



高等学校“十一五”规划教材

现代设计理论与方法

Xiandai Sheji Lilun Yu Fangfa

杨现卿 任济生 任中全 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等学校“十一五”规划教材

现代设计理论与方法

主 编 杨现卿 任济生 任中全
副主编 栾丽军 罗 静 魏军英

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书较为系统地介绍了现代设计的理论与方法。按照“统筹兼顾,突出重点”的原则,重点介绍了系统分析设计、创造性设计、优化设计、可靠性设计、有限元方法、反求工程设计以及机械工程 CAD 等七种现代设计理论与方法,也简要介绍了 TRIZ 理论、快速响应设计、智能设计、全寿命周期设计、虚拟设计、并行设计以及绿色设计等其它常用设计方法。

本书可作为机械类机械设计理论与方法课程的教材,也可供机械工程技术人员以及相关人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代设计理论与方法/杨现卿,任济生,任中全主
编.—徐州:中国矿业大学出版社,2010.9
ISBN 978-7-5646-0778-4

I. ①现… II. ①杨…②任…③任… 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(2010)第 178455 号

书 名 现代设计理论与方法
主 编 杨现卿 任济生 任中全
责任编辑 钟 诚 陈红梅
责任校对 周俊平
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 徐州中矿大印发科技有限公司排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 15 字数 374 千字
版次印次 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷
定 价 24.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

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趋复杂。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要掌握新的设计理论和设计方法,提高设计开发能力,以满足不断增长的社会各种需要。

本书是高等学校(矿业类)“十一五”规划教材之一。在编写过程中,编者力求做到结构合理、简繁得当,增强知识的完整性与实用性;在语言阐述上力求通俗易懂。本书可作为机械类机械设计理论与方法课程的教材,也可供机械工程技术人员以及相关人士参考。

本书由杨现卿(河南理工大学)、任济生(山东科技大学)、任中全(西安科技大学)担任主编,栾丽军(辽宁工程技术大学)、罗静(河南理工大学)和魏军英(山东科技大学)担任副主编。各章编写的具体分工如下:

第1章、第9.2~9.7节由杨现卿编写;

第2章、第3章由罗静编写;

第4章由任济生、魏军英、孙爱芹(山东科技大学)编写;

第5章由任中全编写;

第6章由栾丽军、李延锋(河南理工大学)编写;

第7章、第9.1节由聂立新(河南理工大学)编写;

第8章由刘志忠(河南理工大学)编写。

全书由杨现卿统稿,由河南理工大学的赵波教授担任主审。赵教授对本书的初稿进行了认真仔细的审阅,并提出了不少宝贵的修改意见;许宝玉博士对本书的关键内容提出了许多富有建设性和前瞻性的建议,谨此一并表示衷心感谢。

“现代设计理论与方法”是一门比较新的课程,其理论与内容诸方面仍在不断创新和探索之中。编者恳切希望广大读者在使用过程中,对本书的错误和不妥之处提出宝贵意见和建议。

编者

2010年9月

目 录

1 绪论	1
1.1 现代设计	2
1.2 现代设计理论与方法的主要内容及特点	5
1.3 现代产品的设计类型及进程	9
1.4 学习本课程的意义及任务	10
2 系统分析设计方法	12
2.1 概述	12
2.2 技术系统和技术过程	13
2.3 功能分析设计法	15
2.4 评价系统	22
习题	38
3 创造性设计方法	40
3.1 创造性思维及形式	40
3.2 常用创造技法	44
3.3 创新设计实例	48
习题	51
4 优化设计	52
4.1 概述	52
4.2 优化设计的数学基础	60
4.3 一维搜索方法	64
4.4 无约束优化方法	73
4.5 约束优化方法	84
4.6 优化设计中应注意的几个问题	97
习题	101
5 可靠性设计	103
5.1 概述	103
5.2 可靠性设计原理	112
5.3 零部件的可靠性设计	116
5.4 系统可靠性设计	119

习题.....	125
6 有限元分析法	126
6.1 概述	126
6.2 平面杆系结构的有限分析	128
6.3 计算实例	142
习题.....	145
7 反求工程	147
7.1 概述	147
7.2 反求工程的关键技术	148
7.3 常用的反求工程软件	166
7.4 反求工程的应用领域	175
习题.....	177
8 机械工程 CAD 基础.....	178
8.1 概述	178
8.2 机械 CAD 中的工程数据处理	184
8.3 机械 CAD 应用软件开发	192
8.4 AutoCAD VBA 二次开发简介	202
8.5 三维 CAD 软件 Pro/ENGINEER 简介.....	206
习题.....	210
9 其他常用的现代设计理论与方法	211
9.1 TRIZ 理论	211
9.2 快速响应技术	216
9.3 智能设计	218
9.4 全寿命周期设计	220
9.5 虚拟设计	221
9.6 并行设计	224
9.7 绿色设计	228
参考文献.....	230

1 绪 论

在经济全球化的环境下,机械制造业的竞争实质上就是产品设计的竞争,如何快速地进行机械产品的开发是提高制造业市场竞争能力的一个关键问题,进行现代设计理论、方法和应用技术的研究与推广是一项十分重要的基础性工作。

机械制造业的信息化和经济全球化使机械产品的全球市场竞争加剧,市场对产品质量、快速响应性、性价比提出了新的要求,对产品功能、结构和外形要求多样化和个性化,从而要求加快产品的开发速度和迅速提高产品的设计水平。全球性的环境和资源制约同时强有力地呼唤市场上有更多环保、资源节约、可持续发展的产品产业涌现。现代设计理论与方法的研究,尤其是设计方法和实施技术研究变得更为重要。

在新的世纪里,机械制造企业面临着新的机遇,同时又存在着极大的危机。当前,从知识到技术、到产品所需的时间越来越短,反应在产品的价值上,独占性技术(知识)构成了产品的主要价值。因此,只有抓住市场与技术的机遇,快速开发含有独占性技术的新产品才能在多变的市场环境中求得生存和发展。我国制造业的工业增加值已进入世界第四位成了制造大国,但远远不是制造强国。与发达国家的差距大量表现在产品的性能质量上,但更为关键的是缺乏自主知识产权,缺乏自主创新产品。机械产品开发属于装备制造业,我国装备制造业的落后既反映了我国在机械产品设计理论、方法和技术领域的落后,同时也说明了加快发展我国机械产品现代设计理论和方法的重要性和紧迫性。机械产品的设计成本仅仅占其制造总成本的3%左右,由于设计阶段就决定了产品的结构、功能、质量、成本、可制造性、可维修性等主要性能指标,也就决定了产品质量和成本的70%。所以说产品设计是制造业的灵魂,如何快速地进行产品的研发是提高制造业市场竞争能力的关键。

随着现代科学技术的迅速发展,市场竞争越来越激烈,用户对工程机械产品的质量、性能、耐久性、可靠性、经济性也提出了越来越高的要求,这样就促使设计师们运用更多的数学、力学和计算机工具,把现代设计理论、科学成果移植和应用到产品设计中去。目前世界上各工业发达国家已将现代设计理论与方法——创新思维方法、有限元方法,可靠性设计、优化设计、现代造型设计、计算机辅助设计与分析、反求工程设计、绿色设计等应用到产品设计与制造领域,创造出了为数众多的物美价廉的新产品,在很多方面给产品设计带来了质的变化。

现代设计理论与方法是随着现代科学技术的飞速发展和计算机技术的广泛应用而诞生的。在国内外的各个设计领域和工业产品设计中正在日益得到广泛的应用。

本章的主要内容主要由以下4个方面组成:

- ① 现代设计的概念及内涵;
- ② 现代设计理论与方法的主要内容和特点;
- ③ 现代产品的开发以及产品设计的主要进程;
- ④ “现代设计理论与方法”课程的意义和任务。

1.1 现代设计

现代设计理论与方法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科学。由于现代设计理论方法种类繁多,国内外学者们对现代设计理论和方法的分类也各有不同,有的文献提出将现代设计理论分为哲理层和应用工具层,也有的文献提出设计过程理论、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3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3大部分内容所组成,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4类具体的实施技术方法所组成。

从现代产品设计的的发展趋势看,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。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、系统性、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,其目的是为了满足不同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。当然在转化与知道过程中设计也无时无处不在,所以设计存在与人类实践活动的始终。

本质上产品设计过程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,即设计始于需求,没有需求就没有设计。

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

现代设计通过一定规范程序的过程,最终实现设计目标。所以,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流程,它一般可分为4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到一定的物质条件、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,提高设计的质量和效率。

1.1.2 设计发展的基本阶段

从人类发展的历史来看,设计经历了如下4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,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。由于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,设计方案存在于手工艺人头脑中,无法记录表达,产品也比较简单。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,因而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,数学和力学得到了长足的发展,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。

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之上。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程度进一步深入,特别是测试技术的发展,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为可靠的数据,选择合适的结构,从而缩短了试制周期,提高了设计的可靠性。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、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,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,大大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,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。

4. 现代设计阶段

20世纪60年代以来,随着科学技术的迅猛发展,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极为有利的条件,使设计工作产生了革命性的突变,使人类设计工作步入现代设计阶段。这个阶段的特点是:

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、人机工效的影响;

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,直到现在仍被广泛采用。传统设计又称为常规设计。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。

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,它则是一种基于知识的,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性化;

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之中,广大设计人员应

尽快适应这一新的变化。通过推行现代设计理论和方法,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

本课程在分析机械产品开发面临的变化和要求的基础上,首先讨论了现代设计理论与方法体系结构的描述方法和主要特点,然后针对机械制造业发展的需要,主要分析和讲述了与现代设计理论与方法的发展密切相关的优化设计、可靠性设计、CAD/CAM、绿色设计等8个专题。包括基本原理、关键技术和最新研究进展。

1.2.1 现代设计理论与方法的主要内容

一般来说,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具体所采用的手段。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,现代设计理论与方法更是科学方法论在设计中的应用,也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。

现代设计理论和方法的内容众多而丰富,有的学者把它们看做是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。

表 1-1

现代设计的主要理论和方法

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

本书主要讲了以下7种常用的设计理论和方法:

1. 系统分析设计方法

系统分析设计方法主要研究设计程序、设计规律、设计思维和工作方法。其目的是总结规律性、启发创造性,应用现代科学技术和理论使设计过程自动化、合理化。它的基本内容

包括:

- ① 通过对设计过程规律性的研究,制定产品开发的合理程序和设计中的战略思想;
- ② 运用思维科学的研究成果,探讨激发创造力的环境和方法;
- ③ 结合设计过程各阶段的需要,探讨各种现代设计理论与方法在实现设计综合优化中相互关系与作用,以及如何运用它们进行最优的结构设计;
- ④ 研究评价与决策在设计过程中的作用和工作方法。

2. 创造性设计方法

设计就是创新,没有创新不能称之为真正的设计。设计师首先应具有一定的创造力才能进行创新性设计,而创造力的核心是创造性思维。创造性思维指的是思考过程中,能直接或间接起到某种开拓、突破作用的一种思维。它既是一种能动的思维发展过程,又是一种积极的自我激励过程。深刻认识和理解创造性思维的实质、类型和特点,不仅有助于掌握已经开发出来的现有的创造技法,而且能够推动和促进人们对新的创造方法的开拓。创造性的思维必须与一定的技术手段相结合,才能真正进行创新性设计。

3. 优化设计方法

优化设计是从尽可能多的可行设计方案中,经过不断迭代与评比,研究找出最优的设计方案。它可用于方案选择、参数匹配及优选、结构设计、机构设计及系统设计等方面。在优化设计中,目标函数是用来评价设计方案某种性能好坏标准的函数,如体积、质量、成本、寿命等,而约束条件则是各种设计变量在变化时必须满足的某些设计要求,即其限制条件,如对某些外形尺寸、位置、强度、刚度及稳定性的限制等。所谓优化设计,就是应用数学中的各种优化理论(数学规划方法),在求解过程中不断变化各个设计变量的数值,在满足所有约束条件的前提下,求得使目标函数相对最优的那一组设计变量。

优化设计的关键是建立优化问题的数学模型(包括目标函数与约束条件)和选择合适的优化方法(全局寻优及计算效率)。该数学模型应能正确表达物理模型中各个主要物理量和设计变量之间的相互关系,以及它们与目标函数间的解析关系。

4. 可靠性设计

在传统设计中,影响设计目标的各种因素均被视为一个确定的量,因为其不符合实际情况,所有通常采用加大安全系数的方法提高设计的可靠性。实际上,机械构件所受的载荷(静载荷或交变载荷)、材料的强度性能、构件几何尺寸的差异乃至其他不确定因素,都是服从于一定分布规律的随机变量与随机过程,必须用概率和数理统计的观点来研究它们之间的关系。

所谓可靠性设计,就是将载荷、材料强度性能和构件的几何尺寸等固有因素都看做属于某种概率分布的统计量,应用概率论与数理统计方法,计算出在给定条件下构件不发生破坏的概率。如在此基础上确定给定可靠度条件下构件的尺寸,或当已知构件尺寸时,确定其一定可靠度下的安全寿命。因此,可靠性设计是解决机械构件或机械系统,当其在指定环境条件下工作时,在规定期限内完成其预定功能的概率。

5. 有限元分析方法

工程机械产品的结构一般比较复杂,传统的计算方法只能依据材料力学或弹性力学原理来计算一些形状不太复杂的零件,对于复杂结构则往往无能为力。有限单元法把一个连续体或组合体(设计对象)离散化,即分解成有限数量的小单元体,各单元体在节点处连接,

一般以节点位移为基本量,建立起各个节点的弹性力学平衡方程,然后,再把它们综合起来,并与外加载荷及边界条件相联系,从而得到该物体各个单元体力学分量(如应力、应变、位移、速度等)的数值解。

有限单元法物理概念清晰,易于掌握,计算速度快,得出的数值解虽然是近似解,但精确度较高,特别是它具有很好的灵活性、通用性和适应性,而且受零件几何形状、载荷分布情况、边界条件及材料不均匀的限制很少。因此,广泛应用有限单元法进行结构分析是设计理论与科学的重要进展。目前应用比较成熟的大型程序系统有 ANSYS, MARC, PATRAN/ NASTRAN 等,这些程序通用性强且功能齐全,在设计中获得了广泛的应用。

目前有限单元法正向新的高度发展,新的算法与新的单元类型不断涌现,如混合元、杂交元、等参元、超参元和奇异元相继出现,有效改进了收敛性及对复杂形状的适应性,提高了有限元求解实际问题的有效性与准确度。

6. 反求工程设计

作为一种新式的产品开发概念,反求工程技术是一项综合了三维测量、快速成型等高新技术,在没有设计图纸或者设计图纸不完整以及没有 CAD 模型的情况下,按照现有零件的模型(称为零件原形),利用各种数字化技术及 CAD 技术重新构造原形 CAD 模型的过程。反求工程是近年来发展起来的,并消化和吸收了一系列先进分析方法和应用技术,其主要目的是为了改善产品生产的技术水平,提高生产率,增强企业及其产品的市场竞争力。世界各国在经济技术发展中,应用反求工程消化吸收先进技术经验给人们有益的启示。据统计,各国 70% 以上的技术源于国外,反求工程作为掌握技术的一种手段,可使产品研制周期缩短 40% 以上,极大地提高了生产率。因此,研究反求工程技术对我国国民经济的发展和科学技术水平的提高具有重大的意义。

反求工程技术对整个工业设计的意义是重大的。拥有了此项技术,设计师的设计意图将可以得到真实的再现。以轿车的设计为例,在产品开发前期,设计师的意图可形成草图效果图,胶带图,直至模型制作完成,设计师的意图、理念体现阐述告一段落。如何将这些概念模型转化为产品?这可以利用反求工程技术。以三坐标测量仪为源头,对设计师的模型进行精确的数字化扫描,得到其三维轮廓数据,通常它将使大量的离散点云,结合专门的反求工程软件对其进行曲面重建,生成实体,配合数字化加工中心,即可加工出模具,投放生产。

工业设计的活动是与商业化、制造、市场紧密联系的,而反求工程正是顺应了制造业发展的需求而产生的,利用这项技术,商家可以快速抢占商机,赢得市场,有效规避投资风险。

由此可见,现代工业设计流程中反求工程已然成为产品设计开发不可缺少的有力手段。

7. 机械 CAD 基础

20 世纪 60 年代后期逐步发展起来的计算机辅助设计,是充分发挥设计者(人)和电子计算机(机)的特长,并把人一机有机地组合起来,从而将设计工作提高到一个崭新水平的设计方法。

电子计算机在资料存储及检索、高速运算、结构及参数优化、判断与决策、自动绘图及显示等方面均有突出优点,设计师们依靠其掌握的丰富的实践经验及理论知识,只在综合分析判断方面起着关键作用。人机对话型的 CAD 可有效地把二者的作用结合起来,使设计者从大量的繁琐的事务性工作中摆脱出来,从而集中在产品设计的关键性问题上。CAD 发

展的更高级阶段,将是逐步提高其智能化设计程度。

目前广泛使用的比较成熟的市场占有率高的 CAD/CAE 软件为美国 AUTODESK 公司的 AutoCAD、法国达索公司的 CATIA 软件系列、美国 PTC 公司的 Pro/ENGINEER Wildfire、MSC 公司的系列产品等。

除了上述 7 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 TRIZ 理论、快速响应设计、稳健设计、并行设计、绿色设计、模糊设计、智能设计、全寿命周期设计、面向制造的设计等,由于在节能、环保、改进产品性能和增加产品市场竞争能力等方面有其重要性而受到越来越多的重视。

1.2.2 现代设计方法的特点

现代设计理论和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联系,力求系统整体最优。同时考虑技术系统与外界的联系,即人一机—环境的大系统关系。

(4) 最优性

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) 数字性

将计算机技术全面地引入设计过程,并运用程序库、数据库、知识库、信息库和网络技术服务于设计,实现了设计过程数字性,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 现代产品的设计类型及进程

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、液压技术等。先进的科技成就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,同时新技术的不断涌现,又促进了经济的高速发展。而这些又促使了企业间的竞争日益激烈,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,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为开发性设计、适应性设计、变形设计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型工业产品的设计,也可以称之为“零—原型”的设计。

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

③ 变形设计。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。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,并且在市场竞争中成功,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。

1.4 学习本课程的意义及任务

1.4.1 学习本课程的意义

在市场全球化的今天,产品的竞争实质上就是设计的竞争,对于机械产品制造企业来说,重视设计也就是重视制造业的明天。我国与发达国家在现代设计理论与方法研究方面的差距直接反映了在机械产品、尤其是大型复杂装备产品本身上的差距。因此,加强现代设计理论与方法的研究与应用,推动我国企业产品开发技术的现代化是学术界、工业界需要大力进行的工作。为推动我国从制造大国走向制造强国,政府正在采取强有力的政策导向,加大对应用基础技术研究的投入强度和对产学研合作模式的支持力度以及加强企业自主创新能力的培养。通过广泛推广使用现代设计理论和方法,使机械产品设计方法由目前使用经验、类比、静态、串行设计向采用数字化建模、动态、优化、并行设计的方向发展,重要机械产品开发应实现由引进、仿制向消化、吸收、改进和创新转移。从根本上提高我国机械产品的性能和质量,加强我国机械产品的自主创新能力,提升机械产品的国际市场竞争力。

经济的发展与人民生活水平的不断提高,迫切需要质量好、效率高、消耗低、价格便宜的先进的工业、军事与民用产品,而产品设计是决定产品性能、质量、水平和经济效益的重要一环。与此同时,随着知识经济时代的到来与我国加入 WTO,产品在国际市场是否具有竞争力,在很大程度上取决于产品的设计。在这种形式下,唯有提高产品的先进性及质量才能够参与国际竞争。为此,在产品设计中就必须大力推广目前已经广泛应用的先进设计理论和方法,以提高我国产品的设计水平。

随着科学技术的迅猛发展以及计算机技术的广泛应用,设计领域正在进行一场深刻的变革,各种现代设计理论与方法不断涌现,设计方法更为科学、系统、完善和先进。传统设计方法已经发展成为一门新兴的综合性、交叉性学科——现代设计理论与方法。现代设计理论与方法的广泛应用,必将为我国的工业生产带来巨大的经济效益,提供更丰富、更方便、更环保的产品,对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、科学化方面将发挥重大的作用。

因此,作为未来设计者的理工科大学生,学习和掌握现代设计理论方法就具有特别重要的意义。设计人员是新产品的重要创造者,同时还是新的设计理论与方法的创造者和使用者,更是产品质量的主要保证者。为了适应当代科学技术发展的要求和市场经济体制对设计人才的需求,必须加强设计人员的创造能力和素质的培养,现代设计理论与方法课程开设的目的就在于此。

1.4.2 学习本课程的方法和任务

现代设计理论与方法一门理论性与实践性都非常强的交叉学科。学生应该在掌握基本理论、基本知识和基本方法的基础上,有意识地培养分析问题和解决问题的能力。对自己所能见到的产品,要勤于思考,找出存在的不足并寻求解决问题的办法。

本课程的学习方法:

- ① 设计理论与设计实践相结合;
- ② 创新思维与广义反求设计相结合;
- ③ 传统设计手段与现代设计手段相结合。

学习本课程的任务:

- ① 通过学习,了解现代设计理论与方法的基本原理和主要内容,掌握各种设计方法的设计思想、设计步骤及上机操作要领,以提高自己的设计素质,增强创新设计能力;
- ② 通过学习,在充分掌握现代设计理论和方法的基础上,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,甚至发明和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;
- ③ 通过学习培养学生严肃认真的工作态度和严谨细致的工作作风。