

工程机械设计与维修丛书

# 现代设计技术

王国强 常绿 赵凯军 杨好志 等编著



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

工程机械设计与维修丛书

# 现代设计技术

王国强 常 绿 赵凯军 杨好志 等编著



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

本书介绍了现代设计技术的主要内容,包括优化设计、有限单元法、可靠性设计等相对成熟的现代设计技术和虚拟设计、模糊设计、人工神经网络、绿色设计、并行设计、反求工程技术等现代设计技术的前沿。本书将现代设计基础理论、现代设计工具软件及工程应用实例密切结合,通过工具软件及工程应用实例使读者掌握现代设计技术的实质内容及工程应用技巧。实用性强。

本书可供从事工程机械、建筑机械、矿山机械及起重运输机械等科学研究及产品设计开发的工程技术人员、管理人员及理工院校有关专业的高年级本科生、研究生和教师使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

现代设计技术/王国强等编著. —北京:化学工业出版社, 2006.6  
(工程机械设计与维修丛书)  
ISBN 7-5025-8949-X

I. 现… II. 王… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 068612 号

---

工程机械设计与维修丛书

### 现代设计技术

王国强 常 绿 赵凯军 杨好志 等编著

责任编辑:任文斗 张兴辉

文字编辑:闫 敏

责任校对:于志岩

封面设计:尹琳琳

\*

化学工业出版社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 373 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8949-X

定 价: 32.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

## 序

近年来,在国家宏观调控政策的影响下,我国工程机械产业进入了加速增长阶段,呈现出前所未有的繁荣态势。工程机械装备已经成为我国国民经济发展的支柱产业之一,占据世界工程机械总量第七位。随着国家西部大开发战略的实施,南水北调工程、西电东送工程、青藏铁路工程的启动,迎接北京2008年奥运会的基础设施及场馆建设、推进乡镇农村经济发展、上海黄浦江两岸开发及世博场馆的投入、振兴东北老工业基地等众多国家发展战略的实施,都为国内工程机械产品市场的发展提供了良好的空间,同时也必将有力地拉动相关产业的发展。

据介绍,亚洲其他国家、拉丁美洲和非洲的一些国家最近也相继出台了大规模扩大公路及其他公共设施建设的计划,这无疑对工程机械的需求将大幅度增加,也为我国工程机械发展全球市场策略提供了最具竞争力的契机。

从20世纪后期开始,国际上工程机械装备的生产注重向大型化、微型化、多功能化、专用化和智能化的方向发展。德国、美国和日本当属工程机械强国,利勃海尔公司(德国)、卡特彼勒公司(美国)、沃尔沃集团(瑞典)、小松制作所(日本)等公司的产品以设计先进、安全可靠、使用寿命长而著称。

我国工程机械行业几经洗礼和经过业内人员的不懈努力,在国际市场上充分显示了强大的生命力。在我国工业化发展进程中,工程机械行业已经由初始发展阶段逐渐走向成熟时期。一些主导产品的研发、设计和制造水平都有相当程度的提高,某些产品质量也达到了用户认可的水平。同时,由于其产品价格相对低廉,在国际市场上具有一定的竞争力。在国内市场处于激烈的成本-价格、质量-规模竞争的形势下,中小型国产工程机械产品在我国显现出了强大的市场占有潜力。但是国际经济市场的变化无时无刻不在冲击着现有的市场份额,市场的占有份额又无时无刻不在重新组合。我国的工程机械行业如何能够继续发展、如何能够尽快提升到我国工业化的第三阶段——强壮期阶段,即无论是对产品的研究、开发、生产以及产品的综合质量和售后服务都进入国际先进行列等问题,都需要认真加以思考。

现在,我国工程机械行业的发展已经有了很好的基础,产品门类,生产规模,大、中、小企业构架和发展环境都比较好,但同国际先进的工程机械制造厂家相比差距还比较大,主要表现在产品的可靠性、使用寿命、绿色工程设计、高新技术的创新应用以及管理模式上。相对而言,我国自主开发能力还比较薄弱,有自主知识产权的产品技术较少,新产品的关键技术大部分还依赖于引进国外技术;另一方面对国外先进技术的消化、吸收、创新不足。其次,对市场反映速度慢,产品更新周期较长。而美国一些机械企业1990年已做到了三个“3”,即产品的生命周期为3年,产品的试制周期为3个月,产品的设计周期为3个星期。我国工程机械的规格还有空缺。以上事实表明:中国工程机械市场虽然仍可保持持续增长势头,但是中国工程机械行业的技术发展仍然任重道远。

为促进工程机械技术的发展,弥补技术图书的匮乏和不足,化学工业出版社邀请吉林大学机械科学与工程学院组织编写了《工程机械设计与维修丛书》,共16本,包括《内燃机》、《液压与液力传动系统》、《电器、电子控制与安全系统》、《底盘结构与设计》、《金属结构》、《人机工程与造型设计》、《现代设计技术》、《液压挖掘机》、《轮式装载机》、《斗轮堆取料机》、《推土机与平地机》、《钻孔与非开挖机械》、《振动压路机》、《现代起重运输机械》、《特种车辆》、《商品混凝土成套设备》。丛书的编写者结合多年的教学、科研、生产及管理的经验,努力将传统的经典理论和现代设计方法结合起来,注重介绍工程机械发展中的新理念、新设计方法、新技术、新工艺和新材料。

《工程机械设计与维修丛书》所有编写工作人员在此对鼓励、支持、帮助过我们的领导、同事、同行、朋友等表示衷心的感谢!

# 前 言

随着新经济时代的到来,市场竞争越来越激烈,越来越全球化,设计在竞争中的作用也将越来越重要。正如美国哈佛商学院的罗伯特·海斯曼在 20 世纪 90 年代所说:“50 年前,企业间的竞争是价格上的竞争,如今是质量上的竞争,而未来则是设计上的竞争。”

新技术与新产品的自主研究与开发,对于企业来说是至关重要的,其核心是研究设计出高质量的产品,也就是要把产品开发过程中的质量工程放到首要的位置上。新产品的研究与开发、老产品的改造以及装备基地的建设都离不开产品的设计工作,产品的设计是产品研究与开发过程中十分重要的环节,它对产品的质量起着至关重要的作用,它决定了产品“先天性优劣”这一至关重要的本质特性。产品设计是制造业的灵魂,产品的结构、功能、质量、成本、交货时间及可制造性、可维修性、报废后的处理以及人、机、环境关系等,原则上都是在产品的设计阶段确定的。据统计,产品生命周期成本的 80%~90%是由设计阶段最早的 10%~20%的环节决定的,产品设计对产品质量的贡献率可达 70%。合同生产型企业的设计开发周期要占整个产品交货期的 60%以上。因此,产品创新设计的能力已成为决定企业乃至国家在全球化竞争中地位的首要因素。

随着产品结构越来越复杂,功能越来越趋向集成化和复合化,新产品开发所需要的知识越来越多,尤其是面对市场国际化的激烈竞争,产品设计活动越来越要求以最短的时间将所需要的新知识融入产品之中。工程机械产品是技术含量和集成化很高的设备,新设备的开发中不断地将人类在各领域的成果融合进来,随着材料科学、加工制造工艺、液压技术、计算机技术、信息技术的进步,每一轮产品都有一些新的技术注入,零部件的更新周期越来越短,新设备的换代越来越快,尤其是大型工程机械的开发,无成熟的经验可借鉴,而又不允许设计中出现任何失误。因此,传统的设计方法不能适应 21 世纪的急剧变化和激烈竞争,充分利用现代的、高科技的设计手段和技术来改造传统的产品设计方法,是提高设计效率和设计质量,提升企业自主创新能力的唯一途径。

本书结合作者多年的教学与科研经验,介绍了现代设计技术的主要内容,包括优化设计、有限单元法、可靠性设计等相对成熟的现代设计技术和虚拟设计、模糊设计、人工神经网络、绿色设计、并行设计、反求工程技术等现代设计技术的前沿。本书将现代设计基础理论、现代设计工具软件及工程应用实例密切结合,通过工具软件及工程应用实例使读者掌握现代设计技术的实质内容及工程应用技巧。

全书共分 10 章,第 1 章介绍了现代设计技术的内涵和发展现状,第 2 章介绍了优化设计理论及基于 MATLAB 的应用,第 3 章介绍了有限元理论和基于 ANSYS 的应用,第 4 章介绍了可靠性设计理论及应用,第 5 章介绍了虚拟设计及基于 ADAMS 的应用,第 6 章介绍了模糊设计的理论及应用,第 7 章介绍了人工神经网络的基本理论及基于 MATLAB 的工程应用,第 8 章~第 10 章分别介绍了绿色设计、并行设计和反求工程技术的基本概念和关键技术。

本书由吉林大学王国强、李春、王妍静、刘新岩,淮阴工学院常绿,沈阳重型机械集团有限责任公司赵凯军,沈阳矿山机械集团有限责任公司杨好志和广西柳工机械股份有限公司

林建荣等编著。参加编校工作的还有吉林大学姚树建、李文亮、张宁、闫振华、王继新、冯素丽、崔国华、于向军和魏秀玲等。全书由杨力夫主审。

许多领导和专家对本书的编写与出版工作给予了热情关怀与鼓励。原机械工业部副部长赵明生，国家发展改革委员会经济运行局李镜，加拿大维多利亚大学董佐民教授等以不同的方式关心本书编写工作的进展，并对现代设计技术在企业的推广应用提出了宝贵的建议。本书的编写参考了国内外学者公开出版的相关教材、专著和文章，作者在此一并表示衷心感谢。

由于现代设计技术内容广、发展快，有些内容未能收入本书，加之作者水平有限，不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作 者

2006年6月于吉林大学

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 现代设计概述 .....	1
1.2 现代设计技术的范畴 .....	3
1.3 现代设计技术特点 .....	3
1.4 学习现代设计技术的意义 .....	6
<b>第 2 章 优化设计</b> .....	7
2.1 优化设计的基本概念 .....	7
2.2 基于导数的优化算法.....	10
2.2.1 梯度法.....	10
2.2.2 牛顿法.....	12
2.2.3 共轭梯度法.....	14
2.3 非导数优化算法.....	16
2.3.1 随机方向法.....	16
2.3.2 复合形法.....	17
2.3.3 遗传算法.....	20
2.3.4 模拟退火算法.....	24
2.4 优化设计工具软件.....	28
2.4.1 MATLAB 概述 .....	28
2.4.2 MATLAB 优化工具箱 .....	31
2.4.3 典型优化函数.....	32
2.5 优化设计实例.....	35
2.5.1 钢球磨煤机工作参数的优化设计.....	35
2.5.2 提高开式齿轮传动寿命的优化设计.....	38
<b>第 3 章 有限单元法</b> .....	42
3.1 有限单元法分析的基本步骤.....	42
3.2 一维问题的有限单元法.....	44
3.3 平面问题的有限单元法.....	47
3.4 空间问题的有限单元法.....	58
3.5 有限元分析计算机程序.....	61

3.6 实例分析	67
3.6.1 球磨机回转体有限元分析	67
3.6.2 装载机倾翻保护结构有限元分析	71
<b>第4章 可靠性设计</b>	<b>75</b>
4.1 可靠性设计的基本概念	76
4.1.1 可靠度与失效概率	76
4.1.2 失效率	76
4.1.3 平均寿命	78
4.1.4 可靠寿命	78
4.1.5 维修度等有关尺度	79
4.1.6 有效度	79
4.1.7 重要度	80
4.1.8 经济指标	80
4.2 零件的可靠性设计	80
4.2.1 零件机械强度可靠性设计	80
4.2.2 零件疲劳强度可靠性设计	85
4.3 系统可靠性设计	90
4.3.1 串联系统可靠性	91
4.3.2 并联系统可靠性	91
4.3.3 串并联系统的可靠性	92
4.3.4 表决系统的可靠性	92
4.3.5 贮备系统的可靠性预测	93
4.3.6 复杂系统的可靠性	93
4.3.7 系统的可靠性分配	96
4.4 可靠性设计实例	98
4.4.1 齿轮传动的可靠性设计	98
4.4.2 转轴可靠度的计算	101
4.4.3 系统可靠度的计算	102
<b>第5章 虚拟设计</b>	<b>104</b>
5.1 虚拟设计的基本概念	104
5.1.1 虚拟现实	104
5.1.2 虚拟设计的特点	105
5.1.3 虚拟设计的发展趋势	107
5.2 虚拟设计的关键技术	107



5.2.1	建模技术 .....	108
5.2.2	基于知识的虚拟设计 .....	116
5.3	虚拟设计软件 .....	119
5.4	虚拟设计实例 .....	124
<b>第 6 章</b>	<b>模糊设计</b> .....	<b>128</b>
6.1	模糊集合与隶属函数 .....	128
6.1.1	模糊集合 .....	128
6.1.2	隶属函数 .....	132
6.2	模糊优化设计 .....	137
6.2.1	基本概念 .....	137
6.2.2	对称模糊优化设计 .....	140
6.3	模糊可靠性设计 .....	144
6.3.1	模糊可靠性设计的基本概念 .....	144
6.3.2	机械零件的耐磨性模糊可靠度 .....	147
6.3.3	结构断裂模糊失效概率 .....	149
6.3.4	机械系统可靠性指标的模糊决策与分配 .....	151
6.4	模糊设计实例 .....	155
<b>第 7 章</b>	<b>人工神经网络</b> .....	<b>161</b>
7.1	人工神经网络的基本原理 .....	162
7.2	神经元模型 .....	163
7.3	静态多层前向网络 .....	169
7.4	基于 MATLAB 的神经网络的设计 .....	175
7.4.1	感知器神经网络的设计 .....	175
7.4.2	线性神经网络的设计 .....	181
7.4.3	BP 神经网络的设计 .....	186
7.5	人工神经网络在工程实际中的应用 .....	189
7.5.1	特征识别 .....	189
7.5.2	油气悬挂缸的神经网络模型 .....	193
<b>第 8 章</b>	<b>绿色设计</b> .....	<b>197</b>
8.1	绿色设计概述 .....	197
8.1.1	绿色设计的基本概念 .....	197
8.1.2	绿色设计发展历程与未来趋势 .....	198
8.2	绿色设计的内容与方法 .....	200

8.2.1 绿色设计的内容 .....	200
8.2.2 绿色设计的方法 .....	202
8.2.3 绿色设计的关键技术 .....	202
8.2.4 绿色设计工具及绿色设计的原则 .....	204
<b>第9章 并行设计</b> .....	<b>206</b>
9.1 并行设计的基本概念 .....	206
9.2 并行设计的关键技术 .....	207
9.2.1 并行设计的建模与仿真 .....	207
9.2.2 多功能团队的协同工作 .....	210
9.2.3 产品数据交换技术 .....	215
9.2.4 产品数据管理 (PDM) .....	217
9.2.5 面向应用领域的设计评价技术 (DFX) .....	219
<b>第10章 反求工程技术</b> .....	<b>223</b>
10.1 反求工程的基本概念 .....	223
10.2 反求工程技术的相关内容 .....	225
10.2.1 反求工程的设计程序 .....	225
10.2.2 反求工程技术的研究内容 .....	225
10.2.3 反求设计对象类型 .....	227
<b>参考文献</b> .....	<b>231</b>

# 第 1 章 概 论

## 1.1 现代设计概述

设计是设计者为满足社会和人们对产品功能的需要,运用基础知识、专业知识、实践经验和系统工程等方法,进行设想和构思、计算和分析,最后以技术文件的形式,提供产品制造依据的全过程工作。设计是为提供社会所需的产品进入市场所必要的一系列创新思维和活动。设计一直是人类重要的创造活动,从黄帝的指南车,到天工开物中记载的一个个灵巧的机械,到今天的神舟飞船,无一不包括设计的成果。

设计的任务是围绕着开发新产品或改造老产品而进行的,设计的最终目的是提供满足人们需求、具有一定功能、优质高效、价廉物美,并具有市场竞争力的产品。

设计是形成产品的第一道工序。产品的质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平,而产品设计是关键。没有高质量的设计就不可能有高质量的产品。设计本身如果有问题,可能会造成灾难性的损失。因此,设计体现了时代性和创造性。

设计的思想和方法一方面不断影响着人类的生活与生产,推动社会进步,另一方面又受到社会发展的反作用,不断变化和更新。为了反映设计思想和方法随社会发展的变化,通常用“传统设计”和“现代设计”两个术语。实际上,“传统设计”和“现代设计”都只是相对概念。

现代设计是面向市场、面向用户的设计。首先,好的产品始于先进的设计理念和对市场需求的深刻了解以及贯穿整个设计过程中的以人为本的信念。其次,现代设计要求对产品进行全生命周期设计,即在设计过程中要考虑设计、制造、安装、运行、维修和报废等每一个阶段中用户的要求。也就是说,设计不仅要实现产品的基本功能要求,还应该体现人性化和环境友好的先进设计思想。此外,设计对象从最初的单一功能产品变为越来越复杂的系统,功能更加先进和全面,因此需要在设计时运用集成、综合、系统的方法与技术来解决设计问题。

与传统设计相比,现代设计有如下一些具体的特点。

① 传统设计中灵感和经验的成分占有很大的比例,思维带有很大的被动性。瓦特只是在烧开水时发现壶盖不断被蒸汽推动,才触发了发明蒸汽机的灵感。大量的机器是在实践中通过经验积累不断改进,才逐步完善的。但是今天,技术的飞速发展和市场竞争的激烈化,要求人们不断地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。传统的创造与设计过程明显地不能适应这一要求。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,由此产生了创造学、设计方法学、价值工程等理论,在国外很多大学还开设了“设计哲学(Design philosophy)”课程,使今天的设计过程从基于经验转变为基于设计科学,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 传统设计着重于实现产品本身预定的功能,现代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，如果由人承担某项功能从技术经济角度被认为最合理时，决不盲目追求自动化、无人化。

现代设计对人开展了深入的生理学、心理学研究，要求在人与机之间做出最佳的界面设计。还要考虑产品从原材料提取、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 传统设计偏重于强度准则，现代有限单元法、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。任何产品都是由大量随机因素组成的系统，现代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，因此，在现代设计中对工业产品提出了艺术和美学要求，建立了系统的工业造型设计准则和方法，成为现代产品参与市场竞争的重要方面。由于现代设计是“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 传统设计流程如图 1-1 所示。传统设计流程往往是根据任务和目标，先做出第一方案，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。各分系统设计之间缺乏协调，在设计过程中无法对整个系统给出准确的描述，整个系统的性能只能靠实验来检验，缺乏有效的改进系统性能的技术手段，存在重复建模、降低工作效率、产品开发周期长、开发费用高的缺点。现代设计流程如图 1-2 所示。现代设计可运用虚拟样机技术，在样机制造之前就可以预测样机的性能，把机、电、液等不同领域的工程师结合起来，协调设计，减少冗余建模，共享数据，更完整透彻地理解系统模型，对不能够用实验进行校验的场合进行仿真。现代设计可显著降低设计成本，减少设计-实验周期。

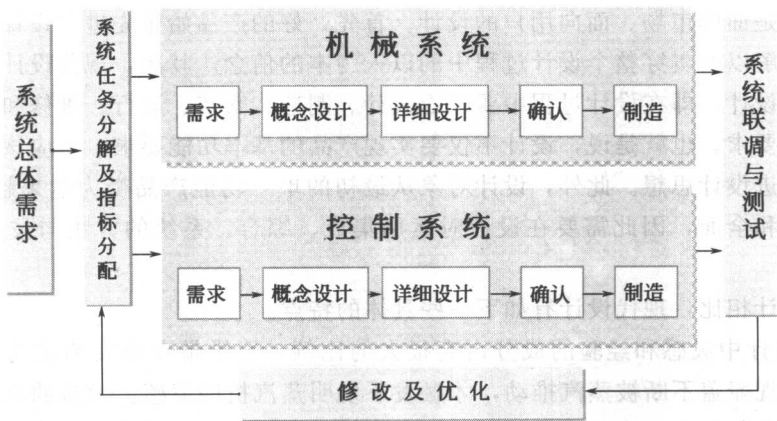


图 1-1 传统设计流程

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，许多原来始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。而代表现代设计的 CAD 技术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代理，屏幕上的三维图形可以直接与人脑中的构思接轨。在传统设计中，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，而今天的虚拟样机技术能对未来机器的运转状态清晰

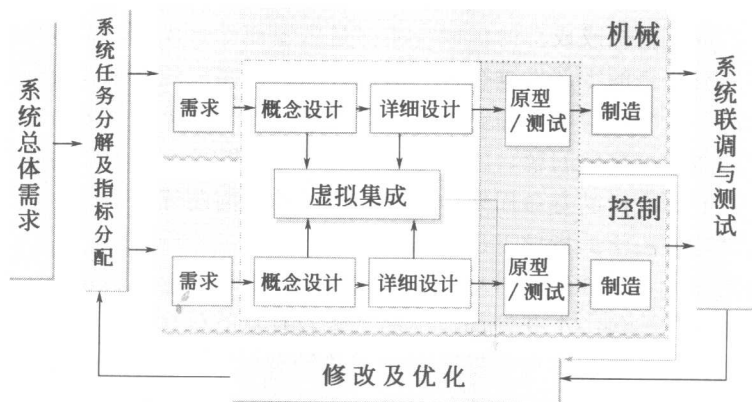


图 1-2 现代设计流程

地加以描述。在传统设计中，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，需一个漫长的过程。而今天并行设计技术，使人们在做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。

## 1.2 现代设计技术的范畴

现代设计技术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。它融合了信息技术、计算机技术、知识工程和管理科学等领域的知识，因此现代设计技术所包含的内容十分广泛。

表 1-1 列出了常用的现代设计技术。

表 1-1 常用的现代设计技术

常用的现代设计技术		
1. 优化设计	9. 损伤容限设计	17. 绿色设计
2. 可靠性设计	10. 摩擦学设计	18. 健壮设计
3. 模糊设计	11. 模块化设计	19. 虚拟设计
4. 工业设计	12. 热稳定设计	20. 智能工程
5. 有限元法	13. 精度设计	21. 反求工程
6. 动态设计	14. 相似设计	22. 设计专家系统
7. 计算机辅助设计	15. 三次设计	23. 神经网络分析设计
8. 疲劳强度设计	16. 并行设计	

## 1.3 现代设计技术特点

在许多情况下，一个设计方案不可能同时满足所有用户的要求，而能满足同一用户需求的设计方案一般来说也不止一个，因此设计具有多解性。通常，设计不可能一次性完成后不再修改或不在新的条件下重新进行，设计要适应不同的条件和要求。设计的多解性为同类功能的产品适应不同要求提供了可能。

设计既要满足用户对产品技术性、经济性和社会性的追求，又必须满足各方面的约束条

件，如加工和制造条件、使用和操作条件、保养和维修条件、运输条件等；设计还需考虑产品本身的系统性，也即整机或成套的机械产品都是由零部件组成的，有竞争力的产品应该用系统工程的方法对合格的零部件进行科学的组合和合理匹配的结果。设计还要面对市场和企业、技术和经济等系统性问题，即要求设计既要满足市场需求，又要考虑企业的发展；既要解决技术可行和产品可靠的问题，又要考虑经济问题；既要解决设计本身的方法、手段和关键技术问题，又要解决产品寿命周期中各个环节的技术问题等。为此，设计有必要在基于系统工程的现代设计方法学的指导下进行。

各种设计都是程度不同的创新活动。科技成果不断以产品形式转化为生产力，设计是实现这一转化的关键环节。每一个开发性设计都意味着有新的科技成果被应用，每一次产品的改进都是一次创新，设计过程体现了设计者的创造性劳动。从新的科技成果到新产品出现，实现这一转化的成功关键在于设计者是否能以不断变化的市场需要为目标，充分发挥自己的综合分析和创新思维能力，善于把新的科技成果进行科学而巧妙的构思并应用到新的产品中。

概括起来，现代设计技术具有如下特点。

#### (1) 设计范畴扩展化

传统设计只限于产品设计，现代设计则将产品设计向前扩展到产品规划，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整体。另外，设计范畴的扩展还体现在面向“X”的设计技术，即在设计过程中同时考虑制造、维修、价格、包装、发运、回收、质量等因素。

#### (2) 设计手段计算机化

传统手工设计正在被计算机辅助设计代替。计算机在设计中的应用已从早期的辅助分析计算和辅助绘图，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在设计中的应用，加快了设计进程，提高了设计质量，方便了与其他部门或协作企业的信息交换。

#### (3) 设计过程并行化

与产品有关各种过程的并行交叉进行，可以减少修改工作量，有利于加快设计进程，提高设计质量。又由于并行设计技术要求团队工作精神，要求各方面专家协同工作，因此有利于得到整体最优解。

#### (4) 设计过程智能化

在传统设计过程中，一切创造性的设计都需要设计人员来完成。在现代设计中，可以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) 设计手段拟实化

在传统设计过程中，产品和零件的外观形状，只有在制造后才能看到。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，使得在零件被制造前就能够看到其形状，可以在此基础上改进设计效果。

#### (6) 分析手段精确化

传统设计中，认为载荷、应力是集成的，依靠加大安全系数来提高可靠性。但在实际中，载荷、应力往往是分布式的，并且提高安全系数并不总能提高可靠性。现代设计则考虑载荷、应力的分布特性，利用有限元等功能强大的分析工具，准确模拟系统的真实工作情况，得到符合实际的最优解。现代设计运用概率论、统计学方法进行产品的可靠性设计。

### (7) 集成设计环境

利用计算机工具软件，可以在系统集成测试与仿真环境下完成产品设计，如图 1-3 所示。将三维实体造型、有限元分析、多体动力学分析、控制仿真等手段综合起来，建立产品的虚拟样机，以求得系统的整体最优解。

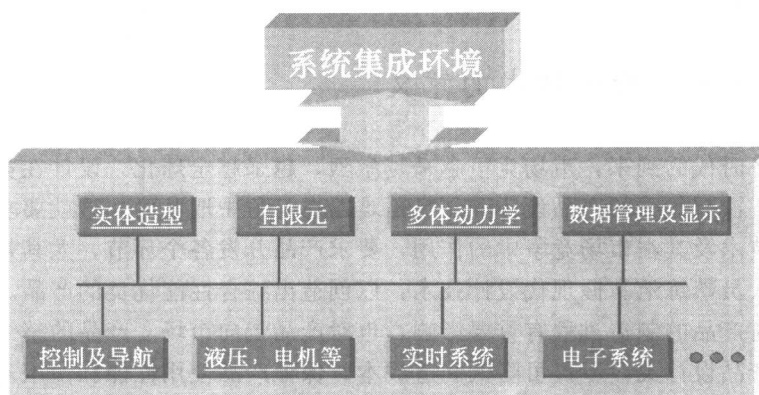


图 1-3 系统集成环境

### (8) 强调设计的逻辑性和系统性

传统设计采用经验法和类比法，现代设计强调设计的逻辑性和系统性。例如，设计方法学中的功能分析法，以“功能原理结构”框架为模型，从抽象到具体，通过框架的横向变异和纵向组合，运用“设计目录”来获得多种设计方案，再通过评比和优化，最终选出最佳方案。

### (9) 动态多变量优化

传统设计过程由于受设计手段的限制，一般只能进行静态分析。现代设计可以考虑载荷谱、负载率等随机变量，进行动态多变量优化设计。

### (10) 强调产品环保性

随着人们对环境问题的重视，要求环境保护的呼声越来越高，这就要求设计出绿色产品，使产品运行过程中污染少，对人体危害小。

### (11) 强调产品宜人性

现代设计除强调产品的内在质量外，还特别强调产品的外观质量，如美观性、时代性、艺术性等，使产品造型具有艺术感染力，令使用者心情舒畅、愉快，满足使用者的审美要求。

### (12) 强调用户参与

用户是产品消费者，仅靠市场调研的结果并不能完全反映用户的需求，所以现代设计强调用户参与设计过程，如此设计的产品才能反映用户需求，取得用户的最大满意。

### (13) 强调设计阶段质量控制

现代质量控制理论认为，产品质量首先是设计出来的，其次才是制造出来的，所以应特别重视设计阶段质量控制，避免设计出来的产品在质量上先天不足。

### (14) 设计制造一体化

传统的设计和制造过程是分离的，从设计到制造要经过好几个过程，往往会造成信息的“误解”；现代设计强调设计、制造过程的一体化和并行化，强调从设计信息到制造信息的

顺畅传递、迅速反馈，设计和制造采用统一的数据模型。

#### (15) 产品全寿命周期最优化

现代设计强调从市场调研、用户要求，到产品规划、产品设计、工艺设计、制造过程、质量控制、成本核算、销售价格、包装运输、售后服务、维修保养、报废处理、回收再利用等产品全寿命周期的综合最优化。

### 1.4 学习现代设计技术的意义

随着新经济时代的到来，市场竞争越来越激烈，越来越全球化，设计在竞争中的作用也将越来越重要。没有优秀的产品设计和创新是难以在竞争中取胜的。这就要求所有相关人员了解现代设计技术及其在市场竞争中的作用，要求产品开发各个环节，尤其是设计与制造环节的工程技术人员熟练地掌握现代设计技术，以创造出综合性能优良的产品。

设计不仅对产品的制造过程有重要影响，也对产品走向市场、产品的整个使用周期有重要影响。把好产品设计关，不仅可降低制造成本，保证产品使用性能和使用寿命，增强产品的市场竞争力，从而产生很好的经济效益，同时，优良的产品设计可降低制造与使用能耗，减少制造使用过程对环境的负面影响，便于资源回收和再利用，有利于人类的可持续发展。此外，为了挖掘市场潜力，开拓新的消费市场，设计人员要以创新性思维发明新的产品或赋予产品以新的功能，以开拓新的经济增长点，增强企业乃至一个国家在经济全球化进程中的竞争力。

要使设计技术更好地在经济和社会发展中发挥积极作用，设计人员及相关工程技术人员必须熟练地掌握现代设计技术，并学会在实践中灵活地运用这些技术。只有这样才可能避免由于设计阶段的不足甚至错误造成制造阶段成本高、周期长和产品使用中性能差、能耗大等缺陷，才有可能及时地把握创新的思想火花，创造出社会需要的综合性能优良的新产品，才能不断提高企业的竞争能力。对于不直接从事设计的管理人员和高层决策者来说，了解现代设计技术的原理和使用，能对设计部门和设计人员制定更加合理的管理与指导政策，更加合理地配备资源，更为重要的是能帮助自己更好地进行宏观决策。现代设计技术大都以计算机技术为基础，并由不同层次的计算机应用软件来支撑，学习现代设计技术的主要任务是了解现代设计的基础理论，掌握实用工程软件的应用，并用于解决工程实际问题。



## 第2章 优化设计

优化设计是在满足一定的约束前提下寻求目标函数极大值或极小值的过程。实际上，自然界中很多现象都是以优化的方式存在的，如在金属和合金中，原子占据能量最小的位置以形成晶胞，这些晶胞决定了材料的晶体结构；在零重力条件下一滴液体的形状是一个完美的球，因为在体积一定的条件下，球的表面积最小；树的支干在根部变粗以抗弯，蜂巢结构是最紧凑的包装排列方式之一等，而遗传和变异对生存来讲是自然界优化过程的又一实例。和自然界一样，社会和企业中的许多问题也在追求最优化状态，然而这些问题的解多数情况下都基于判断和经验。随着企业之间的竞争加剧和用户要求的不断提高，要求得到最优解而不仅仅是可行解，在大规模零件生产中的很小的节约也会给企业带来可观的效益。在车辆设计中，质量的最小化可以影响到燃油效率，提高载重量和性能。

优化设计是应用数学的方法寻求最优设计的过程，所以首先要根据实际的设计问题建立相应的数学模型，即用数学形式来描述实际设计问题。在建立数学模型时需要应用专业知识确定设计的限制条件和所追求的目标，确定设计变量之间的相互关系等。数学模型一旦建立，优化设计问题就变成一个数学求解问题，应用优化理论，根据数学模型的特点，以计算机作为工具，设计优化程序，可求得最佳设计参数。

### 2.1 优化设计的基本概念

#### (1) 优化设计的数学模型

优化设计的数学模型，就是描述优化问题的设计内容、变量关系、有关设计条件和优化意图的数学表达式。

建立数学模型是优化设计的基础，数学模型能否严密而准确地反映优化问题的实质，是优化设计成败的关键。

优化设计的数学模型包括设计变量、目标函数和约束条件三个要素。

#### (2) 设计变量

所谓产品设计，其核心就是要寻找并确定最佳的结构参数。这些参数中，有的可根据标准、规定等选定，在优化设计中可认为是设计常量，有的必须通过设计确定，这些参数称为设计变量。例如在齿轮设计中，可以把静摩擦系数、系列化齿轮传动的中心距等作为设计常量，而把齿数、模数、齿宽等作为设计变量。

设计变量可分为连续变量和离散变量两种。大多数机械优化问题中的设计变量都是连续变量，可用常规的优化方法进行求解。若变量只能取跳跃式的值才有意义，则称为离散变量，如齿轮的齿数、模数等。对于离散变量的优化问题既可以用离散优化方法求解，亦可先将其视为连续变量，用常规的优化方法求得优化结果后，再进行圆整或标准化处理，以求得最优解。

设计变量的个数称为优化问题的维数，如有  $n$  个设计变量，则称为  $n$  维优化设计问题。设计变量  $\mathbf{X}$  可写为