



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

计算机辅助设计 与制造

乔立红 郑联语 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

计算机辅助设计与制造

乔立红	郑联语	主编
郭连水	宋放之	参编
	王先逵	主审

机械工业出版社

本书是根据高等院校机械工程及自动化专业要求编写的。本书系统地介绍了计算机辅助设计与制造技术的概念、原理、方法和案例及其在产品实现和生产中各环节的全面应用,内容包括绪论、计算机辅助设计与制造基础、产品建模技术、计算机辅助产品设计技术、计算机辅助工艺过程设计、数控系统与数控编程、计算机辅助数控测量技术、自动化制造系统及产品全生命周期管理。本书在编写过程中,注重内容的系统性、先进性和实用性,使用理论与实践相结合的撰写手法,同时兼顾知识的广度和深度,适应多层次、多方式教学和自学参考的需要。

本书可作为高等院校机械工程专业本科生和研究生的教材和参考书,也可供从事机械制造和工业工程等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计与制造/乔立红,郑联语主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 8

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

ISBN 978-7-111-47590-3

I. ①计… II. ①乔…②郑… III. ①计算机辅助设计—高等学校—教材
②计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. ①TP391.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第180780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:舒恬 责任编辑:舒恬 杨璇 卢若薇

版式设计:霍永明 责任校对:张薇

封面设计:张静 责任印制:刘岚

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2014年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19.75印张·473千字

标准书号:ISBN 978-7-111-47590-3

定价:42.00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

制造技术是一门最古老的技术,从人类开始使用工具的时候,就有了制造技术。从广义的角度来看,凡是涉及对实体产品的设计和生产的技術都可以称之为制造技术,包括机械制造技术、食品制造技术、石油开采技术、电子制造技术等。在这之中,机械制造技术可以被认为是一门最古老也最基础的制造技术。制造技术是当代科学发展技术中最为活跃的领域,是国际间产品革新、生产发展和经济竞争的重要举措。

随着各种科学方法的出现和各种技术手段的应用,制造技术得到了迅猛发展。特别是自 20 世纪 50 年代以来,计算机技术、信息技术与产品设计与制造技术相结合,诞生了计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术。它是制造技术“数字化”的一个重要组成部分,是数字化制造或制造业信息化乃至国民经济发展的重要支撑技术,也是先进制造技术的核心发展方向之一。半个多世纪以来,计算机辅助设计与制造技术不断丰富和发展,应用日益广泛和深入。在整个工程产品的全生命周期中,其应用系统或工具起着越来越重要的作用,应用 CAD/CAM 技术已经成为企业实现快速产品开发与赢得市场的必要条件。

本书在全面论述计算机辅助设计与制造基本概念和原理的基础上,结合国内外的最新成果,系统地介绍了 CAD/CAM 技术的基本理论和方法。本书在编写过程中,注重内容的系统性、先进性和实用性,使用理论与实践相结合的撰写手法,同时兼顾知识的广度和深度,适应多层次、多方式教学和自学参考的需要。具体表现为以下几个方面:

(1) 体系力求系统和严谨 本书以产品开发和生产过程的“数字链”为主线来组织 CAD/CAM 技术的内容。每章论述一个产品实现过程中所需的技术主题,包括产品建模技术、产品设计、工艺过程设计、数控系统与数控编程、数控测量和制造系统等。最后一章用产品全生命周期管理技术作为 CAD/CAM 技术的整体集成而结束。这使得本书的体系结构较完整,使读者容易按产品的实现过程来全面理解计算机辅助技术在制造工程中各环节的应用。

(2) 内容力图先进、突出主题 本书在选材上主要参考了国内外主要精品教材和专著,精选了必需的技术主题,强化了重要知识点。同时,在编著过程中也吸纳了当前研究论文的一些最新观点,反映了近年来 CAD/CAM 技术的最新成果。本书包括产品制造信息表示、基于模型(MBD)的工艺设计、多轴数控加工工艺与编程技术、大尺寸测量与在机测量以及制造系统建模与仿真

等章节内容,符合未来技术发展趋势,使 CAD/CAM 技术主题和知识点与国际精品教材内容和前沿技术接轨。

(3) 强化理论与实践的结合 本书在一些重要主题中,如装配建模、质量特性计算、有限元分析、数控编程、制造系统建模与仿真等,除强调理论基础和方法外,还安排了较完整的应用实例内容,有利于实施实践教学和培养与提高学生的能力。

(4) 满足多层次、多方式教学需要 本书中的重要章节既安排了基础性内容又有实例,同时还包括一定的扩展内容,供授课教师根据不同教学需要选择或取舍,以满足实施包括面向项目、面向主题等多种形式的 CAD/CAM 课程教学方法的需要。学生依次按照每章所学方法和技术,可以某一具体零件(或产品)为项目,实践零件产品设计、工艺规划、数控编程、数控加工和测量的设计制造全过程。学生也可以某章节的主题为切入点进行深入学习和实践,重点掌握某一技术主题的理论和方法。

本书共分 9 章。第 1 章概述产品的实现过程、计算机辅助设计与制造系统的功能特点及计算机辅助设计与制造系统(技术)的发展历程及未来趋势。第 2 章作为 CAD/CAM 技术的基础内容,介绍了计算机辅助设计与制造的软硬件环境、图形处理、工程数据处理及制造信息系统的组成和计算模式。第 3 章系统地阐述线框建模、表面建模、实体建模、特征建模等产品建模技术,介绍产品制造信息表示方法、产品模型数据交换标准以及产品建模技术在工程中的主要应用。第 4 章在对产品设计过程进行分析的基础上,重点介绍产品装配建模、质量特性计算及有限元分析技术。第 5 章介绍计算机辅助工艺过程设计原理、成组技术、计算机辅助工艺过程设计系统及基于 MBD 技术的工艺过程技术。第 6 章详细阐述机床数控系统、零件加工的数控编程以及计算机辅助编程知识,并结合实例展示计算机辅助自动编程过程及方法。第 7 章介绍数控测量编程,坐标测量机、大尺寸测量及在线测量等测量系统的原理、组成及应用。第 8 章重点介绍柔性制造系统、自动化制造系统的管理与控制技术、建模与仿真技术。第 9 章介绍产品全生命周期管理的发展过程及信息构成、产品全生命周期管理系统及其在企业中的应用。

本书可作为高等院校机械工程专业本科生和研究生的教材或参考书,同时可供机械制造企业的工程技术人员自学和参考。

参加本书编写的人员有:第 1、5 和 9 章由乔立红编写,第 4、7、8 章由郑联语编写,第 2 章由杜福洲编写,第 3 章由郭连水编写,第 6 章由宋放之编写,全书由乔立红和郑联语担任主编。

在本书的编写过程中,我们参阅了国内外多部同类教材和专著,也得到了北京航空航天大学机械工程及自动化学院多位老师的帮助。本书由清华大学王先逵教授主审,他提出了许多宝贵意见和建议。在此谨向他们一并表示衷心的感谢。由于编者水平和时间有限,书中难免会有错误和不足之处,敬请广大读者不吝赐教。

编 者



CONTENTS

录

前言

第1章 绪论	1
1.1 产品的实现过程	1
1.2 制造系统	2
1.2.1 制造系统的概念	2
1.2.2 计算机辅助设计与制造及其系统	4
1.3 计算机辅助设计与制造系统	5
1.3.1 系统的功能	5
1.3.2 系统的分类	7
1.3.3 系统的特点	9
1.4 计算机辅助设计与制造技术及系统的发展	9
1.4.1 计算机辅助设计与制造技术的发展历程	9
1.4.2 产品数字化定义技术的发展历程	12
1.4.3 计算机辅助设计与制造技术的应用	15
1.4.4 计算机辅助设计与制造技术及系统的发展趋势	16
习题	19
第2章 计算机辅助设计与制造基础	20
2.1 计算机辅助设计与制造软、硬件支撑环境	20
2.1.1 CAD/CAM 系统的结构	20
2.1.2 CAD/CAM 系统的硬件	21
2.1.3 CAD/CAM 系统的软件	22
2.1.4 CAD/CAM 系统的软、硬件选择原则	25
2.2 计算机图形处理技术	25
2.2.1 图形变换	26
2.2.2 图形消隐	36
2.2.3 图形裁剪	42
2.2.4 图形渲染	45
2.3 工程数据的计算机处理技术	46
2.3.1 基本概念	47

2.3.2	工程数据的程序化方法	48
2.3.3	线图程序化	49
2.3.4	工程数据的存储与管理	50
2.4	制造信息系统	52
2.4.1	制造信息系统的组成及功能	52
2.4.2	C/S 和 B/S 计算模式	53
习题		55
第3章	产品建模技术	56
3.1	产品建模方法概述	56
3.2	线框建模技术	56
3.3	表面建模技术	58
3.3.1	表面建模的基本原理	58
3.3.2	贝塞尔 (Bézier) 曲线与曲面	60
3.3.3	B 样条曲线与曲面	62
3.3.4	非均匀有理 B 样条 (NURBS) 曲线与曲面	63
3.4	实体建模技术	64
3.4.1	实体建模的基本原理	64
3.4.2	实体建模方法	65
3.4.3	实体模型表示方法	68
3.5	特征建模技术	70
3.5.1	特征建模的概念	70
3.5.2	特征的分类	70
3.5.3	基于特征的产品信息模型	71
3.5.4	特征建模技术的作用	71
3.6	产品制造信息的表示	72
3.7	产品模型数据交换标准	73
3.7.1	初始化图形交换规范 IGES	73
3.7.2	产品模型数据交换标准 STEP	74
3.7.3	产品数据交换标准存在的不足	75
3.8	产品建模技术与工程应用	75
3.8.1	绘制工程图样	75
3.8.2	零件的三维建模	76
3.8.3	逆向造型技术	76
习题		78
第4章	计算机辅助产品设计技术	79
4.1	产品设计过程	79
4.2	装配建模	81
4.2.1	装配树与装配规划	81

4.2.2	装配约束	84
4.2.3	装配建模方法	87
4.2.4	装配分析与输出	89
4.2.5	装配建模实例——基于 Pro/E 的自上而下的减速器组件设计	89
4.3	质量特性计算	92
4.3.1	几何特性	93
4.3.2	质量特性	99
4.3.3	装配体的质量特性计算	101
4.3.4	质量特性计算实例	101
4.4	有限元分析	103
4.4.1	基本原理及其应用	104
4.4.2	基本方法	105
4.4.3	有限元分析软件与 CAD 的集成	109
4.4.4	实例分析	110
	习题	112
第 5 章	计算机辅助工艺过程设计	114
5.1	计算机辅助工艺过程设计技术	114
5.1.1	计算机辅助工艺过程设计的分类	114
5.1.2	计算机辅助工艺过程设计中的决策方法	117
5.1.3	计算机辅助装配工艺过程设计	129
5.2	成组技术	134
5.2.1	基本原理	134
5.2.2	零件的分类与编码	135
5.2.3	成组工艺过程设计	142
5.2.4	成组单元与成组生产组织	143
5.2.5	成组技术在设计工作中的应用	145
5.3	计算机辅助工艺过程设计系统	146
5.3.1	计算机辅助工艺过程设计系统的组成	146
5.3.2	计算机辅助工艺过程设计中产品设计信息的获取	148
5.3.3	工艺信息及过程的管理	151
5.4	基于模型定义技术的工艺过程设计	155
5.4.1	基于模型定义的产品开发技术	156
5.4.2	基于模型定义的三维数字化工艺过程设计	158
	习题	160
第 6 章	数控系统与数控编程	161
6.1	机床数控系统	161
6.1.1	数控原理	161
6.1.2	机床数控系统的组成及作用	161

6.1.3 数控机床的分类	170
6.2 零件加工的数控编程	175
6.2.1 插补原理	175
6.2.2 数控机床的坐标系	178
6.2.3 数控程序结构与格式	180
6.2.4 准备功能 (G 代码)	182
6.2.5 固定循环指令	189
6.2.6 辅助功能 (M 代码)	191
6.2.7 子程序的应用	192
6.3 计算机辅助编程基础	194
6.3.1 CAD/CAM 的图形交互自动编程软件概述	194
6.3.2 图形交互自动编程的方法	194
6.3.3 数控程序的检验	198
6.4 计算机辅助自动编程实例	202
6.4.1 UG NX4.0 编程实例——叶片零件的编程与加工	202
6.4.2 CAXA 制造工程师——简单平面轮廓线的绘图和编程实例	209
习题	213
第 7 章 计算机辅助数控测量技术	215
7.1 数控测量的基本概念	215
7.1.1 计算机辅助质量系统	215
7.1.2 数控测量的基本概念和系统组成	216
7.2 坐标测量机	217
7.2.1 坐标测量机的工作原理及方法	218
7.2.2 坐标测量机的组成	219
7.3 数控测量编程	227
7.3.1 测量编程模式	227
7.3.2 测量规划与编程	228
7.3.3 测量程序标准与协议	231
7.4 大尺寸测量系统	235
7.4.1 大尺寸测量系统的产生及其特点	235
7.4.2 关节臂测量机	236
7.4.3 激光跟踪仪	237
7.5 在机测量系统	240
7.5.1 在机测量系统的组成	241
7.5.2 数控机床的测头系统	241
7.5.3 在机测量的应用场合	242
习题	244

第8章 自动化制造系统	245
8.1 自动化制造系统概述	245
8.1.1 制造系统的概念、组成及分类	245
8.1.2 自动化制造系统的类型及特点	247
8.2 柔性制造系统	251
8.2.1 柔性制造系统的基本概念、特点及适用范围	252
8.2.2 柔性制造系统的组成及工作原理	253
8.2.3 柔性制造系统的物流系统	256
8.2.4 柔性制造系统举例	263
8.2.5 柔性制造系统的特征	265
8.3 自动化制造系统的管理与控制	266
8.3.1 自动化制造系统的递阶控制结构	266
8.3.2 自动化制造系统的信息流模型及特征	267
8.3.3 作业计划与调度管理	270
8.3.4 工件流的管理与控制	270
8.3.5 刀具流的管理与控制	271
8.3.6 自动化立体仓库的管理与控制	272
8.3.7 加工过程监控	273
8.4 自动化制造系统的建模与仿真	274
8.4.1 自动化制造系统建模与仿真的基本概念	274
8.4.2 自动化制造系统建模与仿真的基本步骤	278
8.4.3 自动化制造系统的仿真软件介绍	279
8.4.4 柔性制造系统建模与仿真实例分析	283
习题	289
第9章 产品全生命周期管理	290
9.1 产品全生命周期管理的基本概念和发展过程	290
9.1.1 产品全生命周期管理的基本概念	290
9.1.2 产品全生命周期阶段划分	291
9.2 产品全生命周期管理信息	293
9.2.1 产品全生命周期信息的构成	293
9.2.2 产品全生命周期信息数据的交换与共享	294
9.3 产品全生命周期管理系统	296
9.3.1 产品全生命周期管理系统框架	296
9.3.2 产品全生命周期管理系统的核心功能	298
9.3.3 产品全生命周期管理的关键技术	299
9.3.4 产品全生命周期管理带来的效益	300
习题	301
参考文献	302

计算机辅助设计与制造 (Computer Aided Design and Manufacturing, CAD/CAM) 技术是一门多学科综合性技术,是当今先进的生产力,被国际公认为是 20 世纪工程技术领域重要科技成就之一。它的出现改变了传统的产品制造方式,并对制造业的生产模式和人才知识结构等产生了重大影响。

1.1 产品的实现过程

制造的目的是获得有用的产品。如何获得产品?从制造的角度来说,必须经历从产品概念的产生,直到产品实体的完成等一系列活动,即产品的实现过程。因此,产品的实现过程也被称为制造过程。这是一个广义的制造过程的概念,也被称为“大制造”。在过去,产品的更新换代比较缓慢,在很多时候并不需要对产品的设计进行变化,往往只需要在原来产品设计的基础上不断重复,因此,获得产品的过程可直接通过改变毛坯(或原材料)的形状、位置和关系完成。也称这部分过程为“制造过程”,即“小制造”。本书围绕产品的实现过程,讨论产品设计和制造中的计算机辅助技术。

一个典型的产品实现过程包括:

- 1) 通过市场需求调查以及用户对产品性能的要求,进行设计定义描述以及需求分析,收集相关的设计信息,进行产品的可行性分析。
- 2) 进行产品性能分析、参数分解,完成产品方案设计。
- 3) 进行产品的工程分析,主要包括结构分析、设计检查效验、性能仿真优化等,完成产品结构及工程设计。
- 4) 制订制造计划,包括确定组成产品的零部件和毛坯的获得途径、资源的使用要求、生产能力的平衡等。
- 5) 对于加工零件,准备相应的加工工艺规程。
- 6) 根据制造计划和市场供应要求,编制并实施生产作业计划,包括制造资源添置、物料采购等;根据生成的作业计划组织相应的产品加工任务,在实际生产过程阶段对生产过程进行控制,并对产品质量进行实时监控,完成产品的生产、运输及销售。

在用户市场驱动的制造过程中,各种活动都不是孤立和隔绝的。在不同的时期,不同的地域,针对不同的产品对象,其组成、关系和划分都有差别。就像在工业革命之前,产品的整个制造过程是在一个小作坊里进行,生产活动基本上都是由师傅带徒弟完成的。而到了工业化的后期,制造过程的详细分工,使一件产品由更多人员协作完成。随着后工业化时代的到来,产品实现过程越来越强调系统化和协调发展,“集成”“一体化”“协同”成为组织

产品实现过程的典型特征。

在产品实现过程中，除了要解决所需要的硬件设备环境和人外，还要解决的关键问题是信息在过程中的传递，即：产品信息表达方式；分工及组织管理方式；信息传递和保障机制。

一个一般的产品实现过程中，设计与制造各环节之间的关系如图 1-1 所示。生产是由用户市场驱动的，根据市场需求产生设计构思。工程设计完成每一个细节的设计，并以工程图表达。接着进行产品零件和部件的制造和装配工艺过程设计、工艺装备设计与制造，并制订生产调度计划。一切生产准备就绪后，就开始加工制造，并由质量控制部门负责质量保证。

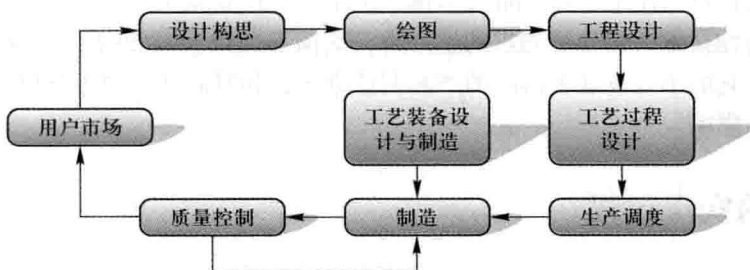


图 1-1 一个一般的产品实现过程流程图

采用计算机后的生产过程流程图如图 1-2 所示。计算机辅助技术应用到生产的各个环节，可以使生产过程进行得更快、更好，从而获得更高的效益。

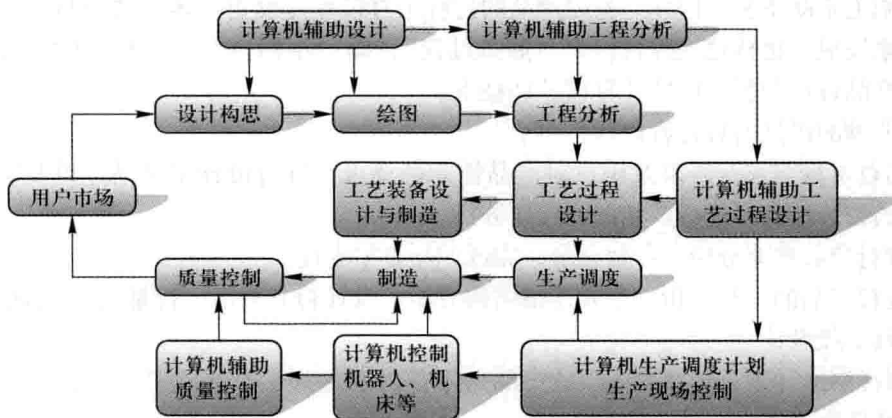


图 1-2 采用计算机后的生产过程流程图

1.2 制造系统

1.2.1 制造系统的概念

制造系统的功能结构如图 1-3 所示。从图 1-3 中可以看出制造系统的组成部分以及信息流和物质流在制造系统中的传递。

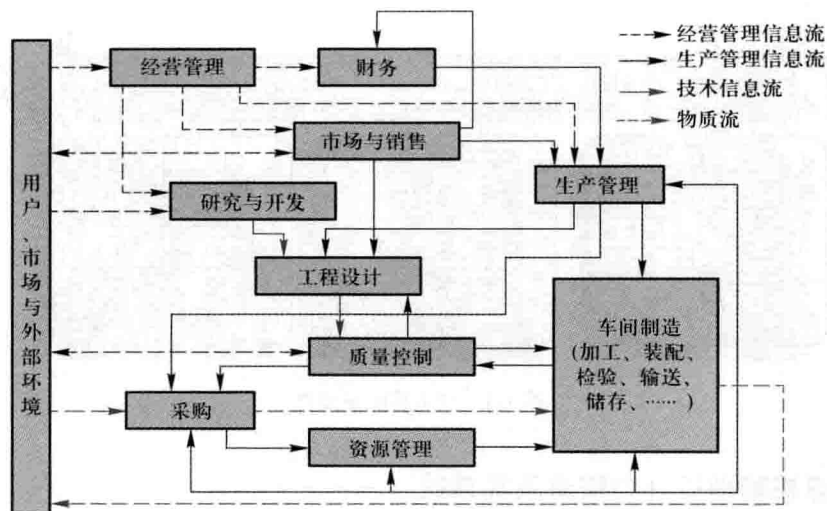


图 1-3 制造系统的功能结构

从系统论的角度来看，制造系统是在制造过程中，由制造对象、制造资源和工作者的有机联系体。可以看出，工作者在制造资源（各种软硬件工具和技术）的支持下，对制造对象进行一系列的作用，使其最终变为产品。制造系统的目标是获得产品，其中涉及硬件、软件和人员。制造系统可视为若干硬件的集合体。为了使硬件充分发挥效能，必须有软件的支持。

从过程的角度来看，制造系统是一个由物质流、信息流和能量流组成的系统，也就是人们常说的“三流”系统。其表现为：在制造系统中的信息的控制下，通过能量的作用，把物质形态的输入原料变成成品（产品或半成品）的过程。在市场经济社会，也有人认为制造系统是一个“四流”系统，即物质流、信息流、能量流和资金流。一个系统要想运行，必须有一系列确定的资金在规定的时间内投入，这就是资金流。图 1-4 所示为制造系统的物质流示意图。

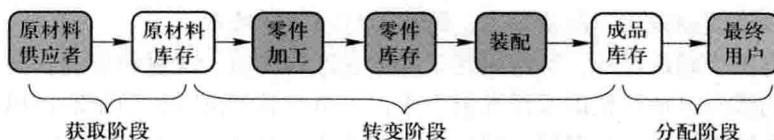


图 1-4 制造系统的物质流示意图

简单地说，制造系统就是产品实现过程的、包括制造对象在内的软硬件平台。图 1-5 所示为制造系统涉及产品生命周期（包括市场分析、产品设计、工艺规划、加工过程、装配、运输、产品销售、售后服务等）的全过程或部分环节。其中，硬件包括厂房、生产设备、工具装备、计算机及网络以及操作人员等；软件包括设计开发、工艺编制、工程分析、质量控制及其有关的软件系统等；制造对象主要指制造目的所针对的物质，包括原材料、坯件、在制品等。



图 1-5 制造系统示意图

1.2.2 计算机辅助设计与制造及其系统

计算机辅助系统是泛指在不同的工作过程中，利用计算机来协助操作人员完成部分工作的系统。针对不同的活动，不同的系统内容，可以得到不同的计算机辅助系统。例如：针对医生的看病过程，有计算机辅助医生对病情诊断的计算机辅助诊断系统；针对商店的销售账面管理，有计算机辅助收银员、会计等工作的管理信息系统（MIS）；针对产品设计过程，有计算机辅助完成设计工作的计算机辅助设计系统（CAD）；针对产品制造过程，有计算机辅助完成各类工作的计算机辅助制造（CAM），具体的 CAM 技术可包括诸如在工艺规程编制过程中，辅助工艺人员完成工艺设计的计算机辅助工艺设计（CAPP）及数控编程等。除了过程中的计算机辅助外，计算机还可以作为操作人员的工具协助完成部分工作，这样的工具也可以称为计算机辅助系统。例如，在设计中用于性能的分析工具，包括各种计算机仿真系统、工程分析系统（CAE）、工程数据库系统等。

在本书中，计算机辅助设计与制造系统所指的是在产品设计与制造的大制造过程中，辅助操作人员完成各种工作、为不同工作提供帮助的各种计算机系统和工具的统称，简称 CAD/CAM 系统。而计算机辅助设计与制造所指的是建立这些系统和工具的理论、技术和方法，也称为计算机辅助设计与制造技术，简称 CAD/CAM 技术。

计算机辅助用于制造过程，其作用在于对信息流的传递、映射和控制。因此，计算机可以从制造过程的源头就参与辅助操作人员工作，直至产品产出时，即制造过程的结束。在这中间，围绕产品数据的产生与存储、制造信息的生成与传递、过程管理信息的计划与组织，可利用计算机及相关软硬件技术提供“辅助”，起“助手”或“参谋”的作用。

1) 计算机辅助设计——利用计算机进行产品几何信息模型的建立、工程图绘制、工程分析等。

2) 计算机辅助工艺过程设计——利用计算机进行产品零件制造工艺过程或产品装配工艺过程的设计、工艺（装配）过程的仿真分析。

3) 计算机数控编程——利用计算机并根据产品数据模型和工艺模型进行数控程序编制。

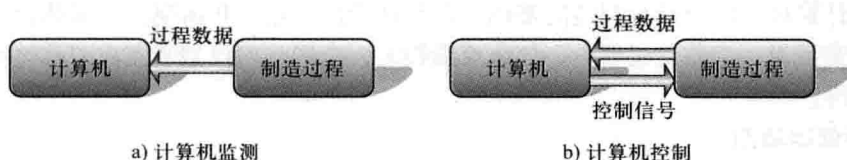
4) 计算机辅助生产管理——利用计算机编排生产计划，进行生产调度。

在实际应用中，计算机也可以实时参与加工过程的数据监测与控制，实现部分或全部生

产过程的自动化,称为制造过程的计算机监控。计算机监控分为监测与控制两类。计算机监测就是在计算机与制造过程间有直接接口,对制造过程及设备工况进行监测并采集数据,但计算机不直接参与控制,控制过程仍由操作者根据计算机处理后的信息来完成。

计算机控制比计算机监测向前迈进了一步,它不仅对制造过程进行监测,而且基于监测数据对制造过程进行控制。

计算机监测与计算机控制的区别如图 1-6 所示。在计算机监测中,制造过程与计算机之间的信息为单向流动,流动方向为从制造过程送往计算机。而在计算机控制中,制造过程与计算机之间的信息为双向流动。信息从制造过程送往计算机,计算机进行综合分析,并根据预定的控制算法,向制造过程发出控制信息。因此,计算机监控不仅需要硬件的支持,作为替代人,根据监测到的数据发出适当的控制指令的信息决策才是最关键,也是最难的。



综上所述,计算机辅助设计与制造系统是围绕制造过程的、使用计算机进行辅助的、制造信息的处理系统。它是制造系统的一部分,但并不直接作用于加工对象。计算机辅助设计与制造所涉及的技术主要是信息处理技术。

1.3 计算机辅助设计与制造系统

1.3.1 系统的功能

计算机辅助设计与制造是随着计算机技术的发展而发展的,并随着现代制造和管理技术的发展而不断壮大和完善。计算机辅助设计与制造系统主要是辅助制造过程中的信息处理工作,包括辅助人们完成产品结构描述、实现工程信息的表达与传输、产品结构的分析与优化、产品信息的存储与管理、人与计算机的交流互动和产品制造过程的模拟与仿真等。因此,计算机辅助设计与制造系统一般具备以下功能。

1. 人机交互功能

人机交互是保证用户与计算机交流的通道,实际上是一个输入和输出的过程,这也是计算机辅助设计与制造系统体现“辅助”的最基本功能。操作人员通过人机界面向计算机输入指令,计算机经过处理后把输出结果呈现给用户。目前,计算机辅助设计与制造系统一般采用图形用户界面来实现数据交互和图形交互。在计算机辅助设计与制造系统中,友好的用户界面是保证用户直接有效地完成复杂设计任务的必要条件。此外,除了软件界面设计外,现代计算机辅助系统发展了更加多元化和灵活的交互设备,如头盔显示、数字手套等。操作人员可以通过更加直观的形式完成与系统间的信息传递。随着虚拟现实技术的不断发展,人机交互的功能将变得越来越完善、方便。

2. 产品建模功能

产品建模是计算机辅助设计与制造系统的主要功能形式之一,也是最早应用于制造领域的计算机辅助过程。作为制造的源头,产品信息一开始就贯穿在制造过程之中,也是整个制造过程的依据。因此,利用计算机辅助进行产品建模是制造过程最迫切的需要。随着计算机辅助技术的发展,计算机辅助建模已从最基本的计算机辅助工程图绘制,发展为以表达几何和非几何信息在内的产品建模,包括几何造型和特征建模。除此之外,针对整个生产过程的产品信息演变,还提出了全生命周期建模等。产生的信息模型和数据模型包括几何模型、特征模型、集成产品模型以及最新的智能模型等。产品建模过程实质就是一个描述、处理、存储、表达现实世界中的产品,并将工程信息数字化的过程。几何造型用于产品信息及其相关过程信息的描述,可以说是产品设计与制造信息的源头。几何模型应用于产品制造的整个过程,是完成计算机辅助设计与制造的基础。在设计阶段,建立几何模型来表达产品的形状结构以及装配关系等;在制造过程中,如数控编程时,应用几何模型来完成刀具轨迹定义和加工参数输入等。

3. 图形处理功能

计算机辅助设计与制造技术首先是从机械产品制造过程中发展起来的。机械产品的产品信息以几何信息为主,利用计算机进行辅助设计与制造最基本的就是要解决几何图形的输入输出和交互修改处理问题。同时,用几何图形表达也是一种能提供最多信息、也最容易被人所感知的方式。图形处理主要是对图形进行各种变换以改善视觉效果,如对图形进行坐标变换、裁剪、渲染、消隐处理、光照处理等,是将图形转换成所需要的图形效果的过程。在产品设计中要运用到大量的图形处理,这项功能是计算机辅助设计与制造系统所必备的。

4. 数控编程功能

在现代加工中,数控机床的使用越来越普遍,针对被加工零件的数控加工控制代码(简称数控程序)的需求也越来越多。因此,利用计算机辅助进行数控代码的编制,不仅可以提高编程效率(如曲线轮廓、三维曲面等复杂型面的零件加工程序的编程),而且可以减少编程错误及调试工作。现代计算机辅助数控编程还能进行数控代码优化,提高加工质量和加工效率。数控编程主要包括分析零件图样、工艺处理、数学处理、编写程序、输入数控程序和程序检验。

5. 模拟与仿真功能

现代产品和生产系统越来越复杂,因此影响因素也越来越多。通过计算机辅助的方法,建立一个模拟实际产品和生产线的数字模型,进行包括机构运动学模拟、机器人仿真、加工轨迹仿真、干涉检查、模拟真实生产过程的运行等工作,来预测产品的性能、产品的制造过程和产品的可制造性,有助于提高产品和系统设计质量。在软件中实现仿真,可有效地避免现场调试造成的人力、物力的投入以及减少加工设备损坏的风险,能大量节省时间和费用,从而提高产品生产的效率和效益。

6. 工程分析与优化功能

在产品设计与制造过程中,需完成大量的分析计算任务。这些任务包括根据产品几何形状计算产品的体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等参数;在结构分析中进行应力、温度、位移等的计算;得到复杂结构形状零件的静态、动态特性,如强度、振动、热变形、磁场、应力分布状态等。这些计算不仅工作量十分巨大,而且所需要的基础数据繁杂。而这正

是计算机相比人类具有巨大优势的地方。因此,使用计算机辅助进行这些工程数据计算与分析必然成为计算机辅助的一个重要方面,也是计算机辅助设计与制造系统的一个重要功能。在工程参数计算的基础上,还可以利用各种优化算法的计算机软件进行包括总体方案的优化、产品零件结构的优化、工艺参数的优化、制造系统布局优化、制造流程优化、制造参数优化等多方面的优化工作。

7. 工程信息存储与管理功能

随着计算机辅助设计与制造技术的发展,现代的制造业企业中已经广泛使用了各种计算机辅助系统(CAX)、产品数据管理(PDM)及制造执行系统(MES)等。然而,由于这些信息系统所涉及的是制造信息的不同子集,相互之间存在数据表达各异、内容冗余混乱等诸多问题,导致制造信息在各信息系统间进行自动传递和交换成为了必须要解决的问题。因此,计算机辅助设计与制造系统必须使制造信息在不同的信息系统之间顺利地传递与共享,减少数据冗余,保证制造过程中信息的一致性、完整性与准确性,提高信息使用的效率,从而使产品制造过程的运行更加有效。同时,产品开发与生产过程的各个阶段都会产生大量的数字化产品定义数据,如:描述产品形状与结构关系的二维/三维模型文件、装配明细(产品配置)表;描述产品工程分析计算的有限元模型、计算结果文件;描述产品制造工艺过程的工艺规程文件、NC程序、加工仿真数据;描述产品质量的质量检验数据;描述产品开发管理的任务计划、工作总结、项目合同等。这些数据不仅数量庞大、种类繁多,而且结构关系复杂,数据之间存在如装配结构关系、参考引用关系、继承关系等复杂联系,用手工的方式进行存储和管理有很大的难度,应用产品数据管理系统是进行产品数据存储管理的必行途径。PDM系统的基本功能包括文档管理、产品结构管理、版本管理、权限管理、流程管理、用户管理等。

1.3.2 系统的分类

制造过程由多个阶段构成,每个阶段又包含若干个步骤,并且它们都具有相对的独立性。正因为这个规律的存在,为计算机辅助技术的引入,实现计算机辅助设计与制造提供了可能。同时,由于整个过程的复杂性,需要计算机的快速计算性能;产品设计制造的各个环节是一个需要互相交叉、交互的过程,需要一种多方面信息处理和反馈的工具;产品设计制造过程会有大量信息产生和传递,需要对这些信息进行存储、映射和转换。以上的几点都促进了计算机辅助设计与制造技术的出现和发展。根据系统的自动化程度不同、系统功能的不同、系统作用于制造过程阶段的不同、系统所属技术领域不同以及系统作用对象的不同,计算机辅助设计与制造系统可进行以下分类:

1. 按系统的自动化程度分类

- 1) 交互式计算机辅助系统。
- 2) 自动设计/控制系统。
- 3) 智能设计/控制系统。

2. 按不同的制造过程阶段分类

- 1) 计算机辅助设计系统。
- 2) 计算机辅助工艺设计系统。
- 3) 计算机辅助数控编程与加工控制系统。