

现代 设计

方 法

张鄂 主编



西安交通大学出版社

现代设计方法

主编 张 鄂

西安交通大学出版社

内容简介

本书介绍了目前国际上已在各个设计领域广泛应用而我国正在大力推广应用的现代设计方法。内容包括:计算机辅助设计、计算机绘图、优化设计、有限元法、机电产品造型设计、设计方法学和工程遗传算法等,并对反求工程、三次设计、面向对象软件设计法、参数化绘图等现代设计方法及技术作了简要介绍。本书特点是:内容新颖实用,全书结构体系完整,重点突出,理论联系实际。本书是编者在多年现代设计方法教学经验的基础上编写的,由浅入深,易于阅读和自学。

本书可作为高等学校工科机械类和近机类专业学生的教材,也可作为各类工科专业的选修课教材、成人教育和工程技术人员继续教育培训教材,还可供广大工程技术人员和科技管理干部阅读与参考。

(陕)新登字 007 号

图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法/张鄂主编. - 西安:西安交通大学出版社,1999.10
ISBN 7-5605-1119-8

I. 现… II. 张… III. 设计学 IV. TB1
中国版本图书馆 CIP 数据核字 968 号

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668316)
西安华宇印刷厂印装
各地新华书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:22.875 字数:557 千字
1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷
印数:0 001~2 000 定价:27.00 元

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)2668357,2667874

前 言

为了适应 21 世纪我国社会主义现代化建设和科学技术发展的需要,扩大学生的现代设计知识面和增强创新设计技能,培养高质量的工程科学技术人才,随着我校教育改革的深化,“现代设计方法”已成为我校首批院级课程。本书是根据我校制订的“现代设计方法”(48 学时)课程教学的基本要求及编写大纲,并结合编者多年的教学经验编写的。

自本世纪 60 年代以来,随着科学技术的迅速发展和电子计算机的广泛应用,在传统设计的基础上,各种现代设计理论与方法不断涌现和发展。目前,它已发展成为一门新兴的综合性、交叉性学科——现代设计方法。由于现代设计方法吸取了许多学科的先进成就,所以它在各个设计领域中的广泛应用,将对提高产品设计质量,缩短设计周期,推动设计工作的现代化、科学化方面发挥重大作用。

当前,我国正在进行宏伟的社会主义现代化建设。国民经济各部门迫切需要质量好、效率高、消耗低、价格便宜的先进的机电产品。而产品设计是决定产品性能、质量、水平和经济效益的重要环节。我国的产品设计工作,虽然比改革开放前有很大的进步和发展,但与国际设计水平相比,仍有很大的差距。为了尽快改变目前这种状况,在设计工作中就需不断更新设计观念,学习并逐步采用现代设计方法,来提高我国产品的设计水平和质量。实践证明,现代设计方法及技术的广泛应用,不仅能带来巨大的经济效益,而且还创造了新的设计思想和全新的产品。

现代设计方法是在继承和发展传统设计方法的基础上融汇新的科学理论和新的科学技术成果而形成的。它将为工业产品设计乃至所有设计领域带来革命性的变革。国际上自 70 年代初期就推行现代设计方法,大大地推动了机电产品设计工作的进展,使设计水平、设计质量和新产品的开发速度都有很大的提高,大大缩短了设计周期。目前我国正在推行现代设计方法,对于面向新世纪的科技人员的后备军——今天的机、电类工科专业大学生,学习和掌握现代设计理论与方法就显得尤为重要。到目前为止,国外尚未见到一本全面地、系统地介绍现代设计方法的专著。基于现代设计方法种类繁多,内容又十分广泛,为了满足本课程教学需要,编者参阅了国际、国内本学科发展的最新资料以及作者近年来的研究成果,并结合多年来从事现代设计方法教学的经验,选择了 12 种常用的和较新设计方法作较为具体的阐述,并对其中的计算机辅助设计、优化设计和可靠性设计等作了重点介绍,目的是使本书既有现代设计方法较广的覆盖面,又能重点突出,从而使学生在有限的课时内,既能对现代设计方法这门新兴学科有较全面的了解,又能对其中重要的设计方法做到熟练掌握与应用,以提高他们的创新设计技能。

参加本书编写的有:张鄂(第 1,4,8,9,10 章及附录 1,3),白文杰(第 2,3 章及附录 2),徐海波(第 5 章),郭增林(第 6 章),周亚滨(第 7 章)。全书由张鄂任主编。振南教授仔细审阅了全稿,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,而编者的水平有限,书中有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

1999 年 2 月于西安交通大学

目 录

前言

第 1 章 绪论

- 1.1 现代设计的概念 (1)
 - 1.1.1 设计的概念及特征 (2)
 - 1.1.2 设计发展的基本阶段 (3)
 - 1.1.3 现代设计与传统设计 (3)
- 1.2 现代设计方法的主要内容及特点 (5)
 - 1.2.1 现代设计方法的主要内容 (5)
 - 1.2.2 现代设计方法的特点 (8)
- 1.3 现代产品的特点及其开发 (9)
 - 1.3.1 现代产品的特点 (9)
 - 1.3.2 现代产品的开发 (10)
- 1.4 学习现代设计方法的意义与任务 (12)

习题 (13)

第 2 章 计算机辅助设计

- 2.1 概述 (14)
 - 2.1.1 CAD 技术的起源、发展和应用概况 (14)
 - 2.1.2 应用 CAD 技术的优越性 (15)
 - 2.1.3 CAD 技术发展展望 (15)
- 2.2 CAD 系统 (15)
 - 2.2.1 CAD 系统的硬件 (16)
 - 2.2.2 CAD 系统的软件 (16)
 - 2.2.3 CAD 系统的形式 (17)
 - 2.2.4 CAD 系统的功能 (18)
- 2.3 工程数据的处理方法及 CAD 程序编制 (18)
 - 2.3.1 数表的分类及存取 (19)
 - 2.3.2 线图的分类及处理 (21)
 - 2.3.3 列表函数表的插值算法 (26)
 - 2.3.4 数据的公式拟合方法 (31)
- 2.4 数据文件及其应用 (33)
- 2.5 数据库及其应用 (34)
 - 2.5.1 数据库与数据库管理系统 (34)
 - 2.5.2 汉字 FOXBASE + 2.1 数据库管理系统在 CAD 中的应用 (35)

2.5.3 工程数据库 (38)

习题 (38)

第 3 章 计算机绘图

- 3.1 概述 (42)
- 3.2 计算机绘图基础 (43)
 - 3.2.1 坐标系 (43)
 - 3.2.2 窗口、视区及开窗变换 (44)
 - 3.2.3 二维图形的剪裁 (47)
- 3.3 二维图形的几何变换 (48)
 - 3.3.1 齐次坐标与变换矩阵 (49)
 - 3.3.2 基本几何变换及矩阵表示 (49)
 - 3.3.3 组合变换 (51)
- 3.4 机械工程图的绘制方法 (53)
 - 3.4.1 基本图形的绘制 (53)
 - 3.4.2 零件图的绘制 (55)
 - 3.4.3 装配图的绘制 (57)

习题 (59)

第 4 章 优化设计

- 4.1 概述 (61)
 - 4.1.1 优化设计基本概念 (61)
 - 4.1.2 优化设计的数学模型 (62)
 - 4.1.3 工程优化设计问题的主要类型 (67)
 - 4.1.4 优化设计的迭代算法 (67)
- 4.2 工程优化设计的数学基础 (69)
 - 4.2.1 二次型与正定矩阵 (69)
 - 4.2.2 函数的方向导数与梯度 (70)
 - 4.2.3 函数的泰勒近似展开式和海森矩阵 (72)
 - 4.2.4 无约束优化问题的极值条件 (73)
 - 4.2.5 凸函数与凸规划 (74)
 - 4.2.6 约束优化问题的极值条件 (76)
- 4.3 一维优化方法 (79)
 - 4.3.1 搜索区间的确定 (80)
 - 4.3.2 0.618 法(黄金分割法) (82)
 - 4.3.3 二次插值法 (85)

4.4 多维无约束优化方法	(87)	5.6 疲劳强度可靠性设计	(163)
4.4.1 坐标轮换法	(88)	5.6.1 等幅变应力作用下零件的疲劳 寿命及可靠度	(163)
4.4.2 共轭方向法	(89)	5.6.2 不稳定应力作用下零件的疲劳 寿命	(164)
4.4.3 梯度法	(95)	5.6.3 承受多级变应力作用的零件在 给定寿命时的可靠度	(167)
4.4.4 牛顿法	(96)	5.7 机械系统可靠性设计	(168)
4.4.5 变尺度法	(97)	5.7.1 可靠性预测	(169)
4.5 约束优化方法	(102)	5.7.2 可靠性分配	(177)
4.5.1 复合形法	(103)	习题	(181)
4.5.2 惩罚函数法	(108)	第6章 有限元法	
4.5.3 简约梯度法及广义简约梯度法	(115)	6.1 概述	(183)
4.6 多目标问题的优化方法	(125)	6.2 单元分析	(184)
4.6.1 加权组合法	(126)	6.2.1 单元分析的任务和方法	(184)
4.6.2 功效系数法	(127)	6.2.2 直接刚度法	(185)
4.6.3 主要目标法	(128)	6.2.3 虚功原理法	(188)
4.7 工程优化设计应用	(128)	6.2.4 能量变分法	(191)
4.7.1 工程优化设计的一般步骤	(128)	6.3 有限元法的应用	(196)
4.7.2 微机优化方法程序库 PC- OPB 简介	(129)	6.3.1 有限元法的计算步骤	(196)
4.7.3 工程优化设计实例	(133)	6.3.2 计算实例	(200)
习题	(137)	6.3.3 其它问题	(204)
第5章 机械可靠性设计		习题	(205)
5.1 概述	(139)	第7章 机电产品造型设计	
5.1.1 研究可靠性的意义	(139)	7.1 概述	(206)
5.1.2 可靠性的定义	(140)	7.1.1 工业造型设计的基本内容与基 本要素	(206)
5.1.3 可靠性技术的发展	(140)	7.1.2 产品造型设计的原则	(207)
5.1.4 可靠性设计的基本内容	(141)	7.1.3 产品造型的美学内容	(207)
5.2 可靠性特征量	(141)	7.1.4 产品造型设计的程序	(208)
5.2.1 可靠度特征量	(141)	7.2 造型与形式法则	(209)
5.2.2 失效特征量	(143)	7.2.1 形态要素及其视觉效果	(209)
5.3 可靠性常用概率分布	(147)	7.2.2 造型美的形式法则	(211)
5.4 机械强度可靠性设计	(153)	7.3 人机工程学简介	(215)
5.4.1 强度概率算法的基本理论	(154)	7.3.1 人体结构尺寸与造型尺度	(216)
5.4.2 零件强度可靠度的计算	(156)	7.3.2 视觉特征与显示器设计	(217)
5.4.3 零件承载能力分布规律及分布 参数的确定	(157)	7.3.3 控制器的选择与设计	(218)
5.4.4 零件工作应力分布规律及分布 参数的确定	(158)	7.3.4 控制台板设计	(218)
5.4.5 强度可靠性计算条件式与许用 可靠度	(160)	7.4 产品色彩设计	(219)
5.5 强度可靠性设计方法及步骤	(161)	7.4.1 色彩的基本知识	(219)
		7.4.2 色彩的对比与调合	(220)
		7.4.3 产品色彩设计	(221)

习题	(223)	9.2.5 遗传算法的数学描述	(259)
第 8 章 设计方法学		9.3 遗传算法在机械工程设计中的应用实例	(260)
8.1 概述	(224)	习题	(264)
8.1.1 设计方法学及其研究内容	(224)	第 10 章 现代设计方法的综合应用	
8.1.2 设计系统	(225)	10.1 机械可靠性优化设计在机械设计中的应用	(266)
8.2 系统化设计法	(225)	10.1.1 可靠性优化设计模型的创建方法	(266)
8.2.1 技术过程及技术系统	(225)	10.1.2 机械可靠性优化设计举例	(270)
8.2.2 功能分析法	(227)	10.2 面向对象软件设计方法及其在机械 CAD 系统开发中的应用	(278)
8.2.3 系统设计举例	(231)	10.2.1 面向对象软件设计方法的基本原理与特点	(278)
8.3 创造性设计法	(234)	10.2.2 面向对象软件设计方法在机械 CAD 系统开发中的应用	(280)
8.3.1 创造力和创造过程	(234)	10.3 参数化绘图方法及其在机械 CAD 中的应用	(287)
8.3.2 创造性思维及其特点和类型	(235)	10.4 三次设计法及其在工程设计中的应用	(290)
8.3.3 创造技法	(238)	10.4.1 三次设计法原理	(290)
8.4 设计中的评价与决策	(240)	10.4.2 三次设计法在工程设计中的应用	(292)
8.4.1 设计中的评价	(240)	习题	(302)
8.4.2 设计中的决策	(247)	参考文献	
习题	(249)	附录 1	
第 9 章 工程遗传算法		附录 2	
9.1 概述	(251)	附录 3	
9.1.1 工程遗传算法的概念	(251)		
9.1.2 遗传算法的特点及应用	(251)		
9.2 遗传算法的基本原理及其计算步骤	(252)		
9.2.1 遗传算法的基本原理	(252)		
9.2.2 遗传算法的基本操作	(253)		
9.2.3 遗传算法的迭代计算步骤	(254)		
9.2.4 遗传算法的实现	(256)		

第1章 绪 论

1.1 现代设计的概念

1.1.1 设计的概念及特征

设计是人类改造自然的基本活动之一。它与人类的生产活动及生活紧密相关联。人类在改造自然的历史长河中,一直从事设计活动。从某种意义上讲,人类文明的历史,就是不断进行设计活动的历史。

设计一词,即英语的 Design,起源于拉丁语 Designare,此词由“De”(记下)和“Signare”(符号、记号、图形之意)两词组成。因而它的最初含义是:记下(画上)符号、记号、图形之类的意思,相当于“图案”、“意匠”等意。

随着人类社会的进步和需要,设计这个词可以有广义和狭义两种概念。广义的概念是指对发展过程的安排,包括发展的方向、程序、细节及达到的目标。狭义的概念是指将客观需求转化为满足该需求的技术系统(或技术过程)的活动。各种产品包括机、电产品的设计即属此种。

现代化工业产品的设计,在国外也叫做工业设计。它是以客观的、科学的方法,来从事工业新产品开发工作。1964年在比利时召开的国际工业设计教育讨论会上,对工业设计定义如下:“工业设计是一种创造性行为,它的目的在于决定产品的正式品质。所谓正式品质:除了产品外形和表面特点外,更重要的是决定产品结构和功能关系,以获得一种使生产者 and 消费者都能满意的整体”。

随着科学技术和生产力的不断发展,设计和设计科学也在不断向深度和广度发展,其内容、要求、理论和手段等都在不断更新。

近些年来对设计有些新的提法:

设计是一种创造性活动,设计的核心是创造性,如果没有创新,就不叫设计。

设计是一种优化过程,是在给定条件下,针对目标谋求最优解的过程。

设计是把各种先进技术转化为生产力的一种手段,它反映当时生产力的水平,是先进生产力的代表。

设计是一种技术性、经济性、社会性、艺术性的综合产物。

设计是为满足需求而进行的一种创造性思维活动的实践过程。

设计是通过分析、创造与综合,创造性地建立满足特定功能要求的技术系统的活动过程。

从上面这些对设计的描述中,我们可以综合来理解设计的含义,即为了满足人类与社会的功能要求,将预定的目标通过人们创造性思维,经过一系列规划、分析和决策,产生载有相应的文字、数据、图形等信息的技术文件,以取得最满意的社会与经济效益,这就是设计。然后或通

过实践转化为某项工程,或通过制造,成为产品,造福于人类。产品设计过程从本质上说就是创造性的思维与活动过程,是将创新构思转化为有竞争力的产品的过程。

从设计定义出发可以看出,工业产品设计应该具有以下特征:

(1)需求特征。产品设计的目的是满足人类社会的需求,所以设计始于需要,没有需要就没有设计。

(2)创造性特征。时代的发展,使人们的需求、自然环境、社会环境都处于变化之中,从而要求设计者适应条件变化,不断更新老产品,创造新产品。

(3)程序特征。任何产品设计都有设计过程,它是指从明确设计任务到编制技术文件所进行的整个设计工作的流程。设计过程一般可分为四个主要阶段:产品规划、原理方案设计、技术设计和施工设计。这种过程叫做设计程序。按设计程序进行工作,才能提高效率,保证设计质量。

(4)时代特征。设计活动受时代的物质条件、技术水平的限制,如设计方法、设计手段、材料、制造工艺等。所以,各种产品设计都具有时代的烙印。

认识了产品设计的特征,才能全面地、深刻地理解设计活动的本质,进而研究与设计活动有关的各种问题,以解决产品设计问题。

1.1.2 设计发展的基本阶段

在介绍现代设计与传统设计的区别之前,让我们先来简单回顾一下人类从事设计活动发展的几个基本阶段。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。随着生产的发展,产品逐渐复杂起来,对产品的需求量也开始增大,单个手工艺人的经验或其头脑中自己的构思已难满足这些要求,因而促使手工艺人必须联合起来,互相协作,逐渐出现了图纸,并开始利用图纸进行设计。一部分经验丰富的人将自己的经验或构思用图纸表达出来,然后根据图纸组织生产。到17世纪初,数学与力学结合后,人们开始运用经验公式来解决设计中一些问题,并开始按图纸进行制造,如早在1670年就已经出现了有关大海船的图纸。图纸的出现,既可使具有丰富经验的手工艺人通过图纸将其经验或构思记录下来,传于他人,便于用图纸对产品进行分析、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。因此,利用图纸进行设计,使人类设计活动由自发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世纪初以来,由于试验技术与测试手段的迅速发展和应用,人们把对产品采用局部试验、模拟试验等作为设计辅助手段。通过中间试验取得较可靠的数据,选择较合适的结构,从而缩短了试制周期,提高了设计可靠性。这个阶段称为半理论半经验设计阶段(又称中间试验设计阶段)。在这个阶段中,随着科学技术的进步、实验手段的加强,使设计水平得到进一步提高,共取得了如下进展:①加强设计基础理论和各种专业产品设

计机理的研究,如材料应力应变、摩擦磨损理论,零件失效与寿命的研究,从而为设计提供了大量信息,如包含大量设计数据的图表(图册)和设计手册等。②加强关键零件的设计研究。特别是加强了关键零部件的模拟试验,大大提高了设计速度和成功率。③加强了“三化”,即零件标准化、部件通用化、产品系列化的研究。后来又提出设计组合化。这便进一步提高了设计的速度、质量,降低了产品的成本。

本阶段由于加强了设计理论和方法的研究,与经验设计相比,这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降低了设计成本。至今,这种设计方法仍被广泛采用。

(4)现代设计阶段。近30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,对设计工作产生了革命性的突变,为设计工作提供了实现设计自动化的条件。例如CAD技术能得出所需要的设计计算结果资料和生产图纸,一体化的CAD/CAM技术更可直接输出记录有关信息的纸带,使用这种纸带,NC机床即可直接加工出所需要的零件,从而使人类设计工作步入现代设计阶段。

此外,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;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。此外,还需考虑汽车的燃料供应和污染、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。

1.1.3 现代设计与传统设计

本世纪以来,由于科学和技术的发展与进步,对设计的基础理论研究得到加强,随着设计经验的积累,以及设计和工艺的结合,已形成了一套半经验半理论的设计方法。依据这套方法进行机电产品设计,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。

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地完善和提高,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,因而造成设计结果的近似性较大,也难免有不确切和失误。此外,在信息处理、参量统计和选取、经验或状态的存储和调用等还没有一个理想的有效方法,解算和绘图也多用手工完成,所以不仅影响设计速度和设计质量的提高,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地统一,使设计带来一定的局限性。这些都是有待于进一步改进和完善的不足之处。

图1-1所示为一般传统机械设计过程,由图可见,这一过程的特点是:第一,它的每一个环节都依靠设计者用手工方式来完成的。从本质上来说,这些都是凭藉设计者直接的或间接的经验,通过类比分析或经验公式来确定方案,对于特别重要的设计或计算工作量不太大的设计,有时可对拟定的几个方案做计算对比。方案选定后按机械零件的设计方法或按标准选用,最后绘出整机及部件装配图和零件图,编写技术文件,从而完成整机设计。第二,按传统机械

设计方法,设计人员的大部分精力耗费在零部件的常规设计(特别是繁重而费时的绘图工作中),而对整机全局问题难以进行深入的研究,对于一些困难而费时的分析计算,常常不得不采用作图法或类比定值等粗糙的方法,因此具有很大的局限性,主要表现在:①方案的拟定很大程度上取决于设计者的个人经验,即使同时拟定了少数几个方案,也难以获得最优方案;②在分析计算工作中,由于受人工计算条件的限制,只能采用静态的或近似的方法而难以按动态的精确的方法计算,计算结果未能完全反映零部件的真正工作状态,影响了设计质量;③设计工作周期长,效率低,成本高。

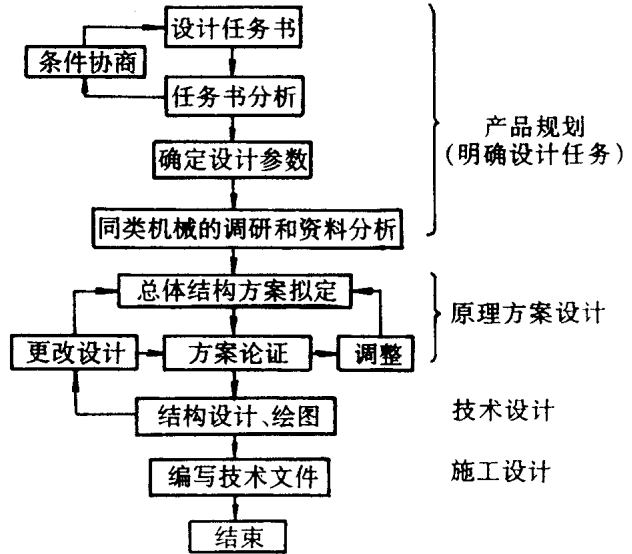


图 1-1 传统机械设计过程

所以,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。

显然,随着现代科技的飞速发展,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新的设计方法和技术。

本世纪 60 年代以来,由于科学技术的飞速发展和计算机技术的应用与普及,给设计工作包括机电产品的设计工作带来了新的变化。随着科技发展,新工艺、新材料的出现,微电子技术、信息处理技术及控制技术新技术对产品的渗透和有机结合,与设计相关的基础理论的深化和设计新方法的涌现,都给产品设计开辟了新途径,使产品设计跨上了现代设计的水平。在这一时期,国际上在设计领域相继出现了一系列有关设计学的新兴理论与方法。为了强调它们对设计领域的革新,以区别于传统设计理论和方法,把这些新兴理论与方法统称为现代设计。当然,现代设计不仅指设计方法的更新,也包含了新技术的引入和产品的创新。目前现代设计所指的新兴理论与方法主要包括:优化设计、可靠性设计、设计方法学、计算机辅助设计、动态设计、有限元法、工业艺术造型设计、人机工程、并行工程、价值工程、反求工程设计、模块化设计、相似性设计、虚拟设计、疲劳设计、三次设计、摩擦学设计、人工神经元计算方法等,其发展方兴未艾。

目前,产品的现代设计的主要特点表现为以下几方面:

- (1)设计对象由单机走向系统;
- (2)设计要求由单目标走向多目标;
- (3)设计所涉及的领域由某一领域走向多个领域;
- (4)产品更新速度加快,要求设计速度加快;
- (5)设计的发展要适应科技发展,特别是适应计算机技术发展和先进的工艺水平。

现代设计是在传统设计基础上发展起来的,它继承了传统设计的精华。由于传统设计发展到现代设计有时序性和继承性,当前正处在共存性阶段。图 1-2 所示为现代设计的基本作

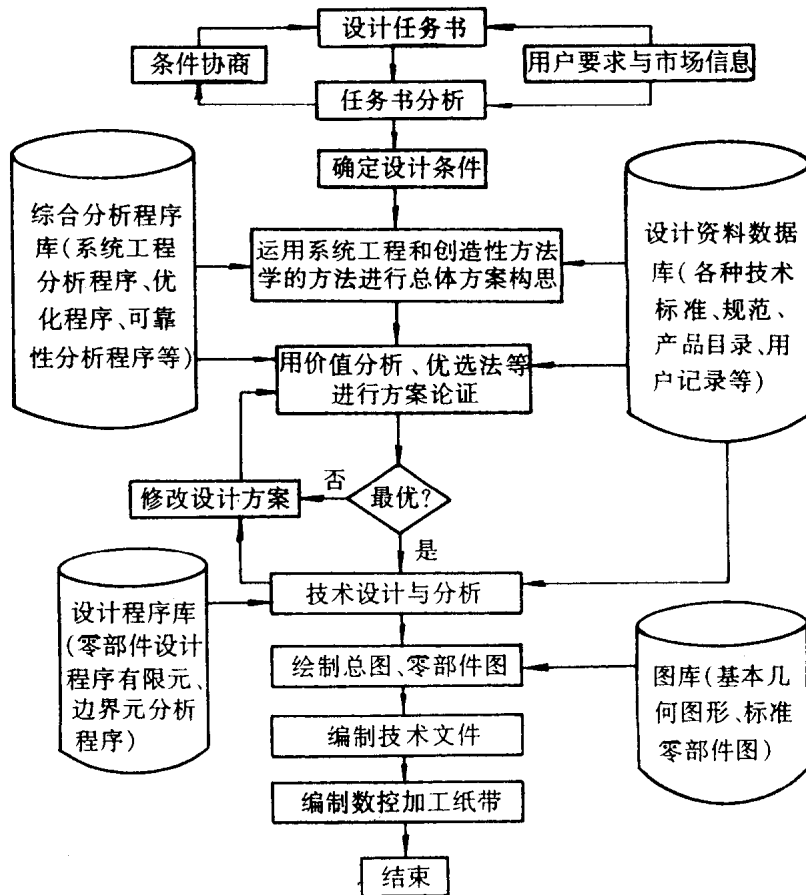


图 1-2 现代设计作业过程

业过程。与传统设计相比,它则是一种以动态分析、精确计算、优化设计和 CAD 为特征的设计方法。

1.2 现代设计方法的主要内容及特点

1.2.1 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。它是以设计产品为目标的一个总的知识群体的统称,是为了适应市场剧烈竞争的需要,为提高设计质量和缩短设计周期,以及计算机在设计中的广泛应用,于 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。目前,它的内容主要包括优化设计、可靠性设计、设计方法学、计算机辅助设计、动态设计、有限元法、工业艺术造型设计、人机工程、并行工程、价值工程、反求工程设计、模块化设计、相似性设计、虚拟设计、疲劳设计、三次设计等。在运用它们进行工程设计时,一般都以计算机作为分析、计算、综合、决策的工具。这些学科汇集成了一个设计学的新体系,即现代设计

方法,它们包含了现代设计理论与方法的各个方面。本节以计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、有限元法、工业艺术造型设计、设计方法学及三次设计等为例,来说明现代设计方法的基本内容与特点。

1. 计算机辅助设计

计算机辅助设计(Computer Aided Design),简称 CAD。它是把计算机技术引入设计过程,利用计算机来完成计算、选型、绘图及其它作业的一种现代设计方法。CAD 是设计中应用计算机进行设计信息处理的总称。它应包括产品分析计算和自动绘图两部分功能,甚至扩展到具有逻辑能力的智能 CAD。计算机、自动绘图机及其它外围设备构成 CAD 的系统硬件,而操作系统、文件管理系统、语言处理程序、数据库管理系统和应用软件等构成 CAD 的系统软件。通常所说的 CAD 系统是指由系统硬件和系统软件组成,兼有计算、图形处理、数据库等功能,并能综合地利用这些功能完成设计作业的系统。CAD 是产品或工程的设计系统。CAD 系统应支持设计过程各个阶段,即从方案设计入手,使设计对象模型化;依据提供的设计技术参数进行总体设计和总图设计;通过对结构的静态或动态性能分析,最后确定技术参数;在此基础上,完成详细设计和产品设计。所以,CAD 系统应能支持包括:分析、计算、综合、创新、模拟及绘图等各项基本设计活动。

CAD 的基础工作是建立产品设计数据库、图形库、应用程序库。典型的 CAD 工作过程如图 1-3 所示。

2. 优化设计

优化设计(Optimal Design)是把最优化数学原理应用于工程设计问题,在所有可行方案中寻求最佳设计方案的一种现代设计方法。进行工程优化设计,首先需将工程问题按优化设计所规定的格式建立数学模型,然后选用合适的优化计算方法在计算机上对数学模型进行寻优求解,得到工程设计问题的最优设计方案。

在建立优化设计数学模型的过程中,把影响设计方案选取的那些参数称为设计变量;设计变量应当满足的条件称为约束条件;而设计者选定来衡量设计方案优劣并期望得到改进的指标表现为设计变量的函数,称为目标函数。设计变量、目标函数和约束条件组成了优化设计问题的数学模型。优化设计需把数学模型和优化算法放到计算机程序中用计算机自动寻优求解。常用的优化算法有 0.618 法、鲍威尔(Powell)法、变尺度法、惩罚函数法等。

3. 可靠性设计

可靠性设计(Reliability Design)是以概率论和数理统计为理论基础,以失效分析、失效预测及各种可靠性试验为依据,以保证产品的可靠性为目标的现代设计方法。可靠性设计的基本内容是:选定产品的可靠性指标及量值,对可靠性指标进行合理的分配,再把规定的可靠性指标设计到产品中去。

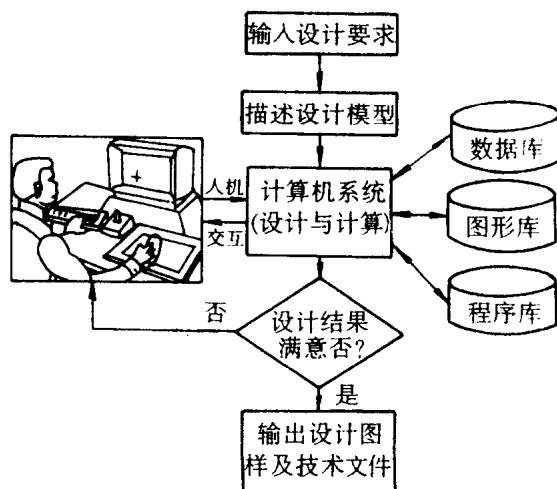


图 1-3 CAD 工作过程

4. 有限元法

有限元法(Finite Element Method)是以电子计算机为工具的一种现代数值计算方法。目前,该法不仅能用于工程中复杂的非线性问题、非稳态问题(如结构力学、流体力学、热传导、电磁场等方面问题)的求解,而且还可用于工程设计中进行复杂结构的静态和动力分析,并能准确地计算形状复杂零件(如机架、汽轮机叶片、齿轮等)的应力分布和变形,成为复杂零件强度和刚度计算的有力分析工具。

有限元法的基本思想是:首先假想将连续的结构分割成数目有限的小块体,称为有限单元。各单元之间仅在有限个指定结合点处相联接,用组成单元的集合体近似代替原来的结构。在结点上引入等效结点力以代替实际作用单元上的动载荷。对每个单元,选择一个简单的函数来近似地表达单元位移分量的分布规律,并按弹性力学中的变分原理建立单元结点力与结点位移(速度、加速度)的关系(质量、阻尼和刚度矩阵),最后把所有单元的这种关系集合起来,就可以得到以结点位移为基本未知量的动力学方程。给定初始条件和边界条件,就可求解动力学方程得到系统的动态特性。依据这一思想,有限元法的计算过程是:①结构离散化(即将连续构件转化为若干个单元);②单元特性分析与计算(即建立各单元的结点位移和结点力之间的关系式,求出各单元的刚度矩阵);③单元组集求解方程(利用结构力的平衡条件和边界条件,求出结点位移及各单元内的应力值)。所以,有限元法的计算过程思想是“一分一合”,先分是为了进行单元分析,后合则是为了对整个结构进行综合分析。图 1-4 所示是采用有限元法对一圆柱直齿轮的轮齿应力进行计算及分析的实例。图 1-4(a)为网格分割图,共分单元总数为 257 个,结点总数为 563 个。图 1-4(b)为计算所得的应力分布情况,图中左右两侧的曲线表示主应力 σ_p 沿两边齿廓的分布情况,此外,图中还标明了危险截面 MN 上主应力 σ_1, σ_2 以及 σ_y, τ_{max} 的分布情况。

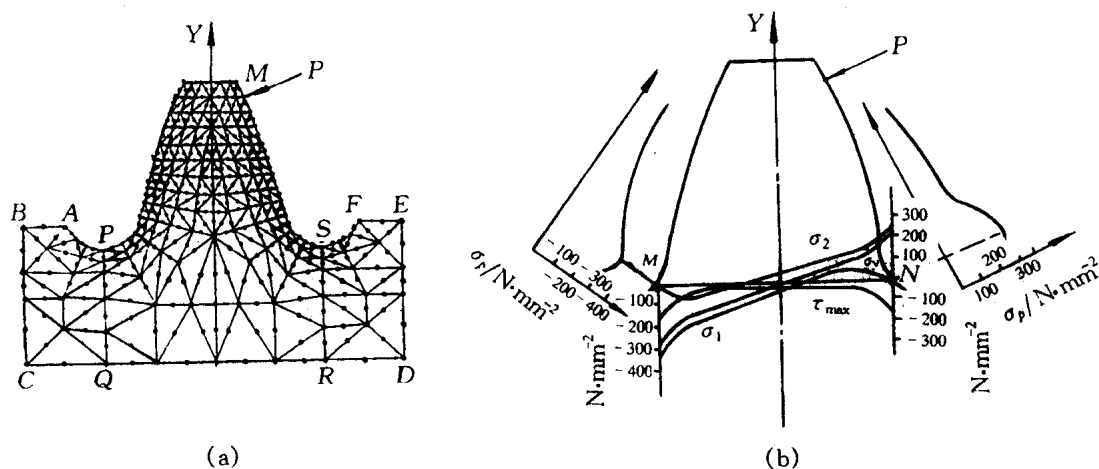


图 1-4 齿轮轮齿应力计算的有限元法分析实例

近些年来,有限元法的应用得到蓬勃发展,国际上不仅研制有功能完善的各类有限元分析通用程序,如 NASTRAN, ANSYS, ASKA, SAP 等,而且还带有功能强大的前处理(自动生成单元网格,形成输入数据文件)和后处理(显示计算结果,绘制变形图、等值线图、振型图并可动

态显示结构的动力响应等)程序。由于有限元通用程序使用方便,计算精度高,其计算结果已成为各类工业产品设计和性能分析的可靠依据。

5. 工业艺术造型设计

工业艺术造型设计是工程技术与美学艺术相结合的一门新学科。它是指在保证产品实用功能的前提下,用艺术手段按照美学法则对工业产品进行造型活动,对工业产品的结构尺寸、体面形态、色彩、材质、线条、装饰及人机关系等因素进行有机的综合处理,从而设计出优质美观的产品造型。实用和美观的最佳统一是工业艺术造型设计的基本原则。最终应使产品在保证实用的前提下,具有美的、富有表现力的审美特性。

这一学科介绍的内容主要包括:造型设计的基本要素、造型设计的基本原则、美学法则、色彩设计、色彩设计的原则、人机工程学等。

6. 设计方法学

设计法学(Design Methodology)是研究设计的一般性方法、技巧、手段、进程及规律的一门新型综合学科。目前国际上对设计方法学的研究主要分为两大学派,即德国学派和英美学派。前者的特征是偏重研究设计的过程、步骤和规律,进行系统化的逻辑分析,并将成熟的设计模式、解法等编成规范供设计人员参考,从而形成了系统分析设计法体系。后者则重视创造性设计的研究,强调创造能力的开发,在总结了人类创造性思维的特点、类型的基础上,归纳出各种不同的创造性技法,形成了创造性设计法体系。

7. 反求工程设计

反求工程(Reverse Engineering)是消化吸收并改进国内外先进技术的一系列工作方法和技术的总和。它对提高我国的科技和管理水平有着重要的意义。它是通过实物或技术资料对已有的先进产品进行分析、解剖、试验,了解其材料、组成、结构、性能、功能,掌握其工艺原理和工作机理,以进行消化仿制、改进或发展、创造新产品的一种方法和技术。它是针对消化吸收先进技术的系列分析方法和应用技术的组合。反求工程包括设计反求、工艺反求、管理反求等各个方面。

8. 三次设计

三次设计(Taguchi Method)是日本著名质量管理学家田口玄一于60年代创造的一种设计方法。该设计法把新产品、新工艺设计分为三个阶段设计,故称三次设计法。第一次设计称为系统设计,即根据市场调查,规划产品的功能,确定产品的基本结构以及组成该产品的各种零部件的参数,提出初始设计方案。系统设计主要依靠专业技术人员的专业知识进行。第二次设计称为参数设计,即在专业人员提出的初始设计方案的基础上,对各零部件参数进行优化组合,求取最优设计方案,使得产品的技术特性合理,稳定性好,抗干扰性强,成本低廉。第三次设计称为容差设计,即在最佳设计方案的基础上,进一步分析导致产品技术特性波动的原因,找出关键零部件,确定合适的容差,进而确定定差,并求得质量和成本二者的最佳平衡。

1.2.2 现代设计方法的特点

通过上述几种典型现代设计方法的内容介绍可知,现代设计方法的基本特点如下:

(1)程式性:研究设计的全过程。要求设计者从产品规划、方案设计、技术设计、施工设计到试验、试制进行全面考虑,按步骤有计划地进行设计。

(2)创造性:突出人的创造性,发挥集体智慧,力求探寻更多突破性方案,开发创新产品。

(3)系统性:强调用系统工程处理技术系统问题。设计时应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。

(4)最优化:设计的目的是得到功能全、性能好、成本低的价值最优的产品。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。

(5)综合性:现代设计方法是建立在系统工程、创造工程基础上,综合运用信息论、优化论、相似论、模糊论、可靠性理论等自然科学理论和价值工程、决策论、预测论等社会科学理论,同时采用集合、矩阵、图论等数学工具和电子计算机技术,总结设计规律,提供多种解决设计问题的科学途径。

(6)计算机化:将计算机全面地引入设计。通过设计者和计算机的密切配合,采用先进的设计方法,提高设计质量和速度。计算机不仅用于设计计算和绘图,同时在信息贮存、评价决策、动态模拟、人工智能等方面将发挥更大作用。

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。现代设计方法是在继承和发展传统设计方法的基础上融汇新的科学理论和新的科学技术成果而形成的。因此,学习使用现代设计方法,并不是要完全抛弃传统的方法和经验,而是要让广大设计人员在传统方法和实践经验的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应用。当然,现代设计方法也并非万能良药,现代设计中各种方法都有其特定作用和应用场合,例如优化设计,目前只能在指定方案下进行参数优化,不可能自行创造最优设计方案。而计算机辅助设计也只能在“寻找”方面帮助人的脑和手工作,而决不能代替人脑进行“创造性思维”。这就是现代设计与传统设计方法上的继承与改革的辩证关系。

现代设计方法是一门种类繁多,知识面广的学科群,它所涉及的内容十分广泛,而且随着科学技术的飞速发展,必将还会有许多新的设计方法不断涌现,因此它的内容还会有不断发展。

1.3 现代产品的特点及其开发

1.3.1 现代产品的特点

随着科学和技术的飞速发展,现代产品的特点主要表现在广泛采用现代新兴技术,对产品的功能、可靠性、效益提出更为严格的要求。当前许多高技术产品如激光测量装置、航天飞机、核动力设备等大量诞生,无一不是采用现代新兴技术的结果;而常规产品如机床、纺织机械、工程机械、电视机等电器也都大量采用了新技术,如数字控制、气动纺纱、液压技术、数字信号等。这都说明先进的科技成就正源源不断地通过设计改变着产品。

新兴技术对产品的渗透、改造和应用,使产品的功能和结构产生很大的变化。如机械加工中出现电子束、等离子束、激光和电磁成形等新技术,用以加工高强度合金钢、精细陶瓷等;而涂层刀、单晶金刚石使切削金属的能力倍增,给机床设计提出新的要求;甲醇发动机、太阳能发动机及电磁发动机的出现,为新的能源利用创造出新的途径;机械产品中日益普遍地采用微机作自动控制,发展为机械-电子-信息一体化技术及产品;如此等等。这些新兴技术促使机械产

品在功能上的大跨越,成为现代产品最突出的特点。

在当今世界,由于科学技术的飞速发展,使新的领域不断开辟,新技术不断涌现,促进了经济的高速发展。同时,也使企业间的竞争日益激烈,而且这种竞争已成为世界范围内技术水平、经济实力的全面竞争。人们随着对客观世界的认识的深化和生活水平的提高,对产品的要求也愈来愈高。所有这些使人们对设计的要求发展到了一个新的阶段,具体表现为以下几个方面:

- (1)设计对象由单机走向系统;
- (2)设计要求由单目标走向多目标;
- (3)设计所涉及的领域由单一领域走向多个领域;
- (4)承担设计工作的人员从单人走向小组;
- (5)产品更新速度加快,使设计周期缩短;
- (6)产品设计由自由发展走向有计划的发展;
- (7)设计的发展要适应科学技术的发展,特别是适应计算机技术的发展。

与人们对设计的要求相比,我国现阶段的设计工作相对而言是较落后的。面对这种形势,唯一的出路就是:设计必须科学化、现代化。也就要求设计人员不仅要有丰富的专业知识,而且还需掌握先进的设计理论、设计方法和设计手段及工具,科学地进行设计工作,这样才能设计出符合时代要求的新产品。

产品是设计结果的物质表现。现代产品的设计不仅依赖于自然科学技术,而且还要受到社会科学和社会因素的支配与影响(见图 1-5)。这就是说,现代产品的设计,除了要求考虑技术方面的因素外,它还要求设计者应将“产品-人-环境-社会”视为一个完整的系统。设计时,必须从系统角度来全面考虑各方面的问题。既要考虑产品本身,还要考虑对系统和环境的影响;不仅要考虑技术领域,还要考虑经济、社会效益;不但考虑当前,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,还要考虑使用者的安全、舒适、操作方便等;另外,还需考虑汽车的燃料供应、车辆存放、环境污染、道路发展以及国家能源政策、资源条件、道路建设、城市规划等政策及社会条件限制等问题。因此,现代产品设计已要求设计者把自然科学、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。

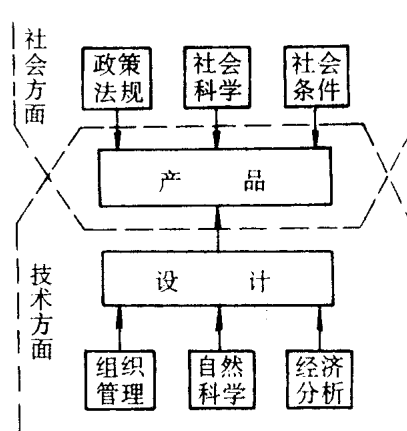


图 1-5 产品设计所涉及的方面

1.3.2 现代产品的开发

现代产品的开发必须通过设计过程,以创造性的工作实现人们预期的目的。即在设计过程中,充分运用现代科学技术、社会学及经济学诸方面知识,以期获得质高、价廉、有创造性的现代产品。

要设计好一个现代产品,除需掌握现代科技和现代设计方法外,还应了解和掌握产品开发