

复杂机械结构

模糊优化方法及工程应用

赖一楠 吴明阳 赖明珠 编著

Fuzzy Optimal Method of
Complex Mechanical Structure
and Engineering Application



科学出版社

www.sciencep.com

TH122/805

2008

复杂机械结构模糊优化方法 及工程应用

**Fuzzy Optimal Method of Complex Mechanical
Structure and Engineering Application**

赖一楠 吴明阳 赖明珠 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书应用模糊理论解决机械结构的优化设计问题。内容包括模糊设计的基本知识、模糊结构优化方法和算法改进、模糊有限元应用、协同设计、仿真和优化实例、模糊可靠性设计、模糊综合评判实例、模糊理论在其他领域的应用。全书无论是知识、数据、模型及实例,都紧密结合工程实际,紧紧围绕这个中心展开,组成一个统一的有机整体,体现了基础知识与科研成果及发展新动向间的密切结合。

本书可以作为从事机械工程研究、设计和应用的广大科技工作者、高等院校的教师、学生学习模糊优化设计的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

复杂机械结构模糊优化方法及工程应用 = Fuzzy Optimal Method of Complex Mechanical Structure and Engineering Application/赖一楠,吴明阳,赖明珠编著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-020382-3

I. 复… II. ①赖…②吴…③赖… III. 机械设计:最优设计
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 035251 号

责任编辑:姚庆爽 于宏丽/责任校对:桂伟利

责任印制:刘士平/封面设计:耕者设计工作室

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 3 月第一次印刷 印张: 15 1/2

印数: 1 3 000 字数: 299 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

无论是在社会科学或是自然科学以及工程技术领域,模糊性现象都普遍存在的,特别是机械结构设计中,设计概念的产生、设计参数的选取、目标函数的评价、约束条件的允许范围以及工况等实际上都含有不同的模糊性。本书来自作者多年来从事机械结构优化设计研究的实践、近年来的一些学习体会和部分研究成果,并参考了一些国内外学者的论文和著作。

全书内容分8章,第1章介绍了结构模糊优化设计的研究现状;第2章介绍了结构模糊优化所涉及的基本概念和基本理论;第3章介绍了结构模糊优化的常用方法及改进算法,给出数值和工程应用算例;为了解决传统方法在处理多目标大维数、多模态等复杂问题上的不足,第4章研究了带精英策略的非支配排序遗传算法,并以三杆桁架的结构模糊多目标优化设计作为验证;针对复杂机械结构的模糊信息难以用数学函数来表达的问题,第5章运用模糊有限元理论,以某电站阀门企业生产的全量型安全阀阀体、对接试验台关键部件和转台框架为例,进行复杂机械结构的设计分析和模糊优化,并给出了一个设计、仿真和优化集成的实例;第6章运用模糊可靠性原理,将模糊 NSGA-II 算法应用于 XX 卫星热控百叶窗蜗杆传动系统模糊可靠性设计中,在目标解的多样性及收敛性之间达到了更好的平衡;第7章以铣刀片应力场分析为例介绍了模糊综合评判的应用;第8章介绍了模糊理论在图像处理领域和控制领域的应用。

作者在写作过程中,侧重内容易于理解及实用性,主要特点体现在以下诸方面:

(1) 重点突出。本书力图能够进一步拓宽与加深对新的设计理论与方法的了解、掌握和思考,开拓思维和视野,培养与提高设计能力和创新能力。核心内容为复杂机械结构的模糊优化方法及工程应用,全书知识体系的构建和实例的选取都紧紧围绕这个中心。

(2) 与工程实际应用紧密相关。本书基本来自作者科研、教学成果,是作者多篇论文的提炼和再创作,大多已在工程结构设计中应用,有一定的实际应用价值。

(3) 探讨模糊领域的难点和热点问题。尽管模糊数学的领域目前进行了大量研究,但处理模糊问题的方法还有不少有待进一步深入探讨的地方,本书力图从理论和实际应用中探讨这些问题。特别是随着计算机的快速发展,在复杂机械结构的优化问题研究上,往往直接应用一些成熟的商业计算机辅助分析软件如

ANSYS、MATLAB等进行分析,此外,模糊方法与其他相关现代设计方法的集成也是一个热点。本书详细介绍了将模糊理论和应用软件相结合的集成分析方法。

全书由赖一楠、吴明阳和赖明珠编写。博士研究生游斌弟和吴石参与了第2章和第3章的部分编写工作,任胜乐博士参与了第8章的部分编写工作。

感谢国家921工程(载人航天工程)、黑龙江省攻关项目(GC05A524)、黑龙江省自然科学基金(E2004-13和ZJG2007-02-02)、黑龙江省博士后资助经费和黑龙江省普通高等学校、新世纪优秀人才培养计划等多方面的资助。

在写作过程中,引用了不少学者的研究成果和文献资料,作者深表谢意。

硕士研究生戴野、刘素艳、于浩楠和于洋涛在本书编写过程中承担了大量文字校对和插图绘制工作,在此表示感谢。

同时,也感谢科学出版社对作者的信任 and 为本书的出版所付出的辛勤工作!

鉴于作者的学识、水平有限,所讨论的方法和应用难免有不妥之处,敬请读者予以指正。

作 者

2008年1月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 结构模糊优化设计研究现状及分析	1
1.1.1 国内外在该方向的研究现状	1
1.1.2 对现行国内外研究的总结	3
1.2 结构设计中的模糊信息	4
1.3 本书主要内容	5
第 2 章 模糊优化理论的基本知识	7
2.1 模糊集合	7
2.1.1 模糊集合的定义	7
2.1.2 模糊集合的表示法	8
2.1.3 模糊集合的基本运算	9
2.2 截集	10
2.2.1 截集的定义	10
2.2.2 截集的性质	12
2.3 聚集函数	12
2.3.1 工程设计的聚集函数公理 ^[50]	12
2.3.2 工程设计的聚集函数	14
2.4 隶属函数的形式及选择	16
2.4.1 常用隶属函数形式 ^[51]	16
2.4.2 模糊允许区间上下界的确定	23
2.4.3 隶属函数选取对模糊优化解的影响 ^[52]	23
2.5 分解定理	25
2.6 模糊扩展原理	27
2.7 凸模糊集合和模糊数	28
2.7.1 凸模糊集合	28
2.7.2 模糊数	29
第 3 章 结构模糊优化方法及算法改进	31
3.1 模糊优化的数学模型	31
3.1.1 机械模糊优化设计的一般步骤	31
3.1.2 建立数学模型的基本原则	31

3.1.3	模糊优化基本概念	33
3.1.4	模糊优化变量的隶属函数选取	34
3.2	模糊优化的分类	37
3.2.1	对称模糊优化和非对称模糊优化	37
3.2.2	模糊遗传算法	38
3.2.3	其他方法	39
3.3	单目标模糊优化设计	39
3.3.1	迭代法	39
3.3.2	最优水平截集法	43
3.3.3	权重最大最小法	48
3.4	多目标模糊优化设计	50
3.4.1	对称多目标模糊优化的求解	50
3.4.2	普通多目标模糊优化问题的求解	51
3.4.3	多目标模糊优化的向量水平截集法	53
3.4.4	多目标模糊优化的权重最大最小法	53
3.4.5	多目标模糊优化的分层序列法	55
3.5	数值例子及工程应用	56
3.5.1	单目标模糊优化	56
3.5.2	多目标模糊优化	58
3.5.3	模糊优化设计的工程应用	62
3.6	MATLAB 优化工具箱及在模糊优化中的应用	68
3.6.1	MATLAB 优化工具箱简介 ^[58]	68
3.6.2	闭式标准斜齿圆柱齿轮模糊优化算例	78
3.6.3	普通圆柱蜗杆传动多目标模糊优化算例	84
第 4 章	基于 NSGA-II 的多目标结构模糊优化	90
4.1	遗传算法的特点	90
4.2	遗传算法的实现方式 ^[60,61]	91
4.2.1	编码方式	91
4.2.2	选择算子	92
4.2.3	交叉与变异算子	93
4.3	遗传算法的基本流程	93
4.4	多目标遗传算法	94
4.4.1	随机权重方法 (random-weight approach)	95
4.4.2	SPEA	96
4.4.3	非支配排序遗传算法 NSGA	96
4.4.4	带精英策略的非支配排序的遗传算法 NSGA-II	98

4.5 基于改进的 NSGA-II 多目标遗传算法模糊优化	101
4.5.1 模糊约束函数清晰化	101
4.5.2 交叉算子设计	102
4.5.3 改进的 NSGA-II 模糊计算过程	102
4.6 改进的 NSGA-II 算例分析	103
4.7 改进的 NSGA-II 在模糊机械结构优化中的应用	108
第 5 章 复杂机械结构模糊有限元优化及软件开发	112
5.1 模糊有限元法基本理论	112
5.1.1 引言	112
5.1.2 有限元分析的基本原理	112
5.1.3 模糊有限元平衡方程	115
5.1.4 模糊有限元分析方法 ^[52]	115
5.2 ANSYS 有限元分析软件简介	119
5.2.1 ANSYS 简介	119
5.2.2 APDL 语言 ^[69]	123
5.2.3 ANSYS 优化设计的基本过程	124
5.2.4 ANSYS 优化原理	127
5.2.5 ANSYS 优化典型例题	128
5.3 安全阀阀体模糊有限元优化及集成软件开发	135
5.3.1 基于 ANSYS 的模糊有限元建模	135
5.3.2 VC.NET 与阀体结构分析 APDL 程序实现	139
5.3.3 VC.NET 与 ANSYS 实时生成图片与动画技术	143
5.3.4 软件功能	144
5.3.5 模糊优化结果及分析	147
5.4 五自由度对接试验台关键部件结构模糊有限元优化设计	149
5.4.1 五自由度对接试验台简介	149
5.4.2 基于模糊约束的关键部件建模	151
5.4.3 关键部件优化结果及分析	152
5.4.4 结果分析	155
5.5 三轴仿真转台框架结构的模糊有限元优化	156
5.5.1 框架有限元模型的建立	156
5.5.2 模糊优化数学模型的建立	156
5.5.3 算例	158
5.6 机械产品设计、仿真、优化集成应用实例	160
5.6.1 引言	160
5.6.2 弯管模 CAD 模块开发	162

5.6.3 弯管模 CAE 模块开发	166
5.6.4 弯管模 OPT 模块的开发	172
5.6.5 弯管模 CAPP 模块开发	174
5.6.6 集成环境下的编程技术	178
第 6 章 机械多目标模糊可靠性优化	185
6.1 机械模糊可靠性概述 ^[75]	185
6.1.1 引言	185
6.1.2 零件的模糊可靠性原理	186
6.1.3 机械模糊可靠性优化设计	188
6.2 多目标模糊可靠性优化的算例分析	189
6.2.1 设计变量	190
6.2.2 目标函数	190
6.2.3 约束条件	190
6.2.4 模糊约束的非模糊处理	192
6.2.5 基于 NSGA-II 多目标模糊可靠性的优化过程及结果分析	192
6.2.6 基于 ANSYS 可靠性设计的算例验证及分析	193
6.3 机械系统技术状态模糊评估模型	197
6.3.1 热控百叶窗部件技术状态评估	197
6.3.2 系统技术状态分析	197
6.3.3 模糊技术状态函数	199
6.3.4 技术状态评价综合模型	200
第 7 章 模糊综合评判实例	201
7.1 模糊综合评判简介	201
7.1.1 基本步骤	201
7.1.2 模糊综合评判的方法	202
7.1.3 评判指标的处理	203
7.2 铣刀片模糊综合评判系统实例	203
7.2.1 铣刀片模糊综合评判模型的建立	204
7.2.2 模糊综合评判模型的建立	205
7.2.3 铣刀片模糊综合评判应用实例	207
7.2.4 基于 Visual C++ 的模糊综合评判系统的构建	210
第 8 章 模糊理论在其他领域中的应用	215
8.1 模糊理论在图像处理中的应用	215
8.1.1 引言	215
8.1.2 神经网络基本概念	215
8.1.3 图像处理中的模糊理论	216

8.1.4	模糊系统与神经网络的融合	217
8.1.5	模糊神经网络滤波器的设计	219
8.1.6	神经网络的学习	222
8.1.7	试验及结果	222
8.2	模糊理论在纤维张力控制系统中的应用	224
8.2.1	引言	224
8.2.2	张力控制系统结构设计	224
8.2.3	张力控制系统模糊控制器的设计	225
8.2.4	模糊控制的结果	231
参考文献		234

第 1 章 绪 论

1.1 结构模糊优化设计研究现状及分析

1.1.1 国内外在该方向的研究现状

模糊数学诞生于 1965 年,美国加利福尼亚大学控制论专家 Zadeh 发表了著名论文“Fuzzy Sets”(模糊集合),提出模糊集合的思想,给出模糊现象的模型、模糊问题的定量表示方法及数学处理方法。他指出,刻画一个模型集合时,不必指明哪些元素属于它,哪些元素不属于它,只需对给定范围内的各元素确定一个 $0\sim 1$ 的实数,用它表明这个元素以多大程度属于这个集合,这个数就称作该元素对这个集合的隶属度^[1]。

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,已经形成一门新的应用技术学科,到 20 世纪 90 年代,已经形成了具有完整体系和鲜明特点的模糊拓扑学、框架日趋成熟的模糊随机数学、模糊分析学以及模糊逻辑理论,并渗透到各个学科领域,如人工智能、管理信息、机械设计、自动化控制等,应用相当广泛。国外有学者预言 21 世纪将是模糊理论发展和应用的时期。发达国家非常重视模糊理论及其应用研究。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,法国也相应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。

模糊优化设计是近年来设计领域新发展起来的一个分支,是指在优化设计中考虑种种模糊因素,在模糊数学基础上发展起来的一种新的优化理论和方法。机械产品的模糊优化问题是一个融合了模糊数学、优化技术、有限元分析和计算机技术的综合性现代设计方法^[2]。

众多国内外学者在机械模糊优化设计方面,提出了最优水平截集法、工程设计参数的多级模糊综合评判法等多种模糊分析方法,使设计者能从量上比较准确地处理影响设计过程的多种模糊因素。代表性的有:

1970 年, Bellman 和 Zadeh 教授提出的模糊优化的概念,为多目标优化和涉及生产管理、调配等模糊因素较多的线性规划提供了有效的工具^[3]。1978 年, Zadeh 教授又提出了可能性理论,目的是为进一步研究模糊语言与近似理论提供数学工具,这被认为是模糊数学发展的第二个里程碑^[4]。同年,德国的 Zimmermann 提出了单目标、多目标线性规划的模糊优化解法,这为涉及生产管理等模

糊因素较多的领域提供了一个新的解决途径^[5]。1981年,罗马尼亚著名模糊数学学者 Negoita 通过系统论的观点讨论了模糊优化的概况,给出了柔性规划和健壮规划的定义^[6]。1983年, Brown 和 Yao 讨论了模糊集理论在结构工程中的应用,利用模糊集理论定量处理主观信息^[7,8]。1990年,匈牙利的 Dombi 回顾了不同类型的隶属函数的数学形式,并定义了一种由四个参数:区间 $[a, b]$ 、清晰度系数 λ 和决策等级系数 v 决定的隶属函数。一旦确定了这四个参数,隶属函数的形状便确定了,每个参数都有明确的物理意义^[9]。1992年,印度的 Sastry、Tiwari 和 Sastri 对含有集中参数的单目标或多目标模糊最优问题作了研究^[10,11]。美国 Purdue 大学的著名优化学家 Rao 对结构模糊优化设计做出了巨大贡献,从 20 世纪 80 年代中期开始,他在一些国际杂志上陆续发表了数篇有价值的结构模糊优化设计方面的文章^[12~19]。他提出了模糊结构系统的多目标优化设计方法,将多目标优化问题转化为普通单目标优化问题,应用模糊比较判决得到问题的模糊最优解,但其求解目标函数最小解的方法有待于改善。1992年, Rao 提出了三种结构模糊非线性目标规划的模型,即简单和、权重和和抢先优先权模型。1996年, Rao 和 Chen 又提出了工程系统的模糊多目标优化的广义混合法,应用改进的 Dempster-Shafer 理论将多目标优化问题转化为等价的单目标优化问题。2001年, Loetamonphong 和 Fang 研究了带有 M-P 型 FRE 约束的 FRCO 问题,其主要思想是将原规划转化为整数规划利用分支界定法定求解^[20]。2003年, Castillo 认为 Vague 集推理近似等于两个模糊推理之和^[21]。美国加利福尼亚工学院 (Caltech) 的 Antonsson、Wood、Law 等从 20 世纪 80 年代末期开始研究用于模糊参数设计计算的方法——不精确性方法 (method of imprecision),指出在工程设计的初始阶段含有大量的模糊信息,并借助模糊计算来处理。应用模糊权重平均技术 (FWA) 实现这些计算,提出了一种新的模糊度概念。并对模糊参数计算的实时方法作了研究^[22~24]。

我国于 20 世纪 70 年代中期也开始了这方面的研究工作。20 年来,模糊数学及其在各方面的应用,如模糊评判、模糊优化、模糊决策模糊控制以及模糊识别和聚类分析等许多方面,发展十分迅速。1981年哈尔滨工业大学的冯英俊提出了多目标最优化问题模糊解的概念,并论证了这种解与多目标最优化问题的有效解、弱有效解之间的关系,应用模糊解的概念对几种多目标规划解法给予了新的解释^[25~27]。1992年,重庆大学的王彩华等讨论了多目标优化的模糊解法中目标权重的处理方法^[28]。以哈尔滨建筑工程大学的王光远院士为首的研究团体从 20 世纪 80 年代初期开始从事模糊集理论及应用方面的研究,将模糊数学理论应用于土木工程中,形成了模糊优化设计、模糊振动理论、模糊随机动力理论等新的学科,其研究成果一直处于国际领先地位,在结构模糊优化设计领域,首先提出含有模糊约束的结构模糊优化设计的最优水平截集方法^[29~34]。大连理工大

学的黄洪钟等近年来一直从事模糊可靠性优化设计方面的研究,并发表了多篇论文,取得了令人瞩目的成绩^[35~37]。合肥工业大学的朱文予和董玉革等在机械系统的模糊可靠性方面也做了很多工作^[38~42]。此外,陈举华等^[43,44]、谢庆生等^[45]在结构优化方面也展开了一系列的深入研究。

对于结构进行分析来讲,随着有限元软件的日趋成熟,将有限元的分析思想应用到模糊设计中,不失为一种良好的计算机辅助分析方法。美国的学者 Akpan 也提出了应用于空间结构的实践性模糊有限元分析方法,通过对有限元模型有较大响应的模糊变量来确定水平截集的选取,提高了计算效率^[46]。另外,Rao 对模糊有限元分析也作了初步的研究^[47]。国内学者在这方面也做了许多研究。如刘长虹提出的在单源模糊数情况下,将一个模糊数分解成为一个实数和一个单位模糊数,将模糊因素分离出来,按常规有限元方法求解,最后再处理含有模糊因素的结果^[48]。这样做不仅可以减少以往先处理模糊因素所需要的大量的工作量,而且更利于工程技术人员对于该结构的分析和研究。吕恩琳将区间方程组的定义与结构有限元平衡方程的力学意义结合起来,针对材料性能的模糊性、结构边界条件的模糊性和载荷的模糊性而得到的模糊有限元平衡方程组,提出了一种快速而准确的解法^[49]。

1.1.2 对现行国内外研究的总结

尽管模糊结构优化的领域目前进行了大量研究,但处理模糊问题的方法、在建模中如何考虑系统的模糊性以及这种模糊性在设计过程的集成还有不少有待进一步深入探讨的地方。如:

(1) 在机械结构的模糊优化中,应用的多是桁架结构、齿轮、轴承等较简单机械零部件的优化,所采用的模糊优化方法也比较单一,对具有复杂结构的优化研究不够深入。

(2) 如何从实际产品中抽象出正确的数学模型,充分考虑模糊特性,将模糊数学和有限元技术相结合来建立数学模型是另一难点。

(3) 在模糊优化的建模中对模糊过程解的选取问题研究不够深入。模糊优化确实能得到一系列的解,然而往往所求得的优化解并非为精确的整数,一般情况在得到模糊解以后取整来设计产品尺寸。模糊优化所得的值取整以后是否失掉了模糊性,以及取整的方法,目前少有探讨。

(4) 结合模糊方法,如何开发虚拟环境下的结构优化设计的主模型,实现计算机辅助工程分析(CAE)与其他系统如几何建模(CAD)、运动学分析和动力学分析等进行产品设计、仿真和优化的集成,还有待进一步研究。

1.2 结构设计中的模糊信息

在机械结构设计中,当结构的形式确定以后,便可对结构进行具体设计。数据缺乏或对数据没有把握时,可用模糊数学方法处理结构中的模糊性,这就是模糊数学和模糊技术必将进入机械工程领域的主要根源。

结构设计中的模糊信息主要来源于:

1. 结构设计目标的模糊性

在设计过程中,设计者追求的设计指标往往是多方面的,如强度、刚度、经济性、工艺性、使用性能及动力性能等。要评价各种设计方案的优劣,就必须全面考虑上述的各种指标。设计目标往往希望所设计的机器性能好、效率高、成本低、寿命长、安全可靠、使用维护方便等。这里的“好-坏”、“高-低”、“长-短”、“安全-危险”等概念就是模糊的。

2. 结构设计失效准则的模糊性

结构设计失效准则需要根据材料的强度和刚度性质以及结构的使用要求、规范的条文和人们的工程经验来进行决策。如传动轴因微裂纹的扩展而断裂,进入失效状态。在进入失效状态之前,传动轴就经历了一个从“完好”到“失效”的过渡过程,即随着工作时间的延长,微裂纹不断扩展,逐渐发展成宏观裂纹,直到最终断裂失效。在从“完好”到“失效”之间的中间过程,传动轴的类属是不清晰的,处于“部分完好”和“部分失效”的不分明状态,即传动轴的状态是模糊的。

3. 结构在工作期间所受的载荷的模糊性

在设备工作过程中,载荷情况和工作环境与系统本身的结构和外部环境的激励有各种关系,载荷的模糊性同时又直接影响着目标函数和约束条件的模糊性。

4. 结构固定连接的边界条件的模糊性

工程结构力学问题的建模中所用的自由、铰接和固定等概念都是对结构支撑条件简化的极端状况,而实际结构的受约束状态常常处于上述概念的中介过渡状态。

5. 设计准则的模糊性

在许多工程实际问题的设计中设计准则具有一定的模糊性。例如,在轴的设计中,其承载的力越大,截面积应越大,即应力约束的形式可表达为 $F/A \leq [\sigma]$ 。这里,如果设计超出了 $[\sigma]$,传统的设计方案就认为是绝对不安全的,而实际上应力有一个从容许到完全不容许的过渡阶段,在一定范围内即使超出了 $[\sigma]$,仍然可认为是可用的,而且往往存在最优解。

6. 系统本身的模糊性

系统的不确定性是客观存在的,这种不确定性主要表现在两个方面:一是随机性,二是模糊性。随机性是由于因果关系不确定形成的;模糊性是指边界不清楚在论域上不能区分其界限。在复杂系统中,有意义的精确认识能力下降,系统的模糊性随之增强。由于受到各种错综复杂的因素影响,很难用精确的数学方法进行描述,要建立精确的计算模型很困难。此外,复杂性还意味着因素众多,而人们往往不可能考察所有因素,只能把研究对象适当简化或抽象成模型。当在一个被压缩了的低维因素空间考虑问题时,即使本来明确的概念,也会变得模糊起来。

7. 评价方案与决策的模糊性

在设计过程中,由于各种复杂多变的不确定性因素的影响,无论是观测、试验,还是检测,都离不开人的经验、智能进行判断和推理,这一过程实际上是人脑运用不精确的、非定量的和模糊的术语进行思维和决策,即决策者对非程序化决策做出判断时,主要是根据他的经验、能力和直观感觉等模糊要领进行决策的,难以用解析方法来定量分析评判一个设计的好坏程度,不能全面综合地反映各因素的优劣程度。如何模拟人脑的思维使设计的评价更精确化,也是模糊理论需要解决的问题。

1.3 本书主要内容

本书主要研究结构模糊优化的方法及其工程应用,具体内容包括:

第1章介绍了国内外结构优化研究的现状。

第2章介绍了模糊优化理论的基本知识,举例说明了模糊集、聚集函数、隶属函数、截集、分解定理、模糊扩展原理、模糊数等模糊数学的基本概念,重点论述了模糊优化中的两个基本概念聚集函数和隶属函数的选取对模糊最优解的影响规律。

第3章在研究原有的结构模糊优化方法特点的基础上,针对结构优化的缺点,提出了模糊优化的改进对称型模糊遗传算法、改进的向量水平截集法、改进的权重最大最小法、改进的分层序列法,根据模糊优化问题的特点和决策者的意愿,选取相应隶属函数的形式与参数,构造不同的模糊优化问题,从而形成不同的从模糊到非模糊的转化形式。给出了相应的数值和工程应用的模糊优化例子来验证模糊优化方法的正确性和有效性。

机械工程结构的优化设计往往表现为多目标的形式,多目标优化问题一直是科学和研究领域的难题和热点。传统的解决方法在处理多目标大维数、多模态等复杂问题上存在许多不足。为了解决这一问题,第4章研究了带精英策略的非支配排序遗传算法(a fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II)。该算法通过编写 MATLAB 的 m 文件测试典型应用函数,具有较高的计算效率。针对 NSGA-II 在求解复杂函数出现的空间解集不均匀现象,通过改善拥挤度机制,同时改进了交叉算子系数,使得改进后的算法在分布均匀性上取得相对较好的结果,可得到分布更为合理的解,且能保持解的多样性分布。并将其应用于三杆桁架的结构模糊多目标优化设计中。

第5章研究具有模糊制造信息、模糊载荷、模糊支撑和模糊材料特性等的模糊有限元方法。基于模糊扩展原理,提出了模糊性传递原理。推导了线弹性系统的模糊输入与模糊响应的隶属函数映射关系。并在此基础上提出适合描述和处理该种模糊信息的普遍型结构模糊优化模型和求解方法。将所提出的模糊优化方法和结构分析有限元方法相结合,以某电站阀门企业生产的全量型安全阀阀体、某对接试验台关键部件和某转台框架为例,对实际工程问题进行了模糊有限元结构优化设计。同时结合现代优化设计发展的方向,以电站锅炉弯管模的设计、仿真、优化为例,介绍了复杂机械结构设计集成软件的开发。

机械结构的可靠性设计是确保部件产品可靠工作的关键环节,第6章利用 NSGA-II 多目标算法,提出了一种机械结构多目标模糊可靠性的数学模型,并应用于 XX 卫星的热控百叶窗蜗杆传动模糊可靠性设计中。使用 ANSYS/PDS 工具进行了可靠性优化设计验证。

第7章运用模糊综合评判原理,根据加工要求和专家分析,在 VC 环境下,实现了对波形刃铣刀片模糊评判系统的开发,通过该系统可对多因素作用下的铣刀片温度场、应力场和耦合场的优劣进行评判,为铣刀片槽型的优化提供了评判依据。

第8章以两个实例介绍了模糊理论在图像处理和领域的应用。

第2章 模糊优化理论的基本知识

2.1 模糊集合

模糊集合是将建立在二值逻辑基础上的经典集合概念的推广，一个元素与集合之间不再是绝对的隶属关系。模糊集合的提出为涉及模糊因素的分析、设计与控制等领域提供了坚实的理论基础。

2.1.1 模糊集合的定义

所谓给定论域 X 上的一个模糊集合 $\tilde{A}$ 是指：对任何 $x \in X$ ，都指定了一个数 $\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]$ 与之对应，它叫做 x 对 $\tilde{A}$ 的隶属度。这意味着作出了一个映射

$$\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0, 1] \quad x \mapsto \mu_{\tilde{A}}(x)$$

这个映射称为 $\tilde{A}$ 的隶属函数。波浪号表示变量或运算中含有模糊信息，如图 2.1 所示。

模糊集合完全由隶属函数刻画。 $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 的大小反映了 x 对于模糊集合的从属程度。 $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 的值接近 1，表示 x 从属 $\tilde{A}$ 的程度很高； $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 的值接近 0，表示 x 从属 $\tilde{A}$ 的程度很低；特别当 $\mu_{\tilde{A}}(x) = \{0, 1\}$ 时， $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 便锐化为一个普通集合的特征函数，于是 $\tilde{A}$ 锐化为一个普通集合

$$A = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\}$$

因此，普通集合是模糊集合的特殊情况，而模糊集合是普通集合的扩展。

例 2.1 设论域 $X = [0, 100]$ ，模糊集 $\tilde{A}$ 表示“年纪老”，模糊集 $\tilde{B}$ 表示“年纪轻”，Zadeh 给出的 $\tilde{A}$ 和 $\tilde{B}$ 的隶属函数分别为

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 50 \\ \left[1 + \left(\frac{x-50}{5}\right)^{-2}\right]^{-1}, & 50 < x \leq 100 \end{cases}$$

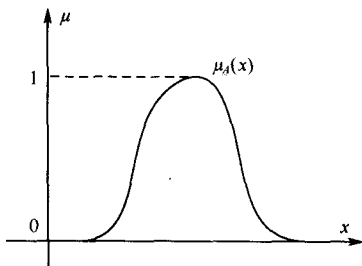


图 2.1 模糊集合的隶属函数