

Fuzzy Sets Theories and Applications in Environmental Systems

环境系统模糊集 分析理论与应用

熊德琪 著



大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

环境系统模糊集分析 理论与应用

**Fuzzy Sets Theories and Applications
in Environmental Systems**

熊德琪 著

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境系统模糊集分析理论与应用=Fuzzy Sets Theories
and Applications in Environmental Systems/熊德琪著.

—大连:大连海事大学出版社,2001.8

ISBN 7-5632-1498-4

I. 环… II. 熊… III. 环境系统—模糊集理论

IV. X11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 050849 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4728394 传真 4727996)

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连海事大学印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

开本: 850 mm×1168 mm 1/32 印张: 6.5

字数: 163 千 印数: 001~500 册

责任编辑: 陈航 封面设计: 王艳

定价: 16.50 元

本书由

大 连 市 人 民 政 府 资助出版
大连海事大学学术著作出版基金

The published book is sponsored by

The Dalian Municipal Government

and

The Academic Works Publishing Foundation of
the Dalian Maritime University

内 容 提 要

本书较系统地介绍了能有效解决环境系统科学领域中预测、评价、控制、规划和决策等问题的模糊集分析理论、方法以及应用。内容包括环境系统中的权重概念及其确定方法、环境污染程度预测的模糊聚类划分理论和模糊神经网络 BP 模型、环境质量评价模糊识别理论、多指标多层次模糊决策理论模式、多目标多阶段系统控制模糊优选动态规划方法、水污染控制系统模糊规划与决策分析方法等。各种理论和分析方法紧密结合实际问题,每一部分都列举应用实例深入浅出地加以说明,因而通俗易懂,实用性强。

本书可作为理工科院校环境工程、环境管理、环境科学、系统工程等专业方向的高年级本科生、研究生的有关课程教材和教学参考书,也可以供从事环境保护、市政规划建设及模糊数学应用研究的有关人员阅读参考。

前 言

自从美国的控制论专家 L. A. Zadeh 于 1965 年创立了模糊集理论学这个新的分析理论之后,迄今虽然只有短短三十几年的时间,可是模糊集理论的发展却异常迅速,其应用范围也在急剧扩大,显示了旺盛的生命力。实践已经证明,模糊集理论在人文、社会、经济、医学等领域有很好的适宜性,是一个新的有力工具,在现代科学技术中的应用也已取得一些成效,其中关于人工智能的研究尤为世人所瞩目。

目前环境污染、资源浪费和生态破坏等环境问题与人类可持续发展之间的矛盾日益突出,严重阻碍了经济发展和人们生活质量的提高。环境系统科学肩负着从全局性和综合性出发解决复杂环境系统的各类问题并尽量使系统达到优化的重任。模糊概念和模糊性现象是环境系统中客观而普遍存在的自然属性,大量概念的中介过渡性以及系统复杂性与精确性之间的矛盾都导致了环境系统中模糊性的广泛存在,而实践证明经典的数学分析方法常常难以对模糊性进行恰当的描述。近几年来,作者在自己的专业范围内,对运用模糊集理论这一工具解决某些问题进行过一些探讨。在这些工作中我体会到,在环境科学及环境系统科学的研究对象中,存在着许多模糊性现象和模糊性因素,并且有时表现得还很突出,因此,应该说模糊数学对于这些学科有一定的适用性。不过,由于自然科学传统的模式及研究方法在人们的头脑里已根深蒂固,很难一下子改变“非此即彼”的二值逻辑观念,再者,也由于模糊数学本身还处于年轻的发展时期,其理论体系尚未完全形成,所以目前模糊数学的理论和方法并未被人们普遍认识和接受,而且环境科学本身也是一个综合性很强的新兴交叉学科。在此情况下,探索在宏观的物质运动过程及环境领域中的模糊性现象及其表现形式,研究如何把模糊集理论应用于更有效地解决环境科学的各种复杂问题,就成为一项迫切的任务和崭新的课题。

模糊集理论在环境科学领域中的应用研究是 20 世纪 80 年代初在国内外逐步兴起的,综观现有的研究成果,环境系统中的模糊数学分析方法的应用研究成果虽已有不少,但毕竟只有十几年的发展时间,还很不成熟,存在着应用范围不平衡、盲目照搬套用以及分析方法比较单一和不完善等缺陷,特别是缺乏系统性的研究与应用,需要不断地丰富和发展。

作者在博士学位论文的基础上将近几年的有关研究工作加以归纳整理,汇成此书。书中较系统地介绍了能有效解决环境系统科学领域中预测、评价、规划和决策等问题的模糊集分析方法及其应用。内容包括环境系统中的权重概念及其确定方法、环境污染程度预测的模糊聚类划分分析方法和模糊神经网络 BP 模型、环境质量评价模糊识别分析方法、多指标多层次模糊决策分析方法、多目标多阶段系统控制模糊优选动态规划方法、水污染控制系统模糊规划与决策分析方法等。各种理论分析方法紧密结合实际问题,每一部分都列举应用实例深入浅出地加以说明,因而通俗易懂,实用性强。本书的主旨是要向读者介绍一些模糊集分析方法在环境系统科学领域渗透的某些侧面,而且还希望能启发一种创新的思路,为采用模糊集分析新方法研究解决环境科学领域的某些课题提供有益的参考。

本书在写作过程中得到了陈守煜教授、殷佩海教授等老师的关怀和指导。本书的出版得到大连市人民政府和大连海事大学的资助,在此深表谢意。

由于作者水平有限,书中的缺点和错误在所难免,希望能得到读者的批评和指正。

熊德琪

2001 年 3 月

目 录

绪论	(1)
第 1 章 模糊集合论基本知识	(9)
1.1 普通集合及其运算	(9)
1.2 模糊集合基本理论	(11)
参考文献	(24)
第 2 章 环境系统权重概念及其确定方法	(25)
2.1 权重概念和定权过程	(25)
2.2 有序二元比较法确定权重	(28)
2.3 多人或群组时权重的综合确定	(35)
2.4 应用举例	(37)
2.5 结语	(39)
参考文献	(40)
第 3 章 环境污染程度模糊预测理论模式与应用	(42)
3.1 环境预测方法概述	(42)
3.2 环境污染程度预测的模糊聚类划分理论	(49)
3.3 环境污染程度预测的模糊神经网络 BP 方法	(59)
3.4 二氧化硫(SO_2)浓度预测应用实例	(66)
3.5 结语	(73)
参考文献	(75)
第 4 章 环境质量评价模糊识别理论与应用	(78)
4.1 环境质量综合评价方法概述	(78)
4.2 目前常用的环境质量模糊评价方法	(80)
4.3 环境质量评价模糊识别分析理论	(88)

4.4	应用实例一——大气环境质量模糊评价·····	(95)
4.5	应用实例二——海水富营养化程度模糊评价·····	(98)
4.6	区域性环境质量多级模糊评价模式·····	(102)
4.7	结语·····	(109)
	参考文献·····	(109)
第5章	环境系统多指标模糊决策分析理论与应用·····	(115)
5.1	前言·····	(115)
5.2	模糊决策理论与模式·····	(117)
5.3	治理方案选择应用举例·····	(124)
5.4	船舶油污损害赔偿评估应用实例·····	(126)
5.5	多层次模糊决策模式·····	(131)
5.6	污染风险评价应用实例·····	(133)
5.7	结语·····	(138)
	参考文献·····	(139)
第6章	多目标多阶段系统最优控制的模糊优选动态规划方法·····	(142)
6.1	动态规划法简介·····	(142)
6.2	多目标多阶段系统模糊优选动态规划方法·····	(149)
6.3	应用算例·····	(153)
6.4	结语·····	(157)
	参考文献·····	(158)
第7章	模糊约束水污染控制系统规划·····	(159)
7.1	单目标模糊规划方法概述·····	(159)
7.2	模糊约束条件下水污染控制系统单目标规划·····	(162)
7.3	应用实例·····	(168)
7.4	结语·····	(172)
	参考文献·····	(173)

第 8 章 水污染控制系统多目标模糊规划与决策	(176)
8.1 多目标模糊规划方法概述	(176)
8.2 水库与水污染控制系统多目标规划	(179)
8.3 模糊规划与决策	(182)
8.4 应用举例	(184)
8.5 结语	(189)
参考文献.....	(189)

Contents

Introduction	(1)
Chapter 1 Basic knowledge of fuzzy sets theory	(9)
1.1 General sets and computation	(9)
1.2 Basic theory of fuzzy sets	(11)
References	(24)
Chapter 2 Concept, characteristics and determination of weights in environmental systems	(25)
2.1 Concept and determination of weights	(25)
2.2 Sequential pair wise comparison method of weights determination	(28)
2.3 Weights determination method with a group of people	(35)
2.4 Case study	(37)
2.5 Summary	(39)
References	(40)
Chapter 3 Fuzzy prediction methodologies for environmental pollution	(42)
3.1 Brief introduction of environmental prediction methods	(42)
3.2 Fuzzy classification theory of environmental pollutant concentration prediction	(49)
3.3 Fuzzy neural network methodology for environmental pollutant concentration prediction	(59)
3.4 Case study of SO ₂ concentration prediction	(66)
3.5 Summary	(73)
References	(75)
Chapter 4 Fuzzy recognition theoretic model and application of environmental quality assessment	(78)

4.1	Brief description of environmental quality assessment	(78)
4.2	Main fuzzy sets methods of environmental quality assessment	(80)
4.3	Fuzzy recognition theory of environmental quality assessment	(88)
4.4	Case study 1; air quality fuzzy assessment	(95)
4.5	Case study 2; seawater eutrophication fuzzy assessment	(98)
4.6	Multi-step fuzzy assessment theory of regional environmental quality	(102)
4.7	Summary	(109)
	References	(109)
Chapter 5 Fuzzy decision making theoretic model for multi-criteria environmental system		
5.1	Forward	(115)
5.2	Fuzzy decision making theory	(117)
5.3	Case study of treatment alternative selection	(124)
5.4	Case study of shipboard oil spill damage assessment	(126)
5.5	Fuzzy decision making model for hierarchical process	(131)
5.6	Case study of risk assessment of potential pollution accidents	(133)
5.7	Summary	(138)
	References	(139)
Chapter 6 Fuzzy optimization dynamic programming technique for multi-objective and multi-step systems		
6.1	Brief description of dynamic programming technique	(142)

6.2	Fuzzy optimization dynamic programming for multi-objective and multi-step systems	(149)
6.3	Case study	(153)
6.4	Summary	(157)
	References	(158)
Chapter 7 Objective programming of water pollution control systems under fuzzy constraints		
7.1	Brief description of single objective programming	(159)
7.2	Objective programming of water pollution control under fuzzy constraints	(162)
7.3	Case study	(168)
7.4	Summary	(172)
	References	(173)
Chapter 8 Fuzzy multi-objective programming and decision making for water pollution control systems		
8.1	Brief description of multi-objective programming	(176)
8.2	Multi-objective programming for water pollution control systems and reservoirs	(179)
8.3	Fuzzy programming and decision making	(182)
8.4	Case study	(184)
8.5	Summary	(189)
	References	(189)

绪 论

模糊概念和模糊性现象是环境系统中客观而普遍存在着的自然属性,大量概念的中介过渡性、硬性划分标准的不合理性、研究过程中不可避免地对复杂系统的抽象简化、对客观事物认识的局限性,以及系统复杂性与精确性之间的矛盾都导致了环境系统的模糊性,因此重视模糊集分析理论与方法在环境系统中的合理应用研究有助于环境系统科学的发展。

(1) 模糊性是事物的自然属性

在客观事物中存在着两种不确定性,一种是事件本身有着明确的含义,但是事件的出现与否表现出不确定性,这种不确定性称为随机性;另一种则是事物本身在概念上就是不清晰的,没有精确的定义和明确的外延,一个对象是否符合这个概念也是难以确定的,这种不确定性称为模糊性。概率论研究和处理随机性问题,模糊数学研究和处理模糊性问题,二者都属于不确定性数学,它们之间有着深刻的联系,但又有着本质的不同。

模糊概念和模糊性现象是客观世界的一种自然属性,在日常人们的自然语言里大量存在,俯拾皆是,在科学技术领域中也 very 常见,例如“好”与“坏”、“美”与“丑”、“大”与“小”、“高”与“矮”、“冷”与“热”、“青年”与“老年”、“健壮”与“瘦弱”、“贫瘠”与“肥沃”、“丘陵”与“平原”、“多云”与“阴天”等等。这些概念的本身具有不确定性,两个对立概念之间没有绝对清晰分明的界限,有时给出一些数量界限,那也是人为的,并非概念本身的本质属性,其模糊性是十分明显的。具有模糊性质的事物或现象、概念在环境系统领域中同样是大量存在着的,如环境质量的“清洁”与“污染”之间并不存在

明确的数值界限;污染物浓度的“高”与“低”、治理方案的“优”与“劣”、指标在决策或评价中地位的“很重要”与“较重要”、污染事故的危害性和风险性的“大”与“小”等等,都无法用确定的界限加以贴切的划分。

(2) 中介过渡状态伴随着模糊性

物质的运动从一种状态向另一种状态转变时,一般可能采取突变和渐变这两种形式。突变在哲学上称为飞跃,是一种质变,法国数学家 Rene. Thorn 在 1968 年曾建立了数学上的突变理论,系统地论述了有关突变的问题,并经过严密的数学推导,得出了自然界中的各种突变只有 7 种基本方式的结论。由此可见,对于突变,可以应用数学语言进行描述和刻画。在客观世界中,物质运动两种状态的转变采取渐变的形式更为普遍,并且往往都要经历一个中介过渡的过程。如果两个互有联系的概念之间缺乏清晰分明的界限,或者是不能“一刀切”,也是中介过渡的一种表现,比如“年轻”与“年老”、“清洁”与“污染”、“多云”与“阴天”等等,在它们之间均有一个从量变到质变的中介过渡。处于中介过渡状态的物质运动,其共同的特点是“亦此亦彼”和“非此非彼”,而不是决然的“非此即彼”,故它是一种带有模糊性的现象。这些概念间客观存在着差异,但差异不是绝对的,从差异的一方到另一方没有明显的界限,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。由差异的过渡性而产生的划分上的非确定性就是模糊性。因此模糊性不是由于人的主观认识达不到客观实际而造成的,而是事物的一种客观属性,是事物之间的差异存在着中间过渡过程的结果。对于有些场合的中介过渡状态,已有比较深入的研究分析,但是也有一些物质运动的中介过渡过程常常被人们所忽视,或者只是做一些概略的简单化处理,这显然是不适宜的。模糊数学具有描述中介过渡状态物质运动的特长,是一个有力的工具。对于中介过渡这一模糊性现象进行模糊数学处理,还可在一定程度上得出某些确

定性的结果,从而可使环境系统科学、工程科学中存在着的精确性与模糊性之间的矛盾得到协调解决。

(3) 硬性划分标准的不合理性

环境系统科学的特点之一是要求数量化,如各种环境标准,一般要通过实验或其他方法,结合理论分析或经验总结,提出一些确定性的数值,作为规划、判别或分级分类的标准,成为规范。这些数值有时是一个值点,有时则是一个限定的变动区间(如 pH 值)。如将大气环境质量标准规定的 SO_2 的浓度 0.5 mg/m^3 作为重污染级和一般污染级的分界,只是一种人为的划分而已,浓度为 0.51 mg/m^3 时为重污染级,浓度为 0.49 mg/m^3 时就应归属于一般污染级,而二者在数值和污染程度上几乎没有差别,上述的硬性区分显然不合理。这实际上是把一些复杂的模糊性现象简单化地处理成了清晰现象,两种类别和两种状态之间的边界本来是游移的,可是这里却把它们“一刀切”。这种人为的硬性划分的处理方法,不仅会造成环境质量评价的不合理,而且容易给诸如污染控制系统优化等工程设计规划问题带来泯灭最佳方案或较优方案的后果,造成经济上的损失。解决这一矛盾的方法,从当前来说,只要在工程规划设计中用模糊约束边界来代替人为硬性划分的清晰约束边界,就能有所改善。

(4) 系统的抽象简化产生模糊性

环境系统工程的主要内容包括环境系统模型化和环境系统最优化两个方面。环境系统的模型化是研究描述环境系统主要功能的逻辑模型(定性的)和数学模型(定量的)。通过实际资料统计分析建立的数学模型,谓之经验模型;通过理论分析和参数实验建立的数学模型,称为理论模型。环境系统是复杂的,所以往往根据实际情况将其抽象简化为理论模型,并导入经验公式或数据进行补充,环境系统的主要性质和参数可以通过实验模式或计算机模拟来确定,例如复杂的河流污染排放系统就可以简化为一维河流水

质规划问题。对研究对象进行科学的抽象、合理的简化是正确的和必要的,因为它可以在一定范围内反映客观事物运动的实际,突出主要矛盾,抓住事物的本质属性。应用传统的经典数学工具进行分析,求得其发展变化规律的精确解,这对于认识事物的运动是有重大作用的。但是,与此同时也应该看到,抽象简化的模型毕竟只是一种近似,它与客观事物的实际并不等同,所以仅有相对正确的意义。须知,任何科学假设和理论都有其基本的局限性,环境系统科学也不例外。抽象简化模型与客观事物实际之间的矛盾总是存在的,在工程设计中常常要采用一些修正系数或加上一些安全系数就是这种矛盾的反映。只有正确地认识抽象简化模型的相对合理性和与客观实际之间的这种矛盾,才能使我们的思想不被禁锢,永远保持从实际出发,深入认识世界和探索创新。抽象简化模型只具有相对正确的意义,一个重要的依据是它略去了一些在某种场合被认为是次要的影响因素,如果情况一旦改变,这些所谓的次要因素的影响变得不可忽略时,那么,原来的抽象简化模型便可能从正确转化为不正确。值得注意的是,在那些被略掉的因素中,有的的确属“次要”,而有的则是由于带有不清晰不分明特点,难以建立准确的函数关系才被舍弃的,这后者就属于模糊性的范畴了。

(5) 环境系统的复杂性意味着模糊性

模糊数学的创始人 L. A. Zadeh 曾经从实践中总结出一条“互克性”或“不相容”原理:“当系统的复杂性日趋增长时,我们做出系统特性的精确而有意义的描述的能力将相应降低,直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。”这是由于科学不断深化,并且又发生了多方面的横向交叉,使得研究对象越来越复杂而引起的一种矛盾。著名模糊数学专家汪培庄教授在其《模糊集合论及其应用》一书中讲得更为透彻具体:“这就是说,复杂程度越高,有意义的精确化能力便越低。复杂性意味着因素众多,当人们不可能对全部因素都进行考察,而只