

普通高等教育机电类规划教材

机械 CAD/CAM 技术

主 编 王隆太
副主编 朱灯林 戴国洪
参 编 章永健 袁新芳
主 审 吴锡英

机械工业出版社

本书系统地讲述了机械 CAD/CAM 的基础概念、应用方法和关键技术。主要内容包括 CAD/CAM 系统的软硬件支撑环境和支撑技术、数据处理技术、图形处理技术、建模技术、机械 CAD 应用软件开发、计算机辅助工艺过程设计、数控加工编程、CAD/CAM 集成技术等。

全书在力求保持内容的系统性、完整性基础上,尤其突出内容的实用性,尽量列举不同应用实例说明各种原理和方法。各章节之间衔接自然,语言通俗流畅,便于组织教学和自学。

本书可作为机械工程及其自动化专业的本科生教材,也可作为从事 CAD/CAM 技术研究和工程应用技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM 技术/王隆太主编. —北京:机械工业出版社, 2001.12

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-09465-4

C. 机... A. 王... DV①计算机辅助设计—高等学校—教材
②计算机辅助制造—高等学校—教材

P. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 072490 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:邓海平 版式设计:张世琴 责任校对:申春香

封面设计:姚毅 责任印制:

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·7.625 印张·296 千字

0 001— 册

定价: 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

于 20 世纪 60 年代产生形成的机械 CAD/CAM 技术，经过近 40 年的快速发展，现已成为一种高新技术产业。该技术的迅猛发展和广泛应用，给机械制造业从产品设计到加工制造整个生产过程带来了深刻、全面、根本性的变革，被评为 20 世纪最杰出的工程技术成就之一。目前，CAD/CAM 技术已被广泛应用于机械、电子、汽车、船舶、航天、航空、轻工等各个领域，其应用水平和开发能力，已成为衡量一个国家、一个企业技术水平的重要标志之一。

随着信息化时代的到来和全球化市场的形成，商品市场的竞争更趋激烈。在新世纪之际，如何提高市场快速响应能力，如何以最短的时间、最低的成本，向市场推出质量最好的新产品，已成为制造型企业竞争的焦点。CAD/CAM 技术是企业技术创新、开拓市场强有力的技术手段。CAD/CAM 技术的发展和推广应用不仅受到国家和企业的重视，更为广大的工程技术人员所关心，如何全面、深入地掌握 CAD/CAM 技术也已成为摆在工程技术人员面前的重要任务。从某种程度上说，不能很好地掌握这门先进技术，就不能适应现代社会的变化和需求，就有被历史淘汰的危险。

CAD/CAM 技术所涉及的内容极其广泛，学科跨度大，通过本门课程的学习究竟应掌握哪些知识和内容一直是人们所关注的话题。本教材以机械设计制造专业工程应用型本科人才的培养为对象，以实际、实践和实用为原则，兼顾理论基础和实际应用，系统地讲述 CAD/CAM 技术基本概念、应用方法和关键技术。在内容的安排上按照设计、工艺和加工制造三个主要机械产品生产环节，着重介绍计算机在工程图样的绘制、产品造型、工艺规程的编制和数控编程中的应用技术；在介绍具体应用方法时，通过多样化的应用实例开拓学生的思路，培养学生对实际问题的分析和解决问题的能力；在语言描述方面，力求简洁、通俗、准确、易懂，利于培养学生自学能力和拓展知识能力。

本书由王隆太教授担任主编，朱灯林、戴国洪副教授担任副主编。各章分工如下：第一、七章由王隆太编写，第二章和第三章第一节由袁新芳编写，第三章第二、三节由章永健编写，第四、五章由朱灯林编写，第六、八章由戴国洪编写。全书由王隆太统稿，陈飞老师协助全书图稿的整理。

全书由东南大学吴锡英教授主审，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足、漏误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者
于扬州

目 录

前 言	
第一章 CAD/CAM 技术概述	1
第一节 CAD/CAM 技术的 基本概念	1
一、CAD 技术	1
二、CAPP 技术	2
三、CAM 技术	2
四、CAD/CAM 集成技术	3
第二节 CAD/CAM 系统的 硬件和软件	4
一、CAD/CAM 系统的组成	4
二、CAD/CAM 系统的硬件	4
三、CAD/CAM 系统的软件	10
第三节 CAD/CAM 系统的 支撑技术	13
一、数据管理技术	13
二、计算机网络技术	19
三、成组技术	22
第四节 CAD/CAM 技术的 发展和应用	26
一、CAD/CAM 技术的发展	26
二、CAD/CAM 技术在我国 应用	27
思考题	28
第二章 工程手册的数据 处理技术	29
第一节 数表的计算机处理	29
一、数表的程序化	29
二、数表的文件化	33
第二节 线图的计算机处理	36
一、一般线图的处理	36
二、复杂线图的处理	36
第三节 数表的公式化处理	39
一、函数插值	39
二、函数拟合	41
第四节 数据库在 CAD/CAM 作业中的应用	42
一、FoxPro 数据库管理系统	42
二、数表的数据库处理	44
思考题	46
第三章 计算机图形处理技术	47
第一节 图形变换	47
一、窗口—视区变换	47
二、二维图形的几何变换	48
三、三维图形的几何变换	52
第二节 计算机辅助绘图	54
一、交互式绘图	55
二、程序参数化绘图	57
三、尺寸驱动式参数化绘图	63
四、参数化图库的使用与建立	67
五、工程图的自动生成	69
第四节 曲线和曲面	73
一、曲线曲面的参数表示	73
二、Bezier 曲线曲面	76
三、B 样条曲线曲面	80
四、NURBS 曲线曲面	85
思考题	87
第四章 机械 CAD/CAM 建模 技术	88
第一节 几何建模概述	88
一、机械 CAD/CAM 几何 建模的概念	88
二、机械 CAD/CAM 几何建模技	

术的基本知识	89	二、CAD 软件的研制方法	128
第二节 三维几何建模技术	93	第四节 基于 AutoCAD 的开发环境	130
一、线框建模	93	简介及开发实例	130
二、表面(曲面)建模	94	一、AutoCAD 开发环境概述	130
三、实体建模	97	二、Visual LISP 简介	131
第三节 特征建模技术	103	三、ObjectARX 应用简介	133
一、特征建模的概念	103	四、CAD 系统应用开发实例	
二、特征的分类与特征		简介	135
间的关系	103	思考题	139
三、常见特征建模的方式	105	第六章 计算机辅助工艺过程	140
第四节 几种 CAD 软件三维造型	107	设计	140
功能简介	107	第一节 概述	140
一、AutoCAD 系统三维造型		一、CAPP 技术及其发展概况	140
功能	107	二、CAPP 系统的结构组成	141
二、SolidEdge 软件的主要		第二节 零件信息的描述与	142
功能	114	输入	142
思考题	117	一、零件信息描述的要求和	
第五章 机械 CAD/CAM 应用	118	内容	142
软件开发	118	二、零件信息描述的基本方法	143
第一节 机械 CAD/CAM 应用软	118	第三节 CAPP 系统的基本原理	144
件开发的意义和要求	118	和方法	144
一、应用软件开发的意义	118	一、派生式 CAPP	144
二、机械产品设计的标准化、		二、创成式 CAPP	149
通用化、模块化要求	118	三、综合式 CAPP	153
三、CAD/CAM 应用软件开发应		第四节 CAPP 专家系统	165
遵循的原则	119	一、专家系统的基本组成	165
四、机械 CAD/CAM 应用系统的结		二、知识表示及其推理	167
构组成及其作业过程	120	三、CAPP 专家系统开发工具	169
第二节 常用机械产品 CAD 应用	121	第五节 工艺数据库和	169
软件的类型	121	知识库	169
一、参数化 CAD 系统	121	一、工艺数据和知识的	
二、交互式 CAD 系统	122	类型及特点	170
三、基于成组技术的 CAD		二、工艺数据和知识的获取与	
应用系统(GT S CAD)	123	表达	170
第三节 CAD 应用软件开发	126	思考题	172
工程方法	126	第七章 数控加工编程	173
一、CAD 软件的开发规范	126	第一节 数控编程方法及其	

发展.....	173	思考题	209
一、手工编程.....	173	第八章 CAD/CAM 集成技术 ...	211
二、数控语言自动编程.....	174	第一节 CAD/CAM 集成技术	
三、CAD/CAM 系统自动编程.....	177	概述.....	211
第二节 数控编程系统中的基本		一、CAD/CAM 集成技术的产生	
概念和术语	179	和发展.....	211
一、数控机床的坐标系统.....	179	二、CAD/CAM 信息集成方式	212
二、常用的切削刀具.....	181	三、CAD/CAM 集成的关键	
三、刀具运动控制面.....	182	技术.....	214
四、切削加工中的阶段划分.....	183	第二节 产品定义数据模型.....	215
第三节 数控编程中的刀位		一、零件信息模型.....	215
计算.....	184	二、产品信息模型.....	219
一、非圆曲线刀位点的计算.....	184	第三节 产品数据交换标准.....	222
二、球头铣刀行距和步长的		一、产品数据交换标准	
确定.....	187	发展概况.....	222
三、平面型腔零件加工刀位点		二、IGES 标准	223
的计算.....	188	三、STEP 标准	226
四、转角过渡处理.....	190	第四节 CAD/CAM 集成系统的	
五、曲面加工中的刀位计算.....	192	信息流	229
六、刀具的干涉检验.....	193	一、CAD/CAM 集成系统的	
第四节 数控编程中的工艺		信息流.....	230
策略.....	196	二、CAD/CAM 系统与 CIMS 其它	
一、粗精加工的工艺选择.....	196	系统的信息流.....	231
二、刀具的切入和切出引导		第五节 CAD/CAM 总体结构及	
(Leadin/Leadout)	199	应用举例	231
三、加工路线的确定及优化.....	201	一、CAD/CAM 集成系统的总体	
第五节 后置处理及 DNC	204	结构和类型.....	231
一、后置处理.....	204	二、CAD/CAM 集成系统举例	233
二、DNC 系统	206	思考题	236
		参考文献	237

第一章 CAD/CAM 技术概述

第一节 CAD/CAM 技术的基本概念

CAD/CAM 是计算机辅助设计与制造 (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 的英文缩写, 是一项利用计算机软、硬件协助人完成产品的设计与制造的技术。CAD/CAM 技术产生于 20 世纪 50 年代末、60 年代初, 在近 40 年的发展和应用历程中, 对国民经济的快速发展、促进科学技术的进步产生了深远的影响, 作出了重大的贡献。CAD/CAM 技术的发展和应用已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。江泽民总书记早在 1991 年 4 月就指出“计算机辅助设计推动了几乎一切领域的设计革命……”。CAD/CAM 技术在 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项工程技术之一。

一、CAD 技术

CAD (计算机辅助设计, Computer Aided Design) 是指工程技术人员以计算机为工具, 用自身的专业知识, 对产品进行总体设计、绘图、分析和编写技术文档等设计活动的总称, 是一项综合性技术。

如图 1-1 所示, CAD 是一个设计过程, 它是“在计算机环境下完成产品的创造、分析和修改, 以达到预期设计目标”的过程。就目前 CAD 技术可实现的功能而言, 它是由在设计人员进行产品概念设计的基础上从事产品的几何造型分析, 完成产品几何模型的建立, 然后抽取模型中的有关数据进行工程分析和计

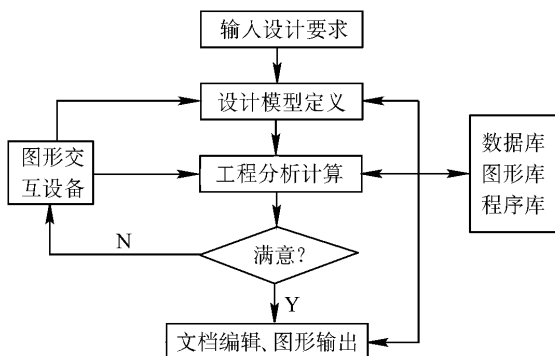


图 1-1 机械 CAD 的工作过程

算,例如有限元分析、仿真模拟等,根据计算结果决定是否对设计结果进行修改,修改满意后编辑全部设计文档,输出工程图。从 CAD 作业过程可以看出,CAD 技术也是一项产品建模技术,它是将产品的物理模型转化为产品的数据模型,并把建立的数据模型存储在计算机内供后续的计算机辅助技术所共享,驱动产品生命周期的全过程。

一般认为,CAD 的功能可归纳为:几何建模、工程分析、模拟仿真、自动绘图四大类。而实现这些功能的一个完备的 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、优化设计以及产品的常规计算分析等内容;图形系统的任务是用于包括几何造型、自动绘图(二维工程图、三维实体图)、动态仿真等设计过程;工程数据库是对设计过程中所需使用或产生的数据、图形、文档等信息进行存储和管理。

在 CAD 系统中,如若加入人工智能和专家系统技术,让计算机模拟人类专家解决问题的思路和方法进行推理和决策,可以大大提高设计自动化水平,可对产品进行功能设计、总体方案设计等产品的概念设计过程,以实现对产品设计全过程提供支持。

二、CAPP 技术

CAPP(计算机辅助工艺设计,Computer Aided Process Planning)是根据产品设计结果进行产品的加工方法和制造过程的设计。一般认为,CAPP 系统的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工序设计、工艺路线制定和工时定额计算等。其中的工序设计又可包含加工设备和工装的选用、加工余量的分配、切削用量选择以及机床、刀具的选择、必要的工序图生成等。

工艺设计是制造型企业中技术部门的主要工作之一,其设计效率的高低以及设计质量的优劣,对生产组织、产品质量、生产率、产品成本、生产周期等均有极大的影响。长期以来,工艺人员依据个人的经验以手工的方式进行工艺设计,由于其固有的缺陷(效率低、工艺方案因人而异、难以取得最佳的工艺方案等),难以适应当今快速发展的生产需要。应用 CAPP 能够迅速编制出完整、详尽、优化的工艺方案和各种工艺文件,可极大提高工艺人员的工作效率,缩短工艺准备时间,加快产品投放市场的速度。此外,应用 CAPP 技术还可以获得符合企业实际条件的优化的工艺方案、给出合理的工时定额和材料消耗,为企业科学管理提供可靠的数据。因此,CAPP 技术的研究和应用对改革我国工艺设计的现状,促进企业的发展,增强企业的市场适应能力和提高企业市场响应速度都有着重要的作用。

三、CAM 技术

CAM(计算机辅助制造,Computer Aided Manufacturing)到目前为止尚无

统一的定义。一般而言，CAM 是指计算机在制造领域有关应用的统称，它有广义 CAM 和狭义 CAM 之分。

所谓广义 CAM，一般是指利用计算机辅助完成从毛坯到产品制造过程中的直接和间接的各种活动，包括工艺准备、生产作业计划、物流过程的运行控制、生产控制、质量控制等主要方面。其中工艺准备包括计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 编程、计算机辅助工时定额和材料定额的编制等内容；物流过程的运行控制包括物料的加工、装配、检验、输送、储存等生产活动。

而狭义 CAM 通常指数控程序的编制，包括刀具路线的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及后置处理和 NC 代码生成等。

四、CAD/CAM 集成技术

自 20 世纪 60 年代开始，CAD 和 CAM 技术各自独立地发展，在国内外研究开发了一批性能优良的相互独立的商品化 CAD、CAPP、CAM 系统。这些独立的系统分别在产品设计自动化、工艺规程设计自动化和数控编程自动化方面起到了重要的作用。采用这些系统，无疑使企业生产提高了效率，缩短了产品设计与制造周期，使企业能够比过去以更快的速度更新自己的产品和响应市场的需求。

然而，这些各自独立的系统不能实现系统之间信息的自动传递和交换。例如 CAD 系统设计的结果不能直接为 CAPP 所接受，在进行 CAPP 作业时，仍然需要设计者将 CAD 输出的图样文档转换成 CAPP 系统所需要的数据信息进行输入，这不仅影响了设计效率的提高，而且人为的转换难免不发生错误。因而，随着计算机辅助技术日益广泛的应用，人们很快地认识到，只有当 CAD 系统一次性输入的信息可为后续环节（如 CAPP、CAM）直接的应用才能获得最大的经济效益。为此人们提出了 CAD/CAPP/CAM 集成的概念，并首先致力于 CAD、CAPP 和 CAM 系统之间数据自动传递和转换的研究，以便将业已存在和使用的 CAD、CAPP、CAM 系统集成起来。目前，这一技术已达到实用化水平。

所谓 CAD/CAM 集成是指在 CAD、CAPP、CAM 各模块之间有关信息的自动传递和转换。集成化的 CAD/CAM 系统借助于公共的工程数据库、网络通信技术、以及标准格式的中性文件接口，把分散于机型各异的计算机中的 CAD/CAM 模块高效地集成起来，实现软、硬件资源共享，保证系统内信息的流动畅通无阻。

随着信息技术的不断发展，为使计算机辅助技术给企业带来更大的效益，人们又提出了要将企业内所有分散的信息系统进行集成，不仅包括生产信息，还包括生产管理过程所需的全部信息，从而构成一个计算机集成制造系统（CIMS，Computer Integrated Manufacturing System），而 CAD/CAM 集成技术则是计算机集成制造系统的一项核心技术。

第二节 CAD/CAM 系统的硬件和软件

一、CAD/CAM 系统的组成

一般认为 CAD/CAM 系统是由硬件、软件和人组成。硬件是 CAD/CAM 系统运行的基础,主要包括计算机主机、计算机外部设备以及网络通信设备等具有有形物质的设备。软件是 CAD/CAM 系统的核心,包括操作系统、各种支撑软件和应用软件等。CAD/CAM 软件在系统中占据越来越重要的地位,软件配置的档次和水平决定了 CAD/CAM 系统性能的优劣,软件的成本已远远超过了硬件设备。软件的发展呼唤更新更快的计算机系统,而计算机硬件的更新为开发更好的 CAD/CAM 软件系统创造了物质条件。

人在 CAD/CAM 系统中起着关键的作用。从使用方法的角度看,目前各类 CAD/CAM 系统基本都采用人机交互的工作方式,通过人机对话完成 CAD/CAM 的各种作业过程。CAD/CAM 系统这种工作方式要求人与计算机密切合作,各自发挥自身的特长。计算机在信息的存储与检索、分析与计算、图形与文字处理等方面有着特有的功能,而设计策略、逻辑控制、信息组织、以及经验和创造性方面,人将占有主导地位,尤其在目前阶段,人还起着不可替代的作用。

二、CAD/CAM 系统的硬件

如图 1-2 所示,CAD/CAM 系统的硬件主要由计算机主机、输入设备、输出设备、存储器、生产装备以及计算机网络等几部分组成。为保证 CAD/CAM 系统的作业,其硬件系统应满足如下的要求:

(1) 强大的图形功能 在 CAD/CAM 系统中,图形信息的处理所占比例较大,一般都配有高档的图形软件。为满足图形处理和显示的需要,CAD/CAM 系统要求具有大的内存、高的图形分辨率。

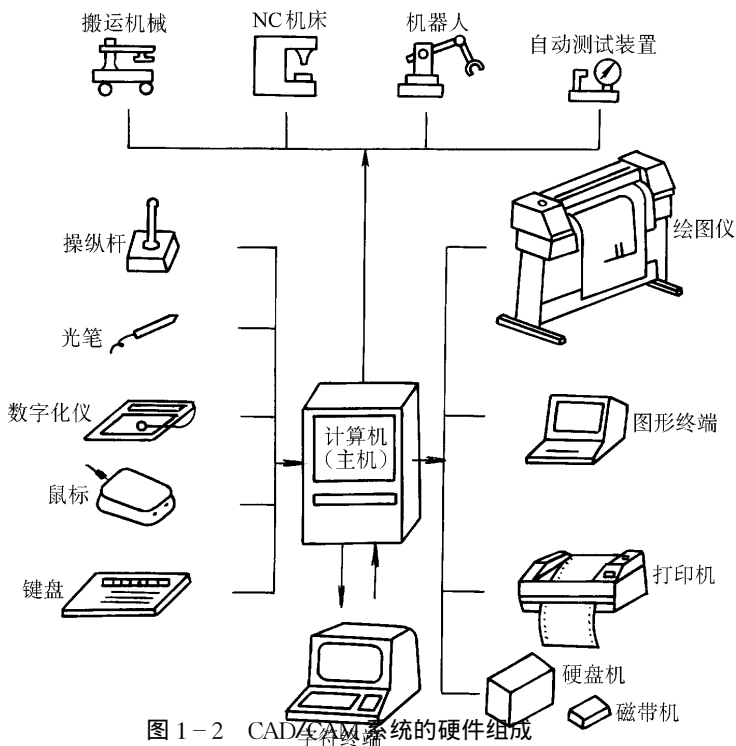
(2) 大的外存储容量 CAD/CAM 作业通常需要存储的内容有:各种不同的支撑软件、用户开发的图形库和数据库、大量的应用软件、各类产品的图样和技术文档等,这就需要有大的硬盘存储容量。

(3) 方便的人机交互功能 CAD/CAM 系统一般采用人机交互作业方式,要求硬件系统能够提供方便的人机交互工具和快速的交互响应速度。

(4) 良好的通信联网功能 CAD/CAM 集成系统是一个综合化系统,涉及到产品的各种设计和制造活动,需要用计算机网络将位于不同地点和不同部门的各种异构计算机和控制装置连接起来,进行信息交换和协同工作,形成一个网络化的 CAD/CAM 系统。

下面扼要介绍 CAD/CAM 系统的主要硬件设备。

1. 计算机主机



计算机主机是 CAD/CAM 系统硬件的核心，主要由中央处理器（CPU）、内存储器以及输入/输出（I/O）接口组成。内存储器是 CPU 可以直接访问的存储单元，用于存储常驻的控制程序、用户指令和准备接受处理的数据。CPU 是计算机的心脏，通常由控制器和运算器组成。控制器作用是使系统内各模块相互协调地工作，能够进行人机之间、计算机之间、计算机与各外部设备之间的信息传输和资源的调度，指挥系统中各功能模块执行各自的功能；而运算器执行程序指令所要求的计算和逻辑操作，输出数值计算和逻辑操作的结果。主机的输入/输出接口是用以实现计算机与外界之间的通信联系。

衡量主机性能的重要指标是速度，主机的速度指标通常以 MIPS 或 MFLOPS 为单位进行评价。一个 MIPS 即为每秒可执行一百万条整数指令，而一个 MFLOPS 为每秒执行一百万条浮点数指令。MIPS 或 MFLOPS 数值愈大，表示主机处理速度愈快。也有以 CPU 芯片的时钟频率表示主机的速度，时钟频率愈高，运算速度愈快，如 Intel Pentium II 芯片时钟频率为 133 0 600MHz，Pentium III 为 500 0 800MHz。

字节长度也是评价计算机性能的重要指标。所谓字节长度即指中央处理器在一个指令周期内从内存提取并处理的二进制数据位数，字长越多，则计算速度越快，计算精度越高，例如 386、486 微机为 32 位，Pentium 微机为 64 位计算机。

目前市场提供的计算机有单处理器结构和多处理器结构之分。具有多处理器结构的计算机可以实现并行计算，以提高运算速度，例如现代的图形工作站普遍采用多处理器结构，大大提高了图形处理速度。而处理器（即 CPU）本身又有复杂指令集体系结构（CISC）和精简指令集体系结构（RISC）之分。RISC 是 20 世纪 80 年代中期发展起来的技术，具有指令少、指令长度固定、格式统一以及单条指令可在一个指令周期内完成等特点，有效地提高了 CPU 的处理速度和可靠性，降低了生产成本。

按照主机功能等级的不同，可将计算机分为大中型机、小型机、工程工作站及微型计算机等不同档次。

（1）大中型计算机 这类计算机通常采用一个主机连接多个终端，支持多用户同时工作，有较强的计算能力和运算速度，可以从事复杂的设计计算和分析。但大中型计算机价格昂贵，性能价格比不高。因而，由大中型计算机构成的 CAD/CAM 系统在逐渐减少。

（2）小型机 小型机性能价格比优于大中型计算机，20 世纪 70 年代末 80 年代初的 CAD/CAM 系统多采用这种机型。到了 20 世纪 80 年代中期，小型机逐渐被性能价格比更好的工程工作站所代替。

（3）工程工作站 工程工作站是 20 世纪 80 年代初出现的介于个人微机和小型机之间的新型计算机，它采用多 CPU 并行处理技术、大的虚拟存储空间，具有强大的图形显示和处理功能，具有高速网络通信能力。近期的高档工程工作站，其速度指标达到 100MIPS 以上，是较理想的 CAD/CAM 系统硬件平台。

（4）微型计算机 微型计算机投资少，性能价格比高，操作容易，对使用环境要求低，应用软件丰富。与工程工作站比较，微型机 CPU 处理能力和速度相对较弱。但近年来，微型计算机性能提高很快，高档微机的功能已接近低档工作站水平，许多原来只能在工程工作站上运行的 CAD/CAM 软件愈来愈多地移植到微机平台。在我国由微型计算机组成的 CAD/CAM 系统占有主流地位。

2. 外存储器

计算机存储器有内存储器和外存储器之分。前面已经提及，内存储器存取速度快，可接受 CPU 的直接访问。但是，内存储器有其固有的缺陷和不足：①内存储器成本较高；②由于受到 CPU 的直接寻址能力的限制，其存储容量通常是有限的；③内存储器存储的信息掉电后即消失，不能长期保存。因而，CAD/CAM 系统除了拥有内存储器之外，还必须配有一定容量的外存储器。外存储器不能直接被 CPU 访问，通常用于存储 CPU 暂时不用的程序和数据。CAD/CAM 系统的大量软件、图形库和数据库均存于外存储器中。当 CPU 需要使用外存储器中的信息时，需要将这些信息调入内存储器接受 CPU 处理。内存储器中暂时不用的程序和数据则调回到外存储器，以便腾出内存空间装入待运行的程序和数

据。

常见的外存储器有磁带、磁盘和光盘等几种类型。

(1) 磁带 磁带的存储容量大，单位存储单元的价格比其它存储器低。磁带存储的文件信息是按顺序存放的，只能进行顺序查找，因而信息存取所需时间较长。磁带常用于工程工作站和中小型机中的系统备份，是主要的后备存储器。

(2) 磁盘 磁盘有硬盘和软盘之分。硬盘是由铝质金属圆盘涂复磁性介质制成，转速高、存取速度快、存储容量大。目前在微机上配备的硬盘可高达几十个 GB。软盘是由塑料胶片涂复磁性介质制成，转速较低、存取速度慢。目前国内市场常用的软盘主要是 3.5in，以前所用的 5.25in 软盘正逐渐被淘汰。硬盘通常采用磁盘和磁头一体化的密封结构，工作可靠性高；而软盘是采用的活动磁头、可换盘片结构，使用方便、灵活、价格便宜。一般计算机系统均同时配有硬盘和软盘驱动装置。

(3) 光盘 光盘是利用激光技术进行信息读写的一种先进的外存储设备。光盘存储容量大（每片光盘容量在 650MB 以上）、可靠性高、存储成本低，兼有软盘的可更换的灵活性和硬盘存取速度快的特点。光盘已成为目前计算机不可缺少的信息存储介质之一。

3. 输入设备

(1) 键盘 键盘是计算机最经典的输入设备。通过键盘，用户可以将设计所需要的各种参数、命令以及字符串输入计算机。但键盘输入速度慢，单靠键盘完成交互式 CAD/CAM 作业是远不能胜任的。

(2) 鼠标 鼠标是一种手动输入的屏幕指示装置，它用于控制光标在屏幕上的位置，以便在该位置上输入图形、字符或激活屏幕菜单。鼠标器操作简单、使用方便、价格便宜，是 CAD/CAM 系统普遍采用的输入设备之一。鼠标器有机械式和光电式之分，前者是通过底部的滚动球和传感机构控制屏幕光标的移动，后者则通过光电传感器和栅格形铅板相对滑动达到控制光标移动的目的。鼠标多通过 RS-232C 串行端口与计算机连接。

(3) 数字化仪 数字化仪是由一块图形输入平板和一个游标定位器组成（图 1-3）。目前常用的数字化仪大多属于电磁感应式数字化仪，这种数字化仪在其平板的内部沿水平和垂直方向用印刷电路的工艺方法制成很细密的金属丝网格，游标定位器内设置有一个检测线圈，通电后检测线圈将产生一定的磁通量，当游标定位器移动到数字化仪台面上某一位置时，平板内代表确定的 X、

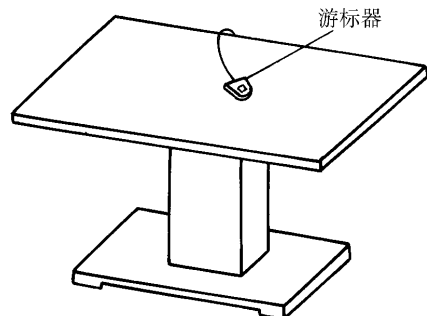


图 1-3 数字化仪

Y 坐标位置的纵横两根金属丝便产生感应电动势，将此感应信息送入计算机系统，经检测处理，便可确定游标所在的准确位置。

在数字化仪面板上，常分有菜单区和绘图区等若干区域，以提供选择菜单、输入图形、徒手作图，以及跟踪控制光标功能。图形输入时，可将工程图样平放在数字化仪的平板上，用定位器跟踪图形的特征点，使这些点的位置数字化后输入计算机，再结合绘图命令，一份图样就可以方便地送入到计算机内。也可以根据数字化仪菜单上的绘图指令和点的坐标值，在屏幕上绘制出所需要的图形。

利用数字化仪输入图形很费时，也较难保证精度，目前已逐步由图形扫描仪所取代。

(4) 图形扫描仪 扫描仪是通过光电阅读装置，可将整张图样信息转化为数字信息输入到计算机的一种输入设备。扫描仪具有高速输入图形的功能，一张 A0 图样大约一分钟便可完成整个扫描过程，并能对蓝图进行消蓝、去污以及平滑处理。用数字化仪输入图形需要几个月的工作量，用扫描仪几个小时便可完成扫描输入。

用扫描仪得到的图形信息是点阵图像文件，占用的存储空间较大。且不能被一般 CAD/CAM 系统所读取，需要进行矢量化处理。所谓图形的矢量化处理是将点阵图像文件所表示的线条和符号识别出来，以直线、圆弧以及矢量字符的矢量信息形式进行表示的图形处理技术。经过矢量化处理的图形信息，可应用交互式图形系统软件在屏幕上进行编辑和修改。这种图形扫描和矢量化处理相结合的方法大大提高了图形输入速度，减轻了图形输入工作量。

(5) 数码相机 数码相机是一种新出现的计算机真实图像录入设备，它采用光电装置将光学图像转换成数字图像，然后存储在磁性存储介质中，并且可以直接与计算机连接，对录入的图像进行显示和编辑修改。

(6) 其它输入设备 除上述各种输入设备之外，触摸屏也是一种很有特点的输入设备，它能对物体触摸位置产生反应，当人的手指或其它物体触到屏幕不同位置时，计算机便能接收到触摸信号并按照软件要求进行响应。声音交互输入是另一种很有发展前景的多媒体输入手段。近年来，语音输入识别技术的研究已取得一些突破性进展，并已出现商品化软件。

4. 输出设备

CAD/CAM 系统常用的输出设备有图形显示器、打印机和绘图仪等。图形显示器是将计算机计算处理的中间或最终结果用图形和文字信息显示出来，可供观察或浏览之用。但是，图形显示器显示的信息不能长期保存，必须借助于打印机和绘图仪等硬件设备将 CAD/CAM 系统的设计处理结果绘制输出，以作为技术文档长期保存。

(1) 图形显示器 图形显示器的主要器件是阴极射线管 (CRT)，显示器的

发光是依靠柱状电子束撞击屏幕上的荧光粉而激励生成发光的亮点，由计算机控制偏转线圈使电子束产生 X 和 Y 方向的偏转，于是在屏幕上显示所需的字符和图形。荧光屏具有一定的驻留时间，要想获得一幅无闪烁的画面，显示内容必须以 30 0 100 次/s 的速度不断刷新。CRT 的工作原理与电视机的显像管类似，采用光栅扫描的方法，所不同的是电视机通过模拟信号构成屏幕上的图像，而 CAD/CAM 系统的 CRT 是利用计算机产生的数字信号控制 CRT 屏幕上各个“像素”(Pixel) 发光而构成屏幕上的图形。屏幕上的每个像素可以发光且带有不同的亮度，如要显示彩色图形，只要赋予每个像素以不同的颜色和亮度。

衡量图形显示清晰程度的重要指标是分辨率。同样尺寸的屏幕，像素愈多分辨率愈高，显示图形也愈清晰。图形显示分辨率的高低取决于图形卡和图形显示器硬件环境，常见的图形显示分辨率有 640×200 、 640×480 、 1024×768 、 1024×1024 ，高档图形工作站显示分辨率可高达 2048×2048 。分辨率愈高，存储每个像素图形信息的存储器容量则要求愈大，例如分辨率为 1024×1024 显示器，以一个字节表示一个像素的状态，就需 1MB 存储容量。因而，在计算机图形显示系统中，均用图形卡来支持图形显示工作，以免过多地占用计算机的内存。

(2) 打印机 打印机以打印文字为主，也能输出图形，是最廉价的输出设备。打印机可分为撞击式与非撞击式两种。最典型的撞击式打印机为针式打印机，其打印头分别有 9 针、24 针、32 针等几种，由计算机控制每个针头的撞击，通过色带将所需输出的信息打印在纸上。非撞击式打印机包括喷墨打印机、激光打印机，由于这类打印机打印速度快、质量好、打印噪声低等优点，现已成为打印机市场的主流。

(3) 自动绘图机 绘图机是一种高速、高精度的图形输出装置，它可将 CAD/CAM 系统已完成的结构设计图形绘制到图纸上，以便在生产中使用和交流。目前市场上所提供的绘图机通常有笔式绘图机、喷墨绘图机两大类。

笔式绘图机采用的是墨水笔，由计算机控制笔和纸产生相对运动，并与笔的抬起和放下动作相配合，准确地绘制出所需的图形，绘图机笔架上可以存放各种不同粗细和颜色的笔，由计算机控制自动换笔动作，以满足工程图样不同粗细的线型或色彩的要求。在结构上，笔式绘图机有平板式与滚筒式之分，小型绘图机(如 A3 幅面)一般采用的是平板式，大型绘图机通常采用滚筒式。由于笔式绘图机绘图速度慢、噪声大、且对绘图纸有一定的质量要求等方面的不足，近年来逐渐有被喷墨式绘图机取代的趋势。

喷墨绘图机是利用特制的换能器将带电的墨水泵出，通过聚焦系统将墨水滴微粒聚成一条射线，由偏转系统控制喷嘴在图纸上扫描，形成浓淡不一的各种单色或彩色图形。与笔式绘图机相比较，喷墨绘图机具有清晰度高、速度快、工作可靠、噪声小、价格低以及容易实现不同浓淡的彩色图形与图像等优点。喷墨绘

图机有单色和彩色之分，也有平板式与滚筒式两种不同的结构型式，其分辨率一般为 300 0 600dpi（每英寸点数）。

三、CAD/CAM 系统的软件

计算机软件是指与控制计算机运行，并使计算机发挥最大功效的计算机程序、数据以及各种文档。计算机程序是指指挥计算机硬件工作和工程计算的指令的集合，是软件的主要内容。相关的文档是关于软件程序的各种设计、使用说明书，文档是程序设计的依据，文档的设计和编制水平在很大程度上决定了软件的质量，只有具备了合格、齐全的文档，软件才能商品化。

在 CAD/CAM 系统中，根据执行任务和编写对象的不同，可将软件可分为系统软件、支撑软件及专业性应用软件三个不同的层次（图 1-4）。系统软件与计算机硬件直接关联，一般由软件专业人员研制，起着扩充计算机的功能和合理调度与运用计算机的作用，系统软件有两个特点：一是公用性，无论哪个应用领域都要用到它；二是基础性，各种支撑软件及应用软件都需要在系统软件支撑下运行。支撑软件是在系统软件基础上研制的，包括实现 CAD/CAM 各种功能的通用性应用基础软件。专业性应用软件则是根据用户的具体要求，在支撑软件基础上经过二次开发的专用软件。

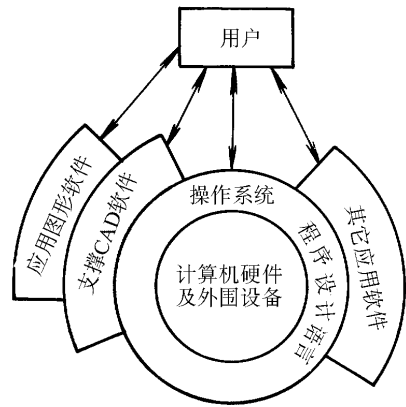


图 1-4 CAD/CAM 软件系统层次结构关系

1. 系统软件

系统软件主要用于计算机的管理、维护、控制及运行，以及对计算机程序的翻译和执行。系统软件主要有以下几类。

(1) 操作系统 操作系统是计算机的软件核心，负责计算机系统内所有软、硬件资源的监控和调度，使其协调一致、高效地运行，用户只有通过操作系统才能控制和操纵计算机。操作系统的基本功能有：

1) CPU 管理 将 CPU 工作时间合理地分配给各种作业和进程。所谓作业是计算机执行的某项任务的总称，进程一般指执行任务时的子阶段。

2) 内存管理 负责内存的分配，并设法解决有限的内存容量与程序大、执行程序多的矛盾。

3) 输入输出管理 统一管理外存和外部设备，使主机与这些设备之间协调有效地工作。

4) 文件管理 在磁盘上建立、存储、删除、检索各种不同的文件。

目前，常用的操作系统有 DOS、Windows、Unix、OS/2 等。在微机上较为

流行的操作系统为 Windows 98 和 Windows 2000 窗口系统。Windows 系统是一个完全集成的 32 位操作系统，提供了 32 位文件管理和 32 位设备驱动，支持多窗口、多任务作业，提供了对多媒体、网络的软件支持。工程工作站主要应用 Unix 操作系统，提供了支持 X 协议的多窗口环境。

(2) 编译系统与图形接口标准 编译系统是将用高级语言编写的程序翻译转换成计算机能够直接执行的机器指令的软件程序。目前，国内外广为应用的计算机高级语言有：Basic、Fortran、Pascal、Cobol、Lisp、C/C++ 等。这些高级语言均有相应的编译系统，C/C++ 是目前最流行的软件开发语言，微机上的 C/C++ 编译系统是以 Microsoft 公司的 Visual C++ 和 Borland 公司的 Borland C++ 为主，具备很好的集成的开发、调试环境和辅助工具。

为实现图形在计算机设备进行输出，必须向高级语言提供相应的接口程序。初始的图形接口依赖于所用的编译系统，如 Borland C++ 提供了众多满足不同硬件要求的 BGI 图形接口模块，用于向显示器输出图形。为了统一不同硬件和操作系统环境下图形接口软件模块的开发，先后推出了 GKS、GKS-3D、PHIGS、GL/OpenGL 等图形接口标准。利用这些标准所提供的接口函数，应用程序可以方便地输出二维和三维图形。

2. 支撑软件

支撑软件是 CAD/CAM 软件系统的重要组成部分，一般是由专门的软件公司开发，它是在系统软件基础上开发的满足 CAD/CAM 用户一些共同需要的通用性软件。从功能特征来分，CAD/CAM 系统的支撑软件可概略地分为单一功能型和综合集成型两大类。单一功能型支撑软件只提供 CAD/CAM 系统中某些典型的功能，如二维绘图、三维造型设计、工程分析计算、数据库系统等。综合集成型 CAD/CAM 支撑软件提供了设计、分析、造型、数控编程及加工控制等多种模块，功能比较完备。

(1) 单一功能型支撑软件

① 交互式绘图软件 这类软件主要以人机交互方法完成二维工程图样的生成和绘制，具有图形的增删、缩放、复制、镜像等编辑功能，具有尺寸标注、图形拼装等图形处理功能，具有尺寸驱动参数化绘图功能，有较完备的机械标准件参数化图库。这类软件绘图功能强、操作方便、价格便宜，是目前国内作为“甩图板”设计的主要软件工具。这类软件主要有美国 Autodesk 公司的 AutoCAD 2000 以及国内自主开发 PICAD、高华 CAD、华软 InteCAD、大恒 CAD 等。

② 三维设计 CAD 系统 这类软件目前国内主要以 MDT、Solidworks、Solid-edge 为主，它们基于微机平台，具有参数化特征造型功能，具有装配和干涉检查功能，以及简单曲面造型功能，价格适中，易于学习掌握，是理想的产品三维设计工具。