

灰色系统水文学

—— 理论、方法及应用

夏军 著

华中理工大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



• HUSTP



国家自然科学基金
国家教育委员会“跨世纪优秀人才培养计划”基金
国家教育委员会高等院校博士学科点基金

资助
项目

56.3
468

灰色系统水文学

—— 理论、方法及应用

● 夏军 著

华中理工大学出版社

武汉

00470



图书在版编目(CIP)数据

灰色系统水文学——理论、方法及应用/夏 军 著
武汉:华中理工大学出版社, 2000年6月
ISBN 7-5609-2191-4

I. 灰…

II. 夏…

III. 灰色理论-水文学

IV. P33

灰色系统水文学——理论、方法及应用

夏 军 著

责任编辑:姜新祺
责任校对:蔡晓璐

封面设计:周 莉
责任监印:张正林

出版发行:华中理工大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室
印刷:中科院武汉分院科技印刷厂

开本:850×1168 1/32
版次:2000年6月第1版
ISBN 7-5609-2191-4/P·7

印张:12.75 插页:2
印次:2000年6月第1次印刷

字数:273 000
印数:1—1 000
定价:19.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

灰色系统水文学是运用灰色系统的理论与方法描述和处理水文复杂性和不确定性问题的一门新兴交叉学科。本书是作者十多年来对该学科进行开拓性研究所取得成果的总结。全书共分八章,阐述了独具特色的灰色系统水文学的理论体系,给出了运用灰色系统方法解决全球气候变化与水文模拟的关系、中长期水文预报、流域尺度的水文学系统建模,以及区域水资源保护和管理等一系列水文学难题的实例。

本书可供水文工作者、灰色系统研究者和有关专业的教师、研究生和大学高年级学生阅读和参考。

B3D03/08



序

自然界水文现象的复杂性和水文资料信息的不足,迫使我国水文水资源专家学者对水科学不确定性问题进行了广泛深入的研究,取得了不少带有理论开创性和独具特色的研究成果,如以河海大学、四川联合大学、西安理工大学等为代表提出的随机水文学理论与方法,以大连理工大学等为代表提出的模糊水文学理论与方法和以武汉水利电力大学等为代表提出的灰色系统水文学理论与方法等等,为现代水科学不确定性研究开拓了新的思路和新的途径。

灰色系统是指部分信息已知、部分信息未知或非确知的系统。灰色系统理论于 1982 年由我国邓聚龙教授首先提出,至今已发展成为一门新兴学科。它的特点是从近代系统论、运筹学和广义不确定性研究的观点出发,通过灰集合、灰元素、灰参数、灰结构、灰模型、灰关系以及灰拓扑空间等描述和分析不完全的系统信息的概念和方法,来研究信息不充分条件下的系统建模、预测、决策、评估和控制等问题。近十多年来,灰色系统理论在农业、工业、水利、经济、军事、医学、气象、环境等各个领域得到了广泛应用,取得了许多令人可喜的成果。

本书作者夏军教授从 1984 年开始积极从事水科学不确定性研究,十多年来将灰色系统理论不断地引进他的科学研究领域之中。他在理论方面研究了水文系统中的“灰”概念及其灰集合基础的系统分析原理、水文尺度及灰色系统分析、水文信息理论与信息量度方法、水文灰参数识别与不确定性量度、水文灰色系统模

拟与预测、灰关联模式的识别与灰评估等,从而为本书的撰写打下了理论基础。

《灰色系统水文学——理论、方法及应用》一书运用灰色系统的理论与方法描述和处理水文复杂性和不确定性问题,建立了独具特色的灰色系统水文学的理论体系,给出了运用灰色系统方法解决全球气候变化与水文模拟的关系、中长期水文预报、流域尺度的水文系统建模,以及区域水资源保护和管理等一系列水文学难题的实例。该书是我国第一部运用灰色系统理论与思想描述和处理水文水资源与水环境复杂性与广义不确定性的学术专著,是作者十多年来精心研究的科学总结和开拓性的成果。该书的问世不仅为广大的水文工作者开阔了视野,推荐了新理论和新方法,而且为系统水文学的发展开辟了一条新的途径。

特此为序。

叶守泽(武汉水利电力大学教授,博士生导师)

陈家琦(中国水利水电科学研究院教授,

原国际水文科协(IAHS)副主席)

邓聚龙(华中理工大学教授,博士生导师)

1998年12月

鄧聚龍
叶守泽
PDG

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、循环和运动等的规律,并运用这些规律为人类服务的知识体系。自从科学界公认将水圈、岩石圈和大气圈都从地圈中分离出来,作为地球的独立圈存在以后,水文学的形成就有了基础和地位。当今的国际水文科学协会(IAHS)设立了9个委员会,涉及到地表水、地下水、陆地侵蚀与泥沙、冰雪、水质、水资源系统、水文遥感及资料传输、大气-土壤-植被关系和水文示踪等分支,这些就是水文学主要的研究领域与应用方面。从水文学服务和应用的实际问题看,它关系到与社会经济发展和人类生存密切相关的水多了(洪水灾害)、水少了(干旱缺水)、水脏了(水环境与生态环境)和水资源是否可持续利用等水文学基础和对策管理问题,其覆盖面之广、联系领域之多,说明了它的重要性和应用价值。

传统的水文学只侧重研究自然界水文循环的水量方面,其应用多限于洪水预报、水文水利计算等工程技术问题。随着社会经济的发展,人类对水的需求不断增大,对生活的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,对社会持续发展和人类生命财产造成的损失与付出的代价也愈来愈大。愈是经济发达的地区,水资源短缺、水环境保护以及防灾减灾面临的问题与矛盾就愈尖锐。这对水文学的发展提出了挑战,要求水科学研究者和与水的问题有关的决策者从更大范围和系统论的观点看待一个区域、一个流域乃至整个地球的水文循环规律和社会经济可持续发展所面临的各

种水的问题。

但是,水文现象的复杂性和水文资料信息不足,一定程度上限制了水文学理论的发展。尽管近 40 年来,水文学领域取得了令人鼓舞的进展,但至今学科本身仍有许多重大问题需探讨。换句话说,水文学远不如自动控制理论等其它学科那样成熟。因此,在强调充分利用现代科学技术广泛收集水文信息(包括水文物理过程监测信息)的同时,水文科学方法论的研究,特别是从水文系统的观点和新的方法论认识和处理种种复杂性与不确定性问题的研究,业已在国内外地球物理学科和水文科学界引起广泛的关注。

水文现象的复杂性不仅表现为它在时间尺度和时间方向上的不可逆(不重复性),而且表现为空间上的变异性。从系统论观点看,流域、区域乃至全球的水循环都是高度的非线性、开放性系统,其边界条件和初始条件十分复杂。从信息论观点看,水文循环系统存在诸多的未知或非确知问题,其中不仅包括时间空间水文信息观测不完全,而且还包括很多水文环节尚缺乏有充分依据的第一原理即水文学定律。迄今,在大气与陆面水分、能量交换的尺度问题方面,以及水文循环在生物圈-大气圈-地圈联系的相互作用及流域蒸散发等方面,都还在探索和寻求水文学定律。目前,宏观和中观尺度水文系统研究主要采用半经验或概念性或随机性理论描述,而客观世界中的水文过程则是确定性与不确定性各种成分交织的复杂现象。对此,人们自然会想到:能否针对水文现象这些特性,采用有不确定性元或“软量”问题的水文系统分析方法呢?这是水文学理论与实践中的重要挑战之一。

1982 年,华中工学院(现华中理工大学)邓聚龙教授首先提出了灰色系统的概念及其研究方法。它的问世为探讨水文系统的信息不完全问题提供了新的启示。所谓灰色系统是指部分信息已知、部分信息未知或非确知的系统。有趣的是,水文系统经常具有



这类系统的特征和禀性。例如,从微观尺度到中观尺度的水文问题,主要是属于观测信息不完全的灰色系统问题,其“灰色性”包括由于水文时间与空间观测手段和技术的限制,对复杂的水文变异性采用简单概化模拟所产生的水文模型多样性和参数识别的非唯一性等;当时间空间尺度扩大,水文问题则显露出缺乏水文第一原理等本征性灰色系统特点。又如,在水利水电工程规划设计中,或在流域或区域水资源规划和水环境保护规划中,总会遇到这样或那样的需要处理信息不完全问题的水文计算、模拟、预测和决策等,这些都要求有比较科学的能充分利用人的知识与经验处理“软问题”的水文系统方法论。

针对这样的难题,作者自 1984 年以来,从“水文非线性系统识别及灰色系统方法”的博士论文研究开始,率先提出了建立非本征性水文灰色系统模型的理论与方法,探讨灰色系统水文学的体系与框架。1990 年后,受国家自然科学基金和国家教育委员会高等院校博士学科点基金等项目资助,和学术梯队的同事们一道对灰色系统水文学的理论问题进行了探讨,研究了水文系统中“灰”的概念及其灰集合基础的系统分析原理、水文尺度问题及灰色系统分析、水文信息理论与量度方法、水文灰参数识别与不确定性量度、水文灰色系统模拟与预测、灰关联模式识别与灰评估等。1995 年,作者获国家教育委员会所设立的地球与生命学科领域的“跨世纪优秀人才培养计划”基金资助,进一步开展了全球气候变化中大气与陆面水文循环耦合及聚解(downscaling,也称为下尺度化)问题的灰色系统方法应用研究。从 1991 年到 1996 年,作者完成了水利部科学技术司重点项目“区域水环境质量评价的灰色系统方法应用研究”,并结合海河流域唐山和秦皇岛地区水量水质统一管理的实际问题,取得了系列应用成果;完成了国际地圈、生物圈科学计划(IGBP)核心项目之一的“水文循环的生物圈方面”(BAHC)



专题四阶段研究报告之一“大气环流模式向流域水文模式聚解的灰色系统方法研究”；完成了国家“八五”科技攻关子项目“气候变化对汉江及东江水文水资源的影响研究”中的研究报告“随机-灰色天气模型研究”、国家“八五”科技攻关子项目“黄河三花区间及伊洛河水污染控制优化模型研究”中的“水污染负荷灰色预测与灰色系统污染控制理论与方法应用研究”；完成了流域水文非线性系统模拟、水文极值事件（洪水与干旱）的灰色预测、南方平原水网区水量转化及水资源系统模拟与评价、湖泊和水库水环境模拟与预测、水利水电工程环境影响灰色系统评价等课题。其中的“水文系统识别（原理与方法）”、“水文灰色系统理论及建模预报方法”、“系统识别与灰色系统理论在水文学中的应用研究”、“龙滩水电工程环境影响综合评价方法研究”等多项成果分获水利部、能源部和国家教委科技进步二、三等奖。

本书试图在总结过去研究工作基础上阐述系统水文学中的不确定性研究分支——灰色系统水文学的理论与方法，其目的是为水的问题（水文、水资源与水环境以及可持续发展）研究，提供一种广义不确定性系统分析的途径。

全书共分为八章。

第一章简介了灰色系统水文学提出的背景与依据，以及国际水文学的发展方向，简要概括了灰色系统水文学的体系与任务。

第二章介绍了水文灰色系统的系统概念和作为水文学基础的水文尺度问题，内容包括水文系统的内涵及分类、水文灰色系统的概念、水文尺度问题与灰色系统的联系、水文系统的灰色特性与学术研究思想方法等。

第三章阐述了灰色系统水文学的重要基础——水文系统信息论与信息量度方法，包括系统信息的概念、水文系统信息来源、系统信息的量度、灰色系统差异信息的量度、信息论应用实例等。作

者认为,广义信息论是灰色系统水文学研究和体系建立的基石之一。因此,书中花了一定篇幅讨论水文系统信息及其度量问题,其中有些观点与方法期待通过进一步研究加以完善。

第四章介绍了灰色系统水文学量化研究与应用的重要基础——灰数学方法,包括灰集合、灰数、灰色系统描述的拓广、多因子序列灰关联分析、灰函数特性分析及灰区间映射和灰空间体系框架等。作者侧重讨论了灰数学中的集合及灰数运算分析方法。书中既介绍了灰朦胧集概念,也相当多地阐述了作者在灰区间数方面的研究成果,以及灰数的计算方法,例如,经过改进的灰数四则运算法则及其基本性质等。它们为灰色系统的模拟、系统行为特征的识别、灰色预测和决策提供了可操作的量化方法,为建立灰色系统方法与现行确定性系统分析方法的联系提供了一种途径,也为读者研究灰色系统问题提供了一些必要的数学基础知识。

第二章至第四章是灰色系统水文学的基础部分,也是作者近些年在该领域进行理论与应用基础研究的总结。灰色系统水文学的提出与这些基础研究包括水文学新的理论研究有紧密的联系。当然,书中的信息论和有关的数学工具用得比较多,一些对灰色数学陌生或兴趣不大的读者,也可跳过第四章直接阅读后面感兴趣的应用章节。

第五章论述了宏观尺度气候变化及水文模拟的灰色系统方法。它们包括全球气候变化与水文模拟问题、气候变化及水文循环耦合模拟中的不确定性分析、基于模式识别与灰关联聚类的随机天气模型方法与应用、与天气动力学模型耦合的灰色系统聚解方法与应用等。在全球气候变化及水循环研究中,由于大尺度时间和空间水文信息不完全,灰色问题比较突出,尤其是大尺度天气动力学模型与水文-生态系统的耦合问题等。考虑到一部分水文工作者可能对天气动力学模型还比较陌生,为了使读者能对其有

一个基本的概念,本书还简介了大尺度大气环流模型(GCMs)和中尺度有限区域动力学模型(如MM4)的有关概念,给出了基于灰关联聚类的随机天气模型应用实例,以及与天气动力学模型耦合的灰色系统聚解应用实例。大尺度水文学灰色系统方法的应用是一种新的尝试,它们仍在不断的改进与发展之中。

第六章论述了水文中长期灰色系统预测理论与应用方法。它们包括水文时间序列变异的灰色信息诊断、灰关联模式识别与年月经流量及水文干旱预测、水文时间序列灰色预测、水文灾变事件的灰色预测等。水文中长期预测也属于大尺度和中观尺度水文学研究的范畴,不确定性问题比较突出。水文预测预报在防灾减灾、促进国民经济持续发展中有重要的作用。

第七章论述了流域尺度水文学的灰色系统方法。从灰色系统类别上看,流域尺度的水文系统建模一般属非本征性灰色系统建模范畴。因此,本章首先论述了非本征性灰色系统建模原理;然后介绍了概念性水文模型类的灰参数识别与灰色系统方法在暴雨洪水预报中的初步应用,提出了概念性水文模型类的灰参数识别的技术与思想方法;最后介绍了水文灰色系统微分动态模型(DHGM)类的建模方法及其应用。与大尺度水文学问题相比,现行的流域系统水文学的方法要成熟一些。但是,水文模拟和水文预测预报中的不确定性及信息不完全问题仍然比较突出。灰色系统水文学研究的思想与方法可以与现行水文系统方法互补。

水文学是区域水资源保护和水资源管理的基础。第八章介绍了流域水量水质统一管理新的方法论与灰色系统方法。与传统水文学内容不同的是,本书从水文学应用的目标与对象出发,阐述了水与国民经济可持续发展的关系、可持续水资源管理的新概念、可持续水资源管理的水文学基础与灰色系统方法论(其中包括为可持续水资源规划服务的系统长期变化灰色预测决策、河流水质管

理的灰色非线性规划、区域水环境质量评价的灰关联分析方法等)。为了说明流域水量水质统一管理问题中的水资源保护问题,第八章还给出了淮河蚌埠段有机污染水质处理规划和作者主持完成的“秦皇岛市洋河水库流域水量水质统一管理的应用研究”中水环境质量评价应用实例等。

灰色系统水文学的理论和方法是研究水文水资源与水环境复杂性及广义不确定性的一种新的探索途径。尽管灰色系统理论本身还在发展,目前还存在这样和那样一些需研究和改进的问题,但是它的确为处理水文系统的“灰”问题提供了一种新的启发和学术思想。从系统水文学研究途径的发展看,在国外,1973年J.C.I. Dooge发表了专著《水文系统的线性理论》,1988年美国的V.P. Singh主编了“水文系统丛书”;在国内,1988年丁晶和邓育仁撰写了《随机水文学》一书,1990年陈守煜出版了《模糊水文学与水资源系统模糊优化原理》等专著。作者期望,本书的问世能为水文不确定性系统理论与应用研究开拓一个新的途径,本书的“抛砖引玉”能有助于非本征性灰色系统理论研究的发展。

作者十分感谢恩师叶守泽教授以及刘昌明院士、文伏波院士、张勇传院士、陈家琦教授、沈晋教授和邓聚龙教授等前辈在学术上的鼓励与教诲;感谢国内在水文不确定性研究方面有造诣的知名学者们,如大连理工大学陈守煜教授、四川联合大学丁晶教授、河海大学朱元生教授等在学术上的交流和提出的宝贵意见;感谢华中理工大学出版社为本书出版付出的辛勤劳动;感谢武汉水利电力大学“211工程”学科建设办公室对本书出版的支持。本书得以完成,还要感谢作者学术梯队中的骨干和研究生们的求索精神与良好的合作,特别是胡宝清、史晓新、张祥伟和王中根以及袁秀娟等。书中有一些材料还参考了有关单位或个人发表的论文和书籍,均已在正文或参考文献中列出了出处,在此一并致谢。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金、国家教育委员会“跨世纪优秀人才培养计划”基金和国家教育委员会高等院校博士学位点基金的资助,特在此表示衷心的感谢。

由于灰色系统水文学理论与方法的“年轻”,也由于时间仓促,特别是作者水平所限,虽几经改稿,书中错误和缺点恐在所难免,欢迎广大读者不吝赐教。

夏 军

1998 年 12 月于武汉水利电力大学





作者简介

夏军, 1954年生, 博士, 国家有突出贡献的中青年专家。现任武汉水利电力大学教授、国际水文学协 (IAHS) 水资源系统委员会副主席、国际水资源协会 (IWRA) 常务理事。长期从事水文水资源学科研究, 在系统水文学理论研究和水资源保护及可持续水资源管理量化研究方面做出了成绩。主持完成了国家自然科学基金项目、国家教委博士学科点基金项目和国际水文学合作项目等十余项研究。完成的“水文非线性系统识别”等7项成果分别获省部级科技进步二等奖和三等奖。出版著作和教材7部, 在国内学术刊物发表论文60多篇。

水利学

PDG

水是支撑人类生命和经济增长与发展的最基本的要素之一。它对于用于饮用、卫生、粮食生产、渔业、工业、水力发电、航运、娱乐和许多其它活动目的来说是不可替代的。水对于人类社会赖以建立的大自然的健康运行同样是极为重要的。

——联合国(UN)及世界银行
“全面评估世界水资源”指导委员会, 1997 年

