

全国高等教育机电类专业规划教材

机械CAD/CAM

J I X I E C A D / C A M

第二版

明兴祖 姚建民 主编

严宏志 主审



化学工业出版社

全国高等教育机电类专业规划教材

机械 CAD/CAM

第二版

明兴祖 姚建民 主编

严宏志 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

该书由上、下两篇组成。上篇为 CAD/CAM 技术基础部分,先介绍 CAD/CAM 的基本概念、组成及基本类型、基本功能、软硬件配置和 CAD/CAM 技术的发展,然后分章介绍了数据结构与数据库技术、图形几何变换、CAD/CAM 建模技术、CAM 技术原理和 CAD/CAM 应用软件设计基础等内容。下篇为 CAD/CAM 技术应用部分,结合实例详细介绍了 MasterCAM 2D 几何绘图与编辑、2D 刀具路径生成、3D 图形构造、3D 刀具路径生成、Pro/E 软件应用等内容。

上篇 CAD/CAM 技术基础部分,主要使读者掌握机械 CAD/CAM 的基本理论知识、基本技术原理和基本技能,适当拓宽了技术平台;下篇 CAD/CAM 技术应用部分,主要结合具体的 MasterCAM 和 Pro/E 软件系统,使读者具备应用机械 CAD/CAM 技术的基本技能,突出了综合应用能力的培养。各章后均配有小结和习题,以便于读者自学和巩固所学知识。

本书是普通高等院校机电工程类本科专业机械 CAD/CAM 课程的教材,也可供研究生、电视大学和高职高专院校机电类专业的学生,以及 CAD/CAM 技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAD/CAM/明兴祖,姚建民主编. —2 版. —北京:
化学工业出版社,2009.6
全国高等教育机电类专业规划教材
ISBN 978-7-122-05618-4

I. 机… II. ①明…②姚… III. ①机械设计:计算机辅助设计-高等学校-教材②机械制造:计算机辅助制造-高等学校-教材 IV. TH122 TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 074293 号

责任编辑:高 钰
责任校对:陶燕华

文字编辑:李 娜
装帧设计:史利平

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 419 千字 2009 年 7 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:29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书自 2003 年 7 月出版以来,面向新世纪的机械 CAD/CAM 课程体系和教学内容改革不断深入,本书教学实践也取得了成果。随着机械现代技术、计算机技术和信息技术的发展,机械 CAD/CAM 技术也不断更新。为适应这种形势,编者从该课程的教育目标及知识、能力和素质结构要求出发,按照该课程新的教学大纲,在原有《机械 CAD/CAM》第一版教材内容的基础上,结合近六年的教学实践和课程教学改革成果,组织编写了该教材的第二版。此次修订,除了更正错漏之外,在内容和编排方面做了如下变动:

① 在章节内容安排上,从知识、能力和素质的循序渐进要求出发,更加科学合理地调整了章节内容顺序;

② 为加强学生机械 CAD/CAM 实践能力,突出机械 CAD/CAM 技术的综合应用水平,在教材内容上增加了 Pro/E 软件应用部分,删除了原书“CAD/CAM 建模技术”中的“装配建模技术的应用”内容;

③ 根据机械类专业的课程体系与专业培养方案,考虑该课程与数控技术等课程的衔接关系,调整了原书“CAM 技术原理”中有关内容;

④ 随着 CAD/CAM 应用软件设计技术的发展,更新了该部分有关内容;

⑤ 从实用出发,对 MasterCAM 的几何绘图与编辑、刀具路径生成等内容进行了精简。

应用 CAD/CAM 技术,首先必须熟悉其技术基础部分,包括 CAD/CAM 的基本概念和知识、数据结构与数据库技术、图形几何变换、CAD/CAM 建模技术、CAM 技术原理和 CAD/CAM 应用软件设计基础等内容。然后重点掌握 CAD/CAM 技术应用部分,包括 MasterCAM 2D 几何绘图与编辑、2D 刀具路径生成、3D 图形构造、3D 刀具路径生成、Pro/E 软件应用等内容,能综合应用 CAD/CAM 技术。

本书内容重点突出,内容层次分明,强调理论与实践相结合;文字简练,图文并茂;各章均附有小结和习题,以便于归纳总结,及时巩固所学知识。

本书第二版由明兴祖、姚建民任主编,编写具体分工为:第一章、第八章、第十章由明兴祖编写,第六章、第十一章由姚建民编写,第二章由孙晓和毛卫秀编写,第三章由孙晓和夏超文编写,第四章、第九章由朱亨荣、周奎和王建涵编写,第五章由汤迎红和刘燕明编写,第七章由汤迎红和管文华编写。全书由明兴祖负责统稿,并对第二章、第三章、第四章、第五章、第七章、第九章进行了改稿工作。本书由中南大学严宏志教授主审。

限于编者的水平和经验,书中出现的疏漏和不足恳请读者批评指正。

编 者
2009 年 4 月

目 录

上篇 CAD/CAM 技术基础

第一章 CAD/CAM 技术概述	2
第一节 CAD/CAM 的基本概念	2
一、CAD 技术	2
二、CAM 技术	2
三、CAD/CAM 技术	2
四、CAD/CAPP/CAM 集成	3
第二节 CAD/CAM 系统的组成和基本类型	4
一、CAD/CAM 系统的组成	4
二、CAD/CAM 系统的基本类型	6
第三节 CAD/CAM 作业过程及系统应 具备的基本功能	7
一、CAD/CAM 作业过程	7
二、CAD/CAM 系统应具备的基本 功能	7
第四节 CAD/CAM 系统的硬件	9
一、CAD/CAM 系统硬件的选择 原则	9
二、硬件系统的配置	9
第五节 CAD/CAM 系统的软件	10
一、系统软件	11
二、应用软件	13
第六节 CAD/CAM 技术的发展	14
本章小结	16
习题一	16
第二章 数据结构与数据库技术	17
第一节 数据结构	17
一、基本概念	17
二、线性表	18
(一) 线性表的逻辑结构	18
(二) 线性表的物理结构	18
三、栈与队列	20
(一) 栈	20

(二) 队列	21
四、数组	21
五、树	22
(一) 基本概念和术语	22
(二) 二叉树	24
六、查找与排序	27
(一) 查找	27
(二) 排序	29
第二节 数据库技术	31
一、数据库的基本原理	31
(一) 数据管理技术的发展	31
(二) 数据库的数据模型	32
(三) 数据库系统的基本组成	34
二、工程数据库概述	35
三、典型数据库管理系统简介	36
本章小结	38
习题二	39
第三章 图形几何变换	40
第一节 图形几何变换的基础知识	40
一、坐标系	40
二、齐次坐标	41
第二节 二维图形变换	41
一、二维基本变换	41
二、二维组合变换	44
第三节 三维图形变换	46
一、三维基本变换	47
二、三维投影和透视变换	50
(一) 投影变换	50
(二) 透视变换	51
第四节 图形的剪取	53
一、点的剪取	54
二、直线段的剪取	54
三、多边形的剪取	55
四、三维图形的剪取	55
本章小结	55

习题三	56	一、概述	90
第四章 CAD/CAM 建模技术	58	(一) 数控设备的产生与发展	90
第一节 CAD/CAM 几何建模	58	(二) 数控设备的工作原理、组成 与分类	90
一、自由曲线	58	(三) 数控机床的坐标系统	93
(一) 自由曲线概述	58	二、数控加工基础	94
(二) 常用自由曲线	59	三、数控程序编制	96
二、线框建模	62	(一) 程序编制的内容与步骤	96
三、曲面建模	63	(二) 程序编制过程中的工艺 处理	96
(一) 基本概念	63	(三) 程序编制的代码标准	97
(二) 曲面的种类与特征	63	(四) NC 程序的结构	98
(三) 曲面的数学化	65	(五) NC 程序的常用功能字	98
(四) 曲面的性质	67	(六) 程序编制中的误差	100
四、实体建模	67	四、数控自动编程	101
(一) 边界表示法	67	(一) 实现自动编程的环境要求	101
(二) 构造实体几何法	68	(二) 自动编程的分类	102
(三) 扫描表示法	68	(三) 图形交互式自动编程系统	102
第二节 特征建模与参数化设计	70	(四) 自动编程的发展	103
一、特征建模	70	本章小结	104
(一) 特征的概念与分类	70	习题五	104
(二) 特征的表达方法	71	第六章 CAD/CAM 应用软件设计 基础	106
(三) 特征建模的过程	72	第一节 CAD/CAM 应用软件和 程序设计语言	106
(四) 特征建模的特点	72	一、CAD/CAM 应用软件总体 设计	106
二、参数化设计	73	二、常用程序设计语言及选用	108
第三节 装配建模技术	75	三、CAD/CAM 系统中的应用软件 设计	109
一、装配建模技术概述	75	第二节 产品数据交换技术	110
(一) 装配约束技术	76	一、IGES 标准	111
(二) 装配树管理技术	76	二、STEP 标准	112
二、装配模型的管理、分析及使用	77	三、DXF	115
(一) 装配模型的管理	77	第三节 用户接口与交互技术	115
(二) 装配模型的分析及使用	77	一、用户接口常用形式	115
三、装配建模的一般方法	78	二、交互技术	116
本章小结	78	第四节 软件工程基础	117
习题四	79	一、软件工程规范	117
第五章 CAM 技术原理	80	二、软件工程时间和阶段的划分	118
第一节 计算机辅助工艺设计	80	三、CAD/CAM 软件工程的特点	120
一、概述	80		
二、CAPP 系统的零件信息描述与 输入	82		
三、派生式 CAPP 系统	83		
四、创成式 CAPP 系统	88		
第二节 数控加工及程序编制	90		

本章小结	121	二、切削方式	154
习题六	121	三、岛屿与区域	154
下篇 CAD/CAM 技术应用		四、加工顺序	154
第七章 MasterCAM 2D 几何绘图与编辑	123	五、深度 (Z 值) 控制	154
第一节 MasterCAM 软件系统概述	123	六、挖槽实例	155
一、MasterCAM 的主要特点与功能	123	第四节 钻孔模组	156
二、MasterCAM 产生 NC 的工作程序	123	一、钻孔参数	156
三、MasterCAM 工作环境	124	二、注意方面	158
第二节 MasterCAM 2D 几何绘图	127	三、钻孔实例	158
一、2D 基本绘图功能表	127	第五节 刻文字	162
二、曲线子功能表	129	一、文字尺寸和间距	162
三、曲面曲线子功能表	129	二、文字布局形式	162
四、文字子功能表	131	三、刻文字实例	163
五、二维绘图实例	132	本章小结	165
第三节 MasterCAM 图形编辑	133	习题八	166
一、修整功能	134	第九章 MasterCAM 3D 图形构造	168
二、转换功能	135	第一节 MasterCAM 3D 构图基础	168
三、删除功能	135	一、3D 造型模型	168
四、二维图形编辑实例	136	二、构图平面	168
本章小结	138	三、Z 深度的控制	170
习题七	138	四、3D 线框模型的构造实例	170
第八章 MasterCAM 2D 刀具路径生成	141	第二节 3D 曲面构造与编辑	174
第一节 2D 刀具路径模组及其共同参数	141	一、3D 曲面概述	174
一、刀具补正	141	二、常见曲面构造	174
二、刀具数据	142	三、曲面的编辑	180
三、切削加工参数	143	(一) 曲面倒圆角	180
四、坐标设定	144	(二) 曲面补正	181
五、刀具显示与进/退刀向量	145	(三) 曲面修整	181
六、外形定义	145	(四) 熔接曲面	184
七、后置处理	145	四、3D 图形构造综合实例	185
第二节 外形铣削模组	146	本章小结	190
一、进/退刀向量	146	习题九	190
二、刀具路径参数	147	第十章 MasterCAM 3D 刀具路径生成	192
三、外形铣削实例	147	第一节 产生 3D 刀具路径的两种方法	192
第三节 挖槽模组	152	第二节 用线框法产生刀具路径	192
一、挖槽参数	152	一、3D 刀具路径的共同参数	192
		二、刀具路径模组	194
		第三节 曲面模型产生 3D 刀具路径	195

一、面铣加工.....	195	二、Pro/E 操作界面	219
二、曲面粗加工.....	197	三、基准、轴和坐标系.....	220
(一) 平行铣削	197	四、草绘器.....	221
(二) 放射状加工	200	第二节 Pro/E 建模	223
(三) 投影加工	201	一、屏幕零件的建模.....	223
(四) 曲面流线	202	二、听筒零件的建模.....	226
(五) 等高外形加工	203	三、麦克风零件的建模.....	228
(六) 挖槽粗加工	204	四、PC 板零件的建模	231
(七) 钻削式加工	205	五、天线零件的建模.....	234
三、曲面精加工.....	206	六、键盘零件的建模.....	236
第四节 多轴加工	211	七、后盖零件的建模.....	239
第五节 投影加工与路径修剪	212	八、前盖零件的建模.....	245
一、投影加工.....	212	第三节 Pro/E 装配	252
二、路径修剪.....	214	一、组件约束.....	252
第六节 自动编程系统综合应用	215	二、放置基础元件.....	253
本章小结	218	三、将元件装配到基础元件.....	253
习题十	218	四、创建组件的分解视图.....	258
第十一章 Pro/E 软件应用	219	本章小结	259
第一节 Pro/E 软件简介	219	习题十一	259
一、Pro/E 的功能与特点	219	参考文献	262

上篇

CAD/CAM 技术基础

第一章 CAD/CAM 技术概述

第一节 CAD/CAM 的基本概念

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 缩写为 CAD) 和计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, 缩写为 CAM), 简称 CAD/CAM, 是一项利用计算机协助人们完成产品设计与制造的技术。CAD/CAM 技术是现代制造技术的核心技术, 于 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大工程技术成就之一, 实现了设计和制造过程的自动化和信息的集成化。

一、CAD 技术

CAD 是利用计算机完成产品设计的过程。它的功能可归为建立几何模型、工程分析、动态模拟和自动绘图等四类。因而, 一个完整的 CAD 系统, 应由科学计算、图形系统和工程数据库等组成。

科学计算包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等; 图形系统包括几何 (特征) 造型、自动绘图 (含 2D 工程图、3D 实体图等)、动态仿真等; 工程数据库是对设计过程中需要使用和产生的数据、图形、文档等进行输入输出和管理。

如在 CAD 中, 加入专家系统和人工智能技术, 则可大大提高设计的自动化水平, 对产品进行总体方案设计。

二、CAM 技术

CAM 目前没有统一的定义, 一般是指利用计算机在产品制造方面的总称, 有狭义和广义之分。狭义 CAM 通常仅指数控程序的编制, 包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹的仿真和 NC (Numerical Control) 代码的生成等。广义 CAM 是指利用计算机进行与制造过程直接或间接有关的活动, 包括工艺准备 [如计算机辅助工艺设计 CAPP (Computer Aided Process Planning)、计算机辅助工装设计与制造、NC 编程、工时定额和材料定额编制等]、生产作业计划、物料作业计划 (加工、装配、检测、输送、存储等) 的运行控制、生产过程控制和质量控制等。

三、CAD/CAM 技术

CAD/CAM 是指以计算机为工具来生成和运用各种数字信息与图形信息, 以进行产品设计与制造的全过程, 包括方案设计、总体设计和零部件设计以及加工和装配等。

CAD/CAM 技术是一项综合性的、技术复杂的系统工程, 涉及许多学科领域, 如计算科学、工程、计算数学、几何造型、计算机图形显示、数据结构和数据库, 仿真、数控、

机器人和人工智能学科和技术以及与产品设计和制造有关的专业知识等，它广泛用于宇航、电子、机械制造、服装、装饰、家具和制鞋等领域。另外，该技术是柔性制造系统（Flexible Manufacturing System，缩写为 FMS）和计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System，缩写为 CIMS）的技术基础之一。

四、CAD/CAPP/CAM 集成

产品生产过程如图 1-1 所示，产品从市场需求分析开始，经过设计过程和制造过程，使之从抽象的概念变成具体的最终产品。这一过程具体包括产品设计、工艺过程设计、数控编程、加工、检测和装配等阶段。所谓 CAD/CAPP/CAM 集成，就是将计算机辅助产品设计（CAD）、计算机辅助工艺过程设计（CAPP）、计算机辅助数控编程（狭义 CAM）以及零件加工等有关信息实现自动传递和转换的技术，如图 1-2 所示。



图 1-1 产品生产过程

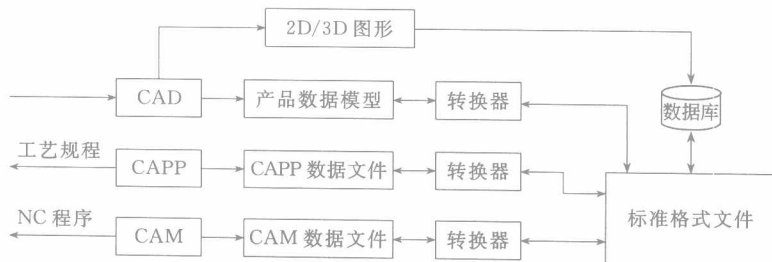


图 1-2 CAD/CAPP/CAM 系统间的信息集成

集成化的 CAD/CAPP/CAM 系统，其基本工作步骤是：①CAD 过程设计产品结构，绘制产品图形，并为 CAPP、CAM 过程准备设计数据；②生成标准化的数据结构（如生成 STEP 文件），并经过接口进行数据转换；③CAPP 系统直接读入 CAD 系统生成的并经过转换的数据，生成零件加工工艺规程，并按一定的标准，将数控编程所需的数据转换成相应的中性文件；④CAM 系统读入 CAPP 系统生成的中性文件，并将其转换为本系统所需的形式，自动生成加工零件的数控程序。

自 20 世纪 90 年代后，出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统 CIMS，它将一个制造工厂的生产活动进行有机的集成，以实现更高效益、更高柔性的智能化生产。图 1-3 所示是一个企业的计算机集成制造系统 CIMS 的略图，其中 CAD/CAPP/CAM 集成系统是 CIMS 的一个核心子系统。另外，管理信息系统 MIS（Management Information System）和制造自动化系统 MAS（Manufacturing Automation System）也是 CIMS 的子系统。

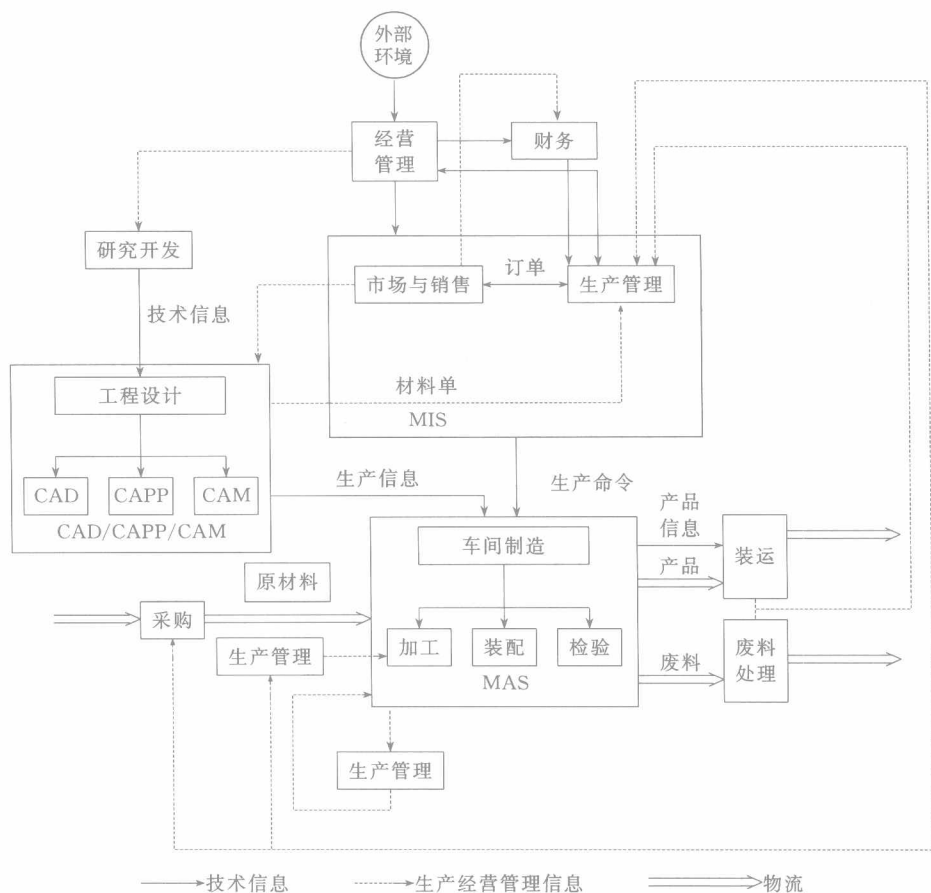


图 1-3 计算机集成制造系统 (CIMS)

第二节 CAD/CAM 系统的组成和基本类型

一、CAD/CAM 系统的组成

一般来说, CAD/CAM 系统由硬件系统和软件系统组成,如图 1-4 所示。由于使用要求的不同,其硬件和软件的配置也有所不同,但其基本的组成模块都大同小异。

CAD/CAM 系统的硬件系统由计算机（或工作站）及其外围设备组成，如图 1-5 所示。其中外围设备主要包括输入/输出设备和数控设备等。图中扫描仪和电视摄像机可以输入二维结构和图像，而且通过采用纹理映射技术，系统可以模拟待设计形体的各种曲面外形。数控设备直接与主机相连，通过数控加工模块或数控加工文件产生刀具轨迹信息，进行数控加工。

CAD/CAM 的软件系统由系统软件和应用软件组成。系统软件是直接和计算机硬件发生关系的软件,起到管理系统和减轻应用软件负担的作用,它一般包括操作系统、高级语言编译系统等。常见的操作系统有 DOS、UNIX 和 Windows 等。对于工程工作站的主流操作系统主要是 UNIX,微型计算机的操作系统 MS-DOS 已被 Windows 所代替,20 世纪 90 年代中期以后推出的微机 CAD/CAM 系统一般均在 Windows 95、Windows 98 和 NT 等平台

上运行。

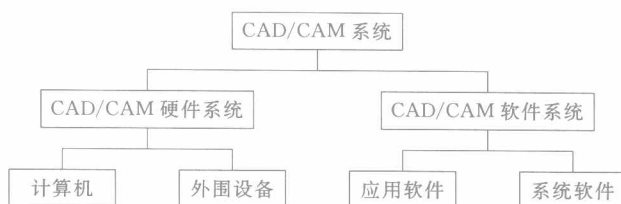


图 1-4 CAD/CAM 系统的基本结构

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，还提供了各种支撑软件，如图形支撑软件 Graphics Library (GL)，它是三维图形系统的开发工具，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由功能型高级语言（如 BASIC、FORTRAN、C 等）向面向对象的开发工具（如 C++ 等）语言和编译系统发展。

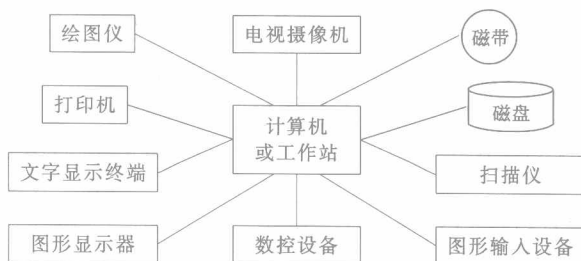


图 1-5 CAD/CAM 系统的硬件组成

应用软件需要通过系统软件才能与计算机硬件发生关系，用户可根据本企业的产品特点进行自行开发。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 UG II 的 GRIP、AutoCAD 的 LISP 语言和 ADS 环境等。基于 UPL 开发的应用软件可与 CAD/CAM 支撑软件系统集成一体，具有良好的用户界面，这样增强和扩充了 CAD/CAM 软件系统的功能。应用软件可以是自动编程软件，包括识别处理由数控语言编写的源程序的语言软件（如 APT 语言软件）和各类 CAD/CAM 软件；其他工具软件和用于控制数控机床的零件数控加工程序也属于应用软件。

CAD/CAM 软件系统的配置，根据用户要求的不同，其差异较大，基本的模块组成如图 1-6 所示，包括如下模块。

① 三维交互造型模块，包括实体造型和曲面造型。

② 工程绘图模块，绘图并自动标注尺寸。

③ 数控加工模块，使机床按用户给定的条件和要求加工零件。

④ 设计仿真模块，使产品可视化。

⑤ 浓淡处理模块，在绘图过程中，应用 Lexidata 图形终端指令，系统能自动生成一个具有浓淡处理效果的图像。

⑥ 动态仿真模块，用于检查干涉及碰撞。

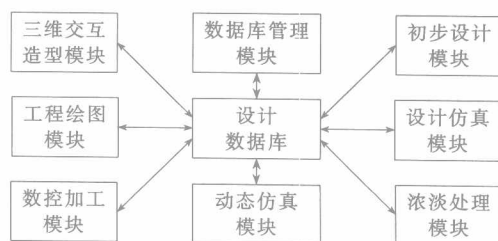


图 1-6 CAD/CAM 系统的软件配置

二、CAD/CAM 系统的基本类型

CAD/CAM 系统的类型可按系统的功能和系统的硬件配置进行分类。按系统的功能,一般可分为通用型 CAD/CAM 系统和专用型 CAD/CAM 系统。通用型 CAD/CAM 系统的功能适应范围广,其硬件和软件配置也较丰富。而专用型 CAD/CAM 系统是为了实现某种特殊功能的系统,其硬、软件配置相对简单,但要符合特殊功能的要求。

按系统的主要硬件配置——计算机的类型不同,一般可分为以下三类。

1. 大型机 CAD/CAM 系统 (Main Frame System)

该系统一般是采用具有大容量的存储器和极强计算功能的大型通用计算机为主机,一台计算机可以连接几十至几百个图形终端和字符终端及其他图形输入输出设备。大型机 CAD/CAM 系统的主要优点是:系统具有一个大型的数据库,可以对整个系统的数据库实行综合管理和维护;计算速度极快。其主要缺点是:如果 CPU 失效,则整个用户都不能工作;由于计算机数据库处于中央位置,计算机数据容易被破坏;终端距离不能太远;随着计算机的总负荷增加,系统的响应速度将降低,这种现象在三维造型和复杂有限元分析时尤为突出。

这种系统的主机通常为大型计算机,如 IBM 公司的 IBM43 $\times\times$ 、30 $\times\times$ 和 3090E 系列,DEC 公司的 VAX8800、9000 系列等大型机,软件系统主要有美国洛克希德公司的 CADAM 和麦道公司的 UG II 及法国达索公司的 CATIA 等,一般用于院校、研究机构 and 大型企业。

2. 小型机和微型机 CAD/CAM 系统

生产和制造小型机 CAD/CAM 系统 (Turn Key System) 的厂商很多,曾经出现的,如美国的 CV, Intergraph, Calma, Applicon, Autotrol, Unigraphics, DEC 等公司,它们大致可分为两种类型。CV 公司生产的是属于全封闭的系统,典型的产品有 CADDS 4 系统。另外一些厂商,如 Intergraph, Calma, Applicon 等公司,则采用了与 CV 公司完全不同的策略,即选择通用的计算机(如 VAX 计算机)作为系统的硬件环境,自己根据需要研制和生产一些专用的图形处理设备和高性能的图形显示器等,重点把精力放在软件的研制上,使软件的移植性较好。后来 CV 公司也逐渐改变了原来的策略,向具有兼容性的硬件环境方向发展。

我国在“七五”期间使用较多的 DEC 公司的 VAX 计算机属于超小型机计算机,现在大都已经落后。随着微机性能的不断提高、价格低廉、使用方便,故小型机 CAD/CAM 系统将越来越少,逐步被微型机 CAD/CAM 系统 (PC CAD/CAM System) 和 workstation 组成的 CAD/CAM 系统所代替。

3. workstation 组成的 CAD/CAM 系统 (Work Station System)

workstation 是具有计算、图形交互处理功能的计算机系统,其硬件(包括外围设备)和软件全部配套供应。一台 workstation 只能一人使用,具有联网功能,其处理速度很快,曾经出现的,如 Sun Sparc 系列 workstation 的 CPU 处理速度已达到 28.5MIPS (Million of Instructions Per Second, 百万指令每秒)。当前某些高档 workstation 一般都采用 RISC (Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集计算机)技术和开放系统的设计原则,用 UNIX 作为其操作系统,其处理速度更高,甚至超过小巨机的水平。

这种系统特别适合中小型企业。在大型企业中,合理使用这种系统,可以减轻计算机主机的负担,降低 CAD/CAM 费用。国内外应用较多的 workstation 型号有美国的 Apollo、SUN、

HP、VAX 和 SGI。高档型的工作站都有 3D 图形加速器（如 Turbo GX、SX、ZX 等），可支持实时动态显示。

第三节 CAD/CAM 作业过程及系统应具备的基本功能

一、CAD/CAM 作业过程

CAD/CAM 技术是计算机在工程产品设计和制造中的应用。设计过程中的需求分析、可行性分析、方案论证、总体设计、分析计算和评价以及设计定型后产品信息传递等，都可以由 CAD/CAM 系统完成。在设计过程中，利用交互设计技术，在完成某一设计阶段后，可以把中间结果以图形方式显示在图形终端的屏幕上，以供设计者直观地分析和判断。如判断后认为需要进行某些方面的修改，可以立即把要修改的参数输入计算机以进行处理，再输出结果，再判断，再修改，反复进行这一过程，直至取得理想的结果为止，最后通过输出设备供制造过程应用。CAD/CAM 应用于整个设计与制造过程的流程如图 1-7 所示。

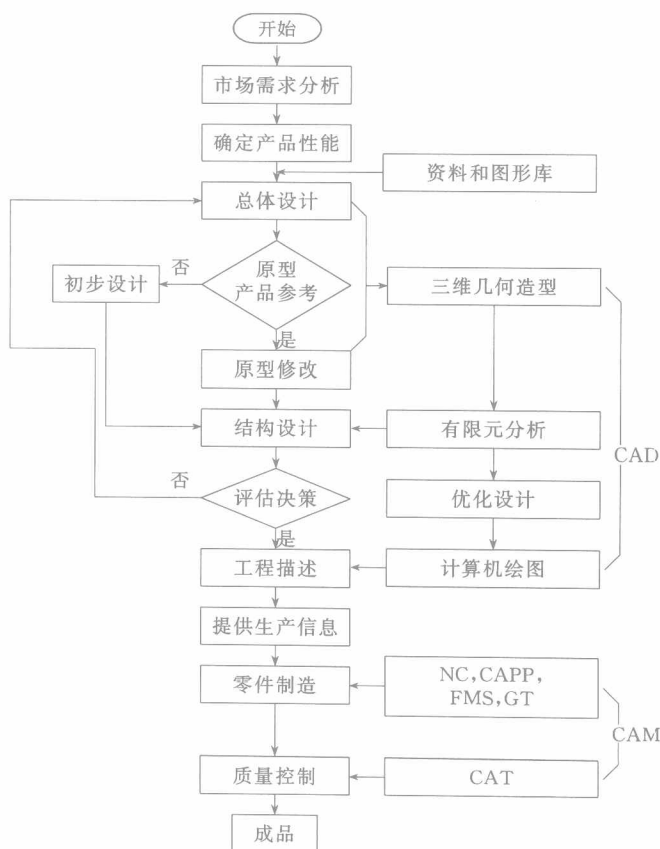


图 1-7 CAD/CAM 应用于设计与制造过程的流程

二、CAD/CAM 系统应具备的基本功能

不同的 CAD/CAM 系统一般有不同的功能要求，但对于机械 CAD/CAM 系统，应具备

如下方面的基本功能。

1. 几何造型功能

几何造型是 CAD/CAM 系统图形处理的核心, 通常包括曲线与曲面造型和实体造型等。

(1) 曲线与曲面造型 (Curve-Surface Modeling) 根据给定的离散点和工程问题的边界条件, 构造所需的曲线和曲面, 如 Spline 曲线、昆氏曲面 (Coons surface)、贝塞尔曲面 (Bezier surface)、B 样条曲面 (B-Spline surface)、非制式曲面 (Non-Uniform Rational B-Spline surface, 简称 NURBS surface) 等。

(2) 实体造型 (Solid Modeling) 具有定义和生成体素的能力, 以及用构造实体几何法 CSG (Construction Solid Geometry)、边界表示法 B-rep (Boundary representation) 等构造实体模型的能力, 并且各种表示方法之间能相互转换。集合运算是实体造型的核心, 其运算能力和可靠性及效率对系统的性能影响较大。另外, 为实时地观察、检查设计对象是否正确, 并真实地表示出设计对象的形态, 造型系统必须具有真实感显示功能, 如消除隐线 (面)、色彩明暗处理 (Shading) 的能力。另外, 为了防止有关零部件发生干涉, 系统须具有空间布局和干涉检查功能。

2. 2D 与 3D 图形的相互转换

设计过程是一个反复修改、逐步逼近的过程。在产品总体设计或结构设计时, 有时为了便于观察和修改, 一般采用 3D 图形表示。而设计结束后, 为了加工制造和图纸管理, 往往要求输出 2D 的工程图纸。这就要求系统具有 2D 与 3D 图形的相互转换功能。

3. 参数化设计

具有参数化设计功能的 CAD/CAM 系统, 能使产品的 3D (包括 2D) 模型参数化, 设计师在任何阶段修改尺寸, 系统会自动完成相应实体形状的改变; 能真正将初次设计从生产过程中分离出来, 通过标准化减少零件的数量, 增加设计成果的储备, 以最快的速度适应市场变化, 满足用户的需求。

4. 有限元分析

系统能对整个产品 (工程) 及其重要零部件进行静、动力 (应力、应变和系统固有频率) 的分析计算; 对高温工作的产品, 还要进行热变形 (热应力、应变) 分析计算; 在电子工程设计中, 有时还要进行电磁场的分析计算; 在飞行器或水利工程设计中, 还要对流场及其流动特性进行分析计算。特别是对一些复杂构件, 用有限元分析计算不仅简单, 而且精度较高。一个较完善的有限元分析系统应包括前处理、分析计算和后处理三个部分。前处理是对被分析的对象进行有限元网格自动划分, 分析计算是计算应力、应变、固有频率等数值, 后处理是对计算的结果用图形 (等应力线、等温度线等) 或用深浅不同的颜色来表示应力、应变、温度值等。

5. 优化设计

优化设计是现代设计方法的一个组成部分。一个产品 (工程) 的设计实际上就是寻优的过程, 即在某些条件的限制下使产品 (工程) 的设计指标达到最佳。

6. 物体几何特性计算功能

根据几何模型计算相应物体的体积、质量、表面积、重心、转动惯量、回转半径等几何特性, 为工程分析提供必要的基本参数和数据。

7. 图形处理和二次开发功能

包括画图、编辑功能, 图形输出, 标准件参数化图素, 各类特征符号库; 为了满足各行

各业、各种情况的需要, CAD/CAM 系统须提供先进、实用的二次开发工具。

8. 数据处理和数据交换功能

系统应具有处理和管理有关产品设计、制造等方面信息的能力, 以实现设计、制造、管理的信息共享, 并达到自动检索、快速存取、不同系统间传输和交换的目的。为了统一管理这些信息和数据, 在 CAD/CAM 系统中须具有一个工程数据库管理系统 (EDBMS) 以及在其管理之下的工程数据库。

9. 处理数控加工信息的功能

系统应具有二至五坐标数控机床加工零件的处理能力, 其中包括自动编程和动态模拟加工过程的功能。

第四节 CAD/CAM 系统的硬件

下面主要讨论 CAD/CAM 系统硬件的选择原则和硬件系统的配置。

一、CAD/CAM 系统硬件的选择原则

在选择 CAD/CAM 系统硬件时, 首先要满足它所服务的对象, 即充分考虑产品的设计和制造的作业性质和技术水平及工作量; 其次又要适应 CAD/CAM 技术的发展水平。因此在选择硬件系统时要特别注意其工作能力、经济性、工作可靠性、使用及维护的方便性、标准化程度及可扩展性、工作环境要求、配套或可选的软件等。

CAD/CAM 系统中硬件的选配与系统规模有关, 而系统规模决定于所要求的工作能力, 即几何造型能力、计算分析功能与速度以及数据库的容量。一般将系统相对地分为较大规模、中等规模和较小规模等三个档次。对于较大规模的系统应具有较强的 3D 几何造型与编辑和显示功能以及计算速度快的大容量存储器的计算机; 对于中等规模的系统, 对 3D 几何造型功能的要求不太高, 但要具有 2D 交互图形设计和绘图能力, 需配置中等计算速度和内存的计算机; 对于较小规模的系统, 目前的微机即可满足要求。

二、硬件系统的配置

CAD/CAM 系统的硬件一般包括计算机 (或工作站) 和有关的外围设备 (如输入输出设备和数控设备等), 其中计算机是 CAD/CAM 系统的核心和基本组成部分。图 1-8 为 CAD/CAM 系统中的一种 PC 机硬件系统的配置。

1. 计算机

(1) CAD/CAM 系统对计算机的要求
CAD/CAM 系统一般要求计算机具有运行速度快、大容量存储功能, 随着计算机的不断发展, 这些要求的指标也不断提高。

(2) 用于 CAD/CAM 系统的计算机 根据计算机的性能, 用于 CAD/CAM 系统的计算机一般分为大型计算机与小巨机、小型机、工作站和微机四种类型。其中大型计算机与小



图 1-8 CAD/CAM 系统中一种
PC 机硬件系统的配置