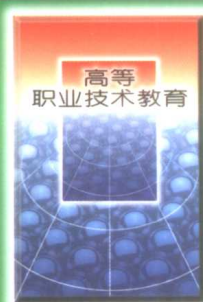




高等职业技术教育机电类专业规划教材



机械 CAD/CAM

柳 宁 主编



机械工业出版社
China Machine Press



高等职业技术教育机电类专业规划教材

机械 CAD/CAM

主编 柳 宁

参编 黄卫东 刘锡峰 卢承志 薛 晖

主审 姚国兴



机械工业出版社

本书是一本关于 CAD/CAM 技术基本理论与基本应用技能的、适用于
高职高专机械类 CAD/CAM 课程教学的教材。

本书分理论篇与应用篇两部分。理论篇扼要、系统地介绍了 CAD/
CAM 技术体系,涵盖了数值分析、数据结构与数据库、计算机图形学基
础、优化与有限元、数控加工技术与计算机辅助数控程序编制这些 CAD/
CAM 的核心技术,并就与 CAD/CAM 技术密切相关的现代制造技术的部分
主题进行了讨论;应用篇以 Pro/Engineer 为 CAD/CAM 系统平台,以一个
单级圆柱齿轮减速器为设计对象,较完整地介绍了机械零件的 CAD 设计
与 CAM 加工技术。

本书理论介绍系统、扼要,应用实例完整、全面。不仅可以作为高职
高专机械类 CAD/CAM 课程教材,也可以作为 CAD/CAM 技术从业人员的
学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAD/CAM/柳宁主编. —北京:机械工业出版社, 2002.7
高等职业技术教育机电类专业规划教材
ISBN 7-111-10021-2

I. 机… II. 柳… 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 (2002) 第 033924 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: 高文龙 版式设计: 霍永明 责任校对: 刘志文
封面设计: 姚毅 责任印制: 闫焱
北京第二外国语学院印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$ · 21.5 印张 · 532 千字
0001—4000 册
定价: 30.00 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
封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是高等职业教育机电类专业规划教材之一。本着“职业性、实用性、系统性、适当超前”的原则,针对当前机械 CAD/CAM 技术发展及其应用普及的具体情况,在多年从事机械 CAD/CAM 教学与研究的基础上,我们编写了本教材。

本书分为两篇,第一篇为基础理论篇,共 7 章,基本涵盖了 CAD/CAM 技术的基本理论,并就和 CAD/CAM 技术密切相关的现代制造技术部分主题作了简要介绍,对有些数学理论较为繁杂的理论内容,我们只给出了数学定义,并简要地介绍了其基本性质,而没有进行深入地讨论,这样既保证了理论内容的完整性,又避免了复杂的数学问题;第二篇为应用篇,共 6 章,我们以 Pro/Engineer 为 CAD/CAM 系统平台,以单级圆柱齿轮减速器为设计对象,较完整地介绍了零件的 CAD/CAM 设计、装配、加工、工程图制作技术。

理论体系的完整性和应用技术的实用性相结合是本书较突出的特色。本书既可以作为高职高专的机械 CAD/CAM 教材,也可以供 CAD/CAM 的从业人员作学习参考书。

参加本书编写的有:广东省机械学校的柳宁(理论篇的第一章、第五章、第六章,应用篇的第五章、第六章和第二章的第十三节),福建职业技术学院的黄卫东(理论篇的第三章、第七章),陕西工业职业技术学院的刘锡峰(理论篇的第二章、第四章),广东省机械学校的卢承志(应用篇的第三章、第四章),华南理工大学的薛晖(应用篇的第一章、第二章),柳宁也参与了应用篇的第一、第二、第三、第四章的编写工作。全书由柳宁任主编。

本书由华南理工大学姚国兴副教授主审,参加审稿的还有肖炎讲师,他们为本书的编写多次提出了宝贵意见。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有些不当之处,敬请读者斧正。

编 者
2002 年 1 月

07

目 录

前言

第一篇 理 论 篇

第一章 CAD/CAM 系统简介	1
第一节 CAD/CAM 系统发展简介	1
第二节 CAD/CAM 技术体系与 系统结构	4
第三节 当前常用的 CAD/CAM 系统介绍	7
第四节 CAD/CAM 系统的选型 与评估	11
第二章 数据结构与工程 数据库	15
第一节 数据结构及其常用算法	15
第二节 工程数据库	29
第三章 CAD 零件的计算机表示	36
第一节 曲线与曲面的参数表示	36
第二节 三维实体的数据结构	40
第三节 CAD 零件的特征模型	43
第四节 产品数据交换技术	47
第四章 工程数据处理	55
第一节 工程数据处理的基本方法	55
第二节 工程数据处理的数学基础	56
第三节 数表与线图的程序化	61
第四节 设计规范数据的数据库处理	67
第五章 有限元分析与优化设计	73
第一节 有限元分析	73
第二节 优化设计	80
第六章 计算机辅助数控程序 编制	87
第一节 数控机床与数控加工	87
第二节 NC 编程原理	90
第三节 计算机辅助 NC 编程原理	93
第七章 CAD/CAM 技术相关 主题	96
第一节 生产系统概述	96

第二节 CAPP 技术	98
第三节 计算机集成制造 (CIM) 系统	107
第四节 PDM 与 ERP	113

第二篇 应 用 篇

第一章 Pro/Engineer 操作模式 简介	123
第一节 Pro/Engineer 特性概述	123
第二节 Pro/Engineer 操作界面与 操作特性	123
第二章 Pro/Engineer 特征设计 简介	129
第一节 基础特征的建构	129
第二节 模型截面几何形状的绘制	130
第三节 Protrusions 和 Cuts 特征设计	133
第四节 Hole、Chamfer 与 Round 特征设计	134
第五节 扫掠特征 (Sweep) 与平行混成 (Blend) 特征设计	135
第六节 关系	135
第七节 复制特征的设计	136
第八节 Draft 特征设计	138
第九节 Variable Section Sweep 特征设计	139
第十节 Swept Blend 特征设计	139
第十一节 装配	140
第十二节 工程图的制作	141
第十三节 数控加工	144
第三章 零件设计实例	148
第一节 轴承端盖 22 设计	148
第二节 轴承端盖 29 设计	156
第三节 轴承端盖 31 设计	163
第四节 轴承端盖 36 设计	171
第五节 通气器设计	177
第六节 防松垫片设计	181
第七节 定距环隔套设计	184
第八节 检查孔盖设计	187

第九节 油标设计.....	190	第五节 检查孔盖工程图绘制.....	293
第十节 挡油环设计.....	191	第六节 油标工程图绘制.....	296
第十一节 轴端挡圈设计.....	193	第七节 挡油环工程图绘制.....	297
第十二节 密封盖板 23 设计	196	第八节 轴端挡圈工程图绘制.....	299
第十三节 密封盖板 32 设计	200	第九节 密封盖板 23 工程图绘制	301
第十四节 轴设计.....	204	第十节 轴的工程图绘制.....	304
第十五节 箱盖设计.....	209	第五章 装配仿真实例	317
第十六节 箱座设计.....	240	第一节 减速器装配仿真方案.....	317
第十七节 齿轮轴设计.....	271	第二节 减速器装配仿真实例.....	318
第十八节 齿轮设计.....	277	第六章 零件加工实例	326
第四章 工程图的制作实例	282	第一节 平面加工.....	326
第一节 轴承端盖 22 工程图绘制	282	第二节 轮廓加工.....	329
第二节 通气器工程图绘制.....	287	第三节 体积加工.....	331
第三节 防松垫片工程图绘制.....	289	第四节 一般曲面加工.....	335
第四节 隔套工程图绘制.....	291	参考文献	338

第一篇 理 论 篇

第一章 CAD/CAM 系统简介

CAD/CAM (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 是计算机辅助设计与计算机辅助制造的英文缩写, CAD/CAM 技术是以计算机、外围设备及其系统软件为基础, 包括二维绘图设计、三维几何造型设计、有限元分析 (FEA) 及优化设计、数控加工编程 (NCP)、仿真模拟及产品数据管理等内容。随着 Internet/Intranet 网络和并行、高性能计算及事务处理的普及, 异地、协同、虚拟设计及实时仿真也得到广泛应用, 计算机及网络技术的发展, 使 CAD/CAM 从技术到产品都发生了革命性的变革。

第一节 CAD/CAM 系统发展简介

一、CAD 技术发展历程

1963 年, CAD 的技术概念最早由美国麻省理工学院 (MIT) 的博士生 I.E. Sutherland 在其博士学位论文中提出。文章描述了一个二维的 SKETCHPAD 计算机绘图系统, 该系统允许设计者在图形显示器前通过光笔和键盘, 在计算机上交互式地绘制图形, 以完成设计工作。学术界一般地认为这就是计算机辅助设计的开端。同年, 在美国的计算机联合会上, MIT 的一个 CAD 研究小组发表了 5 篇 CAD 方面的论文, 在学术界引起了很大的震动, MIT 小组设想在计算机上进行设计与分析, 并开发了交互式的计算机绘图系统, 该系统能够进行工程图的绘制, 第一次实现了 CAD 从技术概念到工程实际的应用。

随后, 美国通用汽车公司和 IBM 公司合作, 开发了一个用于汽车前玻璃型线的计算机辅助设计系统 DAC-I (Design Augmented by Computer), 用于汽车前挡风玻璃的设计, 这是最早的一个 CAD 应用系统。

1972 年, 英国剑桥大学 Braid、日本北海道大学冲野、东京大学的穗坂三人分别提出了类似的三维的 CAD 系统, 此后, Braid 成立了一个公司, 专门进行三维 CAD 系统的开发, 到 20 世纪 80 年代初, 三维的 CAD 系统已经商品化了。此阶段的 CAD 系统以小型机为基础, 在一些实力雄厚的企业如汽车、飞机制造公司中得到了充分的应用, 并显现出其优势。

20 世纪 80 年代是 CAD 技术突飞猛进的发展时期, 在此阶段由于计算机技术的充分发展, CAD 的外部设备与相关软件如数据库、有限元、优化技术的出现, 为 CAD 的发展提供了强有力的支持。此阶段的 CAD 系统多以图形工作站为硬件平台, 在制造业中的应用十分普及。

20 世纪 90 年代是开放式、标准化、集成化和智能化的发展时期, 由于微机加视窗 95/

98/NT 操作系统与工作站加 Unix 操作系统在以太网的环境下构成了 CAD 系统的主流工作平台, 因此现在的 CAD 技术和系统都具有良好的开放性。图形接口、图形功能日趋标准化。

二、CAM 技术发展历程

CAM 技术是从 APT (Automatically Programmed Tooling) 即自动化编程工具开始的, 20 世纪 50 年代末数控机床出现后, 为了提高数控程序的编写效率, 由 MIT 设计了一套专门用于机械零件数控加工的自动编程语言, 在这套系统中, 人们只对零件的几何形状进行描述, 并指定加工路线, 由系统自动生成零件的数控加工程序。这套 APT 系统几经发展, 在 20 世纪 70 年代已经成为数控编程的标准。APT 系统就是最早的 CAM 系统。

除 APT 语言外, 图形自动数控编程技术则是在 CAD 技术基础之上发展而来, 人们利用 CAD 系统的几何信息, 通过人机交互的方式, 进行部分加工工艺处理, 最后由计算机生成数控加工轨迹, 再经过后置处理, 得到数控机床的加工控制程序。计算机辅助数控编程技术是 CAM 技术的核心。

除计算机辅助数控编程以外, CAM 技术还包括计算机辅助质量控制、计算机辅助生产计划管理等。

一个最简单的产品制造过程大致可以划分为产品设计、工艺设计、生产实施三个部分。产品设计包括产品的概念设计、技术设计、施工设计, 产品的设计自动化由 CAD 系统完成, 产品的生产实施包括数控编程、仿真、数控加工、装配、检验等, 这部分的自动化由 CAM 系统完成。值得一提的是, 在 CAD 与 CAM 之间, 还存在一个工艺设计过程, 这个过程包括工艺参数设定、工艺规程编制、工时定额管理等, 这个过程的自动化要由 CAPP (Computer Aided Process Planning) 系统完成。另一个要强调的问题是, 在现代设计过程中, 大量地采用了有限元、优化、仿真技术, 这些分析技术的采用大大地提高了设计质量, 将这部分工作集成起来就是 CAE (Computer Aided Engineering) 系统。要实现整个从设计到生产过程的自动化, 还要将 CAD/CAPP/CAM/CAE 集成起来, 但由于 CAPP 技术本身的复杂性, 很难建立一个通用的 CAPP 系统, 而 CAE 系统的针对性较强, 对人员的素质要求较高, 其使用人员一般是高级设计与分析人员。CAE 系统一般不在日常的设计与制造过程中出现, 常常独立地使用, 故 CAD/CAM 系统的集成是最常见的。我们常说的 CAD/CAM 系统中也包括一些基本的 CAPP 和 CAE 功能或数据接口。

三、CAD 数据模型的发展

在 CAD/CAM 系统中, CAD 的数据模型是一个关键, 随着 CAD 建模技术的进步, CAM 才能有本质的发展。在 CAD 数据建模技术上, 有四次大的技术革命。早期的 CAD 系统以平面图形的处理为主, 可以理解为计算机辅助绘图 (Computer Aided Drawing or Drafting), 这个系统的核心是二维图形的表达。最早的三维 CAD 系统所用到的数据模型是线框模型, 它用线框来表示三维形体, 这种模型不能表示形体几何数据之间的拓扑关系, 也没有面的信息; 在这种数据模型基础之上的 CAM 最多处理一些二维的数控程序编程问题, 功能也非常有限。

法国雷诺汽车公司的工程师贝赛尔针对汽车设计的曲面问题, 提出了贝赛尔曲线、曲面算法, 这称得上是第一次 CAD 技术革命, 它为曲面模型的 CAD/CAM 系统奠定了理论基础, 法国的达索飞机制造公司的 CATIA 系统是曲面模型 CAD 系统的典型代表。由于 CAD 系统曲面模型的出现, 为曲面的数控加工提供了完整的基础数据, 和这种 CAD 系统集成 CAM 系统可以进行曲面数控加工程序的计算机辅助编程。有了曲面模型, CAM 的数控加工编程问

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它特性,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/CAM/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,当时是 CAD 系统公司纷纷效仿。可以说,实体造型模型是 CAD 技术发展史上的第二次技术革命。只可惜由于实体造型技术既带来了算法的改进和未来发展的希望,也带来了数据计算量的极度膨胀。在当时的硬件条件下,实体造型的计算及显示速度很慢,在实际应用中做设计显得比较勉强。由于以实体模型为前提的 CAE 本来就属于较高层次技术,普及面较窄,反映还不强烈;另外,在算法和系统效率的矛盾面前,许多赞成实体造型技术的公司并没有下大力量去开发它,而是转去攻克相对容易实现的表面模型技术。在当时的计算机硬件水平下,实体模型的 CAD 系统并没有得到真正的发展。但实体模型的 CAD/CAM 系统将 CAE 的功能集成进来,并形成了 CAD、CAM、CAE 一致的数据模型。

实体模型之前的造型技术都属于无约束自由造型技术,这种技术的一个明显缺陷就是无法进行尺寸驱动,不易实现设计与制造过程的并行作业。在这种情况下,原来倡导实体建模技术的一些人提出了参数化实体建模理论,这是 CAD 技术发展史上的第三次技术革命,这种造型技术的特点是:基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。其典型代表系统是 PTC 公司的 Pro/Engineer,该系统的 CAM 技术相当完善,数控自动编程、装配仿真、生产车间管理等功能均集成到一个系统中,且一致性很好。它为并行工程提供了一个很好的工作平台。

参数化实体造型技术也有一个缺陷,当实体几何拓扑关系及尺寸约束关系较复杂时,参数驱动方式变得难于驾驭,人们面对挤满屏幕的尺寸,不知所从,当设计中关键形体的拓扑关系发生改变,失去了某些约束的几何特征也会造成系统数据混乱,面对这个情况,SDRC 公司在参数化造型技术的基础上,提出了变量化造型技术,它解决了欠约束情况下的参数方程组的求解问题,SDRC 抓住机遇,将其原来基于实体模型的 I-DEAS 全面改写,推出了全新的基于变量化造型技术的 I-DEAS Master Series CAD/CAM 系统,这是 CAD 技术发展史上的第四次技术革命。

另外值得一提的是,由于 CAD/CAM 系统发展的历史继承性,许多 CAD/CAM 系统宣称自己采用的是混合数据模型,实际上是由于它们受原系统内核的限制,在不愿意重写系统的前提下,只能将面模型与实体模型结合起来,各自发挥自己的优点。实际上这种混合模型的 CAD/CAM 系统由于其数据表达的不一致性,其发展空间是受到限制的。

四、网络时代的 CAD/CAM

在 Internet 时代,CAD/CAM 只是一种现代制造领域中的基础技术,它的发展趋势是集成化与网络化,集成化是指除 CAD、CAM、CAE 的集成之外,还有与 PDM (Product Data Management, 产品数据管理系统)的集成。由于 CAD/CAM/CAE 系统产生了大量的数据,如项目计划、设计数据、产品模型、工程图样、技术规范、使用说明书、工艺资料、NC 加工文件、有限元分析结果、CAD 模型、电子表格以及有关零件的各种数据等,这些数据是伴随产品

在其整个生命周期内的副产品。它们存储于图纸、磁介质、文件或文档中，有些甚至存储在某些工程技术人员的头脑中。它们涉及企业的各个部门，如计划、设计、生产、加工、材料、采购、分析、财务、质量、库存和销售等部门，这些产品数据的“爆炸”，用人工的方法是无法管理的，相反，它还阻碍了 CAD/CAM/CAE 系统的应用与发展，产品数据管理系统就是有效地将产品数据从概念设计、阶段设计、详细设计、计算分析、工艺流程设计、加工制造、销售维护、贮存保管至产品整个生命周期内及其各阶段的相关数据按照一定的数学模式加以定义、组织和管理，使产品数据在整个生命周期内保持一致、最新、共享及安全。正是由于 CAD/CAM/CAE 和 PDM 系统的集成，才使得并行工程、虚拟制造等现代设计与制造技术得以实现。网络化是指 CAD/CAM/CAE 系统的工作平台已经不是一种单机工作平台，它目前正朝着网络环境与跨平台的方向发展。随着网络技术、分布计算技术、分布式数据库技术这些 CAD/CAM 支持技术的发展，在制造领域相应地出现了异地设计与制造、敏捷制造和虚拟制造等先进生产方式，它和传统的制造方式的主要区别在于它强调设计过程的团队协作，制造过程的广域化与准时高效，CAD/CAM 系统必须提供对网络环境的支持，并保证分布在世界各地的设计与制造部门能协同作业，完成客户化的设计与制造。

第二节 CAD/CAM 技术体系与系统结构

一、CAD 技术体系

CAD 技术体系如图 1-1-1 所示。

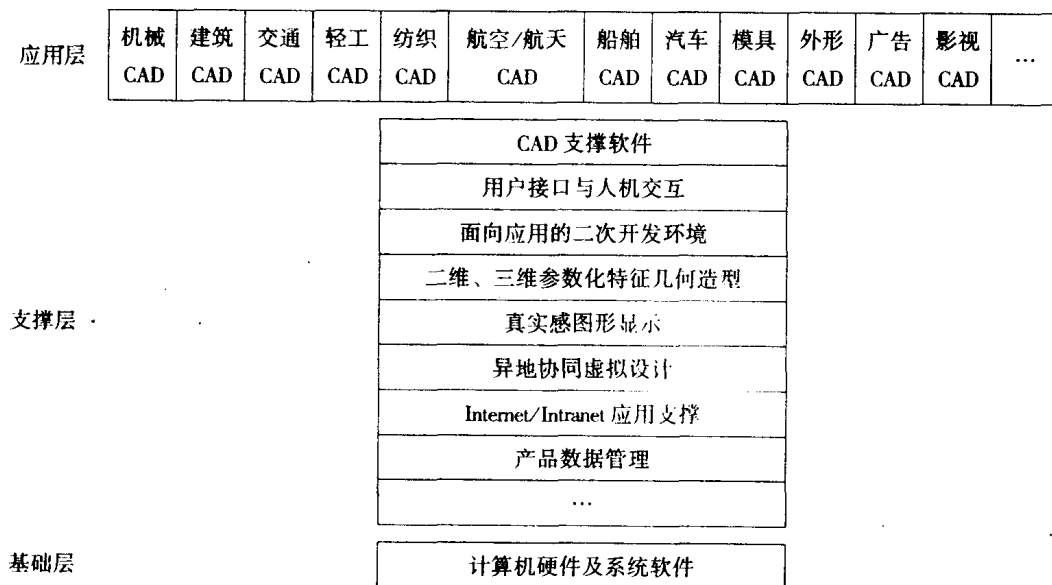


图 1-1-1 CAD 技术体系

从图 1-1-1 可以看出，CAD 技术体系有三个层次，基础层是计算机硬件及系统软件层，硬件指计算机与网络系统，计算机可以是微机、图形工作站、小型机、超小型机及其外围设备，如打印机、绘图机，网络系统指 Internet/Intranet，系统软件主要指操作系统，工作站上流行有 Unix 加 Motif 操作系统，在微机上流行 Win95/98/NT 操作系统，近来 Linux 系统也有

发展的趋势。支撑层包括产品数据管理, Internet/Intranet 应用支撑, 异地协同虚拟设计, 真实感图形显示, 二维、三维参数化特征造型, 面向应用的二次开发环境, 用户接口与人机交互, CAD 支撑软件。应用层是 CAD 的具体应用领域, 事实上, CAD 技术不仅在制造领域有所应用, 在其它领域如广告、影视、服装领域都大有用武之地。

二、CAM 技术内涵

CAM 有狭义和广义的两个概念。CAM 的狭义概念指的是从产品设计到加工制造之间的一切生产准备活动, 它包括 CAPP、NC 编程、工时定额的计算、生产计划的制订、资源需求计划的制订等。这是最初 CAM 系统的狭义概念。到今天, CAM 的狭义概念甚至更进一步缩小为 NC 编程的同义词。CAPP 已被作为一个专门的子系统, 而工时定额的计算、生产计划的制订、资源需求计划的制订则划分给 MRP II /ERP 系统来完成。CAM 的广义概念包括的内容则多得多, 除了上述 CAM 狭义定义所包含的所有内容外, 它还包括制造活动中与物流有关的所有过程(加工、装配、检验、存贮、输送)的监视、控制和管理。本书的 CAM 概念是狭义的 CAM 概念, 即只与 NC 编程有关的内容。

CAM 技术构成比较单一, 它主要有三部分内容: 一是数控加工过程的工艺处理; 二是数控加工轨迹的形成; 三是将加工轨迹处理成机床控制器能够接受的控制代码。其中一、二部分合称为前置处理, 第三部分称后置处理。第一部分的内容其实质是 CAPP 的内容, 目前这一部分的理论研究尚未完全达到实用阶段, 现役的系统多以人机对话的方式处理数控加工的工艺问题; 第二部分是 CAM 技术的核心内容, 目前常用的轨迹生成方法有两类, 一类是基于点、线、面和体的 NC 刀具轨迹生成方法, 另一类是基于特征的 NC 刀具轨迹生成方法。后置处理的实质就是将刀具轨迹文件翻译成数控机床控制器的指令代码。当然, 计算机数字装配技术也是 CAM 近期发展的一项十分活跃的内容。

CAD/CAM 技术是一项综合应用技术, 它大致包括计算机图形学、数值分析、优化与有限元(边界元)、数据结构与数据库、系统分析与程序设计五大技术, 除此之外, 网络技术、虚拟现实技术、人工智能技术也会随着 CAD/CAM 技术的发展而成为 CAD/CAM 技术的一个分支技术; 毫无疑问, CAD/CAM 应用领域的具体技术必然是 CAD/CAM 技术的组成技术。如基于特征的造型与加工技术、数字装配技术是机械 CAD/CAM 领域中的核心技术。

三、CAD/CAM 系统结构

CAD/CAM 系统结构也是一个历史的发展过程, CAD 系统作为计算机应用系统的一个重要分支, 经历了三个发展阶段, 即: 多用户共享一台计算机; 一个用户使用一台计算机; 一个用户共享多台计算机。从系统结构上看, CAD 系统大致可分为两类, 即集中式系统和网络系统。集中式系统要求有功能较强的计算机, 一次投资大, 使用起来不灵活, 在 20 世纪 80 年代中期以前应用比较广泛。从工作站和高性能微机问世以后, 大多数用户采用工作站和微机网络系统来代替这类集中式 CAD 系统, 形成网络化的系统。与此同时, CAD/CAM 系统与 PDM 系统、MRPII 系统、ERP 系统的集成也是当今 CAD/CAM 系统发展的一个重要动向。

按照 CAD/CAM 系统的硬件平台的规模, 可以将 CAD/CAM 系统大致分为四类。

1. 大型机 CAD/CAM 系统

顾名思义, 该系统一般以一具有大容量的存储器和极强的计算功能的大型通用计算机为主机, 一台计算机可以连接几十至几百台图形终端和字符终端及其它图形输入和输出设备。

主要优点有：

系统具有一个大型的数据库，可以对整个系统的数据实行综合管理和维护；

计算速度快；

给企业的集成管理带来方便；

提高了企业在设计、制造方面的效率，为企业的设计、制造一体化提供了条件，为企业生产方式向国际先进水平靠拢奠定了基础。

主要缺点有：

安全性能低，如果主机出现故障，则整个系统都不能工作；但随着双机容错等先进技术的广泛使用，安全性能已经今非昔比；

终端距离不能太大。但随着网络技术的发展，距离的限制是越来越小了；

随着计算机的总负荷增加，系统的响应速度将降低。这种现象在三维造型和复杂有限元分析时尤为突出。如某飞机制造公司，主机为 IBM4XXX，带有若干台 5080 的图形终端，当全部终端同时使用时，其图形处理速度慢得不可忍受；但随着处理器速度的飞速发展，这个问题也将逐渐得到缓解；

大型机系统的一般用户为大型的飞机制造公司和船舶制造公司。系统的成本很高，一般中小企业不可能承受。有代表性的大型机生产厂家是 IBM、NAS、CDC、Honeywell 等，IBM 公司是大型机市场的霸主。大型机 CAD/CAM 系统运行的 CAD 和 CAM 软件有：美国洛克德公司的 CADAM 和法国达索公司的 CATIA 及 CV 公司的 CADOS 等。实际上，随着计算机技术的发展，小型机的性能和功能的提升已经逐渐取代了传统大型机的地位。

2. 小型机 CAD/CAM 系统

20 世纪 70 年代末至 80 年代初，这类系统处于蓬勃发展时期。我国在此期间从国外购进的 CAD/CAM 系统大都属这种类型。生产、制造这类系统的厂商很多，如美国的 CV、Intergraph、DEC、Calma、Autotrol、Unigraphics 和法国的 Euclid 等。通过使用，人们逐渐发现了这类小型机系统有一定的局限性，如系统的计算能力和扩充能力差等，而且，不同系统之间数据是很难进行交换的，即不同系统的数据存储格式是不相同的。20 世纪 80 年代中期，由于分布式工程工作站的问世和异种机之间联网技术的发展，促进了这种孤立系统向开放式系统发展，而系统使用的软件也逐渐向工业标准方向靠拢。

3. 图形工作站组成的 CAD/CAM 系统

20 世纪 80 年代初，32 位的工程工作站问世，以工作站组成 CAD/CAM 系统发展很快。它与小型机 CAD/CAM 系统不同，一台工作站只能一个人使用，并且具有较强的联网功能，其处理速度很快，一般都赶上或超过了过去的小型机的速度。这类工作站一般都采用 RISC 技术和开放系统的设计原则，且以 UNIX 为操作系统。这种类型的工作站成为 20 世纪 90 年代 CAD/CAM 系统的主要机器。

4. PC 机组成的 CAD/CAM 系统

随着微机性能的不断提髙、价格的不断下降，以 PC 组成的 CAD/CAM 系统近年来增加很快。过去以 PC 机为主机的 CAD/CAM 系统一般只能进行二维拼图和绘图，而现在可以进行三维造型和复杂的分析计算。值得一提的是，由于网络技术的发展，现在的微机已能与大型机和小型机及工作站联网，成为整个网络的一个节点，共享主机和工作站资源。这样，大型系统、工作站系统、PC 机系统就不再相互割裂，而成为一个有机的整体，在网络中发挥

各自的优点,使得原来在小型机和工作站上运行的 CAD/CAM 软件直接在微机上运行。因此,在我国用高档微机组成的 CAD/CAM 系统发展很快,在某些方面已接近低档工程工作站的能力。

另外,在实际应用中,目前往往大致按照 CAD 系统的大小分类:网络环境下的 CAD/CAM 系统和单机环境下的 CAD/CAM 系统。在过去几年里,基于微机的单机 CAD/CAM 系统给小型企业、个人以及教学使用带来了方便,并且这也是 CAD/CAM 技术普及的必由之路。但是,随着企业集成化管理和生产能力进一步提高,网络化是必然的趋势,现代企业在 CAD/CAM 的建设过程中,必须要考虑到和 CAPP、PDM、MIS 等系统的集成问题根据企业的发展来确定 CAD/CAM 系统的建设。

第三节 当前常用的 CAD/CAM 系统介绍

一、国外 CAD/CAM 软件

1. UG

Unigraphics (UG) 是美国 EDS 公司发布的 CAD/CAE/CAM 一体化软件,广泛应用于航空航天、汽车、通用机械及模具等领域。国内外已有许多科研院所和厂家选择了 UG 作为企业的 CAD/CAM 系统。UG 可运行于 Windows NT 平台,无论装配图还是零件图设计,都从三维实体造型开始,可视化程度很高。三维实体生成后,可自动生成二维视图,如三视图、轴测图、剖视图等。其三维 CAD 是参数化的,一个零件尺寸修改,可致使相关零件的变化。该软件还具有人机交互方式下的有限元解算程序,可以进行应变、应力及位移分析。UG 的 CAM 模块提供了一种产生精确刀具路径的方法,该模块允许用户通过观察刀具运动来图形化地编辑刀轨,如延伸、修剪等,其所带的后处理程序支持多种数控机床。UG 具有多种图形文件接口,可用于复杂形体的造型设计,特别适合大型企业和研究所使用。

2. Pro/Engineer

Pro/Engineer 是美国参数技术公司 (PTC) 开发的 CAD/CAM 软件,在我国也有较多用户。它采用面向对象的统一数据库和全参数化造型技术,为三维实体造型提供了一个优良的平台。其工业设计方案可以直接读取内部的零件和装配文件,当原始造型被修改后,具有自动更新的功能。其 MOLDESIGN 模块用于建立几何外形,产生模具的模芯和腔体,产生精加工零件和完善的模具装配文件。20.0 以后的版本,提供最佳加工路径控制和智能化加工路径创建,允许 NC 编程人员控制整体的加工路径直到最细节的部分。该软件还支持高速加工和多轴加工,带有多图形文件接口。

3. I-DEAS

I-DEAS 是美国 SDRC 公司开发的一套完整的 CAD/CAM 系统,其侧重点是工程分析和产品建模。它采用开放型的数据结构,把实体建模、有限元模型与分析、计算机绘图、实验数据分析与综合、数控编程以及文件管理等集成为一体,因而可以在设计过程中较好地实现计算机辅助机械设计。通过公用接口以及共享的应用数据库,把软件各模块集成于一个系统中。其中实体建模是 I-DEAS 的基础,它包括了物体建模、系统组装及机构设计等模块。物体建模模块可通过定义非均匀有理 B 样条曲线构成的光滑表面来形成雕塑曲面;系统组装模块通过对给定几何实体的定位来表达组件的关系,并可实现干涉检验及物理特性计算;机

构设计模块用来分析机构的复杂运动关系，并可通过动画显示连杆机构的运动过程。

4. CATIA

CATIA 最早是由法国达索飞机公司研制的，目前属于 IBM 公司，是一个高档 CAD/CAM/CAE 系统，广泛用于航空、汽车等领域。它采用特征造型和参数化造型技术，允许自动指定或由用户指定参数化设计、几何或功能化约束的变量式设计。根据其提供的 3D 线架，用户可以精确地建立、修改与分析 3D 几何模型。其曲面造型功能包含了高级曲面设计和自由外形设计，用于处理复杂的曲线和曲面定义，并有许多自动化功能，包括分析工具，加速了曲面设计过程。CATIA 提供的装配设计模块可以建立并管理基于 3D 的零件和约束的机械装配件，自动地对零件间的连接进行定义，便于对运动机构进行早期分析，大大加速了装配件的设计，后续应用则可利用此模型进行进一步的设计、分析和制造。CATIA 具有一个 NC 工艺数据库，存有刀具、刀具组件、材料和切削状态等信息，可自动计算加工时间，并对刀具路径进行重放和验证，用户可通过图形化显示来检查和修改刀具轨迹。该软件的后处理程序支持铣床、车床和多轴加工。

5. Surfcam

美国加州的 Surfware 公司开发的 Surfcam 是基于 Windows 的数控编程系统，附有全新透视图基底的自动化彩色编辑功能，可迅速而又简捷地将一个模型分解为型芯和型腔，从而节省复杂零件的编程时间。该软件的 CAM 功能具有自动化的恒定 Z 水平粗加工和精加工功能，可以使用圆头、球头和方头立铣刀在一系列 Z 水平上对零件进行无撞伤的曲面切削。对某些作业来说，这种加工方法可以提高粗加工效率和减少精加工时间。V7.0 版本完全支持基于微机的实体模型建立。另外 Surfware 公司和 SolidWorks 公司签有合作协议，SolidWorks 的设计部分将成为 Surfcam 的设计前端，Surfcam 将直接挂在 SolidWorks 的菜单下，二者相辅相成。

6. Virtual Gibbs

美国 Gibbs & Associates 公司早在 1984 年就推出 CAM 软件包，最近推出了用于实体模型建立和多曲面加工的新模块 Virtual Gibbs。这个模块可用来建立、输入、修改和加工三维实体模型和曲面，可运行于 Windows95 和 Windows NT 操作系统。该软件具有过程控制功能，用户可返回到以前的任何步骤进行修改。软件能在整个模型和刀具轨迹中自动引入所作的修改，提供了最大的灵活性和效能。软件提供的多曲面加工能力，可使许多加工过程自动化处理，可用多个刀具作一次装夹加工，从而简化了编程，节省了时间。该软件还提供了 IGES 图形文件接口。

7. Cimatron

Cimatron 是以色列 Cimatron Technologies 公司开发的，可运行于 DOS、Windows 或 NT，是早期的微机 CAD/CAM 软件。其 CAD 部分支持复杂曲线和复杂曲面造型设计，在中小型模具制造业有较大的市场。在确定工序所用的刀具后，其 NC 模块能够检查出应在何处保留材料不加工，对零件上符合一定几何或技术规则的区域进行加工。通过保存技术样板，可以指示系统如何进行切削，可以重新应用于其它加工件，即所谓基于知识的加工。该软件能够对含有实体和曲面的混合模型进行加工。它还具有 IGES、DXF、STA、CADL 等多种图形文件接口。

8. Master CAM

由于价格便宜，Master CAM 是一种应用广泛的中低档 CAD/CAM 软件，由美国 CNC Soft-

ware 公司开发, V5.0 以上运行于 Windows 或 Windows NT。该软件三维造型功能稍差, 但操作简便实用, 容易学习。新的加工任选项使用户具有更大的灵活性, 如多曲面径向切削和将刀具轨迹投影到数量不限的曲面上等功能。这个软件还包括新的 C 轴编程功能, 可顺利将铣削和车削结合。其它功能, 如直径和端面切削、自动 C 轴横向钻孔、自动切削与刀具平面设定等, 有助于高效的零件生产。其后处理程序支持铣削、车削、线切割、激光加工以及多轴加工。另外, Master CAM 提供多种图形文件接口, 如 SAT、IGES、VDA、DXF、CADL 以及 STL 等。

9. MDT

MDT 是 Autodesk 公司在 PC 平台上开发的三维机械 CAD 系统。它以三维设计为基础, 集设计、分析、制造以及文档管理等多种功能为一体; 为用户提供了从设计到制造一体化的解决方案。MDT 主要功能特点是: ①基于特征的参数化实体造型。用户可十分方便地完成复杂三维实体造型, 可以对模型进行灵活地编辑和修改。②基于 NURBS 的曲面造型, 可以构造各种各样的复杂曲面, 以满足如模具设计等方面对复杂曲面的要求。③可以比较方便地完成几百甚至上千个零件的大型装配。④MDT 提供相关联的绘图和草图功能, 提供完整的模型和绘图的双向联结。该软件的推出受到广大用户的普遍欢迎。至今为止, 全世界累计销售已达 7 万套, 国内已销售近千套。由于该软件与 AutoCAD 同时出自 Autodesk 公司, 因此两者完全融为一体, 用户可以方便地实现三维向二维的转换。MDT 为 AutoCAD 用户向三维升级提供了一个较好的选择。

10. SolidWorks

SolidWorks 是生信国际有限公司推出的基于 Windows 的机械设计软件。生信公司是一家专业化的信息技术服务公司, 在信息和技术方面一直保持与国际 CAD/CAE/CAM/PDM 市场同步。该公司提倡的“基于 Windows 的 CAD/CAE/CAM/PDM 桌面集成系统”是以 Windows 为平台, 以 SolidWorks 为核心的各种应用的集成, 包括结构分析、运动分析、工程数据管理和数控加工等, 为中国企业提供了梦寐以求的解决方案。SolidWorks 是微机版参数化特征造型软件的新秀, 该软件旨在以工作站版的相应软件价格的 1/4 ~ 1/5 向广大机械设计人员提供用户界面更友好, 运行环境更大众化的实体造型实用功能。SolidWorks 是基于 Windows 平台的全参数化特征造型软件, 它可以十分方便地实现复杂的三维零件实体造型、复杂装配和生成工程图。图形界面友好, 用户上手快。该软件可以应用于以规则几何形体为主的机械产品设计与生产准备工作中, 其价位适中。

二、国内 CAD/CAM 软件

1. 高华 CAD

高华 CAD 是由北京高华计算机有限公司推出的 CAD 产品。该公司是由清华大学和广东科龙(容声)集团联合创建的一个专门从事 CAD/CAM/PDM/MIS 集成系统的研究、开发、推广、应用、销售和服务的专业化高技术企业。公司与国家 CAD 支撑软件工程中心紧密结合, 坚持走自主知识产权的民族软件产业的发展道路, 以“用户的需要就是我们的需要”为承诺, 在科研成果商品化方向迈出了可喜的一步。

高华 CAD 系列产品包括计算机辅助绘图支撑系统 GHDrafting、机械设计及绘图系统 GH-MDS、工艺设计系统 GHCAAP、三维几何造型系统 GHGEMS、产品数据管理系统 GHPDMS 及自动数控编程系统 GHCAM。其中 GHMDS 是基于参数化设计的 CAD/CAE/CAM 集成系统, 它

具有全程导航、图形绘制、明细表的处理、全约束参数化设计、参数化图素拼装、尺寸标注、标准件库、图像编辑等功能模块。GHGEMS5.0 曾获第二届全国自主知识产权 CAD 支撑软件评测第一名。

2. CAXA 电子图板和 CAXA-ME 制造工程师

CAXA 电子图板和 CAXA-ME 制造工程师软件的开发与销售单位是北京北航海尔软件有限公司（原北京航空航天大学华正软件研究所）。该公司是从事 CAD/CAE/CAM 软件与工程服务的专业化公司。

CAXA 电子图板是一套高效、方便、智能化的通用中文设计绘图软件，可帮助设计人员进行零件图、装配图、工艺图表、平面包装的设计，适合所有需要二维绘图的场合，使设计人员可以把精力集中在设计构思上，彻底甩掉图板，满足现代企业快速设计、绘图、信息电子化的要求。

CAXA-ME 是面向机械制造业的自主开发的、中文界面、三维复杂形面 CAD/CAM 软件。CAXA 制造工程师 1.0 版于 1996 年推出，CAXA-ME2.0 版于 1998 年 3 月发布，CAXA-ME2000 版业已发布。

3. GS-CAD98

GS-CAD98 是浙江大天电子信息工程有限公司开发的基于特征的参数化造型系统。该公司是国家科委高技术研究发展中心、浙江大学和中国航天总公司 CAD/CAM 中心在杭州联合创建的高新技术研究、开发和应用企业。大天公司集软件开发、工程应用、信息系统集成和计算机类产品销售为一体，是从事 CAD/CAPP/CAM 工程数据库和 MIS/OA 的开发、应用、销售和服务的专业化高技术公司。

GS-CAD98 是一个具有完全自主知识产权、基于微机、中文 Windows95/NT 平台的三维 CAD 系统。该软件是在国家“七五”重大攻关及 863/CIMS 主题目标产品开发成果的基础上，参照 SolidWorks 的用户界面风格及主要功能开发完成的。它实现了三维零件设计与装配设计，工程图生成的全程关联，在任一模块中所做的变更，在其它模块中都能自动地做出相应变更。

4. 金银花系统

金银花（Lonicera）系统是由广州红地技术有限公司开发的基于 STEP 标准的 CAD/CAM 系统。该系统是国家科委 863/CIMS 主题在“九五”期间科技攻关的最新研究成果。

该软件主要应用于机械产品设计和制造中，它可以实现设计/制造一体化和自动化。该软件起点高，以制造业最高国际标准 ISO-10303（STEP）为系统设计的依据。该软件采用面向对象的技术，使用先进的实体建模、参数化特征造型、二维和三维一体化、SDAI 标准数据存取接口的技术；具备机械产品设计、工艺规划设计和数控加工程序自动生成等功能；同时还具有多种标准数据接口，如 STEP、DXF 等；支持产品数据管理（PDM）。目前金银花系统的系列产品包括：机械设计平台 MDA、数控编程系统 NCP、产品数据管理 PDS、工艺设计工具 MPP。

机械设计平台 MDA（Mechanical Design Assistant）是金银花系列软件之一，是二维和三维一体化设计系统。目前，MDA1.7 版已投放市场，MDA99 版也已发布。“金银花”MDA 在国内率先实现商品化，并向国外三维 CAD 软件发出了强有力的挑战。

5. 开目 CAD

开目 CAD 是华中理工大学机械学院开发的具有自主知识产权的基于微机平台的 CAD 和图纸管理软件, 它面向工程实际, 模拟人的设计绘图思路, 操作简便, 机械绘图效率比 AutoCAD 高得多。开目 CAD 支持多种几何约束种类及多视图同时驱动, 具有局部参数化的功能, 能够处理设计中的过约束和欠约束的情况。开目 CAD 实现了 CAD、CAPP、CAM 的集成, 适合我国设计人员的习惯, 是全国 CAD 应用工程主推产品之一。

三、国产 CAD/CAM 系统发展策略

将国外的 CAD/CAM 系统和国内的 CAD/CAM 系统相比较, 我国 CAD/CAM 软件不管是从产品开发水平还是从商品化、市场化程度都与发达国家有不小的差距。由于国外 CAD/CAM 软件出现得较早, 开发和应用的时间也较长, 所以它们发展比较成熟, 现在基本上已经占领了国际市场。这些国外软件公司利用其技术和资金的优势, 开始大力向我国市场进军, 目前, 国外一些优秀软件, 如 UG、SolidWorks、Pro/Engineer、CATIA 等, 已经占领了一部分国内市场。所以, 我国 CAD/CAM 软件前景不容乐观。但是, 我们也应该看清自己的优势, 比如了解本国市场, 提供技术支持方便, 价格便宜等。在这些前提下, 我们不仅要紧跟时代潮流, 跟踪国际最新动态, 遵守各种国际规范, 在国际国内形成自己独特的优势, 更要立足国内, 结合国情, 面向国内经济建设的需要, 开发出有自己特色, 符合中国人习惯的 CAD/CAM 软件。

计算机技术日新月异, 硬件更新速度很快。在这短短的四十年中, 计算机分别经历了大型机、小型机、工作站、微机时代, 每个新时代都出现了新的流行的 CAD/CAM 软件。在工作站时代, UG、Pro/Engineer 是工作站平台三维 CAD/CAM 软件的佼佼者, 而在当今微机时代, SolidWorks 在 WindowsNT 平台的三维 CAD/CAM 软件中处于领先地位。由于国外在 Unix 工作站平台上开发 CAD/CAM 软件已有一定的时间和投入, 我国软件在这方面比美国等发达国家落后许多。但是在微机平台上开发 CAD/CAM 软件是一个全新的领域, 我国与国外起点差不多, 都是使用 VisualC++, OpenGL 等工具进行软件开发, 在这基础上开发出先进的、符合本国用户习惯的 CAD/CAM 软件还是有可能的。

CAD/CAM 技术可以应用在许多领域, 机械制造是最早也是最广泛应用 CAD/CAM 技术的领域。随着 CAD/CAM 技术的发展, 建筑、电子、化工的领域也开始应用该技术, 在这些新的应用领域中, 国外软件的优势并不明显。所以, 我国 CAD/CAM 软件在这些方面还是可以与发达国家竞争的, 并且随着 CAD/CAM 技术应用的深入, 越来越多的领域将会使用该技术, 所以, 如果能够紧跟时代潮流, 不断应用于新的领域, 那么国产 CAD/CAM 软件还是很有前途的。

第四节 CAD/CAM 系统的选型与评估

一、选型原则

首先应广泛了解和对比各种软件性能及价格。每一种软件都有自己的优点和不足之处, 最适用的软件才是最好的软件。选择软件时, 应以满足需要为前提, 除价格因素外, 应考虑以下几方面问题。

1. 操作使用的方便性

首先应注意软件的安装对操作系统及硬件的要求, 能否直接运行于普通配置的微机上,