

新世纪高校机械工程规划教材

机械 CAD/CAM 技术

主 编 蔡汉明 陈清奎

副主编 杨新华 高 军

参 编 司马中文 王玉玲 赵海霞

主 审 沈精虎



机械工业出版社

本书收集了近年来计算机辅助设计和计算机辅助制造的最新资料,从集成的角度全面、详细地阐述了 CAD/ CAM 的基础技术、关键技术和应用技术。全书共分 11 章。内容包括 CAD/ CAM 的基本概念;机械 CAD/ CAM 常用的数据结构;计算机辅助图形处理技术;几何建模及特征建模技术;计算机辅助设计技术;计算机辅助工程分析;计算机辅助工艺设计;数控加工编程及加工工程仿真技术;计算机辅助制造技术;计算机辅助生产管理与控制;智能制造与虚拟制造等。

为了便于教学,本书在系统性、完整性、实用性方面做了认真的考虑。

本书可作为机械工程及自动化专业的本科生、研究生的教材,也可作为广大从事 CAD/ CAM 技术研究的工程技术人员的参考资料或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/ CAM 技术/ 蔡汉明, 陈清奎主编. —北京: 机械工业出版社, 2003.7

新世纪高校机械工程规划教材

ISBN 7-111-12034-5

. 机 蔡 ... 陈 机械设计: 计算机辅助设计 - 高等学校 - 教材 机械制造: 计算机辅助制造 - 高等学校 - 教材 .TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 高文龙 王世刚

责任编辑: 冯 铤 版式设计: 张世琴 责任校对: 樊钟英

封面设计: 姚 毅 责任印制: 付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·9.375 印张·364 千字

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话
封面无防伪标均为盗版

新世纪高校机械工程规划教材 编审委员会

| | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 顾 问 | 艾 兴 | | | | |
| 领导小组 | 张 慧 | 高振东 | 梁景凯 | 高文龙 | |
| | 赵永瑞 | 赵玉刚 | | | |
| 委 员 | 张 慧 | 张进生 | 宋世军 | 沈敏德 | 赵永瑞 |
| | 程居山 | 赵玉刚 | 齐明侠 | 高振东 | 王守城 |
| | 姜培刚 | 梅 宁 | 昃向博 | 梁景凯 | 方世杰 |
| | 高文龙 | 王世刚 | 尚书旗 | 姜军生 | 刘镇昌 |

前 言

随着计算机软硬件技术的飞速发展，传统的手工设计正逐渐被借助于计算机技术的设计所代替。计算机技术在设计中的应用已从往日的计算、绘图，发展到当今的三维建模、优化设计、仿真和虚拟制造，设计生产一体化，大大加速了设计过程、提高了设计质量。随着我国加入 WTO，企业间的竞争更加激烈，企业要在未来的市场中立于不败之地，就必须实现技术创新和产品创新。发展和应用现代设计制造技术是企业实现产品创新的关键，因此机械 CAD/CAM 技术已成为工科类学生和工程技术人员必须掌握的一门技术。

针对机械 CAD/CAM 的特点，结合多年来的教学经验及开发成果，我们编写了本教材。随着机械 CAD/CAM 技术的不断发展，各种技术人员对机械 CAD/CAM 技术的需求也不尽相同，为此，我们采用模块化知识体系组成了本书，在教学过程中可根据需要进行取舍。本教材中所用应用实例尽量与机械制造业方面的知识相结合，具有较强的针对性和实用性。

本书力图兼顾成熟性与先进性、理论性与实践性，着重 CAD/CAM 技术的理论基础以及当前先进的 CAD/CAM 应用技术的研究。

全书共分十一章。第一章介绍机械 CAD/CAM 基本知识；第二章介绍数据存储结构，为 CAD/CAM 打下计算机基础；第三章介绍计算机图形处理的方法；第四章介绍几何建模和特征建模；第五章介绍计算机辅助设计方面的知识；第六章介绍计算机辅助工程的一般方法；第七章介绍计算机辅助工艺工程设计；第八章介绍数控编程和仿真方面的知识；第九章介绍计算机辅助制造技术；第十章介绍计算机辅助生产管理与控制；第十一章介绍智能制造与虚拟制造。

本教材第一章、第三章、第四章由青岛科技大学蔡汉明编写；第二章、第五章由青岛海洋大学杨新华编写；第六章、第七章、第八章由山东理工大学高军、司马中文编写；第九章、第十章、第十一章由山东建筑工程学院陈清奎、王玉玲编写。青岛科技大学的赵海霞编写了第三章第六节。全书由蔡汉明、陈清奎主编。

本教材由青岛大学沈精虎同志主审。沈老师认真审阅了书稿，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

编 者
2003 年 2 月

目 录

| | |
|-------------------------------|----|
| 前 言 | |
| 第一章 概述 | 1 |
| 第一节 CAD/ CAM的基本概念 | 1 |
| 第二节 CAD/ CAM的发展历史 | 13 |
| 第三节 CAD/ CAM的发展趋势 | 17 |
| 第四节 我国 CAD/ CAM的发展状况 | 22 |
| 思考题 | 23 |
| 第二章 机械 CAD/ CAM 常用的数据结构 | 24 |
| 第一节 概述 | 24 |
| 第二节 线性表 | 27 |
| 第三节 栈、队列和数组 | 34 |
| 第四节 树结构 | 39 |
| 思考题 | 43 |
| 第三章 计算机辅助图形处理 | 44 |
| 第一节 二维图形变换的基本原理 | 44 |
| 第二节 三维图形变换的基本原理 | 52 |
| 第三节 复合变换 | 54 |
| 第四节 窗视变换与裁剪 | 57 |
| 第五节 隐藏线与隐藏面的处理 | 61 |
| 第六节 图形生成方法 | 64 |
| 思考题 | 66 |
| 第四章 几何建模及特征建模 | 67 |
| 第一节 基本概念 | 67 |
| 第二节 线框建模 | 70 |
| 第三节 曲面建模 | 72 |
| 第四节 实体建模 | 74 |
| 第五节 特征建模 | 81 |
| 思考题 | 94 |
| 第五章 计算机辅助设计 | 95 |
| 第一节 概述 | 95 |

| | | |
|------------|--------------------------------|------------|
| 第二节 | 设计资料的程序处理 | 96 |
| 第三节 | 数据库系统简介 | 100 |
| 第四节 | 参数化绘图与尺寸驱动开发技术 | 105 |
| 第五节 | 机械 CAD 应用软件的开发方法 | 111 |
| 思考题 | | 120 |
| 第六章 | 计算机辅助工程分析 | 122 |
| 第一节 | 有限元分析法 | 122 |
| 第二节 | 优化设计 | 126 |
| 第三节 | 计算机仿真简介 | 134 |
| 思考题 | | 138 |
| 第七章 | 计算机辅助工艺设计 | 139 |
| 第一节 | 成组技术 | 139 |
| 第二节 | CAPP 系统的发展概况和工作原理 | 147 |
| 第三节 | CAPP 系统零件信息的描述、输入和输出 | 152 |
| 第四节 | 派生式 CAPP 系统 | 156 |
| 第五节 | 创成式 CAPP 系统 | 162 |
| 第六节 | CAPP 专家系统简介 | 168 |
| 思考题 | | 173 |
| 第八章 | 数控编程和仿真 | 174 |
| 第一节 | 概述 | 174 |
| 第二节 | 数控编程 | 178 |
| 第三节 | 数控语言自动编程 | 183 |
| 第四节 | 图形交互式自动编程 | 187 |
| 第五节 | 应用 Master CAM 系统进行数控加工编程 | 190 |
| 第六节 | 数控加工仿真 | 209 |
| 思考题 | | 212 |
| 第九章 | 计算机辅助制造技术 | 213 |
| 第一节 | 概述 | 213 |
| 第二节 | 柔性制造系统 FMS | 214 |
| 第三节 | 计算机集成制造系统 CIMS | 228 |
| 第四节 | CIMS 环境下的 PDM | 232 |
| 思考题 | | 236 |
| 第十章 | 计算机辅助生产管理与控制 | 237 |
| 第一节 | 概述 | 237 |
| 第二节 | 企业应用计算机管理的意义和条件 | 243 |

| | | |
|-------------|------------------------|------------|
| 第三节 | 计算机辅助管理系统的构成 | 244 |
| 第四节 | MRP 系统简介 | 249 |
| 第五节 | 敏捷制造的内涵及概念 | 258 |
| 思考题 | | 264 |
| 第十一章 | 智能制造与虚拟制造 | 265 |
| 第一节 | 概述 | 265 |
| 第二节 | 知识的获取和表示 | 267 |
| 第三节 | 人工智能与专家系统 | 273 |
| 第四节 | 工业机器人 | 274 |
| 第五节 | 并行工程 | 285 |
| 第六节 | 虚拟制造 | 289 |
| 思考题 | | 291 |
| 参考文献 | | 292 |

第一章 概 述

随着人们生活水平的提高，消费者的价值观正在发生结构性的变化，呈现出多样化与个性化，用户对各类产品的质量，产品的更新换代的速度，以及产品从设计、制造到投放市场的周期都提出了越来越高的要求。为了适应这种变化，工厂的产品也向着多品种、中小批量方向发展。要适应这种瞬息万变的市场要求，则要求生产更具有柔性。传统的批量法则面临着严重的挑战，一场更加激烈的竞争环境正在形成。计算机辅助设计新的要求而产生的一种新的制造方法。本章主要介绍 CAD/ CAM 的基本概念、CAD/ CAM 的基本功能、CAD/ CAM 的发展历史以及 CAD/ CAM 技术的应用状况及其发展方向。

第一节 CAD/ CAM 的基本概念

CAD/ CAM 是 20 世纪制造业最杰出的成就之一，也是计算机在制造业中应用最成功的范例之一。从传统的制造过程来看，产品从市场需求分析开始，经过产品设计、工艺设计、加工装配、产品生产等环节，最后形成用户所需要的产品，如图 1-1 所示。

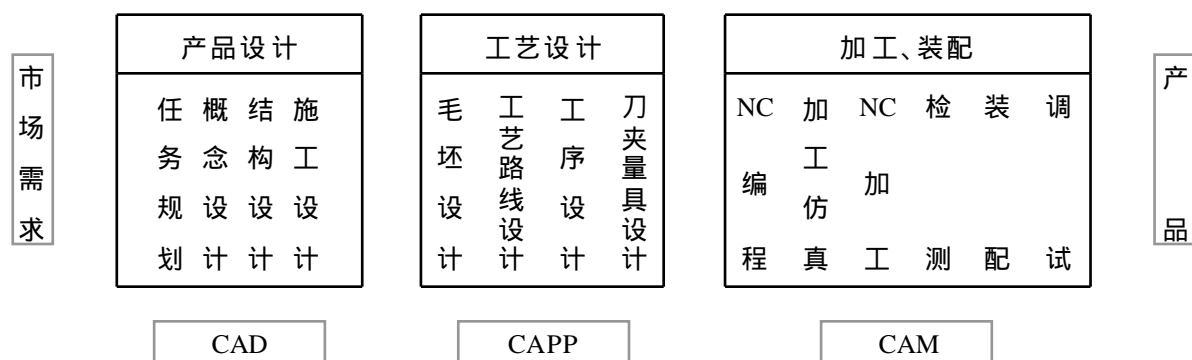


图 1-1 产品生产过程与 CAD/ CAM

在产品设计阶段，主要完成任务规划、概念设计、结构设计、详细设计、结构优化设计、工程设计等。如果借助计算机来完成这些任务，就叫做 CAD。在工艺设计阶段，要完成毛坯设计、工艺规程设计、工装设计等任务。如果借助计算机来完成这些任务，就称为 CAPP。在生产加工阶段，要完成数控编程、加工过程仿真、数控加工、质量检验、产品装配、调试等。如果使用计算机来完成这些工作，就称为 CAM。以前用计算机完成这些工作都是孤立的，彼此之间是分开的，常常是 CAD 完成后的信息，不能被 CAM 直接使用，这样在计算机辅助设

计与制造上造成了信息资源上的浪费。如果使用计算机信息集成技术，为 CAD/CAM 提供一个集成的工作环境，将 CAD、CAPP、CAM 有机地联系起来，称之为 CAD/CAM 集成技术。

一、CAD/CAM 的基本概念

CAD 是 Computer Aided Design System 的缩写；CAM 是 Computer Aided Manufacturing System 的缩写。CAD 和 CAM 是机械工程专业在自动化和计算机应用方面迅速发展起来的一门学科，它是对过去传统的机械设计、机械制造工艺过程及控制方法的一个挑战。

1. CAD 的概念

CAD 是指以计算机为辅助手段来完成整个产品的设计过程。产品设计过程是指从接受产品的功能定义开始，到设计完成产品的材料信息、结构形状、精度要求和技术要求等，并且最终以零件图、装配图的形式作为可见媒体表现出来的过程。

广义的 CAD 包括设计和分析两个方面。设计是指构造零件的几何形状、选择零件的材料，以及为保证整个设计的统一性而对零件提出的功能要求和技术要求等。分析是指运用数学建模技术，如有限元、优化设计技术等，从理论上对产品的性能进行模拟、分析和测试，以保证产品设计的可靠性。

2. CAM 的概念

计算机辅助制造是指利用计算机系统，通过计算机与生产设备直接的或间接的联系，进行规划、设计、管理和控制产品的生产制造过程。关于 CAM 的概念有两种理解：一种是狭义的 CAM，指数控编程，与数控机床数控装置的软件接口。另外一种为广义的 CAM，除自动编程以外，还包括工艺过程的设计、制造过程仿真、产品装配与检测等。

3. CAD/CAM 集成的概念

随着 CAD、CAM 软件技术的逐步应用，人们很快发现，CAD 产生的信息（特别是二维绘图信息）与零件的制造工艺，还需要人工将 CAD 的图样转化为 CAM 或 CAPP 所需要的数据格式。这样不仅影响工作效率，而且，人工输入难免出错。如果能将 CAD 产生的图样直接被 CAPP、CAM 以及以后的 CIMS 所利用，这就是 CAD/CAM 集成。

CAD/CAM 系统的集成就是把 CAD、CAM、CAE、NCP 集成起来，用统一的执行机制来组织各种信息的提取、交换、共享和处理，以保证系统内的信息的畅通。也就是说，它是将产品设计、生产管理、质量控制等有机地集成在一起，通过生产数据采集和信息流形成一个闭环系统。CAD/CAM 集成是

机械制造迈向 CIMS

二、CAD/CAM 的组成

CAD/CAM 由硬件和软件两个部分组成，如图 1-2 所示。

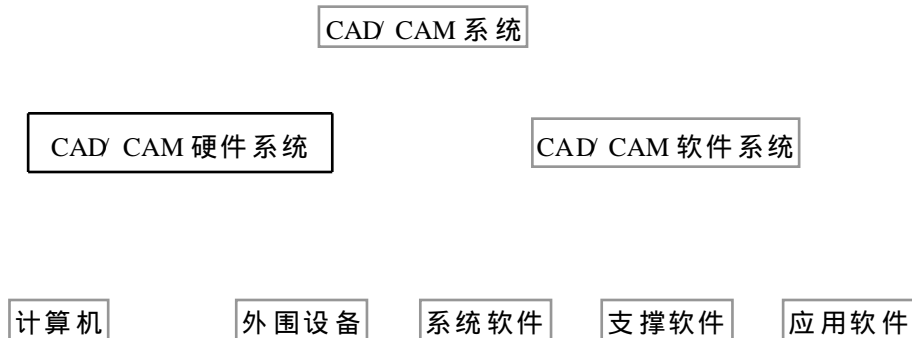


图 1-2 CAD/CAM 的组成

硬件组成主要是指计算机及各种配件设备，如各种档次的计算机、打印机、绘图机、数控机床等。对硬件的主要要求是：

- 1)
- 2)
- 3)

CAD/CAM 硬件的类型包括应用的计算机和所有的外围设备。根据系统总体配置、组织方式及所用计算机的不同，有不同的分类方法。

1. 按系统总体配置分类

用户同时工作。系统终端用户可以共享数据库中的数据，可以进行大型复杂的设计计算和仿真分析。但若中央处理机出现故障将影响到全部用户。主机系统的初始投资很大。目前国内使用较少。

件系统配套在一起的专用系统，用户不需要进行第二次开发。由于这种系统是专用系统，使用面较窄，计算机利用率不高，更新较慢。随着新一代开放式的计算机软件系统的出现，专用的成套系统将逐步被淘汰。

器，以个人分布式网络环境结合的高性能的价格比的小型机，集中管理的数据库和高性能的 CAD/CAM 软件，已成为 CAD/CAM 中的主力军。

什么差别，加上网络的发展，个人计算机已经成为当前一些小厂 CAD/CAM 主要硬件环境之一。

2. 按系统的组织方式分类

按系统的组织方式分类，CAD/CAM 硬件的类型可以分为单机系统和联机系

系统。单机系统是指由一台计算机加上输入和输出设备提供给单一用户使用的系统。联机系统是由一组连接成网络的多台计算机组成，网络内的计算机可以各司其职，有的计算机用于面向用户的数据处理，有的则用于控制整个网络的数据通信，还有一部分完成特定的功能。此外，各个终端还可以独立使用。

CAD/CAM 系统的网络系统可以是独立的小局域网，也可作为子网与企业内部网相连接。无论采用哪种形式，其网络结构都可以根据需要选用总线型、星型、环型、网状型等当中的一种，其工作模式则多采用客户机/服务器体系结构。

结构中，各独立的计算机都连接到一条叫做总线的线缆上，如图 1-3 所示。在总线中，一般不需要再安装其他动态电子设备对信号进行放大。

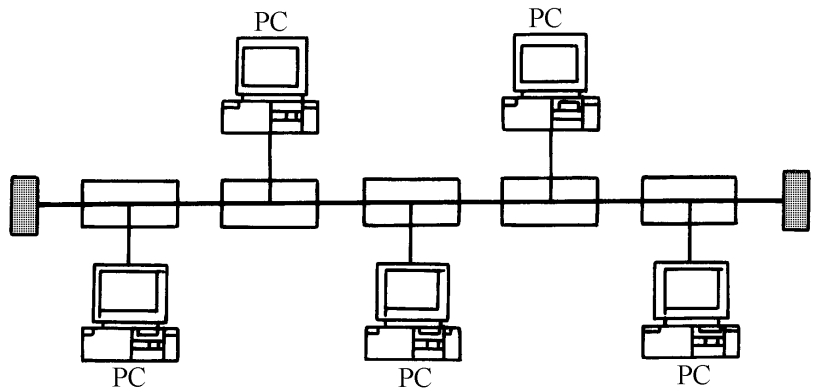


图 1-3 总线型拓扑

总线拓扑的优点有：结构简单，可靠性高；电缆长度短，易于布线和维护；造价低；易于扩充等。

增加新站点时，可以在总线的任一点将其接入，如需增加总线长度，可用中继器来扩展一个附加段。总线拓扑的主要缺点是当网络负载过重时会降低网络传输速度，此外故障诊断和隔离困难，因为它不是集中控制的，所以故障检测需要在网上的各个站点上进行。

总线型网络适用于规模较小的网络。

式，电话的连接就属于这种结构，如图 1-4 所示。与各计算机连接处于中心位置的网络设备称为集线器，英文名为 Hub。集线器既可以是有源的，也可以是无源的。有源集线器带有特定的电路，可以重新生成电子信号，将它发送给所有的计算机；无源的集线器则起一个连接点的作用。

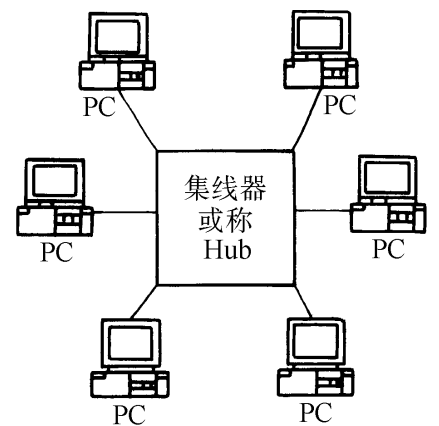


图 1-4 星型拓扑

这种结构便于集中控制，因为各个用户之间的通信必须经过中心站。由于这一特点，也带来了易于维护和安全等优点。端用户设备因为故障而停机时，也不会影响其他端用户间的通信。但这种结构的中心系统必须具有极高的可靠性，因为中心系统一旦损坏，整个系统便趋于瘫痪。对此，中心系统通常采用双机备份方式，以提高系统的可靠性。

户到另一个端用户连接成环型。这种结构显而易见消除了端用户通信时对中心系

统的依赖性。

环行结构的特点是，每个端用户都与两个相邻的端用户相连，因而存在着点到点链路，但总是以单向方式操作。于是，便有上游端用户和下游端用户之称。例如图 1-5 中，用户 N 是用户 N + 1 的上游端用户，N + 1 是 N 的下游端用户。如果 N + 1 端需将数据发送到 N 端，则几乎要绕环一周才能到达 N 端。此外，只要一台计算机出现故障，整个网络都会受到影响。

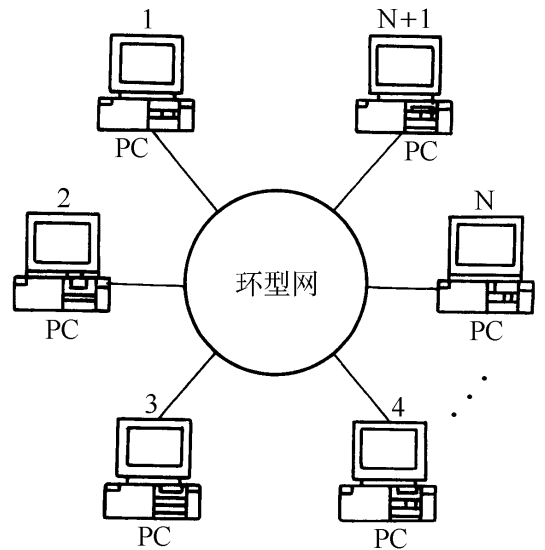


图 1-5 环型拓扑

备，最简单的方法是将它们都直接相连在一起，这种连接称为点对点连接。用这种方式形成的网络称为全互连网络，其连接名称叫做网状拓扑，如图 1-6 所示。图中有 6 个设备，在全互连情况下，需要 15 条传输线路。如果要连的设备有 n 个，所需线路将达到 $n(n-1)/2$ 。计算机分布的地理范围不大、设备数很少的条件下才有可能使用。

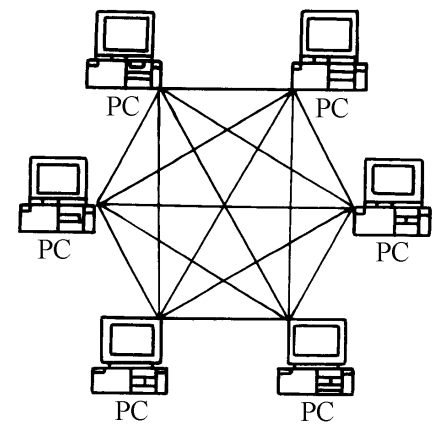


图 1-6 网状拓扑

这种结构的优点是容错性能好，通信速度快，通信容量能得到保证。

可以混合使用总线型、星型及环型拓扑结构。如图 1-7 所示，它是将关系密切的计算机先组合成星型网，然后使用总线电缆作干线，将几个星型集线器网络连接在一起。

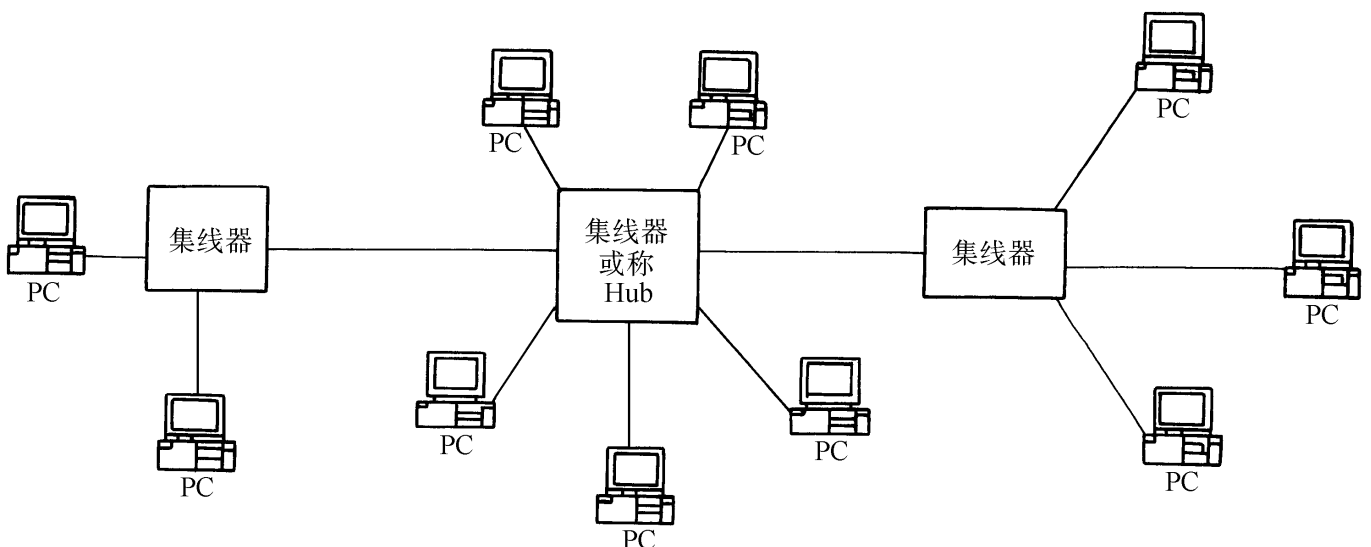


图 1-7 混合型拓扑

在 CAD/CAM 系统中，如何确定最优的网络结构，是网络设计中的一个重要问题，因为它将影响到整个系统的性能，包括工作效率、可靠性、投资的大小及生产的经济效益等。具体设计时一般要根据工作终端的多少、工作终端的位置、距离、信息流量及费用等因素进行综合分析、比较，并联系当前网络技术的发展趋势，确定合理的方案，包括选型、网络拓扑结构、采用何种通信线路等。

软件组成一般包括系统软件、支撑软件和应用软件。

系统软件主要负责管理硬件资源和各种软件资源，它面向所有用户，是计算机的公共性底层管理软件，即系统开发平台，如图 1-8 所示。它是用户与计算机连接的纽带。系统软件有两个特点：一个是通用性，不同领域的用户都可以并且需要使用它们；另一个是基础性，即系统软件是支撑软件和应用软件的基础。系统软件主要包括三个部分：管理和操作程序、维护程序和用户服务程序。

目前，CAD/CAM 系统中比较流行的操作系统有：工作站上用的 UNIX、VMS；微机上用的 MS-DOS、PC-DOS、WINDOWS 和 XENIX。

支撑软件是建立在系统软件之上的，是实现 CAD/CAM 各种功能的通用的应用基础软件，是 CAD/CAM 系统专业性应用软件的开发平台。它不针对具体的设计对象，而是为用户提供工作或开发环境。不同的支撑软件依赖一定的操作系统，同时又是各类应用软件的基础。CAD/CAM 支撑软件一般包含以下几种类型：

- 1)
- 2) 几何建模软件，例如 Pro-E、UG 软件。
- 3) 有限元分析软件，例如 SAP 软件。
- 4) 优化方法软件，例如 OPB 软件。
- 5) 数据库系统软件，例如 ORACLE、SQL Server 数据库系统软件。
- 6) 系统运动学/动力学仿真软件，例如 ADAMS 机械动力学自动分析软件。
- 7) 计算机辅助工程软件。

应用软件是用户为了解决某个实际问题在支撑软件的基础上经过二次开发出来的软件。它是在系统软件的基础上，或用高级语言，或者基于某种支撑软件，针对某一个特定的问题设计而研制的。目前许多工厂根据本厂的产品特点，设计的一些专用软件就属于这一类。

计算机硬件与系统软件、支撑软件及应用软件的关系如图 1-8 所示。

三、CAD/CAM 功能与任务

1. 图形显示功能

CAD/CAM 是一个人机交互的过程，从产品的造型、构思、方案的确定，结构分析到加工过程的仿真，没有图形显示功能，系统无法保证用户能够观察、修

改中间结果，进行实时编辑处理。用户的每一次操作，都能从显示器上及时得到反馈，直到取得最佳的设计结果。图形显示功能不仅能够对二维平面图形进行显示控制，还应当包含三维实体的处理。有了显示功能，用户可以很直观地从屏幕上进行修改，得到所需要的信息。

2. 输入输出功能

在 CAD/ CAM 系统运行中，用户需要不断地将有关设计的要求、步骤所需要的具体数据等输入计算机内，通过计算机的处理，能够输出系统处理的结果。没有输出的系统是毫无意义的。在 CAD/ CAM 系统中，输入输出的信息既可以是数值的，也可以是非数值的

3. 存储功能

由于 CAD/ CAM 系统运行时数据量很大，往往有很多算法生成大量的中间数据。尤其是对图形的操作以及交互式的设计、结构分析中网格划分等。为了保证系统能够正常地运行，CAD/ CAM 系统必须配置容量较大的存储设备，以支持数据在各设备模块运行时的正确流通。另外，工程数据库系统的运行也必须有存储空间作为保障。

4. 交互功能

在 CAD/ CAM 系统中，人机接口是用户与系统连接的桥梁。友好的用户界面，是保证用户直接而有效地完成复杂设计任务的必要条件。除软件中界面设计外，还必须有交互设备以实现人与计算机之间的不断通信。

CAD/ CAM 系统需要对产品设计、制造全过程的信息进行处理，包括设计、制造中的数值计算、设计分析、绘图、工程数据库的管理、工艺设计、加工仿真等各个方面。因此，CAD/ CAM 系统必须完成以下主要任务：

1. 几何造型

在产品设计构思阶段，系统能够描述基本几何实体及实体间的关系；能够提供基本体素，以便为用户提供所设计产品的几何形状、大小，进行零件的结构设计以及零部件的装配；能够动态地显示三维图形，解决三维几何建模中复杂的空间布局问题；同时，还能进行消隐、彩色浓淡处理、剖切、干涉检查等。利用几何建模的功能，用户不仅能构造各种产品的几何模型，还能够随时观察、修改模型，或检验零部件装配的结果。几何建模技术是 CAD/ CAM 系统的核心，它为产品的设计、制造提供基本数据，同时也为其他模块提供原始的信息。例如，几何

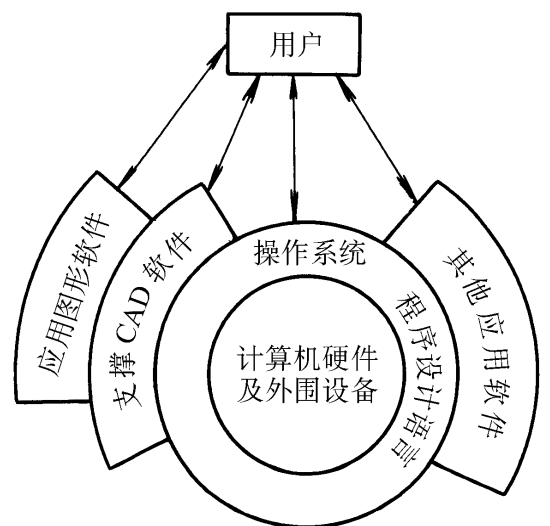


图 1-8 CAD/ CAM 软硬件系统层次关系

建模所定义的几何模型的信息可供有限元分析、绘图、仿真、加工等模块调用。在几何建模模块内，不仅能构造规则形状的产品模型，对于复杂表面的造型，系统可采用曲面造型或雕塑曲面造型的方法，根据给定的离散数据或有关具体工程问题的边界条件来定义、生成、控制和处理过渡曲面，或用扫描的方法得到扫视体，建立曲面的模型。例如汽车车身、飞机机翼、船舶等的设计制造，均采用此种方法。

2. 计算分析

CAD/CAM 系统构造了产品的形状模型之后，能够根据产品几何形状，计算出相应的体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等几何特性和物理特性，为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。另一方面，CAD/CAM 中的结构分析需进行应力、温度、位移等计算；图形处理中变换矩阵的运算；体素之间的交、并、差计算等；在工艺规程设计中有工艺参数的计算。因此，要求 CAD/CAM 系统对各类计算分析的算法不仅要求正确、全面，数据计算量大，而且还要求有较高的计算精度。

3. 工程绘图

产品设计的结果往往是机械图的形式，CAD/CAM 中的某些中间结果也是通过图形表达的。CAD/CAM 系统一方面应具备从几何造型的三维图形直接向二维图形转换的功能，另一方面还需有处理二维图形的能力，包括基本图元的生成、尺寸标注、图形的编辑

附加技术条件等功能，保证生成既合乎生产实际要求，又符合国家标准规定的机械图要求。

4. 结构分析

CAD/CAM 系统中结构分析常用的方法是有限元法。这是一种逼近近似解方法，用来解决结构形状比较复杂零件的静态特性、动态特性、强度、振动、热变形、磁场、温度场强度、应力分布状态等计算分析。在进行静、动态特性分析计算之前，系统根据产品结构特点，划分网格，标出单元号、节点号，并将划分的结果显示在屏幕上，进行分析计算之后，将计算结果以图形、文件的形式输出，例如应力分布图、温度场分布图、位移变形曲线等，使用户方便、直观地看到分析的结果。

5. 优化设计

CAD/CAM 系统应具有优化求解的功能。也就是在某些条件的限制下，使产品或工程设计中的预定指标达到最优。优化包括总体方案的优化、产品零件结构的优化、工艺参数的优化等。优化设计是现代设计方法学中的一个重要的组成部分。

6. 计算机辅助工艺规程设计

设计的目的是为了加工制造，而工艺设计是为产品的加工制造提供指导性的文件。因此，CAPP 是 CAD 与 CAM 的中间环节。CAPP 系统应当根据建模后生成的产品信息及制造要求，自动决策出加工该产品所采用的加工方法、加工步骤、加工设备及加工参数。CAPP 的设计结果一方面能被生产实际所用，生成工艺卡片文件，另一方面能直接输出一些信息，为 CAM 中的 NC 自动编程系统接收、识别，直接转换为刀位文件。

7. NC 自动编程

在分析零件图和制订出零件的数控加工方案之后，采用专门的数控加工语言（例如 APT 语言）
括：

件。

纸带，或者直接输入到数控机床。

8. 模拟仿真

在 CAD/CAM 系统内部，建立一个工程设计的实际系统模型，例如，机构、机械手、机器人等。通过运行仿真软件，代替、模拟真实系统的运行，用以预测产品的性能、产品的制造过程和产品的可制造性，用户可以在未加工之前，看到未来加工时的状况。如数控加工仿真系统，从软件上实现零件试切的加工模拟，避免了现场调试带来的人力、物力的投入以及加工设备损坏的风险，减少了制造费用，缩短了产品设计周期。通常有加工轨迹仿真，机构运动学模拟，机器人仿真，工件、刀具、机床的碰撞，干涉检验等。

9. 工程数据管理

由于 CAD/CAM 系统中数据量大、种类繁多，既有几何图形数据，又有属性语义数据；既有产品定义数据，又有生产控制数据；既有静态标准数据，又有动态过程数据，结构还相当复杂，因此，CAD/CAM 系统应能提供有效的管理手段，支持工程设计与制造全过程的信息流动与交换。通常，CAD/CAM 系统采用工程数据库系统作为统一的数据环境，实现各种工程数据的管理。

10. 特征造型

随着计算机技术的发展，传统的几何造型方法已经暴露出它的一些弊端。它只有零件的几何尺寸，没有加工、制造、管理需要的信息，因而给计算机辅助制造带来不便。

特征兼有形状

状、拓扑关系、典型功能、绘图表示方法、制造技术和公差要求等。基本的特征

属性包括尺寸属性、精度属性、装配属性、工艺属性和管理属性。这种面向设计和制造过程的特征造型系统，不仅含有产品的几何形状信息，而且也将公差、表面粗糙度、孔、槽等工艺信息建在特征模型中，有利于 CAD/CAPP 的集成。目前这种方法虽然出现了一些软件产品，但仍在研究之中。

四、CAD/CAM 集成的方法

CAD/CAM 系统集成包括三个方面：硬件集成，CAD 系统网络与 CAM 网络互联；信息集成，CAD/CAM 系统双向数据共享与集成；功能集成，指的就是 PDMS

因此，一般的 CAD/CAM 系统集成指的是 CAD、CAE、CAPP、CAFD、CAM 等各种功能软件有机地结合在一起，用统一的执行程序来控制和组织各种功能软件的信息的提取、转换和共享，从而达到系统内信息的畅通和系统协调运行的目的。

根据信息交换方式和共享程度的不同，CAD/CAM 系统集成方案主要有以下几种：

1. 通过专用数据接口实现集成

这是一种初级的文件传输集成方式。利用这种方式实现集成时，各子系统都是在独立的数据模式下工作，如图 1-9 所示。当 A 系统需要 B 系统的数据时，需要设计一个专用的接口文件将 B 系统的数据格式直接转换成 A 系统的数据格式，反之亦然，因此图中的每一条线都是双向的。如果存在 N 个独立的系统，要求每一个都能自由交换数据，在每一个子系统中都必须做

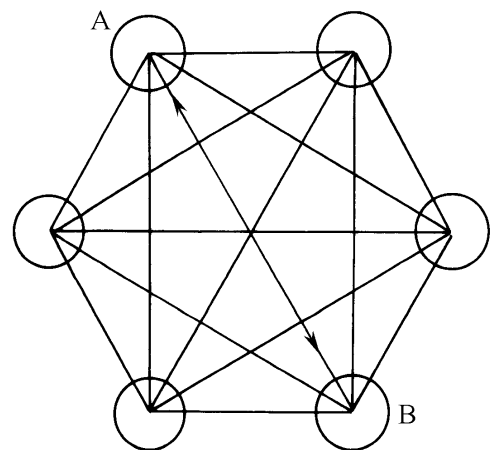


图 1-9 专用数据接口

这种集成方式原理简单，运行效率较高。但开发的专用数据接口无通用性，不同的 CAD、CAPP、CAM 系统都要开发不同的接口，且当其中某个数据结构发生变化时，其他相关的所有接口程序都要修改。

2. 利用标准格式接口文件实现集成

这种集成方式是建立一个与各个子系统无关的公共接口文件

这个公共接口的要求，每一个子系统中只有两个数据转换子程序，当某一系统数据结构发生变化时只需修改此系统的前、后置处理程序即可。这种集成的关键是建立公共的标准格式文件。目前世界上已研制出多种公共标准格式，其中典型的有 IGES、STEP 等。一般 CAD/CAM 商用软件都提供了它们符合标准格式的前、后置处理功能，故用户不必自行开发。

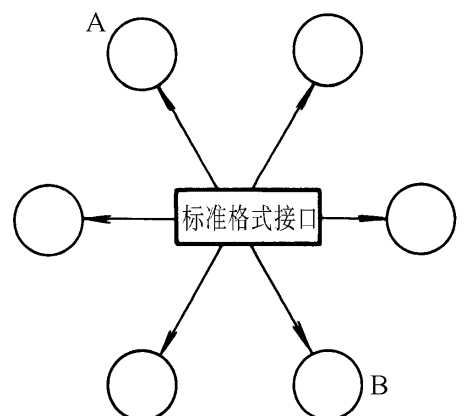


图 1-10 标准格式数据接口