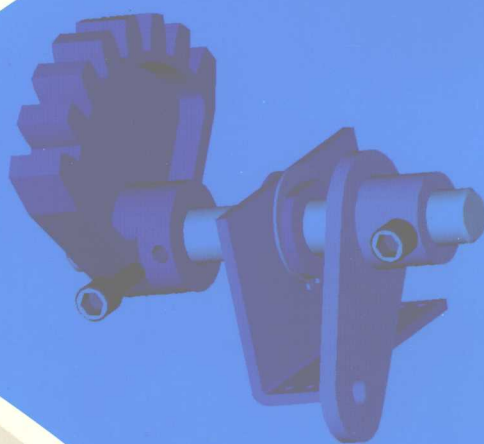



普通高等教育机电类规划教材

# 基于 Pro/E 的 CAD/CAM 技术

陈 英 李 伟 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育机电类规划教材

# 基于 Pro/E 的 CAD/CAM 技术

主 编 陈 英 李 伟  
副主编 蔡卫国 刘景云  
参 编 钟建琳 张俊雄 张晓东  
主 审 王先逵



机械工业出版社

本书系统地介绍了 CAD/CAM 的基础知识、关键技术, 以及基于 Pro/E 的 CAD/CAM 应用技术。全书分为理论篇和实践篇。理论篇介绍了现代 CAD/CAM 理论的主要技术要点和技术特征, 包括 CAD/CAM 系统分析与处理技术、CAD/CAM 建模技术、数控编程技术和 CAD/CAM 集成技术。实践篇基于 Pro/E 软件介绍了 CAD/CAM 技术功能的具体实现, 包括 Pro/E 参数化二维草绘、零件设计、装配设计、工程图自动生成、数控加工等。

本书将 CAD/CAM 理论与实践紧密结合, 力求构建 CAD/CAM 的知识和技能体系, 达到“了解理论、掌握技能、促进应用”的目的。理论篇内容丰富、结构清晰; 实践篇图文并茂、通俗易懂; 全书要点提示明确, 便于课堂讲授、上机训练和课外自学。

本书可作为高等院校机械类本科生、研究生的教材, 也可作为工程技术人员学习 CAD/CAM 技术及 Pro/E 软件的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

基于 Pro/E 的 CAD/CAM 技术/陈英, 李伟主编. —北京: 机械工业出版社, 2008.11

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 978-7-111-25634-2

I. 基… II. ①陈…②李… 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. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 185205 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: 倪少秋 责任编辑: 倪少秋 游焱兵

版式设计: 霍永明 责任校对: 李 婷

封面设计: 姚 毅 责任印制: 洪汉军

北京振兴源印务有限公司印刷厂印刷

2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 22.5 印张 · 551 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-25634-2

978-7-89482-921-4 (光盘)

定价: 38.00 元 (含 1CD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

CAD/CAM 作为电子信息技术的重要组成部分,其应用已遍及各个工程领域,是产品制造业的一场革命,是提高产品设计质量、缩短开发周期、降低生产成本的强有力手段。进入 21 世纪, CAD/CAM 技术的应用水平已成为衡量企业综合实力的重要标志,了解 CAD/CAM 技术、掌握 CAD/CAM 技术已成为企业对现代工程技术人员的基本要求。

Pro/E 是美国 PTC 公司于 1989 年推出的三维 CAD/CAM 系统,历经多年的发展与推广,已成为当今世界上最流行的高端 CAD/CAM 软件,其全新的设计理念已成为 CAD 领域的新标准。Pro/E 模块众多,功能强大,广泛应用于机械、电子、航空航天、汽车、模具、工业产品造型、家用电器、玩具等设计生产领域。熟练使用 Pro/E 已成为工科院校毕业生赢取职场竞争的有力保证。

近年来我国高校普遍在工科类本科生、研究生教学中开设了 CAD/CAM 相关课程,也出版了一些相关的教材及图书。这些书籍基本分为两类:一类是从不同侧面介绍 CAD/CAM 理论及其相关技术;另一类是介绍某一主流 CAD/CAM 软件的使用方法。本书则力求能够系统地将 CAD/CAM 理论与实践相结合,使学生在深入学习 CAD/CAM 理论的基础上掌握 CAD/CAM 的实战技能。在编写过程中,强调以下特色:

1. 理论与实践紧密结合,构建完整的知识和技能体系。本书分为上下两篇。上篇为“理论篇”,介绍现代 CAD/CAM 理论的主要技术要点和技术特征,包括 CAD/CAM 系统分析与处理技术、CAD/CAM 建模技术、数控编程技术、CAD/CAM 集成技术等,使学生从底层知识上了解 CAD/CAM 的技术精髓,建立起 Pro/E 软件学习的知识背景。下篇为“实践篇”,基于 Pro/E 软件介绍 CAD/CAM 技术功能的具体实现,包括 Pro/E 参数化二维草绘、零件设计、装配设计、工程图自动生成、数控加工等内容。全书力求做到“理论知识、软件操作技能、工程应用”的相互渗透、相互深化和相互提高,从而达到“了解理论、掌握技能、促进应用”的目的。

2. 突出工程概念。在理论知识部分突出 CAD/CAM 的工程内涵和工程功能;在 Pro/E 软件应用部分,贯穿大量工程实例,在介绍软件功能和使用步骤的基础上,突出基于 Pro/E 的机械产品设计、加工的具体实现,使学生掌握计算机辅助的现代工程设计、制造方法。

3. 好用易学,适于课堂讲授与学生自学并重的教学方式。理论篇以课堂讲

授为主，给学生建立起系统的理论知识；实践篇以学生自学为主，课堂只需讲授关键操作与基本技巧。因此，在实践篇内容编排上将一系列精心安排、由浅入深的工程实例贯穿于软件的系统讲解中，并用大量的图示语言说明操作步骤，用精辟的操作提示说明软件使用要点和技巧，便于学生通过自学掌握软件应用的技能。

随书所附光盘中包含实践篇全部相关实例的源文件、设计结果文件和练习题文件。

本书由中国农业大学陈英、李伟任主编，大连水产学院蔡卫国、中国农业大学刘景云任副主编。各章分工如下：第1章由李伟、陈英、蔡卫国编写，第2、3章由蔡卫国编写，第4章由北京信息科技大学钟建琳编写，第5章由刘景云编写，第6~9章由陈英编写，第10章由广东工业大学张晓东编写，第11章由中国农业大学张俊雄编写。全书由陈英统稿。

本书承蒙清华大学王先逵教授主审，在审阅过程中，王先逵教授提出了很多宝贵的建议和意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中错误和疏漏之处在所难免，敬请专家、读者批评指正。

编者

## 光盘使用说明

随书所附光盘中包含实践篇全部相关实例，其中 **example** 目录下是各章实例的原始文件，**finish** 目录下是相应已完成的实例文件。所有文件按章进行分类，例如“**example\ch8\ex16.prt**”文件是书中第 8 章一个操作实例的原始文件，读者可以打开该文件，跟随书中的讲解进行训练；而“**finish\ch8\ex16-ok.prt**”是实例完成后的文件，如果读者在训练中遇到问题，可以打开该文件作为训练参考。

请直接将光盘内所有的文件夹和文件复制到硬盘的特定目录，如“**E:\基于 Pro/E 的 CAD/CAM**”下，去掉文件的只读属性，即可由 Pro/E 打开，跟随书中讲解进行学习。书中所述打开文件“**ch8\ex16.prt**”，是指打开文件“**E:\基于 Pro/E 的 CAD/CAM\example\ch8\ex16.prt**”。

光盘根目录下的“**config.pro**”和“**chinese.dtl**”两个文件是 Pro/E 环境变量和工程图环境变量的设置文件，初学者不必急于了解这两个文件的内容，可以待学习到相关章节（10.2 节）后，依照书中的讲解来处理这两个文件，这样将更有助于读者理解 Pro/E 环境变量设置的重要性和掌握设置环境变量的方法。

另外，部分章节后练习题的相关 Pro/E 源文件在光盘的 **exercise** 目录下。

# 目 录

前言  
光盘使用说明

## 上篇 理论篇

第 1 章 绪论 .....	2	2.3.2 二维图形的几何变换 .....	27
1.1 CAD/CAM 技术概述 .....	2	2.3.3 三维图形的几何变换 .....	32
1.1.1 CAD/CAM 的基本概念 .....	2	2.4 复习思考题 .....	35
1.1.2 CAD/CAM 系统与产品设计制造 过程 .....	2	参考文献 .....	35
1.1.3 CAD/CAM 系统的基本功能 .....	4	第 3 章 CAD/CAM 建模技术 .....	37
1.1.4 CAD/CAM 系统的主要任务 .....	4	3.1 建模技术 .....	37
1.2 CAD/CAM 系统结构 .....	5	3.1.1 建模的概念 .....	37
1.2.1 CAD/CAM 系统的硬件 .....	6	3.1.2 几何建模与特征建模 .....	37
1.2.2 CAD/CAM 系统的软件 .....	7	3.1.3 形体的定义和性质 .....	39
1.2.3 现代 CAD/CAM 主流支撑软件 简介 .....	9	3.2 线框建模 .....	40
1.3 CAD/CAM 集成特征 .....	10	3.2.1 二维建模 .....	41
1.4 CAD/CAM 系统的技术发展 .....	11	3.2.2 三维线框模型 .....	42
1.5 Pro/E 软件系统 .....	12	3.3 曲面建模 .....	43
1.5.1 Pro/E 系统的功能 .....	12	3.3.1 曲线曲面的参数表达 .....	44
1.5.2 Pro/E 的特点 .....	13	3.3.2 Bézier 曲线曲面 .....	46
1.6 复习思考题 .....	15	3.3.3 B 样条曲线曲面 .....	50
参考文献 .....	15	3.3.4 NURBS 曲线曲面 .....	54
第 2 章 CAD/CAM 系统分析与处理 技术 .....	16	3.4 实体建模 .....	55
2.1 CAD/CAM 系统常用数据结构 .....	16	3.4.1 实体建模的基本原理 .....	55
2.1.1 数据结构的概念 .....	16	3.4.2 体素及其布尔运算 .....	56
2.1.2 线性表 .....	17	3.5 特征建模技术 .....	59
2.1.3 树形结构 .....	19	3.5.1 特征的定义 .....	59
2.1.4 图结构 .....	20	3.5.2 特征建模的分类 .....	60
2.1.5 查找和排序 .....	21	3.5.3 特征建模的表示及其数据结构 .....	60
2.2 工程手册数据的计算机处理技术 .....	22	3.5.4 特征建模方法 .....	62
2.2.1 数表程序化 .....	22	3.5.5 特征建模实例 .....	63
2.2.2 线图程序化 .....	25	3.6 行为建模技术 .....	65
2.2.3 数据文件的组织 .....	25	3.6.1 行为建模技术的提出 .....	65
2.3 计算机图形处理技术 .....	26	3.6.2 行为建模特征技术 .....	65
2.3.1 窗口与视区 .....	26	3.7 装配建模技术 .....	66
		3.7.1 装配模型的表示 .....	66
		3.7.2 装配约束技术 .....	67
		3.7.3 装配建模方法 .....	68



3.8 复习思考题 .....	70	5.1 概述 .....	94
参考文献 .....	70	5.1.1 CAD/CAM 系统集成的必要性 .....	94
<b>第4章 计算机辅助制造 (CAM)</b>		5.1.2 CAD/CAM 系统集成的含义与信息集成方式 .....	94
<b>技术</b> .....	71	5.1.3 CAD/CAM 系统集成的关键技术 .....	97
4.1 概述 .....	71	5.2 产品定义数据模型 .....	98
4.1.1 计算机辅助制造的基本概念 .....	71	5.2.1 零件信息模型 .....	98
4.1.2 计算机辅助制造的基本功能 .....	71	5.2.2 产品信息模型 .....	100
4.1.3 计算机辅助制造的软件和硬件 .....	71	5.3 产品数据交换标准 .....	103
4.1.4 计算机辅助制造技术的发展 .....	73	5.3.1 产品数据交换标准的发展 .....	103
4.2 计算机辅助数控加工的实现 .....	77	5.3.2 初始化图形交换标准 IGES .....	104
4.2.1 数控编程基础 .....	77	5.3.3 产品模型数据交换标准 STEP .....	105
4.2.2 计算机辅助数控编程的一般原理 .....	84	5.4 PDM 技术集成方案 .....	108
4.2.3 计算机辅助数控加工 .....	85	5.4.1 基于 PDM 构筑 CAD/CAM 集成平台 .....	108
4.3 计算机辅助制造过程仿真 .....	88	5.4.2 基于 PDM 平台的 CAD/CAM 系统集成模式 .....	109
4.3.1 仿真的目的与意义 .....	88	5.4.3 基于 PDM 平台的 CAD/CAM 集成系统实现方法 .....	110
4.3.2 刀位轨迹仿真法 .....	89	5.5 复习思考题 .....	111
4.3.3 三维动态切削仿真法 .....	91	参考文献 .....	111
4.3.4 虚拟加工仿真法 .....	91		
4.4 复习思考题 .....	92		
参考文献 .....	92		
<b>第5章 CAD/CAM 集成技术</b> .....	94		
<b>下篇 实 践 篇</b>			
<b>第6章 Pro/E 界面简介与基本操作</b> .....	114	7.2.7 添加及修改尺寸 .....	143
6.1 Pro/E Wildfire 2.0 安装 .....	114	7.3 二维草绘举例 .....	147
6.2 Pro/E 操作界面简介 .....	118	7.3.1 范例1 .....	147
6.2.1 Pro/E 界面概览 .....	118	7.3.2 范例2 .....	148
6.2.2 文件操作 .....	120	7.3.3 范例3 .....	149
6.3 三维模型显示控制 .....	123	7.3.4 二维草绘技巧 .....	152
6.4 Pro/E 基本操作 .....	126	7.4 练习题 .....	153
6.5 练习题 .....	127	<b>第8章 Pro/E 零件设计</b> .....	154
<b>第7章 Pro/E 参数化二维草绘</b> .....	128	8.1 Pro/E 零件设计的基本步骤 .....	154
7.1 Pro/E 特征简介 .....	128	8.2 创建草绘特征 .....	156
7.2 二维草绘的基本操作 .....	129	8.2.1 拉伸特征 .....	156
7.2.1 进入草绘界面的步骤 .....	129	8.2.2 旋转特征 .....	164
7.2.2 二维草绘界面 .....	131	8.2.3 扫描特征 .....	166
7.2.3 绘制二维图形的基本步骤 .....	133	8.2.4 混合特征 .....	168
7.2.4 几何图元绘制 .....	133	8.2.5 螺旋特征 .....	174
7.2.5 几何图元编辑 .....	138	8.3 点放特征 .....	176
7.2.6 约束设置 .....	142	8.3.1 圆角特征 .....	176
		8.3.2 倒角特征 .....	178



8.3.3	抽壳特征	178	9.4	装配设计范例	262
8.3.4	孔特征	180	9.4.1	子装配设计	263
8.3.5	筋特征	186	9.4.2	总装配设计	264
8.3.6	拔模特征	193	9.4.3	装配分析与干涉检查	264
8.4	基准特征	197	9.4.4	在装配中修改零件	267
8.4.1	创建基准平面	197	9.4.5	在装配中创建零件	269
8.4.2	创建基准点	199	9.5	练习题	272
8.4.3	创建基准轴	199	<b>第 10 章 Pro/E 工程图</b>	<b>275</b>	
8.4.4	创建基准曲线	200	10.1	工程图的基本操作	275
8.4.5	基准特征范例一	200	10.1.1	使用系统模板自动生成工 程图	275
8.4.6	基准特征范例二	203	10.1.2	不使用系统模板生成工程图	276
8.5	特征编辑	206	10.2	Pro/E 环境变量设置	279
8.5.1	特征修改	206	10.2.1	有关投影分角	279
8.5.2	特征阵列	208	10.2.2	Pro/E 环境变量	279
8.5.3	特征复制	213	10.2.3	工程图环境变量	281
8.5.4	特征镜像	214	10.3	工程图详细操作	284
8.5.5	模型缩放	215	10.3.1	视图类型	284
8.5.6	特征排序	215	10.3.2	工程图制作范例一	286
8.5.7	特征的隐舍与恢复	218	10.3.3	工程图制作范例二	289
8.5.8	改变特征参照	218	10.3.4	工程图制作范例三	291
8.6	曲面特征	221	10.4	工程图的尺寸标注	296
8.6.1	曲面特征命令简介	222	10.4.1	添加尺寸的基本操作	296
8.6.2	层的使用	224	10.4.2	尺寸标注范例	299
8.6.3	曲面特征范例一	225	10.5	装配工程图	304
8.6.4	曲面特征范例二	228	10.6	练习题	308
8.7	零件库的制作	235	<b>第 11 章 Pro/E 数控加工</b>	<b>309</b>	
8.7.1	创建样本零件	235	11.1	Pro/NC 的相关概念与基本操作	309
8.7.2	参数名称设定	237	11.1.1	相关概念	309
8.7.3	建立族表	238	11.1.2	Pro/NC 基本操作步骤	310
8.7.4	零件库的使用	240	11.1.3	Pro/NC 界面及命令简介	311
8.8	练习题	241	11.2	铣削加工方法	312
<b>第 9 章 Pro/E 装配设计</b>	<b>246</b>		11.2.1	创建制造模型	313
9.1	概述	246	11.2.2	定义操作及加工环境设置	315
9.1.1	装配设计的基本方法	246	11.2.3	创建 NC 工序	318
9.1.2	装配设计的基本步骤	246	11.2.4	端面(表面)加工	319
9.2	装配约束类型	247	11.2.5	轮廓铣削	324
9.3	装配设计基本操作	251	11.2.6	体积块铣削	325
9.3.1	零件装配	251	11.2.7	曲面铣削	327
9.3.2	零件阵列	254	11.2.8	输出 NC 程序	330
9.3.3	零件复制	255	11.3	连杆模具型腔加工范例	333
9.3.4	装配分解图	257	11.3.1	创建制造模型	333
9.3.5	装配剖面图	257	11.3.2	定义操作和加工环境	335
9.3.6	装配设计中层的使用	261			

---

11.3.3 体积块铣削型腔.....	335	11.4.3 加工四个 $\phi 10$ 的孔 .....	340
11.3.4 局部铣削-清根加工 .....	337	11.4.4 加工五个 $\phi 20$ 的孔 .....	343
11.3.5 输出 NC 程序 .....	338	11.4.5 输出 NC 程序 .....	345
11.4 孔加工范例.....	339	11.5 练习题.....	345
11.4.1 创建制造模型.....	339	<b>参考文献</b> .....	347
11.4.2 定义操作和加工环境.....	339		

# 上篇 理论篇

在 CAD/CAM 系统中，产品设计与制造是紧密相连的。产品设计的输出是制造过程的输入，而制造过程的反馈信息又反过来影响产品的设计。这种双向的信息交流，使得产品设计与制造成为一个不可分割的整体。

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 CAD/CAM 技术概述

### 1.1.1 CAD/CAM 的基本概念

CAD/CAM 是将机械制造技术与计算机技术、自动控制技术等结合起来的综合性应用技术。CAD/CAM 技术的发展和运用,为企业产品设计开发和加工制造提供了先进的手段和工具,促进了企业的技术进步和管理水平,对国民经济的快速发展及科学技术的进步产生了深远的影响。

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 简称 CAD),指工程技术人员以计算机为辅助工具来完成产品设计过程中的各项工作,对产品进行包括方案构思、总体设计、工程分析、图形编辑和技术文档整理等一切设计活动的总称。一般认为,CAD 系统具有几何建模、工程分析、模拟仿真、工程绘图等主要功能。就目前 CAD 技术可实现的功能而言,CAD 作业过程是在设计人员进行产品概念设计的基础上从事产品的几何造型,完成产品几何模型的建立,通过提取模型中的相关数据进行工程分析和计算(如有限元分析、仿真模拟等),最后根据计算结果对设计进行修改,满意后编辑全部设计文档,输出工程图的一个完整的过程。

计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, 简称 CAM),它有广义和狭义两种定义。广义 CAM 是指借助计算机来完成从生产准备到产品制造出来的过程中的各项活动,包括工艺过程设计 (CAPP)、工装设计、计算机辅助数控加工编程、制造过程控制、质量检测与分析等。狭义 CAM 通常是指 NC 程序编制,包括刀具路径规划、刀位文件生成、刀具轨迹仿真及 NC 代码生成等。

CAD/CAM 集成技术,指的是 CAD、CAPP、CAM 各应用模块之间进行信息的自动传递和转换。集成化的 CAD/CAM 系统借助于工程数据库技术、网络通信技术以及标准格式的产品数据接口技术,把分散于不同计算机上的各个 CAD/CAM 模块高效、快捷地集成起来,实现软、硬件资源共享,保证整个系统内的信息流畅通无阻。随着网络技术、信息技术的不断发展和市场全球化进程的加快,出现了以信息集成为基础的更大范围的集成技术,包括信息集成、过程集成、资源集成、工作机制集成、技术集成、人机集成以及智能集成等,譬如将企业内经营管理信息、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 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)。而 CAD/CAM 集成技术则是计算机集成制造系统、并行工程、敏捷制造等新型集成系统中的一项核心技术。

### 1.1.2 CAD/CAM 系统与产品设计制造过程

产品的设计制造过程主要包括产品设计、工艺设计、生产管理及产品制造四个阶段。在实际生产过程中,各个阶段不是相互孤立的,如在设计产品时,就要考虑产品的可制造性、

工艺结构的合理性等。

在产品的设计阶段, 首先根据需求确定产品的性能要求, 建立总体设计方案, 然后经过论证分析, 包括结构方案优化、评估, 几何参数、力学特性的分析计算等, 最后将结构方案具体化, 得到满意的设计结果。在工艺设计阶段, 需对产品的几何形状和制造要求作进一步分析, 设计产品的加工工艺规程、工艺装备(如刀具、卡具等)和毛坯等。在生产管理阶段, 安排产品的生产作业计划, 确定产品的加工进度, 并对生产过程中的物料(如毛坯、成品、工辅具等)进行合理的计划、调度和控制, 以保证生产的正常进行。在产品制造阶段, 主要使用数控机床或普通机床按产品的设计进行零件的加工, 对关键的工序、重要的尺寸和精度进行质量控制。

CAD/CAM 系统是设计、制造过程中的信息处理系统, 它克服了传统手工设计的缺陷, 充分利用计算机高速、准确、高效的计算功能, 图形、文字处理功能, 以及对大量数据的存储、传递、加工功能, 在运行过程中, 结合人的经验、知识及创造性, 形成一个人机交互、紧密配合的系统。它主要研究对象的描述、系统的分析、方案的优化、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, 输入的是系统的设计要求, 输出的是制造加工信息。一个较为完整的 CAD/CAM 系统的工作过程如图 1-1 所示。

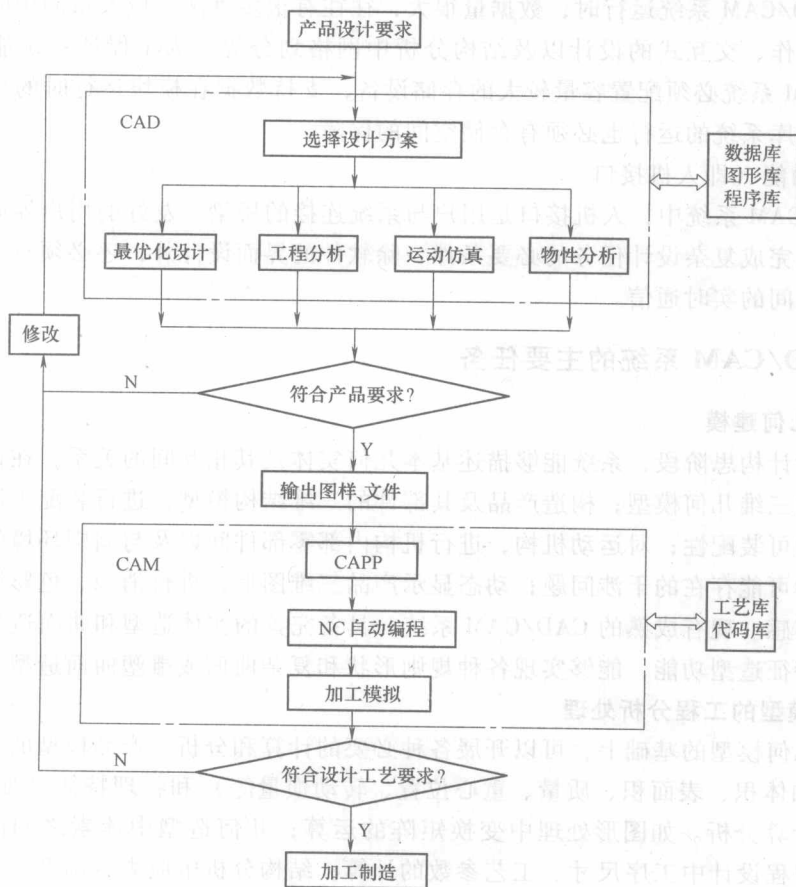


图 1-1 CAD/CAM 系统的工作过程

### 1.1.3 CAD/CAM 系统的基本功能

根据 CAD/CAM 系统所处理的对象、硬件的配置及所选择的支撑软件不同,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,而系统所能解决的具体问题是由软件保证的,系统应具有以下基本功能。

#### 1. 图形显示功能

CAD/CAM 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的仿真,系统随时保证用户能够观察、修改中间结果,实时编辑处理。用户的每一次操作,都能从显示器上及时得到反馈,直到取得最佳的设计结果。图形显示功能不仅能够对二维平面图形进行显示控制,还应当包含三维实体的处理。

#### 2. 输入/输出功能

在 CAD/CAM 系统运行中,用户需不断地将有关设计的要求、各步骤的具体数据等输入计算机内,通过计算机的处理,能够输出系统处理的结果,且输入输出的信息既可以是数值的,也可以是非数值的(如图形数据、文本、字符等)。

#### 3. 存储功能

由于 CAD/CAM 系统运行时,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、交互式的设计以及结构分析中网格划分等。为了保证系统能够正常的运行,CAD/CAM 系统必须配置容量较大的存储设备,支持数据在模块运行时的正确流通。另外,工程数据库系统的运行也必须有存储空间的保障。

#### 4. 交互功能(即人机接口)

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地完成复杂设计任务的必要条件,除软件的界面设计外,还必须有交互设备实现人与计算机之间的实时通信。

### 1.1.4 CAD/CAM 系统的主要任务

#### 1. 产品几何建模

在产品构思阶段,系统能够描述基本几何实体及其相互间的关系,在计算机中构造每一个零件的三维几何模型;构造产品及其部件的三维结构模型,进行装配干涉分析,分析和评价产品的可装配性;对运动机构,进行机构内部零部件间以及与周围环境的干涉碰撞分析,避免各种可能存在的干涉问题;动态显示产品三维图形,进行消隐、色彩浓淡处理,提高图形的真实感。现有成熟的 CAD/CAM 系统,具备完善的实体造型和曲面造型功能,同时具备参数化特征造型功能,能够实现各种规则形状和复杂曲面或雕塑曲面造型。

#### 2. 产品模型的工程分析处理

在产品几何模型的基础上,可以开展各种必要的计算和分析。产品模型的工程分析包括几何特征(如体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等)和物理特征(如应力、温度、位移等)的计算分析。如图形处理中变换矩阵的运算;几何造型中体素之间的交、并、差运算;工艺规程设计中工序尺寸、工艺参数的计算;结构分析中应力、温度、位移等物理量的计算等,为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。因此,CAD/CAM 系统对各类计算分析的算法要正确、全面,而且要有较高的计算精度。



(1) 运动学、动力学分析 对运动机构的位移、速度、加速度以及受力状况进行分析,并形象直观地进行运动仿真,可全面了解机构的设计性能和运动情况,发现问题可及时对设计对象进行修改。

(2) 有限元分析 根据产品结构特征,自动生成有限元网格,对产品进行应力、应变、振动、热变形、温度场分析。分析计算完成之后,自动生成应力分布图、温度场分布图、位移变形曲线等图形文件,使用户方便、直观地看到分析结果。

(3) 优化设计 为了追求产品的高性能,不仅希望设计的产品是可行的,还希望设计的产品是最优的,如体积最小、重量最轻、寿命最合理等。优化设计包括产品总体方案优化、产品零件结构优化、工艺参数优化等。

### 3. 工程绘图

这是 CAD 系统的重要环节,是产品最终结果的表达方式。CAD/CAM 系统有处理二维图形的能力,包括基本图元的生成,标注尺寸,图形编辑(如比例变换、平移、复制、删除等)。除此之外,系统还具备从几何造型的三维图形直接向二维图形转换的功能。

### 4. 计算机辅助工艺规程设计(CAPP)

设计的目的是为了加工制造,而工艺设计是为产品的加工制造提供指导性的文件。因此,CAPP 是 CAD 与 CAM 的中间环节。CAPP 系统应根据建模后生成的产品信息及制造要求,人机交互或自动决策出加工该产品所采用的加工方法、加工步骤、加工设备及加工参数。CAPP 的设计结果一方面能被生产实际应用,生成工艺卡片文件;另一方面能直接输出信息,为 CAM 中的 NC 自动编程系统所接收、识别,并能直接转换为刀位文件。

### 5. NC 自动编程

根据 CAD 所建几何模型,以及 CAPP 所制定的加工规程,选择所需要的刀具和工艺参数,确定走刀方式,自动生成刀具轨迹,经后置处理,生成具体机床的 NC 控制代码。当前,CAD/CAM 系统具备了 3 至 5 轴的联动加工的数控编程能力。

### 6. 模拟仿真

根据设计要求,在 CAD/CAM 系统内部建立一个工程设计的实际系统模型,如机构、机械手、机器人。通过对系统模型的试验运行,研究一个存在的或设计中的系统,预测产品的性能,模拟产品的制造过程和可制造性,减少制造投资等。通常包括有加工轨迹仿真,机构运动学仿真,机器人仿真,工件、机床、刀具、夹具的碰撞、干涉检验等。

### 7. 工程数据管理和信息传输与交换

由于 CAD/CAM 系统中数据量大、种类繁多,又不是孤立的系统,因此,CAD/CAM 系统应能提供有效的管理手段,支持工程设计与制造全过程的信息传输与交换。随着并行工作方式的推广应用,存在着几个设计者或工作小组之间的信息交换问题,因此,CAD/CAM 系统应具备良好的信息传输管理功能和信息交换功能。

## 1.2 CAD/CAM 系统结构

一般认为 CAD/CAM 系统是由硬件、软件和设计者组成的人机一体化系统,如图 1-2 所示。硬件是 CAD/CAM 系统运行的基础,主要包括计算机主机、计算机外围设备以及网络通信设备以及生产设备等有形的设备。软件是 CAD/CAM 系统的核心,包括操作系统、各种支

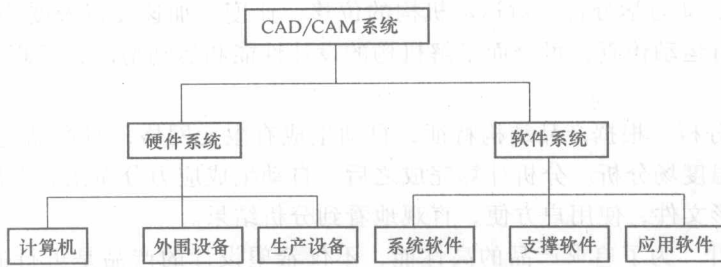


图 1-2 CAD/CAM 系统组成

撑软件和应用软件等。CAD/CAM 软件在系统中占据越来越重要的地位，软件配置的档次和水平决定了 CAD/CAM 系统性能的优劣，软件的成本已远远超过了硬件设备。软件的发展呼唤更新更快的计算机系统，而计算机硬件的更新为开发更好的 CAD/CAM 软件系统创造了物质条件。

### 1.2.1 CAD/CAM 系统的硬件

CAD/CAM 系统的硬件主要由计算机主机、输入设备、输出设备、存储器、生产设备以及计算机网络通信设备等几部分组成，如图 1-3 所示。

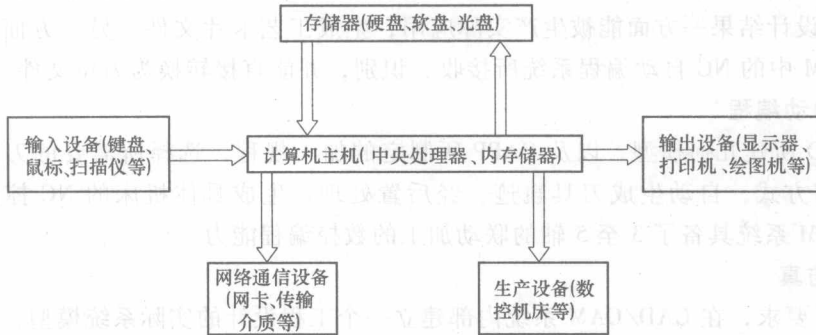


图 1-3 CAD/CAM 系统的硬件组成

为保证 CAD/CAM 系统的工作，其硬件系统应满足如下的要求：

(1) 强大的图形功能 在机械 CAD/CAM 系统中，图形信息的处理所占比例较大，一般都配有高档的图形软件。为满足图形处理和显示的需要，系统要求具有大的内存容量、高的图形分辨率。

(2) 较大的外存储容量 CAD/CAM 工作通常需要各种不同的支撑软件、用户开发的图形库和数据库、大量的应用软件、各类产品的图样和技术文档等，这就需要有足够大的硬盘存储容量。

(3) 方便的人机交互功能 CAD/CAM 系统一般采用人机交互工作方式，要求硬件系统能够提供方便的人机交互工具和快速的交互响应速度。

(4) 良好的通信联网功能 CAD/CAM 集成系统是一个综合化系统，涉及到产品的各种设计和制造活动，需要用计算机网络将位于不同地点、不同部门的各类异构计算机和控制装置连接起来，进行信息交换和协同工作，形成一个网络化的 CAD/CAM 系统。

## 1.2.2 CAD/CAM 系统的软件

计算机是按程序和数据进行工作的,相对于计算机及其外围设备而言,这些程序、数据及相关的文档就是软件。软件研究的是如何有效地使用和管理硬件,如何实现人们所希望的各种功能要求。因此,软件水平的高低直接影响到 CAD/CAM 系统的功能、工作效率及使用的方便程度。在 CAD/CAM 系统中,根据执行任务和处理对象的不同,可将软件分为系统软件、支撑软件及应用软件三个层次。

### 1. 系统软件

系统软件主要用于计算机的管理、维护、控制及运行,以及对计算机程序的翻译和执行,是用户与计算机硬件的连接纽带。系统软件具有两个特点:一个是通用性,不同领域的用户都可以使用,即多机通用和多用户通用;另一个是基础性,即系统软件是支撑软件和应用软件的基础,应用软件借助于系统软件编制和实现。

系统软件的组成主要包括三个部分:管理和操作程序、维护程序和用户服务程序,如图 1-4 所示。

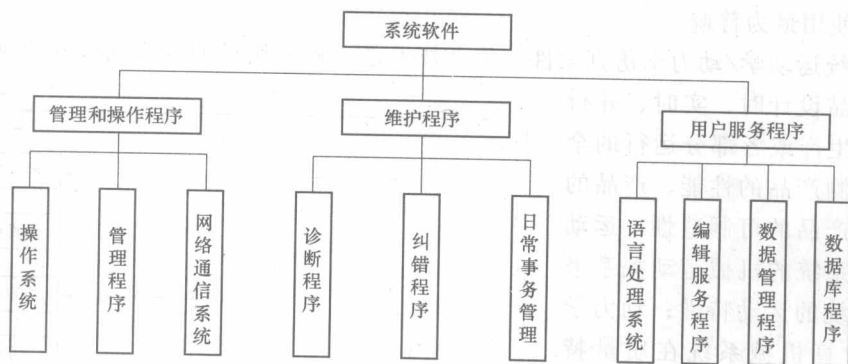


图 1-4 CAD/CAM 系统软件组成

操作系统是系统软件的核心,是对计算机系统硬件及软件资源进行全面控制和管理的程序集合。操作系统是最底层软件,其他软件都要在操作系统的支持下工作。

### 2. 支撑软件

支撑软件是 CAD/CAM 软件系统的核心,是进行应用软件开发的工具或环境,又称工具软件。支撑软件是商品化的软件,一般是由商业化的软件公司开发,它是在系统软件基础上所开发的满足共性需要的一些 CAD/CAM 通用性软件。从功能特征来分, CAD/CAM 系统的支撑软件可概略地分为单一功能型软件和综合集成型软件两大类。单一功能型支撑软件只提供 CAD/CAM 系统中某些典型过程的功能,如二维绘图软件、三维造型软件、工程分析计算软件、数据库系统等。综合集成型 CAD/CAM 支撑软件提供了设计、分析、造型、数控编程以及加工控制等综合功能模块。综合集成支撑软件功能比较完备,综合提供了设计、造型、分析、数控编程等多种功能,如 PTC 公司的 Pro/E 软件、EDS 公司的 UG 软件、DASSULT 公司的 CATIA 软件等。下面简单介绍一下几种常用类型。

(1) 绘图软件 绘图软件是 CAD/CAM 系统最基本也是最常用的支撑软件。目前,计算机上广泛使用的典型绘图软件是 Autodesk 公司的 AutoCAD 软件,具有基本二维图形元素