



高等学校
现代工程技术训练
系列教材

先进制造系统 和管理系统

林 亨 邓修权 编

X
D
G
G
H
J
S
H
X
T



高等教育出版社

高等学校现代工程技术训练系列教材

先进制造系统和管理系统

林 亨 邓修权 编

傅水根 系列教材策划

高等教育出版社

内容简介

本书系统地介绍了先进制造系统的基本概念和构成,以及 21 世纪初的新型管理方法。全书共分 8 章,内容包括先进制造系统概论、计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)、计算机辅助工程(CAE)、柔性制造系统(FMS)、现代化企业管理信息系统、计算机集成制造系统(CIMS)、先进制造系统管理基础知识和几种新型管理模式的概念、工业工程的基本知识。本书附录以清华大学的小型 CIMS 教学实验系统为实例,介绍了系统的信息流和物流。

本书可作为大专院校学生学习先进制造系统的教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造系统和管理系统/林亨 邓修权编.—北京:高等教育出版社,2002.7

本科机械类用

ISBN 7-04-010683-3

I.先... II.①林...②邓... III.①机械制造-自动化系统-高等学校-教材②机械制造-计算机管理系统-高等学校-教材 IV.TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 003876 号

责任编辑 杨宪玲 封面设计 刘晓翔 责任绘图 尹文军
版式设计 马静如 责任校对 尤 静 责任印制 张小强

先进制造系统和管理系统
林亨 邓修权 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2002 年 7 月第 1 版

印 张 7

印 次 2002 年 7 月第 1 次印刷

字 数 170 000

定 价 8.80 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

前 言

计算机技术的飞速发展,为制造系统的发展提供了技术基础。计算机技术及其应用水平已成为衡量一个国家科学技术现代化和工业现代化的重要指标之一。计算机在制造系统及其管理系统中的应用,形成了先进制造系统和管理系统,其内容包括产品设计、产品制造和生产经营管理等,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机数控技术(CNC)、计算机辅助工艺规划(CAPP)、计算机辅助工程分析(CAE)、柔性制造系统(FMS)、计算机管理信息系统(MIS)等,以及反映先进生产模式的计算机集成制造系统、精益生产、敏捷制造等。计算机的应用在缩短产品制造周期、提高生产效益、降低成本、强化企业管理、提高产品质量、增强企业市场应变能力和竞争能力等方面,发挥出重大的作用。

本书系统地介绍了先进制造系统的基本概念和构成,以及 21 世纪初的新型管理方法。全书共分 8 章,内容包括概论,计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)、计算机辅助工程(CAE),柔性制造系统(FMS),现代企业管理信息系统,计算机集成制造系统(CIMS),先进制造系统管理基础,先进制造管理系统以及工业工程。并以清华大学的小型 CIMS 教学系统为实例,介绍了系统的信息流和物流。本书可作为大专院校学生学习先进制造系统的教材,也可以作为工业工程专业的教材或参考书。

本书由清华大学林亨(第 1~5 章),北京航空航天大学邓修权(第 6~8 章),清华大学严京滨、王晓芳(附录一、附录二)共同编写。全书由林亨统稿,由北京航空航天大学夏国平教授主审。华中科技大学李培根教授、福州大学陈国南教授参加了本书的审稿工作,提出了有益的建议,作者表示十分感谢。

本书是现代工程技术训练系列教材之一,全套系列教材共六册,分别为《特种加工技术》、《数控加工技术》、《快速原型制造技术》、《先进制造系统和管理系统》、《质量检测与控制》、《材料的先进成形技术》。本套系列教材由高等教育出版社与清华大学傅水根教授共同策划,傅水根教授对每本书的编写思路和内容均进行了仔细审阅,从整体上控制全套书的风格。

限于作者水平和时间仓促,加之计算机技术发展迅速,书中难免有欠妥之处,恳请广大读者不吝指正。

作者

2001 年 12 月

目 录

第 1 章 概论	1	第 5 章 计算机集成制造系统(CIMS)	27
1.1 制造系统的定义	1	5.1 CIMS 概念	27
1.2 制造系统的发展历史	1	5.2 CIMS 的功能组成	27
1.3 先进制造系统的特点	2	5.3 CIMS 的系统结构及关键技术	28
1.4 先进制造系统的构成	2	思考题	33
思考题	3	第 6 章 先进制造系统的管理基础	34
第 2 章 计算机辅助设计与制造、计算机辅助工程分析	4	6.1 工厂设计	34
2.1 用计算机进行产品设计和制造的过程	4	6.2 生产计划与控制	36
2.2 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)系统的功能和组成	4	6.3 质量管理	39
2.3 三维几何造型技术	6	6.4 成本管理	41
2.4 计算机辅助工程分析(CAE)	11	6.5 环境管理	43
2.5 计算机辅助工艺规划(CAPP)	13	6.6 项目管理	45
2.6 计算机辅助制造(CAM)	14	思考题	48
思考题	17	第 7 章 先进制造管理系统	49
第 3 章 柔性制造系统(FMS)	18	7.1 制造管理系统的演变	49
3.1 概述	18	7.2 并行工程	49
3.2 FMS 的基本组成和工作原理	18	7.3 精益生产	56
3.3 FMS 的加工系统	20	7.4 敏捷制造	64
3.4 FMS 的物流系统	20	思考题	73
3.5 FMS 的信息系统	21	第 8 章 工业工程	74
思考题	22	8.1 工业工程概述	74
第 4 章 现代化企业管理信息系统	23	8.2 工业工程的主要技术及其内容	77
4.1 现代化企业管理的发展过程	23	8.3 工业工程的发展趋势	79
4.2 计算机管理信息系统	23	思考题	80
4.3 制造资源计划系统	24	附录一 先进制造教学实验系统	81
4.4 企业资源计划、供应链和电子商务	24	附录二 本书所用名词和术语的英文缩写及注释	106
思考题	26	参考文献	108

第 1 章 概 论

1.1 制造系统的定义

对于制造系统,目前尚无统一的定义,制造系统的概念随着制造业的发展和人们认识的不断变化而不断改变。国际生产工程学会(CIRP)1990年公布的制造系统的定义是:制造系统是制造业中形成制造生产的组织形式,在机电产业中,制造系统具有设计、生产、发运和销售的一体功能。

制造系统的目标是高效益地生产出人们在生产、生活中所需的合格产品。从制造系统的构成来说,制造系统是制造过程所涉及的硬件(物料、设备、工具、能源等)、软件(制造理论、制造工艺和制造信息等)和人员所组成的一个具有特定功能的有机整体。

制造系统是一个输入制造资源(原材料、能源等),通过制造过程输出产品、半成品的输入输出系统。因此,也可以说制造系统包含了市场分析、产品设计、工艺规划、制造装配、检验出厂、产品销售及售后服务等各个环节的制造全过程。本文所讨论的是以机械制造为背景的制造系统。

1.2 制造系统的发展历史

机械制造业的发展已有上百年的历史,机械制造自动化也有几十年的历史。从20世纪30年代到50年代,主要建立由机械式或液压式的自动车床、组合车床或专用机床组成的单品种生产自动线。这种自动线有其固定的生产节拍,要改变生产品种是非常困难和昂贵的,故这种自动线称为刚性自动化生产线。刚性自动化可使复杂产品以合理的成本进行大批量生产,但却不适合于中、小型批量生产。随着社会的进步和人们生活水平的提高,要求商品(产品)品种多样化、款式新颖、性能优越、价格便宜,成为人们追求的目标。同时,随着国际贸易的发展和国际间的技术交流,使跨国产品和出口产品在生产中的比重大为增加。因此,只有不断改变产品结构,提高产品性能,并在保证质量的前提下不断提高生产率,降低成本,才能使产品在国内外市场上具有竞争能力。

上述发展趋势要求人们寻求新的生产方式,以解决制造工业面临的新问题。探索和创造具有应变性好和生产率高的制造系统成为一项迫切的任务。

从20世纪60年代以来,计算机技术得到了飞速的发展。计算机控制的数控机床(CNC机床)在自动化领域中取代了机械式或液压式的自动机床。在CNC机床上只要改变程序即可加工新的零件,改变加工对象的灵活性很大,而所需调整的时间却很短,它为柔性制造系统打下了很好的基础。

柔性制造系统是将微处理器技术应用于 CNC 机床、工业机器人、自动化仓库、无人运输小车等设备,通过计算机控制系统把上述各个自动化环节联接成以数控机床为基础的各种规模的自动加工系统。柔性制造系统成功地解决了迅速更新产品、适应市场变化的中小批量产品的自动化生产的难题。

后来,柔性制造系统开始和产品的计算机辅助设计(CAD),计算机辅助工程分析(CAE),计算机辅助工艺规划(CAPP),计算机辅助制造(CAM)及生产经营管理决策系统相结合,借助计算机技术和网络技术把管理信息和制造活动有机地联系起来,向计算机集成制造系统(CIMS)方向发展,以实现整个企业生产管理的现代化。

因此可以说,科学技术的进步,市场的需求和竞争是推动生产发展的动力。从制造生产的发展历史来看,经历了从单件作坊式生产→大批量刚性自动化生产线→柔性自动化中小批量生产→计算机集成制造系统,以至当今体现现代化制造模式的精益生产、敏捷制造、虚拟制造的过程。

1.3 先进制造系统的特点

先进制造系统也即现代制造系统,前者强调先进性,后者强调时代感。一般地说,先进制造系统有以下几个特点:

1) 先进制造系统是以计算机技术、信息技术、自动化技术、网络技术、通讯技术、数据库技术等高新技术的发展为基础的。例如,体现设计技术的有 CAD、CAPP、CAE,体现制造技术的有 CAM、FMS 等,体现管理技术的 MIS 等。

2) 先进制造系统十分重视信息的作用。制造系统可以看作是由两部分组成的,一部分是由机床设备和加工方法等生产技术为核心的“物质流”,另一部分是以生产管理和生产信息等管理技术为主体的“信息流”。传统的制造观注重的是物质流的研究,而现代的制造观重视信息的作用。信息在制造系统中连接各生产要素,从而形成一定生产组织结构的制造系统的纽带。先进制造系统研究如何提高信息处理能力,达到系统总体性能最优的目的。

3) 先进制造系统与市场密切结合。要赢得竞争的胜利就要占领市场,就必须满足用户不断增长的需要,提高产品质量,降低成本,缩短新产品的开发周期,满足用户需求的多样化、个性化。因此,先进制造系统由生产的“技术推动”变为市场的“需求牵引”。

1.4 先进制造系统的构成

先进制造系统的构成从功能的角度来看,包含了一个制造工厂的设计、制造及经营管理三方面的功能,也就是一个工厂从市场预测,产品设计、加工制造、质量管理到售后服务的全部生产经营活动,是一个复杂的大系统。具体地说,先进制造系统通常包含以下功能模块。

1. 计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)和计算机辅助工程分析(Computer Aided Engineering, CAE)

计算机辅助设计是在 CAD 系统硬件、软件的支持下,对产品进行描述、系统分析和优化,进

行产品设计,仿真和图形处理,完成产品的全部设计过程,最后输出满意的设计结果和产品图纸。

2. 计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP)

计算机辅助工艺规划是用计算机进行产品加工工艺过程设计,包括选择合适的工艺参数,制定合理的工艺规程,把产品的设计信息转换成加工指令,以便制造零件或产品。因此说工艺规划是连接产品设计和产品制造之间的桥梁或纽带。

3. 计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)

完整的生产过程包括设计和制造两部分。狭义的CAM仅包括计算机辅助编制数控机床加工指令,即数控编程(Numerical Control Program, NCP)、仿真加工(Simulation)及数控加工。广义的CAM则包括工艺过程规划CAPP和产品装配、检验等。

4. 柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)

柔性制造系统是先进制造系统的加工制造环节。在这个环节中将毛坯加工成合格的零件并装配成部件以至产品。

5. 计算机辅助生产管理(Computer Aided Production Management, CAPM)

计算机辅助生产管理包含生产管理和经营管理两方面。生产管理包含生产计划制定、制造资源计划(MRP-Ⅱ)制定、财务管理、库存管理等内容。经营管理包括市场预测、销售及售后服务,长期发展战略的制定等。

至此,也可以说是由上所述的5个功能模块构成了先进制造系统。

思 考 题

1-1 简述制造系统的概念。

1-2 简述先进制造系统的特点和构成。

第 2 章 计算机辅助设计与制造、 计算机辅助工程分析

2.1 用计算机进行产品设计和制造的过程

随着计算机技术的迅速发展,设计和生产的方式发生了巨大的变化。计算机辅助设计和制造的过程,是将计算机辅助设计 CAD、计算机辅助工程分析 CAE、计算机辅助工艺规划 CAPP 以及数控自动编程连在一起,形成集成的 CAD/CAE/CAM 系统,经常简称为 CAD/CAM 集成系统,其工作流程见图 2.1。

首先,根据市场需求确定产品的性能要求,进行产品方案设计,在此基础上用几何造型系统建立产品几何模型,并对产品模型进行工程分析,包括结构的有限元分析、计算和优化,确定产品的尺寸。然后,在分析优化的过程中,将计算结果的数据用几何图形表示出来,以便观察修改。再进一步采用仿真技术预测产品的性能,直到产生详细的工程图纸。CAPP 的功能是进行零件加工工艺路线及工序编制,它除了为生产调度及控制提供信息外,也为 NC 自动编程提供所需信息。NC 自动编程生成刀具加工轨迹并在屏幕上进行加工仿真。检查无误后,经后置处理生成加工代码,控制数控机床进行加工。图 2.1 左边是工程数据库,构成了信息交换与集成的基础,右边列出了所需软件的种类。

2.2 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM) 系统的功能和组成

在生产过程中,计算机可以有效地辅助设计人员进行产品的构思和模型的构造(概念设计);工程分析计算和优化;对设计的产品进行模拟仿真;绘制工程图纸和文档编辑;辅助工艺人员和管理人员编制工艺规程,控制数控机床操作,加工出合格的产品。也就是说,CAD/CAM 系统完成的主要任务是:产品的几何造型、设计计算、结构分析、优化设计、工程绘图、CAPP、NC 编程、模拟仿真、工程数据管理等。因此,CAD/CAM 集成系统应具有以下基本功能:①图形显示功能;②技术文档、数据、图形和程序的输入输出和存储功能;③人机交互功能。

CAD/CAM 系统的组成包括硬件系统和软件系统两部分,见图 2.2。硬件系统包括计算机及其外围设备,以及生产设备。软件系统包括系统软件、支撑软件和应用软件。

1. CAD/CAM 的硬件系统

一个典型的 CAD/CAM 的硬件系统组成如图 2.3 所示,其中包括:

1) 计算机(主机);

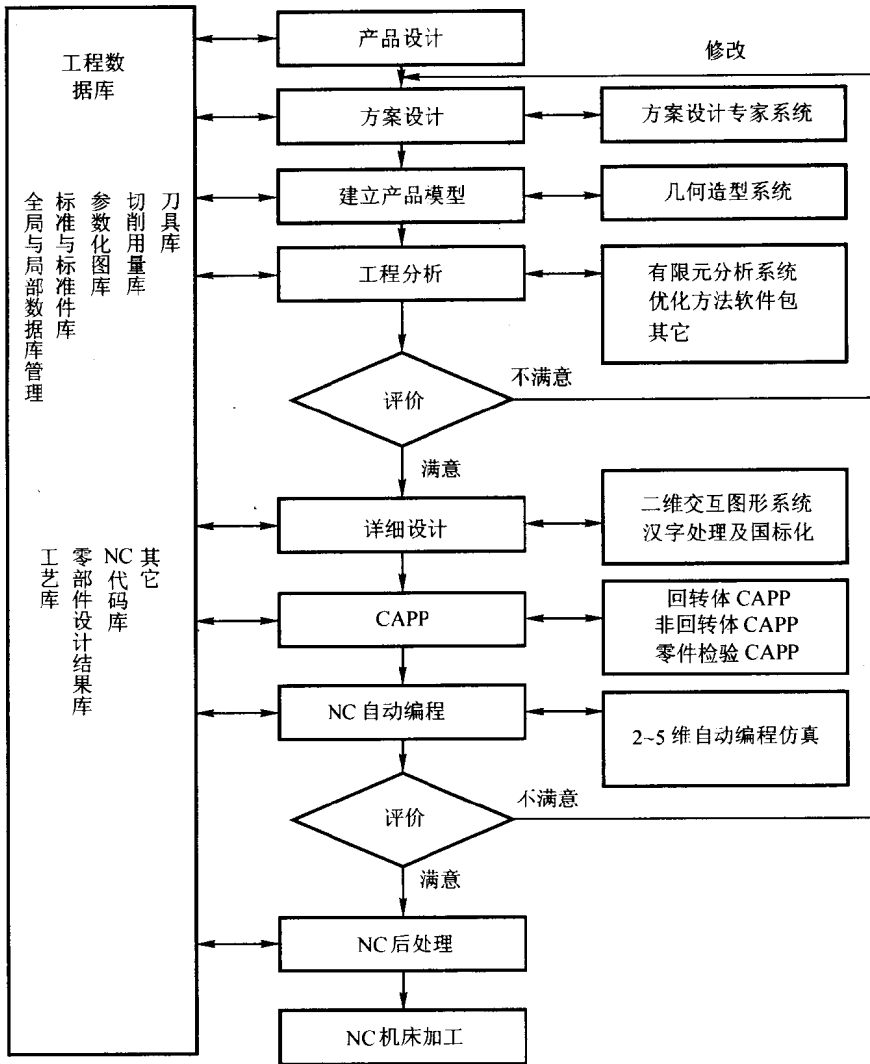


图 2.1 CAD/CAM 集成系统工作流程

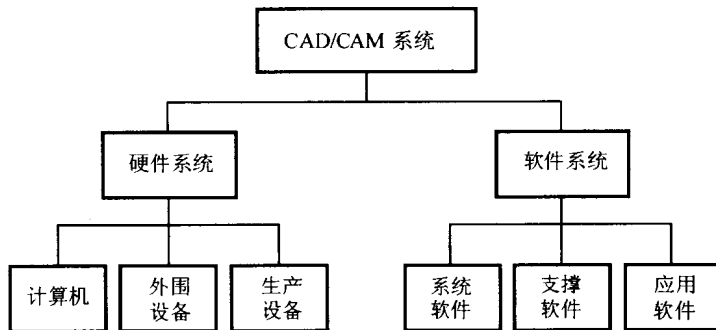


图 2.2 CAD/CAM 系统组成

- 2) 工作站或图形终端、字符终端；
- 3) 外存储设备如硬盘、软盘、光盘等；
- 4) 输入装置如键盘、鼠标、扫描仪、数字化仪等；
- 5) 输出装置如打印机、绘图仪等；
- 6) 生产设备如数控机床、机器人、搬运机械和自动测量装置等。

通过网络将以上各个硬件联接在一起,以实现资源共享,并实现与上位机或别的计算机网络进行通信。

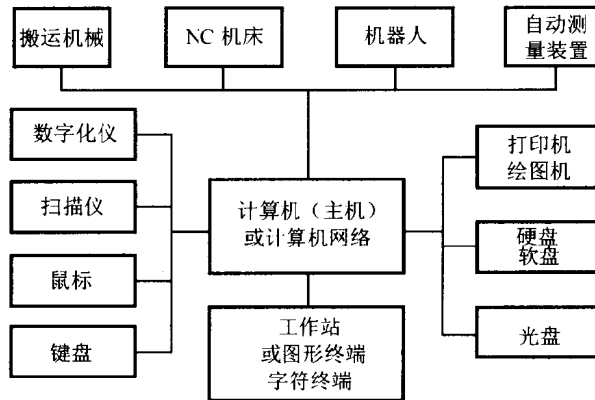


图 2.3 CAD/CAM 硬件系统组成

2. CAD/CAM 的软件系统

CAD/CAM 的软件系统包括系统软件、支撑软件和应用软件三个层次。系统软件又包括操作系统、高级语言编译系统等。

操作系统是介于用户和裸机之间的一个界面,用户只有通过操作系统才能使用计算机。操作系统是一种软件,部分固化在计算机内的只读存储器(ROM)中,负责对计算机的硬、软件资源进行分配、控制、调度和回收,使之协调一致并且有效地完成各项任务。也就是说,操作系统应完成三项基本任务:人-机通信、系统功能的调度与协调、控制和安排系统操作。

在系统软件的支持下,可以开发和运行一般的应用软件,而要开发 CAD/CAM 应用软件,必须有特殊的支撑软件环境。

支撑软件包括数据管理系统、图形支撑软件和有限元分析软件等。

系统软件由计算机厂商提供,支撑软件由用户根据需要订购。系统软件和支撑软件一起,构成了 CAD/CAM 系统的开发环境。用户在开发环境下移植或自行开发所需要的 CAD/CAM 应用软件,完成特定的设计和制造任务。CAD/CAM 系统的功能和效益最终反映在 CAD/CAM 应用软件的水平上,而高水平的 CAD/CAM 应用软件又必须以高水平的开发环境为基础。

2.3 三维几何造型技术

1. 几何造型概述

几何造型是指将物体的形状及其属性(如颜色、纹理等)存储在计算机内,形成该物体的三维

几何模型。这个模型是对原物体确切的数学描述或是对原物体某种状态的真实模拟。这个模型将为各种不同的后续应用提供信息,例如:由模型产生有限元网格以便进行分析;由模型编制数控加工刀具轨迹;由模型进行碰撞、干涉检查等。

因此,几何造型是产品制造的基础。通常把能够定义、描述、生成几何模型,并能交互地进行编辑的系统称为几何造型系统,例如 Autodesk 公司的 MDT(Mechanical Desk Top)R3.0 就是这样的系统。

三维几何造型系统在 CAD/CAM 中的应用体现在以下四个方面:

(1) 设计

能随时显示零件形状,并能通过剖切检查如壁的厚薄、孔是否相交等问题;能进行物体的物理性能计算,如计算体积、面积、重心、惯性矩等;能检查装配中干涉;能进行运动机构的模拟等。使设计者能及时发现问题,修改设计,提高设计质量。

(2) 绘图

能产生二维工程图,包括零件图、装配图,还能产生各种真实图形及动画等。

(3) 制造

能利用生成的三维几何模型进行数控自动编程及刀具轨迹仿真,还能进行工艺规程设计等。

(4) 装配

在机器人及柔性制造中,利用三维几何模型进行装配规划、机器人视觉识别、机器人运动学及动力学的分析等。

2. 几何造型的三种模式

几何造型有三种模式:线框模型、表面模型和实体模型

(1) 线框模型

用点、线、圆、圆弧、二次曲线、自由曲线等构成立体框架图。它的优点是操作简便易学,可以产生任意视图,可作为表面模型和实体模型的基础。缺点是无法表现曲面体,无面信息,无法消隐,无法构成真实形体。

(2) 表面模型

构造复杂的曲面,可以线框模型为基础,用扫描或旋转手段构造曲面,也可利用系统提供的曲面图来构造各种曲面形体。表面模型的优点是能实现消隐、着色、表面积计算、二曲面求交、数控刀具轨迹生成、有限元网格划分等功能,还擅长构造复杂曲面物体,如模具,汽车、飞机等表面。但它还不是实体模型,有时容易产生对物体的二义性理解,而且操作比较复杂。

(3) 实体模型

以立方体、圆柱体、球体、锥体、环形体等多种基本体素为单元元素,通过集合运算(并、交、差)生成所需要的几何形体。

这些形体由于具有完整的几何信息,因而是真实而唯一的三维物体。通常应用中常采用实体模型。实体模型包括两部分内容:体素定义和描述、体素之间的拼合(交、并、差)。其拼合原理如图 2.4 所示。

3. 几何造型方法

几何造型就是用计算机系统来建造、表示、控制、分析和输出三维形体(实体),是 CAD/CAM 系统的核心技术。

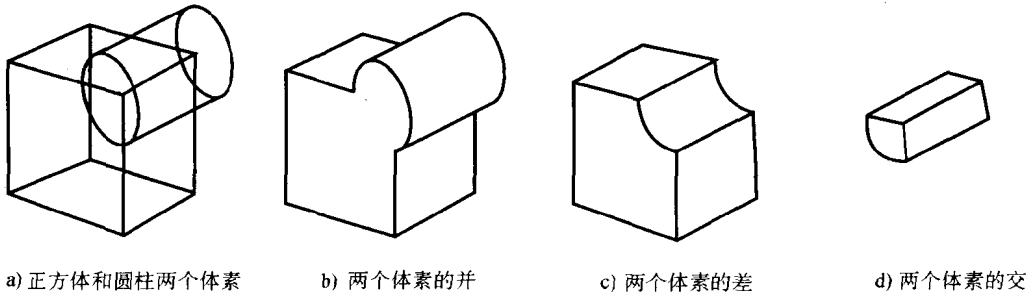


图 2.4 实体的几何运算

目前常用的几何造型方法有边界表示法 B-rep (Boundary representation); 几何体素构造法 CSG (Constructive Solid Geometry); 扫描法 (Sweep); 分割表示法 D-rep (Decomposition representation); 特征造型 (Feature Modeling)。其中用得最多的是边界表示法、几何体素构造法、扫描法和特征造型。

(1) 边界表示法 (B-rep)

这种方法是基于将几何实体用其边界进行表示的方法,即需要给出构成该实体的全部面、边、顶点的拓扑关系和每条边两端点的坐标值。因此,B-rep 的数据结构包括拓扑关系和几何信息。对任意几何实体,一般均可以用平面和曲面作为边界表面,每个表面又可由直线或曲线的闭环定义其边界。

(2) 几何体素构造法 (CSG)

实体模型可由许多一定形状的基本体素通过集合运算来表示,这些体素可以是一些标准体素,如长方体、圆柱、球等,也可以是采用扫描变换等方法造出来的非标准图素。

(3) 扫描变换法

扫描变换造型是指一个二维形状在空间运动就会扫描出一个三维形体。扫描方法有二维形状的平移扫描、旋转扫描和刚体扫描三种,如图 2.5 所示。图 a 所示的 A 平面沿其法线方向移动,可扫描变换所示的形体。图 b 所示的 A 平面围绕 z 轴旋转,可以扫描变换出如图所示的回转体类形体。图 c 所示的一个圆柱体刚体在运动中遇到其它实体,扫描经过的地方被“切”去了。

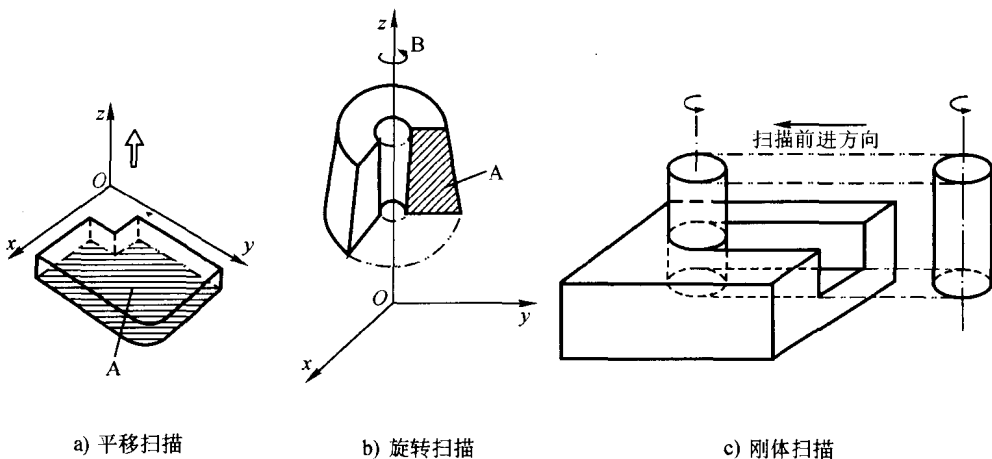


图 2.5 扫描变换法

(4) 参数化特征造型

前面所介绍的几种三维几何实体造型的优点是计算机内存储了物体的三维几何和拓扑信息,能够实现物体的体积、面积、重心、惯性矩等的自动计算,具有消隐、有限元网格自动划分,物体截切及碰撞干涉检查、动画模拟、真实图形显示等功能。但它只存储了物体的几何状态信息,缺乏产品开发时所需的其它信息,诸如材料、加工特征信息、尺寸公差、形位公差、表面粗糙度、装配要求等,因而还不能构成符合数据交换规范的产品模型。

20世纪80年代初研究的特征造型是以实体模型为基础,用具有一定设计或加工功能的特征作为造型的基本单元建立零部件的几何模型。特征一般分为形状特征(槽、凹坑、凸台、孔壳、壁等)、材料特征、精度特征、工艺特征等。比较常用的做法是把零件用统计归纳及成组技术的思想制定一套规范化的特征图库,并以形状特点为载体(基础),加上精度、工艺、材料等信息进行造型。由此建立的几何模型不仅包括了几何信息,还包括了加工工艺等信息,形成了符合数据交换规范的产品信息模型,从而实现了CAD/CAPP/CAM的真正集成。

将参数化造型的思想用到特征造型中来,用尺寸驱动或变量设计的方法定义特征并进行类似的操作,就形成了参数化特征造型。由于特征均采用参数化定义,因此对形状、尺寸、公差、表面粗糙度等均可随时修改,达到了修改零件的目的。

目前已有不少以特征为基础,具有参数化特征造型系统的商品化软件,如美国Autodesk公司MDT,PTC公司的Pro-Engineer,法国MATRA/DATAvision的EUCLID等软件。

4. AutoCAD 产品简介

Autodesk公司是世界著名软件生产商之一,主要产品是基于PC平台的机械设计系统,有AutoCAD、MDT、Inventor等。

(1) MDT 三维机械设计平台

MDT(Mechanical Desktop)是融合二维绘图功能和三维参数化特征造型为一体的三维机械设计系统,有MDT2.0、MDT3.0、MDT4.0几个版本。

MDT2.0是集二维设计系统AutoCAD R14与参数化实体造型、曲面造型、装配造型、二维和三维双向关联绘图,以及IGES(Initial Graphics Exchange Specification)转换器等模块为一体的机械设计系统。其参数化实体造型是采用先进的造型核心系统ACIS进行三维参数化实体造型。能自动生成二维视图(正交视图、轴侧图、半剖、全剖、阶梯剖、局部放大等);能自动生成主要视图尺寸,且二维视图和三维模型的尺寸双向关联,任何参数尺寸变化自动导致三维模型的变化和所有二维视图的自动更改;不仅能直接进行三维参数化实体造型,而且能利用过去已有的二维绘图所生成的二维图形资源,方便地将其局部或全部地转变为三维参数化实体。MDT2.0有4个主要模块:实体造型模块(Part),曲面造型模块(Surface),装配模块(Assembly),工程图纸生成模块(Drawing)。

MDT3.0基本功能与MDT2.0一样,包含了完整的AutoCAD绘图工具集,内含Iges数据核心和Step、VDA-FS等数据交换工具,可与Unix平台等CAD系统进行图形数据交互。此外,增加了许多新功能、新特性,如:

- 1) 三维螺旋扫掠,三维螺旋路径,三维参数化放样等造型功能;
- 2) 工程制图方面增加了径向截面投影视图,辅助投影视图方向的控制等功能;
- 3) 功能更为强大的BOM明细表(包括零部件种类、装配关系等信息)和零件序号生成器;

- 4) 进一步支持自顶向下和自底向上的设计方法;
- 5) 大幅度扩大基于约束的大型装配设计规模;
- 6) 利用电子表格如 Excel 等实现产品组合装配的系列化或参数化设计;
- 7) 增加了特征抑制或隐藏、草图拓扑结构修改和以浏览器为中心的用户界面;
- 8) 内含国内常用的 GB 制图标准规范和 GB 符号库;
- 9) 有完整的用户手册和在线帮助。

MDT4.0 是在 AutoCAD2000 的基础上,针对机械工程设计增添了强大的工具,比 MDT3.0 有很大改进,主要有以下几个方面:

- 1) 既提供了三维设计工具,又提供了二维设计工具 AutoCAD2000,使得二维和三维能够很好地融合;
- 2) 基于特征的三维参数化实体造型,包括草图、特征、设计变量、表驱动等;
- 3) 方便的曲面造型功能,可以快捷地生成各种自由曲面和曲面上曲线的生成和编辑;
- 4) 以装配为核心的造型,包括装配约束、场景和分解图,使用户可以更好地完成设计、校核、修改、出图的全过程;
- 5) 多种工程图生成功能,包括自动生成视图、尺寸标注、符号标注和明细表、标号等;
- 6) 三维标准特征库和三维标准件库;
- 7) 三维轴生成器;
- 8) 三维有限元分析——应力应变分析。

由上述可知,Autodesk 公司的三维机械设计平台 MDT 具有强大的三维参数化实体造型功能,高级曲面造型功能,带约束的装配功能,二维视图的自动生成功能,有符合国标的各种标注形式,全汉化。随着版本的升级,功能更强,设计效率更高。

用 MDT 来进行产品三维实体造型的步骤如下:

- 1) 绘制产品外轮廓草图;
 - 2) 对草图加以必要的尺寸约束和形状约束;
 - 3) 拉伸、旋转或扫掠生成产品基本形状;
 - 4) 用 MDT 中的附加特征生成外形的各种孔径、倒角、斜面等;
 - 5) 零件实体设计完成后,用 Drawing 工程图形生成功能生成所需的工程视图,包括主、俯、侧视图,全剖、半剖、阶梯剖、局部放大等视图;
 - 6) 用基于约束的装配造型功能将零件进行装配;
 - 7) 用实体渲染功能赋予各零件的材质和场景参数,产生色彩逼真的产品效果。
- 设计工作的每一步都将被系统记录下来,可通过浏览器随时进行查询、编辑和修改。

(2) Autodesk Inventor 软件

Autodesk Inventor 软件是 Autodesk 公司于 2000 年推出的以装配为中心的基于特征的实体建模系统。它从底层开始,采用自适应技术构建,使机械设计师和工程师能够克服那些纯粹参数化造型系统中模型可变性差的问题。它特有的自适应数据引擎让用户能通过 WEB 更充分地合作,更高效地完成大型装配。所谓的“自适应造型技术”,即通过特有的以装配为中心的设计模型,使用户在设计时不用依靠代数方程、参数或尺寸标注,只需指定零件之间的装配关系,基于装配的“配合”定义自动确定零件的尺寸和位置。也就是说,Autodesk Inventor 创新的自适应数据引擎使

用户能够快速打开和操作大型的装配模型,不需要定义复杂的尺寸参数关系。它特别适合于大型复杂结构的产品装配设计,可大幅度提高设计能力和设计效率。

Autodesk Inventor 是基于 Spatial Technology 的 ACIS 实体造型核心,因此,它可以和大量基于 ACIS 的 CAD 系统交换数据,如:AutoCAD2000、CAD Key Solids、Vellum Solids、IronCAD、Applicon Bravo、T-Flex 和 Turbo CAD Professional 等软件,也可以和大量 CAE/CAM 应用程序交换数据,如 Cimatron 的 NC 系统以及 Delcam、Ansys、Cosmos、MSC 等有限元分析系统。

Inventor 可以完全读取用 Autodesk 的 MDT 所建立的特征模型和工程图,它们可以被保存为 Inventor 模型,不会丢失特征信息或尺寸驱动的能力。Inventor 可以将 AutoCAD 或 MDT 所建立的零件合并到部件中,当零件原始的应用程序改变时,Inventor 软件会自动更新。Inventor 可以从 AutoCAD 和 MDT 读取二维图形,也可采用能够被 AutoCAD2000 和 MDT 所读取的 AutoCAD DWG 格式输出二维图形。

此外,Inventor 的三维装配模型可以直接进入 3D Studio VIZ,进行照片级的渲染与动画设计。

2.4 计算机辅助工程分析(CAE)

CAE 是 CAD、CAM 的中间环节,是高品质设计中不可缺少的重要一环。可以说,CAE 是 CAD/CAM 向纵深发展的必然结果。CAE 是有关产品设计、制造、工程分析、仿真、实验等信息处理,以及包括相应数据库和数据库管理系统(DBMS)在内的计算机辅助设计和生产的综合系统。CAE 可以帮助设计者在 CAD 环境中合理构建产品的几何模型,及时找出存在于设计中的隐患,以及检测机构的可靠性和各运动环节的动态特性,使得能在制造前预知产品的各种性能参数,避免设计失误。因此,CAE 可以减少产品的试制次数,极大地节省费用和缩短新产品的开发周期,提高产品更新和适应市场的反应能力,提高企业的竞争能力。

CAE 技术的功能是指产品几何形状的模式化、工程分析、优化与仿真,具体包括以下几部分内容。

(1) 用有限元法对产品进行结构分析

用有限元法(Finite Element Method)对产品结构的静态特性、动态特性、强度、振动、热变形、磁场强度、流场等进行分析和研究,以及自动生成有限元网格,从而为用户精确研究产品结构的受力,以及用深浅不同的颜色描述应力或磁力分布提供了分析技术。有限元网格,特别是复杂的三维模型有限元网格及自动划分能力是十分重要的。

(2) 产品的优化设计

在产品的设计和制造过程中,总希望在一切实可能的方案中选择一个最好的方案,这就是工程优化。工程优化是以数学规划为理论基础,以计算机为工具,寻求最优参数的一种先进设计方法。优化设计的过程是:

- 1) 建立一个能正确反映设计问题的数学模型,包括设计变量和设计目标的函数关系,目标函数以及约束条件等。

- 2) 采用数值计算的优化方法。一般采用一种函数的下降算法,并保证设计方案始终存在于约束条件所限制的区域。

3) 利用计算机快速分析和计算的特点,自动从大量的方案中选出“最优方案”。

优化设计模型的建立和求解方法可查阅有关的参考书,这里不再详述。

用计算机进行的数字优化设计,适用于参数与设计指标有明确函数关系的产品总体、结构、零件、机构、工艺设备参数以及分系统等的优化设计问题。这是一种具有强大效力而又灵活的方法,可以解决上百个变量和多个约束条件的优化设计问题。优化设计是保证现代化产品设计具有高速度、高质量和良好的市场销售前景的主要技术手段之一。

(3) 对产品机械结构进行模态分析

有限元分析法用于分析物体多冲击或变负荷运动状态时不很理想,因此开发了具有模态分析功能的 CAE 系统。这个系统综合应用了有限元方法和模态分析法。首先,采用有限元方法或模态分析法求出各零件的动特性,然后根据装配的连接条件进行结合,求得整个装配件的动特性,从而达到预测装配、整体响应的目的。如果响应不能满足要求,则需改变装配件的动特性,再求得装配件整体的动特性,直到响应改善,满足要求为止。

具有结构分析功能的 CAE 系统,可在设计时作机械结构的运动学分析;可对运动机构的运动参数和运动轨迹进行研究;对运动中是否发生碰撞进行干涉检查;除输出位移外,还可输出各部件的速度、加速度、力等各种参数。还可以用动画技术和仿真技术研究运动系统的某些性质,达到更直观的效果。

CAE 在现代工程设计中已成为不可缺少的工具。采用有限元分析、优化设计和模态分析,可以全面、精确地分析设计对象的物理状态,以便进行更加经济合理的设计。

美国 MSC 公司是世界著名的 CAE 软件供应商,该公司的 MSC/Working Model 系列虚拟样机分析仿真系统运行于微机平台,用于对产品功能的设计、仿真、验证和优化。该系列产品把以动力学、运动学仿真和有限元分析为基础的虚拟样机设计、仿真技术、可视化处理以及协同工作融为一体,为提高产品质量、降低成本、缩短产品投放市场的时间提供了有效的途径。MSC/Working Model 系列虚拟样机分析仿真系统有以下产品:

1) Working Model Motion 三维机械动力学/运动学分析仿真系统 可与各种三维 CAD 系统无缝集成,将三维设计模型自动转化为动力学分析模型,具备完整的三维机械动力学仿真功能,真实模拟铰链、碰撞、摩擦、阻尼等问题。能自动计算速度、加速度、位移、轨迹、作用力(矩),自动生成三维运动动画。

2) Working Model 4D 三维机械动力学/运动学/有限元联合分析仿真系统 可与各种三维 CAD 系统无缝集成,将三维设计模型自动转化为动力学的有限元分析模型。包含 Working Model Motion 的全部动力学/运动学分析仿真功能。可实时将动力学分析结果转化为有限元分析的边界条件和载荷条件,自动分析应力、应变、弯曲、自由模态。

3) Working Model 2D 二维机械动力学/运动学分析仿真系统 可进行机械原理分析和概念设计,准确仿真平面机构的运动学、动力学特性。

4) Working Model View/Studio 三维动力学/运动学模型浏览器 能直接读取各种 CAD 系统和 Working Model Motion 的三维模型,能浏览、测量三维模型,播放三维运动动画,对三维动画进行红线批注。还具备真实感三维运动动画和三维装配模型自动动态爆炸功能。

5) Working Model FEA/Concept 部件级三维有限元分析系统 可与各种三维 CAD 系统无缝集成,提供包括应力和挠度、热传导、振动以及弯曲分析在内的完整的有限元分析求解方案。具备