



水科学数学模型丛书

Books on Mathematical Models in Water Sciences

Hydrological Models

水文模型

徐宗学 等/编著



科学出版社

www.sciencep.com

水科学数学模型丛书

水文模型

徐宗学 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在介绍水文模型发展概况、分类以及主要研究与应用领域的基础上,将内容分为3篇:第一篇主要讲述流域水循环与水文过程模拟,从流域与流域水循环基本概念开始,分为降水过程模拟、地表截留和入渗过程模拟、蒸散发过程模拟、地下水过程模拟以及产汇流过程模拟等,并以水文模型评估作为本篇的结束;第二篇主要论述概念性水文模型,从国内外常用的几十种概念性水文模型中选择了具有一定代表性、且以国外模型为主的6个概念性水文模型,包括新安江模型、水箱模型、SWMM模型、PRMS模型、HSPF模型以及HBV模型;第三篇主要讨论分布式水文模型,介绍了分布式与半分布式水文模型共7个,包括TOPMODEL、SHE模型、SWAT模型、VIC模型、TOPKAPI模型、数字新安江模型以及PDTank模型。

本书可以作为水文学及水资源、环境科学、生态科学、气象科学、水利工程、土地管理等专业的高年级本科生、研究生以及相关领域教学、科研与工程技术人员参考书和工具书。

图书在版编目(CIP)数据

水文模型/徐宗学等编著. —北京:科学出版社, 2009

(水科学数学模型丛书)

ISBN 978-7-03-025514-3

I. 水… II. 徐… III. 水文-流域模型 IV. P33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第159055号

责任编辑:赵 峰 沈晓晶 刘希胜 赵 冰 / 责任校对:张 琪

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年10月第一次印刷 印张:34 1/4

印数:1—2 000 字数:828 000

定价:79.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

《水科学数学模型丛书》学术委员会

主 任：刘昌明

委 员：（按姓氏笔画顺序）

王 浩 刘昌明 朱显谟 张勇传
张蔚榛 陈志恺 林学钰 韩其为

《水科学数学模型丛书》编写委员会

主 任：徐宗学

委 员：（按姓氏笔画顺序）

王光谦 方红卫 邓 军 包为民
伍 超 任立良 刘志雨 刘宝元
许唯临 杨永全 杨金忠 李占斌
李怀恩 李 锋 陈吉宁 陈晓宏
郑邦民 胡铁松 姚文艺 徐宗学
梅亚东 谢正辉 蔡树英

丛 书 序

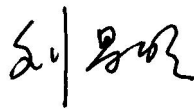
最近 20 年来,伴随着全球社会经济的快速发展,水科学研究也取得了累累硕果,研究理论、技术与方法日新月异,研究对象向微观纵深发展的同时,也进一步向宏观层面拓展,研究尺度从区域、流域扩展到大陆乃至全球范围,尺度问题已成为当今水科学研究的前沿课题之一。随着信息技术的快速发展和计算机技术的不断进步,地理信息系统、遥感、全球定位系统(3S)在水科学研究中得到了日益广泛的应用;传统的水资源评价已发展为在可持续发展思想的指导下,包括水量、水质、生态和环境等全方位的评价;水文科学中加强了全球气候变化和人类活动对水循环影响的研究。在这一过程中,数学模型技术在水科学研究的各个领域得到了前所未有的快速发展和广泛应用,集水文过程、土壤侵蚀、水沙输移、非点源污染以及水资源规划与管理等功能的数学模型如雨后春笋,层出不穷,这些模型技术的诞生和发展极大地丰富了水科学的研究内容,促进了水科学有关学科的发展。

20 世纪 60 年代以来,随着计算机技术的出现,数学模型得到了广泛的认同和应用,在水科学研究的不同领域诞生了许多概念性水科学数学模型,尤其是最近 20 年来,很多基于物理机制的水科学数学模型应运而生,取得了颇为丰富的研究成果。因此,迫切需要对过去近 50 年来的研究成果进行系统的归纳和总结,对过去近 50 年开发的各种水科学数学模型进行系统的梳理和提炼。2005 年下半年,由北京师范大学徐宗学教授和科学出版社赵峰编辑组织发起,成立了一支由在水科学研究领域活跃的中青年专家组成的《水科学数学模型丛书》编写委员会。经过一年多的酝酿、筹备和多次编委会论证,决定首批推出《水力学数学模型》、《水文模型》、《水沙输移数学模型》、《地下水运动数学模型》、《水资源管理数学模型》、《水环境数学模型》和《土壤侵蚀数学模型》,分别由四川大学许唯临教授、北京师范大学徐宗学教授、清华大学方红卫教授、武汉大学杨金忠和梅亚东教授、清华大学陈吉宁教授以及西安理工大学李占斌教授负责相应分册的编写工作。以上主要编写人员均为活跃在我国水科学领域的知名中青年专家,并在各自的专业领域和国内外均具有一定的影响力,对水科学数学模型理论与方法的研究进展见解独到。

《水科学数学模型丛书》从开始酝酿到最终出版,前后历时近四年,其

间先后组织召开了多次编写工作协调会议及学术委员会工作会议，在充分讨论并征求由多名院士组成的学术委员会委员意见的基础上，最后确定了各分册的基本框架和主体内容。客观地讲，该丛书选题新颖独到，学术定位准确，紧紧站在学术研究的前沿，它的出版发行，将会极大地丰富和发展水科学前沿研究的理论和方法。

该丛书集成当前国内外水科学研究领域主要的数学模型及其相关的基本理论和求解方法，而且许多内容都是这些编著者自身多年的研究成果，对今后相关研究工作有十分重要的参考价值。尤其是各分册都配有相应的案例介绍，可以作为大专院校、科研院所相关专业研究生的参考用书，也可供水科学与工程专业技术人员与管理人员参考。该丛书的出版发行，一定会推动我国水科学数学模型的研究与应用，也会极大地推动我国的水科学研究事业。



中国科学院院士

《水科学数学模型丛书》学术委员会主任

2009年4月

序 一

水文模型是水文科学发展的必然产物，随着水文科学的发展而不断发展和完善。以推理公式为标志的第一代水文模型诞生以后，现代水文模型的出现始于工程水文学兴起的 20 世纪 30 年代，特别是 Sherman 提出单位线概念和 Horton 提出下渗理论以后。20 世纪 50 年代以前，水文模拟大多是针对单一水文过程进行的。50 年代以后，随着人们对下渗、土壤水运动和河道径流等水文循环规律的综合认识，尤其是随着计算机技术引入水文学研究领域以后，人们开始把水文循环作为一个完整的系统来研究。50 年代后期产生了“流域模型”的概念，著名的 Stanford 模型就是这一时期的产物。20 世纪 60~80 年代中期是概念性水文模型蓬勃发展的时期。各国水文学家先后提出和开发了一些比较著名的水文模型，如 Sacramento 模型、HBV 模型、API 模型、新安江模型、SSARR 模型、ARNO 模型、SCS 模型和水箱模型等，这些模型时至今日还在科学研究和生产实践中发挥着十分重要的作用。1969 年，Freeze 和 Harlan 首次提出了分布式水文模型的概念，但由于其对资料的要求较高，加上对计算机的速度、容量要求较高，分布式水文模型在 80 年代以前发展极为缓慢。80 年代后期，计算机计算能力的快速提高，以及地理信息系统（GIS）、遥感（RS）等新技术引入到水文模型的研究和开发中，使得资料的获取和模型的运行更加快捷方便，分布式水文模型因此得到快速发展，诞生了一些国内外著名的分布式水文模型，如 SHE 模型、IHDM 模型、SWAT 模型和 VIC 模型等。

从 20 世纪 50 年代流域水文模型出现至今的近 60 年，经历了由系统模型到概念性模型再到物理模型、由集总式模型到分布式水文模型的发展历程，虽然在模拟精度上并没有实质性的提高，但是模型的物理基础越来越坚实，模型参数的物理含义也越来越明确，模型输入数据离现实情况越来越近，这一切都显示流域水文模型不断发展前进的趋势。作为代表未来发展趋势的分布式水文模型，由于其模型参数更接近实际物理过程，也能更精确地反映土地利用、降雨时空分布情况，能够更好地模拟污染物和沉积物的运移状况，而且在缺乏水文资料的流域也可以应用，所以，关于分布式水文模型的研究受到越来越多的青睐和关注。虽然与概念性水文模型相比，分布式水文模型尚未能充分展现出其应有的优势，但是，这只是目前的技术水平有限

所造成的,并不代表分布式水文模型本身存在的问题。随着科学技术的进步与发展,越来越多的新技术、新方法将应用于分布式水文模型研究中,逐步克服阻碍分布式水文模型发展的瓶颈,使分布式水文模型呈现出新的活力,进而成为水循环研究和水资源开发与利用中不可或缺的有力支撑和工具。

水循环深刻影响着生态系统的结构和演变,在地圈-生物圈-大气圈的相互作用中具有重要的地位。而作为理论基础和研究工具的水文模型不仅在水循环研究领域有着重要的地位,在与水循环有关的其他系统的模拟和研究中,水文模型也发挥着越来越重要的作用。目前,水文模型除了在水资源评价、地表水污染以及水环境预测中有较为广泛的应用外,在农业灌溉、水土流失、地下水污染、土地利用变化影响、水生态系统和全球气候变化影响等方面的研究及应用也越来越广泛、越来越深入。因此,加强水文模型与其他系统模型的耦合研究,以充分利用水文模型的研究成果,将是21世纪水文科学研究的热点问题之一。

该书作者徐宗学教授是近年来国内外比较活跃的水文学专家,他在日本建设技术研究所工作期间,对分布式水文模型进行了比较深入系统的研究,开发完善了适用于日本湿润地区的PDTank模型,并经过不断发展和完善,通过引入超渗产流机制,将其移植到黄河中游的黄土高原地区。作为“洪堡”学者在德国工作期间以及在日本山梨大学任教期间,又与国际著名水文学家Schultz教授、竹内邦良教授合作,对模型进行了进一步的完善。2003年,作为北京师范大学首批“京师学者”特聘教授回国工作以来,结合研究生《水文模型》双语教学工作与有关科研项目,进一步对水文模型进行了系统的梳理和归纳。该书可以说是徐宗学教授潜心多年研究的结晶,从水文模拟的基本理论、集总式水文模型到分布式水文模型,进行了深入分析和系统总结,另外几位合作者包括包为民教授、任立良教授、谢正辉教授、刘志雨教授等,也都是近年在分布式水文模型开发和应用方面十分活跃的专家,该书凝聚了几位专家多年的研究成果,相信无论对于广大水文工作者、研究生还是相关领域的研究人员,都是一部难得的教科书和工具书。相信该书的出版将进一步推动水文模型、尤其是分布式水文模型在我国更加广泛的研究和应用,也必将进一步推动我国水文科学事业的发展。



中国工程院院士
中国水利水电科学研究院
水资源研究所所长
2009年4月

序 二

水文模型是对自然界中复杂水文现象的一种概化，是水文水资源科学中的重要研究领域之一。水文模型的出现与计算机技术的发展密切相关，相应的研究工作大约始于 20 世纪 50 年代，60~80 年代中期是其蓬勃发展的时期，一些比较著名的流域模型，如美国的 Stanford 模型和 Sacramento 模型，日本的水箱模型以及中国的新安江模型等都是这一时期的产物。概念性模型对产汇流过程，尤其是产流过程进行了一定程度的概化，在实际应用中简单易行，具有资料易于获取、成本低、效率高等优点，因此，无论是在科学研究还是生产实践中，都得到了十分广泛的应用。近年来，随着计算机技术、遥感技术和地理信息系统技术的快速发展，水文学家很容易获取流域的空间变化信息，如地形、土壤和植被类型等。同时，社会经济的快速发展促使水循环、水资源以及生态环境系统分析需求，如非点源污染模拟、土壤侵蚀、土地利用变化与气候变化对水循环的影响等不断增加，使分布式水文模型成为水文科学研究的热点之一。在分布式水文模型的研制中，人们力图对水文物理过程的时空变化给予更贴近真实过程的描述，因而，无论是水文水资源科学研究，还是资源、环境、生态、农业、土地利用与管理等各个领域，分布式水文模型都得到了十分广泛的推广和应用。

水文模型是模拟流域水文过程和认识水文规律的重要工具，对流域产汇流计算、洪水分析与预报以及水资源优化配置与调度等具有重要的现实意义。经过半个多世纪的发展，各国水文学家先后建立开发了各种不同的水文模型。总的来说，对于反映水流运动物理规律的科学性和复杂程度而言，这些已有的流域水文模型通常被分为经验模型、概念性模型和物理模型三大类；对于反映水流运动空间变化的能力而言，流域水文模型又可以分为集总式模型和分布式模型两类。一般来说，经验模型和概念性模型大多是集总式模型，而物理模型大多是分布式模型。另外，介于集总式模型和分布式模型之间，还有一种半分布式水文模型，如 SWAT、TOPMODEL 等。目前，多种流域水文模型并存，每一种模型都有其各自的优缺点。因此，在实际应用时，如何选择最适合某个流域特定气候、水文和流域下垫面条件的水文模型，成为水文学者十分关心的问题。由于生产实践对水文模型的要求日益提高、水文科学本身的发展、新技术与水文模型的不断结合，20 世纪 80 年代

以后,水文模型的研究已逐渐从概念性模型发展到分布式水文模型,分布式水文模型成为水文水资源科学领域的重要研究内容。分布式水文模型采用严格的数学物理方程描述水文循环的各种子过程,在参数和变量中充分考虑空间的变异性,并着重考虑不同单元之间的水力联系,对水量和能量过程均采用偏微分方程进行模拟。物理参数一般不需要通过实测水文资料来率定,解决了参数间的相互依存性和不确定性问题,便于在无实测水文资料的地区推广应用。这也是本人担任国际水文科学协会(IAHS)会长期间极力倡导无观测资料流域水文预测(PUB)的主要原因和动力之一。自从17世纪水量平衡理论创立以来,水文学家基本上都是将流域作为一个整体进行研究。虽然分布式水文模型的思路早在20世纪60年代就已诞生,但其快速发展和广泛应用,只有在计算机技术、地理信息系统技术、遥感技术、雷达测雨技术和水文理论有了进一步发展的今天,才逐渐成为可能,也只有在今天,分布式水文模型才会成为水文科学研究的热点研究领域之一。

该书作者徐宗学教授与本人相识已有十几年之久,他亦曾在本人执教过的日本山梨大学任教数载,也是当前在国际上比较活跃的年轻水文学家,无论是与其相识以来的多年交往,还是与之同事的3年,徐教授都给本人留下了踏实肯干、治学严谨的印象。他在日本工作期间,尤其是20世纪90年代中期到日本建设技术研究所工作以后,曾对分布式水文模型的研究和开发做了大量工作。2003年回国到北京师范大学任教以来,一直为研究生主讲“水文模型”课程,成为该校双语教学首批试点课程之一。本人作为北京师范大学的客座教授,亦曾应邀多次到北京师范大学授课,年轻的博士、硕士研究生对徐宗学教授主讲的双语课程“水文模型”赞不绝口,兴趣浓厚。结合多年的教学与科研工作,徐宗学教授完成了该书的书稿,相信无论对于中国国内关于水文模型的研究与教学工作,还是对于国际上关于水文模型的研究与应用,都将起到极大的推动作用。衷心祝愿该书的出版为水文科学的发展作出积极的贡献。

竹内邦良

联合国教科文组织(UNESCO)
国际水灾害与风险管理中心(ICHARM)主任
原国际水文科学协会(IAHS)会长
日本山梨大学教授

2009年4月

前 言

水是自然界物质运动与转化的重要载体，水资源是生命存在和社会经济发展的重要资源。流域水文模型的研究，为人们提供了一种科学认识与合理利用水资源的重要工具和方法，为水资源管理和决策提供了重要的科学依据。因此，在水文科学的发展进程中，水文模型一直是水文科学研究的重要分支和热点问题。另外，水循环深刻影响着自然界生态系统的结构和演变，影响着自然界中一系列物理、化学和生物过程，也影响着人类社会的发展和人们的生产生活，在地圈-生物圈-大气圈的相互作用中占有重要的地位。水文模型不仅在水循环研究领域有着重要的地位，在与水循环有关的其他系统的模拟研究中，水文模型也发挥着十分重要的作用。所以，水文模型不仅是水文科学研究领域的重要内容，也是与水循环有关的其他领域的重要研究工作。水文模型的发展最早可以追溯到 1851 年 Mulvaney 提出的推理公式。1932 年 Sherman 的单位线、1933 年 Horton 的入渗方程、1948 年 Penman 的蒸发公式等则是水文模拟技术取得重要进展的标志。20 世纪 60 年代，计算机技术引发的数字革命为水文模型的快速发展奠定了良好的基础和保障。1966 年 Crawford 和 Linsley 的 Stanford 模型就是这一数字革命的产物。1973 年，我国赵人俊教授等建立的新安江模型问世。此后，随着计算机技术的快速发展，新的流域水文模型不断涌现，20 世纪 60 年代以来，水文模型蓬勃发展。国内外水文学家先后开发了许多著名的概念性水文模型，如 Stanford 模型、HBV 模型、API 模型、新安江模型、SSARR 模型、ARNO 模型、SCS 模型和 HEC-1 模型等。

20 世纪 90 年代以来，在全球变化的背景下，人们深刻认识到积极适应这种变化的迫切性，为此需要深入探讨和研究以下问题：①气候变化对水循环与水资源影响的预测和评估；②伴随水循环而产生的地球生物、化学和物理过程变化的预测与评估；③生态环境综合管理。这三个方面问题的研究与解决都需要以水文模型作为基本工具，从而极大地推动了水文模型的研究与开发工作。科学技术进步也为水文模型的快速发展提供了充分的观测数据和开发手段。例如，遥感（RS）、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）技术的应用，使得对大面积人类难以到达地区的水文观测能力大大提高；雷达测雨技术的进步使降雨空间分布的预报能力大为增强；稳定同位素的应用则可以使水文学家更有效地了解水文循环的历史状况。分布式水文模型需要大量数据，在计算机技术快速发展的基础上，这些数据可以借助理信息系统与数据库管理系统（DBMS）技术进行管理和维护，从而使得开发真正的分布式水文模型成为可能。近 20 年来，各国水文学家提出和开发了许多分布式水文模型，如 SHE 模型、SWAT 模型、VIC 模型等。其中，1986 年由丹麦、英国和法国水文学家联合开发的 SHE 模型是最早为人所知、也被公认为是最成功的分布式水文模型之一，自诞生以来已先后成功应用于世界不同国家和流域。

水文现象是一种非常复杂的物理现象,它不仅受降雨时空分布特征的影响,还受流域下垫面、人类活动等因素的影响。因此,多年来水文学者一直在不断探索和研究,以便揭示水文现象及其发展变化规律。但是,至今仍有许多问题尚未解决。在没有完全弄清楚水文规律之前,水文学家总是试图通过建立模型对水文过程进行模拟。在对复杂的水文过程进行研究时,水文模型可以认为是描述水文现象和水文过程的有效工具。概念性水文模型用概化的方法表达流域的水文过程,虽然有一定的物理基础,但都是经验性概述。分布式物理模型的参数具有明确的物理意义,可以通过连续性方程和动力方程求解,可以更准确地描述水文过程,具有很强的适应性,在模拟土地利用、水土流失变化的水文响应及非点源污染、陆面过程、气候变化影响评价等方面得到了广泛的应用。随着计算机技术的不断发展和 GIS 与 RS 技术在水文水资源科学中的广泛应用,21 世纪将是水文模型大发展的时代,目前水文模拟技术趋向于将水文模型与 GIS 集成,以便充分利用 GIS 技术在数据管理、空间分析及可视化方面的功能。为圆满解决近年来出现的“水多、水少、水脏、水浑”等水问题,数字流域的研究是不可忽视的重要手段,而数字流域建设的核心是分布式水文模型的研究。因此,水文模型研究的重点在于开发具有物理机制的分布式水文模型。值得深入研究的问题包括如何在分布式水文模型中融入雷达观测的雨量数据和遥感获取的陆面水体、植被状况数据等,从而使这种模型具有更强的模拟功能,使模型不仅能模拟水量,而且能模拟水质,逐步扩大模拟领域,最终达到模拟人类活动与生态环境相互作用的目标。另外,还需要加速研究水文模型的尺度转换问题,以便将从小流域获得的水文过程机理认识应用到大流域,乃至全球模拟中去。此外,水文模型的发展应充分利用计算机、RS、GIS、数据库管理系统以及其他各领域的相关研究成果,为适应全球变化、规范人类活动、保护生态环境和实现可持续发展作出贡献。

与国际水文学界相比,我国在流域水文模型的开发和研究方面相对滞后。例如,美国几乎每个联邦机构都有自己的流域模型,各个州政府机构也是如此。1991 年,美国垦务局出版的《流域水文模型》就包含 4 类、64 个水文模型。而在我国,截至 20 世纪 80 年代中期,仅有新安江等少数几个模型能够模拟降雨径流过程,大部分还仅能模拟个别水循环过程。最近 20 余年以来,我国广大水文工作者奋起直追,一方面积极引进国外有关的流域水文模型,另一方面致力于新的水文模型的研制和开发,目前与国外的差距正在缩小。然而,由于种种原因,具有我国独立品牌、在国际上产生较大影响力的分布式水文模型还不多,尤其是像 SHE 模型、SWAT 模型、VIC 模型等在世界各国得到广泛应用和普遍认可的模型还有待于研究和开发。近年来,我国广大水文工作者正在朝着这一目标和方向努力,例如,近年出版的刘昌明院士等合著的《流域水循环分布式模拟》,贾仰文教授等合著的《分布式流域水文模型原理与实践》,熊立华、郭生练教授合著的《分布式流域水文模型》以及余钟波教授独著的《流域分布式水文学原理及应用》就是这些努力的杰出代表。上述著作的出版,相信将会极大地促进和推动我国关于分布式水文模型的研究和应用,为我国在相关研究领域尽快赶上和超过世界先进水平作出积极的贡献。

2003 年底,本人作为北京师范大学首批“京师学者”特聘教授回国工作,随后承

担任了研究生《水文模型》双语教学工作,作为早期双语教学试点课程之一,学校有关方面十分重视,立项资助本人对国内外有关教学课程、教材建设状况作了广泛调研,遗憾的是,未能发现一本适合的教材。在我国早期的出版物中,只找到1984年赵人俊先生编写的《流域水文模拟》和1988年袁作新先生编写的《流域水文模型》,但此两本教材皆已绝版。在国外的出版物中,只找到Louisiana State University的Vijay P. Singh编写的*Computer Models of Watershed Hydrology*、*Mathematical Models of Large Watershed Hydrology*与*Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*以及Uppsala University的Chong-yu Xu先生编写的内部讲义*Hydrologic Models*。在教学过程中深感需要一本系统介绍国内外水文模型的教材。后来,经与科学出版社赵峰编辑沟通,决定联络国内在一线工作的有关中青年专家、学者共同组织策划出版一套《水科学数学模型丛书》,而《水文模型》将作为该丛书分册之一出版。本书试图从水文模型的基本思想出发,通过对典型水文模型包括概念性水文模型与分布式水文模型的分析,探讨不同水文模型的适用性,为研究生及相关专业科研人员研究与应用水文模型以及实际水文模拟和预报工作中选取合适的水文模型提供一些参考依据。然而,水文模型之多、模型之复杂、应用之广泛,从中选择典型的水文模型绝非易事,而且已有上述若干著作出版,难免有挂一漏万之嫌,在此只能请读者多加包涵。另外,在模型的选取上,概念性模型与分布式水文模型的划分并非易事。一些传统的概念性模型也在逐渐向分布式或半分布式模型扩展或延伸,如HSPF模型、HBV模型等,书中不足与遗漏在所难免。本书作为教材,除了作者本人的工作,更多的是对前人工作的总结和介绍,书中大量引用上述主要参考书目以及有关著作、论文的成果,在此对有关作者表示衷心的感谢。

本书编写分工如下:第八章由河海大学包为民教授、胡海英博士编写;第十四章由北京师范大学彭定志博士编写;第十七章由中国科学院大气物理研究所谢正辉教授编写;第十八章由水利部水文局刘志雨教授编写;第十九章由河海大学袁飞博士、任立良教授编写;其余各章由徐宗学编写,并由徐宗学最后统稿。在本书编写过程中,日本建设技术研究所王国强博士与作者所指导的博士、硕士研究生包括黄俊雄、赵芳芳、李占玲、刘兆飞、程磊、刘浏、罗睿、李发鹏、蔡锡填、米艳娇、吴宇丹、张玲、孟翠玲、张志果、王韶伟、王晓霞、甄婷婷、左德鹏、朱玉龙、王洁等20余人先后帮助搜集素材、整理文稿和校对等,借此机会向为本书的编辑出版付出辛勤劳动的王国强博士与各位同学表示衷心的感谢。

作者于20世纪90年代中期在日本建设技术研究所工作,开始从事分布式水文模型的开发和应用工作,尤其是结合PDTank模型开展了比较深入系统的研究,承担完成了多项科研与生产项目。后来在德国鲁尔大学作为“洪堡”学者开展合作研究、日本山梨大学任教直到2003年回国到北京师范大学工作以来的10余年,一直从事与水文模型有关的研究和教学工作。无论是在国外工作的10余年,还是回国工作的几年,自始至终得到有关领导和前辈的指导和帮助,借此机会对给予本人关心和帮助的联合国教科文组织(UNESCO)国际水灾害与风险管理中心(ICHARM)主任、原国际水文科学协会(IAHS)会长、日本山梨大学教授竹内邦良先生,德国鲁尔大学G. A. Schultz教

授，日本九州大学神野健二教授，日本建设技术研究所伊藤一正博士表示衷心的感谢！对中国科学院刘昌明院士、林学钰院士以及中国工程院陈志恺院士、雷志栋院士、王浩院士表示衷心的感谢。尤其是对北京师范大学给予自己诸多关照与帮助的领导和同事表示衷心的感谢！科学出版社李锋副总编、朱海燕分社长、赵峰编辑为本套丛书的出版花费了大量心血，特别是赵峰编辑，从该套丛书的酝酿、人员组成、丛书结构到各分册大纲及主体内容审定，前后历时近四年，不辞辛劳，为本套丛书的顺利出版做了大量的工作，在此一并致以衷心的感谢。作者十几岁离开家乡到外地求学，90年代初期又到异国他乡工作和生活十余载，对父母双亲及家人无以回报，谨借此机会表示感谢和感恩！作为大学同窗的爱人李景玉女士和从幼儿园就随父母出国的儿子徐琛，10余年随作者在国外生活和学习，尽管亲身感受到异国的文化，但也牺牲了很多发展机会。虽然马上就要在国外升入高中的孩子回国后凭借自己非凡的努力如愿踏进了大学校门，但作为丈夫和父亲，仍然深感愧疚，在此，也想对爱人和孩子道一声谢谢！一个人的成长，自始至终依托了许多人的关爱和帮助，也借此机会对给予过自己关心和帮助的所有前辈、领导和朋友表示崇高的敬意和衷心的感谢！

20世纪80年代初，作者在恩师叶守泽先生的指引下踏进水文科学的殿堂，感谢叶先生多年的精心栽培和指导，谨以此书作为对恩师最深切的怀念。

最后，需要再一次说明的是，由于作者水平所限，书中不足与缺陷在所难免，敬请有关专家学者与广大读者给予批评指正，以利于本书今后进一步修改与完善。

作 者

2009年2月

目 录

丛书序

序一

序二

前言

第一篇 水文模型基础

绪论	3
第一节 水循环与水文模型	3
第二节 水文模型发展回顾	4
第三节 水文模型的分类、应用及发展前景	8
第四节 小结	15
第一章 流域与流域水循环	17
第一节 流域和水系	17
第二节 流域水循环	20
第三节 流域特征	24
第四节 流域数字高程模型	28
第五节 数字流域与水文模型	31
第六节 本章小结	36
第二章 降水过程模拟	37
第一节 降水及其分类	37
第二节 降水要素及其时空分布特征	41
第三节 平均降水量计算方法	47
第四节 降雪与降雨量划分	49
第五节 融雪积雪过程模拟	51
第六节 本章小结	53
第三章 地表截留和入渗过程模拟	54
第一节 植物截留与填洼过程	54
第二节 下渗物理过程	58
第三节 天然条件下的下渗过程	62
第四节 经验下渗曲线	68
第五节 本章小结	71
第四章 蒸散发过程模拟	72

第一节	蒸散发及其影响因素	72
第二节	流域蒸散发	83
第三节	潜在蒸散发量估算	84
第四节	实际蒸散发量估算	92
第五节	本章小结	98
第五章	地下水过程模拟	99
第一节	地下水运动基本概念	100
第二节	含水层分类与特性	102
第三节	地下水运动模拟	105
第四节	地下水运动数学模型与解法	112
第五节	本章小结	116
第六章	产汇流过程模拟	117
第一节	径流形成过程	117
第二节	径流组成	120
第三节	流域产流过程模拟	124
第四节	圣维南方程组及其简化	130
第五节	流域汇流过程模拟	132
第六节	河道洪水演算	137
第七节	本章小结	141
第七章	水文模型评估	143
第一节	模型选择	143
第二节	模型率定	144
第三节	模型验证	151
第四节	模型评价	153
第五节	本章小结	157

第二篇 概念性水文模型

第八章	新安江模型	161
第一节	二水源新安江模型	161
第二节	三水源新安江模型	172
第三节	新安江模型改进	177
第四节	新安江模型应用实例	180
第九章	水箱模型	191
第一节	水箱模型基本原理	191
第二节	湿润地区的水箱模型	195
第三节	干旱和半干旱地区的水箱模型	200
第四节	融雪积雪过程模拟	204

第五节 模型参数优选	205
第六节 水箱模型在牧马河流域的应用	208
第七节 本章小结	212
第十章 SWMM 模型	213
第一节 概述	213
第二节 模型基本结构	214
第三节 模型输入参数	227
第四节 应用研究进展	230
第五节 计算实例	231
第六节 本章小结	236
第十一章 PRMS 模型	238
第一节 概述	238
第二节 日径流模拟	240
第三节 次洪过程模拟	253
第四节 参数优化与灵敏度分析	254
第五节 应用实例	255
第六节 本章小结	260
第十二章 HSPF 模型	261
第一节 模型基本功能	261
第二节 模型基本原理	263
第三节 模型改进与功能扩展	275
第四节 应用实例	279
第五节 本章小结	280
第十三章 HBV 模型	281
第一节 概述	281
第二节 模型基本原理	283
第三节 HBV 模型在径流模拟中的应用	289
第四节 HBV 模型应用实例	292
第五节 本章小结	295

第三篇 分布式与半分布式水文模型

第十四章 TOPMODEL	299
第一节 概述	299
第二节 TOPMODEL 基本结构	300
第三节 BTOPMC	301
第四节 改进的 TOPMODEL 及其功能	303
第五节 GIS 技术在 TOPMODEL 中的应用	304