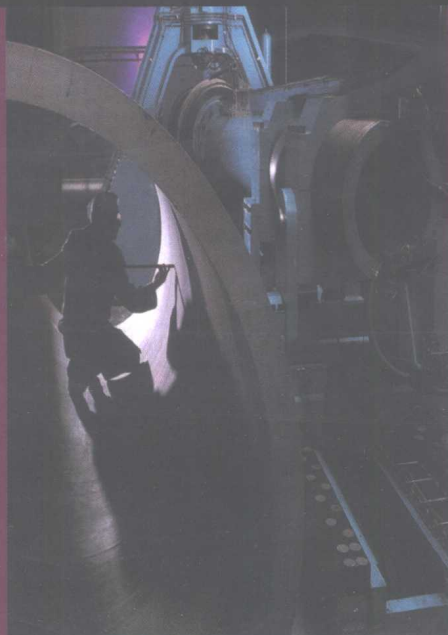


WUTP

普通高等学校机械设计制造
及其自动化专业新编系列教材



主 编 魏生民

机 械 CAD/CAM

J i x i e C A D / C A M

武汉理工大学出版社

普通高等学校机械设计及及其自动化专业新编系列教材

机械 CAD/CAM

主编 魏生民



武汉理工大学出版社

内 容 简 介

本书比较全面系统地论述了 CAD/CAM 技术的基本概念、理论、原理和方法,以及相关的其它先进技术。主要内容包括:CAD/CAM 技术发展概论、计算机图形技术、二维机械工程绘图、三维线架造型、曲面造型、实体造型、参数化设计技术和特征造型技术、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助工艺过程规划(CAPP)、数控加工及程序编制、数控测量技术、CAD/CAM 集成及计算机集成制造系统、CAD/CAM 相关先进技术等。

本书可作为普通高等学校机械类、机电类专业教学用书,也可用作大专、成人教育及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM/魏生民主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2001.9

ISBN 7-5629-1747-7

I. 机… II. 魏… III. 机械设计:计算机辅助设计-高等学校-教材 IV. ①TH122 ②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01422 号

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市:武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

印刷者:武汉理工大学出版社印刷厂

发行者:各地新华书店

开本:880×1230 1/16

印张:13.75

字数:443 千字

版次:2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-5629-1747-7/TH·56

印数:1~5000 册

定价:20.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

普 通 高 等 学 校
机械设计制造及其自动化专业新编系列教材
编 审 委 员 会

顾 问:陈心昭 王益群 蔡 兰 束鹏程 孙宗禹
洪迈生

名誉主任:杨叔子

主 任:张福润 高鸣涵

副 主 任:杨海成 李永堂 周彦伟 杨明忠

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

王建中	王贵成	王益群	司徒忠	刘玉明
吕 明	许明恒	孙宗禹	孙树栋	朱喜林
陈心昭	李永堂	李 言	李杞仪	陈作柄
杨叔子	杨明忠	陈奎生	陈统坚	严拱标
杨海成	张福润	束鹏程	罗迎社	周彦伟
洪迈生	钟志华	赵 韩	钟毓宁	陶文铨
夏 季	高鸣涵	殷国富	董怀武	曾志新
韩荣德	傅祥志	谭援强	蔡 兰	魏生民

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

出版说明

高等学校的教材建设向来是学科建设和教学改革的重要内容,其对教学过程和教学效果的重要影响是教育界所公认的。但教材建设与教学需要之间的矛盾永远存在也是一个客观的事实。正因为如此,教材建设才具有永恒的意义。特别是在这世纪交替的时期,中国的高等教育所面临的两个重大变革——高等学校本科专业目录调整和高等学校管理体制及布局结构调整,都对高校的教材建设提出了更高的要求。随着专业的合并,新专业的专业面拓宽,原有老专业的教材明显不能适应新专业的教学要求;调整后高校规模扩大,招生人数增加,对教材的需求也随之激增。在新的专业目录中,机械设计制造及其自动化专业与原有专业目录有了较大的变化,涵盖了原有的9个专业。相应的专业业务培养目标、教学要求、课程设置、学时数要求、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。为适应新专业的培养目标和教学要求,武汉理工大学出版社在经过全面、细致和深入调研的基础上,组织编写了这套面向全国普通高等学校的新的系列教材。

本套教材面向全国普通高等学校,在保证内容要反映国内外机械学科最新发展的基础上,以满足一般院校的本科专业教学要求,实现专业的业务培养目标为基本原则。遵照全国高校机械工程类专业教学指导委员会制订的专业培养方案和教学计划设置课程体系,突出“系列”的特色,首批编写、出版的21种教材可基本满足一般院校本科教学需要。编写中强调各门课程之间的联系和衔接,强调教材整体风格的统一和协调,力求在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容并大力引入多媒体教学手段等方面取得进展,以形成特色,更好地满足不同学校的教学需求。

本套教材集中了全国30多所著名大学的专家、教授和中青年教学骨干,分别担任系列教材的主编、主审和参编,组成了一个阵容强大、结构合理的编审委员会。特别是第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员杨叔子院士欣然出任编审委员会名誉主任,更增加了编审委员会的权威性。正是由于编委会成员务实、高效的工作,全体编审人员高度的责任心和严谨的治学精神,本套教材才能在这样短的时间内完成编写、出版的任务。杨叔子院士亲自为系列教材作序,更使全套教材光彩倍增!但我们深知,院士为一套教材作序,在国内是十分少见的,这充分体现了杨院士对教学改革及教材建设的热切关注和积极支持。这既是杨院士对编委会此前工作的鼓励和肯定,同时也是对编委会今后工作的指导和鞭策。我们一定不会辜负杨院士以及全国众多院校师生的期望。本套教材首期21种出齐后,一方面我们将在使用教材的广大师生提出意见和建议的基础上不断修订和完善,同时还将根据学校教学改革和课程设置的需要及时增补新的教材,使这套教材真正成为既能满足学校当前教学需要,又能起到推动专业教学内容和课程体系改革作用的一套精品教材。

武汉理工大学出版社

2001.6

序

20 世纪,人类文明达到了前所未有的高度。由于相对论、量子论、基因论、信息论等科学技术成就的取得,现在人类在物质领域已深入到基本粒子世界,在生命科学领域已深入到分子水平,在思维科学领域则主要是数学和脑科学的巨大进步。科学技术的迅猛发展,促使科学技术综合化、整体化以及人文和科技相互渗透、相互融合的趋势加速。

近 20 年来,我们在经济战线上坚持市场取向的改革,实行以公有制为主体、多种所有制经济共同发展的基本经济制度,进行经济结构的战略性调整,推动两个根本性转变以及全方位、多层次、宽领域的对外开放,致使我国的经济体制也发生了巨大的变革。随着社会主义市场经济体制的建立和不断完善,社会对人才需求的多样性、适应性要求不断增强。

在人类即将跨入 21 世纪的时候,我国高等教育战线在教育要“面向现代化,面向世界,面向未来”的思想指引下,开展了起点高、立意新、系统性强、有组织、有计划、有步骤的教学改革工程。伴随着教学改革的不深入,素质教育的观念、大工程的观念、终身教育以及回归工程的观念日益深入人心,人们对拓宽本科教育口径、加强和扩展本科教育共同基础的要求日益强烈。

1998 年 8 月,教育部正式颁布了新的普通高等学校本科专业目录,专业总数由原来的 500 多种减少至 249 种。新专业目录的颁布,突破了传统的、狭隘的专业教育观念,拓宽了人才培养工作的视野,为人才培养能较好地适应科学技术和社会进步的需要创造了条件。许多学校也都以专业调整、改造和重组为契机,大力调整人才知识、能力和素质结构,拓宽基础,整合课程,构建新的专业平台,柔性设置专业方向,不断深化人才培养模式的改革。

教材建设是学校的最基本建设之一。教学改革的深入发展必然要求有相适应的教材。为适应新的专业培养目标和教学要求,组织编写出版供“机械设计制造及其自动化”新专业的教学用书,特别是系列教材就显得十分迫切和重要了。武汉理工大学出版社的领导和编辑们为改变目前国内已出版的机械类专业教材普遍存在的内容偏深、知识面偏窄的倾向,决定面向全国普通高等学校机械工程类专业的学生出版一套系列教材,这是一个非常好的决策。他们的这一决定也得到了全国几十所院校机械工程系的领导和众多专家、教授的积极响应和大力支持,并提出了许多建设性的意见,其中一些教授如合肥工业大学校长陈心昭教授、燕山大学校长王益群教授、江苏理工大学校长蔡兰教授、西安交通大学副校长束鹏程教授、西北工业大学常务副校长杨海成教授等还非常乐意地承担了该系列教材的主编、主审及编审委员会工作。

编写教材除了应该具有针对性外,还应努力编出特色。根据武汉理工大学出版社和教材编审委员会的决定,该系列教材将完全按照第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会提出的机械设计制造及其自动化宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写,这就保证了该套教材可以具有课程体系新、专业口径宽、改革力度大的特点,并可以满足不同院校办出各自专业特色的需要。

按照教材编审委员会的规划,该套教材首批将推出 21 种,包括机械工程概论、画法几何及机械制图、画法几何及机械制图习题集、机械原理、机械设计、理论力学、材料力学、工程热力学、工程材料、机械制造技术基础、材料成型基础、工程测试、数控技术、机械工程控制基础、液压与气压传动、机械 CAD/CAM、机械工程项目管理、机电系统设计、现代设计方法、精密与特

种加工、机械工程专业英语等,涵盖了机械设计制造及其自动化专业的主要专业基础课和部分专业选修课而形成系列,因而可以较好地满足该专业的教学需要。也正是由于是系列教材,各门课程之间的联系和衔接在教材的策划、组织和编写过程中,都可开展充分的讨论和进行仔细的协调,因此有利于保证整套教材风格统一,内容分配合理,既相互呼应,又避免不必要的重复。

我殷切地希望,这套教材在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容和大力引入多媒体等现代教育技术手段上取得进展,真正成为能满足普通高等学校本科生需要的优秀教学用书,在众多的机械类专业教材中,争芳斗艳,别具特色。

按照武汉理工大学出版社的计划,这套系列教材首批将在2001年秋季全部出齐。金无足赤,人无完人,书无完书。我相信,在读者的关心与帮助下,随着这套教材的不断发行、应用与改进,必将促进机械设计制造及其自动化专业教学用书质量的进一步提高,推动机械类专业教学内容和课程体系改革的进一步深入。

只木独秀难成林,千紫万红才是春!

面向21世纪,希望无限,谨为之序。

中国科学院院士、华中科技大学教授 **杨叔子**
全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

2000年11月18日

前 言

随着计算机技术、信息技术的迅速发展,CAD/CAM 技术在各个领域都得到了广泛的应用。由于 CAD/CAM 技术具有综合性强,高新技术含量高,见效快的优势,所以成为当今发展最快的应用技术之一。它从根本上改变了传统的设计、生产乃至组织模式,对于现代企业的技术进步,带动整个产业结构的变革,发展高新技术,促进经济增长都具有十分重要而深远的意义。因此,CAD/CAM 被评为当代最杰出的十大工程技术成就之一,世界各国也都把发展 CAD/CAM 技术作为自己的战略目标。它的发展和应用已成为衡量一个国家科技进步和工业现代化水平的重要标志之一。对于机械设计及制造领域而言,CAD/CAM 技术的发展无疑是一次革命,是一次重大的飞跃。早在 1991 年,我国就制定了《CAD 应用工程发展规划纲要》。在“九五”期间,又将“CAD 应用工程”作为重点工程项目予以支持。

本书就是为了适应 CAD/CAM 技术的发展,满足愈来愈多的读者渴望了解 CAD/CAM 的有关基础知识的需求而编写的。本书作者多年从事 CAD/CAM 方面的教学和科研,都曾涉足本书所涵盖的内容,不少方面具有切身体验。本书旨在使读者比较全面、系统地了解 and 掌握 CAD/CAM 技术的基本概念、理论和方法,为从事 CAD/CAM 技术的研究、开发和应用奠定一定的基础。

本书在编写时是以机械 CAD/CAM 技术为其应用背景,对其它领域从事 CAD、CAM 技术的工作者也具有指导作用和帮助。本书内容偏重于 CAD/CAM 技术领域的理论、方法和软件实现,基本未涉及有关计算机及其它硬件构成的原理及使用,但不影响对 CAD/CAM 技术整体的了解和掌握。此外,本书在内容安排上力求综合全面,力求反映出当前 CAD/CAM 技术最新发展和最新技术。

本书共有 13 章,授课学时约为 48~52 学时。各章内容相对独立,使用时不受各章顺序的限制,根据教学要求有些内容可作适当删减。本书可作为普通高等学校教学用书,也可用作大专、成人教育及工程技术人员的参考书。

本书第 1、5、7、12 章由魏生民编写;第 6、11、13 章及附录由朱喜林编写;第 2、3、4 章由陈作炳编写;第 8、9、10 章由徐顺利编写。全书由魏生民汇总和整理。本书是在武汉理工大学出版社的全力促成和支持下完成的,作者对他们的敬业和服务精神表示钦佩。由于作者对 CAD/CAM 技术的内涵理解不深,实践经验不足,水平有限,难免有错误和不足之处,敬请同行及读者批评指正。

作者

2000 年 8 月



普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材目录

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1. 机械工程概论 | 12. 工程测试 |
| 2. 画法几何及机械制图 | 13. 数控技术 |
| 3. 画法几何及机械制图习题集 | 14. 机械控制工程基础 |
| 4. 机械原理 | 15. 液压与气压传动 |
| 5. 机械设计 | 16. 机械 CAD/CAM |
| 6. 理论力学 | 17. 机械工程项目管理 |
| 7. 材料力学 | 18. 机电系统设计 |
| 8. 工程热力学 | 19. 现代设计方法 |
| 9. 工程材料 | 20. 机械工程专业英语 |
| 10. 机械制造技术基础 | 21. 精密与特种加工 |
| 11. 材料成型基础 | |

项目负责: 武汉理工大学出版社策划部

电 话: (027) 87386275

传 真: (027) 87388543

E-mail: wutp@public.wh.hb.cn

责任编辑: 孙成林

封面设计: 杨 涛

武汉理工大学出版社发行部

电 话: (027) 87394412

传 真: (027) 87651931

邮 编: 430070

ISBN 7-5629-1747-7

TH · 56 定价: 20.00 元

目 录

1 CAD/CAM 技术发展概论	(1)
1.1 CAD/CAM 技术发展概况	(1)
1.2 CAD/CAM 技术的历史地位	(2)
1.3 CAD/CAM 技术及软件产业的特点	(3)
1.4 CAD/CAM 系统结构	(5)
1.5 CAD/CAM 技术的发展趋势	(6)
2 计算机图形技术	(8)
2.1 计算机图形技术的基本概念	(8)
2.2 坐标系和齐次坐标	(8)
2.3 图形变换	(9)
2.3.1 二维图形的几何变换	(10)
2.3.2 三维变换	(14)
2.4 投影和透视变换	(16)
2.4.1 投影变换	(16)
2.4.2 透视变换	(18)
2.5 图形裁剪	(19)
2.5.1 二维裁剪	(19)
2.5.2 多边形裁剪	(20)
2.5.3 三维图形的裁剪	(21)
3 二维机械工程图绘制	(22)
3.1 二维绘图系统的配置及功能	(22)
3.1.1 计算机绘图系统的类型	(22)
3.1.2 计算机绘图系统的组成	(22)
3.1.3 图形软件的类型	(22)
3.1.4 图形软件的功能	(23)
3.1.5 图形软件标准	(23)
3.2 二维基本几何图形的描述	(24)
3.2.1 二维基本几何元素的描述	(24)
3.2.2 几何元素之间的关系	(26)
3.2.3 几何图形的方向	(28)
3.3 二维图形的生成	(29)
3.3.1 三维图形通过各种变换生成二维图形	(29)
3.3.2 通过布尔运算生成二维图形	(29)
3.3.3 标准图形库	(32)
3.4 尺寸标注和符号标注	(32)
3.5 二维装配图设计	(33)
3.5.1 由子图形拼组装配图的方法	(33)
3.5.2 基于零件图图形信息生成装配图	(35)
3.5.3 实体造型法	(35)
3.6 二维参数化绘图	(35)

3.6.1	参数化和变量化绘图的基本概念	(35)
3.6.2	参数化绘图	(36)
3.6.3	变量化绘图的实现原理	(37)
4	三维线框造型	(38)
4.1	几何建模的基本概念	(38)
4.1.1	描述三维形体的几何信息和拓扑信息	(38)
4.1.2	形体的定义	(39)
4.1.3	正则集合运算	(39)
4.1.4	欧拉检验公式	(40)
4.2	三维物体的几何表示	(40)
4.2.1	线框模型	(41)
4.2.2	表面模型(曲面模型)	(42)
4.2.3	实体模型	(42)
4.3	线框模型与表面模型和实体模型的关系	(42)
5	曲面造型	(44)
5.1	曲线和曲面的矢量方程与参数方程	(44)
5.1.1	曲线的矢量方程和参数方程	(44)
5.1.2	矢量数的导矢及其应用	(45)
5.1.3	曲线的自然参数方程	(46)
5.1.4	曲线论的基本公式	(48)
5.1.5	曲率和挠率	(49)
5.2	曲面造型方法	(52)
5.2.1	参数曲面	(52)
5.2.2	线性拉伸曲面	(60)
5.2.3	直纹面	(60)
5.2.4	旋转曲面	(61)
5.2.5	扫掠曲面	(61)
5.2.6	等距曲面	(62)
5.3	曲面光滑	(63)
5.4	曲面求交(Surface Intersection)	(63)
5.4.1	基于分割与迭代的求交算法	(64)
5.4.2	基于交线跟踪与迭代的求交算法	(64)
5.4.3	隐函数法求交算法	(64)
5.5	曲面裁剪(Surface Trimming)	(65)
6	实体造型	(66)
6.1	实体造型技术的发展	(66)
6.2	实体造型的基本方法	(67)
6.2.1	边界表示法(Boundary Representation)	(67)
6.2.2	构造立体几何法(Constructive Solid Geometry)	(68)
6.2.3	光线投射法	(69)
6.2.4	欧拉操作(Euler Operators)	(71)
6.2.5	八叉树表示法	(73)
6.3	非流形几何的概念	(75)
7	参数化设计技术和特征造型技术	(77)
7.1	参数化设计技术基本概念	(77)

7.2	几何和拓扑约束的求解方法及分类	(78)
7.3	参数关联驱动法	(78)
7.4	约束对象的约束模型及求解	(79)
7.5	特征造型技术	(80)
7.6	形状特征概念	(80)
7.6.1	设计特征	(80)
7.6.2	分析特征	(81)
7.6.3	工艺规程设计特征	(81)
7.6.4	数控加工特征	(81)
7.7	形状特征的定义及分类	(82)
7.7.1	形状特征的定义	(82)
7.7.2	特征分类	(82)
7.8	特征识别和特征造型	(86)
7.8.1	交互式特征定义	(86)
7.8.2	特征自动识别	(86)
7.8.3	特征设计(Design by Feature)	(87)
7.8.4	特征造型的实现	(88)
8	计算机辅助工程(CAE)	(91)
8.1	综 述	(91)
8.1.1	CAE 软件分类和组成结构	(91)
8.1.2	CAE 发展现状及趋势	(92)
8.2	有限元法简介	(93)
8.2.1	弹性力学基本知识和简单实例	(94)
8.2.2	有限元法的基本解法与步骤	(99)
8.2.3	有限元网格的剖分要求	(99)
8.2.4	有限元网格的生成方法	(101)
8.2.5	有限元法应用中的若干实际考虑	(102)
8.3	有限元分析系统的前置和后置处理	(107)
8.3.1	有限元分析系统的前置处理	(107)
8.3.2	有限元分析系统的后置处理	(108)
8.4	有限元法在机械 CAD/CAM 中的应用及发展趋势	(111)
8.4.1	有限元法在热应力和结构动力学的应用	(111)
8.4.2	有限元法在机械设计中的应用实例	(112)
8.5	CAD 中的物性计算	(116)
8.5.1	平面三角形(图 8.25)物性计算	(116)
8.5.2	八节点六面体(图 8.10)物性计算	(116)
9	计算机辅助工艺过程规划(CAPP)	(118)
9.1	CAPP 技术简介	(118)
9.1.1	工艺规程设计的基本内容	(118)
9.1.2	CAPP 的分类	(118)
9.1.3	CAPP 的发展	(119)
9.2	CAPP 中零件信息的表示	(119)
9.3	修订法 CAPP 系统	(121)
9.3.1	修订法 CAPP 系统的工作原理	(121)
9.3.2	零件分类编码系统	(121)

9.3.3	修订式 CAPP 的实现过程	(122)
9.4	创成式 CAPP 系统	(125)
9.4.1	概述	(125)
9.4.2	创成式 CAPP 系统的设计过程	(125)
9.4.3	工艺决策逻辑实现方法	(126)
9.4.4	创成式 CAPP 系统中的工序设计	(127)
10	数控加工及程序编制	(130)
10.1	数控机床及数控加工工艺	(130)
10.1.1	数控机床	(130)
10.1.2	数控加工工艺	(132)
10.2	数控加工程序的指令系统及数控编程	(137)
10.2.1	程序结构及程序段格式	(137)
10.2.2	常用基本指令	(139)
10.2.3	数控编程实例	(141)
10.3	数控加工后置处理程序	(143)
10.4	数控加工过程的动态仿真	(143)
11	计算机辅助测量技术	(145)
11.1	计算机辅助测量技术的基本概念	(145)
11.1.1	测量与测试	(145)
11.1.2	测量技术的发展	(146)
11.2	计算机辅助测量系统的组成	(146)
11.3	测量机的结构及组成	(147)
11.3.1	测量机的结构	(147)
11.3.2	测量机的组成	(147)
11.4	测头及其测量方法	(148)
11.4.1	测头的形式和种类	(148)
11.4.2	常用测量方法	(149)
11.5	测量数据处理	(150)
12	CAD/CAM 集成及计算机集成制造系统	(152)
12.1	CAD/CAM 集成	(152)
12.1.1	CAD/CAM 集成的概念	(152)
12.1.2	CAD/CAM 系统的组成	(152)
12.1.3	CAD/CAM 系统的集成方案	(153)
12.1.4	CAD/CAM 系统的发展	(154)
12.2	计算机集成制造系统(CIMS)	(154)
12.2.1	CIMS 的提出及意义	(154)
12.2.2	CIM 的定义及 CIMS 的组成	(154)
12.2.3	CIMS 中的工程设计自动化系统	(157)
12.2.4	CIMS 中的制造自动化分系统	(162)
12.2.5	CIMS 中的管理信息系统	(167)
12.2.6	CIMS 中的质量控制和保证系统	(173)
12.2.7	CIMS 中的支撑环境系统	(179)
13	CAD/CAM 相关新技术	(189)
13.1	虚拟制造技术(VMT)	(189)
13.1.1	VMS 的基本构成	(189)

13.1.2 VMS 的开发环境和关键技术	(190)
13.2 敏捷制造技术(AMT)	(191)
13.2.1 敏捷制造的基本原理	(192)
13.2.2 敏捷制造的组成	(192)
13.2.3 敏捷制造中的 CAD/CAM 系统	(194)
13.3 并行工程(CE)	(195)
13.3.1 并行工程的含义	(195)
13.3.2 并行工程的特点	(196)
13.3.3 并行工程的关键技术	(197)
13.3.4 并行工程的实施步骤	(199)
13.4 智能制造系统(AIMS)	(200)
13.4.1 智能制造涵义	(200)
13.4.2 智能制造技术的内容	(201)
13.4.3 智能制造的形式	(201)
13.4.4 智能制造技术的研究	(201)
参考文献	(203)

1 CAD/CAM 技术发展概论

电子计算机的出现是当代科学技术发展的最重大的成就之一,它的应用已遍及各个领域。在机械设计及制造领域,由于市场竞争的加剧,用户对产品的质量(Quality)、价格(Cost)、供货时间(Time)、服务(Service)的要求越来越高,因此就必须采用先进的设计及制造技术。在这种背景下,20 世纪 70 年代末由于计算机技术与机械设计和制造技术的相互渗透和相互结合,产生了计算机辅助设计与辅助制造(Computer Aided Design and Manufacturing)这样一门多学科的、综合性的应用技术,并将其简称为 CAD/CAM。由于 CAD/CAM 技术具有综合性强,高新技术含量高,见效快的优势,所以成为当今发展最快的应用技术之一。CAD/CAM 技术的发展,是机械设计及制造领域的一次革命,是一次重大飞跃。

1.1 CAD/CAM 技术发展概况

CAD/CAM 技术从产生到现在,大致经历了如下几个阶段。

1946 年世界上第一台计算机的出现就为 CAD/CAM 技术奠定了至关重要的基础。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,加之后来研究成功的光笔,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、准备及发展的初期。

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,并研制出了名为 SKETCHPAD 系统。正是 Sutherland 的论文和他的 SKETCHPAD 系统首次提出了计算机图形学、交互技术等理论和概念,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设计和修改,从而为交互式计算机图形学理论及 CAD 技术奠定了重要的基础,并出现了大规模研究计算机图形学的热潮,并开始出现了 CAD 术语和思想。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及它的应用前景,纷纷投以巨资,研制和开发了一些早期的 CAD 系统,例如,IBM 公司开发出了具有绘图、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 DAC-1 系统,用于汽车设计;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,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,实现了物料搬动自动化;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。但由于当时刷新式图形显示系统价格特别昂贵,系统也很庞大,因此只有少数大型企业和研究单位才有可能研究和应用 CAD/CAM 技术。20 世纪 60 年代后期,存储管式显示器以其低廉的价格进入了市场,使得 CAD 系统的成本下降了许多,从而使得许多厂商将硬件和软件结合在一起,成为成套的 CAD/CAM 系统出售给用户,从而形成了 CAD/CAM 产业。

到了 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,并得到广泛应用。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 系统也开始进入市场,针对某些特定问题的专用 CAD 系统也蓬勃发展。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,以及绘图机等其它外部设备,与相应的应用软件进行配套,形成了所谓的并交钥匙系统(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。但这个时期所用的主机是 16 位计算机,软件也只是二维绘图系统及三维线框系统,因此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。

进入 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,超大

规模集成电路的出现,使计算机硬件成本大幅度下降。32 位字长的工作站及微机的性能已达到或超过了过去的小型机甚至中型机,且价格低廉。计算机外围设备(例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)不但性能提高,而且品种繁多,且已形成了系列化产品。加之计算机网络技术得到广泛应用,为将 CAD/CAM 技术推向更高水平和新阶段提供了必要的条件。此外,由于企业界已广泛认识到 CAD/CAM 技术对企业的生产和发展具有巨大的促进作用,所以在 CAD/CAM 软件方面对销售商提出了更高的要求。要求将数据库、有限元分析优化及网络技术应用用于 CAD/CAM 系统,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规划(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“制造孤岛”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。

到了 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,就更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。比较典型的系统有: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 PRIME 公司的 PRIME MEDUSA 系统、美国 CDC 公司开发的 ICEM 系统及美国 PTC 公司推出的 Pro/Engineering 系统、美国 UNIGRAPHICS 公司研制的 UG II 系统。上述系统大都运行在 IBM、DEC VAX、Apollo、SUN、SGI 等大中型机及工作站上。随着微机硬件性能的提高,出现一批微机 CAD/CAM 系统。典型的系统有:Autodesk 公司的 AutoCAD 系统、美国 CV 公司的 CADDs 系统、以色列研制的 Cimrean90 系统、Solidwork 系统、MasterCAM 系统等。

我国早在 20 世纪 70 年代就已开展 CAD/CAM 技术研究。在 20 世纪 80 年代,我国进行了大规模的 CAD/CAM 技术研究和开发。国家对 CAD/CAM 技术十分重视,国家科委曾组织主要工业部门研究在全国开展 CAD 应用工程的必要性和可行性。1991 年 3 月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,并向国务院提出了《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,并同意由国家科委牵头,由有关 11 个部委组成了全国 CAD 应用工程协调指导小组,制定了《CAD 应用工程发展规划纲要》,制定与评审了 CAD 通用技术规范。在“九五”期间,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。

1.2 CAD/CAM 技术的历史地位

目前 CAD 技术已广泛应用于航空、航天、汽车、船舶、机械、电子、轻工、建筑等各个领域,成为有关工业部门在竞争中不可缺少的手段。1989 年,CAD/CAM 技术被美国国家工程科学院评为当代最杰出的十大工程技术成就之一。1991 年 3 月,海湾战争结束后美国政府发表了跨世纪的国家关键技术发展战略,列举了 6 大技术领域中的 22 项关键项目。而 CAD/CAM 技术与其中的两大技术领域及 11 个项目紧密相关,这就是制造与信息、通信。先进制造技术为工业界生产一系列创新的、成本上有竞争能力和高质量的产品投入市场打下基础。先进制造技术包括计算机集成制造、智能加工设备、微米级和毫米级制造、系统管理技术等。

CAD/CAM 技术为什么这样重要?江泽民主席指出:“计算机辅助设计,推动了几乎一切领域的设计革命。”CAD 技术的发展和水平已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。CAD/CAM 技术从根本上改变了过去的手工绘图、发图、凭图纸组织整个生产过程的技术管理方式,将它变为在图形工作站上交互设计、用数据文件发送产品定义、在统一的数字化产品的模型下进行产品的设计打样、分析计算、工艺装备设计、数控加工、质量控制、编印产品维护手册、组织备件订货供应等等。

对一个企业来说,要建立一个面向产品的 CAD/CAM 系统,首先应建立起一种新的生产管理体制。有了这样的新体制,就可以方便地:

①运用并行工程的理念,组织并行作业。产品的各个部件设计组、系统组、专业分析组、试验组、生产准备

组都可以及时从计算机上看到产品的总体布局,可及早在各专业小组之间进行协调。

②在产品的设计阶段,用三维几何模型模拟零件、部件、设备的装配和安装,及早发现结构布局 and 系统安装存在的空间干涉等问题。

③组织迅速有效的图纸发放和更改。1983 年德国 MBB 飞机公司与英国、意大利合作生产“狂风”(Tornado)战斗机时,在型号管理数据库中存储了 7500 项用户提出的各种设计更改要求,18000 个工厂内部的更改单,8000 个三国协作的各种更改通知,95000 个图纸更改单,16000 个生产更改单。日本从波音飞机公司转包生产 777 客机,在名古屋建立数据中心,与波音的西雅图总部联网,将 777 的图纸和生产要求转送富士、川崎、三菱三家公司。

④进行产品的性能仿真。核武器的物理设计要对比上千种模型。一次核反应在微秒级的时间内完成,温度达到几千万度,压力超过几千万大气压,只有依靠计算机进行数值模拟,才能从上千种设计方案中优选出一种进行物理试验。导弹设计的发射仿真同样可以大大减少实地打靶数量。用于飞机吹风实验的虚拟风洞可以节约大量的实验费用。

⑤可提前进行产品的外观造型设计。这对轻工业产品尤其重要,及早让用户从计算机上评审产品的色彩、装潢和包装。

据报导,在发达国家中,在集成电路、飞机和汽车制造等大型企业已 100%应用 CAD 技术。采用 CAD 技术后,VLSI 的设计效率平均提高 18 倍,机械产品的设计效率平均提高 5 倍,建筑设计提高 3 倍,编辑出版提高 4.4 倍,因此其作用和效益是非常明显的。

到 2000 年为止,我国已在国民经济主要部门大面积地普及 CAD 技术,初步摆脱了手工计算和甩掉了图板,提高了设计工作效率和质量,扩大了 CAD/CAM 的应用领域。我国在北京、上海、深圳、西安、沈阳等地建立 CAD/CAM 软件开发基地,推出了若干套具有自主知识产权的、有一定市场规模的 CAD/CAM 支撑软件和一批商品化软件,初步形成了我国的 CAD/CAM 产业。

1.3 CAD/CAM 技术及软件产业的特点

CAD/CAM 技术及软件属于高技术产业,它的特点是高投入、高效益、高风险。我国 863 高技术计划中提出了一个十分形象的口号“顶天立地”。“顶天”是要跟踪国际技术发展的前沿,在国内外形成自己独特的优势,从学术思想到产品性能都能得到国际公认;“立地”是要立足国内,结合国情,面向国民经济建设的实际需要,在国内推广应用,发挥效益。CAD/CAM 软件应以满足国内需求为主,同时也要积极吸取国外先进经验,使其在国际市场上也占有一席之地,并将当前的需求和长远的战略发展结合起来。首先要“立地”,然后才能“顶天”。

归纳起来,CAD/CAM 技术具有以下几个特点:

(1)CAD/CAM 技术是一项综合性的、技术复杂的、涉及面很广的系统工程

CAD/CAM 技术依赖计算机硬件、外部设备的配置及开发环境和开发工具,如操作系统、窗口管理、图形显示、用户界面、网络技术、数据通讯、程序设计语言和测试工具等。CAD/CAM 技术还涉及系统框架设计、数据模式定义、数据交换标准、内存管理、工程数据库设计、系统的可移植性和可扩充性、运行的可靠性、稳定性和容错性等。它的算法设计包括三维复杂物体的描述方法、求值技术、有限模型的自动生成、前后置处理、参数化设计、特征技术、产品定义方法、隐藏线隐藏面消除、色彩处理及动态仿真等很多方面。CAD/CAM 技术涉及到许多科学领域,包括计算机科学与工程、计算几何、机械设计、机械加工工艺、人机工程、控制理论、电子技术及其它众多科学技术,体现了 CAD/CAM 技术综合性和学科的相互渗透性。CAD/CAM 技术的开发过程一般需要经过立项论证、需求分析、概要设计、详细设计、程序编制、综合调试、安装验收、用户培训、维护支持等阶段,从而体现了 CAD/CAM 技术的复杂性。

(2)CAD 技术发展很快,竞争激烈

当前计算机技术的发展可以说是日新月异。因此,与计算机技术密切相关的 CAD/CAM 技术也发展非常快,软件系统更新换代迅速。20 世纪 60 年代末,美国在小型机上开发的 CAD/CAM 软件,是采用软件和硬件相结合的供应方法,称为并交钥匙(Turnkey)系统,其主要功能是二维设计和绘图。20 世纪 70 年代又出