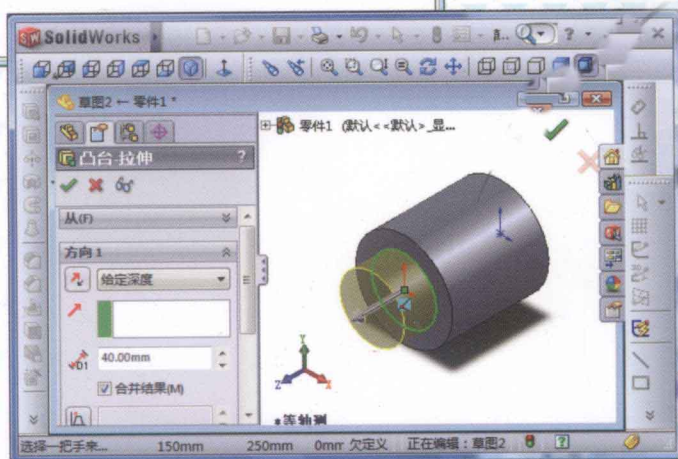


普通高等教育机械类特色专业规划教材

机械CAD应用技术

陶元芳 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育机械类特色专业规划教材

机械 CAD 应用技术

主 编 陶元芳

参 编 张亮有 卫良保 何 燕

刘永峰 李宏娟

主 审 迟永滨

机 械 工 业 出 版 社

本书从机械 CAD 技术概述、CAD 系统的组成出发,整理了最常用的商品化 CAD 软件 AutoCAD 基础知识、SolidWorks 基础知识,讨论了几项开发专业机械 CAD 软件的关键技术,如参数绘图技术、变量化三维建模技术、参数化计算书技术、数据库访问技术,最后归结到专业机械 CAD 软件开发技术,并给出一些资料性附录。

本书可以作为“计算机绘图”、“CAD 技术”、“计算机辅助设计”等课程的教材,供机械设计制造及其自动化专业各方向的本科生使用,也可以供机械设计及理论或车辆工程专业的硕士研究生使用,还可以供机械类企业从事设计工作和信息化工作的人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAD 应用技术/陶元芳主编. —北京:机械工业出版社,2012.5

普通高等教育机械类特色专业规划教材

ISBN 978-7-111-37297-4

I. ①机… II. ①陶… III. ①机械设计:计算机辅助设计—AutoCAD 软件—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 014152 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 范成欣 任正一

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

北京四季青印刷厂印刷

2012 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.75 印张·385 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-37297-4

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

普通高等教育机械类特色专业规划教材

编写委员会

顾问:

任露泉 中国科学院院士 吉林大学 教授/博士生导师
钟 掘 中国工程院院士 中南大学 教授/博士生导师
石来德 中国工程机械学会理事长 同济大学 教授/博士生导师
陆大明 中国物流工程学会理事长 北京起重运输机械设计研究院院长

主任:

徐格宁 太原科技大学 副校长 教授/博士生导师

委员:

周奇才, 朱西产, 罗永峰, 邓洪洲, 同济大学 教授
宋甲宗, 苗 明, 王 欣, 杨 睿, 冯 刚 大连理工大学 教授
王国强 吉林大学 教授
毛海军, 林晓通 东南大学 教授
冯忠绪 长安大学 教授
胡吉全 武汉理工大学 教授
李自光 长沙理工大学 教授
王国华 北京科技大学 教授
宋伟刚 东北大学 教授
米彩盈 张仲鹏 西南交通大学 教授
陶元芳, 孟文俊, 文 豪, 张亮有, 秦义校, 韩 刚 太原科技大学 教授
于 岩 山东科技大学 教授
王 彪 中北大学 教授
刘永峰 北京建工学院
何 燕 青岛科技大学
赵春晖, 刘武胜 北京起重运输机械设计研究院
章二平 柳州工程机械集团公司
顾翠云 太原重型机械集团公司
聂春华 江西华伍制动器股份有限公司
田东风 大连博瑞重工股份有限公司
邓海平 机械工业出版社

序

一、编写背景和依据

随着国民经济的高速发展,面向 21 世纪社会发展的需求,面对激烈的市场竞争,高等教育应适时转变观念和理念,不断进行教学改革和创新,以期更好地适应我国高等教育跨越式的发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转型中社会对高校应用型人才培养的差异性要求,探索和建立适应我国高等教育应用型人才培养体系和工程教育体系。“高等工科教育回归工程”、“应用型本科教育”、“强化能力导向原则”等基于社会需求及人才培养和教学改革的教育理念是《高等教育法》提出的“高等教育教学改革务必根据不同类型、不同层次高等学校自身实际”要求、《高等学校本科教学质量与教学改革工程项目管理暂行办法》(简称“质量工程”)所坚持的“分类指导、注重特色”原则的创新成果和实践载体。

高等教育可分为教学型、教学研究型、研究型,要求高校按照“质量工程”对人才培养目标进行合理定位,对教学过程进行科学创新,发挥自身优势,形成各自特色,从而满足社会多样化的人才需求。人才培养目标的差异化,直接要求教学内容、教材建设具有针对性。《高等教育法》第 34 条明确规定:“高等学校根据教学需要,自主制定教学计划、选编教材、组织实施教学活动。”教育部在 2007 年提出本科教育、教学“质量工程”,鼓励和支持高等学校在教学理念等方面进行创新,形成有利于多样化人才成长的培养体系,满足国家对社会紧缺的创新型和应用型人才的需要。

“百年大计,教育为本;教育大计,教师为本;教师大计,教学为本;教学大计,教材为本;教材大计,适用为本。”针对人才培养目标的差异化和教学内容、教材建设的同质化的矛盾,国内具有机械行业特色专业的相关高校与机械工业出版社共同协商,专题研讨,成立机械类特色专业系列教材编写委员会,以“打造特色精品教材,促进专业教育发展”的理念规划出版的“普通高等教育机械类特色专业规划教材”,是对“质量工程”中所要求的“重点规划、建设多种基础课程和专业课程教材,促进高等学校教学内容更新、教材建设工作”的落实。

在教材选题设计思路上贯彻教育部关于培养适应地方、区域经济和社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”的指示精神,突出了教材建设与办学定位、教学目标的一致性与适应性。教材立足的培养目标是加强工程意识的培养,加强理论与实践的结合,加强实践教学和工程训练,面向培养生产第一线从事设计、制造、运行、研究和管理实际工作、解决具体问题、保障工作有效运行的高等应用型人才。

在教材编写中既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,注重解决现行教材存在的问题:如教材缺乏连续性修订,库存早已用完殆尽;现行国家标准已经与国际接轨,但现行教材中相关内容仍显陈旧过时;不能满足企业和科研院所本专业工程技术人员对特色专业教材的日益增加的需求。充分体现“基本理论够用,专业理论雄厚,注重



实践环节,培养工程能力”的内涵和尺度的把握。

二、机械类特色专业(方向)

面向机械工业和重型机械行业的本科特色优势专业(方向)包括但不限于起重输送机械、工程机械、矿山机械、港口装卸机械,物流工程(装备与技术),特种设备安全工程。

研究生特色优势学科包括但不限于机械设计及其理论、车辆工程、机械制造及其自动化、机械电子工程。

工程硕士领域包括但不限于机械工程、车辆工程。

三、机械类特色专业教材规划

由于起重输送机械和工程机械方面的教材专业性强,用量少,出版难,距前一版出版时间大多数已超过十年,涉及相关标准和技术已经更新,旧版教材已经全部用完,许多企业与院所作为继续教育和新大学生的技术培训或设计参考,现急需出版新教材和修订版。根据市场调研和急需程度,机械类特色专业规划教材编写委员会提出第一批特色专业教材出版规划如下:

序号	教材名称	适用专业(方向)	字数/万
1	机械装备金属结构设计	起重输送机械,工程机械,矿山机械,机械CAD,物流工程,特种设备安全工程	50
2	叉车构造与设计	起重输送机械,机械CAD,物流工程	30
3	连续输送机械	起重输送机械,机械CAD,矿山机械,港口装卸机械	45
4	起重机械	起重输送机械,机械CAD,港口装卸机械	40
5	铲土运输机械设计	工程机械,矿山机械	40
6	矿井提升机械	起重输送机械,矿山机械	30
7	液压挖掘机	工程机械,矿山机械	40
8	工程机械设计基础	工程机械,起重机械,矿山机械,机械CAD	40
9	现代施工工程机械	机械设计制造及自动化,土木建筑工程,交通运输工程,水利水电工程,采矿工程,农业工程	50
10	特种设备安全技术	起重机械,工程机械,特种设备安全工程	30
11	机械装备金属结构课程设计	起重输送机械,工程机械,矿山机械,机械CAD,物流工程,特种设备安全工程,港口装卸机械	30
12	起重机械课程设计	起重机械,工程机械,矿山机械,港口装卸机械	30
13	输送搬运机械课程设计	起重输送机械,机械CAD,物流工程,特种设备安全工程	30
14	机械CAD课程设计	起重输送机械,机械CAD,物流工程,特种设备安全工程	30



(续)

序 号	教 材 名 称	适用专业 (方向)	字数/万
15	机械装备金属结构习题集	起重输送机械, 工程机械, 矿山机械, 机械 CAD, 物流工程, 特种设备安全工程	10
16	起重机械习题集	起重机械, 矿山机械, 物流工程, 港口装卸机械	10
17	机械工程软件技术基础	机械设计制造及自动化专业各方向	30
18	机械 CAD 应用技术	机械设计制造及自动化专业各方向	30
19	散体力学及工程应用	输送机械, 工程机械, 物流工程, 矿山机械, 港口装卸机械	30
20	机械类特色专业实验教学指导书	起重输送机械, 工程机械, 矿山机械, 机械 CAD, 物流工程, 特种设备安全工程	20

希望本特色专业规划教材的出版, 能够满足各相关学校特色专业的教学以及相关行业工程技术人员的需要。对教材编写过程中, 各相关学校、行业的专家学者的鼎力支持和热忱帮助表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限, 本特色专业规划教材将会存在某些不足和缺陷, 真诚欢迎领域专家学者和广大读者批评指正。

机械类特色专业规划教材编写委员会

徐格宇

前 言

学习和推广机械 CAD（计算机辅助设计）技术是利用信息技术改造传统的机械行业，使其重新焕发青春活力的重要手段。采用 CAD 技术可以大大加快设计进度，提高设计质量，适应市场竞争的需要。

学习 CAD，首先需要明确什么是 CAD。CAD（Computer Aided Design）是计算机辅助设计，不是 Computer Aided Drawing，至少 CAD 不应该仅仅是计算机辅助绘图，更重要的是设计；不仅是校核，还要优化；不仅是交互式绘图，而是要参数绘图，否则只是高级电子绘图桌；不仅是二维绘图，还要三维建模；不仅要模型和图样，还要设计计算书，这才是比较完整的 CAD。

其次要明确图形支撑软件的概念。研究 CAD 技术，尤其是机械 CAD 技术，不提倡从计算机图形学开始，那样做无异于盖楼房从取土烧砖开始。应该充分利用商品化的图形支撑软件，如 AutoCAD、SolidWorks 等，避免低水平的重复开发，脱离开图形显示、存储格式、绘图打印等底层的工作，集中精力解决设计问题，开发专业机械 CAD 软件。

然后要了解专业机械 CAD 软件。开发专业机械 CAD 软件和对商品化的图形支撑软件进行二次开发有相似的地方，都需要用到二次开发的接口，但还是有以下不同之处：

1) 独立界面。专业机械 CAD 软件是一个或一组独立的可执行文件，具有自身独立的软件界面，这一点不同于二次开发。对于商品化图形支撑软件的二次开发通常是增加几条新的命令，增加一列新的菜单，增加一些线型、图案、图块、图库等，或调用一个或一组动态链接库。总之，二次开发的成果是附属于原商品化图形支撑软件的，或者是被其调用的，没有自己独立的界面，处于从属地位。

2) 自主软件。专业机械 CAD 软件是一种自主开发的软件系统，具有自主知识产权，当然也不排斥商品化图形支撑软件的知识产权。二者之间的关系是以我为主，为我所用，通过自己开发的软件来调用图形支撑软件的某些功能。

3) 设计为主。专业机械 CAD 软件是以设计为主的软件，虽然参数绘图或三维建模往往也是其主要功能之一。设计至少需要验算，验算整机性能，验算机械结构或零部件的强度、刚度、稳定性等；最好还能优化，取得最优的性能或最轻的自重；以及自动生成设计计算书。上述设计工作绝非是一般商品化图形支撑软件所能完成的。

4) 针对特定专业机械。与商品化的图形支撑软件不同，专业机械 CAD 软件是针对特定专业机械的，这样才能提高软件的针对性，提高运行的自动化程度，方便特定用户群的使用，同时也降低了开发难度。所以，专业机械 CAD 软件通常不是由计算机公司开发的，而是由从事专业机械设计的工程技术人员自行开发的，开发人员包括企业的工程师、科研院所的科研人员 and 高等院校的教师。

因此，对商品化图形支撑软件的交互式操作是基础，对商品化图形支撑软件进行二次开发是途径，而自主开发专业机械 CAD 软件是学习机械 CAD 技术的最终目标。

专业机械 CAD 软件的开发方式（系统模式）有以下几种：

1) 纯交互式。这其实无异于自己开发一个商品化图形支撑软件，确实有人开发过，如 KMCAD（开目 CAD）、CADTOOL（凯图 CAD）、CAXA（电子图板）、高华 CAD、香格里拉机械 CAD 等。我们并不提倡大家都来进行这种开发，现在制造一台机器的零部件都讲究全球采购，开发一个软件系统也没有必要事必躬亲，用户只需要选择一个合适的、现成的商品化图形支撑软件就可以了。

2) 检索式。把现有的系列产品图样数字化之后保存在磁盘里，形成一个电子图库。开发一套保存图样名称和图号的数据系统及其检索程序，使用时在检索界面上点取所需要的图样，通过图形支撑软件输出图样即可。这种检索式的 CAD 系统模式适合于轴承、螺栓等标准件和已经标准化、系列化的机械产品，不适合于新产品开发，因为电子图库中只有已存入的现有图样。这种系统还可以作为图样等技术资料的管理系统，即所谓的 PDM（Product Data Management，产品数据管理）系统。

3) 非标设计式。设计非标产品，如单件小批生产的重型机械产品，或某些产品中经常需要改变的部件，是最适合于采用 CAD 进行计算机辅助设计的。这就需要开发针对特定机械或部件的专业机械 CAD 软件。非标设计通常首先根据用户输入的设计参数进行优化设计，然后根据优化出来的尺寸参数进行参数绘图或三维建模，最后输出设计计算书。开发专业机械的非标设计 CAD 软件是机械 CAD 技术的用武之地。

学习机械 CAD 技术还应该了解 CAD 的适用性。相对于办公自动化（Office Automation, OA）中的文字处理而言，设计自动化要难得多，因此在目前的信息化技术水平下，并不是所有机械产品都适合使用 CAD 技术。因此，我们在推进企业信息化，推广 CAD 技术时，对于产品和设计过程应有所选择。目前，CAD 技术还只能适用于验算、优化设计、简单图形处理等方面的工作，而对于结构非常紧凑、装配关系复杂、容易发生几何干涉的机器，让计算机来设计则不大容易实现。起重机械，无论是桥式还是门式，其金属结构部分装配关系简单，产品的结构相对固定，而尺寸随着起重量、跨度、起升高度而变化，非常适合于采用 CAD 技术。

本书从机械 CAD 技术概述、CAD 系统的组成出发，整理了最常用的商品化 CAD 软件 AutoCAD 基础知识、SolidWorks 基础知识，讨论了几项开发专业机械 CAD 软件的关键技术，如参数绘图技术、变量化三维建模技术、参数化计算书技术、数据库访问技术，最后归结到专业机械 CAD 软件开发技术，并给出一些资料性附录。

本书可以作为“计算机绘图”、“CAD 技术”、“计算机辅助设计”等课程的教材，供机械设计制造及其自动化专业各方向的本科生使用，也可以供机械设计及理论或车辆工程专业的硕士研究生使用，还可以供机械类企业从事设计工作和信息化工作的人员参考。

本书由太原科技大学的张亮有教授编写第 1 章机械 CAD 技术概述和附录，陶元芳教授编写第 2 章 CAD 系统的组成、第 6 章变量化三维建模技术、第 7 章参数化计算书技术和第 9 章专业机械 CAD 软件开发技术并担任主编，卫良保教授编写第 8 章数据库访问技术，李宏娟老师编写第 5 章参数绘图技术；由北京建筑工程学院的刘永峰副教授编写第 3 章 AutoCAD 基础知识，青岛科技大学的何燕教授编写第 4 章 SolidWorks 基础知识；由华南理工大学的迟永滨教授担任主审。太原科技大学的硕士研究生张长利、苗苗、吴韶建、郝君起、苏文瑾做了许多录入、校对、算例、编程的工作，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大师生和读者批评指正。

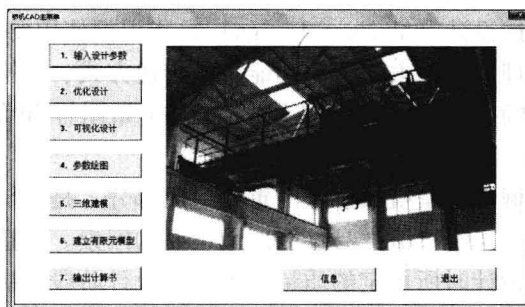
目 录

序	
前言	
第 1 章 机械 CAD 技术概述	1
1.1 机械设计概述	2
1.2 机械 CAD 方法概述	7
1.3 机械 CAD 技术发展概况	11
1.4 CAD 技术在机械工业中的应用	16
1.5 机械 CAD 技术的发展趋势	18
第 2 章 CAD 系统的组成	23
2.1 CAD 系统硬件	24
2.2 CAD 系统软件	25
2.3 支撑软件	27
2.4 CAD 系统常用商品化软件	28
第 3 章 AutoCAD 基础知识	31
3.1 AutoCAD 概述	32
3.2 基本概念与设置	34
3.3 基本操作	36
3.4 绘图技巧	42
3.5 高级功能	45
3.6 数据交换	49
第 4 章 SolidWorks 基础知识	53
4.1 SolidWorks 概述	54
4.2 基本操作	57
4.3 建模技巧	67
4.4 其他输出形式	71
4.5 Simulation 验证仿真插件功能	72
第 5 章 参数绘图技术	81
5.1 参数绘图的概念	82
5.2 参数绘图的几种实现方式	83
5.3 AutoLISP 语言式参数绘图	94
5.4 命令文件式参数 绘图	99
5.5 参数绘图示例	106
5.6 参数绘图编程中常见的问题	111
第 6 章 变量化三维建模技术	115
6.1 变量化三维建模的概念	116
6.2 COM 接口简介	116
6.3 用 VB 进行 SolidWorks 二次开发	118
6.4 用 VC 进行 SolidWorks 二次开发	123
6.5 图形交换标准	138
第 7 章 参数化计算书技术	143
7.1 设计计算书的意义	144
7.2 实现参数化计算书的方法	144
7.3 VC++/Word 编程	156
第 8 章 数据库访问技术	165
8.1 使用数据库的意义	166
8.2 ODBC 数据库访问方式	166
8.3 ADO 数据库访问方式	174
第 9 章 专业机械 CAD 软件开发 技术	183
9.1 CAD 软件的主要任务	184
9.2 专业机械 CAD 软件的开发模式	184
9.3 简单优化	186
9.4 简单界面	190
9.5 可视化设计初步	191
9.6 系统调用	193
9.7 双梁桥式起重机主梁简明 CAD 软件 开发示例	196
附录	211
附录 A CAD 工程制图的基本设置 要求	212
附录 B CAD 工程图样的绘制	221
参考文献	239
读者信息反馈表	



第 1 章

机械 CAD 技术概述



1.1 机械设计概述

1. 设计

设计是一项综合性的智力活动；设计是一种构造上的创新；设计是通过调整尺寸参数来满足性能与强度要求并兼顾经济性的过程；设计是性能、经济性之间的一种折中与妥协；设计是在满足众多尺寸约束、装配关系的前提下对美观、实用的一种追求。设计不是解方程，一般不采用反解强度不等式的方式来确定尺寸参数，因为需要确定的尺寸参数远多于强度关系式；设计不是简单的验算，因为还要追求经济性、美观；设计不仅仅是绘图，绘图需要知道尺寸，而尺寸需要经过计算才能得到；设计也不仅仅是计算，因为设计既不是解方程，也不仅仅是验算，许多尺寸关系必须在绘图的过程中确定，而且图样是设计的表达形式——“工程师的语言”。

机械设计（Machine Design）是指根据使用要求确定机械产品应该具备的功能，构想其工作原理、运动方式、力和能量的传递方式、结构等，确定零件的材料和形状尺寸等，在分析计算的基础上转化为具体的描述（如图样和设计文档等），以此作为制造依据的工作过程。

机械设计是机械工程的重要组成部分，是机械产品生命期的第一个环节，也是最重要的环节，是决定机械产品性能的最主要的因素。制造过程对产品质量所起的作用，本质上就在于实现设计时所规定的质量。因此，设计阶段是决定机械产品好坏的关键，其对产品性能的影响通常占 80% 左右。

设计过程是一个创造性的工作过程，同时也是一个尽可能多地利用已有的成功经验的工作。要很好地把继承与创新结合起来，充分利用各种现代设计手段与方法，才能设计出满足使用要求的高质量的产品。根据人们长期的设计经验，机械设计可分为三个阶段：概念设计、初步设计和详细设计（见表 1-1）。

表 1-1 机械设计过程

设计阶段	工作步骤	设计目标
概念设计	需求分析 提出任务 确定任务 ↓ 功能分析 提出可能的解决方案 组合几组可行的方案 ↓ 评价 ↓ 不接受	设计任务书 原理性设计方案（原理图或机构运动简图）

(续)

设计阶段	工作步骤	设计目标
初步设计		总装配草图、部件装配草图、零件草图
详细设计		设计图样、技术文档（设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表、其他技术文件等）

(1) 概念设计

通过调查研究、收集资料、仔细分析用户需求，提出明确的设计任务，形成设计任务书。在此基础上确定产品功能，进而构思方案，提出原理性设计方案，进行分析论证，最后获得一组可行的原理性方案。

设计任务书大体上包括机器的功能，经济性及环保性的估计，制造要求方面的大致估计，基本使用要求，以及完成设计任务的预计期限等。此时，对这些要求及条件一般也只能给出一个合理的范围，而不是准确的数字。例如，可以用必须达到的要求、最低要求、希望达到的要求等方式予以确定。

产品的功能分析就是要对设计任务书提出的机器功能中必须达到的要求、最低要求及希望达到的要求进行综合分析，即这些功能能否实现，多项功能间有无矛盾，相互间能否替代等。最后确定出功能参数，作为进一步设计的依据。在这一步骤中，要恰当处理需要与可能、理想与现实、发展目标与当前目标等之间可能产生的矛盾问题。

确定出功能参数后，即可提出可能的解决办法，亦即提出可能采用的方案。寻求方案时，可按原动部分、传动部分及执行部分分别进行讨论。较为常用的办法是先从执行部分开始讨论。可以根据不同的工作原理，拟订多种不同的执行机构的具体方案，也可以根据同一工作原理，选择不同的结构方案。原动部分和传动部分也有多种方案。

(2) 初步设计

从前一阶段的一组可行性原理方案中选择最优方案，绘制总体布置草图，确定各部件的基本结构、形状、材料和几何尺寸，建立相应的数学模型，进行主要参数的分析计算与优化。

首先要绘制总装配草图及部件装配草图，通过草图设计确定出各部件及其零件的外形及基本尺寸，包括各部件之间的连接，零、部件的外形及基本尺寸。

为了确定主要零件的基本尺寸，必须做以下几项工作：

1) 机器的运动学设计。根据确定的结构方案，确定原动件的参数（功率、转速、线速

度等), 然后做运动学计算, 从而确定各运动构件的运动参数 (转速、速度、加速度等)。

2) 机器的动力学计算。结合各部分的结构及运动参数, 计算各主要零件所受载荷的大小及特性。此时求出的载荷, 由于零件尚未设计出来, 因而只是作用于零件上的公称 (或名义) 载荷。

3) 零件的工作能力设计。已知主要零件所受的公称载荷的大小和特性, 即可做零、部件的初步设计。设计所依据的工作能力准则, 须参照零、部件的一般失效情况、工作特性、环境条件等合理地加以拟定, 一般有强度、刚度、振动稳定性、寿命等准则。通过计算或类比, 即可决定零、部件的基本尺寸。

4) 部件装配草图及总装配草图的设计。根据已定出的主要零、部件的基本尺寸, 设计出部件装配草图及总装配草图。草图上需对所有零件的外形及尺寸进行结构化设计。在此步骤中, 需要很好地协调各零件的结构及尺寸, 全面地考虑所设计的零、部件的结构工艺性, 使全部零件有最合理的构形。

(3) 详细设计

确定设计对象的细部结构, 最后绘制零件的工作图、部件装配图和总装配图, 并编写技术文件。

此阶段要进行主要零件的校核。有一些零件, 在上述初步设计第 3) 步中由于具体的结构未定, 难于进行详细的工作能力计算, 所以只能做初步计算及设计。在绘出部件装配草图及总装配草图以后, 所有零件的结构及尺寸均为已知, 相互连接的零件之间的关系也为已知。只有在这时, 才可以较为精确地定出作用在零件上的载荷, 决定影响零件工作能力的各个细节因素。只有在此条件下, 才有可能并且必须对一些重要的零件或者外形及受力情况复杂的零件进行精确的校核计算。根据校核的结果, 反复地修改零件的结构及尺寸, 直到满意为止。

技术文档的种类较多, 常用的有机器的设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等。编制设计计算说明书时, 应包括方案选择及技术设计的全部结论性的内容; 编制供用户使用的机器使用说明书时, 应向用户介绍机器的性能参数范围、使用操作方法、日常保养及简单的维修方法、备用件的目录等; 其他技术文件, 如检验合格单、外购件明细表、验收条件等, 视需要与否另行编制。

而所谓的 CAD (计算机辅助设计), 在目前的水平下上述的设计工作尚不能完全由计算机来完成, 只能由计算机对设计的某个环节进行辅助。下面从计算和绘图两个方面进行讨论。

2. 计算在设计中的作用

虽然设计往往以图样作为产品外在的表现形式, 好像设计就是绘图, 但绘图必须以计算为基础。首先, 设计的目的是要达到用户对于产品的性能要求, 与产品性能相关的尺寸参数必须事先经过计算, 确保产品性能达到要求。其次, 重要的尺寸参数必须事先经过验算, 确保产品的强度、刚度、稳定性合格才行。即使是绘图当中的某些环节, 如尺寸链中各个环节尺寸的分配, 公差精度的选择与分配, 齿轮传动中心距的调整等也离不开查表和计算, 所以图上设计往往有“画一画、算一算, 算一算、再画一画”之说。所以, 绘图前的估算和绘图后的验算, 是设计过程当中不可缺少的重要环节。

仅就绘图而言, 由计算机来完成原来的手工绘图工作, 首先需要把实物模型数字化, 通

过一系列的式子来表达实物模型上复杂的几何尺寸关系，这也是离不开计算的。

计算的过程和结果构成了产品的设计计算书，这是产品设计的重要依据。因此，产品的技术资料除了图样之外，还有设计计算书和生产工艺等资料。

3. 绘图在设计中的作用

绘图在设计过程中同样具有不可替代的作用。图样是设计的表达，图形具有数据和语言都无法替代的直观性。虽然现在有数控机床，可以通过编程，由数控指令完成零件的加工，但是图样仍然作为重要的设计资料存在于工业生产过程中。所谓按图施工，说明图样是制造、装配和检验的依据。

除了二维的工程图样之外，现在三维模型也越来越多地作为设计的表达方式。与二维图样相比，三维模型更加直观，可以用来检验几何干涉，进行有限元应力分析，进行计算机仿真动态分析。三维模型相当于产品在计算机当中的虚拟实现，也有装配等工序，有点虚拟制造的味道。理论上有了三维模型就可以投影出二维图样，但实际上二维图样并不是简单的投影，如其中有起重机主梁板厚的夸大画法，有变速器的阶梯剖面展开，有尺寸标注基准等。因此，二维图样实际上是设计意图的表达，而不是单纯的几何投影视图。目前，二维图样和三维模型在设计领域中同时存在，互为补充。

4. 创新设计问题

机械设计可分为三类：新型设计、继承设计和变型设计。新型设计是指应用成熟的科学技术或经实验证明是可行的新技术，设计以前没有的新型机械；继承设计是指根据使用经验和 技术发展对已有机械进行设计更新，以提高其性能、降低其制造成本或减少其运行费用；变型设计是指为适应新的需要对已有的机械作部分修改或增删而发展出不同于标准产品的变型产品。

通常，进行机械产品设计往往是继承设计或变型设计，所以在产品的设计过程中觉得只有初步设计和详细设计两个阶段，即方案设计阶段和技术设计阶段，其实概念设计由前人已经完成。

创新设计是通过改变产品的结构来重新设计产品，而不是仅仅通过改变产品的尺寸来满足用户要求或改进产品。它是一项创造性的高级智力活动，目前还属于人类的专利。现在的计算机“智力”水平还不够高，对于创新设计，除了在信息检索、三维仿真等方面起一些辅助作用外，基本插不上手。而所谓 CAD，通常是指参数设计，并不涉及产品结构的变化。本书的讨论也仅限于参数设计的范畴，不涉及通过改变结构来进行的创新设计。

5. 设计目标与约束

用户对于产品的要求、产品的经济性，以及产品为了抵抗载荷其自身所必须具有的强度、刚度、稳定性构成了设计的目标与约束。设计就是通过计算和绘图，逐渐满足或协调这些目标与约束的过程。

产品的性能，如速度、尺寸、容量、载重量等越大越好，可以作为设计的目标。产品的重量、体积、成本越低越好，也可以作为设计的目标。可见，目标可以不止一个。当然，也可以只设定一个目标，而把其他目标作为约束。例如，要求自重最轻，而容量满足用户的要求。

产品抵抗外力不被破坏，不产生过大的变形，保持自身形状的能力称为强度、刚度和稳定性。这些当然是机械产品设计的约束，其他诸如满足标准化、系列化的要求，满足尺寸方

面的限制,满足工艺方面的限制等也构成设计的约束,还有一些由目标所转化成的约束。可见,一个产品设计的约束往往有很多。

用户对于产品的某些要求是隐性的,或者不很容易用数值来表达,如要求产品的外形美观,使用方便等。因此,最好在设计过程中能够看到产品的形状,这些需要通过三维建模、虚拟制造、可视化设计等手段来实现。

6. 传统设计方法与过程

(1) 参考现有结构

有些产品属于仿制,参考现有产品的结构和尺寸,甚至直接测绘,这是最简单的设计方法。当然仿制也不排除根据本厂的材料、工艺作一些局部的改动。另外,即使是仿制也要进行详细的验算,既然生产,就要对产品负责,要制出详细的产品图样和设计计算书。

(2) 改进设计

有些产品设计属于对现有产品的改进,更改某些尺寸参数或局部结构,以期改进产品的使用性能或力学性能。因此,这种新产品的大部分尺寸参数是不变的。

改进后的产品当然也需要制出详细的产品图样和设计计算书。

(3) 试凑法设计

有些产品设计属于扩大产品系列范围,如设计更大规格的产品。这时需要应用相似性理论,放大相应的参数,设计出更大尺寸、更大吨位、更大容量、更高性能的产品。

设计那些规格或尺寸改动较大的新产品,在计算机优化设计普及之前通常采用试凑法设计。虽然设计目标和约束形成一些不等式方程,但由于联立解这些方程非常困难甚至不可能,通常采用直接确定设计参数然后校核验算的方式进行设计。直接确定设计参数依赖于经验,是否能够通过验算带有一定的偶然性,因此往往需要反复试凑。经过多次反复后有可能得到目标和约束都比较理想的设计参数。选取设计参数时还需要考虑标准值或系列值,因此翻看设计手册中的公式,从表格中查取数据,从曲线上量取数据,是设计中的常事。

(4) 总体设计、部件设计与零件设计

总体设计的工作是根据产品设计任务书中的总体性能要求和总体控制尺寸,完成总体计算,确定(分配)各部件的性能要求和部件控制尺寸,提出部件设计任务,并根据部件设计的结果,协调各部件性能指标与总体性能之间的关系,调整总体尺寸链,绘制产品总装配图,在图中标注总体尺寸、配合尺寸和重要尺寸,列出部件和直属零件的明细。

部件设计的工作是满足总体设计对该部件的性能要求与尺寸限制,完成部件及所属零件的性能和约束验算,绘制部件装配图,在图中标注总体尺寸、重要尺寸、配合尺寸,列出零件明细。

零件设计的任务是,从部件装配图中量取零件尺寸,绘制零件图并调整零件尺寸,使之与部件总体尺寸链协调,标注零件的所有尺寸、公差、几何公差、表面粗糙度、加工技术要求等,俗称“拆零件图”。设计过程往往需要反复,局部的修改会影响整体的布局。

(5) 整理设计计算书

无论是参考现有结构改进设计,还是试凑法设计,设计完成后都需要整理设计计算书,设计者要对所做的设计负责。对于试凑法设计,在设计当中不论进行过多少次试凑,探索的过程均不必反映在设计计算书当中,只针对最后的设计参数对各项性能和约束进行验算即可。

设计完成后,机械产品在生命周期中转入制造加工、样机测试、批量生产、销售、使用等后续环节。而生命期的后续各环节将返回大量信息,需对产品进行不断修改。可见,机械设计是一个“设计—评价—再设计”反复进行、不断改进和优化的过程。人工设计时,设计工作量大,计算复杂繁琐(甚至难于计算),设计周期长,设计质量在很大程度上取决于设计者的水平和经验。因此,在一定程度上实现设计自动化,缩短设计周期,提高设计质量,降低设计成本,就成为机械设计发展的迫切要求,正是在这样的背景下产生了计算机辅助设计。

1.2 机械 CAD 方法概述

1. CAD 概述

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是利用计算机软硬件资源辅助设计人员进行产品或工程设计、修改及输出的工作。

CAD 是多学科综合性应用技术。初期的 CAD 主要是解决计算机绘图问题,现在的 CAD 已扩展到设计的各个阶段、各种内容,涉及众多基础技术:

1) 图形处理技术,如计算机图形学、二维交互图形技术、三维几何造型技术、其他图形输入/输出技术等。

2) 工程分析技术,如有限元分析、优化设计、物理特性计算(面积、体积、惯性矩、转动惯量、重心等)、机构运动模拟仿真及各行业中的工程分析等。

3) 数据管理与数据交换技术,如数据库管理技术,不同 CAD 系统软件间的数据交换技术和接口技术等。

4) 文档处理技术,如文档制作、编辑、文字表格处理等。

5) 软件设计技术,如计算机语言、软件工程规范、界面设计等。

CAD 是现代设计方法,是现代设计方法中智能论方法的一种。智能论方法中还有 CAE(计算机辅助工程)、并行工程、虚拟设计、人工智能等。而在 CAD 中又用到许多其他设计方法,如有限元分析、优化设计、可靠性设计、反求工程设计、人工智能等。现代设计方法相互渗透、相互融合。

CAD 是一种工具。CAD 中设计者与计算机密切合作,在决定设计策略、信息处理、修改设计及分析计算方面充分发挥各自的特长。计算机擅长于信息存储、检索、分析计算、图形与文字处理以及其他重复的枯燥无味的工作。但计算机离不开设计者的设计策略、逻辑控制、信息组织、经验和创造性。只有两者有机结合,才能提高设计质量、缩短设计周期、降低设计费用。

CAD 是计算机辅助设计,但有人把计算机辅助绘图(Computer Aided Drawing)也叫做 CAD。如前所述,计算和绘图是设计过程当中不可缺少的组成部分。只有绘图没有计算的“CAD”,至少不是完整的 CAD。

即使只谈绘图,也要看是交互式绘图,还是参数绘图。交互式绘图是把计算机当做电子绘图桌来使用,相比之下参数绘图的技术水平和自动化程度更高一些。

从传统设计的过程来看,完全由计算机来自动地完成整个设计过程有点勉为其难。因此,计算机目前还只能辅助人来进行设计,而不是代替人来进行设计。从这个角度来看,计