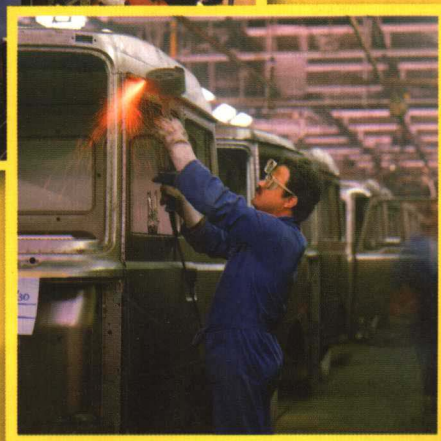
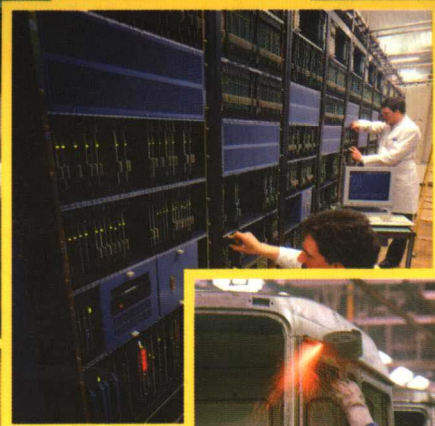
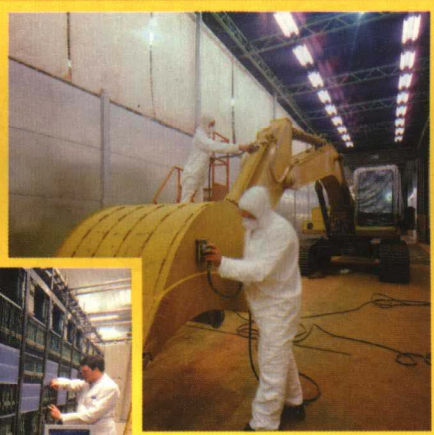
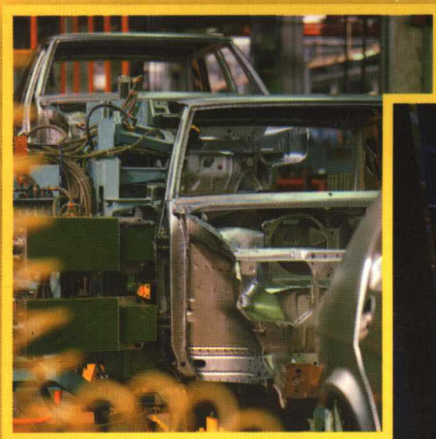




教育部高等职业教育示范专业规划教材

(机械制造及自动化专业)

机械CAM技术与应用



李传军 主编



教育部高等职业教育示范专业规划教材
(机械制造及自动化专业)

机械 CAM 技术与应用

主 编 李传军
副主编 战祥乐 王 栋
参 编 李瑞斌 赵树忠 康俊远
倪红兵 张立仁
主 审 庞思勤



机械工业出版社

本书是教育部高等职业教育机械制造及自动化示范专业规划教材。

本书从应用的角度系统地介绍了机械 CAM 技术的基本理论、概念和方法,重点介绍了 MasterCAM 软件和 CAXA 制造工程师软件在数控加工中的应用和实例。本书主要内容包括:CAM 技术应用概述,数控加工工艺基础,数控编程基础,计算机辅助数控车加工编程,计算机辅助数控铣加工编程,MasterCAM 软件的铣削造型、加工与应用,CAM 技术中的后置处理,数控加工过程的动态仿真,CAM 技术应用发展与趋势。

本书可作为高职高专院校、职工大学、成人院校等大专层次的机械类及近机类专业的教学用书,也可作为从事模具数控加工的工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAM 技术与应用/李传军主编. —北京:机械工业出版社, 2005.8

教育部高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 7-111-17160-8

I. 机… II. 李… III. 机械设计: 计算机辅助设计 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 089799 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 宋学敏 版式设计: 霍永明 责任校对: 姚培新

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2005 年 9 月第 1 版 · 第 1 次印刷

787mm × 1092mm ¹/₁₆ · 23.5 印张 · 550 千字

定价: 33.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来, CAM 技术在机械数控加工和模具加工等领域日益得到广泛应用, CAM 技术作为一门综合性应用的新技术, 在数控加工方面得到越来越多的认可和应用。

CAM 技术根据其应用领域的不同, 有广义和狭义之分。广义的 CAM 技术是指应用计算机进行制造信息处理的全过程, 包括编写零件加工的工艺路线、选择合理的加工设备、切削参数和确定合理的检验方法等; 狭义的 CAM 技术是指计算机辅助编程, 主要有代码生成和代码仿真。代码生成是根据零件的设计模型, 利用计算机自动生成该零件的数控加工代码; 代码仿真主要是利用生成的数控代码进行虚拟的数控加工, 观察加工中的机床运动情况和零件的切除情况, 确保在切削中没有碰撞现象, 保证零件加工的正确性。本书主要以狭义的 CAM 技术为基础, 突出 CAM 技术的应用, 具体结合 CAM 软件进行实践练习。针对流行的 CAM 软件多、各自有不同特点的情况, 以软件的普及性、代表性和软件功能丰富性为原则, 选择 Master CAM 软件和 CAXA 制造工程师软件为实践应用环境, 进行机械 CAM 技术与应用的全面阐述。

本书由承德石油高等专科学校李传军任主编, 战祥乐和王栋任副主编。全书共分 9 章: 第 1 章、第 2 章由王栋编写, 第 3 章由康俊远编写, 第 4 章由战祥乐编写, 第 5 章由李瑞斌编写, 第 6 章、第 7 章由李传军编写, 第 8 章由赵树忠编写, 第 9 章由倪红兵编写, 附录由张立仁编写。

全书由李传军统稿, 由北京理工大学庞思勤教授主审。

由于编者水平有限, 编写时间仓促, 书中难免有不妥、甚至错误之处, 敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 CAM 技术应用概述 1

- 1.1 计算机辅助设计与制造系统概述 1
- 1.2 CAM 系统结构、工作环境和作业
流程 6
- 1.3 CAM 技术在先进制造技术中的
应用 15
- 思考与练习题 21

第 2 章 数控加工工艺基础 23

- 2.1 数控加工的内容和步骤 23
- 2.2 加工工艺分析 26
- 2.3 加工工艺路线的确定 33
- 2.4 加工工艺参数 36
- 思考与练习题 39

第 3 章 数控编程基础 40

- 3.1 数控编程的基本概念 40
- 3.2 数控加工常用指令代码 43
- 3.3 刀具补偿功能 46
- 3.4 数控加工编程的数值计算 51
- 思考与练习题 65

第 4 章 计算机辅助数控车加工 编程 66

- 4.1 数控车床加工基础知识 66
- 4.2 数控车床编程基础 68
- 4.3 数控车自动编程 72
- 4.4 CAXA 数控车造型功能 75
- 4.5 CAXA 数控车加工功能 89
- 4.6 MasterCAM Lathe 数控车加工
功能 100
- 4.7 数控编程实例 118
- 思考与练习题 133

第 5 章 计算机辅助数控铣加工 编程 135

- 5.1 数控铣床加工基础知识 135
- 5.2 CAXA 制造工程师的造型功能 136
- 5.3 CAXA 制造工程师的加工功能 172
- 5.4 CAXA 制造工程师铣削加工的
应用 184
- 思考与练习题 192

第 6 章 MasterCAM 软件的铣削 造型、加工与应用 195

- 6.1 MasterCAM 软件的造型功能 195
- 6.2 MasterCAM 软件 CAM 加工参数
设置 219
- 6.3 MasterCAM 软件的加工功能 241
- 6.4 MasterCAM 软件的加工应用实例 297
- 思考与练习题 314

第 7 章 CAM 技术中的后置 处理 318

- 7.1 集成 CAM 系统的产品数据模型及
数据交换接口 318
- 7.2 后置处理 322
- 7.3 通用后置处理系统原理及实现
途径 329
- 7.4 数控加工中后置处理系统具体
应用实例 331
- 思考与练习题 339

第 8 章 数控加工过程的动态 仿真 340

- 8.1 数控加工仿真技术 340
- 8.2 数控加工过程动态仿真的实现 342
- 8.3 VNUC 加工中心操作仿真软件 344

思考与练习题	350	9.6 虚拟制造系统 (VMS)	364
第 9 章 CAM 技术应用发展与趋势	351	思考与练习题	365
9.1 CAM 系统技术的应用和发展	351	附录	366
9.2 数控机床的发展趋势	353	附录 A CAXA 制造工程师常用快捷	
9.3 柔性制造系统 (FMS)	356	键	366
9.4 计算机集成制造系统 (CIMS)	360	附录 B MasterCAM 常用快捷键	366
9.5 并行工程 (CE)	361	参考文献	368

第 1 章 CAM 技术应用概述

本章学习目标

- (1) 了解计算机辅助设计与制造系统的功能及优、缺点。
- (2) 掌握 CAD、CAM、CAPP 与 CAE 的含义。
- (3) 掌握常见 CAM 系统结构组成，硬件环境的组成及各自的作用。
- (4) 掌握“广义 CAM 系统”，主要技术构成和作业流程。
- (5) 了解计算机辅助设计与制造中软件环境的组成。
- (6) 了解 CAM 技术的应用和发展趋势。

1.1 计算机辅助设计与制造系统概述

CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) 是计算机辅助设计与计算机辅助制造的英文缩写，CAD/CAM 技术是以计算机、外部设备及其系统软件为基础，包括二维绘图设计、三维几何造型设计、有限元分析 (FEA) 及优化设计、数控加工编程 (NCP)、仿真模拟以及产品数据管理等内容。因此，由计算机以及其他外部设备组成并能体现 CAD/CAM 操作功能的集合称为计算机辅助设计与制造系统。

计算机辅助设计与制造系统是以计算机为核心来协助完成各种设计与制造任务，并为产品的后续加工、技术文件的管理提供必不可少的图形及其他相关技术信息的一项专门技术。利用它可以在产品设计过程中对所设计的产品有关数据资源进行检索，对有关数据和公式进行高速计算，并可以利用有关输入、输出设备，采用人一机交互方式或批处理的方式控制和操纵 CAD/CAM 过程，从而完成诸如计算、绘图、模拟、NC 编程等一系列任务。结合设计人员本身的设计经验，对所设计的产品生成各工作阶段的图形文件。这种图形文件可以是二维图形文件、三维图形文件或产品的外形效果图形文件，即利用 CAD 系统不仅可以在设计工作中对产品的内部结构进行图形设计，而且也可以完成外形的美工设计。设计人员可以随时在计算机屏幕上对设计方案进行“适时修改、综合分析、审定和评价”，最后通过系统中的输出设备输出设计图形和有关设计信息资料。由于设计过程中所使用的资料、公式、图表以及图形文件等都存储在系统的数据库中，所以完成设计过程以后，设计者可以根据生产实际情况的需要，随时对它们进行调用，然后利用交互装置对所显示的图形文件不断地进行人工干预，直到获得满意结果为止。通过系统之间的数据网络，还可以使某一处的数据资源实现多处共享。

1.1.1 CAD/CAPP/CAM

1. CAD 技术

在设计过程中，以计算机为工具，帮助工程师进行设计的一切实用技术的总和称为计

计算机辅助设计 (CAD 技术)。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,一般包括两方面内容,即带有创造性的设计(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,应反映人和计算机的最佳结合点。

1963 年, CAD 技术概念最早由美国麻省理工学院 (MIT) 的博士生 I.E.Sutherland 在其博士学位论文中提出。文章描述了一个二维的 SKETCHPAD 计算机绘图系统,该系统允许设计者在图形显示器前通过光笔和键盘,在计算机上交互式地绘制图形,以完成设计工作。学术界一般地认为,这就是计算机辅助设计的开端。同年,在美国的计算机联合会上, MIT 的一个 CAD 研究小组发表了 5 篇 CAD 方面的论文,在学术界引起了很大的震动。MIT 小组设想在计算机上进行设计与分析,并开发了交互式的计算机绘图系统,该系统能够进行工程图的绘制,第一次实现了 CAD 从技术概念到工程实际的应用。随后,美国通用汽车公司和 IBM 公司合作,开发了一个用于汽车前玻璃型线的计算机辅助设计系统 DAC-I (Design Augmented by Computer) 用于汽车前挡风玻璃的设计,这是最早的一个 CAD 应用系统。1972 年,英国剑桥大学 Braid、日本北海道大学冲野、东京大学的穗板 3 人分别提出了类似的三维的 CAD 系统。此后, Braid 成立了一个公司,专门进行三维 CAD 系统的开发。到 20 世纪 80 年代初,三维的 CAD 系统已经商品化了。此阶段的 CAD 系统以小型机为基础,在一些实力雄厚的企业,如汽车、飞机制造公司中得到了充分的应用,并显现出其优势。20 世纪 80 年代是 CAD 技术突飞猛进的发展时期,在此阶段由于计算机技术的充分发展, CAD 的外部设备与相关软件,如数据库、有限元、优化技术的出现,为 CAD 的发展提供了强有力的支持。此阶段的 CAD 系统多以图形工作站为硬件平台,在制造业中的应用十分普及。20 世纪 90 年代是开放式、标准化、集成化和智能化的发展时期,由微机加 Windows95/98/NT 操作系统与工作站加 Unix 操作系统,在以太网的环境下构成了 CAD 系统的主流工作平台,因此,现在的 CAD 技术和系统都具有良好的开放性,图形接口、图形功能日趋标准化。

2. CAM 技术

CAM 有狭义和广义的两个概念。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,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,甚至更进一步缩小为 NC 编程的同义词。CAPP 已被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除了上述 CAM 狭义定义所包含的所有内容外,还包括制造活动中与物流有关的所有过程(加工、装配、检测、存贮、输送)的监视、控制和管理,如图 1-1 所示。所以说,“广义的 CAM 系统”是由多个程序模块所组成的。常见的包括 CAD、CAM、CAE、CAPP、CAQ 等。

狭义 CAM 技术的构成比较单一,它主要有三部分内容:一是数控加工过程的工艺处

理；二是数控加工轨迹的形成；三是将加工轨迹处理成机床控制器能够接受的控制代码。其中一、二部分合称为前置处理，第三部分称为后置处理。第一部分的内容其实质是 CAPP 的内容，目前这方面的理论研究尚未完全达到实用阶段，现役的系统多以人机对话的方式处理数控加工轨迹；第二部分是 CAM 技术的核心内容，常用的轨迹生成方法有两类，一类是基于点、线、面和体的 NC 刀具轨迹生成方法，另一类则是基于特征的 NC 刀具轨迹生成方法。因此，CAM 技术是一项综合应用技术，包括计算机图形学、数值分析、优化与有限元（边界元）、数据结构与数据库、系统分析与程序设计五大技术。除此之外，网络技术、虚拟现实技术、人工智能技术也随着 CAM 技术的发展成为 CAM 技术的一个分支技术。毫无疑问，CAM 应用领域的具体技术必然是 CAD/CAM 技术的组成技术。如：基于特征的造型与加工技术、数字装配技术是均机械 CAD/CAM 领域中的核心技术。

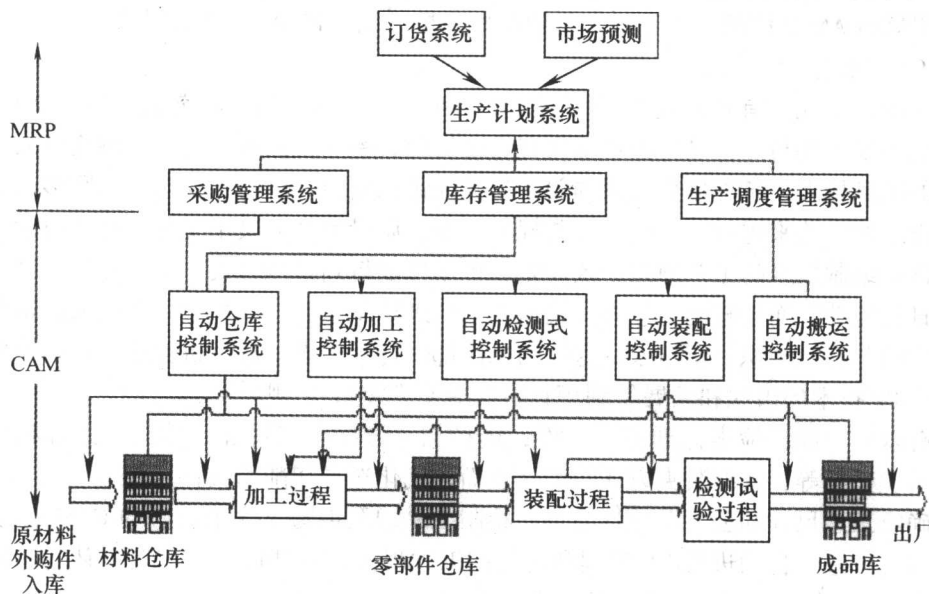


图 1-1 CAM 系统内容

CAM 技术是从 APT (Automatically Programmed Tooling)，即自动化编程工具开始的，20 世纪 50 年代初数控机床出现后，为了提高数控程序的编写效率，由美国麻省理工学院 (MIT) 设计了一套专门用于机械零件数控加工的自动编程语言。在这套系统中，人们只对零件的几何形状进行描述，并指定加工路线，由系统自动生成零件数控加工程序。这套 APT 系统几经发展，在 20 世纪 70 年代已经成为数控编程的标准。APT 系统就是最早的 CAM 系统。除 APT 语言外，图形自动编程技术则是在 CAD 技术基础之上发展而来，人们利用 CAD 系统的几何信息，通过人机交互的方式，进行部分加工工艺处理，最后由计算机生成数控加工轨迹，再经过后置处理，得到数控机床的加工控制程序。计算机辅助数控编程技术是 CAM 技术的核心。除计算机辅助数控编程以外，CAM 技术还包括计算机辅助质量控制 (CAQ)、计算机辅助生产计划管理 (CAPM) 等。一个最简单的产品制造过程大致可以划分为产品设计、工艺设计、生产实施三个部分。产品设计包括产品的概念设计、

技术设计、施工设计。产品的设计自动化由 CAD 系统完成,产品的生产实施包括数控编程、仿真、数控加工、装配、检验等,这部分的自动化由 CAM 系统完成。在 CAD 与 CAM 之间,还存在一个工艺设计过程,这个过程包括工艺参数设定、工艺规程编制、工时定额管理等,这个过程的自动化要由 CAPP (Computer Aided Process Planning) 系统完成。另外,要强调的问题是,在现代设计过程中,大量地采用了有限元、优化、仿真技术,这些分析技术的采用大大地提高了设计质量,将这部分工作集成起来就是计算机辅助工程 CAE (Computer Aided Engineering) 系统。要实现整个从设计到生产过程的自动化,还要将 CAD/CAPP/CAM/CAE 集成起来。但是由于 CAPP 技术本身的复杂性,很难建立一个通用的 CAPP 系统,而 CAE 系统的针对性较强,对使用人员的素质要求较高,其使用人员一般是高级设计与分析人员。CAE 系统一般不在日常的设计与制造过程中出现,常常独立地使用,故 CAD/CAM 系统的集成是最常见的,也是机械制造自动化的重要发展方向。

3. CAPP 技术

CAD 的结果能否有效地应用于生产实践,NC 机床能否充分发挥效益,CAD/CAM 能否真正实现集成,都与工艺设计的自动化有着密切的关系。工艺规程设计的难度极大,因为要处理的信息量大,各种信息之间的关系又极为错综复杂,以前主要靠工艺师多年工作实践总结出来的经验来进行。因此,工艺规程的设计质量完全取决于工艺人员的技术水平和经验。这样编制出来的工艺规程一致性差,也不可能得到最佳方案。另一方面,熟练的工艺人员日益短缺,而年轻的工艺人员则需要时间来积累经验,再加上老工艺人员退休时无法将他们的“经验知识”留下来,这一切原因都使得工艺设计成为机械制造过程中的薄弱环节。CAPP 技术的出现和发展使利用计算机辅助编制工艺规程成为可能。一个 CAPP 系统应具有以下功能:检索标准工艺文件;选择加工方法;安排加工路线;选择机床、刀具、量具、夹具等;选择装夹方式和装夹表面;优化选择切削用量;计算加工时间和加工费用;确定工序尺寸和公差及选择毛坯;绘制工序图及编写工序卡。有的 CAPP 系统还具有计算刀具轨迹,自动进行 NC 编程和进行加工过程模拟的功能,有些专家认为,这些功能属于 CAM 的范畴。CAPP 系统流程如图 1-2 所示。

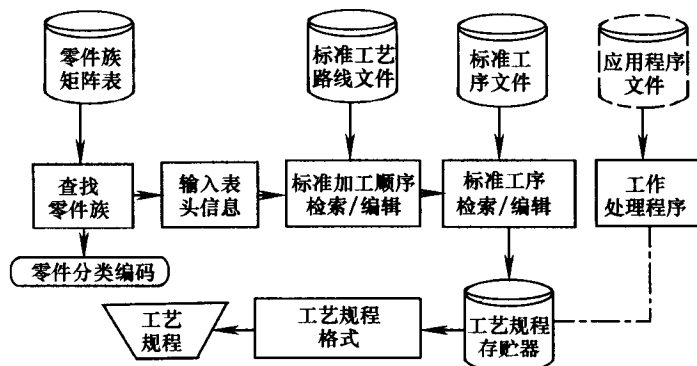


图 1-2 CAPP 系统流程图

世界上最早研究 CAPP 技术的国家是挪威,始于 1966 年,并于 1969 年正式推出世界上第一个 CAPP 系统 AUTOPROS,1973 年正式推出商品化 AUTOPROS 系统。美国是 20 世纪 60 年代末 70 年代初开始研究 CAPP 的,并于 1976 年由 CAM-I 公司推出颇具影响力的 CAM-I'S Automated process Planning 系统。从 20 世纪 60 年代末到目前 30 多年间,已研制出很多 CAPP 系统,而且不少系统已投入生产实践中使用。早期的 CAPP 系统多数是在成组技术基础上开发的检索型系统,其中较著名的除 CAM-I'S 系统外,还有英国曼彻斯特大学理工学院(UMIST)的 ICAP 系统和 AUTOCAP 系统、美国制造数据公司(MDSI)的 COMCAPP-V 系统、工业研究组织(OIR)的 MIPLAN 系统等。为了克服检索型 CAPP 系统的缺陷,许多学者自 20 世纪 70 年代开始研究创成型 CAPP 系统,并正式推出了一些系统,如美国普渡大学在 1977 年开发的 APPAS 系统、德国阿亨工业大学在 1980 年开发的 AUTAP 系统、柏林大学在 1982 年开发的 CAPSY 系统等。但由于工艺规程涉及的因素复杂,多数创成型系统都属于研究阶段的原型系统。20 世纪 80 年代中期开始,人工智能技术已被引入创成型 CAPP 系统的开发研究,出现 CAPP 专家系统或称为智能型 CAPP 系统。在每年有关的国际会议和学术刊物上已经发表不少 CAPP 专家系统的研究论文,智能 CAPP 系统已成为重要的发展趋势。从 20 世纪 80 年代初起,我国一些高等院校和工厂在推广和应用成组技术的基础上,也开始研究和开发 CAPP 系统。较早进行这项研究工作的是上海同济大学,他们在 1982 年研制成功 TOJICAP 系统,并通过了国家教委组织的鉴定,1985 年在国际 CIRP 会议上正式发表。随后北京理工大学也研制出适用于车辆中回转体零件的 BIT-CAPP 系统,北京航空航天大学提出了 BHCAP 系统,还有一些高等院校和工厂合作研制的 CAPP 系统也相继获得成功。据初步统计,在国内各种学术会议和刊物上正式发表的 CAPP 系统已有 50 多个,有的系统已正式在工厂使用。

1.1.2 CAM 技术的应用

CAM 技术的应用日益广泛,几乎遍及所有的工业部门。它已成为人类改造社会、改造自然的强有力工具。可以设想,没有 CAM 技术,宇航工业不会发展到今天这样高的水平。根据论证认为,CAM 的应用主要有四个方面的影响:①CAM 技术的应用导致了知识阐述的客观化,主观、个人经验的客观化;②CAM 是设计人员的新工具,也是设计领域内的流水线;③CAM 技术代替了人类的经验活动,从而可使设计人员、工艺人员从事更多的创造性劳动;④CAM 技术提高了企业的适应性和柔性。

在生产过程中,计算机的应用可以有效地辅助设计人员进行产品的构思和模型的构造(概念设计);工程分析计算和优化;不必经过样机试制,可在计算机上对设计的产品性能进行模拟仿真;计算机辅助绘制工程图样和文档编辑;辅助工艺人员和管理人员编制工艺规程,制订生产计划和作业调度计划;控制工作机械(机床、机器人等)工作,并在加工过程中进行质量控制等。在 CAD/CAM 系统中,进行科学计算有时可达到可视化效果,也就是在计算过程中,将计算结果的数据转换为几何图形及图像信息,在屏幕上显示出来并进行交互处理,对计算过程进行干预和引导,发现和理解科学计算过程中的各种现象。计算机的应用可以较好地胜任人们感到头疼的工作。它可以大量地存储数据,并快速地进行数据的检索和处理;具有很强的构造模型和图形处理能力;善于迅速准确地从事诸如绘

图、编制报表等繁琐和重复性的工作；具有高速运算和逻辑分析能力，可以完成过去无法想象的、复杂的工程分析计算。但计算机不善于处理一些无法形成规则和模型的问题，对“模糊”问题的处理能力较差，也不善于处理一些临时出现的意想不到的问题。在设计过程中，上述问题是大量的，人可以凭经验、直觉、想象力、判断力甚至灵感去处理上述问题，而计算机却无法代替人的作用。利用计算机辅助人们完成设计任务，可以发挥人和计算机各自的优势，有效地提高工作效率和质量。近年来，专家系统和人工智能的广泛采用，计算机可以部分地替代人的智能。

众所周知，生产任何一种产品，其投资的 70% ~ 80% 都消耗在生产制造活动中。因此，CAD/CAM 的一体化系统不仅可以提高设计效率和质量，更重要的是可以缩短工艺流程时间，提高加工精度，改进产品质量。实践证明，CAD/CAM 技术是解决多品种、小批量、高效率生产的最有效途径，是实现自动化生产的基本要素，也是提高设计、制造质量和生产率的最佳方法，是当今世界最引人注目的重大技术。采用 CAD/CAM 系统可带来较大的效益主要有：

(1) 提高了设计效率 采取 CAD 技术后所取得的综合效益与手工作业相比，高度重复性工作可提高效率 15 倍，标准化的工作可提高效率 5 倍，通用典型化的工作可提高效率 2 倍，新产品开发工作可提高效率 1 倍。

(2) 减免许多重复工作 减免了重复的计算、查表工作及繁重的绘图工作，节省了时间，减少了设计劳动量，把设计人员解放出来，去从事新产品的开发。

(3) 提高了生产效率 CAD/CAM 系统可提高设计速度和加工速度几倍至十几倍。一些用传统加工手段无法处理的问题，用 CAD/CAM 系统可以在很短的时间内处理完毕。

(4) 提高了设计和制造的质量 CAD/CAM 系统可以对数据作高效的处理，提高了设计精度，并能使偶然性错误降低到最低程度。

(5) 缩短新产品开发周期，降低成本 CAD/CAM 系统能动态地模拟生产过程和产品在使用时的状况。这样就可以在设计的同时发现设计上的缺陷，修改设计，使设计更为合理，免去了样机试制或产品使用后再提出改进设计的弊病。

(6) 减少了生产资源的消耗 CAD/CAM 系统可以合理地编排生产工艺过程，合理地安排生产进度，节省了加工时间，提高了材料的利用率，降低了生产资源的消耗。

(7) 提高了标准化程度 可以提高产品和工、夹、量具的标准化程度，便于优化管理。

(8) 提高了设备功效 可以为数控机床提供高效、高质量的数控信息，提高机床的利用率。

(9) 加快了传统工艺设计改造 有助于缩小传统的设计与制造之间的距离。

(10) 提高了设计和生产人员的成本 在产品设计师，工、夹、量具设计人员，管理人员和制造加工人员之间建立更好的联系和更多的理解。有助于加快培养熟练的产品设计人员，工、夹、量具设计人员和加工设备操作人员。

1.2 CAM 系统结构、工作环境和作业流程

实现机械制造的高效自动化，计算机辅助设计与制造系统的合理组合是十分重要的。

CAM 系统的构成是通过计算机辅助设计与制造的硬件和软件来实现的(如图 1-3 所示),它们的组合结构、工作环境和作业流程不仅直接影响整个系统运行能力与功能强弱,而且在很大程度上会限制 CAM 技术的充分发挥和灵活运用。在考虑一套 CAM 系统的合理构成时,既要注意利用系统来出色地完成当前的工作任务,又要顾及今后的产品更新及系统功能的扩展。“物尽其用”是合理配置 CAM 系统的一个重要标准。

1.2.1 CAM 系统结构

CAM 系统结构和 CAD 同样是一个历史的发展过程。CAD 系统作为计算机应用系统的一个重要分支,经历了三个发展阶段,即多用户共享一台计算机;一个用户使用一台计算机;一个用户共享多台计算机。从系

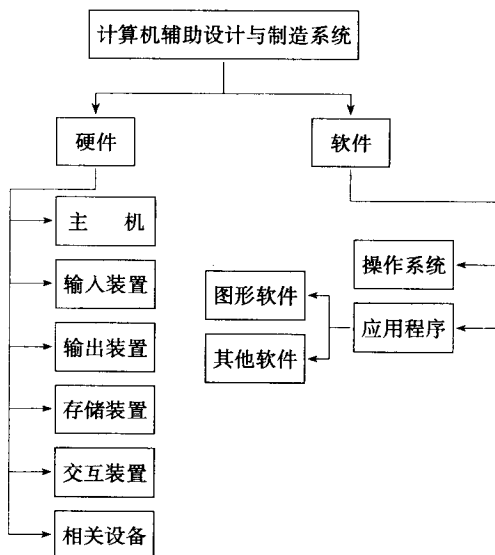


图 1-3 计算机辅助设计与制造系统构成

统结构上看, CAD 系统大致可分为两类,即集中式系统和网络系统。集中式系统要求有功能较强的计算机,一次投资大,使用起来不灵活,在 20 世纪 80 年代中期以前应用比较广泛。自从工作站和高性能微机问世以后,大多数用户采用工作站和微机网络系统来代替这类集中式 CAD 系统,形成网络化的系统。与此同时, CAD/CAM 系统与 PDM 系统、MRP II 系统、ERP 等系统的集成也是当今 CAD/CAM 系统结构发展的一个重要动向。

1. 常见 CAD/CAM 系统作用方式

常见的 CAD/CAM 系统按其作用方式可分为三种类型即信息检索型设计系统,试探型设计系统,人一机交互型设计系统。

(1) 信息检索型设计系统 这种系统是先将一些设计及工艺过程中所用的标准机械零、部件和设计信息与工艺信息(如标准图形和材料信息、加工工艺条件、操作管理指令等辅助信息)存入 CAD/CAM 系统。在实际设计过程中,设计人员无需再对这些标准的零、部件进行重复性的设计,而只要将设计要求输入 CAD/CAM 系统,便能得到满意的设计结果,并可立即进行结果输出。但这种 CAD/CAM 系统由于需要事先进行大量的相关设计信息的输入,前期工作量较大,而且其可交互性差,故多用于一些较成熟且已经标准化的行业产品设计中。

(2) 试探型设计系统 试探型设计系统除具有信息检索型设计系统的优点以外,还可以事先将一些较成熟的设计图形存入 CAD/CAM 系统中。当设计人员需要对某一产品图形进行修改时,可通过系统与图形显示装置将其调用并显示出来,设计人员根据自己的设计构思对其进行修改,从而产生新的设计结果及工艺流程。这种系统多用于产品生产过程中的修改设计。

(3) 人一机交互型设计系统 随着计算机与相关领域技术的不断发展,在综合前面两种设计系统的基础上,出现了现在广泛使用的人—机交互型设计系统。所谓交互,是指操

作者与计算机系统之间信息与要求的往来,这种“往来”是通过 CAD/CAM 系统中的输入、输出和交互装置来实现的。但这些信息的调用与判别则是由系统的主机和其他部分来完成的。因此,把这种系统又称为“人—机会话型系统”。人与机之间之所以能够进行信息上的“交流”,除了系统本身由若干称之为“硬件”的设备组成以外,交互语言(软件)则起着桥梁作用。通过特定的交互语言,设计人员向系统适时表达自己的设计构思,同时系统也以最快的信息传输速度及时将分析和计算结果反馈回来。通过这样不断地信息交互,使所进行的设计工作不断修改完善,最后达到满意的程度。由于这种系统需要配置较多而且质量好的计算机外部设备和相应的软件,所以一次性投资较大。

2. 常见 CAM 系统的典型体系结构

(1) CAM 子系统与 CAD 和 CAE 等子系统在系统底层一级集成式开发 CAD 子系统提供强大的复杂产品造型与设计功能,生成的产品数字化定义模型为 CAM 子系统提供完备的数据服务。CAM 子系统直接在产品数字化模型上进行 NC 轨迹计算,利用强大的后置处理模块生成 NC 指令。这种系统很多,如 UGS 公司的 Unigraphics、PTC 公司的 Pro/Engineer、IBM 公司的 CATIA 等,其基本特点是功能完备,系统庞大,模块组合发售,价格昂贵。

(2) 以现有侧重产品造型的系统为平台的插件式 CAM 系统 此类 CAM 软件大多基于 Windows 环境。利用 Windows 体系提供的各种软件技术,以第三方的形式为产品造型系统提供插件模块或子系统(Plug-in)。如 Autodesk MDT 内嵌 HyperMILL 和 EdgeCAM; SolidWorks 内嵌 CAMWorks;负责 SDRC 系统 CAM 模块开发的伙伴公司 CAMAX 提供的 Camand Modeler(支持 3D 曲面造型)并配以 SmartCAM(支持多曲面加工)。此类插件系统利用特征识别(Feature Recognition)技术,直接在产品模型上获取一定复杂程度的切削区域几何表示及其加工工艺规范(也支持用户的交互指令操作),进而生成 NC 加工刀位轨迹。此类 CAM 系统的大多捆绑平台软件,规模紧凑,集成度高,价格便宜。

(3) 支持简单曲面造型的专用 NC 计算系统 如 CAMAX 的 Camand 和 SmartCAM, NREC 的五坐标叶轮加工系统 MAX-AB(着重点位加工)和 MAX-5(着重端铣和侧铣加工),CNC 的 MasterCAM,以及 Cimatron 等。这类系统提供了主要面向复杂曲面形体的曲面(或曲面实体)造型和曲面编辑功能,以及更为强大的 NC 刀位轨迹计算、编辑、验证和后置处理功能。专用 NC 系统对数控机床的适应能力较强,提供更多的加工工艺定制方法。适用于中小企业或专用设备制造企业。

对于上述三类 CAM 系统而言,第一类系统基本都建立在实体模型表示上,采用交互式指点、定制形成切削方案和工艺规划;第二类则在第一类系统的基础上,增添了加工特征自动识别技术;第三类系统依靠较为完备的曲面建模,采用交互方式在曲面模型上快速生成多种加工形式的刀位轨迹,但相对薄弱的造型功能制约了 CAM 系统的应用。但是,在制造业的新兴生产模式和技术不断深入应用的现实环境中,CAM 系统本身除了传统的 NC 计算和后置处理外,还应该结合曲面实体造型、特征技术和参数化技术,在新的研发领域有更深层次的突破。

3. CAD/CAM 一体化系统的分类

按照 CAD/CAM 的一体化系统的硬件平台规模,可以将 CAD/CAM 系统大致分为四类。

(1) 大型机 CAD/CAM 系统 该系统一般以一台具有大容量的存储器和极强的计算功能的大型通用计算机为主机,一台计算机可以连接几十,甚至几百台图形终端和字符终端及其他图形输入和输出设备。

其主要优点有:系统具有一个大型的数据库,可以对整个系统的数据实行综合管理和维护;计算速度快;给企业的集成管理带来方便;提高了企业在设计、制造方面的效率,为企业的设计、制造一体化提供了条件,为企业生产方式向国际先进水平靠拢奠定了基础。

其主要缺点有:安全性能低,如果主机出现故障,则整个系统都不能工作;但双机容错等先进技术的广泛使用,系统的安全性能已经今非昔比;终端距离不能太大,随着处理器速度的飞速发展,这个问题也将逐渐得到缓解。大型机系统的一般用户为大型的飞机制造公司和船舶制造公司。有代表性的大型机生产厂家是 IBM、NAS、CDC、Honeywell 等,IBM 公司是大型机市场的霸主。大型机 CAD/CAM 系统运行的 CAD 和 CAM 软件有:美国洛克德公司的 CADAM 和法国达索公司的 CATIA 以及 CV 公司的 CADOS 等。随着计算机技术的发展,小型机的性能和功能的提升已经逐渐取代了传统大型机的地位。

(2) 小型机 CAD/CAM 系统 20 世纪 70 年代末至 80 年代初,这类系统处于蓬勃发展时期。我国在此期间从国外购进的 CAD/CAM 系统大都属于这种类型。人们在使用过程中逐渐发现了这类系统有一定的局限性,如系统的计算能力和扩充能力差等。而且不同系统之间数据是很难进行交换的,即不同系统的数据存储格式是不相同的。20 世纪 80 年代中期,由于分布式工程工作站的问世和异种机之间联网技术的发展,促进了这种孤立系统向开放式系统发展,而系统使用的软件也逐渐向工业标准方向靠拢。

(3) 图形工作站组成的 CAD/CAM 系统 20 世纪 80 年代初,32 位的工程工作站问世,以工作站组成的 CAD/CAM 系统发展很快。它与小型机 CAD/CAM 系统不同,一台工作站只能一个人使用,并且具有较强的联网功能,其处理速度很快,一般都赶上或超过了过去的小型机的速度。这种类型的工作站成为 20 世纪 90 年代 CAD/CAM 系统的主要机器。

(4) PC 机组成的 CAD/CAM 系统 随着微机性能的不断提价、价格的不断下降,以 PC 组成的 CAD/CAM 系统近年来增加很快。过去以 PC 机为主机的 CAD/CAM 系统一般只能进行二维绘图,而现在可以进行三维造型和复杂的分析计算。值得一提的是,由于网络技术的发展,现在的微机已能与大型机和小型机及工作站联网,成为整个网络的一个节点,共享主机和工作站资源。这样,大型系统、工作站系统、PC 机系统就不再相互割裂,而成为一个有机的整体,在网络中发挥各自的长处,使得原来在小型机和工作站上运行的 CAD/CAM 软件直接在微机上运行。因此,在我国用高档微机组成的 CAD/CAM 系统发展很快,在某些方面已接近低档工程工作站的能力。

在实际应用中往往按照 CAD/CAM 系统的大小分类,即网络环境下的 CAD/CAM 系统和单机环境下的 CAD/CAM 系统。在过去几年里,基于微机的单机 CAD/CAM 系统给小型企业、个人以及教学使用带来了方便,并且这也是 CAD/CAM 技术普及的必由之路。但是,随着企业集成化管理和生产能力进一步提高,网络化是必然的趋势,现代企业在 CAD/CAM 的建设过程中,必须要考虑到和 CAPP、PDM、MIS 等系统的集成问题,根据企业的发展来确定 CAD/CAM 系统的建设。

1.2.2 CAM 系统结构的工作环境

无论是哪种 CAM 系统,其系统的构成都是由硬件部分和软件部分所组成的。又通常把它们称为 CAM 系统的外部运行环境和内部运行环境,这两部分构成了整个 CAM 系统。对于一个配置优良的 CAM 系统来说,要想使其充分发挥作用,人的因素是十分重要的。特别是设计人员的设计经验与系统功能的结合,是获得最优设计结果和取得最佳投资效益的重要保证。

1. 硬件环境

CAD/CAM 系统的硬件环境对整个系统综合性能的充分发挥起着十分重要的作用。它不仅为 CAD/CAM 系统提供了必不可少的基本运行条件,而且对最大限度提高工作效率,完成技术文档的可靠检索与管理,以及系统功能的进一步开发都起着不可忽视的作用。所以,在考虑 CAD/CAM 系统硬件环境的配置时,要尽可能地做到配置科学合理,功能先进,主机与外设之间能正确协调地工作,易于操作与维护。配置系统硬件环境要根据自己工作任务的具体情况,也可以参考是否充分满足事先已选定软件的运行条件,在资金许可的情况下,尽量使所配置的硬件环境具有一定的超前功能。

通常,系统的硬件由主机、输入装置、输出装置、外部存储装置和人—机交互装置五大部分组成,如图 1-4 所示。

(1) 主机 主机是系统的核心部分,用来控制和指挥整个系统,并进行数学运算和逻辑分析。主机可以是大型、中型、小型、工作站和微型计算机。由于计算机类型不同,它们的运算速度、图形显示效果、信息存储量等技术参数和性能也不尽相同。采用哪种类型的计算机作为主机要视工作任务和需要而定。通常,大型、中型的计算机用来作为 CAD/CAM 网络系统中的主服务器,小型机和工作站用来运行较大且较复杂的 CAD/CAM 系统软件,微型机则用来运行相对小一些的系统软件,例如, CAD 绘图软件包, CAM、CAE 等模块。由于微型机的价格比较便宜,发展速度较快,它与一些其他类型的计算机,特别是工作站之间的某些功能差别正不断地缩小。

(2) 输入装置 输入装置的作用是向计算机送入数据和各种字符信息及程序的设备。也就是说,用来完成操作者(用户)对 CAD/CAM 系统所要进行作业的操作指令的输入,也是人与 CAD/CAM 系统进行信息交互的主要硬件工具。

常见的输入装置有键盘(标准键盘和专用键盘)、鼠标器、触笔、轨迹球和操纵杆、图形输入板、数字化仪、工程扫描仪、光电式纸带输入机、卡片式输入机、磁盘磁带输入机、信号采集设备、声音信息输入设备等。其中常用的有键盘、鼠标、触笔、轨迹球和操纵杆、数字化仪和图形输入板等。

(3) 输出装置 在 CAD/CAM 系统中用来作为设计结果输出的设备称为输出装置。由

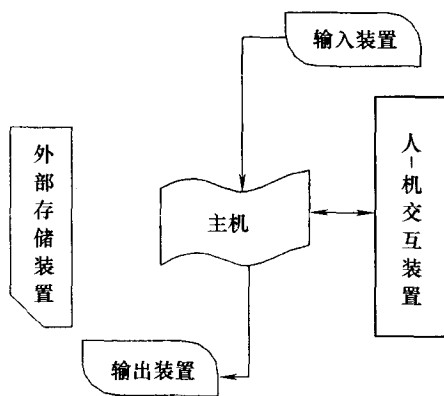


图 1-4 CAD/CAM 系统硬件环境构成

于输出的效果不同,输出装置又可分为中间结果输出装置和最终结果输出装置。常见的有:打印机、绘图仪、纸带穿孔输出机、信息卡片输出机等。

(4) 外部存储装置 外部存储装置是用来辅助 CAD/CAM 系统完成工作信息存储任务的。当 CAD/CAM 系统工作时,会有许多计算程序或数据以及图形文件等由计算机的控制指挥系统进行经常性地调用或存储,而计算机内部的存储空间往往是不够用的,因此,外部存储装置就是用来对它们进行存放的。计算机外部存储装置有:磁盘机、软磁盘、磁带、外接式硬盘等。

(5) 人一机交互装置 常用的人—机交互装置可以是控制式打印机(或电传式打印机)和 CRT 图形显示器。它们既可作为输入装置又可作为输出装置。特别是 CRT 图形显示器,它是人一机交互型 CAD/CAM 系统进行“适时观察”和“适时修改”时的不可缺少的工具。在 CAD/CAM 系统中,显示屏幕用来显示输出图形、字母和数据。

2. 软件环境

对于一个完整的 CAD/CAM 系统来说,仅有硬件运行环境是不能进行工作的,还必须配备软件环境。通常, CAD/CAM 系统软件环境主要是指操作系统(数据管理软件)和应用程序两大部分。无论是哪种软件,它们都是由若干个“子模块”所组成的,每一个“子模块”又是由许多个“子程序”所组成,而每个“子程序”则是由若干条“命令语句”组成。目前的 CAD/CAM 系统正朝着智能化、特征化、变量化、参数化、低运行条件化和低成本的方向发展。因此,对 CAD/CAM 系统应广义地理解,而不能认为它仅是一个用于绘图及加工领域的系统。对于初学者来说,能较熟练地使用 CAD(绘图)系统来完成各种图形的绘制,特别是二维图形的绘制,是进一步使用好 CAD/CAM 系统的基础。

(1) 系统管理软件 系统管理软件(操作系统)是整个 CAD/CAM 系统运行过程中的指挥与管理核心,是应用程序软件的运行环境,也称为工作平台。运行 CAD/CAM 系统命令时,如某一个绘图命令或其他程序命令的调用、某一个图形数据信息和数据文档的管理都是由系统管理软件来完成的。

(2) 应用程序 应用程序软件是 CAD/CAM 系统的功能核心软件,它代表着系统功能的强弱,并直接涉及整个工作任务能否完成。因此,正确选用 CAD/CAM 系统的应用软件是十分重要的。从不同的角度出发, CAD/CAM 系统的应用软件大致从以下几方面进行分类:

1) 按照应用软件对系统运行环境要求的不同, CAD/CAM 系统的应用软件可分为:微型机版、工作站版、小型机及其以上机型版的应用软件。

2) 按照应用软件适用的工作领域的不同,主要可以分为:机械行业类、电子行业类、建筑行业类、美术行业类和服饰行业类应用软件等。

3) 按照应用软件内部结构和用户对象的不同,还可以分为:专业基础型和专业应用型应用软件。

专业基础型软件是指软件本身具有适用范围广,针对某一专业的专用命令少,要求运行环境开放,具有较多种数据传输接口形式并具有较强的多专业二次开发工具等特点的 CAD/CAM 系统软件。

专业应用型应用软件的特点则是,系统操作命令专业特点突出、带有特为某一专业领