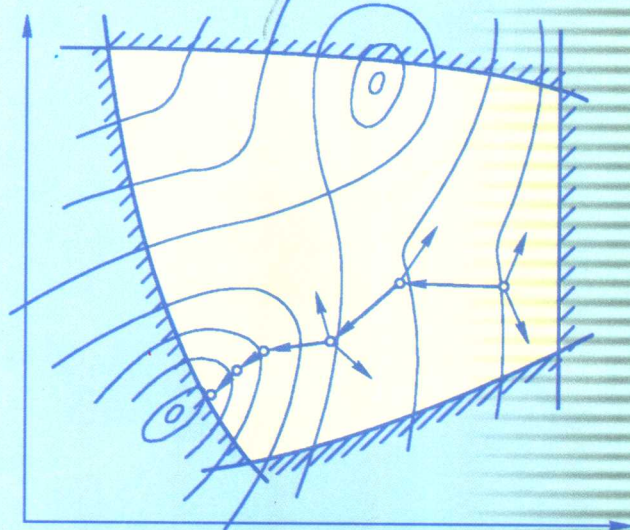


机械优化

设计方法

(第3版)

陈立周 主编



冶金工业出版社

JIXIE YOUHUA SHEJIFANGFA

机械优化设计方法

(第3版)

北京科技大学 陈立周 主编

北 京

冶金工业出版社

2005

图书在版编目(CIP)数据

机械优化设计方法/陈立周主编. —3版. —北京:
冶金工业出版社, 2005. 3
ISBN 7-5024-3636-7

I. 机… II. 陈… III. 机械设计—最佳化
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 109428 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)
责任编辑 方茹娟 美术编辑 王耀忠
责任校对 刘倩 李文彦 责任印制 李玉山
北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
1985 年 6 月第 1 版, 1995 年 5 月第 2 版
2005 年 3 月第 3 版, 2005 年 3 月第 10 次印刷
787mm×1092mm 1/16; 17 印张; 408 千字; 256 页; 1-3000 册
29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893
冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第3版 前言



本书自1993年第二次修订出版以来,刚好10年。在这段时间里,设计工作多数已经发生了重要的变化,除了计算机已成为设计工作的一种必备工具外,CAD和优化设计等一些现代设计技术也已深入到日常的设计工作中,并已成为提高设计质量和设计效率的重要手段。基于这一点,在这次修订中,一方面需要增加优化设计近期发展的一些理论与技术,使之跟上本学科发展的步伐;另一方面也要随着人们对优化设计认识的不断深入需要补充和修正一些概念和知识。但归根到底,还是要加强优化建模、模型求解方法及其两者关系正确处理等方面问题的阐述。

在优化建模方面,除了加强一般优化建模的论述外,增加了稳健优化建模的概念和方法、人工神经网络用于建模的讨论以及对模型的单调性分析、解的稳健性和灵敏度分析等方面的介绍。

在求解方法方面,除把原第5章和第6章精简合并为约束优化方法外,增加了现代优化计算方法一章,主要介绍模拟退火算法、遗传算法和人工神经网络算法等现代启发式算法。

除上述外,在第1章中补充了设计过程概论,强调了优化设计在设计全过程中的作用和应用价值,以及优化设计学科发展中的一些新分支和名词术语。此外,新增了第11章模糊问题优化设计方法,删去了第2版中的附录。

作者对给本书第1版和第2版提出宝贵意见、改进建议和指出错误的读者表示真诚的谢意,并希望大家继续关注本书的第3版。

在本次修订中,翁海珊教授仔细地审阅了全稿,并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

编者

2004年10月于北京

第2版 前言



本教材自1985年6月出版以来,被一些工科院校本科、短期培训班选作教材,认为它的总体结构、内容与分量、论述方式等基本上是合适的。

编者在总结使用经验、听取读者意见的基础上,根据《冶金工业部关于编写高等院校教材的几项原则》对原教材进行了修订。在本次修订中,保留了原教材的特点、基本内容与风格,适当地加入了本学科发展中的某些新成就;删去了原教材中部分不适应本科生学习的内容;提高了内容的科学严密性和计算、数据、图表的正确性;重视学生对基本概念、原理的掌握和知识的获取,以及基本方法和技能的训练。

全书分为10章。内容包括两部分:第一部分是从第1章至第6章,主要讲述机械优化设计的基本概念、理论及常用的一些优化设计方法,内容包括绪论、机械优化设计的基本术语和数学模型、优化设计的某些基本概念和理论、几种常用的无约束优化方法、约束优化设计问题的直接解法和间接解法等;第二部分是从第7章至第10章,主要讲述机械优化设计中各种类型问题的优化设计方法及其应用技术,内容包括优化设计实践中的某些问题、多目标优化设计方法、离散变量优化设计方法和随机变量优化设计方法等。书后附有几个优化方法的BASIC程序,可供学生上机使用。

西安建筑科技大学李建华副教授和南方冶金学院朱正暘副教授审阅了本书初稿的各章内容,并提出许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

值此本书再版之际,对广大曾提出过意见的读者深表谢意;并再次恳请读者提出批评和意见。

编 者

1993年8月于北京

前 言



本书系根据 1982 年制订的冶金部教材编写出版规划及次年拟定的“机械优化设计方法”(40~60 学时)编写大纲编写的。

机械优化设计是机械设计理论和技术发展中的一门新兴学科,它的基本思想是:根据机械设计的一般理论、方法以及设计规范和行业标准等,把工程设计问题按照具体要求建立一个能体现设计问题的数学模型,然后采用最优化技术与计算机技术自动找出它的最优方案,使问题的解决在某种意义上达到无可争议的完善化。显然,这门新兴的科学技术对于进一步提高机械设计水平、改进机械产品质量、发展计算机辅助设计将起到重要的作用。实践越来越证明,机械优化设计方法是解决复杂设计问题的一种有效手段。为此,对于机械工程各专业的高年级学生,在学完设计课程中有关机构、零部件和机械系统一般设计理论与方法的基础上,继续学习机械优化设计的一些最基本概念、理论和方法,开拓优化设计的思想,掌握优化设计的方法是十分必要的。

本书试图把机械工程设计实践中应用的最优化技术和计算机技术结合起来融为一体,介绍有关机械优化的最主要的理论和方法,以及这门新兴技术科学现状与发展方面的一些知识。本书内容包括两大部分:第一部分是从第一章至第五章,主要讲述机械优化的基本概念、理论及目前常用的一些优化设计方法等;第二部分是从第六章至第九章,主要讲述机械优化设计中各种类型问题的一些处理方法及其经验,其中包括了当前机械优化设计理论与方法发展中的几个问题,如多目标优化设计方法、混合离散变量优化设计方法、优化设计结果的灵敏度分析等。由于篇幅所限,本书尚未包括线性规划、动态规划、状态空间法等一些优化技术以及最优化方法中的一些新方法,如广义简约梯度法、二次规划法等,同时尚未涉及机械优化设计的概率数学模型方面的问题。

参加本书编写的有陈立周(第四章的第 4-4 节、第六章至第九章),周培德(绪论、第三、五章),高云章(第一、二章、第四章的第 4-1 节~第 4-3 节)等同志。陈立周同志担任主编,路鹏和孙成宪同志协助进行了某些章节的整理工作。

参加本书审稿的有:东北工学院郑镕之副教授、合肥工业大学马同春副教授、华南工学院黎桂英、西安冶金建筑学院李建华、中南矿冶学院吴今谷、江西冶金学院张春于、北京钢铁学院孙遇春等同志。

他们认真细致地审阅了书稿的各章内容,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

本书作为机械工程专业教学用书,亦可作为相近工科专业的教学参考书。在使用本教材时,各校可根据安排的教学时数和学生情况选用内容,对于40左右学时的,建议选用前六章内容,后面几章可以作为选讲的内容。此外,本书亦可供机械工程技术人员、科研工作者和管理干部自学与参考。自学者在阅读本书前必须具备相应的数学知识、计算机计算技术和机械设计有关的基本知识。

鉴于近年来机械优化设计涉及的理论与方法非常广泛,发展极其迅速,又限于我们的教学经验和水平,书中不妥和疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1984年6月于北京

目 录

1 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 设计过程	(1)
1.2.1 设计过程及其特点	(1)
1.2.2 概念设计与参数设计	(2)
1.2.3 设计中几种常用的决策方法	(2)
1.2.4 最优化在设计中的作用	(4)
1.3 优化设计问题的一般分类及其工作方法	(6)
1.3.1 分类	(6)
1.3.2 一般工作方法	(7)
1.4 优化设计领域中的一些常见术语	(8)
1.5 机械优化设计的发展与趋势	(10)
2 优化设计的基本术语和数学模型	(12)
2.1 引言	(12)
2.2 优化设计的基本术语	(14)
2.2.1 设计变量	(14)
2.2.2 目标函数	(16)
2.2.3 设计约束	(17)
2.3 优化设计的数学模型及其分类	(19)
2.3.1 数学模型的标准格式	(19)
2.3.2 数学模型的分类	(21)
2.4 优化设计模型的几何解释	(22)
2.5 稳健优化设计模型	(25)
2.5.1 基本概念	(25)
2.5.2 数学模型的精确形式	(26)
2.5.3 变差分析原理	(26)
2.5.4 稳健优化设计模型	(27)
2.6 优化计算方法概述	(30)
习题	(31)
3 优化设计的某些基本概念和理论	(33)
3.1 目标函数与约束函数的某些基本性质	(33)
3.1.1 函数的等值面(或线)	(33)
3.1.2 函数的最速下降方向	(35)
3.1.3 函数局部近似的表达式和平方函数	(38)

3.1.4	函数的凸性	(40)
3.1.5	函数的单调性原理	(41)
3.2	约束函数的集合及其性质	(43)
3.2.1	约束集合和可行域	(43)
3.2.2	起作用约束和松弛约束	(44)
3.2.3	冗余约束	(45)
3.2.4	可行方向	(46)
3.3	优化设计问题的最优解及其最优性条件	(46)
3.3.1	优化设计问题的最优解	(46)
3.3.2	局部最优点和全局最优点	(47)
3.3.3	无约束问题最优解的最优性条件	(48)
3.3.4	约束问题最优解的最优性条件	(49)
3.4	优化设计问题的数值解法及收敛条件	(54)
3.4.1	数值计算迭代法的基本思想和迭代格式	(54)
3.4.2	无约束优化迭代计算的终止准则	(55)
3.4.3	约束优化迭代计算的终止准则	(57)
	习题	(59)
4	无约束优化计算方法	(61)
4.1	引言	(61)
4.2	单变量优化计算方法	(61)
4.2.1	搜索区间的确定	(62)
4.2.2	黄金分割法	(64)
4.2.3	二次插值法	(66)
4.3	多变量优化计算的非梯度方法	(68)
4.3.1	坐标轮换法	(68)
4.3.2	Powell 法	(70)
4.3.3	单纯形法	(76)
4.4	多变量优化计算的梯度方法	(78)
4.4.1	梯度法	(78)
4.4.2	共轭梯度法	(79)
4.4.3	牛顿法和修正牛顿法	(81)
4.4.4	变尺度法	(84)
4.5	多变量无约束优化计算方法小结	(87)
	习题	(87)
5	约束优化计算方法	(89)
5.1	引言	(89)
5.2	惩罚函数法	(89)
5.2.1	基本概念	(89)
5.2.2	内点惩罚函数法	(91)

5.2.3	外点惩罚函数法	(97)
5.2.4	混合惩罚函数法	(103)
5.3	随机方向搜索法	(106)
5.3.1	基本原理	(106)
5.3.2	随机搜索方向的确定	(106)
5.3.3	可行初始点的产生方法	(107)
5.3.4	算法步骤	(108)
5.4	复合形法	(110)
5.4.1	基本原理	(110)
5.4.2	初始复合形的构成	(111)
5.4.3	复合形法的基本运算	(112)
5.4.4	算法步骤	(113)
5.5	约束优化计算的其他方法概述	(116)
5.5.1	可行方向法和梯度投影法	(116)
5.5.2	约束变尺度法	(121)
5.5.3	广义简约梯度法	(122)
习题		(124)
6	现代优化计算方法	(126)
6.1	引言	(126)
6.2	计算复杂性和启发式算法的概念	(126)
6.2.1	计算复杂性的概念	(126)
6.2.2	启发式优化算法	(127)
6.3	模拟退火优化算法	(128)
6.3.1	基本思想	(128)
6.3.2	算法的基本步骤	(129)
6.3.3	算法实现的几个技术问题	(130)
6.3.4	模拟退火算法的改进	(131)
6.4	遗传优化算法	(132)
6.4.1	基本思想	(132)
6.4.2	算法的基本步骤	(134)
6.4.3	算法实现的几个技术问题	(135)
6.4.4	遗传算法的改进	(137)
6.5	神经网络优化算法	(138)
6.5.1	基本概念	(138)
6.5.2	人工神经网络模型和学习算法	(139)
6.5.3	神经网络优化算法	(141)
6.5.4	算法的改进研究	(142)
6.6	混合优化算法	(142)
6.6.1	引言	(142)

6.6.2	遗传模拟退火优化算法	(144)
6.6.3	模拟退火单纯形优化算法	(144)
6.6.4	模拟退火神经网络优化算法	(145)
	习题	(146)
7	优化设计在工程实践中的某些问题	(147)
7.1	引言	(147)
7.2	优化设计的建模	(147)
7.2.1	建模的方法论和步骤	(147)
7.2.2	减少数学模型的维数	(148)
7.2.3	减少约束条件数	(150)
7.2.4	模型函数	(152)
7.3	数学模型的尺度变换	(152)
7.3.1	设计变量的标度	(153)
7.3.2	目标函数的尺度变换	(154)
7.3.3	约束函数的归一化	(155)
7.4	建模中数表和图线的程序化	(156)
7.4.1	数表的程序化	(156)
7.4.2	图线的程序化	(158)
7.4.3	人工神经网络的应用	(160)
7.5	优化计算的实施	(161)
7.5.1	优化方法的选择	(162)
7.5.2	收敛精度的选择	(164)
7.6	优化计算结果的分析	(164)
7.6.1	计算结果分析	(164)
7.6.2	计算结果的灵敏度分析	(166)
	习题	(168)
8	多目标问题的优化设计方法	(170)
8.1	引言	(170)
8.2	基本概念和定义	(170)
8.3	协调曲线法	(173)
8.3.1	基本原理	(173)
8.3.2	应用示例	(174)
8.4	统一目标函数法	(176)
8.4.1	目标规划法	(176)
8.4.2	乘除法	(177)
8.4.3	加权线性组合法	(178)
8.4.4	加权因子的选择	(179)
8.4.5	应用示例	(183)
8.5	功效系数法	(184)

8.5.1	基本原理	(184)
8.5.2	功效系数的确定方法	(185)
8.6	有限个方案的多目标决策方法	(188)
8.6.1	决策矩阵	(188)
8.6.2	确定权的方法	(189)
8.6.3	决策方法	(192)
	习题	(194)
9	离散问题优化设计方法	(196)
9.1	引言	(196)
9.2	数学模型的一般形式及其某些基本概念	(196)
9.2.1	模型的一般形式	(196)
9.2.2	离散变量与离散空间	(197)
9.2.3	连续变量的离散化	(198)
9.3	离散变量问题的最优解及其最优性条件	(199)
9.3.1	基本概念	(199)
9.3.2	离散最优解的最优性条件	(200)
9.3.3	离散优化方法概述	(201)
9.4	离散变量自适应随机搜索法	(202)
9.4.1	基本原理	(202)
9.4.2	设计点样本产生的基本方程	(203)
9.4.3	随机移步查点技术	(204)
9.4.4	算法构造原理及步骤	(205)
9.5	离散变量的组合形法	(205)
9.5.1	初始离散组合形的产生	(206)
9.5.2	离散一维搜索	(207)
9.5.3	约束条件的处理	(208)
9.5.4	算法的辅助功能和终止准则	(208)
9.5.5	算法的基本步骤	(209)
9.6	离散性惩罚函数法	(209)
9.6.1	基本原理	(210)
9.6.2	关于惩罚因子和离散惩罚函数指数的选择	(212)
9.6.3	伪最优和校正程序	(213)
9.6.4	算法的基本步骤	(213)
9.7	应用示例	(213)
	习题	(214)
10	随机问题优化设计方法	(215)
10.1	引言	(215)
10.2	含有随机因素的优化设计模型	(215)
10.2.1	基本概念和定义	(215)

10.2.2	数学模型	(219)
10.2.3	随机问题约束最优解的最优性条件	(220)
10.3	随机模型的概率分析方法	(220)
10.3.1	概率分析的主要方法及其特点	(220)
10.3.2	均值和方差的近似计算方法	(221)
10.3.3	随机模拟计算方法	(223)
10.4	优化计算方法	(225)
10.4.1	一次二阶矩法	(225)
10.4.2	随机模拟搜索法	(227)
10.4.3	随机拟次梯度法	(228)
10.5	应用示例	(230)
	习题	(234)
11	模糊问题优化设计方法	(235)
11.1	引言	(235)
11.2	含有模糊因素的优化设计模型	(235)
11.2.1	基本概念和定义	(235)
11.2.2	数学模型	(241)
11.2.3	模糊问题的最优解及其求解的基本思想	(242)
11.3	模糊优化设计模型的确定型解法	(242)
11.3.1	清晰目标函数在模糊约束时的求解方法	(242)
11.3.2	模糊目标和模糊约束时的求解方法	(244)
11.4	模糊优化设计模型的模糊模拟搜索解法	(245)
11.4.1	清晰等价解法	(245)
11.4.2	模糊模拟方法	(246)
11.4.3	基于模糊模拟的遗传算法	(248)
11.5	多目标模糊优化设计方法	(248)
11.5.1	模糊综合评判	(248)
11.5.2	多目标模糊优化设计	(250)
11.6	应用示例	(251)
	习题	(255)
	参考文献	(256)

1 绪 论

1.1 引言

“设计”作为人们综合运用科学技术原理和知识并有目的地创造产品的一项技术，已经发展成为现代社会工业文明的重要支柱。伴随着人类文明的起源与发展，设计亦从技艺发展到科学。它一方面被社会需求所推动，另一方面也受当时自然、社会和科学技术发展水平的约束。今天，设计水平已标志着一个国家的工业创新能力和市场竞争能力。不少先进的工业国认为，工业革新必须以设计为中心，未来国际市场竞争将是设计竞争。

在工程实践中，追求设计结果的最优化，一直是设计师们不懈努力、奋斗不止的理想与目标，并且在长期的设计实践中，产生了诸如进化优化、直觉优化、试验探索优化、图解和数学分析优化等一些优化策略与方法，而后到了 20 世纪的 70 年代初期又在最优化技术和计算机计算技术发展的基础上逐渐形成与发展了优化设计（Optimal design），为工程设计人员提供了一种易于实施的最优设计的手段，以便在解决一些复杂问题时，能从众多的设计方案中找出尽可能完善或最好的设计方案。这对于提高产品性能、改进产品质量、提高设计效率，都是具有重要作用的。

1.2 设计过程

设计过程是指根据一定的目的和要求进行构思、策划和计划、试验、计算和绘图等一系列活动的总体。“设计”对不同的人 and 事会有不同的含义。在这里我们仅涉及机械产品的设计过程，它可以定义为“……为了把一台机器、一个工艺或生产系统制定得十分详细，以至可以参照实施为目的各种技术和科学原理的利用过程。”设计可以是简单的，也可以是非常复杂的，容易的或是非常难的，精确的或是粗糙的，无关紧要的或是极其重要的。设计是工程实践的一个重要组成部分。

1.2.1 设计过程及其特点

一般一个设计过程至少应包含 10 个步骤（见表 1-1），并具有如下几个特点：

（1）设计是一个创造性思维过程。

在多种不同类型知识（如经验、常识、规范和标准、法规、原理和理论、计算公式和方法）的基础上，通过反复地、有步骤地、连贯地思考，提出前人未提出的问题，解决前人未解决的问题，这就是设计过程中的创新。在创新活动中，创造想像或构思是重要的组成部分，是根据一定

表 1-1 设计过程

(1) 需求识别	(6) 设计计算分析
(2) 背景调查或市场调查	(7) 选择
(3) 目标陈述或功能说明	(8) 详细设计
(4) 性能技术条件	(9) 样机与实验
(5) 构思与发明（方案设计）	(10) 生产

目的、任务创造出新形象的过程。在设计创新中通常也需要某些原型的启发，才能设计出新机器的图样。发明是指创制新的事物，提出新的原理，首创新的制作方法。因此，设计、发明与创新之间有着密切的联系，而且设计的核心是创新与发明。

(2) 设计是一个反复的过程。每一次的设计都不是按部就班地从第 1 步一直做到第 10 步，而是当每一步的设计结果不能达到理想结果时，应该返回到前面的相关步骤进行再设计。因此，反复意味着重复，返回到前面的相关步骤。例如，如果当你的一个构思经过分析证明是违背热力学第二定律的，则需返回形成概念设计的构思那一步，以寻找一个更好的设计方案，或者，如有必要返回到设计过程的最初几步，甚至返回到背景调查，去重新认识设计问题的更多方面。这种设计—分析—评价—再设计，直至产生一个“满意”的设计方案为止的过程，实际上也就是设计的“优化”过程。

(3) 设计是一个“单输入（用户需求）/多输出（多解）”的过程。设计具有多解性，这是由设计过程是一创造过程这一特殊性质所决定的。特别是根据用户需求产生设计概念时，就会出现多种可行的方案，而这只能通过分析与选择来获得最终的一个选用设计方案。当然采用设计系统学（分类方法学）中的决策矩阵法可选出一个“最好”的方案。

1.2.2 概念设计与参数设计

概念设计和参数设计是设计过程中的核心。

1.2.2.1 概念设计

概念设计（或构思）主要是选择或确定产品的一个基本构型，包括它所要达到的功能、基本结构和类型，以及定义与约束产品的一组性能技术条件（定义产品做什么用的），更详细的还可以包括材料、元件和零件的选用以及零部件的组装等。根据概念设计中创新活动内容的多少可分为三类：创新性设计，即提供有重要社会应用价值的新颖独特的设计成果；适应性设计，而在基本功能、原理不变的情况下改变或增补部分功能的原理与结构以适应特定用户和使用条件的设计；变型设计，即在功能原理与结构类型不变下改变尺寸大小、扩大规格或补充系列的设计。实现概念设计自动化是当前研究与发展的一个方向，它将依靠人工智能、神经网络以及与认识科学、计算机科学和设计方法学等的密切结合会有所进展，如 COVIRDS（Conceptual Virtual Design System）提供了一种新的概念设计方法。在此过程中，引入非数值优化技术和系统方法学也能实现概念设计的最优化。

1.2.2.2 参数设计

参数设计（包括设计计算、分析与选择等）是在概念设计或方案设计之后进行，即在满足各项设计技术条件下确定该方案的主要参数及尺寸的大小，以保证达到所要求的性能技术条件。参数设计一般包括两项内容，即确定参数的名义值（或公称值）和规定其容差（或公差）。前者保证产品的性能，后者保证产品的性能稳定性。由于参数设计是一种标量设计，所以它可以采用数值优化技术来求解。参数化的 CAD 系统就是技术方案设计自动化的一种重要工具。

1.2.3 设计中几种常用的决策方法

所谓设计中的决策，就是对选用方案的决定。因此，决策在设计过程的各个阶段中都将起到极其重要的作用。一般说来，在设计中所采用的决策方法有如下几种：

(1) **选择设计决策**，即对于两个或两个以上的设计方案，经过详细的分析计算之后，选取设计指标或特性值的好者。当几个设计方案均为多性能指标时，用系统方法学中的决策矩阵方法可以选出最佳方案，此时取价值 U_j 的最大者，即

$$U_j = \sum_{i=1}^N w_i u_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (1-1)$$

式中， K 是参与评比的方案数； N 是所考察的性能指标数； u_{ij} 为表示第 j 个方案的第 i 项指标好坏级别的数，即价值； w_i 是加权因子，反应该项价值在此产品中的重要程度。

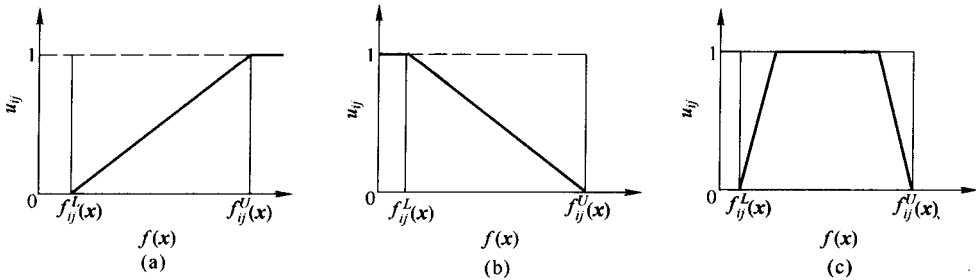


图 1-1 定义价值的几种简单函数

(a) 越大越好；(b) 越小越好；(c) 取给定范围值较好

在图 1-1 中，给出了几种用以将性能指标 $f_{ij}(x)$ 定义为价值 u_{ij} ($0 \leq u_{ij} \leq 1$) 的简单函数，其中 f_{ij}^L 和 f_{ij}^U 为性能指标 $f_{ij}(x)$ 的下界值和上界值。

(2) **优化设计决策**，即用“最优化”方法来确定设计方案。优化设计方法很多，可根据设计问题的特点进行选用。在设计过程中，当已确定结构方案而对其具体参数值不清楚（只知大概的范围）时，为了得到具有最佳性能指标的设计方案，可将问题转化为求如下形式数学模型的最优解，即选择一组设计变量 $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ ，使目标函数

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min \text{ 或 } \max \quad (1-2)$$

并满足等式约束条件

$$h_v(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad v = 1, 2, \dots, p < n \quad (1-3)$$

和不等式约束条件

$$g_u(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0 \quad u = 1, 2, \dots, m \quad (1-4)$$

在图 1-2 中表示了优化设计决策的二维问题的几何关系。最优的设计方案是满足所有性能约束条件的、目标函数最小值的设计点 $\mathbf{x}^* = [x_1^*, x_2^*]^T$ 。寻找最优点 $\mathbf{x}^*$ 需要用到优化计算方法。这是一种由数值计算和计算机迭代计算结合发展起来的方法，它通过调整设计变量值，以使式 (1-2) ~ 式 (1-4) 得到最大限度的满足。

(3) **风险设计决策**，即当设计特性（或参数）具有某种随机性质时，要想得到技术与经济都较为合理的方案，在某些情况下，需要按一定的风险水平来作出决策。例如，图 1-3 所示为仅有一个设计特性的两个设计方案。很明显，在这种情况下，设计决策应根据每个设计特性的概率分布来进行。假定设计特性为成本，当取较低期望值（或均值）的设计 1 时，由于它存在较大的不确定性，因而会有不少的产品不符合规定的技术要求，即图中阴影线表示部分。对于均值较高的设计 2，这种风险较小。因此，选用设计 1 还是 2，就需要权衡二项设计所含有废品造成的经济损失与产品总利益间的关系来决定，以使冒经

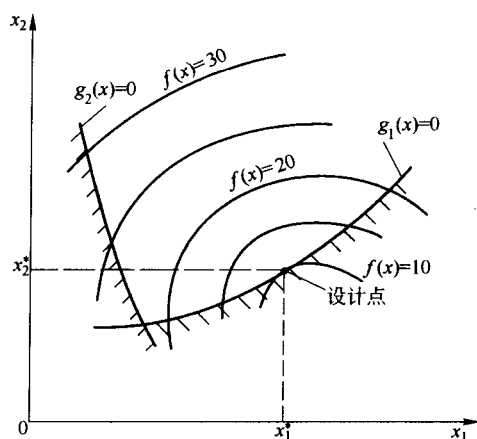


图 1-2 优化设计决策的几何关系

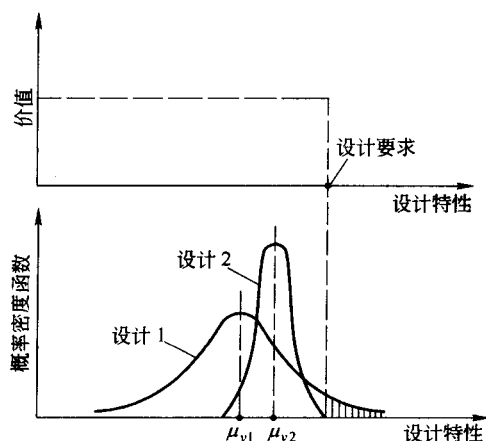


图 1-3 风险决策的几何关系

济损失的风险最小来选取设计方案。

因此,在这种情况下,我们不要求也不应该要求以概率 1 满足这类约束条件来确定最优设计方案,而只要求设计方案满足约束条件的概率大于某一指定的数值即可,即允许存在一定的(经济损失或利益损失的)风险。这种根据事件发生的概率来进行设计,称它为风险设计决策。

(4) 可制造性设计决策,这是机械设计中一种特殊的设计决策,它使设计的零部件在具体结构形状和参数方面具有良好的加工工艺性,这要求设计人员应具有渊博的材料和生产工艺方面的知识,而且主要以成本最低为依据来作出可制造性设计决策。

设计就是一个连续地做出决策的过程。只有在设计过程中的每一个阶段和每一个步骤上,都按照设计规范、约束条件及设计参数的相对重要性,做出设计决策,选取最佳的结果,才能在最终得出最优设计方案。

1.2.4 最优化在设计中的作用

最优化(Optimization)通常是指在解决设计问题时,使其结果达到某种意义上的无可争议的完善化。目前,最优化“opt”在科学和技术领域内如同使用最大“max”和最小“min”一样具有普遍性,并且已成为人们在解决科学和技术问题时的一个原则。

优化设计是建立在最优化数学方法和计算机及其计算技术基础上的,可以实现产品的性能、质量和成本等设计指标最佳化的一种现代工程设计方法。

优化设计也和创新设计一样,可以把它看作是完成设计过程各个阶段的一种手段。这就是说,优化设计的思想、原理、方法和技术可以贯彻在设计的全过程中,但是在各个阶段所采用的优化方法将会有所不同。

作为设计决策的一种方法,优化设计,它对于提高产品的设计质量、特别是在解决多因素的复杂问题中,将会起到重要的作用。