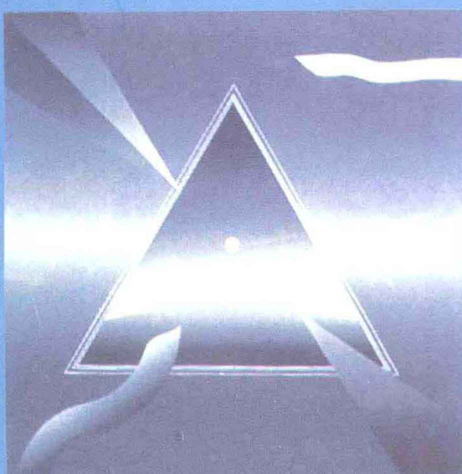
模糊理论及其在机械制造中的应用



万光珉　李小俚　编著

云南科技出版社

模糊理论及其在机械制造中的应用

[illegible] 编著

云南科技出版社

责任编辑：　王建明　史　青
封面设计：　西　里
责任校对：　叶水金

模糊理论及其在机械制造中的应用

万光珉　李小俚　编著

云南科技出版社出版发行（昆明市书林街100号）
云南教育印刷厂印装

开本：850×1168 1/32　印张：10.5　字数：260千
1997年12月第1版　　1997年12月第1次印刷
印数：500

ISBN 7-5416-1084-4/TH·15　　定价 21.80元

本书受云南省学术著作基金委员会资助

云南省应用基础研究基金课题资助

内 容 提 要

本书深入浅出地介绍了模糊理论的基本知识、新思想、新方法及其在机械制造中的应用。主要内容有：模糊数学的基本理论、模糊关系、隶属函数的确定、模糊综合评判、模糊优化设计、模糊决策、模糊模式识别、模糊聚类分析、模糊可靠性分析及设计、模糊控制及应用。此外，在各种方法中都列举了模糊数学方法在机械制造中应用的实例。附录中还列出了一些模糊运算程序。因此，本书理论联系实际，内容丰富，实用性较强。

本书可作为工科院校高年级本科生、研究生、教师以及工程技术人员和研究人员的读物，亦可供对模糊理论及其应用感兴趣的读者参考。

前　言

模糊理论是在模糊数学基础上发展起来的一门新学科，经过近些年来的发展，已经形成为一门新的应用技术学科，并渗透到各个学科领域，如：人工智能、管理信息、机械制造、自动化控制等等，应用相当广泛。

近代，发达国家非常重视模糊理论及其应用研究。国外有学者预言21世纪将是模糊理论发展和应用的时代。美国在1988年就开始研讨模糊逻辑和神经网络相结合的问题，法国也顺应地成立神经模糊研究所，德国也把模糊理论作为一个重要的研究课题之一，日本在1989年成立了国际模糊工程研究所，并就模糊理论的研究开发制订了长远的规划，热点是模糊计算机的研制。

70年代以来，我国学者在模糊理论领域中，做了大量工作并取得较多成果，部分理论处于国际领先地位。但我国在模糊理论应用方面还有差距。为了尽早地把模糊理论应用到实际生产中，提高产品档次，开发新产品，取得国际市场竞争力，在吸取我国学者的科研成果基础上，融合我们的科研成果，编著此书，以此来迎接伟大的模糊技术时代的到来，充实和完善模糊理论的应用，从而为机械制造业增添理论基础并扩大应用范围，使我国机械制造业迈上新的台阶。

本书的主要内容有：(1) 模糊综合评判及模糊决策。主要讨论机械设计中的参数和类型的选择，产品质量、材质、方案选取，加工工艺优化，产品的性能评价，设计方案的决策等等；(2) 模糊模式识别及模糊聚类分析。主要讨论机械加工状态识别、刀具磨损和破损识别，加工质量的优劣、切削加工状态稳定

与否、材料的切削加工性及可磨削性分析等等；(3) 模糊优化设计。主要讨论机械零部件，机械系统分析研究，确定设计的优劣标准、材料强度及适用范围，通过合理给定约束函数、目标函数、模糊分布函数来体现专家的经验、观点和某些公认的设计准则；(4) 模糊可靠性分析和设计。利用模糊矩阵进行失效模式分析、模糊综合评判对多状态系统进行可靠性评价、模糊概率对其有多种失效模式的零件和系统进行可靠性设计等等。附录中列出了一些我们编制的模糊运算程序。

由于书中讨论的是一门新的学科领域，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

本书是云南省应用基础研究基金资助项目的研究成果，成文后又获云南省自然科学出版基金的资助，现又蒙云南科技出版社社长杨新书、总编辑单沛尧、责任编辑王建明、史青的大力支持出版。

1986年我国著名模糊理论专家汪培庄教授曾建议本书作者从事模糊理论在机械工程中应用的研究，并提供有关思路和资料。CIRP正式会员、中国高校金属切削研究会理事长、哈尔滨工业大学博士生导师袁哲俊教授和昆明理工大学张振良教授以及云南师范大学范继美教授对本书的编写和出版给予了大力支持。在此，我们怀着崇敬的心情，衷心感谢支持本书编写和出版的各位领导和同志。本书中引用了我国科技工作者的一些成果，在此一并致谢。

编著者

1995年3月于昆明莲花池畔

序

近年来，模糊理论在工程中获得广泛地推广应用，取得了较多的具有实用价值的成果，但由于模糊数学是一门较新的学科，其在机械制造方面应用的专著还较少，昆明理工大学机械系万光珉教授和其硕士生李小俚同志编著的《模糊理论及其在机械制造中的应用》一书，深入浅出地介绍了模糊理论及其在机械制造中的应用情况，是国内第一本系统全面地介绍模糊理论在机械制造中应用的专著。

该书深入地介绍了作者在这方面的研究成果和见解，例如：模糊数学的隶属函数的确定；模糊图论应用于机械加工工艺；金属切削刀具磨损模糊模式识别；金属切削刀具的模糊可靠性等等。为了便于读者推广应用模糊理论，作者精心编制了目前使用较多的模糊应用程序软件包，因此，该书具有较高的理论意义和应用价值。

万光珉教授从事机械制造的教学和科研近 40 年，有丰富的教学和科研经验以及高水平的科研成果，深感机械制造的发展需要新的理论来充实，他曾编著《位错理论及其在金属切削中的应用》一书（1991 年上海交通大学出版社出版，曾获云南省科技进步奖），现在他和他的硕士研究生李小俚同志历时三年编著成此书。作为我的博士生李小俚同志，目前致力于模糊理论在机械加工自动化领域中的研究，尤其在模糊理论与神经网络以及小波理论三者的融合方面取得可喜的成果，具有极高的应用价值，发表了较高水平的学术论文多篇，将是一位很有发展前途的年轻学者。总之，二位作者在这方面有较深的学术造诣，我非常乐意推

荐此书并为之作序，相信本书的出版对我国机械制造业的发展有一定的理论指导价值。同时也热切希望更多的专家学者为机械制造这门基础学科加肥添土，让它吸取各种新思想，新方法的营养，更加根深叶茂。

CIRP（国际生产工程研究会）正式会员
中国高校金属切削研究会理事长　　　**袁哲俊**　教授
哈尔滨工业大学博士生导师

1996 年 5 月于哈尔滨

目　　录

第一章　模糊数学理论基础

自从美国控制论专家扎德(L. A. Zade)教授于1965年发表了"Fuzzy Sets"的开拓性论文后,模糊集合的理论和实际应用获得了广泛迅速地发展．一门新的数学分支——模糊数学问世,它新颖的思想和方法已渗透到许多学科领域,显示出巨大的发展潜力．

本章介绍模糊集合论的基本知识、模糊数学的基本原理、模糊数及模糊性度量、模糊概率、模糊逻辑等知识．

§1－1　普通集合及其存在的问题

一、集合及其表示法

1.集合的基本概念

集合是称之为"数学语言"满足真伪性,即只有两种可能:"非真即伪";"非此即彼". 我们把适应这种数学语言的对象称之为经典集合论中的各种集合．

在研究实际问题时,常对局限于一定范围内的事物全体称为论域,用 U 表示．

组成论域 U 中的每个事物 U_i 称为论域 U 的元素,具有共同特性的元素 U_i 构成一个集合 A,显然,论域 U 是一个大集合,由多个 A_j 子集合构成．设论域 U 中有一集合 A 和一给定的元素 u,若 u 只具有集合 A 的特性,则

$$u \in A$$

否则

$$u \mathrel{\bar{\in}} A$$

很明显，在一设定的论域中，任意一个元素 u 和任意一个集合 A 之间的关系是：要么 $u \in A$；要么 $u \mathrel{\bar{\in}} A$；二者必居其一，而且仅居其一．这就是古典集合论的最基本的要求．

2. 集合表示方法

如果集合 A 的元素个数有限时，或者可以按照某个规则列举出集合 A 的元素，则通过列出各个元素来表示集合，这种方法称为枚举法．如

$$A = (a, b, c)$$

只要两个集合含有的元素完全相同，则不论元素的排列顺序如何，其表示的都是同一集合，这样，上式也可表示为

$$A = (a, c, b) \text{ 或 } A = (b, a, c)$$

我们把这个性质称为集合元素的可互换性．

如果集合 A 的元素个数是无限的，或不能按某个规则列举出集合 A 的任一元素，则只有通过描述集合元素的共同特征来表示集合，这种方法称为描述法．

若存在一集合 A，给定一性质 P，当 A 集合中的元素具有性质 P，则集合 A 可记之为

$$A = (x \mid P(x)) \tag{1.1}$$

二、子集、空集、全集

1. 子集

设 A、B 是同一论域中的两个集合，如果属于集合 A 的元素都属于集合 B，则集合 A 为集合 B 的一个子集，记为

$$A \subseteq B \text{ 或 } B \supseteq A \tag{1.2}$$

称式中“$\subseteq$”为包含关系．

如果集合 A、集合 B 满足下列两式

$$A \subseteq B$$

$$A \supseteq B$$

则

$$A = B$$

即说明两集合是等同的.

设 A、B 是同一论域中的两个集合,如果属于集合 A 的元素都属于集合 B,同时集合 B 的元素有不同于集合 A 中的元素,则称集合 A 为集合 B 的一真子集,记为

$$A \subset B \tag{1.3}$$

2. 空集

在论域 U 中,存在不含任何元素的集合,称之为空集,记为 Φ.

[例] 设 A 为实数论域 U 中一集合,且 $A = \{x \mid x^2 + 1 < 0\}$,显然,集合 A 中无任何元素,即集合 A 为空集($A = \Phi$),其含义是在实数论域上不存在元素 x 满足方程 $x^2 + 1 < 0$.

当然,空集是任何集合的真子集(除空集外).

3. 全集

在集合论中,把论域 U 的一切子集构成的集合称为全集,记为 I,显然,任何一子集 A,有下式

$$\Phi \subseteq A \subseteq I \tag{1.4}$$

成立.

三、集合的基本运算及性质

1. 并集

设 A、B 为同一论域 U 上的两集合,由集合 A 和集合 B 两者所有的元素构成的集合,称之为集合 A 与集合 B 的并集,记

$$A \cup B$$

或记为

$$A \cup B = (x \mid x \in A \text{ 或 } x \in B) \tag{1.5}$$

2.交集

设 A、B 为同一论域 U 的两集合，由集合 A 和集合 B 所公共元素组成的集合，称之为集合 A 和集合 B 的交集，记为

$$A \cap B$$

或记为

$$A \cap B = (x \mid x \in A \text{ 且 } x \in B) \tag{1.6}$$

3.补集

设 A 为论域 U 中的一子集，I 为全集，则由论域 U 中不属于 A 集的所有元素构成的集合称之为集合 A 的补集，记

$$\overline{A} = I - A$$

或记为

$$\overline{A} = (x \mid x \notin A, \text{但 } x \in I) \tag{1.7}$$

4.集合运算

设 A、B、C 三集合都为论域 U 的三子集，那么有如下性质：

(1) 幂等律：$A \cup A = A, A \cap A = A$; (1.8)

(2) 交换律：$A \cup B = B \cup A, A \cap B = B \cap A$; (1.9)

(3) 结合律：$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$,
$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$; (1.10)

(4) 吸收律：$(A \cup B) \cap A = A$,
$(A \cap B) \cup A = A$; (1.11)

(5) 分配律：$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$,
$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$; (1.12)

(6) 复原律：$\overline{\overline{A}} = A$； (1.13)

(7) 对偶律：$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$，

$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$； (1.14)

(8) 互补律：$A \cup \overline{A} = I, A \cap \overline{A} = \varnothing$； (1.15)

四、隶属函数

1. 隶属函数概念

设集合 $U = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$，$A = (u_2, u_3)$，$B = (u_3, u_4, u_5)$，显然，$A$、$B$ 都是集合 U 的子集．现在为了表明 U 中的元素哪些是集合 A 或 B 的元素，规定

$$\begin{cases} u_i \in A \text{，记为}(u_i \mid 1) \\ u_i \notin A \text{，记为}(u_i \mid 0) \end{cases}$$

于是可定义一特征函数

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 1 & u \in A \\ 0 & u \notin A \end{cases} \tag{1.16}$$

把特征函数 $\mu_A(u)$ 称之为隶属函数．显然，当 u 属于集合 A 时，u 的隶属度 $\mu_A(u) = 1$，表示 u 绝对隶属于 A；当 u 不属于 A 时，u 的隶属度 $\mu_A(u) = 0$，表示绝对不隶属于 A．

隶属函数的引入是集合论中的一大革命，把集合转化为函数，使繁杂的集合运算变为简单易行的函数运算．

2. 隶属函数的运算性质

隶属函数主要的运算性质如下：

(1) $A \subseteq B \Longleftrightarrow \mu_A(u) \leqslant \mu_B(u)$，如图 1－1 所示．

(2) $\mu_{A \cup B}(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u))$，如图 1－2 所示．

(3) $\mu_{A \cap B}(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u))$，如图 1－3 所示．

(4) $\mu_{\overline{A}}(u) = 1 - \mu_A(u)$，如图 1－4 所示．