

高等院校机械类“十二五”规划教材

# 现代设计方法学

■ 陶栋材 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高等院校机械类“十二五”规划教材

# 现代设计方法学

主 编 陶栋材  
副主编 吴明亮 任述光  
参 编 邓春香 袁 雄 吴 畏

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书在讨论传统设计和现代设计的关系、特点,以及对多种常用现代设计方法进行概括介绍的基础上,重点介绍了优化设计、计算机辅助设计、有限元法、可靠性设计和创新设计,同时本书融入了编者多年来在现代设计方法学方面的一部分研究成果。通过对本书的学习,读者可以掌握现代设计方法学的基本思想、原理、设计过程和应用。

本书可作为机械类硕士生研究生和高年级本科生教材,也可供其他专业师生和从事机电产品设计的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法学/陶栋材主编. —北京:国防工业出版社,2012.8

高等院校机械类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-08283-8

I. ①现... II. ①陶... 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185973号

※

国防工业出版社出版发行  
(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)  
北京奥鑫印刷厂印刷  
新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 24¼ 字数 560千字  
2012年8月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 46.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777  
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776  
发行业务:(010)88540717

# 前 言

“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。人类在改造自然的历史长河中,一直从事设计活动,通过成功的设计来满足文明社会的需要。“设计”在现代工农业生产中占有十分重要的地位,它直接影响着一项工程(或产品)的质量、成本以及研发时间等。通过优良设计的工程(或产品)可为人类社会带来巨大益处并将危害减小到最低程度。随着时代的进步和社会的发展,在人类对产品要求越来越高、产品结构越来越复杂、竞争越来越激烈的今天,设计工作的作用就更显得尤为重要。

现代设计方法学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。它是以满足市场产品的质量、性能、时间、成本、价格等综合效益最优为目的,以计算机辅助设计技术为主体,以知识为依托,以多种科学方法及技术为手段,研究、改进、创造产品活动过程所用到的技术群体的总称。

现代设计方法学的应用将为工业产品的设计乃至所有设计领域带来革命性的变化,这些已为发达国家的实践所证实。随着国际市场的形成和市场竞争的加剧,我国企业设计人员急需学习和掌握现代设计理论和方法,树立现代设计的思想,掌握现代设计的基本概念和基本方法,获得应用现代设计方法学设计产品的初步能力显得尤为重要。

现代设计方法学发展很快,种类繁多,涉及面极广。本书共分为6章,在讨论传统设计和现代设计的关系、特点,以及对多种常用现代设计方法进行概括介绍的基础上,重点介绍优化设计、计算机辅助设计、有限元法、可靠性设计和创新设计。为了使学生便于掌握课程的基本内容和工程应用,本书力求理论联系实际,引用较多的典型实例进行分析,以加深学生对所述内容的理解和掌握。同时本书融入了编者多年来在现代设计方法学方面的一部分研究成果。本书可作为机械类硕士生研究生和高年级本科生教材,也可供从事机电产品设计的工程技术人员参考。

本书由湖南农业大学陶栋材教授主编,第1、3章由陶栋材教授、吴畏讲师编写;第2章由邓春香副教授编写;第4章由任述光副教授编写;第5章由吴明亮副教授编写;第6章由袁雄编写。

本书在编写过程中,编者参阅了大量文献资料,吸纳了有关教材和参考书中的精华,引用了许多专家、学者的部分成果和观点,书后以参考文献一并列出。在此特对有关作者致以真诚的感谢。

鉴于现代设计方法学内容涉及面广,发展迅速,加之编者水平有限,书中定会有不足之处,敬请读者批评指正。

编者  
2012年5月

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 设计的基本概念 .....	1
1.1.1 设计的概念与内涵 .....	1
1.1.2 产品设计的重要性及产品开发面临的挑战 .....	2
1.2 传统设计与现代设计 .....	4
1.2.1 设计发展的基本阶段 .....	4
1.2.2 现代设计的目标和特点 .....	5
1.2.3 现代设计技术体系 .....	8
1.3 设计过程与设计方法 .....	9
1.3.1 机电产品设计的一般过程 .....	9
1.3.2 设计方法 .....	11
1.4 设计类型与设计原则 .....	12
1.4.1 设计类型 .....	12
1.4.2 设计原则 .....	12
1.5 部分现代设计方法简介 .....	13
1.5.1 优化设计 .....	13
1.5.2 计算机辅助设计 .....	13
1.5.3 有限元法 .....	15
1.5.4 可靠性设计 .....	16
1.5.5 创新设计 .....	16
1.5.6 工业产品艺术造型设计 .....	16
1.5.7 虚拟设计 .....	17
1.5.8 价值工程 .....	18
1.5.9 并行工程 .....	19
1.5.10 模块化设计 .....	20
1.5.11 反求工程 .....	21
1.5.12 相似性设计 .....	22
1.5.13 健壮性设计 .....	22
1.5.14 智能设计 .....	23
1.5.15 绿色设计 .....	24
1.5.16 动态设计 .....	25
1.6 学习现代设计方法学的意义 .....	25

思考题 .....	26
<b>第2章 优化设计方法</b> .....	<b>27</b>
2.1 概述 .....	27
2.2 优化设计的数学模型 .....	29
2.3 优化设计的数学基础 .....	31
2.3.1 多元函数的方向导数与梯度 .....	31
2.3.2 多元函数的泰勒(Taylor)展开式与海赛(Hessian)矩阵 .....	32
2.3.3 无约束目标函数极值点存在的充分条件和必要条件 .....	33
2.3.4 凸集、凸函数与凸规划 .....	33
2.3.5 约束优化设计问题的极值条件 .....	34
2.4 一维搜索方法 .....	36
2.4.1 优化问题的数值迭代法 .....	36
2.4.2 一维搜索的最优化方法 .....	37
2.5 无约束优化方法 .....	41
2.5.1 无约束优化问题的求解方法及其分类 .....	41
2.5.2 最速下降法 .....	42
2.5.3 牛顿型方法 .....	44
2.5.4 共轭梯度法 .....	45
2.6 有约束优化方法 .....	47
2.6.1 复合形法 .....	48
2.6.2 随机方向法 .....	51
2.6.3 惩罚函数法 .....	53
2.7 Matlab 简介及其在优化方法中的应用 .....	56
2.7.1 Matlab 简介 .....	56
2.7.2 Matlab 软件在优化方法中的应用 .....	57
思考题 .....	72
<b>第3章 计算机辅助设计</b> .....	<b>75</b>
3.1 概述 .....	75
3.1.1 计算机辅助设计的基本概念 .....	75
3.1.2 计算机辅助设计系统的功能与特点 .....	75
3.1.3 计算机辅助设计的系统结构 .....	76
3.1.4 计算机辅助设计中主要关键技术 .....	86
3.1.5 我国计算机辅助设计应用现状与发展 .....	87
3.2 设计资料的处理 .....	89
3.2.1 数表的处理 .....	89
3.2.2 线图的处理 .....	90
3.2.3 列表函数插值 .....	93
3.2.4 建立经验公式的方法 .....	95
3.3 计算机辅助图形处理 .....	101

3.3.1	概述	101
3.3.2	图形变换	106
3.3.3	交互式绘图	123
3.3.4	参数化绘图	125
3.3.5	图形软件标准	128
3.4	计算机辅助设计建模技术及产品数据模型	130
3.4.1	概述	130
3.4.2	三维几何建模技术	131
3.4.3	特征建模技术	143
3.4.4	曲线和曲面建模技术	151
3.5	计算机辅助机构分析	166
3.5.1	概述	166
3.5.2	建立计算机辅助机构分析模型的相关规定	167
3.5.3	建立计算机辅助机构分析模型的方法	168
3.5.4	建立机构动力学模型的若干问题及解决方法	176
3.5.5	往复式电动锯惯性力平衡	184
3.6	计算机仿真	189
3.6.1	仿真的基本概念	189
3.6.2	计算机仿真的一般过程	191
3.6.3	仿真在 CAD、CAM 系统中的应用	192
3.6.4	偏心轮推杆行星传动运动学仿真	193
	思考题	228
<b>第 4 章</b>	<b>有限元法</b>	<b>230</b>
4.1	概述	230
4.2	弹性力学基本理论	231
4.2.1	基本变量	232
4.2.2	一点的应力分析	233
4.2.3	弹性力学平面问题	234
4.2.4	弹性力学平面问题的基本方程	235
4.2.5	边界条件及圣维南原理	238
4.2.6	弹性力学的一般原理	240
4.3	有限元基本原理	242
4.3.1	三节点单元位移模式	242
4.3.2	单元载荷移置	248
4.3.3	单元刚度矩阵	250
4.3.4	单元刚度矩阵的物理意义与性质	252
4.3.5	刚度矩阵集成	253
4.3.6	约束条件的处理	254
4.3.7	整体刚度矩阵的特点与存储方法	256

4.4	等参单元及数值积分 .....	258
4.4.1	等参单元的概念 .....	258
4.4.2	坐标变换 .....	260
4.4.3	平面等参数单元 .....	261
4.4.4	等参元中的数值积分 .....	264
4.5	有限元分析中若干问题的处理 .....	266
4.5.1	离散化时应注意的问题 .....	266
4.5.2	有大应力梯度时的处理 .....	266
4.5.3	应力计算结果的整理 .....	267
4.6	有限元分析软件的应用 .....	267
4.6.1	有限元分析软件概述 .....	267
4.6.2	ANSYS 的主要功能模块 .....	268
4.6.3	ANSYS 的特征 .....	271
4.6.4	ANSYS 的数据接口 .....	274
4.6.5	ANSYS 结构分析基本流程 .....	274
4.7	应用实例 .....	275
	思考题 .....	285
<b>第5章</b>	<b>可靠性设计 .....</b>	<b>286</b>
5.1	可靠性概论 .....	286
5.1.1	可靠性的基本概念 .....	286
5.1.2	机械可靠性设计 .....	288
5.1.3	机械可靠性设计的基本特点 .....	288
5.1.4	机械可靠性设计的主要内容 .....	289
5.2	机械可靠性设计原理与可靠度计算 .....	290
5.2.1	应力—强度干涉理论与可靠度的一般表达式 .....	290
5.2.2	应力分布的确定 .....	293
5.2.3	强度分布的确定 .....	298
5.2.4	应力与强度分布已知时的可靠度计算 .....	300
5.3	机械静强度可靠性设计 .....	310
5.3.1	设计参数的统计处理与计算 .....	310
5.3.2	机械静强度可靠性设计 .....	321
5.4	疲劳强度可靠性设计 .....	330
5.4.1	疲劳强度可靠性设计基础 .....	330
5.4.2	稳定变应力疲劳强度可靠性设计 .....	330
5.4.3	不稳定变应力疲劳强度可靠性设计 .....	336
5.5	可靠性试验 .....	340
5.5.1	概述 .....	340
5.5.2	可靠性试验的目的 .....	340



5.5.3	可靠性试验的分类	341
5.5.4	可靠性寿命试验	342
5.5.5	指数型产品的寿命试验	345
5.5.6	加速寿命试验	347
	思考题	354
<b>第6章</b>	<b>创新设计</b>	<b>355</b>
6.1	概述	355
6.1.1	创新	355
6.1.2	设计	355
6.1.3	创新设计	356
6.1.4	创新设计要素	357
6.2	创新思维的基本方法	358
6.2.1	创新思维	358
6.2.2	创新思维的特点	359
6.2.3	创新思维的类型	360
6.2.4	创新思维的基本过程	361
6.2.5	创新思维的基本方法	362
6.3	创新思维技法	363
6.3.1	设问类技法	363
6.3.2	联想类技法	364
6.3.3	头脑风暴法	366
6.3.4	组合类技法	367
6.3.5	列举类技法	367
6.4	产品创新设计	369
6.4.1	现代工业设计发展概况	369
6.4.2	现代工业设计流程	370
6.4.3	现代工业设计表现技法	371
6.5	产品创新设计实例	373
	思考题	376
	<b>参考文献</b>	<b>377</b>

# 第1章 绪论

## 1.1 设计的基本概念

### 1.1.1 设计的概念与内涵

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。人类在改造自然的历史长河中,一直从事着设计活动,通过成功的设计来满足文明社会的需要。人类生活在大自然和人类自身“设计”的世界中,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。

历史证明,人类文明的源泉就是创造,人类生活的本质就是创造,而设计,其本质上就是创造性的思维与活动,设计的历史也可以说就是人类的历史。自觉的“设计”开始于15世纪欧洲文艺复兴时期,直到20世纪中期,设计仍被限定在比较狭窄的专业范围内,单一的学科知识很难解决专业范围内的设计问题。

什么是设计?至今人们有着不同的理解和解释。设计一词有广义和狭义之分。我国《现代汉语词典》中将设计一词解释为“在正式做某项工作之前,根据一定的目的和要求,预先制定方法、图样等”。设计的目的,既可以是精神性的也可以是物质性的。在漫长的历史进程中,出现了两种主要形式的设计活动:一种是单纯为了满足审美需求而出现的艺术设计;另一种是单纯为了满足功能需求而出现的工程设计。它们分别培养了艺术家和工程师。通常所说的设计一般指工业产品设计,是把设计理解为根据客观需求完成满足该需求的技术系统的图纸及技术文档的活动,这是设计的狭义概念。从广义上说,设计是指为了达到某一特定目的,从构思到建立一个切实可行的实施方案,并且用明确的手段表示出来的系列行为。设计有许多定义:

- (1) 设计是“一种针对目标的问题求解活动”。
- (2) 设计是“将人为环境改造成符合人类社会心理、生理需求的过程”。
- (3) 设计是“从现存事实转向未来可能的一种想像跃迁”。
- (4) 设计是“一种创造性活动——创造前所未有的、新颖而有益的东西”。
- (5) 设计是“一种构思与计划,以及把这种构思与计划通过一定的手段符号化的活动过程”。
- (6) 设计是“建立在一定生产方式上的造型计划”。
- (7) 设计是“使人造物产生变化的活动”。
- (8) 设计是“一种社会文化活动。一方面,设计是创造性的、类似于艺术的活动;另一方面,它又是理性的、类似于条理性的科学活动”。
- (9) 设计是“对一批特殊的实际需要的总和,得出最恰当的答案”。
- (10) 设计是“实现信念的一种非常复杂的行动”。

(11) 设计是“一种约定俗成的活动,是在规定和创造将来”。

(12) 设计是“完成委托人的要求、目标,获得使设计师与用户均能满意的结果”。

(13) 设计是“一种研讨生活的途径”。

(14) 设计是“综合社会的、经济的、技术的、心理的、生理的、人类学的、艺术的各种形态的特殊的美学活动及其产品”。

(15) 设计是“通过分析、创造与综合,达到满足某些特定功能系统的一种活动过程”。

由此可见,设计的含义并不受学科或专业本身的限制,这些含义具有普遍性与广泛性。

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,产品设计概念的内涵和外延也在扩大。从设计内容上看,设计包括了对设计对象、设计进程甚至设计思路的设计;产品设计考虑的范围不再仅仅是构成产品的物质条件和功能需求,而是综合了经济、社会、环境、人体工学、人的心理、文化层次等多种因素;从纵向上看,设计不再是仅仅完成技术系统的图纸及技术文档,而是贯穿了产品从孕育到消亡的整个生命周期,涵盖了需求获取、概念设计、技术设计、详细设计、工艺设计、营销设计及回收设计等设计活动,把试验、研究、设计、制造、安装、使用、维修作为一个整体进行规划;从横向上看,则是多学科交叉方面的规划和设计,设计师通过对人的生理、心理、生活习惯等一切关于人的自然属性和社会属性的认知,进行产品的功能、性能、形式、价格、使用环境的定位,结合材料、技术、结构、工艺、形态、色彩、表面处理、装饰、成本等因素,从社会的、经济的、技术的角度进行创意设计,在企业生产管理中保证设计质量实现的前提下,使产品既是企业的产品、市场中的商品,又是用户的用品,达到顾客需求和企业效益的完美统一,功能实用和美学特征的统一。

随着计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)技术的发展,图纸也不再是设计结果输出的必须载体,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。

为了更好地满足人类的需求,设计方法必然要发展。随着创造性活动理论、现代决策理论、信息论、控制论、工业设计理论、系统工程等现代理论与方法的发展及传播,人们冲破了传统学科间的专业壁垒,在相邻甚至相远的学科领域内探索、研究,使现代设计科学走上日趋系统化的道路,促使单一的设计研究向广义的设计研究转变,从而形成了现代设计方法学。

## 1.1.2 产品设计的重要性及产品开发面临的挑战

### 1. 产品设计的重要性

工程设计是为满足人类社会日益增长的需要而进行的创造性劳动,它和生产、生活及其未来密切相关,所以人们对设计工作越来越重视,产品设计的重要性主要表现在以下几个方面:

(1) 设计直接决定产品的功能和性能。产品的功能、造型、结构、质量、成本和可制造性、可维修性、报废后的处理以及人-机(产品)-环境关系等,原则上都是在产品的设计

阶段确定的,可以说产品的水平主要取决于设计水平。而设计的失误、缺陷、考虑问题不细致不全面都会导致不良结果甚至灾害性结果。对产品使用不当或由于制造或装配中产生问题所造成的不良后果是可以补救或修复,这属于局部性和偶然性问题;而设计本身就存在问题,这种“先天不足”的不良影响是根本性或全局性的,所造成的后果较难弥补。例如,汽车发动机设计时的耗油量指标就较落后,造成使用时燃油浪费,要进行改善,除改变原设计或更换发动机外,其他办法很难奏效。美国质量专家米兰博士认为,设计质量占整个产品质量的比率为 60%;日本质量工程专家田口玄一博士认为,设计质量(包括产品设计和工艺设计)占整个产品质量的比率为 70%。因此,设计是保证产品质量的前提和关键。

(2) 设计对企业的生存和发展具有重大意义。产品生产是企业的中心任务,而产品的竞争力影响着企业的生存与发展。产品的竞争力主要在于它的性能和质量,也取决于其经济性。而这些因素都与设计密切相关。在激烈的市场竞争中,成功的创新产品是开拓出新的使用价值和市场需求,为企业获取利润、提升经济效益创造新的增长点的重要手段。统计显示,从事生产制造或代理销售的企业的利润一般在 5% 左右,而不断进行产品创新的企业的利润则普遍达到 20% 或更高。因此,产品创新是一个企业提升经济效益和赖以生存、发展、成功的基本要素,而产品创新的关键是设计创新。例如,1980 年石油危机,西方汽车大量积压,企业停工,而日本汽车却能较好地销售,原因在于日本设计的汽车耗油量小,价格便宜。

(3) 设计直接关系人类的未来及社会发展。设计是把各种先进技术转化为生产力的一种手段,是先进生产力的代表;设计创新是推动产业发展和社会进步的强大动力。在人类社会发展的历史上,每次产业结构的重大变革和带来的社会进步都伴随着一个或几个标志性的创新产品。200 多年前,第一台蒸汽机的出现引起世界性的工业革命,使 1770 年—1840 年间英国的工业生产率提高了 20 倍。100 多年前的第二次工业革命中诞生了发电机、内燃机、汽车、电话机等一批革命性的新产品,第二次世界大战之后,计算机、半导体集成电路、互联网等新产品将人类带入了崭新的信息时代。我国改革开放 30 多年来,正因为大量的新产品引入市场,带动了产业技术水平迅速提高,产业结构不断升级,人民生活质量显著改善,社会物质文化生活日益丰富多彩,强有力地推动了国家的经济社会发展。当前很多发明和新技术的出现,也相应渗入机械工业领域,迅速地改变着机械工业的面貌,如激光技术、核动力、信息技术、计算机技术及机电一体化技术等引入到机械,大大提高了机械工业的水平。因此,机械设计应着眼于未来,适应技术发展,同时也应努力促进技术发展。

全球市场的形成加剧了当前的市场竞争,我国机械制造业的产值约占国民经济总值的 30%,它作为国民经济的一个重要支柱,既要生产高质量、高性能和低成本的产品来提高本行业的竞争能力,又要开发先进、高效和可靠的产品为其他行业提供生产和生活装备,不断改善设计工作,提高机械产品设计质量和效率至关重要。

## 2. 产品开发面临的挑战

经济全球化和企业竞争的加剧,使产品开发面临以下挑战:

(1) 产品适销期明显缩短,产品开发周期极大压缩。以中型加工中心为例,新产品的销售旺期从 20 世纪 80 年代的 5 年~8 年降至 90 年代的 3 年~5 年,2000 年后则为 2 年

左右。中型数控机床的新型产品开发周期在 80 年代前期为 15 个月,在 90 年代前期为 9 个月,在 2000 年后则压缩为 6 个月甚至更短。

(2) 产品品种数急剧增加。适应用户需求,订单式的个性化产品得到发展。即使大批量生产产品,也可根据顾客多样化的功能要求和喜爱实现订单式的销售模式。

(3) 设计对象越来越复杂。人们对设计对象的性能要求越来越高,功能越来越多,结构也越来越复杂。设计对象由单机走向系统,设计所涉及的领域由单一领域走向多个领域。

(4) 设计过程越来越复杂。承担设计的人员从个人走向团队,设计的过程由串行设计走向并行设计,地点由单一走向基于网络的异地设计。

(5) 对设计产品的要求越来越高。设计优化目标由单一走向多目标,客户不再满足于对产品功能、质量的要求,而且要求价格低、交货快、无污染、服务好。同时,环境和社会等因素对产品的要求更趋严格。

(6) 设计风险加大。由于竞争的激烈,迫使设计人员必须在多种因素不确定的状况下迅速做出决策。我国产品开发目前主要以下问题:

① 产品仿制多,创新少,市场竞争能力不强,获利不高;

② 设计耗时多,设计成功率低,反复试制使开发周期变长,产品更新换代慢,一般开发周期是国外同类产品的 2 倍左右;

③ 通用型产品多,面向用户的功能多样化的有竞争优势的产品少;

④ 产品设计从技术上考虑多,产品的人性化设计、造型设计水平低;

⑤ 市场、客户价值分析少,对适销对路的产品开发反应慢,品种少;

⑥ 设计方法和手段不先进;

⑦ 产品的标准化、通用化程度不高,生产准备工作量大,产品投产上市速度慢。

产品开发面临着严峻的挑战,要求不断地发展和应用现代设计方法及先进的生产制造技术来适应这一需求,其中新产品的快速响应开发更是提高企业市场竞争力的关键环节。

## 1.2 传统设计与现代设计

### 1.2.1 设计发展的基本阶段

为了便于了解现代设计与传统设计的区别,首先简单回顾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。设计方案存在于手工艺人头脑之中,无法记录表达,产品也比较简单。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,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。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,对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和试验数据及设计经验的积累,逐渐形成了一套半经验半理论的设计方法。这种方法以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。依据这套方法进行机电产品设计,称为传统设计。“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。

(4) 现代设计阶段。近 30 年来,由于科学技术迅速发展,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,特别是计算机技术的发展及应用,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和精密计算的条件。例如,CAD 技术能得出所需要的设计计算结果资料、生产图纸和数字化模型,一体化的 CAD/CAM 技术更可直接输出零件的数控加工代码程序,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是,对产品的设计已不仅考虑产品本身,还要考虑对系统和环境的影响;不仅考虑技术领域,还要考虑经济、社会效益;不仅考虑当前,还需要考虑长远发展。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;同时,还要考虑汽车的燃料供应和污染、车辆存放、道路发展等问题。

## 1.2.2 现代设计的目标和特点

传统设计以经验、试凑、静态、定性分析、手工劳动为特征,导致设计周期长,设计质量差,设计费用高,产品缺乏竞争力。随着现代科学技术的发展,机械产品设计领域中相继出现了一系列新兴理论、方法和手段,这些新兴理论、方法和手段统称为现代设计技术。

### 1. 现代设计的目标

设计目标是设计对象,即技术系统应具有的总体性能。按照现代设计理论与方法进行产品设计,应能达到以下设计目标:

- (1) 工效实用性。一般用系统总体的技术指标的形式提出,如产量、质量、精度等。
- (2) 系统可靠性。指系统在预定时间内和给定的工作条件下,能够可靠地工作的能力。
- (3) 运行稳定性。系统的输入量变化或受干扰时,输出量不发生超过限度的或非收敛性的变化,而过渡到新的稳定状态。
- (4) 人机安全性。采取一切措施,保证人身绝对安全,使机器故障造成的损失最小。

(5) 环境无害性。机器对环境的噪声以及对环境的污染减小到无害的程度。

(6) 操作宜人性。操作者工作时心情舒畅,不易疲劳。

(7) 结构工艺性。系统的结构设计应满足便于制造、加工、装配、运输、安装、维修等工艺要求,特别是自动化的要求。

(8) 技术经济性。一是评价一次投资变为系统或设备时,不同设计方案的经济性比较;二是评价保持系统或设备正常运行时,资源运用的合理性,如运行费用的经济性。

(9) 造型艺术性。在保证功能的前提下,造型合乎艺术规律,使人产生美感和时代感,提高精神文明水平。

(10) 设计规范性。设计成果遵守国家政治经济政策和法规,符合国家的技术规范和法令,贯彻“三化”。

## 2. 现代设计的特点

与传统设计相比较,现代设计主要有下列特点:

(1) 系统性。现代设计采用逻辑的、系统的设计方法。目前,有两种体系:一种是美国倡导的创造性设计学,在知识、手段和方法不充分的条件下,运用创造技法,充分发挥想象,进行辩证思维,形成新的构思和设计;另一种是德国倡导的设计方法学,用从抽象到具体的发散思维方法,以“功能-原理-结构”框架为模型的横向变异和纵向综合,用计算机构造多种方案,评价决策选出最优方案。

传统设计是经验、类比的设计方法,用收敛性的思维方法过早地进入具体方案,对功能原理的分析既不充分又不系统,不强调创新,也很难得到最优方案。

(2) 社会性。现代设计将产品设计扩展到整个产品生命周期,发展了“面向 X”技术,即在设计过程中同时考虑制造、维修、成本、包装运输、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、面向市场为主导思想全面考虑解决。设计过程中的功能分析、原理方案确定、结构方案确定、造型方案确定,都要随时按市场经济规律进行尽可能定量的市场分析、经济分析、价值分析,以并行工程方法指导企业生产管理体制改革和新产品设计工作,以相似性设计、模块化设计来更好地满足广泛变化的社会需求,以反求工程技术消化应用国际先进技术,以摩擦学设计方法提高机械效率,以三次设计方法提高产品性能价格比。

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,设计试制后才进行经济分析、成本核算,很少考虑社会问题。

(3) 创造性。现代设计强调激励创造冲动,突出创新意识,自觉运用创造技法、科学抽象的设计构思、发散的设计思维、多种可行的创新方案比较,全面深入地评价决策,追求最优方案。

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

(4) 宜人性。现代设计强调产品内在质量的实用性以及外观形体的美学性、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等精神感受。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,考虑满足人一机一环境等

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,不断满足宜人人性要求。

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一机一环境等之间的关系,强调训练用户来适应机器的要求。

(5) 最优化。现代设计重视综合集成,在性能、技术、经济、制造工艺、使用、环境、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最新科技成果,寻求最优方案和参数。利用优化设计、神经网络算法和遗传算法等求出各种工作条件下的最优解。

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

(6) 动态化。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。对一些复杂的工程分析问题可用有限元法、边界元法等数值解法得到满意的结果。

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

(7) 设计过程智能化。设计过程智能化指借助于人工智能和专家系统技术,由计算机完成一部分原来必须由设计者进行的创造性工作。现代设计认为,各种生物在自己的某些领域里具有极高的水平。仿生学研究如何模仿生物的某些高水平能力。生物中人的智能最高,能通过知识和信息的获取、推理及运用解决极为复杂的问题。在已被认识的人的思维规律的基础上,在智能工程理论的指导下,以计算机为主模仿人的智能活动,能够设计出高度智能化的产品和系统。

传统设计局部上自发地运用某些仿生规律,但这很难达到高度智能化的效果。

(8) 设计手段的计算机化和数字化。计算机在设计中的应用已从早期的辅助分析、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,方便了企业内部、有关部门及协作企业间的信息交换。

传统设计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。

(9) 设计和制造一体化。设计和制造一体化强调产品设计制造的统一数据模型和计算机集成制造。设计过程组织方式由传统的顺序方式逐渐过渡到并行设计方式,与产品设计有关的各种过程并行交叉地进行,可以减少各种修改工作量,有利于加速工作进程,提高设计质量。并行设计的团队工作精神和有关专家协同工作,有利于得到整体最优解。设计手段的拟实化,三维造型技术、仿真及虚拟制造技术以及快速成形技术,使得人们在制造零件之前就可以看到它的形状甚至摸到它,可以大大改进设计的效果。现代设计利用高速计算机将各种不同目的的设计方法、各种不同的设计手段综合起来,以求得系统的



整体最优解。

### 1.2.3 现代设计技术体系

现代设计技术是以满足市场产品的质量、性能、时间、成本、价格综合效益最优为目的,以计算机辅助设计技术为主体,以知识为依托,以多种科学方法及技术为手段,研究、改进、创造产品活动过程所用到的技术群体的总称。

现代设计技术内容广泛,涉及的相关学科门类多。为了了解现代设计技术的全貌,下面对现代设计技术体系进行分析。

现代设计技术体系由基础技术、主体技术、支撑技术和应用技术四个层次组成,如图 1-1 所示。

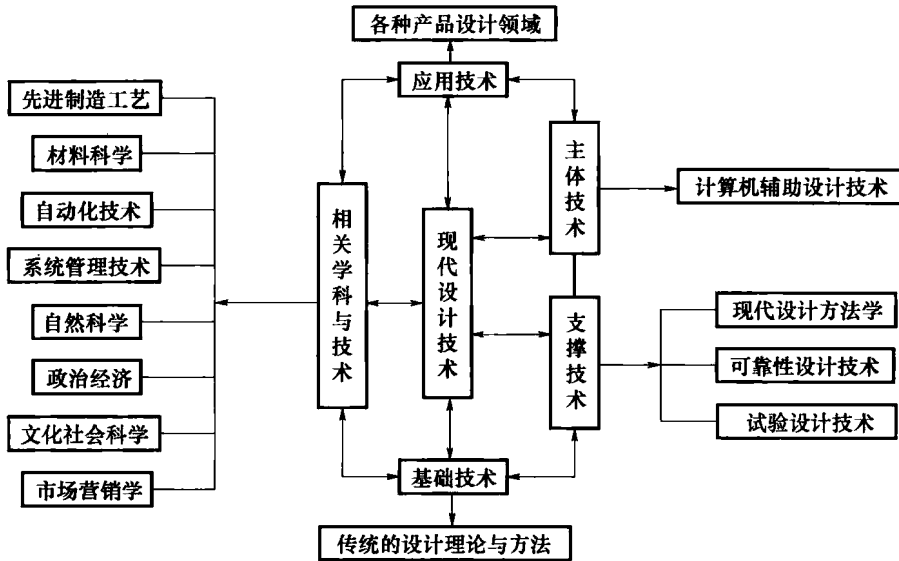


图 1-1 现代设计技术体系

(1) 基础技术。指传统的设计理论与方法,特别是运动学、静力学与动力学、材料力学、结构力学、热力学、电磁学、工程数学的基本原理与方法等。基础技术不仅为现代设计技术提供了坚实的理论基础,也是现代设计技术发展的源泉。现代设计技术是在传统设计技术的基础上,以新的形式和更丰富的内涵对传统设计技术的发展与延伸。

(2) 主体技术。现代设计技术的诞生和发展与计算机技术的发展息息相关、相辅相成。计算机辅助设计技术以它对数值计算和对信息与知识的独特处理能力成为现代设计技术群体的主干。

(3) 支撑技术。现代设计方法学、可靠性设计技术及试验设计技术所包含的内容视为现代设计技术群体的支撑技术。无论是设计对象的描述,还是设计信息的处理、加工、推理与映射及验证,都离不开现代设计方法学、可靠性设计技术及试验设计技术所提供的多种理论与方法及手段的支撑。

(4) 应用技术。是针对适用性的目的解决各类具体产品设计的技术,如机床、汽车、工程机械等设计的知识和技术。