



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材



Mechanical CAD/CAM Technology

机械CAD/CAM技术

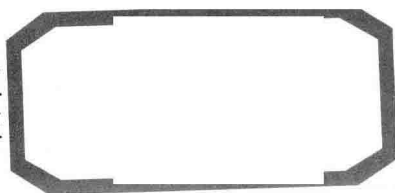
第④版

扬州大学 王隆太 © 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十二五”
“十三



见划教材
项目

机械 CAD/CAM 技术

第 4 版

主编	王隆太	
参编	宋爱平	朱灯林 戴国洪
主审	沈世德	

机械工业出版社

本书系统地讲述了机械 CAD/CAM 的基本概念、应用方法和关键技术。主要内容包括机械 CAD/CAM 技术概述、工程数据计算机管理与处理技术、计算机图形处理技术、机械 CAD/CAM 建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺设计、计算机辅助数控加工编程和 CAD/CAM 集成技术。

本书在力求保持 CAD/CAM 技术内容的系统性、完整性基础上,突出内容的实用性,并通过大量具体应用实例阐述 CAD/CAM 技术的各种原理和方法。各章节内容衔接自然、语言通俗流畅,便于组织教学和自学。

本书有配套的 CAI 课件,以便于教师授课和学生自学。此外,与本书配套的还有宋爱平主编的《机械 CAD/CAM 实训指导书》,包括常用 CAD/CAM 软件系统的三维建模和数控编程训练,以及课程实验指导等,以提高学生应用 CAD/CAM 技术的能力。

本书可作为机械工程及其自动化专业的本科生教材,也可作为从事 CAD/CAM 技术研究和工程应用的技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAD/CAM 技术/王隆太主编. —4 版. —北京:机械工业出版社, 2017.5

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系精品教材
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-111-56201-6

I. ①机… II. ①王… III. ①机械设计—计算机辅助设计—应用软件—职业教育—教材 ②机械制造—计算机辅助制造—应用软件—职业教育—教材 IV. ①TH122②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 039259 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:刘小慧 责任编辑:刘小慧 杨璇 刘丽敏

责任校对:肖琳 封面设计:张静

责任印制:常天培

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2017 年 7 月第 4 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·409 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-56201-6

定价:39.80 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

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第4版前言

本书自 2002 年出版第 1 版、2005 年出版第 2 版、2010 出版第 3 版以来,累计印次 27 次,深受广大读者和高校师生的支持和关爱。为了体现与时俱进、精益求精的精神,编者特对本书第 3 版进行了修订。

CAD/CAM 技术是一项工程应用型先进实用技术,经过半个多世纪的发展,已逐渐成熟并得到普及应用,现已成为企业产品设计与开发不可或缺的工具。作为工程应用专业类教材,面对现已成熟的技术,本次修订侧重于 CAD/CAM 技术的功能原理、技术实现以及具体的工程应用。为此,在全书结构上,添加了“计算机辅助工程分析”一章的内容,合并了原有的“CAD/CAM 的支撑技术”与“设计/制造数据的处理技术”章节,摒弃了原有的“机械 CAD/CAM 应用软件开发”章节;在内容选材方面,强化了该技术的功能原理及其技术实现方面的内容,删减了该技术的发展过程性及探索性内容;在逻辑关系上,按照机械 CAD/CAM 技术的基本概念、数据与图形处理、CAD 建模技术、CAE 分析技术、CAPP 系统、CAM 编程系统以及 CAD/CAM 技术集成的顺序,重新调整了各章节间的关系;在技术应用方面,以更多应用实例来阐述各项技术的实际工程应用。经过本次修订,提高了本书内容的完整性、合理性和可读性,更加便于教师组织教学和学生自学。

本书各章节内容具体安排如下。

第 1 章为机械 CAD/CAM 技术概述,包括 CAD/CAM 技术内涵、CAD/CAM 系统的结构组成、作业过程、主要功能以及 CAD/CAM 技术发展历程与当前研究热点。

第 2 章为工程数据计算机管理与处理技术,包括 CAD/CAM 系统常用的数据结构、数据管理模式、工程数表及线图的计算机处理技术。

第 3 章为计算机图形处理技术,包括计算机图形处理的数学基础、窗口与图形裁剪技术、图形变换技术、计算机辅助绘图技术以及自由曲线和曲面。

第 4 章为机械 CAD/CAM 建模技术,包括 CAD/CAM 建模技术概述、线框建模技术、表面(曲面)建模技术、实体建模技术、特征建模技术和装配建模技术。

第 5 章为计算机辅助工程分析,包括 CAE 内涵作用、涉及的功能范畴,以及有限元分析、优化设计和计算机仿真。

第 6 章为计算机辅助工艺设计,包括 CAPP 功能作用、技术发展与趋势,CAPP 系统类型、结构组成,以及派生式 CAPP 系统、创成式 CAPP 系统和 CAPP 专家系统。

第 7 章为计算机辅助数控加工编程,包括数控加工编程技术基础、数控编程方法及其实现、刀位点计算和 CAD/CAM 系统数控编程作业过程。

第 8 章为 CAD/CAM 集成技术,包括 CAD/CAM 系统集成概念、集成关键技术、集成方式以及基于 PDM 平台的 CAD/CAM 系统集成。

本次修订由王隆太教授负责完成,宋爱平、朱灯林、戴国洪参加修订。全书由沈世德教授主审。

由于编者水平有限,书中不足、漏误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

第3版前言

本书自 2002 年出版第 1 版、2005 年出版第 2 版以来，累计印次 15 次，深受高校师生的支持和关爱。为了更好地对本书进行完善，体现与时俱进、精益求精的精神，编者对本书第 2 版进行了修订。

此次修订删除了某些陈旧繁琐的内容，增加了一些 CAD/CAM 技术新发展内容，进一步理顺全书的结构，使全书内容更为新颖、实用，编排逻辑更为合理、流畅。其主要修订内容如下：

1) 第一章在“CAD/CAM 系统硬件”部分，适当增加了虚拟现实设备、三坐标测量设备等与 CAD/CAM 系统相关的先进硬件内容；在“CAD/CAM 系统的软件”部分，增加了虚拟现实软件内容；将“CAD/CAM 技术的研究热点”内容改为“CAD/CAM 技术的发展趋势”。

2) 将第二章“成组技术”安排至第七章，结合派生式 CAPP 内容一同介绍；在第二章中增加了“人工智能”“可视化”等 CAD/CAM 支撑技术新内容。

3) 第四章增加了“图形裁剪技术”内容；在“程序参数化绘图”部分以 C 语言代替 AutoLisp 语言进行举例编程。

4) 在第五章，充实、强化了“特征建模”内容，增加了“装配建模技术”小节。

5) 第六章在“机械 CAD 应用系统二次开发技术”中，增加了对话框和用户菜单的开发技术。

6) 第七章删除了“CAPP 专家系统”内容，避免与第二章“人工智能”内容重复。

7) 第八章以“CAD/CAM 系统数控编程作业过程”为主线，对原有内容进行了调整，使结构逻辑更为合理。

8) 第九章包括 CAD/CAM 系统集成技术、快速成形制造、反求工程、虚拟制造、网络化制造等有关 CAD/CAM 技术集成及应用内容。

本书第 3 版的编写分工如下：第一、二、八、九章由王隆太编写，第三、四章由宋爱平编写，第五、六章由朱灯林编写，第七章由戴国洪编写。全书由王隆太统稿。

全书由西安交通大学赵汝嘉和吴锡英教授担任主审，他们对本书的编写提出了许多宝贵的建议和修改意见。此外，本书得到了扬州大学出版基金的资助，编者在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不足、漏误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
于扬州

第2版前言

本书自 2002 年 1 月第 1 版出版以来,受到不少读者的支持和关爱,到 2004 年 7 月已进行 5 次印刷。然而,由于编者的水平所限,在第 1 版中无论是教材结构、内容选取,还是语言文字等方面均存在不少缺陷和不足。两年多来,不少热心的读者对本书提出了许多善意的意见和积极改进的建议。为了满足读者的要求,适应我国制造业快速发展的形势,编者在征求和整理读者意见的基础上,对第 1 版进行修订。

第 2 版教材的读者对象仍然面向普通高等教育应用型机械工程类专业在校学生,侧重点在于 CAD/CAM 技术的工程应用,同时保留基本的 CAD/CAM 技术原理和方法;在内容选取方面,主要体现 CAD/CAM 成熟实用技术,尽可能反映本领域的前沿发展;在内容编排上,每个主要章节附有具体的技术应用实例,便于读者学习与理解;在教学计划和课程设置方面,建议配匹一定学时量的实践性教学环节,如课程实验或课程实习。

此次修订主要增删的内容包括:

1) 将第 1 版第一章中“CAD/CAM 支撑技术”单列为一章,其中包括数据结构、数据管理技术、计算机网络技术和成组技术等内容。

2) 第三章增加了数据库应用示例,包括数据库数表的建立和查询以及数据库技术在 CAD/CAM 系统开发中的应用。

3) 在第四章图形变换部分增加了投影变换和透视变换内容,以及图形变换应用举例。

4) 第五章加强了机械零件三维造型示例部分,包括 AutoCAD 和 UG 系统的三维造型示例。

5) 第六章删除了有关 CAD 系统类型的内容,从软件工程方法出发,侧重阐述机械 CAD/CAM 应用软件开发原则和步骤,以及机械 CAD 应用软件二次开发技术。

6) 第八章在介绍数控编程基本方法和原理基础上增加了 UG 系统编程示例。

7) 第九章删除了原有集成系统信息流以及集成系统类型等内容,增加了基于 PDM 平台的 CAD/CAM 集成技术和网络化制造技术等新内容。

第 2 版教材由王隆太教授担任主编,朱灯林博士、戴国洪博士担任副主编。具体章节编写分工如下:第一、八章由王隆太编写,第二章由陈飞编写,第三章由宋爱平编写,第四由张剑锋编写,第五章由朱灯林编写,第六章由孙春华编写,第七、九章由戴国洪编写。全书由王隆太统稿,并参与第二章和第九章部分小节的编写,陈飞老师协助有关章节的图稿整理。

全书由西安交通大学赵汝嘉教授主审。

由于编者水平有限,书中不足、漏误之处在所难免,敬请读者指正。

编者
于扬州大学

第1版前言

于 20 世纪 60 年代产生并形成的机械 CAD/CAM 技术, 经过近 40 年的快速发展, 现已成为一种高新技术产业。该技术的迅猛发展和广泛应用, 给机械制造业从产品设计到加工制造整个生产过程带来了深刻、全面、根本性的变革, 被评为 20 世纪最杰出的工程技术成就之一。目前, CAD/CAM 技术已被广泛应用于机械、电子、汽车、船舶、航天、航空、轻工等各个领域, 其应用水平和开发能力已成为衡量一个国家、一个企业技术水平的重要标志之一。

随着信息化时代的到来和全球化市场的形成, 商品市场的竞争更趋激烈。在刚刚跨入新世纪之际, 如何提高市场快速响应能力, 以最短的时间、以最低的成本, 向市场推出质量最好的新产品, 已成为制造型企业竞争的焦点。CAD/CAM 技术是企业技术创新、市场开拓的强有力的技术工具和手段。CAD/CAM 技术的发展和推广应用不仅受到国家和企业的重视, 更为广大工程技术人员所关心, 如何全面、熟练地掌握 CAD/CAM 技术已成为工程技术人员适应新形势、新要求的重要任务。

CAD/CAM 技术所涉及的内容极其广泛, 学科跨度大, 通过本门课程的学习究竟应掌握哪些知识和内容一直是人们所关注的话题。本书以机械工程类专业应用型人才的培养为对象, 以实际、实践和实用为原则, 兼顾理论基础和实际应用, 系统地讲述 CAD/CAM 技术的基本概念、应用方法和关键技术。在内容的安排上, 按照设计、工艺和加工制造三个主要机械产品生产环节, 着重介绍计算机在工程图样绘制、产品几何建模、工艺规程编制和数控编程中的应用技术; 在介绍具体应用方法时, 通过多样化的应用实例开拓学生的思路, 培养学生对实际问题的分析和解决能力; 在语言描述方面, 力求简洁、通俗、准确、易懂, 以利于培养学生的自学能力和知识拓展能力。

本书由王隆太教授担任主编, 朱灯林、戴国洪副教授担任副主编。各章编写分工如下: 第一、七章由王隆太编写, 第二章和第三章第一节由袁新芳编写, 第三章第二、三节由章永健编写, 第四、五章由朱灯林编写, 第六、八章由戴国洪编写; 全书由王隆太统稿; 陈飞老师协助全书图稿的整理。

全书由东南大学吴锡英教授担任主审, 在此表示感谢。

由于编者水平有限, 书中不足、漏误之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 4 版前言	
第 3 版前言	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
第 1 章 机械 CAD/CAM 技术概述	1
1.1 CAD/CAM 技术内涵	2
1.1.1 CAD 技术	2
1.1.2 CAE 技术	2
1.1.3 CAPP 技术	3
1.1.4 CAM 技术	4
1.1.5 CAD/CAM 集成技术	4
1.2 CAD/CAM 系统的作业过程和主要功能	5
1.2.1 CAD/CAM 系统的作业过程	5
1.2.2 CAD/CAM 系统的主要功能	7
1.3 CAD/CAM 系统的结构组成	8
1.3.1 CAD/CAM 系统的主要组成	8
1.3.2 CAD/CAM 系统的硬件	8
1.3.3 CAD/CAM 系统的软件	11
1.3.4 常用 CAD/CAM 软件系统	13
1.4 CAD/CAM 技术的发展	15
1.4.1 CAD/CAM 技术发展历程	15
1.4.2 CAD/CAM 技术当前研究热点	17
本章小结	19
思考题	19
第 2 章 工程数据计算机管理与处理技术	20
2.1 CAD/CAM 系统常用的数据结构	21
2.1.1 数据结构基本概念	21
2.1.2 线性表	22
2.1.3 栈和队列	26
2.1.4 树结构	27
2.1.5 二叉树	29
2.2 数据管理模式	32
2.2.1 文件管理模式	32
2.2.2 数据库管理模式	32
2.2.3 产品数据管理 PDM	35
2.3 工程数表的计算机处理技术	38
2.3.1 工程数表的类型和处理技术	38
2.3.2 数表的程序化处理	38
2.3.3 数表的文件化处理	42
2.3.4 数表的公式化处理	45
2.3.5 数表的数据库存储管理	47
2.4 工程线图的计算机处理技术	51
2.4.1 工程线图的处理方法	51
2.4.2 一般线图的计算机处理	51
2.4.3 复杂线图的计算机处理	53
本章小结	54
思考题	54
第 3 章 计算机图形处理技术	56
3.1 计算机图形处理的数学基础	57
3.1.1 矢量运算	57
3.1.2 矩阵运算	57
3.1.3 齐次坐标	59
3.2 窗口与图形裁剪技术	60
3.2.1 窗口与视区	60
3.2.2 直线段的裁剪技术	61
3.2.3 多边形的裁剪技术	64
3.3 图形变换技术	68
3.3.1 工程图形的表示	68
3.3.2 二维图形的几何变换	69
3.3.3 三维图形的几何变换	74
3.3.4 三维图形的投影变换和透视变换	75
3.4 计算机辅助绘图技术	79
3.4.1 交互式绘图	79
3.4.2 程序参数化绘图	81
3.4.3 尺寸驱动式参数化绘图	83
3.4.4 参数化图库的使用与创建	85
3.4.5 工程图的自动生成	86
3.5 自由曲线和曲面	88
3.5.1 曲线和曲面基本概念	88
3.5.2 Bezier 曲线曲面	92
3.5.3 B 样条曲线曲面	96

3.5.4 NURBS 曲线曲面	101	5.3 优化设计	154
本章小结	102	5.3.1 优化设计数学模型	154
思考题	103	5.3.2 优化设计过程	156
第 4 章 机械 CAD/CAM 建模技术 ...	104	5.3.3 常用优化计算方法	157
4.1 CAD/CAM 建模技术概述	105	5.3.4 优化设计应用实例	162
4.1.1 CAD/CAM 建模技术内涵	105	5.4 计算机仿真	164
4.1.2 CAD/CAM 建模基本知识	105	5.4.1 计算机仿真技术概述	164
4.1.3 CAD/CAM 常用建模技术	109	5.4.2 计算机仿真过程	165
4.2 线框建模技术	110	5.4.3 CAD 软件系统的运动仿真	166
4.2.1 线框建模原理	110	5.4.4 应用 MATLAB 编程进行系统性能 仿真	167
4.2.2 线框模型特点	110	5.4.5 应用 ADAMS 系统仿真	173
4.3 表面(曲面)建模技术	112	本章小结	177
4.3.1 表面建模原理	112	思考题	177
4.3.2 表面模型特点	113	第 6 章 计算机辅助工艺设计	179
4.3.3 曲面建模方法	113	6.1 概述	180
4.4 实体建模技术	114	6.1.1 CAPP 功能作用	180
4.4.1 实体建模原理	114	6.1.2 CAPP 技术发展与趋势	180
4.4.2 实体模型特点	116	6.1.3 CAPP 系统的结构组成	181
4.4.3 实体模型的表示方法	116	6.1.4 CAPP 系统类型	182
4.5 特征建模技术	119	6.2 派生式 CAPP 系统	183
4.5.1 特征建模概念	119	6.2.1 成组技术概念	183
4.5.2 特征的分类	120	6.2.2 零件分类编码系统	184
4.5.3 特征间关系	122	6.2.3 派生式 CAPP 系统的组成及作业 过程	187
4.5.4 特征建模基本方法	122	6.2.4 派生式 CAPP 系统的技术实现 ...	188
4.5.5 特征建模基本步骤	124	6.2.5 派生式 CAPP 系统实例	190
4.5.6 特征建模技术实现	124	6.3 创成式 CAPP 系统	192
4.6 装配建模技术	128	6.3.1 创成式 CAPP 系统的组成	192
4.6.1 装配模型概念	128	6.3.2 创成式 CAPP 系统的作业过程 ...	192
4.6.2 装配模型中的约束配合关系	130	6.3.3 创成式 CAPP 系统的技术实现 ...	193
4.6.3 装配建模方法	131	6.3.4 创成式 CAPP 系统的工艺决策 逻辑	193
4.6.4 装配建模实例	132	6.3.5 工艺过程确定及工序设计	195
本章小结	138	6.4 CAPP 专家系统	196
思考题	138	6.4.1 CAPP 专家系统概述	196
第 5 章 计算机辅助工程分析	140	6.4.2 CAPP 专家系统的组成及作业 过程	197
5.1 概述	141	6.4.3 工艺知识的获取与表示	198
5.1.1 CAE 内涵	141	6.4.4 CAPP 专家系统推理策略	201
5.1.2 CAE 作用	141	6.4.5 CAPP 专家系统开发工具	202
5.1.3 CAE 涉及的功能范畴	142	6.5 CAPP 系统应用实例	203
5.2 有限元分析	142	6.5.1 开目 CAPP 系统结构组成	203
5.2.1 有限元法基本思想及分析步骤 ...	142		
5.2.2 有限元分析软件系统	146		
5.2.3 线性静力分析	147		
5.2.4 模态分析	152		

6.5.2 开目 CAPP 系统工艺设计实例	205
本章小结	208
思考题	209
第 7 章 计算机辅助数控加工编程	210
7.1 数控加工编程技术基础	211
7.1.1 数控机床的坐标系统	211
7.1.2 数控程序格式及其相关的代码指令	212
7.1.3 常用的切削刀具	214
7.1.4 刀具运动控制面	214
7.2 数控编程方法及其实现	215
7.2.1 手工编程	216
7.2.2 数控语言自动编程	217
7.2.3 CAD/CAM 系统自动编程	220
7.3 数控编程中刀位点计算	222
7.3.1 非圆曲线刀位点计算	222
7.3.2 球头铣刀行距和步长的确定	224
7.3.3 曲面加工刀位点计算	225
7.3.4 平面型腔零件加工刀位点计算	227
7.3.5 刀具的干涉检查	228
7.4 CAD/CAM 系统数控编程作业过程	229
7.4.1 数控加工工艺方案设计	229
7.4.2 数控加工刀具轨迹的生成	233
7.4.3 刀具轨迹的编辑修改	234
7.4.4 后置处理	235
7.4.5 加工仿真	237
7.4.6 数控程序的传输	238
7.5 数控编程实例	240
本章小结	244
思考题	245
第 8 章 CAD/CAM 集成技术	246
8.1 CAD/CAM 系统集成概述	247
8.2 CAD/CAM 系统集成关键技术	249
8.3 CAD/CAM 系统集成方式	253
8.4 基于 PDM 平台的 CAD/CAM 系统集成	254
本章小结	257
思考题	257
参考文献	259

第 1 章

机械CAD/CAM技术概述

CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) 技术是制造工程技术与计算机技术相结合、相互渗透而发展起来的一项综合性应用技术。自 20 世纪 50 年代问世以来, CAD/CAM 技术走完了半个多世纪的发展历程, 具有涉及知识门类宽、综合性能强、处理速度快、经济效益高的特点, 是当今先进制造技术的重要组成部分。CAD/CAM 技术现已成为当今企业产品设计开发不可或缺的工具手段, 大大促进了企业的技术进步和信息化水平, 对国民经济的快速发展、促进科学技术的进步产生了深远的影响。



重点提示:

CAD/CAM 技术是先进制造技术的重要组成部分, 是当今企业产品设计开发不可或缺的工具。本章在论述 CAD/CAM 技术相关概念基础上, 重点介绍了 CAD/CAM 系统的作业过程和主要功能, 分析了 CAD/CAM 系统的组成结构和常用的软硬件系统, 最后讨论了 CAD/CAM 技术发展历程和当前的研究热点。

1.1 ■ CAD/CAM 技术内涵

随着计算机技术的发展和应用,在制造业中先后出现 CAD (计算机辅助设计, Computer Aided Design) 技术、CAE (计算机辅助工程分析, Computer Aided Engineering) 技术、CAPP (计算机辅助工艺设计, Computer Aided Process Planning) 技术、CAM (计算机辅助制造, Computer Aided Manufacturing) 技术等计算机辅助单元技术。为了实现企业信息资源的共享与集成,在这些单元技术的基础上形成了 CAD/CAE/CAPP/CAM 集成技术,又称 4C 技术,通常简称为 CAD/CAM 技术,即借助于计算机工具从事产品的设计与制造技术。

1.1.1 CAD 技术

CAD 是指设计人员借助于计算机与软件系统工具,在产品设计规范和设计数据库的支撑约束下,应用自身的知识和经验,从事包括产品方案构思、总体设计、分析计算、图形处理等设计活动,最终完成产品数据模型的建立以及输出产品工程图样和设计文档的过程。CAD 系统的功能模型,如图 1.1 所示。

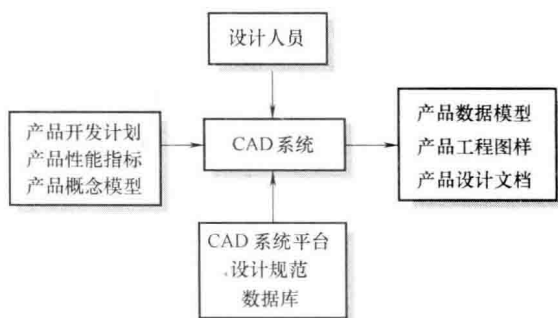


图 1.1 CAD 系统的功能模型

通常,机械 CAD 系统应具有产品几何建模、计算分析、仿真模拟、工程图样处理等功能。CAD 系统的作业过程是设计人员在产品概念设计的基础上从事产品的

几何造型,建立产品的数据模型;从产品数据模型中提取相关数据进行必要的工程分析与计算;根据分析计算的结果确定是否需要原设计模型进行修改,待设计结果满意后编辑全部设计文档、绘制工程图样,最终完成产品设计的全过程。

从 CAD 系统的作业过程可以看出,CAD 技术也是一项产品建模技术,其是将产品的物理模型转化为计算机内部的数据模型,以供后续的产品开发活动所共享,并作为产品全生命周期的信息流之源。

一个功能完备的 CAD 系统应包含产品设计数据库、应用程序库和多功能交互图形库。产品设计数据库存储有各种标准规范、计算公式、经验曲线等产品设计信息;应用程序库包含有常规的设计、优化方法、有限元分析、可靠性分析等通用或专用的分析和计算程序;多功能交互图形库用于图形处理、工程图绘制、标准零部件图库的建立等图形处理作业。

在 CAD 系统中,若加入人工智能技术,用计算机模拟人类专家解决问题的思路和方法进行设计过程中的推理和决策,可大大提高设计过程的自动化水平,可对产品进行功能设计、总体方案设计等产品的概念设计,实现对产品设计全过程有力的支持。

1.1.2 CAE 技术

现代产品的设计开发,要求在设计阶段就能较好地预测产品的技术性能,在给定工况条件下能够对产品结构的静态强度、动态特性、温度场分布等技术参数进行分析计算,这是常

规数学方法无法解决的问题。随着计算机技术和数值分析算法的应用与发展,逐步形成了诸如有限元分析法、边界元法、优化设计、多体动力学等计算机辅助工程分析技术,即 CAE 技术。

CAE 通常是指应用计算机及相关软件系统对产品的性能与安全可靠性进行分析,对其未来的工作状态和运行行为进行仿真模拟,以便及早发现设计中的缺陷,证实所设计产品的功能可用性和性能可靠性。从广义来说,CAE 是 CAD 技术的一个组成部分,是对产品设计模型不断优化完善的设计活动。CAE 系统的功能模型,如图 1.2 所示。

当前,CAE 技术一般用于如下设计领域:

(1) 产品结构分析 应用有限元分

析法对产品结构的静/动态特性、热变形、磁场强度等产品结构性能进行分析,包括自动划分有限元网格,建立有限元分析模型,有限单元求解计算,输出产品在给定工况条件下的应力场、应变场、温度场等有限元分析结果等。

(2) 优化设计 优化设计是现代产品设计中具有高速度、高性能和良好市场竞争力的技术手段之一。应用优化设计软件工具,通过对设计参数的改变,使产品的外形结构、体积、质量、强度、动态特性、热稳定性等设计指标达到最优化水平。

(3) 仿真模拟 应用产品的实体模型及计算机动画技术,依据产品的实际工况要求对产品的动、静态特性和控制特性等进行仿真实验,以预测产品性能,提前发现设计中的缺陷,以便修改完善产品设计过程。

CAE 技术的应用,可在产品设计阶段就能够尽早了解产品的性能,及时发现产品设计中的缺陷,可有效避免将设计缺陷带入制造、装配、测试和使用阶段,避免随之造成的经济损失和时间浪费,大大节省产品的开发成本,缩短产品的开发周期。

1.1.3 CAPP 技术

CAPP 是根据产品设计结果,人机交互或自动完成产品加工方法的选择和加工工艺流程的设计。一般认为,CAPP 系统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、工时定额计算等,其中工序设计又包含加工机床和工夹量具的选用、加工余量的分配、切削用量的选择以及工序图生成等内容。CAPP 系统的功能模型,如图 1.3 所示。

工艺设计是制造企业技术部门的主要工作之一,其设计效率的高低和设计质量的优劣,对生产组织、产品质量、生产率、

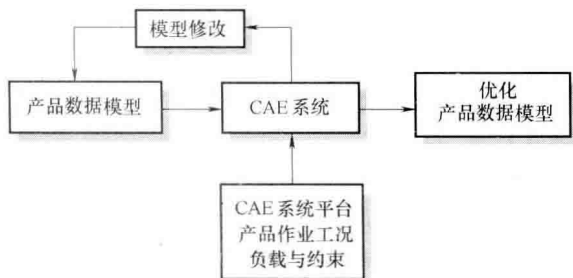


图 1.2 CAE 系统的功能模型

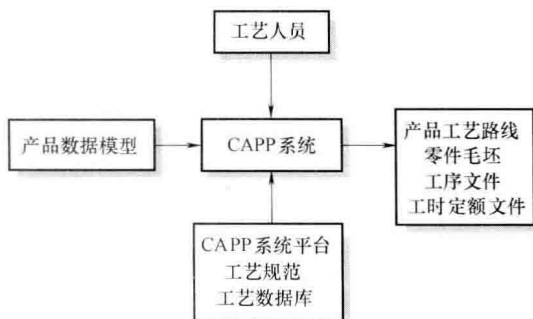


图 1.3 CAPP 系统的功能模型

产品成本、生产周期等均有较大的影响。长期以来,传统产品制造工艺设计往往是由工艺人员凭借自身经验通过手工方式设计完成的。由于手工设计效率低,设计结果因人而异,难以取得最佳的工艺规程设计方案,难以满足当今制造业快速发展的生产需求。

应用 CAPP 技术能够迅速编制完整、详尽、优化的工艺方案和各类工艺文件,可大大提高设计效率,缩短工艺准备时间,加快产品投放市场的进程,同时也为企业的科学管理提供可靠的工艺数据支持。

1.1.4 CAM 技术

CAM 有广义 CAM 和狭义 CAM 之分。所谓广义 CAM,一般是指利用计算机辅助完成从毛坯设计到产品制造完成全过程的直接和间接的各种生产活动,包括工艺准备、生产作业计划制订、物流过程的运行控制、生产管理、质量控制等内容,其中工艺准备包括计算机辅助工艺规程设计、计算机辅助工装设计与制造、计算机辅助数控编程、计算机辅助工时定额和材料定额的编制等;物流过程的运行控制包括物料的加工、装配、检验、输送、储存等。

狭义 CAM,通常是指数控程序的编制,包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹的仿真、后置处理以及数控代码生成等作业过程。

CAD/CAM 系统中的 CAM 概念通常是指狭义 CAM。CAM 系统的功能模型如图 1.4 所示,即 CAM 系统根据 CAD 系统所提供的产品数据模型以及 CAPP 系统提供的产品工艺路线、工序文件,在 CAM 系统平台以及生产数据库支持下,生成产品数控加工的 NC 控制指令。

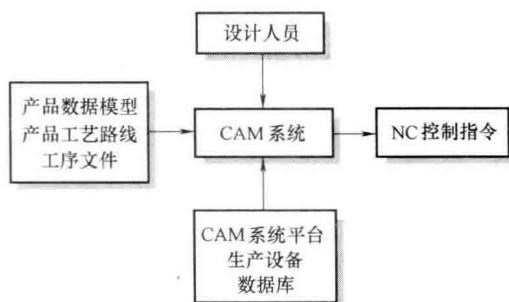


图 1.4 CAM 系统的功能模型

1.1.5 CAD/CAM 集成技术

CAD/CAM 技术自 20 世纪 60 年代问世后,CAD、CAE、CAPP、CAM 等单元技术各自独立发展,推出了众多性能优良的、相互独立的商品化系统,这些系统在产品设计与工程分析、工艺规程编制和数控编程等设计领域各自均发挥了重要的作用,大大提高了制造业的生产率,缩短了产品研发周期,促进了产品的更新换代。

然而,这些各自独立的单元系统相互割裂,不能实现系统之间信息的自动传递和转换,大量的信息资源得不到充分地利用和共享。例如:CAD 系统设计的结果不能直接为 CAPP 系统所读取,仍然需要人工录入以作为 CAPP 作业所需的几何信息和工艺信息,这不仅影响了设计效率的提高,还难以避免地存在人为录入差错。因而,随着计算机辅助技术的发展和日益广泛的应用,人们很快认识到,只有当 CAD 系统所建立的产品数据模型为后续的产品设计和制造环节直接传递和转换应用,才能取得最大的企业经济效益。为此,CAD/CAM 集成技术被人们所关注。

所谓 CAD/CAM 集成技术,即在 CAD、CAE、CAPP 和 CAM 等各个单元系统之间进行信息的自动传递和转换的技术。集成化的 CAD/CAM 系统是借助于数据库技术、网络技术以

及产品数据交换接口技术,把分散于机型各异的各个计算机辅助单元系统高效快捷地集成起来,实现资源的共享,保证整个设计系统的信息流畅通无阻。

CAD/CAM 系统的集成有不同的集成工具或集成平台,目前普遍使用 PDM (产品数据管理, Product Data Management) 系统作为集成平台,以实现 CAD、CAE、CAPP、CAM 各功能系统之间的集成。PDM 是一项管理所有与产品相关信息以及所有与产品相关过程的技术,其中与产品相关的信息包括产品 CAD/CAM 电子文档、物料清单、产品结构配置、产品规范、产品订单、供应商清单等,与产品相关的过程包括产品加工工艺流程、工作流程、审批和发放过程等。

随着网络技术和信息技术的发展,除了 CAD/CAM 集成系统之外,还出现了更大范围的企业信息集成系统,例如:将企业经营管理信息、工程设计信息、加工制造信息、产品质量信息等融为一体的计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS);将时间上先后的知识处理和作业实施过程转变为同时考虑和尽可能同时处理的并行工程 (Concurrent Engineering, CE);可对市场需求做出灵活快速反应,以动态联盟为基础的敏捷制造系统 (Agile Manufacturing, AM) 等。然而, CAD/CAM 集成技术则是 CIMS、CE、AM 等新型集成系统最核心的基础技术。

1.2 ■ CAD/CAM 系统的作业过程和主要功能

1.2.1 CAD/CAM 系统的作业过程

通常,一个创新产品的设计开发将历经产品设计、工艺设计、加工装配、试验分析等作业过程,经过反复改进完善后才能推向市场。传统产品设计过程,主要凭借设计者的经验,借助于手工设计工具进行,存在着设计效率低、出错率高、可预见性差、修改困难、难以协调等不足,这必然导致产品的开发周期长、设计质量差、开发费用高的不利局面。面对日益激烈的市场竞争形势,采用先进的设计技术和手段,改进产品设计过程,提高产品质量,这是制造业产品设计开发过程的必然选择。

CAD/CAM 系统是一种先进的计算机辅助设计/制造系统。它充分利用计算机高效、精确的计算功能,图形、文字快速处理功能,大容量数据存储、传递、处理能力,借助于工程分析、优化设计及仿真模拟等不同的设计软件工具,结合设计人员的知识、经验和创造性,实时进行人机交互,大大提高了产品设计效率 and 设计质量,从根本上改变了传统产品设计方法存在的缺陷和不足。

图 1.5 所示为 CAD/CAM 系统的作业过程。目前, CAD/CAM 系统是在市场需求分析以及产品概念设计的基础上,主要从事产品的实体建模、工程分析、工艺规程设计、数控编程和仿真模拟等设计环节。所设计产品的信息流不断地从上一设计环节流向下一设计环节,同时也不断伴随着反向的修改反馈信息。随着设计进程的推进,产品信息量不断地增加,同时也得到不断地完善。

CAD/CAM 系统作业主要步骤如下:

(1) 需求分析及概念设计 就目前 CAD/CAM 系统所具备的功能而言,新产品的市场需求分析以及概念设计主要仍由设计人员人工来完成,即产品设计人员在市场调研分析的基

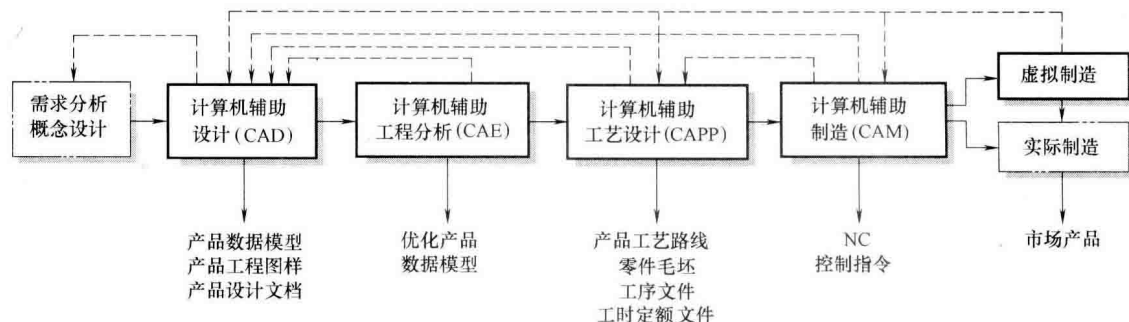


图 1.5 CAD/CAM 系统的作业过程

基础上，确定产品的功能需求，进行产品的功能设计；根据产品的功能需求，制订产品的结构方案，进行产品的概念设计，最终完成产品设计的概念模型。由人工完成产品的概念设计，可充分发挥人的聪明才智和灵感思维，避免 CAD/CAM 系统的复杂化。但可断言，最终产品的概念设计将会由智能 CAD/CAM 系统自动完成。

(2) 计算机辅助设计 (CAD) 在产品概念设计的基础上，借助计算机和 CAD 系统软件平台，交互完成产品的几何建模和装配设计，完成产品的详细设计，最终在计算机内建立产品的数据模型，输出产品的工程图样和设计文档。

(3) 计算机辅助工程分析 (CAE) 根据 CAD 设计环节所建立的产品数据模型，结合产品实际应用时所承受的负载和约束工况，借助于有限元分析软件，建立有限元分析模型，求解产品在负载工况作用下的应力/应变场、温度场等，最终获得经优化的产品参数和产品数据模型。

(4) 计算机辅助工艺设计 (CAPP) CAPP 系统从 CAD 或 CAE 系统输出的产品数据模型中，提取产品的几何信息及工艺信息，根据成组工艺或工艺创成技术原理，结合企业自身的工艺数据库，进行产品的工艺规程设计，生成产品加工工艺路线，完成产品毛坯设计、加工工序设计以及工时定额的计算，输出产品工艺文档。

(5) 计算机辅助制造 (CAM) CAM 系统依据 CAD 系统和 CAPP 系统所产生的产品数据模型及加工工艺文档，进行产品数控加工时的刀具运动轨迹设计、计算、后置处理等设计环节，最终生成满足数控加工设备要求的 NC 控制指令。

(6) 虚拟制造 虚拟制造 (Virtual Manufacturing, VM) 是借助三维可视的交互环境，对产品的制造过程进行仿真模拟的技术。虚拟制造不消耗物理资源和能量，不生产现实世界的物理产品，在所设计的产品投入实际加工制造之前，根据产品设计所确定的加工工艺流程和控制指令模拟产品加工制造和装配的整个工艺过程，以便尽早发现和暴露产品设计阶段所存在的问题和不足，以保证产品设计和制造过程一次成功。

从 CAD/CAM 系统的作业过程可以看出，现代产品设计与制造过程具有如下的特征：

(1) 产品设计开发过程数字化 产品设计开发过程是产品数据模型的建立、优化、完善和处理转换的过程，各设计环节之间的衔接通过产品信息流的正向传递和逆向反馈，替代传统（如产品图样、工艺文件等）纸质媒介的传递。

(2) 设计环境的网络化 产品的设计开发是一个群体的作业过程，通过计算机网络将不同的设计人员、不同的设计部门、不同的设计地点联系起来，做到每个设计环节的及时沟

通和响应,避免信息的延误和错误的传递。

(3) 设计过程的并行化 应用 CAD/CAM 系统进行产品设计,可使产品设计过程并行化。通过计算机网络可建立上下游设计活动的关联和反馈机制,在上游设计过程中,可对下游设计并行地进行分析,可整体考虑产品的设计问题;在下游设计过程时,若发现上游设计的缺陷,可及时向上反馈修改,使产品设计得到不断完善和优化。

(4) 新型开发工具和手段的应用 应用 CAD/CAM 系统进行产品的设计开发,可应用有限元分析、可靠性分析、优化设计、仿真模拟、虚拟制造等先进的设计制造技术,有力地保证了产品设计开发质量,缩短产品开发周期,提高了产品设计开发的一次成功率。

1.2.2 CAD/CAM 系统的主要功能

作为一种计算机辅助工具和手段,CAD/CAM 系统应能对产品设计与制造全过程的信息进行处理,包括产品的几何建模、工程分析、工艺设计、数控编程、仿真模拟以及工程数据管理等。目前,CAD/CAM 系统的主要功能如下:

(1) 几何建模 产品几何建模,又称为几何造型。在产品设计阶段,需要应用 CAD 系统对产品结构形状、尺寸大小、装配关系进行描述,按照一定的数据结构在计算机内构建产品三维实体数据模型。

几何建模是 CAD/CAM 系统的核心功能,又是产品设计与制造的基础。通过所构建的产品三维实体数据模型,可动态地显示产品结构,进行图形消隐和色彩渲染处理,提高虚拟产品的真实感;可分析产品各组成零部件间的配合关系,分析结构的合理性,评价产品的可装配性;可分析产品传动机构的运动关系,检验产品各零部件间运动干涉以及与周围环境的干涉;可作为后续设计环节的数据源,进行工程分析、优化设计、工艺设计、数控编程等设计作业。

目前,市场上提供的商品化 CAD/CAM 系统,一般均具备完善的几何建模、曲面建模和参数化特征建模功能,可满足各种产品结构和复杂曲面的建模要求。

(2) 工程分析 目前,CAD/CAM 系统一般嵌入有功能不同的工程分析软件模块,也可应用独立的工程分析软件系统,通过数据转换接口,对所建立的产品数据模型进行有限元分析、优化设计、多体动力学分析等工程分析作业,用以分析计算产品数据模型的应力/应变场、热力场、运动学、动力学等性能指标,优化产品结构参数和性能指标。

(3) 产品工艺设计 CAPP 是连接 CAD 与 CAM 的桥梁,是设计与加工制造的中间环节。加工工艺设计的目的是为产品的加工制造提供指导性的文件。由于产品工艺设计的专业性较强,各制造企业的产品和生产条件不尽相同,所要求的工艺规程也不可能一致,因而工艺设计一般使用专业性的 CAPP 系统来完成。这些专业性的 CAPP 系统可根据产品模型的结构信息和制造工艺信息,自动决策生成产品加工所采用的加工方法、工艺路线、工艺参数和加工设备。CAPP 系统的设计结果,一方面生成供实际生产使用的产品加工工艺路线和工艺卡片,另一方面可作为 CAM 系统的输入信息源,以供编制 NC 程序。

(4) 数控编程 根据 CAD 作业所建立的产品数据模型以及 CAPP 作业所制订的加工工艺规程,选择需要的刀具和工艺参数,确定走刀方式,自动生成刀具运动轨迹,经后置处理后生成满足加工机床要求的 NC 控制指令。当前,CAD/CAM 系统均具备 3~5 轴联动的数控加工编程能力。