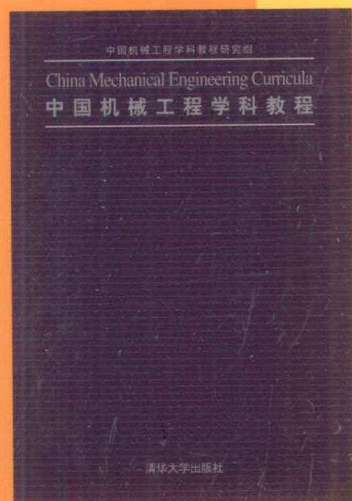




中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

计算机辅助设计与制造技术

主编 殷国富 袁清珂 徐雷



清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

计算机辅助设计与制造技术

主编 殷国富 袁清珂 徐雷

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

CAD/CAM 是一项知识密集、多学科交叉、综合性强、应用范围广泛的高新技术,是制造业信息化工程的核心内容之一。本书结合数字化设计制造技术的最新发展和应用需要,论述了 CAD/CAM 技术概况、CAD/CAM 系统软硬件组成、图形处理、数字化实体建模、3D 装配建模技术、CAE/CAPP/CAM 技术以及 CAD/CAM 集成等方面的理论、技术与方法,分析论述了 CAD/CAM 应用软件二次开发技术以及 CAD/CAM 系统规划与实施方法等内容。本书注重技术原理、应用方法和常用 CAD/CAM 软件系统(SolidWorks、Nastran、开目 CAPP 和 MasterCAM)的结合,突出教学内容的实用性。本书不同章节的组合可满足机械工程学科专业本科教学不同学时的需要,亦可供从事 CAD/CAM 系统研究、开发与应用的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计与制造技术/殷国富,袁清珂,徐雷主编.--北京:清华大学出版社,2011.5
(中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材)

ISBN 978-7-302-25042-5

I. ①计… II. ①殷… ②袁… ③徐… 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(2011)第 045480 号

责任编辑:庄红权

责任校对:刘玉霞

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市深源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:16.5

字 数:397 千字

版 次:2011 年 5 月第 1 版

印 次:2011 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00 元

产品编号:033874-01

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

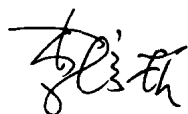
当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

前 言

FOREWORD

计算机辅助设计与制造 (computer aided design and manufacturing, CAD/CAM) 是一种以计算机为核心的数字信息处理系统与工程技术人员协同作业进行产品设计和制造的先进技术, 具有知识密集、学科交叉、综合性强、应用范围广等特点。CAD/CAM 技术的发展和运用使传统的产品设计与生产模式发生了深刻的变化, 对制造业的生产模式和人才知识结构产生重大的影响, 并由此奠定了制造业信息化工程的基础。经过几十年的应用发展, 不仅 CAD/CAM 系统本身已形成规模庞大的产业集群, 而且显著促进了制造业产品设计制造迈向了数字化、网络化、智能化和全球化的新时代, 也为制造业带来了巨大的经济社会效益。目前 CAD/CAM 技术广泛应用于机械、电子、汽车、模具、航空航天、交通运输、工程建设、军工等各个领域, 它的应用水平已成为衡量一个国家技术发展和工业现代化水平的重要标志之一。

毫无疑问, CAD/CAM 技术已经成为产品设计制造工作中不可缺少的工具, 是机械工程学科领域的一门重要的专业必修课程。对于 21 世纪的工程技术人员来说, 学习并掌握 CAD/CAM 技术原理及其相应软件系统的应用方法是十分重要的。因此, 及时系统地反映 CAD/CAM 技术原理与典型软件系统的应用方法, 满足当前 CAD/CAM 技术研究、教学和推广应用的需要, 是编写本书的基本出发点。

我们认为, CAD/CAM 课程教学的主要任务有三个方面: 一是使学生学习 CAD/CAM 技术的基本原理和主要技术方法; 二是学习和掌握 CAD/CAM 的各单元技术、集成技术等关键技术; 三是通过典型 CAD/CAM 软件系统的学习和初步应用, 培养学生的 CAD/CAM 系统工程化应用意识。为此, 本书编写的指导思想是: 以 CAD/CAM 技术的共性理论为基础, 以机械工程应用为背景, 注意突出内容的新颖性和实用性, 在论述 CAD/CAM 的基本原理、关键技术和应用方法的基础上, 结合常用 CAD/CAM 软件系统的应用介绍, 方便学生学习从图像处理、三维建模、装配建模、性能分析仿真到数控加工编程所涉及的 CAD/CAM 技术和软件系统, 并通过应用 CAD/CAM 软件系统来理解和掌握 CAD/CAM 技术。

本书体系结构与内容安排是:

第 1 章概述 CAD/CAM 的基本概念与作用、CAD/CAM 技术的产生与发展、用 CAD/CAM 软件系统实现特定产品的设计和制造的过程。

第2章论述 CAD/CAM 系统组成与软硬件环境等方面的内容,使学生从整体上了解 CAD/CAM 的系统组成、CAD/CAM 软件环境、硬件配置等。

第3章介绍计算机图形处理技术及其应用,重点是计算机图形学的基本概念、图形标准、图形变换的原理以及常用自由曲线的生成方法。

第4章论述产品数字化造型技术,主要内容是几何模型的基本概念、三维几何造型的理论基础、几何造型方法、三维实体的计算机内部表示、参数化特征造型等技术,介绍运用 SolidWorks 软件系统进行三维实体造型、产品装配设计、工程图制作的方法。

第5章介绍 CAD/CAM 系统中装配建模的基本原理、装配建模中的约束技术以及装配建模方法,使学生初步掌握 SolidWorks 的装配建模技术。

第6章介绍计算机辅助分析技术与应用,重点是有限元分析的基本原理和分析步骤,结合实例介绍了 MSC. Patran 与 MSC. Nastran 两种 CAE 软件平台的使用方法。

第7章论述计算机辅助工艺设计技术,包括 CAPP 系统组成、工艺决策与工序设计、工艺数据库技术等内容,并以开目 CAPP 为例介绍 CAPP 的各功能模块与应用。

第8章介绍数控编程的原理与方法、加工过程仿真以及 CAM 软件应用技术,以实例讨论了 MasterCAM 数控编程软件系统的实验方法。

第9章论述 CAD/CAM 集成技术,介绍 CAD/CAM 集成系统的逻辑结构、产品数据交换标准、产品信息的描述与集成数据模型等内容,重点讨论基于 PDM 的 CAD/CAM 集成系统与实例。

第10章讨论 CAD/CAM 应用软件开发技术,着重介绍基于通用平台的 CAD 专业软件的开发方法,并以 SolidWorks 三维软件平台为例讨论专业软件的二次开发技术。

第11章从 CAD/CAM 系统的需求分析、系统规划、实施步骤、管理体制、应用培训等方面介绍 CAD/CAM 系统规划与实施方法以及 CAD/CAM 系统建立案例。

本书由四川大学殷国富教授、广东工业大学袁清珂教授和四川大学徐雷副教授担任主编。其中第1、9章由袁清珂教授编写,第2、3、10章由徐雷副教授编写,第4、5章由井冈山大学胡茶根老师编写,第6章由五邑大学杨铁牛教授编写,第7章由广东工业大学学习小英副教授编写,第8章由殷国富教授编写,第11章由四川大学方辉老师编写,全书由殷国富、袁清珂、徐雷统稿。在编写过程中我们参考了许多学者专家的论著和文献资料,谨此致谢。

本书内容新颖,体系合理,注重技术原理、应用方法和常用 CAD/CAM 软件系统(SolidWorks、Nastran、开目 CAPP 和 MasterCAM)的结合,方便学生通过软件系统的应用来理解和掌握 CAD/CAM 技术,突出了教材的教学适用性。本书不同章节的组合可满足相关学科本科教学不同学时的需要,亦可供从事计算机辅助设计制造技术研究、开发与应用的工程技术人员参考。由于 CAD/CAM 技术内容十分丰富,技术发展日新月异,因此书中内容难以全面反映这一领域的全部技术成果,不妥之处在所难免,诚请批评指正。

作者

2011年3月

目 录

CONTENTS

第 1 章 CAD/CAM 技术概论	1
1.1 CAD/CAM 的基本概念与作用	1
1.2 CAD/CAM 技术的产生与发展	2
1.3 CAD/CAM 集成系统的应用过程与实例	5
习题	7
第 2 章 CAD/CAM 系统硬件和软件	8
2.1 CAD/CAM 系统组成	8
2.2 CAD/CAM 工作站的硬件设备	9
2.3 CAD/CAM 系统的软件体系结构	11
2.4 常用 CAD/CAM 软件系统	14
2.5 CAD/CAM 系统的硬件选型	17
2.6 CAD/CAM 系统设计原则	20
2.7 网络化 CAD/CAM 系统	22
习题	22
第 3 章 计算机图形处理技术及其应用	23
3.1 计算机绘图概述	23
3.2 图形的概念	24
3.3 图形系统与图形标准	25
3.4 图形变换与处理	27
3.5 曲线描述的基本原理和方法	31
3.6 曲线设计	33
3.6.1 Bezier 曲线	33
3.6.2 B 样条曲线	36
3.7 曲面设计	38
习题	42
第 4 章 产品数字化造型技术	43
4.1 几何模型的基本概念	43
4.1.1 几何模型的信息组成	43

4.1.2 几何造型方法	45
4.2 三维几何造型的理论基础	48
4.3 三维几何实体造型方法	50
4.4 参数化与变量化设计技术	55
4.5 特征造型技术	58
4.6 基于 SolidWorks 的参数化特征造型技术	60
4.6.1 SolidWorks 工作界面及特征管理树	61
4.6.2 SolidWorks 实体造型	62
4.6.3 SolidWorks 曲面造型	67
4.6.4 特征修改及编辑	69
4.6.5 参数化特征造型的应用	69
习题	71
第 5 章 CAD/CAM 装配建模技术	72
5.1 装配建模概述	72
5.2 装配模型	73
5.2.1 装配模型的特点与结构	73
5.2.2 装配模型的信息组成	75
5.2.3 装配树	76
5.2.4 装配模型的管理	77
5.2.5 装配模型的分析	78
5.3 装配约束技术	79
5.3.1 装配约束分析	79
5.3.2 装配约束规划	81
5.4 装配设计的两种方法	82
5.4.1 自底向上的装配设计	83
5.4.2 自顶向下的装配设计	83
5.5 装配建模技术的应用	84
5.5.1 SolidWorks 装配功能简介	85
5.5.2 基于 SolidWorks 的自底向上的装配设计	86
5.5.3 基于 SolidWorks 的自顶向下的装配设计	88
习题	91
第 6 章 计算机辅助分析技术与应用	93
6.1 CAE 技术构成、现状与发展趋势	93
6.2 有限元分析原理	96
6.3 CAE 的应用	97
6.3.1 CAE 的主要应用领域	97
6.3.2 CAE 求解的两类问题	98

6.3.3	CAE 中的有限元方法	98
6.3.4	有限元法的解题流程	99
6.3.5	有限元分析的前处理	100
6.3.6	有限元分析的后处理	101
6.3.7	有限元分析软件	101
6.3.8	CAE 的应用实例	102
习题		113
第 7 章	计算机辅助工艺设计技术	114
7.1	计算机辅助工艺设计技术概况	114
7.1.1	工艺设计的任务与内容	114
7.1.2	CAPP 概念及发展概况	116
7.1.3	CAPP 系统组成	118
7.2	CAPP 系统中的工艺决策与工序设计	119
7.2.1	工艺决策内容	119
7.2.2	工艺决策技术	122
7.2.3	派生式 CAPP 系统	124
7.2.4	创成式 CAPP 系统	128
7.2.5	CAPP 专家系统	129
7.3	CAPP 的工艺数据库技术	132
7.3.1	工艺数据库在 CAPP 中的作用	132
7.3.2	工艺数据类型及特点	132
7.3.3	工艺数据库设计	134
7.4	CAPP 系统开发与应用	136
7.4.1	CAPP 系统开发目标	136
7.4.2	CAPP 系统开发原则	136
7.4.3	开发环境及工具的选择	137
7.4.4	CAPP 系统开发过程	137
7.4.5	CAPP 系统功能模块	139
7.4.6	开目 CAPP 简介与应用	139
7.5	CAPP 的发展趋势	145
习题		145
第 8 章	计算机辅助制造技术与应用	147
8.1	CAM 技术概述	147
8.2	CAM 系统功能与体系结构	150
8.3	数控机床及其编程技术	151
8.4	数控语言及数控加工程序的编制	155
8.4.1	数控加工程序的结构与格式	156

8.4.2 数控加工程序的指令代码	157
8.5 数控加工过程仿真技术	163
8.6 常用 CAM 软件系统的功能简介	165
8.7 MasterCAM 数控编程实例	167
8.7.1 MasterCAM 的基本功能	167
8.7.2 MasterCAM 的工作界面	167
8.7.3 MasterCAM 数控编程的一般工作流程	168
8.7.4 MasterCAM 数控编程实例	168
习题	174
第 9 章 CAD/CAM 集成技术	176
9.1 CAD/CAM 集成技术与方法	176
9.1.1 CAD/CAM 集成系统的逻辑结构	176
9.1.2 CAD/CAM 集成系统的总体结构	177
9.1.3 CAD/CAM 集成的关键技术	178
9.1.4 CAD/CAM 系统集成的方法	179
9.2 产品数据交换标准	183
9.2.1 产品数据交换标准的产生与发展	183
9.2.2 IGES 标准	184
9.2.3 STEP 标准	187
9.3 产品信息的描述与集成数据模型	190
9.3.1 集成产品数据模型	191
9.3.2 零件信息模型	192
9.3.3 产品信息模型	195
9.4 基于 PDM 的 CAD/CAM 集成系统与实例	199
9.4.1 PDM 的体系结构与功能	199
9.4.2 基于 PDM 集成 CAD/CAM 系统	202
9.4.3 基于 PDM 集成 CAD/CAM 系统的开发实例	205
习题	208
第 10 章 CAD/CAM 应用软件开发技术	209
10.1 应用软件开发技术概述	209
10.1.1 二次开发的概念、目的和一般原则	209
10.1.2 机械 CAD 软件的二次开发	210
10.2 CAD 软件开发流程与文档资料要求	211
10.3 CAD/CAM 应用软件编程基础	213
10.3.1 OpenGL 标准	214
10.3.2 微机平台 OpenGL 的开发环境	215
10.3.3 OpenGL 中基本图形的生成	216

10.3.4 VC 6.0 中 OpenGL 开发环境配置	220
10.4 专业 CAD 软件开发方法	221
10.5 基于通用平台的 CAD 专业软件开发方法	221
10.5.1 CAD 软件二次开发平台的体系结构	221
10.5.2 CAD 软件二次开发技术	222
10.6 基于 SolidWorks 的三维 CAD 软件开发方法	224
10.6.1 SolidWorks 的对象层次结构	224
10.6.2 SolidWorks 二次开发的工具	225
10.6.3 SolidWorks 二次开发的一般过程	227
习题	233
第 11 章 CAD/CAM 系统规划与实施方法	234
11.1 CAD/CAM 系统的规划和实施步骤	234
11.2 需求分析	236
11.3 系统规划和实施步骤	239
11.4 CAD/CAM 系统的管理体制	239
11.5 CAD/CAM 系统和应用培训	241
11.6 CAD/CAM 系统建立案例	243
习题	248
主要参考文献	249

CAD /CAM 技术概论

教学提示与要求

CAD/CAM 技术是指计算机辅助设计(computer aided design,CAD)技术和计算机辅助制造(computer aided manufacturing,CAM)技术,是产品设计与开发的重要工具技术和手段。本章介绍了 CAD/CAM 技术的基本概念与作用、CAD/CAM 技术的产生与发展、CAD/CAM 集成系统的应用过程与实例。通过本章的教学使学生从整体上了解 CAD/CAM 技术的内涵和特点,了解 CAD/CAM 集成系统的应用过程,在宏观上对 CAD/CAM 技术有一个全面的认识。

1.1 CAD /CAM 的基本概念与作用

CAD/ 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

计算机辅助设计(computer aided design,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。换句话说,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,也可以减少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。

计算机辅助制造(computer aided manufacturing,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控控制,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,计算机使用可以基于 CAD 数据库中的几何数据、加上由操作人员提供的有关信息,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。如前面所述,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就可以自动生成与这个零件相似零件的工艺。能够将相似零件归为一类的成组技术,可以实现这个目的。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以及订购多少,以完成生产计划,这称为物料需求计划(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、CAM 是与自动完成产品周期中指定任务并使工作更有效的技术。因为这些系统是独立开发的,所以没有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、运输和其他管理功能都有很大影响,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。

1.2 CAD/CAM 技术的产生与发展

1. CAD 技术的产生与发展

CAD 指使用计算机系统与设计的全过程,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它的辅助作用,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,迅速得到发展并日益地完善起来。

20 世纪 60 年代初,美国麻省理工学院(MIT)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:科学计算、绘图。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 概念加入新的含义,逐步形成了当今应用十分广泛的 CAD/CAM 集成的 CAD 系统。

从 CAD 概念产生至今, CAD 经历了多个发展阶段。

从 20 世纪 60 年代初到 70 年代中期, CAD 从封闭的专用系统走向商品化, 其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。此时期有代表性的产品是: 美国通用汽车公司的 DAC-1, 洛克希德公司的 CADAM 系统。CAD 开始进入应用阶段。

20 世纪 70 年代后期, 进入发展阶段。由于集成电路的问世, CAD 系统价格下降。同时, 此时正值飞机和汽车工业蓬勃发展时期, 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, 采用多截面视图、特征纬线的方式来近似表达自由曲面。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工部门相继开发了 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 (NASA) 支持开发的 I-DEAS、美国麦道公司开发的 UG 等。

20 世纪 80 年代初, 由于计算机技术的大跨步前进, CAE、CAM 技术也开始有了较大的发展, 由于表面模型技术只能表达形体表面的信息, 难以准确地表达零件的其他属性, 如质量、质心、惯性矩等, 对 CAE 十分不利, 最大的问题在于分析的前处理特别困难。基于对 CAD/CAE 一体化技术发展的探索, SDRC 公司第一个开发了基于实体造型技术的 CAD/CAE 软件 I-DES。由于实体造型技术能够精确地表达零件的全部属性, 在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达, 因此称之为 CAD 发展史上的第二次技术革命。但由于当时的硬件技术条件还不能满足实体造型技术所带来的数据计算量极度膨胀的需求, 使实体造型技术没能很快在整个行业中全面推广开来。

20 世纪 80 年代中期, CV 公司的一些人提出了参数化实体造型方法, 其特点是: 基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计等修改等。策划参数化技术的这些人成立了一个参数技术公司 (Parametric Technology Corp, PTC), 开始研制 Pro/Engineer 的参数化软件。进入 20 世纪 90 年代, PTC 在 CAD 市场份额名列前茅。可以认为, 参数化技术的应用主导了 CAD 发展史上的第三次技术革命。

20 世纪 90 年代初期, SRDC 公司在摸索了几年参数化技术后, 开发人员发现参数化技术尚存在许多不足之处。“全尺寸约束”这一硬性规定就干扰和制约着设计者创造力及想象力的发挥。为此, SRDC 的开发者提出了一种比参数化技术更为先进的实体造型技术——变量化技术, 并历经 3 年时间, 投资 1 亿多美元, 推出了全新体系的 I-DEAS Master Serise 软件。变量化技术成就了 SRDC, 也推动了 CAD 技术发展的第四次技术革命。

目前, CAD 技术日益完善, 许多发达国家相继推出成熟的 CAD/CAM 集成化的商品软件, 在设计理论、设计方法、设计环境、设计工具等各方面出现许多成熟的现代 CAD 技术。当今 CAD 技术是计算机在工程中最有影响的应用技术, 它作为现代工程制造技术的重要组成部分, 是促进科研成果的开发和转化、促进传统产业和学科的更新与改造、实现设计自动化、增强企业及其产品在市场上的竞争力、加强国民经济发展的一项关键性高新技术。

CAD 概念在各个时期有所不同。1973 年国际信息联合会给出“CAD 是将人和机器混编在解题作业中的一种技术, 从而使人和机器的最好特性联系起来”的定义。到 20 世纪 80

年代初,第二届国际 CAD 会议上认为 CAD 是一个系统的概念,包括计算、图形、信息自动交换、分析和文件处理 5 个方面的内容。1984 年召开的国际设计及综合讨论会上,认为 CAD 不仅是设计手段,而且是一种新的设计方法和思维。可见 CAD 概念是一个变化的、不断发展的概念。

2. CAM 技术的产生与发展

制造技术可谓历史悠久,可以说它是伴随着人类的诞生而出现的,伴随着人类的进步而发展的。人类社会能够创造今天辉煌的经济成就,能够登上月球、探索太空,从根本上讲是制造技术获得重大发展的结果。CAM 技术是伴随着数控机床的产生而产生、伴随着数控技术和计算机技术的发展而不断发展的,这门技术从产生到现在,已经历了半个世纪,从形成、发展、提高和目前的高度集成,已形成了比较完整的科学技术体系,并在当今的高新技术领域中占有很重要的位置。

1952 年 MIT 试制成功世界上第一台数控铣床,解决了形状复杂零件的相关问题,尤其是由自由曲面组成的复杂零件的自动加工的问题,促进了数控编程技术的发展。同期,MIT 研制开发了 APT 自动编程系统,可以方便地将被加工零件的形状输入到计算机中进行刀具轨迹的计算和数控程序的自动生成。这就是第一代 CAM 软件。20 世纪 60 年代在专业数控系统上开发的编程机及部分编程软件,如日本 FANUC、德国 SEMEMS 编程机,其系统结构为专机形式,基本处理方式是人工或辅助式直接计算数控刀路,编程目标与对象也都是直接数控刀路。其特点是功能差、操作困难、专机专用,仍属第一代 CAM 系统的范畴。

20 世纪 70 年代末以后,32 位工作站和微型计算机的出现对 CAM 技术的发展提供了硬件基础并产生了极大的推动作用。32 位工作站属于单用户的计算机系统,具有较高的响应速度;由于工作站之间可以联网,来共享系统内的资源和发挥各台计算机的特点,逐步扩大 CAM 系统的功能和规模。在软件方面,针对 APT 语言的缺点,1978 年,法国达索飞机公司开始开发集三维设计、分析、NC 加工一体化的系统,称为 CATIA。随后很快出现了 EUCLID、UGNX、INTERGRAPH、Pro/Engineer、MasterCAM 及 NPU/GNCP 等系统,这些系统都能有效地解决几何造型、零件几何形状的显示,交互设计、修改及刀具轨迹生成,走刀过程的仿真显示、验证等问题,推动了 CAM 技术的发展并使 CAD 和 CAM 向一体化方向发展,可称之为第二代 CAM 软件。

20 世纪 80 年代是 CAM 技术迅速发展的时期,超大规模集成电路的出现,使计算机硬件成本大幅度地降低,计算机的外设也迅猛发展并成为系列产品,这为推动 CAM 技术向高水平发展提供了硬件保证。同时,软件技术、数据库技术、有限元分析技术、优化技术、计算机图形学技术等相关技术也飞速发展,促进了 CAM 技术的推广和应用。与此同时,还出现了与计算机辅助制造技术相关的其他技术,如计算机辅助零件分类和编码技术、计算机辅助工艺规程设计(CAPP)、计算机辅助工装设计、计算机辅助质量控制与检测(CAQ)等。从 20 世纪 80 年代起,人们在发展上述各单项技术的同时,又开始致力于计算机集成制造系统(CIMS)的研究,这是一种高效益、高柔性的智能化制造系统。

从 20 世纪 90 年代起,CAM 技术已不再停留在过去单一模式、单一功能、单一领域的水平,而转向标准化、集成化、智能化的方向发展。为了实现系统的集成,实现资源的共享和产

品生产与组织管理的高度自动化,提高产品的竞争力,就需要在企业之间和企业集团内的 CAM 系统之间与各个子系统之间进行统一的数据交换。在这种情况下,一些发达国家和国际标准化组织都进行了数据交换接口方面的开发工作,并制定了相应的标准。在这个阶段也出现了面向对象的技术、并行工程的思想、人工智能技术及产品数据管理(PDM)等新技术,这些技术都对 CAM 技术的发展和功能延伸起到了推动作用。

从目前 CAM 技术的应用和发展看,这一技术在 20 世纪的工业发展中占有很重要的地位。1989 年美国评出近 25 年间当代 10 项最杰出的工程技术成就,其中第 4 项是 CAD/CAM。1991 年 3 月 20 日,海湾战争结束后的第 3 个星期美国政府发表了跨世纪的国家关键技术发展战略,列举了六大技术领域中的 22 项关键项目,认为这些项目对于美国的长期国家安全和经济繁荣至关重要。而 CAD/CAM 技术及其中的两大领域 11 个项目紧密相关,这就是制造与信息通信。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。而信息和通信技术则以惊人的速度不断发展,改变着社会的通信、教育和制造方法。制造技术的关键项目有柔性计算机集成制造、智能加工设备、微米级和毫米级制造、系统管理技术;信息和通信技术包括软件、微电子学和光电子学、高性能计算和联网、高清晰度成像显示、传感器和信号处理、数据存储器 and 外围设备、计算机仿真和建模。

1.3 CAD/CAM 集成系统的应用过程与实例

1. 产品集成设计开发过程

应用 CAD/CAM 系统进行产品设计开发的过程大致是:①进行功能设计,选择合适的科学原理或构造原理;②进行产品结构的初步设计,产品的造型和外观的初步设计;③从总图派生出零件,对零件的造型、尺寸、色彩等进行详细设计,对零件进行有限元分析,使结构及尺寸与应力相适应;④对零件进行加工模拟,如对注塑(对塑料制品)、压铸(对金属件)、锻压或机械加工等过程进行模拟,从模拟过程中发现制造中的问题,进而提出对零件设计的修改方案;⑤对产品实施运动模拟或功能模拟,对其性能做出评价、分析和优化,最终完成零件的结构设计。其一般设计过程如图 1.2 所示。

2. 产品集成设计开发实例

现在,我们将 CAD/CAM 系统应用于简单产品的开发,以说明应用 CAD/CAM 系统进行产品开发的大致流程。

应用 CAD/CAM 系统进行产品开发,大致可以分为 3 个阶段:第 1 阶段,利用 CAD 技术进行三维参数化建模;第 2 阶段,利用 CAD 技术进行设计方案的分析,检验是否满足设计要求;第 3 阶段,利用 CAM 技术进行数控编程和数控加工。如图 1.3 所示。

在产品开发过程中,各阶段产生的数据或文件,可以在产品数据管理(product data management, PDM)或产品生命周期管理(product lifecycle management, PLM)的管理下,以统一数据库的方式保存,如图 1.4 所示。