



全国高等农林院校“十一五”规划教材

优化设计方法

邵陆寿 主编

X α

$\nabla f(X)$

$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$

+

=

中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

优化设计方法

邵陆寿 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

优化设计方法/邵陆寿主编. —北京: 中国农业出版社,
2007. 7

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11660-3

I. 优… II. 邵… III. 最优化算法-高等学校-教材
IV. 0242. 23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 075771 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)
责任编辑 朱 雷

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 19.25

字数: 338 千字

定价: 25.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材主要内容有：优化设计概述、优化设计的数学基础、迭代终止准则及一维搜索方法、无约束优化方法、线性规划、约束优化方法、多目标及离散变量优化方法、优化设计的数学建模、智能优化设计算法及其应用简介、优化设计方法及其应用。本教材可以作为高等院校工程设计、工程管理、机械类专业 30~50 学时的本科、研究生教材，也可供有关专业的学生、教师、工程技术人员参阅。

编写人员名单

主 编 邵陆寿 (安徽农业大学)

副主编 陶栋材 (湖南农业大学)

王继先 (安徽农业大学)

张维英 (大连水产学院)

夏荣霞 (南京农业大学)

参 编 邱 勇 (云南农业大学)

崔清亮 (山西农业大学)

朱德泉 (安徽农业大学)

邓春香 (湖南农业大学)

前 言

优化设计方法是工程设计、工程管理、机械类专业的一门必修课，其目的是使学生掌握优化设计的思想、基本概念和基本方法，获得解决优化设计问题的应用能力。本教材可作为高等院校工程设计、工程管理、机械类专业的本科、研究生教材，也可供有关专业的学生、教师、工程技术人员参阅。

全书分为五大部分，第一部分是优化设计的基本概念及相关数学理论；第二部分是具体的优化设计方法，精选了若干方法，方法的选择贯穿了“少而精”的思想；第三部分是优化设计的建模方法及应用实例，应用实例的素材选择了近年来编撰者科研中发表的若干科技文章；第四部分是 Matlab 优化工具的使用，这部分不独立成章，穿插在各章节中讲解，本着“学以致用”的原则。第五部分是学科前沿简介，简介了智能优化及离散优化的相关理论及应用。

本教材由安徽农业大学邵陆寿主编，湖南农业大学陶栋材、安徽农业大学王继先、大连水产学院张维英、南京农业大学夏荣霞任副主编，云南农业大学邱勇、山西农业大学崔清亮、安徽农业大学朱德泉、湖南农业大学邓春香参加编写。第一、二、三章、第十章第四节由邵陆寿、朱德泉编写，第四章、第十章第一节由夏荣霞编写，第五章由王继先编写，第六章由陶栋材、邓春香编写，第七章、第十章第二节由崔清亮编写，第八章、第十章第三节由邱勇编写，第九章由张维英编写。全书由邵陆寿统稿。本教材编写过程中，安徽农业大学教师徐伟君、许伟、王莉、赵弘以及研究生葛婧、戴之强、崔怀雷等做了很多有益的工作。

本教材由合肥工业大学教授柯尊忠、安徽农业大学教授韩锦春、安徽建筑工业学院教授袁根福进行了认真的审阅，并对本书提供了很多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中的缺点、错误在所难免，敬请广大读者不吝指正。

编 者

2007年2月

目 录

前言

第一章 优化设计概述	1
1.1 优化设计发展简史及应用现状	1
1.1.1 优化设计发展简史及与计算机辅助设计、传统设计的关系	1
1.1.2 优化设计的地位、存在问题及其对策	2
1.2 优化设计的基本概念	3
1.2.1 优化设计的含义	3
1.2.2 优化设计的数学模型	4
1.2.3 优化设计的一般过程及其几何解释	6
1.3 Matlab 在优化设计中的应用	7
1.3.1 Matlab 简介	7
1.3.2 Matlab 在优化设计中的应用	9
习题	13
第二章 优化设计的数学基础	14
2.1 多元函数的方向导数与梯度	14
2.1.1 方向导数	14
2.1.2 梯度	15
2.1.3 最速下降方向	16
2.1.4 最速下降方向与最速上升方向的几何意义	16
2.2 函数的近似表示式	17
2.2.1 一元函数的 Taylor 展开式	17
2.2.2 二元函数的 Taylor 展开式	17
2.3 二次函数的向量及矩阵表达方法	19
2.3.1 二次函数的一般形式	19
2.3.2 二次函数性状及矩阵表达	19

2.3.3	一般目标函数与二次函数的联系	20
2.3.4	几种特殊函数的梯度	21
2.3.5	Hessian 矩阵的部分性质	22
2.4	无约束目标函数极值点存在的充分条件和必要条件	23
2.5	凸集、凸函数与凸规划	24
2.5.1	凸集	24
2.5.2	凸函数	25
2.5.3	凸性判别条件	26
2.5.4	凸规划	27
2.6	约束函数的集合及其性质	27
2.7	不等式约束优化设计问题的极值条件	27
2.8	kuhn_Tucker (k-T) 最优化条件	28
2.8.1	不破坏约束边界的可行方向	28
2.8.2	目标函数值下降的可行方向	29
2.8.3	k-T 最优性条件的几何意义	30
	习题	33
第三章	迭代终止准则及一维搜索方法	35
3.1	优化设计问题的迭代思路及迭代终止准则	35
3.1.1	迭代思路	35
3.1.2	数值计算迭代法的终止准则	36
3.2	一维搜索的最优化方法	37
3.3	搜索区间的确定	39
3.4	确定搜索区间的程序原理	40
3.5	黄金分割法	41
3.5.1	黄金分割法原理	42
3.5.2	$\lambda=0.618$ 的由来	42
3.6	二次插值法	45
3.6.1	α_p^* 的求法	46
3.6.2	如何使 α_p^* 尽可能地靠近 α^*	47
3.6.3	判断 α_p^* 在 α_2 的左边还是右边, 确定缩小区间方案	47
3.6.4	判断 α_p^* 是否落在区间 $[\alpha_1, \alpha_3]$ 之外	47
	习题	49

第四章 无约束优化方法	50
4.1 无约束优化问题概述	50
4.1.1 无约束优化问题的数学模型	50
4.1.2 无约束优化问题的求解方法及其分类	50
4.2 最速下降法	52
4.2.1 最速下降法的基本思想	52
4.2.2 最速下降法的程序原理	54
4.3 牛顿型方法	55
4.3.1 牛顿型方法的基本思想	55
4.3.2 阻尼牛顿法	56
4.3.3 阻尼牛顿法的程序框图	56
4.4 共轭方向法	57
4.4.1 共轭方向	57
4.4.2 共轭向量的几何意义及共轭方向的性质	57
4.4.3 共轭方向法	58
4.5 共轭梯度法	58
4.5.1 共轭梯度法的基本思想	58
4.5.2 共轭梯度法的程序框图	59
4.6 坐标轮换法	61
4.6.1 坐标轮换法的搜索过程及方向向量取法	61
4.6.2 坐标轮换法的程序流程图	62
4.6.3 坐标轮换法的特点	63
4.7 鲍威尔法	64
4.7.1 鲍威尔法的基本原理及其共轭方向的生成	64
4.7.2 鲍威尔法的基本算法	65
4.7.3 对鲍威尔法基本算法的改进	66
4.7.4 鲍威尔法计算步骤与程序原理	68
4.8 单纯形法	71
4.8.1 单纯形法的基本原理	71
4.8.2 单纯形法的计算步骤	72
4.8.3 单纯形法的程序流程图	73
4.9 变尺度法	75
4.9.1 尺度矩阵的概念	75

4.9.2 变尺度矩阵的建立	76
4.9.3 变尺度法的一般步骤及程序框图	77
4.9.4 DFP 算法	79
4.10 无约束优化问题应用模型及 Matlab 计算	81
习题	82
第五章 线性规划	83
5.1 线性规划的标准形式	83
5.2 线性规划的基本性质	87
5.2.1 线性规划的几何意义	87
5.2.2 线性规划的基本概念与基本性质	88
5.3 单纯形法	90
5.3.1 单纯形法的基本思想	90
5.3.2 单纯形法的算法及其迭代过程	94
5.3.3 单纯形表	98
5.3.4 单纯形法的进一步讨论	101
5.4 改进单纯形法	106
5.5 Matlab 环境下线性规划模型的计算	110
习题	112
第六章 约束优化方法	115
6.1 概述	115
6.1.1 约束优化问题的数学模型	116
6.1.2 约束优化问题的分类和求解	116
6.2 随机方向法	118
6.2.1 随机方向法的基本思路	118
6.2.2 随机方向法的特点	119
6.2.3 随机数的产生	119
6.2.4 初始点的选择	120
6.2.5 可行搜索方向的产生	120
6.2.6 搜索步长的确定	121
6.2.7 随机方向法的计算步骤	121
6.3 复合形法	123
6.3.1 复合形法的基本原理	123

6.3.2 初始复合形的形成	124
6.3.3 复合形法的搜索方法	125
6.3.4 复合形法的计算步骤	127
6.4 可行方向法	131
6.4.1 可行方向法的搜索策略	131
6.4.2 产生可行方向的条件	132
6.4.3 可行方向的产生方法	134
6.4.4 步长的确定	135
6.4.5 收敛条件	138
6.4.6 可行方向的计算步骤	138
6.5 惩罚函数法	141
6.5.1 惩罚函数法的基本原理	142
6.5.2 内点惩罚函数法	142
6.5.3 外点惩罚函数法	146
6.5.4 内点法与外点法的比较	149
6.5.5 惩罚函数法应用举例	150
6.5.6 混合惩罚函数法	153
6.6 增广乘子法	154
6.6.1 拉格朗日乘子法	154
6.6.2 等式约束的增广乘子法	156
6.6.3 不等式约束的增广乘子法	159
6.7 广义简约梯度法	162
6.7.1 简约梯度法	162
6.7.2 广义简约梯度法	167
6.7.3 不等式约束函数的处理和换基问题	169
6.8 二次规划法	172
6.9 约束优化应用模型及 Matlab 计算	174
习题	180
第七章 多目标及离散变量优化方法	182
7.1 多目标优化问题	182
7.2 多目标优化方法	184
7.2.1 主要目标法	185
7.2.2 统一目标法	186

7.2.3 协调曲线法	193
7.3 离散变量优化问题	194
7.3.1 离散设计空间和离散值域	195
7.3.2 非均匀离散变量和连续变量的均匀离散化处理	196
7.3.3 离散最优解	198
7.4 离散变量优化方法	199
7.4.1 凑整法	199
7.4.2 离散型惩罚函数法	201
7.4.3 网格法	203
7.4.4 离散复合形法	204
习题	209
第八章 优化设计的数学建模	211
8.1 数学建模方法	211
8.2 优化设计实际应用的困难	212
8.3 提高优化设计效率的技巧和方法	213
8.3.1 设计变量的缩减	213
8.3.2 约束条件的筛选	216
8.3.3 数学模型的再设计	217
8.3.4 初始点的选取和优化设计方法的选择	220
习题	221
第九章 智能优化设计算法及其应用简介	223
9.1 概述	223
9.2 组合优化与计算复杂性	225
9.2.1 组合最优化问题及常见的典型问题描述	225
9.2.2 计算复杂性	227
9.3 邻域结构和局部搜索算法	228
9.3.1 邻域结构、局部最优解	228
9.3.2 局部搜索算法	229
9.4 禁忌搜索算法	229
9.4.1 概述	229
9.4.2 简单禁忌搜索算法步骤	230
9.4.3 禁忌搜索的关键参数和操作	231

9.4.4 禁忌搜索算法特点	233
9.4.5 禁忌搜索算法示例	234
9.5 遗传算法	236
9.5.1 概述	236
9.5.2 自然进化与遗传算法的发展概况	237
9.5.3 遗传算法的常用术语及基本遗传操作	239
9.5.4 遗传算法的两种基本理论	241
9.5.5 遗传算法的实现技术	242
9.5.6 遗传算法的运行参数	248
9.5.7 遗传算法的应用研究概况	249
9.5.8 遗传算法应用举例	250
9.5.9 遗传算法 Matlab 6.5 工具箱函数及应用举例	255
9.6 模拟退火算法	258
9.6.1 固体金属退火过程描述	259
9.6.2 Metropolis 准则	259
9.6.3 模拟退火算法的基本思想和步骤	260
9.6.4 模拟退火算法收敛的条件	261
9.6.5 模拟退火算法关键参数和操作设计	262
9.6.6 模拟退火算法应用	265
第十章 优化设计方法及其应用	267
10.1 平面连杆机构的优化设计	267
10.1.1 曲柄摇杆机构再现已知运动规律的优化设计	267
10.1.2 曲柄摇杆机构再现已知运动轨迹的优化设计	269
10.2 双向犁翻转机构的优化设计	270
10.2.1 液压翻转机构的数学模型	271
10.2.2 翻转机构的优化设计	273
10.2.3 优化结果	274
10.3 钢筋混凝土结构的优化设计	275
10.3.1 矩形截面钢筋混凝土梁的优化设计	275
10.3.2 矩形截面钢筋混凝土柱的优化设计	279
10.4 根据插穴确定曲柄摇杆式分插机构参数的方法	280
10.4.1 模型建立	281
10.4.2 计算示例	285

10.4.3 在同一种土壤工况下,解决各插秧工况下分插机构参数变化的方法	286
10.4.4 结论	287
习题	287
附录	288
Matlab 最优化工具箱	288
参考文献	290

第一章 优化设计概述

本章知识要点及学习要求

1. 了解优化设计发展简史及应用现状。
2. 掌握优化设计基本概念。
3. 掌握优化设计数学模型分类及标准数学模型。
4. 掌握优化设计的一般过程及其几何解释。
5. 了解 Matlab 在优化设计中的应用。

1.1 优化设计发展简史及应用现状

1.1.1 优化设计发展简史及与计算机辅助设计、传统设计的关系

优化设计方法是运筹学的一个分支,源于20世纪50年代,该方法提供了多种用古典微分法和变分法所不能解决的最优化方法。但该方法的直接工具为电子计算机,国外从20世纪60年代开始,首先将优化设计方法应用于重要工程的设计及管理学科的规划设计。例如:飞机、汽车、武器、内燃机、建筑物等重要零部件的设计,车辆调度、有限资源的最大化使用方案设计。我国自20世纪70年代开始应用,80年代以来,随着微型计算机性能的逐步提高,微型计算机在各行各业的大量普及,优化设计学科进入了大发展时期。时至今日,优化设计思想已为全社会知识阶层所接受。

纵观工程设计的历史,优化设计(Optimal Design)的出现并非偶然。由于传统的设计方法,即传统的“强度理论”方法,受到了来自多个方面的严重的挑战,其表现主要是:

- (1) 强度理论是建立在实验基础之上的,对现实世界不能做到圆满地解释;
- (2) 整个设计完全依赖于设计人员的自身素质;

(3) 资料检索、设计计算、绘图等全部由设计人员来担任, 工作量巨大;

(4) 设计周期长, 不利于产品的更新换代, 不利于日趋激烈的国际竞争。

优化设计及计算机辅助设计正是为了弥补传统设计的缺陷而诞生的。优化设计是计算机辅助设计 (Computer Aided Design) 技术的一个主要组成部分。目前世界各国都相继采用了计算机辅助设计技术, 即 CAD 技术。所谓计算机辅助设计, 就是利用计算机的高速运算能力、极大的存储信息能力, 加上专业技术人员的高度的思维概括能力来共同完成一个具体目标的设计。CAD 技术在我国的应用已有近 40 年的历史, 随着微型计算机功能的不断完善, 应用范围的不断拓宽, 性能、价格比的不断提高, 利用微机进行计算机辅助设计已越来越普遍。CAD 技术在机械、建筑、国防、纺织、造船、服装设计等行业都有大量的应用, 而且取得了巨大的经济效益, 为我国工程业加入世界贸易组织 (WTO), 提高自身能力和世界环境下的竞争能力, 提供了强有力的技术支持。与 CAD 技术同时发展的有:

- (1) CAG (Computer Aided Graphics), 计算机辅助绘图;
- (2) CAM (Computer Aided Manufacture), 计算机辅助制造;
- (3) CAT (Computer Aided Test), 计算机辅助检验;
- (4) SS (System Simulation), 系统仿真等。

特别是系统仿真技术, 使设计人员在完成一个具体的设计之前, 可以进行虚拟设计, 不但可借助计算机的三维造型技术构造出产品的逼真外观, 还可进行运动学、动力学等运动参数的测试, 使设计人员提高一次设计成功的概率, 极大地缩短了产品的开发周期, 节约了开发产品的总成本。

优化设计是上述计算机辅助设计技术中的重要组成部分, 是学习计算机辅助设计各项技术的基础。

1.1.2 优化设计的地位、存在问题及其对策

优化设计是计算机辅助设计各项技术的基础, 为工程设计提供了一种重要的科学设计方法, 使得在解决复杂设计问题时, 能从众多的设计方案中找到尽可能完善的或最适宜的设计方案, 因而采用这种设计方法能大大提高设计效率和设计质量。回顾优化设计技术在我国的发展历程, 尽管这一技术的优点已成设计人员的共识, 但是应用仍不普遍, 分析其成因, 主要是存在如下的若干瓶颈问题:

(1) 要优化一个目标, 首先得建立该目标的数学模型, 因此需要设计人员具备专业知识、建立数学模型等方面的综合应用能力;