

计算机工业应用技术丛书

JISUANJI GONGYE YINGYONG JISHU CONGSHU

# 计算机辅助制造

● 罗学科 编著



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

计算机工业应用技术丛书

# 计算机辅助制造

罗学科 编著

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目(CIP)数据**

计算机辅助制造/罗学科编著.—北京:化学工业出版社,  
2001.10  
(计算机工业应用技术丛书)  
ISBN 7-5025-3418-0

I. 计… II. 罗… III. 计算机辅助制造 IV. TP391.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 069519 号

---

计算机工业应用技术丛书

**计算机辅助制造**

罗学科 编著

责任编辑:张兴辉

责任校对:顾淑云

封面设计:于兵

\*

化学工业出版社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心  
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19 $\frac{3}{4}$  字数 477 千字

2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-3418-0/TP·289

定价: 38.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 计算机工业应用技术丛书 编写委员会

主任 黄淼云

副主任 张常年 李也白

委员 (按姓氏笔画排序)

马全明	方建军	王振红	冯晓君	左 岐
张吉生	张向慧	张学忠	张常年	李也白
李 凯	邱 岩	岳中心	罗学科	姚建平
胡春江	赵红怡	唐良瑞	徐宏海	郭书军
黄淼云	景作军	景晓军	谢晓辉	谢富春
韩 朝	蔡 炯			

## 序

我国在“十五”期间和今后相当长的时期内将大力发展国民经济和推进社会信息化。这是覆盖现代化建设全局的战略举措。以信息化带动工业化，改造传统产业、发展以信息技术为代表的高新技术产业，从而推进国家现代化建设，已经成为全社会的共识。信息化给企业的经营、管理和发展带来了前所未有的冲击、挑战和机遇，信息化是必然趋势。

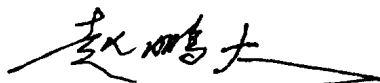
当前计算机应用朝着多领域发展，信息化技术涉及多方面的工作，主要包括计算机的广泛利用；企业内部网的建立并与外界实现网络互联；方便访问和利用的信息资源；生产过程控制方面的信息技术应用；计算机辅助设计用于设计新产品；企业生产、流通或服务信息系统有效运转并利用信息网络等手段与外界进行商务往来；建立企业综合管理信息系统等等。随着计算机新技术的不断出现，信息化的内容和工作也将不断扩展。凡是关心国家信息化建设、从事计算机应用开发工作的科技工作者和专业技术人员，都很有必要了解和掌握计算机技术的进步和计算机应用技术的发展。《计算机工业应用技术丛书》就是为以上目的编写的。

《计算机工业应用技术丛书》一套共八册，300多万字，涉及了当今计算机应用技术的主要领域。其中，《计算机辅助设计与工程分析》和《计算机辅助制造》论述了CAD/CAM的主要技术方法并辅以大量的设计制造实例和经验；《工业企业决策支持系统》、《管理信息系统解决方案》和《数据库与工程应用》从不同的角度论述了信息处理技术在企业管理和办公自动化等领域的应用方法、设计技术和如何开发一个以数据库为中心的信息管理系统技术，介绍了多种理论和实用技术；《计算机通信与工业控制》则从企业自动化生产的角度讨论了计算机通信与控制技术的结合并通过先进的背景技术和丰富实例给予说明；《数字信号处理及其MATLAB实现》和《图像处理实用技术》则从另外的角度讨论了计算机信息处理技术的发展和变化，用全新的理论和方法研究和处理信息，使信息的表现更丰富多彩、更实用。

《计算机工业应用技术丛书》参考了国际上相关领域的专著和资料，也融会了作者们长期以来的研究成果和心得。对于从事计算机应用工作和关心计算机技术发展的读者，从这套书中可以得到很多启迪和对一些重要问题的解答。它的出版，对推动企事业单位信息技术的发展和应用会产生积极的影响。

《计算机工业应用技术丛书》立足于应用。在内容组织和编排上从理论到实践、由浅入深、图文并茂、通俗易懂。本套书中阐述的解决方案和开发工具是目前先进的和流行的。对于计算机应用技术人员以及从事计算机应用工作的其他专业的科技人员，它都是一套很有益的参考书。

中国科学院院士



2001年6月于北京

## 前 言

从 20 世纪 50 年代初美国出现了第一台数控机床开始，制造技术的发展日新月异，特别是近 20 多年来，随着计算机技术、信息技术和微电子技术等高新技术的发展，使制造业发生了革命性的变化。数控技术在现代企业的大量应用和 CAD/CAM 技术及各种先进制造技术和制造理念的引进，使制造技术正朝着数字化的方向迈进，出现了以信息驱动的现代制造技术，其核心就是计算机辅助制造及计算机在各种先进制造技术和先进加工和成型方法中的应用。

计算机辅助制造的含义有广义和狭义之分：从广义上讲，计算机辅助制造是指利用计算机辅助完成制造过程的全部工作环节，即从原材料到产品的全部制造过程，包括直接制造过程和间接制造过程。内容涉及计算机辅助制造的环境，辅助设计和辅助制造的衔接，计算机辅助零件信息分类和编码的成组技术（GT），计算机辅助工艺设计和工艺规划（CAPP），计算机数控技术（CNC），计算机辅助工装设计，计算机辅助质量管理和质量控制，计算机辅助数控编程，计算机加工过程仿真，数控加工工艺，计算机辅助加工过程监控等。从狭义上讲，计算机辅助制造就是计算机辅助机械加工，也就是数控加工，其核心是数控编程和数控加工工艺的设计。

本书作为工程技术人员的科技读书，在编写过程中考虑既照顾知识的系统性、全面性和先进性，又考虑工程的实际应用，因此在编写的定位上没有单纯地采用广义或者狭义的定义方法取舍内容，在知识面上采用广义定义的内容，使读者对计算机辅助制造技术有一个全面的认识，而在其核心内容即狭义定义的内容上花费较大的篇幅，使读者能够真正地掌握计算机辅助制造在工作实际中的应用，提高他们实际的工作能力和拓宽知识面。也就是对数控技术、数控自动编程技术和数控程序仿真、数控加工工艺这些章节进行深入的讲解，结合具体的数控自动编程软件（MasterCAM 8.0）和大量实际应用的例子，给读者比较具体鲜活的知识。因此，本书除供工程技术人员使用外，也可以作为高等院校本科和研究生的参考教科书。

本书由罗学科主编。张向慧编写了第 4 章的内容，谢富春编写了第 9 章中的全部实例，其他内容由罗学科编写。在编写过程中参阅了近几年来出版的大量计算机辅助制造和数控技术方面的书籍和论文，也从互联网上下载了不少最新科研成果和应用实例，在此向所参考文献的各位作者表示感谢。北方工业大学机电中心的各位老师在本书编写的过程中给予了很大的帮助，特别是赵玉侠硕士帮助作者绘制了大量插图，北方工业大学机械设计制造及其自动化学科的学术带头人刘继英教授在百忙之中审阅了本书的全部内容，并提出了修改意见，在此一并致谢。

由于编者水平有限，计算机辅助制造技术发展迅速，所以本书还有许多有待改进之处，望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编著者  
2001 年 6 月

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 计算机辅助制造 (CAM) 技术的基本概念 .....	1
1.1.1 CAD/CAM 技术的发展概况及在制造业中的历史地位 .....	1
1.1.2 计算机辅助制造和制造系统的概念 .....	3
1.2 计算机辅助制造的应用范畴 .....	5
1.2.1 计算机辅助制造的直接应用 .....	5
1.2.2 计算机辅助制造的间接应用 .....	5
1.3 计算机辅助制造的环境 .....	5
1.3.1 计算机硬件环境 .....	6
1.3.2 计算机软件环境 .....	7
1.3.3 数据库系统环境 .....	10
1.3.4 计算机网络与通信环境 .....	12
1.4 CAD/CAM 软件系统的选择原则和常用软件介绍 .....	18
1.4.1 CAD/CAM 软件的选择原则 .....	18
1.4.2 常用 CAD/CAM 软件的介绍 .....	19
<b>第 2 章 计算机辅助生产管理系统</b> .....	22
2.1 概述 .....	22
2.1.1 工业生产的内容 .....	22
2.1.2 制造业的生产流程 .....	23
2.1.3 在企业中应用计算机管理的意义和条件 .....	24
2.2 计算机辅助生产管理系统的构成、信息类型及数学模型 .....	25
2.2.1 计算机辅助生产管理系统的构成 .....	25
2.2.2 生产管理系统中的信息种类及其数学模型 .....	26
2.3 MRP 系统简介 .....	29
2.3.1 MRP 的简介 .....	29
2.3.2 MRP 的技术原理和计算方法 .....	30
2.3.3 MRP II 的逻辑结构 .....	32
2.3.4 MRP II 的物理结构 .....	33
2.4 某企业实施 MRP II 项目的实例 .....	34
2.4.1 项目的实施 .....	34
2.4.2 存在问题 .....	35
2.4.3 后续的完善工作 .....	36
2.4.4 MRP II 项目效益分析 .....	36
2.5 网络技术在计算机辅助生产管理系统中的应用 .....	36
2.5.1 Intranet 网络结构 .....	37

2.5.2	基于 Intranet 的计算机生产管理系统 .....	37
2.6	产品数据管理 (Production Data Management) 系统简介 .....	39
2.6.1	PDM 的功能 .....	40
2.6.2	PDM 的实施 .....	42
2.6.3	PDM 系统的发展方向 .....	42
<b>第 3 章</b>	<b>成组技术及其零件分类编码 .....</b>	<b>44</b>
3.1	成组技术的基本原理及其所面临的制造环境 .....	44
3.2	零件分类编码系统的结构类型 .....	46
3.3	零件分类编码实例 .....	46
3.3.1	Vuoso 编码系统 .....	47
3.3.2	Opitz 编码系统 .....	49
3.3.3	KK-3 系统 .....	50
3.3.4	JLBM-1 系统 .....	51
3.4	柔性编码系统和计算机自动柔性编码系统 .....	54
3.4.1	柔性编码系统 .....	54
3.4.2	计算机自动柔性编码系统 .....	55
3.5	CAPP 系统对零件信息描述技术的要求 .....	56
3.6	零件信息描述基本方法简介 .....	57
3.6.1	零件分类编码描述法 .....	57
3.6.2	形面要素描述法 .....	57
3.6.3	图论描述法 .....	57
3.6.4	面向零件特征要素法 .....	58
3.6.5	拓扑描述法 .....	58
3.6.6	知识表示描述法 .....	58
3.6.7	直接与 CAD 系统相连 .....	58
3.7	回转体零件图形输入方法 .....	59
3.7.1	基于形面要素法的零件信息描述与输入方法 .....	59
3.7.2	基于信息树的零件描述与输入方法 .....	59
3.8	非回转体零件图形输入系统 .....	60
3.8.1	基于特征的箱体零件信息输入 .....	61
3.8.2	面向对象的智能零件信息输入系统 .....	62
3.9	集成制造环境下 CAPP 信息输入及接口技术 .....	63
3.9.1	集成制造环境下 CAPP 的特点 .....	63
3.9.2	CAPP 的集成与接口技术 .....	64
<b>第 4 章</b>	<b>计算机辅助工艺设计 .....</b>	<b>65</b>
4.1	CAPP 技术概述 .....	65
4.1.1	CAPP 技术的提出 .....	65
4.1.2	计算机辅助工艺设计的含义和意义 .....	66
4.1.3	企业工艺设计对 CAPP 系统提出的要求 .....	67
4.1.4	计算机辅助工艺设计的步骤 .....	68



4.1.5	CAPP 技术发展简史及分类 .....	70
4.2	计算机辅助工艺设计系统的结构 .....	71
4.2.1	计算机辅助工艺设计所涉及的范围 .....	71
4.2.2	计算机辅助工艺设计系统的体系结构 .....	71
4.2.3	计算机辅助工艺设计的功能模块 .....	73
4.3	CAPP 系统中的工序设计 .....	75
4.3.1	加工余量与毛坯的确定 .....	75
4.3.2	工序尺寸的确定 .....	76
4.3.3	工序图的绘制 .....	77
4.3.4	切削用量的确定 .....	78
4.3.5	加工过程优化 .....	78
4.3.6	工时定额的确定 .....	79
4.4	工艺数据库与知识库 .....	80
4.4.1	工艺数据与知识的种类和特点 .....	80
4.4.2	工艺数据与知识的获取与表达 .....	81
4.4.3	工艺数据库与知识库的设计 .....	82
4.5	检索式 CAPP 系统 .....	84
4.5.1	检索式工艺过程设计的工作过程 .....	84
4.5.2	标准工艺的关键字启发式搜索法 .....	85
4.5.3	检索式 CAPP 系统的特点 .....	86
4.6	派生式 CAPP 系统 .....	86
4.6.1	派生式工艺过程设计原理 .....	86
4.6.2	典型零件的设计 .....	87
4.6.3	派生式 CAPP 系统的特点 .....	88
4.7	创成式 CAPP 系统 .....	88
4.7.1	创成式 CAPP 系统概述 .....	88
4.7.2	创成式 CAPP 系统设计的一般过程 .....	89
4.7.3	一般创成式 CAPP 系统的工艺决策和体系结构 .....	90
4.7.4	基于专家系统的工艺决策方法 .....	91
4.8	集成环境下面向产品的 CAPP 系统介绍 .....	94
4.8.1	集成环境下面向产品的 CAPP 系统的内容 .....	94
4.8.2	面向产品的 CAPP 方法论 .....	95
4.8.3	基于面向产品方法的 CAPP 信息建模 .....	96
4.8.4	面向产品的 CAPP 集成化 .....	97
4.8.5	基于交互式的 CAPP 智能化 .....	98
4.9	实例: 集成化 CAPP 系统 HZ-RCAP 介绍 .....	99
4.9.1	HZ-RCAP 的组成 .....	99
4.9.2	HZ-RCAP 的功能 .....	99
4.9.3	HZ-RCAP 的总体结构与基本工作过程 .....	101
4.9.4	HZ-RCAP 的工艺决策策略 .....	101

4.9.5	HZ-RCAP 工艺数据与知识的管理 .....	102
4.9.6	HZ-RCAP 的工序图绘制 .....	104
4.9.7	HZ-RCAP 的工时计算 .....	104
<b>第 5 章</b>	<b>计算机辅助工装设计 .....</b>	<b>106</b>
5.1	概述 .....	106
5.1.1	工装设计自动化 .....	106
5.1.2	计算机辅助工装设计的范围 .....	106
5.2	计算机辅助机床夹具设计 .....	107
5.2.1	机床夹具计算机辅助设计的范畴 .....	107
5.2.2	计算机辅助夹具设计系统结构 .....	110
5.2.3	夹具设计应用软件的开发 .....	111
5.2.4	夹具元件图形编目与检索 .....	116
5.3	计算机辅助制造中的刀具系统 .....	116
5.3.1	刀具材料概述 .....	116
5.3.2	刀具系统概述 .....	120
5.3.3	刀具的计算机辅助设计和制造 .....	121
5.3.4	刀具的贮存、交换和运送 .....	125
5.3.5	刀具的使用和管理 .....	128
<b>第 6 章</b>	<b>计算机辅助质量控制系统与制造过程监控技术 .....</b>	<b>132</b>
6.1	计算机集成质量控制系统的概念 .....	132
6.1.1	质量控制计划 .....	133
6.1.2	质量控制的功能 .....	133
6.1.3	质量控制方法及测试程序 .....	135
6.1.4	计算机化测试系统的体系结构 .....	136
6.1.5	计算机质量控制系统的设备配置 .....	137
6.2	计算机辅助质量检测技术 .....	138
6.2.1	检测方法分类 .....	138
6.2.2	检测方法 .....	138
6.3	坐标测量技术与坐标测量机 .....	140
6.3.1	概述 .....	140
6.3.2	坐标测量原理 .....	141
6.3.3	坐标测量机 .....	143
6.3.4	柔性制造系统中的检测工作站介绍 .....	146
6.4	现代机械制造系统的加工过程的监控技术 .....	147
6.4.1	加工过程监控的必要性 .....	148
6.4.2	加工过程监控系统的一般结构 .....	148
6.4.3	刀具状态检测技术介绍 .....	149
6.4.4	刀具破损监控的一个实例——钛合金振动攻丝的丝锥破损监控 .....	153
<b>第 7 章</b>	<b>数控技术与数控机床 .....</b>	<b>159</b>
7.1	数控机床的产生与发展 .....	159

7.1.1	数控机床的产生 .....	159
7.1.2	数控机床发展的几个阶段 .....	159
7.1.3	我国数控技术的发展历程及面临的机遇和挑战 .....	160
7.1.4	数控技术的发展方向 .....	162
7.2	数控机床的加工特点 .....	164
7.2.1	采用数控机床加工的优势 .....	164
7.2.2	数控机床的适用范围 .....	164
7.3	数控机床的主要组成部分 .....	165
7.4	数控机床的分类 .....	167
7.4.1	按机床运动的控制轨迹进行分类 .....	167
7.4.2	按伺服控制的方式进行分类 .....	169
7.4.3	按数控系统的功能水平分类 .....	171
7.4.4	按加工工艺及机床用途的类型分类 .....	171
7.5	数控常用术语 .....	172
7.6	快速成型技术简介 .....	177
7.6.1	快速成型技术产生的背景 .....	177
7.6.2	快速成型在产品设计和制造中的作用 .....	178
7.6.3	快速成型的基本原理 .....	178
7.6.4	快速成型的 CAD 模型处理 .....	179
7.6.5	快速成型技术的主要方法 .....	180
7.6.6	快速成型设备供应商简介 .....	182
7.7	虚轴数控机床简介 .....	182
7.7.1	虚轴机床的发展及现状 .....	182
7.7.2	虚轴机床的基本原理 .....	185
7.7.3	虚轴机床的性能特点 .....	185
7.7.4	轴机床的关键技术 .....	186
7.7.5	轴机床研制的技术对策及研制和生产可能的趋势 .....	187
<b>第 8 章</b>	<b>数控编程与数控加工工艺 .....</b>	<b>189</b>
8.1	数控编程的基础知识 .....	189
8.1.1	数控编程的主要内容与步骤 .....	189
8.1.2	数控编程的种类 .....	190
8.1.3	数控编程中的有关规则及代码 .....	190
8.1.4	程序的结构与格式 .....	190
8.1.5	机床坐标系与运动方向 .....	192
8.1.6	数控系统的准备功能和辅助功能 .....	194
8.2	数控车床的加工工艺与编程方法 .....	197
8.2.1	数控车床的加工工艺 .....	197
8.2.2	数控车床的编程方法 .....	200
8.2.3	编程实例 .....	207
8.3	数控铣床的加工工艺与编程方法 .....	209

8.3.1	数控铣床的加工工艺 .....	209
8.3.2	数控铣床编程基础 .....	214
8.3.3	数控铣床常用功能的编程方法 .....	215
8.3.4	数控铣床编程实例 .....	223
8.4	加工中心的加工工艺与编程方法 .....	225
8.4.1	加工中心的加工工艺 .....	225
8.4.2	加工中心的程序编程 .....	229
8.4.3	编程实例 .....	232
8.5	数控线切割机床的加工工艺与编程 .....	237
8.5.1	数控线切割机床的加工工艺 .....	237
8.5.2	数控线切割程序的编制 .....	241
8.5.3	编程实例 .....	243
<b>第9章</b>	<b>数控自动编程与加工仿真 .....</b>	<b>244</b>
9.1	数控自动编程技术概述 .....	244
9.1.1	数控自动编程技术的两种方式介绍 .....	244
9.1.2	自动编程的发展现状 .....	244
9.2	图形交互式自动编程的特点和基本步骤 .....	245
9.2.1	图形交互式自动编程的特点 .....	245
9.2.2	图形交互式自动编程的基本步骤 .....	246
9.3	加工仿真 .....	247
9.3.1	加工仿真的含义 .....	247
9.3.2	加工仿真系统的体系结构 .....	248
9.3.3	加工过程仿真的干涉碰撞检验 .....	249
9.3.4	加工仿真的形式 .....	250
9.4	Master CAM 8.0 .....	250
9.4.1	概述 .....	250
9.4.2	Master CAM 菜单功能介绍 .....	252
9.4.3	Master CAM 的 CAD 几何造型 .....	259
9.4.4	Master CAM 的 CAM 刀具轨迹生成与后置处理 .....	264
9.4.5	Master CAM 应用实例 .....	266
<b>第10章</b>	<b>先进制造生产和管理模式简介 .....</b>	<b>275</b>
10.1	计算机集成制造系统 .....	275
10.1.1	计算机集成制造系统的基本概念和内涵 .....	275
10.1.2	CIMS 的构成和结构体系 .....	276
10.1.3	CIMS 的关键技术 .....	278
10.2	敏捷制造 AM (Agile Manufacturing) .....	279
10.2.1	AM 产生的背景和起源 .....	279
10.2.2	AM 的内涵及概念 .....	279
10.2.3	敏捷制造 AM 的基本特点 .....	280
10.2.4	AM 企业的主要特征、战略体系、要素和使能子系统 .....	281

10.2.5	AM 技术的实施 .....	283
10.3	精益生产 LP (Lean Production) .....	283
10.3.1	LP 的提出及发展背景 .....	283
10.3.2	LP 的内涵及体系 .....	284
10.4	并行工程 CE (Concurrent Engineering) .....	286
10.4.1	CE 的提出及特性 .....	286
10.4.2	CE 的理论基础与运行机理 .....	288
10.4.3	CE 的体系结构及关键技术 .....	289
10.5	智能制造系统 IMS (Intelligent Manufacturing System) .....	291
10.5.1	IMS 的提出 .....	291
10.5.2	IMS 的定义及特征 .....	291
10.5.3	IMS 的支撑技术及研究热点 .....	292
10.6	绿色制造 GM (Green Manufacturing) .....	293
10.6.1	GM 的提出及可持续发展制造战略 .....	293
10.6.2	绿色产品 .....	294
10.6.3	GM 的定义及内涵 .....	294
10.6.4	可持续性发展战略的实施 .....	295

# 第 1 章 概 述

## 1.1 计算机辅助制造 (CAM) 技术的基本概念

由于计算机辅助设计和辅助制造 (CAD/CAM) 技术的发展是相辅相成的, 有时候是密不可分的, 在介绍辅助制造的同时, 也涉及了计算机辅助设计和其他一些新的技术概念。

### 1.1.1 CAD/CAM 技术的发展概况及在制造业中的历史地位

CAD/CAM 技术是伴随着计算机技术的产生和发展而产生并不断发展的, 这门技术从产生到现在, 已经历了半个世纪, 从形成、发展、提高和目前的高度集成, 已形成了比较完整的科学技术体系, 并在当今的高新技术领域占有很重要的位置。

自从 1946 年出现第一台计算机开始, 人们就不断的试图将计算机技术引入到传统的机械设计和制造领域。特别是 1951 年美国 PARSONS 公司和麻省理工学院 (MIT) 研制成了数控三坐标铣床, 实现了利用不同数控程序对不同零件的加工, 首次出现了现代柔性自动化制造的原形。随后, 为了适应数控铣床加工各种复杂形状零件的需要, 麻省理工学院又开始研制数控自动编程系统, 于 20 世纪 50 年代末研制成功了批处理语言系统的数控自动编程系统 APT (Automatically Programming Tool), 该系统用专用语言描述加工零件的几何形状及进刀和走刀方法, 还有大量的辅助语句用于描述加工过程的各种工艺参数, 如进给率, 加工余量等, 这种用语言描述零件几何形状及加工过程的程序称为“零件源程序”, 这种源程序经过批处理运行后可以输出刀位点数据, 再经过后置处理, 生成可执行的控制代码。这种系统是最初的计算机辅助编程系统, 它避免了手工处理大量复杂计算的工作, 开辟了计算机在机械制造领域广阔的应用前景。在此基础上, 有人提出能不能不通过 APT 系统对走刀轨迹的描述而直接描述零件本身的问题, 由此就产生了 CAD 的概念。

20 世纪 60 年代初, 麻省理工学院的研究生 I.E.Sutherland 发表了《人机对话图形通信系统》的论文, 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, 同时可以在显示器的屏幕上显示图形。在这篇论文中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思想, 为 CAD 技术提供了理论基础。随后相继出现了商品化的 CAD 设备和软件系统, 例如, 美国的 IBM 公司开发了以大型机为基础的 CAD/CAM 系统, 该系统具有绘图、数控编程和强度分析的功能; 通用汽车公司研制的 DAC-1 系统, 用以实现各个阶段的汽车设计; 还有洛克希飞机公司的 CADAM 系统等。这一阶段, 在制造领域也出现了许多技术上的进步, 1962 年在数控机床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 (Direct Numerical Control) 系统。

20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期是 CAD/CAM 技术走向成熟的阶段, 随着计算机硬件的发展, 以小型机、超小型机为主的 CAD/CAM 软件进入市场。与此同时适应设计和制造的需要, 三维几何处理软件也发展了起来, 出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统, 并在 60 年代末和 70 年代初出现了柔性制造系统 FMS。

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降低, 计算机的外设也迅猛发展并成为系列产品, 这为推动 CAD/CAM 技术向高水平发展提供了硬件保证。同时, 软件技术、数据库技术、有限元分析技术、优化技术、计算机图形学技术等相关技术也飞速发展, 促进了 CAD/CAM 技术的推广和应用。与此同时, 还出现了与计算机辅助制造技术相关的其他技术, 如计算机辅助零件分类和编码技术, 计算机辅助工艺规程设计 (CAPP), 计算机辅助工装设计, 计算机辅助质量控制与检测 (CAQ) 等。在上述单项技术发展的同时, 从 20 世纪 80 年代起, 人们开始致力于计算机集成制造系统 (CIMS) 的研究, 它是一种高效益、高柔性的智能化制造系统。

从 20 世纪 90 年代起, CAD/CAM 技术已不再停留在过去单一模式, 单一功能, 单一领域的水平, 而向标准化、集成化、智能化的方向发展。为了实现系统的集成, 实现资源的共享和产品生产与组织管理的高度自动化, 提高产品的竞争力, 就需要在企业和企业集团内的 CAD/CAM 系统之间和各个子系统之间进行统一的数据交换。在这种情况下, 一些发达国家和国际标准化组织都进行了数据交换接口方面的开发工作, 并指定了相应的标准。在这个阶段也出现了面向对象的技术, 并行工程的思想, 人工智能技术及产品数据管理 (PDM) 等新技术, 这些技术都对 CAD/CAM 技术的发展和功能延伸起到了推动作用。

从目前 CAD/CAM 技术的应用和发展看, 这一技术在 20 世纪的工业发展中占有很重要的地位。1989 年美国评出近 25 年间当代十项最杰出的工程技术成就, 其中第 4 项是 CAD / CAM。1991 年 3 月 20 日, 海湾战争结束后的第三个星期美国政府发表了跨世纪的国家关键技术发展战略, 列举了 6 大技术领域中的 22 项关键项目, 认为这些项目对于美国的长期国家安全和经济繁荣至关重要。而 CAD/CAM 技术与其中的两大领域 11 个项目紧密相关, 这就是制造与信息、通信。制造技术为工业界生产一系列创新的、成本上有竞争能力和高质量的产品投入市场打下基础。而信息和通信技术则以惊人的速度不断发展, 改变着社会的通信、教育和制造方法。制造技术的关键项目有柔性计算机集成制造、智能加工设备、微米级和毫米级制造、系统管理技术; 信息和通信技术包括软件、微电子学和光电子学、高性能计算和联网、高清晰度成像显示、传感器和信号处理、数据存储器 and 外围设备、计算机仿真和建模。

CAD / CAM 技术为什么这样重要?因为它推动了几乎一切领域的设计革命, CAD 技术的发展和水平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。CAD / CAM 技术从根本上改变了过去的手工绘图、发图、凭图纸组织整个生产过程的技术管理方式, 将它变为在图形工作站上交互设计、用数据文件发送产品定义、在统一的数字化产品模型下进行产品的设计打样、分析计算、工艺计划、工艺装备设计、数控加工、质量控制、编印产品维护手册、组织备件订货供应等。所谓建立一个产品的 CAD 系统, 首先应该理解为建立一种新的设计和生产技术管理体制。有了这样的新体制, 就可以方便地实现以下作业。

① 按并行工程的方式组织作业。产品的各个部件设计组、系统组、专业分析组、试验组、生产准备组都可以及时从屏幕上看到产品的总体布局, 及早进行各种专业协调。

② 在产品阶段用三维几何模型模拟零件、部件、设备的装配和安装, 及早发现结构布局 and 系统安装的空间干涉。

③ 组织迅速有效的发图更改。例如, 德国 MBB 飞机公司与英国、意大利合作生产“狂风” (Tornado) 战斗机, 1983 年在型号管理数据库中存储了 7500 项用户提出的各种设计更改要求, 18000 个工厂内部的更改单, 8000 个三国协作的各种更改通知, 95000 个图纸更改单, 16000 个生产更改单。日本从波音飞机公司转包生产波音 777 客机, 在名古屋建立数据中心,

与波音的西雅图总部联网，将波音 777 的图纸和生产要求转送到富士、川崎、三菱三家公司。在我国，西飞、成飞、沈飞与波音公司和麦道公司的合作中也采用了类似的方法。

④ 进行产品的性能仿真。核武器的物理设计要对比上千种模型。一次核反应在微秒级的时间内完成，温度达到几千万度，压力超过几千万大气压，只有依靠计算机数值模拟，才能从上千种设计方案中优选出一种进行物理试验。导弹设计的发射仿真同样可以大大减少实地打靶数量。

⑤ 提前进行产品的外观造型设计。这点对轻工业产品尤其重要，及早让订货单位从屏幕上评审产品的色彩、装潢和包装。

⑥ 有利于提前设计和定制生产过程中使用的各种工装和辅助工具，并进行制造工艺性检查。

### 1.1.2 计算机辅助制造和制造系统的概念

首先让我们回顾以下传统制造领域所涉及的各种问题。在传统的制造过程中，当零件设计完成后，设计者将设计蓝图交给制造部门的工艺工程师，然后工艺工程师根据设计蓝图规划加工过程，制定相应的工艺路线，在制造领域内往往都是孤立的看待问题，对于制造中所用的机床、刀具和制造过程，仅限于分别的、单独的加以研究。因此在很长的时期内，尽管在制造领域有许多的研究和开发取得了卓越的成就，然而在大幅度的提高小批量生产的生产率方面并没有发生重要的突破。直到 20 世纪 60 年代后期，人们才开始逐渐的认识到将制造的各个部分看成一个整体，以控制论和系统论的观点对制造领域的问题进行全面的分析和研究，从而对制造过程进行有效的控制，大幅度地提高了制造质量和制造效率。正是基于这种认识，人们在进行研究时才提出了制造系统的概念，并在对计算机辅助制造进行定义时拓展了它的外延。

再让我们看一下制造系统包含的内容。制造系统既然被人们认识到是一个系统，就必然有输入和输出。很显然，所谓制造系统的输入就是所选定的材料或毛坯；而其输出则是加工后的零件、部件或产品等。而从整个生产系统而言，制造系统是生产系统的子系统。如图 1-1 所示。

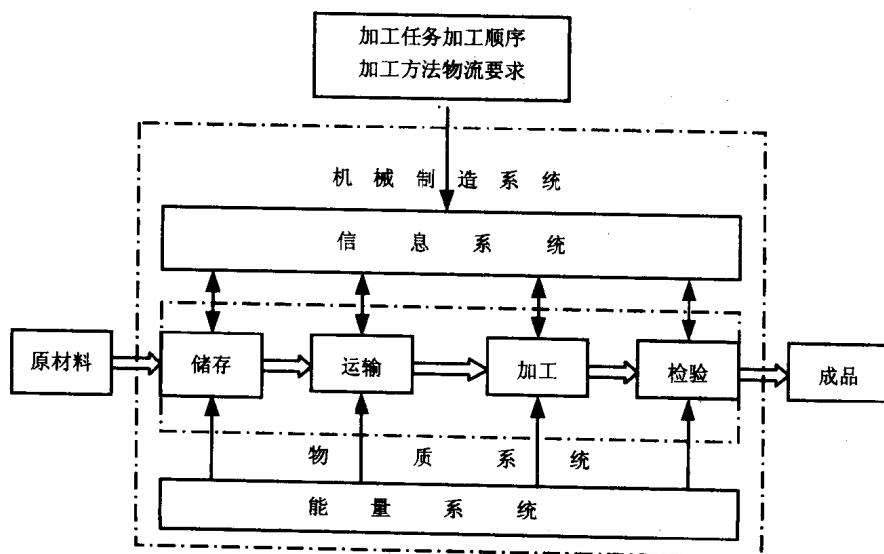


图 1-1 制造系统的基本概念



制造系统本身又可以划分为 3 个子系统：物质子系统、信息子系统和能量子系统。在这 3 个子系统中，分别存在物质流、信息流和能量流。如图 1-2 所示为制造系统的组成。

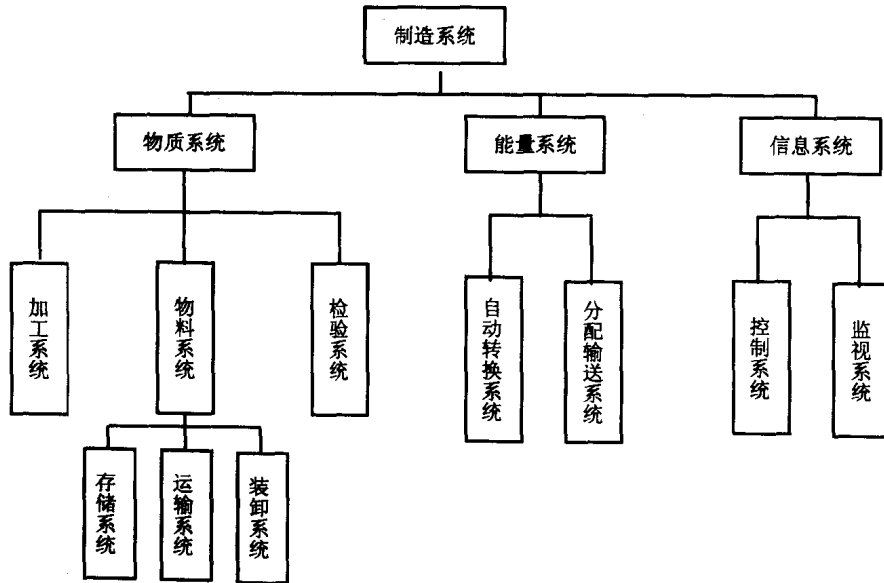


图 1-2 制造系统的组成

在物质子系统中，把毛坯、刀具、卡具、量具及其他辅助物料作为原材料输入，在经过存储、运输、加工、检验等环节后最后以成品输出。这个子系统的流动是实在物质的流动，因此称之为物质流。而负责物料存储、运输、加工、检验的各元件可总称为物质系统。

在信息子系统中，加工任务、加工顺序、加工方法及物质流所要确定的作业计划、调度和管理指令都属于信息范畴，称之为信息流。而负责这些信息存储、处理和交换的有关软硬件资源称为信息系统。

在能量子系统中，制造过程的能量转换、消耗及其流程称为能量流。而负责能量传递、转换的有关元件称为能量系统。

在常规的制造系统中，物质子系统和能量子系统较普遍地存在，而信息子系统则往往缺乏。但在现代制造系统中，从 CAD/CAM 技术到相关的 CAPP 技术，PDM（产品数据管理）技术到具体的数控加工等，信息系统始终存在，并且起着决定性的作用，因此也有把现代制造技术称为信息驱动的制造技术，这也说明了在现代制造系统中信息子系统的重要性。

在理解了上述有关制造系统的内容后，再来看计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing）的定义。计算机辅助制造是指利用计算机来进行产品制造的通称。它的定义有广义和狭义之分。广义的 CAM 指利用计算机辅助完成从原材料到产品的全部制造过程，其中包括直接制造过程和间接制造过程。内容涉及计算机辅助制造的环境，辅助设计和辅助制造的衔接，计算机辅助零件信息分类和编码的成组技术（GT），计算机辅助工艺设计和工艺规划（CAPP），计算机数控技术（CNC），计算机辅助工装设计，计算机辅助质量管理和质量控制，计算机辅助数控编程，计算机加工过程仿真，数控加工工艺，计算机辅助加工过程监控等。从狭义上讲，CAM 就是计算机辅助机械加工（Computer Aided Machining），更明确的讲也就是数控加工，它的输入信息是零件的工艺路线和工序的内容，输出信息是刀具加工时的运动轨迹和数控程序，其核心是数控编程和数控加工工艺的设计。计算机辅助制