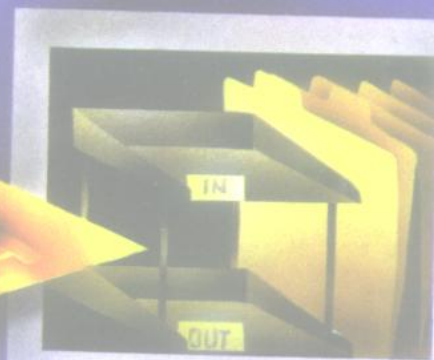




材料加工工艺 CAD 及其应用

党惊知 褚忠 徐宏 编著



机械工业出版社

材料加工工艺 CAD 及其应用

党惊知 褚忠 徐宏 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了 CAD 的基础知识、原理及应用方法,论述了铸造工艺及冲裁工艺 CAD 的原理、特点及程序设计方法,并配有部分相关源程序。全书共分 7 章,包括 CAD 系统、CAD 应用软件开发基础、几何造型基础、工程数据库、AutoCAD 软件的应用与二次开发、铸造工艺 CAD 及冲裁工艺 CAD。该书是一本实用性较强的热加工工艺 CAD 的专著。

本书可作为从事热加工专业的科研和工程技术人员的技术书籍,也可作为高等院校有关专业本科生的教材或教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料加工工艺 CAD 及其应用/党惊知等编著. - 北京:机械工业出版社, 1999. 7

ISBN 7 - 111 - 07220 - 0

I. 材… II. 党… III. 金属加工 - 工艺 - 计算机辅助设计
IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 15949 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 季顺利 封面设计: 宋晓磊

北京市通县曙光印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 5 月第 1 版·1999 年 5 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆·12.82·印张·315.7 千字

印数: 0 001 - 2000 册

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

随着电子技术的迅猛发展, CAD 在机械制造中的应用越来越广泛。以 CAD 技术为基础产生的一系列先进制造技术已在机械冷加工中获得广泛应用, 并取得了很大成绩。但是, 该技术在材料加工中的应用还处在发展之中, 材料加工的许多领域的工装设计仍依赖于经验和手工操作的传统模式。将 CAD 技术应用于材料加工工艺的重要性已被越来越多的人所认识。利用 CAD 技术, 可帮助工艺人员在较短的时间内, 准确地制订出工艺方案, 获得完整的工艺文件, 如铸造工艺中的模数计算、浇补系统的设计、冲裁工艺中的排样优化、冲裁力及压力中心的计算等等。从而缩短生产周期, 降低生产成本, 提高企业的市场竞争能力。目前, 大部分有关 CAD 的参考书都是以冷加工为基础的, 介绍 CAD 技术在热加工中应用的书籍很少; 另一方面, 为适应高校专业设置改革, 更好地培养知识面广、适应能力强的跨学科人才, 我们编写了此书。作者长期从事有关热加工 CAD/CAE 的教学与科研工作, 开发了铸造工艺 CAD 及凝固过程仿真软件系统。本书集作者多年科研成果及教学经验, 并综合了国内外参考资料, 故具有较强的科学性和实践指导性。全书共分两大部分, 第一部分包含五章, 介绍了 CAD 的原理, 主要内容有: CAD 系统、CAD 软件开发基础、几何造型基础、工程数据库、AutoCAD 的应用与二次开发。第二部分包含两章, 讲述了铸造工艺 CAD 的原理与应用方法、冲裁工艺 CAD 的原理与应用方法, 并附有应用实例和部分源程序。本书第 1、2 章和第 7 章由徐宏编写, 第 3、4、5 章由褚忠编写, 第 6 章由党惊知编写。在编写过程中得到了程军教授的大力支持, 杨晶、侯华等同志也给予很多帮助, 在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限, 书中错误和不足之处在所难免, 望读者批评指正。

作 者

1999 年 3 月于太原

目 录

前言

第1章 CAD 系统 1

1.1 概述 1

1.1.1 CAD 概念及发展过程 1

1.1.2 CAD 系统的类型 2

1.2 CAD 系统的硬件 3

1.2.1 计算机及其常用外围设备 3

1.2.2 图形输入设备 4

1.2.3 3D 物体输入设备 5

1.2.4 图形显示设备 6

1.2.5 图形输出设备 7

1.3 CAD 系统的软件 10

1.3.1 系统软件 10

1.3.2 支撑软件和应用软件 14

1.3.3 当前 CAD 系统中常用的软件 14

1.4 工作站 15

第2章 CAD 应用软件开发基础 17

2.1 CAD 应用软件的特点 17

2.2 软件工程基础 17

2.2.1 软件工程概述 17

2.2.2 软件的生存周期 18

2.2.3 软件定义阶段 18

2.2.4 软件的开发阶段 20

2.2.5 软件的维护阶段 24

2.3 图形软件标准 25

2.3.1 数据交换接口标准 25

2.3.2 图形系统标准 31

2.3.3 图形设备接口标准 34

第3章 三维几何造型 36

3.1 概述 36

3.2 线框建模 37

3.3 曲面建模 39

3.4 实体建模 41

3.4.1 边界表示法 41

3.4.2 结构立体几何法 41

3.4.3 混合模式 42

3.4.4 扫描表示法 43

3.4.5 参数化造型 45

3.4.6 特征造型 46

第4章 工程数据库 47

4.1 数据库及其特点 47

4.2 数据库系统的体系结构 48

4.3 数据模型 49

4.4 数据库管理系统 50

4.5 工程数据库 51

4.5.1 工程数据管理技术的发展 过程 51

4.5.2 工程数据的类型及特点 52

4.5.3 工程数据库管理系统的 数据模型 53

4.5.4 开发工程数据库管理系 统的途径 55

第5章 AutoCAD 的应用与二次开发 57

5.1 AutoCAD 简介 57

5.2 AutoCAD 绘图过程 58

5.3 二维工程图的绘制 59

5.3.1 基本绘图命令的使用 60

5.3.2 编辑对象命令 63

5.3.3 图形显示控制命令 67

5.3.4 尺寸标注 69

5.4 三维绘图简介 70

5.4.1 绘三维点和三维线 70

5.4.2 二维半绘图 71

5.4.3 模型空间与图样空间 72

5.4.4 绘三维面及三维多边形网格 72

5.5 实体造型 74

5.5.1 基本三维实体 74

5.5.2 由二维图形形成三维实体 76

5.5.3 编辑三维实体 77

5.6 AutoCAD 软件的图形数据交换 79

5.6.1 命令组文件 80

5.6.2 图形交换文件 83

5.7 AutoLISP 语言 98

5.7.1 AutoLISP 语言的基础知识 98

5.7.2 赋值与数值计算函数	99	6.4.1 设计原理	161
5.7.3 逻辑运算函数	100	6.4.2 浇注系统的计算	163
5.7.4 程序分支与循环函数	100	6.4.3 浇注系统程序设计	168
5.7.5 自定义函数	101	6.5 铸造工艺图及工艺卡片的绘制	171
5.7.6 交互数据输入函数及相关的 计算函数	101	6.5.1 铸件图、铸造工艺图的程序 设计方法	171
5.7.7 与文件有关的函数	102	6.5.2 工艺卡片的绘制	179
5.7.8 其他函数	102	第7章 冲裁工艺 CAD	182
5.8 ADS 简介	103	7.1 概述	182
5.8.1 ADS 的产生	103	7.2 冲裁件图形输入	183
5.8.2 ADS 应用程序的组成	104	7.2.1 冲裁件图形的交互输入过程	184
5.8.3 ADS 应用程序的使用	104	7.2.2 图形信息的输出	184
5.9 ARX 简介	106	7.2.3 图形信息的提取	185
第6章 铸造工艺 CAD	108	7.2.4 交互输入接口程序设计	186
6.1 概述	108	7.3 冲裁件工艺性判断	187
6.2 铸件模数和重量计算	109	7.3.1 概述	187
6.2.1 计算方法	109	7.3.2 最小圆角半径检验	190
6.2.2 程序设计	122	7.4 毛坯排样优化设计	192
6.3 补缩系统设计	125	7.5 冲裁工艺方案的选择	196
6.3.1 冒口的设计与计算	125	7.6 冲裁工艺力及压力中心	200
6.3.2 冷铁的设计与计算	129	7.6.1 冲裁力	200
6.3.3 补缩范围的计算与校核	146	7.6.2 压力中心	203
6.3.4 补缩系统程序设计	155	参考文献	206
6.4 浇注系统设计与计算	161		

第 1 章 CAD 系统

1.1 概述

1.1.1 CAD 概念及发展过程

CAD 是计算机辅助设计 (英文 Computer Aided Design) 的简称。它是指利用计算机技术完成设计过程中的信息检索、方案构思、分析、计算、工程绘图和文件编制等工作。CAD 中的“设计”包含内容广泛, 几乎涉及所有学科。其中分析、计算及工程绘图是设计过程中的典型环节, CAD 的典型含义就是计算机辅助完成包含以上典型设计环节的活动。

CAD 的概念及相关术语是 1963 年由美国麻省理工学院 (MIT) 24 岁的研究生萨瑟兰德 (I. E. Sutherland) 在他发表的博士论文“Sketchpad: 一个人机通信的图形系统”中首次提出的。该系统中, 设计者用光笔和键盘在图形显示器上实现选择、定位等交互功能及绘制直线、圆等图形, 并可对图形进行变换和编辑。它为 CAD 技术的发展和應用打下了理论基础。

交互式图形生成技术的出现, 促使了 CAD/CAM 技术的迅速发展。60 年代中后期, 美国的一些大公司开始重视这一技术, 并投入相当资金对 CAD 实用系统进行开发。如美国通用汽车公司为汽车外形设计开发了 DAC-I 系统 (Design Augmented by Computer-I), 用以分析和综合车身的三维曲线设计。该系统是在大型计算机上运行的, 成为该公司设计小车和卡车必不可少的工具; 美国洛克希德航空公司开发飞机设计的 CGADAM 系统 (Computer Graphics Augmented Design and Manual facturing), 具有强度分析、绘图和数控编程等功能; 贝乐实验室开发了 Graphic1, 用于电路方案设计和印制板的电路元件布局布线设计; 美国的 CDC 公司开发了作为商品销售的 Digigraphic CAD 系统。这一时期的 CAD 系统的特点是规模庞大, 价格昂贵, 只有经济实力雄厚和技术力量较强的大型企业和研究单位才能研究和应用 CAD 技术。

在 70 年代, 随着大规模集成电路 (IC) 问世, CAD 系统采用以超小型机为基础的集中分时方式, CAD 系统开始商品化, 但价格仍然很贵。在此期间出现了廉价的固体电路随机存储器, 产生逼真图形的光栅扫描显示器、光笔和图形输入板等多种形式的图形输入设备, 使计算机图形学算法研究进入新阶段, 并出现了一批专营 CAD/CAM 系统硬件和软件的公司 (如 Computer Vision、Intergraph、Calma、Applicm 等)。这些 CAD/CAM 系统的特点是硬软件配套齐全。因此人们称它为“交钥匙”系统 (Turnkey System)。这一时期内, CAD/CAM 系统的应用主要集中在航空、电子和机械工业部门。同时他们对三维几何造型技术也开始进行研究。70 年代末以后, 32 位工作站和微型计算机的出现对 CAD/CAM 技术的发展起了极大的推动作用。32 位工作站之间可相互联网, 以达共享系统内的资源和发挥各台计算机的特点。

80 年代中期, 分布式联网的工作站已成为 CAD 的典型硬件环境, 其性能价格比年复一年地迅速提高, 光栅扫描显示器及其算法统治图形学硬、软件, CAD 方法从绘图进入造型, 实体模型系统成熟, 计算机动画开始兴起, 集成 CAD 系统开始商品化, CAD 应用迅速发展,

市场十分繁荣。

到了 90 年代, CAD 的硬件支撑已从工作站扩展到个人计算机 (PC), 彩色图形显示系统的图形加速卡已成为或正在成为工作站和 PC 的通用设备, 各种新的计算机图形输入输出设备的不断涌现, 如三维彩色数字化仪, 使得 CAD 造型的数据库建立越来越容易。CAD 技术中的图形接口、图形功能日趋标准化, CAD 技术逐渐多媒体化, 使 CAD 技术进一步普及, 质量更加提高。另外, 人工智能 (Artificial Intelligence, 简称 AI) 和专家系统技术在 CAD 中的应用大大提高了自动化设计的程度, 出现了智能 CAD (AICAD), 把工程数据库及其管理系统, 知识库及专家系统, 用户接口管理系统集于一体, 形成一门新学科。

以 CAD 为基础, 目前已产生了一系列相关概念, 如计算机辅助制造 (CAM), 计算机辅助工程 (CAE), 柔性制造系统 (FMS), 快速成形技术 (RP)、计算机集成制造系统 (CIMS)、并行工程 (CE)、敏捷制造 (AM) 及虚拟制造等等。

我国在 CAD 技术方面的研究始于 70 年代中期。当时主要是研究开发二维绘图软件, 主要研究单位是学校、研究院所。航空和造船业是 CAD 技术应用较早的部门。80 年代初, 有些大型企业和设计院成套地引进 CAD/CAM 系统, 在此基础上进行二次开发后实际应用, 取得一定成果。随着改革开放和发展商品经济的需要, 在 80 年代中后期, 我国的 CAD/CAM 技术有了较大的发展, 目前该技术越来越受到人们的注意。进入 90 年代后, 各工业部门都提出了开发应用 CAD 技术的计划, 主要表现在以下几个方面: 部分单位已较好地应用 CAD 技术, 提高设计质量, 取得经济效益; CAD 技术已成为一些部门必不可少的条件; 高等院校和研究院所对 CAD 技术的理论和软件开发进行了大量的研究, 并取得了明显成果 (如清华大学、浙江大学、西北工业大学、北京航空航天大学、华中理工大学、中科院计算所等), 国家科委、各工业部门都十分重视 CAD 技术的发展, 并有计划、有步骤地在全国各地建立培训基地, 以提高工程工作人员的素质。随着我国自主版权 CAD 软件的发展, CAD 技术将在企业达到普及, 并在此基础上进一步发展先进制造技术。

1.1.2 CAD 系统的类型

一个 CAD 系统是由一系列必要的硬件和软件组成的, 根据系统的要求, 硬、软件的配置可能有所不同, 从而形成多种层次、功能各异的 CAD 系统。CAD 系统功能一般可分为通用 CAD 系统和专用 CAD 系统。通用 CAD 系统适用范围广, 其硬件和软件配置也比较丰富, 而专用 CAD 系统是为实现某种特殊功能的系统, 其硬软件配置相对要求低。按 CAD 系统所用的计算机类型和终端与主机构成方式不同一般可分为四类。

1. 大型机直连型 (集中型) 这种系统以大 (中、小) 型计算机为主机, 终端与 CAD 主机连接, 或者通过远程分时终端与主机连接。这种系统一般配有大容量的外存储器, 主机通用性、计算能力强, 集中的数据库管理系统统一管理数据, 使得 CAD 软件能进行复杂、且需大量信息的设计, 如分析计算、模拟和管理。其缺点是多用户分享主机, 给 CPU 带来较重的负担, 终端响应不稳, 性能价格比不高等。

2. 功能分散型 (智能终端) 系统 这种系统是集中型的改进, 它能减轻 CPU 的负担, 使负荷分散在几个 CPU 上, 如图 1-1 所示。这些微机具有处理图型 (GPU), 分析计算 (APU)、显示 (VGU) 等某种智能。故这类终端又称智能终端。

3. 独立使用型 (交钥匙) 系统 它是以小型或高档微机作为主机, 直接与终端 (或工作站) 相连, 如图 1-2 所示。系统配有专用软件、硬件, 独立的承担设计工作。它的性能完

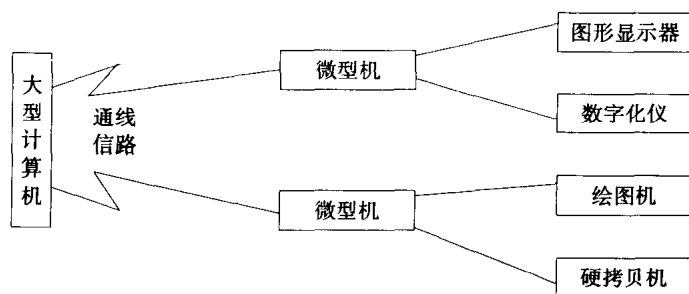


图 1-1 功能分散型系统

全取决于应用软件的水平。一般都选择经过反复使用比较成熟的专用 CAD 软件。系统显示出高效率、低费用、高响应性等特点。这类系统的缺点是：应用性比较窄、往往带有某些专用性。

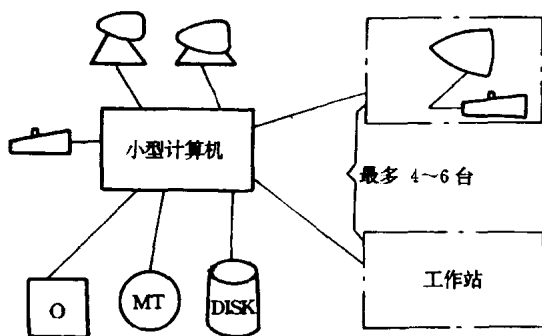


图 1-2 独立型 CAD 系统

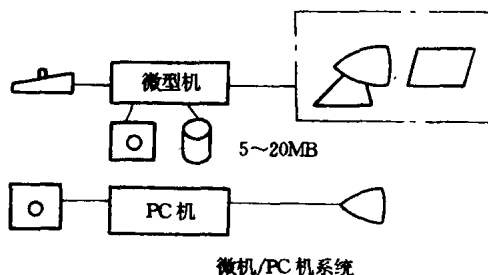


图 1-3 微机/PC 机 CAD 系统

4. 微机/PC 机型系统 微机/PC 机 CAD 系统，是一类单用户以微机为主机的基本系统，如图 1-3 所示。其配置简便，特别适用于中小企业应用 CAD 技术。目前我国在这类微机上开展 CAD 工作，不仅解决了设计中的一些实际问题，如常规设计的计算和绘图等，而且也有利于 CAD 技术的普及和人员的培训、技术引进和二次开发。其缺点是处理速度慢、功能不全。但随着 PC 机微处理器的升级，功能也得到加强，其性能与低档工作站接近，很有发展前途。

1.2 CAD 系统的硬件

CAD 系统的硬件基本是由主机、常用外围设备和图形输入输出设备所组成。

1.2.1 计算机及其常用外围设备

1. 主机 主机包括中央处理机（CPU）和内存储器，其结构如图 1-4 所示。它是系统的中心，控制整个系统的工作、执行运算和逻辑分析。目前常用的计算机以单 CPU 为主，为了提高处理速度和能力，也有用多个 CPU 的计算机。主机可以分为大型、中型、小型和微型计算机，其分类标准随着计算机及相关技术的发展而不断变化。

2. 外存储器 外存储器有软盘、硬盘、磁带及光盘等。

软盘是微机上最常用的外存储器，分为 5.25in 和 3.5in 两种。其容量又有双面双密和双面高密两种，目前 3.5in, 1.44MB 软盘应用较多。

硬盘是 CAD 系统普遍采用的，其特点是存储容量大、可靠且价格便宜。目前微机硬盘容量可达 9GB。CAD 系统一般要求在 2GB 以上，硬盘通过控制卡与 CPU 联接。控制卡及其接口技术有若干种，性能不一，有 ST-506 卡、ESDI 卡、IDE 卡、SCSI 卡和 AT 卡，最常用于 CAD 的是 IDE 卡和 SCSI 卡。

磁带也是 CAD 系统常用的一种外存储器。它分两种，一种为 1/2in, 1200 到 2400ft 长，记录密度为 800 或 1600BPI (Bytes Per Inch)；另一种为 1/4in 的盒式磁带，磁带存储容量大，但只能顺序存取，故速度较慢。

光盘是一种采用激光技术实现的一种大容量存储器。光盘机由光盘驱动器、控制器和电源构成一个独立的光盘系统部件。通过总线接口与主机连接，其接口标准为 AT 或 SCSI 方式。它的容量一般为 650MB~1GB。

1.2.2 图形输入设备

1. 鼠标器 鼠标器是一种手持滚动设备，形如鼠形盒，上面有 2~4 个键，下面是两个相互垂直的轮子，或是一个球。当轮子或球滚动时，带动两个角度→数字转换装置，产生出滚动距离的 x 、 y 移动值。键则用于位置的选择。

鼠标器的一个重要特征是：只有当轮子滚动时才会产生 x 和 y 值的变化。把鼠标器从一个位置拣起放到另一位置，如果没有轮子的滚动，则不会输入任何信息。即鼠标器只能输入轮子滚动值，而不能像数字化仪那样输入位置值。因此，鼠标器不能用来输入图样，而主要用于指挥屏幕上的光标。

鼠标器价格便宜操作方便，是目前在图形交互上使用最广泛的图形输入设备。

2. 数字化仪 数字化仪按尺寸大小有两种不同名称。小型的放在桌上使用叫图形输入板 (Tablet)，大型的叫数字化仪 (Digitizer)。由于其工作原理相同，故统称为数字化仪，如图 1-5。

数字化仪可分为电磁感应式、静电感应式、超声式、磁致伸缩式和机械编码式等。它们都有一个静止的平台面和一个由人手移动指示位置的工具组成。指示位置工具有两种，一种是触笔，另一种是带有叉丝的游标器。

在启动之后，当触笔或游标器作为感应元件在平台上指示时，这类装置在平台面上产生感生信号，靠某种耦合原理（如电磁耦合）感生信号经 A/D 转换为计算机可以接受的信息 (x , y)，用以控制屏幕上的十字光标，在屏幕上进行作业。

3. 光笔 光笔是一种手持检测光的设备。它的外形像一根笔。笔尖是一组透镜（图 1-6）。在透镜的聚焦处是光导纤维，联入光电二极管。光级由

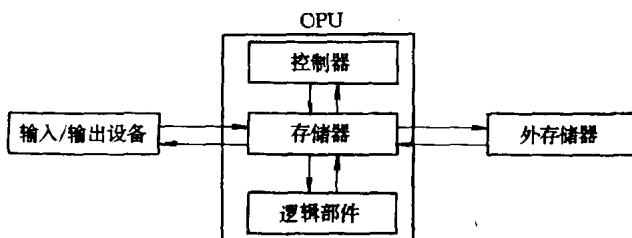


图 1-4 计算机结构组成

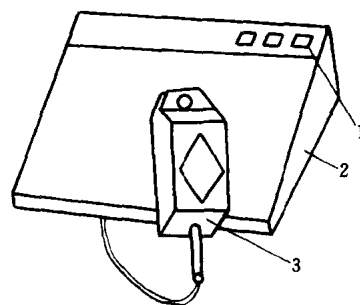


图 1-5 数字化仪

1—指示器灯 2—工作台 3—游标器

透镜入，通过光导纤维，由光电二极管转换为电信号，整形后变为电脉冲。光笔上的按钮则控制电脉冲是否被输出。

光笔的工作过程和数字化仪有所类似。光笔将荧光屏当作图形平板，屏上的像素矩阵好像是平板上的导线网。当电子束按时序逐行扫描每个像素时，图形部位被激活的像素就会发光。当光笔所指的像素被激活，像素发出的光就被转换为脉冲信号。这个脉冲信号与扫描时序进行比较后，便指出光笔所指位置的方位信号。

光笔原理简单、操作直观，是早期 CAD 系统中最主要的图形输入设备。但是光笔存在不少缺点：因为光笔以荧光屏为图形平板，因此它的分辨率和灵敏度及荧光屏的特征有很大的关系。显示器的不同分辨率、电子束的不同扫描速度、荧光屏的不同特性以及笔尖与荧光屏的不同距离与角度等等诸多因素都会影响光笔的分辨率与灵敏度。光笔对于荧光屏上不发光的区域无法检测。而且使用者长期凝视荧屏，会感到眼睛疲劳。因此，光笔已在逐年让位于鼠标器和数字化仪了。

1.2.3 3D 物体输入设备

计算机图形设备发展的重要方向是输入设备的功能从 2D 发展为 3D，3D 输入设备包括三大类。

1.3D 物体直接转变为 2D 图像 3D 扫描仪能直接扫描物体，典型的产品如美国 Kan Image 公司生产的扫描仪，称为 Kanscan，其过程为：

- ①被扫描的物体的周围设置灯光照射。
- ②沿导轨驱动一个扫描头作二维运动，从而将物体变为一个彩色图像。

Kanscan 的分辨率最高可达 3072×2340。如图 1-7 所示。

另一种更为简单的设备是数字照相机，该相机拍摄的图像可存储在外接硬盘上，也可直接输入到 PC 机进行处理。

2. 将 3D 物体转化为 3D 模型 这类设备是通过手动的方法将 3D 物体的表面结构（线框）输入到计算机，形成计算机的 3D 线框图模型，直接用于真实感表示。3D 数字化仪生成的文件可转化至 DXF，IGES，Warefront OBT 等标准或常用的格式，以便和 3D Studio 等 3D 造型软件接口。

3. 将 3D 物体自动转化为 3D 模型 3D 自动化数字化仪可自动地将 3D 物体的表面形状以及色彩的信息输入到计算机中，它利用激光和视频技术，能以极高的分辨率快速扫描 3D 物体，而不直接接触物体，因而无损于实际物体。经 3D 数字化仪扫描的物体，可将其数据传输到数控加工中心或快速成型设备上，从而可迅速地复制物体。

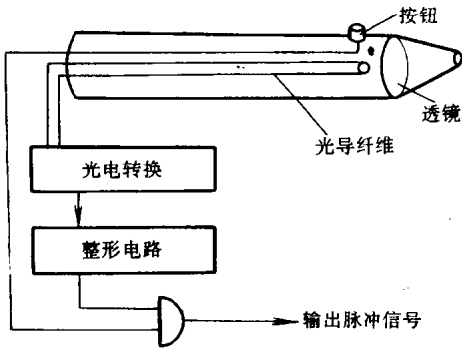


图 1-6 光笔及控制电路

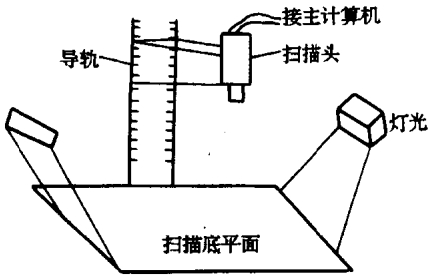


图 1-7 Kanscan 示意图

1.2.4 图形显示设备

图形终端是交互式 CAD 系统的重要设备之一。在交互式 CAD 作业过程中图形处理通常由图形显示器、键盘和鼠标器配合使用。图形显示器的核心部件是阴极射线管 (CRT)、还有处理图像和指令的微处理机 (DPV) 及图形显示器本身所带的内存储器。图形显示终端具有图形输入输出两个功能, 它与一般的字符终端不完全相同, 它需要随机地显示图形, 而且要求实时快速地更换和修改图形。

1. CRT 图形显示终端大多采用阴极射线管作为显示元件。其结构如图 1-8 所示。

在管内前面玻璃内壁上涂有一层荧光物质, 受电子束轰击时就能发光, 通常称它为荧光屏。它由灯丝、阴极、控制栅、聚焦系统和偏转系统组成。灯丝加热后使阴极温度升高, 发射出电子。电子在电场力的作用下向阳极加速运动, 一部分电子穿过阳极中心的小孔, 聚成一股很细的电子束向荧光屏上射去。由于高速电子的轰击, 在荧光屏上产生一个直径约 0.5mm 以下的亮点, 于是我们就会在荧光

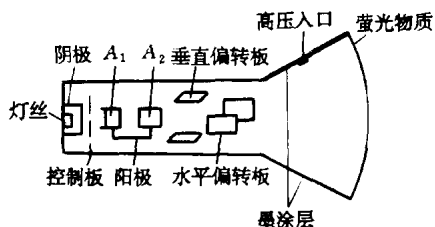


图 1-8 显像管的结构原理图

屏上看到一个亮点。为了使电子束能打到屏幕上需要的地方, 因此在管边装有两对相互垂直的偏转电极, 使电子束偏转线圈的作用下产生左右和上下方向偏转。故只要将两对偏转线圈的电极按一定的规定变化, 就可控制电子束偏转的方向和大小, 从而在荧光屏上描绘出相应的图形或字符。

一个 CRT 在水平和垂直方向能识别出的最大光点数称之为分辨率。光点亦称为像素 (Pixel Picture Element), 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。显然对于同一尺寸的屏幕, 点数越多、距离越小、分辨率越高, 显示的图形就会越精确。分辨率的提高还取决于以下因素, 用以确定像素位置的计算机的字长、存储像素信息的介质、数模转换的精度和速度。

CRT 的另一指标为显示速度。一般用每秒钟显示矢量线段的条数来表示。显示速度取决于偏转系统的速度、CRT 矢量发生器的速度、计算机发送显示命令的速度。

2. 随机扫描显示器 这种显示器又称为直接画线器。其基本工作过程是: 从显示文件存储器中取出画线指令或显示字符指令、方式指令 (如亮度, 线型等), 送到显示控制器, 由显示控制器控制电子束的偏转, 电子束偏转所到之处, 就轰击该处荧光屏而发亮。为了让图像停留在荧光屏上, 电子束应不断地重复扫描以重现原来的图像, 这一过程称之为“刷新”。随机扫描器的刷新频率是 30 ~ 60 帧/s, 如果低于 30 次, 则图形将会出现闪烁, 这就要求显示控制器高速操作。

这类显示器的电子束是按照指令给出的坐标信息在屏幕上进行移动的。即电子束可随机地偏转到屏幕坐标系中的任意点, 而不是满屏扫描, 此即为随机扫描。

这种显示器的基本组成, 除了 CRT 之外, 它还需要存储器、控制器、输出图形的矢量产生器和输出字符的字符发生器, 还有数/模转换及偏转系统, 如图 1-9 所示。其缺点是结构复杂、价格昂贵, 并且图像有闪烁现象。但是, 由于这种显示器具有高度的动生能, 能显示动态的图像, 有较高的分辨率, 明显的对比度以及线条质量好, 易于局部修改, 可以使用光笔等优点。在许多图形系统中仍用它作为图输出及人机对话装置。

3. 光栅扫描显示器 光栅扫描显示器的电子束受偏转部件的控制不断从左到右，从上到下扫描整个屏幕，屏幕上每个像素的亮度和颜色都可控制，因此这种显示器适宜输出区域彩色图形或具有明暗度差别的真实图形。如图 Sun、Apollo 等 CAD 工作站的显示器都属此类型。光栅扫描显示器与家用电视一样，都采用隔行扫描的技术，它有助于我们用较低的刷新频率显示不闪烁的图形。一般光栅显示器的刷新频率在 30 ~ 60 帧/s，低于 20 帧/s，则图形会闪烁。光栅扫描显示器的功能模块结构如图 1-10 所示，这里的帧缓存类似于随机扫描显示器的刷新缓存器，有时也称帧缓存为位图 (Bit Map)，与随机扫描器不同之处在于帧缓存用来保存屏幕上每个像素点的亮度、颜色等属性值，而不是用来保存图形命令。光栅扫描显示器的图形输出过程是把帧缓存中的内容从上到下、一行一行地扫描输出。我们把应用程序中对图形的扫描转换成帧缓存中像素信息的过程称为扫描转换。帧缓存通常由一个或多个位图组成，具有一个位图的光栅显示器只能产生黑、白两种亮度等级，具有四个位图的光栅显示器能输出 16 种颜色或 16 种灰度等级的图形。如 Apollo DN300 显示器具有 8 个位图的光栅扫描显示器，故可输出 256 种颜色或 256 种灰度等级的图形。

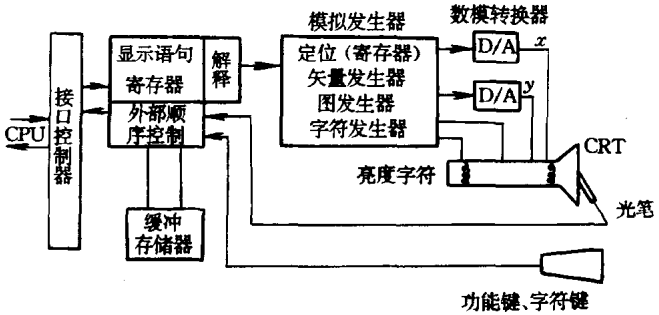


图 1-9 随机扫描显示器

图形的刷新缓存器，有时也称帧缓存为位图 (Bit Map)，与随机扫描器不同之处在于帧缓存用来保存屏幕上每个像素点的亮度、颜色等属性值，而不是用来保存图形命令。光栅扫描显示器的图形输出过程是把帧缓存中的内容从上到下、一行一行地扫描输出。我们把应用程序中对图形的扫描转换成帧缓存中像素信息的过程称为扫描转换。帧缓存通常由一个或多个位图组成，具有一个位图的光栅显示器只能产生黑、白两种亮度等级，具有四个位图的光栅显示器能输出 16 种颜色或 16 种灰度等级的图形。如 Apollo DN300 显示器具有 8 个位图的光栅扫描显示器，故可输出 256 种颜色或 256 种灰度等级的图形。

图形显示器只有通过显示处理单元或图形控制器和主机的 CPU 连接才能显示图形。图形控制器常以图形卡的形式插在主机中，与 CPU 直接相连。图形卡必须与显示器匹配。常用的微机图形卡有 CGA 卡、EGA 卡，VGA 卡和 TVGA 卡等。目前市场上有带图形处理芯片的图形卡及 3D 图形卡。具有更好的图形显示处理功能。

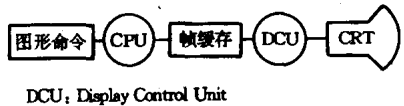


图 1-10 光栅扫描显示器的模块结构

接口和控制器再加上缓冲存储器构成了显示器的数据部件，它一方面接收计算机的数据经处理后送到显示器，另一方面又把从显示器数据送至主机。在主机和显示器之间起数据传输桥梁作的部件是接口，它由一些逻辑部件组成，已标准化。

1.2.5 图形输出设备

图形输出设备是以纸、胶片、塑料薄膜等物质为介质，输出人眼可视并能长期保存的图形的计算机外部设备。图形输出设备也可分为矢量型和光栅扫描型两大类。矢量型设备的作画机构随着图形的输出形状而移动并成像。绘图机属于矢量型设备。光栅扫描型设备的作画机构按光栅矩阵扫描整张图面，并按输出内容对图面成像。光栅扫描型图形输出设备包括点阵式打印机、热敏印刷机、静电印刷机、喷墨印刷机以及激光打印机等等。

1. 绘图机 (Plotter) 绘图机按结构不同可以分为两大类：平板式 (FlatPad) 和滚筒式 (Drum) (图 1-11)。平板式绘图将图纸固定在固定的平板上。平板上方面一 y 方向的导轨，电动机驱动笔架沿导轨可作 y 方向的移动。 y 方向的导轨架在 x 方向的导轨之上，因此可由 x 方向电动机驱动 y 方面导轨带动笔架，沿着 x 方向导轨移动。这样笔架上的笔就可按照输出量作二维方向的移动和绘图。

滚筒式绘图机笔架的 y 方向的移动方式与平板式相同。但 x 方向的移动则由滚筒的旋转而完成。滚筒式绘图机比平板式绘图机价格便宜，占地面积小，但是精度稍差，只能接受一种大小的图纸，而且在绘图过程中对图面监视困难。

绘图机的分辨率可高达 0.0005in ，绘图速度可高达 106m/min 。绘图机的笔架从静止状态到最高速运动状态之间有一个加速度，加速度高的绘图机能较快地达到高速移动。通常的加速度范围 $0.5g$ 到 $8.5g$ 之间，其中 $g = 9.8\text{m/s}^2$ 。

2. 热敏印刷机 (Thermal Printer) 热敏印刷机有转换式和曝光式之分。其中转换式热敏印刷机的工作原理如下 (图 1-12)。

在打印头中装有一行紧密排列的电阻发热元件，在脉冲电流的驱动下，每个元件都可以间隔发热。色带和打印纸张在打印头下移动，由于元件的发热，便将色带上的颜料转移到打印纸上形成画面。彩色热敏印刷机色带上的颜色按红、黄、蓝、黑等几种次序排列，每种色段宽度为 1 页。印刷时，每页分几次套色，每次用不同的色带段，每带段只能用一次。

热敏印刷机可印出效果很好的彩色图片，分辨率可达 300dpi (300 点/ in)。印一张 9in (3072×3840 个点) 的彩图，速度在 55s 以下。基本色 (即色带上的色段种类) 可多达 7 种。

3. 喷墨印刷机 (Ink Jet Printer) 喷墨印刷机用喷墨头将 3~4 种不同色的墨水射在打印纸上而印出图样 (图 1-13)。

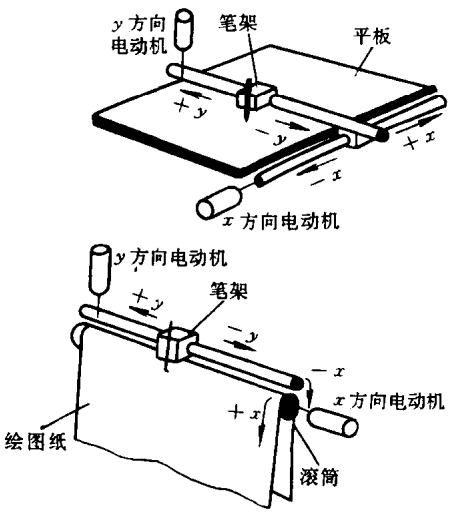


图 1-11 平板式绘图机 (上) 和 滚筒式绘图机 (下)

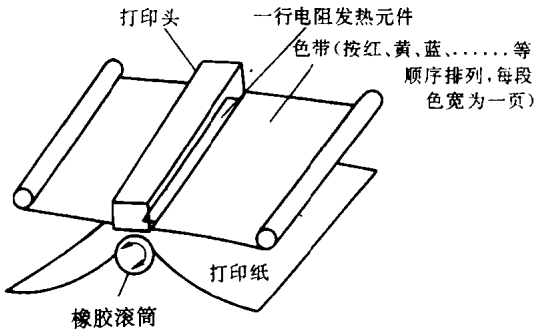


图 1-12 转移式热敏印刷机工作原理

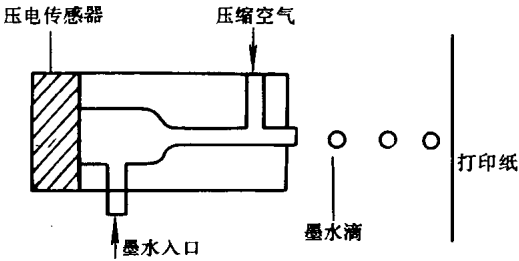


图 1-13 喷墨印刷机原理

喷墨头中含有 4 组细小的喷嘴，分别喷射红、黄、蓝、黑四色。控制喷嘴的电脉冲在压电传感器上，喷嘴产生压力，将泵打入入口的墨水喷出。一个附加的空气喷头对墨水滴加速，并保持其飞行的稳定性，以每秒数米的速度射向打印纸面。彩色的形成靠不同墨水点迹混合，可生产高达 15625 种不同深浅和色彩的图像。喷墨印刷机的分辨率达 150dpi 以上，完成一张彩图印刷约需一分多钟。喷墨印刷机可印出相当漂亮的彩色图片。

喷墨印刷机的价格介于击打式打印机和激光打印机之间，而其打印的质量几乎能与普通的激光打印机相媲美。而且它还具有噪音低、速度快、色彩丰富、重量轻、耗电省和寿命长等优点。因此，喷墨印刷机的前途无量。

喷墨印刷机的主要参数是打印分辨率，有两种分辨率，180/360/720dpi 与 150/300/600dpi（72dpi 是显示器的标准分辨率，360dpi 正好是 72dpi 的 5 倍）。生产喷墨印刷机著名的厂家有 Canon、Epson、HP 和 IBM 等。

4. 激光打印机 (Laser Printer) 激光打印机以其高质量的打印效果、快捷的打印速度，在图形输出设备中独占鳌头。激光打印机的机械结构十分复杂，图 1-14 所示为激光打印机内部构造示意图。主要部分有墨盒、感光鼓（或称硒鼓）、显影辊和初级高压电晕放电线路等，均装在一个可以取下的盒子中。

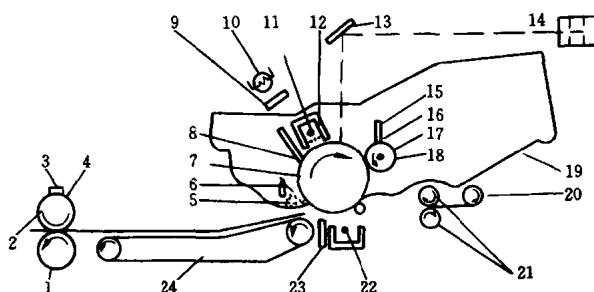


图 1-14 激光打印机内部构造示意图

- 1—定影下辊 2—定影上辊 3—定影辊清扫器 4—定影灯 5—用过的墨粉 6—硒鼓清扫器
7—硒鼓 8—橡胶刮刀 9—红光滤除器 10—擦除灯 11—栅极电晕放电线路 12—栅极
13—反光镜 14—旋转扫描反光镜 15—刮刀 16—新鲜墨粉 17—显影辊
18—显影磁铁 19—打印墨盒 20—取纸辊 21—进纸辊
22—转换电晕放电线路 23—静电清除器 24—传送带

打印开始时，感光鼓外表面被均匀充上负电荷，此步称为鼓的初始化，每当打印机要打一个黑点时，它将一个细小的激光二极管点亮，激光二极管发出的激光经过一系列反射镜后到达鼓上的有机光敏材料上，使该点变成导体，打印机就在鼓上留下一个无法看见的带 -100V 电压的像点，接着是显影过程，即让硒鼓上已感光的部分沾上墨粉，得到可见像点，打印机使用的墨粉主要成分是黑色塑料粉末，内含微小的铁粉，使得墨粉能被磁铁吸引，这样墨粉就能在磁铁控制下移动，如图 1-15 所示。经过显影，鼓上 -100V 的不可见像点变成了可见的黑色墨粉点了。

接着，硒鼓与打印纸接触，纸上产生正电荷，将鼓上带有负电荷的墨粉紧紧吸引，而在纸上得到一个墨粉黑点。要在纸上得到牢固的图像，必须熔化像点，迫使熔化后的墨粉进入纸的纤维之中。至此，打印过程完毕。

激光打印机具有高精度（300dpi 以上）、高速度（ 4×10^{-6} 以上）、低噪声及处理功能强大等特点，成为办公自动化的主流产品，在国外，已进入到家庭。

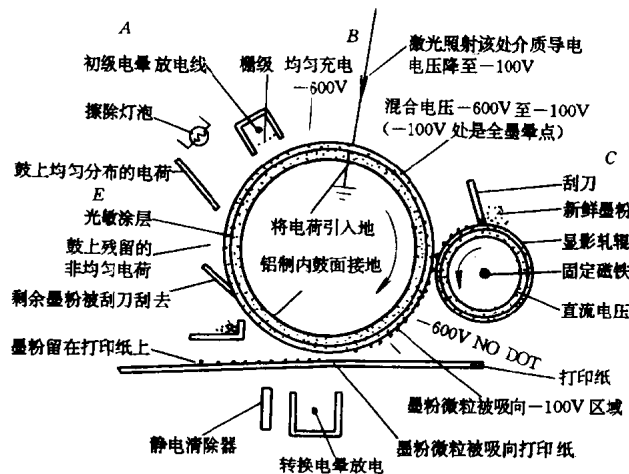


图 1-15 激光打印机循环过程示意图

1.3 CAD 系统的软件

由于微电子和计算机技术的迅速发展，大容量的存储器和高性能的图形输入显示及输出设备的问世和应用，使其性能价格比不断提高，同时也使得软件在 CAD 系统中占有越来越重要的位置。比如一个 CAD 系统中的可靠性、集成性及可扩展性等主要是由软件的性能决定的。1983 年 IEEE 组织明确地给软件下了一个定义“软件是计算机程序、方法、规则相关的文档以及在计算机上运行时它所必需的数据”。一个 CAD 系统需要哪些软件，目前尚无统一看法和规定，但从它们执行的任务范围及编写对象的不同，基本上可分为三类：系统软件、支撑软件和应用软件，它们之间的关系如图 1-16 所示。

1.3.1 系统软件

系统软件是与计算机硬件联系而且供用户使用的软件，它起着扩充计算机功能和合理调度计算机硬件资源的作用，系统软件的特点有两个：第一，具有公用性，不论是哪一应用领域，不论是哪个用户都要使用它；第二，具有基础性，任何应用软件的编写、编译和运行都是在一定系统软件的支持下进

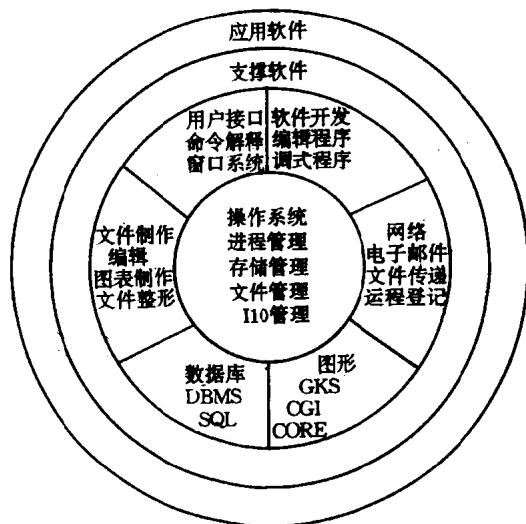


图 1-16 CAD 系统软件组成

行的。也就是说应用软件是以系统软件为基础的或者说系统软件是应用软件的开发和运行环境。系统软件是以操作系统（OS）的内核和以内核为基础的一些公用程序组成。

1. 操作系统 操作系统是由一组程序模块组成，应用它们来控制和管理计算机系统内的所有资源，并且合理地组织计算机的作业流程，以便有效地利用这些资源，并为用户提供了一个功能强、使用方便的工作环境。由此可以认为，操作系统在用户与计算机之间起了一个接口作用，而且操作系统本身也是计算机系统的一个重要组成部分。操作系统的主要任务是对中央处理机（CPU）、主存储器、各种输入和输出设备，文件和作业过程等进行管理。

根据处理问题的方式的不同，操作系统常分为批处理系统、分时系统、实时系统和通用操作系统。但它们之间并不是孤立的，可以根据需要把它们组合起来使用，形成通用的操作系统。例如，批处理与分时系统的组合，分时作业作为前台作业，批处理作为后台作业，这样，计算机在处理分时作业的空闲时间内就可以适当处理一些成批作业，以避免时间的浪费，充分发挥计算机的处理能力。同样批处理也可以与实时系统相结合，此时，实时作业为前台，而批处理为后台，其作业处理也是先处理实时作业，有空余时间就处理后台批处理作业。

实际上，为了适应各个方面的需要，一个具体的操作系统往往同时具有几种功能，例如 DEC 公司的 VAX - 11 系列配备的 VAX/VMS 操作系统就是一个以分时、实时为主，兼有批处理功能操作系统。

常见的操作系统及适用的计算机型号如表 1-1 所示。

表 1-1 常用的操作系统

操作系统名称	适用的计算机型号
VM VSI MVS, MVS/XA VM/SP, VM/XA PC - DOS UNIX	IBM 大、中、小型机 例如：IBM 3000, 4300 系列 IBM PC/XT, IBM PC/AT IBM 5550 及兼容机 DEC: Micro VAX II APOLLO; Domain 系列 SUN: SPARC station VAX750, VAX780, Micro VAX II
VMS VM/CMS VAXELAN AOS/VS RSX - 11 M	DG: System 9000 DEC: Micro VAX II CDC: ICEM/120 系列 PDP - 11

操作系统一般与硬件关系密切，在引进硬件时，由计算机厂商提供。在主机型和工作站 CAD/CAM 系统中不同厂商都给自己的计算机配备了一种与众不同的操作系统。目前，正在使用的主要操作系统有 IBM 公司提供的 MVS 和 DOS 操作系统，DEC 公司提供的 VMS 操作系统，UNIX 操作系统的是 Bell 实验室研制的。

UNIX 操作系统是当前计算机/工作站操作系统进行标准化的基础，它是 32 位 RISC 技术计算机或工作站配套的操作系统。从事 UNIX 操作系统研究开发的国际组织有 UI——UNIX International（UNIX 国际公司）和 OSF——Open System Foundation（开放系统基金会）。UI 和 OSF 对 UNIX 的开发都作了较详细的规划。目前大多数计算机都采用它们的系统，将来有可