

模糊水文学

与

水资源系统模糊优化原理

陈守煜 著



大连理工大学出版社

模糊水文学与 水资源系统模糊优化原理

• 陈守煜 著

大连理工大学出版社

2138/B6 17

内 容 简 介

本书是比较系统地论述新学科模糊水文学与水资源系统模糊优化（也称优选）理论、解法方面的专著。其中包括模糊水文学的研究方法论，模糊水文学的基本划分理论与模型，汛期的模糊集模式，年径流序列周期的模糊分析，水体质量的模糊模式识别，中长期径流预报理论模式，径流模糊随机模拟技术，多目标水资源系统模糊优化（优选）理论、模型与解法，模糊优化（优选）动态规划理论与模型，梯级水电站工作深度优选的模糊非线性规划模型等新颖内容。

本书是水文水资源专业，水力发电工程专业水资源开发利用、水能利用与防洪研究方向的研究生专业课教材、教学参考书，亦可供从事水利、水电、水文、水资源系统的规划、设计，水库运行调度部门的工程技术人员与高等院校有关专业的师生阅读与参考。

书中提出的一些新的观点、原理、模型与方法，对其他有关学科领域的模糊集分析研究，也有应用与参考价值。

模糊水文学与水资源系统模糊优化原理

Mohu Shuiwenxue Yu Shuiziyuan

Xitong Mohu Youhua Yuanli

陈守煜 著

大连理工大学出版社出版发行（大连凌水河）。

大连凌水印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：6 $\frac{5}{8}$ 字数：142千字

1990年8月第1版

1990年8月第1次印刷

印数：0001—2000册

责任编辑：许芳春 责任校对：寸土 封面设计：葛明

ISBN 7-5611-0266-6/TP·19

定价：1.50元

前 言

本书比较系统地论述了模糊水文学与水资源系统优化（也称优选）原理与方法。理论与应用兼顾，是作者近年来在水文水资源系统模糊集分析理论研究成果的阶段小结，也是作者1987至1989年两项国家科研基金资助项目即模糊水文学理论与分析（高等学校博士学科点专项科研基金）及水资源系统分析的模糊集原理与方法（国家自然科学基金）主要研究成果的汇总。

模糊水文学新学科的建立，水资源系统模糊优化研究方向的提出，不是偶然的，有着特定的时代要求与背景，这就是：自20世纪60年代中期开始，新的数学学科——模糊数学的建立与发展；目前国内外水资源问题十分突出；水文学从工程水文学发展到水资源水文学阶段，要求水文学解决水资源开发利用中更多的问题。模糊水文学关于汛期的描述与表达，突破了硬性划分汛期起迄时间的传统水文学观点，从而提高水资源的可利用量，缓解水库防洪兴利之间的矛盾提供了理论依据与新的研究途径。在国内外水资源紧缺问题异常突出的情况下，具有重要的理论与现实意义。又如根据模糊水文学的划分原理提出的中长期径流预报理论模式，可利用较多的可供预报决策的信息，特别是预报理论模式中含有前期预报因子的权重，为研究提高中长期径流预报的精度提供了新路。这些研究课题要由模糊水文学来承担。

今天，现实的水资源系统十分复杂，传统的数学规划优化技术常不易求解与适应。为了研究探索解决问题的新途径，作者在模糊水文学划分理论及其模型的基础上，建立了多目标模糊优化（优选）理论与模型、模糊优化（优选）动态规划理论与模型等求解大系统多层次多阶段多目标优化决策问题的理论与解法，提出系统分析、优化与模糊集分析相结合的研究方法论，丰富与发展了水资源系统分析的有关理论与方法。

本书是系统论述模糊水文、水资源学科领域的一本专著，作者相信它将有助于促进水文水资源学科的进一步发展。

由于模糊水文学、水资源系统模糊优化（优选）理论与方法的提出还只有短短几年的时间，因此，本书论述的理论、方法与观点，还需要在实践中检验、补充与发展。可以预言，这一新的学科有着广阔的发展前景。

作者在新学科与研究方向的提出过程中，得到许多同行专家、教授的支持。尤其是大连理工大学李士豪教授、董毓新教授，武汉水利电力学院叶守泽教授、冯尚友教授，河海大学詹道江教授，华中理工大学虞锦江教授，天津大学李惕先教授，华北水利水电学院朱厚生教授，陕西机械学院颜竹丘教授，北京水利电力经济研究所董子敖教授，成都科技大学丁晶教授的支持。

在新学科的研究成果推广与应用过程中，作者得到许多水利勘测、规划、设计与水库管理单位，水利学术团体的支持，尤其是山西省水资源办，太原市水利局、水利学会，山东省科技干部局，山东省水利厅，水电部东北勘测设计院。

松江水利委员会，吉林省水利勘测设计院，延边水利勘测设计院，辽阳市水利局，四平市水利局，大伙房水库管理局，汤河水库管理局，辽宁省水利学会，全国水文水资源科技情报网，东北地区水文水资源科技情报网等单位、学术团体为作者提供讲学与介绍科研成果的良好机会，听取广大水利技术人员宝贵意见。

在新学科研究过程中，作者得到国家自然科学基金委员会，国家教委高等学校博士学科点专项科研基金委员会的资助与支持。

书中某些内容，作者得到大连理工大学水资源研究室王本德副教授，辽宁师范大学数学系赵瑛琪副教授，以及研究生们所提供的有益意见。

于本书出版之际，作者一并表示深切的谢意。

陈 守 煜

1989年9月 于大连理工大学

CONTENTS

Preface

Chapter 1. Mathematical Base of Fuzzy Hydrology—
Fuzzy Partitioning

Chapter 2. Fuzzy Discription and Pattern of Flood
Season

Chapter 3. Period Analysis of Anual Runoff Series
and Determination of Runoff Process

Chapter 4. Theoretic Model of Fuzzy Evaluation
For Water Quality

Chapter 5. Theoretic Model of Mid and Long Term
Runoff Forecasts

Chapter 6. Fuzzy and Stochastic Runoff Imitation

Chapter 7. Theory and Model of Fuzzy Optimization
for Multiobjective Water Resources
Sysms

Channer 8. Fuzzy Optimizing Dynamic Programming
for Water Resources Systems—Theory
and Model of Optimization for Multist-
age and Multiobjective Systems

Chapter 9. Model of Fuzzy Unlinear Programing for
Optimizing Working Depths of Cascade
Hydropower Stations

Chapter10. Uncertain Analysis of Design Parameters
of Anual Regulating Reservoir

目 录

绪论	(1)
一、模糊水文学建立的基础	(1)
二、模糊水文学的研究方法论	(3)
三、水资源系统模糊优化问题的提出	(6)
第一章 模糊水文学的数学基础——模糊划分	(8)
一、概述	(8)
二、模糊划分理论与模型	(8)
三、与ISODATA分类贝狄克迭代公式的比较	(14)
四、特殊的模糊划分——模糊模式识别	(17)
第二章 汛期的模糊集描述与模式	(19)
一、概述	(19)
二、描述汛期的传统模式分析	(19)
三、汛期模糊集模式的建立	(21)
四、应用实例 ^[12] ——大伙房水库主汛期向非汛期过渡阶段限制水位的拟定	(28)
五、水利工程施工围堰控制高程的推算 ^{[13][14]}	(35)
第三章 年径流序列周期分析与径流过程的确定	(37)
一、概述	(37)
二、径流过程的周期分析与模糊假设检验	(37)
三、径流序列周期的模糊分类推断	(41)
四、实例	(44)

第四章 水质模糊评价理论模型	(51)
一、概述	(51)
二、水质模糊评价理论与模型	(52)
三、应用实例与比较分析	(58)
第五章 径流中长期预报理论模式	(67)
一、概述	(67)
二、建模的基础性工作——确定预报因子	(67)
三、径流中长期预报理论模式的建立	(68)
四、预报决策模型	(75)
五、径流中长期预报实例	(76)
六、径流中长期预报模糊控制模式	(82)
七、模糊控制模式实例——大伙房水库汛期入库 径流中长期预报方案的模糊控制模式	(85)
第六章 径流模糊随机模拟技术	(97)
一、概述	(97)
二、模糊典型解集模型	(98)
三、径流划分边界相对稳定性原理	(101)
四、实例	(102)
第七章 水资源多目标系统模糊优化理论与模型	(114)
一、概述	(114)
二、优化的模糊性与相对性	(115)
三、模糊优化理论与模型	(117)
四、模糊优化理论模型的剖析	(120)
五、多目标规划模糊优化模型	(123)
六、作者的指标隶属度计算公式	(127)
七、确定指标权重的有序二元比较法	(128)

八、实例	(134)
第八章 水资源系统模糊优化动态规划——多阶段	
多目标系统模糊优化理论与模型	(147)
一、概述	(147)
二、模糊优化动态规划基本原理	(148)
三、定性指标 (或评价因素) 隶属度的确定	(152)
四、算例	(156)
第九章 梯级水电站工作深度优化的模糊非线性规划模型	(166)
一、概述	(166)
二、梯级水电站工作深度优化的通用模型	(167)
三、梯级水电站工作深度优化的降变量数学规划原理与解法	(172)
四、梯级水电站工作深度优化的模糊非线性规划模型	(173)
五、实例	(178)
第十章 年调节水库设计参数的非确定性分析	(185)
一、概述	(185)
二、确定年调节水库设计年径流量的概率计算法	(185)
三、设计年径流量年内分配的模糊分类法	(193)
四、算例	(195)
参考文献	(198)

绪 论

一、模糊水文学建立的基础

水文现象既有受控于流域的水文气象、自然地理、植被覆盖等确定性因素影响的一面，又具有非确定性（或不确定性）——随机性与模糊性的另一面。水文现象的随机性早已为人们所普遍接受，且在研究与实际水文问题中广泛应用概率统计方法处理水文现象与水文过程的随机性。但水文现象的模糊性作为一种基本的真实，目前还未被人们所普遍认识。事实上，模糊性是排中律的一种破缺，在那里，概念本身没有明确的外延，一个对象是否符合这个概念难以确定，是由于概念外延的模糊而造成划分上的非确定性。只考虑水文现象、水文事件的确定性与随机性分析，常常还不能完善地分析、描述水文现象与表达水文系统的特征。

事实上，汛期与非汛期是不能以某一个时刻来划分的。年径流的“丰”与“枯”，水体质量的“清洁”与“污染”也都找不到明确的界面。现象或事物从差异的一方到差异的另一方，中间经历一个从量变到质变的连续过渡过程，这是差异的中介过渡性，由中介过渡性而产生划分上的非确定性，就是模糊性。水文事件或现象中的模糊性还可以举出很多。洪水、大洪水与特大洪水，流域自然地理条件的“相似”与“相异”，湿润地区、半干旱地区与干旱地区，水汽供应充

分与不充分等等。

为了完整地分析、描述水文现象与表达水文系统的特征，作者于1987年在西安召开的全国水文情报网网员大会上，提出建立模糊水文学这一新的学科体系的研究任务，并得到了高等学校博士学科点专项科研基金的资助。在“模糊水文学”一文^[1]中提出“综合运用系统的成因分析（必然性分析、确定性分析）、概率统计分析（随机性分析）与模糊集分析（可以与随机性分析统称为非确定性分析或不确定性分析）相结合的新的理论分析体系，简称为模糊随机系统分析，研究此理论分析体系与方法的新的水文学科，称为模糊水文学”。因此，模糊水文学区别于其他水文学科的基本特征在于它不仅考虑水文现象、水文事件的系统成因、随机特性，而且还计及水文现象、事件在中介过渡阶段划分中的模糊性。而这种模糊性是客观存在的。恩格斯指出“一切差异都在中间阶段融合，一切对立都经过中间环节而相互过渡”。“辩证法不知道什么绝对分明和固定不变的界限，不知道什么无条件的‘非此即彼！’，它使固定的形而上学的差异互相过渡，除了‘非此即彼’，又在适当的地方承认‘亦此亦彼’，并且使对立互为中介”。这就是模糊水文学学科建立的哲学基础。

任何科学的发展动力来自社会生产实践的需要，来自社会发展的需要。水文科学也不例外。当前由于新技术在水文学科领域中的应用与世界水资源问题的十分突出，水文学不仅作为地球科学，而且要以水资源学的一个基础方面来对待。需要提供水资源系统优化利用的科学依据，包括水资源规划、设计、管理以及有关经济活动中各个方面的水文问

题。水文科学开始进入一个具有时代特征的新阶段，即兼有自然科学、技术科学与社会、经济科学特点的水资源水文学阶段^[2]。在这个阶段中要求水文学回答的问题的复杂性，已大大地超过了地理水文学与工程水文学阶段。要求把地球水资源作为一个整体，研究它在自然状态下的水文规律受到人为干预后，发生怎样的变化，怎样科学地分配水资源以达到整体工程运用方案的优化，这是模糊水文学建立的时代基础。

二、模糊水文学的研究方法论

水文现象、水文事件的模糊性出现在识别和判决过程中，它是反映性的东西，它反映了客观水文现象、事件差异的中介过渡性。由这种中介过渡性产生了划分上的非确定性，从而出现了元素对集合隶属关系的非确定性。例如大连6月10日似乎是“汛期”，但又不完全是“汛期”。因为汛期与非汛期并不存在一个确定的界限，事实上，“汛期”是某特定时期的一个模糊子集（记为 $\tilde{A}$ ）。对于这个集合，不宜指明那些元素 t （时刻）一定属于它，那些元素一定不属于它。而需对每个元素 t 确定一个数 $\mu_{\tilde{A}}(t)$ ，用这个数来表示该元素 t 对“汛期”这个模糊集合 $\tilde{A}$ 的隶属度，即是用隶属度来刻画处于非汛期向汛期（或汛期向非汛期）中介过渡段的元素对差异一方所具有的倾向性，从“亦此亦彼”中提取了“非此即彼”的信息。

现以汛期的模糊集分析为例，来说明模糊水文学的研究方法论——模糊随机系统分析的基本思路。

设给定论域 T 为一年内的时间， t 为 T 中的任意元素，汛期是论域 T 上的一个模糊子集 $\tilde{A}$ 。 $\tilde{A}$ 可用隶属函数加以描述，

即对于任意 $t \in T$, 确定映射

$$\mu_{\tilde{A}} : T \rightarrow [0, 1]$$

$$t \mapsto \mu_{\tilde{A}}(t)$$

$\mu_{\tilde{A}}(t)$ 是元素 t 属于模糊子集 $\tilde{A}$ 的隶属函数。根据模糊子集 $\tilde{A}$, 由非汛期过渡到主汛期, 此时 $\mu_{\tilde{A}}(t)$ 由 0 变到 1, 再由主汛期过渡到非汛期, $\mu_{\tilde{A}}(t)$ 由 1 变到 0 的特点, 按本书第二章中所述, 可将汛期的隶属函数 $\mu_{\tilde{A}}(t)$ 用升半、降半正态分布函数表示如下:

$$\mu_{\tilde{A}}(t) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{a_1 - t}{b_1}\right)^2} & t < a_1, \quad b_1 > 0 \\ 1 & a_1 \leq t \leq a_2 \\ e^{-\left(\frac{t - a_2}{b_2}\right)^2} & t > a_2, \quad b_2 > 0 \end{cases} \quad (0-1)$$

式中 a_1, a_2, b_1, b_2 均为参数。 a_1, a_2 分别为主汛期开始、结束的时刻, 可根据河流所在地区水文气象系统的洪水成因分析确定。参数 b_1, b_2 可按照河流所在地点水利工程的设计洪水标准, 由洪水概率统计分析 (随机分析) 确定。

根据水文随机分析方法, 分别统计河流整个汛期、非汛期至主汛期开始、以及主汛期结束至非汛期三个时期的洪水样本, 进行洪水频率分析计算, 按工程设计洪水标准, 分别确定相应各时期的设计值 (设计洪峰、一定时段内的设计洪量、或设计防洪库容等) (3, 4)。

设各时期的设计值依时间先后为序是 x_1, x, x_2 。显然 $x > x_1, x > x_2$, 则

$$\frac{x_1}{x} = \xi_1 < 1 \quad \frac{x_2}{x} = \xi_2 < 1.$$

令 ξ_1, ξ_2 分别等于非汛期至主汛期开始、主汛期结束至非汛期两个分期时刻 t_1, t_2 的隶属度, 即 $\xi_1 = \mu_A(t_1)$, $\xi_2 = \mu_A(t_2)$ 。隶属函数 $\mu_A(t_1), \mu_A(t_2)$ 所对应的时间 t_1, t_2 , 可以分析较大洪水发生的最早、最晚时间, 发生洪水次数相对较多的时间, 以及综合考虑对工程的防洪安全要求等因素后确定⁽⁴⁾。于是参数 b_1, b_2 可由式(0-1)反求, 其公式分别为:

$$b_1 = \frac{a_1 - t_1}{\sqrt{\ln \frac{x}{x_1}}} \quad (0-2)$$

$$b_2 = \frac{t_2 - a_2}{\sqrt{\ln \frac{x}{x_2}}} \quad (0-3)$$

显然, 由式(0-2)、(0-3)确定的参数 b_1, b_2 , 可使隶属函数式(0-1)符合工程设计洪水标准, 满足工程设计的安全要求。

由上述对汛期的模糊集分析可见, 描述模糊子集汛期 A 的隶属函数 $\mu_A(t)$ 乃是综合运用所研究河流系统的成因分析 (如确定主汛期开始、结束时间的参数 a_1, a_2), 随机分析 (如确定参数 b_1, b_2) 与模糊集分析 (确定汛期的隶属函数 $\mu_A(t)$) 相结合的结果。上述理论分析过程与基本思路, 可作为模糊水文学研究方法论: 模糊随机系统分析的一个例子。

类似这样的例子在模糊水文学中可举出很多。如河流年径流现象既受流域水文气象、自然地理、下垫面等条件的影响, 就控于流域系统水量平衡这一确定性关系的约束, 又要

考虑年径流变化的随机性与年径流丰枯的模糊性。这样可以使设计年径流及其年内分配的确定，建立在理论上比较严格的模糊随机系统分析理论体系的基础上。由此可见，模糊水文学与其他水文学研究方法论的主要区别在于：既考虑水文现象、事件的必然性与随机性，又计及它们在划分、识别与判决过程中的模糊性。建立水文系统的成因分析、随机分析与模糊集分析相结合的新的理论分析体系与方法。

模糊水文学从建立，到该学科的发展与完善，将要经历一段较长的时间，需要经过实践、认识、再实践……的反复过程。但是模糊水文学的产生则是水文学发展到一定历史阶段的客观需要，它有着深刻的哲学基础、时代特点与要求。

三、水资源系统模糊优化问题的提出

世界性水资源问题的尖锐提出，一方面将水文学推进到水资源水文学的新阶段。另一方面，水资源系统本身正面临着系统的复杂性与系统分析最优化技术精确性之间日益突出的矛盾。通常水资源系统是一个多层次，多阶段，多目标，多功能，多因素的复杂系统。作为系统的输入——径流又有随机性与模糊性的非确定性特征。国家对水资源的合理开发与利用，又有着许多要求与规定：我国有关部门提出应从政治、国防、社会、技术、经济、环境生态、自然资源七个方面对水资源开发方案进行综合评价。扎德从实践中总结出这样一条互克性原理：“当系统的复杂性日趋增长时，我们作出系统特性的精确然而有意义的描述的能力将相应降低，直

1
·

至达到这样一个阈值，一旦超过它，精确性和有意义性将变成两个几乎互相排斥的特性”〔5〕。这就是说，复杂程度越高，有意义的精确化能力便越低。因此，需要寻求一种妥善处理与研究解决水资源系统复杂化与系统分析技术精确化之间矛盾的优化原理与方法的新途径，这就是作者提出的水资源系统原理、优化技术与模糊集分析相结合的模糊优化系统分析理论体系与方法论。它与模糊水文学的模糊划分理论与方法密切联系，组成本书的又一重要内容。

在世界与我国水资源问题十分突出，水文学发展到水资源水文学阶段，水资源系统复杂化与系统分析技术精确化之间矛盾日益明显的今天，模糊水文学与水资源系统模糊优化这两个既有区别又紧密联系的新的研究领域，有着十分广宽的发展前景。但是模糊数学这一新的数学学科本身的发展仅有短短二十余年的历史，因此，本书提出的一些论点还有待于在实践中检验、发展与完善。