

CAD/CAM/CAE 工程应用丛书 MATLAB系列

基于 MATLAB 和 Pro/ENGINEER 优化设计实例解析

郭仁生 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



CAD/CAM/CAE 工程应用丛书

基于 MATLAB 和 Pro/ENGINEER 优化设计实例解析

郭仁生 编著



机械工业出版社

本书介绍优化设计的基本知识、常用优化方法、机械工程优化设计应用实例, 以及基于 MATLAB 和 Pro/ENGINEER 系统的优化分析和计算, 充分体现了现代设计思想和理念, 注重优化设计的实用性和技术应用。

本书可以作为高等院校机械设计与制造类专业的理想教材, 也可作为工程技术人员学习优化设计技术应用的重要参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 MATLAB 和 Pro/ENGINEER 优化设计实例解析 / 郭仁生编著.

—北京: 机械工业出版社, 2007.7

(CAD/CAM/CAE 工程应用丛书)

ISBN 978-7-111-21688-9

I. 基… II. 郭… III. ①机械设计: 最优设计—计算机辅助计算—软件包, MATLAB②机械设计: 最优设计—计算机辅助设计—应用软件, Pro/ENGINEER IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 091649 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划: 胡毓坚

责任编辑: 李利健

责任印制: 洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2007 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·465 千字

0001—5000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-21688-9

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页, 倒页, 脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379739

封面无防伪标均为盗版

出 版 说 明

随着信息技术在各领域的迅速渗透, CAD/CAM/CAE 技术已经得到了广泛的应用, 从根本上改变了传统的设计、生产、组织模式, 对推动现有企业的技术改造, 带动整个产业结构的变革, 发展新兴技术, 促进经济增长都具有十分重要的意义。

CAD 在机械制造行业的应用最早, 使用也最为广泛。目前其最主要的应用涉及到机械、电子、建筑等工程领域。世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAM/CAE 技术进行产品设计, 而且投入大量的人力、物力及资金进行 CAD/CAM/CAE 软件的开发, 以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。CAD 在工程中的应用, 不但可以提高设计质量, 缩短工程周期, 还可以节约大量建设投资。

各行各业的工程技术人员也逐步认识到 CAD/CAM/CAE 技术在现代工程中的重要性, 掌握其中的一种或几种软件的使用方法和技巧, 已成为他们在竞争日益激烈的市场经济形势下生存和发展的必备技能之一。然而, 仅仅知道简单的软件操作方法是远远不够的, 只有将计算机技术和工程实际结合起来, 才能真正达到通过现代的技术手段提高工程效益的目的。

基于这一考虑, 机械工业出版社特别推出了这套主要面向相关行业工程技术人员的“CAD/CAM/CAE 工程应用丛书”。本丛书涉及 AutoCAD、Pro/ENGINEER、UG、SolidWorks、MasterCAM、ANSYS 等软件在机械设计、性能分析、制造技术方面的应用, 以及 AutoCAD 和天正建筑 CAD 软件在建筑和室内配景图、建筑施工图、室内装潢图、水暖、空调布线图、电路布线图以及建筑总图等方面的应用。

本套丛书立足于基本概念和操作, 配以大量具有代表性的实例, 并融入了作者丰富的实践经验, 使得本丛书内容具有专业性强、操作性强、指导性强的特点, 是一套真正具有实用价值的书籍。

机械工业出版社

前 言

优化设计是现代设计法中的一个重要领域，它极大地促进了现代工程设计理论和方法的发展。优化设计是将数学规划理论和计算机技术应用在工程设计中，从大量的可行设计方案中自动寻找出最佳设计方案，从而获得显著的技术和经济效益。优化设计与分析技术是机械设计与制造类专业学生的一门重要的技术应用课程，也是工程技术人员提高产品设计水平、改进产品性能和质量、推行计算机辅助设计，应当具备的专业素质和技术应用能力。

优化设计理论涉及的内容十分广泛，有些理论基础的论述推导会过于繁琐。本书力图从优化设计分析技术应用的特色出发，避开一些偏多、偏深，而不实用的理论推导，强调优化设计问题的物理意义和几何解释，注重工程实际应用。本书主要内容分为四个部分：一是优化设计基本知识和数学基础，包括优化设计的数学模型和几何意义，以及函数导数、矩阵和极值条件等有关的基础知识；二是常用优化设计方法，包括一维优化方法、多维无约束优化方法和约束优化方法，主要介绍了其中几种简明实用的直接方法（如一维优化的黄金分割法和二次插值法，多维无约束优化的共轭方向法和鲍威尔法，约束优化的随机方向法和复合形法等），也介绍一些常用的需要借助导数计算的间接方法（如多维无约束优化的梯度法和共轭梯度法），以及将约束优化问题转化为无约束优化问题的惩罚函数法等，通过一维或二维优化问题的手算实例来说明各种优化算法的基本原理；三是优化设计实例，主要介绍机械设计与制造类专业读者在已经熟悉的机构参数、机械传动、机械零部件和机械加工工艺等计算实例的基础上，讲解如何建立优化设计的数学模型和进行优化求解；四是介绍了基于 MATLAB 和 Pro/ENGINEER 系统的结构参数优化分析和计算的应用，包括基于自然选择和群体进化机制的、在全局进行搜索寻优的高效参数遗传优化算法，以及它在机械工程中应用的实例和方法。

该书的特色主要表现在以下几个方面：

1) 该书的编写力图由浅入深、循序渐进，充分体现现代设计思想和理念，力图从技术应用的特点和层次出发，讲解优化设计应用有关的问题，注重优化问题的技术应用。

2) 注意加强理工类的科技书形象化的处理，将某些抽象难懂的理论知识形象化，强调问题的物理意义和几何解释，例如，将优化设计数学模型的基本要素和数值迭代过程用图形进行几何描述，以尽可能符合读者的认知规律和知识基础。

3) 针对技术应用特色，加强了基于工程设计软件 Pro/ENGINEER 和 MATLAB 的结构参数优化设计内容，有利于培养读者使用工程设计软件解决工程实际问题的创造性技能和技术应用能力。

4) 书中包含了作者进行科研和结合企业生产实践技术应用的成果，如优化问题的几何描述、多目标优化的规格化加权和无心磨削工艺参数的机械工程优化设计应用实例等内容。

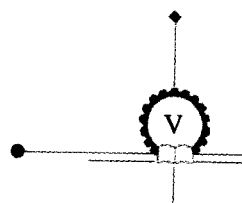
5) 为了方便优化技术的计算机辅助应用，书中讲述了优化设计数学基础中的函数梯度和模、海赛矩阵和正定性的计算，在常用优化设计方法中的黄金分割法、二次插值法、共轭方向法、鲍威尔法、共轭梯度法和复合形的搜索计算，以及惩罚函数法的解析迭代计算等，并都附有 MATLAB 的计算程序和运行示例说明。

本书力图跟踪和把握计算机技术和工程软件在机械工程领域广泛应用的趋势，注重突出优化设计技术的实践应用，力求做到有所突破，有所创新，形成特色，符合科学技术发展趋势。本书能使读者在解决工程实际优化设计问题时，能够建立优化决策理念，掌握优化设计的基本方法，在使用工程软件分析和技术应用方面有所深入和延伸，提高创造性技能的设计水平。另外，本书为读者提供了书中所有实例的源代码，读者可到机械工业出版社网站（<http://www.cmpbook.com>）下载。

本书由郭仁生编写，在编写过程中，广东省制造业信息化工程专家组成员和先进制造技术重大专项专家组成员、广东工业大学袁清珂教授（博士）和顺德职业技术学院陈礼教授（留美博士）对本书的选题和编写提出了许多宝贵意见，特在此致谢。

由于作者的水平有限，对书中的错漏和不当之处，敬请读者批评指正。

作 者



目 录

出版说明

前言

第 1 章 优化设计和工程软件应用概述	1
1.1 优化设计概述	1
1.1.1 常规设计与优化设计	1
1.1.2 优化设计的发展概况	2
1.1.3 工程软件在优化设计分析中的应用	5
1.2 MATLAB 系统简介	6
1.2.1 MATLAB 的主要特点	6
1.2.2 MATLAB 的工作界面	7
1.2.3 M 文件和流程控制结构	8
1.2.4 图形处理功能	13
1.3 Pro/ENGINEER 系统简介	17
1.3.1 Pro/ENGINEER 的主要特点	17
1.3.2 Pro/ENGINEER 的典型模块和应用	18
1.3.3 使用 Pro/ENGINEER 开发产品的过程	19
1.3.4 Pro/ENGINEER 在结构优化分析中的应用	21
第 2 章 优化设计的数学模型	23
2.1 设计变量	23
2.1.1 基本参数	23
2.1.2 设计方案的表示形式	23
2.1.3 设计变量的选取	25
2.2 设计约束	26
2.2.1 设计约束的种类	26
2.2.2 可行区域与非可行区域	28
2.3 目标函数	29
2.3.1 目标函数的含义	29
2.3.2 单目标和多目标问题	30
2.4 优化设计数学模型的几何意义	31
2.4.1 优化设计数学模型的一般形式	31
2.4.2 最优化问题的几何描述	32
2.4.3 局部最优解和全域最优解	35
2.5 优化设计数学模型的建立	36
2.5.1 优化设计问题大小的分类	36
2.5.2 优化设计问题建模举例	37

第 3 章 优化设计的数学基础	40
3.1 多维函数的方向导数、梯度和海赛矩阵	40
3.1.1 函数的偏导数	40
3.1.2 函数的方向导数	41
3.1.3 函数的梯度和 M 文件	41
3.1.4 函数的海赛矩阵和 M 文件	44
3.2 函数的泰勒展开式和二次型	44
3.2.1 函数的泰勒表达式和 M 文件	44
3.2.2 函数的二次型	47
3.2.3 正定二维二次函数的性质	48
3.3 目标函数的极值条件	48
3.3.1 无约束目标函数的极值条件	48
3.3.2 有约束目标函数的极值条件	52
3.4 优化设计的数值迭代方法	56
3.4.1 迭代算法的概念	56
3.4.2 优化问题的迭代过程	57
3.4.3 优化迭代算法的分类	58
3.4.4 迭代点列的收敛条件和终止判别	59
第 4 章 一维搜索优化方法	61
4.1 概述	61
4.2 进退法确定搜索区间	62
4.3 黄金分割法	65
4.3.1 基本原理	65
4.3.2 区间收缩率的确定	66
4.3.3 迭代过程、算法框图和 M 文件	66
4.4 二次插值法	69
4.4.1 基本原理	69
4.4.2 迭代过程、算法框图和 M 文件	70
第 5 章 多维搜索优化方法	76
5.1 共轭方向法	76
5.1.1 坐标轮换法的基本思想	76
5.1.2 共轭方向的概念	77
5.1.3 共轭方向的构成	78
5.1.4 迭代过程、算法框图和 M 文件	80
5.2 鲍威尔 (Powell) 法	86
5.2.1 共轭方向法的缺陷	86
5.2.2 鲍威尔对共轭方向法的改进	87
5.2.3 迭代过程、算法框图和 M 文件	87
5.3 梯度法	97

5.3.1	基本原理	97
5.3.2	迭代过程和算法框图	98
5.3.3	梯度法的特点	100
5.4	共轭梯度法	101
5.4.1	基本原理	101
5.4.2	迭代过程、算法框图和 M 文件	102
第 6 章	约束优化方法	106
6.1	随机方向法	107
6.1.1	约束坐标轮换法的基本原理	107
6.1.2	随机方向法的基本原理	108
6.1.3	随机数的产生	108
6.1.4	初始点的选择	109
6.1.5	随机搜索方向的产生和 M 文件	110
6.1.6	迭代过程和算法框图	111
6.2	复合形法	113
6.2.1	基本原理	113
6.2.2	初始复合形的产生	113
6.2.3	迭代过程、算法框图和 M 文件	115
6.3	惩罚函数法	122
6.3.1	基本原理	122
6.3.2	外点惩罚函数法和 M 文件	123
6.3.3	内点惩罚函数法和 M 文件	127
6.3.4	混合惩罚函数法	133
6.4	几何规划方法	135
6.4.1	几何不等式定理	136
6.4.2	正项几何规划	138
6.4.3	正困难度问题的解法	140
第 7 章	多目标优化和离散变量优化概述	143
7.1	多目标优化方法	143
7.1.1	多目标优化设计的数学模型	143
7.1.2	多目标优化问题解的特性	144
7.1.3	线性加权法	146
7.1.4	规格化加权法	147
7.1.5	功效系数法(几何平均法)	149
7.1.6	乘除法	150
7.1.7	主要目标法	150
7.2	离散变量问题的优化方法	150
7.2.1	离散变量优化问题的基本概念	150
7.2.2	离散变量优化问题的凑整解法	151

7.2.3	离散变量优化问题的网格解法	152
第 8 章	优化设计应用实例	154
8.1	机械优化设计概述	154
8.1.1	优化设计数学模型的分析处理	154
8.1.2	优化方法的选择和结果分析	156
8.2	人字架结构尺寸的优化设计	157
8.3	连杆机构的优化设计	160
8.4	滚子链传动优化设计	166
8.5	蜗杆传动优化设计	169
8.6	机床主轴结构优化设计	172
8.7	无心磨削工艺参数优化	175
8.8	螺栓组联接的优化设计	178
8.9	弹簧结构参数的多目标优化	180
8.10	齿轮传动的几何规划	184
第 9 章	基于 MATLAB 优化工具箱的优化计算	189
9.1	MATLAB 优化工具箱	189
9.2	线性规划问题	190
9.3	二次规划问题	192
9.4	无约束非线性规划问题	194
9.4.1	函数 fminbnd	194
9.4.2	函数 fminsearch	195
9.4.3	函数 fminunc	196
9.5	约束非线性规划问题	200
9.6	多目标优化问题	203
9.6.1	函数 fgoalattain	204
9.6.2	函数 fminimax	208
第 10 章	遗传优化算法和 MATLAB 实现	210
10.1	遗传算法概述	210
10.1.1	遗传算法的基本思想	210
10.1.2	遗传算法的基本内容和步骤	211
10.1.3	遗传算法的特点	212
10.2	遗传优化算法函数的应用	212
10.2.1	遗传优化算法函数	212
10.2.2	一维优化的遗传算法问题	213
10.2.3	多维优化的遗传算法问题	217
10.2.4	约束优化的遗传算法问题	220
10.3	机械优化设计遗传算法实例	225
10.3.1	圆锥齿轮传动优化设计的遗传算法	225
10.3.2	高速轴动力稳定性优化设计的遗传算法	230

第 11 章 基于 Pro/ENGINEER 行为建模的参数分析和优化 235

11.1 行为建模概述 235

11.1.1 行为建模的特点和内容 235

11.1.2 行为建模的功能和步骤 236

11.2 建立分析特征 236

11.3 电子表格分析 239

11.4 用户定义分析 242

11.5 敏感度分析 248

11.6 可行性和优化分析 251

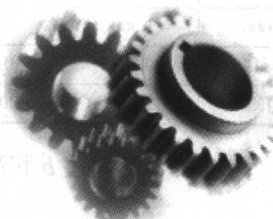
11.7 多目标设计研究 271

参考文献 290



第1章

优化设计和工程软件应用概述



内容

优化设计是在计算机技术广泛应用的基础上发展起来的一项现代设计技术，它的实质可以简单地概括为：在一定限制（约束）条件下，寻求一组设计参数（变量），使设计对象的某项或多项设计指标（目标）达到最佳，从而保证产品具有优良的性能。

提要



1.1 优化设计概述

1.1.1 常规设计与优化设计

机械产品的设计一般需要经过提出课题、调查分析、技术设计、结构设计、绘图和编写设计说明书等环节。常规设计方法通常是在调查分析的基础上，参照同类产品，通过估算、经验类比或试验等方法来确定产品的初步方案。然后对产品的设计参数进行强度、刚度和稳定性等性能分析计算，检查各项性能是否满足设计指标要求。如果不能满足要求，则根据经验或直观判断对设计参数进行修改。整个常规设计的过程是人工试凑和定性分析比较的过程。实践证明，按照常规方法得到的设计方案，可能有较大改进的余地。在常规设计中也存在“择优”的思想，设计人员可以在有限的几种设计方案中，按照一定的设计指标进行分析评价，选出较好的合格的方案。但是由于常规设计方法受到经验、计算方法和手段等条件的限制，得到的可能不是最佳设计方案。因此，常规设计方法只是被动地重复分析产品的性能，而不是主动地设计产品的参数。

工程设计的基本特征在于它的约束性、多解性和相对性。一项设计常常在一定的技术与物质条件下，要求取得一个技术经济指标最佳的方案。

【例 1-1】 设计一个体积为 5m^3 的薄板包装箱，其中一边长度不小于 4m 。要求使薄板耗材最少，试确定包装箱的尺寸参数：长 a 、宽 b 和高 h 。

解：包装箱的表面积 s 与它的长 a 、宽 b 和高 h 三维尺寸参数有关，故取与包装箱薄板耗材直接相关的表面积 s 作为设计目标。

按照常规设计方法，首先固定包装箱一边的长度 $a = 4\text{m}$ 。要满足包装箱体积为 5m^3 的设计要求，则有以下设计方案，见表 1-1。

表 1-1 设计方案

设计方案		1	2	3	4	5	...
包装箱 尺寸参数	宽度 b/m	1.0000	1.1000	1.2000	1.3000	1.4000	...
	高度 h/m	1.2500	1.1364	1.0417	0.9615	0.8929	...
	表面积 s/m^2	20.5000	20.3909	20.4333	20.5923	20.8429	...

如果取包装箱一边的长度 $a > 4\text{m}$ 的某一个固定值，则包装箱的宽度 b 和高度 h 又许多种结果。

然后，再从上面的众多可行方案中选择出包装箱表面积 s 最小的设计方案。

采用优化设计方法时，该问题可以描述为：在满足包装箱的体积 $abh = 5\text{m}^3$ ，长度 $a \geq 4\text{m}$ ， $b > 0$ 和 $h > 0$ 的限制条件下，确定设计参数 a 、 b 和 h 的值，使包装箱的表面积 $s = 2(ab + bh + ha)$ 达到最小。然后选择合适的优化方法对该优化设计问题进行求解，得到的优化结果是：长度 $a = 4\text{m}$ ，宽度和高度 $b = h = 1.1180\text{m}$ ，表面积 $s = 20.3878\text{m}^2$ 。

优化设计是用数学规划理论和计算机自动探优技术来求解最优化问题。对工程问题进行优化设计，首先需要将工程设计问题转化成数学模型，即用优化设计的数学表达式描述工程设计问题。然后，按照数学模型的特点选择合适的优化方法和计算程序，运用计算机求解，获得最优设计方案。

1.1.2 优化设计的发展概况

在第二次世界大战期间，由于军事上的需要产生了运筹学，提供了许多用古典微分法和变分法所不能解决的最优化方法。随着电子计算机技术的发展与应用，20 世纪 50 年代在应用数学领域发展形成了以线性规划和非线性规划为主要内容的数学规划理论，应用于解决工程设计问题，形成了工程设计的优化设计理论和方法。

优化设计理论研究和应用实践的不断发展，使常规设计方法发生了根本的变革，从经验、感性和类比为主的常规设计方法过渡到科学、理性和立足于计算分析的现代设计方法，工程设计正在逐步向自动化、集成化和智能化方向发展。

优化设计是从 20 世纪 60 年代发展起来的、将最优化原理与计算机技术应用于设计领域的科学设计方法，已经在机械、宇航、电机、石油、化工、建筑、造船、轻工等各个行业得到广泛的应用，并获得了显著的技术与经济效益。例如，对飞行器和宇航结构设计，在满足性能的要求下使其重量最轻；对土木工程结构设计，在保证质量的前提下使其成本最低；对机械设备和零部件设计，在实现其功能的基础上使结构最佳；对机械制造工艺规程设计，在限定设备使用条件和加工规范条件下使生产率最高等。根据有关资料介绍，美国贝尔（Bell）飞机公司采用优化方法解决具有 450 个设计变量的结构优化问题，使一个飞机机翼的重量减轻了 35%。美国波音（Boeing）公司对 747 飞机机身进行了优化设计，收到了增

加载员、减轻重量、缩短生产周期和降低成本的效果。某钢铁公司对引进德国 DMAG 公司的 1700 薄板轧机进行优化修改, 在生产中增加了几百万马克的盈利。优化设计不仅可以用于产品结构的设计, 也可以用于工艺方案的寻优。某化工企业采用化工优化系统 CHEOPS 进行优化设计, 在搜索得到的 16000 个可行性方案中, 选择出一个成本最低、产量最大的方案, 只花费了两天的时间。而在此之前, 一组工程设计人员工作了一年, 仅得出三个设计方案。

应当指出, 传统的最优化设计方法也存在一些不足, 它只是在参数优化设计和结构优化设计等方面比较有效, 而在方案设计与选择、决策等方面则无能为力。其次, 复杂系统的优化设计工程问题建模难度大, 技术性高, 数学模型描述能力低, 数学模型误差大。而且, 优化方法程序的求解能力有限, 难以处理复杂和性态不好的问题, 难以求得全局最优解。为了提高最优化方法的综合求解能力, 近年来人们在现代优化技术发展的以下方面从事了许多有益的探索。

1. 面向产品创新设计的优化技术

产品创新设计是指从产品的工作特性和功能目标出发, 应用创新的理论知识和跨学科的知识结构, 创造性地设计产品, 使它在技术和经济上达到最优。其中, 包括对产品创新设计的需求、功能、技术规格和性能等方面的定位, 以及对产品创新设计中功能的主导、造型的结构和形态、技术实现条件和市场需求的体现等要素的相互依存和影响。因此, 建立面向产品创新设计的优化技术是实现产品创新设计的关键技术问题。

2. 面向产品全寿命周期的优化技术

产品特性包括功能、使用要求、质量、价格和服务等方面, 它的主要特性是消费者需求的产品功能和使用效果, 次要特性是消费者感受到的产品外观、结构、质量和价格等, 延伸特性是产品的销售和售后服务等。因此, 产品设计不仅是设计产品的功能和结构, 而且还要设计产品的规划、设计、生产、销售、运行、使用、维修保养、回收处置的全寿命周期过程。因此, 在设计阶段就要考虑产品寿命历程的所有环节, 使产品全寿命周期的所有相关因素在产品设计分析阶段就能够得到综合规划和优化。产品全寿命周期的优化设计技术包涉及大量的非数值知识, 不能用简单的数值化方法进行准确的描述。因此, 解决数值和非数值混合知识的表达和进化已成为产品全过程寻优的关键。

3. 智能化优化设计技术

20 世纪 80 年代以来, 为了解决复杂工程设计优化问题, 一些综合了数学、物理学、生物进化、人工智能、统计力学和神经系统等方面的知识和技术的优化算法, 如人工神经网络 (Neural Networks)、遗传算法 (Genetic Algorithm)、进化算法 (Evolution Algorithm)、模拟退火 (Simulated Annealing) 及其混合优化策略等, 通过模拟和揭示某些自然机理和过程而得到发展, 它们被称为智能优化算法 (Intelligent Optimization Algorithms)。智能化优化设计技术在解决大规模组合和全局寻优等复杂问题时具有传统方法不具备的优越性, 并且鲁棒性强, 适于并行处理, 在计算机科学、优化调度、最佳运输、组合优化等领域得到广泛的研究和运用。智能化优化算法的计算机理, 它在具体应用领域的深入, 以及各种智能化优化算法之间的交叉结合等是它研究发展的趋势。

4. 模糊优化设计技术

常规的优化设计把设计中的各种因素均处理成确定的二值逻辑, 忽略了事物客观存在的模糊性, 使得设计变量和目标函数不能达到应有的取值范围, 往往会漏掉一些真正的优化方案, 甚至会带来一些矛盾的结果。事实上, 不仅由于事物差异之间的中介过渡过程所带来

的事物普遍存在的模糊性,而且由于研究对象的复杂化必然要涉及到模糊,信息技术、人工智能的研究必然要考虑到模糊信息的识别与处理,以及工程设计不仅要面向用户需求的多样化和个性化,还要以满足社会需求为目标,并依赖社会环境、条件、自然资源、政治经济政策等比较强烈的模糊性问题等,这些都必然使上述领域的优化设计涉及种种模糊因素。如何处理工程设计中客观存在的大量模糊性,这正是模糊优化设计所要解决的问题。模糊优化设计是将模糊理论与普通优化技术相结合的一种新的优化理论与方法,是普通优化设计的延伸与发展。目前,国内外理论及应用已取得了较大的进展,我国在机械结构的模糊优化设计、抗震结构的模糊优化设计等方面,取得了较多成果。将系统分析、经典优化技术中的动态规划原理与模糊优化理论相结合,为求解多目标、多层次、多阶段的复杂的大型成套机械设备系统的优化问题提供了新的途径。

5. 广义优化设计技术

国内的数值优化技术约在 20 世纪 70 年代初应用于工程设计,且目前离散和随机变量优化、结构优化、智能优化、优化建模和复杂系统优化方法学等领域的研究已取得具有相当水平的理论和应用成果,但对向前扩展到建立模型、处理模型,向后扩展到优化结果显示的全过程的研究还有待于进一步深入。广义优化技术的研究将使得人们能够从模型的建立、处理,到优化结果显示等全过程进行优化,它是优化设计的重要发展方向,其内容主要包括工程优化设计问题的自动建模技术、优化设计问题的前处理与后处理、优化设计结果的评价等。广义优化设计技术的主要优势如下:

1) 人工智能、专家系统技术的引入,增加了最优化方法中处理方案设计、决策等优化问题的能力,在优化方法中的参数选择时借助专家系统,减少了参数选择的盲目性,提高了程序求解能力。

2) 针对难以处理性态不好的问题、难以求得全局最优解等弱点,发展了一批新的方法,如:模拟退火法、遗传算法、人工神经网络法、模糊算法、小波变换法、分形几何法等。

3) 在数学模型描述能力上,由仅能处理连续变量、离散变量,发展到能处理随机变量、模糊变量、非数值变量等;在建模方面,开展了柔性建模和智能建模的研究。

4) 在研究对象上,从单一部分的、单一性能或结构的、分离的优化设计,进入到整体优化,分步优化、分部和分级优化、并行优化等,提出了覆盖设计全过程的优化设计思想。方法研究的重点,从着重研究单目标优化问题进入到着重研究多目标问题。

5) 在最优化方法程序设计研究中,一方面努力提高方法程序的求解能力和各个方法程序之间的互换性,研制方法程序包、程序库等;另一方面大力改善优化设计求解环境,开展了优化设计集成环境的研究,集成环境为设计者提供辅助建模工具、优化设计前后处理模块、可视化模块、接口模块等。

优化设计将从传统的优化设计向广义优化设计过渡。广义优化设计在基本理论上应是常规优化设计理论、计算机科学、控制理论、人工智能、信息科学等多学科的综合产物;在求解问题的类型上有数值型和非数值型问题,设计变量也可以有多种类型;在方法上应是多种算法互补共存;在实现上应是将多个方法、多个工具、多个软件系统无缝集成在一起形成具有统一的、使用方便的、功能齐全的最优化设计集成环境。

1.1.3 工程软件在优化设计分析中的应用

自 20 世纪 80 年代初以来,我国在优化技术研究与应用方面有了长足的发展,在优化决策理论与方法研究上能够跟踪这一领域的国际发展前沿,在优化设计软件开发和工程应用中取得了成果。国内在“六五”期间由合肥工业大学和华中工学院牵头的 15 所高校联合开发的“OPB 常用优化方法程序库”和“常用机械零部件及机构优化设计程序库”,标志着我国在优化方法及应用方面的研究已接近或达到了当时的世界先进水平。在“七五”期间进一步开发了“OPB-2 优化方法程序库”和处理离散变量的“MOD”等。由合肥工业大学承担完成的国家科技攻关项目“综合模块化优化方法程序库的研究”,在程序模块质量、求解问题的综合能力等多方面有较大的提高。基于该程序库,同期还完成了国家科技攻关项目“多目标优化方法程序的研制”,并在“数控机床 CAD 系统”中得以成功的应用。这些程序库的建立,已成为开展工程优化设计不可多得的工具软件。

美国 MathWorks 公司在 1994 年推出的科技应用软件 MATLAB,它具有强大的科技计算、图形处理、可视化功能和开放式可扩展环境,特别是所附带的优化工具箱 (Optimization Toolbox) 中包含有一系列优化算法和模块,可以用于求解约束线性最小二乘优化、约束非线性或无约束非线性极小值问题、非线性最小二乘逼近和曲线拟合、非线性系统方程和复杂结构的大规模优化问题。这些为工程优化设计提供的实用计算机程序库,为工程技术人员在计算机上使用各种有效的优化方法创造了条件。

产品设计是一个创造性的思维、推理和决策的过程。CAD 技术在产品设计中的成功应用,引起设计领域产生了深刻的变革,即由人完成的设计过程,已转变为由人机密切结合共同完成设计过程的智力与智能活动。传统 CAD 在数值计算和图形绘制上辅助人并扩展了人的能力,可以说这是现代设计中的智能化设计的初步。各主要工业发达国家正从传统的 CAD 技术不断向智能 CAD (ICAD) 和人机智能化设计系统方向发展,工程软件系统自分析、自调整 and 自纠错的智能化水平不断提高,使得产品设计全过程的自动化和智能化得以实现,面向 CIMS 的智能设计走向智能设计的高级阶段。人工智能、专家系统技术的引入,增加了最优化方法中处理方案设计、决策等优化问题的能力,在优化方法中的参数选择时借助专家系统,减少了参数选择的盲目性,提高了程序求解能力。参数实体建模系统,在某种程度上已成为机械设计自动化 (MDA) 行业的一种基础产品。目前最新的一种 MDA 技术,即行为建模 (Behavior Modeling) 技术;比较流行的三维建模软件有 Pro/ENGINEER、Unigraphics、Solid Edge 和 SolidWorks 等。

Pro/Engineer 是美国 PTC (Parametric Technology Corporation) 公司为微机开发的参数化设计和基于特征设计的实体造型的三维集成化软件。该系统建立在统一的数据库上,有完整和统一的模型,是一种全相关性的软件,设计者在产品设计过程中所作的任何修改,都会自动扩展到整个设计中,自动更新零件、装配、工程图等模块中所有的 2D 和 3D 的尺寸与工程文件,确保了数据的正确性。它将工业设计、功能仿真与制造过程集成在一起,同时提供了集运动、结构、热力学于一体的大型分析模块,能够进行静态、动态、疲劳和冲击等多种分析。

Unigraphics (UG) 是美国麦道 (MD) 公司推出的适用于航空航天器、汽车、通用机械

和模具等的设计、分析和制造工程软件，它采用基于特征的实体造型，具有尺寸驱动编辑功能和统一的数据库，实现了 CAD、CAE、CAM 之间无数据交换的自由切换，具有强大的数控加工功能，可以在 HP、Sun、SGI 等工作站上运行。Solid Edge 是该公司为微机开发的基于 Windows 的设计与绘图的简便的同类型软件。

SolidWorks 是美国 SolidWorks 公司推出的基于微机 Windows 操作系统的 CAD/CAM/CAE/PDM 桌面集成系统，它采用自顶向下的设计方法，可以动态模拟装配过程，采用基于特征的实体建模，具有很强的参数化设计和编辑功能，采用特征树管理几何特征。

行为建模技术可以在设计产品时，综合考虑所要求的功能行为、设计背景和几何图形。采用知识捕捉和迭代求解的智能化方法，使工程师可以面对不断变化的要求，追求高度创新的、能满足行为和完善要求的优化设计。该技术具有高度集成、高度智能的特点，其强大的功能主要体现在三个方面：一是建立产品设计的智能模型，能捕捉设计信息和过程信息，以及定义一件产品所需要的各种工程规范；二是采取目标驱动式设计，能优化每件产品的设计，以满足使用自适应过程特征从智能模型中捕捉的多个目标和需求变化，并可解决相互冲突的目标问题；三是具有开放式可扩展环境，提供了无缝工程设计功能，能保证产品不会丢失设计意图。行为建模技术所创建的智能化产品模型具有关联、基于特征、参数化的特点，通用的再生机制又使得关联性贯穿于整个设计流程。

1.2 MATLAB 系统简介

MATLAB（意为矩阵 Matrix 和实验室 Laboratory 的组合）是美国 MathWorks 公司用 C 语言开发出来的优秀的科技应用软件，它具有强大的科技计算、图形处理、可视化、开放式和可扩展环境，特别是所附带的几十种面向不同领域的工具箱支持，已经广泛地应用于数值分析、信号与图像处理、控制系统设计、通信仿真、工程优化、数学建模和统计分析等各个领域的计算机辅助设计、分析与应用开发，它将数据结构、编程特性和图形用户界面完美地结合为一体，成为目前市场上强有力的工程问题分析计算和程序设计工具。

MATLAB 是一种面向科学与工程计算的 21 世纪科学计算语言，在基本 MATLAB 产品中有上千个内部函数可供调用，也是数值分析和图形处理的基础平台。

1.2.1 MATLAB 的主要特点

MATLAB 具有以下主要的特点：

1) 编程容易。MATLAB 包含丰富的库函数可供直接调用，避免了对大量算法的重复编程，并允许用户以数学形式的语言编写程序，在命令窗口中输入命令即可直接得出结果，被誉为高级“数学演算纸和图形显示器”的科学算法语言。因此，编程比 FORTRAN、C 和 QBASIC 等语言更加简明易用，它的语法规则与一般结构化高级编程语言基本相同。

2) 调试方便。MATLAB 是一种解释执行语言，它将其他语言使用过程的编辑、编译、连接、执行和调试等步骤融为一体，并且在同一个窗口的处理程序中可能出现语法错误或逻辑错误，因此，程序调试比 Visual Basic 更简单方便。