



见习机械设计工程师资格考试培训教材

计算机辅助设计及 制造技术

Technology of Computer Aided Design and Manufacture

第2版

中国机械工程学会机械设计分会 组编

李杨 王大康 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



见习机械设计工程师资格考试培训教材

计算机辅助设计及制造技术

第2版

中国机械工程学会机械设计分会 组编

李 杨 王大康 编著



机械工业出版社

本书共分7章,包括计算机辅助设计及制造技术概论、CAD/CAM系统常用的数据结构、计算机图形显示及建模技术、计算机辅助设计、计算机辅助工艺设计、计算机辅助制造技术以及产品数据管理及集成技术。书中介绍了实现制造业企业信息化的主要应用技术基础,并介绍了相关领域著名的软件产品,提供了部分典型应用实例。本书内容从理论到实践,注重应用,循序渐进,具有系统性、新颖性、实用性等特点。

本书为见习机械设计工程师资格考试培训教材,也可作为高等院校计算机辅助设计与制造技术课程的教材,同时可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计及制造技术/李杨,王大康编著;中国机械工程学会机械设计分会组编. —2版. —北京:机械工业出版社,2012.4

见习机械设计工程师资格考试培训教材

ISBN 978-7-111-37963-8

I. ①计… II. ①李…②王…③中… III. ①计算机辅助设计-工程
师-资格考试-教材②计算机辅助制造-工程师-资格考试-教材
IV. ①TP391.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第063019号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 吴超莉

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀丽

责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012年8月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·13.75印张·339千字

标准书号:ISBN 978-7-111-37963-8

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

计算机辅助设计及制造技术是随着计算机及信息技术的发展而形成的新兴技术, 这项技术为国家高新技术。我国是一个制造业大国, 现已逐步发展成为一个制造业强国, 计算机辅助设计与制造技术是实现我国制造业现代化必不可少的技术, 也是提高我国制造业从业人员综合素质和创新能力的关键技术。计算机科学的迅速发展, 加速了机械设计与制造技术的更新。为了使读者能在较短的时间内了解计算机技术的新知识, 掌握计算机应用的新工具, 我们编写了这本内容新颖、结构合理、实用性强的教材。

全书共分7章, 第1章为计算机辅助设计及制造技术概论, 主要介绍CAD/CAM技术的基本概念及发展过程、CAD/CAM系统的组成等内容; 第2章为CAD/CAM系统常用数据结构, 主要介绍CAD/CAM系统中常用的数据结构、数据结构的程序编写举例和常用数据库简介等内容; 第3章为计算机图形显示及建模技术, 主要介绍计算机图形生成的基本原理、图形变换、几何建模方法、机械零件的特征建模、SolidWorks三维建模设计方法与应用实例等内容; 第4章为计算机辅助设计, 主要介绍界面设计的一般原则和方法, 以及在计算机辅助分类设计中常用设计数据的处理技术及相关算法; 第5章为计算机辅助工艺设计, 主要介绍CAPP的基本概念、CAPP系统的基本构成和设计步骤、成组技术、人工智能技术, 以及开目CAPP系统及其编程实例等内容; 第6章为计算机辅助制造技术, 主要介绍计算机辅助制造的基本概念、发展过程和发展趋势, 数控加工技术及数控机床, 数控编程中的基本概念数控编程的方法, Cimatron NC及其应用实例等内容; 第7章为产品数据管理及集成技术, 主要介绍PDM系统的概念、PDM系统的体系结构及功能、PDM在企业中的应用、产品结构与管理、工作流与过程管理、PDM在现代企业中的集成作用和开目PDM的功能与应用实例等内容。

本书根据我国制造业企业信息化的要求, 以CAD/CAM技术与应用为主导, 围绕计算机辅助设计及制造的有关知识和技术展开讨论, 基本囊括了CAD/CAM系统的理论与应用内容。书中介绍了相关领域著名的软件产品, 提供了部分典型应用实例, 同时提供了习题, 供读者检验学习效果时参考。

本书由李杨、王大康编著。编写过程中得到了武汉开目公司及陈万领、张永华和袁慧敏三位老师的大力支持和帮助, 同时还得到Cimatron公司、生信实维有限公司的支持与帮助, 特此表示感谢!

由于编者水平有限, 加之时间仓促, 书中难免有不妥之处, 敬请读者批评指正。

目 录

前言

第1章 计算机辅助设计及制造技术

概论 1

1.1 CAD/CAM 技术的基本概念 1

1.1.1 CAD 技术 1

1.1.2 CAPP 技术 1

1.1.3 CAM 技术 1

1.1.4 CAD/CAM 集成技术 2

1.2 CAD/CAM 技术的发展过程 2

1.2.1 CAD/CAM 技术的发展趋势 3

1.2.2 CAD/CAM 系统的组成 4

1.2.3 CAD/CAM 常用系统软件介绍 8

习题 9

第2章 CAD/CAM 系统常用数据

结构 10

2.1 概述 10

2.2 常用数据结构 11

2.2.1 数据的线性结构 11

2.2.2 树状结构和二叉树 16

2.2.3 网状结构 18

2.3 数据库系统及应用 18

2.3.1 数据库系统的基本概念及分类 18

2.3.2 常用数据库简介 20

习题 21

第3章 计算机图形显示及建模技术 22

3.1 计算机图形显示及输出设备 22

3.2 图形元素生成的基本原理 23

3.2.1 图形元素生成的基本算法 23

3.2.2 图形的几何变换 25

3.2.3 图形真实感处理简介 28

3.3 几何建模方法 29

3.3.1 线框建模 30

3.3.2 表面建模 31

3.3.3 实体建模 32

3.3.4 边界表示法 33

3.3.5 实体结构几何法 34

3.3.6 特征建模 35

3.4 SolidWorks 三维建模设计 36

3.4.1 SolidWorks 软件的特点 36

3.4.2 零件设计 38

3.4.3 装配体 48

3.4.4 工程图 56

3.4.5 设计交流工具 58

习题 59

第4章 计算机辅助设计 60

4.1 概述 60

4.2 界面设计 60

4.2.1 界面设计的一般原则 60

4.2.2 Windows 图形用户界面 63

4.2.3 Windows 应用程序模型 64

4.2.4 Windows 常用控件介绍 66

4.2.5 菜单的设计 67

4.2.6 对话框的设计 69

4.3 常用设计数据的处理技术 70

4.3.1 设计数据的处理 71

4.3.2 常用的数据排序算法和查找

算法 73

习题 82

第5章 计算机辅助工艺设计 83

5.1 计算机辅助工艺设计的概念 83

5.1.1 CAPP 的发展和趋势 83

5.1.2 CAPP 的基本类型 84

5.1.3 CAPP 系统的基本构成 85

5.2 零件信息和计算机辅助工艺设计的

步骤 86

5.2.1 零件信息包含的内容及描述

方法 86

5.2.2 计算机辅助工艺设计的步骤	87	第7章 产品数据管理及集成技术	162
5.3 派生式 CAPP 系统	88	7.1 产品数据管理概述	162
5.3.1 成组技术概述	88	7.1.1 产品数据管理的概念	162
5.3.2 成组技术的核心技术	89	7.1.2 PDM 的发展过程	163
5.4 创成式 CAPP 系统	93	7.1.3 PDM 的发展现状	164
5.4.1 创成式 CAPP 系统的构成及工作 原理	94	7.1.4 PDM 软件的应用状况	167
5.4.2 创成式 CAPP 系统的工艺决策	94	7.1.5 相关领域研究状况	168
5.5 智能型 CAPP 系统	97	7.1.6 PDM 与 CIMS 的关系	170
5.5.1 人工智能技术	97	7.2 PDM 系统的体系结构及功能	171
5.5.2 专家系统的基本构成	97	7.2.1 PDM 系统的体系结构	171
5.5.3 知识表示及推理	99	7.2.2 PDM 系统的功能	172
5.6 其他 CAPP 系统的简介	103	7.3 产品结构与配置管理	174
5.7 开目 CAPP 系统	104	7.3.1 产品结构管理	174
5.7.1 开目 CAPP 系统的功能特点	104	7.3.2 产品配置管理	176
5.7.2 开目 CAPP 系统的功能模块	106	7.3.3 产品结构与配置管理的作用和 数据描述	176
5.7.3 一般的工艺设计流程	109	7.4 工作流与过程管理	178
5.7.4 开目 CAPP 系统工艺规程编制 实例	110	7.4.1 工作流与过程管理的概念	178
习题	118	7.4.2 工作流管理模型	180
第6章 计算机辅助制造技术	119	7.5 PDM 在现代企业中的集成作用	182
6.1 计算机辅助制造概述	119	7.5.1 产品数据交换技术	182
6.1.1 计算机辅助制造的概念	119	7.5.2 PDM 信息集成模式	183
6.1.2 数字化制造	119	7.5.3 PDM 是 CAD/CAPP/CAM 的集成 平台	184
6.1.3 CAM 的发展与未来	120	7.5.4 PDM 是企业 CIMS 的集成 框架	185
6.2 数控加工技术及数控机床	124	7.6 产品生命周期管理	185
6.2.1 数控加工技术	124	7.6.1 产品生命周期管理的概念	185
6.2.2 数控系统	126	7.6.2 制造业 PLM e 化垂直链	186
6.2.3 数控机床	127	7.6.3 PDM 的实施过程	186
6.3 数控编程	131	7.6.4 实施 PDM 系统应注意的问题	187
6.3.1 数控编程中的基本概念	131	7.7 开目 PDM 系统	188
6.3.2 数控编程的方法	135	7.7.1 开目公司的企业信息化解决 方案	188
6.3.3 数控编程基本指令	137	7.7.2 开目 PDM 系统的特点与功能	189
6.3.4 数控编程实例	142	7.7.3 开目 PDM 系统的核心功能	191
6.4 Cimatron NC	143	7.7.4 开目 PDM 系统的使用	199
6.4.1 Cimatron NC 功能	143	7.7.5 开目 PDM 系统的应用实例	208
6.4.2 Cimatron 加工特色	144	习题	212
6.4.3 Cimatron 加工策略	147	参考文献	213
6.4.4 Cimatron 加工实例——熨斗凸模 加工	148		
习题	161		

第1章 计算机辅助设计及制造技术概论

1.1 CAD/CAM 技术的基本概念

随着计算机技术的快速发展及其在机械设计和制造领域中的应用,导致了传统的设计手段和加工方法发生了彻底的改变。如今, CAD/CAM 技术已经成为设计领域和制造领域中不可缺少的技术手段,它能够提高产品设计水平,缩短开发周期,提高产品的加工质量,同时也是企业提高创新能力、产品开发能力和增强企业竞争力的一项关键技术。

1.1.1 CAD 技术

CAD (Computer Aided Design) 即计算机辅助设计。CAD 技术是工程技术人员利用计算机的快速计算功能和高效率的图形处理能力,辅助设计人员完成工程或产品的设计、分析计算及图样绘制等工作,从而获得理想的设计目标并取得预期成果的一种技术。CAD 技术是包括数值计算、计算机图形学、数据库、网络通信等计算机及其他领域知识于一体的综合性高新技术,是先进制造技术的重要组成部分。CAD 技术具有涉及面广、技术变化快、投入产出高、功能强等特点,能够满足广大用户需求的变化。

计算机辅助设计以计算机、外围设备及其系统软件为基础,包括概念设计、方案设计、结构设计、优化设计、有限元分析、动态分析、仿真模拟以及产品数据管理等内容。随着 Internet/Intranet 和并行、高性能计算及事务处理的普及,异地、协同、虚拟设计及实时仿真也得到了广泛应用。

1.1.2 CAPP 技术

CAPP (Computer Aided Process Planning) 即计算机辅助工艺设计。工艺设计人员运用计算机技术,根据产品设计得到的数据进行产品加工方法的确定和加工工艺的设计。计算机辅助工艺设计包括毛坯设计、加工方法的选择、加工路线的确定、工序设计及工时定额计算等。在工序设计中还包含产品加工过程中加工设备、装夹设备的选择和设计,加工余量、切削用量等的选择,以及工序图和工艺文件的制定等。

1.1.3 CAM 技术

CAM (Computer Aided Manufacturing) 即计算机辅助制造。计算机辅助制造一般是指计算机在产品生产制造过程中有关应用的总称。到现在为止,对于计算机辅助制造尚无一个统一的定义,一般有广义和狭义两个定义。狭义的 CAM 一般是指数控程序的编制,包括刀具加工路线的制定、刀位文件的生成、刀具加工轨迹的仿真及数控 (NC) 加工代码的生成等;广义的 CAM 扩展了狭义 CAM 的内容,包含了产品生产过程从毛坯到产品的制造过程中所有的相关活动。利用计算机对产品的制造过程从原材料开始到加工结束的全过程进行监控,如原材料需求计划的编制、生产计划制定、物流过程的控制、计算机辅助工艺设计、数控

(NC) 加工代码编制、计算机辅助工时的制定、材料定额的编制及质量控制等。通常对 CAD/CAM 系统中 CAM 的理解还是指狭义的 CAM。

1.1.4 CAD/CAM 集成技术

产品从设计到制造经历了产品结构设计、加工过程的工艺设计、产品的加工制造等阶段,各阶段具有各自的特点,而且具有密切的联系,缺一不可。CAD、CAPP、CAM 在产品的制造过程中完成不同阶段的任务。CAPP 需要产品的结构形状、材料的详细信息才能制定出产品加工的路线、加工设备、加工工序等工艺信息文件,而 CAM 则根据 CAPP 传递的工艺信息编制出加工代码从而进行零部件的加工。在整个过程中可以看出 CAD、CAPP、CAM 之间存在着加工零部件数据信息的传递关系,上一级将完成的任务作为数据传递到下一级,下一级又根据已有的产品数据完成自己的任务,再将产品数据向下传递,形成产品数据的流动过程。随着数据的流动,完成产品所需的设计加工任务。过去,CAD、CAPP、CAM 都有独立完整的系统,系统之间没有联系,按照各自的需要进行发展,由于各系统针对不同的领域和不同的用户需求及技术环境,因此,各系统的数据结构、数据传递标准、系统模式等存在着差异,系统之间所需的数据往往需要人工采集、输入,一方面容易出现差错,另一方面各系统无法高效率地运行。

CAD/CAM 集成系统利用工程数据库技术和采用标准格式的产品数据交换接口技术,在 CAD、CAPP、CAM、CAE (计算机辅助工程) 各系统之间实现产品数据的自动传递、接收、转换、共享和处理,将产品设计、产品加工制造、生产管理、质量监控等过程实现集成,产品数据的采集和流动在封闭的系统中完成,避免了系统各自独立存在的缺陷,也为 CAD/CAM 集成系统提供了向 CIMS (计算机集成制造系统) 进一步发展的基础。

1.2 CAD/CAM 技术的发展过程

CAD/CAM 技术是伴随着计算机软硬件技术的发展而产生的一种全新的设计、制造方法和手段。在发展初期,CAD 和 CAM 处于各自的发展阶段,没有实现相互结合。

20 世纪 50 年代末期,美国麻省理工学院林肯实验室研制的空中防御系统可以实现将雷达的信号转换为显示器上的图形,操作人员可以通过光笔显示拾取屏幕上所需的信息,该功能的出现预示着交互图形生成技术的诞生。

1963 年,美国麻省理工学院的 I. E. Sutherland 在他发表的博士论文中提出了 Sketchpad 系统。该系统可以用光笔在图形显示器上实现选择、定位、显示和修改等交互功能,从而为交互图形生成和显示技术的发展奠定了基础。20 世纪 60 年代中后期,美国的一些大公司研制出一些 CAD 系统,如 IBM 公司的 SMS、SLT/MST 用于设计自动化系统,洛克希德公司研制的用于二维绘图的 CAD 系统,通用汽车公司为设计汽车车身和外形而开发的 CAD-1 系统等。

20 世纪 70 年代,CAD 技术发展较快并且日趋成熟,美国 Applicon 公司第一个推出完整的 CAD 系统。特别是微机和工作站的发展和普及,再加上功能强大的外围设备,极大地推动了 CAD 技术的发展,CAD 技术已进入实用化阶段,广泛服务于机械、电子、宇航、建筑、纺织等产品的总体设计、造型设计、结构设计、工艺过程设计等环节。

我国自 20 世纪 60 年代开始研究开发 CAD 软件,当时主要是研究开发二维绘图软件,

并利用绘图机输出二维图形。进入20世纪90年代, CAD技术在各生产部门得到广泛应用, 提高了产品的设计质量, 缩短了设计周期, 加快了产品更新换代的速度, 获得了良好的经济效益。

CAM技术是随着计算机技术、自动控制技术的发展而逐步发展起来的。美国于1952年研制成功世界上第一台数控机床, 3年后又研制出APT编程系统, 1955年开始运用于生产实际, 从而掀开了制造加工行业新的一页。

20世纪60年代在专业系统上开发出了编程机及部分编程软件, 如FANOC、SIEMENS编程机, 系统结构为专机形式, 基本处理方式是人工或辅助计算数控刀具路径, 编程目标与对象是数控刀具路径, 但是功能比较差, 操作也困难, 只能专机专用。

早期的数控系统即NC(Numerical Control)系统, 人们采用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统, 被称为硬件连接数控, 简称数控(NC)。加工程序的输入采用穿孔纸带, 数控装置完成的各项功能通过硬件控制实现。

1970年, 随着小型计算机的出现并成批生产, 将它移植过来作为数控系统的核心部件, 从此进入了计算机数控(CNC)阶段。到1971年, 美国Intel公司将计算机的两个核心的部件——运算器和控制器, 采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上, 即微处理器(Micro-Processor), 微处理器被应用于数控系统。早期的微处理器速度不太高, 功能不太多, 但可以通过多处理器结构来解决。由于微处理器是通用计算机的核心部件, 故仍称为计算机数控。1990年, PC的性能已发展到很高的阶段, 可以满足作为数控系统核心部件的要求, 从此数控系统进入了新的阶段。

20世纪后期, 网络的出现和发展不仅给人们生活带来了诸多便利, 同时也给社会的各个领域带来了改变, 先前的数控装置是与每一台确定的机床组合工作, 在网络条件下, 可以实现多台数控机床通过网络控制的计算机完成远程数据传输、自动编程、程序校验和修改, 以及生产的调度安排和自动维护等功能, 因此称为DNC(Direct Numerical Control)系统。DNC系统的功能内涵随着计算机技术、通信技术等技术的发展不断扩大, 其主要特点是增加了对产品生产的控制管理功能, 以及实现CAD/CAPP/CAM的数据接口功能等。

从CAD/CAM技术发展的历史可以看出, 它们与计算机等新技术的发展有密切的联系, 是随着新技术的发展而发展起来的, 今后也会随着各种新技术的不断进步而得到更大的发展。

1.2.1 CAD/CAM技术的发展趋势

目前, CAD/CAM技术正在向集成化、智能化、网络化的方向快速发展。

1. 集成化

产品从概念设计、加工生产到使用维护的全过程称为产品生命的全周期, 采用数字化来定量的表述、传递、处理和控制在产品设计、生产的全过程, 该过程通过产品数据的流动将设计信息自动转换为制造信息, 将设计、工艺、制造过程集成为一个大的系统, 形成一个以工厂自动化生产为目标的集成制造系统。集成系统内部包含了所需的各类功能和更加完善的设计、制造软件系统。例如, Pro/Engineer、UG、SolidWorks等软件系统, 具备强大的三维造型功能和良好的CAM加工以及仿真功能。另外, 许多高级编程语言, 如Java、VC++、VB等软件都具备和数字化机床相互连接的接口, 从而促进了CAD/CAM技术集成化的飞跃

发展。

2. 智能化

机械产品的设计、制造全过程是一系列复杂并且具有创新性的过程。这一过程不仅包括传统的计算、分析、结构设计、产品加工工艺的制定和加工方法确定等活动,还包含了大量的决策推理的过程,如概念设计、方案选择、结构设计、参数选择、评价等,整个过程依赖于相关的数学模型,需要进行分析、推理、判断。传统的 CAD 技术存在一些无法克服的缺陷,例如,在建立数学模型时往往会进行大量的省略,将实际具有的一些影响和约束简化或通过其他的假设替代,出现与实际情况有较大的差异。将人工智能技术(包括专家系统技术)与传统的 CAD、CAPP、CAM 技术结合,通过计算机模拟专家的智能活动,进行分析、判断、推理、决策等活动,同时将专家的智能活动的全过程收集、保存、完善、共享以及继承和发展,为机械设计及制造中需要专家丰富经验和创造性思维解决的问题提供强有力的求解手段和工具,从而形成智能化的 CAD/CAM 系统。这也是传统的 CAD/CAM 系统发展的必然趋势。

3. 网络化

计算机网络技术的飞速发展,为产品的设计、制造在资源共享、异地协同设计加工等方面提供了一个大的网络平台。计算机网络就是计算机技术与通信技术的结合。计算机网络可以利用现有的通信路线和通信设备,将处于不同区域和地点的多台独立的计算机连接起来,按照规定的网络协议进行通信、数据传输交流,实现异地资源共享。利用计算机网络技术,企业可以针对某一产品,将分散于不同区域的智力资源和生产资源组合起来,发挥设计和加工资源的最大潜力。并且利用以因特网为标志的信息高速公路,灵活而快速地组织制造资源,按资源优势互补的原则,迅速地组成一种跨地域的、靠电子网络联系的、统一指挥的运营实体。从而实现以最短的时间、最低的成本、最少的投资向市场推出高附加值的产品。

1.2.2 CAD/CAM 系统的组成

CAD/CAM 系统主要由两大部分组成:硬件系统、软件系统。硬件系统包括计算机及外围设备,软件系统则包括各类不同作用、功能的软件。不同的 CAD/CAM 系统可以根据系统的应用范围和所需的软件规模,进行硬件和软件的不同配置,以满足系统的基本功能和运行要求。根据计算机系统规模的大小,可以将计算机辅助设计系统分为单机系统、局域网络系统和万维网络系统。CAD/CAM 系统软件和硬件的组成,如图 1-1 所示。

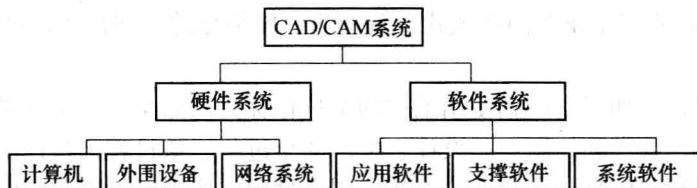


图 1-1 CAD/CAM 系统

1.2.2.1 CAD/CAM 的硬件系统

CAD/CAM 系统的硬件主要包括中央处理器、存储器、输入设备、输出设备、网络通信

设备。

1. 中央处理器

中央处理器即 CPU, 是微型计算机的核心部件, 由控制器和运算器组成。中央处理器的主要功能就是按照指令控制计算机的工作, 对数据进行算术运算和逻辑运算。主机的类型及性能对 CAD/CAM 系统的使用功能起到了决定性作用。通过 CPU 可以获取主存储器内的指令, 分析指令的操作类型, 实现计算机各种动作, 控制数据在各部分之间的传送, 输出计算的结果及逻辑操作的结果。

2. 存储器

内存储器也称为内存, 又可以分为随机存储器和只读存储器, 二者共同构成主存储器。随机读/写存储器 (Random Access Memory, RAM) 用于存放当前参与运行的程序和数据。只读存储器 (Read Only Memory, ROM) 用于存放各种固定的程序和数据, 由生产厂家将开机检测、系统初始化、引导程序、监控程序等固化在其中。主存储器基本功能就是用来存放指令、数据及运算结果。

外存储器, 包括软盘和硬盘。外存储器是保存计算机处理过程中产生的大量数据、信息的重要外部设备。外存储器还可以起到扩大存储系统容量的作用。常用的外存储器有硬盘、磁带、光盘等。

3. 输入设备

输入设备主要包括键盘、鼠标、触摸屏、图形扫描仪等。

操作者通过输入设备将数据、字符、图形图像等信息转换成计算机能识别的电子脉冲信号, 再传递给计算机, 计算机按照接收的指令实现要求的动作和运算。实现上述功能的装置称为输入设备。输入设备是人机交互过程中重要条件。

(1) 键盘 键盘上设置了四个区域: 主键盘区、数字键盘区、功能键区及控制键区。设计人员通过字符键、功能键及数字键输入信息或执行一个程序, 控制键用来对屏幕和程序进行特殊处理。键盘是计算机必不可少的输入设备之一。

(2) 鼠标 鼠标是一种输入设备, 它能够在显示屏上完成快速精确的定位、选择、拾取等操作, 常用于屏幕编辑、菜单选择及绘图等功能。常用的鼠标有机械式和光电式两大类型, 它们的基本原理都是通过将鼠标运动的距离、方向转化为电脉冲信号输入计算机, 计算机再将脉冲信号转变为显示器上光标的确定坐标数据, 完成需要的动作。

(3) 触摸屏 触摸屏是一种定位设备, 当有物体触摸到屏幕的不同位置时, 触摸屏向计算机发送触摸的信号, 计算机接收触摸信号后通过相应的软件对信号进行处理, 并在显示屏上显示相关的信息。触摸屏一般分为电阻式、电容式、红外线式、声表面波式。

(4) 图形扫描仪 图形扫描仪是高精度的光、机、电一体化的输入设备。它直接将各种形状的文字、图像、图形信息扫描输入到计算机中, 以像素信息进行存储表示, 进而实现对信息的处理、使用、输出等。

(5) 其他输入设备 除以上介绍的输入设备外, 还有其他的一些输入设备也在日常中使用, 如数码相机、电视摄像机、数据手套、触摸球、位置跟踪仪等。随着计算机软硬件技术的不断发展, 新的输入形式也在不断出现和完善, 近年来, 语音输入识别技术研究已取得一些突破性的进展, 作为一种新的输入手段正逐步走向市场, 改变着传统的交互输入方式。

4. 输出设备

输出设备是将 CAD/CAM 系统的分析计算后的结果在要求的设备上输出、显示,可以采用文字、数据、图表、工程图样或者三维模型等方式表示。常用的输出设备包括图形显示器、打印机、绘图仪、立体显示器等。

(1) 图形显示器 图形显示器是计算机 CAD/CAM 系统的基本硬件配置之一,对于设计人员的操作,它可以实时响应。设计人员可以根据显示器上显示的信息及时方便地进行编辑、修改。显示器的主要技术指标包括分辨率和图形处理速度。分辨率是指屏幕上可识别的最大光点数。光点也称为像素,光点数越多,分辨率越高,图形显示就越精确,可以较好地避免图形、图像的失真。显示器的图形处理速度通常以每秒可处理、显示的三维矢量个数及填充多边形的个数来衡量。图形显示器主要有随机扫描显示器、液晶显示器、等离子显示器等。

(2) 打印机 打印机是一种主要且常见的输出设备。打印机将计算机处理后的数据、报表、图形及工程图样等结果输出到纸面以达到信息永久保留。根据工作原理的不同,打印机分为针式打印机、静电打印机、喷墨打印机和激光打印机等。

(3) 绘图仪 绘图仪就是将 CAD/CAM 系统中产生的大量工程图样等输出到图纸上,在 CAD/CAM 系统中绘图仪的使用是很频繁的。绘图仪工作时是计算机通过程序指令控制笔和纸的相对运动,对图形的颜色、线型以及绘图过程中的抬笔、落笔动作加以控制,将屏幕显示的图形或存储器中的图形输出。绘图仪可以分为笔式绘图仪、喷墨绘图机、热敏绘图机等。笔式绘图仪又分为平板式和滚筒式两种。

(4) 立体显示器 立体显示器可以根据计算机的输出图形数据在用户的眼前提供一个逼真的动态的立体图像,同时通过立体声耳机提供接近实际的声音效果,使用户尽可能地沉浸在虚拟的环境中。立体显示设备主要包括头盔显示器、立体眼镜及三维立体投影仪等。头盔显示器是虚拟设计中常用的输出设备。

5. 网络通信设备

网络通信设备是利用网络系统硬件设备将各单台计算机相互连接起来,构成局域网或者万维网,使计算机相互之间共享数据或传送信息。网络通信设备包括网卡、集线器、路由器、交换机、中继器、网桥等。

1.2.2.2 软件系统

CAD/CAM 系统不仅需要计算机硬件设备,还需要配备各种相关的功能软件。软件的作用就是通过管理和使用硬件实现所要求的功能。软件系统的不同配置会直接影响到 CAD/CAM 系统的功能、效率及使用的方便程度,所以软件部分在机械 CAD/CAM 中占据着越来越重要的地位。通常, CAD/CAM 系统软件分为三个层次:系统软件、支撑软件、应用软件。

1. 系统软件

系统软件属于底层管理软件部分,它主要着重于计算机系统的管理、资源的调用,控制计算机程序的运行,是用户与计算机硬件连接的纽带,它为应用软件提供了一个使用的平台和良好的软件工作环境。操作系统是系统软件中最基础、最核心的部分,操作系统在整个服务器系统中起到至关重要的作用。常用的计算机操作系统有 MS-DOS、UNIX、Linux、NetWare、Windows、Windows NT 等。

(1) MS-DOS MS-DOS 是一种单用户、单任务的操作系统。该系统操作简单,对硬件的性能没有较高的要求,其交互功能为问答式交互,大量的命令需要记忆和手工键盘输入,计算机使用人员不方便操作,并且其内存管理存在局限性。所以,目前 MS-DOS 基本上已经退出了历史舞台。

(2) UNIX 系统 UNIX 系统是一种多用户、多任务分时操作系统。它是大型机和许多高端微机的操作系统。UNIX 系统对维护、操作人员的专业水平有一定的要求。UNIX 的主要特点是技术成熟、可靠性高。它能在 PC、工作站直至巨型机上运行,不受任何厂商的垄断和控制。UNIX 具有强大的支持数据库的能力和良好的开发环境,所有主要数据库厂商,包括 Oracle、Informix、Sybase、Progress 等,都把 UNIX 作为主要的数据库开发和运行平台。网络功能强大是 UNIX 的另一特点。作为 Internet 技术基础和异种机连接重要手段的 TCP/IP 就是在 UNIX 系统上开发和发展起来的。TCP/IP 是所有 UNIX 系统不可分割的组成部分。此外,UNIX 系统还支持所有需用的网络通信协议,能方便地与已有的主机系统以及广域网和局域网相连接,这也是 UNIX 系统具有出色的互操作性的根本原因。

(3) Windows 操作系统 MS-Windows 系统是一个基于图形可视化界面的多任务窗口环境,可以完成硬件管理、网络管理和外围设备管理等功能,能够运行 Windows 所编写的应用程序,也能运行 MS-DOS 环境所编写的程序。该操作系统的界面简单,便于使用,是目前用户最多、最流行的操作系统之一。Windows NT 也是目前最流行的网络操作系统之一。

(4) Linux 操作系统 Linux 操作系统是一种自由使用没有版权限制的软件。在计算机操作系统市场中,目前 Linux 已有数百万用户,受到全球众多个人用户和一些跨国大企业客户的认同和喜爱。

2. 支撑软件

支撑软件是支持辅助用户完成 CAD 作业时所使用的具有通用功能的软件。支撑软件是在系统软件基础上研制的,为 CAD 的二次开发提供了开发环境。用户可以在此开发环境下进行移植或自行开发所需的应用软件系统,以完成特定的设计任务。CAD 系统所需的支撑软件从功能上可以划分为高级程序设计软件、图形软件、数据库管理软件、分析计算软件等。

(1) 高级程序设计软件 高级程序设计语言是开发计算机程序的基本工具,利用高级程序设计软件可以进行 CAD 系统的开发。高级程序设计语言具有规定的符号、代码及语法规则,根据开发程序的要求进行代码的编写,计算机编译系统将程序代码翻译为计算机能够执行的机器指令。高级程序设计语言包括 Fortran 语言、Basic 语言、C 语言和汇编语言等,Basic 语言和 C 语言现在已经发展成为可视化高级编程语言 Visual Basic 和 Visual C++ 系列。

(2) 图形软件 图形软件主要包括绘图软件和三维构型软件,图形软件具有基本图形元素绘制、图形变换、图形编辑、存储、显示等功能,也支持不同专业的应用图形软件的开发。绘图软件是 CAD 系统中最基本的图形软件,运用于绘制零部件产品中符合工程要求的零件图和装配图,图形的生产可以通过人机交互的方式完成,也可以利用三维模型的投影变换完成。现有的微机上广泛应用的是 Autodesk 公司的 AutoCAD 系统支撑软件,国内也开发了图形支撑软件,如开目系统。三维构型软件则侧重于为用户提供一个完整、准确地描述和显示三维几何形状的方法和工具,其基本功能包括几何构型、曲面造型以及真实处理、实体参数计算、质量特性计算等功能。常用的有 CATIA、Solid Edge、Pro/Engineer、UG 等。

(3) 数据库管理软件 数据库按照一定的组织方式存储相关的数据,并且方便用户查找、调用、保存、修改数据,而数据库系统则由数据库和数据库管理系统组成。数据库在 CAD 系统中具有重要地位,它能有效地存储、管理、使用 CAD 所拥有的大量数据。CAD 系统由于自身的一些特点需要相应的工程数据库的支持,但目前常常是借用商用数据库。现在常用的数据库系统,如 dBASE、FoxBASE、FoxPro、Oracle、Sybase、SQL Server、Informix、DB2 等,它们都属于商用数据库系统,而研制一个方便实用的工程数据库管理系统是当前尚待解决的重要问题之一。

(4) 分析计算软件 计算机辅助设计中需要对机构进行大量的数值计算、分析、结构参数的优化以及运动学、动力学仿真等处理,相关的软件有 SAP、ASKA、ANSYS、ADINA、NASTRAN 等。

3. 应用软件

应用软件是在系统软件、支撑软件的基础上,按照用户的要求针对特定的领域和特定的要求解决实际问题而自行开发或委托开发的程序系统,又称为“二次开发”,如专用模具设计软件、机械零件设计软件、数控机床控制系统等。应用软件具有很强的针对性和专用性。应用软件系统包括常规设计计算方法、可靠性设计软件、优化设计方法、动态仿真软件,以及各种专业程序中常用的机械零件设计计算方法软件、常用产品设计软件等。

1.2.3 CAD/CAM 常用系统软件介绍

在 CAD/CAM 中,常用的系统软件简介如下。

1. AutoCAD

AutoCAD 系统是美国 Autodesk 公司开发的基于微机的一个交互式绘图软件系统。该软件系统主要包括二维工程图样绘制功能和三维造型功能,为用户提供了方便、快速的制图手段,支持多种操作系统,具有良好的人机交互绘图界面和图形编辑、图形数据接口功能。同时还提供了 LISP 语言、C 语言等高级语言的二次开发平台,以及应用软件、数据库管理软件的接口,用户可以利用 C、LISP 等程序设计语言并根据自身的需要进行计算机辅助设计系统的开发和一些特定功能的定制,运用领域很广泛。

2. UG

UG (Unigraphics) 具有强大功能的 CAD/CAM 集成软件,具有实体建模、曲面构型、工艺分析、数控编程 (NC 代码) 等功能,为用户提供一个从产品的概念设计到产品建模、分析和制造的全过程,以及一个灵活的复合建模模块。在 UG 中,优越的参数化和变量化技术与传统的实体、线框和表面功能结合在一起。UG 提供全系列的工具,包括针对计算机辅助工业设计 (CAID) 艺术级工具,并与功能强大的 CAD/CAM 解决方案紧密集成。UG 具有独特的知识驱动自动化 (KDA) 的功能,使产品和过程的知识能够集成在一个系统中。

3. SolidWorks

SolidWorks 软件采用 Parasolid 作为几何平台,采用 DCM 作为约束管理模块,同时采用自顶向下基于特征的实体建模设计方法,可以动态模拟装配过程,并且自动生成装配明细栏、装配爆炸图,还可以进行零部件间的干涉检查,特征树结构使操作更加简便和直观。SolidWorks 软件具有灵活的草图绘制和检查功能,可以绘制用于管道设计或扫描特征的 3D 草图,强大的特征建立能力和零件与装配的控制功能,利用零件和装配体的配置不仅可以利

用现有的设计,建立企业的产品库,解决了系列产品的设计问题。SolidWorks 软件还提供自由、开放、功能完整的开发工具接口,可以利用 VC、VB 或其他 OLE 开发程序对 SolidWorks 进行二次开发。

4. Pro/Engineer

Pro/Engineer 系统是美国参数技术公司 (Parametric Technology Corporation, 简称 PTC) 的产品。该系统具有较强的三维实体建模、参数化曲面设计、工程图样生成、零部件模拟装配管理、刀具路径生成、有限元分析、模具设计、电路设计、装配管件设计、加工制造、逆向工程等功能。Pro/Engineer 软件能将设计至生产全过程集成到一起,让多用户能够同时进行同一产品的设计制造工作,即实现所谓的并行工程。

5. Solid Edge

Solid Edge 采用的是基于特征的参数化、变量化设计技术。Solid Edge 利用相邻零件的几何信息,使新零件的设计可在装配造型内完成;模塑加强模块直接支持复杂塑料零件造型设计;钣金模块使用户可以快速简捷地完成各种钣金零件的设计;利用二维几何图形作为实体造型的特征草图,实现三维实体造型,为从 CAD 绘图升至三维实体造型的设计提供了简单、快速的方法,使其操作方便,简单易学。此外, Solid Edge 还为用户提供了采用标准 Windows “对象链接与嵌入 (OLE)” 技术和 “部件对象模式 (COM)” 技术的应用程序接口,开发者和用户能够通过使用 Visual Basic、Visual C++ 以及任何一种支持 ActiveX Automation 技术的工具,对 Solid Edge 进行二次开发,适应用户的一些特殊要求,减少重复性建模制图工作,全面扩展 Solid Edge 的功能或将其功能集成到客户应用程序中,以实现 Solid Edge 的完全客户化。Solid Edge 采用 Parasolid V10 造型内核作为强大的软件核心。

习 题

- 1-1 简述 CAD、CAPP、CAM 的基本概念。
- 1-2 简述 CAD/CAM 系统硬件的组成。
- 1-3 简述 CAD/CAM 系统软件的组成。
- 1-4 简述 CAD/CAM 系统集成的意义。
- 1-5 简述 CAD/CAM 系统的发展趋势。
- 1-6 简述 CAD/CAM 中常用的软件系统。

第2章 CAD/CAM 系统常用数据结构

2.1 概述

设计或制造一个零件都需要大量的数据支持,如性能参数、几何尺寸数据、工艺过程数据、图样数据和事务处理数据等,这些数据联系在一起组成了对一个机械产品信息的描述。如何组织这些数据,建立它们之间的联系,就是数据结构所要解决的问题。数据是对客观世界、实体对象的性质和关系的描述,而数据结构描述数据之间的联系。在计算机辅助机械设计中会使用大量的设计资料,这些资料最终要通过数据的形式存储在计算机中。在现代计算机辅助机械设计中,充分利用了计算机的高速处理能力,实现对设计资料 and 数据的自动化处理。

计算机辅助机械设计中涉及大量不同类型的信息和数据,如数字、字符、表格、图形、图像、声音、动画等,信息和数据之间又存在着相互的关系。独立的数据往往是毫无意义的,只有将它们组织在一起才能赋予确切的含义。

1. 数据的概念

数据就是描述客观实体和现象的数字、字符、表格、图像等,以及能够输入计算机并且能够被计算机接受、处理的所有符号的集合。

数据还可以按照组织层次分为:数据项、记录、数据文件、数据库、数据库系统。

(1) 数据项 数据项是对实体某项属性的具体数据描述,是数据中最基本的、不可分的并可能有命名的数据单位。例如,齿轮的模数、齿数、齿宽、材料牌号等分别表示齿轮的某项属性,它们的具体数值可能是 1.5、67、48、20Cr,这些数据是不可拆分的。

(2) 记录 相关的数据项集合到一起,组成一个记录,也称为数据元素。例如,有关齿轮的各个数据项的集合就组成了该齿轮的一个记录。

(3) 数据文件 相同性质的记录的集合就组成数据文件。例如,将所有齿轮的记录存放到一起,就是一个关于齿轮零件的文件。

(4) 数据库 数据库是指具有一定特点和关系的一系列数据文件的集合。

(5) 数据库系统 有些复杂的系统可能包含多个分门别类的数据库,这些数据库的集合就构成了一个数据库系统。

2. 数据类型

数据类型就是计算机程序设计语言中定义的不同变量的种类。每一种程序设计语言都会提供本程序设计语言的一组基本数据类型,而且不同的数据类型又确定了数据在计算机中所占位置的大小。如 C 语言中字符类数据、浮点类数据等。

3. 数据的逻辑结构和物理结构

数据的逻辑结构是指数据之间的逻辑关系,不考虑数据的存储介质并且独立于数据的存储介质。通常所说的数据结构一般是指数据的逻辑结构。按数据的逻辑关系不同可分为两种:线性结构和非线性结构。

线性结构的数据关系简单,具有按顺序排列的线性关系,可以用数表的形式表达,因此也称为“线性表结构”。

非线性结构的数据关系比较复杂,不能用线性表这种简单的形式来表达,而需要用构造型的数据结构来表示。因此,非线性结构也称为“构造型的数据结构”。构造型的数据结构又可分为树状结构和网状结构两种。具有明显层次关系的数据组成了“树状结构”,具有纵横交错的网络关系的数据组成了“网状结构”。

数据的物理结构也称为存储结构,是指数据在计算机存储器中的表示和映象,它包括数据项的映象和关系的映象,通过系统的特定软件将数据写入存储介质。常用的数据存储结构有顺序存储结构和链式存储结构。

2.2 常用数据结构

2.2.1 数据的线性结构

由 $n(n \geq 0)$ 个数据元素组成的有限序列就是线性结构,常称为线性表。线性结构是一种简单、常用的数据结构,其逻辑结构形式为

$$(a_1, a_2, a_3, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n)$$

其中 a_i 可以是数值,也可以是符号,甚至可以是线性表等,但是在同一表中,数据结构的类型必须相同。该结构中的数据元素,除第一个和最后一个外,每个数据元素都仅有一个直接前驱和一个直接后继。线性表的长度由线性表中数据元素的数量确定。

例如,齿轮的标准模数系列可称为一个线性表。

$$(1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50)$$

该表中的数据元素是一个数。

线性表的物理结构既可以是顺序存储结构,也可以是链式存储结构。计算机中的具体表示有数组、字符串、栈与队列等几种形式。下面介绍线性表的存储结构。

1. 顺序存储结构

顺序存储结构即按照数据元素的逻辑结构顺序依次存放,即用一组连续的存储单元依次存放各个数据元素,数据元素与其存放地址之间存在着——对应关系。这种存储方式占用存储单元少,简单易行,结构紧凑;但数据结构缺乏柔性,若要增加和删除数据,必须重新分配存储单元,重新存入全部数据,因而不适合于需要频繁修改、补充、删除数据的场合。

在顺序存储结构中,设每个数据元素所占用的存储单元长度为 L ,线性表的第一个数据元素的存储地址为 $\text{Loc}(a_1)$,则第 i 个数据元素的存储地址为 $\text{Loc}(a_i) = \text{Loc}(a_1) + (i-1) \times L$ 。当知道线性表中第一个元素的地址和寻找的数据元素的序号时,则可得到这个数据元素的存储地址,可以加快对元素的访问速度。例如,数组的存储方式就为顺序存储结构。

对线性表数据元素的访问和修改非常方便,但是当对线性表进行数据元素的删除和插入操作时就需要对数据元素进行大量的移动操作,这会增加运算时间。对于长度可能发生变化的线性表,必须按最大可能长度分配存储空间,而且表的容量也不能随意扩充,所以可能造成存储空间的浪费。因此,在应用软件开发中,线性表的顺序存储结构一般适用于表的长度变化不大、查找频繁而删除和插入操作很少的场合,例如用于机械设计手册中大量数表的存