

中等职业学校机电类专业规划教材

机械 CAD/CAM

肖辉进 编著

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书根据教育部 2001 年颁发的中等职业学校机械制造与控制专业教学指导方案而编写,较全面地阐述了计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)的基本概念和理论、系统结构和 CAD/CAM 技术的发展,并从实际应用的角度着重介绍了 CAD/CAM 的数据结构、现代制造技术、CAPP、造型基础、数控加工及综合实例等内容。

本书结构合理、实例丰富、可操作性强;每章都配有练习题供读者复习。本书是中等职业学校机电类专业教材,也可作为职工大学、电视大学和其他院校机电类专业的教材或教学参考书,并可供 CAD/CAM 技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM/肖辉进编著. —成都:电子科技大学出版社, 2007.1

ISBN 978-7-81114-409-3

I. 机... II. 肖... III. 机械学—专业学
校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 000070 号

机械 CAD/CAM

肖辉进 编著

出 版: 电子科技大学出版社(成都建设北路二段四号 邮编: 610054)

责任编辑: 汤云辉

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川墨池印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张 9.875 字数 269 千字

版 次: 2007 年 11 月第一版

印 次: 2007 年 11 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-409-3

定 价: 14.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话:(028) 83202323, 83256027

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

◆ 课件下载在我社主页 www.uestcp.com.cn “下载专区” 电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

前 言

本书根据教育部 2001 年颁发的中等职业学校机械制造与控制专业教学指导方案,按照中等职业教育培养生产、技术、管理第一线的高素质劳动者,遵循“拓宽基础、强化能力、立足应用、激发创新”的原则而编写,着重培养学生 CAD/CAM 技术的工程素质,以适应现代设计与制造技术的需要。

全书共分为 7 章,较全面地阐述了计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)的基本概念和理论、系统结构和 CAD/CAM 技术的发展,并从实际应用的角度着重介绍了 CAD/CAM 的数据结构、现代制造技术、CAPP、造型基础、数控加工及综合实例等内容。此外,本书还以 CAXA-ME2000 软件的使用为例,以实例的形式讲解了机械 CAD/CAM 在具体实践中的运用,内容层次分明、培养目标明确,主要使读者掌握机械 CAD/CAM 方面“必需、够用”的基本理论知识、基本技术原理和基本技能。

本书是中等职业学校机电类专业教材,也可作为职工大学、电视大学和其他院校机电类专业的教材或教学参考书,并可供 CAD/CAM 技术人员参考。

本教材的教学时数为 60 学时,各章节学时分配见下表(供参考):

章 次	学时数(含实训)
第 1 章 CAD/CAM 技术发展概论	6
第 2 章 机械 CAD/CAM 的数据结构	4
第 3 章 现代制造技术	6
第 4 章 计算机辅助工艺设计	4
第 5 章 机械 CAD/CAM 的造型基础	16
第 6 章 机械 CAD/CAM 的数控加工	12
第 7 章 综合实例	8
机 动	4
合 计	60

为了方便教师教学,我们免费为使用本套教材的师生提供电子教学参考资料包:

- ◆ PowerPoint 多媒体课件
- ◆ 习题参考答案
- ◆ 教材中的程序源代码
- ◆ 教材中涉及的实例制作的各类素材

有需要的教师可以登录教学支持网站免费下载。在教材使用中有什么意见或建议也可以直接和我们联系,电子邮件地址: scqcwh@163.com。

限于编者水平有限,书中错误在所难免,恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 CAD/CAM 技术发展概论	1
1.1 CAD/CAM 技术发展概况	1
1.1.1 CAD/CAM 的基本概念	1
1.1.2 CAD/CAM 的发展	2
1.2 CAD/CAM 技术的历史地位	3
1.2.1 我国传统制造业的信息化出路	3
1.2.2 开发/使用国产 CAD/CAM 软件的原因	4
1.3 CAD/CAM 技术及软件产业的特点	5
1.3.1 CAD/CAM 技术的特点	5
1.3.2 国外流行的 CAD/CAM 软件	7
1.3.3 国内流行的 CAD/CAM 软件	8
1.3.4 我国 CAD/CAM 技术及产品发展的未来之路	9
1.4 CAD/CAM 系统结构	10
1.4.1 CAD/CAM 系统的基本组成	10
1.4.2 CAD/CAM 系统的类型	11
1.4.3 CAD/CAM 系统的功能界定	13
1.5 CAD/CAM 技术的发展趋势	14
【习题】	15
第 2 章 机械 CAD/CAM 的数据结构	16
2.1 机械 CAD 的数据管理	16
2.1.1 机械 CAD 所涉及的数据	16
2.1.2 数据库管理技术	16
2.2 机械 CAD/CAM 的数据结构	17
2.2.1 有关数据结构的基本概念和术语	17
2.2.2 线性表结构	19
2.2.3 链表结构	21
2.2.4 树结构	24
2.2.5 数据检索	25
【习题】	25
第 3 章 现代制造技术	26
3.1 CAD/CAPP/CAM 集成技术	26



3.1.1	集成技术的产生	26
3.1.2	CAD 与 CAM 的集成	27
3.1.3	CAD/CAPP/CAM 的集成	27
3.1.4	CAX 与 PDM 的集成	27
3.2	计算机集成制造系统	29
3.2.1	CIMS 的构成	29
3.2.2	CIMS 的实施	30
3.2.3	CIMS 的经济效益	30
3.2.4	CIMS 成功应用的案例	31
3.3	虚拟制造技术	31
3.3.1	概述	31
3.3.2	虚拟制造的定义	32
3.3.3	虚拟制造的内涵	33
3.3.4	CIMSERC 的虚拟制造体系结构及环境	34
3.3.5	虚拟现实技术在生产制造上的应用	35
3.3.6	采用虚拟制造技术的效益	36
3.4	并行工程	37
3.4.1	概述	37
3.4.2	并行工程的定义和特点	37
3.4.3	并行工程在技术支撑上的要求	38
3.4.4	并行工程的效益	38
3.4.5	并行工程实施实例	39
3.5	逆向工程	39
3.5.1	逆向工程的定义	39
3.5.2	曲面的数字化	41
3.5.3	曲面重建	41
3.5.4	逆向工程技术的应用	41
3.5.5	逆向工程技术应用实例	42
3.6	网络化制造技术	43
3.6.1	技术概述	43
3.6.2	网络制造中的信息种类	43
	【习题】	44
第 4 章	计算机辅助工艺设计	45
4.1	CAPP 发展现状与趋势	45
4.1.1	CAPP 发展现状	45
4.1.2	CAPP 应用趋势	46
4.1.3	CAPP 发展趋势	47

4.2	计算机辅助工艺设计	48
4.2.1	计算机辅助工艺设计概述	48
4.2.2	CAPP 系统的功能	48
4.2.3	CAPP 系统的分类	49
4.2.4	CAPP 系统的柔性化	50
4.2.5	派生式 CAPP 系统	50
4.2.6	创成式 CAPP 系统	51
4.3	计算机辅助装配工艺设计	52
4.3.1	计算机辅助装配工艺设计概述	52
4.3.2	零部件装配顺序的确定	53
	【习题】	54
第 5 章	机械 CAD/CAM 的造型基础	55
5.1	造型的基本方法	55
5.1.1	线框造型	55
5.1.2	曲面造型	56
5.1.3	实体造型	56
5.1.4	特征造型	57
5.2	CAXA-ME 软件的总体介绍	57
5.2.1	用户界面	58
5.2.2	文件管理	59
5.2.3	显示	60
5.2.4	工具	62
5.2.5	常用键	63
5.3	二维图形绘制基础	64
5.3.1	空间点的输入	64
5.3.2	二维图形绘制实例	65
5.4	曲面造型	73
5.4.1	直纹面	73
5.4.2	旋转面	74
5.4.3	扫描面	75
5.4.4	其他曲面	76
5.4.5	曲面造型实例	76
5.5	实体造型	79
5.5.1	支架	79
5.5.2	皮带轮	79
5.5.3	手机外壳	81
5.5.4	双头螺柱	82



5.5.5 实体曲面综合实例——笔筒设计·····	83
【习题】·····	84
第6章 机械 CAD/CAM 的数控加工·····	86
6.1 数控机床基本知识·····	86
6.1.1 数控机床的产生与发展·····	86
6.1.2 数控机床的组成结构·····	87
6.1.3 数控机床的工作原理·····	91
6.1.4 数控机床的分类·····	92
6.2 数控编程·····	93
6.2.1 数控编程常用指令·····	93
6.2.2 数控车床编程实例·····	98
6.2.3 数控铣编程加工实例·····	103
6.3 零件数控加工·····	105
6.3.1 数控加工·····	105
6.3.2 设计造型与加工造型的区别·····	105
6.3.3 G 代码·····	105
6.3.4 中国象棋子的加工·····	105
6.3.5 公司标牌的加工·····	106
6.3.6 壳体的加工·····	107
【习题】·····	108
第7章 综合实例·····	111
7.1 连杆件的造型与加工·····	111
7.1.1 连杆件的实体造型·····	111
7.1.2 连杆件加工·····	117
7.2 磨擦楔块锻模的造型与加工·····	124
7.2.1 磨擦楔块锻模的实体造型·····	124
7.2.2 锻模加工·····	145
【习题】·····	149

第 1 章 CAD/CAM 技术发展概论

【学习目标】

1. 掌握 CAD/CAM 的概念。
2. 了解 CAD/CAM 的发展现状与趋势。
3. 了解国内外常用的 CAD/CAM 软件。
4. 掌握 CAD/CAM 系统的基本组成。

1.1 CAD/CAM 技术发展概况

1.1.1 CAD/CAM 的基本概念

1. 计算机辅助设计 (CAD)

在设计过程中，利用计算机作为工具，帮助工程师进行设计的一切实用技术的总和称为计算机辅助设计 (CAD, Computer Aided Design)。

计算机辅助设计包括的内容很多，如概念设计、优化设计、有限元分析、计算机仿真、计算机辅助绘图、计算机辅助设计过程管理等。在工程设计中，一般包括两种内容：带有创造性的设计（方案的构思、工作原理的拟定等）和非创造性的工作，如绘图、设计计算等。创造性的设计需要发挥人的创造性思维能力，创造出以前不存在的设计方案，这项工作一般应由人来完成。非创造性的工作是一些繁琐的、重复性的计算分析和信息检索，完全可以借助计算机来完成。一个好的计算机辅助设计系统既能充分发挥人的创造性作用，又能充分利用计算机的高速分析计算能力，即要找到人和计算机的最佳结合点。

2. 计算机辅助制造 (CAM)

计算机辅助制造 (CAM, Computer Aided Manufacturing) 有狭义和广义的两种概念。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很多，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、存储、输送）的监视、控制和管理。



3. CAD/CAM 系统的集成化

CAD/CAM 系统的集成化是指在总体设计的指导下,以工作数据库为核心,以网络为支撑,把各种不同功能的软件系统(如设计、制造、工艺规划有限元及信息管理系统)按不同的用途有机结合起来,在统一的执行控制程序组织下,实现各种信息的传递,协调各子系统有效地运行和保证系统内信息畅通,并达到信息交换、资源共享以及最优的整体效益。

CAD/CAM 技术是设计人员和组织产品制造的工艺技术人员在计算机系统的辅助之下,根据产品的设计和制造程序进行设计和制造的一项新技术,是传统技术与计算机技术的结合。设计人员通过人机交互操作方式进行产品设计构思和论证,产品总体设计、技术设计、零部件设计,有关零件的强度、刚度、热、电、磁的分析计算和零件加工信息(工程图纸或数控加工信息等)的输出,以及技术文档和有关技术报告的编制。而工艺设计人员则可以根据 CAD 过程提供的信息和 CAM 系统的功能,进行零部件加工工艺路线的控制和加工状况的预显,以及生成控制零件加工过程的信息。

由于 CAD/CAM 的集成,大大地促进了设计和制造能力的提高,这不但体现在工作效率和工作质量方面,更体现在先进的计算机技术对传统的工作方式的促进和变革方面;但 CAD/CAM 技术不能代替人们的设计和制造行为,而只是实现这些行为的先进手段和工具,而人们的设计和制造行为,则由专业技术人员的创造能力和工作经验,以及现代设计方法等提供的科学思维方法和实施办法来确定。

1.1.2 CAD/CAM 的发展

计算机辅助设计作为一门学科始于 20 世纪 60 年代初,由于受到计算机技术的限制,一直到 20 世纪 70 年代,CAD 技术的发展都很缓慢,进入 20 世纪 80 年代以来,计算机技术突飞猛进,特别是微机、工作站的发展和普及,再加上功能强大的外围设备,如大型图形显示器、绘图仪、激光打印机的问世,极大地推动了 CAD 技术的发展,CAD 技术已进入实用化阶段,广泛服务于机械、电子、宇航、建筑、纺织等产品的总体设计、造型设计、结构设计、工艺过程设计等环节。

早期的 CAD 技术只能进行一些分析、计算和文件编写工作,后来发展到计算机辅助绘图和设计结果模拟,目前的 CAD 技术正朝着人工智能和知识工程方向发展,即所谓的 ICAD (Intelligent CAD)。另外,设计和制造一体化技术即 CAD/CAM 技术以及 CAD 作为一个主要单元技术的计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)技术是 CAD 技术发展的重要方向。

在美国、日本和欧洲的工业化国家,CAD 已广泛应用于设计与制造的各个领域如飞机、汽车、机械、模具、建筑、集成电路中,基本实现 100%的计算机绘图。CAD 系统的销售额每年以 30%~40%的速度递增,各种 CAD 软件的功能越来越完善,越来越强大。国内于 20 世纪 70 年代末开始 CAD 技术的大力推广应用工作,至今已取得可喜的成绩。

我国 CAD/CAM 的发展历程包括三个阶段:

(1) 1991~1995 年,初创阶段。该阶段通过大量的研究论证工作,征求各方意见,开展了自主版权 CAD 支撑软件评测和 CAD 应用工程发展战略研究,制订了推广 CAD 技术的

政策措施和发展目标，颁发了《CAD 应用工程发展规划培训纲要要点》，也为“九五”发展目标的制订奠定了基础。人才培养是这一阶段工作的切入点，组建了由 9 个培训中心组成的全国 CAD 应用工程培训网络。通过 CAD 技术标准、规范的制定，引导了 CAD 技术的开发和应用；创办《CAD 应用工程简报》和《计算机辅助设计与制造》杂志，开展了 CAD 技术应用成果展览等活动，加强宣传、交流和引导等措施，营造了一个良好的 CAD 应用工程环境。通过初创阶段，全国各地对应用 CAD 技术的认识迅速提高，既积累了 CAD 应用工程实施的经验，也奠定了 CAD 应用工程实施的坚实基础。

(2) 1996~2000 年，全面发展阶段。在“八五”工作基础上，分批在全国 29 个省市和部分行业进行了 CAD/CAM 应用示范工作，从二维“甩图板”入手，逐步开展 CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM 技术的应用。此时，全国 CAD 应用培训网络经过几年的巩固和发展，基本形成了体系，CAD/CAM 咨询服务机构也得到了发展；CAD 电子文件应用光盘存储技术及其档案管理等试点工作的开展，使 CAD/CAM 技术应用向前迈进了一步；对社会主义市场经济条件下 CAD/CAM 产业发展的积极探索也取得了成绩；“首届全国 CAD 应用工程博览会”等一系列工作的开展，使 CAD 应用工程更加深入人心。1999 年 12 月，全国 CAD/CIMS 应用工作会议的召开将 CAD 应用工程推向了高潮，形成了“十五”开展“制造业信息化”的发展思路。

(3) 2000 年至今，一体化集成发展阶段。国家的“十五规划”提出“以信息化带动工业化，发挥后发优势，实现社会生产的跨越发展”作为我国工业发展的战略，许多企业形成了自己的 CAD/CAM/CAE 集成技术，CAD/CAPP/CAM/PDM 技术和 MIS/ERP 的结合，实现企业设计、管理、经营的数字化，即实现企业内部的信息化建设——数字化企业。

1.2 CAD/CAM 技术的历史地位

在 IT 业推进下，全球产业格局正在进行大的布局调整；加入 WTO 后我国经济进一步融入全球一体化大循环；同时我国产业结构调整、企业改制及技术改造正向纵深推进；国家实施西部大开发战略等，这些都为我国制造企业的信息化进程与 CAD/CAM 应用展示了无限广阔的前景和机遇，同时也是我国产业面临的严峻挑战。

1.2.1 我国传统制造业的信息化出路

全球经济正在“知识经济”和“经济全球化”的旗帜下迅速发生着深刻的战略性格局调整：一方面，“知识”大量从发展中国家“流失”并加速向发达国家转移，发达国家进一步成为全球经济的创新中心；另一方面，产业经济在知识创新的推动下，资源业、制造业等正又快速向发展中国家转移，发展中国家正在逐步成为全球经济的生产工厂。

同时，国际制造业发展迅速。全数字化定义无纸生产；数字化预览装配无金属样机的生产（VPD）；互联网上的异地协同设计与异地制造；基于 STEP（Standard for the Exchange of Product Model Data）的数据交换等。Internet 与 WTO 推动全球经济加速一体化并进一步助长了跨国公司的垄断。



根据世界经济黄皮书的统计数据,我国机械工业主导产品达到 20 世纪 90 年代国际水平的仅占 30%;我国制造业的新产品贡献率仅为国内生产总值的 5.9% (1997 年),而美国的在 1995 年就已达到 52%;美国、西欧诸国及日本机械工业企业的专业化水平为 75%~95%,而中国的则仅为 15%~30%等。

现代“大制造”的时间尺度是从产品的市场需求到最终报废处理的全寿命周期;空间尺度是从计划产品设计到开发制造装配市场的全方位空间。在这种环境下,制造业市场竞争的新特点表现在知识技术产品的更新周期更短,产品批量更小,顾客对产品功能、性能、规格、质量的要求更高、更多样化、个性化。跨国公司的垄断性更明显,反映在企业的兼并与重组更激烈,能参与全球竞争的企业更多,一般水平的产品及制造能力严重过剩等方面。

我国制造业面临严峻形势,不跨越发展就没有出路;而跨越式发展同时本身又是巨大机遇。我国应以提高制造业的国际竞争力、促进经济增长和提高国家综合实力为目标,注重技术的超前性,更重视来自产业的实际需求,在关键技术的选择上注重系统集成技术与工艺装备开发并重,通过系统技术、信息技术和自动化技术的引入,直接利用最先进的技术进行产品结构调整和制造业工艺装备改造与升级,实现跨越式发展。

从“八五”特别是“九五”以来,通过 CAD/CAM 在制造业的推广应用,打破了国外某些领域的技术垄断,极大地促进了我国高新技术产业的发展,扶持成长起了一批新型企业,发展和壮大了我国高技术人才队伍,推动了整个制造业信息化的进程。

当前,我国已加入 WTO,国企改革进入关键阶段,通过抓大放小,国有大中型企业已经进入体制创新与科技创新的崭新发展时期,乡镇企业和民营企业获得了长足发展,大量中小企业在市场经济的大潮中得到迅速成长,成为市场经济的三大主体(国企、外企与中小企业)之一,现在又正在实施西部大开发战略。这些都为我国产业的信息化进程与 CAD/CAM 应用展示出无限广阔的前景和跨越式发展的巨大机遇。通过引入 CAD/CAM 推动制造业信息化进程,发展“大制造”,实现大跨越,这正是我国传统产业升级发展的根本出路,也是新世纪我国经济发展战略的关键所在。

1.2.2 开发和使用国产 CAD/CAM 软件的原因

1. 市场价格竞争的需要

在国外 CAD/CAM 软件一统天下的情况下,技术垄断形成商业垄断。国外 CAD/CAM 软件昂贵的价格,极大地限制了我国企业应用 CAD/CAM 技术实现信息化的跨越式发展。在这样的情况下,国家大力支持自主版权 CAD/CAM 软件的开发,到 1997 年,当开目、凯思、高华等国产自主版权软件在激烈的市场竞争中形成鼎足之势时,AutoCAD 推出了打包计划,价格几乎降低了 10 倍。这时,北航华正软件工程研究所(北航海尔软件有限公司的前身)以先进性与实用性并重的原则推出“CAXA 电子图板 97”,将 CAD 软件的价格降低了 20 倍。国产自主版权软件的开发,既推动了我国 CAD/CAM 的应用普及,又为我国企业节省了大量的投资和开发费用。

2. 提高软件应用效果,满足设计、提高生产效率的需要

许多国家之间不仅存在着语言文字上的障碍,更在工程习惯、工程标准和产业应用层次

上存在着很大的差异。这就给我国工程技术人员学习和应用国外的 CAD/CAM 软件造成了许多困难。同时,国外的 CAD/CAM 软件大都在国外市场上经过了一定时期的发展后才进入我国的,由于市场商业模式的包装,这些软件大体分为专业型和通用型。专业型的软件适应了国外企业的工程应用,不仅价格高昂,也很难直接适合我国大多数企业的实际应用;通用型的软件经过了多年的发展,功能更加强大,应用领域更加广泛,但是各个行业、专业之间原理和具体功能相去甚远,需要用户做大量的二次开发,这对大部分企业来说既困难又没有必要。最终是什么都能做,做什么都很慢,都得从最基本的线型定义等做起。

而以 CAXA 为代表的国产 CAD/CAM 软件,体现了先进性与实用性的统一,真正是中国人自己的 CAD/CAM 软件,不仅完全符合中国的工程习惯和工程标准,更适合中国企业实际应用的需要,易学、好用、实用,大大提高了企业的设计、制造效率。

3. 国家与企业发展战略的需要

21 世纪是知识经济的时代,世界竞争已经主要表现为科学技术及其产业化的竞争。开发和使用国产的自主版权 CAD/CAM 软件,打破了国外在这一技术上对我国的封锁和垄断,使我国经济和中国企业的发展在战略上赢得先机 and 主动,是实现我国产业跨越式发展的必由之路。

1.3 CAD/CAM 技术及软件产业的特点

1.3.1 CAD/CAM 技术的特点

国际上有影响的 CAD 系统大致可分为两类:一类发展较早,系统庞大,称为传统型 CAD 系统;另一类是近几年发展起来的,功能新颖,虽然目前规模较小,但有较好的发展前景,称为改进型 CAD 系统。当然这两者并无严格界限,而且它们之间技术上也正在相互渗透,处于共同发展之中。

传统型 CAD 系统,一般已有几十年的历史。它们起源于 20 世纪 60 年代末或 20 世纪 70 年代初期。如 CADD5 是 CV 公司 1969 年推出的,UGII 是 1975 年起家的,SDRC 公司于 1967 年成立,CADAM 系统是洛克希德飞机公司 1965 年着手研制的,CATIA 起源于 1975 年,还有像 Applicon、Intergraph、CDC 的 ICEM、Calma 的 DDM、Autotrol 的 S7000 等也是在同一时期发展起来的。这些现代有名的 CAD/CAM 软件都是规模巨大、功能复杂的系统,而且又有很多用户在这些支撑软件的基础上进行了大量的二次开发工作。因此,这些系统既要从技术上继续发展,又要照顾到现有用户工作的继承性,包袱沉重,处境困难。有些公司经营不善,就被别的公司兼并,如 CADAM。有的公司几经周折,改写或部分改写原有系统,有了新的发展,如 Intergraph 从 1987 年开始彻底改写原有的机械 CAD/CAM 系统成为 I/EMS, CV 公司全部重写了 CADD54 系统等。有的公司购买或移植其他公司的优秀软件,以求改进自己系统的功能。如 UG 巨子 1988 年将 Shape Data 公司的 Parasolid 纳入 UGI,集成效果好。Euclid 移植了雷诺汽车公司的 Unisurf 和 SurfAPT, CDC 购买了 Pro/Engineer 的核心软件等。这些系统性能有很大改进,在竞争中求生存,在生存中继续发展,使它们的业务继续上升。传统



型 CAD 系统大多数未在数据模式、系统结构、设计思想和用户界面等方面作根本性的改进。有文献指出：近 20 年来，虽然 CAD/CAM 事业终究在成长着，但缺乏技术上的突破，不像汽车制造技术那样，对汽车的安全性能、车型式样、舒适方便及废气排放等方面做出了如此大的改进，达到了预期的水平。

从总体上看，现有 CAD 系统主要存在以下三方面的问题：

(1) 从产品模型定义看，大部分系统不提供产品统一的完整的模型，如几何形状、尺寸公差、材料特性、表面状况、技术条件和工艺参数等要由不同系统提供，难以与后续环节 CAM (CAPP、NC 编程和加工)、质量保证和组织管理等方便集成，往往需要设计专门接口或进行复杂的数据交换。

(2) 从工程设计方法看，大多数传统型 CAD 系统是几何驱动型，即它只能构造产品的最终几何模型。没有概念设计、初步设计和详细设计的统一环境，设计工作难以顺序进行，难以实现平行工程，新产品设计中也难以发挥真正的作用。

(3) 从用户使用方便程度看，目前的系统菜单布满屏幕，有的深度达九层，过于繁杂，交互步骤太频繁，要有较高深几何造型理论概念的高级技术人员才能应用，难以为一般工程技术人员所掌握。

基于上述原因，近几年来涌现出几个新的改进型 CAD 系统，它们不是在原有系统上作些改进，而是全新的设计，在不同方面作了较大的技术改进。这些新的 CAD 系统，有的作为一个核心软件出现，可以与其他 CAD 软件方便集成，组成系统；有的作为独立的 CAD 系统面向市场，向传统的 CAD 系统提出挑战，发动攻势，如 Pro/Engineer、CAXA-ME。这些系统的共同特点是：

(1) 用面向对象的数据库管理系统，不仅存储管理几何模型，还可以扩展描述产品的完整模型。

(2) 采用国际通用标准化的 UNIX 操作系统、X Window、PHIGS 等开发环境，使系统独立于硬件，便于移植到不同机型。

(3) 在统一环境下处理线框、曲面和实体模型。

(4) 混合使用 NURBS 和解析曲面，几何模型采用准确的边界表示；使用 C++ 语言编程。这些特点，基本上概括了新一代 CAD 系统的一些共同发展趋势。

20 世纪 90 年代以来，随着计算机技术的飞速发展，计算机产品（包括软件）在走系统开放、标准化、模块化和专业化道路。CAD/CAM 软件发展也出现类似的新趋势，如美国 Spatial Technology 公司采用优秀的 ACIS 几何建模软件，提出软件组件、软件总线、几何建模发动机和几何模型数据结构标准化等新概念；ACIS 几何建模软件有可能成为一种世界建模标准，因此目前有相当一部分 CAD/CAM 软件开发商加入这一行列，共同采用 ACIS 几何建模软件作为 CAD/CAM 系统的核心或基础模块，然后在此基础上集中力量开发自己的更优秀的 CAD 系统，如 Autodesk 公司的 AutoCAD R13、Bentleysystem 公司的 Microstation、HP 公司的 Solid Designer、3D/Eye 公司的 Trispectives 和 Intergraph 公司的 Solid Edge 等就属这类 CAD 系统，使传统的 CAD/CAM 软件公司面临新的严峻挑战。

CAD/CAM 技术经过几十年的发展，先后走过大型机、小型机、工作站、微机时代，每个时代都有当时流行的 CAD/CAM 软件。现在，工作站和微机平台 CAD/CAM 软件已经占据主导地位，并且出现了一批比较优秀、比较流行的商品化软件。下面将分别介绍国内外一些

流行的软件。

1.3.2 国外流行的 CAD/CAM 软件

1. Unigraphics (UG)

UG 是 Unigraphics Solutions 公司的拳头产品。该公司首次突破传统 CAD/CAM 模式，为用户提供一个全面的产品建模系统。在 UG 中，优越的参数化和变量化技术与传统的实体、线框和表面功能结合在一起，这一结合被实践证明是强有力的，并被大多数 CAD/CAM 软件厂商所采用。

UG 最早应用于美国麦道飞机公司。它是从二维绘图、数控加工编程、曲面造型等功能发展起来的软件。20 世纪 90 年代初，美国通用汽车公司选中 UG 作为全公司的 CAD/CAE/CAM/CIM 主导系统，进一步推动了 UG 的发展。1997 年 10 月 Unigraphics Solutions 公司与 Intergraph 公司签约，合并了后者的机械 CAD 产品，将微机版的 Solidedge 软件统一到 Parasolid 平台上。由此形成了一个从低端到高端，兼有 UNIX 工作站版和 Windows NT 微机版的较完善的企业级 CAD/CAE/CAM/PDM 集成系统。

2. Solidedge

Solidedge 是真正的 Windows 软件。它不是将工作站软件生硬地搬到 Windows 平台上，而是充分利用 Windows 基于组件对象模型 (COM) 的先进技术重写代码。Solidedge 与 Microsoft Office 兼容，与 Windows 的 OLE 技术兼容，使设计师在使用 CAD 系统时，能够进行 Windows 文字处理、电子报表、数据库操作等。

Solidedge 具有友好的用户界面，采用一种称为 SmartRibbon 的界面技术，用户只要单击一个命令按钮，既可以在 SmartRibbon 上看到该命令的具体内容和详细步骤，同时在状态条上提示用户下一步该做什么。

Solidedge 是基于参数和特征实体造型的新一代机械设计 CAD 系统，它是为设计人员专门开发的，易于理解和操作的实体造型系统。

3. AutoCAD

AutoCAD 是 Autodesk 公司的主导产品。Autodesk 公司是世界第四大 PC 软件公司。目前在 CAD/CAE/CAM 工业领域内，该公司是拥有全球用户量最多的软件供应商，也是全球规模最大的基于 PC 平台的 CAD 和动画及可视化软件企业。Autodesk 公司的软件产品已被广泛地应用于机械设计、建筑设计、影视制作、视频游戏开发以及 Web 网的数据开发等重大领域。

AutoCAD 是当今最流行的二维绘图软件，它在二维绘图领域拥有广泛的用户群。AutoCAD 有强大的二维功能，如绘图、编辑、剖面线和图案绘制、尺寸标注以及二次开发等功能，同时有部分三维功能。AutoCAD 提供 AutoLISP、ADS、ARX 作为二次开发的工具。在许多实际应用领域（如机械、建筑、电子）中，一些软件开发商在 AutoCAD 的基础上已开发出许多符合实际应用的软件。



4. Pro/Engineer

Pro/Engineer 系统是美国参数技术公司 (Parametric Technology Corporation, 简称 PTC) 的产品。PTC 公司提出的单一数据库、参数化、基于特征、全相关的概念改变了机械 CAD/CAE/CAM 的传统观念, 这种全新的概念已成为当今世界机械 CAD/CAE/CAM 领域的新标准。利用该概念开发出来的第三代机械 CAD/CAE/CAM 产品 Pro/Engineer 软件能将设计至生产全过程集成到一起, 让所有的用户能够同时进行同一产品的设计制造工作, 即实现所谓的并行工程。

Pro/Engineer 系统主要功能如下:

- (1) 真正的全相关性, 任何地方的修改都会自动反映到所有相关地方。
- (2) 具有真正管理并发进程、实现并行工程的能力。
- (3) 具有强大的装配功能, 能够始终保持设计者的设计意图。
- (4) 容易使用, 可以极大地提高设计效率。

Pro/Engineer 系统用户界面简洁, 概念清晰, 符合工程人员的设计思想与习惯。整个系统建立在统一的数据库上, 具有完整而统一的模型。Pro/Engineer 建立在工作站上, 系统独立于硬件, 便于移植。

1.3.3 国内流行的 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 GHMDS、工艺设计系统 GHCAPP、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 CAD/CAM 软件。CAXA 制造工程师 1.0 版于 1996 年推出, CAXA ME 2.0 版于 1998 年 3 月发布, 现流行的版本是 CAXA ME 2000、CAXA ME XP、CAXA ME V2。

3. GSCAD98

GSCAD98 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。

GSCAD98 是一个具有完全自主版权、基于微机、中文 Windows 95/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, 在其他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 ISO10303 (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, 机械绘图效率比较高。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 (Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺设计)、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。

1.3.4 我国 CAD/CAM 技术及产品发展的未来之路

经过多年的推广, CAD 技术已经广泛地应用在机械、电子、航天、化工、建筑等行业。



应用 CAD 技术起到了提高企业的设计效率、优化设计方案、减轻技术人员的劳动强度、缩短设计周期、加强设计的标准化等作用。近年来,我国 CAD 技术的开发和应用取得了长足的发展,除对许多国外软件进行了汉化和二次开发以外,还诞生了不少具有自主知识产权的 CAD 系统,如高华 CAD,开目 CAD 等,由于这些软件价格便宜,符合本国国情和标准,所以受到了广大用户的欢迎,占据了越来越大的市场份额。

但是,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,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,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 workstation 时代,UG、Pro/Engineer 是 workstation 平台三维 CAD/CAM 软件的佼佼者,而在当今微机时代,SolidWorks 在 Windows NT 平台的三维 CAD/CAM 软件中处于领先地位。由于国外在 UNIX workstation 平台上开发 CAD/CAM 软件已有一定的时间和投入,我国软件在这方面与美国等发达国家存在差距。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 Visual C++、OpenGL 等工具进行软件开发,在此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、化工等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。

开发 CAD/CAM 软件的最终目的是应用 CAD/CAM 技术,提高企业的设计和制造水平,所以,CAD/CAM 软件不仅要水平高,有自己的特色,更要能够市场化,从市场中收回投入,从而能够根据用户的需求不断地更新发展软件。

1.4 CAD/CAM 系统结构

1.4.1 CAD/CAM 系统的基本组成

一个 CAD/CAM 系统基本上只适用于某一类产品的设计和制造,如电子产品 CAD/CAM 只适用于设计制造印制板或集成电路,而机床的 CAD/CAM 只适用机床的设计和制造,这两个系统不仅基础和专业软件不一样,而且硬件配置上也有差异。但就系统的逻辑功能和系统