



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

模具CAD/CAM

(模具设计与制造专业)

主编 凌萃祥



高等教育出版社

模具 CAD/CAM

(模具设计与制造专业)

主 编	凌萃祥
责任主审	张世昌
审 稿	张冠伟



高等教育出版社

内容简介

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校模具设计与制造专业教学指导方案》中主干课程《模具 CAD/CAM 教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本书主要内容包括：模具 CAD/CAM 基础知识，冷冲模 CAD/CAM，塑料模 CAD/CAM 简介和模具 CAD/CAM 主要实用应用软件介绍等。本书力求体现当前中等职业教育改革精神，实现为中等职业学校培养目标服务。本书针对不同地区的学校在软硬件上的差异，选择了当前具有一定代表性又能达到教学目标的流行 CAD/CAM 软件，着重介绍功能、特点、操作与应用。本书按基本模块、实训模块和选学模块编写，使用方便，可操作性强，适用范围广。

本书可为中等职业学校模具设计与制造专业教材，也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具 CAD/CAM/凌萃祥主编. —北京：高等教育出版社，2002.8（2006 重印）

中等职业学校模具设计与制造专业教材

ISBN 7-04-010273-0

I. 模… II. 凌… III. ①模具 - 计算机辅助设计 - 专业学校 - 教材②模具 - 计算机辅助制造 - 专业学校 - 教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 044982 号

模具 CAD/CAM

凌萃祥 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 人民教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 10.25

字 数 240 000

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2002 年 8 月第 1 版

印 次 2006 年 6 月第 8 次印刷

定 价 12.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 10273-00

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从2001年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校模具设计与制造专业教学指导方案》中主干课程《模具 CAD/CAM 教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

随着计算机技术的日益普及与飞速发展，以计算机为工具的各类应用软件需求得以快速增长，在工业领域使用的计算机辅助设计、制造、分析软件得到了广泛的应用与发展。在模具制造业由于 CAD/CAM/CAE 技术的渗透与大量使用，不仅使工程技术人员摆脱了图板与繁重工程计算的困扰，而且给整个行业带来了新的设计与制造理念，促进了模具制造业的不断进步。本书分为两大模块：（一）模具 CAD/CAM 基础以及 CAD/CAM 的基本知识与系统的基本构成，常用模具 CAD/CAM 软件介绍、模具 CAD/CAM 软件的组成与一般工作流程。（二）当前几种较常用的 CAD/CAM 软件的一般使用方法和应用实例，供各个学校根据自身条件在教学中选用。本教材适用于中等职业学校 3、4 年制模具设计与制造专业及相关专业，也可用作职业岗位培训教材。

本书第一、二章由陈鹤编写，第三章由周志强编写，第四章由张晓红编写，第五章由林萃祥编写，第六章由 4 人合编，最后由林萃祥统稿。

本书通过全国中等职业教育教材审定委员会审定，由天津大学张世昌教授担任责任主审，天津大学张冠伟教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2002 年 4 月

目 录

第一章 概论	1
第一节 CAD/CAM 的基本知识	1
第二节 CAD/CAM 的系统组成	3
第二章 模具 CAD/CAM 基础	6
第一节 CAD 系统软件功能	6
第二节 CAM 软件的工作过程	11
第三节 冷冲模 CAD/CAM 系统	12
第四节 塑料模 CAD/CAM 系统	18
第三章 Mastercam 软件应用	24
第一节 系统简介	24
第二节 造型方法	27
第三节 数控编程	42
第四章 Pro/E 2000i 软件应用	52
第一节 系统简介	52
第二节 基准特征的建立	56
第三节 实体特征的建立	62
第四节 曲面特征的建立	78
第五节 零件设计的修改	81
第六节 数控编程	82
第五章 Unigraphics 软件应用	86
第一节 系统简介	86
第二节 曲线的绘制	93
第三节 特征造型	102
第四节 自由形式曲面	117
第五节 数控编程	122
第六章 软件应用综合实例	131
参考文献	154

第一章 概 论

第一节 CAD/CAM 的基本知识

一、基本概念

CAD/CAM 是计算机辅助设计与计算机辅助制造 (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 的英文缩写, 是一项利用计算机作为主要技术手段通过生成和运用各种数字信息与图形信息, 帮助人们完成产品设计与制造的技术。

CAD 与 CAM 的集成, 改变了传统的设计与制造彼此相对分离的状况, 使之作为一个整体对产品设计制造进行规划和开发, 实现了信息处理的高度一体化。它具有知识密集、综合性强和效益高等特点, 是当前世界上科技领域的前沿课题。

CAD 主要指使用计算机和信息技术来辅助工程师和设计师完成产品的全部设计过程。设计过程是指从接受产品的功能定义开始到设计完成产品的材料信息、结构形状和技术要求等, 并最终用图形信息 (零件图、装配图) 的形式表达出来的过程。

CAM 一般有狭义和广义两种理解, 狭义的 CAM 仅包括计算机辅助编制数控机床的加工指令。本课程 CAM 所述内容一般属于狭义 CAM 范畴。广义的 CAM 则是应用计算机进行制造信息处理的全部内容, 包括采用计算机系统进行生产的规划、管理和控制产品制造的全过程。它既包括与加工过程直接联系的计算机监测和控制, 如控制数控机床、工业机器人, 进行质量的监控; 也包括间接控制, 即利用计算机进行生产经营管理, 提供计划、进度和数据等。广义的 CAM 的具体内容包括编制制造工艺规程和数控机床加工指令、控制数控机床和机器人等工作, 安排生产计划和进度, 制定材料需求计划, 进行车间工段控制和进行质量监控等。

二、发展概况

CAD/CAM 技术的发展, 经历了形成、发展、提高等阶段。

CAD/CAM 较之计算机, 发展较晚, 这是因为在计算机上需用大量数据才能描述各种几何图形, 并要求能将图形输入计算机中, 以及输出到图纸上, 如果没有相应的硬件和软件是难以实现的。

到了 20 世纪 60 年代, 随着第一台滚筒式绘图机以及光笔的诞生, I. E. Sutherland 在《计算机辅助设计纲要》的论文中, 提出了用光笔在图形显示器上实现选择和定位等交互功能, 计算机可根据光笔指定的点在屏幕上画出直线或圆, 且对符号和图形的存储采用了分层的数据结构。随后, IBM 开发了主要用于二维绘图的 CADAM 系统, 通用公司开发了 DAC-1 系统。这一时期 CAD/CAM 共同的缺点是: 规模庞大, 价格昂贵。

20 世纪 70 年代为 CAD/CAM 的成熟阶段,硬件的性能价格比不断提高,开始出现基于小型机的 CAD 成套系统,其特点是硬件和软件配套齐全,因此人们称它为“交钥匙”系统。它与大型机 CAD/CAM 相比,价格相对便宜,使用和维护也相对简单。20 世纪 70 年代末,32 位工作站和微机的出现,为 CAD/CAM 技术的发展起了极大的推动作用。此时,中小企业开始关注 CAD/CAM。

20 世纪 80 年代是 CAD 技术迅速发展的时期,特别是小型机及微机的性能不断提高,价格不断下降,计算机外围设备愈趋齐全,大量成熟的商品化软件不断涌现,图形软件更趋成熟,二维三维图形处理技术、真实感图形技术、有限元分析、优化、模拟仿真、动态景观和科学计算等技术进一步得到了发展。CAD/CAM 技术从大中型企业扩展到了中小型企业扩展,从用于产品设计发展到工程设计和工艺设计。

三、应用

CAD/CAM 技术的发展推动了几乎所有领域的设计革命,CAD/CAM 技术的发展和水平已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。CAD/CAM 技术从根本上改变了传统的手工设计、绘图、描图以及根据图样组织生产的落后状况。CAD/CAM 技术应用的实际效果是:提高设计质量,缩短设计制造周期,产生显著的社会经济效益,使企业的竞争能力和应变能力得到提高。例如,据对日本金属模具制造公司关于 CAD 应用的实际效果的调查表明:由于 CAD 技术的应用,资料收集与调研和设计工作量减少了 50%。美国 ADL 公司对各行业应用 CAD 的效果进行调查的结果表明:大多数行业在应用 CAD 后工作效率提高了 3~5 倍。

在我国 CAD 技术及其应用经历了由引进到开发、由一般到高级、由少数用户到全面普及的发展过程。很多大中型企业和工程设计部门纷纷通过引进或自行开发,建立起适合自己行业特点和工作需要的 CAD/CAM 系统,在设计计算、分析评价和制造监测等方面发挥出重要的作用,取得了良好的社会效益。目前 CAD/CAM 技术广泛应用于机械、汽车、航空航天、电子、建筑工程、轻工、纺织、家电乃至娱乐及体育等领域。在模具行业里,随着计算机容量的增大和运算速度的提高,软件的改进和功能日趋完善,模具 CAD/CAM 的应用不断增长。

我国模具 CAD/CAM 的开发研究,是从 20 世纪 70 年代末期开始的。到目前为止,先后通过国家有关部门鉴定并推广应用的有:华中理工大学开发的精冲模 CAD/CAM 系统、北京机电研究院开发的冲裁模 CAD/CAM 系统、1986 年华中理工大学开发的冷冲模 CAD/CAM 系统和上海交通大学模具研究所开发的冷冲模 CAD/CAM 系统以及华中理工大学开发的注塑模 CAD 系统等。

近年来,AutoCAD、CAXA 和 Mastercam 等软件在模具行业得到了普遍采用,UG-II、Pro/E 等软件在模具行业的应用日趋广泛。

四、CAD/CAM 技术的发展趋势

CAD/CAM 技术的发展方向是集成化、智能化、柔性化、网络化与并行设计,提高系统的实用性和性能价格比,等等。下面简述几个显著的发展趋势。

1. CAD 与 CAM 系统集成

设计、制造及相应的生产与工程管理等各方面存在紧密的联系。为了提高工作效率,人们首先

将 CAD 与 CAM 两个过程有机地连接起来, 实现了 CAD 与 CAM 一体化。这种系统将 CAD 的设计结果直接用于数控仿真和生成数控加工程序, 送数控机床进行自动加工。

在这种一体化系统的基础上, 人们又积极开展计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 的研制。CIMS 系统基于计算机技术和信息技术, 将设计、制造和生产管理、经营决策等方面有机地结合成一个整体, 形成物流和信息流的综合, 对产品设计、零件加工、整机装配和检测检验的全过程实施计算机辅助控制, 从而达到进一步提高效率、提高柔性、提高质量和降低成本的目的。

2. 建立和应用 CAD/CAM 网络环境

目前, 将多台微型机联网或将多台微型机和工程工作站联网, 构成分布式 CAD/CAM 系统, 已成为一种趋势。这种网络系统结构灵活、功能强大、价格较低。每个工作站可单独使用, 也可相互配合, 实现资源和信息共享, 也可实现并行设计和协同工作。这种 CAD/CAM 网络很适合企业的需要。因为企业中的产品设计与制造一般都不是个人行为, 而是一个组或一个科室群体有组织有计划进行的工程项目。参加工作的各个成员必须相互配合, 在规定的权限下共享资源和已有的设计结果, 有关负责人还要对各步的设计结果进行审核。CAD/CAM 网络的建立以及设计管理和协同设计功能的实现, 无疑将大大促进企业经济效益的提高。

3. 人工智能与专家系统技术的应用

设计过程需要大量的设计知识和专家经验。一般的 CAD/CAM 系统都是一种人机系统, 即系统中包含了使用系统的人。使用 CAD/CAM 系统的设计者在系统行为中起着主导和决策的作用。人工智能 (AI)、专家系统 (ES) 和基于知识的系统 (Knowledge-Based System, KBS) 技术的发展及其在设计领域的应用, 为 CAD/CAM 技术的发展开辟了新的途径。

所谓智能 CAD/CAM 系统或基于知识的 CAD/CAM 系统或 CAD/CAM 专家系统, 是一个具有大量知识与经验的程序系统。它采用人工智能技术, 运用知识库中的设计知识进行推理、判断和决策, 解决以前必须由专家解决的复杂问题, 使 CAD/CAM 技术的发展达到一个新的水平。由于知识库中的知识来源于很多专家长期积累的经验, 因此, 一个成功的 CAD/CAM 专家系统的功能非常强大, 并具有解释、推理结论的功能, 故可用于人员培训, 一般设计人员也可以从中学到自己尚不具备的知识。

有人认为 CAD/CAM 便是由计算机代替人完成全部设计和制造工作, 人只需按一下按钮, 启动设计程序便行了, 这种想法是对 CAD/CAM 的一种误解。CAD/CAM 这一名词本身就包含了这样的意思, 即在人可以有效地发挥作用的地方不用计算机, 在计算机可以被有效利用的场合尽量利用计算机, 计算机在设计和制造过程中起辅助作用, 而不是完全取代人的作用。

第二节 CAD/CAM 的系统组成

CAD/CAM 系统由硬件系统和软件系统两大部分组成, 如图 1-1 所示。

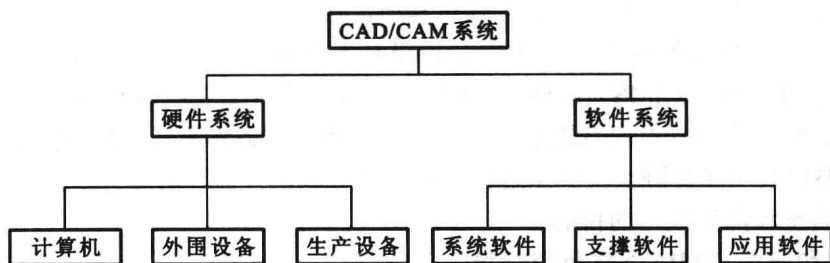


图 1-1 CAD/CAM 系统组成

一、硬件系统

1. 计算机系统

CAD/CAM 计算机系统的硬件包括：主机、外存储器及通信接口等。计算机硬件的核心是主机，主机的类型和性能很大程度上决定了 CAD/CAM 系统的使用性能。主机由中央处理机 (CPU) 和内存储器组成。由 CAD/CAM 系统特点决定，计算机主机应有较高的反应速度、较快的浮点计算速度和图形处理速度，同时应配置大容量的内存存储器。

CAD/CAM 计算机系统的硬件配置按其规模和功能的不同一般有 4 种基本形式。

(1) 主机式 (Mainframe) 其特点是用高性能的大型通用计算机作为主机，用分时方式连接几十个甚至几百个图形终端和字符终端。主机系统配置价格昂贵，仅适应大型企业和科研单位。

(2) 小型机成套式 (Turnkey System) 其特点是具有针对性较强的软、硬件配套系统，无需用户进行新的开发工作，效率较高，但扩展能力差。

(3) 工程工作站式 (Workstation) 工作站是介于个人机和小型机间的一种计算机，通常具有 32 位以上的微处理机、高的浮点运算能力、大的虚拟存储空间、网络通信以及友好的人机交互图形界面。工作站还可组成分布式计算机系统。所谓分布式计算机系统，是指系统中没有主机，而是用局域网将若干个工作站连接起来，工作站之间可以通过网络进行数据通信。工程工作站系统是当前 CAD/CAM 的主要硬件环境之一。

(4) 个人机式 即通常所说的 PC 机，与前述几类相比，PC 机成本低，运算速度和处理能力相对较低，但随着计算机硬件技术突飞猛进的发展，许多诸如 UG - II, Pro/E 等在工程工作站系统应用的软件，已均可在 PC 机的硬件环境下应用。可以相信，在一定的时期内，它将会是中小企业 CAD/CAM 系统采用的主要环境。

2. CAD/CAM 外围设备

CAD/CAM 外围设备主要包括计算机的输入输出设备，与一般的计算机系统相比，它的特点在于偏重于图形。其输入设备除普通的如键盘、鼠标 (一般采用三键鼠标) 外，还采用图形输入板和数字化仪等设备。就输出设备而言，为便于绘图，应尽可能采用大屏幕的显示器，为便于图纸的输出，除打印机外，还需采用绘图机等输出设备。

3. 生产设备

生产设备主要有 CNC 机床和机器人等。

二、CAD/CAM 软件系统

根据在 CAD/CAM 系统中执行的任务及服务对象的不同,可将软件系统分为三个层次:系统软件、支撑软件和应用软件。

1. 系统软件

系统软件越来越趋于开放和标准化,像工作站的 RISC(缩减指令系统计算机)体系结构,UNIX 操作系统,WINDOWS98/WINDOWSNT 操作系统,TCP/IP 网络协议等,都已成为当前 CAD/CAM 系统的通用开发平台。

2. 支撑软件

支撑软件一般为市场上供应的各种商品化 CAD/CAM 系统。它包括图形处理软件、分析模拟软件和工程数据库等。目前市场上供应的如 DUCT, CATIA, UG - II, Pro/E, Intergraph, Computer Vision, CADAMD, Euclid, AutoCAD 和 CADKEY 等,都属于支撑软件。其功能包括:二维绘图、三维线框造型、曲面造型、实体造型、特征设计、真实感图形显示、有限元前后处理、几何特征计算、运动机构模拟、数控仿真与数控加工程序生成、测量编程、工艺过程设计、装配造型、钣金件展开和排样、过程仿真和干涉检查、技术文件和图形文件管理等。分析模拟软件是指各种用于工程分析模拟的软件包,如有限元分析、机构分析模拟、塑料流动分析模拟和冷却分析模拟等。工程数据库用于提供设计和制造所需的材料、标准件和有关设备的参数数据和图形的管理,以方便这些数据的维护和快速查找。工程数据一般具有数据量大、数据之间关系比较复杂和包括图形等特点,对数据库管理系统的功能要求比较高。因此,工程数据库管理系统多年来一直是热门的研究课题。

3. 应用软件

应用软件是指各个行业自行研制开发的专用 CAD 软件,它在不同的专业领域里有不同的内容。这类软件一般由各行业、各企业单位自己开发。对于模具而言,塑料注射模具的 CAD 应用软件包括塑件建模、模具结构设计、流动分析模拟、有限元力学分析、数控仿真和数控程序生成等软件。

第二章 模具 CAD/CAM 基础

CAD/CAM 系统的主要任务是对产品设计、制造全过程的信息进行处理,其功能包括设计、制造中的数值计算、设计分析、绘图、工程数据库的管理、工艺设计、加工仿真和数控指令生成等各个方面。CAD/CAM 是一个有机的统一体,但 CAD 和 CAM 又各有其侧重面。

第一节 CAD 系统软件功能

一、几何建模

产品的设计与制造涉及许多有关产品几何形状的描述、结构分析、工艺设计、加工和仿真等方面的技术,其中几何形状的定义与描述是其核心部分,其他的环节均需它提供基本数据。而将三维的几何形状描述成计算机能够理解(认知)的形式,称为建模。几何建模技术是 CAD/CAM 系统的核心,它为产品的设计、制造提供基本数据,同时,也为其他模块提供原始的信息。几何模型描述的是具有几何特性的形体。它包括两个主要概念,即拓扑元素和几何元素。拓扑元素表示几何模型的拓扑信息,包括点、线、面之间的连接关系、邻近关系及边界关系。几何元素具有几何意义,包括点、线、面等,具有确定的位置和度量值(长度、面积等),这些构成模型的几何信息。几何建模是指在计算机上建立产品及其零部件的几何模型的模型构造技术。产品的几何建模可分为三类:线框建模、曲面建模和实体建模。早期 CAD 系统往往分别对待以上三种造型方法,像 CADKEY 以三维线框为主,DUCT 以曲面设计加工为主,ROMULUS 以三维实体造型为主,目前一般是将这三者有机结合起来。

线框建模是几何建模最简单的一种模型,它使用物体的棱边或轮廓线来表示其形状特征。轮廓线由连接几何形体各点的直线段和圆弧等组合而成。给出各点在空间的位置,并给出各点间的连接关系,就可确定形体的基本形状。由于它仅仅给出物体的框架结构,没有表面信息,故不能进行隐藏线面的消除,不能显示物体的真实图像。

三维线框模型使用比较广泛,能满足多数设计与制造的造型要求。该模型对计算机硬件的要求较低,存储开销小,并能根据三维数据得到所需的二维视图。其不足之处是当物体形状复杂、棱边较多时,容易引起歧义。另一方面,该模型的数据结构缺少边与面、面与体之间的拓扑信息,因而不能构成实体,消隐处理、任意位置剖切和物性计算等很难进行。

曲面模型是在线框模型的基础上增加面与边的有关信息,用物体的表面来表示其形状特征。它给出顶点的几何信息及边与顶点、面与边之间的二层拓扑信息。曲面模型表示的几何对象,其表面可以由若干块平面、二次曲面或参数自由曲面组成,包含各个曲面片的类型、几何参数、插值和拟合的算法以及面间交线的计算方法。对于复杂的曲面物体,通常先构造一线框图,然后通

过扫描或旋转等方式生成曲面，或者用造型系统提供的曲面图素来构造物体的模型。虽然曲面模型比线框模型具有较丰富的形体信息，但未指明物体是实心还是空心，某部分是内部还是外部，只能用于物体外壳的描述。

表面模型可用来构造复杂的曲面物体，能够实现消隐、着色、表面积计算、曲面相交、数控刀具生成和有限元网格划分等。其缺点是用表面模型表示的物体由于缺少面体间的拓扑关系有时会产生歧义，构成模型的操作比线框模型复杂。

实体建模也称体素造型，主要研究如何方便地定义形状简单的几何形体（即体素），以及如何经过适当的布尔集合运算造出所需的复杂形体。

实体模型由于完整地记录了物体的几何和拓扑信息，因此，能够准确地描述一个三维几何形体，容易实现消隐、剖切、有限元网格划分、数控刀具轨迹生成、着色光照和纹理处理等，在 CAD/CAM 中使用比较广泛。该模型的不足之处是存储开销大。

实体模型的表示方法主要有体素法、边界表示法和轮廓扫描法等。体素法 CSG 是利用一些基本的体素（如长方体、圆柱体）等通过集合运算（交集、差集、并集）组合成为产品模型，如图 2-1 所示。

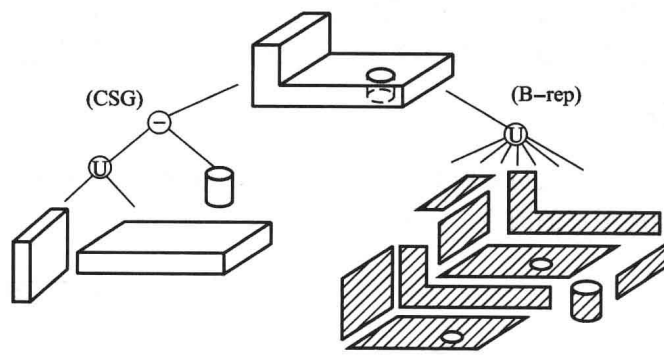


图 2-1 体素法及边界表示法

边界表示法（Boundary Representatin，简称 B-rep）是以物体边界为基础的，定义和描述几何形体的方法（见图 2-1）。轮廓描述法是将一个二维封闭轮廓在空间平移或旋转从而扫描出一个实体，如图 2-2 所示。

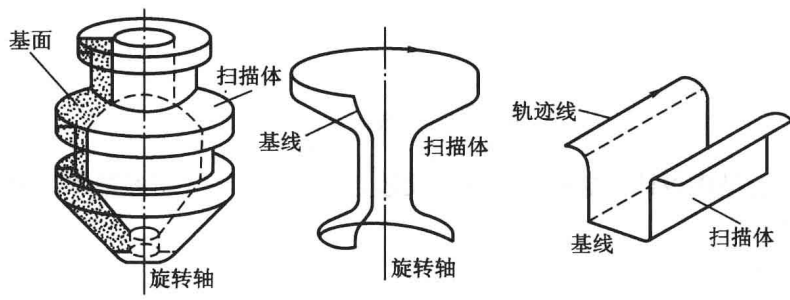


图 2-2 轮廓描述法

三维模型代表了 CAD 技术发展的主流，与二维模型相比具有显著的优越性。波音飞机公司在 777 新型客机的设计中，全面应用了三维实体模型技术，到 1991 年约有半数零件（6 万多件）中的 50% 细节采用三维实体设计，在设计中排除了 50% 的差错，省去了部分样机制造。美国麦道飞机公司用 UG - II 软件来建立整个飞机的电子样机，完全省去了实物模拟和试切工序。

国外历史较久的 CAD 软件，如 CADAM、CATIA、UG - II、Intergraph 等，一般都有三维线框、曲面和实体三种建模方法，且出现了将三种模型有机结合起来，统一灵活使用，三维与二维模型相互协调一致的趋势。后起的软件如 I - DEAS、Pro/E、Euclid 等则侧重于实体模型，主要用体素拼合等局部操作来构造复杂的形体。

二、特征建模

以几何学为基础的三维几何建模，较详细地描述了物体的几何信息和相互的拓扑关系，而这些信息缺乏明显的工程含义。而工程技术人员在产品设计和制造过程中，不仅关心产品的结构形状、公称尺寸，而且还须关心其形位公差、材料性能、表面粗糙度和技术要求等一系列对实现产品功能极为重要的非几何信息。而特征造型是基于产品定义的一种新的造型技术，较之实体造型，它包含了面向设计和制造全过程的丰富的信息。特征造型是几何造型技术的最新发展，它不但完整地表示产品的形状信息而且还包含与产品制造有关的信息。特征造型的基础是几何造型。

三、参数化设计

参数化设计是指工程技术人员所绘制的任意图形可以被参数化，修改图中的任一尺寸，均可实现尺寸驱动，引起相应图形的改变，如图 2 - 3 所示。

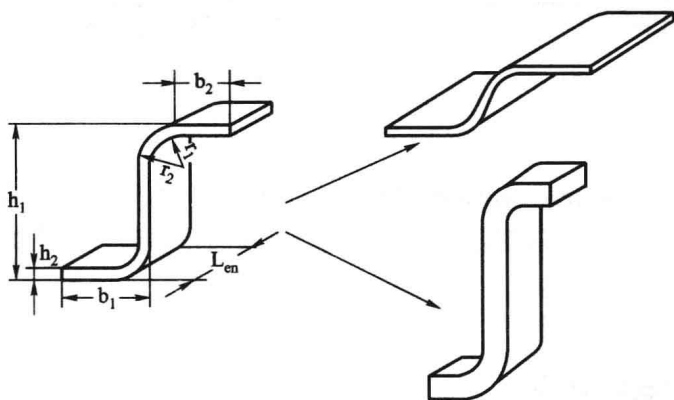


图 2-3 参数化设计

参数化设计一般是指设计对象的结构形状比较定型，可以用一组参数来约束尺寸关系。参数化设计的实现方法有：

- (1) 变动几何法；
- (2) 几何推理法；
- (3) 参数驱动法；

(4) 基于特征的实体造型法。

参数化设计思想最早提出于 20 世纪 70 年代末, 到 1987 年美国的 Parametric Technology 公司推出了以参数化特征设计为基础的实体造型软件 Pro/E 后, 参数化设计得到了广泛的应用。目前, 许多 CAD 系统 (如 UG - II、I - DEAS、Euclid 等) 均有参数化设计功能。

四、计算分析

CAD/CAM 系统构造了产品的形状模型之后, 能够根据产品几何形状, 计算出相应的体积、表面积、重量、重心位置以及转动惯量等, 为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。另一方面, CAD/CAM 中的结构分析需进行应力、温度、位移等计算; 图形处理中变换矩阵的运算; 体素之间的交、并、差计算等; 在工艺规程设计中有工艺参数的计算等等。因此, 要求 CAD/CAM 系统对各类计算分析的算法正确、全面, 而且数据计算量大, 还要有较高的计算精度。

五、工程绘图

产品设计的结果往往是以机械图的形式表现出来, CAD/CAM 中的某些中间结果也是通过图形表达的。CAD/CAM 系统一方面应具备从几何造型的三维图形直接向二维图形转换的功能, 另一方面, 还需有处理二维图形的能力, 包括基本图元的生成, 标注尺寸, 图形的编辑 (如比例变换、平移、拷贝和删除等) 以及显示控制和附加技术条件等功能, 保证生成合乎生产实际要求且符合国家标准的机械图。

六、辅助工程分析

产品设计过程的一个重要环节是分析、计算, 包括对产品几何模型进行分析、计算, 通过应力变形进行结构分析, 对设计方案进行分析、评价等。传统的分析方法一般较为粗略, 因而分析结果不甚可靠。随着计算机技术的不断发展, 已将计算机引入了工程分析领域, 利用计算机辅助工程分析的关键是在三维实体建模的基础上, 从产品的方案设计阶段开始, 按照实际使用的条件进行仿真和结构分析, 按照性能要求进行设计和综合评价, 以便从多个设计方案中选择最佳方案。计算机辅助工程分析通常包括有限元法、优化设计和仿真技术等方面。

1. 有限元法

有限元法是求解复杂工程问题的一种近似数值分析方法。它的基本概念是将一个形状复杂的连续体分解为有限个形状简单的单元, 通过将连续体离散化, 把求解连续体应力、压力和温度等问题简化为求解有限个单元的问题。

有限元法进行工程分析的过程包括: 有限元模型的建立和数据输入即前置处理阶段, 用分析软件进行工程计算阶段和分析结果的判读和评定的后置处理阶段。

有限元法常用来解决结构形状比较复杂零件的静态、动态特性、强度、振动、热变形、磁场、温度场强度和应力分布状态等计算分析。进行分析计算之后, 能将计算结果以图形、文件的形式输出, 例如, 应力分布图、温度场分布图、位移变形曲线等, 使用户方便、直观地看到分析的结果。

2. 优化设计

有限元法可以解决机械中各种零件的应力分析问题, 但这只是设计中的一个验算环节。设计

的最终目的,是要求获得一个满足各种要求的最优方案,这就是工程优化问题。优化设计是以数学规划为理论基础,以计算机为工具,寻求最优参数。优化设计包括两部分内容:

(1) 建立数学模型,选取设计变量,列出目标函数,给出约束条件。

(2) 采用最优化方法,求解数学模型。

优化包括总体方案的优化、产品零件结构的优化和工艺参数的优化等。优化设计是现代设计方法学中的一个重要的组成部分。

3. 仿真

在 CAD/CAM 系统内部,建立一个工程设计的实际系统模型,例如,机构、机械手和机器人等。通过运行仿真软件,代替、模拟真实系统的运行,用以预测产品的性能、产品的制造过程和产品的可制造性。如数控加工仿真系统,从软件上实现零件试切的加工模拟,避免了现场调试带来的人力、物力的投入以及加工设备损坏的风险,减少了制造费用,缩短了产品设计周期。通常有加工轨迹仿真,机构运动学模拟,机器人仿真,工件、刀具及机床的碰撞和干涉检验等。

七、计算机辅助工艺规程设计 (CAPP)

设计的目的是为了加工制造,而工艺设计是为产品的加工制造提供指导性的文件。因此,CAPP 是 CAD 与 CAM 的中间环节。CAPP 系统应当根据建模后生成的产品信息及制造要求,决策出加工该产品所采用的加工方法、加工步骤、加工设备及加工参数。CAPP 的设计结果一方面能被生产实际所用,生成工艺卡片文件,另一方面能直接输出一些信息,为 CAM 中的 NC 自动编程系统接收、识别,直接转换为刀位源文件。CAPP 不仅能实现工艺设计自动化,还能把生产实践中行之有效的若干工艺设计原则与方法,转换成工艺设计决策模型,建立科学的决策逻辑,编制出最优的制造方案。

八、工程数据管理

由于 CAD/CAM 系统中数据量大、种类繁多,既有几何图形数据,又有属性语义数据;既有产品定义数据,又有生产控制数据;既有静态标准数据,又有动态过程数据,因此,CAD/CAM 系统应能提供有效的管理手段,支持工程设计与制造全过程的信息流动与交换。通常,CAD/CAM 系统采用工程数据库系统作为统一的数据环境,实现各种工程数据的管理。

九、二次开发工具

软件的二次开发,是指在现有的支撑软件上,为提高和完善软件的功能,使之更加适合我国国情、符合用户需要而作的软件开发。支撑软件是二次开发的软件环境,二次开发软件是支撑软件的完善与提高。

CAD 系统软件大致可分为三个层次,即系统软件、支撑软件和应用软件,一般来说,支撑软件提供最基本的应用功能,软件的适应范围较广。例如:交互式图形系统提供了图形处理方面最基本的功能,包括基本图素的生成功能和图形的各种交互式编辑功能等,可以广泛应用于各类工程图样的生成。但是支撑软件的功能又不可能设计得很具体。用户的要求是千变万化的,支撑软件只能解决其中带有共性的问题,因此,支撑软件的功能与用户的要求必然存在一定的距离,软件的二次开发就是为了消除这个距离,在支撑软件 and 用户之间架起一座“桥梁”。

此外,在用户带有共性的要求中还存在一定的差别。有些用户还需要对支撑软件的某些功能作一些修改和补充。例如,尺寸标注是工程图样中共同需要的一类图素,一般的交互式图形系统都具有这方面的功能,但由于国别的不同、行业的不同,绘制标准不尽相同,因此,交互式绘图系统提供的尺寸标注功能不可能对所有的用户都适用。又如,文字处理是每个系统必须具备的基本功能,但由于语言的不同,从国外引入的软件没有汉字处理能力,因此,要使某个软件为特定的用户所应用,还必须修改和完善原系统中的一些功能。现在一般支撑软件均提供二次开发的平台。

第二节 CAM 软件的工作过程

狭义的 CAM 一般是指计算机辅助编制数控机床的加工指令。数控加工是指用记录在媒体上的数字信息对机床实施控制,使它能自动执行规定的加工过程。数控加工是 CAD/CAM 技术中最能明显发挥效益的生产环节之一。

数控机床简称 NC 机床,是一种新型的自动化机床,与通用机床相比,它的一个重要的特点是:当加工对象改变时,一般不需要对机床设备进行调整,只需更换一个新的控制介质(程序)。

要使数控机床能自动执行规定的加工过程,就需编制加工程序。加工程序的编制,一般须经过工艺方案分析、工序详细设计、运动轨迹的坐标值计算、制备控制介质以及程序校核、后置处理和加工过程模拟等步骤。

一、工艺方案分析

在分析零件图样、生产批量和现有数控设备条件的基础上,首先分析并拟订工艺方案,即确认加工对象是否适宜于数控加工、毛坯的选择、工序的划分以及选用合适的机床。通常那些形状比较复杂、中小批量、精度一致性要求高以及在普通机床上加工需要复杂的专用夹具的零件,较适宜于数控加工。

二、工序详细设计

工艺方案确定后,还须对工件的定位与夹紧、工步划分、刀具选择、切削用量的确定和走刀分配等工序进行详细设计。

数控加工对刀具有较高的要求,所选用的刀具应具有较高的刚性和耐用度。

数控加工的切削参数尽可能取高一些。

系统有关参数包括工艺参数和后置处理参数。工艺参数有:切削深度、刀具半径、刀具号、刀偏方式和抬刀高度等。为了方便用户输入,系统一般常用对话框方式输入,有的还能对其合理性进行检验。

三、刀具运动轨迹的生成

刀具运动轨迹的生成是系统的核心内容之一。系统在屏幕上显示刀具运动轨迹的同时,还生成了零件轮廓数据文件、刀位数据文件及工艺参数文件。这些文件是系统生成数控代码和走刀模