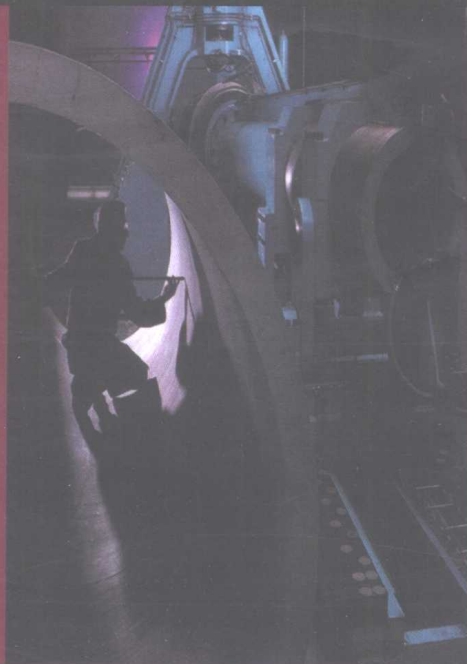


WUTP

普通高等学校机械设计制造
及其自动化专业新编系列教材



主 编 钟志华 周彦伟

现代设计方法

Xiandai Sheji Fangfa

武汉理工大学出版社

普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材

现代设计方法

主 编 钟志华
周彦伟

武汉理工大学出版社

内 容 提 要

社会和经济的发展对产品的设计不断提出新的更高的要求,科学技术的不断进步又为满足这些要求提供了新手段。《现代设计方法》正是讨论在现代科技水平状态下,为满足社会和经济发展的机械产品设计的实用理论和方法。本书共分七章,重点介绍了计算机辅助设计 CAD、机电产品造型设计、计算机辅助工程 CAE、优化设计和机械可靠性设计的基本思想理论和方法等。为反映现代设计方法的发展前沿,第七章还简要介绍了创新设计,快速响应设计,智能设计,全寿命周期设计,并行设计,面向制造的设计和绿色产品设计等几种设计思想和方法。

本书可作为高等学校工程类本科生和研究生教材,也可作为相关工程技术人员和管理决策人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法/钟志华,周彦伟主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2001.8
ISBN 7-5629-1730-2

I. 现… II. ①钟… ②周… III. 机械设计-高等学校-教材 IV. TH122

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市:武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

印刷者:武汉理工大学出版社印刷厂

发行者:各地新华书店

开本:880×1230 1/16

印张:16.625

字数:551 千字

版次:2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-5629-1730-2/TH·52

印数:1~5000 册

定价:25.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

普 通 高 等 学 校
机械设计制造及其自动化专业新编系列教材
编 审 委 员 会

顾 问:陈心昭 王益群 蔡 兰 束鹏程 孙宗禹
洪迈生

名誉主任:杨叔子

主 任:张福润 高鸣涵

副 主 任:杨海成 李永堂 周彦伟 杨明忠

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

王建中	王贵成	王益群	司徒忠	刘玉明
吕 明	许明恒	孙宗禹	孙树栋	朱喜林
陈心昭	李永堂	李 言	李杞仪	陈作柄
杨叔子	杨明忠	陈奎生	陈统坚	严拱标
杨海成	张福润	束鹏程	罗迎社	周彦伟
洪迈生	钟志华	赵 韩	钟毓宁	陶文铨
夏 季	高鸣涵	殷国富	董怀武	曾志新
韩荣德	傅祥志	谭援强	蔡 兰	魏生民

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

出版说明

高等学校的教材建设向来是学科建设和教学改革的重要内容,其对教学过程和教学效果的重要影响是教育界所公认的。但教材建设与教学需要之间的矛盾永远存在也是一个客观的事实。正因为如此,教材建设才具有永恒的意义。特别是在这世纪交替的时期,中国的高等教育所面临的两个重大变革——高等学校本科专业目录调整 and 高等学校管理体制及布局结构调整,都对高校的教材建设提出了更高的要求。随着专业的合并,新专业的专业面拓宽,原有老专业的教材明显不能适应新专业的教学要求;调整后高校规模扩大,招生人数增加,对教材的需求也随之激增。在新的专业目录中,机械设计制造及其自动化专业与原有专业目录有了较大的变化,涵盖了原有的9个专业。相应的专业业务培养目标、教学要求、课程设置、学时数要求、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。为适应新专业的培养目标和教学要求,武汉理工大学出版社在经过全面、细致和深入调研的基础上,组织编写了这套面向全国普通高等学校的新的系列教材。

本套教材面向全国普通高等学校,在保证内容要反映国内外机械学科最新发展的基础上,以满足一般院校的本科专业教学要求,实现专业的业务培养目标为基本原则。遵照全国高校机械工程类专业教学指导委员会制订的专业培养方案和教学计划设置课程体系,突出“系列”的特色,首批编写、出版的21种教材可基本满足一般院校本科教学需要。编写中强调各门课程之间的联系和衔接,强调教材整体风格的统一和协调,力求在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容并大力引入多媒体教学手段等方面取得进展,以形成特色,更好地满足不同学校的教学需求。

本套教材集中了全国30多所著名大学的专家、教授和中青年教学骨干,分别担任系列教材的主编、主审和参编,组成了一个阵容强大、结构合理的编审委员会。特别是第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员杨叔子院士欣然出任编审委员会名誉主任,更增加了编审委员会的权威性。正是由于编委会成员务实、高效的工作,全体编审人员高度的责任心和严谨的治学精神,本套教材才能有这样短的时间内完成编写、出版的任务。杨叔子院士亲自为系列教材作序,更使全套教材光彩倍增!但我们深知,院士为一套教材作序,在国内是十分少见的,这充分体现了杨院士对教学改革及教材建设的热切关注和积极支持。这既是杨院士对编委会此前工作的鼓励和肯定,同时也是对编委会今后工作的指导和鞭策。我们一定不会辜负杨院士以及全国众多院校师生的期望。本套教材首期21种出齐后,一方面我们将在使用教材的广大师生提出意见和建议的基础上不断修订和完善,同时还将根据学校教学改革和课程设置的需要及时增补新的教材,使这套教材真正成为既能满足学校当前教学需要,又能起到推动专业教学内容和课程体系改革作用的一套精品教材。

武汉理工大学出版社

2001.6

序

20 世纪,人类文明达到了前所未有的高度。由于相对论、量子论、基因论、信息论等科学技术成就的取得,现在人类在物质领域已深入到基本粒子世界,在生命科学领域已深入到分子水平,在思维科学领域则主要是数学和脑科学的巨大进步。科学技术的迅猛发展,促使科学技术综合化、整体化以及人文和科技相互渗透、相互融合的趋势加速。

近 20 年来,我们在经济战线上坚持市场取向的改革,实行以公有制为主体、多种所有制经济共同发展的基本经济制度,进行经济结构的战略性调整,推动两个根本性转变以及全方位、多层次、宽领域的对外开放,致使我国的经济体制也发生了巨大的变革。随着社会主义市场经济体制的建立和不断完善,社会对人才需求的多样性、适应性要求不断增强。

在人类即将跨入 21 世纪的时候,我国高等教育战线在教育要“面向现代化,面向世界,面向未来”的思想指引下,开展了起点高、立意新、系统性强、有组织、有计划、有步骤的教学改革工程。伴随着教学改革的不断深入,素质教育的观念、大工程的观念、终身教育以及回归工程的观念日益深入人心,人们对拓宽本科教育口径、加强和扩展本科教育共同基础的要求日益强烈。

1998 年 8 月,教育部正式颁布了新的普通高等学校本科专业目录,专业总数由原来的 500 多种减少至 249 种。新专业目录的颁布,突破了传统的、狭隘的专业教育观念,拓宽了人才培养工作的视野,为人才培养能较好地适应科学技术和社会进步的需要创造了条件。许多学校也都以专业调整、改造和重组为契机,大力调整人才知识、能力和素质结构,拓宽基础,整合课程,构建新的专业平台,柔性设置专业方向,不断深化人才培养模式的改革。

教材建设是学校的最基本建设之一。教学改革的深入发展必然要求有相适应的教材。为适应新的专业培养目标和教学要求,组织编写出版供“机械设计制造及其自动化”新专业的教学用书,特别是系列教材就显得十分迫切和重要了。武汉理工大学出版社的领导和编辑们为改变目前国内已出版的机械类专业教材普遍存在的内容偏深、知识面偏窄的倾向,决定面向全国普通高等学校机械工程类专业的学生出版一套系列教材,这是一个非常好的决策。他们的这一决定也得到了全国几十所院校机械工程系的领导和众多专家、教授的积极响应和大力支持,并提出了许多建设性的意见,其中一些教授如合肥工业大学校长陈心昭教授、燕山大学校长王益群教授、江苏理工大学校长蔡兰教授、西安交通大学副校长束鹏程教授、西北工业大学常务副校长杨海成教授等还非常乐意地承担了该系列教材的主编、主审及编审委员会工作。

编写教材除了应该具有针对性外,还应努力编出特色。根据武汉理工大学出版社和教材编审委员会的决定,该系列教材将完全按照第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会提出的机械设计制造及其自动化宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写,这就保证了该套教材可以具有课程体系新、专业口径宽、改革力度大的特点,并可以满足不同院校办出各自专业特色的需要。

按照教材编审委员会的规划,该套教材首批将推出 21 种,包括机械工程概论、画法几何及机械制图、画法几何及机械制图习题集、机械原理、机械设计、理论力学、材料力学、工程热力学、工程材料、机械制造技术基础、材料成型基础、工程测试、数控技术、机械工程控制基础、液压与气压传动、机械 CAD/CAM、机械工程项目管理、机电系统设计、现代设计方法、精密与特

种加工、机械工程专业英语等,涵盖了机械设计制造及其自动化专业的主要专业基础课和部分专业选修课而形成系列,因而可以较好地满足该专业的教学需要。也正是由于是系列教材,各门课程之间的联系和衔接在教材的策划、组织和编写过程中,都可开展充分的讨论和进行仔细的协调,因此有利于保证整套教材风格统一,内容分配合理,既相互呼应,又避免不必要的重复。

我殷切地希望,这套教材在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容和大力引入多媒体等现代教育技术手段上取得进展,真正成为能满足普通高等学校本科生需要的优秀教学用书,在众多的机械类专业教材中,争芳斗艳,别具特色。

按照武汉理工大学出版社的计划,这套系列教材首批将在2001年秋季全部出齐。金无足赤,人无完人,书无完书。我相信,在读者的关心与帮助下,随着这套教材的不断发行、应用与改进,必将促进机械设计制造及其自动化专业教学用书质量的进一步提高,推动机械类专业教学内容和课程体系改革的进一步深入。

只木独秀难成林,千紫万红才是春!

面向21世纪,希望无限,谨为之序。

中国科学院院士、华中科技大学教授 **杨叔子**
全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

2000年11月18日

前 言

《现代设计方法》这门课的重要性正得到越来越普遍的认识。现代设计方法是先进制造技术不可分割的重要组成部分,是在经济全球化趋势下制造业在激烈的国际国内竞争中取胜的重要工具。对于机电工程技术方面的高级专业人员来说,不了解和掌握现代设计的基本思想、理论和方法是不可思议的;对于不直接从事设计的相关管理人员和高层决策人员来说,了解现代设计方法的原理和作用,也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,从而更好地进行宏观决策。根据社会对高素质复合型人才的要求,我们在编写《现代设计方法》这本教材时,采用了如下指导思想:

一、既保证突出重点,又力求反映发展前沿。由于现代设计方法涉及的面较广,且处于不断的发展变化之中,很难且也没有必要在本教材中详细讨论现代设计方法的全部内容。因此本教材重点介绍了相对成熟的,且在工程实际中得到广泛应用并产生重要影响的几大方法。同时,对处于研究热点并开始得到应用的现代设计方法的几个发展前沿也作了简要介绍。

二、既注重全书的整体性,又照顾各章的独立性,以便于组织教学。本教材作为一个整体,不同章节介绍设计一种机电产品时从不同侧面考虑产品特性设计时所用的理论和方法,各章节力求保持统一风格,另一方面各章节又自成一体,可根据教学计划和学生基础合理取舍。

三、既注意理论的系统性和严密性,又强调方法的实用性。在重点介绍几大现代设计方法时,编者力求系统地、完整地反映该方法的基本思想和理论,同时又不刻意追求深度和广度,以达到实用目的为主。

本书由钟志华主编并编写第一章,周水庭和刘子建编写第二章,杨雄勇、赵江洪和张军编写第三章,龙述尧编写第四章,邓效中和周彦伟编写第五章,高全杰编写第六章,杨旭静编写第七章。

由于编者水平所限,错误与不妥之处在所难免,恳请广大读者指正。

编 者

2001年6月



普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材目录

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1. 机械工程概论 | 12. 工程测试 |
| 2. 画法几何及机械制图 | 13. 数控技术 |
| 3. 画法几何及机械制图习题集 | 14. 机械控制工程基础 |
| 4. 机械原理 | 15. 液压与气压传动 |
| 5. 机械设计 | 16. 机械 CAD/CAM |
| 6. 理论力学 | 17. 机械工程项目管理 |
| 7. 材料力学 | 18. 机电系统设计 |
| 8. 工程热力学 | 19. 现代设计方法 |
| 9. 工程材料 | 20. 机械工程专业英语 |
| 10. 机械制造技术基础 | 21. 精密与特种加工 |
| 11. 材料成型基础 | |

项目负责人: 武汉理工大学出版社策划部

电 话: (027) 87386275

传 真: (027) 87388543

E-mail: wutp@public.wh.hb.cn

责任编辑: 徐秋林

封面设计: 杨 涛

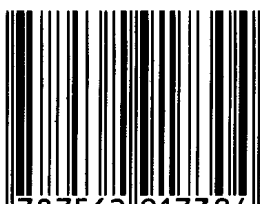
武汉理工大学出版社发行部

电 话: (027) 87394412

传 真: (027) 87651931

邮 编: 430070

ISBN 7-5629-1730-2



9 787562 917304 >

ISBN 7-5629-1730-2

TH · 52 定价: 25.00 元

目 录

1 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 现代设计方法的主要内容	(2)
1.3 学习现代设计方法的意义与任务	(5)
2 计算机辅助设计 CAD	(6)
2.1 概述	(6)
2.2 现代 CAD 技术的主要内容	(9)
2.3 工程数据的处理	(12)
2.4 数据库及应用	(21)
2.5 计算机绘图基础	(28)
2.6 机械工程图的绘制方法	(48)
3 产品设计理论与方法	(52)
3.1 概述	(52)
3.2 产品设计相关因素	(54)
3.3 产品设计程序	(60)
3.4 产品设计方法	(62)
4 计算机辅助工程 CAE	(68)
4.1 概述	(68)
4.2 弹性力学平面问题的基本方程	(69)
4.3 弹性力学平面问题的有限单元法	(76)
4.4 常用应变三角形单元解弹性力学平面问题的程序	(116)
4.5 等参数单元	(126)
5 优化设计	(155)
5.1 优化设计的数学模型	(155)
5.2 优化方法的数学基础	(159)
5.3 一维搜索法	(162)
5.4 多维优化方法	(170)
5.5 惩罚函数法	(178)
习题	(186)
6 机械可靠性设计	(188)
6.1 概述	(188)
6.2 基本理论	(189)
6.3 机械强度可靠性设计	(196)
6.4 疲劳强度可靠性设计	(204)
6.5 机械系统可靠性设计	(212)
习题	(226)
7 现代设计方法发展前沿	(227)
7.1 概述	(227)
7.2 创新设计技术	(227)
7.3 快速响应设计技术	(231)

7.4 智能设计	(234)
7.5 全生命周期设计	(237)
7.6 并行设计技术	(238)
7.7 面向制造的设计	(242)
7.8 绿色产品设计技术	(244)
7.9 现代设计技术特点	(251)
参考文献.....	(253)

1 绪 论

1.1 概 述

设计是人类的一种重要创造活动,而且任何人类的创造活动必然包含设计。机械设计、建筑设计、服装设计等都有十分悠久的历史,也创造出了人类引以自豪的丰富而又伟大的物质文明。不同性质的设计活动有其独特的设计思想和方法,但也有很多共同点。本书重点讨论的内容主要属于机械设计的范畴,但又不都为机械设计所独有,如计算机辅助设计(computer aided design——CAD)即是现代机械设计的重要工具,也是其他设计活动如建筑设计和服装设计等的重要工具。

设计的思想和方法一方面不断地影响着人类的生活与生产,推动社会进步,另一方面又受社会发展的反作用,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,人们通常用“传统设计”和“现代设计”这两个术语。不难理解“传统设计”和“现代设计”都只是相对概念。人们把当前认为先进的那部分系统称为现代的,而其余的都自然成为传统的。若干年后目前的现代部分就可能被新发展了的东西所取代,而成为传统的。二次世界大战后,世界科技与经济得到了迅猛发展,尤其是电子计算机技术的发展和广泛应用带来了信息革命,使人们的设计思想和方法有了一次飞跃的变化。计算机技术及相关技术的发展和成熟极大推动了CAD及CAE(computer aided engineering——计算机辅助工程)技术的发展和运用,并在此基础上形成了虚拟现实技术和并行设计技术等。

在CAD技术实用化以前,传统的设计只能主要依靠手工操作来完成,这样不仅设计进度缓慢,还在很大程度上约束了人脑的设计思维进度。更为严重的是,三维的设计对象在传统的设计中只能靠抽象的二维图形来表达,难以直观地将设计结果展现给工程技术人员和其他相关人员,如产品用户,因而不利于判断、评价和改进设计结果。有了CAD技术,设计中的许多简单的人工重复劳动由计算机代替完成,设计人员可快速地从计算机那里获取开展进一步设计所必需的信息,设计结果的修改、复制、保存和传送等都变得容易。尤其重要的是,三维计算机图形能更直观地反映设计结果,为快速地评价和优化设计提供了便利。计算机图形不仅能直观地反映结构设计,也能将工程中大量物理数据可视化,如应力场、速度场、温度场等等,为工程技术人员分析和应用这类数据提供了极大方便。先进的具有知识库和推理功能的CAD系统不仅可取代大量的设计中的手工劳动,还可帮助设计人员根据给定的知识库和设计开展逻辑思维,自动提供可能的设计方案。

传统的设计计算依赖工程问题的解析求解方法,使实际问题不得不尽量简化,其简化程度不取决于工程需要而取决于已有的数学工具能否求解。这一方面使大量相对复杂的工程问题无法进行计算求解,另一方面使很多工程问题的求解离实际情况有较大的差距。CAE技术的发展和日趋成熟为解决上述问题提供了有效途径。以有限单元法(finite element method——FEM)为代表的CAE技术理论上能求解任何复杂的工程计算问题,其求解精度理论上只受计算机能力与物理模型的精度限制。正是由于CAE技术的强大功能,人们已能借助它开展以前无法开展的设计计算,如汽车碰撞安全性的设计计算等。

CAD和CAE技术与其他相关技术结合后形成的并行工程技术使人们可以突破传统设计中的串行工作方法,即不同阶段的工作以仿真的方式同时开展,使设计者能更好地评价设计方案,并及时地做出必要的修改,以获得一个全面的、综合的优化方案。

以上谈到的CAD和CAE技术可以说都是对应于传统设计方法的一种革新,即CAD技术取代手工绘图,CAE技术取代工程问题的解析求解等。但另外一些属于现代设计方法范畴的内容却是对应于新的或者说是现代的设计思想,如机电产品造型设计、可靠性设计和优化设计等。机电产品造型设计是工业设计的一个重要内容,是社会、经济和科学技术高度发展的产物,也是市场经济下激烈竞争的必然结果。它对应的设计思想是产品不仅要有实用功能,还应有与实用功能协调统一的审美功能,产品的质量应是内在质量、外观质

量、人机质量和环境质量的统一体。可靠性设计要求设计人员摆脱已往孤立、绝对地考虑问题的思想方法,代之以全面、系统地分析与处理问题的思想方法。它考虑的是产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力,涉及设计、生产、使用、管理、贮存、运输等各个环节,是一门综合性很强的科学。它对于相对复杂的产品和在恶劣环境下工作的产品来说尤为重要,同时也是市场激烈竞争的产物和要求。优化设计对应的设计思想是在给定的约束条件下寻求整体的或局部的最优设计方案,以满足科学技术不断发展和市场竞争愈趋激烈的需要。

随着社会和经济的不断发展和科学技术的不断进步,人们对产品的功能要求也越来越多,由此而产生的设计准则和方法也越来越多。除了上面提到的一些现代设计方法外,还有磨擦学设计方法,人机工程学设计方法,绿色产品设计方法等。尽管在一个产品设计中理论上可以考虑应用全部已有的设计准则和方法,但从实用性角度考虑没有必要,从经济性角度考虑也不允许。因此产品设计中应抓住主要矛盾,以主要的精力和最好的方法将它解决。

1.2 现代设计方法的主要内容

上面提到设计方法是随经济和科技的发展不断发展的,现代设计方法和传统设计方法只是相对的概念。20 世纪末,《现代设计丛书》编委会编写的设计系列丛书包括 10 册,即《创新设计》,《稳健设计》,《并行设计》,《优势设计》,《绿色设计》,《反求设计》,《智能设计》,《方案设计》,《模糊设计》和《虚拟设计》。这套丛书实际上反映了现代设计方法发展前沿的主要内容。但这套丛书所涉及的设计思想和方法大多都在不断完善的过程中,有的概念和提法还没有一个统一的认识,大规模推广和应用这些方法还有一个过程。发展历史更长,理论更成熟和应用更广泛的现代设计方法应包括计算机辅助设计、机电产品造型设计、计算机辅助工程、优化设计、可靠性设计和磨擦学设计等。这些设计方法之所以没有包含在上述的《现代设计丛书》里,其理由可理解为这些方法已进入成熟期,相对于《现代设计丛书》所讨论的方法要“传统”一些,但并不意味着这些方法已经过时。相反,这些方法在工程界已产生或正在产生巨大的作用,已带来和正在带来巨大的社会效益和经济效益。

根据实际应用的需要和本套教材的定位,本书拟重点讨论计算机辅助设计 CAD,机电产品造型设计,计算机辅助工程 CAE,优化设计,机械可靠性设计等五个方面。为反映现代方法的发展前沿,本书最后还简要介绍创新设计、快速响应设计、智能设计、全寿命周期设计、并行设计、面向制造的设计和绿色设计等几种设计思想和方法。为了便于读者较快地了解所涉及的广度和深度,以下分别介绍一下本书要讨论的五类现代设计方法的主要内容。

1.2.1 计算机辅助设计

全章主要涵盖三个模块的内容,即:(1)现代 CAD 技术的内涵及主要研究内容;(2)工程数据的处理及数据库技术在 CAD 中的应用;(3)计算机绘图基本原理及机械工程图的绘制。

在第一个模块中,即 2.1 节和 2.2 节,主要讨论了四个问题:①传统 CAD 技术和现代 CAD 技术的内涵。②先进制造技术和先进设计理论对 CAD 技术的推动和影响。市场的激烈竞争,要求先进制造技术的快速发展,同时带动了先进设计技术的同步发展,从而推动 CAD 技术获得巨大的发展。论述了计算机集成制造系统 CIMS、并行工程 CE 和敏捷制造 AM 这三种典型的先进制造模式的定义及基本思想,揭示了信息集成——过程集成——企业集成的发展历程,阐明了它们对 CAD 技术发展的巨大影响。由于这种影响,现代 CAD 技术也在沿着信息集成——过程集成——企业集成的道路发展。③CAD 技术的发展。回顾历史,当代 CAD 技术图形支撑软件经历了三代发展历程。总结现在,展望未来,基于微机的第四代 CAD 系统初显端倪。④现代 CAD 技术的概念和主要研究内容。现代 CAD 技术是在先进制造技术及现代设计理论与方法带动下,在传统 CAD 技术的基础上发展起来的,从本质上讲,这种技术力求在一个复杂大系统的环境中(如 CIMS、CE、AM 等),实现设计工作自动化。因此,现代 CAD 技术是面向设计自动化的技术。集成化、网络化和智能化是现代 CAD 技术所追求的功能目标。集成化要能支持信息集成、过程集成和企业集成,它涉及的技术有:数字化建模、产品数据管理、过程协调与管理、产品数据交换、CAX 工具、DFX 工具等;网络化要能

支持动态联盟中协同设计所需的环境与设计技术;智能化是指在实现集成化与网络化时所采用的智能技术,如人工智能、专家系统技术等。从学科上讲,现代CAD技术的研究内容包括设计理论和方法、设计环境及设计工具三个方面。设计理论和方法是现代CAD技术实现的理论,设计环境是技术实现的空间,设计工具是技术实现的手段,它们相互联系,相互促进。

在第二个模块中,即2.3节和2.4节,主要讨论了工程数据的两种处理方法。①工程数据的程序化处理。采取编程的方法对工程数表及线图进行处理通常有两种途径:第一,采用数据存储于程序中,用查表、函数插值的方法检索所需数据;第二,经曲线拟合或经验公式编入程序,由计算机算出所需数据。采用C语言实现编程。②工程数据的数据库管理。将工程数表或线图中的数据经离散化后按规定的格式存放在数据库中,由数据库进行管理,独立于应用程序,因此,可以被应用程序所共享。采用Foxpro6.0作为实现平台。

在第三个模块中,即2.5节和2.6节,主要讨论了两个问题:①计算机绘图基本原理,包括图形变换的数学基础、窗口-视图区变换、图形裁剪算法、真实感图形生成原理(消隐技术、光照效应的明暗模型)、几何建模(线框模型、表面模型、实体模型、特征建模)。②机械工程图的绘制实例。以AutoCAD2000作为绘图平台。

1.2.2 产品设计理论与方法

该章首先针对产品设计的范畴、产品设计与工艺美术及产品设计与机械设计的差异,来阐述产品设计的本质内涵;提出了产品造型设计的评价标准。通过对与产品设计相关的功能因素、技术与经济因素、审美因素的深入分析,进一步论证各设计要素之间的内在联系。

产品设计是一种有计划、有步骤、有目标、有方向的创造活动。产品设计包括设计准备阶段、设计深入阶段、设计完善阶段、设计完成阶段等四个阶段,每个阶段有明确的目的和内容。

作为设计基础的色彩,本章介绍了色彩三要素、色立体、色彩的感觉、色彩的象征、色彩的好恶等色彩基本知识,提出了产品色彩设计原则。

设计表现是设计师的表达手段和交流的工具,设计表现包括平面和立体表现两大类,各有其特点和形式,了解并掌握它是对设计师最基本的要求。

设计构思是设计师创造能力的充分展现,是设计全过程的核心。要提出好的设计方案,创造性思维和构想技法的运用非常关键;本章综合地介绍了自由构想法、系统构想法和类比构想法的一些经典设计方法。

人机工程部分紧紧围绕工程设计人员在设计实践中遇到的相关人机问题为出发点和着眼点,以系统化的观点重点讨论了设计过程中有关设计流程、人体尺度、工作空间、作业特性、控制与显示装置、环境因素等若干重要问题和设计原则,并针对工程设计的实际问题进行阐述。

该部分首先以系统论观点为先导,指出人机系统设计方法是人机工程学参与(工程)系统设计的必然途径。同时介绍了“人机界面”的概念。

人机工程学是一门以测量、实验、观察、问卷等科学的研究方法为基础的技术科学,其中人体尺度的测量是基础,其目的是研究作业者的体格特征,以建立相应的工程设计标准。书中对人体测量的具体方法未作详述,设计人员可以参考相关国家标准中的数据和要求进行具体的设计工作。

作为人体尺度的具体应用,分析特定作业空间和环境的尺寸要素以及作业者的作业特性等问题,如静态施力、舒适性等问题则是分析的重点。

基于人的认知特性,机器的显示与控制装置的设计也必须遵循一定的人机工程原则,从实用的角度出发,书中对不同的显示装置类型、警报信号、字母与符号、控制器的类型、控制编码等具体问题进行了描述,并提出了重要的显控相容性原则。

环境同样是影响人-机-环境系统中人的效能和健康的重要因素,诸多环境因素(照明、温度、噪声、振动等)对人的生理心理过程的影响、作业效能的影响等,书中都提出了具体设计原则。

1.2.3 计算机辅助工程

本章主要介绍在现代设计方法中,对产品及其重要零部件进行力学分析及优化分析计算的有限元法。

本章第一节是学习有限元法的预备知识。考虑到学生没有学习过弹性力学的基本内容,而弹性力学,尤其是弹性力学平面问题的基本方程是有限元法的基础。因此,首先简要地介绍了弹性力学平面问题的基本方

程,即几何方程、物理方程和平衡方程。至于弹性力学空间问题的基本方程可比照平面问题相类似地推导出来,在本节没有推导空间问题的基本方程,读者只要掌握了平面问题基本方程的推导方法,空间问题的基本方程不难得出。在有限元法中,通常用虚功方程来代替平衡方程,因此,也不加证明地介绍了变形体的虚功方程,学生在《材料力学》中学习的杆件的虚功方程实质上也是变形体的虚功方程,相信不难理解其意义。

在第二节中,以弹性力学平面问题并采用常应变三节点三角形单元进行有限元分析为例,详细地、层次分明地讨论了有限元法的基本理论、基本方法和基本步骤。弹性力学平面问题的有限元位移法通常包括三个主要步骤:即结构物或弹性体的离散化,单元分析和整体分析。本节按照这样的次序一步一步讨论下去,在每个步骤后都举例加以说明,便于学生理解其意义或步骤。这一节是本章的重点。

有限元法是以计算机作为计算工具的电算方法,它是对大型、复杂结构进行分析的有力工具。在第二节计算原理的基础上,本节只简要地讨论用常应变三角形单元计算弹性力学平面问题的通用程序,给出了程序功能、程序说明、程序的总框图和源程序。限于篇幅,没有给出子程序的框图和使用该程序进行计算的例题。相信掌握了 FORTRAN 语言和有限元基本原理的学生是不难理解的,如理解确实有困难,可参考有关有限元书籍。

有限元法的三个步骤中,不论采用什么形状的单元,也不论采用的是一维(杆、梁)单元,二维(平面)单元,还是三维(空间)单元等进行有限元分析,其中结构物的离散化和整体分析两个步骤基本上都是相同的,所不同的是单元分析。因此,在等参单元一节中,将弹性力学平面问题中一些常用单元集中在一起进行单元分析,给出各种形状和类型的单元刚度矩阵和载荷列阵,并给出了计算实例。

1.2.4 优化设计

优化设计是借助于最优化数值计算方法在计算机上寻求工程最优方案的数值解法。优化设计首先要将实际工程问题加以数学描述,形成一组由数学表达式组成的数学模型,然后选择一种最优化数值计算方法,通过编程计算,求得一组最佳设计参数,即工程问题的最优解。

在优化设计的数学模型中,介绍了数学模型的一般形式,设计变量与设计空间、约束条件与可行域、目标函数与等值线等,使学生对优化设计的基本理论有初步的了解,能够对简单的工程问题,建立起优化设计的数学模型。为了加深学生对优化设计的感性认识,还介绍了优化设计的图解法。

在优化设计的数学基础中,介绍了优化方法涉及到的数学概念,例如梯度、多元函数的泰勒展开、二次函数及下降迭代算法等。

一维搜索是优化设计的基础算法,本章介绍了初始搜索区间的确定方法,介绍了采用缩小区间逐步逼近最优点的方法——黄金分割法;对于通过插值逼近最优点的一维搜索方法——二次插值法作了详细的阐述。

在多维优化方法中,介绍了无约束优化方法和约束优化方法两方面的内容。无约束优化的中心问题是选择搜索方向。本章介绍了采用目标函数导数信息构造搜索方向的梯度法和共轭梯度法。对于目标函数复杂、不易求导的优化问题,介绍了鲍威尔法。

约束优化问题是工程优化设计最普遍的形式。本章介绍了内点惩罚函数法和外点惩罚函数法,前者用来处理不等式约束优化问题,后者用来处理既有等式约束又有不等式约束的优化问题。

本章对优化设计的每一个问题都编入了一定量的例题和习题。最后一节是优化设计的应用实例。

1.2.5 机械可靠性设计

可靠性是指机械产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力,它是衡量机械产品质量的一个重要指标。机械可靠性设计是将概率统计理论、失效物理和机械学等相结合起来的综合性工程技术。机械可靠性设计方法的主要特征就是将常规设计方法中所涉及的设计变量,如材料强度、疲劳寿命、载荷、几何尺寸及应力等所具有的多值现象都看成是服从某种分布的随机变量,根据机械产品的可靠性指标要求,用概率统计方法设计出零、部件的主要参数和结构尺寸。

可靠性设计的重要内容之一是可靠性预测,其次是可靠性分配。可靠性预测是一种预报方法,即从所得到的失效数据预报一个零、部件或系统实际可能达到的可靠度,预报这些零、部件或系统在规定的条件下和在规定的时间内,完成规定功能的概率。可靠性分配是把系统的可靠度目标进一步分配给系统的组成单元

——零、部件或子系统,它对复杂产品和大型系统来说尤其重要。系统可靠度的分配应是合理的,应考虑分配的方法。

可靠度与失效率是可靠性研究的重要内容,可靠性的度量与失效率密切相关。失效率有三种基本失效模式:指数分布、正态分布及韦布尔分布。机械设计中的设计变量大多符合上述三种分布形式。

机械强度可靠性设计就是要搞清楚载荷(应力)及零件强度的分布规律,合理的建立应力与强度之间的数学模型,严格控制失效概率,以满足设计要求。应力-强度干涉模型揭示了概率设计的本质。从干涉模型可以看到,就统计学观点而言,任一设计都存在着失效概率,即可靠度小于1。

疲劳强度可靠性设计是根据直接测得的计算点的应力或根据实测的载荷推算出计算点的应力,经统计分析得出应力密度函数及其分布参数。结合材料疲劳强度分布资料,如R-S-N曲线或等寿命曲线;结构尺寸参数及强度修正系数的统计特性,再考虑机械零件所承受的应力的性质,对零件进行疲劳强度可靠性设计计算。

机械系统可靠性设计不仅取决于组成系统的单元的可靠性,而且也取决于组成单元的相互组合方式。为了计算系统的可靠度,不管是可靠性预测还是可靠性分配,首先都需要有系统的可靠性模型。较复杂的机械产品与机械系统都属于可修复系统,可修复系统的可靠性设计应充分考虑维修度与有效度。

1.3 学习现代设计方法的意义与任务

作为机电工程技术方面的高级专业人才,无论具体从事哪项工作,都会以不同的方式不同程度地涉及到产品设计与创新。实际上,很多从事管理工作的人员也会直接地或间接地与产品的设计与创新发生联系。在我国加入WTO后,各方面的竞争都将更加激烈,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方法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方法,以创造出综合性能优良的生产和生活用品。

设计对于一个产品来说是万里长征的第一步,它不仅对产品的制造过程有重要影响,也对产品走向市场和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,减少制造与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方法与理论,并学会在实践中灵活地运用这些方法与理论。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,了解现代设计方法的原理和使用,就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。现代设计方法大都以计算机技术为基础,并有不同层次的计算机应用软件来支撑,对大量的公式和推导死记硬背是没有必要的,也是不可取的。因此,学习现代设计方法最主要的任务是掌握其理论与原理,了解其作用与局限性,并学会用它来解决工程实际问题。

2 计算机辅助设计 CAD

2.1 概 述

2.1.1 CAD 技术的内涵

CAD(computer aided design)是一种用计算机硬、软件系统辅助人们对产品或工程进行设计的方法与技术,包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动,它是一种新的设计方法,也是一门多学科综合应用的新技术。

传统 CAD 涉及以下一些基础技术:

- (1)图形处理技术 如自动绘图、几何建模、图形仿真及其他图形输入、输出技术。
- (2)工程分析技术 如有限元分析、优化设计及面向各种专业的工程分析等。
- (3)数据管理与数据交换技术 如数据库管理、产品数据管理、产品数据交换规范及接口技术等。
- (4)文档处理技术 如文档制作、编辑及文字处理等。
- (5)软件设计技术 如窗口界面设计、软件工具、软件工程规范等。

近 10 多年来,由于先进制造技术的快速发展,带动了先进设计技术的同步发展,使传统 CAD 技术有了很大的扩展,我们将这些扩展的 CAD 技术总称为“现代 CAD 技术”。

任何设计都表现为一种过程,每个过程都由一系列设计活动组成。这些活动既有串行的设计活动,也有并行的设计活动。目前,设计中的大多数活动都可以用 CAD 技术来实现,但也有一些活动尚难用 CAD 技术来实现,如设计的需求分析、设计的可行性研究等。将设计过程中能用 CAD 技术来实现的活动集合在一起就构成了 CAD 过程,图 2.1 就说明了设计过程与 CAD 过程的关系。随着现代 CAD 技术的发展,设计过程中越来越多的活动都能用 CAD 工具加以实现,因此 CAD 技术的覆盖面将越来越宽,以至整个设计过程就是 CAD 过程。

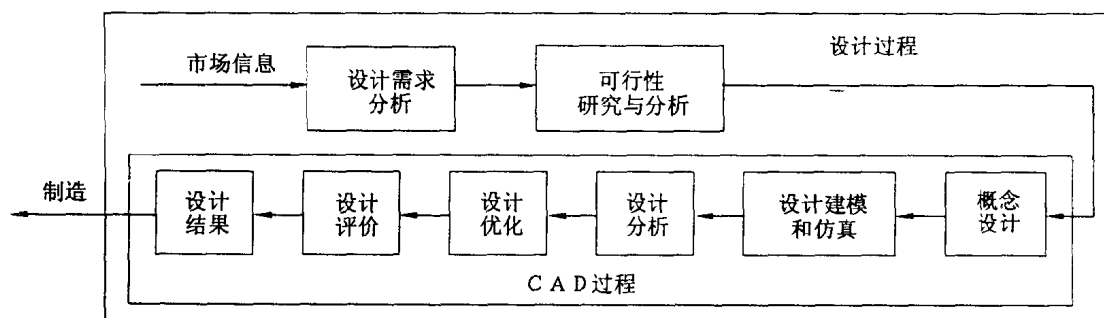


图 2.1 设计过程与 CAD 过程的关系

值得指出的是:不应该将 CAD 与计算机绘图、计算机图形学混淆起来。下面叙述后两者的技术内涵。

计算机绘图的内涵:计算机绘图是使用图形软件和硬件进行绘图及有关标注的一种方法和技术,以摆脱繁重的手工绘图为其主要目标。

计算机图形学(computer graphics,CG)的内涵:计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形,并在专用设备上显示的原理、方法和技术的科学(根据 ISO 在数据处理词典中的定义)。

CG 的研究内容有以下四个方面:

- (1)硬件 指图形输入设备、图形处理设备、图形显示设备和图形绘制设备。
- (2)图形软件设计 如二维绘图系统、三维绘图系统、三维造型系统、动画制作系统、真实感图形生成系