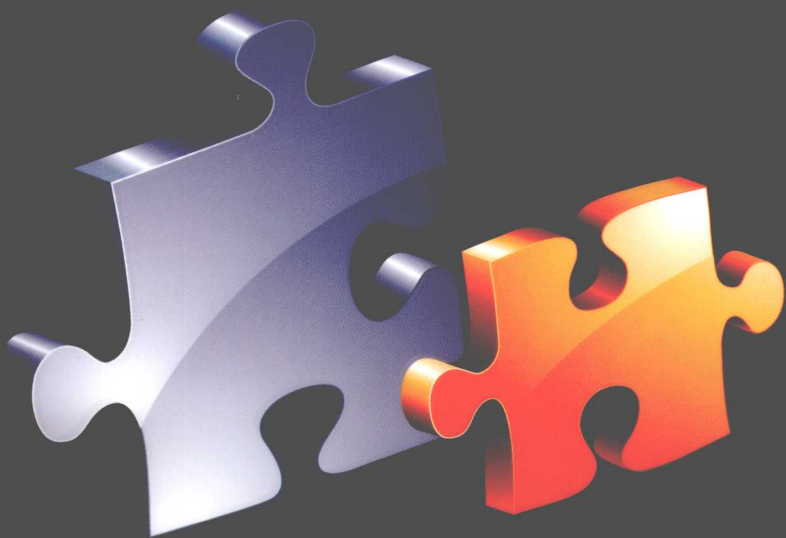


# CAD/CAM

## 模具设计与制造 实用教程

李霞 主编  
刘淑梅 罗治平 副主编

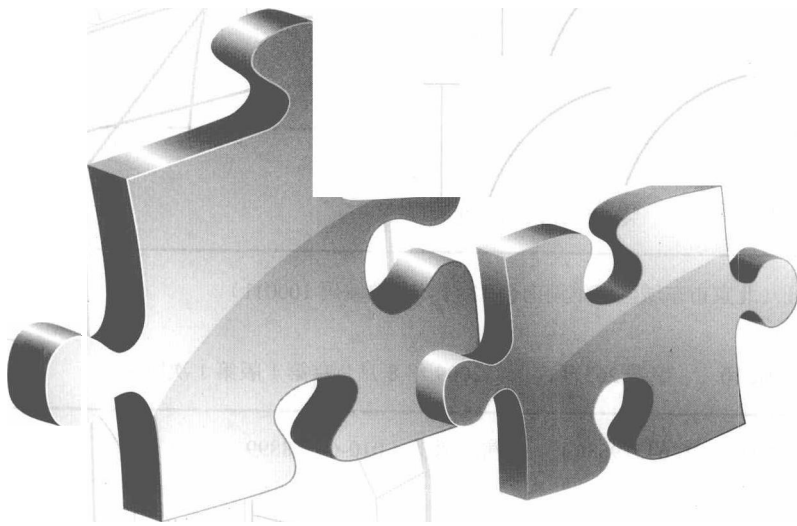


化学工业出版社

# CAD/CAM

## 模具设计与制造 实用教程

李霞 主编  
刘淑梅 罗治平 副主编



化学工业出版社  
· 北京 ·

## 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. —北京: 化学工业出版社, 2009.7

ISBN 978-7-122-05727-3

I. C… II. 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. TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 083315 号

---

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 王 洋

责任校对: 战河红

装帧设计: 杨 北

---

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: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10 字数 263 千字 2009 年 8 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

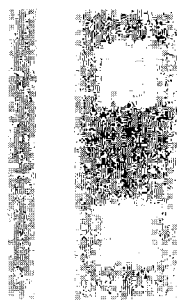
网 址: <http://www.cip.com.cn>

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: 28.00 元

版权所有 违者必究



CAD/CAM 技术自诞生以来,不断取得突破性进展,在汽车、船舶、电子、航空航天、纺织、建筑等行业发挥着重要的作用,被视为 20 世纪最杰出的工程成就之一。学习和使用 CAD/CAM 技术成为各高等工科院校学生和工程技术人员的一项基本要求。

本书根据计算机辅助设计和制造原理的特点,结合课程教学团队多年的教学经验和应用实践编写而成。全书内容分为 CAD/CAM 基础原理和模具设计与制造应用实例两大部分。为使读者能够更好地掌握制造业中的设计、分析等方面的知识,本书以清晰、简明的方式介绍了 CAD/CAM 基础知识,并通过实例介绍了其基本原理的应用点,使读者能够通过学习演练分析涉及的基本概念。模具设计与制造应用实例部分安排了 CAD/CAM 模具应用的实训内容,这部分内容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,而是利用自上而下的设计方法,从原始零件开始,逐一设计模具三维模型,进而获得整套模具的计算机“辅助设计”思想,从而提高计算机设计能力。

本书共 10 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、产品几何建模技术、参数化与特征建模技术、CAD/CAM 数据处理技术、计算机辅助制造技术等基础知识,同时以较大篇幅给出了模具系列化零件 CAD 设计、双耳止动垫圈级进模 CAD 设计、Mastercam X 模具加工等实例。通过本书的学习,读者能够掌握各种设计技术,并且对 CAD/CAM 的原理及其工程应用有更好的了解。

本书第 1、6 章由上海工程技术大学刘淑梅负责编写,第 2、3、4、5、8、9 章由上海工程技术大学李霞负责编写,第 7、10 章由上海工程技术大学实训中心罗治平负责编写。全书由李霞统稿。此外,李磊、蒋慧箐、莫佳敏等参与了书中部分内容的编写,尤其是对书中图形的编辑作了大量工作。

本书在编写过程中听取了相关工程师、教师、学生的意见和建议,这些意见和建议对本书的编写大有裨益。在此表示真诚的谢意。

由于水平有限,书中不足之处难免,衷心希望得到读者指正。

编 者

## 上篇 CAD/CAM 基础原理

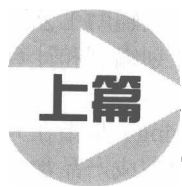
第 1 章 概论 .....	1	3.1.2 设备坐标系 .....	31
1.1 CAD/CAM 基本概念 .....	1	3.1.3 规格化设备坐标系 .....	31
1.2 CAD/CAM 系统的功能与特点 .....	3	3.2 观察变换 .....	32
1.3 CAD/CAM 系统的运行环境 .....	4	3.2.1 窗口和视区 .....	32
1.3.1 CAD/CAM 系统的硬件 .....	4	3.2.2 观察变换 .....	33
1.3.2 CAD/CAM 系统的软件 .....	8	3.3 图形裁剪原理 .....	35
1.3.3 CAD/CAM 系统的配置形式 .....	9	3.3.1 点的裁剪 .....	35
1.4 CAD/CAM 技术的发展趋势 .....	10	3.3.2 二维直线的裁剪 .....	35
第 2 章 图形变换原理及应用 .....	12	3.4 消隐 .....	37
2.1 图形变换的基本方法 .....	12	3.4.1 消隐现象 .....	37
2.1.1 几何图形的表示方法 .....	12	3.4.2 消隐算法中的测试方法 .....	37
2.1.2 图形变换的基本方法 .....	12	第 4 章 产品几何建模技术 .....	40
2.2 二维图形变换的基本形式 .....	13	4.1 产品建模技术演变与 CAD	
2.2.1 比例变换 .....	13	核心建模技术 .....	40
2.2.2 旋转变换 .....	14	4.2 几何建模基础知识 .....	43
2.2.3 错切变换 .....	14	4.2.1 几何信息和拓扑信息 .....	43
2.2.4 对称变换 .....	15	4.2.2 几何实体的定义 .....	45
2.2.5 平移变换 .....	16	4.2.3 几何实体集合运算 .....	45
2.2.6 齐次坐标与齐次变换矩阵 .....	17	4.2.4 欧拉公式 .....	47
2.2.7 平面图形变换 .....	19	4.3 几何建模方法 .....	48
2.3 二维组合变换 .....	19	4.3.1 线框模型 .....	48
2.4 三维图形变换 .....	22	4.3.2 表面模型 .....	49
2.4.1 三维变换矩阵 .....	22	4.3.3 实体模型及表示方法 .....	52
2.4.2 三维基本变换 .....	23	4.4 曲线与曲面 .....	55
2.5 三维图形变换的应用 .....	26	4.4.1 曲线与曲面的一般特性 .....	56
2.5.1 三视图投影 .....	26	4.4.2 曲线与曲面的表示方法 .....	57
2.5.2 正轴测投影 .....	27	4.4.3 Bezier 曲线 .....	58
第 3 章 图形技术基础 .....	31	4.4.4 Bezier 曲面 .....	60
3.1 坐标系 .....	31	4.4.5 B 样条曲线 .....	61
3.1.1 世界坐标系 .....	31	4.4.6 B 样条曲面 .....	63

4.4.7 Coons 曲面.....	63	6.2 CAD 中常用的数据结构.....	82
第 5 章 参数化与特征建模技术.....	65	6.2.1 数据结构的基本概念.....	82
5.1 参数化与变量化.....	65	6.2.2 数据结构的分类.....	85
5.2 商用 CAD 系统参数化建模实例.....	66	6.2.3 常用的数据结构.....	87
5.2.1 二维草图绘制中的参数化		6.3 工程设计数据的计算机处理.....	94
功能运用.....	66	6.3.1 数表的程序化处理.....	94
5.2.2 三维形体设计中的参数化		6.3.2 线图的程序化处理.....	95
功能运用.....	67	第 7 章 计算机辅助制造技术.....	97
5.2.3 使用方程式定义、修改		7.1 计算机辅助制造技术概述.....	97
各种参数关系.....	67	7.2 计算机辅助数控编程.....	97
5.3 特征建模.....	73	7.2.1 数控机床的组成及工作原理.....	97
5.3.1 特征.....	73	7.2.2 数控编程的坐标系统.....	98
5.3.2 形状特征.....	74	7.2.3 数控编程.....	100
第 6 章 CAD/CAM 数据处理技术.....	76	7.3 数控加工仿真.....	104
6.1 产品数据交换技术.....	76	7.3.1 数控加工仿真的目的与意义.....	104
6.1.1 产品数据交换方法.....	76	7.3.2 数控加工仿真的形式.....	105
6.1.2 图形文件常用数据交换标准.....	77	7.4 常用模具 CAD/CAM 软件介绍.....	107

## 下篇 CAD/CAM 模具设计与制造应用实例

第 8 章 模具系列化零件 CAD		9.4.4 垫板设计.....	129
设计实例.....	110	9.4.5 上模座设计.....	130
8.1 设计案例分析.....	110	9.4.6 模柄安装.....	130
8.2 设计步骤.....	111	9.5 导柱、导套设计.....	131
8.3 调用配置规格.....	115	第 10 章 Mastercam X 模具	
第 9 章 双耳止动垫圈级进模		加工实例.....	133
CAD 设计实例.....	117	10.1 Mastercam X 模具加工简介.....	133
9.1 工件与排样.....	117	10.1.1 Mastercam X 模具	
9.2 模具整体结构.....	117	加工的一般流程.....	133
9.3 下模设计.....	119	10.1.2 Mastercam X 模具加工	
9.3.1 凹模设计.....	119	实用技巧.....	134
9.3.2 下模座设计.....	120	10.2 模具 CAD/CAM 实例.....	135
9.3.3 导料板和承料板设计.....	122	10.2.1 文件准备.....	135
9.3.4 完成下模所有螺钉及		10.2.2 遥控器上盖凹模设计.....	135
销的装配.....	122	10.2.3 遥控器上盖凹模加工.....	139
9.4 上模设计.....	125	10.2.4 规划凹模精加工刀具路径.....	145
9.4.1 凸模设计.....	125	10.2.5 凹模精加工.....	147
9.4.2 凸模固定板设计.....	127	10.2.6 实体切削验证.....	148
9.4.3 卸料零件设计.....	128	10.2.7 后处理生成数控程序.....	149

参考文献.....	152
-----------	-----



# CAD/CAM 基础原理

## 第 1 章 概 论

### 1.1 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) 什么是 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。最新的概念如下。

① CAD 是一个过程。在计算机环境下完成产品的设计、创造、分析、修改。

② 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, 也是应用最广泛的领域。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) 什么是 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) 什么是 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) 什么是 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的许多缺陷。其工作主要过程如下。

- 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。

(5) 什么是 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。

(6) 什么是 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, 并逐渐趋于一致的, 具体表述为: CIM 是信息技术和生产技术的综合应用, 旨在提高大型企业的生产率和对市场的适应能力。因此, 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 利用计算机, 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 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、管理部门的相关信息实现集成, 通过信息共享实现群体 (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。



CIM技术的物化形式即为CIMS (computer integrated manufacturing system), 也就是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现的, 这将是未来工厂的模式。

## 1.2 CAD/CAM系统的功能与特点

目前流行的大型CAD/CAM系统主要有: UGNX、Pro/E、Solidworks、Topsolid、AutoCAD、3Dmax等, 尽管它们有各自的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) 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。友好的人机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。除软件界面外, 还必须有交互设备, 以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相结合的混合建模系统。

④ 数控编程与虚拟制造功能。数控编程通过零件CAD模型获得数控加工程序的全过程, 数控编程的一般步骤如下。

- a. 分析零件图样和工艺处理。
- b. 数学处理。
- c. 编写零件加工程序单。
- d. 植被控制介质。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(virtual manufacturing, VM)是为新产品及其制造系统开发的一种哲理和方法论, 可以看成是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。

⑤ 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。

⑥ 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。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的零件的静态、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、加工工艺方案优化和加工工艺参数设计优化等内容。

CAD 软件和 CAE 软件已实现无缝集成, 在设计制造过程中, 可以及时发现存在的问题并反复修改, 直至达到最终目的。极大的提高了设计水平、效率和质量。

(2) CAD/CAM 系统的特点 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。

### 1.3 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, 以系统软件和支持软件为主体, 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, 规模也有大小之分。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 系统成本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。

#### 1.3.1 CAD/CAM 系统的硬件

CAD/CAM 系统的硬件由主机和外围设备组成, 外围设备主要有: 存储器、输入输出设备、图形显示器及网络通信设备。硬件的配置与一般的计算机系统有所不同, 其主要差别在于要求较完善的人机交互设备及图形输入输出装置。

CAD/CAM 系统的硬件应主要具有计算、存储、输入输出、人机交互等基本功能。由于 CAD/CAM 系统的硬件是面向图形技术、可视化和多媒体技术的应用, 而 CAD/CAM 系统的各类软件一般都需要几百兆及以上的存储和工作空间, 因此需要有相当大的内外存容量, 同时硬件还应具有良好的通信联网功能。

(1) 主机 主机是控制及指挥整个 CAD/CAM 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。

对主机工作性能的要求是: 执行处理速度快、内存容量大。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。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 代表执行一百万条整数运算指令所用时间, MFLOPS 代表执行一百万条浮点数运算指令所用时间, 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, 表示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。

不同类型的 CPU 具有不同的结构体系和指令系统, 即使是相同的运算指令, 其运算能力也并不相同。所以, 对不同结构的 CPU 来说, 只以主机工作频率的高低进行对比是不正确的。

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 的发展经历了早期的 Intel 8086、Intel 80286、Intel 80386、Intel 80486、Intel 80586, 后来的 Pentium、Pentium MMX、Pentium Pro、Pentium II、Pentium III 及目前的 Pentium IV、Intel Celeron、酷睿双核、AMD Duron、AMD Athlon 等高性能 CPU。

② 内存储器。内存储器用于 CPU 工作程序、指令和数据。根据存储信息的功能, 内存储器分为读写存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM) 及高速缓存存储器 (Cache)。

RAM 是 CPU 用于存取信息的随机存储器, 可以不按顺序随意存取信息。但如果发生如断电等突发情况, 在 RAM 中所存储的信息就会丢失。

ROM 主要用于存储启动引导程序和基本输入输出程序等, CPU 只能从中读取信息。这种存储器中的信息是事先固化好的, 即使断电也不会丢失。

Cache 是在处理器或主板上分别加入的小容量高速存储器, 是为了消除内存的存取速度与处理器的处理速度的不匹配现象而设置的。在运算处理时, CPU 首先在 Cache 中提取数据, 提高了读写速度, 克服了由于内存读写速度比处理器慢而在两者之间产生的“等待”现象。

目前, 内存储技术已发展到同步内存 SDRAM、双倍数据速率技术 DDR、RAMBUS 等。DDR 在速度上有了更大提高, 但 JEDEC 标准化组织制订的 DDR DIMM 规范与 SDRAM DIMM 不兼容。由于大型 CAD/CAM 系统的不断发展, 其运行需要更大内存容量, 一般要求内存容量应在 1GB 及以上。

(2) 外存储器 要想将计算机处理的 CAD/CAM 信息永久性保存, 必须采用辅助的外存储器。采用虚拟内存管理技术还可以将外存储器的部分存储空间扩大为逻辑工作内存容量。

① 硬盘存储器。硬盘存储器是计算机系统最主要的外存储器, 反映其工作质量的主要技术参数是硬盘存储容量、读写速度和传输数据的速度。硬盘通过控制器与 CPU 直接连接, 对于不同的硬盘控制器及其接口, 数据传输速度差别很大。在微机上常用的接口有以下三种类型。

a. IDE 接口。IDE (intelligent drive electronics) 接口是微机常用的标准接口, 既可以控制硬盘驱动器, 也可以控制软盘驱动器。IDE 技术分为普通型 IDE 和增强型 EIDE (enhanced IDE) 两种标准, 后者在硬盘速度、容量等方面性能均有所增强。

b. SCSI 接口。SCSI (small computer system interface) 是 1986 年推出的小型机的外部设备接口, 是一种系统级的接口, 可以同时接到配有 SCSI 接口的各种不同设备上, 其数据传输速度比 IDE 接口快。SCSI 能减轻 CPU 的负担, 提高高档计算机的灵活性。

c. SATA 接口。SATA (serial advanced technology attachment) 是一种高速串行连接方式, 比传统并行 ATA 更具优势。首先, SATA 接口采用点对点传输方法, 速度快, 第二、三代 SATA 接口速度达 300Mbps 和 600Mbps, 远超过并行 ATA 接口; 其次, 具有热插拔功能, 使用方

便；再次，具有 CRC 错误校验功能，能检测 SATA 线缆两端的数据完整性；第四，可连接数量更多的硬盘，不受 Master/Slave 的限制；最后，接口及连接线缆针脚较少，易于连接和布线，成本较低。SATA 可应用于硬盘、光驱和 IDE 阵列等存储设备，并将逐渐取代传统并行 ATA 连接方式。

② 软盘、U 盘存储器。软盘存储器与硬盘存储器原理相同，结构不同，软盘存储速度相对较慢。

软盘存储器也由驱动器、控制器和软盘三部分组成。软盘不适于长期保存，目前基本上已被更方便的 U 盘所取代。

Flash Disk（俗称 U 盘、闪盘）是一种小容量移动存储器，存储容量现已达兆级。其内部使用比电子可擦只读存储器（EPROM）写入速度快、写入电压低的 Flash ROM，一般使用 USB 接口，目前占主流的 USB 2.0 的传输速度可达 480Mbps，一些高级的 U 盘还支持安全加密、启动等功能。U 盘写入速度快、存储安全、携带方便，可取代软盘的作用。

③ 光盘存储器。光盘（optical disk）利用光学方式进行信息读写。根据性能和用途不同，光盘可分为三类：只读型光盘、只写一次型光盘和可擦写型光盘。可擦写型光盘的工作方式与硬盘相同。

光盘的特点是容量大（普通光盘容量在 650MB 以上，DVD 光盘容量可达数 GB）、可靠性高、信息存储成本低以及随机存取速度快等。

④ 磁带。磁带的存取原理与录音带基本相同。其规格统一、互换性好，与计算机连接较为方便，一般用于系统备份。磁带属于顺序存取存储器。目前多用在以 UNIX 操作系统为平台的 CAD/CAM 系统中，在一般的计算机 CAD/CAM 系统中较少使用。

### （3）CAD/CAM 系统的输入输出设备

① 图形显示器。图形显示器是利用电子技术和计算机软件技术在显示屏上显示字符和图形，并能对字符、图形做实时加工处理的一种电子设备，是 CAD/CAM 系统必不可少的装置。其种类主要有标准的阴极射线管（CRT）、液晶显示器和光栅扫描显示器。

CRT 利用电磁场产生高速的，经过聚焦的，偏转到屏幕的不同位置的电子束轰击屏幕表面荧光材料而产生可见光。CRT 的技术指标主要有分辨率和显示速度。光点即为像素，是显示器所认可的最小图像单元，每个像素可以显示不同的灰度等级和色彩。像素越高，分辨率就越高，显示的图形就越精确。常见的 CRT 的分辨率有：1024×768、1280×1024 等。CRT 的显示速度取决于偏转系统的速度、CRT 矢量发生器的速度、计算机发送显示命令的速度等。24 位真彩色模式已达到 CRT 色彩显示能力的极限。

光栅扫描显示器可以控制电子束依次扫描整个屏幕，屏幕上每个像素的亮度和颜色都可以控制，因此光栅扫描显示器适宜输出彩色图形或具有明显暗度差别的真实图形。CAD 工作站和微型机的彩色显示器即属此类。目前，光栅扫描显示器可以显示  $2^{16}$ ，甚至  $2^{32}$  种颜色的“真彩”。

液晶显示器（LCD）是一种采用液晶控制透光度技术来实现色彩的显示器。它通过控制是否透光来控制亮和暗，当色彩不变时，液晶也保持不变，这样就无需考虑刷新率的问题。和 CRT 相比，LCD 的具有很多优点：画面稳定，无闪烁感，刷新率不高，但图像却非常稳定，可以通过液晶控制透光度的方法让底板整体发光，做到了真正的完全平面；数字 LCD 采用数字方式传输数据、显示图像，不会产生由于显卡而造成的色彩偏差或损失；LCD 完全没有辐射，即使长时间观看 LCD 屏幕也不会对眼睛造成很大伤害；LCD 体积小，重量轻，能耗低。目前，LCD 正向超大尺寸、宽屏幕方向发展，19in（1in=0.0254m）、22in 宽屏 LCD 是当今显示器的主流。

② 输入设备。CAD/CAM 系统的输入设备主要包括键盘、鼠标、数字化仪、光笔、扫描

仪和数码相机等。

键盘是最基本的输入设备,可用于输入字符、数字、坐标值等数据,也可以通过菜单进行功能选择。键盘上的键按功能可分为字符键、功能键和控制键。由于受人手指运动速度的限制,键盘不能满足 CAD/CAM 系统大量信息输入的需要。

鼠标是另一种基本的输入设备,可通过鼠标的点击、移动、拖放来实现某种预定的操作。鼠标的按钮常用的有双按钮和三按钮,目前,使用最普遍的鼠标是配有两个按钮和一个滚轮的光电式鼠标。在 CAD/CAM 系统中,鼠标是用于实现系统人机交互式操作的最主要的输入设备之一。

数字化仪是一种用途非常广泛的图形输入设备。根据数字化仪的尺寸大小,可以将其分为大型数字化仪和小型图形输入板,它们的工作原理相同。数字化仪由电磁感应图形板和定标器组成,在图形板内部安装有精密的电磁感应式定位栅格。当定标器接触台面或在台面上移动时,由于电磁感应作用,可以很精确地测得台面上定标器所处的位置信息并输入计算机,经计算机处理后可以在屏幕上找到相应的位置。数字化仪的性能指标主要有幅面、精度、分辨率、数据传输速率、数据输出格式和接口等。

普通的台式扫描仪可以扫描 A4 幅面的图纸和文件,大型扫描仪能扫描 A0 幅面的图纸。扫描仪可以快速将大量图纸输入计算机,与其他的录入方式相比,可以节省大量的人力和物力。

③ 输出设备。输出设备将计算机处理后的数据转换成某种用户所需要的形式,CAD/CAM 系统中的输出设备用于将计算机计算或处理的中间或最终结果以文字、图形、视频录像或语音等不同方式显现出来,实现计算机系统与用户的直接交流与沟通。输出设备主要有显示输出设备、打印输出设备、绘图输出设备、影像输出设备和语音输出设备等。

打印机是 CAD/CAM 系统中常用的一种硬拷贝输出设备,用于将计算机处理后的结果打印在纸上,以便使用。依据工作方式的不同,打印机可以分为撞击式和非撞击式两种。撞击式打印机可打印字符及分辨率较低的图形,打印速度慢、质量差,而且噪声大;非撞击式打印机主要有喷墨打印机、激光打印机和静电复印打印机等,打印速度快、质量高且无噪声,可用于打印各种字符、图表、图形和影像,但受幅面限制。

绘图仪是 CAD/CAM 系统中用于专业输出工程图纸的设备。依据工作原理的不同,绘图仪可以分为笔式绘图仪和非笔式绘图仪。笔式绘图仪从结构上又可以分为平板式和滚筒式两种。它们均以墨水笔作为绘图工具,通过计算机程序来控制笔和纸的相对运动,同时对图形的颜色、线型及绘图路径加以精确控制,最终绘成各种规格的工程图纸。在笔式绘图仪中,每一个电脉冲通过电动机驱动机构,使画笔移动的距离称为步距或脉冲当量,步距越小,画出的图形越精细。一般国产笔式绘图仪的步距为 0.1~0.00625mm,国外高质量的笔式绘图仪步距可达 0.001mm。

非笔式绘图仪主要有喷墨绘图仪、静电绘图仪、热敏绘图仪和激光绘图仪。静电绘图仪的绘图速度快、噪声小,但价格较高,并要求与之配套的计算机主机系统具有较高的配置。喷墨绘图仪的绘图质量较高,但喷枪和墨水等耗材的消耗量较大,成本较高,目前有一种相对降低了成本,图 1-1 示出的为 HP designjet 400 大幅面工程喷墨绘图仪。热敏绘图仪具有高质、高效绘制整块填充实心图案、阴影图和精细线条的能力,打印格式灵活、成像质量高、绘制速度快、成本低,但需要专门的热敏绘图纸。

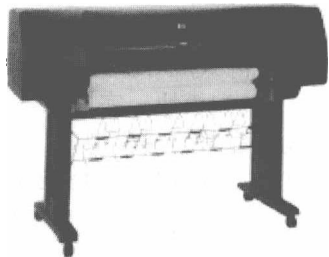


图 1-1 工程喷墨绘图仪

### 1.3.2 CAD/CAM 系统的软件

根据执行任务和服务对象的不同, CAD/CAM 系统的软件可分为系统软件、支撑软件和应用软件三类。其中, 系统软件直接与计算机硬件相关, 面向所有用户, 是公共性底层管理软件, 主要作用是合理分配和使用计算机的各种软、硬件资源; 支撑软件提供了 CAD/CAM 系统所需的各种具有通用性和基础性的功能, 运行在系统软件之上, 是 CAD/CAM 系统专业性应用软件的开发平台; 应用软件则是根据用户具体要求, 在支撑软件的基础上经二次开发的各种专业性较强、用户群固定的专用软件。

(1) 系统软件 系统软件是指直接配合硬件, 并对其他软件起支撑作用的软件, 一般包括计算机操作系统、高级语言编译系统和网络管理系统等。它为用户提供了一个使用各种系统软、硬件的平台和界面。

操作系统是计算机运行工作的基础软件。目前, CAD/CAM 系统中主流操作系统主要有美国微软公司的 Microsoft DOS 磁盘操作系统、Microsoft Windows 98/2000/XP/VISTA 窗口操作系统, 苹果公司的 Macintosh, Sun 公司的 Sun Solaris, HP 公司的 HP UX 和 IBM 公司的 IBM AIX 等各种版本的 Unix 操作系统。

Windows 操作系统的系列产品用户界面友好、性能稳定、价格适中、用户众多、应用软件资源丰富、支持即插即用的硬件设备, 占据的市场份额较大, 是目前微机级 CAD/CAM 系统的主流操作系统。近年来, 随着网络技术的成熟和普及, 计算机硬件性能的迅速提高, CAD/CAM 系统越来越多的向微机级转移。

Unix 操作系统最初由美国斯坦福大学的 AT&T 实验室开发而发展起来。目前, 在使用大型机与小型机的银行、金融和通信等专业领域占有一席之地。

(2) 支撑软件 支撑软件是为了满足 CAD/CAM 系统工作中用户的共同需要而开发的通用软件。它一般可分为集成型和单一功能型。集成型 CAD/CAM 系统的支撑软件提供了可集成的 CAD、CAM、CAE、数控加工、数据交换、数据库以及二次开发工具等多种模块, 功能完备。由于计算机应用领域迅速扩大, CAD/CAM 支撑软件的开发和研制已取得很大进展, 商品化的支撑软件层出不穷, 主要有美国 PTC 公司的 Pro/E、德国 Siemens 公司的 UGNX、法国 Dassault System 公司的 CATIA 以及 Solidworks、Topsolid 等。

CAD/CAM 系统的支撑软件一般由以下六个部分组成。

① CAD 部分的功能模块。在这一部分中, 主要由以下四个组成部分来完成零件建模、真实感图形显示和装配等功能。

a. 二维图形设计和绘图模块。实现图形绘制、文档编制以及二维、三维图形交互式处理等功能。可用人机交互的方式生成图形、编辑增删、缩放、平移、旋转、反射、错切、标注及拼装等。可自动将零件的三维模型转换成二维工程图。

b. 三维几何建模模块。利用各种技术进行建模, 并计算几何体的体积、重心、惯性矩等物性, 为产品设计、分析和数控编程等后续环节提供必要的信息。

c. 真实感图形显示模块。实现三维消隐处理, 消除三维图形的多义性。通过纹理、色彩渲染、光源效应等操作, 使设计出的物体更具真实感。

d. 装配模块。完成由零件到部件, 再到产品的三维装配, 可以进行干涉检查, 建立产品结构完整信息模型。

② CAM 部分的功能模块。主要有以下五个组成部分。

a. 数控加工的前置处理模块。将几何模型转换成工艺模型, 如留加工余量、注塑凹凸模形状确定等。

b. 数控编程模块。生成刀位轨迹 (CL)、确定刀具和工艺参数等, 包括车、铣、钻、电

火花等加工方法的数控编程。

- c. 数控加工的后置处理模块。根据 CL 文件生成特定机床的数控加工程序。
- d. 切削加工检验模块。利用仿真技术测试刀位轨迹,检测欠切或过切等现象。
- e. DNC 模块。

③ CAE 部分的功能模块。包括以下两项。

a. 有限元分析模块。包括有限元前置处理模块、有限元分析的各种解算器、有限元分析结果的后置处理模块。

b. 机构动态和仿真模块。由机构装配结构、求各构件物性(如重心、质量、惯性矩等),设定运动规律参数、进行仿真计算并三维显示运动状态等模块组成。

④ 数据交换标准和接口。数据交换标准和接口较好地解决了不同 CAD/CAM 系统间数据交换的问题。目前国际上普遍采用 IGES、STEP、DXF 等标准作为不同 CAD/CAM 系统之间的数据转换接口和实现 CAD/CAM 系统集成的基础,同时还提供专用接口。

⑤ 用户编程工具。用户编辑工具使 CAD/CAM 支撑软件的二次开发功能得以实现,如 AutoCAD 系统内嵌的作为二次开发工具的 Autolisp、V-lisp 语言,UGNX 提供的 GRIP 等。

⑥ 数据库。数据库在 CAD/CAM 系统中具有十分重要的地位和作用,它能有效存储、管理和使用数据,实现系统的信息共享,对 CAD/CAM 系统的功能影响很大。

(3) 应用软件 应用软件是借助于特定的开发语言,针对用户的具体功能要求,面向固定的应用领域,为解决各种实际问题而开发的软件。在 CAD/CAM 支撑软件的基础上进行二次开发,形成专业应用软件是进一步深入推广 CAD/CAM 系统的关键。目前,在模具设计、机械零件设计、机械传动设计、建筑设计、服装设计、汽车设计和飞机设计等领域都有相应的商品化的 CAD/CAM 应用软件。

模具设计应用软件主要有注塑模具设计、分析领域的 ModelFlow、Modex-3D 等,Modex-3D 还应用于封装模具设计与分析;冷冲模具设计领域的软件等。这些软件一般都相当专业化,有的在特定行业的应用已十分普及和成熟。另外,一些大型 CAD/CAM 系统,如 UGNX、Pro/E 等也都具有模具设计、模具制造模块。

二次开发语言主要包括 C/C++、Lisp、Java、汇编、Basic、Pascal、Fortran 等。C 语言是 UNIX 系统中最基本的语言,基于 Windows 平台的很多软件都是采用 C/C++语言编写的,C/C++语言通用性好、功能强、使用灵活,已积累了较多的软件资源,是工程应用中的主流设计语言。Lisp 语言是 AutoCAD 软件内嵌的函数表处理语言。Java 语言广泛应用于 Web 项目管理与开发,已成为一种国际标准。

### 1.3.3 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 系统的配置形式大致分为三个重要的发展阶段: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与主机相连。终端没有 CPU,没有计算、处理功能,置于设计人员身边,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,系统的响应性能变差,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)”,这类系统工作效率高,但针对性较强,扩展能力较差。

(2) 工程工作站和微机系统 工程工作站(work station)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。

微机系统是进入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,以及其较高的性价比,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。

(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/服务器配置形式逐步发展起来,目前,成为CAD/CAM系统的主流配置形式。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。

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,因此其节点计算机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。

## 1.4 CAD/CAM 技术的发展趋势

CAD/CAM技术的发展与计算机技术息息相关。20世纪40年代,第一代计算机在美国麻省理工学院(MIT)问世,当时计算机的使用尚不普遍,主要用于科学计算。此后,随着计算机和网络通信等技术的迅猛发展,并不断应用于工程设计、制造、检测和管理等各个环节,制造科学与工程这一学科领域发生了极其深刻的变革,涌现出许多新理论、新技术和新方法,在产品设计和制造工程领域逐步形成了一系列典型的计算机应用技术和自动化信息系统。CAD/CAM技术是计算机科学最早,也是最重要的应用领域之一,同时它也是计算机科学与技术发展的主要驱动力之一。伴随着计算机的发明、发展和成熟,计算机辅助设计技术也经历了其自身的产生、发展和成熟的过程。目前,它已成为一个现代化社会中各行各业不可或缺的技术基础和支撑,是人们从事生产和科学研究的得力助手。

随着全球创新能力的不断提高、网络环境的逐渐普及,CAD/CAM技术的发展日新月异,竞争也日渐激烈。目前CAD/CAM技术的发展趋势可以概括为以下五个方面。

(1) 微机化 以32/64位微机为设计平台的CAD/CAM系统越来越受到人们的重视。近年来,微型机已具有非常强大的图形处理功能,并支持CPU的并行处理,从而促使以UG、Pro/E等为代表的从前主要以工作站为平台的CAD/CAM系统向微机移植,网络技术的迅速成熟和普及为设计平台微机化提供了强有力的支持。而以Solidworks等为代表的本来就基于微机工作平台的CAD/CAM系统则纷纷推出了更为强大的新一代产品,逐步完善自身的各项功能。

(2) 集成化 集成化是CAD/CAM技术发展的一个最为显著的趋势。CAD、CAM系统



从两个相对独立的技术群体逐渐发展成为集成系统，并与 CAPP、CAE 甚至生产计划与控制 (production planning and control, PPC) 等各种功能不同的软件有机结合起来，用统一的执行程序来组织各种信息的访问、交换、共享和处理，借助于公共的产品工程数据库、网络通信技术以及标准格式的中性文件接口实现综合集成。

目前，CAD/CAM 技术已达到一个实用化程度较高的水平，基本结束了各 CAX (包括 CAD、CAM、CAPP、CAE 等) 技术的“孤岛技术”时期。CAX 技术与 PPC 基于 PDM 的综合集成可以保证系统内部信息流的畅通，提高工作效率，提高产品质量，降低设计制造成本，缩短设计制造周期，提高产品的综合竞争力。

在应用模式集成化的同时，并行工程思想与方法始终贯穿其中。新一代 CAD/CAM 技术强调在计算机网络环境内对产品开发的整个设计和管理过程实现并行作业，最大限度的利用各设计团队的各类资源，包括人员资源，进一步缩短设计制造周期，快速反映市场需求，提高产品的开发效率和一次成功率。

(3) 智能化 设计过程智能化是指将人工智能植入 CAD/CAM 技术。现在发展得较好的人工智能领域的技术包括：专家系统、知识工程、灰色系统、神经网络和模糊系统等。与传统的 CAD/CAM 系统相比，现有的 CAD/CAM 系统智能化程度有所提高，但基本上还停留在将设计人员的设计意图转化为计算机文件的层次上。产品设计是一个高度智能化的创造性活动，是一个知识驱动的创造性活动，包含了对知识的继承、集成、创新和管理。如果能够把设计人员的设计理念、专家的丰富经验、长期积累的知识信息在 CAD/CAM 系统中加以应用，建立知识库、知识规则，并进行知识推理、创新应用等活动，将是更高层次、更高境界的 CAD/CAM 技术，因此将人工智能技术与 CAD/CAM 技术结合起来，形成智能化的 CAD/CAM 系统，是 CAD/CAM 技术发展的必然趋势。

目前，研究的热点包括：基于并行设计的方法建立新一代智能 CAD/CAM 系统；研究设计型专家系统的基本理论及技术问题；基于案例的推理机制的研究；基于神经网络设计方法的研究等。

(4) 网络化 网络技术的迅速发展，给制造业带来了深刻变革。网络技术是计算机技术与通信技术相互渗透和结合的产物，网络可以把不同地域、不同单位的设计资源、人力资源和制造资源等集成起来，协同运作。CAD/CAM 系统只有通过网络互相连接起来，才能真正充分发挥系统的整体优势，达到资源共享、节省投资和降低总体成本的目的。

近年来，计算机支持的协同工作环境 (CSCW) 是 CAD/CAM 技术研究的热点之一。CSCW 提供了一个网络化的协同工作环境，用于支持群体成员间交流设计思想、讨论设计结果、及时发现问题并及时协调和解决，通过减少或避免反复设计，达到提高设计工作质量和效率的目的。

网络化的发展促进了虚拟设计、虚拟制造、虚拟企业的发展和运用。有的大型企业大量的零部件生产、装配都通过“虚拟工厂”、“动态企业联盟”的方式完成，企业只负责产品总体设计和少数零部件生产，并最终完成产品的装配。

(5) 标准化 标准化不仅是开发应用 CAD/CAM 的基础，也是促进 CAD/CAM 技术普及及应用的有效手段。只有依靠标准化技术才能解决各系统支持平台的问题，才能促进 CAD 技术的国际间交流合作，才能支持异地协同设计制造，减少重复劳动，提高设计效率。

目前，CAD/CAM 技术的相关标准正处于不断建立和完善过程中，除了 CAD 支撑软件逐步实现 ISO 标准和工业标准外，还主要有：面向图形设备的标准 (computer graphics interface, CGI)；面向用户的图形标准 (graphics kernel system, GKS)；面向不同 CAD 系统的数据交换标准 IGES (initial graphics exchange specification)、STEP (standard for the exchange of product model data) 等。目前基于这些标准的软件是 CAD/CAM 软件市场的主流。