

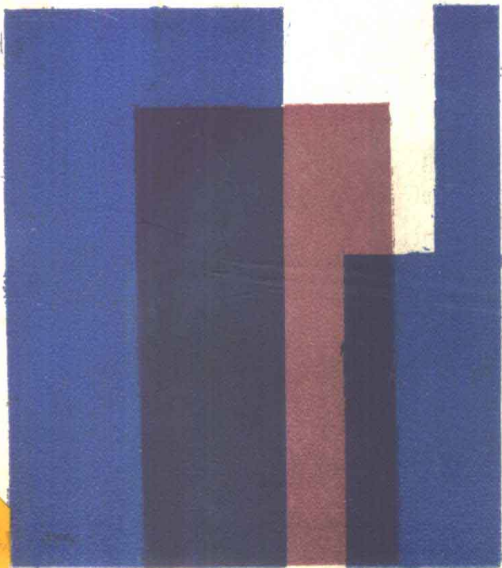
937261

高等学校试用教材

# 水文学

(第二版)

马学尼 叶镇国 编



中国建筑工业出版社

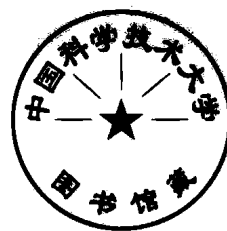
E2

高等学校试用教材

# 水 文 学

(第二版)

马学尼 叶镇国 编



中国建筑工业出版社

本书是按照高等学校给水排水工程专业教学大纲讨论会拟定的《水文学》新教学大纲，对初版教材内容进行修订而编写的。内容包括河川流域及其径流的基本概念，河川水文要素与降水资料收集整理的基本方法，水文统计基本理论，洪枯径流及小流域暴雨径流的计算等，并附有水文计算基本用表。

本书可作为高等院校给水排水工程专业的教学用书，也可供有关专业人员参考。

高等学校试用教材  
水 文 学  
(第二版)

马学尼 叶镇国 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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数：333千字

1989年12月第二版 1991年11月第六次印刷

印数：31,361—36,400册 定价：3.60元

ISBN7-112-00851-4/TU·604

(5936)

## 前 言

本教材初版于1979年12月。现按照1983年11月全国高校给水排水专业教学大纲讨论会提出的新教学大纲，充分考虑了兄弟院校通过近年来教学实践对原教材所提意见，在初版教材内容的基础上进行了修订。

修订后的教材删减原来的水文测验一章成为现在第一章的两节，将原来的第四、第五两章删节合并为一章，此外，对其他各章的内容也作了较多的修改。力求做到重点突出，层次分明，理论与实践密切结合，既重视反映现代科学技术的新成就，又考虑能与我国给水排水事业的发展相适应。

修订后的教材内容包括：河川流域及其径流，水文统计基本理论，年径流及洪枯径流，降水资料的收集与整理，小流域暴雨洪峰流量的计算等。并附有水文计算用表。

在修改中，尽力结合给水排水工程专业的需要，在系统介绍水文学的基本概念、理论与方法的基础上，重点仍然放在水文统计基本理论与小流域暴雨及其洪峰流量的计算方面。例题均结合我国实际，每章之后仍附有复习思考题，便于学生复习。考虑到不同地区在水文学教学内容的广度、深度上的不同要求，凡带有\*形符号的章节只作选学内容，各院校可根据本地区的具体情况进行取舍。

本教材的绪论、第一、四、五章由西安冶金建筑学院给水排水教研室马学尼同志编写，第二、三章由湖南大学流体力学教研室叶镇国同志编写，全书经两同志共同修订。同济大学环境工程系周善生同志为全书主审。

在编写与修改过程中，长江流域规划办公室、黄河水利委员会以及陕西、湖南、江苏、浙江等省的水文总站，给水排水、建筑或市政设计院，水电部西北、中南水电勘测设计院和兄弟院校等单位提供了宝贵资料和意见，特在此表示衷心的感谢。

垦切希望读者对书中存在的缺点和错误给予批评和指正。

编 者

# 目 录

|                     |    |   |    |
|---------------------|----|---|----|
| 前言                  |    | 三、经验累积频率曲线的绘制和应用要点                                  | 34 |
| 绪论                  | 1  | 四、设计频率标准  | 35 |
| 水文现象及水分循环           | 1  | 五、经验累积频率曲线的外延问题                                     | 38 |
| 水文学的分类与本课程的内容       | 2  | § 2-4 统计参数  | 39 |
| 水文学与给水排水工程的关系       | 3  | 一、平均数(简称均值)   | 40 |
| 水文现象的特点与研究方法        | 3  | 二、离差系数 $C_s$  | 40 |
| 第一章 水文学的一般概念        |    | 三、偏差系数 $C_v$  | 43 |
| 与水文测验               | 5  | § 2-5 理论累积频率曲线                                      | 44 |
| § 1-1 河流和流域         | 5  | 一、皮尔逊(K. Pearson) III型曲线                            | 44 |
| 一、干流及支流             | 5  | 二、理论累积频率曲线  | 45 |
| 二、河长及弯曲系数           | 5  | 三、离均系数表原理   | 46 |
| 三、河槽基本特征            | 5  | 四、皮尔逊 III型曲线的应用问题                                   | 48 |
| 四、河流的分段             | 7  | 五、统计参数对理论累积频率                                       |    |
| 五、流域及分水线            | 8  | 曲线形状的影响   | 49 |
| § 1-2 河川径流及其表示方法    | 8  | 六、克里茨基-闵凯里( <i>C. H. Крыжикий-М. Ф. Менкель</i> )曲线 | 50 |
| § 1-3 河川径流形成过程及影响径流 |    | § 2-6 抽样误差  | 51 |
| 的因素                 | 10 | 一、误差来源  | 51 |
| 一、河川径流形成过程及其特征时期    | 10 | 二、抽样误差计算  | 51 |
| 二、影响径流的主要因素         | 11 | § 2-7 现行频率分析方法实例                                    | 54 |
| 三、地下径流              | 12 | 一、试错适线法   | 55 |
| 四、固体径流              | 13 | 二、矩法  | 57 |
| § 1-4 流域水量平衡        | 13 | 三、三点法   | 57 |
| § 1-5 河川水文资料的观测方法   | 14 | § 2-8 相关分析  | 61 |
| 一、水位观测              | 14 | 一、相关分析的意义   | 61 |
| 二、流量测算              | 15 | *二、最小二乘法原理  | 62 |
| 三、泥沙测算              | 16 | 三、直线回归方程式   | 64 |
| *四、冰凌观测             | 16 | 四、相关系数  | 66 |
| § 1-6 水位与流量关系曲线     | 16 | 五、相关分析的误差   | 66 |
| 一、水位与流量关系曲线的绘制      | 17 | *六、图解相关方法   | 70 |
| 二、水位与流量关系曲线的延长      | 17 | 复习思考题   | 74 |
| 三、水位与流量关系曲线的应用      | 19 | 第三章 年径流与洪、枯径流                                       | 76 |
| 复习思考题               | 20 | § 3-1 概述  | 76 |
| 第二章 水文统计基本原理与方法     | 21 | § 3-2 设计年径流量推算                                      | 77 |
| § 2-1 概述            | 21 | 一、有实测资料情况下设计年径流                                     |    |
| § 2-2 机率与频率         | 22 | 量推算   | 77 |
| 一、机率与频率的定义          | 22 | 二、资料不足情况下设计年径流量的                                    |    |
| 二、有关机率运算定理          | 24 | 推求方法  | 78 |
| 三、累积频率与重现期          | 26 | 三、缺乏实测资料情况下设计年径                                     |    |
| § 2-3 经验累积频率曲线      | 30 | 流量的推求方法   | 81 |
| 一、基本原理              | 30 | § 3-3 设计年径流量的年内分配                                   | 82 |
| 二、常用经验累积频率公式        | 32 |   |    |

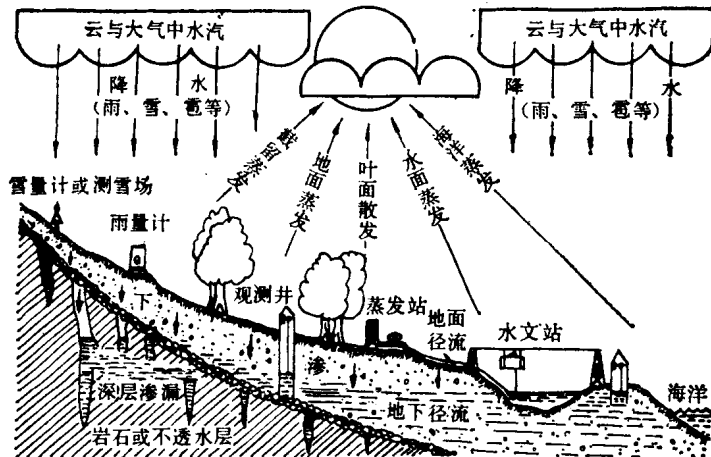
|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 一、径流的年内分配.....82                      | 三、我国年降水量的分布.....125                                 |
| 二、有长期实测径流资料时,设计年<br>径流量年内分配的确定.....83 | § 4-3 点雨量资料的整理.....128                              |
| 三、缺乏实测径流资料时径流年内分<br>配计算.....85        | § 4-4 暴雨强度公式的推求.....130                             |
| 四、日流量(或水位)历时曲线的绘<br>制和应用.....86       | 一、暴雨强度公式.....130                                    |
| § 3-4 设计洪水流量与水位.....88                | 二、公式 $i = \frac{A}{t^n}$ 中参数的推求.....131             |
| 一、设计洪水及其工程意义.....88                   | 三、公式 $i = \frac{A}{(t+b)^n}$ 中参数的推求.....135         |
| 二、设计洪水的分析方法.....89                    | 四、无自记雨量计记录地区暴雨强度<br>公式的推求.....139                   |
| 三、设计洪峰流量(或水位)的推算方法.....89             | 五、利用等值线图求暴雨强度.....142                               |
| 四、含特大洪峰流量系列的频率计算<br>方法.....92         | * § 4-5 可能最大降水(PMP)简介.....144                       |
| § 3-5 枯水径流.....95                     | 复习思考题.....145                                       |
| 一、枯水径流的影响因素.....96                    | 第五章 小流域暴雨洪峰流量的计算.....147                            |
| 二、有实测径流资料时枯水径流量的<br>推算方法.....96       | § 5-1 小流域暴雨洪水计算的特点.....147                          |
| 三、缺乏实测径流资料时枯水径流量<br>的推算方法.....99      | § 5-2 暴雨损失.....147                                  |
| § 3-6 洪水及枯水调查.....102                 | 一、损失分类.....147                                      |
| 一、洪水及枯水调查的意义.....102                  | 二、下渗曲线与下渗量累积曲线.....148                              |
| 二、调查工作及资料收集.....102                   | 三、初期损失与平均下渗率.....149                                |
| 三、历史洪水流量的推算方法.....103                 | § 5-3 流域汇流.....149                                  |
| 四、历史洪、枯水流量(或水位)重<br>现期的确定方法.....104   | 一、暴雨洪水形成过程.....149                                  |
| 五、应用洪、枯水调查资料确定设计<br>洪、枯水流量的方法.....105 | 二、等流时线原理.....150                                    |
| * § 3-7 水库调节与径流的关系.....106            | 三、不同净雨历时情况下的径流过程.....151                            |
| 一、水库库容组成.....106                      | 四、暴雨洪峰流量公式.....152                                  |
| 二、水库对年径流的调节.....108                   | § 5-4 暴雨洪峰流量的推理公式.....153                           |
| 三、水库对洪水的削减.....109                    | 一、水科院水文所公式.....154                                  |
| 四、调洪计算基本原理.....110                    | 二、铁一院两所公式.....164                                   |
| * § 3-8 潮汐河口的设计水位.....113             | § 5-5 地区性经验公式及水文手册的应用.....175                       |
| 一、潮汐河口的水文情势.....113                   | 一、以流域面积 $F$ 为参数的地区经验<br>公式.....175                  |
| 二、潮汐河口的设计潮水位计算.....117                | 二、包含降雨参数的地区经验公式.....175                             |
| 复习思考题.....119                         | 三、水文手册的应用.....176                                   |
| 第四章 降水资料的收集与整理.....122                | 复习思考题.....176                                       |
| § 4-1 降水.....122                      | 附录.....178  |
| 一、降水的观测.....122                       | 附表1 经验频率 $P = \frac{m}{n+1} 100\%$ 表.....178        |
| 二、降水三要素.....122                       | 附表2 海森机率格纸的横坐标分格表.....183                           |
| * § 4-2 降水分布.....123                  | 附表3 P-III型曲线 $\Phi_p$ 值表.....184                    |
| 一、流域平均降水量.....123                     | 附表4 P-III型曲线 $K_p$ 值表.....188                       |
| 二、多年平均最大24小时降水量.....125               | 附表5 克里茨基与闵凯里曲线 $K_p$ 值表.....200                     |
|                                       | 附表6 P-III型曲线三点法 $S$ 与 $C_s$ 关系表.....207             |
|                                       | 附表7 P-III型曲线三点法 $C_s$ 与有关 $\Phi_p$ 值<br>关系表.....209 |
|                                       | 附表8 天然河道糙率表.....212                                 |
|                                       | 主要参考书目.....214                                      |

# 绪 论

## 水文现象及水分循环

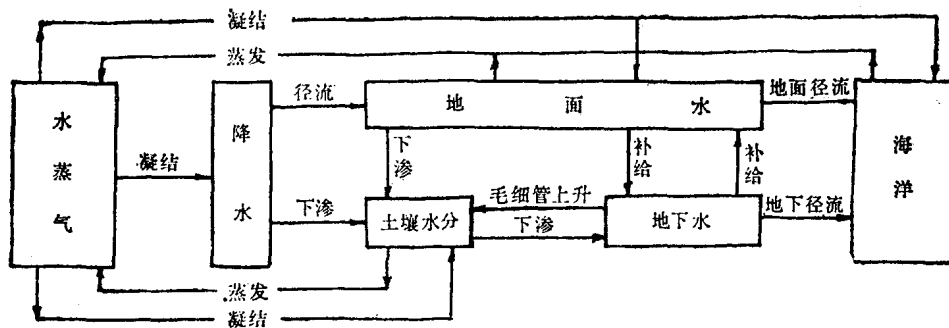
地球上的水主要受太阳辐射和地心引力的两种作用而不停地运动，其表现形式可概括为四大类型，即降水、蒸发、渗流和径流，统称为水文现象。降水的形式有雨、雪、霰、雹等，凡空气中水汽以任何方式冷凝并降落在地表的都属降水。蒸发则是地表向空中逸散水分，这种使水上升成为水汽的途径有截留蒸发、地面蒸发、叶面散发、水面蒸发和海洋蒸发等五种。所谓截留蒸发是指那些并未落到地面而被植物截留了的降水重新蒸发的现象，所谓叶面散发是指从植物叶孔中逸出水汽的现象，有时也称为蒸腾。渗流是水从地表渗透到地内，以及在地内流动的现象，可分为两步：下渗或入渗是指地表水经过土壤表面进入土壤的过程；渗透是指水分在土壤内的运动。径流分为地面径流和地下径流两种：地面径流是水在地面上流动的现象，包括坡地漫流和河槽流动两个过程在内；地下径流是水在地下含水层内流动的现象。在这些水文现象中，和人类经济活动关系最密切的就是河川径流，是水文学研究的主要对象。

地球上的水在太阳热能的作用下，不断蒸发而成水汽，上升到高空，随大气运动而散布到各处。这种水汽如遇适当条件与环境，则凝结而成降水，下落到地面。到达地面的雨水，除部分为植物截留并蒸发外，一部分沿地面流动成为地面径流，一部分渗入地下沿含水层流动成为地下径流，最后，它们之中的大部分都流归大海。然后又重新蒸发，继续凝结形成降水，运转流动，往复不停。这种过程，称为自然界的水分循环，其示意图可见图绪-1和图绪-2。



图绪-1 水分循环示意

根据水分循环过程的整体性和局部性，可把水分循环分为大循环与小循环两类。由海洋蒸发的水汽降到大陆后又流归海洋的循环，称为大循环；海洋蒸发的水汽凝结后成为降



图绪-2 水分循环表解

水又直接降落在海洋上，或者陆地上的降水在没有流归海洋之前，又蒸发到空中去的这些局部循环，称为小循环。陆地上小循环之所以重要，在于地方性蒸发所产生的水汽，既增加了当时大气中的水汽含量，又改变了大气的物理状态，因此创造了降水的有利条件，直接影响到人类的经济活动。

研究水分循环的目的，在于认识水分循环的客观规律，了解其各项影响因素间的内在联系，为改造自然、开发水利资源提供理论根据。

## 水文学的分类与本课程的内容

水文学是研究水在自然界循环过程中所产生的各种现象及其变化规律的科学。由前述水分循环可知，广义的水文学可分为地表水文学、水文气象学与水文地质学。水文气象学属于气象学中的一个学科，研究大气中水汽运动的规律；水文地质学属于地质学中的一个学科，研究地下不同形态的水的运动规律。地表水文学又分为陆地水文学与海洋水文学两大类，通常所说的水文学只是指的陆地水文学。在陆地上，有些水的径流现象与规律具有其特殊性，在研究利用过程中，已发展成为独立的学科，如冰川学、湖泊学、沼泽学、河流学、河口学等。近代陆地水文学包括以下四个学科：水文测验学，研究水文资料的搜集、量测和成果整编的手段和方法、布设水文站网的理论等；水文地理学，它根据水文特征和自然地理因素之间的相互关系，研究水文现象的地区性分布与变化的规律；普通水文学，研究自然界中各种水体的水文特征、基本变化规律以及彼此间相互依存的一般性问题；工程水文学，研究流域规划、各种工程建设所需要的水文水利计算原理和方法，预估长期水文情势，以及工程施工和运用期间的水文预报等。

研究水文学的目的，是深入认识与广泛运用水文规律，为国民经济建设服务，为给水排水工程的规划、设计、施工及管理提供正确的水文资料及分析成果，以利充分开发与合理利用水利资源、减免水害，充分发挥工程效益。

本课程的内容，主要叙述水分循环运动中，从降水到径流入海的这一段过程中，关于地面径流的运动规律、量测方法及在工程上的应用等问题，基本上属工程水文学的范围。它包括河川及径流的基本概念，河川水文要素量测方法，水文分析中常用的数理统计的基本原理，河川径流的年际变化与年内分配，枯水径流与洪水径流的调查分析与计算，降雨



资料的整理与暴雨公式的推求，小流域暴雨洪水流量的计算等。

通过本课程的学习，要求能了解河川水文现象的基本规律，掌握水文统计的基本原理与方法，能够独立地进行一般水文资料的收集、整理工作；具有一定的水文分析计算技能。由于水文现象本身所具有的特点，一般在处理上多运用数理统计方法进行分析，注重实际资料的收集，强调深入现场进行调查研究。因此在学习中，不仅要学会某种具体方法，而且要体会运用这种方法的条件。总之，随时注重资料收集，深入掌握分析方法，全面熟悉应用条件，才能在学习中有所获益。

## 水文学与给水排水工程的关系

采用地面水为水源的给水工程，首先要考虑水源的水量变化及其取用条件。当水源水量丰沛时，需要了解水位、泥沙及冰凌的变化情况；当水源水量不足时，就要设法以丰补歉、进行水量的引取、蓄放与调节，需要对径流的年际变化及年内分配等水文情况进行分析。如果给水与灌溉、航运、水力发电等其他水利工程设施配合在一起综合利用水利资源时，其水文分析与计算的内容就更加复杂、更加广泛得多。排水工程中雨水的排泄、洪水的防御，都要预先求得暴雨和洪水的大小和变化情况。这些都需要进行水文资料的收集、分析与计算。因之，水文学与给水排水工程关系密切，对它具有重要意义。

## 水文现象的特点与研究方法

唯物辩证法认为世界上的事物和现象不仅普遍具有内在联系，而且经常处于不断地运动变化之中，水文现象也不例外。根据对立统一规律，水文现象的基本特征可以归结为以下两个方面。

一、在水文现象的时程变化方面存在着周期性与随机性的对立统一。

水文现象的变化对任何一条河流都有一个以年为单位的周期性变化。例如，每年河流最大和最小流量的出现虽无具体固定的时日，但最大流量每年都发生在多雨的汛期，而最小流量多出现在雨雪稀少的枯水期，这是由于影响河川径流的主要气候因素有四季交替变化的结果。又如，靠冰川或融雪补给的河流，因气温具有年变化的周期，所以随气温变化而变化的河川径流也具有年周期性，其年最大冰川融水径流一般出现在气温最高的夏季七、八月间。有些人在研究某些长期观测的资料时发现，水文现象还有多年变化的周期性。

另一方面，河流某一年的流量变化过程，实际上不会和另一年的完全一样，每年的最大与最小流量的具体数值也各不相同，这些水文现象的发生在数值上都表现为随机性，也就是带有偶然性。因为影响河川径流的因素极为复杂，各因素本身也在不断地发生着变化，在不同年份的不同时期，各因素间的组合也不完全相同，所以受其制约的水文现象的变化过程，在时程上和数量上都没有重复再现过，都具有随机性。

二、在水文现象的地区分布方面存在着相似性与特殊性的对立统一。

不同流域所处的地理位置如果相近，气候因素与地理条件也相似，由其综合影响而产生的水文现象在一定范围内也具有相似性，其在地区的分布上也有一定的规律。如在湿润

地区的河流，其水量丰富、年内分配也比较均匀，而在干旱地区的大多数河流，则水量不足，年内分配也不均匀。又如同一地区的不同河流，其汛期与枯水期都十分相近，径流变化过程也都十分相似。

另一方面，相邻流域所处的地理位置与气候因素虽然相似，但由于地形地质等条件的差异，从而会产生不同的水文变化规律。这就是与相似性对立的特殊性。如在同一地区，山区河流与平原河流，其洪水运动规律就各不相同；地下水丰富的河流与地下水贫乏的河流，其枯水水文动态就有很大差异。

由于水文现象具有时程上的随机性和地区上的特殊性，故需要对各个不同流域的各种水文现象进行年复一年的长期观测，积累资料，进行统计，分析其变化规律。又由于水文现象具有地区上的相似性，故只需有目的地选择一些有代表性的河流设立水文站进行观测，将其成果移用于相似地区即可。为了弥补观测年限的不足，还应对历史上和近期发生过的大暴雨、大洪水及特枯水等进行调查研究，以便全面了解和析水文现象周期性、随机性的变化规律。

由上述水文现象的基本特征可知，对水文现象的分析研究，都要以实际观测资料为依据。按不同目的要求，可把水文学常用的研究方法归结为以下三类。

一、成因分析法 根据水文站网和室外试验的观测资料，从物理成因出发，研究水文现象的形成过程，以阐明水文现象的本质及其内在联系。但由于影响水文现象的因素极其复杂，其形成机理还不完全清楚，因而本法在定量方面仍然存在着很大困难，目前尚不能满足工程设计的需要。

二、数理统计法 基于水文现象具有的随机特性，可以根据概率理论，运用数理统计方法，处理长期实测所获得的水文资料，求得水文现象特征值的统计规律，为工程规划、设计提供所需的水文数据。这种方法是根据过去与现在的实测资料来推算未来的变化，但它未能阐明水文现象的因果关系。若本法与物理成因法结合起来运用，可望获得满意成果。

三、地理综合法 因气候因素和地形地质等因素的分布具有地区特性，从而使水文现象的变化在地区的分布上也呈现出一定的规律性。因此，可建立水文现象的地区性经验公式，也可与地图结合在一起绘制水文特征值的等值线等，以分析水文现象的地区特性，揭示水文现象的地区分布规律。

在解决实际问题时，以上三类方法常常同时使用，它们应该是相辅相成、互为补充的。经过多年实践，我国已初步形成一种具有自己特点的研究方法，已概括为“多种方法，综合分析，合理选定”的原则。我们在使用时，应根据工程所在地的地区特点，以及可能收集到的资料情况，对采用的方法应有所侧重，以便为工程规划设计提供可靠的水文依据。

# 第一章 水文学的一般概念与水文测验

## § 1-1 河流和流域

径流是水循环中一个重要的环节。降水落到地面，除下渗、蒸发等损失外，其余水流都以径流的形式注入河流。河中水流以其所具有的能量，冲刷河床，搬运泥沙，改变着河谷的面貌。河流流经地区的地理特征也影响着径流的形成与变化，使流经不同自然地理环境的河流具有不同的特性，因而使它们之间的水文现象也存在着差异。了解河流特性，在于掌握河流特征与径流等水文现象之间的关系，使水文分析与计算更能符合河流的实际情况。

### 一、干流及支流

将汇集的水流注入海洋或内陆湖泊的河流叫做干流。甲河注入另一条乙河，则甲河是乙河的支流。支流可分成许多级：直接汇入干流的河流叫干流的一级支流，直接汇入一级支流的河流叫干流的二级支流，直接汇入二级支流的叫干流的三级支流，其余的可依次类推。河流的干流及其全部支流，构成脉络相通的河流系统，称为河系或水系。水系通常用干流的名称来称呼它，如长江水系、黄河水系等。但在研究某一支流或某一地区的问题时，也可用该地区水系的名称来称呼它，如湘江水系、洞庭湖水系等。

### 二、河长及弯曲系数

从河源到河口的距离称为河长。河长是确定河流落差、比降和能量的基本参数。测定河长，要在精确的地形图上画出河道中泓线，用两脚规逐段量测。所用地图的比例尺愈大，测得的结果就愈接近于真实的河长，因为河流的弯曲程度和两脚规的开距都影响量测的结果。一般在1:50000及1:100000的地形图上量取河长时，两脚规的开距常采用1~2毫米。

弯曲系数表示河流平原形状的弯曲程度，是河道全长与河源到河口间直线距离之比。根据这个定义，任何河段的弯曲系数也可依同理求出。河流的弯曲程度可说明河流流经地区的地质地貌等特点，也是影响河流水力特性的因素之一。

### 三、河槽基本特征

1. 河流的平面形态——在平原河道，河床深度的分布与河流平面形态有着密切的关系。由于河中环流的作用、泥沙的冲刷与淤积，使平原河道具有蜿蜒曲折的形态。图1-1为河段某一水位下的等深线图。在河流凹岸，水深较大，称为深槽。两反向河湾之间的直段，水深相对地较浅，称为浅槽（图1-1中的 $A_2 - A_2$ 断面）。深槽与浅槽沿水流交替出现，具有一定的规律。河槽中沿流向各最大水深点的连线，叫做溪线，也称为中泓线。

山区河流一般为岩石河床，平面形态异常复杂，并无上述规律，其河岸曲折不齐，深度变化剧烈，等深线也不匀调缓和。

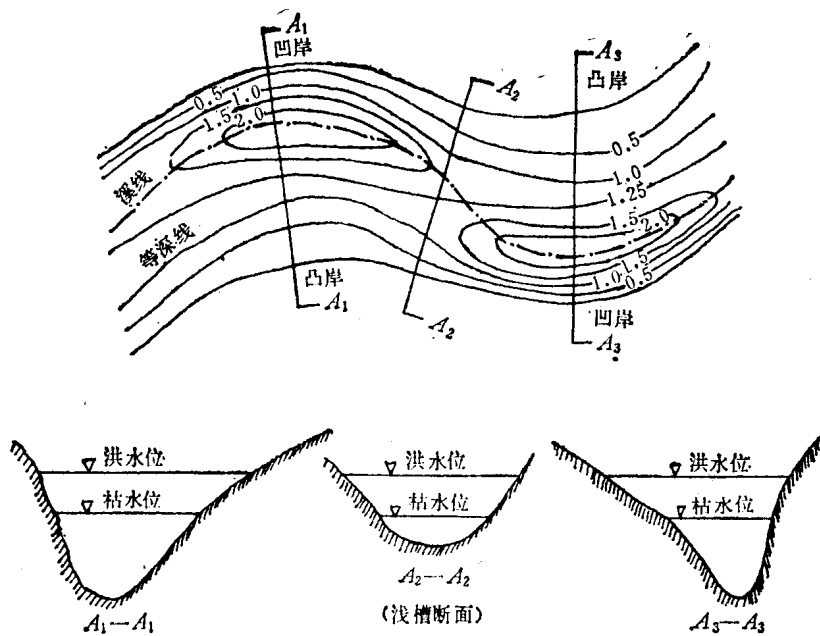


图 1-1 河流等深线图

2. 河流的纵断面——一般是指沿河流中泓线的断面。用高程测量法测出该线上若干河底地形变化点的高程，以河长为横坐标，河底高程为纵坐标，可绘出河面的纵断面图（图 1-2）。它明显地表示出河底的纵坡和落差的分布，是推算水流特性和估计水能蕴藏量的主要依据。

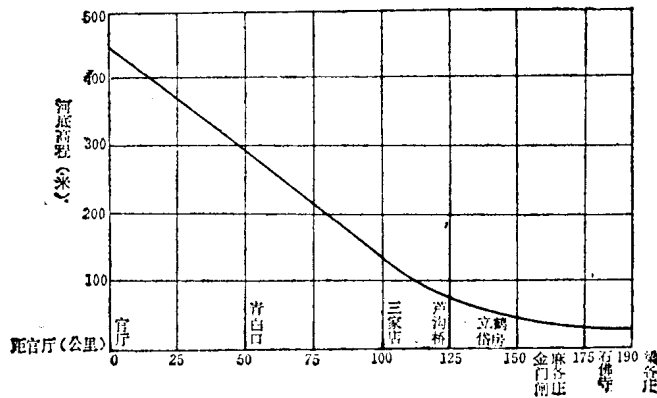


图 1-2 永定河官厅—梁各庄间河道纵断面图

3. 河流的横断面——一般是指与水流方向相垂直的断面。两边以河岸、下面以河底为界的称河槽横断面；包括水位线在内的横断面则称为过水断面。根据横断面形状又可分为单式及复式两种。单式断面如图 1-1 所示，复式断面如图 1-3 所示。枯水期水流通过的部分，称为基本河槽，也叫枯水河槽或主槽；只有在洪水期才为洪水泛滥淹没的部分，称为洪水河槽或叫河漫滩。河流横断面是计算流量的重要依据。

河流的纵、横断面由于与水流的相互作用，都是随着时间变化的。纵断面的下游一般

多因泥沙淤积而不断增高，上游则被冲刷加深。横断面则经常处于冲淤交替的过程中。河流断面的发展变化主要决定于河槽所在的地理位置和地质构造、河槽组成物质和水流情况等条件。

4. 河流的比降 河流的比降也称坡度。任意河段首尾两端的高程差与其长度之比就是该河段的比降：

$$J = \frac{Z_1 - Z_2}{L}$$

(1-1)

式中  $J$ ——河底或水面比降，

常用百分率(%)或千分率(‰)表示；

$Z_1, Z_2$ ——分别为河段首端和终端的高程，以米计。用河底高程计算时为河底比降；用水面高程计算时为水面比降；

$L$ ——河段长度，常以公里计。在计算比降时应换算为米。

上式为河流某段的平均纵比降，一条河流各段的比降可能不一致，为了说明整个河流比降情况，还需利用公式(5-30)求其平均值。

河床的纵比降自河源向河口逐渐减小，图1-2是河北省永定河的纵断面图，可以明显看出河床纵比降的这种变化。

一般河流的横断面上还存在有水面横比降。产生的原因有二，一为地球自转所产生的偏转力(或称柯里奥里斯力)；二为河流弯道离心力。

河流横比降的存在，使水流在向下运动的过程中，在水体内产生一种横向水流，它与河轴垂直，表层横向水流与底层横向水流的方向恰恰相反，在过水断面上它们的投影将构成一个封闭的环流图1-4。实际上，横向环流与纵向水流结合起来，成为江河中常见的螺旋流。这种螺旋流使平原河道的凹岸受到冲刷，形成深槽，使凸岸受到淤积，形成浅滩，直接影响着取水口位置的选择。

#### 四、河流的分段

一条发育完整的河流，按照河段不同特性，可以划分为河源、上游、中游、下游和河口几个部分。

1. 河源——河流开始具有地面水流的地方称为河源。冰川、泉水、沼泽和湖泊往往是河流的源头。因此所谓河源，不只一点一线、而是呈现扇面状。

2. 上游——直接连接着河源而奔流于深山峡谷中的一段河流，落差大，水流急，冲刷强烈，常有急滩与瀑布，两岸陡峻，为峡谷地形(图1-5a)。

3. 中游——上游以下的一段河流，其比降逐渐缓和，河床冲淤接近平衡状态，两岸受河流的侵蚀而逐渐开阔，水量增加，两岸为U形河谷地形(图1-5b)。

4. 下游——河流的最下一段，河水奔流于冲积平原之上，坡度缓、水流慢、泥沙淤积，沙洲众多，河曲连绵不绝，断面复杂(图1-3)。

5. 河口——河流的终点，是河流注入海洋、湖泊或其他河流的地方。消失在沙漠之中的河流则没有河口。由于河口处的水流断面突然扩大，水流速度骤减，河水挟带的泥沙就

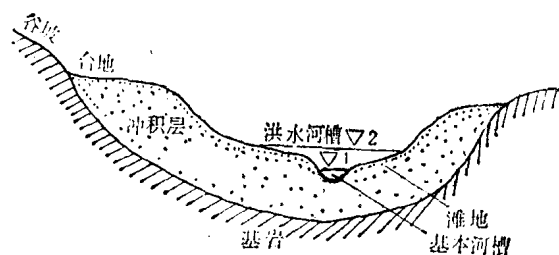


图 1-3 河流横断面图

1—枯水位；2—洪水位

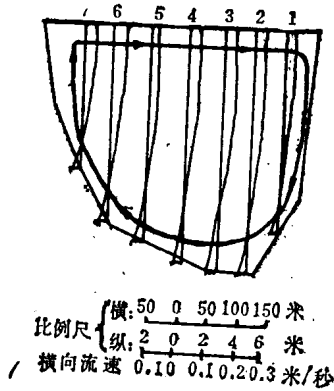


图 1-4 河流横断面内的环流及横向流速

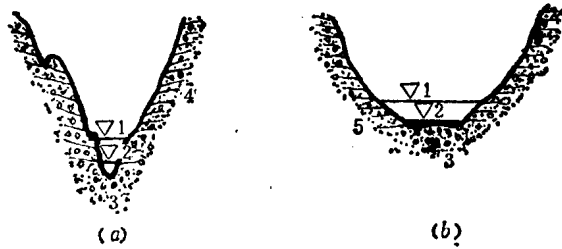


图 1-5 北盘江毛虎段河谷断面形态

(a) 虎跳石 V 形谷, (b) 星光湾 U 形谷  
1—洪水位; 2—枯水位; 3—砂卵石层; 4—崩坍岩石; 5—页岩

大量沉积在这里, 往往形成沙洲或河口三角洲。

### 五、流域及分水线

某一河流的流域是指该河河口断面以上的集水区域, 凡降落在这个区域上的雨水都沿着地面斜坡直接流入该河或经过支流注入该河, 并流出河口断面。流域四周的边界称为分水线或分水岭。每个流域的分水线就是流域四周地面最高点的连线, 通常就是流域四周山脉的脊线。

流域的分水线所包围的面积就是流域面积。但给水工程需要的只是取水构筑物所在断面以上的那部分流域面积, 这样勾划求出的流域面积应与其出口断面一一对应。因此, 河流的流域面积根据需要可以计算到河流的某一取水口、水文站或支流汇入处。如图 1-10 所示, 为浙江衢江上游衢县水文站以上的流域及其分水线。

流域的地面分水线和地下分水线一般大体一致。有时因地质构造的原因而不一致,

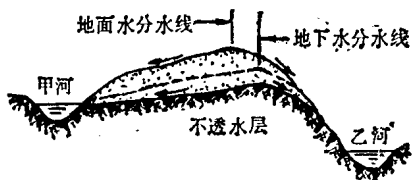


图 1-6 分水线

如图 1-6 所示, 如按地面分水线划分流域, 则相邻的乙河流域有一部分地下水补给甲河。对一般大中型流域, 这样按地面分水线划分流域所产生的补给相邻流域的水量, 比流域总水量要小得多, 可以略去不计。因此, 可以用地面集水区代表流域。但是在岩溶地区, 如这样补给相邻流域

的水量过大, 则要经过水文地质勘察工作仔细确定地面及地下集水区的范围, 以免发生大的误差。

## §1-2 河川径流及其表示方法

河川径流是指下落到地面上的降水, 由地面和地下汇流到河系并沿河槽流动的水流的统称, 河川径流量一般是指河流出口断面的流量或某一时段内的河水总量。此出口断面常

指文水站、或取水构筑物所在的断面。其中来自地面部分的称为地面径流；来自地下部分的称为地下径流，也叫地下水；水流中挟带的泥沙则称为固体径流。

河川径流量可用以下径流特征值来表示：流量、径流总量、径流模数、径流深度及径流系数等，分别叙述于后。

1. 流量 $Q$ ：单位时间内通过河流过水断面的水量，以米<sup>3</sup>/秒为单位。流量有瞬时流量、日平均流量、月平均流量、年平均流量和多年平均流量之分。

2. 径流总量 $W$ ：在一定时段内通过河流过水断面的总水量，以米<sup>3</sup>计。由于它是一个相当大的数字，实际上常用亿（10<sup>8</sup>）米<sup>3</sup>或公里<sup>3</sup>（10<sup>9</sup>米<sup>3</sup>）来表示。其计算公式为：

$$W = QT \quad (1-2)$$

由上式可知，一条河流通过某一控制断面的径流总量 $W$ ，等于计算时段总秒数 $T$ 乘以该时段的平均流量 $Q$ （米<sup>3</sup>/秒）。

3. 径流模数 $M$ ：单位流域面积 $F$ （平方公里）上平均产生的流量 $Q$ （米<sup>3</sup>/秒），叫做径流模数 $M$ ，以升/秒·公里<sup>2</sup>或秒升/公里<sup>2</sup>计，按下式计算：

$$M = \frac{1000 \times Q}{F} \quad (1-3)$$

4. 径流深度 $Y$ ：将计算时段内的径流总量，均匀分布于测站以上的整个流域面积上，此时得到的平均水层深度，就是径流深度 $Y$ ，计算公式如下：

$$Y = \frac{1}{1000} \frac{W}{F} \quad (1-4)$$

式中  $W$ ——径流总量（米<sup>3</sup>）；  
 $F$ ——流域面积（公里<sup>2</sup>）；  
 $Y$ ——径流深度（毫米）。

5. 径流系数 $\alpha$ ：同一时段内流域上的径流深度与降水量之比值就是径流系数：

$$\alpha = \frac{Y}{X} \quad (1-5)$$

式中  $Y$ ——所求时段内的径流深度（毫米）；  
 $X$ ——同一时段内的降水量（毫米）。

径流系数无量纲，它小于1。它的多年平均值 $\frac{Y_0}{X_0}$ 是一个稳定的数字，并且有一定的区域性。

上述各径流特征值之间存在着一定的关系，见表1-1。下面仅就径流深度与径流模数之间的关系加以说明。

由式（1-3）可得： $Q = \frac{FM}{1000}$

而  $W = QT = \frac{FMT}{1000}$

与式（1-4）比较得：

$$1000FY = \frac{FMT}{1000}$$

$$\therefore Y = \frac{MT}{10^6} \quad (1-6)$$

径流特征值关系转换表

表 1-1

| 关系转换式<br>转换后的单位 |                     | 转换前的单位               |                      |                     |                      |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|                 |                     | Q                    | W                    | M                   | Y                    |
|                 |                     | 米 <sup>3</sup> /秒    | 米 <sup>3</sup>       | 升/秒·公里 <sup>2</sup> | 毫米                   |
| Q               | 米 <sup>3</sup> /秒   | —                    | W/T                  | MF/10 <sup>6</sup>  | 10 <sup>3</sup> YF/T |
| W               | 米 <sup>3</sup>      | QT                   | —                    | MFT/10 <sup>6</sup> | 10 <sup>3</sup> YF   |
| M               | 升/秒·公里 <sup>2</sup> | 10 <sup>3</sup> Q/F  | 10 <sup>3</sup> W/FT | —                   | 10 <sup>6</sup> Y/T  |
| Y               | 毫米                  | QT/10 <sup>6</sup> F | W/10 <sup>6</sup> F  | MT/10 <sup>6</sup>  | —                    |

当T为一年并以365日计算时,  $T = 31.54 \times 10^6$ 秒

则

$$Y = 31.54M$$

式中 Y以毫米计, M以升/秒·公里<sup>2</sup>计。

在式(1-6)中T为任何时段的秒数, 代入后即可求出该时段径流深度与径流模数之间的数值关系。

### § 1-3 河川径流形成过程及影响径流的因素

#### 一、河川径流形成过程及其特征时期

地面径流的形成过程, 以降雨补给的河流为例, 可分为四个阶段(图1-7): 第一阶段是降水过程。流域内的径流由降雨产生, 所以降雨就成为径流形成的首要环节, 降雨的大小和它在时间上、空间上的分布, 决定着径流的大小和变化过程。第二阶段是蓄渗过程, 这阶段降雨全部消耗于植物截留, 土壤下渗、地面填洼以及流域蒸发, 当降雨强度逐渐加大而超过下渗强度时, 开始形成坡面上的细小水流, 第三阶段的坡地漫流过程即行开始。坡地漫流的开始时间各处并不一致, 它首先在流域内透水性低的地方和坡面陡峻处开始, 然后扩大范围以至遍及全流域。坡面水流逐渐填满大小坑洼, 注入小沟、溪涧而进入河槽, 形成第四阶段的河槽集流过程。进入河槽的水流沿河槽纵向流动, 在流动过程中沿途汇集了各干、支流的来水, 最后流经出口断面, 这是径流形成的最终环节。由于流域内

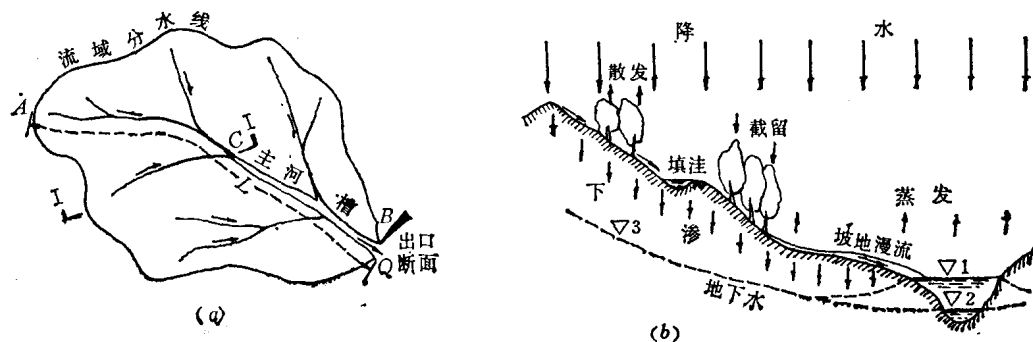


图 1-7 径流形成过程示意图

(a)流域平面图; (b)I-I剖面

1—洪水水位; 2—雨前水位; 3—地下水位



各点降雨和损失强度不同，其形成径流的过程互相交错，在汇流过程中沿途不断补充降雨，不断消耗于损失，所以上述四个阶段，实际上不能简单地割裂开来。

我国河流主要靠降雨补给。在华北、西北及东北的河流虽也受融雪补给，但仍以降雨补给为主，可称为混合补给。只有新疆、青海等地的部分河流是靠冰川或融雪补给，该地区的其他河流仍然是冰川、融雪与降雨的混合补给类型。

随着河流补给情况的变化，径流情况也相应发生变化，这种变化具有明显的以年为循环的周期性。一般可分为这样几个特征时期（图1-8）：夏、秋季洪水期（伏汛或秋汛），冬、春季枯水期或冰冻期（包括北方河流春季的桃汛或凌汛）。

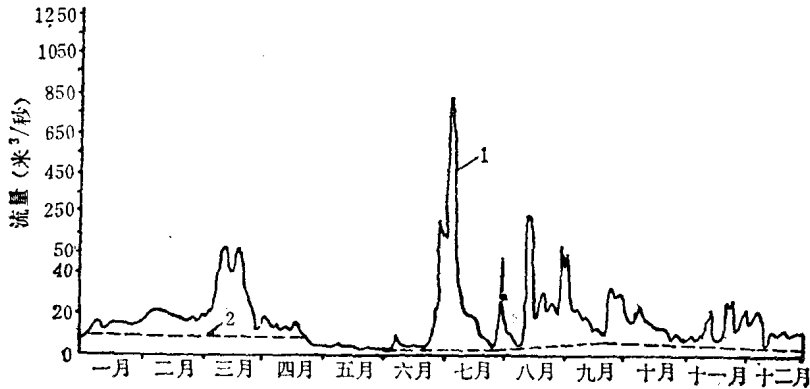


图 1-8 永定河三家店站1931年流量过程线  
1—流量过程线(实线)；2—地下水流量过程线(虚线)

## 二、影响径流的主要因素

从径流形成过程可知，各种自然地理因素都不同程度地影响着河川径流，它们是降水蒸发、地形地质、湖泊沼泽等，现分述如下。

1. 流域的气象条件——这是影响径流量的决定性因素，其中以降水和蒸发最为重要，直接影响流域内的径流量和损失量。图1-9是我国45条中等河流流域的平均年降雨量与平均年蒸发量、平均年径流量的相关情况，显示了降雨、蒸发与径流之间的密切关系。

降雨过程对径流形成过程影响最大。例如在相同的降雨量条件下，降雨强度越大，降雨历时越短，则流量越大，径流过程急促；反之，则流量小而径流过程平缓。

蒸发是流域内的水分由液态变为气态的过程。由于降雨时空气湿润，蒸发对一次降雨过程的作用不大，但平时流域内的土壤水分大都消耗于蒸发。我国湿润地区年降水量的30~50%、干旱地区年降水量的80~95%都消耗于蒸发，其剩余部分才形成径流。

其他气象因素如气温、湿度、风等，都通过降水和蒸发对径流产生间接作用。而以冰雪融水补给的河流，其径流变化与气温变化密切相关，有季变化与日变化之分。

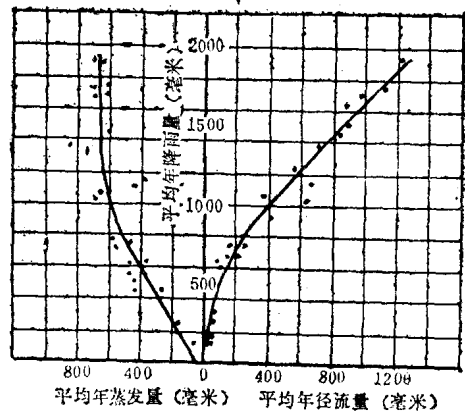


图 1-9 降雨量与蒸发量、径流量的关系