



普通高等教育“九五”部级重点教材

★★★★★

B

普通高等教育机电类规划教材

CAD/CAM 技术

宁汝新
赵汝嘉
欧宗瑛

主 编

副主编

43
1

机械工业出版社
China Machine Press

本书重点讲述先进制造中的 CAD/CAM 的基础技术、关键技术和应用技术。内容包括 CAD/CAM 系统的支撑环境、计算机辅助图形处理技术、CAD/CAM 建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺过程及工装设计、计算机辅助数控编程及加工过程仿真、计算机辅助装配工艺设计、计算机辅助生产过程控制及管理、计算机辅助质量管理等。

考虑到 CAD/CAM 技术的迅速发展及企业应用的日益广泛,教材编写中除注意内容安排的系统性、完整性之外,还注意突出介绍方法和思路上的多样性和实用性,并体现了 CAD/CAM 技术的最新发展趋势。

本书可作为机械工程及自动化专业的本科生和研究生教材,也可作为广大从事 CAD/CAM 技术研究的工程技术人员的参考资料或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAM 技术/宁汝新,赵汝嘉主编. - 北京:机械工业出版社,1999.11

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-07085-2

I. C… II. ①宁… ②赵… III. ①计算机辅助设计-高等教育-教材②计算机辅助制造-高等教育-教材
IV. TP391.7

JS235/13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 48556 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:冉晓华 责任校对:申春香

封面设计:姚毅 责任印制:何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.25 印张·320 千字

0 001-5000 册

定价:17.50 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

CAD/CAM 技术是随信息技术的发展而形成的一门新技术,它的应用和发展引起了社会和生产的巨大变革,因此 CAD/CAM 技术被视为 20 世纪最杰出的工程成就之一。目前,CAD/CAM 技术广泛应用于机械、电子、航空、航天、汽车、船舶、纺织、轻工及建筑等各个领域,它的应用水平已成为衡量一个国家技术发展水平及工业现代化水平的重要标志。

随着市场竞争的日益激烈及全球市场的形成,对制造业来说,21 世纪企业竞争的核心将是新产品的开发能力及制造能力,CAD/CAM 技术是提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品生产成本的强有力手段。因此,国内外的企业对 CAD/CAM 技术的发展及应用都十分重视。我国的 CAD 应用工作,经“七五”“八五”的努力已取得明显效果。“九五”期间国家科委又颁发了《1995~2000 年我国 CAD 应用工程发展纲要》,各省、部委也都制定了相应的计划,将推广应用 CAD/CAM 技术作为改造传统企业的重要战略措施。因此,如何引进、使用、开发和研究 CAD/CAM 技术,使其更好地为我国的四个现代化服务,是摆在广大工程技术人员面前的重要任务。

另外,随着 CAD/CAM 技术的推广应用,它已逐渐从一门新兴技术发展成为一种高新技术产业,所以 CAD/CAM 技术也是未来工程技术人员必须掌握的基本工具。

CAD/CAM 技术涉及的内容十分广泛,本教材以机械制造专业的本科生和研究生的教育为对象,在学生已掌握了计算机的基本知识、计算机编程语言、计算机辅助绘图及工艺基本知识的基础上,系统学习计算机在设计与制造中的应用 and 开发技术。教材编写的特点是从系统的观点、集成的观点 and 发展的观点,讲述 CAD/CAM 技术,从而使读者建立总体和效益的概念。在内容安排上,按照产品开发过程链,着重介绍一些基本概念、实施方法和关键技术;在介绍实施方法时,突出思路和方法的多样化,以开阔学生思路,培养同学分析问题和解决问题的能力;在关键技术中,突出产品建模技术以适应 CAD/CAM 技术的发展。

本书由北京理工大学宁汝新教授、西安交通大学赵汝嘉教授任主编,大连理工大学欧宗瑛教授任副主编。

各章分工如下:第一、四章由北京理工大学宁汝新教授编写,第二章由大连理工大学欧宗瑛教授、何清刚副教授编写,第三章由北京理工大学蔡颖教授编写,第五章由大连理工大学欧宗瑛教授、华顺刚讲师编写,第六、十一章由西安交通大学赵汝嘉教授编写,第七章由清华大学刘成颖副教授编写,第八章由东南大学易红教授编写、第九章由西安交通大学张英杰副教授编写,第十章由清华大学吴丹副教授编写。

全书由清华大学王先逵教授主审,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足、不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
1999 年 12 月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 CAD/CAM 的基本概念	1
第二节 CAD/CAM 系统结构	2
第三节 CAD/CAM 系统的应用和发展	6
思考题	8
第二章 CAD/CAM 系统的支撑环境	9
第一节 CAD/CAM 系统概述	9
第二节 CAD/CAM 系统的硬件	10
第三节 CAD/CAM 系统的软件	20
第四节 工程数据库	25
第五节 计算机网络及数据通信	30
思考题	34
第三章 计算机辅助图形处理技术	35
第一节 计算机辅助图形处理基本知识	35
第二节 图形变换	43
第三节 交互式绘图	54
第四节 参数化变量化绘图	61
思考题	64
第四章 CAD/CAM 建模技术及产品数据模型	65
第一节 基本概念	65
第二节 几何建模技术	67
第三节 特征建模技术	83
第四节 集成产品数据模型及数据交换接口	87
思考题	94
第五章 计算机辅助工程分析	95
第一节 工程分析的主要内容及分析计算方法	95
第二节 有限元分析计算	95
第三节 优化设计	106
第四节 计算机仿真	112
思考题	114

第六章 计算机辅助工艺过程及夹具设计	115
第一节 概述	115
第二节 变异式 CAPP 系统	117
第三节 创成式 CAPP 系统	123
第四节 交互式 CAPP 系统	128
第五节 综合式 CAPP 系统	129
第六节 CAPP 专家系统	133
第七节 计算机辅助夹具设计	137
思考题	140
第七章 数控自动编程及加工过程仿真	141
第一节 概述	141
第二节 数控语言自动编程	142
第三节 图形交互自动编程	147
第四节 CAD/CAM 集成编程	150
第五节 加工过程的仿真	151
思考题	154
第八章 计算机辅助装配工艺设计	155
第一节 概述	155
第二节 装配信息描述方法	158
第三节 装配顺序决策	160
第四节 装配工序图的自动生成	162
思考题	164
第九章 计算机辅助生产管理与控制	165
第一节 制造系统中的生产管理	165
第二节 制造系统中的生产控制	167
第三节 柔性制造系统中的生产管理和生产控制	170
思考题	174
第十章 计算机辅助质量系统	175
第一节 计算机辅助质量系统的功能结构	175
第二节 集成质量系统	177

第三节	质量数据的自动检测·····	180	第一节	21世纪制造业的特点·····	192
第四节	统计质量控制·····	184	第二节	计算机集成制造 系统 (CIMS) ·····	193
第五节	计算机辅助加工过程 监控·····	187	第三节	并行工程 (CE) ·····	197
第六节	计算机辅助产品试验·····	190	第四节	虚拟制造系统 (VMS) ·····	200
思考题	·····	191	思考题	·····	203
第十一章	CAD/CAM 集成技术及 发展 ·····	192	参考文献	·····	204

第一章 概 述

第一节 CAD/CAM 的基本概念

一、CAD、CAPP、CAM 的基本概念

计算机的出现和发展,实现了将人类从繁琐的脑力劳动中解放出来的愿望。早在 30 ~ 40 年前,计算机就已作为重要的工具,辅助人类承担一些单调、重复的劳动,如辅助数控编程、工程图样绘制等。在此基础上逐渐出现了计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工艺规程设计 (CAPP) 及计算机辅助制造 (CAM) 等概念。

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 是指工程技术人员在人和计算机组成的系统中以计算机为辅助工具,完成产品的设计、分析、绘图等工作,并达到提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品成本的目的。一般认为 CAD 系统的功能包括:①草图设计;②零件设计;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。

计算机辅助工艺过程设计 (Computer Aided Process Planning, CAPP) 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确定产品加工方法和工艺过程。一般认为 CAPP 的功能包括:①毛坯设计;②加工方法选择;③工艺路线制定;④工序设计;⑤刀夹具设计等。其中工序设计又包含机床和刀具选择、切削用量选择、加工余量分配以及工时定额计算等。

计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM) 有广义和狭义两种定义。广义 CAM 一般是指利用计算机辅助完成从生产准备到产品制造整个活动的过程,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 NC 程序编制,包括刀具路径规划、刀位文件生成、刀具轨迹仿真及 NC 代码生成等。本教材采用狭义定义方法。

二、CAD/CAPP/CAM 集成概念的提出

近 40 年来, CAD、CAPP、CAM 技术获得了飞速发展。CAD、CAM 的概念是在 50 年代末 60 年代初,由美国麻省理工学院的 D. T. Ross 教授在 APT 程序系统的发展基础上形成的。APT (Automatically Programmed Tools) 语言是通过对刀具轨迹的描述来实现计算机辅助自动数控编程的系统。在发展这一程序系统的同时,人们就提出了一种设想:能否不描述刀具轨迹,而是直接描述被加工工件的尺寸和形状?由此产生了人机协同设计、加工的设想,并开始了计算机图形学的研究。1963 年,年仅 24 岁的麻省理工学院的研究生 I. E. Sutherland 在美国的计算机联合大会上 (SJCC) 宣读了他的题为“人机对话图形通信系统”的博士论文。由他推出的二维 SKETCHPAD 系统,允许设计者坐在图形显示器前操作光笔和键盘,在荧光屏上显示图形。这一研究成果具有划时代的意义,促进了计算机辅助设计和辅助制造的发展。同年,第一个被工业界发展的系统 DAC-1 (Design Augmented by Computers) 也在通用汽车公

问世，并且 IBM 公司发展了 2250 系列的显示装置。这些研究在今天看来是很粗糙和不完善的，尽管如此，它却大大推动了人们对 CAD、CAM 的关注和兴趣。首先做出响应的是美国的汽车工业，然后英国、日本、意大利等国的汽车公司也开始了实际应用，并逐步扩展到其它部门。

从 60 年代中期到 70 年代中期，针对某个特定领域的 CAD 系统蓬勃发展，出现了主要以自动绘图为目的的配套 CAD 系统（Turnkey System）。所谓配套 CAD 系统一般是由 16 位小型计算机、数字化仪、显示装置、绘图机等硬件组成，并与软件配套出售的自动绘图系统。使用时操作者拧开开关就可使用，因此很容易掌握。与此同时，为适应设计和加工任务的要求，三维几何处理软件也相继发展。

自 70 年代中期以来，计算机的应用日益广泛，几乎深入到生产过程的所有领域，并形成了很多计算机辅助的分散系统。如果不考虑企业行政管理方面的因素，这些分散系统是：①计算机辅助生产计划与控制（PPS）；②计算机辅助产品设计（CAD）；③计算机辅助工程分析（CAE）；④计算机辅助工艺过程设计（CAPP）；⑤计算机辅助制造（CAM）；⑥计算机辅助质量管理（CAQ）；⑦计算机辅助夹具设计（CAFD）等。

这些独立的分散系统，分别在产品设计自动化、工艺过程设计自动化和数控编程自动化等方面起到了重要作用。但是，采用这些各自独立的分散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 系统接受，若进行工艺过程设计时，还需要人工将 CAD 输出的图样文档等信息转换成 CAPP 系统所需要的输入数据，这不但影响了效率的提高，而且在人工转换中难免发生错误。所以，随着计算机日益广泛深入的应用，人们很快认识到，只有当 CAD 系统一次性输入的信息能为后续环节（如 CAPP、CAM）继续应用时才是最经济的。为此，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。

利用数据传递和转换技术实现 CAD 与 CAPP、CAM 集成的基本工作步骤如下：①CAD 设计产品结构，绘制产品图样，为 CAPP、CAM 过程准备数据；②经数据转换接口，将产品数据转换成中性文件（如 IGES、STEP 文件）；③CAPP 系统读入中性文件，并将其转换为系统所需格式后生成零件工艺过程；④CAD、CAPP 系统生成数控编程所需数据，并按一定标准转换成相应的中性文件；⑤CAM 系统读入中性文件，并将其转换为系统所需格式后生成数控程序。这样所形成的集成系统表达为 CAD/CAPP/CAM，也可简写为 CAD/CAM。

随着信息技术的不断发展，为使企业产生更大效益，又有人提出要把企业内所有的分散系统集成。这一设想不仅包括生产信息，也包括生产管理过程所需全部信息，从而构成一个计算机集成的制造系统（CIMS——Computer Integrated Manufacturing System）。计算机集成制造系统的核心技术是 CAD/CAM 技术。

第二节 CAD/CAM 系统结构

一、产品生产过程与 CAD/CAM 过程链

产品是市场竞争的核心。对于产品有不同的定义和理解。首先从生产的观点来看，产品是从需求分析开始，经过设计过程、制造过程最后变成可供用户使用的成品，这一总过程也

称为产品生产过程。产品生产过程具体包括产品设计、工艺设计、加工、装配过程。每一过程又划分为若干个阶段，例如产品设计过程可分为任务规划、概念设计、结构设计、施工设计4个阶段；工艺设计过程可划分为毛坯及定位形式确定、工艺路线设计、工序设计、刀具、夹具、量具设计等阶段；加工、装配过程可划分为 NC 编程、加工过程仿真、NC 加工、检测、装配、调试等阶段（见图 1-1）。

在上述各过程、阶段内，计算机获得不同程度的应用，并形成了相应的 CAD/CAPP/CAM 过程链。按顺序生产观点，这是一个串形的过程链，但按并行工程的观点考虑到信息反馈，这也是一个交叉、并行的过程。

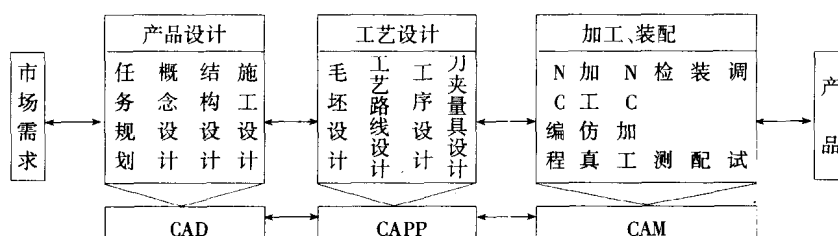


图 1-1 产品生产过程及 CAD/CAM 过程链

另外，从市场变化的观点来看，产品又可以分为投入期、成长期、成熟期、饱和期和淘汰期，这是产品的生命周期。同时，从产品生命阶段整体考虑，还应包括有关产品的研究阶段及市场超前的研究，所以产品的生命周期可分为产品研究、产品规划、产品设计、产品试制、产品制造、产品销售、产品使用及产品报废、回收等阶段。随着计算机应用领域的日益扩大，当前不仅从事生产过程建模的研究，而且还面对产品的整个生命周期，从事产品生命周期建模研究，以便从根本上解决产品在设计、生产、组织管理、销售、服务等各个环节内，产品数据的交换和共享问题。

二、CAD/CAM 系统组成

系统是指为一个共同目标组织在一起的相互联系部分的组合。一个完善的 CAD/CAM 系统应具有如下功能：①快速数字计算及图形处理能力；②大量数据、知识的存储及快速检索、操作能力；③人机交互通信的功能；④输入、输出信息及图形的能力。为实现这些功能，CAD/CAM 系统应由人、硬件、软件三大部分组成。其中电子计算机及其外围设备称为 CAD/CAM 系统的硬件；操作系统、数据库、应用软件称作 CAD/CAM 系统的软件。不言而喻，人在 CAD/CAM 系统中起主导作用。

由人、硬件、软件组成的 CAD/CAM 系统，将实现设计和制造各功能模块之间的信息的传输和存储，并对各功能模块运行进行管理和控制。一般其总体结构如图 1-2 所示。

从图 1-2 中的结构可见，CAD/CAM 系统是建立在计算机系统上，并在操作系统、网络系统及数据库的支持下运行的软件系统。用户通过用户界面操作，控制 CAD/CAM 系统的运行。近几年来，如何使 CAD/CAM 系统具有一个良好的、直观的、易学易用的用户界面，已成为 CAD/CAM 系统追求的目标之一，因为它直接关系到系统运行的效率及推广应用的可能性问题。为满足高质量用户界面的需求，自 80 年代中期起，开始研究窗口管理系统。窗口是一种多任务编程的屏幕显示和人机界面技术，目前国际上著名的窗口管理系统有麻省理工学院（MIT）开发的 X-Windows 和 Microsoft 公司开发的 MS-Windows，它们在工作站和微机上

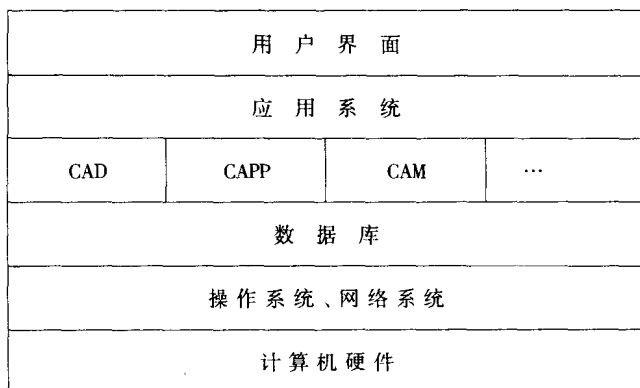


图 1-2 CAD/CAM 系统总体结构

都获得广泛应用，已成为事实上的 CAD/CAM 应用软件的标准界面。

三、CAD/CAM 系统集成方案

CAD/CAM 系统的集成有信息集成、过程集成、功能集成，目前的 CAD/CAM 系统大多都停留在信息集成基础上。因此一般的 CAD/CAM 集成指的是把 CAD、CAE、CAPP、CAFD、CAM 等各种功能软件有机结合在一起，用统一的执行程序来控制和组织各功能软件信息的提取、转换和共享，从而达到系统内信息的畅通和系统协调运行的目的。

CAD/CAM 系统集成的关键是信息的交换和共享。根据信息交换方式和共享程度的不同，CAD/CAM 系统的集成方案主要有以下 4 种：

1. 通过专用数据接口实现集成

这是一种初级的文件传输的集成方式。利用这种方式实现集成时，各子系统都是在各自独立的数据模式下工作，如图 1-3 所示。当 A 系统需要 B 系统的数据时，需要设计一个专用的接口文件将 B 系统的数据格式直接转换成 A 系统的数据格式，反之亦然。

这种集成方式原理简单，运行效率较高，但开发的专用数据接口无通用性，不同的 CAD、CAPP、CAM 系统要开发不同的接口。且当其中一个数据结构发生变化时，与之相关的所有接口程序都要修改。

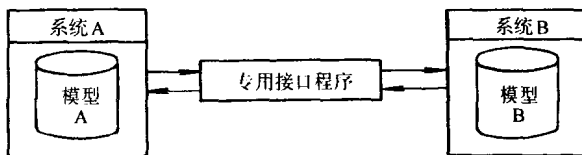


图 1-3 专用数据接口

2. 利用标准格式接口文件实现集成

这种集成方式的思路是建立一个与各子系统无关的公共接口文件（见图 1-4），当某一系统数据结构发生变化时只需修改此系统的前、后置处理程序即可。这种集成的关键是建立公共的标准格式文件，目前世界上已研制出多种公共标准格式，其中典型的有 IGES、STEP 等。一般 CAD/CAM 商用软件都提供了它们符合标准格式的前、后置处理器，故用户不必自行开发。

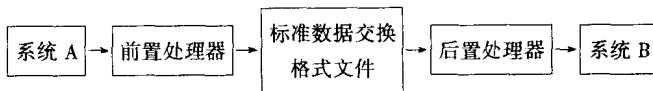


图 1-4 标准格式数据接口

3. 基于统一产品模型和数据库的集成

这是一种将 CAD、CAPP、CAM 作为一个整体来规划和开发，从而实现系统高度集成和共享的方案。图 1-5 为一 CAD/CAPP/CAM 集成系统框架图。从图 1-5 中可见，集成产品模型是实现集成的核心，统一工程数据库是实现集成的基础。各功能模块通过公共数据库及统一的数据库管理系统实现数据的交换与共享，从而避免了数据文件格式的转化，消除了数据冗余，保证了数据一致性、安全性和可靠性。

4. 基于产品数据管理 (PDM) 的系统集成

PDM 技术是以产品数据的管理为核心，通过计算机网络和数据库技术，把企业生产过程中所有与产品相关的信息和过程集成管理的技术。与产品相关的信息包括开发计划、产品模型、工程图样、技术规范、工艺文件、数控代码等，与产品相关的过程包括设计、加工制造、计划调度、装配、检测等工作流程及过程处理程序。基于 PDM 的系统集成是指集数据库管理、网络通信能力和过程控制能力于一体，将多种功能软件集成在一个统一平台上，它不仅能够实现分布式环境中产品数据的统一管理，同时还能为人与系统的集成及并行工程的实施提供支持环境，它可以保证正确的信息，在正确的时刻传递给正确的人。

图 1-6 为基于 PDM 的集成系统体系结构。其中系统集成层即 PDM 核心层，向上提供 CAD/CAPP/CAM 的集成平台，把与产品有关的信息集成管理起来；向下提供对异构网络和异构数据库的接口，实现数据跨平台传输与分布处理。由图 1-6 可见，PDM 可在更大程度和范围内实现企业内信息共享。

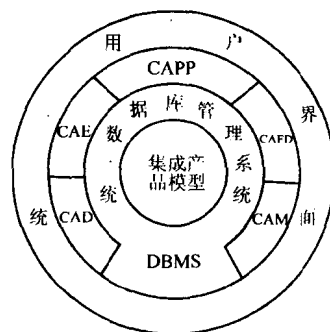


图 1-5 基于统一产品模型和数据库集成的框架图

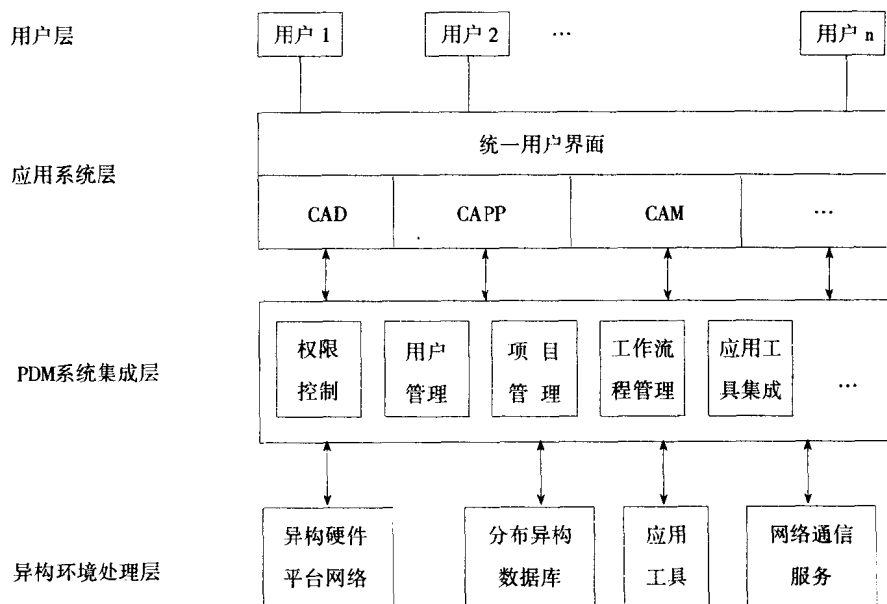


图 1-6 基于 PDM 的集成系统体系结构

第三节 CAD/CAM 系统的应用和发展

一、CAD/CAM 技术在工业中的应用

从 60 年代初第一个 CAD 系统问世以来,经过 30 多年的发展,CAD/CAM 系统在技术上、应用上已日趋成熟。尤其进入 80 年代以后,由于硬件技术的飞速发展,使之软件在系统中占有越来越重要地位。作为商品化的 CAD/CAM 软件,如美国 SDRC 公司的 I-DEAS,美国 Computer Vision 公司的 CADD5,美国 EDS 公司的 UG II,美国 PTC 公司的 PRO/Engineer,法国 MATRA 公司的 Euclid,以及数据库管理软件 Oracle 等大量投入市场。目前 CAD/CAM 软件已发展成为一个受人瞩目的高技术产业,并广泛应用于机械、电子、航空、航天、船舶、汽车、纺织、轻工、建筑等行业。据统计,美国 100% 的大型汽车业、60% 的电子行业、40% 的建筑行业都采用 CAD/CAM 技术,例如美国的波音 777 客机已 100% 实现数字化三维实体设计,实现了无图纸制造。

我国的 CAD/CAM 技术在“七五”“八五”期间也取得了可喜成绩。在“七五”期间,国家支持对 24 个重点机械产品进行了 CAD 的开发研制工作,为我国 CAD/CAM 技术的发展奠定了一定的基础。另外,通过国家科委实施的 863 计划中的 CIMS 主题,也促进了 CAD/CAM 技术的研究和发展。尤其是机械行业自 1995 年以来,相继开展了“CAD 应用 1215 工程”和“CAD 应用 1550 工程”,前者是树立 12 家“甩图板”的 CAD 应用典型企业,后者是培育 50~100 家 CAD/CAM 应用的示范企业,扶持 500 家,继而带动 5000 家企业的计划。另外,近几年来市场上已开始出现拥有自己版权的 CAD 软件,如清华大学的高华 CAD 软件,华中理工大学的开目 CAD 等,CAD/CAM 的应用日益广泛。但总体上我国 CAD/CAM 的研究应用与工业发达国家相比还有较大差距,主要表现在:①CAD/CAM 的应用集成化程度较低,很多企业的申请仍停留在绘图、NC 编程等单项技术的应用上。②CAD/CAM 系统的软、硬件均依靠进口,自主知识产权的软件较少。③缺少设备和技术力量,有些企业尽管引进 CAD/CAM 系统,但其功能没能充分发挥。

随着市场竞争的日益激烈,用户对产品的质量、成本、上市时间提出了越来越高的要求。事实证明,CAD/CAM 技术是加快产品更新换代、增强企业竞争能力的最有效手段,同时也是实施先进制造和 CIMS 的关键和核心技术。目前,CAD/CAM 技术应用已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。因此,我们应抓紧时机结合国情,积极开展 CAD/CAM 的研究和推广工作,提高企业竞争能力,加速企业现代化的进程。

二、CAD/CAM 技术的发展趋势

CAD/CAM 技术还在发展之中,发展的主要趋势是集成化、智能化、并行化、网络化和标准化。具体说来主要体现在如下几个方向上:

1. 计算机集成制造 (CIM)

CIM (Computer Integrated Manufacturing) 是 CAD/CAM 集成技术发展的必然趋势。CIM 的最终目标是以企业为对象,借助于计算机和信息技术,使生产中各部分从经营决策、产品开发、生产准备到生产实施及销售过程中,有关人、技术、经营管理三要素及其形成的信息流、物流和价值流有机集成并优化运行,从而达到产品上市快、高质、低耗、服务好、环境清洁,使企业赢得市场竞争的目的。CIMS 是一种基于 CIM 哲理构成的计算机化、信息化、

智能化、集成化的制造系统。它适应多品种、小批量市场需求，可有效地缩短生产周期，强化人、生产和经营管理联系，减少在制品，压缩流动资金，提高企业的整体效益。所以，CIMS 是未来工厂自动化的发展方向。然而由于 CIMS 是投资大、建设周期长的项目，因此不能一揽子求全，应总体规划、分步实施。分步实施的第一步是 CAD/CAM 集成的实现。

2. 智能化 CAD/CAM 系统

机械设计是一项创造性活动，在这一活动过程中，很多工作是非数据、非算法的。所以，随着 CAD/CAM 技术的发展，除了集成化之外，将人工智能技术、专家系统应用于系统中，形成智能的 CAD/CAM 系统，使其具有人类专家的经验 and 知识，具有学习、推理、联想和判断功能及智能化的视觉、听觉、语言能力，从而解决那些以前必须由人类专家才能解决的概念设计问题。这是一个具有巨大潜在意义的发展方向，它可以在更高的创造性思维活动层次上，给予设计人员有效的辅助。

另外，智能化和集成化两者之间存在密切联系。为了能自动生成制造过程所需的信息，必须理解设计师的意图和构思。从这意义上讲，为实现系统集成，智能化是不可缺少的研究方向。

3. 并行工程

并行工程（Concurrent Engineering）是随着 CAD/CAM、CIMS 技术发展提出的一种新哲理、新的系统工程方法。这种方法的思路，就是并行的、集成的设计产品及其开发的过程。它要求产品开发人员在设计的阶段就考虑产品整个生命周期的所有要求，包括质量、成本、进度、用户要求等，以便最大限度地提高产品开发效率及一次成功率。并行工程的关键是用并行设计方法代替串行设计方法，图 1-7 为两种方法示意图。由图 1-7 可见，在顺序法中信息流向是单向的，在并行法中，信息流向是双向的。

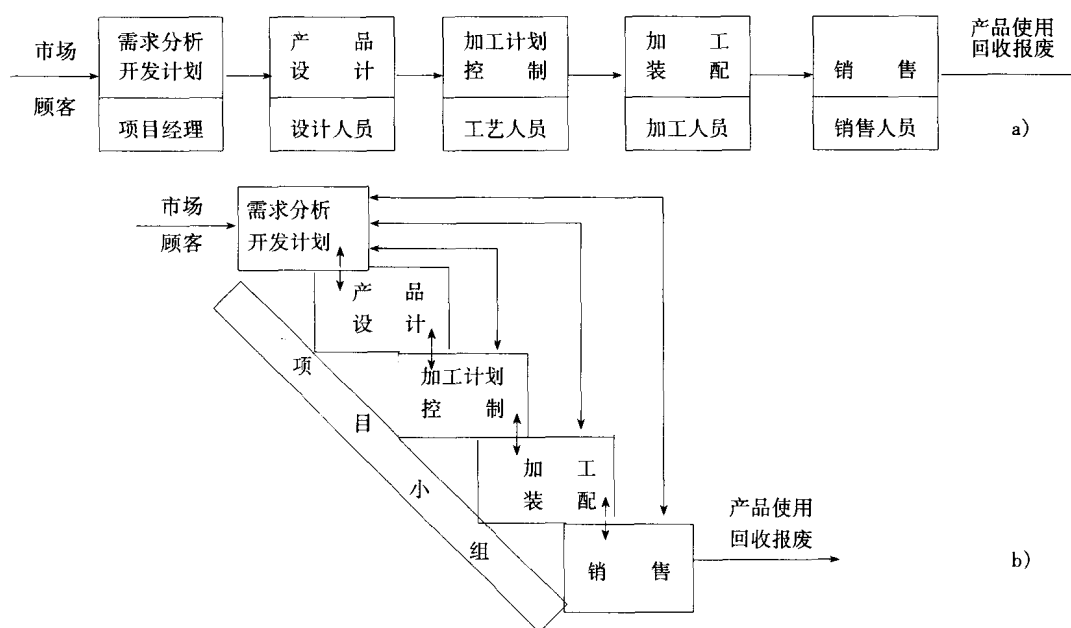


图 1-7 两种开发方法示意图

a) 顺序法 b) 并行法

随着市场竞争的日益激烈，并行工程必将引起越来越多的重视。但其实施也决非一朝一夕的事情，目前应为并行工程的实现创造条件和环境。其中，与 CAD/CAM 技术发展密切相关的有如下几项要求：①研究特征建模技术，发展新的设计理论和方法；②开展制造仿真软件及虚拟制造技术的研究，提供支持并行工程运行的工具和条件；③探索新的工艺过程设计方法，适应可制造性设计（DFM）的要求；④借助网络及统一 DBMS 技术，建立并行工程中数据共享的环境；⑤提供多学科开发小组的协同工作环境，充分发挥人在并行工程中的作用。以上要求将极大地促进 CAD/CAPP/CAM 技术的变革和发展。

4. 分布式网络化

自 90 年代以来，计算机网络已成为计算机发展进入新时代的标志。所谓计算机网络，就是用通信线路和通信设备将分散在不同地点的多台计算机，按一定网络拓扑结构连接起来。这些功能使独立的计算机按照网络协议进行通信，实现资源共享。由于 CAD/CAPP/CAM 技术日趋成熟，可应用于越来越大的项目。这类项目往往不是一个人，而是多个人、多个企业在多台计算机上协同完成，所以分布式计算机系统非常适用于 CAD/CAPP/CAM 的作业方式。同时，随着 Internet 网的发展，可针对某一特定产品，将分散在不同地区的现有智力资源和生产设备资源迅速组合，建立动态联盟的制造体系，以适应全球化制造的发展趋势。

思 考 题

1. 一般所说的 CAD/CAM 过程链主要包括哪些内容？
2. CAD/CAM 系统实现集成的方案有哪几种？
3. CAD/CAM 技术发展趋势如何？

第二章 CAD/CAM 系统的支撑环境

第一节 CAD/CAM 系统概述

一、CAD/CAM 系统的组成

CAD/CAM 系统由一系列的硬件和软件组成。硬件主要指计算机及各种配套设备，如各种档次的计算机、打印机、绘图机等，广义上说，硬件还应包括用于数控加工的各种机械设备等。软件一般包括系统软件、支撑软件和应用软件等。图 2-1 为 CAD/CAM 系统组成简图。

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，规模也有大有小。例如，根据所采用的计算机类型，CAD/CAM 系统可以分为大型机系统、小型机系统、由工作站组成的系统及由 PC 机组成的系统；根据系统功能，也可以分为通用系统及专用系统。

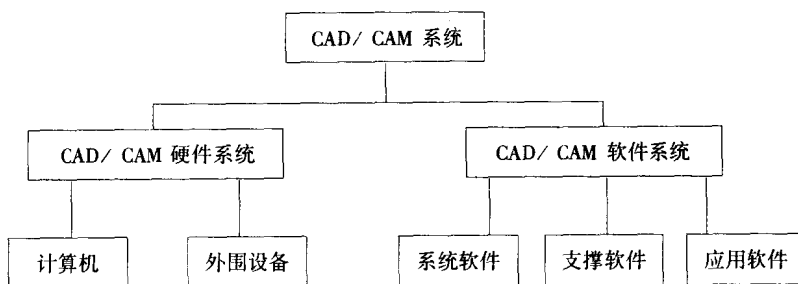


图 2-1 CAD/CAM 系统的基本组成

二、CAD/CAM 系统应具备的基本功能

比较完善的 CAD/CAM 系统，应该能够基本完成从产品设计到制造全过程中的各项工作，一般来说，CAD/CAM 系统应具有如下主要功能：

- (1) 交互图形输入及输出功能 用于基本的产品结构设计等任务。
- (2) 几何建模功能 包括实体建模、线框建模及自由曲面建模等，它是 CAD/CAM 系统几何处理的核心，提供有关产品设计的各种数据，是后续作业处理的基础。
- (3) 物性计算及工程分析功能 根据几何建模的基本参数，对产品进行工程分析和数值计算，其中最常用的是有限元分析和优化处理功能。
- (4) 处理数控加工信息的功能 用于自动编程、动态仿真及多坐标数控加工控制等。
- (5) 数据管理功能 用于处理产品设计过程中的全部信息，实现工程数据信息的共享。

三、CAD/CAM 系统的选型及配置

由于企业技术水平及生产能力不同，在 CAD/CAM 技术应用上分为多种情况。有些大型企业全面采用了功能比较完善的 CAD/CAM 系统，有些企业则是采用了适合某种产品的功能有限的 CAD/CAM 系统，还有一些企业采用了仅以 CAD 为主的系统。

随着软件及硬件的发展，特别是计算机网络技术的出现，CAD/CAM 系统正在向集成化、

智能化、标准化和网络化发展。由于 CAD/CAM 系统投资相对较大,如何科学、合理地选择适合本企业的系统,必须经过详细的考查与分析。一般要进行如下考虑:

- 1) 根据本企业的特点、规模、追求目标及发展趋势等因素,确定应具有的系统功能。
- 2) 从整个产品设计周期中各个进程的工作要求出发,考核拟选用的系统各模块的功能,包括其开放性和集成性等特点。然后,根据性能价格比选择合适的硬件环境与软件环境。
- 3) 考虑如何使用、管理该系统,使其发挥应有的作用,真正为企业创造良好的效益。

由于计算机技术发展迅速,软硬件产品的更新周期很短,所以在组建 CAD/CAM 系统时,应采取在总体规划指导下,先构建系统的基本部分,然后再逐步扩充的策略。对于资金尚不充足或者 CAD/CAM 基础薄弱的单位,可先选择效益比较显著的普及性应用,例如,从 CAD 绘图开始,待条件成熟时再考虑 CAD/CAM 系统的完善。对那些已具有相当规模的大型企业来说,只有采用先进的 CAD/CAM 技术,才能在产品设计与创新、产品制造及投放市场速度等方面取得优势,在激烈的市场竞争中求得发展。

四、CAD/CAM 系统的工作方式

从使用上说,各种类型的 CAD/CAM 系统基本都采用人机交互方式工作,区别在于系统的功能、完善程度及自动化水平不同。其中操作者起着主导作用,他们通过人机对话方式,在计算机上实现 CAD/CAM 中的各种过程。对于大型 CAD/CAM 系统,包括设计计算、实体建模、有限元分析、动态仿真、NC 编程等;对于一般的 CAD/CAM 系统,则可能只包括设计计算及二维绘图等。各个操作过程的结果都以图形和数据的形式显示在计算机屏幕上,供设计者观察判断,以确定是否合格或如何进行修改。

作为 CAD/CAM 系统的使用者,应该具有相关的专业知识,要对系统功能有充分的了解和掌握,另外也要对系统运行环境很好地了解。只有把硬件、软件及操作者有机结合起来,才能有效地发挥一个成熟的 CAD/CAM 系统的作用。

第二节 CAD/CAM 系统的硬件

一、概述

CAD/CAM 系统的硬件是由主机及其所属外围设备组成,CAD/CAM 系统对硬件的主要要求为:

1. 强大的图形处理和人机交互功能

在 CAD/CAM 系统的信息处理中,几何图形信息处理占较大比重,一般都配有大型图形软件。为满足图形处理和显示的需要,CAD/CAM 系统要求计算机具有大内存、快速及高分辨率显示等特点。另外,CAD/CAM 系统的工作经常需要多次修改及人工参与决策才能完成,要求计算机具有方便的人机交互渠道与较快的响应速度。

2. 需要有相当大的外存容量

由于面向对象、可视化及多媒体技术的应用,用于 CAD/CAM 系统的各类软件一般都需要几十兆至几百兆以上的存储及工作空间,而用户开发的图形库、数据库及各类文档等则需要更大的硬盘资源。

3. 良好的通信联网功能

为达到系统的集成,使位于不同地点和不同生产阶段的各部门能够进行信息交换及协同

工作, 需要计算机网络将其连接起来, 通过网络技术应用, 形成网络化 CAD/CAM 系统。

在选择 CAD/CAM 系统硬件时, 首先要考虑能满足当前所需要的系统功能, 其次还要考虑系统今后发展的可扩充性, 一般应选择符合公认标准的开放式系统。

计算机硬件系统的基本配置如图 2-2 所示, 其中 I/O (输入/输出) 设备一般包括外存储器、显示器、键盘、鼠标、打印机、绘图机、扫描仪等及网络通信设备等。

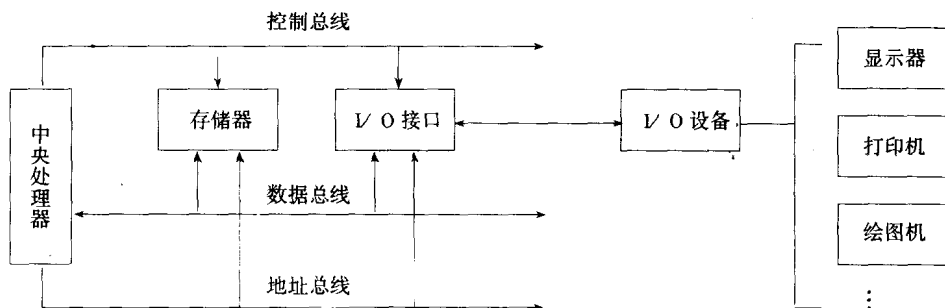


图 2-2 计算机硬件系统基本配置

二、主机

（一）主机构成

主机是计算机的主体, 由中央处理器 (CPU)、内存储器及其联接主板组成, 是计算机系统硬件的核心。中央处理器的功能是处理数据, 由控制器和运算器两部分组成, 其控制器按照从内存中取出的指令控制计算机工作, 运算器负责对数据进行算术运算和逻辑运算。被处理的数据取自内存, 处理的结果又存回内存。对主机工作性能的要求是执行处理速度快及内存容量大。

用于评价主机处理能力的指标主要有以下几项:

1. 速度

速度的评价指标常采用 MIPS 和 MFLOPS。MIPS 代表每秒钟执行一百万条整数运算指令, MFLOPS 代表每秒钟执行一百万条浮点数运算指令, MIPS 和 MFLOPS 值愈大, 表示处理速度愈快。由于不同类型的 CPU 具有不同的结构体系和指令系统, 所以, 即使是相同的运算指令执行次数, 其运算能力也并不等同。现在, 普通用户多习惯于根据主机的工作频率来比较其处理速度的高低, 但对不同结构的 CPU 来说, 只以主机工作频率的多少进行对比是不正确的。

为了能够客观地比较具有不同结构的 CPU 的能力, 近年又流行一些基于某种基准测试的评估方法和指标, 例如经常用于测试工作站的 SPECmark 和用于测试微机的 WinBench。SPECmark 是由系统性能评估联合会 (System Performance Evaluation Consortium) 提出的用于评价高速计算机性能的一种标准的基准测试, 它是基于运行十个典型基准测试程序的结果与 VAX11/780 机运行速度相比得到的倍数。

2. 字长

字长是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的位数。位数愈多表明一次处理的信息量愈大, CPU 工作性能愈好。市场上常见的计算机的字长有 32 位,

64 位等几种。

计算机结构有单个处理器和多个处理器之分,多处理器可以实现并行计算,提高运算速度。处理器有两种体系结构,即复杂指令集体系结构(CISC)和精简指令集体系结构(RISC)。RISC 是 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。

为减轻主 CPU 的负荷,提高工作效率,通常在主机内还配置有若干协处理器协助主处理器工作,如浮点运算处理器、图形协处理器等。

(二) 计算机类型

按照主机功能等级不同,计算机可分为大中型机、小型机、工程工作站及微型机等档次。CAD/CAM 系统常以其硬件组成特征分类,相应地可分为大中型机系统、小型机系统、工程工作站系统及微型机系统等。

1. 大中型计算机

大中型计算机功能强大,通常采用一个主机连接多个终端,支持多个用户同时工作,可以进行大型复杂设计运算和仿真分析,以及集中管理大型数据库。大中型机价格昂贵,性能价格比不高,在市场上所占的比重在逐渐减小,但它在大型 CAD/CAM 系统中仍具有不可替代的重要作用,一般用作大型 CAD/CAM 系统的中心服务器。

2. 小型机

小型机的性能价格比优于大中型机,70 年代末至 80 年代初的 CAD/CAM 系统多采用这种机型。80 年代中期以后,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

所谓工程工作站,是以个人计算机环境和分布式网络环境相结合的高性能价格比的小型机,由于它为工程技术人员提供了较理想的独立使用工作环境,故称为工程工作站。

与一般小型机相比,工程工作站具有较强的人机交互、图形显示和网络通信功能,能够方便地通过网络组成分布式计算机系统,是 CAD/CAM 系统较理想的主流硬件平台。

4. 微机

微机的优点是投资少,性能价格比极高,操作简易,对使用环境要求低,应用软件非常丰富。缺点是微型机 CPU 处理能力相对来说较弱,图形显示及网络通信功能也不够强。

近年来,微机性能提高很快,高档微机的功能已接近低档工作站的水平,许多原来只能在工程工作站上运行的软件已有移植到微机平台上的版本,因此,由微机组成的 CAD/CAM 系统越来越受到用户的欢迎。

三、内存储器

内存储器用于存储 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)及高速缓冲存储器(Cache)。

RAM 是 CPU 用于存取信息的随机存储器,可以随意、不按顺序地存取信息。但如果断电,在 RAM 中所存储的信息就会丢失。在 RAM 工作期间,要对它周期性地刷新,再充电,以保持信息。停机前,应将当前处理过的有用信息存入外存储器(如硬盘),以备后用。

只读存储器 ROM 主要用于存储启动引导程序和基本输入输出程序等,CPU 只能从中读出信息。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。