

高等学校教材

现代 设计方法

张鄂 主编



长春工业大学 B0766864



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

现代设计方法

Xiandai Sheji Fangfa

张 鄂 主编



长春工业大学 B0766864



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是在作者多年从事现代设计方法教学及科研的经验基础上,并参考了多本曾使用过的教材而编写的。本书主要介绍了工程设计中较为成熟且已获得广泛应用的5种现代设计方法。它们是优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、有限元法和工业造型设计。同时,鉴于当前社会对节能、环保、低碳产品设计的需要,书中还对创新设计、系统化设计、绿色设计、并行设计、动态设计和反求工程设计等6种现代设计方法进行了概况性介绍。本书从实用角度阐述了这些方法的基本概念、基本理论和基本方法。

本书体系完整,重点突出,内容丰富,理论联系实际,通俗易懂。全书浅入深出,易于阅读和自学。

本书可作为高等工科院校本科生的教材,也可作为工程设计人员的学习参考书,还可供有关工程技术人员、企业管理工作者和有关专业青年教师参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法/张鄂主编. —北京:高等教育出版社,2013.1
ISBN 978-7-04-036551-1

I. ①现… II. ①张… III. ①机械设计-高等学校-教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第303575号

策划编辑	沈志强	责任编辑	沈志强	封面设计	于文燕	版式设计	范晓红
插图绘制	尹莉	责任校对	李大鹏	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 涿州市京南印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 19
字 数 450千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
版 次 2013年1月第1版
印 次 2013年1月第1次印刷
定 价 29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 36551-00

前 言

本书是根据机械设计制造及其自动化专业的《现代设计方法课程教学大纲》的要求编写的。

科学技术的日新月异,特别是计算机技术的迅速发展和广泛应用,为工程设计提供了日臻完善的手段,由此应运而发展的现代设计方法及技术在工程设计中得到广泛的推广和应用,使传统设计方法正在被淡化、更新或替代。为使高等工科院校的学生和有关技术人员能熟悉和掌握现代设计方法中若干基本方法,本书主要介绍了目前应用成熟的5种常用方法。它们是优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、有限元法及工业造型设计。同时,鉴于当前社会对节能、环保、低碳产品设计的需要,本书还对创新设计、系统化设计、绿色设计、并行设计、动态设计和反求工程设计等6种现代设计方法进行了概况性介绍。本书从实用角度阐述了这些方法的基本概念、基本理论和基本方法。可以相信,随着现代设计方法的广泛应用,必将为我国的现代化建设和工农业生产带来巨大的经济效益,提供更丰富、更优质、更安全、更方便、更环保的产品,在提高我国工业产品的设计质量,缩短设计周期,推动设计工作的现代化、科学化等方面将发挥重大作用。

本书具有以下几方面的特点:

1) 书中重点介绍的5种方法体现了现代设计方法的主要特征,是进行现代设计必不可少的基本方法。因此,通过重点学习和掌握这些方法能获得从事产品现代设计所需的基本理论和技能。

2) 本书编写遵循少而精的原则。基于现代设计方法种类繁多,内容又十分广泛的特点,为了满足本课程的基本教学需要,本书重点介绍5种方法,而对另外6种方法进行了概况性介绍。本书体系完整,重点突出,内容丰富,理论联系实际,通俗易懂。

3) 本书是在作者多年从事现代设计方法教学、科研的经验基础上,并参考了多本曾使用过的教材而编写的。在内容组织上,以满足教学基本要求为前提,以适应工程设计需要为目的。全书深入浅出,易于阅读和自学。

4) 本书着重介绍现代设计方法的基本思想、基本理论及解决实际问题的主要步骤、方法与手段。编写时力求通俗易懂,深入浅出,尽量避免繁琐的理论证明和数学推导,突出知识的实用性。

本书由西安交通大学、西安外事学院张鄂教授主编。参加本书编写工作的有:张鄂(第1、2、7章),刘中华(第3章,附录一),张帆(第4章,附录二),邵晓春(第5章),周亚滨(第6章)。西安交通大学毕振南教授、张言羊教授,西北工业大学陆长德教授,西安理工大学邓述

慈教授等仔细审阅了全稿,并提出了宝贵的意见,特此致谢。

鉴于现代设计方法内容涉及面广,发展迅速,限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年2月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5.2 惩罚函数法	52
1.1 现代设计概述	1	2.6 优化设计的若干问题及工程应用	59
1.1.1 设计发展的基本阶段	2	2.6.1 优化设计问题的建模	59
1.1.2 现代设计的特点	3	2.6.2 优化方法的选择	60
1.2 现代设计方法的主要内容	5	2.6.3 优化数学模型的计算机求解	61
1.3 学习现代设计方法的意义及任务	6	2.6.4 优化计算结果的分析与处理	62
习题	7	2.6.5 多目标优化方法	62
第 2 章 优化设计	8	2.6.6 工程优化设计实例	64
2.1 优化设计概论	8	习题	71
2.1.1 优化设计的数学模型	9	第 3 章 可靠性设计	72
2.1.2 优化问题数学模型求解的数值迭代法	15	3.1 可靠性设计概念及特征量	72
2.2 优化方法的数学基础	17	3.1.1 可靠性的定义	73
2.2.1 多元函数的偏导数和梯度	17	3.1.2 可靠性设计的基本内容及特点	74
2.2.2 多元函数的泰勒展开式和黑塞矩阵	18	3.1.3 可靠性设计常用指标	75
2.2.3 多元函数的极小点存在条件	18	3.2 可靠性设计常用的分布函数	80
2.3 一维搜索方法	21	3.3 可靠性设计原理	86
2.3.1 确定初始区间的进退法	21	3.3.1 概率设计概念	86
2.3.2 黄金分割法	22	3.3.2 应力-强度干涉模型	88
2.3.3 二次插值法	27	3.3.3 应力-强度均为正态分布时的可靠度	89
2.4 多维无约束优化方法	31	3.3.4 应力-强度均为指数分布时的可靠度	91
2.4.1 坐标轮换法	31	3.3.5 应力-强度均为对数正态分布时的可靠度	91
2.4.2 鲍威尔法	33	3.4 机械强度可靠性设计	92
2.4.3 梯度法	39	3.4.1 随机变量的统计特征值问题	92
2.4.4 共轭梯度法	40	3.4.2 机械零部件静强度的可靠性设计	94
2.4.5 牛顿法	43	3.4.3 机械零部件疲劳强度的可靠性设计	96
2.4.6 变尺度法	45		
2.5 约束优化方法	49		
2.5.1 复合形法	49		

3.5 系统可靠性设计	101	5.5 有限元法的工程应用	198
3.5.1 元件可靠性预测	101	5.5.1 工程结构的力学模型简化	198
3.5.2 系统可靠性预测	103	5.5.2 有限元软件简介	199
3.5.3 系统可靠性分配	107	习题	203
3.6 故障树分析	110	第6章 工业造型设计	205
3.6.1 故障树的建立	111	6.1 概述	205
3.6.2 故障树的定性分析	112	6.1.1 工业造型设计概述	205
3.6.3 故障树的定量分析	114	6.1.2 工业造型设计特征	207
习题	115	6.1.3 工业造型设计原则	208
第4章 计算机辅助设计(CAD)	117	6.1.4 产品造型设计程序	209
4.1 CAD技术概述	117	6.2 工业造型设计的美学基础	210
4.2 CAD系统	119	6.2.1 产品造型的美学内容	210
4.2.1 CAD系统的硬件组成	119	6.2.2 产品造型的形式美法则	211
4.2.2 CAD系统的软件组成	120	6.3 形态、构成与造型	219
4.2.3 CAD系统的类型	123	6.3.1 形态及构成概念	219
4.2.4 CAD系统的选型	125	6.3.2 形态构成要素及其特性	220
4.3 工程数据的计算机处理	125	6.3.3 产品造型	225
4.3.1 数表的程序化处理	126	6.4 产品的色彩设计	228
4.3.2 线图的程序化	132	6.4.1 色彩的基本知识	228
4.3.3 数据库及其应用	138	6.4.2 色彩的体系	230
4.4 计算机图形处理技术	141	6.4.3 色彩的对比与调和	232
4.4.1 图形处理基础	142	6.4.4 色彩的心理效应与应用	234
4.4.2 设备驱动程序与图形程序库	143	6.4.5 工业产品的色彩设计	238
4.4.3 坐标系	143	6.5 人机工程设计基础	239
4.4.4 窗口和视区	144	6.5.1 概述	239
4.4.5 图形裁剪	146	6.5.2 人体的人—机工程学参数	241
4.4.6 二维图形的几何变换	147	6.5.3 显示装置设计	249
4.4.7 三维造型简介	154	6.5.4 控制装置设计	250
4.5 常用的CAD软件	157	6.5.5 控制台板的设计	251
习题	159	6.6 计算机辅助工业设计(CAID)	252
第5章 有限元法	162	6.6.1 计算机辅助工业设计(CAID) 常用的软件	252
5.1 概述	162	6.6.2 三维软件制作产品模型实例	253
5.2 有限元法的分析过程	163	习题	254
5.3 平面刚架的有限元法	170	第7章 其他现代设计方法简介	256
5.3.1 单元刚度矩阵的建立	171	7.1 创新设计	256
5.3.2 求总体刚度矩阵	178	7.1.1 创造性思维与创造力	256
5.3.3 位移的求解	180	7.1.2 常用的创造技法	260
5.4 弹性力学平面问题的有限元法	184	7.2 系统化设计	262
5.4.1 弹性力学平面问题	184	7.2.1 系统化设计法获取原理方案 设计的工作步骤	263
5.4.2 弹性力学的基本方程	185	7.2.2 功能分析法	263
5.4.3 弹性力学平面问题的有限元法	189		

7.2.3 系统化设计法的工程设计应用 ...	267	7.5.2 机械系统动态设计的建模方法 ...	279
7.3 绿色设计	269	7.6 反求工程设计	281
7.3.1 绿色设计的基本概念	270	7.6.1 反求工程的概念	281
7.3.2 绿色设计研究的主要内容	272	7.6.2 反求设计及其一般进程	282
7.3.3 绿色设计方法与过程	273	习题	284
7.4 并行设计	274	附录一 标准正态分布表	286
7.4.1 并行设计的概念	274	附录二 MATLAB 优化工具箱的	
7.4.2 并行设计的关键技术	277	应用	289
7.5 动态设计	278	参考文献	294
7.5.1 动态设计的概念及内容	278		

第 1 章 绪 论

1.1 现代设计概述

设计是人类改造自然的基本活动之一。它是设计者为满足社会和人们对产品功能的需要,运用基础知识、专业知识、实践经验和系统工程等方法,进行设想和构思、分析和计算、综合和决策,最后以技术文件的形式提供产品制造依据的全过程工作。

设计一直是人类重要的创造活动,从内燃机的问世,汽车的发明,计算机的诞生,到卫星、飞船的上天,无一不是设计的成果。大量的设计例证表明,设计是复杂的思维过程,设计过程蕴含着创新和发明的机会。设计的目的是将预定的目标通过人们创造性思维,经过一系列规划、分析与决策,产生载有相应的文字、数据、图形等信息的技术文件,形成设计,并通过制造使设计成为产品,造福人类。设计体现了时代性和创造性。

设计是形成产品的第一道工序。大量的设计经验表明,产品的质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平,而其中产品设计是关键。由于设计直接决定产品的功能和性能,所以没有高质量的设计就不可能有高质量的产品。一旦设计本身存在问题,将会导致不成功的产品。

设计方法是设计人员进行产品设计中运用的方法和技术。随着世界科学和技术的飞速发展,特别是电子计算机技术和信息技术的迅猛发展,使人们的设计思想、理念、方法和技术有了根本的变化。特别是计算机技术及相关技术的发展和成熟,极大地推动了 CAD(computer aided design,计算机辅助设计)和 CAE(computer aided engineering,计算机辅助工程)技术的发展和运用,在此基础上逐步形成了现代设计技术体系,并又逐步产生和发展出现代设计理论与方法。

现代设计方法是以研究产品设计为对象的科学。它以电子计算机为工具,运用工程设计的新理论、新方法和新技术,使计算结果达到精确化和最优化,使设计过程实现高效化和自动化,并使产品工况分析实现动态化和产品质量分析实现可靠性化。现代设计方法是传

统设计方法的延伸和发展,是人们把相关科学技术综合应用于设计领域的产物,它使传统设计方法发生了质的变化和飞跃。

1.1.1 设计发展的基本阶段

从人类生产的进步过程来看,整个设计进程大致经历了如下四个阶段。

(1) 直觉设计阶段

古代的设计是一种直觉设计。当时人们或许是从自然现象中直接得到启示,或是全凭人的直观感觉来设计制作工具。设计者多为具有丰富经验的手工艺人,他们之间没有多少信息交流。产品的制造只是根据制造者本人的经验或其头脑中的构思完成的,设计与制造无法分开。设计方案存在于手工艺人头脑之中,无法记录表达,产品也是比较简单的。一项简单产品的问世,周期很长,这是一种自发设计。直觉设计阶段在人类历史中经历了一个很长的时期,17世纪以前基本都属于这一阶段。

(2) 经验设计阶段

17世纪初,随着生产的发展,加之工业产品的不断复杂和产品需求量的增大,单个手工艺人的经验或其头脑中自己的构思已难以满足要求,因而促使手工艺人联合起来互相协作,逐渐出现了图样,并开始利用图样进行设计。一部分经验丰富的人将自己的经验或构思用图样表达出来,然后根据图样组织生产。图样的出现,既可使具有丰富经验的手工艺人通过图样将经验或构思记录下来,传于他人,便于用图样对产品进行分析、改进和提高,推动设计工作向前发展;还可满足更多的人同时参加同一产品的生产活动,满足社会对产品的需求及生产率的要求。同时在这一时期,由于数学与力学技术的发展与结合,使人们开始运用经验公式来解决设计中一些问题。因此利用图样和经验公式来进行设计,使人类设计活动由直觉设计阶段进步到经验设计阶段。

(3) 半理论半经验设计阶段

20世纪以来,由于科学和技术的发展与进步,设计的基础理论研究和试验研究得到加强,随着理论研究的深入、试验数据和设计经验的积累,已形成一套半理论半经验的设计方法。这种方法以由理论计算和长期设计实践而形成的经验、公式、图表、设计手册等作为设计的依据,通过经验公式、近似系数或类比等方法进行设计,使人类设计活动步入了半理论半经验设计阶段。采用这套方法进行产品设计,又称为传统设计。所谓“传统”,是指这套设计方法已沿用了很长时间,直到现在仍被广泛地采用着。传统设计又称常规设计。

半理论半经验设计阶段由于加强了基础设计理论和试验方法的研究,与经验设计相比,这个阶段设计的特点是大大减少了设计的盲目性,有效地提高了设计效率和质量,并使产品的设计成本大为降低。

(4) 现代设计阶段

近40年来,由于科学和技术迅速发展,对客观世界的认识不断深入,设计工作所需的理论基础和手段有了很大进步,特别是电子计算机技术的发展及应用,其计算速度不断加快,存储能力不断增强,工程软件水平日益提高,数据库的完备和网络技术的出现,对设计工作产生了革命性的影响,为设计工作提供了实现设计自动化的条件。在产品设计中广泛应用CAD、CAE、优化设计、可靠性设计、动态设计、有限元分析等现代设计方法和技术,广泛应用试验和计算机模拟技术进行产品设计。应用现代设计方法使新产品的开发周期大大缩短,

产品质量和产品生产过程的自动化程度得到了提高,降低了产品的生产成本,增强了产品的竞争能力。例如,随着 CAD(computer aided design,计算机辅助设计)和 CAM(computer aided manufacturing,计算机辅助制造)技术的发展,图样也不再是设计结果的输出的必需载体,它已被设计和制造的产品数字化信息所代替,设计的结果可直接转变为加工的指令,通过 NC 机床(numerical control,数控机床)即可直接加工出所设计的零件,实现无图纸化生产。

步入现代设计阶段的另一个特点就是,当代对产品的设计已不能仅考虑产品本身,并且还要考虑对系统和环境的影响,如低碳、环保、节能、绿色、无污染;不仅要考虑技术领域,还要考虑经济、社会效益;不仅考虑当前,还需考虑长远发展。例如,汽车设计,不仅要考虑汽车本身的有关技术问题,还需考虑使用者的安全、舒适、操作方便等人机工效特性。此外,还需考虑汽车的节能、环保以及车辆存放、道路发展等问题。总之,目前已进入现代设计阶段,它已要求在设计工作中把自然科学、社会科学、人类工程学,以及各种艺术、实际经验和聪明才智融合在一起,用于设计中。

1.1.2 现代设计的特点

如上所述,传统设计是以经验总结为基础,运用力学和数学而形成的经验、公式、图表、设计手册等作为设计的依据,通过经验公式、近似系数或类比等方法进行设计。传统设计在长期运用中得到不断的完善和提高,是符合当代技术水平的有效设计方法。但由于所用的计算方法和参考数据偏重于经验的概括和总结,往往忽略了一些难解或非主要的因素,因而造成设计结果都近似,有时甚至不符合客观实际。此外,在信息处理、经验或知识的存储和重复利用方面还没有一个理想的有效方法,解算和绘图也多用手工完成,这不仅影响设计速度 and 设计质量的提高,也难以做到精确和优化的效果。传统设计对技术与经济、技术与美学也未能做到很好的统一,使设计带来一定的局限性。这是由于传统设计方法是一种以静态分析、近似计算、经验设计、手工劳动为特征的设计方法。随着现代科学技术的飞速发展,生产技术的需要和市场的激烈竞争以及先进设计手段的出现,这种传统设计方法已难以满足当今时代的要求,从而迫使设计领域不断研究和发展的新的设计方法和技术。

现代设计是过去设计活动的延伸和发展,是传统设计的深入、丰富和完善,并随着设计实践经验的积累逐步发展起来。由于电子计算机技术的快速发展及其工程应用,设计过程产生了质的飞跃。同时,由于设计方法学和创造方法学的迅速发展,以及科学技术的进步,使人们在掌握事物的客观规律、掌握人的思维规律的同时,运用有关科学、技术原理能够进行复杂的计算、分析、综合和设计信息的交换与融合。从 20 世纪 60 年代末开始,在设计领域中相继出现一系列新兴理论与方法,主要包括设计方法学、优化设计、可靠性设计、价值工程、计算机辅助设计(CAD)、工业造型设计、有限元法、模块化设计、反求工程设计、绿色设计等;还有一系列的分支,如相似设计、动态设计、疲劳设计、模态设计、三次设计等,其中不少方法和技术已日趋成熟,并已得到广泛应用。为区别过去常用的传统设计理论与方法,人们把这些新兴理论与方法统称为现代设计。

与传统设计相比较,现代设计主要有如下特点。

(1) 系统性

传统设计是经验、类比的设计方法,由于收敛性的思维方法过早地进入具体方案,对功能原理的分析常欠充分和系统,难以得到最优方案。

而现代设计采用逻辑的、系统的设计方法,强调用系统工程处理技术系统问题。设计时能分析各部分的有机关系,力求系统整体最优。同时考虑技术系统与外界的联系,即人-机-环境的大系统关系。现代设计使今天的设计过程从基于经验转变为基于设计科学,并用创造学、设计方法学、价值工程学等理论指导设计活动,使人们主动地、按思维规律有意识地向设计目标挺进的创造过程。

(2) 社会性

传统设计由技术主管指导设计,设计过程中多为单纯注意技术性,一般设计试制后才进行经济分析、成本核算,很少考虑社会问题。

现代设计将产品设计扩展到整个产品生命周期,即在设计过程中同时考虑制造、维修、成本、包装发运、回收、质量等因素。现代设计开发新产品的整个过程,从产品的概念形成到报废处理的全寿命周期中的所有问题,都要以面向社会、面向市场、面向人与自然和谐共存为主导思想考虑解决。

(3) 创造性

传统设计一般是封闭收敛的设计思维,容易陷入思维定势,过早地进入定型实体结构,强调经验类比和直接主管的评价决策。

现代设计突出人的创造性,发挥集体智慧,强调激励创造冲动,突出创新意识,自觉运用创造技法、科学抽象的设计构思、扩展发散的设计思维、多维可行的创新方案比较,全面深入地评价决策,追求最优方案,力求探寻更多突破性方案,开发创新产品。

(4) 宜人性

传统设计往往强调产品的物质功能,忽视或不能全面考虑精神功能。凭经验或自发地考虑人-机-环境等之间的关系,强调训练用户来适应机器的要求。

现代设计强调产品内在质量的实用性以及外观形体的美观性、艺术性和时代性。在保证产品物质功能的前提下,尽量使用户产生新颖舒畅的精神感受。从人的生理和心理特征出发,通过功能分析、界面安排和系统综合,考虑满足人-机-环境等之间的协调关系,发挥系统潜力,提高效率。工业艺术造型设计和人机工程提高了产品的精神功能,不断满足宜人性要求。

(5) 最优化

客观地讲,传统设计属于自然优化,在设计—评定—再设计的循环中,只能凭借设计人员的有限知识、经验和判断力来选取较好的方案,因此受到人和效率的限制,难以对多变量系统在广泛影响因素下进行定量优化。

现代设计的目标是力求得到功能全、性能好、成本低、形体美、价值优的产品。因此,设计中重视综合集成,能在性能、技术、经济、制造工艺、使用、环境、人机功效、可持续发展等各种约束条件下,在广泛的学科领域之间,通过计算机以高效率综合集成为最新科技成果,寻求最优方案和参数。设计中不仅考虑零部件参数、性能的最优,更重要的是争取产品的技术系统整体最优。

(6) 动态化

传统设计以静态分析和少变量为主。如机械学中将载荷、应力等因素作集中处理,由此考虑安全系数,这有时与实际工况相差较远。

现代设计在静态分析的基础上,考虑生产中实际存在的多种变化量(如产品的工作可靠

性问题,考虑载荷谱、负载率等随机变量)的影响,进行动态特性的最优化。根据概率论和统计学方法,针对载荷、应力等因素的离散性,用各种运算方法进行可靠性设计。并对一些复杂的工程分析问题可用有限元、边界元法等数值解法得到满意的结果。

(7) 设计手段的计算机化和数字化

传统设计主要是靠人工计算及绘图进行的,由于使用工具简单,设计的准确性和效率都受限制,修改设计也不方便。

现代设计由于计算机软、硬件技术的快速发展与广泛应用,使在设计中能够实现从早期的辅助分析、计算机绘图,发展到现在的优化设计、并行设计、三维实体建模、设计过程管理、设计制造一体化、仿真和虚拟制造等。特别是网络和数据库技术的应用,加速了设计进程,提高了设计质量,便于对设计进程管理,方便了有关部门及协作企业间的信息交流。

(8) 设计过程智能化

以静态分析、近似计算、经验设计、手工劳动为特征的传统设计,是很难实现设计过程智能化的要求。

现代设计能在设计过程中借助于人工智能、知识库和专家系统技术,并通过计算机完成一部分原来必须由设计者进行的创造性工作。在智能工程理论的指导下,以计算机为主通过模仿人的智能活动,能够设计出高度智能化的产品和系统。

最后,应该指出,设计是一项涉及多种学科、多种技术的交叉工程。它既需要方法论的指导,也依赖于各种专业理论和专业技术,更离不开技术人员的经验和实践。现代设计是在继承和发展传统设计理论与方法的基础上融合现代的科学理论和新的科学技术成果而形成的。它继承了传统设计的精华,吸收了当代科技成果和计算机技术。与传统设计相比,它是一种以动态分析、精确计算、优化设计和 CAD 为特征的设计方法。在推广和使用现代设计的方法时,并不是要完全抛弃传统设计的方法和经验,而是要让广大设计人员在掌握传统设计的方法基础上掌握一把新的思想钥匙。所以,不能把现代设计与传统设计截然分开,传统设计方法在一些适合的工业产品设计中还在有效应用。

1.2 现代设计方法的主要内容

现代设计方法是随着当代科学技术的飞速发展和计算机技术的广泛应用而在设计领域发展起来的一门新兴的多元交叉学科,所涉及的学科范围非常广泛。它是以设计产品为目标的一个知识群体的统称。也是为了适应市场激烈竞争的需要,提高设计质量和缩短设计周期,发挥计算机在设计中的广泛应用,20世纪60年代以来在设计领域相继诞生与发展的一系列新兴学科的集成。其种类繁多,内容广泛。表1-1列出了目前常用的现代设计方法及技术。

与传统设计相比,现代设计方法在产品中的应用主要完成了以下几方面的转变:

- 1) 产品设计目标的最优化;
- 2) 产品结构分析的定量精确化;
- 3) 产品质量分析的可靠化;
- 4) 产品工况分析的动态化;
- 5) 产品设计过程的高效化和自动化。

表 1-1 常用的现代设计方法及技术

1. 设计方法学	9. 摩擦学设计	17. 三次设计
2. 优化设计	10. 反求工程设计	18. 健壮设计
3. 可靠性设计	11. 绿色设计	19. 虚拟设计
4. 计算机辅助设计	12. 并行工程设计	20. 相似设计
5. 动态设计	13. 模块化设计	21. 智能工程
6. 有限元法	14. 精度设计	22. 设计专家系统
7. 工业产品造型设计	15. 人机工程学	23. 工程遗传算法
8. 价值工程	16. 疲劳设计	24. 人工神经元计算方法

1.3 学习现代设计方法的意义及任务

产品设计是确定产品性能、质量、成本和企业经济效益的重要环节。要达到高质量的设计,就必须采用先进的设计方法和手段。因此,掌握先进的设计方法和手段是完成高质量设计的关键。

当前我国正在进行宏伟的社会主义现代化建设事业,国家各建设部门不断需求大量质量好、效率高、低碳、环保、节能的工业产品。同时,随着我国的工业产品将越来越多地进入国际市场,只有不断提高产品质量才能参与国际竞争。为此,在产品设计中就必须广泛地应用先进设计理论与方法,来提高我国工业产品的设计水平和质量。因此,学习和掌握现代设计理论与方法就有着特别重要的意义。只有通过现代设计方法的学习和研究,才能提高未来从事设计工作的设计水平,增强自主设计的创新能力。

学习现代设计方法这门课程的任务如下:

- 1) 通过学习,了解现代设计的特点、技术体系、现代设计的基本理念和思路。
- 2) 通过学习,重点掌握一些应用广泛、实用性强的设计方法(如优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、有限元法等)的理论和应用过程。
- 3) 通过学习和实践,力求掌握一些常用现代设计计算机软件的操作和具体应用方法。
- 4) 通过学习,使同学们不仅具有一定的产品现代设计的知识和意识,而且还能具有应用典型现代设计方法分析和解决实际问题的初步能力,增强创新设计能力,并为熟练地应用现代设计方法设计出具有市场竞争力的产品奠定良好的基础。

在同学们充分掌握现代设计方法理论的基础上,力求在未来产品设计实践的工作过程中,能够不断地发展现代设计理论与方法,甚至创造出新的现代设计方法和手段,以推动人类设计事业的进步。实践证明,随着现代科学和技术的飞速发展,新的设计理论与方法时时都在不断地孕育和诞生。

最后应该指出,现代设计是过去设计活动的延伸和发展。现代设计方法也是在传统设计方法基础上不断吸收现代理论、方法和技术,以及相邻学科最新成就后发展起来的。所以,今天学习现代设计方法,其目的绝不是要完全抛弃传统方法和经验,而是要在掌握传统方法和实践经验的基础上,再掌握一些新的设计理论和技术手段。

习 题

- 1-1 什么是设计？其内涵是什么？
- 1-2 人类设计活动的发展经历了哪几个阶段？试述各阶段的基本特征。
- 1-3 何谓现代设计？它和传统设计有什么区别？
- 1-4 现代设计的主要特点表现在哪几方面？
- 1-5 简述现代设计方法的主要组成部分。
- 1-6 试述学习现代设计方法这门课程的意义与任务。

第 2 章

优化设计

2.1 优化设计概论

优化设计(optimal design)是 20 世纪 60 年代随着计算机的广泛应用和数学规划理论不断完善而迅速发展起来的一种现代设计方法。

众所周知,人们做任何事情都希望用最少的付出得到最佳的效果,这就是最优化问题。工程设计中,设计者更是力求寻求一组合理的设计参数,以使得由这组设计参数确定的设计方案既满足各种设计要求,又使其技术经济指标达到最佳,即实现最优化设计。但是常规的工程设计,由于设计手段和设计方法的限制,设计者不可能在一次设计中得到多个方案,也不可能进行多方案的分析比较,更不可能得到最佳的设计方案。因此,人们一直在探索和研究获得工程设计最佳设计方案的方法和途径。

20 世纪 50 年代以后,数学规划理论得到迅速发展,特别是数学规划理论与电子计算机结合,并在实际工程中的广泛应用,促进了优化设计理论的发展和完善。

随着现代电子计算机技术的发展和普及,以计算机为基础的数值计算方法的成熟和应用,为工程问题的优化设计提供了先进的手段和方法,这就是优化设计方法。

所谓优化设计,就是借助最优化数值计算方法和计算机技术,求取工程问题的最优设计方案。进行最优化设计时,首先必须将实际问题加以数学描述,形成一组由数学表达式组成的数学模型;然后选择一种最优化数值计算方法和计算机程序,在计算机上运算求解,得到一组最佳的设计参数。这组设计参数就是设计的最优解。

优化设计是保证产品具有优良的性能,减小自重或体积,降低工程造价的一种有效设计方法。它可以使设计者从大量繁琐和重复的计算工作中解脱出来,使之有更多的精力从事创造性的设计,并大大提高设计效率。

优化设计工作一般包括如下两部分内容:

1) 建立优化设计问题的数学模型,即将设计问题的物理模型转换为数学模型。建立优

化设计问题的数学模型包括选取适当的设计变量,建立优化问题的目标函数和约束条件。目标函数是设计问题所要求的最优指标与设计变量之间的函数关系式,约束条件表达的是设计变量取值范围和相互之间的关系。

2) 选用适当的优化方法求解优化数学模型。这实际是归结为在给定的条件(即约束条件)下求目标函数的极值或最优值问题。

目前,优化设计方法已在工程设计中得到广泛的应用。大量的工程优化设计实例证明,应用优化设计理论和方法进行工程最优化设计,不仅能够显著提高工程设计问题的质量和水平,而且还会产生显著的经济效益和社会效益。

2.1.1 优化设计的数学模型

1. 引例

优化设计的数学模型是对实际问题的数学描述和概括,也是进行优化设计的基础。因此,根据设计问题的具体要求和条件建立完备的优化问题数学模型是关系优化设计成败的关键。这是因为优化问题的计算求解完全是围绕数学模型进行的。优化解是否满足实际问题的要求,是否就是实际问题的最优解,完全取决于数学模型与实际问题的符合程度。

下面通过几个简单的例子,来说明优化设计数学模型的建立过程。

例 2-1 如图 2-1 所示,有一圆形等截面的销轴,一端固定,一端作用有集中载荷 $F = 10\ 000\text{ N}$ 和转矩 $T = 100\ \text{N} \cdot \text{m}$ 。由于结构需要,轴的长度 l 不得小于 $8\ \text{cm}$,已知销轴材料的许用弯曲应力 $[\sigma_w] = 120\ \text{MPa}$,许用扭转剪应力 $[\tau] = 80\ \text{MPa}$,允许挠度 $[f] = 0.01\ \text{cm}$,密度 $\rho = 7.8 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$,弹性模量 $E = 2 \times 10^5\ \text{MPa}$ 。现要求在满足使用要求的条件下,试设计一个用料最省(销轴质量最轻)的方案。

解:由于该销轴是一根圆形等截面的销轴,则销轴体积(即用料)与销轴的直径和长度成正比。因此,该销轴的设计可归结为一个在满足强度、刚度和结构尺寸条件的前提下,合理选择销轴的直径和长度,以使其用料最省(即销轴质量最轻)的优化设计问题。

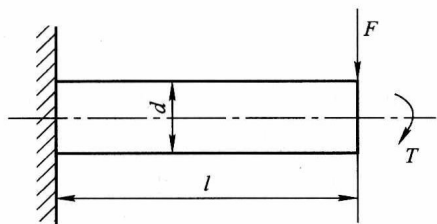


图 2-1 一销轴

设销轴直径为 d (用 x_1 表示),长度为 l (用 x_2 表示),则销轴的体积可表示 x_1, x_2 的函数 $f(x_1, x_2) = \frac{1}{4} \pi d^2 l \rho = \frac{\pi \rho}{4} x_1^2 x_2$ 。于是,上述问题可描述为

求变量 $x_1(d), x_2(l)$

使函数 $f(x_1, x_2) = \frac{\pi \rho}{4} x_1^2 x_2$ 极小化

满足条件(由机械设计资料知):

弯曲强度条件 $\sigma_{\max} = \frac{Fl}{0.1d^3} = \frac{Fl}{0.1x_1^3} \leq [\sigma_w]$

扭转强度式 $\tau = \frac{T}{0.2d^3} = \frac{T}{0.2x_1^3} \leq [\tau]$