



高等院校计算机应用技术规划教材

计算机辅助设计与制造



刘德平 刘武发 主编

///

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



高等院校计算机应用技术规划教材

计算机辅助设计与制造

主 编：刘德平 刘武发

副主编：高建设 陶 征 侯伯杰 张 瑞 苏宇锋
李小林 上官建林 李道军 陈晓辉 徐大伟



TP391.7-43
29

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



北航

C1639972

内 容 简 介

本书共12章, 主要内容包括: 绪论、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、自由曲线和自由曲面理论、计算机辅助工艺过程技术基础、计算机辅助工程技术基础、计算机辅助制造、CAD/CAM 集成技术、逆向工程与快速原型制造。

本书内容系统、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。

本书适合作为高等工科院校机械类专业教材, 也可作为高等职业教育、函授等有关专业教材和教学参考书, 亦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:
中国铁道出版社, 2012. 12

高等院校计算机应用技术规划教材

ISBN 978 - 7 - 113 - 15737 - 1

I. ①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. ①TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 288923 号

书 名: 计算机辅助设计与制造

作 者: 刘德平 刘武发 主编

策划编辑: 巨 凤

读者热线: 400 - 668 - 0820

责任编辑: 王占清 徐盼欣

封面设计: 付 巍

封面制作: 白 雪

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 北京市燕鑫印刷有限公司

版 次: 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 18.5 字数: 443 千

书 号: ISBN 978- 7- 113- 15737- 1

定 价: 35.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社教材图书营销部联系调换。电话: (010) 63550836

打击盗版举报电话: (010) 63549504

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。经过几十年的发展和应用,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,也成为工科院校的必修专业基础课。

编者结合多年从事计算机辅助设计与制造教学经验和应用实践,并参考了许多相关书籍编写本书,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技术的原理、方法和实用技术,以适应形势的发展和社会需要。本书主要内容包括:绪论、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、自由曲线和自由曲面理论、计算机辅助工艺过程技术基础、计算机辅助工程技术基础、计算机辅助制造、CAD/CAM集成技术、逆向工程与快速原型制造。

本书充分考虑到CAD/CAM技术的特点,注意理论与实际的结合,力求做到内容简明扼要、图文并茂,通俗易懂。本书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软件工具奠定坚实的基础,培养学生应用计算机从事产品开发、生产和系统集成综合能力,成为掌握CAD/CAM理论知识的实用型人才。本书适合作为高等工科院校机械类专业教材,也可作为高等职业教育、函授等有关专业教材和教学参考书,亦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。

本书由刘德平、刘武发主编。各章编写分工如下:第1章、第3章、第4章由刘德平、陶征、姚晓坡编写,第10章由刘武发、高建设、郭松路编写,第2章、第6章、第11章由侯伯杰、张瑞、田恒、宋德华编写,第7章、第8章、第9章由李小林、陈晓辉、李道军编写,第12章由苏宇锋、上官建林编写,徐大伟负责资料的整理,全书由刘德平统稿。

在编写本书时,参考了同行专家诸多论著和教材,在此表示衷心感谢!由于作者水平有限,本书难免有欠妥之处,恳请读者指正。

编 者

2012年9月

第1章 绪论	1
1.1 CAD/CAM 概述	1
1.1.1 从产品的制造过程理解 CAD/CAM	2
1.1.2 从计算机科学的角度看 CAD/CAM	3
1.2 CAD/CAM 技术的发展	4
1.2.1 CAD/CAM 技术发展概况	4
1.2.2 CAD/CAM 技术展望	6
1.3 CAD/CAM 系统的组成、集成及工作过程	7
1.3.1 CAD/CAM 系统的组成	8
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 CAD/CAM 系统当前的常用软件	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	15
1.6 CAD/CAM 集成的支撑系统	16
1.6.1 计算机网络基础	16
1.6.2 网络的类型	17
1.6.3 CAD/CAM 集成环境下网络的特点	17
小结	17
思考题	18
第2章 工程数据的处理	19
2.1 数表的程序化处理	20
2.1.1 一维数表的处理	20
2.1.2 二维数表的处理	20
2.2 数表的文件化处理	22
2.3 一维数表的插值处理	24
2.4 线图的处理	27
2.4.1 线图的表格化处理	27
2.4.2 线图的公式化处理	27
2.5 工程数据的数据库管理	28
2.5.1 数据库系统及管理	29
2.5.2 FoxPro 关系型数据库系统	30

2.5.3 FoxPro 与高级语言 (C) 接口设计	36
小结	40
思考题	40
第3章 图形技术基础	42
3.1 坐标系	42
3.1.1 设备坐标系	42
3.1.2 用户坐标系	43
3.1.3 规范坐标系	43
3.1.4 窗口坐标系	43
3.2 图形变换	44
3.2.1 二维图形的几何变换	44
3.2.2 三维图形的几何变换	47
3.2.3 三维形体的投影变换	50
3.3 窗口—视区变换	53
3.4 交互技术	55
3.4.1 常见交互技术及其应用	55
3.4.2 交互技术的分类	56
3.4.3 交互设计原则	58
3.5 用户界面	59
3.5.1 用户界面的类型	59
3.5.2 用户界面的设计	60
小结	60
思考题	60
第4章 几何造型系统的数据结构	62
4.1 数据结构知识	62
4.2 几何体在计算机中的表示	66
4.2.1 几何造型中的坐标系	66
4.2.2 表示形体的数据结构	66
4.3 三维形体的原理及表达	68
4.3.1 线框造型	68
4.3.2 曲面造型	70
4.3.3 实体造型	75
小结	77
思考题	77
第5章 几何造型技术	78
5.1 实体造型技术	78
5.1.1 布尔运算理论	78
5.1.2 布尔运算的具体实现	79

5.1.3 边界表示的数据结构与欧拉操作	80
5.1.4 构造实体几何	82
5.1.5 CSG 与 B-rep 混合造型方法	84
5.1.6 扫描表示法	85
5.2 特征建模	86
5.2.1 特征的定义	86
5.2.2 特征表示及数据结构	87
5.2.3 特征造型的特点	88
5.3 装配造型	88
5.3.1 装配模型的表示	89
5.3.2 装配约束技术	90
5.3.3 装配造型方法及步骤	92
5.4 参数化与变量化技术	93
5.4.1 参数化与变量化造型的关键技术	93
5.4.2 参数化与变量化技术的目前发展	95
小结	95
思考题	95
第6章 隐藏线和隐藏面的处理	96
6.1 消隐常用的计算方法	97
6.1.1 两直线段求交点	97
6.1.2 平面多边形的外法矢量	98
6.1.3 包容性检验	98
6.1.4 包围盒检验	99
6.1.5 交矩形检验	100
6.1.6 深度检验	101
6.1.7 平面和棱边的分类	102
6.2 凸多面体消隐 (Roberts 消隐)	102
6.3 任意多面体的隐藏线消除	104
6.4 Z 缓冲器算法	106
6.5 扫描线算法	108
6.6 画家算法	110
6.7 区域子分割算法 (Warnack 算法)	113
6.8 光线投射算法	114
6.9 消隐算法的编程实现	115
6.9.1 线消隐	115
6.9.2 面消隐	117
小结	119
思考题	120

第7章 自由曲线和自由曲面理论	121
7.1 曲线曲面的基础知识	121
7.1.1 矢量代数基础	122
7.1.2 曲线论	123
7.1.3 曲面论	128
7.2 参数多项式与数据点的参数化	130
7.2.1 参数多项式	131
7.2.2 数据点的参数化	131
7.2.3 参数曲线的代数和几何形式	132
7.2.4 连续性	134
7.3 Bezier 曲线与曲面	135
7.3.1 Bezier 曲线的定义和性质	135
7.3.2 Bezier 曲线的递推 (de Casteljau) 算法	139
7.3.3 Bezier 曲线的拼接	141
7.3.4 Bezier 曲线的升阶与降阶	141
7.3.5 Bezier 曲面	143
7.4 均匀 B 样条曲线曲面	145
7.4.1 B 样条曲线的定义	145
7.4.2 B 样条曲线的矩阵表示	146
7.4.3 B 样条曲面	147
7.5 NURBS 曲线曲面	148
7.5.1 NURBS 曲线的定义	148
7.5.2 权因子对 NURBS 曲线形状的影响	149
7.5.3 NURBS 曲面的定义	150
7.5.4 权因子对 NURBS 曲面片的影响	150
7.6 曲线和曲面生成	151
7.6.1 曲线生成	151
7.6.2 曲面生成	153
小结	156
思考题	156
第8章 计算机辅助工艺过程技术基础	157
8.1 概述	157
8.1.1 CAPP 的基本概念	157
8.1.2 CAPP 系统的发展及其在我国的应用	159
8.2 CAPP 的基本功能与模块	161
8.3 工艺数据库与知识库	162
8.3.1 工艺数据与知识的种类和特点	162
8.3.2 工艺数据与知识的获取与表达	163

8.3.3 工艺数据与知识库的设计	164
8.3.4 构造工艺数据库与知识库的一般步骤	165
8.4 派生法 CAPP 系统	166
8.4.1 基于 GT 的派生法 CAPP 系统	166
8.4.2 基于特征的派生法 CAPP 系统	168
8.5 创成法 CAPP 系统	170
8.5.1 创成法 CAPP 系统的工作原理	170
8.5.2 零件信息描述	171
8.5.3 工艺知识库的建立	172
8.5.4 推理机的设计	173
8.5.5 创成法 CAPP 系统的工艺决策逻辑	174
8.6 其他类型的 CAPP 系统简介	175
小结	176
思考题	176
第 9 章 计算机辅助工程技术基础	177
9.1 计算机辅助工程 (CAE) 技术概述	177
9.2 有限元分析	179
9.2.1 有限元分析简介	179
9.2.2 弹性力学基本知识	180
9.2.3 有限元法的表达式	181
9.2.4 有限元法的基本解法与步骤	182
9.2.5 有限元分析的前置处理和后置处理	184
9.2.6 有限元法在机械工程中的应用	184
9.2.7 有限元分析软件——ANSYS 简介	185
9.3 优化设计	187
9.3.1 优化设计的数学描述	188
9.3.2 约束条件的处理	188
9.3.3 常用优化搜索方法	189
9.3.4 优化设计的一般过程	191
9.3.5 优化设计应用实例	192
9.4 仿真技术	193
9.4.1 仿真的基本概念及分类	194
9.4.2 计算机仿真的一般过程	195
9.4.3 仿真在 CAD/CAE/CAM 系统中的应用	196
9.4.4 计算机仿真的发展方向	197
9.4.5 计算机仿真软件	198
小结	199
思考题	199

第 10 章 计算机辅助制造	200
10.1 数控加工的特点和内容	200
10.2 数控编程及其发展	202
10.2.1 数控加工编程的概念	202
10.2.2 数控编程的现状和发展趋势	203
10.2.3 计算机辅助数控加工程序编制	205
10.2.4 数控编程方法	206
10.2.5 数控语言及其选择	208
10.2.6 APT 语言基本语句	209
10.2.7 数控加工程序编程的内容与步骤	210
10.3 数控程序系统	212
10.4 数控加工仿真	213
10.4.1 数控加工仿真的目的与意义	213
10.4.2 数控仿真技术的研究现状及发展趋势	214
10.4.3 几何仿真	214
10.4.4 数控加工仿真系统的体系结构	216
10.4.5 数控加工仿真形式介绍	217
10.5 NC 刀具轨迹生成方法研究发展现状	220
10.5.1 基于点、线、面和体的 NC 刀轨生成方法	220
10.5.2 基于特征的 NC 刀轨生成方法	220
10.5.3 现役几个主要 CAD/CAM 系统中的 NC 刀轨生成方法分析	221
10.5.4 现役 CAM 系统刀轨生成方法的主要问题	222
10.5.5 数控加工轨迹生成原理	223
小结	224
思考题	224
第 11 章 CAD/CAM 集成技术	225
11.1 概述	225
11.1.1 系统集成的目的与原则	225
11.1.2 系统集成的内容	226
11.2 系统的集成环境和方式	227
11.2.1 集成环境	227
11.2.2 集成方式	227
11.3 CAD/CAM 系统集成关键技术	230
11.3.1 产品建模技术	230
11.3.2 集成数据管理技术	230
11.3.3 产品数据交换接口技术	231
11.3.4 执行控制程序	231
11.4 计算机集成制造系统 (CIMS)	231

11.4.1	CIMS 的构成	231
11.4.2	CIMS 的特点	233
11.4.3	实现 CIMS 的关键技术	233
11.5	基于产品数据管理的 CAD/CAM 系统集成	234
11.5.1	产品数据表达	234
11.5.2	产品数据管理	236
11.5.3	基于 PDM 的 CAD/CAM 内部集成	237
11.5.4	基于 PDM 的 CAD/CAM 外部集成	238
11.5.5	PDM 与 CIMS 的关系	238
11.6	敏捷制造	239
11.6.1	敏捷制造的基本原理	239
11.6.2	敏捷制造的组成	240
11.6.3	敏捷制造中的 CAD/CAE/CAM 系统	241
11.7	并行工程	243
11.7.1	并行工程的含义	243
11.7.2	并行工程的特点	244
11.7.3	面向并行工程的 CAD/CAE/CAM 技术	245
11.8	基本图形交换规范标准	246
11.8.1	DXF	247
11.8.2	IGES (初始图形交换规范)	248
11.8.3	STEP	251
小结		255
思考题		255
第 12 章	逆向工程与快速原型制造	256
12.1	逆向工程简介	256
12.1.1	逆向工程的定义	256
12.1.2	逆向工程的关键技术	257
12.1.3	逆向工程的研究现状	257
12.1.4	逆向工程的应用领域	258
12.1.5	逆向工程商业软件	259
12.1.6	逆向工程技术的发展趋势	259
12.2	数据测量技术	260
12.2.1	接触式测量法	260
12.2.2	非接触式测量法	260
12.2.3	逐层扫描测量法	261
12.3	数据预处理技术	263
12.3.1	点云类型	263
12.3.2	异常点去除	263

12.3.3	数据精简	264
12.3.4	数据平滑	267
12.4	模型重构技术	267
12.4.1	概述	267
12.4.2	曲线曲面的插值法构造	268
12.4.3	B 样条曲线曲面逼近	271
12.4.4	重构曲面的精度评定	274
12.5	逆向工程软件介绍	275
12.5.1	Imageware 简介	275
12.5.2	Surfacer 介绍	276
12.6	快速原型制造技术	278
12.6.1	快速原型制造技术概述	278
12.6.2	快速成型方法	278
12.6.3	基于 RP 的快速制模技术	280
12.6.4	RP 技术的局限性	281
小结		281
思考题		282
参考文献		283

学习目的与要求：了解 CAD/CAM 的发展过程；理解 CAD/CAM 的概念；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；了解 CAD/CAM 集成的支撑系统。

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计算机辅助制造（Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing）这样一门综合性的应用技术，简称 CAD/CAM。CAD/CAM 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，还提高了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。

我国大力推广 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、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,先后提出了计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)和计算机辅助制造(CAM)等概念。CAD/CAM 的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(CAD)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(CAM)是指使用计算机系统对产品进行加工、装配等技术。其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。CAD/CAM 具有明显的优越,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,可以从众多方案中进行分析、比较,选出最佳方案,进而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。
- (8) 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,下面从产品的制造过程和计算机科学两个角度来分析 CAD/CAM 的含义。

1.1.1 从产品的制造过程理解 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,则称之为 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,则称之为 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，则称之为 CAM。

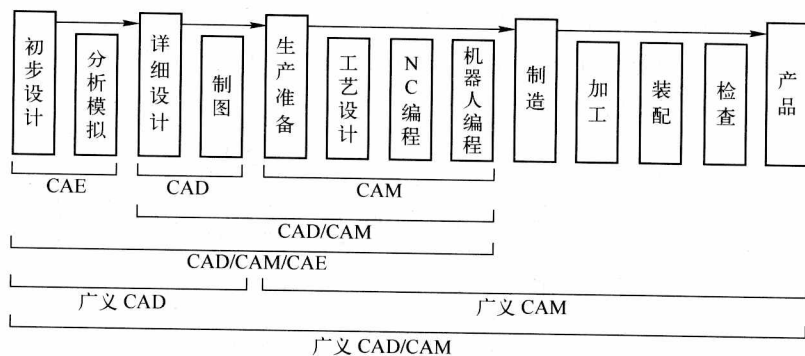


图 1-1 CAD/CAM 的基本概念

在上述各过程、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，则称之为 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（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”的概念正在被越来越多的人接受。

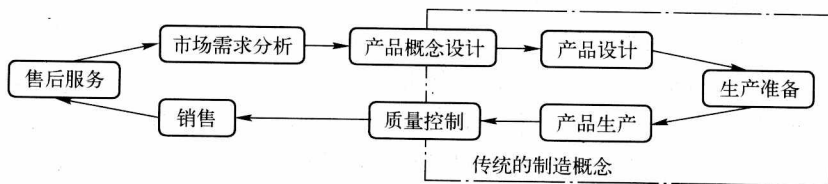


图 1-2 现代制造的概念

1.1.2 从计算机科学的角度看 CAD/CAM

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，也不是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、工艺过程设计、NC 加工仿真、生产规划、管理、质量控制等。

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中的信息,实现产品设计、工艺过程编制、生产过程、质量控制、生产管理等生产全过程的信息集成。

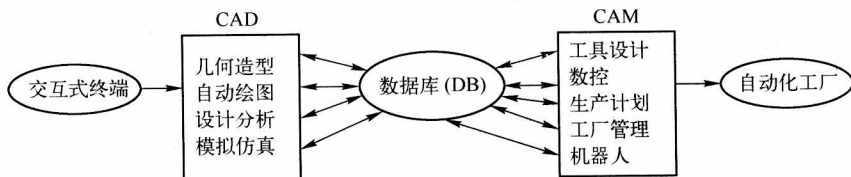


图 1-3 单一数据库系统的理想模型

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。

20 世纪 50 年代，首次研制成功数控机床，通过不同的数控程序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了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，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。人们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。在此期间，CAD 处于准备、酝酿阶段。整个 20 世纪 50 年代，电子计算机还处于电子管时期，使用机器语言编程，主要用于科学计算，为之配置的图形设备也仅具输出功能。

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。该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,美国航空航天工业协会(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、用于模具设计与制造的 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、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。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与制造 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、优化设计等技术)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,例如计算机辅助工艺过程设计(CAPP)、计算机辅助工装设计、计算机辅助质量管理(CAQ)等。然而,作为单项技术,只能带来局部效益。20 世纪 90 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。

21 世纪以来,CAD/CAM 技术已从过去的单一模式、单一功能、单一领域,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,就需要在企业、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,一些工业先进国家的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。

我国 CAD/CAM 技术的开发应用水平与世界相比还有很大的差距。我国从 20 世纪 60 年代开始引进 CAD/CAM 技术,最早起步于航空工业。从 80 年代开始,我国在 CAD/CAM 技术的研究、开发和应用方面作了大量工作。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,例如 iDeaS、Pro/Engineer、CAD/CAM、UG 等;另一方面,很多研究单位自行开发 CAD/CAM 系统,