

刀具计算机辅助设计

郝润森 白万民 编
张学军 审核

西安工业学院

前 言

计算机辅助设计是近十多年来发展起来的一门新技术，它已广泛应用于工业各个部门。我国的工具行业也已开始应用。除了成都工具研究所组织研究完成一套“齿轮刀具 CAD”技术外，一些工具厂和大专院校也先后开发出一些“刀具 CAD”软件。本书就是在我院研制完成了“刀具 CAD”软件的基础上编写而成的。书中叙述了刀具计算机辅助设计的有关内容及方法，包括常用的 AutoCAD 绘图软件资料。

本书中的程序举例是用 BASIC 语言编写的。

本书是机械类专业的高年级学生选修课讲义。其先修课有计算机应用原理，BASIC 语言，金属切削原理及刀具等课程。

本书第一、三、四章由郝润森同志编写，第二、五、六章由白万民同志编写。本书由钱存寄同志任主审。

由于时间仓促，及编者水任所限，书中错误和缺点在所难免，请读者提出宝贵意见。

编 者

1991年10月

目 录

前 言

第一章 计算机辅助设计 (CAD)	1
§ 1—1 计算机辅助设计概况	1
§ 1—2 CAD系统的组成	3
§ 1—3 CAD系统的软件	5
§ 1—4 CAD系统的分类	9
第二章 刀具产品的计算机辅助设计	10
§ 2—1 概 述	10
§ 2—2 刀具CAD的内容与类型	10
§ 2—3 刀具CAD系统的硬件和软件	12
§ 2—4 刀具CAD的技术经济意义	14
§ 2—5 对我国刀具CAD技术开发和应用的几点意见	15
第三章 刀具CAD中的数学方程求解	17
§ 3—1 方程求根	17
§ 3—2 线性方程组求解	25
§ 3—3 辛普生法求定积分	29
§ 3—4 尤格—库塔法求解常微分方程组	34
✓ § 3—5 数表的程序化	41
§ 3—6 函数插值	45
§ 3—7 线图的程序化和公式化	49
第四章 刀具CAD中的图形程序化	56
§ 4—1 成形车刀求代圆半径的图形处理	56
§ 4—2 成形铣刀的铲磨干涉校验	69
第五章 AUTO CAD 计算机绘图软件	77
§ 5—1 AUTO CAD 概述	77

§ 5—2	启动AUTO CAD	87
§ 5—3	AUTO CAD常用命令	99
§ 5—4	配置AUTO CAD	144
第六章	AUTO CAD与高级语言的接口	149
§ 6—1	DXF文件	149
§ 6—2	SCR文件	163

第一章 计算机辅助设计 (C A D)

§ 1-1 计算机辅助设计概况

自从1963年美国麻省理工学院提出计算机辅助产品设计的设想,并且开发了图形处理系统技术以来,计算机辅助设计(Computer—Aided Design,简称CAD)技术获得了迅速的发展,而且正在越来越大地影响着工程技术的各个领域。目前,CAD技术已广泛应用于机械、船舶、航空、航天、电子、土建和轻纺等部门,其它工业部门的应用也有明显的增长。

机械设计工作在未应用CAD技术之前,是由设计人员根据设计对象的要求,参考各种有关资料、考虑采用的加工方法及生产设备条件,类比相似同类产品的设计及自己的设计经验,由人来构思,拟订初步设计方案或结构草图,进行多次反复的计算分析、综合比较,选定在经济性、工艺性及可靠性等方面较为合理完善的方案,根据这个初步设计绘制设计图纸并编制有关文件资料以及必要的设计修改,验算等工作。这种传统的由人完成的机电产品设计,一般难以做到最佳设计即优化设计,长期停留在凭经验设计,靠类比和估算来代替设计计算。设计人员不得不把大量时间和精力花在繁琐、重复的手工计算、绘图和编制表格上。这种传统的设计方法、耗费工时,拖长了设计周期,设计精确性和可靠性受到很大限制,影响了设计质量;由于难以进行精确计算,产品设计中安全系数不得不取得很大,增大了材料消耗及产品重量,浪费资金,传统的设计方法已越来越显得不能适应经济、技术发展的需要。目前工厂的生产向着多品种小批量方向发展,产品的更新换代十分迅速,它要求新产品的设计、研制周期短、质量高、价格低,计算机辅助设计便是根据这种需要而延生的。

所谓CAD—计算机辅助设计,一般是由设计人员构思,再由计算机对有关产品的大量资料进行检索,根据性能要求及有关数据,公式进行计算和优化之后,将图形显示出来。设计人员通过交互图形显示系统对设计方案或图形作必要的干预和修改,设计结果以图纸及数据形式输出的过程。因此,一般说来,要称得上解决某类问题的CAD系统,应具备三个条件:

①有较完备的数据库。凡解决该类工程问题所需的各种数据、标准、经验曲线、表格等都按照数据结构关系存入计算机存储器中,以便于检索调用,或增删修改。

②有较完备的程序库。即将解决该类工程问题必需的各种计算、设计、分析方法，包括通用方法及专用方法，都编制出相应的计算机程序，汇集备用。

③有具备人机对话功能的交互式图形系统，即能利用实时输入/输出装置，如光笔图形显示器、图象记录仪、自动绘图仪等，实时输出设计图纸及数据以及输入设计人员的修改指令。

CAD技术使产品的设计过程产生了质的变化。

传统的机械产品设计过程如图1-1所示。它可以分为计算分析、结构分析、试验分析和使用考核等阶段。要设计出一个满意的产品，往往需要多次重复上述过程，新产品的开发费力耗时，成本很高。

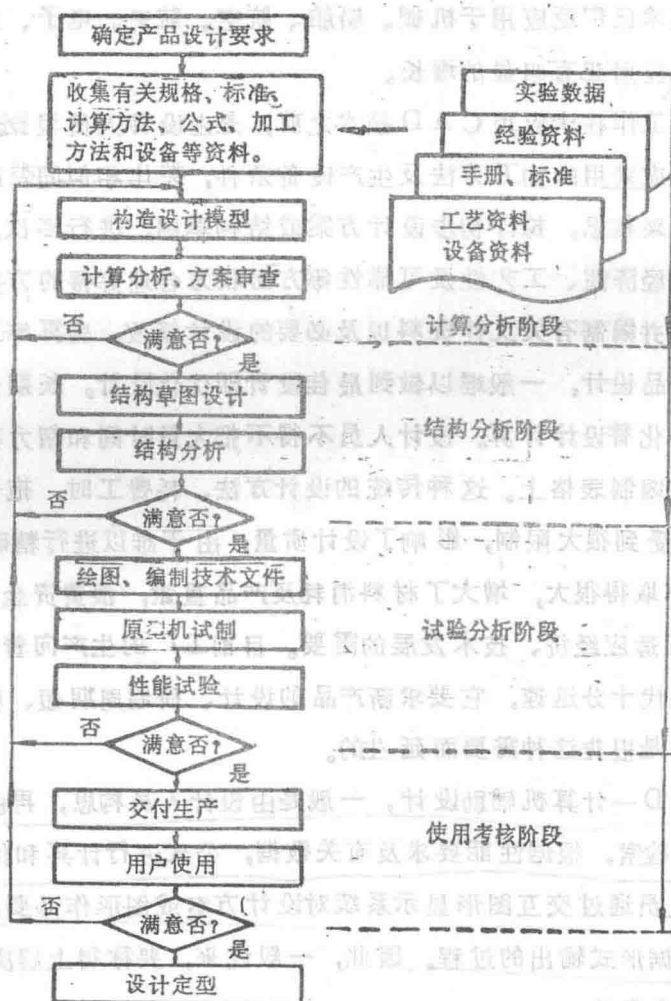


图1-1 传统的机械产品设计流程图

CAD的工作过程如图 1—2 所示。CAD 过程是逻辑判断、科学计算和创造性思维反复交叉进行的过程。计算机运算速度快、计算精度高，信息储存容量大，能自动检索存取，并有严密的逻辑判断功能。CAD 就是利用上述特点，配上相应的外部设备特别是图形显示与自动绘图设备而形成的，CAD 实现了设计过程中部分工作的自动化。

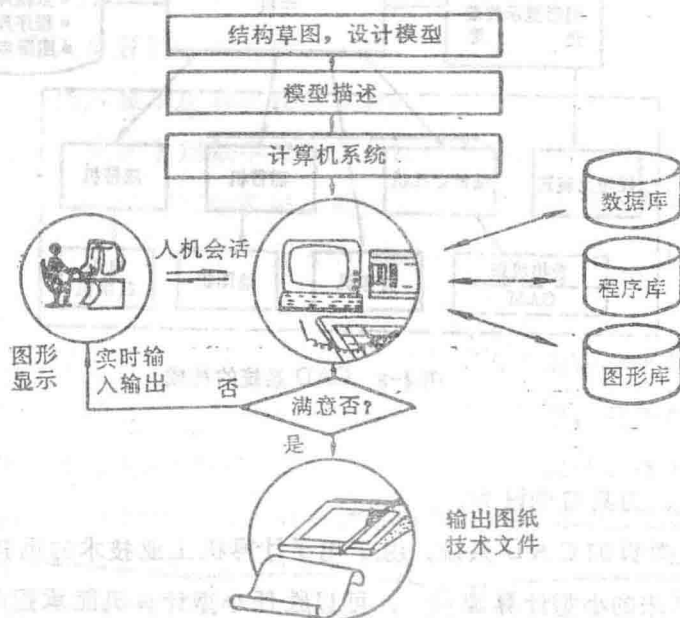


图 4-2 CAD 的工作过程

§ 1—2 CAD 系统的组成

典型的 CAD 系统的构成，如图 1—3 所示。当然对于不同类型产品的不同要求，所需的 CAD 系统硬件也不会有所不同。

目前的 CAD 系统，根据所用计算机的规格性能，大致分为以下四个层次：

① 基于大中型计算机的 CAD 系统，其所需投资费用较昂贵，只有大的公司、企业才承担得起。例如大型汽车制造厂，可采用这种系统进行车身外形、车体及底盘结构、模具等的设计。它可以模拟车辆在各种条件下的状态，分析车辆的安全性能及其它性能，通过大屏幕显示，设计人员可对车身或模具任一部位的设计进行修改，直至满意，然后输出设计图纸及全套技术文件。

② 基于中小型计算机的 CAD 系统，它可以完成一般机电产品如减速器、电机、大

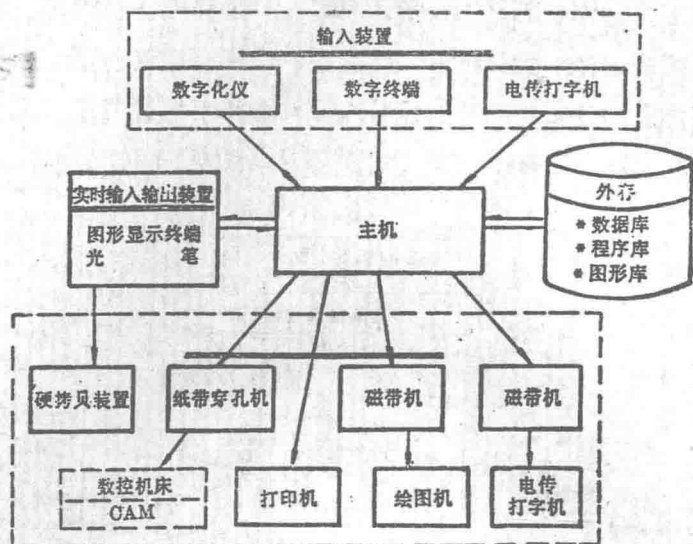


图 1-3 CAD 系统的构成

中规模集成电路、刀具等的设计。

③基于超级微机的 CAD 系统，由于电子计算机工业技术的迅速发展，超级微型机的性能已可与原来的小型计算机媲美，可以胜任小型计算机能承担的工作。

④基于 PC 机的 CAD 系统，由于 PC 微机价格低，配上绘图机、打印机及图形输入板（数字化仪）等，就能构成一个基本的 CAD 工作站（见图 1-4）。它可以满足初步的计算机辅助设计的要求。我国目前发展的以 PC 微机为基础的 CAD，使很多中小企业开展针对本企业产品的计算机辅助设计获得了很大的技术与经济效益。

微机的弱点是：内存有限，运行大型程序有困难。数据运算、处理的功能不够强等。但也有补救的措施，如建立微机局部网络系统等。

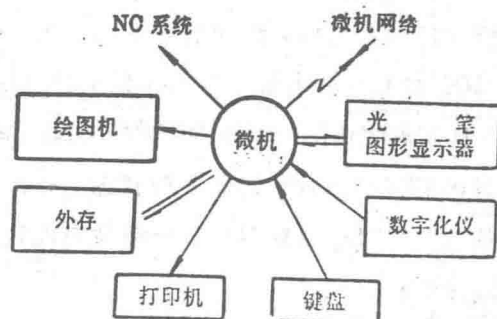


图 1-4 PC 微机 CAD 工作站

§ 1-3 CAD 系统的软件

不同的 CAD 系统需要有不同的支持软件, 各类工程问题的 CAD 软件, 除了各自的特殊要求之外, 尚有一些共同之处。一般有以下方面:

①数据库, 存入计算机中的标准、公式、图表等。

②图形软件, 图形显示及自动绘图软件。

③计算方法库, 包括常用数学方法库及常用典型机械零件设计计算方法库和专用问题方法库, 比如常用的微分方程求解、数值积分、各种曲线曲面拟合、矩阵运算等。这些算法在一些 BASIC、FORTRAN 程序汇编书中已有现成的源程序。

数据库的建立与存取:

一个 CAD 系统, 需将与该类产品或工程问题有关的设计手册、专业标准、计算公式、图表和曲线等各种设计数据存入计算机的存储设备中, 如磁盘、磁带或磁鼓。在进行设计时, 根据需要由人或计算机随时对这些数据进行检索、参阅和引用。为了能准确、迅速、有效地利用这些数据, 方便地对其作增删修改, 并尽可能地节约存储空间, 必须研究数据之间的逻辑关系和数据在计算机存储设备中的组织安排方式, 即要研究数据结构。在这个基础上, 建立数据库系统。

(1) 数据结构

基本概念

人们收集到的数据往往需经组织加工才能真正直接反映客观事物的属性, 将加工后的数据按一定形式进行保存和传递, 以备调用、查询或增删修改。这些工作都是数据处理的内容。

由计算机处理的大量数据, 一般说来并非杂乱无章的一堆数字, 数据间往往存在着一定的逻辑关系。例如在数学中常见的向量、矩阵或更复杂的数据, 可以用一个一维数组、二维数组或多维数组来描述, 从中可以看出一个数组中有多少元素, 哪个元素在先, 哪个在后, 元素间有何结构关系等。如何描述数据的这种逻辑关系, 在输入存储数据时, 如何保证它们的逻辑关系, 这些都需通过数据结构的研究来解决。

数据的结构直接影响数据存取、增删、修改的准确性与速度, 影响程序设计的优劣及计算机潜力的发挥。

例如, 将电话号码簿输入计算机存储进行自动检索, 应当按系统、按单位名子的字典顺序排列, 这样查找就快多了。

例 1、一组直齿齿轮有关数据表的存储，其四个齿轮的各种参数如表 1—1。

表 1—1

齿 轮 编 号	材 料 牌 号	模 数	齿 数	外 径	孔 径	齿 宽
1	20Cr	3	24	78	25	30
2	45	3	38	120	30	30
3	45	2	48	100	25	20
4	20Cr	2	24	52	20	20

表中每个齿轮的信息（材料、模数）项数一样多，故此表可以作为一个二维数组进行处理和存贮，其中的每一项以双下标来标示，（如 $R(i, j)$ ）。也可逐行顺序排列存贮，这时就又成一维数组了。在这两种情况下，每个参数在存贮单元中的位置总是可以确定的。

（2）数据库

a. 数据文件的缺点：

①用户数据逻辑结构不能完全独立于存贮数据的物理结构，文件本身基本上还是对应于一个或有限个应用程序，或者说还是面向应用的，共享性不够好。

②文件中的最小单位是记录，但用户不能直接以记录为单位进行访问，只能访问整个文件。

③文件虽然可以独立于程序，但其形式必须与程序相适应，它仍然是一个不具有弹性的无结构的信息结合，浪费存贮空间，文件不易扩充，修改费时，有时还可能引起不相容。数据库是在文件系统的基础上发展起来的。文件是实现数据库的基础，对数据的任何操作最终都转化为对文件的操作。简单地说，数据库是若干文件的集合。文件又是若干同类型记录的集合。记录则是按一定目的归类的数据项的集合。一个具体的记录相当于数据结构中的一个结点，一个数据项相当于数据结构中的一个字段。

文件的组织方式（简称文件组织）与数据库的物理结构直接有关。文件组织中规定，每个记录中必须有一个能唯一标识该记录的数据项，即这个记录的“码”（Key，也叫关键字）。码是查询记录的依据。例如一个机械零件文件可以其零件编号作为“码”，按照码的值的某一顺序（升序或降序）排列，就是文件的逻辑顺序。根据这一顺序将文件按一定的组织方法存入存贮设备中，就是文件的物理顺序。由于文件组织方法不同，其逻辑顺序与物理顺序的对应关系也不同。从这个意义上讲，文件组织就是

文件在计算机存储设备中的组织安排方式。文件组织方式主要有以下几种：

①顺序文件：顺序文件指物理顺序与逻辑顺序记录一致的文件。凡是存于顺序存取存储器上的文件（如磁带、纸带），都只能是顺序文件。存在顺序存取存储器上的顺序文件只能按顺序扫描法存取。即按照记录码的顺序逐个查找。要检索第 i 个记录，必须检索前面 $(i-1)$ 个记录。

存在直接存取存储器上的顺序文件，可以用顺序扫描法存取，也可用分块查找法或折半法进行随机存取（这时文件记录码的值应是有序排列的）。

分块查找法在查找时不必逐个扫描整个文件。把按码值排列的文件分成若干块，先找到块，再在块内进行扫描查找。

②索引文件

③索引顺序文件

④直接存取文件

b、数据库的特点

数据库具有复杂的数据模型（结构），它要求描述数据时，不仅描述数据本身，还要描述数据之间的联系。这种联系由“存取路径”来实现。能通过存取路径来考虑数据间联系的是数据库与传统文件的根本区别。

数据库从整体观点处理数据。数据不是面向一个应用程序，而是面向系统，故它的弹性大，易扩充，使用数据方式灵活，数据的冗余度（即数据库重复存储的程度）减少，节约存储空间，减少存取时间，还能避免不相容现象。

数据库有三方面的数据控制功能：

①数据的安全性（保密性）：数据库中有密码命令等用来检查用户身份，对不上时将不能查询更不能修改数据库。

②数据库的完整性：包括数据的正确性、有效性、相容性。

③并发控制：其目的是避免并发程序之间相互干扰。

所以数据库是个通用的综合性的数据集合。

数据库的特点是由数据管理系统 DBMS (Data Base Management System) 保障的。数据库管理系统是数据库必不可少的支持软件，是它的核心。

c、数据库管理系统：

数据库管理系统 (DBMS) 是建立、运用和维护数据库时进行集中控制的软件系统。它的构成和工作情况如图 1—5 所示。

DBMS 一般具有以下功能：



图 1-5 数据库管理系统

①数据库定义功能。

②数据库管理功能：包括系统控制、数据存取及更新管理、数据完整性及安全性控制，并发控制等。它保证了用户对数据库数据进行各种应用操作（检索、排序、统计求和等）、数据输出（屏幕显示、打印报表等），输入与更新数据内容。

③数据库的建立和维护功能。

④通讯功能（如联机处理等）。

⑤其它功能，如应用程序的开发、文件管理、存贮变量操作与处理、设备控制等。

DBMS通常由三部分组成：

①数据描述语言及其翻译程序：数据描述语言描述数据之间的联系，把数据存入数据库中。

②数据操纵（查询）语言及其编译（或解释）程序：这是用户用以存贮、检索、修改、删除数据库数据的工具。数据操纵语言一般嵌在如COBOL、FORTRAN等高级语言或汇编语言中，而不单独使用。

③数据库管理例行程序：它因系统而异，一般包括三部分：系统运行控制程序、语言翻译例行程序和DBMS的公用程序。DBMS的功能通过它们来完成。

d、三种常用的数据模型

数据文件只研究记录内部数据项之间的联系。而数据库数据是结构化的，还必须研究记录之间的联系。数据结构的形式，即数据模型，有以下几种：层次模型、网状模型、关系模型和数据独立存取模型。现行数据库系统中，较流行的是前三种模型。

§ 1 — 4 CAD 的分类

CAD 系统有许多形式,按系统的工作方式及功能大致可分为三种:检索型、自动型和交互型。

(1) 检索型

检索型 CAD 主要适用那些基本结构已经定型、有标准部件和结构可以检索借鉴的产品,即标准系列产品(如电机、变压器、标准刀具等)的设计。这些产品的零部件图及装配图等已被转换成代码存入计算机。设计人员根据定货规格要求,通过计算机检索选用各种标准的零部件。也可能对其中的某些关键件进行必要的验算,通过自动绘图机绘图。这种 CAD 系统针对某一类产品、专用性强,不适用于新型产品的开发设计。

(2) 自动型

自动型 CAD,或称自动化设计。是指根据产品性能规格要求,输入基本参数后,不须人工干预,计算机依照既定程序,自动完成全部设计工作,包括设计、计算和优化,输出设计结果(图纸及表格)或数控纸带。它适用于那些设计理论已经成熟,计算公式确定,设计步骤及判别标准清楚、数据资料充分的产品。如电机齿轮减速箱齿轮滚刀等设计。

(3) 交互型

许多产品很难完全具备自动型 CAD 所要求的条件,它们或因为某些特性尚未完全掌握,设计方法待探讨,或资料数据积累不充分,或产品尚未实现三化(标准化、系列化、通用化),所以设计时需凭借设计人员的经验与知识,通过交互型图形系统(光笔图形显示装置、数字化仪等)和人机对话语言,进行“人机对话”,由人工干预方案决策、判断和修改设计等。计算机按照程序进行反复计算和优化设计,得出最佳结构,最后输出图纸、资料等。这种方法将设计人员的智慧及创造力与计算机的特长(高速准确的计算、严密的逻辑判断,巨大的信息容量等)结合起来,适用于新产品的开发设计和修改,所以是目前采用得最多的一种形式。

在实际 CAD 软件系统中,往往根据具体情况,将自动型与交互型 CAD 结合起来运用。

第二章 刀具产品的计算机辅助设计

§ 2 — 1 概 述

工具制造业与汽车、飞机、机床等大型机器制造业相比,经济力量薄弱,CAD技术的应用较晚一些。目前我国工具CAD技术的开发应用尚在起步阶段。但是工具的品种、规格极多,每一种工具都有一定的设计计算工作量,特别是诸如齿轮刀具、拉刀、可转位硬质合金刀具以及其它特形复杂刀具等,其齿形设计、结构设计的工作量更大。大量非标刀具要求工具生产部门尽快摆脱陈旧、落后的设计方法,因此,许多刀具设计者正在利用中、小型计算机开发应用CAD技术。

刀具CAD技术是在齿轮刀具和其它特形刀具的齿形设计计算上起步的。西德和美国在1973年已开始应用,目前美、日及西欧一些国家的主要工具厂的CAD技术已普及应用。我国1990年以成都工具研究所为主,一些高等院校及工厂参加研制的齿轮刀具CAD系统已通过国家级鉴定。一些高等院校及工具厂也不同程度地开发了刀具CAD技术,我院的“刀具CAD”软件去年通过了院级鉴定。一些院校已开设了CAD课程。

§ 2 — 2 刀具CAD的内容与类型

刀具CAD技术的发展是从利用计算机进行刀具齿形设计计算起步的。但是,利用计算机进行刀具齿形设计计算并不是刀具CAD的全部内涵。

传统的刀具设计过程通常需要全部或部分完成下列一些步骤:

- ①按用户信息拟定刀具的设计方案。
- ②确定刀具的结构型式与外形尺寸。
- ③确定刀具切削部分的参数,包括齿形的设计计算,切削角度的确定等。
- ④设计参数的验算与修改。
- ⑤结构设计。
- ⑥制图并规定技术条件。
- ⑦按制造与使用信息修改产品设计。

刀具CAD的完整概念应该是在刀具的整个设计过程中设计人员利用计算机系统进行设计信息处理的总称。这些设计信息处理包括:

①利用计算机的高速运算能力,完成刀具设计中繁琐、复杂的计算。

②发挥计算机的逻辑判断和模拟能力,分析刀具设计的各种方案,以确定最佳的设计参数。

③利用计算机的强大存储能力,大量存储和反馈刀具设计的数据文件。

④利用计算机系统的图象显示和编辑能力输出刀具产品设计的图象和文字信息,并且利用CAD系统的人机对话功能,由设计人员完成产品设计的实时修改。

这样,在刀具产品设计中应用CAD技术,就能把设计人员的经验和智慧与计算机的功能结合起来,这种人机结合的高效能、高质量的设计过程,将大大地克服传统设计过程的缺陷明显地提高刀具设计的水平。

根据CAD系统功能的不同,刀具CAD系统可分为下列几种类型:

(1)自动设计型CAD系统。这种系统的作业过程通常只需要设计人员输入必要的初始数据计算机系统便可根据设计目标快速地检索或计算出设计参数,并按要求自动地绘制刀具产品图。按照作业的内容,这种CAD系统又可分为检索型CAD系统和计算型CAD系统。检索型CAD系统的作业基础是某种标准或定型刀具的标准化、系列化图纸转换成的图形信息和数据库,并按检索程序工作,具有选择和试凑的能力。计算型CAD系统的作业基础是优化计算,包括设计目标的数学模型、优化程序以及必要的数据和图形信息,运行结果可以输出经过优化的设计参数和产品图。所有自动设计型CAD系统均属于专用设计系统,而且图形修改功能薄弱是一种初级的CAD系统,仅适用于设计对象已经标准化、系列化或者能用数学形式描述的一类刀具。

(2)交互设计型CAD系统。一些刀具的设计过程具有多方案选择的特性。在设计过程中,不仅需要利用计算机系统的信息处理功能,而且还需要在设计人员与计算机之间建立起信息交流的渠道,使得设计人员能够运用自己的经验和计算系统的信息反馈,进行实时设计和修改,直到取得满意的结果。这种具有人机对话功能的CAD系统,称为交互设计型CAD系统,这是一种比较完善的CAD系统。有经验的设计人员在多种功能很强的支撑软件,数据库和程序库的支持下,可使刀具设计取得比较满意的效果。

(3)人工智能型CAD系统,也称专家系统。这是人工智能应用于产品设计和工程设计领域的一项先进技术。和其它产品设计一样,刀具设计(特别是复杂、大型刀具设计)中,不仅含有计算性数据处理,还含有相当数量的方案选择知识咨询和其它非计算性数据处理,需要集中多学科的知识丰富的经验,以便通过高水平的分析思考和判断推理作出合理的决策。这些工作是常规CAD方法难以实现的。人工智能型CAD系统

则可通过汇集本学科专家们的知识与经验,并且运用这些知识和计算机信息处理的反馈,象专家们思维一样,进行逻辑演绎和推理,解决一般设计人员难以解决的问题,使得产品设计始终能在专家级(甚至高于专家个体)的水平上进行。这种CAD系统目前还不很成熟,应用实例也很少,但是正在取得进展,而且肯定具有很大的技术潜力。

§ 2 — 3 刀具CAD系统的硬件和软件

刀具CAD技术的应用,需要一定的支持环境,也就是说需要配置相应的计算机硬件和软件系统。

建立一个具有人机对话功能的交互型CAD系统,需要具备中央处理机、内外存贮器、适用的输入输出设备(磁盘机、键盘、高分辨率图形显示器、高速打印机和自动绘图机等),以及用作人机对话的输入设备(数字化仪、或光笔、鼠标、控制杆、轨迹球等)。它可以有三种类型:一是在大、中型计算机网络上配置交互式图形工作系统,即所谓构造式系统;这种系统的资源丰富、功能强、运行速度快,但是投资高。二是以小型机或32位微机为中央处理机的,具有较大内存和很强交互功能的成套式独立图形工作系统(必要时也可以连成网络,以共享资源和扩大内存能力),即所谓“交钥匙”系统或分布式系统;这是当前CAD/CAM系统的主流。三是以一般16位微机为中央处理机的微机CAD系统;这种系统的内存较少,运行速度低,但是价格便宜,投资七、八万元就能购置1套具有一般功能的微机CAD系统。图2—1表示一套微机CAD系统的基本硬件配置。

软件是发挥CAD系统功能和效率的关键。CAD系统的软件主要包括系统软件和应用软件两类。系统软件主要是针对计算机本身的,有操作系统、语言加工系统、数据库管理系统和诊断修复系统等软件。应用软件是针对用户的有绘图软件、工程计算通用软件、人机对话软件(这些软件也称CAD的支撑软件),以及针对具体产品的设计程序库、数据库、图形库、字符库等。系统软件通常随机配置;支撑软件则按用户需要而定。有许多商品化的支撑软件可供选择。但是针对具体产品的CAD应用软件则需要专门开发。图2—2列出了刀具CAD系统的基本软件。

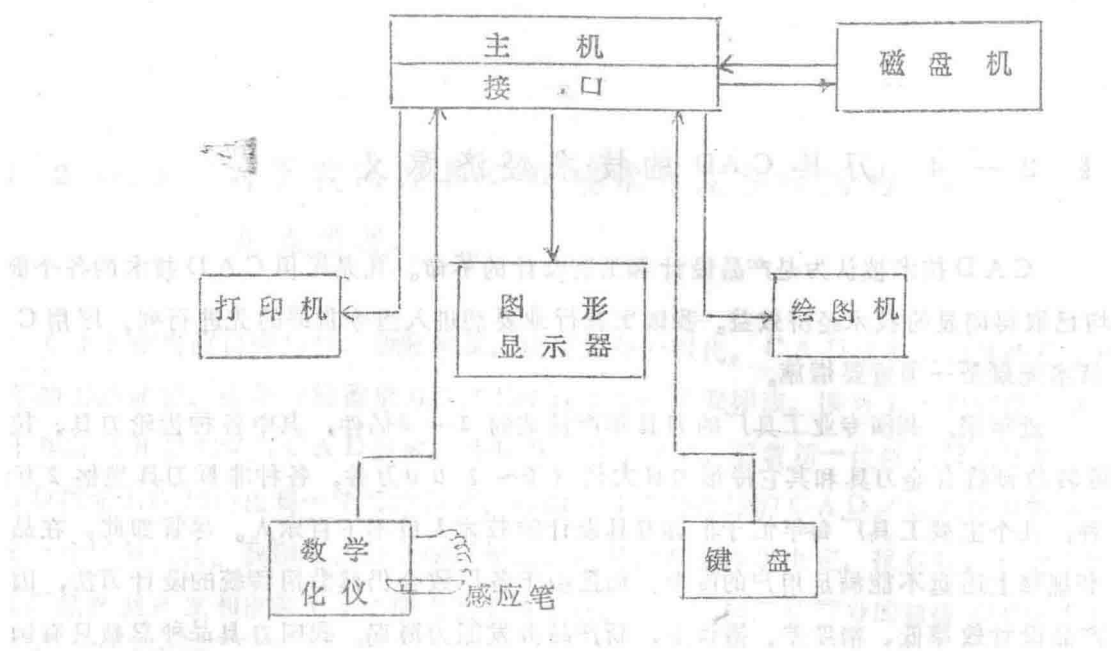


图 2-1 微机 CAD 基本硬件配置

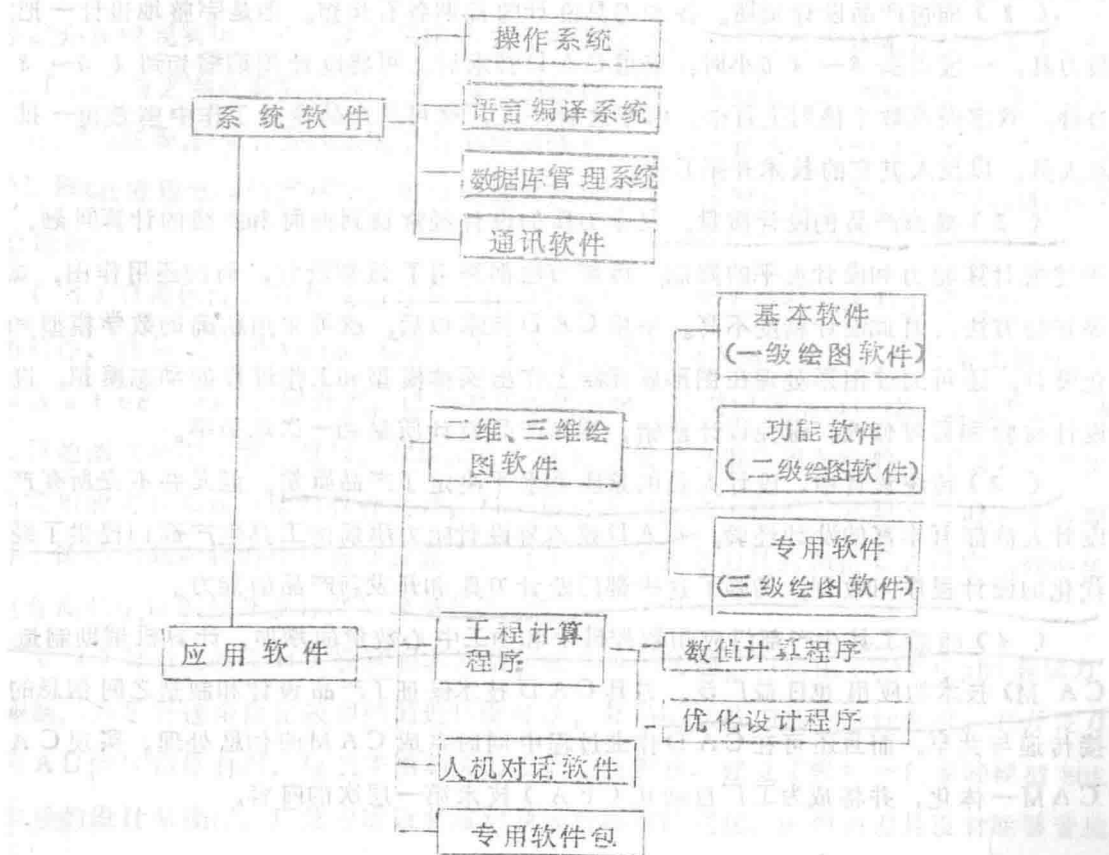


图 2-2 刀具 CAD 系统的基本软件