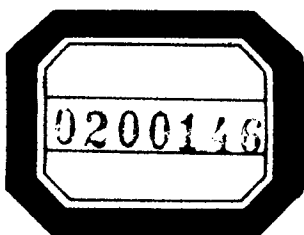


工程水文学

廖松 于燕生 王路

清华大学出版社



16456



005707 水利部信息所

工 程 水 文 学

廖 松 王燕生 王 路

清华大学出版社

1991

内 容 提 要

这本工程水文学教材，包括水循环及径流形成、降雨径流关系分析、径流预报、水文过程的概率特性及其它工程水文问题等章。体系清晰、内容精炼，适合于高等水利院校水工建筑、水资源规划及利用、农田水利等专业教学使用，也可供工程技术人员工作参考。

4/10

工 程 水 文 学

廖 松 王燕生 王 路

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本：787×1092 1/16 印张：15.25 字数：380 千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数：0001~3000

ISBN 7-302-00794-2/TV·14

定价：4.00 元

序 言

这本工程水文学教材，是编者多年来探讨如何更好地进行本课教学工作的成果。它是在编者1980年为清华大学水电系本科学生编写的讲义的基础上，吸取多年来试用的经验，经过调整、充实、提高而写成的。

编者认为，自1958年以来，我们在水利工程建筑类专业的工程水文学教学过程中，由于简单化地强调了联系实际，往往教学体系和内容都存在着比照着设计大纲进行教学的倾向。这是不符合同学的认识过程的，从而为学习与教学增加了困难。

本教材提出了一个比较符合认识过程，并具有适当知识面的工程水文学的教学体系。首先，从一般易于体验到的水文现象着手，以降雨径流关系为主线索，学习一些基本水文规律。然后结合直观性、实用性较强的径流预报问题，逐步了解水文分析中理论与实际相结合的基本方法。在此基础上，再过渡到规划设计工作中的水文问题，并从这类问题的特殊要求出发，阐明具有一定概率特性的水文过程的分析和处理方法。这样便于同学弄清这两者之间的联系和区别，可以更深入地了解这两类问题的各种方法的基本前提、假定和内容。为了突出这样一条主线，另辟其它工程水文问题一章来介绍一些专题。

作为高校的工科教材，在内容上自应包含工程设计中用到的基本内容，但也不应仅限于对工程设计中通用方法的介绍。不同的编者，完全可以并有必要根据自己的判断对教材内容进行适当的选择。这样一方面可以反映不同的学术观点和风格，更重要的是可以启发同学的思路，不致受到某些陈规的束缚。本此精神，编者在这方面作了一些努力，使得本书在基本知识 with 基本方法的取舍与归纳方面，都有一定特色。因此，编者认为，当选用本书作教材时，主讲教师应根据他自己的观点，并结合同学情况，对讲授的内容作出取舍。本书包罗的内容，已为这种选择提供了一个适当的场地。

编者认为，水利专业的大学生，在校学习阶段，应具有必要的概率论及数理统计知识。但这一任务应由另设的专门的课程担任。但是，在数学专题课中讲述的内容，可能与本课需要有一定距离，故本教材中，在适当的地方作了简略的补充。这并不意味着放松了以概率论及数理统计作为本课的先修课程的要求。

本书此次改编工作，由廖松担任主编，王燕生参加第四章与第五章第六节的改编工作，王路参加第五章第一节至第五节和第八节、第六章的第二、三、七节的改编工作。全书由廖松统一修改定稿。

本书可供高等水利院校水工建筑、水资源规划及利用、农田水利等专业教学使用，也可供有关专业人员工作中参考。

本书中曾引用了国内一些生产、科研、教学单位和个人的成果，谨向他们表示谢意。

廖 松

1990年6月于清华园

目 录

序 言

第一章 绪论	(1)
第一节 工程水文学的任务和作用.....	(1)
第二节 水文现象的特性与工程水文的分析方法.....	(2)
第三节 我国水文事业的发展.....	(3)
参考文献.....	(4)
第二章 水循环及径流形成	(5)
第一节 水分循环及水量平衡.....	(5)
第二节 河流、水系和流域.....	(8)
第三节 降水及有关水文气象知识简介.....	(10)
第四节 蒸散发.....	(26)
第五节 入渗.....	(31)
第六节 径流.....	(36)
小 结.....	(49)
习题与作业.....	(49)
参考文献.....	(50)
第三章 降雨径流关系分析	(51)
第一节 流域降雨分析.....	(51)
第二节 径流过程分析.....	(54)
第三节 流域土壤含水量的代表性指标.....	(56)
第四节 流域入渗分析.....	(59)
第五节 流域汇流分析.....	(66)
第六节 河道洪水演算.....	(72)
小 结.....	(79)
习题与作业.....	(20)
参考文献.....	(83)
第四章 径流预报	(84)
第一节 水文预报概述.....	(84)
第二节 径流量预报.....	(85)
第三节 径流过程预报.....	(93)
第四节 降雨径流流域模型.....	(110)
第五节 河段洪水预报.....	(114)
第六节 枯水预报.....	(118)
小 结.....	(119)

习题与作业	(119)
参考文献	(121)
第五章 水文过程的概率特性	(122)
第一节 概述	(122)
第二节 水文频率分析	(125)
第三节 样本分析	(136)
第四节 设计年径流及其年内分布	(147)
第五节 根据流量资料分析设计洪水	(154)
第六节 由暴雨资料推求设计洪水	(166)
第七节 枯水过程概率特性分析	(171)
第八节 水文过程的随机模拟	(175)
小 结	(184)
习题与作业	(184)
参考文献	(187)
第六章 其它工程水文问题	(189)
第一节 设计洪水循时程的变化	(189)
第二节 入库洪水	(197)
第三节 设计洪水的地区组成	(201)
第四节 可能最大降水 (PMP)	(204)
第五节 小流域设计洪水	(211)
第六节 河流泥沙	(218)
第七节 缺乏资料时水文特征值的估算法	(227)
习题与作业	(231)
参考文献	(231)
附表1 瞬时单位线 S 曲线查用表	(232)
附表2 皮尔逊 III 型曲线的离均系数 ϕ 值表	(236)

第一章 绪 论

第一节 工程水文学的任务和作用

工程水文学是水文学的一个分支。

水文学是研究地球上各种水体的形成、运动变化规律以及地理分布的科学。水文学按自然界水体存在范围和活动过程原可分为：水文气象学、陆地水文学、海洋水文学与水文地质学。水文气象学研究空中水汽的运动现象，属于气象学的一部门；水文地质学研究地下各种水的运动现象，属于地质学的一部门；海洋水文学研究海水的物理性质和化学成分、海洋中波浪、潮汐、洋流和泥沙运动等。这些都已独自成为一门学科，而陆地水文学则成为现今通常说的水文学的主体内容。在陆地上，有些水体具有特殊的性质，经过长期的观察和研究后，已经发展为一门独立的学科，如冰川学、湖泊学、沼泽学等，都已从陆地水文学中分离出去。因此，近代陆地水文学的内容主要包括全部河流学以及水文气象学、水文地貌学、水文地质学、冰川学、湖泊学、沼泽学中河流情况有关的部分。

陆地水文学按照研究目的的不同，又可分为以下几门学科：

(1) 水文测验学及水文调查 研究水文站网布设的理论，水文资料观测与整编的方法，为特定目的而进行的水文调查的方法及资料整理等。

(2) 河流动力学 研究河流泥沙运动及河床演变的规律。

(3) 水文学原理 研究水分循环的基本规律和径流形成过程的物理机制。其中，有些问题常借助于野外实验流域或室内模拟模型进行实验研究。

(4) 水文地理学 从水文气象、水文地貌和水文地质等方面来研究天上、地表、地下的水体的存在、运移及相互转换的情况，可给出一些水文现象的地区性规律。

(5) 水文预报 根据水文现象变化规律，预报未来短时期（几小时或几天）内的水文情势，对枯水期内径流的预报期可稍长一些。

(6) 水文分析与计算 根据水文现象变化的规律，预估未来长时期（几十年到几百年以上）内的水文情势。

此外，还有研究水体的化学与物理性质的水文化学与水文物理学。

工程水文学是将水文学的基本理论与方法应用于工程建设的一门技术学科。按照这种理解，上述陆地水文学的各个子学科，均与工程建设中的某一方面需求有关，因而均可属于工程水文学或应用水文学的内容。例如，对于制定流域或较大地区的水利规划，前述水文地理学的指导是绝对必要的。制定流域规划时，如不深入分析流域的水文气象、水文地貌和水文地质的特点，就不能制定出符合客观规律的、兴利除害的流域水利规划。一个违背了水文地理学规律的流域水利规划，如付诸实施，定会给经济建设造成不可弥补的巨大损失。

一般所谓的工程水文学，其内容较窄，主要是为单项水利工程的规划、设计、施工及管理运用服务的。单项水利工程的规划设计阶段的任务是确定工程规模。可能控制工程规模的

因素较多，若地形、地质、投资等不成为限制条件，则对未来水文情势的估计（如设计年径流、设计洪水和输沙量）将对工程的规模（如坝高、泄流能力、电站装机容量等）产生决定性的影响。筹划施工时，为了修建防护工地的围堰和导流建筑物等，需要确定施工期的设计洪水。施工期内还特别需要适时的水情预报。在水利工程的运营期间，同样要求做好水文预报，以利于做好防洪控制及兴利调度工作。根据这些要求，一般工程水文学的主要内容就是介绍水文分析与计算、水文预报的基本理论和计算方法。由于这些都是以实测的及调查的水文资料为依据，因此，在工程水文学中，也包含水文测验与调查的内容。

第二节 水文现象的特性与工程水文的分析方法

水文现象，不论空中、地表或地下的任何水体在某个时候或时段内表现出来的状况，都是有其客观原因的。从这个意义上说，所有的水文现象，就象所有的自然现象一样，都是一定条件下的必然现象。但是，从人们的认识能力来说，水文现象也象许多自然现象一样，由于影响因素复杂，人们对它们发生多种变化的前因后果还不能认识得十分清楚。因而常把水文现象变化中那些人们能够作出解释或预测的部分，称为是水文现象的必然性的反映；而那些人们还不能做出解释或不能预测的部分，则称为偶然性的反映。正是在这种意义上，一般常说水文现象具有必然性和偶然性，或说具有确定性和随机性的特性。其实，随机性和确定性是一般自然现象都具有的通性，这里把它们称为水文现象的特性，意在强调它们在工程水文分析方法中的重要性。

水文预报和水文分析与计算是工程水文学的主要内容，它们承担的任务虽然都是预估性质的，由于二者的预见期极不相同，因而在研究方法上有显著的区别。水文预报由于提供的预见期短，往往是根据已发生的某些现象来预报未来短期内的某种现象。这时必然性联系对于现象的发展起主导作用。因此，在水文预报中主要采用探讨动态规律性的方法，或者说成因分析法。例如，根据降雨过程研究降雨产生径流的规律，来预报洪水过程，在这过程中，虽然也存在偶然性因素，但它并不起决定性的作用。随着预见期的逐渐加长，对于所研究的水文现象发生影响的因素愈多，其发生影响的过程也更为复杂。这时，各水文现象之间的必然性联系减弱，而偶然性因素的作用加强。因此，在水文分析与计算中，主要采用以概率论和数理统计法为基础的探讨统计规律的统计方法。需要指出的是，在工程水文的分析方法中，所谓成因分析法，不过是对所研究现象的影响因素分析得稍深入一些，这种分析也只限于定性的分析。涉及定量问题时，仍离不开依据实际观测资料建立的经验性统计关系。这类关系一般仍存在概率分布问题，只是目前的成因分析法中都暂不考虑这一问题罢了。另一方面，当主要采用统计法来分析问题时，往往也需要成因分析法的配合，以便在统计分析过程中、在选择统计方法和概率模型、在确定统计参数以及各因素间关系的类型等方面提供指导。这一点是做好水文统计工作所必需的。

使用数理统计法来解决水文设计问题时，需要足够长的水文资料。当资料缺乏时，只能采用等值线图、经验公式以及水文比拟等方法，对所研究的水文特征做出近似的估计。这种间接估算办法，是以与上述水文特征有关的水文地理因素在空间上的变化具有地带性或分区性为基础的。可以说它仍是成因分析与资料统计相结合的产物。

现代水文学中的确定性流域水文模型，可以认为是成因分析法的发展，它可以考虑更多

的因素，并可提高计算的精度。水文过程的随机模拟，则可以认为是工程水文学中数理统计途径的发展，它可以更充分地利用已有的水文信息，考虑更多的水文事件之间的组合。

成因分析法与统计分析法相结合，这正是工程水文问题分析方法的最大特点和难点。初学工程水文学的人，特别是习惯于通过计算可得出明确答案的人，在学习方法上可能感到不太适应。只有深入认识水文现象的特性及其对分析方法的要求，才能逐步克服这一困难。可以毫不夸张地说，对于学习工程水文学来说，几十小时的课堂讲学以及少量的习题作业是很不够的，这只不过是一个必要的开端。要能灵活掌握工程水文学的分析方法，只有通过实际水文分析工作的锻炼才可能逐步达到。

第三节 我国水文事业的发展

我国江河众多，蕴藏着极丰富的水利资源。解放前的长时期内，由于历史的原因，人民长期遭受着水旱灾害，水利建设事业进展得非常缓慢，水文工作远没有受到必要的重视。但是在我国人民与大自然不断进行的除水害、兴水利的斗争过程中，也积累了一定的经验。在原始的水文观测、古老的水文情报及预报，水文地理资料积累，对水文循环概念的探索以及综合应用水文泥沙知识等方面，都有许多成果。在文献[1]中，对此做了较全面的介绍。

近代较系统的水文观测工作，开始于19世纪末。其中，上海徐家汇天文台自1873年起已有气象记录。各主要江河结合航运的需要，逐渐开始了水位记录。其中，1865年在长江汉口开始了水位观测。其后，于1910年建成最早用浮标法测流的海河小孙庄水文站；于1915年建成最早用流速仪测流的淮河蚌埠水文站。至1937年，全国有各种水文观测站点2600处（未包括台湾省数字，下同），为解放前的最高峰。以后由于连年战乱影响，至1949年总站数减少到353处，其中水文站只有148处。中华人民共和国成立后，水文站网得到迅速恢复和发展，1951年即发展到2644处，其中水文站796处；1956年水文站发展到3365处，总计测站达10771处；1983年底统计，测站总数达到21436处，其中水文站3418处，水位站1413处，雨量站16545处，实验站60处^[2]。解放初期水利部就制订了《水文测验规范》，统一了水文测验技术标准，保证了测验成果的精度。以后测验仪器设备得到很大的改进。大部分测站实现了缆道测流，并逐步走向自动化。水文资料整编工作取得很大成绩，已刊印水文年鉴2020余册，积累了各种水文资料80万站项年。现正筹划建立水文资料电子计算机数据库系统和网络。

新中国成立初期，由于防洪斗争的需要，首先编制了全国七大江河的洪水预报方案，并在1954年长江、淮河特大洪水时发挥了显著作用。1955年初出版了水利部水文局主编的《洪水预报方法》，推动了洪水预报工作在国内进一步发展。随着我国各项建设事业的进展，水文预报技术有了很大的改进。对不同自然地理条件下的雨洪预报、冰情预报、枯季径流和旱情预报的理论和方法，进行了不同程度的研究和探索，积累了许多实际经验，在实际的防洪抗旱工作中，发挥了很好的作用。例如，在1963年海河洪水、1975年河南洪水、1980年淮河洪水、1981年长江上游洪水的防洪斗争中，及时的洪水预报都发挥了重要的作用。1979年出版的长江流域规划办公室主编的《水文预报方法》就是我国这一阶段在水文预报方面的技术经验总结。通过近40年的不断努力，我国已建成了能及时传递水情的比较完善的水文情报站网。我国水情部门正为加速发展我国的水文情报预报自动化系统而努力工作。

1949年以前，我国也曾研究过少数流域的治理计划，如永定河治本计划、黄河治本探

讨、导淮计划等。这些计划只进行过极粗略的水文分析计算工作。新中国建国初期，开展了以治淮为先导的全国范围的大规模水利建设。随即又开展了大江大河的流域规划工作。为了满足流域规划和工程设计的需要，进行了大量的水文分析与计算工作，特别是在设计洪水方面，进行了多方面的探索，取得了显著的成绩，并逐步形成了一套具有我国特色的、行之有效的分析计算方法。如洪水频率计算中重视基本资料审查，强调历史洪水调查，统一计算技术要求，注意地区综合平衡，逐步提高了设计洪水计算精度，在这些方面已达国际先进水平。1975年以后，全国开展了可能最大暴雨的研究，投入大量人力，广泛收集资料，其规模和深入程度在世界范围内也是少见的。已制成《全国24小时可能最大暴雨等值线图》，并进行了《暴雨洪水查算图表》的编制工作。80年代初在全国范围内进行了历史洪水的汇编工作，涉及6000多个河段，包括10000多次历史洪水，这次调查汇编资料，已按省市区别印出。1981年颁布了《水利水电工程设计洪水计算规范》，1983年颁布了《水利水电工程水文计算规范》。1980年起，还进行了全国水资源调查评价工作，已编成《中国水资源初步评价》。所有这些工作，在我国水利建设中都发挥了重要作用。随着工作的深入发展，有关水文分析计算的一些重点课题，如水文极值（洪水与枯水）的概率密度分布线型、入库洪水、分期洪水、洪水地区组成、实际工程风险率及计算成果的置信限、水文过程的随机模拟等，正在不同程度上进行研究；有的已取得初步成果，正在实际工作中试用；有的还处于探索阶段，有待进一步研究。

以上只是与工程水文科学密切相关的三个方面的发展概况，为了节省篇幅，水文学中其它方面的情况，就不再提及了。在文献[3][4]中有较全面的介绍，可供参考。

参 考 文 献

- [1] 黄伟纶，我国古代的水文科学，水文，1984年第4期。
- [2] 水利电力部水文局站网处，我国水文站网的建设及展望，水文《庆祝建国三十五周年专辑》，1984年9月。
- [3] 华士乾，水文科学中定量计算的发展与问题，水文，1982年第6期。
- [4] 陈家琦，水文科学往何处去？——水文科学发展方向讨论综述，水文，1988年第4期。

第二章 水循环及径流形成

第一节 水分循环及水量平衡

一、水分循环

地球总面积约为 $510 \times 10^6 \text{km}^2$ ，其中，海洋面积约为 $361 \times 10^6 \text{km}^2$ ，占全球面积的70.8%；陆地面积约为 $149 \times 10^6 \text{km}^2$ ，仅占全球面积的29.2%。海洋中水的总体积为 $1.3 \times 10^9 \text{km}^3$ ，全球陆地上河道中的水量约为 1200km^3 ，湖泊存储水量约为 750000km^3 。陆地表面的水量和海洋中水量相比，虽然其数量是微不足道的，但是对人类生活来说，却是很重要的资源。

地球表面的广大水体，在太阳辐射作用下，大量水分被蒸发，上升到空中，被气流带动输送到各地。在这过程中，遇冷凝结而以降水形式落到地面上，再从河道或地下流入海洋。水分这样往返循环不断转移交替的现象叫水分循环或水循环。水循环的内因是水的物理特性，外因是太阳的辐射和地心引力。水循环所经路线的特性，对水循环也有一定的影响。

水分循环一般包括三个阶段，即降水、径流、蒸发。水循环又可分为两大部分，即大气部分——水汽阶段和降水阶段；地面部分——径流阶段与蒸发阶段。每一部分中都包含三个方面，即水分的输送、暂时储存与状态变换。图2-1表示水循环在典型状态下的主要过程。

根据水分循环的过程，自然界水分循环可分为大循环和小循环。从海洋上升的水汽，被气流带至大陆上空，在一定条件下冷却凝结、成云致雨，降落到地面，除了一部分又重新蒸发外，其余部分或汇入河川、注入海洋，或渗入土壤后又以地下水形式注入海洋。这种海陆间的水分交换称为大循环。从海洋上蒸发的水汽，上升遇冷凝结后又降落在海洋上，或陆地上蒸发的水汽上升遇冷凝结后又降落到陆地上，这种局部的循环称为小循环。大循环是包含有许多小循环的复杂过程。

在水分循环中，天空、地面、地下之间通过降水、蒸发和入渗进行水分交换。海洋与陆地间也进行水分交换，海洋向陆地输送水汽而陆地则向海洋注入径流。但是，海洋向陆地输送水汽并不是单方面的，而是水汽交换的结果。因为从海洋上蒸发出来的水汽借气流带向大陆，而大陆上蒸发出来的水汽也随气流带向海洋，只是前者比后者大，因此，总的来说，水分是由海洋向大陆输送的。

在一个地区，如地面、地下水储量较丰富，蒸发水汽含量较大，且若风向也常向内陆吹动，则内陆水分循环活跃，水分能深入内地，因而在远距海洋的地方，也可以产生较多的降水量。

由于水分循环，使水圈成为一个动态系统，世界上的淡水资源就是由水分循环而产生的。水资源和其它矿产资源的不同点就在于它是可以再生的。据估算，大气圈所含水量为 13000km^3 ，而全球平均年降水量为 520000km^3 ，约平均10天交替一次。全球河流的总蓄水量为 1200km^3 ，而河流全年径流量为 37400km^3 ，约平均12天交替一次。由此可以看出，水分循环的强弱，不仅与实际参与循环的水量有关，也与循环速度有关。如何增加参与循环的水

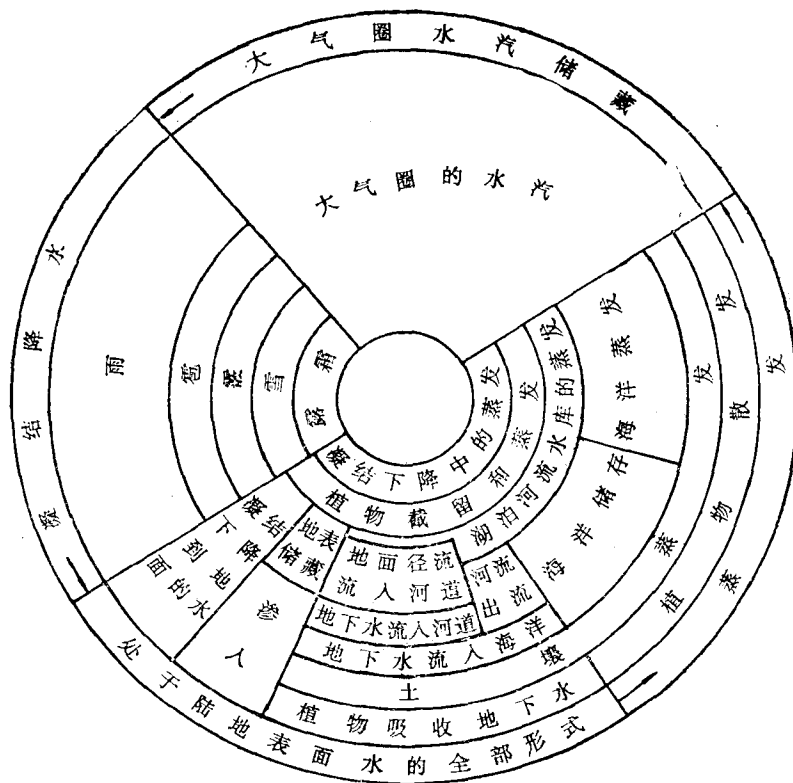


图 2-1 水分循环

量，控制水分循环的过程，是水资源研究的一个很重要的课题。

我国水汽主要来源于东南海洋，并向西北方向移动，首先在东南沿海地区形成较多降水，越向西北，水汽量越少。来自西南方向的水汽输入，也是我国水汽的重要来源，它是印度洋上的大量水汽随着西南季风进入我国西南部而造成的。由于高山峻岭相隔，水汽较难深入内陆腹地，但有时也可到达河套以北地区。在春夏季节，东北季风也可把鄂霍次克海和日本海的湿空气输向我国东北地区，降水后再由黑龙江注入鄂霍次克海。我国新疆地区主要是内陆水分循环系统。但大西洋上的少量水汽也会随西来的气流和天气系统到达此地上空，参与内陆的水分循环。

二、水量平衡

自然界的水分循环情势，从长期来看，大体上是稳定的。从海洋蒸发输向陆地的水分，经过降水以径流的形式又回到海洋。根据物质不灭定律可知：对于任意区域，在任意时段内，来水量等于出水量与区域内蓄水变量之和，即水循环过程中收支平衡，这就是水量平衡原理。根据此原理可以列出水量平衡方程。

水量平衡原理是水文分析的基本原理。研究水分循环和水量平衡是水文学的主要任务之一，水量平衡法也是分析研究水文现象的一种重要方法。对各水文要素建立定性或定量关系、了解其时空变化规律、校核水文计算成果等，常要用到水量平衡法。通过水量平衡的研究，还可以深入系统地了解水资源的情况，以便合理利用。

根据水量平衡原理，若以地球的整个大陆作为研究水量平衡的范围，则其水量平衡方程式为：

$$E_c = P_c - R - \Delta S_c \quad (2.1)$$

若以海洋为研究范围，则其水量平衡方程式为：

$$E_s = P_s + R - \Delta S_s \quad (2.2)$$

式中， E_c 、 E_s 为陆地和海洋上的蒸发量； P_c 、 P_s 为陆地和海洋上的降水量； R 为入海径流量（包括地面和地下）； ΔS_c 、 ΔS_s 为陆地和海洋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 ΔS_c 、 ΔS_s 可正可负，但如在多年情况下，正、负值可以相互抵销。因此，多年平均的情况下的水量平衡式为：

$$\text{陆地：} \quad \bar{E}_c = \bar{P}_c - \bar{R} \quad (2.3)$$

$$\text{海洋：} \quad \bar{E}_s = \bar{P}_s + \bar{R} \quad (2.4)$$

式中， \bar{E}_c 、 \bar{E}_s 、 \bar{P}_c 、 \bar{P}_s 、 \bar{R} 分别代表大陆和海洋的多年平均蒸发量、多年平均降水量及多年平均入海径流量。

将式（2.3）、（2.4）相加得出全球水量平衡方程式为：

$$\bar{E}_c + \bar{E}_s = \bar{P}_c + \bar{P}_s \quad (2.5)$$

或

$$\bar{E} = \bar{P} \quad (2.6)$$

式（2.6）表明全球多年平均蒸发量（ \bar{E} ）与全球多年平均降水量（ \bar{P} ）相等。

全球的和我国的水量平衡各要素的数量见表2-1、表2-2。

表 2-1 全球水量平衡表⁽¹⁾

区 域	面 积 1000km ²	降 水 量		蒸 发 量		径 流 量	
		1000km ³	mm	1000km ³	mm	1000km ³	mm
海 洋	361000	458	1270	505	1400	47	130
陆 地							
外流区	119000	110	924	63	529	47	395
内流区	30000	9	300	9	300		
全 球	510000	577	1130	577	1130		

表 2-2 全国水量平衡表⁽²⁾

流 域		面 积 (占全国%)	降 水 量		径 流 量		蒸 发 量		径流系数 (%)
			mm	10 ⁸ m ³	mm	10 ⁸ m ³	mm	10 ⁸ m ³	
外 流 流 域	太平洋	56.71	912	664	395	21525	517	28139	43.3
	印度洋	6.52	800	4995	519	3238	281	1756	64.9
	北冰洋	0.53	60	183	212	108	148	75	58.9
	小 计	63.76	896	54842	407	24872	489	29970	45.4
内陆流域		36.24	97	6853	33	1131*	164	5722	16.5
全国合计		100.00	43	1695	271	26003	372	35692	42.0

* 内陆流域的径流量是就特定断面而言，最后均应转化为蒸发量。

第二节 河流、水系和流域

一、概述

地表水在重力作用下，沿着陆地表面上的线形凹地流动，依其大小可分为江、河、溪、沟等，其间并无精确分界，统称为河流。地表上的降水，除了蒸发和下渗外，全部沿着河流到达海洋，因此河流是水循环的一条主要路径。地球上的各种水体中，河流的水面面积和水量都最小，但它和人类的关系却最为密切。

流动的水体与容纳流水的河槽是构成河流的两个要素。流动的水体亦即广义的径流。径流的时空变化特性是工程水文学研究的主要内容。行水的河槽又称河床，含有立体概念，当仅指其平面位置时，称为河道。枯水期水流所占河床称为基本河床，或称主槽；汛期洪水泛滥所及部位，称为洪水河床，或称滩地。从更大的范围来讲，凡地形低洼可以排泄流水的谷地称为河谷，河槽就是被水流占据的河谷底部。水流对于河谷的侵蚀、搬移及沉积作用不断地进行着，一定的河谷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，河谷形状和水流性质是互为因果的。

一条河流可分为河源、上游、中游、下游及河口五段。河源是河流的发源地，可以是泉水、溪涧、湖沼或冰川。确定较大河流的河源，要先确定干流。一般取长度最长或水量最大的作为干流，有时也按习惯确定。例如把大渡河看做岷江的支流就是这样的一个例子。直接注入干流的支流叫做干流的一级支流；直接注入一级支流的则称为二级支流；其余依此类推。划分河流上、中、下游时，有的依据地貌特征，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。

河流按流经地区的特性，可分为山区河流和平原河流。山区河流流经地势高峻、地形复杂的山区。其发育过程一般以下切为主，河谷断面多呈“V”字形或“U”字形。山区河流的平面形态极为复杂，急弯卡口很多，两岸和河心常有巨石突出，岸线极不规则，沿程开阔段与峪谷段相间，平面状态复杂。河床纵比降陡峻，形态极不规则。水面比降大多在1%以上。山区河道演变缓慢，但易遭受突然而强烈的外界因素（如地震、山崩、大滑坡等）的影响，产生河床的显著变形。平原河流流经土质疏松、地势平坦的地区，其形成过程主要表现为水流的堆积作用，河谷中形成深厚的冲积层，河口淤积成广阔的三角洲。黄河下游的华北平原和长江口三角洲便是这样形成的。平原河道的平面形态，

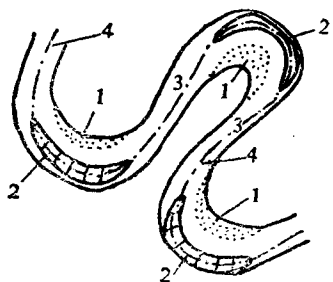


图 2-2 蜿蜒性河道平面状态
1——凸岸浅滩； 2——凹岸深槽；
3——过渡直段； 4——谿线。

因各种外在条件的不同，有微曲的、蜿蜒的和散乱的数种。各种形式都有其本身的特点，而其中蜿蜒性的河道是常见的，如图2-2所示。在河道弯曲的地方，由于水流的冲刷作用使凸岸形成浅滩，凹岸形成深槽。深槽与浅滩间，存在过渡段。河槽中各断面上最大水深点的连线称为谿线（或中泓线），即一般的航线。在一般的平原河流，深槽与浅滩相互交替，有一定的规律性。平原河流河床断面形态，多具有宽广的河漫滩。主槽两岸由于洪水漫滩时淤积而成较高的自然堤，使河漫滩具有明显的横比降。河漫滩由于组成物质较松软，在

水流与河床的相互作用下，河槽往往在河漫滩上摆动。平原河流纵断面多呈有起伏的平缓曲线，平均比降比较平缓。

河流某一断面的集水区域称为河流在该断面的流域。当不指明断面时，流域系对河口断面而言。流域的周界称为分水线。每个流域的分水线，通常是由流域四周的山脊线以及由山脊通至流域出口断面的流线所组成。地下径流的流向由地下水面等高线决定，与此相似，也有地下径流的分水线。如河床切割较深，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一致，这种流域称为不闭合流域。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的地质情况外，对于一般流域而言，当对所论问题无太大影响时，多按闭合流域考虑。

流域内各条水流路线构成脉络相通的系统，称为水系、河系或河网。与水系相通的湖泊也属于水系之内。根据河系干支分布形态，河系可分为四种类型：河系分布如扇骨状的称为扇型河系、如羽毛状的称为羽状河系、几条支流并行排列、至靠近河口附近始行会合的称平行河系，大河流多由以上两、三种型式混合排列称为混合河系。

二、河道及流域的主要特征

1. 河流长度 自河源沿河道至河口的长度称为河流长度，或简称河长，可在适当比例的地形图上量出。

2. 河道的纵比降 河段两端的河底高程差 (Δh) 叫做落差。单位河长的落差称为河道纵比降。比降常用小数表示，也可用千分数表示。当河段纵断面近于直线时，比降可按下式计算：

$$J = \frac{h_1 - h_0}{l} = \frac{\Delta h}{l} \quad (2.7)$$

式中， J 为河段的纵比降； h_1 ， h_0 为河段上、下端河底高程， m ； l 为河段的长度， m 。

当河段纵断面呈折线时，可在纵断面图上，通过下游断面河底处，作一斜线，使此斜线以下的面积与原河底线以下的面积相等，此斜线的坡度即为河道的平均纵比降，如图2-3所示。

计算公式如下：

$$J = \frac{(h_0 + h_1)l_1 + (h_1 + h_2)l_2 + \dots + (h_{n-1} + h_n)l_n - 2h_0L}{L^2} \quad (2.8)$$

式中， h_0 ， h_1 ， \dots ， h_n 为自下游到上游沿程各点的河底高程， m ； l_1 ， l_2 ， \dots ， l_n 为相邻二点间的距离， m ； L 为河段全长， m 。

3. 河网密度 流域或一定地区平均单位面积内的河流总长度。它表示一个地区河网的疏密程度，能综合反映一个地区的自然地理条件。

4. 流域面积 流域面积是流域的主要几何特征。通常先在适当比例的地形图上，画出流域分水线，然后用求积仪量它所包围的面积。

5. 流域的长度和平均宽度 流域的长度 (L_0) 也就是流域的轴长。以流域出口为中

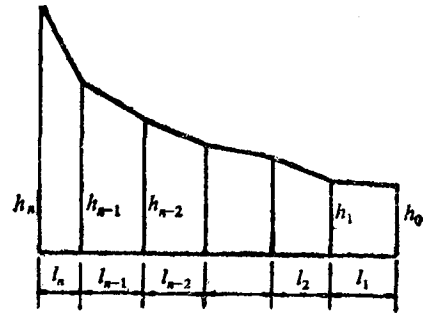


图 2-3 河道纵比降计算示意图

心做同心圆，在同心圆与流域分水线相交处绘出许多割线，各割线中点的连线的长度即为流域长度。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。流域的平均宽度（ B ）是指流域面积（ F ）与流域长度的比值，即：

$$B = \frac{F}{L} \quad (2.9)$$

6. 流域平均高度与坡度 流域平均高度直接影响流域的气温与降水，流域平均坡度对地表径流的产生、集流、下渗、土壤流失等都有很大影响。计算流域平均高度与坡度的一种方法是格点法，即将流域的地形图划成100以上的正方格，依次定出每个方格交叉点上的标高以及与等高线正交方向的坡度，这些标高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、气候情况、地形、植物被覆、土壤特性、地质构造、沼泽及湖泊情况等，都是与流域水文特性密切有关的自然地理特征。这些特征决定着每一地区河系形成过程的具体条件，并影响径流变化的规律，因此，当研究河流及径流的动态时，需要对流域的自然地理特征进行适当的研究。

第三节 降水及有关水文气象知识简介

一、有关降水的气象要素

流域里的河道是水流冲积出来的，而水流是从空中降水供给的。降水现象是水文学和气象学共同研究的对象。降水是一种水文要素，也是一种气象要素。

所谓气象是指某时候的天气现象，气候则是长期内气象的平均征候，某时候的气象可用六种主要的气象要素来描述：气温、气压、风、湿度、云及降水。其中与水文直接有关的是降水。湿度和云表达了大气中含水量的大小以及空气中的水分所处的状态。风是输送水汽的因素。形成大陆地区的降水的水汽大都是风从别处输送来的。风这一因素，受着气温和气压的节制。当然，这样的说法是把问题过分简单化了，这些因素相互间的关系比这要复杂得多。

1. 气温 大气受热的过程，主要是太阳的辐射射到地表的陆地或水面，再反传到空气里的。因为空气本身的比热容远大于地表陆面和水面的比热容，所以空气本身的温度很不容易升高，而地表的陆面和水面在太阳照射下升温较易，它们就成为空气的主要热源。接近地表的空气因距热源近，所以温度最高，距地面愈远，气温愈低。由于水的比热容较陆面的为大，故水温的变化较小，海洋温度年变化只有 3°C 至 8°C ，而温带大陆温度年变化则达 25°C 至 40°C ，所以海洋上的气候比大陆上的气候匀和。

2. 气压 单位面积上所受到的大气柱的重力，叫做大气压力。大气压力的大小用气压表水银柱高度表示。例如，标准海平面的气压为水银柱高760mm。现通用单位为帕，符号为Pa，用 N/m^2 表示；也用毫巴表示，符号为mb。1mb=100Pa=1hPa。1个标准大气压=101325.0Pa=1013.25mb。高程（ Z ）愈高，气压（ p ）愈低。气压随高程的变化，可用下式表示：

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \quad (2.10)$$

式中， ρ 为空气密度， g 为重力加速度。由于 ρ 是一个变数，所以气压与高度的关系不是线性关系。

为了表示气压在地区上的变化情况，可用某一水平面上的等压线图来表示，如图2-4所示。图中等压线构成的气压分布形式约可分为五类：闭合等压线，如愈往中心气压愈高，称为高压区，如愈往中心气压愈低，称低气压。属于高压区，但等压线不闭合的称高压脊，各条等压线曲率最大处的连线，称脊线。属于低压区，但等压线不闭合的，称为低压槽，各等压线曲率最大点的连线，称为槽线。两高压区和两低压区相对组成的区域称为鞍形气压区。表示高空气压分布形势，习惯上采用某一等压面的等高线图来进行分析。

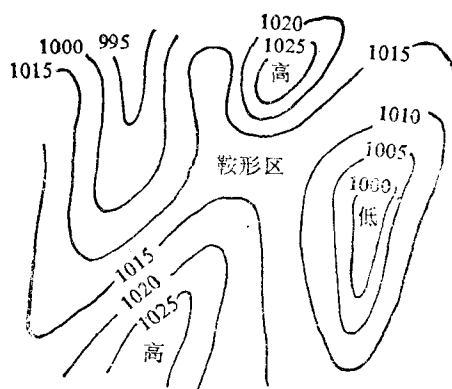


图 2-4. 等压线分布型式

3. 风 大气的流动基本上有两类：一为垂直运动，称为对流；一为近乎水平运动，在高空称平流，在低空称风。风是一种向量值，风速以每秒米数计。北京记录的最大风速为32.9m/s，上海为45.3m/s，世界记录为103.1m/s。风向以风之来向为标准，地面风向变化不定，按十六方位定名，对天气形势的代表性较差；高空风向较稳定，对天气形势的代表性较好，按从正北起，顺时针之转角大小计算风向。风速用风速仪测定，风速大小通常也按蒲福风级表中的级别表示，如表2-3。

表 2-3 蒲福 (Beaufort) 风级表

级 别	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
风 速	0	0.3	1.6	3.4	5.5	8.0	10.8	13.9	17.2	20.8	24.5	28.5	>32.6
(m/s)	0.2	1.5	3.3	5.4	7.9	10.7	13.8	17.1	20.7	24.4	28.4	32.6	

大气的水平运动主要由各地气压不同引起。气块在气压梯度力作用下就产生运动。在自西向东旋转着的地球上，北半球的所有运动物体都受到一个指向运动方向右侧的地转偏向力。当不计摩擦影响时，作用在等速运动的气块上的梯度力 G 与地转力 A 平衡，气流方向与等压线平行。当有摩擦力 R 时，气流方向与等压线相交，高压侧在气流方向的右方，如图2-5所示。

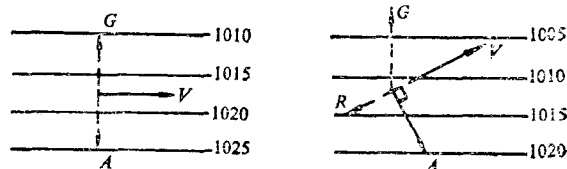


图 2-5 气压梯度与气流方向

4. 湿度 湿度表示大气中所含的水汽量，但其中不包括凝结的水量。在 1 m^3 空气中所含水汽的克数，称为绝对湿度 a ，实际上这也就是水汽的密度。水汽质量与湿空气总质量之比，称为比湿 q ，单位为 g/g 或 g/kg 。水汽和其它气体一样，在大气中也产生一部分压力，所以湿度大小也可以水汽压 e 表示，并采用气压的单位。空气中最大可能的水汽含量 a_m