

21世纪高等院校规划教材

能源动力装置

 **CAD技术**

蒋炎坤 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

世纪高等院校规划教材

能源动力装置 CAD 技术

蒋炎坤 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书重点介绍 CAD 技术基础及其在能源动力装置中的应用,主要内容有:计算机辅助绘图基础、曲线曲面的数学描述、几何造型与特征造型、工程数据库技术、产品数据交换标准、动力装置 CAD、CAD 与 FEA 及 CFD 之间的关系与应用、动力装置中的运动学与动力学分析及其系统仿真技术等。书中内容从理论到实践,注重理论与实践相结合,强调体系的完整性、知识的时效性和针对性,重点突出,内容丰富详实。

本书主要供热能动力工程、车辆工程、船舶工程及相关专业的本科生作为“能源动力装置 CAD 技术”必修课教材使用,也可供上述专业的研究生和相关技术人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

能源动力装置 CAD 技术 / 蒋炎坤编著. —北京: 国防工业出版社, 2007. 4

21 世纪高等院校规划教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 05050 - 9

I. 能... II. 蒋... III. 能源 - 动力装置 - 计算机辅助设计 - 应用软件 - 高等学校 - 教材 IV. TK05 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 026681 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 17½ 字数 400 千字

2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

前 言

能源是困扰全人类的重大问题之一,动力装置是船舶、车辆、飞机等的“心脏”,CAD 技术是设计与制造自动化的基础,是信息技术在设计与制造中的应用,能源动力装置 CAD 技术则是其交叉学科,是热能与动力工程专业学生必须掌握的基本技能之一。随着数学、计算机等相关技术的发展,CAD 的基本理论、算法和技术等都在不断的变化和完善,尤其是近年来,新概念和技术的不断涌现、CAD 支撑平台的逐步完善、各种商业软件的推广应用,使 CAD 在设计、分析、仿真等不同领域中发挥着越来越重要的作用;同时,能源问题受到前所未有的重视,动力装置不断革新,使得在产品设计与制造过程中现代理论与方法的应用以及产品质量的提高越来越重要,如何缩短设计周期、减少设计费用、降低产品成本,并最终改善和提高产品性能成为备受关注的问题。本书正是在此背景下编写的,重点介绍 CAD 的基础技术和最新研究成果及其在能源动力装置中的应用,以满足能源动力装置等相关专业学生教学的急需。

本书从学习 CAD 技术的基本要求出发,结合相关软件学习二维绘图及三维建模的基础知识,进而简要介绍其基本原理与方法,兼顾了系统性;结合现代 CAD 技术最新研究成果及其发展趋势,注重了时效性;结合能源动力装置中 CAD 技术的具体应用,体现了针对性;同时,结合教学、科研工作实际,着眼于学生应用能力的培养,为后继课程学习和科研工作奠定了基础。

本书分 10 章。第 1 章是绪论,概要地介绍了 CAD 的含义、应用 CAD 技术的优越性、CAD 技术及其特点与发展历程和趋势、CAD 技术在能源动力装置领域的相关应用等;第 2 章、第 3 章从计算机辅助绘图基础开始,介绍计算机绘图系统的基本功能、基本图元的生成、基于高级语言的程序设计、图形变换,基本参数曲线、曲面的概念及其数学描述方法与特殊曲面的生成;第 4 章、第 5 章则分别专门介绍了几何造型和特征造型的两大最常见的 CAD 造型技术;第 6 章、第 7 章对 CAD 中的工程数据库技术结合实例予以介绍,在此基础上阐明了产品数据交换标准;从第 8 章以后的三章则有针对性地介绍了 CAD 技术在能源动力装置中的具体应用,包括动力机械总体布置 CAD 与旋转机械 CAD、有限元分析 (FEA) 与计算流体动力学 (CFD) 的基本知识及其与能源动力装置 CAD 技术之间的关系和应用、动力装置中的运动学与动力学分析及其系统仿真技术。

本书是在作者与蔡兆麟教授、黄俭明高工、戴勇峰讲师共同讨论教学大纲之后所写讲义的基础上成稿的,舒水明教授、刘伯棠教授对书的成稿提出了建议;国家 CAD 支撑软件工程研究中心副教授吴义忠博士对本书的编写给予了诸多帮助,提供了部分资料;我的研

究生刘志恩、庄瑞宜、徐小明、吴峰胜、罗金、董哲林、吴志鹏、任广辉等协助完成了部分工作;叶晓明博士对书稿进行了校对;华中科技大学刘永长教授提出了许多宝贵意见并对全书进行了审阅,借此机会向他们表示衷心的感谢。

本书的编写得到了能源与动力工程学院领导和同事们的帮助,引用了国内外许多学者的相关研究成果,编写过程中参考了许多兄弟院校教材中的资料,得到了华中科技大学“新世纪教学改革工程”以及国防工业出版社丁福志编辑等的大力支持,在此一并致谢。

书中编写的内容涉及面较广,时间过于仓促,更限于作者水平,书中的不足和错误之处在所难免,恳请读者和同行不吝指正。

蒋炎坤

2007年2月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 CAD 的含义	1
1.1.2 应用 CAD 的优越性	2
1.2 CAD 技术	3
1.2.1 CAD 技术的特点	3
1.2.2 CAD 技术的发展历程	4
1.2.3 CAD 与传统设计的对比	7
1.2.4 CAD 分析方法	8
1.2.5 现代 CAD 技术	9
1.2.6 现代 CAD 技术的研究内容	12
1.3 CAD 技术在能源动力装置中的应用	14
第2章 计算机辅助绘图基础	18
2.1 概述	18
2.1.1 计算机绘图系统及其功能	19
2.1.2 计算机辅助绘图的基本方法	20
2.1.3 显示器原理简介	21
2.2 基本图元的生成	21
2.2.1 直线段的扫描转换算法	22
2.2.2 圆弧的扫描转换算法	27
2.3 基于高级语言的绘图程序设计	28
2.3.1 图形系统初始化	28
2.3.2 基本图形函数	31
2.3.3 基本图形程序设计举例	35
2.4 图形变换	39
2.4.1 图形变换的数学基础	40
2.4.2 图形的几何变换	44
2.4.3 图形的投影变换	55

第3章 自由曲线曲面的数学描述	61
3.1 曲线曲面描述的基本原理	61
3.1.1 几何设计的基本概念	61
3.1.2 曲线曲面的数学描述方法	62
3.2 Bezier 曲线	63
3.2.1 Bezier 曲线定义与作图法	63
3.2.2 Bezier 曲线的生成与程序设计	66
3.2.3 Bezier 曲线的性质	67
3.2.4 Bezier 曲线的拼接与反算	70
3.3 B 样条曲线	71
3.3.1 样条原理	72
3.3.2 B 样条曲线的数学描述	72
3.3.3 B 样条的拼接与反算	77
3.4 非均匀有理 B 样条(NURBS)曲线	78
3.5 自由曲面描述	79
3.5.1 曲面模型	79
3.5.2 Bezier 曲面	80
3.5.3 B 样条曲面	82
3.5.4 Coons 曲面	83
3.5.5 NURBS 曲面	84
3.5.6 曲面的反算、拼接和互化	85
3.6 其他曲面描述	86
第4章 几何造型技术	89
4.1 几何造型技术概述	89
4.2 几何形体的表达	89
4.2.1 几何形体的基本概念	89
4.2.2 几何形体的计算机内部表达	92
4.2.3 几何形体的 B-rep 表达与 CSG 表达	96
4.2.4 常用几何形体定义方法	107
4.2.5 几何形体的其他表达方式	110
4.3 布尔运算基本原理	119
第5章 特征造型技术	123
5.1 概述	123
5.2 特征的定义和分类	124

5.3	特征建模	127
5.4	参数化特征造型技术	134
5.4.1	参数化与变量化设计	134
5.4.2	目前流行的几个特征造型系统简介	144
5.5	基本特征的异构 CAD 数据转换	146
5.5.1	异构 CAD 平台数据转换简介	146
5.5.2	异构 CAD 系统的数据交换	146
第 6 章	工程数据库	148
6.1	数据库概述	148
6.1.1	数据库的产生与发展	148
6.1.2	数据管理技术的发展	149
6.2	数据库系统的组成	151
6.2.1	现实世界的描述	151
6.2.2	数据模型	153
6.2.3	数据库管理系统(DBMS)	156
6.2.4	数据库管理系统的功能	157
6.2.5	图形数据库的设计	158
6.2.6	数据库系统与 CAD/CAM 系统的集成	159
6.3	工程数据库管理系统	160
6.3.1	工程数据库的特点	160
6.3.2	工程数据库技术	162
第 7 章	产品数据交换标准	167
7.1	产品数据交换标准简介	167
7.2	DXF 格式数据标准简介	169
7.2.1	DXF 格式文件的主要组成部分	169
7.2.2	DXF 文件的编写	170
7.2.3	DXF 格式文件的读取	172
7.3	IGES 格式的数据标准简介	174
7.3.1	IGES 模型	174
7.3.2	IGES 的作用和文件构成	175
7.3.3	IGES 文件的数据记录格式	177
7.3.4	IGES 数据交换中存在的问题与解决办法	178
7.4	产品模型数据交换标准(STEP)	179
7.4.1	STEP 的体系结构和技术原理	180
7.4.2	EXPRESS 语言简介	186

7.4.3	STEP 标准应用协议	188
7.4.4	STEP 标准的实现方式	189
7.4.5	STEP 的应用	192
第8章	动力装置 CAD	193
8.1	动力机械总体布置 CAD	193
8.1.1	概述	193
8.1.2	总体布置设计和草图设计的内容和方法	193
8.1.3	基于装配的设计方法	195
8.1.4	基于装配的发动机设计方法应用	203
8.2	旋转机械 CAD	205
8.2.1	概述	205
8.2.2	离心蜗壳的三维实体(特征)造型	206
第9章	CAD 与 FEA 及 CFD	216
9.1	CAD 与 FEA	216
9.1.1	FEA 概述	216
9.1.2	有限元的基本概念和原理	216
9.1.3	FEA 软件结构及有限元法的发展趋势	219
9.1.4	用 FEA 软件设计时需注意的几个基本问题	221
9.1.5	有限元法在动力机械中的应用	222
9.2	CAD 与 CFD	224
9.2.1	CFD 概述	224
9.2.2	CFD 的含义及其求解的基本过程	224
9.2.3	CFD 的应用	227
第10章	动力装置仿真技术	233
10.1	仿真技术	233
10.1.1	CAE 技术的发展与仿真	233
10.1.2	仿真技术的含义及基本类别	234
10.2	动力装置中的运动学/动力学仿真	241
10.2.1	运动仿真概述	241
10.2.2	运动仿真模块的功能及相关术语与结构连接方式	242
10.2.3	动力装置的运动学仿真	244
10.2.4	动力装置的动力学分析	250
10.3	动力装置的系统仿真	259
10.3.1	模型背景概述	259

10.3.2	发动机模型分析.....	259
10.3.3	开环系统的建模与仿真.....	263
10.3.4	闭环系统的建模与仿真.....	265
参考文献.....		269

第1章 绪 论

1.1 概 述

人类一直生活在一个充满信息的社会里。在远古时代,当人类穴居而处时,虽然还没有文字,却已懂得结绳记事。这种记事方式就是一种比较原始、简单的信息存储方式。时至今日,人类进入电子信息年代——通过看不见、摸不着的无线电波,利用卫星通信等现代技术,就可以把信息在瞬间传到千万里之外。今天信息的多元化,使人们可以通过不同媒介对信息进行传递、接收、存储和处理,这就是信息技术(Information Technology, IT),它是一门处理资料、信息的新兴学科,而 CAD(Computer Aided Design, 计算机辅助设计)技术就是信息技术在工程与制造业中的应用,是 20 世纪下半世纪以来最重要的技术之一。

1.1.1 CAD 的含义

CAD 是指工程技术人员以计算机硬、软件系统为工具,用各自的专业知识对产品或工程进行一系列设计活动的总称。CAD 定义机械产品的几何数据和各种加工、制造、使用有关的数据,并将数据提供给后继的 CAPP(Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺设计)、CAM(Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造)系统^[1]。

从广义上看, CAD 涵盖了为设计提供辅助的众多技术, 主要包括^[2]:

(1) 计算机辅助绘图(Computer Aided Drawing, CAD)。主要用于完成二维工程图的绘制和三维实体建模。其中, 三维 CAD 系统的主要功能是产品的三维造型和物理功能分析。从模型来看, 所创建的三维模型有线框模型、表面模型、实体模型, 可以提供完备的几何数据和信息库, 为其他应用奠定基础, 同时三维 CAD 系统还应包含二维 CAD 系统的大部分功能。其特点表现在:

① 直观、设计效率高、准确表达设计者的设计意图, 使设计者更加关注产品本身的构思。

② 系统中具有的曲面造型工具可以构造各种复杂的物体或产品形状。

③ 对产品的装配设计进行干涉检查。

④ 对设计对象进行诸如质量、体积、转动惯量等物理量的分析和计算。

计算机辅助绘图是其他众多辅助技术的基础。

(2) 计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)。通常指有限元分析、机构的运动学和动力学分析以及流场动力学分析。有限元分析可完成力学分析(线性、非线性、静态和动态等)、场分析(热场、电场、磁场等)、频率响应和结构优化分析等。

CAE 系统又可分为通用 CAE 和专用 CAE。

通用 CAE 用来对工程中常用机构的运动学、动力学进行分析,而对于诸如受热、摩擦、噪声等特定量的分析可在 CAD 系统基础上采用某种宿主语言进行二次开发。专用 CAE 用来对诸如发动机一类复杂机械系统进行场(包括温度场、压力场、速度场等)的动力学特性分析。

(3) 计算机辅助制造, CAM。主要是指基于计算机辅助设计,运用数控机床完成设计对象的生产。

(4) 产品数据管理(Product Data Management, PDM)。主要指用于管理产品设计及制造过程中生成的文档图纸等信息数据,可进行产品结构配置管理和工作流程管理。通过实施 PDM,可以实现企业内部的数据共享和协同工作。

(5) 逆向工程(Rreverse Engineering, RE)。把现有的实体通过扫描或测量等方法在计算机中生成三维模型,是在原始设计数据残缺的条件下进行快速设计的一种有效方法。

(6) 产品可视化(Production Vision, PV)。可用于各种 CAD 模型的可视、装配、几何分析、人机工程以及虚拟现实等。

CAD 技术包括图形处理技术、工程分析技术、数据管理与数据交换技术,甚至还包括软件设计技术(如窗口界面设计、软件工程规范等)、文档处理技术等。它涉及的技术范围很广,通常所说的计算机绘图并不是 CAD 的全部内涵,而只是 CAD 技术的基础之一。CAD 是一种与传统设计不同的新的设计方法,也是一门多学科综合运用的高新技术。

各种相关 CAD 技术的有机结合,即可形成一个虚拟产品的协同开发框架和环境,从概念设计到制造装配都可以在计算机上实现,极大地缩短设计周期,降低设计成本,为设计者提供更加丰富的想象空间。其功能的实现需要选择或(和)构建一个较完整的 CAD 平台。

考虑到《能源动力装置 CAD 技术》作为热能与动力工程专业学生的一本必修课程教材,该书的研究内容主要包括:CAD 技术的总体介绍、计算机辅助绘图基础、自由曲线曲面基础、几何造型与特征造型、工程数据库、图形数据标准、能源与动力装置中的往复机械与旋转机械 CAD 实例、CAD 与 FEA 及 CFD、动力装置中的零部件运动学与动力学仿真及其系统仿真技术。

1.1.2 应用 CAD 的优越性

CAD 技术的发展与普及,是对传统设计方法的变革。CAD 技术的广泛应用表明了 CAD 具有自身的优越性。

从(经济)效益角度看,表现在:

① 提高设计效率,缩短设计周期。CAD 技术的应用,避免了许多重复劳动,明显地缩短了资料检索、设计计算和图纸绘制的时间,提高了设计速度。

② 部门之间信息交流快速、可靠。传统设计是通过图纸作为媒体来传播的,由于图纸的设计、绘制、存储和传递需要花费较多的时间,影响了部门之间信息的交流。CAD 技术的应用,使得信息可以通过电子文档存储和传递,信息交流快速可靠。同时,随着 CAD/CAM 技术的发展, CAD 信息可以直接转化为 CAPP 和 CAM 所需的信息,为实现计算机集成制造打下基础。

从技术层面(自身)看,表现在:

① 提高了设计质量。CAD 技术的应用,物理模型更加逼真,数学模型更加准确,其计算精度比传统纸算更高,且容易在设计阶段发现错误。同时,设计人员避免了繁重的简单绘图,摆脱了重复劳动,从而能集中精力发挥创造性思维,使设计产品的质量更高。

② 设计、分析与优化的工作模式统一。由于 CAD 系统的集成,许多设计、分析平台可以交互操作,结构分析、优化设计并行反复进行,使设计方案更加合理,设计结果达到更佳。

③ 有利于产品标准化、系列化、通用化。设计人员可以利用 CAD 系统标准图及标准零部件设计库或通过参数化(变量化)设计修改原有产品设计中的参数得到新的设计结果。这样,可以充分利用以前的设计结果,使得 CAD 系统在标准化、系列化、通用化方面更显优势。

当然,CAD 技术的应用也有需要注意的问题。首先,应用单位要在硬件、软件、培训和二次开发等方面有一定的初始投资。其次,由于 CAD 技术的应用是对传统设计观念的一种冲击,且随着 CAD 平台的不断完善,对设计、生产人员的素质要求越来越高,使其面临着不断再学习的问题。这些都需要应用单位的决策者在 CAD 技术应用之前给予充分的考虑。可见,应用 CAD 技术的优越性是显然的,学习研究 CAD 技术具有十分重要的意义。

1.2 CAD 技术

1.2.1 CAD 技术的特点

CAD 技术的特点主要体现在以下几方面。

(1) 先导性。提前进行产品的“样品设计”或“虚拟设计”(即数字化设计),可以让用户实时从屏幕上看到尚未问世的新产品外观与性能,对其进行多方面的观察和评审,为产品的方案设计及标书的编写和绘制做出快速反应。

(2) 可仿真性。在产品进入详细设计阶段,CAD 可以进行模拟装配和运动仿真,以便及早发现运动机构的碰撞或空间布局中的干涉,避免不必要的损失和浪费。

(3) 并行性。便于组织实施并行工程(Concurrent Engineering),在计算机中确立产品模型和总体布局,与之配套的各个独立系统、部件组、试验组、生产准备等都可以在总体设计下同时分头协调地进行工作,大大加快产品开发速度。

(4) 动态扩展性。能方便、简捷地输入已有的图样,并对图样上的信息缺陷实现修复,能根据客户提出的各种设计进行及时修改;在此基础上建立的各种数据库越来越丰富,可以方便地检查和迅速组织各套图的发放,为生产准备工作的各个方向赢得时间。

(5) 效益性。CAD 技术作为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、实现智能劳动自动化、加快国民经济发展、有利于国防现代化的一项关键性高技术;是提高产品设计质量、缩短开发周期、大幅度提高劳动生产率的重要手段;是

企业提高创新能力和管理水平、增强市场竞争力和参与国际竞争的必要条件。CAD 技术的开发与应用水平已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化程度的重要标志之一。

当前,CAD 技术的发展,使其在如下方面表现出一些新的特色。

(1) 采用面向对象技术的 32 位 CAD 软件,支持 Windows 95/98/NT/XP 操作系统,支持 IGES、STEP 等数据交换标准(参见第 7 章),提供 VC、VB 等语言开发接口。

(2) 用特征来描述、构造产品信息模型,这样既包括产品的形体信息,又包括产品的功能特征、工艺特征和加工特征,对产品具有更全面的描述能力,是实现 CAD/CAM 集成的重要技术方法。

(3) 参数设计使用户可以定义模型的尺寸作为控制尺寸,通过修改模型的尺寸值便可改变模型的几何形状。变量设计使得用户可以在几何形体之间建立起一些复杂的约束关系,通过约束驱动生成新的形体。

(4) 对产品的描述采用统一的数据模型,所有数据都存入统一的数据库中。这样对产品任何改动,都会自动改变与之相关的数据。产品三维绘图和三维造型共享数据,从而保证了数据的完整性和可靠性。在某一数据模型基础上可方便地实现相关性设计,用户在某一部分对模型进行了修改,系统会自动地更新与修改有关的内容,则主视图、俯视图和三维模型中相应的尺寸和形状均会自动改变。

(5) 对某些特殊的设计和制造过程,采用专家系统的设计思想,在 CAD 系统建立知识库,为用户的设计和决策提供帮助。

(6) 网络化 CAD 既可用单机多窗口操作编辑,又可多机联网并行设计、网络数据管理和图纸管理。

(7) 快速原型制造(RPM)技术的发展,既可以便于设计的产品及时得到实物模型,也可以作为 CAD 系统与加工直接联系的纽带。

1.2.2 CAD 技术的发展历程

1. CAD 技术的发展阶段

CAD 技术的发展可分为六个阶段。

- (1) 以自动绘图机为工具的自动绘图系统化。
- (2) 以数控机床为中心的 NC 系统化。
- (3) 以会话型自动绘图系统为工具的会话系统化。
- (4) 技术信息的数据库一体化。
- (5) 以大型计算机为中心的分散处理化。
- (6) 生产工作中信息处理的网络化。

需注意的是,20 世纪 50 年代数控机床的出现使 CAM 先于 CAD 诞生,当时的着眼点侧重于数控加工自动编程。随后,CAD 与 CAM 分别按照各自的要求相对独立地发展。

2. CAD 技术各阶段的发展及其特点

20 世纪 60 年代,CAD 的主要技术特点是交互式二维绘图和二维线框模型。利用解析几何的方法定义有关因素(如点、线、圆等),用来绘制或显示由直线、圆弧组成的图形,

这一时期,最有代表意义的事件是1962年美国学者 Ivan 等研究出的名为 Sketchpad 的草绘图板。随后,交互式图形系统的出现,使得能在屏幕上对图形进行设计与修改,相应地也出现了 CAD 这一术语。1964 年,美国通用汽车公司宣布了它们的 DAC-1 系统;1965 年,洛克希德飞机公司推出了 CADM 系统,贝尔电话公司宣布了一个相应的 CAD 系统。初期的图形系统只能表达几何信息,不能描述形体的拓扑关系和旧有信息,也无法实现 CAE。

20 世纪 70 年代,最主要的技术特征是自由曲线曲面生成算法和表面造型理论。这是由于汽车和飞机工业的发展促进了自由曲线曲面的研究,Bezier 曲线、B 样条法等成功算法应用于 CAD 系统中。法国达索飞机制造公司推出的三维曲面造型系统 CATIA 实现了曲面加工的 CAD/CAM 一体化。随着存储管式显示器以其低廉的价格进入市场,使 CAM 系统的成本下降了许多,出现了将硬软件存放一起成套出售给用户,即所谓 Turnkey 系统(交钥匙系统),并很快形成了 CAM 培训产业。虽然表面造型技术可解决 CAM 表面加工的问题,但不能表达形体的质量、重心等特征,不利于实施 CAE 方法。

20 世纪 80 年代,CAD 的主要技术特征是实体造型(Solid Modeling)理论和几何建模(Geometric Modeling)方法。由于设计制造对 CAD 提出了各种各样的要求,导致了新理论、新算法的不断涌现。实体建模的边界表示法(B-Rep)和构造实体几何表示法(CGS)在软件开发中得到应用。SDRC(Structural Dynamics Research Corporation)公司推出的 I-DEAS 是基于实体造型技术的 CAD 软件,能进行三维造型、自由曲面设计、有限元分析等工程应用。实体造型技术能够表达零件的全部形体信息,有助于 CAD、CAM、CAE 的集成,被认为是新一代 CAD 系统在技术上的突破性进展。与此同时,计算机硬件及输出设备也有很大发展,工程用工作站及微机得到广泛应用,形成了许多工程工作站和网络环境下的高性能的 CAD/CAM 集成系统,其中,有代表性的系统有 CADDS5、GUII、I-DEAS、Intergraph、CATIA、EUCLID、Pro/Engineer 等;在微机上运行的 CAD 系统有 AutoCAD、Micro-station 等。

20 世纪 90 年代以前,基本上是以表面及线框造型技术为代表的造型技术。90 年代以后,CAD 技术基础理论主要是以 PTC 公司的 Pro/Engineer 为代表的参数化造型理论和以 SDRC 的 I-DEAS 为代表的变量化造型理论,形成了基于特征的实体建模技术,为建立产品信息模型奠定了基础。参数化建模技术,应用于非耦合的几何图形和简易方程式的顺序求解,为设计者提供尺寸驱动能力。变量化技术将几何图形约束与工程方程耦合在一起联立求解,以图形学理论和强大的计算机数值解析技术为设计者提供约束驱动能力。两种技术的最根本的区别在于是否需要全约束以及以什么形式来施加约束。两种技术的应用领域亦由于技术上的差异而不同。参数化技术的主要用户多集中于零配件和系列化产品行业,变量化技术主要用户多集中在整机、整车行业,侧重产品系统级的设计开发。目前,变量化技术和参数化技术都在不断地丰富和完善。一般认为参数化技术的回旋余地已越来越小,而变量化技术的发展空间还十分广阔。

3. 我国 CAD 技术的发展历程

国内 CAD 技术的研究起步较晚,在 20 世纪 70 年代,当时仅有少数大型企业和科研单位及部分高校参加,进展速度很慢。近年来,由于计算机价格的不断下降,改革开放的

进一步深化,国内外市场的激烈竞争,促使我国科技人员采用新技术的积极性不断高涨,CAD/CAM 技术的优点逐渐被更多的人所接受。特别是近几年,CAD 技术的发展与以前相比速度更快,主要表现在:

(1) 少数大型企业已经建立起比较完整的 CAD/CAM 系统并获得了较好的效益。近年来,少数大型企业在某一(和某些)专业领域大胆应用 CAD/CAM 技术后,真正提高了产品质量,缩短了生产周期,取得了较好的社会效益。这些企业认识到了 CAD/CAM 技术是提高生产效益必不可少的条件之一。它们在设计制造及电路设计中采用 CAD 技术后,十分明显地提高了经济效益,节省了大量的外汇,并在已有基础上进一步扩大了 CAD/CAM 技术在本行业(单位)的应用范围。

(2) 中小型企业开始使用 CAD/CAM 技术。进入 20 世纪 90 年代后,国家各工业部门都十分重视推广应用 CAD/CAM 技术,制定了发展计划,并对所属企业提出了具体要求。另外,少数大型企业采用 CAD/CAM 技术后产生了明显的经济效益,对中小型企业的影响十分巨大。它们首先应用微机和相应的微机 CAD 软件组成了 CAD 系统,对机电产品进行设计和工程图纸的绘制,与传统设计方法相比提高了效率。同时,应用范围也不断扩大,而且逐步深化。有的企业在原有的基础上还引进了工程工作站和数控机床,实现了 CAD 和数控加工相组合。

(3) 我国已自行开发了大量实用的 CAD/CAM 软件。从 20 世纪 70 年代中后期起,国内一些高等院校和科研院所以及一些大型企业在 CAD/CAM 技术领域内进行了大量的研究工作,自行开发了一些实用的 CAD/CAM 软件。由于这些软件价格比较便宜,维护和培训较方便,所以便于推广应用。

(4) 国内计算机生产厂商已经能为 CAD/CAM 提供微机和工程工作站。现在国内市场上提供的微机价格比较便宜,性能也基本能够满足需要,不仅可以满足绘制二维工程图纸的要求,而且还可以完成三维几何造型和复杂运算的工作。工程工作站的价格也很便宜,性能也比较好。这为推广应用 CAD/CAM 技术提供了一个良好的软硬件条件。

(5) 国内许多企业开始引进国外成套的 CAD/CAM 系统。在改革开放和发展市场经济的条件下,一些经济效益好的企业从国外引进一些成套的功能较强的 CAD/CAM 系统,这对提高我国 CAD/CAM 技术的水平是十分有用的。

我国在 CAD/CAM 技术的普及方面已经取得了一定的成绩,但是还远远不够,甚至可以说,目前我国企业对 CAD/CAM 技术的普及应用程度还很低。在几年前“甩图板”工程的带动下,计算机出图率有较大的提高,但企业在使用 CAD/CAM 技术的水平和效率方面仍然很低,多数没有体现计算机辅助设计这个概念,顶多也就是把图版上的工作原原本本移到了计算机屏幕上。甚至有许多知名企业目前仍然依靠一些非正版的平台软件绘图,其效率和质量的低下已经严重阻碍了企业的发展。为了加强我国 CAD/CAM 技术的发展和普及应用,应根据各单位的实际情况,对现有的工程技术人员进行 CAD/CAM 技术培训,使他们快速掌握 CAD/CAM 技术,尽快培养一支掌握 CAD/CAM 技术且具有一定专业知识与技能的、多层次的人才队伍,这是推广应用 CAD/CAM

技术的关键所在。

1.2.3 CAD 与传统设计的对比

CAD 技术的应用,从根本上改变了传统的工程制图方法,改变了工程师的工作环境和工作习惯,使得工程设计人员第一次从繁琐的“爬图板”工作中解放出来,用更多的时间从事创造性的设计工作。与传统绘图方式相比,计算机交互绘图有以下一些无可比拟的优越性。

(1) 绘图工具不再是图板、直尺、角尺、圆规和铅笔等,而是面对计算机,眼看屏幕,手按键盘、鼠标或数字化仪器,劳动强度大大减轻。

(2) 绘图实现了标准化、一体化——集设计员、绘图员、描图员于一身,线型、颜色、层次、文字、剖面可以统一风格,为图纸交流和修改带来了便利。设计、绘图质量大为提高,可按实际尺寸绘图,不考虑比例。

(3) 复用能力。对于图纸借用和类比设计,设计人员可以把已有图形文件和别人的图形文件调出来稍做修改,对于重复阵列、对称几何、拓扑相似的图素,可只绘一次并做成图块,然后多次复制、引用、插入,绘图效率得到极大地提高。

(4) 修改能力。设计绘图员再也不用担心对错绘图形的修改,从草图设计、分步细化到最终工程图纸的绘制,Undo 和 Erese 等命令能够解除设计绘图人员的担忧,并满足其要求。

(5) 绘图能力的提高、智能设计的实现。尺寸标注、剖面线生成、开孔、剪切等在计算机绘图中只需操作命令键或使用菜单即可。还可以引进和开发出本行业设计分析绘图一体化的专业软件,把一些重复性的工作编成程序,用户只需调用相应的即可。

(6) 管理方式的变革。电子化图纸可以通过计算机网络分发、存储、复制到磁盘、光盘,进行电子化检索,不需要图纸柜,不需像纸制文档那样考虑防火、防盗、防蚀和晒蓝图,档案处和描图员的工作可以削减。

(7) 三维设计能力的提高。现实中的产品、人脑中产品设计构思均是三维的,只是由于图纸等表达工具是二维的,才使用三视图、剖视图等各种方式来描述,这种三维与二维概念转换极不自然。计算机绘图技术现在已发展到三维设计水平(三维建模、装配和仿真制造,参数化、并行化、特征化设计),二维数字产品模型可以投影生成各类视图,可以自动编制工艺文件、数据文件。

(8) 多彩性。传统的图纸是黑白线条图,计算机图可以具有多种颜色、线型、视图,多个层次、多个视角和矢量点阵混合图、着色图、动态图、爆炸图等特性,创造出多姿多彩的计算机图形世界。

目前,计算机和网络技术的发展,正从根本上改造现有工厂的技术层、管理层、制造层的现状,实现从三无设计(无图板、无绘图工具、无描图)到三无生产(无纸设计、无纸管理、无纸制造)的飞跃。计算机辅助设计作为基础技术,正从二维绘图上升到三维设计,从 CAD 层次上升到计算机 GKS(Graphics Kernel System,图形核心系统)层次,实现了三维并行特征设计。

产品常规设计过程和 CAD 设计过程的对比如图 1-1 所示。