



普通高等教育规划教材

CAD/CAM 技术

第2版

葛友华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



013061066

TP391.7

188-2

普通高等教育规划教材

CAD/CAM 技术

第2版

主 编 葛友华
副主编 黄晓峰 卜云峰 何玉安
参 编 苏 纯 黄卫东 彭浩舸
主 审 赵先仲



机械工业出版社



北航

C1667985

TP391.7
188-2

01301088

本书是普通高等学校应用型人才培养数控技术应用专业规划教材,也是机械设计制造及其自动化专业的教学用书。

全书共分十章,从技术的角度介绍了 CAD/CAM 的基本原理、基本方法、基本技能,着重培养学生分析和解决具体工程实际问题的能力。主要内容包括 CAD/CAM 的基本概念、CAD/CAM 系统的基本知识、CAD/CAM 系统中的图形处理技术、产品建模技术、计算机辅助工程、计算机辅助工艺设计、计算机辅助数控加工编程、逆向工程技术、CAD/CAM 系统集成和 CAD/CAM 软件应用等。

本书注重理论与实践的结合,将基本知识的阐述与 CAD/CAM 软件的应用结合在一起,便于学生自学和教师讲授,除作为普通本科院校的教材外,还可作为高职高专的教材,也可供从事 CAD/CAM 技术的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAM 技术/葛友华主编. —2 版. —北京:机械工业出版社,2013.7
普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-42828-2

I. ①C… II. ①葛… 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. ①TP391.7-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 122638 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:王小东 责任编辑:王小东 李 宁

版式设计:霍永明 责任校对:闫玥红

封面设计:陈 沛 责任印制:张 楠

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2013 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.75 印张·335 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42828-2

定价:26.00 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

普通高等教育应用型人才培养规划教材

编审委员会委员名单

主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍工泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社
委员：(按姓氏笔画排序)
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈志强 北华航天工业学院
陈峻 扬州大学
苏群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学(威海)
童幸生 江汉大学

数控技术应用专业分委员会委员名单

主任：朱晓春 南京工程学院
副主任：赵先仲 北华航天工业学院
 龚仲华 常州工学院
委员：（按姓氏笔画排序）
 卜云峰 淮阴工学院
 汤以范 上海工程技术大学
 朱志宏 福建工程学院
 李洪智 黑龙江工程学院
 吴木祥 盐城工学院
 宋德玉 浙江科技学院
 钱和平 上海应用技术学院
 谢业骐 湖南工程学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD 1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的唯一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并作出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息科学的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色, 强化应用

围绕培养目标, 以工程应用为背景, 通过理论与工程实际相结合, 构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针: 知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为: “精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上, 挑选出最基本的内容、方法及典型应用; “新”指在将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容, 以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容, 并将这些内容按新的教学系统重新组织; “广”指在保持本学科基本体系下, 处理好与相邻以及交叉学科的关系; “用”指注重理论与实际融会贯通, 特别是要注入工程意识, 包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点, 合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设, 并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设, 力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者, 确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验, 又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务, 以确保教材质量。

我们相信, 本套系列教材的出版, 对我国工程应用型人才培养质量的提高, 必将产生积极作用, 会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光, 高瞻远瞩, 及时提出并组织编写这套系列教材, 他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作, 并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件, 在此深表衷心感谢!

编委会主任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

第2版前言

本教材自2003年12月第1版出版以来,受到不少读者的支持和关爱,到2012年12月已进行9次印刷。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,编者对本书进行了修订。此次修订,保留了原教材的特色,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的成熟实用技术,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。其主要修改变动内容如下:

1) 第四章,充实强化了“特征建模”内容,增加了以UG软件为平台的特征建模示例。

2) 第四章,增加了“装配建模”小节。

3) 第五章在“CAE在工程中的应用”小节中,对原内容进行调整,使结构逻辑更为合理。

4) 第六章,增加了“开目CAPP及典型工艺编制”小节。

5) 第七章在“图形交互式编程举例”部分,修改为UG编程示例。

6) 第八章重新修改“逆向工程应用实例”内容。

7) 第十章,增加了“PowerMILL软件及应用”一节。

8) 第十章在“计算机辅助数控编程实例”小节中,把原MasterCAM软件示例修改为PowerMILL软件示例。

本书由盐城工学院葛友华担任主编,盐城工学院黄晓峰、淮阴工学院卜云峰、上海应用技术学院何玉安担任副主编,北华航天工业学院赵先仲担任主审。第一、六章由葛友华编写,第十章由黄晓峰编写,第二、七章由何玉安编写,第三章由苏纯编写,第四章由黄卫东编写,第五、九章由卜云峰编写,第八章由彭浩舸编写,全书由葛友华统稿。刘道标、张广冬老师参加了本书的初稿资料收集工作,在此表示诚挚的感谢。同时该教材得到盐城工学院教材基金资助出版。

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

葛友华

2013年10月

第1版前言

CAD/CAM 技术是先进制造技术和制造业信息化的基础,掌握这门技术是机械类专业学生所必备的技能,在高等教育“大众化”背景下,特别是对于应用型本科院校以及高职高专的机械类专业(包括数控专业)学生来说,这门技术的掌握就更显得重要。

本教材的特色是:①教材由 CAD/CAM 课程的一线教师编写,根据现有的教学情况推敲了教学内容,比较适应数控专业的要求和“大众化”教育的特点;②教材中突出了软件的应用,尽量采用 MasterCAM 系统作为示例,在理论叙述的同时,贯穿了软件系统的介绍,采用实例加深对理论知识的理解;③教材内容中偏重于应用性知识与技能的介绍,最后章节中突出常用软件系统的功能及其比较,以利于读者掌握有关内容并在应用中融会贯通;④教材使用过程中,可以根据不同的教学要求进行内容的裁剪,也可以在某些知识点上进行扩充,以适应不同层次的教学要求。

全书除了第一章、第二章从 CAD/CAM 的总体上介绍其基本概念、技术的应用与发展、基本结构、基本原理和 CAD/CAM 系统硬件、软件组成外,分为三大部分内容:第一部分内容包括第三章、第四章和第九章,主要围绕 CAD/CAM 系统中的 CAD 技术,介绍计算机图形学的基础知识(包括图形的几何变换、裁剪技术、消隐技术、光照处理技术等),三维造型的常用方法(包括线框造型、曲面造型、实体造型、特征造型等)、CAD/CAM 系统集成以及基于 PDM 的集成系统;第二部分内容包括第五章、第六章和第七章,主要围绕 CAM 技术展开的,其中介绍了计算机辅助工程方面的知识,并对目前流行的 CAE 软件的功能和应用进行了举例说明,还介绍了 CAPP 系统原理和方法、数控加工的过程、数控自动编程方法和仿真技术等;第三部分包括第八章和第十章,主要叙述了 CAD/CAM 技术与系统的应用,介绍了逆向工程原理、逆向工程系统组成及逆向工程应用实例,介绍了 MasterCAM 系统、UG 系统和 Pro/E 系统造型功能,同时以 MasterCAM 系统为例介绍了数控加工自动编程方法、后置处理的过程以及实际加工中出现的主要问题。

本书由盐城工学院葛友华担任主编,淮阴工学院卜云峰、上海应用技术学院何玉安担任副主编,北华航天工业学院赵先仲担任主审。第一章、第六章、第十章由葛友华编写,第二章、第七章由何玉安编写,第三章由苏纯编写,第四章由黄卫东编写,第五章、第九章由卜云峰编写,第八章由彭浩舸编写,葛友华对全书进行了统稿。黄晓峰、陈青、邱峰老师参加了第十章初稿的资料收集工作,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些不妥之处,殷切希望广大读者批评指正,并希望使用本书的教师和学生提出中肯意见。

编 者

2003 年 10 月

目 录

序	
第2版前言	
第1版前言	
第一章 概述	1
第一节 CAD/CAM 基本概念	1
第二节 CAD/CAM 技术的发展	4
第三节 CAD/CAM 技术的学习方法	8
习题与思考题	9
第二章 CAD/CAM 系统	10
第一节 CAD/CAM 系统的组成与分类	10
第二节 CAD/CAM 系统的硬件	12
第三节 CAD/CAM 系统的软件	20
习题与思考题	24
第三章 计算机图形学基础	25
第一节 计算机图形学概述	25
第二节 图形变换	30
第三节 图形裁剪技术	39
第四节 图形的消隐技术	43
第五节 图形的光照处理技术	45
习题与思考题	47
第四章 三维几何建模技术	48
第一节 基本概念	48
第二节 线框建模	52
第三节 曲面建模	55
第四节 实体建模	63
第五节 装配建模	73
习题与思考题	78
第五章 计算机辅助工程	79
第一节 计算机辅助工程概述	79
第二节 典型的 CAE 软件功能简介	85
第三节 CAE 在工程中的应用	89
习题与思考题	93
第六章 计算机辅助工艺设计	94
第一节 CAPP 概述	94
第二节 CAPP 系统中零件信息的描述	
与输入	97
第三节 派生式 CAPP 系统	103
第四节 创成式 CAPP 系统	107
第五节 开目 CAPP 及典型工艺编制	112
习题与思考题	120
第七章 计算机辅助数控加工编程	121
第一节 数控编程基础	121
第二节 自动编程技术	127
第三节 数控程序的检验与仿真	134
习题与思考题	137
第八章 逆向工程技术	138
第一节 逆向工程概述	138
第二节 逆向工程系统组成及	
工作原理	141
第三节 逆向工程应用实例	152
第四节 快速原型与快速模具	156
习题与思考题	158
第九章 CAD/CAM 系统集成	159
第一节 CAD/CAM 系统集成概述	159
第二节 CAD/CAM 系统的集成方法	166
第三节 基于 PDM 的 CAD/CAPP/CAM	
系统集成	168
习题与思考题	170
第十章 CAD/CAM 软件应用	171
第一节 MasterCAM 软件及应用	171
第二节 UG 软件及应用	174
第三节 Pro/Engineer 软件及应用	180
第四节 PowerMILL 软件及应用	187
第五节 计算机辅助数控编程实例	191
第六节 数控加工后置处理及	
机床加工	199
第七节 CAD/CAM 系统组成实例	205
习题与思考题	206
参考文献	208

第一章 概述

计算机辅助设计与制造（Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, CAD/CAM）技术是一门由多学科和多项技术综合形成的实用技术，是当今世界发展最快的技术之一。该项技术改变了传统的设计制造方式，推动了制造业的迅猛发展，使传统的机械行业有了新的发展空间。本章主要介绍制造业中 CAD/CAM 技术的概念、CAD/CAM 技术的应用与发展等。

第一节 CAD/CAM 基本概念

一、CAD/CAM 技术原理

CAD/CAM 技术是以计算机、外围设备及其系统软件为基础，综合计算机科学与工程、计算机几何、机械设计、机械加工工艺、人机工程、控制理论、电子技术等学科知识，以工程应用为对象，实现包括二维绘图设计、三维几何造型设计、工程计算分析与优化设计、数控加工编程、仿真模拟、信息存储与管理等相关功能。

CAD/CAM 技术经过半个世纪的发展，在理论、技术、系统和应用等方面都有了较大的进展，CAD/CAM 技术本身也趋于成熟。一般认为，广义的 CAD/CAM 技术，是指利用计算机辅助技术进行产品设计与制造的整个过程及与之直接和间接相关的活动，包括产品设计（几何造型、分析计算、工程绘图、结构分析、优化设计等）、工艺准备（计算机辅助工艺设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 自动编程、工时定额和材料定额编制等）、生产作业计划、物料作业计划的运行控制（加工、装配、检测、输送、存储等）、生产控制、质量控制及工程数据管理等。狭义的 CAD/CAM 技术，是指利用 CAD/CAM 系统进行产品的造型、计算分析和数控程序的编制（包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹的仿真及 NC 代码的生成等）。本书着重介绍狭义的 CAD/CAM 技术，使读者对 CAD/CAM 技术的原理与应用有一个比较清晰的了解。

二、CAD/CAM 与制造模式

CAD/CAM 技术在制造业中的应用，改变了传统的设计与制造方式，在流程、信息、控制等模式上发生了质的变化，成为先进制造技术的核心。传统的设计与制造方式是以技术人员为中心展开的，产品及其零件在加工过程中所处的状态，设计、工艺、制造、设备等环节的延续与保持等，都是由人工进行检测并反馈，所有的信息均交汇到技术和管理人员处，由技术人员进行对象的相关处理。由于人自身的局限性，一方面造成这种过程信息的传递呈发散状，即设计、制造、装配等环节围绕着设计人员进行，任何环节点上出现问题，都需要依靠技术人员积累的知识进行主观判断并解决；另一方面，传统的设计制造过程是一个严格的顺序过程，技术人员按照不同的分工，接受前道工作的结果，完成本道工作的内容并延续下去，导致整个加工与制造的过程只能按照时间的顺序去处理，很难实现空间与时间上的转换。传统设计制造的一般流程如图 1-1 所示。企业的产品在市场需求的驱动下，经过技术人

员的概念设计,构思成一定的形状和结构,并具备一定的功能。这种产品需要经过分析计算才能投入到实际的加工与装配之中,构成面向市场、满足客户要求的产品。

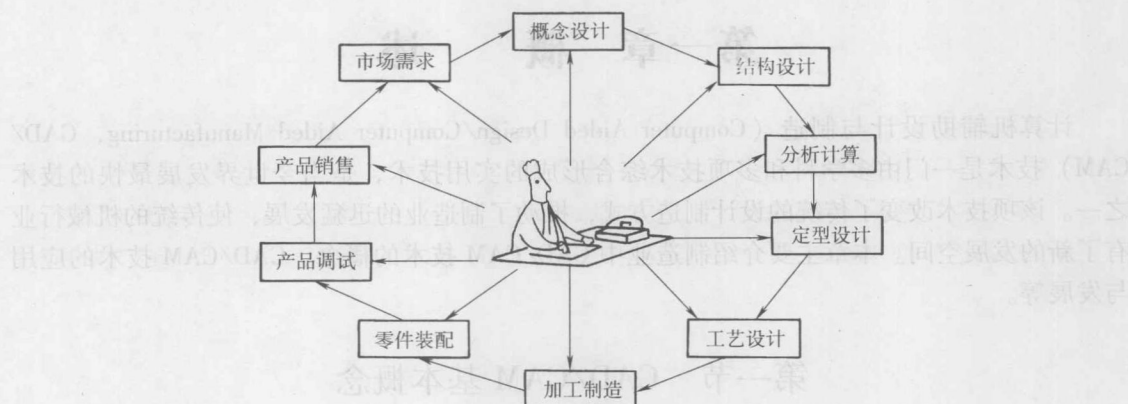


图 1-1 传统设计制造的一般流程

与传统的设计制造方式不同,以 CAD/CAM 技术为核心的先进制造技术,将以人员为中心的运作模式改变为以计算机为中心的运作模式,利用计算机存储量大、运行速度快、可无限期利用已有信息等优势,将各个设计制造阶段及过程的信息汇集在一起,使整个设计制造过程在时间上缩短、在空间上拓展,和各个环节的联系与控制均由计算机直接处理,技术人员通过计算机这一媒介实现整个过程的有序化和并行化。以 CAD/CAM 为核心的设计制造过程如图 1-2 所示。技术人员作为系统的操作与控制者,通过计算机网络平台,几乎可同时介入到产品设计制造的各个环节,即后续的技术人员可以参与产品的设计,产品的整个设计制造过程链已经大大缩短。

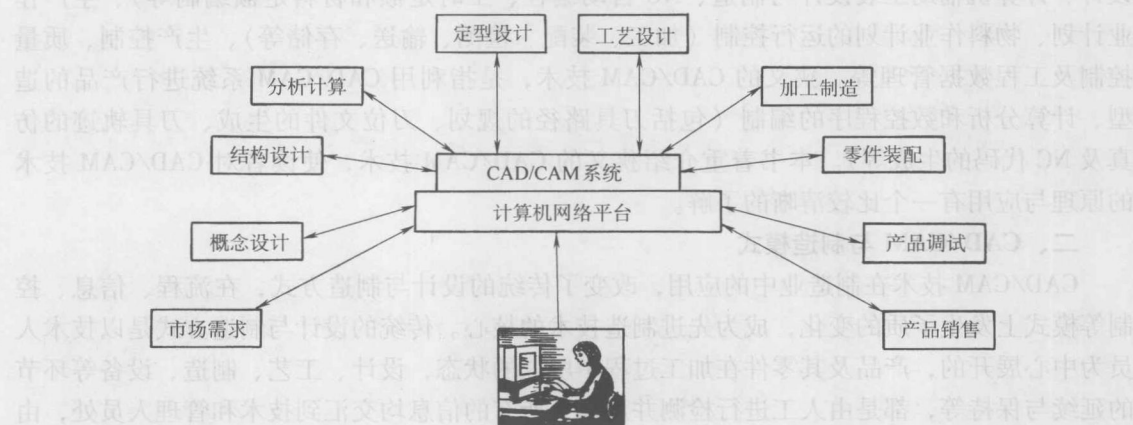


图 1-2 CAD/CAM 为核心的设计制造过程

三、CAD/CAM 的生存环境

CAD/CAM 技术在企业的应用主要是靠引进 CAD/CAM 系统实现的,它需要一定的工作环境和支撑平台,主要有如下几种。

1. 操作系统

Windows 操作系统是计算机平台上常用的操作系统，是管理计算机软硬件资源的程序集合。它具有五大管理功能，即处理机管理、存储管理、设备管理、文件管理和作业管理。操作系统依赖于计算机系统的硬件，用户通过操作系统使用计算机，任何程序都需要操作系统分配必要的资源后才能执行。CAD/CAM 软件的运行也需要操作系统的支撑。

2. 计算机网络

Internet & Intranet（国际互联网或企业内部互联网）是将无数台计算机连接起来的一种网络系统，通常由服务器、工作站、电缆、网卡、集线器和其他网络配件等组成。它既具有良好的交互性和快速响应的能力，又能使多用户共享硬件资源和数据资源。基于网络的 CAD/CAM 技术可以更好地实现设计人员之间的交流、异地设计与制造、工程并行工作等，它拓宽了 CAD/CAM 技术的视野和空间。

3. 数据管理平台

产品数据管理（Product Data Management, PDM）是一门管理所有与产品相关的数据和相关过程的技术。它能有效地将产品数据从概念设计、计算分析、详细设计、工艺流程设计、加工制造、销售维护至产品消亡整个生命周期内及其各阶段的相关数据，按照一定的数学模式加以定义、组织和管理，使产品数据在其整个生命周期内保持一致、最新、共享及安全。PDM 以其对产品生命周期中信息的全面管理能力，不仅自身成为 CAD/CAM 集成系统的重要组成部分，同时也为以 PDM 系统作为平台的 CAD/CAM 集成提供了可能。

4. 集成制造系统

集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）在制造企业中将市场分析、经营决策、产品设计、制造过程各个环节，直到销售和售后服务，包括原材料、生产和库存管理，财务资源管理等全部运行活动，在一个全局集成规划下逐步实现计算机化，实现更短的设计生产周期，改善企业经营管理以适应市场的迅速变化，获得更大的经济效益。是以公共数据库和网络通信为核心，逐步实现企业全过程计算机化的多视图（功能、信息、资源和组织）和多层次的综合系统。CAD/CAM 是 CIMS 的工程设计分系统和制造自动化分系统中起核心作用的系统，也是制造企业中产生基础数据的系统。

四、CAD/CAM 系统的工作过程

CAD/CAM 系统是设计、制造过程中的信息处理系统，它主要研究对象描述、系统分析、方案优化、计算分析、工艺设计、仿真模拟、NC 编程以及图形处理等理论和工程方法，输入的是产品设计要求，输出的是零件的制造加工信息。CAD/CAM 系统的工作过程如图 1-3 所示。

1) 设计人员通过市场需求调查以及用户对产品性能的要求，向 CAD 系统输入设计要求，利用几何建模功能，构造出产品的几何模型，计算机将此模型转换为内部的数据信息，存储在系统的数据库中。

2) 调用系统程序库中的各种应用程序对产品模型进行详细设计计算及结构方案优化分析，以确定产品总体设计方案及零部件的结构、主要参数。同时，调用系统中的图形库，将设计的初步结果以图形的方式输出到显示器上。

3) 根据屏幕显示的内容，对设计的初步结果作出判断。如果不满意，则可以通过人机交互的方式进行修改，直至满意为止。修改后的数据仍存储在系统的数据库中。

4) 系统从数据库中提取产品的设计制造信息，在分析其几何形状特点及有关技术要求

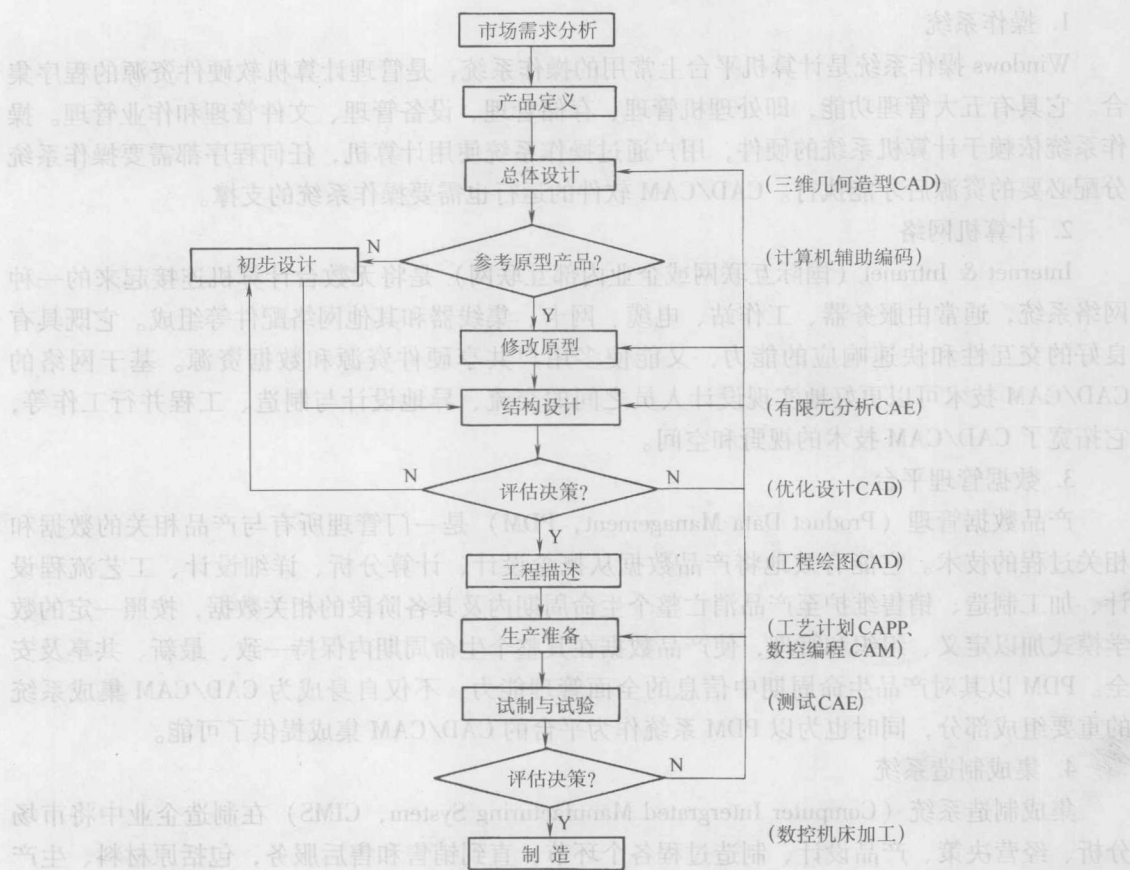


图 1-3 CAD/CAM 系统的工作过程

的基础上，对产品进行工艺过程设计，设计的结果存入系统的数据库，同时在屏幕上显示。

5) 用户可以对工艺过程设计的结果进行分析、判断，并允许以人机交互的方式进行修改。最终的结果可以是生产中需要的工艺卡片或是以数据接口文件的形式存入数据库，供后续模块读取。

6) 利用外围设备输出工艺卡片，成为车间生产加工的指导性文件，或计算机辅助制造系统从数据库中读取工艺规程文件，生成 NC 加工指令，在相应的数控设备上加工制造。

7) 有些 CAD/CAM 系统在生成了产品加工的工艺规程之后，可对其进行仿真、模拟，验证其是否合理、可行。同时，还可以进行刀具、夹具、工件之间的干涉、碰撞检验。

8) 在数控机床或加工中心上制造出产品的零件。

第二节 CAD/CAM 技术的发展

近 30 年来，CAD/CAM 是发展最迅速的技术和产业之一，也是应用领域最广的实用技术之一，它推动了制造业的发展。1990 年，美国国家工程科学院对人类 25 年（1964 ~ 1989）的工程成就进行评比的结果中，CAD/CAM 技术开发和应用在十大成就中居第六位。同时，这一新技术及其应用水平也已成为衡量一个国家工业生产水平和现代化程度的重要标

志。目前,工业发达国家已有 80% 以上的企业使用了 CAD/CAM 技术。随着计算机硬件和软件技术的不断发展,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。

一、CAD/CAM 技术的发展

20 世纪 50 年代,美国麻省理工学院 (MIT) 首次研制成功了数控机床,通过数控程序对零件进行加工。后来,MIT 又研究成功了名为“旋风”的计算机。该计算机采用阴极射线管 (CRT) 作为图形终端,加之后来研制成功的光笔,为交互式计算机图形学奠定了基础,也为 CAD/CAM 技术的出现和发展铺平了道路。MIT 用计算机制作数控纸带,实现 NC 编程的自动化,标志着 CAM 的开始。在计算机图形终端上直接描述零件,标志着 CAD 的开始。整个 20 世纪 50 年代,CAD/CAM 技术都处在酝酿、准备的发展初期。

1962 年,美国学者 I. E. Sutherland 发表了“人机对话图形通信系统”的论文,首次提出了计算机图形学、交互式技术等理论和概念,并研制出 SKETCHPAD 系统,第一次实现了人机交互的设计方法,使用户可以在屏幕上进行图形的设计与修改,从而为交互式计算机图形学理论及 CAD 技术奠定了基础。此后,随着交互式计算机图形显示技术和 CAD/CAM 技术迅速发展,美国许多大公司都认识到了这一技术的先进性和重要性,看到了它的应用前景,纷纷投以巨资,研制和开发了一些早期的 CAD 系统。例如,IBM 公司开发出具有绘图、数控编程和强度分析等功能的基于大型计算机的 SLT/MST 系统;1964 年美国通用汽车公司研制了用于汽车设计的 DAC-1 系统;1965 年美国洛克希德飞机公司推出了 CADAM 系统;贝尔电话公司也推出了 GRAPHIC-1 系统等。在制造领域中,1962 年在数控技术的基础上研制成功了世界上第一台机器人,实现了物料搬运自动化;1966 年又出现了用大型通用计算机直接控制多台数控机床的 DNC 系统,初步形成了 CAD/CAM 产业。

20 世纪 70 年代,交互式计算机图形学及计算机绘图技术日趋成熟,并得到了广泛的应用。随着计算机硬件的发展,以小型机、超小型机为主机的通用 CAD 系统,以及针对某些特定问题的专用 CAD 系统开始进入市场。这些大多数是以 16 位的小型机为主机,配置图形输入/输出设备,如绘图机等其他外围设备,与相应的应用软件进行配套,形成了所谓的交钥匙系统 (Turnkey System)。在此期间,三维几何造型软件也发展起来了,出现了一些面向中小企业的 CAD/CAM 商品化软件系统。在制造方面,美国辛辛那提公司研制出了一条柔性制造系统 (FMS),将 CAD/CAM 技术推向了一个新阶段。由于计算机硬件的限制,软件只是二维绘图系统及三维线框系统,所能解决的问题也只是一些比较简单的产品设计制造问题。

20 世纪 80 年代,CAD/CAM 技术及应用系统得到了迅速的发展。促进这一发展的因素很多,主要是计算机硬件的性能大幅度提高,32 位字长的工作站及微机的性能已达到甚至超过了过去的小型机及中型机;计算机外围设备 (如彩色高分辨率的图形显示器、大型数字化仪、大型自动绘图机、彩色打印机等) 不但性能大幅提高,而且品种繁多,已经形成了系列化产品;计算机网络技术得到广泛应用,为将 CAD/CAM 技术推向更高水平提供了必要的条件。此外,企业界已广泛认识到 CAD/CAM 技术对企业的生产和发展具有的巨大促进作用,在 CAD/CAM 软件功能方面也对销售商提出了更高的要求。需要将数据库、有限元分析优化及网络技术应用于 CAD/CAM 系统中,使 CAD/CAM 不仅能够绘制工程图,而且能够进行三维造型、自由曲面设计、有限元分析、机构及机器人分析与仿真、注塑

模设计制造等各种工程应用。与此同时,还出现和发展了与产品设计制造过程相关的计算机辅助技术,如计算机辅助工艺过程设计(CAPP)、计算机辅助质量控制(CAQ)等。到了20世纪80年代后期,在各种计算机辅助技术的基础上,人们为了解决“信息孤岛”问题,开始强调信息集成,出现了计算机集成制造系统(CIMS),将CAD/CAM技术推向了一个更高的层次。

20世纪90年代,CAD/CAM技术已走出了它的初级阶段,进一步向标准化、集成化、智能化及自动化方向发展。为了实现系统集成,更加强调信息集成和资源共享,强调产品生产与组织管理的自动化,从而出现了数据标准和数据交换问题,出现了产品数据管理(PDM)软件系统。在这个时期,国外许多CAD/CAM软件系统更趋于成熟,商品化程度大幅度提高,如美国洛克希德飞机公司研制的CADAM系统、法国Dassault Systems公司研制开发的CATIA系统、法国Matra Datavision公司开发的EUCLID系统、美国SDRC公司开发的I-DEAS系统、美国PTC公司推出的Pro/Engineer系统及美国Unigraphics公司研制的UG II系统等,这些系统大都运行在IBM、DEC、VAX、Apollo、SUN、SGI等大中型机及工作站上。随着计算机硬件性能的提高,出现了一批计算机CAD/CAM系统,如AutoCAD系统、Cimre-90系统、SolidEdge系统、SolidWork系统及MasterCAM系统等。

进入21世纪,CAD/CAM技术已经注重其在工程中的工具性,把系统集成的焦点集中在新的设计与制造理念上,如基于知识工程的CAD/CAM技术、面向制造与装配的CAD/CAM技术等,使得CAD/CAM技术更贴近工程实际与工程技术人员。同时,CAD/CAM技术一方面与CAE/CAPP更紧密的集成,一方面向逆向工程、快速成型等技术延伸,使得CAD/CAM技术在机械行业的地位日趋巩固。

二、我国CAD/CAM技术现状

我国早在20世纪70年代就开始了CAD/CAM的研究。到20世纪80年代,我国进行了大规模的CAD/CAM技术研究与开发。国家对CAD/CAM技术十分重视,原国家科委曾组织主要工业部门在全国开展CAD应用工程的必要性和可行性论证。1991年3月原国家科委等八个部委的领导和专家举行了“CAD应用工程”工作会议,并向国务院提交了《关于大力协同开展我国计算机辅助设计(CAD)应用工程的报告》。国务院批复了这一报告,并同意由原国家科委牵头、有关11个部委组成全国CAD应用工程协调指导小组,制订了《CAD应用工程发展规划纲要》,制订与评审了CAD通用技术规范。在“九五”期间,原国家科委将CAD应用作为四大工程(先进制造技术、先进信息工程、CIMS工程、CAD应用工程)之一,“十五”期间,CIMS工程与CAD应用工程合并实施制造业信息化工程。我国CAD/CAM技术的研究与开发大致经历了三个阶段。

1. 引进、跟踪、研发阶段

CAD/CAM技术与产品起源于国外,我国CAD/CAM技术方面的研究是从20世纪70年代中期开始的,当时在一些高等院校中主要围绕二维图形软件进行开发,并在航空领域和造船工业中首先应用。20世纪80年代初,开始成套引进国外CAD/CAM系统,在此基础上进行开发,并应用于少数大型企业和设计研究所。直到“七五”、“八五”、“863/CIMS”计划的实施,才真正开始了中国以CAD为基础的计算机辅助技术与产品的研究与开发。

这一时期国外的各种CAD产品随着其技术一起进入了我国。在一般的应用层面上,AutoCAD几乎成了CAD的代名词。

2. 自主开发和快速成长阶段

20 世纪 90 年代, 随着“863/CIMS”计划的推进, 北京航空航天大学、清华大学、华中理工大学等一批高校和科研院所相继推出了研究成果, 并在政府的大力扶持下展开了科研成果向产品、商品的积极转化。

20 世纪 90 年代中期, 我国的 CAD/CAM 进入了全面的繁荣时期, 国内各种 CAD、CAM 软件产品层出不穷, 巨大的国内市场为中国的 CAD/CAM 软件产品和软件企业提供了发展空间。1992 年, 仅向当时的国家科委高新技术司申报参加软件评测的 CAD 软件超过 350 家之多。经过几年的发展和竞争, 国内 CAD 软件市场已经向商品化和产业化的方向整合, 1997 年只有 50 多家 CAD 软件申报评测。到 1999 年申报评测的 CAD 软件已不超过 5 家。

当今 CAD 技术日臻成熟, 功能更加完善, 体系更加健全, 正发展成为国内 CAD/CAM 的通用平台; 国产软件迅速普及, 覆盖行业领域迅速铺开, 用户数量急剧上升, 应用基础日益广泛; 市场上国产品牌崭露头角, 形成了与国外 CAD/CAM 软件产品分割市场的局面。

同时, 国外的各种 CAD/CAM 软件如 AutoDESK、Pro/E、UG、Cimatron、SolidEdge、MasterCAM、CATIA 等先后进入中国市场, 在其相互竞争以及与我国软件产品的竞争中占有了一定的市场份额。

3. 产业化、系统化发展阶段

进入 21 世纪后, 在 IT 业推进下全球产业格局正在进行大的布局调整, 加入世贸组织使我国经济进一步融入了全球一体化经济大循环, 同时我国产业结构调整、企业改制及技术改造正向纵深推进, 国家正在实施西部大开发战略等, 这些都为我国制造业的信息化、网络化进程与 CAD/CAM 的应用提供了无限广阔的前景和机遇, 同时也使我国制造业面临着严峻的挑战。

以制造业信息化为龙头的信息化带动工业化工程已经全面铺开, 企业到了必须而且已经具备条件在国产 CAD/CAM 软件平台上规划和构建符合企业特点的计算机辅助设计/制造/管理系统的时候, 国内的软件业也瞄准了这一巨大的潜在市场, 这将进一步刺激 CAD/CAM 系统向产业化、系统化、集成化方向发展。

三、CAD/CAM 的发展趋势

随着 CAD 技术的普及应用越来越广泛和越来越深入, CAD 技术正向着开放、集成、智能和标准化的方向发展。首先, 开放性是决定一个系统能否真正达到实用化并转化为现实生产力的基础, 这主要体现在系统的工作平台、用户接口、应用开发环境以及与其他系统的信息交换等方面。所谓集成就是向企业提供一体化的解决方案。并行工程是一种集成, 企业的产品数据管理 (PDM) 也是一种集成。通过集成能最大限度地实现企业信息共享, 建立新的企业运行方式, 提高生产效率。智能化是将目前基于算法的解决问题方式向基于知识的推理型解决问题方式转变, 需要将人工智能技术、专家系统引入到 CAD/CAM 领域中, 不断使处理问题、解决问题的水平位于较高的水准, 避免过多地依赖人工进行决策。最后, 随着 CAD/CAM 技术的发展和广泛应用, 工业化标准的问题越来越显得重要。目前基于不同应用领域的 CAD、CAM 系统很多, 为了便于把 CAD 系统产生的结果传送给 CAM 系统使用或者提供给别的 CAD 系统使用, 以实现资源共享, 要求不同系统之间能够方便地交换有关数据, 要求制订出相应的数据交换标准。同时, 完善的标准化体系既是我国 CAD/CAM 软件开发及技术应用与世界接轨的必由之路, 也是 CAD/CAM 技术发展的方向和既定的目标。