

管理运用阶段的主要任务在于充分发挥已建成的水利工程的作用。为此就需要知道未来一定时期内的来水情况,以便确定最合理的调度运用方案。这一阶段工程水文计算的任务是根据水文分析计算获得未来长期内可能出现的平均情势,再考虑到水文预报所提供的较短期内的实时预报,从而拟定出最佳的调度运用方案。

总之,在水体上修建水利工程,必须掌握水体长期水文情势和近期的确切水情。工程水文学就是专门研究这些问题的学科。

第二节 水文现象的基本特性与水文学的研究途径

一、水文现象的基本特性

地球上的水在太阳辐射和重力作用下,以蒸发、降水和径流等方式周而复始地循环着。水在循环过程中的存在和运动的各种形态,统称水文现象。水文现象在时间和空间上的变化过程,具有下列一些特点:

(一)水文过程的确定性规律

从流域尺度考察一次洪水过程,可以发现暴雨强度、历时及笼罩面积与所产生的洪水之间的因果联系。从大陆或全球尺度考察,各地每年都出现水量丰沛的汛期和水量较少的枯季,表现出水量的季节变化。而且各地的降水与年径流量都随纬度和离海距离的增大而呈现出地带性变化的规律。上述这些水文过程都可以反映客观存在的一些确定性的水文规律。

(二)水文过程的随机性规律

自然界中的水文现象受众多因素综合影响,而这些因素本身在时间上和空间上也是处于不断变化的过程,并且相互影响着,致使水文现象的变化过程,特别是长时期的水文过程,表现出明显的不确定性,即随机性。如年内汛、枯期起迄时间每年不同,河流各断面每年汛期出现的最大洪峰流量,枯季的最小流量或全年来水量的大小,各年都是变化不定的。

二、水文学的研究途径

根据上述水文过程的规律,按不同的条件和要求,水文学的研究途径通常可分为三类。

(一)成因分析法

以水文过程确定性规律为基础,通过观测资料、实验资料的分析 and 检验,建立水文现象与其影响因素之间的定量关系。这样就可以根据影响因素的状况,预测未来的水文过程,能得出确定性的实时预报。

(二)地理综合法

根据气候要素及其它地理要素的地区分布规律,分析受其影响的某些水文特征值的地区分布规律,一般用等值线图或地区经验公式表示,可以作为宏观决策的依据,也可以用来分析观测资料短缺地区的水文特征值。

(三)数理统计法

根据水文过程的随机性特点,以概率论为基础,运用数理统计方法,以概率形式预估当地在长时期内可能出现的水文情况,从而得出工程规划设计所需要的水文设计数据。

上述三种不同研究途径,在实际工作中是相辅相成,互为补充的。

第三节 水文学的发展历史和现代水文学的特点

为了战胜洪水灾害,人类很早就注意对水文现象的观测和研究,不断积累水文知识,早在四千多年前,大禹治水时就根据“水流就下”的规律疏导洪水。但是,水文发展成为一个学科是在上世纪的欧洲,表现在近代水文仪器的发明,使水文观测进入了科学的定量观测,并逐渐形成近代水文学理论。进入 20 世纪,特别是第一次世界大战以后,大量兴起的防洪、灌溉、水力发电、交通工程和农业、林业乃至城市建设,提出了越来越多的新课题。研究方法逐渐理论化和系统化。

50 年代以来,人与水的关系已由古代的趋利避害和近代较低水平的兴利除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下列新的特色。

(1)现代化工业和农业的发展增加了对水资源的需求,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正在向水资源最优开发利用的方向发展,以期为客观评价,合理开发、利用和保护水资源提供水文信息和依据。

(2)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。例如遥感技术和电子计算机的应用,从水文观测到基本规律的研究,已发展成以电子计算机为核心的自动化。另外,水文模拟方法、水文系统分析方法,使人们研究水文现象的能力提高到了新的水平。

(3)随着科学技术的进步,以及大规模的人类活动对自然界水体,进而对自然环境产生多方面的影响,促使了水文学向新的研究领域发展,如在随机数学理论基础上,逐步形成随机水文学,又如水文科学和环境科学的交叉学科——环境水文学,城市水文学等正在孕育形成。

第四节 工程水文学的学习总导

一、本课程的性质与任务

工程水文学是水利工程专业(或其它水利类专业)的一门专业性的技术基础课。它的主要任务是,研究径流(天然来水)的变化规律,预估未来水文情势(年、月经流、洪水情况)为水利工程的规划设计、施工和管理运用提供水文依据。

二、本课程的特点和内容分类

本课程有以下特点:

(1)内容涉及面广 上至天气、气象,下至地理地质,陆地水文专业的测、报、算等主要内容几乎都包容在内。

(2)尚未形成严密的理论体系 因为是专业技术基础,内容是针对工程实际需要形成的一些方法,各章节之间缺少象数学、力学等学科那样严密的理论体系。

(3)研究方法不同 工程水文学一般从水文资料分析计算着手来寻求水文现象的自然规

律。它除了用我们已习惯的数学物理方程外,还要用到统计数学来解决问题。

鉴于上述特点,为便于同学自学,建议将本课程的内容分成三组:

(1)工程水文的基础知识,包括:①水文现象的动态规律:第二章,第六章;②水文现象的统计规律:第四章;③水文资料的获取与收集:第三章。

(2)水文分析与计算,包括:①兴利水文计算:第五章;②防洪水文计算:第七章,第八章,第九章。

(3)水文预报:第十章。

三、学习本课程的基本要求

(1)熟悉河川径流的基本知识;了解水文资料收集整理的途径和方法;掌握水文统计和径流形成计算(产流和汇流计算)的基本原理和方法。

(2)熟练掌握水文分析与计算的基本方法,并能处理不同资料条件下水文计算的有关问题。

(3)对水文预报,可作一般了解。

习题与思考题

1-1 何为工程水文学? 水利工程专业为什么要学习工程水文学?

1-2 工程水文学的基本任务是什么? 有哪些主要内容?

1-3 自然界的水文现象有哪些特性? 如何根据其特性研究水文问题?

第二章 河川径流形成的基本知识

学 习 指 导

本章主要介绍水文学常用的一些基本概念,是学习本课程的入门知识。通过本章学习应该了解水循环的概念和径流形成过程及水量平衡原理,熟悉降水、蒸发、下渗、径流等重要概念,掌握流域平均雨深的计算方法及径流的几种表示方法。

第一节 水循环及水量平衡

一、自然界的水循环

地球上的液态和固态水通过蒸发而变为水汽,气态水被上升气流带离地面并在空中飘移,在适当条件下又凝结成固态或液态降落到地面,并在重力作用下由高向低流动。水的形态和位置不断的变化过程称为水循环。形成水循环的外因是太阳辐射和重力,内因是水的物理性质——三态转化。

水循环可分为大循环和小循环。从海洋表面蒸发的水汽,被气流输送到大陆上空,冷凝成降水后落到陆面,除其中一部分重新蒸发又回到空中外,大部分则从地面和地下汇入河流重返大海,这种海陆间水的循环称为大循环。海洋表面蒸发的水分,其中一部分在海洋上空冷凝,直接降落到海洋上,陆地上的部分水蒸发成水汽,冷凝后又降落到地面,这种局部的水循环称为小循环。

在水循环中,天空、地面、地下的水分通过降水、蒸发、下渗,以径流形式运动和变化。在地区上,海洋和陆地之间永不停息地进行水分交换;海洋从空中向陆地输送水汽,而陆地则源源不断地向海洋注入径流。海洋和陆地之间从空中的水汽输送并非是单一方向的,而是双向的,有时陆地上蒸发的水汽也会随气流输送到海洋上空,只是海洋流向陆地的气水汽大于反方向的。水汽从海洋向内陆输送的过程中,在陆地上空一部分冷凝降落,形成径流,向海洋流动,同时也有一部分再蒸发成水汽继续向更远的内陆输送。愈向内陆水汽愈少,循环逐渐减弱,直到不再形成降水为止。这种局部的循环也叫做内陆水循环。

水循环是最重要、最活跃的物质循环之一,与人类有密切的关系。水循环使得人类生产和生活不可缺少的水资源具有再生性。水循环的途径及循环的强弱,决定了水资源的地区分布及时程变化。人类也可以通过农林措施与水利措施对水循环产生影响。

二、地球的水量平衡

对于任一区域,在任一时段内,输入的水量与输出的水量之差等于该区域内蓄水变量,这叫做水量平衡原理。对于海洋和陆地,在多年期间,水量并无明显的增减,所以对长期平均情况而言,两个区域蓄水变量都接近于零,可不考虑。故对于海洋区域,多年平均降水量 X_0 与多年平均径流量 Y_0 之和为输入水量,多年平均蒸发量 Z_0 为输出水量。二者之差为多年平均蓄水变量其数值为零,即:

$$X_{\infty} + Y_0 - Z_{\infty} = 0。$$

同理,对于陆地,多年平均降水量 X_{∞} 为输入水量,多年平均蒸发量 Z_{∞} 与多年平均径流量 Y_0 之和为输出量。二者之差为陆地多年平均蓄水变量,其数值为零,即:

$$X_{\infty} - Z_{\infty} - Y_0 = 0。$$

将两式相加便得到全球的水量平衡方程式:

$$Z_{\infty} + Z_{\infty} = X_{\infty} + X_{\infty}。$$

这说明地球上的总蒸发量与总降水量的多年平均值是相等的。经过专门研究,估计各项每年的平均水量如下: $Z_{\infty} = 72000\text{km}^3$, $X_{\infty} = 119000\text{km}^3$, $Y_0 = 47000\text{km}^3$, $Z_{\infty} = 505000\text{km}^3$, $X_{\infty} = 458000\text{km}^3$ 。

第二节 河流和流域

一、概述

在重力作用下,沿着连续延伸的凹地流动的水所构成的天然水体称为河流。河流在灌溉、航运、发电、给水等方面发挥着巨大的作用,但是它也会造成沿岸地区的洪涝等灾害。

流动的水与容纳水流的河槽是构成河流的两个要素。河槽由于水流的冲刷和淤积,形态不断地变化,而一定的河槽形状又决定着相应的水流性质。所以在一定的气候和地质条件下,河槽形状和水流性质是互为因果的。

一条河流是由众多支流组成的,可分为上游、中游、下游三个部分。一般取河长最长或水量最大的一支流作为干流。直接汇入干流的为一级支流,汇入一级支流的为二级支流,以此类推。划分河流上、中、下游并没有严格的和统一的指标,有的着重地貌特征,有的着重水文特征。河口是河流注入海洋、湖泊或其它河流的地段,有些河流最终消失在沙漠中,就没有河口,称为内陆河。

河流某断面的集水区域称为该断面的流域。当不指明断面时,流域是对河口断面而言。流域的周界称为分水线。分水线就是流域四周最高点的连线。地下径流的流向是由地下水面等高线决定的,也有地下径流的分水线。如河床切割较深,河槽可截获全部地下径流,地面分水线与地下分水线相重合,这样理想的流域称为闭合流域。但由于地质构造上的原因,地面分水线与地下分水线并不完全重合,这种流域称为非闭合流域。实际上很少有严格的闭合流域。但是,除有石灰岩溶洞等特殊地质情况外,一般通过流域交换的水量,比出口断面输出的水量要小得多。可近似按闭合流域考虑。

流域各条水流路线构成脉络相通的系统,称为水系、河系或河网,与之相通的湖泊也属于水系之内。根据河系干支流分布的状态,河系可分为四种类型:干支流分布如扇骨状的称为扇型河系;如羽毛状的称为羽状河系;几支流并行排列,至河口附近才会合的称为平行河系;大河流多由以上二三种型式混合排列称为混合河系。

二、河流及流域的主要特征

(1) 河流长度 L 自河源沿河道至河口的长度称为河流长度,可在适当比例尺的地形图上量出。

(2) 河道的纵比降 J 河段两端的河底高程差叫落差。单位河长的落差称为河道纵比降。比降常用小数或千分数表示。当河段纵剖面近于直线时,河段平均比降可按下式计算:

$$J = \frac{h_1 - h_0}{l} = \frac{\Delta h}{l} \quad (2-1)$$

式中 J ——河段的纵比降；

h_1, h_0 ——河段上、下端河底高程, m；

l ——河段长度, m。

当河段内比降变化较大, 其平均比降应分段计算, 再按河长加权求平均值, 计算公式如下:

$$J = \frac{(h_0 + h_1)l_1 + (h_1 + h_2)l_2 + \dots + (h_{n-1} + h_n)l_n - 2h_0L}{L^2} \quad (2-2)$$

式中 h_0, h_1, \dots, h_n ——自下游到上游沿程各点的河底高程, m；

l_1, l_2, \dots, l_n ——相邻两点间的距离, m；

L ——河段全长, m。

一般可采用图解法, 在纵断面图上, 通过下游断面河底处作一斜线, 使此斜线与河底线所包围的面积上下相等, 此斜线的坡度即为该河段的平均纵比降(图 2-1)。

(3) 河网密度 d 流域平均单位面积上的河流总长度称为河网密度(km/km^2)。它表示河网的疏密程度, 能综合反映一个地区的自然地理条件。

(4) 流域面积 F 流域面积反映流域的大小, 是流域的主要几何特征。通常先在适当比例尺的地形图上定出流域分水线, 然后用求积仪量出它所包围的面积, 单位为 km^2 。

(5) 流域的长度 L_A 和平均宽度 B 流域长度也就是流域的轴长。以流域出口为中心作同心圆, 在同心圆与流域分水线相交处绘出许多割线, 各割线中点连线的长度即为流域长度(km)。若流域形状不甚弯曲, 也可采用河源到流域出口的直线来确定流域长度。流域面积 F 与流域长度 L_A 的比值为流域平均宽度 B (km) 即:

$$B = \frac{F}{L_A}$$

(6) 流域平均高度 \bar{h} 与坡度 J_A 流域平均高度直接影响该流域的气温与降水, 流域平均坡度对地面径流的产生、汇集、下渗、土壤流失等都有一定的影响。计算流域平均高度与坡度的一种方法是格点法, 即在流域的地形图上划分成 100 个以上的正方网格, 依次定出每个方格交叉点上的高程以及与当地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度, 这些格点的坡度的平均值即为流域平均坡度。

(7) 流域的自然地理特征 流域的地理位置、气候、地形、植被、土壤特性、地质构造、沼泽及湖泊等情况, 都是与流域水文特性密切有关的自然地理特征。它们可以反映河系形成的条件, 并影响径流变化的特性。

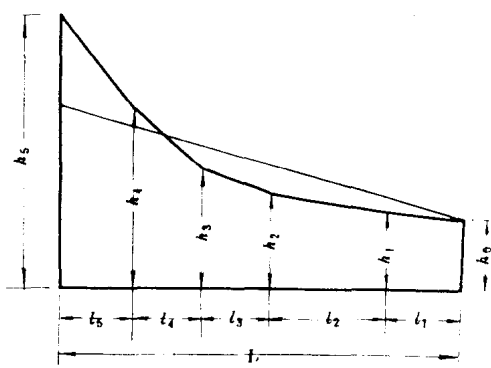


图 2-1 河道纵比降计算示意图

第三节 降水

一、降水的成因与类型

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升入高空,在上升过程中产生动力冷却使温度下降,当温度达到露点(即空气中水汽达到饱和时的温度)以下时,气团中的水汽便凝结成水滴或冰晶,这就形成云;云中的水滴或冰晶由于水汽继续凝结及相互碰撞合并,凝聚不断增大,当其重量超过上升气流顶托力时,在重力作用下就形成降水。由此可知,气流上升产生动力冷却是形成降水的主要条件,而气流中的水汽含量及冷却程度决定着降水强度和降水量的大小。

降水有各种形式,如雨、雪、雹、霰等。对我国多数河流而言,降雨对水文现象的影响最大,故以下重点讨论降雨。

按照气流上升的原因,常把降雨分为以下四种类型:

(1) 对流雨 对流雨是因地表局部受热,气温向上递减率过大,大气稳定性降低,因而产生垂直上升运动,形成动力冷却而降雨。因对流上升速度较快,形成的云多为垂直发展的积状云,降雨强度大,但面积不广,历时也较短。

(2) 地形雨 地形雨是气流因所经地面的地形升高而被抬升,由于动力冷却而成云致雨。地形雨降雨特性,因空气本身的温湿特性、运行速度及地形特点而异,差别较大。

(3) 锋面雨 在一个较大地区范围的空气柱内,各水平高度上具有较均匀的温湿特性;当受到气压场作用而向共同方向移动时,这部分空气就称为气团。两个温湿不同的气团相遇时,在其接触处由于性质不同而来不及混合,温度、湿度和气压场形成一个不连续面,称为锋面。所谓不连续面实际上是一个过渡带,有时又称为锋区。锋面与地面的交线称为锋线。习惯上把锋面和锋线统称为锋。锋的长度从数百公里到数千公里不等,锋面伸展高度,低的离地1—2km,高的可达10km以上。锋面是向冷气团一侧倾斜的,暖气团在运动中将沿锋面抬升,只要暖空气中有足够的水汽,就能成云致雨。

锋面随暖气团的移动而移动。当冷气团向暖气团方向移动并占据原属暖气团的地区时,这种锋称为冷锋;当暖气团向冷气团方向移动并占据原属冷气团的地区时,这种锋称为暖锋;若冷、暖气团势均力敌,在某一地区摆动或停滞,这种锋称为准静止锋;若冷锋追上暖锋,或两条冷锋相遇,暖空气被抬离地面,则称为锢囚锋。

一般来说,冷锋雨强度大,历时较短,雨区范围较小;暖锋雨强度较小,历时较长,范围也较大;准静止锋将产生生长历时、强度较大的降雨。

(4) 气旋雨 当一地区气压低于四周气压时,四周气流就要向该处汇集,由于地球转动力的影响北半球辐合气流是沿逆时针方向流入的。气流汇入后再转向高层,上升气流中的水汽因动力冷却凝结成云,条件具备时即产生降雨。这种大气的涡旋称为气旋,对于高空中的涡旋则称为涡。

气旋的产生、发展与锋区的位置以及高空中的低压系统活动情况有关。高空的涡旋我国是以形成地区命名的,如西北涡、华北涡、西南涡等。西南涡对我国降雨情况影响较大,它是在西南特殊的地形影响下形成的。西南涡在源地时就可产生阴雨天气,如东移发展,则雨区扩大,雨量也增大,夏秋季节在我国中部常引起暴雨。

低纬度海洋上形成的气旋称为热带气旋。我国气象部门根据气旋地面中心附近风速大小将其分为三类：热带低压的最大风速为 $10.8 \sim 17.1 \text{ m/s}$ ；台风的最大风速为 $17.2 \sim 32.6 \text{ m/s}$ ；强台风的最大风速大于 32.6 m/s 。台风由于气流抬升剧烈，水汽供应充分，常发展成为浓厚的云区，降水多为阵性暴雨，强度很大，分布不均。

二、降雨观测

观测降雨量的标准仪器，有人工观测的雨量器(图 2-2) 和自记雨量计(图 2-3) 两种。

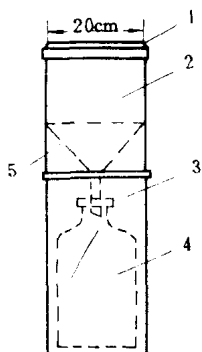


图 2-2 雨量器示意图
1- 器口；2- 承雨器；3- 雨量筒；
4- 储水瓶；5- 漏斗

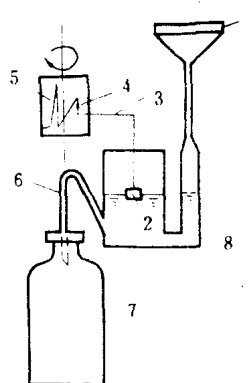


图 2-3 立式自记雨量计构造示意图
1- 承雨器；2- 浮子；3- 连杆；4- 自记笔
5- 自记钟；6- 虹吸管；7- 储水瓶；8- 浮子室

雨量器是一 20cm 口径的柱形金属桶，承雨后用特制的量杯测定降雨量。降雨量一般采用定时观测，通常在每天 8 时与 20 时各观测一次(两段制)。雨季增加观测次数，如四段制、八段制等。观测时用空的储水瓶将雨量筒中的储水瓶换出，在室内用特制的量杯量出降雨量。降雪时将雨量筒的漏斗和储水瓶取出，仅留外筒，作为承雪器具。观测时，将带盖的外筒带到装置雨量筒的地点调换外筒，并将筒盖盖在已用过的外筒上，再取回室内，加温融化后计算降水深度。

自记雨量计可以测定降雨过程。雨水从承雨器 1 进入浮子室 8，浮子 2 即随水面上升推动连杆 3，使自记笔 4 在有记录纸的自记钟 5 上向上移动把雨量记录下来。当浮子室充满雨水时(自记笔达到记录纸上沿)，雨水自动经虹吸管 6 泄入储水瓶 7(自记笔迅速降落到记录纸下沿)，然后浮子室继续充水，自记笔又重新升高，这样往复循环，降雨过程便在记录纸上绘出。

自记雨量计不能直接用来测量降雪过程。

三、降雨的特性及降雨资料的图示法

降雨特性包括降雨量、降雨历时、降雨强度、降雨面积及降雨中心等。降雨量为一定时段内降落在某一点或某一面积上的总雨量，常用深度表示，以 mm 计，降雨历时是指一次降雨所经历的时间，以 min 或 h 计；降雨强度为单位时间内的降雨量，以 mm/min 或 mm/h 计；降雨面积是指降雨笼罩的水平面积；降雨中心是指降雨量最大的局部地区。

降雨量在时间上的变化过程及空间上的分布情况常用下列图形表示。

(一) 降雨量过程线

常用的降雨量过程线是以时段降雨量为纵坐标，时段次序为横坐标绘制的。它显示降雨量

随时间的变化特征,常以直方图或曲线表示(图 2-4)。降雨过程又可用累积降雨量曲线表示,此曲线横坐标为时间,纵坐标为降雨开始到各时刻的累积降雨量(图 2-4)。根据它的平均坡度可求得各时段内的平均雨强。

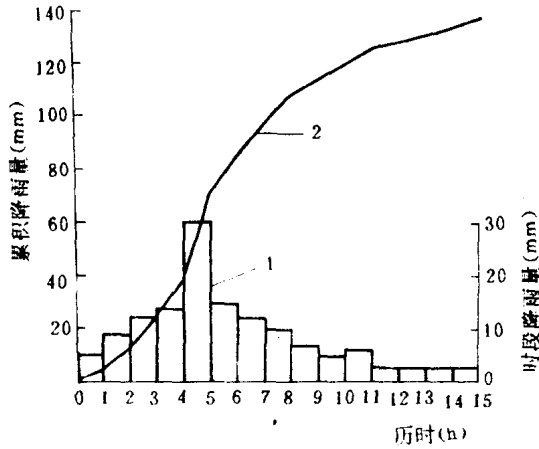


图 2-4 某站一次降雨量过程线及累积降雨量曲线图
1-降雨过程直方图; 2-累积降雨量曲线图

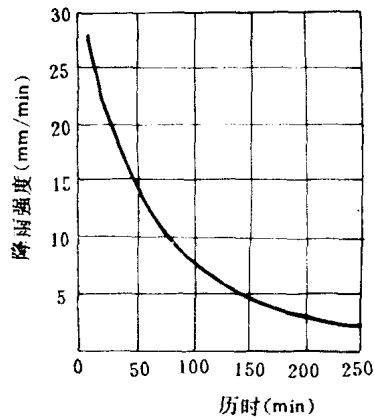


图 2-5 最大平均降雨强度~历时曲线图

(二) 降雨量等值线图

降雨量等值线图与等高线地形图相似,是根据各雨量站的降雨量和参照地形情况分析绘制的(如图 2-8)。

(三) 降雨特性综合曲线

(1) 强度~历时曲线 把一场降雨的过程记录下来,对应某指定的历时,变动起迄时间求得相应该历时的最大平均降雨强度,并点绘成曲线(图 2-5)。它可以反映该场降雨的核心部分的雨强变化特性。

(2) 平均深度~面积曲线 对一场或一定历时的降雨,从降雨量等值线图的中心开始,分别量取不同的等雨量线所包围的面积及该面积内的平均雨深,点绘成曲线(图 2-6)。此曲线表示不同面积上的最大平均雨深。一般为指数型衰减曲线,面积愈大,平均雨深愈小。

(3) 平均雨深~面积~历时曲线 如将一场暴雨的不同历时,如 12 小时、24 小时、48 小时等的等雨量线图作出相应的平均雨深~面积曲线,并综合绘于同一张图上(图 2-6),即得到平均深度~面积~历时曲线。简称时、面、深曲线。其规律为:当历时一定时,面积愈大,平均雨深愈小;当面积一定时,历时愈长,平均雨深愈大。

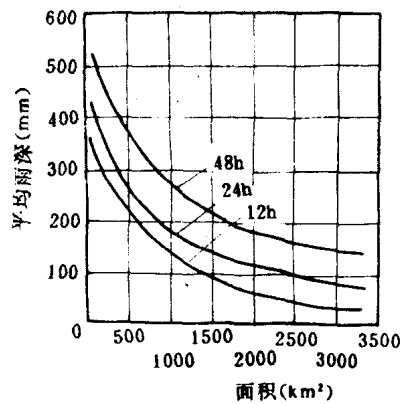


图 2-6 平均降雨深度~面积~历时曲线图

四、流域平均降雨量的计算

由雨量站观测到的降雨量,只代表该站所在处或附