

倪洪启 王树强 主编

机械



CAD/CAM技术



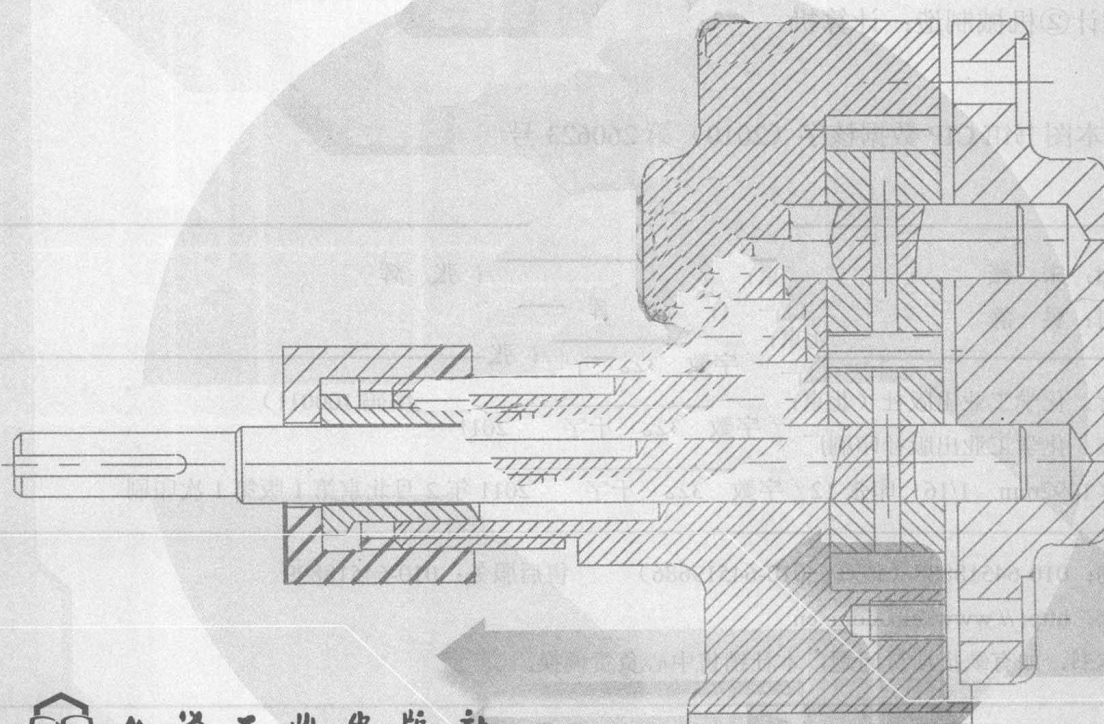
化学工业出版社

倪洪启 王树强 主编

机械



CAD/CAM技术



化学工业出版社

· 北京 ·

定价：30.00元

机械 CAD/CAM 技术为工程设计及机械制造业提供了极大的便利,其突出特点是可以提高产品设计效率、加快产品生产周期、降低产品成本、提高产品质量。本书的编写目的是适应高等学校机械类专业的教学要求,满足相关从业人员对 CAD/CAM 相关知识的了解与应用。作者将多年从事 CAD/CAM 技术教学和科研工作所储备的理论和实践经验应用于写作之中,全书主要讲述了机械 CAD/CAM 技术的基本概念、基本理论和基本方法,介绍了 CAD/CAM 软件 UG 的基本功能,列举了一些应用实例,内容由浅入深,可读性较强,易于读者理解和掌握,通过本书的学习,可为从事 CAD/CAM 相关工作奠定坚实基础。

本书可作为高等院校数控技术、模具设计与制造、机械制造及自动化,以及其他相近专业的教学用书,也可作为职业技能培训和相关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM 技术 / 倪洪启, 王树强主编. —北京:
化学工业出版社, 2011.2
ISBN 978-7-122-10061-0

I. 机… II. ①倪… ②王… III. ①机械设计: 计算机辅助设计②机械制造: 计算机辅助制造 IV. ①TH122
②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 260623 号

责任编辑: 宋 薇
责任校对: 吴 静

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 322 千字 2011 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

机械 CAD/CAM 技术是随着计算机和数字化信息技术发展而形成的新技术,其异常迅速发展和应用,为工程设计方法和手段以及机械制造业带来了根本性的变革,极大地提高了产品设计效率、加快了产品生产周期、降低了产品成本、提高了产品质量,是 20 世纪最杰出的工程成就之一,也是数字化、信息化制造技术的基础,其发展和应用对制造业产生了巨大的影响和推动作用。我国 CAD/CAM 技术的研究和应用是从 20 世纪 80 年代开始的,“七五”期间,国家支持对 24 个重点机械产品进行了 CAD/CAM 的开发研制工作,为我国 CAD/CAM 技术的发展奠定了基础。国家实施的 863 计划中的 CIMS 主题,促进了 CAD/CAM 技术的研究和发展。“九五”期间,国家又颁发了《1995~2000 年我国 CAD/CAM 应用工程发展纲要》,将推广、应用 CAD/CAM 技术作为改造传统企业的重要战略措施,为 CAD/CAM 技术的应用和发展起到了至关重要的作用。

本书是为了适应高等学校机械类专业的教学要求,同时满足一些读者渴望了解 CAD/CAM 的有关基础知识的需求而编写的。作者将多年从事 CAD/CAM 技术教学和科研工作所储备的丰富理论知识和实践经验应用于写作之中。全书主要讲述了机械 CAD/CAM 技术的基本概念、基本理论和基本方法,介绍了 CAD/CAM 软件 UG 的基本功能,列举了一些基本应用实例,内容由浅入深、循序渐进,使读者更容易理解和掌握,通过本书的学习,为从事 CAD/CAM 技术相关工作奠定坚实基础。

本书参加编写的人员有:沈阳化工大学倪洪启(第 1 章和第 2 章);沈阳化工大学刘希敏(第 3 章);沈阳化工大学张金萍(第 4 章);辽宁石油化工大学葛汉林(第 5 章);沈阳化工大学王树强(第 6 章和第 8 章);沈阳理工大学刘黎阳(第 7 章)。全书由倪洪启和王树强统稿,董林福主审。

由于编者水平有限,书中若有不足之处,恳求广大读者批评指正。

编 者
2010 年 11 月

目 录

第1章 机械 CAD/CAM 技术概述	1
1.1 CAD/CAM 技术的基本概念	1
1.1.1 CAD 技术	1
1.1.2 CAM 技术	2
1.1.3 CAD/CAM 集成技术	2
1.2 CAD/CAM 系统构成	2
1.2.1 概述	2
1.2.2 CAD/CAM 系统的硬件	3
1.2.3 CAD/CAM 系统的软件	4
1.2.4 国内外常用的 CAD/CAM 软件	5
1.3 CAD/CAM 技术的发展和应	7
1.3.1 CAD/CAM 技术的发展历程	7
1.3.2 CAD/CAM 技术的发展趋势	8
1.3.3 CAD/CAM 技术的应用	9
习题	10
第2章 计算机图形处理基础	11
2.1 窗口和视区	11
2.1.1 窗口	11
2.1.2 视区	11
2.1.3 窗口-视区变换	11
2.2 图形裁剪	12
2.3 图形变换	14
2.3.1 几何变换的齐次坐标法	14
2.3.2 二维图形的几何变换	15
2.3.3 三维图形的几何变换	18
2.3.4 投影变换	20
习题	22
第3章 CAD/CAM 数据的处理技术	23
3.1 数据结构	23
3.1.1 数据结构的基本概念	23
3.1.2 数据的逻辑结构	24
3.1.3 数据的物理结构	25
3.1.4 几种常用的数据结构	26
3.2 数据的计算机处理技术	28
3.2.1 数表的程序化处理	29
3.2.2 数表的文件化处理	31
3.2.3 数表的公式化处理	31

3.3 线图的计算机处理技术	35
3.4 图形标准	35
3.4.1 交互式图形交换标准 IGES	36
3.4.2 产品建模数据的交换标准 STEP	36
3.5 数据库在 CAD/CAM 中的应用	37
3.5.1 数据管理技术的发展	37
3.5.2 数据库的数据模型	38
3.5.3 数据库与数据库管理系统	40
3.5.4 Visual FoxPro 数据库管理系统简介	41
3.5.5 数据库数表的建立与数据查询	43
3.5.6 工程数据库系统	47
3.5.7 产品数据管理技术	48
习题	51
第 4 章 CAD/CAM 的建模技术	52
4.1 概述	52
4.2 计算机辅助技术中几何建模的应用	53
4.3 几何建模的基本知识	53
4.3.1 体	53
4.3.2 面	54
4.3.3 环	54
4.3.4 边	54
4.3.5 点	54
4.4 线框建模	54
4.5 表面建模	55
4.5.1 表面建模的原理	55
4.5.2 表面建模的特点	56
4.6 实体建模	57
4.6.1 实体模型表示方法	57
4.6.2 实体模型特点	59
4.7 特征模型	59
4.7.1 特征的基本概念	59
4.7.2 特征建模的特点	61
4.7.3 特征表示及其数据结构	62
4.7.4 特征建模的功能	62
4.8 参数化建模	62
4.8.1 尺寸驱动系统	62
4.8.2 变量驱动系统	63
4.8.3 尺寸驱动系统与变量驱动系统区别	63
习题	65
第 5 章 计算机辅助工艺规程设计	66
5.1 CAPP 概述	66
5.1.1 CAPP 技术及其发展概况	66
5.1.2 CAPP 系统的结构组成	68
5.1.3 CAPP 的作用与意义	70

5.2 成组技术	71
5.2.1 成组技术基本原理	71
5.2.2 零件分类编码系统	72
5.2.3 零件分类成组的方法	81
5.2.4 零件信息的描述与输入	84
5.3 CAPP 系统的基本原理	85
5.3.1 检索式 CAPP 系统	85
5.3.2 派生式 CAPP 系统	86
5.3.3 创成式 CAPP 系统	90
5.3.4 半创成式 CAPP 系统	95
5.3.5 CAPP 专家系统	95
习题	98
第 6 章 计算机辅助制造 CAM	99
6.1 数控机床概述	99
6.1.1 数控机床的组成	99
6.1.2 数控机床的分类	99
6.1.3 数控机床的坐标	101
6.2 数控加工工艺编制	102
6.3 数控加工程序编制	107
6.3.1 手工编程	107
6.3.2 数控语言自动编程	108
6.3.3 数控程序格式及其相关的代码指令	110
6.4 数控车床加工编程	111
6.4.1 车削编程的特点	111
6.4.2 车削编程实例	112
6.5 数控铣床加工编程	114
6.5.1 铣削程序的特点	114
6.5.2 铣削加工实例	114
6.6 CAD/CAM 系统自动编程	118
6.6.1 CAD/CAM 系统编程的特点	118
6.6.2 CAD/CAM 系统编程的过程	118
习题	126
第 7 章 计算机集成制造系统	128
7.1 CAD/CAM 集成	128
7.1.1 CAD/CAM 集成的概念	128
7.1.2 CAD/CAM 系统的集成方案	129
7.2 CIMS 系统	131
7.2.1 CIMS 的提出及意义	131
7.2.2 CIMS 的定义和构成	133
7.2.3 CIMS 的体系结构及控制	135
7.2.4 实现 CIMS 的关键技术	137
7.2.5 我国 CIMS 技术的进展和发展前景	140
习题	142

第 8 章 CAD/CAM 集成软件 UG NX 基础	144
8.1 UG 软件主要功能模块简介	144
8.1.1 UG/WAVE	144
8.1.2 UG/CAM	147
8.1.3 UG/CAE	149
8.1.4 UG/OPEN	149
8.1.5 UG/Web	150
8.1.6 UG/数据交换	150
8.1.7 UG/工程应用	151
8.1.8 工作界面介绍	152
8.2 UG 产品设计基础	155
8.2.1 UG 产品的一般过程	155
8.2.2 CAD 三维产品造型实例	155
8.3 UG 工程图基础	162
8.3.1 UG 的工程图模块	162
8.3.2 工程图管理功能	162
8.3.3 视图管理功能	163
8.3.4 剖视图的应用	165
8.3.5 工程图中的对象插入功能	167
8.3.6 工程图标注功能	170
8.3.7 工程图参数的设置	175
8.4 UG 数控加工基础	176
8.4.1 UG 加工环境	176
8.4.2 加工创建	176
8.4.3 创建操作	176
8.4.4 校验刀具轨迹	179
8.4.5 创建加工操作的常用参数设置	180
8.4.6 后处理生成 NC 程序	182
参考文献	183



第1章 机械 CAD/CAM 技术概述



CAD/CAM（计算机辅助设计及计算机辅助制造）技术产生于 20 世纪 50 年代后期发达国家的航空和军事工业中，随着计算机软硬件技术和计算机图形学技术的发展而迅速成长起来。1989 年美国国家工程科学院将 CAD/CAM 技术评为当代(1964~1989)十项最杰出的工程技术成就之一。

CAD/CAM 技术是制造工程技术与计算机技术紧密结合、相互渗透而发展起来的一项综合性应用技术，具有知识密集、学科交叉、综合性强、应用范围广等特点。CAD/CAM 技术是先进制造技术的重要组成部分，它的发展和应用使传统的产品设计、制造内容和工作方式等都发生了根本性的变化。CAD/CAM 技术已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。

50 多年来 CAD/CAM 技术有了飞速的发展，CAD/CAM 的应用迅速普及。CAD/CAM 技术的应用已迅速从军事工业向民用工业扩展，由大型企业向中小企业推广，由高技术领域的应用向日用家电、轻工产品的设计和制造中普及。

1.1 CAD/CAM 技术的基本概念

1.1.1 CAD 技术

由于在不同时期、不同行业中，计算机辅助设计（Computer Aided Design，简称 CAD）技术所实现的功能不同，工程技术人员对 CAD 技术的认识也有所不同，因此很难给 CAD 技术下一个统一的、确切的定义。早在 1972 年 10 月，国际信息处理联合会（IFIP）在荷兰召开的“关于 CAD 原理的工作会议”上给出如下定义：CAD 是一种技术，其中人与计算机结合为一个问题求解组，紧密配合，发挥各自所长，从而使其工作优于每一方，并为应用多学科方法的综合性协作提供了可能。到 20 世纪 80 年代初，第二届国际 CAD 会议上认为 CAD 是一个系统的概念，包括计算、图形、信息自动交换、分析和文件处理等方面的内容。1984 年召开的国际设计及综合讨论会上，认为 CAD 不仅是设计手段，而且是一种新的设计方法和思维。显然，CAD 技术的内涵将会随着计算机技术的发展而不断扩展。

一般认为，CAD 是指工程技术人员以计算机为工具，运用自身的知识和经验，对产品或工程进行方案构思、总体设计、工程分析、图形编辑和技术文档整理等设计活动的总称。它是一门多学科综合应用的，集计算机图形学、数据库、网络通讯等计算机及其他领域知识于一体的高新技术，是先进制造技术的重要组成部分。它采用计算机系统辅助设计人员完成设计的全过程，将计算机的海量数据存储和高速数据处理能力与人的创造性思维和综合分析能力有机结合起来，充分发挥各自所长，使设计人员摆脱繁重的计算和绘图工作，从而达到最佳设计效果。CAD 对加速工程和产品的发展、缩短设计制造周期、提高质量、降低成本、增强企业创新能力发挥着重要作用。

CAD 系统应具有几何建模、工程分析、模拟仿真、工程绘图等主要功能。一个完整的 CAD 系统应由人机交互接口、科学计算、图形系统和工程数据库等组成。人机交互接口是设计、开发、应用和维护 CAD 系统的界面，经历了从字符用户接口、图形用户接口、多媒体用户接口到网络用户接口的发展过程。图形系统是 CAD 系统的基础，主要有几何（特征）建模、自动绘图（二维工程图、三维实体图等）、动态仿真等。科学计算是 CAD 系统的主体，主要有有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等。工程数据库是对设计过程中使用和产生的数据、图形、图像及文档等进行存储和管理。就 CAD 技术目前可实现的功能而言，CAD 作业

过程是在由设计人员进行产品概念设计的基础上从建模分析,完成产品几何模型的建立,然后抽取模型中的有关数据进行工程分析、计算和修改,最后编辑全部设计文档,输出工程图。

1.1.2 CAM 技术

计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing,简称CAM)到目前为止尚无统一的定义。一般而言,CAM是指计算机在制造领域有关应用的统称,有广义CAM和狭义CAM之分。所谓广义CAM,是指利用计算机辅助完成从生产准备工作到产品制造过程中的直接和间接的各种活动,包括工艺准备、生产作业计划、物流过程的运行控制、生产控制、质量控制等主要方面。其中工艺准备包括计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助工装设计与制造、NC编程、计算机辅助工时定额和材料定额的编制等内容;物流过程的运行控制包括物料的加工、装配、检验、输送、储存等生产活动。而狭义CAM通常指数控程序的编制,包括刀具路线的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及后置处理和NC代码生成等。本书采用CAM的狭义定义。

CAM中核心的技术是数控加工技术。数控加工主要分程序编制和加工过程两个步骤。程序编制是根据图纸或CAD信息,按照数控机床控制系统的要求,确定加工指令,完成零件数控程序编制;加工过程是将数控程序传输给数控机床,控制机床各坐标的伺服系统,驱动机床,使刀具和工件严格按执行程序的规定相对运动,加工出符合要求的零件。作为应用性、实践性极强的专业技术,CAM直接面向数控生产实际。生产实际的需求是所有技术发展与创新的原动力,CAM在实际应用中已经取得了明显的经济效益,并且在提高企业市场竞争能力方面发挥着重要作用。

1.1.3 CAD/CAM 集成技术

20世纪70年代中期以来,出现了很多计算机辅助的分散系统,如CAD、CAE、CAPP、CAM等,分别在产品设计自动化、工艺过程设计自动化和数控编程自动化等方面起到了重要作用。但是这些各自独立的系统不能实现系统之间信息的自动交换和传递。例如,CAD系统的设计结果不能直接为CAPP系统所接受,若进行工艺过程设计,仍需要设计者将CAD输出的图样文档转换成CAPP系统所需要的输入信息。所以,随着计算机辅助技术日益广泛的应用,人们很快认识到,只有当CAD系统一次性输入的信息能为后续环节(如CAE、CAPP、CAM)继续应用时才能获得最大的经济效益。为此,提出了CAD到CAM集成的概念,并首先致力于CAD、CAE、CAPP和CAM系统之间数据自动传递和转换的研究,以便将已存在和使用的CAD、CAE、CAPP、CAM系统集成起来。

CAD/CAM集成技术的关键是CAD、CAPP、CAM、CAE各系统之间的信息自动交换与共享。集成化的CAD/CAM系统借助于工程数据库技术、网络通信技术以及标准格式的产品数据接口技术,把分散于机型各异各个CAD、CAPP、CAM子系统高效、快捷地集成起来,实现软、硬件资源共享,保证整个系统内信息的流动畅通无阻。

CAD/CAM集成技术是各计算机辅助单元技术发展的必然结果。随着信息技术、网络技术的不断发展和市场全球化进程的加快,出现了以信息集成为基础的更大范围的集成技术,例如将企业内经营管理信息、工程设计信息、加工制造信息、产品质量信息等融为一体的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System,简称CIMS)。而CAD/CAM集成技术是计算机集成制造系统、并行工程、敏捷制造等先进制造系统中的一项核心技术。

1.2 CAD/CAM 系统构成

1.2.1 概述

一个完善的CAD/CAM系统应具有如下功能:快速数字计算及图形处理功能、几何建模功能、处理数控加工信息的功能、大量数据和知识的存储及快速检索与操作功能、人机交互通信功能、输入和输出信息及图形功能、工程分析功能等。为实现这些功能,CAD/CAM系统的运行环境由

硬件、软件和人三大部分所构成，如图 1.1 所示。

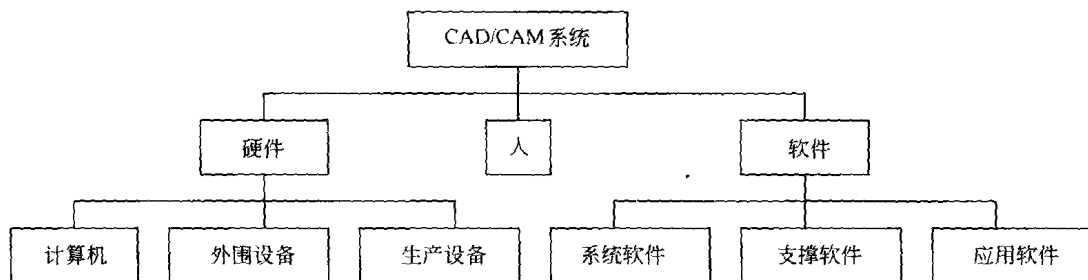


图 1.1 CAD/CAM 系统组成

硬件主要包括计算机及其外围设备等具有有形物质的设备，广义上讲硬件还包括用于数控加工的机械设备和机床等。硬件是 CAD/CAM 系统运行的基础，硬件的每一次技术突破都带来 CAD/CAM 技术革命性的变化。软件是 CAD/CAM 系统的核心，包括系统软件、各种支撑软件和应用软件等。硬件提供了 CAD/CAM 系统潜在的能力，而系统功能的实现是由系统中的软件运行来完成。随着 CAD/CAM 系统功能的不断完善和提高，软件成本在整个系统中所占的比重越来越大，目前一些高端软件的价格已经远远高于系统硬件的价格。

任何功能强大的计算机硬件和软件均只是辅助设计工具，而如何充分发挥系统的功能，则主要是取决于用户的素质，CAD/CAM 系统的运行离不开人的创造性思维活动，不言而喻，人在系统中起着关键的作用。目前 CAD/CAM 系统基本都采用人机交互的工作方式，这种方式要求人与计算机密切合作，发挥各自所长：计算机在信息的存储与检索、分析与计算、图形与文字处理等方面具有特有的功能；人则在创造性思维、综合分析、经验判断等方面占有主导地位。

1.2.2 CAD/CAM 系统的硬件

CAD/CAM 系统的硬件主要由计算机主机、外存储器、输入设备、输出设备、网络设备和自动化生产装备等组成，如图 1.2 所示。有专门的输入及输出设备来处理图形的交互输入与输出问题，是 CAD/CAM 系统与一般计算机系统的明显区别。

(1) 计算机主机 主机是 CAD/CAM 系统的硬件核心，主要由中央处理器（CPU）及内存（也称内存）组成，如图 1.3 所示。CPU 包括控制器和运算器，控制器按照从内存中取出的指令指挥和协调整个计算机的工作，运算器负责执行程序指令所要求的数值计算和逻辑运算。CPU 的性能决定着计算机的数据处理能力、运算精度和速度。内存是 CPU 可以直接访问的存储单元，用来存放常驻的控制程序、用户指令、数据及运算结果。衡量主机性能的指标主要有两项：CPU 性能和内存容量。按照主机性能等级的不同，可将计算机分为大中型机、小型机、工作站和微型机等不同档次。目前国内应用的计算机主机主要是微机和工作站。

(2) 外存储器 外存储器简称外存，用来存放暂时不用或等待调用的程序、数据等信息。当使用这些信息时，由操作系统根据命令调入内存。外存储器的特点是容量大，经常达到数百 MB、数十 GB 或更多，但存取速度慢。常见的有磁带、磁盘（软盘、硬盘）和光盘等。随着存储技术的发展，移动硬盘、U 盘等移动存储设备成为外存储器的重要组成部分。

(3) 输入设备 输入设备是指通过人机交互作用将各种外部数据转换成计算机能识别的电子脉冲信号的装置，主要分为键盘输入类（如：键盘）、指点输入类（如：鼠标）、图形输入类（如：数字化仪）、图像输入类（如：扫描仪、数码相机）、语音输入类等。

(4) 输出设备 将计算机处理后的数据转换成用户所需的形式，实现这一功能的装置称为输出设备。输出设备能将计算机运行的中间或最终结果、过程，通过文字、图形、影像、语音等形式表现出来，实现与外界的直接交流与沟通。常用的输出设备包括显示输出（如：图形显示器）、

打印输出（如：打印机）、绘图输出（如：自动绘图仪）及影像输出、语音输出等。

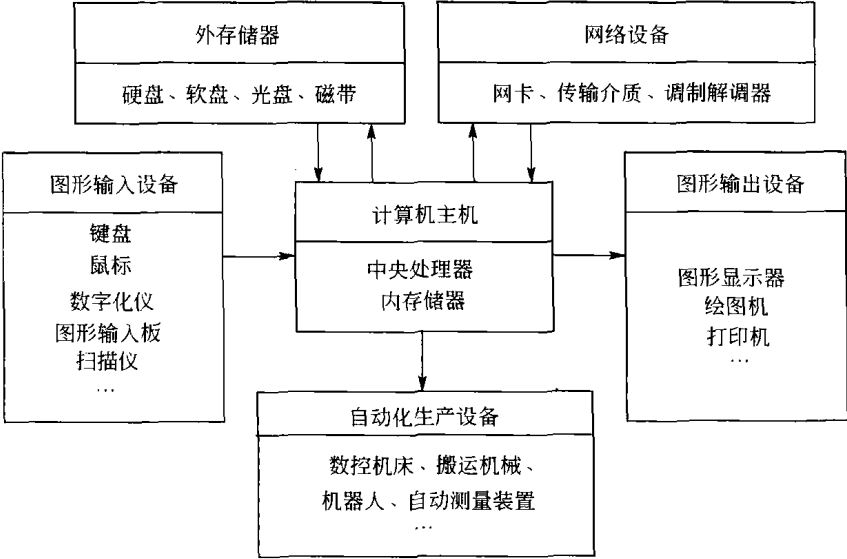


图 1.2 CAD/CAM 系统的硬件组成

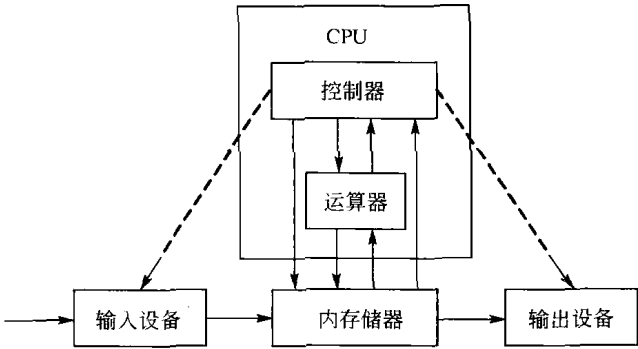


图 1.3 主机结构

（5）网络互联设备 包括网络适配器（也称网卡）、中继器、集线器、网桥、路由器、网关及调制解调器等装置，通过传输介质联接到网络上以实现资源共享。网络的连接方式即拓扑结构可分为星形、总线形、环形、树形以及星形和环形的组合等形式。先进的 CAD/CAM 系统都是以网络的形式出现的。

1.2.3 CAD/CAM 系统的软件

为了充分发挥计算机硬件的作用，CAD/CAM 系统必须配备功能齐全的软件，软件配置的档次和水平是决定系统功能、工作效率及使用方便程度的关键因素。计算机软件是指控制 CAD/CAM 系统运行、并使计算机发挥最大功效的计算机程序、数据以及各种相关文档。程序是对数据进行处理并指挥计算机硬件工作的指令集合，是软件的主要内容。文档是指关于程序处理结果、数据库、使用说明书等，文档是程序设计的依据，其设计和编制水平在很大程度上决定了软件的质量，只有具备了合格、齐全的文档，软件才能商品化。

根据执行任务和处理对象的不同，CAD/CAM 系统的软件可分系统软件、支撑软件和应用软件三个不同层次。系统软件与计算机硬件直接关联，起着扩充计算机的功能和合理调度与运用计

算机硬件资源的作用。支撑软件运行在系统软件之上,是各种应用软件的工具和基础,包括实现 CAD/CAM 各种功能的通用性应用基础软件。应用软件是在系统软件及支撑软件的支持下,实现某个应用领域内的特定任务的专用软件。

(1) 系统软件 系统软件是用户与计算机硬件连接的纽带,是使用、控制、管理计算机的运行程序的集合。系统软件通常由计算机制造商或软件公司开发。系统软件有两个显著的特点:一是通用性,不同应用领域的用户都需要使用系统软件;二是基础性,即支撑软件和应用软件都需要在系统软件的支持下运行。系统软件首先是为用户使用计算机提供一个清晰、简洁、易于使用的友好界面;其次是尽可能使计算机系统中的各种资源得到充分而合理的应用。系统软件主要包括三大部分:操作系统、编程语言系统和网络通信及其管理软件。

操作系统是系统软件的核心,是 CAD/CAM 系统的灵魂,它控制和指挥计算机的软件资源和硬件资源。其主要功能是硬件资源管理、任务队列管理、硬件驱动程序、定时分时系统、基本数学计算、日常事务管理、错误诊断与纠正、用户界面管理和作业管理等。操作系统依赖于计算机系统的硬件,用户通过操作系统使用计算机,任何程序需经过操作系统分配必要的资源后才能执行。目前流行的操作系统有 Windows、UNIX、Linux 等。

编程语言系统主要完成源程序编辑、库函数及管理、语法检查、代码编译、程序连接与执行。按照程序设计方法的不同,可分为结构化编程语言和面向对象的编程语言;按照编程时对计算机硬件依赖程度的不同,可分为低级语言和高级语言。目前广泛使用面向对象的编程语言,如 Visual C++、Visual Basic、Java 等。

网络通信及其管理软件主要包括网络协议、网络资源管理、网络任务管理、网络安全管理、通信浏览工具等内容。国际标准的网络协议方案为“开放系统互连参考模型”(OSI),它分为七层:应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层。目前 CAD/CAM 系统中流行的主要网络协议包括 TCP/IP 协议、MAP 协议、TOP 协议等。

(2) 支撑软件 支撑软件是 CAD/CAM 软件系统的重要组成部分,一般由商业化的软件公司开发。支撑软件是满足共性需要的 CAD/CAM 通用性软件,属知识密集型产品,这类软件不针对具体的应用对象,而是为某一应用领域的用户提供工具或开发环境。支撑软件一般具有较好的数据交换性能、软件集成性能和二次开发性能。根据支撑软件的功能可分为功能单一型和功能集成型软件。功能单一型支撑软件只提供 CAD/CAM 系统中某些典型过程的功能,如交互式绘图软件、三维几何建模软件、工程计算与分析软件、数控编程软件、数据库管理系统等。功能集成型支撑软件提供了设计、分析、造型、数控编程以及加工控制等综合功能模块。

(3) 应用软件 应用软件是在系统软件和支撑软件的基础上,针对专门应用领域的需要而研制的软件。如机械零件设计软件、机床夹具 CAD 软件、冷冲压模具 CAD/CAM 软件等。这类软件通常由用户结合当前设计工作需要自行开发或委托软件开发商进行开发。能否充分发挥 CAD/CAM 系统的效益,应用软件的技术开发是关键,也是 CAD/CAM 工作者的主要任务。应用软件开发可以基于支撑软件平台进行二次开发,也可以采用常用的程序设计工具进行开发。目前常见的支撑软件均提供了二次开发工具,如 AutoCAD 的 Autolisp、UG 的 GRIP 等。为保证应用技术的先进性和开发的高效性,应充分利用已有 CAD/CAM 支撑软件的技术和二次开发工具。需要说明的是,应用软件和支撑软件之间并没有本质的区别,当某一行业的应用软件逐步商品化形成通用软件产品时,也可以称之为一种支撑软件。

1.2.4 国内外常用的 CAD/CAM 软件

(1) AutoCAD 和 Inventor AutoCAD 是由美国 Autodesk 公司于 20 世纪 80 年代初为微机上的应用 CAD 技术而开发的绘图程序软件包。AutoCAD 具有良好的用户界面,通过交互菜单或命令行方式便可以进行各种操作。它的多文档设计环境,让非计算机专业人员也能很快地学会使用。在不断实践的过程中更好地掌握它的各种应用和开发技巧,从而不断提高工作效率。

AutoCAD 是目前应用广泛的 CAD 软件, 具有完善的图形绘制功能、强大的图形编辑功能、可采用多种方式进行二次开发或用户定制、可进行多种图形格式的转换, 具有较强的数据交换能力, 同时支持多种硬件设备和操作平台, 还可以通过多种应用软件适应于建筑、机械、测绘、电子、服装以及航空航天等行业的设计需求。

Inventor 软件是美国 AutoDesk 公司于 1999 年底推出的三维可视化实体模拟软件。它包含三维建模、信息管理、协同工作和技术支持等各种特征。使用 Autodesk Inventor 可以创建三维模型和二维制造工程图、可以创建自适应的特征、零件和子部件, 还可以管理上千个零件和大型部件, 它的“连接到网络”工具可以使工作组人员协同工作, 方便数据共享和同事之间设计理念的沟通。Inventor 在用户界面简单, 三维运算速度和着色功能方面有突破的进展。它是建立在 ACIS 三维实体模拟核心之上, 设计人员能够简单迅速地获得零件和装配体的真实感, 这样就缩短了用户设计意图的产生与系统反应时间的距离, 从而最小限度的影响设计人员的创意和发挥。

(2) Pro/Engineer Pro/Engineer (简称 Pro/E) 是美国 PTC (Parametric Technology Corporation) 公司的著名产品。PTC 公司提出的单一数据库、参数化、基于特征、全相关的概念, 改变了机械设计自动化的传统观念, 这种全新的观念已成为当今机械设计自动化领域的新标准。基于该观念开发的 Pro/E 软件能将设计至生产全过程集成到一起, 让所有的用户能够同时进行同一产品的设计制造工作, 实现并行工程。Pro/E 包括 70 多个专用功能模块, 如特征建模、有限元分析、装配建模、曲面建模、产品数据管理等, 具有较完整的数据交换转换器。

(3) UG UG 是美国 UGS (Unigraphics Solutions) 公司的旗舰产品。UGS 公司首次突破传统 CAD/CAM 模式, 为用户提供一个全面的产品建模系统。UG 采用将参数化和变量化技术与实体、线框和表面功能融为一体的复合建模技术, 其主要优势是三维曲面、实体建模和数控编程功能, 具有较强的数据库管理和有限元分析前后处理功能以及界面良好的用户开发工具。UG 汇集了美国航空航天业及汽车业的专业经验, 现已成为世界一流的集成化机械 CAD/CAM/CAE 软件, 并被多家著名公司选作企业计算机辅助设计、制造和分析的标准。

(4) I-DEAS I-DEAS 是美国 SDRC (Structure Dynamics Research Corporation) 公司 (现已归属 UGS 公司) 的主打产品。SDRC 公司创建了变量化技术, 并将其应用于三维实体建模中, 进而创建了业界最具革命性的 VGX 超变量化技术。I-DEAS 是高度集成化的 CAD/CAE/CAM 软件, 其动态引导器帮助用户以极高的效率, 在单一数字模型中完成从产品设计、仿真分析、测试直至数控加工的产品研发全过程。I-DEAS 在 CAD/CAE 一体化技术方面一直雄居世界榜首, 软件内含很强的工程分析和工程测试功能。

(5) CATIA CATIA 由法国达索 (Dassault Systemes) 公司与 IBM 合作研发, 是较早面市的著名的三维 CAD/CAM/CAE 软件产品, 目前主要应用于机械制造、工程设计和电子行业。CATIA 率先采用自由曲面建模方法, 在三维复杂曲面建模及其加工编程方面极具优势。

(6) SolidWorks SolidWorks 公司成立于 1993 年, 总部位于马萨诸塞州的康克尔郡, 当初的目标是希望在每一个工程师的桌面上提供一套具有生产力的实体模型设计系统。1997 年, Solidworks 被法国达索 (Dassault Systemes) 公司收购, 作为达索中端主流市场的主打品牌。

SolidWorks 软件是世界上第一个基于 Windows 开发的三维 CAD 系统, 由于技术创新符合 CAD 技术的发展潮流和趋势, SolidWorks 公司于两年间成为 CAD/CAM 产业中获利最高的公司。良好的财务状况和用户支持使得 SolidWorks 每年都有数十乃至数百项的技术创新, 公司也获得了很多荣誉。该系统在 1995~1999 年获得全球微机平台 CAD 系统评比第一名; 从 1995 年至今, 已经累计获得十七项国际大奖, 其中仅从 1999 年起, 美国权威的 CAD 专业杂志 CADENCE 连续 4 年授予 SolidWorks 最佳编辑奖, 以表彰 SolidWorks 的创新、活力和简明。至此, SolidWorks 所遵循的易用、稳定和创新三大原则得到了全面的落实和证明, 使用它, 设计师大大缩短了设计时间, 产品快速、高效地投向了市场。

(7) CAXA 电子图板 CAXA 电子图板是北京北航海尔软件有限公司(原北京航空航天大学

华正软件研究所)开发的。CAXA 电子图板是一套高效、方便、智能化的通用中文设计绘图软件,支持多窗口、多图纸空间、多语言和多标准,全面兼容 AutoCAD 数据格式和历史版本;系统综合性能大幅改善,操控效率优于同类软件。依据中国工程设计的国家标准和使用习惯,提供专业绘图工具和辅助设计工具:智能国标标注、参量化图库、工程计算器、排版打印和文件检索等实用工具。通过简单的绘图操作,将工程设计、改型设计等工作迅速完成,提升工程师专业设计能力,轻松实现“所思即所得”。

(8) 中望 CAD 中望 CAD 是由广州中望龙腾软件股份有限公司开发。广州中望龙腾软件股份有限公司是国家高新技术企业,国际 CAD 联盟 ITC 在中国大陆的首位核心成员,中国最大、最专业 2D&3D CAD 设计软件供应商。

2010 年,中望公司收购了美国 VX 公司的技术及研发团队,在美国佛罗里达设立了中望美国子公司,中望 3D 也正式推出。中望一举成为世界少数几家能提供高端三维 CAD/CAM 解决方案的 CAD 厂商之一,中国的软件企业终于可以与世界软件巨头们站在同一平台上进行角逐。

中望 3D 是中望公司拥有全球自主知识产权的高端三维 CAD/CAM 一体化产品。中望 3D 技术建立在一个独特的、高性能的 Overdrive 混合建模内核上,这使得计算速度更快,精度更高,也使中望 3D 处理复杂图形和海量数据有了保证。使用速度极快的中望 3D 混合建模工具,工程师们能够充分感受快速实体和曲面混合建模的强大功能,自带的 CAM 模块使得从设计到加工不存在任何文件衔接问题,钣金、模具设计、逆向工程、渲染、分析等模块的应用丰富了用户的工作需求,从入门级的模型设计到全面的一体化解决方案,中望 3D 都能提供强大的功能以及卓越的性能。

中望 3D 标准版包含中望 3D 产品里所有的高级设计模块,提供了一个功能强大、并且有着极高效率的建模工具。利用混合建模您可以在同一个环境下控制实体和曲面无缝结合。高效易用的钣金设计、模型修补功能这些附加的模块使中望 3D 标准版成为一个功能强大的设计软件包。

1.3 CAD/CAM 技术的发展和應用

1.3.1 CAD/CAM 技术的发展历程

CAD/CAM 技术的发展与计算机图形学的发展密切相关,并伴随着计算机及其外围设备的发展而发展。计算机图形学中有关图形处理的理论和方法构成了 CAD/CAM 技术的重要基础。综观 CAD/CAM 技术的发展历程,主要经历了以下主要发展阶段。

20 世纪 50 年代,计算机主要用于科学计算,使用机器语言编程,图形设备仅具有输出功能。美国麻省理工学院(MIT)在其研制的旋风 I 号计算机上采用了阴极射线管(CRT)作为图形终端,并能被动显示图形。其后出现了光笔,开始了交互式计算机图形学的研究,也为 CAD/CAM 技术的出现和发展铺平了道路。1952 年 MIT 首次试制成功了数控铣床,通过数控程序对零件进行加工,随后 MIT 研制开发了自动编程语言(APT),通过描述走刀轨迹的方法来实现计算机辅助编程,标志着 CAM 技术的开端。1956 年首次尝试将现代有限单元法用于分析飞机结构。20 世纪 50 年代末,出现了平板式绘图仪和滚筒式绘图仪,开始了计算机绘图的历史。此间 CAD 技术处于酝酿、准备阶段。

20 世纪 60 年代,这是交互式计算机图形学发展的最重要时期。1963 年 MIT 学者 I.E.Sutherland 发表了题为“人机对话图形通讯系统”的博士论文,首次提出了计算机图形学等术语。由他推出的二维 SKETCHPAD 系统,允许设计者操作光笔和键盘,在图形显示器上进行图形的选择、定位等交互作业,对符号和图形的存储采用分层的数据结构。这项研究为交互式计算机图形学及 CAD 技术奠定了基础,也标志着 CAD 技术的诞生。此后,出现了交互式图形显示器、鼠标器和磁盘等硬件设备及文件系统和高级语言等软件。并陆续出现了许多商品化的 CAD 系统和设备。例如,1964 年美国通用汽车公司研制了用于汽车设计 DAC-1 系统,1965 年美国洛克希德飞机公司开发

了 CADAM 系统, 贝尔电话公司也推出了 GRAPHIC-1 系统等。此间 CAD 技术的应用以二维绘图为主。在制造领域中, 1962 年研制成功了世界上第一台机器人, 实现物料搬运自动化, 1965 年产生了计算机数控机床 CNC 系统, 1966 年以后出现了采用通用计算机直接控制多台数控机床 DNC 系统以及英国莫林公司研制的由计算机集中控制的自动化制造系统。20 世纪 60 年代末, 挪威开始了 CAPP 技术的研究, 并于 1969 年正式推出第一个 CAPP 系统 AutoPros。

20 世纪 70 年代, 计算机图形学理论及计算机绘图技术日趋成熟, 并得到了广泛应用。这期间, 硬件的性能价格比不断提高; 图形输入板、大容量的磁盘存储器等相应出现; 数据库管理系统等软件得以应用; 以小型、超小型计算机为主机的 CAD/CAM 系统进入市场并形成主流, 这些系统的特点是硬件和软件配套齐全、价格便宜、使用方便, 形成所谓的交钥匙系统 (Turnkey System)。同时, 三维几何建模软件也相继发展起来, 出现了一些面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统, 法国达索公司率先开发出以表面模型为特点的三维曲面建模系统 CATIA。20 世纪 70 年代中期开始创立 CAPP 系统的研究与开发。1976 年由 CAM-I 公司开发了 CAPP 系统 CAM-I Automated Process Planning。在制造方面, 美国辛辛那提公司研制出了一条柔性制造系统 (FMS), 将 CAD/CAM 技术推向了新的阶段。这一时期各种计算机辅助技术的功能模块已基本形成, 但数据结构尚不统一, 集成性差, 应用主要集中在二维绘图、三维线框建模及有限元分析方面。

20 世纪 80 年代, CAD/CAM 技术及其应用系统得到迅速发展。这期间, 出现了微型计算机和 32 位字长工作站, 同时, 计算机硬件成本大幅下降, 计算机外围设备 (彩色高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动绘图机、彩色打印机等) 已逐渐形成系列产品, 网络技术也得到应用; CAD 与 CAM 相结合, 形成了 CAD/CAM 集成技术, 导致了新理论、新算法的大量涌现。在软件方面, 不仅实现了工程和产品的设计计算和绘图, 而且还实现了工程造型、自由曲面设计、机构分析与仿真等工程应用, 特别是实体建模、特征建模、参数化设计等理论的发展和应用, 推动 CAD 技术由表面模型到实体建模, 再到参数化建模发展, 并出现了许多成熟的 CAD 软件。在此期间, 为满足数据交换要求, 相继推出了有关标准 (如 CGI、GKS、IGES 及 STEP 等)。20 世纪 80 年代后期, 人们认识到计算机集成制造 (CIM) 的重要性, 开始强调信息集成, 出现了 CIMS, 将 CAD/CAM 技术推向了更高的层次。

20 世纪 90 年代以来, CAD/CAM 技术更加强调信息集成和资源共享, 出现了产品数据管理技术, CAD 建模技术日益完善, 出现了许多成熟的 CAD/CAE/CAM 集成化的商业软件, 如采用变量化技术的 I-DEAS、应用复合建模技术的 UG 等。随着世界的多变与激烈竞争, 随着各种先进设计理论和先进制造模式的发展, 随着高档微机、操作系统和编程软件的发展, 随着网络技术的迅速发展, CAD/CAM 技术正在经历着前所未有的发展机遇与挑战, 正在向集成化、网络化、智能化和标准化方向发展。

1.3.2 CAD/CAM 技术的发展趋势

随着 CAD/CAM 技术的应用越来越广泛和深入, CAD/CAM 技术的未来发展主要体现在集成化、网络化、智能化和标准化的实现上。

(1) 集成化 随着计算机技术的发展, CAD/CAM 系统已从简单、单一、相对独立的功能发展成为复杂、综合、紧密联系的功能集成系统。集成的目的是为用户进行研究、设计、试制等各项工作提供一体化支撑环境, 实现在整个产品生命周期中各个分系统间信息流的畅通和综合。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。为提高系统集成的水平, CAD 技术需要在数字化建模、产品数据管理、产品数据交换及各种 CAX (CAD、CAE、CAM 等技术的总称) 工具的开发与集成等方面加以提高。

计算机集成制造是一种集成, 是一种现代制造业的组织、管理与运行的新哲理, 它将企业生产全部过程中有关人、技术、设备及经营管理四要素及其信息流、物流、价值流有机地集成, 并实现企业整体优化, 以实现产品高质、低耗、上市快、服务好, 从而使企业赢得竞争。CIM 强调

企业生产经营的各个环节,从市场需求、经营决策、产品开发、加工制造、管理、销售到服务都是一个整体,这便是系统观点; CIM 认为企业生产经营过程的实质是信息的采集、传递和加工处理的过程,这一观点为企业大量采用信息技术奠定了认识上的基础。 CIMS 是基于这种哲理的集成制造系统,通过生产、经营各个环节的信息集成,支持了技术的集成,进而由技术的集成进入技术、经营管理和人、组织的集成,最后达到物流、信息流、资金流的集成并优化运行,最终使企业实现整体最优效益,从而提高了企业的市场竞争能力和应变能力。

(2) 网络化 网络技术的飞速发展和广泛应用,改变了传统的设计模式,将产品设计及其相关过程集成并行地进行,人们可以突破地域的限制,在广域区间和全球范围内实现协同工作和资源共享。网络技术使 CAD/CAM 系统实现异地、异构系统在企业间的集成成为现实。网络化 CAD/CAM 技术可以实现资源的取长补短和优化配置,极大地提高企业的快速响应能力和市场竞争力,“虚拟企业”、“全球制造”等先进制造模式由此应运而生。目前基于网络化的 CAD/CAM 技术,需要在能够提供基于网络的完善的协同设计环境和提供网上多种 CAD 应用服务等方面提高水平。

(3) 智能化 设计是含有高度智能的人类创造性活动。智能化 CAD/CAM 技术不仅是简单地将现有的人工智能技术与 CAD/CAM 技术相结合,更要深入研究人类认识和思维的模型,并用信息技术来表达和模拟这种模型。智能化 CAD/CAM 技术涉及新的设计理论与方法(如并行设计理论、大规模定制设计理论、概念设计理论、创新设计理论等)和设计型专家系统的基本理论与技术(如设计知识模型的表示与建模、知识利用中的各种搜索与推理方法、知识获取、工具系统的技术等)等方面。智能化是 CAD/CAM 技术发展的必然趋势,将对信息科学的发展产生深刻的影响。

(4) 标准化 随着 CAD/CAM 技术的发展和应用,工业标准化问题日益越来越显得重要。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)、面向图形应用软件的标准 GKS 和 PHIGS、面向不同 CAD/CAM 系统的产品数据交换标准 IGES 和 STEP,此外还有窗口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/CAM 技术的应用与发展,例如 STEP 既是标准,又是方法学,由此构成的 STEP 技术深刻影响着产品建模、数据管理及接口技术。随着技术的进步,新标准还会出现。CAD/CAM 系统的集成一般建立在异构的工作平台之上,为了支持异构跨平台的环境,要求 CAD/CAM 系统必须是开放的系统,必须采用标准化技术。完善的标准化体系是我国 CAD/CAM 软件开发及技术应用与世界接轨的必由之路。

目前, CAD/CAM 技术正向着集成化、网络化、智能化和标准化的方向不断发展。未来的 CAD/CAM 技术将为新产品开发提供一个综合性的网络环境支持系统,全面支持异地的、数字化的、采用不同设计哲理与方法的设计工作。

1.3.3 CAD/CAM 技术的应用

我国 CAD/CAM 技术的研究始于 20 世纪 70 年代,当时主要集中在少数高校及航空领域等极小范围。80 年代初,开始成套引进 CAD/CAM 系统,并在此基础上进行开发和应用;同时国家在 CAD/CAM 技术应用开发方面实施重点投资,支持对国民经济有影响的重点机械产品 CAD 进行开发和研制,取得了一些成果,为我国 CAD/CAM 技术的发展奠定了基础。20 世纪 90 年代初,经国务院批准,由国家科委牵头开始实施以“甩掉图板”为突破口的 CAD 应用工程;“十五”期间, CAD 应用工程与 CIMS 工程合并实施制造业信息化工程,这些工作极大地促进了 CAD/CAM 技术在我国制造工程领域的推广和普及。

通过近 30 多年坚持不懈的努力,我国 CAD/CAM 技术在理论与算法研究、硬件设备生产、支撑软件的开发与商品化、专业应用程序的研制与应用,以及在人才培养与技术普及等方面均取得了丰硕的成果。近年来,我国 CAD/CAM 技术发展迅速,应用日趋成熟,范围不断拓宽,水平