

高等学校教材

计算机辅助 机械 设计

东北大学 王启义 刘永贤 主编



NEUPRESS
东北大学出版社

(辽)新登字第8号

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机辅助机械设计/王启义, 刘永贤主编。—沈阳: 东北大学出版社, 1994. 2

高等学校教材

ISBN 7-81006-713-3

I. 计… II. ①王… ②刘… III. ①计算机辅助设计: 机械设计-高等学校-教材 ②机械设计: 计算机辅助设计-高等学校-教材
IV. TH122-43

内容提要

本书介绍了计算机辅助机械设计的基本原理及其应用, 主要内容有: 计算机图形系统, 机械工程图计算机绘制, 图形变换, 参数几何学, 实体造型, 机械CAD数据处理, 有限元分析与计算机仿真, 机械优化设计及专家系统等。

本书可作为高等工科院校机械类专业本科生和研究生教材, 以及成人高等教育、工程技术人员普及和提高计算机辅助机械设计技术的教学与自修用书, 也可供从事机械CAD工作的有关人员参考。

©东北大学出版社出版

(沈阳·南湖 110006)

东北大学印刷厂印刷

新华书店发行

1993年12月 第1版

1994年2月 第2次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 13.625 插页:

字数: 340千字

印数: 1001~3000册

定价: 9.80元

前 言

本书是以高等工科院校机械类专业 CAD 课程内容为基础,参考了美国、日本等有关大学的计算机辅助机械设计教材,并总结编者多年教学和科研实践经验编写的。

全书共分 11 章,第 1 章总论,介绍 CAD 技术在国内外的发展及应用,CAD 系统的组成和分类。第 2 章计算机图形系统,以广泛应用的 Auto CAD 图形系统为例,介绍图形系统的功能及使用方法。第 3 章机械工程图计算机绘制,主要介绍基本图形、零件图和装配图的计算机绘制方法。第 4 章图形变换,介绍图形变换的数学基础,并以矩阵形式介绍几何变换、投影变换、透视及轴侧变换运算过程。第 5 章参数几何学,主要介绍曲线、曲面和实体参数表示法。第 6 章实体造型,介绍实体造型数据结构、基本模式及造型方法。第 7 章机械 CAD 数据处理,介绍在机械设计过程中的图、表计算机处理方法,并以 dBASE III 为例介绍数据库的基本概念、使用方法及工程数据库的基本结构。第 8 章计算机有限元分析与仿真,介绍有限元法解决工程问题的过程及前后处理的基本原理,结合实例介绍计算机仿真技术的原理及应用。第 9 章机械优化设计,介绍机械优化设计的数学模型及常用方法。第 10 章专家系统,介绍专家系统的基本原理及总体结构。第 11 章机械 CAD 软件二次开发,以工程应用实例介绍其软件开发过程。书后有附录,有关章附有习题,以便读者复习消化。

本书理论联系实际,注重基本原理及应用,讲述由浅入深,突出重点内容。课堂教学约 40~50 学时,为加深理解和熟练掌握有关内容、方法,还需要加强上机设计实践。

本书由东北大学王启义、刘永贤编写并担任主编,参加本书编写工作的还有张辉、史忠德、周建伟、李树君、王仁德、钱为民、江早、阎喜仁等。

对本书欠妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

1993 年 9 月于沈阳

目 录

前 言

1 总论

- 1.1 概述 (1)
- 1.2 CAD 技术的发展 (2)
- 1.3 CAD 系统的组成及分类 (5)

2 计算机图形系统

- 2.1 概述 (13)
- 2.2 Auto CAD 简介 (15)
- 2.3 Auto CAD 运行 (19)
- 2.4 Auto CAD 的特殊功能 (29)
- 习 题 (39)

3 机械工程图计算机绘制

- 3.1 概述 (41)
- 3.2 工程图绘制方法 (43)
- 3.3 装配图程序设计 (46)
- 3.4 标注信息处理 (50)
- 习 题 (51)

4 图形变换

- 4.1 图形变换数学基础 (52)
- 4.2 图形变换的若干问题 (54)
- 4.3 窗口视图变换 (58)
- 4.4 几何变换 (60)
- 4.5 三面投影变换 (69)
- 4.6 透视及轴侧投影变换 (72)
- 习 题 (77)

5 参数几何学

5.1 参数曲线.....	(78)
5.2 参数积分.....	(85)
5.3 参数曲面片.....	(89)
5.4 参数实体.....	(91)
5.5 几何和质量特性.....	(93)
习 题	(98)

6 实体造型

6.1 数据结构.....	(99)
6.2 实体造型模式及方法	(103)
习 题	(112)

7 机械 CAD 数据处理

7.1 表格程序化	(113)
7.2 线图程序化	(121)
7.3 数据库基本概念	(124)
7.4 dBASE III 概述	(126)
7.5 工程数据库系统	(135)
习 题	(138)

8 有限元分析与计算机仿真

8.1 概述	(139)
8.2 有限元法求解过程	(139)
8.3 弹性力学平面问题有限元法	(145)
8.4 有限元分析的前后处理	(153)
8.5 计算机仿真	(157)
习 题	(166)

9 机械优化设计

9.1 概述	(167)
9.2 优化设计数学模型	(169)
9.3 机械优化设计方法	(174)
习 题	(185)

10 专家系统

10.1 专家系统的基本原理.....	(187)
---------------------	-------

10.2	专家系统的总体结构.....	(193)
10.3	专家系统举例.....	(194)
11	机械 CAD 软件二次开发	
11.1	通用软件开发.....	(199)
11.2	二次开发构思.....	(200)
附录 1	Auto CAD 命令	(203)
附录 2	dBASE II 命令集	(204)
参考文献		(209)

1 总 论

1.1 概 述

机械工业担负着为国民经济各部门提供先进技术装备的任务。机械设计工作是机械产品实现的必要前提，是产品开发过程中至关重要的环节。机械产品设计的优劣，会直接影响其质量、成本、研制周期及市场竞争能力。机械产品的差距，首先表现在设计上的差距，据统计，产品质量事故近半是由设计原因造成的，其成本也在很大程度上取决于设计，因此机械设计工作具有非常重要的意义。

机械产品设计是设计人员根据市场、社会和人们的需要所进行的构思、计算、实验、选

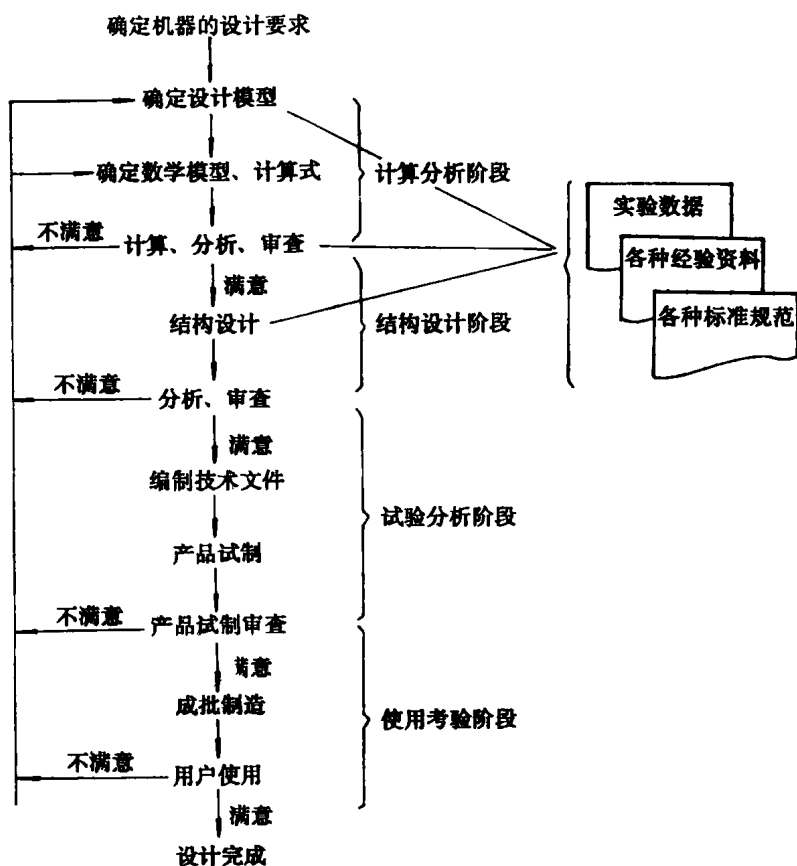


图 1-1 传统机械设计过程

择方案、确定尺寸、绘制图样及编制技术文件等一系列创造性活动的总称。

当前,机械产品已由少品种、大批量生产转变为多品种、小批量生产,改型更加频繁,更新速度正在加快,市场竞争变得更为激烈。因此,传统的机械设计和制造方法已显得十分被动,而无法适应这种形势的需要。当前,计算机辅助设计(CAD)技术发展之所以如此迅猛,正是因为它突破了传统的产品设计方式,把产品中繁琐、重复的计算、校核、分析、绘图等工作交给计算机去完成,使得设计人员能够集中更多精力去思考产品更新等创造性工作。据统计,采用CAD技术能使工程设计成本降低15%~30%,产品设计周期缩短30%~60%,设备利用率提高2~3倍。在很多国际项目招标中,要求投标方案必须由CAD完成。因此,CAD技术及应用水平已成为衡量一个国家工业生产技术现代化水平的重要标志。

1973年国际信息处理联合会曾给计算机辅助设计(Computer Aided Design, 缩写为CAD)下过一个广义定义:CAD是将人和机器混编在解题专业中的一种技术,从而使人和机器的最好特性结合起来发挥最佳能力。随着计算机图形学、数据库技术及现代设计方法的发展,CAD已成为人们利用计算机运算快、准确、存贮量大和逻辑判断功能等特点,它与图形处理、数据库技术以及各种现代设计方法相结合,以人机对话的方式进行设计,从而形成一门新兴学科。

为了解计算机辅助设计方法,先回顾一下传统设计方法完成一项机械设计的完整过程。如图1-1所示,设计者为了寻求一个较好的设计方案,首先构思设计模型,然后作一系列的数值计算,例如速度、行程、运动轨迹、力和转矩,以及几何尺寸、强度和刚度等。在结构设计时还要考虑其他有关问题,对计算结果比较判断后,进行绘图。为得到最优的设计结果,通常将设计分为计算分析、结构设计、样机制造与试验分析以及产品使用考验四个阶段。每一阶段,尤其是前三个阶段常常经过多次循环反复,当设计结果不能满足要求时,重新修改设计模型,直到认为满意为止。

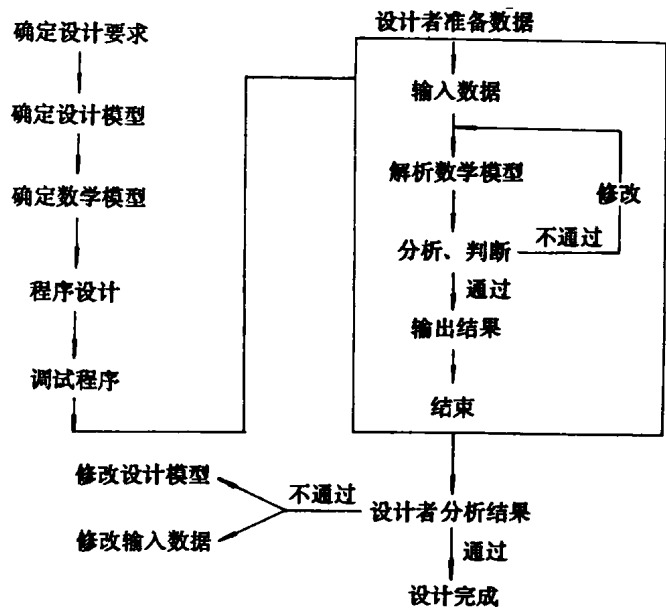


图 1-2 计算机辅助设计过程

采用CAD技术,其设计过程如图1-2所示,要求设计者确定设计模型之后,列出有关计算公式,将实验数据、经验资料、各种标准规范及常用和标准零件图形事先以库的形式存入计算机中,作好必要的初始数据准备,设计者就可以和计算机结合完成设计任务。

1.2 CAD技术的发展

CAD主要是研究用计算机及其外围设备和图形输入、输出设备帮助人们进行工程和产品

设计的技术。它随着计算机、外围设备及其软件的发展而发展。

自本世纪 40 年代,世界第一台电子计算机出现以后,最初人们使用它进行科学计算时,人和计算机之间的通讯工具主要是键盘或电传打字机。如果把计算机完成工程设计中的数值计算分析工作称为计算机辅助设计的话,那么计算机辅助设计这一技术的兴起和应用可以追溯到第一台电子计算机。然而,在工程界特别是设计领域内,都以大量的图形信息作为人们进行通讯的手段,设计成果也是以图形表示,如果 CAD 没有图形功能则是很难为人们接受的,因此图形输出设备的出现,标志着 CAD 发展的开始。

1950 年美国麻省理工学院 MIT 研制出“旋风 1 号”(Whirlwind 1)类似于示波器的图形设备,它可以显示简单图形。1958 年,美国 Calcomp 公司研制出滚筒式绘图仪;Gerber 公司研制出平板式绘图仪。因此一般认为 CAD 始于 50 年代,由于此时大多数计算机都采用电子管,用机器语言编程,计算机主要用于科学计算,为之配置的图形设备仅具有输出功能,CAD 技术处于被动式的图形处理阶段。有人称这一阶段为 CAD 准备和酝酿时期。

计算机辅助设计迈出的第一个重大步骤发生在 1962 年,这一年美国麻省理工学院的 I. E. Sutherland 发表了博士论文《SKETCHPAD—人机对话系统》,首次提出了计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想,从而为 CAD 技术的发展打下了理论基础。1963 年在实验室里研制出 SKETCHPAD 系统,它包括一个阴极射线显像管 CRT,由 Lincoln—TX2 计算机驱动。该系统允许设计者坐在显示器前,操纵光笔和键盘,对屏幕上显示图表进行操作,完成设计,最后由计算机产生设计图。这一研究成果是划时代的,它促进了 CAD 技术的发展。在这一时期出现了一些实用的 CAD 系统,例如:美国通用汽车公司使用的 DAC—1 (计算机增强设计)系统,航空公司使用的 CADD 和 CADAM 系统,由于 60 年代初交互式图形设备昂贵,且与大型主机相连,因此一般公司无力问津,只有少数几家实力雄厚、产品价格高的大公司才能使用。这一时期是计算机图形学领域的多产期,图形理论的研究取得了成果,有的已经应用于图形系统中。有关计算机图形和计算机辅助设计方面的科学组织和著作在 1966 年得到了承认。

在 70 年代初 CAD 技术的应用有了较大突破。当时,由于 CAD 技术应用于电子电路设计,使集成电路技术大为提高,出现了性能价格比很高的小型计算机。图形显示技术即 CRT 技术不断发展,成本下降。计算机图形学在理论上也有了较大发展,特别是产生了以小型计算机为基础的独立 CAD 系统即 CAD 工作站,这就使 CAD 技术不再为几家大公司所独有,也能得到一般厂商和工业领域的使用,因此 70 年代被称为 CAD 技术广泛使用的时期。70 年代末,美国 CAD 工作站安装数量超过 12,000 台,使用人数超过 2.5 万。

70 年代后期以及 80 年代,由于大规模集成电路以及超大规模集成电路技术的发展,出现了微型计算机和超微型计算机,其性能不断提高,内存容量逐渐增大可达几十兆字节,运算速度成倍增长;外设配置齐全,图形输入、输出设备更趋完善,为微型计算机及超微型计算机配置的图形系统开始出现,例如 AutoCAD 等。这些都促进了 CAD 技术更为迅速地发展,并有力地影响着世界工业的各个领域,这个时期被称为 CAD 突飞猛进的时期。

80 年代中期以后,随着计算机性能价格比的不断提高和计算机图形显示技术的进步,CAD 技术已进入了标准化、集成化及智能化的发展时期。标准化主要是图形接口、图形功能日趋标准化。从 1977 年由 SIGGRAPH 特别兴趣小组 GSPC 推出 CORE 图形标准以来,先后出现了计算机图形接口 CGI (Computer Graphics Interface),计算机图形文件标准 CGM

(Computer Graphics Metafile), 计算机图形核心系统 GKS (Graphics Kernel System), 面向程序员的层次交互式图形标准 PHICS (Programmer Hierarchical Interactive Graphics Standard) 以及基本图形转换规范 IGES (Initial Graphics Exchange Specification)。其中有些标准是面向图形设备的驱动程序包, 有些是面向不同 CAD 系统的文档规范。这些标准的制定和采用为 CAD 技术的推广和移植, 为资源信息共享起到了重要作用。

CAD 集成化主要体现在下述方面:

1) 系统构造由过去单一功能变成结合功能, 出现由 CAD/CAM (Computer Aided Manufacture) /CAM (Computer Aided Management) 组成三位一体的 CIMS 系统 (Computer Integrated Manufacture System), 即计算机集成制造系统;

2) CAD 技术中的有关软件和算法不断固化, 即用集成电路及其功能块来实现有关软件和算法的功能;

3) 多处理机、并行处理技术用于 CAD 技术中, 使工作速度成百倍地增长;

4) 网络技术在 CAD 中被普遍采用, 使近程和远程的资源都能及时共享。

人工智能 AI (Artificial Intelligence) 和专家系统技术在 CAD 中的应用大大提高了自动化设计程度。

CAD 技术可用于国民经济的各个方面。在技术先进的国家中, 如美国、日本等 CAD 技术已经广泛地应用到飞机、汽车、船舶、模具、印刷电路板、集成电路、管道布置、容器曲面、钣金、建筑等领域中, 其中用于机械产品设计的比例最大。出现了许多应用于机械设计的大型软件系统, IDEAS、BROVO3 等, 包括了计算、有限元分析、三维实体造型、二维平面机械图绘制, 并且含有 CAM 功能。近几年, 全世界 CAD 系统销售额以每年 30%~40% 递增, 从 1976 年的 9 亿美元增加到 1986 年的 58 亿美元, 1990 年超过了 100 亿美元, 其中 50%~60% 用于机械工业。

我国 CAD 技术的研究工作始于 70 年代中期, 近十年来 CAD 技术的开发和应用工作取得较快发展。从国外引进的一些工程分析软件, 如 SAP5、SAP6、IDINA、NFAP 等有限元分析软件, 专用的机械 CAD/CAM 软件 IDEAS、BROVO3、CADAM 等都已得到应用。国内从硬件方面看, 国产微机和工程工作站已开发成功并投入小批量生产; CAD 配套外设也研制成功并向系列化方向发展。从软件方面看, CAD 支撑图形软件系统初步开发成功, 重点机械产品, 如汽车、机床、透平压缩机、拖拉机等 CAD 应用系统已开发完成。从技术力量方面看, CAD 软件开发专业人员达一万多人, 拥有工作站两千余台。采用 CAD 技术带来的经济效益和社会效益十分明显。比如, CAD/CAM 系统投入使用, 使车身设计周期由 10 个月缩短到 2 个半月, 设计精度提高 4~5 倍, 设计工作量减少 9/10。重型减速机 CAD 系统的应用, 改进设计使承载能力提高 3 倍以上, 效率提高 3%, 寿命提高 2~2.5 倍, 产品达到国际先进水平, 解决了进口替代问题等等。但是, 由于各方面条件的制约, 我国目前的 CAD 技术开发与应用水平, 与世界发达国家还有较大差距。至今尚未完全建立我国 CAD 产业, 国产化的具有自己版权的 CAD 系统还不多; 尚未形成自己的软件产业, 在发达国家 CAD/CAM 系统的销售额中, 硬件与软件之比已达 1:3~5, 而在我国用于软件的费用却很少; CAD 软件的开发应用缺乏标准化等等。因此, 今后我国要加紧做好 CAD 技术的研究、开发应用工作, 近期内要使机械工业的主导产品的开发和改型设计工作采用 CAD 技术。分层次开发、推广应用一批 CAD 软件, 如机械工程数据库、机械标准图库、模具、汽车、拖拉机、机床、仪器仪表等机械工业

主导产品的 CAD 系统。我们相信, CAD 技术在我国国民经济建设中将会取得更大、更快地发展。

1.3 CAD 系统的组成及分类

1.3.1 设计系统基本功能

由图 1-1 可知, 设计任务主要是在产品试制之前的工作。通常的设计主要是用画图来表达, 设计者通过图样对设计方案进行比较、分析和判断, 以确定满足设计和工艺要求的方案, 直至得到较优的方案。因此, 计算、画图、改图是传统机械设计的过程。可见, 一个计算机辅助设计系统也应能够显示设计图样, 并提供对图样进行修改的操作功能。

机械设计的最终结果, 要以图样和文件形式表示, 用以施工制造。据统计, 绘制图样与编制技术文件的工作一般占整个设计工作量的 50% 至 70%, 即设计者要用很多时间从事非创造性的工作。因此设计系统具有自动绘图功能是有重大意义的。

70 年代以来, 自动绘图技术和交互图形显示技术研究在实用上得到较大进展, 它解决了两方面问题, 一是辅助设计技术和人的实际经验如何配合的问题, 二是设计者怎样与设计系统互相通讯, 即人机交互的问题。人机交互技术的实现和应用使计算机辅助设计得到了广泛应用。

设计者进行设计, 通常是不能任意确定尺寸参数的, 要受到许多有关标准、规范数据的约束。没有一个设计是“全新”的, 大多是在原有设计的基础上经修改而来的, 因此在设计过程中, 设计者需要查阅手册、图样。可见, 若由计算机做设计, 它就需要存贮大量的数据资料, 还应提供检索的方便。

通常的设计方法有两种, 一是直接地套用已知或相似的处理过程就可完成设计。二是在设计者对设计的发展过程或发展情况未知的情况下进行设计。理想的 CAD 系统应能提供这两种设计的条件, 即提供灵活操作, 以及通讯自由度和足够的设计选择自由度。

人们按是否具有人机交互功能把设计系统分为两种类型, 即非人机交互式设计系统和人机交互式设计系统。前者是在进行作业过程中无需人的参与, 计算机就可按照程序自动地完成整个计算分析或作图过程。人机交互式系统又称会话式设计系统, 是以图形显示器作为计算机的输入和输出设备。在这样的系统中, 设计方面的各种计算分析程序、图形程序、资料数据等都存贮在外部存贮器中。设计时进行计算分析, 检索资料数据, 运算结果以图形或数据形式快速显示在荧光屏上, 设计者随之观察和判断, 并用光笔键盘, 数字化及鼠标器向计算机发出修改指示, 计算机立即执行, 将新的计算结果显示出来。这就是人和计算机交互作用进行设计的一般过程。图 1-3 是人机交互式设计组合机床多轴箱的流程图。

综上所述, 计算机辅助设计系统应具有如下基本功能:

- 1) 快速地计算分析和形成图形的功能;
- 2) 存贮大量程序和信息的功能, 并可实现快速检索;
- 3) 人机交互通讯的操作功能;
- 4) 输入图形的形状、尺寸及设计参数的功能;
- 5) 输出数据信息及输出图形的功能。

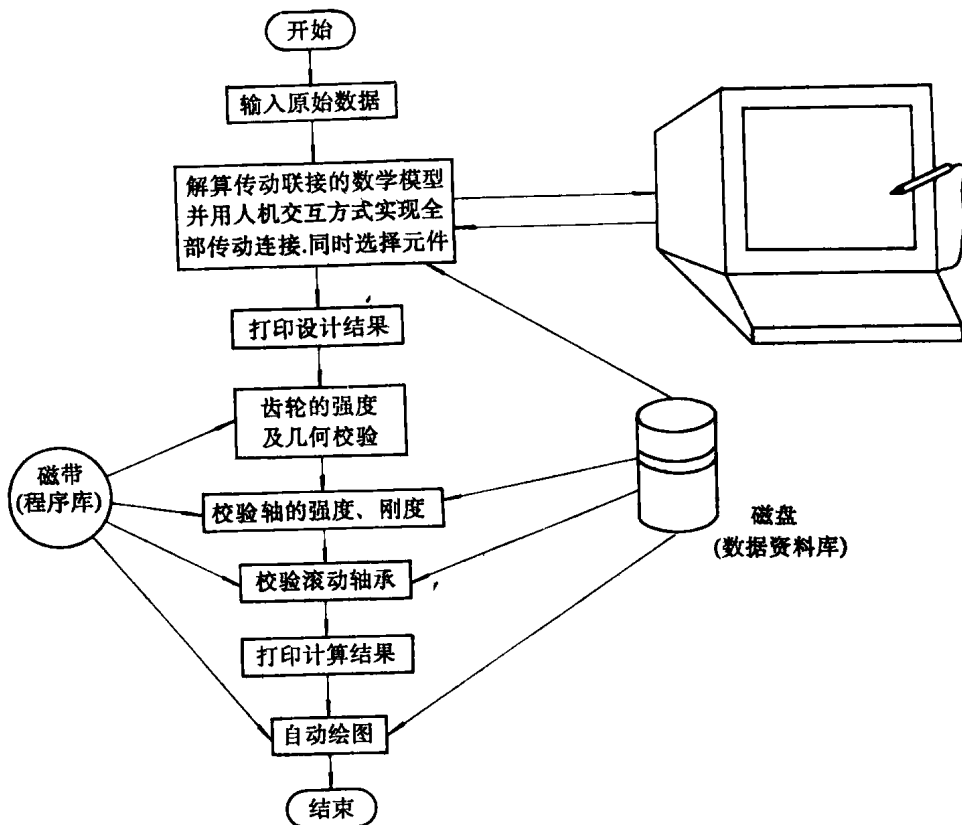


图 1-3 人机交互式设计组合机床多轴箱流程图

1.3.2 CAD 系统组成

CAD 系统包括硬件系统和软件系统。

1 CAD 硬件系统组成

CAD 硬件系统是由计算机、常用外围设备，及图形输入、输出设备等组成的。

(1) 计算机及常用外围设备

1) 计算机。计算机是由中央处理器 CPU (Central Processing Unit)、存储器及输入输出设备等构成的，一般分为大型、中型、小型和微型机。

2) 外存储器。由于 CPU 内存存储器的容量是有限的，并且只有在程序运行期间保存程序、指令和数据，因此通常用外存储器来弥补内存的不足，外存能长期保存数据，需要时可对所存信息进行检索并快速传送给 CPU。外存储器主要有磁带、磁盘及光盘等。

磁带类似于一般磁带录音机上的存储介质，是涂有磁性氧化层的连续塑料带，通过带上的磁化点和非磁化点序列来存储信息，对于磁带上的信息只能顺序存取。它的优点是价格便宜，易于存储大量数据，可以反复使用，缺点是处理速度慢。

磁盘存储原理同磁带一样，在圆形盘的上、下两面涂有磁性材料，用盘片表面磁道上的磁化点和非磁化点序列来存储数据，在磁盘旋转过程中写入或读出数据。常用磁盘有两种，一

种是软盘，一种是硬盘（又称温盘）。软盘有三种规格，直径分别为 3 英寸、5 $\frac{1}{4}$ 英寸、8 英寸，一张软盘的存贮容量可为 360kB、500kB、1.2MB。硬盘常用的直径为 5 $\frac{1}{4}$ 英寸、8 英寸，最大的是 14 英寸，硬盘存贮容量比较大，最大可达 200MB 以上。磁盘一般采用随机存取方式，具有快速、可靠等特点，应用较普遍。

光盘是采用激光技术实现的一种海量存贮器，单片双面光盘的丰富容量可达 2 000MB，而且如同软盘一样具有可置换性，其存取速度与硬盘相当。将来光盘可能成为广泛使用的外部存贮器。

3) 输入输出设备。计算机上常用的输入输出设备是终端，包括键盘和显示器，键盘用来输入数据和命令，显示器提供一个显示信息的屏幕。打印机、纸带读入、穿孔机都是一般输入输出设备。

(2) 图形输入设备

图形输入设备是用户同 CAD 系统进行对话的工具，可以用它来指定坐标数据之类的图形信息。常用的图形输入设备有如下几种：

1) 光笔。光笔是一种能够直接输入坐标点的装置，可用它来改变显示点的位置，选择屏幕上的图形或菜单项，它是用光敏元件来检测显示器屏幕上的光，并把光信号转换放大成脉冲信号

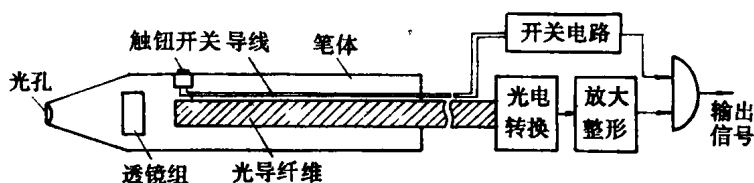


图 1-4 光笔结构原理图

输入到计算机。图 1-4 为光笔结构原理图。

2) 数字化仪。数字化仪又称为图形输入板，见图 1-5，它是由一块类似于绘图板的平板和一个能在板上移动的笔或游标器组成，笔或游标器有按钮（多达 12 个），可用它测出板上任意位置的 X、Y 坐标，并把这些坐标值直接送到计算机中，也可以把整张图纸输入到计算机中。数字化仪根据板面大小分为 A₀、A₁、A₂、A₃ 号与机械图的图幅相对应。

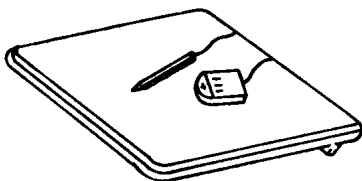


图 1-5 数字化仪

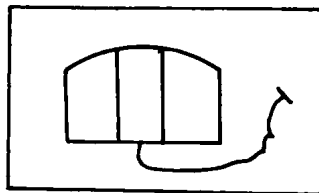


图 1-6 鼠标器示意图

3) 鼠标器。常用鼠标器的形式如图 1-6。其中有单按钮、三按钮和四按钮鼠标器，鼠标器的位置对应于屏幕上光标位置，移动鼠标器并按一下适当按钮就会把光标在屏幕上的准确位置送入计算机，用这种方法可实现定位、选择，重复这些操作即可在屏幕上产生一幅图形。

4) 键盘。在 CAD 系统中，键盘除了作为一般的输入输出装置外，还有以下用途：通过数字键键入每点的坐标值来确定该点的位置；选择菜单项；键入非图形数据进入图形系统数

据库；用控制光标的五个特殊键来辅助交互式绘图或修改屏幕上已有图形。

5) 其它图形输入设备。图形输入设备还有很多，其中图形输入效率较高的设备有语音输入和扫描输入。语音输入是人用自然语言输入图形特征参数及其属性参数。图形扫描输入是把已有图形或工程图样放在图形输入板上，经过光电扫描转换装置的作用，把图样的象素特征及其几何特征输入到计算机内，效率及可靠性都很高。

(3) 图形显示设备

图形显示设备是 CAD 系统的核心装置，目前大多数图形设备中的监视器采用标准的阴极射线管 (CRT, Cathode Ray Tube) 结构。

1) CRT。CRT 是利用电磁场产生高速的、经过聚焦的电子束，偏转到屏幕的不同位置并轰击其表面荧光材料而产生可见图形，主要组成如图 1-7。

阴极：当它被灯丝加热时发射电子；

控制栅：控制电子束的方向和速度；

加速电极：用以产生高速电子束；

聚焦系统：保证电子束在屏幕上的运动轨迹；

偏转系统：控制电子束在屏幕上的运动轨迹；

荧光屏：当它被电子束轰击时发出亮光。

以上这些部件都封装在一个真空的圆锥形玻璃壳内。

CRT 的技术指标主要有两项：分辨率和显示速度。

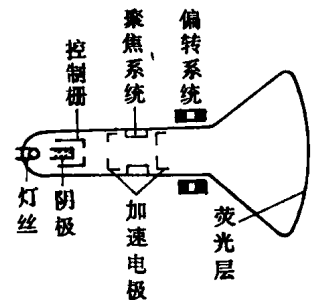


图 1-7 CRT 结构示意图

一个 CRT 在水平和垂直方向上能识别的最大光点数称为分辨率，也可理解为所能识别的光点间的最大距离，光点亦称为象

素。分辨率主要取决于 CRT 荧光屏所用荧光物质的类型、聚焦和偏转系统。分辨率越高，显示图形越清楚。分辨率常用 $m \times n$ 表示， m 表示水平方向象素个数， n 表示垂直方向象数个数，有 640×480 ， 1024×768 ， 1024×1024 等，最高可达 4096×4096 。

CRT 显示速度的指标一般用每秒钟显示矢量线段的条数来表示。

2) 彩色 CRT。一个 CRT 能显示不同颜色的图形是通过把产生不同颜色的荧光物质进行组合而实现的。例如光栅扫描显示器的 CRT 屏幕内涂有很多组呈三角形的荧光物质，每一组有三个荧光点，当某组荧光物质被激励时，分别发出红、绿、兰三原色，而每一束电子束的电流强度就控制着三点组产生的红、绿、兰三种光的强度，混合后即产生不同颜色。例如，关闭红、绿电子束就会产生兰色；以相同强度的电子束去激发全部三个荧光点，就会得到白色。这样可得到 8 种颜色，比较复杂的显示器能够产生中间等级强度的电子束，可产生几百种颜色。

3) 显示器分类。下述三种显示器应用较广泛。

随机扫描显示器：它是由显示处理器、显示缓冲存贮器以及带有附属电子电路的 CRT 组成。缓冲存贮器中存有由计算机产生的显示清单或程序，其中包括画点、画线命令以及书写字符的命令。显示处理器将这些信息处理成控制电压使电子束发生偏转，从而在 CRT 屏幕上显示图形。由于屏幕上荧光粉所发出的光在数百微秒时间内逐渐减退，为了不使图形闪烁，显示处理器必须以每秒 30 次的频率循环通过显示程序清单，反复执行同一组命令来刷新屏幕。

存贮管显示器：这种显示器将图象存贮在屏面内侧的一个称为存贮栅极的平面上，是以电荷方式存贮的。这类显示器的最大优点是显示出的图象无需更新，图象一般可保存 1~3 小

时, 适于输出较复杂的图形。

光栅扫描显示器: 这种显示器的电子束是在满屏面上作扫描运动。在扫描运动的同时, 按照收到的视频信号来控制电子束的强度以便产生一定亮度的光点, 进而构成图形。光栅扫描显示器的特点是可以显示复杂、没有闪烁的图象。可作动态显示, 在构造色彩方面最为丰富, 并且可以使用光笔。

(4) 绘图输出设备

图形显示设备只能在屏幕上产生各种图形, 但是 CAD 需要把图形画在纸上, 产生工程图样。常用的绘图输出设备有打印机和绘图仪。

1) 打印机。打印机是廉价的产生图形的硬拷贝设备, 分为撞击式和非撞击式两种。撞击式打印机使成型字符通过色带印在纸上, 如行式打印机、点阵式打印机等。非撞击式打印机常用的技术有: 喷墨技术、激光技术、静电复印技术等, 这类打印机速度快、无噪声。

2) 绘图仪。最常用的绘图仪是笔式绘图仪, 它是一种电子机械设备。按其结构形式可分为平板式和滚筒式绘图仪, 见图 1-8 和图 1-9。

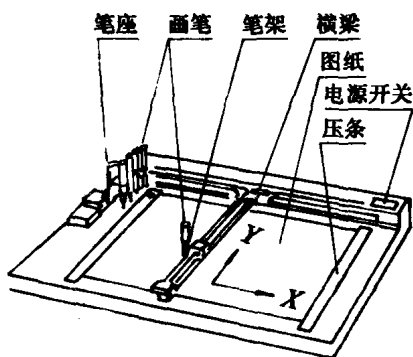


图 1-8 平板式绘图仪

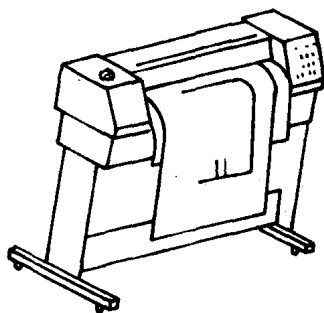


图 1-9 滚筒式绘图仪

平板式绘图仪的绘图笔固定在支架上, 图纸 (或其它绘图介质) 固定在板上不动, 笔在绘图仪有效范围内移动。

滚筒式绘图仪的绘图笔固定在支架上, 只沿着横梁移动, 绘图纸固定在滚筒上, 绘图时随着滚筒作往复滚动。

绘图仪的图板幅面大小一般与机械图幅相对应, 有 $A_0 \sim A_4$ 幅面。根据特殊需要还有 $1000\text{mm} \times 1200\text{mm}$, $1200\text{mm} \times 1600\text{mm}$ 。

绘图仪除幅面大小以外, 还有笔速、出图率、分辨率、精度、重复性、彩色、操作环境、接口标准及绘图仪工作方式等技术要求, 这在装配、使用时都是很重要的。

由上述各部分组成的 CAD 硬件系统, 其基本配置形式如图 1-10 所示。

2 CAD 软件系统组成

一个完备的 CAD 系统, 应由科学计算、图形系

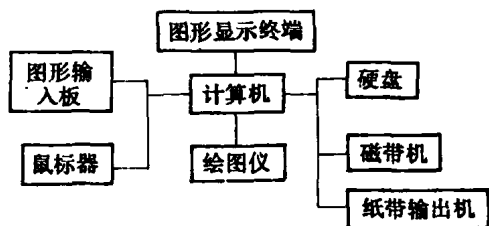


图 1-10 CAD 硬件系统基本配置

统和数据库三方面组成，图 1-11 表示 CAD 系统软件的层次关系。

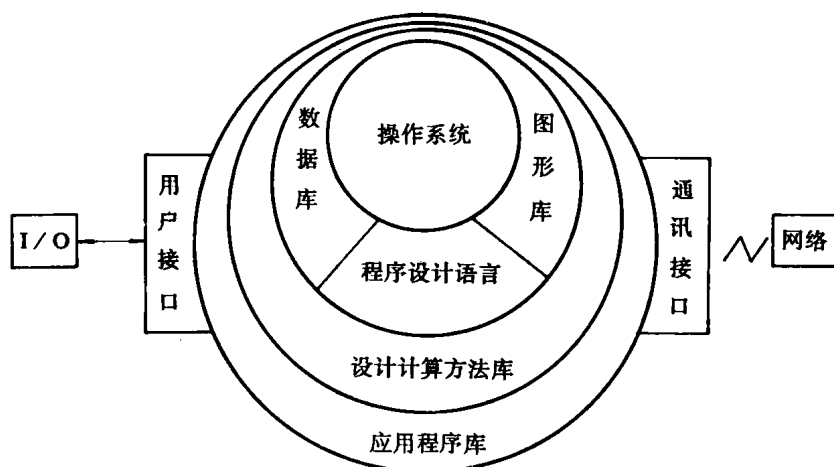


图 1-11 CAD 系统软件的层次关系

操作系统：控制和协调诸用户在各个应用程序中对硬件的使用，如对系统资源的管理、对输入输出设备的管理及控制等。

程序设计语言：FORTRAN、PASCAL、BASIC、C 等各种高级语言和汇编语言等，以及它们的编译系统。

图形系统：包含几何造型（如含点、线、面、体素造型等）、绘制机械零部件图及装配图，绘制各种函数曲线、数据表格等能力，还具有在屏幕上显示和编辑图形（如图形的平移，旋转、对称、删除、修改、缩放等）的能力，以及分析或模拟等。

数据库：是一个通用性、综合性的以及减少数据重复存贮的数据集合，是设计和绘图的信息库。按照设计的信息流，进行存贮、检索、比较、组合、修改等多种处理。

设计计算方法库：包括通用数学库、统计数学库以及在机械设计中占有很大比例的常规设计，特别是优化设计、有限元分析、可靠性设计、动态分析等现代设计方法程序库。

开发工具：一般指提供给用户作二次开发用的各种软件工具，如数据输入工具、图形接口软件、汉字处理系统等。

应用程序库：完成一个工程设计还需要各种专业软件，这类软件往往是在上述基础软件的支撑下，由高级语言或开发工具支持开发的。

1.3.3 CAD 系统分类

按照系统结构的不同，CAD 系统可分为两类，即集中式系统和 workstation 网络系统。集中式系统的模块如图 1-12 所示，这种系统要求有功能较强的计算机，多数采用大、中型计算机，因此一次性投资大，使用不方便，1984 年以前应用较多。从 CAD

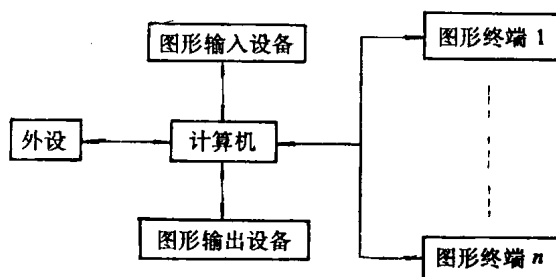


图 1-12 集中式 CAD 系统

工作站问世以后，大多数用户采用工作站网络系统来代替这类集中式 CAD 系统。所谓 CAD 工作站又称为图形工作站，是具有计算、图形交互处理功能的计算机系统。CAD 工作站中一般都带有 32 位或 16 位的小型计算机或是微型计算机，自带外存及图形输入、输出设备，具有独立的操作系统，并具有图形支撑软件，可以独立工作。图 1-13 是 DEC5000 工作站网络系统。

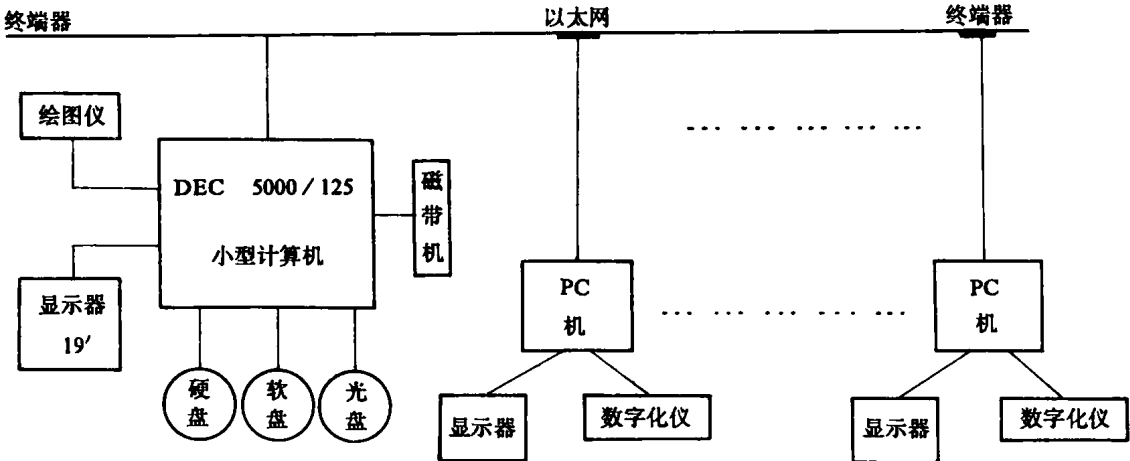


图 1-13 DEC 5000 工作站网络系统

此外，按照所使用的计算机规模不同，CAD 系统还可分为若干类：

建立在大、中型计算机上的 CAD 系统，称为主机系统，这种系统通常是一个大、中型通用计算机配置一些图形输入、输出设备或者带十几个或几十个 CAD 工作站。主机并不是单一完成 CAD 工作。图 1-14 是以 4381 计算机为主机的系统。

建立在小型计算机上的 CAD 系统又称为成套系统，它是专门从事 CAD/CAM 技术开发公司为 CAD/CAM 用户配置的计算机硬软件系统，如图 1-13 所示。主机一般采用专用的小型机或超级小型机，这种系统在 CAD 发展中起了重要作用，目前应用也较广泛，并且逐渐形成网络系统，成为微机系统的上档机。

建立在微型计算机上的 CAD 系统，由于微型计算机由 8 位机向 16 位机、32 位机发展，其存贮容量、处理速度都有很大提高，同时，与之相配接的图形设备，如中、高分辨率的彩色光栅显示设备，规模不大且价格便宜的图形输入、输出设备等相继出现，并且随着网络技术的发展，使得微型计算机 CAD 系统倍受欢迎，特别是价格便宜、使用方便，更适合于中、小企业及科研单位使用。

应该指出，由于大规模和超大规模集成电路技术的发展，以及计算机系统硬件和软件技术的不断提高，使上述分类之间的界限越来越不明了，特别是近期出现的高级微机 CAD 系统，其性能已达到甚至超过了原来建立在小型机上的系统。因此，系统的选择应当考虑实际工作的需要和自身的经济能力，并对系统的实际处理能力作详细的研究和分析，最后比照系统价格作出抉择。