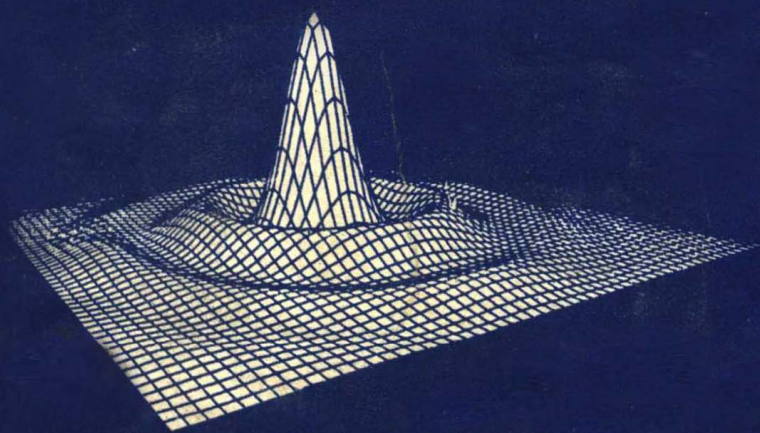


计算机辅助设计与制造

CAD/CAM

洪炳镕 编



哈尔滨工业大学出版社

计算机辅助设计与制造

CAD/CAM

洪炳镕 编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)的硬件与软件系统,并对各领域中的 CAD/CAM 发展趋势做了展望。附录中,介绍了 CAD/CAM 系统制造厂及其典型产品的性能。本书除尽量做到简明扼要、通俗易懂,又通过大量例子,全面地介绍了 CAD/CAM 在各领域中的应用。因此,本书对 CAD/CAM 技术的初学者及引进 CAD/CAM 系统的企业管理人员,是较理想的参考书。

本书还可作为高等院校理工科有关专业开设“CAD/CAM”课程的参考书,也可作为从事计算机辅助设计与制造的工程技术人员和科研人员的技术参考书。

计算机辅助设计与制造

洪炳铨 编

*

哈尔滨工业大学出版社出版

北京市新华书店发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 9.375 字数 209,000

1986年10月第1版 1986年10月第1次印刷

印数 1—7,000

书号 15341·31 定价 1.90 元

前 言

通常，人们认为所谓设计就是将设计者的想法画在图纸上，并且以它作依据，进一步进行各种技术计算和制定测试标准。过去的设计作业总是离不开纸张、铅笔、直尺、圆规以及计算器等工具。随着电子计算机及其应用技术的发展，计算机的应用已经渗透到设计、制造等领域，使传统的绘图工具被计算机控制的绘图机代替了，计算器被高精度、高效率的小型计算机或微型计算机代替了，用于记录设计步骤、设计参数的制图纸张则被计算机存储器代替了。设计者通过计算机键盘输入与 CRT 显示器输出，能边进行“对话”式信息交换，边进行设计。这种借助于计算机进行设计的作业，称为计算机辅助设计，简称 CAD (Computer Aided Design)。

CAD 不但能节省大量的人力和物力，而且在提高产品的质量、可靠性及标准化等方面都有新的飞跃。CAD 不但给汽车工业、造船工业、航空工业、大规模集成电路以及服装行业等设计部门的发展带来新的变革，而且在经营管理、生产制造、自动检测等方面也产生了很大的影响。特别是 CAD 与生产工艺过程的结合，大大地促进了柔性加工系统和无人化工厂的发展。借助于计算机进行自动加工的作业称为计算机辅助制造，简称 CAM (Computer Aided Manufacturing)。CAD和CAM 的结合简称 CAD/CAM。

CAD/CAM 由三个部分组成，即硬件、软件以及“人件”（人的技能）。只有很好地将这三个方面的功能结合起来，才能有效地运用 CAD/CAM 系统，以在设计和生产中

得到更大的收益。

本书分四大部分。第一章~第三章介绍CAD/CAM系统概貌。其中,“引进CAD/CAM系统的要点”这一部分内容,对想要引进CAD/CAM系统的企业领导者是极其重要的。第四章~第七章介绍CAD/CAM所必需的硬件系统。这一部分的内容,是对计算机原理教科书中不常出现的外围设备的补充。第八章~第十三章简明扼要地介绍计算机图形学的数学基础,也就是计算机绘图系统的基本软件。最后,第十四章~第二十章概括地介绍CAD/CAM的应用技术。其中第十四章~第十六章涉及到LSI、印制电路板、服装设计等方面的应用,第十七章~第二十章是有关模具、汽车、船舶、飞机等重工业方面的应用。附录中,对几种绘图机及其性能作了简要说明,并列出了CAD/CAM系统的主要生产厂家及其典型产品,以供引进系统人员参考。

本书在编写过程中,李北光、刘剑虹、郭斌、李红等同志,参加了部分编写工作。也曾得到了哈工大陈光照教授、强文义副教授的大力支持和鼓励,在此一并表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免有错误和不妥之处。殷切希望读者批评指正。

编 者

一九八五年十一月于哈工大

目 录

第一章 CAD/CAM的基本概念	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 自动设计与 CAD/CAM.....	(4)
1.3 CAD与CAM的结合	(11)
1.4 CAD/CAM的发展史	(14)
第二章 CAD/CAM的运用	(21)
2.1 操作员	(21)
2.2 设计流程及设计自动化	(25)
2.3 CAD/CAM系统与原系统的协调	(31)
2.4 设计标准化	(36)
第三章 引进CAD/CAM的要点	(39)
3.1 引进前的准备工作	(39)
3.2 CAD/CAM的功能分析	(41)
3.3 CAD/CAM制造厂的选定	(43)
3.4 CAD/CAM的引进效果	(47)
练习题 (第一章~第三章)	(48)
第四章 CRT显示器	(49)
4.1 CRT显示器的分类	(49)
4.2 随机扫描型CRT显示器	(49)
4.3 存储型CRT显示器	(56)
4.4 光栅扫描型CRT显示器	(58)
第五章 绘图机	(64)
5.1 绘图机的分类	(64)
5.2 滚筒式绘图机	(66)

5.3	平板式绘图机	(68)
5.4	线性电机式绘图机	(71)
5.5	其它类型的绘图机	(73)
第六章	打印机	(78)
6.1	打印机的分类	(78)
6.2	击打式打印机	(79)
6.3	非击打式打印机	(83)
第七章	图形数字化仪	(95)
7.1	图形数字化仪的分类	(95)
7.2	台架式图形数字化仪	(96)
7.3	自由游标式图形数字化仪	(97)
7.4	自动读取式图形数字化仪	(105)
	练习题 (第4章~第7章)	(106)
第八章	基本的二维变换	(107)
8.1	图形的平移 (Move)	(108)
8.2	图形的放大与缩小 (Scaling)	(109)
8.3	图形的旋转 (Rotation)	(110)
8.4	图形的反射 (Reflection)	(111)
第九章	利用矩阵的二维变换	(113)
9.1	矩阵的表示法	(113)
9.2	平移	(115)
9.3	放大与缩小	(115)
9.4	旋转	(116)
9.5	以任意点为中心的旋转变换	(117)
9.6	复合变换	(119)
9.7	齐次坐标的特征	(121)

第十章	三维坐标变换	(123)
10.1	变换矩阵.....	(123)
10.2	平移.....	(124)
10.3	比例变换.....	(125)
10.4	旋转.....	(128)
第十一章	形状模拟	(132)
11.1	线模型(Wire model)	(132)
11.2	面模型(Surface model)	(134)
11.3	实体模型(Solid model)	(134)
第十二章	二维透视变换	(138)
12.1	透视投影.....	(138)
12.2	二维透视变换.....	(139)
12.3	齐次坐标变换.....	(142)
第十三章	三维透视变换	(144)
13.1	三维透视变换.....	(144)
13.2	三维透视投影.....	(145)
	练习题(第8章~第13章)	(149)
第十四章	CAD/CAM在IC、LSI设计中的应用	(151)
14.1	LSI的研制过程和CAD	(151)
14.2	单元设计.....	(153)
14.3	逻辑设计.....	(153)
14.4	布局设计.....	(158)
14.5	原图数据加工.....	(165)
14.6	测试方法设计.....	(166)
第十五章	CAD/CAM在印制电路板设计中的应用 ...	(168)
15.1	概述.....	(168)
15.2	数字印制电路板.....	(171)

15.3	模拟印制电路板.....	(180)
第十六章	CAD/CAM 在服装设计中的应用.....	(186)
16.1	概述.....	(186)
16.2	服装原形制作.....	(188)
16.3	服装造型.....	(192)
16.4	服装排样.....	(195)
16.5	CAD/CAM系统的硬件组成.....	(197)
第十七章	CAD/CAM 在模具制造中的应用.....	(198)
17.1	概述.....	(198)
17.2	模具制造软件系统.....	(199)
17.3	模具形状定义.....	(200)
17.4	模具制造硬件系统.....	(204)
17.5	模具设计实例.....	(206)
17.6	今后的课题.....	(209)
第十八章	CAD/CAM 在汽车工业中的应用.....	(210)
18.1	在汽车工业中CAD/CAM的应用现状.....	(210)
18.2	在汽车工业中引进CAD/CAM的必要性.....	(211)
18.3	CAD/CAM的应用实例.....	(212)
18.4	今后的课题.....	(221)
第十九章	CAD/CAM 在造船工业中的应用.....	(222)
19.1	船体的设计、生产系统.....	(222)
19.2	NASD 系统的开发经过.....	(223)
19.3	NASD 系统简介.....	(225)
19.4	HMF 及其有关的程序包.....	(226)
19.5	构件处理流程.....	(228)
19.6	展开程序.....	(230)

第二十章 CAD/CAM 在航空工业中的应用	(233)
20.1 飞机设计、制造流程.....	(233)
20.2 飞机设计、制造中CAD/CAM实例.....	(234)
20.3 今后的课题.....	(248)
练习题(第十四章~第二十章)	(249)
附录 I MP-1000 六笔绘图机的性能及其绘图命令 ...	(250)
I-1 MP-1000 六笔绘图机性能	(250)
I-2 绘图命令	(251)
I-3 RS-232-C 接口电缆接线.....	(260)
附录 II SR-6602六笔绘图机的性能及其绘图命令 ...	(261)
II-1 SR-6602六笔绘图机性能	(261)
II-2 绘图命令.....	(263)
II-3 GP-IB(IEEE-488) 接口电缆接线	(271)
附录 III CAD/CAM 系统制造厂及其典型产品简介 ...	(273)
III-1 通用计算机厂家及其产品简介.....	(273)
III-2 小型计算机厂家及其产品简介.....	(280)
III-3 CAD/CAM系统专业制造厂家及其产 品简介.....	(282)
III-4 微型计算机CAD系统简介.....	(286)
参考文献	(288)

第一章 CAD/CAM的基本概念

1.1 引言

目前,以微电子技术为主导的新的技术革命已经在世界范围内兴起。电子计算机的广泛应用,正在改变许多行业传统的设计方法与生产手段。

面对新技术革命的挑战,近年来在各企业中,提出了生产的高效率和合理化问题,出现了向柔性加工系统 FMS (Flexible Manufacturing System) 及工厂自动化 FA (Factory Automation) 发展的趋势。与早已引进计算机和机器人的生产部门相比,在低效率的设计部门引进计算机,已成为刻不容缓的工作。

设计工作是以思维为主的手工作业,过去一直认为很难把以数据处理为中心的计算机引入设计部门。50年代,美国开发了数控NC (Numerical Control) 机床,这是把数字控制方法引入生产部门的开端,进而成了在设计部门引入计算机的突破口。

进入 60 年代,相继发表了自动设计 (Automatic Design) 和早期的计算机辅助设计 CAD (Computer Aided Design) 方面的文章。但是,由于当时计算机硬件技术还没有过关,如存储器容量很小、运算器速度很慢,致使 CAD 的发展处于暂时停滞状态。

70年代,随着电子技术的迅速发展,电子计算机工业也有了飞跃的进步。电子计算机采用了大量的大规模集成电路 LSI (Large scale integration)、超大 规模集成电路 VLSI (Very large scale integration),其规模和性能得到了扩大和提高,使计算机硬件开始出现了小型化、高性能、低价格的趋势,为 CAD 实`用化 开辟了道路,使这一时期变成了大量开发实用系统的时期,并进一步实现了 CAD和 CAM (Computer Aided Manufacturing) 有效的结合。

到了 80 年代,那种只限于由大型企业运用CAD和CAM系统的局面改变了。CAD/CAM系统,开始渗透到包括中小企业在内的产业界,而且应用范围也在不断扩大,在一般机械、电气设备、金属产品以及运输机械、精密机械等部门都有了新的推广和应用。

引进 CAD/CAM 系统除了节省劳动力外,在提高产品标准化程度、可靠性和质量以及缩短生产周期等方面都将产生明显效益。因此,目前已经引进或正在筹备引进 CAD/CAM 的企业不断增加。

在日本,1975年CAD/CAM系统销售额为33亿日元,到了1981年销售额增加到 400 亿日元,1985 年上升到 1200 亿日元。在美国,1981 年全国 CAD/CAM 系统装机台数约为 4000台,设备价值 8 亿美元,1985年装机台数已达18000台,设备价值达 28 亿美元,而这些设备一年创造的价值为 20~25 亿美元。可见,在工业系统中,CAD/CAM 系统的推广、应用正以惊人的速度向前发展着。

图 1.1 是传统的手工作业和由 CAD/CAM 系统进行设计作业的对比情况。图中,虽然看不出计划、研制等阶段手工作业和 CAD/CAM 所完成的工作量上的差别,但是从基

本模型设计阶段开始，两者在工作量上就出现了差别。这说明：通过有效地运用 CAD/CAM 系统，能够大幅度缩短从基本设计开始到加工完了的时间。

但是，CAD/CAM系统的硬件及软件价格相当昂贵，故在引进时，必须慎重考虑。

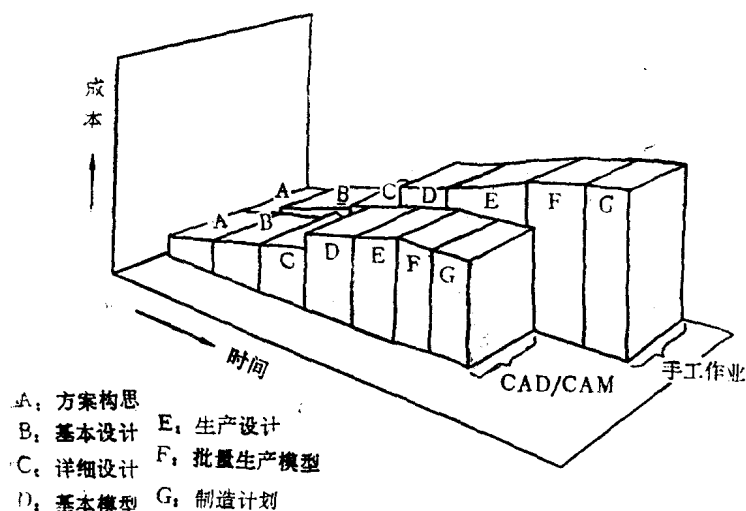


图 1.1 手工作业和CAD/CAM的比较

一般情况下，CAD/CAM系统的生产厂家只准备基本软件，并不提供面向用户的所有应用软件。因为，即使是同类型的企业也需要不同的应用软件。因此，不作细致分析和充分准备，盲目地引进 CAD/CAM 系统，往往适得其反。

要想有效地运用 CAD/CAM 系统，首先要调查本企业的设计、制造部门的实际情况，然后以调查结果为依据，选定适合于本企业的 CAD/CAM 系统。

学习 CAD/CAM 系统的意义有两方面：一是可以恰当地引进和应用它；二是可以使它成为企业长期发展的战略支柱。

CAD/CAM系统可分为三部分：第一部分是CAD/CAM软件。它是系统应用中必不可少的重要环节。第二部分是硬件。如果要对现有的 CAD/CAM 系统加以扩充和改造，则必须掌握硬件知识。第三部分是“人件”(Humanware)。顾名思义，“人件”是指有关人的事情，实际上是指操作 CAD/CAM系统的人的技术水平。

如果把 CAD/CAM 系统比作开车，那么，开车技术（如方向盘操作等）就相当于软件，车的结构（如发动机构造等）相当于硬件，而开车司机的资历和素质，如年龄、架驶能力、知识等就相当于“人件”。要想开好车，就必须具备有关车的结构方面的知识和开车技术。

CAD/CAM系统也是这样，只有把硬件、软件及人件融为一体，才能有效地发挥系统的功能。

1.2 自动设计与CAD/CAM

1.2.1 自动设计的特点

自动设计是指给电子计算机输入研究对象的初始值后，工作不用人干预，完全由计算机“自动”判断，并对研究对象进行自动设计的设计方法。

设计的主要工作之一是绘图。以图纸为基础考虑自动设计，人一机关系可用图1.2表示。即由人（设计者）向计算机输入信息，计算机则把设计需要的有关信息以图形形式输出，这就是自动设计系统。

在自动设计系统中，设计者不需要经常和计算机进行“对话”，所以对设计者来说，不受上机操作时间的限制。显然，这种系统对于有多种课题的设计者，或对设计工作不熟练的操作者是比较合适的。

自动设计系统的重点不在于“对话”方式，而在于系统采用了成批处理的卡片输入方式，以能充分发挥计算机的功能。卡片输入允许多个设计者共用一台计算机，这样，就能降低计算机的单人占有率，提高了硬件的利用率。

另外，在自动设计中，由于有关设计所需的输入数据已经准备好了，所以给新设计人员的培训带来了方便条件。以上是自动设计的优点。

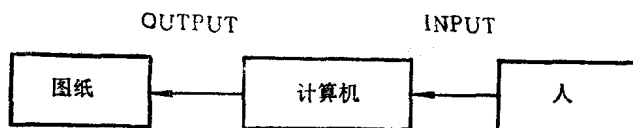


图 1.2 自动设计概念图

自动设计的缺点，首先是“黑箱”（Blackbox）问题。所谓“黑箱”，就是指设计者无法监视从输入设计数据到输出设计结果的全部过程。所以当计算机内部出现运行错误时，很难查找原因，而且，当程序的开发人员离开设计部门时，其他设计者便不能充分地了解此程序的内容。因此有进一步“黑箱化”的危险。本来，人们期望引进计算机以摆脱个体作业的设计方式，但结果适得其反，由于计算机的引进，却产生了使个体化进一步加剧的现象。

另外，初参加设计的工作人员，要了解“黑箱”中的自动设计程序，就必须参加有关计算机语言和设计工作方面的培训。这两种完全不同类型的培训，会降低设计系统的实际运

用效率。

第二点是设计工作的“灵活性”问题。通过对实际工作的分析可知，设计过程中的修改和总体设计完成后的部分修改，占整个设计作业量的70%。当设计方法完全确定时，可以充分发挥自动设计系统的作用，而初次设计，往往是在错误的尝试过程中进行的，所以不能直接应用自动设计系统。如果想用自动设计系统进行初次设计，则应充分考虑开发自动设计程序所需的时间和成本。

显然，如果所要设计的对象是单件产品，而且今后也没有同类型的产品时，一个一个地开发自动设计程序是非常不合算的。

总结第二点中的问题，就是用现有的自动设计程序进行初次设计是困难的，即这种设计不具备所谓的“灵活性”。

第三点是工作量的“平均化”问题。对自动化设计系统来说，要输入的数据是固定的，所以，只要输入数据正确，不管是不是熟练的设计者，都能得到同样的输出结果。

另外，由于设计工作是自动完成的，所以对每个设计对象（产品）逐个进行全面地考虑是不可能的。所以，自动设计很难做出有个性的产品设计。

第四点是自动设计系统的“开发”问题。这是自动设计的基础，又是能否推广和应用的关键，所以是最重要的。

程序的编制一般是由程序员完成的。程序员擅长于数学计算及信息的记忆和处理等，但是，让他来完成分析设计过程并根据设计理论编制程序，往往是非常困难的事。

自动设计系统的开发，不但要求程序员熟知产品设计作业的每个细节，而且还要求掌握有关高效率编制程序所不可缺少的软件知识。当然，如果能有同时满足这两个条件的技

术人员就最好了，不过一般情况下，这样的人难以找到。所以，实际上自动设计系统的开发，由在设计部门的设计人员和电子计算机工厂的技术人员协作进行的。在这种情况下，只有两方面紧密配合并进行积极的技术交流和配合才能获得最佳效果。但是，实现这一点是不容易的。

另外，要想修改已经完成的自动设计系统，也可采用同样的协作方法。不过此时，修改工作难以保证是原来开发时的全体人员参加。这对系统修改是很不利的。

以上分析了自动设计系统的优缺点，可归纳如下：

优点：

① 即使是不熟练的设计者也可以完成一定水平的设计工作。

② 没有必要经常和电子计算机进行“对话”，因此，设计人员可以有计划地安排时间。

③ 多个设计人员可以共同使用一台计算机，所以，能提高计算机的利用率。

缺点：

① 存在“黑箱”问题。所以，修改程序很困难。

② 没有“灵活性”。所以不能完成除了自动设计系统编制的程序外的其它设计作业。

③ 自动设计系统开发困难。

虽然存在上述缺点，但优点还是主要的。如果细心地考查现有的实际设计实例中自动设计系统的适用范围，就可以充分发挥它的作用。

1.2.2 CAD/CAM 的特点

这一节将通过自动设计系统和 CAD/CAM 系统之间的