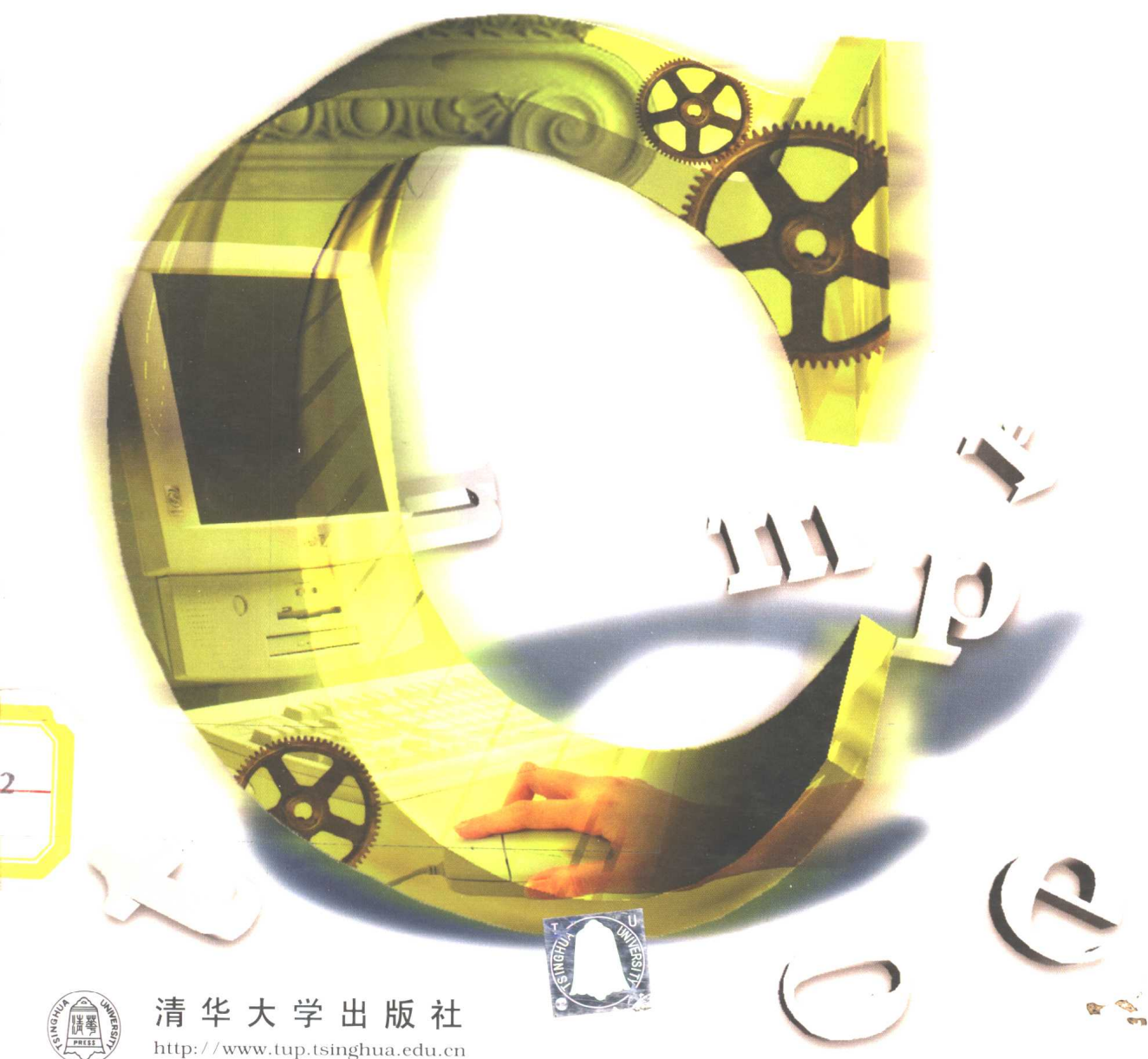


计算机 第二版

辅助设计

技术基础

孙家广 编著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

高等学校机械工程及自动化
(机械设计制造及其自动化)专业系列教材

计算机辅助设计与制造

主 编 姚英学 蔡 颖

参编(以姓氏笔画为序)

王仁德 李 佳 汤文成

宋继良 唐承统 程国全

高等教育出版社

内容简介

本书是高等学校机械工程及自动化(机械设计制造及其自动化)专业系列教材之一,也是教育部新世纪网络课程的主要参考书。

全书共分 11 章,重点介绍计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术中的基本知识、基本理论和基本方法,培养分析和解决计算机辅助设计与制造问题的综合能力。主要内容包括 CAD/CAM 的基本概念、CAD/CAM 系统的基本知识、CAD/CAM 软件开发基础、CAD/CAM 中的图形处理技术、产品建模技术、计算机辅助工程分析方法、计算机辅助工艺规程设计、计算机辅助数控编程技术、计算机辅助质量系统技术、计算机辅助车间管理和 CAD/CAM 集成技术等。

本书可作为高等学校机械工程及自动化(机械设计制造及其自动化)专业的教材,也可作为普通高等院校其它相关专业的教材。还可作为自学考试、职工大学、函授大学相关专业的教材和参考书,也可供从事计算机辅助设计与制造、计算机集成制造和现代制造系统技术的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计与制造/姚英学 蔡颖主编. —北京:高等教育出版社,2002
本科机械工程专业教材
ISBN 7-04-010173-4

I. 计... II. ①姚...②蔡... III. ①计算机辅助设计-高等学校-教材②计算机辅助制造-高等学校-教材
IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 091888 号

责任编辑 肖银玲 封面设计 刘晓翔 责任绘图 朱 静
版式设计 马静如 责任校对 陈 荣 责任印制 张泽业

计算机辅助设计与制造
姚英学 蔡颖 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 化工出版社印刷厂印刷

开 本 787×1092 1/16

版 次 2002 年 1 月第 1 版

印 张 20.25

印 次 2002 年 1 月第 1 次印刷

字 数 490 000

定 价 17.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第二版前言

计算机辅助设计(CAD: computer aided design)技术,作为电子信息技术的一个重要组成部分,是促进科研成果的开发和转化,实现设计自动化,增强企业创新能力和竞争能力,加速国民经济发展和国防现代化的一项关键性高新技术;也是进一步向现代集成制造系统(CIMS: contemporary integrated manufacturing system)发展的重要技术基础。CAD 技术将计算机高速的数据处理和海量存储能力与人的逻辑判断、综合分析和创造性思维能力结合起来,对加速新产品开发,缩短设计制造周期,提高产品质量,节约成本,增强市场竞争能力和企业创新能力发挥了重要作用。无论是军事工业还是民用工业,无论是建设行业还是制造加工行业,无论是机械、电子、轻纺行业还是文体、影视广告行业等都离不开 CAD 技术。CAD 技术是企业界争夺市场份额和生存发展不可缺少的手段。现在,国际上几乎所有重大工程都实行招标承包的制度,如果没有用 CAD 技术编制工程总体设计方案和相应的投标文件,就没有投标的资格,可以说,CAD 技术已成为企业进入世界市场的入场券。

从字面上看,CAD 代表计算机辅助设计绘图(design & drafting);从广义上说,CAD 技术以计算机、外围设备及其系统软件为基础,包括二维绘图设计、三维几何造型设计、有限元分析(FEA)及优化设计、数控加工(NC)、仿真模拟及产品数据管理等内容。随着 Internet、Intranet 和并行、高性能计算及事务处理的普及,异地、协同、虚拟设计及实时仿真也得到了广泛应用。

20 世纪 60 年代,CAD 技术首先在国外工业发达国家出现,经过 30 多年的不断创新、完善,逐步发展并形成一個从研究开发、生产制造到推广應用和咨询服务一体化的高新技术产业。在我国,随着市场经济的发展,多品种小批量的生产方式已逐步取代过去单一品种大批量的生产方式,产品日渐复杂,其平均市场寿命越来越短,新产品上市时间的推迟已成为影响企业利润的重要原因。据统计分析,新产品上市时间推迟六个月,企业利润减少 33%;而在产品总的生产周期中,设计周期约占 25%~30%,设计还决定了整个制造成本的 75%。正因如此,我国 CAD 技术的开发及其推广应用越来越得到政府、企业领导和工程技术人员的重视和支持,取得了良好的进展。全国 CAD 培训网络已经建成,180 多个培训站、点及中心遍及沿海和内陆地区;CAD 通用技术规范已出版发行;CAD 软件单项功能日趋完善,初步形成了功能集成化的 CAD 支撑软件,扩大了专业应用软件的开发领域;重点行业和地区的 CAD 典型示范工作已初见成效。CAD 技术在机械产品设计中

的应用,使设计周期缩短 $1/3 \sim 1/2$,工效提高 $3 \sim 5$ 倍,产品设计的一次成功率达 90% 以上。工程设计使用 CAD 技术,使工效提高 $3 \sim 10$ 倍,基建投资节约 2% 以上。目前,在我国全面推广应用 CAD 技术的时机已经成熟,全国推广 CAD 技术的主要困难是缺乏 CAD 技术人才。为了满足在理工科大学及大专院校学生中普及 CAD 技术的要求,也为了适应现有工程技术人员更新知识结构,把 CAD 技术应用到本行业、本部门生产设计中的要求,特对《计算机辅助设计技术基础》一书进行了修订。

针对传统的 CAD 技术与系统存在的建立产品信息模型不完整,不能支持产品设计的全过程,不符合工程技术人员的设计习惯等问题,本书对 1990 年版《计算机辅助设计技术基础》做了大幅度的修改,重写了大多数章节,增加了近几年发展起来并已实际应用的参数化设计、产品造型设计、计算机辅助工艺设计、企业资源计划和产品数据管理等内容。全书共分 10 章,围绕应用、开发 CAD 技术和系统所涉及的有关问题展开讨论。其中,第 1 章介绍 CAD 技术的发展和应用,CAD 硬、软件和集成系统的分类及选择。第 2 章讨论人机交互技术与应用接口,为构造 CAD 系统的用户界面打下基础。第 3 章介绍如何用计算机绘制工程图。第 4 章介绍图形变换算法。第 5 章介绍产品造型与设计、真实感图形显示及虚拟现实技术。第 6 章讨论参数化设计技术。第 7 章介绍计算机辅助工艺设计(CAPP)。第 8 章介绍计算机辅助制造(CAM)技术。第 9 章讨论计算机辅助工程分析(CAE)技术。第 10 章介绍企业资源计划(ERP)和产品数据管理(PDM)。每章后面都附有习题,以便读者复习消化有关内容。

本书以面向大学本科生和工程技术人员为主,讲授书中的内容需要 40 小时。CAD 技术具有工程性强的特点,只是看书、听课收效不会太大,要掌握有关的内容和方法还需要大量的实践,即用 CAD 系统去解决生产实际中的具体问题。

全书由孙家广主笔。陈玉健、黄汉文、刘强、王建民、胡事民、李学军、袁波、许承东、陆薇等同志参加了有关工作。书中的主要内容是我们 20 多年来从事 CAD 工作的总结和体会,部分内容来自我们开发的高华 CAD 软件产品的用户以及国内外的有关文献资料。由于作者水平有限,疏漏和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

孙家广

1999 年 9 月

第一版前言

计算机辅助设计及制造(CAD/CAM)技术在国外出现于 60 年代。由于这一技术将计算机高速而精确的计算能力、大容量存储和处理数据的能力与人的逻辑判断、综合分析能力以及创造性思维结合起来,从而产生了巨大的威力,应用范围极广,经济效益显著,近 20 年来,得到了突飞猛进的发展。目前,在发达国家已经形成了关于计算机辅助技术的研究、开发、制造、销售以及咨询服务的新产业。

在美国,率先应用 CAD/CAM 技术的是飞机制造、汽车制造等大型企业。目前,这类企业无例外的全部应用了这一技术。大规模集成电路的出现,使 CAD 成为这一领域中不可缺少的设计手段。因而,美国的集成电路生产企业也全部采用了 CAD 技术。此外,大约 50% 的机械工业,30% 的建筑设计事务所也已应用了 CAD/CAM 技术。在日本,据 1984 年的统计,整个工业部门中应用 CAD 技术的约占 38%,而在集成电路生产企业及通用机械企业中则分别为 50% 和 30%。在法国,汽车、服装、建筑等行业也都应用了 CAD 技术。

据美国的统计资料,采用 CAD 技术后,大规模集成电路的设计效率平均提高 18 倍;机械产品的设计效率平均提高 5 倍;建筑设计的效率提高 3 倍;编辑出版的效率提高 4.4 倍。日本夏普公司生产电视、录音机和汽车覆盖件的模具,采用传统方法的生产周期为一年,而采用 CAD/CAM 技术后,从设计到制造的周期仅需 1.5~2 个月。发达国家的经验表明,采用 CAD/CAM 技术可以显著地缩短设计周期,提高设计质量,减少错误,降低成本,提高劳动生产率。因此,CAD/CAM 技术也是加速产品更新换代的有效手段、改造传统生产过程的必由之路,是衡量一个国家工业水平的重要标志。

在我国,CAD 技术的研究是从 70 年代初期开始的,当时,主要的研究内容是计算机辅助几何设计和计算机辅助绘图,主要应用于船体放样。进入 80 年代后,这一领域得到了较快的发展。例如,许多单位引进了成套的 CAD 系统,仅 1987、1988 两年,我国引进的 32 位超级微机工作站在 500 台以上,微机 CAD 系统已有一定的普及面。若干高等院校和科研单位已在 CAD 技术的基础理论、软件环境及应用软件等方面开展了研究工作,并取得了较好的成果,有的领域已达到国际上 80 年代中期的水平,自行开发的部分软件已经投入试用。在造船、电力、机械、电子、建筑等领域已有少数骨干企业开始或部分地实现了本专业的 CAD,有的已成为正常生产必不可少的手段,取得了经济效益。但是,总的说来,我国 CAD 技术的应用还处于起步阶段,和发达国家相比有较大的差距。

目前,在我国从领导到工程技术人员普遍认识到采用 CAD 技术的重要性和紧迫性,

但人才奇缺是主要矛盾。为了适应在理工科大学生中普及 CAD 技术的要求,也为了适应现有工程技术人员更新知识结构,把 CAD 技术应用到本行业、本部门生产设计的要求,我们编著了《计算机辅助设计技术基础》一书。

全书共分 9 章,围绕应用 CAD 技术所涉及到的有关问题展开讨论。其中第 1 章介绍 CAD 技术在国内外的发展和应用,CAD 硬件、CAD 系统的分类和选择。第 2 章讨论开发工程化实用化 CAD 软件的基本要求。第 3 章介绍 CAD 过程中的交互技术和应用接口。第 4 章介绍目前国际流行的几种图形软件标准的特点及其功能。第 5 章讨论用 CAD 系统绘制工程图的有关问题,如坐标系、常用直线图形、二次曲线图形、区域填充图形、字符、符号、尺寸标注和图形存取等。第 6 章讨论如何通过图形变换把简单图形变为复杂图形,把三维图形变为二维图形。第 7 章讨论自由曲线和曲面的参数表示,用离散法构造三维形体、产生形体的真实图形以及在数控加工中应用几何造型的问题。第 8 章在对工程数据库和商用数据库进行比较的基础上,介绍国外几个典型的工程数据库管理系统,并讨论自行开发工程数据库管理系统的方法。第 9 章讨论对形体作有限元分析进行前后处理的有关方法。每章后面附有习题,以便读者复习消化有关内容。

本书以面向大学本科生和工程技术人员为主,讲授书中的内容需要 40 小时,但要掌握有关的内容和方法还需要大量的实践,即用 CAD 系统去解决生产设计中的问题的时间一般不宜太少。因为 CAD 是工程性很强的技术,要能用 CAD 技术去解决实际问题,只是看书、听课收效不会太大,必须要经过大量的实践。

全书由孙家广撰写并主编,陈玉健参加第 3 章、黄汉文参加第 6 章的编写工作。书中主要内容是我们 10 年来从事 CAD 工作的总结和体会,部分内容取自国内外的文献资料。但由于作者水平有限,疏漏和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

1988 年 8 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 CAD 技术的发展和应用	1
1.1.1 发展过程	1
1.1.2 应用	3
1.1.3 应用 CAD 技术的优缺点	4
1.2 CAD 硬件	5
1.2.1 计算机及其常用外围设备	6
1.2.2 图形输入设备	9
1.2.3 图形显示设备	10
1.2.4 绘图输出设备	11
1.3 CAD 系统	12
1.3.1 CAD 系统的分类	12
1.3.2 如何选择 CAD 系统	13
1.3.3 CAD 支撑软件	18
1.3.4 CAD 集成系统	19
习题	22
第 2 章 交互技术与应用接口	23
2.1 应用接口	23
2.1.1 子程序包	23
2.1.2 专用语言	24
2.1.3 交互命令	24
2.2 交互任务与交互技术	27
2.2.1 交互任务	27
2.2.2 交互输入技术	28
2.2.3 交互控制技术	29
2.2.4 拾取图形	30
2.3 输入控制方式	33
2.3.1 三种输入控制方式	33

2.3.2	请求方式	33
2.3.3	取样方式	34
2.3.4	事件方式	34
2.3.5	输入控制方式的混合使用	35
2.4	如何构造一个交互系统	36
2.4.1	交互式用户接口的表现形式	36
2.4.2	交互式用户接口常见的工作方式	38
2.4.3	交互式用户接口的实现	39
2.4.4	交互式用户接口简例	42
2.5	基于知识的用户接口设计环境	45
2.5.1	目标	45
2.5.2	结构	46
2.5.3	基于知识的用户接口	46
2.5.4	用户接口变换器	47
2.6	CAD 应用程序开发实例	47
2.6.1	实例程序 SP 的功能	48
2.6.2	编译环境及所需文件	48
2.6.3	ADS 程序框架结构	48
2.6.4	SP()函数说明	49
2.6.5	绘图函数 hj(kdyprmt)说明	49
2.6.6	运行说明	50
2.7	网络用户接口	50
2.7.1	网络用户界面	51
2.7.2	智能网络用户界面	51
2.7.3	多通道用户界面	52
2.8	互操作接口技术	52
2.8.1	互操作是异构异地系统集成的需要	52
2.8.2	公共对象请求代理体系结构(CORBA)	53
2.8.3	分布式构件对象模型(DCOM)	54
	习题	56
第 3 章	绘制工程图	57
3.1	坐标系	57
3.1.1	分类	57
3.1.2	造型坐标系	57
3.1.3	用户坐标系	58
3.1.4	观察坐标系	59
3.1.5	规格化的设备坐标系	59
3.1.6	设备坐标系	59

3.2	基本图形生成方法	60
3.2.1	图素及其属性	60
3.2.2	常用直线图形	63
3.2.3	常用的二次曲线图形	69
3.3	常用的区域填充方法	73
3.3.1	简单的递归填充算法	73
3.3.2	扫描线区域填充算法	75
3.4	字符和符号	77
3.4.1	矢量汉字字符的存储与显示	77
3.4.2	矢量汉字的显示	78
3.4.3	符号库的建立和管理	78
3.5	尺寸标注	81
3.5.1	直线类尺寸	81
3.5.2	半径、直径类尺寸	83
3.5.3	角度尺寸	84
3.5.4	引出旁注类标注	86
3.5.5	形位公差	86
3.5.6	表面粗糙度及标题栏、明细表	87
3.6	图形的存储	89
3.6.1	用户文件	89
3.6.2	显示文件	90
3.6.3	绘图文件	90
3.7	CAD 工程绘图的一般规则	90
3.7.1	图幅尺寸	90
3.7.2	字体	91
3.7.3	图线	92
3.7.4	常用图形符号的标准代号和名称	93
	习题	94
第4章	图形变换	95
4.1	图形变换的数学基础	95
4.1.1	矢量运算	95
4.1.2	矩阵运算	95
4.1.3	齐次坐标	98
4.2	窗口视图变换	99
4.2.1	用户域和窗口区	99
4.2.2	屏幕域和视图区	99
4.2.3	窗口区和视图区的坐标变换	100
4.3	图形裁剪	101

4.3.1	二维线段裁剪	102
4.3.2	多边形裁剪	103
4.3.3	字符裁剪	104
4.3.4	三维线段裁剪	105
4.4	几何变换	106
4.4.1	二维图形的几何变换	106
4.4.2	三维图形的几何变换	110
4.5	投影变换	114
4.5.1	投影变换的分类	114
4.5.2	正平行投影(三视图)	114
4.5.3	斜平行投影	115
4.5.4	透视投影	117
4.5.5	投影空间	121
4.5.6	用户坐标系到观察坐标系的变换	123
4.5.7	规格化裁剪空间和图像空间	124
习题		128
第 5 章	产品造型与设计	130
5.1	形体的机内表示	130
5.1.1	形体的定义	130
5.1.2	几何造型的要求	132
5.1.3	表示形式	132
5.1.4	误差对造型的影响	137
5.2	参数曲线与曲面	139
5.2.1	参数表示的特点	139
5.2.2	参数曲线	140
5.2.3	参数曲面	149
5.3	离散法造型	154
5.3.1	形体的离散化表示	154
5.3.2	数据结构	156
5.3.3	集合运算	157
5.4	基于 NURBS 精确表示的非流形形体造型	158
5.4.1	非流形形体的定义	159
5.4.2	表示非流形形体的数据结构	159
5.4.3	非流形形体的集合运算	161
5.5	基于线框、表面、实体和特征统一表示的造型	162
5.5.1	数据结构	162
5.5.2	几何元素的求交计算	163
5.5.3	集合运算	164

5.6	生成三维形体的真实感图形	170
5.6.1	消除隐藏线	170
5.6.2	真实图形生成技术概述	177
5.6.3	光照模型	178
5.6.4	隐藏面消除算法	182
5.6.5	光线跟踪算法	185
5.6.6	纹理映射	187
5.6.7	辐射度算法	188
5.6.8	反走样	190
5.7	特征造型	191
5.7.1	特征的定义	192
5.7.2	特征的分类	192
5.7.3	特征的表示	193
5.7.4	特征的形成规则	197
5.8	一个典型的几何造型系统——GEMS	198
5.8.1	GEMS 的运行环境	198
5.8.2	功能与程序模块	198
5.8.3	特点	201
5.9	虚拟产品设计	205
5.9.1	VR 系统组成	205
5.9.2	虚拟环境建模	206
5.9.3	产品的虚拟原型设计	207
	习题	209
第 6 章	参数化设计	211
6.1	基于约束的参数化设计概述	212
6.1.1	参数化设计与变量化设计	212
6.1.2	常用的参数化设计方法	213
6.2	约束推理求解算法	215
6.2.1	约束的表示与分类	216
6.2.2	几何约束系统的约束建模	221
6.2.3	几何约束的推理算法	222
6.2.4	几何约束的求解计算	224
6.3	剪枝-凝聚算法	227
6.3.1	几何约束系统的无向图表示	227
6.3.2	剪枝	228
6.3.3	凝聚	230
6.3.4	剪枝-凝聚算法	232
6.3.5	过约束情况的处理	233

6.4 参数化 CAD 系统	235
6.4.1 参数化 CAD 系统的流程和基本功能	235
6.4.2 参数化 CAD 系统的数据管理	237
6.4.3 草图设计	239
6.4.4 随动约束处理	240
6.4.5 基于约束的工程设计与分析	242
6.4.6 机构运动仿真实例	243
6.4.7 多视图联动	246
习题	246
第 7 章 计算机辅助工艺设计	247
7.1 计算机辅助工艺设计概述	247
7.1.1 CAPP 系统分类	247
7.1.2 CAPP 系统功能	248
7.1.3 CAPP 系统零件信息的输入	249
7.1.4 CAPP 系统的输出信息	251
7.1.5 CAPP 数据库	252
7.2 计算机辅助工艺设计系统	257
7.2.1 交互式 CAPP 系统	257
7.2.2 派生式 CAPP 系统	277
7.2.3 创成式 CAPP 系统	281
7.2.4 混合式 CAPP 系统	286
习题	289
第 8 章 计算机辅助制造	290
8.1 数控加工技术概述	290
8.1.1 数控加工的基本原理	290
8.1.2 数控加工的发展过程	290
8.1.3 数控加工系统的分类	291
8.1.4 数控加工系统的控制功能	293
8.1.5 数控加工系统的选择和维护	294
8.2 数控编程技术	295
8.2.1 数控编程方式	295
8.2.2 数控编程中的术语	298
8.2.3 数控加工编程语言	302
8.3 数控加工自动编程系统	304
8.3.1 数控加工自动编程系统的分类	304
8.3.2 平面型零件的数控编程	305
8.3.3 组合曲面零件的数控加工编程	310
8.3.4 数控加工的后置处理程序	317

8.3.5 数控加工过程的仿真模拟	321
习题	324
第9章 计算机辅助有限元分析	325
9.1 计算机辅助有限元分析的基本概念	326
9.1.1 计算机辅助有限元分析系统构造	326
9.1.2 前处理的功能	327
9.1.3 有限元分析功能	328
9.1.4 计算机辅助有限元分析的物理模型	330
9.1.5 有限元分析计算的平衡方程	332
9.2 有限元网格生成技术	333
9.2.1 有限元网格的要求	333
9.2.2 二维网格生成技术	333
9.2.3 一个实用的二维网格生成算法	340
9.2.4 三维网格生成技术	345
9.2.5 几种方法的比较	348
9.3 计算机辅助有限元分析的后处理	349
习题	352
第10章 企业资源计划和产品数据管理	353
10.1 企业资源计划	353
10.1.1 制造过程的物流和信息流	353
10.1.2 管理信息系统	354
10.1.3 生产管理信息系统	356
10.1.4 财务管理信息系统	358
10.1.5 人力资源管理系统	360
10.1.6 经营计划与决策支持系统	360
10.1.7 制造资源计划系统	363
10.1.8 企业计划系统	365
10.1.9 物料需求计划	367
10.1.10 能力需求计划	369
10.1.11 库存管理	370
10.1.12 车间作业管理	372
10.1.13 产品成本管理	374
10.1.14 企业资源管理系统	374
10.2 产品数据管理	382
10.2.1 PDM 能为企业解决哪些问题	383
10.2.2 PDM 系统的原理	386
10.2.3 PDM 系统的开发运行平台	388
10.2.4 几种典型 PDM 系统产品简介	390

10.2.5 PDM 系统的基本功能	393
10.2.6 PDM 系统集成的接口	402
10.2.7 PDM 的企业建模	406
10.2.8 PDM 的实施	409
10.2.9 PDM 的发展趋势	411
习题.....	412
附录 绘制花键的程序实例.....	413

第1章 概 述

本章简要介绍 CAD 技术的发展、特点和应用,并对其常用的计算机及外围设备、图形设备、CAD 软件和集成系统的组成及其特点进行讨论。通过本章的学习,可使读者了解国内外常见的 CAD 系统的功能特征,并能正确地选择 CAD 系统应用于工程和产品

设计。

1.1 CAD 技术的发展和应用

1.1.1 发展过程

计算机辅助设计主要研究用计算机、外围设备、图形输入输出设备和相应的软件帮助人们进行工程和产品设计的技術,它是随着计算机、外围设备、图形设备及其软件的发展而发展的。

1. 准备和酝酿时期(20 世纪 50~60 年代初)

1950 年美国麻省理工学院(MIT)研制出类似于示波器的图形设备“旋风 I 号”(Whirlwind I),用它可以显示简单图形。1958 年,美国 Calcomp 公司研制出滚筒式绘图仪;Gerber 公司研制出平板绘图仪。整个 50 年代,人们大多采用电子管计算机,用机器语言编程。计算机主要用于科学计算,为之配置的图形设备仅具有输出功能,CAD 技术处于被动式的图形处理阶段。

2. 蓬勃发展 and 进入应用时期(20 世纪 60 年代)

1962 年美国 MIT 林肯实验室的 I. E. Sutherland 发表了“Sketchpad:一个人机通信的图形系统”的博士论文,首次提出了计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想,从而为 CAD 技术的发展和应⽤打下了理论基础。60 年代中期出现了许多商品化的 CAD 设备,如 1964 年美国 IBM 公司推出了商品化的计算机绘图设备,美国通用汽车公司的多路分时图形控制台,可实现各阶段的汽车设计。60 年代末,美国安装的 CAD 工作站已达 200 多台,可供几百人使用。

3. 广泛使用的时期(20 世纪 70 年代)

1970 年美国 Applicon 公司第一个推出完整的 CAD 系统。在此时期出现了廉价的固体电路随机存储器、产生逼真图形的光栅扫描显示器、光笔、图形输入板等多种形式的图形输入设备,出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统。70 年代末,美国 CAD 工作站安装数量超过 12000 台,使用者超过 25000 人。

4. 突飞猛进的时期(20 世纪 80 年代)

在这个时期,图形系统和 CAD/CAM 工作站的销售量与日俱增。1981 年美国实际安装 CAD 系统 5000 套,1983 年超过 12000 套,1988 年发展到 63000 套。CAD/CAM 技术从大中企业向小企业扩展,从发达国家向发展中国家扩展,从用于产品设计发展到用于工程设计和工艺设计。

5. 开放式、标准化、集成化和智能化的发展时期(20 世纪 90 年代)

CAD 技术和系统的开放性取决于其所用计算机和系统软件的开放性。由于微机加 Windows 95/98/NT 操作系统与工作站加 Unix 操作系统在以太网的环境下构成了 CAD 系统的主流工作平台,因此,现在的 CAD 技术和系统都具有良好的开放性。

图形接口、图形功能日趋标准化。从 1977 年由 SIGGRAPH 图形特别兴趣小组 GSPC 推出 CORE 图形标准以来,又出现了计算机图形接口 CGI(computer graphics interface),计算机图形文件标准 CGM(computer graphics metafile),计算机图形核心系统 GKS(graphics kernel system),面向程序员的层次交互式图形标准 PHIGS(programmer's hierarchical interactive graphics standard),基本图形转换规范 IGES(initial graphics exchange specification)和产品数据转换规范 STEP(standard for the exchange of product model data)等。这里的标准有些是面向图形设备的驱动程序包,有些是面向用户的图形用户接口程序包,有些是面向不同 CAD 系统的文档规范。这些由国际标准化组织(ISO)制定的标准为 CAD 技术和系统的推广、移植和信息资源共享起到了重要的作用。

CAD 技术的集成化主要体现在四个方面:

(1) 系统构造由过去单一功能变成集成功能,软构件和软总线技术普遍采用,出现了由计算机辅助设计(CAD)/计算机辅助制造(CAM)/计算机辅助工程(CAE)/计算机辅助工艺设计(CAPP)/产品数据管理(PDM)等功能模块构成的计算机集成制造系统(CIMS)。

(2) CAD 技术中的有关软件(含国际标准)和算法不断固化,即用集成电路及其功能块来实现有关软件和算法的功能。

(3) 多处理机、并行处理技术用于 CAD 中,使工作速度成数量级地提高。

(4) 网络技术在 CAD 中被普遍采用,使近程和远程的资源都能即时共享,实现了异地、协同、虚拟设计和制造。

在 CAD 系统中综合应用正文、图形、图像、语音等多媒体技术和人工智能、专家系统等技术大大提高了自动化设计的程度,出现了智能 CAD 的新学科。智能 CAD 把工程数