



· 普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

UTO MOBILE

汽车CAD/CAE 技术基础与实例

主 编 羊 玠

副主编 杨 敏 田 杰 贾永刚 吕红明



教学资源库
<http://js.ndip.cn>



國防工業出版社

National Defense Industry Press

. 013033011

U462-39
09

普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

汽车 CAD/CAE 技术基础与实例

主 编 羊 玢
副主编 杨 敏 田 杰 贾永刚 吕红明
参 编 万茂松 郑燕萍 徐晓美
主 审 蔡伟义



国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1640782

U462-39
09

内 容 简 介

本书以国内汽车行业产品设计开发的技术现状及发展趋势为背景,围绕汽车产品设计开发这一主线,结合汽车产品的结构特点和开发模式,系统介绍 CAD/CAE 技术在汽车工程领域应用的基本原则和实施要点;并以大量汽车产品开发项目为案例,在介绍典型汽车零部件功用和结构型式的基础上,结合典型汽车 CAD/CAE 系统,针对 CAD/CAE 设计开发目标、设计流程、要素分析等关键问题进行讨论。本书旨在引导读者逐步树立起系统化的 CAD/CAE 技术实施理念,透彻理解 CAD/CAE 核心技术,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,列举了大量应用案例,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,编写内容通俗易懂,有利于学生及时快捷地掌握所学知识。

本书既可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 CAD/CAE 系统从事产品开发与设计、三维建模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/CAE 技术基础与实例 / 羊玠主编. — 北京:

国防工业出版社, 2013. 3

普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-08497-9

I. ①汽... II. ①羊... 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 (2013) 第 044069 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 字数 433 千字

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

编审委员会

主任委员

陈 南 (东南大学)

葛如海 (江苏大学)

委 员 (按姓氏拼音排序)

贝绍轶 (江苏技术师范学院)

蔡伟义 (南京林业大学)

常 绿 (淮阴工学院)

陈靖芯 (扬州大学)

陈庆樟 (常熟理工学院)

戴建国 (常州工学院)

鞠全勇 (金陵科技学院)

李舜酩 (南京航空航天大学)

鲁植雄 (南京农业大学)

王 琪 (江苏科技大学)

王良模 (南京理工大学)

吴建华 (淮阴工学院)

殷晨波 (南京工业大学)

于学华 (盐城工学院)

张 雨 (南京工程学院)

赵敖生 (三江学院)

朱龙英 (盐城工学院)

朱忠奎 (苏州大学)

编写委员会

主任委员

李舜酩 鲁植雄

副主任委员 (按姓氏拼音排序)

吕红明 潘公宇 沈 辉 司传胜 吴钟鸣 羊 玢

委 员 (按姓氏拼音排序)

蔡隆玉 范炳良 葛慧敏 黄银娣 李国庆 李国忠 李守成 李书伟

李志臣 廖连莹 凌秀军 刘永臣 盘朝奉 秦洪艳 屈 敏 孙 丽

王 军 王若平 王文山 夏基胜 谢君平 徐礼超 许兆棠 杨 敏

姚 明 姚嘉凌 余 伟 智淑亚 朱为国 邹政耀

前 言

当代汽车工业已成为国民经济的支柱产业，其发展水平反映了国家工业技术的综合实力，而是否具有独立自主的产品设计开发能力，则关系到民族汽车工业的生死存亡。现阶段，作为先进设计技术的代表，CAD/CAE 技术已成为汽车企业产品设计开发的有效手段，以 CAD/CAE 为核心的技术体系成为企业核心技术的有效载体。目前，我国汽车产销量均跃居世界第一，随着行业总量的不断提升和市场竞争的白热化，加上知识产权问题的压力，产品自主设计开发能力的培养和提升已成为汽车企业生存与发展的关键问题，而 CAD/CAE 技术的推广应用正是解决这一问题的锐利武器。

现阶段，CAD/CAE 技术的推广应用已受到国内汽车行业的高度重视，相关企业迫切需要掌握 CAD/CAE 技术的高素质人才，而国内高校汽车专业针对这方面的人才培养工作明显滞后于企业需求。其中，缺乏针对性的教材成为亟待解决的问题，为了适应培养高素质应用型工程技术人才的需要，编者抛弃了现有市面有关汽车（机械）CAD/CAE 书籍主要介绍一种或两种软件具体操作的弊端（因为软件学习的书籍到处可以找到，而且在这本教材里也不可能将几个软件讲得很深很透），而将重点放在汽车零部件 CAD/CAE 的具体操作和学习上。作者结合了多年来在汽车 CAD/CAE 技术教学、科研和工程培训实践中的经验，使本书形成如下的鲜明特点：

1. 强调系统集成应用的观念，注重现代设计方法与技术手段的结合

汽车 CAD/CAE 技术正经历着由传统单元技术向系统集成的重要转变，CAD/CAE 作为建模和分析的工具是建立在科学和系统的设计方法的基础之上的。针对车辆工程设计的特點，本书有选择地介绍了现代设计方法的常用技术，并且融入到设计案例之中，读者在掌握应用工具软件的同时，可以学习 CAD 建模技术、动态设计、有限元分析、系统动力学等设计思想，培养现代设计思维。

2. 加强与相关课程和教材的衔接，注重专业知识与 CAD/CAE 技术的结合

为了加强与“工程制图”、“汽车设计”、“汽车理论”、“汽车构造”等课程及其教材的衔接，本书从三维设计分析软件的教学入手，利用三维设计功能完成汽车系统及其零部件的结构设计、分析仿真及结构优化。

3. 理论联系实际，提高解决问题的能力

本书理论联系实际，结合设计对象，把 CAD 建模与系统分析和仿真结合起来，通



过案例给出解决问题的具体思路、应用技术和方法,注重提高解决实际问题的能力。从工程应用的角度出发,带领读者去学习相关的技能和应用方法。

针对国内汽车 CAD/CAE 技术的日益增长的需求,本书作者在长期从事 CAD/CAE 领域的教学和科研的基础上,参阅了国内外数十种同类书籍和有关文献资料,同时紧密结合现代设计和工程应用现状,以三维实体建模、运动学和动力学仿真、有限元分析为主线,介绍了现代设计理论与方法;以具有代表性的 CAD 软件 CATIA/UG NX、有限元软件 ANSYS/NASTRAN、机械系统动力学仿真软件 ADAMS/RecurDyn 为对象,对汽车 CAD/CAE 的建模理论、方法、求解及典型工程应用等进行了由浅入深的讲解,力求做到汽车基础知识和最新方法介绍两者兼顾。全书结合实例编写,方便读者学习,并做到举一反三,触类旁通。本书可作为高校本科生教材,也可作为研究生和工程技术人员的参考书,教学时数为 40 学时。为适应各类不同院校、不同专业的教学需要,教师可根据各校具体情况选择其中的部分章节,仍能保持整个教材体系结构的完整性。

在学习新技术的时候,没有比边学边动手更有效的方法了。边学边做正是学习本教材的方法。为此,本教材非常强调实战能力的提高,在每一章里都有一个实例,带领读者去学习相关的技能和应用方法。读者只要在计算机上照着做一遍,就可以基本上了解汽车 CAD/CAE 技术的功能以及使用它们的方法。另外,由于汽车 CAD/CAE 技术发展迅猛,软件系统版本更新周期很短,读者在使用本教材时,建议注重汽车零部件建模和分析的思维的训练。本书的示例所用的模型文件,读者可通过国防工业出版社网站下载,也可通过 E-mail 向作者索取。书中示例中打开的文件如无特别说明,即为下载文件中的同名文件。

本书由南京林业大学羊玢任主编,南京理工大学紫金学院杨敏、南京林业大学田杰、金陵科技学院贾永刚和盐城工学院吕红明任副主编,南京林业大学蔡伟义教授担任主审。南京林业大学汽车与交通工程学院车辆工程系万茂松、徐晓美、郑燕萍参加编写,其中杨敏编写第 1 章,田杰编写第 2 章和第 6 章,贾永刚和吕红明编写第 3 章,羊玢编写第 4 章、第 5 章、第 7 章~第 11 章。全书由羊玢统稿。

在编写中参阅了国内外有关的书籍和资料,并得到了南京林业大学汽车与交通工程学院车辆工程系和国防工业出版社的大力支持,万茂松、徐晓美和郑燕萍老师对本书的撰写提出了建设性意见并提供了部分案例资料,并得到了曹陈明、王玉等同学的帮助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,编写时间仓促,虽经反复琢磨,书中错误和不足之处在所难免,敬请专家和广大读者不吝指正,也欢迎读者来信共同探讨。联系方式: yangb123@126.com。

编者

2013 年 1 月

目 录

第1章 绪论

1

- 1.1 汽车 CAD/CAE 技术概述 ... 1
 - 1.1.1 汽车 CAD/CAE 概念 1
 - 1.1.2 汽车 CAD/CAE 集成的关键技术 2
 - 1.1.3 汽车 CAD/CAE 技术的应用 4
- 1.2 汽车 CAD/CAE 技术的发展 5
 - 1.2.1 CAD/CAE 技术发展的历史 5
 - 1.2.2 CAD/CAE 技术发展的趋势 6
- 1.3 汽车 CAD/CAE 系统结构 ... 10
 - 1.3.1 CAD/CAE 集成系统的特点 10
 - 1.3.2 CAD/CAE 集成系统的典型体系结构 ... 11

第2章 CAD/CAE 技术在汽车行业中的应用

13

- 2.1 CAD 技术在汽车行业中的应用 13
 - 2.1.1 CAD 技术在汽车业中的应用领域 13
 - 2.1.2 国外汽车行业 CAD

技术应用情况 16

- 2.1.3 我国制造业和汽车行业 CAD 技术应用情况 17

- 2.1.4 我国制造业和汽车行业应如何应用 CAD 技术 18

- 2.2 CAE 技术在汽车设计中的应用 19

- 2.2.1 计算机辅助工程概述 19

- 2.2.2 CAE 技术在汽车产品开发中的全面引入 19

- 2.2.3 CAE 技术需要解决的关键问题 21

- 2.2.4 国内汽车行业的 CAE 技术应用情况 25

- 2.2.5 发展中的汽车 CAE 技术 26

- 2.3 常见的汽车 CAD/CAE 系统 27

- 2.4 CAD/CAE 系统软硬件选用原则 32

- 2.4.1 CAD/CAE 系统的硬件选用原则 32

- 2.4.2 CAD/CAE 系统的软



件选用原则 32

第3章 汽车 CAE 的部分主流软件系统及其应用 34

- 3.1 CAE 软件及选择 34
- 3.2 ADAMS 软件及其应用 35
 - 3.2.1 MSC. ADAMS 简介... 35
 - 3.2.2 基于 ADAMS/CAR 四轮转向汽车操纵动力学仿真 37
- 3.3 ANSYS 软件及其应用 40
 - 3.3.1 ANSYS 简介 40
 - 3.3.2 基于 ANSYS 的白车身结构分析 43
- 3.4 NASTRAN 软件及其应用 ... 47
 - 3.4.1 MSC. NASTRAN 简介 47
 - 3.4.2 MSC. NASTRAN 在轻型客车 NVH 特性研究中的应用 50
- 3.5 SYSNOISE 软件及其应用 ... 55
 - 3.5.1 LMS. SYSNOISE 简介 55
 - 3.5.2 应用 SYSNOISE 进行车身乘坐室声振模态分析 56
- 3.6 MATLAB/Simulink 软件及其应用..... 59
 - 3.6.1 MATLAB/Simulink 简介 59
 - 3.6.2 应用 MATLAB/Simulink 进行四轮转向车辆的控制研究 60
- 3.7 RecurDyn 软件及其应用 ... 62
 - 3.7.1 RecurDyn 简介 62
 - 3.7.2 应用 RecurDyn 进行发动机正时链系统仿真 63

第4章 汽车驱动桥壳 CAD 建模与优化设计 66

- 4.1 驱动桥壳的功用及结构型式..... 66
- 4.2 UG NX 软件简介 67
 - 4.2.1 UG 产品的特点 ... 67
 - 4.2.2 UG 各功能模块 ... 67
- 4.3 驱动桥壳建模详细过程..... 69
 - 4.3.1 桥壳本体总成建模 69
 - 4.3.2 桥壳半轴套筒建模 78
 - 4.3.3 桥壳凸缘建模 80
 - 4.3.4 桥壳加强环建模 ... 82
 - 4.3.5 制动器支架固定板建模 84
 - 4.3.6 弹簧固定座建模 ... 85
 - 4.3.7 桥壳盖总成建模 ... 88
- 4.4 驱动桥壳的有限元分析..... 91
- 4.5 结构静力学分析..... 92
 - 4.5.1 满载荷静力学分析 92
 - 4.5.2 2.5 倍满载荷静力学分析 96
- 4.6 结构模态分析..... 97
- 4.7 优化分析..... 99
 - 4.7.1 结构优化设计 99
 - 4.7.2 参数化优化设计 ... 101

第5章 汽车车轮钢圈结构强度分析 105

- 5.1 车轮钢圈的功用及结构型式 105
- 5.2 建模设计平台简介 105
 - 5.2.1 CATIA 草图设计平台 105
 - 5.2.2 零件设计平台 106
 - 5.2.3 创成式曲面造型设

计平台	106	构及工作原理	170
5.2.4 FreeStyle (自由曲面 设计) 平台	107	7.2 传动机构结构及工作原 理	171
5.3 车轮钢圈建模详细过程 ..	107	7.3 DSG 传动机构齿轮的建 模	171
5.3.1 钢圈本体总成建 模	107	7.3.1 斜齿轮传动相关 知识	171
5.3.2 梅花形分布沉头 孔建模	119	7.3.2 创建表达式	172
5.3.3 梅花形分布凹槽 建模	121	7.3.3 渐开线的绘制	172
5.3.4 环形下沉切割凹槽 建模	124	7.3.4 齿轮模型的创建 ..	174
5.3.5 轮辐主体建模	124	7.4 轴及其他零件的建模	178
5.4 CATIA V5 有限元分析的 特点	130	7.5 DSG 传动机构虚拟装配 ..	180
5.5 车轮钢圈有限元网格划 分	131	7.5.1 UG 装配模块介 绍	180
5.6 车轮钢圈结构强度分析 ..	133	7.5.2 轴上零件装配	181
第6章 轿车前悬架动力学仿 真及优化设计	136	7.5.3 轴间装配	183
6.1 ADAMS 的设计流程	136	7.6 DSG 传动机构运动仿真 分析	186
6.2 前悬架设计基本思路	137	7.6.1 建立运动分析方 案	186
6.2.1 设计内容及要求 ..	137	7.6.2 一档运动学仿真 ..	189
6.2.2 建模过程中所做出 的一系列假设	137	7.6.3 倒挡运动学仿真 ..	193
6.2.3 分析优化的依据 ..	137	第8章 汽车自动变速器壳体 逆向工程设计	195
6.3 前悬架模型的建立	138	8.1 Geomagic 软件特点	195
6.3.1 建立汽车前悬架 模型	138	8.2 壳体点云数据的处理	197
6.3.2 测试前悬架模型 ..	145	8.2.1 多边形阶段的处 理过程	200
6.3.3 细化前悬架模型 ..	150	8.2.2 粗糙多边形的锐 化	204
6.3.4 定制界面	153	8.2.3 孔的生成和整合 ..	207
6.3.5 优化前悬架模型 ..	161	8.3 曲面模型的创建	211
6.4 仿真结果分析	162	8.3.1 检测曲率	211
第7章 汽车双离合自动变速器 传动机构建模与仿真	136	8.3.2 构造曲面片	212
7.1 双离合器自动变速器结 构及工作原理	170	8.3.3 构造栅格	214
7.2 传动机构结构及工作原 理	171	8.3.4 生成曲面	215
7.3 DSG 传动机构齿轮的建 模	171	8.4 实体模型的创建	216
7.3.1 斜齿轮传动相关 知识	171		
7.3.2 创建表达式	172		
7.3.3 渐开线的绘制	172		
7.3.4 齿轮模型的创建 ..	174		
7.4 轴及其他零件的建模	178		
7.5 DSG 传动机构虚拟装配 ..	180		
7.5.1 UG 装配模块介 绍	180		
7.5.2 轴上零件装配	181		
7.5.3 轴间装配	183		
7.6 DSG 传动机构运动仿真 分析	186		
7.6.1 建立运动分析方 案	186		
7.6.2 一档运动学仿真 ..	189		
7.6.3 倒挡运动学仿真 ..	193		



第9章 汽车驱动桥壳的有限元分析 218

- 9.1 Pro/Engineer 模型的导入… 218
 - 9.1.1 模型的简化… 218
 - 9.1.2 相关设置… 218
 - 9.1.3 读入驱动桥壳模型… 220
- 9.2 满载轴荷下的垂直弯曲刚度和垂直弯曲静强度分析… 220
 - 9.2.1 选择单元类型… 220
 - 9.2.2 选择约束位置和加载方式… 221
 - 9.2.3 材料属性… 221
 - 9.2.4 求解过程… 222
 - 9.2.5 结果分析… 224
- 9.3 2.5 倍满载轴荷下的垂直弯曲静强度分析… 224
 - 9.3.1 载荷计算… 224
 - 9.3.2 求解过程… 225
 - 9.3.3 结果分析… 226
- 9.4 疲劳寿命分析… 227
 - 9.4.1 相关数据… 227
 - 9.4.2 求解过程… 227
 - 9.4.3 结果分析… 230

第10章 两轴式汽车变速器的建模与虚拟装配 231

- 10.1 两轴式汽车变速器的介绍… 231
- 10.2 两轴式汽车变速器模型的建立… 231
 - 10.2.1 斜齿轮的参数化建模… 231

- 10.2.2 直齿圆柱齿轮的参数化建模… 240
- 10.2.3 轴类的建模… 241
- 10.3 汽车变速器模型的装配… 247
 - 10.3.1 输入轴总成装配… 247
 - 10.3.2 输出轴总成装配… 248
 - 10.3.3 变速器总成的装配… 249
- 10.4 虚拟装配及动画的制作… 250

第11章 汽车曲轴连杆和齿轮系运动仿真 254

- 11.1 曲轴连杆运动仿真分析… 254
 - 11.1.1 定义曲轴、连杆、活塞及活塞销的运动连接… 254
 - 11.1.2 创建简易缸套机座… 264
 - 11.1.3 设置曲轴与机座、活塞与活塞缸套之间的运动连接… 270
 - 11.1.4 模拟仿真… 272
 - 11.1.5 运动分析… 273
- 11.2 齿轮系的运动分析… 279
 - 11.2.1 设置齿轮系的连接… 279
 - 11.2.2 设置齿轮副间的连接… 283
 - 11.2.3 模拟仿真… 284
 - 11.2.4 运动分析… 286

参考文献 291



第1章 绪论

1.1 汽车 CAD/CAE 技术概述

1.1.1 汽车 CAD/CAE 概念

在汽车产品开发过程中,设计人员迫切需要一种能对所做的设计进行正确评价和精确分析的工具,而不再仅仅依靠以往积累的经验和知识去估计。鉴于这种目的,人们希望将工程领域里广泛应用的有限元分析方法与 CAD 技术集成,共同实现“设计—评价—再设计”任务的自动化,以提高设计的精确程度和效率。

汽车 CAD/CAE(Computer Aided Design/Computer Aided Engineering)技术就是通过计算机及图形输入/输出设备进行汽车产品的交互设计,并建立产品的数字模型,然后在统一的产品数字模型下进行结构的计算分析、性能仿真、优化设计、自动绘图。汽车 CAD/CAE 技术是用于支持汽车产品开发的计算机辅助设计、分析的理论、方法与工具等相关技术的总称,包括现代设计理论与方法学(如并行设计、协同设计、虚拟设计、大规模定制设计、分形设计等),以及与设计工具相关的技术(如产品数字化定义及建模技术、基于 PDM 的产品数据管理与过程管理技术、集成的 CAx 和 DFx 工具、智能技术等),能使设计工作实现信息化、集成化、网络化和智能化,达到产品设计质量高、成本低和周期短的目标。

以汽车 CAD/CAE 为基础,还可以将产品的数字模型高效及时地传送并应用到整个汽车企业产品价值链所涉及各个重要环节,包括工艺规划、工装设计、生产、加工、质量控制、编制技术文档、供应、销售和服务,实现人、财、物、产、供、销信息的集成管理、科学决策。它从根本上改变了从设计到产品生产整个过程的传统工作方式和管理方法,使设计和制造领域发生了深刻的变革。

随着中国加入 WTO,汽车制造业企业不得不参与国际市场竞争,传统的产品开发方式已不再适应企业对产品的时间、质量、成本的要求,特别是基于二维 CAD 的设计过程,

只能处理二维图形信息,无法直观地得到三维实体产品模型,进行产品的装配分析、工程分析、物理特性计算等。而汽车 CAD/CAE 设计分析平台,以建立全参数化三维实体模型为基础,再用有限元分析等方法进行关键零部件的强度、稳定性以及整车或零部件的运动性能和动力性能的仿真分析,为汽车企业建立起一套产品开发体系。它支持“自顶向下”和“自底向上”等设计方法,使设计更加符合实际设计过程,比使用二维 CAD 设计的质量高,设计原型错误减少 80%,重复设计减少 50%,节省了时间和资金,可以以大批量生产的速度生产定制产品,缩短产品开发周期,便于企业增进全球性合作。因此,汽车 CAD/CAE 是一种崭新的设计模式,汽车制造企业应从设计和管理两方面分析考虑,通过产品设计手段与设计过程的数字化和智能化,缩短产品开发周期,促进产品设计的数字化,提高企业的产品创新能力。

汽车 CAD/CAE 应包括如下几个方面的内容:

- (1) 建立汽车产品所有零部件及各系统总成和整车的三维 CAD 模型,并使三维模型参数化,适合于变形设计和部件模块化设计。
- (2) 与三维 CAD 模型相关联的二维工程图。
- (3) 零部件和整车的三维 CAD 模型能适合运动分析、动力分析和优化设计。
- (4) 汽车 CAD/CAE 的过程就是基于三维 CAD 的产品开发体系建立的过程,要形成基于三维 CAD 的 PDM(Product Data Management, 产品数据管理)结构体系。
- (5) 从汽车 CAD/CAE 过程中摸索出定制产品的开发模式及所遵循的规律。
- (6) 为了验证和修正 CAD/CAE 模型,需要与整车和零部件的检测与试验相结合。

1.1.2 汽车 CAD/CAE 集成的关键技术

在 CAD 与 CAE 技术的集成中,目前存在的主要困难是:

- (1) 如何实现从几何模型到 CAE 分析模型的自动转换。
- (2) 如何从 CAE 分析的结果出发提出评价和修改设计。

产生有限元分析模型需要把 CAD 建立的几何模型经过简化,并进行网格划分、载荷、约束和材料的定义。而这种模型抽象化的过程常常要依赖于有经验的分析人员,而且需要花费大量的时间和精力。虽然各种有限元分析软件的后处理器凭借优异的图形功能,能以等高线、矢量、阴影、动画、多模型、多窗口、图表、表格等方式表现解析结果,但都不具备对有限元分析结果进行解释和评价的功能。同时,对设计的修改也要由设计者经过分析和判断后自行给出方案,而没有利用计算机强大的计算和推理功能对设计的修改进行优化指导。因此,有必要应用人工智能技术,结合先前积累的知识和经验,建立一个包括有限元分析模型的建立、分析和解释的专家系统,并加入到 CAD 与有限元分析集成系统中,在“机器专家”的指导下,自动完成有限元分析模型的建立、分析和解释,并可自动评价有限元计算结果还可修改设计,进一步丰富和完善前后处理功能,使其与设计者共同完成设计的优化。

机械系统自动动力学分析软件 ADAMS(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System)、动力学分析和设计系统软件 DADS(Dynamic Analysis and Design System)等,集成了多体系统仿真的基本步骤、动力学理论成果、参数化的建模工具,可以提供静力学、运动

学和动力学分析的求解器、功能强大的后处理模块和可视化界面等,极大地提高了机械系统仿真的效率。然而,由于这些软件的重点是在力学分析上,在建模方面还是有很多不足,尤其是一些复杂汽车系统零部件的三维建模很难实现,所以很有必要利用 CAD 软件建模来解决这个问题,同时需要合适的接口程序来完成。

特征造型是几何造型技术的延伸,它是从工程的角度,对形体的各个组成部分的形状、尺寸及其结构、材料和精度等特征进行定义,使所描述的形体信息具有工程意义。特征模型既包含了低层几何信息,又能为下游的分析、加工提供高层语义信息。因此,实现特征建模是实现 CAD 与 CAE 集成的关键。CAD 与 CAE 技术集成系统的结构如图 1.1 所示。

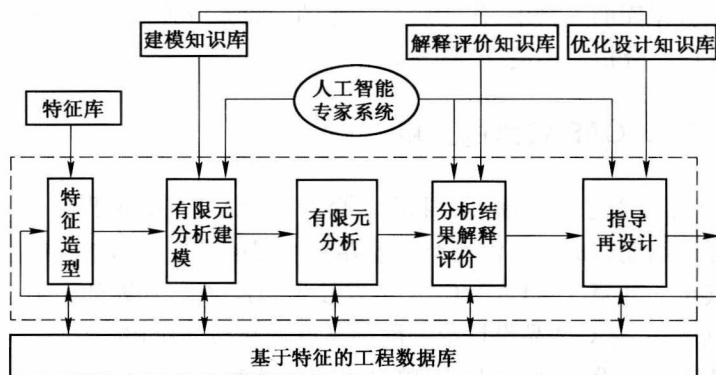


图 1.1 CAD 与 CAE 技术集成系统的结构图

1. 特征造型

设计者通过调用特征库里的特征(必要时自定义特征)进行产品特征建模。在特征造型过程中,设计者要全面周到地考虑设计对象,尽可能地将以后各种应用(如分析、加工等)所要用到的特征信息考虑进来。

2. 有限元分析建模

从特征的观点看,有限元分析建模就是将设计特征转换成有限元分析特征;从集成的观点看,有限元分析建模就是有限元分析的前处理部分。在建模过程中,专家系统访问建模知识库,利用其中存储的规则进行判断推理;访问基于特征的产品数据库,利用其中的数据信息进行逐步计算,最终形成分析模型。

3. 有限元分析

目前,有限元求解算法已经比较完善和成熟,工程化的分析软件也不少,可直接应用。

4. 分析结果解释和评价

在解释评价知识库的指导下,对分析结果进行解释,对本次设计进行评价。该模块决定是否对本次设计进行修改。如果不修改设计,则系统将各种数据存入产品数据库,并将任务交给其他系统;如果需要修改设计,则任务转入修改设计模块。

5. 指导再设计

根据优化知识库中的规则做出判断,对产品数据库中的特征信息进行修改,同时对于多种修改方案进行优化选择。

从汽车 CAD/CAE 总体构架来看,CAD 与 CAE 集成系统有两方面工作要做:一个是基于特征的有限元前处理;另一个是基于特征的有限元后处理。系统存在三个知识库和一个基于特征的产品数据库。建模知识库与前处理相联系,解释评价知识库和优化设计知识库与后处理发生作用。通过规则,这三个知识库分别对前处理、后处理进行驱动。基于特征的产品数据库与集成系统的整个过程相联系,为各个模块提供所需的各种信息。在知识库和产品数据库的支持下,作为后台核心的专家系统控制整个过程的运行,与设计者共同完成“设计—分析—再设计”任务。

1.1.3 汽车 CAD/CAE 技术的应用

近年来,由于市场竞争日益激烈,因而提高汽车产品及相关过程的质量,降低产品成本和缩短产品开发周期就成为了汽车企业生存和发展的关键,因此研究先进的设计方法和理论具有极其重要的意义。CAD/CAE 集成技术引起了学术界和企业界的广泛关注,成为研究的热点之一,它对产品的设计影响深远,机械行业典型的例子有:

(1) 波音 777 整机设计、部件测试、整机装配以及各种环境下的试飞均是在计算机上完成的,使其开发周期从过去的 8 年时间缩短到 5 年。

(2) 欧洲空中客车采用 CAD/CAE 集成技术,改变传统产品研制及开发方法,把空中客车的试制周期从 4 年缩短为 2.5 年,不仅提前投放市场,而且显著降低了研制费用及生产成本,大大增强了全球竞争能力。

(3) 作为制造业的中坚,汽车工业一直是 CAD/CAE 系统应用的先锋。CAD 技术的应用,有效地推动了汽车制造业的前进,汽车业的需求也极大地带动了 CAD 技术的发展。

(4) 福特汽车公司通过设施 C3P(CAD/CAM/CAE/PDM),用一个 PDM 把 CAD、CAE 和 CAM 集成起来,融会到一个遍布全球的公用数据系统之中。一个新车型的开发周期从过去的 36 个月缩短到 18 个月乃至 12 个月,新车开发的后期设计修改减少 50%,原型车制造和测试成本减少 50%,投资收益提高 30%。

(5) 我国的汽车模具制造业 20 年前是以传统的手工设计、有经验的钳工师傅为主导的技艺型生产方式为主,模具工业年产值只有约 20 亿元,模具进出口总额只有约 2600 万美元,进出口之比是 18:1。而如今,通过 CAD/CAE/CAM 技术的应用,我国汽车模具制造业已进入到现代模具工业生产的时代,数字化、信息化、CAD/CAM/CAE 技术和数控加工机床已普遍采用,成了技术密集型和资金密集型的高技术产业。模具制造水平有了很大的提高,生产的模具精度已达到微米级,模具寿命提高了几十倍,模具生产周期缩短了约 3/4,模具标准件的使用覆盖率几乎是从零到现在的 45% 左右,模具工业年产值现在已达到 450 亿元以上,进出口总额达到 17 亿美元,进出口之比达到 4:1。

1.2 汽车 CAD/CAE 技术的发展

1.2.1 CAD/CAE 技术发展的历史

20 世纪 50 年代~60 年代初,CAD 技术处于准备和酝酿时期,被动式的计算机绘图是这一阶段 CAD 技术的特征。60 年代,交互式计算机图形学的创立为 CAD 技术的进一步发展和应用打下了理论基础,不断成熟的图形输入/输出设备的出现推动了 CAD 技术的蓬勃发展。70 年代,CAD 技术进入广泛的使用时期,1970 年美国 Applicon 公司首先推出了面向企业的 CAD 商品化系统。80 年代,CAD 技术进入迅猛发展时期,这一阶段的技术特征是 CAD 技术从大中型企业向小企业扩展;从发达国家向发展中国家扩展;从用于产品设计发展到用于工程设计和工艺设计。90 年代以后,CAD 技术进入开放式、标准化、集成化和智能化的发展时期,这一阶段的 CAD 技术都具有良好的开放性,图形接口、功能日趋标准化。微机加视窗操作系统与工作站加 UNIX 操作系统在因特网的环境下构成 CAD 系统的主流工作平台,同时网络技术的发展使得 CAD/CAE/CAM 集成化体系摆脱空间的约束,能够更好地适应现代企业的生产布局及生产管理的要求。在 CAD 系统中,正文、图形、图像、语音等多媒体技术和人工智能、专家系统等高新技术得到综合应用,大大提高了 CAD 自动化设计的程度,智能 CAD 应运而生。智能 CAD 把工程数据库及管理系统、知识库及专家系统、拟人化用户界面管理系统集于一体。CAD 体系结构大体可分为基础层、支撑层和应用层三个层次。基础层由计算机及外围设备和系统软件组成。随着网络的广泛使用,异地协同虚拟 CAD 环境将是 CAD 支撑层的主要发展趋势。应用层针对不同应用领域的需求,有各自的 CAD 专用软件来支援相应的 CAD 工作。

CAE 技术的研究始于 20 世纪 50 年代中期,CAE 软件出现于 70 年代初期。80 年代中期,CAE 软件在可用性、可靠性和计算效率上已基本成熟。国际上知名的 CAE 软件有 NASTRAN、ANSYS、ASKA、MARC、DYNA-3D 等。但其数据管理技术尚存在一定缺陷,运行环境仅限于当时的大型计算机和高档工作站。近十几年是 CAE 软件的商品化发展阶段,其理论和算法日趋成熟,已成为航空、航天、机械、土木结构等领域工程和产品结构分析必不可少的数值计算工具,同时也是分析连续过程各类问题的一种重要手段。其功能、性能、前后处理能力、单元库、解法库、材料库,特别是用户界面和数据管理技术等方面都有了巨大的发展。前后处理是 CAE 软件实现与 CAD、CAM 等软件无缝集成的关键部分。它们通过增设与 CAD 软件(如 CATIA、UG、Pro/ENGINEER、Solidedge 以及 SolidWorks 和 MDT 等软件)的数据接口模块,实现有效的集成,通过增加面向行业的数据处理和优化算法模块,实现特定行业的有效应用。CAE 软件对工程和分析、模拟能力,主要决定于单元库和材料库的丰富和完善程度,知名 CAE 软件的单元库一般都有百余种单元,并拥有一个比较完善的材料库,使其对工程和产品的物理、力学行为,具有较强的分析模拟能力。一个 CAE 软件的计算效率和计算结果的精度,主要决定于解法库;特别是在并行计算机环境下运行,先进高效的求解演算法与常规的求解算法,在计算效率上可能有几倍、几十倍,甚至几百倍的差异。CAE 软件现已可以在超级并行机,分布式微机群,大、中、小、微型各类计算机和各种操作系统平台上运行。目前,国际上先进的 CAE 软件,已

经可以对工程和产品进行以下的性能分析、预报及运行行为的模拟:

(1) 静力和拟静力的线性与非线性分析:包括对各种单一和复杂组合结构的弹性、弹塑性、塑性、蠕变、膨胀、几何大变形、大应变、疲劳、断裂、损伤,以及多体弹塑性接触在内的变形与应力应变分析。

(2) 线性与非线性动力分析:包括交变荷载、爆炸冲击荷载、随机地震荷载以及各种运动荷载作用下的动力过程分析、振动模态分析、谐波响应分析、随机振动分析、屈曲与稳定性分析等。

(3) 声场与波的传播计算:包括静态和动态声场及噪声计算,固体、流体和空气中波的传播分析,以及稳态与瞬态热分析(传导、对流和辐射状态下的热分析、相变分析等)。

静态和交变态的电磁场和流体计算包括:电磁场分析、电流分析、压电行为分析、常规的管内和外场的层流、湍流分析等。

模态分析与参数辨识作为结构动力学中的一种逆问题分析方法,并在工程实践中应用是从 20 世纪 60 年代中、后期开始的,至今已有近 40 年的历史了。这一技术首先在航空、宇航及汽车工业中开始发展。由于电子技术、信号处理技术与设备的发展,到 80 年代末这项技术已成为工程中解决结构动态性能分析、振动与噪声控制、故障诊断等问题的重要工具。

模态分析技术发展到今天已趋成熟,特别是线性模态理论方面的研究已日臻完善,但在工程应用方面还有不少工作可做。首先是如何提高模态分析的精度,扩大应用范围。增加模态分析的信息量是提高分析精度的关键,单靠增加传感器的测点数目很难实现,目前提出的一种激光扫描方法是大大增加测点数的有效办法,随着测点数目的增加将增大数据采集与分析系统的容量及提高分析处理速度,在测试方法、数据采集与分析方面还有不少研究工作可做。复杂结构空间模态的测量分析、频响函数的耦合、高频模态检测、抗噪声干扰等方面的研究尚需进一步开展。

1.2.2 CAD/CAE 技术发展的趋势

1. CAD 技术的发展趋势

CAD 技术的发展趋势主要体现在以下几个方面:

1) 标准化

随着 CAD 技术的发展,标准化问题越来越重要。迄今已制订的标准有许多,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订了行业的 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。目前,除了 CAD 支撑软件逐步实现 ISO 标准和工业标准

外,面向应用的标准零部件库、标准化设计方法已成为 CAD 系统中的必备内容,且向合理化工程设计的应用方向发展。

2) 开放性

CAD 系统目前广泛建立在开放式操作系统 Windows/VISTA/XP/NT 和 UNIX 平台上,为最终用户提供二次开发环境,甚至这类环境可开发其内核源代码,使用户可定制自己的 CAD 系统。

3) 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。

CAD 技术的集成化将体现在三个层次上:其一是广义的 CAD 功能,CAD/CAE/CAPP (Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺规划)/CAM/CAQ/PDM/ERP (Enterprise Resource Planning, 企业资源规划)经过多种集成形式,成为企业一体化解决方案;新产品的设计能力与现代企业管理能力的集成,将成为企业信息化的重点;其二是将 CAD 技术采用的算法,甚至功能模块或系统,做成专用芯片,以提高 CAD 系统的使用效率;其三是 CAD 基于计算机网络环境实现异地、异构系统在企业间的集成。应运而生的虚拟设计、虚拟制造、虚拟企业就是该集成层次上的应用。例如,美国通用汽车公司的生产过程中,大量的零部件生产、装配都通过“虚拟工厂”、“动态企业联盟”的方式完成,本企业只负责产品总体设计和生产少数零部件,并最终完成产品的装配。

4) 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