



21世纪全国高等院校汽车类**创新型**应用人才培养规划教材

汽车CAD技术 及Pro/E应用

石沛林 李玉善 主 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材

汽车 CAD 技术及 Pro/E 应用

 **北京大学出版社**
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了 CAD 技术的基础理论知识和 Pro/E 软件的应用两部分内容。全书共分 10 章,第 1 章介绍汽车 CAD 技术、CAD 系统、Pro/E 软件的概述以及 CAD 技术在汽车行业中的应用。第 2 章介绍 CAD 技术的基础。第 3 章介绍二维草绘的概念、创建方法及应用实例。第 4 章介绍基准特征的概念、创建方法、用途及应用实例。第 5 章介绍拉伸、旋转等基本特征的创建方法及应用实例。第 6 章介绍扫描、混合等高级特征的创建方法及应用实例。第 7 章介绍倒圆角、筋、孔等附加特征的创建方法及应用实例。第 8 章介绍特征的复制、镜像、阵列、隐含的创建方法及应用实例。第 9 章介绍零部件的装配方法和装配过程及应用实例。第 10 章介绍创建工程图的方法和步骤。本书在编写过程中,坚持注重基础、强化能力、突出重点、学以致用原则,既注重阐述必要的基础知识,又力求理论联系实际,紧密结合工程实际,列举了大量应用实例,注意由浅入深,各章节相互独立又前后关联,编者根据自己多年的教学经验和学生的学习心得,及时给出相关提示,有利于学生及时快捷地掌握所学知识。

本书既可以作为高等院校车辆工程、机械工程等相关专业的基础课教材,也可供其他相关专业学生和使用 Pro/E 从事产品开发与设计、三维建模及机械加工的工程技术开发人员的自学教材,或作为参考手册。

图书在版编目(CIP)数据

汽车 CAD 技术及 Pro/E 应用/石沛林,李玉善主编. —北京:北京大学出版社,2011.1
(21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材)
ISBN 978-7-301-18113-3

I. ①汽… II. ①石…②李… III. ①汽车—计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①U462-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 232314 号

书 名: 汽车 CAD 技术及 Pro/E 应用

著作责任者: 石沛林 李玉善 主编

策 划 编 辑: 童君鑫

责 任 编 辑: 周 瑞

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-18113-3/TH·0224

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 403 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

计算机辅助设计(CAD)是一种运用计算机软硬件系统辅助人们对产品或工程进行设计的方法和技术,包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动,它是一种新的设计方法,也是一门多学科综合应用的新技术。Pro/ENGINEER(简称 Pro/E)是美国 PTC(Parametric Technology Corporation, 参数技术公司)开发的大型 CAD/CAM/CAE 集成软件。该软件广泛应用于工业产品的造型设计、机械设计、模具设计、加工制造、有限元分析、功能仿真以及关系数据库管理等方面,是当今最优秀的三维设计软件之一。

本书理论与实践相结合,内容完整,层次清晰,在介绍基本设计方法的同时,安排适当的应用实例引导学生动手练习,能够使学生循序渐进地掌握该软件的基本使用方法。同时,结合书中实例对照操作,可以进一步将所学知识融会贯通。在此基础上加强实践环节,能够使学生迅速熟练掌握软件的使用技巧。全书实例丰富典型,在阐明基本设计原理的同时及时为学生推荐好的设计方法和设计经验,并指出设计中存在的误区,使学生少走弯路。

全书按知识结构共分 10 章,内容涉及 CAD 技术的基础理论和 Pro/E 软件的应用两部分内容。第 1 章介绍汽车 CAD 技术、CAD 系统、Pro/E 软件的概述以及 CAD 技术在汽车行业中的应用。第 2 章介绍 CAD 技术的基础。第 3 章介绍二维草绘的概念、创建方法及应用实例。第 4 章介绍基准特征的概念、创建方法、用途及应用实例。第 5 章介绍拉伸、旋转等基本特征的创建方法及应用实例。第 6 章介绍扫描、混合等高级特征的创建方法及应用实例。第 7 章介绍倒圆角、筋、孔等附加特征的创建方法及应用实例。第 8 章介绍特征的复制、镜像、阵列、隐含的创建方法及应用实例。第 9 章介绍零部件的装配方法和装配过程及应用实例。第 10 章介绍创建工程图的方法和步骤。本书在编写过程中,坚持注重基础、强化能力、突出重点、学以致用原则,既注重阐述必要的基础知识,又力求理论联系实际,紧密结合工程实际,列举了大量应用实例,注意由浅入深,各章节相互独立又前后关联,编者根据自己多年的教学经验和学生的学习心得,及时给出相关提示,有利于学生及时快捷的掌握所学知识。全书解说详实,图文并茂,语言简洁,思路清晰。

本书既可以作为高等院校车辆工程、机械工程等相关专业的基础课教材,也可供其他相关专业学生和使用 Pro/E 从事产品开发与设计、三维建模及机械加工的工程技术开发人员的自学教材,或作为参考手册。

本书由山东理工大学石沛林、山东科技大学李玉善担任主编,山东理工大学孟健、北京理工大学王文伟、山东交通学院郭荣春、山东科技大学赵鲁华、一汽解放青岛汽车厂高乃修任副主编。编写分工如下:李玉善、韩善灵编写第 1 章,王文伟编写第 2 章,郭荣春编写第 3、4 章,孟健编写第 5 章,石沛林、徐冠林编写第 6、7、8 章,赵鲁华、高乃修编写第 9、10 章。全书由石沛林和李玉善统稿和定稿。



教材编写过程中，山东理工大学唐绍丰参与完成了部分模型的创建，且编者参考了大量国内外有关文献及各相关专业网站，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2010.11

目 录

第 1 章 概论	1	1.4.5 使用 Pro/E 软件进行产品设计的技巧	38
1.1 汽车 CAD 技术概述	2	小结	39
1.1.1 汽车设计概述	2	习题	39
1.1.2 CAD 技术的内涵	3	第 2 章 CAD 技术基础	41
1.1.3 计算机辅助设计的特点	6	2.1 CAD 中常用的数据结构	42
1.1.4 CAD 技术的发展简史	7	2.1.1 基本概念	42
1.1.5 CAD 技术的发展趋势	8	2.1.2 线性表	42
1.2 CAD 系统概述	10	2.1.3 栈	44
1.2.1 CAD 系统的组成	10	2.1.4 树	45
1.2.2 CAD 系统的配置形式与网络结构	14	2.1.5 二叉树	46
1.2.3 CAD 系统的功能模块	16	2.2 图形处理技术基础	48
1.2.4 图形软件标准	17	2.2.1 图形变换	48
1.2.5 CAD 系统软硬件选用原则	20	2.2.2 坐标系与坐标变换	53
1.2.6 现代 CAD 软件的主要技术特点	21	2.2.3 图形裁剪	54
1.2.7 典型 CAD 软件简介	23	2.2.4 图形消隐	56
1.3 CAD 技术在汽车行业中的应用	25	2.3 曲线和曲面数学模型	58
1.3.1 CAD 技术在汽车业中的应用领域	25	2.3.1 贝塞尔曲线和曲面	59
1.3.2 国外汽车行业 CAD 技术应用情况	27	2.3.2 B 样条曲线和曲面	60
1.3.3 我国制造业和汽车行业 CAD 技术应用情况	29	2.3.3 非均匀有理 B 样条曲线和曲面	62
1.3.4 我国制造业和汽车企业应如何应用 CAD 技术	30	2.4 CAD 建模技术基础	63
1.4 Pro/E 软件概述	31	2.4.1 几何建模概述	63
1.4.1 Pro/E 的特点	31	2.4.2 三维几何建模技术	65
1.4.2 Pro/E 的功能及主要模块	33	2.4.3 特征建模技术	71
1.4.3 Pro/E Wildfire 3.0 中文版的界面组成	35	小结	73
1.4.4 Pro/E 软件的操作流程和建模过程	37	习题	73
		第 3 章 二维草图绘制基础	74
		3.1 草绘工作界面	75
		3.1.1 草绘术语	75
		3.1.2 进入草绘环境	75
		3.1.3 工具栏图标介绍	77
		3.1.4 草绘环境的设置	78



3.1.5 草绘器颜色的设置	79	4.4.1 基准曲线的用途	114
3.2 几何线条的绘制方法	79	4.4.2 基准曲线的创建	114
3.2.1 直线	79	4.5 基准坐标系	116
3.2.2 矩形	80	4.5.1 基准坐标系的用途	116
3.2.3 圆	81	4.5.2 坐标系的种类	117
3.2.4 圆弧	82	4.5.3 基准坐标系的创建	117
3.2.5 样条曲线	83	小结	118
3.2.6 圆角	84	习题	118
3.2.7 点和坐标系	84	第5章 汽车零部件基本特征的创建	120
3.3 文本的绘制	84	5.1 创建拉伸特征	121
3.4 草绘器调色板	85	5.2 创建旋转特征	123
3.5 标注尺寸	86	5.3 综合设计范例	124
3.5.1 线性标注	87	5.3.1 发动机气门的设计	124
3.5.2 圆和圆弧尺寸标注	87	5.3.2 活塞的设计	125
3.5.3 角度标注	88	5.3.3 拨叉设计	130
3.6 几何约束	89	小结	136
3.6.1 几何约束的类型	89	习题	137
3.6.2 几何约束的添加	90	第6章 汽车零部件高级特征的创建	138
3.6.3 尺寸和约束冲突时的解决方法	92	6.1 创建扫描特征	139
3.7 草图编辑功能	93	6.2 扫描特征设计范例	140
3.7.1 镜像	93	6.2.1 蜗轮的设计	140
3.7.2 缩放和旋转	93	6.2.2 蜗杆的设计	150
3.7.3 修改	94	6.3 创建混合特征	159
3.7.4 修剪	95	6.3.1 混合特征产生方法	159
3.8 综合实例	96	6.3.2 混合特征创建	160
小结	98	6.3.3 建立混合特征的注意事项	163
习题	98	6.4 混合特征设计范例	164
第4章 基准特征	100	6.4.1 创建混合实体	164
4.1 基准平面	101	6.4.2 创建混合薄板	166
4.1.1 基准平面的用途	101	6.4.3 创建混合曲面	168
4.1.2 基准平面的创建	101	小结	170
4.2 基准轴	105	习题	170
4.2.1 基准轴的用途	106	第7章 附加特征的创建	171
4.2.2 基准轴的创建	106	7.1 圆角的创建	172
4.3 基准点	109	7.2 倒角的创建	172
4.3.1 基准点的用途	109		
4.3.2 基准点的创建	110		
4.4 基准曲线	114		

7.3 筋的创建	174
7.4 拔模的创建	176
7.5 抽壳	177
7.6 孔特征创建	178
7.7 附加特征设计范例	180
小结	183
习题	184
第 8 章 特征的编辑	185
8.1 特征的复制	186
8.2 特征的镜像	188
8.3 特征的移动	188
8.4 特征的阵列	190
8.5 特征的隐含	191
8.6 特征的恢复	192
8.7 特征的删除	193
8.8 特征编辑设计范例	195
小结	197
习题	197
第 9 章 零件装配设计	198
9.1 装配的概念和基本知识	199
9.1.1 组件的概念	199
9.1.2 元件的封装	199
9.1.3 元件的包括	200
9.2 装配体基本设计方法	200
9.2.1 装配界面	200
9.2.2 元件放置用户界面	202
9.2.3 放置约束	202
9.2.4 移动装配件	205
9.2.5 装配流程	206
9.3 装配元件操作方法	206
9.3.1 零件复制	206

9.3.2 零件重复放置	208
9.3.3 零件阵列	209
9.3.4 零件镜像	215
9.3.5 打开、删除等操作	216
9.3.6 修改尺寸	216
9.4 装配体实例	216
小结	223
习题	223
第 10 章 工程图设计	225
10.1 Pro/E 工程图概述	226
10.1.1 Pro/DETAIL 模块	226
10.1.2 工程图设置文件	226
10.2 使用模板创建工程图	230
10.2.1 缺省模型	230
10.2.2 指定模板	230
10.3 创建视图	231
10.3.1 一般视图	231
10.3.2 投影视图	235
10.3.3 辅助视图	235
10.3.4 详细视图	236
10.3.5 旋转视图	236
10.3.6 剖视图	237
10.4 工程图汇总	239
10.4.1 尺寸标注	239
10.4.2 公差标注	246
10.4.3 注释标注	248
10.4.4 特殊符号	250
10.5 工程图实例	252
小结	266
习题	266
参考文献	268

第1章 概 论



能力目标	知识要点	权重	自测分数
(1) 了解现代汽车设计的内容及特点; (2) 掌握 CAD 技术的内涵; (3) 掌握 CAD 与 CAE、CAM、CAPP 的关系; (4) 掌握产品设计 CAD 的工作过程; (5) 了解计算机辅助设计的特点; (6) 了解 CAD 技术的发展简史及趋势	现代汽车设计的内容、特点; 广义 CAD 和狭义 CAD 的概念; CAE、CAM、CAPP 的概念以及与 CAD 的关系; 产品设计 CAD 的工作过程; 计算机辅助设计的特点; CAD 技术的发展简史及趋势	30%	
(1) 掌握 CAD 系统的组成、主要功能模块; (2) 了解 CAD 系统的配置形式和网络结构; (3) 掌握图形软件标准; (4) 掌握 CAD 系统的软硬件选用原则; (5) 了解现代 CAD 软件的技术特点和常用的 CAD 软件	CAD 系统的软硬件组成、主要功能模块; CAD 系统的 3 种配置形式和 3 种网络结构; 图形软件的常用标准; CAD 系统的软硬件选用原则; 现代 CAD 软件的技术特点和常用 CAD 软件	30%	
了解 CAD 技术在汽车行业中的应用情况	CAD 技术在汽车业中的应用领域; 国外汽车行业 CAD 技术应用情况; 我国制造业和汽车行业 CAD 技术应用情况; 我国制造业和汽车企业应如何应用 CAD 技术	20%	
(1) 了解 Pro/E 特点、功能及主要模块; (2) 熟悉 Pro/E 软件的界面组成; (3) 掌握 Pro/E 软件的操作流程、建模过程及产品设计技巧	Pro/E 特点、功能及主要模块; Pro/E 软件的界面组成; 使用 Pro/E 软件的操作流程、建模过程及产品设计技巧	20%	



1.1 汽车 CAD 技术概述

1.1.1 汽车设计概述

设计是人类社会最基本的生产实践活动之一，是一种将预定的需求变成所希望的功能和性能指标，然后应用科学与技术知识、方法或手段转换成有经济性的设计结果的过程。

在产品的整个开发过程中，设计是关键，产品的先天质量决定于设计。统计表明，产品在包括原材料、制造、使用、维修等方面的花费即广义成本的 70% 是由设计阶段决定的。

汽车是一种包括多种典型机械元件、零部件，多种金属与非金属材料以及多种机械加工工艺的典型机械产品。汽车设计的内容包括整车总体设计、总成设计和零部件设计。整车总体设计的主要任务是整车匹配和总布置设计，即完成整车有关性能之间、相关总成参数之间的理想匹配，使所设计的产品达到设计任务书所规定的整车参数和性能指标的要求，并将这些整车参数和性能指标分解为有关总成的参数和功能。在这项高层次的设计中，既有汽车各总成间的联系问题，又有人与车的联系问题。汽车总成设计主要是满足整车设计对总成功能和布置的要求。汽车零部件设计主要是满足总成的设计要求，并解决强度、寿命和生产技术问题。

汽车设计技术是汽车产品设计和设计的方法与手段，是汽车设计实践的软件与硬件。汽车设计技术在百余年中经历了 3 个阶段：最早是经验设计阶段；到 20 世纪 50 年代逐步发展到以科学试验和技术分析为基础的设计阶段；20 世纪 60 年代中期，在设计中引进电子计算机后，形成了计算机辅助设计等新方法，并使设计逐步实现半自动化和自动化。

经验设计是以已有产品的经验数据为依据，运用一些带有经验常数或安全系数的经验公式进行设计计算的一种传统的设计方法。这种设计由于精确的设计数据和科学的计算方法，因此所设计的产品不是过于笨重就是可靠性差。一种新车型的开发往往要经过设计—试制—试验—改进设计—试制—试验等多次循环、反复修改图纸、完善设计后才能定型。设计周期长，质量差，消耗大。

第二次世界大战以后，随着测试技术的发展与完善，在汽车设计过程中引进了新的测试技术和各种专用的试验设备，进行科学试验，从各方面对产品的结构、性能以及零部件的强度和寿命进行测试，同时广泛采用近代数学物理分析方法，对产品及其总成、零部件进行全面的技術分析和研究，这样就使汽车设计发展到以科学实验和技术分析为基础的阶段。

电子计算机的问世、计算技术的发展、信息通信技术的不断进步，计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 与计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM) 技术得以发展与应用，使汽车设计技术有了飞跃发展，设计过程也完全改观。现在，汽车结构参数和性能参数等的优化选择与匹配、零部件的强度核算与寿命预测、产品有关方面的模拟计算或仿真分析、车身的美工造型等设计方案的选择以及定型，设计图样的绘制，均可在计算机上进行。CAD/CAM 技术在汽车设计中的广泛应用，对缩短汽车的开发时间，提高汽车的品质，提升企业的竞争力等起着极为重要的作用。

以汽车机械总成产品设计为例，汽车机械总成产品设计就是根据使用要求确定产品应该具备的开发目标和功能要求，构想出产品的工作原理、运动方式、力和能量的传递、结构形状以及所用材料等事项，并转化为具体的数字化模型、图纸和设计文件等，为后续制造提供依据。设计的结果就是通过制造转化为汽车整车制造或维修所需要的产品。汽车机械总成产品的设计过程如图 1.1 所示。一般包括以下几个阶段：

(1) 概念设计。通过调查研究、资料收集，仔细分析用户需求；在此基础上明确产品的性能和功能要求，确定开发目标，进而构思原理性方案，对这些方案进行分析与评价，最后获得一种优化方案。

(2) 初步设计。根据所确定的方案，绘制总布置图，并进行主要设计参数的分析计算与优化，确定各部件的基本结构和形状，然后进行评价。

(3) 详细设计。确定设计对象的详细结构，最终完成总布置图和全部零、部件图，并编写设计技术文档。

完成了详细设计并不意味着一个好的设计最终完成。汽车及其总成部件产品在经历了加工制造、样机测试、批量生产以及销售使用后，将返回大量信息，要依据这些信息再对产品进行不断修改。由此可见，汽车及其总成部件产品设计是一个“设计—评价—再设计”的反复迭代、不断优化的过程。传统的汽车及其总成部件产品设计主要是采用经验类比的方法，靠人工完成整个设计过程，设计质量难以提高，而且设计周期长、成本高。因此，实现某种程度的设计自动化，缩短设计周期，降低设计成本，提高设计质量，就成为汽车及其总成部件产品设计发展的迫切要求，正是在这样的背景下，计算机辅助设计技术在汽车及其总成产品设计中才有今天如此广泛的应用。

1.1.2 CAD 技术的内涵

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是 20 世纪 60 年代发展起来的一门新兴的综合性计算机应用方法和技术。CAD 是一种运用计算机硬件和软件系统辅助人们对产品或工程进行设计的方法和技术，包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动，它是一种新的设计方法，也是一门多学科综合应用的新技术。

CAD 不仅是一种方法或技术原理，而且是一种技术或工程应用。从方法或技术原理角度来讲，CAD 是指运用计算机工具完成产品设计的全过程，包括概念设计、初步设计(或称总体设计)和详细设计等。在设计过程中，CAD 将计算机的数据存储和处理优势与人的创造性思维和综合分析优势有机地结合起来，做到优势互补，以此提高产品的设计质量，并缩短产品的开发周期。CAD 作为一种方法或技术原理，还具备完整的理论体系，它是由计算机图形处理、工程分析、信息管理、信息交换、网络、文档处理、多媒体、人

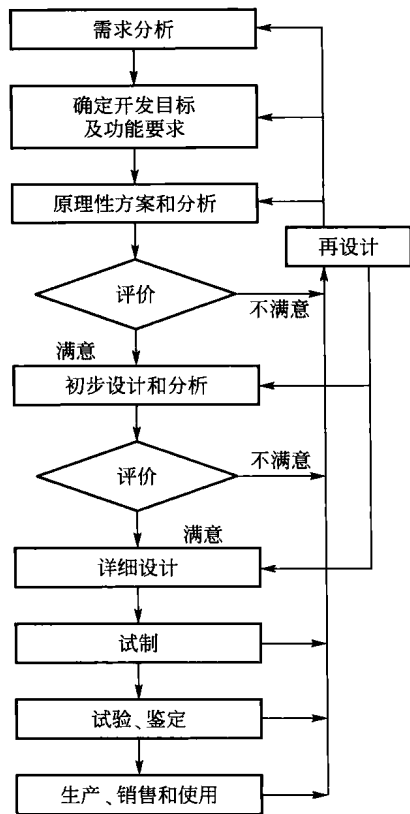


图 1.1 汽车机械总成产品的设计过程



机交互、虚拟现实、人工智能等跨学科的原理或理论组成的一个高度综合的理论体系。从技术或工程应用的角度来讲,利用CAD技术,可以把产品的物理模型转化为存储在计算机中的数字化模型,从而为产品的后续工艺、制造、管理以及产品的改进等环节提供共享的信息来源,从而大大缩短新产品的开发周期和更新换代周期。作为一种技术或工程应用,现在的CAD技术已不仅仅局限于计算机绘图或三维建模,而是一种广义的、综合性的产品设计技术,它主要涉及以下基础技术:

(1) 图形处理技术。如二维交互图形技术、三维建模技术及其他图形输入/输出技术。

(2) 工程分析技术。如有限元分析、优化设计方法、物理特性计算(如面积、体积、惯性矩等计算)、模拟仿真以及各行各业中的工程分析问题等。

(3) 数据管理与数据交换技术。如产品数据管理(PDM)、数据库、异构系统间的数据交换和接口等。

(4) 文档处理技术。如文档制作、编辑及文字处理等。

(5) 界面开发技术。如图形用户界面、网络用户界面、多通道多媒体智能用户界面等。

(6) 基于Web的网络应用和开发技术。

根据以上叙述,CAD技术有广义和狭义之分。广义的CAD概念,是指利用计算机辅助技术进行产品设计的整个过程以及与之直接或间接相关的活动,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设计活动。广义的CAD主要包括设计和分析两个方面,设计是指构造零件的几何形状、选择零件的材料,以及为保证整个设计的统一性而对零件提出的功能要求和技术要求等。分析是指运用数学建模技术,如有限元、优化设计技术等,从理论上对产品的性能进行模拟、分析和测试,以保证产品设计的可靠性。综合广义CAD的设计过程和活动,主要包括图形表示、工程计算和设计管理三类工作。图形表示描述产品的结构(包括形状和尺寸),是CAD的基础和核心。工程计算是对产品的性能进行分析,以保证产品的质量和性能。设计管理是对设计过程和数据进行管理,以提高设计效率。

随着计算机应用技术的研究不断深入和应用范围的拓宽,人们将工程分析纳入计算机辅助工程分析(CAE)技术,把设计过程和数据的管理纳入产品数据管理技术进行专门研究,所以CAD的概念缩小到了产品结构的图形表示方面。因此,狭义的CAD概念,主要是指产品的几何建模及其相关技术,即如何在计算机中描述产品的形状和尺寸。现有的集成软件也都是按照这种定义进行划分的,如I-DEAS、UG、Pro/Engineer(简称Pro/E)、CATIA、SolidWorks等。

为突出重点,无特别说明时,本书的主要内容限于狭义CAD的相关内容。值得指出的是:不应该将CAD与计算机绘图、计算机图形学混淆起来。

计算机绘图是使用图形软件和计算机硬件进行绘图及有关标注的一种技术和方法,它以摆脱繁重的手工绘图为主要目标。

根据ISO在数据处理词典中的定义,计算机图形学(CG)是研究通过计算机将数据转换为图形,并进行显示的原理、方法和技术的科学。也就是说,图形是人们通过计算机设计和构造出来的,这种图形可以是现实世界中存在的物体,也可以是虚构的物体,但不包括通过摄像机或扫描仪等设备输入的图像。

计算机图形学的研究内容主要有以下4个方面:

(1) 硬件。指图形输入设备、图形处理设备、图形显示设备和图形绘制设备。

(2) 图形软件设计。如二维绘图系统、三维建模系统、动画制作系统、真实感图形生成系统等。

(3) 图形处理的理论与方法。主要集中在三维造型技术、真实感图形生成技术和人机交互技术等方面。近年来,计算机图形学向更深的方向发展,出现了分布式图形处理、声像一体化、分数维几何、虚拟现实、多媒体技术以及科学计算可视化等高新理论与技术。

(4) 实际应用中的图形处理问题。涉及广阔的应用领域,如统计管理、测量、生物、医学、药学、地理、地质、军事指挥与训练、动画和艺术、办公自动化等。

从以上对 CAD、计算机绘图和计算机图形学的叙述,可以看出它们三者之间既有区别,又有联系。

计算机绘图是计算机图形学中涉及工程图形绘制的一个分支,可将它看成一门工程技术,它为人们以软件操作方法绘制图样提供服务;计算机绘图不是 CAD 的全部内涵,但它是 CAD 技术的基础之一;计算机图形学是一门独立的学科,有其丰富的技术内涵,它与 CAD 有明显区别,但它的有关图形处理的理论与方法构成了 CAD 技术的重要基础。

计算机辅助设计是以设计者为主体,由设计者利用计算机辅助设计系统的资源,对产品设计进行规划、分析、综合、模拟、评价、修改、决策并形成工程文档的创造性活动。设计者的创新能力、想象力、经验与直觉和计算机的高速运算能力、图形图像显示处理能力、信息检索处理能力相互结合,综合运用多学科的相关技术完成问题求解、产品的设计及产品的描述,极大地提高了设计工作的效率,为无图纸化生产提供了前提和基础。

计算机辅助设计系统为设计者提供了成功且有效地完成设计工作所需的各种资源,包括建立设计对象模型、实体设计与图形设计及图像显示、工程计算及优化、功能模拟及运动模拟、产品设计所需的标准、规范及原材料的性能、工艺参数等工程数据,数据交换标准、方法及工具,设计者与系统交互的用户接口。

任何设计都表现为一种过程,每个过程都由一系列设计活动组成。活动间既有串行的设计活动,也有并行的设计活动。目前设计中的大多数活动都可以用 CAD 技术来实现,但也有一些活动目前还很难用 CAD 技术来实现,如设计的需求分析、设计的可行性研究等。将设计过程中能用 CAD 技术实现的活动集合在一起就构成了 CAD 过程。计算机辅助设计的工作过程大致是: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,产品的图形和外观的初步设计;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。图 1.2 就说明了汽车机械总成、部件设计过程与 CAD 过程的关系。随着 CAD 技术的发展,设计过程中越来越多的活动都能用 CAD 工具加以实现,因此,CAD 技术的覆盖面将越来越宽广,以致整个设计过程就是 CAD 过程。

值得指出的是,现在的 CAD 过程往往与计算机辅助工程分析和计算机辅助制造紧密结合,构成一个以计算机为工具的完整的设计、分析、制造过程或系统。CAD 不但与计

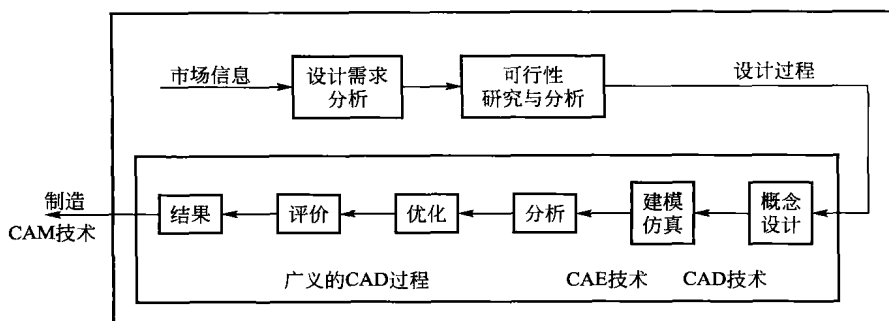


图 1.2 汽车机械总成、部件设计过程与 CAD 过程的关系

算分析联系在一起,在CAD过程中完成的模型可以在CAE软件中进行分析(如在ANSYS软件中进行有限元分析),而且与制造过程中的计算机辅助工艺规划(CAPP)和数控编程(NCP)联系在一起,形成集成的CAD/CAE/CAM系统。

在图1.2的基础上,汽车机械零部件产品基本的CAD/CAE/CAM过程可描述如下:先根据市场需求确定产品设计的性能要求,然后用专家系统进行产品方案设计,接着用三维建模软件建立产品模型,并利用CAE软件(如有限元分析软件ANSYS)和优化设计软件进行工程分析以及二、三维CAD系统进行详细设计,生成数字化模型或工程图。最后,通过计算机和数控加工设备以及CAPP软件、CAM软件、NC仿真软件等完成汽车机械零部件产品的加工,计算机辅助工艺规划的功能是进行零件加工工艺路线及工序的编制,其作用除了为制订生产计划提供依据外,也为数控自动编程提供所需的信息。数控自动编程生成刀具加工轨迹并在屏幕上进行加工仿真,检查无误后,经后置处理生成加工代码,在数控机床上进行加工。

1.1.3 计算机辅助设计的特点

(1) 提高设计效率。减小工作人员的工作量和劳动强度,使结构设计和工程制图的速度大大提高。尤其对复杂零件的设计可以无级缩放、分级设计、缩短设计周期、加速产品的更新换代、增强产品的市场竞争力。

(2) 提高设计质量。利用CAD软件提供的优化技术和设计计算功能,有限元分析及装配运动仿真技术,可以减少人为的设计误差,提高设计质量和产品的可靠性。

(3) 有利于成组设计。可以广泛采用通用件、标准件及标准设计流程。

(4) 方便修改设计。在二维CAD系统中,只需对已存储的图样做局部修改就可成为新图,在某些先进的辅助设计系统中,修改了装配图,则零件图随之自动修改,反之亦然。在三维CAD系统中,零件与装配体数据相关,修改了零件实体,零件的工程图以及所在的装配体随之可以更新,反之亦然。

(5) 可实现设计与分析统一。系统有一个描述产品模型的数据库,通过分析,设计者可以预知产品的性能。

(6) 易于实现产品数据的标准化。企业的产品数据包括设计、图文、技术文档等,标准化易于企业积累产品资源,易于继承历史的知识财富,方便产品数据的存储、传递、转换和理解。

(7) 易于实现基于网络的协同设计。设计人员可以借助Internet,在不同地点、不同

部门协同设计同一个产品。

(8) 为无图样化生产提供前提。提供 CAM 或 CIMS 基础数据。

(9) 为实现 PLM 系统提供基础。CAD 技术是产品生命周期管理(Product Life-cycle Management, PLM)的基础, PLM 功能之一即是管理 CAD 的数据。

1.1.4 CAD 技术的发展简史

从 1946 年在美国诞生了第一台计算机以来, CAD 技术经历了 5 个主要发展阶段。

1. 20 世纪 50 年代

美国麻省理工学院(MIT)于 1950 年研制的“旋风”计算机上采用了阴极射线管(CRT)做成的图形终端,并能被动地显示图形。其后出现了光笔,开始了交互式计算机图形学等早期的理论及应用研究。20 世纪 50 年代中期计算机已应用于工程和产品设计的分析计算,促进了计算机辅助工程(CAE)技术的发展。

2. 20 世纪 60 年代

这一阶段是交互式计算机图形学发展的最重要时期。1962 年,麻省理工学院的研究生 I. E. Sutherland 发表了“人机对话图形通信系统”的论文,推出了 Sketchpad 系统,该系统允许设计者在图形显示前操作光笔和键盘进行交互式图形设计与修改。其后,计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想和新方法先后在 CAD 方面得到了应用,从而为 CAD 技术的发展和應用打下了理论基础。1964 年,美国通用汽车公司推出了 DAC-1 系统,1965 年,洛克希德飞机公司推出了 CADAM 系统,标志着专业 CAD 软件开始步入实用阶段。

3. 20 世纪 70 年代

计算机交互图形技术和三维几何造型技术(线框、曲面和实体模型)为 CAD 技术的发展奠定了基础。基于大型机的商用 CAD/CAM 系统开始上市。同时出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统,基于小型机的所谓交钥匙系统(turnkey system)——包括图形输入及输出设备和相应的 CAD/CAM 软件——以其优良的性能价格比,开始向中小型企业扩展。总的来说,20 世纪 70 年代是 CAD 的单元技术发展和应用阶段,各功能模块渐趋完善,但数据结构尚不统一,应用主要集中在计算机绘图和有限元分析方面,集成性差。

4. 20 世纪 80 年代

随着超级微型机和 32 位字长的工程工作站迅速占领市场,各 CAD 厂商纷纷将原来的大型机和小型机上的 CAD/CAM 系统向新的硬件平台移植或重新开发。这一阶段 CAD/CAM 系统的特点是:几何造型技术已经成熟,并成为 CAD 系统的核心;系统具有统一的数据结构和内部的数据库;系统较好集成;特征建模及二、三维参数化设计系统开始出现等。这一阶段的应用特点是:从二维绘图发展为三维实体建模,从三维实体建模发展为三维参数化建模,实现了从 CAD 单元技术到 CAD/CAE/CAM 的集成。

5. 20 世纪 90 年代

这是开放式、标准化、集成化和智能化的发展时期。随着计算机的硬件及软件环境的飞速发展, CAD 系统也在全球范围内得到了普及,出现了很多新的计算机辅助设计理论、



方法和技术；大型专业软件各自采用了参数化设计、变量化设计、逆向工程、超变量化设计、并行设计等新的设计方法，软件的功能性、集成性、智能性、网络性有了很大提高。由于微机及 Windows 98/NT/XP 操作系统与工作站及 UNIX 操作系统在以太网的环境下构成了 CAD 系统的主流工作平台，因此，现在的 CAD 技术和系统都具有良好的开放性，图形接口、图形功能日趋标准化。

1.1.5 CAD 技术的发展趋势

从 CAD 软件发展的角度看，CAD 技术有如下发展趋势。

1. 集成化

计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacture System, CIMS)是在新的生产组织原理指导下形成的一种新型生产模式，它将计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工程分析(CAE)、计算机辅助工艺规划设计(CAPP)集成起来。CAD/CAM/CAE/CAPP 的集成是从概念设计开始就考虑到集成，是建立一种新的设计、生产、分析以及技术管理的一体化。CIMS 是现代制造企业的一种生产、经营和管理模式，它以计算机网络和数据库为基础，利用信息技术(包括计算机技术、自动化技术、通信技术等)和现代管理技术将制造企业的经营、管理、计划、产品设计、加工制造、销售及服务等全部生产活动集成起来，实现整个企业的信息集成，保证企业内 workflow、物质流和信息流的畅通，达到实现企业全局优化、提高企业综合效益和提高市场竞争力的目的。CIMS 集成主要包括人员集成、信息集成、功能集成、技术集成。

CIMS 的目标在于企业效益最大化，这在很大程度上取决于企业内部的协调。一般来说，企业集成的程度越高，协调性就越好。只有通过集成，正确的信息才能在正确的时刻以正确的方式到达正确的地方，因此，集成是企业成功的关键因素。计算机图形处理技术、图形输入和工程图识别技术、产品造型技术和参数化设计方法、CAPP 技术、数据库技术、数据交换技术等关键技术的快速发展推动了 CIMS 的发展。由于设计是产品开发的首要环节，因此，CAD 信息处于产品生命周期中信息链的源头。为了提高系统的集成水平，CAD 技术必须在以下几个方面提高水平。

(1) 数字化产品建模。必须提供针对产品全生命周期的统一的产品模型，该模型应该符合某种标准或者规范，其内容包括产品结构形状、设计过程以及设计所用的知识；在建模技术上，应该能提供性能优良的特征建模、参数化设计、变量化设计、超变量化设计等方法。

(2) 产品数据交换。除了提供按目前已有的交换规范或者标准所开发的中性交换文件及其接口(如 DXF、IGES、STEP、STL、SAT、VDA)外，还应具备各种外部专用接口，以便与其他软硬件系统连接起来，需要发展新的交换思想和规范。

(3) 产品数据管理。CAD 系统必须有自己统一的数据库及其管理系统，该数据库的结构要以产品信息模型为基础，使 CAD/CAE/CAM 系统内的各模块都用这个统一的数据库进行信息存取。应继续改进与提高产品数据管理(Product Data Management, PDM)软件性能，有效管理与产品相关的所有数据以及及产品相关的所有过程。

(4) 系统内部应该包括更多功能更完善的 CAx 及 DFx 应用软件。如：CAM(Computer Aided Manufacturing)、CAE(Computer Aided Engineering)、CAPP(Computer Aided

Production Planning)、DFM(Design For Manufacturing)、DFA(Design For Assembly)、DFR(Design For Reliability),并使它们有机地集成起来。

2. 网络化

互联网及其 Web 技术的发展,迅速将设计工作推向网络协同的模式,因此,CAD 技术必须在以下几个方面提高水平。

(1) 能够提供基于因特网的完善的协同设计环境。该环境具有电子会议、协同编辑、共享电子白板、图形和文字的浏览与批注、异构 CAD 和 PDM 软件的数据集成等功能,使用户能够进行协同设计。

(2) 提供网上多种 CAD 应用服务。例如,设计任务规划、设计冲突检测与消解、网上虚拟装配等工具。

3. 智能化

现有的 CAD 技术在机械设计中只能处理数值型的工作,包括计算、分析与绘图。然而在设计活动中存在另一类符号推理型工作,包括方案构思与拟定、最佳方案选择、结构设计、评价、决策以及参数选择等。这些工作依赖于一定的知识模型,采用符号推理方法才能获得圆满解决。因此,将人工智能技术、知识工程技术与 CAD 技术结合起来,形成智能化 CAD 系统是机械 CAD 发展的必然趋势。以下几个问题应给予以更多的注意。

(1) 发展新的设计理论与方法。例如:并行设计、大规模定制设计、概念设计、创新设计、标准化设计、模块化设计、协同设计等都是当前研究的热点。只有在新的理论与方法指导下才可能建立新一代的智能 CAD 系统,才能解决目前还不能有效解决的方案设计、创新设计等问题。

(2) 继续深入研究知识工程在机械设计领域中应用的一些基本理论与技术问题。例如,设计知识的表示与建模、知识利用中的各种搜索与推理方法、知识挖掘、知识处理技术等。

4. 标准化

随着 CAD 技术的发展,标准化问题越来越重要。迄今已制定的标准有许多,例如,面向图形设备的标准 CGI,面向用户的图形标准 GKS 和 PHIGS,面向不同 CAD 系统的数据交换标准 IGES、STEP 和窗口标准等。此外还有《CAD 文件管理》、《CAD 电子文件应用光盘存储归档与档案管理要求》等标准。

此外,在航空、航天、汽车等一些大的行业中,针对某种 CAD 软件的应用也已经制定了行业的 CAD 应用规范。随着技术进步,新标准还会出现。这些标准对 CAD 系统的开发和 CAD 技术的应用具有指导性作用,是必须遵守的法则。基于这些标准推出的有关软件是一批宝贵的应用资源。更为重要的是有些标准还指明了 CAD 技术进一步发展的方向,例如,STEP 既是标准,又是方法学,由此构成了 STEP 技术,该技术深刻地影响着产品建模、数据管理及接口技术等。

5. 并行工程

并行工程(Concurrent Engineering)是随着 CAD、CIMS 技术的发展提出的一种新的系统工程方法。这种方法的思路,就是并行地、集成地设计产品及其开发的过程。它要求

