

国家示范院校重点建设专业

数控技术专业课程改革系列教材

机械CAD/CAM技术

◎ 主 编 王贤虎 贾 芸
◎ 副主编 潘祖聪 张 宁
◎ 主 审 汪永华 余承辉



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家示范院校重点建设专业

数控技术专业课程改革系列教材

机械CAD/CAM技术

◎ 主 编 王贤虎 贾 芸
◎ 副主编 潘祖聪 张 宁
◎ 主 审 汪永华 余承辉



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是安徽水利水电职业技术学院国家示范院校重点建设专业——数控技术专业课程改革成果之一。内容包括 CAD/CAM 技术概述、CAD/CAM 技术系统、计算机辅助设计技术 (CAD)、CAD 技术在机械工程中的应用、计算机辅助工程分析技术 (CAE)、计算机辅助工艺设计 (CAPP)、计算机辅助制造技术 (CAM)、典型零件 CAD/CAM 应用实例、CAD/CAM 集成技术及发展等。

本书为高职高专、电大、职大、成人教育等院校机械类、机电类专业的通用教材，也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

机械CAD/CAM技术 / 王贤虎, 贾芸主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2010. 3
(国家示范院校重点建设专业、数控技术专业课程改革系列教材)
ISBN 978-7-5084-7305-5

I. ①机… II. ①王… ②贾… 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.
①TH122②TH164

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第039570号

书 名	国家示范院校重点建设专业 数控技术专业课程改革系列教材 机械 CAD/CAM 技术
作 者	主 编 王贤虎 贾 芸 副主编 潘祖聪 张 宁 主 审 汪永华 余承辉
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 14.25 印张 347 千字
版 次	2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书是安徽水利水电职业技术学院国家示范院校重点建设专业——数控技术专业课程改革成果之一，由该学院教师和企业工程技术人员共同编写。

机械 CAD/CAM 技术是一门多学科综合应用的技术，发展十分迅速。世界各国都把发展 CAD/CAM 技术作为制造的战略目标，目前我国各个企业中，CAD/CAM 技术应用越来越普及，因此，迫切需要 CAD/CAM 技术方面的应用人才。CAD/CAM 技术已是从事产品开发的操作人员和技术人员必备的技能之一。

提高新产品的开发能力及制造能力是提高制造业企业竞争力的关键，而 CAD/CAM 技术是提高产品设计和制造质量、缩短产品开发周期、降低产品成本的强有力手段，也是未来工程技术人员必须掌握的基本工具。

本书是一本实用技术教材，突出介绍 CAD/CAM 的概念、应用方法，并结合具体 CAD/CAM 软件进行实践练习。目前流行的 CAD/CAM 软件众多，虽然不同的软件有各自的特点，但其主要功能、基本方法却是相同的。

高职高专的机械 CAD/CAM 课程属于实践类课程，通过课内学习和实训环节，应使学生能使用高中档的 CAD/CAM 软件完成较复杂的零件三维模型的创建、虚拟装配及干涉检查、二维装配图及零件图的出图、数控加工的自动编程、刀位文件的编辑和 CAM 后置处理，并通过数控机床直接加工出自己所设计的零件。

学生通过这样的学习和实训，所学到的不仅仅是机械 CAD/CAM 的概念，还有实际的机械 CAD/CAM 软件的操作技能及高中档 CAD/CAM 软件的操作技能。

在编写过程中，本着由浅入深、循序渐进及通俗易懂的指导思想与原则，从 CAD/CAM 系统的基础介绍开始，对机械 CAD 技术、计算机辅助工程分析（CAE）技术、计算机辅助工艺过程设计（CAPP）技术及机械 CAM 技术的理论进行阐述，同时对机械 CAD/CAM 技术在机械工程中的应用采用实例进行说明，从而对机械 CAD/CAM 技术的了解和应用作了全面的分析。力争通过本书的学习使广大读者对 CAD/CAM 技术的基本用途与功能有较全面的了解，为进一步学习 CAD/CAM 技术打下基础。

本书由安徽水利水电职业技术学院王贤虎、贾芸任主编，潘祖聪、张宁任副主编，由汪永华、余承辉组织编写并审阅、修改、完善。参加编写的还有郭微、赵华新、汤萍、童子林、徐耀、储蓉等。在本书的编写过程中还得到学院有关领导的指导和帮助，在此一并表示感谢。

由于时间仓促、编者水平有限，书中难免有不足和错误之处，欢迎广大读者提出宝贵意见。

编者

2010 年 1 月

目 录

前言

项目 1 CAD/CAM 技术概述	1
任务 1.1 CAD/CAM 基本概念	1
1.1.1 CAD 技术	1
1.1.2 CAE 技术	2
1.1.3 CAPP 技术	2
1.1.4 CAM 技术	2
1.1.5 CAD/CAM 集成技术	3
1.1.6 CAD/CAM 系统的功能界定	3
任务 1.2 CAD/CAM 技术的发展及在我国的应用	4
1.2.1 CAD/CAM 技术的发展历程	4
1.2.2 CAD/CAM 技术在我国的发展	7
1.2.3 CAD/CAM 技术的应用	7
任务 1.3 CAD/CAM 技术的发展趋势和研究热点	8
1.3.1 CAD/CAM 技术的发展趋势	8
1.3.2 CAD 技术研究开发热点	10
思考题	11
项目 2 CAD/CAM 技术系统	12
任务 2.1 CAD/CAM 系统概述	12
2.1.1 CAD/CAM 系统的基本组成	12
2.1.2 CAD/CAM 系统的基本功能	12
2.1.3 CAD/CAM 系统的类型	13
2.1.4 CAD/CAM 系统集成技术概述	15
任务 2.2 CAD/CAM 系统的硬件和软件	17
2.2.1 CAD/CAM 系统的硬件	17
2.2.2 CAD/CAM 系统的软件	19
2.2.3 CAD/CAM 系统选型的原则	21
任务 2.3 工程数据库介绍	22
2.3.1 数据库系统	22
2.3.2 工程数据库系统	23
2.3.3 工程数据库的建立与调用	25
任务 2.4 机械 CAD/CAM 的计算机网络环境	30

2.4.1	概述	30
2.4.2	计算机网络的拓扑结构	30
2.4.3	客户机/服务器工作模式	32
思考题		33
项目 3	计算机辅助设计技术 (CAD)	34
任务 3.1	图形处理技术	34
3.1.1	二维图形变换	34
3.1.2	三维图形变换	40
任务 3.2	几何建模技术	47
3.2.1	基本概念	47
3.2.2	线框建模	48
3.2.3	曲面建模	50
3.2.4	实体建模	53
3.2.5	特征建模	58
任务 3.3	装配建模技术	63
3.3.1	装配建模技术中的基本概念	63
3.3.2	装配建模的一般方法和技巧	68
思考题		71
项目 4	CAD 技术在机械工程中的应用	72
任务 4.1	Pro/E 中的零件设计	72
4.1.1	Pro/ENGINEER	72
4.1.2	基础特征	75
4.1.3	工程特征	78
任务 4.2	Pro/E 中的装配设计	84
任务 4.3	SolidWorks 中的零件设计	88
4.3.1	SolidWorks 简介	88
4.3.2	实例说明	92
4.3.3	作图步骤	92
任务 4.4	SolidWorks 中的装配设计	101
4.4.1	实例说明	101
4.4.2	作图步骤	101
思考题		114
项目 5	计算机辅助工程分析技术 (CAE)	115
任务 5.1	动态设计技术和有限元分析	115
5.1.1	概述	115
5.1.2	动态设计的一般过程	115
5.1.3	动态设计中的有限元建模	115
5.1.4	建立有限元模型的策略与考虑的一般问题	118

任务 5.2 优化设计方法 (Optimal Design)	123
5.2.1 概述	123
5.2.2 优化设计的分类	124
5.2.3 优化设计的数学模型	125
5.2.4 优化算法的基本思想和常用优化方法	126
任务 5.3 可靠性设计 (Reliability Design)	129
5.3.1 可靠性和可靠性工程	129
5.3.2 可靠性设计的理论基础——概率统计学	130
5.3.3 与可靠性设计有关的几个基本概念	130
5.3.4 可靠性指标	131
任务 5.4 计算机仿真技术	133
5.4.1 物理仿真与数学仿真	133
5.4.2 模拟计算机仿真与数字计算机仿真	134
5.4.3 数字仿真程序	134
思考题	135
项目 6 计算机辅助工艺设计 (CAPP)	137
任务 6.1 概述	137
6.1.1 CAPP 的基本概念	137
6.1.2 CAPP 的结构组成	138
6.1.3 CAPP 的基本技术	139
任务 6.2 变异式 CAPP 系统	139
6.2.1 成组技术	140
6.2.2 系统的开发和工作过程	144
任务 6.3 创成式 CAPP 系统	145
6.3.1 工艺决策	145
6.3.2 系统的开发和工作过程	148
任务 6.4 交互式 CAPP 系统	150
任务 6.5 半创成式 CAPP 系统	151
6.5.1 系统构成	152
6.5.2 工艺设计过程	152
6.5.3 工艺过程设计	152
6.5.4 工艺设计结果的编辑和输出	152
任务 6.6 智能化 CAPP	152
6.6.1 工作过程	152
6.6.2 CAPP 专家系统开发工具	154
任务 6.7 计算机辅助夹具设计	157
6.7.1 标准件库	157
6.7.2 开发标准件库方法	158
6.7.3 装配图设计环境	159

6.7.4 夹具计算机辅助设计工作流程	159
思考题	160
项目 7 计算机辅助制造技术 (CAM)	161
任务 7.1 数控加工工艺基础	161
7.1.1 数控加工工艺概述	161
7.1.2 数控加工工艺分析与设计	161
任务 7.2 数控加工编程技术概述	167
7.2.1 数控加工基本原理	167
7.2.2 数控编程	168
7.2.3 数控程序的检验与仿真	170
7.2.4 典型 CAD/CAM 软件介绍	171
任务 7.3 数控加工编程方法	173
7.3.1 二维数控编程的基本原理	173
7.3.2 三维数控编程的基本原理	176
7.3.3 曲面加工中的零件表面质量控制	177
7.3.4 刀具干涉检验	177
思考题	179
项目 8 典型零件 CAD/CAM 应用实例	180
任务 8.1 UG 的应用	180
8.1.1 UG 简介	180
8.1.2 UG 软件典型应用实例	181
任务 8.2 Mastercam 的应用	187
8.2.1 Mastercam 系统特性概述	187
8.2.2 系统界面	187
8.2.3 系统流程图	189
8.2.4 Mastercam 软件典型应用实例	189
思考题	194
项目 9 CAD/CAM 集成技术及发展	195
任务 9.1 21 世纪制造业现状及发展趋势	195
任务 9.2 CIMS 技术	197
9.2.1 CIMS 的构成	197
9.2.2 CIMS 的实施	198
9.2.3 CIMS 的经济效益	198
9.2.4 CIMS 成功应用的案例	199
任务 9.3 工业机器人	199
9.3.1 工业机器人的基本概念	199
9.3.2 机器人的基本结构与工作原理	204
9.3.3 工业机器人的应用及发展趋势	205

任务 9.4 并行工程	206
9.4.1 概述	206
9.4.2 并行工程的定义和特点	206
9.4.3 并行工程在技术支承上的要求	208
9.4.4 并行工程的效益	208
9.4.5 并行工程实施实例	209
任务 9.5 逆向工程	209
9.5.1 逆向工程的原理和应用	209
9.5.2 逆向工程的数据采集与后处理	210
9.5.3 逆向工程在模具设计制造中的应用	211
任务 9.6 虚拟制造	213
9.6.1 概述	213
9.6.2 虚拟制造的定义	214
9.6.3 虚拟制造的内涵	214
9.6.4 CIMS 的虚拟制造体系结构及环境	215
9.6.5 虚拟现实技术在生产制造上的应用	217
9.6.6 采用虚拟制造技术可以给企业带来的效益	218
思考题	218
参考文献	220

项目 1 CAD/CAM 技术概述

任务 1.1 CAD/CAM 基本概念

CAD/CAM 技术是制造工程技术与计算机技术紧密结合、相互渗透而发展起来的一项综合性应用技术,具有知识密集、学科交叉、综合性强、应用范围广等特点。CAD/CAM 技术是先进制造技术的重要组成部分,它的发展和应用使传统的产品设计、制造内容和工作方式等都发生了根本性的变化。CAD/CAM 技术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。

1.1.1 CAD 技术

由于在不同时期、不同行业中,计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 技术所实现的功能不同,工程技术人员对 CAD 技术的认识也有所不同,因此很难给 CAD 技术下一个统一的、公认的定义。早在 1972 年 10 月,国际信息处理联合会 (IFIP) 在荷兰召开的“关于 CAD 原理的工作会议”上给出如下定义:CAD 是一种技术,其中人与计算机结合为一个问题求解组,紧密配合,发挥各自所长,从而使其工作优于每一方,并为应用多学科方法的综合性协作提供了可能。到 20 世纪 80 年代初,第二届国际 CAD 会议上认为 CAD 是一个系统的概念,包括计算、图形、信息自动交换、分析和文件处理等方面的内容。1984 年召开的国际设计及综合讨论会上,认为 CAD 不仅是设计手段,而且是一种新的设计方法和思维。显然,CAD 技术的内涵将会随着计算机技术的发展而不断扩展。

就目前情况而言,CAD 是指工程技术人员以计算机为工具,运用自身的知识和经验,对产品或工程进行方案构思、总体设计、工程分析、图形编辑和技术文档整理等设计活动的总称,是一门多学科综合应用的新技术。CAD 是一种新的设计方法,它采用计算机系统辅助设计人员完成设计的全过程,将计算机的海量数据存储和高速数据处理能力与人的创造性思维和综合分析能力有机结合起来,充分发挥各自所长,使设计人员摆脱繁重的计算和绘图工作,从而达到最佳设计效果。CAD 对加速工程和产品的开发、缩短设计制造周期、提高质量、降低成本、增强企业创新能力发挥着重要作用。

一般认为,CAD 系统应具有几何建模、工程分析、模拟仿真、工程绘图等主要功能。一个完整的 CAD 系统应由人机交互接口、图形系统、科学计算和工程数据库等组成。人机交互接口是设计、开发、应用和维护 CAD 系统的界面,经历了从字符用户接口、图形用户接口、多媒体用户接口到网络用户接口的发展过程。图形系统是 CAD 系统的基础,主要有几何(特征)建模、自动绘图(二维工程图、三维实体图等)、动态仿真等。科学计算是 CAD 系统的主体,主要有有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等。工程数据库是对设计过程中使用和产生的数据、图形、图像及文档等进行存储和管理。就 CAD 技术目前可实现的功能而言,CAD 作业过程是在由设计人员进行产品概念设计的基础上从建模分析,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、计算和修改，最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。

1.1.2 CAE 技术

从字面上理解，计算机辅助工程（Computer Aided Engineering, CAE）是计算机辅助工程分析，准确地讲，就是指工程设计中的分析计算、分析仿真和结构优化。CAE 是从 CAD 中分支出来的，起步稍晚，其理论和算法经历了从蓬勃发展到日趋成熟的过程。随着计算机技术的不断发展，CAE 系统的功能和计算精度都有了很大提高，各种基于产品数字建模的 CAE 系统应运而生，并已成为工程和产品结构分析、校核及结构优化中必不可少的数值计算工具；CAE 技术和 CAD 技术的结合越来越紧密，在产品设计中，设计人员如能将 CAD 与 CAE 技术良好融合，就可以实现互动设计，从而保证企业从生产设计环节上达到最优效益。分析是设计的基础，设计与分析集成是必然趋势。

目前 CAE 技术已被广泛应用于国防、航空航天、机械制造、汽车制造等各个工业领域。CAE 技术作为设计人员提高工程创新和产品创新能力的得力助手和有效工具，能够对创新的设计方案快速实施性能与可靠性分析；进行虚拟运行模拟，及早发现设计缺陷，实现优化设计；在创新的同时，提高设计质量，降低研究开发成本，缩短研发周期。

1.1.3 CAPP 技术

计算机辅助工艺设计（Computer Aided Process Planning, CAPP）是根据产品设计结果进行产品的加工方法设计和制造过程设计。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。其中工序设计包括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内容。工艺设计是产品制造过程中技术准备工作的一项重要内容，是产品设计与实际生产的纽带，是一个经验性很强且随制造环境的变化而多变的决策过程。随着现代制造技术的发展，传统的工艺设计方法已经远远不能满足自动化和集成化的要求。

随着计算机技术的发展，CAPP 受到了工艺设计领域的高度重视。其主要优点在于：可以显著缩短工艺设计周期，保证工艺设计质量，提高产品的市场竞争能力。CAPP 使工艺设计人员摆脱大量、烦琐的重复劳动，将主要精力转向新产品、新工艺、新装备和新技术的研究与开发。CAPP 可以提高产品工艺的继承性，最大限度地利用现有资源，降低生产成本。CAPP 可以使没有丰富经验的工艺师设计出高质量的工艺规程，以缓解当前机械制造业工艺设计任务繁重、缺少有经验工艺设计人员的矛盾。CAPP 有助于推动企业开展的工艺设计标准化和最优化工作。CAPP 在 CAD、CAM 中起到桥梁和纽带作用：CAPP 接受来自 CAD 的产品几何拓扑信息、材料信息及精度、粗糙度等工艺信息，并向 CAD 反馈产品的结构工艺性评价信息；CAPP 向 CAM 提供零件加工所需的设备、工装、切削参数、装夹参数以及刀具轨迹文件，同时接受 CAM 反馈的工艺修改意见。

1.1.4 CAM 技术

计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）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，有广义 CAM 和狭义 CAM 之分。所谓广义 CAM，是指利用计算机辅助完成从生产准备工作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。本书采用 CAM 的狭义定义。

CAM 中核心的技术是数控加工技术。数控加工主要分程序编制和加工过程两个步骤。程序编制是根据图纸或 CAD 信息,按照数控机床控制系统的要求,确定加工指令,完成零件数控程序编制;加工过程是将数控程序传输给数控机床,控制机床各坐标的伺服系统,驱动机床,使刀具和工件严格按执行程序的规定相对运动,加工出符合要求的零件。作为应用性、实践性极强的专业技术,CAM 直接面向数控生产实际。生产实际的需求是所有技术发展与创新的原动力,CAM 在实际应用中已经取得了明显的经济效益,并且在提高企业市场竞争能力方面发挥着重要作用。

1.1.5 CAD/CAM 集成技术

自 20 世纪 70 年代中期以来,出现了很多计算机辅助的分散系统,如 CAD、CAE、CAPP、CAM 等,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。但是这些各自独立的系统不能实现系统之间信息的自动交换和传递。例如,CAD 系统的设计结果不能直接为 CAPP 系统所接受,若进行工艺过程设计,仍需要设计者将 CAD 输出的图样文档转换成 CAPP 系统所需要的输入信息。所以,随着计算机辅助技术日益广泛的应用,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 CAE、CAPP、CAM)继续应用时才能获得最大的经济效益。为此,提出了 CAD 到 CAM 集成的概念,并首先致力于 CAD、CAE、CAPP 和 CAM 系统之间数据自动传递和转换的研究,以便将已存在和使用的 CAD、CAE、CAPP、CAM 系统集成起来。有人认为:CAD 有狭义及广义之分,狭义 CAD 就是单纯的计算机辅助设计,而广义 CAD 则是 CAD/CAE/CAPP/CAM 的高度集成。不论何种计算机辅助软件,其软件功能不同,其市场定位不同,但其发展方向却是一致的,这就是 CAD/CAE/CAPP/CAM 的高度集成。

CAD/CAM 集成技术的关键是 CAD、CAPP、CAM、CAE 各系统之间的信息自动交换与共享。集成化的 CAD/CAM 系统借助于工程数据库技术、网络通信技术以及标准格式的产品数据接口技术,把分散于机型各异的各个 CAD、CAPP、CAM 子系统高效、快捷地集成起来,实现软件、硬件资源共享,保证整个系统内信息的流动畅通无阻。

CAD/CAM 集成技术是各计算机辅助单元技术发展的必然结果。随着信息技术、网络技术的不断发展和市场全球化进程的加快,出现了以信息集成为基础的更大范围的集成技术,例如将企业内经营管理信息、工程设计信息、加工制造信息、产品质量信息等融为一体的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。

1.1.6 CAD/CAM 系统的功能界定

以制造业为例来说明一个 CAD/CAM 系统的功能界定。一个完整的制造企业 CAD/CAM 系统应包括如下几个由底层到高层的模块:

- (1) CNC 系统及各种自动化加工设备,包括数控加工中心等各种数控机床、三坐标



数控测量机、PLC、监测设备等。

(2) 物料存储及运送系统（包括自动化仓库）。

(3) 分布式直接数控及设备控制系统，包括直接数控群控（DDNC）系统及其与自动仓库的互联系统、工业控制系统等。

(4) 物流控制与管理系统，其功能是对物料存储及运送系统进行监测和控制，以服务于车间生产计划控制系统。

(5) 工艺规程设计与管理系统，其功能包括计算机辅助工艺规程设计、工艺数据库管理、工艺规程管理等。

(6) 数控加工自动编程系统，包括复杂曲面模具加工自动编程系统、数控线切割/车/铣/磨等加工的自动编程系统。

(7) 全面质量保证系统（Total Quality Insurance System）。

(8) 车间生产计划控制系统（Shop - Floor Control System, SFCS）。

(9) 计算机辅助工程制图（CAED）系统，其功能包括辅助制图、图纸扫描及光栅—矢量混合编辑、图纸管理等。

(10) 计算机辅助设计/辅助工程（CAD/CAE）系统，其功能包括产品的二维设计或三维设计、装配设计、工程分析及优化、工业设计、产品信息管理等。

(11) 产品综合信息管理系统（PIIMS），其功能是基于一个统一的数据库、一个统一的框架对产品的各项信息，例如设计文档、设计辅助数据、产品模型（二维或三维）、版本信息、工程图纸、工艺规程、工艺数据、数控加工程序等实行管理。

前 8 个模块主要完成制造企业生产管理中的控制和执行功能，属于计算机辅助制造（CAM）范畴。其中，车间生产计划控制系统是对 CAM 各个功能模块的大集成。通过 SFCS，实现了集成的 CAM 系统，将这种集成系统称为车间级计算机集成制造系统。

后 3 个模块主要完成企业的产品设计功能，属于计算机辅助设计（CAD）范畴。其中，产品综合信息管理系统实现了 CAD 与 CAM 之间的集成，并为 CAD/CAM 系统与未来 CIMS 系统其他子系统之间交换/共享信息提供良好的支持。该模块也是 CAD/CAM 系统与 CIMS 系统中其他子系统发生交互作用的界面。但最后一项功能基本上很少出现在目前的 CAD 系统中，而是被某些软件厂商单独做成一个产品，比如图档管理系统。针对产品全生命周期的各种数据和信息的管理，还有专门的大型系统——产品数据管理系统（PDM）来实现。

任务 1.2 CAD/CAM 技术的发展及在我国的应用

1.2.1 CAD/CAM 技术的发展历程

CAD/CAM 技术的纵向发展概况，如图 1.1 所示。

CAD/CAM 技术的发展与计算机图形学的发展密切相关，并伴随着计算机及其外围设备的发展而发展。计算机图形学中有关图形处理的理论和方法构成了 CAD/CAM 技术的重要基础。综观 CAD/CAM 技术的发展历程，主要经历了以下主要发展阶段。

20 世纪 50 年代，计算机主要用于科学计算，使用机器语言编程，图形设备仅具有输出功能。美国麻省理工学院（MIT）在其研制的旋风 I 号计算机上采用了阴极射线管

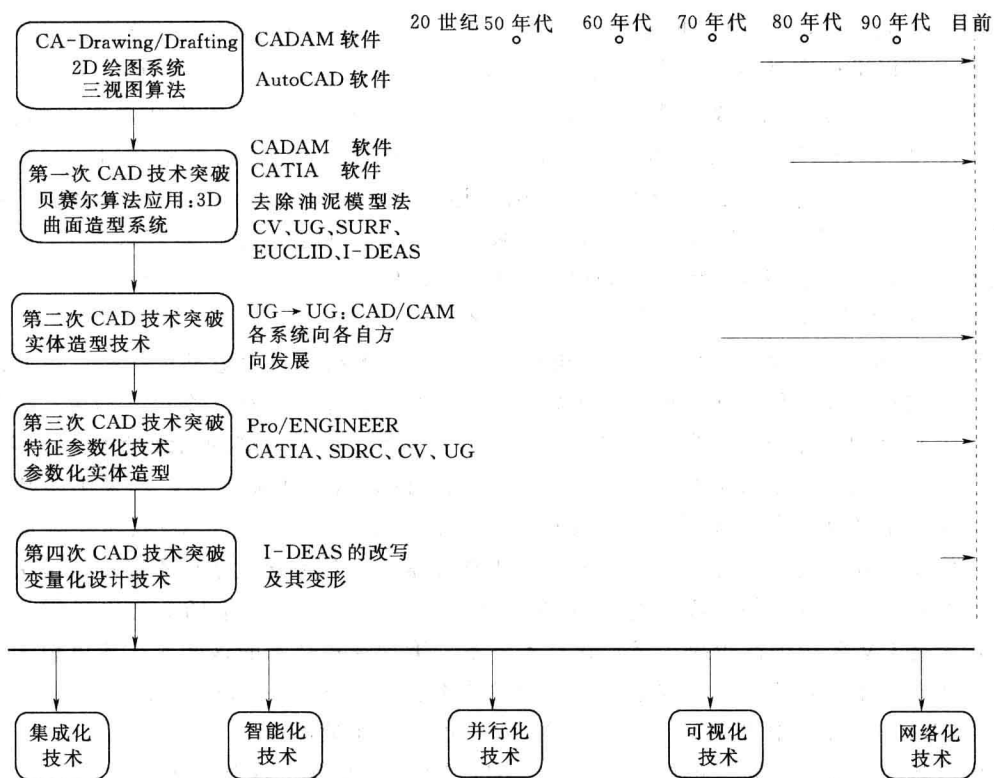


图 1.1 源于 20 世纪 50 年代末的 CAD 技术发展

(CRT) 作为图形终端, 并能被动显示图形。其后出现了光笔, 开始了交互式计算机图形学的研究, 也为 CAD/CAM 技术的出现和发展铺平了道路。1952 年 MIT 首次试制成功了数控铣床, 通过数控程序对零件进行加工, 随后 MIT 研制开发了自动编程语言 (APT), 通过描述走刀轨迹的方法来实现计算机辅助编程, 标志着 CAM 技术的开端。1956 年首次尝试将现代有限单元法用于分析飞机结构。50 年代末, 出现了平板式绘图仪和滚筒式绘图仪, 开始了计算机绘图的历史。此间 CAD 技术处于酝酿、准备阶段。

1. 第一次 CAD/CAM 技术革命——曲面造型系统

20 世纪 60 年代出现的三维 CAD 系统只是极为简单的线框式系统。这种初期的线框造型系统只能表达基本的几何信息, 不能有效表达几体数据间的拓扑关系。由于缺乏形体的表面信息, CAE 及 CAM 均无法实现。进入 70 年代, 飞机和汽车工业中遇到了大量的自由曲面问题, 随着法国人提出了贝赛尔算法, 使人们用计算机处理由线及曲面问题变得可行, 同时也使得法国达索飞机制造公司的开发者们, 能在二维绘图系统 CADAM 的基础上, 开发出以表面模型为特点的自由曲面建模方法, 推出了三维曲面造型系统 CATIA。它的出现, 标志着计算机辅助设计技术以单纯模仿工程图纸的三视图模式中解放出来, 首次实现以计算机完整描述产品零件的主要信息, 同时也使得 CAD 技术的开发有了现实的基础。曲面造型系统 CATIA 为人类带来了第一次 CAD 技术革命, 改变了以往只能借助油泥模型来近似表达曲面的落后的工作方式。



2. 第二次 CAD/CAM 技术革命——实体造型技术

有了表面模型, CAM 的问题可以基本解决。但由于表面模型技术只能表达形体的表面信息, 难以准确表达零件的其他特性, 如质量、重心、惯性矩等, 对 CAE 十分不利, 最大的问题在于分析的前处理特别困难。基于对于 CAD/CAE 一体化技术发展的探索, SDRC 公司于 1979 年发布了世界上第一个完全基于实体造型技术的大型 CAD/CAE 软件——I-DEAS。由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性, 在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达, 给设计带来了惊人的方便性。它代表着未来 CAD 技术的发展方向。实体造型技术的普及应用标志着 CAD 发展史上的第二次技术革命。

3. 第三次 CAD/CAM 技术革命——参数化技术

进入 20 世纪 80 年代中期, CV 公司提出了一种比无约束自由造型更新颖、更好的算法——参数化实体造型方法, 该算法主要具有以下特点: 基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。当时的参数化技术方案还处于一种发展的初级阶段, 很多技术难点有待于攻克。由于参数化技术核心算法与以往的系统有本质差别, 若采用参数化技术, 必须将全部软件重新改写, 投资及开发工作量必然很大。当时 CAD 技术主要应用在航空和汽车工业, 这些工业中自由曲面的需求量非常大, 参数化技术还不能提供解决自由曲面的有效工具 (如实体曲面问题等), 更何况当时 CV 的软件在市场上几乎呈供不应求之势, 于是 CV 公司内部否决了参数化技术方案。策划参数技术的这些人在新思想无法实现时集体离开了 CV 公司, 另成立了一个参数技术公司 (Parametric Technology Corporation, PTC), 开始研制命名为 Pro/ENGINEER 的参数化软件。

可以认为, 参数化技术的应用主导了 CAD 发展史上的第三次技术革命。

4. 第四次 CAD/CAM 技术革命——变量化技术

参数化技术的成功应用, 使它在 20 世纪 90 年代前后几乎成为 CAD 业界的标准, 但是技术理论上的认可并非意味着实践上的可行性。由于 CATIA、CV、UG、EUCLID 都在原来的非参数化模型基础上开发或集成了许多其他应用软件, CV、CATIA、UG 推出自己的复合建模技术。这种把线框模型、曲面模型及实体模型叠加在一起的复合建模技术, 并非完全基于实体, 只是“主模型”技术的“雏形”, 难以全面应用参数化技术。由于参数化技术和非参数化技术内核本质不同, 用参数化技术造型后进入非参数化系统还要进行内部转换极易导致数据丢失或其他不利条件。这样的系统由于其在参数化技术的和非参数化技术上不具备优势, 系统整体竞争力自然不高, 只能依靠某些实用性模块上的特殊能力来增强竞争力。可是 30 年的 CAD 软件技术发展也给人们这样一点启示: 决定软件先进性及生命力的主要因素是软件基础技术, 而并非特定的应用技术。

1990 年以前 SDRC 公司已经摸索了几年参数化技术, 当时也面临同样的抉择: 要么它同样采用逐步修补方式, 继续将其 I-DEAS 软件“参数化”下去, 这样做风险小但必然导致产品的综合竞争力不高; 要么就是全部改写。根据数年对参数化技术的研究经验以及对工程设计过程的深刻理解, SDRC 的开发人员发现了参数化技术尚有许多不足之外。首先, “全尺寸约束”这一硬性规定就干扰和制约着设计者创造力及想象力的发挥。全尺寸约束, 即设计者在设计初期及全过程中, 必须将形状和尺寸联合起来考虑, 并且通过尺寸约束来控制形状, 通过尺寸的改变来驱动形状的改变, 一切以尺寸 (即所谓的“参数”) 为出发点。一旦所设计的零件形状过于复杂, 面对满屏幕的尺寸, 如何改变这些尺寸以达



到所需要的形状就很不直观；再者，如在设计中关键形体的拓扑关系发生改变，失去了某些约束特征也会造成系统数据混乱。

1990~1993 年，历经 3 年时间，投资 1 亿多美元，将软件全部重新改写，于 1993 年推出全新体系结构的 I-DEAS Master Series 软件。在早期出现的大型 CAD 软件中，这是唯一一家在 90 年代将软件彻底重写的厂家。众所周知，已知全参数的方程组去顺序求解比较容易。但在欠约束的情况下，方程联立求解的数学处理和软件实现的难度是可想而知的。SDRC 攻克了这些难题，并就此形成了一整套独特的变量化造型理论及软件开发方法。

变量化技术既保持了参数化技术的原有优点，同时又克服了它的不足之处。它的成功应用为 CAD 技术的发展提供了更大的空间和机遇。无疑，变量化技术成就了 SDRC，也驱动了 CAD 发展史上的第四次技术革命。

1.2.2 CAD/CAM 技术在我国的发展

国内的高等院校和科研院所在 CAD 支撑和应用软件的开发上担任极其重要的角色。在优化设计，华中理工大学的优化程序库 OPB 及机械零部分的优化设计程序早在 20 世纪 80 年代末就在工矿企业中推广，对广大工程技术人员了解和使用 CAD 技术起到促进作用。

在二维交互绘图系统方面，不少自主版权的软件如 GH-MDS 和 GH-InteCAD、PICAD、开目 CAD、凯图 cad-tool 等都已在国内行业中推广使用，其中由清华大学和华中理工大学共同研制的 GH-MDS 可以和 AutoCAD 的 12 版基本兼容，而 InteCAD、开目 CAD 和凯图 cad-tool 均出自华中理工大学机械学与工程学院。

在三维造型和几何设计方面，北京航空航天大学的 PANDA、金银花系统，清华大学和华中理工大学共同研制的 CADMIS 等都实现了参数化特征造型、曲面造型、数控加工和有限元分析的集成，但商品化程度还较低。在有限元分析方面，大连理工大学研制成分析软件 IFEAS，并与华中理工大学的有限元前后处理系统 GH-FEM 实现了集成。

在数控编程方面，南京航空航天大学的超人 CAD/CAM、华中理工大学的 GHNC 均可实现复杂曲面的造型和数控代码的自生成和加工仿真。工程数据库有浙江大学的 OS-CAR、华中理工大学的 GH-EDBMS 等。

另外，在应用领域，如通用机械零件设计、冲压和注塑模具设计和制造、汽车外形设计、汽轮机片设计分析等方面，我国均研制出了实用的 CAD 软件。

1.2.3 CAD/CAM 技术的应用

我国 CAD/CAM 技术的研究始于 20 世纪 70 年代，当时主要集中在少数高校及航空领域等极小范围。80 年代初，开始成套引进 CAD/CAM 系统，并在此基础上进行开发和应用；同时国家在 CAD/CAM 技术应用开发方面实施重点投资，支持对国民经济有影响的重点机械产品 CAD 进行开发和研制，取得了一些成果，为我国 CAD/CAM 技术的发展奠定了基础。90 年代初，经国务院批准，由国家科委牵头开始实施以“甩掉图板”为突破口的 CAD 应用工程；“十五”期间，CAD 应用工程与 CIMS 工程合并实施制造业信息化工程，这些工作极大地促进了 CAD/CAM 技术在我国制造工程领域的推广和普及。

通过近 20 年坚持不懈的努力，我国 CAD/CAM 技术在理论与算法研究、硬件设备生产、支撑软件的开发与商品化、专业应用软件的研制与应用，以及在人才培养与技术普及



等方面均取得了丰硕的成果。近年来,我国 CAD/CAM 技术发展迅速,应用日趋成熟,范围不断拓宽,水平不断提高,应用领域几乎渗透到所有制造工程领域,尤其机械、电子、建筑、造船、轻工等行业在 CAD/CAM 技术开发应用上有了一定规模,取得了显著的成效。我国已自行开发了大量实用的 CAD/CAM 软件,国内计算机生产厂家已能够为 CAD/CAM 系统提供性能良好的计算机和工程工作站。少数大型企业已经建立起较完整的 CAD/CAM 系统并取得较好的效益,中小企业也开始使用 CAD/CAM 技术并初见成效;一些企业已着手建立以实现制造过程信息集成为目标的企业级 CIMS 系统,以实现系统集成、信息共享。

CAD/CAM 技术应用的实践证明:先进的技术可以转化为现实的生产力,应用 CAD/CAM 技术是制造企业的迫切需求。CAD/CAM 技术是保证国家整体工业水平上一个新台阶的关键性高技术,是提高产品与工程设计水平、降低消耗、缩短产品开发与工程建设周期、大幅度提高劳动生产率的重要手段,是提高研究与开发能力、提高创新能力和管理水平、增强市场竞争力和参与国际竞争的必要条件。

尽管我国 CAD/CAM 技术的应用已取得了巨大成就,但与发达国家相比仍有巨大差距。据介绍,1990 年美国制造业做到了“三个三”,即产品生命周期三年,产品制造周期三个月,产品设计周期三周。相比之下,2000 年我国主导产品的生命周期约为 10.5 年,产品开发周期为 18 个月。造成这种差距的原因,不仅有技术上的原因,还有思想观念上的原因和管理理念上的原因等。仅从技术上讲,我国 CAD/CAM 技术的应用还很不平衡,仍需向深度和广度扩展,任重而道远。随着 CAD/CAM 技术应用的日益深入,我国制造企业在今后一段时间将面临的问题是:如何将 CAD 技术由二维绘图向三维建模发展,进一步提高设计效率;怎样充分发挥 CAE 技术的作用,提升产品的竞争力;如何尽快将 CAM/CAPP 技术应用于数控编程及工艺设计上,提高数控设备的应用水平,提高工艺设计及工艺管理的计算机应用水平;如何在现有计算机辅助单元技术应用的基础上,提高 CAD/CAM 应用的集成化程度;如何在将来把 CAD/CAM 系统与产品数据管理系统有机地结合起来,形成企业级信息集成管理系统;面对先进设计理论和先进制造模式的发展,怎样抓紧时机迎接新的机遇与挑战等。这些都需要在今后的工作中不断地探索和研究 CAD/CAM 领域的先进技术,不断地吸收及应用 CAD/CAM 领域的最新成果。

综观先进制造技术的发展,可以看到,未来的制造是基于集成化和智能化的敏捷制造和“全球化”、“网络化”制造,未来的产品是基于信息和知识的产品。CAD/CAM 技术是当前科技领域的前沿课题,它的发展和应用使传统的产品设计方法与生产模式发生了深刻的变化,从而带动制造业技术的快速发展,已经产生并必将继续产生巨大的社会经济效益。

任务 1.3 CAD/CAM 技术的发展趋势和研究热点

1.3.1 CAD/CAM 技术的发展趋势

随着 CAD/CAM 技术的应用越来越广泛和深入,CAD/CAM 技术的未来发展主要体现在集成化、网络化、智能化和标准化的实现上。