



应用型数控、模具专业基础课系列教材

计算机辅助设计与制造

李平 / 主编

Jisuanji Fuzhu
Sheji Yu Zhizao

华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

应用型数控、模具专业基础课系列教材

计算机辅助设计与制造

主 编 李 平 贾伟杰

参 编 谭爱兰 李知贵

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计与制造/李 平 贾伟杰 主编

武汉:华中科技大学出版社,2005年9月

ISBN 7-5609-3435-8

I. 计…

II. ①李… ②贾… ③谭… ④李…

III. 计算机辅助设计;计算机辅助制造

IV. TP391.7

计算机辅助设计与制造

李 平 贾伟杰 主编

责任编辑:叶见欣

封面设计:刘 卉

责任校对:陈 骏

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华大图文设计室

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:23.75

字数:445 000

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

定价:35.50元

ISBN 7-5609-3435-8/TP·573

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是根据高等职业技术教学要求编写的。全书共 12 章,内容包括 CAD/CAM 概论、CAD/CAM 应用软件设计基础、CAD/CAM 中的数据结构与数据库技术、几何造型和特征建模、计算机图形处理基础、CAM 技术原理、CAD/CAM 系统集成、CAXA 制造工程师 XP 概述、线架造型、曲面造型、实体特征造型、零件的加工方法。

本书可作为高职、高专数控技术和模具技术专业的教材,也可用做机械工程学科的各类专业的参考教材。

前 言

计算机辅助设计与制造(简称CAD/CAM)技术的迅速发展,正推动着制造领域从产品设计制造到技术管理一系列深刻的变革,该技术已应用到几乎所有工程领域。在CIMS、敏捷制造、网络制造等先进制造模式中,CAD/CAM是最基础的技术,其应用和发展水平已是衡量一个国家科技和工业现代化水平的重要标志之一。因此,开设本门课程,不但有益于培养工程专业学生的工程素质,而且对很多非工程专业学生的综合素质培养也是十分有益的。

在编写时,我们从高职教育的实际出发,以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点,以加强针对性和实用性作为编写教材的指导思想。

本书结合当前CAD/CAM技术的发展水平,从基本原理出发,介绍了CAD/CAM技术的主要组成部分。书中介绍了CAD/CAM的概念和CAD/CAM系统的软、硬件组成,CAD/CAM几个组成的核心部分,CAD/CAM的几何模型、CAD/CAM系统的图形功能、CAD/CAM的工程分析、计算机辅助工艺过程设计和CAD/CAM中的数控编程技术,CAD/CAM集成的概念与方法,然后,以国内著名的CAD/CAM技术软件CAXA制造工程师为重点,介绍了二维几何绘图与编辑、三维图形构造、三维刀具路径的生成、铣削自动编程等内容。

本书重点突出,层次分明,理论与实践结合,文字简练,图文并茂。各章均有习题,可及时巩固所学知识。

本书由李平、贾伟杰任主编,其中第1章由李知贵编写,第2章、第3章由谭爱兰编写,第4章至第7章由李平编写,第8章至第12章由贾伟杰编写。全书由李平负责统稿。

由于编者水平有限,加上CAD/CAM技术发展很快,书中难免有缺点和不当之处,敬请读者批评指正。

编者

2005年8月

目 录

第1章 CAD/CAM 概论	(1)
1.1 CAD/CAM 的基本概念	(1)
1.2 CAD/CAM 作业过程及系统的基本功能	(3)
1.3 CAD/CAM 系统的组成和基本类型	(8)
1.4 CAD/CAM 系统的硬件	(11)
1.5 CAD/CAM 系统的软件	(20)
1.6 CAD/CAM 技术的发展	(29)
习题一	(31)
第2章 CAD/CAM 系统应用软件设计基础	(32)
2.1 CAD/CAM 系统应用软件开发和程序设计语言	(32)
2.2 计算机辅助软件工程技术.....	(40)
2.3 产品数据交换技术.....	(43)
2.4 用户接口与交互技术.....	(49)
2.5 软件开发标准规范与文件管理.....	(52)
习题二	(55)
第3章 CAD/CAM 系统的数据结构与数据库技术	(56)
3.1 CAD/CAM 系统的数据结构	(56)
3.2 CAD/CAM 系统的数据库技术	(68)
3.3 设计资料数据处理的主要方法.....	(82)
习题三	(86)
第4章 几何造型和特征建模	(87)
4.1 几何造型概述.....	(87)
4.2 几何造型基础.....	(88)
4.3 几何造型.....	(96)
4.4 实体造型.....	(98)
4.5 特征建模	(100)
习题四.....	(101)
第5章 计算机图形处理基础	(102)
5.1 图形几何变换的基础知识	(102)

5.2	2D 图形变换	(103)
5.3	3D 图形变换	(108)
5.4	图形处理的有关概念	(115)
	习题五	(120)
第6章	CAM 技术原理	(122)
6.1	计算机辅助工艺设计	(122)
6.2	数控编程基础	(135)
6.3	自动编程系统	(145)
	习题六	(152)
第7章	CAD/CAM 系统集成	(153)
7.1	CAD/CAM 集成的概念	(153)
7.2	CAD/CAM 集成方法	(159)
7.3	基于产品数据管理的CAD/CAM 集成	(162)
	习题七	(167)
第8章	CAXA 制造工程师 XP 概述	(168)
8.1	CAXA 制造工程师 XP 的特点	(168)
8.2	启动CAXA 制造工程师	(169)
8.3	CAXA 制造工程师用户界面	(171)
8.4	CAXA 的基本操作	(174)
	习题八	(182)
第9章	线架造型	(183)
9.1	直线	(183)
9.2	圆弧	(189)
9.3	圆	(192)
9.4	矩形	(192)
9.5	椭圆	(193)
9.6	样条	(194)
9.7	点	(195)
9.8	公式曲线	(196)
9.9	多边形	(198)
9.10	二次曲线	(198)
9.11	等距线	(199)
9.12	曲线投影	(201)
9.13	相关线	(201)

9.14 文字	(203)
9.15 曲线编辑	(205)
9.16 几何变换	(211)
习题九	(217)
第10章 曲面造型	(219)
10.1 直纹面	(219)
10.2 旋转面	(221)
10.3 扫描面	(222)
10.4 导动面	(223)
10.5 等距面	(228)
10.6 平面	(229)
10.7 边界面	(231)
10.8 放样面	(232)
10.9 网格面	(233)
10.10 曲面编辑	(234)
习题十	(256)
第11章 实体特征造型	(257)
11.1 拉伸增料	(257)
11.2 拉伸除料	(259)
11.3 旋转增料	(261)
11.4 旋转除料	(262)
11.5 放样增料	(263)
11.6 放样除料	(264)
11.7 导动增料	(265)
11.8 导动除料	(266)
11.9 曲面加厚增料	(267)
11.10 曲面加厚除料	(268)
11.11 曲面裁剪	(269)
11.12 处理特征	(270)
习题十一	(280)
第12章 零件的加工方法	(283)
12.1 刀具轨迹的生成	(283)
12.2 知识库加工	(329)
12.3 后置处理与加工代码	(333)

12.4 加工轨迹编辑.....	(344)
12.5 五角星的造型与加工.....	(352)
习题十二.....	(370)
参考文献.....	(372)

第1章 CAD/CAM 概论

CAD/CAM 是由多学科和多项技术综合形成的一项技术科学,是当今世界发展最快的技术之一,它促进了生产模式的转变和制造业市场形势的变化。

1.1 CAD/CAM 的基本概念

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),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。制造技术是工业发展的基础,CAD/CAM技术则是现代制造技术的核心技术,实现了设计和制造过程的自动化和信息的集成化。

1.1.1 CAD 技术

CAD 是指工程技术人员利用计算机来完成产品设计过程的各项工作,如草图绘制、零件设计、装配设计、工装设计、工程分析等。它的功能可归纳为建立几何模型、工程分析、动态模拟和自动绘图等四类。因此,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。科学计算用于有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等;图形系统用于几何(特征)造型、自动绘图、动态仿真等;工程数据库用于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。

1.1.2 CAM 技术

CAM 目前没有统一的定义,一般是指将计算机应用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,数控)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相关的活动,包括工艺准备(如计算机辅助工艺设计(Computer Aided Process Planning,简称CAPP)、计算机辅助工艺设计与制造、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。

1.1.3 CAD/CAM 技术

CAD/CAM 是指以计算机为工具来生成和动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 是一项综合性的、技术复杂的系统工程,涉及许多学科领域,如计算机科学与工程、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,简称FMS)和计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System,简称CIMS)的技术基础之一,是现代制造技术的基础核心技术。

1.1.4 CAD/CAPP/CAM 集成

一般的产品生产过程如图1-1所示。从市场需求分析开始,经过设计过程和制造过程,使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、数据编程、加工、检测和装配等阶段。

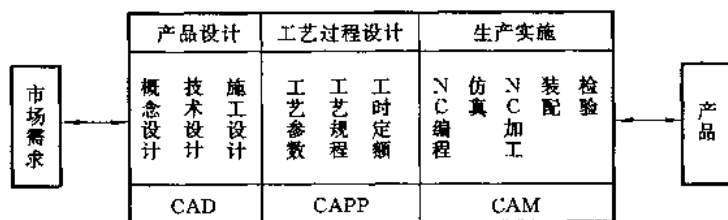


图1-1 产品生产过程

所谓CAD/CAPP/CAM集成,就是将CAD、CAPP、计算机辅助数控编程以及零件加工等相关信息集成起来实现自动传递和转换的技术,如图1-2所示。

集成化的CAD/CAPP/CAM系统,其基本工作步骤如下。

- ① 应用CAD系统设计产品结构,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。
- ③ 应用CAPP系统直接读取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据编程所需的数据转换成相应的中性文件。
- ④ 应用CAM系统读入CAPP系统生成的中性文件,并将其转换为本系统所

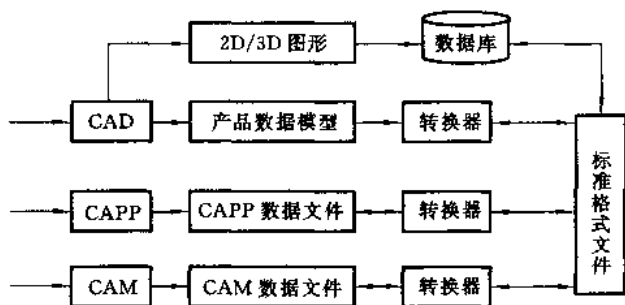


图 1-2 CAD/CAPP/CAM 系统间的信息集成

需的形式,自动生成加工零件的数据程序。

1.2 CAD/CAM 作业过程及系统的基本功能

1.2.1 CAD/CAM 工作过程

CAD/CAM 是辅助人们完成产品设计、制造各个环节的信息处理和辅助决策的技术,它克服了传统手工设计和信息处理的许多缺陷,充分利用计算机的信息处理与存储管理能力,结合人的经验、知识及创造性,形成一个人机交互、各取所长、紧密配合的系统。它主要研究对象的描述、系统的分析、方案的优化、计算分析、工艺设计、仿真模拟、NC 编程以及图形处理等理论和工程方法,输入的是设计要求,输出的是制造加工信息,如图 1-3 所示。

CAD/CAM 系统的工作过程包括以下几个方面。

① 通过调查市场需求以及用户对产品性能的要求,向 CAD 系统输入设计要求,利用几何建模功能构造出产品的几何模型,计算机将此模型转换为内部的数据信息存储在系统中。

② 调用系统程序中的各种应用程序对产品模型进行详细设计、计算及结构与方案优化分析,确定产品总体设计方案及零部件的结构和主要参数,同时调用系统中的图形库,将设计的初步结果以图形的方式输出在显示器上。

③ 根据屏幕显示结果,对设计的初步结果做出判断。如果不满意,则可以通过人机交互方式进行修改,直至满意为止。修改后的数据仍存储在系统的数据库中。

④ 系统从数据库中提取产品的设计制造信息,在分析其几何形状特点及有关技术要求后对产品进行工艺规程设计,设计的结果存入系统的数据库中,同时在屏

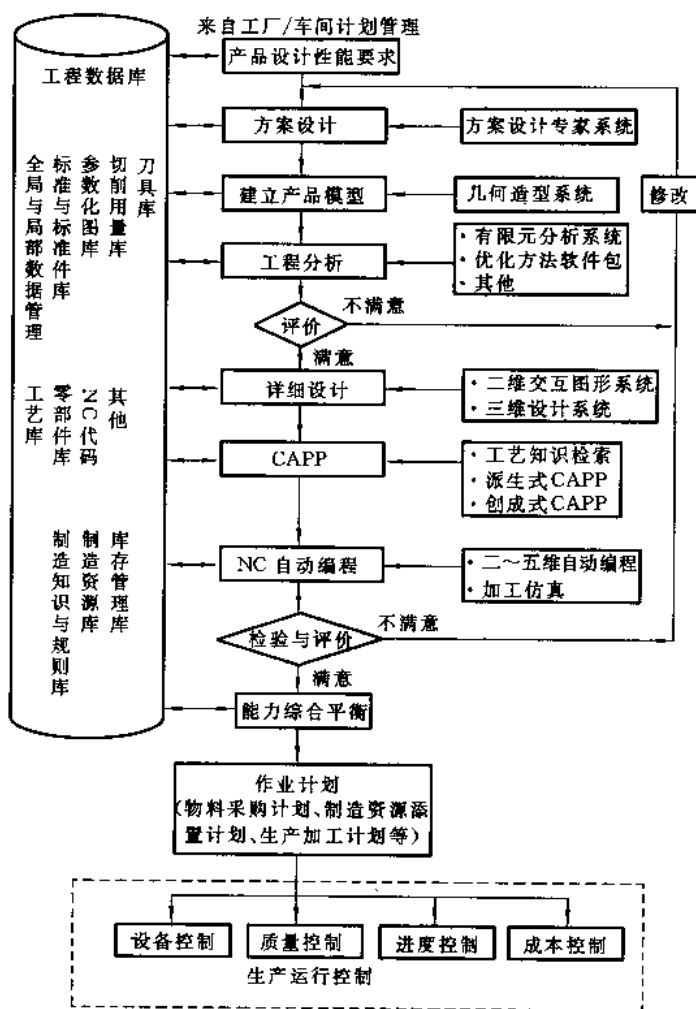


图 1-3 CAD/CAM 系统工作流程

幕上输出。

⑤ 用户可以对工艺规程设计的结果进行分析、判断，并允许以人机交互的方式进行修改。最终的结果可以是生产中需要的工艺卡片或者是存入数据库以供后续模块读取的数据接口文件。

⑥ 利用外部设备输出工艺卡片，生成车间生产加工的指导性文件，或由 CAM 系统从数据库中读取工艺规程文件，生成 NC 加工指令，在有关设备上加工制造。

⑦ CAD/CAM 系统在生成了产品加工的工艺规程后，对其进行仿真、模拟，验

证其是否合理、可行,还可以进行刀具、夹具、工件之间的干涉、碰撞检验。

⑧ 将所生成的工艺文件和数据加工程序输入到生产计划系统中,进行生产平衡后制订相应的作业计划。

⑨ 将生成的作业计划输入到运行控制系统中,完成产品加工生产任务,在付诸实施的过程中进行质量检测控制、进度控制、成本控制等,最后按要求生产出相应的产品。

1.2.2 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,但机械CAD/CAM 系统应具备如下的基本功能。

1. 图形图像处理

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,系统随时保证用户能够观察、修改中间结果,实时编辑处理,如画图、图形的坐标变换、裁剪、渲染、消隐处理、光照处理、图形输出,标准件参数化图素,各类特征符号库等。无论是CAD,还是CAPP、CAM,都需要用到这项功能,是CAD/CAM 系统所必备的。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。

2. 几何造型

在CAD/CAM 系统中,对产品信息及其相关过程信息的描述是一切工作的基础。对于CAD/CAM 系统来说,几何造型是其核心技术,因为在机电产品设计制造过程中,必然要涉及大量结构体的描述与表达。如在设计阶段,需要应用几何造型系统来表达产品结构形状、大小、装配关系等;在有限元分析中,要应用几何模型进行网络划分才能输入到解算器处理;在数控编程中,要应用几何模型来完成刀具轨迹定义和加工参数输入等。几何造型是产品设计的基本工具,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、昆式曲面(Coons Surface)、贝赛尔曲面(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)。另外,为了防止有关零部件之间发生干涉,系统需具有空间布局和干涉检查功能。

3. 2D 图形与 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(三维)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(二维)图形的工程图纸。这就要求系统具有2D图形与3D图形的相互转换功能。

4. 信息存储与管理

由于CAD/CAM系统运行时,数据量很大、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,且结构复杂,因此CAD/CAM系统应能提供有效的管理手段,支持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,来实现各种工程数据的管理。

5. 有限元分析

系统应能对整个产品(工程)及其重要部件进行静力、动力(应力、应变和系统固有频率)的分析计算;对于高温工作的产品,还要能进行热变形(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,要对流场及其流动特性进行分析计算。特别是对于一些复杂构件,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3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,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等。

6. 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)的设计过程实际上就是寻优过程,即在某些条件的限制下使产品(工程)的设计指标达到最佳。

7. 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。

8. 工程信息传输与交换

CAD/CAM系统不是一个孤立的系统,它必须与其他系统相互联系,即使是在CAD/CAM系统内部,各功能模块之间也要进行信息交换。随着并行作业方式的推广应用,还存在几个设计者或工作小组之间的信息交换问题,因此,CAD/CAM系统应具备良好的信息传输管理功能和信息交换功能。

9. 模拟与仿真

在CAD/CAM系统内部,建立一个实际产品或系统的数字化模型,例如机构、机械手、机器人等,通过仿真软件,进行代替、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。如数控加工仿真系统能从软件上实现零件试切的加工模拟,这可避免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。模拟与仿真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。

10. 交互功能(即人机接口)

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。除界面设计外,还必须有完善的交互设备来实现人与计算机之间的不断通信。

11. 参数化设计

具有参数化设计功能的CAD/CAM系统能使产品的三维(包括二维)模型参数化。设计师在任何阶段修改尺寸时,CAD/CAM系统都会自动完成相应实体形状的改变;CAD/CAM系统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。

12. 数据处理和数据交换功能

CAD/CAM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数据与信息的目的。为了统一管理这些信息和数据,CAD/CAM系统必须具有工程数据库管理系统(EDBMS)以及在它管理之下的工程数据库。

13. 信息输入

在CAD/CAM系统中,大量的信息是以人机交互方式输入系统的,但也有许多情况,如车间运控系统、质量保证系统、以反求工程为基础的造型系统等,是以计算机自动采集方式输入的。因此,CAD/CAM系统应具备自动输入信息的功能。

14. 信息输出

CAD/CAM系统的信息输出包括各种信息在显示器上的显示、工程图的输出、各种文档的输出和控制命令输出等。图形和各种信息的显示是实现人机交互的基础;工程图的输出是CAD/CAM系统的基本要求。尽管在某些场合实现了无图加工,但在工程设计中,2D图形依然是表达工程信息最直观的手段,在许多场合,如人工审图、CAPP中的工艺图、复杂的加工信息标注等均需要输出2D图纸和文档,如设计文档、工艺文档、数控程序、程序检验报告、种类调度单、质检单等。

1.3 CAD/CAM 系统的组成和基本类型

1.3.1 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。使用要求不同, 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。



图 1-4 CAD/CAM 系统的基本结构

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的图像, 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。数控设备直接与计算机相连, 通过数控加工模块或数控加工文件产生刀具轨迹信息, 以进行数控加工。

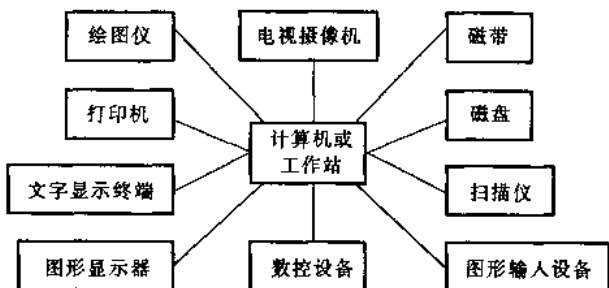


图 1-5 CAD/CAM 系统的硬件组成

CAD/CAM 系统的软件系统由系统软件和应用软件组成。系统软件是直接 与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。工程工作站的主流操作系统是 UNIX, 微机的操作系统 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-