

计算机 辅助制造

杜 裴 唐 晓 青
聂 秋 根 乔 立 红 编 著



北京航空航天大学出版社

1.73

计算机辅助制造

杜 裴 唐晓青
聶秋根 乔立红 编著

北京航空航天大学出版社

前 言

当前我国许多行业都在大力推广CAD/CAM技术,主要应用于机械制造、电子电器、服装和建筑等行业。航空航天部门由于其科研生产的特点,更加重视CAD/CAM技术的科研开发与推广应用。CAD/CAM是一门高新技术,发展快,文献多。本书力图以较少的篇幅,较少的学时,全面扼要地介绍CAD/CAM基本原理、实现方法和发展概况,为本科学生提供一本符合教学大纲要求的教材。

本书由北京航空航天大学杜裴、唐晓青、乔立红和南昌航空工业学院聶秋根合作编写,其中,第一、九章由杜裴编写、第二、三、四章由唐晓青编写,第五章由聶秋根编写,第六、七、八章由乔立红编写,杜裴任主编。

本书稿由清华大学王先逵教授审阅并提出许多宝贵意见,在此谨表谢意。

编 者

1995年10月

目 录

第一章 引 论	(1)
§ 1-1 高技术与计算机集成制造	(1)
§ 1-2 生产自动化与计算机辅助制造	(2)
§ 1-3 制造过程中的 CAD/CAM	(2)
习 题	(7)
第二章 CAD/CAM 系统	(8)
§ 2-1 概 述	(8)
§ 2-2 硬件配置	(13)
§ 2-3 图形显示器	(17)
§ 2-4 输入设备	(20)
§ 2-5 输出设备	(24)
§ 2-6 CAD/CAM 软件系统	(26)
§ 2-7 CAD/CAM 数据库	(27)
习 题	(33)
第三章 计算机图形处理	(35)
§ 3-1 交互式计算机图形软件系统	(35)
§ 3-2 图形生成	(39)
§ 3-3 图形变换	(44)
§ 3-4 图形处理中的各种技术	(52)
习 题	(55)
第四章 几何模型的建立及表示方法	(56)
§ 4-1 几何造型和系统分类	(56)
§ 4-2 二维图形系统	(56)
§ 4-3 三维几何造型及计算机内部表示	(59)
习 题	(79)
第五章 机床数字控制及数控加工程序编制	(80)
§ 5-1 机床数字控制	(80)
§ 5-2 数控加工程序编制	(87)
§ 5-3 机床数字控制技术的发展	(113)
习 题	(116)
第六章 工业机器人	(119)
§ 6-1 工业机器人及其应用	(119)
§ 6-2 工业机器人的组成及基本运动	(124)
§ 6-3 工业机器人的控制	(130)

习 题.....	(134)
第七章 成组技术和计算机辅助工艺过程设计	(135)
§ 7-1 成组技术的概念及零件的分类和编码	(135)
§ 7-2 成组技术的应用	(142)
§ 7-3 计算机辅助工艺过程设计	(147)
习 题.....	(184)
第八章 计算机过程控制	(185)
§ 8-1 过程控制的基本概念	(185)
§ 8-2 制造过程控制方式	(188)
§ 8-3 加工适应控制	(190)
习 题.....	(194)
第九章 计算机集成制造系统	(195)
§ 9-1 柔性制造系统	(195)
§ 9-2 计算机集成制造系统	(201)
习 题.....	(209)
参考资料	(210)

第一章 引 论

§ 1-1 高技术与计算机集成制造

80年代以来,世界各国都在高技术领域展开激烈竞争。美国率先提出战略防御计划,预计耗资上万亿美元。这是美国历史上的第三次大动员。第一次曼哈顿计划仅花费24亿美元,使人类进入了核能的新时代;第二次登月计划花费240亿美元,开创了人类利用太空的新纪元。战略防御计划预计的投资远大于前两次,计划规模之大,内容之广泛也远胜过前两次。这个计划对推动高技术发展起了很大作用。继美国之后,西欧各国也迅速行动起来了。1985年4月法国提出尤里卡计划(EURECA, European Research Coordination Agency),得到西欧19个国家响应,成为西欧高技术合作发展计划,旨在实现欧洲技术振兴,该计划已进入实施阶段。

我国在1986年确定高技术研究和发展计划,即通常所称的863计划。我国发展高技术的战略包括7个领域,即生物工程、电子信息技术、激光技术、航天技术、自动化技术、新能源和新材料,其中自动化技术领域又包括计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)和智能机器人两个主题。863/CIMS计划按4个层次10个方面开展工作。4个层次是:研究课题、产品预研与关键技术攻关、产品开发和工程应用,其中工程应用是重点。10个方面是指10个与CIMS相关的技术,即软件工程与标准化、体系结构、总体及集成技术、CAD、CAPP、柔性制造技术、管理与决策信息系统、质量保证技术、网络与数据库技术、系统理论与方法。

世界各国的高技术计划所包含的内容大体上相似。如日本的高技术计划包括电子技术、新材料、生物工程,以数控机床、工业机器人、计算机辅助设计及制造等为基础的新生产体系和以宇航、海洋开发、原子能等为基础的巨大系统技术等5个领域。

世界各国的高技术计划,对信息技术都特别给予重视,如欧洲共同体制定的欧洲信息技术研究发展战略计划(ESPRIT, Europe Strategic Planning for Research in Information Technology),包括微电子技术、软件技术、先进的信息处理技术、办公自动化和计算机集成制造等5个部分。

所有国家的高技术计划都很重视制造技术自动化。计算机集成制造系统是制造技术自动化的发展方向。这一方面是由于40年来CAD/CAM各项技术的发展,如机床数字控制(NC, Numeric Control)、计算机辅助设计(CAD, Computer Aided Design)、计算机辅助工艺过程设计(CAPP, Computer Aided Process Planning)、计算机辅助制造(CAM, Computer Aided Manufacturing)、柔性制造系统(FMS, Flexible Manufacturing System)和制造资源计划(MRP II, Manufacturing Resource Planning)等的进展,为计算机集成制造提供了技术基础;另一方面是由于世界市场竞争加剧,为了从竞争中求生存,求发展,必须加快产品更新换代,提高质量,降低成本。凡此种种,客观上对CIMS产生巨大需求,促进了CIMS的发展。

§ 1-2 生产自动化与计算机辅助制造

生产方式的变革总是经过逐步积累,由渐变引起突变。从生产技术上,工业生产经历了手工劳动、机械化生产和刚性自动化生产三个发展阶段。目前正在进行第四个发展阶段的变革,即柔性自动化(Flexible Automation)发展阶段的变革。

用机器体系代替手工劳动生产是在 1785 年随着蒸汽机在纺织工厂使用而开始的。1873 年出现的第一台凸轮控制车床,开始了机械制造自动化的进程。1910~1920 年美国福特汽车公司通过设计制造大量专用机床,首先建立生产流水线,创造平均每分钟生产一辆汽车的纪录,并使生产成本大大降低。40 年代后期,人们利用机械的、电气的和液压的自动化装置,设计制造出各种高效的自动化机床,并用自动输送带将各个单独的机床联结成自动生产线,从而使以单一品种大量生产为特征的刚性自动化生产达到成熟阶段。自动化生产对提高劳动生产率、保证产品质量、降低产品成本和推动社会进步起了不可估量的作用。

随着社会发展进步,需求愈来愈多样化,产品生命周期愈来愈短,质量要求愈来愈高。客观上要求多品种小批量生产,要求缩短生产试制和生产准备周期,以求得在激烈的市场竞争中生存和发展。柔性自动化正是在这样的社会背景下诞生、成长和壮大的。

柔性自动化始于 20 世纪 50 年代。1952 年美国首先研制成三坐标数控铣床,用于飞机零件生产,解决了单件小批生产自动化问题,开创了将计算机应用于机械制造的新时代。为了提高数控机床的使用率,摆脱手工编制数控加工程序慢和易出错等缺陷,美国于 1954 年完成第一个自动编程工具 APT(Automatically Programmed Tools)的研究,用一种特定的计算机语言描述零件几何信息和工艺信息。用计算机语言描述零件几何信息是计算机辅助设计的基础。60 年代发明的图形显示器,开辟了计算机辅助设计人机交互的图形渠道,成为当今 CAD 的基础硬件之一。此后,随着小型计算机和微型计算机的相继问世,CAD 进入了更多的应用领域。

随着 CAD 和 CAM 技术的发展,人们开始考虑二者的集成。70 年代中期开始出现单一产品的 CAD/CAM 集成系统。1974 年美国约瑟夫·哈林顿(Joseph Harrington)提出计算机集成制造(CIM, Computer Integrated Manufacturing)概念,并被学术界和工业界接受。现在,对 CIM 的研究和实施已成为世界范围的热点。

“制造”这一术语,可以从广义和狭义两方面来理解。狭义的制造是指按工程图纸上的信息制造出可以实际使用的产品,如把铸铁铸成铸件,把铸件加工成零件,把零件装配成机器等都是制造。广义的制造则还包括产品设计、经营管理和销售服务等。

§ 1-3 制造过程中的 CAD/CAM

计算机辅助设计是指将计算机系统用于产品设计过程中方案的建立、分析、修正及优化等一系列设计活动中。计算机系统是由能够满足用户设计要求的硬件和软件所组成的。硬件包括主机、图形显示器、键盘及其他外围设备。软件包括在系统上实现图形显示的计算机程序及能够满足用户工程要求的应用程序。这些应用程序包括:零件应力应变分析、机构动态响应和零件数控编程等。不同用户的产品特征、制造过程及销售市场不同,不同用户对 CAD 系统的要求也不同,CAD 系统的应用程序也有所区别。

计算机辅助制造是指将计算机用于制造过程的控制、生产计划及管理等活动。计算机辅助制造的应用领域分两大类：

1. 计算机监控——将计算机直接与制造过程连接起来，以实现对制造过程的监测与控制，也可称为直接应用。

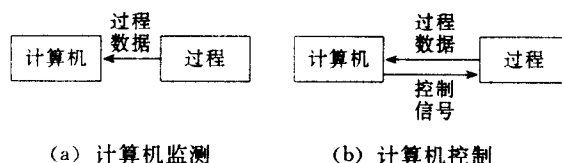
2. 支持性应用——计算机用于支持工厂的生产活动。在计算机与生产过程之间并无直接接口，也可称为间接应用。

下面阐述这两种应用的主要方面。

计算机监控分为监测与控制两类。计算机监测就是在计算机与制造过程间有直接接口，对制造过程及设备工况进行监测并采集数据，但计算机不直接参与控制。控制过程仍由操作者根据计算机处理后的信息来完成。

计算机过程控制比计算机监测向前迈进了一步，它不仅对制造过程进行监测，而且基于监测数据对制造过程进行控制。

过程监测与过程控制间的区别如图 1-1 所示。在计算机过程监测中，制造过程与计算机之间的信息为单向流动。信息从制造过程送往计算机。而在计算机控制中，制造过程与计算机之间的信息为双向流动。信息从制造过程送往计算机，计算机进行综合分析，并根据预定的控制算法，向制造过程发出控制信息。



在计算机辅助制造中，除计算机监控等直接应用外，还有许多计算机在工厂生产中起支持性作用的间接应用，此时，计算机不直接与制造过程相连接，而是起“助手”或“参谋”作用。例如：

计算机辅助工艺过程设计——用计算机进行产品零件制造工艺过程或产品装配工艺过程设计。

计算机数控加工程序编制——用计算机来自动完成数控机床加工程序的制定。

计算机自动选择切削参数并确定工时定额。

计算机自动确定材料消耗定额。

计算机制定生产调度计划。

计算机辅助工艺装备设计。

CAD 或 CAM 各自包括哪些应用方面，有些是有确定界限的，如设计过程中的产品建模、有限元分析和自动绘图属于 CAD；制造过程中的机床控制和物料运输控制属于 CAM。有些工作如计算机辅助工艺过程设计和计算机辅助工艺装备设计等，有些学者把它列入 CAD 领域，有些学者把它列入 CAM 领域，还有一些学者把它另立为计算机辅助生产工程领域(CAPE, Computer Aided Production Engineering)。这些不同的划分方法，没有实际影响。

为了更好地了解 CAD/CAM 在制造过程中的应用，先看一下没有采用计算机前的产品设

计与制造的各环节之间的关系。图 1-2 给出了这种关系。生产是由用户市场驱动的。根据市场需求产生设计构思。工程设计完成设计的每一个细节,并以工程图表达。接着进行产品零件和部件的制造和装配工艺过程设计、工艺装备设计与制造,并制定生产调度计划。一切生产准备就绪后,就开始加工制造。质量控制部门负责质量保证。

生产过程环节采用计算机后的生产过程流程图如图 1-3 所示。采用 CAD/CAM 后使图 1-2 的各个环节进行得更快、更好,可获得更高的效益。

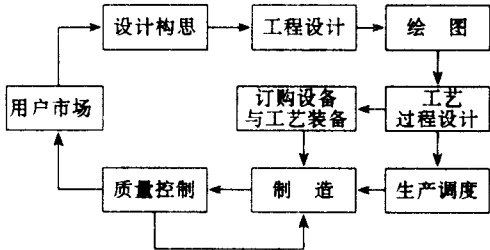


图 1-2 一般生产过程流程图

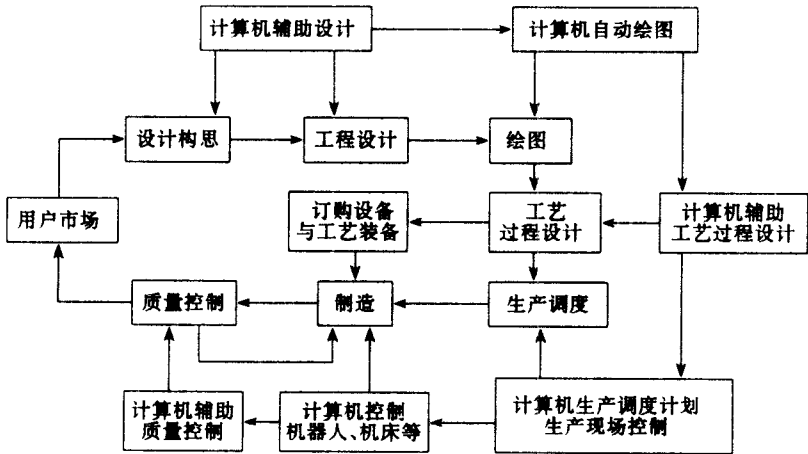


图 1-3 采用 CAD/CAM 的生产过程流程图

从原则上说,自动化技术和 CAD/CAM 对各类企业都是可用的。但是,不同生产类型和不同产品对象的企业,采用的自动化手段却是有区别的。

企业生产分连续型生产和离散型生产两大类。石油化工、钢铁和电力等企业为连续型生产,机械制造企业为离散型生产。本书所讨论的问题是针对于离散型生产的机械制造业。离散型生产按产品生产纲领又分为大量生产、成批生产和单件生产。成批生产又细分为大批生产、中批生产和小批生产。机械制造业的大多数企业为中、小批生产。随着社会的发展,机械制造业将进一步向多品种、小批量生产发展。早期的自动化技术主要应用于连续型生产和大量生产。CAD/CAM 技术则主要是根据中、小批量生产需求而产生和发展的。表 1-1 给出了四种生产类型的主要特点。图 1-4 给出了这四种生产类型的产品品种与产量间的关系。在图 1-4 中可以

看到,这四种生产类型之间有一定的重叠。

表 1-1 四种生产类型的特点

类 型	特 点
连续流水作业	产品连续专业化生产,如化工厂和石油精炼厂
大量生产	产品大量专业化生产,型号变化有限,如某些汽车和机械零件
成批生产	产品在一定周期内生产一批或多批,如大多数机械产品、服装、图书等
单件生产	常常是特定产品或专用设备的生产,如制作样机、专用机床或其他专用设备制造,根据用户订货单独制造

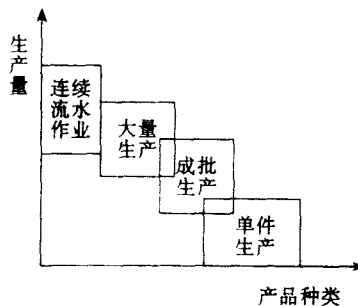


图 1-4 四种生产类型产品品种与产量关系图

表 1-2 列出了四种生产类型企业所采用的一些重大自动化技术。多年的研究和实践表明,对连续型流水作业企业应采用机械化、自动化的生产线,使生产能有节拍地、自动地、连续地进行。对于离散型大量生产企业,应尽量采用专用机床、组合机床及传送带,按流水线方式组织生产。成批生产企业要尽量提高工件在机床上加工时间的比例,减少生产中材料运输时间、工件运输时间和等待时间。单件生产企业则应尽量提高机床自身的自动化程度及对产品的适应性。

过去,自动化生产技术应用范围只限于加工操作及工件运输,而 CAD/CAM 技术则特别强调计算机在各个方面的应用,其使用范围不仅包括加工过程控制,而且包括设计以及生产计划安排在内的一切与产品生产有关的工作。

为了更清楚地说明应用各种自动化手段的技术经济因素,我们将分析在产品生命周期内生产全部产品和平均生产每一台机械所花费时间的数学模型,并从这一模型中推导出各种自动化手段的适用条件。这是一个包括产品设计、生产计划和制造过程所需时间的模型。

令 T_1 是生产一台机械所需时间。它是生产这一台机械所有零件的全部加工时间、装配时间、检验时间和产品包装时间的总和。

令 T_2 是与生产一批产品有关的时间。 T_2 包括原材料采购、批生产计划安排及每一道工序的准备终结时间等所需的时间。如果批量很大,接近大量生产的产量,则 T_2 平均到本批产品中每一台机械上的时间就不很重要。如果批量很小,接近单件生产,则 T_2 平均到本批产品中每一台机械上的时间就相当重要。

令 T_3 是与生产一种产品有关的时间。 T_3 包括产品设计、工艺过程设计、专用工艺装备设

计与制造以及成本估算等所需的时间。

表 1-2 四种生产类型的自动化技术

连续流水作业	自始至终流水线作业 传感技术用于监测或监控 综合控制与优化策略的应用 全部实现计算化操作
大量生产	组合机床和自动机床 自动传输装置 局部或全部自动化装配 机器人用于焊接、喷漆 计算机过程监测或监控
成批生产	数字控制机床(NC, Numerical Control) 计算机数字控制(CNC, Computer Numerical Control) 直接数字控制(DNC, Direct Numerical Control) 自适应控制 机器人的应用 柔性制造系统 计算机集成制造系统
单件生产	数字控制机床 计算机数字控制

令 B 为产品生命周期中所生产的产品批数, 令 Q 为每批生产的产品台数。为了简化, 可将 Q 视为常数, 即每批均生产相同数量的产品。这样, 在产品生命周期中所生产的产品总台数为 BQ 。

在产品生命周期中生产产品花费的全部时间 TT_{LC} 为:

$$TT_{LC} = BQT_1 + BT_2 + T_3$$

在产品生命周期中花费在每一台机械上的时间 T_{LC} 为:

$$T_{LC} = T_1 + T_2/Q + T_3/BQ$$

在大量生产和成批生产中, T_2 和 T_3 可分配给所生产的为数众多的产品。随着产量增加, 其值将显得不甚重要, 而 T_1 将成为最重要的一项。在单件和小批生产时, 由于产品生产数量少, T_2/Q 和 T_3/BQ 两项就会很可观。当只生产一台机械时, T_2 和 T_3 将在产品成本中占显要地位。刚性自动化和柔性自动化的目的都是要减少产品生命周期中各种时间的花费。刚性自动化的实质在于减少 T_1 和 T_2 两项, 尤其是应缩短单件生产时间 T_1 。CAD/CAM 技术对所有三项因素都能产生影响, 对 T_2 和 T_3 的减少更起显著作用。CAD/CAM 技术能使设计与制造形成一个连贯的集成系统, 而在过去的一段时间中, 设计和制造是被分隔开的。

表 1-3 列出 CAD/CAM 技术的发展。

表 1-3 CAD/CAM 发展

交互式计算机图形系统
彩色图形系统
动态计算机图形
产品几何造型
工程设计分析(应力应变分析)
自动绘图
零件分类编码
设计检索系统
产品特征造型
设计与制造数据库
计算机辅助工艺过程设计
计算机辅助工艺装备设计
工时定额计算
制造资源计划(MRP I)
机床数字控制
数控自动编程
计算机数字控制(CNC)
直接数字控制(DNC)
工业机器人
工业控制器
计算机质量控制
物料运输系统
柔性制造系统(FMS)
产品数据交换标准
计算机集成制造系统(CIMS)
智能制造系统

习 题

1. 863 高技术计划的主要内容是什么?
2. 简述机械制造自动化发展史。
3. CAD/CAM 主要内容有哪些?
4. CAD/CAM 主要应用于何种生产类型?

第二章 CAD/CAM 系统

§ 2.1 概 述

一、CAD/CAM 系统组成

这里“系统”是指为一个共同目标组织在一起的相互关联部分的集合。一个完整的 CAD/CAM 系统是由计算机硬件和计算机软件构成的。设计人员通过人机交互或批处理的方式来控制和操纵 CAD/CAM 系统的运行过程,从而完成产品设计及其他有关的任务,如产品模型设计、设计计算、工程分析、绘图、模拟和编制数控加工程序等。

CAD/CAM 系统的计算机硬件包括各种类型的计算机、存储设备和输入输出设备。典型的 CAD/CAM 系统硬件结构如图 2-1 所示。一个 CAD/CAM 系统的功能范围在一定程度上取决于它所采用的计算机的类型、通讯方式、运行速度和容量、外部设备的功能和数目以及硬件整体配置水平等。CAD/CAM 系统硬件的选择不仅要适应 CAD/CAM 技术发展水平,同时

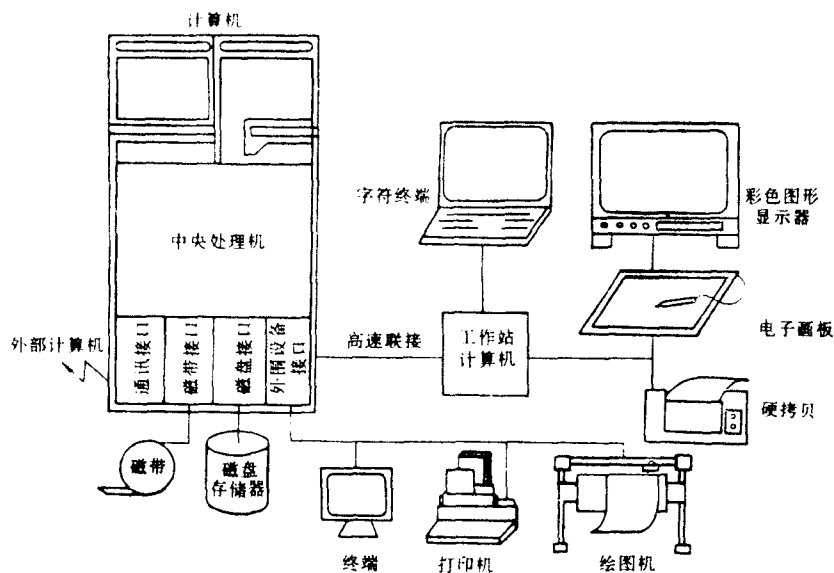


图 2-1 CAD/CAM 系统硬件

应充分考虑该系统的规模、服务对象和应用环境。从应用角度来看,选择硬件系统时除考虑到系统功能、处理速度及响应时间、磁盘容量外,还应注意到经济性、使用方便性、工作可靠性、维

修性、标准化程度和可扩充性以及对工作环境要求等因素。

CAD/CAM 系统的软件是根据系统硬件设备的配置,为适合某一个或多个设计应用领域,能够完成某些特定功能的一组计算机应用程序。一般来说,一个 CAD/CAM 系统的功能水平、工作效率、使用方便性、系统可靠性、可扩展性和集成性等主要取决于软件系统性能。

二、交互式计算机图形系统

现代的 CAD/CAM 系统一般都是以交互式计算机图形系统 (ICG, Interactive Computer Graphics System) 为基础的,以下讨论的均为这类系统。交互式计算机图形系统是一个面向用户的系统,“用户”就是指设计者。设计过程是在设计者和计算机之间交互式进行的,设计者在此起主导作用。设计者通过一些计算机输入设备将数据和命令送入计算机,计算机是以图形或符号形式生成、转换和显示数据,从而实现与设计者的对话。这里,对话是通过图形显示器进行的。

交互式计算机图形系统同样也是由硬件和软件组成的,如图 2-2 所示。其硬件是指主机、存储设备和输入/输出设备。在交互式系统中,输入/输出设备则是一些能实现用户和计算机之间交互功能的装置,包括图形输入设备和图形输出设备。图形显示器就是一种图形输出设备,它是交互式计算机图形系统的重要组成部分。有关交互式计算机图形系统输入/输出设备将在后续章节中详细讨论。交互式计算机图形系统软件除系统软件和工程应用软件外,还包括交互式图形软件,它是由图形显示软件、应用程序和应用数据库组成的,如图 2-2 所示。

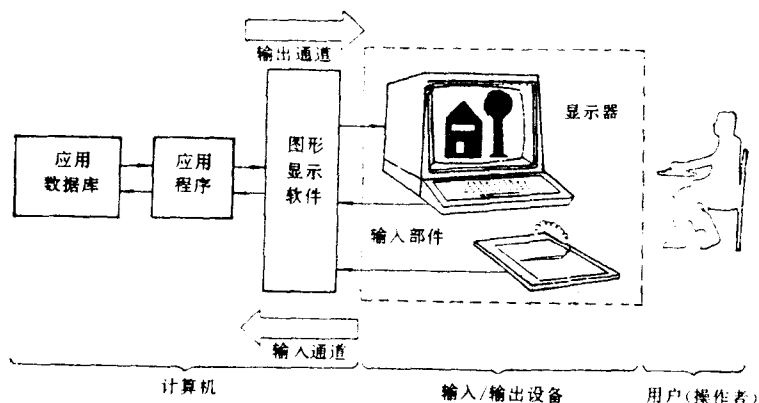


图 2-2 交互式计算机图形系统

图形显示软件是用户和图形显示器间的支持软件。它能处理用户与系统间的交互对话过程,同时也是图形显示设备和应用程序间的接口,在显示设备和应用程序之间进行数据传递和转换,其运行结果是产生显示文件。图形显示软件包含输入处理程序和输出处理程序两部分。输入处理程序可接受来自用户的命令和数据,并将其送入应用程序。输出处理程序可控制图形显示器(或其他输出设备)显示输出来自应用程序的显示文件。

应用程序是针对某一应用领域的,工程设计的应用领域包括:建筑、土木工程、机械设计、电子线路设计、化工、飞机工程等。应用程序用于建立用户的数据结构和向图形输入/输出设备传递图形控制命令。

应用数据库容纳了用户定义的设计模型(电子线路、机械零件、汽车车身等)的数学和逻辑定义。它还包含与设计模型有关的字符信息,如材料用单、质量特性、工程分析数据及其他信息。

在产品的设计过程中,设计者通过与交互式计算机图形系统对话的方式控制和操纵设计过程。可见,若真正发挥交互式计算机图形系统的功能,设计者是必不可少的。

三、CAD/CAM 系统的功能

一般来说,CAD/CAM 系统的主要功能包括:

1. 快速生成二维图形

包括快速完成图形数据计算和二维图形元素的生成,提供对图形元素的添加、删除和修改等编辑功能。

2. 实现人机交互

能够处理交互过程中输入与输出的图形、数据和相关信息,并能根据系统配置的不同为输入/输出设备提供支持。

3. 三维几何形体造型

能够提供直接描述三维物体的有效方法,一般包括:

(1) 线架模型造型

系统应能提供在线架模型造型中描述物体边和棱所需要的基本定义方法,包括空间点的定义、直线段和曲线段的定义以及样条曲线的定义,并在计算机内部生成相应的三维模型数据结构。

(2) 实体造型

系统应具有定义和生成基本三维几何体素(如长方体、圆柱体、锥体和球体等)的能力,以及用体素构造法(CSG, Constructive Solid Geometry)或边界表示法(B-rep, Boundary Representation)构造实体模型的能力,并且能够提供用规则几何形体构造产品几何模型所需要的实体造型技术。

(3) 曲面造型

系统应具有根据给定的离散数据和工程问题的边界条件,来定义、生成、控制 and 处理自由曲面的造型及过渡曲面的拼合,为用自由曲面构造产品几何模型提供曲面造型技术。

4. 二、三维图形的转换

设计过程是一个反复的过程,而在这一过程中,产品三维立体模型与二维视图的转换是不可避免的。从图形系统的角度分析,设计过程也是由三维图形向二维图形转换,由二维图形向三维图形转换的过程。因此,CAD/CAM 系统应具有二、三维图形的转换功能。

5. 三维几何模型的显示处理

系统应具有动态显示图形、消除隐藏线或隐藏面和进行彩色浓淡处理的能力,以便使设计者通过视觉直接观察、构思和检查产品模型。

6. 绘制工程图

在工程设计过程中,绘制工程图是必不可少的工作内容。因此对任何系统来说,除具有在图形显示设备上输出图形的功能外,还应具有在绘图机或其他图形输出设备上绘制工程图的功能。这就要求系统能根据所配置的绘图设备提供绘图支持软件。

7. 运动机构的分析和仿真

系统应具有分析机构运动的能力,即具有对运动机构的运动参数、运动轨迹和干涉检查进行研究的能力,系统还能够实现运动机构的仿真过程,从而为设计人员在设计运动机构时,提供直观的、具有仿真能力的交互式设计技术。

8. 物体质量特性分析

系统应具有根据产品几何模型计算相应物体的体积、表面积、质量、密度、重心、周长以及轴的转动惯量和回转半径等几何特性的能力,为系统对产品进行工程分析和数值计算提供必要的参数和数据。

9. 有限元分析(FEA, Finite Element Analysis)

系统应具有用有限元法对产品结构的静态及动态特性、强度、振动、热变形、磁场强度和流场等进行分析的能力,并能够自动生成有限元网格,特别是复杂的三维模型有限元网格的自动划分能力更为重要。

10. 优化设计

一般来说,CAD/CAM 系统应具有一定的产品设计评价和优化设计能力,如用参数优化法进行方案优选和产品设计的工艺性优化等。

11. 信息处理和信息管理

系统应具有统一处理和管理有关产品设计、制造、装配及生产计划等全部信息(包括相应软件)的能力。或者说,应当建立一个与系统规模匹配的统一的数据库,并能达到自动检索、快速存取和不同系统间的数据交换和传输的目的。

12. 数控编程

系统应具有生成 2、3、4、5 坐标数控加工程序和选择加工参数的能力,并能以图形方式显示刀具运动轨迹,对加工过程进行仿真,从而为用户提供识别、校核刀具运动和刀具干涉检查的手段。

13. 提供与生产管理和制造过程有关的信息

系统应能够随时为生产过程中的各个环节提供产品模型、工程分析数据、制造及装配数据等信息,以实现设计、制造和管理的信息共享。

四、CAD/CAM 系统类型

根据功能的不同,目前市场上的商品化 CAD/CAM 系统大体上划分为两种类型。

1. 通用性系统

这里所说的通用性是指系统本身所具有的功能较齐全,可面向某一领域或多个领域的应用。这类系统的开发者一般是专门制造和销售成套 CAD/CAM 系统的独立公司,采用硬软件成套提供的方式,用户购买整个系统后,安装调试后即可使用,一般称这种系统为 Turnkey System。典型的系统如下。

(1) Intergraph 公司的 CAD/CAM 成套系统

该公司的 CAD/CAM 系统是以 DEC 公司的 VAX 计算机作为中央处理机。软件系统为层次型模块结构,可提供交互图形设计、机械产品设计、参数化设计、PCB 电子设计、有限元分析、数据管理和数控加工处理等功能。该公司的系统可用于土木建筑、电气和机械等许多专业领域。

(2) CV(Computer Vision)公司的 CAD/CAM 成套系统

该公司的 CAD/CAM 系统开始是采用全部自制硬件,目前已取消了专用硬件系统的发展,改用 SUN 工作站。软件系统在三维模型方面很有特色,适用于航空、航天、汽车及模具等复杂产品和零件的设计。该公司的软件系统采用模块式结构,开放性好,可根据用户的要求进行剪裁组合。

(3) CALMA 公司的 CAD/CAM 成套系统

CALMA 公司目前已与 GE 公司合并,改称 GE-CALMA 公司。该公司开发的系统采用通用计算机作为硬件,自行开发软件,系统已用于能源、航空和汽车等领域。

(4) Pro/ENGINEER 系统

Pro/ENGINEER 系统是由 PTC(Parametric Technology Corp.)公司于 1988 年推出的 CAD/CAM 软件系统。该软件系统基于参数化及特征化实体造型技术,大大地改进了设计过程,达到了传统造型技术无法达到的目的。该软件为零件造型提供了丰富的特征库,并提供了从零件到产品设计的装配功能。目前,PTC 公司已形成了 Pro/××× 系列软件产品,用户可根据需要任意组合拼装。

另外,通用性系统的开发者也有一些是 CAD/CAM 系统的用户,一般是规模较大的飞机制造、汽车制造等公司。这种系统的通用性在于它们可以普遍用于该领域。典型的系统有 CADAM、UG-Ⅱ、AD2000 和 EUCLID 等。

(5) CADAM 系统

CADAM 系统是美国洛克希德飞机公司于 1965 年开始研制的,1972 年投入生产使用,1975 年投放市场,目前已有近百家飞机制造公司和其他制造公司引入该系统。CADAM 系统具有较强的绘制工程图的功能,同时还具有对所设计的产品进行几何分析、构造有限元模型和生成数控加工指令等功能。

(6) UG-Ⅱ 系统

UG-Ⅱ (UNIGRAPHICS-Ⅱ)系统是麦道飞机公司于 1984 年推出的商品化 CAD/CAM 系统。该系统的主要软件模块包括:绘制横线框模块、实体和曲面造型模块、装配和零件设计模块、机构设计模块、有限元前后置处理模块、注塑流场分析模块、二次开发工具模块、数据交换和传输模块,以及 3,4,5 坐标数控加工模块等。

(7) AD2000 系统

该系统是在通用汽车公司工作基础上开发的通用 CAD/CAM 系统,1970 年进入市场。该系统可适用于多种计算机,在 CDC 计算机上的版本称作 CD2000,后经扩充及修改,改称为 ANVIL4000 系统。其功能包括:二维和三维几何定义,工程制图,几何分析以及 $2\frac{1}{2}$, 3, 4, 5 坐标数控编程等。

(8) EUCLID 系统

EUCLID 系统是由法国 Matra 集团在 70 年代初期开始投资开发的一体化 CAD/CAM 系统。该系统具有较强的三维造型功能,并有工程分析、产品信息管理、装配设计及加工仿真等功能,可以广泛地用于机械和建筑等领域。

除以上介绍的几个系统外,目前使用较广泛的系统还有:法国达索飞机公司的 CATIA 系统、I-DEAS 等。