



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

计算机辅助设计与 制造实例教程

郭年琴 陈爽 刘静 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



扫我看课件



普通

规划教材

计算机辅助设计与 制造实例教程

郭年琴 陈爽 刘静 主编

北京

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书简述了 CAD/CAM 的基本原理、关键技术和应用方法,并结合 CAD/CAM 科研课题及生产实际的实例,介绍其经验和成果。全书内容包括:CAD/CAM 概述、CAD/CAM 系统的硬件与软件、计算机图形处理技术、CAD/CAM 建模技术、计算机辅助工程分析及实例、CAD/CAM 二次开发软件技术及实例、计算机辅助工艺过程设计及实例、计算机辅助制造技术及实例、CAD/CAM 集成及 PDM 技术实例。

本书为机械工程专业研究生和高年级本科生的课程教材,也可供从事 CAD/CAM 技术研究开发的工程技术人员和工程管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计与制造实例教程/郭年琴,陈爽,刘静
主编. —北京:冶金工业出版社,2016.4
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5024-7221-4

I. ①计… II. ①郭… ②陈… ③刘… 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 (2016) 第 080302 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 刘小峰 李维科 美术编辑 彭子赫 版式设计 彭子赫

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7221-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2016 年 4 月第 1 版;2016 年 4 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 20.75 印张; 504 千字; 320 页

39.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 是由计算机科学和信息数字化技术发展而成的一项高新技术。CAD/CAM 技术的发展推动了几乎一切领域的设计、制造技术革命,从根本上改变了传统的设计、生产、管理的模式,为企业参与激烈的市场竞争发挥着越来越重要的作用。CAD/CAM 技术的研究和应用水平已成为衡量一个国家工业技术现代化水平的重要标志之一。尤其是国家提出《中国制造 2025》,这是我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领,根据纲领精神,CAD/CAM 技术已成为工程设计与制造技术人员必须掌握的知识。CAD/CAM 课程作为理工科专业的一门必修课程,受到了各高校的普遍重视。编写本书的目的是为高校 CAD/CAM 教学提供一本理论清晰、结构合理、内容先进、实用性强和可操作性好的实用教材。

本书结构严谨,内容丰富、新颖,是作者结合多年的教学经验和科研实践,以作者对矿山机械 CAD/CAM 科研课题研究开发为实例,并参考了许多相关书籍编写而成的。书中涉及的内容较为广泛,在注重 CAD/CAM 的基本原理和基本方法的基础上,突出了 CAD/CAM 技术的实际应用,为读者提供了丰富的应用实例和程序,实用性较强,并且提供了课程的大作业和实验指导,为读者应用 CAD/CAM 方法去分析和解决实际问题,正确学习和掌握 CAD/CAM 软件提供帮助。在本书编写中力求体现 CAD/CAM 技术的系统性、先进性、通用性,特别强调可操作性和反映 CAD/CAM 技术领域的新发展趋势。

本书共分为 9 章,第 1 章是 CAD/CAM 概述,介绍了 CAD/CAE 的基本概念、历史地位和作用,阐述了系统的功能和应用以及发展概况和发展趋势;第 2 章介绍 CAD/CAM 软硬件技术的基础知识,包括 CAD/CAM 系统的结构、类型、软硬件组成、工程应用软件和网络协同环境等;第 3 章介绍了计算机图形学的基础知识,介绍计算机图形处理的数学基础、图形系统结构与图形标准,详细论述曲线表达的基本原理及图形几何变换技术;第 4 章介绍了 CAD/CAM 建模技术,包括几何建模、特征建模、装配建模、参数化建模的基本原理、方

法、数据结构及特点;第5章介绍了计算机辅助工程分析及实例,包括CAE中的有限元分析、优化设计和计算机仿真方面的基础知识与相关技术,以及超重型振动筛的有限元计算与分析实例,颚式破碎机机构优化设计方法实例,颚式破碎机三维运动学与动力学仿真分析实例;第6章介绍CAD/CAM二次开发软件技术及实例,介绍了工程数据的计算机处理方法及实例,利用高级语言编写相关程序,基于通用平台的CAD专业软件的开发方法;第7章介绍了计算机辅助工艺设计及实例,派生式CAPP系统、创成式CAPP系统、综合式CAPP系统以及气体压缩机工装夹具CAD设计实例;第8章介绍了计算机辅助制造技术及实例,数控编程基础、APT自动编程语言及其编程技术、图形交互式编程技术、数控加工过程仿真、MasterCAM数控编程与实例;第9章介绍了CAD/CAM集成及PDM技术实例,介绍了系统集成技术的基本概念和方法,产品数据交换标准,PDM的概念和基于PDM的CAD/CAM集成框架、集成方法,以及中小型企业PDM系统的开发课题研究实例。

各章开始处印有包含该章主要内容课件的二维码,扫描下载后即可在移动端阅读学习该章内容。利用计算机辅助设计与制造软件在科研与教学中制作了几个动画,相应二维码印在实例讲解之后,扫描后即可观看实际效果。

本书编写工作由多人共同完成,其中郭年琴教授编写第5、6、7、9章;陈爽副教授编写第1、2、8章;刘静副教授编写第3、4章。全书由郭年琴、陈爽、刘静担任主编。本书的编写过程中参考引用了国内外许多专家的论著和文献资料,书中的一些CAD/CAM开发应用实例,取材于作者的科研课题成果及作者研究生的硕士论文,在此一并表示衷心的感谢。

由于CAD/CAM技术具有综合性和学科交叉的特点,而且其发展极为迅速,加之笔者水平所限,时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请专家、读者批评指正。

作者

2015年12月

目 录

1 CAD/CAM 概述	1
1.1 CAD/CAM 基本概念	1
1.1.1 CAD 技术	4
1.1.2 CAE 技术	5
1.1.3 CAPP 技术	5
1.1.4 CAM 技术	6
1.2 CAD/CAM 系统的功能与任务	7
1.2.1 CAD/CAM 的基本功能	7
1.2.2 CAD/CAM 系统主要任务	8
1.3 CAD/CAM 技术的应用	10
1.3.1 CAD/CAM 技术应用领域不断扩大	10
1.3.2 三维 CAD 技术应用不断增长	10
1.3.3 CAD/CAM 技术应用效益明显	11
1.3.4 3D 打印成为 CAD/CAM 技术新的增长点	12
1.4 CAD/CAM 技术的发展趋势	13
思考题	14
2 CAD/CAM 系统的硬件与软件	15
2.1 CAD/CAM 系统结构	15
2.2 CAD/CAM 的硬件	16
2.2.1 主机	16
2.2.2 输入设备	17
2.2.3 输出设备	19
2.2.4 外存储器	22
2.2.5 生产系统设备	23
2.3 CAD/CAM 系统的软件	23
2.3.1 系统软件	24
2.3.2 支撑软件	25
2.3.3 应用软件	26
2.4 常用的 CAD/CAM 软件系统功能	27
思考题	29

3 计算机图形处理技术	30
3.1 图形处理的数学基础	30
3.1.1 矢量运算	30
3.1.2 矩阵运算	31
3.1.3 齐次坐标	33
3.2 图形系统与图形标准	34
3.2.1 图形系统的基本功能与层次结构	34
3.2.2 图形系统标准	35
3.3 曲线描述基本原理	36
3.3.1 曲线的数学描述方法	36
3.3.2 几何设计的基本概念	37
3.4 二维图形的几何变换	38
3.4.1 二维图形的基本几何变换	38
3.4.2 二维图形的组合变换	42
3.5 三维图形的几何变换	44
3.5.1 三维图形的基本几何变换	44
3.5.2 三维图形的组合变换	47
思考题	48
4 CAD/CAM 建模技术	49
4.1 模型的基本概念	49
4.1.1 几何建模的基本概念	49
4.1.2 几何建模技术的发展	50
4.1.3 CAD/CAM 建模的基本要求	51
4.1.4 常用建模方法与应用	51
4.2 三维几何建模基础	52
4.2.1 几何信息	52
4.2.2 拓扑信息	53
4.2.3 非几何信息	53
4.2.4 形体的表示	53
4.2.5 正则集合运算	55
4.2.6 欧拉检验公式	56
4.3 几何建模技术	56
4.3.1 线框建模	57
4.3.2 表面建模	58
4.3.3 实体建模	60
4.4 特征建模	63
4.4.1 概述	64

4.4.2 特征建模的原理	64
4.4.3 特征的表达方法	67
4.4.4 零件信息模型	67
4.5 装配建模技术	71
4.5.1 装配建模概述	71
4.5.2 装配模型的表示	72
4.5.3 装配约束技术	73
4.5.4 装配模型的管理与分析	74
4.5.5 装配建模方法及步骤	76
4.6 参数化建模技术	77
4.6.1 参数化设计的基本概念	77
4.6.2 参数化设计的相关技术	78
4.6.3 对参数化设计系统的基本要求	81
4.7 变量化建模技术	81
4.7.1 变量化设计概述	81
4.7.2 变量化设计中的整体求解法	82
4.8 行为特征建模技术	83
4.8.1 产品性能设计方法的发展	83
4.8.2 行为建模特征技术	84
思考题	87
5 计算机辅助工程分析及实例	88
5.1 概述	88
5.2 有限元法	89
5.2.1 有限元分析的基本原理	90
5.2.2 弹性力学的基本知识	91
5.2.3 有限元分析的步骤	94
5.2.4 有限元法中的常见单元类型	96
5.2.5 有限元分析实例	98
5.2.6 有限元分析软件	103
5.2.7 ANSYS 软件	106
5.2.8 超重型振动筛的有限元计算与分析实例	107
5.3 优化设计	119
5.3.1 优化问题的基本概念及数学模型	119
5.3.2 求解优化问题的基本思想和策略	124
5.3.3 机械设计中的常规优化方法	125
5.3.4 优化设计的一般过程	128
5.3.5 颚式破碎机机构优化设计方法实例	128

5.4 计算机仿真	133
5.4.1 仿真的基本概念及分类	133
5.4.2 计算机仿真的一般过程	136
5.4.3 仿真在 CAD/CAM 系统中的应用	137
5.4.4 破碎机三维运动学与动力学仿真分析实例	138
思考题	145
6 CAD/CAM 二次开发软件技术及实例	146
6.1 概述	146
6.1.1 二次开发的概念、目的和一般原则	146
6.1.2 机械 CAD 软件的二次开发	147
6.2 工程数据计算机处理	148
6.2.1 数表程序化	149
6.2.2 线图程序化	152
6.2.3 数据文件	153
6.2.4 数据库	157
6.3 专业 CAD 软件开发方法	159
6.4 基于通用平台的 CAD 专业软件开发方法	160
6.4.1 CAD 软件二次开发平台的体系结构	160
6.4.2 CAD 软件二次开发技术	161
6.5 基于 SolidWorks 的三维 CAD 软件开发方法	162
6.5.1 SolidWorks 的对象层次结构	162
6.5.2 SolidWorks 二次开发的工具	163
6.5.3 SolidWorks 二次开发的一般过程	165
6.6 CAD 软件开发流程与文档资料要求	168
6.6.1 需求分析	168
6.6.2 系统设计	168
6.6.3 程序设计	168
6.6.4 软件系统测试	169
6.6.5 软件维护	169
6.6.6 文档编制	169
6.7 颚式破碎机机构 CAD 参数化双向设计开发实例	170
6.7.1 概述	170
6.7.2 参数化双向设计的原理及其实现过程	170
6.7.3 颚式破碎机机构参数化双向设计系统的组成	172
6.7.4 系统的创建与使用	173
6.7.5 颚式破碎机机构参数化双向设计系统的关键技术	175

思考题	175
7 计算机辅助工艺过程设计及实例	176
7.1 概述	176
7.1.1 CAPP 的基本概念	176
7.1.2 CAPP 在计算机集成制造系统中的地位与作用	177
7.1.3 CAPP 的类型及基本原理	178
7.1.4 CAPP 的结构组成及基本技术	179
7.1.5 CAPP 的发展现状与趋势	181
7.2 派生式 CAPP 系统	184
7.2.1 成组技术	184
7.2.2 基于 GT 的派生式 CAPP 系统	188
7.2.3 派生式 CAPP 系统的开发和工作过程	189
7.3 创成式 CAPP 系统	191
7.3.1 概述	191
7.3.2 创成式 CAPP 系统的设计过程	191
7.3.3 创成式 CAPP 系统的工艺决策	192
7.4 综合式 CAPP 系统	196
7.4.1 综合式 CAPP 系统的构成	197
7.4.2 工艺设计的准备工作	197
7.4.3 工艺过程设计	197
7.4.4 工艺设计结果的编辑与输出	198
7.5 CAPP 专家系统	198
7.5.1 CAPP 专家系统的工作过程	198
7.5.2 CAPP 专家系统的开发工具	199
7.6 气体压缩机工装夹具 CAD 系统设计实例	202
7.6.1 概述	202
7.6.2 气压机工装夹具设计系统的总体设计	202
7.6.3 系统的功能模块	205
7.6.4 工装夹具三维参数化设计	206
思考题	221
8 计算机辅助制造技术及实例	223
8.1 CAM 技术概述	223
8.1.1 数控加工的基本过程	225
8.1.2 数控编程的内容和步骤	226
8.2 数控编程基础	227

8.2.1 数控机床的选择	227
8.2.2 数控机床的坐标系	228
8.2.3 加工刀具补偿方法	232
8.2.4 数控铣削编程基本术语	233
8.2.5 铣削方式与走刀路径选择	235
8.2.6 常用的数控指令	238
8.2.7 数控程序结构	241
8.2.8 手工数控编程	242
8.3 图形交互式自动数控编程技术	244
8.3.1 图形交互式自动数控编程原理和功能	245
8.3.2 图形交互式自动编程的基本步骤	246
8.4 数控加工过程仿真	247
8.4.1 刀位轨迹仿真	247
8.4.2 虚拟加工过程仿真	249
8.5 MasterCAM 数控编程与实例分析	251
8.5.1 MasterCAM 的基本功能	251
8.5.2 MasterCAM 的工作界面	252
8.5.3 MasterCAM 数控编程的一般工作流程	252
8.5.4 MasterCAM 数控编程实例	252
思考题	258
9 CAD/CAM 集成及 PDM 技术实例	259
9.1 概述	259
9.1.1 信息集成	259
9.1.2 信息集成方式	260
9.2 产品数据交换标准	261
9.2.1 产品数据交换标准发展概况	261
9.2.2 IGES 标准	261
9.2.3 STEP 标准	262
9.3 基于 PDM 的 CAD/CAM 集成	264
9.3.1 PDM 的概念及基本功能	265
9.3.2 基于 PDM 的 CAD/CAM 集成框架	268
9.4 基于 PLM 的集成技术	269
9.4.1 PLM	270
9.4.2 PLM 环境中的 CAD	270
9.4.3 基于 PLM 的信息集成	270
9.5 中小型企业产品数据管理系统 (PDM) 开发实例	271

9.5.1 概述	271
9.5.2 PDM 技术研究	272
9.5.3 中小型企业 PDM 系统建模	277
9.5.4 中小型企业 PDM 系统图纸管理模型	284
9.5.5 中小型企业 PDM 系统的数据库系统	291
9.5.6 中小型企业 PDM 系统设计与实现	297
思考题	313
附录：CAD/CAM 课程作业实践与实验	315
参考文献	319



扫我看课件

学习目的与要求

计算机辅助设计与制造 (computer aided design and manufacturing, CAD/CAM) 技术是计算机科学、电子信息技术与现代设计制造技术相结合的产物, 是当代先进的生产力, 被国际公认为 20 世纪 90 年代的十大重要技术成就之一。CAD/CAM 的应用和发展使传统的产品设计模式发生了深刻的变革, 不仅改变了工业界的设计思想和思维方式, 对于提高产品的设计效率和质量, 增加产品的市场竞争力具有重要作用, 而且影响到企业的管理和商业对策, 是现代化企业必不可少的技术和方法。尤其是国家提出“中国制造 2025”, 是我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。CAD/CAM 技术已成为机械产品设计制造工作中不可缺少的工具, 是工程设计与制造技术人员必须掌握的一种基本技能。CAD/CAM 技术课程已成为高校工科各专业的一门重要的课程。

要求学生整体了解 CAD/CAM 的技术基本概念、CAD/CAM 系统的功能与任务、CAD/CAM 技术的应用及 CAD/CAM 技术的发展趋势。

1.1 CAD/CAM 基本概念

CAD/CAM 技术作为传统设计、制造技术与计算机技术的结合, 以不同的方式广泛应用于各项工程实践中, 例如: 绘图和设计、生成着色图、动画显示、应用几何模型完成有限元工程分析、生成工艺规划及零件数控加工程序等。随着计算机技术与现代设计制造技术的发展, CAD/CAM 技术作为现代产品设计制造方法及手段的综合体现, 在产品生产过程中发挥了重要的作用。然而, 关于 CAD/CAM 技术相关概念的解释至今没有统一的规定, 从广义上说, CAD/CAM 技术包括产品构思、二维绘图、三维几何设计、有限元分析、数控加工、仿真模拟、产品数据管理、网络数据库以及这些技术的集成。

2011 年在德国举行的“汉诺威工业博览会”(Hannover Messe 2011) 上提出工业 4.0 (Industry 4.0) 的概念, 引发了以 CAD/CAM 技术为基础的智能制造为主导的第四次工业革命。在 2013 年 4 月举办的“Hannover Messe 2013”上, 由“产官学”专家组成的德国“工业 4.0 工作组”发表了最终报告——《保障德国制造业的未来: 关于实施“工业 4.0”战略的建议》, 在制造领域, 将建立资源、信息、物品和人相互关联的“虚拟网络-实体物理系统”(cyber-physical system, CPS)。在这个虚拟世界与现实世界的交汇之处, 人们可以越来越多地构思、优化、测试和设计产品。“工业 4.0”概念包含了由集中式控制向分

散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式。在这种模式中，传统的行业界限将消失，并会产生各种新的活动领域和合作形式。创造新价值的过程正在发生改变，产业链分工将被重组。2013 年，3D 打印技术获得了长足发展，以 3D 打印制造技术为代表的数字化设计制造技术引发了新一轮的工业革命。3D 技术的发展为 CAD/CAM 技术注入了新的活力。CAD/CAM 技术的发展和應用改变了传统的产品设计方法和制造业的生产模式，并由此奠定了制造业数字化、信息化和智能化工程的重要技术基础，可以有效满足产品多品种、变批量定制生产的需求。因此，学习 CAD/CAM 技术和 CAD/CAM 软件系统应用方法是十分重要的。

企业的产品开发通常分为两种类型，即新产品设计与产品改型设计。不论哪种设计，其设计过程都是一个创造性思维的过程。当设计师接到一个新的设计任务时，首先要进行产品的总体方案构思。通过分析设计要求，参考、比较国内外同类产品的性能特点，确定出新设计的总体方案、结构和实现方法，然后分别进行各个零部件的详细设计。因此，机械结构设计过程主要包括概念设计与分析、结构设计与分析、工程图纸绘制、产品技术要求的确定和编制制造工艺过程及相关设计文档等。

从产品构思、概念表达、结构设计、力学性能分析到最终的技术要求和制造工艺的编制等，设计中的各个环节均需要设计师运用设计知识，经过计算、分析、综合等创造性思维过程，将设计要求转化为对产品结构、组成、性能参数、制造工艺等的定义和表示，最后得到产品的设计结果。设计结果以一定的标准形式表达，如二维工程图或产品三维模型。完成设计工作之后，需对产品的几何形状和制造要求做进一步分析，设计产品的加工工艺规程，进行生产准备，随后，进行加工制造、装配与检测。

在产品生产制造过程的各个阶段引入计算机技术，如图 1-1 所示，便产生了计算机辅助设计（computer aided design, CAD）、计算机辅助工程（computer aided engineering, CAE）、计算机辅助工艺设计（computer aided process planning, CAPP）和计算机辅助制造（computer aided manufacturing, CAM）等单元技术（CAX）。由于以有限元分析为特征的商品化软件相对自成体系，故统称为 CAE 软件，但产品设计过程应包含产品的性能分析计算，所以 CAD 一般都涵盖了 CAE 的内容。事实上，设计工艺与制造过程是相互关联的有机整体，因而在单元技术基础上产生了 CAD/CAPP/CAM 一体化技术，国际上习惯简称为 CAD/CAM 技术。为了对设计制造过程和 CAD/CAM 产生的电子信息文档进行有效管理，在 20 世纪 90 年代初期产生了产品数据管理（product data management, PDM）技术和相应软件系统。CAD/CAPP/CAM/PDM 在 CIMS 体系结构中被称为技术信息系统（technology

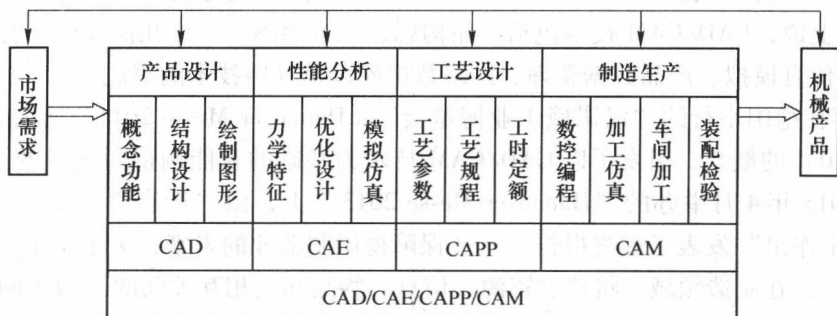


图 1-1 产品生产过程与 CAD/CAM 系统

information system, TIS)。

未来的制造业将建立在以互联网和信息技术为基础的互动平台之上,将更多的生产要素更为科学地整合,变得更加智能化、自动化、网络化、系统化,而生产制造个性化、定制化将成为常态。广义 CAD/CAM 包括了产品的三维数字化设计及计算机辅助制造系统。三维设计是新一代数字化、虚拟化、智能化设计平台的基础,建立在平面和三维设计的基础上,让设计目标更加立体化、形象化。计算机辅助制造系统是指在大数据、云计算以及物联网下产品的数字化生产过程。

首先, MES (制造执行系统) 将会起到更加重要的作用。自动化层和 MES 之间的对接会变得更加重要、更加无缝化,而且能跨越企业实现柔性生产。所有的信息都要实时可用,为生产网络化环节所用。

第二个环节的组成部分是虚拟与现实的结合,也就是产品设计以及工程当中的数字化世界和真实世界的融合。三维 CAD 技术给生产者提供三维模型,在虚拟工厂中分析和优化自动化的设计,虚拟开发每个机床的生产过程,甚至还可以实现整套设备的仿真,如果不满意,可以通过虚拟方式对它进行优化。这样一来,无需再制造一个原样机,把旧的和新的进行对比和改进。

第三个支柱是信息物理融合系统。信息物理融合系统是计算、通信和物理过程高度集成的系统。这些生产体系既可以体现实实在在的物理工厂系统,也可实现在数字世界的仿真,最终能够实现生产过程的完全可控、可调。

CAD/CAM 技术是工程技术人员完成产品的设计与图形绘制,通过数据自动传递和转换,完成数字化制造的过程,是“虚拟呈现”与“现实制造”的结合。CAD 是 CAE、CAM 和 PDM 的基础。在 CAE 中无论是单个零件,还是整机的有限元分析及机构的运动分析,都需要 CAD 为其造型、装配;在 CAM 中,则需要 CAD 进行曲面设计、复杂零件造型和模具设计;而 PDM 则更需要 CAD 给出产品装配后的关系及所有零件的明细(材料、件数、重量等)。在 CAD 中对零件及部件所做的任何改变,都会在 CAE、CAM 和 PDM 中有所反应。

机械制造学科是一门古老的传统学科。随着计算机技术、信息技术不断渗透和融合于机械产品的设计、制造、检测、管理环节之中,机械制造学科正在发生革命性变化,涌现出许多以计算机技术为基础的新理论、新学科、新技术和新方法,形成了一系列面向机械制造企业信息化全过程的计算机辅助技术和软件系统(通常简称为 CAX),其中典型的 CAX 技术与系统如下:

- (1) 计算机辅助设计 (computer aided design, CAD);
- (2) 计算机辅助工程设计 (computer aided engineering, CAE);
- (3) 计算机辅助制造 (computer aided manufacturing, CAM);
- (4) 计算机辅助工艺设计 (computer aided process planning, CAPP);
- (5) 计算机辅助质量管理 (computer aided quality, CAQ);
- (6) 计算机辅助设计与制造 (computer aided design and manufacturing, CAD/CAM);
- (7) 制造业信息化工程 (manufacture information engineering, MIE);
- (8) 产品数据管理 (product data management, PDM);
- (9) 企业资源计划 (enterprise resource planning, ERP);

- (10) 产品全生命周期管理 (product life cycle management, PLM);
- (11) 管理信息系统 (management information system, MIS);
- (12) 计算机集成制造系统 (computer integrated manufacturing system, CIMS)。

CAD/CAM 技术已经成为机械产品设计制造工作中不可缺少的工具,是工程技术人员必须掌握的一种基本技能。因此,学习和掌握 CAD/CAM 技术,并与专业知识相结合以解决所面临的机械工程技术问题,对于工程技术人员来说是十分重要的。

CAD/CAM 技术涉及计算机图形学、数控加工技术、有限单元分析法、计算机仿真、最优化设计、计算机信息集成技术等多门课程,是理论性和实践性都很强的综合性课程,具体教学内容应体现知识的系统性、完整性、先进性和实用性,要兼顾理论和实践教学环节,并适当加强实践性环节。

1.1.1 CAD 技术

CAD 在早期是英文 computer aided drafting (计算机辅助绘图) 的缩写,随着计算机软硬件技术的发展,人们逐步认识到单纯使用计算机绘图还不能称之为计算机辅助设计;真正的设计是整个产品的设计,它包括产品的构思、功能设计、结构分析、加工制造等,而二维工程图设计只是产品设计中的一小部分。于是 CAD 所表达的意思也由 computer aided drafting 改为 computer aided design, CAD 也不再仅仅是辅助绘图,而是整个产品的辅助设计。

计算机辅助设计 (computer aided design, CAD) 是指在设计活动中,利用计算机作为工具,帮助工程技术人员进行设计的一切适用技术的总和。

计算机辅助设计是设计者和计算机相结合、各尽所长的新型设计方法。在设计过程中,设计者可以进行创造性的思维活动,完成设计方案构思、工作原理拟定等,并将设计思想、设计方法经过综合、分析,转换成计算机可以处理的数学模型和解析这些模型的程序。在程序运行过程中,设计者可以评价设计结果,控制设计过程;计算机则可以发挥其分析计算和存储信息的能力,完成信息管理、绘图、模拟、优化和其他数值分析任务。一个好的计算机辅助设计系统既能充分发挥设计人员的创造性作用,又能充分利用计算机的高速分析计算能力,找到设计者和计算机最佳结合点。

计算机辅助设计包括的内容很多,如概念设计、优化设计、有限元分析、计算机仿真、计算机绘图等。在计算机辅助设计工作中,计算机的任务实质上是进行大量的信息加工、管理和交换,也就是在设计人员的初步构思、判断、决策的基础上,由计算机对数据库中大量设计资料进行检索,根据设计要求进行计算、分析及优化,将初步设计结果显示在图形显示器上,以人机交互方式反复加以修改,经设计人员确认之后,在自动绘图机及打印机上输出设计结果。在 CAD 作业过程中,逻辑判断、科学计算和创造性思维是反复交叉进行的。

就目前 CAD 技术可实现的功能而言,它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分析,完成产品几何模型的建立,然后抽取模型中的有关数据进行工程分析和计算,例如有限元分析、仿真模拟等,根据计算结果决定是否对设计结果进行修改,修改满意后编辑全部设计文档,输出工程图。从 CAD 作业过程可以看出, CAD 技术也是一项建模技术,它是将产品的物理模型转化为产品的数据模型,并把建立的数据模型存储在计算机内供后续的计算机辅助技术所共享,驱动产品生命周期的全过程。

1.1.2 CAE 技术

现代复杂机电产品的发展,要求工程师在设计阶段就能较为精确地预测出产品的技术性能,并对结构的静、动力强度及温度场等技术参数进行分析计算。例如,分析计算核反应堆的温度场,确定传热和冷却系统是否合理;分析涡轮机叶片内的流体动力学参数,以提高其运转效率等。把这些都归结为求解物理问题的控制偏微分方程式往往是不可能的。在计算机技术和数值分析算法支持下发展起来的有限元分析 (finite element analysis, FEA) 等方法则为解决这些复杂的工程分析计算问题提供了有效的途径,形成了在机械设计及制造领域最重要的计算机辅助工程分析 (CAE) 支撑技术。

CAE 技术的基本含义是:在机械零件或整机产品的数字化建模完成之后,运用有限元分析、多体动力学、计算流体力学 (CFD)、边界元法等数值分析算法,计算零件或整机产品模型的有关技术性能指标,进行模拟仿真,以便进一步改进和优化零件或整机产品设计的分析技术。

CAE 技术主要包括以下内容:

(1) 结构性能数字分析,用有限元分析方法对产品结构的静、动态特性及强度、振动、热变形、磁场强度、流场等进行分析和研究,并自动生成有限元网格,从而为用户精确研究产品结构的受力,以及描述应力或应变分布提供可视化的技术方法。

(2) 优化设计,即研究用参数优化法进行方案优选,这是 CAE 系统应具有的基本功能。优化设计是保证现代化产品设计具有高速度、高质量和良好的市场销售前景的主要技术手段之一。

(3) 三维运动机构的模拟仿真,研究机构的运动学特性,即对运动机构(如凸轮连杆机构)的运动参数、运动轨迹、干涉校核进行研究,以及用仿真技术研究运动系统的某些性质,从而在人们设计运动机构时为其提供直观的、可以仿真或交互的设计技术。

CAE 技术的发展已经历了半个世纪。目前,在工业界需求的牵引和软、硬件技术发展的推动下,CAE 技术发展和应用的焦点已经从单元技术的提升转为对整个产品虚拟仿真流程,乃至整个产品研发过程管理的提升。CAE 已经渗入到产品研发的各个环节,由辅助的验证工具,转变为驱动产品创新的引擎。

1.1.3 CAPP 技术

计算机辅助工艺设计 (computer aided process planning, CAPP) 是指借助于计算机软、硬件技术和支撑环境,利用计算机进行数值计算、逻辑判断和推理等的功能来制定零件机械加工工艺过程。借助于 CAPP 系统,可以有效解决手工工艺设计效率低、一致性差、质量不稳定、不易优化等问题。

CAPP 的作用是利用计算机来进行零件加工工艺过程的制订,把毛坯加工成工程图纸上所要求的零件。它是通过向计算机输入被加工零件的几何信息(形状、尺寸等)和工艺信息(材料、热处理、批量等),由计算机自动输出零件的工艺路线和工序内容等工艺文件的过程。

从全球范围来看,CAPP 的研究始于 20 世纪 60 年代中期,其后发展速度较慢。80 年代以来随着机械制造业向 CIMS 的发展,把设计方面的信息如何有效地转化为制造信息,