



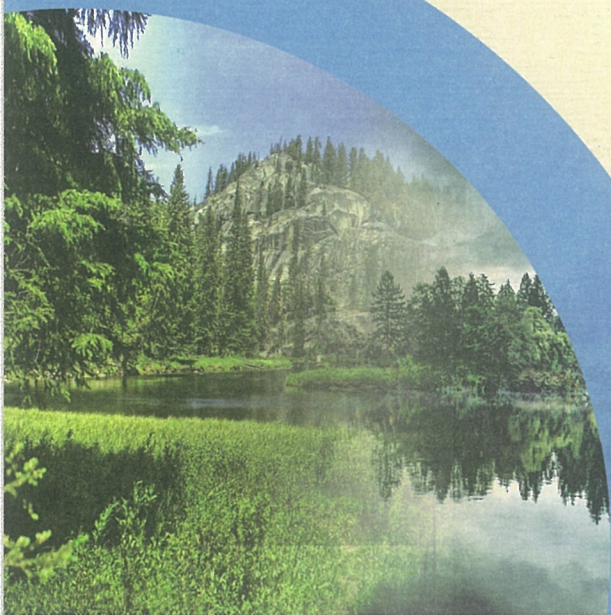
科学方法大系

“十二五”国家重点图书出版规划项目

水文学方法研究丛书

# 水文学方法研究

王浩 严登华 杨大文 丁晶 任立良 杨志勇 编著



科学出版社

创新方法工作专项项目 (2007FY140900、2009IM020100和2011IM011000)  
国家自然科学基金创新群体项目 (51021066)

---



科学方法大系

“十二五”国家重点图书出版规划项目

水文学方法研究丛书

# 水文学方法研究

王 浩 严登华 杨大文 丁 晶 任立良 杨志勇 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书从科学方法论角度系统总结了水文学研究方法的发展历程,针对水文学方法发展过程中的革命性案例进行了深入的剖析,在此基础上分析了水文学方法的演进规律和驱动机制,总结了近现代科学技术对水文学方法的促进作用,并介绍了水文学方法的前沿和发展趋势,对水文学不确定性方法这一热点问题的研究方法进行了介绍。全书具有综合性、实用性和创新性的特点。

本书可作为高等学校水文水资源专业的高年级本科生和研究生的教学和科研参考书,也可供气象、农业、环境类专业的本科生和研究生阅读,并可作为水文水资源、水利工程相关科技工作者和工程技术人员的重要参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

水文学方法研究 / 王浩等编著. —北京: 科学出版社, 2012

(水文学方法研究丛书)

ISBN 978-7-03-034737-4

I. 水… II. 王… III. 水文学-方法论 IV. P33-03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 123481 号

责任编辑: 李 敏 张 菊 王 倩 / 责任校对: 朱光兰

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 黄华斌

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>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 6 月 第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 6 月 第一次印刷 印张: 18 插页: 2

字数: 360 000

定价: 76.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 《水文学方法研究》丛书编委会

主 编	胡四一			
编 委	陈志恺	刘昌明	王 浩	王光谦
	张建云	钟登华	康绍忠	王 超
	沈 冰	芮孝芳	刘国纬	胡春宏
	许唯临	谈广鸣	唐洪武	夏 军
	杨大文	丁 晶	任立良	秦大庸
	严登华	王文圣	杨志勇	

## 《水文学方法研究》编委会

主 笔	王 浩	严登华		
副主笔	杨大文	丁 晶	任立良	杨志勇
成 员	秦大庸	王文圣	贾仰文	鲁 帆
	芮孝芳	肖伟华	王建华	于福亮
	李传哲	刘家宏	赵 勇	杨汉波
	牛存稳	吴 娟	周祖昊	杨贵羽



# 总 序

水文学和水资源学是水资源可持续利用的科学基础和技术手段。20世纪90年代以来,由于人口、社会、经济的高速发展,除防洪形势依然严峻外,水资源短缺与水环境恶化的问题(并称为水问题)也突显出来,并成为国家可持续发展的制约因素。应对这些水问题,满足可持续发展所需要的水供给和水环境支持条件,自然成为这一时期水文学和水资源学研究的中心任务,这就向水文水资源科技工作者提出了新的更高要求。为防洪减灾提供水文水资源信息和知识支撑,需要加强特大洪水形成规律、水文信息采集传输预报调度决策现代化、非工程措施的研究;为水资源可持续利用提供科学基础,需要加强水资源形成、演化机理研究和全球变化对水资源影响的研究,注重水资源系统、经济社会系统、生态环境系统在其耦合演进过程中相互依存与相互制约定量关系的研究,以及水资源评价与规划、水资源承载能力评价、水资源开发利用与保护的研究;为生态安全和环境保护提供水文水资源知识服务,需要揭示水对于生态安全的控制机理和水作为环境要素的基础作用,研究不同自然地理条件下生态需水量计算方法,制定描述河流健康状态的评价体系和人类-经济社会-生态环境系统中水分配策略;在流域规划和工程设计中,需要加强高强度人类活动条件下的水文水资源预测研究,探索新的水文水资源分析计算途径与方法;为建设节水防污型社会提供水文水资源科技支撑,需要开发水资源循环再生利用、综合节水和水资源高效利用技术,建立水资源利用效率评价与水资源价值的综合核算方法,以及加强水管理制度安排和政策设计的科学基础与应用研究。

科学认识和创造性地解决我国的水问题,离不开科学技术,水文和水资源领域的科技创新与技术进步将为我国水资源可持续利用提供坚实的科学理论和有效的关键技术。科技创新,方法先行,方法对路,事半功倍。随着水文学研究内容和应用方向的多样化,水文学界对学科发展的兴趣与日俱增,更加关注其学科方法和哲学基础,发展与创新传统的水文学研究方法,已成为解决我国在变化环境下复杂水问题的迫切需求。随着近几十年来科学技术的突飞猛进,大量新技术、新方法广泛应用于水文学研究,传统水文学方法也从技术进步中受益匪浅,促进了水文学研究方法体系的日趋成熟完善。受数量化、系统论和信息技术的影响,也为了适应可持续发展日益增长的需求,水文学已经发生了显著的变化,逐步实

现了从传统水文学向现代水文学的过渡：即以学科综合交叉发展为主线，以天-地一体化的系统视角，运用“原型观测+数值模拟+地理信息技术”的研究途径，模拟预测“自然-人工”范式下的二元水循环过程的演化趋势和动态变化，揭示水量、水沙、水质、水生态过程的耦合机制和相互作用，强调人类活动对水循环的重要性，注重复杂水资源系统的优化配置和综合调控，为提高水旱灾害的预测防控水平、提升水利工程的建管调控能力和加强水资源与水环境的协调管理提供科学原理及实践方法。在这一转变过程中，新的水文实验、水文观测、水文模拟、水文预测预报方法快速发展，在我国水问题研究和实践中获得了广泛应用，取得了丰硕的研究成果，水文学的方法体系也不断丰富完善，有力地推动了复杂水问题解决思路、研究平台和技术手段的现代化转型。系统回顾和总结水文学研究方法的发展历程，深入揭示水文学方法的演进规律和驱动机制，科学评估水文学方法的学科前沿和发展趋势，对于水文学的知识传承和学术创新发挥着基础性和先导性作用，对于进一步推动水文科学发展、实现水资源可持续利用具有重要意义。

2010年，中国水利水电科学研究院王浩院士和科学出版社共同发起，组织活跃在水文学研究领域的专家学者，成立了《水文学方法研究丛书》编委会。历经近三年的酝酿，通过组织召开多次编写工作协调会议及学术委员工作会议，在充分讨论并征求由多名院士组成的学术委员会意见的基础上，结合当前水文学方法研究中的热点和前沿问题，确定了《水文学方法研究丛书》的编写框架、主要内容、体例要求。丛书面向水文水资源相关领域学者、管理人员和基层水文工作者，针对不同读者的阅读需求，组织各主要分册编写。该丛书集成了当前国内外水文学研究领域主要的研究方法及相关的基本理论和分析思路，注重认识论和方法论层面的研究和总结，许多内容都是这些编著者多年潜心研究的成果，集中了众多水文学者的集体智慧，凝结了参与这项工作的全体同志的心血和汗水。该丛书的出版发行，必将助益于水文学科的传承和创新，进而对推动我国水文学科的发展发挥积极作用。

水利部副部长



2012年6月



# 前 言

随着气候变化和人类活动影响的深入,水循环系统的结构、功能和参数均发生了深刻变化,由自然一元水循环模式向“自然-社会”二元水循环模式转变,水循环系统演变的不确定性呈增强态势。与此同时,水循环与伴生的水化学、水沙和水生态过程间的多向反馈作用也明显改变,并产生了显著的资源、环境、生态效应。当前,世界面临着严重的水危机,我国水问题尤为严重,水资源短缺与水污染并存,水生态退化加剧,暴雨洪涝、持续干旱等极端水文事件频繁发生,在传统水问题尚未得到彻底遏制的同时,新的水问题日益突显。革新传统的水文学方法,提高各类水问题综合应对能力和水资源综合利用效率与效益,已成为我国实施可持续发展战略中亟待解决的关键问题之一。

自主创新,方法先行。为切实加强创新方法工作,从源头上推进创新型国家建设,2008年,科学技术部、国家发展和改革委员会、教育部、中国科学技术协会联合发布了《关于加强创新方法工作的若干意见》。科学技术部先于2007年组织了《科学方法大系》研究设计工作,并相继部署了创新方法工作专项。2008年1月,科学技术部先期启动水文学方法和地理科学方法作为本专项的试点研究。由中国水利水电科学研究院的流域水循环模拟与调控国家重点实验室(筹)联合清华大学的水沙科学与水利水电工程国家重点实验室、河海大学的水文水资源与水利工程科学国家重点实验室、四川大学的水力学与山区河流开发保护国家重点实验室等国内从事水文研究的优势研究机构,承担了水文学方法的研究工作。经过近3年的集中攻关,项目组对水文学方法进行系统挖掘、梳理与集成,提出了现代水文学方法的前沿与发展趋势。在相关研究成果的基础上,组织编写了本书。

全书共分10章。第1章是绪论,介绍水文学方法研究的总体情况和研究背景,由王浩、严登华编写;第2章是水文学方法演变历史及其学科背景,由杨大文、任立良、杨汉波、袁喆编写;第3章是水文学发展中的革命性案例分析,由芮孝芳、丁晶、鲁帆、杨汉波、李传哲编写;第4章是水文学研究科学方法体系,由牛存稳、肖伟华、王建华编写;第5章是水文学研究技术方法体系,由杨志勇、李传哲、赵勇、刘佳编写;第6章是近现代科学技术对水文学方法的促进作用,由贾仰文、杨贵羽、彭辉编写;第7章是水文学方法的研究前沿与发展趋

势，由王浩、严登华、杨志勇、翁白莎编写；第8章是“自然-人工”二元水循环模拟与调控方法，由王浩、秦大庸、杨志勇、于赢东编写；第9章是水文不确定性研究方法，由丁晶、王文圣、周秀平编写；第10章是结语，由严登华、杨志勇编写；全书由王浩和严登华统稿。

在本书的编写过程中，得到了科学技术部科研条件与财务司、中国21世纪议程管理中心的大力支持，并得到了刘昌明院士、陈志恺院士、陈家琦教授、刘国纬教授等老一辈水文水资源专家的精心指导，在此一并表示感谢！

由于水文学方法的复杂性，相关研究方法仍是较长时期内研究的热点和难点，限于作者水平和时间限制，书中难免存在不妥之处，敬请批评指正。

编者

2012年5月

# 目 录

总序	
前言	
第1章 绪论	1
第2章 水文学方法演变历史及其学科背景	4
2.1 近现代自然科学发展回顾	4
2.2 近现代自然科学方法演进	14
2.3 自然科学及其研究方法演进规律与驱动机制	19
2.4 水文学演进过程与驱动机制	32
2.5 水文学方法诠释	38
2.6 小结	40
第3章 水文学方法发展中的革命性案例分析	41
3.1 达西定律与理查兹方程	41
3.2 水热耦合平衡理论	46
3.3 单位线	50
3.4 新安江模型	57
3.5 贝叶斯概率水文预报方法	60
3.6 集合水文模拟方法	62
3.7 中国适线法计算设计洪水	65
3.8 小结	76
第4章 水文学研究科学方法体系	77
4.1 水文学研究的哲学方法	77
4.2 思维方法	82
4.3 描述方法	87
4.4 小结	92
第5章 水文学研究技术方法体系	93
5.1 水文学的主要研究方法	93
5.2 观测与调查类方法	94
5.3 实验与试验方法	98
5.4 数理统计与分析方法	104

5.5	数值模拟方法 .....	112
5.6	水文学新技术与新方法探究 .....	120
5.7	小结 .....	125
<b>第6章</b>	<b>近现代科学技术对水文学方法的促进作用 .....</b>	<b>126</b>
6.1	现代水文信息采集与测报技术发展影响分析 .....	126
6.2	现代物理实验与数值模拟技术发展影响分析 .....	135
6.3	现代系统分析与计算机技术发展影响分析 .....	143
6.4	现代技术手段影响下的水文学方法发展趋势分析 .....	152
6.5	小结 .....	155
<b>第7章</b>	<b>水文学方法的研究前沿与发展趋势 .....</b>	<b>156</b>
7.1	国际水文学方法研究动态及前沿问题 .....	157
7.2	我国水文学及其方法面临的主要问题 .....	170
7.3	我国水文学方法的总体发展趋势 .....	174
7.4	我国水文学方法发展的重点命题 .....	177
7.5	小结 .....	181
<b>第8章</b>	<b>“自然-人工”二元水循环模拟与调控方法 .....</b>	<b>183</b>
8.1	“自然-人工”二元水循环理论与实践基础 .....	183
8.2	“自然-人工”二元水循环耦合模拟与调控方法 .....	187
8.3	面向多时空尺度的自然水循环模拟调控方法 .....	191
8.4	新一代社会水循环模拟与调控方法 .....	193
8.5	“自然-人工”二元水循环多过程模拟与调控方法 .....	199
8.6	小结 .....	214
<b>第9章</b>	<b>水文不确定性研究方法 .....</b>	<b>215</b>
9.1	不确定性问题及其研究方法概述 .....	215
9.2	水文随机分析方法 .....	215
9.3	水文模糊分析方法 .....	231
9.4	灰色分析方法研究 .....	238
9.5	水文集对分析方法 .....	246
9.6	水文学不确定耦合分析途径 .....	256
9.7	四种不确定性方法的综合分析 .....	257
9.8	水文不确定性分析方法面临的挑战 .....	259
9.9	小结 .....	260
<b>第10章</b>	<b>结语 .....</b>	<b>261</b>
	<b>参考文献 .....</b>	<b>263</b>

# 第1章 绪 论

水文学是一门研究地球上各种水体的发生、循环、分布，水的化学和物理性质，水对于环境的作用以及水与生命体关系的科学，同时它可为洪涝干旱灾害的防治、水资源的开发利用和水生态与环境保护提供科学依据。可以看出，一方面，水文学研究的对象是自然发生的蒸发、入渗、径流等水文循环过程，其首要的任务是摸清水文现象的基本规律及其内在机理，理解和预测未来水循环的现象与过程。另一方面，由于水循环过程与人们生活和经济社会发展密切相关，水文工作者不断努力运用水文知识来解决防洪减灾、水资源开发利用和生态环境保护等问题（Chow, 1988）。

为了认识水的规律，人们很早就进行水文观测，从这个意义上来说，水文学是一门古老的基础科学，是伴随着人类进行减水灾和兴水利的过程中产生和发展起来的。与此同时，水文学又是一门相对年轻的学科，随着水问题的演变和周边科学技术方法的发展，其学科体系和研究方法不断更新和完善，目前水文学研究已从以水文现象描述为核心的阶段，逐步过渡到以水文机理系统剖析、水文情势精确预测预报和有效调控的阶段上来。

纵观水文科学的发展历程，水文学的基本研究方法主要有五大类：一是观测与调查。由于人们不可能人为的重复自然水文现象，原型观测和实际调查是水文学从起源一直沿用至今的最基础和最有效的方法，如降水、蒸发、入渗、径流、水质、泥沙等诸多水文要素和过程的直接观测。对于未能系统、连续、有效观测的水文现象，人们常常以水文调查来补充，如暴雨调查、洪水调查和枯水调查等；二是水文实验与物理模型。尽管人们难以人为重复自然的水文现象，但也经常借助相似性原理进行水文实验，或是构建一些物理模型来模拟或描述某些水文过程和环节，如径流试验场、原状土柱渗流实验等；三是统计与分析。由于水文过程具有很强的随机性，在许多情况下用物理定律来解释水文现象相对困难，统计方法成为水文学研究的重要基础方法，如水文时间系列分析、水文极值事件频率分析以及地质统计学的应用等；四是数值模拟方法。在水文过程机理分析并掌握其结构关系的基础上，利用数学方法和计算机技术建立模拟和预测水文过程的数学模型，目前数值模拟方法应用十分广泛；五是假设和推理。假设和推理是自然科学最基础的方法论，在水文学中也得到广泛应用，如水热耦合平衡假设、生态水文最优性假设等。