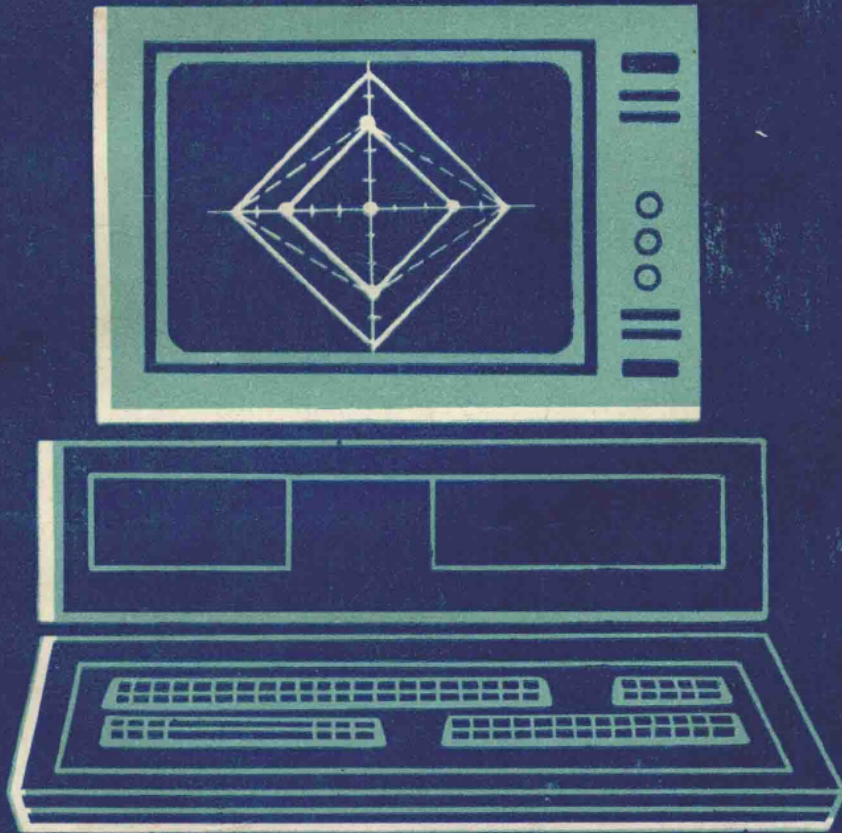


计算机辅助几何设计 原理与方法

王晓苍 胡人文 编著
左建中 徐 绥



天津大学出版社

计算机辅助几何设计

原理与方法

王晓苍 胡人文 左建中 徐绥

编 著

号S10字登豫(第)

去改已器原书版回几册第册第

人册 老版王

第 系 中原水

编出书理代学大南天

(代学大北天)

天 津 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书阐述计算机辅助设计系统及计算机辅助几何设计的基本原理与方法。

本书共分九章，包括计算机辅助设计系统的硬件和软件、绘图与图形显示原理、微分几何初步、图形变换方法、曲线设计、曲面设计和几何造型等内容。

本书内容丰富，取材新颖，图文并茂，由浅入深，具有广泛的实用性。可作为理工院校有关专业的研究生、本科生教材，也可供从事计算机辅助几何设计、计算机辅助设计与制造工作的科研和工程技术人员参考。

(津)新登字012号

计算机辅助几何设计原理与方法

王晓苍 胡人文 编 著
左建中 徐 绥

天津大学出版社出版

(天津大学内)

河北省永清县印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本：787×1092毫米¹/₁₆ 印张：20³/₄ 字数：518千字

1993年9月第一版

1993年9月第一次印刷

印数：1—1000

ISBN 7—5618—0483—0

TP·49

定价：13.10元

天津大学出版社

前 言

计算机辅助几何设计 (CAGD) 原理与方法主要介绍计算机辅助几何设计的基本原理与一般常用的方法。它研究图形的输入、输出, 人机对话交互图形系统, 以及数学表示方法。前两个问题属于计算机硬、软件范围, 在本书第二章中作了简明阐述, 其它各章着重讨论数学方法。

CAGD的数学方法就是如何构造三维空间真实模型的方法。它主要包括三维几何造型、曲线与曲面设计问题。几何造型技术是现代CAGD的主要研究领域之一。任何一个机器零件或构件, 均可视为一系列基本形体, 通过布尔代数或其它方法构成任意复杂的形体。设计人员还可以根据自身的需要, 生成某些异形基本形体, 以搭配组合成更加复杂的形体。为了构造有真实感的三维视觉立体模型, 还需要解决隐藏线及隐藏面的消除问题, 以及明暗效应处理。本书对上述问题都作了详尽介绍。

构造曲线与曲面是CAGD的另一重要内容。在科学研究与工程设计中, 首先经过实验获得一批实验数据点, 然后利用这批实验数据点构造曲线或曲面, 使构造的曲线或曲面完全通过或者“最贴近”这些数据点。现代CAGD技术提供了多种拟合曲线及拟合曲面的方法。它不仅可以构造曲线与曲面, 而且可以生成各种过渡曲面, 使用非常方便。

计算机辅助几何设计 (CAGD) 广泛应用于机械、建筑、化工、造船、汽车、采暖通风、轻工等行业。

本书第一、第三、八、九章由胡人文编写, 第二、五章由左建中编写, 第四、六章§6-1至§6-5由徐绶编写, 第六章§6-6至§6-8和第七章由王晓苍编写。左建中担任了全书的统编整理工作。

本书由天津大学徐宗铃副教授审阅, 并提出了许多宝贵意见, 在此表示深切谢意。

由于我们的水平有限, 不妥之处在所难免, 望读者批评指正。

作者

1990年12月

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1-1 计算机辅助几何设计发展概况	(1)
§ 1-2 计算机辅助几何设计应用简介	(1)
第二章 计算机辅助设计系统	(3)
§ 2-1 概述	(3)
§ 2-2 计算机辅助设计硬件系统	(4)
§ 2-3 计算机辅助设计软件系统	(16)
§ 2-4 个人设计师交互图形设计软件系统	(17)
§ 2-5 AutoCAD交互图形设计软件系统	(44)
第三章 绘图与图形显示原理	(50)
§ 3-1 概述	(50)
§ 3-2 逐点比较法	(50)
§ 3-3 正负绘图法	(55)
§ 3-4 数值微分分析法	(57)
§ 3-5 TN方法	(60)
第四章 微分几何初步	(61)
§ 4-1 曲线和曲面的表示方法	(61)
§ 4-2 向量函数的运算及特殊向量函数	(64)
§ 4-3 曲线的弧长、曲率	(66)
§ 4-4 弗雷纳 (Frenet) 标架、挠率、弗雷纳公式	(71)
§ 4-5 空间曲线在一点邻近的结构及其几何意义	(74)
§ 4-6 常用曲线	(76)
§ 4-7 曲面的第一基本形式和第二基本形式	(81)
§ 4-8 曲面上的法曲率及曲面上点的分类	(86)
§ 4-9 曲面上的重要曲线及曲面的主曲率、高斯 (Gauss) 曲率和平均曲率	(89)
§ 4-10 曲面在一点邻近的结构	(92)
§ 4-11 直纹面、可展曲面、包络	(94)
§ 4-12 常用曲面	(98)
第五章 图形变换方法	(101)
§ 5-1 矩阵的基本概念及运算	(101)
§ 5-2 二维图形变换	(103)
§ 5-3 齐次坐标与二维图形变换	(111)
§ 5-4 三维图形变换	(120)
§ 5-5 工程中常用的三维图形变换	(132)
第六章 曲线设计	(159)
§ 6-1 概述	(159)

§ 6-2	圆锥曲线	(161)
§ 6-3	插值法和三次样条函数	(171)
§ 6-4	三次参数样条曲线	(184)
§ 6-5	贝齐尔 (Bézier) 曲线	(198)
§ 6-6	B样条曲线	(214)
§ 6-7	Beta样条曲线	(235)
§ 6-8	三次参数曲线的几种等价表示及转换关系	(242)
第七章	曲面设计	(250)
§ 7-1	孔斯 (Coons) 曲面	(250)
§ 7-2	贝齐尔曲面	(264)
§ 7-3	B样条曲面	(271)
§ 7-4	Beta样条曲面	(277)
§ 7-5	双三次参数曲面的几种等价表示及转换关系	(278)
第八章	物体隐藏线与隐藏面的消除方法	(287)
§ 8-1	概述	(287)
§ 8-2	平面立体隐藏线的消除	(288)
§ 8-3	曲面立体隐藏线的消除	(299)
§ 8-4	隐藏面的消除	(302)
§ 8-5	形成浓淡	(305)
第九章	几何造型	(308)
§ 9-1	拓扑变换	(308)
§ 9-2	图形的数据结构	(313)
§ 9-3	三维线架模型	(319)
§ 9-4	三维表面模型	(320)
§ 9-5	三维立体模型	(321)
参考文献		(326)
(1)	.....	3-1
(2)	.....	3-1
(3)	.....	3-1
(4)	.....	3-1
(5)	.....	3-1
(6)	.....	3-1
(7)	.....	3-1
(8)	.....	3-1
(9)	.....	3-1
(10)	.....	3-1
(11)	.....	3-1
(12)	.....	3-1
(13)	.....	3-1
(14)	.....	3-1
(15)	.....	3-1
(16)	.....	3-1
(17)	.....	3-1
(18)	.....	3-1
(19)	.....	3-1
(20)	.....	3-1
(21)	.....	3-1
(22)	.....	3-1
(23)	.....	3-1
(24)	.....	3-1
(25)	.....	3-1
(26)	.....	3-1
(27)	.....	3-1
(28)	.....	3-1
(29)	.....	3-1
(30)	.....	3-1
(31)	.....	3-1
(32)	.....	3-1
(33)	.....	3-1
(34)	.....	3-1
(35)	.....	3-1
(36)	.....	3-1
(37)	.....	3-1
(38)	.....	3-1
(39)	.....	3-1
(40)	.....	3-1
(41)	.....	3-1
(42)	.....	3-1
(43)	.....	3-1
(44)	.....	3-1
(45)	.....	3-1
(46)	.....	3-1
(47)	.....	3-1
(48)	.....	3-1
(49)	.....	3-1
(50)	.....	3-1
(51)	.....	3-1
(52)	.....	3-1
(53)	.....	3-1
(54)	.....	3-1
(55)	.....	3-1
(56)	.....	3-1
(57)	.....	3-1
(58)	.....	3-1
(59)	.....	3-1
(60)	.....	3-1
(61)	.....	3-1
(62)	.....	3-1
(63)	.....	3-1
(64)	.....	3-1
(65)	.....	3-1
(66)	.....	3-1
(67)	.....	3-1
(68)	.....	3-1
(69)	.....	3-1
(70)	.....	3-1
(71)	.....	3-1
(72)	.....	3-1
(73)	.....	3-1
(74)	.....	3-1
(75)	.....	3-1
(76)	.....	3-1
(77)	.....	3-1
(78)	.....	3-1
(79)	.....	3-1
(80)	.....	3-1
(81)	.....	3-1
(82)	.....	3-1
(83)	.....	3-1
(84)	.....	3-1
(85)	.....	3-1
(86)	.....	3-1
(87)	.....	3-1
(88)	.....	3-1
(89)	.....	3-1
(90)	.....	3-1
(91)	.....	3-1
(92)	.....	3-1
(93)	.....	3-1
(94)	.....	3-1
(95)	.....	3-1
(96)	.....	3-1
(97)	.....	3-1
(98)	.....	3-1
(99)	.....	3-1
(100)	.....	3-1

第一章 概 论

§ 1-1 计算机辅助几何设计发展概况

“计算机辅助几何设计”是以“计算几何”为理论基础的新兴边缘学科。著名的计算几何学权威福雷斯特(A. R. Forrest)曾给“计算几何”定义为“对几何外形信息的计算机表示、分析和综合”。几何外形信息是指那些确定几何外形的型值点、特征多边形、端点条件、边界条件等。根据这些信息求出数学模型,再通过计算机进行计算,寻找足够的表示几何外形的信息,这就是所谓计算机表示。最后对它们进行分析与综合。

计算机辅助几何设计是利用图形显示设备,在屏幕上模拟假想的数学模型,并进一步揭示其规律的学科。与其它形式的计算机输出不同,图形更富有直观性。因此,它已成为几何设计、人与计算机交互对话的重要手段。从而也成为计算机应用领域中最活跃的分支之一,并且给设计工作带来了革命性的变化。

1950年麻省理工学院在Whirlwind计算机上首次使用阴极射线管作为输出设备,开创了图形显示技术。以后美国空军防卫系统又使用光笔在屏幕上识别目标。人们根据数控机床的原理,用绘图笔代替刀具发明了平板式数控绘图机,不久又发明了滚筒式绘图设备。目前随着计算机技术及外围设备的迅速发展,计算机图形显示与绘图系统日臻完善。

计算机图论方面的研究随着硬件的发展而蓬勃展开。萨瑟兰(I. E. Sutherland)于1963年发表了《SKETCHPAD——一种人机对话系统》一文,介绍了存贮符号树的数据结构,开发了使用键盘和光笔进行人机对话的技术。一批著名的计算几何学家,如美国锡拉丘兹大学的孔斯(S. A. Coons)教授,英国剑桥大学的福雷斯特(A. R. Forrest)教授,法国雷诺汽车公司的贝齐尔(P. Bézier)工程师等,都提出了一整套构造曲线、曲面的方法,并且成功地用于汽车外形设计,奠定了“计算几何”的理论基础。

微机系统及工作站的问世,对计算机辅助几何的普及将起到决定性的作用。

§ 1-2 计算机辅助几何设计应用简介

当前,计算机辅助几何设计已广泛应用于工业、商业、科学技术及文化艺术等各个领域,甚至已深入到家庭娱乐方面。

一、造船工业

造船工业是最早应用计算机辅助设计的部门之一,通过使用这一先进技术,可大量节省船舶设计、下料、绘图的工作量。日本已使用了集成船舶设计和生产系统。该系统将设计及结果数据存放在数据库中,随时调用供设计与制造时使用。

二、航空工业

世界上第一台平板式自动绘图机是美国航空部门生产的。美国波音公司建立了一套庞大的计算机辅助设计及管理系统，及时解决设计与生产过程中发现的问题。

美国及西欧各主要飞机制造厂商，更是广泛使用计算机辅助几何设计的方法设计飞机外形。

三、汽车工业

技术发达的国家普遍使用计算机辅助几何设计方法构造汽车外形曲面。法国雷诺汽车公司工程师贝塞尔研究的方法，奠定了外形曲面设计的基础。英国汽车业研制了一整套车身表面光滑、基本结构设计和安全性模拟系统。

四、建筑业

早在60年代美国就开始使用计算机辅助建筑设计，到70年代初步形成了建筑行业的辅助设计系统。该系统可进行可行性研究与规划、布局设计、绘制施工图、建筑图设计、技术规范说明等。80年代随着计算机硬、软件水平的提高，产生了三维图形设计系统。进入90年代更形成了逼真的三维图形及整套用于建筑行业的辅助设计系统。

五、机械工业

机械工业广泛使用计算机辅助几何设计，用于绘制零件图、部件图、管道图、几何创成轨迹图等。从早期三面投影图发展到今天的三维实体造型技术，极大地改进了设计方法，缩短了设计周期。

六、大规模集成电路工业

大规模集成电路版图线间的距离多在5微米以下，几乎不可能手工完成，只能使用绘图机生成图形。当用刻刀代替绘图机所使用的绘图笔时即可进行加工。

七、仿真与动画

动画片的制作要花费大量人力，并且周期较长。目前已推出若干动画软件，引起动画制作商的极大关注。

仿真与模拟是该学科另一成功的应用，例如模拟飞行训练、模拟战场军事训练和机械加工切削、海浪仿真等例子不胜枚举。

总之，计算机辅助几何设计的应用是多方面的。它正迅速地深入到各个领域，并将给设计、生产和人民生活带来巨大的变革。

第二章 计算机辅助设计系统

§ 2-1 概述

计算机辅助设计系统由计算机硬件系统和软件系统组成。计算机辅助设计系统是进行计算机辅助几何设计及其它计算机辅助设计工作的基础。硬件系统是计算机辅助设计的设备条件,软件系统是使硬件系统完成各种设计工作的程序。这些程序是使计算机进行工作的信息的逻辑组织。电子计算机及其外围设备为计算机辅助设计的硬件系统,而软件系统由系统软件、图形支撑软件及应用软件组成。

随着计算机科学及计算机工业的迅速发展,计算机辅助设计的硬件和软件的种类越来越多,功能越来越强。一般来说,一个计算机辅助几何设计系统应该具备的基本功能有计算、存储、交互、输入和输出五个方面。

计算功能是计算机的基本功能。在计算机辅助几何设计中,图形的设计、分析、修改,对图形进行缩放、旋转、平移、投影等几何变换及曲线和曲面的形成和求立体与立体的交线等工作,都是通过计算机的计算完成的。计算机的核心部分是中央处理机(CPU)和内存存储器。运算速度是计算机的一个重要性能指标,运算速度高的计算机可提高辅助设计的速度。

存储功能是计算机系统存放图形数据及图形数据之间相互关系的能力。实现存储功能的硬件是计算机的内存储器 and 外存储器,其主要性能指标是存储容量。存储容量越大,计算机辅助设计系统能够设计的图形也越多越复杂。存储功能应根据设计人员的要求迅速地提供数据,满足设计人员实时进行图形设计、分析、修改等的需要,存储设计图形的结果和中间结果,方便使用。

交互功能是指人和计算机进行对话的能力。例如,图形显示器能够把设计人员所画的图形及设计结果显示在屏幕上,设计人员可用光笔、键盘或鼠标器等对不满意的部分进行修改,可边画边分析边整理,直至完成全部设计工作。计算机把设计人员输入的操作命令及数据显示在屏幕上;还可由系统追溯到前面的工作步骤与设计程序,对错误进行提示,以便于设计人员修改。交互功能优良的计算机辅助设计系统使用方便,可大大提高计算机辅助设计工作的效率。

输入功能是把设计中需要的原始数据、计算程序和操作命令输入到计算机中去。常用的输入设备有键盘、光笔、鼠标器、坐标数字化仪,磁盘机、磁带机、卡片输入机等。

输出功能是把计算机辅助设计的中间结果或最终结果,如图形、图像、字符等显示出来或制成硬拷贝。与输出功能有关的输出设备有图形显示终端、各式打印机、各种绘图机、硬拷贝装置等。

图2-1是计算机辅助几何设计基本功能流程图。

设计人员借助于计算机辅助设计系统,把人的智能与计算机的高速运算能力及高速绘制

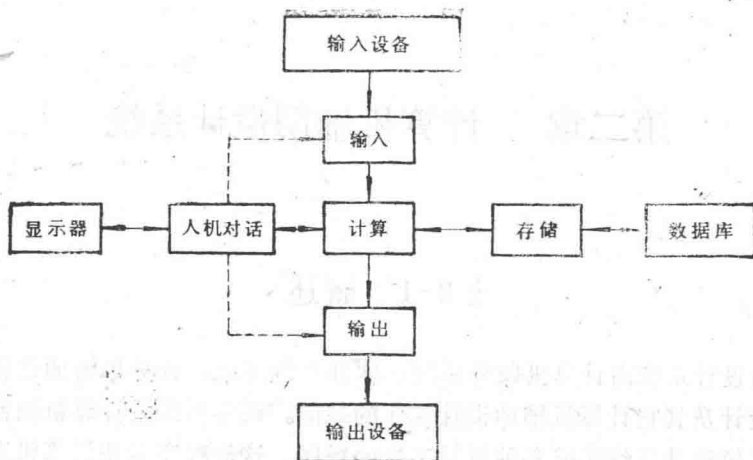


图2-1 计算机辅助几何设计系统功能流程图

图形的能力相结合，极大地扩展了人的设计能力。运用计算机辅助设计可大大地提高设计效率，保证设计质量。

计算机辅助设计系统的硬件和软件的合理配置是发挥其效能的重要方面，因此学习和掌握计算机硬件系统和软件系统的有关知识对配置适合需要的计算机辅助设计系统是必须的。

§ 2-2 计算机辅助设计硬件系统

计算机辅助设计硬件系统一般由计算机、输入设备、输出设备三大部分组成。计算机是进行辅助设计的主机，它包括存储器、运算器、控制器三部分。它的作用是进行图形数据处理。输入设备用来输入图形数据及处理这些图形数据的程序。光笔、图形输入板、坐标数字化仪、鼠标器等是常用的图形输入设备。它们可以直接输入原始图形，速度快，效率高。自动绘图机、图形显示器、打印机是常用的输出设备。在计算机辅助设计中，人们由输入设备输入设计所需要的原始图形、图形数据或处理程序，经过计算机进行处理，可在显示屏上显示设计的图形，可以边画边修改，直至令人满意为止，最后在绘图机上画出所设计的图形。打印机用于输出源程序清单和数据处理结果，也可输出打印的图形。

以微型计算机或超级微型计算机作为计算机辅助设计系统的主机，价格较低，使用管理方便，应用广泛。

一、计算机的类型和应用

从总体上来说电子计算机可分为两大类：一类是电子模拟计算机，另一类是电子数字计算机。电子模拟计算机由于精度和解题能力有限，所以应用范围较小。电子数字计算机是以近似于人的思维方式来进行工作的，被称之为“电脑”，应用极为广泛。电子数字计算机的发明和发展是20世纪人类最伟大的科学技术成就之一，也是现代科学技术发展水平的主要标志。电子数字计算机广泛地应用于航空、航天、防空军事系统、气象、数学、物理等领域的科学计算，还应用于金融系统、企业财会统计与经营管理中。在现代化工厂里，计算机普遍用于生产过程的自动控制。计算机辅助设计、计算机辅助制造（CAD/CAM）使新产品的开

发、设计与生产能高效率、高质量地进行；计算机人工智能的研究与应用更具有特殊的意义。计算机技术的应用与发展将对人类文明、社会的进步与变革产生深远的影响。

数字计算机又可分为专用计算机和通用计算机。专用计算机是最有效、最经济和最快速的计算机，但它的适应性很差。通用计算机适应性很大，是计算机工业中价值比重最大的产品。一般来说，通用机常选为计算机辅助设计的主机。

通用计算机按体积大小、性能指标、数据存贮容量、指令系统规模、功率损耗和机器价格，又可分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机五大类。

巨型机是计算机中性能最好的，一般为国防、气象、原子能等方面的特殊需要而研制。大规模集成电路的迅速发展，为制造巨型机创造了条件。70年代完成的巨型机Cray-1是针对天气预报、飞行器的设计和核物理研究而设计的，该机的向量运算速度达每秒8000万次，并兼顾了一般标量的运算。我国于1983年研制成功的“银河”亿次机即为巨型机。近年来，古德伊尔公司为美国宇航局(NASA)研制了一台处理卫星图像的巨型计算机系统。该系统由16384个微处理器组成 128×128 方阵，采用并行处理及多处理器系统技术。巨型机字长不少于64位，速度约为每秒几亿次到几十亿次浮点运算，主存容量为几十兆到几百兆字节，具有高速I/O通道，每秒可传送几千万个数据，有功能很强、效率很高的系统软件。

一般来说，巨型机体积大、结构复杂、数据存储量很大、运算速度极高、价格昂贵，主要用于科学计算。

大中型机通用性强，性能很好，字长为32位到64位，平均每秒执行几百万到几千万条指令，主存容量为几兆到十几兆字节，有丰富的外部设备和通信接口及系统软件，广泛应用于科学计算、数据处理、企业管理、模式识别等方面。

小型机规模小，结构简单，设计、试制周期短，便于及时采用先进工艺，生产量大，软硬件成本低，价格较便宜。小型机字长为16位到32位，运算速度每秒几十万到几百万条指令，主存容量几兆字节，有一定数量的外部设备与通信接口，配有几种高级语言和汇编语言，操作系统功能较强，且容易操作和维护，可靠性高，管理方便，编制程序比较简单，因而应用范围广。

微型机自1971年问世以来得到迅速发展。在各类计算机中，微型机价格最便宜。由于采用大规模集成电路技术，微型机可靠性大大提高，体积大大缩小，耗电少，对使用条件要求不高，应用最广泛。现在超级微型机字长已达32位，主存容量可达几兆字节，取代了不少小型机，有些小型机也已微型化。在1981年，一向以生产大中型通用机为主的IBM公司推出IBM PC机，后来又推出扩充性能的IBM PC/XT、IBM PC/AT机，由于具有设计先进、软件丰富、功能齐全、价规便宜等特点，很快成为微机市场的主流。近年来，在IBM PC/XT和AT微机上发展起来的计算机辅助设计系统具有价廉物美的优点。该系统投资少，收效快，可提供小型机甚至大型机组成计算机辅助设计系统的大部分功能。

国产长城0520与长城0530微机为我国计算机辅助设计事业的发展开创了新的天地。长城0530微机与IBM PC/AT兼容，主存容量大于640kB，硬盘容量为40MB。在IBM PC系列机上运行的软件均可在长城0530上运行。加上汉化的Auto CAD图形软件、DBASE II或DBASE III数据库管理系统，为我国开发CAD应用软件奠定了基础。

二、数字计算机系统的组成

电子数字计算机系统由存储器、运算器、控制器、输入输出设备等组成(图2-2所示)。

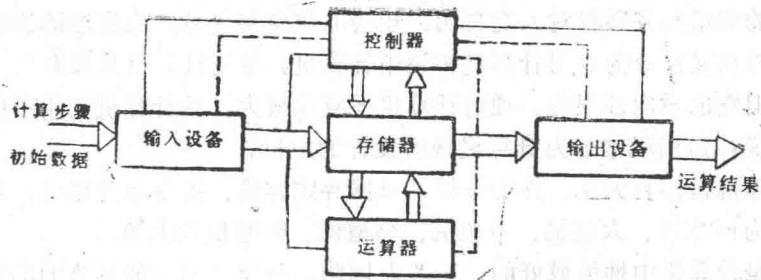


图2-2 电子数字计算机组成框图

1. 存储器

存储器的功能是保存原始数据和解题步骤。它通常由存储体、逻辑部件和控制电路组成。在运算前需要把参加运算的数据和解题步骤通过输入设备送到存储器中保存起来。

存储器存放的全是0或1表示的二进制数码，因此输入到计算机中的数据及解题步骤，在存放到存储器之前，它们全已被变成0或1表示的二进制数码。目前，存储器通常采用半导体器件担当存储大批的0、1数码的任务。

存储器的基本构成单元是存储元件，一个存储元件可以存储一位二进制信息。一个数假定用16位二进制代码来表示，那么就需要有16个存储元件来保存这些代码。若干个存储元件组成一个存储单元，存储器是由许多存储单元组成的。每个存储单元都有编号，称为地址。向存储器中存数或者从存储器中取数，都是按给定的地址来寻找所选的存储单元的。

存储器所有存储单元的总数称为存储器的存储容量，通常用单位“kB”来表示，1k表示 2^{10} 即1024个存储单元。如果说存储容量为640k，就是说该存储器具有 640×1024 个存储单元。存储器的存储容量越大，表示计算机记忆储存的信息就越多，计算机解题能力也就越强。

存储容量、存储速度是衡量主存储器性能的两个重要指标。主存储器容量的度量与其寻址方式有关。某些计算机可寻址的最小信息单位是一个存储字，相邻的存储器地址表示相邻存储字，这种机器称为“字可寻址”机器。一个存储字所包括的二进制位数称为字长。一个字又可以划分为若干个“字节”。现代计算机中大多数把一个字节定为8个二进制位，因此，一个字的字长通常是8的倍数。有些计算机按“字节”寻址，这种计算机称为“字节可寻址”计算机。以字或字节为单位来表示主存储器存储单元的总数，就得到了主存储器的容量。主存储器的存储速度常用存储器存取时间和存储周期来表示。存储器存取时间是指从启动一次存储器操作到完成该操作所经历的时间。存储周期是指连续启动两次独立的存储器操作（例如连续两次读操作）所需间隔的最短时间。通常，存储周期略大于存取时间，其差别与主存储器的物理实现细节有关。随着存储器件的发展，主存储器的容量和速度得到了极大地提高。但是，目前具有合适价格的主存储器能提供信息的速度总是跟不上中央处理机的处理指令和数据的速度，存储容量也远远不能满足应用的需要，同时主存储器存在所存储的信息不能永久性地保留之缺点。

辅助存储器作为主存储器的后备和补充应运而生。它具有容量大，成本低，可以永久性地脱机保存信息的优点。辅助存储器主要有磁表面存储器和光存储器两大类。

现代计算机系统中，同时使用各种类型的存储器构成分级存储系统，能很好地解决速度、成本、容量之间的矛盾，提高了计算机系统的性能价格比。

2. 运算器

运算器是计算机中加工与处理数据的功能部件。对数据的加工处理主要包括对数值数据的算术运算（如执行加、减、乘、除运算，变更数据的符号等等），也包括对各种数据的逻辑运算（例如进行与、或、求反等运算）。

运算器主要由算术逻辑运算部件（ALU）、通用寄存器组、多路选择器电路、开关门电路和译码器等组成。通用寄存器组的功能是暂时存放参与运算的数据和某些中间运算结果。多路选择器电路、开关门电路和译码器的功能是实现挑选参与运算的数据，选中执行的运算功能，并把运算结果送到所要求的部件。ALU实现对数据的算术和逻辑运算。

在运算器中，寄存器的位数叫做机器字长。机器字的长短，将直接反映运算精度的高低。显然，寄存器位数越多（即机器字长越长），能表示数的范围也越大。因此，有效数字位越多，机器数的精度也就越高。

机器字长的确定，不能单从精度或数的范围来考虑，还应该从内存储器的结构、指令字的格式等方面加以综合考虑。许多机器的机器字长与内存字长、指令字长都相等，这从机器结构和各部件利用率考虑是比较合理的。但在现代计算机中，为突出精度指标，已有不少机器采用机器字长可变的技术，以满足多方面的要求。

3. 控制器

控制器是用来控制、指挥程序指令和数据的输入、运算和处理运算结果的部件。控制器由程序计数器、指令寄存器、指令译码器、时序电路、微操作控制电路及中断处理电路等组成。

控制器是计算机内指挥与控制整台计算机各功能部件协同动作、自动执行计算机程序的指挥中心。控制器具备如下功能。

能自动地逐条取出按序存于主存储器（又称内存）的指令的功能，能自动形成指令的地址（称现行指令地址），发出取指令命令，将对应此地址的指令取到控制器中；分析此指令将要完成什么样的操作，分析参与这次操作的各操作数所在的地址，即操作数的有效地址；能自动地从有效地址中取出操作数，并按操作性质完成此指令的各种操作；按操作性质的要求，发出各种相应的微操作命令，使相应的部件完成各种动作。具备改变指令执行顺序的功能，它可以根据现行指令执行后的结果，确定下一步是继续按原程序的顺序执行，还是改变原来的执行顺序，以便提高机器的工作效率，有利于程序的编制。具备控制主机与输入、输出设备交换信息的功能，现代计算机在完成程序、原始数据的输入或运算结果输出的方式上，也常采用一些相应的指令，由控制器统一指挥，用来完成主机与输入、输出设备的信息交换。这种功能有利于提高计算机系统的利用率。

有的控制器还具有异常情况和特殊情况的处理功能。机器在运行时，可能会遇到一些异常情况（如断电、传送出错等）或特殊情况（如要求将一行字符打印送出，外存向主机输送一批数据等），控制器具有随机处理这类问题的功能，即中断处理功能。

4. 输入、输出设备

输入设备是用来将人们提供的原始信息（如数据、计算程序、图形等）转变为计算机能识别的信息的部件。常用的输入设备有键盘输入器、卡片机、光电输入机、电传打字机、磁

带机、磁盘机等。计算机辅助几何设计中常用的图形输入设备有光笔、坐标数字化仪、图形数字化输入版、鼠形器等。

输出设备是将计算机的运算结果，转换为人们所熟悉的信息形式的部件。如各式打印机、自动绘图机、各种显示器等。

输入、输出设备将于后续节中详细论述。

三、数字计算机的性能指标

由于计算机的迅猛发展和应用领域日益扩大，计算机产品的数量与种类迅速增加。全面衡量一台计算机的性能要考虑多种指标，而且不同用途的计算机，其侧重面也不同。一般来说，主要性能指标有以下几项：

1. 字长

字长是指参与运算的数的基本位数，它标志着计算机的计算精度。为了适应不同需要并协调精度与造价的关系，许多计算机还能进行变字长计算，例如半字长、全字长、双字长或超精度四字长运算。

一般微型机字长以8位、16位为主，小型机以16位、32位为主，大、中型机则从32位到64位。

2. 主存容量

主存容量是标志计算机解题能力的重要指标之一。以字为单位的计算机常用字数乘以字长来表明主存储容量，如 4096×16 表示有4096个单元，每个单元字长为16位。以字节为单位的计算机则常以字节数表示主存容量，即以字节为单位来表示主存储器存储单元的总数。习惯上将1024个字节的容量称为1kB，1024kB称为1MB，目前微型计算机的主存容量已达512kB到640kB，超级微型机主存容量可达几兆字节，大中型机的主存容量已达几十兆到几百兆字节。

3. 运算速度

运算速度是计算机的另一个重要的性能指标。计算机执行不同的操作所需的时间可能不同，因而对运算速度存在不同的计算方法。一般常用的方法是指计算机在单位时间内执行指令的平均条数。随着计算机科学技术的不断发展，计算机的运算速度愈来愈高。

1982年宣布的IBM 3084k通用机运算速度达到每秒2500万次；1983年研制成功的Cray X-MP机向量运算速度达每秒4亿次；与此同时，CDC公司的CYBER205每秒可进行4亿次浮点运算。

4. 软、硬件配置

字长、主存容量、运算速度是计算机的三项重要指标，但全面衡量一台计算机的优劣，还要看其整个软件和硬件的配置情况。例如指令系统的功能、外部设备配置情况等。计算机有无功能很强的操作系统和丰富的程序设计语言，以及其它支撑软件和必要的应用软件等，这些软件功能的强弱对用户工作的开展影响很大。系统软件的主要功能是对整个计算机系统进行调度、管理、监视及服务；用户只需使用简便的语言或本业务的语言编写程序，就能够在计算机系统上得到运行；它可以使系统的各种资源得到合理的调度和高效的使用。操作系统是系统软件中最核心的部分，它用来控制和管理计算机的各种资源，指挥整个计算机系统的各个部件（包括软件在内）自动运行协调一致地工作。应用软件是计算机用户在各自的业务系统中开发和使用的各种程序，包括科学计算程序、数据处理程序、工程设计程序、过

程控制程序等。计算机辅助设计程序AutoCAD软件包即为应用软件的一种。只有配置良好的应用软件,才能使用户使用方便可靠,又便于开发,计算机才能真正发挥效能。

合理的外部设备配置是计算机开展工作的重要条件。外部设备即输入输出设备,是人与计算机直接对话的设备,是人——机的桥梁。输入设备的作用是将人们要求计算机处理的数据、字符、文字、图形、图象以及程序本身等各种形式的信息,转换为计算机可接受的编码形式后,存入某种存储器内。输出设备的作用是将经过计算机处理后的结果或者中间结果,以用户希望的形式(例如显示、绘图、照相等形式)表达出来。由于人们对输入输出设备的要求是多种多样的,因此,现代计算机系统往往带有较大数量的各种各样的输入输出设备,用户可根据工作需要和经济条件选择。

5. 诊断能力与容错能力

计算机在硬件设计时就考虑到诊断的需要,配置了诊断程序。它可以监视系统的运行状态,一旦出现故障,能自动保存现场信息不受破坏,并且能立即诊断出故障部位。它还可以帮助用户调试程序,查找程序中的错误等。对使用、维护很有好处。有的计算机系统采用容错结构,如多机工作体制,能在局部出现故障时维持基本的工作能力。

6. 性能价格比

性能价格比是用来衡量计算机产品好坏的综合性指标。这里性能的内容主要是指计算机的主存储器的容量和存取周期(进行连续存取操作所允许的最短时间间隔)、运算速度、输入输出设备配置情况、计算机运行的可靠性等。价格则指机器的售价。性能价格比有专门的公式进行计算,性能价格比值越大,说明该计算机越价廉物美,一般来说,微型机性能价格比高,超级小型机其次,大中型和巨型计算机比较低,同系列计算机中新型号的性能价格比较高。

四、自动绘图机

自动绘图机是将计算机输出的数据信息转化为图形的装置,是常用的图形输出设备。自60年代起,各种类型的自动绘图机不断涌现,性能不断完善,速度不断加快,精度越来越高,操作愈来愈方便。现在,已出现了超大型、精密型、高速型、普及型及小型智能绘图机。自动绘图机从结构上又有平台式和滚筒式之分。目前,除了常见的笔式绘图机以外,还出现了静电式、喷墨式绘图机及激光绘图机等,从而使成图效率大幅度提高,图形更加逼真。下面介绍几种典型的绘图机。

1. 滚筒式绘图机

滚筒式绘图机的工作原理是:绘图纸卷绕在滚筒上,图纸两边的小孔与滚筒两端链轮上的小齿啮合,随滚筒作正、反方向的运动,即 x 方向的运动;而画笔则沿滚动轴左、右运动,即 y 方向的运动。利用计算机控制滚筒的转动和画笔的左、右往复运动,即可画出图形。图2-3是一种具有优良性能和价格低廉的滚筒式绘图机。日本GRX-400AR/300AR型滚筒绘图机的最大绘图面积为 $1600 \times 905\text{mm}$,最大图纸幅面为A0号图幅,最大绘图速度为 660mm/s ,机械分辨率为 0.00156mm/step ,重复精度小于 0.05mm ,可安装8支绘图笔。

滚筒式绘图机的特点是结构简单、紧凑,占地面积小,价格便宜,绘图速度较快,连续绘制多张图纸尤其方便,但绘图精度较低,而且绘图过程中不便于观察全图。常用于一些对绘图精密要求不高的场合,如绘制机械图、土木建筑图等。

2. 平板式绘图机

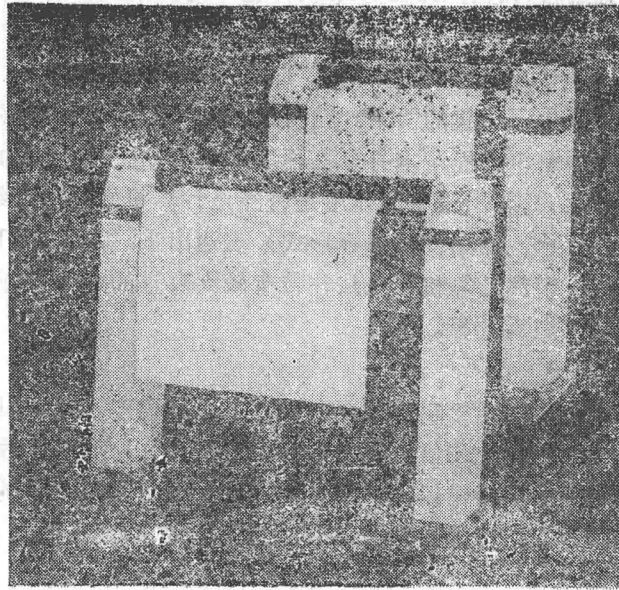


图2-3 滚筒式绘图机

平台式绘图机如图2-4所示。它的特点是绘图纸平铺在绘图平板上。它的主要部件有X向导轨和滑座、Y向导轨和滑座、笔架、绘图平板等。绘图纸用真空吸附或静电吸附的方式固定在平板上，笔架固定在Y向滑座上，由计算机发出的控制脉冲驱动X、Y向的驱动电机，使画笔做X、Y方向的移动，从而完成绘图动作。

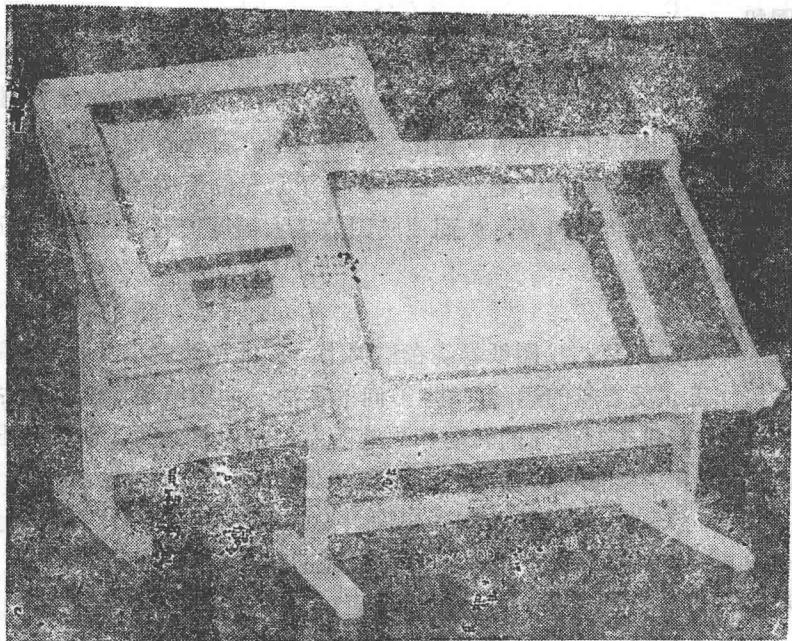


图2-4 平板式绘图机

平板式绘图机的优点是绘图精度高，有效绘图面积大，绘图过程中可监视全部画面。缺

点是结构复杂，占地面积大，价钱较高。它适用于绘制高精度、大画面的图形，如飞机、汽车、轮船、大规模集成电路图等。

3. 平面电机型绘图机

平面电机型绘图机属于平台式，但驱动画笔的方式与平台式绘图机不同。平台式绘图机驱动画笔的方式是：由计算机把绘图信息以脉冲信号的方式送给执行电机，执行电机通过一套机械传动装置驱动画笔完成绘图动作，其速度和精度都要受到机械传动机构的限制和影响，而且使用时间长了，机械磨损将会降低绘图精度。

平面电机型绘图机采用双向直线电机，电机的动子（绘图头）与定子的接触面均为平板，因此双向直线电机又称平面电机。这种绘图机的动子（绘图头）直接在定子平板上运动，它没有像一般平台式绘图机所通常具有的齿轮、齿条以及导轨组成的机械传动机构，因而结构简单，大大提高了绘图速度及绘图精度。定子平板位于绘图平台的上方，互相平行且面积相同。图纸采用真空吸附装置固定在绘图平台上。利用磁性，将绘图头吸引悬挂在定子平板下面。绘图头与定子平板的接触面上有许多小孔。工作时，高压空气从孔中吹出，从而使绘图头与定子平板间形成 $10\mu\text{m}$ 的间隙，构成“空气轴承”。因此，绘图头在定子平板下运动时的摩擦力极小。绘图笔装在绘图头的笔架上，计算机输出的图形信息操纵绘图头运动，从而在绘图纸上画出图形。平面电机型绘图机如图2-5所示。

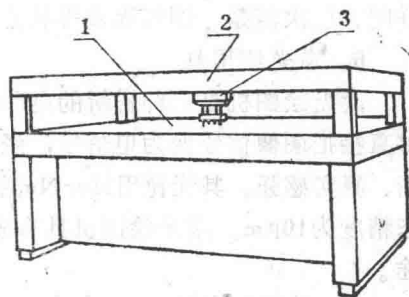


图2-5 平面电机型绘图机

1—绘图平台； 2—定子平板； 3—绘图头

平面电机型绘图机的显著优点是：

(1) 绘图机的动子重量轻（仅为 1.4kg 左右）。由于采用空气轴承，摩擦损耗极小，且运动灵活，灵敏度高，可以产生较高的速度和加速度（速度可达到 1m/s ，加速度可达到 $1-2g$ ），大大缩短了绘图时间。

(2) 笔架直接装在动子上，省去了复杂的机械传动机构，所以减少了误差和机械传动零部件磨损对绘图精度的影响，工作可靠性好，使用寿命和绘图精度大大提高，绘图的重复精度可达到 $\pm 0.01\text{mm}$ 。

平面电机型绘图机的缺点是：平面电机动子和定子难于加工，尤其定子平板尺寸较大时更为突出；有时不得不把定子分成几块加工，然后再拼接起来，安装较麻烦，因此价格较高；定子与绘图平台之间空间较小，绘图时不便监视全图，亦不能装摄像头；另外由于绘图速度快，对绘图笔有特殊的要求。

4. 小型绘图机

小型绘图机是由微型计算机控制的绘图设备，如图2-6所示。在微型计算机辅助设

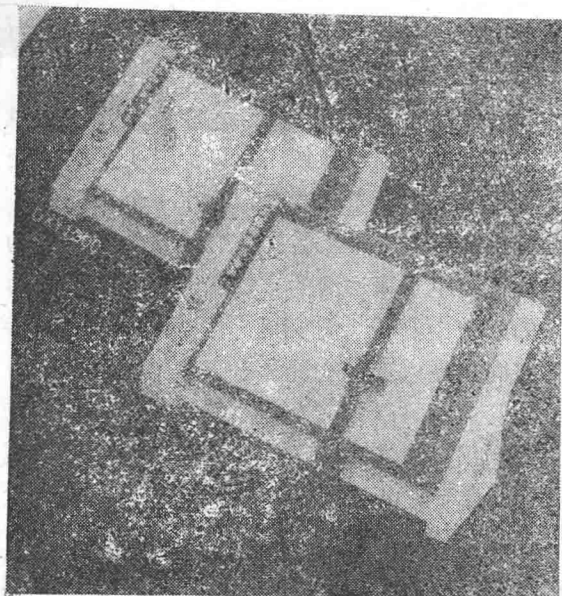


图2-6 小型绘图机