



应用技术型高校汽车类专业规划教材



下载地址

www.ccpres.com.cn

汽车 CAD/CAM

王良模 杨 敏◎主 编

蔡隆玉 羊 玢 霍有朝◎副主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

应用技术型高校汽车类专业规划教材

Qiche CAD/CAM 汽车 CAD/CAM

王良模 杨 敏 主 编
蔡隆玉 羊 玢 霍有朝 副主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是应用技术型高校汽车类专业规划教材,共分为六章,主要内容包括:建立 CAD/CAM 技术的基本概念与汽车设计制造过程及其软件应用的联系;强调 CAD/CAM 技术中图形编程、几何建模和曲面建模的基本知识、理论与 CATIA 软件应用之间的联系,提供汽车工业中软件应用的案例;结合汽车工业的特点介绍了先进制造技术及其在汽车工程实践中的应用,为进一步理解无纸化设计奠定理论和实践基础。本书的工程应用部分介绍了汽车工业中基于建模的逆向工程应用、工程分析应用、人机工程和汽车数字化工厂等实践应用技术,给读者指出汽车 CAD/CAM 应用的前景和学习方向。

本书可作为高等院校车辆工程专业应用型人才培养的教材,也可作为从事计算机辅助设计制造、计算机集成制造和现代制造系统技术的专业工程技术人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车 CAD/CAM / 王良模,杨敏主编. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2014. 11

应用技术型高校汽车类专业规划教材

ISBN 978-7-114-11707-7

I. ①汽… II. ①王… ②杨… III. ①汽车—计算机
辅助设计—应用软件—高等学校—教材 IV. ①U462-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 215379 号

应用技术型高校汽车类专业规划教材

书 名: 汽车 CAD/CAM

著 作 者: 王良模 杨 敏

责任编辑: 夏 韡

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 19.5

字 数: 448 千

版 次: 2014 年 11 月 第 1 版

印 次: 2014 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11707-7

定 价: 45.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

应用技术型高校汽车类专业规划教材编委会

主 任

于明进(山东交通学院)

副主任(按姓名拼音顺序)

陈黎卿(安徽农业大学)

关志伟(天津职业技术师范大学)

唐 岚(西华大学)

陈庆樟(常熟理工学院)

何 仁(江苏大学)

于春鹏(黑龙江工程学院)

委 员(按姓名拼音顺序)

曹金梅(河南科技大学)

邓宝清(吉林大学珠海学院)

付百学(黑龙江工程学院)

李 斌(人民交通出版社股份有限公司)

李耀平(昆明理工大学)

柳 波(中南大学)

石美玉(黑龙江工程学院)

宋年秀(青岛理工大学)

尤明福(天津职业技术师范大学)

王良模(南京理工大学)

吴 刚(江西科技学院)

谢金法(河南科技大学)

徐立友(河南科技大学)

杨 敏(南京理工大学紫金学院)

赵长利(山东交通学院)

周 靖(北京理工大学珠海学院)

慈勤蓬(山东交通学院)

邓 涛(重庆交通大学)

姜顺明(江苏大学)

李学智(常熟理工学院)

廖抒华(广西科技大学)

石传龙(天津职业技术师范大学)

宋长森(北京理工大学珠海学院)

谭金会(西华大学)

王慧君(山东交通学院)

王林超(山东交通学院)

吴小平(南京理工大学紫金学院)

徐 斌(河南科技大学)

徐胜云(北京化工大学北方学院)

衣 红(中南大学)

赵 伟(河南科技大学)

訾 琨(宁波工程学院)

秘 书

夏 韩(人民交通出版社股份有限公司)

前言

FOREWORD

当前随着汽车行业的快速发展,汽车人才需求激增,无论是汽车制造企业对于汽车研发、汽车制造人才的大量需求还是汽车后市场对于汽车服务型人才的大量需求,这些都需要高校不断地输送相关人才。而目前,我国高等教育所培养的大部分人才还是以理论知识学习为主,缺乏实践动手能力,在进入企业一线工作时,往往高不成低不就,一方面企业会抱怨招不到合适的人才,另一方面毕业生们又抱怨没有合适的工作可找,主要问题就在于人才培养模式没有跟上社会发展实际需求。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》中明确指出,要提高人才培养质量,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模。培养理论和实操兼具的人才,使之去企业到岗直接上手或稍加培养即可适应岗位。2014年2月26日,李克强总理在谈到教育问题时指出要建立学分积累和转换制度,打通从中职、专科、本科到研究生的上升通道,引导一批普通本科高校向应用技术型高校转型。可见国家对于应用型技术人才的培养力度将持续加大。

教材建设是高校教学和人才培养的重要组成部分,作为知识载体的教材则体现了教学内容和教学要求,不仅是教学的基本工具,更是提高教学质量的重要保证。但目前国内多家高校在应用型人才培养过程中普遍缺乏适用的教材,现有的本科教材远不能满足要求。因此,如何编写应用型本科教材是培养紧缺人才急需解决的问题。正是基于上述原因,人民交通出版社经过充分调研,结合自身汽车类专业教材、图书的出版优势,于2012年12月在北京组织召开了“高等教育汽车类专业应用型本科规划教材编写会”,并成立教材编写委员会。会议审议并通过了教材编写方案。

本系列教材定位如下:

(1)使用对象确定为拥有车辆工程、汽车服务工程或交通运输等专业的二三本院校;

(2)设计合理的理论与实践内容的比例,主要解决“怎么做”的问题,涉及最基本的、较简单的“为什么”的问题,既满足本科教学设计的需要,又满足应用型教育的需要;

(3)与现行汽车类普通本科规划教材是互为补充的关系,与高职高专教材有明显区别,深度上介于两者之间,满足教学大纲的需求,有比较详细的理论体系,具备系统性和理论性。

《汽车 CAD/CAM》教材根据“高等教育汽车类专业应用型本科规划教材编写会”会议精神编写。CAD/CAM 技术涉及内容十分广泛,学习和掌握这项技术需要具备一定的工程技术背景和计算机图形知识基础,因此建立起 CAD/CAM 技术建模理论与图形软件运用、工程技术之间的联系是掌握这项技术的关键。汽车工业是 CAD/CAM 技术的工程应用最为典型和全面的产品制造行业之一。本书借助汽车设计制造过程中对 CAD/CAM 技术的应用实例,建立起图形软件 CATIA 中绘图工具与建模理论之间的联系,进而通过汽车工程实践应用实例深化读者对建模理论和软件工具操作的理解,最后根据汽车工业工程系统应用,提出在建模基础上 CAD/CAM 技术中逆向工程技术、工程分析技术、人机工程技术和汽车数字化工厂等实践应用方向,给读者指出汽车 CAD/CAM 应用的前景和学习方向。

在编写本书过程中,编者搜集整理了汽车设计制造企业的案例,结合车辆工程专业教学改革的经验。在基础知识方面,考虑到学生前期的基础和汽车制造行业对应用型本科人才的能力需求,重点突出建模理论及其软件实现的操作基础,强调对基本理论和操作的理解前提下的应用;在实践方面,从集成的角度详细阐述了 CAD/CAM 的各种核心技术,强调应用中对整体概念的认知,明确各个应用环节在汽车设计制造中地位和关系,介绍了 CAD/CAM 前提下的先进制造技术体系,计算机辅助设计、制造、加工以及生产管理,CIMS 总体方案设计以及 CAD/CAM 相关概念和新技术的发展等知识。在内容安排上,软硬件结合以软件应用为主,理论与应用相结合,以汽车产品设计制造过程为主线进行编写,实例应用与理论基础相结合。

本书由南京理工大学王良模,南京理工大学紫金学院杨敏主编。参加本书编写的有南京理工大学王良模(第1章),南京理工大学紫金学院杨敏(第2、3、5章),蔡隆玉(第4章,第6章的6.1节),南京林业大学羊玢(第6章的6.2、6.3节),南京开瑞汽车设计公司张斌(第6章的6.4、6.5、6.6节),北京3D动力学

院霍有朝(第2、3、4章部分案例)。全书由杨敏统稿。

本书由南京工业大学殷晨波教授、南京农业大学鲁植雄教授审稿,他们对本书提出了许多宝贵意见,在此谨表示衷心的感谢。

由于编著水平所限,书中难免存在缺点、错误和不足,恳请广大读者和师生批评指正。

应用技术型高校汽车类专业规划教材编委会

2014年3月

目录

CONTENTS

第1章 CAD/CAM 技术概述	1
1.1 引言	1
1.2 CAD/CAM 的概念	3
1.2.1 CAD/CAM 技术原理及内涵	3
1.2.2 CAD/CAM 系统构成及配置	8
1.2.3 CAD/CAM 系统集成技术	16
1.2.4 CAD/CAM 系统工作过程	19
1.2.5 CAD/CAM 系统的发展趋势	23
1.3 CAD/CAM 在汽车设计制造中的应用	25
1.3.1 现代汽车设计制造过程概述	26
1.3.2 汽车设计过程中的理论和方法	28
1.3.3 CAD/CAM 的工程应用	31
1.4 CATIA 软件系统基础实践	33
1.4.1 CATIA 软件发展与应用	33
1.4.2 CATIA 的软件构架简介	34
1.4.3 CATIA 用户操作基础	42
1.5 本章小结	52
思考与练习	53
第2章 图形编程基础与应用	54
2.1 图形编程基本概念	54
2.1.1 图形库理论	54
2.1.2 坐标系	56
2.1.3 窗口与视区	59
2.1.4 基本输出实体与图形输入	60
2.1.5 X 窗口系统	61
2.1.6 CATIA 草图设计工作台	62

2.2 图形绘制系统	64
2.2.1 绘图设置	64
2.2.2 基本绘图工具	68
2.2.3 图形元素的约束	71
2.3 图形编程运算	73
2.3.1 图形变换	73
2.3.2 图形剪裁运算	76
2.3.3 图形参数化方法	78
2.4 CATIA 草图设计应用实例	80
2.5 本章小结	82
思考与练习	83
第3章 产品建模技术与应用	84
3.1 几何建模技术	85
3.1.1 几何建模基础理论	85
3.1.2 线框建模系统	88
3.1.3 表面建模系统	89
3.1.4 实体建模系统	91
3.1.5 几何特征建模系统	97
3.1.6 边界建模系统	103
3.2 零部件建模技术	105
3.2.1 模型存储的数据结构	105
3.2.2 产品特征建模概念	108
3.2.3 CATIA 特征建模工具	110
3.2.4 模型的特征显示工具	116
3.3 产品装配建模	119
3.3.1 装配建模概念	119
3.3.2 装配建模技术	120
3.3.3 CATIA 装配建模工具	123
3.3.4 产品设计典型方法	130
3.4 工程设计图样	132
3.4.1 工程图样工作台	132
3.4.2 工程图样绘制工具	134
3.4.3 图形与尺寸标注修改工具	137
3.5 产品建模应用	139
3.6 本章小结	150

思考与练习	150
第4章 曲面建模基础与应用	152
4.1 曲线的表示与处理	152
4.1.1 CAD/CAM 中曲线曲面的基本理论	152
4.1.2 曲线类型及其数学表达式	155
4.2 曲面的表示与处理	159
4.2.1 孔斯曲面	159
4.2.2 贝塞尔曲面	159
4.2.3 B 样条曲面	160
4.3 曲面建模应用工具	161
4.3.1 曲面基本元素创建工具	161
4.3.2 基于曲面的创建工具	172
4.3.3 曲面曲线编辑工具	175
4.3.4 曲面分析工具	179
4.4 曲面在产品建模中的应用	184
4.5 本章小结	193
思考与练习	194
第5章 先进制造技术基础	195
5.1 先进制造体系	196
5.1.1 制造、制造系统和先进制造技术	196
5.1.2 先进制造技术体系结构	198
5.1.3 先进制造技术的特点和发展趋势	200
5.2 先进制造技术原理	203
5.2.1 成组技术	203
5.2.2 计算机集成制造	207
5.2.3 并行工程	210
5.3 汽车生产管理技术	214
5.3.1 制造资源计划与企业资源计划	214
5.3.2 质量管理体系	218
5.3.3 精良生产与准时生产	221
5.3.4 敏捷制造	224
5.4 工程设计方法和先进制造工艺	227
5.4.1 现代工程设计方法概要	227
5.4.2 先进制造工艺概要	230
5.4.3 快速成形制造技术	235

5.5 制造系统的支撑技术	239
5.5.1 计算机网络技术基础	239
5.5.2 工程数据库	241
5.5.3 产品数据库管理	244
5.5.4 产品数据交换标准	245
5.6 汽车虚拟设计制造	248
5.6.1 汽车虚拟设计技术	248
5.6.2 汽车虚拟制造技术	251
5.7 汽车协同制造网格	255
5.7.1 网格的概念和体系结构	255
5.7.2 协同设计、制造网格	257
5.8 本章小结	259
思考与练习	260
第6章 汽车 CAD/CAM 应用	261
6.1 汽车逆向设计基础	261
6.1.1 逆向工程基本理论	262
6.1.2 逆向设计案例	266
6.2 计算机辅助工程分析	268
6.2.1 有限元分析基本理论	268
6.2.2 汽车零件静态分析	271
6.3 汽车产品优化设计	273
6.3.1 优化设计基本理论	273
6.3.2 某车身结构的拓扑优化	276
6.4 人机工程应用设计	279
6.4.1 视野校核理论基础	279
6.4.2 视野校核应用	283
6.5 计算机辅助工艺设计和数控加工	283
6.5.1 计算机辅助工艺设计	283
6.5.2 数字化加工技术	287
6.6 数字化工厂	289
6.6.1 数字化工厂技术	289
6.6.2 数字化工厂在汽车开发制造中的应用	291
6.7 本章小结	297
思考与练习	298
参考文献	299

第1章 CAD/CAM 技术概述



教学目标

1. 了解 CAD/CAM 系统的基本原理、功能和工作过程。
2. 知道汽车设计制造过程中 CAD/CAM 技术的应用。
3. 掌握汽车设计用 CATIA 软件的构架和工作台功能。
4. 学会 CATIA 中数字模型的存储与读取和数据交换。



教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
CAD/CAM 基本概念	了解	CAD、CAE、CAPP、CAM
产品设计制造过程	了解	CAD/CAM 系统工作过程
汽车工业中的 CAD/CAM 应用	知道	汽车设计制造中的 CAD/CAM
CATIA 软件应用基础	掌握	CATIA 文件操作, 环境设置

随着计算机科学、电子技术和信息技术的发展,计算机技术与机械制造技术相互结合与渗透,产生了计算机辅助设计与辅助制造(Computer Aided Design and Manufacturing)这样一门综合性的应用技术,简称 CAD/CAM。该技术以电子计算机为主要技术手段,极大地减轻了科技人员的脑力和体力劳动,甚至能够完成人力所不及的工作,从而促进科学技术和生产的发展,具有数字化、知识密集、综合性强、效益高等特点,被视为 20 世纪最杰出的工程成就之一。

本章主要介绍汽车行业中运用的 CAD/CAM 技术概念、CAD/CAM 系统的构成、CAD/CAM 技术在汽车行业的应用与发展,初步建立起运用 CAD/CAM 技术进行数字化建模设计的概念,结合 CATIA 软件理解上述概念,掌握 CATIA 软件的基本操作。

1.1 引言

随着信息、电子及软件技术的飞速发展,CAD/CAM 已经成为这些领域工程技术人员必备的基本工具之一,其内涵也围绕着产品开发周期的变革快速地变化和发展。因此要理解掌握 CAD/CAM 的原理必须首先了解产品的开发流程。传统的产品开发流程如图 1-1 所示,各阶段的内容相互紧密关联。

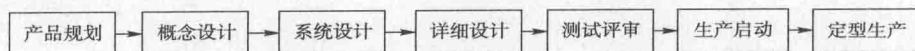


图 1-1 产品开发过程

产品规划阶段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,产品构思主要来自于市场有关的用户、销售者和研发人员。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。

概念设计阶段的主要任务是确定目标市场的需求,产生多个概念设计的备选方案,形成产品草图和功能特征的基本描述,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。

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,但截至系统设计前,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。系统设计阶段包括对产品体系的定义,把产品分解至子系统和部件,并针对生产系统的最终装配方案通常也在这一阶段确定。

详细设计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。

测试评审阶段,主要是对产品的多个与生产版本进行构建和评估。该阶段主要解决产品概念能否转化为在技术和商业上可行的产品这一问题。主要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。

生产启动阶段,需要考虑何种预订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。

定型生产阶段,也称之为批量生产阶段,该阶段的产品主要以提高质量和降低成本为目标,要针对使用过程中出现的可靠性、耐久性等问题加以改进,并通过生产过程中的质量控制和提高生产效率等方式逐步降低产品的成本。

以机械产品的设计为例,传统的机械产品设计方式如图 1-2 所示,要在产品的物理样机测试阶段,即生产启动阶段才能发现问题,修改设计并重新制造样机。这个过程已经不能适应当今高效益、高效率、高科技竞争的时代,用户对各类产品的质量,产品更新换代的速度以及产品从设计、制造到投放市场的周期都提出了越来越高的要求,产品呈现出的特点为:知识→技术→产品的时间越来越短、结构越来越复杂。CAD/CAM 技术的运用把产品设计制造过程中各项任务通过计算机软件有机地结合起来,用统一的程序来组织各种信息的读取、交换、共享和处理,以保证系统内信息流的畅通并协调各系统有效的运行。

航空、汽车、船舶和机床制造等领域为了适应市场要求,提高产品质量,降低成本,加快上市速度,缩短生产周期,是应用 CAD/CAM 技术较早和较成功的领域。CAD/CAM 技术的应用,不仅改变了人们设计、制造各种产品的常规方式,有利于发挥设计人员的创造性,还将

提高企业的管理水平和市场竞争能力。它是制造工程技术与计算机信息技术紧密结合、相互渗透和影响而发展起来的一项综合性应用技术,它通过计算机辅助产品设计和制造,将计算机迅速、准确地处理信息和图形化运算的特点巧妙地结合在一起,具有知识密集、学科交叉、综合性强、应用范围广等特点。世界各国十分重视发展制造业信息化与先进制造技术,许多跨国公司应用一些高新技术实现了设计、制造、管理和经营一体化,加强在国际市场的垄断地位。美国通用汽车公司应用先进集成制造系统技术,将轿车的开发周期由原来的 48 个月缩短到 24 个月,碰撞试验的次数由原来的几百次降到几十次,应用电子商务技术降低了销售成本的 10%。可见,先进的制造与信息技术应用已经成为带动制造业发展的重要推动力。CAD/CAM 技术是先进制造技术的重要组成部分,它的发展和应用使传统的产品设计、制造内容和工作方式等都发生了革命性的变化。

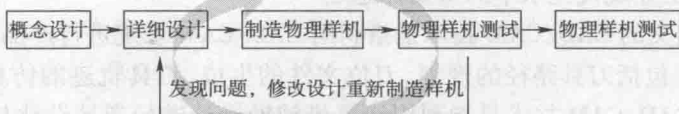


图 1-2 传统机械产品开发过程

CAD/CAM 技术涉及的内容随着其内涵的不断扩展和延伸,也在不断的增加,学习该项技术必须首先对 CAD/CAM 技术在产品生命周期中的基本原理、功能和任务有所了解,进一步掌握其在现代工业设计制造过程中的作用和工作模式,根据行业和具体设计制造环节的使用特点,从熟悉数字模型的建立开始逐步深入。其次,充分认识现代工业产品应用计算机辅助设计创建数字模型的过程不同于简单的三维图形绘制,而是包含了零件的特性、结构信息、加工工艺信息以及参数化信息在内的多元化信息综合体,作为产品数字化开发的数据基础。最后应认识到,CAD/CAM 技术实现了产品信息在其设计和制造进程中信息传递与共享,熟练掌握这一技术,需要不断将制造技术的理论与方法与数字化设计制造工具的使用相结合,通过规范的建模丰富数字模型内涵,使之成为表达工程设计意图的工程语言。

当前是我国汽车工业快速发展时期,但是由于我国工业化进程起步较晚,制造业和制造技术与国际先进水平相比还存在着阶段性差距。这些差距包括产品结构不合理且附加值不高,制造业能耗大且污染严重,产品创新能力较差且开发周期较长,制造工艺装备落后,成套能力不强,生产自动化和优化水平不高,资源综合利用率低,企业管理粗放,国际市场开拓能力弱,战略必备装备和竞争核心技术的开发相对薄弱等。这些差距使得我国的制造业和制造技术还不能很好地满足参与国际竞争的要求。要使我国制造业在国内、国际市场竞争中立于不败之地,尽快形成我国自主创新和跨越发展的先进制造技术体系,积极发展和应用先进制造技术,用信息技术提升和改造传统制造业已经刻不容缓,CAD/CAM 技术应用已经逐渐成为必不可少的基础技术之一。

1.2 CAD/CAM 的概念

1.2.1 CAD/CAM 技术原理及内涵

CAD/CAM 技术是以计算机、外围设备及系统软件为基础,综合计算机科学与工程、计算

机几何学、机械设计与制造、人机工程学、控制理论、电子技术、信息技术等学科知识,并以工程应用为对象,在机械制造业实现包括二维绘图设计、三维几何造型设计、工程计算分析与优化设计、数控加工变成、仿真模拟、信息存储与管理等相关功能的实用技术。随着计算机技术的迅速发展,设计和生产的方法都在发生显著的变化。CAD/CAM 技术在发展过程中不同的领域有各不相同的定义和解释,这项技术从早期被定义为在制造领域的先进制造加工技术,到 20 世纪 90 年代中期强调用于工程分析的计算机辅助设计分析,再到近年来随着 3D 打印技术的兴起,将 CAD/CAM 技术从计算机的设计辅助地位推向个人制造的主导地位,也有人认为这项技术将计算机的虚拟设计与现实的制造更直接地联系到一起,将成为第三次工业革命。经过半个世纪的发展,在理论、技术和应用等方面都有很大的进展,已经趋于成熟,计算机辅助设计与辅助制造技术在制造行业中的集成应用水平已成为当前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。

一般认为,狭义的 CAD/CAM 技术是指利用 CAD/CAM 系统进行产品造型、计算分析和数控程序的编制(包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹的仿真及 NC 代码的生成等)。广义的 CAD/CAM 技术是指利用计算机辅助设计进行产品设计与制造的整个过程以及与之直接和间接相关的活动,包括产品设计(几何造型、分析计算、优化设计、工程绘图等),工艺准备(计算机辅助工艺设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 自动编程、工时定额和材料定额编制等),物料作业计划 and 生产作业计划的运行与控制(加工、装配、检测、输送、存储),生产质量控制,工程数据管理。简而言之,这种利用计算机来达到的高效化、高精度化的目的,实现自动化设计、生产的方法称为 CAD 和 CAM。将 CAD 和 CAM 合写成 CAD/CAM,并非是将两者简单的组合在一起,而是表示它是计算机辅助设计、计算机辅助工程分析、工艺过程设计和制造等一系列技术的有机结合,此外还包括产品设计中必需尽早考虑下游制造、装配、检测和维修等各个方面的技术,是进一步提高设计和生产效率的综合技术。

一、计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)

CAD 技术是电子计算机技术应用于工程领域产品设计的新兴交叉技术。其定义为:CAD 是计算机系统在工程和产品设计的整个过程中,为设计人员提供各种有效工具和手段,加速设计过程,优化设计结果,从而达到最佳设计效果的一种技术,它利用计算机强大的计算功能和高效率的图形处理能力,辅助工程技术人员进行产品设计和分析优化,以达到理想的目的或取得创新成果的设计技术。计算机辅助设计内容包括:概念设计、工程绘图、三维设计、优化设计、有限元分析、数控加工、计算机仿真、产品数据管理等。

在不同时期、不同行业中,计算机辅助设计技术所实现的功能不同,工程技术人员对 CAD 技术的认识也有所不同,因此,很难给 CAD 技术下一个统一的、公认的定义。1950 年配置在美国麻省理工学院(MIT)的旋风 I 号(Whirlwind I)计算机上,类似于示波器仅能显示一些简单图形的显示器,以及此后 10 年间出现的滚筒式绘图仪、平板绘图仪等设备,为 CAD 系统提供了软、硬件基础,并由此形成明确的 CAD 概念;1960 年 Ivan Sutherland 的博士论文“Sketchpad - 人机交互的图形系统”中提出的计算机图形学、交互技术、分层存储的数据结构等新思想,成为 CAD 应用的理论基础;此后,IBM 公司与美国通用汽车公司(GM)合作开发 DAC-1 汽车计算机辅助设计系统,洛克希德飞机公司和麦克唐纳飞机公司开发的用于飞机设计制造的二维绘图系统等计算机辅助设计越来越多地被制造业所采用;1972 年 10

月国际信息处理联合会(International Federation of Information Processing, IFIP)在荷兰召开的“关于 CAD 原理的工作会议”,1973 年国际信息处理联合会(IFIP)对 CAD 系统做了重新定义。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、分析和文件处理等方面的内容。此后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。

随着 CAD 技术的实用化,CAD 技术理论也经历了几次重大的创新,针对飞机和汽车制造中遇到的大量自有曲面问题,美国 MIT 的 Coons 和法国雷诺(Renault)公司先后提出了曲面算法;1977 年法国达索飞机公司开发出计算机三维曲面造型系统 CATIA(Computer-Aided Three-dimension Interactive Application)推动了 CAD 技术从二维走向三维;1979 年 SDRC(Structure Dynamic Research Corp)公司推出能实现实体造型的软件 I-DEAS,标志着 CAD 技术发展史上的又一次革命;这个过程中 CAD 技术的概念增加了曲面造型、实体造型新的概念。

从 20 世纪 80 年代开始,随着 PC 的普及,参数化设计及变量化设计等技术的不断发展,形成了诸如 STEP、Para solid 等图形格式标准。1982 年 John Walker 创立了 Autodesk 公司;1985 年,PTC(Parametric Technology Corp)公司成立,开发了参数化设计软件 Pro/Engineer;1986 年,Unigraphics 吸取了与 STEP 标准兼容、为实践所证实的三维实体建模核心 Parasolid。此后,CAD 厂商群雄并起,推动了 CAD 技术产业格局的巨大变化,许多大型公司均开始基于 Windows 操作系统的 CAD 软件的开发;如今,面向制造业的 CAD 软件产品已经被兼并成四大谱系:IBM/Dassault、Siemens NX、PTC 和 Autodesk。这些 CAD 系统已做到设计与制造过程的集成,不仅可进行产品的设计计算和绘图,而且能实现自由曲面设计、工程造型、有限元分析、机构仿真、模具设计制造等各种工程应用。CAD 技术已全面进入实用化阶段,广泛服务于机械、建筑、电子、宇航、纺织等领域的产品总体设计、造型设计、结构设计、工艺过程设计等各环节。显然,CAD 技术的内涵将会随着计算机技术的发展和应用领域的扩大而不断扩展。

二、计算机辅助工程分析(Computer Aided Engineering, CAE)

CAE 技术准确地讲,就是指工程设计中的分析计算、分析仿真和结构优化。CAE 是从 CAD 中分支出来的,其起源可以追溯到 1943 年数学家 Courant 第一次尝试用定义在三角形区域上的分片联系函数的最小位能原理来求解 St. Venant 扭转问题时所提出的有限元概念。20 世纪 60 年代以后,随着计算机技术的广泛应用和发展,有限元依靠数值计算方法迅速发展起来,在被证明有限元法是基于变分原理的里兹(Ritz)法的另一种形式之后,其理论和算法经历了从蓬勃发展到日趋成熟的过程,成为处理连续介质问题的一种普遍方法。随着有限元应用的范围不断的扩大,已由简单的弹性力学的平面问题扩展到空间问题、板壳问题,由静力问题扩展到稳定性问题、动力学问题和波动问题。分析对象从目前弹性材料扩展到塑性、黏塑性和复合材料;从固体力学扩展到流体力学、传热学、电磁学等连续介质力学领域。CAE 技术已被广泛应用于国防、航空航天、机械制造、汽车制造等各个工业领域。1963 年 MSC 开发结构分析软件 ADSAM(Structural Analysis by Digital Simulation of Analog Methods),在参与美国国家航空及宇航局(NASA)计算结构分析方法研究之后更名为 MSC/NASTRAN;1970 年,SASI(Swanson Analysis System, Inc)公司成立,后来重组成为 ANSYS 公司,开

发了著名的 ANSYS 有限元软件;1971 年,SDRC 公司推出商用有限元分析软件 Super tab (I-DEAS);此后陆续出现致力于发展用于高级工程分析通用有限元程序的 MARC 公司;致力于机械系统仿真软件开发的 MDI 公司;针对大结构、流固耦合、热及噪声分析的 CSAR 公司;致力于结构、流体及流固耦合分析的 ADIND 公司等。

分析是设计的基础,设计与分析集成是必然趋势,随着计算机技术的不断发展,CAE 系统的功能和计算精度都有很大提高,各种基于产品数字建模的 CAE 系统应运而生,并已成为工程和产品结构分析、校核及结构优化中必不可少的数值计算工具。CAE 技术和 CAD 技术的结合越来越紧密,MSC/NASTRAN 在 1994 年收购 PARTRAN 作为自己的前后处理软件,并先后开发了与 CATIA、UG 等 CAD 软件的数据接口;ANSYS 也拓展了前后处理功能的软件 ANSYS/PREPOST;SDRC 公司则利用 I-DEAS 自身 CAD 功能的优势,先后开放了与 Pro/ENGINEER、UG、CATIA 等软件的接口。现在,MSC、ANSYS 等公司通过开发与并购均在 CAE 领域形成了能将 CAD 与 CAE 技术良好融合,将有限元分析技术逐渐由传统的分析和校核扩展到优化设计,并与其他计算机辅助技术结合实现互动设计的 CAE 技术格局。CAE 技术作为设计人员提高工程创新和产品创新能力的得力助手和有效工具,能够对创新的设计方案快速实施性能与可靠性分析;进行虚拟运行模拟,及早发现设计缺陷,实现优化设计;在创新的同时,提高设计质量,降低研究开发成本,缩短研发周期。

三、计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)

CAPP 技术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样上所要求的零件。CAPP 技术中常用的制造规划(manufacturing planning)、材料处理(material processing)、工艺工程(process engineering)以及加工路线安排(machine routing)等在很大程度上都是指工艺过程设计,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。计算机辅助工艺规划属于工程分析与设计范畴,是重要的生产技术准备工作之一。

在制造自动化领域,CAPP 的开发、研制是从 20 世纪 60 年代末开始的。1969 年,CAPP 研究始于挪威,并推出世界上第一个 CAPP 系统 AUTOPROS,1973 年正式推出商品化的 AUTOPROS 系统。在 CAPP 发展史上具有里程碑意义的是 1976 年 CAM-I 推出的 CAM-I'S Automated Process Planning 系统。目前对 CAPP 这个缩写法虽然还有不同的解释,但把 CAPP 称为计算机辅助工艺过程设计已经成为公认的释义。早期的 CAPP 系统一般以成组技术为基础,把零件分类归并成族,制订出各类零件相应的典型工艺过程,再按有关零件的具体工艺信息生成加工该零件的工艺规程,1980 年英国曼彻斯特大学 AUTOCAP 系统属于此类系统,但是这类系统针对性强,只适用于特定的工厂,可移植性差、局限性大、适应能力差;由此产生了开发周期短、费用低和易于取得实际效益的派生式 CAPP 系统,但是此类系统以成组技术为基础,在回转类零件中应用普遍,继承和应用了企业较成熟的传统工艺,但柔性较差,对于复杂零件和相似性较差的零件难以形成零件族;为克服这些缺点,许多学者开展对创成式 CAPP 的研究,它不存储典型零件工艺过程,而是采用一定的逻辑算法,对输入的几何要素等信息进行处理并确定加工要素,从而自动生成工艺规程,1983 年由美国普渡大学和宾州大学联合开发出 TIPPS 系统属于此类系统。但是这些 CAPP 系统均存在较多的限制条件,因