

余俊 周济 等著

优化方法程序库

OPB-2

——原理及应用

华中理工大学出版社

优化方法程序库 OPB-2

——原理及应用

余俊 周济 等著

余俊	周济	刘少媚	秦敬
丁幼琳	唐增宝	钟毅芳	钱治航
王石刚	陆金桂	张雄	肖尚宏
廖玉英	王建华	程志毅	张学斌
方昀	赖国新		

华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

优化方法程序库 OPB-2——原理及应用/余俊 周济等著
武汉:华中理工大学出版社,1997 年 10 月
ISBN 7-5609-1564-7

- I. 优…
- II. ①余… ②周…
- III. 机械设计—计算机辅助设计, OPB—2 基本知识
- IV. TH122

优化方法程序库 OPB-2

——原理及应用

余俊 周济 等著

责任编辑:钟小珉

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:28 字数:678 000

1997 年 10 月第 1 版 1997 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—1 500

ISBN 7-5609-1564-7/TH·85

定价:39.80 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

优化方法程序库 OPB-2 保留了 OPB-1 中的精华部分,总结了新的研究成果。OPB-2 主要用于求解工程优化设计中的混合离散变量和连续变量的约束非线性问题及多目标优化问题,为在我国推广和使用优化设计新技术提供了一个完整的和可靠的工具。OPB-2 中包括六个求解混合离散变量优化设计问题的方法和程序以及一个考核程序包;七个求解连续变量优化设计问题的方法和程序;一个多目标优化设计问题的程序包,其中有多种求解方法;一个结构优化设计程序包;一个优化设计数学模型的前处理诊断程序包和常用机械零部件及机构的优化设计数学模型及求解结果分析。

本书内容新颖,论证翔实,算法先进,还引入了人工神经网络、基因遗传、人工智能等新算法。每一种算法和程序都介绍了它的原理、结构及求解步骤,并附有丰富的工程应用例题,做到理论与实用并重。

本书适合于从事优化设计的科研工作人员、工程技术人员及高等院校师生阅读。

由于受篇幅限制,书中所有的优化方法程序均由华中理工大学 CAD 中心另外提供。

前 言

唐代诗人贾岛说“十年磨一剑”，喻苦心磨炼方能成器。继 OPB-1 之后，经过我们 CAD 中心同仁的继续坚持和努力，写出这本《优化方法程序库 OPB-2——原理及应用》，先后共磨炼了 17 年之久，真可谓得之不易。

1 历史的回顾

从《优化方法程序库 OPB-1——原理及使用说明》^① 的问世到这本书脱稿，历经 6 年时间。OPB-1 是我们七所高等院校及研究所从 1978 年到 1989 年的 11 年间研究优化设计方法成果的总结；OPB-2 则是华中理工大学 CAD 中心从 1983 年开始筹建到现在研究优化设计方法成果的全面展示。

我们研究优化设计方法的历史可以追溯到 1978 年以前，因为在 1978 年中有几件大事标志着我们的工作已进入到实质性的研究阶段。第一件事是和沙市第一机床厂合作，用优化设计方法设计 $\phi 25$ 摇臂钻床，1980 年设计成功，1983 年制成样机，总体重量由原来的每台 1300kg 降低到 1000kg，传动齿轮由原来的每台 22 个减少到 18 个，并减少了一根传动轴，使制造成本大大降低，而性能指标则保持原来的不变。第二件事是 1978 年入学的我校机械学专业首届攻读硕士学位的四位学生，分别结合摇臂钻床变速箱的优化设计、高速插齿机机构的优化设计及飞剪机机构的优化设计，完成了他们的硕士学位论文。这些研究都是紧密结合工厂的生产实际的。通过这些研究，我们对优化设计方法及其应用有了进一步的探索。

1978 年以后，我们加快了研究的步伐。1980 年 6 月，我们邀请中国科学院的席少霖老师来校讲优化方法的基本理论，当时全国有 35 所高等院校的代表约 40 余人来听课。之后，我们的优化方法的理论水平得到了提高，同时，我们还开始了对优化方法程序库的研制工作。1983 年 5 月在屯溪召开的全国优化设计程序交流会上，很多单位无偿地提供了自己研制的优化方法源程序。我们还将从国外引进的一种程序经过改进和充实，成为《常用优化方法程序包 DOP-1》，将其源程序在会上交流，受到与会者的好评。1983 年底，《常用优化方法程序库的研究》被列为国家“六五”重点攻关课题。由于我们在屯溪会议上提供的 DOP-1 有一定的影响，因此这个“六五”攻关课题定为由华中理工大学负责。该项目于 1985 年完成并通过国家鉴定，确认为达到国际先进水平，《优化方法程序库 OPB-1——原理及使用说明》一书从此产生，它总结了“六五”期间我们在优化方法及程序研究方面的成果。随后，在“七五”期间，我们完成了国家重点攻关课题《优化设计及计算系统》；在“八五”期间，完成的《优化设计程序库》被纳入全国的《共性数据库》中。还有 1990

^① 余俊、周济. 优化方法程序库 OPB-1——原理及使用说明. 北京：机械工业出版社，1989

年的湖北省自然科学基金课题《工程组合结构优化设计的理论与应用研究》，以及1993年的国家自然科学基金课题《面向对象的工程组合结构优化的关键技术及集成》等课题的完成，这些课题都为研制 OPB-2 提供了强有力的基石，为撰写这本书提供了原始素材。

在这个时期中，值得一提的是，采用我们的优化设计方法用于生产实际，并制成产品的有以下几项：①和石咀山煤矿机械厂合作，用优化设计方法设计采矿用减速器，在保持原减速器的中心距不变的情况下，减速器的功率由 42kW 提高到 55kW。1982 年开始设计，产品制成后经过长期的现场试用，认为合格，1989 年通过鉴定。后来，这种减速器因采用优化设计方法而发展成系列产品。②1990 年和上海人民电机厂合作，对 Y 系列 65 个规格的电机，用混合离散优化方法进行设计，分别以成本最低、效率最高、启动转矩最大为优化设计目标，使全系列有效成本下降 4.38%，经济效益显著。另外，对 QY-2.2kW 水电泵进行了优化设计。这种电泵虽经过多次改进设计（基本上是经验性设计），但仍有潜力可挖，采用优化设计方法后，每台电磁线用量减少 0.33kg，若以节约成本 10 元计，年产 10 万台，则可节约 100 万元。

从 1978 年算起，我们开始研制 OPB-1 直至 OPB-2 研制成功，先后用了 17 年的时间，动员了大量的人力。OPB-1 是由华中理工大学、合肥工业大学、北京工业大学、北京科技大学、内蒙古工学院、机械部计算中心、空军后勤学校等七个单位 25 位教师、研究员和研究生经过 3 年的努力完成的。OPB-2 则是由华中理工大学 CAD 中心的 7 位教师、6 位博士研究生和 4 位硕士研究生，继续艰苦努力，又经过 10 年左右的时间才完成的。

1987 年《常用优化方法程序库》获“国家教委科学进步二等奖”；1991 年《优化设计及计算系统 ODS》获“国家教委科学进步二等奖”；1993 年《优化设计方法及应用》获“国家科学进步三等奖”；1991 年《机电产品优化设计方法及应用》被国家科委定为“八五”期间全国重点推广项目。这些荣誉的获得，说明了我们的成绩得到了社会的承认和国家的鼓励。

1986 年“六五”国家重点攻关课题《常用优化方法程序库》通过国家鉴定后，我们整理和出版了《优化方法程序库 OPB-1——原理及使用说明》一书。现在，我们完成了“七五”和“八五”的一些课题后，进一步编著了这本《优化方法程序库 OPB-2——原理及应用》。

2 未来的展望

优化方法约于 70 年代从数学领域走向用计算机求解设计问题以来，发展到现在，可以说现行的优化方法及其程序几乎完全能使大多数设计问题得到解决。虽然如此，由于设计问题是千差万别的，优化设计方法虽然取得了很大的成绩，但是，作进一步的深入研究还是非常必要的。

目前的优化设计工作,可以说绝大多数是在拓宽和加深优化方法的领域,仍然是以数学方法为主,配以应用程序,如多目标优化、混合离散变量优化,以及将人工智能、人工神经网络及基因遗传等算法用于优化。有一批高效而可靠的处理连续设计变量优化问题的方法及程序问世,也是这方面的重要工作之一。在处理复杂技术智能优化技术研究及应用方面^①,研究混合离散设计变量优化方法和含有随机因素的不确定型的工程优化设计方法^②·^③及广义优化方法用于工程机械设计^④,是我国近年来主要研究成果中的重要部分。

但是,优化设计方法的推广和应用,在我国还存在着很大的困难。目前的格局是:一方面优化设计方法和程序的研究成果突出;另一方面是应用于工程设计实际,形成产品,取得效益的却寥若辰星灿烂,屈指可数,形成了强大的反差。

追究其原因,应是多方面的。就优化设计方法本身而言,主要的原因在于优化设计体系不完整。优化设计体系应包括三个方面:

- (1)优化设计建模;
- (2)优化设计求解方法及程序;
- (3)优化设计结果的分析和评估。

目前,作为优化设计体系的核心部分,优化设计求解方法及程序,经过科研工作者的多年努力,已经做出了相当出色的工作,其研究成果足以应付大多数设计问题。但是,在优化设计建模及优化设计结果的分析和评估两个方面的研究,却非常落后,使得优化设计体系中的三大组成部分无法协调和匹配,形成了另一种反差。这个反差,促使形成了上述第一种反差,使优化设计工作难于走向实际应用。

另外,从设计的全局来看,优化设计只是其中的一个部分。如果在全部设计过程中仅仅只完成优化设计部分,而不能将方案设计、图形显示和输出等功能与优化设计方法融为一体,则很难满足设计者的要求。这也是传统的优化设计方法难于走向实用的另一个原因。

有鉴于此,我们提出一种“广义工程优化设计方法”的设想。

所谓“广义”优化,从不同的角度看问题,有不同的理解^④·^⑤。我们所说的“广义”,是针对一般传统的优化而言的,权且将它称之为“狭义”的。“狭义”的优化范畴局限于:①以数学规划的优化方法为主,求解设计问题;②要求用户建立优化数学模型,也就是要确定设计变量、目标函数和约束条件三大要素;③以机械零部件或机构为主要设计对象,达到以设计参数为主要优化目标的目的。其中,需要用户在进行优化设计时要自己建立数学模型,是推广和应用优化设计的最大的拦路虎,设计人员无法胜任这项工作,对此望而生畏,故只好“望优兴叹”了。其次,对用

① 倪启东. 复杂技术系统智能优化技术研究及应用. 浙江大学博士学位论文(导师冯培恩), 1995

② 陈立周等. 工程不确定模型优化设计理论与方法研究(技术总结报告). 北京科技大学, 1992

③ 陈立周等. 工程离散变量优化设计方法——原理与应用. 北京:机械工业出版社, 1989

④ 孙国正. 工程机械广义优化方法研究与应用. 北京:科学出版社, 1992

⑤ 高荣. 广义优化设计. 北京:煤炭工业出版社, 1991

优化设计方法取得的结果,缺乏客观的和可靠的评估手段,设计人员心中无底,不便承认或不敢采用优化设计的结果。

因此,我们所称的“广义”优化设计的含义,是打破要求设计者建立数学模型的格局,摆脱建立数学模型的困扰,提出研究并建立一种自动建立优化设计模型的设想,也就是说,使组成优化设计体系的三大部分中的第一部分优化设计建模自动化。其设想是,用计算机找出一种规律,使这种规律的变化趋势能正确地反映出原数学模型的性态和变化趋势,但不要求自动建模所反映的规律与真实数学模型的完全一致。由于优化自动建模符合设计者所提出的优化模型的定义,因此,当采用自动建模法得出的模型取代真实数学模型时,能得到原始优化设计问题的最优解。如果这个难关能够攻克(它是可以攻克的),则可以预见,优化设计问题将会跃上一个崭新的台阶。

其次,是优化设计结果的评估方法的自动化。这方面的工作,已有了一个良好的开端^①,但远远不够,还需要进一步充实、完善和扩大评价领域的功能,以达到正确和客观地评价优化结果的目的。

总之,所谓“广义”优化设计,虽然仍以数学规划算法为其核心,因为这样可以充分地利用过去人们所创建的各种优化方法和程序这个极其丰富的资源,但是,仍辅之以自动建模的功能,也就是增加优化设计的前处理部分;虽然仍以参数优化为设计的目标,因为设计的目的离不开确定参数,但是,不将它当成唯一的目标,而是辅之以工程设计所需要达到的另外一些目标,如对优化设计结果的自动评估功能,也就是增加优化设计的后处理部分。这样,使得优化设计体系的三大组成部分,即建模、求解、评估三者都有很强的功能,做到三者协调,使优化设计成为一种三者一体化的方法,便于使用且结果可靠。

“广义工程优化设计”中的“工程”的含义,是针对传统的优化设计只解决产品设计任务中的一部分任务而言的。工程设计是需要从设计的整体观点出发来解决设计的全部任务的。另一层意思是,工程设计的模型,一般说来有三大类:①可以用数学来描述的;②不能用数学来描述的,只能凭借经验和知识的;③介于以上二者之间的。传统的优化设计方法只能求解用数学来描述的模型,对其他类型的设计模型则无能为力。因此,工程设计应涉及到从任务到图纸的全过程,要有处理各种类型的设计模型的能力,要有处理设计过程中除了参数优化以外的其他任务的能力。“着眼于优化,立足于CAD”,应是我们所追求的目标。

因此,“广义工程优化设计方法”应包括:

(1)有建立三类设计任务模型的能力,但主要的能力还是优化设计模型的自动建模,兼之以方案设计的功能,有很强的设计前处理的功能;

(2)有求解各类设计模型的能力,但主要的是利用传统的数学规划优化方法

^① 廖玉英. 计算机网络绘图技术及其在工程优化中的应用. 机械设计, 1994, 2(11): 33~36

及程序,求解优化设计模型;

(3)有很强的对设计结果及决策进行评估的设计后处理的能力,能完成从方案设计到图形输出的全部设计任务。

目前,要完成上述设想,关键的研究工作是完成优化设计模型的前处理及设计结果的后处理。不论从理论上还是从实践上,要完成这两个任务都需要做大量的工作,决非是一蹴而就的。或许这是一条解救优化设计走出低谷的一条途径。

3 编著的概况

OPB-1 是以求解连续变量的非线性约束优化设计问题为主。OPB-2 则是以求解混合离散变量的非线性约束优化设计问题为主,并能处理多目标优化设计问题,其中保留了 OPB-1 中的精华部分。从连续变量的优化设计到混合离散变量和多目标的优化设计,说明我们研究工作的历史进程朝着完善和全面的方向前进。

本书是以阐明优化方法的原理为主要目标,并对程序的结构特点和求解步骤作些简要的说明。为了保持内容的继承性,本书的第二章综述了 OPB-1 中的七种优秀的处理连续变量的优化方法及程序和一种诊断优化设计模型的前处理程序;第三章综述了三种一般性的求解混合离散变量优化设计问题的方法和程序,引入了人工智能技术;第四章介绍了一种采用综合求解策略来处理混合离散变量优化设计问题的方法和程序(它的解题能力很强,可靠性高);第五章介绍了将基因遗传算法用于求解混合离散变量优化设计问题;第六章介绍了求解多目标优化设计问题的几种方法和程序;第七章介绍了将人工神经网络算法用于求解混合离散变量优化设计问题以及用于结构优化的近似分析;第八章介绍了结构优化设计;第九章介绍了形状优化设计;第十章介绍了常用机械零部件及机构的优化设计方法,列出了具体的数学模型,给出了优化设计的结果;第十一章介绍了对混合离散变量优化方法及程序的考核和评价,并提出了一种用三维图形显示评价优化结果的设计后处理方法。

本书重视工程应用。每一种优化方法都给出了计算实例,并说明应用过程及效果。

对优化设计方法和程序,用统一的标准和统一的考题进行考核和评价是非常重要的。本书的特点之一就是对程序和方法严格的考核,给出了考核的指标,用 30 道考题统一对本书中的五种混合离散优化方法进行了考核,并给出了考核的结果及评价。

本书各章的编写人员为:第一章,余俊;第二章,余俊、周济、王建华、程志毅、张学斌;第三章,刘少媚、秦敬、方昀、赖国新;第四章及第五章,钱治航;第六章,张雄;第七章,陆金桂、钱治航;第八章,王石刚;第九章,王石刚、肖尚宏;第十章,唐增宝、钟毅芳;第十一章,丁幼琳、廖玉英、钱治航、张雄。全书由余俊修改并统稿。

书中有些对优化方法的原理的研究还不成熟,有些内容还需进一步探索、充实和完善。书中的疏漏和不正确之处,欢迎读者批评指正。

著 者

1996年6月

目 录

第一章 优化方法程序库 OPB-2 概述	(1)
1 程序库 OPB-2 的总体结构	(1)
2 OPB-2 中主要程序算法的内容及特点	(2)
2.1 混合离散优化的综合求解策略及程序 MDOP2.0	(2)
2.2 混合离散优化基因遗传算法及程序 MDOP2.1	(2)
2.3 人工神经网络优化算法及程序 MDOP3.0	(3)
2.4 混合离散优化方法及程序 CVM02	(3)
2.5 拟离散序列二次规划法及程序 CVM03	(4)
2.6 基于人工智能(AI)技术的离散二次规划法及程序 MQRAI	(4)
2.7 混合离散变量优化方法及程序的考核程序包	(4)
2.8 约束变尺度法程序 CVM01	(4)
2.9 拟牛顿乘法及程序 QNM01	(5)
2.10 可行约束变尺度法及程序 CVMFD1	(5)
2.11 采用拟梯度的序列二次规划法及程序 CVMQG1	(5)
2.12 单调性分析的序列二次规划法及程序 MARQ	(5)
2.13 广义简约梯度法程序 GRG-2 及其改进型 GRG-C	(6)
2.14 混合罚函数法程序 MPOP	(6)
2.15 多目标优化方法及程序 MOOP	(7)
2.16 结构优化设计及程序 OOSOP	(7)
2.17 优化设计数学模型的前处理分析专家系统 ESAMN1	(7)
2.18 机械零部件与机构的优化设计程序 MDS1.0	(7)
第二章 连续变量优化设计方法综述	(8)
1 约束变尺度法及其程序 CVM01	(8)
1.1 概述	(8)
1.2 构造二次规划子问题及 Powell 算法的基本原理	(8)
1.3 近似 Hesse 矩阵的修正方法	(11)
1.4 Powell 算法的线性搜索策略	(12)
1.5 Powell 算法存在的问题	(13)
1.6 CVM01 中的线性搜索策略的改进——监控技术的应用	(14)
1.7 CVM01 中的 Hesse 矩阵 B 的修正与迭代的改进	(17)
1.8 CVM01 中提高梯度值精度的措施	(19)
1.9 CVM01 的算法步骤	(19)
1.10 CVM01 的数值结果分析及其应用	(23)
1.11 CVM01 程序及结构分析	(26)
2 拟牛顿乘法及其程序 QNM01	(29)
2.1 概述	(29)
2.2 构造二次规划子问题 QP	(30)
2.3 QNM01 的算法步骤	(31)
2.4 拟牛顿乘法与 Powell 型方法的主要区别	(32)

2.5	拟牛顿乘子法的算法步骤	(32)
2.6	QNM01 程序及其数值实验结果	(33)
3	可行约束变尺度法及其程序 CVMFD1	(35)
3.1	概述	(35)
3.2	QP 子问题的解的性质	(36)
3.3	可行方向的构造	(37)
3.4	确定搜索步长和寻找可行初始点的方法	(37)
3.5	CVMFD1 的算法步骤	(39)
3.6	CVMFD1 程序及其数值实验结果	(39)
4	采用拟梯度的序列二次规划法及其程序 CVMQG1	(42)
4.1	概述	(42)
4.2	拟梯度的计算方法	(42)
4.3	采用拟梯度的序列二次规划方法	(47)
4.4	CVMQG1 的算法步骤	(47)
4.5	CVMQG1 程序及其数值实验结果	(48)
5	单调性分析的序列二次规划法及其程序 MARQ	(49)
5.1	概述	(49)
5.2	MARQ 的算法原理——Biggs 型二次逼近法的数学原理	(50)
5.3	MARQ 的计算方法	(52)
5.4	Lagrange 函数 Hesse 矩阵逆阵的近似与逼近	(53)
5.5	不精确一维搜索	(54)
5.6	起作用约束集与单调性分析技术	(55)
5.7	MARQ 程序及结构分析	(58)
6	广义简约梯度法及其程序 GRG-2 和 GRG-C	(61)
6.1	概述	(61)
6.2	广义简约梯度法的数学模型	(62)
6.3	简约梯度法	(63)
6.4	广义简约梯度法	(66)
6.5	GRG-2 的计算方法	(72)
6.6	GRG-C 采用的改进措施	(81)
6.7	GRG-2 和 GRG-C 程序及结构分析	(87)
7	混合罚函数法及程序 MPOP	(93)
7.1	概述	(93)
7.2	混合罚函数法的数学模型	(94)
7.3	混合罚函数法	(94)
7.4	混合罚函数法的算法步骤	(96)
7.5	一维搜索的四点三次插值法	(100)
7.6	MPOP 程序及结构分析	(105)
8	优化设计数学模型的前处理分析专家系统 ESAMN1	(106)
8.1	概述	(106)
8.2	优化设计数学模型的诊断	(107)
8.3	优化设计数学模型的简化	(109)
8.4	ESAMN1 的应用实例	(112)

参考文献	(115)
第三章 混合离散变量优化设计方法综述	(118)
1 概述	(118)
2 混合离散变量优化方法及程序 CVM02	(119)
2.1 CVM02 的基本思想	(119)
2.2 混合离散变量直接搜索法 MDOD 简介	(119)
2.3 CVM02 算法特点及过程	(120)
2.4 连续变量的离散化转换及子程序 TRANS	(121)
2.5 离散搜索中灵敏度分析的应用	(122)
2.6 离散一维搜索方法的改进	(123)
2.7 CVM02 中两种搜索策略	(124)
2.8 应用实例	(124)
3 拟离散序列二次规划法及程序 CVM03	(128)
3.1 CVM03 的基本思想	(128)
3.2 离散问题的单调性分析	(129)
3.3 近似的收敛准则	(131)
3.4 CVM03 的圆整策略	(132)
3.5 离散变量的灵敏度分析技术及坐标轮换搜索	(135)
3.6 应用实例	(136)
4 基于人工智能(AI)技术的离散二次规划法及程序 MQPAI	(142)
4.1 MQPAI 的基本思想	(142)
4.2 离散序列二次规划的可行方向法	(143)
4.3 寻找初始可行离散点的方法	(145)
4.4 基本规划的建立原则	(146)
4.5 Lagrange 函数或目标函数的 Hesse 矩阵的修正	(146)
4.6 离散序列二次规划中的可行方向修正	(147)
4.7 离散搜索步长	(147)
4.8 部分基本规则	(147)
4.9 MQPAI 的基本思想与程序结构	(148)
4.10 MQPAI 的主要算法步骤	(151)
参考文献	(152)
第四章 混合离散变量优化的综合求解策略及其程序 MDOP2.0	(154)
1 概述	(154)
1.1 混合离散变量优化的特点	(154)
1.2 圆整策略的局限性	(154)
2 混合离散变量优化的数学模型描述	(156)
2.1 混合离散变量优化的数学模型	(156)
2.2 一般非线性混合离散变量优化设计的数学模型转化	(157)
3 混合离散变量优化的基本定义及最优性条件	(159)
3.1 基本概念和定义	(159)
3.2 离散变量问题的最优性条件	(161)
3.3 两类代表性方法及其特点	(161)
4 MDOP2.0 核心算法的基本思想	(162)

4.1	基因遗传算法——寻求离散可行点算法之一	(163)
4.2	离散变量复合形法——寻求离散可行点算法之二	(166)
4.3	Monte-Carlo 随机试验法——寻求离散可行点算法之三	(168)
4.4	自适应随机搜索法——寻求离散可行点算法之四	(169)
5	离散局部最优解的寻求	(171)
5.1	离散局部最优解的避免	(171)
6	离散一维搜索技术	(171)
6.1	相对混合次负梯度方向——离散搜索方向之一	(173)
6.2	PRP 共轭梯度方向——离散搜索方向之二	(173)
7	离散查点技术	(174)
7.1	隐枚举查点技术——跳出局部最优解措施之一	(174)
7.2	人工神经网络查点技术——跳出局部最优解措施之二	(175)
8	MDOP2.0 的分析	(176)
8.1	算法终止准则	(176)
8.2	MDOP2.0 算法流程	(177)
9	工程应用实例	(177)
10	MDOP2.0 的结构及使用说明	(184)
10.1	程序结构	(184)
10.2	用户接口	(184)
	参考文献	(186)
	第五章 混合离散变量优化基因遗传的算法及程序 MDOP2.1	(188)
1	概述	(188)
1.1	基因遗传算法概况	(188)
1.2	基因遗传算法的基本思路	(188)
1.3	基因遗传算法的常规步骤	(189)
2	MDOP2.1 求解步骤	(190)
2.1	设计变量的二进制代码的映射转换	(190)
2.2	MDOP2.1 的计算步骤	(191)
3	MDOP2.1 的分析及结构	(195)
4	MDOP2.1 的应用实例	(196)
	参考文献	(198)
	第六章 多目标优化算法原理及程序 MOOP	(200)
1	概述	(200)
1.1	基本概念	(200)
1.2	多目标优化算法的分类	(201)
1.3	多目标优化的对偶性	(202)
2	常用多目标优化算法及原理	(202)
2.1	约束法	(202)
2.2	分层序列法(目标分量排序法)	(203)
2.3	功效函数法	(205)
2.4	权函数法	(207)
2.5	理想点法	(211)

2.6	主要目标法	(213)
3	交互式协调割平面法	(217)
3.1	概述	(217)
3.2	算法的基本思想	(218)
3.3	算法原理	(218)
3.4	算法步骤	(223)
3.5	实例	(224)
4	混合离散多目标优化问题的处理方法	(226)
4.1	引言	(226)
4.2	多目标评价函数混合离散优化算法	(226)
4.3	混合离散多目标优化序列圆整算法	(227)
5	MOOP 结构及分析	(230)
5.1	算法总体流程	(230)
5.2	MOOP 的总体结构	(231)
5.3	主要子程序的功能及分析	(232)
	参考文献	(234)
	第七章 神经网络优化设计原理及方法	(236)
1	概述	(236)
1.1	连续 Hopfield 神经网络模型	(236)
1.2	多层神经网络模型	(238)
1.3	Boltzmann 机模型	(238)
1.4	Cauchy 机模型	(239)
1.5	人工神经网络优化方法的基本原理	(239)
2	人工神经网络混合离散优化算法及程序 MDOP3.0	(242)
2.1	基本原理	(242)
2.2	优化问题的神经网络模型化——构造能量函数	(242)
2.3	神经网络优化模型的求解方法——模拟退火算法	(243)
2.4	混合离散变量优化问题的神经网络模型求解算法	(244)
2.5	人工神经网络混合离散变量优化设计程序 MDOP3.0 的结构及评价	(245)
3	人工神经网络的结构优化方法	(246)
3.1	人工神经网络结构优化的基本构成	(246)
3.2	基于人工神经网络的结构近似分析方法的理论基础	(247)
3.3	基于人工神经网络的结构近似分析算法	(248)
3.4	多层神经网络样本学习的多级优化模型	(250)
3.5	改进的多层神经网络学习算法	(251)
3.6	应用实例	(254)
	参考文献	(257)
	第八章 结构优化设计	(258)
1	概述	(258)
2	敏度分析原理及实施	(260)
2.1	敏度分析方法	(260)
2.2	商用有限元软件敏度分析的实施	(263)
3	结构优化准则法	(265)

3.1	满应力法	(265)
3.2	单位移约束准则法	(266)
3.3	多位移约束准则法	(267)
4	结构优化的齿行法	(267)
4.1	齿行法的实施	(268)
4.2	杆结构优化齿行法	(268)
4.3	板结构优化齿行法	(269)
4.4	梁结构优化齿行法	(272)
4.5	组合结构优化齿行法	(273)
5	结构优化的基因遗传(GA)算法	(275)
5.1	动态种源 GA 算法	(276)
5.2	动态种源 GA 结构优化算法实施	(278)
5.3	GA 数值实例	(280)
5.4	结构优化混合算法	(282)
6	多级结构优化技术与面向对象方法	(282)
6.1	面向对象的多级结构优化建模	(283)
6.2	多级结构优化算法	(285)
7	结构优化程序 OOSOP1.0 的结构及使用	(286)
7.1	OOSOP1.0 的算法流程	(286)
7.2	OOSOP1.0 的总体结构	(286)
7.3	用户接口	(288)
8	工程应用实例	(289)
8.1	大型工业剪切机组结构优化设计实例	(289)
8.2	大型工业打包机组结构优化设计实例	(291)
8.3	起重机端梁优化设计实例	(291)
	参考文献	(292)
	第九章 形状优化设计	(293)
1	概述	(293)
2	形状优化参数描述	(294)
2.1	Ferguson 曲线	(295)
2.2	Ferguson 曲面	(295)
2.3	Bezier 曲线	(296)
2.4	Bezier 曲面	(297)
2.5	B 样条曲线	(298)
2.6	B 样条曲面	(300)
2.7	NURBS 曲线	(301)
2.8	NURBS 曲面	(302)
3	形状优化的敏度分析	(303)
3.1	有限元离散模型形状解析敏度	(303)
3.2	形状敏度分析拟载荷法实施步骤	(305)
3.3	形状敏度分析的单位虚载荷法	(306)
3.4	形状敏度分析的半解析法	(307)
3.5	敏度分析的物质导数法	(307)

4	网格自动生成	(308)
4.1	参数映射法	(309)
4.2	基于速度场的网格自动划分	(312)
4.3	Delaunay 法网格自动划分	(317)
4.4	四叉树(八叉树)法	(318)
5	自适应有限元分析	(319)
5.1	误差估计	(320)
5.2	h 自适应法	(322)
5.3	p 自适应法	(324)
5.4	p 方法误差估计	(328)
6	自适应形状优化	(329)
6.1	形状优化数学模型	(329)
6.2	形状优化算法	(330)
7	工程形状优化应用实例	(331)
7.1	梁的形状应力敏感度分析	(331)
7.2	连杆的形状优化设计	(332)
7.3	起重吊钩的自适应形状优化	(333)
	参考文献	(334)
	第十章 机械零部件及机构的优化设计与程序 MDS1.0	(335)
1	机械零部件优化设计中的几个问题	(335)
1.1	数学模型	(335)
1.2	优化方法的选择	(336)
1.3	优化结果的分析 and 处理	(337)
2	以承载能力最大为目标的优化设计	(339)
2.1	传递功率最大的圆柱齿轮传动优化设计	(339)
2.2	强度最大的弧齿锥齿轮传动优化设计	(343)
3	以体积最小或重量最轻为目标的优化设计	(347)
3.1	行星齿轮减速器的优化设计	(347)
3.2	弹簧的优化设计	(353)
4	以摩擦学特性最佳为目标的优化设计	(356)
4.1	流体动压径向圆柱滑动轴承最佳润滑性能的设计	(357)
4.2	行星变速箱换挡离合器最佳摩擦特性的优化设计	(364)
5	再现连杆机构从动件运动性能的优化设计	(369)
5.1	以复演预期位置(或速度、加速度等)为目标的优化设计	(369)
5.2	以复演预期轨迹为目标的优化设计	(371)
5.3	以复演预期传动函数为目标的优化设计	(372)
5.4	优化设计数学模型建立的原则	(372)
6	以动力学特性最佳为目标的优化设计	(377)
6.1	齿轮传动的最佳动态性能设计	(377)
6.2	机构的最佳动力学参数优化设计	(384)
	参考文献	(388)
	第十一章 优化程序的考核及评价	(389)