

水 文 学

Shui

Wen

Xue

高等学校试用教材

· 黄锡荃

主编·

李惠明·

金伯欣

编



高等教育出版社

水 文 学

黄锡荃 主编
李惠明 金伯欣 编

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书以水循环为纲,阐明了水循环各要素和各种水体水文现象的物理机制、时空分布及其相互关系。主要内容有:水文学基础知识;水循环及水量平衡的基本理论与计算方法;陆地表面水、海洋及地下水诸水体水循环具体过程的分析;人类活动对水环境的影响。全书力图体现地理水文学的方向,反映水文科学的新观点和新成就,体系新颖,内容丰富,既适合师范院校地理系作教材,也可作为综合大学地理系、工科院校有关专业师生及水文工作者的参考用书。

水 文 学

黄锡荃 主编

李惠明 金伯欣 编

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京市顺新印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 18.75 字数 460 000

1993 年 6 月第 1 版 1993 年 6 月第 1 次印刷

印数 0001—5 235

ISBN7-04-004173-1/K·195

定价 6.00 元

前 言

1991年10月,国家教委高等学校理科地理教学指导委员会水文-气象教材建设组,为深化改革高校理科教育,提高基础课教材质量,讨论确定师范院校地理系《水文学》教材需要重新编写,并委托我们承担这一工作;同时要求尽快完成书稿,以应1993年秋季教学使用。由于1991年8月全国高校地理系水文教学研究会在大连开会期间曾专门讨论了《水文学》教材的改革问题,这就为新编《水文学》教材打下了良好的基础。编者接受任务后,随即根据教改要求草拟教材编写大纲,并印发给全国有关高校广泛征求意见,同时分头赴北京、南京等地收集资料。在汇总了各高校教师对大纲的意见,几经修改定稿后,我们集中半年时间全力撰写,并如期完成书稿,提供评审。

水文学是研究地球上水的性质、分布、循环、运动变化规律,及其与地理环境、人类社会之间相互关系的科学,在水资源严重欠缺的今天,掌握水文科学的基本规律尤为重要。作为师范院校地理系的一门专业基础课,《水文学》主要着重水文科学基础理论的阐述。

本教材体系贯穿了水循环和水量平衡的基本线索,突破了以往教材按各个水体分别描述的结构框架。全书力图体现地理水文学的方向,既注意突出水与其它自然要素之间的关系,以较大篇幅阐述水体运动转化、及其环境效应;也十分重视人为因素的作用,增加了人类活动对水环境影响的内容,同时,从资源观出发,水量、水质兼顾阐述。教材内容既注意提高教学的起点,反映水文学科的新成就,各章节普遍增加了水文学新理论的原理、机制的论述,及分析计算方法的介绍,同时也注意满足师范院校地理系后继课程教学的要求,对一些必要的基础知识作适当的保留。

本教材编写大纲第一稿送全国高校地理系及水利院校审阅后,收到杨戊教授等20余位专家的宝贵书面意见,编写过程中也曾得到有关院校大力支持;提供资料,南京大学大地海洋科学系甚至将尚未出版的《水文学基础》自用教材供作参考。所有这些对本教材的编写都起了很大的作用。1992年5月高等教育出版社委托地理教学指导委员会委员、水文气象教材建设组组长沈灿燊教授主持,组织了部分有经验的高师水文学教师,对本教材进行审稿,参加者有吴国元、马瑞俊、宝音、林其东、张效良、张育德、刘改有、黎勇奇等同志。在评审过程中,提出了许多宝贵意见,谨向以上各院校和所有专家表示衷心的感谢!

全书除绪论外共分六章。其中绪论、第三章、第六章的第一节由黄锡荃编写;第一章、第四章、第六章的第二节由李惠明编写;第二章的第一至六节、第五章由金伯欣编写;第二章的第七节由黄锡荃、金伯欣合写。最后由黄锡荃统稿定稿。由于时间仓促、水平有限,定会存在谬误和不足,敬请广大读者批评指正。

编 者

1992年6月

目 录

绪 论..... (1)

- 一、水文学的研究对象..... (1)
- 二、水文学发展简介..... (1)
- 三、水文学的体系..... (2)
- 四、水文学的地理研究方向
——地理水文学..... (3)
- 五、水文现象的主要特点..... (4)
- 六、水文学的研究方法..... (5)
- 七、水文学课程性质及教学目的
要求..... (5)

第一章 地球上水的性质与

分布..... (7)

第一节 地球上水的物理

性质..... (7)

- 一、水的形态及其转化..... (7)
- 二、水的热学性质..... (9)
- 三、水温..... (10)
- 四、水的密度..... (16)
- 五、水色与透明度..... (17)

第二节 地球上水的化学

性质..... (18)

- 一、天然水的化学成分..... (18)
- 二、天然水的矿化过程..... (19)
- 三、天然水的分类..... (20)
- 四、水体的化学性质..... (22)

第三节 地球上水的分布与

水资源..... (29)

- 一、地球上水的分布..... (29)
- 二、水资源涵义与特性..... (30)
- 三、世界水资源..... (31)
- 四、我国水资源..... (32)

第二章 地球上的水循环..... (41)

第一节 水循环概述..... (41)

- 一、水循环基本过程..... (41)
- 二、水循环的类型与层次结构..... (42)

三、水体的更替周期..... (43)

四、水循环的作用与效应..... (44)

第二节 水量平衡..... (47)

- 一、水量平衡概述..... (47)
- 二、通用水量平衡方程..... (48)
- 三、全球水量平衡方程..... (49)

第三节 蒸发..... (51)

- 一、蒸发的物理机制..... (51)
- 二、影响蒸发的因素..... (53)
- 三、蒸发量的计算..... (55)

第四节 水汽扩散与输送..... (59)

- 一、水汽扩散..... (59)
- 二、水汽输送..... (62)

第五节 降水..... (66)

- 一、降水要素..... (66)
- 二、面降水的计算..... (68)
- 三、影响降水的因素..... (70)
- 四、可能最大降水..... (73)

第六节 下渗..... (74)

- 一、下渗的物理过程..... (75)
- 二、下渗理论与下渗经验公式..... (76)
- 三、影响下渗的因素..... (79)

第七节 径流..... (81)

- 一、径流的涵义及其表示方法..... (81)
- 二、径流的形成过程..... (82)
- 三、影响径流的因素..... (85)

第三章 陆地表面水的组成

与运动..... (89)

第一节 陆地表面水的组成

与结构..... (89)

- 一、陆地表面水的组成..... (89)
- 二、陆地表面水的结构..... (90)

第二节 流域产流与汇流..... (90)

- 一、流域产流理论..... (90)
- 二、流域汇流分析..... (97)

三、流域产、汇流计算与模型	四、地震、海啸与风暴潮····· (189)
简介····· (100)	五、近岸波····· (191)
第三节 河流的水情····· (110)	第三节 潮汐····· (192)
一、水情要素····· (110)	一、潮汐及其类型····· (192)
二、年径流的有关概念····· (113)	二、潮汐的成因····· (194)
三、正常年径流量的计算····· (113)	三、潮汐的变化····· (199)
四、径流的年际变化····· (116)	四、潮流····· (201)
五、径流的年内变化····· (118)	第四节 洋流····· (203)
六、洪水与枯水····· (120)	一、洋流的成因及类型····· (203)
第四节 河水的运动····· (124)	二、大洋环流系统····· (209)
一、河水的运动状态····· (125)	三、水团····· (214)
二、河水的纵向运动····· (126)	四、中尺度涡····· (214)
三、河水的环流运动····· (129)	五、厄尔尼诺现象····· (215)
四、河流的泥沙运动····· (132)	第五节 海洋效应····· (218)
第五节 冰川运动与补给····· (139)	一、海洋能量效应····· (218)
一、冰川的形成及类型····· (140)	二、海洋的大气环境效应····· (221)
二、冰川的物质平衡与运动····· (142)	第五章 地下水的结构与运动····· (225)
三、冰川积雪融水对河流的补给	第一节 地下水系统的组成
作用····· (146)	与结构····· (225)
四、冰川与大气、海洋的相变	一、地下水的贮存空间····· (225)
转换····· (148)	二、地下水流系统····· (228)
第六节 湖水的运动与调蓄····· (149)	三、地下水系统垂向结构····· (229)
一、湖泊概述····· (149)	第二节 地下水类型····· (232)
二、湖泊、水库水的运动····· (152)	一、地下水基本类型的划分····· (232)
三、湖泊、水库水量平衡与调节	二、包气带水····· (233)
作用····· (156)	三、潜水····· (235)
四、湖泊的演化····· (162)	四、承压水····· (238)
五、沼泽····· (163)	五、孔隙水····· (240)
第七节 径流向海汇集及其	六、裂隙水····· (241)
效应····· (164)	七、岩溶水····· (242)
一、入海河口的水文特性····· (165)	第三节 地下水的补给与
二、径流向海汇集效应····· (173)	排泄····· (243)
第四章 海洋的结构与海水的	一、地下水的补给来源····· (243)
运动····· (177)	二、地下水径流····· (245)
第一节 海洋的组成与结构····· (178)	三、地下水的排泄····· (246)
一、海洋的组成····· (178)	第四节 地下水运动····· (248)
二、海洋运动的结构····· (179)	一、结合水运动····· (249)
第二节 波浪····· (180)	二、毛管水运动····· (250)
一、波浪概述····· (180)	三、重力水运动····· (252)
二、小振幅波和有限振幅波····· (181)	第五节 地下水的动态与
三、风浪和涌浪····· (187)	平衡····· (257)

一、影响地下水动态的因素·····	(257)	三、城市水文效应·····	(270)
二、地下水动态·····	(258)	四、人类活动水文效应的研究	
三、地下水平衡·····	(261)	方法·····	(273)
第六章 人类活动对水环境的		第二节 人类活动对水体水	
影响 ·····	(264)	质的影响 ·····	(274)
第一节 人类活动的水文		一、影响水体水质的物质来源·····	(274)
效应 ·····	(264)	二、天然水体水质恶化特点·····	(276)
一、水利工程、农业措施对水		三、水体的自净能力·····	(279)
文要素的影响·····	(264)	四、水环境容量·····	(286)
二、森林水文效应·····	(267)		

绪 论

一、水文学的研究对象

水文学是研究地球上水的性质、分布、循环、运动变化规律及其与地理环境、人类社会之间相互关系的科学。地球表层的水，经过约35亿年的积聚和演变，逐渐形成了今天的水圈。水圈中的水广泛渗透于地球表面的岩石圈和大气圈，积极参与地表的各种物理、化学过程，不仅改变了岩石圈的面貌，也使大气圈的大气现象变得复杂多样，而且导致生物圈的出现，从而水又积极参与地表的生物过程。水对地理环境和生态系统的形成与演化具有重大的影响。

水是生命活动的物质基础，是人类赖以生存、发展的最宝贵的自然资源。无论是过去、现在或是将来，水始终是影响人类社会发展的的重要因素，因此，水文科学在认识自然、改造世界的斗争中，有着重要的意义和广阔的前途。

自然界的水总是以一定的水体形态存在的，如江河、湖泊、海洋、地下水等，这些水体就成为水文学的主要研究对象。由于各种水体均通过蒸发、水汽输送、降水、地面和地下径流等水文要素的紧密联系，相互转化、不断更新，并渗透到地球的各个自然圈层，形成一个庞大的水循环动态系统，故水循环的研究是水文学的核心内容。随着水资源开发利用的规模日益扩大，人类活动对水环境的影响明显增强，大规模的人类活动干扰了自然界的水循环过程，改变着各个水体的性质，因此，水资源的开发利用和人类活动对水环境的反馈效应的研究，也已成为现代水文学研究的重要内容。

二、水文学发展简介

人类在争取生存和改善生活的实践中，特别是在与水旱灾害作斗争的过程中，对经常遇到的各种水文现象进行探索，在不断认识和积累经验的基础上，吸取了其他基础学科的新思想、新方法，经历了一个由萌芽到成熟、由定性到定量、由经验到理论的历史发展过程，逐渐形成了水文科学。

自远古至约14世纪末，为水文现象定性描述阶段。本阶段特点是：开始了原始观测，水文现象的定性描述及经验积累。世界上最早的水位观测出现在中国和埃及。公元前约22世纪，大禹治水已“随山刊木”（即立木于河中）以观测水位，以后都江堰的“石人”，隋代的石刻水则，宋代的水碑，明代的“乘沙量水器”等相继出现，表明古代水文观测不断进步，《吕氏春秋》、《水经注》等古代著作中，系统记载了我国各大河流的源流、水情，并记载着水文循环的初步概念及其他水文知识。

自15世纪初至约19世纪末，为水文科学体系形成阶段。本阶段特点是水文现象由概念性描述进入定量的表达，水文理论逐渐形成。欧洲文艺复兴及产业革命后，自然科学及技术科学迅速发展，1424年中国和朝鲜先后开始统一制作和使用标准测雨器。以后自计雨量计（1663，C.雷恩等），蒸发器（1687，E.哈雷），流速仪（1870，T.G.埃利斯）等仪器相继发明，19世

纪以来，各国普遍建立水文站网和制定统一的观测规范，从而为水文现象实测、定量研究和科学实验提供了条件，这段时期内，P.佩罗的水量平衡概念（1674），谢才公式（1775），道尔顿蒸发公式（1802），达西定律（1856）等理论和公式相继出现，至此，水文科学体系已逐渐形成。

自20世纪初至50年代，为应用水文学兴起阶段。本阶段特点是水文观测理论体系进一步成熟，应用水文学进一步发展。第一次世界大战后，各国经济恢复与发展，防洪、航运、发电、工农业需水等各种建设向水文学提出了大量的新课题，以工程水文学为主的应用水文学相应诞生，不少产汇流理论、计算公式，如等流时线、单位线等理论和方法相继出现，大大改进了水文计算和水文预报的方法，提高了成果的精度。随着工程水文的发展，农业水文学、森林水文学、城市水文学也相应兴起。1949年《应用水文学》（R.K.林斯雷等）、《应用水文学原理》（D.姜斯登等）等专著出版，它们总结了这一时期的成就，使水文学开始直接为生产和生活服务。故应用水文学是水文科学体系中最富有生气的分支科学。

20世纪50年代以来，进入现代水文学阶段。本阶段特点是引进遥感、电算等新技术、新方法，重点开展水资源及人类活动水文效应的研究，分支学科不断派生，研究方法趋向综合。50年代以来，科学技术进入新的发展时期，雷达测雨、中子散射法测土壤含水、放射性示踪测流、同位素测沙、卫星遥感传送资料等，现代技术的引用使人们能获得使用通常方法无法取得的水文信息，拥有现代化设备的实验室使人们有可能对水文现象的物理过程了解得更深透，水文模拟、水文随机分析和系统分析方法，使人们研究水文现象的能力显著增大，电子计算机的应用，更使水文测验、水文研究的自动化成为可能。新技术、新方法的应用，为现代化水文研究提供了良好的基础。50年代以来，社会生产规模空前扩大，生活与生产用水不断增多，环境污染趋向严重，水资源的紧张，迫使水文学特别侧重于水资源的研究，研究工作中既着眼水量，也着眼水质，既注意洪水，也注意枯水，不仅研究一条河流，一个流域的水文特性，还要研究跨流域、跨地区的水资源综合调度利用中的水文问题。今天的水文观测、水文分析，已不仅是为自然水体运动变化的研究，或工程设计提供资料数据，还要为水资源管理，水资源评价和水资源优化利用提供依据，并为开展人类活动的水文效应的研究提供有力的依据。当前水文学与其它科学之间的边缘学科正在兴起，并不断分化新的分支学科。从现代水文学的发展趋势看，它的社会属性日益表现出来。因此，水文学将有可能成为兼具自然科学、技术科学和社会科学特性的一门综合性科学。

三、水文学的体系

作为基础科学，水文学是地球科学的一个组成部分，因为水循环使水圈、大气圈和岩石圈紧密联系，故水文科学与地球科学体系中的大气科学、地质学、自然地理学的关系非常密切。水文科学开始主要研究陆地表面的河流、湖泊、沼泽、冰川等，以后扩展到地下水、大气中的水和海洋中的水。传统的水文科学是按研究的水体对象划分分支科学的，主要有：河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、水文气象学、地下水文学和海洋水文学。

水文科学主要通过定点观测、野外查勘和室内外实验等手段，获得水体时空分布和运动变化的信息，因而形成了水文测验学、水文调查、水文实验三个分支学科。

区域水文学是水文科学与自然地理学共同研究水在特定的地理环境中的作用而发展起来

的,主要有:流域水文学、河口水文学、山地水文学、坡地水文学、平原水文学、干旱区水文学、岩溶水文学以及区域类比研究的比较水文学等分支学科。

作为应用科学,水文学又分:工程水文学(其中包括水文计算、水利计算、水文预报等组成部分),农业水文学、土壤水文学、森林水文学、都市水文学等。

50年代以来,新技术新方法的引进,出现了一些新的分支,主要有:随机水文学、模糊水文学、系统水文学、遥感水文学、同位素水文学等。近些年来,水资源水文学作为一门自然、技术和社会综合科学的出现,标志着水文科学进入了一个崭新的发展时期。

总之,现代水文学由于相关学科的渗透,现代化技术的促进,社会生产的发展,水资源开发的需求等,学科前沿不断扩大,不同层次的新分支学科不断兴起,有些分支学科虽然尚欠成熟,却表明了水文学目前已拓展了自己的领域,呈现出巨大的活力。

四、水文学的地理研究方向——地理水文学

水文学从其研究方向来说,一般可以归纳为三个方向,即地理学、地球物理学与工程学。早期的水文学孕育在地理研究与工程研究之中,地球物理方向是近代发展的,主要偏重于数理范畴。现代水文学的研究中,三种方向是并存的,而且都是现代水文学理论发展和实际研究所必要的。三种方向也是水文研究的三种途径,它们虽然各有独立性,但是彼此又保持着配合与联系。

水文学的地理研究方向,过去统称为“水文地理学”(Hydrography),由于该词的涵义容易误解为仅注重区域水文现象的描述,而忽视学科的理论基础,不能有效地利用地理学原理指导水文学的研究工作。经中国地理学会水文专业委员会多次讨论,建议改用“地理水文学”(Geographical Hydrology)一词,它同时隶属于地理学和水文学,而作为这两门科学的分支科学。

“地理水文学”一词最早是在1981年由苏联学者A.安基波夫提出的,他在“水文研究的地理学观点”一文中,以景观学,即地理系统学说为核心,详细地阐述了水文研究的地理学途径。我国著名的地理水文学家郭敬辉等认为:水文地理学主要以自然地理学原理与现代自然地理学的新思想(包括水热平衡、景观地球化学、生物地理群落研究的新成就,以及地理系统分析的新概念)为基础,同时吸取地质学、气象学、地貌学、土壤学、地植物学及人文地理学等)的基本知识和技术方法,对各种水文现象和水文过程开展研究。

相对于工程水文研究来说,地理水文研究更侧重于弄清水体运动变化的自然规律,总体演化趋势;更注意开展与其它自然地理因素之间相互影响的综合研究;更多地考虑到水体是一定地理环境中的客观存在,区域因素决定了各水体的区域差异性。也就是说,地理水文研究具有宏观性、综合性及区域性三大特点。

在我国,过去对地理水文学虽有研究,但较零散。50年代开始以河流为主做了大量工作。50年代末到60年代中期,研究工作从河流水文逐渐扩大到冰川、湖泊、沼泽、冻土、河口等其他陆地水体,相应的研究机构和实验站也相继建立,中国地理学会也成立了水文专业委员会,因而地理水文的研究得到了迅速发展,开始形成体系。70年代中期以来,先后召开五次全国地理学会水文专业委员会学术讨论会,进一步推动了地理水文的研究工作,从而使地理水文研究进入了一个新的发展时期,水资源问题、环境水文研究也迅速兴起,水循环、水量平衡及与之

有关的环境调查和实验工作日趋加强。

当前,地理水文学应以水、环境与人类社会作为学术研究的中心内容,从发展趋势看,积极开展水循环系统与水量平衡、区域水文、特殊水体的水文(岩溶、冰川、河口、干旱区等)、环境水文、水资源水文、比较水文,以及新技术的应用(包括遥感、实验技术的研究)和系统论、控制论、信息论等的引进是至关重要的。

五、水文现象的主要特点

水循环过程中,水的存在和运动的各种形态,统称为水文现象。例如:河湖中的水位涨落,冰情变化,冰川进退,地下水的运动和水质变化等。水文现象在各种自然因素和人类活动的影响下,时空分布变化上具有下列特点:

(1) 水循环永无止尽 任何一种水文现象的发生,都是全球水文现象整体中的一部分和永无止境的水循环过程中的短暂表现。也就是说,一个地区发生洪水和干旱,往往与其它地区水文现象的异常变化有联系;今天的水文现象是昨天水文现象的延续,而明天的水文现象则是在今天的基础上向前发展的结果。任何水文现象在空间上或时间上总是存在一定的因果关系的。

(2) 水文现象在时间变化上既具有周期性又具有随机性 水文现象的周期性,分别有以多年、年、月、日为一单位的周期,例如河流、湖泊一般每年均有一个汛期与一个枯季,同时河湖还存在着连续丰水年与连续枯水年相交替的多年周期。海洋和潮汐河口的水位则既存在以日或半日为周期的涨落潮的变化,还存在以半月为周期的大小潮的变化等。以冰雪融水为水源的河流受制于气温的日周期变化,其水文现象也具有日周期的变化规律。形成上述周期变化的原因主要是地球公转及自转,地球和月球的相对运动,以及太阳黑子的周期性运动所导致的昼夜、四季交替的影响所致。虽然河流每年均会出现汛期或枯水期,但是每年汛期和枯水期出现的时间、水量和过程通常是不会完全重复的,即每年汛期出现的时间和量值却具有随机性。这是因为影响水文现象的因素众多,各因素本身在时间上也在不断地变化,并且相互作用、相互制约所致。因此,在时间上水文现象的周期性既是必然的,又是偶然的;有确定性的一面,又有随机性的一面。

(3) 水文现象在地区分布上既存在相似性,又存在特殊性 不同的流域,如果所处的地理位置(指纬度、距海远近等)相似,由于纬度地带性的影响,水文现象也就具有一定程度的相似性。例如,我国南方湿润区的河流,水量充沛,年内分配较均匀,含沙量较小,而北方干旱地区的河流则水量不足,年内分配不均,含沙量大。地带相似性反映水文现象在空间变化上存在确定性的一面。然而有时,不同流域虽然处在相似的地理位置,但由于各流域的地质、地形等非地带性下垫面条件的差异,水文现象就会有很大的差异,例如,同一气候带,山区河流与平原河流、岩溶区与非岩溶区,其水文现象就有很大的差别。这种局部性的变化反映水文现象在空间变化上也存在不确定性的一面。

总之,任何水文现象无论在时间或空间上均同时存在确定性和不确定性这两方面的性质。只是在某种情况下,更多地表现出确定性规律,而在另一种情况下,更多地表现不确定性的特性。

六、水文学的研究方法

水文学的研究与其他科学研究一样,通过实践获取信息,分析信息,得出规律,用以指导人们改造自然,同时促进水文科学自身的发展。随着对水的认识的不断发展和深化,人们已经越来越意识到水文循环是自然界各种水体的存在条件和相互联系的纽带,是水的各种运动、变化形式的总和,是水文科学研究的主要对象和核心,而且水文循环过程中,水文现象所表现出的特点决定了水文学研究的特点和方法。

水文学的研究必须建立在实测资料的基础上,以辩证唯物论的认识论和方法论作指导,根据水文现象的基本特性进行综合分析。研究水文规律所需的实测资料,通常是通过水文调查、水文观测和水文实验等途径获得的。

水文学研究的特点,是通过已经获得的短暂的实测水文资料(通常最多仅有100余年的实测系列),把各种水文现象作为一个整体,并把它们同大气圈、岩石圈、生物圈及人类活动对它的影响结合起来,进行水文过程和水文规律的研究,并进一步预测或预估水文情势的未来状况,例如,对旱涝灾害作出中长期预报,对水利工程未来数百年期间可能遇到的特大洪水作出概率预估等,从而直接为人类生活和生产服务。

传统的水文学研究方法主要有成因分析法、数理统计法和地理综合法三种。成因分析法以物理学原理为基础,研究水文现象的形成、演变过程,揭示水文现象的本质、成因,其与各因素之间的内在联系,以及其定性和定量的关系,通常是建立某种形式的确定性模型。数理统计法是以概率理论为基础,根据实测资料,运用数理统计方法,求得水文现象特征值的统计规律,或对主要水文现象与其影响因素之间进行相关分析,求出其经验关系。20世纪60年代发展起来的随机水文学,则主要是运用随机分析方法,把水文现象确定性和不确定性结合在一起研究。地理综合法是按照水文现象地带性规律和非地带性的地域差异,用各种水文等值线图表示水文特征的分布规律,或建立地区经验公式,以揭示地区水文特征。

七、水文学课程性质及教学目的要求

(一) 课程性质与教学要求

作为部门自然地理学的水文学是高师地理系必修的专业基础课,它与地理系开设的地质学、地貌学、气象气候学、土壤学、植物地理学等课程关系十分密切,本课程应着重阐述水文科学的基础知识和基本理论,使学生认识水是自然界中最活跃的因子之一,它不但与自然地理各要素具有相互联系和相互制约的关系,而且广泛渗入地球表层的岩石圈、大气圈和生物圈,积极参与地球上各种物理、化学及生物过程,给地理环境、生态系统以重大的影响。水又是生命活动的物质基础,是人类赖以生存、发展的最宝贵的自然资源之一。通过本课程的教学,使学生掌握水资源开发利用和保护的一般知识。此外水文学还要为后续课及中学地理教学提供必要的基础知识。

(二) 教材的主导思想

由于水文循环是水文学的核心内容,地球上各种水体通过水文循环过程相互联系、相互转化,从而影响了气候、生态,塑造地表,实现地球化学的迁移,并给人类不断提供再生的淡水资源。水量平衡是指水循环过程中蒸发、降水、径流等要素之间的数量关系,它是物质不灭定

律在水文循环过程中的体现，水量平衡也是水文科学最基本的内容之一。因此，本教材主导思想是以水循环、水量平衡为纲，将地球各圈层中的水体，按水循环过程作系统的、有机联系的阐述，使学生掌握各种水体运动、变化和相互转化的基本理论及分析计算方法。

（三）本教材的组成

本教材由下列四部分组成。

1. 水文学基础知识 主要通过第一章阐述水的分子结构、形态组成及其转化，水及各种水体的物理、化学性质，水及水资源的空间分布。

2. 水文循环及水量平衡基本理论 主要通过第二章阐述水文循环基本过程、影响因素，各要素的物理机制和分析计算方法，水量平衡原理及其在水资源估算中的应用，以及水文循环的作用、效应等。

3. 水文循环具体过程的分析 由于水循环实质上是一个动态有序的大系统，按系统分析的观点，本教材第三章至第五章分别阐述陆地地表、海洋、地下三个水文循环亚系统的水文循环具体过程及其理论，并阐明亚系统之间和亚系统内的子系统之间相互转化的关系。

4. 人类活动对水循环的影响 鉴于社会经济迅速发展，科学技术不断革新，人们改造自然的能力愈来愈大，大规模的人类活动干扰了自然界水文循环过程，影响着各个水体的性质。破坏了生态平衡，从而使水、自然环境和人类社会的关系严重失调。除水量外，水文科学对水质的研究也越来越多。故本教材在第六章专设人类活动对水环境的影响，作为水文学的重要内容之一。

第一章 地球上水的性质与分布

地球上的水是指地球上水圈内所有形式的水，如海洋水、河流水、湖泊水、沼泽水、冰川水、地下水、土壤水、生物水、大汽水等。在地理环境要素中，水是最活跃的因子，在其循环运动过程中，与大气圈、岩石圈、生物圈之间，处于相互联系、相互作用之中，使其水量与水质不断地发生变化。水又是宝贵的自然资源，是保证人类生活和发展工农业生产的重要物质条件之一。

第一节 地球上水的物理性质

水具有不同于一般物质的物理性质，这些异常的物理性质使水在自然界和生物体内，表现出某些独特的效应与作用。

一、水的形态及其转化

地球上的水以气态、液态和固态三种形式存在，在常温条件下三相可以互相转化。

(一) 水分子的结构

每个水分子 (H_2O) 都是由一个氧原子和二个氢原子组成。水分子的键角 $\angle\text{HOH}$ 为 $104^\circ 31'$ ， $\text{O}-\text{H}$ 键的键长为 $0.9568\text{\AA}$ (毫微米)，见图1-1，形成等腰三角形。由于氧原子对电子的吸引力比氢原子大得多，所以在水分子内部，电子就比较靠近氧原子。这样，电子就有在氧原子周围相对集中的趋势，形成较浓厚的电子云，掩盖了原子核的正电核。所以，在氧原子一端显示出较强的负电荷作用，形成负极；相反，在氢原子周围，电子云相对稀薄，于是显示出原子核的正电核作用，形成正极，使水分子具有极性结构。

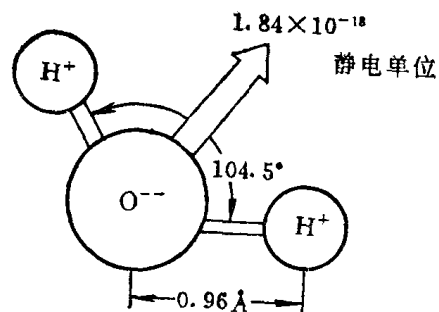


图1-1 水分子及其原子结合简图

由于水分子具有极性，在自然界，水不完全是单水分子 H_2O ，而更多的情况下是水分子的聚合体。水分子聚合体包括：单水分子 (H_2O)、双水分子 (H_2O)₂、三水分子 (H_2O)₃，见图1-2。

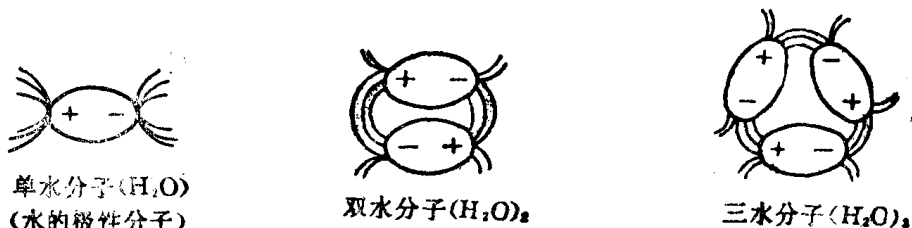


图1-2 水的偶极形成的二聚水体和三聚水体

（二）水的三态及其转化

在一个标准大气压下，纯水 0°C 为冰点， 100°C 为沸点。 0°C 以下为固体， $0-100^{\circ}\text{C}$ 为液体， 100°C 以上为气体。但在地球上的常温条件下，水的三态（气态、液态、固态）可以相互转化。

1. 水的三态与水温 随着水温的变化，三态水分子的聚合体也在不断的变化。从表1-1可见：

表1-1 不同水温水分子聚合体的分布（%）

分子式	冰	水			
	0°C	0°C	4°C	38°C	98°C
H_2O	0	19	20	29	36
$(\text{H}_2\text{O})_2$	41	58	59	50	51
$(\text{H}_2\text{O})_3$	59	23	21	21	13

1) 随着水温的升高，水分子聚合体不断地减少，而单水分子不断地增多。当温度高于 100°C 呈气态时，水主要由单水分子组成。

2) 随着温度的降低，水分子聚合体不断增多，单水分子不断减少。水温达到 0°C 结冰时，单水分子为零，而强力缔合结构的三水分子增多，因三水分子结构特性，使液态水变成固态冰时，体积膨胀10%，若冰变成液态水时，体积减小10%。

3) 水温在 3.98°C 时，结合紧密的二水分子最多，所以此时水的密度最大，比重为1。

2. 固态水（冰）的结构 气体水分子能凝聚成液态水和固态水（冰），主要是氢键起着强烈的缔合作用。在冰晶中，氧原子和氢原子的排列是很有规则的，其结构是每个氧原子通过氢键，按四面体取向，与另外四个氧原子连结，见图1-3，呈现六方晶系的冰，见图1-4。正是由于冰晶内每个氧原子通过氢键以等键距与另外四个氧原子相连接，在冰晶中的水分子则具有比较完整的正四面体结构形态，键角增为 $109^{\circ}28'$ ，键距亦增至 $1.01\text{\AA}$ 。从水蒸气到凝聚态的冰，

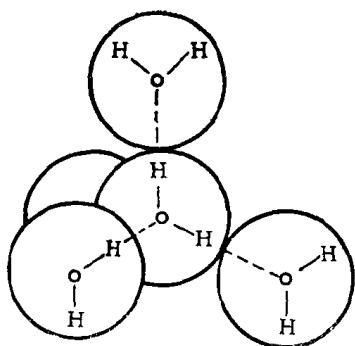


图1-3 冰晶格中按四面体排列的相邻水分子

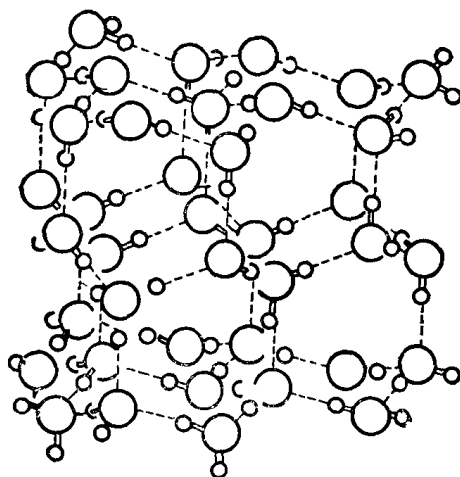


图1-4 冰的结构

氢键为凝聚力的主要方面，为了尽可能生成较强和较多的氢键，原来水分子中的 $\text{O}-\text{H}$ 键必须

拉伸。由此带来的后果是，水分子必须按空间利用率颇低的四面体形态堆积，故冰的晶体是一个十分敞开的结构，其密度较低。

冰晶中的内在矛盾主要表现为氢键的凝聚力和氢核的振动、水分子的热运动，前者为吸引因素，后二者为排斥因素。

3. 液态水结构的主要理论模型 从冰转化为液态水，体现了物质内在矛盾相互依存的形式随着条件的改变而变化，即同一性的转化。当温度升高至 0°C 以上时，条件改变了，原来与吸引因素共居于冰晶统一体中的微不足道的排斥因素，即氢原子振动和水分子的热运动，便从劣势转为优势，运动的结果使氢键部分断裂。于是，冰晶的有规则的固体结构崩溃，并熔化为液态水。水分子的半径在冰溶解时，也有微小的变化。

液态水的结构问题，吸引了世界上许多科学家注意。近半个世纪以来，不断有新理论提出，并获得迅速发展，至今这一研究领域仍较活跃。已提出的液态水结构的理论模型，大体上可分为两大类，即连体理论和混合体理论。二者都是以液态水如何偏离固态水结构这一前提为出发点的。上述理论都在不同程度上忽略了液态物质在结构上有很大任意性这一特点。液态水的“闪动簇团”模型，则可弥补这一严重的疏忽。

“闪动簇团”模型，是把液态水看成以氢键结合的水分子的闪动簇团，在略为“自由”的水中游泳的一种液态体系，见图1-5；这些簇团的尺寸是比较小的，且处于不断地转化或“闪动”的状态；所谓“闪动”，就是说这些小簇团本身是非常动荡的，意即这里的氢键缔合解开了，而另一处缔合又立即完成，簇团与非簇团的水分子之间，也是处在连续地相互渗透、相互转化之中，因而整个液体是均匀的，并可保持在一种稳定的流通状态之中。

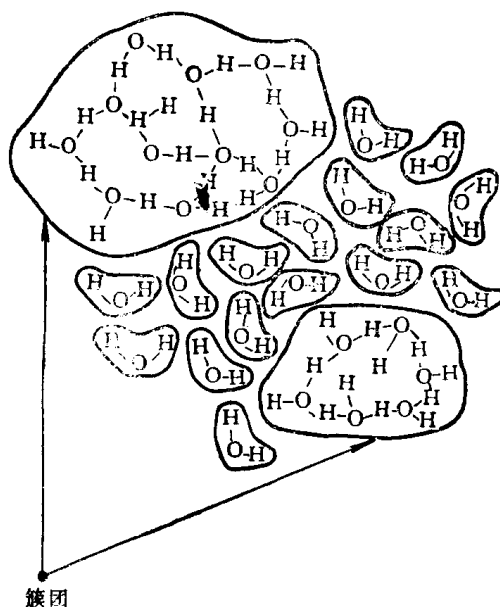


图1-5 液态水的闪动簇团模型

总之，液态水是一个极度复杂的凝聚相体系，它既包含有水分子的缔合体即簇团，又包含着水分子的微粒，此二者在液态温度 $0-100^{\circ}\text{C}$ 的条件下共居、共存，且处于连续的转化“闪动”之中。这就是液态水之内存在着的矛盾同一性。“闪动簇团”理论模型较其它理论模型，能更好的概括液体水的特异结构性能，但这种理论在较长时间内多处于定性阶段，现借助于统计力学，其定量化研究也开始进行，并获得迅速发展。

二、水的热学性质

水是所有固体和液体中热容量最大的物质之一，能吸收相当多的热量而不损害其稳定性。也就是说，把水加热到某一温度，要比重量相同的其它物质加热到同一温度，需要更多的热量。

水变成水汽或冰融成水都要吸收热量。相反，水汽凝结和水结成冰都要放出热量，而且吸收或放出的热量是相等的。这种吸收或放出的热量称为水的潜热。水在 0°C 直接蒸发，其潜热为 2500J/g ；在 100°C 时，汽化潜热为 2257J/g ；冰在 0°C 时，融解潜热为 335卡/克 ；冰直接升华

潜热为 $335 + 2500 = 2835\text{J/g}$ 。冰的融解和水的蒸发，其潜热均较其它液体为大，这与水分子结构有关。因为热量不仅用于克服分子力，而且需要用于双水分子 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 和三水分子 $(\text{H}_2\text{O})_3$ 聚合体的分解上。

水的热容量与潜热特性，对整个地球上的热量变化具有重要的调节作用，使冬季不致过冷，夏季不致过热。

三、水温

水的温度是一个很重要的物理特性，它影响到水中生物，水体自净和人类对水的利用。天然水的温度因所得到的热量来源不同而异。太阳辐射是地球上各种水体的主要热源之一。

(一) 海水温度

1. 海水热量的收支 海水中的热量主要来自太阳辐射。它每年获得的热量等于支出的热量，否则海水的温度就要发生变化。从整个海水的年平均温度来看，几乎没有变化。但一年中不同季节、不同海区的热量收支并不平衡，因此引起了海水中温度的分布与变化的不同。海水中的热量收支情况如表1-2。表中的各项热量收支，对海水温度分布与变化的影响并不相同。热量的收入以太阳短波辐射和大气长波辐射最为重要。洋流带来的热量只对局部海区有较大影响，其它方式所提供热量较少；热量的支出以海面辐射和蒸发更为重要，在局部海区由洋流带走的热量对水温变化也有较大影响，由于海水的垂直紊动混合，可把热量传到深处。

表1-2 海水的热量收支

收 入	支 出
1. 来自太阳和天空的短波辐射	1. 海面辐射放出的热量
2. 来自大气的长波辐射	2. 海水蒸发时所消耗的热量
3. 地壳内热通过海底传给海水的热量	3. 洋流带走的热量
4. 海面水汽凝结时放出的热量	4. 海水垂直交换中耗掉的热量
5. 洋流带来的热量	
6. 海水垂直交换中所得的热量	
7. 化学的、生物的和放射性物质放出的热量	
8. 海水运动产生的热量	

2. 海水温度的分布

1) 海水温度的水平分布 三大洋表面年平均水温约为 17.4°C ，其中太平洋最高，达 19.1°C ；印度洋 17.0°C ；大西洋 16.9°C 。

三大洋表面年平均水温的分布特点是：北半球高于南半球，在南北纬 0° — 30° 之间以印度洋水温最高，在南北纬 50° — 60° 之间大西洋水温相差悬殊。形成上述特点的原因在于热赤道北移，南半球的热带水一部分流入北半球，北半球暖流势力强大，一直影响到高纬，受大陆和海底地貌影响，北冰洋的冷水不能大量南流；而南半球三大洋相连，并与南极大陆相接，因此冷却效果特别明显；印度洋热带海区三面受亚、非、澳大利亚大陆包围，并受暖流影响，所以水温最高。

从图1-6、1-7中可以看出，世界大洋表面水温分布的总趋势是：水温从低纬向高纬递减，在南北回归线之间的热带海区水温最高；大洋东西两侧，水温分布有明显差异；在寒暖流交汇