



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Advanced Design Methods and Applications

现代设计方法及其应用

(第2版)

张连洪 主编

王凤岐 邵宏宇 赵兴玉 编

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代设计方法及其应用

(第2版)

张连洪 主编

王凤岐 邵宏宇 赵兴玉 编



内容简介

本书在《现代设计方法及其应用》(天津大学出版社 2008 年 8 月出版)基础上,针对高年级本科生和研究生教学的特点,对部分内容进行了删减与增补,以期在保证全书内容完整性的同时,尽量反映现代设计方法的研究进展与成果。

本书在对现代设计技术的概念、特点、技术体系以及多种现代设计方法进行概括介绍的基础上,重点介绍设计方法学、优化设计、机械可靠性设计、有限元法等应用广泛、实用性强的设计方法;并以专题的形式,介绍了制造装备设计的一些新理念、新方法。

本书可作为机械工程专业及相关专业高年级本科生和研究生教材,亦可作为机械工程领域的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法及其应用/张连洪主编;王凤歧,邵宏宇,赵兴玉编. —2 版. —天津:天津大学出版社,2013. 9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5618-4696-4

I. ①现… II. ①张… ②王… ③邵… ④赵… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 115198 号

出版发行	天津大学出版社
出 版 人	杨欢
地 址	天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话	发行部:022-27403647
网 址	publish.tju.edu.cn
印 刷	天津泰宇印务有限公司
经 销	全国各地新华书店
开 本	185mm × 260mm
印 张	21
字 数	524 千
版 次	2014 年 1 月第 2 版
印 次	2014 年 1 月第 1 次
定 价	40.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

科技成果转化成为有竞争力的产品,设计起着关键的作用。设计是产品生命周期的第一道工序,产品的功能、结构、质量、造型、成本以及可制造性、可维修性、报废后的处理以及人-机(产品)-环境关系等,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。目前世界各国都十分重视设计方法的研究。

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。对于面向未来的科技人员后备军——机电类大学生,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设计产品的初步能力显得尤为重要。我国高校机械工程专业大多开设该课程,中国机械工程学会正在实施的机械设计工程师资格认证,明确将现代设计方法作为机械设计工程师资格认证考试的科目之一,这进一步说明开设该课程的必要性和重要性。

现代设计方法发展很快,种类繁多,涉及面极广。本教材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,精选内容,重点介绍了设计方法学、优化设计、机械可靠性设计和有限元法等应用广泛、实用性强的设计方法。为使学生便于掌握课程的基本内容和工程应用,本教材力求理论联系实际,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。本书可作为机械工程专业本科生的教材,亦可供从事机电产品设计的工程技术人员和科技管理干部参考。

本书由天津大学王凤岐教授主编,各章编写人员为:第1、2章王凤岐;第3章张连洪、王凤岐;第4章王凤岐、邵宏宇;第5章邵宏宇、赵兴玉。李乃华老师为本书绘制了全部插图,邢德强、赵剑波、付玉琴等负责了部分文字录入和编校工作。

本书由黄田教授(天津大学)主审,参加审稿的还有郭伟教授(天津大学)、许红静博士(河北工业大学)、于鸿彬博士(天津工业大学)。在编写过程中,编者参阅了大量文献资料,吸纳了有关教材中的精华,在此特向有关作者致谢。鉴于现代设计方法内容涉及面广、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

2008年5月

再版前言

产品开发始于产品构思,设计则是将构思转化为具体化产品。优异的产品是精妙构思和精良设计的结果。产品构思是一个难以模型化的创造过程,奇妙的产品构思多源自天才的灵感。为保证产品的可实现性,产品构思要适应科学技术的发展。精妙的构思是优异产品产生的前提条件。精良的设计可实现产品性能、品质、成本综合最优,是优异产品产生的必要条件。设计师借助先进的设计理论、方法及技术,创作完成精良的产品设计。历史上曾经改变世界或正在改变世界的伟大产品(如蒸汽机、汽车、飞机、计算机、iPhone等),无不是精妙构思与精良设计的成果。

鉴于设计及设计方法在产品开发中的重要作用,有必要将先进的现代设计方法系统地介绍给未来的设计师们,这就是编写本书的宗旨与任务。

本书第2版由张连洪主编。本版结合学科发展,增补了3.9 现代优化算法和3.10 多学科设计优化简介,以反映优化设计理论与方法的新进展;增加了第6章——制造装备设计专题,这部分是作者近年来对制造装备设计的思考及探索;此外,对第1版进行了勘误校正。各章编写人员为:第1、2章王凤岐,第3章张连洪,第4章王凤岐、邵宏宇,第5章邵宏宇、赵兴玉,第6章张连洪。

由于编者水平所限,书中会有不足之处,敬请各位同仁和广大读者批评指正。

张连洪

(zhanglh@tju.edu.cn)

2013年7月于天津大学

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 设计的概念	(1)
1.2 传统设计与现代设计	(4)
1.3 部分现代设计方法简介	(8)
1.4 学习现代设计方法的意义	(17)
习题	(18)
第2章 设计方法学	(19)
2.1 概述	(19)
2.2 设计系统	(20)
2.3 技术系统及其设计类型	(26)
2.4 产品规划方法	(27)
2.5 方案的系统化设计	(34)
2.6 创造性思维和方法	(46)
2.7 TRIZ 理论	(55)
2.8 设计中的评价与决策	(71)
习题	(80)
第3章 优化设计	(81)
3.1 优化问题的数学描述	(81)
3.2 优化方法的数学基础	(87)
3.3 一维优化	(98)
3.4 多维无约束优化方法	(106)
3.5 多维约束优化方法	(116)
3.6 机械最优化设计中的其他相关问题	(140)
3.7 优化设计工具软件	(151)
3.8 优化设计实例	(160)
3.9 现代优化算法	(167)
3.10 多学科设计优化简介	(182)
习题	(191)
第4章 机械可靠性设计	(194)
4.1 概述	(194)
4.2 可靠性的定义及度量指标	(195)
4.3 可靠性工程中常用概率分布	(200)

4.4	可靠性设计原理	(205)
4.5	机械强度可靠度计算	(209)
4.6	系统的可靠性设计	(215)
4.7	故障树分析	(222)
	习题	(226)
第5章	有限元法	(228)
5.1	概述	(228)
5.2	弹性力学基本理论	(230)
5.3	弹性力学有限元法	(240)
5.4	等参数单元的原理及数值积分	(256)
5.5	有限元分析中的若干处理方法	(263)
5.6	有限元分析软件	(268)
5.7	有限元法应用实例	(269)
	习题	(291)
第6章	制造装备设计专题	(293)
6.1	弧齿锥齿轮铣齿机/磨齿机主动精度设计	(293)
6.2	液压机机架结构设计	(302)
附表		(320)
附表1	标准正态分布表	(320)
附表2	TRIZ 冲突解决原理矩阵	(323)
参考文献		(328)

第 1 章 绪 论

1.1 设计的概念

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,一直从事设计活动,通过成功的设计物品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。

什么是设计?至今人们仍有着不同的理解和解释。设计一词有广义和狭义之分。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一系列行为。《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:一个是单纯为了满足审美需求而出现的艺术设计;另一个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。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,设计不再仅仅是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,把实验、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及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需载体,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。围绕现代化工业产品的设计,国际工业设计学会(International Council of Societies of Industrial Design, ICSID)对设计定义如下:“设计是一种创造性活动,它的目的在于决定产品的包括性能、过程、服务及整个生命周期各个方面的品

质,以获得一种使生产者和消费者都能满意的整体。”美国工程与技术认证委员会(Accreditation Board for Engineering and Technology, ABET)在教学大纲中对设计的定义是:“工程设计是为了满足目标要求而创造某种系统、部件或方法的过程。这是一个反复决策的过程,在这个过程中,需要应用基础科学、数学及工程科学来优化转换资源以实现特定目标。”尽管目前科技界对产品设计尚没有统一的定义,但对设计的基本内涵都有共同的认识,下面是对设计内涵的一些理解。

①设计是为满足一定需求,在设计原则的约束下利用设计方法和手段创造出产品的工程活动,需求是设计的动力源泉。

②设计是一种把人的愿望变成现实的创造性行为,设计的本质是创造性的,如果没有创新,就不叫设计。

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设计是一种以技术性、经济性、社会性、艺术性为目标,在给定条件下,谋求最优解的过程。

从上面这些对设计的描述中,可以综合来理解设计的含义。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,所以设计始于需求,没有需要就没有设计,需求是设计的驱动力。需求包括现实的需求和隐含的有待激发或引领的需求。

②创造性特征。时代的发展,科学技术的发展,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,任何产品设计都是在一定的时间、空间等约束下按一定程序进行的。它是指从明确设计任务到完成技术文件所进行的整个设计工作的流程。设计过程一般分为产品规划、原理方案设计、技术设计和施工设计四个主要阶段。按科学的设计程序进行工作,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,设计水平代表了当时社会的技术水平,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,以提高设计的质量和效率。

1.1.2 产品设计的重要性及产品开发面临的挑战

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。如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还是可以再补救或修复的,是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。美国质量专家朱兰(Joseph M. Juran)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。产品的竞争力主要取决于它的性能和质量,也取决于经济性。而这些因素都与设计密切相关。在激烈的市场竞争中,成功的创新产品将开拓出新的使用价值和市场需求,进而为企业在获取高额利润及提升经济效益方面创造出新的增长点。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利润则普遍达到20%以上。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。二百多年前,第一台蒸汽机的出现引起世界性的工业革命,使1770—1840年间英国的工业生产率提高了20倍。一百多年前的第二次工业革命诞生了发电机、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。我国改革开放三十多年来,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。很多发明和新技术的出现,也相应渗入机械领域,迅速地改变着机械的面貌,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机械工业,大大提高了机械工业的水平。因此机械设计应着眼于未来,适应技术的发展,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生产总值的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。为此,必须不断改善设计工作,提高机械产品设计质量和效率。

市场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。如中型数控机床的新型产品开发周期在20世纪80年代前期为15个月,在20世纪90年代前期为9个月,在2000年后则压缩为6个月甚至更短。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5~8年降至20世纪90年代的3~5年,2000年后则为2年左右。

②产品品种数急剧增加。为适应用户需求,订单式的个性化产品得到发展。即使是大批量生产的产品,也可根据顾客多样化的功能要求和喜爱实现订单式的设计与制造。

③设计对象越来越复杂。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,设计的过程由串行走向并行,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。设计优化目标由单目标走向多目标,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存在以下问题:

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两倍;

③通用型产品多,面向用户的、功能多样化的、具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。

为应对上述挑战和问题,唯有发展和应用现代设计方法及先进的生产制造技术,才是唯一途径。

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以下四个阶段。

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,产品也是比较简单的。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了经验设计阶段。

③半理论半经验设计阶段。20世纪以来,由于科学技术的发展与进步,对设计的基础理论研究和实验研究得到加强。随着理论研究的深入和实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。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。

④现代设计阶段。20 世纪 70 年代以来,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和精确计算的条件。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 技术更可直接输出加工零件的数控代码程序,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就是,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。

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比较。
- 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。设计成果遵从国家政策和法规,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:一种是德国倡导的设计方法学,用从抽象到具体的发散的思维方法,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;另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。

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”(Design for X, DFX)技术,即在设计过程中同时考虑制造、维修、成本、包装发运、回收、质量等因素。在现代设计开发新产品的整个过程中,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,都应面向社会、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的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,以摩擦学设计方法来提高机械效率,以三次设计方法有效地提高产品的性能价格比。

传统设计由技术主管指导设计,设计过程中多单纯注意技术性,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与扩展发散的设计思维,通过多种可行的创新方案比较与全面深入地评价决策,达到最优方案。

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观性、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的精神感受。从人的生理和心理特征出发,通过功能分析、界面设计和系统综合,考虑满足人-机-环境间的协调关系,发挥系统潜力,提高效率。工业艺术造型设计和人机工程设计提高了产品的精神功能,不断满足宜人性要求。

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-机-环境间的关系,强调训练用户来适应机器的要求。

(5) 最优化

现代设计重视系统集成,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,各学科领域间通过计算机以高效率地系统集成最新科技成果,寻求最优方案和参数。利用优化设计、人工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、经验和判断力选取较好的方案,因此受人员和效率的限制,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。如机械学中将载荷、应力等因素作简化处理,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的能力。生物中人的智能最高,能通过知识和信息的获取、推理和运用来解决极复杂的问题。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要求。

(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,便于对设计进程进行管理,方便了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,设计的精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的协同工作,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型技术,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佳解。

1.2.3 现代设计技术体系结构

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结构进行分析。

现代设计技术体系如图 1-1 所示。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。

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进行发展与延伸。

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

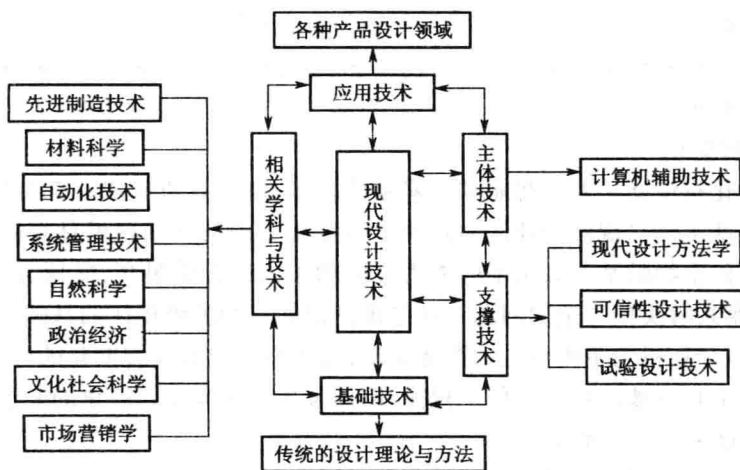


图 1-1 现代设计技术体系

体的主干。

3) 支撑技术 现代设计方法学、可信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,设计信息的处理、加工、推理与映射及验证,都离不开设计方法学、产品的可信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 应用技术是针对适用性的目的解决各类具体产品设计领域的技术,如机床、汽车、工程机械等设计的知识和技术。

现代设计已扩展到产品规划、制造、营销和回收等各个方面。因而,所涉及的相关学科和技术除了先进制造技术、材料科学、自动化技术、系统管理技术外,还涉及政治、经济、法律、人文科学、艺术科学等领域。

1.3 部分现代设计方法简介

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知识群体的总称,是为了适应市场剧烈竞争的需要,提高设计质量和缩短设计周期,于 20 世纪 60 年代在设计领域相继诞生与发展起来的以计算机技术为支撑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、健壮性设计、绿化设计等。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。本节对其中的部分现代设计方法进行简要介绍,有些内容将在后续章节详细介绍。

1. 计算机辅助设计

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是指在设计活动中,利用计算机作为工具,帮助工程技术人员进行设计的一切适用技术的总和。

计算机辅助设计是人和计算机相结合、各尽所长的新型设计方法。在设计过程中,人可

以进行创造性的思维活动,完成设计方案构思、工作原理拟定等,并将设计思想、设计方法经过综合、分析,转换成计算机可以处理的数学模型和解析这些模型的程序。在程序运行过程中,人可以评价设计结果,控制设计过程;计算机则可以发挥其分析计算和存储信息的能力,完成信息管理、绘图、模拟、优化和其他数值分析任务。一个好的计算机辅助设计系统既能充分发挥人的创造性作用,又能充分利用计算机的高速分析计算能力,找到人和计算机的最佳结合点。

在计算机辅助设计工作中,计算机的任务实质上是进行大量的信息加工、管理和交换。也就是在设计人员的初步构思、判断、决策的基础上,由计算机对数据库中大量设计资料进行检索,根据设计要求进行计算、分析及优化,将初步设计结果显示在图形显示器上,以人机交互方式反复加以修改,经设计人员确认后,形成设计结果,并可在自动绘图机及打印机上输出。在 CAD 作业过程中,逻辑判断、科学计算和创造性思维是反复交叉进行的。一个完整的 CAD 系统,应在设计过程中的各个阶段都能发挥作用。

计算机辅助设计系统由硬件和软件组成。CAD 系统的硬件配置与通用计算机系统有所不同,其主要差异在于 CAD 系统硬件配置中具有较强的人机交互设备及图形输入、输出装置,为 CAD 系统作业提供了一个良好的硬件环境。

CAD 系统除必要的硬件设备外,还必须配备相应的软件。没有软件的支持,硬件设备不能发挥作用。软件水平是决定 CAD 系统效率高、使用是否方便的关键因素。CAD 系统软件主要包括操作系统、应用程序、数值分析程序库、图形软件和数据库管理系统。

与传统的机械设计相比,无论在提高效率、改善设计质量方面,还是在降低成本、减轻劳动强度方面,CAD 技术都有着巨大的优越性,主要表现在以下方面。

1)CAD 可以提高设计质量 在计算机系统内存储了各种有关专业的综合性的技术知识,为产品设计提供了科学基础。计算机与人交互作用,有利于发挥人机各自的特长,使产品设计更加合理。CAD 采用的优化设计方法有助于产品结构参数的优化。另外,由于不同部门可利用同一数据库中的信息,保证了数据的一致性。

2)CAD 可以节省时间、提高效率 设计计算和图样绘制的自动化大大缩短了设计时间。CAD 和 CAM 的一体化可显著缩短从设计到制造的周期,与传统的设计方法相比,其设计效率可提高 3~5 倍。

3)CAD 可以有效地降低成本 计算机的高速运算和绘图机的自动工作大大节省了劳动力。同时,优化设计带来了原材料的节省。CAD 的经济效益有些可以估算,有些则难以估算。由于采用 CAD/CAM 技术,生产准备时间缩短,产品更新换代加快,大大增强了产品在市场上的竞争能力。

4)CAD 技术可以提高劳动生产率 在常规产品设计中,绘图工作量约占全部工作量的 60%,在 CAD 过程中这一部分的工作由计算机完成,产生的效益十分显著。

CAD 系统集成化是当前 CAD 技术发展的一个重要方面。集成化的形式之一是将 CAD 和 CAM 集成为一个 CAD/CAM 系统。在这种系统中,设计师可利用计算机,经过运动分析、动力分析、应力分析,确定零部件的合理结构形状,自动生成工程图样文件并存放在数据库中。再由 CAD/CAM 系统对数据库中的图形数据文件进行工艺设计及数控加工编程,并直接控制数控机床去加工制造。CAD/CAM 进一步集成是将 CAD、CAM、CAT(Computer Aided Testing,计算机辅助测试)集成为 CAE 计算机辅助工程系统,使设计、制造、测试工作一体化。

2. 工业造型设计

工业产品艺术造型设计是指用艺术手段按照美学法则对工业产品进行造型的工作,使产品在保证使用功能的前提下,具有美观的造型和宜人的操作界面。

创造具有实用功能的造型,不仅要求其形象所具有的功能适应人们工作的需要,而且要求其形象表现的式样、形态、风格、气氛给人以美的感觉和艺术的享受,起到美化生产和生活环境、满足人们审美要求的作用,因而成为具有精神和物质两种功能的造型。

工业造型设计的本源内涵重在物质功能和社会人的感情精神以及人和物相互作用的研究之上。工业造型设计不是单纯的美术设计,更不是纯粹的造型艺术、美的艺术,它是科学、技术、艺术、经济融合的产物。

工业造型设计有着以下三个显著的特征,即实用性、科学性和艺术性。

1) 实用性 体现使用功能,适应目的性、先进性与可靠性,具有现代科学技术的功能美,充分应用人机工程学原理提高产品的宜人性,表现出产品服务于人的舒适美。

2) 科学性 体现先进加工手段的工艺美,反映大工业自动化生产及科学性的严格和精确美,标志力学、材料学、机构学新成就的结构美,在不牺牲使用者和生产者利益的前提下,努力降低产品成本,创造最高的附加值。

3) 艺术性 应用美学法则创造具有形体美、色彩美、材料美和符合时代审美观念的新颖产品,体现人、产品与环境的整体和谐美。

产品造型设计涉及的因素很多,如工程技术、美学、市场经济、心理学、生理学、社会学等。具体来说,它包括产品功能、结构、形态、色泽、质感、工艺、材料、人机等诸多方面。但不能脱离所用材料、工艺语言与时代精神以及与民族文化象征的协调,更不能忽略造型与现有的技术条件、投资可能以及市场销售之间可能的协调。

在造型设计的三要素中,使用功能是产品造型的出发点和产品赖以生存的主要因素;艺术形象是产品造型的主要成果;物质技术条件是产品功能和外观质量的物质基础。

关于工业造型设计,特别是机电产品造型设计的内容,通常包括以下方面。

1) 机电产品的人机工程设计或称宜人性设计 产品与人的生理、心理因素相适应,以求得人-机-环境的协调与最佳搭配,使人们在生活与工作中达到安全、舒适与高效的目的。

2) 产品的形态设计 使产品的形态构成符合美学法则,通过正确的选材及采用相应的加工工艺,形成优良表面质量与质感肌理,获得能给人以美的感受的产品款式。

3) 产品的色彩设计 综合产品的各种因素,制定一个合适的色彩配置方案,它是完美造型效果的另一基本要素。

4) 产品标志、铭牌、字体等设计 以形象鲜明、突出、醒目为标志,给人以美好、强烈、深刻的印象。

3. 有限元法

有限元法是以计算机为工具的一种现代数值计算方法。目前,该方法不仅能用于工程中复杂的非线性问题(如结构力学、流体力学、热传导、电磁场等)的求解,而且还可用于工程设计中复杂结构的静态和动力学分析,并能精确地计算形状复杂的零件的应力分布和变形,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把要分析的连续体假想地分割成有限个单元所组成的组合体,简称离散化。这些单元仅在公共节点处相互连接。离散化的组合体与真实弹性体的区别在于:组合体中单元与单元之间的连接除了节点之外再无任何关联。但是这种连接要满足变