

高等学校规划教材

现代设计理论与方法

主 编 武良臣

副主编 郭培红 朱建安 王建生

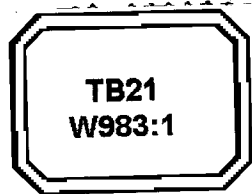
(修订版)

x i a n d a i
s h e j i
l i l u n
y u f a n g f a

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

高等学校规划教材



现代设计理论与方法

(修订版)

主 编 武良臣

副主编 郭培红 朱建安 王建生

编著者 武良臣 郭培红 朱建安 王建生

赵俊伟 许宝玉 张新民

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书根据现代科学技术发展的特点,从软科学和硬科学两个方面阐述了现代设计理论与方法的一般规律与程式。全书内容包括:绪论、设计方法总论、现代设计计算导论、相似性设计和模块化设计、机械动态设计与载荷谱、有限元方法原理与应用、模态分析设计方法、设计实例分析等八章。

本书为机械类及近机械类各专业的教学用书,并可作为机械类专业研究生的参考教材,也可供相关专业的师生和广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代设计理论与方法/武良臣主编,一徐州:中国矿业大学出版社,1998.12(2003.7重印)

ISBN 7-81040-935-2

I. 现… II. 武… III. 工业产品—设计—高等学校—教材 IV. TB47

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第058106号

书 名 现代设计理论与方法

主 编 武良臣

责任编辑 朱守昌

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 中国矿业大学印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 17 字数 412千字

版次印次 2003年8月第2版 2003年8月第2次印刷

印 数 1201~2400

定 价 24.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

修订版前言

本书自 1998 年出版以来,承蒙郑州大学等七所院校机电类专业使用,发现书中有些地方编排不当,或者错误。鉴于目前教学急需,我们组织人员对全书进行了修订。在不影响教材原貌的情况下,调整了编排顺序,对内容进行了更新,错误之处进行了改正。

全书由武良臣教授任主编,郭培红副教授、朱建安副教授、王建生教授任副主编。各章编写修订的具体分工如下:武良臣编写第一章,朱建安编写第二章第一、二节,郭培红编写第三章,王建生编写第四章,张新民编写第五、第八章及第二章第三、四节,赵俊伟编写第六章第一、二节,许宝玉编写第六章第三、四、五节及第七章。全书由赵俊伟教授和王建生教授审校。

在修订过程中得到焦作工学院领导、教材科及中国矿业大学出版社大力支持,在此表示衷心感谢。

由于时间紧迫、水平有限,书中错误在所难免,敬请读者及使用本书的教师提出宝贵意见。

作者于焦作工学院

2003 年 6 月 12 日

前 言

本书是根据焦作工学院“九五”教材建设规划和本课程教学大纲编写的。

《现代设计理论与方法》是机械类及近机类各专业的主干课程之一。随着机械产品和设备向高速、高效、精密、轻量化和自动化方向的迅猛发展,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,这就使得从事机械设计和制造的人员要勇于创新、不断提高设计开发能力,以满足不断增长的各种社会需求。

长期以来,许多专家和学者就设计的方法、程式、规律做过很多论说和评议。至于设计中出现的种种新技术,更加使人耳新目眩。如此众说群著,使不少设计人员和大学生产生疑窦:什么样的设计方法、程式是最科学的、最有效的、最易于掌握的?本书的目的,就是试图对这些问题进行系统的归纳和解疑。

在近几年的教学、科研实践中,焦作工学院先后编写了《计算机辅助设计》、《机械设计方法学》、《矿井提升机械设计》、《液压支架设计》、《机械优化设计》、《机械系统设计》、《矿业机械设计工艺性》、《机械动力学》、《动态系统辨识》等多种教材和讲义,供本科生和研究生使用。本书就是在这些教材和讲义的基础上,结合作者对国际范围内近几年出现的新方法、新理论、新技术的研究体会,经过多次讨论、修改、整理和加工而成。所以,本书是焦作工学院有关教师的集体成果,编者对他们表示衷心的感谢。

本书由焦作工学院武良臣教授任主编,郭培红副教授、朱建安副教授、何贵新任副主编,各章编写的具体分工如下:

武良臣编写第一章,朱建安编写第二章与第四章的第四节,郭培红编写第三章的第一、二、三节与第四章的第一、二、三节,何贵新编写第三章第四节,郑州大学赵勇和周口师范高等专科学校李晋合编第五章和第八章,赵俊伟编写第六章第一节,华北水利水电学院郝用兴编写第六章第二、三、四、五节,第七章由许宝玉编写。全书由焦作工学院林经德教授、王裕清教授主审,焦作工学院王祖权、纪多辙、孙云普、樊振江、郑友益、何思亮、王德胜、莫亚林等也审阅了有关章节。

本书在编写过程中得到了煤炭部教材规划室、煤炭部机械类教材编审委员会、中国矿业大学出版社编辑的具体指导,同时也得到了焦作工学院领导及机械系领导大力支持。他们对本书编写的指导思想和内容都提出了许多宝贵意见。此外,在编写过程中参考了有关兄弟院校的讲义及著作,并得到了兄弟院校的大力支持和帮助,焦作市气动液压件厂提供了部分资料,在此一并表示感谢。

由于现代设计理论与方法是一门新开设的课程,其理论体系与内容诸方面仍在不断探索之中,许多问题还在不断发展。加之编著者水平有限,因此本书谬误之处在所难免,恳切希望各位读者指教,提出批评意见与建议,我们由衷地欢迎和感谢。

编著者

1998年10月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 现代设计理论与方法概述	(1)
第二节 现代设计与产品	(3)
第三节 现代设计理论与方法研究概况	(6)
第四节 现代设计理论与方法课程的性质和主要内容	(7)
第二章 设计方法总论	(8)
第一节 设计进程与产品规划	(8)
第二节 方案设计和创造性激智技术	(11)
第三节 技术设计与人机工程学	(32)
第四节 设计中的评价与决策	(44)
第三章 现代设计计算导论	(69)
第一节 机械优化设计	(69)
第二节 CAD 技术	(84)
第三节 可靠性设计	(107)
第四节 机械产品可靠性优化设计实例	(124)
第四章 相似性设计和模块化设计	(131)
第一节 相似理论与相似准则的计算	(131)
第二节 模化设计与模型试验	(138)
第三节 相似系列产品设计	(140)
第四节 模块化设计	(146)
第五章 机械动态设计与载荷谱	(151)
第一节 载荷谱	(151)
第二节 弯曲振动分析设计	(159)
第三节 扭转振动分析设计	(172)
第六章 有限元方法原理及应用	(179)
第一节 有限元方法计算刚度和应力的基本原理	(179)
第二节 机械结构平面问题的有限元分析	(185)
第三节 单元类型及选用	(193)
第四节 有限元方法在机械结构动力分析中的应用	(204)
第五节 机械零件强度的有限元分析	(213)
第七章 模态分析设计方法	(216)
第一节 概述	(216)

第二节	模态分析的基本理论.....	(217)
第三节	机器动态性能优化原理.....	(234)
第四节	应用实例.....	(241)
第八章	设计实例分析.....	(249)
第一节	高精度外圆磨床模块化设计.....	(249)
第二节	电子皮带称设计.....	(255)
参考文献		(264)

第一章 绪 论

第一节 现代设计理论与方法概述

一、现代设计理论与方法的概念

设计理论与方法主要研究设计过程的本质、有关设计的一般理论及解决实际问题的方法与手段,以期在实际设计工作者提供必要的指导与帮助。

现代设计是面向市场、面向用户的设计,企业制造出来的产品要面对激烈竞争的市场。用户满意的标准常常受到各种因素的左右,实质上还是产品的性能(含质量)和价格(含与效益有关的其它因素)两个方面,面向用户的设计就是在这样的环境下运行。在争取用户满意的竞争中,现代设计要求对产品进行全寿命周期设计。这就是说,在设计时要考虑设计、制造、安装、运行、维修(含产品升级)、报废(废品处理和部分再循环使用)每一个阶段中的用户要求。人、机、环境之间的关系对设计提出了越来越苛刻的要求,少维修与免维修常常是实用产品追求的目标;简单的更换就能使产品升级换代,这是当今产品品种迅猛发展的形势向产品设计提出的新问题;设备报废后的处理也必须在设计中予以考虑等等。全寿命周期设计为设计提出了一个新的概念,即设计对象是一个时变系统。设计这种时变系统,不仅设计工程师要了解设计对象的时变规律,而且还要让用户随时知道产品使用过程中的状况,因此,对于重大产品,具有状态监测和故障诊断子功能是设计时必须考虑的,同时,对于要求状态稳定的产品,状态补偿和控制子结构也将在未来的产品中得到广泛应用。

许多现代机器,实际上就是一个机器人,现代设计面对的系统越来越复杂,今后越来越多的机器将具有机器人的特征,而且对这些机器人智能化的要求也越来越高。机器具有感觉,能知道载荷及其变化,载荷信号传到控制器,机器“大脑”经过“分析”、“思考”,由预先“学习”到大脑里面的控制策略作出决策,并向执行器发出指令,以适应环境变化。机器还可以通过多种方式,包括用语言(多媒体)告知运行人员载荷的变化,甚至告诉操作者运行中将要发生什么问题,同时实现了状态监测和故障诊断要求。

现代设计的设计对象不断进入过去未达到的领域,不需要过多地展开就可阐明人类正在进入太空:高真空、强辐射、大温差、长寿命要求;微观世界、生命科学等对产品性能要求的递增速度从来没有像今天这样快。设计的技术需要多层次、多方面的支持和巨大的投入。主要是知识(含人才)和资金,现代设计对投入的需求是难以想象的。

上述分析表明,设计知识是一个动态集合,认为查手册就可以搞设计的时代已经一去不复返了。在机械设计领域,常规的设计方法受到很大的冲击,用科学的设计方法代替经验的、类比的设计方法已势在必行。缩短设计周期、提高设计质量、发展设计理论、改进设计技术及方法就成为当前机械设计领域中重点研究的内容之一。

二、传统设计与现代设计

1. 传统设计

传统设计常称为经验设计,是当前用得十分普遍的设计方法。它是以生产经验为基础,运用力学和数学形成的经验公式、图表和手册等作为设计的依据和指导准则,是一种半理论、半经验的设计方法。在丰富的设计实践的总结基础上,利用类比法,使用经验数学公式进行必要的计算。可见,传统设计是一种类比、经验、试凑的设计方法,动用的数据和计算是经验的总结与概括,因此总要受到当时科学技术的限制,其中忽略了许多重要的因素,而造成设计结果的不确切和错误。一个产品的开发需要经过设计——试制——修改的反复循环,在当今产品的功能要增强、原理要创新、经济寿命期要缩短、技术更新速度加快的情况下,传统的常规设计方法在设计科学性上和周期上显得十分不足。

2. 现代设计

现代设计是基于知识的设计,有别于过去的基于经验的设计,设计是否成功,取决于其中现代知识的含量,所以知识的获取就成为问题的关键。设计知识的获取有两个方面内容:技术方面和管理方面。基于知识的设计必须建立在对设计对象不断深入了解的基础上,它有别于基于经验的设计。经验设计主要依赖公式、曲线、图表、手册,即已有的经验。现代设计除结构与行为映射文献的知识外,还有市场竞争与用户需求文献的知识、原料来源和生产成本方面的知识、制造过程与质量控制方面的知识。现代设计知识一个重要的特点是:由于对象和环境的千变万化而需要不断补充和更新,所以,设计知识的获取就成了设计工作中日常要处理的最重要的工作。再不是一本手册可以用多少年的时代了。

现代设计知识通常有6个方面来源:已有的设计经验;市场信息;大规模数字仿真或更高级的虚拟技术,不论前者或后者都是建立在一系列数学模型的基础上;物理模型试验;样机试验;产品现场运行表现及用户反馈信息。将上述6种来源的信息集中处理指导设计的知识。设计知识虽然需要不断补充和更新,但知识获取的框架,在一个时期内则是相对稳定的。因此可建立一个信息处理器,共同或分别处理这些信息。

三、现代设计与传统设计的关系

现代设计的文献和技术的内容广泛,从不同的角度呈现许多不同特点,相对于传统设计有许多优越性,在设计中应充分应用和发挥。现代设计和传统设计的关系是:继承关系、共存和突破关系。

1. 继承关系

现代设计是在传统设计的基础上发展起来的,它继承了传统设计中的精华之处,如设计的一般原则和步骤、价值分析、造型设计、类比原则和方法、相似理论和分析、市场需求调查、冗余和自助原则、积木式组合设计法等等。因此,在介绍某些现代设计方法和技术时,不应片面夸大,成为玄而又玄的法宝,应当认识到,它们有许多内容是传统设计方法的继承、延伸和发展。

2. 共存和突破的关系

从直觉设计发展到经验设计以至现代设计都存在着时序性、继承性,两种方法在一定时期内是共存性的关系。而当前现代设计方法还远未达到成熟和完善的阶段,许多方法的自身理论的建立及其可行性、适应性等还有待于深入探索与研究;一些成熟的内容也还有个掌握和推广的过程,因此,现在正处于旧方法不断改善和新方法不断创建的共荣共存的历史时

期。自然,新的机械产品将随着现代设计方法和设计科学体系的完善而有新的突破。

四、现代设计方法及其特点

现代设计法是以动态、优化、计算机为核心,主要有以下特点:

(1) 程式性 现代设计法研究设计全过程,要求设计者从产品规划、方案设计、技术设计、总体设计、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。强调设计、生产与销售的一体化。设计不是单纯的科学技术问题,要把市场需求、社会效益、经济成本、加工工艺、生产管理等问题统一考虑,最终反馈到质高、价廉的产品上。

(2) 创造性 现代设计方法突出人的创造性,充分发挥设计者的创造性思维能力及集体智慧,运用各种创造方法,力求探索更多的突破性方案,开发创新产品。

(3) 系统性 现代设计强调用系统工程处理技术系统问题。设计时分析各方面的有机联系,力求整体最优,同时要考虑到系统与外界的联系,即人一机一环境的大系统关系。

(4) 优化性 通过优化理论及技术,对技术系统进行方案优选、参数优化、结构优化,争取使技术系统整体最优,以获得功能全、性能好、成本低、价值优的产品。

(5) 综合性 现代设计方法是一门综合性的边缘科学,突破了传统、经验、类比的设计,采用逻辑、理论、系统的设计方法,在系统工程、创造工程的基础上,运用信息论、相似论、模糊论、可靠性、有限元、人机工程学及价值工程、预测学等理论,同时采用集合、矩阵、图论等数学工具和计算机,总结设计规律,提供多种解决设计问题的途径。

(6) CAD 计算机辅助设计全面引入设计,提高设计速度和质量。CAD 不仅在计算和绘图方面,而且在信息储存、预测、评价、动态模拟方面,特别是人工智能等方面将发挥更大的作用。

第二节 现代设计与产品

一、现代产品的特点与开发

现代产品的特点主要表现在广泛采用现代技术,对产品的功能、可靠性、经济效益和社会效益提出了更为严格的要求,而这些特点中,有 60%~70%是取决于设计,因此,研究和采用新的设计方法,在新产品中应体现:

(1) 更好地满足市场需求 在设计的方法上、研制的时间上、采用的技术上要更具有现代化、科学化和高速度,才能提供具有质高价廉的创新产品,在产品市场竞争中获胜。

(2) 新兴技术对产品渗透、改造和应用,使产品的功能和结构产生很大变化 机械产品中日益普遍地采用微机作自动控制,发展为机械—电子—信息一体化技术和产品,使产品在功能上大跨越,机械加工中出现电子束、等离子束、激光和电磁成形等新方法,以加工高强度合金钢、精细陶瓷等;涂层刀具、单晶金刚石使切削金属的能力倍增,给机床设计提出新的要求;甲醇发动机及汽车、电磁发动机的出现,为新的能源利用创造新的途径。因此,高新技术的出现,产品的功能及结构必将发生巨大的变化。

(3) 设计方法和技术的现代化,促使和加速了新产品的开发 控制技术、计算机和应用数学的发展和运用,特别是大型计算机和微型电子计算机的广泛采用,以其具有高速运算、强大的数据处理和进行逻辑推理、判别的功能,组成了新信息技术的群体,使设计方法有很大突破,人工智能、专家系统、自动化技术在产品设计中将发挥愈来愈重要的作用。

二、现代设计开发产品的方法

产品设计有三种类型:开发性设计(按需求进行全新设计)、适应性设计(原理方案不变,只对结构或零件进行重新设计)和变参数设计(仅改变部分结构尺寸而形成系列产品),其中开发性设计要应用各种可行的、有效的现代设计理论和方法。

现代设计是基于知识的设计,开发或设计一个产品的知识有以下来源。

1. 已有知识

经验包括设计过去一代产品的全部知识,既不能仅从书、手册中获取,也不能仅从文献中获取。因为书籍所记载的大约十年前的知识,文献则大约为五年前的知识,更新起来需要很长时间。当然更不能靠个人记忆或设计师把它们抄录在自己的小本子上来存储和使用。因此要研究一个能以知识支持并行的设计环境,包括一个大的知识库和信息传输网络,并将所有的知识经过处理后存储进去。

2. 市场信息

(1) 需求信息,应当有经营管理人员或某种智能系统处理过的、以确定的或模糊的形式给出,使设计人员便于应用。

(2) 供货信息,用多媒体产品目录来准备和处理供货信息,寻找一种更加广泛的信息资源。

(3) 成本信息,包括设计、制造、售后服务、使用过程的成本。

(4) 竞争信息,其它企业投入或即将投入市场的同类或代表产品的性能、价格等方面的有关信息。

3. 数字仿真或虚拟现实

根据系统结构和对系统的输入,预测系统的性能和行为。它是获取关于一种新构思或新知识的有效工具。因为主要是在计算机上操作,通常不制造专用的模型与实物,在软件和硬件的配置上具有很大的柔性,因而能节省时间和资金,可以为设计人员在考察其设计构思时大规模地运用这种关于新设计或新构思的知识,与经验设计相比就属于新知识范畴,这些都是建立在数字仿真或虚拟现实的基础上。

4. 物理模型试验

由于许多过程还没有令人满意的数学模型,而所有的数学模型都是建立在假设的基础上的。为了建立尚不具备的数学模型,以及为了满足对一些由仿真得来的知识在重要应用中从别的方面进行检验的需要,必须做物理模型的试验。没有对物理现象的精确观察就能获得知识是不可想象的,这对研究开发基础薄弱、设计知识贫乏的制造业尤为重要。由于没有充分掌握必要的准确的设计知识而造成重大经济损失的教训,早年有过,现在还有。

5. 样机试验

在设计物理模型试验时所做的系统条件转换是否正确,由样机试验来回答。样机试验所得的信息的采集、传输、存储、整理,特别是由此而得到的信息,如何与上述其它方面得到的信息一起尽快变成设计知识,使获得的新知识服务于新一代产品的迅速投产是需要研究的重要的知识工程。

6. 产品运行表现(用户反映)

面向用户的制造业要做全寿命周期设计,包括考虑售后服务以及人、机、环境关系。有了问题就下现场,解决了问题就回来,没有形成一条设计知识反馈的完备渠道。技术上要建立

网络,使这条渠道能够畅通。所设计的产品要有必要的状态监测子系统,这是企业收集自己产品性能时变规律第一手材料的最好的手段。对于重要的为数不多的固定式产品,其状态监测子系统所测得的信息通过各种通讯网络直接传送到企业设计部门。企业可以长期记录和观察它的产品的运行、退化、恢复、再退化直到报废的全过程。对于移动式产品(船舶),在非紧急情况下状态信息可以存储在计算机相应的数据库中,到达基地后用某种载体将它送入网络。而对紧急情况,只好依赖无线通讯。通常材料的性能和工艺过程质量是比较难控制的,但当设计师把所有要素都放在一个系统中变成产品时,就容易解决了。

三、常用的现代设计方法和技术

现代设计方法和技术的种类繁多,内容广泛,有人将 28 种方法按名称特征、目的列成“设计方法一览表”;有人将 60 余种方法按设计阶段列成“方法矩阵”;有人将它们聚类归纳为十大类,这些工作和尝试对人们全面了解众多的设计方法和技术起到了一定的效果,这里我们着眼于了解和掌握一些重要的、行之有效的现代设计方法与技术,如设计程式、优化技术、CAD 技术、可靠性设计、相似性设计和模块化设计、工作载荷与动态设计、有限元、模态分析等方法和技术,在设计产品中,可以起到某些独特的效果和作用,其具体内容见后面各章。这里仅提出要注意的问题。

1. 科学的思维方法

科学的思维方法有助于引发创造性设计。

(1) 强化创新动因的组织形式群体激智、互相启发、激励动因,诱发出更多的创造设想。

(2) 扩展思路 通过逻辑推论、强制联想等扩展思想,将复杂问题分解为若干便于解决的小问题;又可将问题涉及的方面、因素、特点进行推理,乃至分解和组合,以纵横展开,从中发现好的创新方案。

(3) 以非推理因素激发创新思维 用多种联系、类比或隐喻、摆脱归框的束缚、探索新的设想。

2. 信息与信号分析

信息与信号是两个既有区别而又相关的含义,信号是随时间或其它因素而变化的量,包含着被测物理系统的状态或特性,而信息是将信号经处理后而成为决策的数据或基本事物。各类信息在产品开发中起着决策、调节控制和检查考核的作用。通过信号分析,提取信息以转换为设计与分析的科学方法,在设计中需要从测试现场调查提取各种信号,运用分析处理辨识后,确定相应的各种要求的数据,同时也是各种优化设计和计算机辅助设计等必要的运算基础。这与传统设计中,在有限的、模糊的经验数据中挑选设计数据是不能比拟的。

3. 经济性的评价方法和有效的设计方法

产品的经济性意味着在保证功能的基础上,有效地利用能源、人力和物力,讲究成本和周期,是评价和审定的一个重点。价值工程是现代设计和管理中用途广、简单易行、效果显著的评估经济性的方法。

(1) 价值工程 价值工程又称价值分析。价值是产品功能与成本的综合反映,只有从提高性能和降低成本两个方面同时努力,才能最大限度地提高产品价值,价值分析中所用的成本是寿命周期成本,并是生产和使用成本的总和,价值=功能/成本。价值分析是将技术与经济结合起来,有机地研究和处理产品功能与成本之间的关系,以寻求用最低的成本取得产品理想的或必要的功能,从而获得最优经济效益。

(2) 模块化设计法 针对产品类型和规格要求多样化的情况下,采用模块化(积木块)的设计方法,它是采用几种基本组件块,以满足使用最广、产量较多的“基型”产品设计的要求,再按模块化原理和“相似原理”进行变型设计、“适应性”设计、“系列”设计,设计出既能满足各类用户不同的要求,又具有高度通用化的、模块化的变型产品和系列产品。传统做法是按用户要求重新组织设计、制造,因而设计工作量大,且设计、制造周期长,产品成本高。可见两者差别很大,模块化设计法具有无可比拟的优越性。

第三节 现代设计理论与方法研究概况

一、设计发展史

当前设计理论与方法研究在国际上受到普遍重视。多年来,欧洲工业国家率先开展有关研究,并且日益走向深入,取得了很多科学成果和巨大经济效益。当然,随着生产的发展,其本身也在不断发展。可划分为三个主要阶段:萌芽期、发展期和走向世界。

1875年,德国的 F. Reuleaux 在《理论运动学》一书中,第一次提出了“过程规划”的模型,即对众多机械技术现象中本质上统一的东西进行抽象,形成一套综合步骤,到本世纪 40 年代,R. Franke 等科学家相继在程式化设计及其应用等方面做了许多本领域的研究工作。

第二次世界大战后,60 年代初期,欧洲国家在美国产品大量涌入的情况下,提出了“关键在于设计”的口号。慕尼黑大学 W. G. Rodenacker 提出了设计过程、设计中的转换等的研究,随后 G. Pahl 和 W. beitz 出版了《设计学》,德国工程师协会还制订了一系列与设计方法学有关的指导性文件,总结了大量的研究成果。

60 年代后期,在欧洲就召开过有关设计的国际会议。70 年代后期,欧洲设计组织 WDK (Workshop Design Konstruktion) 成立。WDK 发起,组织了一系列国际工程设计会议 ICED,同时组织出版 WDK 丛书,推动设计方法学研究走向世界,1985 年 9 月美国国家科学基金委员会(NSF)召集有关行业专家进行了专题讨论,制定了研究计划,并从 1989 年开始,组织自己的国际设计理论与方法学会议。我国 1981 年参加了 ICED 会议,1986 年成立了全国设计方法学研究会,1989 年研究会与机械设计学会中的设计理论专业委员会合并,成立设计理论与方法学专业委员会,统一组织活动。

二、各国研究概况

“设计方法学”是本领域较早的提法,主要来自欧洲。瑞士苏黎世高等工业学校的 V. Hubka 博士提出,主要研究设计中的战略问题和战术问题。WDK 的主要成员来自瑞士、丹麦和加拿大,他们组织召开工程设计会议,编辑出版 WDK 丛书,为推动本领域研究做了很多工作。

英国科学和工程研究会制定了工程设计创新计划,指导设计研究的开展,建立了一些设计研究中心,对并行工程、复合材料、CAD 及控制系统设计、市场分析、专家系统、健壮设计、设计模拟、功能模拟、组合优化等许多方面进行了研究,取得一些成果。

美国的提法是“设计理论与方法学”,覆盖有关理论、方法及手段研究。由于美国计算机技术特别发达,对本领域的研究影响较大。1985 年美国国家基金委员会建立了设计理论与方法学计划办公室,提出了设计的科学理论、设计环境基础及设计过程模型等三项研究资助目标。1987 年美国机械工程师协会建立了设计理论与方法(DTM)研究会,1991 年 2 月美国

国家研究委员会的工程设计理论及方法学委员会提出了研究应遵循的十点国家研究纲要,表明了他们对本研究的设想。

早在 70 年代,日本东京大学北乡薰教授就主持编辑出版了设计理论丛书,全面介绍了新的设计理论与方法。70 年代末期,吉川弘之教授提出了通用设计理论,以公理、定理的方式阐述了有关设计理论,并报导了 CAD 的实际应用,取得了不少成果,使日本经济实力很快增长。

70 年代末,为了适应科技及生产发展需要,中国提出开展设计方法学研究。1986 年成立了全国设计方法学研究会,开展学术活动,出版有关书籍,制定有关名词术语,推动本领域的研究工作,1989 年成立了设计理论与方法学专业委员会,出版丛书开展学术活动。1991 年国家自然科学基金委员会组织编写了发展战略调研报告,强调设计理论、设计方法和设计技术的研究,之后,有关高校纷纷开出课程,编写设计丛书和成套培训教材,组织培训班。开展设计方法学、可靠性、优化、工业造型、反求工程等培训,取得了很大成功。同时机械工程师进修大学也开设了相应课程。

目前,设计理论与方法的研究涉及领域不断扩大,理论研究继续发展,更加深入,先进的设计方法不断出现,面向实际应用范围愈加广泛,设计支持系统不断发展,可以预计研究水平将不断提高,一定能促进国民经济建设的发展。

第四节 现代设计理论与方法课程的性质和主要内容

一、课程的性质与主要内容

现代科学技术的发展,对产品提出了功能更高、可靠性、经济性更好的要求,迫使设计者要从经验的、静止的、随意性很大的传统设计中摆脱出来,通过运用计算机技术和各种新的科学理论,收集和分析获取必要的信息,用快速寻优设计出最佳结构、进而应用 CAD 技术进行零部件设计,满足市场竞争的需要。因此,现代设计理论与方法课程是一门技术基础课,要求具有广泛的工程数学、力学、机械动力学、测试信号分析、CAD 等基础知识,为进一步学好该课程打下基础。同时现代设计理论与方法课程又是一门应用技术科学,其主要内容为软科学和硬科学两部分。前者是设计方法总论,包括设计过程及特点、设计进程、设计程式、步骤及评价方法,后者包括基本理论及技术,主要有优化理论、可靠性、CAD、相似理论、动态设计等理论及技术。

二、本课程的学习方法

现代设计理论与方法是一门应用科学,具有很强的理论性和实践性,它要求学生首先必须学习好高等工程数学、力学、机械设计基础、测试技术等课程,获得必要的基础理论,第二要搞好实践性环节,如金工实习、机械制图测绘、机械设计的课程设计等,深入现场,了解各类机器的原理及结构特点,尽可能地做到举一反三、灵活运用。

在具有以上基础理论后要注意学好本课程的基本知识、基本理论和基本技能,认真做好大型作业和上机实习,进一步理解本课程的内容。

第二章 设计方法总论

第一节 设计进程与产品规划

一、设计及其特点

设计是人类征服自然、改造自然的基本活动之一。人类为了适应生存环境和条件,在不同阶段会提出不同的需求,一种需求满足后又会在在此基础上提出更新、更高的需求。设计的目的正是为了满足人类的这种需求。

设计是一种创造性劳动,其本质就是创新。通过直觉、推理、组合等途径,探求创新的原理方案与结构,创造出新的事物。这种新事物可以是前所未有的东西,也可以是已知事物的不同组合。但这种组合结果不应是简单的重复,而总要伴随着某种新的成分出现。例如测绘和仿制一台机器,尽管结构复杂,零部件也可能成百上千,但如果没有任何创新,不能称其为设计。近年来应用于煤矿采煤机械液压系统上的一种高压软管快速接头,突破常规的结构方式,采用U型插销较好地解决了连接和拆除的快速、简捷性问题。这种快速接头,其零件不过数个,结构也很简单,由于有所创新,所以它的开发过程可称为设计。

设计是建立技术系统的重要环节,对产品的技术、经济效果起决定性作用。根据德国工程师协会文件VDI2225的调查分析,产品成本的75%~80%是由设计阶段确定的。不同的方案、不同的结构、不同的材料、不同的加工要求都将对产品成本产生直接的影响。设计失误将导致产品质量下降或使技术系统在一定范围遭受损害或完全破坏,并有可能使有关人员受到伤害。由于这是系统设计者在思维过程中存在缺陷导致的灾害,故称为“思维灾害”或“设计灾害”。

由于设计的发展,设计所涉及的领域正在不断扩大,人们对设计的理解也不尽相同,但目前都公认设计具有以下特点:

- ① 设计是为了满足客观需求,需求是设计的源泉;
- ② 设计的本质是创新;
- ③ 设计具有多重性,在给定条件下寻求“最优解”是设计的目标;
- ④ 设计是建立技术系统的重要环节,对产品的技术、经济效果起决定性作用;
- ⑤ 设计主要是智力工作;
- ⑥ 设计是发展的,设计所涉及的领域不断扩大,设计所采用的方法和手段不断丰富和完善。

二、设计过程与进程

设计过程指的是从接到设计任务、确定设计要求到完成整个设计工作的全过程。为了更好地完成设计任务,设计人员针对设计工作的具体步骤所制订的计划与安排,称为设计进

程。要做到设计科学化,首先应该使设计进程科学化。

设计过程主要是智力活动过程,它与设计人员的思维活动密切相关。同时设计过程又是一个分阶段、分层次、逐步逼近解答方案并逐步完善的过程。

由于设计类型、性质、以及学术观点和倾向性不同,各国设计进程的模式也不尽相同。我国机械产品的设计,长期以来所沿用的设计进程模式为三段式,即方案设计、技术设计和施工设计。德国采用四段式,即产品规划、初步设计、草图设计和工作图设计。其后三段与我国的模式相同,只是在方案设计前增加了产品规划。我国企业的产品规划工作一般是由设计部门以外的诸如企业的技术发展部门、技术委员会等承担。从我国实际情况出发,设计人员直接参与产品规划,直接参与设计要求的确定,对产品设计是有益的。特别在目前市场经济条件下,社会的需要、市场的供求关系、产品功能的适应性以及市场的价格接受能力都和产品设计有着愈来愈紧密的关系。因此,本书推荐的机械产品设计进程为四段式,即产品规划阶段、方案设计阶段、技术设计阶段和施工设计阶段。如图 2-1 所示。

三、产品规划与设计要求表

产品规划阶段的主要任务是通过市场调研、技术调研、社会环境调研来制订可行性研究报告和设计要求表。

产品规划在整个设计过程中起着战略指导作用,不仅能有效的防止或最大可能地减少因决策失误所造成的损失,使设计过程少走弯路,而且为整个设计指明了方向和预期的目标。

市场调研一般包括以下几个方面:市场需求及发展趋势;产品的销售对象及可能销售量;用户对产品功能、性能、包装及价格等方面的要求;竞争产品的种类、优缺点及市场占有率;竞争企业的经营实力和状况等。技术调研一般包括行业技术与专业技术的发展动态;国内外产品技术的现状及发展趋势;有关的新型元器件、新材料的发展动向等。社会环境调研一般包括有关的经济技术政策(如行业发展规划、政策鼓励的投资方向、环境保护及安全法规等);产品投放地区的人员结构、消费水平、消费心理、风俗习惯;产品对社会环境的影响等等。

市场需求一般分为显需求和隐需求。像汽车、住房、衣服、面包等人们熟悉且明显意识到的需求属于显需求;暂时还没有被人们普遍意识到的但客观存在的需求称为隐需求。例如近年来发展起来的方便面、纯净水、冰茶等。往往显需求领域竞争比较激烈,而隐需求的识别又不那么简单。因此设计人员在产品开发时不仅要开发那些满足人们显需求的产品,而且要投入更大的精力去开发那些满足人们隐需求的产品。

在对需求关系进行考察和分析论证以后,必须考虑产品的设计策略,以指导下一步方案构思和整个设计过程。首先要处理好产品先进性、功能与成本三者之间的关系。采用先进的技术、先进的工艺以及新的材料往往能降低成本、提高性能。但是在确定产品功能时一定要充分考虑市场的承受能力。并不是功能愈多、价格愈高愈好。在满足功能的条件下,确定合适的性能价格比。

通过对市场、技术和社会环境的综合调研,提出的产品开发可行性报告,一般包括以下内容:

- ① 产品开发的必要性,市场需求分析和动态预测;
- ② 国内外现状、发展趋势及本项目所处的地位;

阶段	步 骤	工作成果
明确设计任务 产品规划	任 务 调查研究 可行性分析 明确设计任务	可行性报告 设计要求表
方案设计	总功能分析 功能分解 功能元求解 功能元解组合 系统原理解(多个) 试 验 评 价 最佳原理方案	原理参数 方案原理图
技术设计	总体设计 结构设计— 构形 —选材料 —定尺寸 价值设计—提高性能 —降低成本 结构方案(多个) 试 验 评 价 最佳结构方案 造型设计	参数尺寸计算 文件程序 结构装配草图总体图、外形图
施工设计	零件图 装配图 技术条件	全部生产图纸技术文件
	试 制 投入生产	

图 2-1 机械产品典型设计进程