

21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材



21st CENTURY

实用规划教材

CAD/CAM 数控 编程与实训(CAXA版)

主 编 刘玉春 孙晓林



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

中国林业出版社
China Forestry Publishing House

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA 版)

主 编	刘玉春	孙晓林		
副主编	翟爱霞	彭新荣	闫 杰	
参 编	文晓娟	王晓磊	王广云	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

中国林业出版社
China Forestry Publishing House

内 容 简 介

本书以国产的CAXA-CAM系列软件为自动编程工具,重点讲解如何应用CAM工具来解决各类零件的造型及数控加工,有针对性地列举了常规与综合加工实例。本书共9章,内容包括数控加工自动编程技术概述、CAXA制造工程师软件的基本操作、线架造型、几何变换、曲面造型、曲面编辑、实体造型、数控铣加工与编程和综合运用加工实例。本书的附录1为5套CAM实训测试题,并为读者提供了练习实训图例,附录2列举了FANUC数控系统的准备功能G代码和辅助功能M代码。

本书可作为高职高专院校数控技术应用、机械制造与控制、模具设计与制造、机械加工技术及相关专业CAD/CAM教学用书,也可以作为机械制造企业和相关单位的技术人员学习CAD/CAM技术软件及相关培训的配套教材及参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA版)/刘玉春,孙晓林主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社, 2007.9

(21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 978-7-5038-4865-0

I. C… II. ①刘…②孙… III. 数控机床—计算机辅助设计—应用软件, CAXA—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第131817号

书 名: CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA版)

著作责任者: 刘玉春 孙晓林 主编

策 划 编 辑: 徐 凡

责 任 编 辑: 徐 凡 肖基沛

标 准 书 号: ISBN 978-7-5038-4865-0

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同7号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电 话: 编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路205号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京中科印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 426千字

2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷

定 价: 27.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 傅水根

副主任 (按拼音顺序排名)

陈铁牛	李 辉	刘 涛	祁翠琴
-----	-----	-----	-----

钱东东	盛 键	王世震	吴宗保
-----	-----	-----	-----

张吉国	郑晓峰		
-----	-----	--	--

委 员 (按拼音顺序排名)

蔡兴旺	曹建东	柴增田	程 艳
-----	-----	-----	-----

丁学恭	傅维亚	高 原	何 伟
-----	-----	-----	-----

胡 勇	李国兴	李源生	梁南丁
-----	-----	-----	-----

刘靖岩	刘瑞己	刘 铁	卢菊洪
-----	-----	-----	-----

马立克	南秀蓉	欧阳全会	钱泉森
-----	-----	------	-----

邱士安	宋德明	王世辉	王用伦
-----	-----	-----	-----

王欲进	吴百中	吴水萍	武昭辉
-----	-----	-----	-----

肖 珑	徐 萍	喻宗泉	袁 广
-----	-----	-----	-----

张 勤	张西振	张 莹	周 征
-----	-----	-----	-----

丛书总序

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始, 伴随我国高等教育的快速发展, 高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内, 我国高等职业技术教育的规模, 无论是在校生数量还是院校的数量, 都已接近高等教育总规模的半壁江山。因此, 高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式提供高素质技能型人才的重任。随着我国经济建设步伐的加快, 特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变, 现代制造业急需高素质高技能的专业人才。

为了使高职高专机电类专业毕业生满足市场需求, 具备企业所需的知识能力和专业素质, 高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要, 努力建立培养企业生产第一线所需的高等职业技术应用型人才的教学体系和教材资源环境, 不断更新教学内容, 改进教学方法, 积极探讨机电类专业创新人才的培养模式, 大力推进精品专业、精品课程和教材建设。因此, 组织编写符合高等职业教育特色的机电类专业规划教材是高等职业技术教育发展的需要。

教材建设是高等学校建设的一项基本内容, 高质量的教材是培养合格人才的基本保证。大力发展高等职业教育, 培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高素质技能型人才, 要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设, 编写和出版具有高等职业教育自身特色的教材。近年来, 高职教材建设取得了一定成绩, 出版的教材种类有所增加, 但与高职发展需求相比, 还存在较大的差距。其中部分教材还没有真正过渡到以培养技术应用能力为主的体系中来, 高职特色反映也不够, 极少数教材内容过于肤浅, 这些都对高职人才培养十分不利。因此, 做好高职教材改革与建设工作刻不容缓。

北京大学出版社抓住这一时机, 组织全国长期从事高职高专教学工作并具有丰富实践经验的骨干教师, 编写了高职高专机电系列实用规划教材, 对传统的课程体系进行了有效的整合, 注意了课程体系结构的调整, 反映系列教材各门课程之间的渗透与衔接, 内容合理分配; 努力拓宽知识面, 在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索, 加强理论联系实际, 突出技能培养和理论知识的应用能力培养, 精简了理论内容, 既满足大类专业对理论、技能及其基础素质的要求, 同时提供选择和创新的空間, 以满足学有余力的学生进修或探究学习的需求; 对专业技术内容进行了及时的更新, 反映了技术的最新发展, 同时结合行业的特色, 缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离, 具有鲜明的高等职业技术人才培养特色。

最后, 我们感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动, 也感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因, 本系列教材还存在一些不足和错漏。我们相信, 在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下, 不断改进和完善这套教材, 使之成为我国高等职业技术教育的教学改革、课程体系建设和教材建设中的优秀教材。

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

2007 年 7 月

前 言

数控加工技术是典型的机电一体化技术,而 CAD/CAM 技术的推广和应用,为数控加工技术增添了新的思维模式和解决方案,国内各类加工制造企业的 CAD/CAM 技术应用水平正在迅速提高,只有培养大批掌握了 CAM 的技术人才,才能使 CAM 技术真正发挥作用,这一切对学校的人才培养提出了更高的要求。目前我国已成为全世界最大的数控机床消费市场之一,需要大量掌握现代技术的技工、技师,职业技能培训工作变得尤其重要。因此,开发既能适合企业对高技能人才的需求,又能结合当前各类院校实际教学条件的配套教材成为当务之急。

本书的编写就是以当前的需求为导向,以实际生产应用的零件为主要素材来源,全面介绍实用和先进的数控加工技术,并结合了我们多年来在机械 CAD/CAM 教学、科研和工程培训实践的经验而编写的教材。

数控加工自动编程是一门实践性很强的课程,因此,本书在编写过程中,刻意突出以下几个特点:

1. 创新性

培养学生的创新精神和实践能力是素质教育的重点,数控加工自动编程课程正是以培养学生三维造型设计能力、空间想象能力和创新思维能力为教学目的,充分体现新时代素质教育的基本要求。与同类教材相比,本教材在编写中有意识、带有启发性地增加了反映制造技术的新发展及其综合应用方面的内容,使内容先进,形式新颖;更加注重学生操作技能与思维能力的培养,增加实训力度与增强创新意识相结合,力求符合职教特色;同时,本书的编写从高职高专院校学生的具体特点及未来就业角度等方面来考虑,以培养和提高学生数控编程能力为目标,具有很强的针对性、实践性。

2. 操作性强

为满足技能型应用人才的培养需要,本书坚持以能力培养为主线的原则,适当降低理论难度,突出实际技能和可操作性。本书提供了大量的操作实例及 500 多个操作图,不仅贴近计算机的操作界面,而且步骤清晰明了,便于学生上机实践,力求使学习者在较短的时间内不仅能够熟练掌握较强的三维造型方法和数控自动编程技巧,而且能够真正领悟到 CAXA 制造工程师软件应用的精华。本书每一章后面都配有练习题和总结,供学生在学完本章后复习巩固和自我检测。

3. 实践性强

本书总结了编者多年从事“机械 CAD/CAM 软件应用”和“计算机辅助设计”教学的经验和体会,精简教学内容,使新教材从系统性、完整性向实效性转变的同时,充分体现新的课程理念,从以学科为中心和知识为本位向以学生发展为中心、能力为本位转变;从以教为中心向以学为中心转变。边学边做是学习本课程的方法,学生在“教、学、做”中不仅能够尽快掌握数控自动编程的核心技能技术,而且可以使用 CAXA 制造工程师软件完成自动编程、加工仿真操作。

本教材从 CAXA 系列 CAD/CAM 软件(CAXA 制造工程师 2006)的教学入手,让学生以全新的设计概念,利用三维设计功能完成机械零件的设计,并生成数控刀轨和 NC 代码,通

过现场网络, 进行数控加工。

《CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA 版)》教材共 9 章, 内容包括数控自动编程技术概述、CAXA 制造工程师软件的基本操作、线架造型、几何变换、曲面造型、曲面编辑、实体造型、数控铣加工与编程和综合运用加工实例。

本书编写人员及分工是: 参加编写的有郑州铁路职业技术学院文晓娟(第 1 章), 陕西航空职业技术学院王晓磊(第 2 章), 平顶山工业职业技术学院彭新荣(第 3 章、附录 1), 平顶山工业职业技术学院王广云(第 5 章、附录 2、第 7 章 7.13 节), 辽宁经济职业技术学院闫杰(第 4 章、第 6 章), 甘肃畜牧工程职业技术学院刘玉春(第 7 章 7.1~7.12 节), 甘肃畜牧工程职业技术学院翟爱霞(第 8 章), 辽宁信息职业技术学院孙晓林(第 9 章)。由刘玉春负责全书的统校工作。

本书的编写出版, 得到了甘肃畜牧工程职业技术学院院系领导的大力支持和帮助, 也得到了兄弟院校领导及广大同行的关心和支持, 在此谨向他们表示衷心的感谢。

《CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA 版)》教材各章推荐教学时数安排如下:

章节	课程内容	学 时 数		
		合计	讲授	实验
第 1 章	数控加工自动编程技术概述	2	2	
第 2 章	CAXA 制造工程师软件基本操作	4	2	2
第 3 章	线架造型	10	4	6
第 4 章	几何变换	4	2	2
第 5 章	曲面造型	6	2	4
第 6 章	曲面编辑	4	2	2
第 7 章	实体造型	18	8	10
第 8 章	数控铣加工与编程	22	10	12
第 9 章	综合运用加工实例	8	2	6
机 动		2		
总 计		80	34	44
CAM 实训		1 周		

由于编者水平有限, 加之 CAD/CAM 技术发展迅速, 书中难免存在不足之处, 敬请使用本书的读者指正。

编 者
2007 年 7 月

目 录

第 1 章 数控加工自动编程技术概述.....	1
1.1 CAD/CAM 基础知识.....	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 历史与未来	1
1.1.3 CAD/CAM 系统的基本组成	4
1.1.4 CAD/CAM 系统的主要任务	5
1.2 CAD/CAM 系统数据模型.....	7
1.2.1 几何建模	7
1.2.2 特征建模	8
1.2.3 参数化设计	8
1.3 数控加工编程简介	9
1.3.1 数控加工基础.....	9
1.3.2 数控加工编程的内容与步骤 ...	10
1.3.3 数控编程技术的发展概况 及程序编制的方法.....	11
1.4 数控加工自动编程	12
1.4.1 CAD/CAM 一般作业流程	12
1.4.2 数控加工 CAM 软件功能 要求	13
1.4.3 常用的数控加工 CAM 软件介绍	13
1.5 综合测试与指导	15
第 2 章 CAXA 制造工程师软件的 基本操作	17
2.1 概述	17
2.2 CAXA 制造工程师 2006 界面	17
2.3 常用键	18
2.3.1 鼠标键	18
2.3.2 回车键和数值键.....	18
2.3.3 空格键	18
2.3.4 功能热键	19
2.4 工具点	20
2.5 坐标系	21

2.5.1 工作坐标系.....	21
2.5.2 创建坐标系.....	21
2.5.3 激活坐标系.....	21
2.5.4 坐标表达方式.....	21
2.6 视图平面和作图平面.....	22
2.7 当前面	23
2.8 图素的可见性.....	24
2.9 查询	24
2.10 系统设置.....	24
2.10.1 当前颜色.....	24
2.10.2 层设置.....	25
2.10.3 系统设置.....	26
2.10.4 材质设置.....	26
2.11 显示	26
2.11.1 显示窗口.....	26
2.11.2 显示效果.....	27
2.12 快速入门.....	27
2.12.1 回转体零件的实体造型	27
2.12.2 笔盒薄壁零件的造型	28
2.12.3 笔盒薄壁零件的加工	30
2.13 综合测试与指导.....	33
第 3 章 线架造型.....	36
3.1 直线	36
3.2 圆弧	38
3.3 整圆	40
3.4 矩形	41
3.5 椭圆	41
3.6 点	42
3.7 样条线	43
3.8 公式曲线	44
3.9 正多边形	45
3.10 二次曲线.....	46
3.11 等距线	46

3.12 曲线投影	47	6.2 曲面过渡	103
3.13 相关线	48	6.3 曲面拼接	104
3.14 文字	49	6.4 曲面缝合	105
3.15 删除	50	6.5 曲面延伸	106
3.16 曲线编辑	50	6.6 曲面造型实例	107
3.16.1 曲线裁剪	50	6.7 综合测试与指导	110
3.16.2 曲线过渡	51	第 7 章 实体造型	114
3.16.3 曲线打断	52	7.1 草图	114
3.16.4 曲线组合	52	7.1.1 草图知识	114
3.16.5 曲线拉伸	53	7.1.2 编辑草图与修改特征	116
3.17 平面图形绘图实例	53	7.1.3 三维图形元素向草图的 投影	116
3.18 综合测试与指导	57	7.1.4 三维图形元素移到草图	117
第 4 章 几何变换	61	7.1.5 草图的尺寸标注与尺寸 驱动	117
4.1 平移	61	7.1.6 草图环封闭检查	117
4.2 平面旋转	63	7.2 构造基准面	117
4.3 旋转	63	7.2.1 等距	118
4.4 平面镜像	64	7.2.2 过直线与平面成夹角	118
4.5 镜像	65	7.2.3 过曲面上一点的切平面	119
4.6 阵列	66	7.2.4 过点且垂直于曲线	120
4.7 缩放	68	7.2.5 过点且平行平面	121
4.8 简单线架造型绘图实例	68	7.2.6 过点和直线	121
4.9 综合测试与指导	70	7.2.7 过三点	122
第 5 章 曲面造型	74	7.3 拉伸增料与除料	123
5.1 直纹面	74	7.3.1 拉伸增料	123
5.2 旋转面	77	7.3.2 拉伸除料	124
5.3 扫描面	78	7.4 旋转增料与除料	124
5.4 导动面	79	7.4.1 旋转增料	124
5.5 等距面	83	7.4.2 旋转除料	124
5.6 平面	83	7.5 放样增料与除料	125
5.7 边界面	85	7.5.1 放样增料	126
5.8 放样面	85	7.5.2 放样除料	127
5.9 网格面	86	7.6 导动增料与除料	128
5.10 实体表面	87	7.6.1 导动增料	128
5.11 曲面造型实例	87	7.6.2 导动除料	130
5.12 综合测试与指导	96	7.7 曲面加厚增料与除料	130
第 6 章 曲面编辑	101	7.7.1 曲面加厚增料	130
6.1 曲面裁剪	101		

7.7.2 曲面加厚除料.....	131	8.5.4 扫描线粗加工.....	175
7.8 曲面裁剪实体.....	131	8.5.5 摆线式粗加工.....	176
7.9 实体编辑.....	132	8.5.6 插铣式粗加工.....	177
7.9.1 过渡.....	132	8.5.7 导动线粗加工.....	178
7.9.2 倒角.....	133	8.6 精加工.....	179
7.9.3 筋板.....	133	8.6.1 平面轮廓精加工.....	179
7.9.4 抽壳.....	135	8.6.2 参数线精加工.....	181
7.9.5 拔模.....	135	8.6.3 等高线精加工.....	183
7.9.6 打孔.....	136	8.6.4 扫描线精加工.....	184
7.9.7 阵列.....	136	8.6.5 浅平面精加工.....	185
7.10 模具生成.....	139	8.6.6 限制线精加工.....	186
7.10.1 缩放.....	139	8.6.7 轮廓线精加工.....	189
7.10.2 型腔.....	139	8.6.8 导动线精加工.....	190
7.10.3 分模.....	140	8.6.9 轮廓导动精加工.....	191
7.11 实体布尔运算.....	140	8.6.10 三维偏置精加工.....	192
7.12 实体造型操作实例.....	142	8.6.11 深腔侧壁精加工.....	194
7.13 综合测试与指导.....	149	8.7 补加工.....	195
第8章 数控铣加工与编程.....	156	8.7.1 等高线补加工.....	195
8.1 数控加工概述.....	156	8.7.2 笔式清根加工.....	196
8.1.1 什么是数控加工.....	156	8.7.3 区域式补加工.....	198
8.1.2 数控机床的基本生产过程.....	157	8.8 槽加工.....	199
8.1.3 CAXA 制造工程师可实现 的铣加工.....	157	8.8.1 曲线式槽铣加工.....	199
8.2 数控加工编程基础知识.....	158	8.8.2 扫描式槽铣加工.....	200
8.2.1 数控机床的坐标系统.....	158	8.9 工艺孔加工和孔加工.....	201
8.2.2 数控加工编程的一般步骤.....	159	8.9.1 工艺孔设置与加工.....	201
8.2.3 数控程序编制的方法.....	160	8.9.2 孔加工.....	203
8.3 数控加工工艺简介.....	160	8.10 轨迹编辑.....	205
8.3.1 切削用量的选择原则.....	160	8.10.1 刀位裁剪.....	205
8.3.2 数控加工工艺过程.....	160	8.10.2 刀位反向.....	206
8.3.3 刀具.....	164	8.10.3 插入刀位.....	206
8.4 特征树基本操作.....	167	8.10.4 删除刀位.....	207
8.4.1 零件特征的特征树操作.....	167	8.10.5 两点间抬刀.....	207
8.4.2 加工管理的特征树操作.....	167	8.10.6 清除抬刀.....	207
8.5 粗加工.....	170	8.10.7 轨迹打断.....	208
8.5.1 平面区域粗加工.....	170	8.10.8 轨迹连接.....	208
8.5.2 区域式粗加工.....	172	8.10.9 参数修改.....	209
8.5.3 等高线粗加工.....	174	8.11 轨迹仿真与轨迹真过程.....	209
		8.11.1 轨迹仿真.....	209
		8.11.2 轨迹仿真过程.....	210

8.12 后置处理	211	9.3.1 连杆的造型	251
8.12.1 机床信息	212	9.3.2 加工前的准备工作	255
8.12.2 后置设置	215	9.3.3 连杆常规加工	255
8.12.3 G 代码的生成	217	9.3.4 加工仿真	257
8.12.4 工艺清单	218	9.3.5 后置处理	257
8.13 数控铣加工综合实例	219	9.3.6 生成 G 代码	257
8.14 综合测试与指导	224	9.4 鼠标型腔凹模的造型与加工	258
第 9 章 综合运用加工实例	235	9.4.1 鼠标型腔凹模的造型	258
9.1 鼠标的造型与加工	235	9.4.2 鼠标型腔凹模的加工	261
9.1.1 鼠标的造型	235	9.4.3 轨迹仿真	263
9.1.2 加工前的准备工作	239	9.4.4 生成 G 代码	264
9.1.3 鼠标常规加工	239	9.4.5 生成工艺清单	264
9.2 五角星的造型与加工	243	9.5 综合测试与指导	264
9.2.1 五角星的造型	243	附录 1 CAD/CAM 实训测试题	270
9.2.2 加工前的准备工作	246	附录 2 FANUC 数控系统的准备	
9.2.3 五角星常规加工	247	功能 G 代码	281
9.2.4 五角星知识加工	249	参考文献	283
9.3 连杆的造型与加工	251		

第 1 章 数控加工自动编程技术概述

教学提示:

- CAD/CAM 将产品的设计与制造作为一个整体进行规划和开发,实现了信息处理的高度一体化,具有高智力、知识密集、综合性强和效益高等特点。
- CAD/CAM 系统需要对产品设计、制造全过程的信息进行处理,包括设计、制造过程中的数值计算、设计分析、绘图、工程数据库、工艺设计及加工仿真等各个方面。
- 数控编程一般可分为手工编程和自动编程。在产品的设计和制造中,有关几何形状的描述、结构分析、工艺过程设计和数控加工等方面的技术都与几何形状有关,几何形状的定义和描述即建立系统的数据模型是其中的核心部分,它为设计、分析计算和制造提供了统一的数据和有关信息。

教学要求: 通过学习,了解 CAD/CAM 技术发展的历史与未来、CAD/CAM 的软件和硬件及系统结构组成、常用 CAD/CAM 软件的功能和特点,了解 CAD/CAM 一般的作业流程,从而对先进制造技术的框架内容有一个比较完整、清晰的了解,为后续学习奠定基础。

1.1 CAD/CAM 基础知识

1.1.1 基本概念

CAD/CAM 就是计算机辅助设计与计算机辅助制造(Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing),是一项利用计算机作为主要技术手段,通过生成和运用各种数字信息与图形信息,帮助人们完成产品设计与制造的技术。CAD 主要指使用计算机和信息技术来辅助完成产品的全部设计过程(指从接受产品的功能定义到设计完成产品的材料信息、结构形状和技术要求等,并最终以图形信息的形式表达出来的过程)。CAM 一般有广义和狭义两种理解,广义的 CAM 包括利用计算机进行生产的规划、管理和控制产品制造的全过程;狭义的 CAM 仅包括计算机辅助编制数控加工的程序。本书所说的 CAM 一般是指狭义的 CAM。

CAD/CAM 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 技术应用的实际效果是:提高了产品设计的质量,缩短了产品设计制造周期,由此产生了显著的社会经济效益。目前,CAD/CAM 技术广泛应用于机械、汽车、航空航天、电子、建筑工程、轻工、纺织、家电等领域。

1.1.2 历史与未来

CAD/CAM 技术从产生到现在已经发展了 50 多年,无论是硬件技术、软件技术还是应

用领域都发生了巨大变化。CAD/CAM 技术的发展大致经历了如下 3 个阶段。

1. 单元技术的发展和应用阶段

在这个阶段,分别针对某些特殊的应用领域,开展了计算机辅助设计、分析、工艺、制造等单一功能系统的开发及应用。这些系统的通用性差,系统之间数据结构不统一,系统之间难以进行数据交换,因此应用受到了极大的限制。

关于 NC 技术的发明,首先应提到美籍瑞士人 Parson,他为了制造直升机螺旋桨叶片的样板,研制了一种坐标镗床,这种机床能按一系列坐标值确定刀具的位置,刀具中心位置分别由一系列坐标点确定,机床在一次次定位中加工出波纹形轮廓,再经人工修锉,最后制成轮廓形状精确的样板。Parson 不是 NC 机床的发明人,他自己也并没有认识到这种方法就是 NC 加工的思想。直到 1952 年,美国麻省理工学院才研制出第一台 NC 机床。

NC 加工发展初期,控制程序都是由手工编制的,效率很低。1955 年,美国麻省理工学院的 D.T.Ross 发明了 APT(Automatically Programmed Tools)NC 语言系统,应用这种语言,通过对刀具轨迹的描述,就可以自动实现计算机辅助编制 NC 加工程序。在发展这一程序系统的同时,人们提出了一种设想:能否不描述刀具轨迹,而是直接描述被加工工件的轮廓形状和尺寸,由此产生了人机协同设计产品零件的设想,开始了计算机图形学(Computer Graphics)的研究,

1963 年,年仅 24 岁的麻省理工学院研究生 I.E.Sutherland 在美国春季联合计算机会议(SJCC)上宣读了他的题为“人机对话式图形通信系统”的博士论文。他开发了人机对话式的二维图形系统 SKETCHPAD,第一次证实了人机对话式工作的可能性。这一研究成果具有划时代的意义,为发展 CAD/CAM 技术做出了巨大贡献。

CAD 技术的发展,引起了工业界的重视。也是在 1963 年,第一个正式的 CAD 系统 DAC(Design Augmented by Computers)在美国通用汽车公司问世,IBM 公司也发展了 2250 系统图形显示终端。这些产品在今天看来尽管还是粗糙和不完善的,但在当时却大大推动了人们对 CAD 的关注和兴趣。首先做出响应的是美国的汽车工业,随后日本、意大利等国的汽车公司也开始了实际应用,并逐渐扩展到其他部门。

计算机辅助设计(CAD)是在 20 世纪 60 年代初期发展起来的。当时的 CAD 技术特点主要是交互式二维绘图和三维线框模型。利用解析几何的方法定义有关图素(如点、线、圆等),来绘制或显示直线、圆弧组成的图形。这种初期的线框模型系统只能表达图形的基本信息,不能有效地表达几何数据间的拓扑关系和表面信息。因此,无法实现计算机辅助工程分析(CAE)和计算机辅助制造(CAM)。

计算机辅助制造工艺(Computer Aided Process Planning, CAPP),是对计算机给定一些规则,以便产生出工艺规程。工艺规程是根据一个产品的设计信息和企业的生产能力,确定产品生产加工的具体过程和加工指令,以便于制造产品。一个理想的工艺文件应保证工厂以最低的成本、最有效地制造出已设计好的产品。它是在 20 世纪 50 年代中期发展起来的。

计算机辅助工程分析(Computer Aided Engineering, CAE),是从 20 世纪 80 年代发展起来的。CAE 的确切定义尚无统一的论述,但目前多数 CAE 是 CAD/CAM 向纵深发展的必然结果。它是有关产品设计、制造、工程分析、仿真、实验等信息处理,以及包括相应数

据库和数据库管理系统在内的计算机辅助设计和生产的综合系统。CAE 技术的功能主要是指产品几何形状的模型化和工程分析与仿真,如图 1.1 所示。

作为 CAE 技术的核心内容——工程优化设计是在 20 世纪 50 年代末期发展起来的,在 70 年代已得到普及和广泛的应用。

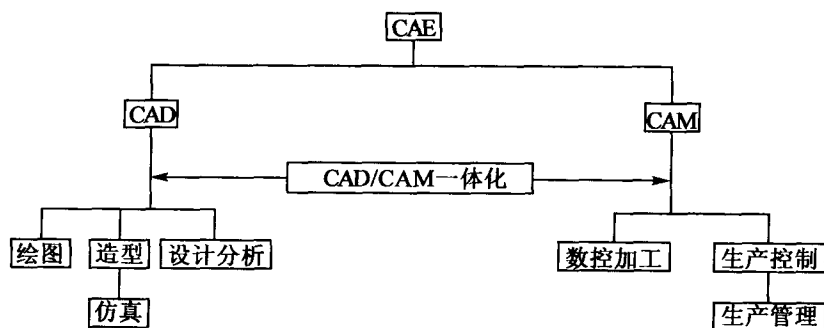


图 1.1 CAD/CAM 系统结构模式示意图

2. CAD/CAM 集成阶段

随着一些专业系统的应用及普及,出现了通用的 CAD、CAM 系统,而且系统的功能迅速增强。另外,CAD 系统从二维绘图和三维线框模型迅速发展为曲面造型、实体造型、参数化技术和变量化技术,CAD、CAE、CAPP、CAM 系统实现集成化或数据交换标准化,CAD/CAM 的应用进入了普及和应用阶段。

3. CIMS 技术推广应用阶段

计算机除了在设计、制造等领域得到深入应用外,几乎在企业生产、管理、经营的各个领域都获得了广泛的应用。由于企业的产品开发、制造活动与企业的其他经营活动是密切相关的,因此,要求 CAD/CAM 等计算机辅助系统与计算机管理信息系统进行信息交流,在正确的时刻,把正确的信息,送到正确的地方。这是更高层次上企业内的信息集成,也就是所谓的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。

从 20 世纪 50 年代以来,随着计算机的迅速发展,计算机应用的许多新技术被应用到制造业,以解决制造业所面临的一系列难题,这些新技术主要有:数控(NC)、分布式数控(DNC)、计算机数控(CNC)、原材料需求计划(MRP)、制造资源计划(MRP-II)、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助工艺过程(CAPP)和机械制造中的成组技术(GT)及机器人等。但这些新技术的实施并没有带来人们曾经预测的巨大效益,原因是它们离散地分布在制造业的各个子系统中,只能局部达到自动控制和最优化,不能使整个生产过程长期在最优化状态下运行。为了解决这个问题,人们逐步发展了计算机集成制造(CIM)这一技术思想。

从 20 世纪 80 年代中期以来,以 CIMS 为标志的综合生产自动化成为制造业的热点。

在我国,CAD/CAM 技术的发展经历了由引进到开发的过程,很多大中型企业、工程设计部门、大专院校、科研部门等纷纷通过引进或自行开发,建立起适合自己行业特点和工作需要的 CAD/CAM 系统,取得了良好的社会效益。CAD/CAM 技术的应用也由一般到高级、由少数用户到全面普及。

CAD/CAM 技术的发展方向多样, 如集成化、智能化、柔性化、网络化等。而 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)则是基于计算机技术和信息技术, 将设计、制造和生产管理、经营决策等方面有机地结合成一个整体, 形成物流和信息流的综合, 对产品设计、零件加工、整机装配和检测检验的全过程实施计算机辅助控制, 从而达到进一步提高效率、提高柔性、提高质量和降低成本的目的。

为赶超世界先进水平, 为成功地引进、研制和正确使用 CAD/CAM 系统, 需要对 CAD/CAM 的现状和发展有一个正确的认识。CAD/CAM 技术是一门方兴未艾的学科, 现有的系统不一定是最好的系统, 在这一学科内很多问题还有待于深入研究和探索。

1.1.3 CAD/CAM 系统的基本组成

CAD/CAM 系统由硬件系统、软件系统和人才系统组成。

硬件主要指计算机主机及其外部设备、网络通信设备和生产加工设备。硬件设备是 CAD/CAM 系统运行的基础。软件一般是指由系统软件、支撑软件和应用软件组成的程序、数据及有关文档。软件是 CAD/CAM 系统的核心。近年来, 由于计算机技术的不断进步, 大大缩短了软件升级和硬件更新周期。二者之中, 尤以软件升级更为活跃, 只有及时进行升级完善, 才能不断满足生产加工的需要。软件的发展, 需要更快的计算机硬件系统, 而硬件的更新为开发更好的 CAD/CAM 软件提供了必备的物质条件。

配置最佳的软、硬件系统, 离不开高素质的操作和维护人员, 人才是 CAD/CAM 系统运行的关键。从使用角度来看, 各类 CAD/CAM 系统都通过人机对话完成各种交互任务, 而大部分交互工作是在人与计算机之间进行的, 这就要求操作人员与计算机密切合作, 各自发挥自身特长。操作人员在设计策略、逻辑控制、信息组织、经验和创造性方面占有主导地位。计算机在信息存储与检索、分析与计算、图形与文字处理等方面有着特有的优势。只有把硬件、软件和操作人员的工作有机结合起来, 并加以正确地维护, 才能有效地发挥 CAD/CAM 系统的作用。CAD/CAM 系统的组成如图 1.2 所示。

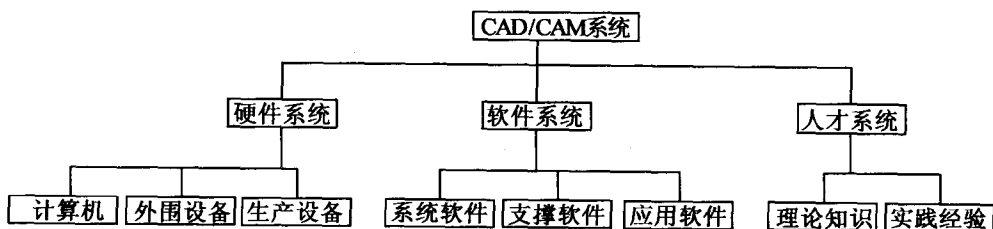


图 1.2 CAD/CAM 系统的组成

CAD/CAM 系统是一个有机的统一体, 但 CAD 和 CAM 又各有其侧重面。接下来我们先来简单地认识一下 CAD 系统软件的功能。

由于 CAD/CAM 系统所处理的对象不同, 硬件的配置、选型不同, 所选择的支撑软件不同, 因此, 系统的功能也会有所不同。系统总体与外界进行信息传递与交换的基本功能是靠硬件提供的, 而系统所能解决的问题是由软件来保证的。

1. 图形显示功能

CAD/CAM 系统是一个人机交互的过程, 从产品的造型、构思、方案的确定, 结构分

析到加工过程仿真,系统随时保证用户能观察、修改中间结果,实时编辑处理。用户每一次操作,都能从显示器上及时得到反馈,直到取得最佳的设计、制造结果。图形显示功能不仅能够对二维平面进行显示控制,还包含三维实体处理。

2. 存储功能

在 CAD/CAM 系统运行中,数据量很大,往往有很多算法生成大量的中间数据,尤其是对图形的操作以及交互式的设计、结构分析中的网格划分等。为了保证正常运行, CAD/CAM 系统必须配置容量较大的存储设备,支持数据在各模块运行时的正确流通。另外,工程数据库系统的运行必须有存储空间的保障。

3. 输出、输入功能

在 CAD/CAM 系统运行中,用户需要不断将有关设计要求、各个步骤的具体数据等输入计算机,通过计算机处理后,输出处理结果。输入、输出信息可以是数值的,也可以是非数值的,如图形数据、文本、字符等。

4. 交互功能

在 CAD/CAM 系统中,人机接口是用户与系统连接的桥梁,友好的用户界面是保证用户直接而有效完成复杂设计任务的必要条件。除软件中的界面设计外,还必须有交互设备实现人与计算机之间的通信。

1.1.4 CAD/CAM 系统的主要任务

CAD/CAM 系统需要对产品设计、制造全过程的信息进行处理,包括设计、制造过程中的数值计算、设计分析、绘图、工程数据库、工艺设计及加工仿真等各个方面。

1. 工程绘图

采用计算机进行平面图形的绘制,以取代传统的手工绘图, CAD/CAM 系统中某些中间结果也是通过图样来表达的。 CAD/CAM 系统一方面应具备从几何造型的三维图形直接向二维图形转换的功能,另一方面还需具有处理二维图形的能力,保证生成合乎生产要求、也符合国家标准机械图样。

2. 几何造型

通过二维图形表达三维的产品是一种间接的设计方法,理论上应该直接设计具有三维形状的产品。但是,依靠人工去绘制三维产品,并对三维产品直接进行分析是非常困难的。因此,计算机辅助设计的基本任务就是利用计算机构造三维产品的几何模型,记录产品的三维模型数据,并在计算机屏幕上显示出真实的三维图形结果。利用几何建模功能,用户不仅能构造各种产品的几何模型,还可以随时观察、修改模型或检验零部件装配的结果。产品几何建模包括:零件建模,即在计算机中构造每个零件的三维几何结构模型;装配建模,即在计算机中构造部件的三维几何结构模型。常用的建模方法有:线框模型,即用零件边框线来表示零件的三维结构;曲面模型,即用零件的表面来表示零件的三维结构;实体造型,即全面记录零件边框、表面及由曲面所组成的体的信息,并记录材料属性及其他加工属性。

3. 计算分析

CAD/CAM 系统构造了产品的形状模型之后,能够根据产品几何形状,计算出相应的体积、表面积、质量、重心位置及转动惯量等几何特性和物理特性,为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。另一方面,CAD/CAM 系统中的结构分析需进行的应力、温度、位移等计算,图形处理中变换矩阵的运算,体素之间的交、并、差计算,以及工艺规程设计中的工艺参数计算都要求 CAD/CAM 系统对各类计算分析算法正确、全面,而且适应数据计算量大、有较高的计算精度等要求。

4. 结构分析

CAD/CAM 系统结构分析常用的方法为有限元法,这是一种数值近似求解方法,用来解决结构形状比较复杂的零件的静态(动态)特性、强度、振动、热变形、磁场、温度场、应力分布状态等计算分析。在进行静态、动态特性分析之前,系统根据产品结构特点,划分网格、标出单元号、节点号,并将划分的结果显示在屏幕上。进行分析计算之后,将计算结果以图形、文件的形式输出,如应力分布图、位移变形图等,使用户方便、直观地看到分析结果。

5. 优化设计

CAD/CAM 系统应具有优化求解的功能,也就是在某些条件的限制下,使产品或工程设计中的预定指标达到最优。优化包括总体方案的优化、产品零件结构的优化、工艺参数的优化等。优化设计是现代设计方法学中的一个重要组成部分。

6. 装配及干涉碰撞分析

零部件在设计时,利用计算机分析和评价产品的装配性,避免真实装配中的种种问题。对运动机构,也要分析运动机构内部零部件之间及机构周围环境之间是否有干涉碰撞现象,要及时发现并纠正各种可能存在的干涉碰撞问题。

7. 可制造性分析

在零部件设计时,用计算机分析和评价产品的可制造性能,以避免一切不合理的设计。这些不合理的设计将导致后续制造困难或制造成本增加。

8. 计算机辅助工艺规程设计(CAPP)

产品设计的目的是为了加工制造出该产品,而工艺设计是为产品的加工制造提供指导的文件。因此,CAPP 是 CAD 与 CAM 的中间环节。CAPP 系统应当根据建模后生成的产品信息及制造要求,自动设计、编制出加工该产品所采用的加工方法、加工步骤、加工设备及参数。CAPP 的设计结果一方面能被生产实际所用,生成工艺卡片文件,另一方面能直接输出一些信息,为 CAM 中的 NC 自动编程系统接收、识别,直接转换为刀位文件。

9. NC 自动编程

在分析零件图后,制订出零件的数控加工方案,并用专门的数控加工语言(如 APT 语言)将其输入计算机。其基本步骤通常包括: