

# 机械CAD/CAM

葛巧琴 许 超  
东南大学出版社

# 机械 CAD/CAM

葛巧琴 许超

东南大学出版社

## 内 容 简 介

本书介绍 CAD/CAM 以及产品信息集成技术的基本概念、基本原理和应用技术。全书在内容上不仅考虑到 CAD/CAM 单项技术的基本原理和概念,而且从系统集成和应用的角  
度将产品数据交换、产品数据管理及网络技术等亦作了相应介绍。书末有各章相应的复习  
思考题,以便帮助读者进一步理解章节中的内容。

本书可作为高等工科院校机械类本科生和研究生的教学用书;亦可作为企业和研究单  
位培训 CAD/CAM 技术人员的参考书。

## 机 械 CAD / CAM

葛巧琴 许 超

\*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210018)

江苏省新华书店经销 南京雄州彩色印刷厂印刷

\*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 9.75 字数 240 千

1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷

印数:1-2000 册

ISBN 7-81050-361-8/TH·25

定价:15.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

# 前 言

CAD/CAM 技术的迅猛发展,正推动着制造业从产品设计制造到技术管理一系列深刻、全面、具有深远意义的变革。这是产品制造业的一场技术革命。CAD/CAM 技术的应用,将计算机的快速性、准确性以及信息高度集成性和工程技术人员的创造性思维、综合分析的能力充分结合,从而大大缩短产品的设计、制造周期,提高产品的质量,增强企业在市场竞争中的应变能力,并从根本上提高企业人员的技术素质,促使企业生产技术管理全面革新。因而,CAD/CAM 技术的应用水平已是衡量一个国家、一个企业技术水平的重要标志之一。

本书旨在介绍 CAD/CAM 以及产品信息集成技术的基本概念、基本原理和应用技术。全书在内容上不仅考虑到计算机辅助设计和制造的各项技术的基本概念与原理,而且从应用系统的集成角度对产品数据交换、产品数据管理和网络等关键技术作了比较全面的介绍。CAD/CAM 技术的理论性较强、涉及的范围较广,并具有很强的工程实践性,故本书在取材上尽可能新颖、丰富,力求综合反映当前国内外 CAD/CAM 技术的发展和先进技术。并结合作者长期从事这方面课题研究和实践的经验,对实施与应用 CAD/CAM 技术中的一些共性问题作了较为详细的讨论。在叙述语言上力求通俗易懂、简洁准确。本书可作为高等工院校机械类本科生和研究生的教学用书,也可作为企业和研究单位 CAD/CAM 技术人员学习、培训的参考书。

全书共分 7 章,主要内容为 CAD/CAM 技术概述、CAD 系统的基本图形及算法、计算机绘图、产品建模技术、产品数据交换技术、数据库与网络技术、数控加工编程基础等。其中第 1、3、4 章由葛巧琴编写,第 5、6 章由葛巧琴、陈岗编写,第 2、7 章由许超编写。全书由葛巧琴统一定稿。

在本书撰写过程中,得到东南大学全国 CAD 应用培训网络南京中心高志强等老师的大力协助,在此表示感谢。

限于作者水平和时间仓促,书中出现疏漏和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者  
1998 年夏

# 目 录

<b>1 CAD/CAM 技术概述</b>	
1.1 CAD/CAM 的基本概念	(1)
1.2 CAD/CAM 的运行环境	(6)
1.3 CAD/CAM 技术的发展	(13)
1.4 CAD/CAM 技术的贡献	(15)
<b>2 CAD 系统的基本图形及算法</b>	
2.1 线段的生成原理	(19)
2.2 曲线与曲面的基本理论	(20)
2.3 图形几何变换	(35)
2.4 裁 剪	(45)
<b>3 计算机辅助绘图</b>	
3.1 概 述	(49)
3.2 计算机绘图	(49)
3.3 产品的图档管理	(53)
<b>4 产品建模技术</b>	
4.1 概 述	(55)
4.2 CAD 几何建模	(56)
4.3 特征建模	(67)
4.4 产品结构模型	(70)
<b>5 产品数据交换技术</b>	
5.1 概 述	(72)
5.2 IGES	(73)
5.3 DXF	(76)
5.4 STEP	(78)
<b>6 数据库与网络技术</b>	
6.1 数据库技术	(82)
6.2 网络技术	(98)
<b>7 数控加工编程基础</b>	
7.1 CAM 系统的发展过程	(113)

7.2 CAM 系统的基本组成 .....	(114)
7.3 后置处理及 DNC .....	(117)
7.4 数控编程系统的基本概念和术语 .....	(124)
7.5 刀位计算的基本原理 .....	(127)
7.6 数控编程系统应用的策略 .....	(139)
复习思考题 .....	(147)
参考文献 .....	(149)

# 1 CAD/CAM 技术概述

## 1.1 CAD/CAM 的基本概念

CAD/CAM 是计算机辅助设计和计算机辅助制造(Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing)的缩写,是一项利用计算机协助人们完成产品设计与制造的技术。把 CAD、CAM 写成 CAD/CAM,作为专门术语的出现是在 70 年代初期,这意味着设计和制造过程的自动化和信息的集成化。

制造技术是工业发展的基础,CAD/CAM 技术则是现代制造技术的核心技术之一。它的应用促使制造业的信息革命。它对国家国民经济的发展、科学技术和工业的发展有着重大贡献和深远的影响。

事实上,CAD/CAM 技术在近 30 年的应用实践中,它的重大贡献已被国际科技界和工业界所公认。我国江泽民主席早在 1991 年 4 月就指出“计算机辅助设计,推动了几乎一切领域的设计革命……”;CAD/CAM 技术在 1989 年被美国工程科学院评为自 1964 年以来当代最杰出贡献的十项工程技术成就之一;美国政府在 1991 年 3 月发布的跨世纪国家技术发展战略中有相当部分的项目与 CAD/CAM 技术紧密有关。

### 1.1.1 什么是 CAD

CAD 是近 30 年来迅速发展起来的,集计算机学科与工程学科为一体的综合性学科。它的定义随着 CAD 技术的不断发展而发展,按目前 CAD 技术而言,CAD 技术可以从两个角度给予定义:

(1) CAD 是一个过程

“在计算机环境下完成产品设计的创造、分析和修改,以达到预期的设计目标。”

(2) CAD 是一项产品建模技术

“CAD 技术把产品的物理模型转化为产品数据模型,并把产品的数据模型存储在计算机内供后续的计算机辅助技术(CAX)所共享,驱动产品生命周期的全过程。”

图 1.1 清楚地表明 CAD 是一个完整的设计过程:它包含产品的概念设计。产品的三维建模、产品性能的分析计算和仿真,通常称该过程为 CAE(Computer Aided Engineering);对计算结果进行判别,若不满意则返回修改产品结构,反复上述过程直到获得产品的优化设计,并以图纸形式和文本文件输出结果,把产品的数据模型存入数据库供后续的其它的计算机辅助技术(CAX)共享。图 1.2 表明由 CAD 技术建立的产品数据模型为产品生命周期全过程

提供了产品的原始信息,实现产品信息共享。

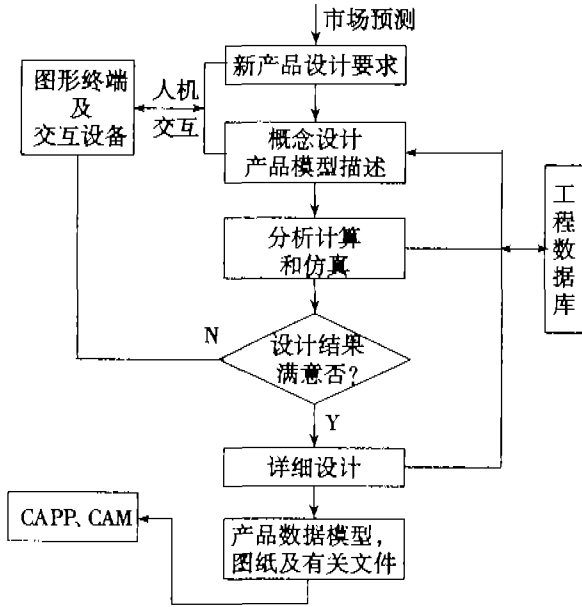


图 1.1 CAD过程流程图

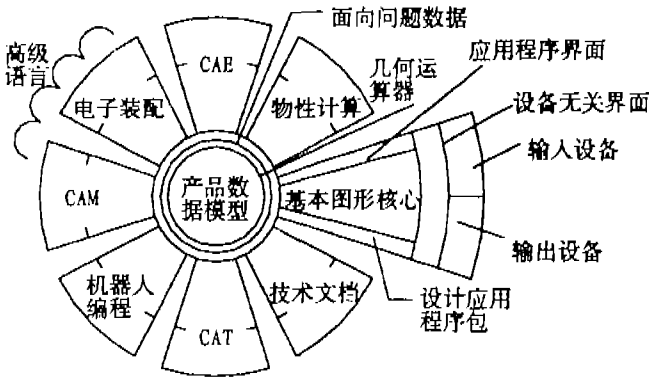


图 1.2 产品数据模型的信息共享

### 1.1.2 什么是 CAM

CAM 的定义也是在不断发展的,可以从狭义和广义两个方面来定义:

#### (1) 狭义 CAM

指计算机辅助编制数控机床加工指令。

#### (2) 广义 CAM

指应用计算机进行制造信息处理的全过程。它包括用计算机辅助生产前的准备工作,如工艺过程规划、工装清单、数控编程、车间作业计划编制、生产过程控制和质量监控等。

CAD、CAM 技术在产品设计和制造过程中的应用范围如图 1.3 所示。由图 1.3 可知,CAD 的应用覆盖了产品设计和工艺装备设计;计算机辅助规划(CAP)包含了工艺装备的规划、工艺过程规划(CAPP)和数控加工的程序编制;CAM 则包含了 CAP、制造、装配和质量检测的全过程,这也就是广义的 CAM。

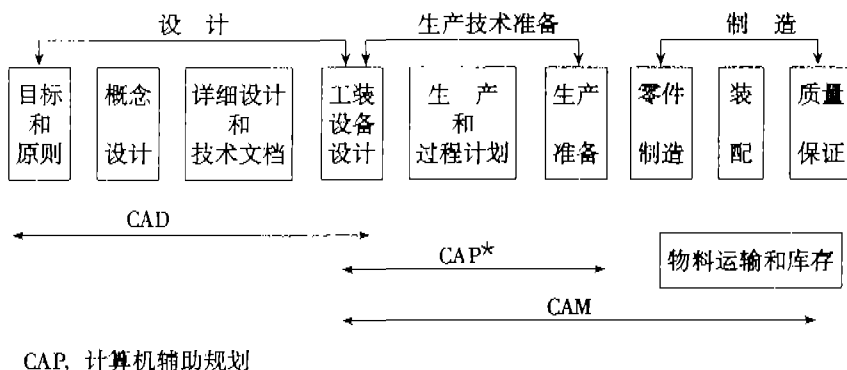


图 1.3 CAD CAM技术在产品设计和制造中的应用

### 1.1.3 什么是 CAD/CAM

CAD/CAM 的定义:“产品从设计到制造全过程的信息集成和信息流自动化”。正如图 1.2 所示,在数据库技术的支撑下,由 CAD 的产品建模系统生成的数字化产品数据模型,为产品的性能分析计算、装配、数控编程、机器人编程等等的子过程提供了产品的原始信息,驱动产品设计到制造的全过程。并藉助于直接数控(DNC)系统,实现 CAD/CAM 系统和车间数控设备之间的集成,如图 1.4 所示。

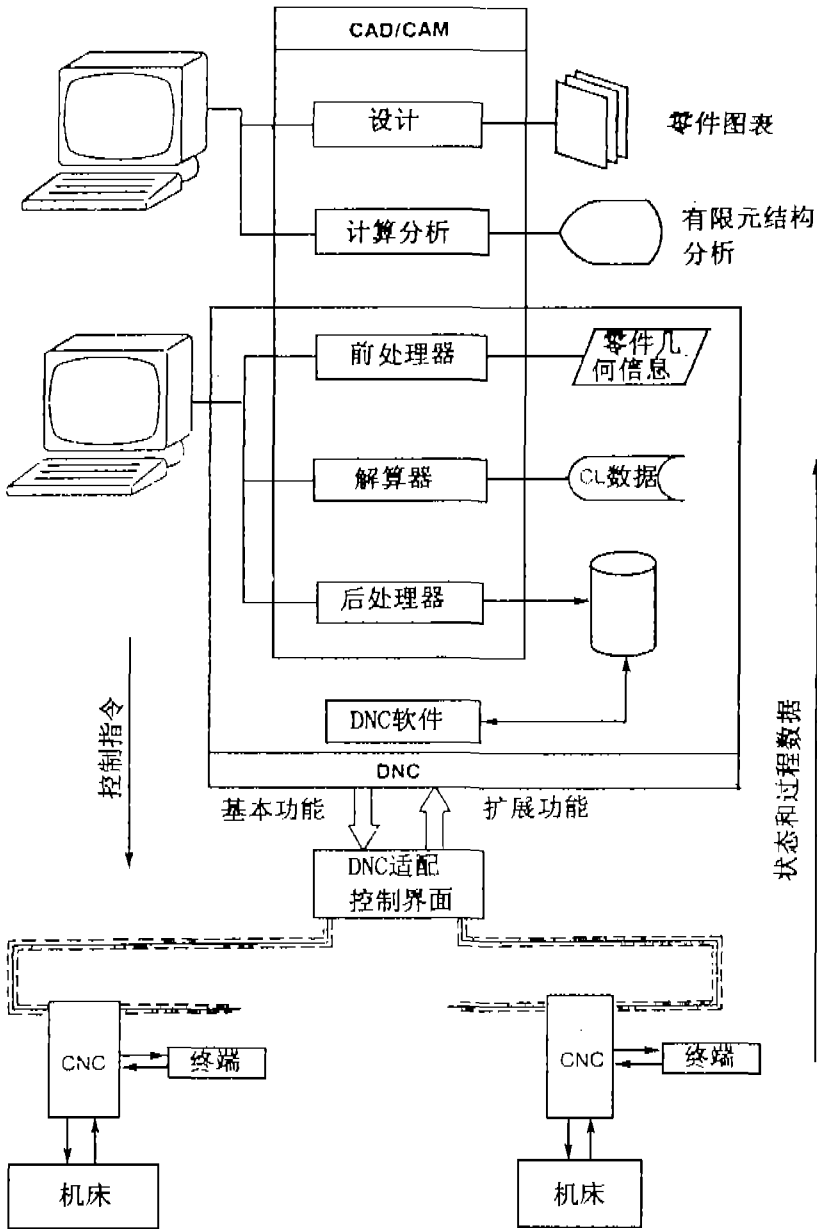


图 1.4 CAD/CAM/NC 的集成



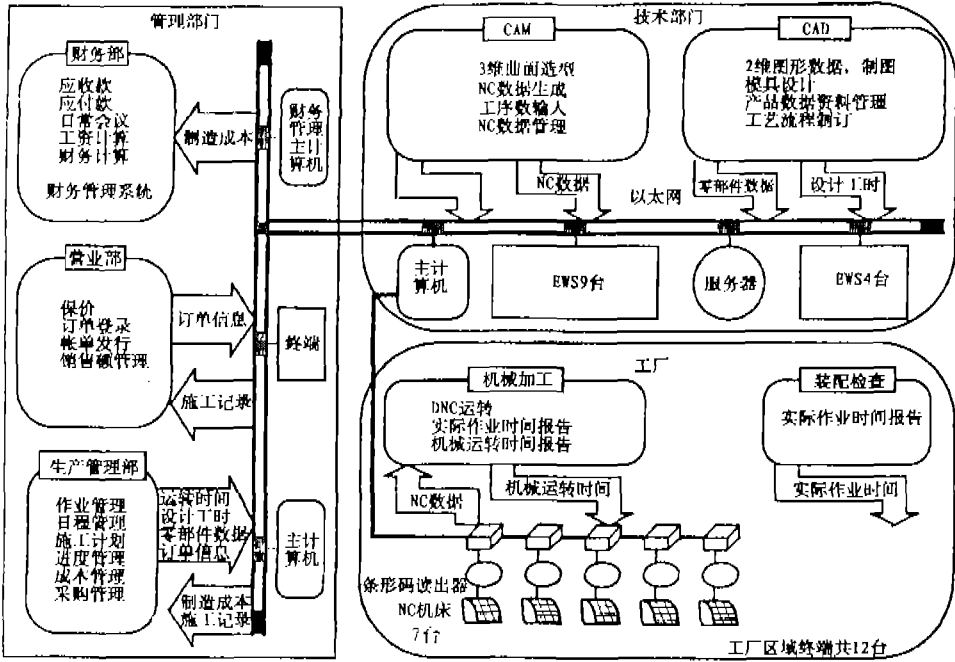


图 1.6 日本 CIMS 工厂(松岗模具制作所)的实例

## 1.2 CAD/CAM 的运行环境

CAD/CAM 的运行环境由硬件、软件和人三大部分组成,如图 1.7 所示。硬件设备是 CAD/CAM 运行环境的基础,软件系统是核心,人是关键。硬件系统的性能和 CAD/CAM 全过程的实施必须通过软件系统实现,CAD/CAM 属高科技,并以人机交互方式运行,只有具有相当技术素质的人员才能把 CAD/CAM 系统的性能充分地发挥出来,为企业创造效益。

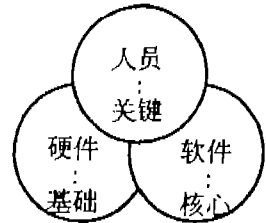


图 1.7 CAD/CAM 运行环境

### 1.2.1 CAD/CAM 的硬件系统

CAD/CAM 的硬件系统由主机、周边设备、网络系统及自动化生产设备组成,如图 1.8 所示。关于网络系统和与 CAM 有关的自动化生产设备将在第 6、7 章中叙述。

#### 1) CAD/CAM 系统对硬件系统的要求

##### (1) 高性能的计算机

CAD/CAM 系统完成产品设计的全过程,实际上,这个过程是信息转变的过程,也同时生成大量的图形信息、分析计算结果信息等。因此,它要求计算机具有:

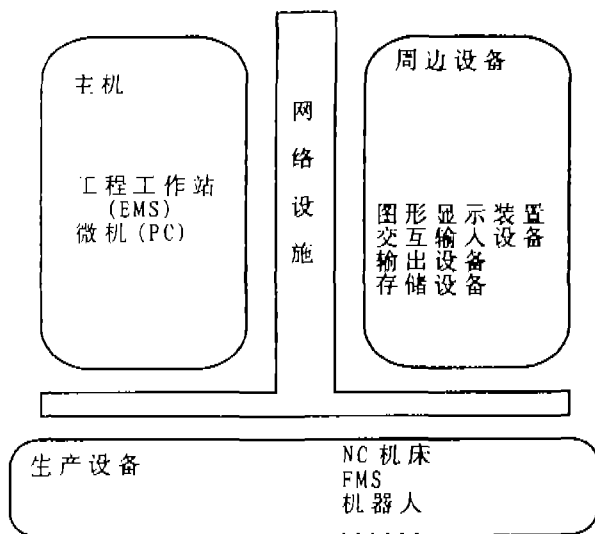


图 1.8 CAD/CAM 硬件组成

① 大容量内存和外存 对于计算机辅助绘图系统、二维和二维半 CAM 系统通常需配备 16MB 内存,对于三维曲面和实体造型 CAD/CAM 系统则需配备 32 ~ 64MB 内存,若运行大型装配的 CAD 系统则最好配置 128MB。内存量的大小不仅影响到运行速度,还直接影响到某些功能的实现。外存储量的配置视 CAD/CAM 系统本身的容量和产品复杂程度而定,需配置 1GB 以上。

② 高运行速度 人机交互的 CAD/CAM 系统,其运算速度应满足实时性的要求,即在人机交互过程中,计算机的反应速度应高于人所能容忍的程度,尤其在执行动态仿真、三维造型和动画设计时,实时性的要求更高,需采用 32 位机或 64 位机。现代的工程工作站采用多 CPU 并行处理技术,以提高计算机的运行速度。

#### (2) 人机交互设备

人机交互设备是人机交互 CAD/CAM 系统的重要组成部分,它由输入设备(如键盘、鼠标器、轨迹球和图形输入板)和图形显示装置组成。图形显示装置是用户与计算机交互作业的重要设备,CAD/CAM 系统的人机交互活动多半以图形表达,尤其在三维造型、真实感图形显示、仿真模拟等方面对图形显示器和图形卡的要求更高。其具体要求有:

① 高分辨率 为清晰地显示图形,对于二维绘图 CAD 系统的分辨率应不低于  $800 \times 600$ ,对于三维造型系统分辨率应选用  $1024 \times 1024$  或  $1280 \times 1024$ 。

② 真实感色彩 二维绘图系统对显示器的色彩要求不高,一般具备 64 种或 128 种已足够。三维造型和仿真模拟对显示器的色彩要求极高,至少是 256 种(即  $2^8$ ),通常需达 4096 种(即  $2^{12}$ ),甚至达到 16 兆种(即  $2^{24}$ ),这样的图形才具有真实感。

③ 实时显示速度 显示器的存储容量和计算机的运算速度直接影响到图形显示速度。对于二维绘图系统,一般显示器的内存配备 1MB,若显示装配图或形状复杂的零件,需配备 2MB。对于三维造型、真实感图形显示和仿真模拟除考虑到增大显示器的内存外,应选配具有三维图形图像处理功能的高档图卡。

### (3) 输出设备

CAD/CAM 硬件系统必须配备有输出设备,其输出的对象有图形、技术文档和数据。图形输出设备包括图形显示器、绘图仪和硬拷贝机等,技术文档的输出设备有宽行打印机和激光打印机等。数据流的输出则通过计算机的硬件接口传递。

对绘图仪的要求是图纸定位准确,图形线型清晰,绘图速度快和具有色彩等。喷墨式黑白和彩色绘图仪是当前图形输出设备的主潮流,它绘图速度快,约为笔式绘图仪的 10 倍左右。选择高 DPI(Dot Per Inch,每英寸的点数)的彩色喷墨绘图仪能输出真实感图形。喷墨式绘图仪是当前图形输出的主要设备。

技术文档资料采用针式打印机或激光打印机输出。数据信息通常通过计算机的接口(如串接口 RS232 口)输出,例如由 CAM 生成的 NC 程序可直接通过 RS232 口传送到机床或 DNC 装置控制数控车间。

### (4) 网络化

CAD/CAM 技术的实施涉及产品生命周期的全过程,这就必然涉及到多个部门和多方面的使用人员。这些部门很可能分布在全厂各个不同的建筑物内,甚至不在同一地区或跨国境,而且它们所配备的计算机软硬件可能是相互不相同的,这样就构成了一个异构环境。为达到 CAD/CAM 信息流集成的目的,就必须借助于网络技术,把分散在各个地点、相同或不不同的 CAD/CAM 硬件系统按一定的网络拓扑结构关系联接起来,实现信息流的自动化。

## 2) CAD/CAM 系统计算机配置形式

CAD/CAM 系统计算机配置形式有以大型或小型计算机构成的集中式系统(Mainframe)、工程工作站或微型计算机的独立型和由工程工作站、微型机组成的网络系统。

### (1) 主机型集中式系统

大型或小型计算机的集中式系统是早期 CAD/CAM 系统运行的模式,它是由大型计算机或小型计算机作为主机和图形终端相连接,如图 1.9 所示。由于各终端上并不配备有 CPU,只有依靠主机的 CPU 进行各种处理和运算,因此该类系统按分时批处理的方式运行,效率低;此外,大型机价格昂贵,对环境要求严格,一般只有大型企业才有能力承受。在 80 年代中期实施 CAD/CAM 系统的企业已很少或几乎不采用这种运行模式。

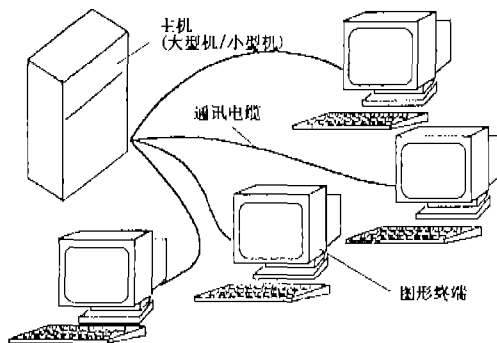


图 1.9 主机型集中式系统

## (2) 工程工作站

80年代初期出现的工程工作站,它的优越性能价格比使它迅速地占领了 CAD/CAM 硬件市场,它的性能与小型计算机相仿,而它的价格仅是小型机的十分之一左右。它的运行方式可以独立使用,也可以作为网络系统的客户机。它发展迅速,近期发展的高档工程工作站为 64 位机,具有高速网络通讯能力(100MB/s),采用多 CPU 并行处理技术,MIPS 指标值达 100MIPS(MIPS 为百万条指令/秒)以上,高性能的图形显示和多媒体功能等优越性能,为实现复杂产品的造型设计、大型电子装配和大型分析计算、仿真模拟提供了理想的硬件平台。

## (3) 微型计算机

80年代初期出现的 16 位微型计算机,是一种独立型的个人机,在 CAD/CAM 领域中,它被用作二维绘图和一般分析计算的硬件平台。近年来随着微机性能的不不断提高,尤其是 90 年代初出现了 Pentium 586 芯片,使微型机成为 32 位机。由于引入了工程工作站的 RISC 芯片技术,采用了 64 位传送的 PIC 总线,大大地提高了计算机速度,其时钟频率可达 200MHz 以上,最大内存可在 128MB 以上。微型计算机与工作站、小型计算机的性能差距正在缩小,而它在价格上却占绝对优势,采用微型计算机作为网络系统的客户机,将大大降低系统的投资。随着微型计算机性能的不不断提高,它将成为中、小型企业 CAD/CAM 系统选择的主要硬件平台。

## (4) 客户/服务器系统

客户/服务器(C/S)系统是 90 年代 CAD/CAM 系统运行的主流模式,图 1.10 所示为客户/服务器系统硬件环境的主要部分。常见的 CAD/CAM 集成化系统的客户/服务器模式是把应用放在客户端上,而共享的数据放在服务器上,实现资源共享。客户/服务器系统实现数据分布和处理分布及数据的集中监控和管理,易于保证数据的安全性、一致性和完整性。客户/服务器系统是一种开放型的结构,根据需要可方便地增加或更新客户机,也可增加服务器的数量或提高档次,以及配置相应的软件,从而扩大系统容量和处理的能力,以适应新的需求。

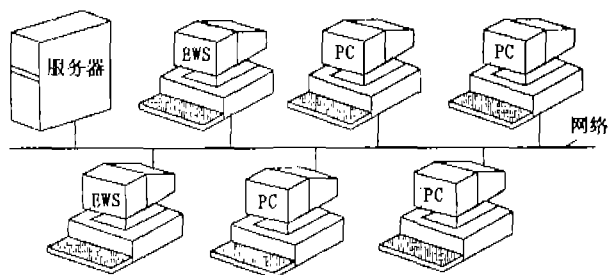


图 1.10 客户机/服务器(C/S)系统

## 1.2.2 CAD/CAM 系统的软件

CAD/CAM 系统的软件由系统软件、支撑软件和应用软件组成。

系统软件包括操作系统、高级语言编译系统等,它由计算机供应厂方提供。计算机的性能只有通过系统软件才能发挥。常见的操作系统有 UNIX, DOS 和 Windows 等。对于工程工

作站的主流操作系统仍是 UNIX,微型计算机的操作系统 MS - DOS 已逐渐被 Windows 所替代。微机操作系统的主流正从 16 位 Windows 3. X 向 32 位的 Windows 95 和 Windows NT 过渡。Windows 操作系统的主要优点有:良好的图形用户界面,可方便地提供图标(ICON)菜单、对话框、按钮菜单等;多窗口运行模式,可以在不同窗口下显示多个任务的运行情况;提供与设备无关的软件开发环境,大量应用程序和一个软件开发工具箱供用户选用;Windows NT 能直接支持以太网,开放性好等。90 年代中期推出的微机 CAD/CAM 系统一般均在 Windows 95 和 NT 平台上运行。

系统软件中除了提供常见的高级语言 FORTRAN, C, C++ 等编译系统外,还提供图形软件支持系统,如 Graphics Library(GL),它是三维图形系统的开发工具,事实上它已成为国际上公认的标准 OPEN GL。微型计算机上的系统软件也已由功能型高级语言 BASIC、FORTRAN、C 向面向对象的开发工具 C++ 等语言和编译系统发展。用户根据本企业的产品特点可自行开发应用程序。值得指出的,通常 CAD/CAM 系统的二次开发,还需要基于 CAD/CAM 软件系统提供的用户编程语言(UPL),如 UGII 的 GRIP、AutoCAD 的 LISP 语言和 ADS 环境等。基于 UPL 开发的应用程序就可与 CAD/CAM 支撑软件系统集成成为一体,具有良好的用户界面,增强和扩充 CAD/CAM 支撑软件系统的功能。

CAD/CAM 系统软件中的支撑软件通常简称 CAD/CAM 软件系统。它是 CAD/CAM 系统软件中的核心,用户基于 CAD/CAM 软件系统完成产品设计到制造的全过程。本节重点叙述 CAD/CAM 软件系统。

### 1) 工程工作站级 CAD/CAM 软件系统

工程工作站级的 CAD/CAM 软件系统绝大多数是从大型机或小型机集中式系统运行平台上移植过来的,如 CV 公司的 CADDS 5、EDS 公司的 UGII、SDRC 公司的 I-DEAS 和 DASSULT 的 CATIA 等,PTC 公司 80 年代中期推出的 PRO/ENGINEERING CAD/CAM 软件系统是基于工程工作站开发的。工程工作站级的 CAD/CAM 软件系统发展至今已相当成熟,被国内、外制造业广泛地应用。

工程工作站级的 CAD/CAM 软件系统一般由下列功能模块组成:

#### (1) CAD 部分

① 二维图形设计和绘图模块 用户可以在友好的人机交互的图形界面下完成单个零件或部件装配图的绘制、文档编制,也可以根据三维造型的产品 CAD 模型,自动生成二维零部件图形和输出二维图形。

② 三维几何造型模块 基本的三维几何造型模块包括线框模型、曲面模型和实体模型。80 年代后期发展了参数化造型、特征造型和混合造型等先进建模技术以及各种模型间相互转换技术,还能计算出几何体的物性,如重心、惯性矩、表面积和体积等。

③ 真实感图形显示模块 实现三维消隐处理,真实感色彩渲染、光源效应和光线跟踪等技术,使三维图形具有真实感效果。

④ 装配模块 装配模块完成零件到部件或产品总成的三维装配,即由下到上的装配设计。也可以根据产品结构,规划总装、部件和零件设计,称为由上到下的装配设计。通过装配设计,生成产品的装配树,建立产品结构的完整信息模型和产品的明细表(BOM),同时还可通过装配进行干涉检查。

## (2) CAE 部分

① 有限元分析模块 包括有限元的前置处理模块,根据产品的几何模型自动剖分有限元网格,根据工况设置约束和载荷;有限元分析的各种解算器,如结构件的力学、动力学和温度场分析、流体的流动特性分析、电磁场分析等的解算器;分析结果的后置处理模块,可以用色谱图、等值线图或曲线等方法描述分析结果。

② 机构动态仿真模块 根据机构的装配结构,求出各构件的重心、质量、惯性矩等物性,设定各构件的运动规律和参数,各类机构运动的仿真计算,并用三维真实感图形显示机构运动状态和运动干涉检查。

## (3) CAM 部分

① 数控加工的前置处理模块 完成从产品的几何模型到产品的工艺模型的转换,如浇铸模的加工余量、拔模斜度、泥芯形状的确定和提取等,注塑模的凹凸模形状确定、电极数和形状确定等等。

② 数控加工编程模块 通常包括车削、钻削、2~5轴的铣削、电火花和等离子加工等方法的数控编程。该模块主要完成各种加工方法的刀具轨迹(CL)的生成,刀具确定和工艺参数的设定,切削时间计算等。

③ 数控加工的后置处理模块 根据 CL 文件生成用户所指定的数控机床的数控程序。

④ 切削加工检验模块 利用仿真技术来测试数控刀具轨迹,检测欠切和过切现象以及刀具与加工零件表面干涉现象等。

⑤ DNC 模块 DNC 模块的基本功能是上述 CAM 模块和车间 NC 设备的通信模块,它的扩充功能可实现 NC 程序的管理、编辑和 NC 加工的作业调度与监控。它在自动化生产中的作用越来越显著,现代的 CAD/CAM 系统已把 DNC 作为 CAM 部分中的一个功能模块。

## (4) 数据交换标准和接口

通常,CAD/CAM 系统均提供数据交换标准,如 IGES、DXF、STEP,以实现异构环境下的图形数据交换。

接口是指与第三方软件公司所提供的软件系统的通信接口,如国际上流行的 CAD/CAM 系统一般均配备有国际上著名有限元软件 NASTRAN、注塑模 CAE 软件(如 MOLDFLOW)等的接口。

## (5) 用户编程工具

用户编程工具包括用户编程语言(UPI)和图形库等。用户可利用 CAD/CAM 软件系统提供的开发工具对软件系统进行二次开发,提高 CAD/CAM 软件系统的用户化程度,充分发挥 CAD/CAM 系统的性能和提高使用效率。

## (6) 数据库部分

数据库是 CAD/CAM 集成系统的核心组成部分之一。80 年代后期推出的 CAD/CAM 集成系统普遍采用面向目标的工程数据库管理系统(O-O EDBMS),统一管理 CAD/CAM 全过程的数据,实现信息共享。

CAD/CAM 集成化软件系统的组成概括地如图 1.11 描述。

## 2) 微机级的 CAD、CAM 软件

微机级的 CAD、CAM 软件绝大多数属单功能软件。如 Auto CAD 10.0 以下版本主要为