



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育机械设计制造类专业教学用书

机械 CAD/CAM

田美丽 主 编
黄艳群 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育机械设计制造类专业教学用书

主要内容

机械 CAD/CAM

主 编 田美丽
副主编 黄艳群
编 写 贺琼义 胡亚辉
何 平 陈晓曦
主 审 史明华 朱梦周

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,它系统介绍了 CAD/CAM 技术的基本概念、基本原理及其应用方法。全书内容包括 CAD/CAM 技术相关的基本概念, CAD/CAM 系统软、硬件构成及选择原则, CAD/CAM 产品建模技术, CAD/CAM 中的图形处理技术, CAE 的基本原理及应用方法, CAPP 系统的分类与工作原理, CAD/CAM 中的数控编程技术与加工模拟和典型 CAD/CAM 系统软件的应用方法等。

本书在内容上力求以系统性为基础,重点突出实用性和可操作性,在讲述典型的 CAD/CAM 软件应用方法时,选择了功能强大的 CATIA 和市场应用广泛的 MasterCAM 两个软件,以应用实例的形式展开了详细的讲解,书中的实战演练均是作者在实践中反复验证过的典型实例。

本书可作为机械工程、工业工程以及与制造相关的高等职业技术学院的课程教材,亦可作为工科相关专业的本科生,研究生或从事 CAD/CAM 技术研究和工程应用的专业技术人员的参考书和培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAD/CAM/田美丽主编. —北京:中国电力出版社, 2005

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-2991-0

I. 机… II. 田… III. ①机械设计: 计算机辅助设计
—高等学校: 技术学校—教材②机械制造: 计算机辅助制
造—高等学校: 技术学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 090242 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 8 月第一版 2005 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 368 千字

印数 0001—3000 册 定价 22.60 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的机械设计制造类专业主干课程的教学大纲编写而成的,并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》,供高等职业教育机械设计制造类专业教学使用。

随着计算机技术的迅速发展,计算机辅助设计与制造(Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing,简称CAD/CAM)技术已广泛应用于航空航天、汽车、船舶、机械、电子、轻工、建筑等各个领域。1989年,CAD/CAM技术被美国国家工程科学院评为当代最杰出的十大工程技术成就之一。1991年3月,在海湾战争结束以后,美国政府确定了跨世纪的国家关键技术发展战略,列举了6大技术领域中的22项关键项目,其中两大技术领域及11个项目与CAD/CAM技术紧密相关,这就是制造与信息领域。面对制造业所发生的一系列变化,我国从20世纪80年代也开始了对CAD/CAM技术的研究与应用。在“九五”期间,我国把开展“CAD应用工程”作为重点项目。目前,CAD/CAM技术已经成为加速产品更新、提高产品质量和增强市场竞争力的强大工具,通过CAD/CAM技术的实施,可以提高企业的应变能力和管理水平,使企业适应多品种、小批量高效生产,满足市场瞬息多变的需求。这是相关工业部门参与国际合作,在市场竞争中不可缺少的重要手段。当前,CAD/CAM技术发展的主要趋势是集成化、智能化、网络化和交互化。如何适应机械制造业的迅猛发展,加快我国制造业的现代化进程,快速推广、应用CAD/CAM技术是关键环节之一。因此,为企业培养适应技术发展和市场竞争所需要的人才,已摆在我国高等职业教育的面前。

本书以培养掌握一定理论基础和实践操作能力的应用型高技术人才为指导思想,在全书的知识结构方面进行了合理的安排,内容注重实践,兼顾理论知识。在CAD/CAM理论基础中重点突出了基本概念和应用方法,在实践环节,结合了典型的CAD/CAM软件进行实践演练,具有很强的可操作性。

本书共分10章,主要由天津工程师范学院机械系的部分教师合作编写,天津大学的黄艳群博士和天津理工大学的胡亚辉博士参加了编写工作,天津工程师范学院的田美丽副教授担任主编,天津大学黄艳群博士担任副主编。第1、4、10章(田美丽),第2、8章(贺琼义),第3、6章(黄艳群),第5章(陈晓曦),第7章(胡亚辉),第9章(何平)。

天津工业大学史明华教授和天津大学朱梦周教授认真审阅了全书,并提出了许多宝贵意见和很好的建议,在此谨致谢意。

该书的作者在编写过程中,投入了很大精力,力争使书中内容正确,取材合理,但是限于编者的水平和经验,书中难免存在错误和疏漏,恳请读者批评指正。

编者

2005年3月

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
第二节 CAD/CAM 技术的作用	4
第三节 CAD/CAM 技术的发展	6
第四节 我国 CAD/CAM 技术现状	8
思考题	8
第二章 CAD/CAM 系统的运行环境	9
第一节 CAD/CAM 系统的硬件	9
第二节 CAD/CAM 系统的软件	19
第三节 CAD/CAM 系统软、硬件的选择	21
思考题	26
第三章 CAD/CAM 产品建模技术	27
第一节 概述	27
第二节 CAD 几何建模	27
第三节 三维几何建模技术与分类	30
第四节 图形及产品数据交换技术	55
思考题	58
第四章 CAD/CAM 中的图形处理技术	59
第一节 图形生成	59
第二节 图形的几何变换	60
第三节 几何变换的应用	67
思考题	71
第五章 CAD/CAM 软件 CATIA	72
第一节 CATIA 软件简介	72
第二节 CATIA 软件基本操作	72
第三节 CATIA 二维截面绘图器 (Sketcher)	79
第四节 CATIA 零件造型	85
第五节 CATIA 零件造型实例	93
思考题	115
第六章 计算机辅助工程分析	116
第一节 计算机辅助工程分析基本概念	116

第二节	有限元分析	116
第三节	有限元法的网格单元划分	123
第四节	优化设计方法	127
思考题		131
第七章	计算机辅助工艺过程设计	132
第一节	CAPP 的重要意义	132
第二节	CAPP 系统的分类与工作原理	135
第三节	CAPP 工艺数据库	149
第四节	CAPP 系统的发展现状与趋势	154
思考题		157
第八章	CAD/CAM 中的数控编程与加工模拟	158
第一节	数控编程简介	158
第二节	CAD/CAM 集成数控编程方法	178
第三节	数控程序的检验与加工仿真	178
第四节	CAD/CAM 集成数控编程应用实例	181
思考题		182
第九章	CAD/CAM 软件——Master cam	183
第一节	Master cam 软件简介	183
第二节	Master cam 的基本操作	184
第三节	Master cam 铣削实例练习	206
思考题		220
第十章	CAD/CAM 集成及其发展趋势	221
第一节	CAD/CAM 集成的概念	221
第二节	CAD/CAM 系统集成的关键技术	223
第三节	产品数据管理	224
第四节	CAD/CAM 技术的发展趋势	227
思考题		228
附录 1		229
附录 2		232
参考文献		234

CAD/CAM 技术概述

随着科学技术的发展,制造业正经历着一个从单品种大批量生产到多品种小批量生产或单件生产的转变过程。制造技术也正在向自动化、集成化、智能化和网络化的先进制造技术方向发展。先进制造技术综合考虑 TQCS 各方面的需求,以达到缩短生产周期 (Time)、更好的产品质量 (Quality)、更低的成本 (Cost)、方便用户和优质服务 (Service) 等目的,从而满足不断发展的产品多样化和个性化的需要。CAD/CAM 技术是近 20 多年来迅速发展、广泛应用的一门新兴综合性计算机和自动化应用技术,这项技术从根本上改变了过去从设计到产品的整个生产过程中的技术管理和工作方式,给设计和制造领域带来了深刻变革。它也是实现先进制造技术目标的关键技术之一。

第一节 CAD/CAM 技术的基本概念

计算机辅助设计 CAD (Computer Aided Design) 是集计算机科学与工程科学为一体的综合性学科。近 40 年来, CAD 技术得到迅速发展,已成为以“计算机技术”和“计算机图形学”为技术基础,并融合各工程学科知识的一种应用技术。

CAD 技术是 CAD/CAM 的基础,亦是一项理论与实践相结合的技术。可以这样理解 CAD 技术:①它是一个过程,在计算机环境下完成产品设计的创新、分析和修改,以达到预期的设计目标;②它是一项产品建模技术,把产品的物理模型转化为产品数据模型,并将其储存在计算机内供后续的计算机辅助技术 (CAX) 所共享,驱动产品生命周期的全过程。

在 CAD 技术研究与应用的最初阶段,主要是在几何造型方面开展的,经历了线框造型、曲面造型、实体造型和特征造型等发展阶段。几何造型技术解决了设计对象在计算机内部表达问题,但一个完整的机械产品设计不仅是对几何形状有要求,还有诸如力学特性、运动学特性等方面的要求。随着计算机技术的发展, CAX 技术广泛应用于制造业,生产实践中有了进一步提高生产过程的集成化和自动化程度的要求, CAD 的概念进一步扩展到与制造全过程相关联。如在产品数据模型中应考虑如何方便工艺过程设计、数控加工自动编程、数控检测等环节的要求。因此,机械产品 CAD 过程包括从产品数据模型建立、工程分析、动态模拟 (如动力学分析与仿真、运动学分析与仿真等) 到生成产品的设计文档资料 (如装配图、零件图及设计过程需要的各种技术文档等) 的全部过程。如图 1-1 所示为机械产品 CAD 过程。

计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, 简称 CAM) 至今尚无统一的定义。一般来说,可以从狭义和广义两个方面来定义 CAM。

(1) 狭义 CAM: 指应用计算机辅助编制数控机床加工指令 (Numerical Control Programming, 简称 NCP)。

(2) 广义 CAM: 指应用计算机及其交互设备进行制造信息处理的全过程。它不仅包括应用计算机辅助手段编制数控程序,还包括用计算机辅助完成生产前的准备及生产过程中的管理与控制工作,如计算机辅助工艺过程规划 (Computer Aided Process Planning, 简称 CAPP)、

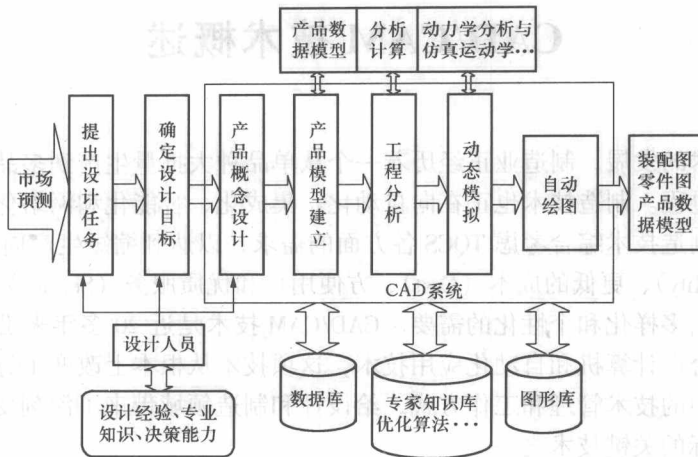


图 1-1 机械产品 CAD 过程

计算机辅助生产管理 (Computer Aided Production Management, 简称 CAPM)、生产过程控制和质量监控等。从上述解释人们可以看出广义 CAM 是指从毛坯到产品的全部制造过程中, 包括直接制造过程和间接制造过程都应用了计算机辅助手段。而狭义 CAM 仅指在制造过程中某个环节, 如在数控编程环节应用计算机辅助技术。因此, 如何理解 CAM 的范畴必须分清。如图 1-2 为机械产品广义 CAM 范畴。

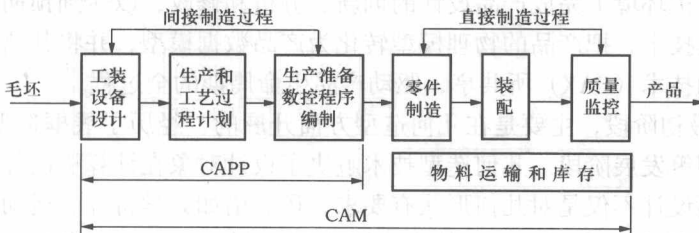


图 1-2 机械产品广义 CAM

早期的 CAD 技术和 CAM 技术是各自独立发展的。由于两者在各自的发展过程中所关心的重点不同。因此在 CAD、CAPP、CAM 等各自独立系统间; 进行信息交换时出现了问题, 必须由人工参与连接。这不仅仅降低了效率, 影响了计算机技术优势的

发挥, 还易于产生人为的错误。因此进一步使 CAD 系统与 CAM 系统有机的结合起来就成为历史的必然。

CAD/CAM 技术在实际应用中主要是以系统方式出现的, 即在 CAD/CAM 系统中 CAD、CAPP、CAM 等各模块间的信息是集成在一起的, 是统一的集成整体。各模块间的信息可以方便的进行提取、交换、存储和处理。CAD/CAM 系统包括商品化 CAD/CAM 系统和企业根据应用目标构建的 CAD/CAM 系统。

CAD/CAM 系统一般包括的模块有: 产品建模、工程绘图、工程分析、工艺过程规划、数控编程、数控程序仿真、动态模拟、工程数据库及系统接口。但是商品化 CAD/CAM 系统通常还不具备自动生成工艺过程规划的功能, 而企业根据应用目标构建的 CAD/CAM 系统则可能在某几个功能上做的更完善一些。图 1-3 是一个典型的 CAD/CAM 系统。

CAD/CAM 系统各功能模块是以工程数据库为核心集成在一起的, 下面简述各组成模块

的功能。

1. 产品建模 (CAD)

产品建模即在计算机内部建立产品的数据模型。包括产品的概念设计和结构设计。在结构设计中可以应用当前较成熟的曲面造型技术、实体造型技术和特征造型技术,并且要考虑零件的几何特征和制造工艺特征。建立一个统一的产品数据模型,为其他模块所共享。

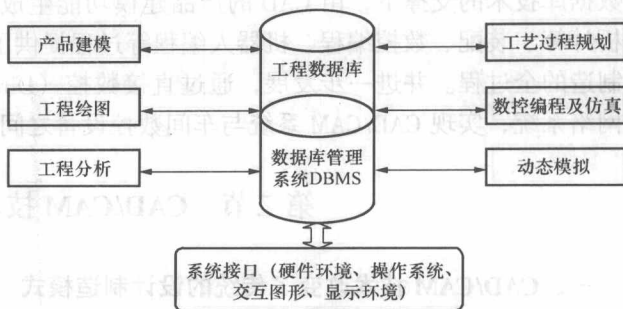


图 1-3 典型 CAD/CAM 系统

2. 工程绘图 (CAD)

工程绘图绘制工程图纸,为生产所用。

3. 工程分析 (CAE)

工程分析包括对产品的性能、特征进行理论分析和计算。一般的 CAD/CAM 系统可以进行结构分析、应力计算、载荷计算、有限元分析、优化设计等。对于特殊的产品还应增加动力计算、振动分析和重心分析等。

4. 工艺过程规划 (CAPP)

工艺过程规划的重要任务是为被加工零件选择合理的加工方法,安排合理的加工顺序,选择机床、刀具、夹具和量具,决定加工公差和适当的切削用量,计算时间定额和加工成本,并将以上数据信息编制成工艺文件为加工及制造管理所用。在 CAD/CAM 系统中,CAPP 的输入信息来自 CAD 模块的产品定义数据模型(由特征造型技术建立产品模型完整地描述了零件的几何与工艺特征信息)。CAPP 向前与 CAD 集成,向后输出工艺规程,进一步扩展生成 NC 指令,与 CAM 集成。因此,CAPP 是连接 CAD 与 CAM 之间的一座桥梁,是实现 CAD/CAM 集成的关键技术。

5. 数控编程及仿真 (NCP and Imitate)

NCP 是 CAD/CAM 软件系统的重要组成部分,是 CAD/CAM 技术发挥效益最显著的环节之一。主要是运用 CAD 模块的几何信息和 CAPP 模块的工艺信息,完成零件的数控加工编程,并对数控程序进行检验与仿真,从而提供各种加工信息。

6. 动态模拟 (Dynamic Simulation, 简称 DS)

对于特殊产品,在设计过程中需要对其运动学特性和动力学特性进行分析与检验。CAD/CAM 系统动态模拟模块可以模拟某些产品的运动特征及动力学特性,检验产品的性能,进而达到优化设计。

7. 工程数据库

工程数据库是 CAD/CAM 系统的技术基础,它与一般的管理型数据库的不同点是:数据量大,形式多样,结构复杂,动态性强,图形数据与非图形数据并存。工程数据库将产品从设计到制造的各个环节用信息流联系起来,真正实现信息的集成与共享。

8. 系统接口

CAD/CAM 系统的接口通常为标准化接口或定义为通用接口,提高了系统的工作效率。

综上所述,CAD/CAM 就是指产品从设计到制造的全过程的信息集成和信息流自动化。

在数据库技术的支撑下,由 CAD 的产品建模功能生成数字化产品数据模型,为产品性能的分析计算、装配、数控编程、机器人编程等过程提供了产品的原始信息,从而驱动产品设计到制造的全过程。并进一步发展,通过直接数控(Direct Numerical Control,简称 DNC)系统或网络系统,实现 CAD/CAM 系统与车间数控设备之间的集成。

第二节 CAD/CAM 技术的作用

一、CAD/CAM 技术改变了传统的设计制造模式

CAD/CAM 技术产生以来,到 20 世纪末,CAD 技术已广泛应用于航空航天、汽车、船舶、机械、电子、轻工、建筑等各个领域,已成为相关工业部门在市场竞争中不可缺少的手段。1989 年,CAD/CAM 技术被美国国家工程科学院评为当代最杰出的十大工程技术成就之一。1991 年 3 月,在海湾战争结束以后,美国政府确定了跨世纪的国家关键技术发展战略,列举了 6 大技术领域中的 22 项关键项目,其中两大技术领域及 11 个项目与 CAD/CAM 技术紧密相关,这就是制造与信息领域。为实现先进制造技术的目标,即生产成本上有竞争力的,高质量的新产品,并使之快速投入市场,CAD/CAM 技术起到了非常关键的作用。

我国国家领导人,对 CAD/CAM 技术也非常重视。江泽民同志曾提出:“计算机辅助设计,推动了几乎一切领域的设计革命。”CAD/CAM 技术的发展和水平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。CAD/CAM 技术从根本上改变了传统的机械产品设计与制造模式,使设计者摆脱了繁琐的手工绘图、计算分析;使生产管理人员摆脱了发图、凭图纸组织整个生产过程的陈旧技术管理模式;使制造者摆脱了读图、改图,根据图纸设计工艺,靠操作者技术水平来决定产品质量的传统制造模式。CAD/CAM 技术展现给我们的是一种全新的设计/制造模式——在图形工作站或微机平台上交互设计,用数据文件发送产品定义,以统一的产品数据模型驱动产品设计/制造的全过程(如产品设计、分析计算、工艺装备设计、数控加工、质量控制、编印产品维护手册、组织备件定货供应等等)。CAD/CAM 技术的应用是制造业的一场信息革命,它改变了传统的串行作业模式,实现了并行工程。

并行工程(Concurrent Engineering,简称 CE)是现代制造业组织产品设计和生产的一种哲理。它提倡群体的协同工作,采用并行方式处理产品及其相关过程,有效地缩短了生产周期。图 1-4 是传统的串行作业与现代并行作业的比较。

从图 1-4 中可以看出,传统的串行作业方式是设计制造各个环节按照顺序依次安排的。这样使整个生产周期比较长。而先进的并行工作方式是在 CAD/CAM 集成化软件系统的支撑下,在基于面向目标的工程数据库的产品数据管理系统(Product Data Management System,简称 PDMS)和网络通信系统构成的集成框架支撑下,由交叉作业的工程技术人员(Team Work),并行、协同地工作着。他们之间共享着数据库信息,并可相互通信。例如,在设计过程中,工程分析人员可以直接调用设计师建立的产品数据模型,在此基础上建立分析模型,对产品进行性能分析,及时发现问题,及时反馈给设计部门,经设计师确认及时修改原设计。由于各阶段工作在时间上是部分重叠的,这样后续工作可以提前进行,大大缩短了某些部门的等待时间,也给各个部门争取到了更多的准备与工作时间。并行工程作业模式不仅可以有效地缩短产品的生产周期,加速产品的上市。而且,还提高了产品设计的一次性成功率。

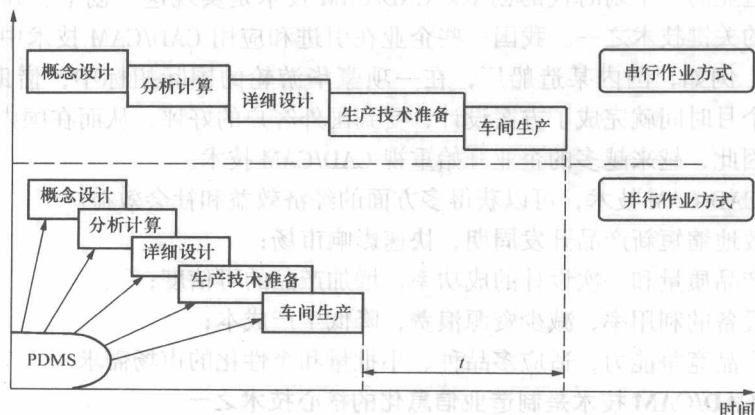


图 1-4 现代并行作业与传统串行作业的比较

随着微电子技术和网络通信技术的不断发展，基于统一的产品数据模型，并行工程的实施已不受地区和国界的限制，并行工程实现异地制造已成为 21 世纪的一种崭新的设计制造工作模式。

二、CAD/CAM 技术可支持虚拟新产品开发

传统的新产品开发，从人工设计、绘图到样机试制，需要一个很长的周期。若样机不能满足客户的要求，则需要重新修改设计并重新制造样机，这样既十分耗费时间，又不经济。严重的影响了新产品的开发和上市，削减了企业的市场竞争力。CAD/CAM 技术的应用，为新产品的开发创造了一个虚拟现实环境。当前多数 CAD/CAM 软件，具备现代工业设计模块，该模块应用 CAD 的可视化技术、三维造型技术，在屏幕上显示出用户需求的新产品的外形、色彩和结构。人们把这种在计算机屏幕上虚拟环境中显示的新产品称为虚拟产品。通过 CAE 模块和 CAM 模块对虚拟产品进行性能分析和机构动态仿真，以及数控加工的模拟，使用户在产品尚未生产之前就知道了产品的性能和可加工性。如果不能达到用户满意，可以及时在计算机内对产品数据模型进行修改。虚拟产品的开发，不仅有效地缩短了新产品的开发周期，提高了产品的质量，而且由于用户可直接参与设计，及时与设计师、工艺师交流需求信息，因而在虚拟产品环境下开发的新产品能更好的满足市场需要，并可预测产品的销售前景。

三、CAD/CAM 技术的效益

自从 1969 年麻省理工学院（MIT, Massachusetts Institute of Technology）开发出世界上第一个面向制造的机械 CAD/CAM 集成系统以来，CAD/CAM 技术经历了几个发展阶段，其间 CAD/CAM 系统的销售量也逐年增加。据统计，美国 1970 年 CAD/CAM 作为一个产业的产值为零，到 1991 年，年产值约数百亿元，其中机械行业占 51%，电子电器行业占 23%。同时 CAD/CAM 系统的应用为用户企业带来了巨大的经济效益。

应用 CAD/CAM 技术，进行产品开发，可以使设计制造过程省时高效的进行。例如，用传统方法生产一个大规模集成电路芯片，要花两年时间完成，而采用 CAD/CAM 技术只要用两周即可完成；美国采用 CAD/CAM 技术开发生产波音 747，比英国的三叉戟飞机少用两年时间；美国 GM 公司在汽车开发中应用 CAD/CAM 技术，使新型汽车的设计周期由五年缩短为三年，而新产品的可信度由 20% 提高到 60%。1995 年，波音 777 未经生产样机就获得了

定货,这是制造业的一个划时代的创举。CAD/CAM 技术是实现这一创举、确保飞机设计和生产一次成功的关键技术之一。我国一些企业在引进和应用 CAD/CAM 技术中,也取得了显著的经济效益。例如,国内某造船厂,在一项豪华游轮的国际招标中,借助 CAD/CAM 技术,仅用了一个月时间就完成了方案设计,受到国外客户的好评,从而在国内外的众多对手中一举中标。因此,越来越多的企业开始重视 CAD/CAM 技术。

企业实施 CAD/CAM 技术,可以获得多方面的经济效益和社会效益。

- (1) 将有效地缩短新产品开发周期,快速影响市场;
- (2) 提高产品质量和一次设计的成功率,增加产品的可信度;
- (3) 提高设备的利用率,减少资源浪费,降低生产成本;
- (4) 提高产品竞争能力,适应多品种、小批量和个性化的市场需求。

四、机械 CAD/CAM 技术是制造业信息化的核心技术之一

机械 CAD/CAM 是企业实施制造业信息化工程的基础和核心技术之一,也是先进制造技术中重要组成部分。我国制造业信息化正在进入一个全新的阶段,越来越多的企业开始意识到,信息化已成为企业快速成长,提高竞争力的制胜之道。对于制造企业,从市场预测、产品设计、加工制造、生产管理到售后服务的全部生产经营活动应该集成在一个整体的系统中,整个系统是通过信息流有机地集成在一起的,该信息流由面向制造的信息流和面向生产管理的信

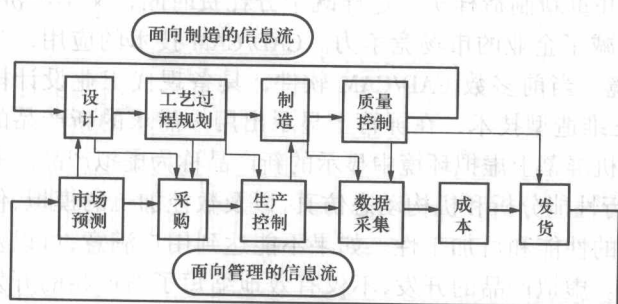


图 1-5 企业中的两大信息流

CAD 提供的产品数据模型是面向制造信息流的源头,驱动着产品生命周期的全过程。产品数据管理系统(PDMS)管理着企业完整的产品信息,把面向制造的信息流和面向管理的信

息流集成为一体。面向生产管理的信

息的核心是企业资源计划(Enterprise Resource Planning, 简称 ERP)和车间控制。PDMS 是 CAD/CAM 与 ERP 信息集成的桥梁,把以产品数据

模型为信息源头的面向制造的信息传递给 ERP。CAM 的 DNC(Direct Numerical Control)系统和 DNC 网络系统实现了面向制造信息和自动化车间的集成。由此可见,CAD/CAM 技术是实现制造业信息化的基础。

总之,CAD/CAM 技术是企业参与市场竞争的有效工具。

第三节 CAD/CAM 技术的发展

CAD/CAM 技术的发展是与计算机技术的发展有着紧密联系的。1946 年,MIT 研制成功世界上第一台计算机,为 CAD/CAM 技术的产生奠定了重要基础。由于计算机具有高速运算和大容量存储能力,使得数值分析方法、有限元方法(The Finite Element Method, 简称 FEM)等能在计算机上实现。从而使设计人员摆脱了繁重的工程分析计算。20 世纪 50 年代中期,

计算机已应用于工程和产品设计的分析计算,这就是早期的计算机辅助工程分析(Computer Aided Engineering,简称 CAE)技术。1952 年 MIT 试制成功世界上第一台数控铣床,并开发了自动编程工具——APT (Automatically Programmed Tools) 语言,解决了如何方便地将被加工零件的形状输入到计算机中去进行刀具轨迹计算和数控指令的自动生成,实现了 NC 编程的自动化,这标志着 CAM 技术的开始。1950 年 MIT 采用阴极射线管(CRT)研制成功图形显示终端,实现了图形的屏幕显示,结束了计算机只能处理字符数据的历史,并且一门新兴学科——计算机图形学从此诞生,为 CAD 技术的产生奠定了基础。CAD 技术的真正发展应该是在 20 世纪 60 年代初。

20 世纪 50 年代至 60 年代初, CAD/CAM 技术处于准备和发展的初期,60 年代以后至今 CAD/CAM 技术发展大致经历了以下三个阶段。

1. 单元技术的发展和应⽤阶段

1962 年,美国学者 I.E. Sutherland 发表了题为《SKETCHPAD——人机对话系统》的论文,并研制出 SKETCHPAD 系统,这篇论文被世界公认为计算机图形设计论文的处女作, Sutherland 在这篇论文中首次提出了计算机图形学(Computer Graphics 简称 CG)、交互设计技术等理论和概念,为 CAD 技术提供了理论基础。1963 年在实验室中实现了该论文中很多技术思想,如屏幕菜单的拾取、功能键操作、光标定位、图面动态修改等多项交互设计技术,这些基本理论和技术,至今仍是 CAD 技术的基础。这一时期,比较有名的 CAD 系统有: IBM 公司开发的基于大型计算机的 SLT/MST 系统;1965 年,美国洛克希德飞机公司的 CAD-AM 系统等。在制造领域,1962 年研制成功世界上第一台机器人,实现了物料的自动搬运;1966 年又研制成功 DNC 系统,用一台大型通用计算机直接控制多台数控机床进行自动加工。但是由于这一时期图形显示系统价格比较昂贵, CAD/CAM 技术还难以得到推广应用,直到 20 世纪 60 年代末期,图形显示装置的价格大幅下降, CAD/CAM 技术才得以迅速发展。

到 20 世纪 70 年代已经形成 CAD/CAM 产业,随着微电子技术的发展,大规模集成电路代替了晶体管、集成电路,计算机的计算速度和存储容量也有了很大的提高,这一时期 CAD/CAM 系统多数是以 16 位的小型机为主机,配置图形输入/输出设备及绘图机等外部设备。如美国 CV 公司的 CADDSS 和 Intergraph 公司的 CAD/CAM 系统等。这一阶段 CAD/CAM 系统的特点是, CAD、CAE、CAM 各功能模块已基本形成,形成了一个单元技术相对独立发展的局势。各模块之间数据结构尚不统一,其数据交换通过数据转换接口实现,因而缺乏集成性,企业也处于单元技术的应用阶段。

2. CAD/CAM 的集成阶段

20 世纪 80 年代是 CAD/CAM 技术迅速发展的时期,超大规模集成电路的出现,使计算机硬件成本大幅下降,32 位工程工作站及超级微型机以其卓越的性能迅速替代了大型机。许多 CAD/CAM 软件公司纷纷把在大型机上运行的 CAD/CAM 系统向工作站上移植和开发。计算机外围设备不断开发出新产品,加之网络技术的广泛应用,为 CAD/CAM 技术的进一步发展提供了必要的条件。这一阶段的 CAD/CAM 系统具有的特点有:①几何造型技术日趋成熟,能够进行三维造型,自由曲面设计,是 CAD/CAM 系统的核心功能模块;②CAD 设计的结果不仅仅是简单的图形输出,而是为了完成所设计产品的加工,其数据结构趋于统一,整个 CAD/CAM 系统有统一的数据结构和工程数据库;③各种相关计算机辅助技术(CAX)的出现使系统的集成性更好。企业由于应用 CAD/CAM 技术取得显著的经济效益。这一时期较

著名的 CAD/CAM 商品化软件有 CATIA、UG-II、I-DEAS、Pre/Engineer 等。

3. CAD/CAM 集成软件的成熟发展阶段

进入 20 世纪 90 年代, CAD/CAM 系统向标准化、集成化、智能化和网络化高速发展。这一时期, 企业为响应不断变化的市场需求, 在激烈的市场竞争中取胜, 更加强调产品生产与组织管理的自动化。从而对 CAD/CAM 系统更加强调信息集成与资源共享, 这就对数据标准和数据交换提出了更高的要求, 通过产品数据管理系统 (PDMS) 解决了“制造自动化孤岛”的问题, 使制造信息和制造管理信息有机地集成起来, 出现了计算机集成制造系统 (CIMS), 将 CAD/CAM 技术推向了更高层次。该阶段的 CAD/CAM 系统集成性更好, 实现了并行工程, 其硬件环境主要是由工作站或高性能微机组成的客户机/服务器网络系统。主要应用的软件有法国的 CATIA、美国的 I-DEAS、UG II、Pro/E 等。随着微机硬件性能的提高, 也出现了一批微机 CAD/CAM 系统, 典型的有: Autodesk 公司的 AutoCAD 系统、CV 公司的 CADDs、Solidwork 系统及 Master CAM 系统等。进入 21 世纪以来, 许多工作站版本的 CAD/CAM 系统也相继出现了微机版本。

第四节 我国 CAD/CAM 技术现状

我国 CAD/CAM 技术的开发始于 20 世纪 70 年代, 到了 20 世纪 80 年代我国有一批科研机构, 包括研究所和大专院校对 CAD/CAM 技术开展了大规模的研究和开发。机械 CAD 应用工程、CIMS 应用工程的意义不仅在于它使企业获得更高的经济利益, 更重要的是它已经成为推动我国制造业信息化的一条有效的途径。国家对 CAD/CAM 技术十分重视, 组织专家研究在全国组织实施 CAD 应用工程的必要性和可行性。1992 年经国务院批准, 由国家教委组织成立了全国 CAD 应用工程协调领导小组, 开始在全国组织实施 CAD 应用工程, 制定了《CAD 应用工程发展规划纲要》。在“九五”期间, 国家教委将 CAD 应用作为四大工程 (先进制造技术、先进信息工程、CIMS 工程、CAD 应用工程) 之一。到 20 世纪 90 年代, CAD/CAM 技术的研究与开发工作在我国取得了可喜的成绩, 开发出了具有自主知识产权的 CAD 软件, 这些软件基本都是微机版本, 符合我国设计人员的设计习惯。如北京高华计算机公司 (清华大学与广东科龙集团联合创建) 开发的高华 CAD、北京华正模具研究所推出的 CAXA 电子版 CAXA—ME 制造工程师、金银花 (Lonicera) 系统、开目 CAD 等 CAD/CAM 应用软件。与国外同类 CAD/CAM 软件相比, 这些软件仍然存在着一一定的差距, 主要表现为资金投入不足, 商品化包装以及企业的集团化规模还不够, 未能很好地有组织、有计划、有重点地进行研究, 造成低水平的重复劳动, 影响了软件开发的进程和水平的提高。但是, 通过全社会各界人士的共同努力, 一定会改变这种现状, 国产 CAD/CAM 软件仍然有着广阔的市场前景和发展潜力。

思考题

1. 简述 CAD、CAM 技术的特点及应用。
2. 简述 CAD/CAM 技术的作用。
3. 应用 CAD/CAM 技术与传统的设计制造方法相比有何特点?

CAD/CAM 系统的运行环境

第一节 CAD/CAM 系统的硬件

CAD 系统的运行环境在不断发展。20 世纪 60 年代末到 70 年代初的主导系统是 IBM 主机带 2250 光笔图形终端,以后出现了 PDP-Ⅱ、HP、NOVA 等小型计算机和 Tektronix 存储管图形显示器。从 20 世纪 70 年代末开始,盛行各种软硬件配套系统,称作交钥匙 (turn-key) 系统,像 Computervision、Applicon、Gerber、Calma、Auto-trol、Unigraphic 及 intergraph 等。CDC 公司在大型机上也开发了 ICEM CAD/CAM/CAE 集成系统。20 世纪 80 年代中,一方面工作站迅速发展,逐步取代了小型机系统;一方面微机大量普及,出现了 AutoCAD, CAD-KEY, VersaCAD 等微机 CAD 系统。微型机的性能逐年提高,低档工作站的价格逐年下降,两者的差异正在迅速缩小。微型机与工作站联网的分布式系统有最大的灵活性,容易适应不同规模的企业发展需要,因此有良好的推广前景。当前的一种观点是计算机越小越快,因为机器越小它所消耗的能源就越少。各部件之间的距离也越短,机器的时钟频率可以越高。按照统计,大型机类产品的速度每年提高 25%,而微处理器的速度每 5 年提高 10 倍,相当于每年提高 80%,在过去的十年里微处理器的发展速度确实是惊人的。存储器和磁盘设备的发展趋势也是如此。

RISC (精简指令系统计算机) 微处理器通常比相同结构的复杂指令系统计算机 CISC 芯片快 1~3 倍。基于这一发展方向,很多人都认为以后的发展是大规模并行机。目前的工作站都已转入使用 RISC 芯片,像 SUN 用 SPARC; GI 用 MIPS R 系列,如 R3000, R4000, R4400 等; IBM 用 POWER RS/6000; HP 用 PA-RISC; DEC 用 ALPHA。DEC 公司的 ALPHA 芯片达到 150~200MIPS,即等于 Cray-I 的速度。Cray-I、CDC 等传统的巨型机也都转入使用 RISC 芯片组成大规模并行处理机。国际著名的计算机体系结构专家 Patterson 教授指出,1992 年是计算机史上值得回顾的一年。从 1992 年开始,计算机的分类从传统的微、小、大、巨改变为统一按系统中的 CMOS 或 BICMOS 微处理器的多少来分类,如 1~3、5~10、20~50、100~1000 等。计算机体系结构的 RISC 化和多处理器化自然也将影响到 CAD 系统的硬件配置方式。

CAD/CAM 硬件系统主要是指计算机的图形系统。它包括计算机的硬件、图形输入输出设备等。CAD/CAM 硬件系统的分类及简介如下。

一、按系统的拓扑结构分类

(一) 主机型 (HOST)

如图 2-1 所示。这是早期的 CAD/CAM 系统结构,利用 32Bit 大型计算机带多台终端。

(二) C-S 型 (Client-Server)

如图 2-2 所示,随着 CAD/CAM 的发展,为了提高 CAD/CAM 的使用效率和自由度,CAD/CAM 考虑用专用的计算机。图 2-2 中 LAN (Local Area Network) 为局域网,client 为用户,server 为服务器,EWS (Engineering Work Station) 为工程工作站机。

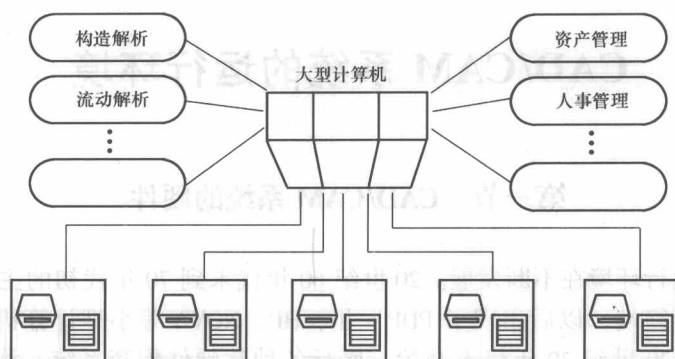


图 2-1 主机型

二、计算机类型

(一) 工作站 (EWS)

如图 2-3 所示, 只用一台 EWS, 能完成所有的 CAD/CAM 工作, 同时能进行科学计算、软件的开发, 其运算速度、精度都可以和大型机匹敌。EWS 可以单台使用, 也可通过网络使用, 常用 LAN 把工作站连接起来。

(二) 微机 CAD/CAM

随着微机越来越普及, 微机的性能价格比越来越高, 微机 CAD/CAM 的应用软件越来越多, 微机档次的 CAD/CAM 系统越来越普及, 如机械制图、建筑制图、电路设计等。

(三) 外部设备

图形显示设备只能在屏幕上产生各种图形, 但工程中常常需要把图形画在纸上, 常用的图形绘制设备也称之为硬拷贝设备, 有打印机和绘图机两种。其中绘图机又分为成像式绘图机、笔式绘图机和光栅式绘图机等。下面介绍几种常用的绘图设备。

1. 喷墨打印机

打印机是廉价的产生图纸的硬拷贝设备,

从机械动作上常分为撞击式和非撞击式两种。撞击式打印机使成型字符通过色带印在纸上, 如行式打印机、点阵式打印机等; 非撞击式打印机常用的技术有喷墨技术、激光技术等, 这类打印设备速度快, 噪声小, 已逐渐替代以往的撞击式打印机。

喷墨式打印机既可用于打印文字又可用于绘图 (其实是打印图纸), 喷墨打印机的关键部件是喷墨头, 通常分为连续式和随机式。连续式的喷墨头射速较快, 但需要墨水泵和墨水回收装置, 机械结构比较复杂。随机式主要表现为墨滴的喷射是随机的, 只有在需要印字 (图) 时才喷出墨滴, 墨滴的喷射速度较低, 不需墨水泵和回收装置, 此时若采用多喷嘴结

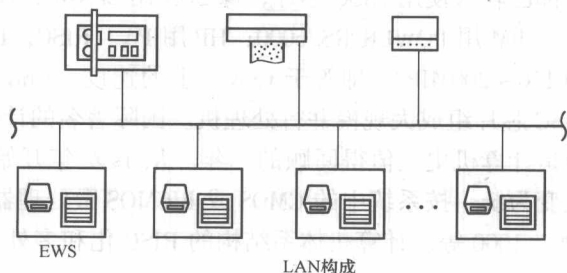


图 2-3 工作站

构也可以获得较高的印字(图)速度。随机式喷墨常用于普及型便携式打印机,连续式多用于喷墨绘图仪,目前,常用的喷墨头有如下四种:

(1) 压电式。这种喷墨头使用压电器件代替墨水泵的压力,根据印字、图的信息对压电器件作用电压,压迫墨水喷成墨滴进行印字、印图。这种喷墨头是早期喷墨打印机采用最多的一种,并一直沿用至今,但这种喷墨头要进一步提高分辨率会受到压电器件尺寸的限制。

(2) 气泡式。气泡式喷墨头的喷嘴内装有发热体,在需要印字、印图时,对发热体加电使墨水受热而产生气泡,随着温度的升高气泡膨胀,将墨水挤出喷嘴进行印字、印图。

(3) 静电式。上述两种喷墨头由于机械尺寸所限,难以进一步提高分辨率,由于都使用水性墨水,容易干涸造成微细喷嘴的阻塞。静电式喷墨头采用高沸点的油性墨水,利用静电吸引力把墨水喷在纸上。

(4) 固体式。这种喷墨头采用固体墨,有 96 个喷嘴,其中 48 个喷嘴用于黑色印字、印图,绿、黄、红三原色各用 16 个喷嘴,其分辨率可达每英寸 300 点,印刷彩色图像的输出速度比上述喷墨头快。

2. 激光打印机

激光打印机也是一种既可用于打印字符又可用于绘图的设备,主要有感光鼓、上粉盒、打底电晕丝和转移电晕丝组成,如图 2-4 (a) 所示。激光打印机开始工作时,感光鼓旋转通过打底电晕丝,使整个感光鼓的表面带上电荷,如图 2-4 (b) 所示。打印数据从计算机传至打印机,经处理送至激光发射器。在发射激光时,激光打印机中的一个六面体反射镜开始旋转,此时可以听到激光打印机发出特殊的丝丝声。反射镜的旋转和激光的发射同时进行,依照打印数据决定激光的发射或停止,每个光点打在反射镜上,随着反射镜的转动,不断变换角度,将激光点反射到感光鼓上,如图 2-4 (c) 所示。感光鼓上被激光照到的点将失去电

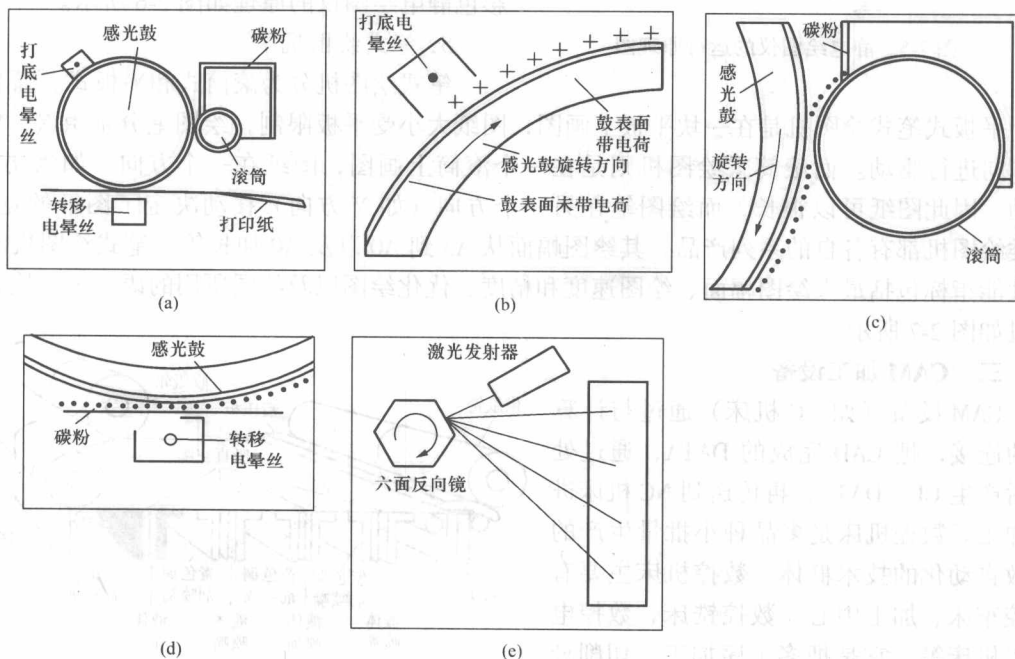


图 2-4 激光打印机的工作原理