

# 水资源系统 规划与管理

【美】Daniel P. Loucks 【荷】Eelco Van Beek 著

王世龙 李向东 王九大 等 译

金光炎 姜志群 杨智 赵瑾 校

李玉强 谭炳卿 审

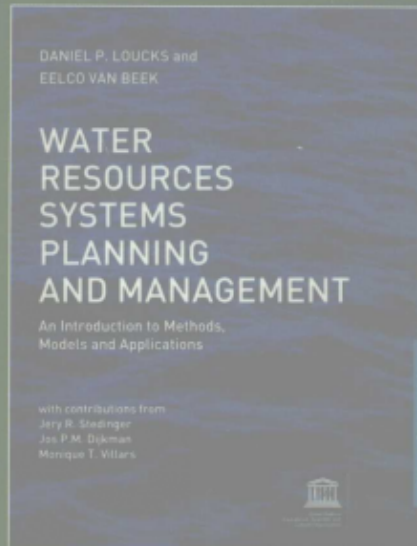


中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn



责任编辑 邓群 张洁 宋晓



ISBN 978-7-5084-4210-5



9 787508 442105 >

定价: 128.00 元

# 水资源系统 规划与管理

---

[美] Daniel P. Loucks [荷] Eelco Van Beek 著  
王世龙 李向东 王九大 等 译  
金光炎 姜志群 杨 智 赵 瑾 校  
李玉强 谭炳卿 审



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

北京市版权局著作权合同登记号：图字 01-2007-2751

Original title *Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications*, by Daniel P. Loucks and Eelco van Beek.

First published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 7, place de Fontenoy, 75352 PARIS 07 SP, France and Delft Hydraulics, Rottersdamseweg 185, 2600 MH Delft, The Netherlands.

© UNESCO/Delft Hydraulics 2005

© China WaterPower Press, for the Chinese translation

The present edition has been published by China WaterPower Press, by arrangement with UNESCO and Delft Hydraulics.

*The designations employed and the presentation of material throughout this publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNESCO concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or the delimitation of its frontiers or boundaries. The authors are responsible for the choice and the presentation of the facts contained in this book and for the opinions expressed therein, which are not necessarily those of UNESCO and do not commit the Organization. This translation has been prepared under the responsibility of China WaterPower Press.*

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

水资源系统规划与管理 / (美) 劳克斯 (Loucks, D. P.), (荷) 贝克 (Beek, E. V.) 著; 王世龙等译. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

书名原文: Water Resources Systems Planning and Management

ISBN 978-7-5084-4210-5

I. 水… II. ①劳…②贝…③王… III. 水资源管理 IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 030600 号

国家测绘局 审图号: GS (2007) 1031 号

书 名	水资源系统规划与管理
原 著 者	Water Resources Systems Planning and Management [美] Daniel P. Loucks [荷] Eelco Van Beek
译 者	王世龙 李向东 王九大 等
校 核	金光炎 姜志群 杨 智 赵 瑾
审 定	李玉强 谭炳卿
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
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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 43 印张 1020 千字
版 次	2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	128.00 元

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

## 译序

《水资源系统规划与管理》一书介绍了水资源规划和管理的系统分析方法，结合大量的实例研究，阐述实用的模拟方法与定量分析模型，并重点介绍如何开发和应用模型来解决水资源规划与管理问题，如何用定量分析的方法编制和评价水资源管理规划，从而为制定水资源分配方案和管理决策提供科学依据。

本书目录、引言由徐建平翻译；前言、序由刘江翻译；第一章“水资源规划与管理：回顾”由王九大翻译；第二章“水资源系统模拟：在规划与管理中的作用”由石京华翻译；第三章“评价规划方案的模拟方法”由吴贵勤翻译；第四章“优化方法”由王世龙翻译；第五章“模糊优化”由王文龙翻译；第六章“数据模型”由王九大翻译；第七章“概率、统计和随机模拟的概念”由张勇、李向东翻译；第八章“模拟的不确定性”由苏文松翻译；第九章“模型灵敏度和不确定性分析”由王文龙翻译；第十章“评价准则”由石京华翻译；第十一章“流域规划模型”由胡银生翻译；第十二章“水质模拟与预测”由李怀清翻译；第十三章“城市水系统”由徐建平翻译；第十四章“本书概要”、附录A“自然系统过程及其相互作用”由张宇亮、许克银翻译；附录B“监测与适应性管理”由苏文松翻译；附录C“干旱管理”由吴贵勤翻译；附录D“洪水管理”由刘江翻译；附录E“项目规划和分析：考虑所有因素”由李向东、张勇翻译。全书由金光炎、姜志群、杨智、赵瑾校核，李玉强、谭炳卿审定，谭炳卿统稿。

本书的翻译出版，联合国教科文组织、荷兰代尔夫特水工研究所的有关人员、淮河水利委员会水文局的罗泽旺局长给予了大力支持，南京水利科学研究院刘恒副院长、中国人民大学宋国军教授，美国伊利诺斯大学蔡喜明教授和他的同事王吉华、王定保、杨奕晨和游景云对译稿进行了进一步审校，保证了翻译的质量，在此，向所有为本书的翻译和出版做过贡献和提供帮助的组织和个人表示诚挚的感谢。

《水资源系统规划与管理》一书内容丰富，知识系统完整，深入浅出。各类规划模型实例涉及面广，特别适合用于水文水资源、水环境以及与水相关专业本科生和研究生的参考书，也是水资源管理专业技术人员的重要工具书。

译者

2007年10月

# 序

跟世界上许多地方一样，荷兰人的生活质量与我们所处的自然环境（空气、土地和水资源）的质量直接相关。我们认为，一个优质的环境对人类健康、经济与社会发展、生态系统保护及其多样性是至关重要的。我们今天对自然资源管理有多好将决定这些资源服务于我们和子孙后代有多好。因此，我们非常关注自然资源的管理，特别是我们的水资源管理。

许多荷兰人现在生活的地方是因我们过去的水利工程师、规划和管理人员的成功努力才得以存在的。管理水是绝对必要的，管理的方式应是满足不同需水和保护水的要求，包括自然生态系统的需求。但是，不管我们有多么丰富的知识和经验，我们荷兰也同世界上其他地区一样，干旱、洪水和水污染仍时有发生。荷兰存在这些不利影响在欧洲并不是惟一的。世界上有太多的地区，对改进水管理的需求已越来越重视，而且越来越迫切。有太多的人，尤其是儿童，每天都饱受缺水之苦。

当我们为自己有能力管理水而感到自豪的同时，我们也为自己有能力帮助其他人管理水而自豪。代尔夫特水工研究所自成立以来已经进行了75年的水管理研究，本书的编写和出版正是作为该所成立75周年庆典的一部分。

本书是由那些在其职业生涯中，既是大学教授又同时是咨询工程师的人们所编写的，介绍了模拟和分析水资源系统的实用方法。

无论你是在大学学习，还是在发达地区或发展中地区工作，本书提出的方法和忠告能够帮助你提高用定量分析的方法，去识别和评价有效的水资源管理规划和政策的能力。当你需要决定如何才能最好地管理这些重要自然资源时，该书可作为你和你单位获得所需信息的指南。

本书介绍的水管理的综合系统方法，可供大学生、教师、水资源工程师和规划人员阅读。

荷兰奥朗日亲王殿下

# 前言

在整个历史上，全球大部分地区已经见证：生活、农业和工业对可靠、高质量和廉价的供水需求越来越大。最近几十年来，对支撑健康和多样性的生态系统、提供水娱乐活动、水旱灾害防治或减小灾害损失，以及有些情况下提供水力发电和确保足够航运水位的水文情势的需求也在日益增加。水管理者面临满足多目标和相互间常常有矛盾需求的挑战。同时，公共利益相关者表现出参与水资源开发与管理决策过程的愿望日益增加。由于气候的变化、人们生活标准的变化、流域土地利用的变化和技术的变化，水管理的挑战是自然水供应和需求的不确定性。管理者怎样才能开发、重新开发和恢复，然后以满足社会不断变化的目标的方式管理好从小流域到大流域以及沿海地区的水资源系统呢？换言之，怎样才能使水资源系统的管理更加综合和可持续呢？

为解决水管理问题，或增加经济、生态、环境和社会效益的机会，在工程建设以前必须首先进行规划。规划首先要为解决水管理问题或利用这些机会确定不同的替代方案；其次，估算和评价每一个建议方案的影响。为帮助水规划和管理人员识别和评价规划方案，已经开发出各种各样的优化和模拟模型以及仿真方法。本书介绍了有助于水资源规划和管理的仿真科学与技术，重点介绍开发和应用模型解决特定的水资源规划与管理问题的实践，以及为负责制定特定流域特定问题的决策人员提供与决策有关的、真实的和有意义的信息。

没有从事实际应用模型的读者不可能仅靠本书学会模拟的艺术。我们相信，本书包含的信息、例子和实例研究，加上与本书配套的练习，能够帮助你成为一个熟练的水资源系统模拟、分析和规划人员。水资源系统模拟、分析和规划是我们的专业，也强烈推荐给读者。规划和管理模拟是多学科的活动，为提高可利用水土资源的效益，除测量外，模拟几乎是所有设计工程最基本的部分。水资源系统的模拟和分析既包含科学，也包含人和政见，不仅是挑战，也是责任。

本书是以 Loucks, Stedinger 和 Haith 编写并由 Prentice Hall 于 1981 年出版的《水资源规划和分析》为基础编写的。本书对上述书的大部分内容进

行了更新，引进了某些已被证明有用的新的模拟模型，并加入了大量的实例研究。本书极大地得益于代尔夫特水工研究所的经验。世界上有许多公司使用本书介绍的方法，代尔夫特水工研究所是其中之一。

过去 25 年，图形菜单界面计算机程序的开发和计算机技术的发展对水资源工程、规划和管理实际中模型的应用具有重大和有益的影响。本书讨论的所有模型都是用于微机的。用于求解各种问题的软件可从网上免费获得，通常的电子数据表软件也可用，但在 1981 年时这些都没有。

尽管我们试图将当前水资源系统规划和分析的方法综合到每章中，但本书并不打算对文献报道的水资源系统分析技术进行回顾评价，而是向读者介绍应用于水资源规划和管理中更通用的模型和模拟方法。我们努力按照便于教学和自学的方式组织编写内容。本书的内容反映我们的信念，即规划和管理最适当的方法往往是最简单的方法，这主要是因为最简单的方法容易理解和解释、需要的资料和时间少、容易用于特定的问题。这并不意味着高级和复杂的方法用处少，有时候高级和复杂的方法是提供所需信息的惟一方法。在本书中，我们试图指导读者根据模型复杂性选择最适当模型的方法。模型的选择部分地取决于下述因素，如所要解决的问题、所需的信息、所需的精度、数据的可靠性及其成本、作出分析所需的时间和可用的时间。当许多分析人员有自己偏爱的模拟方法时，模型的选择应基于对各种模拟方法及其优缺点的理解。

本书认为读者接受过代数、微分、地理、矢量和矩阵应用方面的数学训练，第七章到第九章的读者必须具有一定的概率论和统计学的基础。同样，某些微观经济学和福利经济学的常用知识对学习第十章的读者也是有用的。水文学、水力学和环境工程方面的某些知识也是有益的，但并非绝对必要的。想要回顾一下发生在流域、河口和海滨地区的某些自然过程的读者可参见附录 A。优化和模拟方法的入门课程，尤其是运筹学或经济理论课程的知识对读者也是有益的，但同样不是绝对必要。

第一章介绍水资源规划和管理，描述某些模拟在水资源系统工程中起关键作用的实例。这些实例工程也适合于世界不同地区水资源管理人员识别当前所面临的问题。第二章定义通用的模拟方法及其模型在水资源规划和管理项目中的作用。第三章开始讨论优化和模拟方法及其在实际工作中的应用，也讨论水资源开发、规划和（或）管理项目中如何进行模拟。

第四章阐述优化模型。该章内容相对较多，重点是各种优化方法在基础设施设计和运行策略初步定义中的应用，由这些初步结果确定的备选方案通



常需要进一步分析并用模拟模型进行改进。不同优化方法的优缺点用一些简单的水资源分配、水库运行和水质管理问题进行说明。第五章将针对以“模糊”（更加定性）目标为特征的问题进一步讨论优化问题。

第六章介绍最近开发的统计模拟方法，包括人工神经网络和包含遗传算法的进化搜索方法。本书希望有兴趣的读者参考其他书籍，许多只涉及该主题的书都讨论得很详细。

第七章到第九章叙述概率模型、不确定性和灵敏性分析。这些方法不仅对识别给定水文变化和不确定性参数值与目标的条件下更现实的基础设施设计和运行策略有用，而且对估计与模型预测有关的某些主要的不确定性有用。这些概率和统计模型也可用于根据其对所考虑策略的影响情况，识别模型所需的输入数据和所需数据的精度。

今天的水资源规划和管理必然包含多目标，而且许多目标间是矛盾的。即使是可能的话，也很难做到在任何时间满足所有的利益相关者。多目标模型可用于识别矛盾目标间的折中，这些信息对那些必须在矛盾目标中和矛盾利益相关者中决定最优折中的决策者有用。第十章的多目标模拟识别各种经济、环境和物理目标，以及用于优化和模拟模型中包括多目标的某些常用方法。

第十一章阐述模拟流域水文过程的各种方法，重点在水量的预测和管理。接着第十二章介绍流域水质过程预测和管理，第十三章介绍都市地区暴雨径流、供水分配和处理、污水收集和处理，以及中水水量和水质的预测和管理。最后一章（第十四章）给出了本书概要，再次回顾了模型的主要作用，介绍用于评价特定工程有用的指标，提供更多的水资源管理问题中模型应用的实例研究。

第十四章后有5个附录，内容包括：A 流域、河口和海滨地区自然水文过程和生态过程，B 监测和适应性管理，C 干旱管理，D 洪水管理，E 代尔夫特水工研究所评价、开发和管理水资源系统的框架。

我们相信，第一章到第四章是后续大部分章节有用的前提条件。对大学老师来说，本书的内容正常情况下多于1/4年或半学期课程。第一个课程包括第一章到第四章，如可能的话，还可包括第十、十一章或十三章、十四章，这取决于参加者的基础。第二个课程包括第七章到第九章和（或）第五、六章、十二章、十三章或十四章的任意组合，按需设置。显然，课程设置取决于课程的目的和课程参加者的基础知识。每一章的练习在书后附的CD中（老师可致信作者得到这些练习的参考答案）。

本书为代尔夫特水工研究所成立75周年纪念而撰写，我们十分感谢公

司在财政和智力上的支持。我们不打算将本书作为代尔夫特水工研究所对水资源规划和管理项目模型开发与应用贡献的证据，但它确实反映了代尔夫特水工研究所和全世界从事水资源规划、开发和管理的其他这种公司与组织所用的方法、所用的模拟工具。

许多人帮助我们编写本书，Jery Stedinger 写了第七、八、九章的大部分，Nicki Villars 完成了第十二章的大部分，Jozef Dijkman 完成了附录 D 的主要部分，Vladam Babovic, Henk van den Boogaard, Tony Minns 和 Arthur Mynett 撰写了第六章，Roland Price 完成了第十三章。为本书提供咨询并帮助审阅初稿的其他人员包括 Martin Baptis, Herman Breusers, Harm Duel, Herman Gerritsen, Peter Gijsbers, Jos van Gils, Simon Groot, Karel Heynert, Joost Icke, Hans Los, Marcel Marchand, Erik Mosselman, Erik Ruijgh, Johannes Smits, Mindert de Vries 和 Micha Werner。Ruud Ridderhof 和 Engelbert Vennix 制作了书中的图形和表格。我们感谢在本书编写的整个过程中方方面面帮助和支持我们的人，包括我们的学生。我们也受益于台湾大学 Jan-Tai Kuo 教授、戴维斯加利福尼亚大学 Jay Lund 教授、奥斯汀得克萨斯大学 Daene McKinney 教授、马萨诸塞州剑桥哈佛大学 Peter Rogers 教授、代尔夫特理工大学 Tineke Ruijgh 教授、费城维拉诺瓦大学 Robert Traver 教授，以及所有在教学中使用本书早期版本的人。最后我们要真诚地感谢 Andras Szöllösi-Nagy 和 UNESCO 出版社工作人员的支持并将该书作为其国际水文计划的一部分。我们是为国际读者撰写此书的，我们特别感谢 UNESCO 的支持和与他们愉快的联系。

最重要的是，我们要感谢来自世界各地所有我们的教师、学生和同事，是他们教给我们一切，提高了我们职业生涯和个人生活的质量。我们努力使该书错误最少，但错误不可避免。我们对书中的事实、判断或科学方面的错误表示道歉并承担责任。如果您能告知您发现的任何错误或为改进本书提出建议，我们将由衷的感谢。

Daniel P. Loucks

美国纽约州伊萨卡，康奈尔大学

Eelco van Beek

荷兰代尔夫特，代尔夫特水工研究所

2004 年 11 月

## 引言

水资源很特别。水在天然状态，显得十分美丽。人们喜欢临河、湖、海滨居住和度假。水也很强大，水能侵蚀岩石，改变现有景观形成新的景观。生活在地球上的所有生物依赖水，我们大多数经济活动消耗水，我们种植、加工和吃的所有食物都要有水。我们的大多数废物都要靠水输送和吸收。水对我们人类的重要性是毋庸置疑的，我们依赖于水将是永恒的。

因此，问题是什么？答案简单，是水。水尽管很丰富，但并不像我们希望的那样分布。往往是水多、水少，或水脏、水贵。更深层次的问题是全球气候变化可能进一步恶化整个水状况。这不仅是气候变化的结果，而且还是其他全球驱动力变化的结果，如人口增长、土地利用变化、都市化、人口从农村迁移到都市，所有这些都将成为前所未有的挑战。显然水与所有这些领域有联系，这些驱动力的任何变化都会对水产生影响。水有其自己的动力特性，而且完全是非线性的。例如，20世纪人口增加了3倍，从18亿增加到60亿，但同一时期取用水却增加了6倍！这显然是不可持续的。尽管淡水是可更新的资源，但它是有限的，也是非常脆弱的。如果考虑地球上所有的水，97.5%在海洋里，从河流、湖泊、水库中直接可为人类消费的水不足总水量的0.007%，这的确是非常有限的，年平均大约为 $42000\text{km}^3$ 。

如果我们看看过去30年人均可得到的水量逐年减少的图甚至更加惊人，1975年每年每个人可得到的水量约为 $13000\text{m}^3$ ，现在降到了 $6000\text{m}^3$ ；同时，水质已严重退化。尽管这不可能用任何富有意义的方式进行外推，但它仍然表示出形势的严峻，而且很可能会由于可预期的气候变化的影响而进一步加剧。尽管至今还未达到了科学精度所需的严格标准所证明，但不断增加的经验证据已经显示出当某一时刻水量相同时，水文循环在加速。如果这种加速假设是真的，那么它将增加洪水发生的频率和洪水量。而在系列的另一端，通用的连续性定律意味着干旱的频率和程度也将增加。这些增加的风险可能具有重要的区域意义。由国际水文计划（IHP）作出的早期模拟研究，表明湿润地区将更湿润，而干旱地区将更干旱。这不会在一夜之间成为

事实，但需要有时间制定合适的对策，以适当考虑文化内涵、综合技术和社会问题的方式来制定策略。

需要极大的努力和政治决心去实现两个与水有关的千年发展目标 (MDGs)，即到 2015 年，将没有安全饮用水和足够卫生设施的人数分别减少一半。就饮用水而言，还有 12 亿人没有安全饮用水，就卫生设施而言，有 24 亿人缺乏足够的卫生设施。

人口的高速增长，尤其是有一半的人口已经生活在都市区，同时高耗水的农业和工业的发展，增加了可用水量 and 水质问题，在许多地方，还出现与水有关的疾病。目前，联合国系统已极其迫切地要求通过更好地管理来保护水资源。由于改变土地利用方式而砍伐森林的规模、土壤侵蚀、沙漠化、城市扩展、遗传多样性的损失、气候变化、通过灌溉生产粮食的不稳定性数据，都揭示出问题的严重性在不断增加。我们必须认识到，那些尽管不会对我们赖以生存的环境和生态系统造成严重破坏的社会活动必须接受检查。该问题在水稀缺的地区尤为重要，在发展中国家发现，许多依赖于取用含水层的水，没有按抽取和消耗量的速度对含水层进行回灌，这显然是不可持续的。

恰当的水资源管理要考虑供需两个方面。供需的时空失配刺激了今天许多水资源基础设施的建设。由于季风活动和山洪暴雨，地球的某些地区经历了经常性的洪水灾害，而其他地区面临越来越糟的长期缺水，而且这种状况常常由于导致水质急剧下降的污染物排放量不断增加而加剧。

可持续水管理的目标，是以尽可能地满足现在和将来整个社会水需求的方式促进用水，并包括为后代保护水资源。UNESCO 国际水文计划 (IHP) 提出的短期和长期目标，是通过改进对影响全球水资源的物理和社会过程的理解，并将这些知识结合到水资源管理中。本书描述了水管理者可能和已经面临的各种问题，以及人们可以用于确定和评价备选水资源开发规划和管理策略的各种模型与方法。从这些模型和方法中得到的信息可以帮助利益相关者和决策者寻求水资源管理问题的可持续解决方案。这些工具的成功使用需要自然科学家、社会科学家和受影响地区的人们的真诚合作，不仅要考虑与水有关的问题，而且要考虑社会、文化和环境价值。

我很荣幸能代表 UNESCO 介绍本书。本书完整地介绍了水资源管理的许多方面，为分析问题、识别在变化和不确定性环境开发和管理水资源的途径给出了实用方法。作者的实践经验和学术经历以及他们对这个行业的贡献众所周知，我相信这本书将成为水资源规划和管理人员的宝贵财富。我要最

真诚地感谢 Daniel P. Loucks 和 Eelco van Beek 教授为编写本书所付出的时间、努力和杰出的经验，本书将使不断增加的水专业人员受益匪浅。

Andras Szollosi - Nagy  
UNESCO 助理副总干事  
国际水文计划秘书长

# 目 录

译序

序

前言

引言

<b>第一章 水资源规划与管理：回顾</b> .....	1
1 引言 .....	1
2 规划与管理问题：一些实例研究 .....	2
3 为什么要规划，为什么要管理 .....	21
4 系统组成部分，规划尺度和可持续性 .....	24
5 规划与管理 .....	26
6 面对规划与管理的挑战：小结 .....	34
参考文献 .....	37
<b>第二章 水资源系统模拟：在规划与管理中的作用</b> .....	38
1 引言 .....	38
2 水资源系统的模拟 .....	40
3 水资源系统模拟的挑战 .....	42
4 模拟的开发 .....	45
5 结论 .....	54
参考文献 .....	55
<b>第三章 评价规划方案的模拟方法</b> .....	58
1 引言 .....	58
2 规划编制和选择 .....	60
3 建立模型的方法：模拟或优化 .....	63
4 模型开发 .....	70
5 管理模拟项目 .....	71
6 尺度问题 .....	75
7 结论 .....	77
参考文献 .....	77

<b>第四章 优化方法</b> .....	78
1 引言 .....	78
2 经济效益和成本的时间流的比较 .....	78
3 非线性优化模型及其求解过程 .....	80
4 动态规划 .....	87
5 线性规划 .....	113
6 简单的回顾 .....	134
参考文献 .....	134
<b>第五章 模糊优化</b> .....	135
1 模糊性: 引言 .....	135
2 模糊环境中的优化 .....	136
3 分水的模糊集 .....	138
4 水库蓄水与放水目标的模糊集 .....	140
5 水质管理模糊集 .....	142
6 小结 .....	146
参考文献 .....	146
<b>第六章 数据模型</b> .....	147
1 引言 .....	147
2 人工神经网络 .....	149
3 遗传算法 .....	156
4 遗传规划 .....	161
5 数据发掘 .....	163
6 结论 .....	165
参考文献 .....	166
<b>第七章 概率、统计和随机模拟的概念</b> .....	169
1 概述 .....	169
2 概率概念和方法 .....	170
3 随机事件的分布 .....	180
4 删检资料的分析 .....	196
5 区域化和指标洪水 (Index - Flood) 法 .....	198
6 部分历时系列 .....	199
7 随机过程和时间序列 .....	200
8 综合径流生成 .....	206
9 随机模拟 .....	219
10 结论 .....	228
参考文献 .....	228

<b>第八章 模拟的不确定性</b> .....	238
1 概述 .....	238
2 从已知概率分布生成数值 .....	238
3 Monte Carlo 模拟 .....	241
4 随机约束模型 .....	242
5 Markov 过程和转移概率 .....	244
6 随机优化 .....	247
7 结论 .....	259
参考文献 .....	260
<b>第九章 模型灵敏度和不确定性分析</b> .....	261
1 概述 .....	261
2 问题、关系和术语 .....	262
3 模型输出的可变性和不确定性 .....	264
4 灵敏度和不确定性分析 .....	267
5 性能指标的不确定性 .....	286
6 沟通模型输出的不确定性 .....	290
7 结论 .....	293
参考文献 .....	293
<b>第十章 评价准则</b> .....	295
1 概述 .....	295
2 基于信息的决策 .....	296
3 评价准则及一般替代方案 .....	297
4 评价准则的量化 .....	300
5 多指标分析 .....	312
6 实施效果指标的统计学概述 .....	324
7 结论 .....	326
参考文献 .....	327
<b>第十一章 流域规划模型</b> .....	329
1 概述 .....	329
2 自然资源系统和相关基础设施的模拟 .....	332
3 流域的社会—经济功能模拟 .....	360
4 流域分析 .....	369
5 结论 .....	378
参考文献 .....	378



<b>第十二章 水质模拟与预测</b> .....	380
1 概述 .....	380
2 环境水质标准的建立 .....	381
3 水质模型的应用 .....	382
4 水质模拟过程 .....	386
5 藻类生物量预测模型 .....	412
6 模拟方法 .....	420
7 结论：水质管理策略的实施 .....	425
参考文献 .....	426
<b>第十三章 城市水系统</b> .....	429
1 引言 .....	429
2 饮用水 .....	430
3 污水 .....	436
4 城市排水 .....	439
5 城市水系统的模拟 .....	454
6 结论 .....	458
参考文献 .....	459
<b>第十四章 本书概要</b> .....	462
1 遭遇挑战 .....	462
2 规划和管理的系统方法 .....	462
3 评估模拟的成功 .....	468
4 一些实例研究 .....	469
5 结语 .....	482
参考文献 .....	482
附录 A 自然系统过程及其相互作用 .....	483
附录 B 监测与适应性管理 .....	553
附录 C 干旱管理 .....	574
附录 D 洪水管理 .....	596
附录 E 项目规划和分析：考虑所有因素 .....	637