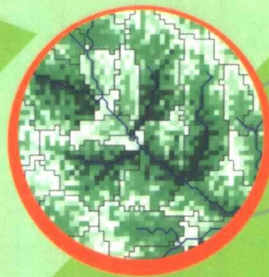
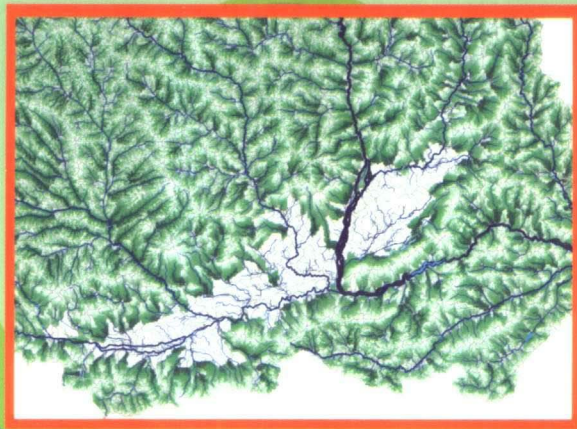
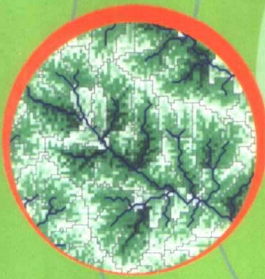


水 科 学 前 沿 学 术 丛 书

# 分布式流域水文模型 原理与实践

© 贾仰文 王浩 倪广恒 杨大文 王建华 秦大庸 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

水科学前沿学术丛书

国家重点基础研究发展规划(973)项目

(G1999043602)及国家“十五”科技攻关计划重大项目(2001BA610A-02)资助

# 分布式流域水文模型 原理与实践

◎ 贾仰文 王浩 倪广恒 著  
杨大文 王建华 秦大庸



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

全书由3篇共12章构成。第1篇是概述,阐述了流域水循环研究的意义,综述了分布式流域水文模型和陆面地表过程模型的发展历程、研究应用现状及存在的主要问题,对代表性模型进行了简要介绍。第2篇是流域水循环模拟基础,叙述了流域水循环要素过程和能量交换过程及其模拟方法,介绍了地理信息系统、遥感和数字流域技术在模拟中的应用。第3篇详细介绍了作者多年研发的两个模型——WEP模型和GBHM模型及其在日本、韩国和我国的应用情况。最后,本书讨论了分布式流域水文模型的发展趋势和应用前景。

本书可供水文水资源学科与环境学科的科研人员、大学教师和相关专业的研究生,以及从事水利工程或环境工程规划与管理专业的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

分布式流域水文模型原理与实践/贾仰文等著. —北京:中国水利水电出版社,2005  
(水科学前沿学术丛书)  
ISBN 7-5084-2642-8

I. 分... II. 贾... III. 水文—流域模型—研究  
IV. P344

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第003484号

书 名	水科学前沿学术丛书 <b>分布式流域水文模型原理与实践</b>
作 者	贾仰文 王浩 倪广恒 杨大文 王建华 秦大庸 著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 19印张 451千字
版 次	2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>50.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 序 一

SHE (欧洲水文系统) 模型第一版本于 1982 年公布, 实现了 Freeze 和 Harlan 1969 年提出的基于水动力学方程的分布式水文模型“蓝本”(见 Kirkby 主编的《山坡水文学》), 在国际上分布式水文模型研究已有 20 多年的历史。国内有关分布式水文模型的研究起步相对较晚, 但近些年发展迅速。分布式水文模型之所以成为当前水文水资源研究的热点之一, 在于它能够反映水文水资源要素在空间上的变化, 能够进行下垫面变化条件下的计算, 特别是它具有更多的模拟功能, 即能够把单一水量变化的模拟扩大到广泛的水文水资源与生态环境问题模拟, 而这些是基于经验与黑箱方法的集总式水文模型所难以实现的。分布式水文模型的模拟领域涵盖了地表水与地下水计算、水资源数量与质量的联合评价、非点源污染、土壤侵蚀与水土流失、洪水预报、土地覆盖与土地利用变化对水文过程的影响、生态需水、水生物与生态系统修复、农田灌溉与农业节水、城市水文水环境的模拟计算, 并且可通过尺度转换与大气环流模式耦合来预测全球变化对水文水资源的影响, 从而纳入全球变化水文研究的前沿。由此可见分布式水文模型同时具有理论上的前沿性和应用上的广泛性。然而, 分布式水文模型不仅需要的资料与数据众多, 而且要求分辨率很高的空间信息, 这是当前限制分布式水文模型广泛应用的主要问题。应用遥感等空间信息和 GIS 技术, 能促进水文水资源分布式模拟的发展。

国家重点基础研究发展规划 (973) 项目“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”(简称黄河 973 项目) 从 1999 年 10 月开始到 2004 年 11 月获国家科技部验收通过, 历时 5 年。作为项目首席科学家, 我很欣慰地看到分布式水文模型开发与应用所取得的进展和在完成项目任务中所做的重要贡献。

本书作者较为系统全面地介绍了分布式流域水文模型的研究现状、原理与应用、存在问题及未来发展等内容, 为广大读者提供了很好的参考材料。

该书的出版能够活跃学术思想，增进研究交流，推动水文水资源及相关领域的科技创新。

中国科学院院士 刘昌明

2005 年元月

# 序二

水文学是水资源评价、规划与管理工作的重要科学基础。由于地球环境变化和剧烈的人类活动影响，流域水循环系统和水资源演变规律日趋复杂。基于“实测—还原”的传统水资源评价方法很难对未来下垫面条件下的流域水资源进行预测，同时在评价历史及现状下垫面条件下的流域水资源时也遇到不少问题。另外，为实现“人与自然和谐相处”理念，做到水资源可持续开发利用，需要统筹考虑国民经济用水和生态环境需水，因此今后水资源评价工作不但需要评价地表水及地下水等“重力水”，还需要评价植被和作物对“土壤水”的有效利用，需要考虑“雨水利用”和评价“节水潜力”，即需要丰富水资源评价的内涵。因此，借助新技术新方法进行水资源评价方法的创新具有重要现实意义。

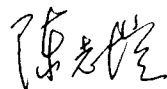
分布式流域水文模型可结合卫星遥感、航测、数字流域及地理信息系统等新技术进行较为细致的水文分析与预测，能够分析不同下垫面与取用水条件下的流域水资源演变情景。同时，研究水循环全要素过程的分布式水文模型，考虑了“土壤—植被—大气间水量能量交换”，为“土壤水”的评价创造了条件。因此应用分布式流域水文模型是今后水资源评价工作方法创新的重要方向。

本书作者根据他们多年的研究开发与应用经验，较为系统全面地介绍了分布式流域水文模型这项技术，特别是介绍了他们在黄河流域水资源评价及演变规律分析，以及在西北内陆河黑河流域水资源调配等方面的探索性研究成果，相信本书对广大读者有很好的参考借鉴作用。他们通过耦合分布式水文模型和集总式水资源调配模型，建立了水资源二元演化模型，提出了全面系统的水资源动态评价方法，比较客观地揭示了人类活动影响下的黄河流域水资源演变规律，取得了一些具有原创特色的研究成果。这些成果在结合实践进一步完善的基础上，将可以直接应用于流域水资源评价、规划与管理等生产工作当中。

正如本书作者所认识到的，分布式水文模型今后的发展和推广应用尚存

在不少难题，如尺度问题、不确定性问题及数据资料问题等，还需要继续深入探索。祝愿本书的出版能够活跃学术思想，增进研究交流，推动水文水资源及相关领域的科技发展。

中国工程院院士

Handwritten signature of Chen Kang in black ink.

2005年元月

# 前 言

地球环境变化和人类活动的影响改变了水的自然循环规律，加剧了资源环境与经济发展之间的矛盾。我国目前人口众多、经济处于快速增长时期，这一矛盾尤显突出。分布式流域水文模型研究对做好变化环境下的水资源科学评价、考虑生态与环境的水资源合理配置以及洪水预报调度与防灾减灾等工作，促进国民经济可持续发展，具有重要意义。分布式流域水文模拟技术和地理信息系统（GIS）、数字高程模型（DEM）和卫星遥感、航测及雷达等遥测技术相结合，在水资源配置与评价、洪水预报调度、水土流失、水环境及生态环境保护等各专业上有着广泛的应用前景，是跨学科研究发展进程中的国际研究前沿。

在国际上，分布式流域水文模型研究始于20世纪80年代初期，目前在水文水资源及相关研究领域形成了较为庞大的研究队伍。国际水文科学协会（IAHS）于2002年提出了在缺乏资料地区进行水文预测（PUBs）的挑战性研究计划，很大程度上是对分布式流域水文模型和遥感等遥测技术寄予的期望。在国内，这项研究近年来逐渐受到重视，也成为研究热点。

本书作者中的倪广恒、贾仰文和杨大文，20世纪90年代初期在日本东京大学留学期间先后开始了分布式流域水文模型研究，从事模型开发及应用多年，有许多研究体会和一些经验。尽管国际上分布式流域水文模型研究的英文书籍已出版了多册，但国内有关分布式流域水文模型的著作还很少，仅有的几册或是译著或是文献综述，尚无结合自己的研究成果和经验系统介绍这方面技术的书籍。另外，尽管水文科学原理是共通的，但我国位于亚洲环太平洋造山地带，地形起伏、降雨时空分布和人类活动特点等自然地理和社会环境与欧美国家有较大差异，在具体应用过程中遇到的问题会有不同，处理方法也会有区别。王浩和秦大庸就分布式流域水文模型如何为水资源学研究服务进行了深刻思考，并指导了WEP模型在黄河流域和黑河流域的应用研究。王建华在利用遥感技术反演水循环要素方面取得许多研究成果。因此，



我们感到有必要结合自己的研究和体会，撰写此书供大家参考和批评，并希望本书的出版发行对分布式流域水文模型在我国的深入研究和推广应用起到一定的促进作用。

本书由3篇共12章构成。第1篇是概述，阐述了流域水循环研究的意义，综述了分布式流域水文模型和陆面地表过程模型的发展历程、研究应用现状及存在的主要问题，对代表性模型进行了简要介绍。第2篇是流域水循环模拟基础，叙述了流域水循环要素过程和能量交换过程及其模拟方法，介绍了地理信息系统、遥感和数字流域技术在模拟中的应用。第3篇详细介绍了作者多年研发的两个模型——WEP模型和GBHM模型及其在日本、韩国和我国的应用情况。第12章讨论了分布式流域水文模型的发展趋势和应用前景。

第1章、第4章和第5章由贾仰文和王浩撰写，第2章和第8章由贾仰文和倪广恒撰写，第3章和第7章由贾仰文撰写，第6章由倪广恒、贾仰文和王建华撰写，第9章和第10章由贾仰文、王浩、王建华和秦大庸撰写，第11章由杨大文撰写，第12章由贾仰文、王浩和杨大文撰写。全书由贾仰文统稿、王浩定稿。

本书研究工作中得到了国家重点基础研究发展规划(973)项目“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”课题二“黄河流域水资源演变规律与二元演化模型研究”(G1999043602)、国家“十五”科技攻关计划重大项目“水安全保障技术研究”第二课题“黑河流域水资源调配管理信息系统研究”(2001BA610A-02)以及日本科学振兴事业团与日本国土交通省土木研究所的资助。在上述黄河“973”课题研究中，黄河水利委员会水文局和设计院等单位曾给予很多帮助。在上述黑河“十五”攻关课题研究中，黄河水利委员会黑河流域管理局、甘肃省水利厅、张掖市水务局、水文局和气象局等单位曾给予大力协作。中国水利水电科学研究院水资源研究所罗翔宇、周祖昊、严登华、仇亚琴、杨贵羽及牛存稳等，在上述黄河及黑河研究课题中做了大量工作，研究生李娟、韩春苗和刘俊等在本书撰写过程中的文字及图表处理方面付出了辛勤劳动。作者贾仰文、倪广恒和杨大文在东京大学留学期间，得到了玉井信行教授和虫明功臣教授的辛勤指导、河原能久教授和Herath教授的耐心帮助。WEP模型在日本土木研究所完善和应用期间，该研究所木内豪主任研究员、末次忠司室长、吉谷统一上席研究员、深见和彦上席研究员以及户岛光映交流研究员等，参加或支持了模型开发以及现场观测工作。韩

国建设技术研究院金显峻首席研究员等将 WEP 模型应用于汉城清溪川流域。在此一并致谢。

陈志恺院士对上述黑河“十五”攻关课题和黄河“973”项目课题二的研究以及本书的出版，曾给予鼓励和指导。黄河“973”项目首席科学家刘昌明院士对课题二研究曾给予诸多指导、督促和建议。中国水利水电出版社邓群编辑和王艺编辑为本书的出版付出了大量心血。特此致以衷心的感谢。

由于问题本身的复杂性，加之时间仓促和受水平所限，书中错误之处敬请批评指正。

作 者

2004 年 12 月

## 作者简介



**贾仰文**，男，1965年9月生，山东成武县人。1981~1988年，在清华大学水利系学习，1986年获水资源工程专业学士学位，1988年获水文及水电规划方向硕士学位。1994~1997年在日本东京大学留学，获工学博士学位。现为中国水利水电科学研究院教授级高工，水资源研究所总工，中国水利学会和国际水文科学协会会员。主要研究方向为流域水循环、分布式水文模型与数字流域，水资源评价、规划与调配。1989~1994年曾在水利部农水司及办公厅从事过灌溉管理与水价政策、大型灌区工程老化情况调查、南水北调工程规划及洞庭湖近期治理计划等工作。1997~1998年曾在日本 INA 株式会社从事河川 GIS 软件开发工作。1999~2002年，曾在日本国立土木研究所任日本科学技术特别研究员和专门研究员，承担了7项日本国家重点研究课题，在博士论文研究基础上开发的 WEP 分布式水文模型 2002 年获日本国软件著作权登录 (P 第 7726 号-1)，并被日本国土交通省推广应用。2002 年 12 月至今在中国水利水电科学研究院工作，主持或参加了国家“十五”科技攻关计划重大课题“黑河流域水资源调配管理信息系统研究”，国家重点基础研究发展规划 (973) 课题“黄河流域水资源演变规律与二元演化模型研究”，日本国家 CREST (战略基础研究推进事业) 课题“都市生态圈、大气圈和水圈中的水量能量交换”，以及北京市降雨产流测报系统研发等多项研究和规划审核工作。获中国水利水电科学研究院科技进步应用特等奖 1 项，参加编写专著及译著 2 部、年刊学术报告 2 部，发表学术论文 60 余篇，其中 SCI、EI 及 ISIP 检索论文 20 余篇。

**王浩**，男，1953年8月生，北京市人。1982年毕业于清华大学水利工程系，获学士学位；1985年获清华大学硕士学位；1989年获清华大学经济管理学院博士学位。现为中国水利水电科学研究院水资源研究所所长，中国水利水电科学研究院科技委水利专业委员会副主任，水利部科技委委员，教授级高工，博士生导师，国家特殊津贴获得者。长期从事水资源评价、规划与管理方面的应用基础研究，流域水循环及其生态环境效应方面的基础研究，以及水资源经济学和复杂系统决策理论方法方面的应用研究，并在相关领域取得卓越成绩。曾主持完成国家“十五”科技攻关计划重大课题“黑河流域水资源调配管理信息系统研究”，国家重点基础研究发展规划 (973) 课题“黄河流域水资源演变规律与二元演化模型研究”，国家“九五”重点科技攻关专题“西北地区水资源合理配置与承载能力研究”，国家“八五”重点科技攻关课题“华北地区宏观经济水资源规划管理的研究”等多项重大研究，负责完成国家计委、水利部全国水中长期供求计划、南水北调工程总体规划等多项重大规划计划专项研究；曾先后任 10 项联合国、世界银行等重大援助项目的负责人或专家。曾被授予中央国家机关“五一劳动奖章”先进个人、南水北调工程规划先进个人、水利系统先进工作者、水利系



统优秀共产党员等荣誉称号。获得国家科技进步二等奖 3 项和省部级一等奖 3 项等多项奖励。在国内外发表学术论文 100 余篇，出版学术专著 10 余部。



**倪广恒**，男，1964 年 8 月生，河北景县人。1980 年入清华大学水利系水资源工程专业学习，1988 年毕业，获硕士学位，留校任教。1994 年获日本东京大学博士学位。1994~2002 年分别在日本建设环境研究所、日本工营株式会社、日本土木研究所等单位从事研究和政府咨询工作。2002 年 12 月回国工作，现为清华大学水利水电工程系副教授，水文水资源研究所副所长。长期从事基于数值分析和试验观测的水文水资源定量化研究，自 1991 年开始分布式水文模型的开发及其在流域水资源管理应用方面的研究。日本水文水资源协会、国际水文科学协会会员。发表中、英、日文科技论文 30 余篇。

**杨水文**，男，1966 年 12 月生，四川成都人。1983~1990 年，就读于清华大学水利系，分别获得水资源工程专业学士学位和水力学及河流动力学方向硕士学位。1995~1998 年，就读于日本东京大学土木系，获博士学位。1990~1995 年期间，曾在铁道部科学研究院西南研究所工作；1998~2001 年，任日本东京大学生产技术研究所研究员；2001~2004 年，先后任日本东京大学土木工程系讲师和副教授。2004 入选清华大学“百名人才”特聘教授，并任博士生导师。主要研究方向：基于 GIS 系统开发新型分布式水文模型，包括大流域分布式水文模型的开发、不同分布式模型的比较研究以及模型空间尺度问题的研究；分布式水文模型在水资源评价、洪水预报中的应用研究；现代水文与相关学科的交叉领域的研究，如大气模型和水文模型的结合、流域分布式水文水质耦合模拟模型、遥感技术在水文学中的应用研究等。在东京大学工作期间，参加了多项国际合作的科研项目，获得文部科学省青年重点基金的资助。获 2003 年度国际水文科学协会 (IAHS) 杰出青年水文学家奖 (Tison Award)。近 5 年中，在国内外杂志及国际会议上发表学术论文近 50 篇，其中 9 篇已被 SCI 检索。



**王建华**，男，1972 年 7 月生，江西德兴市人。2000 年毕业于中国科学院地理科学与资源所，获博士学位。2002 年博士后出站，留中国水科院水资源所工作，现为流域水循环模拟与调控研究室主任、高工。曾参与完成了国家“九五”、“十五”、973、南水北调工程规划等多项基础研究和规划项目，在推进我国节水型社会建设进程方面做出了一定的贡献。曾获水利部大禹科技进步一等奖、山东省煤炭科技进步二等奖、中科院院长奖学金等奖励各一次，另获中国水科院科技进步特等奖一次，一等奖多次，获中国水利学会年会优秀论文奖、中国自然资源学会年会青年优秀论文奖等奖

励。被授予 2002~2003 年度“中央国家机关杰出青年”、中国水利学会“先进青年科技工作者”等荣誉称号。迄今主笔或参与编写报告 30 余部，发表论文 50 余篇，参编专著 6 部。

**秦大庸**，男，1959 年 9 月生，河北唐山人。1981 年毕业于华北水电学院，获学士学位。现为中国水科院水资源所副所长，教授级高工。主持完成国家“十五”攻关课题“黑河流域水资源调配管理信息系统研究”，共同提出并实践了“模拟—配置—评价—调度”四层水资源调配总控框架；在“九五”攻关西北水资源项目中共同提出了流域二元水循环模式和生态需水计算等重大理论和方法；“八五”攻关期间提出了三峡电站扩大装机容量的建议；“七五”攻关三峡项目研究中提出了水电站群优化补偿调节总体模型设计方法。在 973 黄河水资源课题中共同提出水资源动态评价方法，参与构建了流域二元水循环模型。主持完成南水北调工程规划专项黄淮海水资源合理配置研究，成果为总体规划采纳；编制《塔河流域综合治理规划》等重大规划，主持和参与完成了全国第一个和第三个节水型社会建设试点方案的编制，分别被水利部与地方省政府联合批复实施；主持完成了青海省引大济湟工程规划并被水利部批复。曾获中国青年科技奖、大禹水利科技一等奖、电力工业部科技进步一等奖、全国优秀工程咨询三等奖、水利部规划计划奖、中国水利学会奖等奖励多次。合作发表专著 5 部，专业词典 1 部，发表论文 40 余篇，包括多篇 SCI、EI 源刊论文。



# 目 录

序一  
序二  
前 言

## 第 1 篇 概 述

<b>第 1 章 流域水循环研究的意义</b> .....	1
1 资源环境问题与可持续发展理念 .....	1
2 水资源研究领域面临的重要科学问题 .....	1
2.1 下垫面变化影响流域产汇流和水资源演变的量化方法 .....	1
2.2 全球气候变化对我国水资源开发利用的影响 .....	2
2.3 生态需水量的计算方法 .....	2
2.4 平原区地下水超采问题 .....	2
2.5 城市洪水与资源环境问题和水循环系统的改善对策 .....	3
2.6 人类活动影响下的水资源动态评价方法 .....	3
3 流域水循环研究的意义 .....	4
3.1 以维持健全的流域水循环系统为现代水管理理念 .....	4
3.2 国家水文水资源基础数据库整備 .....	4
3.3 实验室建设 .....	5
3.4 分布式计算机模拟系统开发 .....	5
<b>第 2 章 分布式流域水文模型</b> .....	6
1 水文模型的发展历程回顾 .....	6
2 流域水文模型分类 .....	7
3 分布式物理模型的模拟方法 .....	9
4 代表性模型介绍 .....	10
4.1 MIKE SHE 模型 .....	10
4.2 IHDM 模型 .....	13
4.3 TOPMODEL 模型 .....	16
4.4 SWMM 模型 .....	21
4.5 SWAT 模型 .....	25
5 存在的主要问题 .....	32
5.1 空间尺度与水文变量及参数的空间变异性 .....	32

5.2	时间尺度与水循环的动力学机制的描述 .....	33
5.3	流域水循环全要素过程的动态耦合模拟 .....	33
5.4	土壤水评价与植被生态耗水过程计算 .....	33
5.5	天然水循环与人工侧支循环的耦合模拟 .....	34
5.6	参数估计与模型校验 .....	34
5.7	不确定性问题 .....	34
5.8	数据不足问题 .....	34
<b>第3章</b>	<b>陆面过程模型 .....</b>	<b>36</b>
1	概述 .....	36
2	陆面模型的发展和 SVATS 模型 .....	37
2.1	第一代陆面模型 (“水桶”模型) .....	38
2.2	第二代陆面模型 (SVATS 模型) .....	38
2.3	第三代陆面模型 (新 SVATS 模型) .....	39
3	代表性模型介绍 .....	40
3.1	BATS 模型 .....	40
3.2	SiB 模型 .....	45
3.3	ISBA 模型 .....	46
3.4	VIC 模型 .....	48
4	陆面模型研究中的关键问题 .....	51
4.1	参数估算 .....	51
4.2	网格内不均匀性 (尺度问题) .....	51
4.3	径流与土壤水分的横向分配影响 .....	53

## 第 2 篇 水循环模拟基础

<b>第4章</b>	<b>水循环要素过程模拟方法 .....</b>	<b>55</b>
1	流域水循环系统与水平衡方程 .....	55
2	降水及其空间展布 .....	57
2.1	降水机制 .....	57
2.2	降水观测数据的空间展布方法 .....	57
3	蒸散发 .....	61
3.1	水蒸气 .....	61
3.2	大气边界层 .....	63
3.3	日蒸散发 .....	65
3.4	短时段蒸散发 .....	67
3.5	区域尺度蒸散发 .....	68
4	入渗与土壤水运动 .....	68
4.1	土壤水特性 .....	69
4.2	土壤水运动方程 .....	69

4.3 入渗模型 .....	71
5 地表径流 .....	73
5.1 产流机制 .....	73
5.2 地表径流计算方法 .....	74
6 地下水运动 .....	74
6.1 基本方程 .....	74
6.2 Boussinesq 方程 .....	74
7 坡面汇流与河道汇流 .....	75
7.1 坡面汇流 .....	75
7.2 河道汇流 .....	75
8 积雪融雪 .....	76
8.1 降雪和积雪水当量估算 .....	76
8.2 融雪量计算 .....	76
9 人工侧支循环 .....	77
<b>第 5 章 能量交换过程模拟方法 .....</b>	<b>78</b>
1 能量循环与平衡方程 .....	78
1.1 地球能量循环 .....	78
1.2 植物体能量循环 .....	78
1.3 地表能量平衡方程 .....	79
2 短波放射 .....	80
2.1 日短波放射量 .....	80
2.2 小时短波放射量 .....	80
2.3 短波放射反射率 .....	81
3 长波放射 .....	82
3.1 长波净放射量 .....	82
3.2 向下和向上长波放射量 .....	82
4 潜热通量 .....	83
5 显热通量 .....	83
6 地中热传导与地表温度 .....	83
6.1 热扩散方程 .....	83
6.2 日或月平均尺度 .....	84
6.3 日内时间尺度 .....	84
<b>第 6 章 地理信息系统、遥感和数字流域 .....</b>	<b>86</b>
1 地理信息系统 .....	86
1.1 地理信息系统的概念 .....	86
1.2 地理信息系统的发展 .....	87
1.3 地理信息系统在分布式水文模型研究中的应用 .....	90



2	遥感技术 .....	91
2.1	遥感技术基础 .....	91
2.2	遥感技术在流域水循环模拟中的应用概况 .....	94
2.3	黄河流域水循环要素遥感反演示例 .....	97
3	数字流域 .....	102
3.1	基于 DEM 的河网水系生成和流域划分 .....	102
3.2	基于 DEM 和数字化河湖网的流域划分 .....	104
3.3	流域编码技术 (Pfafstetter 规则) .....	109

### 第 3 篇 WEP 模型和 GBHM 模型

<b>第 7 章</b>	<b>WEP 模型的原理 .....</b>	<b>111</b>
1	概述 .....	111
2	模型结构 .....	112
2.1	垂向结构 .....	112
2.2	平面结构 .....	113
3	模拟方法 .....	115
3.1	水循环系统各要素过程的模拟 .....	115
3.2	能量循环过程的模拟 .....	123
3.3	空气动力学阻抗与植被群落阻抗 .....	125
3.4	土壤水分吸力关系与非饱和导水系数 .....	127
3.5	模拟步骤及 GIS 技术的应用 .....	127
4	与集总式水资源调配模型的耦合 .....	129
5	WEP 模型主要特点小结 .....	131
<b>第 8 章</b>	<b>WEP 模型在日本与韩国流域水循环研究中的应用 .....</b>	<b>133</b>
1	研究背景 .....	133
2	在日本海老川城市流域水循环再生计划中的应用 .....	134
2.1	流域水循环系统再生计划项目 .....	134
2.2	基础数据处理 .....	135
2.3	参数估算 .....	137
2.4	模型验证 .....	138
2.5	模型应用 .....	139
3	在日本谷田川流域水循环保护计划中的应用 .....	142
3.1	模型验证 .....	143
3.2	敏感性分析 .....	146
3.3	模型应用 .....	148
4	日本东京都水收支研究 .....	149
5	在韩国汉城清溪川流域水循环再生计划中的应用 .....	150