

机械工程自动设计绘图法

(日) 日本计算机 编
绘图研究会

钟廷修 译



机械工业出版社

目 录

第一章 自动设计绘图法概要	1
§ 1.1 机械设计绘图和计算机	1
1.1.1 计算机的应用	1
1.1.2 计算机和设计师的分工	2
1.1.3 设计绘图和计算机	3
§ 1.2 自动绘图系统的运用方式	3
§ 1.3 图形的输出及其应用方式	6
第二章 自动绘图系统和设备	9
§ 2.1 自动绘图和自动绘图系统	9
§ 2.2 图形输入的方法和手段	10
§ 2.3 计算机系统的组成	14
2.3.1 中央处理器	14
2.3.2 外存贮器	15
2.3.3 输入/输出设备	18
§ 2.4 自动绘图机的种类	22
2.4.1 自动绘图机的结构	22
2.4.2 自动绘图机的种类和绘图工具	24
2.4.3 静电光栅绘图机	28
§ 2.5 数控自动绘图	30
2.5.1 工作原理	30
2.5.2 伺服驱动机构	30
2.5.3 对自动绘图机的绘图指令	32
§ 2.6 利用个人用计算机的自动设计绘图	34
2.6.1 普及型个人用计算机的系统组成	34
2.6.2 自动设计绘图的软件	36
2.6.3 高级个人用计算机的系统举例	37

第三章 图形处理软件	38
§ 3.1 编制图形数据的语言和步骤	38
3.1.1 程序语言	38
3.1.2 流程图的符号及其用法	39
3.1.3 基本绘图子程序(直线、圆、文字等的子程序群)	44
3.1.4 基本绘图子程序的用法	56
§ 3.2 使用基本子程序的绘图实例	58
§ 3.3 图形处理的基本算法	61
3.3.1 直线和线段的交点处理	63
3.3.2 直线和圆的交点之求法	64
3.3.3 直线和圆弧的交点(1)	65
3.3.4 直线和圆心的交点(2)	67
3.3.5 三次方程式的解法	69
3.3.6 直线和三次曲线(断裂线)的交点	72
3.3.7 绘笔的移动量问题	74
3.3.8 交点的重排作业	75
§ 3.4 剖面线程序的思路	76
3.4.1 自动绘图中的剖面线	76
3.4.2 剖面线处理的方法	81
3.4.3 图形识别和画剖面线的范围	86
3.4.4 剖面图和剖面线处理实例	90
3.4.5 图形移动和剖面线	90
3.4.6 图形修正和剖面线	93
3.4.7 圆角和倒角的画法	94
第四章 机械零件的自动绘图法	103
§ 4.1 自动绘图中的坐标变换法	104
4.1.1 基本坐标变换	104
4.1.2 综合变换法的思路	107
4.1.3 坐标变换系统	109
4.1.4 坐标变换系统的使用方法	113

§ 4.2 机械零件图和装配图的自动绘图法	116
4.2.1 自动绘图系统概要	116
4.2.2 装配图和零件图的绘图基准点的设定	118
4.2.3 绘图程序的组成	121
4.2.4 机械零件程序的编制方法	130
4.2.5 螺栓-螺母的绘图程序	141
4.2.6 机械零件图和装配图的自动绘图实例	150
第五章 自动设计绘图的实例	151
§ 5.1 手动绞车的设计概要	151
5.1.1 手动绞车的设计规格	152
5.1.2 绘图基准点的设定	152
5.1.3 绘图程序的思路	152
5.1.4 尺寸和符号的说明	154
§ 5.2 各个零件的设计和绘图	155
5.2.1 钢丝绳	155
5.2.2 卷筒	155
5.2.3 减速装置	159
5.2.4 中间轴	166
5.2.5 手柄轴	169
5.2.6 曲柄	170
5.2.7 径向滑动轴承	172
5.2.8 卷筒轴	172
§ 5.3 隐线处理和图形移动	176
§ 5.4 自动设计绘图的流程图	178
§ 5.5 手动绞车的自动设计绘图(输出图例)	192
第六章 各种图形的绘图程序	194
§ 6.1 立体图	194
6.1.1 立体图概要	194
6.1.2 各种投影图绘图程序	195
6.1.3 立体图绘图子程序的说明	202

6.1.4	各种投影法和隐线处理	208
6.1.5	图形的合成处理及其效果	215
6.1.6	立体图的应用实例	223
§ 6.2	相贯体	224
6.2.1	利用画法几何的方法	224
6.2.2	利用解析几何的方法	230
§ 6.3	齿轮齿形	233
6.3.1	利用齿条刀具范成的齿形	233
6.3.2	齿轮齿形的绘图(一笔画)	237
第七章	会话式图形处理系统	242
§ 7.1	会话式图形处理系统	242
7.1.1	会话式系统的种类	243
7.1.2	会话式系统的组成	244
§ 7.2	会话式系统的硬件	246
7.2.1	图像显示器	246
7.2.2	图形的输入	248
7.2.3	功能菜单	252
§ 7.3	会话式系统的软件	252
7.3.1	数据库	253
7.3.2	多道处理	257
§ 7.4	图形处理系统的使用实例和图形模型	259

第一章 自动设计绘图法概要

设计绘图在产品制造过程中担负着重要使命。科学技术的进步,使产品向高级、复杂的方向发展,所以设计的方法和思路也大为改观。在设计绘图中使用电子计算机的想法,早在六十年代就作为先驱的系统而被提出;到现在,用计算机进行自动设计绘图已经进入实用阶段,被推广到各行各业。

§ 1.1 机械设计绘图和计算机

1.1.1 计算机的应用

电子计算机的发展史,通常认为可分成四代。第一代计算机发端于“ENIAC”,它是1946年在美国宾夕法尼亚大学用18800个真空管和1500个继电器制成的。

ENIAC在飞行体的弹道计算中发挥了威力。此后,美国IBM[⊖]公司在1960年推出了使用半导体的IBM7090,它作为真正的商用计算机揭开了新的一幕,所以被称为第二代。第三代以集成电路为组成元件;而现在则是第四代的大规模集成电路(LSI)[⊕]计算机活跃的时代。在集成规模不断扩大的同时,美国Intel公司运用集成电路技术,研制出微型计算机,

⊖ IBM(International Business Machines Corporation),(美国)国际商业机器公司的简称。——译注

⊕ 大规模集成电路简称LSI (Large scale integrated circuit),它在约5mm×5mm×0.3mm的单晶硅小片上,构成复杂的半导体逻辑电路。目前,机能比较简单的计算机,用一个LSI组成;机能高级的,则由数个以至数十个LSI组成。

给科学技术的一切领域展示了技术发展的新前景。

在计算机的这种发展潮流中，日本于1963年首次生产数控自动绘图机，于是自动绘图技术也就随着计算机的普遍应用而迅速地推广，逐渐用于造船、汽车、电子工业、机械工业和土木建筑等行业。

1.1.2 计算机和设计师的分工

计算机应用于设计绘图的实际效果，取决于计算机所具有的特性和使用者的能力。计算机的显著优点是，对于工作过程能够明确而详细地加以描述的逻辑性作业，和对于能够转换成符号的信息之大量贮存、记忆及其再现，具有忠实地遵守一定的规则加以执行的能力。但是，计算机不宜从事需要人的创造力的工作；而且，在由某一事物推及有关现象的联想能力，识别图形的形状和声音的能力以及立体感等，或者是综合运用经验、知识进行决策等方面，人的能力仍优于计算机。

要在设计绘图这个非常需要创造性、经验以及准确判断力的领域应用计算机，首先必须充分了解计算机对这些要求的不适应之处。在开始将计算机应用于技术领域的初期阶段，把计算机和人等价齐观，把重点放在追求用机械代替人所能达到的极限，因而使计算机过于庞大和复杂，导致丧失经济性的情况并不少见。现在，人们根据把计算机当作设计绘图工具的原则，已经建立了恰当实用的系统。

既然将计算机看做工具，那么设计绘图的主体当然还是设计师自身。设计师应该运用比以往更为广博的基础技术知识、经验和丰富的信息资料，去进行目标产品的设计。决不能说，既然用了计算机，那么即使设计技术低下也不要紧。归根结底，如不提高综合设计能力，就是采用计算机，也难以提高设计质量、缩短设计周期，难以谋求设计与制造过程

的有机结合。

此外，将计算机调理成便于使用的工具也是设计师的任务。伴随着科学技术的高度发展，往往不得不将设计工作分细、分层次，但如不能将那些设计师已经熟练掌握的知识充实到设计工具——计算机中去，就谈不上建立真正有效的系统。

1.1.3 设计绘图和计算机

将计算机运用于设计绘图时，经常使用 CAD (Computer Aided Design) 这个词语。所谓 CAD，就是自动设计或计算机辅助设计，而以后者为宜。此外，有时也同 CAM (Computer Aided Manufacture, 计算机辅助制造) 结合起来，统称 CAD/CAM。总之，这是一种以人为主体，在计算机帮助下进行设计和制造的方法。

过去有一段时间，也曾采用过 DA (Design Automation) 这个词语，那是企图使设计完全自动化，用计算机代替人进行设计的思想反映。随着计算机和图象显示器等的发展，这个概念就被 CAD 所代替了。

CAD/CAM 作为超越设计的传统概念的新手段，今后将占据重要的位置。就其基本点而言，在于如何用计算机处理图形，也就是被称为图形处理或自动绘图法的技术。

§ 1.2 自动绘图系统的运用方式

自动绘图系统使用计算机进行图形处理，再由自动绘图机进行迄今靠人工的绘图作业。因此，计算机用什么方式进行图形处理是个重要问题。以下列举其主要运用方式：

a. 脱机成批处理 ⊖ 系统 (off-line batch Processing)

- ⊖ 成批处理：将作业汇集到某个一定数量再成批处理的计算机处理方式。同实时处理立即将结果输出的方式相反，这种成批处理要经过若干时间才能汇总获得计算结果。这使计算机的空闲时间减少。

system)

这是迄今最为正统的使用方式，它以大中型计算机作为主计算机进行图形处理，并将其结果用磁带或纸带输出；如再将该带输入自动绘图设备，就可进行预期的绘图。这种方式具有计算机处理和绘图可独立进行的优点，预料今后仍将成为主流（参阅图1.1）。



图1.1 脱机成批处理系统

b. 脱机远距离成批处理系统 (off-line remote batch Processing system)

这种方式以大型计算机为中心，从远处经过通讯线路控制计算机的运行。它可由许多个位于远处的远距离终端控制大型计算机，是一种高效率的使用方式，正在迅速地普及。

日本电信电话公社^①用以进行科学技术计算服务的“DEMOS-E”系统同这种方式类似。利用这种系统，只要有终端装置，即使本公司不设置计算机，也可以利用大型计算机进行自动绘图（参阅图1.2）。

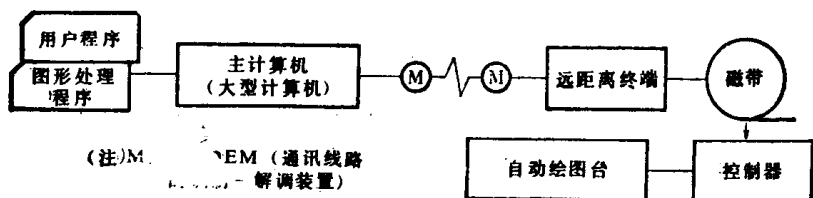


图1.2 脱机远距离成批处理系统

① 日本电信电话公社是日本政府经营的国有企业。——译者

c. 联机系统 (on-line system)

大型计算机利用 TSS[⊖]操作系统 (oPerating system), 不脱机联接自动绘图装置, 不需中介磁带等就可以进行自动绘图。这种方式的好处, 除了可免去中间媒体外, 还可谋求缩短综合处理时间 (参阅图1.3)。

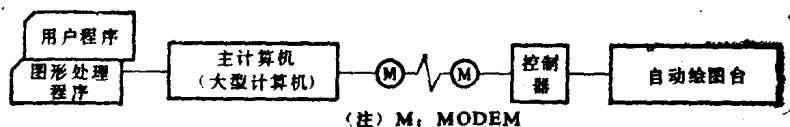


图1.3 联机系统

d. 独立交互系统 (stand alone interactive system)

这种方式也称会话式图形处理系统, 它不用大中型计算机, 而是利用小型计算机联接图象显示器、数字化仪和自动绘图设备, 操作者介于其中, 一面进行人机对话, 一面逐项处理作业。

这种方式自身具有完整的系统, 即使不用大中型计算机, 也能独立处理作业。随着小型计算机的性能改善和软件的开发, 它已作为经济实惠的系统而引人注目。对此, 在第七章还将详细叙述 (参阅图1.4)。

e. 独立成批处理系统 (stand alone batch Processing system)

这种方式也是利用小型计算机, 但无会话单元, 它依靠对贮存在磁盘装置等外存中的程序之存取, 来进行连贯的数

⊖ 所谓TSS (Time Sharing System), 是一台计算机把时间分割开来轮流给各种作业使用的系统, 也称分时方式。

据处理，并最终能完成自动绘图。这种方式虽不能说处处适用，但用于像土木测量绘图等场合，却是经济实用的系统（参阅图1.5）。

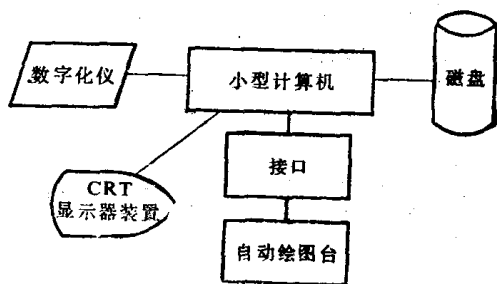


图1.4 独立交互系统

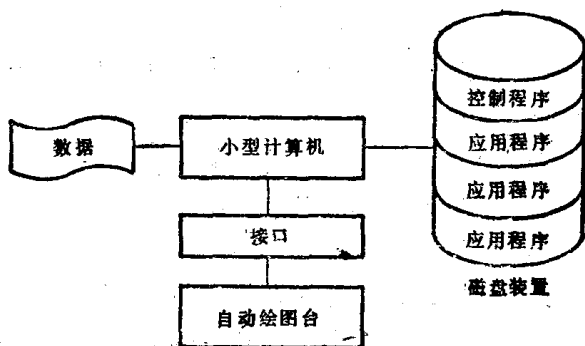


图1.5 独立成批处理系统

§ 1.3 图形的输出及其应用方式

前面叙述了计算机和自动绘图机的关系。还应指出，因所处理的图形内容不同，计算机输出图形的设备也各不相同。图1.6表示图形的输出及其所用的设备。计算机输出的图形虽然多种多样，有曲线图或管理统计数据，有气象图或土地利用图等，但作为以设计绘图为目的的图形输出设备，有代

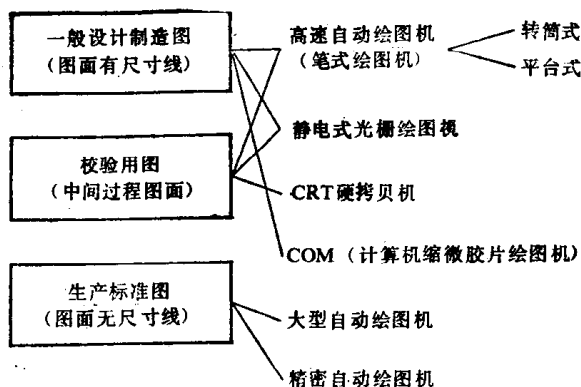


图1.6 根据使用目的的图形输出装置分类

表性的是高速自动绘图机（一般称为笔式绘图机）。

高速自动绘图机有转筒式、平台式等类；而用以绘制直接同生产联系的精密图形的，则有大型自动绘图机、精密自动绘图机等。用于中间过程图等的图形输出的，有静电光栅绘图机，还有直接输出在缩微胶片上的被称为COM[⊖]的设备。将图象显示器上的画面作为图形输出的装置也称为硬拷贝机。随着这个领域技术的发展，硬拷贝机将更加受到重视。图形按其应用方式有许多种类，用计算机处理它们，也就相应地出现各种各样的图形输出设备。第二章将详细介绍作为基本输出设备的自动绘图机。

参 考 文 献

- 1) 穗坂, 木村:「機械設計自動化のための幾何モデル生成システム」, 日本機械学会論文集, 378 号, 1978
- 2) 沖野他:「自動設計プロセッサ TIPS-1 の開発」, 精密機械, 44卷3号, 1978
- 3) 水谷:「自動車工業における CAD/CAM」, 情報処理, 21 卷2号, 1980

⊖ COM (Computer Output Microfilm Plotter), 计算机缩微胶片绘图机。——译注

- 4) 「設計・生産の自動化」, 計測と制御, 19 巻 5 号, 1980
- 5) 設計製図, 日本設計製図学会
- 6) CAD, CAE 基礎セミナー講義録, 精機学会, 1981
- 7) 「最近の CAD, CAM システムの現状とその利用」, 第 98 回講習会教材, 日本機械学会, 精機学会, 日本設計製図学会, 1982
- 8) 神野: 「自動設計」, 機械の研究, 21 巻 4 号~22 巻 5 号, 1969
- 9) 「設計・製造革命を呼ぶか CAD/CAM システム」, 機械設計, 23 巻 8 号, 1979
- 10) 須賀: 「CAD/CAM 技術の Q & A」, 省力自動化, 19 巻 3 号, 1982
- 11) 図形と画像, 図形処理情報センター
- 12) 「CAD/CAM 特集」, 日経メカニカル, 109 号, 1982
- 13) 日本図学会: コンピュータによる自動製図システム, 日刊工業新聞社, 1974
- 14) 綿坂: コンピュータ・グラフィックス, 産業図書, 1974
- 15) Newman, Sproull: Principles of Interactive Computer Graphics, McGraw-Hill, 1979
- 16) 日本図学会: 図形科学ハンドブック, 森北出版, 1980
- 17) 山口: コンピュータディスプレイによる図形処理工学, 日刊工業新聞社, 1981

第二章 自动绘图系统和设备

在自动绘图中，自动绘图机并非单独存在，而是以计算机为核心，结合输入和输出设备，组成自动绘图系统。本章叙述将自动绘图当作系统看待的想法，以计算机硬件为中心的系统组成，图形对计算机的输入方式，以及自动绘图机的原理和种类等。此外，还试图论及正在飞速发展的利用微型计算机的自动绘图。

§ 2.1 自动绘图和自动绘图系统

自动绘图机是以图形方式表示由计算机输出之数值信息的设备。为了从自动绘图机输出所需的图面，要预先给计算机编制好运算程序，然后根据规定的顺序将必要的信息输入计算机，让它进行各项计算，再由自动绘图机处理其计算结果。这些过程，只有计算机、自动绘图机和图形输入设备等遵从应用软件的支配，有机地结合起来，才能正常进行。只有自动绘图机本身单独存在并无意义；只有计算机单独存在也同样没有意义。将进行自动绘图的各种机器有机地结合起来，综合地加以考虑，就叫系统化，这种系统称为自动绘图系统。自动绘图并非简单的机器堆积，必须把它们当成系统看待。

自动绘图系统是以计算机和软件为中心，结合图形输入/输出部分组成的。

§ 2.2 图形输入的方法和手段

图形输入设备用以将构思草图或现有的图面数字化，然后输入计算机。图形输入计算机的方法，有将图形用预先准备好的语言编制成程序的软件 $\ominus$ 输入法，和采用被称为数字化仪 (digitizer) 的硬件 $\ominus$ 输入法两种。本节叙述数字化仪。它用以直接从图面进行数字化。关于图形处理软件，将从第三章起加以讨论。

作为数字化对象的图形，有一般的手描线图 and 象照片那样浓淡不匀的图象两种。对于后者，在根据航空摄影地形照片制作土地利用图或地图时，往往要应用相应的自动绘图系统进行处理；但在大多数情况下，分析的都是手描线图。因此，这里仅限于叙述用以处理一般线图的数字化仪。

数字化仪的类型，可归纳成如图2.1所示的几种。其中，大致可分为手动和自动两类。现有的几乎都是手动的；自动图形输入，虽然还只在一些部门进行尝试，但却是今后应加以重视的新技术。以下叙述手动图形输入装置。

a. 悬挂式数字化仪

靠手动进行图形输入时，其输入设备有悬挂式和游标式两种。悬挂式也称为机械电子式，它靠由两根正交导轨组成的机构来确定位置，并将机构的位移通过旋转编码器、线性标度或电位器等转换成电信号。

悬挂式的读数精度、分辨率等由机构决定，所以定位精度和稳定性都好，但是操作稍比游标式的麻烦一些。一般说，其标准指标是：分辨率为0.01mm或0.02mm，精度在 $\pm 0.1\text{mm}$

$\ominus$ 、 $\ominus$ 硬件 (hardward) 和软件 (softward) 都是计算机用语。组成计算机的设备的总称叫硬件；利用计算机的技术的总称叫软件。

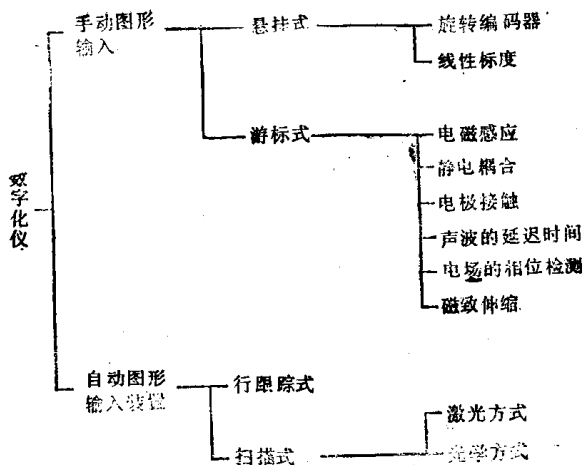


图2.1 数字化仪的种类

以内，读数范围为 $900\text{mm} \times 1200\text{mm}$ 。

它的应用范围，主要用以设计精度要求高的电子印刷线路底板、测定土木测量的面积、测量服装的原型、读取汽车的线型等。

图2.2为悬挂式数字化仪的代表例。

b. 游标式数字化仪

游标式数字化仪的特点是操作性能良好，广泛用于对精度并无特殊要求的部门。游标式采用象圆珠笔那样的铁笔触针或光标，靠它自由地挤压在图面上指定的点，就能读取该点的坐标，而不受机械的约束。图2.3为游标式数字化仪的代表例。

如图2.1所示，这种数字化仪根据许多不同的原理制成，简直可以说原理随厂家而异。

游标式数字化仪的读取范围，从最小 $280\text{mm} \times 280\text{mm}$ 到最大 $1070\text{mm} \times 1520\text{mm}$ 不等。分辨率一般为 0.1mm ，达到

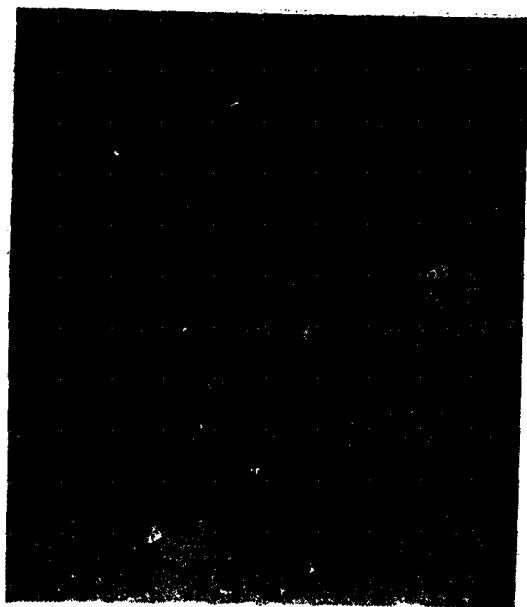


图2.2 悬挂式数字化仪之一例

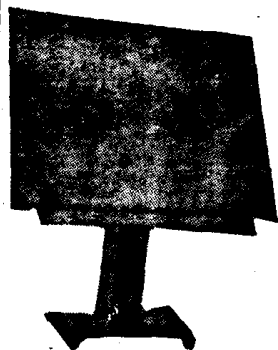


图2.3 游标式
数字化仪之一例

0.025mm的产品也有。读出精度比悬挂式的差，大致为0.2~0.5mm左右，其中特别是由于位置容易随意确定，所以读出时往往产生人为的误差。

图2.4所示为利用磁致伸缩效应的游标式数字化仪的原理。这种原理是预先给台面本身偏置一定的磁场，再让写入导线通过电流，使缠绕在台面上的磁性导线产生物理变形。这种变形以波的形式按一定速度在磁性导线上传播，最终由搜索线圈检测出因变形波引起的磁场变化。从在写入导线上通过电流到由搜索线圈检测出变形波，需经历一定的时间延迟，把这个延迟时间换算成距离，就可确定坐标值。其他各种游标式数字化仪也分别根据各自的工作原理读取坐标值，这里不一一介绍。