



# 水文学 (第二版)

管华 主编



科学出版社

# 水 文 学

(第二版)

管 华 主编

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书全面系统地介绍了水文学的基本知识、基本理论和基本研究方法。全书共分十章,其中绪论阐述了水文学的研究对象、水文现象的特点、水文学的发展;第一章论述了水文循环与水量平衡的理论;第二章论述了水分循环各环节的概念和理论;第三章至第六章分别论述了海洋、河流、湖泊、沼泽、冰川、地下水等各种水体的水文规律和研究方法;第七章论述了水资源开发与利用和水质分析与保护的基本理论与方法;第八章论述了人类活动的水文效应问题;第九章论述了水文区划的基本理论与方法。

本书可作为大学地理科学专业及相关专业的教材或参考书,也可作为水利、国土管理、城乡规划、环境保护、资源开发与管理等相关专业的研究生、教师、科技人员、干部等广大实际工作者的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

水文学/管华主编. —2版. —北京:科学出版社, 2015.12

ISBN 978-7-03-046533-7

I. ①水… II. ①管… III. ①水文学—高等学校—教材 IV. ①P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 285420 号

责任编辑:文 杨/责任校对:桂伟利

责任印制:赵 博/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2015年12月第二版 印张:18 1/4

2015年12月第一次印刷 字数:452 000

定价:39.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《水文学》编委会名单

---

主 编

管 华

副主编

李景保

编著者

(以姓氏笔画为序)

吕殿清 朱 琳

许武成 许清涛

李景保 张 静

张云吉 张振华

陈子玉 管 华

## 第二版前言

我们编写的《水文学》由科学出版社于2010年出版以来，得到了高等师范院校及其他类型学校广大读者的大力支持，不少学校选为教材和参考书。2014年，本教材被评为“十二五”江苏省高等学校重点教材建设项目。

近年来，水文学又有了大的发展，涌现出大量的新的研究成果。同时，本教材在使用过程中，发现其中存在一些编写体系和内容安排方面的问题。因此，特对本教材进行修订，以弥补上述不足。

本教材的修订之处主要有以下几个方面：①针对地理科学专业的特点和教学要求，对部分章节作了内容调整，更加注重对水文学基本概念、基本理论和研究方法的论述，删减部分过于偏重水文学专业的内容；②补充水文学新近研究成果，充分反映水文科学的发展前沿；③补充完善水文统计方法方面的内容，满足地理学研究对水文分析方法的需要；④第七章调整为水资源与水质，充实水文学应用研究领域内容的介绍。

本教材第二版的修订和出版，得到了科学出版社赵峰先生的大力支持，使用本教材的许多院校的教师对本教材提出了宝贵的修改意见，编著者在此一并表示衷心的感谢。

作者

2015年10月16日

# 第一版前言

水是自然地理环境中活跃的组成要素之一，也是一种人类赖以生存的重要的物质基础资源。作为探讨地球上水体的自然规律及其与环境和社会相互关系的学科，水文学是地球科学的一个重要分支学科。在水文科学迅速发展和水资源日益紧缺的今天，掌握水文现象的基本规律和水文学的基本理论与研究方法，对地理工作者而言十分重要。

水文学是大学本科地理科学专业的一门专业基础课程，着重阐述水文科学的基本知识、基本理论和基本方法。为了满足我国大学地理科学专业水文学课程教学的需要，我国先后出版了多部水文学教材。这些教材各具特色，为我国的大学地理科学专业的水文学教育事业做出了重大贡献。近年来，水文科学发展迅猛，产生了诸多新的理论、方法和技术；同时，大学地理科学专业教育也随着我国大学教育形势的发展而发生了重大变化。因此，编写一部适应当前水文科学发展和大学地理科学专业教育新形势的水文学教材，实属必要。为适应我国高等师范大学资源与环境类专业教学的需要，科学出版社于 2008 年策划出版一套全国高等师范大学资源与环境类精编教材，《水文学》为其中之一。在接受了《水文学》的编写任务之后，我们于 2009 年 3 月在徐州召开了《水文学》编辑委员会，讨论确定了编写的指导思想和内容提纲，进行了编写任务分工，商定了编写体例。之后，集中时间完成书稿编写与通编定稿工作，遂成此书。

本教材共分绪论和九章，其中绪论阐述了水文学的研究对象、水文现象的基本特点、水文学的发展；第一章论述了水文循环与水量平衡的基本理论；第二章论述了水分循环各环节的概念和理论；第三章至第六章分别论述了海洋、河流、湖泊、沼泽、冰川、地下水等各种水体的水文规律和研究方法；第七章论述了水资源开发与利用和水质分析与保护的基本理论与方法；第八章论述了人类活动的水文效应问题；第九章论述了水文区划的基本理论与方法。在书稿编写过程中，我们竭力使此书体现资料的时代性、体系的完整性、对象的师范性和内容的水文地理性等特色。本书是为师范大学地理科学专业编写的教材，也可作为水利、国土管理、城乡规划、环境保护、资源开发与管理等专业的研究生、教师、科技人员、干部等广大实际工作者的参考用书。

本书绪论和第一章由管华编写，第二章由吕殿清编写，第三章由张振华、张云吉编写，第四章由许武成编写，第五章由陈子玉编写，第六章由张静、朱琳编写，第七章由管华、许清涛编写，第八章由李景保编写，第九章由管华编写。初稿完成后，首先由管华、李景保审阅修编，最后由管华通编定稿。

本书在编写过程中，作者得到了多方面的关心和帮助，许多水文和地理工作者为本书提供了丰富的资料，作者所在单位为本书的编写提供了良好的条件，科学出版社韩芳编辑为本书的编辑出版做了大量的工作，在此编著者一并表示谢忱。由于作者的学识有限，书中谬误之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教。

作者

2009 年 6 月



# 目 录

第二版前言

第一版前言

绪论	1
复习思考题	12
参考文献	12
第一章 地球上的水循环与水量平衡	13
第一节 地球上水的分布	13
第二节 地球上的水循环	14
第三节 地球上的水量平衡	18
第四节 水循环研究的发展	21
复习思考题	25
参考文献	25
第二章 水循环的基本环节	26
第一节 蒸发与散发	26
第二节 水汽扩散与输送	40
第三节 降水	45
第四节 下渗	53
第五节 径流	61
复习思考题	65
参考文献	66
第三章 海洋	67
第一节 海洋的结构与类型	67
第二节 海水的物理性质	69
第三节 海水的化学性质	75
第四节 波浪	81
第五节 潮汐	88
第六节 洋流	95
复习思考题	107
参考文献	108
第四章 河流	109
第一节 河流、水系和流域	109
第二节 河流的水情要素	118

第三节	河流的补给与分类	127
第四节	径流形成的理论与计算	133
第五节	水文统计方法	139
第六节	河流水文情势	151
	复习思考题	162
	参考文献	162
<b>第五章</b>	<b>湖泊、沼泽和冰川</b>	<b>163</b>
第一节	湖泊	163
第二节	沼泽	174
第三节	冰川	181
	复习思考题	190
	参考文献	190
<b>第六章</b>	<b>地下水</b>	<b>191</b>
第一节	地下水的赋存	191
第二节	地下水的类型	196
第三节	地下水的运动	202
第四节	地下水的动态与均衡	208
	复习思考题	213
	参考文献	213
<b>第七章</b>	<b>水资源与水质</b>	<b>214</b>
第一节	水资源开发与利用	214
第二节	水质分析与保护	231
	复习思考题	251
	参考文献	251
<b>第八章</b>	<b>人类活动的水文效应</b>	<b>252</b>
第一节	土地利用/覆被变化的水文效应	252
第二节	城市化的水文效应	257
第三节	水利工程和水保工程的水文效应	259
第四节	人类活动水文效应的研究方法	270
	复习思考题	272
	参考文献	272
<b>第九章</b>	<b>水文区划</b>	<b>274</b>
第一节	水文区划概述	274
第二节	水文区划的理论与方法	275
第三节	中国水文区划	279
	复习思考题	282
	参考文献	282



# 绪 论

## 一、水文学的研究意义与研究对象

### （一）水文学的研究意义

水在地球上广泛存在，在与人类关系最为密切、对人类影响最大的地球表层，水是最为常见的物质之一。水的相对集中分布构成了地球上的水体，自然界的各种水体共同组成了地球的水圈。所谓水体，是指以一定形态存在于自然界的水的聚积体。地球上的水体类型多样，按照在地球上分布的部位，大致可以分为三类：①大气水体，如气态的水汽、液态的水滴、固态的冰晶等；②地表水体，如液态的海洋、河流、湖泊、沼泽，固态的冰川、积雪；③地下水体，如液态的地下水、土壤水分，固态的冻土，气态的土壤水汽。地球表面的71%是海洋，被水所覆盖；29%是陆地，其上也存在多种水体。水有溶剂性、流动性和常温下三种相态可以共存与相互转化三个基本性质，这决定了水在地球自然地理环境系统中和人类社会中的重要功能。

在自然地理环境中，水既可以自由流动，又相对聚集，是自然地理环境最为活跃的组成成分之一，是各种自然要素相互沟通、发生联系的重要介质和途径，在自然地理环境能量转化和物质循环过程中发挥着多种重要作用。水流具有很强的侵蚀力，是一种塑造地貌的重要外营力。水是成云致雨的物质基础，是丰富多彩的天气现象形成的基本条件，在天气现象发生与变化中充当着重要的角色。水是维持生命存活、保证生物体正常生长发育必需的物质之一，水分状况是区域动植物特征的重要形成因子，在土壤发育和区域景观特征形成中也起着重要作用。因此，水文研究是自然地理学的重要研究内容之一，也对分析自然地理其他要素和综合特征有着重要作用。

水是人类社会生存与发展不可或缺的自然资源，在人类生产与生活活动中有着非常重要的作用。水的溶解能力极强而黏滞性很低，是地球上最好的天然溶剂和输送介质，具有生物体养分输送、水生生物供氧、物体洗涤除污、污染物处理、物质运输等多方面的经济社会功能，还具有景观构成、文化形成等多种社会价值，在工业、农业、交通运输、城市卫生、环境保护、旅游等经济社会各个生产领域都有着十分广泛的利用。同时，水也是导致洪涝灾害发生的物质。人类如果掌握了水的客观自然规律，就能够控制和利用水资源，使之成为人类造福；反之，人类如果不了解水的客观规律，甚至实施违背自然规律的水事行为，水就会形成自然灾害，给人类带来严重的灾难。因此，人类应该开展水文和水资源研究，掌握水文规律，最大限度地兴水利和除水害，让水造福于人类。20世纪50年代以来，随着世界人口的剧增和经济的迅猛发展，人类对水资源的需求量急剧增加，同时对水的污染和破坏迅速加剧，导致了全球性水资源危机，水问题日益成为限制人类社会可持续发展的主要因子。因此，加强水文学研究对人类社会的生存与发展意义重大。

### （二）水文学的研究对象与概念

“水文学”一词英文“hydrology”的“hydro”来源于希腊语中的“budor”，意为“水”；

“logy”来源于拉丁语中的“logia”，意为“学科”。中文中，天文、地文、人文等中的“文”字意为现象、状况，则“水文”意为“水情”。顾名思义，水文学为“水的科学”。

研究水的学科较多，它们从不同的角度探索水某方面的特征和规律。例如，物理学的水研究主要探索水的密度、比热、导电性等物理性质，化学的水研究主要探索水的组成、结构、极性等化学性质，环境学的水研究着重探索水环境污染及其防治与保护，水资源学着重探索水资源开发利用与管理保护，生态学的水研究着重探索水生态系统的组分、结构、形成、演化、功能、调控等特征与维护，气象学的水研究主要探索大气水分的运动和变化规律。水文学则主要是研究地球表层中水体的形成、演化、分布、运动和变化规律。当然，各学科的水研究也有交叉，但其主要研究任务具有一定的规定性。水文学以自然界的水为研究对象，主要研究内容包括揭示自然界中水的形态、演化、分布、运动、质量等规律；分析水与自然环境及人类社会的关系及其相互影响和作用；探讨人类的水资源开发利用与水环境保护等。由此可见，水文学是一门以探索自然界水的基本规律为研究目的的学科，属于自然科学中地球科学的一门分支学科。

关于水文学的定义，目前有数种观点。1962年美国联邦政府科技委员会曾把“水文学”定义为一门关于地球上水的存在、循环、分布，水的物理、化学性质以及环境（包括与生活有关事物）反应的学科。1987年《中国大百科全书》所给出的“水文学”定义为关于地球上水的起源、存在、分布、循环运动等变化规律和运用这些规律为人类服务的知识体系。在我国学术界应用较为普遍的定义指出，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学科。还有定义认为，水文学是研究各水体的形成、分布、理化性质、运动变化规律以及水体与周围环境相互作用的科学。上述定义在水文学的研究对象上存在一定的差异，但都将水文学的研究对象规定为地球上自然界中全部的水或一切形态的水体，似乎过于宽泛。实际上，目前水文学仅限于对地表水体和地下饱和水体的研究，即对包括河流、湖泊、沼泽、冰川、积雪等在内的陆地水体、海洋和地下水的研究，尤其集中于对陆地水体的研究。大气水体和土壤水分的研究主要由土壤学和气象学与气候学完成，水资源和水环境问题研究则主要由水资源学和水环境学承担，水的形成及其物理、化学、生物性质研究则主要由水物理学、水化学和水生物学完成。基于这种事实，可将水文学定义为是研究地球表面水体的形成、演化、分布和运动规律，与自然环境和人类社会的关系以及相互作用的学科。

## 二、水文学的研究方向和分支学科

### （一）水文学的研究方向

水文学诞生之后，经过长期的发展，逐步形成了三个研究方向，即地理研究方向、物理研究方向和工程研究方向。

地理研究方向将水作为自然地理环境的一个构成要素，探索其时空分布和变化规律及其与其他自然地理环境要素和人类社会的关系。地理研究方向是水文学的传统研究方向，早在水文研究尚为自然地理学的分支研究领域时即已出现，最初被称为“水文地理学”，后改称为“地理水文学”，着重研究水体运动变化的自然规律和总体演化趋势，重点分析水文现象的地域差异性，尤其重视一些宏观的水文现象问题研究，如全球水量平衡、人类活动的水文

效应、水文要素与其他自然地理要素间的相互作用和影响关系等。

物理研究方向着重运用数学和物理学的原理、定理和定律，建立和运用水文模型，模拟水文现象及其演化过程，探讨水文现象的物理机制。

工程研究方向着重在全面了解水文过程的基础上，探讨与水利工程规划、设计、施工和运营管理关系密切的问题，如河流的最大流量、最高水位的推算等。

## （二）水文学的分支学科

水文学自形成以来，研究工作不断深入，理论与方法技术不断完善，研究内容不断拓展。水文科学的迅速发展，促进了学科的分化，形成了许多分支学科。

按研究水体，水文学可以分大气水文学、地表水文学和地下水文学三个分支。大气水文学又称水文气象学，主要研究大气水体的水文现象，是水文学与气象学相互交叉、渗透、融合而形成的一门边缘学科。地下水文学又称水文地质学，主要研究地下水体的水文现象，是水文学与地质学相互交叉、渗透和融合而形成的一门边缘学科。地表水文学主要研究各种地表水体的水文现象，是水文学历史较为悠久、发展较为成熟的分支，目前已经形成较为庞大的学科体系，主要包括海洋水文学和陆地水文学两个分支。海洋水文学主要研究海洋水体的水文现象，是一个具有旺盛生命力的较为年轻的学科，发展十分迅速。陆地水文学是水文学的传统分支学科，发展最为成熟和细化，狭义的水文学仅指陆地水文学，其分支学科有河流文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学等。

按研究目的和方法，水文学有水文测验、水文预报、水文与水利计算三个传统分支学科。水文测验是进行水文观测和资料整编方法技术研究的学科。为了了解水体长时间的变化规律，需要进行长期的定位观测，以收集准确而又有代表性的基本水文资料。进行这种观测的机构称为水文站，目前我国建有 16 000 多个基本站。此外，对于无站地区要进行短期性的水文调查。进行水文观测和调查常用的仪器最基本的有水尺、流速仪、自记水位计、测深杆等。长期定位观测和短期水文调查所获得的基本水文资料，要运用科学的方法、全国统一的规范加以系统的整理汇编，以供国民经济建设部门使用。这些水文观测方法、手段、仪器及资料整编的研究，就是水文测验的研究内容。水文预报是根据实测及调查的水文资料，在研究水文现象变化规律的基础上，预报未来短期内（数天或数月）的水文情势，为防洪抗旱及水利工程建设、管理、运用提供依据的学科。水文预报是水文学中理论性最强的分支学科，原因是它需要以揭示水文循环的客观自然规律为基础，通过建立有关模型来实现。水文与水利计算是根据长期实测及调查的水文资料，加以科学的统计，并结合成因分析，计算推估未来长期（数十年甚至上百年）的水文情况，为水利、水电工程建设、规划、设计提供依据的学科。近些年来，随着新理论、新方法和新技术在水文学研究中的成功运用，水文学形成了多个方法技术性的新的分支研究领域，如实验水文学、比较水文学、随机水文学、模糊水文学、系统水文学、水文模拟技术、同位素水文学、水文信息系统技术、水文遥感技术等。

按研究内容，水文学有区域水文学、部门水文学和应用水文学三个主要分支。区域水文学又称水文地理学，是地理学和水文学相互交叉和渗透而形成的边缘学科，主要研究水文现象的区域差异，重点研究特殊地区的水文规律，分支学科有流域水文学、河口水文学、山地水文学、平原水文学、山坡（坡地）水文学、干旱区水文学、喀斯特水文学、黄土水文学、岛屿水文学、行政区水文学等。部门水文学主要研究水分循环的各个环节，分支研究领域有

蒸发研究、大气水分输送研究、降水研究、径流学等。应用水文学是水文学与相关技术学科相交叉而形成的边缘学科和研究领域，主要研究水文学在特殊领域的应用问题，分支学科和研究领域有工程水文学、农业水文学、城（都）市水文学、森林水文学、雨水利用研究等。

### 三、水文现象的主要特点

所谓水文现象，是指自然界的水在其循环过程中存在和运动的各种形态。例如，河湖水位涨落、冰情变化、冰川进退、地下水运动、水质变化等，均属水文现象。对各种水体水文现象的长期观测和研究表明，在自然和人类因素影响下，各种水文现象具有一些共同的基本特点。

#### （一）成因上的自然性和人为性

水文现象这一特点的含义，是指水文现象是由自然环境和人类活动的共同作用与影响而形成的。水文现象是自然现象的一种，其形成受到自然规律的控制与决定，其基本特征主要来自于自然环境。例如，河流洪水期和枯水期的形成与特征是由降水的雨季和旱季所决定的。水文现象的特征也受到人类活动的影响，最显著的就是河流受到水库蓄、放水调节后而形成的下游水位和流量特征。由此可见，水文现象的形成与变化，不仅受到地质、地貌、气象气候、土壤、植被等自然因素的制约，还受到人类为调节径流而实施的生物措施和工程措施等的影响，而且随着科学技术的进步，人类活动对水文现象的影响亦将日益增强。

#### （二）时程上的周期性和随机性

水文现象这一特点的含义，是指水文现象随着时间的变化而表现出有规律的周期性和不规则的随机性。换言之，即水文现象的出现既有必然性，也有偶然性。水文现象的特征主要源自气候条件，而区域气候现象具有显著的周期性。例如，温度的高低、降水的多少、气压的高低，都有以年为周期的变化规律，水文现象也就由此继承了这种周期性。此外，受到天文因素等的影响，水文现象还具有其他一些长度的周期性，如由太阳活动而形成的洪水和干旱的11年周期。虽然水文现象具有明显的周期性，但是影响水文现象的因素繁多，这些因素都处于不断变化之中，它们的组合在时程上就表现出更为复杂的变化，从而使水文现象的发生具有了时间上的随机性。具有周期性的水文特征多是常规水文现象，而具有随机性的水文特征多是极值水文现象，它们的出现常表现为水文灾害事件。

#### （三）地域上的相似性和差异性

水文现象这一特点的含义，是指同一水文现象在不同区域的表现既有相似之处，也有独特之处。在不同的区域，如果水文现象的影响因素基本相同或相似，则它们的水文特征也相似。例如，我国北方广大地区不同河流的水文特征具有高度的一致性。不同地区的水体因受地区自然要素的影响，水文现象各自特征，不可能完全相同，从而具有差异性。例如，同属我国东部季风区，秦岭—淮河一线以南地区和以北地区的河流具有不同的水文特征，这表现在多个方面，如流量、季节分配、年际变化、冰情等。

#### （四）运动的同性和独立性

水文现象这一特点的含义，是指水分的各种运动方式同时进行，并且各自独立进行。水

分的运动方式有蒸发、大气水汽输送、降水、下渗、地表径流、地下径流等，这些运动方式在任一地区无时无刻不在进行，原因是它们的驱动力每时每刻都在发生作用，所以它们具有同源性，并因此而相互影响。虽然水分的各种运动方式同时存在，但它们又是各自独立进行的，具有独立性，不会因其他某种运动方式的存在、消失和变化而存在、消失和变化。

## 四、水文学的研究方法

### （一）成因分析法

水文学的成因分析法是以确定性水文模型模拟为基础的揭示水文现象成因机制的概念型水文研究方法。该方法根据具体的水文问题，以水文观测和实验数据资料为基础，通过建立和运用确定性水文模型，模拟水文过程，揭示水文现象的机理，分析水文现象得出成因和变化规律，进行水文现象发展变化趋势的预报。

### （二）数理统计法

水文学的数理统计法是以随机性水文模型为基础的揭示水文现象统计规律的经验型水文研究方法。该方法基于水文特征值的出现具有随机性的基本特点，以长期水文观测数据资料为基础，运用概率论与数理统计及其他随机数学方法，建立和运用随机性水文模型，分析水文现象的统计规律，进行水文现象的长期预测。

### （三）地理综合法

水文学的地理综合法是运用地理比拟方法研究水文现象基本规律的水文研究方法。该方法以水文现象地域分异规律为依据，通过建立经验公式和绘制等值线图，揭示水文要素特征值的区域分布特征。这种方法多用于无资料地区。

## 五、水文学的发展

### （一）水文学的发展阶段

人类自在地球上出现之后，就与水结下了不解之缘。人类在漫长的防御水旱灾害和与水资源开发利用的实践中，不断认识水文现象，积累水文知识，发展和引入新的理论和方法技术，逐步形成和发展了水文学。水文学的发展最早可以追溯到 17 世纪 70 年代，1674 年，佩罗（Perrault）和马略特（Mariotte）定量研究了降水形成的河流和地下水量大小，标志着水文学的产生。但是，由于人们认识能力的限制和相关的数学、力学等学科研究的局限，水文学发展十分缓慢。1856 年达西（Darcy）提出著名的地下水达西定律。之后，人类积累的水文学知识越来越多，水文观测实验仪器不断被发明和使用，水文学理论体系逐步完善。

关于水文学的发展过程，曾有多位学者进行过探讨。例如，周文德根据研究方法的进步，将水文学发展过程划分为哲学思索时期、观测开始时期、水文观测时期、实验时期、近代水文研究时期、经验主义时期、合理时期和理论化时期八个阶段；陈家琦根据研究内容特点，划分为“地理水文学”形成与发展阶段、“工程水文学”发展阶段和“水资源水文学”形成与发展阶段 3 个阶段；黄锡荃根据学科特征，划分为水文现象定性描述阶段、水文科学体系



形成阶段、应用水文学兴起阶段和现代水文学阶段四个阶段。从学科发展特征的角度考虑,可以将水文学的发展过程划分为如下四个阶段。

### 1. 知识积累时期(公元16世纪末以前)

人类自在地球上出现开始,为了自身生存与发展的需要,就开始与水发生关系,开展了大量利用水资源和防御洪涝干旱灾害的活动。中国传说中的大禹治水可能发生于5000年前。公元前4000年,古埃及人为了开垦土地而在尼罗河上修筑水坝,古希腊人和古罗马人开挖灌溉水渠。在中国,公元前256年至公元前251年李冰父子修建了都江堰,公元581年至公元618年开挖了京杭大运河。

这一时期开始出现原始的水位、雨量观测和水流特性观察,并对水文现象进行了定性描述和推理解释。公元前3500年至公元前3000年古埃及人开始观察尼罗河水位,公元前2300年古代中国人开始观测河水涨落,公元前4世纪古印度人开始观测雨量。1500年,达·芬奇(Leonardo da Vinci)提出了浮标测流速的方法,发现了过水断面面积、流速和流量之间的关系,提出水流连续性原理。

这一时期,古代哲学家对水的循环运动及其起源等问题发生了兴趣,提出和发展了相关思想。公元前450年至公元前350年,柏拉图(Platon)和亚里士多德(Aristotle)提出了水循环的假说。公元前27年,维特鲁维厄斯(Marcus Vitruvius)提出了具有现代概念意义的水循环理论。15世纪末,达·芬奇和伯纳德·帕里希(Bernard Palissy)对水循环均有较高水平的认识和理解。

这一时期,尤其是早期,受到人类对自然界认识能力的限制,人们对水循环等水文现象的了解和认识还不全面,主要是产生了一些基于猜想的假说,而没有基于观测数据的推理,缺乏对水文现象的理论解释。虽然积累和丰富了水文学知识,但是缺少水文科学的归纳和总结,尚未出现科学意义上的水文学。

### 2. 学科形成时期(公元17世纪初~19世纪末)

17世纪,水文观测实验仪器不断被发明和使用,各国普遍建立起水文站网和制定了统一的观测规范,使实测水文数据成为科学分析水文现象的依据,从而使水文研究走上了科学的道路,促进了现代水文学的形成。当时,佩罗(Perrault)、马略特(Mariotte)、哈雷(Halley)等开展的一系列研究工作,被认为是现代水文学诞生的标志。佩罗应用他对塞纳河流域的降雨和径流进行三年观测所获得的数据和流域面积数据,说明了径流的降雨成因,首次将对水循环的认识提高到定量描述的高度。马略特在塞纳河上,建立了基于流速和河流横断面面积的流量计算方法。哈雷通过对地中海海水蒸发率的观测,提出了蒸发是河流径流的主要支出途径的观点,发展了水循环理论。

这一时期,近代水文理论发展迅速。18世纪,水文学理论和水力学理论不断涌现。19世纪,实验水文学兴起,地下水文学得到大的发展。1738年,伯努利(Bernoulli)提出了水流能量方程,即著名的伯努利定理。1775年,谢才(Chezy)提出了明渠均匀流公式,即著名的谢才公式。1802年,道尔顿(Dalton)提出了阐述蒸发量与水汽压差比例关系的道尔顿定理。1856年,达西(Darcy)基于实验提出了的地下水渗流基本定律,即著名的达西多孔介质流动定律。1871年圣维南(de Saint-Venant)推导出了明槽—维非恒定渐变流方程组,即著名的圣维南方程组。1889年,曼宁(Manning)提出了计算谢才系数的曼宁公式。1895年,雷诺(Reynolds)提出了描述紊流运动的雷诺方程组和紊流黏滞力的概念。1899年,斯托克



斯 (Stokes) 推导出了计算泥沙沉降速度的斯托克斯公式。这些卓越的研究成果的出现, 为水文学的形成奠定了理论基础。

这一时期, 近代水文观测仪器开始出现, 18 世纪以后发展更为迅速, 为水文学定量研究的发展提供了技术基础, 同时水文观测也取得了重大进展。1610 年圣托里奥 (Santorio) 研制出了流速仪。1639 年卡斯泰利 (Castelli) 研制出了雨量筒, 1732 年皮托 (Henri Pitot) 发明了新的测速仪皮托管, 1790 年沃尔特曼 (Woltmann) 研制出了转子式流速仪, 1870 年埃利斯 (Ellis) 发明了旋桨式流速仪, 1885 年普赖斯 (Price) 发明了旋杯式流速仪。对河流的系统观测始于 19 世纪。19 世纪初, 欧洲国家开始对莱茵河、台伯河、加龙河、易北河、奥得河等开展水情观测, 并结合理论推算等综合方法, 建立流量资料序列。1965 年开始观测死海水位。在中国, 1742 年北京开始记录逐日天气和雨雪起讫时间和入土雨深, 1736 年黄河老坝口开始设立水尺并观测水位和报汛, 1841 年北京开始以现代方法观测降水量。

这一时期实现了对水文现象的定性描述向定量表达的转变, 初步建立起了水文学的理论基础, 但是很多成果都是经验性的, 水文学基本理论尚未完全建立起来。

### 3. 应用水文时期 (公元 20 世纪初~20 世纪 60 年代)

进入 20 世纪, 为满足世界上大规模兴起的防洪、灌溉、水力发电、交通运输、农业、林业和城市等建设事业的需要, 服务于社会和水利工程建设的水文预报和水文水利计算得到快速发展, 极大地促进了水文学研究方法的理论化和系统化。

在这一时期, 出现了许多实用性水文学研究成果。1914 年黑曾 (Hazen) 提出了应用正态几率格纸选配流量频率曲线的方法, 1942 年福斯特 (Foster) 提出了应用皮尔逊 III 型曲线选配频率曲线的方法, 从此概率论与数理统计的理论与方法开始被系统的应用水文研究。1930~1950 年, 水文现象理论分析得到发展并开始取代经验分析, 这一进展的具体体现, 就是谢尔曼单位线、霍顿渗透理论、泰斯方程、彭曼水面蒸发计算公式等的提出。

这时期的水文观测也得到进一步发展, 美国等西方国家开始实施水文研究方案, 水文站逐渐在世界范围内发展成为国家规模的站网。我国的水文观测也取得突破性进展, 1910 年在天津设立了我国第一个水文站——海河小孙庄水文站, 1913 年在长江吴淞口设立了潮位观测站。

这一时期的水文学以服务社会的应用性分支学科大发展为特色。在此时期, 水文学理论体系进一步完善, 水文观测技术进一步成熟, 应用水文学得到极大发展, 首先形成了分支学科工程水文学, 之后农业水文学、森林水文学、城市水文学等分支学科相继诞生。因此, 有学者将该阶段称为应用水文学时期、实践时期、近代化时期等。

### 4. 现代化时期 (公元 20 世纪 60 年代以来)

20 世纪 60 年代以来, 全球性水资源、水环境问题日益突出, 社会向水文学提出的全新的重大研究课题日益增多, 使水文学面临着前所未有的机遇和挑战, 促使水文学加快“现代化”步伐, 尽快进入现代水文学阶段。同时, 以“三论”(系统论、信息论、控制论)、计算机技术和“3S 技术”(地理信息系统技术、遥感遥测应用技术、全球导航卫星系统技术) 为代表的新技术、新方法和新技术大量涌现, 为水文学研究提供了新的途径和手段, 使水文学的“现代化”成为可能。水文学的这种发展形势, 极大地丰富了水文学的研究内容, 促使水文学派生出许多新的分支学科, 并促进了水文学研究方法的“现代化”。因此, 有学者将水文学发展的这一时期称为“现代化”时期。

## （二）水文学研究的新进展

夏军根据 2005 年第七届国际水文科学大会关注的热点问题,分析了当前水文学研究的新进展。

### 1. 无资料流域水文研究

无资料或资料缺乏流域的水文研究,是近代国际水文水资源研究的一个热点问题。目前研究发展较快,在理论基础、技术方法以及应用研究方面都取得了很多新的成果。最新进展表现为:①利用遥感方法,结合水量平衡计算,估算陆面蒸发量;②典型区水文实验与区域遥感数据相结合,建立水文模型,并进行水资源量估算;③水文循环不同要素(降水、蒸发、径流等)多水平、多尺度模拟及预测;④将集总的时变增益非线性系统模拟方法推广到无资料流域水文预测;⑤大尺度分布式水文模型用于无资料区水资源量评估;⑥利用长系列气象信息,进行无资料区水量/能量平衡估算。

### 2. 不确定性、非线性和尺度研究

水文不确定性、非线性和尺度问题一直是水文学研究的热点问题。从目前的总体情况来看,在这些问题的数学方法研究、技术方法研究方面取得了很多新的成果,但在实际应用上仍存在很多困难,需要进一步深入研究。

水文系统中不确定性存在的广泛性和复杂性以及其研究方法仍处于探索阶段,使得水文不确定性问题成为当今水文科学研究一直在探讨的热点问题。最新进展表现为:①采用不确定因素多准则集成技术,评估水资源系统完整性;②采用风险分析方法,估计洪水、干旱等水文极值事件的风险;③利用多数数据源对比分析,估计水文模型参数的不确定性;④采用不确定数据源的随机分布和识别,研究水文模型不确定性量化方法。

研究水文非线性问题一直是水文学探讨的热点。最新进展表现为:①把过去传统的集总非线性分析方法与分布式水文模型相结合,建立分布式时变增益水文模型;②在复杂非线性关系中找简单关系,采用水文系统识别方法,建立水文模型。

尺度问题是国际水文学研究的前沿性课题。水文学研究的范围跨的尺度宽泛,小到水质点,大到全球气候变化与水文循环模拟。水文学的物理方法,主要应用在微观尺度。随着向流域和全球的中或宏观尺度扩展,原来的“理论”模型需均化和再参数化,并产生新的机理。这导致相邻尺度间的水文联系太复杂,关系很不清楚。尺度问题是目前水文模型研究、PUB 研究的关键问题。最新进展表现为:①全球数据资料在无资料地区推广应用,进行水文计算和预测;②典型区实验资料与大尺度遥感资料相结合,采用数据同化技术,建立水文模型;③Downscaling 和 Upscaling 尺度转化的统计学方法;④基于 GIS 平台,利用多尺度遥感数据和水量平衡原理,研究 Downscaling 和 Upscaling 技术方法。

### 3. 生态水文学

生态水文学是近 10 多年发展起来的一个交叉学科,主要研究水文系统与生态系统的变化响应关系。在国际水文学研究中,生态水文学研究表现出旺盛的生命力,取得了很多研究成果,不断推动水文学与生态学的交叉研究。最新进展表现为:①把过去单一的植被生态进行推广,特别是与水文学交叉,建立了生态水文学体系;②利用水循环过程实验与分析,揭示水与生态的关系,研究确定生态阈值,特别是湿地、河流的生态阈值;③运用生态水文学观点和原理,对水资源进行水质调度。

#### 4. 水文模型及资料获取、参数识别

水文模型是对自然界中复杂水文现象的近似模拟,是水文科学研究的一种手段和方法,一直是水文学研究的重点。随着科学技术的发展和人们认识水平的提高,水文模型的研究也在不断发展。例如,随着水文循环中各个组成要素的深入研究,以及计算机、地理信息系统(GIS)和遥感技术的迅速发展,使构造具有一定物理基础的流域分布式水文模型成为可能,这是目前水文模型的重要发展方向。最新进展表现为:①分布式水文模型建立新方法的提出和改进,特别是针对无资料地区的水文模型;②实验研究和物理机制研究相结合,改进美国MOPEX参数估计方法;③参数估计的稳定性分析,包括局部最优和全局最优的参数估计方法;④土壤水参数在地下水模型中的应用及影响分析;⑤依据典型区实验数据,估算水文模型参数及可靠性分析的方法。

#### 5. 气候变化的水文响应研究

全球许多地区,由于气候变化带来水文系统的变化,影响到区域的水资源利用。在许多不发达国家,自然变化和人类活动带来气候变化,导致洪水和干旱,直接影响到社会经济发展,威胁粮食安全和生命安全。因此,研究气候变化对水文系统的影响及水文系统的响应过程是十分重要的,也是目前研究变化环境下水文循环变化和水资源利用的重要方面。

最新进展表现为:①气候变化与农业生产的变化关系量化方法;②气候变化对陆面蒸发、河流径流变化和水资源系统的影响作用大小量化方法;③气候变化条件下的水资源安全量化方法;④气候变化和人类活动对区域水文影响的辨识方法;⑤气候变化对发展中国家的影响分析;⑥气候变化对水资源利用的影响及分析模型。

#### 6. 地表/地下水资源可持续利用研究

针对世界日益突出的水问题和21世纪水面临的压力,国际水资源学术界一直在研究水资源的可持续利用问题。把地表-地下水资源看成是一个系统,考虑社会经济发展、水资源利用和生态系统完整性保护。最新进展表现在:①地下水可持续利用的准则及量化方法;②地下水可开采的临界阈值及指标;③基于GIS建立地下水水量模型、水质模型;④地表-地下水资源可持续利用管理模型及对策制定方法。

#### 7. 城市水文学及水资源研究

城市区是存在于自然界的一个特殊区域。在这个特殊区域中,人类活动强烈,水文效应和水资源特征变异较大,水文循环过程更加复杂,城市水文学研究面临的困难会更大。另外,由于城市建设和大量人口的聚集,对原来自然系统进行大规模的改造,使城市水系统发生了本质变化,引起了一些新的水问题,包括水资源短缺、水环境污染、城市洪水。城市水文水资源研究的重点是讨论城市化对水文过程的影响、城市水文模型、城市水资源可持续利用模型及计算方法和对策制定等。最新进展表现在:①用模糊数学方法评估城市水文极值灾害风险;②以GIS为工具研究大型城市水资源管理;③多准则进行城市水资源供需分析;④大型城市水文模型、水质模拟;⑤城市水体综合状态的表达指标;⑥城市水资源和水环境承载力计算模型。

#### 8. 土地利用/覆被变化对水文过程、水量和水质影响研究

“土地利用/覆被变化”是自然-人工作用导致下垫面变化,影响径流过程的重要因素。随着全球变化研究的不断深入,土地利用/覆被变化及其影响作用和过程日益引起国际学者的关注,很多组织已经提出了一系列研究计划,如国际地圈生物圈计划(IGBP),这是目前全球