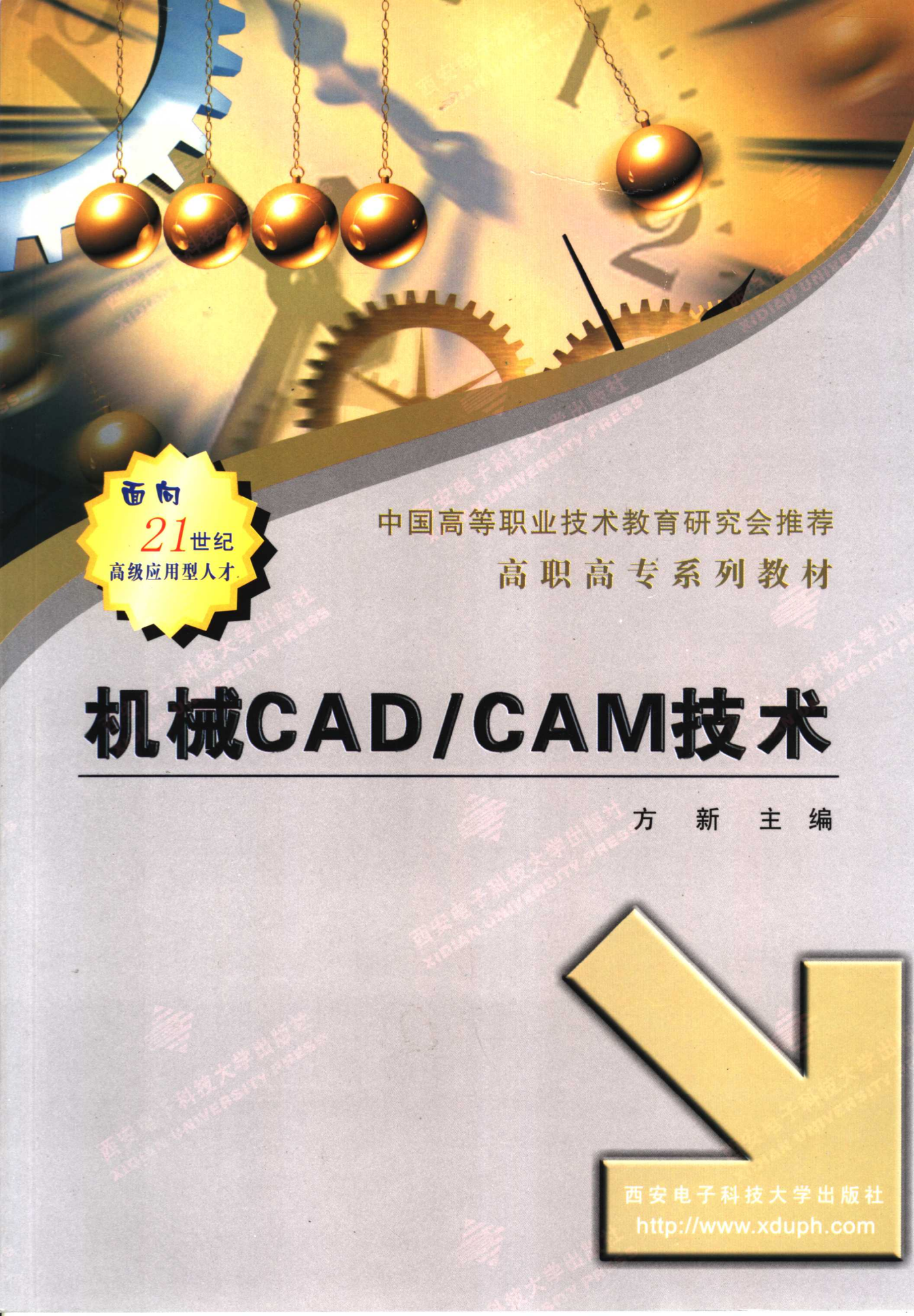




面向

21世纪
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列教材

机械CAD/CAM技术

方 新 主 编

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列教材

机械 CAD/CAM 技术

方 新 主编

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书系统讲述了 CAD/CAM 技术的基本概念、基本方法和应用实训实例。内容包括 CAD/CAM 的基本概念、CAD 技术、CAM 技术和 CAD/CAM 技术的发展趋势等。

本书在保持内容系统性的基础上,突出内容的新颖性和实用性,在介绍 CAD/CAM 应用技术的同时,结合常用 CAD/CAM 软件(Pro/E、UG、CAXA)的应用给出各种从机械零件三维造型设计到机械零件数控加工自动编程的实训方案,便于学生实际操作。

本书可作为数控类、机械类、机电类专业学生的教材,也可作为从事数控自动编程、CAD/CAM 技术工程应用的技术人员的参考书和培训教材。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM 技术 / 方新主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.

(高职高专系列教材)

ISBN 7-5606-1402-7

I. 机... II. 方... III. ① 机械设计: 计算机辅助设计 - 高等学校: 技术学校 - 教材

② 机械制造: 计算机辅助制造 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 046264 号

策 划 马乐惠

责任编辑 王素娟 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 18.5

字 数 437 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 20.00 元

ISBN 7-5606-1402-7/TH·0035(课)

XDUP 1673001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

机电类专业系列高职高专教材

编审专家委员会名单

主任：刘跃南（深圳职业技术学院教务长，教授）

副主任：方 新（北京联合大学机电学院副院长，副教授）

李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑，教授）

成 员：（按姓氏笔画排列）

刘守义（深圳职业技术学院工业中心主任，副教授）

李七一（南京工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

李望云（武汉职业技术学院机械系主任，副教授）

宋文学（西安航空技术高等专科学校机械系副主任，副教授）

邱士安（成都电子机械高等专科学校机电工程系副主任，副教授）

胡德淦（郑州工业高等专科学校机械工程系副教授）

高鸿庭（上海电机技术高等专科学校机械系副教授）

郭再泉（无锡职业技术学院自控与电子工程系副主任，副教授）

蒋敦斌（天津职业大学机电工程系主任，教授）

董建国（湖南工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

翟 轰（陕西工业职业技术学院院长，教授）

项目总策划：梁家新

项目策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

本书是中国高等职业技术教育研究会与西安电子科技大学出版社共同策划、组织编写的高职高专机电类专业系列教材之一。

在本书的编写过程中,作者遵循以下原则:一是教材内容要反映科技、生产的先进技术,使教材具有较强的先进性;二是要符合职业教育的规律,教材内容要强调理论和实践的融合,加大案例培训的份量,着重培养实践能力;三是教材内容要精选,做到简明实用。

高职高专的“机械 CAD/CAM 技术”课程属于实践类课程,课内学时应配合实训环节,使学生能使用 CAD/CAM 软件完成零件三维模型的创建和数控加工的自动编程,并通过数控机床直接加工出自己所设计的零件。

本书深入浅出地介绍了机械 CAD/CAM 技术基础、机械 CAD/CAM 应用技术和 CAD/CAM 技术的新发展。同时,介绍了三种我国制造业企业常用的 CAD/CAM 软件(Pro/E、UG、CAXA)的应用方法,并给出了大量应用实例。

本书由北京联合大学机电学院的方新教授担任主编并负责统稿。各章分工如下:第 1、2、6 章由方新教授编写,第 3 章由北京联合大学机电学院的张慧姝副教授编写,第 4 章由燕山大学的史艳国副教授编写,第 5 章由北京联合大学机电学院的饶军副教授编写。西安电子科技大学的程兴胜老师审阅了全书,在此表示感谢。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中不足和漏误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2004 年 3 月

目 录

第 1 章 机械 CAD/CAM 技术基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 CAD/CAM 的基本概念	1
1.1.2 CAD/CAM 集成的概念	3
1.2 CAD/CAM 技术的应用和 发展历程	4
1.2.1 CAD/CAM 技术在机械工业中 的应用	4
1.2.2 CAD/CAM 技术的发展历程	5
1.3 CAD/CAM 系统	7
1.3.1 CAD/CAM 系统的组成	7
1.3.2 CAD/CAM 系统的功能	7
1.3.3 CAD/CAM 系统的配置	9
1.3.4 CAD/CAM 系统的工作方式	10
1.4 CAD/CAM 系统的硬件与软件	10
1.4.1 硬件	10
1.4.2 软件	13
思考题	14
第 2 章 机械 CAD/CAM 应用技术	15
2.1 CAD/CAM 造型技术	15
2.1.1 几何造型	15
2.1.2 参数化造型	21
2.1.3 变量化造型	23
2.1.4 特征造型	23
2.2 基于特征的实体造型	26
2.2.1 基于特征的实体造型方法	26
2.2.2 草图特征	27
2.2.3 放置特征	28
2.2.4 辅助特征	29
2.2.5 高级特征	29
2.2.6 特征树与历程树	30
2.2.7 数据联动	30
2.3 数控加工工艺基础	31
2.3.1 数控机床的选择	31
2.3.2 加工工序的划分	31
2.3.3 工件的装夹方式	32
2.3.4 对刀点与换刀点的确定	32
2.3.5 选择走刀路线	32
2.3.6 刀具选择	33
2.3.7 切削用量的确定	33
2.3.8 确定坐标系	34
2.3.9 数控铣削加工工艺决策	36
2.4 数控加工自动编程技术	38
2.4.1 数控加工编程的类型	38
2.4.2 数控自动编程的过程	40
2.4.3 图形交互式自动编程系统	41
2.4.4 图形交互式自动编程的 基本步骤	42
2.4.5 图形交互式自动编程的特点	44
2.5 数控加工过程检验与仿真	45
2.5.1 数控加工程序的检验	45
2.5.2 刀位轨迹仿真	45
2.5.3 三维动态切削仿真	47
2.5.4 虚拟加工仿真	48
思考题	49
第 3 章 Pro/E 软件的应用	51
3.1 Pro/E 简介	51
3.1.1 Pro/E 软件概述	51
3.1.2 Pro/E 界面	51
3.1.3 常用的操作	53
3.2 二维剖面绘制	54
3.2.1 绘制剖面元素的方式	54
3.2.2 绘制剖面元素的命令	55
3.2.3 限制剖面的几何命令	56
3.2.4 修改剖面几何图元	60
3.3 基准	61
3.3.1 基准面	61
3.3.2 基准轴	63

3.3.3 基准曲线	64
3.3.4 基准点	64
3.3.5 基准坐标系	64
3.3.6 基准显示控制	65
3.4 特征造型	65
3.4.1 拉伸特征	65
3.4.2 旋转特征	70
3.4.3 扫描特征	73
3.4.4 混和特征	76
3.4.5 孔特征	78
3.4.6 壳特征	82
3.4.7 倒圆角特征	83
3.4.8 倒角特征	84
3.4.9 筋特征	86
3.4.10 阵列特征	87
3.5 曲面造型	88
3.5.1 直接创建曲面	88
3.5.2 由曲线创建曲面	92
3.6 数控加工	102
3.6.1 Pro/NC 概述	102
3.6.2 制造设置	104
3.6.3 制造模型	120
3.6.4 铣削加工	122
第4章 UG 软件的应用	134
4.1 UG 软件概述	134
4.1.1 UG 软件的主界面介绍	134
4.1.2 UG 软件的 CAD 功能模块	136
4.1.3 UG 软件的 CAM 功能模块	137
4.2 UG CAD 应用技术	139
4.2.1 几何造型	139
4.2.2 绘制草图	143
4.2.3 三维实体造型	150
4.2.4 综合应用实例	174
4.3 UG CAM 应用技术	181
4.3.1 CAM 概述	181
4.3.2 CAM 操作	183
4.3.3 创建节点的方法	185
4.3.4 基本的铣加工操作	186
4.3.5 后处理	190

4.3.6 应用实例	191
------------------	-----

第5章 CAXA 制造工程师软件的

应用	209
5.1 功能介绍	209
5.1.1 实体造型与曲面造型	209
5.1.2 数控加工	210
5.1.3 知识库管理	210
5.2 界面介绍	211
5.2.1 绘图区	211
5.2.2 菜单	211
5.2.3 工具条	214
5.2.4 特征树	216
5.3 零件的加工造型	216
5.3.1 加工造型与设计造型的区别	216
5.3.2 线框造型	217
5.3.3 曲面造型	223
5.3.4 实体造型	235
5.4 零件的加工方法	252
5.4.1 加工方法	252
5.4.2 后置处理与加工代码	261
5.4.3 实体曲面混合造型的 加工实例	264

第6章 CAD/CAM 技术的新发展

6.1 现代制造业的特点	269
6.1.1 产品、市场与环境特点	269
6.1.2 技术特点	270
6.2 虚拟制造	273
6.2.1 虚拟制造的定义及特点	273
6.2.2 虚拟设计	274
6.2.3 虚拟制造	275
6.2.4 虚拟现实技术的应用	276
6.3 网络化制造	278
6.3.1 未来制造业的生产模式	278
6.3.2 网络时代的辅助设计技术	280
6.3.3 网络化制造技术	283
思考题	285

参考文献及参考网站	287
-----------------	-----

第 1 章 机械 CAD/CAM 技术基础

1.1 概 述

1.1.1 CAD/CAM 的基本概念

计算机辅助设计(Computer Aided Design, 简称 CAD)和计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, 简称 CAM), 是计算机技术在机械制造领域中应用的两个主要方面。它们的出现意味着在产品的设计和制造过程中能够利用计算机代替人的手工劳动和部分脑力劳动, 使产品的设计和制造实现自动化。由于 CAD 和 CAM 是紧密联系和互相影响的两个阶段, CAD 的输出结果常常作为 CAM 的输入信息。因此, 在发展过程中 CAD 和 CAM 很自然地结合起来, 逐渐趋于集成, 构成一体化的 CAD/CAM 系统, 常被简称为 CAD/CAM。

1972 年 10 月, 国际信息处理联合会(International Federation of Information Processing, 简称 IFIP)在荷兰召开的“关于 CAD 原理的工作会议”上对 CAD 给出如下定义: CAD 是一种技术, 其中人与计算机结合为一个问题求解组, 紧密配合, 发挥各自所长, 从而使其工作优于每一方, 并为应用多学科方法的综合性协作提供了可能。即 CAD 是指工程技术人员以计算机为工具, 对产品和工程进行总体设计、绘图、分析和编写技术文档等设计活动的总称。

在机械设计与制造领域, CAD 是一种现代化设计方法。CAD 是使用计算机来辅助一项机械产品设计的建立、修改、分析和优化。即整个机械产品设计工作先由设计人员构思, 再利用计算机进行产品的二维、三维数学建模, 然后根据产品的功能和性能要求进行产品的相关计算与分析、各种设计方案比较以及优化设计, 以获得满意的机械产品设计结果。

在没有采用 CAD 技术之前, 机械产品设计工作由设计人员根据用户的要求或产品的开发设想, 参考各种有关资料(如各种参数、数据及制造标准等)、计算公式, 考虑所采用的加工方法及生产设备条件, 类比相似产品的设计及自己的设计经验, 由人来构思, 拟定产品的初步方案或结构草图, 进行多次反复的计算分析、综合比较, 选定在经济性、工艺性和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(其间穿插着必要的设计修改、验算等)。

人工设计方式不可避免地存在着以下的不足之处:

(1) 难以实现优化设计。凭个人经验设计, 只能停留在靠类比和估算来代替设计计算的阶段, 而且人工设计使产品设计的精确性和可靠性受到限制。

(2) 设计周期长。设计人员不得不花费大量的时间和精力, 用于烦琐、重复的手工计算、绘图和编制表格。

(3) 材料消耗大。人工设计时, 由于难以进行精确的计算, 不得不取较大的安全系数。

随着经济、技术和社会的迅速发展,市场对产品不断提出各种各样的要求,产品的更新换代非常快,生产正向着多品种小批量方向发展。企业必须努力追求最短的产品开发时间(Time)、质量最好的产品(Quality)、最小的生产成本(Cost)、为用户提供最佳的售后服务(Service)以及不断进行新产品研发(Developing),才能在国内外市场的激烈竞争中求得生存和发展。CAD技术的应用,是实现这一目标必不可少的条件。

机械产品的CAD系统,应满足以下要求:系统具备高性能的数值计算能力和图形功能;系统主机具备大容量的内、外存;软件具备批处理方式与交互功能;系统有良好的工程数据库管理能力和灵活的联网功能;硬件具备丰富的软件资源,属当前主流机型并具发展前途;系统应提供利用现有资料的途径,即硬件上提供异型机的联网能力,软件上应具备对现有其它软件资源的接口能力;硬件系统应从图形输入、图形处理直至图形输出全过程进行设备配套,最好具备矢量化图形输入设备。

机械产品的CAD系统应能完成以下工作:零件的几何建模设计、部件的装配设计、零件图及部件装配图设计、零件的有限元分析、各台微机之间的零部件数据(包括图形)交换等。具体说,其主要功能如下:

- (1) 造型功能;
- (2) 二维图形与三维图形的相互转换功能;
- (3) 参数化设计功能;
- (4) 图形处理功能;
- (5) 三维运动机构的分析和仿真功能;
- (6) 物体质量特征计算功能;
- (7) 有限元分析功能;
- (8) 数据处理与数据交换功能。

对于CAM的定义有狭义的和广义的两个。狭义的CAM指利用计算机进行数控加工程序编制,包括刀具路径规划、刀位文件生成、刀具轨迹仿真及数控(Numerical Control,简称NC)代码生成等。广义的CAM指利用计算机辅助完成从生产准备到产品制造整个活动的过程,如零件加工的NC编程、计算机辅助工艺设计(Computer Aided Processing Planning,简称CAPP)、计算机辅助测试(Computer Aided Test,简称CAT)、计算机辅助生产计划编制(Production Planning Simulation,简称PPS)以及计算机辅助生产管理(Computer Aided Production Management,简称CAPM)。此外,还包括制造活动中与物流有关的所有过程(加工、装配、检验、存储、输送)的监视、控制和管理。本书涉及的CAM指狭义的CAM。

机械产品的CAM系统应能提供一种交互式编程并产生加工轨迹的方法,它包括加工规划、刀具设定、工艺参数设置等内容。具体地说,应具备以下几方面功能:

- (1) 系统应可以建立二维和三维刀具路径;
- (2) 系统应能实现多种加工方法;
- (3) 系统应能实现刀具路径的编辑和修改;
- (4) 系统应具备刀具数据库和材料数据库,系统应能自动生成进给速度和主轴转速;
- (5) 系统有内置的防碰撞和防过切功能;
- (6) 系统应能人工调整任何机加工缺省值(如进给速度、主轴转速等);
- (7) 系统应能对加工过程进行模拟,并可以估算加工时间。

机械 CAD/CAM 技术不是传统机械设计与制造方法的简单进化,也不是局限于在个别步骤或环节中使用计算机作为工具,而是将计算机技术、机械设计与制造技术以及人的智慧和经验以现代的科学方法为指导结合起来,在机械设计与制造的全过程中各尽所长,尽可能地利用计算机来完成那些重复性高、劳动量大、计算复杂以及单纯靠人工难以完成的工作,辅助而非代替工程技术人员完成整个过程,以获得最佳效果。

1.1.2 CAD/CAM 集成的概念

CAD 系统和 CAM 系统自 20 世纪 50 年代末开始,分别独立地发展,到 70 年代末,在国际上已出现许多性能优良的、商品化的 CAD 系统或 CAM 系统。CAD 系统与 CAM 系统作为各自独立的分散系统,虽然分别在产品设计自动化和数控编程自动化方面起到了重要作用,但是它们采用各自独立的分散系统,不能实现系统之间信息的自动传递和交换,信息资源无法共享。例如,CAD 系统设计的结果不能直接为 CAM 系统所接受,还需要人工将 CAD 输出的图样文档等信息转换成 CAM 系统所需要的输入数据,这不但影响了效率的提高,而且在人工转换中难免发生错误。所以,随着计算机日益广泛深入的应用,人们很快认识到,只有当 CAD 系统一次性输入的信息及其产生的结果能为后续的 CAM 系统继续应用时才是最经济和最合理的。为此,提出了 CAD/CAM 集成的概念。目前,这一技术已达到实用阶段。

CAD/CAM 集成的作用如下:

- (1) 有利于系统各子系统之间的资源共享,提高了系统运行效率,降低了系统成本;
- (2) 避免了 CAD 系统与 CAM 系统之间的信息传递误差,特别是人为的传递误差,从而提高了产品的质量;
- (3) 有利于各子系统实现并行作业,缩短产品上市周期,提高产品质量和企业的市场竞争力;
- (4) 有利于实现面向制造的设计(Design for Manufacturing,简称 DFM)和面向装配的设计(Design for Assembly,简称 DFA),降低成本,提高产品竞争力;
- (5) 有利于敏捷制造等先进制造模式的实施,扩大企业的市场机遇。

在 CAD/CAM 集成系统中,CAD 子系统偏重于产品的设计过程,而 CAM 子系统偏重于产品的制造过程。CAD 子系统的信息可直接传给 CAM 子系统,CAD 子系统和 CAM 子系统之间可以实现数据通信、信息交换和共享。CAD/CAM 集成系统可以既进行产品的设计,又控制机床的操作,加工出所要求的产品。具体地说,就是从产品的最初构思、设计,直到加工、装配和检验都置于计算机统一管理之下,从而实现了 CAD 和 CAM 的一体化。

对于 CAD/CAM 集成系统来说,应具备以下三个基本特征:

- (1) 数据共享:系统各部分的输入可一次性完成,每一部分不必重新初始化,各子系统产生的输出可被其它有关的子系统直接接收使用,不必人工干预。
- (2) 系统集成化:系统中功能不同的子系统,按不同的用途有机地结合起来,用统一的执行控制程序来组织各种信息的传递,保证系统内信息流畅通,并协调各子系统有效地运行。
- (3) 开放性:系统采用开放式体系结构和通用接口标准。即在系统内部各个子系统之间易于数据交换和扩充;在系统外部,一个系统能有效地嵌入另一个系统中作为其组成部分,

或者通过外部接口，有效地连接，实现数据交换。

产品是市场竞争的核心。从生产的观点来看，产品是从需求或需求分析开始，经过设计、制造过程使之从抽象的概念变成具体的可供用户使用的成品，这一过程也称为产品生产过程。机械产品生产过程包括产品设计、工艺设计、加工与装配等阶段，每一阶段又划分为若干个分阶段。例如：产品设计阶段可分为概念设计、结构设计、优化设计等分阶段；工艺设计阶段可划分为毛坯的确定，工件的定位与夹紧，工艺路线设计，工序设计，刀具、夹具、量具的设计与选择等分阶段；加工与装配阶段可划分为数控编程、加工过程仿真、数控加工、检测、装配、调试等分阶段。

现代机械设计与制造的过程实际上是有关产品的信息产生、处理、交换和管理的过程。CAD/CAM 集成系统是通过计算机对机械产品从构思到投放市场整个过程中的信息进行分析 and 处理，生成并运用各种数字信息和图形信息，以有效地进行机械产品的设计与制造，因而 CAD/CAM 集成系统实质上是一个有关产品设计和制造的信息处理系统。

1.2 CAD/CAM 技术的应用和发展历程

1.2.1 CAD/CAM 技术在机械工业中的应用

目前，CAD/CAM 技术已经渗透到工程技术和人类生活的几乎所有领域，成为一个令人瞩目的高技术产业。尤其是在机械、电子、航空、航天、兵器、汽车、船舶、电力、化工、建筑和服装等行业中的应用已较为普遍。CAD/CAM 技术的发展把计算机的高速度、准确性和大储存量与技术人员的思维能力、综合分析能力结合起来，从而大幅度地提高了生产效率，缩短了产品的研制周期，提高了设计和制造的质量，节约了原材料和能源，加速了产品的更新换代，提高了企业的竞争能力。

据统计，机械制造领域的设计工作有 56% 属于适应性设计，20% 属于参数化设计，只有 24% 属于创新设计。某些标准化程度高的领域，参数化设计达到 50% 左右。上述数据说明，工程技术人员的大部分时间和精力消耗在了重复性工作或局部小修小改之中，不可能有充沛的精力去从事创造性劳动，也不会有足够的时间去学习掌握新知识和新技能，久而久之，人的创造性思维能力也会随着日复一日、年复一年的重复、烦琐的劳动而萎缩。尤其在市场竞争剧烈的条件下，很难适应发展的需要。因此，要使设计方法及设计手段科学化、系统化、现代化，实现 CAD 是非常必要的。

从机械制造行业来看，50 件以下的小批量生产约占 75%。据统计，一个零件在车间的平均停留时间中，只有 5% 的时间是在机床上，而在这 5% 的时间中，又只有 30% 的时间用于切削加工。由此可见，零件在机床上的切削时间只占零件在车间停留时间的 1.5%。要提高零件的加工效率，改善经济性，就要减少零件在车间的流通时间和在机床上装卸、调整、测量、等待切削的时间。而做到这一点必须综合考虑生产的管理、调度、零件的传送和装卸方法等多方面因素。这需要通过计算机辅助人们作全面安排，控制加工过程。

上述分析说明了 CAD/CAM 技术应用的可能性、必要性和迫切性。

CAD/CAM 系统已成为新一代生产及技术发展的核心技术。随着计算机硬件和软件的不

断发展, CAD/CAM 系统的性能价格比不断提高, 使得 CAD/CAM 技术的应用领域也不断扩大。航空航天、造船、机床制造都是国内外应用 CAD/CAM 技术较早的工业部门。首先是用于飞机、船体、机床零部件的外形设计; 其次是用于进行一系列的分析计算, 如结构分析、优化设计、仿真模拟; 同时还用于根据 CAD 的几何数据与加工要求生成数控加工程序。机床行业应用 CAD/CAM 系统进行模块化设计, 实现了对用户特殊要求的快速响应制造, 缩短了设计制造周期, 提高了整体质量。

目前, CAD/CAM 技术的应用水平已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。我国近些年来 CAD/CAM 技术的研究与应用虽然已取得了可喜成绩, 但与工业发达国家相比差距依然很大; 特别是在应用 CAD/CAM 技术进行新产品的研发方面, 差距更大, 需要我们的共同努力。

1.2.2 CAD/CAM 技术的发展历程

机械产品的生产可以分为产品设计和产品制造两个阶段。设计与制造是密切相关的, 应当统一起来考虑。CAD 和 CAM 的发展也是密切相关的。

CAD/CAM 技术从产生到现在, 经历了形成、发展、提高和集成等阶段。

1. 准备和酝酿时期(20 世纪 50 年代~60 年代初)

自 1946 年世界上第一台电子计算机在美国出现后, 人们就不断地将计算机技术引入机械设计、制造领域。1948 年, 美国帕森斯公司接受美国空军委托, 研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样, 精度要求高, 一般加工设备难以适应, 于是提出由计算机控制机床的设想。1949 年, 该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下, 开始数控机床的研究, 并于 1952 年试制成功第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控铣床, 不久即开始正式生产。该机床通过改变数控程序即可完成不同零件的加工, 奠定了 CAM 的硬件基础。

NC 加工发展初期, 控制程序都是由手工编制的, 效率很低。1955 年, 美国麻省理工学院的 D. T. Ross 研制了在通用计算机上运行的自动编程工具 APT(Automatically Programmed Tools)NC 语言系统, 应用这种语言通过对刀具轨迹的描述, 就可以自动实现计算机辅助编制 NC 加工程序。在发展这一程序系统的同时, 人们就提出了一种设想: 能否不描述刀具轨迹, 而是直接描述被加工工件的轮廓形状和尺寸? 由此产生了人机协同设计零件的设想, 开始了计算机图形学(Computer Graphics, 简称 CG)的研究。

1958 年, 人们成功研制了自动换刀镗铣加工中心(Machining Center, 简称 MC), 使得在一次装夹中能完成多工序的集中加工, 提高了 NC 机床的加工效率和加工质量。

1962 年, 第一台工业机器人诞生, 实现了物流搬运柔性自动化; 第一台通用计算机集中控制多台数控机床的实现, 降低了数控装置的制造成本, 提高了工作可靠性。

1963 年, 年仅 24 岁的麻省理工学院研究生 I. E. Sutherland 在美国春季联合计算机会议(Spring Joint Computer Conference, 简称 SJCC)上宣读了他的题为《人机对话图形通信系统》的博士论文。该论文首次提出了计算机图形学、交互技术及图形符号的存储采用分层的数据结构等思想, 第一次证实了人机对话式工作的可能性, 对 CAD 技术的应用起到了重要的推动作用。

CAD技术的发展引起了工业界的重视。也是在1963年,第一个正式的CAD系统DAC-1(DAC是Design Augmented by Computers的简称)在美国通用汽车公司问世,IBM公司也发展了2250系统图形显示终端。这些产品在今天看来尽管是粗糙和不完善的,但在当时却大大推动了人们对CAD的关注和兴趣。首先作出响应的是美国的汽车工业,接着日本、意大利等国的汽车公司也开始了实际应用,并逐渐扩展到其它部门。

2. 蓬勃发展及进入应用时期(20世纪60年代~70年代)

从20世纪60年代中期开始,CAD技术得到了蓬勃发展,并出现了主要以自动绘图为目的的成套CAD系统。它们由小型计算机、图形工作站、数字化仪、图形显示终端和绘图机等硬件组成,并和软件配套出售。这样一些系统大都是针对具有某一特点的产品作为对象,有些系统也可以进行分析计算,能获得有限元网格,或者能制成NC纸带。

20世纪60年代末期到70年代中期是CAD技术趋于成熟的阶段。这一时期计算机硬件的性能价格比不断提高,数据库管理系统等软件陆续开发,以小型和超级小型计算机为主机的CAD系统进入市场并形成主流。20世纪60年代末期,显示技术的突破使CAD系统的性能价格比大幅度提高,用户以每年30%的速度增加,形成CAD产业。当时的CAD技术还是以二维绘图和三维线框图形系统为主。

1967年,英国莫林公司建造了第一条计算机集中控制的自动化制造系统,包括6台加工中心和一条自动运输线,用计算机编程序、作业计划和报表。美国辛辛那提公司研制出了类似系统,于20世纪70年代初期定名为柔性制造系统(Flexible Manufacturing System,简称FMS)。

从20世纪70年代初期开始,随着计算技术、数据库技术和软件系统的发展,特别是小型机功能的提高和微型机的采用,使得计算机的性能价格比大大提高,彩色图像终端的功能日臻完善,计算机图形处理技术更加成熟,再加上设计理论(设计方法学、数学模型的建立等)本身的发展,以及几何造型技术、图形处理技术和数控编程后置处理技术的发展和应用,出现了交互式图形编程系统,为CAD/CAM集成奠定了基础。

20世纪70年代中期,由于微处理机(大规模集成电路)的出现,计算机的性能成倍提高,体积及成本大大下降,从而促进了柔性制造技术迅猛发展,各种微机数控(Computerized Numerical Control,简称CNC)技术获得了广泛的应用。

3. 突飞猛进及集成化、智能化发展时期(20世纪80年代~90年代)

20世纪80年代是CAD技术迅速发展的时期,超大规模集成电路的出现,使计算机硬件成本大幅度下降,计算机外围设备(例如彩色高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动绘图机等品种齐全的输入输出装置)已成系列产品,为推进CAD技术向高水平发展提供了必要的条件。同时,相应的软件技术,如数据管理、有限元分析、优化设计等技术也迅速提高。商品化软件的出现,促进了CAD/CAM技术的推广和应用,使其从大中型企业向小企业发展,从发达国家向发展中国家发展,从用于产品设计发展到用于工程设计。这一时期,实体造型技术成为主流并走向成熟,大大拓展了CAD应用技术领域。

20世纪90年代,CAD/CAM技术已不只是停留在过去单一模式、单一功能、单一领域的水平,而是向着标准化、集成化、智能化的方向发展。为了实现系统的集成,实现资源共享和产品生产与组织管理的高度自动化,提高产品的竞争能力,就需要在企业、集团内

的 CAD/CAM 系统之间或各个子系统之间进行统一的数据交换，为此，一些工业先进国家和国际标准化组织都在从事标准接口的开发工作。CAD、CAM 在各自领域所产生的巨大推动作用被认同，加之设计和制造自动化的需求，出现了集成化的 CAD/CAM 系统。

1.3 CAD/CAM 系统

1.3.1 CAD/CAM 系统的组成

所谓系统，是指为完成特定任务而由相关部件或要素组成的有机的整体。一个完整的 CAD/CAM 系统必须具备硬件与软件。系统与外界进行信息传递与交换的基本功能是靠硬件提供的，而系统所能解决的具体问题是由软件保证的。一个 CAD/CAM 系统是由计算机、外围设备及生产设备等硬件和控制这些硬件运行的系统、支撑、应用等软件组成的，如图 1.3.1 所示。

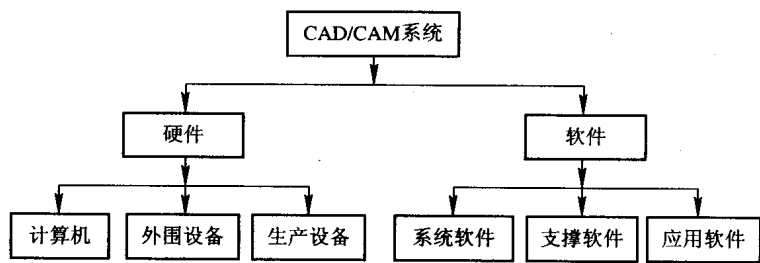


图 1.3.1 CAD/CAM 系统的组成

硬件是一切可以触摸到的物理设备。CAD/CAM 系统的硬件指计算机、各种配套外围设备(如网络互连设备等)以及各种生产设备等，是实现 CAD/CAM 系统各项功能的物质基础。

软件包括系统软件、支撑软件和应用软件等，是 CAD/CAM 系统的核心，硬件的性能及其 CAD/CAM 功能必须通过软件实现。软件水平的高低直接影响到 CAD/CAM 系统的功能、工作效率以及方便程度。

1.3.2 CAD/CAM 系统的功能

比较完善的 CAD/CAM 系统，应该能够基本完成从产品设计到制造全过程中的各项工作，一般来说，CAD/CAM 系统应具有以下几项主要功能。

1. 图形显示功能

CAD/CAM 是一个人机交互的过程，从产品的造型、构思和方案的确定，结构分析到加工过程的仿真，系统随时保证用户能够观察、修改中间结果，实时编辑处理。用户的每一次操作，都能从显示器上及时得到反馈，直到取得最佳的设计结果。图形显示功能不仅应对二维图形进行显示控制，还应包含对三维图形的处理。

2. 输入输出功能

在 CAD/CAM 系统运行中，用户需不断地将有关设计的要求和各步骤的具体数据等输

入计算机内,通过计算机的处理,能够输出系统处理的结果,且输入输出的信息既可以是数值的,也可以是非数值的(例如图形数据、文本、字符等)。

3. 存储功能

由于 CAD/CAM 系统运行时数据量很大,有很多算法会生成大量的中间数据,尤其是对图形的操作、交互式的设计以及有限元结构分析中网格的划分等。因此,为了保证系统能够正常的运行,CAD/CAM 系统必须配置容量较大的存储设备,支持数据在模块运行时的正确流通。另外,工程数据库系统的运行也必须有存储空间的保障。

4. 交互功能(即人机接口)

在 CAD/CAM 系统中,人机接口是用户与系统连接的桥梁。友好的用户界面是保证用户直接而有效地完成复杂设计任务的必要条件,除软件的界面外,还必须有交互设备实现人与计算机之间的不断通信。

5. 造型功能

CAD/CAM 系统应能够进行实体造型(Solid Modeling)和曲面造型(Surface Modeling)。系统应具有定义和生成基本体素(如立方体、圆柱体、球体、锥体、环状体等)的能力,系统应可以动态显示三维模型,具有消隐、彩色浓淡处理三维模型的能力,以便设计人员能直接观察、构思和检验产品三维模型,完成机械部件的复杂空间布局。造型技术是 CAD/CAM 系统的核心,为产品的设计和制造提供各种基本数据和原始信息,是后续处理的基础。

CAD/CAM 系统还可进行产品二维及三维模型的参数化设计,设计人员在任何阶段修改某些尺寸,系统都会自动完成相应实体形状的改变。参数化设计能通过标准化减少零件的种类和数量,增加设计成果的储备,以最快的速度适应市场变化,满足用户的需求。

6. 计算分析功能

CAD/CAM 系统要根据三维模型计算相应物体的几何特征(如体积、表面积、质量、重心、转动惯量、回转半径等)和物理特征(如应力、温度、位移等),在图形处理中要进行变换矩阵的运算,以及几何造型中体素之间的交、并、差运算,还要进行工艺规程设计中工序尺寸和工艺参数的计算,结构分析中应力、温度、位移等物理量的计算等,为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。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。

7. 工程绘图功能

工程绘图功能是 CAD/CAM 系统的重要环节,是产品最终结果的表达方式。CAD/CAM 系统有处理二维图形的能力,包括基本图元的生成、标注尺寸和图形编辑(比例变换、平移、拷贝、删除等)。产品设计过程是一个反复修改的过程,产品的总体设计需要三维图形,而结构设计主要使用二维图形,系统还应具备二维图形与三维图形之间相互转换的功能。

8. 结构分析功能

CAD/CAM 系统中结构分析常用的方法是有限元法,这是一种数值近似解方法,用来对产品三维模型,尤其是结构形状比较复杂的零件进行静态和动态特性计算,以及进行零件的强度、刚度、振动、热变形、磁场、温度场强度和应力分布状态等的计算分析。

9. 优化设计功能

CAD/CAM 系统应具有优化求解的功能,也就是在某些条件的限制下,使产品设计中的预定指标达到最优。优化设计包括总体方案的优化、零件结构的优化和工艺参数的优化等。

10. NC 自动编程功能

CAD/CAM 系统应根据人机交互获得的零件的有关数据及技术参数,自动编制出数控加工源程序,求解出刀位文件,并将刀位文件转换成零件的数控加工程序。

11. 动态仿真功能

CAD/CAM 系统应能进行加工轨迹仿真,机构运动学仿真,运动轨迹干涉检查,工件、机床、刀具、夹具的碰撞、干涉检验等,以便预测产品的性能,模拟产品的制造过程和可制造性,避免损坏,减少制造投资。

12. 工程数据管理与信息传输及共享功能

由于 CAD/CAM 系统中数据量大、种类繁多,因此, CAD/CAM 系统应能具备良好的信息传输管理功能和信息交换功能,支持产品设计与制造全过程的信息传输与交换,并可以在多个设计者或设计小组之间实现信息传输及共享。

此外, CAD/CAM 系统应具有处理和管理相关产品设计、制造等方面信息的能力,以实现设计、制造、管理的信息共享,并达到自动检索、快速存取、不同系统间传输和交换的目的。

1.3.3 CAD/CAM 系统的配置

1. 配置原则

CAD/CAM 系统的硬件配置要考虑以下几方面:

(1) 系统功能:主要包括 CPU 的数据处理能力,内外存容量,输入/输出性能,图像显示和处理能力,与外部设备的接口能力,网络通信能力;

(2) 硬件系统要有良好的开放性且符合工业标准:是否采用 UNIX 和 Windows 等操作系统、以太网、流行 CPU 芯片都可作为衡量标准,以便有利于系统进一步扩充、联网以及支持更多种类的外围设备;

(3) 经济性能。

CAD/CAM 系统的软件配置要考虑以下几方面:

(1) 采用标准操作系统,一般选用网络版;

(2) 支撑软件根据需要配置成低端、中端或高端系统;

(3) 用户多;

(4) 运行可靠,维护简单,性能价格比高;

(5) 厂商信誉及售后服务好。

2. 基本配置形式

按照所用系统主机分类, CAD/CAM 系统的基本配置有四种形式:大型机系统、小型机系统、工作站系统和微机系统。