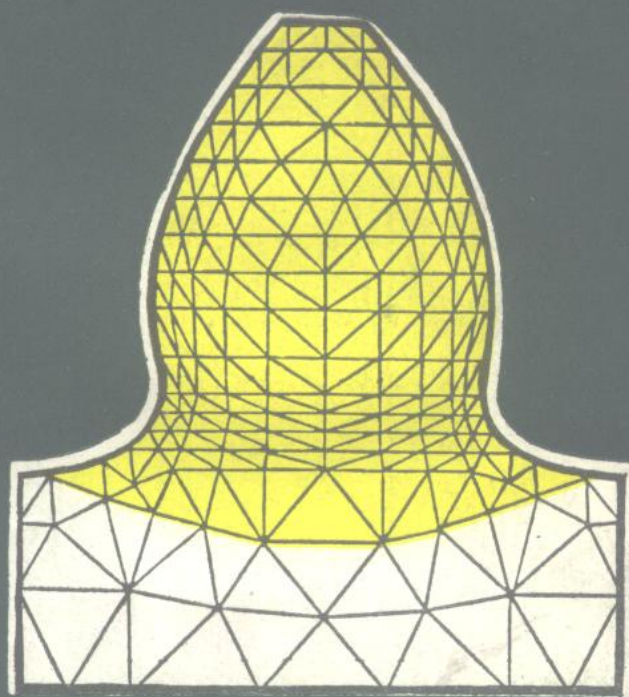


● 黄瑞清 王世佐 编著

计算机辅助 机械零件设计



上海交通大学出版社

计算机辅助 机械零件设计

黄瑞清 王世佐 编著

上海交通大学出版社

(沪)新登字 205 号

内 容 提 要

本书从我国实际情况出发,以机械零件为对象,比较系统地介绍了 CAD 的基础知识和开发应用软件的基本方法,既有一定的先进性,又有较强的实用性。全书共分六章:第一章是计算机辅助设计概述;第二章是机械零件的程序设计基础;第三章是计算机辅助结构分析;第四章是机械零件优化设计;第五章是图形显示和计算机绘图;第六章是机械 CAD 数据库简述。

本书可作为高等学校机械类研究生和大学本科生学习机械 CAD 的基础教材,也可供广大工矿企业机械设计人员自学 CAD 之用。

计算机辅助机械零件设计

出版:上海交通大学出版社
(淮海中路1934弄19号)

发行:新华书店上海发行所

印刷:常熟市文化印刷厂

开本:787×1092(毫米) 1/16

印张:11.25

字数:276000

版次:1991年12月 第一版

印次:1991年12月 第一次

印数:1—3300

科目:258—304

ISBN7—313—00951—3/TH·12

定价:3.30元

前 言

计算机辅助设计(CAD)是一门发展极为迅速的新兴学科,80年代以来逐步进入实用阶段,开始在我国机械行业得到普遍应用。众所周知,在机械设计领域利用CAD技术,已使设计方法和手段发生了根本变革,大幅度地提高了设计质量,缩短了设计周期,大大地增强了机械产品在市场上的竞争能力,因而越来越受到了人们的重视。

为了使CAD技术得到进一步的推广应用,需要大力普及CAD基本知识和实用技术的教育,本书正是为了满足这种需求而编写的。作者结合自己在上海交通大学多年来所从事的机械CAD研究和教学的经验,从我国实际情况出发,以机械零件为对象,比较系统地介绍了CAD的基础知识和开发应用软件的基本方法,既有一定的先进性,又有较强的实用性。本书可作高等学校机械类研究生和大学本科生学习机械CAD的基础教材,也可供广大工矿企业机械设计人员自学CAD之用。

本书由黄瑞清、王世佐合作编写。黄瑞清编写了书中的第一、四、六章及第三、五章的部分内容;王世佐编写了书中的第二章,及第三、五章的部分内容。

本书特约丁怡高级工程师审核,他对本书的编写和修改提出了许多宝贵意见。在本书的编写过程中,还得到了张秋英老师等的热情帮助,在此一并表示深切谢意。

限于作者的水平,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者指正。

编 者
1991年4月

目 录

第一章 计算机辅助设计概述	1
§ 1-1 CAD 的出现和发展	1
§ 1-2 机械 CAD 的工作范围和内容	6
§ 1-3 计算机辅助设计系统的构成	10
§ 1-4 CAD 系统的分类	18
§ 1-5 机械零件计算机辅助设计	21
第二章 机械零件的程序设计基础	25
§ 2-1 概述	25
§ 2-2 数表的程序化	26
§ 2-3 数表的解析化	34
§ 2-4 线图的程序化	39
第三章 计算机辅助结构分析	42
§ 3-1 计算机辅助分析概述	42
§ 3-2 有限元法的基本原理和解题步骤	46
§ 3-3 平面问题有限元法程序	58
§ 3-4 有限元法在机械零件设计中的应用	68
§ 3-5 用微机进行有限元法分析的若干问题	75
§ 3-6 有限差分法在滑动轴承设计中的应用	85
第四章 机械零件优化设计	96
§ 4-1 机械零件优化设计概述	96
§ 4-2 机械零件优化设计的方法简介	101
§ 4-3 SUMT 法程序	104
§ 4-4 机械零部件的优化设计	117
第五章 图形显示和计算机绘图	123
§ 5-1 概述	123
§ 5-2 屏幕图形显示	123
§ 5-3 自动绘图机与插补原理	128
§ 5-4 图形变换	131
§ 5-5 绘图软件 Auto CAD 概况	135
§ 5-6 Auto CAD 的操作命令	141
§ 5-7 Auto CAD 的应用	144
§ 5-8 Auto CAD 与高级语言程序的连接	152
第六章 机械 CAD 数据库简述	160
§ 6-1 数据结构	160

§ 6-2 数据库的基本概念	164
§ 6-3 机械 CAD 数据库简述	169
参考文献	173

第一章 计算机辅助设计概述

§1-1 CAD的出现和发展

一、机械工业的发展迫切要求采用CAD

1. 设计方法和手段的改变是一项极为紧迫的任务

从70年代开始,国际商品市场竞争日趋激烈,各制造厂商为了提高自己产品的竞争能力,纷纷采取措施,力求缩短产品的研制周期,加快产品更新换代步伐,提高产品技术性能,降低产品的成本。作为国际生产大循环中一环的我国机械工业也不例外,在“七五”期间提出了“上质量、上品种、上水平、提高经济效益”的战略目标,要求在5年内有17000个品种更新换代,10480个品种采用国际标准,60%产品达到70年代末或80年代初的国际水平。

为了达到上述宏伟目标,需要在产品设计、制造工艺、材料、管理等各个环节上采用新技术。为此,人们对整个产品的生产过程进行了调查研究。衡量一个产品好坏的标准是价值,所谓价值即为功能/成本。从什么地方着手来提高产品的价值呢?调查表明设计是机械产品生产过程中的重要一环,从经济学的观点来看,下面图1-1足以说明设计在生产中的重要地位。据估计,设计本身所

费用仅占产品总成本的5%左右,而产品的成本中约有75%是在设计过程中决定的,由此可见设计质量是影响产品经济性和技术指标的关键。

从50年代开始,我国引进了大量国外生产技术和装备,建立若干机械工业的骨干工厂,形成了相当规模的生产能力,为机械工业的发展打下了一定基础;

但在此后的30多年中,由于生产能力和设计能力不成比例,对引进消化、更新设计手段和开发新的设计方法等重视不够,致使机械工业设计能力与生产能力之间的比例严重失调。其后果是机械产品相互抄袭,多年不能更新,相当一部分产品处于“几十年一贯制”,自己产品难以出口,又挡不住外国产品进口,形成恶性循环。因此,设计方法和手段的改变是一项极为紧迫的任务。

2. 采用CAD是实现机械设计现代化的必由之路

设计的含义非常广泛,对于不同对象有着不同的内容,但无论是工程设计或产品设计都要经历需求分析、概念设计、技术设计、图纸或技术文档的生成、试验验证等几个阶段,而且往往以老的设计成果作为新的设计方案的起点,反复循环,不断完善。

一般设计工作具有以下特点:

(1) 大量的数据处理

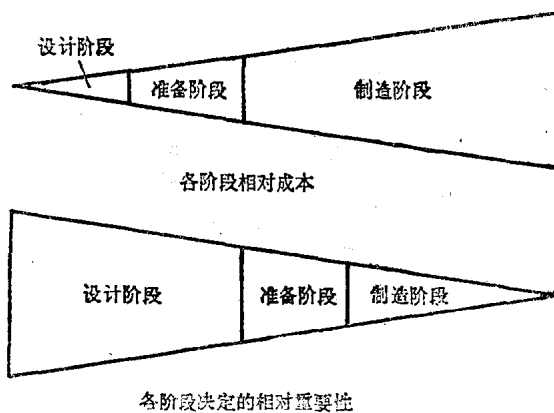


图 1-1

复杂的工程设计涉及到材料、设备、结构和工艺等方面的许多资料和信息,不仅数量多,数据类型复杂,而且在各个阶段之间存在信息反馈和交互作用,所以数据的有效提取、加工(如分析计算)、传递和检查等显得非常重要。

(2) 大量的图形处理

图样是工程技术人员的共同语言,是表达和记录设计结果的重要方式。在概念设计阶段需要通过方案图表达设计方案的概貌和特点,在技术设计阶段需要绘制大量的装配图和零件工作图,在加工之前还要绘制必要的加工工艺图。据统计在整个产品设计过程中,绘图工作量约占总设计工作量的50~70%。

(3) 大量的数值运算

在设计过程中,为了确保产品的性能和使用可靠性,需要进行强度、刚度、发热、稳定性、可靠性等方面的运算。有时一些设计模型难以精确求解,还要采用数值的方法,例如有限元法、边界元法、有限差分法等来寻求近似的设计结果。为了获得最佳设计结果,还需要采用优化方法,通过反复迭代来逐渐逼近最优解。由此可见,在整个设计过程中若按照传统的设计方式来进行设计,以上繁重的设计任务都必须由设计人员手工或借助比较落后的工具如计算器、三角板等来完成。这种传统设计方法使设计人员的精力过多地集中在零部件的常规设计阶段,而对全局性的问题研究不深,因而具有很大局限性。主要表现在:方案的构思在很大程度上取决于个人经验,难以获得最佳结果;分析计算中使用了大量的简化近似方法,影响了设计质量的提高;设计工作周期长,效率低。

采用传统的设计方法进行设计,是造成我国机械产品质量差、品种少、经济效益不高的重要原因之一。要想改变机械工业的落后面貌,适应四个现代化进程的要求,必须进行设计方法的变革。

设计方法的变革涉及到设计领域的各个方面,其最有力的措施是大力推广计算机辅助设计。

计算机辅助设计简称CAD(Computer Aided Design),是利用计算机进行最佳的设计判断、计算、绘图,实现综合设计的新技术。CAD系统主要由计算机主机、专用外围设备和应用软件组成。它是一种人-机交互系统,即设计者与计算机之间交互作用,进行实时处理,来有效地完成预定的设计任务。

计算机辅助设计是与计算机技术(包括硬件和软件)的发展紧密相关的。1946年诞生的世界上第一台电子管计算机ENIAC,采用了18000多个电子管,重量达30吨,占地170多平方米,能力却非常有限,每秒仅能执行5000次加法运算,而且价格昂贵。经过几十年的发展,至今既有每秒运行亿次的巨型机,又有体积小、价格低、内存超过1MB的个人计算机。输入输出的外围设备也形式多样,使用方便,为计算机辅助设计提供了良好的硬件环境。

最初计算机是用机器语言编程,掌握机器代码非常麻烦,既繁琐又易出错。50年代出现了ALGOL、FORTRAN等高级语言,大大方便了编程。此外,为了提高工作效率,还诞生了许多专用语言。60年代又出现了以多道运行和分时系统为特征的操作系统,使人们能更有效地管理、利用计算机资源,更方便灵活地使用计算机。与此同时,计算机图形学、数据库技术及软件工程学的发展,为计算机辅助设计的系统软件和应用软件的开发,创造了有利条件。

总之,计算机辅助设计是计算机硬件技术和软件技术发展一定阶段的产物,是计算机科学和工程科学多学科交叉、渗透的结果。

二、CAD的发展历史

CAD的起源可追溯到50年代中期,美国麻省理工学院(MIT)开始实施APT(刀具控制自动编程系统)的开发计划,设想将设计图纸直接转换成NO纸带。虽然这个计划由于种种原因当时未能完全实现,但却促进了与此同时出现的计算机绘图的发展。

1959年12月在MIT召开的一次计划会议上,明确提出了CAD的概念,对以后CAD的发展起了很大作用,所以有人将此会议作为CAD的起点。

1963年发生了两件对CAD发展影响巨大的事件:第一件是年仅24岁的MIT研究生I. E. Sutherland在美国计算机联合会年会上宣读了题为“SKETCHPAD——人机交互系统”等论文,文中提出了对CAD的大胆设想:设计师坐在CRT的工作台前,用光笔操作,通过人机对话的方式,实现从概念设计到技术设计、制造整个过程。在此过程中,人们是以图形为媒介,不仅有图形输出,也能直接输入图形,并且设计者可随意对图形进行增、删、改等编辑。此外,文中还提出了一个计算机仿真的例子。尽管这些设想,由于受三维图形处理困难、缺乏模型概念、数据库技术未成熟等条件限制而未能完全实现,但文中提出的CAD设想,极大地震动了讲求实效的工程界,一直鼓舞着人们朝这个方向努力。第二件是美国通用汽车公司(GM)和IBM公司开发成功了用于汽车前窗玻璃线型设计的DAC-1系统,这是CAD最早用于具体对象的系统。由于这两件事情意义重大,故也有不少人将1963年作为CAD的起点。从此之后,CAD在世界范围内迅速而全面地得到发展。

CAD从出现至今的整个发展过程,可划分为表1-1所示的四个阶段。

目前工业发达国家的CAD技术已广泛应用于超大规模集成电路设计,土木建筑设计,飞机、汽车、船舶、机电、化工产品、服装与花样设计,管道布局等领域。据1981年统计,在美国仅人机交互型CAD系统的销售额就达21亿7千万美元,而且递增幅度一年比一年大。西欧、日本等国家的情况也大致相同。

在我国,近年来计算机辅助设计的研究和应用开始从高校、研究所走向工矿企业,单项

表1-1 CAD发展过程

阶段	时间	特点
初始准备阶段	50年代	提出CAD的设想,为CAD应用进行硬件和软件方面的准备
研制试验阶段	60年代	研制成功试验性CAD系统,其中有代表性的是IBM公司和GM公司开发的汽车前窗玻璃线型设计DAC-1系统、美国贝尔电话实验室用于印刷电路设计的CAD系统
技术商品化阶段	70年代	CAD开始实用化,从二维的电路设计发展到三维的飞机、汽车、造船等设计,出现了许多开发CAD系统的公司,如CV、Intergraph、Calma、Applicon、IBM、CDC等
高速发展阶段	80年代	由于解决了三维几何造型、仿真等问题,应用范围不断扩大,大中型系统向微型化发展,出现了IBM PC/XT、AT等应用极广的微机及32位超级微机上的CAD系统

技术的研究达到了一定水平,但与发达国家相比仍有相当差距,在生产实际中的推广使用还需要有一个逐步深入的过程。这是因为计算机应用必须具备一定的经济技术基础,我国目前机械设计中应用计算机还不普遍,其原因就在于此。从全国机械工业的现状来看,在为数众多的中小工厂的设计部门大量使用大中型电子计算机是不大现实的,而普及近几年来发展极为迅速的微机 CAD 却是完全做得到的。这是因为微机具有如下可贵的优点:

(1) 由于微电子技术的迅速发展,微机的功能已大大增强,目前大多数微机配以必要的硬件和软件,都已具备了机械设计所必需的基本功能。

(2) 微机的价格比较低。一套适合机械设计用的微机系统的费用,按性能的不同约为几千至几万元,一次性投资较少,是一般企业力所能及的。

(3) 微机的体积小,维护保养简单,可靠性和稳定性较好,不一定要设置专门的机房。

(4) 微机所普遍使用的 BASIC 等高级语言简单易学,广大机械设计人员经过短期培训或自学都能掌握。

可以想象,在广大中小工厂的机械设计部门普及了微机 CAD 之后,我国整个机械工业的落后面貌必将发生巨大的变革,其意义是十分深远的。

三、CAD 在机械设计中的应用

在机械设计过程中,人和计算机各有什么特长,人们对此进行了对比分析,其简要情况见表 1-2 所示。由表可知,人机各有所长,应该将其有机地组合成一个整体,以便发挥人机的综合效能,这比单独由人或完全依靠计算机来完成设计工作要好得多,于是就出现了计算机辅助机械设计系统。

表 1-2 人与计算机的机械设计能力比较

项 目	类 别	
	人	计 算 机
逻辑思维能力	有很强的设计想象力和判断力,能凭经验进行创造设计,学习快	已系统化和格式化,一般无自学习能力
信息的组织记忆存储能力	信息的组织是自觉的,但不正规;信息记忆保持的时间短,容量小	信息的组织是正规的,详细的,存储时间长,容量大
工作的适应能力	工作时间一长,效率下降,易疲劳和出差错	特别适合于进行重复性工作,可长期保持高效率,很少出错
分析计算能力	直观分析能力强,数值运算能力差,速度慢	没有直观分析能力,数值运算能力很强,速度快
查错纠错能力	能直观地查找设计错误,并及时予以改正,具有很大灵活性	查错方式已系统化,受系统的限制,适应性较差,且难以自动地纠正各种错误
信息的输入输出	能通过各种器官进行信息传递,形式灵活,但速度慢	已经系统化、格式化、速度快

在计算机辅助设计过程中,充分利用了计算机存贮量大,能永久记忆,运算速度快等长处,可快速高效地进行大量的数据处理、图形处理和数值运算,使设计者能从常规的、重复的工作中解脱出来。在此必须指出,设计者在此过程中自始至终起主导作用,能有效地控制信息流,掌握设计的进程,并充分发挥思维判断能力强的优势,从事方案构思和设计决策等智能性强的工作。

应用 CAD 能为工矿企业带来明显的经济效益。这已为工业发达国家的实践所证实。据调查,日本 247 家企业引进 CAD 系统之后,其主要效果可用图 1-2 表示。由图可知 96 家企业(占总数 38.9%)提高了设计效率,48 家(占 18.8%)缩短了设计周期,33 家(占 13%)提高了设计质量。这三项累计,共有 177 家企业(占 71.7%)取得了明显的实际效果,超过了应用 CAD 企业总数的一半。

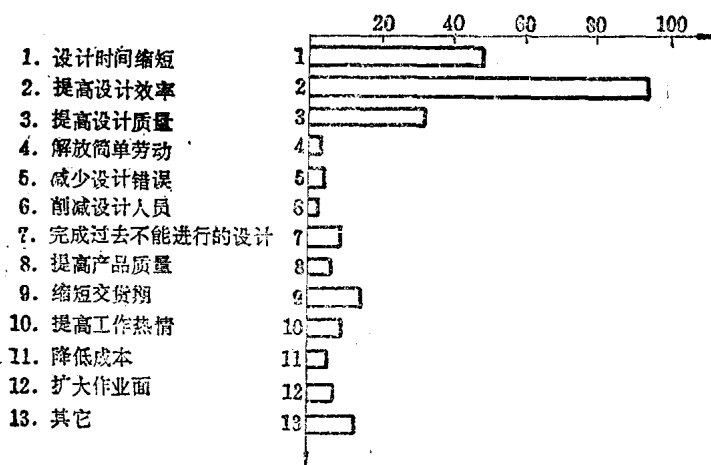


图 1-2

应用 CAD 系统可以取得的主要效果是:

(1) CAD 系统能提高设计能力

由于受计算能力的限制,几十年来设计人员只能用一些由系统数学、逐次逼近方法得来的经验公式进行设计工作。因而,所设计的产品存在着材料消耗过多,结构布置不合理。升级换代周期过长等缺陷。当采用计算机辅助设计系统后,设计师们就可利用强有力的工具来改进设计工作。例如采用有限元法、最优化设计等方法来改进设计工作,从而对过去许多只能定性判断的内容作出精确的定量分析。

(2) 提高产品设计质量,缩短产品的研制周期

据调查,在一般的机械工业企业中,设计人员占全体人员总数的 10~15%,而设计工作中的 50~60%是绘图,采用 CAD 之后,这部分工作可由自动绘图仪来完成,节省了设计人员的大量宝贵时间。此外,CAD 的最大特点是使设计师和计算机进行连续地、迅速地思维交流,使设计师在 CAD 辅助下,充分发挥自己的联想和创造力。当产品设计完成后,又由 CAD 系统自动输出各类图纸、文件。因此,采用 CAD 技术不仅提高了设计质量,而且大大缩短了产品设计周期,加快了产品的交货日期,这就能更好地适应市场变化并赢得用户,提高产品的竞争能力,从而带来了无法估算的经济效益。

据统计,CAD 可使机械产品的设计周期缩短 65~80%,工艺设计周期缩短 80~90%,

降低基建费用 10~30%，改善经济技术指标 10~25。%因而有人认为：CAD/CAM 技术是一项自电子技术发明以来，比其它技术更有潜力，又能更快地提高生产率的技术。

(3) 有利于实现产品标准化、系列化、通用化

许多工厂反映：机械设计的一些国家标准，由于向国际标准靠拢，考虑到的影响因素比较全面，但计算相对来说也比较繁琐，如不采用计算机辅助设计则很难贯彻。若有了相应软件，只要根据屏幕提示输入有关信息，就能获得符合标准要求的设计结果，因而推广起来就比较容易。由于计算机对设计信息实行统一管理，因而也有利于推进产品系列化和通用化。

(4) 加强现代化管理

几乎所有的工业技术，在交流、通信和存贮的手段上都极大地依赖于图纸等技术文件。因此，所有技术文件的产生、修改、管理、存贮以及随机检索已成为企业技术管理中占极大工作量的突出问题。单凭人工管理的方法显然远远不能满足现代化管理的需要。但是采用 CAD 后，从市场信息、企业信息(对于一个企业而言，信息是竞争的一个基础)，以及设计师的原始构思数据到各种图纸、技术文件、工艺资料、外购件清单等全部可以由计算机处理、存贮，而且可以由企业的各部门分享这一资源。电子计算机所具有的巨大的信息处理和自动化控制能力，大大提高了各项管理工作的效率，提高了经营决策的质量与速度，可更好适应现代化经济结构复杂和竞争激烈的要求。

(5) 提高设计的经济效益

在设计阶段引入 CAD 系统后大大提高了设计人员的劳动生产率，节约了手工设计所需的大量工时和开销，从而降低了设计成本，这是可以定量计算的。若使用经济效益系数 $R = P/RP$ 来定量地分析 CAD 系统对设计成本的影响（其中 P 为引入 CAD 后的劳动生产率指数，RP 为引入 CAD 后的投资指数），只要结果的 R 值大于 1，则引入 CAD 系统就能降低设计阶段的成本。由于 CAD 系统一般能工作多年，而且可供多用户或多终端使用，并能成倍地提高设计效率，所以虽然引入一个 CAD 系统要花费较大的投资，但综合计算的 R 值仍大于 1，因而一般引入 CAD 系统不会增加设计成本。

此外，由于设计阶段所作的决定对产品总成本有很大影响，所以通过 CAD 所作的设计优化能较大幅度地降低产品成本。一般估计降低幅度为 10% 左右。

以上介绍的仅是 CAD 应用效益的一般情况，具体效益的大小还与建立的系统的合理性、软件研制是否能跟得上设计工作的需要、设计人员应用计算机是否普遍等因素有关。一个合理满足实际需要的 CAD 系统，在一个技术素质强的企业是一定能够发挥巨大经济效益的。

§1-2 机械CAD的工作范围和内容

随着科学技术的进步，CAD 的工作范围和内容也在不断地发展和深化，就目前我们的理解，CAD 是以计算机图学为基础，利用计算机的硬件和软件所组成的系统来辅助人们进行设计、分析和绘图的一种综合性的新兴技术。

在此需要强调的是：计算机图学是 CAD 的重要基础。这是因为图样被称之为工程师的语言，在设计中具有无可争辩的地位，没有图形就难以表达人们的设计思想和设计结果。

日本曾对从事研究开发的技术人员的工作量进行了具体的统计，整个设计周期中工作时间的分配情况如图 1-3 所示，从中我们可以发现绘图在整个设计过程中占有很大比重，因此解决图形问题具有重大现实意义。

由于绘图很重要，同时 CAD 又是从计算机绘图开始发展起来的，因而往往给人一种错觉，以为 CAD 就是计算机绘图。

实际上图形技术仅仅是 CAD 中的一个核心部分，CAD 的含义是非常广泛的，任何机械只有在确定了其形状与尺寸后才能制绘零件图和装配图，而形状与尺寸的确定涉及到多种学科和技术，因此 CAD 是一门综合性的技术。

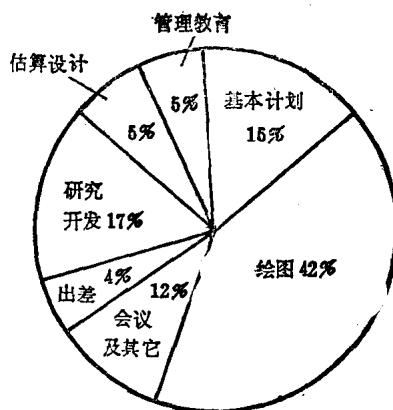


图 1-3

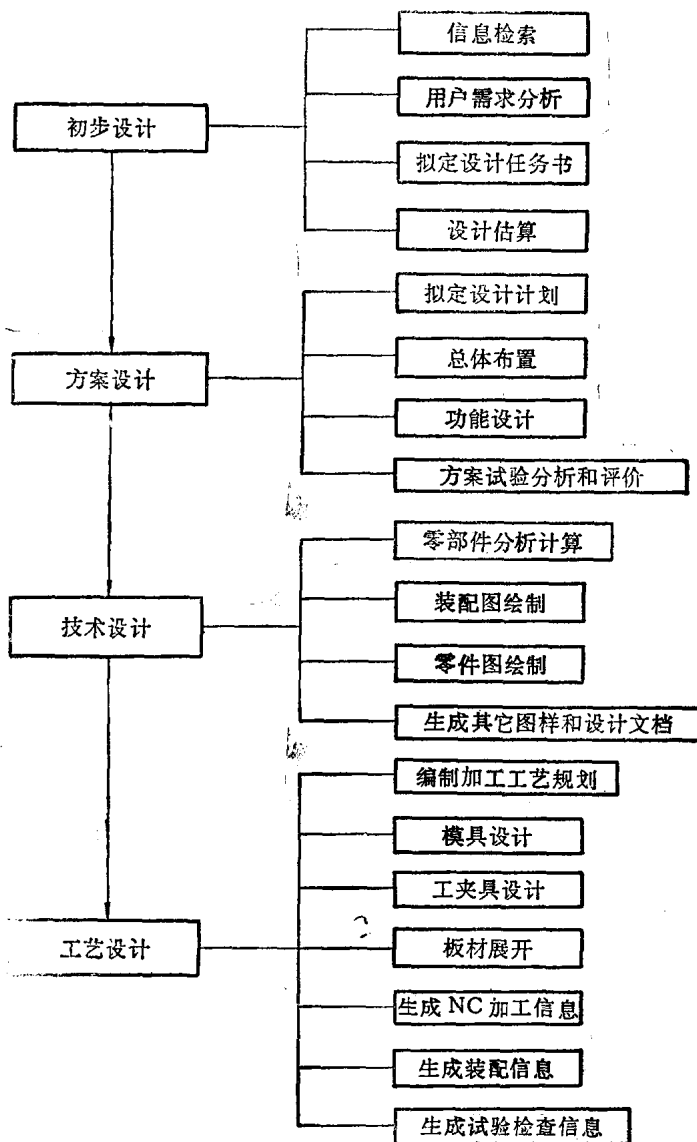


图 1-4

一、机械 CAD 的工作范围

设计的对象不同, CAD 的工作范围和特点也不同。电路 CAD 侧重于图面布置, 大都是二维的配置和分析, 机械类的 CAD 则以形状设计为主, 除了需要各种视图的表达之外, 还要进行三维形状的生成、零部件物理特性的分析等。

典型的机械 CAD 的工作范围可见图 1-4。

二、机械 CAD 的基本内容

当前机械 CAD 的基本内容包括几何造型(geometric modeling)、分析(analysis)、仿真(simulation)和绘图(drafting)四个方面。当然一个 CAD 系统并不一定要全面包含上述功能。

1. 几何造型

是指生成所研究对象的几何图形描述方法。这种图形描述根据应用场合的不同, 可有多种形式。例如在机械 CAD 中, 它是二维或三维的形状描述, 即以数据形式将零部件大小和形状存贮在计算机中。

在几何造型的过程中, 用户坐在计算机图形显示终端前, 输入图形, 并在 CRT 屏幕上显示生成图形。

图形的输入主要有以下三种形式;

(1) 语言指令方法; 用语言指令编制一程序, 经输入设备, 如穿孔卡、磁带、键盘、软盘等输入。

(2) 图形-数字转换器方式, 例如小型 CAD 系统中的“菜单(menu)”或图形板输入, 图形板上以表格形式排列着用来构成图形的基本图元, 像一张菜单似的。

(3) 直接输入方式; 这种输入设备有光笔装置, 接触式或感应式图形输入板和球形跟踪器、轨迹球等。

按照图元的不同, 几何造型有下列三种方式,

(1) 线框模型(wire frame model)

它的图形元素除了直线和规则二次曲线外, 还可以是贝塞尔曲线和样条曲线等相近拟合(用户定义的)曲线, 用这些相互连接的线段来描述零件的形状, 优点是模型结构简单, 计算量少, 易于操作, 因而成为面模型和立体模型的基础。因其形状用棱线来表示, 只包含三维物体的一部分形状信息, 缺乏精确表现能力, 难以用于输出剖面图、输出两个面的交线、消除隐藏线、计算物体的物理参量特性(如重量、体积、惯性矩等)和输出数控加工信息, 因而应用时有很大的局限性。

(2) 表面模型(surface model)

它利用各种表面特征的面作为基元来描述图形, 面元素中最基本的是平面, 此外还有圆柱面、直线曲面、旋转面等等。

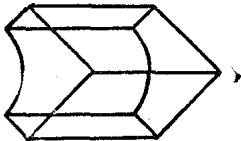
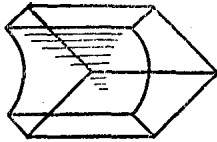
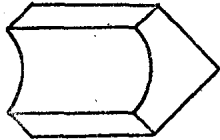
使用表面模型时, 形体的边界可以全部定义, 因而与图形有关的大部分问题可迎刃而解。但美中不足的是边界不能明确地反映其所包围的实心部分, 使设计者对形体缺乏整体概念。同时由于它的模型是用严格数学式表示的, 故精确度高, 计算量大。此外, 曲面之间的逻辑运算(如交线计算等)以及判断曲面的包容性, 要求有较高的技术水平。

(3) 立体模型(solid model)

它有两种基本方式：一是通过三维表面描述来确定边界，生成实体的立体模型；二是采用立体元素来构型，以球、圆柱、多棱柱及各种柱体、锥体为基本立体元素，通过它们的逻辑运算来表达实体形状。

表 1-3 是用上述几种模型来描述物体形状的简单例子。

表 1-3 实例

模型类别	线框模型	表面模型	本体模型
显示			
说明	利用棱线表示，缺点是不能识别曲面及立体内部	在线框基础上加曲面部分，平面在这里虽不定义，但可处理	该立体模型是从长方体上通过与圆柱体的逻辑运算，去掉一部分而形成

2. 计算分析

在所研究对象的几何立体形状生成之后，一些 CAD 系统可进而对模型进行静态下的强度、刚度、振动、热变形等方面的分析。

计算分析方法包括解析法和数值解法。数值解法中常用的如有限元法、有限差分法、边界元法及数值积分法等等。例如在集成的 CAD 系统中，用户在建立了一个零件的几何模型之后，可利用有限元前处理程序形成有限元计算用的分割模型，求解后可以利用后处理程序将计算所得的零件应力和位移情况以等值线图方式表达出来，以便设计人员对零件的结构作出合理的判断(确认或修改)。

此外，有的 CAD 系统还可运用数学规划对产品的设计方案进行论证，帮助设计者确定具有最高效率、最小消耗、最低成本的设计参数。

对设计方案如何进行评价，工程师和数学家们观点有时很不相同。在进行 CAD 时，更多的不是采用数学上的优化，而是借助于价值表的分析，运用工程上的优化。比如轴与轴承的联接有几十种方案，可以将其有用价值列出来，供设计者针对不同的要求，进行合理选择。

3. 仿真

所谓仿真就是在计算机上构造与实际系统相符合的模型进行实验和研究，选择最佳参数和设计最合理的系统方案。

在机械 CAD 中，用得较多的是模态实验(model testing)，可在设计初期模拟产品的性能。这比传统的先设计，再试制，后试验，直到工程的后期才能评价出产品的优劣要经济得多。它的一个例子是动态仿真；首先根据设计者的构思或计算机存储器中的几何模型数据，

生成一个计算结构模型,然后在结构上施加驱动力和其它外力,通过检测信号供给模态分析器,指出该结构的固有频率和显示位移,并根据需要可将变形放大、动作放慢,以帮助设计者确定过度振荡源和改善结构设计。

在计算机仿真中,用户通过修改数据库就能预测设计参数变化的影响,比较各种可供选择的方案,在试制实物之前获得优化方案,从而大大提高了设计的一次成功率。

除模态实验外,用得较多的是运动模拟干涉检查。运动模拟分析是指机构的分析与综合。在机构分析时,若以连杆机构为例,在输入必要参数之后,计算机就可以计算出连杆上代表点每个瞬时的位移、速度和加速度,并且可用图形显示。相反在机构综合中,用户只要给出要求的运动轨迹,计算机亦能自动地产生实现这种运动的机构。

4. 自动绘图

自动绘图包括绘制工程图(零件图、部件图及总装配图等)、机械特性图及数据表格等各种文件。图形可以由计算机辅助绘图系统绘出,在高水平的系统中,能通过几何造型产生的各向视图来形成。

当用户需要输出工程图时,绘图仪可根据输送给它的绘图数据自动绘制相应的图形,同时将这些绘图数据存入计算机存储器归档备查。一般较好的绘图系统都具有图形编辑功能,可以完成图形的复制、放大、缩小、删改、旋转及平移。

§1-3 计算机辅助设计系统的构成

计算机辅助设计系统尽管形式繁多,但究其基本构成,可分为硬件和软件两大部分。

一、计算机辅助设计系统的硬件

计算机辅助设计系统的硬件配置是比较灵活的,根据用途和经济实力,可以自由地选配。主要由图 1-5 所示的计算机主机、外存贮器、输入设备和输出设备等几部分组成,下面择要予以介绍。

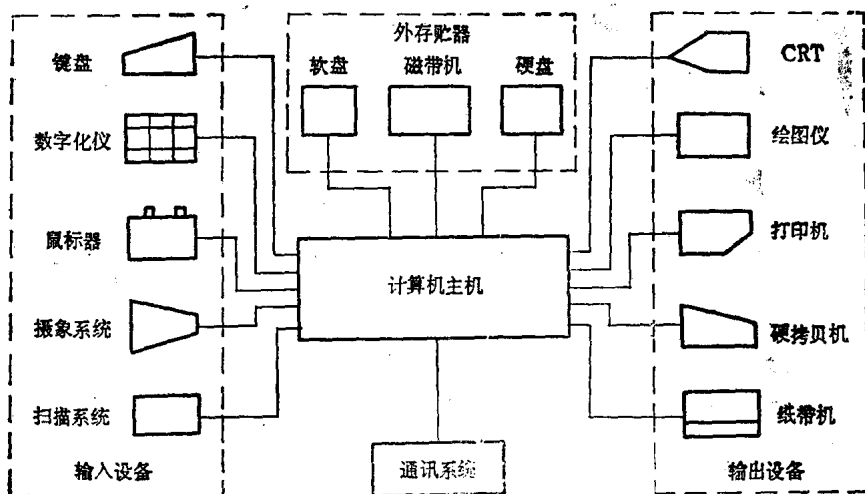


图 1-5

1. 计算机主机

计算机主机是整个计算机系统的核心,故又称中央处理机,主要由三部分组成:运算器、控制器和主存贮器(内存)。运算器负责执行指令所规定的算术和逻辑运算。控制器负责解释指令、控制指令的执行顺序、访问存贮器等。内存用来存放指令和数据,它根据工作方式的不同,分为 ROM 和 RAM 两部分:

(1) ROM(Read Only Memory)只读存贮器

这是一种一旦写入信息后,只能读出而不能随意变动的存贮器。因此一般用于存放不需经常变动的信息,如汉字字库、系统解释程序及系统监视程序等。

(2) RAM (Random Access Memory)随机存贮器

其特点是所存贮的信息可随时存取,因而非常适合于用来存放 CAD 数据和各种应用程序。需要注意的是 RAM 是一种易失性存贮器,一旦断电,其中的信息就立即消失。

建立 CAD 系统时,首先要确定主机型号。目前 CAD 系统中使用的计算机,有大型机(如 IBM 系列)、中小型机(如 DEC 公司的 PDP-11 系列、VAX 系列等)、超级微机(如 Apollo、SUN、HP 等)及微机(如 IBM PC/XT、AT286、386 及其兼容机等)。具体选择时要视被设计对象的规模、信息量、输入输出设备的配置、经济实力等情况而定。

目前以 16 位或 32 位微机为基础的微机 CAD 系统在国内外的应用越来越广泛,价格低廉,操作方便,在经济基础还比较薄弱的我国,有十分广阔的应用前景。

2. 外存贮器

外存贮器与内存的区别在于它是设置在计算机主机之外。与内存相比,其容量大,存取速度较慢。CAD 系统需要存贮的信息量很大,仅有内存是远远不够的,故一般要设置外存贮器来存放暂时不用的程序和数据,既可作为对内存容量不足的一种弥补,又可起到永久性存贮的作用。

外存贮器中最常用的有磁带和磁盘,它们都属于磁表面存贮器,是以氧化铁等永磁薄膜材料的小面积磁化原理为基础的。

磁带机容量大,使用灵活、可靠,价格便宜,当前在大、中、小型计算机系统中应用十分广泛。图 1-6 是一种常用的中、高速数字磁带机——真空积带箱式磁带机的简图,目前其带速已达 200 in/s,记录密度为 6250 位/in,每台容量达 50 MB(1 MB 即为 1 兆字节)。需要指出的是,磁带记录信息的原理与录音磁带类似,信息按顺序存放,因此为存放一个信息往往要卷带或倒带,速度慢,故一般不适合于用作随机存取。

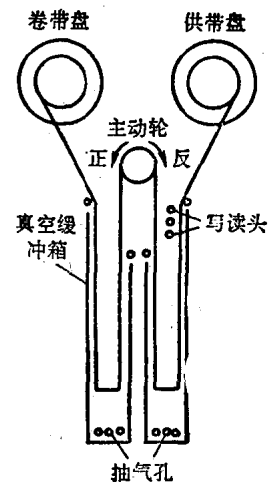


图 1-6

磁盘是与唱片相似的圆盘,有硬盘和软盘两种。硬盘常由铝合金制作,软盘则是塑料的。磁盘表面有许多同心磁道,每英寸可有 50~200 条。图 1-7 为磁盘驱动器的工作原理图。

硬盘驱动器主要由硬盘组、定位机构和读写磁盘等组成,磁盘组有多片磁盘,磁盘直径通常为 14"、8"、5.25"、3.9"(英寸),每片厚 1~2 mm,两片间有 10~20 mm 间隔,由一同轴电机拖动磁盘组一起旋转。硬盘的容量大,一般微机上配置的有几十 MB,其它机型则有几百 MB 以上。硬盘可作随机存取,虽然速度不及内存,但比磁带快得多。