

CAD/CAM/CAE基础

刘昌祺 臧锁海 刘执中 编著

CAD
CAM
CAE

机械工业出版社

CAD/CAM/CAE 基础

刘昌祺 臧锁海 刘执中 编著



机械工业出版社

利用电子计算机实现自动化设计、制造和分析的 CAD/CAM/CAE 系统是一门综合技术，广泛应用于机械、电子、建筑、轻工及服装等制造业。本书是帮助读者理解 CAD/CAM/CAE 的基本知识，掌握 CAD/CAM/CAE 的基本设计方法。

本书主要内容有 CAD/CAM/CAE 的硬件和软件、计算机图形学、几何造型、CAE 技术、工序设计、NC 技术和机器人、CAD/CAM/CAE 中的数据库、自适应控制、CAD/CAM 在服装行业中的应用及在模具制造中的应用。

本书主要供技术人员、工科大、中专院校师生参考。

CAD/CAM/CAE 基础

刘昌祺 臧锁海 刘执中 编著

责任编辑：孙本绪 责任校对：韩 晶

封面设计：刘 代 版式设计：胡金瑛

责任印制：卢子祥

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

河北省涿水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 新华书店经售

开本 787×1092 1/32 ·印张 6 1/2 ·字数 142 千字

1991年1月北京第一版 · 1991年1月河北第一次印刷

印数 0,001—1,966 ·定价：5.70元

科技新书目：232-017

ISBN 7-111-02372-2/TP·123

JS453/37 2

序 言

随着电子计算机技术的飞速发展,设计和生产的方式正在发生巨大的变化,设计室中曾占统治地位的在绘图板上绘图逐渐为计算机辅助绘图所取代。过去,从设计完成到产品试制需要作许多工作,而今天,利用显示器上设计的实物模型,就能对产品的质量,性能和功能进行考查。在生产现场,计算机控制 NC 机床或机器人实现加工和装配作业,取代手工作业。

这样,我们把利用计算机实现从设计到生产的各种作业的高效率和自动化的设计生产方法(CAD/CAM),联合最新的 CAE 一起统称为 CAD/CAM/CAE。CAD/CAM/CAE 是一种涉及到计算机工程学、应用数学、电气电子工程学、土木建筑工程学等学科的一门综合性技术,也是技术人员颇感兴趣的课题。此外,对于制造业中的众多企业来说,也是一门在严酷的企业竞争中立于不败之地所必须的技术。

本书是一本从基础知识开始的 CAD/CAM/CAE 入门书。CAD/CAM/CAE 作为一门综合性技术并不很难。本书就是从最基本的知识入手进行介绍的。

第一章概述了什么是 CAD/CAM/CAE 以及其发展概况。第二章和第三章对 CAD/CAM/CAE 系统的硬件和软件构成进行了概括介绍,第四章到第八章对 CAD/CAM/CAE 所采用的各种技术,逐一作了介绍。并且还介绍了计算机图形学、形状模化、有限元法等分析技术及工程设计技术。

NC 技术和机器人技术。第九章介绍了 CAD/CAM/CAE 中的数据库技术以及知识工程在 CAD/CAM/CAE 中的应用,同时也介绍了 CAD/CAM/CAE 的一些最新发展趋势。第十章介绍适应控制。第十一章介绍 CAD/CAM 在服装行业中的应用。第十二章介绍 CAD/CAM 在模具制造中的应用。

CAD/CAM/CAE 今后将不断得到发展。本书的目的就是帮助读者理解 CAD/CAM/CAE 的基本知识,掌握 CAD/CAM/CAE 的基本设计方法,逐步获得 CAD/CAM/CAE 的应用技能。

由于作者水平有限,文中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

序 言

第一章 什么是 CAD/CAM/CAE	1
§ 1.1 什么是 CAD/CAM/CAE	1
§ 1.2 CAD/CAM/CAE 的历史	5
第二章 CAD/CAM/CAE 系统的硬件	11
§ 2.1 计算机	11
§ 2.2 CAD/CAM/CAE 系统的硬件构成	17
§ 2.3 显示器	20
§ 2.4 输入设备	23
§ 2.5 输出设备	27
第三章 CAD/CAM/CAE 系统的软件	29
§ 3.1 自动绘图系统	29
§ 3.2 各种二维 CAD 系统	34
§ 3.3 三维 CAD 系统	35
§ 3.4 CAE 系统	36
§ 3.5 CAM 系统	38
第四章 计算机图形学	40
§ 4.1 计算机图形学	40
§ 4.2 图形的产生	42
§ 4.3 图形的变换	44
§ 4.4 三维计算机图形学	51
§ 4.5 投影法	56
§ 4.6 隐面与隐线的消去	60

第五章 几何造型	63
§ 5.1 几何造型	63
§ 5.2 线模型和面模型	63
§ 5.3 自由曲线和自由曲面的几何造型	67
§ 5.4 立体模型	73
§ 5.5 质量参数的计算	79
第六章 CAE 技术	81
§ 6.1 CAE	81
§ 6.2 有限元方法	82
§ 6.3 有限元素法的基本方法	83
§ 6.4 有限元素法的元素自动分割	90
§ 6.5 边界元素法	91
§ 6.6 边界元素法的基本方法	93
§ 6.7 模态分析	101
§ 6.8 模态分析的应用	107
§ 6.9 机构分析	110
第七章 工序设计	111
§ 7.1 工序设计	111
§ 7.2 判定表方式的工序设计	115
§ 7.3 生成方式和半生成方式的工序设计	117
第八章 NC 技术与机器人	120
§ 8.1 NC 机床与加工中心	120
§ 8.2 NC 机床的编程	124
§ 8.3 自由曲面的加工	130
§ 8.4 机器人	131
§ 8.5 机器人的编程	134
§ 8.6 机器人的运动	137
第九章 CAD/CAM/CAE中的数据库及知识工程	
在 CAD/CAM/CAE 中的应用	143

VI

§ 9.1 数据库	143
§ 9.2 CAD/CAM/CAE 系统的一体化	147
§ 9.3 知识工程在 CAD/CAM/CAE 中的应用	149
第十章 自适应控制	154
§ 10.1 自适应控制概念	154
§ 10.2 自适应控制的应用	157
§ 10.3 加工中心的钻孔加工自适应控制	160
第十一章 CAD/CAM 在服装行业中的应用	168
§ 11.1 概述	168
§ 11.2 服装原形制作	168
§ 11.3 服装造型	172
§ 11.4 服装排样	175
§ 11.5 CAD/CAM 系统的硬件组成	177
第十二章 CAD/CAM 在模具制造中的应用	178
§ 12.1 概述	178
§ 12.2 模具制造软件系统	179
§ 12.3 模具形状定义	180
§ 12.4 加工动作定义	189
§ 12.5 模具制造硬件系统	197
§ 12.6 模具设计示例	200
参考文献	201

第一章 什么是 CAD/CAM/CAE

§ 1.1 什么是 CAD/CAM/CAE

§ 1.1.1 CAD/CAM/CAE 的定义

随着计算机技术的迅速发展,设计和生产的方式发生了巨大的变化。过去只能用手工完成的单调作业,现在可用计算机自动完成,而且设计、生产及设计分析的效率和精度都很高。这样,我们把利用计算机实现高效率和高精度地进行自动化设计、生产和分析的方法称为 CAD/CAM/CAE(Computer Aided Design 计算机辅助设计/Computer Aided Manufacturing 计算机辅助制造/Computer Aided Engineering 计算机辅助工程)

CAD、CAM、CAE 常常合在一起写成 CAD/CAM/CAE,这里将 CAD、CAM、CAE 合在一起,是考虑到只有将它们有机地统一在一起,才能实现最佳效率,从而成为一种从设计到生产的综合技术。

为了说明 CAD、CAM 和 CAE 的应用范围,下面通过一个产品的制造过程来简要介绍一下计算机的应用情况。

§ 1.1.2 CAD 和 CAE 的范围

制造一个产品的过程是各不相同的。对标准产品来说,其制造过程可分为四个阶段,如图 1-1 所示。即基本设计、详细设计、生产准备和制造四个阶段。

首先是基本设计阶段。在这一阶段,需要研究产品应该

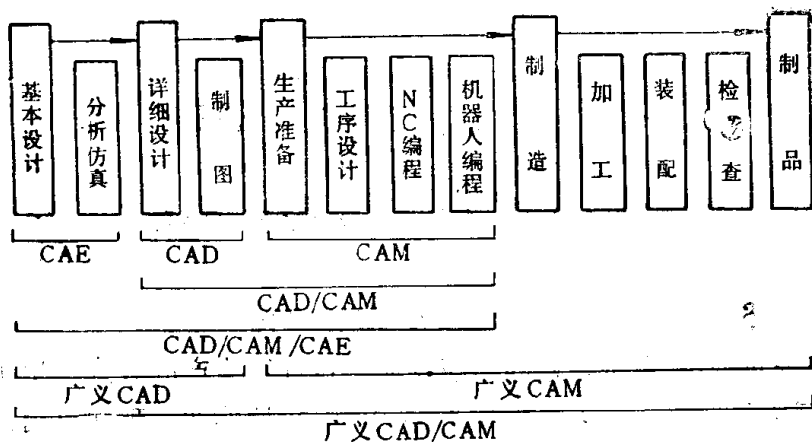


图 1-1 完成制品的过程和 CAD/CAM/CAE 的范围

达到的设计功能、产品的整体形状和结构,并进行性能预测,强度和结构分析以及仿真。在这一过程中,计算机自动参考以往的设计实例和经验资料,充分利用它的卓越的检索功能,从数据库中调用存储的设计例子和资料的数据。此外,在这一过程中,还要利用计算机做必要的性能预测,强度分析、结构分析和仿真工作。计算机在分析和仿真中的作用是惊人的。

所谓详细设计,就是在基本设计阶段大致确定了制品特性后,确定零件各部分的详细形状,尺寸和材料等参数。在这一过程中,利用计算机高效率的检索存储在数据库中的设计标准和规格等数据,并确定详细的零件形状。设计者坐在 CRT 显示器前面,利用与实物相似的图象,就能确定和设计零件形状。这里,设计者用称为几何模型的电子模型取代了以往采用的粘土模型。这种电子模型是详细设计阶段所必需的。此外,它也可用于对产品进行分析和仿真,这样,最

终设计定型所需要的试作次数就可大幅度减少，从而提高了设计和试制的效率。

基本设计和详细设计完成后，将其结果存入数据库，作为“图纸”以随时调用。这样，将设计结果图纸化的绘图作业可利用计算机的自动绘图系统，快速而准确地完成。

从以上的设计分析过程中，可以初步看到计算机应用状况。CAD 和 CAE 也就是指这些领域而言，实际上，CAD/CAE 正处在飞速发展之中，其应用范围和前景是非常宽广和可喜的。这里，我们先将 CAD、CAE 的范围规定如下。

CAD 就是利用计算机确定和设计产品形状和尺寸，完成绘图作业的过程。为了简化起见，图 1-1 中将 CAD 确定为只完成绘图作业的过程。当然还包括一些与绘图有关的几何造型技术在内。

所谓 CAE 就是利用计算机进行分析和仿真的过程。图中为了方便起见，规定 CAE 范围为基本设计和详细设计中的分析和仿真过程。

实际上 CAD 具有比上述 CAD 更广的定义，广义的 CAD 是指上述的 CAD 与 CAE 的总和。如图 1-1 所示。

§ 1.1.3 CAM 的范围

再来看图 1-1，在进入生产过程之前，必须先经过生产准备阶段。

生产准备阶段的第一步是工序设计。所谓工序设计即是对产品零件的加工方法、加工顺序及所用的机床进行研究。进行工序设计需要丰富的实践经验。以往，只能由熟练的有经验的工程技术人员来完成。而今天，这些加工技术和信息都存储在数据库中，通过与计算机的对话，即使经验很少的操作者也能进行工序设计了。

生产准备的第二步是关于加工零件的设备问题。今天，几乎都是用 NC(Numerical Control 数字控制)机床 进行自动加工的。因此，加工的准备，即 NC 机床的 NC 程序的编制，也能用计算机完成，而且效率很高，错误率也少。

另外，零件的装配准备也是必须的。由于目前自动化装配作业大都采用机器人进行，装配准备也转化成为机器人的程序编制。利用计算机进行机器人编程也是容易实现的。

上述生产准备工作完成之后，就开始进行实际加工、装配和检验等工作。在实际加工中，利用计算机不仅使 NC 机床本身实现高效率高精度加工，而且可以提高多台机床的整体效率。随着计算机技术的发展，装配机器人的应用范围越来越广，许多场合都能利用机器人。即使在最后检验过程中，利用计算机的自动测量装置也越来越普遍。

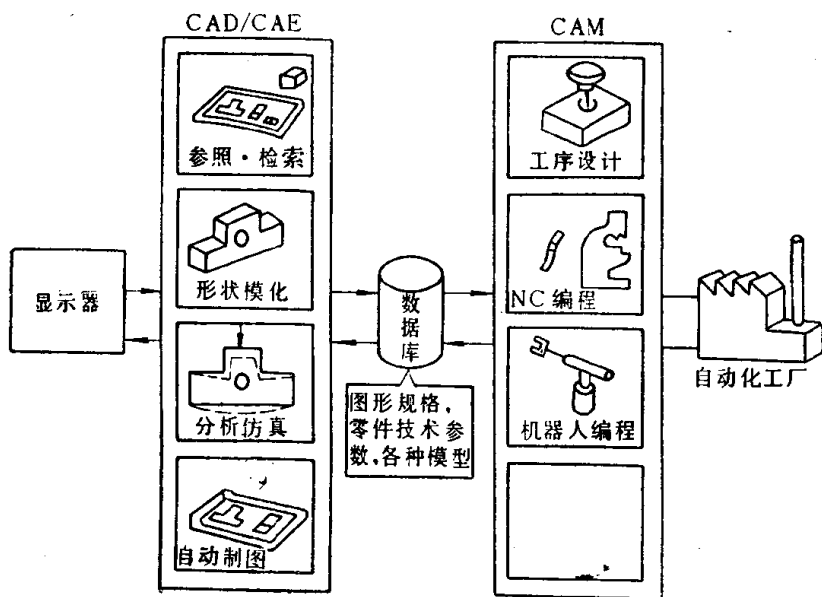


图 1-2 CAD/CAM/CAE

以上介绍的是计算机在生产中的应用现状，一般说来，CAM 包括工序设计，NC 编程，机器人编程等生产准备的过程。有时还采用广义的 CAM 定义，广义的 CAM 除包含生产准备外，还包括利用计算机进行的实际制造。本书以前一种定义为重点进行介绍，必要时也涉及到广义的 CAM。

在设计和生产过程中，CAD、CAM、CAE 的先进程度，取决于各过程的水平。把各过程的先进技术集中成一个整体，则构成 CAD/CAM/CAE(图 1-2)。这时，人就从单调的工作中解放了出来，从事一些创造性的劳动工作。这样，人坐在显示器前与计算机对话，使自己的思想具体化，从而使设计的产品在工厂能创造出来。

§ 1.2 CAD/CAM/CAE 的历史

为了加深对 CAD/CAM/CAE 的定义和应用现状的认识。这一节简介一下 CAD/CAM/CAE 的历史。为此，首先应从计算机的历史讲起。

§ 1.2.1 计算机的发展历史

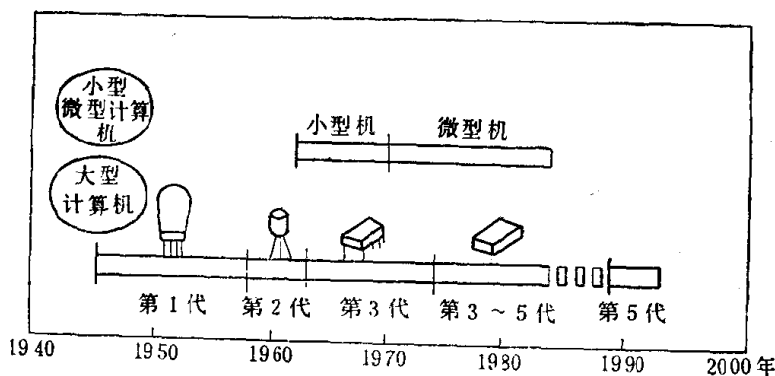


图 1-3 计算机的发展过程

图 1-3 所示为计算机的大致发展过程。

数字计算机诞生于 1940 年,当时的计算机是一个电气机械式装置。当时,最大的一台计算机 MARKI 可在 0.3 秒内完成 23 位的加法和减法;在 0.6 秒内完成同样位数的乘法运算。

1946 年,第一台由电子管取代机械部件的电子计算机诞生了。这时的计算机可在 $1/40$ 秒内完成 10 位二进制数的乘法运算,1950 年运算速度达到了 $1/2000$ s。

50 年代末,诞生了采用晶体管的第二代计算机,这一时代的计算机可在十万分之一秒内完成 10 位二进制的乘法运算。

60~70 年代,研制成功了在很小的硅片上集成数千个晶体管的集成电路(IC),从而诞生了第三代计算机。这种计算机可在一秒钟内完成几百万次的运算。目前,采用大规模集成电路的第 4 代计算机和采用超大规模集成电路的第 5 代计算机非常普遍。今天,计算机正向高性能和低价格的方向发展。

以上是大型计算机或称为主机的计算机的发展概况。与此同时,小型计算机的发展也是惊人的。

60 年代中叶,研制成功了称为 minicomputer 的小型计算机。70 年代,计算机进一步小型化,出现了由一个或数个半导体芯片构成的微型计算机。以微型计算机为中心,配备输入、输出设备、构成一个计算机系统。这种所谓的个人计算机目前十分普遍。

§ 1.2.2 CAM 的历史

CAD/CAM/CAE 的历史先要从 CAM 的历史开始。

图 1-4 所示为 CAD/CAM/CAE 的发展历史。

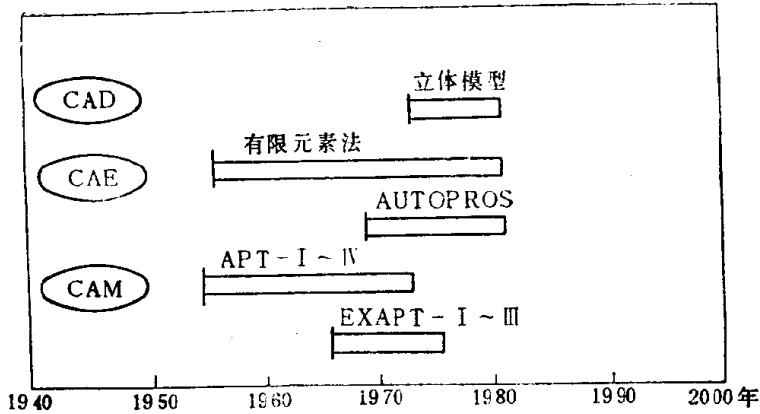


图 1-4 CAD/CAM/CAE 的发展历史

1952年，美国麻省理工学院研制成功了世界上第一台NC机床。这种机床可以取代以往的手工作业。但机床的控制程序纸带仍要由人来编制。这一工作不但很费时间，而且很容易出错。为此，麻省理工学院研制成功了用计算机取代NC机床的手工编程的工作。在研制NC机床的同时，开发了APT(Automatically Programmed Tools)的自动编程系统。APT就是根据要加工零件的形状，自动计算刀具轨迹的装置。

最初的APT研制成功后，于1957年和1961年又相继推出了APT-II和APT-III。从1964年后，伊利诺斯工业大学承担了APT的长期开发计划，于1969年研制成功了APT-IV。

以后，APT技术又传到了联邦德国的汉堡大学，该大学又开发成功了EXAPT-I，EXAPT-II和EXAPT-III。

工序设计的历史发展，也是一个实现自动化的过程。1969年，雷诺公司开发成功了第一个标准设计系统AUTO-

PROS。但是，由于不明确工序设计中的许多技术处理问题，所以未能得到进一步的发展。从而成为 CAD/CAM/CAE 技术中开发最慢的一项技术。AUTOPROS 对以后的工序设计系统产生了很大影响，但目前还不十分普及。

§ 1.2.3 CAD 的历史

在开发 APT 的同时，50 年代后期，麻省理工学院不仅把计算机用于加工，而且把计算机用于设计过程的广阔前景也进行了探索。这一工作首先由麻省理工学院学生 Suther Cand 完成的。他将他的计算机图形对话式系统命名为 SKETCH-PAP。这种系统只需用光笔在显示器屏幕上做必要的指示，给出一些简单的命令，即可任意描绘出直线、圆、弧线等几何图形。这样，将图形信息存储到计算机中，作为绘图数据使用，还可用于其它方面。会话式计算机图形处理，也是实现 CAD 概念的第一步。

CAD 首先成功地应用在电子工业领域中。60 年代末的电子电路还是相当复杂的。利用计算机图形处理的功能，提高了设计的效率。

在电子工业中成功的应用了 CAD 后，与电子电路相同的需要二维设计的许多工业领域中都用上了 CAD。比如，机械工业中的管道设计，土木建筑中的桥梁、高速公路结构设计，城市建设中的给水排水、电线、电话线、煤气管道的设计等等，都可应用 CAD 技术。

二维 CAD 技术获得成功以后，接着又在向三维 CAD 发展。在机械设计中，解决三维问题是很必要的。1973 年，布达佩斯召开的国际会议上首次公布了一种能将与实物一模一样的图形存入计算机中，在设计时使用的系统，即所谓立体模化器。从那以后，对立体模化器的研究一直发展到今天。

§ 1.2.4 CAE 的发展

利用计算机在设计中作必要的解析运算,这也是计算机诞生时的最基本要求。1953年,在电力变压器的设计计算中,首次应用计算机作某些收敛运算。

50年代后期,又诞生了在CAD/CAM/CAE中都发挥着巨大作用的有限元方法。50年代正是飞机从螺旋桨式向喷气式发展的时代。要确定高速飞行的喷气式飞机的机翼构造,需要有对振动特性高精度的解析,采用以往的计算方法是难以达到要求的。1956年,波音公司的技术人员开发了一种划时代的方法。这就是有限元素方法。因为有限元方法应用范围广,所以它的发展很快。现在,它不仅能用于结构解析,还可用于热传导,流体和电磁等解析中。

这以后,又开发出了边界元素法,模态解析法等新的利用计算机进行解析的方法。

最近,这些解析方法不仅单独使用,与CAD或CAM结合应用的情况也不少。但是应看到,CAD主要是利用计算机进行图形处理,而CAE则是一种设计技术。有了解析方法的发展,推动了CAE的实用化。它相对于CAD和CAM来说也具有同样的地位。

§ 1.2.5 CAD、CAM、CAE的统一

最初,CAD和CAM是独立地发展的,在实践生产过程中,CAD和CAM是在互不联系的情况下实现的。但是,用CAD进行设计,将设计产品形状数据存入计算机后,再由CAM对同一个形状的数据进行修改就有些重复和浪费时间。为了避免这些重复浪费,应看到CAM与CAD相统一的重要性。将它们作为一个整体应用,弥补各自的不足。自从立体模化器出现以来,这种统一的整体受到了人们的重