

现代机械设计 理论与应用

主编 王明强

编著 王明强 朱永梅 刘志强 邱小虎 田桂中

XIANDAI JIXIE SHEJI
LILUN YU
YINGYONG



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TH122/1297

2011

现代机械设计理论与应用

主编 王明强

编著 王明强 朱永梅 刘志强

邱小虎 田桂中

北方工业大学图书馆



C00300403

国防工业出版社

· 北京 ·



内 容 简 介

本书将现代设计理论与方法的完整思想和内容,与现代机械设计相结合,形成现代机械设计思想,并重点结合具体对象进行应用研究。本书除总体阐述现代设计理论与方法、分析现代设计哲学思想外,重点通过应用实例介绍现代机械设计准则、产品总体性能优化及评价、现代机械设计中的结构优化、产品设计中的集成技术、现代CAD技术及应用、仿生机械设计。全书共分为8章;第1章现代设计理论与方法概述;第2章现代机械设计哲学;第3章现代机械设计准则;第4章产品总体性能优化及评价;第5章现代机械设计中的结构优化;第6章广义集成化的产品设计;第7章现代CAD技术及应用;第8章仿生机械设计。

本书可作为机械工程专业研究生教学的主要参考资料,也可作为有关科技工作者进行研究工作的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

现代机械设计理论与应用/王明强等编著. —北京:国防工业出版社,2011.12

ISBN 978-7-118-07938-8

I. ①现... II. ①王... III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 021027 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 14 字数 317 千字

2011 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 39.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

随着科学技术的飞速发展,现代社会对生产与生活、物质与精神提出了更多更高的要求,这就需要设计人员学习和掌握现代设计理论和方法,开拓思路,提高现代设计能力,使所设计的产品具有先进性、可靠性、经济性、及时性。

现代设计理论与方法是一门新兴的综合性、交叉性学科,是机械工程一级学科的一门主要学位课程。作者自 2005 年开始承担研究生“现代设计理论与方法”课程的教学及精品课程建设,在多年教学的基础上编写讲义,供教学用。该讲义将课程内容分为现代设计哲学思想、现代机械设计准则、现代机械设计中的广义优化、现代设计技术、现代设计方法等五部分内容,要求学生全面系统掌握现代设计理论与方法。

本书是在前几年教学的基础上,结合近几年的科研和研究生学位论文指导,进行总结、提炼完成的。全书共分为 8 章。本书根据现代设计理论与方法的完整思想和内容,以现代机械设计领域中的应用为目标,进行编写,除总体阐述现代设计理论与方法,分析现代设计哲学思想外,重点通过应用实例介绍现代机械设计准则、产品总体性能优化及评价、现代机械设计中的结构优化、产品设计中的集成技术、现代 CAD 技术及应用、仿生机械设计。

通过本书的学习,读者可以基本掌握现代设计理论与方法的完整思想,学会如何将其应用于机械设计领域,并掌握进行应用研究的过程和方法,达到拓宽视野、增强创新意识和研究能力的目的。同时为深入掌握和应用主要的现代设计方法(如机械优化设计、机械可靠性设计、有限元分析技术、CAE 技术等)打下基础,以便今后在学习工作中能自觉地运用这些方法去不断地创造新的科学知识和新的技术成果。

本书由王明强进行总体的构思和设想,并完成统稿工作。具体编写分工:王明强编写第 1、2 章,朱永梅编写第 3、4 章,刘志强编写第 5、6 章,邱小虎编写第 7 章,田桂中编写第 8 章。

本书在编写过程中利用了课题组的多年科研积累和指导研究生学位论文的相关研究资料,在此对课题组成员和研究生的贡献表示感谢;编写中部分参考了有关专家和学者的研究成果,在此表示诚挚的谢意;在出版过程中得到相关部门和出版社领导的大力支持,在此表示致谢。

本书是我们团队多年科研实践、研究生指导和教学经验的积累,虽经过不断修改完善,其疏漏之处在所难免,诚望广大读者及同行对本书的不足之处提出宝贵意见,使其更臻完善。

作者

2011 年 10 月

目 录

第 1 章 现代机械设计理论概述	1
1.1 现代设计概述	1
1.1.1 设计的内涵及特征	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 现代产品设计	3
1.2.1 现代产品的特点与设计要求	3
1.2.2 现代产品的设计类型及阶段	4
1.3 现代机械设计	5
1.3.1 现代机械的结构	5
1.3.2 现代机械设计的定义	6
1.3.3 现代机械设计的特点	6
1.4 现代机械设计理论	7
1.4.1 现代设计理论与方法	7
1.4.2 构建现代机械设计理论体系	9
1.4.3 现代机械设计学科关系	9
第 2 章 现代机械设计哲学	11
2.1 概述	11
2.2 基于创新的设计思维	12
2.2.1 创新的思维方式与机制	12
2.2.2 创新的外部因素与思维法则	13
2.2.3 人的创新能力	15
2.2.4 基于创新思维的设计	15
2.3 基于功能的设计思维	18
2.3.1 现代机械系统的功能	18
2.3.2 功能的分类及分析	19
2.3.3 功能系统的综合	20
2.3.4 基于功能思维的设计	21
2.4 基于过程的设计思维	22
2.4.1 产品的市场寿命周期	22
2.4.2 产品的全寿命周期	23

2.4.3	基于过程思维的设计	24
2.5	基于人因论的设计思维	26
2.5.1	“人—机—环境”大系统	27
2.5.2	人的生理和心理因素	30
2.5.3	人的行为分析	32
2.5.4	基于人因论思维的设计	34
2.6	基于环境生态论的设计思维	35
2.6.1	可持续发展战略的提出	35
2.6.2	产品全生命周期中的可持续发展观	36
2.6.3	可持续发展的评估	37
2.6.4	基于环境生态论思维的设计	38
第3章	现代机械设计准则	40
3.1	现代设计准则概述	40
3.2	现代机械强度准则	42
3.2.1	疲劳载荷	42
3.2.2	疲劳寿命计算	44
3.2.3	疲劳损伤累积理论	45
3.2.4	随机载荷下疲劳强度的分析	45
3.3	船舶锚链疲劳强度应用研究	48
3.3.1	系泊链有限元静强度分析	48
3.3.2	基于 Miner 线性累积损伤法则的疲劳强度预测	49
3.4	可靠性设计准则	51
3.4.1	结构可靠性分析方法	52
3.4.2	可靠度计算模型	53
3.5	曲轴主动疲劳可靠性应用研究	57
3.5.1	全寿命周期影响因素在曲轴设计中的体现	57
3.5.2	曲轴疲劳可靠度计算模型	58
3.5.3	曲轴疲劳可靠度计算	61
3.5.4	可靠度与疲劳寿命的关系	62
3.5.5	不同应力水平下曲轴可靠度的计算分析	63
3.6	绿色设计准则	64
3.6.1	绿色设计方法	64
3.6.2	绿色设计的关键技术	65
3.6.3	绿色设计评价	66
3.6.4	电冰箱绿色度评价实例分析	69
第4章	产品总体性能优化及评价	71
4.1	产品总体设计优化	71

4.1.1	目标与过程	71
4.1.2	产品优化对象的确定	72
4.1.3	产品优化方案的建立	72
4.1.4	产品优化方案评价及特点	73
4.2	产品综合评价的理论及评价模型	73
4.2.1	产品综合评价的理论	73
4.2.2	评价模型及其动态特性	75
4.3	产品综合评价的指标体系	76
4.3.1	产品综合评价指标体系的结构	76
4.3.2	产品综合评价指标体系的建立	77
4.4	产品综合评价的算法	78
4.4.1	模糊综合评价法	78
4.4.2	灰色关联分析法	80
4.4.3	价值工程法	82
4.5	产品综合评价系统的体系结构及功能模块	84
4.5.1	产品综合评价的体系结构	84
4.5.2	产品综合评价系统的总体构成	85
4.5.3	产品综合评价系统的主要功能模块	85
4.6	方案评价模块的评价体系及方法研究	86
4.6.1	方案评价的体系模型	86
4.6.2	方案评价的数学模型	86
4.6.3	总体方案优化实例	88
第5章	现代机械设计中的结构优化	90
5.1	结构优化设计问题的提出	90
5.2	结构优化设计思路	92
5.3	渐进结构优化技术	93
5.3.1	渐进结构优化方法基本原理	94
5.3.2	基于应力和刚度约束渐进结构优化研究	95
5.3.3	基于单元生死技术的双向渐进结构优化	99
5.3.4	优化过程中数值不稳定性	105
5.4	基于无网格法的连续体结构拓扑优化	106
5.4.1	基于无网格法的连续体结构拓扑优化基本原理	106
5.4.2	无网格法结构拓扑优化数学模型的求解	110
5.4.3	基于无网格 EFG 法的连续体结构拓扑优化求解流程	111
5.5	结构形状优化设计	113
5.5.1	形状优化基本原理	113
5.5.2	微观遗传算法应用于形状优化的流程	113
5.6	结构优化设计应用实例	117

5.6.1	基于结构拓扑优化的计算机辅助结构概念设计	117
5.6.2	应用双向结构渐进优化进行汽车碰撞试验装置结构设计	121
5.6.3	发电机组壳体铣键槽专机立柱结构形状优化设计	123
第6章 广义集成化的产品设计		125
6.1	概述	125
6.2	CAD/CAE/CAM/CAPP/PDM(C ⁴ P)集成	126
6.3	基于制造工艺约束的结构拓扑设计	127
6.3.1	结构拓扑设计的可制造性问题	127
6.3.2	多工况载荷下结构拓扑设计模型	128
6.3.3	面向制造的分级结构拓扑设计模型	131
6.3.4	面向制造的结构拓扑设计实现关键技术	134
6.3.5	面向制造工艺约束拓扑结构设计流程	136
6.4	基于维修技术和策略的产品设计	138
6.4.1	产品维修策略和面向可维修性产品设计	138
6.4.2	基于主动可靠性的维修决策	140
6.4.3	基于 RCM 的曲轴维修决策	142
6.4.4	面向再制造产品设计	144
6.5	基于网络化定制技术的产品设计	145
6.5.1	大规模产品定制方式	145
6.5.2	网络化定制技术的实施	146
6.5.3	网络化定制实现关键技术	148
第7章 现代 CAD 技术及应用		150
7.1	现代 CAD 概述	150
7.1.1	现代 CAD 概念	150
7.1.2	现代 CAD 技术主要研究内容	151
7.2	现代 CAD 建模技术	152
7.2.1	曲面造型技术	152
7.2.2	实体造型技术	152
7.2.3	特征建模技术	153
7.2.4	参数化建模技术	153
7.2.5	变量化建模技术	154
7.2.6	同步建模技术	154
7.3	虚拟样机与 CAE 技术	155
7.3.1	虚拟样机技术	155
7.3.2	CAE 技术	156
7.4	船舶锚系建模实例	158
7.4.1	锚建模实例	158

7.4.2	锚唇建模实例	160
7.5	运动仿真应用实例	161
7.5.1	船舶锚系拉锚运动仿真实例	161
7.5.2	并联机器人运动仿真实例	164
7.6	CAE 应用实例	169
7.6.1	龙门起重机 CAE 分析实例	169
7.6.2	连杆 CAE 分析实例	176
第 8 章	仿生机械设计	181
8.1	仿生机械设计概述	181
8.1.1	基本概念	181
8.1.2	仿生机械设计研究内容	182
8.1.3	仿生机械设计流程与原则	183
8.2	仿生爬行机构的设计	184
8.2.1	设计原理	185
8.2.2	仿生爬行机构的设计	186
8.2.3	仿生爬行机构的运动仿真	189
8.3	机械维修虚拟人上肢的仿生设计	191
8.3.1	虚拟人上肢模型设计	191
8.3.2	虚拟人上肢的维修动作设计	194
8.3.3	虚拟人上肢的维修运动建模	196
8.3.4	虚拟人维修机械运动仿真	199
8.4	仿生微通道模型设计	202
8.4.1	概述	202
8.4.2	仿生微通道的研究内容及关键技术	203
8.4.3	家蚕丝腺轮廓的数字化提取	204
8.4.4	仿生微通道的数字化设计	208
8.5	其他仿生机械实例	209
8.5.1	仿生喷水推进装置	209
8.5.2	仿生减黏降阻结构	210
8.5.3	仿生飞行机器人	210
8.5.4	仿生腿足式机器人	211
8.5.5	仿生蛇形机器人	211
参考文献		213

第 1 章 现代机械设计理论概述

1.1 现代设计概述

1.1.1 设计的内涵及特征

设计是人类的一项重要创造活动,它与人类的生产活动及生活密切相关,是人类社会创造物质文明和社会财富的基本活动之一。设计一词有广义和狭义两种概念。广义概念是指人们对某项事件发展过程做出的安排,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通过主观思考做出的满足该需求的技术系统(或技术过程)。目前,针对各种工程技术和产品的设计均属于狭义的概念。

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有以下几种分析:

- (1) 设计是一种创造性活动,设计的核心是创造性,没有创新,就不叫设计。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 设计是一种技术性、经济性、社会性、艺术性的综合产物。
- (5) 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。
- (6) 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。

为此,可以给出设计的基本定义,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为目的,然后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市场竞争力的产品的过程。

从对设计内涵分析和定义理解可以看出,设计具有以下特征:

- (1) 需求特征。产品设计的目的是满足人类社会的需求,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。任何一种产品的设计都有一定的设计过程,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 4 个主要阶段,即

产品规划、原理方案设计、技术设计和施工设计,这种过程称为设计程序。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。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。

1.1.2 设计发展的基本阶段

人类社会从事设计工作,有一个逐步发展、完善、深化的过程,从人类社会文明的进步和生产活动的发展来看,整个设计发展进程大致经历了如下4个阶段:

(1) 直觉设计阶段。古代的自发设计是一种直觉设计,当时人们通过对自然现象的观察而得到启发,或通过直观感觉来设计制作。直觉设计具有以下特点: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;设计制造周期很长,历时几年甚至几十年。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。依据实践经验而加以总结提升并形成图纸的设计是一种经验设计。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,个人的构思已难以满足社会和人们的要求,从而进入经验设计阶段。该阶段具有以下特点:通过多个手工艺人的联合和协作,借鉴自己和前人的经验进行设计;设计者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;可满足多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。

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,同时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,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,随着科学技术的进步、实验手段的加强,人们将各种理论计算开始应用于设计中关键参数的选择,并通过对产品进行局部试验、模拟试验等作为设计辅助手段。通过这些手段取得较可靠的数据,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。

该阶段取得了如下进展: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理化。

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,此阶段设计的特点是大大减少了设计的盲目性,有效地提高了设计速度、效率和质量,降低了设计成本,并降低了产品的成本。至今,这种设计方法仍被广泛采用。

(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化,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和高效化的条

件。该阶段具有以下特征：CAD技术的应用使得到设计计算结果和生产图纸更方便和快捷；一体化和集成化的CAD/CAE/CAM技术的应用，可以实现无纸化生产；当代产品的设计不仅要考虑产品本身，还要考虑“人-机-环境”大系统，特别要考虑对环境的影响；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；不仅要考虑本学科知识和理论，还要进行多学科融合。

1.1.3 现代设计与传统设计

人们往往将设计的前3个阶段统称为传统设计，而且特别专指半经验半理论的设计方法。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，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，难免有不确切和失误。因此，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。

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设计方法和技术手段。

现代设计是过去长期的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，主要具有以下几方面的特征：

- (1) 产品结构分析的量化。
- (2) 产品工况分析的动态化。
- (3) 产品质量分析的可靠性。
- (4) 产品设计结果的最优化。
- (5) 产品设计过程的集成化和网络化。
- (6) 产品设计手段的高效化和自动化。
- (7) 产品设计中的无纸化和数字化。

1.2 现代产品设计

1.2.1 现代产品的特点与设计要求

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，使产品的功能和结构产生很大的变化，可靠性明显加强，效益进一步提高。现代新兴技术对产品的渗透、改造和应用，主要表现有：机械产品中日益普遍地采用计算机作自动控制，出现机械—电子信息结合的一体化技术及产品；新型高强度金属材料和复合材料的出现，改

变了产品的结构和形状的要求;甲醇发动机、太阳能发动机及电磁发动机等的出现,实现了利用新能源的产品和技术;机械加工中出现电子束、等离子束、激光和电磁成型等新技术,用以加工高强度合金钢、精细陶瓷等,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。

由于科学技术的飞速发展,使新的设计领域不断开辟,如出现了仿生机械设计、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。企业间竞争的日益激烈,进一步推动新技术的应用和设计技术的发展。此外,现代机械产品日益向大型化、高速化、精密化、高效化、自动化和微型化方向发展。上述现代产品的特点对工业产品与工程的设计提出了新要求,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。
- (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) 设计工作要适应科学技术的发展,特别是适应计算机技术的发展。

1.2.2 现代产品的设计类型及阶段

产品设计是形成工业产品的第一道工序。现代产品的设计,除需依靠现代科技和现代设计理论与方法外,还应遵循现代产品设计的一般规律和过程。

现代产品设计按其创新程度可分为以下3种类型:

(1) 变型设计。在功能原理和功能结构都保持不变的情况下,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的设计。

(2) 适应性设计。在主功能的实现原理或者结构方案保持基本不变的情况下,只对产品作局部变更或增设部件,使产品能更广泛地适应使用要求的设计。

(3) 开发性设计。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型工业产品的设计。也就是针对新任务,应用可行的新技术,进行创新构思,提出新的功能原理方案,完成从产品规划到施工设计。

任何一种产品的设计和开发,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,产品开发必须经历功能原理设计、实用化设计和商品化设计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的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。功能原理设计通常是以简图或示意图来进行方案构思的,图中所反映的构件的结构、形状以及材料等,一般还不可能有成熟的考虑;功能原理设计是一个形象思维与逻辑推理的过程。

(2) 实用化设计。功能原理设计仅是提出实现各种功能要求的原理方案图,并不是生产用图。将原理方案结构化,即确定完成功能要求所需零件的材料、形状、尺寸、加工方法及总体布局。简言之,实用化设计就是使原理方案构思转化为具有实用水平的装置。完成从总体设计、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,要保证产品在市场竞争中成功,必须具备一定的条件。这些条件概括地讲,包括技术方面的、经济方面的和社会方面的,这几方面的条件实质上就是对一个产品的评价标准。因此,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。

现代产品设计的进程一般可分为产品规划(决策)、原理方案设计、技术设计和施工设计 4 个阶段:

(1) 产品规划阶段。该阶段就是进行待开发产品的需求分析、市场预测、可行性分析,确定设计参数及约束条件,最后提出产品功能要求和技术参数,完成详细的设计任务书,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行性的综合研究,提出产品开发的可行性报告。

(2) 原理方案设计阶段。原理方案设计就是新产品的功能实现方案的设计。在功能分析的基础上通过创新构思,优化筛选,求取较理想的功能原理方案,列表给出原理参数,并作出新产品的功能原理方案图。

(3) 技术设计阶段。该阶段是将新产品的最优功能原理方案具体化为装置及零部件的合理结构。相对于方案设计阶段的创新设计,技术设计阶段有更多反映设计规律的合理化设计要求。该阶段包含总体设计、结构设计、造型设计等;需完成结构设计技术文件、总体装置草图、结构装配草图和造型设计技术文件、总体效果草图、外观构思模型;应提供出新产品的总装图、结构装配图和造型图。

(4) 施工设计阶段。施工设计是把技术设计的结果变成施工的技术文件。该阶段就是完成零件工作图、部件装配图、造型效果图、设计说明书、工艺文件、使用说明书等有关技术文件。

以上产品设计进程的 4 个阶段,应尽可能地实现数字化、网络化和集成化,从而提高设计效率,加快设计进度。并对各阶段中的具体设计内容要在各种现代设计理论指导下,用不同的现代设计方法来完成。

1.3 现代机械设计

1.3.1 现代机械的结构

现代机械的结构已产生明显区别于传统机械的变化,过去人们印象中的机器,仅是现代机械中的机械部分。随着科学技术的不断发展,机构学和电子学在理论和结构上有机地融为一体,促成了“机械电子学(Mechatronics)”新学科的诞生。传感器和控制系统已成为现代机械的重要组成部分,其成本在总成本中的比重甚至超过机械部分,而机电一体化则成为人们对现代机械最通俗形象的描述。

剖析现代机械,其结构组成如图 1-1 所示,由 5 个重要部分组成。

(1) 驱动装置。它既是动力源,而且常常还是控制信息的接收与执行者,以实现转向、转速、转数的可控。

(2) 传动系统。一些新型传动机构使系统尺寸缩小、重量减轻,如谐波传动的单级传动比一般可达到 80~200,甚至更大,而且广泛使用液力与电力组成的传动系统。

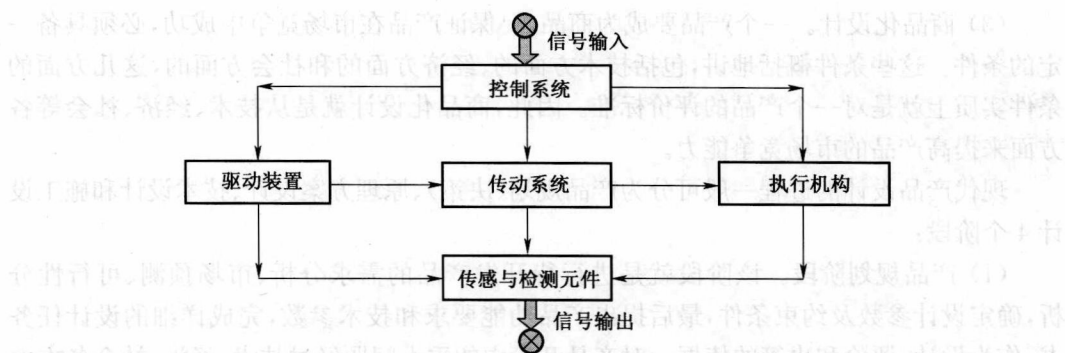


图 1-1 现代机械结构组成

(3) 执行机构。是机械根据控制指令施行操作动作的终端机构，它们已大都实现机电一体化。传统的凸轮机构被“电子凸轮”所取代，原先由凸轮发出的运动信息被计算机发出的指令信息所取代，只需通过指令的改变就可非常方便地、柔性地改变从动件的运动规律。

(4) 传感与检测元件。它像神经末梢一样被装置在机械的各敏感部位，时刻捕捉那里的温度、速度、力、振动、声学及光学信号，及时反馈给控制系统，实现对机械工作的适时控制以及对工作状态的监控。

(5) 控制系统。是现代机械的神经系统，通过它传递信息流，进行决策，保证全系统的协调工作。电子计算机是机械的大脑，由它按人们事先输入的程序指挥机械动作，取代原先操纵者大脑的部分工作。现代机械把大量需要快速、大储量的思维与记忆工作交由电脑来承担，只要这种思维有明确的规律性就行。人工智能现在正被广泛地研究，机械的智能化将是 21 世纪机械发展的重要趋势。

1.3.2 现代机械设计的定义

“现代机械设计”应该有两个含义；一个是现代的“机械设计”，一个是“现代机械”的设计。前者反映现代机械设计的哲理、准则和方法，后者包含现代机械的组成、结构和设计。

现代机械设计理论和方法发展的基础，包含哲学、思维科学、心理学和智能科学的研究成果；解剖学、生理学和人体科学的研究成果；社会学、环境科学、生态学的研究成果和可持续发展战略；现代应用数学、物理学与应用化学等基础科学领域的研究成果；应用力学、摩擦学、技术美学、材料科学等众多技术领域的研究成果；机械电子学、控制理论与技术、检测技术和自动化领域的研究成果；特别是电子计算机的广泛应用和现代信息科学的发展，造就了现代机械设计技术体系，使当今的机械设计方法与传统方法迥然不同。

总之，现代机械设计理论与方法已经成为一门交叉学科，它汇集了人类的多方面知识，使机械的设计富于哲理，融入人类社会的发展，准确高效、优化完美。

1.3.3 现代机械设计的特点

和传统的机械设计相比，现代机械设计有如下一些具体的特点：

(1) 传统的机械设计主要依托灵感和经验，思维带有很大的被动性，大量的机器是在实践中通过经验积累不断改进，才逐步完善。现代机械设计要适应激烈的市场竞争，设计

中要提出大胆的设想和新的开发目标,要求运用现有的最新技术去创造前所未有的产品,并争取第一代就非常完美成功。因此,人们着手研究创造与设计思维过程本身的规律,研究灵感、方案、优化设计产生的内在逻辑进程,出现了“现代机械设计哲学”,使现代机械设计过程从基于经验向基于科学转变,成为人们主动的、按思维规律有意识地向目标挺进的创造过程。

(2) 传统的机械设计着重于实现机械本身预定的功能,现代机械设计则要求把对象置于“人—机—环境”大系统中,进行系统的设计,将预定功能在人、机、环境三者间进行科学的分配,决不盲目追求自动化、无人化。对人开展了深入的生理学、心理学研究,要求在人与机之间作出最佳的界面设计。要考虑机械从原材料提取、加工装配、投入使用,直到报废回收全生命周期各阶段与环境的关系,保证自然资源和生态的平衡,实现人类的可持续发展。

(3) 传统的机械设计偏重于强度准则,现代的有限单元法、弹塑性力学、断裂力学等领域的研究成果,进一步强化了人们强度设计的能力。在此基础上,现代机械设计的准则拓宽到产品涉及的更多领域,例如:由于机械总是由运动副组成,摩擦学设计已成为继强度之后第二位重要的设计准则;任何机械都是由大量随机因素组成的系统,现代机械设计应以可靠性为准则进行可靠性设计;由于现代消费者对产品的需求已上升到物质与精神享受并重的层次,对机械产品提出了艺术和美学要求,建立了系统的工业设计准则和方法;由于现代机械设计是“人—机—环境”大系统的设计,产生了人机工程设计准则和绿色设计准则。

(4) 传统的机械设计过程往往是根据任务和目标,先作出第一方案,甚至造出样机,然后通过评定与考核,进行修改,形成第二轮方案,如此反复,直到满意为止。这一设计过程历时长,耗费大,所谓满意往往带有很大的主观性。现代机械设计则可根据各种给定的条件,运用优化设计理论和方法,借助电子计算机求得最佳设计参数和方案,因此,设计的耗费低、速度快,而且科学地反映设计的最优状态。在现代机械设计中,优化意识还延伸到产品总体方案论证、结构和工艺性各个方面。

(5) 传统的设计建立在手工操作的基础上,人脑的思维进度在很大程度上被这种缓慢的操作过程所约束,许多原始设计发生于人脑的三维构思,在传统的设计中必须用抽象的二维图形加以表达。现代机械设计则很好地解决了这些问题,人们从计算机那里可以很快地获得为进一步思维所必需的理论计算结果和信息;大量的绘图工作由计算机完成;屏幕上的三维图形可以直接与人脑中的构思接轨。在传统的设计中,机器的动态效果只能通过抽象的运动学、动力学数据加以反映,而今天的计算机仿真技术能对未来机器的运转状态清晰地加以描述。

(6) 在传统的机械设计中,从概念设计、技术设计到编制工艺、计算工时成本,由许多部门用串行工作方法参与,需要一个漫长的过程。现代机械设计中采用并行设计技术和PDM技术,使人们在作出一个方案的设计时,从计算机网络中同时获得后续过程相关信息,使设计者有可能及时修改方案,寻求一个全面的、综合的优化方案。

1.4 现代机械设计理论

1.4.1 现代设计理论与方法

设计理论是对产品设计原理和准则的科学总结。设计方法是使产品满足设计要求和

原则的技术手段和过程。现代设计方法是基于现代设计理论形成的,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。现代设计理论与方法是以研究产品设计为对象的科学,它以电子计算机为手段,运用工程设计的新理论和新方法,使计算结果达到最优化,使设计过程实现高效化和自动化。

现代设计理论和方法的内容众多而丰富,它们既相对独立又有一定联系,它们由功能论、优化论、离散论、对应论、艺术论、系统论、信息论、控制论、突变论、智能论和模糊论等方法论应用产生的。如突变论方法学中的各种创造性设计法;智能论方法学中的计算机辅助设计;优化论方法学中的优化设计法;信息论方法学中的预测技术法、信息处理技术;对应论方法学中的相似设计法、科学类比法、模拟设计法;艺术论方法学中的工业造型设计法、人机工程学;寿命论方法学中的价值工程与价值创新等。

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 所列为目前现代设计理论和方法的主要内容。不同于传统设计方法,在运用现代设计理论和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 现代设计理论和方法

1	设计方法学	10	绿色设计	19	人机工程设计
2	优化设计	11	模块化设计	20	模糊设计
3	计算机辅助设计	12	相似设计	21	健壮设计
4	可靠性设计	13	虚拟设计	22	精度设计
5	有限元法	14	并行设计	23	稳健设计
6	疲劳设计	15	协同设计	24	三次设计
7	智能设计	16	动态设计	25	工程遗传算法
8	创新设计	17	优势设计	26	价值工程
9	工业造型设计	18	摩擦学设计	27	反求设计

现代设计方法具有以下特点:

(1) 设计范畴的扩展化。现代设计将产品设计向前扩展到产品规则,甚至用户需求分析,向后扩展到工艺设计,使产品规划、产品设计、工艺设计形成一个有机的整体,同时出现面向“X”的设计技术。

(2) 设计手段的数字化和计算机化。计算机技术、网络技术和数据库技术的飞速发展,使设计手段和工具发生了彻底的改变。

(3) 设计过程的并行化。并行设计技术成为目前最热门的技术之一,由于与产品有关各种过程并行交叉进行,可以减少各种修改工作量,有利于加速设计进程,提高设计质量。

(4) 设计过程的智能化。借助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。

(5) 设计手段的拟实化。由于三维造型技术、仿真和虚拟制造技术,以及快速原形技术的出现,使得人们在零件被制造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。