

511

45117.4

T-1

643999

高等学校教材

水文及水利水电规划

上册 工程水文

华东水利学院 西北农学院 武汉水利电力学院 合编



17.4
-1

水利出版社

511
4.12.74
1.1

前 言

本教材是根据1978年1月颁发的“全国高等学校水利水电工程建筑专业教学计划（征求意见稿）”的精神以及《水文及水利水电规划》教材编写大纲编写的，并按照本教材审稿会议的审查意见修改，然后由参加编写人集体讨论定稿。

本教材分上下两册：上册为工程水文，共八章；下册为水利水电规划，共六章。根据教材编写大纲的安排，各院校对本教材部分内容可根据地区特点进行取舍，特别是小字排的章、节、目，可以少讲或不讲。另一方面，教学中有需要而本教材又偏少或缺乏的内容，请各院校酌情补充。

上册以水文统计的基本理论和方法、设计年径流、设计洪水的推求等为主要内容。同时，扼要介绍了水文气象及其资料的搜集和整理、可能最大暴雨及可能最大洪水等方面的基本知识。此外，在附录中还列有由暴雨推求洪水的电算示例。下册在介绍水利资源综合利用的基础上，着重介绍兴利径流调节、洪水调节、水库及水电站的参数选择等原理和方法。同时，还介绍了中小河流的综合利用规划和水库调度等方面的基本知识。

整个教材由华东水利学院主编。上册由华东水利学院（编写绪论、第二章、第三章、第八章的§8-2）、西北农学院（编写第一章、第六章、第七章、第八章的§8 1和§8 3）、武汉水利电力学院（编写第四章、第五章、电算示例）三校合编，西北农学院沈晋教授负责初稿的汇总工作。下册由华东水利学院（编写第九章、第十一章、第十三章、第十四章）、天津大学（编写第十章）、清华大学（编写第十二章）三校合编，华东水利学院负责初稿的汇总工作。清华大学施嘉扬老教授热情地关心和支持本教材的编写工作，还亲自编写了部分内容。

本教材由成都科学技术大学（主审）、大连工学院、中山大学、合肥工业大学、华北水利水电学院、云南工学院、水利部规划设计管理局、长江流域规划办公室、电力部东北勘测设计院、电力部成都勘测设计院等单位审阅，提供了宝贵的修改意见；特别是成都科学技术大学吴明远副教授主持了本教材上、下册的审稿会议，并组织水利系有关同志为审稿会做了大量细致的准备工作。这些，对提高教材质量帮助很大。教材中有些材料引自兄弟学校和生产单位编写的教材、资料、技术文献、刊物等。编者在此一并致谢。

对于教材中的缺点错误，希望读者随时批评指正，函寄南京市华东水利学院河工系水能教研室，以便今后改进。

编者 1979年11月

目 录

前言

绪论..... 1

第一篇 工程水文

第一章 水文气象基本知识.....	5
§ 1-1 水循环及水量平衡.....	5
§ 1-2 河流和流域.....	6
§ 1-3 降水.....	12
§ 1-4 蒸发和入渗.....	24
§ 1-5 径流.....	27
第二章 水文资料的搜集和整理.....	33
§ 2-1 水文测站.....	33
§ 2-2 降水和蒸发的观测.....	34
§ 2-3 水位、流量、泥沙的测验.....	36
§ 2-4 历史洪水及枯水的调查和估算.....	46
§ 2-5 水文年鉴和水文手册.....	47
第三章 水文统计的基本知识及方法.....	49
§ 3-1 概率的基本概念与定理.....	49
§ 3-2 随机变量及其概率分布.....	53
§ 3-3 经验频率曲线.....	58
§ 3-4 统计参数与抽样误差.....	61
§ 3-5 理论频率曲线.....	69
§ 3-6 现行频率曲线的绘制方法(适点配线法).....	75
§ 3-7 相关分析.....	78
§ 3-8 组合频率.....	87
第四章 年径流及年输沙量.....	90
§ 4-1 影响年径流的因素.....	91
§ 4-2 有资料时设计年径流的分析计算.....	92
§ 4-3 缺乏资料时设计年径流的分析计算.....	98
§ 4-4 径流年内分配.....	102
§ 4-5 多年平均年输沙量的估算.....	104
第五章 由流量资料推求设计洪水.....	108
§ 5-1 概述.....	108
§ 5-2 设计洪峰流量的计算.....	110
§ 5-3 设计洪量的计算.....	115
§ 5-4 设计洪水过程线.....	117

§ 5-5 其他设计洪水问题.....	122
第六章 由暴雨资料推求设计洪水.....	126
§ 6-1 暴雨特征曲线.....	126
§ 6-2 设计暴雨的推求.....	129
§ 6-3 设计净雨的推求.....	134
§ 6-4 设计洪水过程线的推求.....	138
§ 6-5 小流域设计洪水的估算简述.....	150
第七章 可能最大暴雨及可能最大洪水的估算.....	155
§ 7-1 概述.....	155
§ 7-2 暴雨形成的物理条件及降水量公式.....	155
§ 7-3 当地典型暴雨法.....	160
§ 7-4 移置暴雨法.....	163
§ 7-5 可能最大暴雨等值线图的应用.....	165
§ 7-6 可能最大暴雨成果的合理性分析.....	168
§ 7-7 可能最大洪水的估算.....	170
第八章 其他水文问题简介.....	172
§ 8-1 水文预报.....	172
§ 8-2 潮汐河口的水文特性.....	177
§ 8-3 近代水文发展的若干动态.....	182
附录	
附录 1 电算示例——由暴雨推求洪水.....	188
附录 2 经验频率 $P = \frac{m}{n+1} \times 100(\%)$ 值表.....	195
附录 3 皮尔逊Ⅲ型曲线的高均系数 Φ 值表.....	196
附录 4 三点法用表—— S 与 C_s 关系表.....	198
附录 5 三点法用表—— C_s 与 Φ_p 值关系表.....	199
附录 6 瞬时单位线 S 曲线查用表.....	200
附录 7 1000毫巴地面到指定压力(毫巴)间饱和和假绝热大气中的 可降水量(毫米)与1000毫巴露点($^{\circ}\text{C}$)函数关系表.....	203
附录 8 1000毫巴地面到指定高度(高出地面数)间饱和和假绝热大气中的 可降水量(毫米)与1000毫巴露点($^{\circ}\text{C}$)函数关系表.....	204

绪 论

一、我国丰富的水利资源

水是人类生活与生产劳动所必不可少的物质。人们对水的利用十分广泛，但大体上可以归纳为以下几类：（1）农业（以及林、牧、副业）生产用水，主要是农田灌溉，是大量消耗水的部门；（2）水产养殖，主要是养鱼，基本上不耗水，而是利用河湖、池沼、水库等水体空间或其他水面为水产养殖场所；（3）工业生产用水，是消耗水的部门；（4）城镇居民生活用水，也是消耗水的部门；（5）水力的利用，主要是水力发电，基本上不耗水，而是利用河流或潮汐等天然水流的水力（水能）；（6）航运，即船筏水运，也不耗水，而是利用河湖、港湾等为水运的航道；（7）水利环境保护，如水域防污、改善环境等等。这些水利部门中，水力发电是一种特殊的水利部门，它利用天然水能来生产电能，因而又是电力工业的一个重要组成部分，是为发展国民经济提供动力的先行工业之一。

正因为人类对水的需要和利用是如此广泛和不可缺少，就使地面的和地下的水源成为一种重要的自然资源，称为水利资源。水利资源范围很广，大体上包括：江河、湖泊、井泉以及高山积雪冰川等可供长期利用的水源^①；河川水流、沿海潮汐等所蕴藏的天然水能；江河、湖泊、海港等可供发展水运的天然航道；以及可用来发展水产养殖事业的天然水域等等。其中，河川水流及沿海潮汐所蕴藏的天然水能又专门地称为水力资源（其数量是用相当于多少电力功率来表示的，以千瓦为计算单位）。水力资源是水力发电站生产电能的“原料”，因此是一种宝贵的能源。

我国水利资源蕴藏量非常丰富。我国河流众多，总长度达42万多公里，流域面积在100平方公里以上的就有5000多条。其中，大江大河有长江、珠江、黄河、黑龙江、雅鲁藏布江、淮河、海河、辽河、怒江、浊水溪等水系。我国还有星罗棋布的天然湖泊，其中较大和著名的有鄱阳、洞庭、洪泽、太湖、青海和日月潭等。这些江河湖泊的入海总水量平均每年达26800亿米³。我国可通航的内河水道总里程达16万公里，还有2万多公里长的海岸线，有着许多优良的不冻海湾可供建设海港。我国河湖可供淡水水产养殖的水面积约7万平方公里，沿海还有大面积海洋水产养殖场。特别是，我国水力资源极其丰富，居世界各国之首，仅河川水力资源的蕴藏量就有约5.8亿千瓦（按多年平均流量估算），而沿海尚有巨大的潮汐水力资源。丰富的水力资源，与丰富的石油、煤炭等，构成了极其雄厚的能源储备，必将为我国实现四个现代化作出巨大的贡献。

事物总是一分为二的。我国水利资源虽很丰富，但在时间和地理的分布上却很不均匀。从地理分布上来看，水利资源比较集中于长江、珠江、以及西南国际水系。例如，长江、珠江两条河，流域面积共约220多万平方公里，约占全国领土总面积的23%，入海水量平

^① 海水经过淡化之后，可以饮用或供工业用水；近年来有用海水灌溉的成功试验；辽阔的海洋也是海运通道，等等。但习惯上不将海洋列为水利资源。

均每年共约13800亿米³，约占全国总水量的51%。而位于华北的黄河、海河、淮河，流域面积共约120多万平方公里，约占全国领土总面积的12%，入海水量平均每年共约1000亿米³，还不到全国总水量的4%。至于新疆、内蒙、青海和甘肃西部等干旱地区，虽然幅员广阔，面积约有全国领土总面积的三分之一，但却是雨水稀少，而蒸发能力却很大，河水往往半途就蒸发、渗漏光了，只能形成一些季节性有水的“无尾河”。再看时间上的分布，以黄河为例，一般说来，7~10月四个月的入海水量约占全年的60%，甚至一个月的水量可达全年的四分之一弱。而冬春旱季，每月水量平均只有全年的3~5%。因此，冬春最小流量还不到200米³/秒，而夏秋洪水期最大流量可达36000米³/秒，二者相差达100多倍。

由于我国水利资源分布得很不均匀，再加上许多江河湖泊尚处于天然状态下，未得到很好的开发治理，遇到久旱不雨，或雨水过多，就会在不同地区形成不同程度的洪、涝、旱灾。严重时，会给国民经济和人民生命财产带来重大损失。因此，我们在开发利用水利资源的同时，还必须十分重视防洪与治涝，也就是“除水害”。要兴水利、除水害，就要兴建一定的水利工程。水利工程有些是为某一单独的水利部门服务的，称为单目标水利工程。例如：防洪工程、灌溉工程、水力发电工程、航运工程等。有时，一项水利工程可以同时为好几个不同的水利部门服务，就称为多目标水利工程，或综合利用水利工程。

我国历史悠久，面对着丰富的水利资源，我们的祖先通过长期的生产斗争，逐步积累了大量兴水利、除水害的宝贵经验，并遗留下不少水利科学著作。几千年来，出过不少杰出的水利建设家，例如李冰、王景、潘季驯等。并且，陆续建造过不少举世闻名的水利工程，例如，四川岷江上的都江堰，纵贯南北的大运河，沟通湘江与桂江的灵渠，等等。至于在水力的利用方面，早在二、三千年前，我们的祖先就已经创造出了水磨、水碓、筒车、水排等古老的水力机械，用来磨面、舂米、提水灌溉、鼓风冶金等，曾在古代工农业生产中发挥过一定作用。

虽然我国古代水利科学技术在当时相对地比较发达，但几千年的封建社会制度，极大地阻滞了我国水利科学技术的发展。特别是，水利资源和水利工程常被反动统治阶级所霸占，用来作为剥削、压迫、甚至屠杀人民的工具。1642年明王朝为了扑灭农民起义的烈火，竟决黄河水淹开封城，致使城内37万居民被淹死34万人^①，就是一个突出的例子。在国民党政权统治期间，这种现象更是比古代有过之而无不及。那时，帝国主义、地主、官僚资产阶级互相勾结，借兴修水利之名，对中国人民敲骨吸髓、残酷剥削、疯狂掠夺。以致水利年久失修，水旱灾害频繁，古代遗留下来的一些水利工程也逐渐残破，甚至湮没。严重的例子有：日本帝国主义侵占我国东北后，强迫大批中国人民服苦役，去修建丰满大型水电站，十年期间被折磨惨死在工地的中国“劳工”有好几万人。再如，1938年6月，日本侵略军侵占开封后，国民党军队为了自己逃命，竟炸开黄河花园口大堤，以致淹没了四十余县约3000万亩土地，淹死89万无辜群众，受灾人口达1250万人，并使多沙的黄河水侵夺淤塞了淮河，造成了一个面积达54000平方公里、“十年九不收”的黄泛区^②。这类罪行是极为骇人听闻的。

① 见《人民黄河》，水利电力出版社，1959年。

② 见《人民黄河》，水利电力出版社，1959年。

二、我国水利水电建设的成就和展望

新中国成立以后,党和政府十分重视水利水电建设。一方面大力整修、恢复和扩建原有残破的水利工程,一方面又积极防治水旱灾害、开发利用水利资源。先后有计划地开始综合治理黄河、淮河、海河等灾害较多的水系,同时又对水利资源较为丰富的长江、珠江等流域分期进行综合开发,取得了很大成就。截至1978年底^①,全国共整修、新修了16.5万公里的堤防、圩垸,保护面积达4.8亿亩,并疏浚、开挖了许多排洪、排涝河道。共建成了水库84000多座,其中大型311座,中型2205座。共修建了万亩以上灌区5200多处(其中30万亩以上的150处);机电井发展到220万眼,机电排灌能力发展到6400万马力(1马力=0.736千瓦)。现在,全国灌溉面积已由解放初期的2.4亿亩增加到7亿亩,其中保证灌溉面积5.8亿亩。全国水电站装机容量由解放初期的16万千瓦增加到1978年底的1727万千瓦,年发电量由7.1亿度增加到446.32亿度。这些,对抗御水旱灾害、夺取农业丰收、促进工业发展,都起了重要的作用。

水文工作是水利水电建设及其他工程建设的尖兵。新中国成立以来,在水文工作方面也取得了很大的成就,为水利水电建设等提供了可靠的水文资料。例如:建立了一个比较完整而规模巨大的水文站网,遍布全国各大、中流域,各级测站的总数达解放初的几十倍;清理并整编了过去长期积压下来的大量水文资料,基本上做到当年资料次年整编完成,并在此基础上出版了逐年按水系流域及地区划分的全国水文年鉴;编制了各省、市、自治区的水文手册和水文图集,为中小河流的水利建设提供了水文依据;积累了符合我国实际情况的水文计算经验,制定了相应的计算方法;开展了全国各流域的可能最大暴雨估算,以及水文预报的研究;等等。

在上述这些广泛开展的水文工作和水利水电建设过程中,培养出了大批科学技术人才,促进了我国水文及水利水电科学技术的发展,也建成了一支群众性的水文工作和水利水电建设大军,为今后更加宏伟的水利水电建设打下了良好的基础。

到目前为止,我国丰富的水利资源才只开发利用了很小一部分,今后开发利用的前景还非常宽广。根据新时期总任务的精神,今后要充分发动群众,大搞以改土治水为中心的农田基本建设。国家要抓好大型水利工程的建设,继续治理黄河、长江、淮河、海河、辽河、珠江等大江大河,搞好解决西北、华北、西南地区干旱问题的骨干工程,……。各地要因地制宜地搞好中、小水利工程,认真抓好坡地、盐碱地、红壤土等低产田的治理。同时,要把电力作为突出矛盾抓上去,在积极发展火电的同时,要多搞水电。还要加快沿海港口的建设,大力发展内河航运,等等。我们水文及水利水电建设工作者,一定要为坚决完成上述任务而努力奋斗,为加快我国社会主义经济建设、尽快实现四个现代化而贡献我们的力量!

三、水文及水利水电规划课程的目的和主要内容

本课程分为两部分:工程水文学、水利水电规划。水文学是研究自然界各种水体的变化规律的学科。而工程水文学是研究为工程建设服务的有关水文问题,即为水利等工程的规划、设计、施工、管理运用提供有关暴雨、洪水、年径流、泥沙等方面的分析计算和预

^① 见《水利水电技术》,1979年第7期。

报的水文依据。水利水电规划则是根据国民经济的实际需要，以及水利资源的客观情况，研究如何经济合理地开发水利资源、治理河流，确定水利水电工程的开发方式、规模和效益，以及拟订水利水电工程的合理管理运用方式，等等。

水利水电工程建筑专业的业务内容，是各项水利水电工程的规划、设计、施工和管理。要建设好水利水电工程，必须首先了解工程所在地的自然条件，尤其是要掌握反映水利资源情况的水文条件，为规划、设计、施工和管理运用等工作提供可靠的水文依据。否则，盲目设计、施工、管理等，就容易产生严重的事故(如溃坝)，或使工程达不到预期的效益，而浪费人力、物力、财力。在这方面，我们有深刻的教训。在掌握必要的水文资料以后，还必须进行认真细致的规划工作。这是水利水电建设的战略部署，如果不认真做好，也会使国家和人民的利益遭到严重的损失。在这方面，我们同样地有深刻的教训。

因此，本专业的学生必须学习工程水文和水利水电规划的基本知识，初步掌握这方面的分析计算方法，以便毕业后，经过实践的锻炼，能够参加这方面的工作。这正是本课程的目的。

必须指出，工程水文学和水利水电规划的范围很广、内容很丰富，还在不断地发展，仍有不少问题有待研究解决。本课程因为学时有限，受篇幅限制，所介绍的内容仅仅是工程水文学和水利水电规划的基本知识。至于进一步的知识，有待读者在今后长期工作实践中逐步积累，并对尚未解决的问题进行探索，使它获得进一步的发展。

第一篇 工程水文

第一章 水文气象基本知识

§ 1-1 水循环及水量平衡

一、自然界的水分循环

地球上的水分主要存在于三个方面：（1）地球表面上，如海洋、湖泊、河流等，其中海洋的水量最多；（2）地球表面下；（3）大气层中，多数以水汽形态存在着。由于太阳辐射热及地球引力的作用，地球上各部分的水分不断交替运行。海洋和大陆表面的水分受太阳辐射热作用，蒸发上升到大气中，与大气中的水分一起，在一定条件下，又凝结成降水，重新落到地球表面。降到地表上的水分一部分又蒸发，另一部分则经过河道汇入海洋。这种周而复始的运行过程称为水循环。

降水到达地面后，一部分渗入地表，另一部分沿地表坡面流动。沿坡面流动的水，除一部分蓄在地面低洼处外，其余的由沟涧流入河道，再流到出口断面，这部分水称为地面径流。渗入地面下的水，除增加土壤含水量外，还可能有一些水一直渗入地下水，以渗流方式补给河道，形成地下径流。

从海洋蒸发的水分，部分随大气运行携带到陆地上空，又凝为雨水降至地面。其中一部分重新蒸发，另一部分则如上述形成地面径流和地下径流，经由河道，最后重返海洋。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。

另外，还有局部性的水循环，如：降到陆地上的水，在没有回到海洋之前，又蒸发到空中；从海洋蒸发的水汽在空中凝结，直接降到海洋上；大陆上有一部分地区，河流并不入海而是汇入内陆湖，水分自成一个循环。这些称为小循环。

水循环可绘成简略示意图，如图1-1。研究水循环的目的，在于认识它的规律，揭露其内在联系，了解气象、自然地理、人类活动等因素对降水、径流等的影响，从而改造自然和利用自然。

二、地球的水量平衡

自然界的水分循环量，大体上为一相对稳定值。海洋和陆地上，在多年期间，水量并无明显的增减。故对于海洋，其多年平均蒸发量 Z_{0s} ，等于多年平均降水量 X_{0s} 与从河流流入的多年平均径流量 Y_0 之和，平衡方程式为 $Z_{0s} = X_{0s} + Y_0$ ；对于陆地，其多年平均蒸发量 Z_{0c} ，等于多年平均降水量 X_{0c} 与从河流流出的多年平均径流量 Y_0 之差，平衡方程式为 $Z_{0c} = X_{0c} - Y_0$ ；将两式相加，便得全球的水量平衡方程式 $Z_{0s} + Z_{0c} = X_{0s} + X_{0c}$ 。

由此可见，地球上总的蒸发量与总的降水量的多年平均值是相等的。许多调查研究的约略数字（见表1-1），也说明地球上的水量是平衡的。

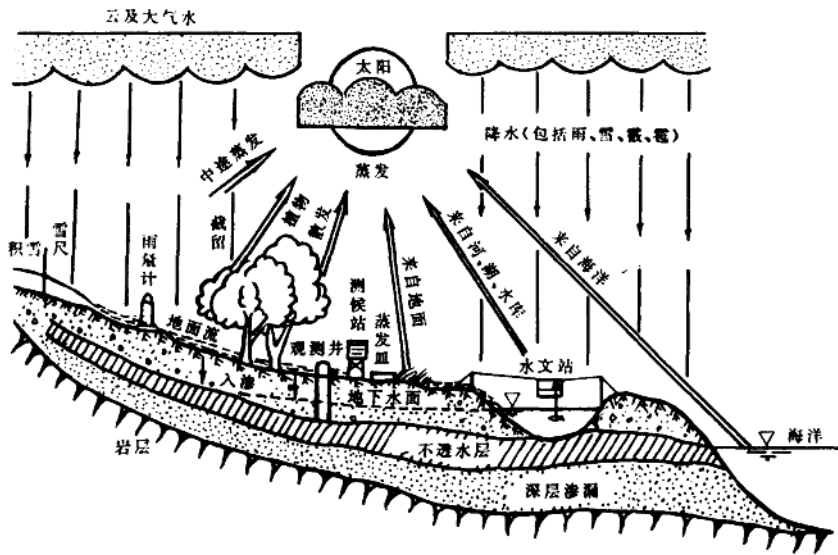


图 1-1 水循环中的各种主要现象

表 1-1 地球上的水量平衡表

区 域	面 积 (百万公里 ²)	年降水量 (万公里 ³)	年蒸发量 (万公里 ³)	年径流量 (万公里 ³)	总 水 量 (万公里 ³)
海 洋	361	41.2	44.9	-3.7	132000
陆 地	149	9.9	6.2	+3.7	{ 地面水 43 地下水 806
全 球	510	51.1	51.1		135700

注 全球总水量除海洋水和陆地水外, 尚包括极地冰帽和大气水等。

§ 1-2 河流和流域

雨水落到地面后, 从地面和地下向河道汇集, 再沿河道流动, 最终流入海洋。因各条河流流经不同的自然地理区域, 故其特点不同。河流的河槽特点、河系情况和流域特征都将直接或间接影响径流的形成和变化过程。

一、河流

1. 河流的分段及河长

一条河流沿水流方向自高向低可分为河源、上游、中游、下游、河口等。(1) 河源: 河流的发源地。泉水、沼泽、湖泊等往往是河流的源头。例如, 松花江就发源于一个火山口造成的天池。(2) 上游: 它直接连着河源, 在河流的上段, 特征是河谷窄、落差大、水流急、下切强、有急滩和瀑布。(3) 中游: 在上游以下, 河道的纵坡被水流冲得逐渐

平缓，急滩和瀑布消失，纵断面形成平滑的上凹曲线，水流下切力衰退但转向两岸进行侵蚀，因此河槽逐渐变宽和曲折。（4）下游：在河流最下段，河谷宽、坡度缓、流速小、浅滩沙洲多、河曲发育。（5）河口：河流的终点，也是河水流入海洋、湖泊或其它河流的处所。消失在沙漠中的河流，那就没有河口了。

河源至河口的沿河距离称河长。一般在五万分之一地形图上画出河流的中泓线，然后量取其长度，经比例换算，便得河长。

2. 水系

河流的干流、支流、溪涧、小沟和湖泊等构成脉络相连的系统，称为水系，又称水系或河网。直接流入海洋或内陆湖的那部分河流称干流。汇入干流的称一级支流。汇入一级支流的称二级支流。其余类推。

根据干支流分布状况，水系可分为四种类型：（1）扇型水系：水系如扇骨状分布；（2）羽型水系：沿途纳入许多支流，形如羽毛状；（3）平行水系：几条支流并行排列，至靠近河口处，始行会合；（4）混合型水系：大河流大多包括上述两、三种型式的混合排列。各型水系见图 1-2。水系内水道的多少，一般用河网密度表示。河网密度 D 等于水系所有水道的总长度 Σl 与其流域面积 F 之比值，即 $D = \Sigma l / F$ 。



图 1-2 河网示意图

3. 河谷和河槽

延伸的地形低洼处，可以排泄流水的地方称河谷。河谷的横断面形状由于地质构造的不同而各有差异，一般可分为峡谷、宽广河谷和台地河谷三种主要类型，见图 1-3。谷底过水的部分称河槽或称河床。

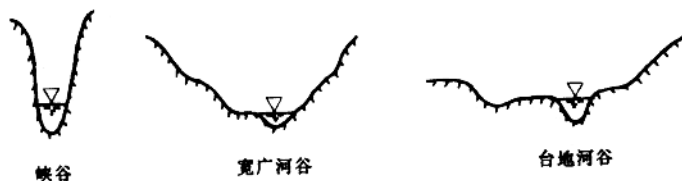


图 1-3 河谷示意图

河槽的横断面，一般是指与水流方向相垂直的剖面。当水位变化时，则过水横断面的

形状和面积随着变化。通常，把只在稀遇洪水时过水的断面称为大断面，而把经常过水的断面称为过水断面。根据形状的不同，横断面分为单式和复式两类，见图1-4。多沙河流的横断面常因泥沙冲淤而变化。

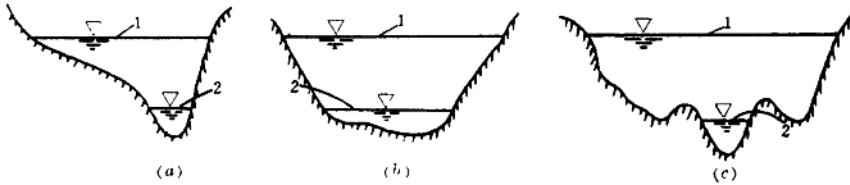


图 1-4 河槽横断面
(a)、(b)单式断面；(c)复式断面
1—洪水位；2—枯水位

4. 河流的比降

(1) 河道的纵比降 河段两端水面的高程差叫落差。河源和河口两处水面的高程差叫总落差。单位河长的落差叫纵比降。当河段纵断面图上的河底近于直线时，落差 H 除以河段长度 l 便得纵比降 J ，即 $J = H/l$ 。

当河段纵断面图上的河底呈折线或曲线时，可先分成若干段(见图1-5)，再按下式计算比降：

$$J = \frac{(Z_0 + Z_1)l_1 + (Z_1 + Z_2)l_2 + \dots + (Z_{n-1} + Z_n)l_n - 2Z_0L}{L^2} \quad (1-1)$$

式中 Z_0, Z_1, \dots, Z_n ——自出口断面起沿流程向上游各特征点的高程；

l_1, l_2, \dots, l_n ——各特征点间的距离；

L ——该河段总长。

(2) 河流的横比降 河流的横断面的水面通常不是绝对水平，而有横向比降。横比降的产生是由于地球的偏转力及河弯处的离心力。

二、流域

流域是指河流的集水区域。在这区域内的地面水都沿着陆地坡面流入该河系，最终由干流流出。因此，河川径流变化特征与流域特征有关。

(一) 流域的几何特征

1. 流域的分水线

流域的周界称为分水线(或分水岭)，通常以流域四周的山脉脊线来定。如我国的秦岭便是黄河和长江的分水岭。但在平

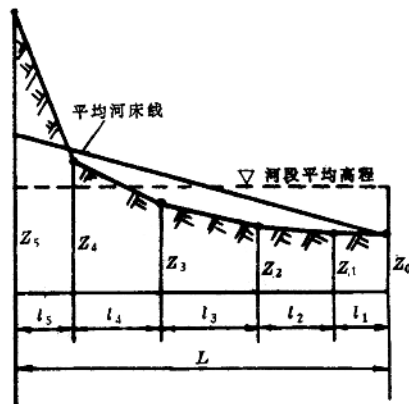


图 1-5 河道纵断面图

坦地区，地面上没有显著的脊线，划定分水线较为困难，必须依据水准测量来确定。含沙特多的河流下游，河床逐渐淤高，甚至高出两岸平原，则河床本身即为分水线。如黄河下游，北岸为海河流域，南岸为淮河流域。上述分水线都是指地面情况，地下径流也有分水线。如地面分水线与地下分水线相重合，又河床切割很深，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常常并不完全一致。如图 1-6。在范围 A 内的降雨所形成的地面径流属于 II 流域，而其所产生的地下径流则属于 I 流域。这种流域称为不闭合流域。

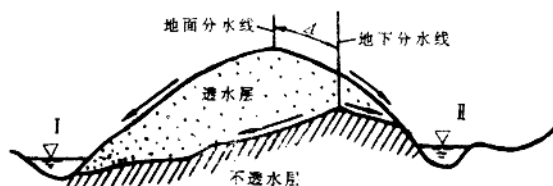


图 1-6 地面与地下分水线不一致

还有一种不闭合流域，即河床切割地层不深，由本流域内入渗所形成的地下水，不能全部从河槽内流出，而是从河床下面的地层中流到下游去，如图 1-7 所示。图中河道 I、II、III 下切较浅，相当大一部分地下水由河道以下的含水层流出本流域。河流上游的一些集水面积较小的流域，往往属于这种类型。

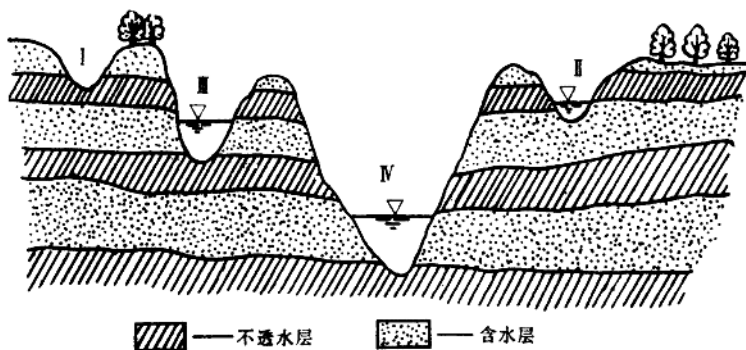


图 1-7 不闭合流域示意图

在岩溶（原称喀斯特）地区，地层中有溶洞，则本流域产生的地下水，可能通过溶洞流到外流域去，外流域的地下水也可能流到本流域来。这也是一种不闭合的情况。

实际很少有严格的闭合流域。但是，除上述有石灰岩溶洞等特殊的地质情况外，对于流域面积大、河道下切深的流域而言，地面与地下分水线的差别所引起的水量误差相对不大，则可按闭合流域考虑。

2. 流域面积大小及分布

通常在五万分之一地形图上勾绘出分水线，用求积仪量得所包围的面积，经比例换算，便得流域面积值。

河川流域面积的分布，可用图示，使人们对于流域中干支流的面积，有一直观的概念。

图 1-8 (a) 为某河干支流的流域面积分区图。图 1-8 (b) 系按分区绘得的流域面积增长图，由该图可知干支流流域面积变化情况。

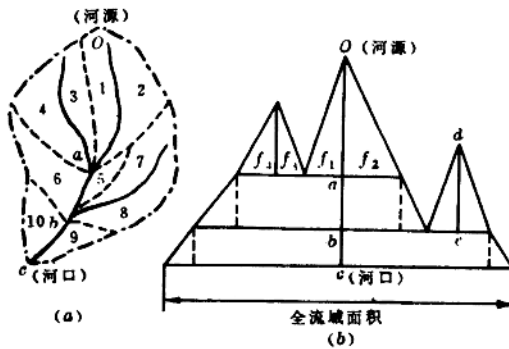


图 1-8 流域面积增长图

图 1-8 (b) 的纵轴表示干流长度，横轴表示流域面积。从河源 O 点开始在各支流汇入干流之处（如 a 、 b 、 c 点）绘横线，其长度表示流域面积（如 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 ），并作垂线（如 d ）将左右岸支流的面积分开，垂线的长度表示支流的河长。

3. 流域的长度、宽度及形状

(1) 流域长度 L 从河口起，通过横断流域的若干割线的中点而达流域最远点的联线长度，称为流域长度，也称流域的轴长。这个数值通常可用于干流长度代替。

(2) 流域平均宽度 B 它是流域面积 F 与流域长度的比值。

(3) 流域形状系数 K_f 它是流域宽度与流域长度的比值，即 $K_f = B/L$ ， K_f 值愈小，流域愈狭长。

(二) 流域的自然地理特征

1. 流域的地理位置

流域的地理位置用流域所处的经纬度范围表示。它间接反映着流域的气候与地理环境，也是反映径流区域性变化的一个重要标志。如黄河流域位于东经 $96.5^\circ \sim 118.5^\circ$ 及北纬 $33.0^\circ \sim 42.0^\circ$ 之间。有时还需指出与其它流域、海洋以及山脉等相对位置。

2. 流域的地形

流域内的地形可分高原、高山、丘陵、盆地及平原等。地形特征对于流域内降水量和径流量的变化有较重要的影响。例如，流域高程对空中水汽的输送、蒸发、气温等的变化有很大影响，因而影响降水的数量与分布。又如，流域坡度直接影响着地面径流的汇流速度。

(1) 流域平均高程 根据绘有等高线的流域地形图, 可用下式计算:

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

式中 $Z_{\text{平均}}$ ——流域平均高程(米);

Z_i ——两相邻等高线间的平均高程(米);

f_i ——相邻等高线间的面积(平方公里);

F ——流域总面积, $F = \sum_{i=1}^n f_i$ 。

(2) 流域平均坡度 设某相邻两条等高线间部分面积的平均坡度为 $j_{\text{平均}} = H/b = \frac{H(l_i + l_{i+1})/2}{f}$ 。其中, H 是相邻等高线的高差, b 是两相邻等高线间面积的平均宽度, $(l_i + l_{i+1})/2$ 是两相邻等高线的平均长度, f 为两相邻等高线间的面积。每一块部分面积的平均坡度求出后, 则流域平均坡度可以部分面积作权, 加权平均求得, 即由下式计算:

$$J_{\text{平均}} = \frac{H(0.5l_0 + l_1 + l_2 + \dots + 0.5l_n)}{F} \quad (1-3)$$

式中 $J_{\text{平均}}$ ——流域平均坡度;

l_0, l_1, \dots, l_n ——流域内各等高线的长度(公里);

F ——流域面积(平方公里)。

3. 流域的气候条件

气候条件是影响径流变化的主要因素, 包括降水、蒸发、温度、湿度、风等。其中, 降水量及其时空变化是直接关系河川径流的大小及变化的因素。

4. 流域的土壤及地质

土壤、岩石性质和地质构造影响入渗量及地下水的补给量。砂土入渗多, 地面径流少; 粘土入渗少, 地面径流多。黄土容易被侵蚀, 河水含沙较多。页岩、板岩、砂岩和砾岩等易于风化, 则雨水也易向下渗透, 也就减少地面径流。地质构造如断层、节理、裂隙、透水岩层等, 易于入渗, 同时影响到地下水储藏量, 因而也影响到径流的变化。

5. 流域的植被

植被增加地面糙度, 使地面水流动缓慢, 加大入渗量。植被还减少雨水对土壤的侵蚀, 使河水含沙量减小。森林可使降水量增加。在水文计算中, 一般用森林度即森林面积占流域面积的百分数来表示流域中森林的多少, 而且用以比较对径流影响的程度。

6. 流域内的湖泊和沼泽

湖、沼对径流起调节作用, 能调蓄洪水并改变径流在年内的分配。通常以它们所占流域面积的百分数即湖泊度和沼泽度来比较对径流影响的程度。

7. 人类活动因素

人类在流域内对自然地理的改造活动有: 各种水利措施、水土保持和农业措施。这些措施可以改变水分循环的路线和水循环要素。例如, 修建水库后, 把流入海洋的部分河水

拦蓄起来, 随后慢慢放出, 用于发电和灌溉等, 从而改变了流域内蒸发量与径流量的比例。又如, 植树造林, 可增加地下径流; 森林被破坏, 则地面径流增加。

(三) 流域的水量平衡方程

研究流域径流变化规律, 除必须了解河系及流域特征与径流变化之间的联系外, 在定量分析时往往借助于水量平衡原理。对于一特定流域, 在任意时段内来水量等于出水量与流域内蓄水变量之和, 即

$$X = Z + Y \pm \Delta W \pm \Delta U \quad (1-4)$$

式中 X 、 Z 、 Y ——分别为流域某时段的降水量、蒸发量、径流量(毫米);

ΔW ——流域蓄水变量(毫米);

ΔU ——流域与周围的地下径流交换量(毫米)。

若地下分水线与地面分水线一致, 则 $\Delta U = 0$, 亦即

$$X = Z + Y \pm \Delta W \quad (1-5)$$

当统计年限很长时, 因年份中有干旱的, 也有湿润的, 故 ΔW 有负有正, 正负可能互相抵消。因而, 在多年平均情况下, 流域水量平衡方程式为

$$X_0 = Z_0 + Y_0 \quad (1-6)$$

式中 X_0 、 Z_0 、 Y_0 ——分别为流域的多年平均年降水量、年蒸发量、年径流量(毫米)。

我国主要河流流域多年平均的水量平衡关系如表 1-2 所示。

表 1-2 我国主要河流流域多年平均水量平衡表

河 名	X_0 (毫米)	Z_0 (毫米)	Y_0 (毫米)
松花江	549	490	59
辽 河	501	399	102
黄 河	403	342	61
淮 河	846	583	263
汉 江	715	498	217
长 江	1195	619	576
珠 江	1449	730	719
台湾各河	1903	887	1016

§ 1-3 降 水

降水是水循环中的重要一环, 它对河流补给起很大作用。降水的形式有多种, 如雨、雪、雹、霰、露、霜等, 其中以雨、雪为主。我国大部分地区, 一年内降水多数是雨水, 雪水仅占很少一部分。因此, 这里着重介绍降雨。

降水性质常用几个基本降水要素来表征, 如降水量、降水历时、降水强度、降水面积及暴雨中心等。降水量为一定时段内降落在某一点或某一面积上的总水量, 以毫米计。一次降水量, 指一次降雨过程的降水总量。日降水量, 指一日降水总量。降水的持续时间称降水历时, 以分钟或小时计。降水强度(或雨率)是单位时间的降水量, 以毫米/分, 毫米/小时计。降水面积(或雨面)是降水所笼罩的水平面积, 以平方公里计。暴雨集中的较小的局部地区, 称暴雨中心。在分析径流特点时, 必须密切联系上述降水要素的情况。例如, 雨面小、历时短、雨强大的降雨性质和雨面大、历时长、雨强中等的降雨性质, 对大流域言, 前种情况所造成的洪水远不如后种情况的大; 而对小流域言, 前种情况所造成的洪峰将比后种情况为大。

一、影响降水的气象因素

降水现象是发生在大气圈的最下层, 即对流层内。对流层有两个显著特点: 气温随高

度增加而递减(平均每升高100米气温下降约0.6度);集中了80%的大气质量和90%以上的水汽。因此,对流层中常有水的三态变化的过程。对流层的厚度随季节、纬度而异,约为8~18公里。对流层又可分三部分:自地面起至1.5公里高度处,叫摩擦层,该层大气受地面的热辐射及扰动影响显著;1.5~6.0公里的高空范围,叫自由大气层,云和降水现象主要发生在该层;6.0公里到对流层顶部,叫上层,上层水汽含量很少,气温终年在零度以下。对流层内影响降水的气象因素有气温、湿度、气压、风及空气垂直运动等。

1. 气温

空气的冷热程度用摄氏温度(°C)或绝对温度(°K)表示,称气温。因地球自转及公转,导致地面受热情况有周期性变化,故气温有日变化和年变化的特点。但气温还受天气、地理环境的影响,又有非周期性变化。当冷空气入侵时,冷暖空气交绥,可能引起降水。

2. 湿度

大气中的水汽含量叫大气的湿度。水汽量的度量用质量或用水汽压力表示。水汽密度 ρ_u 是单位体积空气中水汽的含量,以克/厘米³计。水汽压 e 是空气中水汽压力,以毫巴计。这两种方法表示的量都称为大气的绝对湿度。在一定温度下,空气所含水汽量的最大值,是一常值,即饱和水汽压 E 。它与温度的关系为: $E = 6.11 \times 10^{\frac{7.5t}{247.14+t}}$, 其中 t 是气温(°C)。在一定温度下,饱和水汽压与实际水汽压之差,称饱和差 D , 即 $D = E - e$ 。空气中实际水汽压与同温度时饱和水汽压之比值,称为相对湿度 R , 即 $R = \frac{e}{E} \times 100\%$ 。

除上述湿度表示方法外,在水文气象中还常采用下列两种: (1) 露点 t_d : 气压不变,气温下降,空气达到饱和水汽压时的温度。露点高,实际水汽压大;露点低,实际水汽压小。若气温与露点不等,说明实际水汽压与饱和水汽压不相等。(2) 比湿 q : 指1000克湿空气内含有 q 克水汽。比湿与气压,水汽压之间有一定关系,即

$$q = 622 \frac{e}{p} \text{ (克/千克)} = 0.622 \frac{e}{p} \text{ (克/克)} \tag{1-7}$$

式中 p ——气压(毫巴)。

3. 气压

单位面积上所承受大气的重力称气压,以水银柱的高度(毫米)或毫巴(mb)来表示。毫巴是压强的单位。在厘米克秒制中,压强的单位是达因/厘米²,气象上取1000达因/厘米²作为1毫巴。在标准情况(纬度45°处,温度0°C时)下,海平面的气压为760毫米水银柱高,称为一个大气压,相当于1013.2毫巴,故1毫巴约等于3/4毫米水银柱高。气压与高度有一定的关系。如单位面积气柱上,取一微块空气,见图1-9。当空气块处于静力平衡状态时,则

$$dp = -\rho g dZ \tag{1-8}$$

式中 ρ ——空气密度(克/厘米³);
 g ——重力加速度(厘米/秒²);

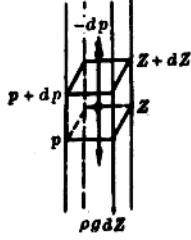


图 1-9 大气静力图