

现代水文学

(第二版)

左其亭 王中根 著

XIANDAI SHUIWENXUE



黄河水利出版社

现代水文学

(第二版)

左其亭 王中根 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书试图在总结过去研究工作的基础上阐述现代水文学的基础理论、技术方法及应用实践,为水科学研究提供现代水文学基础。本书是在第一版的基础上,从“基础理论—技术方法—应用实践”的角度,重新构建现代水文学框架。全书共分三篇13章。第一篇是对现代水文学基础理论的介绍,以展示现代水文学新理论基础,具体包括水循环原理、水文确定性理论和水文不确定性理论;第二篇是对现代水文学中新技术方法的介绍,以展示现代新技术在水文学中的应用,具体包括3S技术、同位素技术、水文系统识别技术、分布式水文模拟技术等;第三篇是对现代水文学应用实践内容的介绍,以展示水文学服务于人类社会的前景,具体包括水文学在水资源利用、生态环境保护、区域可持续发展等实践中的应用。

本书可作为水利工程类、环境工程类、地质工程类、地球科学类的研究生教材,也可供相关专业的教师、本科生、研究生以及科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代水文学/左其亭,王中根著. —郑州:黄河水利出版社,2006.6

ISBN 7-80734-063-0

I. 现… II. ①左… ②王… III. 水文学—研究生—教材 IV. P33

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第030714号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail: yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:14.75

字数:341千字

印数:1001—3000

版次:2006年6月第2版

印次:2006年6月第2次印刷

书号:ISBN 7-80734-063-0/P·60

定价:35.00元

前 言

水文学是地球科学的一个重要分支,它是一门研究地球上水的起源、存在、分布、循环和运动等变化规律,并运用这些规律为人类服务的知识体系。水文学同其他学科一样,是在人类长期实践过程中,经历了起源、不断发展、再到成熟等阶段。可以说,水文学是人类在长期水事活动过程中,不断地观测、研究水文现象及其规律性而逐步形成的一门科学。

由于客观世界的复杂性、广泛存在的不确定性以及人类认识上的局限性,水文学仍有许多难点问题(如不确定性问题、非线性问题、尺度问题等)在理论上和实际应用上未能很好解决。实际上,人类发现问题、认识问题再到解决问题是一个变化和发展的过程。人们常说的“水文学已经发展到了成熟阶段”并非意味着“水文学十分完备,不需再发展”。实际上,它像其他发展中的学科一样,一直在不断发展之中。特别是随着现代科学技术的发展,以前没有发现的问题,现在发现了;以前没有解决的问题,现在在逐步解决,使得水文学不断发展,不断壮大。

近几十年来,尽管水文学在理论及应用上都有了很大的发展,也增添了许多新的内容。然而,缺乏一本及时反映现代水文学发展的专著。在这种形势下,《现代水文学》第一版专著于2002年1月正式出版。现代水文学有别于传统水文学,主要表现在“现代”(Modern)二字上。它是对水文学上全新的概念、思路和方法的总结。具体地说,是以现代新理论、新技术应用为支撑,以解决新面临的水问题为动力,而形成的现代水文学知识体系。

然而,正如在第一版前言中所指出的,“现代水文学是不断发展的,可能现在是新的内容,再过若干年,又被更新的内容所代替……从这个意义上讲,本书起到‘抛砖引玉’的作用”。根据4年来读者的反映和作者的反思,我们萌发了修订出版第二版的想法。主要原因有三点:第一,需要重新构建现代水文学框架。在第一版中,对现代水文学框架交代不明,容易混淆,主体框架不明朗。本次修订拟采用“基础理论—技术方法—应用实践”的框架。第二,需要重新布局各部分内容。在第一版中,对水文学基础理论介绍偏少,特别是水文机理方面的内容介绍比较缺乏,而在水文学应用方面,部分内容偏多,部分内容偏少。本次修订将合理布局全书内容,分三部分来介绍,即基础理论、技术方法、应用实践。第三,本书已被多所高校和研究所指定为研究生使用教材或博士生入学考试参考教材。作为教材需要适当调整某些内容,以满足不同层次的需要。

本书试图在总结过去研究工作的基础上阐述现代水文学的基础理论、技术方法及应用实践,为水科学研究提供现代水文学基础。全书共分三篇13章。第1章是对现代水文学基本知识的介绍,是全书的铺垫;第一篇是对现代水文学基础理论的介绍,包括第2、第3、第4章;第二篇是对现代水文学中新技术方法的介绍,包括第5、第6、第7、第8、第9、第10章;第三篇是对现代水文学应用实践内容的介绍,包括第11、第12、第13章。本书由左其亭、王中根共同撰写,其中第1、第4、第6、第8、第10、第11、第12、第13章由左其亭撰

写,第2、第3、第5、第7、第9章及第11.3节由王中根撰写。全书最后由左其亭统稿,王中根校稿。

第1章现代水文学导论,是对全书的铺垫。介绍了水文学的概念及发展阶段,阐述水文学面临的机遇及挑战,并在此基础上提出现代水文学框架。

第2章水循环过程与原理。在介绍水循环过程的基础上,重点阐述水循环原理(包括水量平衡和能量平衡原理),总结水循环研究的最新进展。

第3章水文确定性理论。主要介绍水文学中常用到的确定性基础理论,内容包括降水与蒸散发原理、下渗与土壤水运动原理、地下水运动原理、产汇流原理等。

第4章水文不确定性理论。先论述水文系统中广泛存在的不确定性,进而分别介绍随机水文学、模糊水文学、灰色系统水文学的基本理论知识。

第5章3S技术在水文学中的应用。在介绍3S技术(即遥感(RS)技术、地理信息系统(GIS)技术、全球定位系统(GPS)技术)的基础上,阐述了水文遥感的内容及其应用,并介绍了数字高程模型(DEM)的基本知识以及在水文模拟中的应用。

第6章同位素技术在水文学中的应用。在简单介绍同位素技术的基础上,主要叙述同位素技术在水文学中的应用。

第7章数学技术方法在水文学中的应用。介绍了水文学中常用的数值方法、参数率定和灵敏度分析的数学方法。

第8章水文系统识别技术。介绍水文系统识别的概念、技术原理和方法,并列举人工神经网络(ANN)水文非线性模型及应用。

第9章分布式水文模拟技术。首先,介绍了分布式水文模型的概念及其发展过程。在此基础上,详细介绍了基于DEM的流域分布式水文模型的研制方法,简要介绍了几个典型分布式水文模型。

第10章水文—生态耦合系统模拟技术。为了定量表达水文系统与生态系统之间的联系,本章介绍了水文系统与生态系统相耦合的系统模型。

第11章水文学与水资源。论述了水文学与水资源学的关系,介绍了水资源可再生性、水资源承载能力、水资源优化配置等研究热点中的水文学基础内容。

第12章水文学与生态环境。论述了水是维系生态系统完整性的重要方面,水文学是生态环境研究的重要基础,介绍了与水相关的生态环境需水量计算方法。

第13章水文学与可持续发展。在介绍可持续发展和可持续水资源管理概念的基础上,阐述了基于水文学基础的可持续水资源管理量化研究方法。

本书以“基础理论—技术方法—应用实践”为框架,重新修订了《现代水文学》专著,得到出版社的大力支持。与第一版不同的是,现代水文学框架得到进一步完善,结构更加合理、清晰;增加或删除了部分内容,更加重视水文学机理和基本原理的介绍;对水文学的应用实践体现更充分。

然而,正如本书第一版前言所指出的,“本书的内容应在今后研究的基础上不断更新……希望通过本书的‘抛砖引玉’,能有助于水文学理论与应用研究的发展”。十分欣慰的是,本次修订正式稿确定之日正是“世界水日”,希望本书的修订和出版能为世界水问题研究贡献一份力量,祝愿全人类都能用上清洁的水!

本书的研究工作得到了中国科学院新疆生态与地理研究所“绿洲学者计划”、河南省杰出青年基金(512002500)、水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金(2003B007、2004B010和2005B016)的资助,以及其他横向研究课题的支持,特此向支持和关心作者研究工作的所有单位和个人表示衷心的感谢。还要感谢教育作者多年的师长,感谢作者的学长和同仁的帮助和支持;感谢出版社同仁为本书出版付出的辛勤劳动。书中有部分内容参考了有关单位或个人的研究成果,均已在参考文献中列出,在此一并致谢。

由于《现代水文学》追求的目标是介绍现代较新的理论与方法,这给撰写本书增添了难度。再加上作者水平所限,虽几经改稿,书中错误和缺点仍在所难免,欢迎广大读者不吝赐教。

作 者

2006年3月22日

目 录

前言

第1章 现代水文学导论	(1)
1.1 水文学的概念及发展阶段	(1)
1.2 水文学面临的机遇与挑战	(3)
1.3 现代水文学的特点及框架	(6)

第一篇 基础理论

第2章 水循环过程与原理	(11)
2.1 水循环过程	(11)
2.2 水循环原理	(13)
2.3 水循环研究进展	(17)
第3章 水文确定性理论	(22)
3.1 降水与蒸散发原理	(22)
3.2 下渗与土壤水运动原理	(37)
3.3 地下水运动原理	(46)
3.4 产汇流原理	(50)
第4章 水文不确定性理论	(55)
4.1 水文系统不确定性	(55)
4.2 随机水文学基础	(57)
4.3 模糊水文学基础	(60)
4.4 灰色系统水文学基础	(66)
4.5 水文不确定性研究展望	(72)

第二篇 技术方法

第5章 3S技术在水文学中的应用	(77)
5.1 3S技术概述	(77)
5.2 RS在水文模拟中的应用	(80)
5.3 DEM在水文模拟中的应用	(83)
第6章 同位素技术在水文学中的应用	(91)
6.1 同位素技术概述	(91)
6.2 同位素技术在水文学中的应用	(93)
第7章 数学技术方法在水文学中的应用	(97)
7.1 水文学中常用的数值方法	(97)

7.2	参数率定常用的数学方法	(102)
7.3	参数灵敏度分析的数学方法	(108)
第8章	水文系统识别技术	(111)
8.1	水文系统识别的概念	(111)
8.2	水文系统识别的原理与方法	(116)
8.3	人工神经网络(ANN)水文非线性模型及应用	(117)
8.4	水文系统识别应用——干旱区灌溉蒸发量计算	(123)
第9章	分布式水文模拟技术	(128)
9.1	分布式水文模型的发展	(128)
9.2	基于DEM的流域分布式水文模型	(130)
9.3	几个典型分布式水文模型的介绍	(135)
第10章	水文—生态耦合系统模拟技术	(143)
10.1	研究意义	(143)
10.2	MBM建模原理与思路	(145)
10.3	MBM建模步骤	(145)
10.4	应用举例	(151)
第三篇 应用实践		
第11章	水文学与水资源	(159)
11.1	水资源学概论	(159)
11.2	水文学与水资源学的联系	(162)
11.3	基于水循环的水资源量可再生性量化研究	(163)
11.4	基于水文模拟的水资源承载能力量化研究	(170)
11.5	基于水循环过程的水资源优化配置研究	(180)
第12章	水文学与生态环境	(185)
12.1	生态环境的概念及其与水的联系	(185)
12.2	生态环境需水量计算	(187)
第13章	水文学与可持续发展	(191)
13.1	可持续发展与可持续水资源管理	(191)
13.2	研究基础:经济—社会—水资源—生态耦合系统模型	(194)
13.3	可持续水资源管理量化准则及量化指标体系	(199)
13.4	可持续水资源管理的量化方法	(208)
13.5	应用实例——博斯腾湖流域可持续水资源管理研究	(215)
参考文献	(222)

第1章 现代水文学导论

水文学是人类在长期水事活动过程中,不断地观测、研究水文现象及其规律性而逐步形成的一门科学。它经历了一个由萌芽到成熟、由定性到定量、由经验到理论的发展过程。如今的水文学已是分支众多、应用广泛、理论成熟、学科前沿不断扩大、新分支学科不断兴起,表现出十分活跃的研究领域。及时把现今水文学的研究进展整理成一套理论体系就成为现代水文学的重任。

本章在介绍水文学研究发展过程及面临问题的基础上,重点介绍现代水文学的特点与框架。

1.1 水文学的概念及发展阶段

1.1.1 水文学的概念

水文学是地球科学的一个重要分支。1962年,美国联邦政府科技委员会把“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》提出水文科学是“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”。

实际上,关于水文学的定义有很多种提法。尽管在表述上有所不同,但基本可以把水文学总结为“是一门研究地球上各种水体的形成、运动规律以及相关问题的学科体系”。毫无疑问,它研究的主要对象是自然界客观存在且人类赖以生存的“水”,水永远是影响人类社会发展的的重要因素。因此,水文学在认识自然、改造世界的过程中,有着重要的意义和广阔的应用前景。

水文学涉及的内容十分广泛,包括许多基础科学问题,具有自然属性,是地球科学的组成部分。因为水循环使水圈、大气圈、生物圈和岩石圈紧密联系起来,故水文学与地球科学中的其他学科如气象学、地质学、自然地理学等密切相关。

另一方面,由于水文学在形成与发展过程中,直接为人类服务,并受人类活动的影响,因此它又具有社会属性,属于应用科学的范畴。由于人类对水循环的影响作用越来越大,因此急需从变化的自然和变化的社会的角度来研究水文问题,研究人类活动影响下的水文效应与水文现象。这种趋势在现代水文学上表现得日益突出。

水文学的研究开始主要集中在陆地表面的河流、湖泊、沼泽、冰川等,以后逐渐扩展到地下水、土壤水、大气水和海洋水。传统的水文学是按照研究的水体来进行划分的,主要有河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、海洋水文学、地下水文学、土壤水文学、大气水文学等。

根据水文学上主要采用的实验研究方法,水文学又派生出三个分支学科:水文测验

学、水文调查、水文实验。

根据水文学研究内容上的不同,水文学又可划分为水文学原理、水文预报、水文分析与计算、水文地理学、河流动力学等分支学科。

作为应用科学,水文学又分为工程水文学(包括水文计算、水文预报等)、农业水文学、土壤水文学、森林水文学、城市水文学等。

另外,随着新理论、新技术的引进,水文学又出现一些新的分支,如随机水文学、模糊水文学、灰色系统水文学、遥感水文学、同位素水文学等。

总之,水文学是一个十分活跃的舞台。随着学科间的相互渗透、相互交叉以及新理论、新技术的发展和引进,水文学中新的分支学科不断兴起。虽然有些分支学科尚欠成熟,但表现出水文学的发展潜力和巨大活力。

1.1.2 水文学的发展阶段

人类在生存和改善生活的生产实践中,特别是在与水灾、旱灾作斗争的过程中,对经常出现的水文现象进行探索,在不断认识和积累经验的基础上,吸取其他基础科学的新思想、新理论、新方法,才逐步形成水文学。可以说,水文学的发展经历了由萌芽到成熟、由定性到定量、由经验到理论的过程。我们可以把它大致分为以下四个阶段。

1.1.2.1 萌芽阶段(公元 16 世纪末以前)

该时期为了生活和生产的需要,开始了原始的水位、雨量观测,对水流特性进行观察,并在一定程度上对水文现象进行定性描述、经验积累、推理解释。世界上最早的水文观测出现在中国和埃及,比如,在《吕氏春秋》、《水经注》等古代著作中,系统地记载了我国各大河流的源流、水情,并记载了水循环的初步概念及其他水文知识。

当然,由于这个时期人们的认识能力有限,对自然界水文现象了解不够,也不可能上升到水文学理论高度上,因此这一漫长的发展过程仅仅称得上是水文学的发展起源或萌芽阶段。

1.1.2.2 形成阶段(公元 17 世纪初 ~ 19 世纪末)

该时期随着自然科学技术的迅速发展,水文观测实验仪器不断被发明和使用,特别是在 19 世纪以来,各国普遍建立水文站网并制定统一的观测规范,使实测的水文数据成为科学分析的依据。该阶段是实验水文学兴起阶段。在此基础上,发现了一些水文学的基本原理,从而奠定了水文学的基础,逐步形成了水文学体系。

该阶段的特点是,水文现象由定性描述到定量表达,水文学基本理论初步形成。

1.1.2.3 兴起阶段(公元 20 世纪初 ~ 20 世纪 60 年代)

该时期,由于经济社会迅速发展,水利、交通、动力等急需大量开发,迫切需要解决工程建设中的许多水文问题;同时,由于实测水文资料的增长,水文站网的扩展,促进了水文预报和计算工作的发展,从而使应用水文学得到广泛的发展。在该时期,除了出现许多经验公式和预报方法外,还出现了许多结合成因分析的推理公式、合理化公式以及相关因素预报方法等。

该阶段的特点是,水文观测理论体系进一步成熟,应用水文学进一步发展,水文学理论体系逐步完善。

1.1.2.4 现代阶段(公元 20 世纪 60 年代~今)

20 世纪 60 年代以来,一方面,随着计算机技术的发展和遥感技术的应用,以及一些新理论和边缘学科的不断渗透,水文学发展增添了许多新的技术手段、理论与方法,由此也派生出许多新的学科分支,使得水文学理论更加丰富;另一方面,由于人类改造世界的的能力不断增强,活动范围不断扩大,再加上人口膨胀,出现了水资源短缺、环境污染、气候变化等一系列问题,使水文学面临着更多的机遇与挑战,特别是需要开展水资源及人类活动水文效应的研究,这也促使水文学进入了现代水文学的新阶段。

本阶段的特点是,引进了计算机技术和 3S 技术,一些新理论、新方法和边缘学科不断渗透,分支学科不断派生,研究方法趋于综合,重点开展水资源及人类活动水文效应的研究。

1.2 水文学面临的机遇与挑战

1.2.1 水文学在理论和应用中面临的机遇与挑战

如前所述,水文学是人类在长期生产实践过程中不断总结形成的一门比较完善的科学体系。这里所说的“完善”并不是说“不用发展”了,相反,随着新技术、新理论的不断涌现和新需求的不断提出,水文学的研究表现十分活跃。一方面,水文学不断发展和完善,促进了相关学科或领域的理论研究及应用研究。比如,水文学的发展为水资源学、资源经济学、生态水文学奠定基础,为可持续水资源管理研究、生态环境需水研究、人类活动水文效应研究、水资源可再生性研究等重大科学问题或实践需求提供支持;另一方面,不断增加的社会实践需求和相关科学问题理论研究需求,为现代水文学的研究提出新的挑战,也促进现代水文学的发展。比如,人类活动,特别是高强度人类活动(如城市化建设)所引起的水问题,需要加强变化环境下的水文系统和水资源变化的研究,促进了人类活动水文效应研究和城市水文学研究;再比如,在可持续水资源管理理论及应用中,迫切需要加强水文学基础方面的研究。因为可持续水资源管理特别强调对水循环、生态系统未来变化的研究,它要求了解未来水文情势及环境的变化影响,包括全球气候变化和人类活动的影响。

归纳起来,水文学在理论和应用中面临以下机遇与挑战:

(1)不断提出的新理论迫切需要在水文学中得到检验和应用推广。一方面,它们为水文学发展提供新的理论基础;另一方面,又需要水文学家不断吸收和改进新理论,以完善水文学理论体系。这是现代水文学遇到的前所未有的机遇。比如,人工神经网络理论有助于水文非线性问题研究;分形几何理论有助于水文相似性和变异性研究;混沌理论有助于水文不确定性问题研究;灰色系统理论有助于灰色水文系统不确定性研究。这些新理论已经渗透到水文学中,促进了水文学的不断发展。这既是机遇,也是挑战。

(2)新技术特别是高科技的不断涌现,为水文学理论研究、实验观测、应用实践提供了新的技术手段。比如,3S 技术(是遥感(RS)技术、地理信息系统(GIS)技术和全球定位系统(GPS)技术的统称,下同)可以提供快速的水文遥感观测信息,可以提供复杂信息的系统处理平台,为水文学理论研究(如水文模拟、水文预报、洪水演进)、水文信息获取与传输

(如洪水信息、地表水、地下水自动监测)以及水文社会化服务(如防洪抗旱、水量调度)提供很好的技术手段;再比如,同位素实验技术可以为水循环研究提供技术手段,为地下水补给、径流、排泄过程分析提供支持。现代新技术的飞速发展,为水文学研究提供了许多新的技术手段,大大促进了水文学的发展。

(3)随着社会发展,人类活动日益加剧,引起的水问题越来越严重,受到全人类的关注程度也越来越强烈。由于解决这些水问题需要更深入的水文学知识,所以日益突出的水问题促进了水文学的发展,这是“机遇”。当然,由于面对的水问题越来越复杂,水文学研究也面临更加严峻的“挑战”。

1.2.2 水文学发展面临挑战的原因及前沿科学问题

分析水文学理论及应用研究面临挑战的原因,不外乎两方面:一是内因;二是外因。水文系统本身的复杂性(如不确定性、非线性、尺度问题)是水文学研究面临挑战的内因。观测手段和研究方法的局限以及关键技术的限制是水文学研究面临挑战的外因。

水文不确定性问题、水文非线性问题、水文尺度问题,是研究水文系统本身复杂性的三个关键问题,也是当前水文学上比较前沿的三方面科学问题。这些问题的研究对水文学的发展起着重要的推动作用。

1.2.2.1 水文不确定性问题

水文系统中广泛存在着不确定性因素。正是由于不确定性的存在,使我们对许多水文事件(如降水、融雪)特别是极端水文事件(如洪水、干旱)的精确预测和定量分析仍然十分困难。由于水灾害发生的时间、地点和强度存在很大的不确定性,对其预测不准,常常会给人带来灾难。假如水文系统中不存在不确定性因素,人们就会准确预测未来水文事件,就会有有的放矢地应对水文事件(如洪水、干旱),及早采取措施,减少甚至消除水灾害对人类的影响。而实际上,由于水文系统中不确定性的广泛存在,再加上目前处理各种不确定性问题的研究方法还处于探索阶段,使得水文不确定性问题研究成为当今水文学研究的前沿课题之一。

1.2.2.2 水文非线性问题

按照系统分析的观点,如果系统的输入与输出关系或者与内部状态变量的联系不满足线性叠加原理,这个系统就是一个非线性系统。对水循环而言,由于天然流域的下垫面十分复杂,坡面、沟道交错相间,加之降雨时空变化与流域上洪水非恒定流动的特性,使得水文过程的非线性现象比较普遍,促使人们去研究水文系统的非线性问题。

水文系统中的非线性是客观存在的,其变化机理比较复杂(如流域的调蓄关系、洪水波速的变化等),它们在整体上表现为输入与输出的关系(如降雨~径流关系)不满足线性叠加原理这一特点。

关于水文系统非线性问题的研究,不少国内外水文学者给予了高度的重视,并取得了一定程度的进展。然而,非线性系统固有的复杂性,使得它仍是目前水文学研究的前沿问题之一。

1.2.2.3 水文尺度问题

水文学的研究对象包括了地球水圈范围内所有尺度的水文现象及过程。从这种意义

上讲,水文学研究具有不同尺度问题。尺度问题是国际地圈生物圈计划(IGBP)核心项目之一“水循环的生物圈方面”(BAHC)中的第四个重点探讨内容,也是国际上关于水文学研究的前沿性课题。原因是水文学研究范围广泛,小到水质点,大到全球气候变化与水循环模拟。水文学的物理方法,主要应用在微观尺度,而随着向流域和全球的中观或宏观尺度扩展,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。为了探索水文学规律,首先要认识不同尺度的水文规律或特征,然后设法找出它们之间的联系或某种新的过渡规律。只有达到后一阶段,水文科学理论或许能真正建立在普适性基础上。问题在于怎样去认识不同尺度的水文规律,如何发现它们之间的联系,除了坚持水文科学实践外,还有很重要的科学方法论问题(夏军,2000)。

水文学的理论研究与实践表明,不同时间和空间尺度的水文系统规律通常有很大的差异。一个典型的例子是微观尺度水文实验获得的“物理”参数,如土壤饱和含水率(K_s),往往不能直接应用在流域尺度的水文模拟中。反过来,宏观尺度的水文气象背景值变化也不能直接套用在时空变异性十分突出的微观水文模拟预报。目前存在的问题是:①在漫长的演变过程中,选择多大的时间尺度来研究比较合适?②近代人类活动较多,需要更高的时间分辨率(即时间尺度较小),那么,如何实现不同时间尺度研究成果之间的衔接?③全球气候变化、区域水文特性变化如何与小单元水文模拟衔接?④大尺度与小尺度研究思路、方法如何协调?诸如此类都是人们十分关注的尺度问题。

从不同空间尺度研究来看,比如,在模拟全球气候变化所建的模型中(如大气环流模式(GCMs)),所采用的空间尺度是几百千米,甚至更大。而在中尺度或更小尺度的水文系统研究中,需要的气候信息的分辨率远比这高。显然,小尺度所需的气候信息从全球气候模型中得不到满足。

再从不同时间尺度研究来看,比如,以地质年代为时间尺度建立的水文系统气候变化模型,只能为较小时间尺度的气候变化模型提供一个“大背景”,无法提供所需的更详细(即高分辨率)的信息。

以上这些都是人们常说的“大尺度向小尺度的转化问题”。这种大尺度向小尺度的转化,称为“顺尺度”转化(Downscaling),其算法称为“顺尺度”算法。相反,小尺度向大尺度的转化,称为“逆尺度”转化(Upscaling),其算法称为“逆尺度”算法。

无论是“顺尺度”算法,还是“逆尺度”算法,都不是一件容易的事情。这正是目前广泛关注的尺度问题的关键所在。现就国际上对这一问题的处理思路概括如下:

在对待“顺尺度”问题上,一种观点认为,随着计算机的发展,计算速度和容量不断提高,可以把大尺度模型的网格尺度减小得更小,以满足小尺度模型的衔接需要;第二种观点,把尺度较小的网格仅用于感兴趣的那些区域或时段,而对其他区域或时段仍采用较大尺度的网格;第三种观点,是把那些感兴趣的区域或时段所建立的小尺度模型嵌套到较大尺度的模型中,实现不同尺度的模型混合计算。虽然这些处理会在一定程度上改善不同尺度间的复杂运算,但很难完全满足尺度问题处理的需要。

在对待“逆尺度”问题上,也并非是小尺度向大尺度的简单相加,正如著名哲学家狄德洛的名言“一个活着的动物并不是许多活的器官的叠加”。随着超微观、微观、中微观尺度向中观、宏观、超宏观尺度的扩展,原来的“理论”模型需均化和再参数化,同时会产生新的

机理。这就导致不同尺度间关系的复杂性和运算的艰难性。目前,“逆尺度”计算常采用的方法是对较小尺度建立的模型进行均化和再参数化。实际上,均化和再参数化过程,就是将原系统的部分变量进行空间或时间积分,再用某个均化的特征参数代表。当然,这种方法是建立在一定的物理意义之上的。

尺度问题一直是水文学、地学、遥感学等领域的前沿科学问题,至今未能得到很好解决。

1.2.3 水文学研究展望

结合现代水文学研究面临的机遇和挑战,分析水文学发展趋势,提出以下几点展望。

1.2.3.1 进一步开展水文不确定性、水文非线性和水文尺度问题的理论探索

水文不确定性、水文非线性和水文尺度问题,是解决水文系统复杂性问题的三个难点,也是目前水文学需要解决的关键问题。这些问题的研究将对水文学的发展起到重要的推动作用。但由于这些问题本身存在难以解决的属性,仍需要进一步加强理论探索。水文不确定性问题、水文非线性问题和水文尺度问题仍将是未来国际水文科学研究的热点问题。

1.2.3.2 不断吸收新理论,促进水文学理论基础的发展

不断涌现的新理论迫切需要渗透到水文学中,在水文学中得到检验和应用推广;也需要水文学家不断吸收新理论,以完善水文学理论体系,促进水文学的不断发展。

1.2.3.3 及时采纳高新技术方法,提高水文学研究水平

随着科学技术的发展及在水文学中的广泛应用,水文学得到了长足发展。比如,现代信息技术的应用,使复杂、困难的水文信息获取成为现实,原来不能得到或需要很大代价才能得到的水文信息,现在成为可能或容易,为深入研究水文学问题提供了支持。把高新技术应用到水文学中,针对水文学特点开展应用研究,是现代水文学研究的需要。

1.2.3.4 强调水文学与其他学科的交叉研究,提高水文学理论服务于社会的水平

随着经济社会发展和水问题的日益突出,水与社会、水与生态、水与环境之间的关系越来越复杂,解决自然变化和人类活动影响下的水问题必须加强水文学与生态学、环境学、社会科学的交叉研究。然而,目前关于这方面的研究还不能满足实际的需要。因此,迫切需要加强与水相关的多学科交叉研究,以提高水文学理论服务于社会的水平。

1.3 现代水文学的特点及框架

1.3.1 现代水文学的特点

从上述水文学发展历程可以看出,现代水文学是在近几十年来由于先进科学技术和理论方法的引入以及经济社会各项人类活动的深入,不断丰富水文学而形成的。与传统水文学相比,具有以下特点:

(1)现代水文学以新技术(计算机技术、3S技术等)应用为支撑,在宏观和微观方向上得到了深入发展。在宏观上,现代水文学研究全球气候变化、人类活动影响和自然环境变

化下的水循环。在微观上,现代水文学研究 SVAT(土壤—植被—大气系统)中水分与热量的交换过程,探讨“三水”、“四水”或“五水”(大气水、地表水、土壤水、地下水及植被水)的转化规律。此外,现代水文学还十分注重水文尺度问题和水资源可持续利用中水文学基础问题的研究。

(2)更加注重水文信息的挖掘。先进技术的引用,使复杂、困难的水文信息获取成为现实,原来不能得到或需要很大代价才能得到的水文信息,现在成为可能或容易。这为深入研究水文学提供了支持。

(3)更加深入开展深层次的水文科学基础研究。包括水文极值(洪水和干旱)问题的认识、预测与减灾,全球冰圈、气候和温室效应的相互作用,冰盖河流水文学,水文与大气交换作用等。

(4)更加注重人类活动对水循环影响的研究。包括土地利用变化对径流的影响,地表水和地下水、水量水质相互作用问题,城市化对地表水和地下水演化的影响,生态水文学研究。

(5)对水文学上众多难点问题(如不确定性问题、非线性问题、尺度问题等)开展力所能及的研究。

(6)传统的水文学多侧重于研究自然界水循环的水量方面,多采用水文现象观测、实验等手段,运用传统的数学、物理方法来研究,其应用多限于洪水预报、水文水利计算等工程技术问题。但是,随着经济社会的发展,人类对水的需求不断增大,对生活环境质量要求也愈来愈高。自然界发生的洪水和干旱等灾害以及人类经济活动造成的水污染和生态系统破坏,对经济社会发展和人类生命财产造成的损失也愈来愈大。如何解决实际问题中出现的与水有关的各种矛盾?如何实现经济社会的可持续发展?这对传统水文学的发展提出了挑战。现代水文学就需要针对这些实际问题,重点开展水资源及人类活动水文效应的研究。

总之,现代水文学有别于传统水文学,主要表现在“现代”(Modern)二字上。它应该是对水文学上全新的概念、思路和方法的总结。具体地说,它是现代新技术(如计算机技术、3S 技术等)应用为支撑,以现代新理论、新方法(如灰色系统理论、人工神经网络、分形几何等)为基础,以研究和解决现代出现的新问题、新要求(如水环境、人类活动影响、水资源短缺、水资源可持续利用等)为动力,对水文学基础理论及应用进行深入研究。

本书试图在总结过去研究工作的基础上阐述现代水文学的理论、方法及应用,为水问题研究提供水文学基础。

1.3.2 现代水文学的框架

根据作者对现代水文学的理解,提出以“基础理论—技术方法—应用实践”为框架的现代水文学体系。它包括相互联系、相互促进的三部分,即基础理论、技术方法和应用实践。基于这一框架,本书安排了三篇 13 章,本书各章关系如图 1-1 所示。

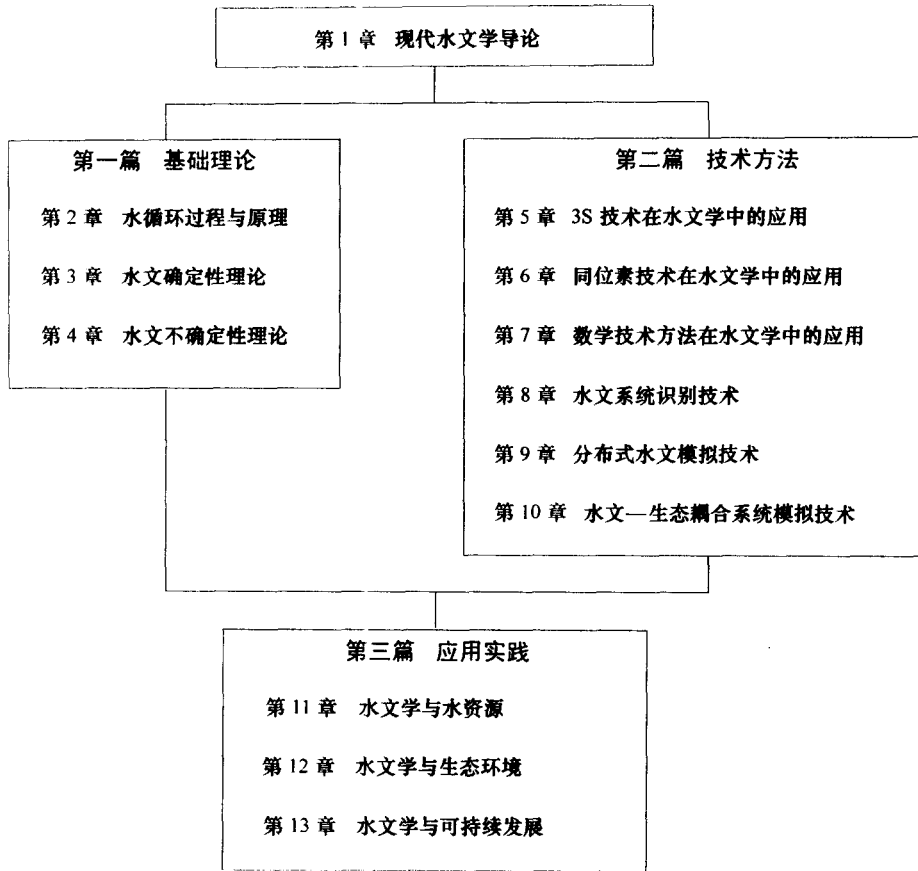


图 1-1 本书各章关系

第一篇,基础理论。是对现代水文学基础理论的总结,是现代水文学理论研究和应用研究的基础。本篇将详细介绍水循环过程与原理、水文确定性理论和水文不确定性理论。

第二篇,技术方法。是对新技术方法在现代水文学中应用的总结,是现代水文学发展的技术支撑。本篇将详细介绍 3S 技术、同位素技术、数学技术、水文系统识别技术、分布式水文模拟技术、水文—生态耦合系统模拟技术及其在水文学中的应用。

第三篇,应用实践。是对水文学服务于社会主要内容的总结,从水文学与水资源、水文学与生态环境、水文学与可持续发展三方面,阐述水文学作为基础科学对经济社会可持续发展的意义。

第一篇 基础理论