

高等院校机电类 工程教育 系列规划教材

CAD/CAE/CAM技术

■ 主编 袁清珂

→ **CAD/CAE/CAM技术:** 本书从构建产品集成设计开发平台的需求出发, 以产品集成开发过程为主线, 结合产品开发的工程实例, 全面系统地介绍了CAD/CAE/CAM技术与系统的基本概念、基本原理、实现方法和系统开发与集成技术, 其内容系统、实例丰富、点评精要, 详细内容请见目录和索引>>>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

TP391.7/86

2010

高等院校机电类工程教育系列规划教...

CAD/CAE/CAM 技术

主编 袁清珂

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书从构建产品集成设计开发平台的需求出发,以产品集成开发过程为主线、结合产品开发的工程实例,全面系统地介绍了 CAD/CAE/CAM 技术与系统的基本概念、基本原理、实现方法和系统开发与集成技术,其主要内容有 CAD/CAE/CAM 系统概述、CAD/CAE/CAM 系统的基础知识、CAD/CAE/CAM 系统的建模技术与方法、计算机辅助工程分析技术与方法、计算机辅助工艺设计与数控编程、CAD/CAE/CAM 系统的编程基础与二次开发技术、基于 PDM 集成 CAD/CAE/CAM 的产品集成设计平台,附录中还包括常用商业化 CAD/CAE/CAM 系统简介和 CAD/CAE/CAM 实验指导书。

本书可作为高等院校工科各专业本科生、研究生学习计算机辅助设计与制造、产品设计与开发、现代设计方法的教材,也可供从事产品设计、计算机辅助设计、计算机辅助制造等领域的科研人员和工程技术人员参考使用。

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

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAE/CAM 技术/袁清珂主编. —北京:电子工业出版社,2010.3

(高等院校机电类工程教育系列规划教材)

ISBN 978-7-121-10318-6

I. C… II. 袁… III. 计算机辅助技术—应用软件—高等学校—教材 IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 018671 号

策划编辑:余 义

责任编辑:余 义

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18 字数:461 千字

印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

2008年7月间,电子工业出版社邀请全国20多所高校几十位机电领域的老师,研讨符合“工程教育”要求的教材的编写方案。大家认为,这适应了目前我国高等院校工科教育发展的趋势,特别是对工科本科生实践能力的提高和创新精神的培养,都会起到积极的推动作用。

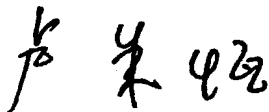
教育部于2007年1月22日颁布了教高(2007)1号文件《教育部财政部关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》。同年2月17日,紧接着又颁布了教高(2007)2号文件《教育部关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》。由这两份文件,可以看到国家教育部已经决定并将逐步实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称质量工程),而质量工程的核心思想就在于培养学生的实践能力和创新精神,提高教师队伍整体素质,以及进一步转变人才培养模式、教学内容和方法。

教学改革和教材建设从来都是相辅相成的。经过近两年的教改实践,不少老师都积累了一定的教学经验,借此机会,编写、出版符合“工程教育”要求的教材,不仅能够满足许多学校对此类教材的需求,而且将进一步促进质量工程的深化。

近一年来,电子工业出版社选派了骨干人员与参加编写的各位教授、专家和老师进行了深入的交流和研究。不仅在教学内容上进行了优化,而且根据不同课程的需要开辟了许多实践性、经验性和工程性较强的栏目,如“经验总结”、“应用点评”、“一般步骤”、“工程实例”、“经典案例”、“工程背景”、“设计者思维”、“学习方法”等,从而将工程中注重的理念与理论教学更有机地结合起来。此外,部分教材还融入了实验指导书和课程设计方案,这样一方面可以满足某些课程对实践教学的需要,另一方面也为教师更深入地开展实践教学提供丰富的素材。

随着我国经济建设的发展,普通高等教育也将随之发展,并培养出适合经济建设需要的人才。“高等院校机电类工程教育系列规划教材”就站在这个发展过程的源头,将最新的教改成果推而广之,并与之共进,协调发展。希望这套教材对更多学校的教学有所裨益,对学生的理论与实践的结合发挥一定的作用。

最后,预祝“高等院校机电类工程教育系列规划教材”项目取得成功。同时,也恳请读者对教材中的不当、不贴切、不足之处提出意见与建议,以便重印和再版时更正。



中国工程院院士、西安交通大学教授

教材编写委员会

主任委员 赵升吨(西安交通大学)

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

芮延年(苏州大学)

胡大超(上海应用技术学院)

钱瑞明(东南大学)

袁清珂(广东工业大学)

参编院校

(按拼音排序)

※ 安徽工业大学

※ 沈阳工业大学

※ 长安大学

※ 苏州大学

※ 东南大学

※ 苏州科技学院

※ 广东工业大学

※ 同济大学

※ 华南理工大学

※ 五邑大学

※ 华南农业大学

※ 武汉科技学院

※ 淮海工学院

※ 西安电子科技大学

※ 吉林师范大学

※ 西安工程大学

※ 南通大学

※ 西安工业大学

※ 山东建筑大学

※ 西安交通大学

※ 陕西科技大学

※ 西安科技大学

※ 上海应用技术学院

※ 西安理工大学

※ 深圳大学

※ 西安文理学院

前 言

计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工程 (CAE) 和计算机辅助制造 (CAM) 技术是综合应用多学科技术的工程技术,是提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品生产成本强有力的手段,是高等学校工程类各专业的重要课程,是高等学校学生及工程技术人员必须掌握的基本技术与方法。

本书根据高等学校工科各专业计算机辅助设计与制造课程教学的基本要求,在分析了多所大学教学大纲的基础上编写而成,可作为高等学校工科相关专业的教学用书,也可作为工程技术人员的参考用书。本书以大机械类专业的学生为教学对象,学生可以在掌握了计算机基础知识、机械基本知识的基础上,系统地学习 CAD/CAE/CAM 技术。本书力图使高等学校工科学生及一般工程技术人员在尽可能短的时间内,掌握 CAD/CAE/CAM 系统的基本知识和基本方法。

计算机软硬件技术的快速发展,为产品设计与开发提供了强有力的支持。目前,已不满足在产品开发的某个或某几个环节上应用计算机辅助技术来加快产品开发,而是迫切需要在产品开发的全过程采用计算机技术。在 PLM/PDM 基础上集成 CAD/CAE/CAM 技术、构建产品集成设计开发平台是支持产品开发全过程的有效途径。

本书从构建产品集成设计开发平台的需求出发,以产品集成开发过程为主线,结合产品开发的工程实例,分 7 章全面系统地介绍了 CAD/CAE/CAM 技术与系统的基本概念、基本原理、实现方法和系统开发与集成技术。主要内容包括 CAD/CAE/CAM 系统概述、CAD/CAE/CAM 系统的基础知识、CAD/CAE/CAM 系统的建模技术与方法、计算机辅助工程分析技术与方法、计算机辅助工艺设计与数控编程、CAD/CAE/CAM 系统的编程基础与二次开发技术、基于 PDM 集成 CAD/CAE/CAM 的产品集成设计平台。为了加强理论与实践的结合,更好地学以致用,除了提供丰富的工程实例外,书中还开辟了“工程背景”、“内容提要”、“学习方法”、“点评”等栏目。本书具有以下特点:

(1) **体系结构科学合理。**本书从构建产品集成设计开发平台的需求出发,以产品集成开发过程为主线,按照从设计到校核验证,再到制造的过程,系统地介绍了 CAD/CAM/CAE 系统的基本概念、基本原理和实现方法。

(2) **条理清晰层次分明。**本书不像一般的 CAD、CAM、CAE 图书,只讲其中的一个部分,而是从新产品开发需求的全过程进行讲述,涉及产品整个生命周期中的各个环节,用系统的观点、从集成的角度出发,全面系统地介绍了 CAD/CAM/CAE 整体知识。在本书的每一章都按照基本概念、基本原理、实现方法、应用实例的逻辑展开讲述,有非常清晰的轮廓和分明的层次感,便于学习和讲授。

(3) **实例丰富突出实践。**本书在理论与方法介绍的基础上,给出了丰富的工程实例,加强了理论与实践的结合。丰富的实例,一方面可以使学生加深对本章所述概念、原理和知识的理解,另一方面也可以使学生更好地运用知识,提高其解决问题的能力。

(4) 学习指导应用点评。本书给出了每一章知识内容的“工程背景”、“内容提要”、“学习方法”，便于学生系统掌握有关知识，也便于在教学过程中突出重点。书中还增加了“点评”等栏目，加强了应用指导，便于学生生活学活用。

本书由广东工业大学袁清珂任主编，西安工业大学曹岩、沈阳工业大学张幼军、西安工程大学曹亚斌担任副主编。第 1、7 章由袁清珂编写，第 2、3 章和附录 B 由曹亚斌编写，第 4 章由曹岩、刘红军、汪庆华编写，第 6 章由曹岩、吴维勇、胡元哲编写，第 5 章和附录 A 由张幼军编写。全书由袁清珂统稿。

由于时间仓促和水平的限制，书中错误在所难免，欢迎各位专家、同仁批评指正。

袁清珂
2009 年 12 月

目 录

第 1 章 CAD/CAE/CAM 系统概述	(1)
1.1 产品周期	(2)
1.2 CAD、CAE、CAM 的基本概念	(3)
1.3 CAD/CAE/CAM 技术的产生与发展	(5)
1.3.1 CAD 技术的产生与发展	(5)
1.3.2 CAE 技术的产生与发展	(6)
1.3.3 CAM 技术的产生与发展	(8)
1.4 CAD/CAE/CAM 系统的构成	(9)
1.4.1 CAD/CAE/CAM 系统的组成	(9)
1.4.2 CAD/CAE/CAM 系统的硬件	(10)
1.4.3 CAD/CAE/CAM 系统的软件	(13)
1.5 CAD/CAE/CAM 系统的选型	(16)
1.6 CAD/CAE/CAM 系统的设计过程与实例	(16)
1.6.1 产品集成设计开发过程	(16)
1.6.2 产品集成设计开发实例	(17)
1.7 习题 1	(18)
第 2 章 CAD/CAE/CAM 系统的基础知识	(19)
2.1 CAD/CAE/CAM 系统的数学基础	(20)
2.2 计算机辅助绘图系统的基本原理与功能	(23)
2.2.1 绘图系统的基本原理	(23)
2.2.2 绘图系统的组成	(24)
2.2.3 绘图系统的主要功能	(26)
2.3 图形软件标准与图形软件的开发方法	(27)
2.4 坐标系与坐标变换	(29)
2.5 计算机辅助图形处理基本知识	(32)
2.5.1 图形变换	(32)
2.5.2 图形裁剪	(45)
2.5.3 图形的消隐	(49)
2.6 几何建模基础知识	(56)

2.6.1	曲线的表示与处理	(56)
2.6.2	曲面的表示与处理	(65)
2.7	习题 2	(69)
第 3 章	CAD/CAE/CAM 系统的建模技术与方法	(71)
3.1	三维几何建模基础	(72)
3.2	线框模型与建模方法	(75)
3.3	表面模型与建模方法	(76)
3.4	实体模型与建模方法	(78)
3.5	装配模型与建模方法	(81)
3.6	参数化建模技术与方法	(85)
3.7	特征建模技术与方法	(89)
3.8	三维建模综合实例	(93)
3.9	习题 3	(97)
第 4 章	计算机辅助工程分析技术与方法	(99)
4.1	计算机辅助工程分析概述	(100)
4.1.1	有限元分析	(100)
4.1.2	计算机辅助工程	(100)
4.2	有限元建模与分析方法	(101)
4.2.1	弹性力学基本知识	(101)
4.2.2	有限元法的基本原理与步骤	(104)
4.2.3	有限元分析的前置处理	(109)
4.2.4	有限元分析的后置处理	(110)
4.2.5	有限元分析实例	(112)
4.3	优化设计技术	(113)
4.3.1	优化设计的基本概念	(113)
4.3.2	优化设计的发展及应用	(113)
4.3.3	优化设计的数学基础	(114)
4.3.4	优化设计的数学模型	(117)
4.3.5	优化设计的分类	(118)
4.3.6	一维搜索	(119)
4.3.7	无约束优化算法	(122)
4.3.8	约束优化算法	(126)
4.3.9	多目标优化	(131)
4.3.10	优化设计工程实例	(134)
4.4	习题 4	(136)

第 5 章	计算机辅助工艺设计与数控编程	(137)
5.1	计算机辅助工艺设计	(138)
5.1.1	CAPP 概述	(138)
5.1.2	CAPP 的基础技术	(141)
5.1.3	变异式 CAPP 系统	(149)
5.1.4	创成式 CAPP 系统	(151)
5.1.5	CAPP 应用实例	(152)
5.2	数控编程与加工过程仿真	(155)
5.2.1	数控加工概述	(155)
5.2.2	数控编程方法	(157)
5.2.3	数控加工过程仿真	(163)
5.2.4	数控加工应用实例	(166)
5.3	快速成形技术与制造	(170)
5.3.1	快速成形技术的基本原理	(170)
5.3.2	快速成形技术的工艺方法	(172)
5.3.3	快速成形技术应用实例	(174)
5.4	习题 5	(177)
第 6 章	CAD/CAE/CAM 系统的编程基础与二次开发技术	(179)
6.1	CAD/CAE/CAM 系统开发软件工程	(180)
6.1.1	CAD/CAE/CAM 系统开发遵循的原则	(180)
6.1.2	CMM 认证	(180)
6.1.3	软件工程	(181)
6.1.4	软件工程规范国家标准	(181)
6.1.5	CAD/CAE/CAM 系统开发方式	(182)
6.2	CAD/CAE/CAM 系统开发流程	(182)
6.2.1	需求分析	(183)
6.2.2	初步设计	(184)
6.2.3	详细设计	(185)
6.2.4	程序实现	(185)
6.2.5	系统测试	(185)
6.2.6	系统维护	(186)
6.2.7	文档编制	(186)
6.3	AutoCAD 环境下 AutoLISP 二次开发技术与应用	(186)
6.3.1	使用 Visual LISP 开发 AutoLISP 程序	(186)
6.3.2	蜗杆传动 CAD 系统开发实例	(202)
6.4	基于 OpenGL 进行 CAD/CAE/CAM 系统开发	(206)

6.4.1	概述	(206)
6.4.2	OpenGL 特点	(209)
6.4.3	应用领域	(209)
6.4.4	基于微机 OpenGL 应用软件的开发过程	(210)
6.5	习题 6	(218)
第 7 章	基于 PDM 集成 CAD/CAE/CAM 的产品集成设计平台	(219)
7.1	产品集成设计平台的体系结构	(220)
7.2	CAD/CAE/CAM 集成的技术与方法	(221)
7.2.1	CAD/CAE/CAM 集成系统的逻辑结构	(221)
7.2.2	CAD/CAE/CAM 集成系统的总体结构	(222)
7.2.3	CAD/CAE/CAM 集成的关键技术	(223)
7.2.4	CAD/CAE/CAM 系统集成方法	(224)
7.3	产品数据交换标准	(227)
7.3.1	产品数据交换标准的产生与发展	(227)
7.3.2	IGES 标准	(228)
7.3.3	STEP 标准	(231)
7.4	产品信息的描述与集成数据模型	(235)
7.4.1	集成产品数据模型	(235)
7.4.2	零件信息模型	(236)
7.4.3	产品信息模型	(240)
7.5	基于 PDM 的 CAD/CAE/CAM 集成产品开发平台	(243)
7.5.1	PDM 概述	(243)
7.5.2	PDM 的功能	(244)
7.5.3	基于 PDM 集成 CAD/CAE/CAM 的产品集成设计平台	(246)
7.6	集成产品开发平台开发实例	(249)
7.6.1	PCM-KBE 系统	(249)
7.6.2	PCM-KBE 系统的信息模型与组织	(250)
7.6.3	iMAN 的二次开发	(252)
7.6.4	PCM-KBE 系统的信息检索与查询	(254)
7.6.5	PCM-KBE 系统应用实例	(256)
7.6.6	PCM-KBE 系统小结	(257)
7.7	习题 7	(258)
附录 A	常用商业化 CAD/CAE/CAM 系统简介	(259)
A.1	UG NX 简介	(259)
A.2	Pro/E 简介	(260)

A.3 SolidWorks 简介	(261)
A.4 CATIA 简介	(262)
A.5 Mastercam 简介	(262)
A.6 UG NX 建模实例	(263)
附录 B CAD/CAE/CAM 实验指导书	(267)
B.1 CAD 部分	(267)
B.2 CAE 部分	(268)
B.3 CAM 部分	(270)
B.4 综合实验部分	(272)
B.5 实验报告的格式模板及评分标准	(272)
索引	(274)
参考文献	(275)

CAD/CAE/CAM 系统概述

工程背景

随着产品设计开发技术的发展,出现了很多先进的设计技术与方法,例如计算机辅助设计、虚拟设计、鲁棒性设计、协同设计等。随着计算机技术的发展,出现了许多用于产品设计与开发的软件工具与系统,例如 SoliWorks、UG、Pro/E、MasterCAM、Adams、Dads、Ansys、Marc 等。应用这些软件工具与系统,不仅可以进行产品结构设计、机构系统运动学/动力学分析、振动分析、有限元强度和刚度计算等,还可以根据企业的实际需求,构建完整的产品开发平台,实现产品的设计和设计方案仿真验证工作,从而确保产品设计质量,提高产品开发的效率。

内容提要

本章主要讲述 CAD/CAE/CAM 系统的基本概念和系统构成,并结合一个产品集成设计开发的过程,加深对系统概念和构成的理解。根据课时情况,本章可以安排学生自学。

学习方法

具体学习方法:(1)首先通读全章,重点理解基本概念和系统的组成部分;(2)结合本章习题,进一步加深对本章知识要点的掌握;(3)通过阅读有关学术杂志、上网收集有关 CAD/CAE/CAM 及产品设计与开发的有关知识,强化对本章内容的理解。

1.1 产品周期

企业必须不断开发出质量高、成本低、上市快的新产品，才能在竞争中生存和发展。为此，可以利用计算机的大存储能力、快速处理速度和友好的交互式界面，完成复杂的工程设计或生产任务的自动化和集成化开发，以降低产品开发和生产的时间与成本。计算机辅助设计（Computer-Aided Design, CAD）、计算机辅助制造（Computer-Aided Manufacturing, CAM）和计算机辅助工程（Computer-Aided Engineering, CAE）就是在产品周期中实现这一目的的技术。

CAD/CAE/CAM 技术可以在产品开发过程中发挥重要作用，一般的产品开发过程如图 1.1 所示。

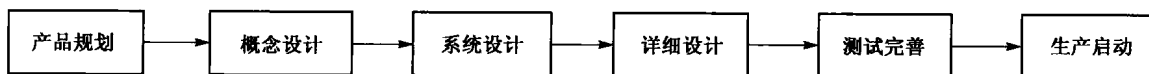


图 1.1 产品开发过程

1. 产品规划

这一阶段的工作基于企业自身的既定策略和经济目标，目的在于通过对技术开发和市场目标的评估，明确产品开发的方向和产品概念。产品规划的内容包括产品使用目的、基本功能、产品大致轮廓和制造方法等。市场需求是开发新产品的出发点，产品构思主要来自与市场有关的几个方面：一是用户；二是销售者；三是研发人员。产品构思的其他一些来源包括中间商、企业生产人员和管理人员，乃至竞争对手产品所给予的启发等。

2. 概念设计

这个阶段的主要任务是确定目标市场的需求，采用头脑风暴等创新技法，产生多个概念设计的备选方案，形成产品草图和功能性能特征的基本描述，并对其进行评估。在对备选方案进行评估时必须考虑两个重要因素：① 构思的新产品是否符合企业的目标，如利润目标、销售稳定目标、销售增长目标和企业总体营销目标等；② 企业是否具备足够的实力来开发所构思的新产品，这种实力主要包括经济和技术两个方面。

3. 系统设计

在产品开发的前两个阶段，虽然在产品规划阶段提出了开发新产品的方向和途径，在概念设计阶段对产品概念进行了评估，但截至目前，研发中的产品概念仍是抽象产品。要把抽象产品具体化，就需要从原理、结构、外形、性能等方面，对产品概念进行评估，并选择一个或几个概念进行深入的开发和设计。系统级设计阶段包括对产品体系的定义，并把产品分解至子系统和部件。针对生产系统的最终装配方案通常也在这一阶段确定。

4. 详细设计

该阶段在系统设计阶段的基础上，对新产品方案进行详细的设计，这是进一步决定产品取舍的重要环节。此阶段包括完全确定产品中所有非标准件的几何尺寸、材料和公差，并确定所有从供应商处购买的标准件。

5. 测试完善

该阶段主要是对产品的多个预生产版本进行构建和评估。在此阶段主要解决产品概念能否转化为在技术上和商业上可行的产品这一问题。它是通过对开发中产品原型机进行大量的内外部评估来完成的。

6. 生产启动

在本阶段,需考虑用何种预定的生产系统制造产品。启动的目的在于培训工人和解决在生产工艺中存在的问题。在生产启动阶段生产出来的产品,有时将提供给特定的客户试用,让其对产品进行仔细评估,以便解决产品可能存在的缺陷和不足。

【点评 1-1】 CAD/CAE/CAM 技术的作用

CAD/CAE/CAM 技术可以在产品开发过程中发挥重要作用,有利于加快产品开发周期,提高产品开发质量。例如,在产品规划阶段,可以应用 CAD 技术查阅已有的同类相关产品的设计方案,进行统计分析或辅助决策等工作。在概念设计阶段,可以应用 CAD 技术进行产品大致的造型设计、草图设计、计算分析与估算等工作。在系统设计阶段,可以应用 CAD 技术进行方案设计、布局设计、快速配置设计等工作,迅速地提供可以在计算机上观看的三维产品外观效果展示。在详细设计阶段,可以应用 CAD 技术进行结构设计、装配设计、修改结构尺寸和外观等工作;也可以应用 CAE 技术进行零部件或整机强度、刚度有限元计算与分析、机构运动学/动力学仿真与分析等工作;还可以应用 CAD/CAE 技术开发产品虚拟样机,展示产品的各种功能和外观等。在测试完善阶段,可以应用 CAE 技术或其他计算机辅助技术,全面仿真或检测产品性能。在生产启动阶段,可以应用 CAM 技术在 CAD 三维模型的基础上,进行数控编程、数控代码生产、数控加工过程仿真、数控设备驱动等工作。

1.2 CAD、CAE、CAM 的基本概念

计算机辅助设计(CAD)技术是在产品开发过程中使用计算机系统辅助产品创建、修改、分析和优化的有关技术。这样,任何嵌入了计算机图形学的计算机程序和在设计过程中使工程设计变得容易进行的应用程序,都归类为 CAD 软件。换言之,CAD 工具包括了从创建形体的几何建模工具到诸如分析、优化应用程序的所有工具。目前,可以使用的典型工具包括公差分析、质量属性计算、有限元建模和分析结果的可视化。CAD 最基本的功能是定义设计的几何形状,这里所说的设计可以是机械零件、建筑结构、电子电路和建筑平面布局等的设计,这是因为设计的几何形状是产品周期中后续各项工作的基础。计算机辅助绘图系统和几何建模系统典型地应用于这一目的,这也是这些系统被称为 CAD 软件的原因。此外,这些系统所建立的几何模型是执行后续 CAE 和 CAM 中其他功能的基础,这是 CAD 最大的优点之一,因为它可以节省重新定义几何形状所需的大量时间,也可以减小因此而造成的出错概率。因此,我们说计算机辅助绘图系统和几何建模系统是 CAD 中最重要的组成部分。

计算机辅助工程(CAE)技术是使用计算机系统来分析 CAD 几何模型,允许设计者模

拟并研究产品的行为,以便进行改进和优化产品设计。有许多用于分析工作的 CAE 工具可供选择,例如,运动学程序可用来确定机构中的运动路径和连杆速度,大位移动力学分析程序可用来确定诸如汽车这样复杂的装配体中的载荷和位移,逻辑时序和验证软件可用来模拟电子电路的运行。

应用最广泛的计算机辅助分析方法是有限元方法(Finite Element Method, FEM)。这种方法可以解决应力、变形、热传递、磁场分布、流体流动和其他方法无能为力的连续域问题。在有限元分析中,用一些相互联结的单元构成分析模型来表示结构,这些单元把问题划分成了计算机容易处理的不同部分。

如前所述,有限元方法需要一个适当抽象的抽象模型而不是产品几何模型本身。这个抽象模型不同于产品几何模型,抽象模型是通过消除几何模型中一些不必要的细节或通过减少维数而得到的。例如,当一个厚度很薄的三维实体转换为分析模型时,它就变成了一个二维的壳体模型。因此,为了应用有限元方法,需要交互地或自动地生成一个抽象模型。一旦抽象模型生成,将用抽象模型来生成有限单元网格。能够构建抽象模型并且生成有限单元网格的软件工具,称为预处理器或前处理器。在对每一个有限单元网格进行分析之后,计算机集成分析结果,并进行可视化显示,如应力大的区域可以用红色显示。这种可视化显示的软件工具称为后处理器。

有许多优化设计软件工具可供选择。尽管优化设计软件属于 CAE 工具,但是它们通常单独列为一类。可以将优化设计和分析工具集成,以自动地确定设计形状。在这些方法中,假定原始设计形状是一个简单的形状,如一个不同密度的小单元组成的二维矩形,然后,执行优化程序计算满足应力约束条件下这些密度的最佳值,以达到一定的优化目标。优化目标通常重量最小。对于基于密度的最优化来说,产品最优化形状可以通过消除低密度单元来获得。

设计分析和最优化的优点是使工程师,在进入到费时、费钱的制造和测试物理原型之前,了解产品是如何工作的,以及发现产品设计中的缺陷。因为在产品研发过程的后期阶段,工程成本是呈指数增长的,所以,早期使用 CAE 分析进行改进和优化,可以大大缩短整个产品开发过程的时间和降低开发费用。

计算机辅助制造(CAM)技术是将计算机系统直接或间接地应用于计划、管理和控制生产作业的有关技术。CAM 最成熟的应用领域之一是数字控制,或简称为 NC。这种技术是使用可编程的指令来控制机床,进行磨削、切割、冲压、成形、车削等作业,将原材料加工成零件。目前,计算机使用基于 CAD 数据库的几何数据,加上由操作人员提供的有关信息,可以生成大量的数控指令。CAM 的研究集中于最小化操作人员的交互工作。

CAM 的另一个重要作用是机器人编程,使机器人可以在加工单元内进行作业,为数控机床选择刀具、定位工件等。这些机器人可以独立地完成诸如焊接、装配或在车间内搬运设备或零件的任务。

实现工艺设计自动化也是计算机自动化的一个目标,当工件从车间的一个工作站运送到另一个工作站时,工艺设计已经为它制定了从开始到结束所需的详细生产步骤。如前所述,完全彻底的工艺制定自动化是不可能实现的,然而如果一个零件的工艺已经制定的话就可以自动生成与这个零件相似零件的工艺。将相似零件归为一类的成组技术,可以达到这个目的。如果这些零件有诸如沟槽、斜面、孔等常见制造特征,就可以把它们归为不同的类。因此,为了能够自动地检索到具有相似特征的零件,CAD 数据库中必须包含这些特征信息,基于特征的建模技术或特征识别技术可以完成上述任务。

此外,计算机还可以用来决定什么时间订购原材料和零件及订购多少,以完成生产计划,我们称之为物料需求计划(Material Requirements Planning, MRP)。计算机也可以用来监视车间中机器的工作状态,并给它们发出适当的指令。

由此可见, CAD、CAE、CAM 是自动完成产品周期中指定任务并使工作更有效的技术。由于这些系统都是独立开发的,所以无法充分认识到将产品周期中设计和制造活动集成起来的需求。为了解决这一问题,提出了一种称为计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing, CIM)的新技术。CIM 的目标是把一个个单独的自动化孤岛集成为一个连续平滑运行的高效系统。CIM 通过使用计算机数据库使整个企业高效运行,并且对财务、报表、运输和其他管理都产生了很大影响,是对 CAD、CAM 和 CAE 工程设计和生产功能的补充。通常情况下, CIM 被认为是经营哲理,而不是计算机系统。

【点评 1-2】 CAD、CAE、CAM 的概念

CAD、CAE、CAM 三个概念有广泛的含义,上面已有详细的解释和说明。传统上容易把这三个概念理解得很窄。例如,有些人把 CAD 仅仅理解为用计算机画图,把 CAE 仅仅理解为用计算机计算或用有限元计算,这是不够的。

1.3 CAD/CAE/CAM 技术的产生与发展

1.3.1 CAD 技术的产生与发展

CAD 是指使用计算机系统进行设计的全过程,包括资料检索、方案构思、零件造型、工程分析、工程制图、文档编制等。在设计各个阶段,计算机都能发挥其辅助作用,因此 CAD 概念一产生,就成为一门新兴的学科,引起了工程界的关注和支持,并迅速得到发展和日益完善起来。

20 世纪 60 年代初,美国麻省理工学院开发了名为 Sketchpad 的计算机交互图形处理系统,并描述了人机对话设计和制造的全过程,形成了最初的 CAD 概念。随着计算机软硬件的发展,计算机逐步应用于设计过程,形成了 CAD 系统,同时给 CAD 概念加入了新的含义,逐步形成了当今应用十分广泛的 CAD/CAE/CAM 集成的 CAD 系统。从 CAD 概念产生至今, CAD 技术经历了多个发展阶段。

从 20 世纪 60 年代初到 70 年代中期, CAD 系统开始商品化,主要技术特点是二维、三维线框造型,只能表达基本的几何信息,不能有效表达几何数据间的拓扑关系,需配备大型计算机系统,价格昂贵。该时期具有代表性的产品是:美国通用汽车公司的 DAC-1,洛克希德公司的 CADAM 系统。CAD 技术开始进入应用阶段。

20 世纪 70 年代后期, CAD 技术进入发展阶段。由于集成电路的问世, CAD 系统价格下降。此时正值飞机和汽车工业蓬勃发展的时期,飞机和汽车制造中遇到了大量的自由曲面问题。法国索达飞机制造公司率先开发出以表面模型为特点的自由曲面建模方法,推出了三维曲面造型系统 CATIA。该阶段的主要技术特点是自由曲面造型。曲面造型系统为人类带来了第一次 CAD 技术革命。一些受到国家财政支持的军用工业相继开发了 CAD 软件,如美国洛克希德公司的 CADAM、美国通用汽车公司的 CALMA、美国波音公司的 CV、美国国家航空及宇航局支持开发的 I-DEAS、美国麦道公司的 UG 等。