

CAD/CAM

在机械工业中的应用

(修 订 本)

赵 汝 嘉 主 编

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书较全面系统地阐述了计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)的基本概念和理论,并从机械工程技术人员应用的角度,着重介绍了开发机械设计与制造方面的 CAD/CAM 软件的基本原理、方法和应用实例,包括作者在从事 CAD/CAM 科研、教学中的一些成果。

本书适于作为高等院校工科类研究生或高年级本科生选修课教材及工程师进修学院、成人自学教育的教材,也可供有关工程技术人员、管理人员参考。

(陕)新登字 007 号

CAD/CAM

在机械工业中的应用

(修订本)

赵汝嘉 主编

责任编辑 王新安 路江

*

西安交通大学出版社出版

邮政编码:710049

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/32 印张 13.25 字数:280 千字

1993 年 6 月第 1 版 1993 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—5000

ISBN7-5605-0534-1/TH·30

定价:7.50 元

前 言

在计算机应用的百花园里群芳争妍,计算机辅助设计与辅助制造是其中一枝绽苞初放的奇葩。

CAD/CAM 技术随着计算机技术的发展而迅速兴起,在工业发达国家内发展的速度很快,在工业生产中发挥的作用越来越大,目前已成为提高产品质量、生产率和经济效益的有力工具。

虽然不少人对 CAD 和 CAM 已有所闻,但它们究竟包括哪些方面的内容,基本原理是什么,需要什么硬件、软件条件,应用情况如何,以及怎样开发 CAD/CAM 软件等等,可能还不是十分了解。现代技术的发展,迫切要求机械类大学生和工程技术人员尽快掌握关于计算机在机械工程方面应用的知识,这些正是本书将要介绍的内容。

我们在从事 CAD/CAM 的科研与教学中深深感到,关于这一领域的书籍和参考资料近年来虽然出版和发表了不少,但较系统完整地阐述 CAD/CAM、适于作为教材的书却不多,针对机械工业的则更少了。为此,我们曾编写了《生产工程学》、《计算机在机械工业中的应用》两本油印教材,从 1984 年起在研究生课程中及为高年级学生开设的选修课中试用。常州电子工业技术学院也采用了上述教材。试用中反映较好,我们吸取了本校及兄弟院校同志提出的宝贵意见,修订成为本书。

本书第一章介绍计算机在机械工业中应用的概况,第二章介绍自动化生产中的数控技术及其应用,第三章介绍计算

机辅助绘图的原理和方法,第四章介绍 CAD 系统的原理、硬件和软件、开发及应用,第五章介绍 CAM 的概况、系统软件、计算机辅助编制工艺过程(CAPP)和柔性自动化生产系统等,第六章介绍计算机辅助经济分析。在本书中不仅较系统地阐述了 CAD/CAM 的一般原理和概况,还针对机械工程技术人员,着重介绍了开发机械设计与制造方面的 CAD/CAM 软件的基本原理、方法和例子,包括作者在从事 CAD/CAM 研究中的部分应用成果。

作为工科类研究生及高年级本科生的选修课教材,本书内容大体可按 36 学时安排。对于不同专业及读者对象,学习内容可各有侧重。配合这本教材,可给学生开设 4 次实验课,每次上机 2 小时,西安交通大学金工教研室可提供相应的实验用软件。

需要说明的是,作为一本计算机在机械工业中的应用的入门书,内容比较广泛,限于篇幅不可能各方面都讲得十分详尽。读者在读完了本书后有了一个全面的概念,就可以根据工作需要,去进一步利用有关参考书了。

参加本书编写工作的有赵汝嘉(第一、二、六章)、褚启勤(第三、五章)和姚公(第四章)。全书由赵汝嘉主编。

本书中引用了许多同志编写的参考书及资料的内容,书稿审阅人张言羊教授及西安交通大学出版社的蒋瀚教授曾提出过许多宝贵意见,在此一并致谢。

囿于作者水平,书中难免有错误与疏漏之处,恳切地希望读者批评指正。

作者 一九八八年元月于西安交通大学

再版前言

本书第一版是作为本科生 CAD/CAM 选修课教材而编写的,经过多年的使用,尤其是于 1989 年被机电部机械工程师进修大学指定为机电一体化工程专业本科段 CAD/CAM 课程教材后,印数剧增,多次重印。由于机械工程师进修大学的学员主要以自学为主,为适应这一特点,并满足工矿企业技术人员的学习需要,作再版修改。本版修改的原则是:满足机械工程师进修大学机电一体化工程专业 CAD/CAM 课程教学大纲的要求;适应自学为主的特点;加强实践环节。为此,在修改时,除对叙述过于简洁的地方,尤其是自学校为困难的地方,作了适当地补充。此外,在每章后面增添了习题及其解答。它们是应工程师进修大学的要求而编写的,曾发表在工程师进修大学编辑的自学指导上,这次作了修改与补充并把它们附在每章的后面,欲使学员通过习题的实践,更好地掌握课程内容。

再版的修改工作,各章正文由赵汝嘉完成,其中习题部分分工如下:第三章由徐庆友编写,第四章由梁连生编写,第五章由彭庆金编写。其余各章由赵汝嘉编写。

在本书再版问世之际,谨向机械工程师进修大学各地 CAD/CAM 课程辅助站的老师表示衷心的感谢,并渴望各位老师及学员把使用本书过程中所发现的问题及时地向作者指出,以便今后进一步完善。在此再一次表示衷心感谢。

作 者于 1992 年 6 月

目 录

前言

再版前言

第一章 概述..... (1)

习题 (14)

第二章 数控技术 (18)

第一节 概述 (18)

第二节 手工编程 (22)

1. 各种功能代码 (22)

2. 编程实例 (29)

第三节 计算机辅助 NC 编程 (34)

1. APT 语言的基本语法组成 (35)

2. 几何元素定义语句 (38)

3. 机床语句 (57)

4. 刀具语句 (57)

5. 允差语句 (57)

6. 运动语句 (58)

7. 后置处理语句 (62)

8. 其它语句 (63)

第四节 NC 自动编程..... (69)

1. 工作站的组成 (70)

2. NC 自动编程的几个主要过程·····	(73)
第五节 数控技术在生产过程中的应用 ·····	(87)
1. 在压力加工技术方面的应用 ·····	(88)
2. 在焊接方面的应用 ·····	(89)
3. 在自动绘图方面的应用 ·····	(91)
4. 在质量控制与检验方面的应用 ·····	(92)
5. 在电子工业中的应用 ·····	(92)
习题 ·····	(93)
第三章 计算机辅助绘图·····	(100)
第一节 计算机绘图的基本知识·····	(101)
1. 自动绘图的插补原理·····	(101)
2. 图形的坐标变换·····	(105)
3. 图形的集合运算·····	(112)
4. 图形的裁剪·····	(116)
5. 几何建模·····	(117)
第二节 自动绘图系统·····	(126)
1. 自动绘图机·····	(126)
2. 自动绘图系统的工作过程·····	(128)
第三节 图形显示及交互型绘图系统·····	(141)
1. 图形显示·····	(141)
2. 交互式图形显示技术·····	(148)
3. Auto CAD 简介 ·····	(159)
习题·····	(168)
第四章 计算机辅助设计(CAD)·····	(191)
第一节 概述·····	(191)
第二节 CAD 系统的组成 ·····	(195)

1. CAD 系统的组成及分类	(195)
2. 微机机型的选择	(199)
第三节 CAD 系统的软件	(203)
1. 常用机械设计方法及优化方法库	(204)
2. 数据库	(233)
第四节 CAD 的分类与应用	(262)
1. CAD 的主要类型	(262)
2. CAD 的实际应用	(273)
习题	(294)
第五章 计算机辅助制造(CAM)	(315)
第一节 概述	(315)
第二节 CAM 系统的分级结构	(317)
第三节 CAM 系统的类型及其软件	(319)
1. 用于管理的 CAM 软件系统	(319)
2. 用于机械加工的 CAM 系统	(324)
3. CAM 软件	(330)
第四节 柔性制造系统(FMS)	(335)
1. 概述	(335)
2. FMS 的组成	(335)
3. FMS 实例	(342)
第五节 计算机集成制造系统(CIMS)	(346)
第六节 计算机辅助编制工艺过程(CAPP)	(350)
1. 概述	(350)
2. 系统的组成和原理	(353)
3. 工艺过程最优化	(372)
习题	(375)

第六章 计算机辅助经济分析	(393)
第一节 概述	(393)
第二节 机械制造工艺过程的技术经济分析	(395)
1. 材料费用.....	(396)
2. 制造费用.....	(397)
3. 工艺方案技术经济分析实例.....	(401)
习题	(405)
参考文献	(410)

第一章 概 述

近一二十年来,电子技术及计算机科学获得了巨大的发展,应用电子技术已成为当前工业生产的主要特征,这就促使机械制造业的生产面貌发生着深刻的变化。如对这些变化没有足够的认识,就不可能利用先进的科学技术组织机械制造生产过程;若仍按照传统陈旧的观点及生产方式来组织当今的机械制造生产过程,就会失去高效率、低成本、高质量、高经济效益的源泉。机械工业取得巨大进步的特点是采用了电子技术及其控制技术。电子计算机在机械工业各方面的广泛应用,使得机械工业的劳动生产率得到了大幅度的提高,同时在缩短产品设计及制造周期、提高和保证产品的性能和质量、改善劳动条件、改进企业经营管理和节约能源等方面,也取得了显著的经济效益。

随着科学技术及生产技术的进步,国外机械工业的发展大致分为三个阶段:

第一阶段:从 20 世纪初到 40 年代,机械制造业由机械化、半自动化发展到单机自动化,由流水线生产发展到自动线生产,基本上解决了大批量生产加工过程的自动化问题,其明显的例子就是汽车工业的发展。

第二阶段:从 50 年代到 60 年代末,机械工业的生产规模和生产力进一步发展,生产系统的复杂性和自动化程度也进一步提高。现代控制理论的应用和计算机的应用给机械工业

增添了强大的动力。在这一时期内,出现了数控(NC)、直接数控(DNC)、适应控制(AC)及最优控制(OC)等技术,发展了计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)等技术。在机械制造企业的管理中也广泛应用了计算机。在这个阶段,机械工业自动化水平得到了迅速的提高。

第三阶段:即从 70 年代开始,在原来发展的基础上,机械工业广泛地吸取各个领域的科学技术成果,把电子技术、计算机科学及激光技术等应用于产品的自动化生产过程。一些国家发展了 CAD/CAM 系统、微型计算机的 CNC 系统、柔性制造系统(FMS)、集成生产系统(IMS)、分级计算机控制系统和计算机网络结构系统,使生产的规模达到了车间或工厂的综合自动化水平。

随着科学技术的腾飞,机械工业必然会得到进一步的发展,预计在本世纪末可达到如下的水平:

1. 在加工方法及设备方面 由于新材料及新工艺的不断发展,对高强度、高熔点材料的加工,依靠传统的机械加工方法已难以实现,因此将机械加工和其它特种加工(电物理、电化学加工)结合起来,出现所谓的复合加工,如激光复合加工、离子注入等。这种复合加工设备将具备必要的自动检测、自动补偿、工况监控等系统,以这种设备为基础,可以组成复合生产系统,如图 1-1 所示。

自 70 年代以来,机电一体化技术及机电一体化产品得到较大的发展,产生了机械电子学(MECHATRONICS)。它是一门边缘学科,机电一体化的产品可以理解为机械产品电子化。构成机电一体化系统的要素如图 1-2 所示。

相应的机电一体化系统功能构成如图 1-3 所示。

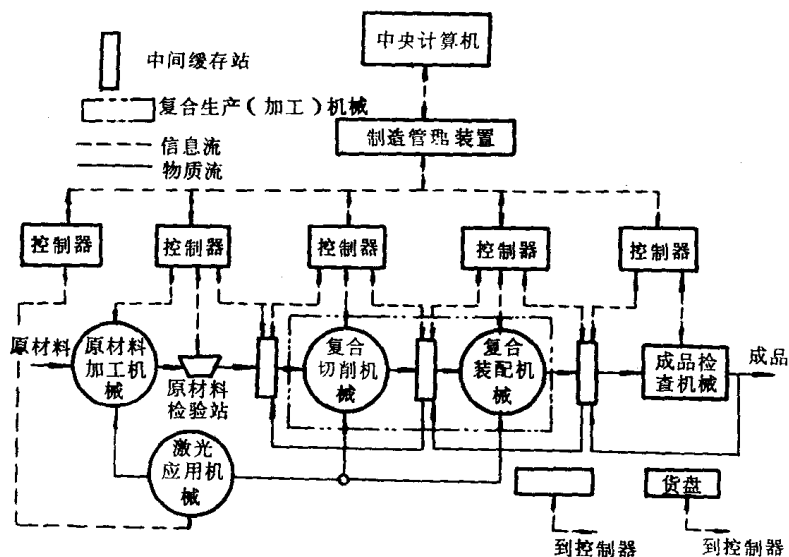


图 1-1 复合生产系统

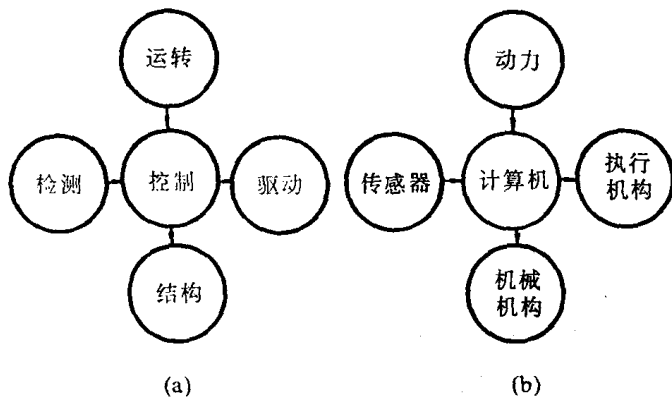


图 1-2 机电一体化系统的五大要素

(a) 机电一体化五大功能

(b) 机电一体化五大要素

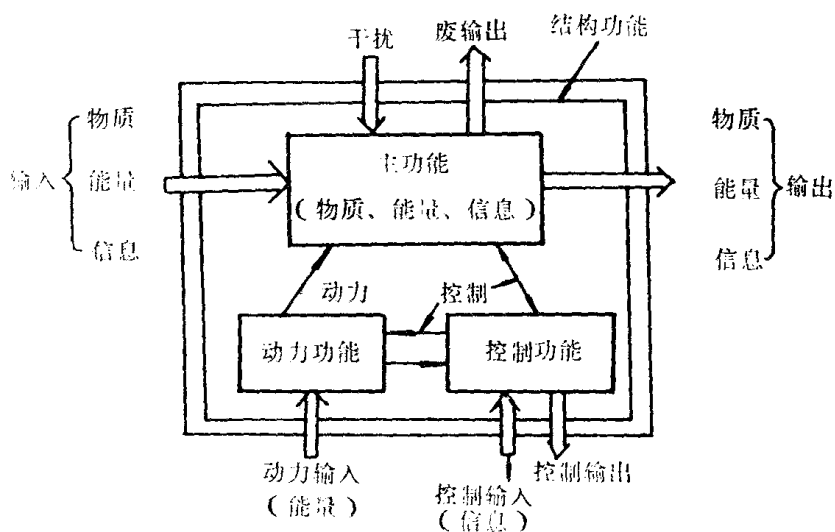


图 1-3 机电一体化系统的功能构成

2. 在产品设计方面 机械产品的设计越来越多地采用 CAD 技术,由于各种新的计算方法(如有限元法)的发展,在设计阶段就能预测产品的性能。例如设计机床时,在结构设计分析阶段,就能把握机床的动、静、热特性及其它性能。

根据美国制造工程协会、密执安大学及美国生产工程师协会联合调查,1990 年美国已有 25% 的中小型企业采用 CAD/CAM,1995 年美国和日本也将有 1/4 的中小型企业采用这一新技术;1990 年美国已有 25%,英国和日本也有 10% 的机械制造厂将 CAD 与 CAM 联结起来,实现了集成化。

3. 在自动检测方面 为适应机械产品提高精度和质量控制的要求,自 80 年代以来,自动检测技术已有较大的发展。自动检测系统是各种自动化系统中的重要组成部分,它与在线计算机和质量控制系统相联,形成质量自控系统。所谓质量控制是指将实际测量结果与标准值进行比较,并采取相应的措

施使产品达到标准要求及在全厂范围内取得最优的经济效果。这项工作主要由计算机进行,其主要任务是:

- a. 在加工、装配过程中各种质量参数的储存积累;
- b. 数据的压缩、分析和编制报告;
- c. 进行(必要的)实时工序调度控制;
- d. 参与必要的自动检测和自动试验过程;
- e. 数据的综合、统计;
- f. 信息检索、编辑各种文件等。

此外,计算机还在管理用的中央计算机的指令下,为新的检验、试验设备、工序控制等制订计划;或通过计划评审法、关键途径法等制定工程项目计划,使质量管理人员大大提高工效。

4. 在加工制造方面 随着计算机应用技术的发展,CAM正在向两端扩展其功能。CAM 向上逐步实现了工艺准备过程、生产准备过程中的许多功能,如 CAPP(计算机辅助编制工艺过程)、MRP(材料需求计划)系统等;向下扩展到产品包装和物料流的尽头——成品仓库的出货管理等,亦即现代的CAM 将产品的设计信息转换成加工制造信息,控制产品的加工、装配、检验性能测试、包装等全过程,以及与这些过程有关的全部物流系统和初步的简单的生产调度。

由于在机械产品市场中瞬息多变的特点愈来愈突出,多品种小批量生产将成为机械制造生产的主要方式,FMS(柔性制造系统)的应用范围和数量将继续增大。

5. 在管理方面 针对中小型企业的管理控制需要,将发展一些更简易可靠的计算机系统。由于微型计算机的性能不断提高,价格大幅度地下降,为微型机在机械制造企业管理中

开辟了广阔的前景。

生产管理系统是一个复杂的系统,可按分项任务划分为各子系统,如:

- a. 订货销售管理子系统;
- b. 库存管理子系统;
- c. 生产计划子系统;
- d. 器材需求计划子系统;
- e. 技术管理信息子系统;
- f. 质量管理子系统;
- g. 会计与成本核算子系统;
- h. 人事、工资管理子系统等。

企业根据订货的要求,通过上述子系统的工作,有节奏地协调各部门的工作,在规定的时间内、人力和消耗限额范围内完成生产任务,并取得最大的经济效益。对企业管理来说,生产过程中的信息流动形成了丰富多彩的各种企业管理活动。

6. 在综合自动化方面 70年代在发展CAD/CAM、FMS和车间自动化的基础上,预计将向全厂综合自动化方向发展。为实现较高水平的综合自动化,需要在未来的一二十年中发展一些智能的具有自适应控制的或带诊断系统的生产设备。在计算机应用软件方面要进行大量的研究工作,并在机械工业大系统的分析和设计方法上有所进展和突破。80年代后将是计算机综合自动化制造系统(CIMS)的时代,它是在CAD/CAM、FMS、CAPP,工业机器人(Robot)以及计算机辅助生产管理CAPM等的发展基础上提出来的。在CIMS中,产品设计、制造、测试乃至生产和技术管理、市场预测等再也不是分离的过程,而是一个统一的整体。在高度自动化、网络化、集

成化和智能化的基础上,信息流和物料流在 CIMS 内部按一定规律传递、处理和转换,形成一个以市场需求和原料为输入,以合格产品为输出的具有多级反馈的复杂动态系统。

综上所述,可以充分表明当前机械工业的发展是与计算机在机械工业中的应用紧密联系在一起的。随着计算机技术的发展,它在机械工业中的应用将不断深入,不断扩大。具体应用过程大致可分为下列几个阶段:

①初始阶段 即 50 年代到 60 年代初,那时的计算机称为第一、二代计算机,其内存容量一般不超过 100kB,运算速度为 100 μ s 左右,外存储器大量使用的是磁带,因此提供给用户使用的方式是脱机操作。这个时期内,计算机在机械工业中的应用处于开始阶段,其主要应用领域有:

- a. 机械设计等方面的科技计算;
- b. 数控加工技术的采用;
- c. 企业的财务计算。

②60 年代后期 随着第三代计算机的发展,出现了高速度、大容量、多功能的大型通用计算机,其运算速度为 $10^{-1} \sim 1\mu$ s,内存容量为 10MB,可提供功能强的通道硬设备,随着显示终端的大量使用以及短程数字通信技术的应用,出现了联机形式的人-机对话操作,开拓了使用计算机的新领域。人们可以在不同地点通过终端设备随时要求计算机服务,这就要求有多机系统。在这个时期内,计算机在机械工业中的应用范围进一步扩大。其主要内容为:

a. 用于机械设计 由于出现了 X-Y 绘图仪等输出设备,使计算结果能以二维图形输出,另外图形显示设备的出现,又为设计工作开辟了新的领域,利用图形显示终端进行实时输

入/输出,就能对设计方案作动态修改,缩短了设计周期。

b. 用于机械制造工艺过程 出现了计算机数控系统(CNC)和计算机直接数控系统(DNC)。

c. 用于企业管理方面 这时计算机的应用已渗入到企业管理的各个方面。如生产计划的最佳安排,生产组织调度,生产过程的材料消耗,成本核算,仓库自动管理,产品销售等等,从而逐步建立起工厂企业管理所需的较为完整的信息处理系统。

③70年代以后 由于大规模集成电路的发展,出现了微型计算机,由于微型计算机的性能不断提高,成本不断下降,它在机械工业中得到了日益广泛的应用。尤其针对我国为数众多的中小型工厂,研制各种建立在微机基础上的CAD及CAM系统软件,具有强大的生命力及很高的经济效益。目前计算机在机械工业中的应用更为深入。其主要内容为:

a. 计算机辅助设计(CAD)系统是设计人员进行产品设计强有力的工具,它把设计人员从繁琐的重复性绘图工作中解放出来,使其能从事创造性的工作。由于计算机的应用,一些新的计算方法引入产品设计,因而在设计阶段就能把握产品的性能。针对机械产品设计的特点,CAD系统还提供人机交互功能,根据输出的各种信息,对设计进行实时的修改,直到获得满意的结果为止。

计算机辅助设计的应用,大大地缩短了设计周期,提高了生产率,提高了产品设计质量。例如,西班牙采用CAD能使一条船的设计周期缩短三个月;日本三菱横滨船厂采用CAD后,使船体的放样工时减少了3/4;美国波音公司采用CAD,使飞机设计周期缩短了三年,先于英法联合研制的协和式飞