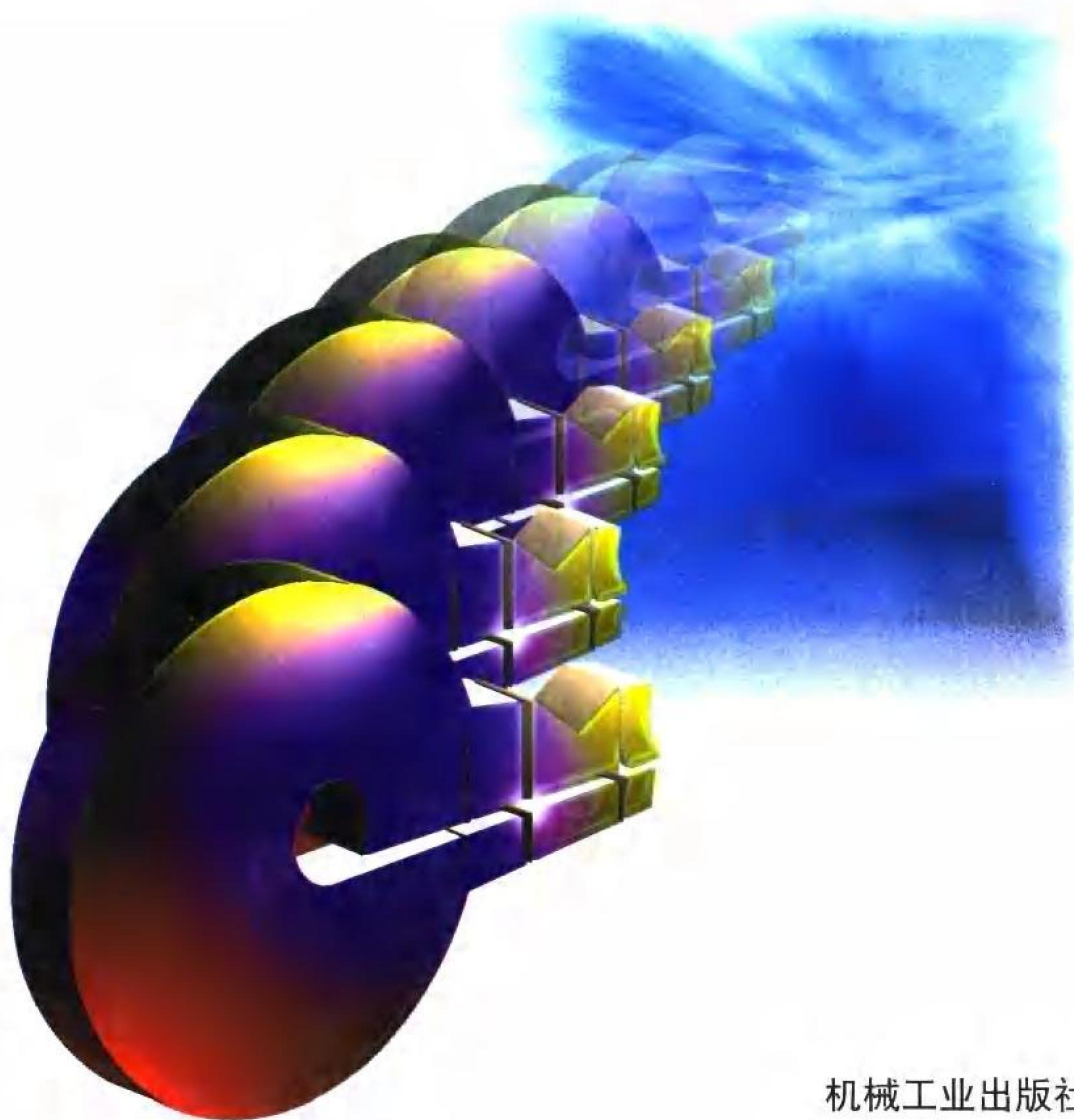




CIMS系列培训教材

CAD/CAPP/CAM 基本教程

戴 同 主编



机械工业出版社

CIMS 系列培训教材

CAD/CAPP/CAM 基本教程

戴 同 主 编

202/02



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

内 容 简 介

本书是 CIMS 系列培训教材之一。书中系统地介绍了 CAD、CAPP、CAM 基本理论以及 CAD/CAPP/CAM 集成技术,并反映了 CAD/CAM 领域的新发展。

本书内容包括 CAD/CAPP/CAM 概论、CAD 系统软硬件及图形接口技术、CAD 的建模技术、成组技术、CAPP 技术、CAM 技术以及 CAD/CAPP/CAM 集成技术。本书内容深入浅出,注重实际,便于自学。

本书可作为广大工程设计人员继续教育用教材,也可供高等工科院校机械类师生以及从事 CAD/CAM 技术研究与应用的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAPP/CAM 基本教程/戴同主编. —北京:机械工业出版社,1996.12

CIMS 系列培训教材

ISBN 7-111-05543-8

I. C… I. 戴… II. ①计算机辅助设计—教材②机械制造工艺—计算机辅助设计—教材③计算机辅助制造—教材 IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 25724 号

出 版 人:马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:卢锦宝 版式设计:刘立卿 责任校对:刘桂真

封面设计:姚 毅 责任印制:赵永洪

林业大学出版社印刷厂印制·新华书店北京发行所发行

1997 年 3 月第 1 版·1997 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·12.75 印张·314 千字

0 001—5000 册

定价:22.00 元

编辑委员会

主任委员：吴澄

副主任委员：周济

委员：田连会 刘飞 祁国宁 孙家广
张申生 李芳芸 李伯虎 李美莺
姜勤俭 柴天佑 顾冠群 徐晓飞
崔德刚 曾庆宏 穆世诚 薛劲松
戴国忠

序

这一套《CIMS 系列培训教材》是参加国家高技术研究和发展计划（863 计划）的科技人员经过 10 年研究和应用实践之后奉献给广大读者的。

二十世纪世界的一个重大变革是形成了一个统一的全球市场，每一个国家都不可能离开这个全球市场求得自身的发展。统一的全球市场形成的直接后果是市场竞争更加激烈，表现为产品更新换代加快、质量更好、价格更便宜、产品的技术含量更高，并且围绕产品的服务也越做越好。这就要求企业（制造商）能尽快响应市场的变化，制造出性能价格比优良的、满足用户各种要求的产品，并提供良好的服务。对于技术含量高的产品，竞争更为激烈，因为技术含量高就有可能取得产品的市场独占性，从而获取高利润。

我们把市场对产品的压力归结为：时间 T （即开发新产品的时间或成熟产品的上市时间），质量 Q ，成本 C 和服务 S 。 T 、 Q 、 C 、 S 是制造业的一个永恒主题，企业不断完善 T 、 Q 、 C 、 S 是一个永无止境的过程，对各国企业都一样，但我国企业的压力大得多。

国家 863 计划的 CIMS 主题，以促进我国企业的信息化、现代化为宗旨；近 10 年来，以提高企业市场竞争力、提高企业效益为目标，以信息技术、现代管理技术改造国有企业、支持新兴企业为切入点，用高技术解决我国企业的难点和热点问题。

CIMS，即计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing Systems）是用信息技术（包括计算机技术、自动化技术、通信技术等）和现代管理技术，加强制造技术，改造传统制造业，支持新兴制造业，提高企业市场竞争能力的一种高技术。具体地说，以企业的产品为龙头，在产品的设计过程、管理决策过程、加工制造过程、产品的质量管理与控制过程等方方面面，采用各种计算机辅助技术和先进的科学管理方法，使企业优化运行，达到产品上市快、质量好、成本低、服务好，从而提高企业的效益和市场竞争能力。

立足国情，按照企业的需求开展对 CIMS 的研究和关键技术攻关，是应用技术研究 and 开发的一个重要指导思想。它也使我国的 CIMS 得到了长足的进展和国际同行的关注。

1994年,清华大学国家CIMS工程研究中心获得了美国SME(制造工程师学会)的CIMS“大学领先奖”,这标志着我国CIMS的研究水平进入国际先进行列。1995年,北京第一机床厂荣获SME的CIMS“工业领先奖”,这标志着我国一些试点企业的CIMS应用达到国际先进水平。“大学领先奖”和“工业领先奖”一般每年在世界范围内各评选一名。中国已经成为除美国外唯一获得此两项大奖的国家。

更加重要的是,CIMS的应用在我国取得了显著的经济效益和社会效益。成都飞机公司、沈阳鼓风机厂、北京第一机床厂、东风汽车集团模具厂、山西经纬纺机厂和杭州三联电子有限公司等不同的大、中、小企业是其中的代表。当前,CIMS的进一步试点推广应用已扩展到机械、电子、航空、航天、轻工、纺织、石油、化工、冶金、通信、煤炭等行业的60多家企业。CIMS在我国正面临着一个发展的好势头。

进一步的推广应用,并且能取得预期的效益,关键之一在于人才,在于培训。这一套教材正是为这目的而写的。我们希望它们能为我国制造业的发展,“圆我工业强国之梦”作出贡献。

由于参加编写的作者都是第一线的科技工作者,任务繁忙,时间不足,加上编写的经验不够以及学术上的不足,使这套CIMS教材难免有错误和不足。我们愿意和广大读者一起,使之精益求精。

国家863计划CIMS主题专家组组长

吴 澄

一九九六年十月

前 言

CAD/CAPP/CAM 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, 引入该技术进行产品概念设计、工程与结构分析、详细设计、工艺设计以及数控编程, 能大大提高产品的性能和质量, 创造显著的效益。而且, 在计算机网络与数据库系统的支持下, CAD/CAPP/CAM 系统与制造自动化系统、质量保证系统以及管理信息系统有机组成的计算机集成制造系统 (CIMS), 将使传统的生产经营模式发生深刻的变革。随着 CIMS 在我国的逐步实施, CAD/CAPP/CAM 已成为工程设计和制造技术人员必须掌握的知识。为配合 CIMS 的研究与应用工作的深入开展, 我们特编写本书以呈献给广大读者。

全书共分 7 章, 围绕 CAD/CAPP/CAM 技术的关键问题展开讨论。第 1 章介绍 CAD、CAPP、CAM 及其集成的基本概念和发展概况; 第 2 章介绍 CAD 系统的软硬件环境和图形接口技术; 第 3 章重点讨论 CAD 的建模技术; 第 4 章介绍成组技术的原理与应用; 第 5 章介绍 CAPP 技术, 并分析一个集成化 CAPP 系统; 第 6 章介绍 CAM 技术; 第 7 章讨论 CAD/CAPP/CAM 集成技术, 并介绍集成系统的实例。

本书由钟毅芳 (第 1 章、第 7 章 7.1.1~7.1.4)、吴明华 (第 2 章)、高三德、王启付 (第 3 章); 蔡力钢 (第 4、5 章); 张曰敏 (第 6 章 6.1~6.4)、牟欣 (第 6 章 6.5); 唐增宝 (第 7 章 7.1.5、7.2~7.5) 等同志编写, 由戴同统稿并任主编。周济教授审定了全稿。

由于编著者水平所限, 书中谬误遗漏之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

编者

1996 年 11 月

目 录

序

前言

第 1 章 概论	1
1.1 CAD、CAPP、CAM 技术概要	1
1.1.1 CAD 技术	1
1.1.2 CAPP 技术	1
1.1.3 CAM 技术	1
1.2 CAD/CAPP/CAM 集成的基本概念	2
1.2.1 产品生产过程和 CAD/CAPP/CAM 集成	2
1.2.2 CAD 与 CAPP 及 CAM 的集成	3
1.2.3 CAD/CAPP/CAM 集成在 CIMS 中的地位	3
1.3 CAD、CAPP、CAM 及其集成技术的发展概况	3
1.3.1 CAD 技术的发展及其在机械工业中的应用	3
1.3.2 CAPP 技术的产生、发展及其在机械工业中的应用	5
1.3.3 CAM 技术的发展及其在机械工业中的应用	6
1.3.4 CAD/CAPP/CAM 集成技术的发展概况	7
1.4 CAD/CAPP/CAM 集成技术相关术语	9
第 2 章 CAD 系统软硬件及图形接口技术	12
2.1 CAD 系统硬件	12
2.1.1 计算机系统	12
2.1.2 图形输入设备	13
2.1.3 图形显示设备	14
2.1.4 图形绘制设备	14
2.2 CAD 系统软件	14
2.2.1 系统软件	15
2.2.2 支撑软件	15
2.2.3 应用软件	16
2.3 交互技术与用户接口	17
2.3.1 用户接口常用形式	17
2.3.2 交互技术	17
2.4 一个用户接口管理系统 UIMS	18
2.4.1 UIMS 简介	18
2.4.2 命令的组织	21
2.4.3 菜单定义	22
2.4.4 绘图窗口管理	23
2.4.5 绘图输出	25
2.4.6 数据输入	27
2.4.7 对话框交互	30
2.4.8 其它功能	32
第 3 章 CAD 的建模技术	33
3.1 线框造型	34

3.2 自由曲线	35
3.2.1 自由曲线的生成与参数方程	35
3.2.2 Ferguson 曲线	35
3.2.3 Bezier 曲线	37
3.2.4 B 样条曲线	40
3.2.5 非均匀有理 B 样条 (NURBS) 曲线	44
3.3 曲面造型	45
3.3.1 概述	45
3.3.2 Coons 曲面	46
3.3.3 Beizer 曲面	47
3.3.4 B 样条曲面	47
3.3.5 NURBS 曲面	48
3.3.6 曲面的反算、拼接和互化	48
3.4 实体造型	49
3.4.1 布尔运算	49
3.4.2 边界表示法	51
3.4.3 构造实体几何	53
3.4.4 CSG 与 B-rep 混合造型方法	55
3.4.5 扫描表示法	56
3.5 CAD 建模技术的发展	57
3.5.1 特征造型	57
3.5.2 参数化造型	59
第 4 章 成组技术	64
4.1 成组技术的基本原理	64
4.2 零件分类编码系统	64
4.2.1 分类编码系统概述	64
4.2.2 OPITZ 分类编码系统	65
4.2.3 其它编码系统简介	68
4.3 零件分组方法	71
4.3.1 特征数据法	72
4.3.2 生产流程法	74
4.3.3 模糊聚类法	78
4.4 成组技术应用	78
4.4.1 成组工艺	78
4.4.2 成组生产单元的组织	79
4.4.3 成组技术在 CAD 中的应用	79
4.4.4 成组技术与 CIM 的关系	81
第 5 章 CAPP 技术	83
5.1 CAPP 概述	83
5.1.1 CAPP 的提出	83
5.1.2 CAPP 在 CAD/CAM 集成系统中的作用	84
5.1.3 CAPP 发展简史及分类	84
5.1.4 CAPP 系统的基本结构	85
5.2 CAPP 系统零件信息的描述与输入	86

5.2.1	图纸信息的描述与人机交互式输入	86
5.2.2	从 CAD 系统直接输入零件信息	87
5.2.3	图形扫描及识别技术的输入方式	88
5.2.4	CAPP 系统零件信息模型	89
5.3	派生式 CAPP 系统	89
5.3.1	基于 GT 的派生式 CAPP 系统	90
5.3.2	基于特征的派生式 CAPP 系统	93
5.4	创成式 CAPP 系统	98
5.4.1	创成式 CAPP 系统概述	98
5.4.2	创成式 CAPP 系统设计的一般过程	98
5.4.3	一般创成式 CAPP 系统的工艺决策	99
5.4.4	基于专家系统的工艺决策方法	103
5.5	CAPP 系统中的工序设计	107
5.5.1	加工余量与毛坯的确定	108
5.5.2	工序尺寸的确定	109
5.5.3	工序图的绘制	111
5.5.4	切削用量的确定	114
5.5.5	加工过程优化	114
5.5.6	工时定额的确定	114
5.6	工艺数据库与知识库	116
5.6.1	工艺数据与知识的种类和特点	116
5.6.2	工艺数据与知识的获取与表达	117
5.6.3	工艺数据与知识库的设计	119
5.6.4	构造工艺数据库与知识库的一般步骤	121
5.7	存在的问题和发展趋势	121
5.7.1	存在的问题	121
5.7.2	发展趋势	122
5.7.3	其它类型的 CAPP 系统简介	124
5.8	集成化 CAPP 系统 HZ—RCAP	124
5.8.1	HZ—RCAP 的组成	125
5.8.2	HZ—RCAP 的功能	125
5.8.3	HZ—RCAP 的总体结构与基本工作过程	126
5.8.4	HZ—RCAP 的工艺决策策略	127
5.8.5	HZ—RCAP 工艺数据与知识的管理	127
5.8.6	HZ—RCAP 的工序图绘制	128
5.8.7	HZ—RCAP 的工时计算	128
第 6 章	CAM 技术	131
6.1	概述	131
6.1.1	CAM 与数控编程	131
6.1.2	数控编程的内容与步骤	131
6.1.3	数控编程的标准与代码	134
6.1.4	数控编程的指令代码	138
6.1.5	数控加工程序的结构与格式	141
6.1.6	数控编程的方法及其发展	143

6.2 手工编程方法	144
6.2.1 数控车床的程序编制	144
6.2.2 数控铣床的程序编制	145
6.3 计算机数控自动编程方法	147
6.3.1 数控语言编程方法	148
6.3.2 数控图形编程方法	153
6.4 计算机数控自动编程系统的刀位算法	154
6.4.1 自由曲线的刀位点计算	154
6.4.2 平面型腔零件加工时刀位点算法	155
6.4.3 基于等距面精确裁剪的加工方法	156
6.5 数控加工仿真	157
6.5.1 车削仿真	158
6.5.2 铣削仿真	159
第7章 CAD/CAPP/CAM 集成技术	161
7.1 CIMS 环境下的 CAD/CAPP/CAM	161
7.1.1 CAD/CAPP/CAM 系统与 MIS 的关系	161
7.1.2 CAD/CAPP/CAM 系统与 MAS 的关系	161
7.1.3 CAD/CAPP/CAM 系统与 CAQ 的关系	162
7.1.4 CAD/CAPP/CAM 集成方式	162
7.1.5 关于 CAD/CAPP/CAM 集成的关键技术问题	163
7.2 特征建模技术	164
7.2.1 产品建模技术的发展概况	164
7.2.2 特征建模方法综述	165
7.2.3 特征概念与分类	165
7.2.4 特征联系	167
7.2.5 特征的表达方法	167
7.2.6 特征库的建立	168
7.2.7 零件信息模型	169
7.2.8 机械产品的装配模型	172
7.3 CAD/CAPP/CAM 集成数据管理	175
7.3.1 CAD/CAM 工程数据库的特点和功能要求	175
7.3.2 集成数据管理的参考模型	178
7.3.3 基于客户/服务器异构分布式数据库系统结构	179
7.4 产品数据交换标准	181
7.4.1 IGES 标准	181
7.4.2 STEP 标准	183
7.5 CAD/CAPP/CAM 集成系统示例	186
7.5.1 某纺机厂 CAD/CAPP/CAM 集成系统	186
7.5.2 Pro/Engineer 系统	190
参考文献	191

第 1 章 概 论

1.1 CAD、CAPP、CAM 技术概要

1.1.1 CAD 技术

CAD (计算机辅助设计, Computer Aided Design) 是指工程技术人员以计算机为工具, 用各自的专业知识, 对产品进行总体设计、绘图、分析和编写技术文档等设计活动的总称。一般认为 CAD 的功能可归纳为四大类: 建立几何模型、工程分析、动态模拟、自动绘图。因而, 一个完整的 CAD 系统, 应由科学计算、图形系统和工程数据库等组成。

科学计算包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等; 图形系统包括几何 (特征) 造型、自动绘图 (二维工程图、三维实体图等)、动态仿真等; 工程数据库对设计过程中需要使用和产生的数据、图形、文档等进行存贮和管理。

若在 CAD 中, 加入人工智能和专家系统技术, 可大大提高设计的自动化水平, 可对产品进行总体方案设计, 实现对产品设计的全过程提供支持。

1.1.2 CAPP 技术

CAPP (计算机辅助工艺设计, Computer Aided Process Planning) 是根据产品设计所给出的信息进行产品的加工方法和制造过程的设计。一般认为, CAPP 系统的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工序设计、工艺路线制定和工时定额计算等。其中, 工序设计又可包含装夹设备选择或设计、加工余量分配、切削用量选择以及机床、刀具和夹具的选择、必要的工序图生成等。

工艺设计是制造型企业技术部门的主要工作之一, 其质量之优劣及设计效率的高低, 对生产组织、产品质量、生产率、产品成本、生产周期等有着极大的影响。长期以来, 依靠工艺人员根据个人的经验以手工方式进行的工艺设计, 由于其固有的缺陷 (效率低、工艺方案因人而异、难以获得最佳的工艺方案等), 难以适应当今生产发展的需要。只有应用计算机辅助工艺设计 (CAPP), 才能迅速编制出完整、详尽、优化的工艺方案和各种工艺文件, 从而极大地提高工艺人员的工作效率, 缩短工艺准备时间, 加快新产品的投产。此外, 应用 CAPP 可以获得符合企业实际条件的优化的工艺方案、给出合理的工时定额和材料消耗。CAPP 还可以为企业管理提供必要的数据库。因此, CAPP 的研究和应用, 对改革我国工艺设计的现状、促进企业的发展, 提高企业的适应能力和竞争能力, 有着重要的作用。

1.1.3 CAM 技术

CAM (计算机辅助制造, Computer Aided Manufacturing) 目前尚无统一的定义, 一般而言, 是指计算机在产品制造方面有关应用的总称。CAM 有广义和狭义之分, 广义 CAM 一般是指利用计算机辅助从毛坯到产品制造过程中的直接和间接的活动。包括工艺准备 (计算机辅助工艺设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 自动编程、工时定额和材料定额编制等)、生产作业计划、物料作业计划的运行控制 (加工、装配、检测、输送、存贮等)、生产控制、质量控制等。狭义 CAM 通常仅指数控程序的编制, 可包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、

刀具轨迹仿真以及 NC 代码的生成等。

1.2 CAD/CAPP/CAM 集成的基本概念

1.2.1 产品生产过程和 CAD/CAPP/CAM 集成

产品从市场需求分析开始，经过设计过程和制造过程，使之从抽象的概念变成具体的最终产品（图 1-1）。这一过程具体包括产品设计、工艺过程设计、数控编程、加工、检测、装配等阶段。前三者称为工程设计阶段，后三者称为制造实施阶段。这里所指的 CAD/CAPP/CAM 集成，是指将计算机辅助产品设计（CAD）、计算机辅助工艺过程设计（CAPP）、计算机辅助数控编程（CAM 一词，狭义地指计算机辅助数控编程）以及零件加工等有关信息实现自动传递和转换（图 1-2）的技术。

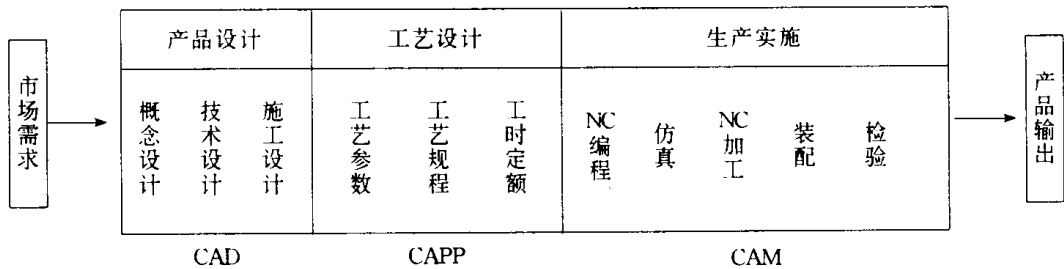


图 1-1 产品生产过程

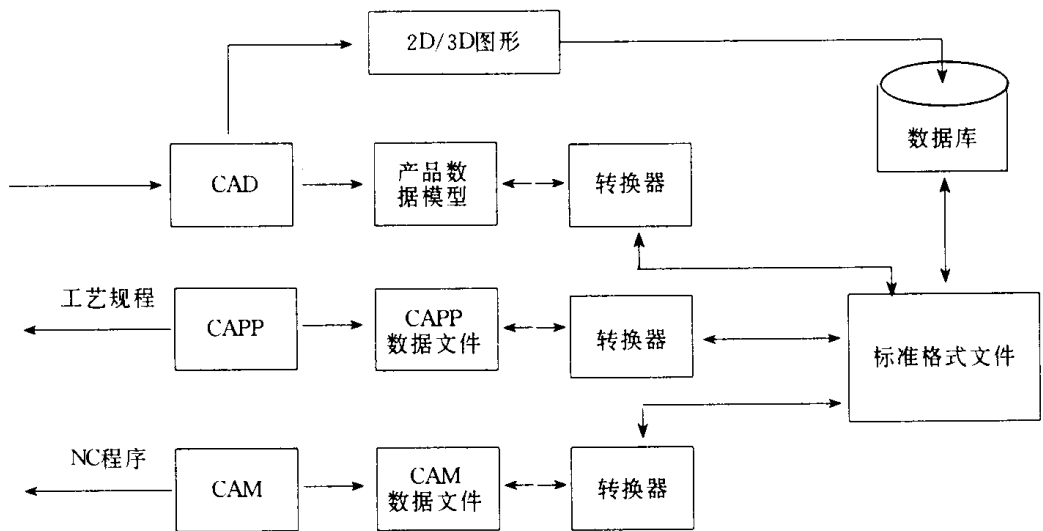


图 1-2 CAD/CAPP/CAM 系统间的信息集成

CAD/CAM 技术，自 50 年代末开始，分别独立地发展，至 70 年代末，在国际上，已出现许多性能优良的、商品化的 CAD 或 CAM 系统。CAPP 技术，自 70 年代开始发展以来，至今，国内、外均已推出了一些独立的、商品化的 CAPP 系统。

这些独立的系统，分别在产品设计自动化、工艺过程设计自动化和数控编程自动化方面起到了重要的作用。但是，采用这些各自独立的系统，不能实现系统之间信息的自动传递和交换。用 CAD 系统进行产品设计的结果，只能输出图纸和有关的技术文档，这些信息，不能直接为 CAPP 系统所接受。进行工艺过程设计时，还需由人工将这些图样、文档等纸面上的文件转换成 CAPP 系统所需的输入数据，并通过人机交互的方式输入给 CAPP 系统进行处理，处理的结果，输出零件加工的工艺规程。利用独立的 CAM 系统进行计算机辅助数控编程

时,同样需要用人工将CAD或CAPP系统输出的纸面文件转换成CAM系统所需的输入文件和数据、然后再输入CAM系统。

由于各独立系统所产生的信息,需经人工转换,这不但影响工程设计效率的进一步提高,而且,在人工转换过程中,难免发生错误,这将给生产带来极大的危害。为此,人们自70年代起,就开始研究CAD、CAPP和CAM之间的数据和信息的自动化传递与转换问题,即CAD/CAPP/CAM集成技术,目前,这一技术,在国内外均已取得了很大的进展,达到了实用的水平。

1.2.2 CAD与CAPP及CAM的集成

CAD过程与CAPP、CAM过程的集成系统,其基本工作步骤如下:(1)CAD过程设计产品结构,绘制产品图形,并为CAPP、CAM过程准备设计数据;(2)生成标准化的数据结构(如生成STEP文件),并经过接口进行数据转换;(3)CAPP系统直接读入CAD系统生成并经过转换的数据,生成零件加工工艺规程;(4)CAM系统读入CAPP系统生成并经过转换的数据,生成加工零件的数控程序。

CAD/CAPP/CAM集成的目的在于:(1)实现完整的产品定义数据的数字交换;(2)便于计算机辅助技术有关数据的准备;(3)减少人工干预;(4)实现复杂技术数据的快速交换;(5)避免重复性的工作(如重复的产品描述等);(6)减少人为错误;(7)便于计算机支持技术数据的传送和调度;(8)减少对过程的测试和控制。

1.CAD/CAPP集成 零件加工工艺过程的设计是技术准备过程的主要任务之一,这一过程是建立在产品设计结果、工艺专家经验和工厂制造能力的基础上的,主要包括原材料选定、工艺顺序和加工方法的确定、机床的选定和加工时间的确定等。

为了支持零件工艺规程的生成,CAD系统应具有如下的功能:(1)通过特征造型、实现产品的结构设计,并生成以计算机内部模型表达的产品定义数据(几何数据、精度数据、管理数据等);(2)将产品定义数据,按一定的标准(如STEP标准)转换成中性文件。CAPP系统应具备如下功能:(1)读入中性文件,并将其转换为本系统所需的形式;(2)生成零件的工艺规程;(3)生成数控编程所需的数据,并按一定的标准转换成相应的中性文件。

2.CAD/CAPP/CAM集成 对于集成化的CAD/CAPP/CAM系统,CAD、CAPP支持数控编程的工作过程如下:(1)准备好数控编程过程所需的数据,并按一定的标准,将这些数据转换成相应的中性文件;(2)CAM系统读入中性文件,并将其转换为本系统所需要的形式,然后自动生成数控程序。

1.2.3 CAD/CAPP/CAM集成在CIMS中的地位

图1-3所示是一个企业的计算机集成制造系统(CIMS)略图。如图1-3所示,CAD/CAPP/CAM集成系统是CIMS的一个子系统,是CIMS的核心,即:(1)CAD/CAPP/CAM的集成是更大范围集成的重要的技术基础;(2)在讨论CAD/CAPP/CAM系统内部集成的时候,应当注意到此系统与CIMS其它子系统的集成关系,以求在全企业范围内实现信息集成和整体优化。

1.3 CAD、CAPP、CAM及其集成技术的发展概况

1.3.1 CAD技术的发展及其在机械工业中的应用

从50代开始至今,经过了40多年的发展,在技术上和应用上,均达到了相当成熟的阶

段，CAD 软件，现已发展成为一个产业，广泛应用于机械、电子、航空、航天、汽车、船舶、轻工、纺织、建筑等领域。

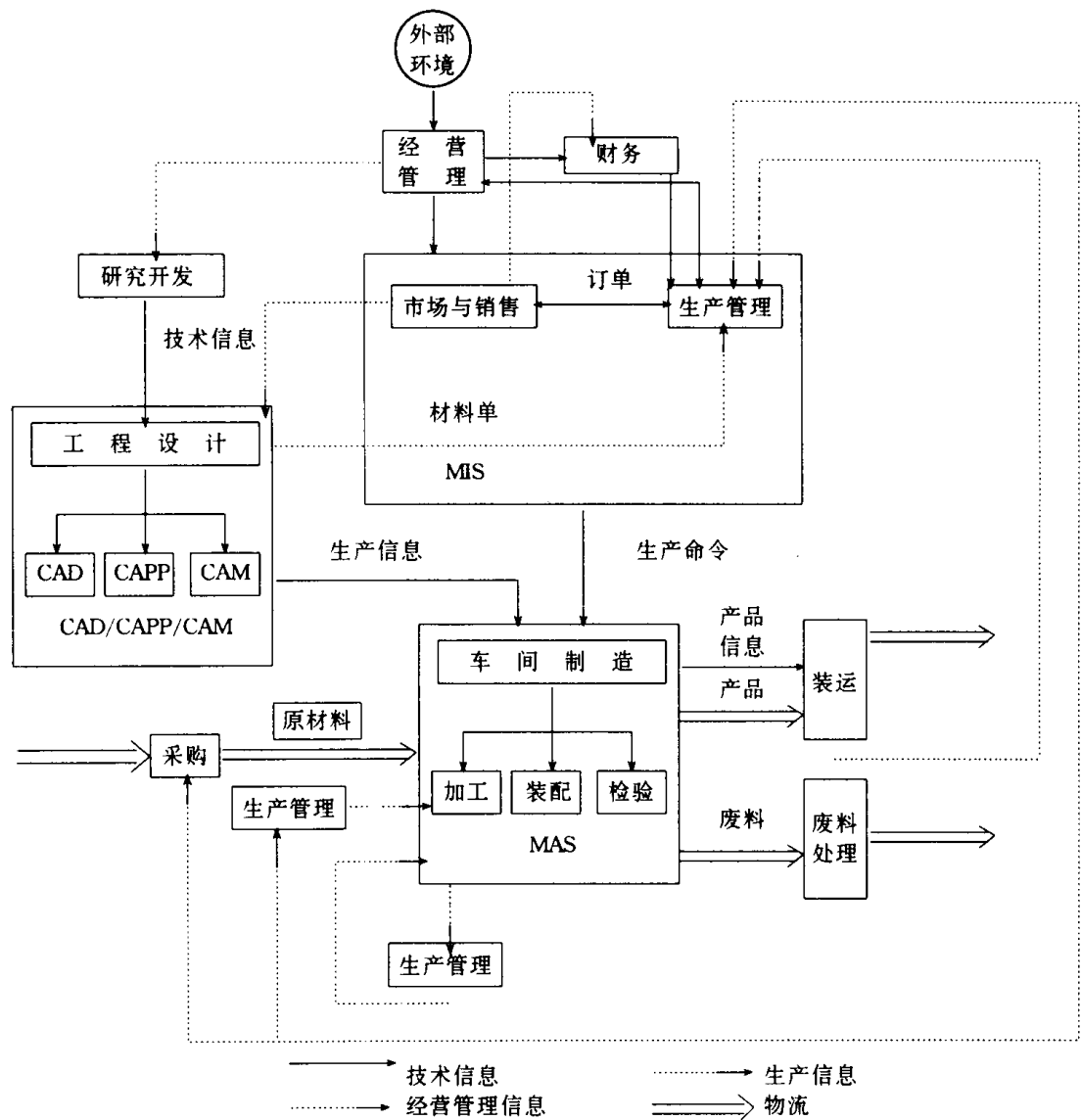


图 1-3 计算机集成制造系统 (CIMS)

80 年代初，由于超大规模集成电路的发展，32 位微机和大容量存贮芯片投入实际应用，出现了超级小型机、工程工作站、超级微机和个人计算机；各种商品化的支撑软件，如绘图软件、有限元分析软件、数据库管理软件等投入市场。由于 CAD 技术的迅速发展，现已形成了一个以研究开发、生产制造、推广应用到销售服务等一整套完整的高技术产业。

1. 国外 CAD 技术发展的主要特点 国外 CAD 技术发展的主要特点表现在：(1) 基础软件商品化。国外一些高技术产业公司，在基础软件商品化方面，做了大量的工作。例如，在图形系统方面，美国 Auto desk 公司推出的 AutoCAD 图形软件包，已由 1.6 版本发展到了 13 版本，已成为微机绘图的主要基础软件。此外，如 SDRC 公司的 I-DEAS、IBM 公司的 CADAM、Pro-Engineer 等都是在工程工作站上应用的具有很强绘图功能的图形基础软件。除此之外，在有限元分析、优化设计、数据库管理系统等方面，近年来，也相继推出了许多很实用的商品化软件。由于这些商品化软件大量投入市场，极大地促进了 CAD 技术在企业中的

应用。(2) 推广应用普遍化。由于硬件和软件技术的不断发展和完善,特别是商品化基础软件的不 断推出,CAD 技术在国外应用十分普遍。据统计,在发达国家中,CAD 技术在制造企业中的应用,其覆盖 率高达 70%以上,一些大中型企业的产品设计,全部由计算机完成。如美国的通用汽车公司、日本的大 隈公司、MaZak 公司等,在 CAD 技术的应用方面,均已达到了非常高的水平。(3) 极力推进智能化、集成化。国外的 CAD 技术发展很快,目前已推出了第三代 CAD 软件产品。第三代 CAD 软件产品以三维设计为基础,引入人工智能技术,并把所有的功能在单一的公共数据库下集成起来,在数据库的支持下工作,实现了 CAD 系统的真正集成。

2. 我国 CAD 技术发展概况 我国的 CAD 技术起步于 60 年代末,可以说与工业发达国家基本同步。“六五”和“七五”期间,我国在 CAD 技术的各个方面,开展了许多研究、开发和推广应用工作,所取得的成果,为生产力的发展注入了技术进步的因素,起到了可喜的促进作用。“八五”期间,根据抓应用、促发展的方针,又重点抓了 CAD 技术的推广应用工作。根据 1992 年抽样调查的结果知,机械电子行业已有 CAD 系统 16076 套,航空工业系统约有 90%以上配备了不同档次的计算机,工程设计院 90%以上的计算工作量、50%左右的方案设计、30%左右的绘图工作量通过 CAD 完成。近二年来,在国产化 CAD 软件的开发方面,也取得了新的发展,这对进一步促进 CAD 技术在我国企业中的应用起到很大的作用。

尽管我国在 CAD 技术的研究、开发和在企业中推广应用等方面,取得了很大的成绩,但与工业发达国家相比,在应用或开发的广度和深度上,还存在很大的差距,主要表现在:(1) 我国自主版权的软件,其商品化程度低、可靠性较差、功能单一、集成化程度低,难以进入市场;(2) 国内 CAD 技术的推广应用还很不普遍。据统计,在制造业领域,真正作用 CAD 技术进行产品设计的,其覆盖率还不足 5%;(3) 虽然引进了不少 CAD 软件,但其功能都没有充分利用。而且 CAD 软件的引进和应用,行业之间,地区之间的发展也很不平衡。

由此可见,进一步开展 CAD 技术的研究、开发和在企业中推广应用,仍是我国从事 CAD 技术工作的人员的一项繁重而又十分迫切的任务。

1.3.2 CAPP 技术的产生、发展及其在机械工业中的应用

CAPP 的研究始于 60 年代后期,第一个 CAPP 系统是挪威 1969 年推出的 AUTOPROS 系统。到现在为止,虽然 CAPP 的研制历史仅有 20 多年,但在工业界和学术界的双重推动下,已有大量的 CAPP 系统问世。表 1-1 列出了国外一些比较著名的 CAPP 系统。

从 80 年代初期起,我国一些高等院校和工厂在推广应用成组技术的基础上,也开始研究和开发 CAPP 系统。据初步统计,迄今为止,在国内学术会议和刊物上正式发表的 CAPP 系统已有 50 多个,有少数系统已正式在工厂使用。表 1-2 列出了国内研制的部分系统。

经过 20 多年的发展,CAPP 在生成原理、系统结构、决策方法等方面,都已取得了很大的进展,综观目前国内外 CAPP 的研究和开发状况,CAPP 的发展趋势是集成化和柔性化。

集成化是指 CAPP 系统与其它集成化系统信息及时传输与共享。在工程设计领域,通常是指与 CAD 和 CAM 系统的集成,若推广到整个工厂范围,则还包括与生产管理、质量保证等系统的集成。CAPP 与其它系统的集成、从局部自动化走向全面自动化,这是自动化技术发展的必然趋势。

柔性化是指 CAPP 软件经过一定程度的修改和调整,能用于不同零件和不同的生产环境。这种修改和调整越容易,柔性化程度就越高。当前国内外所开发的 CAPP 系统,都是针

对某一具体生产环境的，一般不具备通用性。造成这一问题的最主要的原因在于工艺设计对制造环境强烈的依赖性，环境不同或类型不同，必然导致工艺设计结果的不同。因此，开发一个通用的 CAPP 系统几乎是不可能的。为此，国内外不少研究人员正致力于提高 CAPP 的柔性化程度，使用户经过简单的二次开发即可实际应用。柔性化也有助于 CAPP 早日走上商品化的道路。

表 1-1 国外一些比较著名的 CAPP 系统

系统名称	适用零件类型	系统功能			开发单位	时间
		工艺过程 工序设计	工序图	刀具路径 NC 程序		
CAPP	回转体 棱形体	*			美国 CAM-1	1976
APPAS	回转体	*			美国普度大学	1977
MIPLAN	回转体 棱形体	*		*	荷兰	1980
AUTOCAP	回转体	*			英 国 曼彻斯特大学	1980
CAPSY	回转体	*		*	柏林工业大学	1982
TIPPS	棱形体	*			美国普度大学	1984

表 1-2 国内研制的部分 CAPP 系统

系统名称	适用零件类型	系统功能			开发单位	时间
		工艺过程 工序设计	工序图	刀具路径 NC 程序		
TOJICAP	回转体	*			同济大学	1983
BHCAPP	回转体	*	*		北京航空航天大学	1987
NHCAPP	回转体	*	*		南京航空学院	1990
HUDACAPP	箱体	*		*	湖南大学	1990
SE-CAP/NC	箱体	*		*	东南大学	1992
SIP	箱体	*		*	上海交通大学	1993
RCAP	回转体		*	*	华中理工大学	1995
GCAP	箱体/墙体			*	华中理工大学	1995

1.3.3 CAM 技术的发展及其在机械工业中的应用

CAM 技术始于 50 年代。1952 年研制成功数控机床，1955 年在通用计算机上研制成功自动编程系统 (APT)，实现了 NC 程序编程的自动化，这标志着柔性制造时代的开始，成为 CAM 硬、软件的开端。

1967 年，英国莫林公司首先建造了一条由计算机集中控制的自动化制造系统（称为莫林-24），紧接着，美国辛辛那堤公司又研制了一条与莫林-24 类似的系统，并于 70 年代初定名