



“十三五”江苏省高等学校重点教材 (编号: 2016-1-019)



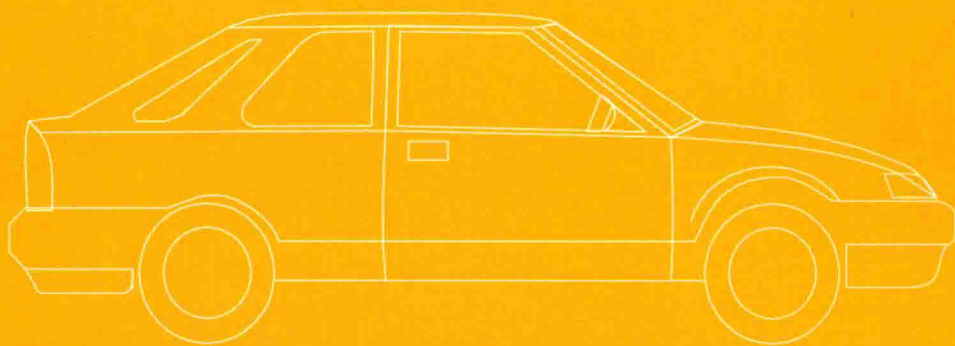
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

车辆工程、汽车服务工程

CMEC

汽车车身结构与设计

朱茂桃 丁 华 主编
江浩斌 主审



清华大学出版社

内容简介

本书是教育部“十二五”规划教材，由机械工业出版社出版。本书可作为高等院校机械类专业及相关专业的教材，也可供从事汽车设计工作的工程技术人员参考。



CMEC

教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

ISBN 978-7-302-45252-9 定价：45.00元

汽车车身结构与设计

朱茂桃 丁华 主编

封面设计：张岩

版式设计：张岩

印刷：北京印刷厂

装订：胶装

开本：787mm×1092mm

印张：16.5

字数：400千字

印数：0001—10000

定价：45.00元

ISBN 978-7-302-45252-9

http://www.tup.tsinghua.edu.cn

010-62770175

010-62776969

010-62776972

010-62776973

010-62776974

010-62776975

010-62776976

010-62776977

010-62776978

010-62776979

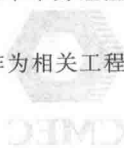
010-62776980

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地讲述了汽车车身结构设计的概念、理论与方法,包括概论、基于人体工程学的车身总布置设计、车身造型、汽车的空气动力特性、汽车车身的结构分析与设计、汽车车身碰撞安全设计、汽车车身结构的有限元分析、车身 NVH 特性研究、车身材料及轻量化。

本书可作为高等学校车辆工程专业本科生和研究生的教材,也可作为相关工程技术人员的参考书。



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

汽车车身结构与设计/朱茂桃,丁华主编. —北京:清华大学出版社,2018
(教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材)
ISBN 978-7-302-49998-5

I. ①汽… II. ①朱… ②丁… III. ①汽车—车体结构—高等学校—教材 ②汽车—车体—设计—高等学校—教材 IV. ①U463.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 076359 号

责任编辑:许 龙
封面设计:常雪影
责任校对:刘玉霞
责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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 装 者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:16.5

字 数:400千字

版 次:2018年6月第1版

印 次:2018年6月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:46.00元

产品编号:078558-01

中国高等教育出版社

中国高等教育出版社

五五五五五

前 言

FOREWORD

从 2009 年我国汽车产销量首次超越美国、跃居世界第一以来,我国已连续 8 年成为世界第一的汽车产销大国,汽车工业及关联产业就业人数超过 5000 万。连年的产销增长、高比例的税收以及巨大的就业和消费市场的拉动,使汽车产业成为我国国民经济当之无愧的支柱产业。当前,我国的经济进入结构转型的新常态,制造业也随之进入“工业 4.0”的新时代。在这样的背景下,作为支柱的汽车产业面临着严峻挑战,也迎来全新的发展机遇。随着汽车工业规模的不断扩大,汽车及其相关产业的人才需求一直都保持高位状态。与此相适应,致力于高层次人才培养的汽车工业高等教育也得到了长足发展。据不完全统计,迄今全国开办车辆工程专业的高等院校有 160 余所。

为了满足快速发展的汽车工业对专业工程技术人才培养的需求,在教育部高等学校机械类专业教学指导委员会支持下,由清华大学出版社组织各相关高校,制定了车辆工程、汽车服务工程专业规划教材的编写计划。本教材同时入选了“十三五”江苏省高等学校重点教材,相信本教材的出版将对我国车辆工程专业的高等教育产生积极的影响,为我国汽车行业人才培养模式的改革作出积极的探索。

本教材在内容的选择上除了反映车身开发方面的基础理论和共性技术,如车身总布置设计人机工程学、汽车造型设计、汽车空气动力学、车身有限元以外,还注重介绍反映当前国际汽车车身开发方面的新理论、新技术,如汽车车身 CAD/CAE/CAM 技术、车身 NVH、车身刚度与轻量化等。教材的内容主要围绕乘用车车身展开,其他车型也可借鉴。本书围绕当今车身开发的安全、节能和环保三大主题,以人机工程学作为车身布置的核心内容,依次展开,对车身结构强度和刚度、碰撞安全性等综合性能指标进行了阐述。

学习本课程前,学生应学过车辆工程专业的基础课程,熟悉汽车的结构与工作原理,对车身结构、工程力学以及有限元方法有一定的了解。

本书由江苏大学朱茂桃、丁华主编。第 2、3、4、6 章由朱茂桃编写,第 8、9 章由丁华编写;第 7 章由南京理工大学王良模编写,第 1、5 章由金陵

科技学院智淑亚编写；江苏大学徐晓明、张学荣、胡东海参与了部分内容的编写。

受水平和条件所限，书中难免有不妥和遗漏之处，欢迎使用本书的师生和读者提出宝贵意见，以便作者在本书再版时予以更正。

作者

2018年1月

FOREWORD

自改革开放以来，我国汽车工业取得了长足的进步。特别是进入21世纪以来，随着全球汽车产业的快速发展，我国汽车工业也迎来了前所未有的发展机遇。在这一过程中，汽车车身结构的设计与制造技术得到了极大的提升。本书正是在这样的背景下编写而成的。本书旨在为从事汽车设计、制造及相关工作的工程技术人员提供系统的理论知识和实用的设计方法。本书共分八章，主要内容包括：汽车车身结构概述、汽车车身结构材料、汽车车身结构设计、汽车车身制造工艺、汽车车身涂装工艺、汽车车身装配工艺、汽车车身检测与质量控制以及汽车车身维修与保养。本书可作为高等院校汽车专业及相关专业的教材，也可供从事汽车设计、制造及相关工作的工程技术人员参考。

本书在编写过程中，参考了国内外大量的文献资料，并得到了许多同行专家的指导和帮助。在此，我们表示衷心的感谢。同时，我们也希望广大读者在使用过程中，能提出宝贵的意见和建议，以便我们在今后的工作中不断改进和完善。

本书的主要编写人员如下：第一章由徐晓明编写，第二章由张学荣编写，第三章由智淑亚编写，第四章由胡东海编写，第五章由徐晓明编写，第六章由张学荣编写，第七章由智淑亚编写，第八章由胡东海编写。全书由徐晓明统稿并负责校对。江苏大学徐晓明、张学荣、胡东海参与了部分内容的编写。

本书在编写过程中，参考了国内外大量的文献资料，并得到了许多同行专家的指导和帮助。在此，我们表示衷心的感谢。同时，我们也希望广大读者在使用过程中，能提出宝贵的意见和建议，以便我们在今后的工作中不断改进和完善。

本书的主要编写人员如下：第一章由徐晓明编写，第二章由张学荣编写，第三章由智淑亚编写，第四章由胡东海编写，第五章由徐晓明编写，第六章由张学荣编写，第七章由智淑亚编写，第八章由胡东海编写。全书由徐晓明统稿并负责校对。江苏大学徐晓明、张学荣、胡东海参与了部分内容的编写。

目 录

CONTENTS

	第5章 汽车车身的结构分析与设计	112
	5.1 汽车车身的结构组成	112
	5.2 汽车车身的结构形式	112
	5.3 汽车车身的结构材料	112
	5.4 汽车车身的结构工艺性	112
	5.5 汽车车身的结构强度	112
	5.6 汽车车身的结构刚度	112
	5.7 汽车车身的结构稳定性	112
	5.8 汽车车身的结构疲劳	112
	5.9 汽车车身的结构噪声	112
	5.10 汽车车身的结构电磁兼容	112
	5.11 汽车车身的结构安全	112
	5.12 汽车车身的结构环保	112
	5.13 汽车车身的结构其他	112
	习题	112
	第1章 概论	1
	1.1 汽车车身概述	1
	1.1.1 车身形式的发展历史	1
	1.1.2 现代设计方法的特点	2
	1.2 汽车车身设计的特点与要求	5
	1.2.1 车身设计的特点	5
	1.2.2 车身设计的技术要求	6
	1.3 现代汽车车身开发流程和方法	7
	1.3.1 现代车身开发流程	7
	1.3.2 现代车身设计方法	16
	习题	21
	第2章 基于人体工程学的车身总布置设计	22
	2.1 人体工程学概述	22
	2.1.1 人体工程学简介	22
	2.1.2 人体工程学中的人体参数	23
	2.1.3 人体工程学的汽车车身内部布置工具	24
	2.2 人体工程学在车身布置中的应用	38
	2.2.1 眼椭圆的应用	38
	2.2.2 人体坐姿校核	43
	2.2.3 人机工程学在显示装置中的应用	48
	2.2.4 人机工程学在操纵装置中的应用	50
	2.2.5 上下车方便性校核	52
	2.3 各类车身的布置	53
	2.3.1 汽车车身总布置的原则、内容和方法	53
	2.3.2 轿车车身的布置	55
	2.3.3 客车车身的布置	63
	习题	66

第 3 章 车身造型	67
3.1 概述	67
3.1.1 造型开发的主要内容	67
3.1.2 汽车车身造型的要求	68
3.1.3 现代车身造型的发展趋势	68
3.2 车身造型基础和方法	70
3.2.1 汽车造型程序总论	70
3.2.2 车身造型流程	71
3.2.3 车身造型方法	73
3.3 车身计算机辅助造型	79
3.3.1 信息的获取与交流	79
3.3.2 效果图	79
3.3.3 数字化模型	80
3.3.4 1:1 效果图	80
3.3.5 制作 1:1 实体模型	80
3.3.6 虚拟成像系统	81
3.3.7 并行工程	81
习题	81
第 4 章 汽车的空气动力特性	82
4.1 概述	82
4.2 车身气动造型	83
4.2.1 气动力与气动力矩	83
4.2.2 作用在汽车上的气动阻力 D	85
4.2.3 汽车的气动升力 L 和纵倾力矩 PM	86
4.2.4 汽车的气动侧向力 S 、横摆力矩 YM 和侧倾力矩 RM	87
4.2.5 气动阻力对汽车动力特性的影响	89
4.2.6 气动阻力对汽车燃油经济性的影响	89
4.2.7 气动力矩对汽车气动稳定性的影响	90
4.2.8 汽车造型的发展变化	91
4.2.9 最佳气动造型	92
4.3 汽车内流场特性分析	94
4.3.1 发动机冷却系统分析	94
4.3.2 对驾驶室的环境要求	98
4.3.3 汽车空调的特点	100
4.4 提高汽车空气动力特性的措施	100
4.4.1 改善轿车空气动力特性的措施	101
4.4.2 改善货车空气动力特性的措施	102

4.4.3	改善大客车空气动力特性的措施	104
4.5	车身空气动力学试验	104
4.5.1	汽车风洞试验目的与方法	104
4.5.2	汽车风洞的结构形式	106
4.5.3	汽车风洞的特点	109
4.5.4	汽车风洞试验模型	112
4.5.5	汽车风洞试验的准则与规范	113
	习题	115
第5章	汽车车身的结构分析与设计	116
5.1	汽车车身的组成与结构类型	116
5.1.1	轿车车身的组成	116
5.1.2	轿车车身结构类型	117
5.2	轿车车身结构分析与设计	120
5.2.1	车身结构的总体设计要求	120
5.2.2	车身结构的划分	121
5.2.3	车身结构件的分析与设计	123
5.2.4	车身覆盖件的结构分析与设计	125
5.2.5	焊接接头设计	127
5.3	车身结构强度与刚度设计	130
5.3.1	车身结构强度设计	130
5.3.2	车身疲劳强度设计	133
5.3.3	车身结构刚度设计	136
5.4	车身结构的动力学性能设计	138
5.4.1	振动模态分析	138
5.4.2	车身结构动力学性能设计	141
5.5	车身强度与刚度试验	144
5.5.1	车身静态试验	144
5.5.2	车身动态试验	149
	习题	152
第6章	汽车车身碰撞安全设计	153
6.1	汽车碰撞安全性设计	153
6.1.1	汽车安全性概述	153
6.1.2	汽车碰撞形式及乘员伤害	154
6.1.3	汽车安全技术法规与新车评价规程	155
6.1.4	汽车碰撞时的车身安全性设计	158
6.2	车身抗撞性试验	167
6.2.1	抗撞性试验分类	167

6.2.2	整车碰撞试验	167
6.2.3	零部件试验	172
	习题	173
第7章	汽车车身结构的有限元分析	174
7.1	有限元分析软件	174
7.1.1	ANSYS 软件	174
7.1.2	ABAQUS 软件	174
7.1.3	ADINA 软件	175
7.1.4	MSC 软件	175
7.1.5	HyperWorks 软件	176
7.1.6	其他有限元软件	177
7.2	车身所受载荷	177
7.2.1	弯曲载荷	178
7.2.2	弯扭载荷	178
7.2.3	纵向载荷	179
7.2.4	侧向载荷	180
7.2.5	碰撞载荷	180
7.2.6	局部的集中载荷	181
7.2.7	安全系数	181
7.3	车身结构分析和模型建立	181
7.3.1	车身有限元模型建立	183
7.3.2	车身强度分析	188
7.3.3	车身刚度分析	188
7.3.4	车身碰撞安全分析	188
7.4	车身有限元分析实例	190
7.4.1	车身强度分析实例	190
7.4.2	车身刚度分析实例	191
7.4.3	车身模态分析实例	192
7.4.4	车身碰撞安全分析实例	194
	习题	200
第8章	车身 NVH 特性研究	201
8.1	汽车 NVH 特性	201
8.1.1	概述	201
8.1.2	声学基础理论	202
8.1.3	汽车中的 NVH 现象	204
8.1.4	车身的 NVH 特性	205
8.2	NVH 特性设计方法	205

8.2.1	整车 NVH 目标的确定	206
8.2.2	NVH 目标的分级	206
8.2.3	NVH 设计中的 CAE 方法介绍	207
8.3	车内的降噪措施	208
8.3.1	车内噪声的成因	208
8.3.2	隔声与吸声	208
8.3.3	车内噪声的主动控制	211
8.4	NVH 特性研究的试验方法	213
8.4.1	NVH 特性的评价方法	213
8.4.2	消声室内的噪声试验	214
8.4.3	道路噪声试验	215
8.5	有限元分析软件在车身 NVH 研究中的应用	216
8.5.1	建立有限元模型	216
8.5.2	模态分析	217
8.5.3	模态分析结果与评价	218
	习题	221
第 9 章	车身材料及轻量化	222
9.1	车身常用材料	222
9.1.1	车身用钢板	222
9.1.2	普通低碳钢板	225
9.1.3	镀锌薄钢板	225
9.1.4	高强度钢板	226
9.2	轻合金材料	232
9.2.1	铝合金	232
9.2.2	镁合金	233
9.3	塑料及复合材料	234
9.3.1	工程塑料	234
9.3.2	复合材料	235
9.4	汽车车身轻量化设计	235
9.4.1	采用新材料实现车身轻量化	236
9.4.2	采用新工艺实现车身轻量化	243
9.4.3	优化车身结构实现轻量化	247
9.4.4	车身轻量化设计方法	250
9.4.5	车身轻量化面临的主要问题	252
	习题	253
	参考文献	254

概 论

1.1 汽车车身概述

现代汽车由三大部分组成,即底盘、发动机、车身,称为汽车的三大总成。纵观世界汽车工业史,可以看出,现代汽车是“底盘—发动机—车身”逐步发展完善过来的,其发展过程在很大程度上取决于当时的科学技术和物质生活条件。汽车与人们的日常生活息息相关,车辆的更新换代是为了适应人们生活的各种不同目的和用途。各国发展的历程与实践证明,汽车整车生产能力的提升主要取决于车身的生产能力,汽车的更新换代、改型改装、产品促销等在很大程度上取决于车身。特别是轿车,其发展取决于车身技术水平。车身工程是汽车工业中最年轻而又发展最迅速的一个分支。

从 19 世纪末到 20 世纪初期,汽车设计师把主要精力都用在了汽车机械工程学的发展和革新上。到了 20 世纪前半期,汽车设计者们开始着手从汽车外部造型上进行改进,并相继引入了空气动力学、流体力学、人体工程学以及工业造型设计(工业美学)等概念,力求让汽车能够从外形上满足各种年龄、各种阶层,甚至各种文化背景的人的不同需求,使汽车从冰冷的机械变成具有非凡魅力的艺术品。

轿车车身的设计和制造直接受相关学科技术进步的影响,而轿车本身又是一种大批量生产、工业化程度非常高的大众化产品,且产品种类繁多,市场国际化竞争激烈,并与人类社会有着密切关系,因此,本章主要以轿车车身为例,以车身特点为导向,以它的发展历程和发展趋势为主线,介绍车身形式的演变及开发流程,并概述传统与现代设计方法的特点。

1.1.1 车身形式的发展历史

汽车车身在发展过程中,最富有特色、最具有直观性的首先是车身外形的演变,它主要经历了具有里程碑意义的六个阶段,即马车型汽车、厢型汽车、甲壳虫型汽车、船型汽车、鱼型汽车和楔形汽车,其中甲壳虫型轿车可以说是一个划时代的产品。

1913 年以前,从汽车诞生起,汽车车身是木质马车的改型,直到 1915 年世界上才出现第一辆由美国巴德公司为道奇轿车制造的全钢车身,从此汽车车身跨进金属结构的时代。那时能获得一辆封闭式车身的汽车就是用户的最大心愿。20 世纪 30 年代流行厢式大车身,那时车速很低,设计师不需顾虑空气阻力的大小。40—50 年代军车大出风头,为了打赢第二次世界大战,各式战争用车,如吉普、牵引车纷纷涌向战场。60 年代汽车在保持大功率的同时,车身开始讲究安全性。70 年代的能源危机使小巧玲珑的轻型轿车很受欢迎,把日本等推上了经济大国的地位。80 年代车身设计师要兼顾动力性、排污性及经济性等多方面

的要求。随着电子技术的广泛使用以及虚拟现实技术在车身造型中的应用,造型设计中可采用计算机模拟色彩、纹理、质感、背景、阴影及运用三维视觉效果生成虚拟汽车车身造型。通过仿真设备和虚幻环境的动态模型创造出人能够感知的虚拟现实,完全替代传统的实体模型和造型效果图的平面表述方式,甚至能做到未出实车而能体验实车的感觉,使车身造型技术发生了实质性的变革。结构紧凑、强度高的流线型轿车现已大量行驶在道路上。展望未来,进入 21 世纪后,从世界各大汽车博览会推出的多款新概念车看,汽车造型更具个性和特色。

1.1.2 现代设计方法的特点

在近百年中,汽车设计技术也经历了由经验设计发展到以科学实验和技术分析为基础的设计阶段。20 世纪 60 年代中期,在设计中引入电子计算机后又形成了计算机辅助设计(computer aided design, CAD)、计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)、计算机辅助制造(computer aided manufacture, CAM)等新方法,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。这种设计由于缺乏精确的设计数据和科学的计算方法,使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—试验等二次或多次循环,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。

随着测试技术的发展与完善,在汽车设计过程中引进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、性能和零部件的强度、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术分析、研究,这样就使汽车设计发展到以科学试验和技术分析为基础的阶段。电子计算机的出现和在工程设计中的推广应用,使汽车设计技术飞跃发展,设计过程完全改观。汽车结构参数及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等都在计算机上进行。这种利用计算机及其外部设备进行产品设计的方法,统称为计算机辅助设计(CAD)。

1. CAD 技术的发展历史

20 世纪 50 年代到 60 年代初期, CAD 技术处于准备和酝酿阶段,这个时期的主要技术特征是被动式的计算机绘图。60 年代, CAD 技术得以蓬勃发展,交互式计算机图形学的创立推动了成熟的图形输入/输出设备的出现。70 年代, CAD 技术被广泛使用,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 技术迅猛发展, CAD 技术不仅面向大中型企业,在小型企业也得到扩展。90 年代以后, CAD 技术具有良好的开放性,图形接口、功能日趋标准化。CAD 体系结构大体可以分为基础层、支撑层和应用层三个层次。基础层由计算机以及外围设备和系统软件构成。随着网络的发展,异地协同虚拟 CAD 环境将是 CAD 支撑层的主要发展趋势。应用层针对不同的领域的需求,有各自的 CAD 专用软件来支持相应的 CAD 工作。

2. 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,标准化问题越来越受到重视。迄今为止已制订的标准有多种,比如,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。除此之外,还有《CAD 文件管理》《CAD 电子文件应用光盘存储与档案管理要求》等标准。

2) 开放性

CAD 系统目前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。

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 的集成建立了一种新的设计、生产、分析以及技术管理的一体化。CIMS 是以计算机网络和数据库为基础,利用信息技术和现代管理技术把制造企业的经营、管理、计划等全部活动集成起来的一种生产、经营和管理模式。

4) 网络化

由于互联网的快速发展,将设计工作推向网络协同这种模式,要求 CAD 技术在以下几个方面提高水平:

(1) 能够提供基于互联网的完善的协同设计环境。

(2) 能够提供网上多种 CAD 应用服务。

5) 智能化

现有的 CAD 技术在机械设计中只能处理计算、分析与绘图等数值型的工作。然而,设计活动中往往存在一些符号推理型工作,包括方案构思与拟定、最佳方案选择、结构设计、评价以及参数选择等,这些工作需要采用符号推理的方法才能解决。因此,智能化 CAD 系统是机械 CAD 发展的必然趋势。以下问题应予以更多的关注:

(1) 发展新的设计理论与方法。

(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。

6) 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、集成地设计产品及其开发的过程。在并行工程运行模式下,每个设计者可以像在传统的 CAD 工作站上一样进行自己的工作。

7) 虚拟现实与 CAD 集成

虚拟现实(Virtual Reality,VR)技术在 CAD 中的应用很广,首先可以进行各种具有沉浸感的可视化模拟,可以验证设计的正确性与可行性。其次,还可以模拟产品装配过程,这样可以检验设计阶段的零部件是否合适与正确。

随着计算机在汽车设计中的推广应用,一些近代的数学物理方法和基础理论方面的新

成就在汽车设计中也日益得到广泛应用。现代汽车设计,除传统的方法和计算机辅助设计方法外,还引进了最优化设计、可靠性设计、有限元分析、计算机模拟计算或仿真分析、模态分析等现代设计方法与分析手段,甚至还引进了雷达防撞、卫星导航、智能化电子仪表及显示系统等新技术。

3. CAE 技术的发展

1) CAE 技术的发展历史

20 世纪 50 年代中期,CAE 技术开始着手研究,到 70 年代初期,CAE 技术开始出现。80 年代中期,CAE 软件在可用性、可靠性和计算效率上逐渐成熟。比较著名的 CAE 软件有 NASTRAN、ANSYS、ASKA、MARC、DYNA-3D 等。但由于管理数据存在缺陷,运行环境仅限于当时的大型计算机和高档工作站。近几年 CAE 技术的理论和算法日趋成熟,已经成为航空、航天、机械、土木结构等领域工程和产品结构分析必需的数值计算工具。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。通过增设与 CAD 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。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。包括交变载荷、爆炸冲击载荷、随机地震载荷以及各种运动载荷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) 声场与波的传播分析。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,以及稳态和瞬态分析(传导、对流和辐射状态下的热分析、相变分析等)。

2) CAE 技术的发展趋势

CAE 技术的发展趋势体现在以下几个方面:

(1) 真三维图形处理与虚拟现实。随着 PC 的图形处理能力在近年提高了数百倍,三维图形算法、图形运算和参数化建模算法的不断发展,真三维的虚拟现实技术将会成熟。因此,CAE 软件的前后处理系统将会为适应真三维图形而有新的发展。

(2) 面向对象的工程数据库及其管理系统。高性能的大容量存储器及其高速存取技术在迅猛发展,PC 的硬盘容量将会由 GB 量级达到 TB 量级,用户将要求把更多的计算模型、设计方案、标准规范和知识信息纳入 CAE 软件的数据库中,因此,CAE 软件数据库及其数据管理技术将会有很大发展。

(3) 多相多态介质耦合、多物理场耦合以及多尺度耦合分析。对于多物理场的强耦合问题、多相多态介质耦合问题,目前尚处于基础性前沿研究阶段。但是,它们已经成为国内外科学家的重点研究课题,由于其强烈的工业背景,基础研究的任何突破都会被迅速地纳入 CAE 软件。

(4) 适应于超级并行计算机和机群的高性能 CAE 求解技术。CAD/CAE/CAM 已成为技术人员实施技术创新的得力工具,运行速度每秒千亿次、万亿次、千万亿次及量子计算

机即将诞生,分布式并行计算机群即将投入使用。因此,一些新的高精度和高效率并行算法正在被研究,一些实用的新算法将不断问世。这些新的高性能算法必将被做成 CAE 的软件模块,使其在对复杂的工程或产品仿真时,能够充分发挥超级并行计算系统的软、硬件资源,高效率和高精度地获得计算结果。

(5) GUI+多媒体用户界面。伴随着计算机图形用户界面(GUI)和联机共用的图形与数据库软件的发展,会听、看、说、写和学习的计算机将问世,这些多媒体技术一定会使未来 CAD/CAE/CAM 软件的用户界面具有更强的直观、直感和直觉性,CAE 软件将来不仅具有弹出式下拉菜单,对话框、工具杆和多种数据导入的宏命令,还要开发若干专用的智能用户界面,这样有助于用户选择单元形态、分析流程、判断分析结果等。

(6) 模态分析由线性向非线性问题方向发展。近年来,在工程中的非线性问题日益突出,因此非线性模态分析也越来越受到人们的重视。非线性模态动力学已经日渐形成,有关非线性模态的正交性、解耦性、稳定性、模态的分叉、渗透等问题是当前研究的重点,在非线性和建模理论与参数辨识方面的研究也是当今研究的热点。

3) CAD/CAE 集成技术的发展趋势

CAD/CAE 集成技术的发展趋势体现在以下几个方面:

(1) 数字化设计制造集成技术。

(2) 实现了 CAD/CAE/CAM(简称为 3C)无缝合成。

1.2 汽车车身设计的特点与要求

汽车车身是汽车三大总成之一,相当于一个临时住所或活动的建筑物,车身应为驾乘人员提供良好舒适的乘坐和工作环境,使其免受振动、噪声、废气以及恶劣气候的影响;在运载货物时,应保证货物完好无损且装卸方便;同时,车身结构还应保证行车安全,减轻事故后果。但车身又受到质量和空气的限制,被认为是一种具有特定功能和优美造型的艺术品,其结构包括车身壳体、车前钣金件、车门、车窗、车身外部装饰件和内部装饰件、座椅以及通风、空调装置等,在货车和专用汽车上还包括货厢和其他装置。车身的独特性决定着自身的设计特点。

1.2.1 车身设计的特点

1. 汽车车身设计涉及面广,远远超出一般机械产品的范围

汽车车身设计要考虑安全、环保、节能三大主题;设计和造型中要考虑空气动力学的影响,使其空气阻力最小以便降低能耗,提高燃油经济性;还应满足人机工程学要求,使驾乘人员乘坐舒适,操作轻巧、方便;设计时还涉及车身造型艺术、内部装饰、取暖、通风、防振、隔声、密封、照明以及人体工程等。同时,一方面要考虑使车身轻量化,另一方面又要保证其足够的强度和刚度,以保证运行中的可靠性,这涉及结构力学、计算数学和计算机等方面的知识。

2. 汽车车身设计方法有别于汽车上其他总成

车身不仅是一个产品,还是一件精致的综合艺术品,设计应遵循美学原则,以其明晰的雕塑形体、优雅的装饰件和内部装饰以及悦目的色彩使人获得美的享受,点缀人们的生活环境。车身外形还可反映时代的风貌、民族传统和独特的企业形象。车身外形设计、制图和结构计算方法、制造与装配工艺均不同于其他总成的设计。

3. 车身的结构设计有独特的要求

汽车车身的零件繁多、结构复杂,一般普通轿车白车身由400~500个冲压件组成。汽车车身所受载荷复杂,包括驱动、制动、转弯等惯性力,还包括路面反力和作用于不同位置的发动机等总成载荷。车身边界复杂,不同的悬架种类在不同情况下对车身产生不同的约束和支承。

另外,车身设计还应进行防振降噪、碰撞安全性、金属材料腐蚀性及其轻量化方面的结构设计。

由此可见,汽车车身设计有别于汽车上其他总成的设计,有其自身的设计特点,需要综合运用结构力学、空气动力学、人机工程学、人体测量学、造型艺术、技术美学、计算机技术、汽车工程技术、用户心理学等各种不同领域的知识以及集各种行业之大成。可以毫不夸张地说,汽车车身技术的发展状况足以反映出一个国家的工业水平和完备程度。

1.2.2 车身设计的技术要求

汽车车身所特有的使用性能要求和使用的环境,决定了现代汽车车身设计必须满足一定的技术要求,主要有性能、结构、制造、维修等方面。

1. 方便舒适性

车身室内布置应提供良好的操纵性和乘坐方便性、舒适性和行驶稳定性,且通风良好,保护乘员免受行驶时的振动、噪声、废气的侵袭以及外界恶劣气候的影响。

2. 安全可靠

车身设计时的安全性应考虑两个方面,即正常行驶时的防护措施与发生意外事故时的补救措施。车身设计的可靠性是指既要保证在常规负荷下车身结构及其附件的耐用性和有效性,又要考虑到在允许超负荷下的安全性。

车身设计有助于改善发动机的冷却,提高汽车的行驶稳定性、行车安全性,减轻交通事故的后果。

3. 动力性和经济性

车身外形必须具有较低的空气阻力以提高汽车的动力性和燃料经济性;车身结构材料在满足强度、刚度要求的条件下,应该尽量减轻质量,降低成本。

4. 视野

车身外形布置必须保证驾驶员和乘员具有良好的视野。

5. 时代性

车身造型应美观、新颖、时代感强。

6. 维护、保养与拆装方便性

维护、保养是保证汽车正常运行和使用的必要手段,所以车身设计必须考虑一切需要经常维修和保养的零部件及总成的可及性与方便性。一切具有独立性功能的附件总成的润滑、清理与拆装应以最少或不需拆卸车身本身的构件为好。

7. 遵守“三化”标准

车身设计必须遵守有关标准和法规的要求,实现“三化”,即零件标准化、部件通用化、产品系列化。

1.3 现代汽车车身开发流程和方法

汽车车身是工业技术和艺术造型相结合的产物。在外形结构上,车身壳体是由许多具有空间曲面外形的大型覆盖件组合而成。在装配这些大型覆盖件时对互换性和装配精度有严格的要求,因而决定了车身设计不同于一般机械总成设计,无论在选材、加工、装配、结构还是使用功能等各方面都与汽车上的其他总成大相径庭。

1.3.1 现代车身开发流程

1. 概述

从整个汽车设计与制造的发展趋势看,现代汽车产品设计过程是一种并行的、协同的、面向全生命周期的设计模式。企业最重要的战略任务之一,就是要保障其长久的生存能力,而核心要素是具有竞争优势的产品。当前在日趋激烈的全球竞争、越来越挑剔的用户、瞬息万变的市場以及日新月异的技术变革等客观条件下,汽车产品必须拥有较高的技术含量、质量上乘、符合法规和环保要求,按照市场期望的价格投放市场后,才能使企业获得适当的利润。

一辆全新轿车的开发,从项目开始到最终产品批量生产,一般需要36~50个月的时间。为保障企业具有持久的竞争力,必须合理安排汽车开发流程。整车开发流程是界定一辆汽车从概念设计经过产品设计、工程设计到制造,最后转化为商品的整个过程中各业务部门责任和活动的描述(见图1-1)。整车产品开发流程也是构建汽车研发体系的核心,直接体现研发模式的思想;然而具体的研发项目操作时,国内厂家经常需要花大量时间和资源构架研发计划,项目执行过程中计划更改频繁,造成管理上有难度。而国际汽车厂商在国内的合资企业,研发流程已有成熟模板,在成本进度方面估算比较准确,项目执行后期容易控制,项目风险也相对较低。