

水利水电系统干部培训教材

# 工程水文

华东水利学院

水利出版社

水利水电系统干部培训教材

---

# 工 程 水 文

华东水利学院

水利出版社

## 内 容 提 要

本书是“水利水电系统干部培训教材”十三个分册之一，主要介绍：工程水文的基本知识、设计年径流的计算、设计洪水的计算、水库兴利调节计算、水库洪水调节计算等内容。

本书主要供省、地、县水利水电部门领导干部培训之用，也可供具有初中以上文化程度的一般干部自学参考。

### 水利水电系统干部培训教材

#### 工程水文

华东水利学院

\*

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

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 32开本 5 $\frac{1}{4}$ 印张 114千字

1982年11月第一版 1982年11月北京第一次印刷

印数00001—18110册 定价0.55元

书号15047·4212

## 前 言

本教材是根据水电系统干部培训的特点和要求编写的，主要介绍工程水文的基本知识和方法。各章内容及学时安排如下：

第一章工程水文的基本知识——13学时；第二章设计年径流的计算——3学时；第三章设计洪水的计算——9学时；第四章水库兴利调节计算——6学时；第五章水库洪水调节计算——4学时。全课程合计35学时。

水文计算的方法往往与资料情况有关，为了适应各种情况的需要，在第四章对不同资料情况下的推求方法都作了介绍。办班单位可根据具体需要选讲部分方法。

工程水文的名词术语和概念较多，有的比较抽象，不容易理解，为使学员及时弄清概念，提高学习效果，建议办班单位配合各章讲授进度，用所在地区的实际资料编拟一些习题给学员练习。此外，还可组织参观水文站，以增加感性认识。

本教材系由刘吉印同志编写的。书稿写成后，由我院水能教研室负责初审，并经编审委员会复审。由于我们缺乏经验，书中定有不少不足之处，希望各使用单位和读者及时指正。

## 编写说明

为了实现水利水电系统干部队伍的革命化、年青化、知识化和专业化，以适应四个现代化建设的需要，有关水利单位正大力组织在职干部的培训。为此，水利部组织一些有经验的同志编写了这套“水利水电系统干部培训教材”，共分13个分册：《水利工程识图》、《水利工程测量》、《建筑材料》、《工程地质及水文地质》、《土工知识》、《水力学》、《工程水文》、《灌溉与排水》、《中小河流规划》、《水工建筑物》、《水电站》、《抽水站》、《水利工程施工》。这套培训教材的编写大纲由华东水利学院拟定，并在1980年12月举行的、由水利部教育司、水利出版社和陕西省水利学校、黄河水利学校、山东省水利学校、东北水利水电学校、扬州水利学校、四川省水利电力学校等参加的编写大纲讨论会上修改定稿。

当前培训干部的主要对象是省、地、县水利水电部门的行政领导干部。培训的目的是要求他们尽快地熟悉本部门的业务知识，逐步成为内行。因此，这套教材主要面向省、地、县水利水电建设的领导干部，面向中小型水利水电工程。为此，教材涉及面较广，但内容力求简明扼要，尽可能介绍一些现代的先进技术。

近期培训干部，一般以五至六个月为一期，讲课400至500学时，故本教材的总教学时数控制在400学时左右，多余的学时各地可灵活使用，例如可用于补习文化基础课，或讲授

本地区特需的某些专题。各地举办培训班时，可根据实际需要选用这套教材中的部分分册或全部分册。本教材也可供其他具有初中以上文化程度的干部自学使用。

这套培训教材中的《水利工程测量》分册，采用陕西省水利学校编写、由农业出版社出版的《简易工程测量》一书；《水力学》（借用“水文职工培训教材”中的《水力学基础》）和《抽水站》这两个分册系由扬州水利学校编写；其余各分册均由华东水利学院编写。为了将这套教材编好，华东水利学院受水利部教育司委托成立了“水利水电系统干部培训教材编审委员会”，负责编审工作，该院副院长左东启为编审委员会主任委员，教务处处长解启庚和王世泽教授、戴寿椿讲师为副主任委员。

在培训教材编审过程中，得到了各有关部门及兄弟院校的大力协助，谨表示衷心的感谢。

由于我们经验不足，水平有限，书中一定存在不少缺点和错误，恳请读者批评指正（意见请寄：南京市华东水利学院教务处）。

水利水电系统干部培训教材编审委员会

1981年6月

# 目 录

编写说明

前言

绪言	1
<b>第一章 工程水文的基本知识</b>	<b>3</b>
第一节 自然界水循环	3
第二节 河系与流域	4
第三节 降水、蒸发和下渗	8
第四节 河川径流及其形成过程	17
第五节 水位、流量、泥沙资料的观测及整理	23
第六节 水文频率计算与相关分析	34
第七节 水文预报简介	57
第八节 历史洪水和枯水的调查估算	61
复习思考题	63
<b>第二章 设计年径流的计算</b>	<b>64</b>
第一节 概述	64
第二节 有资料时设计年径流的计算	66
第三节 缺乏资料时设计年径流的计算	69
第四节 径流年内分配	72
复习思考题	74
<b>第三章 设计洪水的计算</b>	<b>75</b>
第一节 概述	75
第二节 由流量资料推求设计洪水	78

第三节	由暴雨资料推求设计洪水	87
第四节	小流域设计洪水的推求	98
第五节	可能最大暴雨和洪水估算简介	106
	复习思考题	115
<b>第四章</b>	<b>水库兴利调节计算</b>	<b>117</b>
第一节	概述	117
第二节	水库特性	120
第三节	设计保证率	124
第四节	水库死水位的确定	126
第五节	水库年调节计算	128
第六节	水库多年调节计算	135
	复习思考题	141
<b>第五章</b>	<b>水库洪水调节计算</b>	<b>143</b>
第一节	概述	143
第二节	水库调洪计算的原理和方法	146
第三节	水库防洪计算	151
	复习思考题	159



## 绪 言

水文学是研究自然界各种天然水体（如江河、湖泊、沼泽、冰川、地下水及海洋等）的变化规律的科学。按其研究对象不同，水文学可分为江河水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、地下水水文学及海洋水文学等。在各种天然水体中，江河与人类的关系最密切，江河上修建的工程设施也最多。因此，江河水文学研究得较早，内容也较丰富。本课程主要介绍为工程建设服务的江河水文学的基本内容，故称为**工程水文学**。

江河等天然水体是丰富的水利资源，积极地开发利用这些资源和控制消减水的灾害，对发展国民经济具有重大的意义。例如，农田灌溉、防洪除涝、工矿企业用水和城乡居民生活用水、航运、水力发电、水产养殖、水利环境保护以及国防建设等方面，都迫切需要利用和控制江河等天然水体。但江河等天然水体的变化状况，往往与上述各方面的要求很不适应。为了协调解决天然水体与各方面要求之间的供需矛盾，必须采用一定的工程措施（如筑坝修库、造水电站、修建水闸、开溢洪道、整治河道、整修堤防等等），对江河水流进行人工控制和调节改造。工程措施类型的选择和工程规模尺寸的确定，都要在规划设计中通过多方案的分析计算和论证。例如，在河流某处修建一座水库，首先，需要掌握该处一年内各季能来多少水，将来可能发生的洪水有多大，河水中泥沙量有多少，这就需要进行水文计算。其次，还要根

据江河来水和各方面用水的情况，进行径流调节计算。这些水文计算和径流调节计算，就是工程水文学所包括的主要内容，即工程水文学主要包括水文计算和径流调节计算两部分内容。水文计算的任务是，研究江河等天然水体长时期内的水文变化情势（变化规律），为工程规划设计提供可靠的水文数据（如设计年径流、设计洪水、泥沙量等）。径流调节计算的任务则是，根据设计的水文数据，分析来水与用水的矛盾，通过径流调节计算确定所需调节库容的大小，为规划计算和方案论证合理选定工程特征值（如水库的正常蓄水位、死水位、设计洪水位、坝高等）而提供计算数据。至于工程规划计算和经济分析方面的内容，将另在《中小河流规划》分册中详细介绍。

应该指出，工程水文学的范围很广，而且实践性强，内容较多。本课程因学时有限，只能介绍工程水文学的基本知识和方法。通过学习，使学员对工程水文学的基本概念和基本知识获得初步的了解和认识。

# 第一章 工程水文的基本知识

## 第一节 自然界水循环

地球上存在着大量的水，如江河、湖泊、海洋、地下水及空中水汽等，其中以海洋水为最多。

地球上广大的水面和陆面的水分不断地蒸发，变成水汽上升至空中，被气流带到各处，在一定气象条件下凝结成降水又落回地面；落到地面的水，一部分又重新蒸发回到空中，另一部分经地面和地下形成径流，由江河送回海洋；海洋中的水又继续蒸发、凝结、降水等不断地运行，这种地球上水的往复循环过程，称为水循环，如图 1-1。引起水循环的内因是水的物理三态，即液体、固体及气体的相互转化，外因是太阳辐射热能和地球引力的作用。

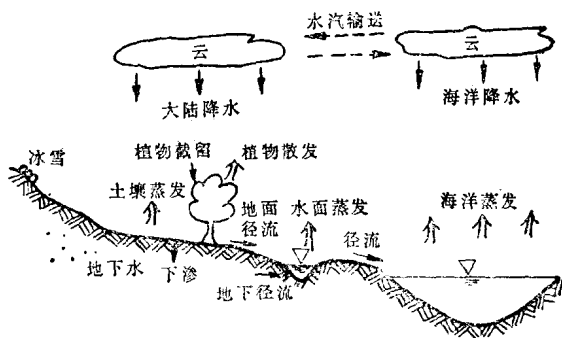


图 1-1 水循环

水循环可分为小循环和大循环两种。自海洋蒸发的水汽，上升空中，凝结成为降水，直接降到海洋上；或大陆上的降水，在未回到海洋之前，又被蒸发到空中去。这种海洋上或大陆上水的局部性循环，称为小循环。

自海洋蒸发上去的一部分水汽，未在海洋上空凝结，而被气流输送到大陆上空，凝结成雨或雪，落到地面。落到地面的雨雪水，除一部分又蒸发至空中外，其余部分经地面和地下路径汇入江河，形成径流返回海洋。这种整体性的海洋和大陆之间的水分交换过程，称为大循环。

研究水循环的目的，在于认识其规律，从而改造自然利用自然。

## 第二节 水系与流域

### 一、水系

雨水降落到地面后，除一部分下渗、蒸发等损失外，其余水量在重力作用下，沿着坡面流入小沟、小溪，汇成江河，流向海洋。有的河流流入内陆湖泊或消失于沙漠中。大陆上密布的江、河、溪、沟等大小不同的水道，统称为河流。这种脉络相通的水道系统，称为水系。

自河源至河口的沿河长度，称为河长。任一河段两端的水面高程差称落差。河源与河口的水面高程差，称为河流总落差。任一河段的落差与其长度之比，叫河段纵比降，即

$$j = \frac{h}{l}$$

式中  $j$  —— 河段纵比降（%）；

$h$  —— 河段落差（米）；

$l$ ——河段长度  
(公里)。

河流的平均纵比降可用下述方法求得。首先，将河流的纵断面图(通常都以河底纵断面图近似代替水面纵断面图)划分为若干段，各段河底以直线

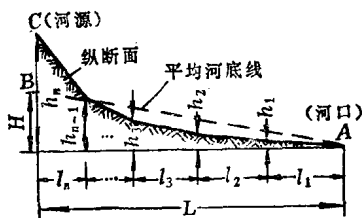


图 1-2 河流纵断面图

相连，如图 1-2。然后，从河口 A 点引一设想的平均河底线 AB，与河源 C 点的竖线相交于 B，使该线与河流纵断面图所包围的上、下两部分面积相等，A、B 两点的高程差 H 就可代表河流平均纵比降的落差。因此，河流的平均纵比降 J 可计算如下：

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{H}{L} = \frac{2}{L^2} \left( \frac{1}{2} HL \right) = \frac{2}{L^2} \left\{ \frac{h_1}{2} l_1 \right. \\
 &\quad \left. + \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \right) l_2 + \cdots + \left( \frac{h_{n-1} + h_n}{2} \right) l_n \right\} \\
 &= \frac{1}{L^2} [h_1 l_1 + (h_1 + h_2) l_2 + \cdots + (h_{n-1} \\
 &\quad + h_n) l_n] \quad (1-1)
 \end{aligned}$$

式中  $h_1, h_2, \dots, h_{n-1}, h_n$ ——沿河各点与河口 A 点的高程差(米)；

$l_1, l_2, \dots, l_{n-1}, l_n$ ——自河口 A 点起，沿河各相邻点间的距离(公里)；

$L$ ——河段总长(公里)。

## 二、流域

任何一条河流，都汇集一定区域的雨水。河流所汇集雨

水的区域，称为该河流的**流域**。流域的周界称为**分水线**（即**分水岭**）。流域的分水线就是流域周围山脉的脊线，它在河流出口处自行闭合，如图 1-3。降落在分水线两侧的雨水，

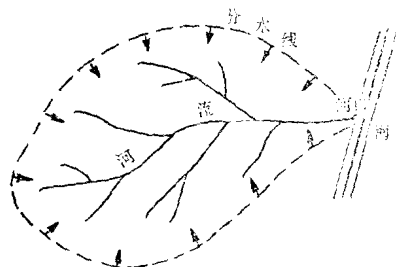


图 1-3 河流流域的分水线

各自沿坡面流向相邻的河流。流域分水线包围的面积就是**流域面积**（**集水面积**）。从河源到河口，河流的集水面积是随着河长的增加而增加的。集水面积愈大，汇集的水量就愈多。

通常，由于受地质构造和地形的影响，地面水分水线和地下水分水线可能不相一致，如图 1-4。两分水线之间区域的地面水量流向乙河，而地下水则流向甲河。如果两者之间的距离并不大，地下交换水量的影响不显著，则可用地面水分水线代替流域分水线。

地面水分水线与地下水分水线相重合的流域称为**闭合流域**，两者不一致时称为**非闭合流域**。

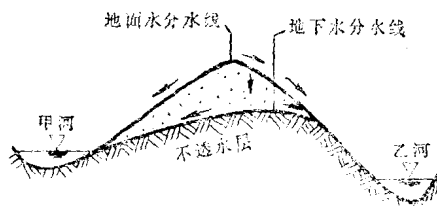


图 1-4 地面水分水线与地下水分水线不一致

反映流域地形的主要特征值有：流域的平均高程和平均坡度，其计算方法如下：

(1) 流域平均高程 先在地形图上用求积仪分别量出各相邻两等高线之间的部分面积  $f_i$ ，部分面积  $f_i$  上的平均高程  $Z_i$  取为两等高线的高程值之和除以 2，然后按部分面积加权平均即可求得流域平均高程  $Z_{\text{平均}}$ ，即

$$Z_{\text{平均}} = \frac{Z_1 f_1 + Z_2 f_2 + \cdots + Z_n f_n}{f_1 + f_2 + \cdots + f_n} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n Z_i f_i \quad (1-2)$$

式中  $F$ ——流域面积，即  $F = \sum_{i=1}^n f_i$ 。

(2) 流域平均坡度 它反映流域表面地形起伏的平均陡缓程度。设相邻两等高线之间的高程差为  $H$ ，其平均宽度为  $b_i$ ，则相邻两等高线间部分面积  $f_i$  上的平均坡度  $j_i$  为

$$j_i = \frac{H}{b_i} = \frac{H \bar{l}_i}{b_i \bar{l}_i} = \frac{H}{f_i} \left( \frac{l_{i-1} + l_i}{2} \right)$$

式中  $l_{i-1}$ 、 $l_i$ ——两相邻等高线的长度；  
 $\bar{l}_i$ ——两相邻等高线的平均长度。

有了各块部分面积  $f_i$  的平均坡度  $j_i$ ，即可按部分面积加权平均，求得流域平均坡度：

$$\begin{aligned} J_{\text{平均}} &= \frac{j_1 f_1 + j_2 f_2 + \cdots + j_n f_n}{f_1 + f_2 + \cdots + f_n} \\ &= \frac{1}{F} \left\{ \frac{H}{f_1} \left( \frac{l_0 + l_1}{2} \right) f_1 + \frac{H}{f_2} \left( \frac{l_1 + l_2}{2} \right) f_2 \right. \\ &\quad \left. + \cdots + \frac{H}{f_n} \left( \frac{l_{n-1} + l_n}{2} \right) f_n \right\} \\ &= \frac{H}{F} \left( \frac{l_0}{2} + l_1 + l_2 + \cdots + l_{n-1} + \frac{l_n}{2} \right) \end{aligned} \quad (1-3)$$

### 第三节 降水、蒸发和下渗

#### 一、降水

地面从大气中获得水分的形式有多种，如雨、雪、雹、霰、露及霜等，统称为降水。

降水是水循环中的重要环节之一，是大陆上水的最主要来源。降水量及其在时间上的分配和地区上的分布，直接影响着河川径流量及其变化过程。

##### (一) 降水要素

降水的基本要素有：

(1) 降水量 指在一定时段内降落在某一地点或某一面积上的总水量，以水层深度的毫米数表示。

(2) 降水历时 指降水的持续时间，小时或分钟。

(3) 降水强度 指单位时间内的降水量，毫米/时或毫米/分钟。

(4) 降水面积 降水所笼罩的水平面积，公里<sup>2</sup>。

##### (二) 降水的成因及分类

降水的形成主要是由于地面暖湿空气在某种因素的影响下升入上空，在上升过程中四周气压逐渐降低，使其体积膨胀对外力做功，消耗了能量，而上空并无其他热能供给，不得不由自身放热补充而冷却，这叫绝热冷却。绝热冷却使空气温度不断下降，当降到露点以下时，空气中的水汽便凝结成水滴或冰晶，这就是日常所见的云。云中的水滴或冰晶，通过水汽分子的继续凝结和气流的涡动，互相碰撞粘附聚合而增大，当不能被上升气流承托时，便在重力作用下降落地面，形成降水。



由此可见，气流上升引起绝热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，则决定着降水量和降水强度的大小。

根据气流上升运动的不同原因，可把降雨分为下列四种类型：

(1) 气旋雨 由于气旋或低气压过境而引起的降雨，称为**气旋雨**。气旋雨又可分为非锋面雨和锋面雨两种。非锋面雨是由于气流向低气压区辐合，而引起气流上升所致。锋面雨又可分为暖锋雨和冷锋雨两种。暖锋雨是冷、暖气团相遇时，湿暖气团爬到冷气团上面引起冷却而降雨，如图1-5a。其特点是雨面大、雨强小、历时长。冷锋雨是冷、暖气团相遇时，冷气团向前推进把暖气团向上顶托起来，使湿暖空气上升冷却而降雨，如图1-5b。其特点是雨面小、雨强大、历时短。我国大部地居温带，属南北气流交汇之区，经常发生气旋雨，其雨量约占全年雨量60%以上，因而气旋雨是造成我国河流洪水的主要来源。

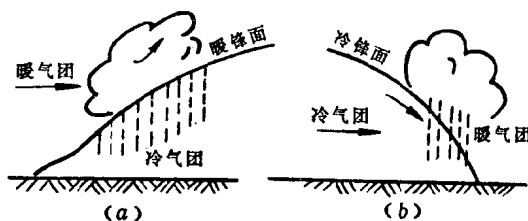


图 1-5 锋面雨

(2) 对流雨 夏季地面受热，温度升高，近地面气层的空气受热膨胀而上升，上层冷空气在周围下沉补充，于是引起上、下对流。上升的湿热气流冷却而凝结，便产生大雨或雷雨，这种雨称为**对流雨**（或称**热雷雨**）。对流雨一般范