

高职高专机电类规划教材

模具 CAD/CAM

伊启中 殷钺 主编



机械工业出版社
China Machine Press

高职高专机电类规划教材

模具 CAD/CAM

主编 伊启中 殷 铖
参编 刘锡锋 王明哲 蔡冬根 段来根
主审 王贤坤



机械工业出版社

全书分两篇。上篇为基础理论篇，内容包括 CAD/CAM 基本概念、系统组成及基础知识，冷冲模 CAD/CAM，塑料模 CAD/CAM。下篇为应用软件篇，内容包括 CAXA 制造工程师 2000，MasterCAM 7.1，Pro/ENGINEER 2000i，UG II。

本书是高等职业技术学院模具专业教学用书，也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具 CAD/CAM/伊启中、殷斌主编 —北京 机械工业出版社，2001.8
高职高专机电类规划教材
ISBN 7-111-09063-2

I. 模· II ①伊 ②殷 III ①模具—计算机辅助设计—高等学校：技术学校—教材②模具—计算机辅助制造—高等学校 技术学校—教材 IV TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 043661 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑：王霄飞 倪少秋 版式设计：霍永明 责任校对：孙志筠
封面设计：方芬 责任印制：路琳
中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·22.5 印张·558 千字
0 001—4000 册
定价：29.00 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 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

本书是根据教育部“关于加强高职高专教育教材建设的若干意见”和机械工业出版社教材编辑室“关于组织新编高职高专模具专业教材的原则”以及《模具 CAD/CAM》课程教学大纲编写的，是高等职业技术学院模具专业教学用书，可作为 CAD/CAM 培训教材；也可供从事模具设计与制造工程技术人员参考。

CAD/CAM 是一种基于计算机技术而发展起来的新兴技术，随着计算机技术的不断发展，CAD/CAM 技术也逐步完善、日趋成熟。模具 CAD/CAM 作为 CAD/CAM 技术的一个分支，已成为现代模具技术的重要发展方向。为了满足生产和科研单位对模具 CAD/CAM 人才的迫切需求，各院校相继开设了《模具 CAD/CAM》课程。在这种形势下，全国高职高专模具专业教学指导委员会组织编写了该教材并将其列为规划教材。鉴于目前不同学校教学情况存在差异，各校可根据课程教学大纲对教学内容进行适当调整。

本书分上、下两篇，上篇由西安仪表工业学校殷铖主编，下篇由福建职业技术学院伊启中主编，全书由伊启中统稿。全书共八章，其中殷铖编写第一、三章，陕西工业职业技术学院刘锡锋编写第二章，西安机电学校王明哲编写第四章，伊启中编写第五、七章，江西省机械工业学校蔡冬根编写第六章，常州机械学校段来根编写第八章。

本书由福州大学教授王贤坤博士主审。审稿期间，机械工业出版社王霄飞、倪少秋编辑，深圳市工业学校张磊明，福建职业技术学院翁其金、范有发等提出了许多宝贵意见，在此深表感谢。

由于编者水平有限，书中错误缺点在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2001 年 4 月

目 录

上篇 基础理论

第一章 概论	1	第三章 冷冲模 CAD/CAM	37
第一节 CAD/CAM 基本概念	1	第一节 冲裁模 CAD/CAM 结构与功能	37
第二节 CAD/CAM 系统组成	4	第二节 冲裁件图形输入	40
第三节 CAD/CAM 技术在模具行业中的 应用	7	第三节 冲裁模 CAD/CAM	43
第四节 CAD/CAM 技术发展趋势	9	第四节 冲模 CAD/CAM 软件简介	58
第二章 CAD/CAM 基本知识	11	第四章 塑料模 CAD/CAM	61
第一节 CAD 基础	11	第一节 塑料模 CAD/CAM 系统结构与 功能	61
第二节 CAM 基础	19	第二节 塑料制品建模	64
第三节 产品数据交换技术	34	第三节 塑料注射模 CAD/CAE/CAM	67

下篇 应用软件篇

第五章 CAXA 制造工程师	81	练习题	210
第一节 CAXA 制造工程师软件简介	81	第七章 Pro/ENGINEER	217
第二节 曲线的绘制	86	第一节 Pro/ENGINEER 软件概述	217
第三节 曲线编辑	90	第二节 Pro/ENGINEER 零件造型	222
第四节 曲面造型和特征造型	94	第三节 Pro/ENGINEER 零件组合	249
第五节 数控加工	110	第四节 Pro/ENGINEER 创建工程图	257
第六节 CAXA 制造工程师 2000 应用 实例	132	第五节 Pro/ENGINEER 模具设计	271
练习题	140	第六节 Pro/ENGINEER 数控加工	283
第六章 MasterCAM	141	练习题	295
第一节 MasterCAM 软件简介	141	第八章 UG II 软件应用	301
第二节 基本图形的绘制	145	第一节 UG II 软件介绍	301
第三节 图形编辑	149	第二节 CAD 功能	306
第四节 曲面造型	154	第三节 CAM 功能	341
第五节 CAM 应用技术	170	第四节 模具 CAD/CAM 应用实例	350
第六节 MasterCAM 应用实例	197	第五节 软件应用中注意的问题	355
		参考文献	356

上篇 基础理论

第一章 概 论

随着工业生产和科学技术的发展,市场需求的增加,以及产品更新换代速度的加快,产品生产正向复杂、精密、多品种、高质量和交货期短的方向发展,这就要求模具生产具有更短的周期、更低的成本和更高的质量。依赖经验和手工技能的传统模具设计与制造方式远不能满足这种要求,而应用计算机进行模具的计算机辅助设计(Computer Aided Design 简称 CAD)和计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, 简称 CAM)是解决这一矛盾的有效途径。应用模具 CAD/CAM 技术可大大缩短模具生产周期,减少设计中的主观错误,并能利用计算机容量大、运算速度快的优点,借助数据库存储的大量数据优化设计方案,保证方案的可行性。同时,CAD 系统产生的数据可直接经 CAM 软件处理成数控(Numerical Control, 简称 NC)机床可以识别的代码,进而控制加工设备加工出模具,使模具生产实现高精度、高效率 and 高度自动化。模具 CAD/CAM 技术使模具生产产生了根本性的变化,它的应用给模具工业带来了巨大的经济效益,它的发展和推广将是模具技术一场新的革命。

第一节 CAD/CAM 基本概念

一、基本概念

CAD/CAM 指的是以计算机作为主要技术手段处理各种数字信息与图形信息,辅助完成产品数据和制造中的各项活动。

自从 20 世纪 40 年代世界上第一台计算机诞生以来,世界各国专家、工程技术人员对计算机的研究、开发和应用一直进行着不懈的努力。50 年代 CAD、CAM 技术便开始酝酿,60 年代已开始应用,70 年代 CAD、CAM 技术集成化,形成 CAD/CAM 技术,80 年代迅速发展,到 80 年代中后期,此技术已高速向标准化、集成化、智能化和网络化发展。

CAD 是人和计算机相结合,各尽所长的新型设计方法。从思维角度看,设计工程包含分析和综合两方面的内容。人可以进行创造性的思维活动,将设计方法经过综合、分析、转换成计算机可以处理的数学模型和解析这些模型的程序。在程序运行过程中,人可以评价设计结果,控制设计过程;计算机则可以发挥其分析计算和存储信息的能力,完成信息管理、绘图、模拟、优化和其它数值分析任务。人和计算机结合,在设计过程中二者发挥各自的优势,有利于获得最优设计结果,缩短设计周期。

CAM 是指以计算机为主要技术手段,处理与制造有关的信息,从而控制制造的全过程。一般来说,计算机辅助制造包括工艺设计、数控编程和机器人编程等内容。工艺设计主要是

确定零件的加工方法、加工顺序和所用设备。近年来，计算机辅助工艺设计（CAPP）已逐渐形成一门独立的技术分支。当采用 NC 机床加工零件时，需要编制 NC 机床的控制程序。计算机辅助编制 NC 程序，不但效率高，而且错误率低。在自动化生产线上，利用计算机编制机器人控制程序，从而控制机器人完成装配和传送等项任务。

CAD、CAM 关系十分密切。开始，计算机辅助几何设计和数控加工自动编程是两个独立的分支。但随着它们的推广应用，二者的相互关系变得越来越明显。设计系统只有配合数控加工，才能充分显示其巨大的优越性；另一方面，数控技术只有依靠设计系统产生的模型才能发挥其效率。所以在实际中二者很自然地

紧密结合起来，形成了计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）系统。通常，CAD/CAM 系统指的就是这种集成系统。在 CAD/CAM 系统中，设计和制造的各个阶段可利用公共数据库中的数据，如图 1-1 所示。公共数据库将数据与制造过程紧密联系为一个整体。数据自动编程系统利用数据的结果和产生的模型，形成数控加工机床所需的信息。CAD/CAM 可大大缩短产品的制造周期，显著提高产品质量，从而产生巨大的经济效益。

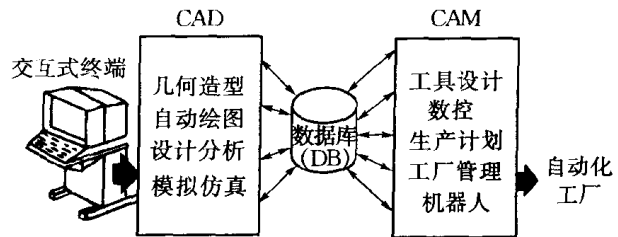


图 1-1 CAD/CAM 一体化系统理想模式

数据自动编程系统利用数据的结果和产生的模型，形成数控加工机床所需的信息。CAD/CAM 可大大缩短产品的制造周期，显著提高产品质量，从而产生巨大的经济效益。

二、CAD/CAM 系统的分类

CAD/CAM 系统可以从不同的角度加以分类：

按系统的功能范围可分为通用和专用两类。通用 CAD/CAM 系统功能全面，适用范围广。例如，CATIA、I-DEAS、CADPS5、Pro/ENGINEER 和 UG II 等系统均属此类。这类 CAD/CAM 系统通常包括线框、实体和曲面造型模块、绘图模块、装配与零件设计模块、有限元分析模块、设计交换与传输模块和 NC 加工模块。专用 CAD/CAM 系统指的是那些为特定的应用而开发的系统。这类系统只能适用于一定的专业、或用于解决某一类问题。例如，冲模 CAD/CAM 系统和塑料注射模 CAD/CAM 系统皆属此类。

按系统的运行方式可分为交互式系统和自动化系统。但就目前的技术发展水平而言，计算机尚难以自动地完成设计和制造中的全部工作，因此，绝大多数 CAD/CAM 系统都属于交互式系统。这种系统以交互方式运行，由计算机检索数据，分析计算，并将运算结果以图形或数据的形式显示在屏幕上，用户可利用键盘和图形板等交互设备输入参数、选择方案、修改设计、控制运行的进程。

另外，CAD/CAM 系统从硬件角度可以分为主机系统、工作站系统和微机系统；按软件的开放性可分为交钥匙系统（Turn-Key System）和可编程系统（PS）。

CAD/CAM 技术随着计算机硬件和软件技术的迅速发展日趋完善，在机械、电子、宇航和建筑等行业得到广泛的应用。CAD/CAM 技术使产品设计制造和组织生产的传统模式产生深刻的变革，成为产品更新换代的关键技术，被人们称为产业革命的发动机。在发达国家，CAD/CAM 已经形成了一个推动各行业技术进步的具有相当规模的新兴产业。

三、计算机在设计和制造中的辅助作用

计算机辅助设计与制造这一术语本身包含了这样的意思，即在人能有效发挥作用的地方不用计算机，反之在计算机可被有效利用的场合不用人。计算机在设计和制造过程中起重要

的辅助作用，但不是取代人的作用。计算机在设计和制造中的辅助作用主要体现在数值计算、数据存储与管理、图样绘制三个方面。

计算机作为计算工具使用的优越性显而易见。人工计算容易发生错误的问题在这里得到了完全克服。许多需要多次迭代的复杂运算，只有用计算机才能完成的一些数据分析方法，例如优化方法、有限元分析，离开计算机便难以实现。计算机作为计算工具提高了计算精度，保证了结果的正确性。

计算机可靠的记忆能力，使其能够在数据存储与管理方面发挥重要作用。例如，常规设计时，设计人员必须从有关的技术文件或设计手册中查找数据，不但费时，而且容易出错。使用 CAD/CAM 系统时，标准的数据存放在统一的数据库中，检索存储方便迅速。有了数据库，设计人员便不再需要记忆具体的数据，也不必关心数据的存储位置，可以全神贯注于创造性的工作。

图样是工程的语言，是人们交流设计思想的工具。虽然 CAM 将使图样在制造中的作用逐渐消失，但图样在审查设计方案、检验产品等方面的作用仍将存在。

图样的绘制工作约占整个设计工作量的 60% 以上，因此计算机绘图是对设计工作的有力辅助。这就是为什么计算机绘图被广泛使用的原因。另外，实际设计中很大一部分图样只是在现有设计的基础上加以局部修改。一旦图形数据存储于图库之中，它们可以重复使用，可以进行修改与编辑，以产生新的图形。

人和计算机相结合，恰当地发挥二者的作用对 CAD/CAM 十分重要。在建立一个 CAD/CAM 系统时，应在以下几个方面考虑人机特点。

经验与判断相结合在产品 and 工艺过程中是不可缺少的，所以设计过程必须由人控制。设计人员应能在设计的各个阶段行使控制权，应能利用其直觉进行设计，而不一定要遵循计算机的设计逻辑。计算机的学习能力很差，学习的任务应由人来完成。人可以从过去的设计经验中学习，总结经验。

对于费时费力的数值分析工作，计算机可以高速精确地完成。在设计中应尽可能多地让计算机完成数值分析工作，使人有更多的时间利用数值分析的结果和他本身的直觉分析能力完成决策性的工作。

计算机具有永久存储信息的能力，对重复性工作有极强的耐力。所以，在设计和制造过程中，信息的存储管理应在人的指导下由计算机完成。像绘图样之类繁琐的、令人疲倦的工作，适合于由计算机去完成，将人从重复劳动中解放出来。

计算机具有系统检错的能力，人则可用直觉方式检错。一般来说，让计算机自动改正错误是困难的。因此，改正错误、修改设计的任务应由人来完成。

总之，在设计和制造中计算机可以起到重要的辅助作用，正确处理人机关系，发挥二者各自的优势，是 CAD/CAM 中的一个重要问题。

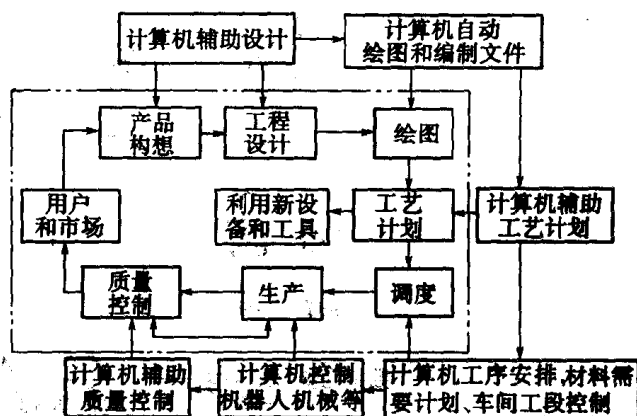


图 1-2 CAD/CAM 的工作内容

第二节 CAD/CAM 系统组成

CAD/CAM 系统是由硬件系统和软件系统等组成。

一、CAD/CAM 系统硬件组成

硬件是组成 CAD/CAM 系统的物质设备，包括计算机系统和加工设备，这是 CAD/CAM 系统的基本支持环境，如图 1-3 所示。

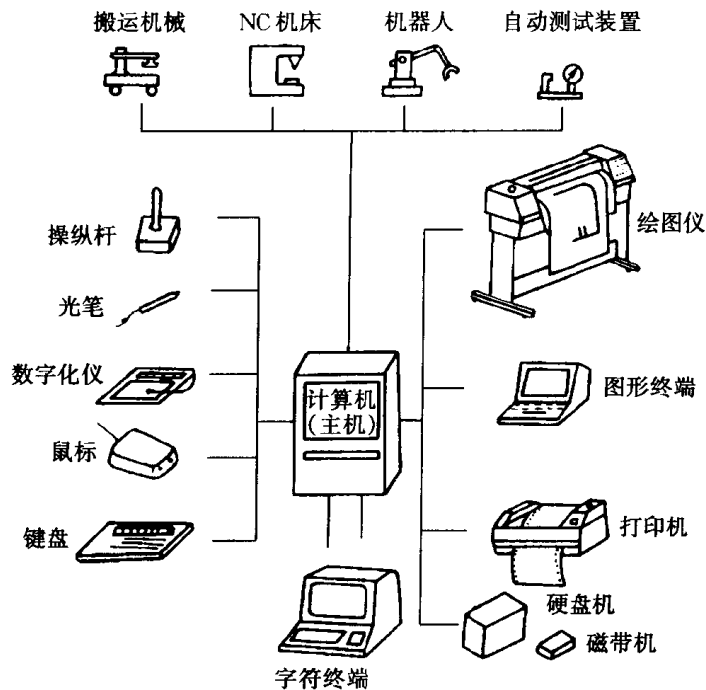


图 1-3 CAD/CAM 系统硬件组成

1. 计算机系统

计算机系统是 CAD/CAM 系统的核心，包括计算机及各种处理器系统、图形工作站、大容量存储器、图形输入和输出设备、以及各种接口等，现分别予以简单介绍：

(1) 计算机及其常用外围设备

1) 主机。主机是 CAD/CAM 系统中枢，它的作用是控制及指挥整个系统，并执行实际运算、逻辑判断任务。主机由运算器、内存储器和控制器组成。运算器和控制器合称为中央处理器 (CPU)。

2) 外存储器 (简称外存)。主要用来存储 (或从中调出) CAD 系统的程序、图形文件和其它软件。作业时，将其从外存中调入内存使用，或将内存的数据输出至外存存放。常用的外存储器有磁带机、磁盘 (包括软盘、硬盘)、光盘。

3) 输入/输出设备。包括键盘、字符终端、纸带输入/输出机及打印机。

(2) 图形输入设备 常用图形输入设备主要有鼠标器、数字化仪、图形扫描仪以及正在研制的语音输入设备。

(3) 图形显示设备 图形显示设备是 CAD/CAM 系统中必不可少的装置。大多数图形显示器采用标准的 CRT 结构，也有采用其它技术的显示器，如液晶显示器、激光显示器等。

(4) 图形输出设备 常用图形输出设备有打印机和绘图仪。打印机是最廉价的产生图形硬拷贝的设备, 但所输出图形质量有限, 不如绘图仪。常用绘图仪为笔式绘图仪, 也有用喷墨、静电或激光技术实现的绘图仪。笔式绘图仪又可分为滚筒式和平板式两大类。滚筒式绘图仪结构简单、价格便宜, 但速度和精度不是太高。而平板式绘图仪速度高、精度高、维修方便, 但价格高。

CAD/CAM 系统的运行环境根据计算机类型和规模的不同, 其配置形式可归纳为主机系统、小型机系统、分布式工作站系统和微机系统等四种, 当前倾向于采用工作站作为硬件系统。但随着微机技术的迅速发展, 微机系统的应用越来越广泛。

2. 加工设备

CAD/CAM 技术的发展与加工设备的发展是相辅相成的。采用先进的自动化程度高、精度高的加工设备, 是现代制造业水平高的主要因素。这一点在模具行业表现得尤为明显。模具行业的加工设备包括各种类型的专用于模具加工的数控机床及各类由计算机控制的加工设备及各级控制机, 以及各种靠模机床、电加工和特种加工机床、测量机、光整加工机等。机床大多采用 CNC、DNC 控制, 一些由主机 (加工中心, 数控机床)、连线、连线设备 (包括工业机器人)、控制设备 (计算机及外部设备、控制台等) 及辅助设备所组成的柔性制造系统 (FMS) 在模具制造中也有应用。

二、CAD/CAM 系统软件组成

CAD/CAM 系统的软件按功能可分为三个层次, 即系统软件、支撑软件和应用软件, 如图 1-4 所示。

1. 系统软件

系统软件 (即操作系统) 是指指挥计算机运行和管理用户作业的软件, 是用户和计算机之间的接口。操作系统把计算机的硬件组织成为一个协调一致的整体, 以便尽可能地发挥计算机卓越功能和最大限度地利用计算机各种资源。微机采用的操作系统主要有 MS-DOS 和 WINDOWS。

2. 支撑软件

支撑软件一部分是由计算机制造商提供的, 并为计算机用户共同使用的软件, 如加工语言及其解释程序、编译程序和汇编程序。另一部分是与系统应用的宽窄和功能的强弱密切相关, 即可由计算机厂商提供, 也可由软件公司作为商品提供。这些软件包括:

(1) 图形软件 图形软件是 CAD/CAM 系统中最基础最重要的软件, 供用户进行图形生成、编辑以及图形变换等。如交互图形系统 (IGS) 中的交互图形处理软件 PLOT-10 (IGL), 微机 CAD 中的 AutoCAD、PD 等绘图软件。

(2) 几何造型软件 几何造型软件是用于建立物体几何模型的软件。利用其造型功能, 可以定义物体的几何形状及其相互关系, 在计算机内建立的几何模型可为设计、图形显示和 NC 编程等方面提供必要的信息。按照产生几何模型的不同, 几何造型方法可分为线框造型、曲面造型和实体造型, 所产生的模型分别为线框模型、表面模型和实体模型。

(3) 计算分析、优化、仿真软件 这些软件是进行辅助设计和工程分析的重要工具, 供用户进行计算分析、方案优化、线性或非线形系统仿真等使用。如常用算法程序库、有限元

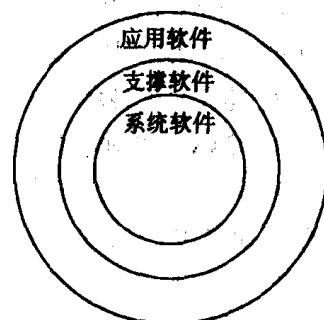


图 1-4 系统软件组成

分析程序、优化程序、各种数字仿真程序等。

(4) 数据库管理系统 在 CAD/CAM 系统中，几乎所有的应用软件都离不开数据库。交互设计、绘图和数控加工编程信息的管理均由数据库管理系统 (DBMS) 完成，以实现数据共享。

(5) 网络软件 供网络型 CAD 系统联网使用，如 NOVELL、NT 等。

(6) NC 编程软件 供 CAD/CAM 系统自动转换和输出 NC 加工程序。

CAD/CAM 系统在软件的支撑下，就能显示出广泛的使用范围和强大的数据检索与查询、计算分析、图形处理、系统仿真等功能。

3. 应用软件

应用软件是指针对某一特定领域而专门设计的一套资料化的标准程序。例如冲裁模 CAD/CAM 软件，塑料注射模 CAD/CAM 软件。编写模具设计应用程序的过程就是将模具设计准则和设计模型解析化、程序化的过程。

三、常用软件介绍

以下为常用软件的简介，详细内容请参见下篇。

1. CAXA 系列软件

CAXA 是北京北航海尔软件有限公司面向我国工业界推出的全中文界面的，包括数控加工、工程绘图、注射模设计、注塑工艺分析、数控机床通信等一系列 CAD/CAM/CAE 软件的品牌名称。主要包括以下几种：

1) CAXA 制造工程师 (CAXA-ME)：面向加工中心的 CAM 软件。该软件具有强大的造型功能，可快速建立复杂的三维模型，具有灵活多样的加工方式，快速生成加工轨迹。通用后置处理适用于各种数控系统。支持三坐标测量机，具有数控代码反读和真实感仿真功能。

2) CAXA 注射模具设计 (CAXA-IMD)：注射模专业 CAD 软件。该软件提供注射模标准模架和零件库，以及塑料、模具材料和注射机等的设计参数数据库。可随时查询、检索；并能自动换算型腔尺寸，对模具进行各种计算。

3) CAXA 注射工艺设计 (CAXA-IPD)：是与美国 C-MOLD 公司合作开发的面向注塑行业的 CAE 软件。采用国际 CAE 技术，通过科学的分析方法和简便操作，可预测注塑工艺过程，确定优化的注塑工艺参数，达到优化设计的目的。

4) CAXA 线切割 (CAXA-WEDM)：数控线切割机床的 CAM 软件，可以交互方式绘制需切割的图形，自动生成带有复杂形状轮廓的两轴线切割加工轨迹。输出 3B 或 G 代码，支持快、慢走丝线切割机床的编程加工。

2. MasterCAM

MasterCAM 为美国 CNC 软件公司在 20 世纪 80 年代初开发的在微机上运行的机械 CAD/CAM 一体化软件系统，是目前全球范围内同类产品功能最完善、性能最稳定的系统之一。主要包括三维设计 (DESIGN)、车床 (LATHE)、线切割 (WIRE-EDM)、2~5 轴铣床 (MILL) 等主要功能模块。可进行相关方面的设计加工工作。

3. UG II

UG II 是 UNIGRAPHIC 的简称，它起源于美国麦道飞机公司，以 CAD/CAM 一体化而著称，可以支持不同的硬件平台。它由计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工程 (CAE)、仿真、质量保证、开发工具、软件接口、计算机辅助制造 (CAM) 及钣金加工等部分组成。该

软件已广泛的应用于机械、模具、汽车及航空领域，它常应用于注射模、钣金成形模及冲模的设计与制造上。

4. Pro/ENGINEER

Pro/ENGINEER (Pro/E) 是 Parametric Technology Corporation 开发的集零件造型、零件组合、创建工程图、模具设计、数控加工等功能为一体的大型 CAD/CAE/CAM 软件。被称为是基于特征的、关联的、参数的 3D 实体建模器。广泛应用于航天航空、机械、模具、汽车等行业，是目前进行产品开发、模具设计与制造的最有效工具之一。

第三节 CAD/CAM 技术在模具行业中的应用

一、CAD/CAM 技术在模具行业中的应用情况

随着工业技术的发展，产品对模具的要求愈来愈高，传统的模具设计与制造方法不能适应工业产品及时更新换代和提高质量的要求。因此发达国家从 20 世纪 50 年代末就开始了模具 CAD/CAM 技术的研究，如美国通用汽车公司早在 20 世纪 50 年代就将 CAD/CAM 技术应用于汽车覆盖件的设计与制造。到 60 年代末，模具 CAD/CAM 技术已日趋完善，70 年代已研制出许多模具 CAD/CAM 的专门系统，可应用于各种类型的模具设计与制造，并取得显著的应用效果；到 20 世纪 80 年代时，模具 CAD/CAM 技术已广泛用于冷冲模、锻模、挤压模、塑料注射模和压铸模的设计与制造。据统计，美国 1970 年 CAD/CAM 作为一个产业的产值为零，到 1991 年年产值约数百亿美元，其中机械行业占 51%，电子、电器行业占 23%。

我国模具 CAD/CAM 技术的开发始于 20 世纪 70 年代末，发展也很迅速。到目前为止，先后通过国家有关部门鉴定的有精冲模、普通冲裁模、塑料注射模等 CAD/CAM 系统。但是直到现在这些系统仍处于试用阶段，尚未在生产中推广使用。据统计，我国 20 世纪 80 年代进口模具中，均在不同程度上应用 CAD、CAM、CAD/CAM 等技术。另据统计，1986 年我国耗资 3.7 亿元引进各类 CAD/CAM 系统 540 套，但应用结果不尽人意。很明显在模具 CAD/CAM 技术方面，我们与国外相比还有很大差距，主要表现在以下几个方面：CAD/CAM 没有商品化；CAM 的发展跟不上 CAD 发展；引进过多过宽；国内 CAD/CAM 技术研究开发未能很好地有组织、有计划、有重点地进行，造成低水平的重复劳动，影响了软件开发的进度和水平的提高。所以我们社会各界应共同努力，加强这方面的研究和应用。

二、模具 CAD/CAM 的优越性

模具 CAD/CAM 的优越性赋予了它无限的生命力，使其得以迅速发展和广泛应用。无论在提高生产率、改善质量方面，还是降低成本、减轻劳动强度方面，CAD/CAM 技术的优越性是传统的模具设计制造方法所不能比拟的。

1) CAD/CAM 可以提高模具设计和制造水平，从而提高模具质量。在计算机系统内存储了各有关专业的综合性的技术知识，为模具的设计和制造工艺制定提供了科学依据。计算机与设计人员交互作用，有利于发挥人机各自的特长，是模具设计和制造工艺更加合理化。系统采用的优化设计方法有助于某些工艺参数和模具结构的优化。采用 CAM 技术极大地提高了加工能力，可加工传统方法难以加工或根本无法加工的复杂模具型腔，满足了生产需要。

2) CAD/CAM 可以节省时间，提高效率。设计计算和图样绘制的自动化大大缩短了设计时间。CAD 与 CAM 一体化可显著缩短从设计到制造的周期。例如日本利用级进模 MEL 系统

和冲孔弯曲模 PENTAX 系统，采用先进的人机交互式设计技术，使设计时间减少为原来的 1/10。

3) CAD/CAM 可以较大幅度降低成本。计算机的高速运算和自动绘图大大节省了劳动力。优化设计节省了原材料，例如冲压件毛坯优化排样可使材料利用率提高 5% ~ 7%。采用 CAM 可减少模具的加工和调试工时，使制造成本降低。由于采用 CAD/CAM 技术，生产准备时间缩短、产品更新换代加快，大大增强了产品的市场竞争能力。

4) CAD/CAM 技术将技术人员从繁冗的计算、绘图和 NC 编程中解放出来，使其可以从事更多的创造性劳动。

模具 CAD/CAM 的优越性还可以列举很多，这一高智力知识密集、更新速度快、综合性强、效益高的新技术最终将取代传统的模具设计与制造方法。

三、模具 CAD/CAM 特点

1. 模具 CAD/CAM 系统必须具备描述物体几何形状的能力

模具工作部分（凸模、凹模、型芯、型腔等）是根据产品零件的形状设计的，所以无论设计什么类型的模具，开始阶段必须提供产品零件的几何形状。这就要求模具 CAD 系统具备描述物体几何形状的能力，即几何造型功能。否则，就无法输入关于产品零件的几何信息，设计程序便无法运行。另外，为了编制 NC 加工程序、计算刀具轨迹，也需要建立模具零件的几何模型。因此，几何造型是模具 CAD/CAM 中的一个重要问题。

2. 标准化是实现模具 CAD/CAM 的必要条件

模具设计一般不具有唯一性。对于同一产品零件，不同设计人员设计的模具不尽相同。为了便于实现模具 CAD，减少数据的存储量，在建立模具 CAD 系统时首先要解决的问题便是标准化问题，包括数据准则的标准化、模具零件和模具结构的标准化。有了标准化的模具结构，在设计模具时可以选用典型的模具组合，调用标准模具零件，需要设计的只是少数工作零件。标准化工作涉及的问题较多，有技术问题，也有管理问题。目前我国已颁布“标准化法”，对已公布的模具标准，模具 CAD 中应予以贯彻使用。

模具 CAD 由于其自身的特点，要求采用系统的、定量的设计方法。因此，种类繁多的成形工艺与缺乏系统的、定量的设计方法，是建立模具 CAD 系统时遇到的一个突出矛盾，解决这一矛盾的有效途径便是成组技术（Group Technology, GT）。

成组技术用于塑性加工，就是按照成形零件的形状、尺寸和材料的不同，将其加以分类，根据各类成形零件的不同特点，采用不同的生产工艺和模具设计方法。成组技术有助于以定量的方式表述现有的设计经验，建立系统的设计方法。这样，就使得在现有技术发展水平上较容易建立模具 CAD 系统。

3. 设计准则的处理是模具 CAD 中的一个重要问题

人工设计模具所依据的设计准则大部分是以数表和线图形式给出的。在编制设计程序时，必须对这些数表和线图进行恰当处理，将其变为计算机能够处理的表达形式。程序化和公式化是处理数表或线图形式设计准则的基本方法。对于某些定性的设计准则，计算机程序无法采用，需要深入研究，总结出便于使用的定量的设计准则。有些经验准则则难以程序化和公式化，这时就需要通过人机交互方式发挥经验的作用。

4. 模具 CAD/CAM 系统应具有充分的柔性

模具的结构随产品的不同而变化，模具型面的几何形状复杂。现阶段，模具的设计方式

基本上属于经验设计，设计质量在很大程度上取决于设计者的技巧。模具的生产方式为单件的或小批量的，大量生产模具的情况极为少见。所有这些，要求模具 CAD/CAM 系统具有充分的柔性，即可以根据不同产品的特点和生产条件，灵活地作出抉择，方便地修改设计。因此，在开发模具 CAD/CAM 系统时，不仅要考虑全面的功能、较高的效率，还应提供充分的柔性。这是实用化的模具 CAD/CAM 系统所应具备的基本条件之一。

第四节 CAD/CAM 技术发展趋势

CAD/CAM 技术发展趋势主要体现在以下几个方面：

1. 集成化

自从 20 世纪 80 年代以来，计算机集成制造（Computer Integrated Manufacture，简称 CIM）技术已成为制造业应用计算机技术的主要发展方向。利用 CIM 技术建立的计算机集成制造系统（CIMS）将制造工厂的产品设计、加工制造和经营管理等各项活动集成起来，其目的是在计算机辅助下，利用最小的制造和管理资源，最优地实现企业的发展目标，获得最大的总体效益。

CIMS 一般由技术信息系统（TIS）、制造自动化系统（MAS）和管理信息系统（MIS）组成。CAD/CAM 系统为技术信息系统的主要部分。CIM 的核心技术是集成，包括物理集成、信息集成和功能集成等方面的内容，其中信息集成是实现 CIM 的基础和关键。

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。为解决产品数据交换和共享问题，国际标准化组织（ISO）根据各国有关标准制定了产品模型数据交换标准 STEP（Standard for the Exchange of Product Model Data）。STEP 不仅是产品数据交换标准，而且是信息集成技术，为开发新一代 CAD/CAM 系统提供了基础。

CIM 的产生反映了人们对制造有了更深刻的认识。从广义上讲，制造包括从产品概念形成、设计、开发、生产、销售及售后服务全过程中的一系列活动。过去将制造仅看作是物料的转换过程，即由原材料加工到装配成产品的过程。实际上，制造是一个复杂的信息流动和交换的过程，因此信息基础技术起着十分关键的作用。

CIMS 被认为是 21 世纪制造业的生产模式，工业发达国家把发展和应用 CIM 技术作为制造业的发展战略，投入了大量资金，用以推动 CIMS 的开发应用。我国也十分重视发展 CIM 技术，已把它列入我国高技术发展计划。

2. 微型化

CAD/CAM 正转向采用超级微型计算机。32 位超级微型计算机在单机功能上将达到小型机和中型机的水平，多 CPU 并行处理时的功能将达到大型机的水平。以超级微型计算机为基础的 CAD/CAM 系统不断增多，功能也在不断扩大，性能已日趋成熟，并开始广泛应用。

3. 网络化

微型计算机 CAD/CAM 系统发展的一条主要途径是网络化。由于微型机价格低廉，功能较强，可将多台微机工作站连成分布式 CAD/CAM 系统。

4. 智能化

设计制造中全盘自动化固然理想，但在今天还只能是一个追求的目标，近期难以实现。

人工智能技术是通向设计自动化的重要途径。近年来，人工智能的应用主要集中在引入知识工程，发展专家系统。专家系统的发展可扩大 CAD/CAM 的功能，有利于创造更高级的 CAD/CAM 系统。专家系统具有逻辑推理和决策判断能力，它将许多事实和有关专业的经验、准则结合在一起，应用这些事实和启发规则，根据设计目标不断缩小搜索范围，使问题得到解决，专家系统是当前研究相当活跃的一个课题。

5. 最优化

产品设计和工艺过程的最优化始终是人们追求的目标，采用传统的设计制造的模具可靠性较差。目前，大多数模具 CAD/CAM 系统中使用的设计方法和手工设计时的方法基本相同。系统采用交互方式运行，当遇到一些复杂问题时，由设计人员加以选择和判断。因此模具的可靠性仍然存在问题，难以保证一次成功。

发展塑性成形过程的计算机模拟技术是解决模具可靠性问题的重要途径。利用有限元和边界元等方法分析塑性成形过程及模拟材料的流动，从而可以检验设计的模具是否可以制造出合乎质量要求的产品。用计算机模拟技术检验设计结果，排除不可行方案，有助于获得较佳的设计，提高模具的可靠性。现在研究出模拟平面应变和轴对称变形的分析软件，已经在一定条件下进行金属塑性流动分析、塑料的流动和冷却分析，真正意义的三维流动分析技术尚未成熟，只有当完全能够模拟三维流动过程的时候，模具 CAD/CAM 技术的优越性才能得到完全的发挥。在 NC 编程时，利用仿真技术模拟加工过程，分析加工情况，判断干涉和碰撞，有利于确定最佳进给路径，保证加工质量，避免发生意外事故。近年来，加工仿真技术已得到很大发展。

6. 新型化

用于 CAD/CAM 的新型外部设备将不断问世。作为计算机外部存储器的磁盘将被存储密度为其几百倍甚至于几千倍的光盘所代替。不久，光栅扫描器的分辨率可达 4000×4000 。其它外部设备，如图形输入装置、语音识别装置、视觉追踪装置和激光打印机等亦将迅速发展，这些新型设备或技术必将促使 CAD/CAM 技术飞速发展，日新月异。

第二章 CAD/CAM 基本知识

第一节 CAD 基础

一、CAD 系统的技术构成

CAD 系统一般是由许多功能模块构成,各功能模块相互独立工作,又相互传递信息,形成一个相互协调有序的系统,这些功能模块一般有:

(1) 图形处理模块 此模块专供用户进行零件的二维图形的设计、绘制、编辑以及零部件装配图的绘制、编辑。

(2) 三维几何造型模块 此模块为用户提供一个完整、准确地描述和显示三维几何形状的方法和工具,它具有消隐、着色、浓淡处理、实体参数计算、质量特性计算等功能。

(3) 装配模块 装配模块可以完成从零件到部件或产品总成的三维装配,并可以建立产品结构的完整信息模型和产品的明细表,同时还可通过装配进行干涉检查(静态干涉检查)。

(4) 计算机辅助工程模块 此模块包含许多各自独立的子模块,如有限元分析模块,优化方法模块等。利用有限元分析模块可以进行结构件的力学、动力学和温度场分析,流体的流动特性分析等;而优化方法模块是将优化技术用于工程设计,综合多种优化计算方法,求解设计模型。

(5) 机构动态仿真模块 此模块可根据机构的装配结构,求出各构件的重心、质量、惯性矩等物理特性,并可设定各构件的运动规律和参数,进行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。

(6) 数据库模块 此模块执行对 CAD 系统进行数据处理与管理的功能。在利用 CAD 系统进行产品设计的过程中,会产生大量的数据,也需对这些数据进行一些计算处理。这些数据中有静态的数据,如标准设计数据、标准图形文件等;也有动态的数据,如设计过程中的数据。对这些数据如何描述,如何管理,就是此模块的范畴。

(7) 用户编程模块 它包括用户编程语言和图形库等。可以利用系统的此模块对 CAD 系统进行二次开发,提高 CAD 系统的用户化程度,充分发挥系统的性能和提高使用效率。

这里要指出的是,对不同的用户,所使用模块的侧重点不同,比如,对于使用 CAD 系统进行产品设计人员而言,他们的任务是如何利用 CAD 将产品快速合理设计出来,则其关心的重点是前五项功能模块的使用;而对于 CAD 系统的开发人员他们的关心重点是后两个功能模块的开发使用,即进行 CAD 系统的二次开发。本节从使用 CAD 系统角度出发,重点论述三维造型方法。

二、几何造型

几何造型也称几何建模。它是通过计算机表示、控制、分析和输出几何实体的一种技术。

产品的设计与制造涉及到产品的几何形状的描述、结构的分析、工艺设计、加工仿真等

方面的技术，其中几何形状的定义与描述是其它部分的基础，为诸如结构分析、工艺设计及加工提供基本数据。

早期的 CAD 系统只处理二维信息，设计人员通过这种 CAD 系统来设计绘制零件的投影图，以表达一个零件的形状及尺寸，而在计算机内部只记载了零件的二维数据，对于由二维向三维实体的映射由用户来完成。为了能让计算机内部自己处理三维实体，就需要解决几何建模技术问题，即以计算机能够理解的方式，对实体进行确切的定义及数学描述，再以一定的数据结构形式在计算机内部构造这种描述，用以建立该实体的模型。由于 CAD/CAE/CAM 的几何建模所提供的实体信息是结构分析、编制工艺规程及数控加工的基础，所以几何建模功能决定了 CAD/CAE/CAM 系统的水平，它也成为 CAD/CAE/CAM 系统中的关键技术。

几何建模的方法是将对实体的描述和表达建立在对几何信息、拓扑信息和特征信息处理的基础上。几何信息是实体在空间的形状、尺寸及位置的描述；拓扑信息是描述实体各分量的数目及相互之间的关系；特征信息包括实体的精度信息、材料信息等与加工有关的信息。根据对几何信息、拓扑信息和特征信息处理方法的不同，几何建模可分为线框建模、曲面建模、实体建模、特征建模等。

1. 线框建模

(1) 线框建模的原理 线框建模是利用基本线素（点、线）来定义、描述实体上的点、轮廓、交线及棱线部分而形成的立体框架图。用这种方法生成的几何模型仅描述产品的轮廓外形，在计算机内部生成的三维信息仅包含了点的坐标值以及线与点的拓扑关系（即线是由哪几点构成的），如图 2-1 所示为一物体的线框图，计算机内部存储的是点（见表 2-1）以及线与点的拓扑信息（见表 2-2）。

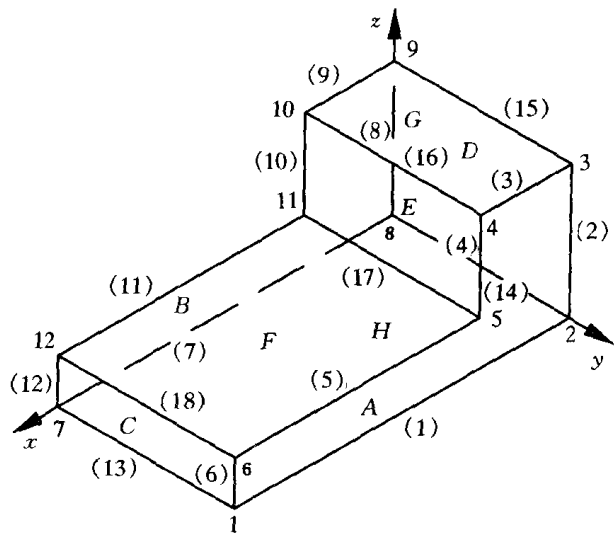


图 2-1 立方体的线框模型

表 2-1 立方体的顶点表

点号	X	Y	Z	点号	X	Y	Z	点号	X	Y	Z
1	10	6	0	5	4	6	3	9	0	0	6
2	0	6	0	6	10	6	3	10	4	0	6
3	0	6	6	7	10	0	0	11	4	0	3
4	4	6	6	8	0	0	0	12	10	0	3

表 2-2 立方体的边表

线号	线上顶点号		线号	线上顶点号		线号	线上顶点号	
1	1	2	7	7	8	13	1	7
2	2	3	8	8	9	14	2	8
3	3	4	9	9	10	15	3	9
4	4	5	10	10	11	16	4	10
5	5	6	11	11	12	17	5	11
6	6	1	12	12	7	18	6	12