

高等学校教材

计算机辅助设计与制造

刘德平 刘武发 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共 12 章, 主要介绍计算机辅助设计与制造基本理论和基础知识; 工程数据的处理; 图形技术基础; 几何造型系统的数据结构; 几何造型技术; 隐藏线和隐藏面的处理; 自由曲线与曲面 CAD; 计算机辅助工艺过程 (CAPP) 技术基础; 计算机辅助工程 (CAE) 技术基础; 计算机辅助制造; CAD/CAM 集成技术; 逆向工程与快速原型制造等。

本教材内容系统、完整、结构清晰, 既包含了经典的理论基础知识, 也反映了近年来计算机辅助设计与制造技术发展的新动向。

本书可作为高等工科院校机械类专业教材, 也可作为函授相关专业教材和教学参考书, 也可供从事计算机辅助设计与制造、计算机集成制造和现代制造系统的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机辅助设计与制造/刘德平, 刘武发主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 12

高等学校教材

ISBN 978-7-5025-9847-1

I. 计… II. ①刘…②刘… III. ①计算机辅助设计-高等学校-教材②计算机辅助制造-高等学校-教材
IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 161414 号

责任编辑: 彭喜英 郭燕春

装帧设计: 韩 飞

责任校对: 顾淑云

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 433 千字 2007 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

计算机辅助设计与制造技术是随着计算机、数字化信息技术与现代设计制造技术发展而形成的新技术，是数字化、信息化制造技术的基础，是实现产品设计和制造自动化的关键技术。在产品开发过程中，应用计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）技术进行产品的设计、工程与结构分析、工艺规划和数控编程，能大大地提高产品的性能和质量，缩短产品的开发周期，增强产品的竞争力，创造显著的经济效益。经过几十年的发展，CAD/CAM 技术的应用更加广泛，特别是在计算机网络和数据库系统的支持下，以 CAD/CAM 技术为核心的多种集成系统的出现，使传统的生产经营模式发生了深刻的变革。CAD/CAM 技术已成为工程设计与制造技术人员必须掌握的知识。

编者结合多年从事计算机辅助设计与制造教学和实践经验，编写时尽可能体现 CAD/CAM 技术的系统性、先进性和实用性，突出当前 CAD/CAM 的新技术，使读者能够学习和掌握 CAD/CAM 原理、方法和实用技术，以适应形势的发展和社会需要。其主要内容有：计算机辅助设计与制造基本理论和基础知识；工程数据的处理；图形技术基础，介绍图形处理的基本理论和方法；几何造型系统的数据结构；几何造型技术；隐藏线和隐藏面的处理；自由曲线与自由曲面理论；计算机辅助工艺过程（CAPP）技术基础；计算机辅助工程（CAE）技术基础；计算机辅助制造；CAD/CAM 集成技术；逆向工程与快速原型制造等。

本书充分考虑到 CAD/CAM 技术的特点，注意理论与实践的结合，力求做到内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂。编写宗旨是使学生系统学习 CAD/CAM 技术的基本原理、基本方法，为学生理解、应用和开发 CAD/CAM 软件工具奠定一定的基础，培养学生应用计算机手段从事产品开发、生产和系统集成的综合能力，成为掌握 CAD/CAM 理论知识的实用型人才。本书可作为高等工科院校机械类专业基础课教材，也可供从事计算机辅助设计与制造、计算机集成制造和现代制造系统的工程技术人员参考。

本书内容第 1 章、第 3 章、第 4 章由李国伟、刘武发编写，第 10 章由刘武发、方哲民撰写，第 2 章、第 5 章、第 6 章和第 11 章由刘德平、陈琰撰写，第 7 章、第 8 章、第 9 章由刘德平、刘晓宇撰写，第 12 章由上官建林撰写，全书由刘德平统稿。

在编写本书时，参考了同行专家一些论著，在此表示衷心感谢！由于作者水平有限，本书难免有欠妥和不足之处，恳请读者指正。

编 者

2006 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 CAD/CAM 概述	1
1.1.1 从产品制造的过程理解 CAD/CAM	2
1.1.2 从计算机科学的角度看	3
1.2 CAD/CAM 技术的发展	4
1.2.1 CAD/CAM 发展概况	4
1.2.2 CAD/CAM 展望	5
1.3 CAD/CAM 系统的组成、集成及工作过程	6
1.3.1 CAD/CAM 系统的组成	7
1.3.2 CAD/CAM 系统的集成	9
1.3.3 CAD/CAM 系统的工作过程	10
1.4 CAD/CAM 系统应具备的基本功能	11
1.5 当前 CAD/CAM 系统常用软件	12
1.5.1 CAD/CAM 系统支撑软件	12
1.5.2 国产专业应用软件介绍	14
1.6 CAD/CAM 集成的支撑系统	15
1.6.1 计算机网络基础	15
1.6.2 网络的类型	16
1.6.3 CAD/CAM 集成环境下网络的特点	16
思考题	16
第 2 章 工程数据的处理	17
2.1 数表的程序化处理	17
2.1.1 一维数表的处理	17
2.1.2 二维数表的处理	18
2.2 数表的文件化处理	19
2.2.1 用编辑软件产生顺序文件设计	20
2.2.2 用程序生成顺序文件设计	20
2.2.3 文件的读取和检索的设计	21
2.3 一维数表的插值处理	22
2.3.1 线性插值法	22
2.3.2 拉格朗日二次插值 (抛物线插值)	23
2.4 线图的处理	24
2.4.1 线图的表格化处理	24

2.4.2	线图的公式化处理	24
2.5	工程数据的数据库管理	25
2.5.1	数据库系统及管理	25
2.5.2	FoxPro 关系型数据库系统	26
2.5.3	FoxPro 与高级语言的接口设计	31
	思考题	35
第3章	图形技术基础	36
3.1	坐标系	36
3.1.1	设备坐标系	36
3.1.2	用户坐标系	37
3.1.3	规范坐标系	37
3.1.4	窗口坐标系	37
3.2	图形变换	37
3.2.1	二维图形的几何变换	38
3.2.2	三维图形几何变换	41
3.2.3	三维形体的投影变换	42
3.3	窗口-视区变换	46
3.3.1	窗口	46
3.3.2	视区	47
3.3.3	窗、视变换	47
3.4	交互技术	48
3.4.1	常见交互技术及其应用	48
3.4.2	交互技术的分类	49
3.4.3	交互设计原则	50
3.5	用户界面	51
3.5.1	用户界面的类型与设计	52
3.5.2	用户界面设计	52
	思考题	53
第4章	几何造型系统的数据结构	55
4.1	数据结构知识	55
4.1.1	基本概念	55
4.1.2	线性表	56
4.1.3	树形结构	57
4.1.4	二叉树结构	57
4.2	几何体在计算机中的表示	58
4.2.1	几何造型中的坐标系	58
4.2.2	表示形体的数据结构	59
4.3	三维形体的原理及表达	60
4.3.1	线框造型	61
4.3.2	曲面(表面)造型	62
4.3.3	实体建模	67
	思考题	69

第5章 几何造型技术	70
5.1 实体造型技术	70
5.1.1 布尔运算理论	70
5.1.2 布尔运算的具体实现	71
5.1.3 边界表示的数据结构与欧拉操作	71
5.1.4 构造实体几何	73
5.1.5 CSG 与 B-rep 混合造型方法	76
5.1.6 扫描表示法	77
5.2 特征建模	78
5.2.1 特征的定义	78
5.2.2 特征表示及数据结构	79
5.2.3 特征造型的特点	79
5.3 装配造型	80
5.3.1 装配模型的表示	80
5.3.2 装配约束技术	81
5.3.3 装配造型方法及步骤	83
5.4 参数化与变量化技术	84
5.4.1 参数化与变量化造型的关键技术	84
5.4.2 参数化与变量化技术的发展现状	85
思考题	85
第6章 隐藏线和隐藏面的处理	86
6.1 消隐常用的计算方法	87
6.1.1 两直线段求交点	87
6.1.2 平面多边形的外法矢量	87
6.1.3 包容性检验	88
6.1.4 包围盒检验	89
6.1.5 交矩形检验	90
6.1.6 深度检验	90
6.1.7 平面和棱边的分类	91
6.2 凸多面体消隐 (Roberts 消隐)	92
6.3 任意多面体的隐藏线消除	93
6.3.1 算法思想	94
6.3.2 剔除朝后面和建立潜在可见面表	94
6.3.3 建立潜在可见棱边表	94
6.3.4 求每条潜在可见棱边与各个朝前面的隐藏关系	94
6.4 Z 缓冲器算法	95
6.4.1 Z 缓冲器算法基本思想	95
6.4.2 Z 缓冲器算法步骤	96
6.4.3 深度值的计算	96
6.4.4 Z 缓冲器算法特点	97
6.5 扫描线算法	97
6.5.1 扫描线算法的三表数据结构	97

6.5.2	扫描线经过非多边形相交区域	98
6.5.3	扫描线经过多边形投影相互覆盖区域	98
6.5.4	多边形发生相互贯穿	99
6.5.5	扫描线消隐算法特点	99
6.6	画家算法	99
6.6.1	画家算法的基本思想	100
6.6.2	多边形优先级的考虑	100
6.6.3	交叉覆盖和循环覆盖多边形的优先级考虑	100
6.6.4	解决深度优先级冲突的排序算法	100
6.6.5	画家算法特点	101
6.7	区域子分割算法 (Warnack 算法)	102
6.8	光线投射算法	103
6.9	消隐算法的编程实现	103
6.9.1	线消隐	103
6.9.2	面消隐编程实现举例	105
	思考题	107
第7章	自由曲线和自由曲面理论	108
7.1	曲线曲面的基础知识	108
7.1.1	矢量代数基础	109
7.1.2	曲线论	110
7.1.3	曲面论	114
7.2	参数多项式与数据点的参数化	117
7.2.1	参数多项式	117
7.2.2	数据点的参数化	117
7.2.3	参数曲线的代数和几何形式	118
7.2.4	连续性	120
7.3	Bezier 曲线与曲面	121
7.3.1	Bezier 曲线的定义和性质	121
7.3.2	Bezier 曲线的递推 (de Casteljau) 算法	125
7.3.3	Bezier 曲线的拼接	126
7.3.4	Bezier 曲线的升阶与降阶	127
7.3.5	Bezier 曲面	128
7.4	均匀 B 样条曲线曲面	130
7.4.1	B 样条曲线的定义	130
7.4.2	B 样条曲线的矩阵表示	131
7.4.3	B 样条曲面	132
7.5	NURBS 曲线曲面	133
7.5.1	NURBS 曲线的定义	133
7.5.2	权因子对 NURBS 曲线形状的影响	134
7.5.3	NURBS 曲面的定义	135
7.5.4	权因子对 NURBS 曲面片的影响	135
7.6	曲线、曲面生成	136

7.6.1	曲线生成	136
7.6.2	曲面生成	137
思考题		140
第8章 计算机辅助工艺过程 (CAPP) 技术基础		141
8.1	概述	141
8.1.1	CAPP 的基本概念	141
8.1.2	CAPP 系统的发展及其在中国的应用	142
8.2	CAPP 的基本功能与模块	144
8.3	工艺数据库与知识库	146
8.3.1	工艺数据与知识的种类和特点	146
8.3.2	工艺数据与知识的获取与表达	146
8.3.3	工艺数据与知识库的设计	147
8.3.4	构造工艺数据库与知识库的一般步骤	149
8.4	派生法 CAPP 系统	149
8.4.1	基于 GT 的派生法 CAPP 系统	149
8.4.2	基于特征的派生法 CAPP 系统	151
8.5	创成法 CAPP 系统	153
8.5.1	创成法 CAPP 系统的工作原理	153
8.5.2	零件信息描述	154
8.5.3	工艺知识库的建立	155
8.5.4	推理机的设计	155
8.5.5	创成法 CAPP 系统的工艺决策逻辑	156
8.6	其他类型的 CAPP 系统简介	158
8.6.1	基于人工神经网络的 CAPP 系统	158
8.6.2	基于实例与知识的 CAPP 系统	158
8.6.3	混合式 CAPP 系统	159
思考题		159
第9章 计算机辅助工程技术基础		160
9.1	计算机辅助工程 (CAE) 技术概述	160
9.1.1	制品设计	161
9.1.2	模具设计和制造	161
9.1.3	注塑成型	162
9.2	有限元分析	162
9.2.1	有限元分析简介	162
9.2.2	弹性力学基本知识	163
9.2.3	有限元方法的表达式	164
9.2.4	有限元法的基本解法与步骤	165
9.2.5	有限元分析的前置处理和后置处理	167
9.2.6	有限元法在机械工程中的应用	167
9.2.7	有限元分析软件——ANSYS 简介	167
9.3	优化设计	170
9.3.1	优化设计的数学描述	170

9.3.2	约束条件的处理	171
9.3.3	常用优化搜索方法	171
9.3.4	优化设计的一般过程	173
9.3.5	优化设计应用实例	174
9.4	仿真技术	175
9.4.1	仿真的基本概念及分类	175
9.4.2	计算机仿真的一般过程	177
9.4.3	仿真在 CAD/CAE/CAM 系统中的应用	178
9.4.4	计算机仿真的发展方向	178
9.4.5	计算机仿真软件	179
	思考题	180
第 10 章	计算机辅助制造	182
10.1	数控加工的特点和内容	182
10.2	数控编程及其发展	184
10.2.1	数控加工编程的概念	184
10.2.2	数控编程的现状和发展趋势	184
10.2.3	计算机辅助数控加工程序编制	186
10.2.4	数控编程方法	187
10.2.5	数控语言及其选择	189
10.2.6	APT 语言基本语句	190
10.2.7	数控加工程序编程的内容与步骤	191
10.3	数控程序系统	193
10.4	数控加工仿真	194
10.4.1	数控加工仿真目的与意义	194
10.4.2	数控仿真技术的研究现状及发展趋势	195
10.4.3	几何仿真	195
10.4.4	数控加工仿真系统的体系结构	196
10.4.5	数控加工仿真形式	197
10.5	NC 刀具轨迹生成方法研究现状	200
10.5.1	基于点、线、面和体的 NC 刀轨生成方法	200
10.5.2	基于特征的 NC 刀轨生成方法	201
10.5.3	几个主要 CAD/CAM 系统中的 NC 刀轨生成方法分析	202
10.5.4	CAM 系统刀轨生成方法的主要问题	203
10.5.5	数控加工轨迹生成原理	203
	思考题	204
第 11 章	CAD/CAM 集成技术	205
11.1	概述	205
11.1.1	系统集成的目的与原则	205
11.1.2	系统集成内容	206
11.2	系统的集成环境和方式	206
11.2.1	集成环境	206
11.2.2	集成方式	207

11.3	CAD/CAM 系统集成的关键技术	209
11.3.1	产品建模技术	209
11.3.2	集成数据管理技术	209
11.3.3	产品数据交换接口技术	210
11.3.4	执行控制程序	210
11.4	计算机集成制造系统 (CIMS)	210
11.4.1	CIMS 的构成	210
11.4.2	CIMS 的特点	211
11.4.3	实现 CIMS 的关键技术	212
11.5	基于产品数据管理的 CAD/CAM 系统集成	213
11.5.1	产品数据表达	213
11.5.2	产品数据管理	214
11.5.3	基于 PDM 的 CAD/CAM 内部集成	215
11.5.4	基于 PDM 的 CAD/CAM 外部集成	216
11.5.5	PDM 与 CIMS 的关系	217
11.6	敏捷制造	217
11.6.1	敏捷制造的基本原理	217
11.6.2	敏捷制造的组成	218
11.6.3	敏捷制造中的 CAD/CAE/CAM 系统	219
11.7	并行工程	220
11.7.1	并行工程的含义	220
11.7.2	并行工程的特点	221
11.7.3	面向并行工程的 CAD/CAE/CAM 技术	222
11.8	基本图形交换规范标准	224
11.8.1	DXF (绘图交换格式)	224
11.8.2	IGES (初始图形交换规范)	225
11.8.3	STEP (产品模型数据交换标准)	228
	思考题	231
第 12 章	逆向工程与快速原型制造	233
12.1	逆向工程简介	233
12.1.1	逆向工程定义	233
12.1.2	逆向工程的关键技术	233
12.1.3	逆向工程的研究现状	234
12.1.4	逆向工程的应用领域	235
12.1.5	逆向工程商业软件	235
12.1.6	逆向工程技术的发展趋势	236
12.2	数据测量技术	236
12.2.1	接触式测量法	236
12.2.2	非接触式测量法	237
12.2.3	逐层扫描测量法	238
12.3	数据预处理技术	239
12.3.1	点云类型	239

12.3.2	异常点去除	240
12.3.3	数据精简	240
12.3.4	数据平滑	243
12.4	模型重构技术	243
12.4.1	概述	243
12.4.2	曲线曲面的插值法构造	244
12.4.3	B 样条曲线曲面逼近	247
12.4.4	重构曲面的精度评定	250
12.5	逆向工程软件 (Surfacer) 介绍	251
12.5.1	Imageware 简介	251
12.5.2	Surfacer 介绍	252
12.6	快速原型制造技术	253
12.6.1	快速原型制造技术概述	253
12.6.2	快速成形方法	254
12.6.3	基于 RP 的快速制模技术	255
12.6.4	RP 技术的局限性	256
	思考题	257
	参考文献	258

第 1 章 绪 论

学习目的与要求：了解 CAD/CAM 的发展过程；理解 CAD/CAM 的概念；对 CAD/CAM 系统的组成、集成及工作过程有所了解；熟悉 CAD/CAM 系统的组成、集成及工作过程；掌握 CAD/CAM 系统应具备的基本功能；了解当前 CAD/CAM 系统常用软件；对 CAD/CAM 集成的支撑系统有所了解。

在机械制造领域中，随着市场经济的发展，用户对各类产品的质量、产品更新换代的速度以及产品从设计、制造到投放市场的周期都提出了越来越高的要求。在当今高效益、高效率、高技术竞争的时代，要适应瞬息万变的市场要求、提高产品质量、缩短生产周期，就必须采用先进的制造技术。

计算机技术与机械制造技术相互结合与渗透，产生了计算机辅助设计与制造（Computer Aided Design and Manufacturing）这样一门综合性的应用技术，简称 CAD/CAM。它具有高智力、知识密集、综合性强、效益高等特点，是当前世界上科技领域的前沿课题。CAD/CAM 技术的发展，不仅改变了人们设计、制造各种产品的常规方式，有利于发挥设计人员的创造性，还将提高企业的管理水平和市场竞争能力。

美国科学研究院的工程技术委员会曾对 CAD/CAM 集成技术所取得的效益做过一个测算，其所得数据为：降低工程设计成本 15%~30%；减少产品设计到投产时间 30%~60%；由于较准确地预测了产品的合格率而提高了产品的质量，其预测量级提高了 2~5 倍；增加工程师分析问题广度和深度的能力 3~35 倍；增加产品作业生产率 40%~70%；减少加工过程 30%~60%；降低人力成本 5%~20%。可见，CAD/CAM 技术的普及应用不仅将对传统产业的改造、新兴产业的发展、劳动生产率的提高、材料消耗的降低、国际竞争能力的增强均有巨大的带头作用，而且 CAD/CAM 技术及其应用水平正成为衡量一个国家科学技术现代化和工业现代化水平的重要标志之一。

在中国大力推广 CAD/CAM 技术，是科研单位提高自主研究开发能力、企业提高应变能力和提高劳动生产率的重要条件，是促进传统技术发生革命性变化的重要手段，是缩短与发达国家的差距，把国民经济搞上去，实现社会主义现代化建设目标的重要措施，是一项刻不容缓的战略任务。

1.1 CAD/CAM 概述

计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）技术是一门多学科综合性技术，是当今世界发展最快的技术之一，目前已经形成产业。CAD/CAM 等新技术在制造业的应用，对制造业的制造模式和市场形势产生了巨大影响，促进了生产模式的转变和制造业市场形势的变化。

CAD/CAM 是 20 世纪制造领域最杰出的成就之一，也是计算机在制造业中应用最成功的范例之一。随着计算机在制造领域应用的不断深入，人们先后提出了计算机辅助设计、计

算机辅助工艺规程设计 (CAPP) 和计算机辅助制造 (CAM) 等概念。CAD/CAM 是计算机辅助设计/计算机辅助制造 (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) 的简称。其核心是利用计算机快速高效地处理各种信息, 进行产品的设计与制造。它彻底改变了传统的设计、制造模式, 利用现代计算机的图形处理技术、网络技术, 把各种图形数据、工艺信息、加工数据, 通过数据库集成在一起, 供大家共享。信息处理的高度一体化, 支撑着各种现代制造理念, 是现代工业制造的基础。

计算机辅助设计以计算机图形处理学为基础, 帮助设计人员完成数值计算、实验数据处理, 计算机辅助绘图, 进行图形尺寸、面积、体积、应力、应变等分析以及实体切削仿真等。

计算机辅助制造是指使用计算机系统对产品进行加工、装配等技术。借助计算机来完成从生产准备到产品制造出来的过程中的各项活动, 如计算机辅助数控加工编程、制造过程控制、质量检测与分析等。

CAD 技术与 CAM 技术结合起来, 作为一个整体来考虑, 从产品设计开始到产品检验结束, 贯穿于整个过程, 实现设计、制造一体化。具有明显的优越性, 主要体现在:

- ① 有利于发挥设计人员的创造性, 将他们从大量烦琐的重复劳动中解放出来;
- ② 减少了设计、计算、制图、制表所需的时间, 缩短了设计周期;
- ③ 由于采用了计算机辅助分析技术, 可以从多方案中进行分析、比较, 选出最佳方案, 有利于实现设计方案的优化;
- ④ 有利于实现产品的标准化、通用化和系列化;
- ⑤ 减少了零件在车间的流通时间和在机床上装卸、调整、测量、等待切削的时间, 提高了加工效率;
- ⑥ 先进的生产设备既有较高的生产过程自动化水平, 又能在较大范围内适应加工对象的变化, 有利于企业提高应变能力和市场竞争力;
- ⑦ 提高了产品的质量和设计、生产效率。

CAD、CAM 的一体化, 使产品的设计、制造过程形成一个有机的整体, 通过信息的集成, 在经济上、技术上给企业带来综合效益。

CAD/CAM 的发展与应用已有几十年的历史, 但对 CAD/CAM 概念的理解还没有完全统一, 下面从制造过程和 CAD/CAM 系统应具备的功能两个角度来分析 CAD/CAM 的含义。

1.1.1 从产品制造的过程理解 CAD/CAM

从传统意义上看, 产品从需求分析开始, 经过产品设计、工艺设计和制造等环节, 最终形成用户所需要的产品, 如图 1-1 所示。在产品设计阶段, 要完成任务规划、概念设计、结构设计与分析、详细设计和工程设计等工作, 如果借助计算机手段来完成这些工作任务, 称为 CAD; 在工艺设计阶段, 要完成毛坯设计、工艺路线规划、工序设计、工装设计等任务, 如果借助计算机手段来完成这些任务, 称为 CAPP; 在生产阶段, 要完成数控 (NC) 加工编程、加工过程仿真、数控加工、质量检验、产品装配、性能测试与分析等工作, 如果借助计算机手段来完成这些工作, 称为 CAM。

在上述各阶段内, 计算机技术得到了不同程度的应用, 如果应用计算机信息集成技术, 为 CAD/CAM 提供一个集成工作环境, 将 CAD、CAPP、CAM 有机地联系起来, 则称为 CAD/CAM 技术。

传统的制造概念是一个物料加工与转化过程。近年来, 特别是提出计算机集成制造

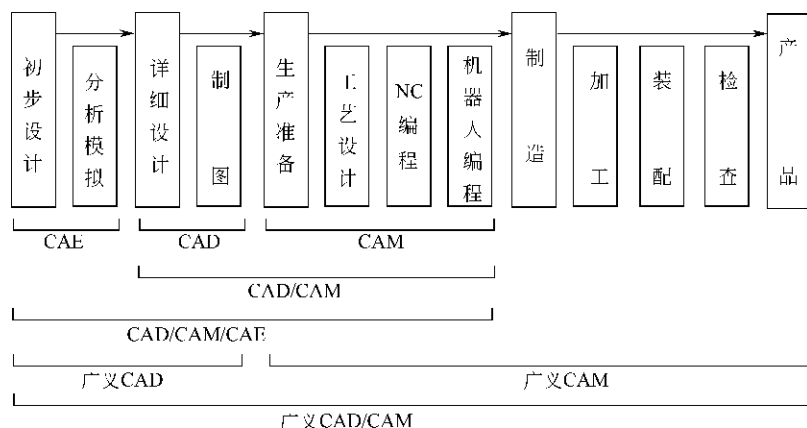


图 1-1 CAD/CAM 的基本概念

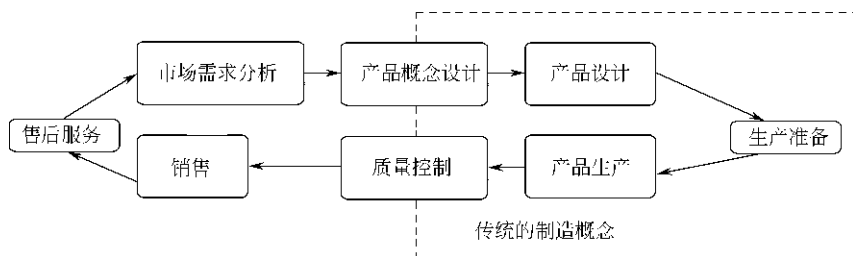


图 1-2 现代制造的概念

(CIM) 的概念以来,“制造”的概念所涉及的范围扩大到了从订单处理、原材料采购、产品设计、工艺设计、调度与加工、产品装配、质量控制直至产品销售与售后服务、仓储管理、财务管理、人事管理等企业的各项活动,形成了大“制造”的概念,如图 1-2 所示。从这个意义上理解,在图 1-2 所示的各个环节中,采用计算机来协助人们完成各项任务都可以称为 CAD/CAM。随着集成制造理念的不断发展和应用,大“制造”的概念正被越来越多的人接受。

1.1.2 从计算机科学的角度看

设计与制造的过程是一个关于产品信息的产生、处理、交换和管理的过程。人们利用计算机作为主要技术手段,对产品从构思到投放市场的整个过程中的信息进行分析和处理,生成和运用各种数字信息和图形信息,进行产品的设计与制造。CAD/CAM 技术不是传统设计、制造流程和方法的简单映像,也不局限于在个别步骤或环节中部分地用计算机作为工具,而是将计算机科学与工程领域的专业技术以及人的智慧和经验以现代科学方法为指导结合起来,在设计、制造的全过程中各尽所长,尽可能地利用计算机系统来完成那些重复性高、劳动量大、计算复杂以及单纯靠人工难以完成的工作,辅助而非代替工程技术人员完成整个过程,以获得最佳效果。CAD/CAM 系统以计算机硬件、软件为支持环境,通过各个功能模块(分系统)完成对产品的描述、计算、分析、优化、绘图、工艺规程设计、NC 加工仿真、生产规划、管理、质量控制等。

尽管近年来许多企业都开始采用 CAD/CAM 技术,但由于是不同厂家的软件以及从视图到立体三维图的重复造型工作,企业内部网络化还不很普及,数据一体化、数据共享还有待提高。

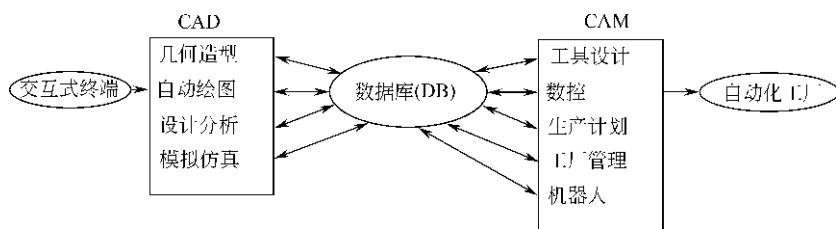


图 1-3 单一数据库系统的理想模型

理想化的 CAD/CAM 一体化模式如图 1-3 所示。所有的 CAD/CAM 功能都与一个公共数据库相连，应用程序使用公共数据库里的信息，实现产品设计、工艺规程编制、生产过程、质量控制、生产管理等生产全过程的信息集成。

1.2 CAD/CAM 技术的发展

1.2.1 CAD/CAM 发展概况

CAD/CAM 技术从产生到现在，经历了形成、发展、提高和集成等阶段。自 1946 年世界上第一台电子计算机在美国出现后，人们就不断地将计算机技术引入机械设计、制造领域。早在 20 世纪 50 年代，就首次研制成功数控机床，通过不同的数控程序就可以实现对不同零件的加工。随后，麻省理工学院的伺服机构实验室研究成功用计算机制作数控纸带，实现了 NC 编程的自动化。在此基础上，人们提出了如下设想：APT 程序系统是通过描述走刀轨迹的方法实现计算机辅助数控编程的，那么，能不能不描述走刀轨迹，而是直接描述零件本身？由此产生了 CAD 的最初概念。它设想计算机辅助的过程是通过自动运行的各个程序实现的，可以看作是解决不同复杂程度的生产计划问题的各个过程，从设计分析到计算是在人与计算机之间以交互方式进行的。在此期间，CAD 正处于准备、酝酿阶段。整个 50 年代，电子计算机还处于电子管时期，使用机器语言编程，计算机主要用于科学计算，为之配置的图形设备也仅具有输出功能。

20 世纪 60 年代初，麻省理工学院的研究生 I. E Sutherland 发表了论文《人机对话图形通信系统》，推出了二维 SKETCHPAD 系统，该系统允许设计者在图形显示器前操作光笔和键盘，同时在荧光屏上显示图形。他的论文首次提出了计算机图形学、交互技术及图形符号的存储采用分层的数据结构等思想，为 CAD 技术提供了理论基础。随后，相继出现了许多商品化的 CAD 设备及系统，例如，美国的 IBM 公司开发了以大型机为基础的 CAD/CAM 系统，具有绘图、数控编程和强度分析等功能；通用汽车公司研制了 CAD-1 系统，用以实现各个阶段的汽车设计；还有洛克希德飞机公司的 CAD/CAM 等。在自动编程方面，美国航空空间协会（AIA）在麻省理工学院协助下，相继开发了 APT、APT II 和 APT III 系统。而在制造领域，1962 年在机床数控技术的基础上研制成功了第一台工业机器人，实现了物料搬运的自动化；1966 年出现了用大型通用计算机直接控制多台数控机床的 DNC 系统。这一时期的 CAD/CAM 系统的共同特点是以二维绘图为主，APT III 语言还不能实现处理曲面的功能，且规模庞大、价格昂贵。此时，从线框模型向曲面模型发展。但由于缺少面的结构信息、面的表里信息和与面对应的立体位置，所以当时还没有出现面向三维自由曲面的实用化的用于模具设计、制造的 CAD/CAM 系统。

20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期是 CAD/CAM 技术趋于成熟的阶段，随着计算机硬

件的发展,以小型机、超小型机为主机的 CAD 系统进入市场,针对某个特定问题的 CAD 成套系统蓬勃发展。它由 16 位小型机、图形输入设备、显示装置以及绘图机等硬件与相应的应用软件配套而成,通常也称为交钥匙系统 (Turnkey System)。与此同时,为了适应设计和加工的要求,三维几何处理软件也发展起来,出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统。一批专门经营 CAD/CAM 系统硬件和软件的公司相继出现,如 Computer Vision、Integraph、Calma、APPLi-com 等。这一代 CAD/CAM 系统的主要特点是可实现二、三维绘图和数据加工;线框、曲面和实体建模;有限元分析等,是一个多数据库和分散数据结构、顺序设计过程的系统。1967 年,英国的莫林公司建造了一条由计算机集中控制的自动化制造系统,包括 6 台加工中心和 1 条由计算机控制的自动运输线,可进行 24 小时连续加工,并用计算机编制 NC 程序和作业计划、统计报表。20 世纪 70 年代初,美国的辛辛那提公司研制了一条 FMS 系统,即柔性制造系统。这一时期 CAD/CAM 系统存在的主要缺点是难以实现系统的真正集成、获取信息受限制、缺乏数据管理功能,对于三维几何造型技术也处在初级阶段。1973 年的国际会议 PROLAMAT 发表了现在还在使用的实体模型表达方法,即 CSG (Constructive Solid Geometry) 和 B-rep (Boundary representation)。其中 CSG 是由当时的北海道大学的冲野嘉数用 TIPS 系统提出的方案。B-rep 是由英国剑桥大学的 Braid. Lang 用 BUILD 系统提出的方案,从而用实体模型解决了形状的难点。至此,出现了面向三维自由曲面的实用性强的模具设计、制造 CAD/CAM 系统。

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度下降,计算机外围设备(如彩色高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动绘图机等品种齐全的输入输出装置)已成系列产品,为推进 CAD/CAM 技术向高水平发展提供了必要的条件。同时,相应的软件技术,如数据库技术、有限元分析、优化设计等也迅速提高,这些商品化软件的出现,促进了 CAD/CAM 技术的推广及应用,使其从大中型企业向小型企业发展,从发达国家向发展中国家发展;从用于产品设计发展到用于工程设计。在此期间,还相应发展了一些与制造过程相关的计算机辅助技术,如计算机辅助工艺规程设计;计算机辅助工装设计;计算机辅助质量控制(CAQ)等。然而,作为单项技术,只能带来局部效益。进入 20 世纪 80 年代以后,人们在上述计算机辅助技术的基础上,致力于计算机集成制造系统的研究,这是一种总体高效益、高柔性的智能化制造系统。

20 世纪 90 年代,CAD/CAM 技术已不停留在过去单一模式、单一功能、单一领域的水平,而向着标准化、集成化、智能化的方向发展。为了实现系统的集成,实现资源共享和产品生产与组织管理的高度自动化,提高产品的竞争能力,就需在企业、集团内的 CAD/CAM 系统之间或各个子系统之间进行统一的数据交换,为此,一些国际标准化组织都在从事标准接口的开发工作。与此同时,面向对象技术、并行工程思想、分布式环境技术及人工智能技术的研究,都有利于 CAD/CAM 技术向高水平发展。

中国 CAD/CAM 技术的开发应用水平与世界相比还有相当的差距。从 20 世纪 60 年代开始引进 CAD/CAM 技术,最早起步于航空工业,从 20 世纪 80 年代开始,在 CAD/CAM 技术的研究、开发和应用方面做了大量工作。一方面,直接引进一些国际水平的商品化软件投入实际应用,如 I-DEAS、PRO-Engineer、CAD/CAM、UG 等;另一方面,很多研究单位自行开发 CAD/CAM 系统,有些已达到国际先进水平,进一步促进了 CAD/CAM 技术在我国的应用和发展。最近几年,已在机械、电子、建筑、汽车、服装等行业逐步进入实用阶段。

1.2.2 CAD/CAM 展望

当今信息革命的浪潮使得世界统一市场正在形成,全球经济一体化正以超乎寻常的速度

发展。因此,制造业所面临的环境比以往任何时候都要复杂多变,竞争之激烈在时空上超越了国家、地区的界限,而延伸至全球的各个角落。制造业要有能力对其外部环境的瞬间变化做出反应,必须采用先进的制造技术、战略理念,以求得长期的生存与发展。

CAD/CAM 技术是先进的制造技术之一,是集成制造、敏捷制造、智能制造等先进理念和模式的基础制造技术。CAD/CAM 技术的发展将集中在以下几个方面。

1.2.2.1 集成化

集成化是 CAD/CAM 技术发展的一个最为显著的趋势。它是指把 CAD、CAE、CAPP、CAM 以至 PPC (生产计划与控制) 等各种功能不同的软件有机地结合起来,用统一的执行程序来组织各种信息的提取、交换、共享和处理,保证系统内部信息流的畅通并协调各个系统有效地运行。国内外大量的经验表明,CAD 系统的效益往往不是从其本身,而是通过 CAM 和 PPC 系统体现出来;反过来,CAM 系统如果没有 CAD 系统的支持,花巨资引进的设备往往很难得到有效的利用;PPC 系统如果没有 CAD 和 CAM 的支持,既得不到完整、及时和准确的数据作为计划的依据,订出的计划也较难贯彻执行,所谓的生产计划和控制将得不到实际效益。因此,人们着手将 CAD、CAE、CAPP、CAM 和 PPC 等系统有机地、统一地集成在一起,从而消除“自动化孤岛”,取得最佳的效益。

1.2.2.2 网络化

用高速宽带网络技术,把目前在内部 CAD/CAM 网络的单独场所的应用,扩展到多场所协同 CAD/CAM 应用,以满足制造全球化趋势下的协同 CAD/CAM 的需求。CAD/CAM 信息的快速网络传递也将成为现代集成制造系统 (CIMS) 的一个重要组成部分。多场所的协同 CAD/CAM 通常按以下形式工作:两个以上地理位置分散的 CAD/CAM 设计者,能够协同和交互进行三维 CAD 几何造型和编辑。协同设计完成之后,就可产生刀具路径。在刀具路径生成之后,后置处理生成的加工程序立即被发送到产品销售区域的加工厂用于加工。这种工作形式潜在的利益在于减少了市场导入时间,在合适的地点可生产恰当的产品,并缩短了产品的装运时间,提高了竞争力,从而消除了阻碍跨国企业运行的地理障碍。

1.2.2.3 智能化

人工智能在 CAD 中的应用主要集中在知识工程的引入,发展专家 CAD 系统。专家系统具有逻辑推理和决策判断能力。它将许多实例和有关专业范围内的经验、准则结合在一起,给设计者更全面、更可靠的指导。应用这些实例和启发准则,根据设计的目标不断缩小探索的范围,使问题得到解决。

1.2.2.4 高效化

高效化快速无图纸设计、制造技术是指依靠数字化设计,并利用并行工作技术,即快速地进行系统安排、详细设计、分析计算、工艺规划。该技术预先在计算机中进行虚拟制造,设计采用单一数据库,以三维的方式设计全部零件,并通过虚拟制造提高可靠性,使各部门可以共享所有设计模型,能尽早获得相关技术、工艺的反馈信息,使设计更快、更合理。

1.3 CAD/CAM 系统的组成、集成及工作过程

所谓系统,是指为完成特定任务而由相关部件或要素组成的有机的整体。一个 CAD/CAM 系统是由计算机、外围设备及附加生产设备等硬件和控制这些硬件运行的指令、程序及有关文档即软件组成,通常包含若干功能模块,如图 1-4 所示。

CAD/CAM 系统是设计、制造过程中的信息处理系统,它克服了传统手工设计的缺陷,充分利用计算机高速、准确、高效的计算功能,图形处理、文字处理功能以及对大量的各类