

全国普通高等教育师范类地理系列教材

HYDROLOGY

水文学

管 华 主编



科学出版社
www.sciencep.com

全国普通高等教育师范类地理系列教材

水文学

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、水文现象的特点、水文学的产生和发展;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河流、湖泊、沼泽、冰川、地下水、海洋等各种水体的水文规律和研究方法;第七章和第八章论述了天然水质及其保护和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。

本书可作为师范大学地理科学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学生、教师、科技人员、管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水文学 / 管华主编. —北京: 科学出版社, 2010. 6
全国普通高等教育师范类地理系列教材
ISBN 978-7-03-027700-8

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(2010)第 094246 号

责任编辑: 韩 芳 / 责任校对: 刘珊珊
责任印制: 刘 学 / 封面设计: 殷 靛

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>

江苏省句容市排印厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2010 年 6 月第一次印刷 印张: 13 1/4

印数: 1—4 200 字数: 425 000

定价: 26.00 元

《水文学》编委会名单

主 编

管 华

副主编

李景保

编 委

(按姓氏笔画排序):

吕殿清(湖南师范大学)

朱 琳(首都师范大学)

许武成(西华师范大学)

许清涛(白城师范学院)

李景保(湖南师范大学)

张云吉(鲁东大学)

张振华(鲁东大学)

张 静(首都师范大学)

陈子玉(南京晓庄学院)

管 华(徐州师范大学)

《全国普通高等教育师范类地理系列教材》 专家委员会

主 任

曾从盛(福建师范大学)

副主任

明庆忠(云南师范大学)

任建兰(山东师范大学)

周国华(湖南师范大学)

委 员

(按姓氏笔画排序):

万鲁河(哈尔滨师范大学)

毛德华(湖南师范大学)

石培基(西北师范大学)

全 川(福建师范大学)

毕 华(海南师范大学)

杨 新(湖南师范大学)

杨玉盛(福建师范大学)

李小娟(首都师范大学)

李玉江(山东师范大学)

李永化(辽宁师范大学)

沙晋明(福建师范大学)

张 戈(辽宁师范大学)

张 果(四川师范大学)

张永清(山西师范大学)

张军海(河北师范大学)

张述林(重庆师范大学)

张祖陆(山东师范大学)

张雪萍(哈尔滨师范大学)

陆 林(安徽师范大学)

陈晓玲(江西师范大学)

陈健飞(广州大学)

金海龙(新疆师范大学)

姜世中(四川师范大学)

官辉力(首都师范大学)

骆高远(浙江师范大学)

秦树辉(内蒙古师范大学)

袁书琪(福建师范大学)

高 峻(上海师范大学)

高传喜(天津师范大学)

海春兴(内蒙古师范大学)

康建成(上海师范大学)

梁雨华(吉林师范大学)

葛京凤(河北师范大学)

程道平(山东师范大学)

舒晓波(江西师范大学)

温家洪(上海师范大学)

管 华(徐州师范大学)

翟有龙(西华师范大学)



正值中国地理学会在北京人民大会堂举行百年庆典之际,欣闻科学出版社组织全国高等师范院校共同编写地理科学类系列精编教材,以适应我国高等师范院校教学改革和综合化发展的需要,我作为教育部地球科学教学指导委员会主任委员感到由衷地高兴和鼓舞。

众所周知,高等师范院校的设置和发展可以说是中国高等教育在世界上的特色之一,为我国开展基础教育、提高国民素质教育作出了杰出贡献。地理科学类专业最早于1921年在东南大学(今南京大学的前身)设立了我国大学中的第一个地理学系,随后清华大学、金陵大学、北平师范大学纷纷增设地理学或地学系,因此地理科学类专业教育迄今已有八十多年的历史,培养了一大批服务于地理、环境与社会经济的地理科学人才。现今随着日益凸显的全球性的资源环境问题与人地关系矛盾的加剧和地理信息技术的迅速兴起、发展与应用,地理科学新的快速发展与拓展,地理科学类专业由原较单一的地理教育专业发展为地理科学、地理信息系统、资源环境与城乡规划管理等三个本科专业,并在综合性大学、高等师范院校、农林类高校等都有广泛开办。其中,高等师范院校较完整地设立了三个专业,在培养地理科学类的地理教学师资、地理信息系统、资源环境和城乡规划管理等人才方面发挥了主力军的作用,成为了我国培养这一类型人才的重要阵地,多被誉为“教师的摇篮”;与此同时,高等师范院校根据我国师范院校的性质和发展战略方向,以及我国高等教育改革的趋势,依托各区域的地理特点和文化积淀,针对社会的迫切需求,办出了不同于综合性大学的立足本土与本身的基础教育师资和区域性应用人才的特色。

由高等师范院校的资源环境与地理科学类的学院联合撰编系列精品教材,可紧密结合高等师范院校地理科学类专业的特点,量体裁衣,因校制宜,形成高等师范院校不同于综合性大学的自己系列精品教材;同时,可充分发挥师范院校教师们在师范院校地理科学类专业教学经验丰富和服务于基础教育及地方社会经济发展等的优势,将多年来精品课程建设、实践(实验)教学、专业建设、教学研究与教学改革等成果融入其中,形成真正的精品教材;再者,高等师范院校共同搭建系列精品教材编写平台,每本教材以1~2校为主编单位,多家院校参与、相互学习、相互交流、相互借鉴,取长补短,优势互补,共同提高,不仅利于每本教材编写水平的提升,也可促进师范院校专业建设和整体教学水平的提高,将提高本科教学质量、培养高素质人才、服务于地方基础教育和社会经济发展

Preface

落到实处,推动我国高等教育的改革和发展。

我相信,科学出版社和高等师范院校精诚团结,真诚合作,各院校相互交流协作,一定能编出适合中国国情与需要,适应我国高等教育发展,适合高等师范院校的一系列精品教材。



中国科学院院士

教育部高等学校地球科学教学指导委员会主任委员

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。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普通高等教育师范大学师范类地理系列教材,《水文学》为其中之一。在接受了《水文学》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,会上讨论确定了编写的指导思想和内容提纲,商定了编写体例,进行了编写任务分工。之后,集中时间完成书稿编写与通编定稿工作,遂成此书。

本书绪论和第一章由管华编写,第二章由吕殿青编写,第三章由许武成编写,第四章由陈子玉编写,第五章由张静、朱琳编写,第六章由张云吉、张振华编写,第七章由许清涛、管华编写,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。

编 者

2009年6月

目 录

序
前言

绪 论

1

第一章 地球上的水循环与水量平衡

10

- 第一节 地球上水的分布 /10
- 第二节 地球上的水循环 /11
- 第三节 地球上的水量平衡 /13
- 第四节 水循环研究的发展 /16

第二章 水循环的基本环节

20

- 第一节 蒸发与散发 /20
- 第二节 水汽扩散与输送 /31
- 第三节 降水 /35
- 第四节 下渗 /42
- 第五节 径流 /48

第三章 河流

53

- 第一节 河流、水系和流域 /53
- 第二节 河流的水情要素 /62
- 第三节 径流形成的理论与计算 /69
- 第四节 水文统计方法 /75
- 第五节 河流水文情势 /79

Contents

第四章 湖泊、沼泽和冰川

88

- 第一节 湖泊 /88
- 第二节 沼泽 /96
- 第三节 冰川 /102

第五章 地下水

109

- 第一节 地下水的赋存 /109
- 第二节 地下水的类型 /113
- 第三节 地下水的运动 /118
- 第四节 地下水的动态与均衡 /122

第六章 海洋

127

- 第一节 海洋的分布与分类 /127
- 第二节 海水的物理性质 /128
- 第三节 海水的化学性质 /134
- 第四节 波浪 /138
- 第五节 潮汐 /143
- 第六节 洋流 /149

第七章 天然水质与保护

160

- 第一节 天然水质 /160
- 第二节 水体污染 /165
- 第三节 水质调查与评价 /169
- 第四节 水质保护 /172

第八章 人类活动的水文效应

178

- 第一节 土地利用/覆被变化的水文效应 /178
- 第二节 城市化的水文效应 /182
- 第三节 水利和水保工程的水文效应 /184
- 第四节 人类活动水文效应的研究方法 /192

第九章 水文区划

195

- 第一节 水文区划概述 /195
- 第二节 水文区划的理论与方法 /196
- 第三节 中国水文区划 /198

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 70.8% 是海洋,被水所覆盖;29.9% 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应用。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,最大程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的出现,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》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,水文学是研究各种水体的形成、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以及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、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以及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、最高水位等的推算等。

(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,狭义的水文学即仅指陆地水文学,其分支学科有河流水文学、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最基本的常用仪器有水尺、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,它以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引用,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,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,水文现象还具有一些其他长度的周期性,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,且这些因素都处于不断的变化之中,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,揭示水文现象的机制,分析水文现象的成因和变化规律,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,Perrault和Mariotte定量研究了降水形成的河流和地下水量的大小,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,Darcy提出著名的地下水Darcy定律。之后,人类积累的水文学知识越

来越多,水文观测的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”形成与发展阶段三个阶段;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475年至公元前221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,人们对水循环等水文现象的了解和认识还是不全面的,主要是基于猜想的假说,而没有基于观测数据的推理,缺乏对水文现象的理论解释。因此,这一时期尚未出现科学意义的水文学。

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(D. Bernoulli)提出了水流能量方程,即著名的伯努利定理。1775年,谢才(A. de Chezy)提出了明渠均匀流公式,即著名的谢才公式。1802年,道尔顿(J. Daiton)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(H. Darcy)基于实验提出了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(A. C. B. de Saint-Venant)推导出了明槽一维非恒定渐变流方程组,即著名的圣维南方程组。1889年,曼宁(R. Manning)提出了计算谢才系数的曼宁公式。1895年,雷诺(O. 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(G. G. 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(B. 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(R. Woltmann)研制出了转子式流速仪。1870年,埃利斯(T. G. Ellis)发明了旋桨式流速仪。1885年,普赖斯(W. G. 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及入土雨深,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(A. 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(H. A. 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地应用水文研究。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(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)和计算机技术、“3S”技术(地理信息系统技术、遥感遥测应用技术、全球定位系统技术)为代表的新理论、新方法和新技术的大量涌现,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) 水文学研究新进展

国际水文协会副主席夏军教授根据 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,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 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。水文学的研究范围尺度宽泛,小到水质点,大到全球气候变