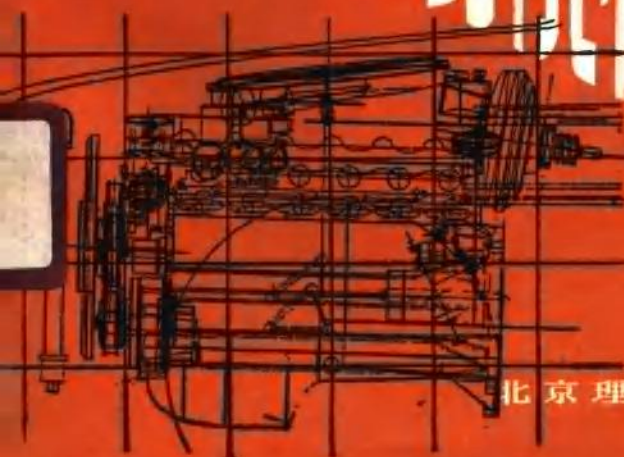


章一鸣 主编



计算机辅助机械设计



北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书是一本计算机辅助机械设计教材。全书从现代机械产品对计算机辅助设计系统的要求出发,介绍现代CAD系统的总体概念、CAD系统的硬件和软件、数据库、二维交互图形、三维几何建模、PC机CAD系统、CAM与CIMS、CAD的工程应用,以及CAD系统的智能化、集成化、接口及标准等基本概念、原理、方法和应用等。本书可使读者全面并深入的了解现代CAD系统的全貌,为在各自专业领域中的CAD应用打下必要的基础。本书取材于近几年国内外有关的新资料,内容新颖充实,突出了系统性、先进性。

本书可作为高等工科院校机械类(含车辆工程)学生学习机械CAD系统的教材,也可供有关工程技术人员参考。

计算机辅助机械设计

章一鸣 主编

*

北京理工大学出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京通县向阳印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 12.25印张 318千字

1990年9月第一版 1990年9月第一次印刷

ISBN 7—81013—347—O/TH·37

印数: 1—6000册 定价3.10元

前 言

近20年来,随着计算机技术的迅速发展,计算机辅助设计与制造(C A D/C A M)在电子、航空、汽车、造船、机械制造及建筑等各个领域内均得到了广泛的应用。目前,C A D/CAM技术正在促进着工程技术界很多方面的工作。我国机械工业的发展方针也明确“将开展C A D/C A M的应用与研究作为改变机械工业落后面貌的重要措施”,就此更深远的意义是随着C A D/C A M技术的推广应用,必将使工程技术领域发生设计方法与设计技术的根本改革。

编写本书的目的是希望配合我国正在兴起的C A D技术应用与开发工作,较全面地介绍现代C A D系统的技术,以便为读者进一步在各自专业领域中应用与开发C A D技术打下必要的基础。本书主要引用了国外近年来的C A D教材和资料,也参考了国内的有关教材和资料。全书共分十章,主要介绍C A D系统的整体概念,系统硬件和软件,数据库,计算机交互绘图,几何建模,P C机的C A D系统,C A M与C I M S,C A D在汽车工业中的应用,C A D系统向智能化、集成化、现代化、标准化的发展趋向等。本书的特点是从机械产品对计算机辅助设计系统的要求出发来介绍C A D系统的特点,取材新颖,突出了对C A D系统支撑软件、工程数据库、P C机的C A D系统的分析和在汽车工业中的应用等特点,吸取了有关C A D系统图形标准、数据交换标准等内容。

本书可作为高等工科院校机械类(含车辆工程)机械C A D课程的教材,也可供工程技术人员参考。

本书由章一鸣主编,其中第五、第六章由赵家惠编写,其余

各章由章一鸣编写。

我国不少理工科大学正在开设C A D这门课，成熟的教材和资料还不多，国外有的大学虽已开设了这门课，但还未见到一本较为完整的机械C A D教材。目前C A D技术还正在发展中，本书中的有些内容可能不够成熟。由于编者水平有限，书中的不当之处，热忱欢迎读者批评指正。

编 者

1989年9月

目 录

第一章 计算机辅助设计概论	(1)
第一节 C A D/C A M 定义	(1)
第二节 C A D/C A M 在生产周期中的作用	(4)
第三节 计算机辅助设计系统的发展	(5)
第四节 设计过程与计算机在设计过程中的作用	(12)
第五节 计算机辅助设计的效益	(19)
第六节 C A D系统的组成分类与系统的选择原则	(23)
第七节 C A D系统的多学科性	(30)
第二章 计算机辅助设计系统的硬件	(31)
第一节 概述	(31)
第二节 主机	(33)
第三节 存贮器	(37)
第四节 图形终端	(41)
第五节 一般输入/输出设备	(47)
第六节 交互图形输入设备	(49)
第七节 绘图机和其它输出设备	(56)
第三章 计算机辅助设计系统的软件	(62)
第一节 概述	(62)
第二节 系统软件	(66)
第三节 支撑软件	(75)
第四节 目前常用的C A D系统软件	(108)
第四章 数据结构、数据库与工程数据库	(120)
第一节 概述	(120)
第二节 数据结构	(125)
第三节 数据库与数据库管理系统	(141)
第四节 工程数据库	(147)
第五节 微型计算机d B A S E II数据库管理系统.....	(153)

第五章 计算机绘图基础	(165)
第一节 二维图形的基本变换	(165)
第二节 三维图形的基本变换	(177)
第三节 正投影变换	(188)
第四节 三维图形信息的生成	(194)
第六章 三维几何建模	(208)
第一节 概述	(208)
第二节 线框建模	(212)
第三节 表面建模	(214)
第四节 实体建模	(215)
第七章 PC机的CAD系统.....	(226)
第一节 概述	(226)
第二节 P C机C A D系统的硬件与软件配置	(229)
第三节 P C机C A D系统AutoCAD软件包	(235)
第八章 计算机辅助制造和计算机集成制造系统	(278)
第一节 概述	(278)
第二节 数控技术	(278)
第三节 计算机数控与机器人技术	(285)
第四节 成组技术	(295)
第五节 计算机集成制造系统C I M S	(307)
第九章 计算机辅助设计在工程中的应用	(318)
第一节 概述	(318)
第二节 美国汽车工业中C A D/C A M的应用与开发	(319)
第三节 汽车车身和发动机的C A D/C A M 过程实例.....	(334)
第十章 C A D技术的发展趋势.....	(344)
第一节 概述.....	(344)
第二节 C A D系统的智能化	(346)
第三节 C A D系统的集成化	(358)
第四节 C A D系统的接口与标准	(365)
第五节 C A D系统设备的现代化	(379)
参考书目.....	(385)

第一章 计算机辅助设计概论

近20年来,随着计算机技术广泛并迅速的发展,计算机辅助设计(Computer-Aided Design 简称CAD)与计算机辅助制造(Computer-Aided Manufacturing 简称CAM)在电子、造船、航空、汽车、机械及建筑等各个领域中都得到了普遍的应用。CAD与CAM目前几乎影响着工程界的每个领域,由于CAD与CAM逐渐趋向于集成化,故有时也把二者合称为CAD/CAM。应用CAD/CAM可使很多专业摆脱令人腻烦、花费时间和容易出错的工作,从而使人们能把更多的精力用于开拓新领域,尤其是在目前处于高效率、高效益、高技术竞争的时代,要想适应瞬息万变的市场需求,促使产品更新换代,就必须采用CAD/CAM这一新技术。

世界上现已安装的CAD/CAM系统约有12000多套,价值10亿多美元,其中价值5亿美元的设备大都是在1981年后建成的。在工业部门用于CAD/CAM技术方面的投资比例分别为:机械工业中为35%,宇航和军工中为30%,电子工业中为20%,建筑工业中为10%,其它工业部门中为5%,并在机械工业中的投资仍有增长的趋势。从效益上看,有的购买了CAD/CAM系统的公司不到一年就可收回投资费用;“美国国家科学基金会中心”指出:CAD/CAM对直接提高生产率,比电气化以来的任何发展都具有更大的潜力;因此从多方面看,应用CAD/CAM系统,这将是提高工程生产效率的关键。

第一节 CAD/CAM定义

目前有些人对CAD、CAM有片面理解，例如有些人把应用计算机进行科学计算、分析看成就是CAD；或把CAD仅仅看成是计算机绘图；或把CAM仅看作是穿孔纸带数控加工等；因此有必要对CAD/CAM作出恰如其分的说明。由于CAD/CAM技术正在发展中，不同地区(美洲、欧洲)、不同国家的学者从不同的角度出发，对CAD、CAM定义以及与其它计算机辅助领域的关系的理解是不完全相同的。

计算机辅助设计(CAD)的定义是：指使用计算机系统来辅助一项设计的建立、修改、分析或优化。计算机辅助设计系统包括硬件和软件，用以完成不同用户的专业设计功能。CAD系统的软件包括系统软件、支撑软件与应用软件，支撑与应用软件因用户而异，因为用户的生产线、加工制造过程和市场是不同的，正是这些因素对所需求的CAD的要求是不同的。

计算机辅助制造(CAM)的定义是：指通过直接或间接地把计算机与工厂生产设备联系起来，实现用计算机系统计划、管理、控制及操作的过程。实用的计算机辅助制造大致分为两类：

1. **计算机监视与控制** 这是直接的应用，计算机与制造过程直接连接，对生产过程进行监控。

2. **辅助制造的应用** 这是间接的应用，计算机与制造过程无直接联系，用于辅助生产操作。

以上这两类CAM之间的差别是理解计算机辅助制造的基础。计算机监控包括监视与控制。计算机监视是将计算机与制造过程连在一起，对制造过程和设备进行观察以及在加工过程中收集数据，计算机并不用于直接控制操作，控制操作则是由操作人员进行的。计算机控制不仅观察制造过程，而且根据观察，对制造过

程进行控制。计算机监视与控制两者的区别如图1-1所示，从计算机与制造过程之间的数据流看，计算机监视只有一个流向，即从制造过程到计算机；计算机控制则有两个流向，制造过程将信息传到计算机，再由计算机发出信号控制制造过程。

计算机辅助制造间接的应用是计算机对制造加工设备的操作起辅助作用，计算机以“脱机”(指设备不在计算机直接控制下)工作方式提供计划、工序安排、预测、指令及信息等，通过这些可对生产设备进行更有效的管理，计算机和制造过程的联系如图1-2

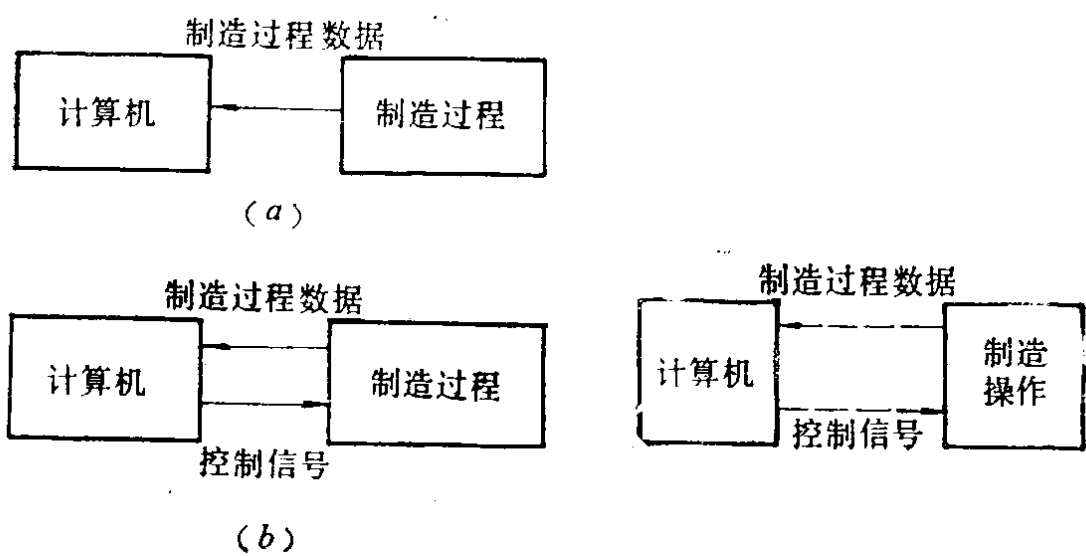


图1-1 计算机监视与计算机控制的比较 图1-2 计算机辅助制造的间接应用
 (a) 计算机监视 (b) 计算机控制

所示。图中带箭头的虚线表示通信和控制线是以“脱机”方式连接的。第八章中将详细讨论这种经常使用的计算机对制造过程操作起辅助作用的例子，如用计算机对加工零件进行数控编程，计算机辅助工艺规程设计等。

计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)的定义是：指从设计到制造的整个过程应用计算机进行有关信息处理的技术。当CAD与CAM结合在一起时，就把产品的设计和制造过程变成为一个完整的集成系统，使许多专业技术工作实现了自动化，由此CAD/CAM最终将会为未来工厂的计算机集成化提供技术基础。

第二节 CAD/CAM在生产周期中的作用

评价CAD/CAM在工厂设计与生产中的作用, 就应看一个产品设计、生产中必须完成的各种活动与功能, 而完成这些活动的过程就称为生产周期。图1-3简单表示了整个生产周期中的各个阶

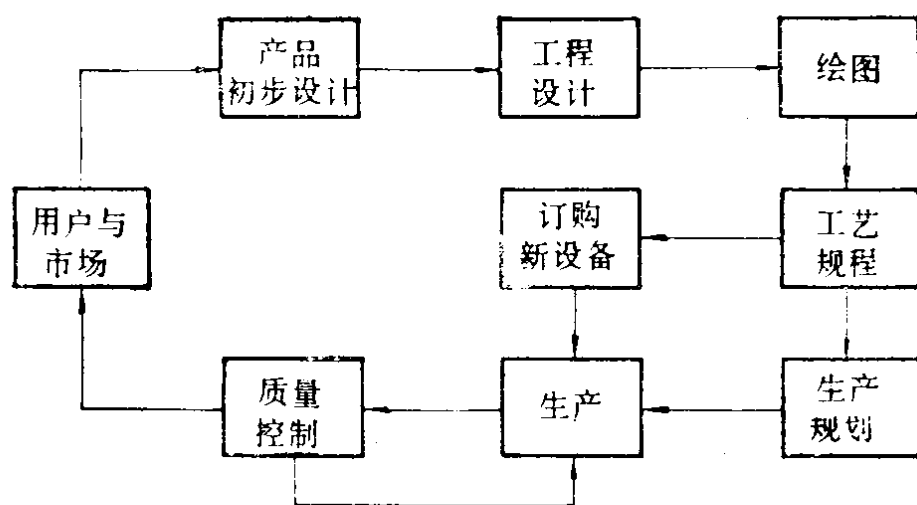


图1-3 生产周期(设计与制造)

段。该周期由用户和市场对产品的需求来决定。根据用户不同的要求, 形成不同的生产周期。在某些情况下, 设计功能由用户完成, 而产品制造则在不同的厂家进行。另一些情况下, 设计和制造都在一个公司里完成, 但不论什么情况, 生产周期总是从产品初步设计开始的, 即对一项产品的设想, 这个概念经过工程设计完成了: 产品图样、改进、分析和提高, 最后变成了工程图与工艺文件。设计之后的活动是产品的制造, 工艺规程详细地说明了为制造该产品所需生产操作的工序, 生产的产品经过质量检验最后到达市场与用户。

图1-4表示了CAD/CAM对一个生产周期中不同活动的影响。计算机辅助设计与自动绘图用于产品初步设计、工程设计与生成产品文件。使用计算机可更有效地完成工艺规程与生产规划设

计。在生产中可利用计算机进行工艺操作中的监视与控制；在质

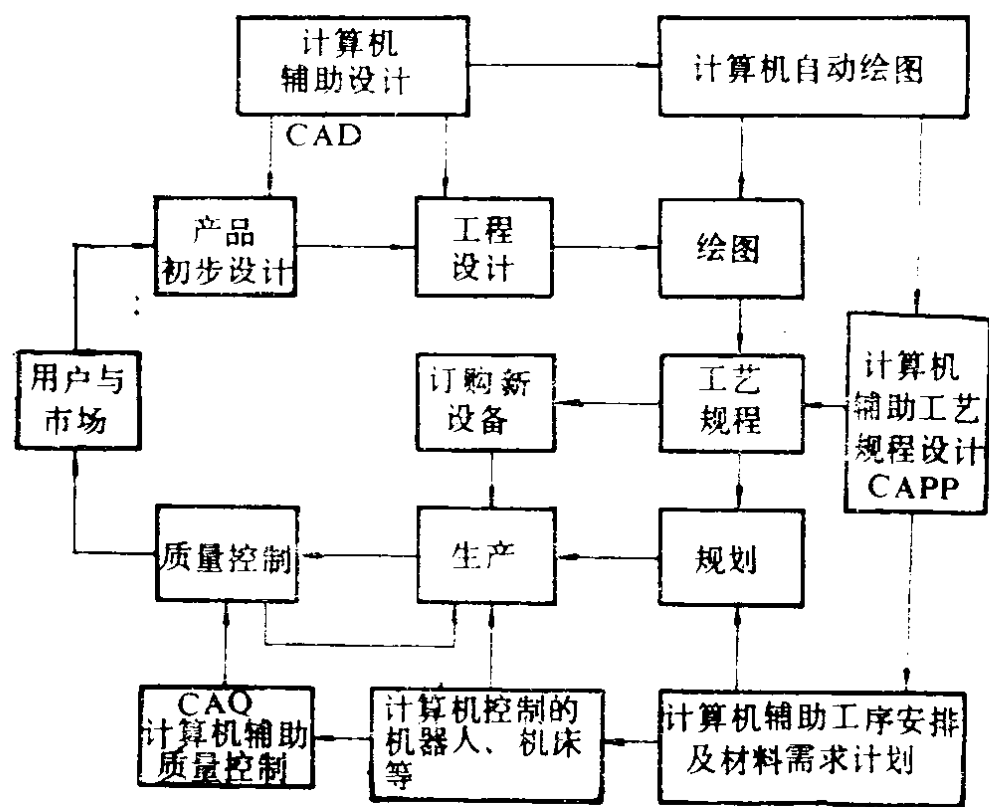


图1-4 CAD/CAM对生产周期的影响

量控制中，计算机可对产品及其零件进行监测与完成检测。

正象图1-4所表明的CAD/CAM是生产周期中所有可能的活动和功能的重点，在一个现代化的制造公司的设计与生产的工作中，计算机已成为一个普遍的、有效的、必不可少的工具。对于现代工程技术人员，懂得CAD/CAM技术是非常重要和必不可少的。

第三节 计算机辅助设计系统的发展

一、计算机辅助设计系统

如第一节所定义的那样，计算机辅助设计包括各种各样的设计活动，这些活动都是利用计算机对工程设计进行研究、分析与修改。现代的计算机辅助设计系统(也常称为CAD/CAM系统)

是以交互计算机绘图(ICG)为基础的。交互计算机绘图系统是一个面向用户的系统,在这个系统中计算机以图象或符号的形式来产生、传送和显示数据。在计算机绘图、设计系统中设计师是用户,他通过输入设备给计算机输入数据和命令,计算机通过阴极射线管与用户作通信联系。设计师输入命令,通过调用存贮在计算机中的相应软件的子程序使在屏幕上产生图象。大多数计算机绘图系统中的图象由基本的几何元素——点、线、圆等组成。图象还可通过设计师的命令被放大、缩小、移动、转动和实现其它变换。通过这些操作就产生了详细的图象。

基本的CAD系统由计算机硬件系统与软件系统所组成,如图1-5所示。电子计算机及其外围设备称为CAD硬件系统,CAD软件系统由系统软件、支撑软件及应用软件组成。CAD系统的硬件系统计算机既可以是独立的,也可以是网络型数字电子计算机。交互式CAD硬件系统的外围设备一般如图1-6所示,有外部存贮器(硬盘、软盘、磁带机)、字符终端、图形显示终端、打印机、绘图机与图形输入的数字化仪及光笔等。

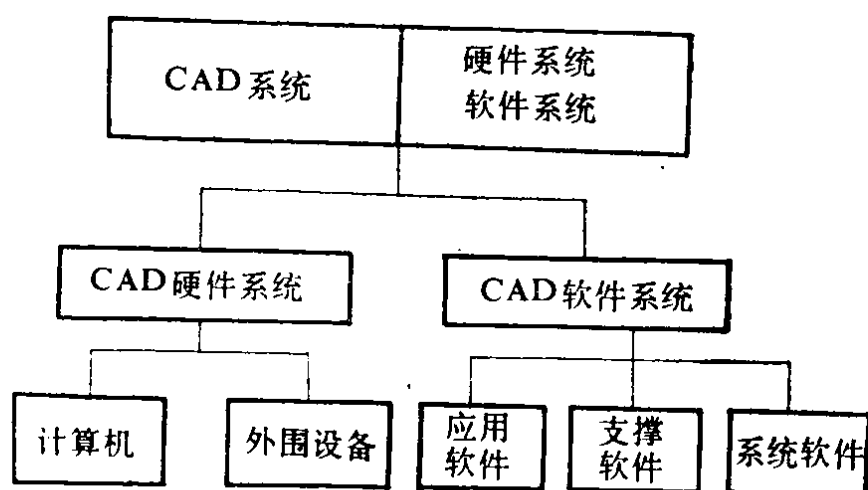


图1-5 CAD系统组成

CAD系统的软件系统中的系统软件决定了系统的使用方式,特别是交互处理的能力。支撑软件及应用软件是支持设计分析任务完成的程序。支撑软件包括设计和分析两方面的程序。用于机

械CAD系统的支撑软件有以下六类：图形、几何建模、有限元分析、机械运动模拟、最优化方法与数控编程软件包。一般CAD系统可以完成以下任务：

1. **零部件设计** 通过几何建模软件，设计师在图形上描述

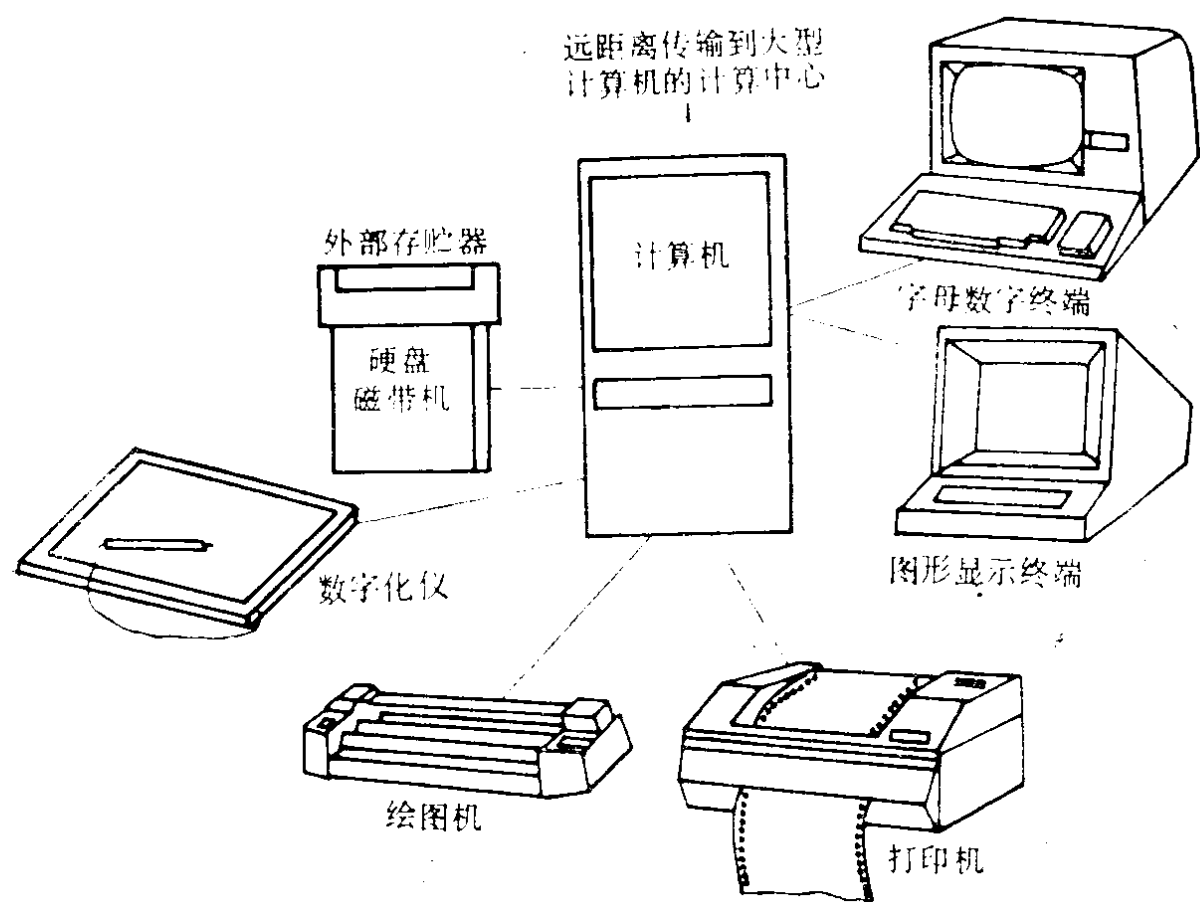


图1-6 硬件系统配置

零部件的结构形状，然后计算机将这种图形转换成数字模型，并存入数据库。这种数字模型在设计过程中可随时调用与修改。

2. **进行应力与变形分析** 通过有限元分析软件即可完成分析功能；此外，调用分析的前处理程序可自动生成网格，后处理程序可以用图形来显示分析的结果。

3. **对机械系统进行运动学/动力学模拟** 通过机械系统模拟软件，可建立机械系统模型,对它进行分析,并预测出运动中的工作情况。例如输入数据对汽车进行分析,可模拟车轮的不平衡、

制动或路面不平及坑洼对轮胎的冲击，由计算机输出整车在这些条件下的响应。在涉及复杂的机构运动学分析时，运动方程很难建立和求解，用机械模拟软件就能很好得到解决。如汽车篷杆系统设计，用人工设计需数百个工时，用CAD技术几分钟即可完成，多数情况下，还能从众多方案中选择最佳方案。

4. 零部件或系统优化设计 利用最优化方法软件，可对零部件或系统设计任务建立最优化问题的数学模型，并选择适当的最优化方法求解数学模型，自动寻求出最优的设计方案。

5. 自动绘图 用CAD系统绘图可由几何图形数据库或由用户在图形终端输入指令，自动地绘成工程图。大多数绘图系统有自动按比例绘图和定尺寸的特性。有的可用“功能菜单”按钮，确定点、定位线、输入文本与生成剖面线。据统计，用CAD系统绘图比用手工绘图快5倍，如用来进行修改，能快25倍。

应当指出：交互计算机绘图系统仅是CAD设计系统的一个重要部分，另一个重要部分是在于发挥设计师的作用。交互计算机绘图是设计师用来解决设计问题的工具，它扩展了设计师的设计能力。设计师完成的设计内容都与人的智力水平(概念的形成、独立思考的能力等)有关，而计算机完成的那部分设计内容是与计算机的能力(计算速度、显示、大量数据的存贮等)相适应的。设计师与计算机相互配合能完成的设计任务超过两者之和。因此，计算机辅助设计只有通过设计师与计算机的良好合作才能获得成功。

目前所以广泛使用计算机辅助设计系统有以下几方面的根本原因：

1. 能提高设计效率 在计算机中能使产品及零部件形象化，并减少了设计中综合、分析与提供文件的时间。这种改进不仅降低设计成本而且可以缩短设计时间。

2. 能改进设计质量 计算机辅助系统能进行细致的工程分析与大量设计方案的选优工作。通过系统精度的提高可降低设计

误差, 这些因素都使设计质量有较大改进。

3. 能改善信息传递 使用计算机辅助设计系统, 能得到标准的工程图, 使设计的文件更佳, 清晰度更高。

4. 能建立产品制造所需的数据库 应用CAD技术时, 在产品设计与编制文件过程中(产品及其零部件的几何形状与尺寸、材料规格与材料清单等), 制造这种产品所需的大部分数据也都随之建立了。

二、计算机辅助设计的发展历史

了解计算机辅助设计的发展历史, 有助于我们更好地了解它的现状与发展的趋向。计算机辅助设计的发展与计算机绘图的发展有很密切的关系, 当然计算机辅助设计比计算机绘图应用领域更广, 但计算机绘图是计算机辅助设计中基本的技术基础。

计算机绘图领域中, 早在50年代初美国麻省理工学院(MIT)伺服机构实验室首先研制了第一台数控铣床并研究用计算机制作数控纸带, 这可以说是CAM技术的开端。在此基础上D·T·Ross又于50年代后期发展了APT语言。APT是自动编程工具的缩写, 是指利用计算机进行数控零件编程, 其中可以很方便地用APT语言定义零件的几何元素, 并由刀具运动的轨迹来形成零件的形状。虽然APT的发展在计算机绘图领域中是一个重要的里程碑, 但早期使用的APT语言是不能实现人机交互的。

50年代后期研制成功的另一个项目是“光笔”——研究雷达数据处理的项目, 这项研究不仅能分析雷达数据, 而且还能把飞机在荧光屏上显示出来。为了缩短显示时间, 研制成功了用光笔来识别荧光屏上某一点。

60年代初期I.Sutherland(CAD技术先驱者之一)在麻省理工学院对人机交互项目开始了研究并命名为“SKETCHPAD”项目。他在1963年美国联合计算机会议上发表的论文中, 论述了阴极射线管(CRT)屏幕显示与光笔技术在计算机图形输入/输出和指

令显示上的作用，这标志着交互计算机绘图的开始。同时还开发了SKETCHPAD交互图形处理系统软件。S.A.Coons在1963年美国联合计算机会议上所作的“计算机辅助设计要求纲要”的报告中，对CAD作了重要的设想：设计师坐在CRT的显示终端前用光笔操作，从初步设计进一步到详细设计以至于到制造为止，都可以用人机对话的方式进行。这个设想在以后也都实现了。由此D.T.Ross、I.E.Sutherland和S.A.Coons等人都为CAD技术的开创作出了卓越的贡献。

1964年第一个工业企业发展的CAD系统——美国通用汽车公司开发的“计算机设计扩展系统”(DAC-I系统)问世,该公司是开发机械设计CAD的先驱之一,这个系统用于汽车的车身外表面和车身的结构设计。美国Lockheed公司与IBM公司联合开发了一个著名的CAD/CAM系统“计算机图形增强设计与制造软件包”(CADAM),它用于设计与绘图,有三维线框建模功能以及数控、三维结构分析功能。总的说来,60年代前后的CAD技术还处于初级阶段,但很多理论工作是在这一时期完成的,这为当今的CAD技术奠定了基础。当时CAD的应用还局限于少数大的企业,但是60年代后期,几个CAD、CAM系统销售公司也产生了,1968年CALMA、1969年APPLICON和COMPUTERVISION(CV)公司出售的商品CAD系统,有一种称为“成套系统”(Turnkey System)的CAD,由计算机硬件和相应软件组成,这是市场上出现的一种现成可用的CAD系统。

CAD技术在70年代后开始了大规模的发展。由于小型计算机的性能价格比有了很大的提高,有些大的企业应用CAD取得了一定的经济效益,都促使CAD/CAM技术从实验室走向了工业应用。大企业在逐步扩大CAD/CAM技术的应用领域,中、小企业也开始注意到它。1978年美国通用汽车公司和波音公司的许多报告给出了CAD/CAM技术的实用性与如何建立CAD和CAM之间的联系。70年代后期,CAD/CAM技术在许多领域已

成为工业上不可缺少的工具，很多政府部门意识到这一点，开始为此提供基金，并着手推进CAD技术，特别是它在中、小企业中的综合利用。

进入80年代是CAD/CAM技术进一步加快发展与广泛推广使用的阶段。由于小型机，尤其是超级小型机功能的提高和微型机的大量应用，计算机的性能价格比日趋提高；光栅扫描式与彩色图象终端功能日益完善；计算机图形由二维绘图系统发展到三维设计和工程系统；大量的有实用价值的计算机辅助设计系统出现，都对CAD技术的发展和推广起到了良好的促进作用。过去CAD系统主要应用于飞机和汽车制造公司，而这时开始广泛应用于民用工业，并已有十万多台CAD工作站正在使用中。

在美国，CAD/CAM公司超过了300家。为首的IBM公司占有24%的市场，第二是CV公司，占有22%的市场，其它分别

表1-1 美国机械CAD/CAM市场分配

序 号	公 司 名 称	销售额(万美元)
1	IBM	39100
2	CV	27200
3	DEC	10700
4	McAUTO	9400
5	CALMA	7000
6	INTERGRAPH	6400
7	APPLICON	6200
8	CDC	5400
9	PRIME	5300
10	MATRA DATAVISION	3600
11	DATA GENERAL	3200
12	APOLLO	3000
13	HP	2600
14	GERBER SYS. TECH.	2100
15	AUTO-TROL TECH.	2000

是DEC、INTERGRAPH、CALMA、APPLICON和McAUTO