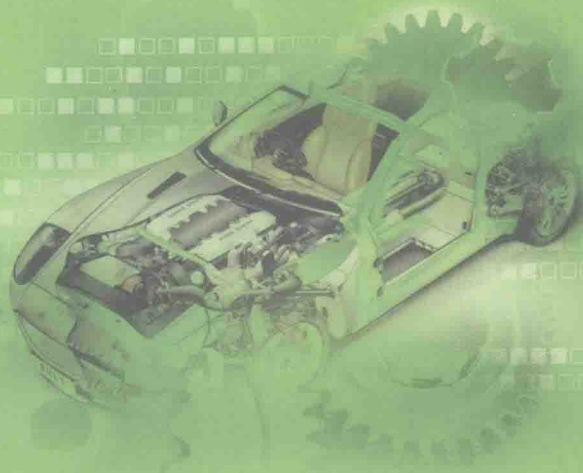


普通高等院校机械工程学科“卓越工程师教育培养计划”系列规划教材

车辆有限元 与优化设计

◎主编 陈克 田国红



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等院校机械工程学科“卓越工程师教育培养计划”系列规划教材

车辆有限元与优化设计

主 编：陈 克 田国红

副主编：李 洁 张宏远

赵立杰 田国富

陈洪月

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍了有限元法及优化设计的原理、方法及在汽车设计中的应用。全书共分 12 章, 主要内容包括: 杆件结构、弹性力学平面问题、其他常见问题的有限元法及 ANSYS 分析实训; 一维问题、无约束问题、约束问题的优化方法及 MATLAB 求解优化问题实训; 汽车零部件的有限元分析和优化设计的应用实例。

考虑到工科学生的特点, 编写中尽量避免烦琐的数学推导, 注重理论与应用的结合, 通过大量的实例, 加强学生理论知识的学习, 培养解决工程实际问题的能力。

本书可作为车辆工程及相关专业本科生的教学用书, 亦可作为工程技术人员的参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

车辆有限元与优化设计 / 陈克, 田国红主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 2
ISBN 978-7-5682-0180-3

I. ①车… II. ①陈…②田… III. ①车辆-最优设计 IV. ①U270.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 008921 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16.5

字 数 / 380 千字

版 次 / 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 38.00 元



责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

编委会名单

主任委员：毛 君 何卫东 苏东海
副主任委员：于晓光 单 鹏 曾 红 黄树涛
舒启林 回 丽 王学俊 付广艳
刘 峰 张 珂
委 员：肖 阳 刘树伟 魏永合 董浩存
赵立杰 张 强
秘 书 长：毛 君
副 秘 书 长：回 丽 舒启林 张 强
机械设计与制造专业方向分委员会主任：毛 君
机械电子工程专业方向分委员会主任：于晓光
车辆工程专业方向分委员会主任：单 鹏

编写说明

根据教育部教高〔2011〕5号《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件和“卓越工程师教育培养计划”的精神要求。为全面推进高等教育理工科院校“质量工程”的实施，将教学改革的成果和教学实践的积累体现到教材建设和教学资源统合的实际工作中去，以满足不断深化的教学改革的需要，更好地为学校教学改革、人才培养与课程建设服务，确保高质量教材进课堂。为此，由辽宁工程技术大学机械工程学院、沈阳工业大学机械工程学院、大连交通大学机械工程学院、大连工业大学机械工程与自动化学院、辽宁科技大学机械工程与自动化学院、辽宁工业大学机械工程与自动化学院、辽宁工业大学汽车与交通工程学院、辽宁石油化工大学机械工程学院、沈阳航空航天大学机电工程学院、沈阳化工大学机械工程学院、沈阳理工大学机械工程学院、沈阳理工大学汽车与交通学院、沈阳建筑大学交通与机械工程学院等辽宁省11所理工科院校机械工程学科教学单位组建的专委会和编委会组织主导，经北京理工大学出版社、辽宁省11所理工科院校机械工程学科专委会各位专家近两年的精心组织、工作准备和调研沟通，以创新、合作、融合、共赢、整合跨院校优质资源的工作方式，结合辽宁省11所理工科院校对机械工程学科和课程教学理念、学科建设和体系搭建等研究建设成果，按照当今最新的教材理念和立体化教材开发技术，本着“整体规划、制作精品、分步实施、落实到位”的原则确定编写机械设计与制造、机械电子工程及车辆工程等机械工程学科课程体系教材。

本套丛书力求结构严谨、逻辑清晰、叙述详细、通俗易懂。全书有较多的例题，便于自学，同时注意尽量多给出一些应用实例。

本书可供高等院校车辆专业的学生使用，也可供广大教师、工程技术人员参考。

辽宁省11所理工科院校机械工程学科建设及教材编写专委会和编委会



前言

Qianyan

有限元与优化设计均是以数学理论为基础,运用计算机寻求产品设计最优结果的现代设计方法。这两种方法突出体现了现代设计与传统设计在方法上的深刻变化,可以使产品的最终设计方案达到设计最完善、结构最合理、结果最明确的目标。它们广泛应用于机械、电子、航空航天、汽车、船舶、建筑等领域。

本书根据普通高等院校“卓越工程师教育培养计划”的教材建设精神,遵循“两基一能”(基本概念、基本理论、技能培训)的指导思想来编写,注重教材的科学性、系统性、先进性和实用性。在编写过程中结合多年的一线教学经验,深入分析工科类应用型人才培养的需要,力求做到由浅入深、难点分散、循序渐进、由起源到应用阐述各种理论问题,突出有限元法和优化设计方法的基本原理、方法和一般步骤,弱化了烦琐的力学及数学关系的推导。力求编写出一套基本概念严谨准确、理论阐述简明扼要、例题分析深入浅出、典型实例贴近专业特色,既体现知识的传授、能力的培养与素质教育、创新精神的有机结合,又体现车辆工程专业特色的高质量教材。

本书共 12 章,内容主要可分为四大部分:绪论、有限元法、优化设计方法和实例分析。第一部分简要介绍了有限元法和优化设计方法的背景、发展及应用。第二部分主要介绍了有限元法,包括第 2~4 章,分别介绍了杆件结构、弹性力学平面问题、轴对称问题、空间问题、薄板弯曲问题、动态分析问题的有限元法,从力学基础、基本假设、建模步骤、求解方法等方面系统地阐述了有限元法的基本理论和思路,其目的是使读者了解有限元法的基本概念、原理和求解的一般步骤。第三部分主要介绍了优化设计方法,包括第 5~10 章,分别阐述了优化问题的数学基础、一维优化、无约束优化和约束优化等方法和步骤,系统地说明了优化设计的基本要素、优化方法的思想、数学基础、精度问题、适用条件等,其目的是使读者系统地掌握优化设计方法的思路及应用方法。第四部分是实例分析,包括第 11、12 章,分别介绍了有限元分析的一般过程及实例、优化设计的基本步骤及实例和有限元与优化设计综合应用的实例,该部分通过大量汽车零件设计的实际问题,使读者了解有限元法和现代设计方法在汽车行业中的应用,其目的是期望能够通过实例讲解和分析建立理论和实际的桥梁,提高应用理论解决实际问题的能力。

考虑到本书的编写目的,全书的各个章节均配有实验实训和相应的源程序代码,供学生在掌握相关理论的前提下熟悉应用 ANSYS 和 MATLAB 求解问题的能力。本书不仅适用于车辆工程相关专业的本科教学,也可作为工程设计人员自学的参考。



本书由陈克、田国红担任主编，并由陈克进行统稿。其中第 1、2 章由李洁编写，第 4 章由田国红、李洁编写，第 3、8 章由陈克编写，第 7 章由赵立杰、田国富、陈洪月编写，第 5、6、10 章由张宏远编写，第 9 章由陈克、张宏远编写，第 11、12 章由陈克、田国红、李洁、张宏远编写。沈阳理工大学汽车与交通学院硕士研究生黄欢为本书调试了 MATLAB 优代程序，研究生张津铭绘制了本书部分插图，在此表示感谢。本书在编写过程中参考了许多文献，在此向其作者表示衷心感谢。

由于编著者水平有限，本书难免有不妥之处，恳请读者提出宝贵的意见和建议，以便进一步提高教材质量。

编者

第 1 章 绪论	001
1.1 有限元法和优化设计方法概述	001
1.1.1 有限元法和优化设计方法简介	001
1.1.2 有限元法和优化设计方法的发展	002
1.2 有限元与优化设计在汽车行业的应用	003
1.3 学习有限元与优化设计的意义与目的	005
1.3.1 学习有限元与优化设计的意义	005
1.3.2 学习有限元与优化设计的目的	005
第 2 章 杆件结构有限元法	006
2.1 有限元分析的一般步骤	006
2.1.1 结构的离散化	006
2.1.2 结构单元分析	009
2.1.3 结构整体分析	009
2.2 杆件结构的离散化	010
2.3 平面桁架结构的单元分析	011
2.3.1 局部坐标系下单元刚度矩阵	011
2.3.2 坐标变换矩阵	013
2.3.3 整体坐标下单元刚度矩阵	014
2.3.4 单元刚度矩阵的特征	014
2.4 平面桁架结构的整体分析	015
2.4.1 整体刚度矩阵的建立	015
2.4.2 边界条件的引入	016
2.4.3 平衡方程的求解	018
2.5 平面刚架结构有限单元法	021
2.6 空间杆件结构的单元刚度矩阵	025
2.6.1 空间桁架结构单元刚度矩阵	025
2.6.2 空间刚架结构单元刚度矩阵	027
2.7 杆件结构 ANSYS 有限元静力分析实验	028
2.7.1 实验的目的	029

目 录

Contents

2.7.2	实验的内容——平面桁架结构的静力分析	029
2.7.3	平面桁架结构 ANSYS 分析实例	029
第 3 章	弹性力学平面问题有限元法	037
3.1	弹性力学基本方程	037
3.1.1	平衡方程	038
3.1.2	几何方程	041
3.1.3	物理方程	043
3.1.4	弹性理论问题的解题方法	044
3.2	两类平面问题	045
3.2.1	平面应力问题	045
3.2.2	平面应变问题	046
3.3	虚功原理	048
3.4	平面问题的结构离散	049
3.5	平面问题的单元分析	050
3.5.1	单元位移模式	050
3.5.2	应变矩阵和应力矩阵	056
3.5.3	单元刚度矩阵	057
3.6	平面问题整体分析	059
3.7	平面问题 ANSYS 有限元分析实验	064
3.7.1	实验目的	064
3.7.2	实验内容——平面薄板的静力分析	064
3.7.3	平面应力问题 ANSYS 分析实例	065
第 4 章	其他常见问题的有限元法	071
4.1	等参元在有限元法中的应用	071
4.1.1	一维等参元的公式推导	071
4.1.2	二维等参元的公式推导	073
4.2	轴对称问题有限元法	075
4.2.1	轴对称问题的力学分析	076
4.2.2	结构离散	077
4.2.3	单元分析	077

4.3	空间结构问题有限元法	080
4.3.1	四面体单元	080
4.3.2	六面体单元	082
4.4	薄板弯曲问题的有限元法	083
4.4.1	薄板弯曲问题的力学分析	084
4.4.2	结构离散	086
4.4.3	单元分析	087
4.5	结构动态分析的有限元法	087
4.5.1	结构动态分析问题的力学基础	087
4.5.2	结构离散	088
4.5.3	单元分析	088
4.5.4	整体矩阵的集成	089
4.5.5	固有特性分析	090
4.5.6	响应分析	090
4.6	结构动态分析的 ANSYS 有限元法实验	091
4.6.1	实验目的	091
4.6.2	实验内容	091
4.6.3	结构动态响应 ANSYS 分析实例	091
第 5 章	优化设计的数学模型	099
5.1	优化问题示例及数学模型	099
5.1.1	优化问题示例	099
5.1.2	数学模型	104
5.2	设计变量与设计空间	105
5.3	约束条件与可行域	105
5.4	目标函数与等值线	106
5.5	优化问题的图解法	107
第 6 章	优化设计的数学基础	111
6.1	函数的方向导数与梯度	111
6.1.1	函数的方向导数	111

目 录

Contents

6.1.2	函数的梯度	113
6.2	多元函数的泰勒展开及海色矩阵	115
6.3	二次函数	116
6.4	凸集、凸函数与凸规划	117
6.4.1	凸集	118
6.4.2	凸函数	118
6.4.3	凸规划	119
6.5	优化问题的极值条件	120
6.5.1	无约束问题的极值条件	120
6.5.2	约束问题的极值条件	121
6.6	下降迭代算法	124
6.6.1	下降迭代算法的基本格式	125
6.6.2	算法的收敛性与收敛准则	125
6.7	优化方法分类	126
第 7 章	一维搜索优化方法	130
7.1	搜索区间的确定	131
7.1.1	单峰区间	131
7.1.2	初始区间的确定和区间消去法	131
7.1.3	区间消去法	132
7.2	黄金分割法	133
7.2.1	黄金分割法的基本思想	133
7.2.2	黄金分割法迭代步骤	134
7.3	二次插值法	136
7.3.1	二次插值法的基本思想	136
7.3.2	二次插值法迭代步骤	138
7.4	一维搜索优化方法的 MATLAB 实验	139
7.4.1	一维搜索优化方法的实验目的	140
7.4.2	一维搜索优化方法的实验内容	140
7.4.3	一维搜索优化方法实验算例	140
7.4.4	一维搜索优化方法 MATLAB 参考程序	141

第 8 章 无约束优化方法	147
8.1 梯度法	147
8.1.1 梯度法的基本原理.....	147
8.1.2 梯度法的迭代公式.....	148
8.1.3 梯度法的特点.....	150
8.2 牛顿法	151
8.2.1 牛顿法的基本原理.....	151
8.2.2 牛顿法的迭代公式.....	151
8.2.3 牛顿法的特点.....	152
8.2.4 阻尼牛顿法.....	153
8.3 变尺度法	154
8.3.1 变尺度法基本思想.....	154
8.3.2 DFP 变尺度矩阵的递推公式.....	155
8.3.3 DFP 变尺度法特点与 BFGS 法特点.....	158
8.4 鲍威尔共轭方向法	158
8.4.1 坐标轮换法.....	158
8.4.2 共轭方向及其构成.....	161
8.4.3 鲍威尔共轭方向法.....	162
8.5 无约束优化方法的 MATLAB 实验	166
8.5.1 无约束优化方法的实验目的.....	166
8.5.2 无约束优化方法的实验内容.....	166
8.5.3 无约束优化方法的实验算例.....	166
8.5.4 无约束优化方法的 MATLAB 参考程序.....	168
第 9 章 约束优化方法	176
9.1 拉格朗日乘子法	176
9.1.1 等式约束优化问题.....	176
9.1.2 不等式约束优化问题.....	177
9.2 惩罚函数法	179
9.2.1 外惩罚函数法.....	180

目 录

Contents

9.2.2	内惩罚函数法	182
9.2.3	混合惩罚函数法	186
9.3	复合形法	186
9.3.1	初始复合形的产生	187
9.3.2	复合形的搜索方法	188
9.3.3	复合形法的迭代步骤	189
9.4	约束优化方法的 MATLAB 实验	191
9.4.1	约束优化方法的实验目的	191
9.4.2	约束优化方法的实验内容	191
9.4.3	约束优化方法的实验算例	192
9.4.4	约束优化方法的 MATLAB 参考程序	193
第 10 章	多目标函数的优化方法	204
10.1	统一目标法	204
10.2	主要目标法	206
第 11 章	汽车零部件有限元分析实例	209
11.1	有限元分析过程	209
11.2	汽车车架的静力学分析	211
11.2.1	车架结构的几何描述	211
11.2.2	车架模型的离散化	212
11.2.3	模型的边界条件	212
11.2.4	车架静力分析结果	214
11.3	汽车飞轮强度有限元分析	216
11.3.1	汽车飞轮的几何模型	216
11.3.2	汽车飞轮模型的离散化	217
11.3.3	汽车飞轮的有限元分析	217
11.4	发动机连杆的有限元分析	220
11.4.1	发动机连杆的几何模型	220
11.4.2	连杆模型的离散化	221
11.4.3	连杆有限元分析	221

11.5	汽车悬挂系统振动模态分析	224
11.5.1	汽车悬挂系统几何模型简化	224
11.5.2	汽车悬挂系统有限元建模与分析	224
第 12 章	汽车零部件优化设计实例	227
12.1	数学模型及其尺度变换	227
12.1.1	数学模型	227
12.1.2	数学模型的尺度变换	228
12.1.3	最优化方法的选择	229
12.1.4	计算结果的分析 and 处理	230
12.2	鼓式制动器的优化设计	230
12.2.1	制动器优化数学模型建立	230
12.2.2	计算实例及优化结果分析	233
12.3	汽车离合器摩擦片的优化设计	233
12.3.1	离合器基本参数分析	233
12.3.2	离合器基本参数的优化数学模型及方法	234
12.3.3	计算实例及优化结果分析	236
12.4	汽车主减速器双曲面齿轮结构参数优化设计	236
12.4.1	优化设计的数学模型	236
12.4.2	计算实例及优化结果分析	239
12.5	汽车变速器传动轴有限元分析与优化设计	240
12.5.1	汽车变速器传动轴优化设计数学模型	240
12.5.2	使用 MATLAB 优化工具箱进行优化设计	242
12.5.3	MATLAB 和 ANSYS 联合优化设计	243
参考文献		246



第1章 绪论

有限元法和优化设计方法是现代设计方法的两个重要组成部分，它们随着计算机技术的发展得到了广泛的应用。它们为工程设计提供了先进的设计方法，在解决复杂设计问题时，提高了设计效率和设计质量。从本质上来讲，这两种方法的起源均是求解特征点问题的数学方法。

1.1 有限元法和优化设计方法概述

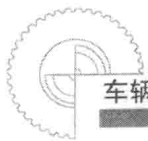
1.1.1 有限元法和优化设计方法简介

有限元法 (finite element method) 是求解数学物理方程的一种高效率、常用的数值计算方法，也是将弹性理论、计算数学和计算机软件有机结合起来的一种数值分析技术。有限元法是以变分原理为基础发展起来的数值计算方法，因而它可以应用于以任何微分方程所描述的单物理场和多物理场中。

有限元法的主要思想是对连续体的求解域进行单元划分和分片近似，单元之间仅通过节点相互连接成为一个整体，然后用每一单元内所假设的近似函数来分片表示全部求解域内的变量。也就是说，有限元法是将连续体理想化为有限个单元，单元间仅在节点上相连接，即用有限个单元的离散体代替原来具有无限个自由度的连续体，将求解微分方程问题转化为有限个方程组的联立求解过程。

优化设计 (optimization design) 是将设计问题的物理模型转化为数学模型，运用最优化数学理论，选用适当的优化方法，以计算机为手段求解数学模型，从而得出最佳设计方案的一种设计方法。机械优化设计是指在限制条件下，优选设计参数，使某项或几项设计指标获得最优值。工程中的最优，是指在满足多种设计目标和约束条件的条件下所获得的最令人满意和最恰当的值。最优值的概念是相对的，随着科学技术的发展及设计条件的变动，最优化的标准也将发生变化。

随着计算机软硬件技术的发展，CAE (计算机辅助工程) 技术的日趋成熟，各种数值仿真方法，如有限元、多体动力学、结构优化设计等现代设计方法在产品设计中得到了大量的应用。在概念设计阶段，优化设计可以把产品所需性能全部考虑进来，在给定的设计空间下找到最佳的产品设计思路；在虚拟试验阶段发现问题后，优化设计可以直接给出产品改进的方案，而不仅是对产品进行校核，从而真正帮助设计师设计出新颖而可靠的产品。这种全新的产品设计过程，就是优化驱动的产品设计过程。



优化驱动的产品设计过程在概念阶段提供概念设计优化,在详细设计阶段提供尺寸和形状优化,极大地改善了传统产品设计的局限性,为创新设计提供了保证。

随着科学技术的进步,产生了许多通用的有限元分析程序。它们将有限元分析技术、计算机图形学与优化设计技术结合起来,形成完整的 CAE 系统;利用通用的有限元分析软件可以显著提高产品设计性能,缩短设计周期,增强产品的市场竞争力。

1.1.2 有限元法和优化设计方法的发展

有限元法的思想最早可以追溯到古代数学家采用割圆法来对圆周长进行计算,这实际上就体现了离散逼近的思想,即采用大量的简单小物体来“充填”出复杂的大物体。现代数学家 Ritz 将其发展成为完善的数值近似方法,为有限元法打下坚实基础。

在近代, Hrentikoff 于 1941 年提出平面网格法,将平面弹性体看作是一些杆和梁;在一个子域上采用逐段连续函数近似求解问题的方法是 Courant 于 1943 年提出的。正式的有限元法的文献的出现应归功于波音公司的 Turner、Clough 等(1956 年),他们在飞机的结构分析中研究了离散杆、梁、三角形的单元刚度表达式。1960 年有限元法(finite element method)的名称由 Clough 正式提出。1967 年 Zienkiewicz 和 Cheung 出版了第一本关于有限元分析的专著。自此以后,有限元应用的著作在各个领域不断涌现。

我国的一些学者也在有限元领域做出了重要的贡献,1954 年胡海昌提出了广义变分原理,拉格朗日乘子法与广义变分原理的关系则由钱伟长最先研究,而冯康在 20 世纪 60 年代就独立地并先于西方奠定了有限元分析收敛性的理论基础。

随着计算机技术的飞速发展,应用有限元法的软件大量涌现,并在工程领域发挥越来越重要的作用;目前,比较著名的有限元分析软件有 ANSYS、Hyperworks、ABAQUS、MSC/NASTRAN、MARC、LS-DYNA、ALGOR、PRO/MECHANICA、IDEA 等。

最早的优化问题可以追溯到欧几里得的“同周长矩形中正方形的面积最大”,18 世纪微积分的建立给出了求函数极值的一些准则。在 20 世纪 40 年代, Petersa 的文章《如何应用满应力设计法》算是现代优化设计的开端。在第二次世界大战之前,优化方法仅限于经典微分法和变分法,称为经典优化方法。20 世纪 50 年代末,优化方法中的数学规划法被用于结构优化中,使之成为优化设计的基本理论基础。1960 年 Schmit 将结构有限元技术与数学规划法结合起来进行结构优化设计,开创了现代结构优化设计的先河。至 20 世纪 70 年代主要有数学规划法和准则法两类方法进行结构优化设计。进入 80 年代,随着计算机的发展与普及,进一步拓展了结构优化设计技术的应用与发展。1982 年 Iman 发表的阐述三维结构形状优化设计的文章,掀起了求解拓扑优化,形状、尺寸优化算法的研究热潮。这一阶段数学规划法中的经典算法均被用来进行结构优化设计。随着科学技术的发展,生物科技被引入到工程研究当中,遗传算法、蚁群算法和基于神经网络的优化算法,越来越多地应用于工程结构优化领域。

此外,随着计算机科技的发展,并行计算、互联网技术、人工智能等新技术也逐渐被引入到优化设计领域中,使得基于多物理场的多目标的优化设计成为可能。许多商用工程软件均提供拓扑优化、形貌优化、尺寸优化、形状优化以及自由尺寸形状优化等技术。



1.2 有限元与优化设计在汽车行业的应用

汽车发展的历史已经超过了 100 年,人类在汽车的发展过程中不断改善其结构、造型、性能,以满足使用的需要。整车质量减小,可以提高汽车的经济性,降低传统汽车的排放量。因此,汽车轻量化发展的趋势越来越突出,汽车轻量化直接提高汽车的比功率,使汽车的动力性提高。除材料选择以外,车身轻量化的主要途径是结构优化设计。结构优化设计是将优化技术与有限元分析技术结合起来,设计满足给定各种要求的最佳结构尺寸、形状等的设计手段。结构优化设计突破了传统的结构设计范畴,克服了传统设计经验类比或采用许多假设和简化导出的计算公式进行结构设计再校核的诸多局限。结构优化设计充分利用了计算机技术、有限元技术和优化技术,可大大缩短设计周期,降低产品材料消耗,提高产品精度和性能,并将产生明显的经济效益。

当前的产品设计方式面临极大挑战:首先是产品的创新要求,要不断地设计出新颖的产品以满足市场需求;其次,消费者对汽车性能、外观等要求越来越高;再次,汽车产品的结构和功能日趋复杂,综合考虑因素日益增多;最后,产品设计周期越来越短,汽车产品每年都有新的技术、新的车型出现。这些挑战对从事汽车产品设计、研究的人员提出更高的要求。

与此同时,广泛用于汽车工业的 CAE 也面临着巨大的挑战,工程技术人员需要花费大量的时间和精力创建高质量的 CAE 模型,将 CAE 的应用领域从产品的后期验证变换到驱动产品设计。CAE 的各个领域不能相互独立,要互相渗透,发挥各自优势,在汽车设计技术领域中发挥各自的作用。

单独来讲,有限元分析方法大量地应用于汽车零部件的设计计算中,以解决复杂形状零部件的整体变形和应力分布的分析计算问题,使得一些薄弱环节在图纸设计阶段就可以被发现并做适当修改。由于有限单元的分割和节点的配置非常灵活,它可适应于任意复杂的几何形状,处理不同的边界条件。

目前在汽车设计中有限元法普遍地应用于:零部件的强度、刚度和稳定性分析;零部件的模式分析、瞬态响应分析、谐响应分析和响应谱分析;零部件及整车的疲劳分析;零部件载荷特性分析;产品的寿命预测;零部件的损伤分析;结构灵敏度分析;振动与噪声分析;车身内的声学设计,将车身结构模态与车内声模态耦合,评价乘员感受的噪声并进行噪声控制;车身空气动力学计算,解决高速行驶中的升力、阻力和湍流等问题,为汽车性能和造型设计服务;汽车碰撞历程仿真和乘员安全保护分析,提高汽车结构的被动安全性。如图 1-1 所示为汽车结构有限元分析流程图。

优化设计方法适用于影响因素众多、计算技术复杂的多种设计方案的选择。优化设计方法提供了一种优选的最佳路径,在路径中针对具体问题的计算方法多种多样。汽车设计中的影响因素非常多,而且可供选择的设计方案也为数众多,加之计算比较复杂,所以采用优化设计方法可以将传统的设计内容、现代的设计方法和现代的设计手段较好地结合起来,最大限度地协调各种技术指标,使设计出的汽车尽可能满足多种角度考虑的设计要求。目前优化