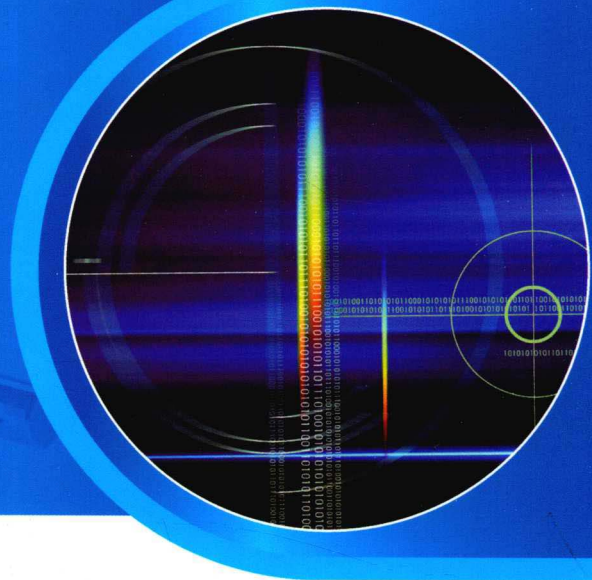




普通高等教育“十三五”规划教材

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材



# 现代设计理论与方法

## (第三版)

主 编 张 鄂 张 帆 买买提明·艾尼  
主 审 吴宗泽 陈国定

 科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材  
普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材

# 现代设计理论与方法

(第三版)

主 编 张 鄂 张 帆 买买提明·艾尼  
参 编 李晓玲 计志红 许林安  
主 审 吴宗泽 陈国定

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书较为系统地介绍了现代设计的理论与方法。内容包括绪论、优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、有限元法、工业造型设计、设计方法学、动态设计、反求工程设计、绿色设计、并行设计、协同设计和智能设计。

本书内容丰富，具有系统性、先进性和实用性，并通过工程应用实例，加强读者对相关设计理论的理解与设计方法的掌握与运用。全书取材新颖，内容充实，结构体系完整，重点突出，理论联系实际。

本书可作为高等学校机械工程类、能源动力类及相关专业学生的教材，也可作为工程技术人员继续教育的培训教材，还可供有关技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

现代设计理论与方法/张鄂, 张帆, 买买提明·艾尼主编. —3 版. —北京: 科学出版社, 2019. 1

普通高等教育“十三五”规划教材·普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材

ISBN 978-7-03-060336-4

I. ①现… II. ①张… ②张… ③买 III. ①设计学-高等学校-教材  
IV. ①TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 001838 号

责任编辑: 朱晓颖 / 责任校对: 郭瑞芝  
责任印制: 霍 兵 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市密东印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年3月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014年8月第 二 版 印张: 20 1/4

2019年1月第 三 版 字数: 518 000

2019年1月第十六次印刷

定价: 59.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

本书自 2007 年出版以来,已连续印刷 15 次,受到全国多所高校和广大读者的欢迎。

随着机械产品和设备向高速、高效、精密、轻量化方向的快速发展,产品和设备的结构日益复杂。人们对产品提出了功能性更强、可靠性更高、经济性更好的要求,这就需要从事机械设计和制造的工程技术人员掌握新的设计理论和设计方法,提高设计开发能力,以满足社会不断增长的各种需要。

进入 21 世纪,随着科学和技术的飞速发展,特别是计算机及其应用技术的快速发展,人类社会进入了一个新的时代,即数字化、信息化、智能化、网络化、大数据、云计算时代。近 40 年来,现代设计理论与方法经历了逐渐形成和不断发展的历程。今天,计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计和有限元分析已经得到迅速普及。同时,计算机辅助设计的更高阶段——智能设计、虚拟设计,可靠性设计的更高阶段——稳健设计,以及创新设计、绿色设计、动态设计、反求工程设计、人机工程、并行设计、协同设计等的出现,极大地丰富了现代设计理论与方法的内涵,也为现代产品和设备的设计水平及设计质量的提高做出了重要贡献。

本书是在 2014 年第二版的基础上,根据近几年的教学实践和创新型人才培养需要以及现代设计理论与方法的最新发展,对原书的一些内容和章节做了增删和修改。此次修订基本上维持了第二版的总体体系,力求基本概念阐述准确、插图清晰、继承与创新结合、先进与实用兼顾,使本书更加适用于现代设计理论与方法课程的教学需要。第三版教材主要有以下几个特色:

1) 内容丰富,重点突出。全书较全面地介绍了 12 种现代设计理论与方法,并重点突出地介绍了现代工程设计中运用最为普遍的优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、有限元法和工业造型设计五种现代设计方法。这使得本书内容既有较广的覆盖面,又重点突出,从而使学生在学习中对现代设计理论与方法能有较广的视野,又能较好掌握这些理论基础和运用这些方法。

2) 体系先进、科学。随着当前现代设计技术不断向信息化、智能化、自动化方向发展,本版中增补了“智能优化算法”“并行设计”“协同设计”“智能设计”等新章节,反映了现代设计理论与方法在工程领域内的最新进展与应用,保持本书内容的先进性和科学性。

3) 结构合理,简繁得当,通俗易懂。力求做到结构合理,简繁得当,增强知识的完整性与实用性;内容由浅入深,语言阐述上力求通俗易懂,便于学生学习与掌握。

4) 实用性强,注重学生能力培养。注重基本概念、基本理论、基本方法的讲解,加强理论与实际应用的结合,突出实用;尽量避免繁杂的数学公式推导;在各章安排有较多工程应用实例和设计实例,增强知识的实用性;注重学生能力培养,提高学生创新设计技能。

5) 使用便利,因需施教。既注重全书的整体性;又兼顾各章的独立性,以便各校根据专业及人才培养需要,方便组织教学。本书作为一个整体,每章介绍一种现代设计方法。各章节保持统一风格,又自成一体,教师可根据教学计划和学生基础合理取舍,方便教学改革需要。

本书由西安交通大学张鄂、西安建筑科技大学张帆、新疆大学买买提明·艾尼主编。参加本次修订的有:张鄂(第 1、2、3、9、10 章),张帆(第 4、11、12、13 章),买买提明·艾

尼（第5章），李晓玲（西安交通大学，第6章），计志红（西安交通大学，第7章），许林安（西安交通大学，第8章）。全书由张鄂统稿。

西安交通大学半振南教授、张言羊教授、唐照民教授和西北工业大学陆长德教授仔细审阅了修订稿，并提出了宝贵建议，特此致谢。

本书承蒙清华大学吴宗泽教授和西北工业大学陈国定教授审稿，他们对本书都提出了宝贵的意见，编者在此深表谢意。

由于水平所限，书中难免存在疏漏之处，诚请广大读者批评指正。

编者

2018年9月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 现代设计概述	1
1.1.1 设计及其内涵	1
1.1.2 设计发展的基本阶段	2
1.1.3 现代设计与传统设计	3
1.2 现代设计理论与方法的主要内容及特点	3
1.2.1 现代设计理论与方法的主要内容	3
1.2.2 现代设计理论与方法的特点	5
1.3 现代产品设计	5
1.3.1 现代产品的特点与设计要求	5
1.3.2 现代产品的设计类型及进程	6
1.4 学习本课程的意义及任务	7
1.4.1 学习本课程的意义	7
1.4.2 学习本课程的方法和任务	8
习题	9
第 2 章 优化设计	10
2.1 概述	10
2.1.1 优化设计基本概念	10
2.1.2 优化设计的数学模型	11
2.1.3 优化问题的分类	17
2.1.4 优化设计的迭代算法	17
2.2 优化方法的数学基础	19
2.2.1 二次型与正定矩阵	20
2.2.2 函数的方向导数和梯度	21
2.2.3 多元函数的泰勒近似展开式和海森矩阵	23
2.2.4 无约束优化问题的极值条件	25
2.2.5 约束优化问题的极值条件	26
2.3 一维优化方法	28
2.3.1 搜索区间的确定	29
2.3.2 黄金分割法	30
2.3.3 二次插值法	33
2.4 多维无约束优化方法	34
2.4.1 坐标轮换法	36
2.4.2 鲍威尔法	37
2.4.3 梯度法	42

2.4.4	牛顿法	43
2.4.5	变尺度法	44
2.5	约束优化方法	49
2.5.1	复合形法	50
2.5.2	惩罚函数法	54
2.6	多目标优化方法	60
2.6.1	线性加权组合法	61
2.6.2	功效系数法	62
2.6.3	主要目标法	63
2.7	智能优化算法	63
2.7.1	遗传算法	64
2.7.2	粒子群优化算法	70
2.7.3	免疫算法	73
2.8	工程优化设计应用	77
2.8.1	工程优化设计的一般步骤	77
2.8.2	工程优化设计实例	77
	习题	87
<b>第3章</b>	<b>可靠性设计</b>	<b>88</b>
3.1	概述	88
3.1.1	可靠性科学的发展	88
3.1.2	可靠性的概念及特点	88
3.1.3	可靠性设计的基本内容	89
3.2	可靠性设计常用指标	90
3.3	可靠性设计中常用分布函数	95
3.4	机械强度可靠性设计	102
3.4.1	应力-强度分布干涉理论	103
3.4.2	零件强度可靠度的计算	105
3.4.3	零件强度分布规律及分布参数的确定	106
3.4.4	零件工作应力分布规律及分布参数的确定	107
3.4.5	强度可靠性计算条件式与许用可靠度	108
3.4.6	机械零部件强度可靠性设计的应用	109
3.5	疲劳强度可靠性分析	111
3.5.1	疲劳曲线	111
3.5.2	等幅变应力作用下零件的疲劳寿命及可靠度	113
3.5.3	不稳定应力作用下零件的疲劳寿命	115
3.5.4	承受多级变应力作用的零件在给定寿命时的可靠度	116
3.6	系统可靠性设计	117
3.6.1	元件可靠性预测	117
3.6.2	系统可靠性预测	118
3.6.3	系统可靠性分配	122

习题	124
<b>第 4 章 计算机辅助设计</b>	<b>126</b>
4.1 概述	126
4.2 CAD 系统	128
4.2.1 CAD 系统的硬件	128
4.2.2 CAD 系统的软件	130
4.2.3 CAD 系统的形式	132
4.2.4 CAD 系统的功能	133
4.3 工程数据的处理方法及 CAD 程序编制	133
4.3.1 数表的分类及存取	133
4.3.2 线图的分类及处理	136
4.3.3 列表函数表的插值算法	140
4.3.4 数据的公式拟合方法	145
4.3.5 数据文件及其应用	147
4.4 机械工程数据库的创建与应用	147
4.4.1 数据库与数据库管理系统	147
4.4.2 关系数据库管理系统应用实例简介	148
4.4.3 工程数据库	149
4.5 计算机图形处理与三维造型	150
4.5.1 计算机绘制工程图的常用方法	150
4.5.2 坐标系	151
4.5.3 二维图形的几何变换	152
4.5.4 三维造型	157
4.6 专用机械 CAD 系统的开发及应用	159
4.6.1 二维 CAD 软件的二次开发技术	159
4.6.2 三维 CAD 软件的二次开发技术	160
习题	163
<b>第 5 章 有限元法</b>	<b>166</b>
5.1 概述	166
5.2 单元特性的推导方法	168
5.2.1 单元划分方法及原则	168
5.2.2 单元特性的推导方法	170
5.3 有限元法的工程应用	177
5.3.1 有限元法的解题步骤	177
5.3.2 计算实例	181
5.4 有限元软件简介	184
习题	186
<b>第 6 章 工业造型设计</b>	<b>188</b>
6.1 概述	188
6.1.1 工业造型设计的基本内容与基本要素	188



6.1.2	产品造型设计的原则	189
6.1.3	产品造型的美学内容	189
6.1.4	产品造型设计的程序	190
6.2	造型基础与美学法则	191
6.2.1	形态要素及其视觉结果	191
6.2.2	产品造型的美学法则	193
6.3	人机工程学简介	198
6.3.1	人体结构尺寸与造型尺度	198
6.3.2	视觉特征与显示器设计	199
6.3.3	控制器的选择与设计	200
6.3.4	控制台板设计	201
6.4	产品的色彩设计	202
6.4.1	色彩的基本知识	202
6.4.2	产品色彩设计	205
6.5	计算机辅助工业设计	206
6.5.1	计算机辅助工业设计常用的软件	206
6.5.2	三维软件制作产品模型实例	207
	习题	208
<b>第7章</b>	<b>设计方法学</b>	209
7.1	概述	209
7.2	系统分析设计法	210
7.2.1	技术过程及技术系统	210
7.2.2	功能分析法	212
7.2.3	系统分析设计法设计应用举例	215
7.3	创造性设计法	217
7.3.1	创造力和创造过程	217
7.3.2	创新思维及其特点和类型	218
7.3.3	常用的创新技法	221
	习题	223
<b>第8章</b>	<b>动态设计</b>	224
8.1	概述	224
8.2	动态设计的有关概念和基本原理	225
8.3	轴类部件的动态分析和设计	228
8.3.1	轴类部件的动态分析	228
8.3.2	轴类部件的动态设计	231
	习题	233
<b>第9章</b>	<b>反求工程设计</b>	234
9.1	概述	234
9.1.1	反求工程与反求设计的概念	234
9.1.2	反求工程的特点	235

9.1.3 反求工程的发展状况 .....	236
9.1.4 反求工程设计的应用 .....	237
9.2 反求工程设计的基本内容及原理 .....	238
9.2.1 反求工程设计的基本内容及类型 .....	238
9.2.2 反求工程设计的基本原理 .....	240
9.3 相似理论及相似设计方法简介 .....	241
9.3.1 相似理论简介 .....	241
9.3.2 相似设计方法 .....	246
9.4 反求工程的原理与方法 .....	248
9.4.1 设计反求 .....	248
9.4.2 材料反求 .....	249
9.4.3 工艺反求 .....	250
习题 .....	250
<b>第 10 章 绿色设计</b> .....	<b>251</b>
10.1 概述 .....	251
10.2 绿色技术 .....	252
10.2.1 绿色产品 .....	253
10.2.2 绿色制造 .....	255
10.3 绿色设计的内容和方法 .....	256
10.3.1 绿色设计的内容 .....	256
10.3.2 绿色设计方法 .....	258
10.3.3 绿色设计的材料选择 .....	260
10.3.4 绿色设计的关键技术 .....	261
10.3.5 绿色设计评价 .....	262
10.3.6 绿色设计的效益和应用分析 .....	264
习题 .....	266
<b>第 11 章 并行设计</b> .....	<b>267</b>
11.1 概述 .....	267
11.1.1 并行设计的概念 .....	267
11.1.2 并行设计思想的演化 .....	272
11.1.3 并行设计的技术特点及内涵 .....	273
11.2 并行设计的关键技术 .....	275
11.3 并行设计的工程应用 .....	278
习题 .....	283
<b>第 12 章 协同设计</b> .....	<b>284</b>
12.1 概述 .....	284
12.1.1 协同设计的概念 .....	284
12.1.2 协同设计的技术特点 .....	284
12.1.3 协同设计的分类 .....	285
12.2 协同设计的关键技术与支撑技术 .....	286

12.2.1	协同设计的关键技术 .....	286
12.2.2	协同设计的支撑技术 .....	286
12.3	协同设计的工程应用 .....	288
12.3.1	基于网络化协同设计集成模型的建立 .....	288
12.3.2	基于网络化协同设计支持系统的体系结构设计 .....	290
12.3.3	网络化协同设计支持系统的实现及应用 .....	291
	习题 .....	291
<b>第 13 章</b>	<b>智能设计</b> .....	<b>292</b>
13.1	概述 .....	292
13.1.1	智能设计技术的发展 .....	292
13.1.2	智能设计系统的功能及体系结构 .....	293
13.1.3	智能设计的特点 .....	294
13.2	智能设计的研究方法 .....	295
13.2.1	智能设计的层次 .....	295
13.2.2	智能设计的分类原理——方案智能设计 .....	296
13.2.3	智能设计的研究方法 .....	297
13.3	知识处理 .....	301
13.3.1	知识表示 .....	301
13.3.2	知识获取 .....	304
13.4	智能设计系统的构建 .....	307
13.4.1	智能设计系统的建造 .....	307
13.4.2	智能设计系统的关键技术 .....	308
13.5	智能设计的工程应用 .....	309
13.5.1	智能设计系统的功能及体系结构 .....	309
13.5.2	智能设计系统的应用——基于 VB.NET 的圆柱齿轮减速器智能设计系统 .....	310
	习题 .....	313
	参考文献 .....	314

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 现代设计概述

从 20 世纪 60 年代末开始,随着现代科学技术的飞速发展、计算机技术的广泛应用和现代产品开发的迫切需要,设计领域中相继出现了一系列新兴的设计理论与方法——称为现代设计理论与方法。现代设计理论与方法是不同于强度、刚度等传统设计理论的新兴的设计理论与方法,它是一门基于思维科学、信息科学、系统工程、计算机技术等学科,研究产品设计规律、设计技术和工具、设计实施方法的工程技术学科。

几十年来,现代设计理论与方法在国内外的各个设计领域和工业产品设计中得到广泛的应用,极大地推动了人类设计事业的发展。现代设计理论与方法的主要特点体现在:最优化、数字化、智能化、系统化、创新性和网络化。现代设计理论与方法从“传统”走向“现代”,体现了现代设计理论与方法的科学性、前沿性和与时俱进的品质。

### 1.1.1 设计及其内涵

设计是人类认识自然、改造自然的基本活动之一。它与人类的生产活动及生活密切相关。在改造自然利用自然的历史长河中,设计活动贯穿于人类所有实践活动的始终。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。

设计一词有广义和狭义两种概念:广义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需求的技术系统(或技术过程)的智力活动。目前,各种产品包括机、电产品的设计即属此种。

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。目前科技界对设计尚无统一的定义,但对设计的基本内涵都有共同的认识。综合来理解设计的含义,其目的是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,而造福于人类。

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。从对设计含义的理解出发,设计活动具有需求特征、创造性特征、程序特征、时代特征。

1) 需求特征。产品设计的目的是满足人类社会的需求,即设计始于需要,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。设计是通过一定规范程序的过程,最终实现设计目标。因此,设计过程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。只有按设计程序进行工作，才能提高效率，保证产品的设计质量。

4) 时代特征。人类的任何活动都要受一定的物质条件和技术水平的约束，设计也是如此。在设计中，要充分考虑设计方法、设计手段、材料、制造工艺等。这些约束条件使得各种产品设计无不打上时代的烙印。

认识了产品设计的特征，才能全面、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，以提高设计的质量和效率。

### 1.1.2 设计发展的基本阶段

从人类设计活动发展的历史来看，设计经历了如下四个阶段：直觉设计阶段、经验设计阶段、半理论半经验设计阶段和现代设计阶段。

#### (1) 直觉设计阶段

17世纪以前，人类的设计活动完全是靠人的直觉来进行的，这种设计为直觉设计，或称自发设计。当时人们或许是从自然现象中直接得到启示，或是全凭直观感觉来设计制作工具。由于当时人类认识世界的局限性，设计者往往是知其然而不知其所以然，在设计过程中基本上没有信息交流。这种全凭人的直观感觉来设计制作工具的特点，导致设计方案存在于手工艺人头脑中，无法记录表达，产品也是比较简单的。通常一项简单产品的问世，周期很长，且一般无经验可以借鉴。

#### (2) 经验设计阶段

到了17世纪，随着人们对自然的认识增强与生产的发展，产品的复杂性增加，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的构思已难满足这些要求，促使一个个孤立的设计者必须联合起来互相协作，设计信息的载体——图纸出现，并逐渐开始利用图纸进行信息交流、设计及制造。另外，这一时期由于数学和力学得到长足的发展，二者结合初步形成了机械设计的雏形，从而使工程设计有了一定的理论指导。

在1670年前后首次出现了有关海船的图纸。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。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，但是其设计过程仍是建立在经验与技巧能力的积累上的。它虽然较直觉设计前进了一步，但周期长，质量也不易保证。

#### (3) 半理论半经验设计阶段

20世纪初以来，随着人类认识自然的过程进一步深入，特别是试验技术的发展，使取得反映系统或机器工作过程内在规律的数据有了可能，于是开始采用局部试验、模拟试验等作为设计过程的辅助手段。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。这个阶段成为半理论半经验设计阶段。

在该阶段中，随着科技的进步、试验手段的加强，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，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，大幅提高了设计速度和成功率。

3) 加强了“三化”研究,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,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,显著减小了设计的盲目性,有效地提高了设计效率和质量,并降低了设计成本。

#### (4) 现代设计阶段

20世纪60年代以来,随着科学和技术迅猛发展,特别是计算机技术的发展、普及和应用,为进行有关设计中的理论分析、数值计算和物理模拟等提供了有利条件,使设计工作产生了革命性的突变,人类设计工作步入现代设计阶段。这一阶段的特点如下。

- 1) 设计是基于知识的设计。
- 2) 设计中除了考虑产品本身以外,还要考虑对系统和环境、人机工程的影响。
- 3) 不仅要考虑技术领域,还要考虑经济、社会效益。
- 4) 不仅考虑当前,还需考虑长远发展。

### 1.1.3 现代设计与传统设计

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,直到现在仍广泛采用。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。传统设计方法基本上是一种以静态分析、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要求,迫使设计领域不断研究和发展的设计方法与技术。

现代设计是过去长期传统设计活动的延伸和发展,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,它是一种基于知识的、以动态分析、精确计算、优化设计和CAD为特征的设计方法。

现代设计方法与传统设计方法相比,主要完成了以下几方面的转变。

- 1) 产品结构分析的定量化。
- 2) 产品工况分析的动态化。
- 3) 产品质量分析的可靠化。
- 4) 产品设计结果的最优化。
- 5) 产品设计过程的高效化和自动化。

目前,我国设计领域正面临着由传统设计向现代设计过渡的过程中,广大设计人员应尽快适应这一新的变化。通过推行现代设计,尽快提高我国机电产品的性能、质量、可靠性和在市场的竞争能力。

## 1.2 现代设计理论与方法的主要内容及特点

### 1.2.1 现代设计理论与方法的主要内容

一般说来,设计理论是对产品设计原理和机理的科学总结,设计方法是使产品满足设计要

求以及判断产品是否满足设计原则的依据。现代设计方法是基于设计理论形成的，因而更具科学性和逻辑性。实质上，现代设计理论和方法更是科学方法论在设计中的应用，是设计领域中发展起来的一门新兴的多元交叉学科。

从 20 世纪 60 年代末开始，设计领域中相继出现一系列新兴理论与方法。为区别过去常用的传统设计理论与方法，把这些新兴理论与方法统称为现代设计理论与方法。表 1-1 列出了目前现代设计理论与方法的主要内容。不同于传统设计方法，在运用现代设计理论与方法进行产品及工程设计时，一般都以计算机作为分析、计算、综合、决策的工具。

表 1-1 现代设计的主要理论与方法

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

现代设计理论和方法的内容众多而丰富，也有学者把它们看作由既相对独立又有机联系的“十一论”方法学构成，即功能论（可靠性为主体）、优化论、离散论、对应论、艺术论、系统论、信息论、控制论、突变论、智能论和模糊论。

综上所述，现代设计理论和方法的种类繁多，但并不是任何一件产品和一项工程的设计都需要采用全部设计方法，也不是每个产品零件或电子元件的设计均能采用上述每一种方法。由于不同的产品都有各自的特点，所以设计时常需综合运用上述设计方法。

本书主要讲述 12 种常用的设计理论和方法：分别为优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、有限元法、工业造型设计、设计方法学、动态设计、反求工程设计、绿色设计、并行设计、协同设计、智能设计等。

除上述 12 种设计理论与方法外，还有一些常用的设计理论与方法。随着社会、经济、科技的进步以及人们观念的更新而不断发展，如发明问题的解决理论（TRIZ）理论、快速响应设计、稳健设计、模糊设计、全寿命周期设计、面向制造的设计、摩擦学设计、模块化设计、人机工程、价值工程、相似设计、虚拟设计、疲劳设计、精度设计、设计专家系统等，由于在节能、环保、高效、改进产品性能和增强产品市场竞争力等方面有其重要性，受到越来越多的重视。

最后指出，由于现代设计理论与方法种类繁多，国内外学者对现代设计理论和方法的分类也各不相同。有文献提出将现代设计理论分为哲理层和应用工程层，也有文献提出分为设计过程理论、性能需求理论、知识流理论和多方利益协调理论的理论框架。一般认为，根据现代设计方法的主要特征，可以将现代设计方法概述为三大类型：综合动态优化设计、可视化设计和智能化设计。现代设计理论与方法的体系结构由设计理论基础层、设计工具和支持技术平台层、设计实施技术方法层三大部分内容组成，三者之间相互交叉与融合。其中，设计实施技术方法层包括面向基本共性问题的设计技术、基于 IT 技术的设计技术、面向学科领域产品的设计技术、基于环境资源的设计技术等四类具体的实施技术方法。

从现代产品设计的发展趋势来看，智能设计、协同设计、虚拟设计、创新设计、资源节约设计、全生命周期设计等设计方法代表了现代产品设计模式的发展方向。

### 1.2.2 现代设计理论与方法的特点

现代设计理论与方法的特点是计算机、计算技术、应用数学和力学等学科的充分结合与应用,它使机械设计从经验的、静止的、随意性较大的传统设计逐步发展为基于知识的、动态的、自动化程度高的、设计周期短的、设计方案优越的、计算精度高的现代化设计,它应用系统工程的方法,将高度自动化的信息采集、产品订购、制造、管理、供销等一系列环节有机地结合起来,使产业结构、产品结构、生产方式和管理体制发生了深刻变化。现代设计理论与方法在机械设计领域的推广和应用,必将极大地促进机械产品设计的现代化,从而促进机械产品的不断现代化,提高企业的竞争能力。

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,以及价值工程、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) 数字性。将计算机技术全面引入设计过程,并应用程序库、数据库、知识库、信息库和网络技术服务于设计,使计算机在设计计算和绘图、信息储存、评价决策、动态模拟、人工智能等方面充分发挥作用。

## 1.3 现代产品设计

### 1.3.1 现代产品的特点与设计要求

现代产品的特点主要表现在广泛采用现代新兴技术,并对产品的功能、可靠性、效益提出更为严格的要求。许多高技术产品,如激光测量装置、航天飞机、核动力设备、高铁、航母无人机、智能汽车等,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,也都大量采用了新技术,如数字控制、气动纺纱、液压技术、集成电路等。先进的科技成果正在源源不断地通过设计改变着产品。

机械产品中日益普遍地采用计算机进行自动控制,发展为机械-电子-信息一体化技术及产品,新兴技术促使机械产品在功能上出现了大跨越,成为现代产品最突出的特点。科学技术的发展、新的设计领域不断开辟,出现了芯片设计、基因设计、微型机械设计等新领域,同时新技术不断涌现,又促进了经济的高速发展。而这些又促使企业间的竞争日益激烈,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。

现代机械日益向大型化、高速化、精密化和高效化方向发展,不可避免地对工业产品与工程设计提出了新的要求,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协同。
- 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。

### 1.3.2 现代产品的设计类型及进程

产品设计是形成工业产品的第一道工序。要设计好一个现代产品,除需掌握现代设计理论与方法外,还应了解产品设计过程的一般规律和设计程序。

#### 1. 现代产品的设计类型

现代产品设计按其创新程度可分开发性设计、适应性设计、变型设计3种类型。

1) 开发性设计。它是在全部功能或主要功能的实现原理和结构未知的情况下,运用成熟的科学技术成果所进行的新颖工业产品的设计,也可以称为“零-原型”的设计。这是一种完全创新的设计。

2) 适应性设计。在工作原理不变的情况下,只对产品进行局部变更或增设部件,其目的是使产品能更广泛地适应使用要求。例如,各种不同工况条件的适应性、产品工作的安全性、可靠性、寿命、工作效率、易控性等。

3) 变型设计。在工作原理和功能都不变的情况下,变更现有产品的结构配置和尺寸,使之满足不同的工作要求。

#### 2. 现代产品设计的3个阶段

任何一种产品的开发,都要面对市场竞争的考验。要使产品受到市场的接受和欢迎,一般来说产品开发要经历功能原理设计、实用化设计、商品化设计3个重要阶段。

1) 功能原理设计。产品的功能原理设计就是针对产品某一确定的功能要求,寻找一些实现该功能目标的解法原理。其实质就是进行产品原理方案的构思与拟定的过程。因此,设计时必须从最新的自然科学原理及其技术效应出发,通过创新构思,优化筛选,寻求最适宜于实现预定功能目标的原理方案。

功能原理设计通常是以简图或示意图来进行方案构思的,它是一个形象思维与逻辑推理的过程,是实现创新和开发的关键阶段,它的优劣从根本上决定了产品设计的水平。

2) 实用化设计。实用化设计就是使原理方案构思转化为包括总体设计、部件设计、零件设计到制造施工的全部技术资料。

3) 商品化设计。一个产品要成为商品,并保证产品在市场竞争中成功,必须具备一定的条件。商品化设计就是从技术、经济、社会等各方面来提高产品的市场竞争能力。

#### 3. 现代产品设计的进程

现代产品设计进程一般可分为产品规划、原理方案设计、技术设计、施工设计4个阶段。

##### (1) 产品规划

产品规划就是进行待开发产品的需求分析、市场预测、可行性分析,确定设计参数及制约条件,最后提出详细的设计任务书(或设计要求表),作为设计、评价和决策的依据。

对产品开发中的重大问题经过技术、经济、社会各方面条件的详细分析和对开发可能性的