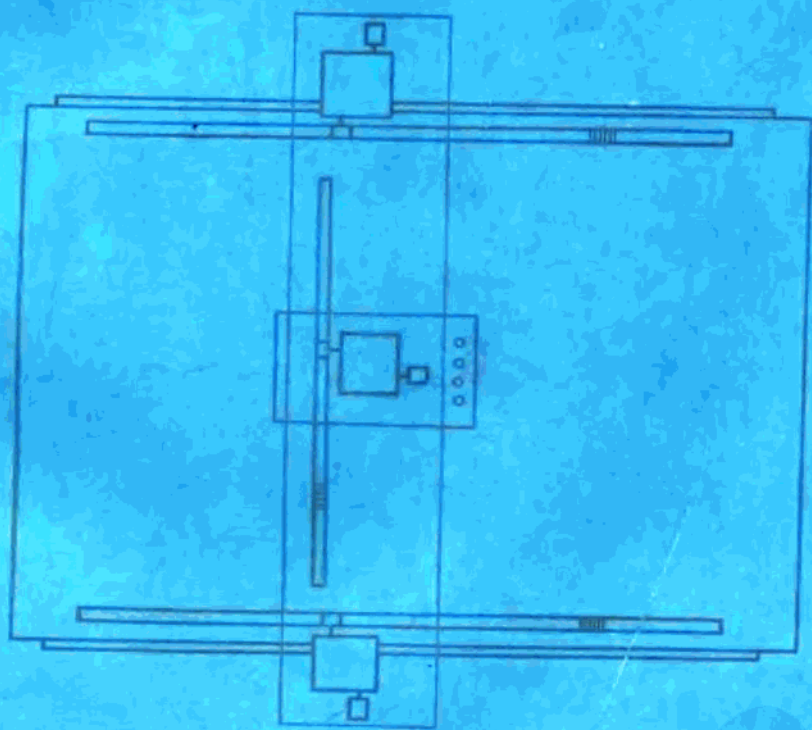


高等学校教学参考书

计算机制图

上海交通大学 浙江大学 南京工学院《计算机制图》编写组 编



高等教育出版社

内 容 提 要

近年来,由于计算机应用技术的发展,国内学习计算机制图的热情很高,编者应读者的需要编写了本书。

本书内容分基础和提高两部分:基础部分介绍了计算机制图的硬件和软件、编程的基本知识,使读者能编制一般机械图的绘图程序;提高部分主要介绍图形变换、隐藏线处理及交互式图示系统,为读者进一步探讨计算机制图提供一些图形处理的基本方法和手段。书中某些题材直接选自编者所在学校的一些科研成果。

本书在试用基础上,经高等工业学校画法几何及工程制图教材编审委员会扩大会议评审并推荐出版。

本书可作为“计算机制图”的教学参考书或试用教材,亦可供有关的教师、学生、研究人员和工程技术人员参考。

高等学校教学参考书

计算机制图

上海交通大学

浙 江 大 学 《计算机制图》编写组编

南京工学院

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 17 字数 380,000

1984 年 7 月第 1 版 1985 年 3 月第 1 次印刷

印数 00,001—18,130

书号 15010·0802 定价 3.55 元

前 言

近年来,由于计算机应用技术的发展,在国内掀起了一股研究、学习计算机制图的热潮,各种学习班、选修班犹如雨后春笋般地在各地举办起来,形势十分喜人。鉴于这种状况,深感参考资料之匮乏,因此我们三校决定合作编写《计算机制图》一书以适应读者的需要。早在1979年11月,编写组同志讨论了本书的大纲及编写目的,1980年5月又受到全国第一届工程图学代表大会的鼓励和促进,1981年1月讨论了初稿,1981年4月讨论了第二稿,1981年9月底到10月初又讨论了第三稿,同时浙江大学于1982年2月将第三稿用作选修课的教材试用。1982年6月经画法几何及工程制图教材编审委员会扩大会议评选,推荐出版。1982年10月开始,编者根据编审委员会和审阅人的意见再次作了修改。

本书可作为“计算机制图”的试用教材,亦可供有关研究人员、教师、学生和工程技术人员参考。本书分基础和提高两部分:基础部分介绍了计算机制图的硬件和软件、编程的基本知识,使读者能编制一般机械图的绘图程序;提高部分主要介绍图形变换、隐藏线处理及交互式图示系统,为读者进一步探讨计算机制图及开展科学研究提供一些图形处理的基本方法和手段。本书侧重于机械图的自动绘制,书中某些题材直接选自我们几校的一些科研成果。

本书由上海交通大学、浙江大学、南京工学院共同编写。全书分七章一附录。第一、二章及附录由南京工学院张蔚如、张道修编写,第三、四章由上海交通大学龚佐明、陶关源编写,第五、六、七章由浙江大学夏企唐、王尔健、卓守鹏、金廷赞编写。由龚佐明、卓守鹏、张道修任主编。

本书承蒙清华大学石光源、许隆文同志审阅,提出了具体的意见和有益的建议。浙江大学应道宁同志曾参与了本书大纲的制订,杭州汽轮机厂金德安同志也多次参与讨论并在资料方面给予协助。在此一并致谢。

计算机制图在国内是一门新的学科,对我们来说也是一次新的尝试,尽管作了很大努力,但限于水平还是粗糙之作,错误及不妥之处在所难免,望各界热情批评指正。

编 者

1983.10.

目 录

第一章 绪论1	§ 5-2 二维图形变换96
§ 1-1 计算机制图的发展概况1	§ 5-3 三维图形的平移、比例、旋转变换115
§ 1-2 计算机制图的应用简介4	§ 5-4 正投影变换129
第二章 计算机绘图系统8	§ 5-5 轴测投影变换138
§ 2-1 概述8	§ 5-6 透视变换149
§ 2-2 自动绘图机11	§ 5-7 正投影图和正轴测图编程实例160
§ 2-3 插补原理21	第六章 隐藏线处理167
第三章 绘图软件30	§ 6-1 利用外法线法处理凸多面体的 隐藏线167
§ 3-1 概述30	§ 6-2 利用棱线的图示规律处理凹多面体 的隐藏线171
§ 3-2 绘图软件介绍30	§ 6-3 描述多面体的数据结构175
§ 3-3 绘图软件若干问题的讨论42	§ 6-4 处理凸多面体隐藏线的各程序的 功能、框图和源程序179
§ 3-4 分析几个子程序46	§ 6-5 绘图实例191
§ 3-5 绘图软件的发展趋势52	第七章 交互式图示系统193
§ 3-6 CalComp 绘图软件包53	§ 7-1 绘图与显示193
第四章 图形程序的编制56	§ 7-2 交互式图示系统基本软件概述195
§ 4-1 机械工程图样的绘制特点和方法56	§ 7-3 图形的结构与搜索显示196
§ 4-2 基本图形的手编程序60	§ 7-4 对话功能的处理198
§ 4-3 基本图形程序设计62	§ 7-5 一个简单的交互式图形程序包201
§ 4-4 零件结构图形的程序设计66	§ 7-6 应用程序的例子207
§ 4-5 零件图程序设计75	附录 FORTRAN IV 概要231
§ 4-6 装配图程序设计85	
§ 4-7 图形程序库的概念88	
第五章 图形变换91	
§ 5-1 矩阵及其运算91	

第一章 绪 论

§ 1-1 计算机制图的发展概况

一、图样与电子计算机

图样是表达和交流技术思想的重要工具之一,运用于生产已有很长的历史了。随着生产的发展,图样也在不断的发展。为了绘制图样,人们在实践中不断地创造出各种绘图工具,从简单的三角尺、圆规、丁字尺直到复杂的机械式绘图机,都未能摆脱手工方式进行绘图,而手工绘图又是一项劳累、繁琐、化时间的工作。能自动地产生并绘出图样是人们长期以来梦寐以求的愿望,在世界上出现了电子计算机以后,这个愿望终于变成了现实。

电子计算机这个名称,现在已为大多数人所熟悉了,它是二十世纪科学技术的卓越成就之一。随着电子计算机的发展,其应用范围亦日益广泛。至今,已渗透到了各个领域。

电子计算机是一种能自动高速进行大量数字处理和运算的电子设备。当人们探讨了数字与图形之间的内在关系后,发现在图形和数字之间可以建立某种转换关系,利用电子计算机来进行图数之间的转换,这就为绘图工作的自动化提供了理论基础。把计算机和图形处理装置联接在一起,构成计算机绘图系统。利用计算机对数值进行处理、计算,并控制图形设备自动输出图形。计算机制图又称数控绘图或自动绘图。

自动绘图的研究开始于五十年代。在1958年,美国Calcomp公司试制了第一台滚筒式自动绘图机。在此前后,美国Gerber公司试制了第一台平台式自动绘图机。这就改变了电子计算机只能用数字、文字、符号输出的现象,而能直接输出图形了。自动绘图诞生以来,发展极为迅速。在技术先进的国家中,很多部门都纷纷引用。目前,正向高精度、高速度、多功能、大型、微型等方向发展。

1967年,我国开始了自动绘图的研制工作,并先后在上海和内蒙试制成功了LZ5型和MSB-1型X-Y数控绘图机。1973年,又在上海开始研制大型数控绘图机的工作,于1976年试制成具有七十年代初期国际水平的HTJ-1855型大型数控绘图机。目前,国内已有许多工厂生产多种型号的滚筒式绘图机和平台式绘图机。近年来,在北京、上海等地又研制出新型的高速平面电机式绘图机。在配置绘图软件方面,也具有了一定的能力。如应用正负法来产生曲线的研究,已取得了可喜的成果。在航空、造船、气象等部门,也研究发展了自己的图形系统。总的说来,和技术先进国家相比,虽仍有很大差距,但正在迅速缩短。

二、计算机制图与计算机辅助设计

随着科学技术的发展,人们要求将绘图系统与整个设计过程联系起来,在设计过程中,计算机及时地输出计算结果并显示图形,供设计人员审视,从而命令计算机不断地进行修改,直至满足要求为止。这种交互式设计系统通常称为计算机辅助设计系统——CAD系统(即Computer

• 1 •

-Aided Design System), CAD系统与计算机辅助制造系统——CAM系统(即 Computer-Aided Manufacturing System)结合在一起,则构成一个设计、制图、生产一体化系统,简称 CAD/CAM系统,图 1-1 是该系统的框图。设计人员可将构思以图样表现在显示屏上,进行审视、修改。当设计完成后,可指令自动绘图机绘出图样或摄影、复制、存入计算机等;还可输出加工信息,供生产使用。系统中的一套交互式图形处理装置,能有效地进行人-机对话,常用的有光笔图形显示装置,超声波式图形输入、输出装置等。

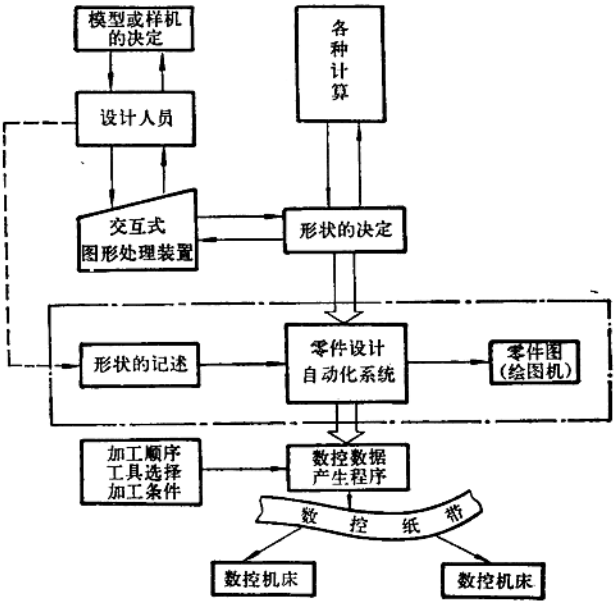


图 1-1 设计、制图、生产一体化系统

1. 光笔图形显示装置

主要由显示器、光笔、控制键盘等组成,如图 1-2 所示。显示器供显示图形、文字、符号之用,目前采用最多的是阴极射线管 CRT(即 Cathode Ray Tube)。近年来,国外还在研制大屏幕显示器,以发光二极管为主的小屏幕显示器,固体显示和激光显示等新型显示器。光笔的外形和普通钢笔相似,它能感受显示屏上的图形和字符的光,并传输给计算机。在键盘的配合下可利用光笔在显示屏的任意位置上进行描绘和修改图形。键盘可供操作人员向计算机发出各种指令和信息之用,如数字、字符、图形的输入等。

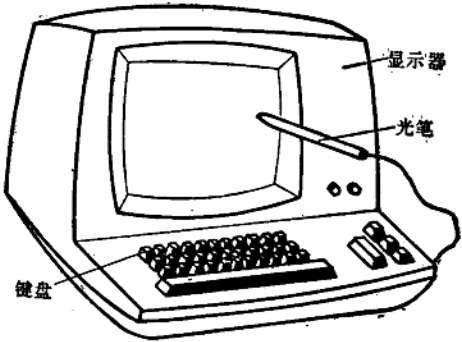


图 1-2 光笔图形显示装置

2. 超声波式图形输入、输出装置

主要由透明屏幕, 超声波笔, 指令化图形装置和自动绘图机所组成, 如图 1-3 所示。在指令化图形装置的空格处, 可按用户要求定义字符、图形和其它指令。使用时, 只要用超声波笔指点操作, 即可输入和修饰图形。设计人员可用超声波笔直接在屏幕上进行设计和画草图, 屏幕背面的自动绘图机即随之绘出准确的图形。因为屏幕较大(1000×1500 毫米)且是透明的, 所以设计人员能清晰地看到绘图过程及全图细节, 可随时审视、修改。当设计完成时, 准确的工程设计图纸也就绘制出来了。这种自动化设计绘图系统, 比较符合工程设计的过程, 具有边设计、边修改、边出图样的优点。

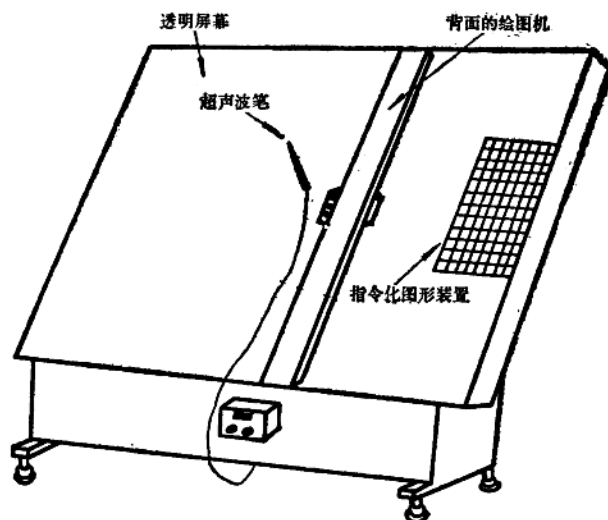


图 1-3 超声波式图形输入、输出装置

目前, 自动绘图已从静态绘图发展到动态绘图。它不仅能绘制各种曲线、曲面、几何图形、视图、剖面图和立体图, 还能使显示屏上显示的立体图作各种移动和旋转, 就如同真实物体运动一样, 犹如为设计人员直接提供了实物模型, 能直观地分析、研究物体的动态性能。当然, 这需要作相应的数学处理和配置大量的软件。可以看出, 计算机制图的优点, 不仅表现在速度、精度和节约人力方面, 更为突出之处是把人们的聪明才智用到有效的创造性的设计思维当中去。

为了进一步发展和扩大计算机制图的功能和应用范围, 很多国家对这方面的研究都极为重视, 已有一批专门人员从事图数转换、图形产生的基本理论、绘图语言、图形数据库, 以及相关的软件、硬件、应用技术等方面的研究工作。“计算机制图”这一新的学科分支正在逐渐形成。在我国, 这方面的工作正在迅速开展, 一支计算机制图的队伍也正在形成和扩大。

由于计算机制图是五十年代末期的产物, 计算机辅助设计也是六十年代中期才发展起来的涉及面很广的综合性课题, 因此有很多内容还需要我们进一步研究解决。目前, 我们应尽快地学习并掌握这一新技术, 使其在实现我国的四个现代化中发挥作用。

§ 1-2 计算机制图的应用简介

一、概述

图形具有直观、形象化和便于技术交流等优点。在科学计算、分析、统计、设计、生产中都要用到它。所以,凡是用到图形、图表的部门,都可使用计算机制图。如从常见的统计图表到复杂的建筑设计图和机械装配图,从生活用的服装裁剪图到精密的集成电路图,从科学研究用的原子结构图、数据分析图到生产中用的船体放样图和零件工作图等,真是深入到各行各业了。由于各种图形往往有其各自的特殊要求,所以,当我们考虑使用计算机制图时,究竟应选择何种绘图机和配备哪些功能的软件等,应该根据具体情况有所不同。

二、在工业部门的应用简介

1. 造船工业

造船工业是应用计算机制图较早的部门之一。在船舶设计中,绘图的工作量是相当大的,约有60%的时间是化在绘图工作上,这不仅劳动量大,而且设计周期很长。应用计算机制图后,显著地提高了制图速度和质量,使设计周期大为缩短。在船舶放样中,还可供数控切割机在切割前利用绘图机进行试绘,以校验数控纸带是否正确。在我国,上海江南造船厂和求新造船厂是最先设计和制造了为绘制船体各种曲线图、各种剖面图等用途的数控绘图机的工厂。在上海设计、制造的第一台HTJ-1855型大型数控绘图机也是供造船系统用的。图1-4是用自动绘图机绘制的船体部分的曲线图。

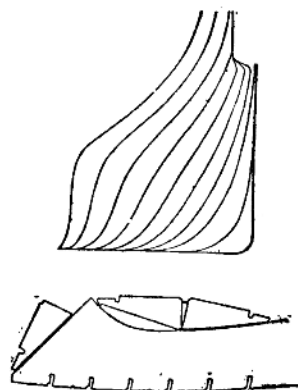


图 1-4 船体曲线图

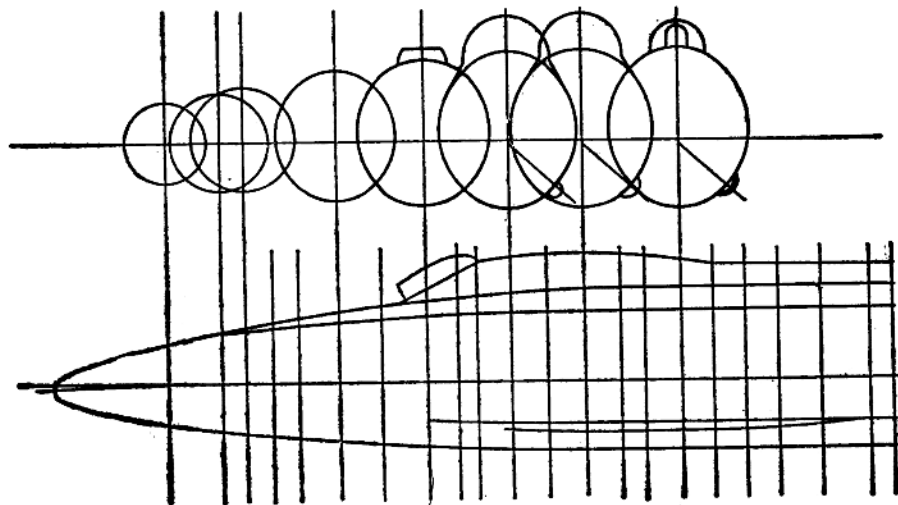


图 1-5 机身结构模线

2. 航空工业

世界上第一台大型平台式自动绘图机,就是美国航空部门研制的。所以,计算机制图在航空工业中是应用最早、发展最快的部门。在飞机的外形设计中,可把计算结果直接绘制成模线。目前,已从自动绘图发展为设计、制图、生产一体化系统,且可应用图形显示进行动态设计。

在我国,已有不少航空工业部门配备了自动绘图机,并设计了相应的软件,如国营云马机械厂设计的SKHT绘图编程系统等。图1-5为自动绘图机绘制的飞机部分机身结构模线图,图1-6为飞机座舱外形设计图。

3. 汽车工业

在技术发达国家中,应用计算机制图进行车身外形设计已较广泛,并取得了显著效果。目前正逐步应用到发动机设计方面,如用来绘制连杆运动状态图以决定最佳运动状态等。图1-7为自动绘图机绘制的汽车外形图。图1-8为应用计算机绘图系统设计车身外形的流程图。

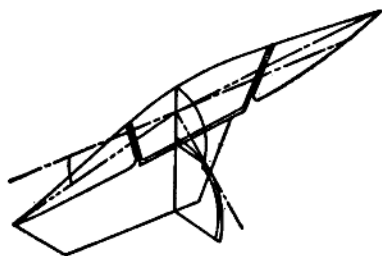


图 1-6 飞机座舱的外形设计图



图 1-7 车身外形图

4. 建筑、土木工业

计算机制图的出现,极大地引起了建筑、土木工程设计者的兴趣。现在不仅用于绘制应力

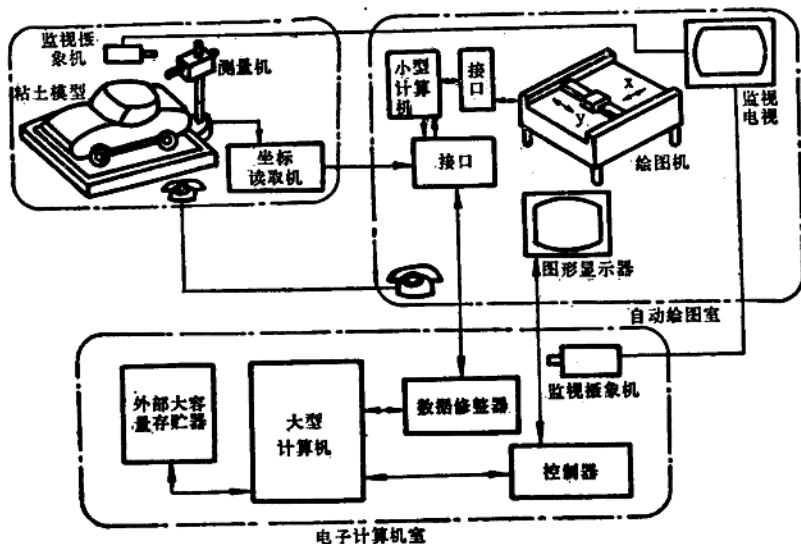


图 1-8 车身外形设计流程图

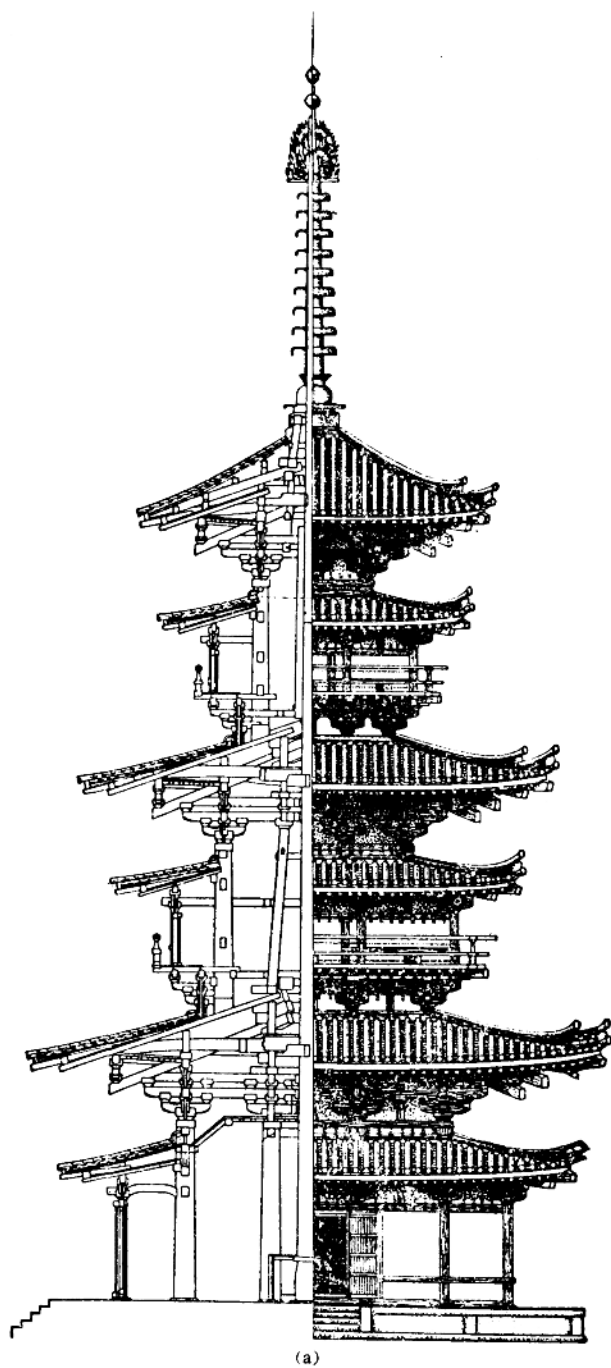


图 1-9 自动绘图机绘制的土建图

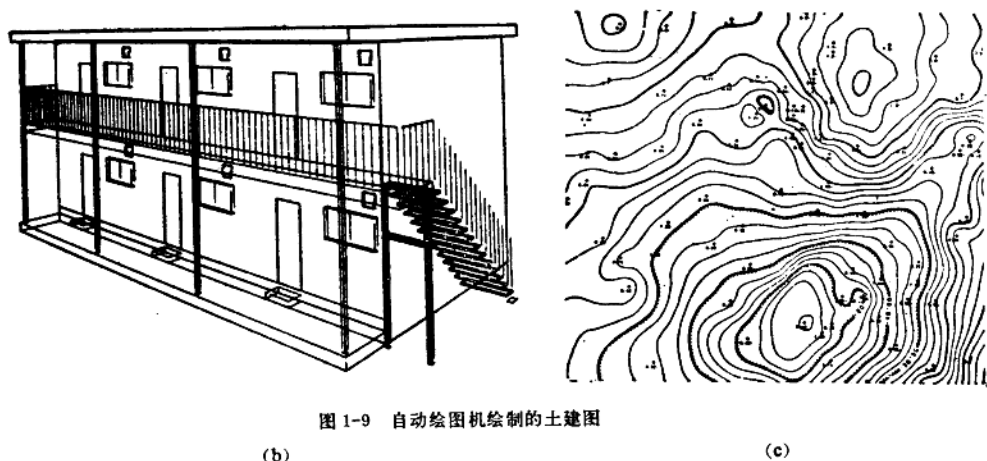


图 1-9 自动绘图机绘制的土建图

图、有限元分析几何曲线图,而且也用于绘制透视图及结构平面图方面。图 1-9 为自动绘图机绘制的建筑图、房屋透视图及等高线图。

5. 一般机械工业

在这方面的应用例子是很多的,如几何轨迹生成图、管道安装图、展开图、零件工作图和部件装配图等。由于通用类机械产品的零件结构、形状、装配关系等差异较大,至今还没有一套简便、通用的方法来绘制零件图和装配图。今后还应在机械产品的图形、结构、零件、组件的典型化方面作相应的革新,以适应计算机制图的发展。可以设想,当建立了一套较完善的图形程序库和绘图语言后,产生这类图样将更为简便了。图 1-10 为自动绘图机绘制的管道图和铣刀轨迹图。机械零件图和装配图的图例请参见本书第四章。

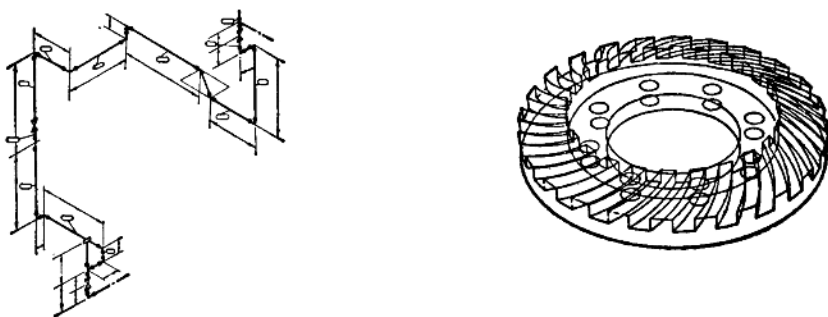


图 1-10 管道图及铣刀轨迹图

第二章 计算机绘图系统

§ 2-1 概 述

一、计算机绘图系统的主要组成

计算机制图就是把人们所要求的图样在计算机的控制下自动地画出来。所以, 计算机绘图系统主要由计算机和自动绘图机两大部分所组成。计算机的主要任务是将源程序进行编译、计算、加工成自动绘图机能够接受的信息, 而自动绘图机则根据计算机提供的信息转化成相应机构的动作, 从而作图。自动绘图机的组成和结构随其用途而有所不同。对于一个高精度、多功能的计算机绘图系统, 它不仅能绘制图样, 还具有坐标读取和产生、校验数控加工用纸带的功能。

二、电子计算机的组成

电子计算机有主机和外部设备两大部分。主机由存贮器、运算器和控制器组成。外部设备包括输入设备、输出设备、复合输入输出设备、终端设备和外存贮器等。一台主机所能配备的外部设备的品种和数量, 根据机器的功能大小和使用要求而定。它们之间的联系, 如图 2-1 所示。

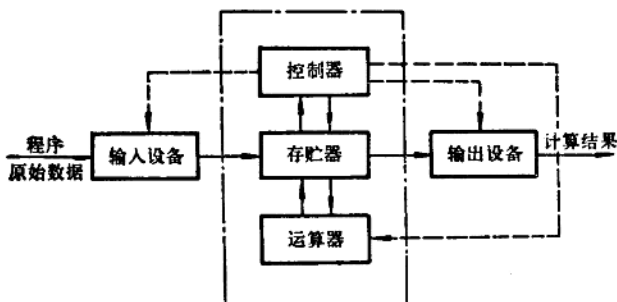


图 2-1 电子计算机组成框图

1. 输入、输出设备

输入、输出设备是实现人与计算机之间交换信息的设备。输入设备的任务是将程序、数据及字符以计算机所能识别的形式送入计算机, 常用的有纸带输入机、磁带机、卡片输入机和电传打字机等。输出设备的任务是将计算机的工作结果或回答信号以一定的形式表示出来, 常用的有电传打字机、纸带穿孔输出机、卡片穿孔机、行式打印机、自动绘图机及显示器等。

2. 存贮器

存贮器是保存和记录题目、计算程序、原始数据、中间结果和最后结果的装置。它又分内存贮器和外存贮器两种。

3. 运算器

运算器是计算机进行运算的部件。它在控制器的控制下完成各种算术运算(如加、减、乘、除

等)、逻辑运算(如比较两数的大小等)以及其它操作(如取数、送数等)。

4. 控制器

控制器是计算机的指挥系统。它按照人们编好的程序控制机器自动地、协调地进行工作。

三、自动绘图机的类型

现有的自动绘图机虽有很多类型,若按结构形式可分为:

① 滚筒式,外形如图 2-2 所示。

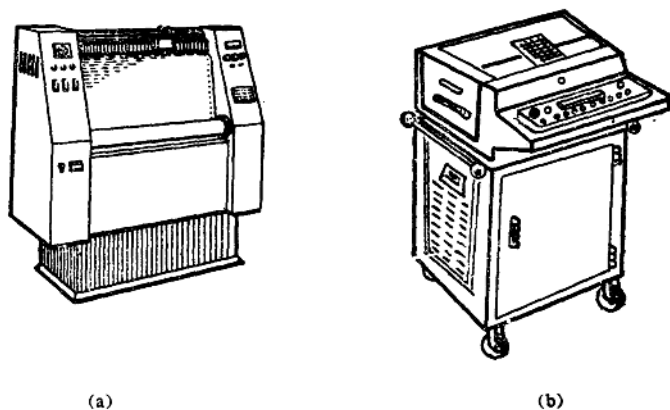


图 2-2 滚筒式自动绘图机外形

② 平台式,外形如图 2-3 所示。

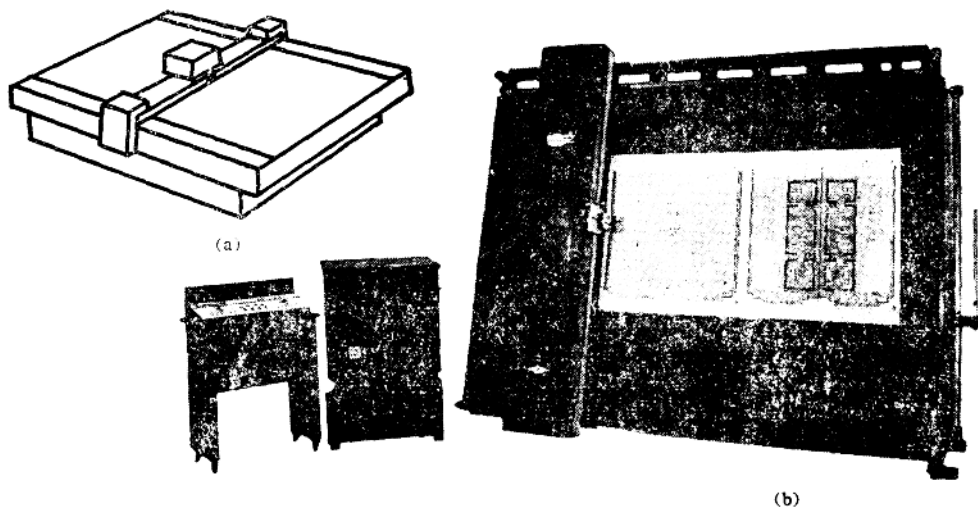


图 2-3 平台式自动绘图机外形

1. 滚筒式绘图机

使图纸紧贴滚筒表面并随滚筒旋转产生 X 方向的移动, 绘笔在导轨上作 Y 方向的移动, 两

个方向运动的组合,即可绘出图形,如图 2-4 所示。

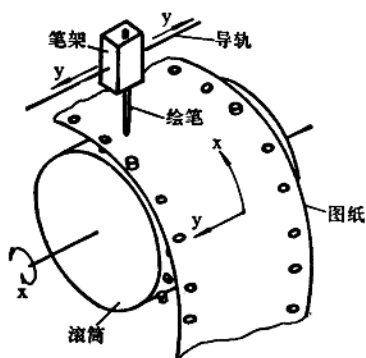


图 2-4 滚筒式

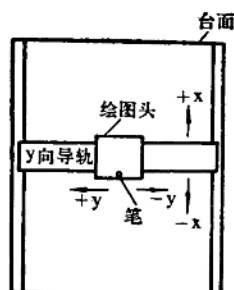


图 2-5 平台式

2. 平台式绘图机

将图纸固定在平台台面上,绘图头可沿 Y 方向在横梁的导轨上移动,而横梁又可在台面上作 X 向移动,两个方向运动的组合,即可绘出图形,如图 2-5 所示。

四、自动绘图机的工作方式

绘图机工作时,按其是否和计算机直接联接在一起,分为联机 and 脱机两种运行方式,如图 2-6 所示。

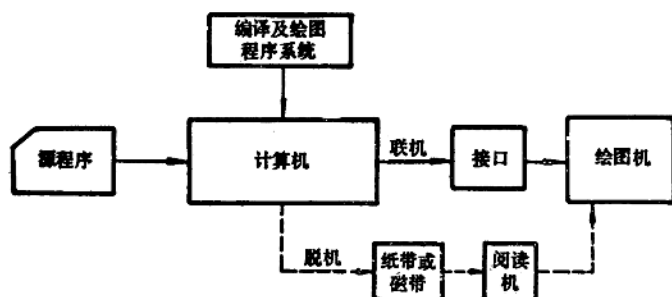


图 2-6 自动绘图机工作方式

1. 联机方式

绘图机工作时,通过接口和计算机直接相联,由计算机直接驱使绘图机工作。联机工作可即时地看到欲绘的图形。但由于绘图机是机械运动,它远远不能赶上计算机的运算速度,这就造成计算机经常处于等待状态,难于充分发挥电子计算机高速运算的特点。

2. 脱机方式

首先让计算机高速进行图形处理,并将处理好的信息记录在纸带或磁带等载体上。然后,将记录了信息的纸带或磁带通过输入设备送给绘图机,从而驱使绘图机工作。可以看出,使用大型、高速计算机时,采用脱机工作方式较为经济。

§ 2-2 自动绘图机

一、滚筒式绘图机

滚筒式绘图机具有结构简单, 使用方便等特点, 一般直接用作计算机的输出设备。滚筒式绘图机主要由控制电路和机械传动机构两大部分组成。今以 LZ7-304 型滚筒式绘图机为例, 叙述如下:

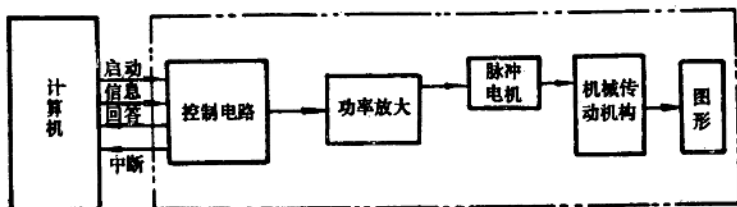


图 2-7 滚筒式绘图机工作流程

1. 工作过程

图 2-7 所示为 LZ7-304 型绘图机的工作流程图。由计算机送来的信息经控制电路处理后, 送至功率放大器, 放大后的信号驱使脉冲电机转动, 脉冲电机通过一套机械传动机构带动笔和纸作一定规则的运动, 从而绘出图形。

2. 控制电路

主要由回答控制、选通控制、脉冲电机正反转控制、出入界控制及直线插补器电路等组成。

3. 脉冲电机

脉冲电机又称步进电机。它能对应输入的数字脉冲信号作同步的正反向旋转运动。图 2-8 为脉冲电机的结构示意图。它是由位于中心的四极转子 abcd 和三对磁极为 1、2、3 的定子所组成。图中位置为定子 1 通过电流, 使转子的 ac 极和定子 1 对齐成一直线。当电流转换到定子 2 时, 则中心的转子逆时针方向旋转 30° , 使转子的 bd 极和定子 2 对齐成一直线。若定子 3 通电, 则转子又逆时针旋转 30° , 使转子的 ac 极和定子 3 对齐成一直线。所以, 转子可随定子的通电顺序而转动。每转动一个角度, 称为一步。步距角的大小由定子绕组相数和磁极对数来确定。

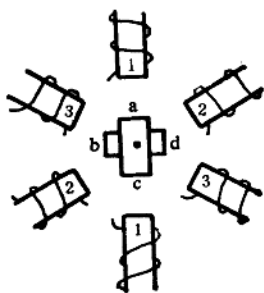


图 2-8 脉冲电机结构示意图

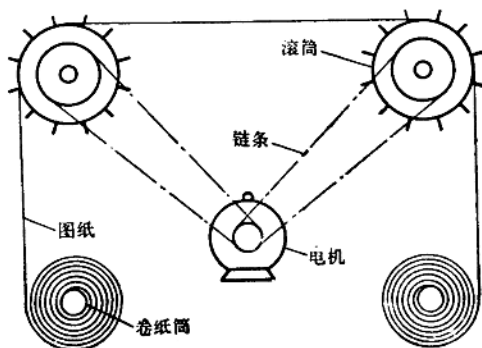


图 2-9 走纸运动示意图

4. 传动机构

传动机构可以实现 X 方向走纸运动和 Y 方向绘笔的移动。传动方式有齿带、钢索、绳索或变速箱等。

图 2-9 为 X 方向走纸的传动示意图。专用图纸的两侧开有等距离的齿孔，齿孔套在滚筒的凸齿上。当脉冲电机正向或反向旋转时，滚筒亦随之正向或反向转动，从而带动图纸作 X 方向的往返走纸运动。

图 2-10 为 Y 方向笔架的传动示意图。脉冲电机的旋转运动，通过钢索的传递，带动笔架沿着导轨作 Y 方向的移动。

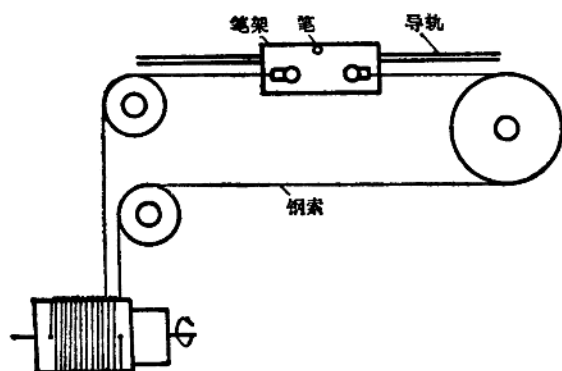


图 2-10 笔架传动示意图

5. LZ7-304 型绘图机主要技术性能(表 2-1)

表 2-1

绘 图 台 型 式	平板型(滚筒式原理)
绘图幅面	Y 方向有效记录宽度 250 毫米 X 方向记录长度 25 米 可见面积为 250 毫米 × 250 毫米
绘图速度	6 米/分
步 距	0.3 毫米/步
精 度	≤0.3% (满量程误差)
绘 笔	三枝墨水笔: 红、蓝和绿色

二、平台式绘图机

平台式自动绘图机具有速度快、精度高、幅面大、功能较多的特点，多用于绘制精密图样。它一般由控制系统、伺服系统、机械系统和坐标读取系统等组成一个较完善的系统。图 2-11 所示为 HTJ-1855 型自动绘图机的框图。

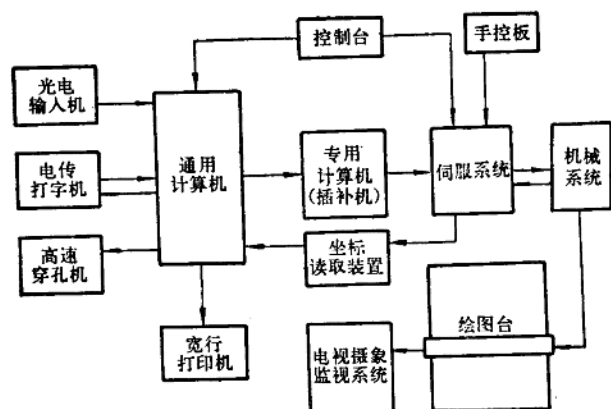


图 2-11 HTJ-1855 型绘图机组成

1. 工作过程

图 2-12 为自动绘图的工作流程图。由计算机处理后的信息输入插补机进行插补运算, 然后输出 X、Y 方向运动的指令脉冲, 再经伺服系统变换放大以驱动 X、Y 方向的交流伺服电机, 伺服电机通过一套机械传动机构来带动绘笔作一定规律的运动, 从而绘出图形。

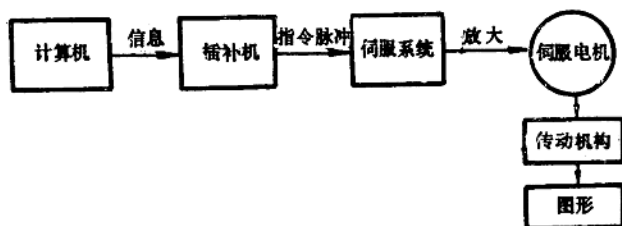


图 2-12 自动绘图工作流程

2. 插补机

插补机起着控制绘图机全部功能性动作的作用。主要由插补运算电路、速度控制电路、终点控制电路、比例控制电路和接口电路等组成。插补运算的原理将在 § 2-3 中详细叙述。

3. 伺服系统

伺服系统是实现插补机和执行元件间的信号转换及调节作用。主要包括:

(1) 数字逻辑电路: 是把指令脉冲信号转换为相应的数字逻辑。这部分除了接受插补机送来的指令信号外, 还能自己产生这种指令信号, 以便在与插补机脱离时作为分调和手动之用。

(2) 工具逻辑电路: 它接受插补机送来的工具代码, 产生工具动作信号, 送给绘图台。如抬、落笔, 画中心线, 画短划线等功能。

(3) 反馈控制系统: 所谓反馈, 是指将控制量和目标值进行比较, 从而不断校正位置。反馈系统中常用的检测元件有旋转变压器、测速发电机、光栅、磁尺等。HTJ-1855 型绘图机的反馈