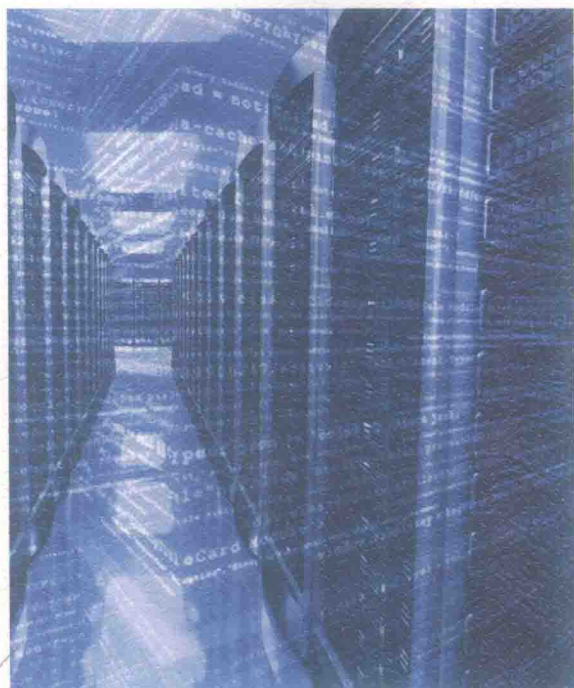


计算机辅助设计 基础及应用

- ◆ CAD系统的组成
- ◆ CAD接口技术及图形标准
- ◆ CAD软件工程技术
- ◆ 计算机图形处理技术
- ◆ 几何造型系统
- ◆ 自由曲线和自由曲面
- ◆ AutoCAD绘图软件包
- ◆ 二次开发技术
- ◆ 工程数据的计算机处理
- ◆ 计算机辅助制造技术
- ◆ Mastercam软件包
- ◆ 平面连杆机构CAD



薛山 编著



清华大学出版社

高等学校计算机应用规划教材

计算机辅助设计 基础及应用

薛 山 编著



清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍 CAD(计算机辅助设计)的基础知识、具体应用及其典型应用软件,并力求反映 CAD 领域的新发展。全书共分 13 章,主要内容包括:CAD 概述、CAD 系统的软硬件组成、CAD 接口技术及图形标准、CAD 软件工程技术、计算机图形处理技术基础、几何造型系统、自由曲线与自由曲面、通用绘图软件包 AutoCAD 及其二次开发技术、工程数据的计算机处理、CAM(计算机辅助制造)技术、Mastercam 软件包,以及平面连杆机构的计算机辅助运动分析等。

本书结构清晰、内容翔实,既可作为高等院校相关专业的教材,也可作为从事 CAD 技术研究与应用人员的参考书。

本书的电子课件、习题答案和实例源文件可以到 <http://www.tupwk.com.cn/download> 网站下载。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计基础及应用 / 薛山 编著. —北京:清华大学出版社, 2018
(高等学校计算机应用规划教材)

ISBN 978-7-302-50632-4

I. ①计… II. ①薛… III. ①计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 156514 号

责任编辑:胡辰浩 李维杰

封面设计:孔祥峰

版式设计:思创景点

责任校对:牛艳敏

责任印制:丛怀宇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:21.75

字 数:516 千字

版 次:2018 年 8 月第 1 版

印 次:2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价:58.00 元

产品编号:072467-01

前 言

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是一项多学科的综合应用性技术,是现代设计方法及手段的综合体现。CAD 技术在产品设计中发挥着重要的作用,是利用计算机软件、硬件系统辅助工程技术人员对产品或工程进行设计、分析、修改以及交互式显示输出的一种方法(或手段)。

随着计算机技术的迅猛发展,CAD 技术已广泛应用于机械、电子、建筑、纺织、航空、航天、汽车、化工、冶金、环境工程、土木工程等领域,并已成为提高产品与工程设计水平、缩短产品开发周期、增强产品市场竞争力、提高劳动生产率的重要手段。

CAD 技术的发展和形成至今已有 60 余年的历史。自 20 世纪 50 年代交互式图形处理技术出现以来,CAD 技术经历了由单纯的二维、三维绘图到覆盖几何造型、工程分析、模拟仿真、设计文档生成等大量产品设计活动的发展过程。CAD 的造型技术不断完善,广泛采用了特征造型和基于约束的参数化和变量化造型方法,并向能将线框、表面、实体模型统一表示的非流形形体造型发展。随着信息技术的发展,CAD 技术也由过去的单机或局部分布式联网工作方式向基于网络的设计发展,且支持协同的概念设计。CAD 技术的未来发展集中体现在集成化、网络化、智能化和标准化的实现上。

我国十分重视 CAD 技术的普及与深化。早在 20 世纪 80 年代,原国家科学技术委员会(现更名为科学技术部)及有关部委就将 CAD 技术的应用提到重要日程。20 世纪 90 年代,原国家科学技术委员会又协同各部委成立了全国 CAD 应用工程协调小组,开展我国的 CAD 应用工程,以将 CAD 技术转化为现实的生产力。与此同时,各高等院校和研究机构也对 CAD 技术的基础理论与软件开发进行了大量的研究,并取得了丰硕的成果。经过十几年的努力,我国已初步建立起具有一定市场规模的拥有自主知识产权的 CAD 软件产业,在全国范围内建立了 CAD 应用培训网络和咨询服务体系;制订了一批 CAD 技术标准,结合我国 CAD 应用工程的需要,创建了一套 CAD 应用工程管理工作体系、措施和办法。目前,我国在涉及产品及工程设计的各领域中都已广泛采用 CAD 技术。

由于计算机技术的迅速发展,知识更新周期的缩短,为使读者尽可能多地掌握最新的 CAD 技术,我们编写了本书。本书涉及的内容较为广泛,既包括 CAD 技术的基本原理、基本理论,又包括 CAD 技术的具体应用及相关应用软件(2D 绘图、3D 实体造型、参数化设计与建模、工程计算、模拟与仿真分析、CAM 等),并力求反映 CAD 领域的新发展。全书共分 13 章,第 1 章和第 2 章主要介绍 CAD 的基本概念、基本知识、发展概况,以及 CAD 系统的软硬件组成等内容;第 3 章介绍 CAD 系统的接口技术与图形标准;第 4 章介绍 CAD

软件工程技术；第5章～第7章介绍计算机图形处理技术基础、几何造型技术，以及有关自由曲线与自由曲面方面的知识；第8章主要介绍通用绘图软件包——AutoCAD；第9章介绍如何用 Visual LISP 对 AutoCAD 进行二次开发；第10章介绍工程数据处理及产品数据管理技术；第11章介绍 CAM 技术；第12章主要介绍 CAD/CAM 一体化软件——Mastercam；第13章为 CAD 应用部分，介绍平面连杆机构的计算机辅助设计等内容。

本书是作者在总结多年教学经验与科研成果及工程应用的基础上编写而成的，既可作为高等院校相关专业的教材，也可作为从事计算机绘图技术研究与应用的人员的参考书。

除封面署名的作者外，参加本书编写的人员还有宋志辉、侯友山、裴淑娟、李辉、张宇怀、徐晓明、薛继军、岳殿召、陈添荣、侯铁国、刘军勇、李淑萍、尹志亮、陈光训、吴超群、郑玉祥、付君泽、黄怀春和靳廷喜等。由于作者水平所限，本书难免有不足之处，欢迎广大读者批评指正。我们的邮箱是 huchenhao@263.net，电话是 010-62796045。

本书对应的电子课件、习题答案和实例源文件可以到 <http://www.tupwk.com.cn/downpage> 网站下载。

作 者

2018年5月

目 录

第1章 概述	1
1.1 现代产品设计与CAD技术	1
1.1.1 现代产品设计概述	1
1.1.2 CAD技术与现代产品设计	2
1.2 CAD技术的发展历程及发展趋势	2
1.2.1 CAD技术的发展历程	3
1.2.2 CAD技术在我国的发展和应用	4
1.2.3 CAD技术的发展趋势	4
1.3 CAD技术的特点与应用	5
1.3.1 CAD技术的特点	5
1.3.2 CAD技术的应用	6
1.3.3 采用CAD技术的优点和风险	6
1.4 习题	7
第2章 CAD系统的组成	8
2.1 CAD系统的类型和构建模式	8
2.1.1 CAD系统的分类	8
2.1.2 CAD系统的构建模式	11
2.2 CAD系统的硬件组成	12
2.2.1 CAD系统的硬件	12
2.2.2 工作站和微机	14
2.3 CAD系统的软件组成	15
2.3.1 系统软件	16
2.3.2 CAD支撑软件	16
2.3.3 CAD应用软件	18

2.3.4 商品化CAD支撑软件包介绍	18
2.4 CAD系统的选型原则	19
2.4.1 CAD系统选型工作的重要意义	19
2.4.2 CAD系统选型的基本要素	19
2.4.3 选择CAD系统的原则	22
2.5 习题	22
第3章 CAD接口技术及图形标准	23
3.1 交互技术与用户接口	23
3.1.1 交互任务与交互技术	23
3.1.2 输入控制方式	26
3.1.3 交互系统的构造	26
3.2 计算机图形接口及计算机图形元文件	28
3.2.1 计算机图形接口(CGI)	28
3.2.2 计算机图形元文件(CGM)	29
3.3 计算机图形软件标准	30
3.3.1 图形核心系统(GKS和GKS-3D)	30
3.3.2 程序员层次交互式图形系统(PHIGS)	31
3.3.3 图形程序库(OpenGL)	32
3.4 产品数据交换标准	33
3.4.1 基于DXF文件的图形数据交换	33
3.4.2 基本图形交换规范(IGES)	37

3.4.3	产品模型数据转换标准 (STEP).....	38
3.5	习题	41
第4章	CAD软件工程技术	42
4.1	软件工程的基本概念	42
4.1.1	软件与软件工程	42
4.1.2	软件工程过程模型	44
4.2	CAD应用软件开发	47
4.2.1	CAD软件工程的特点	47
4.2.2	CAD软件工程的开发流程	47
4.3	CAD软件的文档编制规范	49
4.3.1	可行性研究报告	49
4.3.2	项目开发计划	50
4.3.3	软件需求说明书	50
4.3.4	数据要求说明书	51
4.3.5	概要设计说明书	51
4.3.6	详细设计说明书	52
4.3.7	测试计划	52
4.3.8	测试分析报告	53
4.3.9	项目开发总结报告	53
4.4	习题	54
第5章	计算机图形处理技术基础	55
5.1	图形处理的数学基础	55
5.1.1	向量运算	55
5.1.2	矩阵运算	56
5.1.3	齐次坐标	59
5.2	图形程序库	60
5.2.1	设备驱动程序	60
5.2.2	图形程序库	60
5.3	坐标系	61
5.3.1	设备坐标系	61
5.3.2	虚拟设备坐标系(规格化的 设备坐标系)	61
5.3.3	世界坐标系、造型坐标系和 观察坐标系	62
5.3.4	坐标变换	63
5.4	窗口与视区	63
5.4.1	窗口	63
5.4.2	视区	64
5.4.3	窗口-视区变换	64
5.5	图形的裁剪与消隐	65
5.5.1	图形的裁剪	65
5.5.2	图形的消隐	66
5.6	二维图形几何变换	67
5.6.1	二维图形几何变换的一般 表示	67
5.6.2	平移变换与点的齐次坐标 表示	70
5.6.3	二维组合变换	72
5.7	三维图形几何变换	73
5.7.1	三维基本变换	73
5.7.2	三维组合变换与投影变换	75
5.8	习题	76
第6章	几何造型系统	77
6.1	空间几何元素的定义	77
6.2	线框造型	80
6.3	曲面造型	80
6.4	实体造型	81
6.4.1	基本造型功能	81
6.4.2	实体造型的数据结构	84
6.4.3	基于特征的造型	87
6.4.4	参数化造型	88
6.5	非流形形体造型	89
6.6	装配造型	90
6.6.1	装配造型的功能	90
6.6.2	装配浏览	91
6.6.3	并行设计功能	92
6.6.4	装配模型的使用	92
6.6.5	装配简化	93
6.7	习题	93
第7章	自由曲线和自由曲面	94
7.1	基本概念	94
7.1.1	曲线和曲面的数学表示	94
7.1.2	基本术语	95

7.2 自由曲线.....	96	8.4.3 绘制三维网格.....	154
7.2.1 Hermite曲线.....	96	8.4.4 实体建模.....	157
7.2.2 Bezier曲线.....	98	8.4.5 三维曲面建模.....	160
7.2.3 B样条曲线.....	103	8.5 三维编辑.....	161
7.3 自由曲面.....	108	8.5.1 三维移动.....	161
7.3.1 双线性参数曲面.....	109	8.5.2 三维镜像.....	161
7.3.2 Coons曲面片与双三次参数 曲面片.....	110	8.5.3 三维旋转.....	162
7.3.3 Bezier曲面.....	113	8.5.4 三维阵列.....	162
7.3.4 B样条曲面.....	114	8.5.5 对齐位置.....	163
7.3.5 曲面片的连续.....	115	8.5.6 布尔操作.....	163
7.4 习题.....	116	8.5.7 其他编辑操作.....	164
		8.5.8 标注三维对象的尺寸.....	165
第8章 AutoCAD绘图软件包.....	117	8.6 渲染.....	165
8.1 概述.....	117	8.7 AutoCAD的Internet功能.....	167
8.1.1 AutoCAD的发展历史.....	117	8.8 习题.....	168
8.1.2 AutoCAD 2018的主要 功能.....	118	第9章 二次开发技术.....	170
8.1.3 AutoCAD 2018的工作 界面.....	120	9.1 LISP、AutoLISP及Visual LISP.....	170
8.1.4 图形文件管理.....	127	9.2 Visual LISP集成开发环境.....	170
8.2 绘图设置及绘图实用工具.....	128	9.2.1 菜单栏、工具栏和状态栏.....	171
8.2.1 图层、线型、线宽及颜色.....	128	9.2.2 文本编辑器.....	172
8.2.2 样板文件.....	130	9.2.3 控制台窗口和跟踪窗口.....	173
8.2.3 绘图实用工具.....	131	9.3 加载、运行AutoLISP程序.....	174
8.2.4 配置AutoCAD 2018绘图 环境.....	135	9.3.1 在Visual LISP集成开发环境 中加载、运行AutoLISP 程序.....	174
8.3 二维绘图与编辑.....	137	9.3.2 在AutoCAD环境中加载、运行 AutoLISP程序.....	174
8.3.1 二维绘图.....	138	9.4 AutoLISP编程.....	175
8.3.2 二维编辑.....	138	9.4.1 AutoLISP程序文件及其 结构.....	176
8.3.3 图案填充、面域与图形 信息.....	139	9.4.2 AutoLISP数据类型.....	177
8.3.4 使用文字与表格.....	142	9.5 AutoLISP函数.....	179
8.3.5 标注图形尺寸.....	146	9.6 在Visual LISP集成开发环境中 调试程序.....	185
8.3.6 图形显示控制.....	147	9.7 应用举例.....	189
8.4 三维建模.....	149	9.8 习题.....	190
8.4.1 基本概念、基本操作.....	149		
8.4.2 绘制三维点和线.....	153		

第10章 工程数据的计算机处理	192
10.1 概述	192
10.2 数表的计算机处理	193
10.2.1 数表程序化	193
10.2.2 一元函数插值	193
10.2.3 二元函数插值	195
10.3 线图的程序化	196
10.3.1 建立拟合公式的方法	196
10.3.2 最小二乘法拟合的基本思想	196
10.3.3 最小二乘法多项式拟合	197
10.3.4 最小二乘法其他函数拟合	198
10.4 通用数据处理软件介绍	199
10.5 工程数据文件处理	200
10.6 数据库管理系统在CAD中的应用	201
10.6.1 数据库系统概述	201
10.6.2 数据库在CAD中的应用	202
10.7 工程数据库系统简介	212
10.7.1 工程数据库系统的概念	212
10.7.2 工程数据库系统的特点	213
10.7.3 工程数据库系统的构成方法	214
10.8 产品数据管理技术及其发展	214
10.8.1 PDM的产生	215
10.8.2 PDM的基本概念	215
10.8.3 PDM的发展	216
10.8.4 PDM的功能分析	216
10.8.5 PDM技术分析	218
10.9 习题	219
第11章 计算机辅助制造技术	220
11.1 计算机辅助制造	220
11.1.1 概述	220
11.1.2 CAM系统的典型体系结构	221
11.1.3 数控编程	221
11.2 计算机辅助工艺规程设计	222
11.2.1 CAPP概述	222

11.2.2 CAPP的系统原理和系统结构	224
11.2.3 派生式CAPP系统	225
11.2.4 创成式CAPP系统	232
11.3 CAD/CAM系统集成	240
11.3.1 系统集成的必要性	240
11.3.2 CAD/CAM系统集成的程度	241
11.3.3 CAD/CAM系统集成的关键技术	242
11.4 先进制造技术概述	243
11.4.1 计算机集成制造系统	243
11.4.2 并行工程	246
11.4.3 虚拟制造技术	249
11.5 习题	251
第12章 Mastercam软件包	252
12.1 概述	252
12.1.1 Mastercam的基本情况	252
12.1.2 Mastercam的主要功能	253
12.1.3 Mastercam X6的工作界面	253
12.1.4 文件管理	255
12.2 系统设置和基本操作	257
12.2.1 系统配置	257
12.2.2 基本概念与操作	259
12.3 CAD零件设计	262
12.3.1 二维造型	262
12.3.2 三维曲面设计	265
12.3.3 三维实体设计	268
12.4 数控加工基础	272
12.4.1 数控编程的基本过程	272
12.4.2 参数设置	276
12.4.3 操作管理	281
12.4.4 刀具路径编辑	286
12.5 CAM刀具路径设计	287
12.5.1 二维加工	287
12.5.2 三维加工	288
12.5.3 多轴加工	292
12.6 Mastercam综合实例	293

12.6.1 零件模型设计	293	13.2.3 RRR杆组的运动分析	318
12.6.2 零件刀具路径设计	297	13.2.4 RRP杆组的运动分析	320
12.7 习题	301	13.2.5 RPR杆组的运动分析	322
第13章 平面连杆机构CAD	303	13.3 杆机构运动分析与模拟	324
13.1 矢量三角形法运动分析的数学模型	303	13.4 平面连杆机构设计的类型	326
13.1.1 四杆机构的位置分析	304	13.5 连杆机构的综合	327
13.1.2 简单平面连杆机构的运动分析	305	13.5.1 连杆机构的综合方法	328
13.1.3 复杂平面连杆机构运动分析	312	13.5.2 刚体导引机构的设计	328
13.2 杆组法运动分析的数学模型	315	13.5.3 函数变换机构的设计	331
13.2.1 基本杆组的划分方法	315	13.5.4 轨迹发生机构的设计	332
13.2.2 同一构件上点的运动分析	317	13.6 习题	333
		参考文献	336

第 1 章

概 述

CAD 技术是现代产品设计中广泛采用的现代设计方法和手段。本章结合现代产品设计的主要设计环节和基本设计要求,介绍 CAD 技术的发展历史及发展趋势,以及 CAD 技术的特点与应用。

1.1 现代产品设计与 CAD 技术

产品设计是将创新构思转化为有竞争力的产品的一个创新过程。因此,设计是产品的生命,也是产品制造的前提和基础。现代产品设计强调采用先进的设计方法和手段。作为一项多学科的综合应用性技术,CAD 技术是现代设计方法及手段的综合体现。

1.1.1 现代产品设计概述

现代产品设计是一门多学科相交融的综合性学科。所谓设计,是指根据使用要求确定产品应具备的功能,构思产品的工作原理、总体布局、运动方式、力和能量的传递、结构形式、产品形状,以及色彩、材质、工艺、人机工程等事项,并转化为工程描述(图纸、设计文件等),以此作为制造的依据。

一般情况下,一个产品的设计要经历如下环节。

(1) 需求分析和可行性研究。通过市场调研分析用户的需求,进行产品开发的可行性研究与分析。

(2) 概念设计。在需求分析和可行性研究的基础上,确定产品应具备的功能,进行方案的构思、分析和论证,确定一组可行的原理性方案。概念设计主要包括功能设计、原理设计、形状设计、布局设计和人机工程设计等。

(3) 初步设计。从原理性方案中选择优化方案,进行初步的总体设计,确定各部件的基本结构、形状以及协调尺寸,建立相应的数学模型,进行主要设计参数的分析计算与优化。

(4) 详细设计。确定设计对象的细节结构,进行详细的总体设计和零、部件设计,完成产品的工程描述。

(5) 试制与测试。完成产品的样机生产及有关测试项目,并进行设计反馈与修改。

(6) 设计定型。完成产品设计定型的各种技术文件,投入批量生产。

(7) 设计完善。根据产品投入市场后的用户意见和批量生产中的问题反馈, 对产品的设计不断进行完善和修改。

现代产品设计强调全生命周期设计, 即产品设计是一个“设计-评价-再设计”的反复迭代过程。在产品的整个生命周期中, 设计定型并不意味着设计工作的结束, 只要产品还在生产和销售, 就必将反馈大量的用户信息和生产制造信息, 并要求对产品不断进行修改。因此, 设计贯穿于产品的整个生命周期。

现代产品应采用现代设计方法进行设计, 并应面向产品的开发和创新。以现代工业产品为例, 产品已由传统的机械产品向机电一体化产品、信息电子产品发展, 技术含量大为增加; 产品的功能已不再是消费者决定是否购买该产品的唯一因素, 产品的创新性、宜人性、环保性(绿色设计)以及外观造型等因素越来越受到重视, 并逐渐在竞争中占据重要地位。但长期以来, 我国的制造业主要是面向加工, 产品的开发和应变能力较差, 从而造成了产品品种单一, 市场竞争能力较弱的局面。随着中国经济与世界经济的全面接轨, 尤其在中国加入 WTO 以后, 国内企业面临巨大的挑战, 产品研发能力的高低有可能决定企业能否继续生存下去。因此, 现代产品应采用现代设计方法进行产品设计, 以提高设计效率、缩短设计周期、加速产品的更新换代, 并增强产品的市场竞争力。

1.1.2 CAD 技术与现代产品设计

产品设计是一个创造性思维和反复迭代的寻优过程。作为现代产品设计方法及手段的综合体现, 计算机辅助设计技术在产品设计中发挥着重要的作用。计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)指利用计算机软件、硬件系统辅助工程技术人员对产品或工程进行设计、分析、修改以及交互式显示输出的一种方法(或手段), 是一项多学科的综合应用性技术。该技术已广泛应用于机械、电子、建筑、航空、航天、汽车、化工、冶金、环境工程等领域。

任何产品设计或工程设计都表现为一种设计过程, 每个设计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, 产品设计中的大多数设计活动可以用 CAD 技术来实现, 但对于诸如需求分析、可行性研究以及概念设计等仍需要大量的人类创造性思维活动的前期设计工作, 目前还很难用 CAD 技术实现。将设计过程中可以用 CAD 技术实现的设计活动集合起来, 就构成了 CAD 过程。随着 CAD 技术的发展, 产品设计过程中越来越多的设计活动可以采用 CAD 工具加以实现, CAD 技术的覆盖面也会越来越宽。

1.2 CAD 技术的发展历程及发展趋势

CAD 技术的发展和形成至今已有 50 余年的历史。自 20 世纪 50 年代交互式图形处理技术出现以来, CAD 技术经历了由单纯的二维、三维绘图到覆盖几何造型、工程分析、模拟仿真、设计文档生成等大量产品设计活动的发展过程。目前, CAD 技术正经历着由传统 CAD 技术到现代 CAD 技术的转变。了解 CAD 技术的发展历程和趋势有助于我们今后有效地应用和发展这项技术。

1.2.1 CAD 技术的发展历程

CAD 技术的核心和基础是计算机图形处理技术,因此,CAD 技术的发展与计算机图形学的发展密切相关,并伴随计算机及其外围设备的发展而发展。计算机图形学(Computer Graphics, CG)是研究通过计算机将数据转换成图形,并在专用设备上显示的原理、方法和技术的学科。计算机图形学是一门独立的学科,具有丰富的技术内涵,其有关图形处理的理论和方法构成了 CAD 技术的重要基础。综观 CAD 技术的发展历程,主要经历了下述主要发展阶段。

20 世纪 50 年代,作为美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)研制的旋风 I 号(Whirlwind I)计算机的附件,第一台图形显示器诞生。该显示器可以显示一些简单的图形,但因其只能进行显示输出,故称之为“被动式”图形处理。随后,MIT 林肯实验室在旋风计算机上开发出了 SAGE 空中防御系统,第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器。利用该显示器,使用者可以用光笔进行简单的图形交互操作,这预示着交互式计算机图形处理技术的诞生和 CAD 技术雏形的出现。

20 世纪 60 年代是交互式计算机图形学和以其为基础的 CAD 技术发展的重要时期。1962 年,MIT 林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 在其博士论文“Sketchpad: 一个人-机通信的图形系统”中,首次提出了“计算机图形学”这个术语,并提出了“交互技术”“分层存储符号的数据结构”等一些至今还在使用的基本概念与技术。他开发的 Sketchpad 图形软件包可以实现在计算机屏幕上进行图形显示与修改的交互操作。在此基础上,美国的一些大公司和实验室开展了计算机图形学的大规模研究,并开始出现 CAD 这一技术术语。20 世纪 60 年代中后期,开始出现了具有实用功能的 CAD 系统,如美国通用汽车公司用于汽车车身三维曲面设计的 DAC-1 系统、洛克希德飞机制造公司集设计、分析、制造于一体的 CADAM 系统、贝尔电话公司用于印制电路设计的 GRAPHIC-1 系统等。但由于当时刷新式图形显示器的价格十分昂贵,CAD 技术的应用仅限于经济实力雄厚的公司和研究机构,很难普及和推广。20 世纪 60 年代后期,随着廉价的存储管式显示器进入市场以及计算机其他硬件设备价格的下降,CAD 系统逐渐被许多企业所接受,并逐渐形成了 CAD 技术产业。

20 世纪 70 年代,交互式计算机图形处理技术日趋成熟,在此期间出现了大量的研究成果,计算机绘图技术也得到了广泛的应用。与此同时,基于电视技术的光栅扫描显示器的出现也极大地推动了计算机图形学和 CAD 技术的发展。但当时的 CAD 技术只能解决一些简单的产品设计问题,如二维绘图及三维线框造型等。

20 世纪 70 年代末到 80 年代,随着工程工作站和微型计算机的出现,计算机图形学进入了一个新的发展时期,并推动了 CAD 技术的普及。同时,由于工业界意识到了 CAD 技术对生产的巨大促进作用,对 CAD 技术提出了各种要求和期望,从而导致了新理论、新算法的大量涌现。其中,最重要的是实体造型理论及系统的发展与应用。在当时,分布式联网的工作站是 CAD 系统的典型硬件环境,并开始出现了运行在微型计算机上的 CAD 应用软件;CAD 技术由绘制二维工程图,发展到三维造型、自由曲面设计、有限元分析、机构分析与仿真等工程应用,出现了许多成熟的 CAD 软件。为了提高 CAD 软件的与设备无关性和可移植性,同时为了满足不同 CAD 系统间的数据交换

要求,在此期间相继推出了有关的图形标准,如计算机图形接口(Computer Graphics Interface, CGI)、图形核心系统(Graphics Kernel System, GKS)、程序员层次交互式图形系统(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System, PHIGS),以及初始图形交换规范(Initial Graphics Exchange Specification, IGES)、产品模型数据转换标准(Standard for the Exchange of Product model Data, STEP)等。

20 世纪 90 年代以来, CAD 的造型技术不断完善,广泛采用了特征造型和基于约束的参数化和变量化造型方法,并向能将线框、表面、实体模型统一表示的非流形形体造型发展。随着信息技术的发展, CAD 技术也由过去的单机或局部分布式联网工作方式向基于网络的设计发展,且支持协同的概念设计。同时,计算机技术的飞速发展,也为 CAD 技术的应用提供了强大的硬件支持环境。

1.2.2 CAD 技术在我国的发展和应用

我国 CAD 技术的研究始于 20 世纪 60 年代,但当时的研究应用范围极小,主要集中在少数高等院校和军工系统。20 世纪 70 年代末 80 年代初,我国航空系统的高等院校和研究机构率先开始进行较大规模的 CAD 技术研究和引进,并开始开发国产化 CAD 软件、在全系统推广 CAD 技术。从 20 世纪 80 年代中期开始,原国家科委及有关部委将 CAD 技术的应用提到了重要日程,开始在相关行业推广 CAD 应用技术。20 世纪 90 年代,原国家科委又协同各部委成立了全国 CAD 应用工程协调小组,开展我国的 CAD 应用工程,以将 CAD 技术转化为现实的生产力。与此同时,各高等院校和研究机构对 CAD 技术的基础理论与软件开发进行了大量的研究,并取得了丰硕的成果。经过十几年的努力,我国已初步建立起具有一定市场规模的拥有自主知识产权的 CAD 软件产业;在全国范围内建立了 CAD 应用培训网络和咨询服务体系;制定了一批我国的 CAD 技术标准;结合 CAD 应用工程的需要,富有成效地开展了科学研究;创建了一套 CAD 应用工程管理工作体系、措施和办法。目前, CAD 技术在我国的产品及工程设计的各领域已广泛采用,并发挥着重要的作用。

1.2.3 CAD 技术的发展趋势

目前, CAD 技术仍在不断发展。未来的 CAD 技术将为新产品的设计提供一个综合性的环境支持系统,它能全面支持异地的、数字化的、采用不同设计原理与方法的设计工作。近年来,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,使传统的 CAD 技术有了很大的发展, CAD 技术正经历着由传统技术向现代技术的转变。为此,清华大学的童秉枢等教授提出了“现代 CAD 技术”这一概念。“现代 CAD 技术”是指在复杂的大系统下,支持产品自动化设计的设计理论、设计方法、设计环境和设计工具各相关技术的总称,它们能使设计工作实现集成化、网络化、智能化和标准化,达到提高产品设计质量和缩短设计周期的目的。

CAD 技术的未来发展集中体现在集成化、网络化、智能化和标准化的实现上。集成化、网络化、智能化和标准化是现代 CAD 技术所追求的功能目标。

- 集成化

在一个由各种应用软件组成的复杂系统中,集成涉及功能集成、信息集成、过程集成与动态联盟中的企业集成。为提高系统的集成水平,CAD 技术需要在数字化建模、产品数据管理、过程协调与管理、产品数据交换及各种 CAx(CAD、CAM 等技术的总称)工具的集成等方面加以提高。

- 网络化

网络技术的飞速发展,改变了产品设计的模式。基于网络的 CAD 技术,要求能够提供基于网络的完善的协同设计环境,提供网上多种 CAD 应用服务。

- 智能化

在实现集成化和网络化的同时,将人工智能技术,特别是专家系统技术,与传统的 CAD 技术结合起来,形成能够完成方案构思与拟定、设计方案评价与选择、结构设计、参数确定等设计活动的智能化 CAD 系统,这是CAD 技术发展的必然趋势。智能化 CAD 技术涉及新的设计理论和方法、设计型专家系统的基本理论与技术等方面。

- 标准化

随着 CAD 技术的发展,工业标准化问题日益显示出它的重要性。目前已制定了一系列相关标准,如面向图形设备的标准计算机图形接口(CGI)和计算机图形元文件(CGM)、面向图形应用软件的标准 GKS 和 PHIGS、面向图形应用系统中工程和产品数据模型及其文件格式的标准 IGES 和 STEP 等与 CAD 技术相关的计算机图形标准,以及最新颁布的《CAD 文件管理》《CAD 电子文件应用光盘存储与档案管理要求》等标准。这些标准规范了 CAD 技术的应用和发展。随着技术的进步,还会陆续推出相关的标准。

1.3 CAD 技术的特点与应用

CAD 技术具有与传统设计方法和手段不同的特点,其应用领域涵盖了产品的主要设计活动。采用 CAD 技术对企业提高市场竞争能力和经济效益有重要的意义。

1.3.1 CAD 技术的特点

CAD 技术具有以下特点。

- CAD 技术是多学科的综合性应用技术

经过近 50 年的不断发展和完善,CAD 技术已由初期单一的图形交互处理功能转化为综合性的、技术复杂的系统工程,所涉及的学科领域在不断扩大,是多学科相互交融、综合应用的产物,并逐渐向集成化、网络化和智能化发展。CAD 技术主要涉及的学科领域包括计算机科学、计算机图形学、计算数学、工程分析技术、数据管理及数据交换技术、软件工程技术、网络技术、人机工程、人工智能技术、多媒体技术及文档处理技术等。

- CAD 技术是现代设计方法和手段的综合体现

设计是一项复杂的创造性工作。人们一直在探索各种设计理论,以期利用它们来有效地指导实际的设计工作。基于计算机的先进设计理论与方法集中体现在 CAD 技术。CAD 技术涵盖了现代产品设计的主要设计活动,其中包括传统的几何造型设计、工程

分析以及目前广泛研究的支持协同的概念设计和基于 Web 的设计等。

- CAD 技术是人类创造性思维活动同计算机系统的有机融合

随着基于计算机的先进设计理论与方法的不断发展, CAD 系统的智能化程度也会越来越高。但任何智能化的 CAD 系统都只是一个辅助设计工具, 均离不开使用者(人)的创造性思维活动和主导控制, 将人的创造性思维能力、综合分析和逻辑判断能力与 CAD 系统强大的数据、图形以及文档处理能力结合起来, 才能使 CAD 技术发挥出巨大作用。

1.3.2 CAD 技术的应用

CAD 技术是适应现代生产技术和市场需求快速变换的产物。目前, CAD 技术在产品或工程设计中主要应用于以下几个方面。

- 绘制二维、三维工程图

主要用来取代传统的手工绘图工作, 这是最普遍和最广泛的一种应用, 也是中小企业采用得最多的一种 CAD 应用方式。

- 建立图形及符号库

主要用于建立常用图形和符号库, 以便于设计时调用, 提高设计效率。

- 参数化设计

对于那些具有相似结构的标准化或系列化零部件, 通过对其结构尺寸和几何约束关系进行参数化定义, 建立专用的图形程序库, 调出时通过对设计参数进行赋值, 即可生成所需的几何图形。例如, 对标准件、典型零件的设计(轴类零件、齿轮、皮带轮等)以及形状相似但尺寸不同的系列产品的设计等。

- 三维造型

根据设计需求, 采用线框、曲面或实体造型技术对产品的零部件进行三维造型设计, 并可进行装配和运动仿真。

- 工程分析

现代 CAD 技术提供了强大的工程分析工具, 如有限元分析、优化设计、运动学以及动力学分析、模拟仿真等。这些分析工具可帮助设计人员进行合理的结构、强度、运动等设计工作。

- 生成设计文档或报表

可以将设计属性制成说明文档或输出报表, 其中有些设计参数可以用各种形式的图表表示, 如直方图、扇形图、曲线图等, 以使设计实施过程更清晰、形象、直观。

1.3.3 采用 CAD 技术的优点和风险

从 CAD 技术的特点和应用范围来看, 采用 CAD 技术具有以下优点。

- 提高设计效率、缩短设计周期

利用 CAD 技术, 可减小设计人员的工作量和劳动强度, 降低设计成本, 从而提高设计效率、缩短设计周期、加速产品的更新换代、增强产品的市场竞争力。

- 提高设计质量

利用标准数据库、图形库和应用软件提供的优化技术和设计计算功能, 可以减少人

为的设计误差,达到最佳设计效果。

- 便于产品标准化、系列化

利用 CAD 技术的参数化设计功能,可以方便地实现产品的系列设计;利用存储于计算机中的标准设计信息,能够实现设计过程中的资源共享。

- 在设计阶段可预估产品的特性

利用 CAD 技术中的运动分析、有限元分析、动态仿真等技术,可以在设计阶段预估产品的特性。因此,可以及早发现设计缺陷,从而能够提高设计质量、提高产品的可靠性、缩短新产品的试制周期。

- 易于实现网络化设计

随着网络技术的迅速发展,基于网络的 CAD 系统也越来越多。利用这样的系统,工程技术人员可以实现不同部门、不同地点之间的设计信息交流,提高设计工作的效率与灵活性,实现设计资源的跨平台共享。

- 为实现 CAM 提供了基础

采用 CAD 技术生成的零件模型可以直接由计算机的 CAM(Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造)软件转化为加工、管理信息,并传送给数控机床和生产组织者,实现产品设计与制造的一体化。

- 使产品快速进入市场

在产品的设计完成以后,即可根据设计文件及有关数据,利用仿真技术和多媒体技术生成数字样机,通过网络等各种媒体进行产品宣传,提前进行市场拓展。

可以看出,采用 CAD 技术可以提高设计质量、缩短设计周期、降低设计成本、加快产品的更新换代速度,使企业可以保持良好的竞争能力。但采用 CAD 技术也会给企业带来一定的风险和问题,具体体现在以下两个方面。

- 一次性资金投入较大

采用 CAD 技术需要较大的资金投入来购买计算机的软硬件系统、支付相关的培训和开发费用,并且需要为软硬件的不断升级提供资金支持,但这些投资可能不会在短期内产生效益,需要有一段滞后期。

- 对工程技术人员的素质和技能要求较高

设计人员是 CAD 系统的重要组成部分,并在系统中发挥着主导作用。如果缺乏具有良好素质并能掌握 CAD 技术的工程技术人员,则很难使所配置的 CAD 系统发挥应有的作用。因此,企业在采用 CAD 技术时,应根据自身资金及人员结构情况综合考虑,以寻求系统的最佳配置。

1.4 习 题

1. 简述产品设计所经历的主要环节。
2. 简述 CAD 的发展历程。
3. 简述 CAD 技术的特点及应用。
4. 就 CAD 技术的发展趋势阐述个人的观点。
5. 查阅相关资料和文献,结合某一具体的 CAD 系统,就 CAD 技术在某个产品设计领域的应用情况,写出一篇综述。