

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

机械CAD/CAM技术

(第三版)

张建成 方新 主编

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造

应用型本科机械类专业“十三五”规划教材

机械 CAD/CAM 技术

(第三版)

张建成 方新 主编

北京联合大学规划教材建设项目资助

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统地讲述了 CAD/CAM 技术的基本概念、基本方法和应用实训实例, 主要内容包括 CAD/CAM 的基本概念、系统组成、CAD 技术、CAM 技术和 CAD/CAM 集成技术的发展趋势等。

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 的应用, 给出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各种实训方案, 便于学生实际操作。

本书可作为应用型本科数控类、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。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM 技术 / 张建成, 方新主编. —3 版. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2017.1

ISBN 978-7-5606-4384-7

I. ① 机… II. ① 张… ② 方… III. ① 机械设计—计算机辅助设计—高等学校—教材

② 机械制造—计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. ① TH122 ② TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 323823 号

策 划 马乐惠

责任编辑 雷鸿俊 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

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2017 年 1 月第 3 版 2017 年 1 月第 8 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 19.5

字 数 462 千字

印 数 28 001~31 000 册

定 价 35.00 元

ISBN 978-7-5606-4384-7/TH

XDUP 4676003-8

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。

前 言

CAD/CAM 技术是随信息技术的发展而形成的一门新兴技术,它的应用和发展引起了社会和生产的巨大变革,因此 CAD/CAM 技术被视为 20 世纪最杰出的工程成就之一。随着 CAD/CAM 技术的推广应用,它已逐渐从一门新兴技术发展成为多行业的技术基础。

提高新产品的开发能力及制造能力是提高制造业企业竞争力的关键,而 CAD/CAM 技术是提高产品设计和制造质量、缩短产品开发周期、降低产品成本的强有力手段,也是未来工程技术人员必须掌握的基本工具。

本书是一本实用技术教材,突出介绍 CAD/CAM 的概念、应用方法,并培养学生结合具体的 CAD/CAM 软件进行实践练习。目前流行的 CAD/CAM 软件众多,虽然不同的软件有其各自的特点,但其重要功能、基本方法却是相同的。本书重点介绍当前企业和设计单位广泛使用的 Pro/E 软件。

本书第三版基本沿袭了第二版的编写体系,在第一版和第二版的基础上,根据读者的反馈意见,结合 CAD/CAM 技术的新发展对相关内容做了删减和补充。

随着中国高等教育的不断发展,应用型本科高校不断增多,与之相配套的教材却数量有限。本书根据形势需要,将使用对象确定为应用型本科机械类专业学生。应用型本科的机械 CAD/CAM 课程属于实践类课程,通过课内学习和实训环节,应使学生能使用高中档 CAD/CAM 软件完成较复杂的零件三维模型的创建、虚拟装配及干涉检查、二维装配图及零件图的出图、铣削加工及车削加工的自动编程、刀位文件的编辑和 CAM 后置处理,并通过铣削加工中心(或数控铣床)及车削加工中心(或数控车床)直接加工出自己所设计的零件。

学生通过这样的学习和实训,所学到的不仅仅是机械 CAD/CAM 的概念,而且是实际的机械 CAD/CAM 理论知识及高中档 CAD/CAM 软件的操作技能。

本书的编者力求在编写上达到上述目的。

本书各章的编写分工为:北京联合大学的方新编写了第 1 章,张建成编写了第 2 章、第 3 章 3.2~3.7 节和第 5 章,饶军编写了第 3 章 3.1 节和 3.8 节,雷保珍和东南大学成贤学院的葛永成编写了第 4 章。本书由张建成、方新任主编,张建成负责统稿。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2016 年 9 月

第一版前言

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，书中不足和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2004 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论.....1	2.3.6 CAXA 系列软件.....32
1.1 概述.....1	2.4 工程数据库与计算机网络技术.....33
1.1.1 CAD/CAM 的基本概念.....1	在 CAD/CAM 系统中的应用.....33
1.1.2 CAD/CAM 集成的概念.....5	2.4.1 CAD/CAM 系统和工程数据库.....33
1.1.3 产品生产过程与 CAD/CAM 过程.....6	2.4.2 CAD/CAM 系统和网络.....35
1.2 CAD/CAM 技术的应用和发展.....7	2.4.3 产品数据交换标准.....36
1.2.1 CAD/CAM 技术的应用.....7	思考题.....40
1.2.2 CAD/CAM 技术的历史沿革.....7	第 3 章 CAD 技术.....41
1.2.3 CAD/CAM 技术的发展趋势.....11	3.1 几何造型技术.....41
1.2.4 CAD/CAM 技术产生的效益.....16	3.1.1 参数化造型技术.....41
思考题.....17	3.1.2 变量化造型技术.....42
第 2 章 CAD/CAM 系统.....18	3.1.3 特征造型技术.....43
2.1 CAD/CAM 系统基础.....18	3.2 草绘.....45
2.1.1 CAD/CAM 系统的组成.....18	3.2.1 草绘界面.....45
2.1.2 CAD/CAM 系统的功能.....18	3.2.2 基本草绘.....47
2.1.3 CAD/CAM 系统的选型及配置.....19	3.2.3 约束.....51
2.1.4 CAD/CAM 系统的工作方式.....20	3.2.4 标注尺寸.....52
2.1.5 CAD/CAM 系统的工作过程.....20	3.2.5 修改尺寸.....54
2.1.6 CAD/CAM 系统集成关键技术.....21	实训.....55
2.1.7 CAD/CAM 集成的体系结构.....24	3.3 基本特征.....59
2.1.8 CAD/CAM 集成的发展趋势.....24	3.3.1 拉伸特征.....60
2.2 CAD/CAM 系统的硬件与软件.....25	3.3.2 旋转特征.....62
2.2.1 硬件的组成.....25	3.3.3 扫描特征.....63
2.2.2 软件的组成.....28	3.3.4 混合特征.....65
2.2.3 操作系统.....28	实训.....66
2.2.4 CAD/CAM 系统的支撑软件.....28	3.4 基准特征.....72
2.2.5 CAD/CAM 软件的选择原则.....29	3.4.1 基准平面.....72
2.3 国内外典型 CAD/CAM 软件简介.....29	3.4.2 基准轴.....74
2.3.1 I-deas 软件.....30	3.4.3 基准点.....76
2.3.2 Pro/E 软件.....30	3.4.4 基准曲线.....78
2.3.3 UG 软件.....31	3.4.5 坐标系.....79
2.3.4 MDT 软件.....31	实训.....80
2.3.5 MasterCAM 软件.....32	3.5 放置特征.....83

3.5.1 孔特征	83	4.4.3 局部铣削数控加工	155
3.5.2 筋特征	86	4.4.4 曲面铣削数控加工	163
3.5.3 抽壳	87	4.4.5 表面铣削数控加工	166
3.5.4 倒圆角特征	89	4.4.6 轮廓铣削数控加工	167
3.5.5 倒角特征	90	4.4.7 腔槽铣削数控加工	168
3.5.6 拔模特征	92	4.4.8 粗加工及精加工数控加工	169
实训	95	实训	172
3.6 特征操作	101	4.5 孔加工、车削加工的刀具轨迹生成	188
3.6.1 复制	101	4.5.1 孔加工工步	188
3.6.2 镜像	105	4.5.2 车削加工	191
3.6.3 阵列	105	实训	199
实训	110	4.6 相关技术	211
3.7 工程图	115	4.6.1 加工过程仿真	211
3.8 装配	122	4.6.2 后置处理	215
3.8.1 创建装配文件	122	4.6.3 CAD/CAM 数据通信	222
3.8.2 装配约束关系	124	第 5 章 CAD/CAM 集成技术及发展	223
3.8.3 【元件放置】操控板	127	5.1 21 世纪制造业的特点	223
实训	128	5.1.1 产品、市场与环境特点	223
第 4 章 CAM 技术	131	5.1.2 技术特点	224
4.1 数控加工工艺基础	131	5.1.3 CAD/CAM 技术和先进制造 技术体系	226
4.1.1 数控机床的选择	131	5.1.4 先进制造技术的特色和 发展趋势	230
4.1.2 加工工序的划分	131	5.2 CIMS	232
4.1.3 工件的装夹方式	132	5.2.1 CIMS 的构成	233
4.1.4 对刀点与换刀点的确定	132	5.2.2 CIMS 的控制体系结构	234
4.1.5 选择走刀路线	132	5.2.3 CIMS 中的信息集成	236
4.1.6 刀具选择	133	5.2.4 CIMS 的关键技术	236
4.1.7 切削用量的确定	133	5.2.5 CIMS 的实施要点	237
4.2 图形交互自动编程技术概述	134	5.2.6 CIMS 的经济效益	238
4.2.1 数控自动编程的一般过程、 类型及特点	134	5.2.7 CIMS 的研究发展趋势	238
4.2.2 图形交互自动编程系统的组成	135	5.3 工业机器人	238
4.2.3 图形交互自动编程的基本步骤	137	5.3.1 工业机器人的基本概念	239
4.2.4 图形交互自动编程的特点	138	5.3.2 工业机器人的机械结构	241
4.3 数控加工工艺分析	138	5.3.3 工业机器人的控制原理	242
4.3.1 确定工件坐标系	139	5.3.4 工业机器人的应用及发展趋势	243
4.3.2 确定刀具尺寸	141	5.4 有限元分析	246
4.4 铣削加工的刀具轨迹生成	150	5.4.1 有限元法的基本思想	246
4.4.1 数控铣削工艺特点	150	5.4.2 有限元分析法的应用	246
4.4.2 体积块铣削数控加工	151		

5.4.3 常用有限元软件	247	5.9.4 快速成形技术的应用和 发展趋势	277
5.4.4 有限元分析的一般流程	248	5.10 虚拟制造	278
5.5 CAPP 技术	250	5.10.1 虚拟制造的定义及特点	278
5.5.1 CAPP 的概念及意义	250	5.10.2 虚拟制造系统的分类及功能	279
5.5.2 CAPP 系统的分类	251	5.10.3 虚拟制造系统的基本工作流程及 关键技术	280
5.5.3 CAPP 系统的基础技术	252	5.10.4 虚拟制造系统存在的问题	283
5.5.4 CAPP 软件的基本功能	253	5.10.5 虚拟现实技术在生产制造上 的应用	283
5.5.5 CAPP 与企业信息集成	255	5.10.6 虚拟制造技术的经济效益	284
5.5.6 CAPP 技术的发展趋向	256	5.11 敏捷制造	285
5.6 并行工程	257	5.11.1 敏捷制造的概念	285
5.6.1 并行工程的定义和特点	257	5.11.2 动态联盟	287
5.6.2 并行工程的关键技术	259	5.11.3 动态联盟的远程协同 设计系统	288
5.6.3 并行工程的效益	260	5.12 智能制造	290
5.7 成组技术	261	5.12.1 智能制造系统 IMS 的提出	290
5.7.1 成组技术产生的背景	261	5.12.2 IMS 的定义及特征	290
5.7.2 成组技术的原理	261	5.12.3 IMS 的支撑技术及研究热点	291
5.7.3 零件的分类编码	262	5.12.4 中国制造 2025	292
5.7.4 成组加工工艺	263	5.13 产品数据管理(PDM)	294
5.7.5 成组加工生产的组织形式	264	5.13.1 引入 PDM 的意义	294
5.7.6 成组技术的成效	265	5.13.2 PDM 的基本概念	295
5.8 逆向工程	265	5.13.3 PDM 系统的体系结构	296
5.8.1 逆向工程的定义及应用领域	265	5.13.4 PDM 软件系统的功能	296
5.8.2 逆向工程的关键技术及 实施过程	266	5.13.5 PDM 的发展趋势	301
5.8.3 逆向工程中常用的测量方法	267	思考题	302
5.9 快速成形技术	269	参考文献	304
5.9.1 快速成形技术的基本原理	269		
5.9.2 快速成形技术的特点	270		
5.9.3 典型快速成形工艺	271		

第1章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 CAD/CAM 的基本概念

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)和计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)是计算机技术在机械制造领域中应用的两个主要方面,是指在产品的设计和制造过程中利用计算机作为主要手段,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。CAD 和 CAM 是紧密联系及互相影响的两个阶段,联系设计与制造两个环节的图纸可以实现信息化, 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 就很自然地结合起来,逐渐趋于集成化,构成统一的 CAD/CAM 系统,于是人们常把二者合称为 CAD/CAM。

计算机辅助设计(CAD)主要是指:使用计算机来辅助一项设计的建立、修改、分析和优化,即整个设计工作先由设计人员构思,再利用计算机对有关产品的大量资料进行检索,根据性能要求及有关数据、公式进行计算、分析和优化设计之后,将产品设计图形显示出来。设计人员可以对设计方案或图形作必要的修改,直到获得满意的设计结果。

在没有采用 CAD 技术之前,设计工作由设计人员根据设计对象的要求(用户的要求或产品的开发设想),参考各种有关资料(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,构思并拟订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(穿插着必要的设计修改、验算等)。这种设计方式不可避免地存在着以下不足之处:

(1) 人工完成的产品设计难以做到最佳(优化)设计,仅凭个人经验设计,故只能停留在靠类比和估算来代替设计计算的阶段上。

(2) 设计人员花费大量的时间和精力,用于繁琐、重复的手工计算、绘图和编制表格,耗工费时,拖长了设计周期。

(3) 设计的精确性和可靠性受到了很大限制,影响了设计质量。

(4) 难以进行精确的计算,设计中安全系数值较大,增大了材料的消耗。

因此,这种传统的设计方法已越来越不能适应经济、技术和社会发展的需要。由于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迅速,生产向着多品种、中小批量方向发展。只有适应这种日新月异的变化,努力追求 T、C、Q、S、D,即以最短的交货期(Time)、最小的成本(Cost),向市场推出质量(Quality)最好的产品,同时为用户提供最好

的服务(Service)并不断进行新产品的研发(Developing),企业才能在国内市场的激烈竞争中求得生存和发展。计算机辅助设计的应用,是实现这一目标必不可少的条件。一般来说,能解决某类问题的 CAD 系统应具备以下三个条件:

(1) 有较完备的数据库。凡解决该类问题所需的各种数据、标准、经验曲线、表格等,都按照数据结构关系存入计算机存储器中,以便于检索调用或增删修改。

(2) 有较完备的程序库,即将解决该类问题所必需的各种计算、设计、分析方法,包括通用方法和专用方法,都编制出相应的计算机程序,并汇集备用。

(3) 具备人机会话功能的交互式图形系统,即能利用实时输入/输出装置,如键盘、鼠标、图形显示器、自动绘图仪器,实时输入设计人员的有关指令和数据,实时输出设计图样及数据。

一般认为,CAD 系统应能完成的工作包括草图设计、零件设计、装配设计、复杂曲面设计、工程图样设计、工程分析、真实感及渲染、数据交换等。

一个较完善的 CAD 系统由数值计算与处理、交互绘图与图形输入/输出、存储和管理设计制造信息的工程数据库等三大模块组成。近十年来,国际上推出的商用 CAD 系统种类繁多,功能近似或有一定差异。分析十几种通用的 CAD 系统,可归纳其主要功能如下:

(1) 造型功能。造型包括实体造型(Solid Modeling)和曲面造型(Surface Modeling)。系统应具有定义和生成体素,以及构造实体模型的能力。系统还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、控制和处理过渡曲面与非矩形域曲面的拼合能力,提供曲面造型技术。

(2) 二维与三维图形的相互转换。设计过程是一个反复修改、逐步逼近的过程。产品的总体设计需要三维图形,而结构设计主要用二维图形,二维与三维图形可进行相互转换,为设计绘图提供了极其有力的工具。

(3) 参数化设计。具有参数化设计功能的 CAD 系统,能使产品三维(包括二维)模型参数化,设计人员在任何阶段修改尺寸时,系统会自动完成相应实体形状的改变。参数化设计能真正将初次设计从生产过程中分离出来,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。

(4) 三维几何模型的显示处理。系统应具有动态显示模型、消隐、彩色浓淡处理的能力,以便设计人员能直接观察、构思和检验产品模型,解决三维几何模型的复杂空间布局问题。

(5) 三维运动机构的分析和仿真。系统应具有对运动机构的参数、运动轨迹干涉检查的分析能力,以及对运动系统进行仿真的能力。

(6) 物体质量特征计算。可根据几何模型计算相应物体的体积、质量、表面积、重心、转动惯量、回转半径等几何特性,为工程分析提供必要的基本参数和数据。

(7) 有限元分析。系统应具有对产品模型的应力分布、强度、变形、振动等进行有限元分析的能力,以便为设计人员研究产品的受力、变形,描述应力提供分析技术。

(8) 优化。可对设计方案进行优选,以保证产品具有现代化设计水平。

(9) 极强的图形处理功能。图形处理功能包括画图、编辑功能,以及图形输出、标准件参数化图素、各类特征符号库等。

(10) 先进的二次开发工具。任何一种通用 CAD 系统都不可能同时满足各行各业、各种情况的需要,因此 CAD 系统提供先进、实用的二次开发工具是非常必要的。

(11) 数据处理与数据交换。系统应具有处理和管理有关产品设计、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。

在计算机辅助设计发展的同时,计算机辅助制造(CAM)也得到了迅猛的发展。计算机辅助制造主要是指: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,即通过直接或间接地把计算机与制造过程和生产设备相联系,用计算机系统进行制造过程的计划、管理以及对生产设备的控制与操作的运行,处理产品制造过程中所需的数据,控制和处理物料(毛坯和零件等)的流动,对产品进行测试和检验等。它包括很多方面,如计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)、直接数控(Direct Numerical Control, DNC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、机器人(Robots)、计算机辅助工艺设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)、计算机辅助测试(Computer Aided Test, CAT)、计算机辅助生产计划编制(Production Planning Simulation, PPS)以及计算机辅助生产管理(Computer Aided Production Management, CAPM)等。这是对 CAM 广义的定义。狭义 CAM 是指在制造过程中的某个环节应用到计算机辅助技术(通常是指计算机辅助机械加工),更明确地说是数控加工,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 NC 代码生成等。它的输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息是加工时的刀位文件和数控程序。在 CAM 过程中主要包括两类软件:计算机辅助工艺设计软件(CAPP)和数控编程软件(NCP)。狭义 CAM 可理解为数控加工,即把 CAM 软件看做是 NCP 软件。其实,目前大部分商业化的 CAM 软件都包含 NCP 功能。广义的 CAM 包括 CAPP 和 NCP。更为广义的 CAM 则是指应用计算机辅助完成从原材料到产品的全部制造过程,包括直接制造过程和间接制造过程,如工艺准备、生产作业计划、物流过程的运行控制、生产控制、质量控制等。

实用的 CAM 系统大致分为以下两类:

(1) CAM 的直接应用:计算机与制造过程直接连接,对制造过程和生产设备进行监视与控制。计算机监视是指将计算机与制造过程连在一起,对制造过程和设备进行观察以及在加工过程中收集数据,计算机并不直接控制操作。而计算机控制则是对制造过程和设备进行直接的控制。有些档次较高的 CAM 系统既包括计算机监视,也包括计算机控制,形成了计算机监控系统。其具体内容包括 CNC、DNC、CAT、FMS 和机床的自适应控制(Adaptive Control, AC)等。

(2) CAM 的间接应用:计算机与制造过程不直接连接,而是以“脱机”(指设备不在计算机直接控制之下)工作方式提供生产计划、进行技术准备以及发出有关指令和信息等,通过这些可以对生产过程和设备进行更有效的管理。在此过程中,用户向计算机输入数据和程序,再按计算机的输出结果去指导生产。其具体内容包括计算机辅助 NC 编程、加工过程刀具轨迹生成、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助生成工时定额、计算机辅助安排材料需求计划、计算机辅助车间(工段)管理等。

在制造过程中,应用 CAM 可以大大提高机床的利用率,减少生产技术准备、生产管理以及其他各种辅助时间,使整个生产效率得以大大提高。在现代制造系统中,传统的工艺设计方法已越来越不能满足系统高效率、高柔性和信息高度集成的要求,工艺设计成为 CAD/CAM 之间集成的关键和难点,迫切需要计算机这样的高效信息处理工具参与工艺

设计,因而出现了 CAPP。

CAPP 是指在人和计算机组成的系统中,根据产品设计阶段给出的信息,人机交互地或自动地确定产品加工方法和工艺过程。一般认为 CAPP 的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工艺路线制订、工序设计和刀具夹具设计。

工序设计又包含机床和刀夹量具等的选择、切削用量选择、加工余量分配以及工时定额计算等。通过应用 CAPP,计算机系统既可以全部或部分地进行工艺设计,又能以迅速和一致的方式向用户提供优化的方案。

目前,有些人认为应用计算机完成设计过程中的数值计算、有关分析及计算机绘图就是 CAD,利用软件进行自动编程便是 CAM,应该说这是对 CAD/CAM 技术的片面理解和全面的认识。设计是人类高度智能化的一种活动,往往贯穿了产品的整个生命周期,包含产品的需求规划、概念设计、总体设计、结构设计、产品试制、生产规划、营销设计、报废回收等流程,从而最终实现产品从概念设计到实物、从抽象到具体、从定性到定量的生产过程,设计中既有大量的数值计算,也有众多的推理决策判断。从设计方法角度看,设计可分为常规设计、革新设计和创新设计等三类。目前,一般的 CAD 系统是以数据库为核心、以交互图形设计为手段,在建立产品几何模型的基础上,利用有限元和优化设计对产品的性能进行分析计算,而对推理和判断却做得不多,因此,在产品开发中,计算机只是作为一种辅助的设计工具,许多推理判断工作仍需由人工完成,所以人们将它称为计算机辅助设计。

由于 CAD/CAM 技术是一个发展着的概念,不同地区、不同国家的学者从不同的角度出发,对 CAD、CAM 内涵的理解也不完全相同,因此要给 CAD、CAM 下一个确切的定义并不容易。一般认为,CAD 是指工程技术人员在人和计算机组成的系统中,以计算机为辅助工具,通过计算机和 CAD 软件对设计产品进行分析、计算、仿真、优化与绘图,在这一过程中,把设计人员的创造性思维、综合判断能力与计算机强大的记忆、数值计算、信息检索等能力相结合,各尽所长,完成产品的设计、分析、绘图等工作,最终达到提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品生产成本的目的。CAD 的功能可以大致归纳为四类,即几何建模、工程分析、动态模拟和自动绘图。为了实现这些功能,一个完整的 CAD 系统应由科学计算、图形系统和工程数据库等组成。科学计算包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等;图形系统则包括几何造型、自动绘图、动态仿真等;工程数据库对设计过程中需要使用和产生的数据、图形、文档等进行存储与管理。

值得注意的是,不应该把 CAD 与计算机辅助绘图、计算机图形学混淆起来。计算机辅助绘图是指使用图形软件和硬件进行绘图及有关标注的一种技术;计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形,并在专用设备上显示的原理、方法和技术的科学。计算机辅助绘图主要解决机械制图问题,是 CAD 的一个组成部分,其内涵比 CAD 小得多;计算机图形学是一门独立的学科,但它的有关图形处理的理论与方法是构成 CAD 技术的重要基础。

把计算机辅助设计和计算机辅助制造集成在一起,称为 CAD/CAM 系统;把计算机辅助设计、计算机辅助工程和计算机辅助制造集成在一起,称为 CAD/CAE/CAM 系统。现在很多 CAD 系统逐渐添加了 CAM 和 CAE(Computer Aided Engineering,计算机辅助工程分析)功能,所以工程界习惯上把 CAD/CAE/CAM 称为 CAD 系统或 CAD/CAM 系统。一个产品的设计制造过程往往包括产品任务规划、方案设计、结构设计、产品试制、产品试用、

产品生产等阶段，而计算机只是按用户给定的算法完成产品设计制造全过程中某些阶段或某个阶段中的部分工作，如图 1.1.1 所示。

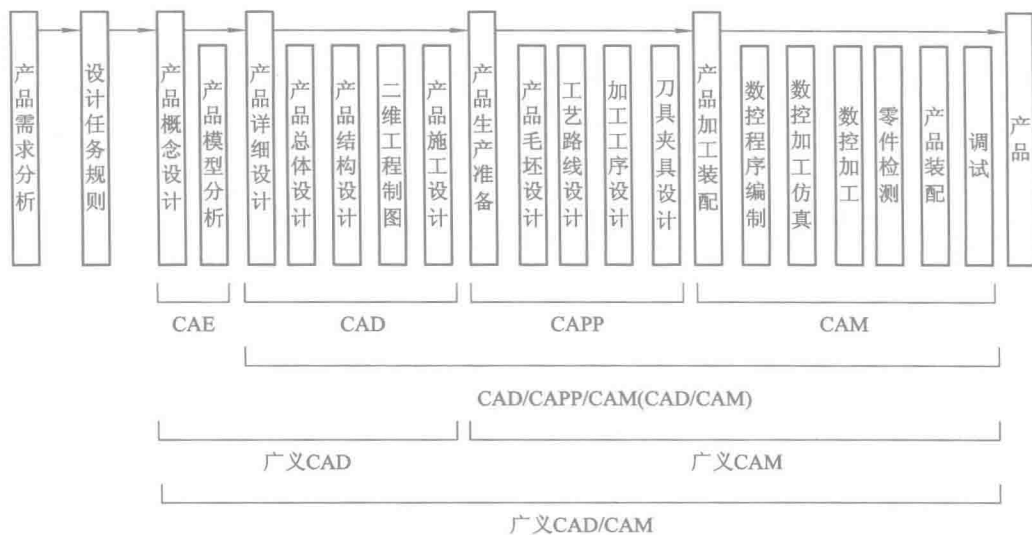


图 1.1.1 产品开发过程及 CAD、CAE、CAM 的范围

CAD/CAM 技术是一种在不断发展的技术，随着相关技术及应用领域的发展和扩大，CAD/CAM 技术的内涵也在不断扩展。

1.1.2 CAD/CAM 集成的概念

近 40 年来，CAD、CAPP、CAM 技术得到了飞速发展，尤其是自 20 世纪 70 年代中期以来，计算机的应用日益广泛，几乎深入到与生产过程有关的所有领域，形成了许多计算机辅助的分散系统。如不考虑企业行政管理方面的因素，这些分散系统包括 PPS、CAD、CAE、CAPP、CAM、CAQ(Computer Aided Quality, 计算机辅助质量管理)、CAFD(Computer Aided Fixture Design, 计算机辅助夹具设计)。

这些独立的分散系统，分别在产品设计自动化、工艺过程设计自动化和数控编程自动化等方面起到了重要作用。但是采用这些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，信息资源还不能共享。例如，CAD 系统设计的结果不能直接为 CAPP 系统所接受，进行工艺过程设计时，还需要人工将 CAD 输出的图样文档等信息转换成 CAPP 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环节(如 CAPP、CAM)继续应用时才是最经济和最合理的。为此，提出了 CAD/CAPP/CAM 集成的概念，并首先致力于 CAD、CAPP 与 CAM 系统之间数据自动传递和转换的研究，以便将已存在和使用的 CAD、CAPP、CAM 系统通过计算机网络和数据库集成起来。目前，这一技术已达到实用和逐步成熟阶段。

利用数据传递和转换技术实现 CAD 与 CAPP、CAM 集成的基本工作步骤如下：

(1) CAD 设计产品结构，绘制产品图样，为 CAPP、CAM 过程准备数据。

- (2) 经数据转换接口, 将产品数据转换成中性文件(如 IGES、STEP 文件)。
 - (3) CAPP 系统读入中性文件, 并将其转换为系统所需格式后生成零件工艺过程。
 - (4) CAD、CAPP 系统生成数控编程所需数据, 并按一定标准转换成相应的中性文件。
 - (5) CAM 系统读入中性文件, 并将其转换为本系统所需格式后生成数控程序。
- 这样所形成的集成系统表达为 CAD/CAPP/CAM, 也可简写为 CAD/CAM。

CAD、CAPP 与 CAM 之间密切的关系, 也即 CAD/CAM 系统所具有的三大功能之间的关系可用图 1.1.2 所示的框图来表示。



图 1.1.2 CAD、CAPP 与 CAM 之间的关系

在 CAD/CAM 系统中, CAD 偏重于产品的设计过程, CAPP 偏重于工艺过程设计, 而 CAM 偏重于产品的制造过程。由于 CAD、CAPP 与 CAM 系统是通过计算机网络和数据库连接起来的, 因此 CAD 系统的输出信息便可通过计算机网络和数据库输入到 CAPP 与 CAM 系统中。这样, 利用计算机就可以既进行产品的设计, 又进行工艺设计, 同时还能控制机床的操作, 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的统一管理之下, 从而实现了 CAD 与 CAM 的一体化。

1.1.3 产品生产过程与 CAD/CAM 过程

产品是市场竞争的核心。对于产品有不同的定义和理解。首先从生产的观点来看, 产品是从需求分析开始, 经过设计过程、制造过程后变成可供用户使用的成品, 这一总过程也称为产品生产过程。产品生产过程具体包括产品设计、工艺设计、加工和装配过程。每一过程又划分为若干个阶段。例如, 产品设计过程可划分为任务规划、概念设计、结构设计、施工设计等四个阶段; 工艺设计过程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、量具等的设计与选择等阶段; 加工、装配过程可划分为数控编程、加工过程仿真、数控加工、检测、装配、调试等阶段。

在上述各过程、阶段内, 计算机获得不同程度的应用, 并形成了相应 CAD/CAPP/CAM 过程链, 如图 1.1.3 所示。按顺序的生产观点, 这是一个串行的过程链, 但按并行工程的观点考虑到信息反馈, 这也是一个交叉、并行的过程。

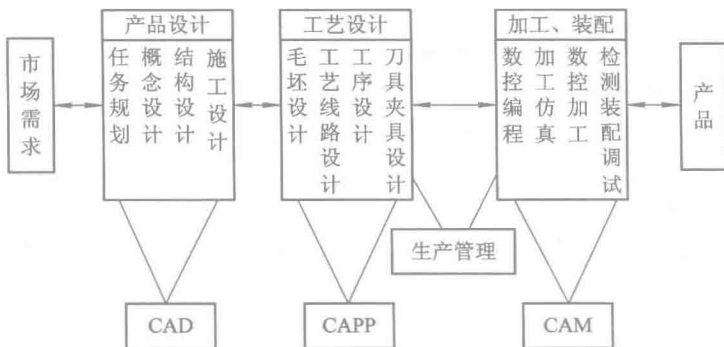


图 1.1.3 产品生产过程与 CAD/CAM 过程

从计算机科学的角度看,设计与制造过程是一个信息处理、交换、流通和管理的过程,因此,CAD/CAM 系统是用计算机对设计和制造过程中信息的产生、存储、转换、流通和管理进行分析与控制,CAD/CAM 系统实质上是一个有关产品设计和制造的信息处理系统。这种信息处理系统是通过计算机网络来实现的。通过计算机网络系统进行信息交换,既可以使设计和制造信息有机地结合,可以相互利用这两个领域的必要知识进行设计和制造,也由于信息管理一体化,可以减少设计差错、制造失误和信息传输错误,从而缩短准备时间和简化修正程序,还便于技术和生产状况的管理、记录和质量水平的提高。

1.2 CAD/CAM 技术的应用和发展

1.2.1 CAD/CAM 技术的应用

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、建筑和服装等行业应用已较为普遍。CAD/CAM 的发展把计算机的高速度、准确性和大贮存量与技术人员的思维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。

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。许多企业尽管引进了 CAD/CAM 系统,但其功能却没能得以充分发挥。因此,我们应抓紧时机,结合国情,积极开展 CAD/CAM 技术的研究与推广工作,提高企业竞争能力,加快企业现代化进程的步伐。

1.2.2 CAD/CAM 技术的历史沿革

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。

1. CAD/CAM 集成技术的产生

CAD/CAM 是一门基于计算机技术而发展起来的、与机械设计和制造技术相互渗透结合的、多学科综合性的技术。它随着计算机技术的迅速发展、数控机床的广泛应用及 CAD/CAM 软件的日益完善,在电子、机械、航空、航天、轻工等领域得到了广泛的应用。1989 年,美国国家工程科学院对 1965—1989 年的 25 年间当代十项杰出工程技术成就进行了评选,CAD 技术名列第四。美国国家科学基金会曾在一篇报告中指出:“CAD/CAM 对直接提高生产率比电气化以来的任何发展都具有更大的潜力,应用 CAD/CAM 技术,将是提高生产率的关键。”

CAD/CAM 技术为什么能在短短的 40 余年间发展如此迅速呢? 归根到底是因为它几乎推动了整个领域的设计革命, 大大提高了产品开发速度, 缩短了产品从开发到上市的周期; 同时, 由于市场竞争的日益激烈, 用户对产品的质量、价格、生产周期、服务、个性化等要求越来越高。对于产品开发商来说, 为了立足市场, 必须使用先进设计制造技术, 以缩短产品的设计开发周期, 提高产品质量, 最终提升产品的市场竞争力, CAD/CAM 技术便是首选之一。因此, 作为先进制造技术重要组成部分的 CAD/CAM 技术, 它的发展及应用水平已成为衡量一个国家的科学技术进步和工业现代化的重要标志之一, 尤其是模具 CAD/CAM 技术对于现代大批量优质生产更具有重要意义。

2. CAD/CAM 发展历程

1) CAD/CAM 技术的发展历程

从 CAD/CAM 技术诞生至今, 它的发展始终与计算机技术、软硬件水平及相关基础技术(如计算机图形学、网络技术、通信技术等)的发展紧密相连。因此, 我们在了解 CAD 技术发展历程的同时, 也需要了解当时与 CAD 技术相关联技术的发展情况。在 CAD 技术和 CAM 技术诞生初期, 它们是独立发展的, 而 CAM 技术的发展促使了 CAD 技术的出现和发展。

20 世纪 40 年代末期, 美国有一位叫约翰·帕森斯的工程师构思并向美国空军展示了一种加工方法: 在一张硬纸卡上打孔来表示需要加工的零件的几何形状, 利用这张硬纸卡来控制机床进行零件的加工。当时美国空军正在寻找一种先进的加工方法以解决飞机外形样板加工的问题, 因此美国空军对该构思十分感兴趣并大力赞助, 同时委托麻省理工学院进行研究开发。1952 年, 麻省理工学院伺服机构实验室和帕森斯公司合作研制出了世界上第一台数控机床, 该机床在用于飞机螺旋桨叶片轮廓检验样板的加工中取得圆满成功。它是用含有某种指令的特定程序控制其运动并实现工件加工的: 首先由人工编好程序并输入数控机床, 然后执行程序实现零件的自动加工。用这种方法在编制复杂零件的加工程序时存在编程比较麻烦、周期长且容易出错等缺点。因为程序编制较难, 所以限制了它的有效应用。针对这些问题, 以该实验室 D. T. Ross 教授为首的研究小组开始着手研究一种能实现自动编程的系统, 即 APT(Automatically Programmed Tools)。APT 是一套纯文字的计算机语言, 主要由几何定义语句、刀具语句、宏指令与循环指令、辅助功能及说明语句、输入输出语句组成。编程人员首先描述需要加工的零件形状和刀具形状、加工方法、加工参数等, 然后编制出零件的加工程序。1969 年, 美国 United Computing 公司成功地开发出了 APT 软件并取名为 UNIAPT。APT 软件经过软件开发商的发展, 先后推出了 APT-II、APT-III、APT-IV、APT-SS 等版本, 其功能不断扩充, APT-III 具有立体切削功能, APT-IV 实现了曲面加工, APT-SS 可雕刻表面。APT 软件以语句为结构对加工零件的几何形状进行描述和定义, 以应用软件对语句进行信息处理, 最终生成零件的数控加工程序的工作原理, 就是 CAM 技术的开端。因此, 早期的 CAM 主要用于解决程序编制问题, APT 也成为自动编程的一种形式——以计算机语言为基础的自动编程。

虽然以计算机语言为基础的自动编程方法解决了不少编程问题, 但它仍存在许多明显不足, 如缺少对零件形状和刀位轨迹进行模拟验证的功能使得加工容易出错; 程序编制时因为没有图形而不直观, 不能处理复杂零件尤其是有曲面的零件等。

第二次世界大战后,随着美国飞机制造业的迅速发展,飞机气动外形的准确度要求逐渐提高,飞机结构也更加复杂,人们开始尝试使用一种新的制造方法——模线样板工作法,即在铝板上,按真实尺寸绘制飞机各部分的外形轮廓及与外形有关的结构零件图,再用这些模线图制作样板和工装,从而保证了飞机零件制造和装配的精度。在飞机制造中,这种方法取得了很好的效果,缺点是生产准备周期长、手工劳动量大。20 世纪 50 年代中期,由于电子计算机的发展,一些飞机制造公司开始尝试用电子计算机建立飞机外形的数学模型,计算切面数据,再用绘图机输出这些曲线。这种方法大大提高了飞机的制造精度,缩短了生产准备时间,降低了人工工作量,这就是 CAD 技术的雏形。

CAD 技术从出现至今大致经历了以下五个阶段:

(1) 孕育形成阶段(20 世纪 50 年代)。该阶段最大的成果是:1950 年麻省理工学院研制出了“旋风 I 号”(Whirlwind- I)形显示器,该显示器类似于示波器。虽然它只能用于显示简单的图形且显示精度很低,但它却是 CAD 技术酝酿开始的标志。随后,1958 年 Calcomp 公司和 Gerber 公司先后研制出了滚筒式绘图仪和平板式绘图仪。显示器和绘图仪的发明,表明了该时期的硬件具有图形输出功能。

(2) 快速发展阶段(20 世纪 60 年代)。20 世纪 50 年代末期,美国麻省理工学院林肯实验室研制出将雷达信号转换为显示器图形的空中防御系统。该系统使用了光笔,操作者用它指向屏幕中的目标图形,即可获得所需信息,这便是交互式图形技术的开端。

1962 年,麻省理工学院林肯实验室的 I. E. Sutherland 发表了《Sketchpad: 一个人机通信的图形系统》的博士论文,首次提出了计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想。他开发了人机对话式的二维图形系统 SKETCHPAD,第一次证实了人机对话工作的可能性,为 CAD 技术的发展和应用奠定了坚实的理论基础。I. E. Sutherland 的博士论文中所提出的 CAD 技术的思想,成为该时期的重大成果之一。

计算机技术、交互式图形技术等基础理论的建立与发展、图形输入/输出设备(如光笔、图形显示器、绘图仪等)的成功研制及对图形数据处理方法的深入研究,大大推动了 CAD 技术的完善和发展。一个有力证据就是商品化 CAD 软件的出现和应用。如 1964 年美国通用汽车公司和 IBM 公司联合开发的 DAC-1(Design Augmented by Computer)系统,该系统主要用于汽车外形和汽车结构的设计。

1965 年,美国的 IBM 公司和洛克希德公司共同开发了 CADAM 系统,该系统具有三维造型和结构分析能力,广泛应用于工程设计、机械工业、飞机制造等行业。

不过,该时期的 CAD 系统主要是二维系统,三维 CAD 系统也只是简单的线框造型系统,且规模庞大,价格昂贵。线框造型系统只能表达几何体基本的几何信息,不能有效表达几何体间的拓扑信息,也就无法实现 CAM 和 CAE。

虽然 CAD 技术和 CAM 技术是计算机应用技术中独立发展的两个分支,但随着 CAD 技术、CAM 技术在制造业中的推广,二者间的相互结合显得越来越迫切。CAD 系统只有配合 CAM,才能充分显示它的巨大优越性;同样,CAM 只有利用 CAD 技术所建立的几何模型,才能进一步发挥它的作用。20 世纪 60 年代末至 70 年代初,一些外国公司开始着手将计算机辅助设计系统和计算机辅助制造系统进行集成,建立一个统一的应用程序库,并逐步形成统一的系统。United Computing 公司向一家专门从事图形开发的公司购买其图