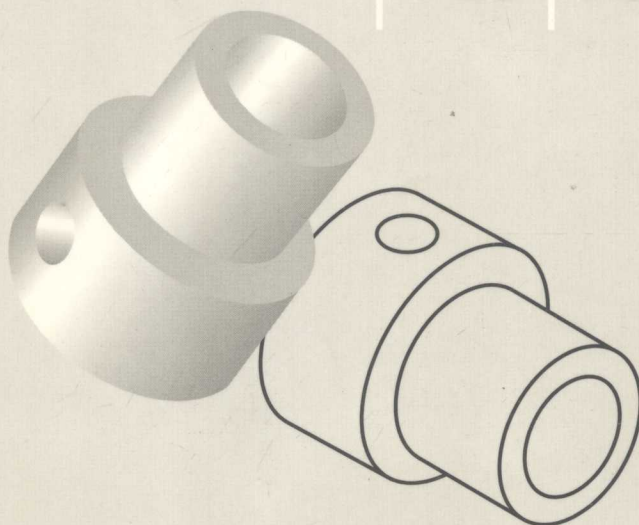
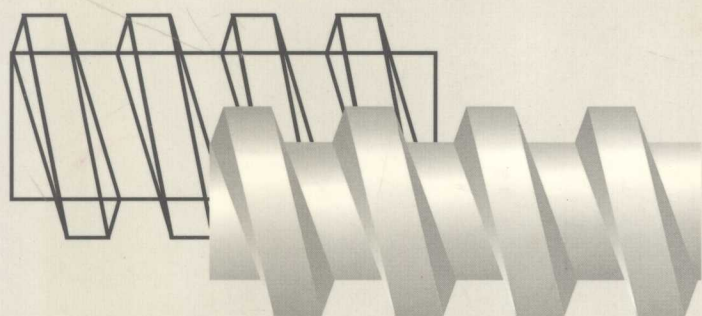


*Principle and Application
of Computer Aided
Design and Manufacturing
Technology*

计算机 辅助设计 与制造 技术原理 及应用

殷国富 杨随先



四川大学出版社

四川大学研究生教材建设基金重点资助项目

计算机辅助设计与制造 技术原理及应用

Principle and Application of Computer Aided Design and Manufacturing Technology

殷国富 杨随先 主编

四川大学出版社

责任编辑:孙思涛 李 胜
责任校对:周 颖
封面设计:陈 晴
责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计与制造技术原理及应用/殷国富, 杨随先主编. —成都:四川大学出版社, 2001.11
ISBN 7-5614-2159-1

Ⅰ. 计... Ⅱ. ①殷... ②杨... Ⅲ. ①计算机辅助设计 ②计算机辅助制造 IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 066930 号

内容提要/Summary: This book is organized to introduce the basic theory and application technology of CAD/CAM. The book is divided into 12 chapters, including CAD/CAM system structure, CAD/CAM data structure and database technology, computer graphics foundation and graphics system development technology, product geometric modeling and feature modeling technology, based on three-dimensional solid modeling product design method, CAD/CAPP/CAM integration, computer-aided engineering analysis method, mechanical product rapid development technology, product data management, computer-integrated manufacturing and mechanical product network distributed collaborative design technology. This book reflects the latest progress and new methods of CAD/CAM technology, and at the same time combines the author's many years of teaching and research results, giving some application examples of solving specific problems.

本书详细介绍了 CAD/CAM 技术的基本理论和应用技术方法。全书共分 12 章,主要内容包括 CAD/CAM 系统体系结构、CAD/CAM 中的数据结构与数据库技术、计算机图形学基础与图形系统开发技术、产品几何造型与特征建模技术、基于三维实体造型的产品设计方法、CAD/CAPP/CAM 集成、计算机辅助工程分析方法、机械产品快速开发技术、产品数据管理、计算机集成制造和机械产品的网络分布式协同设计技术。本书力求反映当代 CAD/CAM 技术的新进展、新方法,同时结合作者多年的教学和科研成果,给出了一些解决具体问题的应用实例。

本书可作高等院校本科高年级学生和研究性专业课程教学的教材,亦可作为从事计算机辅助设计制造技术研究与开发的工程技术人员进行培训和继续教育的参考书。

书名 计算机辅助设计与制造技术原理及应用

主 编 殷国富 杨随先
出 版 四川大学出版社
地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
印 刷 西南冶金地质印刷厂
发 行 四川大学出版社
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 19.75
字 数 474 千字
版 次 2001 年 11 月第 1 版
印 次 2001 年 11 月第 1 次印刷
印 数 0 001~2 500 册
定 价 28.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。电话:5412526/5414115/5412212 邮政编码:610064

◆本社图书如有印装质量问题,请寄回印刷厂调换。

版权所有◆侵权必究

序

“年年岁岁花相似，年年岁岁人不同”。在世纪之交，经过又一次高教体制改革，强强合并后的新四川大学已成为我国西部地区规模最大、学科门类最齐全的新型综合性研究型大学。

作为新世纪的献礼，我校研究生教材建设基金资助的第一批研究生优秀教材正式出版了，我在此表示热烈的祝贺。

众所周知，21世纪是知识经济的世纪，国际竞争空前激烈。竞争的焦点是科学技术，竞争的核心是创新型人才，竞争的关键是国民教育。对于四川大学这样的国家重点大学而言，则要注意大力发展研究生教育，扩大研究生规模，注重研究生质量。

校长、教师、教材是办学中的三大要素。教材是教学改革与师生智慧的重要的物化的结晶。正是基于这种考虑，我校决定在以学科建设为龙头的同时，努力加强研究生的教材建设，通过各种渠道，筹集了专项基金，用以资助研究生优秀教材的编写和出版。我们首次资助的是有博士学位授权点的学科专业中涉及面大、使用面宽的研究生学位平台课程的优秀教材。今后，还将陆续扩大教材基金资助的范围，包括资助我校新增加的医学门类的有关教材的出版。

这次推出的研究生教材的基本特点是：符合该学科教学大纲的基本要求，有较强的理论性和系统性。它既反映了该学科发展的新知识、新动向、新成就，也反映了我校教师在该门学科教学与科研中的成果与经验。

前人说得好：古今之成大学问、大事业者，都必须经过三种境界。“昨夜西风凋碧树，独上高楼，望断天涯路”，此第一境也；“衣带渐宽终不悔，为伊消得人憔悴”，此第二境也；“众里寻他千百度，回头蓦见，那人正在灯火阑珊处”，此第三境也。研究生的优秀教材的建设应该算作一种“大事业”。本教材的作者们对于研究生教育改革的执着追求，令人钦佩；他们的无私奉献精神，值得赞扬；他们所取得的教学科研成果应该积极推广，使它产生应有的社会效益，为百年名校增添光彩。我希望在首批及以后陆续出版的我校研究生教材中能出现“传诸后世”的佳作，更希望我校有更多的教授、名家动手撰写研究生教材，为建设国内一流、在国际上有影响的新四川大学而做出更大的贡献。

四川大学副校长

四川大学研究生院院长

中国科学院院士

刘应明 教授

2001年3月8日

前 言

人类社会正在迈进信息时代。用信息技术改造传统制造业就是将计算机技术、现代管理技术和先进制造技术相结合并应用到企业产品生命周期 (Life-Cycle) 全过程和企业运行管理的各个环节, 实现制造业信息化, 其目的是提高企业的产品开发效率和制造质量, 及时可靠地掌握市场信息, 利用 Internet 网络环境保持顺畅准时的交流协作, 快速响应用户需求, 在产品交货时间 (Time)、质量 (Quality)、成本 (Cost)、服务 (Service) 等方面取得优势, 从而在全球激烈的市场竞争中立于不败之地。上述这一切迫切地要求企业采用新的设计制造技术和工具, 而计算机辅助设计与制造 (Computer Aided Design and Manufacturing, 简称 CAD/CAM) 是实现这些要求和目标的一项关键的支撑性基础技术和不可缺少的基本工具。

CAD/CAM 技术是计算机科学技术在工程设计、机械制造等领域中最有影响的一项高新应用技术, 它正在引起一场产品设计制造领域的技术革命, 将对制造业的生产模式和人才知识结构等产生重大的影响, 并由此奠定计算机集成制造系统 (CIMS) 的基础。CAD/CAM 系统的发展和应用使传统的产品设计方法与生产模式发生了深刻的变化, 已经产生、并将继续产生巨大的社会效益。因此, CAD/CAM 技术必将成为产品设计制造工作中不可缺少的工具。学习掌握它的技术原理及其相应软件系统的应用方法, 并与专业知识结合以解决所面临的工程技术问题, 对于 21 世纪的工程技术人员来说是十分重要的。

CAD/CAM 技术的发展方向是集成化、智能化、标准化、可视化与网络化。以 Internet 网络技术为特征的新一代企业信息化体系正在深刻影响和指导着 CAD/CAM 技术的应用和发展, CAD/CAM 的理论研究与开发成果日新月异。及时、系统地反映 CAD/CAM 技术原理与应用方法, 满足当前 CAD/CAM 技术研究、教学和推广应用的需要, 是作者们编写本书的基本目的。本书编写的指导思想是: 以共性理论为基础, 以工程应用为背景, 以新技术、新方法为重点, 论述 CAD/CAM 系统体系结构、产品造型与特征建模技术、CAD/CAPP/CAM 集成、计算机辅助工程分析方法、虚拟原型与快速原型制造、产品数据管理 (PDM)、计算机集成制造和计算机网络环境下的并行设计等基本理论和应用技术。

本书力求做到: 第一, 反映当代 CAD/CAM 技术的新进展和新成果, 讨论学科发展的前沿问题; 第二, 融入作者先后完成的国家自然科学基金项目“机械产品的神经网络专家系统并行设计原理和方法”、“基于 Web 技术的多智能体异地协同设计制造方法研

究”、高等学校博士学科点专项科研基金项目“基于 Intranet 模式的机械产品协同设计原理和实施办法”，以及四川省重点科学技术研究项目“机械产品特征建模技术及参数化三维图库软件开发”、“基于 PDM 技术的网络分布式 CAPP 工具系统研究”等课题的研究成果；第三，理论联系实际，力求给出解决具体工程问题的体系结构、技术方法和应用实例，以期对读者产生指导意义和帮助作用。

本书体系结构与内容安排是：第 1 章讨论 CAD/CAM 技术基础，第 2 章讨论 CAD/CAM 中的数据结构与数据库技术，第 3 章论述计算机图形学基础与图形系统开发技术，第 4 章讨论产品几何造型与特征建模技术，第 5 章介绍基于三维实体造型的产品设计方法，第 6 章、第 7 章和第 8 章分别讨论 CAPP 技术、CAM 技术和计算机辅助工程分析方法，第 9 章讨论机械产品快速开发技术，第 10 章论述产品数据管理 (PDM) 技术与应用，第 11 章着重讨论现代集成制造技术与应用，第 12 章论述机械产品的网络分布式协同设计技术。本书不同章节的组合可满足本科生到博士研究生教学的需要，亦可作为从事计算机辅助设计制造技术与开发的工程技术人员进行培训和继续教育的教材。

本书由四川大学制造科学与工程学院院长、博士生导师殷国富教授和杨随先副教授主编，其中：殷国富教授编写第 1、第 4、第 9、第 10 和 12 章；刁燕讲师编写第 2 章；罗阳副教授编写第 3 章；徐雷讲师编写第 5 章；王杰教授编写第 6 章；杨随先副教授编写第 7、第 11 章和第 8 章第 2 节，并负责统稿与文字修改；蒋玉明教授编写第 8 章的第 1、第 3 和第 4 节。本书是作者在多年的教学和科研成果的基础上编著而成的，同时还参考并引用了四川大学制造科学与工程学院 CAD/CAM 研究所一些博士研究生的研究成果。本书的出版得到四川大学研究生院教材出版基金的资助，四川大学出版社的编辑也为本书的顺利出版付出了辛勤的劳动，谨此向他们表示诚挚的感谢。

由于 CAD/CAM 技术内容十分丰富，并且日新月异，因此书中内容难以全面反映这一技术的全貌，缺点和错误在所难免，还望读者见谅，并诚请批评指正。感谢您选择了本书，请把您对本书的意见和建议告诉我们，我们的主页是 <http://mse.scu.edu.cn> 和 <http://amt.scu.edu.cn>，电子邮件地址是 cadcam@scu.edu.cn。

作者

2001 年 8 月

目 录

1.1	制造业信息化的进展	1
1.2	CAD/CAM 技术的基本概念	3
1.3	CAD/CAM 的单元技术与集成	5
1.4	CAD/CAM 系统的工作过程与主要任务	10
1.5	CAD/CAM 系统的硬件与软件	13
1.6	产品数据交换标准	17
1.7	CAD/CAM 技术应用概况与效果	18
1.8	CAD/CAM 发展概况与发展趋势	19
第 2 章	数据结构与数据库技术	23
2.1	数据结构的基本概念	23
2.2	线性表	24
2.3	栈与队列	28
2.4	树与二叉树结构	31
2.5	文件系统	34
2.6	数据库 (Database) 技术	35
第 3 章	计算机图形学基础与图形系统开发技术	41
3.1	图形的基本概念	41
3.2	图形系统与图形标准	42
3.3	OpenGL 标准	44
3.4	OpenGL 中基本图形的生成	46
3.5	图形几何变换	50
3.6	OpenGL 中的图形显示变换	54
3.7	图形交互技术	57
3.8	OpenGL 中的真实感图形	63
3.9	分形图形	67
第 4 章	产品几何造型与特征建模技术	71
4.1	产品模型与建模技术的基本概念	71
4.2	曲线曲面描述的基本原理	74
4.3	曲线设计	76

4.4	曲面造型.....	81
4.5	三维几何造型的理论基础.....	83
4.6	几何实体造型方法.....	85
4.7	参数化产品几何造型技术.....	89
4.8	变量化造型技术.....	92
4.9	参数化造型与变量化造型技术的比较.....	94
4.10	特征建模技术 (Feature Modeling).....	95
第 5 章	基于三维实体造型的产品设计方法.....	99
5.1	机械产品设计方法.....	99
5.2	三维实体造型的分析设计方法.....	99
5.3	在 MDT 中进行特征造型基本方法.....	100
5.4	曲面造型.....	104
5.5	装配造型.....	107
5.6	生成工程图.....	112
5.7	CAD 软件的交互界面应用与开发技术.....	118
第 6 章	CAPP 的原理及应用.....	127
6.1	概述.....	127
6.2	成组技术.....	129
6.3	零件信息的描述与输入.....	134
6.4	派生式 CAPP 系统.....	136
6.5	创成式 CAPP 系统.....	138
6.6	CAPP 系统中的工序设计.....	144
6.7	CAPP 的发展趋势.....	145
第 7 章	CAM 技术.....	149
7.1	CAM 体系结构.....	149
7.2	NC 原理.....	150
7.3	NC 编程.....	151
7.4	几种常见的 NC 系统.....	163
7.5	工业机器人技术.....	166
7.6	车间生产作业计划.....	170
第 8 章	计算机辅助工程分析方法.....	173
8.1	CAE 软件的现状和基本结构.....	173
8.2	有限元分析原理与方法.....	177
8.3	热分析与结构分析.....	184
8.4	CAE 的应用.....	191

第 9 章	机械产品快速开发技术	199
9.1	机械产品创新设计与快速开发技术概况	199
9.2	并行设计原理与支持系统	201
9.3	虚拟产品开发与虚拟环境技术	203
9.4	产品虚拟原型技术	208
9.5	虚拟原型与并行设计、协同设计的关系	211
9.6	支持机械产品虚拟原型开发的集成框架	213
9.7	快速原型技术原理	214
9.8	反求工程原理与方法	222
9.9	网络化快速原型系统及其数字化远程服务	223
第 10 章	产品数据管理技术与应用	227
10.1	为什么需要 PDM 技术	227
10.2	PDM 的定义与应用概况	228
10.3	PDM 系统的体系结构	230
10.4	PDM 软件系统的功能	230
10.5	实施 PDM 的几项关键技术	233
10.6	机械工程图档管理 (M-EDM) 系统的体系结构	239
10.7	M-EDM 系统功能简介	240
第 11 章	计算机集成制造技术与应用	249
11.1	CIM, CIMS 概念与发展应用概况	249
11.2	CIMS 组成与功能、体系结构与控制、实施的关键技术	251
11.3	MIS/MRP II	252
11.4	CIMS 网络/数据库	252
11.5	CIMS 工程的设计与实施	257
11.6	东方电机 CIMS 工程	261
11.7	先进制造业运行模式	269
第 12 章	机械产品的网络分布式协同设计技术	275
12.1	网络分布式协同设计制造的含义与发展趋势	275
12.2	网络化企业的支撑技术	277
12.3	分布式协同设计原理	282
12.4	空间凸轮机构网络分布式协同设计系统	285
12.5	远程协同设计应用实例	294
12.6	面向动态联盟的远程协同设计系统及其结构	299
主要参考文献		303

第1章 CAD/CAM 技术基础

计算机辅助设计与制造 (Computer Aided Design and Manufacturing, 简称 CAD/CAM) 技术是计算机科学、电子信息技术与现代设计制造技术相结合的产物, 是当代先进的生产力, 被国际公认为 20 世纪 90 年代的十大重要技术成就之一。CAD/CAM 技术的发展应用, 将对制造业的生产模式和人才知识结构等产生重大的影响, 它不仅改变了制造业设计和制造各种产品的传统作业方式, 而且有利于提高企业的创新能力、技术水平和市场竞争能力, 也是进一步向计算机集成制造 (CIMS) 发展的重要技术基础。因此, 学习掌握 CAD/CAM 技术和 CAD/CAM 软件系统应用方法, 对于 21 世纪的工程技术人员来说是十分重要的。本章在分析制造业信息化进展的基础上, 介绍 CAD/CAM 技术原理、系统组成、软硬件环境、集成应用和发展趋势等内容, 是后述章节内容学习的基础。

1.1 制造业信息化的进展

在人类社会生产发展的历史长河中, 蒸汽机和电机的应用延伸了人的体力劳动, 催生了工业革命; 而以计算机技术为核心的信息技术 (Information Technology, 简称 IT) 的应用则延伸了人的脑力劳动, 导致了一次新的工业革命——制造业信息化。制造业信息化是本世纪人类最伟大的科技成果——电子计算机在制造业应用发展的必然结果。从 1946 年第一台电子计算机问世以来的半个多世纪里, 计算机的应用几乎扩展到制造业生产经营活动的所有领域, 使传统制造业从工业社会的专业化社会生产向信息的专业化、信息化社会生产发展。

1.1.1 制造业市场竞争的演变

市场竞争是制造业永恒的话题。从一百多年前福特 (Ford) 汽车的生产线开始, 为提高企业的整体效益, 针对不同时期的竞争焦点, 产生和应用不同的技术和管理模式 (见表 1-1), 集成化的信息工程和合理现代化起着越来越主要的作用。21 世纪制造业竞争的特点, 将是知识为基础的新产品竞争。用 CAD/CAM、计算机集成制造 (Computer Integrated Manufacturing, 简称 CIM) 等高技术实现制造业信息化, 是提高企业创新能力和市场竞争能力的一条有效途径。

表 1-1 制造业不同时期的竞争焦点、相应的技术特征和管理模式

时 期	制造业竞争的焦点	相应的技术、管理对策与特点
早 期	降低产品成本	流水线、标准化
20 世纪 50—70 年代	提高企业整体效率及产品质量	统计质量工艺控制 SPC (Statistic Process Control)、数控 (NC) 技术和 CAD、CAM……
20 世纪 80—90 年代初	全面满足用户在交货期 (Time to Market)、质量 (Quality)、价格 (Cost)、与服务 (Service) 等方面的要求, 称为 TQCS	JIT (Just in Time), CAD/CAM, MRP II, CIMS…… 特点: 信息集成
20 世纪 90 年代	在 TQCS 与可持续发展条件下快速开发质量、性价比好的新产品	CAD/CAPP/CAM/PDM、并行工程 CE (Concurrent Engineering)、敏捷制造 AM (Agile Manufacturing) 特点: 过程集成
21 世纪	以知识为基础的新产品	现代集成制造系统 (Contemporary Integrated Manufacturing System)、虚拟制造 (Virtual Manufacturing) 特点: 企业集成、制造业信息化

1.1.2 制造业信息化的定义

制造业信息化是将信息技术、现代管理技术和制造技术相结合并应用到企业产品生命周期 (Life-Cycle) 全过程和企业运行管理的各个环节, 从而提高企业市场竞争能力的过程。

1.1.3 制造业信息化的特征

企业生产经营的产品信息、工艺信息、物料信息、生产信息、财务信息和市场营销信息等一切信息, 不仅能够用数字编码来表示和处理, 而且能够以光的速度在光缆中传送, 使企业生产经营的信息流实现数字化, 从而使制造业的生产经营达到前所未有的高节奏和高效率, 因此, 制造业信息化的基本特点是制造业信息流的数字化, 其重要特征是:

① 制造依据数字化。工程图纸是传统制造业的制造依据, 称之为工程师的语言, 然而计算机在工程设计中的应用导致了工程图纸向产品定义数据的方向发展 (图 1.1)。工程设计正在经历着由人工绘图到计算机绘图以至“无纸”设计的变化。

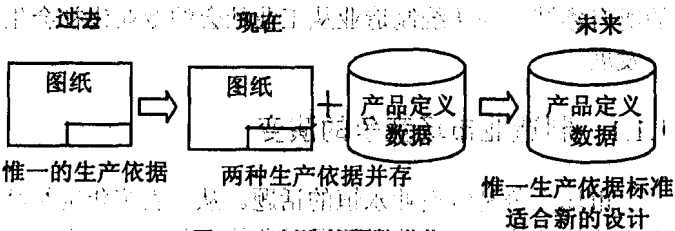


图 1.1 制造依据数字化

② 制造过程数控化。传统制造业的加工、成形、装配、测量等制造过程是由手工来控制的, 计算机在制造过程中的应用实现了数字指令控制, 产生了“无纸”制造的变化。

1.1.4 制造业信息化的成效与特点

制造业信息流的数字化使制造业生产力的发展产生了新的飞跃。美国西雅图波音 (Boeing) 公司设计制造的大型客机波音 777 是 20 世纪 90 年代制造业信息化最杰出的成

果。波音 777 在基于分布式 CAD/CAM 系统的 8 台 IBM 大型计算机 ES/9000 和 2 000 个 IBM5080-5086 图形终端的支持下实现了产品全数字化定义,用数字样机取代了原型机的研制,并用数字化样机检查零件的干涉 2 500 处,减少工程更改 50%以上。波音公司组成了包括设计、工艺、制造以及供应商和潜在用户在内的 236 个协同工作组共 7 000 多人参加波音 777 研制工作,采用了并行工程的工作模式,利用 Internet 把三家发动机供应商 GE、惠普和诺依斯罗尔斯联在一起进行数据交换和异地设计制造。在航空工业发展史上第一次把飞机研制可能出现的问题解决在制造装配前和试飞前,63m 长的波音 777 装配准误差仅为 0.58mm,确保了按时研制成功。设计制造信息化和现代管理技术的应用,使波音 777 的研制周期由过去波音 757 和 767 的 9~10 年时间缩短为 4 年多时间,给波音公司创造了显著的经济效益,增强了市场竞争能力。从制造业信息流的数字化和制造过程的数控化到波音 777 飞机的“无纸”设计和制造,表明制造业信息化是以制造业信息流数字化为基本特征的一次新的工业革命。其主要特点是:

①计算机辅助单元技术(CAD, CAPP, CAM, PDM, MRP-II 和 FMS 等)成为企业设计、制造和管理的主要技术手段;

②企业的各种计算机辅助单元技术应用系统在网络和数据库的支持下信息进行集成和过程集成;

③并行工程成为企业产品开发的主要方式;

④Internet/Intranet(互联网/内联网)在企业生产、管理、技术创新和销售领域得到广泛应用;

⑤在信息社会中,企业获取利用信息的能力越来越成为企业生存和发展的最重要的能力,企业的信息化程度决定企业的生存质量。

制造业是国民经济的发动机。一个没有强大制造能力的国家永远不可能成为经济强国。只有在我国建立了在现代信息技术基础之上的制造业,才能构筑我国综合国力的强大基础,才能满足各行各业发展的基本物质需求。所以,制造业信息化为中国制造业的全面振兴提供了一个机遇,同时也为促进 CAD/CAM 技术的深入应用提供了保证。CAD/CAM, CIMS 的推广应用是推进制造业信息化的一个重要切入点和关键技术基础。

1.2 CAD/CAM 技术的基本概念

从广义上说, CAD/CAM 技术包括产品构思、二维绘图、三维几何设计、有限元分析、数控加工、仿真模拟、产品数据管理、网络数据库以及这些技术的集成。

1.2.1 产品设计制造过程与信息技术的结合

企业的产品开发通常分为两种类型:新产品设计与产品改型设计。不论哪种设计,其设计过程都是一个创造性思维的过程。当设计师接到一个新的设计任务时,首先要进行产品的总体方案构思。通过分析设计要求,参考、比较国内外同类产品的性能特点,确定出新设计的总体方案、结构和实现方法。然后分别进行各个零部件的详细设计。因此,机械结构设计过程主要包括概念设计与分析、结构设计与分析、工程图纸绘制、产品技术要求

的确定和编制制造工艺过程及相关设计文档等。

从产品构思、概念表达、结构设计、力学性能分析到最终的技术要求和制造工艺的编制等,设计中的各个环节均需要设计师运用设计知识,经过计算、分析、综合等创造性思维过程,将设计要求转化为对产品结构、组成、性能参数、制造工艺等的定义和表示,最后得到产品的设计结果。设计结果以一定的标准形式表达,如二维工程图或产品三维模型。完成设计工作之后,需对产品的几何形状和制造要求做进一步分析,设计产品的加工工艺流程,进行生产准备,随后,加工制造、装配、检测。由此可以得出两点结论:第一,设计、制造过程可以划分为几个阶段,各个阶段可包含若干个步骤,具有相对的独立性。正因为这个规律的存在,为程式化工作的计算机引入设计、制造领域,实现 CAD/CAM 提供了客观可能性。第二,由于设计过程的复杂性,所以,设计工作尤其是在性能分析计算、模拟、仿真、实体装配等方面,极其需要与计算机技术相结合。第三,产品设计制造的各个环节也是一个相互依存且信息交换频繁的系统,需要一种有效的信息处理和交互反馈工具的支持,这样就促进了 CAD/CAM 集成技术的产生和应用。

在产品生产制造过程的各个阶段(图 1.2)中引入计算机技术,便产生了计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称 CAD)、计算机辅助工程分析(Computer Aided Engineering,简称 CAE)、计算机辅助工艺设计(Computer Aided Processing Plan,简称 CAPP)和计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing,简称 CAM)等单元技术(CAX)。由于以有限元分析为特征的商品化软件相对自成体系,故统称为 CAE 软件,但产品设计过程应包含产品的性能分析计算,所以 CAD 一般都涵盖了 CAE 的内容。事实上,设计工艺与制造过程是相互关联的有机整体,因而在单元技术基础上产生了 CAD/CAPP/CAM 一体化技术,国际上习惯简称为 CAD/CAM 技术。为了对设计制造过程和 CAD/CAM 产生的电子信息文档进行有效管理,在 20 世纪 90 年代初期产生了产品数据管理(Product Data Management,简称 PDM)技术和相应软件系统。CAD/CAPP/CAM/PDM 在 CIMS 体系结构中被称为技术信息系统(Technology Information Subsystem,简称 TIS)。

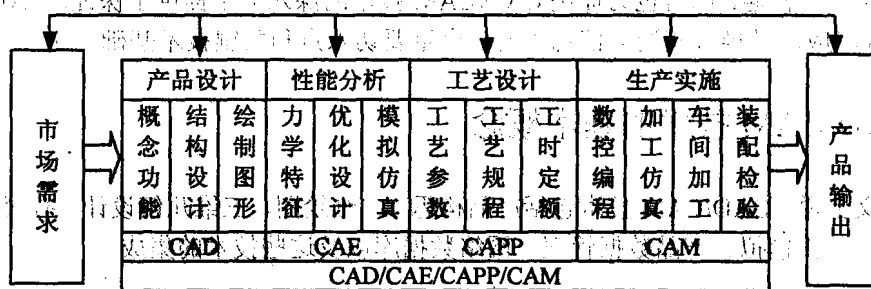


图 1.2 产品生产过程与相应的技术信息支持系统

1.2.2 CAD/CAM 定义

从计算机科学的角度来看,设计与制造的过程是一个关于产品信息的产生、处理、交换和管理的过程。人们利用计算机作为主要技术手段,对产品从构思到投放市场的整个过程中的信息进行分析和处理,生成和运用各种数字信息和图形信息,进行产品的设计与制

造。CAD/CAM 技术不是传统设计、制造流程和方法的简单映像,也不局限于在个别步骤或环节中部分地使用计算机作为工具,而是将计算机科学、信息技术与工程领域的专业技术以及人的智慧和经验知识有机结合起来,在设计、制造的全过程中各尽所长,尽可能地利用计算机系统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产品设计制造任务,以期获得最佳效果。

CAD/CAM 系统以计算机硬件、软件为支持环境,通过各个功能模块(分系统)实现对产品的描述、计算、分析、优化、绘图、工艺规程设计、仿真以及 NC 加工。而广义的 CAD/CAM 集成系统还应包括生产规划、管理、质量控制等方面。CAD/CAM 是一种从设计到制造的综合技术,能够对设计制造过程中信息的产生、转换、存储、流通、管理进行分析和控制,所以 CAD/CAM 系统是一种有关产品设计和制造的信息处理系统。CAD/CAM 系统的组成应包括 CAD, CAPP, CAM, CAE 和工程数据库、产品数据交换标准、计算机网络等单元技术。

CAD/CAM 技术在制造过程中的应用,将人们传统上把制造过程看成是物料转变过程的理念更新为主要是一个复杂的信息生成和处理过程。在这种新概念指导下,对 CAD/CAM 系统的要求是:① 应满足企业当前和未来的各种功能需求;② 具有良好的软件系统结构及信息集成方式;③ 能支持面向制造的设计(Design for Manufacturing, DFM)、面向装配的设计(Design for Assemblability, DFA)等设计原则和并行工程(Concurrent Engineering, CE)等新的运行模式;④ 重要设计环节上能提供工程决策和知识库,应用专家系统(Expert System, ES)技术形成智能化系统;⑤ 具有信息共享的工程数据库和在计算机网络环境下的分布式协同设计制造功能。

1.3 CAD/CAM 的单元技术与集成

CAD/CAM 从产生到现在经历了计算机辅助单元技术(CAX)应用到 CAD/CAM 集成以及发展到 CIMS 等阶段。CAX 是 CAD/CAM 系统组成的基础和关键,CAD, CAPP, CAM, CAE 等单元技术本身也是内容十分丰富的学科和研究对象。本节概要介绍这些单元技术的基本原理、工作任务和特点以及它们的集成等内容。

1.3.1 CAD 技术

1.3.1.1 CAD 的定义

计算机辅助设计(Computer Aided Design, 简称 CAD)是工程技术人员以计算机系统为工具,综合应用多学科专业知识进行产品设计、分析和优化等过程问题求解的先进数字信息处理技术,是专家创新能力与计算机硬件功能有机结合的产物。

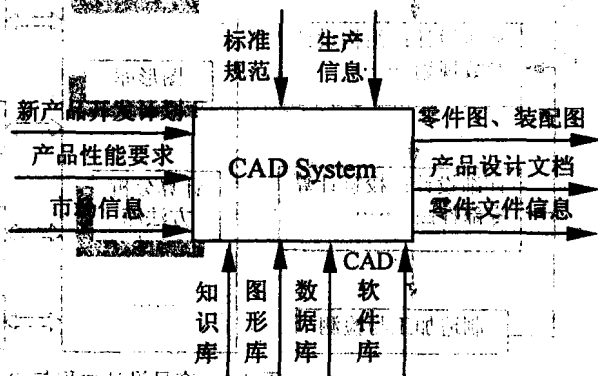


图 1.3 CAD 系统功能模型

1.3.1.2 CAD 功能模型

产品设计包括需求分析、概念设计、详细设计、工程绘图等环节，它们构成了 CAD 的主要内容。计算机辅助产品设计过程是指从接受产品功能定义开始到设计完成产品的结构形状、功能、精度等技术要求，并且最终以零件图、装配图的形式作为可见媒体表现出来的过程。CAD 系统的功能模型见图 1.3 所示，主要是通过硬件和软件的合理组织来体现的。

1.3.1.3 CAD 工作过程分析

CAD 系统是应用现代计算机技术，以产品信息建模为基础，以计算机图形处理为手段，以工程数据库为核心，对产品进行定义、描述和结构设计，用工程计算方法进行性能分析和仿真等设计活动的信息处理系统。人们通常将 CAD 功能归纳为建立几何模型、分析计算、动态仿真和自动绘图四个方面，因而需要计算分析方法库、图形库、工程数据库等设计资源的支持（图 1.4）。

CAD 工作过程的主要步骤是：① 通过 CAD 系统人机交互界面输入设计要求，构造出设计产品的几何模型，并将相关信息存储于数据库中。② 运用计算方法库的计算分析，包括有限元分析和优化设计，同时确定设计方案和零部件的性能参数。③ 通过人机交互方式对设计结果进行评价决策和实时修改，直至达到设计要求为止。利用图形库支持工具，绘制所需图形、生成各种文档。④ 设计结果可直接进入 CAPP 或 CAM 阶段。CAD 系统工作过程中涉及到的 CAD 基础技术有：产品信息建模技术、图形处理技术、工程分析技术、数据库与数据交换技术、文档处理技术、软件设计技术等。

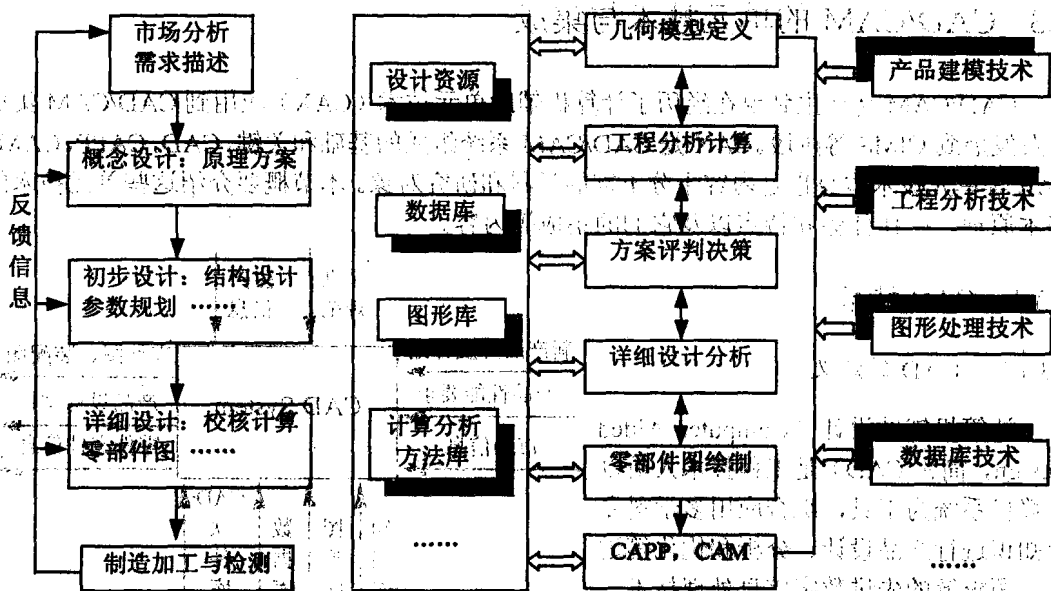


图 1.4 产品设计过程与 CAD 过程

1.3.1.4 CAD 系统中软件应具有的基本功能

CAD 软件系统是由系统软件、支撑软件及应用软件组成的。虽然不同的 CAD 系统可有不同的功能要求,但就机械产品 CAD 系统来讲,应具有以下的基本功能:

① 产品几何造型功能。产品几何造型软件是 CAD 系统的核心,因为 CAD 任务的后续处理均是在几何造型的基础上进行的,所以几何造型功能的强弱,在较大程度上反映了 CAD 系统功能的强弱。通常几何造型技术分为线框造型、曲面造型和实体造型。为了 CAD/CAM 集成系统的需要,还要求造型系统具有特征造型的功能。

② 2D 与 3D 图形处理功能,用以满足产品总体设计 3D 造型和结构设计时出 2D 图的需要。

③ 3D 运动机构分析与仿真功能,检验 3D 复杂空间布局的问题。

④ 有限元分析功能。机械产品中零部件的强度和振动计算,热传导和热变形的分析计算,以及流体动力学分析计算等,可用有限元法进行分析求解。

⑤ 优化设计功能。产品设计过程实际上是寻优的过程,也就是在某些条件的限制下,使产品的实际指标达到最佳。

⑥ 工程绘图功能。设计中将图形转换成数据信息并输入计算机,计算机对此数据进行处理后,再以图形信息的方式交互与输出。

⑦ 数据管理功能。CAD 系统在设计过程中要处理的数据不仅数量大,而且类型也较多,即其中有数值型数据和非数值型数据,也有随着设计过程不断变化的数据(即动态数据),为了要统一管理这些数据,在 CAD 系统中应有工程数据管理系统。

1.3.2 计算机辅助工程分析

现代复杂机电产品的发展,要求工程师在设计阶段就能精确地预测出产品的技术性能,并需要对结构的静、动力强度以及温度场等技术参数进行分析计算。例如:分析计算核反应堆的温度场,确定传热和冷却系统是否合理;分析涡轮机叶片内的流体动力学参数,以提高其运转效率。把这些都归结到求解物理问题的控制偏微分方程式往往是不可能的。近年来在计算机技术和数值分析方法支持下发展起来的有限元分析(FEA, Finite Element Analysis)方法则为解决这些复杂的工程分析计算问题提供了有效的途径。

计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, 简称 CAE)研究是以计算机强大的数字计算功能进行产品性能分析计算的学科,是产品设计过程中的重要环节。CAE 是以计算力学为基础,以计算机仿真模拟为手段的工程分析技术。人们通常将 CAE 归入广义的 CAD 功能中,作为实现产品性能分析与优化设计的主要支持模型。

CAE 的主要内容是:

① 有限元法 FEM 与网格自动生成。用有限元法对产品结构的静、动态特性及强度、振动、热变形、磁场强度、流场等进行分析和研究,并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的自动划分能力是十分重要的。

② 优化设计,即研究用参数优化法进行方案优选。这是 CAE 系统应具有的基本功能。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 三维运动机构的分析和仿真。研究机构的运动学特性，即对运动机构（如凸轮连杆机构）的运动参数、运动轨迹、干涉校核进行研究，以及用仿真技术研究运动系统的某些性质，从而为人们设计运动机构时提供直观的、可以仿真或交互的设计技术。

1.3.3 CAPP 技术

CAPP 即工艺设计人员利用计算机完成零件的工艺规划设计，它接受来自 CAD 系统的零件信息，包括几何信息和工艺制造信息，再经工艺设计人员运用工艺设计知识，设计合理的加工路线，选择优化的加工参数和加工设备。工艺规划设计是一项很复杂的高度智能化的活动，经验性强，涉及面广，既与经验性的决策思维相关，又受现场加工环境的限制。设计一个零件的工艺路线，要根据零件最终的形状、精度要求、加工现场的设备情况（如机床和刀、夹、量具），设计它的加工路线，再考虑零件材料特性、设备的加工能力及加工经济性，优化加工参数，最后向加工车间传送成熟的工艺文件，向管理部门提供加工工时信息和设备利用情况。CAPP 系统功能模型见图 1.5 所示。

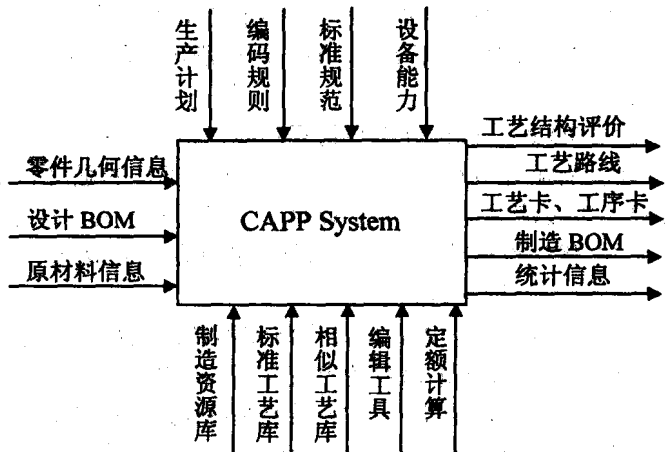


图 1.5 CAPP 系统功能模块

1.3.4 计算机辅助制造 (CAM)

产品制造是从工艺设计开始，经加工、检测、装配直至进入市场的过程。在这个过程中，工艺设计是基础，它决定了工序规划、刀具夹具、材料计划以及采用数控机床时的加工编程等，然后进行加工、检验与装配。实现这些环节信息处理的计算机系统就构成了 CAM 系统。因此可以说，CAM 是指计算机在产品制造方面应用技术的总称。

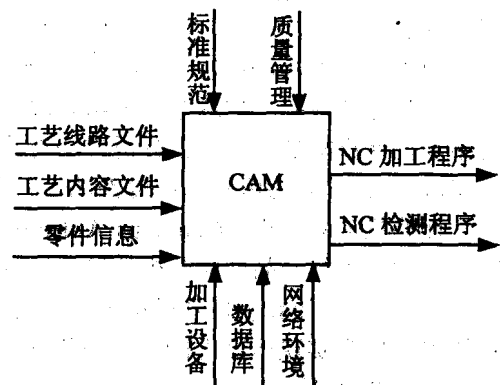


图 1.6 CAM 系统功能模型

在 CAM 过程中主要包括两类软件：CAPP 与数控编程 (NC Programming, NCP)。当前对 CAM 软件的范畴划分存在一些差异。一种是狭义的理解，将 CAM 软件看作是 NCP。现在大部分商品化的所谓 CAM 软件，实际上都是 NCP。狭义 CAM，是指由 CAD 系统向 CAM 系统提供零件信息，CAPP 系统向 CAM 系统提供加工工艺信息和工艺参数，CAM 系统根据工艺流程和几何尺寸、精度要求，产生刀位文件，最终生成 NC 加工程序。CAM