

李霞 主编

CAD/CAM

模具设计与制造

实用教程

第二版



CAD/CAM
MUJU SHEJI YU ZHIZAO
SHIYONG JIAOCHENG



化学工业出版社

CAD/CAM

模具设计与制造

实用教程

第二版

李霞 主编
刘淑梅 张莹 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

为了帮助读者更好地掌握制造业中的设计、分析及产品开发方面的知识,本书详细介绍了CAD/CAM 基本原理、关键设计技术及工程应用实例。

基本原理简明清晰:通过实例介绍了基本原理的应用点,使读者能够通过学习演练分析涉及的基本概念。

应用实例新颖实用:摒弃了单纯性地绘制零件模型而后装配的计算机“辅助绘图”模式,从综合设计的角度,给出了自上而下的装配体关联设计、计算机辅助工程分析、计算机辅助制造的方法和应用实例,从而提高读者的计算机辅助综合设计能力。

本书可以作为高等院校机械工程、材料加工工程、车辆工程、航空航天、工业设计等专业相关课程的教材,也可供从事机械设计与制造、模具设计与制造等 CAD/CAE/CAM 相关研究与应用的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAM 模具设计与制造实用教程 / 李霞主编. —2 版.
北京:化学工业出版社, 2016.11
ISBN 978-7-122-28565-2

I. ①C… II. ①李… III. ①模具-计算机辅助设计-
教材②模具-计算机辅助制造-教材 IV. ①TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 284148 号

责任编辑:刘丽宏

装帧设计:刘丽华

责任校对:王素芹

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:三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$ 字数338千字 2016年11月北京第2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:58.00 元

版权所有 违者必究

前言

CAD/CAM 技术自诞生以来不断取得突破性进展,随着计算机技术、信息技术与产品设计、制造、检测等多个环节日益紧密的融合,在汽车、船舶、电子、航空航天、纺织、建筑等行业中发挥着日益重要的作用。

本书在第一版基础上,参考业内专家和读者的宝贵建议,采用案例分析的形式,将实例与基本原理归并。通过案例分析使读者更好得掌握 CAD/CAM 基本原理及其工程运用。鉴于计算机辅助工程分析(CAE)已成为 CAD/CAM 系统中的重要组成部分,在产品的设计、分析、开发中发挥着越来越重要的作用,本书在原有 CAD/CAM 内容基础上新增了关于计算机辅助工程分析相关知识及案例。

全书共 9 章,内容涉及 CAD/CAM 技术概论、图形变换原理及应用、图形技术基础、几何建模技术、参数化与特征建模技术、产品结构建模技术、计算机辅助工程分析技术、计算机辅助制造技术、CAD/CAM 数据处理技术等基础知识及相关案例。各章节紧跟在原理介绍后的设计案例,如参数化设计案例中三大约束在设计中的应用案例、标准零件系列化设计案例;产品结构建模设计案例中的级进模总成 CAD 设计;CAE 分析案例中的汽车转向节锻造成形过程有限元模拟、油底壳零件冲压过程有限元模拟;MasterCAM X 模具加工案例中的空调遥控器模具设计与加工等设计案例,能够帮助读者加深对基本原理的理解,并通过实战训练更有效地提高设计能力。

本书第 1、9 章由上海工程技术大学刘淑梅、张莹编写,第 2~6 章由上海工程技术大学李霞编写,第 7 章由上海工程技术大学张莹编写,第 8 章由上海工程技术大学实训中心罗治平编写。此外,龚红英、李磊、蒋慧箐、莫佳敏、宋春雨、王星星、陈莹莹、姬忠超、陈铭等参与了本书资料收集和整理工作,在此一并表示真诚的感谢。

由于时间仓促,书中不足之处难免,恳请广大读者批评指正。

李 霞

目 录

第1章 概论	1	2.2.5 平移变换	32
1.1 制造业信息化中的计算机辅助 技术	1	2.2.6 齐次坐标与齐次变换 矩阵	33
1.2 CAD/CAM 基本概念	2	2.2.7 平面图形变换	36
1.3 产品的开发过程与 CAD/CAM 系统	4	2.3 二维组合变换	36
1.4 CAD/CAM 系统的功能与特点	5	2.4 三维图形变换	40
1.4.1 CAD/CAM 系统的功能	5	2.4.1 三维变换矩阵	40
1.4.2 CAD/CAM 技术的特点	7	2.4.2 三维基本变换	41
1.5 CAD/CAM 系统的运行环境	7	2.5 三维图形变换的应用	44
1.5.1 CAD/CAM 系统的配置 形式	7	2.5.1 三视图投影	44
1.5.2 CAD/CAM 系统的硬件	9	2.5.2 正轴测投影	46
1.5.3 CAD/CAM 系统的软件	15	第3章 图形技术基础	50
1.5.4 常用 CAD/CAM 软件 系统	17	3.1 坐标系	50
1.6 CAD/CAM 技术的发展历程及 趋势	21	3.1.1 世界坐标系	50
1.6.1 CAD/CAM 技术的发展 历程	22	3.1.2 设备坐标系	50
1.6.2 CAD/CAM 技术的发展 趋势	25	3.1.3 规格化设备坐标系	50
第2章 图形变换原理应用	27	3.2 观察变换	51
2.1 图形变换的基本方法	27	3.2.1 窗口和视区	51
2.1.1 几何图形的表示方法	27	3.2.2 观察变换	53
2.1.2 图形变换的基本方法	27	3.3 图形裁剪原理	54
2.2 二维图形变换的基本形式	28	3.3.1 点的裁剪	54
2.2.1 比例变换	28	3.3.2 二维直线段的裁剪	54
2.2.2 旋转变换	29	3.4 消隐	57
2.2.3 错切变换	30	3.4.1 消隐现象	57
2.2.4 对称变换	31	3.4.2 消隐算法中的测试方法	57
		第4章 几何建模技术	60
		4.1 几何建模技术简介	60
		4.2 几何建模基础知识	62
		4.2.1 几何信息和拓扑信息	62
		4.2.2 几何实体的定义	64
		4.2.3 几何实体集合运算	64

4.2.4 欧拉公式	66	6.3.5 完成下模所有螺钉及销的 装配	115
4.3 线框模型	68	6.4 上模设计	118
4.4 表面模型	70	6.4.1 凸模设计	119
4.5 实体模型及表示方法	73	6.4.2 凸模固定板设计	120
4.6 自由曲线与自由曲面	76	6.4.3 卸料零件设计	122
4.6.1 曲线与曲面的一般特性	76	6.4.4 垫板设计	123
4.6.2 曲线与曲面的表示方法	77	6.4.5 上模座设计	124
4.6.3 Bezier 曲线	79	6.4.6 模柄安装	125
4.6.4 Bezier 曲面	81	6.5 导柱、导套设计	125
4.6.5 B 样条曲线	82	第 7 章 计算机辅助工程分析技术	127
4.6.6 B 样条曲面	84	7.1 CAE 的基本概念	127
4.6.7 Coons 曲面	85	7.2 CAE 分析的流程	131
第 5 章 参数化与特征建模技术	87	7.3 有限元法	132
5.1 参数化与变量化建模技术	87	7.3.1 有限元法的基本概念	132
5.2 参数化设计案例一: 尺寸/结构 约束在设计中的应用	88	7.3.2 有限元法的基本原理	133
5.3 参数化设计案例二: 参数约束 在设计中的应用	90	7.3.3 有限元分析的特点	133
5.3.1 阵列孔圆柱件参数约束 设计	91	7.3.4 有限元分析的基本流程	133
5.3.2 立方体参数约束设计	95	7.3.5 平面问题有限元法的求解 步骤	135
5.4 参数化设计案例三: 标准零件 系列化设计	97	7.3.6 有限元分析的前、后置 处理	139
5.4.1 设计案例分析	97	7.4 金属塑性成形有限元分析 实例	140
5.4.2 设计步骤	98	7.4.1 油底壳零件冲压过程有限 元模拟实例	140
5.4.3 调用配置规格	102	7.4.2 汽车转向节锻造成形过程 有限元模拟实例	153
5.5 特征建模技术	103	第 8 章 计算机辅助制造技术	175
5.5.1 特征	103	8.1 计算机辅助制造技术概述	175
5.5.2 形状特征	104	8.2 计算机辅助数控编程	175
第 6 章 产品结构建模技术	107	8.2.1 数控机床的组成及工作 原理	175
6.1 产品结构模型及其数据结构	107	8.2.2 数控编程的坐标系统	176
6.2 级进模产品结构设计实例	108	8.2.3 数控编程	178
6.2.1 案例分析	108	8.3 数控加工仿真	183
6.2.2 模具结构设计	108	8.3.1 数控加工仿真的目的与 意义	183
6.3 下模设计	110	8.3.2 数控加工仿真的形式	184
6.3.1 建立仅有工件的初始装 配体	110		
6.3.2 凹模设计	111		
6.3.3 下模座设计	113		
6.3.4 导料板和承料板设计	114		

8.4 MasterCAM X 模具加工流程 及实用技巧	186	8.5.6 实体切削验证	202
8.4.1 MasterCAM X 模具加工 一般流程	186	8.5.7 后处理生成数控程序	203
8.4.2 MasterCAM X 模具加工 实用技巧	187	第 9 章 CAD/CAM 数据处理技术	205
8.5 MasterCAM X 模具加工实例: 空调遥控器模具加工	189	9.1 产品数据交换技术	205
8.5.1 文件准备	189	9.1.1 产品数据交换方法	205
8.5.2 遥控器上盖凹模设计	189	9.1.2 图形文件常用数据交换 标准	206
8.5.3 遥控器上盖凹模加工	193	9.2 CAD 中常用的数据结构	212
8.5.4 规划凹模精加工刀具 路径	198	9.2.1 数据结构的基本概念	212
8.5.5 凹模精加工	200	9.2.2 数据结构的分类	215
		9.2.3 常用的数据结构	218
		9.3 工程设计数据的计算机处理	224
		9.3.1 数表的程序化处理	225
		9.3.2 线图的程序化处理	227
参考文献	229		

第1章 概 论

作为先进制造技术体系的重要组成部分,计算机辅助设计与制造(Computer Aided Design and Manufacturing, CAD/CAM) 技术是以工程领域的通用与专用应用技术为基础,通过计算机高效处理各种信息为核心,数控技术、计算机技术、信息技术、网络技术等为支撑的先进实用化多学科综合性技术,它在制造业应用广泛,彻底改变了传统的设计、制造模式,是现代工业制造的基础。

先进制造技术是当今世界经济和社会发展的重要推动力。在 20 世纪 90 年代,制造技术已进入了计算机辅助制造的时代,CAD/CAM 技术的发展和应用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影响。事实上,CAD/CAM 技术在 50 多年的应用实践中,它的重大贡献已被国际科技界和工业界所公认。CAD/CAM 技术的研究、开发与应用水平已经成为衡量一个国家工业现代化的重要标志之一。

1.1 制造业信息化中的计算机辅助技术

世界上第一台电子计算机——电子数字积分计算机(Electronic Numerical Integrator and Calculator, ENIAC) 于 1946 年在美国宾西法尼亚大学问世,它标志着人类科学技术发展到了一个新的里程碑,是 20 世纪最杰出的科学技术成就之一。七十年来,计算机技术不断成熟发展,应用领域已涉及人类社会的各行各业。计算机技术的发展及其所带来的一系列变革是任何一项技术都无法比拟的。

随着计算机技术、信息技术不断渗透和融合于机械产品的设计、制造、检测、管理环节之中,传统的机械制造技术正在发生革命性变化,涌现出许多以计算机技术为基础的新理论、新学科、新技术和新方法,形成了一系列面向机械制造企业信息化全过程的计算机辅助技术和软件系统(通常简称为 CAX),其中典型的 CAX 技术与系统如下:

- 计算机辅助绘图(Computer Aided Drafting, CAD);
- 计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD);
- 计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP);
- 计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM);
- 计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE);
- 计算机辅助质量管理(Computer Aided Quality, CAQ);
- 计算机辅助设计与制造(Computer Aided Design and Manufacturing, CAD/CAM);
- 制造业信息化工程(Manufacture Information Engineering, MIE);
- 产品数据管理(Product Data Management, PDM);
- 企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP);

- 产品全生命周期管理(Product Life-cycle Management, PLM);
- 管理信息系统(Management Information System, MIS);
- 计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS);
- 现代集成制造系统(Contemporary Integrated Manufacturing System, CIMS);
-

CAD/CAM 技术涉及计算机图形学、数控加工技术、有限元法、计算机仿真、最优优化设计及计算机集成技术等方面知识,已经成为机械产品设计制造工作中不可缺少的工具,是工程技术人员必须掌握的一种基本技能。因此,学习和掌握 CAD/CAM 技术,并与专业知识相结合以解决所面临的机械工程技术问题,对于工程技术人员来说是十分重要的。

1.2 CAD/CAM 基本概念

CAD/CAM 是计算机辅助设计/计算机辅助制造(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)的简称,作为专门术语出现于 20 世纪 70 年代。CAD/CAM 的出现意味着设计和制造过程已逐渐趋于自动化和信息的集成化。

(1) CAD 随着 CAD 技术的发展, CAD (Computer aided design) 的概念一直在变,在各个时期是不同的。

目前,对 CAD 概念的理解可分为两个层面,从方法上来说, CAD 是一个过程,即在计算机环境下完成产品的设计、创造、分析、修改;从技术上来说, CAD 是一项产品建模技术。将产品的物理模型转化为产品模型,存储在计算机内,供后续 CAX 共享,从而驱动产品生命周期的全过程。

CAD 是一种应用多学科的技术方法,以人机交互的方式综合,有效地进行问题求解的先进信息处理技术;是一种借助于相关的计算机系统软硬件,研究产品设计所涉及的问题描述、分析计算、设计优化、动画仿真和图形处理等内容的理论和工程技术方法。CAD 是一种综合技术和方法,其物化形式就是 CAD 系统。通常, CAD 系统由计算机图形工作站、相关的设计支撑软件、产品建模软件包(例如较流行的 Pro/E、UGNX、SolidWorks、Topsolid 等大型 CAD 软件包)、有限元分析软件包、优化设计软件、其他设计支持工具集等的不同组合配置而成,为典型的人机系统。一般认为 CAD 系统的功能包括以下八项:

- ① 概念设计;
- ② 结构设计;
- ③ 装配设计;
- ④ 复杂曲面设计;
- ⑤ 工程图样绘制;
- ⑥ 工程分析;
- ⑦ 真实感及渲染;
- ⑧ 数据交换接口等。

CAD 技术的应用范围很广,机械制造是应用最早、最广泛的领域。其设计对象包括:机械、电气、电子、轻工、纺织产品,甚至延伸到艺术、电影、动画、广告和娱

乐等领域,可产生巨大的经济及社会效益,有着广泛的应用前景。

(2) CAM CAM (Computer Aided Manufacturing)有广义和狭义两种定义。广义CAM 一般是指应用计算机进行制造信息处理的全过程(准备、制造、管理),包括工艺过程设计、工装设计、NC 自动编程、生产作业计划、生产控制、质量控制等。狭义CAM 通常是指计算机辅助编制数控机床加工指令,即 NC 程序编制,包括刀具路径规划、刀位文件生成、刀位轨迹仿真及 NC 代码生成等。

通常,CAM 系统由计算机、车间层面的制造资源、数控编程软件、DNC 管理软件、制造执行系统软件等不同组合构成,其软件包括数据库、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控程序编制、计算机辅助工装设计、计算机辅助作业计划编制和计算机辅助质量控制等模块。CAM 系统也是一个典型的人机系统。

(3) CAPP CAPP (Computer Aided Process Planning)是指在人和计算机组成的系统中,根据产品设计阶段给出的信息,人机交互地或自动地完成产品加工工艺设计,最终产生数字化工艺规程及其相关文档规范等的一项技术。CAPP 系统的功能主要包括:毛坯设计;选择加工方法;制定工艺路线;工序设计;刀具、夹具、量具设计等。

(4) CAE CAE (Computer Aided Engineering)是指以现代计算力学为基础、以计算机仿真为手段,对产品进行工程分析并实现产品优化设计的技术。工程分析包括有限元分析、运动机构分析、应力计算、结构分析、电磁场分析等方法 and 内容。

在产品设计中,首先利用 CAD 技术进行产品设计、建立模型、模具设计等,但设计是否能够满足应用要求需要进行工程分析、优化设计,并根据实际需要模型进行修改直至满足要求。CAE 是 CAD/CAM 进行集成的一个必不可少的重要组成部分,目前,在著名大型 CAD/CAM 系统中,CAE 均为重要的功能模块。

(5) CAD/CAM CAD/CAM 是指产品从设计到制造全过程的信息集成和信息流自动化。采用计算机作为工具,进行数值与逻辑推理计算,以统一的产品模型为基本点,将 CAD 系统、CAPP 系统、CAM 系统集成为一个整体,包括数据集成、过程集成和应用集成,是一种将产品设计与制造一体化的技术。

CAD/CAM 技术的重要特征就是集成。CAD/CAM 系统为一个集成系统,辅助人们完成产品设计、信息处理、产品制造、质量控制等工作,它充分利用了计算机高效准确的运算能力,图形生成及处理功能,以及信息传输功能,克服了传统设计制造中的许多缺陷。其工作过程主要包括:

- ① 产品方案设计:通过市场调研建立数据库,根据要求设计产品方案;
- ② 产品建模:利用 CAD 模块建立产品的二维、三维及装配模型。
- ③ CAE 分析:利用 CAE 模块对产品模型进行工程分析,显示分析计算结果,对产品设计进行方案进行修改设计,并存入数据库;
- ④ 工艺方案设计:利用 CAPP 模块设计产品的生产工艺方案;
- ⑤ 数控加工:利用 CAM 模块设置加工参数,通过自动编程或手动编程编制加工指令,进行虚拟加工,并进行干涉检查,及时修复产品模型,通过信息传递,在数控机床上加工出产品;
- ⑥ 检验:对产品进行各项指标检验,直至产品达到各项设计要求。

(6) PDM PDM (Product Data Management) 目前还没有统一的定义, 美国一个国际咨询公司 CIMdata 给出的定义是: PDM 是一门管理所有与产品相关的信息和所有与产品相关的过程的技术。而 Gartner Group 公司给出的定义为: PDM 是一个使能器, 它用于在企业范围内构造一个从产品策划到产品实现的并行化协作环境(由供应、工程设计、制造、采购、市场与销售、客户等构成)。一个成熟的 PDM 系统能够使所有参与创建、交流以及维护产品设计意图的人员在整个产品生命周期中自由共享与产品相关的所有异构数据, 如图纸与数字化文档、CAD 文件和产品结构等。

根据以上定义, PDM 是以软件为基础, 管理所有与产品相关的信息(包括电子文档、数字化产品模型、数据记录等)和所有与产品相关的过程(包括工作流程和更改流程等)的技术。它提供产品全生命周期的信息管理, 并可在企业内或企业间为产品设计与制造建立一个并行化的产品开发协作环境。

(7) CIM CIM (Computer Integrated Manufacturing) 的定义是经历了较长时期的探讨逐步演变而来并逐渐趋向一致的, 具体表述为: CIM 是信息技术和生产技术的综合应用, 旨在提高企业的生产率和对市场的相应能力。由此, 企业的所有功能、信息、组织管理都是一个集成起来的整体的各个部分。换句话说, CIM 是用计算机通过信息集成实现现代化的生产制造, 以求得企业的总体效益。

CIM 是用全局的观点对待企业的全部生产经营活动, 包括市场分析、产品设计、加工制造、管理及售后服务等方面。依据 CIM 的理念, 企业的所有活动都应该以客户为中心, 把市场需求、产品设计制造、制造资源计划、管理部门实现信息集成, 基于信息共享实现群体 (Team Work) 协同、并行作业。CIM 的核心技术是集成, 包括物理集成、信息集成、功能集成, 其中信息集成是基础和关键, 共享的产品模型、统一的数据库和网络环境是实现信息集成的必要条件。

(8) CIMS CIM 技术的物化形式即为 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)——计算机集成制造系统。CIMS 由技术信息系统 TIS、制造自动化系统 MAS、管理信息系统 MIS 所组成, 它是在 CAD/CAM 技术、网络、电子通信、数据库技术、车间自动化技术、现代化管理技术充分发展的基础上实施的, 这将是未来工厂的模式。

1.3 产品的开发过程与 CAD/CAM 系统

产品开发过程大致分为概念设计、系统设计、详细设计、工艺设计、加工制造等几个阶段。产品设计是一个“设计-评价-再设计”的反复迭代、不断优化的过程, 在传统的人工设计的情况下, 设计周期较长。CAD/CAM 系统的广泛应用使各个产品开发环节都基于计算机完成, 实现了某种程度的设计自动化, 缩短了设计周期, 降低了设计成本, 提高了设计质量, 其产品开发流程如图 1-1 所示。

CAD/CAM 系统主要有以下工作步骤:

① 通过 CAD 系统人机交互界面输入设计要求, 构造出设计产品的几何模型, 并将相关信息存储于数据库中。

② 运用 CAE 系统进行有限元分析和优化设计, 同时确定设计方案和零部件的性能参数。

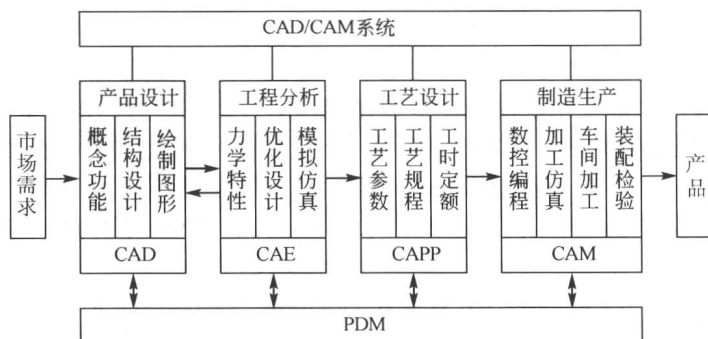


图 1-1 产品开发流程与 CAD/CAM 系统

③ 通过人机交互方式对设计结果进行评价决策和实施修改，直至达到设计要求为止。利用图形库支持工具，绘制所需图形、生成各种文档。

④ 将设计结果引入 CAPP 或 CAM 阶段。

CAD/CAM 系统工作过程中涉及的基础技术有：产品信息建模技术、工程分析技术、图形处理技术、数据库与数据交换技术、文档处理技术、软件设计技术等。

CAD/CAM 系统的一个最为明显的特征是人与计算机二者有机结合，以人机对话方式进行设计。CAD/CAM 系统不是完全的自动化，这是因为计算机在数字信息处理（存储与检索）、分析和计算、图形绘制与文字处理及代替人做大量重复、枯燥的工作等方面有优势，但在设计策略、逻辑控制、信息与知识组织、发挥经验和创造性方面，起主导作用的还是人。随着人工智能技术的不断发展，计算机将替代人做更多的设计工作，CAD/CAM 系统的自动化程度也将不断提高。

1.4 CAD/CAM 系统的功能与特点

目前流行的大型 CAD/CAM 系统主要有：UG NX、Pro/E、Solidworks、Topsolid、AutoCAD、3Dmax 等，尽管各自有其特点和主要应用领域，但总的来说其主要功能和显著特点可以总结如下。

1.4.1 CAD/CAM 系统的功能

（1）人机交互功能 人机交互实际上是一个输入输出的过程，用户通过人机界面向计算机输入指令，计算机经过处理后把输出结构呈现给用户。友好的用户界面是保证用户直接而有效地完成复杂任务的必要条件，目前 CAD/CAM 系统一般采用图形用户界面，实现数据交互和图形交互。除软件界面设计外，还必须有交互设备实现人与计算机之间的通信。随着虚拟现实技术在产品设计制造中的应用，人机交互界面将产生根本的变化。

（2）图形的生成及处理功能 图形的生成与处理是 CAD 技术的关键技术之一，目前许多商用软件均提供了直线、圆弧以及其他一些基本图形的生成，曲面和实体的描述，各种图形的处理（包括图形窗口管理、图形裁剪、图形变换）等功能。

（3）二维及三维建模功能 在 CAD/CAM 系统中，产品的二维及三维建模主要包括几何建模、特征建模、参数化建模、产品结构建模。几何模型主要描述产品的几何

信息和拓扑信息；特征模型主要描述产品的几何形状信息和非几何形状信息；产品结构模型是面向装配的模型。目前常用的是混合建模方式，即使用两种或两种以上的建模方式进行建模，如参数化建模与非参数化建模的方式相结合的混合建模系统。

(4) CAE 分析与优化设计功能 CAE 分析常用的方法主要有有限元法、有限体积法等方法，有限元法是一种数值近似求解方法，用于结构形状比较复杂零件的静态、动态特性分析，如求解零件加工变形区的位移场、速度场、应力场、应变场、温度场等。

目前，应用较为广泛的大型 CAE 软件有 Moldflow、Modex-3D、Deform、Dynaform 等。

CAD/CAM 系统应具有优化设计的功能，即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化，包括查询数据路径优化、产品结构优化、加工工艺方案优化工艺参数设计优化等内容。

CAD/CAM 软件 CAE 软件已实现无缝集成，在设计制造过程中，可以及时的发现的问题，经反复修改，直至达到最终目的，极大地提高了设计水平、效率和质量。

(5) 数控编程与虚拟制造功能 数控编程是基于零件 CAD 模型获得数控加工程序的全过程，数控编程的一般步骤为：

- ① 分析零件图样和工艺处理；
- ② 数学处理；
- ③ 编写零件加工程序单；
- ④ 制备控制介质；
- ⑤ 程序检验与首件试切。

数控编程的常用方法主要有两种：手工编程和自动编程。手工编程是指编制零件数控加工程序的各个步骤均由人工完成，自动编程则是利用计算机来完成数控加工程序的编制，按照操作方式的不同自动编程方法分为 APT 语言编程和图像编程。

目前，流行的 CAM 系统主要有 MasterCAM、SurfCAM 等。

虚拟制造 VM(Virtual Manufacturing)是新产品及其制造系统开发的一种哲理和方法论，可以看作是 CAD/CAM/CAE 集成化发展的高一层次，其本质是以新产品及其制造系统的全局最优化为目标，对设计、制造、管理等生产过程进行统一建模，它强调在实际投入原材料与产品实现过程之前，完成产品设计与制造过程的相关分析，以保证制造实施的可能性。

(6) 数据处理、存储与传输功能 为了在同一 CAD/CAM 系统的不同功能模块之间、不同的 CAD/CAM 系统之间以及 CAD/CAM 系统与数控机床之间进行数据交换与传输，CAD/CAM 系统应具备良好的信息传输、管理和信息交互功能。在现有的商用 CAD/CAM 系统中，开发商们一般都提供了如 IGES、DXF、STEP、STL、CAD-I 等标准数据接口，同时也会提供一定的专门数据接口，如 Solidworks 软件除了提供 IGES、STL 等标准数据接口之外，还提供了 sldprt 等专用数据接口。

CAD/CAM 系统生成和处理大量的产品设计、制造信息，具有数据量大、种类繁多的特点。这些数据包括静态标准数据及动态过程数据，例如：描述产品几何信息、拓扑信息的数据；属性语意数据；加工数据和生产控制数据等，其数据结构较为复杂，通常，CAD/CAM 系统采用工程数据库作为统一的数据环境，实现各种工程数据的管

理与共享。

1.4.2 CAD/CAM 技术的特点

CAD/CAM 技术与 CAPP、CAE 技术相结合, 可实现产品设计、制造一体化, 主要具有如下特点:

- ① 降低设计人员劳动强度, 提高创新能力, 减少失误;
- ② 提高设计制造效率, 修改设计方便, 缩短产品开发周期, 提高对市场的快速反应能力;
- ③ 提高产品质量, 实现优化设计, 减少加工误差;
- ④ 有利于实现产品的标准化、通用化和系列化;
- ⑤ 增强市场竞争力和占有率, 扩大产品影响, 提高企业综合实力和效益。

1.5 CAD/CAM 系统的运行环境

CAD/CAM 系统是由一系列硬件和软件组成的计算机辅助系统, 以计算机硬件为基础, 以系统软件和支撑软件为主体, 以应用软件为核心组成一个面向工程设计和制造问题的信息处理系统。根据系统功能要求不同, 硬件和软件的配置可以有多种方案, 规模也有大小。随着计算机软件、硬件技术的高速发展, CAD/CAM 系统在理论、技术、方法、体系结构和实施技术方面均在不断更新和向前发展。

CAD/CAM 系统作为一个复杂的信息处理系统, 硬件为系统工作提供物质基础, 而系统功能的实现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 CAD/CAM 系统中所占比重越来越大。目前国外引进的一些高档软件, 其价格已远远高于系统硬件的价格。

1.5.1 CAD/CAM 系统的配置形式

依据 CAD/CAM 技术 40 多年的发展历史, CAD/CAM 系统的配置形式经历了三个重要的发展阶段: 早期集中式配置形式、中期工程工作站和微机系统、近期的客户机/服务器配置形式。

(1) 集中式配置形式 由于早期的计算机非常昂贵, 因此在 20 世纪 60~70 年代使用的 CAD/CAM 系统均采用集中式配置, 即以大型通用计算机为主机, 终端直接与主机连接或通过远程分时终端于主机相连, 如图 1-2 所示。终端没有 CPU 没有计算、处理功能, 置于设计人员身边, 而是通过主机来完成分析计算、图形处理、科学管理和数据处理等工作。这种配置形式的优点是系统本身的通用性强, 终端侧的设备简单, 缺点是采用多用户分享机制, 主机的负载随终端的多少而变化, 当很多用户同时使用主机时, 系统的相应性能变差, 一旦主机出现故障, 整个系统将陷入瘫痪。为了减轻主机的负荷, 后来出现了智能终端型系统和专用成套系统。智能终端系统在终端和通用主机之间再设置较低一级的小型计算机或微机。与集中式主机系统相比, 处理速度和工作效率都得到了有效的提高。专用成套系统是将特定的硬件和软件配套起来可直接交付用户使用的“交钥匙型系统 (Turnkey System)”, 如图 1-3 所示。这类系统工作效率高, 但针对性较强, 扩展能力较差。

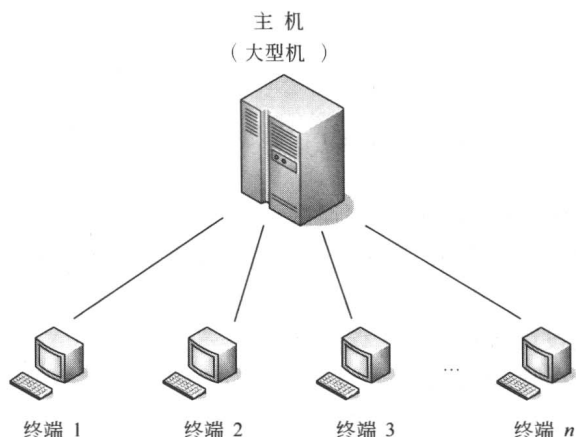


图 1-2 集中式配置形式

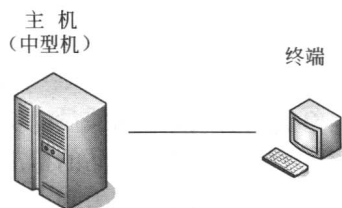


图 1-3 独立式配置形式（成套系统）

(2) 工程工作站和微机系统配置形式 工程工作站 (Workstation) 系统在 20 世纪 80 年代中后期是中高档 CAD/CAM 系统的主流配置形式。工程工作站是指具有较强科学计算、图形处理、网络通信功能的交互式计算机系统，通常采用 32 位或 64 位微处理器，性能介于小型计算机和 PC 机之间，并且可以在局域网中实现资源共享。常见的工作站有 HP、SUN、SGI 等公司产品，大多采用 UNIX 操作系统。图 1-4 是工作站网络的结构示意图。

微型机系统是进入 20 世纪 90 年代以来，随着 PC 机的飞速发展而发展起来的。由于 PC 机的性能越来越优越一集其较高的性价比使基于 PC 机的 CAD/CAM 系统迅速崛起。微机系统通常采用单用户的微机及其基本配置，再配以输入输出设备来完成辅助设计与制造工作，其响应快、价格低、配置方便、性价比高，对于小型产品的设计分析具有较好的通用性，但其处理速度偏低，运行大型 CAD/CAM 系统效率较低。

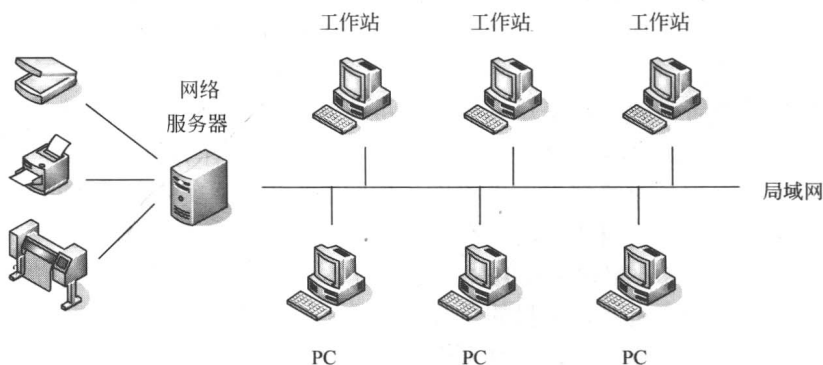


图 1-4 工程工作站和微机系统

(3) 客户机/服务器配置形式 由于工作站、微机的资源有限，基于网络的客户机/服务器 (Client/Server, C/S) 配置形式逐步发展起来，成为当今 CAD/CAM 系统的主流配置形式，如图 1-5 所示。它利用计算机技术与网络通信技术将分布于各处的计算

机以网络形式连接起来,使用户获得具有相当于大、中型计算机的数据处理能力,而投资却大大减少。

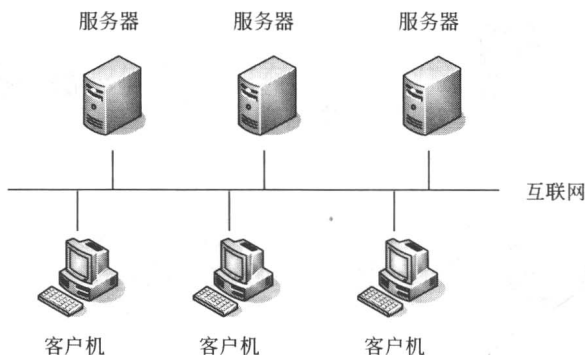


图 1-5 客户机/服务器配置形式

这种配置形式的特点是各种软、硬件资源分布在网络中的各处节点计算机上,每个节点计算机都有自己的 CPU 与外围设备,并完成相应的计算机辅助设计及制造的任务。在需要时各个节点计算机之间可以通过网络提供的通信功能,实现相互间的数据交换,并共享绘图仪、打印机等硬件资源及公共的应用软件和文档等软件资源。其系统是开放型系统,属于分布式配置,节点计算机可以随时增删而不影响整个系统的应用,因此其节点数量与功能扩展可以根据实际需要和具体情况而定,有利于不断根据 CAD/CAM 技术的发展而逐步提高系统的性能。

1.5.2 CAD/CAM 系统的硬件

硬件是指一切可以触摸到的物理设备。CAD/CAM 系统的硬件的配置与一般的计算机系统有所不同,应具有以下几种基本功能:计算功能;存储功能;图形输入输出功能;人机交互功能等。可根据 CAD/CAM 系统的应用范围和相应的软件规模,选用不同规模、不同结构、不同功能的计算机主机、输入输出设备及生产加工设备,如图 1-6 所示。

在 CAD/CAM 系统结构中,以图形处理为主,以 CAD/CAM 应用为目的的独立硬件环境称为 CAD/CAM 工作站,它除有主机外,还配备了图形显示器、数字化仪、绘图仪、打印机等交互式输入输出设备。这些设备可以通过网络共享给各部门用户。一般情况下,CAD、CAE、CAPP、CAM、工程管理等工作分别由不同部门的工程师承担,各部门都有各自的工作站,是分工合作的关系。NC 机床、机器人等自动化设备是机械制造的主要工具,它们接受 CAD/CAM 系统提供的指令和程序,接受管理系统的管理,最终生产出产品。

(1) 主机 主机是控制及指挥整个计算机系统并执行实际算术和逻辑运算的装置,是计算机的主体,由中央处理器(CPU)、内存储器及连接主板组成,是计算机硬件的核心,是整个 CAD/CAM 系统的指挥和控制中心。主机的类型和性能在很大程度上决定了 CAD/CAM 系统的性能,如计算精度和速度等。

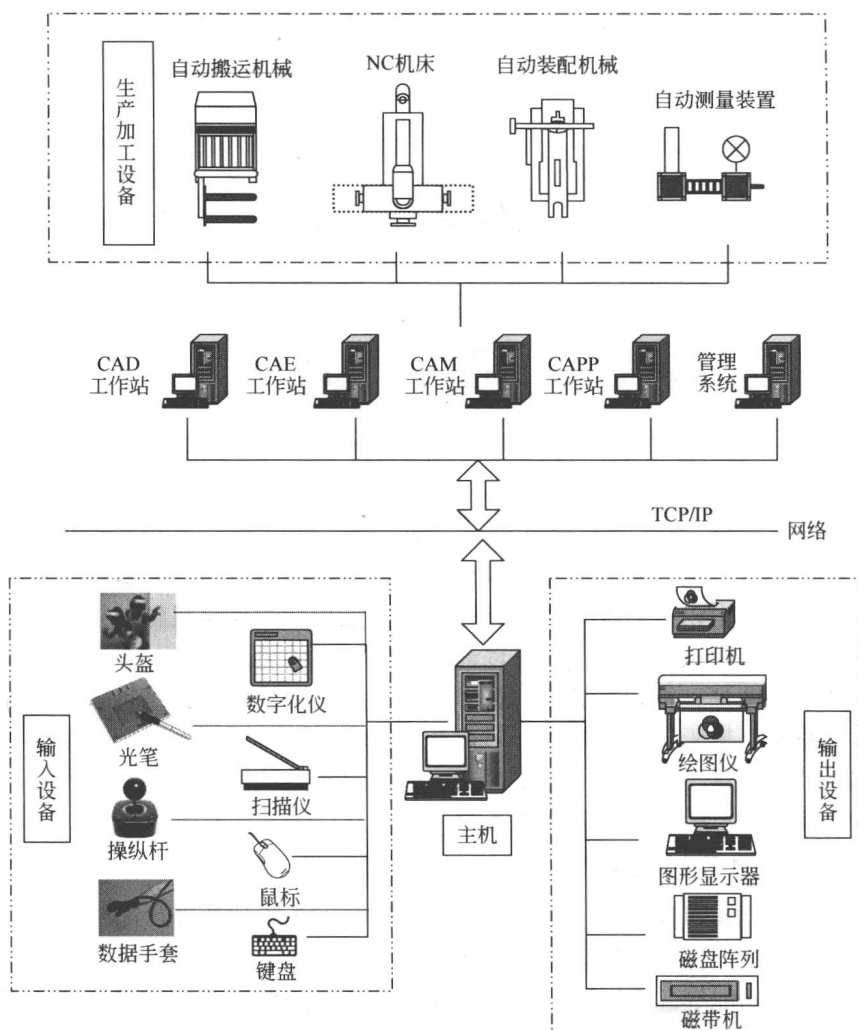


图 1-6 CAD/CAM 系统的硬件组成

对主机工作性能的要求是：执行处理速度快、内存容量大。随着计算机的运行速度越来越快，存储容量越来越大，使得 CAD/CAM 系统的功能越来越强大。

① CPU：CPU 用于评价主机处理能力的指标主要有速度和字长两项。速度的评价指标常采用 MIPS 和 MFLOPS，MIPS 代表每秒执行一百万条整数运算指令，MFLOPS 代表每秒执行一百万条浮点数运算指令，MIPS 和 MFLOPS 值越大表示处理速度越快；字长是指 CPU 在一个指令周期内存取并处理的二进制数据的位数，位数越多表面一次处理的信息量越大，CPU 工作性能越好。目前，常见的计算机字长有 32 位、64 位、128 位等。计算机结构有单个 CPU 和多个 CPU 之分，多处理器可以实现并行计算，提高运算速度。

CPU 的发展从早期的 Intel 8086、80286、80386、80486、80586 到奔腾（Pentium）系列如 Pentium、Pentium MMX、Pentium Pro、Pentium II、Pentium III、Pentium IV、